

Наукова рада з проблеми “Фізика напівпровідників та напівпровідникові пристрої”  
Національної Академії наук України  
Міністерство освіти і науки України  
Міністерство промислової політики України  
Академія наук Вищої школи України  
Українське фізичне товариство  
Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України

**4-та Міжнародна науково-технічна конференція**

**“СЕНСОРНА ЕЛЕКТРОНІКА  
ТА МІКРОСИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ”  
(SEMST-4)**

**4th International Scientific and Technical Conference**

**“SENSORS ELECTRONICS  
AND MICROSYSTEMS TECHNOLOGY”  
(SEMST-4)**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ  
BOOK OF ABSTRACTS**

Україна, Одеса, 28 червня – 2 липня 2010 р.

Ukraine, Odessa, June 28 – July 2, 2010

Одеса  
“Астропринт”  
2010

ББК 32я431  
М 58  
УДК 621.38(063)

Дана збірка містить тези доповідей 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” (СЕМСТ-4).

Матеріали відображають зміст доповідей конференції, в яких викладено нові результати, стан і перспективи досліджень в області сенсорики за основними її напрямками: фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори; проектування та математичне моделювання сенсорів; сенсори фізичних величин; хімічні сенсори; біосенсори; радіаційні, оптичні та оптоелектронні сенсори; акустоелектронні сенсори; наносенсори (фізика, матеріали, технологія); сенсори та інформаційні системи; матеріали для сенсорів; технологічні проблеми сенсорів; мікросистемні технології (MST); деградація, метрологія та атестація сенсорів.

Більша частина відповідних повних доповідей за рекомендацією програмного комітету і редакційної колегії конференції буде опублікована в науково-технічних журналах: “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології”, “Журнал фізичних досліджень”, “Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron”, “Функціональні матеріали”, “Фотоелектроніка”.

Видання тез доповідей здійснено з авторських оригіналів, підготовлених до друку програмним комітетом і редакційною колегією конференції.

Головний редактор — **В. А. Сминтина**  
Члени редколегії: **І. В. Блонський**  
**Я. І. Лепіх**  
**В. Г. Литовченко**  
**В. Ф. Мачулін**  
**О. В. Медведь**  
**Й. М. Стахіра**  
**М. В. Стріха**  
**О. В. Третяк**

ISBN 978–966–190–339–4

© Одеський національний  
університет імені  
І. І. Мечникова, 2010

Данный сборник содержит тезисы докладов 4-й Международной научно-технической конференции “Сенсорная электроника и микросистемные технологии” (СЭМСТ-4).

Материалы отражают содержание докладов конференции, в которых изложены новые результаты, состояние и перспективы исследований в области сенсорики по основным ее направлениям: физические, химические и прочие явления, на основе которых могут быть созданы сенсоры; проектирование и математическое моделирование сенсоров; сенсоры физических величин; химические сенсоры; биосенсоры; радиационные, оптические и оптоэлектронные сенсоры; акустоэлектронные сенсоры; наносенсоры (физика, материалы, технология); сенсоры и информационные системы; материалы для сенсоров; технологические проблемы сенсоров; микросистемные технологии (MST); деградация, метрология и аттестация сенсоров.

Большая часть соответствующих полных докладов по рекомендации Программного комитета и редакционной коллегии конференции будет опубликована в научно-технических журналах: “Сенсорная электроника и микросистемные технологии”, “Журнал физических исследований”, “Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron”, “Функциональные материалы”, “Фотоэлектроника”.

Издание тезисов докладов осуществлено с авторских оригиналов, подготовленных к печати Программным комитетом и редакционной коллегией конференции.

**Главный редактор — В. А. Смытына**

Члены редколлегии:

<b>И. В. Блонский,</b>	<b>В. Ф. Мачулин,</b>	<b>М. В. Стриха,</b>
<b>Я. И. Лепих,</b>	<b>А. В. Медведь,</b>	<b>О. В. Третьяк</b>
<b>В. Г. Литовченко,</b>	<b>И. М. Стахира,</b>	

The given Book of Abstracts contains the abstracts for papers of the 4th International scientific and technical conference “Sensor Electronics and Microsystem Technologies” (SEMST-4). The materials reflect the contents of the papers, in which the new results, status and prospects of research in sensorics on its basic directions are stated: Physical, chemical and other phenomena, as a bases of sensors development, Sensors design and mathematical modeling, Physical sensors, Chemical sensors, Biosensors, Radiation, optical and optoelectronics sensors, Acoustoelectronics sensors, Nanosensors (physics, materials, technologies), Sensors and information systems, Sensors materials, Sensor technology problems, Microsystems technologies (MST), Sensors degradation, metrology and certification.

The main part of the appropriate complete papers on the recommendation of the conference Program committee and Editorial board will be published in scientific and technical journals such as: “Sensors Electronics and Microsystems Technology“, “Journal of physical researches”, “Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron”, “Functional materials”, “Photoelectronics”.

The publication of articles is carried out from the author’s originals prepared for printing by the conference Program committee and Editorial board.

**Editor-in-Chief — V. A. Smytyyna**

The Editorial board:

<b>I. V. Blonskii,</b>	<b>V. F. Machulin,</b>	<b>M. V. Strikha,</b>
<b>Ya. I. Lepikh,</b>	<b>A. V. Medved’,</b>	<b>O. V. Tretyak</b>
<b>V. G. Litovchenko,</b>	<b>I. M. Stakhira,</b>	

## Головуючі конференції

Голова конференції професор **В. А. Сминтина**,  
ректор Одеського національного університету імені І. І. Мечникова  
Заступник голови академік РАН **Ю. В. Гуляєв** (Москва, Росія),  
Заступник голови професор **Д'Аміко А.** (Рим, Італія),  
Заступник голови член-кореспондент НАНУ **В. Г. Литовченко** (Київ, Україна)  
Заступник голови академік НАНУ **В. Ф. Мачулін** (Київ, Україна)  
Вчений секретар професор **Я. І. Лепіх** (Одеса, Україна)

### Програмний комітет:

<b>Беляєв О. Є.</b> чл.-кор. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Кох Ф.</b> проф. (Гарчінг, Німеччина)	<b>Стахіра Й. М.</b> проф. (Львів, Україна)
<b>Блонський І. В.</b> чл.-кор. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Курмашев Ш. Д.</b> проф. (Одеса, Україна)	<b>Стріха М. В.</b> проф. (Київ, Україна)
<b>Бродин М. С.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Лантто Вільхо</b> проф. (Оулу, Фінляндія)	<b>Стронський О. В.</b> д. ф.-м. н. (Київ, Україна)
<b>Вербицький В. Г.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Локтєв В. М.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Тарашенко Д. Т.</b> к. ф.-м. н. (Київ, Україна)
<b>Вікулін І. М.</b> проф. (Одеса, Україна)	<b>Медведь А. В.</b> проф. (Фрязино, Росія)	<b>Ткач М. В.</b> проф. (Чернівці, Україна)
<b>Вольфенбуттел Р. Ф.</b> проф. (Нідерланди)	<b>Мокрицький В. А.</b> проф. (Одеса, Україна)	<b>Третяк О. В.</b> акад. АПНУ (Київ, Україна)
<b>Ді Натале К.</b> проф. (Рим, Італія)	<b>Моранте Дж. Р.</b> проф. (Барселона, Іспанія)	<b>Фреїк Д. М.</b> проф. (Ів.-Франківськ, Україна)
<b>Дружинін А. О.</b> проф. (Львів, Україна)	<b>Неізнестний І. Г.</b> чл.-кор. РАН (Новосиб., Росія)	<b>Хартнагель Х. Л.</b> проф. (Дармштадт, Німеччина)
<b>Єльська Г. В.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Прокопенко І. В.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Чалліз Р.</b> проф. (Ноттингем, Велика Британія)
<b>Єременко В. В.</b> акад. НАНУ (Харків, Україна)	<b>Птащенко О. О.</b> проф. (Одеса, Україна)	<b>Шелепін М. О.</b> проф. (Зеленоград, Росія)
<b>Зегря Г. Г.</b> проф. (С.-Петербург, Росія)	<b>Раренко І. М.</b> проф. (Чернівці, Україна)	<b>Шовелон Ж-М.</b> проф. (Цедекс, Франція)
<b>Івасишин О. М.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Рябченко С. М.</b> чл.-кор. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Шпилевський Е. М.</b> проф. (Мінськ, Білорусь)
<b>Ільїн О. А.</b> акад. РАН (Москва, Росія)	<b>Свечников С. В.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Якименко Ю. І.</b> акад. НАНУ (Київ, Україна)
<b>Ільченко В. В.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Сизов Ф. Ф.</b> чл.-кор. НАНУ (Київ, Україна)	<b>Яковенко В. М.</b> акад. НАНУ (Харків, Україна)
<b>Калашников О. М.</b> проф. (Ноттингем, В. Британія)	<b>Скришевський В. А.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Яценко Л. П.</b> чл.-кор. НАНУ (Київ, Україна)
<b>Кияк Б. Р.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Сліпченко М. І.</b> проф. (Харків, Україна)	<b>Ящук В. М.</b> проф. (Київ, Україна)
<b>Коваленко О. В.</b> проф. (Дніпропетровськ, Україна)	<b>Стародуб М. Ф.</b> проф. (Київ, Україна)	
<b>Корбутяк Д. В.</b> проф. (Київ, Україна)	<b>Стафеев В. І.</b> проф. (Москва, Росія)	



**ПЛЕНАРНІ  
ДОПОВІДІ**

---

---

**PLENARY  
REPORTS**

# СЕНСОРИ НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ КЛАСТЕРІВ

В.Г. ЛИТОВЧЕНКО

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарєва НАН України, Київ*  
*E-mail: [LVG@isp.kiev.ua](mailto:LVG@isp.kiev.ua)*

Відкриття сенсоризаторів на основі нанорозмірних кластерів (починаючи з молекулярних розмірів та кінчаючи нанокристаллами) започаткувало нове покоління високочутливих та селективних сенсорів різноманітних процесів: газочутливих моно та мульти...них систем; фоточутливих (від глибоких *IЧ* до жорсткої радіації) структур; біосенсори, сенсори механічних величин та процесів і т.ін. – створюють потужну інтелектуальну основу робототехніки та автоматики. В представленому матеріалі приведений систематичний огляд останніх досягнень сенсорики (з акцентом на чутливість до екологічно шкідливих речовин), в тому числі виконаних в колективі співробітників автора. Базовим принципом цих сенсорів є особливості радикальної газочутливості, обумовленої перебудовою електронного спектру орбіталів, що є базовими у визначенні хімічних зв'язків наночастинок, в тому числі поверхневих зв'язків зі зміною гібридизації (як у випадку квантових кремнієвих структур:  $sp^3 \rightarrow sp^2d$ ), перезаповнення глибоких  $d$  та інших орбіталів перехідних металів та їх композитів:  $Pd$ ,  $Cu$ ,  $W_2O_3$ . В останніх випадках підвищена газочутливість обумовлена підняттям однієї з  $d$  орбіталей над рівнем поверхні Фермі з паралельним пониженням більш симетричних  $S$  та  $sp$  орбіталів під поверхню Фермі. Таким чином вже частково вільна направлена  $d$ -орбіта буде забезпечувати газочутливість раніше нейтральних речовин (наприклад,  $Cu$  до адсорбції  $H_2$ ), тоді як більш локалізовані  $sp^n$  зв'язки забезпечують зміцнений для нанокластерів хімічний зв'язок.

# НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОЧАСТИЦАХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЛЕ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ

**И. В. Блонский, И. Н. Дмитрук, А. Н. Дмитрук, В. Н. Кадан,  
П. И. Коренюк, И. А. Павлов, А. А. Алексеенко<sup>1</sup>**

*Институт физики НАН Украины, проспект Науки, 46, Киев, Украина*

<sup>1</sup> *Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,  
проспект Октября, 48, Гомель, Беларусь*

Поверхностные плазмоны в наночастицах металлов, инкорпорированных в диэлектрические матрицы, являются высокочувствительными сенсорами тонких физических процессов, протекающих на границе раздела таких сред. В настоящем докладе на основании результатов оригинальных исследований, а также имеющихся литературных данных это проиллюстрировано на примере новых явлений, которые сопровождают распространение мощных фемтосекундных импульсов в композитных средах на основе благородных металлов. Сообщается о таких новых явлениях как филаментация лазерного излучения, динамическое поляризационное расщепление поверхностных плазмонов, отличительных механизмах энергообмена между электронными и решеточными возбуждениями.

- [1] И. В. Блонский, В. Н. Кадан, О. И. Шпотюк, И. Н. Дмитрук, И. А. Павлов, Письма в ЖЭТФ, **89**, 636 (2009).
- [2] И. В. Блонский, И. Н. Дмитрук, О. А. Ещенко, И. А. Павлов, В. Н. Кадан, П. И. Коренюк, А. А. Алексеенко, А. Н. Дмитрук, Письма в ЖЭТФ, **88**, 46 (2008).

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА НИТКОПОДІБНІ КРИСТАЛИ Si, SiGe ТА ШАРИ ПОЛІКРЕМНІЮ

**Дружинін А.О., Мар'ямова І.Й., Островський І.П., Ховерко Ю.М.,  
Кутраков О.П., Лях-Кагуй Н.С.**

*НУ "Львівська політехніка", НДЦ "Кристал", вул. Котляревського, 1, м. Львів,  
79013, Україна, тел. (032)2582144, e-mail: [druzh@polynet.lviv.ua](mailto:druzh@polynet.lviv.ua)*

Необхідність створення радіаційно стійких сенсорів зумовлена потребами різних галузей науки і техніки. Тому вивчення впливу електронного опромінення на ниткоподібні кристали (НК) кремнію, твердого розчину Si-Ge та шари полікремнію на ізоляторі (КНІ-структури), які використовуються як чутливі елементи сенсорів механічних і теплових величин [1-2], є актуальними як з точки зору розширення фізичних уявлень про дію радіації на основні параметри кристалів, так і для оцінки радіаційної стійкості сенсорів на їх основі.

Проведено комплекс досліджень впливу опромінення високоенергетичними електронами ( $E=10$  MeV) з різним флюенсом на основні властивості легованих мікрокристалів і шарів полікремнію в широкому інтервалі температур 4,2 – 300 К.

Опромінення електронами високих енергій проводилось в Інституті електронної фізики НАН України на імпульсному прискорювачі електронів мікротрон М-30 за кімнатної температури електронами з енергією  $E=10$  MeV і флюенсом  $\Phi = 1 \times 10^{16} - 1 \times 10^{18}$  ел/см<sup>2</sup>. Вивчення впливу опромінення електронами на низькотемпературну, зокрема, стрибкову провідність легованих мікрокристалів Si та Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> проводилось в інтервалі температур 4,2-300 К та в сильних магнітних полях з індукцією до 14 Тл у Міжнародній лабораторії сильних магнітних полів та низьких температур (м. Вроцлав, Польща).

Робота спрямована на дослідження впливу електронного опромінення на НК кремнію та Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> з концентрацією домішки, яка відповідає області переходу метал-діелектрик (ПМД). Вивчено вплив опромінення електронами з енергією 10 MeV і дозами  $\Phi = 1 \times 10^{17} - 1 \times 10^{18}$  ел/см<sup>2</sup> на провідність НК Si р-типу, легованих бором, з питомим опором  $\rho_{300\text{K}} = 0,006 - 0,025$  Ом×см та Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> ( $x = 0,03$ ) р-типу з  $\rho_{300\text{K}} = 0,018 - 0,025$  Ом×см в інтервалі температур 4,2 – 300 К.

Встановлено, що опромінення електронами з енергією  $E=10$  MeV і флюенсом  $\Phi=1 \times 10^{17}$  ел/см<sup>2</sup> приводить до незначних змін опору НК кремнію, легованих бором, з  $\rho_{300\text{K}} = 0,006 - 0,024$  Ом×см, а також НК Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> ( $x = 0,03$ ) р-типу з  $\rho_{300\text{K}} = 0,018 - 0,025$  Ом×см, тоді як опромінення з флюенсом  $\Phi=1 \times 10^{18}$  ел/см<sup>2</sup> зумовлює значні зміни опору цих кристалів, особливо за низьких температур. Визначено залежності зміни опору опромінених НК кремнію з різним питомим опором від флюенса електронів в інтервалі температур 4,2 – 300 К. Проведені дослідження дозволяють прогнозувати радіаційну стійкість сенсорів фізичних величин на основі НК кремнію та Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> до дії опромінення високоенергетичними електронами ( $E = 10$  MeV) з флюенсом  $\Phi \leq 1 \times 10^{17}$  ел/см<sup>2</sup>.

Виявлено особливості характеру зміни температурної залежності провідності опромінених зразків в області низьких температур у залежності від ступеня легування кристалів та їх наближення до ПМД. Встановлено, що в області ПМД, як з металевого, так і з діелектричного боку переходу для кристалів з  $\rho_{300\text{K}} = 0,009 - 0,015$  Ом×см електронне опромінення з флюенсом  $\Phi = 1 \times 10^{18}$  ел/см<sup>2</sup>

приводить до суттєвого зменшення низькотемпературної провідності НК p-Si(B). Виявлено вплив електронного опромінення на енергію активації стрибкової провідності досліджуваних мікрокристалів.

Досліджено вплив магнетного поля з індукцією до 14 Тл за температури рідкого гелію на провідність опромінених кристалів. Спостерігається кореляція між впливом електронного опромінення на провідність та магнетоопір кристалів за низьких температур.

Вивчено вплив одновісної деформації на опір легованих НК Si p-типу, вироджених та з концентрацією бору поблизу ПМД, як з металевого, так і діелектричного боку переходу, опромінених електронами. Виявлено особливості поведінки коефіцієнта тензочутливості цих кристалів за низьких температур під дією опромінення. Так, для сильнолегованих НК Si з  $\rho_{300K} = 0,006 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , в яких спостерігається класичний п'єзоопір, опромінення електронами з енергією 10 MeV і флюенсом  $\Phi = 1 \times 10^{18} \text{ ел/см}^2$  не приводить до значних змін коефіцієнта тензочутливості за температури рідкого гелію. Такі кристали можуть використовуватись для створення радіаційностійких сенсорів механічних величин, дієздатних за криогенних температур. Для НК Si, легованих бором до концентрацій, які відповідають безпосередній близькості до ПМД, з  $\rho_{300K} = 0,0104 - 0,0114 \text{ Ом}\cdot\text{см}$  опромінення високоенергетичними електронами ( $E = 10 \text{ MeV}$ ,  $\Phi = 7 \times 10^{17} \text{ ел/см}^2$ ) приводить до зменшення їх коефіцієнта тензочутливості за температури 4,2 К при цьому в опромінених мікрокристалах зберігаються достатньо високі значення коефіцієнта тензочутливості, характерні для некласичного п'єзоопору.

Досліджувались також леговані бором шари полікремнію на ізоляторі, рекристалізовані лазером, з концентрацією носіїв  $4,8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  і  $1,7 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . КНІ-структури опромінювались за кімнатної температури електронами з енергією 10 MeV і флюенсом  $1 \times 10^{16}$  і  $1 \times 10^{17} \text{ ел/см}^2$ . Вибір саме таких концентрацій носіїв зумовлений тим, що сильнолеговані рекристалізовані шари полі-Si ( $p_{300K} = 1,7 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) використовувались для створення п'єзорезистивних сенсорів механічних величин, працездатних за криогенних температур в сильних магнітних полях, в той час як для більш чутливих сенсорів механічних величин, придатних для роботи за низьких температур до 4,2 К, використовуються шари рекристалізованого полі кремнію з концентрацією носіїв  $p_{300K} = 4,8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$  [2].

Показано, що найбільш радіаційно стійкі є сильнолеговані шари полікремнію з концентрацією носіїв  $1,7 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$  при електронному опроміненні з енергією 10 MeV і флюенсом  $\Phi \leq 10^{16} \text{ ел/см}^2$ , за таких умов їх магнетоопір залишається малим і слабо змінюється, що може бути використано для створення сенсорів, стійких до дії електронного опромінення, зокрема, сенсорів механічних величин, працездатних в сильних магнетних полях за криогенних температур.

1. Дружинин А.А., Марьямова И.И., Лавитская Е.Н., Кутраков А.П., Панков Ю.М. Полупроводниковые сенсоры механических величин на основе микрокристаллов кремния для экстремальных условий // Микросистемная техника. – 2001. – №9. – С. 3-8.
2. Дружинин А.О., Мар'ямова І.Й., Когут І.Т., Ховерко Ю.М. Сенсори фізичних величин на основі структур “кремній на ізоляторі” з рекристалізованим шаром полікремнію// Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2008. – №4. – С.17-26.

# HgCdTe NANOSTRUCTURES. GROWTH, FUNDAMENTAL PHENOMENA and APPLICATIONS

N.N. Mikhailov<sup>1</sup>, S.A. Dvoretzky<sup>1</sup>, V.A. Shvets<sup>1</sup>, Yu.G. Sidorov,  
Z.D. Kvon<sup>1</sup>, E.B. Olshanetsky<sup>1</sup>, S.N. Danilov<sup>2</sup>, S.D. Ganichev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*V.A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS,  
Av. Ac. Lavrent'eva 13, 630090, Novosibirsk, Russia.*

<sup>2</sup>*Terahertz Center, University of Regensburg,  
Universitätsstraße 31, 93040 Regensburg, Germany*

The new physical phenomena and applications in IR light source emitting and detectors and spintronics are involved the interest to HgCdTe nanostructures. The effective 2D electron mass in HgTe quantum wells (QWs) essentially lower than in III-V QWs. This leads to giant Landau levels splitting, weakening electron localization, increasing Shubnikov-de-Haas oscillation amplitude and Rashba effect values. The HgTe band structure allows to create the right and inverse nanostructures. The wide number variants of symmetrical and asymmetrical HgTe nanostructures determined by different constant and changing doping level and locations and changing composition in nanometer thicknesses allow to extend areas of fundamental studies and applications.

Unique advantages of molecular beam epitaxy (MBE) method for HgCdTe growth and developed technologies in last time gives the power impulse in growing different designed band nanostructures determined by nanolayer composition and thickness. Nevertheless there are practically small amount of paper which devoted to HgTe nanostructures growth and especially to control of composition and thickness and their changing at nanometer level.

We present the results of the growth of symmetrical and asymmetrical single and multiple HgCdTe/HgTe/HgCdTe QWs on (013) CdTe/ZnTe/GaAs controlled by ellipsometry method in molecular beam epitaxy (MBE). The using of ellipsometry allows to reproducibly to fabricate HgCdTe nanostructures with precise composition and thickness control *in situ*. A symmetrical and asymmetrical In doping at central part of wide gap spacer at growth process of HgTe QWs was carried out. At growth of symmetrical HgTe QW with sharp changing composition (sharp interfaces) the ellipsometric parameters  $\Psi$  and  $\Delta$  in  $\Psi$ - $\Delta$  plane were represented by sectional spiral curves. Fig.1 shows the scheme of layers in single HgTe QW and evolution of ellipsometric parameters at growth. The position of break point and the character of curve changing allows to determine the thickness and composition of growing layer. The accuracy of thickness determination is not worse than one monolayer. The accuracy of composition determination is not worse than 0.002 mole fr. We grew single and multiple HgTe QWs thickness 5 - 22 nm in spacers HgCdTe composition 0,6-0,8 mole fr. And thickness 25-35 nm. The In doping level varied in range  $10^{14}$ - $10^{17}$  cm<sup>-3</sup> [1]. We observed 2D electron with mobility  $5 \times 10^5$  cm<sup>2</sup>/V×s for electron concentration  $3 \times 10^{11}$  cm<sup>-2</sup> (In concentration  $3 \times 10^{15}$  cm<sup>-3</sup>) [2]. At low In doping level of spacers ( $< 5 \times 10^{14}$  cm<sup>-3</sup>). We observed 2D semimetal which containing electrons and holes as a result of conduction and valence bands crossing [3].

The large photogalvanic effect (PGE) for linear polarized radiation (LPGE) and circular polarized radiation (CPGE) in single [4] and multiple (up to 30) HgTe QWs [5] in range from 6  $\mu\text{m}$  up to 400  $\mu\text{m}$  was observed. Fig.2 shows PGE in single HgTe QW in IR (a) and THz spectral ranges. The PGEs have nanosecond time constants at room temperature, making a high time resolution of the polarization detectors possible. The increasing of PGE we observed multiple HgTe QW which was proportional to number of HgTe QWs.

At growth of asymmetrical HgTe QW with composition gradient the changing of ellipsometric parameters  $\Psi$  and  $\Delta$  in  $\Psi$ - $\Delta$  plane have no breaks and represents smooth curve. The analysis shown that the curves breaks observed in  $d\Psi/d\Delta$ - $\Psi(\Delta)$  and  $d\Delta/d\Psi$ - $\Psi(\Delta)$  planes [6]. The calculation and experimental data are in a good agreements at growth of asymmetrical HgTe QWs growth with composition gradient 0,06 - 0,6 mole fr./nm.

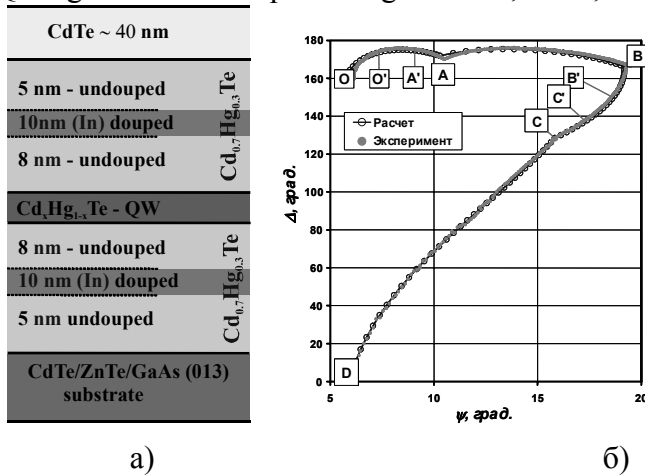


Fig1 1. a) scheme of single HgTe QW; b) the evolution of ellipsometric parameters  $\Delta$  and  $\psi$  at HgTe QW growth. OA и BC – the growth of wide gap spacer layers; AB – the growth HgTe layer; CD – the growth of CdTe cap layer.

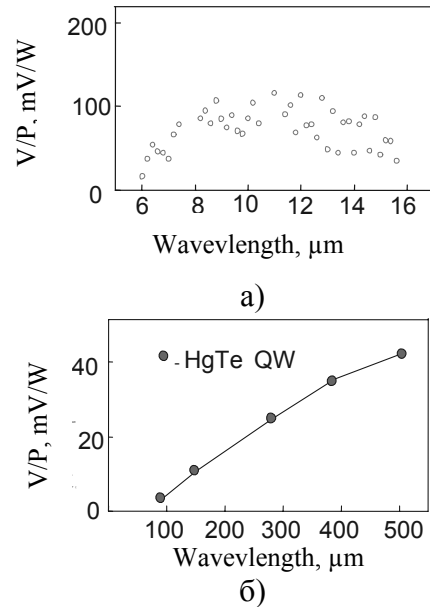


Fig 2 The spectral response of single HgTe QW in IR (a) and THz (b) ranges

The work was financially supported by the grant of RBFR 09-02-00467-a, the grant of Russian Academy of Sciences No 27/28 and DFG.

- [1] S. A. Dvoretzky *et al.*, Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, **43**, 375, (2007).
- [2] E. B. Olshanetsky *et al.*, JETP Letters, **84**, 661 (2006).
- [3] Z. D. Kvon *et al.*, JETP Letters, **89**, 338 (2009).
- [4] S. A. Dvoretzky *et al.*, Journal of Optical Technology, **76**, 787, (2009).
- [5] B. Wittmann *et al.*, Phys. Rev. B (in press)
- [6] V.A. Shvets *et al.*, Journal Technical Physics, **53**, 1602 (2009).

# ФЕРМЕНТНІ БІОСЕНСОРИ НА ОСНОВІ ІОН-СЕЛЕКТИВНИХ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ

С.В. Дзядевич, О.П. Солдаткін, В.М. Архипова, О.Л. Кукла<sup>1</sup>, Г.В. Єльська

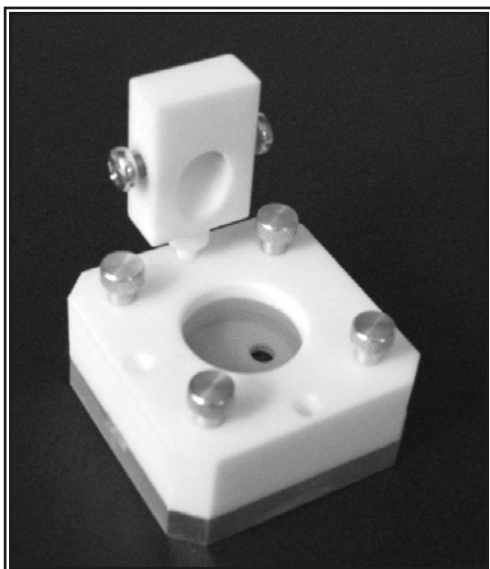
*Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, вул. Заболотного, 150, Київ 03143, e-mail: [dzyad@yahoo.com](mailto:dzyad@yahoo.com)*

<sup>1</sup>*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, просп. Науки, 41, Київ, 03028*

Постійно зростаюча необхідність покращення охорони навколишнього середовища, контролю біотехнологічних процесів, перевірки якості харчових продуктів і питної води, збільшення кількості клінічних тестів у медичній та ветеринарній діагностиці потребує все більш широкого використання в практиці високочутливих, селективних, швидких та економічних методів аналізу. Серед них велику увагу приділяють приладам нового покоління – біосенсорам.

Біосенсори на основі іон-селективних польових транзисторів (ІСПТ) в останньому технічному рапорті IUPAC, що стосується електрохімічних біосенсорів, виділено в окремий (четвертий) клас електрохімічних датчиків. Таку велику увагу до цих сенсорів можна пояснити перш за все тим, що для їх виготовлення завжди використовується сучасна напівпровідникова технологія, а останні досягнення у технології виготовленні кремнієвих структур та глибокі знання про механічні і електричні властивості кремнію придали новий імпульс цьому напрямку аналітичної біотехнології.

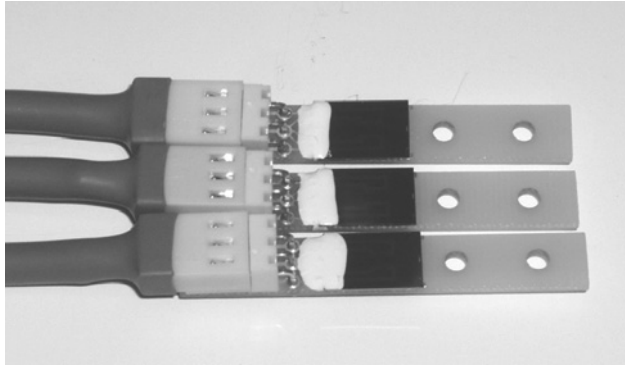
В роботі досліджено рН-чутливість, стабільність та дрейф напівпровідникових кремнієвих структур з різною кількістю та типом поверхневого діелектрика та оптимізовано їх параметри для застосування при створенні рН-чутливих польових транзисторів. Ці результати було використано при виробництві рН-чутливих польових транзисторів в різних організаціях. Приведено приклади різних рН-чутливих польових транзисторів, що використовуються при створенні біосенсорів.



Розроблено та виготовлено зручні варіанти конструкції вимірювальних кювет відкритого типу для біосенсорів на основі іон-селективних польових транзисторів з об'ємом проби від 1 до 5 мл разом із механічними вузлами кріплення та герметизації. Така кювета з електродом є базовим модулем для побудови багатоканального сенсорного масиву. За допомогою розроблених змінних вузлів підготовки проби досягається можливість використання кювети як в непроточному режимі вимірювань (з відкритою кюветою), так і в проточному режимі при безперервному моніторингу розчинів. Розроблено та виготовлено модифіковані електронні схеми сенсорного ІСПТ-перетворювача для диференційних елементів по схемі прямого



вимірювання струму в каналі польового транзистора з активним навантаженням.



Оптимізовано умови іммобілізації ферментів ацетилхолінестераза, бутирилхолінестераза, уреаза, глюкозооксидаза та триферментної системи інвертаза-мутаротаза-глюкозооксидаза на окремих поверхнях перетворювачів з метою подальшого їхнього використання як в якості моносенсорів, так і в складі мультисенсора.

Описано приклади ферментних біосенсорів на основі іон-селективних польових транзисторів для визначення глюкози, сечовини, пеніциліну, пестицидів, іонів важких металів, глікоалкалоїдів, тощо. Всебічно досліджено аналітичні характеристики отриманих біосенсорів, їх відтворюваність, операційну стабільність та стабільність при зберіганні. Обговорено переваги розроблених біосенсорів та їхні недоліки, а також перспективи подальшого розвитку.

Частина розроблених лабораторних прототипів ферментних біосенсорів на основі іон-селективних польових транзисторів протестовано у реальних умовах проведення аналізу та продемонстровано високу кореляцію результатів з даними, які отримано за допомогою загальноприйнятих методів аналізу. Наприклад, за допомогою експериментального зразку портативного аналізатора алкалоїдів на основі рН-чутливих польових транзисторів і фермента бутирилхолінестерази проведено кількісний аналіз глікоалкалоїдів в 24 сортах картоплі врожаю 2007 р. та 30 сортів врожаю 2008 р., вирощених на експериментальній базі Інституту картоплярства Академії аграрних наук України та 7 комерційних сортах томатів. Показано, що незважаючи на всі зовнішні та внутрішні фактори впливу, головним фактором щодо вмісту глікоалкалоїдів в картоплі є генетично визначена їхня кількість в кожному сорті. Також показано, що вміст глікоалкалоїдів в овочах класу пасльонових культур значно вище, ніж в інших сільськогосподарських культурах.

Біосенсори на основі іон-селективних польових транзисторів демонструють ряд переваг у порівнянні з другими типами датчиків. Це перш за все використання при їх виготовленні стандартної технології мікроелектроніки, яка разом із застосуванням оптимізованої методики іммобілізації біологічного матеріалу дозволяє значно зменшити як собівартість таких пристроїв, так і вартість аналізу в цілому. Для інтегральних мікробіосенсорів дуже легко забезпечити диференційний режим вимірювань, що дозволяє компенсувати зовнішні впливи на систему і значно підвищити точність вимірювань. Крім того, можливе створення мультисенсорів, а також інтеграція і суміщення на одному чипі обчислювальних і детектувальних засобів з буферною електронною схемою обробки та зберігання інформації. Приведені данні вказують на перспективність розробки таких приладів.

Робота виконана за фінансової підтримки НАН України в рамках комплексної науково-технічної програми «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технічних потреб».

# НАНОТЕХНОЛОГІЇ І НАНОСТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СПОЛУК IV-VI

Д.М. Фреїк, Л.Й. Межиловська

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна, e-mail [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)*

Вперше виразно концепція наноматеріалів була сформульована Р. Глейтером, який ввів у науковий обіг і сам термін (спочатку як нанокристалічні матеріали, потім наноструктурні, а також нанофазні, нанокомпозитні і т.д.) [1,2].

На даний час вже розроблено і ефективно функціонують цілий ряд технологій і методик, що забезпечують отримання наноструктурованих матеріалів, які використовуються як у чисто академічному плані, так і на практиці [3]. Ми звернемо увагу тільки на окремих способах формування напівпровідникових квантово-розмірних структур.

**Молекулярно-променева епітаксія.** Метод молекулярно-променевої епітаксії (molecular-beam epitaxy, МВЕ) призначений для вирощування кристалічних структур у надвисокому вакуумі за допомогою пучків атомів або молекул, що є компонентами сполуки, що росте.

Спонтанне формування масиву квантових точок відбувається при нанесенні дуже тонкого (товщиною в декілька атомних шарів) шару матеріалу В на поверхню матеріалу А у разі, коли постійні кристалічних ґраток матеріалів розрізняються на декілька відсотків.

**Осадження із газодинамічного потоку пари.** Альтернативним до МВЕ є запропонований нами технологічний процес вирощування наноструктур із газодинамічного потоку пари [5].

Механізми формування і росту нанокристалічних структур визначаються параметрами газодинамічного потоку пари.

При віддаленні від поверхні випарника вздовж осі камери і зростанні пересичення пари значно збільшується густина кристалів-зародків, зменшуються їх лінійні розміри. У цих умовах кристалізації змінюється топологія пірамід росту, їх симетрія знижується від  $3m$  до  $m$  і до 1. Найчастіше виявляється трансформація основ пірамід. Причиною спостережуваних явищ у групах пірамід може бути, зокрема, те, що вони закривають одна одну від напрямлених потоків пари, яка підживлює ріст кристалів.

**Метод гарячої стінки.** Варіюючи температурні режими в ростовій камері можна реалізовувати різні механізми росту: ріст тривимірних наноострівців (механізм Вольмера-Вебера), та комбінований пошаровий ріст 2D плато (за механізмом Франка-Ван дер Мерве) і 3D острівців. При цьому зміна температурних режимів росту та кількості осажденного матеріалу

дозволяє контролювати форму та розміри наноострівців [6].

У роботі [7] наведено результати таких же досліджень на сколах (0001) слюди – мусковіт. Встановлено що поцеси росту нанокристалів здійснюється за механізмом «пара-кристал» без коалесценції із переважаючою квазіпаралельною орієнтацією (111)[110] PbTe || (0001)[1120] слюди із утворенням ростових дефектів упаковки і мікро двійників.

**Випаровування у відкритому вакуумі.** Відкритим випаровуванням у вакуумі з парової фази на діелектричних поверхнях формуються нанорозмірні структури телуриду свинцю, з розмірами окремих квантових точок 5-100 нм. Нанокристалічні структури статистично рівномірно розміщені на поверхні внаслідок самоорганізації за рахунок зменшення напружень у при поверхневому шарі [8].

**Дислокації невідповідностей і наноструктури.** На межі розділу епітаксійних шарів PbTe/PbSe на (100) KCl утворюється регулярна сітка дислокацій невідповідностей із періодом ~ 10нм. Повністю релаксація напруг у гетероструктурі завершується при товщинах плівки у 9 моносарів. Утворена сітка дислокацій невідповідностей визначається доброю регулярністю за рахунок наявності сил відштовхування між дислокаціями та високою дислокаційною рухливістю в області межі розділу [9].

- [1]. H Gleiter In: Deformation of Polycrystals. Prog. of 2<sup>nd</sup> RISO Symposium on metalurgy and Materials Science (Eds. N. Hansen, T. Leffers, H. Lithold). Roskilde. RISO Nat. Lab. – 1981. – P. 15-21.
- [2]. Р.А. Андриевский. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI, №5. – С. 50-55.
- [3]. В.Н. Белявский Физические основы полупроводниковой нанотехнологии // Соросовский Образовательный Журнал. – 1998. – №10. – С. 92-98.
- [4]. A Raab, R.T. Lechner, G. Sprigholz. // Phys. Rev. B. – 2003. – V. 67. – P. 165321.
- [5]. Д.М. Фреик, М.А. Галушак, Л.И. Межиловская. Физика и технология полупроводниковых пленок. Вища школа. Львів, 1988. – 152 с.
- [6]. Т.І. Sheremeta, I.V. Prokopenko, P.M. Lytvyn, O.S. Lytvyn, V.M. Vodop'yanov, A.P. Baktinov, E.I. Slynko. Peculiarities of the PbTe nanoislet formation on BaF2 substrate at “hot wall” epitaxy method investigated by atomi force microscopy // Functional Materials. – 2007. – V. 14, N 1. – P. 1-6.
- [7]. Д.М.Фреїк, І.М.Ліщинський, П.М.Литвин, В.В.Бачук, М.Я.Гриджук, Р.І.Никируй. Топологія поверхні і процеси росту нанокристалічних структур PbTe на сколах слюди-мусковіт // Фізика і хімія твердого тіла. – 2008. – Т. 9, № 4. – С. 529-535.
- [8]. Д.М. Фреїк, П.М. Литвин, І.М. Ліщинський, В.В, Бачук, І.І. Чав'як Наноструктури телуриду свинцю, вирощені у вакумі з парової фази // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – Т. 10, № 1. – С. 85-89.
- [9]. 9. K. Wiesauer and G. Springholz. Nano-Scale Dislocation Patterning in PbTe on PbSe (100) Heteroepitaxy Studied by Scanning Tunneling Microscopy // Proceedings GMe Forum. – 2001. – P. 209-212.

# ELECTRONIC ARCHITECTURES FOR ULTRASONIC TEMPERATURE MEASUREMENTS

**A.Alzebda, A.Afaneh, V.Ivchenko, A.Kalashnikov**

*Department of Electrical and Electronic Engineering, Nottingham University,  
University Park, Nottingham, NG7 2RD, UK  
Alexander.Kalashnikov@nottingham.ac.uk*

Temperature sensors, along with pressure sensors and flow meters, are used widely in various industries to monitor manufacturing processes. Most commonly used temperature sensors either produce an e.m.f. that changes with temperature (thermocouples) or change their resistance with temperature changes (RTDs and semiconductor sensors). Integrating a semiconductor sensor with support electronics yields inexpensive (sub-\$1) devices that can interface easily with microcontrollers using some standardised interfaces such as SPI or I2C. However, semiconductor sensors suffer from technological variations, and thermometers with a resolution and/or accuracy of 0.1 K usually utilise thermocouples and cost over \$100. These conventional thermometers need to be placed at the point of interest, and their response time typically is measured in seconds.

Ultrasonic waves can propagate over 1 m in liquids and solids within 1 ms, and their velocity depends on the temperature. This enables rapid sensing of temperature along the complete ultrasonic pathway, effectively averaging the temperature along it. An ultrasonic instrument's operation usually involves measuring the time delay of the ultrasonic wave propagated at a fixed distance between the transmitter and the receiver.

We present recent results related to the development of ultrasonic instrumentation for sensing temperature in liquids by two different approaches.

The first relates to use of high frequency instrumentation in the pulse-echo mode, which extends the results we reported previously. It employs a water-filled cavity integrated into an ultrasonic wave reflector and, after calibration, uses the propagation delay in the cavity to determine the temperature in the vessel [1]. Recently we used the delay measured in the cavity to adjust the measurement results for the space between the reflector and the transducer for diluted solutions of some chemicals. Experimental results show that it was possible to eliminate the temperature's influence on the ultrasonic velocity in the solution under examination. Such an outcome seems advantageous because it enables the elimination of the calibration step for both the reflector and the solution; thus the developed sensor could be used for a wide range of chemicals. This approach requires expensive transducers and instrumentation, and could be suitable for high-value industrial processes or research.

The other approach uses mass-manufactured transducers and integrated circuits; thus it is applicable to a wider range of uses than the first approach. It employs a transmitter and a receiver of ultrasonic waves with a feedback loop that compensates for energy conversion losses. The loop consists of an amplifier, a phase shifter, and a band pass filter, all controlled by a microcontroller that measures the resulting oscillations' frequency [2]. Despite the use of inexpensive components, the developed device showed very high consistency in the generated frequency versus temperature, with a sensitivity of about 100 Hz/K.

[1] A.N.Kalashnikov, V.Ivchenko, R.E.Challis and A.K.Holmes, Compensation for temperature variation in ultrasonic chemical process monitoring, Proc. 2005 IEEE Ultrason. Symp., pp. 1151-1154.

[2] S.Alzebda and A.N.Kalashnikov, "Ultrasonic sensing of temperature of liquids using low grade piezoelectric transducers", accepted for publication in *IEEE Trans. Ultrason., Ferroel., Freq.Control* on 22 Feb 2010.

## МІКРОЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С. В., Дружинін А.О.,  
Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В. Г., Романов В.О.  
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова  
E-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

Інтелектуальні системи належать до нових науково-технічних досягнень, які мають перспективу застосування практично у всіх галузях людської діяльності та спроможні кардинально змінити організацію і структуру різних видів виробництва, тестування біологічно- і хімічно-активних речовин, аналіз і контроль в системах охорони здоров'я та моніторингу довкілля. Однак ефективна робота інтелектуальних систем можлива лише за умови забезпечення їх високоякісною первинною інформацією. Це вимагає створення принципово нових мікроелектронних датчиків на основі нових функціональних матеріалів з застосуванням нових підходів до використання фізичних, хімічних, біохімічних і біофізичних ефектів, застосування сенсорних масивів та високочутливих, точних і стабільних вимірювальних каналів, широкого використання інформаційних мереж та впровадження високих технологій для реалізації цих засобів.

Датчики нового покоління, повністю інтегровані в інтелектуальні системи, повинні забезпечити вищезначені вимоги за метрологічними і експлуатаційними характеристиками в режимі on-line, а також мікромініатюризацію з одночасним підвищенням надійності.

В даній доповіді представлені результати комплексних досліджень і розробок колективу авторів за значний період часу, направлених на створення мікроелектронних датчиків нового покоління різних типів і призначення, інтегрованих в інтелектуальні системи і організації їх виробництва.

Проведено теоретичний аналіз і моделювання ряду фізичних ефектів, електрохімічних і фізичних процесів, які були покладені в основу створених мікроелектронних датчиків нового покоління різних типів.

Результати роботи базуються значною мірою на вивченні властивостей широкої номенклатури нових функціональних матеріалів і структур, в тому числі нанорозмірних.

Вперше на основі електрофізичних та п'єзорезистивних досліджень полікремнієвих шарів на діелектричних підкладках (КНІ-структури) створені п'єзорезистивні датчики механічних величин (тиску, зусилля, деформації) з граничними характеристиками і стабільними в інтервалі температур  $-40 \dots +140$  °С, з високою чутливістю до вимірюваного параметру. Показано, що для таких датчиків придатні структури на основі полікремнію з концентрацією  $N > 1 \times 10^{19}$  см<sup>-3</sup> після лазерної рекристалізації.

На базі КНІ-структур створено:

– датчик для аеродинамічних досліджень, чутливість  $-4 \div 10$  мВ/(В·бар);

– датчик медико-біологічного призначення, чутливість  $\approx 10$  мВ/(В·бар).

Датчики тиску на основі ємнісного ефекту мають чутливість  $\approx 3 \cdot 10^{-2}$  пФ/мм Нг для діапазону вимірюваних тисків 0...300 мм Нг, що значно вище, ніж у аналогів.

Виготовлено базові чутливі елементи датчиків зусилля з чутливістю 3,1 мВ/(В·Н).

Створено мікроелектронні двофункційні датчики тиску-температури для різних діапазонів тиску (0 ...  $1,6 \times 10^5$  Па; 0 ...  $2,4 \times 10^5$  Па) і температури (-40 ... +60 °С; 20 ... +150 °С). Чутливість датчиків до тиску 5–15 мВ/(В·бар), а температурний коефіцієнт опору термочутливого елемента становить 0,386 %·град<sup>-1</sup>.

Ряд результатів досліджень мають пріоритетний характер. До таких, зокрема, належить ідея використання кутової залежності фазової швидкості ПАХ Реля в кристалічних п'єзоелектриках, а також безконтактного збудження і детектування ПАХ. Показано, що реалізація цієї ідеї дозволяє суттєво збільшити керованість характеристиками акустоелектронних пристроїв на ПАХ, зокрема, керованість частотою в 5–6 разів більше,

ніж іншими відомими методами. Розробка цієї ідеї зробила її базовою для створення нового класу датчиків фізичних величин.

Розроблений на цьому принципі уніфікований перетворювач на ПАХ для датчиків різного функціонального призначення дозволяє не тільки кардинально підвищити показники основних метрологічних параметрів, але і отримувати дані контрольованих параметрів у режимі on-line і, таким чином, розв'язати проблему спрощеного спраження датчиків з ЕОМ та інтелектуалізації їх в цілому.

Таким чином, створено датчик тиску для АЕС з діапазоном 98–2450 кПа, основною похибкою 0,5 %, споживаною потужністю не більше 300 мВт, пожежо-вибухобезпечний, з високою стабільністю, що забезпечується використанням п'єзокварцу SiO<sub>2</sub> ST-зрізу з нульовим значенням ТКЧ.

Вперше запропоновано і розвинуто теоретичні засади напряму ближньопольової сенсорики на основі резонансних вимірювальних перетворювачів (РВП) апертурного типу. Розроблено методи і датчики для неруйнівного безелектродного контролю напівпровідникових матеріалів і структур при виробництві інтегральних схем. Створено датчики надвисокої частоти (НВЧ) для потреб технології мікроелектроніки, біофізики і біотехнологій, вологометрії сипучих матеріалів, включаючи сільгосппродукти, гігрометрії технологічних газових середовищ тощо.

Створено мікроелектронні датчики водневомістких газів в інтегральному виконанні. Типовий датчик виготовляється за планарною технологією на кремнієвих підкладках і являє собою невелику інтегральну схему (ІС) з двох метал-діелектрик-напівпровідник (МДН) транзисторів, з'єднаних у мостовій схемі, один з яких містить газочутливий каталітично-активний паладієвий електрод, а другий має електрод з титану.

Розроблено лабораторні прототипи електрохімічних систем із заданими характеристиками для проведення експресного аналізу концентрацій важливих метаболітів людини (глюкози, сечовини, креатиніну, холіну, ацетилхоліну), деяких білків і пептидів, формальдегіду, метанолу, етанолу та ряду токсичних речовин (глікоалкалоїдів, пестицидів, гіпохлориту, ціанідів, іонів важких металів). Частина з них було апробовано в аналізах реальних зразків (сироватка крові, розчини пестицидів та продуктів їхньої деградації), що продемонструвало високий рівень кореляції з загальноприйнятими методами.

Створено портативну інтелектуальну систему Флоратест, яка містить набір виносних оптичних датчиків і портативний базовий блок з вбудованим мікрокомп'ютером для обробки, відображення і передачі даних як по дротовому, так і бездротовому інтерфейсу.

Інтелектуальні сенсорні системи, що включають електронний вимірювальний канал, являють собою послідовність функціональних ланок (вимірювальних перетворювачів), які зв'язують чутливий елемент мікроелектронного датчика з засобами інтелектуальної обробки отриманої інформації (комп'ютером). В розроблених приладах чутливий елемент, як правило, є невід'ємною частиною однієї з цих ланок.

Загалом розроблено біля 40 датчиків і 15 інтелектуальних систем з їх використання. На даний час впроваджено у виробництво і випускається в серійному і одиничному виробництві біля 30 типів датчиків і систем.

Основні науково-технічні результати роботи опубліковано у 9 монографіях, більш як у 400 публікаціях у наукових виданнях, в тому числі міжнародних, що містяться у базі SCOPUS -174 з сумарним імпаکت-фактором 201,209, загальний ідентифікатор SJR=14,071, індекс цитування становить 1841,16. Новизна та конкурентоспроможність технічних рішень захищені понад 70 авторськими свідоцтвами і патентами України та міжнародними патентами.

Прилади неодноразово демонструвалися на міжнародних (СеВІТ 2003, СеВІТ2007, СеВІТ 2008, Ганновер-Мессе - 1997, 1998, 1999, 2010 (Німеччина), Ехро-2000, Ехро-2003) та національних (Барвіста Україна 2008, Барвіста Україна 2009, та інші) виставках.

# SINGLE SH-SAW SENSOR AS A DISTRIBUTED SENSOR ARRAY FOR LIQUIDS RECOGNITION

**A.V. Medved, R.G. Kryshtal,**

*Fryazino Branch of the Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics  
of Russian Academy of Sciences*

*Vvedensky sq., 1, Fryazino, Moscow region, 141190 RUSSIA*

*Emails: [avm@ms.ire.rssi.ru](mailto:avm@ms.ire.rssi.ru)*

Physical background of possibilities of application of single-channel sensor based on shear-horizontal surface acoustic waves delay line on  $36^{\circ}$  YX LiTaO<sub>3</sub> substrate covered with SiO<sub>2</sub> and molecularly imprinted polymer layers as a distributed sensor array are discussed. Experimental results on liquid analytes identification with the help of such a sensor are shown.

Modern systems of chemical substances identification, whether it be «an electronic nose» or «electronic tongue», are based on so-called sensor arrays consisting of some number of separate sensors, having different but sufficient for measurement responses to different components of analyzed substances [1], [2]. Usually individual sensors in such an array are fabricated using different materials of sensitive elements or even different physical principles of operation.

Surface acoustic waves (SAW) sensors also can be used in sensors arrays. In the case of Rayleigh SAW the difference in their responses to different chemical components is provided by different selective layers covered the working surface of sensors, or can be achieved using different crystallographic orientations of substrate or by some perturbations of substrate properties. SAW with shear-horizontal polarization (SH-SAW) [3] is used when SAW sensors are exploited in sensor arrays in electronic tongue system. The difference of sensors responses to different chemical components is reached by using different selective layers or by changing the working frequency of the sensor.

Plates of  $36^{\circ}$  YX LiTaO<sub>3</sub> as substrates and traditional for SAW devices interdigital transducers (IDT) are used for excitation and detection of SAW in majority of liquid sensors on SH-SAW at present time. Both surface skimming bulk acoustic waves (SSBW) with SH polarization and leaky surface acoustic wave (LSAW) with the same polarization are excited by IDT on  $36^{\circ}$  YX LiTaO<sub>3</sub> substrate. The phase velocities of these two modes on a free surface of the substrate practically are equal and effective conversion of LSAW to SSBW occurs. For weakening such a conversion the space between the IDTs on the substrate is usually coated with a conducting film, thus adjusting the waves closer to the surface. In some works dielectric layer of several micrometers thick was deposited on the substrate surface for increasing the concentration of wave energy near the surface and thus increasing sensor sensitivity. Such layers serve for SH-SAW as waveguides. Thus, in reality substrates used for SAW liquid sensors can contain several areas with different electrical and acoustical properties representing discontinuities for SH-SAWs. SH-SAWs are effectively reflected from end faces and other discontinuities of a substrate. As a result, rather high ripples on amplitude-frequency and phase-frequency responses occur and when CW signals are used (as in overwhelming majority of published experimental works). For correct measurements of sensor responses (usually there are changes in amplitude and/or in phase of sensor output signal) it is necessary to undertake special measures reducing these ripples, or eliminating this problem of distortion at all using a pulse mode of operation.

In the present report the experimental results demonstrating possibility of identification some liquid analytes by means of single one-channel SH-SAW sensor based on multilayer structures on a  $36^\circ$  YX  $\text{LiTaO}_3$  substrate are given. Reflected SAWs usually considered in SAW sensors as parasitic in our case are participated in forming sensor's response. Unlike all known to us at the present time experimental works on SAW liquid sensor investigations, in our case sensor's response is the pulse characteristic of the sensor (delay line) under the influence of analytes. Pulse characteristic is obtained by backward fast Fourier transformation of one of the sensor's S-parameters measured in frequency domain of sensor pass band.

Samples of sensors under investigation were fabricated on the base of delay lines on  $36^\circ$  YX  $\text{LiTaO}_3$  rectangular substrate. SH-SAWs were excited and detected with IDTs consisting of 5 pairs of electrodes with the period of  $40\mu$  and apertures equal to 1.6 mm. The distance between the centers of the IDTs was 3.34 mm. The substrate area between the IDT was covered by 200 nm thick Al layer with vanadium underlayer fabricated by photolithography together with the IDTs. The size of structure topology together with contact pads was  $2.9 \times 5.5 \text{ mm}^2$ , length of the substrates (in the direction of SH-SAW propagation) was 8.3 - 8.5 mm. Metalized surface of the substrate and the IDTs were covered by  $3\mu$  thick film of  $\text{SiO}_2$ . Over  $\text{SiO}_2$  layer between the IDT a film of molecularly imprinted polymer (MIP) of  $5\mu$  of thickness was deposited. This MIP was synthesized of monomers of bisphenol-A glycerolate diacrylate with imprinted morpholine as template molecules. Such MIP films we used earlier for increasing sensitivity to morpholine of gas SAW sensors [4], [5]. For thermal stabilization, the samples were mounted on the working surface of a Peltier thermoelectric element (TEE). Amplitude - frequency responses of the sample in "transmission" and "reflection" modes ( $S_{21}$ ,  $S_{11}$  and  $S_{22}$  - parameters) were measured before and after injection of analytes on the sample surface. The network analyzer used in our experiments permitted to measure S-parameters in time domain also, i.e. pulse responses of the samples. Injections of liquid analytes on sample surface were performed by a syringe. Volumes of injected analytes were in the range 0.05 – 0.1 ml. Plastic borders prevented spreading of analytes outside the sample surface. An analyte was injected so that all surface of the sample with all its details, including contact pads of IDT, would be completely covered by the analyte. In this case, as our experiments have shown, responses of sensors did not depend on the volume of analytes. Pulse responses of the sensor under influence of several different analytes are given. Pulse responses corresponding to different analytes were different thus permitting to distinguish one analyte from another like in electronics tongue with sensor arrays using the same algorithms. In our experiments specific parts of pulse characteristic may serve as analogs of responses of separate sensors of a sensor array.

Thus experimental results show that one-channel SH-SAW sensor can play a role of a sensor array usually fabricated of sensors with different sensitive elements or even using different physical principals. Explanation of physical mechanism of working principals of such a liquid recognition sensor is discussed.

[1] Yu. Vlasov, A. Legin, Non-selective chemical sensors in analytical chemistry: from "electronic nose" to "electronic tongue", *Fresenius J. Anal. Chem.*, Vol.361, 1998, pp. 255-260.

[2] Nagle H.T., Schiffman S.S., Gutierrez-Osuna R. "The how and why of electronic noses.", *IEEE Spectrum*, September 1998, pp. 22-31.

[3] Gulyaev, Yu.V., Review of shear surface acoustic waves in solids. 1998 *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control* 45, pp. 935–938.

[4] A.V. Roshchin, A.V. Medved, I.V. Kumpanenko, et al, "Chemical Sensors based on Surface Acoustic Waves and Molecularly Imprinted Polymers", *Chem. Phys.*, Vol.26, No. 10, 2007, pp. 7-17 (in Russian).

[5] R.G. Kryshchal, A.V. Medved, "Study of the Sorption Processes in a Piezoelectric-Molecularly Imprinted Polymer Film Structure Using Rayleigh Surface Acoustic Waves", *Techn. Phys.*, Vol.54, No. 9, 2009, pp. 1363-1367.



# FIELD EMITTER TECHNOLOGIES FOR ULTRA FINE IMAGE SENSORS

Hidenori Mimura,<sup>1</sup> Toru Aoki,<sup>1</sup> and Yoichiro Neo,<sup>1</sup> Masayoshi Nagao,<sup>2</sup> Tomoya Yoshida<sup>2</sup> and Segou Kanemaru<sup>2</sup>

*Research Institute of Electronics Shizuoka University,  
3-5-1 Johoku Naka-ku Hamamatsu 432-8011 mimura@rie.shizuoka.ac.jp  
National Institute of Advanced Industrial Science & Technology,  
1-1-1 Umezono Tsukuba 305-8568*

An image pick-up device consisting of a photoconductor target and a field emitter array is promising for an ultra fine image sensor, because the resolution is mainly determined by the size of the electron beam emitted from the cathode. [1] To develop an ultra fine image sensor, field emitters capable of focusing an electron beam must be developed. As such the emitter, we have developed a volcano-structured double-gated field emitter array (VDG-FEA). [2] A CdTe X-ray image sensor has attracted much interest because of its high sensitivity and energy discrimination. [3] Improving the spatial resolution of this device is strongly demanded from the medical and security industries. In order to realize imaging devices with high spatial resolution, we proposed a novel CdTe sensor with a field emitter array (FEA).

Figure 1 shows a cross sectional SEM image of the VDG-FEA which we have developed, and beam patterns displayed on a phosphor screen (anode). The feature of the emitter is that the focusing electrode surrounds the extraction gate electrode, and the height of the focusing electrode is lower than that of the extraction gate electrode. The focusing characteristics were measured at an extraction gate voltage of 60 V. Therefore, at the extraction gate voltage of 60 V, the electron beam is not focused. When we reduce the voltage of the focusing electrode from 60 V to 0 V, the beam patterns clearly become small, indicating that the electron beam is focused by an electro static lens formed by the focusing electrode. While, in contrast with a conventional double-gated field emitter, [4] the anode currents do not significantly decrease. Even at the focusing voltage of 5V, the anode current of 1.15  $\mu\text{A}$  is maintained.

Figure 2 shows the operating principle of the CdTe X-ray image sensor using a FEA. The material on which the electron beam impinges is  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  and this acts as an electron blocking layer. The In side of the CdTe diode is positively biased with respect to the FEA. When the  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  is exposed to the electron beam, it charges up and reversely biases the CdTe diode. When the CdTe diode is irradiated by X-ray, electron-hole pairs are generated inside the diode. The bias voltage causes the holes to drift to the  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  surface, and the holes are accumulated. When the  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  is exposed to the electron beam again, the electrons emitted from the FEA recombine with the accumulated holes and produce an output current proportional to the amount of accumulated holes in the output circuit. X-ray images are obtained by addressing each pixel of the FEA in sequence. If the electron beam strikes the point which is not exposed to X-ray, only the reverse current of the CdTe diode flows in the output circuit.

We have fabricated a vertical thin film field emitter array (VTF-FEA) with a 10 x 10 matrix structure. [4] The pixel area of the FEA is 100  $\mu\text{m}$  x 100  $\mu\text{m}$  and the distance between the pixels (pixel pitch) is 0.9 mm. We fabricated a CdTe Schottky diode by depositing In (thickness; 500 nm) on one surface of the substrate and  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (thickness; 300 nm) on the

opposite side in a vacuum evaporation chamber. The dark current of the CdTe Schottky diodes was 10 nA at a reverse bias voltage of 100 V.

As a first step to obtain an X-ray image, we have detected a shape of a 1-mm-thick Cu plate, which was set on the CdTe diode as shown in Fig. 3 (a). The shape of the Cu plate was clearly detected as shown in Fig 3 (b), although the FEA on the 7th line from the left and the 5th line from the top did not work.

[1] N. Negishi et. al, J. Vac. Sci. Technol. B **24**, 1021 (2006).  
 [2] Y. Neo et al., Appl. Phys. Express **1**, 053001 (2008).  
 [3] W. Zou et al., Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 7317 (2008).  
 [4] J. Itoh et. al., J. Vac. Sci. Technol. B **13**, 1968 (1995).  
 [5] T. Yoshida et al., M. Nagao, and S. Kanemaru, J. Vac. Sci. Technol. B **27**, 729 (2009).

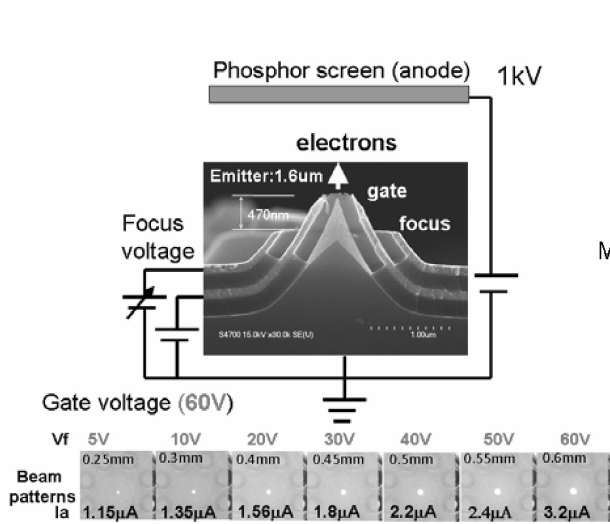


Fig.1 Cross sectional SEM image of the VDG-FEA and beam patterns displayed on a phosphor. screen.

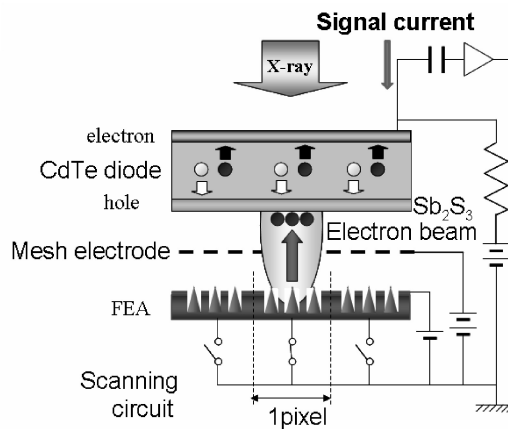


Fig.2 Operation principle of the CdTe X-ray image sensor driven by FEA.

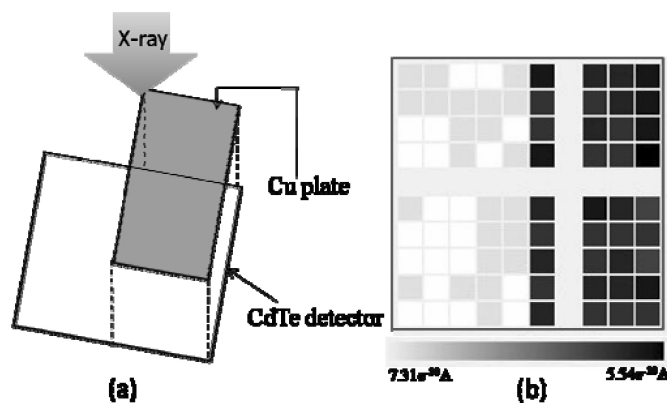


Fig. 3 Schematic arrangement of the Cu plate with respect to the image sensor for the imaging (a) and the image obtained after assembling the signals (b).

# НАНОРАЗМЕРНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ МИКРОСИСТЕМНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

**А.Н. Морозовская, Г.С. Свечников,**

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарьова НАН Украины, пр. Науки 41,  
Киев, Украина, 03028, E-mail: [morozo@i.com.ua](mailto:morozo@i.com.ua)*

Целью доклада является продемонстрировать ведущую роль наноразмерности для использования физических характеристик наиболее перспективных для применений в современной субмикро- и наноэлектронике, оптоэлектронике, устройствах хранения данных, компьютерной памяти и экологической энергетике нанотрубок, нанопроводов, графенов и клатратов.

По мере уменьшения размеров структурных единиц материала до микро и наномасштабных сильно возрастает влияние поверхности и формы на все его физические свойства по сравнению с влиянием объемного материала. В первую очередь наноразмерность влияет на электронные, эмиссионные, электромеханические и термоэлектрические свойства.

При уменьшении размеров и факторов формы структурных единиц материала ниже «критических» могут принципиально измениться его физические свойства: характерны индуцированные размером структурные и фазовые переходы типа диэлектрик-полупроводник или диэлектрик-металл, парамагнетик-(анти)ферромагнетик, (анти)сегнетоэлектрик-параэлектрик, упругость-пластичность и многие другие.

Эти эффекты, предсказанные в рамках феноменологических теорий, имеют многочисленные экспериментальные подтверждения и согласуются с современными квантово-механическими микроскопическими расчетами, доказывающими принципиальные изменения зонной структуры и симметрии (и даже состава) элементарных ячеек, индуцированные наноразмерностью объектов. При этом исследователи сталкиваются с наноматериалами, физические свойства которых могут иметь существенные отличия от «порождающих» объемных материалов.

Для ряда свойств наноразмерных объектов природа их материала может играть второстепенную роль по сравнению с первостепенной ролью формы (например, квантовая точка, эллипсоид, сфера, трубка, провод или монослой), топологической размерности (например, 1D, 2D, 3D конфайнмент или фрактал) и квантово-размерным эффектом (в частности размеры объекта находятся ниже или выше характерных или критических размеров).

Например, для использования нанотрубок в качестве каналов полевых транзисторов определяющую роль играет их легко управляемая электропроводность и чрезвычайно малая шероховатость стенок по

сравнению с обычными кремниевыми каналами. В результате открываются продвинутое возможности скейлинга длин затворов и каналов транзистора вплоть до нескольких нм.

Другой пример – полевые эмиттеры, ИК-излучатели и нано-лазеры из нанопроводов, нанотрубок и их массивов, в которых наноразмерность (а не химическая природа материала) обеспечивает сверхвысокие коэффициенты усиления поля и сверхнизкие пороговые напряжения срабатывания приборов.

Использование нанотрубок, внутри которых можно перемещать металлические наночастицы и фиксировать их положение с помощью электрических или магнитных импульсов, позволит добиться сверхвысокой плотности записи данных.

Использование ориентированных массивов вытянутых наночастиц в качестве нано-генераторов электрического тока, работающих на механическом изгибе или термоэлектрическом принципе, позволяет использовать случайные вибрации или температурные колебания для питания сверхмалых устройств. Для этих применений материал наночастиц несущественен, поскольку флексоэлектрический и слабый третичный пьезоэлектрический эффекты присущи всем веществам, а при переходе к наноразмерам и монослоям должны появиться сильные поверхностный пьезоэлектрический и пьезоэлектрический эффекты, индуцированные потерей центра инверсии из-за доминирующего вклада поверхности.

Благодаря размерному эффекту сегнетоэлектрические нанопровода и нанотрубки могут быть использованы как основа для чувствительных пьезоэлектрических и пьезоэлектрических датчиков, также как и для химически-устойчивых к окружающим условиям и обладающих большим временем наработки на отказ наногенераторов электрической энергии.

Термоэлектрические и электрокалорические свойства фуллеренов и клатратов (высокая электропроводность в сочетании с малой теплопроводностью из-за доминирующего вклада баллистического механизма переноса тепла), определяют их высокую эффективность в термоэлектрических преобразователях будущего.

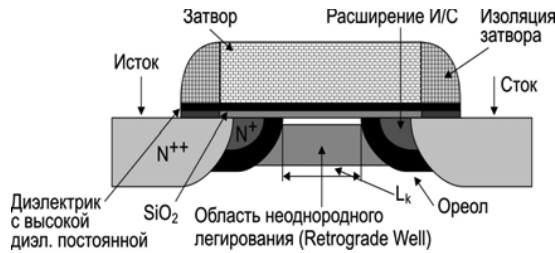
Для успешного использования уникальных свойств наноматериалов необходимо разработать и внедрить новые альтернативные технологии типа само-сборки по возможности с применением био-химических нано-ассемблеров и «разумных» молекулярных микро- и нано-машин, которые позволят синтезировать достаточные количества идентичных единиц наноматериала и интегрировать их непосредственно в схемы.

# ПРОБЛЕМЫ МДП ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ Ge И ПОЛУПРОВОДНИКОВ ТИПА A<sub>3</sub>B<sub>5</sub>

И.Г.Неизвестный

Институт Физики полупроводников СОРАН, Ак.Лаврентьева 13,630090Новосибирск

Одной из основных задач современной полупроводниковой электроники является увеличение быстродействия. Одним из способов является Si полевой транзистор с изолированным затвором – МДПТ (Металл-Диэлектрик-Полупроводник-Транзистор). Исходя из положения, что граничная частота  $f_T \sim \mu/L_k$ , на протяжении последних 40 лет основным способом для увеличения быстродействия является уменьшение длины канала транзистора -  $L_k$  (Рис.1)



**Рис. 1.** Для ослабления нежелательных короткоканальных эффектов, применяются изменение профиля легирования при формировании исток/стоковых областей в горизонтальном направлении (расширение И/С, ореол) и изменение профиля легирования области канала.

В то же время оказалось, что с каждым шагом в сторону уменьшения размеров канала увеличивается влияние короткоканальных эффектов. Основными из них являются

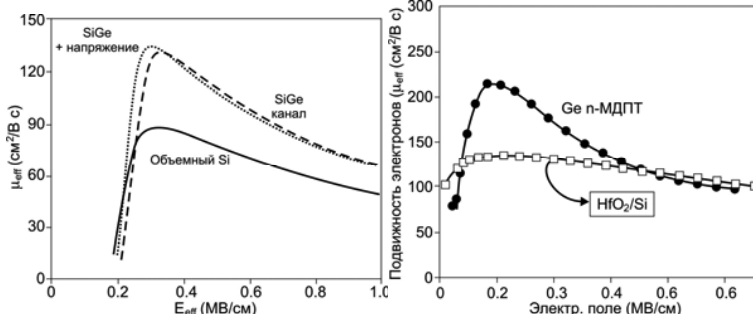
1. Уменьшение порогового напряжения
2. Увеличивается вероятность прокола между истоком и стоком
3. Увеличение последовательного сопротивления истока и стока.
4. Уменьшение подвижности в канале

Для предотвращения возникающей при уменьшении длины канала деградации характеристик МДПТ и устранения причин этих нежелательных эффектов потребовался целый ряд новых конструктивных и технологических решений, кратко отмеченных на Рис.1 и более подробно описанных в [1, 2]

При достижении длины канала 90-65 нм становится всё сложнее и дороже описанные выше технологии, применяемые для борьбы с коротко канальными эффектами. Около 10 лет тому назад исследователи, а затем и технологи стали использовать воздействие механического напряжения на область канала для увеличения подвижности носителей заряда. Применяемые при этом технологии и полученные результаты подробно рассмотрены в обзоре [3].

Все вышеперечисленные способы увеличения быстродействия Si МДПТ были использованы в конструкции 45 нм транзистора, а затем и в КМОП структур, разработанной фирмой Intel в 2008 году [4].

В то же время разработчики ведущих полупроводниковых фирм стали всё чаще исследовать возможность использовать в качестве материала для канала транзистора полупроводники с более высокой, чем у кремния подвижностью носителей заряда. Наиболее подходящим для этой цели оказался германий. Дело в том, что в сплаве с кремнием этот материал довольно давно используется в планарной кремниевой технологии. Эпитаксиально выращенный над каналом добавочный тонкий слой GeSi, в сочетании с механическим напряжением, приводит к увеличению эффективной подвижности в канале [5].



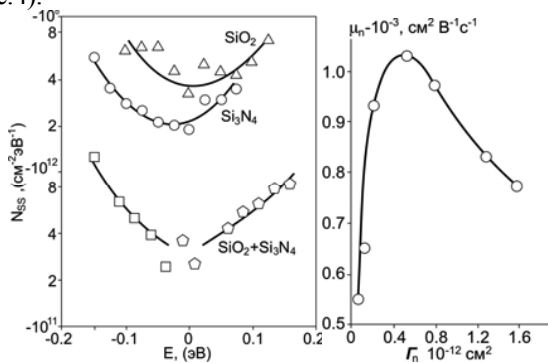
**Рис.2.** Изменение подвижности в канале для P-МДПТ при введении слоя GeSi и воздействии механического сжатия на область канала.

**Рис.3.** Подвижность электронов в Ge n-МДПТ [9].

С точки зрения разработчиков кремниевой планарной технологии введение Ge должно «вписываться» в имеющуюся Si планарную КМОП схему с минимальными нововведениями. Этого требует прежде всего экономическая сторона вопроса. Главной же задачей в большинстве работ ставится формирование совершенной границы раздела германий – подзатворный диэлектрик, которая и определяет параметры МДПТ. В качестве примера можно привести работу [6], где рассматривается механизм формирования указанной границы при нанесении слоя GeSi с

большим содержанием Ge на  $\text{SiO}_2$ , которая и участвует в создании слоя окисла Ge. Этой же проблеме посвящена и работа [7], где указанные проблемы решаются термической оксидацией германия. В работе [8], используется нанесение оксинитрида ( $\text{GeO}_x\text{N}_y$ ) в качестве пассиватора в структуре Ge-на-изоляторе. Авторы [9], пожалуй наиболее близко подошли к решению введения германия в кремниевую планарную технологию, введя в рассмотрение кроме вышеперечисленных способов ещё и использование диэлектрика с высокой диэлектрической постоянной ( $\text{HfO}_2$ ). Их результаты по увеличению подвижности, приведённые на Рис.3, по видимому лучшие в этой серии работ.

В 70х годах прошлого столетия в Институте Физики полупроводников была проведена разработка «замкнутой» технологии германиевого МДП-транзистора [9, 10]. Прежде всего был проведен широкий поиск диэлектриков с минимальной генерации поверхностных состояний на поверхности германия (Рис.4).



**Рис.4.** Зависимость плотности ПСв запрещенной зоне германия для ранних диэлектриков. [14]  
**Рис. 5.** Зависимость дрейфовой подвижности электронов от их концентрации в канале [9]

Необходимо напомнить, что практически всегда подслоем для всех диэлектриков служил тонкий слой  $\text{GeO}_2$ . Отметим также, что нанесение указанных диэлектриков проводилось при пониженных по сравнению с кремниевой технологией температурах. Наличие нитрида кремния определило высокую стабильность параметров полученных на основе этой МДП системы транзисторов с изолированным затвором [15] и большую подвижность Рис. 5.

В настоящее время опубликован ряд работ по разработке МДПТ на полупроводниках АЗВ5.с использованием различных диэлектриков [11,12] демонстрирующие высокие параметры границы раздела.

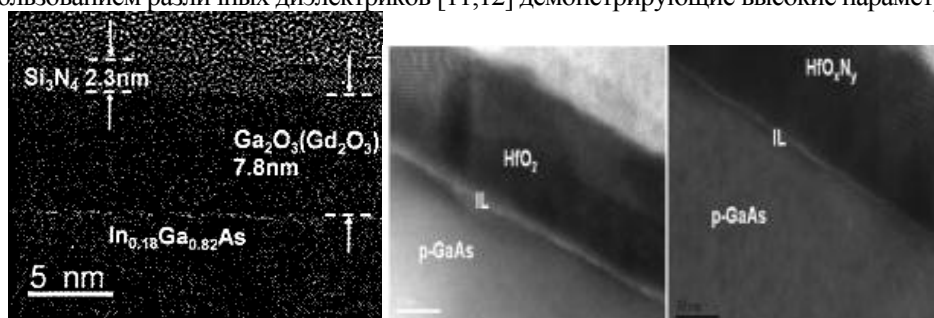


Рис.6. Граница раздела InGaAs-  $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{Gd}_2\text{O}_3)/\text{Si}_3\text{N}_4$  Рис.7 Граница раздела  $\text{GaAs}-\text{HfO}_x\text{N}_y-\text{HfO}_2$

1. Г.Я. Красников. «Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов» М.ТехносфераЧ.1 2002г, Ч.2 2004г.
2. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный. «Наноструктуры: физика, технология, применение» Новосибирск, НГТУ, 2008 г.
3. И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. «Использование напряжённого кремния в МДП- транзисторах и КМОП-структурах». Микроэлектроника. Т.38, №2, стр. 83-98, 2009.
4. Dick James. "Intel's evolution: Strained silicon to high-*k* and metal gate" Sol.St. Tech. November 2007.
5. Wen-Shiang Liao et al. "PMOS Hole Mobility Enhancement Through SiGe Conductive Channel and Highly Compressive ILD-Si<sub>x</sub> Stressing Layer" IEEE Electr.Dev.Lett. v1.29N1,January 2008.p.86-88
6. S.Balakumar et al. "SiGeO layer formation mechanism at the SiGe/oxide interface during Ge condensation". Appl.Phys.Lett. v.90, p.032111(2007).
7. Hiroshi Matsubara et al. "Evidence of low interface trap density in  $\text{GeO}_2/\text{Ge}$  metal-oxide-semiconductor structures fabricated by thermal oxidation". Appl.Phys.Lett. v.90p.032104 (2008)
8. T. Signamarcheix et al. "Germanium oxynitrid ( $\text{Ge}_x\text{N}_y$ ) as a back interface passivation layer for Germanium-on-insulator substrate" Appl.Phys.Lettlv.93,p022109,(2008).
9. A.V.Rzhanov,I.G.Neizvestny. "Germanium MIS structure" Thin Sol. Films. V58,(1979),p/327-42
10. Квон Зе Дон, И.Г. Неизвестный, В.Н. Овсюк, А.В. Ржанов. «Германиевый МДП-транзистор. Микроэлектроника, т.5, вып.4, 1976, стр363-366.
11. J. F. Zheng and W. TsaiInGaAs-  $\text{Ga}_2\text{O}_3(\text{Gd}_2\text{O}_3)/\text{Si}_3\text{N}_4$  –MOSFET with channal inversion. Appl.Phys.Lett. 91,223502(2007)
12. G. K. Dalapati,<sup>(a)</sup> A. Sridhara, A. S. W. Wong, C. K. Chia, andD. Z. Chi  $\text{HfO}_x\text{N}_y$  gate dielectric on *p*-GaAs
13. Appl. Phys. Lett. 94, 073502 (2009)

# НАНОСТРУКТУРЫ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СЕНСОРОВ

Шпилевский Э.М.

Минск, Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,  
ул. П. Бровки, 15, E-mail: [eshhilevsky@rambler.ru](mailto:eshhilevsky@rambler.ru)

Строго говоря, приставка «нано» означает размеры объектов (частиц) измеряемых (и соизмеримых) в единицах нанометров ( $10^{-9}$  м). Принято считать объектами наномира объекты, характерные размеры которых составляют от 1 до 100 нм. Наночастицы могут иметь разную мерность: нанометровые размеры в трех направлениях (нульмерные объекты – кластеры, наноалмазы, фуллерены), в двух направлениях (одномерные объекты – нанотрубки или нанопроволоки), в одном направлении (двумерные объекты – графены, тонкие пленки). В современном материаловедении приставка «нано» приобрела смысл не только протяженности структурного элемента, но и обобщенное отражение состояния материала, для которого сам размер является параметром его физических и физико-химических свойств (размерные эффекты). Наноматериалы – материалы, содержащие наноразмерные элементы или ансамбли наноразмерных элементов. К наноструктурам кроме структур наноматериалов, относятся нанообъекты или их ансамбли на каком-то носителе (подложке) или в свободном состоянии.

Наноструктуры имеют существенно отличающиеся от массивных образцов значения температуры плавления, предела растворимости компонентов (химических элементов), кинетических параметров процессов переноса зарядов и атомов. В наноструктурах реализуются несвойственные традиционным материалам структурные состояния (метастабильные фазы). Для наноструктур не приемлема зонная теория твердого состояния. Свойства наноструктур активно изучаются и уже сегодня многое известно. Например, их высокая чувствительность к внешним воздействиям, чрезвычайно малое энергопотребление, ничтожное влияние на окружающие объекты, что очень важно для сенсоров.

В докладе обсуждаются физические свойства наноструктур, особенности проявления в наноструктурах известных физических эффектов (эффекты Холла, Гауса, Зеебека, другие гальваномангнитные, тензоэлектрические, термоэлектрические эффекты), а так же новые, наблюдаемые только в наноструктурах эффекты. Рассмотрены: эффект гигантского магнитосопротивления, отличающийся от эффекта Гауса величиной, знаком и механизмом рассеяния носителей заряда; эффект плазмонного резонансного поглощения, наблюдаемый на металлических наночастицах, квантовый эффект Холла, другие размерные эффекты, проанализированы возможные пути их использования в активных элементах сенсоров.

Особое внимание обращено на примеры уже осуществленных применений и высказанных в публикациях идей. Так, на основе модифицированных углеродными наночастицами и металл-углеродными комплексами материалов могут быть созданы разнообразные сенсорные устройства для определения давления, скорости потока жидкости или газа, температуры, оптических свойств, массы, давления, прочности, а также устройства для определения разнообразных химических веществ и биологических субстанций [1-4].

Наноструктуры, особенно углеродные нанотрубки и металлические наночастицы обладают превосходными каталитическими свойствами. Их введение в электрохимические сенсоры уменьшает перенапряжение многих важных для анализа электрохимических реакций и даже позволяет проводить некоторые окислительно-восстановительные реакции в обратном направлении, что невозможно для классических немодифицированных электродов [5]. Такие свойства металл-углеродных комплексов при

их использовании в сенсорах повышают чувствительность и селективность, а также снижают время отклика [6,7].

Сенсоры для определения малых внешних воздействий играют растущую роль в различных областях, где требуется точность, низкая стоимость, быстрота и оперативность получения информации. Использование наночастиц в качестве специфических электрохимических меток является принципиально новой платформой для повышения эффективности сенсоров для определения малых внешних воздействий (например, следов ДНК или других биомолекул). По сравнению с существующими метками наночастицы и особенно квантовые точки гораздо стабильней и, кроме того, могут иметь меньшую стоимость. Их использование повышает чувствительность и уменьшает время отклика сенсора за счет увеличения скорости взаимодействия чувствительного материала с внешним воздействием, в том числе температуры, физических полей, излучений, химического состава, биологических сред. Создание наночастиц, модифицированных специфическими антителами для раковых клеток делает возможным доступную диагностику онкологических заболеваний на ранних стадиях. В настоящее время на основе наноструктур разрабатываются принципиально новые оптические и электрохимические биосенсоры [8-10].

Таким образом, используя различные свойства наноструктур (электрические, тензoeлектрические, гальваномангнитные, термоэлектрические, фотоэлектрические, оптические, адсорбционные, диффузионные, химические, биохимические), могут быть разработаны чувствительные элементы сенсоров нового поколения. Характерными свойствами таких сенсоров являются: чрезвычайная локальность (от единиц до десятков нм), малое время отклика (по крайней мере на порядок быстрее, чем у классических твердотельных датчиков), высочайшая чувствительность практически ко всем физическим, физико-химическим, химическим и биохимическим параметрам, уменьшение влияния на объект контроля своим присутствием на порядки.

Создание наноструктур уже теперь позволяет ставить вопрос о разработке таких устройств, в которых на основе физических, химических, биологических процессов осуществляются восприятие, анализ и соответствующие ситуации действия. Это уже не совсем сенсор, такое изделие можно назвать нанокогнитивным сенсором.

#### **Литература**

1. S.Ghosh, A.K.Sood, N.Kumar. *Science*, **299**, 1042 (2003).
2. N.Koratkar, A.Modi, E.Lass, P.M.Ajayan. *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **4**, 744 (2004).
3. Carbon nanotube-epoxy composites for electrochemical sensing. *Sensors & Actuators B*, **113**, p. 617–622 (2006).
4. Патент РБ №3117. Фильтр верхних частот. (С.А.Жданок, Э.М. Шпилевский, И.И.Васильев).
5. Carbon nanotube detectors for microchip CE: Comparative study of single-wall and multiwall carbon nanotube, and graphite powder films on glassy carbon, gold, and platinum electrode surfaces, *Electrophoresis*, **28**, p. 1274–1280 (2007).
6. A Carbon Nanotube PVC Based Matrix Modified with Glutaraldehyde Suitable for Biosensor Applications. *Electroanalysis*, **20**, p. 603 – 610 (2008).
7. Enhanced host-guest electrochemical recognition of dopamine using cyclodextrin in the presence of carbon nanotubes, *Carbon*, **46**, p. 898-906 (2008).
8. Electrochemical genosensors for biomedical applications based on gold nanoparticles, *Biosensors and Bioelectronics*, **22**, p. 1961–1967 (2007).
9. Double-codified gold nanolabels for enhanced immunoanalysis, *Analytical Chemistry*, **79**, p. 5232-5240 (2007).
10. Rapid identification of tumour cells using a novel electrocatalytic method based in gold nanoparticles, *Analytical Chemistry*, **81**, p. 10268-10274 (2009).



# ТОНКОПЛІВКОВІ СОНЯЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

В.А.Скришевський

*Інститут високих технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 01033, вул. Володимирська, 64, Київ, Україна*

Теоретична межа, яка визначається з термодинамічних обмежень перетворення сонячного випромінювання у електричний струм, складає 93% для прямого сонячного випромінювання і 74% для повної сонячної інсоляції. В той же час, ефективність кремнієвих сонячних елементів (СЕ) сьогодні не перевищує 24%. У СЕ 3-ї генерації очікується підвищення ефективності за рахунок використання тонкоплівкових тандемних елементів з кремнієвою наноструктурою. Остання складається з квантових ям (КЯ) або квантових точок (КТ) в аморфній діелектричній матриці (з  $E_g=1.7$  еВ) і з'єднана тунельним переходом з тонкоплівковим кремнієвим СЕ. Пропонується використовувати також ефект генерації 2-х і більше електронно-діркових пар при поглинанні високоенергетичних фотонів на рівнях в КЯ, використання конверторів на КЯ на фронтальній частині СЕ (процес емісії 2-х видимих фотонів при поглинанні одного УФ фотону) та на тильній частині СЕ (процес емісії одного видимого фотону при поглинанні 2-х ІЧ фотонів), додаткове ІЧ поглинання на переходах в КЯ, та інші. На структурах з бар'єром Шоткі та КТ в аморфній діелектричній матриці оксиду кремнію вже реалізовано високоефективний УФ фотодіод.

Сьогодні розроблення тонких та плівкових кремнієвих СЕ розглядається як один із перспективних методів здешевлення фотоелектричної енергії. Розрахунки показують, що теоретичне досягнення значення струму короткого замикання  $I_{Kz}$  для кремнієвого СЕ дифузійного типу зменшується з  $45 \text{ мА/см}^2$  до  $30\text{-}35 \text{ мА/см}^2$  при зменшенні товщини елемента з 200 до 50 мкм. Оскільки при цьому не відбувається істотної зміни напруги холостого ходу  $V_{xx}$ , економічно спроможні кремнієві СЕ можуть бути створені на товщинах менше ніж 50 мкм. Але технічна реалізація таких СЕ складна. З одного боку, існуючі методи дискової чи дротяної механічної різки пластин не дозволяють отримувати пластини великого розміру товщиною менше ніж 180-250 мкм, а з другого боку, процеси нанесення якісних товстих шарів методами епітаксії або плазмохімічного осадження на дешеві підкладки досить повільні (години). На сьогодні одним із основним напрямків плівкової кремнієвої сонячної енергетики є пошук придатних для депозиції полікремнієвих шарів дешевих підкладок, розробка технологічних процедур рекристалізації та підвищення дифузійної довжини неосновних носіїв у плівках.

У СЕ з тильними гребінчастими (штирбовими) контактами р-п перехід та омічні контакти виконані у вигляді гребінок, що заходять одна в одну і розташовані та одній стороні елемента. Освітлення таких елементів виконується з боку, що протилежний контактам. До переваг таких СЕ слід віднести відсутність тіні від контактів, низький послідовний опір і сумісність з тонкоплівковою технологією, оскільки всі технологічні операції, які необхідні для створення такого елемента, виконуються на одній поверхні. Проте конструкція елемента накладає певні вимоги щодо якості матеріалу, на якому виконано елемент. А саме, відстань від будь-якої точки елемента до найближчого р-п переходу має бути значно меншою за довжину дифузійного пробігу неосновних носіїв заряду, щоб уникнути рекомбінаційних втрат в елементі і забезпечити якомога повне збирання носіїв заряду.

В роботі розглянуто принципи будови та особливості роботи тонкоплівкових СЕ, обговорюються проблеми, що виникають при їх розробці. Проведено аналіз по-

глинання світла в тонких шарах та методів зниження поверхневих рекомбінаційних втрат. Наведені приклади високоефективних тонкоплівкових кремнієвих СЕ з використанням пористого кремнію (ПК) / „Ψ процес”, процес „Smart Cut” та інші/.

Чисельним 2D моделюванням та експериментальними дослідженнями проведено оптимізацію плівкових кремнієвих СЕ з тильними гребінчастими контактами для виготовлення їх на епітаксійних шарах кремнію. Розроблена оригінальна схема виготовлення СЕ, яка дозволяє значним чином спростити процес їх виготовлення з використанням лише 1 фотошаблону. Розроблені оптимізовані плівкові СЕ товщиною 50 мкм з довжиною дифузійного пробігу неосновних носіїв 150 мкм мають ККД більше 14%.

Знайдено ефект підсилення пасиваційних властивостей ПК для плівкових кремнієвих СЕ з тильними гребінчастими контактами в умовах додаткового освітлення в короткохвильовій області і запропоновано таку технологію пасивації для СЕ, які працюють в наземних умовах. Розроблено метод зменшення втрат на поверхневу рекомбінацію на тильній стороні плівкових кремнієвих СЕ з тильними гребінчастими контактами за допомогою польової пасивації. Для цього додаткова МДН структура створюється між  $n^{++}$  та  $p^{+}$  легованими областями, до якої прикладається зовнішня напруга. На відміну від відомих рішень, в розробленому СЕ джерелом цієї напруги є напруга, яка виникає в СЕ при його освітленні.

Запропоновано структуру плівкового СЕ із розсіючими включеннями ПК і проведено розрахунок параметрів елемента. Завдяки розсіянню в ПК покращується світлове захоплення в плівці, що призводить до росту ККД.

Розроблено кремнієві плівкові фотоелектричні модулі з використанням шарів ПК без операції складання окремих сонячних елементів. ПК використовується в ФЕМ як буферний шар між підкладкою та полікристалічним Si, як вертикальна ізоляція між окремими елементами та як АВП для окремих елементів.

Розроблено конструкцію плівкового СЕ, в якому покращання схеми оптичного захоплення світла досягається за рахунок латерального входження світлових променів в елемент або хвилеводного ефекту. Використання асиметричних канавок на кремнієвій поверхні, яка покрита тонким пластиком, забезпечує умови для хвилеводного розповсюдження сонячних променів в кремнієвому СЕ. Завдяки похилому входженню світла в елемент, ККД СЕ товщиною 50 мкм майже однакове з ККД СЕ товщиною 200 мкм на яке світло падає перпендикулярно.

Ці розробки дозволяють створювати високоефективні тонкоплівкові СЕ завдяки використанню недорогих гатунків кремнію з малою дифузійною довжиною носіїв заряду.

*Роботу частково профінансовано Міністерством освіти і науки України (проект ДЗ/484-2009)*

# ДИНАМІКА МІЖЗОННОЇ ГУСТИНИ ЕЛЕКТРОНИХ СТАНІВ В УМОВАХ АКУСТООПТИЧНОГО ЗБУДЖЕННЯ ШАРУВАТИХ КРИСТАЛІВ

Стахіра Й.М., Стахіра Р.Й.,

*Львівський національний університет імені Івана Франка*

*Вул. Драгоманова 50, м. Львів, 79005.*

*e-mail: stakhira@electronics.wups.lviv.ua*

Проаналізовано механізм формування структури нестационарних спектрів міжзонного поглинання світла напівпровідниками шаруватої кристалічної будови в умовах спільного акустооптичного збудження. Нестационарна механічна напруга, низької частоти, яка забезпечує реалізацію квазістационарного режиму поглинання світла розглядається як основний чинник, що призводить до перерозподілу електронів по станах недеформованого кристалу.

Розглядається випадок механічних напруг які виникають в кристалах шаруватої будови в результаті відносного зсуву шарів без суттєвої зміни структури кожного з них. Показано, що така деформація призводить до просторово-часового періодичного збурення, період якого вздовж нормалі до площини шарів є дискретною функцією величини відносного зсуву шарів. На основі полігональної апроксимації проведено аналіз часової залежності періодів збурення як дискретної функції аргумента, що змінюється по гармонічному закону.

Спровоковані механічною напругою збурення приводять до розсіювання електронів у якому визначну роль, у формуванні структури спектрів, відіграють процеси перекидання. Проаналізовано віртуальний перерозподіл електронів по станах повністю заповненої валентної зони, що відіграють роль проміжних станів у міжзонних переходах, на основі закону збереження квазіімпульсу. Встановлена характерна тенденція залежності числа збуджених проміжних станів від хвильових векторів електронів і величини розсіюючих векторів.

Ідентифіковано певні інтервали станів зони Бріллюена у яких по різному проявляється роль розсіюючих векторів, на відповідні стани електронів. Встановлена динаміка заселеності конкретних інтервалів електронних станів, що реалізується, в результаті процесів перекидання, як баланс числа переходів з інших станів.

Проаналізована динаміка і енергетична залежність міжзонної густини станів. Показано, що у наслідок перерозподілу електронів по станах валентної зони, в енергетичній залежності густини станів реалізуються певні смуги положення яких визначається вектором розсіювання. Відповідно до цього також реалізується певний зсув по фазі спектру поглинання по відношенню до фази деформації, який залежить від енергії кванта світла.

# BIOSENSORS BASED ON THE NANOSTRUCTURED SILICON AND INTENDED FOR THE DETERMINATION OF NUMBER OF BIOCHEMICAL QUANTITIES

**N. F. Starodub<sup>1\*</sup>, J. A. Sitnik<sup>1</sup>, M. M. Mel'nichenko<sup>2</sup>, O. M. Shmyryeva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*National University of Life and Environmental Sciences, 15 Herojev Oboroni Str., Kyiv, 03041 Ukraine; [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Taras Shevchenko Kiev National University, 2 Prospect Glushkova, Kyiv, 03127, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Technical University, "KPI", 37 Prospect Peremogy, Kyiv, 03056, Ukraine*

Early we have developed biosensor based on the surface plasmon resonance (SPR) for the express revealing of some biochemical quantities [1]. A special attention was paid the application of this approach for the diagnostics of bovine leucosis (BL) [2]. This sensor showed high working characteristics in the respect of the sensitivity, simplicity and rapidity of the analysis fulfilment. Nevertheless, it has some disadvantages and at first they connected with the high cost of the chips and the necessity to use not simple procedure of the preliminary transducer surface treatment from one site. From other site the SPR recorder has very high price and don't allow fulfilling a number repeated analysis. To overcome some of these disadvantages we try to apply others types of the optical biosensors for solving of the problem of the express biochemical diagnostics of BL. Among others such biosensors that based on the sNPS attract an especial attention. Similar biosensors based on the sNPS were developed early by us for the control of the myoglobin level in the blood and for the monitoring of the bacterial protein in the air of environment [3-5]. The registration of the specific signal was made by the measurement of the changes of the phtoluminescence (PhL) intensity. This approach met the practice requirements regarding the simplicity, sensitivity, selectivity and rapidity of the analysis fulfilment but the stability of the sNPS was very low and the signal registration demanded complicated device. To continue our investigations in this field we proposed a new variant of biosensor based on the sNPS

We used the boron doped single-crystal silicon with the square wafers about 0.3 mm of thickness and with the resistance of 1 Ohm\*cm. sNPS layers were prepared by the chemical way and their thickness were changed from 3 up to 60 nm. The parameters of the technological process at the chemical modification of the single-crystal silicon surface were controlled by the scanning electronic microscopy (SEM) and the chemical content – Auger electronic spectroscopy (Fig. 1)

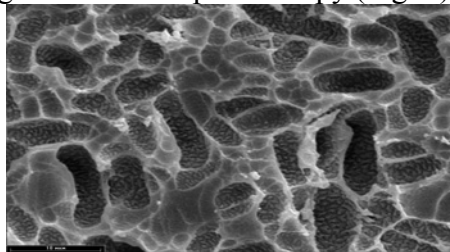


Fig. 1. General view of the whole surface of sNPS obtained by SEM.

Contacts were formed by the magnetron sputtering of In with use of a metal mask. At the formation of the immune complex (retrovirus proteins – specific Ab) in case of the illumination It was stated that the photosensitivity of the sPNS is a little decreased after the immobilization of Ag (crude sample of the retroviral proteins) but at the addition of Ab (serum blood of ill cows) in the dilution of 1:5000 and, particular, in 1:1000 it sharply is decreased. Unfortunately at the less level of blood dilution (from 1:100 to 1:1) the photosensitivity starts to decrease up to initial level (Fig. 2).

Maybe, it connected with the increasing of the density of the solution to be analyzed or with other mechanism of the electronic exchanges between the immune complex and the sNPS surface. The deposition of the retroviral proteins on the sNPS a few increases the PhL level but at the formation of the specific immune complex it decreases. Moreover, the level of the PhL decreasing depends on the concentration of the specific Ab in the blood (Fig. 3). If we used the non-specific Ab or the serum bovine albumin as Ag the level of the PhL does not change.

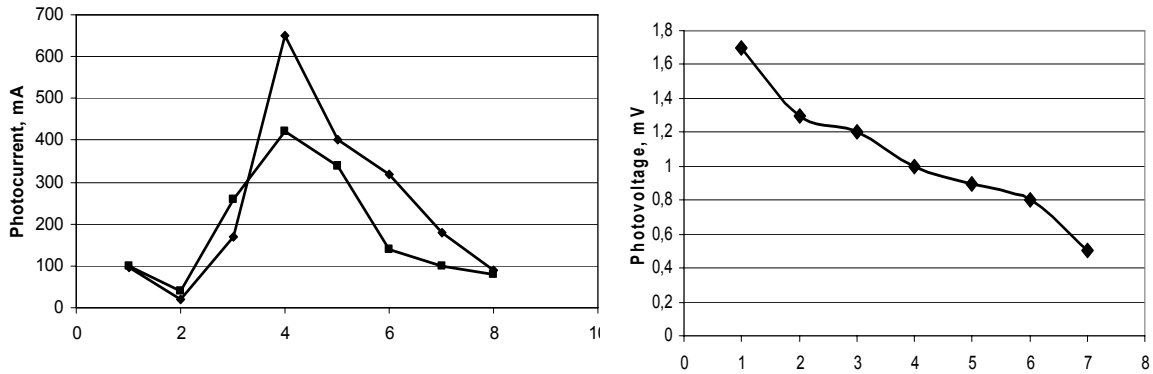


Fig. 2. The level of the photocurrent before (1) and after deposition of Ag (2) and Ab in the different concentration (3-8 – 1:5000, 1:1000, 1:100, 1:50, 1:10 and 1:1, respectively). Line A and B are respect to two different samples of blood serum.

Fig. 3. Dependence of the PhL intensity on the concentration of the specific Ab in the solution to be analyzed (serum blood of ill animals). Abscissa – 1 – immobilized Ag; 2-7 – dilution of blood serum: 1:5000; 1:1000; 1:100; 1:50; 1:10; 1:1, respectively.

According to our opinion the red PhL may be connected with the tunnel mechanism of the recombination of the charge bearers at the excitation of them in the nanocrystallites of oxide or interface. We do not exclude the hydrogen role too for the generation of the PhL extinguishing. These conclusions are as result of the coincidence of the possible reasons for the PhL decreasing in case of the immune complex formation no the sNPS surface. To them belong: a) the changes of the absorbance in the solution at the formation of the specific immune complex on the sNPS surface, b) the effect of the immune components or their interaction on the recombinant process of the photocurrent charge in the sNPS. As it is very known the light absorption in the wavelength of the excitation ( $\lambda = 350 \text{ nm}$ ) and in the wide field of the sNPS PhL is absent in the Ab and Ag solutions as well as in their complexes.

- [1] N.F. Starodub, T.L. Dibrova, Yu.M. Shirshov, K.V. Kostjuevich, Development of myoglobin sensor based on the surface plasmon resonance. *Ukr. Biochem. J.*, 1999, v. 71, p. 33-37.
- [2] N.F. Starodub, V.N. Starodub, Infectious bovine leucosis and its diagnostics. *Biopolymers and Cell*, 2003, v. 19, p. 307-316.
- [3] V.M. Starodub, L.L. Fedorenko, A.P. Sisetskiy, N.F. Starodub, Control of mioglobin level in an immune sensor based on the photoluminescence of porous silicon. *Sensor and Actuators B*, 1999, v. 58, p. 409-414.
- [4] V.M. Starodub, N.F. Starodub, Optical immune sensors for the monitoring protein substances in the air. In *Eurosensor XII and 13<sup>th</sup> European Conf on solid-state transducers*. September 12-15 1999, The Hague, The Netherlands, 1999, p. 181-184
- [5] V.M. Starodub, L.L. Fedorenko, N.F. Starodub, Optical immune sensor for the monitoring protein substances in the air. *Sensor and Actuators B*, 2000, v. 68, p.40-47.

# РАДІАЦІЙНО ОБУМОВЛЕНА НЕРІВНОВАЖНІСТЬ НОСІЇВ У ГРАФЕНІ

Ф.Т.Васько, П.М.Романець, М.В.Стріха

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України*

Очікують, що графен завдяки своїй 2D структурі може виявитися прекрасним матеріалом для сенсорики. Те, що весь об'єм графену відкритий для навколишнього середовища, робить його перспективним детектором абсорбованих молекул. Виявлення абсорбованої молекули ґрунтується на тому, що в місці абсорбції вона змінює локальний заряд, а відтак – електричну провідність. Перевагою графена є його висока електропровідність (навіть за низької концентрації носіїв) і низький рівень шуму [1]. Проте створення реальних сенсорів потребує побудови адекватної теорії кінетичних явищ у графені.

Упродовж останнього часу кінетичні явища в графені були предметом інтенсивного вивчення [2]. При цьому переважно розглядався лінійний відгук носіїв у фононному термостаті з температурою  $T$ . Але слабкість взаємодії носіїв з акустичними фононами призводить до того, що зовнішній вплив може легко збурити рівновагу в електрон-дірковій системі. Зокрема, коли зразок не ізольовано від зовнішнього термічного випромінювання з температурою  $T_r \neq T$ , істотною є взаємодія носіїв з додатковим термостатом фотонів. Така взаємодія може бути достатньо ефективною, бо міжзонним переходам відповідає матричний елемент зі швидкістю  $v_W = 10^8$  см/с, що характеризує лінійний нейтриноподібний спектр носіїв. Тому графен вельми чутливий до термічної радіації, яка може суттєво змінити концентрацію носіїв і провідність.

Ми в [3] отримали для різних температур розподіл нерівноважних носіїв  $f_p$ , які взаємодіють з фононним і фотонним термостатами (для електронів і дірок функції  $f_p$  однакові через симетричність їхніх спектрів). При цьому ми розв'язали кінетичне рівняння, яке враховує квазіупружну релаксацію енергії на акустичних фононах, міжзонну генерацію і рекомбінацію, спричинену термічним випромінюванням, та розсіювання носіїв один на одному:

$$J_{LA}(f|p) + J_R(f|p) + J_C(f|p) = 0 \quad (1)$$

тут  $J_{LA}(f|p), J_R(f|p), J_C(f|p)$  - відповідні інтеграли зіткнень. Розв'язок (1) ми чисельно отримали для двох випадків: а) інтегралом зіткнень для розсіювання носіїв на носіях  $J_C(f|p)$  можна знехтувати; б) цей інтеграл нав'язує квазірівноважний розподіл з параметрами, які визначаються з рівнянь балансу концентрації та енергії, що описуються стандартним виразом:

$$\left| \frac{n}{E} \right| = \frac{2}{\pi \hbar^2} \int_0^\infty dp p \left| \frac{1}{v_W p} \right| f_p \quad (2)$$

Ми розрахували залежність  $f_p(v_W p)$  для різних  $T_r$  і  $T$ . У випадку а) при  $p \rightarrow 0$  у зв'язку з малим внеском акустичного внеску при  $p \rightarrow 0$  функція  $f_p$  близька до рівноважного розподілу з температурою  $T_r$ . Якщо  $T_r > T$ , то ця функція зі збільшенням енергії зростає аж до області енергій, де  $J_{LA}(f|p)$  починає домінувати. З подальшим збільшенням  $v_W p$  функція  $f_p$  різко спадає на енергетичному інтервалі порядку  $T$ . Пік функції розподілу формується при температурах порядку  $T_r$  і визначає концентрацію носіїв порядку рівноважного значення при температурі  $T_r$ . У цьому випадку реалізується співвідношення  $f_p > 1/2$ , тобто при енергіях, близьких до максимуму розподілу, реалізується інверсна заселеність носіїв. У протилежному випадку, коли  $T_r < T$ , функція розподілу різко спадає в області  $v_W p < T$ . Такий розподіл визначає малу концентрацію носіїв порівняно з рівноважним значенням для температури  $T$ .

У випадку б) кулонівське взаємне розсіювання носіїв нав'язує квазірівноважний розподіл

$$f_p \sim \{\exp[(v_W p - \mu)/T_c] + 1\}^{-1} \quad (3)$$

де  $\mu$  – хімпотенціал,  $T_c$  – ефективна температура носіїв. Показано, що при  $T > 150$  К у широкому діапазоні  $T_r$  ефективна температура  $T_c$  мало відрізняється від  $T$ , однак  $\mu$  і  $f_p \sim$  зазнають значних змін. Суттєва відмінність між випадками а) і б) полягає в тому, що  $f_{p=0} = 1/2$ , на той час коли значення  $f_{p=0} \sim$  спадає при збільшенні  $T$  і зростає при збільшенні  $T_r$ ;  $f_{p=0} = 1/2$  лише за умови  $T_r = T$ . Але в обох випадках у певному інтервалі енергій функція розподілу може бути більшою від  $1/2$ , що відповідає інверсній заселеності електрон-діркових пар. Це в свою чергу може спричинити режим негативного міжзонного поглинання, а також призвести до нерівноважного відгуку (при розрахунку концентрації, енергетичної густини й провідності).

Як висновок зазначмо, що всі вимірювання транспортних характеристик у власному графені повинні проводитися з контролем дотримання співвідношення  $T_r = T$ . В іншому випадку носії стають нерівноважними й результати можуть залежати від неконтрольованих зовнішніх чинників, які визначають  $T_r$  і  $T$ . Розглядаючи можливості застосування графена, слід також враховувати можливість неоднаковості температур фононного й фотонного термостатів.

1. F.Schedin et al. Nature Mater., **6**, 652 (2007).
2. A.H.Castro Nero et al., arXiv:0709.1163; Rev. Mod. Phys. (to be published; A.K.Geim and A.H.MacDonald, Phys. Today **60**, 35 (2007).
3. P.N.Romanets, F.T.Vasko, and M.V.Strikha, Phys. Rev. B **79**, 033406 (2009); arXiv: 0808.3146.

# НАНОБИОСЕНСОРЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ

С.В. Божокин, А.Г.Зегря, К.Д. Мынбаев, О.П. Чикалова–Лузина, Г.Г.Зегря

*Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук,*

*Россия, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26*

*e-mail: zegrya@theory.ioffe.ru*

Нанотехнологии в биологии и медицине представляют собой быстроразвивающуюся область науки. Нанотехнологии успешно применяются для клинической диагностики, терапевтического и хирургического лечения, а также для исследований в области фундаментальной молекулярной биологии. Полупроводниковые квантовые точки с их уникальными оптическими и химическими свойствами внесли огромный потенциал для решения соответствующих задач.

Флуоресцирующие полупроводниковые квантовые точки применяются для визуализации раковой опухоли и доставки лекарств к ней, детектирования и визуализация биомолекул, их конформационных изменений, образования специфических биомолекулекулярных комплексов (антиген-антитело, энзим-субстрат,) в том числе *in vivo*, для исследования первичной структуры и гибридизации ДНК. При этом используются экспериментальные методы, основанные на таких физических процессах как собственно флуоресценция, фотоиндуцированная передача электрона и безизлучательный резонансный перенос энергии. Наиболее широко применим последний метод. Однако в нем при анализе экспериментальных данных не вполне корректно используется теория, построенная Ферстером для переноса энергии между двумя молекулами, поскольку теория безизлучательного резонансного переноса энергии для квантовых точек до сих пор не была развита.

Теоретически рассматривается безизлучательный резонансный перенос энергии между двумя изолированными квантовыми точками, а также между квантовой точкой и молекулой – флуоресцирующей биомолекулой или органическим флуорофором. Новую возможность идентификации белков и аминокислот открывает выполненное нами теоретическое исследование влияние электрического поля белковой молекулы на энергетический спектр изолированной квантовой точки.



# **СЕКЦІЙНІ ДОПОВІДІ**

---

---

## **SECTIONAL REPORTS**

### **Секція I**

**ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ІНШІ ЯВИЩА,  
НА ОСНОВІ ЯКИХ МОЖУТЬ БУТИ  
СТВОРЕНІ СЕНСОРИ**

---

---

### **Section I**

**PHYSICAL, CHEMICAL AND OTHER  
PHENOMENA, AS A BASES OF SENSORS  
DEVELOPMENT**

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФОТОВОЗБУЖДЕННЫХ J-АГРЕГАТОВ КРАСИТЕЛЯ АДсорБИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОКРИСТАЛЛОВ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА.

Тюрин А.В., Жуков С.А., Берков Ю.Н., Зеленин П.В.

*НИИ физики при Одесском национальном университете имени И.И. Мечникова  
[tyurin@onu.edu.ua](mailto:tyurin@onu.edu.ua)*

Молекулы красителя (Кр) адсорбированные на поверхности микрокристаллов (МК) галогенидов серебра, вызывающие расширение собственной чувствительности МК в длинноволновую область, называют спектральными сенсibilизаторами.

Спектральная сенсibilизация МК молекулами Кр осуществляется за счет передачи длинноволнового фотозвуждения адсорбированного Кр к МК. Когда фотозвуждение адсорбированного Кр передается не МК, а релаксирует в самом Кр, снижая эффективность спектральной сенсibilизации, то такие процессы принято относить к самодесенсibilизации.

Повышение концентрации Кр на поверхности МК может приводить к объединению молекул Кр в пространственно организованные структуры (J-агрегаты), которые характеризуются большей эффективностью в спектральной сенсibilизации, что вызывает интерес к изучению механизма спектральной сенсibilизации МК J-агрегатами Кр.

При рассмотрении спектральной сенсibilизации МК J-агрегирующим катионным Кр 1-1'-диэтил 2,2'-цианиниодид в ряде работ предполагается существование J<sub>1</sub>- и J<sub>2</sub>-агрегатов Кр, адсорбированных на МК и обладающих разными триплетными уровнями. При этом считается, что J<sub>2</sub> - агрегат преимущественно обуславливает процессы самодесенсibilизации, за счет рекомбинации фотозвуждения, после его релаксации через МК, в самом J<sub>2</sub>-агрегате.

В нашей работе, люминесцентным методом показано, что процессы самодесенсibilизации J<sub>2</sub>-агрегатами Кр происходят не в результате релаксации фотозвуждения Кр через МК, а непосредственно в самом Кр, обеспечивая флуоресценцию J<sub>2</sub>-агрегатов Кр. Это дало основание предположить, что J<sub>2</sub>-агрегаты Кр это не отличный по структуре от J<sub>1</sub>-агрегаты Кр, а это те же J<sub>1</sub>-агрегаты Кр, только адсорбированный не на МК, а на самих J<sub>1</sub>-агрегатах. Это, вероятно, обусловлено тем, что поверхность МК после адсорбции J<sub>1</sub>-агрегата Кр обладает локальным положительным зарядом, за счет серебряной подсистемы МК, и поскольку используемый нами Кр – катионный, то адсорбция его на поверхности обладающей эффективным положительным зарядом затруднена, что и приводит к адсорбции Кр на самом J<sub>1</sub>-агрегате Кр. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что нейтрализация положительного заряда поверхности МК комплексообразующим соединением приводит к полному исчезновению флуоресценции J<sub>2</sub>-агрегатов Кр и на поверхности МК проявляются лишь J<sub>1</sub>-агрегаты и самодесенсibilизация, в этом случае, осуществляется путем передачи фотозвуждения J<sub>1</sub>-агрегата Кр триплетным уровням молекул Кр адсорбированных на поверхности J<sub>1</sub>-агрегатов.

# СПЕКТР ЕЛЕКТРОН-ДІРКОВОЇ ПАРИ У СФЕРИЧНІЙ КВАНТОВІЙ ТОЧЦІ З ЗАРЯДЖЕНОЮ ДОМІШКОЮ В ЇЇ ЦЕНТРІ

**В.І. Бойчук, І.В. Білинський, Р.Я. Лешко**

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,*

*кафедра теоретичної фізики*

*вул. Стрийська, 3, Дрогобич, Львівська обл., 82100, Україна, E-mail:*

*[leshkoroman@mail.ru](mailto:leshkoroman@mail.ru)*

Як у масивних напівпровідниках, так і в наногетероструктурах оптичні збудження можуть привести до появи екситонних станів. Зважаючи на те, що реальні структури можуть містити різні дефекти, зазначені стани можуть змінюватися. Наявність іона домішки у квантовій точці (КТ) приведе до зміни спектру електрон-діркової пари. Хоча існує значне число робіт, де досліджувалися екситонні комплекси, що пов'язані з іоном домішки, наприклад [1], однак в них не враховано того факту, що заряджені частинки індукують поляризаційні заряди на гетеромежах і взаємодіють з ними. Для гетеросистем, в яких існує велика різниця між діелектричними проникностями, вплив поляризаційних зарядів буде значним. Зміна діелектричних властивостей матриці з врахуванням поляризаційних зарядів веде вагомої зміни енергії як електрона та дірки [2-3], так і енергії екситона [3-4] та домішки [5]. Зважаючи на це все, у роботі визначено енергію електрон-діркової пари у сферичній КТ за наявності в ній позитивно (іон донорної домішки) чи негативно (іон акцепторної домішки) зарядженого іона домішки з врахуванням поляризаційних зарядів, що виникають на гетеромежах.

Розглянуто КТ гетеросистеми  $Si/SiO_2$ . Енергію електрон-діркової пари знайдено лінійним варіаційним методом, на основі хвильових функцій, що описують комплекси заряджений іон та квазічастинка. Одержані результати показали, що наявність іона домішки приведе до пониження енергії електрон-діркової пари порівняно з випадком без домішки. Встановлено, що наявність негативно зарядженого іона домішки сильніше зменшить енергію, ніж наявність позитивно зарядженого іона домішки. Такий результати зумовлено сильнішим притягання дірки до  $D^-$ , ніж електрона до  $D^+$ , бо ефективна маса дірки більша від ефективною маси електрона. Для КТ гетеросистеми  $Si/SiO_2$  на основі аналізу залежності середніх відстаней між частинками визначено, що наявність іона домішки перешкоджає утворенню зв'язаного екситонного стану.

- [1]. B. Stebe, E. Assaid, F. Dujardin, [and al.]. Phys. Rev. B. – 1996. – Vol. 54, № 24. – P. 785-793.
- [2]. В.И. Бойчук, Р.Ю. Кубай. ФТТ. – 2001. – Т. 43, № 2. – С. 226-232.
- [3]. В.І. Бойчук, Р.Ю. Кубай, Г.М. Годованець, І.С. Шевчук. ЖФД. – 2006. – Т. 10, № 3. – С. 220-226.
- [4]. И.М. Купчак, Д.В. Корбутяк, Ю.В. Крюченко [и др.]. ФТП. – 2006. – Т. 40, № 1. – С. 98-107.
- [5]. V.I. Boichuk, I.V. Bilynskiy, R.Ya Leshko. Condensed Matter Physics. – 2008. – Vol. 11, № 4. – P. 653-661.

# HIGH-POWER MONOCHROMATIC GAMMA RADIATION SOURCES ON THE BASIS OF META-STABLE NUCLEI DISCHARGE INDUCED BY MUON CAPTURE AND NUCLEAR SENSORS

A.V.Glushkov<sup>2</sup> and Ya.I.Lepikh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*I.I.Mechnikov Odessa National University, Dvoryanskaya str.2, Odessa, 65001,*

<sup>2</sup>*Odessa State Environmental University, P.O.Box 24a, Odessa, 65009*

*E-mail: glushkov@paco.net*

The problem of creation of the high power monochromatic gamma radiation source and possible nuclear sensors is investigated. The possible approach is based on effect of discharge of meta-stable nuclei during  $\mu^-$  capture. A muon captured by a meta-stable nucleus may accelerate the discharge of the latter by many orders of magnitude [1,2]. For a certain relation between the energy range of the nuclear and muonic levels the discharge may be followed by the ejection of a muon, which may then participate in the discharge of the other nuclei. We are modeling (within QED energy approach [2]) characteristics for discharge of a nucleus with emission of gamma quantum and further  $\mu^-$  conversion. Three channels are taken into account: 1). radiative purely nuclear 2j-poled transition (probability  $P1$ ); 2). Non-radiative decay, when a proton transits into the ground state and a meson leaves the nuclei with energy  $E=E(p-NIJI)-E(i)$ , where  $E(p-NIJI)$  is an energy of nuclear transition,  $E(i)$  is an energy of bond for meson in the  $1s$  state ( $P2$ ); 3). A transition of proton into the ground state with excitation of muon and emission of the gamma quantum with energy  $E(p-NIJI)-E(nl)$  ( $P3$ ). Numerical estimates are carried out for the Sc and Tm nuclei. The probabilities of the muonic atom decay for different transitions:  $P2(p_{1/2}-p_{3/2})=3.9 \cdot 10^{15}$ ,  $P3(p_{1/2}-f_{7/2})=3.2 \cdot 10^{12}$ ,  $P2(p_{3/2}-f_{7/2})=8.8 \cdot 10^{14}$ . If a muonic atom is in the initial state  $p_{1/2}$ , than the cascade discharge occur with ejection of meson on the first stage and the  $\gamma$  quantum emission on the second stage. To consider a case when the second channel is closed and the third one is opened, suppose:  $E(p_{1/2})-E(p_{3/2})=0.92$  MeV. The dipole transition  $2p-1s$  occurs with probability:  $P3=1.9 \cdot 10^{13}$  1/s that is more than probabilities of the  $p_{1/2}-p_{3/2}$  and  $p_{1/2}-f_{7/2}$  transitions without radiation. The next transition  $p_{3/2} - f_{7/2}$  occurs without radiation during 10(-15) s with ejection of the muon. The velocity of discharge for the target excited nuclei is defined by intensity of muon flux and coefficient of multi-time discharge. The necessary parameters are now reached for example on the meson factory in Los-Alamos. The requirement of high stability of the states [ $T=10(8)s$ ] and sufficiently high transition energy [ $>Z(2) \cdot 2.8keV$ ] transition limits a range of nuclei for observation of the effect. Our estimates show that the new high-energy transitions (with muon conversion) can occur in a sample radiated by muons and any long-lived isomer with high-energy transitions can be used for observation of effect and creating high-energy gamma radiation source.

## References

1. V.Gol'dansky, V. Letokhov, JETP 67, 513 (1974); L.Ivanov, V.Letokhov, JETP 70, 19 (1976); A.Glushkov, L.Ivanov, Phys.Lett.A.170, 33 (1992); Preprint ISAN N1-AS, Moscow-Troitsk (1992).
2. A.V.Glushkov, Low Energy Antiproton Phys. (AIP), 796, 201 (2005); Recent Advances in Theory of Phys. and Chem. Systems (Berlin, Springer) 15, 301 (2006).

# ЕЛЕКТРО-ОПТИЧНИЙ ЕФЕКТ У ДВОВИМІРНИХ СТРУКТУРАХ МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

Л.А. Карачевцева, К.П. Конін, В.І. Іванов, О.О. Литвиненко, О.Й. Стронська

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Україна, 03028, Київ-28, просп. Науки, 41, (8-044)525-98-15, [lakar@isp.kiev.ua](mailto:lakar@isp.kiev.ua)*

Основним фізичним явищем, яке визначає перспективність двовимірних структур макропористого кремнію як сенсорних елементів, є підсилення поглинання електромагнітного випромінювання, фотопровідності та комбінаційного розсіювання в результаті взаємодії оптичних мод з поверхнею циліндричних макропор. Це відкриває можливості розробки (1) компактних неохолоджуваних фотосенсорів в області довжин хвиль непрямого зона-зонного переходу, (2) теплових та (3) біосенсорів.

Досліджено двовимірні структури макропористого кремнію з поглинанням електромагнітного випромінювання, яке визначається уявною частиною діелектричної проникності, регульованою діаметром макропор та періодом структур. Основним механізмом формування уявної частини діелектричної проникності є лінійний електро-оптичний ефект, що реалізується у двовимірних структурах макропористого кремнію в ближній ІЧ-області спектру ( $2 \div 20$  мкм) в умовах перезарядки поверхневих станів.

Встановлено, що спектральна залежність оптичного поглинання макропористого кремнію в напрямку вздовж циліндричних макропор має осцилюючу структуру і змінюється за законом « $3/2$ » в довгохвильовій області спектру. Збільшення оптичного поглинання з ростом енергії фотонів за законом « $3/2$ » корелює з частотною залежністю уявної частини діелектричної проникності при реалізації оптичних переходів на локальні поверхневі стани у відповідності з домішковим ефектом Франца-Келдиша. Короткохвильовий спад оптичного поглинання за законом « $1/2$ » обумовлений зменшенням вбудованого електричного поля в результаті зменшення повздовжньої компоненти хвилеводних мод і захвату електронів акцепторними рівнями. При цьому в короткохвильовій області спектру електро-оптична енергія зменшується обернено пропорційно в залежності від частоти падаючого електромагнітного випромінювання. Визначено частотні залежності електро-оптичної енергії та наведеного електричного поля, концентрація поверхневих станів. Отримані значення електрооптичної енергії знаходяться в діапазоні  $10 \div 60$  см<sup>-1</sup>, зміна величини вбудованого електричного поля становить порядку  $10^3$  В/см. Визначено сумарну концентрацію поверхневих центрів для двовимірних структур макропористого кремнію, яка дорівнює  $6,1 \cdot 10^{10} \div 6,3 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>, що узгоджується з результатами по визначенню концентрації поверхневих рівнів у досліджуваних структурах макропористого кремнію за величиною безрозмірного поверхневого потенціалу ( $6,3 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>).

Встановлено механізм зміни електричного поля в приповерхневій області макропор товщиною  $d \approx 0,1 \lambda$  при ковзному падінні світла відносно стінок макропор. Спектральна залежність поглинання за законом « $3/2$ » відповідає забороненим переходам між валентною зоною та акцепторними рівнями (прилипання дірок). При цьому оптичне поглинання та уявна діелектрична проникність ефективно регулюються величиною діаметра макропор та відстанню між ними.

# THERMOCHROMIC EFFECT IN CONDUCTING POLYAMINOARENES

Oksana I. Konopelnyk

*Physical Department of Ivan Franko Lviv National University, e-mail: [konopel@ukr.net](mailto:konopel@ukr.net).*

Conjugated polymer materials, especially based on the polyaminoarenes, have a wide application in sensor devices and indicators [1, 2], but has not studied on using these materials as temperature sensor. In the present report an effect of temperature on absorption spectra of sulfate-doped polyaminoarenes – polyaminophenol (PoAP), polyaniline (PAN), polyorthotoluidine (POTI), polyorthoanisidine (PoA) in temperature interval 293-523 K has been investigated.

Preparation of polyaminoarene films was carried out by electrochemical polymerization of 0.1M monomer solutions ( *o*-aminophenol, *o*-toluidine, *o*-methoxyaniline, aniline) in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> at oxidative potential of monomers ( $E = 0,8 - 1,0$  V) on the SnO<sub>2</sub> working electrodes.

From the study of absorption spectra it found that under temperature change the variations in the polymer films color are observed. In the optical spectra it's developed in the "blue shift" of absorption maximums and in the changing of their intensity. Thermoinduced changes in optical spectra, thermal behavior and temperature dependence of specific volume resistance have been considerate. It's known, that phenyl group disposition in polyaminoarenes lies under rotation angles, and phenyl ring may revolve around -C-N-bond. Since in solid state (in the film) the polymer chain mobility is considerably limited in comparison with solution, absence of large lateral substitutes made impossible the creation of sufficient free volume for conformation changes. That's why a thermochromic effect observed in the films connects not only with a polymer chains conformation but may be depended on electron properties of polyaminoarenes.

In the presence of methyl or methoxy substitute in PoTI and PoA macromolecules the increasing of spatial repulsion between phenyl rings and between neighboring chains occurs in contrast to unsubstituted PAN. Increasing of macrochain repulsion leads to decreasing of conductivity in result of charge localization. From the other hand this repulsion considerably relieves an internal rotation. Therefore in the region of  $T = 293-403$  K a thermochromic changes in mainly caused by change in polymer chains conformations and "enlightenment" of the films is observed. In the case of sulfate doped PAN, when doping lead to structure ordering [2] the difficulty of internal rotation take place. At this time an increasing of charge carries mobility along polymer chains occurs, that causes an increasing of PAN conductivity with low activation energy. Obviously in the case of doped PAN the influence of high temperature causes a carrier delocalization in result of "unfolding" of binding in spiral PAN macromolecule at  $T > 413$  K, what causes a grows of current density in all region of temperature, before starting of macrochain thermal destruction.

On the base of electronic spectroscopy, thermogravimetry and specific resistance temperature dependence data it is shown the variations in electron transition energy and film's optical density are caused by changing in macrochain conformation and connected with electronic properties of polymers.

This work was supported by the budget cost of Ministry of Education and Science of Ukraine given as Ukraine President Grant № GP-f27/0125 (Agreement F27/61-2010)

[1] O.I. Konopelnyk, O.I. Aksimentyeva, G.V. Martynyuk, *Molec. Cryst. Liq. Cryst.*, **427**, 37 (2005).

[2] O.I. Konopelnyk, O.I. Aksimentyeva, B.R. Tsizh, M.I. Chokhan, *Physics and Chemistry of the Solid State*, **8**, № 4, 786 (2007).

# ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ, НАХОДЯЩИХСЯ В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ

**В. Ф. Косоротов, Л.В. Щедрина**

*Институт физики НАН Украины  
пр. Науки 46, Киев – 03028  
[lshched@iop.kiev.ua](mailto:lshched@iop.kiev.ua), [kosorot@iop.kiev.ua](mailto:kosorot@iop.kiev.ua)*

Теоретическим и экспериментальным исследованиям поляризационных явлений в кристаллах уделяется заметное внимание в физике твердого тела. В данной работе обсуждаются физические и модельные представления о поляризационных эффектах, связанных с термодинамически неравновесными условиями в кристалле, находящемся в поле пространственно неоднородного воздействия. Отклик поляризации в условиях пространственно неоднородного нагрева кристалла принципиально отличается от отклика в однородных температурных полях, что проявляется прежде всего в большом разнообразии физических эффектов, сопровождающих это векторное воздействие на кристалл. В работе проводится обсуждение связанного с градиентом деформации флексоэлектрического эффекта, а также термополяризационного, состоящего в отклике поляризации на градиент температуры [1]. Отличительной особенностью этих эффектов является возможность их проявления в диэлектрических кристаллах любой симметрии. Подробно описывается третичный пироэлектрический эффект [2], заключающийся в отклике поляризации на пространственно неоднородный градиент температуры и имеющий место в кристаллах всех пьезоэлектрических классов. Именно этот эффект среди указанных поляризационных эффектов представляет наибольший интерес с точки зрения их приложений.

В данной работе в первом порядке по пространственной дисперсии получено общее выражение для линейного отклика поляризации, вызванной пространственно неоднородным нагревом кристалла, в приближении локального термодинамически равновесного состояния. Обсуждаются методы расчета поляризации, проведенные на основе изменения положения ионов в узлах кристаллической решетки в приближении классической теории упругости (без учета влияния дискретности структуры решетки).

Особое внимание уделяется описанию индуцированной неравновесными тепловыми условиями поляризации в пьезоэлектрических кристаллах неполярных классов, что значительно расширяет класс традиционных пироактивных материалов, используемых в пироэлектрическом материаловедении и приборостроении. Предложена и реализована физическая концепция создания и использования индуцированных функциональных пироактивных материалов с оптимальным сочетанием свойств на основе широкого класса нецентросимметричных кристаллов для нового поколения пироэлектрических сенсорных устройств инфракрасной оптоэлектроники.

[1] А.К. Таганцев, УФН, **152**, 423 (1987).

[2] Дж. Най. Физические свойства кристаллов, Москва: ИЛ (1960).

# НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

**М.И.Маковийчук**

*Ярославский филиал Физико-технологического института РАН,  
150007, Ярославль, ул. Университетская, 21; e-mail: makoviychuk@rambler.ru*

В настоящее время для целей мониторинга состава газовой фазы получили широкое распространение полупроводниковые газовые сенсоры. В первую очередь это связано с простотой их использования и относительной дешевизной. Однако они обладают общим недостатком – низкой селективностью. Это связано с самим физическим принципом работы, а именно с тем, что в качестве отклика используется интегральная величина – электропроводность. Различные газы могут приводить к одинаковым изменениям электропроводности, и поэтому они становятся неразличимы.

Предлагается использовать в качестве отклика, генерируемого газочувствительным слоем, фликкер-шум. Физическое обоснование идеи состоит в том, что механизм как фликкер-шума, так и хемосорбции газа на поверхности полупроводника в значительной мере определяется поверхностными электронными состояниями, которые являются центрами захвата и рекомбинации носителей заряда.

Объектом исследования являются фликкер-шумовые газовые сенсоры (ФШГС), которые отличаются от традиционных сенсоров высокой селективной чувствительностью (на 1,5 – 2 порядка и более) при идентификации состава окружающей газовой среды [1].

Исследованы причины деградации адсорбционной способности (АС) поверхности и разработаны рекомендации по стабилизации характеристик АС поверхности ФШГС. С этой целью необходимо изолировать газочувствительный слой от неконтролируемого влияния, как со стороны окружающей газовой среды (когда ФШГС находится в нерабочем положении), так и влияния со стороны объема сенсора на его поверхность.

Поэтому ФШГС помещается в вакуумированную ( $P < 1 \times 10^{-3}$  Па) измерительную камеру. Тем самым отсекается неконтролируемое влияние газовой среды на поверхность.

С другой стороны, для отсечения влияния объема полупроводника на его поверхность, точнее на стабильность АС поверхности, предложено использовать ФШГС, в котором сформирована структура «кремний-на-изоляторе» (КНИ) методом SIMOX (Separation by Implanted Oxygen)-технологии, унифицированной под требования для разработки технологии изготовления КНИ – ФШГС.

Основным преимуществом КНИ - ФШГС перед фликкер-шумовыми газовыми сенсорами является стабилизация АС поверхности за счет перекрытия канала «объем – поверхность».

В докладе приведено аналитическое обоснование методов спектроскопии низкочастотных шумов и количественных мер, предлагаемых для проведения анализа структурно-неупорядоченных полупроводников. Показана целесообразность и предложено методическое обеспечение технологических процессов по формированию структуры КНИ-ФШГС и измерительных операций при мониторинге окружающей газовой среды.

[1] M.I.Makoviychuk, A.L.Chapkevich, A.A.Chapkevich, and V.A.Vinokurov, Biomedical Engineering, **43**, N3, 109 (2009).



# СТРУКТУРА ТА ЛОКАЛЬНА ДИНАМІКА ДОМЕННИХ СТІНОК В НАНОМАСШТАБІ

**Г.М. Морозовська, С.А. Елісєєв<sup>2</sup>, С.В. Свечников<sup>1</sup>, V.Gopalan<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут фізика напівпровідників, Національна академія наук України,  
03028, Київ, Україна, E-mail: morozo@i.com.ua*

<sup>2</sup>*Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України,  
03680 м. Київ-142, вул. Кржижанівського, 3*

<sup>3</sup>*Center for Optical Technologies, Pennsylvania State University, University Park,  
Pennsylvania 16802, USA*

Дослідження структури доменних стінок в тонких сегнетоелектричних плівках та наночастинках, їх рух в сильно неоднорідних електричних полях, створених нанорозмірним зондом силового мікроскопу, є актуальною задачею нанофізики, та центральною проблемою для різноманітних застосувань сегнетоелектриків, від сегнетоелектричної пам'яті з довільним доступом, п'єзоелектричних актюаторів до піроелектричних сенсорів та електрооптичних пристроїв.

В доповіді особлива увага буде приділена таким питанням:

- (а) вивчення впливу власної ширини сегнетоелектричної доменної стінки, її форми і орієнтації на величину локального порогового електричного поля, необхідного для руху стінки;
- (б) динаміка реверсування поляризації в нанорозмірних областях;
- (в) вплив порушення симетрії поблизу поверхні або інтерфейсу, дефектів, неоднорідних напруг і розмірних ефектів на структуру доменної стінки;
- (г) вивчення незвичних сегнетоелектричних структур, подібних до магнітних стінок Блоха та Неєля.

Робота виконана в рамках спільного американсько-українського проекту NSF-ДФФД (DMR-0908718 та UU30/004).

**Ключові слова:** сегнетоелектричні наноматеріали, структура доменної стінки, скануюча п'єзоелектрична силова мікроскопія, локальний п'єзовідгук, скануюча нелінійно-оптична мікроскопія ближнього поля, моделювання фазового поля, динаміка реверсування поляризації в наномасштабі.

## ПЕРЕБУДОВА ДЕФЕКТІВ В ПОВЕРХНЕВО-БАР'ЄРНИХ СТРУКТУРАХ Bi-Si-Al СТИМУЛЬОВАНА ДІЄЮ РАДІАЦІЇ

**Павлик Б.В., Грипа А.С., Слободзян Д.П., Лис Р.М., Шикоряк Й.А., Дідик Р.І.**  
*Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки  
вул. ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна  
e-mail: pavlyk@electronics.wups.lviv.ua*

Актуальність досліджень впливу зовнішніх факторів: радіаційних, механічних та магнітних полів на зміни електрофізичних характеристик поверхнево-бар'єрних структур (ПБС) зумовлена процесами перебудови структурних дефектів в полі дії цих факторів, які приводять до відповідних змін параметрів пристроїв мікроелектроніки, що працюють в екстремальних умовах сенсорики газових середовищ і т.п.

Метою даної роботи було вивчення процесів перебудови дефектів в ПБС Bi-Si-Al з різним питомим опором напівпровідникової підкладки, стимульованих дією рентгенівського випромінювання.

Аналіз отриманих результатів показав, що в полі дії рентгенівського опромінення ( $D < 500$  Гр) зазнають змін як вольт-амперні (ВАХ) так і вольт-фарадні характеристики (ВФХ) даних структур. Особливістю дії радіації є той факт, що при дозах опромінення  $D \leq 260$  Гр спостерігається зміщення області модуляції ємності в сторону збільшення від'ємних напруг, а вже при  $D \leq 390$  Гр область модуляції зміщується в протилежну сторону. В даному діапазоні доз опромінення спостерігається також зменшення характерного максимуму на ВЧ ВФХ, який пов'язується із вбудованим зарядом в діелектричному прошарку бар'єрного контакту. Опромінення приводить до зміни крутизни ВАХ та коефіцієнта неідеальності.

Слід відмітити той факт, що на структурах з меншим питомим опором кремнію ці зміни значно більші, зокрема спостерігається зміна кута нахилу ВФХ. Це вказує на більшу ефективність радіаційно стимульованої генерації і накопичення додатного заряду в діелектричному прошарку на структурах з меншим питомим опором напівпровідникової підкладки.

З отриманих результатів визначено зміни напруги плоских зон, густини поверхневих станів, рухливості носіїв заряду.

Запропонований механізм радіаційно стимульованого впорядкування дефектної структури кремнію, що пояснює зміну механізму струмоперенесення в поверхнево-бар'єрних структурах при опроміненні.

# ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ШУМА НА ДИНАМИКУ НАМАГНИЧЕННОСТИ НАНОЧАСТИЦЫ В ЦИРКУЛЯРНО- ПОЛЯРИЗОВАННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

**Поляков А.Ю., Лютый Т.В.**

*Сумский государственный университет, 40007 г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2,  
alexander.p1987@mail.ru*

В настоящий момент магнитные наночастицы всесторонне исследуются как теоретически, так и экспериментально. Такой интерес объясняется возможностями применения этих нанообъектов во многих сферах науки и техники. В частности, они могут применяться в устройствах хранения информации, а так же в сверхчувствительных магнитных датчиках [1].

С практической точки зрения, большое значение имеет вопрос о перемагничивании наночастиц. Наиболее важной характеристикой процесса перемагничивания есть его длительность. Именно время перемагничивания будет определяющим для скорости записи в медиа-устройствах или чувствительности магнитного датчика на базе ансамблей ферромагнитных наночастиц. Поэтому поиск временных характеристик намагниченности есть актуальной задачей.

Объектом исследования настоящей работы есть ансамбль невзаимодействующих однодоменных сферических одноосных наночастиц, которые находятся под действием циркулярно-поляризованного магнитного поля и термостата, действие которого описывается случайным полем. Динамика магнитного момента каждой частицы описывается стохастическим уравнением Ландау-Лифшица. В наших предыдущих исследованиях [2] была проанализирована детерминистическая динамика намагниченности. Однако, наличие тепловых флуктуаций, всегда присутствующих в реальных системах, будет обуславливать качественно иную динамику магнитного момента каждой наночастицы (см. например [3]). Для изучения влияния теплового шума на намагниченность ансамбля использовались численные методы.

Как и ожидалось, наличие теплового шума существенно снижает амплитуду порогового поля перемагничивания, однако при этом может значительно возрасти время перемагничивания. Нами были изучены зависимости указанных параметров от температуры.

Были исследовали влияние температуры, параметра затухания наночастицы, амплитуды вращающегося поля (включая его отсутствие) на среднее время перемагничивания. Было показано, что для модели с шумом, как и для детерминистической модели, имеет место неоднородная прецессия магнитного момента. Но для модели с шумом она присутствует на конечном временном интервале.

[1] Ph. Moriarty, *Rep. Prog. Phys.*, **64**, 297 (2001).

[2] T.V. Lyuty, A.Yu. Polyakov, et.al., *J. Phys.: Condens. Matter*, **21**, 396002 (2009).

[3] S.I. Denisov, K. Sakmann, et.al., *Phys. Rev. B*, **75**, 184432 (2007).

# ОДЕРЖАННЯ, СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОСИТАЛІВ НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГАЛОГЕНІДІВ СУРМИ

<sup>1</sup>Шпак А.П., <sup>2</sup>Рубіш В.М., <sup>2</sup>Штець П.П.

<sup>1</sup>*Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, бульв. Ак.  
Вернадського, 36, 03680, МСП, Київ-142, Україна*

<sup>2</sup>*Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації  
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,  
Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4  
e-mail:center\_uzh@email.uz.ua*

Розробка технології одержання халькогенідних матеріалів різноманітного призначення у склоподібному і аморфному станах, формування в них наноструктур різної морфології, створення на їх основі сенсорів різноманітного призначення, сегнетоситалів, елементів сегнетоелектричної пам'яті, реєструвальних середовищ із заданим рельєфом поверхні і розмірами нановключень, вимагає всестороннього вивчення їх структури та властивостей.

Дана робота присвячена дослідженню умов одержання, структури та діелектричних властивостей сегнетоситалів на основі халькогенідних стекел.

На основі розрахунку критичних швидкостей охолодження розплавів, термографічних досліджень визначені оптимальні режими синтезу стекел в системах Se-SbSI, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-SbSI, As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-SbSI, GeS<sub>2</sub>-SbSI, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-AsSI, As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-SbSeI, SbSI-SbSeI та їх термодинамічні параметри.

Методами дифракції рентгенівських променів та коливної (КР та ІЧ) спектроскопії досліджена структура ближнього порядку стекел. Встановлено, що всі досліджені стекла мають наногетерогенну будову. Їх матриця формується тільки бінарними структурними одиницями.

Встановлено, що незалежно від природи компонентів в стеклах вказаних систем в умовах неперервного нагріву в ділянці температур  $T_g$ - $T_c$  ( $T_g$ ,  $T_c$  – температура розм'якшення і кристалізації, відповідно) відбувається кристалізація за переважним механізмом з виділенням стабільної фази SbSI. Кристалізація стекел супроводжується різким зростанням діелектричної проникності ( $\epsilon$ ).

Досліджені температурні залежності  $\epsilon$  і  $\text{tg}\delta$ , а також дифрактограми і КР-спектри зразків, відпалених у різних режимах. Виявлено, що при температурах, близьких до температури початку кристалізації, і при малих часах відпалу одержується сегнетоелектрична нанокераміка. В стеклах вказаних систем з малим вмістом йоду нанорозмірні кристали SbSI формуються навіть при тривалому відпалі. Встановлено, що підвищення температури (до  $T \sim T_c$ ) і часу відпалу призводить до росту розмірів кристалічних включень і збільшення  $\epsilon$  (до 100-200 одиниць). Досліджено вплив термоциклювання на діелектричні властивості закристалізованих стекел. Показано, що в залежності від хімічного складу та режимів термочасової обробки можна одержувати сегнетоситали з додатнім, нульовим і від'ємним температурним коефіцієнтом діелектричної проникності та високою нелінійністю.

# ДИСКРИМІНАЦІЯ ТИПІВ ГЛИБОКИХ РЕКОМБІНАЦІЙНИХ РІВНІВ У INSB З БАРИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ФОТОПРОВІДНОСТІ

**М.В.Стріха<sup>1,2</sup>, В.А.Бойко<sup>1</sup>, С.Г.Гасан-заде<sup>1</sup>, С.В.Старий<sup>1\*</sup>, Г.А.Шепельський<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Інститут фізики напівпровідників ім.В.Є.Лашкарьова НАН України,

<sup>2</sup>Київський національний університет ім.Т.Г.Шевченка

Раніше нами було показано [1], що зниження симетрії напівпровідників під дією стиску може бути використане для керованої зміни їхніх фізичних характеристик і відтак може мати важливе прикладне застосування, зокрема при створенні різноманітних сенсорів (фотосенсори, датчики тиску тощо).

У цій роботі показано, що фотопровідність InSb, який є одним з основних матеріалів для створення фотосенсорів в ІЧ діапазоні, залежить від величини прикладеного одновісного стиску. При малих інтенсивностях збудження цей сигнал зменшується в кілька разів (причому зменшення в матеріалах *n*-типу є суттєвим, ніж у матеріалах *p*-типу). При великих інтенсивностях збудження ця залежність має немонотонний характер з максимумом в області тиску  $P = 2 \div 3$  кбар.

Нами побудовано теоретичну модель рекомбінаційних процесів у InSb з урахуванням конкурентних механізмів Оже-рекомбінації, випромінювальної зоннової рекомбінації та рекомбінації через глибокий домішковий рівень, інтенсивності яких різним чином залежать від величини прикладеного одновісного стиску.

Проблема полягає в тому, що глибокі рівні структурних дефектів в вузькозонних напівпровідниках InSb і  $Cd_xHg_{1-x}Te$  є основними рекомбінаційними центрами у цих матеріалах. Саме ці глибокі рівні визначають фоточутливість вказаних вище матеріалів у широкому робочому діапазоні температур  $T = 4.2 \div 250$  К. Але, попри те, що їх вивчають уже впродовж тривалого часу [2], досі немає чіткого розуміння щодо природи й типу цих рівнів, а також відсутня надійна інформація щодо їх енергії зв'язку. Експериментальні дані різних робіт є суперечливими.

Зіставлення отриманих експериментальних залежностей фотопровідності у електронному та дірковому InSb від величини одновісного стиску з прогнозами теорії дозволяє зробити висновок, що глибокий рекомбінаційний центр, що визначає час життя носіїв заряду, є *h*- центром з симетрією вершини валентної зони  $\Gamma_8$ , який з прикладенням одновісного стиску зміщується разом з вершиною валентної зони. Це добре корелює з висновками роботи [3], зробленими на основі аналізу спектрів фотоіонізації зазначених центрів. Зауважимо, що запропоновані теоретична модель та експериментальний метод дискримінації глибоких локальних центрів можуть бути застосованими і для інших вузькощілинних напівпровідників зі схожою зонною структурою, наприклад для  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x = 0.2 \div 0.3$ ).

Отримані результати можуть бути використані при розробці нових типів фотосенсорів на основі вузькощілинних напівпровідників.

1. С.Г.Гасан-заде, М.В.Стріха, Г.А.Шепельський. УФЖ. Огляди.. – 2009. – т.5, вип.1. – с.3-33.
2. М.И.Даунов, И.К.Камилов С.Ф.Габиров. ФТТ. – 2004. – т.46, вып.10. – с.1766-1769.
3. Н.М.Колчанова, М.А.Сиповская, Ю.С.Сметанникова. – 1982. – т.16, вып.12. – с.2194-2196.

\* e-mail: ssv1811@i.com.ua

# СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРОВАННОЙ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

**Жолудов Ю.Т., Белаш Е.М., Кукоба А.В., Рожицкий Н.Н.**  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
61166, г. Харьков, пр. Ленина 14, e-mail: rzh@kture.kharkov.ua*

Анализ жидких сред, особенно водных, всегда является важной и актуальной задачей. Метод электрогенерированной хемилюминесценции (ЭХЛ) является особенно привлекательным для ее решения, поскольку обладает рядом преимуществ по сравнению аналогами (фотолюминесцентный, электрохимический, хемилюминесцентный).

В ряде аналитических ЭХЛ-реакций, особенно в случае использования реакций с сореагентами, возбужденный аналит испускает кванты света достаточно большой энергии (например, люминесцирующие аминокислоты) [1]. При этом возникают сложности, связанные как с реабсорбцией аналитического сигнала компонентами исследуемой системы, так и с реализацией метода анализа – необходимостью использования кварцевой оптики и фотоприемников, чувствительных к ультрафиолету. Технические трудности решаются за счет удорожания аналитической системы, но сложности, связанные с потерей сигнала в самом растворе, далеко не всегда легко разрешимы. При хемилюминесцентном анализе такая проблема решается применением сенсibilизаторов, перехватывающих энергию возбужденного аналита и трансформирующих ее с высокой эффективностью в излучение более длинноволнового диапазона. При этом большинство применяемых сенсibilизаторов (органические люминофоры) являются электрохимически активными веществами [2]. Их использование приводит к частичной потере информации об электрохимическом поведении аналита, а при вовлечении в ЭХЛ-реакцию - к полной потере полезного сигнала из-за прямого ЭХЛ-возбуждения сенсibilизатора.

Таким образом, актуальной является проблема электрохимически инертных сенсibilизаторов с высоким квантовым выходом люминесценции. Проведенные исследования показали, что ряд полупроводниковых квантовых точек с широкозонной оболочкой практически не обладают электрохимической активностью и не вступают в ЭХЛ-реакции. При этом они обладают высоким квантовым выходом флуоресценции, зависящим от размера спектром возбуждения и высокой экстинкцией. Такие структуры являются идеальными сенсibilизаторами для применения в ЭХЛ-анализе.

В работе изучены характеристики аналитической системы для ЭХЛ-определения триптофана путем добавления в раствор квантовых точек CdSe/ZnS. Показано, что при этом интенсивность регистрируемого оптического аналитического сигнала существенно повышается. Это позволяет рассматривать подобные системы как основу для создания эффективных нанопотонных сенсоров нового поколения.

Работа выполнена при поддержке проекта УНТЦ 4495 (руководитель – проф. Н.Н. Рожицкий).

[1] A.M.Garcia-Campana, *Chemiluminescence in Analytical Chemistry*, Marcel Dekker, New York (2001).

[2] О.М.Білаш, А.В.Кукоба, В сб. тез. докл. VIII Української конференції з аналітичної хімії (Одеса, 2008), с. 86.

**Секція II**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ СЕНСОРІВ**

---

---

**Section II**

**SENSORS DESIGN  
AND MATHEMATICAL MODELING**

# THE SPR SENSOR RESPONSE DEPENDS ON DISPERSITY OF BIOMOLECULAR ENVIRONMENT

**V. Chegel<sup>a</sup>, A. Loptynskyi<sup>a</sup>, Yu. Demidenko<sup>a</sup>, V. Lozovski<sup>a,b</sup>, A. Tsykhonya<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>*V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Nauki Avenue 45, Kyiv 03028, Ukraine, vche111@yahoo.com*

<sup>b</sup>*Department of Semiconductor Physics, RadioPhysics Faculty, Kyiv Taras Shevchenko National University, Glushkov Avenue 2, Building 5, Kyiv 03022*

In the frame of the Green function method using the effective susceptibility concept [1] one developed the approach for calculations of surface electromagnetic waves dispersion. It was supposed that the metal surface is covered by the ellipsoidal nanoparticles. It was shown that the shape of the covering particles influences on the surface plasmons dispersion. Because of covering nanoparticles have an ellipsoidal shape, two configurational resonances characterize the response of the particle on the external field [2]. The interference of the surface plasmon and these resonances leads to that new surface waves occur. These waves can be excited by sand p-polarized light. As far as spherical particles have only one resonance, then the number of dispersion curves in this case has to be less than for ellipsoidal particles. The shape of the particles strongly influences on the forming of surface electromagnetic waves[3]. This fact is very important in SPR sensor method [4].

The purpose of the present work was a demonstration of the influence of covering particles shape on the dispersion curves of surface plasmon. To demonstrate this influence the dispersion curves of surface plasmon were calculated when the oblate and prolate ellipsoidal particles (with different relationships between its semi-axes) cover the surface. When organic (bio-) molecules adsorb on the passivated metal surface they do not denaturate and could take the ellipsoidal form. Consequently, using SPR sensor method one can measure dispersion curves and determine for the specified cases (when orientation of molecules relatively surface is known) the shape of the molecules and, in that way, their type. The fact of influence of the shape of covering particles on the dispersion of surface plasmon is very important in plasmonics. Indeed, the dispersion relations point to the conditions under which the surface plasmon can be excited. Then the properties of the surface cover will define the conditions of the surface plasmon exciting.

This approach may be useful to determine or estimate the orientation of biomolecules relative to the surface of SPR sensors for amore comprehensive understanding and quantitative estimation of biomolecular layers [4].

[1]T. Sondergaard and S.I. Bozhevolnyi, Phys. Rev. B, **67**, No 16, 165405, (2003).

[2]S. Bozhevolnyi, A. Evlyukhin, Surf. Sci. **590**, 173, (2005).

[3]V. Chegel, Yu. Demidenko, V. Lozovski, A. Tsykhonya, Surface Science,1540, (2008).

[4] V. Chegel, Yu. Chegel, M. Guiver, A. Lopatynskyi, O. Lopatynska, V. Lozovski, Sensors and Actuators B: Chemical. B **134**, 66, (2008).



## ОПТОХІМІЧНІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ПЛАЗМОННИХ СИСТЕМ З АНТИКОРЕЛЬОВАНИМ РЕЛЬЄФОМ ТА СЕЛЕКТИВНО- ЧУТЛИВОЮ ПЛІВКОЮ

М.Л. Дмитрук, С.В. Мамикін, В.І. Мінько, О.В. Коровін, М.В. Соснова  
Інститут фізики напівпровідників НАНУ, просп. Науки, 45, 03028, Київ, Україна  
E-mail: [dmitruk@isp.kiev.ua](mailto:dmitruk@isp.kiev.ua), [sosnova@isp.kiev.ua](mailto:sosnova@isp.kiev.ua)

Останнім часом інтенсивно досліджуються оптичні властивості нових функціональних матеріалів як з точки зору фундаментального, так і з точки зору практичного інтересів (сенсорика, фотовольтаїка, медицина та ін.). До таких перспективних матеріалів можна віднести плазмонні кристали, що характеризуються планарною періодичністю діелектричної проникності в площині підкладки, коли одна із контактуючих речовин є поверхнево-активною ( $\text{Re } \varepsilon < 0$ ). Під час резонансної взаємодії електромагнітного випромінювання з періодичною плазмонною системою на напівпровідниковій підкладці спостерігається різке збільшення пропускання  $p$ -поляризованого світла на межі поділу метал/напівпровідник, що пояснюється збудженням поверхневих плазмонних поляритонів в системі та супроводжується підсиленням поля на межі поділу. Підсилення електромагнітного поля на зовнішній межі поділу чутливе до малих змін оптичних властивостей навколишнього середовища, що обумовлює можливість використання таких систем як елементів оптохімічних сенсорів та поляритонних фотодетекторів [1]. В роботі [2] було теоретично передбачено збільшення проходження електромагнітної енергії крізь тонку непрозору плазмон-несучу плівку з антикорельованим рельєфом в умовах збудження поверхневих плазмонних поляритонів. В роботі [3] представлено експериментальне підтвердження збільшення фотоструму поверхнево-бар'єрної структури з антикорельованим рельєфом металевієї плівки, який створений методом голографічної літографії [4], коли на металевій поверхні формується додаткова система халькогенідних дрітків з наступною їх металізацією (Au/халькогенідний напівпровідник/Au/GaAs). Одним з варіантів селективно-чутливої плівки може бути плівка на основі органічних сполук типу каліксаренів, для яких продемонстрована висока селективність і чутливість в роботі [5].

Дана робота присвячена визначенню оптимальних параметрів сенсорної системи на основі бар'єру Шотткі з антикорельованими межами поділу при модифікації активного елемента введенням додаткової селективної плівки. Моделювання здійснювалось в рамках диференціального формалізму, методом перетворення криволінійних координат [6]. Оптимальні параметри системи (товщина шарів, період та глибина модуляції рельєфу) визначалася з умови отримання максимальної чутливості сенсорної системи до зміни показника заломлення та товщини селективно-чутливої плівки, які в свою чергу залежать від концентрації аналіту в навколишньому середовищі.

- [1] М.Л. Дмитрук, О.І. Маєва, М.В. Соснова, ОПТ **41**, 29 (2006).
- [2] N. L. Dmitruk, A. V. Korovin, OPTICS LETTERS **33**, № 9, 893 (2008).
- [3] S.V. Mamykin *et al*, The second International conference on Metamaterials, Photonic crystals and Plasmonics (Cario, 2010), с.557.
- [4] I.Z. Indutnyy *et al*, Proc. SPIE. **3486**, 82 (1998).
- [5] I.A. Koshets *et al*, Sensors and Actuators B **106**, 177 (2005).
- [6] A.V. Korovin, JOSA A, **25**, 394 (2008).

# ACTUAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF ROOM TEMPERATURE SEMICONDUCTOR DETECTORS OF IONIZING RADIATION

**J. Franc\***, **V. Babentsov**,<sup>#</sup> **F. Sizov**,<sup>#</sup> **R. James**<sup>&</sup>, **M. Fiederle**<sup>§</sup>, **P. Hóschl\***, **J. Kubát\***,  
**R. Grill\***, **E. Belas\*** and **P. Moravec\***

*\*Faculty of Mathematics and Physics, Institute of Physics,  
Prague, CZ 121 16, Czech Republic, franc@karlov.mff.cuni.cz*

*<sup>#</sup>Institute of Semiconductor Physics, Kiev, Ukraine, sizov@isp.kiev.ua*

*&Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA*

*§Freiburger Materialforschungszentrum, Freiburg, Germany*

High resistivity semiconductors CdTe and Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te ( $x \leq 0.1$ ) are perspective material for spectroscopic sensors of ionized irradiation working at the room temperature. They have high absorption coefficient for energies from 10 MeV to 100 MeV, and low dark current due to the large bandgap and very precise compensation of electrically active defects. Nevertheless, the growth of bulk Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te material with the necessary properties is very difficult because of the complexity of thermodynamics of ternary compounds, strong segregation of zinc and not fully understanding of the defect structure. Because of this, further study of the above mentioned phenomenon, aiming their monitoring in the growth process, is a key to the development of sensors of ionized radiation.

In this report we present the comparison of the CdTe and CdZnTe material from various suppliers, aiming the development of spectroscopic pixel radiation detector. We stressed the influence of inclusions and precipitates on the detector efficiency.

We studied semi-insulated CdTe:In and Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te ( $x \approx 0.1$ ) material with the dark conductivity at the room temperature of about  $\sigma \approx 10^{-11}-10^{-12} \text{ } \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ . We developed efficient, non-destructive techniques to measure the quality of detector materials. Using these techniques, we measured the concentration of residual impurities, spatial distribution of the dark resistivity, photoconductivity, the energetic position and intensity of the PL bands, and the deep levels in the bandgap. The special attention was paid to the influence of the zinc concentration on the relative position of the deep levels and the Fermi-level and the population of the deep traps with the photoelectrons. As a result, we determine for the first time the properties limiting the performance of CZT detectors.

The final goal is to provide rapid feedback to crystal growers and, in conjunction with suppliers, improve CZT detector performance as measured by device energy resolution, efficiency, stability and cost. Practically, the improved material is able to detect the lower radiation dose faster and from a longer distance, to distinguish better between the various radiation sources and ground radiation.

# МОДЕЛЮВАННЯ СЕНСОРА НА ОСНОВІ БРЕГГІВСЬКОГО ДЗЕРКАЛА З ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ

**І. І. Іванов, В. А. Скришевський**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01033, вул. Володимирська, 64, Київ, Україна  
ivanko@univ.kiev.ua

Одним з напрямків розвитку і дослідження хімічних сенсорних систем є аналіз адсорбційно-десорбційних явищ в сенсорах на основі Бреггівських дзеркал (БД) які виготовлені з поруватого кремнію (ПК).

Для дослідження залежності спектра відбиття поруватого БД від ступеню заповнення пори етиловим спиртом був використаний профіль заповнення показаний на Рис. 1. В цьому випадку БД складалося з двох послідовно розташованих умовних “дзеркал” БД №1 ( $0 < z < z_i$ ) і БД №2 ( $z_i < z < z_{max}$ ) сформованих поруватими шарами:  $R_{БД}^{\Sigma} = f(R_{БД1}, R_{БД2})$ . Для спрощення моделювання було використано припущення, що межа поділу повітря-спирт різка і ефект парів спирту на ефективний коефіцієнт відбиття дзеркала малий. Таким чином параметри дзеркал визначаються згідно формул:  $R_{БД1} = f(n_{Si}, n_{alc})$ ,  $R_{БД2} = f(n_{Si}, n_{air})$ ,  $L = L_{БД1} + L_{БД2}$  (Рис. 1). Напрямок руху межі повітря-спирт під час десорбції показано на Рис. 1. стрілкою. Для дослідження було промодельовано структуру з кількістю бі-шарів  $M=10$ , і початковими показниками заломлення шарів  $n_H=2.4$  і  $n_L=1.4$ . Даним  $n_H$  і  $n_L$  відповідають ступені поруватості  $P_H=0.55$  і  $P_L=0.91$  при створенні БД з ПК.

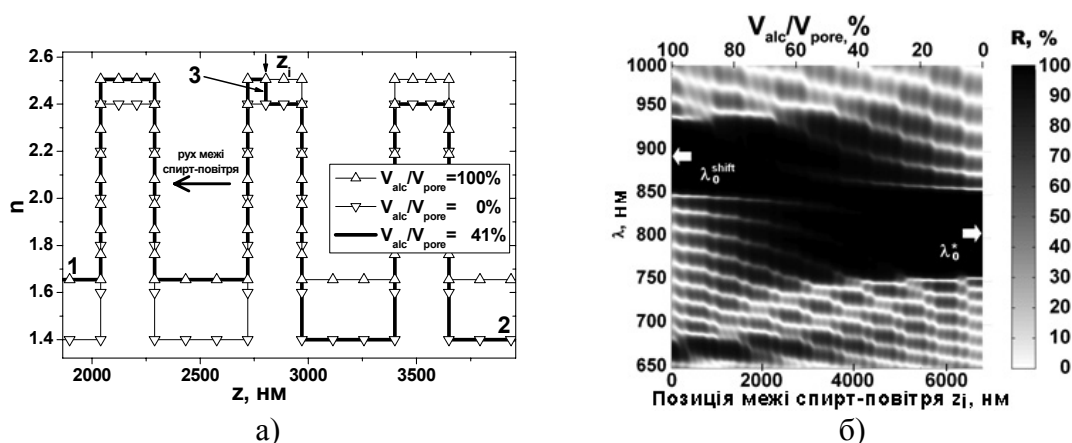


Рис.1. Профіль показника заломлення в напрямку перпендикулярному поверхні БД, при різних значеннях коефіцієнта заповнення пори спиртом (а); проекція промодельованої залежності спектра відбиття БД ( $\lambda_0^*=803$  нм) від коефіцієнта заповнення пори  $V_{alc}/V_{pore}$  при десорбції спирту з пор БД (б).

Залежність розрахованого матричним методом спектра відбиття поруватого БД ( $\lambda_0^*=803$  нм) від ступеню заповнення пори спиртом  $V_{alc}/V_{pore}$  (Рис. 1) показує, що при зменшенні ступеню заповнення пори від  $V_{alc}/V_{pore}=100\%$  до  $0\%$  положення БП  $\lambda_0=f(V_{alc}/V_{pore})$  плавно зменшується від  $\lambda_0^{shift}=890$  нм до  $\lambda_0^*=803$  нм.

Моделювання впливу ступеню заповнення пор БД етиловим спиртом використовуючи запропоновану модель заповнення пор показало гарну узгодженість результатів моделювання з експериментальними даними. Дана модель заповнення пор може бути використана для моделювання спектрального відгуку БД на інші речовини.

# MATHEMATICAL MODELING AND PHYSICAL PROPERTIES OF CARBON NANOTUBE SENSORS WITH STONE-WALES DEFECTS

N. Sinha<sup>1</sup>, S. Patil<sup>2</sup>, and R.V.N. Melnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge 02139, USA*

<sup>2</sup> *M<sup>2</sup>NeT Lab, Wilfrid Laurier University, Waterloo, Canada N2L 3C5*

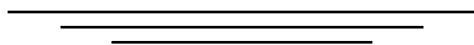
The synthesis of defect-free carbon nanotubes (CNTs) continues to be a challenge, despite substantial progress and achievements in the field. Moreover, many physical properties of CNTs show significant variability which makes the study of such properties a very difficult task. For example, one of the key characteristics in such important areas of applications of CNTs as sensing, nanobiomedical X-ray devices, and various imaging probes is fluctuation of field emission current from CNTs. Indeed, experimental studies on the collective field emission from carbon nanotubes (CNTs) on metallic cathode substrate confirm wide variability of this characteristic. In a series of our recent works, we have investigated several related effects, such as the relationship between the electron-phonon transport and the mechanical deformation in the CNTs [1-4]. A systematically coupled model of randomly oriented CNTs in a thin film has been developed and a range of numerical simulations have been reported, which were able to reproduce several experimentally observed phenomena, such as a fluctuating field emission current, deflected CNT tips and the heating process.

The major premises of the present contribution lie with the fact that defects may adversely affect the performance of many CNT-based devices. However, we point out that the distinct properties of CNTs with defects can also be utilized for many applications such as sensors. Our main idea proposed here stems from the fact that by introducing Stone-Wales (SW) defects, the band gap of CNT changes and this can be related to the change in its conductivity. According to the dislocation theory [5], upon successive generation and dislocation of new SW defects an (n,n) CNT abandons its symmetry which eventually leads to the zigzag symmetry (n,0). This also results in a stepwise reduction of the diameter of the inner segment, and in a change in the electronic structure of the emerging domains. In order to use this property for sensor applications, the change in conductivity due to band gap change can be calculated using four-probe expression where the conductivity is measured by taking the reciprocal of resistivity. Among other things, we analyze the deformation parameter which changes with the applied pressure, signifying the potential of CNTs for pressure sensing applications. The results presented in this contribution indicate that by introducing SW defects in CNTs, we have a new avenue for a range of sensor applications.

- [1] N. Sinha, D.R. Mahapatra, J.T.W. Yeow, R.V.N. Melnik, D.A. Jaffray, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, **4(3)**, 535-549 (2007).
- [2] N. Sinha, D.R. Mahapatra, Y. Sun, J.T.W. Yeow, R.V.N. Melnik, D.A. Jaffray, *Nanotechnology*, **19 (2)**, Art. No. 025701 (2008).
- [3] D.R. Mahapatra, N. Sinha, J.T.W. Yeow, R.V.N. Melnik, *Applied Surface Science*, **255(5)**, 1959-1966 (2008).
- [4] D.R. Mahapatra, S.V. Anand, N. Sinha, R.V.N. Melnik, *Molecular Simulation*, **35 (6)**, 512-519 (2009).
- [5] D. Walgraef, *Eur. Phys. J. Spl. Top.*, **146**, 443-457 (2007).

**Секція III**

**СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН**



**Section III**

**PHYSICAL SENSORS**

# ВПЛИВ АДСОРБЦІЇ АМІНОКИСЛОТ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ФОТОЛЮМІНІСЦЕНТНІ СПЕКТРИ БАГАТОШАРОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР З НАНОСТРУКТУРОВАНИМ КРЕМНІЄМ.

**Горбанюк Т.І.**<sup>1</sup>, Литовченко В.Г.<sup>1</sup>, Солнцев В.С.<sup>1</sup>, Хацевич І.М.<sup>1</sup>, Данилюк Д.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) *Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 03028 Київ, проспект Науки, 41, Україна, e-mail: [tatyanagor@mail.ru](mailto:tatyanagor@mail.ru)*

<sup>2</sup>) *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, радіофізичний факультет, кафедра напівпровідникової електроніки, вул. Володимирська, 64, Київ, Україна*

Досліджено вплив адсорбованих молекул амінокислот (метіоніну та гліцину) на спектри фотолюмінісценції та електрофізичні характеристики (вольт-амперні та вольт-фарадні) багатошарових напівпровідникових структур з пористим кремнієм. Шари пористого кремнію формували методом анодного розчинення монокристалічного кремнію р-типу в суміші плавикової кислоти та етилового спирту. З метою підвищення чутливості та селективності даних структур до адсорбції метіоніну та гліцину була проведена сенсibiлізація пористого шару різними металами. Електрохімічним методом пори були заповнені міддю. Другим методом заповнення пор металами було магнетронне осадження на поверхню пористого кремнію тонких плівок паладію або міді (Cu~ 10-15 нм, Pd~15-20 нм) з наступним відпалом при температурах 550°C або 650°C, що приводило до дифузії атомів металів в об'єм пористого шару. Розподіл міді та паладію по товщині пористого кремнію було досліджено методом мас-спектроскопії вторинних іонів. Мікроструктуру модифікованої поверхні пористого кремнію досліджували методом скануючої електронної мікроскопії.

Проведені дослідження показали, що найбільш чутливими до адсорбції молекул метіоніну з розчинів є сенсорні структури з пористим кремнієм, заповненим міддю, в той час заповнення пор паладієм приводить до зростання чутливості до гліцину. Бар'єр Шоттки на структурах з міддю, які були відпалені при температурі 550°C, зростає. Структури відпалені при температурі 650°C демонструють зниження бар'єру Шоттки. Можливе пояснення цього факту може полягати в тому, що температура плавлення евтектичного сплаву Cu-Si ~550°C, і на тих структурах, які відпалювалися при температурі 550°C, більш ймовірно утворилася евтектична фаза Cu-Si, яка і дає підвищення бар'єру після адсорбції метіоніну.

Можливий механізм чутливості до метіоніну структур з пористим кремнієм, заповненим міддю, може полягати в наступному. До складу метіоніну входить сірка, яка має високу хімічну спорідненість з міддю і легко вступає у взаємодію. Це приводить до зміни бар'єру Шоттки, оскільки на поверхні пористого кремнію утворюється нова фаза подібна до CuS. Модель механізму чутливості структур з паладієм до гліцину запропонована наступна. До складу гліцину входить радикал Н, який на поверхні пористого кремнію, заповненого паладієм, дисоціює. Адсорбовані протони на межі розділу Pd/Si змінюють висоту бар'єру Шоттки або приводять до зсуву CV-характеристик вздовж осі напруг на рівні плоских зон ( $\Delta V_{FB}$ ).

Отже структури перспективні для створення твердотільних напівпровідникових сенсорів, високочутливих та селективних до адсорбції органічних молекул, в тому числі і до газоподібних сполук життєдіяльності організму людини, що корисно для ранньої діагностики деяких захворювань.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННОГО МАЯТНИКОВОГО КОМПЕНСАЦИОННОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ДАТЧИКОМ УГЛА

Н. Г. Черняк, Э. Хазинедарлу

Национальный технический университет Украины "КПИ" Украина, г. Киев

e-mail: [chernyak\\_dk@ukr.net](mailto:chernyak_dk@ukr.net), [elmira82@ukr.net](mailto:elmira82@ukr.net)

**Актуальность темы.** Навигационные маятниковые компенсационные акселерометры (НА) с трансформаторными датчиком угла (ТДУ) широко принимаются в качестве базовых датчиков первичной измерительной информации в современных инерциальных системах навигации (ИНС) и ориентации (ИСО), подвижных объектов. Известно, что метрологические характеристики (МХ) применяемых НА в значительной степени определяют точность решаемых этими системами задач. Наилучшими МХ обладают НА с ТДУ типа ДА-9, ДА-11 (Раменское ПКБ, Россия) и А-4 (Litton, США). Цель доклада - экспериментальное исследование статических МХ НА с ТДУ, а также выбор и обоснование математических моделей его функции преобразования (ФП) и математической модели погрешностей (ММП) в зависимости от требуемой точности измерения кажущегося линейного ускорения.

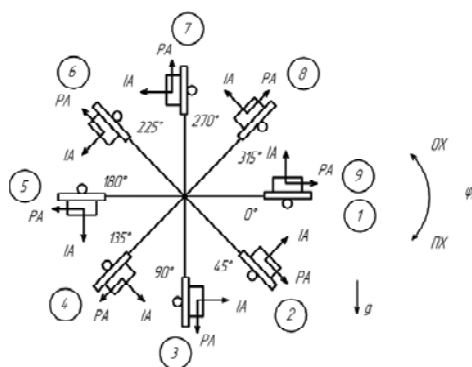
**Краткое содержание доклада.** Разработанная математическая модель (ММ) статических МХ НА с ТДУ включает в себя [1]:

- ФП НА в единицах выходного его сигнала

$$Y_{II} = K_{0\Sigma} + K_1(1 + 0,5k_{1A} \text{sign} a_i) a_i + K_2 a_i^2 + M_o a_p + M_p a_o + M_{ip} a_i a_p; \quad (1)$$

- ММП НА в единицах измеряемого кажущегося линейного ускорения

$$\Delta a_i = \frac{Y_D - Y_{II}}{K_1} = k_{0\Sigma} + (k_1 + 0,5k_{1A} \text{sign} a_i) a_i + k_2 a_i^2 + m_o a_p + m_p a_o + m_{ip} a_i a_p. \quad (2)$$



Экспериментальное исследование МХ НА с ТДУ производится на специальном стенде для статических и температурных испытаний методом тестовых поворотов НА в гравитационном поле Земли. Схема тестовых поворотов показана на рисунке. Для этого получены аналитические выражения, позволяющие по измеренным выходным сигналам НА в восьми тестовых положениях определить все параметры его ФП (1) и ММП (2).

В результате экспериментального исследования МХ НА с ТДУ получены числовые оценки коэффициентов ФП (1) и ММП (2). В процессе работы авторами была подтверждена адекватность разработанных ММ ФП и ММП НА с ТДУ реальному поведению акселерометра при измерении постоянного кажущегося линейного ускорения.

## Выводы

Анализ результатов представленных в докладе показывает, что исследуемый НА с ТДУ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к навигационным акселерометрам. Он может быть рекомендован к применению на подвижных объектах в качестве базового датчика первичной измерительной информации в автономных высокоточных бесплатформенных ИСО и комплексированных ИНС средней точности.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Черняк Н. Г., Хазинедарлу Э. Калибровка навигационного маятникового акселерометра методом тестовых поворотов в гравитационном поле Земли// Механика гироскопических систем. – 2009. – Вып. 20. – С. 100 - 110.

# CAPACITY-TO-FREQUENCY TRANSDUCERS FOR THE RANGE OF LOW TEMPERATURES

**Waldemar Nawrocki and Michał Maćkowski**

*Faculty of Electronics and Telecommunications, Poznan University of Technology  
ul. Piotrowo 3A, PL-60695 Poznan, Poland  
e-mail: nawrocki@et.put.poznan.pl.*

Capacitive sensors have a wide use in the technology and the science. In cryogenics they serve among other things to measurement of the pressure of gases, to investigating of parameters of dielectric matters, as sensors of short mechanical displacements or sensors of mechanical power. The ability to work in the low temperature range is essential for many kinds of cooling equipment, cryogenic appliances and for research instruments. The connecting of the capacitive sensor into an oscillator makes possible to built the capacity-to-frequency transducers. The novelty and the great advantage of the proposed transducer is obtaining of the frequency signal just at the object to be measured, at low temperature. The object of the paper is the investigation of capacity-to-frequency transducers in the range of the temperature from 300 K to 4 K – see Fig. 1.

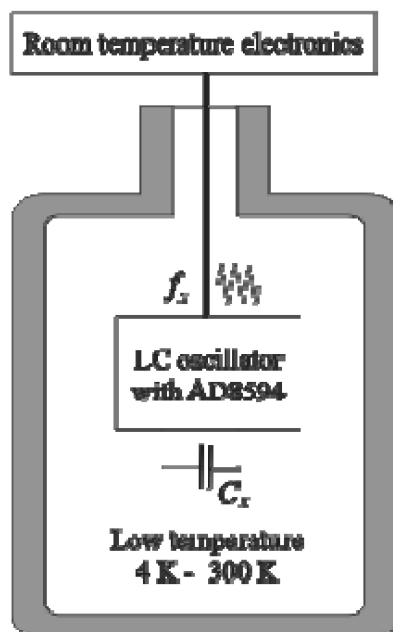


Figure 1. Application of a capacity-to-frequency transducer at low temperatures

We measured a resonant frequency of the oscillator with the capacitive sensor (of 100 pF) connected in the resonant circuit. Ability of an operational amplifier to operate at low temperature is crucial for a transducer. We used the op-amps of the type AD8594 for a LC oscillator. The sensitivity of the transducer was of  $s = (\Delta f/f)/(\Delta C/C) = 0.5$ . For the sensor of 100 pF and the resonant frequency of 1 MHz it means a resolution of 5 kHz/1 pF.



# ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА

**В.И. Прокошин, А.П. Драпезо, В.А. Ярмолович**

ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», 220072, Республика Беларусь г. Минск,  
ул. П. Бровки, 17, E-mail: drapeza@ifitp.bas-net.by

В настоящее время большое количество первичных измерительных преобразователей создается с использованием эффекта Холла. Физический принцип построения таких преобразователей – преобразование индукции магнитного поля в унифицированный электрический выходной сигнал и его дальнейшая обработка.

Были разработаны и прошли экспериментальную проверку на автомобилях БелАЗ грузоподъемностью 40 тонн первичные преобразователи деформации на эффекте Холла – фактически это аналог тензорезистивного моста.

Основными механическими частями первичного преобразователя деформации в соответствии с рис.1 являются: два высокопрочных платика 1 и 4, приваренные к надрамнику автомобиля или к несущей раме; высокоградиентная магнитная система 2, создающая необходимое квазилинейное распределение индукции магнитного поля, которая размещена на жестком кронштейне 3; миниатюрный элемент Холла (ЭХ) 5 на специальном держателе совмещенный с электронной платой 6 и расположенный в зазоре магнитной системы с возможностью перемещения по оси X в вертикальной плоскости. Чувствительным механическим элементом, воспринимающим нагрузку является надрамник, который функционирует на изгиб и обеспечивает линейное перемещение магнитной системы относительно ЭХ на величину (45...50) мкм при величине загрузки в  $P = 30$  тонн. Перемещение магнитной системы относительно преобразователя Холла вызывает линейное изменение наведенной ЭДС Холла, т.к. в рабочей области перемещений индукция магнитного поля имеет постоянный градиент. Преобразование ЭДС Холла в дальнейшем осуществляется простой электронной схемой. Максимальное количество циклов срабатывания превышает  $10^{10}$ , чего нельзя обеспечить на тензорезисторах.

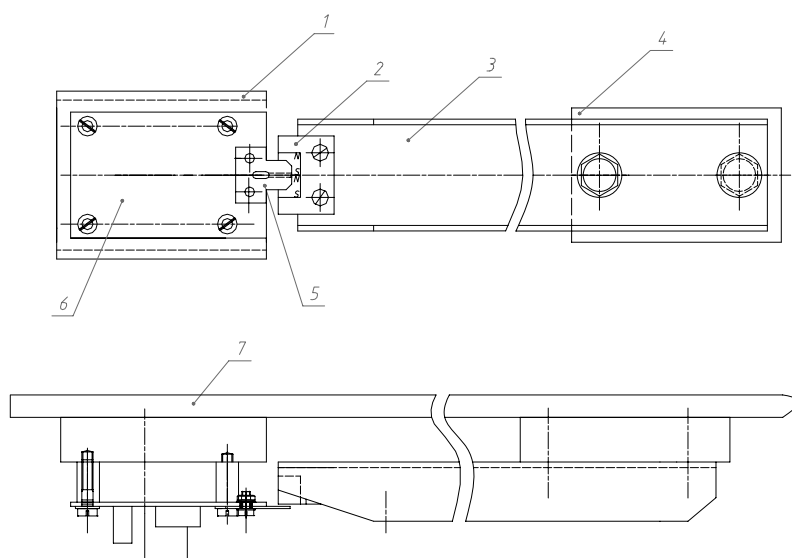


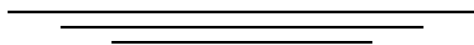
Рис.1

Конструкция первичного преобразователя деформации



**Секція IV**

**ХІМІЧНІ СЕНСОРИ**



**Section IV**

**CHEMICAL SENSORS**

## ГНУЧКІ ЕЛЕМЕНТИ ОПТИЧНИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ

Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І., Ціж Б.Р., Євчук О.М., Чохань М.І.

*Львівський національний університет імені Івана Франка, [aksimen@ukr.net](mailto:aksimen@ukr.net)  
Львівський національний університет ветеринарної медицини та  
біотехнологій імені С.З.Гжицького, [tsizhb@ukr.net](mailto:tsizhb@ukr.net)*

Для забезпечення потреби кожної людини у надійних і недорогих засобах контролю оточуючого середовища (води, повітря) у «польових» умовах необхідно створити сенсори, які б не вимагали зовнішніх джерел енергії, складного обладнання для обробки інформації і були виготовлені за допомогою простих, безвакуумних технологій. Важливо, щоб інформаційний сигнал такого сенсора міг би сприйматись людиною візуально (наприклад, за зміною кольору). Нами запропоновано метод отримання гнучких елементів оптичних сенсорів для контролю вмісту аміаку та рівня рН у газових та водних середовищах на основі вільних плівок спряжених поліаміноаренів (поліаніліну, політолуїдину), включених у матрицю полівінілового спирту (ПВС). Наявність спряжених полімерних структур забезпечує збереження найбільш важливих властивостей цих полімерів – електронної провідності, газо- і термохромності [1], забезпечуючи при цьому існування стану високоеластичності у широкому інтервалі температур. Дослідження структури отриманих плівок методом скануючої електронної мікроскопії свідчить про упорядкування (самоорганізацію) макромолекул в композиті з утворенням майже правильних шестикутних ансамблів.

Встановлено, що плівкові композити поліаміноаренів у високоеластичних матрицях ПВС під дією полярних газів (аміак, сірководень та ін.) виявляють газохромний ефект, загальні закономірності якого аналогічні спостереженим для плівок поліаміноаренів [2]. Спектри вільних плівок ПВС-поліаміноарен характеризуються наявністю двох основних смуг при 360-390 нм ( $\pi$ - $\pi^*$  перехід) та 750-830 нм (поглинання у поляронній зоні), властивих спряженим полімерним системам. Під дією лужного газу (аміак) спостерігається суттєва зміна спектру поглинання вільних плівок, а саме – загальне зростання інтенсивності поглинання та поява смуги в інтервалі 580-620 нм, властивій іміно-хіноїдній структурі полімерів [1], що супроводжується візуальними змінами кольору вільних плівок. При цьому швидкодія сенсора залишається досить високою (0,5 - 2 хв.) з часом відновлення у межах 15-30 хвилин. На цій основі запропоновано метод отримання гнучких кольорових індикаторів експрес-контролю вмісту аміаку у повітрі, рівня рН у природних та стічних водах. Отримання чутливої речовини на гнучких полімерних носіях дає змогу спростити технологію виготовлення і значно зменшити собівартість сенсорів, зробити їх доступним для кожного споживача.

Науково-дослідна робота виконувалась за рахунок бюджетних коштів МОН України, наданих як грант Президента України № GP-f27/0125 (договір Ф27/61-2010)

[1]. Konopelnik O.I., Aksimentyeva O.I., Tszih B.R., Chokhan M.I., Physics and Chemistry of the Solid State, **8**, № 4,786 (2007).

[2]. Tszih B.R., Chokhan M.I., Aksimentyeva O.I., Konopelnik O.I., Poliovyi D.O., Mol. Cryst. Liq. Cryst., **497**, 254 (2008).

# УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ И СТАБИЛЬНОСТЬЮ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В ОБЪЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК SnO<sub>2</sub> ПРИМЕСЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**О.В. Анисимов, Н.К. Максимова, Е.Ю. Севастьянов, Н.В. Сергейченко,  
Е.В. Черников**

*Томский государственный университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36  
E-mail: [anisimov@senseria.ru](mailto:anisimov@senseria.ru)*

Наиболее результативным способом модификации электрофизических и газочувствительных свойств металлооксидных полупроводников является использование добавок, которые наносят на поверхность в виде дисперсных кластеров, либо вводят в объем оксидов. Однако вопросы о механизмах их действия и о том, где и в каком виде располагаются каталитические добавки, остаются открытыми. Практически не изучены в этом плане тонкие нанокристаллические пленки оксидных полупроводников.

В настоящей работе исследованы электрические и газочувствительные свойства тонких (около 100 нм) пленок SnO<sub>2</sub> с введенными в объем примесями Pt и Pd и нанесенными на поверхность дисперсными слоями этих металлов. Технология изготовления и методика измерения параметров сенсоров подробно описана в работе [1]. Пленки получали реактивным магнетронным распылением на постоянном токе (DSC) в кислородно-аргонной плазме мозаичной мишени из сплава Sn+1.52 ат. % Sb с нанесенными на поверхность кусочками платины или палладия (обозначим эти образцы SnO<sub>2</sub>:Sb,Pt(Pd)). Затем на поверхность некоторых пленок тем же методом DSC напыляли дисперсные слои Pd и Pt (образцы Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb,Pt(Pd)), после чего проводили стабилизирующий термический отжиг сенсоров в лабораторном воздухе при 450 °С в течение 24 час. Для сравнения изучали характеристики образцов, изготовленных по аналогичной технологии, но без добавления примесей платины и палладия в объем пленок (Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb). Исследования были выполнены при воздействии метана и монооксида углерода.

Показано, что введение примесей Pt и Pd в объем пленок SnO<sub>2</sub> на 3÷4 порядка увеличивает сопротивление пленок в чистом воздухе R<sub>0</sub>, при этом значения адсорбционного отклика таких сенсоров на воздействие CO и CH<sub>4</sub> достаточно низкие. Для образцов с примесью платины в объеме после нанесения катализаторов на поверхность (Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb,Pt) наблюдается высокая чувствительность к воздействию метана и незначительный отклик на CO, т.е. формируются сенсоры метана, селективные по отношению к угарному газу. Сенсоры отличаются высокой стабильностью параметров в процессе долговременных испытаний (6 месяцев) при периодических измерениях в диапазоне концентраций 0.5÷2.5 об. % CH<sub>4</sub>. Для изготовления сенсоров CO, селективных по отношению к метану, целесообразно использовать пленки Pt/Pd/SnO<sub>2</sub>:Sb без платины и палладия в объеме.

На основе анализа экспериментально установленных закономерностей рассмотрены возможные механизмы действия примесей Pt и Pd в диоксиде олова.

[1] О.В. Анисимов, В.И. Гаман, Н.К. Максимова и др., ФТП, **40**, 724 (2006).

# МЕТОД ОЦІНКИ УНІКАЛЬНОСТІ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ МАСИВІВ ХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ

Ю.В. Бурлаченко, Б.А. Снопко

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Однією з основних вимог до масивів хімічних сенсорів є їх здатність формувати унікальний відгук, притаманний тому чи іншому об'єкту дослідження. Оптимізація масивів пов'язана, перш за все, з вибором таких сенсорних елементів, які забезпечують найвищий рівень дискримінації досліджуваних об'єктів в рамках конкретної задачі. Для оцінки рівня дискримінації застосовуються різні статистичні методи, зокрема, метод кластерного аналізу. Такий аналіз в цілому є досить часо- та ресурсозатратною процедурою. Суттєвого прискорення процедури оптимізації можливо досягти, оцінюючи унікальність початкових експериментальних даних без застосування процедур класифікації. Оскільки такі дані є багатовимірними, то пряме порівняння відгуків масивів на різні аналіти є складною задачею. В даній роботі пропонується підхід, що полягає в об'єднанні відгуків усіх сенсорів, що входять до масиву, однією функціональною залежністю – хімічним образом (ХО). Для масиву з трьох сенсорів ми пропонуємо використовувати ХО наступного вигляду:

$$F_{CI}(f_1, f_2, f_3, t) = \frac{[f_3(t) - f_2(t)] - [f_2(t) - f_1(t)]}{f_3(t) - f_1(t)} \quad (1)$$

Мірою унікальності відгуків може слугувати дисперсія ХО-функцій аналітів. Чим вищий рівень дисперсії – тим більше розрізняються ХО і, відповідно, більш унікальними є початкові дані масиву. Для перевірки цього припущення було створено модель відгуків масиву з трьох сенсорів. В основу була покладена теорія Ленгмюра. Зміна відгуку модельного сенсору  $f$  від часу має такий вигляд:

$$f = f_0 - A(1 - e^{-(t-t_0)/\tau}) \quad (2)$$

На рис. 1, а) показані відгуки трьох модельних сенсорів на один з аналітів, а також ХО  $F_{CI}$ , побудованих для цих відгуків за виразом (1).

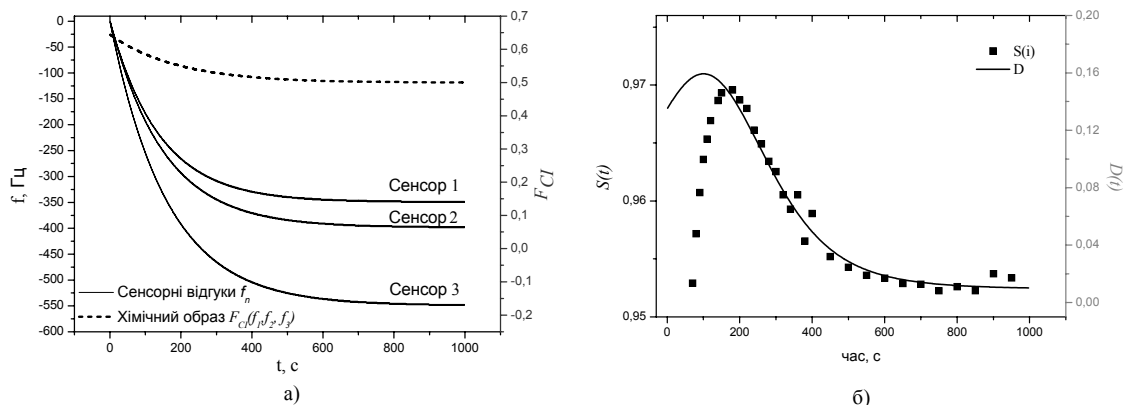


Рис.1 – модель відгуків трьох сенсорів та ХО, побудований для них (а); залежності якості дискримінації  $S(t)$  та дисперсії ХО  $D(t)$ , (б).

На рис.1, б) показані дисперсія ХО для трьох аналітів, а також параметр  $S$ , що у методі кластерного аналізу характеризує якість дискримінації. Між цими залежностями спостерігається чітка кореляція, що свідчить про адекватність використання дисперсії функціональних ХО як міри унікальності експериментальних даних.

Ефективність методу була підтверджена на реальних даних масиву з трьох масчутливих сенсорів з покриттями у вигляді тонких плівок фталоціанінів.

## МЕТАЛІЧНІ СПЛАВИ ТА КОМПОЗИТИ ЯК КАТАЛІТИЧНО-АКТИВНІ ЕЛЕКТРОДИ МДН ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

А.А. Євтух, Т.І. Горбанюк, В.Г. Литовченко, В.С. Солнцев,

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, проспект Науки, 41, Київ 03028, Україна, E-mail: evtukh@rambler.ru*

Газові датчики на основі Pd як каталітично-активного електроду мають гарну чутливість до водню та воднемістких газів. Разом з тим існує потреба покращити інші параметри сенсорів і, в першу чергу, селективність, швидкодію та стабільність. Для практичного застосування важливим було б також замінити дорогі Pd та Pt електроди на більш дешеві Cu, Al та ін.

Наводяться результати експериментальних досліджень впливу металевого електроду Pd, металевого сплаву Pd/Cu, композиту Pd(WO<sub>3</sub>), та мезопористого композиту Cu(Si) на основні характеристики МДН газових сенсорів.

Встановлено, що

- тонкі плівки Pd мають пористу структуру, що суттєво впливає на процеси переносу та адсорбції газів в МДН структурах і, відповідно, на параметри газових сенсорів. МДН структури з тонкими ( $d=30-50$  нм) електродами є ефективними сенсорами воднемістких молекул навіть при кімнатній температурі. З часом спостерігається зменшення сигналу та швидкості відгуку сенсора, що пов'язано з, так званим, ефектом старіння обумовленим формуванням оксиду паладію на поверхні електродів;

- використання сплаву Pd/Cu в якості затворного електроду дає змогу значно підсилити каталітичну активність до дисоціативної адсорбції. Разом з тим час відгуку МДН структур з тонкими Pd/Cu електродами ( $d\approx 50$  нм) є більшим в порівнянні з і структурами з товстими Pd плівками ( $d\approx 100$  нм). Це обумовлено ростом оксиду паладію на поверхні Pd і/або підсиленою адсорбцією молекул кисню і парів води на границях зерен Pd-Cu. Спостерігається більша стійкість сплаву Pd/Cu до старіння в кисневій атмосфері. Перебудова поверхні за рахунок формування поверхневого сплаву Cu<sub>x</sub>Pd застосована для підсилення каталітичної активності;

- МДН структури з композитними Pd(WO<sub>3</sub>) електродами є більш чутливими до адсорбції сірководню в порівнянні зі структурами з Pd електродами. Зростання часу відгуку структур з Pd(WO<sub>3</sub>) електродами пов'язано з відмінним механізмом газової чутливості. Підсилена чутливість та селективність до дії H<sub>2</sub>S пояснюється особливостями хімічних реакцій на каталітично-активній поверхні затворних електродів;

- формування МДН структур з мезопористим композитом Cu(Si) в результаті модифікації міддю шару пористого кремнію методом електрохімічного осадження дає можливість отримати селективність до сірководню, стабілізувати електрофізичні характеристики структур та виготовляти сенсори без застосування каталітично активних паладієвих електродів.

- використання шару пористого кремнію в МДН і МН структурах з каталітично-активними електродами значно покращує параметри газових сенсорів як за рахунок збільшення площі активної поверхні, так і за рахунок впливу на процеси адсорбції, коадсорбції, дифузії та десорбції.

# NEW METHOD AND NANOMATERIAL'S SENSOR INSTRUMENT FOR TUBERCULOSIS DIAGNOSTICS

**Galaichenko Olena M., Bilash Olena M.**

*Ukraine, 61166, Kharkiv, 14, Lenin Ave., Kharkiv National University of Radio Electronics, Biomedical Engineering Dept., Laboratory of Analytical Optochemotronics, e-mail: [aleng@kture.kharkov.ua](mailto:aleng@kture.kharkov.ua), [rzh@kture.kharkov.ua](mailto:rzh@kture.kharkov.ua)*

According to published World Health Organization (WHO) report "Global tuberculosis control: surveillance, planning, financing", the 2001 year tuberculosis epidemic in WHO European Region currently is being decreasing now. At the same time from 2008 number of TB infected persons is increased so about one-third of our planet population is been infected by *Mycobacterium tuberculosis* (MBT). Every year about 8,4 million of new tuberculosis cases are recorded and approximately 2 million people are dyed from this dangerous infection. If the people are infection carrier or holder of latent form of *Mycobacterium tuberculosis*, causative agents are propagated and metabolizing in given patient body, but disease subjective and clinical manifestation are absent for a long period of time.

In diagnostic practice of infection diseases different investigation methods are widely used. Choice of one or another method depends on causative agent, its properties, location and pain reaction to it. To principal methods one can refer such as: microbiological, bacteriological, biological, serological, immune-enzyme assay and polymerase chain reaction. Each of mentioned methods is rather specific and informative, but all of them possess a lot of shortcomings, in a greater or lesser extent depended on causative agents, its virulence, location, forms (e.g. L-form of *Mycobacterium tuberculosis*), exo- or endotoxins excreting etc.

Nowadays quantity methods of tuberculosis diagnostic are existed, but all of them have both positive and negative characteristics. Among the letter one there are assay duration, low selectivity, allergic reaction etc. So research and development of new early tuberculosis detection method are very topical and urgent.

Biomedical investigation of patients groups pointed out that TB patients have deflection in serum chemical composition from healthy people. Using HPLC examined blood samples from TB patients in comparison with healthy group ones. Molecules of middle mass (tuberculosis markers) were registered in serum by direct chromatography method.

Therefore, in this work new noninvasive method of tuberculosis diagnostic is considered based on spherical semiconductor quantum dots (QD) as detector elements of nanophotonic sensor instrument and electrochemiluminescence (ECL) intensity as analytical signal. This method principally differs from known methods of tuberculosis diagnostics.

As detector elements of proposed ECL nanophotonic sensor were choosed *CdTe/TGA* quantum dots. Since organic tuberculosis markers and QDs have quite definite oxidation and reduction potentials, during solution electrolysis proposed method and sensor instrument are very selective and sensitive. Semiconductor QD's using enhance ECL analytical signal on several orders of magnitude. So substances in question limit of detection is the order of 1 nmol/l and less.

Proposed new assay procedure and sensor instrument which based on nanomaterials (quantum dots) and electrochemiluminescent method can considerably simplify tuberculosis diagnostics on early stages of this dangerous infection disease.

This work is supported by Science Technology Center in Ukraine by Projects ##4495, 5067 (Project manager – Prof. Mykola M. Rozhitskii).



# РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЧУТЛИВИХ ДАТЧИКІВ НА ВОДНЕВОМІСТКІ ГАЗИ НА ОСНОВІ НАНОСТРУКТУРОВАНОГО КРЕМНІЮ

**Т.І. Горбанюк<sup>1</sup>, А.А. Євтух<sup>1</sup>, В.Г. Литовченко<sup>1</sup>, В.С. Солнцев<sup>1</sup>, В.Г. Мельник<sup>2</sup>**

<sup>1)</sup> *Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 03028 Київ, проспект Науки, 41, Україна, e-mail: [tatyanagor@mail.ru](mailto:tatyanagor@mail.ru)*

<sup>2)</sup> *Інститут електродинаміки НАН України, 03680 Київ, проспект Перемоги, 56, Україна, e-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)*

На даний час розробці мікроелектронних первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків або сенсорів), які аналізують хімічний склад газів приділяється велика увага. Газові сенсори широко застосовуються в промисловості при багатьох технологічних процесах, машинобудуванні та автомобільній техніці, авіації та космонавтиці, медицині та біології та ін. Вони використовуються для визначення концентрації газів та для контролю навколишнього середовища (газової атмосфери), як в складі електронних систем для попередження аварій або регулювання процесами на багатьох виробничо-технологічних підприємствах, так і в автономних вимірювальних приладах при промислових роботах, оздоровчо-діагностичних комплексах та приладах побутового призначення. Сенсор на основі МДН-структури може визначати концентрацію газу в двох режимах роботи: режим польового транзистора (вимірювання зміни потенціалу затвору, залежно від концентрації газу при сталому струмі витік-стік), режим МДН-ємності (вимірюється зміна потенціалу затвору, залежно від концентрації газу при сталій ємності структури). Даний тип датчика комплементарний до стандартного кремнієвого виробництва, споживає малу потужність (0,7 Вт×год), має малий час відгуку (секунди) та високу чутливість (~1 ppm) навіть при кімнатній температурі. Наведені властивості МДН-структур роблять їх цікавими для дослідження на предмет створення промислових зразків газочутливих приладів. Але для сенсорів на основі МДН-структур, також як і для більшості датчиків іншого типу, існує ряд проблем, які потрібно вирішувати. В першу чергу, це селективність та стабільність даних датчиків. Отже, основною метою даної роботи було дослідження адсорбції водневомістких газів ( $H_2S$ ,  $H_2$ ) в багатошарових напівпровідникових структурах з пористими плівками кремнію та каталітично активними електродами різної конструкції (сітчасті та круглої форми електроди) та різного складу (паладієві та композитні Cu/Pd,  $WO_3/Pd$ ). Для формування тонких плівок композитів на основі паладію, міді та триоксиду вольфраму було використано метод магнетронного розпилення тонких та надтонких плівок на поверхню пористого кремнію з наступними відпалами при температурах 400-650 °C протягом 30-60 хвилин в суміші Ar- $O_2$  (80% - 20%). Тонкі плівки з Al було сформовані методом термічного випаровування у вакуумі. Встановлено, що використання композитних каталітично активних електродів з  $WO_3/Pd$  підвищує селективність та чутливість даних сенсорів до сірководню в діапазоні концентрацій 1-100 ppm (1 ppm – 1 частинка на  $10^6$  частинок), а сенсори з Cu/Pd мають вищу чутливість до водню в газових сумішах з киснем при концентрації водню 1-1000 ppm.

Для перетворення вихідного інформативного параметру датчика в цифровий код і передачі отриманих даних в персональний комп'ютер розроблено вимірювальний канал на основі уніфікованого базового модуля. До складі каналу входять високоточний вимірювач вихідної ємності датчика та формувач змінюваної напруги потенціалу затвору, що керується мікроконтролером модуля. При роботі вимірювальної системи реєструється напруга на затворі, при якій має місце зміна ємності датчика. Величина цієї напруги відповідає концентрації газу, що аналізується.

# ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КСАНТЕНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

**Кукоба Е.А., Рожицкий Н.Н.**

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, лаб. Аналитической оптикоэлектроники,  
каф. БМЭ, тел. (057) 702-03-69, E-mail: [rzh@kture.kharkov.ua](mailto:rzh@kture.kharkov.ua)*

Одними из первых в практике химического и биохимического люминесцентного анализа начали применяться растворимые в воде ксантеновые красители. Аминоксантеновые красители, в частности родамины, в настоящее время занимают первое место по количеству определяемых химических соединений. Их также широко используют в качестве люминесцентных маркеров в биологии и медицине. Гидроксантеновые красители (флуоресцеин и его производные) занимают второе место по числу определяемых аналитов. Получение электрогенерированной хемилюминесценции (ЭХЛ) этих соединений в водных растворах позволило бы модернизировать существующие флуоресцентные аналитические процедуры и создать на их основе ЭХЛ-сенсоры с более высокой селективностью и чувствительностью.

Первые попытки получения ЭХЛ ксантеновых красителей в апротонных растворителях были предприняты Бардом с сотрудниками в 1978 году. Эти исследования показали крайне низкую интенсивность классической рекомбинационной ЭХЛ из-за низких значения потенциалов восстановления и нестабильности соответствующих электрогенерированных ион-радикальных форм. Использование водных растворов исключает возможность получения классической рекомбинационной ЭХЛ из-за невозможности достижения необходимых для восстановления большинства органических люминофоров катодных потенциалов. В водной среде для получения ЭХЛ используют сореагенты. Наши попытки получения анодной ЭХЛ родамина 6G и родамина В в водной и водно-спиртовой среде с использованием одного из самых известных сореагентов – трипропиламина – дали полностью отрицательный результат. И только использование нового сореагента – тетрафенилбората натрия позволило впервые получить достаточно интенсивную ЭХЛ указанных родаминов в перхлоратной форме в водном растворе. Полученные значения интенсивностей ЭХЛ были того же порядка, что и для наиболее известной водной системы на основе бипиридилного комплекса рутения.

Полученные результаты позволяют надеяться на получение ЭХЛ и других известных ксантеновых красителей в водных растворах. Кроме того, во время проведения исследований выяснилось, что сореагент можно вводить в анализируемый раствор одновременно с родаминами в эквимольном соотношении в виде одной молекулярной формы – тетрафенилбората соответствующего родамина. При диссоциации этого соединения образуется анион тетрафенилбората (сореагент) и катион родамина (люминофор), не загрязняя анализируемый раствор противоионами указанных соединений. Имея в виду полученные результаты, предложены 3D и 2D конструкции ЭХЛ-сенсоров для определения ряда практически важных биологических соединений.

Работа выполнена по программе международного проекта № 4495 Украинского научно-технологического центра, руководитель – проф. Рожицкий Н.Н.

# PHOTONIC SENSOR BASED ON DIAMOND-LIKE CARBON NANOLAYER ELECTRODE FOR ELECTROCHEMILUMINESCENT BILIRUBIN DETERMINATION

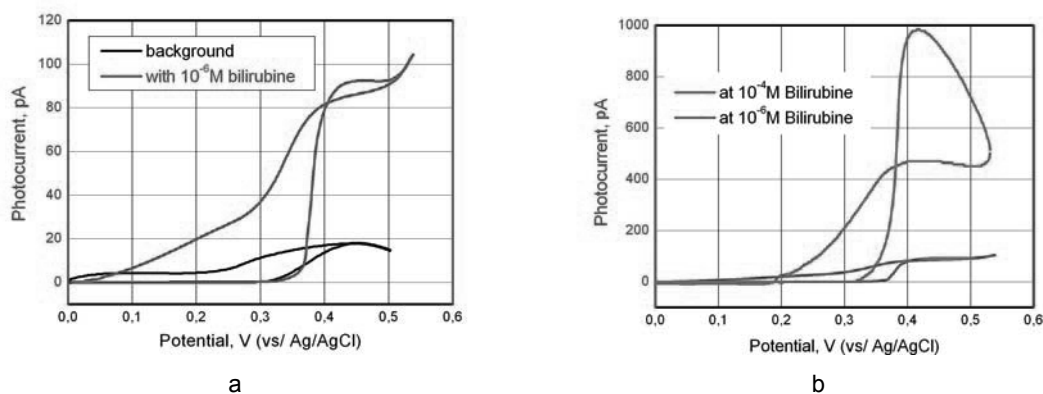
**Muzyka K.M., Bilash O.M., Zholudov Y.T., Rozhitskii M.M.**

*Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Laboratory of Analytical Optochemotronics  
14, Lenin Ave., Kharkiv, 61160, Ukraine, 61160 Kharkiv, Ukraine  
[mkm@kture.kharkov.ua](mailto:mkm@kture.kharkov.ua)*

Neonatal hyperbilirubinemia (level of serum bilirubin >5 mg/dl) is a normal postnatal phenomenon resulting from a transitional imbalance between the production and excretion of bilirubin. The challenge for the pediatrician is to detect and monitor the level of jaundice to prevent the total serum bilirubin (TSB) concentration from reaching dangerous levels. Current bilirubin determination is based either on direct spectroscopic or colourimetric measurements following diazotization of the analyte. Compared with the above mentioned methods, the electrochemical one is more simple and convenient. Bilirubin itself exhibits electrochemical activity, but there arose several problems during development of electrochemical biosensor for bilirubin. To meet the need for bedside monitoring of free bilirubin for neonates under critical conditions, an electrochemiluminescent (ECL) sensor for free bilirubin determination was developed and tested.

**Methods.** The electrochemical and ECL investigations of model solution (0.1M LiClO<sub>4</sub>, 2.7\*10<sup>-5</sup>M tris(2,2'-bipyridyl)ruthenium(III) (TBR) in phosphate buffer (pH8,5)) were accomplished at the electrode with diamond-like carbon (DLC) nanocoating using cyclic voltammetry method in the potential range 0 – 0.55 V (vs Ag/AgCl) with the addition of various bilirubin concentrations.

**Results and Discussion.** Corresponding ECL responses are shown on Figure 1. It was found that bilirubin acts as a coreactant for ECL excitation that upon electrochemical oxidation immediately undergoes chemical decomposition to form a strong oxidizing intermediate. The latter reacts with luminophore (TBR) species to generate excited states with subsequent ECL quanta emission presenting analytical signal.



**Fig.1** – ECL intensity in presence and absent of bilirubine (a) and at different concentrations of bilirubine (b)

Fig 1 (a) shows considerable increase of ECL intensity of model solution after bilirubine additions. Moreover, photocurrent continues to rise at greater analyte concentration (Fig.1, b). Thus, our study for the first time demonstrated feasibility of using ECL sensor with nanodimensional DLC coatings electrodes for bilirubin determination with the detection limit sufficient for jaundice level monitoring.

This work was supported by Science and Technology Center in Ukraine (STCU) Projects ##4180, 4495 (project manager – Prof. Mykola M. Rozhitskii).

# ВПЛИВ СТРУКТУРИ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯК ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

Птащенко О. О.<sup>1</sup>, Птащенко Ф. О.<sup>2</sup>, Шугарова В. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса,

<sup>2</sup>Одеська національна морська академія, вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029

Досліджено вплив парів води, етанолу, ацетону та аміаку на вольт-амперні характеристики (ВАХ) *p-n* переходів на основі напівпровідників  $A^3B^5$  і кремнію. Вивчався вплив ширини забороненої зони напівпровідників та структури *p-n* переходів на їх характеристики як газових сенсорів. В області струмів 1мкА–1 мА ВАХ прямого струму *p-n* переходів у сухому повітрі відповідали виразу

$$I(V) = I_0 \exp(qV / nkT), \quad (1)$$

де  $I_0$  – стала;  $q$  – заряд електрона;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – температура;  $n \approx 2$  – коефіцієнт неідеальності. Такі ВАХ пов'язані з рекомбінацією на глибоких рівнях. При менших зміщеннях ВАХ мали область надлишкових струмів з коефіцієнтом неідеальності  $n > 2$ , що відповідає тунельній рекомбінації через глибокі центри за участю фононів. Така рекомбінація локалізована на неоднорідностях *p-n* переходів.

Спостерігалось значне зростання прямого і зворотного струмів у *p-n* переходах під дією парів аміаку і набагато менше зростання у парах інших досліджених речовин. Зміни ВАХ були оборотними. Це свідчить про фізичну (а не хімічну) природу адсорбції молекул  $NH_3$  на поверхні напівпровідників  $A^3B^5$  і Si.

ВАХ прямого струму *p-n* переходів на основі напівпровідників  $A^3B^5$  у парах аміаку звичайно мали три ділянки. В області низьких рівнів інжекції спостерігались лінійні ділянки ВАХ і прямого, і зворотного струмів. Лінійність ВАХ поверхневого струму пояснюється утворенням поверхневого провідного каналу з електронною провідністю в *p*-області під дією електричного поля адсорбованих позитивних іонів. При подальшому підвищенні напруги прямого зміщення спостерігалось надлінійне зростання струму, яке можна пояснити подвійною інжекцією носіїв заряду в поверхневий канал. При ще більших рівнях інжекції спостерігалась ділянка ВАХ, що відповідає виразу (1). При цьому змінювався механізм газової чутливості *p-n* переходів. Зростання прямого струму в *p-n* переходах при адсорбції молекул  $NH_3$  в області високих рівнів інжекції було пов'язано з підвищенням інтенсивності поверхневої рекомбінації. Відносну роль вказаних механізмів газової чутливості можна було змінювати зміною ширини забороненої зони і рівня легування напівпровідника в *p-n* переходах. Із температурної залежності газової чутливості при вказаних двох її механізмах оцінено глибину поверхневих рівнів у *p-n* структурах.

Наявність приконтактного виродженого  $p^+$ -шару в *p*-області *p-n* структури вело до різкої зміни механізму газової чутливості при високих концентраціях донорних парів. Під дією електричного поля адсорбованих позитивних іонів у приконтактній *p*-області формувался  $p^+-n$  перехід, який має ВАХ, подібні до характеристик оберненого *p-n* переходу. Зміною концентрації парів аміаку можна було змінювати напругу відсічки зворотного тунельного струму. При достатньо високих концентраціях парів аміаку на ВАХ прямого струму з'являвся максимум, характерний для ВАХ тунельних діодів.

Таким чином, зміною структури *p-n* переходів можна реалізувати різні механізми їх газової чутливості, отримувати різні характеристики газових сенсорів.

# **P-N ПЕРЕХОДИ НА ОСНОВІ InGaN З КВАНТОВОЮ ЯМОЮ ЯК ГАЗОВІ СЕНСОРИ**

**Птащенко О. О.<sup>1</sup>, Птащенко Ф. О.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса,

<sup>2</sup>Одеська національна морська академія, вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029

Досліджено вплив парів води, етанолу та аміаку на характеристики *p-n* переходів на основі InGaN з квантовою ямою. Атоми азоту входять до даних сполук, що сприяє хімічній стійкості *p-n* переходів у атмосфері NH<sub>3</sub>. Наявність у *p-n* переході квантової ями забезпечує різкість зміни ширини забороненої зони і рівня легування при переході від *n-* до *p-* області. Вимірювання проводилися на *p-n* структурах, оптимізованих для виготовлення світловипромінювальних діодів (СВД). Ширина забороненої зони потрійної сполуки в *p-n* структурах складала 2,46 еВ (для зелено-голубих СВД), 2,64 еВ (для синіх СВД) і 3,1 еВ (для фіолетових СВД). Вимірювались ВАХ *p-n* переходів у сухому повітрі та в атмосфері, що містила насичені пари води і етанолу над відповідними рідинами, а також у парах аміаку над його водними розчинами різних концентрацій. Аналізувалась кінетика прямого і зворотного струмів *p-n* переходів при зміні складу навколишньої атмосфери.

В області струмів 10 нА – 1 мА ВАХ прямого струму *p-n* переходів, виміряні в сухому повітрі, були експоненціальні та відповідали моделі, яка враховує рекомбінацію носіїв заряду на глибоких рівнях. Коефіцієнт неідеальності ВАХ становив  $n \approx 2$ .

Спостерігалось значне зростання прямого і зворотного струмів у *p-n* переходах під дією парів аміаку і набагато менше зростання у парах інших досліджених речовин. Зміни ВАХ були оборотними. Це свідчить про фізичну (а не хімічну) природу адсорбції молекул NH<sub>3</sub> на поверхні GaN та InGaN.

ВАХ прямого струму *p-n* переходів на основі GaN та InGaN у парах аміаку звичайно мали три ділянки. В області низьких рівнів інжекції спостерігались лінійні ділянки ВАХ і прямого, і зворотного струмів. Лінійність ВАХ поверхневого струму пояснюється утворенням провідного каналу з електронною провідністю в *p-*області під дією електричного поля адсорбованих позитивних іонів. При подальшому підвищенні напруги прямого зміщення спостерігалось надлінійне зростання струму, яке можна пояснити подвійною інжекцією носіїв заряду в поверхневий канал. При високих рівнях інжекції газова чутливість прямого струму зменшувалася, що обумовлено руйнуванням поверхневого каналу внаслідок екранування електричного поля адсорбованих іонів інжекттованими в канал носіями заряду.

ВАХ прямого струму *p-n* переходів на основі GaN та InGaN у парах аміаку відрізнялися від аналогічних характеристик інших напівпровідників A<sup>3</sup>B<sup>5</sup> суттєво більшою протяжністю лінійної ділянки та значно вищою відносною газовою чутливістю. Дану особливість ВАХ, пов'язану з великою шириною забороненої зони GaN, можна використати для зниження порогу чутливості газових сенсорів. При підвищенні ширини забороненої зони InGaN протяжність лінійної ділянки ВАХ і напруга, що відповідає максимуму прямого додаткового струму, зростали, що узгоджується з висновками модельних розрахунків.

Таким чином, *p-n* переходи на основі InGaN з квантовою ямою як газові сенсорі мають суттєві переваги перед *p-n* переходами на основі інших напівпровідників A<sup>3</sup>B<sup>5</sup>: більшу відносну чутливість, менший поріг чутливості, більшу протяжність лінійної ділянки ВАХ, більшу хімічну стійкість до парів аміаку.

# СУЛЬФІДНА АКТИВАЦІЯ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ GaAs ЯК ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ

Птащенко О. О.<sup>1</sup>, Птащенко Ф. О.<sup>2</sup>, Дмитрук М. Л.<sup>3</sup> Маслєєва Н. В.<sup>1</sup>,  
Богдан О. В.<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса,

<sup>2</sup>Одеська національна морська академія, вул. Дідріхсона, 8, м. Одеса, 65029,

<sup>3</sup>Інститут фізики напівпровідників НАН України ім. В. Є. Лашкарьова,  
просп. Науки, 45, м. Київ, 03028

Досліджено вплив сульфатації поверхні GaAs на характеристики *p-n* переходів на основі GaAs як газових сенсорів. Сульфатація здійснювалась нанесенням на поверхню GaAs атомів сірки у водних розчинах Na<sub>2</sub>S·H<sub>2</sub>O. Ступінь сульфатації змінювався її тривалістю. Вимірювались ВАХ *p-n* переходів у сухому повітрі та в атмосфері, що містила насичені пари води і етанолу над відповідними рідинами, а також у парах аміаку над його водними розчинами різних концентрацій. Аналізувалась кінетика прямого і зворотного струмів *p-n* переходів при зміні складу навколишньої атмосфери, а також вимірювались спектри фотоструму. За допомогою атомно-силової мікроскопії (АСМ) NanoScope III вивчалися зміни морфології поверхні кристалів арсеніду галію під дією парів аміаку. Оптичні параметри діелектричного шару на поверхні кристалів досліджувались еліпсометричними методами.

В області струмів 1мкА – 1 мА ВАХ прямого струму *p-n* переходів відповідали виразу

$$I(V) = I_0 \exp(qV / nkT), \quad (1)$$

де  $I_0$  – стала;  $q$  – заряд електрона;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – температура;  $n \approx 2$  – коефіцієнт неідеальності. Такі ВАХ пов'язані з рекомбінацією на глибоких рівнях. При менших зміщеннях ВАХ мали область надлишкових струмів з коефіцієнтом неідеальності  $n > 2$ , що відповідає тунельній рекомбінації через глибокі центри за участю фононів. Спектральна fotocутливість не оброблених *p-n* переходів різко спадала при енергіях фотонів  $h\nu > E_g$ . Це свідчить, що час життя і ефективний коефіцієнт дифузії носіїв заряду поблизу поверхні були набагато менші, ніж у об'ємі.

Сульфатація протягом короткого часу (20с) не впливала на величину рекомбінаційного струму (при  $I > 1$  мкА), але суттєво зменшувала надлишковий струм, локалізований на неоднорідностях *p-n* переходів, а також зворотний струм *p-n* переходів. Товщина шару власного оксиду при такій обробці зменшувалась, його шорсткість різко зменшувалася. Пасивація протягом 20с не впливала на спектр фотоструму, а значить, і на швидкість поверхневої рекомбінації.

Обробка протягом 40с збільшувала товщину поверхневого діелектричного шару, що можна пояснити формуванням шару сульфатів миш'яку та галію. При цьому різко збільшувалася чутливість поверхневого струму до аміаку.

Сульфатація протягом 60с вела до подальшого зростання товщини сульфатного шару на поверхні GaAs, суттєво збільшувала фотострум у короткохвильовій області спектру, тобто різко зменшувала швидкість поверхневої рекомбінації. Внаслідок сульфатації щільність поверхневих рекомбінаційних центрів зменшувалась у  $\approx 25$  разів. Але при цьому зменшувалася газова чутливість *p-n* переходів, що пояснюється зменшенням ймовірності тунельного обміну електронами між адсорбованими молекулами аміаку та кристалом внаслідок збільшення товщини сульфатного шару.

Таким чином, зміною режиму сульфатації поверхні GaAs можна управляти параметрами *p-n* переходів як газових сенсорів і фотоприймачів.

# АЛМАЗНЫЕ И АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ В ЭЛЕКТРОАНАЛИТИКЕ

**Семеней А.М., Рожицкий Н. Н.**

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, лаб. Аналитической оптоэлектроники,  
каф. БМЭ, тел. (057) 702-03-69, E-mail: rzh@kture.kharkov.ua.*

Электрохимические методы анализа получили широкое распространение благодаря ряду преимуществ, таких, как широкая номенклатура определяемых веществ, воспроизводимость результатов и экспрессность анализа. Недостатком, ограничивающим номенклатуру определяемых веществ, является весьма узкое окно рабочих потенциалов электродов, а также деградация их поверхности в процессе работы. Возможность получения проводящих алмазных и алмазоподобных пленок (АПП) показала значительные преимущества использования этих материалов в качестве электродных по сравнению с традиционными электродными материалами в электрохимии. Электроды, покрытые АПП, обладают высокой механической износостойкостью, высокой коррозионной устойчивостью, особенно в водных растворах, инертностью к среде, широким диапазоном рабочих потенциалов, малыми адсорбционными токами.

В процессе выращивания АПП возможно проводить ее легирование донорной или акцепторной примесью, что придает алмазу проводящие свойства. Легирование бором наиболее распространено ввиду простоты технологии изготовления. Негативным фактором выступает вредность производства и сложность дальнейшей утилизации отработанных изделий, что затрудняют их применение. Легирование азотом как акцепторной примесью не так распространено, ввиду неотлаженности данной технологии, что приводит к не столь высокому качеству получаемых пленок. Однако экологичность производства и легкость утилизации отработанных образцов дают значительный перевес при массовом производстве.

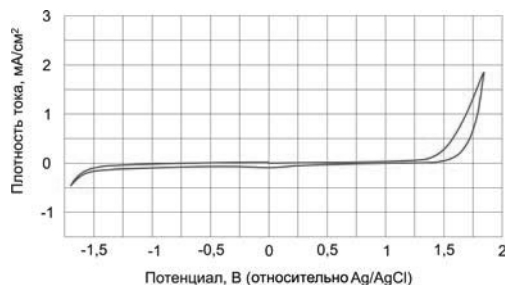


Рисунок 1 – Циклическая вольтамперограмма 0,1 LiClO<sub>4</sub> в H<sub>2</sub>O на стеклоуглеродной подложке с АПП (установка ELAN-3d при скорости развертки потенциала 100 мВ/с)

В работе проведены электрохимические исследования электрода с АПП, нанесенной на стеклоуглерод (рис. 1), которые показали широкий диапазон рабочих потенциалов от (-1,5 до 1,45 В). К тому же при длительной эксплуатации электрода практически не наблюдалась деградация его свойств, что подтверждалось электрохимическими исследованиями. Это позволяет сделать вывод о высоком качестве АПП и их использовании в качестве рабочих материалов при создании нанотехнологических электрохимических и электрохемилюминесцентных сенсоров для биомедицинских и экологических применений.

Работа выполнена при поддержке проекта УНТЦ 4180.

# PHOTOLUMINESCENCE SENSOR ON MELAMINE CONTAMINATION IN FAT LIQUID MILK

**T.Serdiuk<sup>a1</sup>, V.A.Skryshevsky<sup>a</sup>, M. Phaner-Goutorbe<sup>b</sup>, E.Souterand<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>*Institute of High Technology, Taras Shevchenko National University of Kyiv 64, Volodymyrs'ka St., 01601 Kyiv, Ukraine, <sup>1</sup>e-mail:ts@univ.kiev.ua*

<sup>b</sup>*Institut des Nanotechnologies de Lyon UMR 5270, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue 69134 ECULLY, FRANCE*

The base principles of melamine contamination detection in fat liquid milk are considered and design of photoluminescent melamine sensor is proposed.

It is known, the melamine is an organic base and a trimer of cyanamide, with a 1,3,5-triazine skeleton and with general formula of  $C_3N_6H_6$  [1]. It is often used to produce melamine resin, plastic and a very durable thermosetting plastic and melamine foam. Addition of toxic melamine in milk and dairy products of certain unfair manufacturers has taken places for imitation of high protein level in [1]. In this work we elaborated the express method to detect melamine in milk production using the photoluminescent (PL) analyze. As was established the PL of melamine powder and milk under UV excitation show the complex wide spectra in visual spectral region at the close quantum yield (in mixture 1:1). In order to improve the spectral contrast at the melamine detection in milk solution the supplementary treatment of melamine/milk solution is applied. These treatments result in PL quenching of milk emission, but not change the melamine emission. For example, the influence of different melamine concentration on PL spectra is presented in Fig.1. Herein, the concentration of melamine was changed from 10g/l to 1.25 g/l ). The increase of melamine concentration level, the increase of intensity and FWHM is observed in PL spectra. PL intensity dependences on melamine concentration in solution are described for different energy that corresponds to the every component of melamine spectrum:  $E_1=2.79$  eV,  $E_2=3.09$  eV,  $E_3=3.29$  eV [2] in Fig. 2. The method allows to detect the melamine concentration level in milk in the range from 10 g/l to 0.1 g/l.

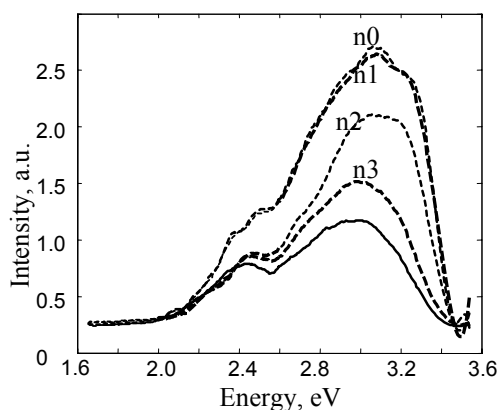


Fig.1 PL of mixture contained treated solution of milk and melamine concentration ( $n_0=10$  g/l,  $n_1=5$  g/l,  $n_2=2.5$  g/l,  $n_3=1.25$  g/l ) and PL of treated milk (continuous line)

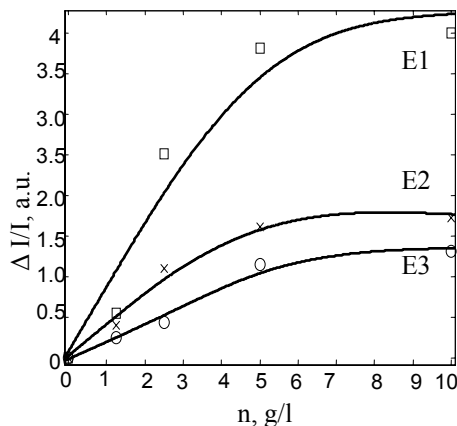


Fig.2 Relative change in intensity dependence of mixture contained treated solution of milk and melamine on melamine concentration at different E

## References:

1. World Health Organization, Toxicological and Health Aspects of Melamine and Cyanuric Acid, World Health Organization, Geneva, Switzerland (2008).
2. D.L. Yu, J.L. He, Z.Y. Liu, B. Xu, D.C. Li, Y.J. Tian (2008). Phase transformation of melamine at high pressure and temperature, Journal of Mater Science, 689-695.



# ELECTROCHEMICAL SENSORS ARRAY ACTUATOR BASED ON XMEGA AVR MICROCONTROLLER

**Snizhko Dmytro, Rozhitskii Mykola**

*Ukraine, 61166, Kharkiv, 14, Lenin Ave., Kharkiv National University of Radio Electronics, Biomedical Engineering Dept., Laboratory of Analytical Optochemotronics, e-mail: [sn@kture.kharkov.ua](mailto:sn@kture.kharkov.ua) , [rzh@kture.kharkov.ua](mailto:rzh@kture.kharkov.ua)*

Electrochemical sensors have a great demand in analytical applications such as biomedical, ecological, pharmaceutical, industrial etc., different methods assay, due to their rather high sensitivity, reproducibility, good capability of integrations with modern electronic devices, possibilities in computerization and miniaturization.

Modern assay methods and instruments are directed for reaching high analysis speed (productivity), sensitivity, selectivity and cost-efficient solutions. Those advantages are realized by use of novel conception in sensor construction such as so called array technology. Application of array sensors gives opportunity for simultaneous parallel assays by one device providing definition of range of compounds in a probe with sufficient sensitivity, selectivity and parallel verification of assay results.

Different electrochemical analytical techniques are widely used voltammetry methods. For array sensors construction technology difficulties in cheap multichannel actuator electronics realization are existed. So in a given paper construction of analytical system based upon array sensor with multichannel actuator electronics is been discussed.

Proposed construction of analytical electrochemical actuator is based on microcontroller (MC) ATxmega128A1-AU, Atmel Co. This microcontroller has excellent features for different utilization sensor array actuator fabrication including such as low ratio of power consumption to productivity, realization of three interrupt level system, four channel DMA controller in connections with great number of peripheral units etc. Adding "Event System" module in MC provides core independent quick data transfer between MC peripheral units. Together with several types of interface's modules include in MC it brings possibility to organize net of MC based actuator's in one analytical system. Integration with low-power 2.4 GHz transceiver AT86RF230 specially designed for low cost IEEE 802.15.4, ZigBee and 6LoWPAN applications provides realization of wireless analytical system.

Developed device has following features: possibility of operation with electrochemical sensors starting from 2 to 6 electrodes, simultaneous registration of analytical signal - electrochemical current with up to 5 other signals temperature measurement including; any form of polarization signal synthesizing in ranges of  $\pm 10V$  and  $\pm 75$  mA; minimal scanning potential step of 1.5 mV with current resolution of 50 pA, digital sampling with speed up to  $10^6$  samples per second. Connection with PC and power source with rather small power consumption is providing by USB. It is important that proposed actuator can be used in portable analytical devices.

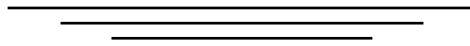
Main advantages of conceptions of actuators based on mentioned controller are possibilities of cheap and tiny platform creation for electrochemical and electrochemiluminescent sensors for biomedical (early diagnostic of dangerous diseases), ecology (analysis and monitoring of environmental objects) etc. providing principle of analysis-at-a-place in real-time procedure.

This work is supported by Science Technology Center in Ukraine by Projects ##4495, 5067 (Project manager – Prof. Mykola M. Rozhitskii).



**Секція V**

**БІОСЕНСОРИ**



**Section V**

**BIOSENSORS**

# ЛЮМІНЕСЦЕНТНА ДІАГНОСТИКА КЛІТИННОЇ СТРУКТУРИ ПЕЧІНКИ

В.І.Федів<sup>1</sup>, Г.Ю.Рудько<sup>2</sup>, А.Й.Савчук<sup>3</sup>, А.Г.Волощук<sup>3</sup>, І.С.Давиденко<sup>1</sup>, Є.Г.Гуле<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Буковинський державний медичний університет,

вул. Кобилянської 42, Чернівці, 58000 e-mail: vfediv@mail.ru

<sup>2</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ, пр. Науки, 45, Київ,

<sup>3</sup> Чернівецький національний університет ім.Ю.Федьковича

Коцюбинського 2, Чернівці, Україна, 58012, e-mail: a.savchuk@chnu.edu.ua

Розвиток нанотехнологій дав поштовх до виникнення нового напрямку сенсорики - наносенсорики, яка базується на використанні унікальних фото-фізичних властивостей наночастинок. Серед цих властивостей особливо важливою для створення елементів сенсорики є здатність наночастинок змінювати свої випромінювальні характеристики при взаємодії з різними органічними молекулами [1].

В даній роботі вивчено зміни фотолюмінесценції (ФЛ) наночастинок CdS:Mn при взаємодії з різними водорозчинними полімерами, проаналізовано причини таких змін, і на основі отриманих результатів запропоновано методику діагностики структур клітин печінки. В якості полімерів використовувалися полівініловий спирт, полівініл-пірролідон та желатина. Наночастинки CdS:Mn синтезувалися in-situ в полімерах і в суміші полімер+ цетилтриметиламоній бромід (ЦТАБ), в результаті чого утворювалися нанокompозити полімер/наночастинки. Використовувався також метод редиспергування пасивованих ЦТАБ наночастинок CdS:Mn в полімерах. Наночастинки синтезувалися згідно теоретично розрахованої діаграми оптимальних умов синтезу відносно величини рН та концентрації вихідних компонент [2]. Вихідними реагентами - прекурсорами були Натрію сульфід ( $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ), Кадмію хлорид ( $\text{CdCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) та Мангану хлорид ( $\text{MnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), марки «ХЧ» та «ОСЧ». Полімеризація відбувалася при кімнатній температурі в закритій посудині в присутності речовин, що адсорбують вологу. Використовуючи трансмісійну електронну мікроскопію та спектральні залежності оптичної густини оцінено розмір наночастинок для різних систем в межах – (12 – 65) нм.

Проведено дослідження ФЛ наночастинок в різних полімерних матрицях. Розглянуто моделі взаємодії матриць з наночастинами. Показано можливість контролювати інтенсивність та спектральний розподіл інтенсивності ФЛ наночастинок. Пояснено причини змін ФЛ властивостей наночастинок при взаємодії з матрицею. Використавши взаємодію наночастинок з желатиною в якості моделі взаємодії наночастинок з біомолекулами зрізів тканин розроблено диференційну методику реєстрації структур клітин печінки. Запропорнована методика базується на зміні емісійних властивостей наночастинок внаслідок взаємодії з біомолекулами.

[1] Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications Edited by Guido KICKELBICK. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim (2007) 498 p.

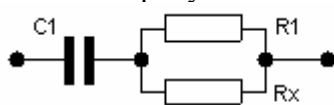
[2] А.І.Савчук, А.Г.Волощук, В.І.Федів Особливості синтезу колоїдних напівмагнітних напівпровідникових наночастинок  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$  // Фізика і хімія твердого тіла, **10**(1), с.144-148 (2009).

# АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ДЛЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО БИОСЕНСОРА

**Гребеньков И.Н., Михаль А.А.**

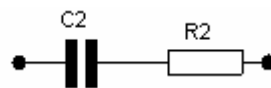
*Институт электродинамики НАН Украины, Киев*

Кондуктометрический биосенсор представляет собой два двухэлектродных кондуктометрических датчика с планарно-расположенными электродами одинаковой геометрии, но разными биохимическими мембранами: активной (селективной) и пассивной (неселективной). Ряд факторов (приэлектродные процессы на границе электрод/электролит, значительная фоновая проводимость буферного раствора, существенная, (0.02/К) крутизна температурной зависимости проводимости буферного раствора, неравенство электрических характеристик мембран) приводят к тому, что сопротивления датчиков являются комплексными величинами, характер реактивности – емкостной, схема замещения – последовательная. Эквивалентные схемы датчиков представлены на рисунке.



а) активный датчик

$$Z1 = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C1} + \frac{1}{1/R1 + 1/Rx}$$



б) пассивный датчик

$$Z2 = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C2} + R2$$

В процессе экспериментальных исследований установлены следующие, чрезвычайно не благоприятные для измерения, соотношения между информативным параметром  $R_x$  и неинформативными параметрами  $R1, R2, X1, X2$  :

$$(0.15 \dots 0.25) \times |Z1| = |R1 - R2|; \quad (0.15 \dots 0.25) \times |Z1| = \left| \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C1} - \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C2} \right|$$

$$(0.01 \dots 0.02) \times |Z1| = R_x; \quad \text{tg}(\varphi_i) = \frac{1}{\omega \cdot C_i \cdot R_i} \approx 1 : \{f \approx 30 \text{kHz}\}.$$

Для подавления неинформативных составляющих и обеспечения необходимой чувствительности, стабильности и динамического диапазона используют дифференциальный метод измерения. Его эффективность в значительной степени зависит от вида функции преобразования измерительной цепи. Самой простой функцией, в явном виде реализующей дифференциальный метод, является  $W(n) = A1 - A2$ . При этом мы выделяем два типа схем:  $Z$  - схемы ( $A(i) = Z(i)$ ) и  $Y$  - схемы ( $A(i) = Y(i)$ ). Возможные варианты наиболее легко реализуемых аппаратными средствами функций преобразования собраны в таблицу:

$n$	Вид функции $W(n)$ для $Z$ -схем	$n$	Вид функции $W(n)$ для $Y$ -схем
1	$Z1 - Z2$	5	$Y1 - Y2 = -(Z1 - Z2)/Z1 Z2$
2	$(Z1 - Z2)/Z2$	6	$(Y1 - Y2)/Y2 = -(Z1 - Z2)/Z1$
3	$(Z1 - Z2)/(Z1 + Z2)$	7	$Y1/Y2 = Z2/Z1$
4	$Z1/Z2$		

В докладе приведен анализ чувствительности функции  $S = \partial W / \partial G_x$  к информативному параметру  $G_x = 1/R_x$ . Приведены соответствующие зависимости, сделаны выводы о пригодности каждой из перечисленных функций преобразования.

## ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БЕЗМЕДИАТОРНЫХ БИОСЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(*o*-ФЕНИЛЕДИАМИНА)

**Я.И.Курьсь, И.А.Бовсуновская, Е.А.Уставицкая, В.Д.Походенко**  
*Институт физической химии им. Л.В. Писаржевского НАН Украины,  
пр. Науки 31, Киев-28, 03028, Украина, e.mail: [kurys@inphyschem-nas.kiev.ua](mailto:kurys@inphyschem-nas.kiev.ua)*

Органические электропроводящие полимеры (ЭПП) являются одними из наиболее эффективных матриц для иммобилизации биоматериалов (в т.ч. ферментов различных классов). Преимуществами при использовании ЭПП, в частности, являются электропроводность полимерной пленки, возможность ее нанесения разной геометрии, повторяющей форму электрода, простота контроля толщины полимерного покрытия, а также возможность иммобилизации биологического материала в процессе полимеризации *in situ*.

Цель данной работы состояла в разработке электрохимических методов формирования полимерных пленок на основе поли(*o*-фенилендиамин) – ПОФДА, с иммобилизацией *in situ* пероксидазы из корней хрена (HRP) и лакказы выделенной из *Trametes versicolor* (Lac); исследовании функциональных характеристик таких материалов как потенциальных чувствительных материалов для биосенсоров. Пленки ПОФДА/HRP и ПОФДА/Lac получали путем электрохимической полимеризации *o*-фенилендиамин на платиновом электроде в потенциодинамическом режиме в 0,2 М фосфатном (pH 6,8) или 0,15 М цитратно-фосфатном (pH 5,2) буферных растворах в присутствии HRP и Lac, соответственно.

Установлено, что за счет особенностей химической природы ПОФДА является эффективной полимерной матрицей для электрохимической иммобилизации *in situ* HRP или Lac с сохранением активности ферментов, что обуславливает в синтезированных материалах прямой (безмедиаторный) перенос электрона между ферментом и полимером и обеспечивает высокие отклики тока в присутствии аналитов (перекиси водорода и молекулярного кислорода, соответственно). Используемая методика может быть применена для электрохимической иммобилизации в ПОФДА *in situ* и других ферментов, с получением чувствительных материалов для биосенсоров для определения различных аналитов.

Учитывая тот факт, что лакказа может катализировать окисление фенола и *o*-, *m*-, *p*-дигидросибензолов [1], нами, на примере пирокатехина, исследована возможность применения синтезированных пленок ПОФДА/Lac в качестве чувствительных материалов биосенсоров для определения фенолов. Показано, что в цитратно-фосфатном буферном растворе (pH 5,2) при потенциале -100 мВ (отн. Ag/AgCl) пленки ПОФДА/Lac характеризуются линейным откликом в микромолярной области концентраций аналита. Для выяснения влияния различных способов иммобилизации Lac в ПОФДА на чувствительность материалов по отношению к пирокатехину, проведено сравнение чувствительности полимерных пленок в которые фермент был иммобилизован *in situ*, а также путем физической сорбции и ковалентного связывания, используя глутаровый альдегид.

[1] R.S.Freire, N.Duran, L.T.Kubota, Talanta, **54**, 681 (2001).

# SENSITIVITY PECULIARITIES OF GOLD NANOPARTICLE AS LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE BIOSENSOR

**Lopatynskiy A.M.<sup>1</sup>, Lopatynska O.G.<sup>2</sup>, Chegel V.I.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 41, Nauky prospect, 03028 Kyiv, Ukraine; e-mail: lop2000@ukr.net*

<sup>2</sup> *Faculty of Physics, National Taras Shevchenko University of Kyiv, build. 1, 2, Glushkova prospect, 03022 Kyiv, Ukraine*

Present work deals with theoretical study of operation of a biosensor which utilizes the localized surface plasmon resonance (LSPR) phenomenon [1] occurring in spherical gold nanoparticles for the sensing of biomolecular layers that emerge on the nanoparticle surface. Biosensor response peculiarities upon covering the nanoparticle surface by a dense monolayer of globular biomolecules are highlighted and discussed. Gold nanoparticle LSPR behaviour was modelled using such theoretical techniques as Mie theory for a coated spherical particle [2], electron relaxation time correction [3] for gold nanoparticle's optical constants and symmetrical Bruggeman effective medium theory [2] for the treatment of a biomolecular shell.

Typical dependences of the LSPR biosensor response (namely, the LSPR extinction peak wavelength shift) on optical and geometrical parameters of the system under investigation at the formation of the biomolecular overlayer were calculated. We ascertained that LSPR response exhibits features that are dependent on the size ratio of the Au nanoparticle kernel and the biomolecular shell layer and thereby on the light scattering contribution to the extinction. It was demonstrated that the LSPR response for Au nanoparticles with a radius up to 5 nm could be positive (LSPR extinction peak red shifts) or negative (blue shift) while the biomolecular shell thickness increases to 20 nm. It was also found out that spherical Au nanoparticles are still responsive to large overlayer thicknesses (e.g. the "upper limit" of sensitivity for a nanoparticle with a radius of 25 nm corresponds to a shell thickness of about 130 nm), but the LSPR response for thicker coating goes up slower with the increase in shell thickness than for a thinner one. In addition, equations for the quantity of globular molecules in a dense monolayer and surface concentration of saturated biomolecular monolayer covering the nanoparticle were derived.

[1] E. Hutter and J.H. Fendler, *Adv. Mater.*, **16**, 1685 (2004).

[2] E.F. Venger, A.V. Goncharenko, and M.L. Dmitruk, *Optics of Small Particles and Disperse Media*, Naukova dumka, Kyiv (1999).

[3] U. Kreibitz and M. Vollmer, *Optical Properties of Metal Clusters* (Springer Series in Materials Science, vol. 25), Springer, Berlin (1995).

# БІОСЕНСОР НА ОСНОВІ КРЕАТИНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ КРЕАТИНІНУ В РЕАЛЬНИХ БІОЛОГІЧНИХ ЗРАЗКАХ

С.В. Марченко, О.А. Назаренко, О.Л. Кукла<sup>1</sup>, О.С. Павлюченко<sup>1</sup>,  
Е.К. Красюк<sup>2</sup>, О.П. Солдаткін

*Інститут молекулярної біології та генетики НАН України,  
03143, Київ, вул. Заболотного 150;  
E-mail: [svmarchenkosv@ukr.net](mailto:svmarchenkosv@ukr.net)*

<sup>1</sup>*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, 03028,  
Київ, просп. Науки, 41;*

<sup>2</sup>*Київський міський науково-практичний центр нефрології та гемодіалізу,  
Київ, вул. П.Запорожця, 26*

Хронічний гемодіаліз є єдиною терапією для збереження життя хворих з тяжкими порушеннями роботи нирок. Головна мета гемодіалізу полягає у виведенні з організму пацієнта токсичних продуктів розпаду. Важливим кінцевим метаболітом і маркером широкого спектру низько- та середньо-молекулярних токсичних речовин, які акумулюються в організмі під час дисфункції нирок, є креатинін.

Креатинін – це кінцевий продукт метаболізму креатину у клітинах ссавців. Він вільно фільтрується у клубочках нирок і повністю виводиться із сечею з організму. Його концентрація у сироватці крові в нормі складає 35 – 140 мкМ, а при патологічних станах нирок зростає до 1000 мкМ і вище.

Визначення рівня креатиніну в біохімічних лабораторіях ґрунтується на спектрофотометричній реакції Яффе. Але існує проблема такого визначення креатиніну, яка полягає в низькій специфічності методу Яффе. Пікринова кислота, що використовується в аналізі, реагує з великою кількістю інтерферуючих речовин, знижуючи точність і специфічність аналізу. Для визначення концентрацій креатиніну також розроблено ряд інших методів. Це вискоелективна рідинна хроматографія, міцелярна електрокінетична хроматографія, капілярний електрофорез та ізотахофорез, тандемна мас-спектрометрія та ін. Проте, всі ці методи складні у використанні і непридатні для визначення креатиніну в режимі реального часу. На сьогодні для on-line вимірювання концентрацій креатиніну можуть бути використані тільки біосенсорні методи.

Дана робота присвячена розробці потенціометричного креатинін-чутливого біосенсора на основі рН-чутливих польових транзисторів та іммобілізованої креатиніндеімінази. Аналітичні характеристики розробленого біосенсора досліджено в умовах роботи з модельними та реальними біологічними рідинами. Визначено залежність відгуків біосенсора від рН, іонної сили та буферної ємності аналізованого розчину. Побудована за допомогою розробленого біосенсора в діалізній рідині калібрувальна крива демонструвала мінімальну межу визначення концентрацій креатиніну 0,02 мМ і лінійний діапазон в межах 0,02 - 0,5 мМ.

Проведено біосенсорне визначення концентрацій креатиніну в діалізній рідині хворого нирковою недостатністю в ході процедури діалізу. Протягом 4 годин діалізу (загальний час діалізу) було відібрано проби через певні проміжки часу і виміряно рівень креатиніну методом стандартних добавок. Концентрація креатиніну в пробах діалізату становила: через 15 хв після початку діалізу - 510 мкМ, через 30 хв – 450 мкМ, через 1 год - 327 мкМ, через 2 год – 310 мкМ, через 3 год – 230 мкМ і в кінці процедури рівень креатиніну знизився до 165 мкМ, що майже відповідає нормі.



# Surface Plasmon Resonance Sensor System for Detection and Discrimination of oligonucleotides related to the *rpoB* gene of *Mycobacterium tuberculosis*

A. Rachkov<sup>1</sup>, S. Patskovsky<sup>2</sup>, M. Meunier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Molecular Biology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine, 150 Academician Zabolotny Street, Kyiv 03143, Ukraine*

<sup>2</sup> *Engineering Physics Department, École Polytechnique de Montréal, C. P. 6079, succ. Centre-Ville, Montréal (Québec), Canada, H3C 3A7*

It is believed that about one-third of the world's population is infected by *Mycobacterium tuberculosis*, an estimated 3 million people globally die of tuberculosis each year, and another 8 million new individuals become infected. Although once thought possible to be virtually eradicated by the end of the twentieth century, tuberculosis has resurged sharply since the mid-1980s. Probably, the most serious global problem is a steady increase in the frequency of *Mycobacterium tuberculosis* strains resistant to at least one of the antituberculous agents commonly used in the treatment. Last years the proportion of drug resistance ranged up to more than 55%, and the proportion of multi-drug resistant tuberculosis reached to more than 20% in some countries of the former Soviet Union. Investigations of the molecular genetic basis of resistance to antituberculous agents reveal that virtually all isolates resistant to rifampin and related rifamycins have a mutation that alters the sequence of a 27-amino-acid region of the beta subunit of RNA polymerase (the *rpoB* gene). Detection of specific gene sequences via hybridization with complementary surface-bound oligonucleotide probes is reliable and promising especially in combination with surface plasmon resonance (SPR). In this paper, we propose a method based on SPR sensor system for real-time and label-free detection of single-stranded oligonucleotides related to the *rpoB* gene of *Mycobacterium tuberculosis*.

SPR sensor system consists of 10mW He-Ne laser as the light source, a polarizer, a rotating diffusing disk in order to remove the laser speckles effects and to smoothen the laser intensity profile, and two lenses, which produce a convergent beam through a glass coupling prism (SF10 or BK7) on a sensing surface (50 nm gold thin film on a glass plate). For the real-time tests a flow injection measuring cell with 20  $\mu$ L volume was developed. The entire system was placed on a rotating stage with a possibility of 2-D linear translation for exact beam positioning. The SPR effect was accompanied by a drastic decrease of intensity of p-polarized component at the SPR angle. The spatial distribution of the reflected light intensity was then recorded by a CCD camera and examined by proper software image treatment.

Preparation of the bioselective element by immobilization of the thiol-modified oligonucleotides of the selected sequence, which contains the mutated TCG $\rightarrow$ TTG codon 531 of the *rpoB* gene (the capture probe **P2**), on a gold sensor surface and subsequent hybridization with complementary target **T2** or single-base mismatch oligonucleotide **TN** (corresponds to the normal gene sequence) or noncomplementary oligonucleotide **TC** were monitored by the SPR biosensor system. The experimental results on surface hybridization between the oligonucleotides under study demonstrate a good correlation with theoretical calculations of thermodynamic parameters of these interactions in solution. The described approach could be proposed as a basis for creating a biosensor for real-time and label-free diagnostics of drug resistant tuberculosis.

# ОПТИМІЗАЦІЯ БІОСЕЛЕКТИВНОЇ МЕМБРАНИ АМПЕРОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСОРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛЮКОЗИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОШАРОВИХ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК

**Рогальова Н.С., Білоіван О.А., Ковальчук Т.В., Шкотова Л. В., Корпан Я.І.**  
*Інститут молекулярної біології та генетики НАН України, 03680, м. Київ, вул. акад.  
Заболотного, 150, e-mail: n\_rogaleva@mail.ru*

У роботі проаналізована можливість створення біосенсорів на основі триелектродних перетворювачів С220АТ, виготовлених методом трафаретного друку («DropSens», Іспанія) та іммобілізованих оксидоредуктаз на прикладі глюкозооксидази з *Aspergillus niger* (ГОД) з активністю 271 У/мг фірми “Gengyme Corp.” (Німеччина).

Основна мета досліджень – оптимізувати аналітичні характеристики таких біосенсорів за рахунок отримання біоселективних мембран з високою ферментативною активністю, забезпечення ефективного переносу заряду з редокс-центру фермента до поверхні електрода та зниження робочого потенціалу визначення субстратів.

Вивчення вольтамперних характеристик електродів та вимірювання амперометричного сигналу біосенсорів проводили за допомогою біпотенціостату  $\mu$ Stat 200 («DropSens», Іспанія), із відповідним програмним забезпеченням, що був підключений до комп'ютера. У якості субстрату, що аналізується, застосовували D-глюкозу виробництва “Sigma-Aldrich Chemie” (Німеччина).

Проведено порівняльне дослідження електрохімічних властивостей біосенсорів на основі біоселективних мембран, створених за методами: а) включенням ферменту в гель БСА у випарах глутарового альдегіду (ГА); б) ковалентним зв'язуванням ферменту до поверхні електрода карбодіімідним методом; в) включенням ферменту електрополімерізацією до плівок електропровідного полімеру полі(3,4-етилendioкситіофен)у (ПЕДТ); г) коїммобілізацією з пероксидазою хрому (ПО) у білковий гель у випарах ГА; д) із включенням багатошарових вуглецевих нанотрубок, модифікованих аміногрупами до ферментативних мембран на основі білкового гелю.

Результати досліджень показали, що включення ферменту до гелю БСА найбільш сприяє збереженню його активності в мембрані порівняно з карбодіімідним методом та методом на основі електрополімерізації ПЕДТ. Показано, що присутність пероксидази у складі біоселективного елемента збільшує відгук біосенсора на 20%, а нанотрубок – на 85%. Включення нанотрубок до складу біоселективних мембран ензимосенсора сприяє розширенню його лінійного діапазону для вимірювання концентрації глюкози (з 0,1 - 4,0 мМ до 0,1 - 5,0 мМ), дозволяє проводити визначення субстрату в широкому діапазоні значень робочих потенціалів (від -0,5 до +0,8 В). Оптимізовано умови вимірювань концентрації глюкози за допомогою розробленого біосенсора. Розроблений біосенсор було використано для визначення концентрації глюкози у зразках різних сортів вина. Показана добра кореляція результатів вимірювань з даними отриманими методом тонкошарової хроматографії (дані надані заводом «Магарач»). Похибка біосенсорних вимірювань концентрації глюкози протягом дня (10 зразків) не перевищувала 8%. Після 35 діб експлуатації розробленого біосенсора величина його відгуку на фіксовану концентрацію глюкози складала 88% від вихідного значення.

# HIGHLY SENSITIVE SENSOR FOR DETECTION OF VITAMIN B<sub>1</sub> BASED ON THE NANOSTRUCTURED SURFACE OF NICKEL

**O. Shevchenko<sup>1</sup>, O. Lut<sup>1</sup>, O. Aksimentyeva<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Bogdan Chmelnytskyi Cherkass National University  
18031, Cherkassy, Shevchenko Squer, 81, e-mail: [Lutlen@ukr.net](mailto:Lutlen@ukr.net)*

<sup>2</sup>*Ivan Franko National University of Lviv,  
79005, Lviv, Kyryla&Mefodia 6/8, e-mail: [aksimen@ukr.net](mailto:aksimen@ukr.net)*

Vitamin B<sub>1</sub> (thiamine bromide) is a component of the ferments, which take part in the exchange of carbohydrates, greases, proteins and water. It has a wide application in medical practices for medical treatment of different nerve illnesses. Study the chemical and electrochemical properties of this vitamin permit to widening a knowledge about the mechanism of the processes, flowing in alive organisms. Many physical and chemical methods are using for analytical detection of B<sub>1</sub> in food and solutions by means of toxic mercury or expensive platinum electrodes [1]. We propose to use as indicator electrode the nickel electrode with nanostructured surface. Nanostructured nickel electrode of the type "cluster – globule - surface" was fabricated in the shape of nickel plate with deposited from one side of plate uniform nanostructured elements in the view of cones with height and radius of curvature near the peak of 50 nm [2]. An area of the visible work electrode surface was  $0,2375 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . A surface concentration of elements in massif was  $10^9 \text{ m}^{-2}$ .

The electrochemical process of vitamin B<sub>1</sub> (thiamine bromide) reducing on the nickel nanostructural electrode starts at the potential  $E > 0,5 \text{ V}$  and achieves a maximum in the interval of  $E = -(0,92...0,97) \text{ V}$  versus Ag/AgCl reference electrode. It claims that thiamine bromide has a significantly higher discharge intensity on the nanostructural nickel electrode than on the flat one (2-3 times) and increases in the factor of 100 -1000 as compared with mercury electrode. This significantly increases a sensitivity of sensor and make it more safe.

On the basis of obtained results the kinetic parameters of thiamine bromide reducing process were calculated. Cathode peak current ( $I_p$ , mA) linearly depends on the concentration ( $c$ , M) of vitamin B<sub>1</sub>, which may be using for plotting the calibration curve. It has been found that calibration curve save a linearity up to vitamin concentration  $c = 6 \cdot 10^{-2} \text{ M}$  with low limit (throughout) of vitamin B<sub>1</sub> detection of  $2 \cdot 10^{-7} \text{ M}$ . It proposed the linear equations  $I_p = 1,86 \cdot 10^3 c$  which make it possible to quantify identification the thiamine bromide concentration in the solution.

Due to hight overpotential of hydrogen evolution and stability of nanostructured nickel electrode in different medium, possibility to rapid regeneration of electrode surface by potential scanning in the range  $-0,5...1,5 \text{ V}$ , significantly increasing the merit and saving of vitamin B<sub>1</sub> detection. Proposed nanostructured electrode may be used in biosensors for analytical and biochemical investigations to quantitative detection of vitamins in food products, technological analysis of nature and run-off waters and in medicine industry.

[1]. Patent RU № 2084885 / Anisimova L.S., et al.-Publ. 20.07.1997.

[2]. Shevchenko O.P., Bilyi O.V., Ukr. Chem. Jour., **74**, №5, 55 (2008)

# OXIDE CERIUM IsFETs: PHYSICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS AT THE DETERMINATION OF SOME BIOCHEMICAL QUANTITIES

I. Ja. Kotsyumbas<sup>1</sup>, O. M. Brezvin<sup>1</sup>, N. F. Starodub<sup>2</sup>, A. N. Shmiryeva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>State Scientific-Research Control Institute of Veterinary Preparations and Feed Additives of Ukraine, of Ukraine, 79019, Ukraine, Lviv, 11, Donetska Str., [brezvun@gmail.com](mailto:brezvun@gmail.com)

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences, 15 Herojev Oboroni Str., Kiev, 03041 Ukraine; [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)

<sup>3</sup>Kiev National Technical University, "KPI", 37 Prospect Peremohy, Kyiv, 03056, Ukraine

IsFET's with the dielectric based on the oxide cerium layers intended for the creation of very sensitive, stable and reliable immune biosensors were studied. Input and output characteristics of the IsFET's with the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and CeOx dielectrics shown the increasing of the pH-sensitivity in the respect of the drain current in case of the CeOx. It is due to high density of the surface sensitive centers (up to 10<sup>20</sup> m<sup>-2</sup>), large level of the permittivity ( $\epsilon = 26$ ) and the band-gap energy (3.6 eV) of cerium. All these effects lead to decreasing of the current losses through the dielectric. According to the site-binding theory it was investigated the physical-chemical processes taking places at the surface layer of the CeOx at its interaction with the some biochemical complexes. The dependences of the electrical potential on the pH level had the linear character for both types of structures: SiO<sub>2</sub> – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and SiO<sub>2</sub> – CeO<sub>2</sub>. Nevertheless, the oxide cerium IsFETs had the increased pH-sensitivity (about 58 mV/pH) that was near to the maximal possible index (59 mV/pH) for the structures of the semiconductor-insulator-solution. Taking into account the high chemical stability of the CeOx as well as the simplicity of obtaining of the thin layers of this dielectric it may be recommended for the creation of the multi-biosensors for medical diagnostics and environmental monitoring. We tested the efficiency of this structure at the control of such toxic substances as mycotoxin T2 in the model solution.

It was used the differential scheme of measurements when the reference IsFET was covered by bovine serum albumin and working one – by the specific anti-T2 antibodies (Ab) through the intermediate layer from the staphylococcal protein A. Analysis was fulfilled in two way: competitive and so called "to saturation". In first one the mycotoxin T2 labeled by horse radish peroxidase (HRP) competed with that which should be analyzed. In second one at first the immobilized Ab interacted with the mycotoxin T2 in the sample and then with the solution of this analyte but labeled by HRP. The activity of HRP was registered in the presence of the special working buffer containing 5 mM tris-HCl (pH 7.5), 100 mM NaCl, 15 mM ascorbic acid and 10 mM hydrogen peroxide. The substrate conversion causes a local basic pH shift, because dehydroascorbic acid formed is a more neutral compound compared to ascorbic acid. The signals ( $dV/dt$ ) of the IsFETs were registered by electronic device providing signal amplification and its processing on the basis of a custom-made computer program. After every assay the chip was treated with 0.1 M HCl (5 min) and than carefully washed with the above mentioned tris-HCl buffer.

It was shown that the maximal sensor output (about 100 mV) correspond to 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$  of the conjugate. Under these conditions binding sites of the specific Ab were saturated. The concentration of the HRP-labeled T2 mycotoxin during the competitive analysis was equal to 0.1  $\mu\text{g ml}^{-1}$ . Reliable decrease of the sensor signal was observed down to 3.0  $\text{ng ml}^{-1}$  of T2 mycotoxin in the analyzed mixture. The linearity of signal decrease was observed in the range of T2 mycotoxin concentrations from 5 to 190  $\text{ng ml}^{-1}$  (Fig. 1). In this range the potential of the IsFET gate varied from 95 to 5 mV. In both cases the standard deviation was on average about 5%. The overall time of the assay including the

duration of all preparation stages was 30 min. The limiting stage of the analysis is the competition between the labeled and native T2 mycotoxin for binding with Ab (10 min).

In case of the analysis by “to saturated way” allowed reaching sensitivity  $0.5 \text{ ng ml}^{-1}$  and linearity in the range  $1.0\text{-}200 \text{ ng ml}^{-1}$  (Fig. 2). The overall time of the incubations was the same 10 min (5 min for the staying chip in the solution of the native and the labeled T2 mycotoxin).

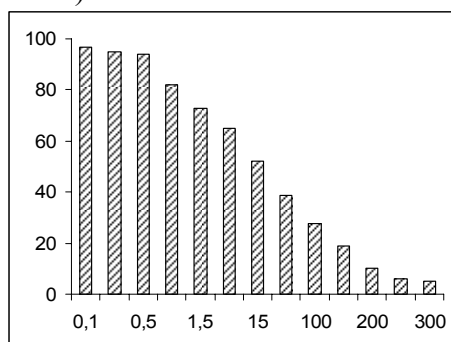


Fig. 1. Determination of T2 mycotoxin with the help of the cerium oxide IsFET biosensor by the competitive way.

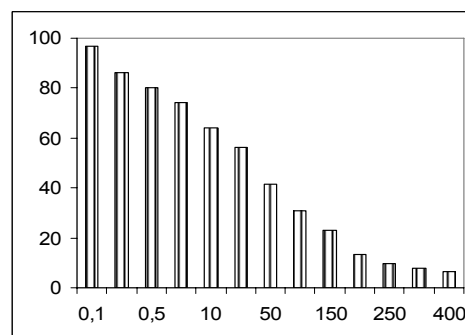


Fig. 2. Determination of T2 mycotoxin with the help of the cerium oxide IsFET biosensor by the “to saturation way”.

The developed immune biosensor based on the cerium oxide IsFETs shown much more high sensitivity of T2 mycotoxin determination (up to 2 orders) than that which is based on the SPR [1, 2]. The sensitivity of the developed immune biosensor is approximately to that which was revealed in similar biosensor based on the total internal reflection ellipsometry [3]. Moreover, the IsFETs based immune biosensor may be simple used a several times (up to 5) after the destruction of the formed immune complex by the treatment of chips with 0.1 M HCl for 5 min and than by washing of tris-HCl buffer (5 mM, pH 7.5). Such procedure may be realized too in case of the SPR based immune biosensor but it is more complicate. The mentioned advantages of the immune biosensor based on the IsFET are very important for practice when it is necessary to fulfill the simple, fast and very sensitive analysis in field conditions.

The similar immune biosensor based on the IsFETs was developed by us for the determination of the herbicide simazine [4]. It was constructed on the chip surface of which was covered by  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Since, the principle of the immune analysis was the same it is possible to compare the sensitivity and the stability of the biosensors based on the silicon nitride and cerium oxide IsFETs. Both parameters are much better for last ones.

- [1] Starodub N. F., Pilipeko L. N., Pilipenko I. V., Egorova A. V. Mycotoxins and other low weight toxins as instrument of bioterrorists: express instrumental control and some ways to decontaminate polluted environmental objects. *Timisoara Medical J.*, 2008, v. 58, no. 1-2, pp. 9-18.
- [2] Starodub N. F. Biosensors in the system of express control of chemicals, regularly used as terrorist means to prevent non-desirable consequences. In: *The role of Ecol Chem in Pollution Res and Sustainable Develop.* Ed. Ali Mufit Bahadir and Gheorghe Duca. Springer Sci+Business Media BV, 2009, pp. 275-384.
- [3] Nabok A.V., Tsargorodskaya A., Holloway A., Starodub N. F., Gojster O. Registration of T2 mycotoxin with total internal reflection ellipsometry and QCM impedance methods. *Biosensors and Bioelectronics*, 2007, v. 22, pp. 885-890.
- [4] Starodub N. F., Dzantiev B. B., Starodub V. M., Zherdev A.V. Immunosensor for the determination of the herbicide simazine based on an ion-selective field-effect transistor. *Anal. Chim. Acta*, 2000, v. 424, pp. 37-43.

# MULTI-PARAMETRICAL AND MULTI-FUNCTIONAL MICROELECTRONIC BIOSENSORS FOR THE MEDICAL APPLICATIONS

**N. F. Starodub, O. M. Shmiryeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*National University of Life and Environmental Sciences, 15 Herojev Oboroni Str., Kiev, 03041 Ukraine, [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*National Technical University „KPI”, av. Peremoga, 37, Kiev, 03056, Ukraine*

Early [1, 2] to provide creation of the analytical devices which will correspond to full complex of practice demands including selectivity, sensitivity, stability in general and to contaminated substances, repetition of results, needed time of functioning and others it was developed microelectronic enzymatic biosensor which gives possibility to simultaneously register a number of parameters, namely, the determination of glucose, sucrose and lactose in case of control of technological process at the sucrose production. It was demonstrated that thermometry allows providing control of concentrations in frame of 0.002-25; 0.005-100; 0.1-10 mM and sensitivity about 2.35; 0.45 and 0.85 rel. units/mM for glucose, sucrose and lactate correspondingly. From other side amperometry was characterized by values of controlled concentrations in frame of 0.5-50; 0.1-80; 0.1-200 mM and sensitivity on the level of 4.3; 3.3; 3.3 nA/mM for above mentioned substances correspondingly.

We have improved the proposed principal new approach and now our main attention was paid to the simultaneous estimation of glucose, insulin and anti-insulin antibodies (Ab) level at the control of the diabetic and autoimmune state development. The integral biosensor contents simultaneously two separate channels: amperometrical and thermo metrical. Amperometrical channel includes whole line of planar microelectrodes with help of which current was registered. Thermo metrical channel is presented by thin layer sensors which work in differential regime. Output signals of the integral biosensor are processed by the special electronic block. Thin layer temperature sensors were prepared by two ways: on the basis of platinum or oxide cerium. These sensors together with the platinum working electrodes and reference electrode (AgCl) for the amperometrical measuring were situated on the common solid phase. Three working electrodes were taken for the increasing of accuracy of measurements. Thermo metrical channel contents also working and reference thermistors which have weaving form. Enzymes as well as insulin were immobilized on the transducer surface after its preliminary treatment by polyelectrolytes (polyallylamine hydrochloride or poly/sterenesulphonate/ sodium salt).

It is very important to underline that total time of analysis is very short and in additional to there is possibility to obtain irrespective data about level of some parameter by different approaches. The sensitivity of the determination of insulin and anti-insulin Ab in serum blood of patients with diabetics is highest at the application of the thermo metrical channel of the multi-parametrical biosensor among other ones. It was chosen the optimal insulin concentration for the immobilization. Then the calibration curves were constructed for both channels (Fig. 1, 2) and at last, it was examined the efficiencies of work both channels at the analysis real samples preliminary tested by the ELISA-method (Fig. 3 and Table).

In general it is necessary to mention that these values correspond to the practice demands in respect the sensitivity from one side and from other one the obtained values have been conformed by special biochemical experiments. The developed multi-parametrical and multi-functional microelectronic biosensor is able to provide all practice demands in the respect of the screening of several objects on the number of biochemical indexes. In medical diagnostics it may be used for the simultaneous detection of the

glucose concentration and the anti-insulin Ab in the blood of patients with diabetes. It gives possibility in time to correct of the insulin dose since the presence of the anti-insulin Ab will bind some quantity of this active agent. There is necessary to mention that the sensitivity and result repeating of the thermo metrical have a much more deviation than amperometrical one but complex analysis of both results increases the probability of the conclusion about the state of the diabetics process.

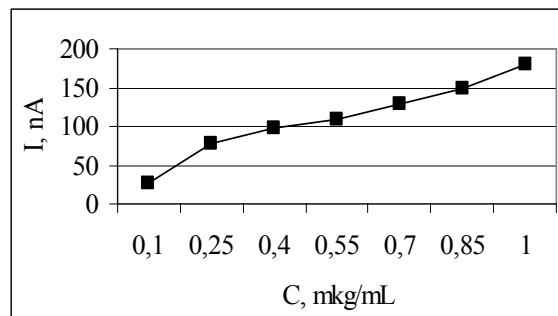
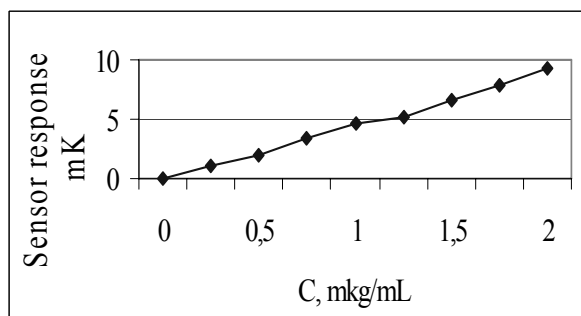


Fig. 1. “Direct” detection of anti-insulin Ab in the serum blood by the thermo metrical channel of the multi-parametrical biosensor. The concentration of the immobilized I was 10  $\mu\text{g/mL}$ .

Fig. 2. “Direct” detection of anti-insulin Ab in the serum blood by the amperometrical channel of the multi-parametrical biosensor. The concentration of the immobilized I was 10  $\mu\text{g/mL}$ . Second antibodies were labeled by horse radish peroxidase.

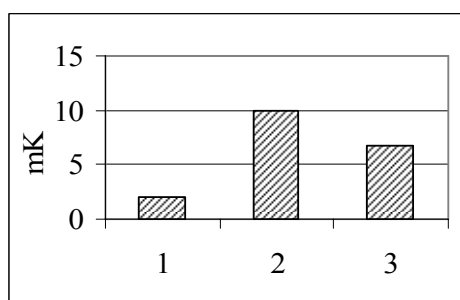


Fig. 3. Response of the thermo metrical channel of the multi-parametrical biosensor at the analysis of the serum blood from patients with diabetes: 1 – beginning step, 2 - acute and 3 – middle forms.

Table. Comparison of the work efficiency of the multi-parametrical biosensor at the discovering of level of anti-insulin Ab and glucose preliminary discovered by the standard enzymatic and ELISA methods (10 samples).

Method of analysis	% of discovered results	
	insulin	glucose
ELISA-method	100	-
Standard enzymatic	-	100
Amperometrical channel	94	98
Thermo metrical channel	85	89

1. Starodub N.F., Shmireva O.M., Shuliak L.M., Mel'nik V.G. Multi-parametrical microelectronic biosensors. Збірник тез 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції „Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ-3), Україна, Одеса, 2-6 червня, 2008, с. 10-11.
2. Starodub N. F., Shmireva O.M., Shuliak L.M. Multi-parametrical and multi-functional microelectronic biosensors. In: Abst. of LabAutomation2010 Conference, January 24-27, Palm Springs, CA. USA, 2010, p. 124.





**Секція VI**

**РАДІАЦІЙНІ, ОПТИЧНІ  
ТА ОПТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ**

---

---

**Section VI**

**RADIATION, OPTICAL  
AND OPTOELECTRONIC SENSORS**

# HIGH SPEED PHOTON COUNTING X-RAY DETECTOR

Toru Aoki, Akifumi Koike, Takaharu Okunoyama, Bunji Shinomiya,  
Hisahi Morii, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura  
*International Nanovision Research Center,*  
*Research Institute of Electronics, Shizuoka University,*  
*3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, 432-8011 Japan, rtaoki@ipc.shizuoka.ac.jp*

The high speed CdTe photon counting detectors were developed by using the high speed digital signal processing and the low noise pre-amplifier. Photon energies were calculated by the pulse height of high speed digital sampling data of an output pulse signal from the pre-amplifier, instead of an output signal from a main-amplifier. In this case, the noise suppressing (reduction) processes became so important, although we can expect high speed photon counting. We developed several kinds of digital noise filters, and high count rate detector, which has fast signal processing time shorter than 100ns, was obtained including the time of carrier transportation in a CdTe diode detector, stray capacitance in the mounting board and so on.

The pulse rise height which changed shape by preamplifier is proportional to the x-ray energy. We considered that we can obtain the each photon energy by using the pulse rise height even if pile-up is occurred, and this signal processing is adapted for more high count rate condition than for conventional signal processing. It is because that the pulse rise time is considerably faster than the pulse decay time. The time which obtained the X-ray energy is considerably faster than conventional signal processing used the area of pulse by using pulse rise height.

In Fig.1, solid line shows the data obtained from DSO, and dash line shows 50ns moving average line of solid line. For obtaining the pulse rise height, the two points which before and after pulse rising are had to decide. Therefore, we decide the two points which gradient value is about 0 in before and after pulse rising from the moving average line. The pulse rise height was obtained by assigning those different two points which gradient value is about 0, as shown allow line in Fig.1.

Experimental system was used the CdTe n- $\pi$ -n diode detector (2x2x0.5mm-thick) (electrode: n-In, p-Au) under 200V bias at room temperature, the preamplifier (Clear Pulse) and Am-241 radioisotope as a checking source. The output of preamplifier was connected to digital storage oscilloscope (DSO: Lecroy WS452), and each data saved in oscilloscope was analyzed.

From a result of this experiment, in 300kcps which is ten times from experiment condition used the conventional signal processing, degradation of energy resolution decrease from reference energy resolution is less than 1.0keV, and energy resolution is not over 9.7keV. In next experiment, we tried to obtain effective atomic number in 300kcps condition for checking the accuracy of atomic number.

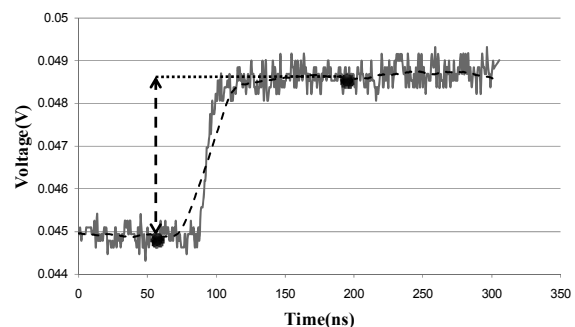


Fig. 1. Analytical method for obtaining pulse height. Solid line is the oscilloscope data obtained from the preamplifier. Dash line is 50ns moving average line of the continuous line.

# PHOTOTRANSISTOR BASED ON n-ZnO:N/p-Si HETEROJUNCTION

**A.I. Ievtushenko<sup>1</sup>, G.V. Lashkarev<sup>1</sup>, V.I. Lazorenko<sup>1</sup>, L.A. Kosyachenko<sup>2</sup>,  
V.M. Sklyarchuk<sup>2</sup>, O.F. Sklyarchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute for Problems of Material Science, NASU, 03680, Kiev, Ukraine*

<sup>2</sup>*Chernivtsi National University, 58012 Chernivtsi, Ukraine*

In recent years, considerable attention was paid to studying of zinc oxide (ZnO). This wide-gap semiconductor has several properties which are important for use in emitting devices and detectors of radiation in the ultraviolet spectral region. During last years the interest in ZnO-base photodiodes was increased where the n-ZnO/p-Si heterojunction is used as a photosensitive element. In such photodiodes, the responsivity  $S = 0.28$  A/W at 670 nm was achieved that corresponds to the quantum efficiency  $\eta$  about 50 % [1, 2] and the responsivity at 650 and 310 nm were 0.3 and even 0.5 A/W when a quantum efficiency  $\eta$  was about 200 % [3]. In this contribution we report the results of investigation of Ni/n-ZnO:N/p-Si structure which quantum efficiency can be far in excess of 1 (100 %).

The ZnO films with thickness 100 nm were deposited by DC magnetron sputtering in nitrogen plasma on p-Si wafers with resistivity  $\sim 10$   $\Omega$ ·cm. To compensate oxygen vacancies acting in ZnO as intrinsic donor defects, we introduce nitrogen during ZnO deposition by sputtering ZnO target in N<sub>2</sub>/Ar (10/1) gases ambient [4]. A semitransparent Ni layer with thickness about 10 nm was formed on the surface of ZnO:N by vacuum thermal evaporation. Aluminium ohmic contacts to p-Si were also deposited using the same technique. The resistivity of ZnO:N films was  $\sim 3 \times 10^5$   $\Omega$ ·cm.

The obtained Ni/n-ZnO:N/p-Si structures exhibit nonlinear and sharply nonsymmetric  $I$ - $V$  characteristics. The samples reveal photoresponsivity only at the polarity where currents are low (“+” to the Ni contact, “-“ to the p-Si). The measured photo-responsivity spectra cover a wide spectral range. In the regions  $\lambda < 500$  nm and  $\lambda > 500$  nm, responsivities are caused by photogeneration of electron-hole pairs in ZnO and Si, respectively. At a bias voltage higher than  $\sim 0.5$  V, the responsivity of Ni/n-ZnO/p-Si structure is far in excess of that of the Si reference photodiode. High values of spectral responsivity  $S$  mean that photoelectric conversion in a Ni/n-ZnO/p-Si structure is characterized by heightened quantum efficiency  $\eta = S \cdot hc / \lambda$ . At  $V = 0.5$  V, quantum efficiencies at 390 and 850 nm are approximately 26 and 6 times higher in comparison with those of a Si photodiode, respectively. For both wavelengths, the  $\eta$  values at the lowest bias voltages increase drastically with  $V$ . At  $V = 5$  V the  $\eta$  values at 390 and 850 nm become 655 and 165, respectively.

All obtained results allow us to make the assumption that the investigated Ni/n-ZnO/p-Si structure is a peculiar kind of bipolar transistor that operates as a photodetector with photocurrent gain, i.e., as a phototransistor with a common emitter. The operation and performance of the investigated Ni/n-ZnO/p-Si structure as a phototransistor assumes high quality of a ZnO:N layer and effective injection of minority charge carriers in this structure.

- [1] C.H. Park, J.Y. Lee, S. Im and T.G. Kim *Nuclear Instr. and Meth. A* **206**, 432 (2003).
- [2] H.X. Qi, Q.S. Li, B. Zhao, M.M. Zheng, X.S. Li. *Materials Sc. and Techn.*, **24**, 1002 (2008).
- [3] I.-S. Jeong, Jae Hoon Kim, and S. Im. *Appl. Phys. Lett.* **83**, 2946 (2003).
- [4] A. Ievtushenko, G. Lashkarev, V. Lazorenko, V. Karpyna, V. Sichkovskiy, L. Kosyachenko, V. Sklyarchuk, O. Sklyarchuk, V. Bosy, F. Korzhinski, A. Ulyashin, V. Khranovskyy, R. Yakimova, *Acta Physica Polonica A*, **114**, 1123 (2008).

# THE PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF FABRICATION FOR ULTRAVIOLET PHOTORESISTORS BASED ON ZnO FILMS

**A.I. Ievtushenko, G.V. Lashkarev, V.I. Lazorenko**

*Institute for Problems of Material Science, NASU, 03680, Kiev, Ukraine*

Zinc oxide is a promising material for short-wavelength (UV/violet/blue) optical devices, such as light emitting diodes (LEDs), laser diodes (LDs) and UV detectors due to its optical properties. ZnO has optical and electrical properties similar to GaN. Nevertheless it possesses such preferences as relative low cost, non-toxicity, advantages in technology and resistance to radiation damage.

Recently, many publications devoted to development of ZnO based photoresistors and Schottky photodiodes for UV spectrum region have been appeared [1]. For the photoresistors it is easy to obtain higher responsivity in comparison with photodiodes. Also the amplifying equipment is not necessary and the measuring system is simple and low cost as a rule.

The formation of excitons in ZnO at illumination results in small photoresponsivity of ZnO UV detectors. In addition, oxygen adsorption-desorption processes on the surface of ZnO films lead to the problems of reproducibility of photoconductivity properties and as well as to persistence of photoconductivity. The technological processes of deposition good ohmic contact to ZnO are also important.

In this presentation we propose the ways of solution of the mentioned above problems. To deposit ZnO films the technologies of magnetron sputtering and PEMOCVD were used. Before fabrication of detector structures, the investigation of the crystal structure and optical properties of deposited films were carried out. To create ohmic contacts to ZnO, In, Al or Al/Pt contacts were deposited using vacuum thermal evaporation or standard lift-off lithography. The  $I-V$  curves of all structures were studied to confirm the ohmic behavior of the Me contact to ZnO film. It was revealed that the decreasing of interelectrode distance from 4 mm to 4 mkm practically does not influence on speed of response for ZnO photoresistors. The influence of the structural and optical properties of ZnO films on photo-electrical properties of detectors is discussed. It is considered that due to mentioned problems of ZnO the development of effective UV detectors based on undoped ZnO is practically impossible.

Accordingly to [2], the nitrogen doping is prospective for achievement p-type conductivity in ZnO, because ionic radiuses of nitrogen and oxygen are close. But we suppose that nitrogen doping of ZnO is the most perspective way for development effective UV detectors on the basis of ZnO films. Therefore ZnO:N thin films were deposited on p-Si (100) substrate by magnetron sputtering in nitrogen plasma. The photoresistive Al/ZnO/Al interdigital transducers were formed by standard lift-off lithography. The photocurrent-to-dark current ratio equal to 250 at  $\lambda = 390$  nm and the time constant of photoresponse about 10 mks for Al/ZnO:N/Al structures with 4- $\mu$ m interdigital spacing were achieved. We suppose that good photo-electric characteristics of obtained ZnO:N films are due to positive nitrogen role in electrical compensation of crystal lattice defects of donor type (oxygen vacancies) and in acceleration the oxygen adsorption-desorption processes on the surface of ZnO films.

- [1] A.I. Ievtushenko, G.V. Lashkarev, V.I. Lazorenko, V.A. Karpyna, V.D. Khranovskyy  
*Phys. and chem. solid state*, **9**, 4, 869 (2008)  
[2] S.J. Pearton, et al. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **22**, 3, 932 (2004).

# ВЛИЯНИЕ $\gamma$ - ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ

**Викулин И.М., Ирха В.И.**

*Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова  
65029, Одесса, Кузнечная,1, каф. физики, тел: (048) 723-61-18,  
E-mail: [phys@onat.edu.ua](mailto:phys@onat.edu.ua)*

Развитие оптоэлектроники резко увеличило интерес к проблеме модуляции и сканирования света. Эффективность оптических методов передачи информации на несколько порядков выше, чем электронных, а это требует разработки новых приборов для этих целей. Выбор способа модуляции светового потока в каждом конкретном случае определяется исходя из вида передаваемой информации, требований к интенсивности светового потока, мощности модулирующего и т.п. В основу разработки данной проблемы положены результаты работ по созданию и применению полупроводниковых модуляторов света. Существует ряд физических механизмов, обеспечивающих управление светом при прохождении его через полупроводниковые материалы. Из них практическое применение нашли два: поглощение света на свободных носителях (внутризонные переходы) и поглощение, связанное с электронными переходами из валентной зоны в зону проводимости.

Управляя концентрацией свободных носителей заряда в полупроводнике можно изменять прозрачность среды по отношению к оптическому излучению. В основу наших разработок положены идеи поглощения света на инжектированных из р-п-перехода в базу модулятора неосновных носителей заряда. Инжекция носителей из р-п-перехода изменяет общую концентрацию носителей заряда в полупроводнике, а это в свою очередь приводит к изменению коэффициента поглощения света в нем и модуляции проходящего через кристалл света в соответствии с приложенным напряжением. Изменение оптического пропускания за длинноволновым краем собственного поглощения материала обусловлено поглощением ИК-света свободными носителями заряда. В настоящей работе проанализированы возможности применения проведенных исследования для разработки и создания полупроводниковых модуляторов малых размеров с низким питающим напряжением и более высокой глубины и однородностью модуляции. Наиболее приемлемым материалом, вследствие большой диффузионной длины носителей заряда (до миллиметра), является германий. Проанализированы возможности увеличения глубины протягивания носителей вглубь базы вследствие возрастания параметров распределения неравновесной электронно-дырочной плазмы.

Однако для использования полупроводниковых модуляторов в устройствах и системах оптоэлектроники необходимо, чтобы их параметры были стабильны во времени, при изменении температуры, при воздействии проникающей радиации. Физические процессы, связанные с воздействием ионизирующего излучения на них, остаются пока полностью невыясненными.

Проведены расчеты по влиянию облучения на германиевые модуляторы с инжекцией неосновных носителей заряда в объем полупроводника через р-п-переход слабо поглощаемым  $\gamma$ - излучением  $Co^{60}$  при 300К. Определено изменение глубины модуляции ИК-излучения при облучении  $\gamma$ - квантами дозой от  $10^{16}$  до  $10^{17}$  квант/см<sup>2</sup>. Обнаружено существенное уменьшение времени жизни инжектированных дырок в п-область модулятора и снижение диффузионной длины с ростом дозы облучения, что приводит к уменьшению глубины модуляции ИК- излучения.

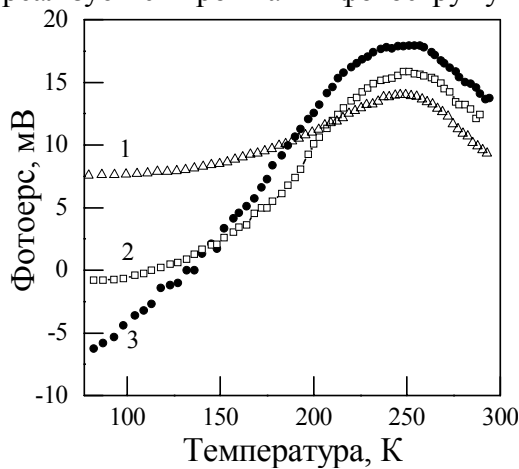
Рассмотрены конструктивные возможности создания полупроводниковых оптических модуляторов с однородной модуляцией по поперечному сечению луча.

# ВПЛИВ ПОВЕРХНІ НА ЧУТЛИВІСТЬ ФОТОДЕТЕКТОРІВ НА ОСНОВІ СТРУКТУР МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ

**Л.А. Карачевцева, В.Ф. Онищенко, А. В. Саченко, М.І. Карась, К.А. Паршин**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Україна, 03028, Київ-28, просп. Науки, 41, (8-044)525-98-15, [lakar@isp.kiev.ua](mailto:lakar@isp.kiev.ua)*

Макропористий кремній, виготовлений методом фотоанодного травлення, займає особливе місце серед двовимірних фотонних кристалів. Це обумовлено можливістю виготовлення структур з потрібною геометрією, формуванням додаткових смуг оптичного поглинання, їх фотоелектричними властивостями. Використання поверхневих ефектів фотонних напівпровідникових структур значно збільшує функціональні можливості напівпровідникових матеріалів. Так, уже розроблено фотодетектор на основі фотонної структури кремній-діелектрик, в якому реалізується протікання фотоструму при поглинанні поверхневими станами [1].



Експериментальні температурні залежності фотоерс у макропористому кремнії при опроміненні світлом інтенсивністю  $2 \cdot 10^{14}$  фотон/(см<sup>2</sup>·с) та з довжиною хвилі: 1 –  $\lambda = 0,7$  мкм, 2 –  $\lambda = 0,94$  мкм, 3 –  $\lambda = 0,95$  мкм.

За аналогією з фотонними хвилеводами основним фізичним явищем, яке визначає перспективність двовимірних структур макропористого кремнію як фотовольтаїчних сенсорних елементів, є підсилення поглинання електромагнітного випромінювання та фотовідгуку в результаті взаємодії оптичних мод з розвиненою поверхнею циліндричних макропор. При цьому як фотопровідність, так і фотоерс ефективно управляються станом бар'єру на поверхні макропор. В роботі досліджено вплив поверхні на чутливість фотодетекторів на основі структур макропористого кремнію. Визначено кінетику та температурну залежність фотовідгуку в бар'єрних структурах „метал-макропористий кремній” в залежності від механізму струмопереносу фотоносіїв заряду та участі поверхневих станів.

Встановлено, що фотоерс в області температур, менших за 130°К, насичується або змінює знак на від'ємний, що пов'язано з поглинанням світла за участю фотопереходів через поверхневі стани, близькі до зони провідності кремнію. При цьому зростає поверхневий вигин зон за рахунок збільшення від'ємного заряду поверхні напівпровідника. Рекомбінація рівноважних електронів в об'ємі зі збудженими освітленням дірками на поверхні макропор відбувається по каналу багатоступінчастої тунельної рекомбінації між зоною провідності та валентною зоною.

Ампер-ватна чутливість фотовольтаїчного елемента на основі кремнієвих фотонних структур досягає 0,4 А/Вт ( $\lambda = 0,9$  мкм), квантова ефективність – 50%. Це відкриває можливості розробки компактних швидкодіючих фотовольтаїчних детекторів.

1. T. Baehr-Jones, M.Hochberg, and A. Scherer, *Optics Express* **16**, N 3, 1659 (2008).

# ON THE MICROSTRUCTURAL MECHANISMS OF RADIATION-STIMULATED PROCESSES IN CHALCOGENIDE VITREOUS SEMICONDUCTORS

**T. Kavetsky**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Solid State Microelectronics Laboratory, Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 24 I. Franko Str., 82100 Drohobych, Ukraine*

<sup>2</sup>*Lviv Institute of Materials, Scientific Research Company "Carat",  
202 Stryjska Str., 79031 Lviv, Ukraine  
e-mail: [kavetsky@yahoo.com](mailto:kavetsky@yahoo.com)*

Chalcogenide vitreous semiconductors (ChVS) are well-known as perspective optical materials with exceptional transparency in the near and mid infrared (IR) region covering the two atmospheric windows lying from 3 to 5 and 8 to 12  $\mu\text{m}$  [1]. This unique feature of ChVS in comparison with oxide glasses, especially silicates, is due to existence of heavy anion atoms such as sulfur (S), selenium (Se) and tellurium (Te) that leads to fundamental vibrational modes shifted far in the IR, and rendering these materials interesting for the fabrication of thermal-imaging systems, low-cost infrared cameras, infrared fibers, etc. Other unique properties of ChVS, such as photo-induced optical effects [2] for thin film materials as well as gamma-radiation-induced optical effects for bulk materials [3] are also found attractive applications for the development of CD/DVD optical recording/rewriting media [4] and dosimeter systems in high-dose industrial applications [5]. Besides, gamma-radiation treatment of bulk ChVS samples is considered also as useful structure modification factor, accelerating physical aging effects in the low-dimensional systems [6].

Despite number of works on the radiation-induced effects in ChVS, the microstructural mechanisms of radiation-stimulated processes in glasses of binary and ternary systems are poorly understood on the atomic-scale level. This situation is due to that in addition to conventional IR or Raman spectroscopic investigations of molecular fragments in glass structure the results from direct high-precise structural techniques such as high-energy synchrotron x-ray diffraction (XRD) and extended x-ray absorption fine structure (EXAFS) spectroscopy should be taken into account for detailed analysis. Firstly, Kolobov [7] showed the successful application of EXAFS in combination with Raman scattering to study light-irradiated simple amorphous *a*-Se and compound *a*-As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> and presented an adequate atomic-scale model of the photostructural changes observed. In the present work, this idea is used to present the atomic-scale models of the gamma-radiation-induced structural changes in the glasses of binary and ternary Ge-As(Sb,Bi)-S(Se) systems using our results obtained from high-energy XRD, EXAFS, IR and Raman measurements.

[1] B. Bureau, *et al.*, J. Non-Cryst. Solids **345-346**, 276 (2004).

[2] O.I. Shpotyuk, Phys. Stat. Sol. (b) **183**, 365 (1994).

[3] O.I. Shpotyuk, R.Ya. Golovchak, T.S. Kavetsky, A.P. Kovalskiy, M.M. Vakiv, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B, **166-167**, 517 (2000).

[4] T. Ohta, M. Birukawa, N. Yamada, K. Hirao, J. Magn. Mater. **242-245**, 108 (2002).

[5] G.A.M. Amin, N.M. Spyrou, Rad. Phys. Chem. **72**, 419 (2005).

[6] R.Ya. Golovchak, A. Kozdras, Cz. Gorecki, O.I. Shpotyuk, J. Non-Cryst. Solids **352**, 4960 (2006).

[7] A.V. Kolobov, H. Oyanagi, A. Roy, K. Tanaka, J. Non-Cryst. Solids **232-234**, 80 (1998).

# ДАТЧИКИ ИНФРАКРАСНОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ ОЧУВСТВЛЁННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Кочергина А. А., Каракис Ю.Н., Ницук Ю.А.

*Одесский национальный университет,  
физический факультет ул. Пастера, 42*

Инфракрасное излучение является одним из видов загрязнения окружающей среды, особенно с учётом современных урбанистических тенденций. Кроме этого инфракрасный свет с успехом применяется в медицинских целях, для исследовательских нужд, в военном деле, для передачи и обработки информации. Всё это делает актуальной проблему разработки датчиков длинноволнового излучения и детального изучения процессов, которые могут послужить увеличению их эффективности.

Нами предлагается использовать для регистрации ИК – излучения эффект инфракрасного гашения фототока в кристаллических полупроводниках, легированных центрами медленной рекомбинации. По нашему мнению такой подход обладает рядом преимуществ.

Во-первых, при этом измеряется не сам протекающий фототок, который может быть сравнительно большим и включать в себя некоторый уровень шумов, в том числе и специально поставленных, а изменение фототока в результате светового воздействия. Поскольку измеряется разностная величина, она автоматически очищается от шумового вклада и в силу своей малости оказывается относительно более чувствительной к внешнему воздействию. Во-вторых, благодаря особенностям легирования при этом можно создавать в одном кристалле датчики на различные длины волн, тогда как для собственной проводимости полупроводника это невозможно. Наконец, такой подход без труда позволит создавать пространственно неоднородные чувствительные системы, неосуществимые на основании изотропных кристаллов.

Нами исследованы особенности взаимодействия инфракрасного света с кристаллами сульфида кадмия, предварительно пролегированными S- и R-центрами. Установлено, что подобные элементы обладают значительной (изменение фототока на 2 – 3 порядка) чувствительностью в ближней инфракрасной области спектра 900 – 1600 нм. Особенное внимание уделено зависимости от интенсивности инфракрасного света. Выявлены два максимума чувствительности в области 1100 и 1400 нм. Подробно изучены явления, сопровождающие деградацию и старение сенсоров. Указано на особенности этих процессов для датчиков с большим и малым межэлектродным расстоянием.

Наблюдаемые изменения объяснены в рамках единой модели на основе контролируемого перераспределения очувствляющих центров в кристаллах. Даются рекомендации по практическому использованию предложенных сенсоров.



## КРЕМНІЄВІ ФОТОПРИЙМАЧІ З РОЗШИРЕНОЮ ОБЛАСТЮ ЛІНІЙНОСТІ ЛЮКС-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

**В.П. Костильов, В.Г. Мелах, А.В. Саченко, О.А. Серб, В.В. Черненко**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
пр. Науки, 41, Київ 03028, т. 525-5043, e-mail: vkostylov@ukr.net*

В доповіді наводяться результати розробки і дослідження фотоприймачів нового типу з розширеною областю лінійності люкс-амперної характеристики. Розроблені фотоприймачі мали “зустрічно-штирьову” топологію контактної металізації, яка характеризувалась тим, що контакти мали вигляд двох гребінок і були розташовані на тилувій (неосвітлюваній) поверхні фотоприймача. Оскільки освітлювана (фронтальна) поверхня фотоприймача була вільна від контактів, то оптичні втрати, обумовлені її затіненням, були відсутніми.

Крім того, для мінімізації оптичних втрат на фронтальну поверхню наносилось одношарове ( $\text{SiO}_2$ ) чи двошарове ( $\text{SiO}_2 + \text{SiN}_x$ ) антивідбиваюче покриття. В деяких випадках на фронтальній поверхні утворювався рельєф за допомогою спонтанного (пірамідальний рельєф) чи направленого (обернені піраміди) хімічного текстурування з наступним нанесенням пасивуючого і просвітлюючого шару  $\text{SiO}_2$ . При цьому досягалось:

- зменшення коефіцієнту відбивання світла від поверхні;
- збільшення ефективності фотоперетворення в інфрачервоній області за рахунок збільшення довжини пробігу довгохвильових фотонів в базовій області;
- зменшення рекомбінаційних втрат за рахунок зменшення товщини бази.

Розроблена технологія, виготовлені і досліджені експериментальні зразки кремнієвих фотоприймачів нового типу з розширеною областю лінійності люкс-амперної характеристики. При їх розробці вжиті заходи щодо мінімізації оптичних втрат, поверхневих і об'ємних рекомбінаційних втрат при різних рівнях фотозбудження неосновних носіїв заряду, а також омічних втрат, спричинених реальним шаровим опором легованих активних областей фотоприймача і металеві контактною сіткою на їх поверхні.

На основі результатів теоретичного аналізу і експериментальних досліджень показано, що в кремнієвих фотоприймачах з тилувим розміщенням зустрічно-штирьової контактної металізації ефективність процесів фотоелектричного перетворення енергії при концентрованих потоках сонячного випромінювання може бути суттєво більш високою, ніж в фотоприймачах звичайного типу з двостороннім розміщенням струмо-збираючих металевих контактів

Наведені результати проведених в роботі досліджень фотоелектричних характеристик з використанням концентратора сонячного випромінювання і атестованого контрольно-вимірювального устаткування. Показано, що область лінійності люкс-амперної характеристики на експериментальних зразках розроблених кремнієвих фотоприймачів з тилувим розміщенням зустрічно-штирьової контактної металізації забезпечується до значень енергетичної освітленості поверхні  $E \sim (2-3) \times 10^4 \text{ Вт/м}^2$ , причому густина струму короткого замикання при цьому перевищує  $1 \text{ А/см}^2$ .

# USB-ВИМІРЮВАЧ ЕНЕРГІЇ ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

**Леваш Л.В., Лисенко В.С. Птушинський Ю.Г., Душко В.Г. Росновський О.А.,  
Самойлов В.Б.**

*Інститут фізики НАНУ, пр.Науки 46,03680 Київ, Україна, levash@iop.kiev.ua*

В повідомленні описано піроелектричний вимірювач енергії, призначений для вимірювання енергетичних характеристик імпульсного лазерного випромінювання, а саме: одночасного вимірювання енергії імпульсу та часових характеристик цугу імпульсів, середньої потужності цугу в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному діапазонах спектра. Актуальність цієї проблеми пов'язана зі стрімким зростанням парку лазерних випромінювачів, що викликає нагальну потребу в створенні нових робочих засобів для атестації лазерів з розширеними енергетичними характеристиками, до того ж сумісних із сучасними комп'ютерними засобами обробки інформації.

Чутливі елементи вимірювача створено на основі піроелектричних монокристалів LiTaO<sub>3</sub>, що забезпечує високу стабільність параметрів приймача протягом тривалого часу експлуатації та стійкість до температурних впливів оточуючого середовища.

Суттєвою відмінною приладу від існуючих аналогів є те, що в ньому відсутній блок обробки та відображення інформації. Приймальна головка, що за традиційною схемою містить чутливий елемент та попередній підсилювач доповнена платою АЦП виконаною на основі мікросхеми типу AD7665. Керуючим елементом плати цифрової обробки сигналів є мікроконтролер з 32-х розрядною архітектурою типу LPC2148. Послідовний інтерфейс типу USB плати цифрової обробки сигналів повністю реалізований на вбудованих структурах мікроконтролера LPC2148. Керування роботою приймальної головки, обмін даними між платою АЦП і керуючим комп'ютером та подача живлення у вимірювач відбувається за допомогою USB-інтерфейсу. Результати вимірів відображуються на екрані монітора.

Вимірювач може працювати в двох режимах: "Однократно" (вимірюється енергія імпульсу) та "Періодично" (вимірюється енергія кожного імпульсу, частота повторення імпульсів та середня потужність променя).

Основні технічні параметри вимірювача:

Спектральний діапазон імпульсного випромінювання, мкм	0,3÷15
Динамічний діапазон вимірювання енергії, Дж	$3 \cdot 10^{-6} \div 1 \cdot 10^{-3}$
Верхня межа щільності енергії (при тривалості імпульсу >45нсек.), Дж/см <sup>2</sup>	$10^{-2}$
Частота повторення імпульсів (не більше), Гц	2000
Тривалість імпульсу (не більше) с	$10^{-5}$
Діаметр чутливого елемента, мм	10
Матеріал чутливого елемента	LiTaO <sub>3</sub>
Основна відносна похибка вимірювання енергії, %	10
Основна відносна похибка вимірювання середньої потужності, %	10
Тип інформаційного інтерфейсу	USB 2.0
Потужність, що споживається (не більше), Вт	0,5
Температура навколишнього середовища, °С	Від +5 до +40
Габаритні розміри вимірювача (діаметр, висота), мм	∅100×60
Маса вимірювача (не більше), кг	0,4

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИЧЕСКИХ ВРАЩАЮЩИХСЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

<sup>1</sup>С.В. Свечников, <sup>1</sup>В.Н.Шапарь, <sup>2</sup>А.В.Савчук.

<sup>1</sup> *Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАНУ, г. Киев.*

<sup>2</sup> *Международный центр "ИПО НАНУ", г. Киев.*

В современной контрольно-измерительной технике вращающихся объектов и технике связи между подвижными и стационарно установленными объектами все чаще возникает потребность в бесконтактных оптических вращающихся соединителях (ОВС), способных обеспечить надежную непрерывную передачу широкополосной цифровой и аналоговой информации с вращающихся объектов на неподвижные.

Особенный интерес у специалистов разных отраслей вызывают многоканальные конструкции на десятки оптических каналов предназначенные для передачи больших массивов широкополосной цифровой информации со скоростью в несколько десятков Гбит/с., а также малогабаритные конструкции на небольшое количество оптических каналов (от 2 до 7 каналов) предназначенные для использования на объектах, вращающихся со скоростями в несколько тысяч об/мин.

В развитых странах мира, таких как США, Канада, Япония, Франция, Германия, Великобритания созданию ОВС уделяют большое внимание.

В Украине, России и других странах СНГ, оптические вращающиеся соединители в настоящее время не производятся.

Весомый научный вклад в создание многоканальных ОВС сделан в ИФП НАН Украины, где в начале девяностых годов был разработан оригинальный способ передачи сигналов между взаимно перемещающимися объектами, заключающийся в компенсации движения световых лучей одноступенчатым или двухступенчатым поэтапным преобразованием скорости и направления движения лучей (А.С. СССР № 1832395, 1992 г., Свечников С.В., Шапарь В.Н.). Разработанный способ открыл принципиально новое направление в построении многоканальных ОВС компенсационного типа с использованием в них разных волоконно-оптических элементов, в том числе ОВС, не включающих редукторные механизмы. (G. Svechnikov and V. Shapar. 'Optical rotary connector for transfer of data signals from fiber optic sensors placing on rotary objects' / SPIE. V. 1589 Specialty Fiber Optic Systems for Mobile Platforms. 1991).

На данный момент времени в ИФП НАНУ совместно с МЦ "ИПО НАНУ" разработан ряд конструкций ОВС для использования в различных отраслях техники.

Разработан многоканальный ОВС с информационной емкостью на десятки оптических каналов, в котором использована идея компенсации движения лучей с помощью одноступенчатого волоконно-оптического преобразователя угловой скорости вращения лучей. По информационной емкости и достигнутой при этом стопроцентной оптической изоляции между каналами ОВС аналогов не имеет.

Создан ряд малогабаритных ОВС на 2-6 оптических канала передачи, предназначенных для использования на объектах, вращающихся со скоростью до нескольких тысяч оборотов в минуту. В данных конструкциях использована идея построения ОВС на основе кольцевых волоконно-оптических преобразователей формы светового потока, изготовленных интегрировано и объединенных в общий коллектор в сплошном волоконно-оптическом блоке.

В докладе широко представлены также результаты проведенных поисковых теоретических и экспериментальных исследований в направлении создания принципиально новых перспективных типов малогабаритных широкополосных многоканальных ООЗ на основе градиентной и голографической оптики.

# OPTICAL VORTEX SENSORS OF LINEAR AND ANGULAR DISPLACEMENTS

**S.V. Sviridova, A.Ya. Bekshaev, O.V. Orlinska**

*I.I. Mechnikov National University, Dvorianska 2, Odessa 65082, Ukraine,  
bekshaev@onu.edu.ua*

Light beams with optical vortices (OV) can be generated and transformed by means of holograms with embedded phase singularity whose characteristic feature is existence of the fringe bifurcation (“fork” structure, see the bottom row of Fig. 1) [1]. If the incident (input) beam possesses no OV (e.g., a Gaussian beam), the output (diffracted) beam acquires the phase singularity; if the incident beam already carries an OV (e.g., a Laguerre-Gaussian beam), its order algebraically adds to the order of the phase singularity imparted by the hologram. In all cases, spatial configuration of the resulting output beam is determined by geometrical conditions of the transformation. In particular (see Fig. 1), it strongly depends on the spatial disagreement between the incident beam axis and the nominal optical axis of the hologram (normal to the hologram plane intersecting it exactly in the bifurcation point). This

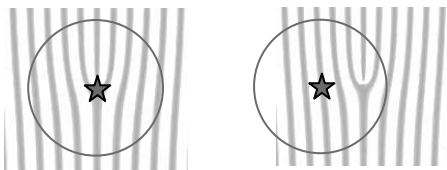
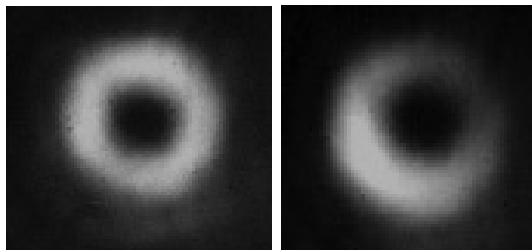


Fig. 1. View of the diffracted beam cross section (top) for the centered (left) and misaligned (right) incidence of a Gaussian beam (contours are shown in the bottom row).

effect can be used for measurement of the hologram displacements and its positioning with respect to the incident beam axis [2]. Similar transformations of the output beam structure can be caused by the hologram deformations.

In this work, we apply the mathematical model for the beam transformation in a “fork” hologram [3] for studying the sensitivity of the output beam profile to the incident beam displacements and the hologram deformations. In addition to the usual approach where the incident beam profile is Gaussian, the case of arbitrary circular Laguerre-Gaussian incident beam is considered. Both theoretically and experimentally we analyze conditions for the optimal beam size, hologram fringe spatial frequency as well as desired “strengths” of the incident and embedded phase singularity.

Available accuracy and potential sensitivity of the envisaged sensor of linear and angular displacements and/or deformations are discussed.

[1] N.R. Heckenberg, R. McDuff, C.P. Smith, H. Rubinstein-Dunlop, M.J. Wegener, *Opt. Quant. Electron.* **24**, S951 (1992).

[2] G. Anzolin, F. Tamburini, A. Bianchini, C. Barbieri, *Phys. Rev. A*, **79**, 033845 (2009).

[3] A.Ya. Bekshaev, A.I. Karamoch, *Opt. Commun.*, 281 1366 (2008).

## НАПІВМАГНІТНІ КЕРАМІЧНІ ТА ПЛІВКОВІ МАТЕРІАЛИ $ZnMeO$ (Me=Mn, Cr, Co) ДЛЯ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

І.С. Вірт<sup>1</sup>, І.В. Гадзаман<sup>1</sup>, І.В. Курило<sup>2</sup>, І.О. Рудий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет імені І.Франка, Україна,  
*isvirt@email.ua*

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, Україна

Оксид цинку завдяки своїм унікальним властивостям – один із найперспективніших напівпровідникових матеріалів для електроніки, оптоелектроніки, спіноетроніки тощо. Кераміка на основі оксиду цинку, легованого різними елементами, – перспективний матеріал для формування прозорих електродів у системах відображення та різного роду сенсорів. Особлива увага приділяється дослідженню тонкоплівкового матеріалу, легованого магнітними домішками, та структур на його основі. У цій праці представлено результати експериментальних досліджень структурних та електрофізичних властивостей спресованих масивних зразків та плівок напівмагнітних оксидів  $ZnMeO$  (Me = Mn, Cr, Co).

Синтез експериментальних зразків здійснювали методом твердофазних реакцій, який широко використовують у керамічній технології [1]. Вихідними компонентами для приготування шихти слугували оксиди особливої чистоти (99,999 %). Співвідношення компонентів: Zn – 96 % (ат.) та Mn, Cr і Co – 4 % (ат.). Час змішування і помелу визначався ступенем гомогенізації і становив 16 год. Одержану суміш вихідних оксидів осушували за температури  $120 \pm 5$  °C. Попередній відпал суміші, у процесі якого відбувалась активація суміші порошоків, здійснювали в нормальній атмосфері за температури  $700 \pm 5$  °C протягом 4 год. Формування прес-заготовок діаметром 11,5–15 мм та завтовшки 1–2,5 мм здійснювали методом ізостатичного пресування під тиском 40–60 МПа без використання пластифікатора. Відпал прес-заготовок відбувався протягом 3 год в камерній печі періодичної дії. Максимальна температура відпалу, яка відповідала ізотермічній ділянці становила 1040 °C.

Плівки нарощували методом абляції мішеней  $ZnMeO$  імпульсним лазером на скляні підкладки і підкладки  $Al_2O_3$  за різних температур (переважно 200 °C) і за різних режимів роботи лазера. Для видалення матеріалу мішені використано лазер YAG:Nd ( $\lambda = 1064$  нм,  $f = 0,5$  Гц, тривалість імпульсу 10 нс). Плівкам властива досить хороша морфологія поверхні.

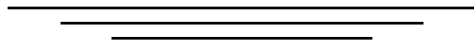
Визначені параметри решітки  $ZnMeO$  зіставлено з параметрами решітки чистого ZnO. Структуру синтезованого пресованого матеріалу досліджено методом X-променевої дифрактометрії в  $\theta$ -2 $\theta$  конфігурації. Структуру плівок досліджено методом дифракції електронів високої енергії на проходження з використанням електроннографа ЭГ–100А в інтервалі пришвидшувальних напруг 60–80 кВ. Електропровідність плівок визначали двозондовим методом. Температурні залежності електропровідності одержано за допомогою електрометра “Metex” з використанням терморпарі Keithley. Верхня межа температури вимірювань становила 450 К. Виявлено кореляцію між товщиною плівок та електрофізичними параметрами.

[1] А.А.Поляков Технология керамических радиоэлектронных материалов, Радио и связь, М., (1989), с. 200.



**Секція VII**

**АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ**



**Section VII**

**ACOUSTOELECTRONIC SENSORS**

# ФОТОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМАХ PS-ЖИДКОСТЬ. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ

Андрусенко Д.А., Алексеев С.А., Бурбело Р.М., Исаев Н.В., Кузьмич А.Г.

*Taras Shevchenko Kyiv National University, Faculty of Physics,  
Volodimirska Str., 64, 01601 Kyiv, Ukraine. and\_@univ.kiev.ua*

В поглощающих свет средах, при малых плотностях выделения энергии, основным механизмом фотоакустического (ФА) эффекта является фототермоакустическое преобразование. При этом упругие колебания в веществе возникают вследствие термоупругих деформаций, вызванных нестационарными тепловыми полями. В случае сравнительно низких частот модуляции светового потока ФА сигнал может быть получен в виде переменной разности электрического потенциала, снимаемой с пьезоэлектрического преобразователя системы образец-пьезопреобразователь [1]. ФА сигнал в этом случае обусловлен квазистационарными изгибными колебаниями системы в целом, вызванными переменными термоупругими напряжениями в образце.

В настоящей работе рассматривается влияние термоиндуцированных колебаний давления жидкой компоненты в композитных системах пористая матрица-жидкость на ФА сигнал при пьезоэлектрической регистрации ФА эффекта.

В работе [2], на основании модели цилиндрических параллельных пор (ЦПП) показано, что распределение давлений газа в пористом образце зависит от характерной длины затухания колебаний давления ( $l_p$ ). Эта зависимость обусловлена перетеканием газа вдоль пор. В случае, когда  $l_p$  имеет порядок толщины образца, такое перетекание зависит от диаметра пор и вязкости газа, а следовательно, влияет на параметры газомикрофонного ФА сигнала.

На основании результатов работы [2], в рамках модели ЦПП, в настоящей работе получены выражения для  $l_p$  и времени релаксации ( $\tau$ ) для композитной системы с жидкостью. Показано, что термоиндуцированные давления жидкости в порах сравнимы, а в некоторых случаях существенно превышают величины термоупругих напряжений в монокристаллическом кремнии.

Эксперимент выполнен с образцами на основе пористого кремния (PS) с характерным диаметром пор порядка 20nm. ФА сигналы, полученные от композитных систем с жидкостью методом пьезорегистрации, сравнивались с сигналами от образцов PS без жидкости на монокристаллической подложке, а также монокристаллов Si. Для образцов композитов наблюдалось значительное, по сравнению с остальными образцами, увеличение как крутизны фронтов ФА сигнала на низких (40Гц), так и увеличение его амплитуды на высоких (~1КГц) частотах. Данные особенности сигнала можно объяснить малой сжимаемостью жидкости при значительной величине ее коэффициента объемного теплового расширения.

Для композитных систем с жидкостями, вязкость которых мала, на низких частотах при прямоугольной модуляции света, в зависимостях потенциала от времени наблюдались экстремумы. По положению экстремумов оценивалось  $\tau$ .

Чувствительность параметров ФА сигнала в рассматриваемой геометрии эксперимента к вязкости жидкой компоненты композитной системы, вероятно, может быть использована для создания различных сенсорных систем.

[1]. J.V. Blonskij, V.A. Tkoryk, M.L. Shendeleva, J. Appl. Phys. **79**, 3512 (1996)

[2]. Bernini U, Maddalena P, Massera E and Ramaglia A, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. **1**, 210 (1999)



# APPLICATION OF THE FILMS OF MYCELIUM EXTRACTS AS SENSITIVE ELEMENT FOR ACOUSTOELECTRONIC GAS SENSORS

**Kuznetsova I.E.<sup>1</sup>, Zaitsev B.D.<sup>1</sup>, Shikhabudinov A.M.<sup>1</sup>, Tsivileva O.M.<sup>2</sup>, Pankratov A.N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Saratov Branch of IRE of RAS, Zelyonaya str., 38, 410019, Saratov, Russia,  
kuziren@yandex.ru*

<sup>2</sup> *IBFRM of RAS, Entuziastov pr-t., 13, 410049, Saratov, Russia, tsivileva@ibppm.sgu.ru*

At present time there exist a great amount papers devoted to development of acoustoelectronic gas sensors [1]. The main problem here is the search of sensitive elements which are selective to different kinds of gas. In this paper we suggest to use for this purpose the piezoelectric quartz resonators. The investigations showed that as sensitive elements for such sensors one may use the films obtained by the evaporation of solvent from the extract of mycelium of mushrooms on the surface of resonator.

We have investigated the influence of various gases (ammonia, formaldehyde) and volatile liquids (acetone, acetic acid, chloroform) on physical properties of extract of mycelium mushroom *Lentinus edodes*. As a result we developed the technology of obtaining the mycelial films which may be used as active element of acoustoelectronic gas sensors.

The investigations were carried out in accordance with the following way. At first the extract of mycelium mushroom *Lentinus edodes* strain F-249 was grown in synthetic medium cultivation. Then this extract was deposited on the surface of quartz resonator and was dried. Further the frequency dependencies of real and imaginary portions of electrical impedance of such resonator were measured by using the LCR meter Agilent 4285A. After that the resonator was put into the hermetic glass flask containing gas or vapor of various kinds of volatile liquid. After 10 and 20 minutes we measured the aforementioned frequency dependencies again. Then resonator was taken out from flask and aforementioned measurements were repeated two times in 10 and 20 minutes. Further the mycelium film was removed from resonator and pointed above measurements were repeated again for resonator without film. Each pair of measured frequency dependencies (real and imaginary portions) for loading resonator were analyzed with the help of equivalent circuit and least square method for obtaining such parameters of mycelium film as density, thickness and coefficients of elasticity and viscosity. It has been found that the various gases change the combination of such parameters in the different ways which depend on the method of preparation of mycelium extract.

For example, for obtaining the film which is sensitive to the ammonia the mycelium of mushroom *Lentinus edodes* must be grown during 14 days in the growth medium containing 0.2 mg/l indolil-3- acetic acid with further extraction them by the ethanol.

This work is supported by grant RFBR 09-02-12442 and Dynasty Foundation.

[1] D.S. Ballantine, R.M. White, S.J. Martin, A.J. Ricco, G.C. Frye, E.T. Zellers, H. Wohltjen *Acoustic Wave Sensors: Theory, Design, and Physico-Chemical Applications*. San Diego: Academic Press (1997), p.455

# СПОСТЕРЕЖЕННЯ АКУСТОІНДУКОВАНОЇ ПЕРЕБУДОВИ МЕТАСТАБІЛЬНОГО ДЕФЕКТУ В $\gamma$ -ОПРОМІНеноМУ КРЕМНІ $n$ -Si-Fz

Я.М. Оліх, М.Д. Тимочко

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,  
пр. Науки 41, 03028 Київ, Україна, e-mail: jaroluk3@ukr.net*

У напівпровідниках існує багато метастабільних дефектів (МД), які мають цікаві властивості. Інтерес до подібних дефектів з практичної точки зору обумовлений можливістю використання явища бістабільності для створення елементів пам'яті нового покоління. На сучасному етапі технологія наблизилась до конструювання на субмікронному рівні пристроїв, активним елементом яких може бути бістабільний центр [1]. Для різних зарядових станів дефекту мінімум енергії відповідає різним конфігураційним станам, отже перебудова однієї конфігурації дефекта в іншу можлива шляхом зміни зарядового стану. Причиною такої зміни може бути: і локальна деформація, і температура, і електромагнітне поле, і радіація. Окремі МД чутливі і до дії ультразвуку (УЗ) [2-3]. Проте кінетика динамічних (зворотних) акустоіндукованих (АІ) переходів залишається абсолютно не вивченою. Труднощі таких досліджень пов'язані з традиційним застосуванням УЗ хвиль в неперервному режимі, що робить неможливим спостереження швидких перехідних процесів. У даній роботі застосовано новий методичний підхід, який полягає у використанні УЗ імпульсної форми, що дозволило вперше спостерігати АІ релаксацію конфігураційного стану МД, використовуючи той чинник, що в певному температурному діапазоні провідність зразка  $\sigma$  визначається енергетичним рівнем саме даного МД.

Досліджувалися зразки бездислокаційного  $n$ -Si-Fz:P, для яких концентрація домішкових атомів фосфору, кисню та вуглицю становила:  $N_P \sim 4,8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_O < 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_C = 1,0 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , відповідно. Акустоактивні дефекти створювались при  $T=300 \text{ K}$  опроміненням  $\gamma$ -квантами  $^{60}\text{Co}$ , дозою  $\sim 10^8$  рад. Вимірювання концентрації  $n$  та рухливості носіїв заряду  $\mu_n$  проводились методом ефекту Холла в температурному діапазоні 100÷300 K на стандартних прямокутних зразках у режимі постійного струму і постійного магнітного поля 0,45 Тл [2]. Для генерації УЗ використані п'єзоелектричні перетворювачі, які збуджувалися ВЧ імпульсами (частота 2-20 МГц, тривалість 1-1000 мкс, напруга до 20 В). З нахилу експериментальних залежностей  $n(T)$  було визначено, що провідність зразків  $\sigma$  в інтервалі температур 100-200 K визначається глибокими акцепторними рівнями з енергією  $E_c = (0,20 \pm 0,02) \text{ eV}$  [3]. При УЗ навантаженні нахил  $n(T)$  дещо збільшується – до  $(0,22 \pm 0,02) \text{ eV}$ . При цьому на час дії УЗ імпульсу спостерігається тимчасова зворотна зміна  $\sigma$ , зростання  $\tau_i$  та спад  $\tau_d$  якої при фіксованій температурі описується характерними для релаксаційних процесів часами релаксації  $\tau_i(T)$  і  $\tau_d(T)$ , відповідно (див. рисунок).

$$\tau_{i,d} = \tau_{i,d}^0 \exp(U_{i,d} / \kappa T), \quad (1)$$

де  $U_{i,d}$  – енергія активації процесу. При зменшенні температури зразка  $\tau_{i,d}$  різко зростають ( $10^{-5}$ - $10^{-3}$ ) с. З  $\tau_{i,d}(T)$  визначено величини  $U_i \approx 0,07 \text{ eV}$ ,  $U_d \approx 0,08 \text{ eV}$  та  $\tau_{i,d}^0$  (значення приведені на рисунку). Аналіз амплітудної залежності показав, що при всіх температурах, де проявляється АІ зміни  $\sigma$ ,  $\Delta n = (n_0 - n_{US})$  – пропорційна інтенсивності УЗ  $W_{US}$  (індекс „US” всюди відповідає значенню величини в умовах УЗ дії, а „0” – у відсутності УЗ):

$$n_{US} = \alpha n_0 W_{US}, \quad (2)$$

причому коефіцієнт пропорційності  $\alpha$  теж термоактивований  $\alpha = \alpha_0 \exp(-U_\alpha / \kappa T)$ .

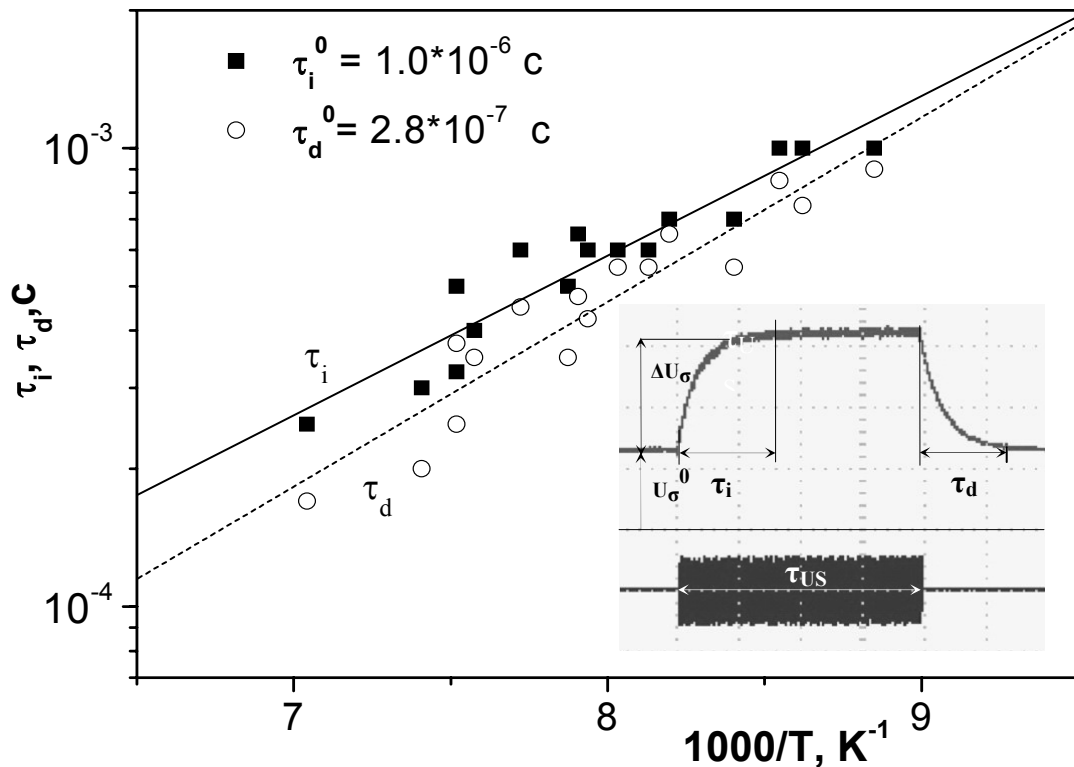


Рисунок. Температурна залежність часу релаксації напруги на зразку  $U_\sigma$ , наростання  $\tau_i$  та спаду  $\tau_d$ . Крапки – експеримент, суцільні лінії – апроксимація. На вставці: згорі – осцилограма  $U_\sigma$ ; внизу – ВЧ імпульс, що подається на  $n$ -езоперетворювач.

Аналіз релаксаційних характеристик АІ змін  $\sigma$  та всього комплексу отриманих даних – про склад дефектів, положення енергетичного рівня в забороненій зоні, характерні енергії активації АІ процесів при температурних та амплітудних змінах, – дозволяють запропонувати енергетичну модель акустоактивного МД. Таким дефектом в досліджуваних зразках, на нашу думку, являється дивакансія, і АІ переходи відбуваються між її одно- і дво- від’ємно зарядженими станами.

Отримані експериментальні результати АІ перебудови МД показують, що не тільки зміна зарядового стану, як прийнято вважати [1], спричинює перебудову конфігурації метастабільного дефекта, але є можливим і обернений ефект. А саме – стимульована (індукована) звуком перебудова конфігурації дефекта та, як наслідок, – зміна зарядності його енергетичного рівня в забороненій зоні напівпровідника і відповідна АІ зміна електрофізичних властивостей зразка в цілому. Отже виявлені АІ ефекти відкривають не тільки новий підхід до дослідження акустоактивних дефектів у напівпровідникових матеріалах, але і можливість розробки принципово нового класу акустокерованих електронних пристроїв (сенсорів тощо).

- [1] Б.Н. Мукашев, Х.А. Абдуллин, Ю.В. Горелкинський. УФН, **170** (2), 143 (2000).
- [2] Я.М. Олих, Н.Д. Тимочко, А.П. Долголенко. ПЖТФ, **32** (13), 67 (2006).
- [3] V.M. Babych, Ja.M.Olikh, M.D. Tymochko. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, **12** (4), 375 (2009).

# ДИНАМІЧНІ ДЕФОРМАЦІЙНІ ЕФЕКТИ У ГЕТЕРОСИСТЕМІ InAs/GaAs З КВАНТОВИМИ ТОЧКАМИ InAs ПІД ДІЄЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ

**Р.М.Пелешчак, О.В.Кузик, О.О.Даньків, Ю.О.Угрин**

*Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка,*

*вул. Івана Франка, 24, м. Дрогобич, Львівська обл. 82100*

*e-mail: [peleshchak@rambler.ru](mailto:peleshchak@rambler.ru)*

В останні роки значно зріс дослідницький інтерес до напівпровідникових гетероструктур InAs/GaAs з нульвимірними напруженими нанооб'єктами InAs (квантовими точками (КТ)). Такі нанооб'єкти мають високий квантовий вихід фотолюмінесценції і є перспективним матеріалом для створення лазерів у близькій інфрачервоній області спектру; *p-n* структур на напруженій гетеромежі квантова точка – матриця та багатомодового лазера. Один з важливих напрямків досліджень – це можливість керування частотою випромінювання гетеролазерів на основі КТ. Важливим фактором, який впливає на спектральні характеристики випромінювання гетероструктур InAs/GaAs з КТ InAs є пружна деформація матеріалу таких структур. Напруження, які виникають як за рахунок невідповідності параметрів ґраток контактуючих матеріалів гетероструктури, так і під дією зовнішніх чинників, можуть впливати на електронну підсистему в напівпровідникових гетероструктурах, зокрема, змінювати ширину забороненої зони, енергетичний спектр носіїв струму і, відповідно, частоту генерації випромінювання.

У даній роботі розраховано компоненти тензора деформації матеріалів квантової точки InAs сферичної симетрії та матриці GaAs, що піддаються впливу ультразвукової хвилі.

Для визначення компонентів тензора деформації необхідно знайти вектори зміщень атомів  $\vec{u}^{(i)}(\vec{r}, t)$   $\left( i = \begin{cases} 1 \equiv InAs \\ 2 \equiv GaAs \end{cases} \right)$  в матеріалах КТ та матриці, які задовольняють рівняння:

$$\rho^{(i)} \frac{\partial^2 u_n^{(i)}}{\partial t^2} = \sum_j \frac{\partial \sigma_{nj}^{(i)}}{\partial x_j},$$

де  $\rho^{(i)}$ ,  $\sigma_{nj}^{(i)}$  – густина і компоненти тензора напружень матеріалів КТ та матриці, відповідно.

Пружні коливання у гетеросистемі з КТ розглядаються на фоні статичних напружень, що виникають за рахунок невідповідності параметрів ґраток контактуючих матеріалів.

Вплив акустичної хвилі на напружений стан наносистеми враховано в граничній умові як дію періодичної вимушуючої сили з деякою частотою  $\omega$  на поверхні матриці  $\sigma_{rr}(R_1) = \sigma_0 \cos \omega t$ , де  $R_1$  – радіус матриці,  $\sigma_0$  – амплітуда механічної напруги, створеної ультразвуковою хвилею на поверхні матриці.

Проведено розрахунки просторово-часового розподілу деформації у гетероструктурі InAs/GaAs з КТ InAs, а також досліджено залежність амплітуди динамічної деформації від частоти акустичної хвилі. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку спектральних характеристик випромінювання гетеролазера на основі КТ, що зазнають впливу акустичних хвиль.

# ДОСЛІДЖЕННЯ “БАРОСТРУМІВ” В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ $Sn_2P_2S_6$

Ю. І. ТЯГУР

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород 88000, Україна  
e-mail: [tyagur@mail.uzhgorod.ua](mailto:tyagur@mail.uzhgorod.ua)

Відомо [1-3], що при температурі  $T_0 \approx 337K$  і атмосферному тиску в  $Sn_2P_2S_6$  реалізується сегнетоелектричний фазовий перехід (СЕФП). При зростанні високого гідростатичного тиску, прикладеного до зразка  $Sn_2P_2S_6$  в спеціальній камері, температура СЕФП зменшується і її значення можна апроксимувати рівнянням [4,5]:

$$T_{0c}(p) = T_0 \cdot \left(1 - \frac{p}{p_0}\right)^n, \quad (1)$$

де  $T_0 = (336.80 \pm 0.61)K$ ,  $p_0 = (1.35 \pm 0.15)GPa$ ,  $n = (0.91 \pm 0.12)$  - параметри рівняння. Таким чином, при фіксованій температурі  $T \approx 291K$  і зростанні високого гідростатичного тиску, СЕФП реалізується в зразку  $Sn_2P_2S_6$  при величині тиску  $p \approx 0.2GPa$ . З цього випливає, що для монодомених зразків в сегнетоелектричній фазі, можна досліджувати закорочені струми, які виникають при неперервній дії на зразок квазістатичного зовнішнього гідростатичного тиску, тобто бароструми, аналогічно пірострумам [6]. Тоді, аналогічно пірострумів, для квазістатичного методу залежність величини бароструму від тиску визначається рівнянням [7]:

$$I(p)_T \approx A_1 \cdot \left(\frac{dP_s}{dp} \cdot \frac{dp}{dt}\right), \quad (2)$$

де  $A_1$  - площа,  $P_s$  - спонтанна поляризація зразка,  $dp/dt$  - відома, мала величина швидкості тиску. Виходячи з наведеного рівняння, легко визначити залежність від тиску для гідростатичного п'єзоелектричного коефіцієнту  $d_{h,k}(p)_T$ . З детермінації коефіцієнта  $d_{h,k}(p)_T$  випливає, що його можна виразити наступним рівнянням :

$$d_{h,k}(p)_T = \frac{dP_s}{dp} = \frac{I(p)_T / A_1}{dp/dt}. \quad (3)$$

Дана робота присвячена тисковим дослідженням струму короткого замикання (бароструму) монодомених зразків  $Sn_2P_2S_6$  при фіксованій температурі, та аналізу тискових залежностей  $I(p)_T$ ,  $d_{h,k}(p)_T$ ,  $P_s(p)_T$ . Аналіз результатів досліджень показує, що зразки  $Sn_2P_2S_6$  можуть бути успішно використані як сенсори для вимірювання зміни швидкості тиску ( $dp/dt$ ) [8].

- [1] R. Nitsche, P. Wild, Mat. Res. Bull, **5**, N6, pp. 419-424, (1970).
- [2] Yu. Vysochanskii, T. Yanssen, R. Currat, et al. Phase transitions in phosphorus chalcogenide crystals. – Vilnius University Publishing House, Vilnius, (2006)., – 453 p.
- [3] Y. I. Tyagur, Ferroelectrics, **345**, pp.91-101, (2006).
- [4] Ю. І. Тягур, Е. И.Герзанич, Кристаллография, **29**, Вып. 5, 957 (1984).
- [5] Y. I. Tyagur, J.Jun, Ferroelectrics, **v.192**, pp.187-195, (1997).
- [6] В. Ф. Косоротов и другие, Пирозлектрический эффект и его практические применения. Под редакцией Л.С. Кременчугского, Киев, Изд. Наукова Думка (1989)., -с.224
- [7] Ю. І. Тягур, Науковий Вісник Ужгородського у-ту . Сер. Фізика №18, 62 (2005).
- [8] Тягур Ю.И., Герзанич Е.И., Качер И.Э. Устройство для измерения скорости изменения давления. G 01 L 9/02. А.с.1190217, (1984).



**Секція VIII**

**НАНОСЕНСОРИ (ФІЗИКА,  
МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЯ)**

---

---

**Section VIII**

**NANOSENSORS (PHYSICS,  
MATERIALS, TECHNOLOGY)**

# ФОРМУВАННЯ $n-n^+$ ПЕРЕХОДІВ У НАПРУЖЕНИХ НАНОГЕТЕРОСИСТЕМАХ З КВАНТОВИМИ ТОЧКАМИ (InAs/GaAs, CdTe/ZnTe)

Р.М.ПЕЛЕЩАК, І.Я.БАЧИНСЬКИЙ, М.В.ДОРОШЕНКО, М.І. КОЗАК

*Дрогобицький державний педагогічний університет*

*ім. Івана Франко*

*вул. Івана Франка 24, м. Дрогобич, Львівської обл., Україна. 82100*

*e-mail: slajider@rambler.ru*

Інтенсивний розвиток нанотехнологій в останні роки привів до необхідності побудови адекватних аналітичних моделей, що дозволяють самоузгоджено описати електрон – деформаційні ефекти на напруженій границі квантова точка – матриця. В існуючих моделях не розглядаються самоузгоджено електронні явища й деформаційні ефекти в напружених наногетеросистемах із квантовими точками. Істотно такі ефекти проявляються в наногетеросистемах із квантовими точками з більшою неузгодженістю параметрів контактуючих матеріалів (InAs/GaAs; CdTe/ZnTe), що приводить до виникнення деформації матеріалів квантової точки (InAs; CdTe) і матриці (GaAs; ZnTe) і до пружної взаємодії квантових точок. Деформацію матеріалів наногетероструктури можна змінювати також концентрацією електронів провідності за рахунок легування наногетеросистеми внаслідок самоузгодженого електрон – деформаційного зв'язку [1]. Така зміна деформації впливає на форму і величину потенціальних бар'єрів на межі квантова точка - матриця, ширину забороненої зони, дискретний спектр енергетичних станів локалізованих у квантовій точці електронів, кінетику заповнення носіями квантової точки, емісію заряду із квантової точки у відповідні зони напівпровідника, бар'єрну ємність структури й на ширину області просторового заряду.

Для розв'язку цієї задачі була використана наступна модель: під впливом неоднорідної деформації стиску матеріалу квантової точки InAs(CdTe) і неоднорідної деформації розтягу матеріалу матриці GaAs(ZnTe), локально змінюється зонна структура наногетеросистеми із квантовими точками. Така зміна, внаслідок самоузгодженого електрон - деформаційного зв'язку, приводить до перерозподілу електронної густини, що в кінцевому перенормує вихідну механічну деформацію. Величина перенормування механічної деформації залежить від ступеня заповнення зони провідності матриці наногетеросистеми.

У роботі отримана самоузгоджена система п'яти рівнянь для визначення хвильової функції електрона в напруженій квантовій точці та матриці, концентрації електронів, параметра деформації, електростатичного і хімічного потенціалів. Проведено дослідження розподілу електростатичного потенціалу, заповнення електронних станів, деформаційних полів, як в квантовій точці, так і в матриці. Показано, що в наногетеросистемі з квантовими точками (InAs/GaAs, CdTe/ZnTe) поблизу гетеромежі квантова точка-матриця формується  $n - n^+$  перехід.

[1] Стасюк І.В., Пелешак Р.М., УФЖ.– 1994.–Т.39, №7.–С.856-861.



# ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРОВ НАНОФОТОННЫХ СЕНСОРОВ

**Березовская И.В., Рожицкий Н.Н.**

*Лаборатория «Аналитической оптоэлектроники»*

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

*г. Харьков, пр. Ленина, 14, berezovskaya.irina@gmail.com, rzh@khture.kharkov.ua*

Люминесцентные полупроводниковые материалы или квантовые точки – развивающийся класс наноматериалов, обладающий уникальными свойствами, которые позволяют создать новое поколение надежных и эффективных нанофотонных сенсоров. К отличительным свойствам квантовых точек (КТ) можно отнести высокий квантовый выход и стабильность люминесценции, возможность ее оптического и неоптического возбуждения, достаточно большое ее время жизни, узкий и симметричный спектр люминесценции, широкий спектр поглощения и др. Все эти свойства КТ дают потенциальную возможность их использования в разных областях науки и техники. Малые размеры ( $\sim 1 \div 10$  нм) этих наноструктурных материалов придают им принципиально новые свойства, в сравнения с объемными материалами того же состава, из-за эффекта квантового ограничения.

Известно, что в качестве детекторов фотонных сенсоров могут быть использованы многие органические красители, которые, однако, обладают рядом недостатков – фотообесцвечивание, недостаточно высокая селективность, стабильность и т.д.

В то же время полупроводниковые квантовые точки во многом свободны от указанных и других недостатков и могут быть использованы не только как биосенсоры, но также как химические и температурные сенсоры. Это объясняется чувствительностью люминесценции КТ к параметрам окружающей среды.

В результате рассмотрены современные технологии использования полупроводниковых КТ в таких областях, как биомедицина и экология.

Благодаря присущим им свойствам, квантовые точки демонстрируют улучшенную чувствительность во многих иммунологических анализах. КТ, прикрепленные к антителам, используют для количественной регистрации антигенов. В связи с этим, популярная и быстро развивающаяся область исследований направлена на разработку систем иммунологического анализа с использованием КТ для применений в различных биомедицинских клинических исследованиях и экологии. Другая область применения КТ - в клинической диагностике и терапии, в особенности, фотодинамической терапии. Эта область сфокусирована, прежде всего, на онкологических заболеваниях органов желудочно-кишечного тракта и легких. Квантовые точки позволяют не только обнаружить опухолевые, ткани, но и эффективно их разрушать. Механизм такой «нанотерапии» основан на взаимодействии синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ) с опухолевыми тканями. Образование синглетного кислорода происходит в результате взаимодействия возбужденного фотосенсибилизатора (КТ) и молекулярного кислорода, который находится в органах и тканях состоянии. Синглетный кислород является своеобразным индикатором механизма фотодинамических реакций. Деструктивное действие синглетного кислорода, как активной формы кислорода, обусловлено катализом реакций с его участием.

Работа выполнена при поддержке проекта УНТЦ №4495 (руководитель – проф. Н.Н. Рожицкий).

# СЕНСОРНАЯ ДИАГНОСТИКА КЛАСТЕРИЗОВАННЫХ МЕТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

**Дроздов В.А., Ковальчук В.В., Бурлаченко И.И., Дидурик А.В.,  
Клименко А.М., Бондаренко О.А.**

*Государственный институт измерительной техники, г. Одесса, Украина  
lshvv@rambler.ru*

В последние годы бурное развитие получила микросенсорная диагностика сред различной степени дисперсности, в том числе на основе кварцевых резонаторов (КР). Чаще всего используются „кварцевые весы“, принцип работы которых основан на сдвиге резонансной частоты и изменении добротности резонатора путем нагрузки объектом исследования. На этом принципе основаны методы определения вязкости, измерения массы осадка, кинетики агрегации компонентов, адгезионных свойств пленок, образованных на поверхности сенсора [1-3].

В работе проанализированы результаты исследования кластеризованных пленок (КП) путем регистрации их динамических характеристик с помощью КР. Механизмы самоорганизации КП разработаны на основе принципа аналогий с теми процессами, которые протекают при исследовании капель коллоидных растворов неорганического происхождения, описанных в рамках гипотезы, выдвинутой автором работы [4].

Предложенная нами модель, описывает влияние диффузии на процесс пространственного перераспределения компонент, формирующих КП. Исследованы механизмы, которые могут влиять на рост КП в составе гетероперехода. Проведены исследования смешанной задачи теории перколяции – базовой модели для описания процессов кластеризации.

Процесс самоорганизации КП в контексте технической возможности регистрации его динамики сведен воедино, что открывает перспективы к созданию новой технологии для исследования КП и гетеропереходов на их основе, а также для развития ряда практических приложений в сенсорной технике.

Детально описаны принципы, на которых основана предлагаемая технология. Продемонстрированы практические возможности метода анализа состава КП.

Предложенный нами диагностический метод обладает рядом преимуществ: высокая чувствительность; достаточная информативность, т.к. фиксирует не только морфологический состав КП, но и размеры агрегатов субколлоидной дисперсности формирующих КП; простота, не требует дорогого оборудования и может использоваться для неразрушающего контроля и диагностики состава КП. Дальнейшее развитие метода открывает новые перспективы решения ряда исследовательских и прикладных задач современной сенсорной и оптоэлектроники.

[1] М.Г. Находкін, Ф.Ф. Сізов, Елементи функціональної електроніки, Київ (2002), 201 с.

[2] В.В.Ковальчук, Кластерная модификация полупроводников, К.:Hi-Tech (2007), 309 с.

[3] В.А. Дроздов, В.В. Ковальчук, Ж.фіз.досл., 7 (4), 393 (2003)

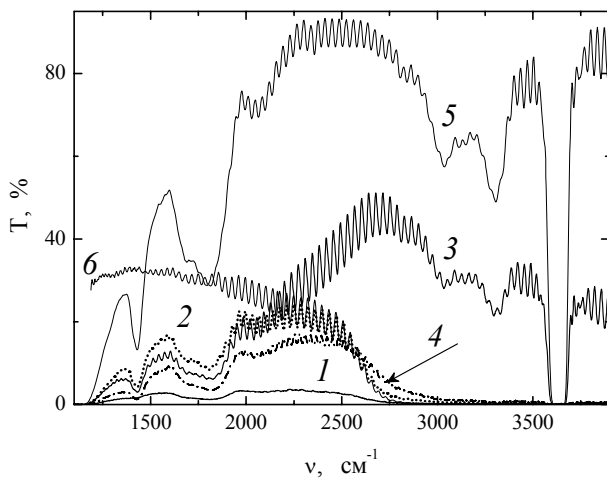
[4] Ю.Ю. Тарасевич, УФН, 5, 122 (2004).

# ТОПОЛОГІЧНІ ТИПИ І ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУР ХАЛЬКОГЕНІДІВ СВИНЦЮ

**Д.М. Фреїк, Г.С. Малашкевич, Р.І. Никируй, М.А. Лоп'янюк**

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна, e-mail [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)*

Приведено результати дослідження структури і оптичних властивостей наноструктурованих тонких плівок РbТе, вирощених із парової фази у методі гарячої стінки на сколах (0001) слюди-мусковіт. Встановлено залежність крутизни високочастотного краю фундаментального поглинання і області оптичного пропускання від топології наноструктур.



**Рисунок.** Спектри оптичного пропускання наноструктур РbТе на підкладках слюди, отриманих при температурі  $T_p$ , К: 408 (1); 429 (2); 426 (3); 353 (4); 5 – слюдяна підкладка. 6 – спектр зразка 2 за вирахуванням спектру підкладки. Товщина плівок  $d$ , мкм: 8,5 (1); 8,3 (2); 4,3 (3); 8,4 (4).

Показано, що крутизна смуги оптичного поглинання плівки із сформованими нанокристалітами набагато більша, ніж плівок, для яких частина цих мікрочастин розташована паралельно поверхні і топологія не є періодичною. Значну зміну крутизни високочастотного краю фундаментального поглинання залежно від орієнтації мікрочастин зростання можна пояснити головним чином анізотропією коефіцієнта поглинання останніх. Не виключено, що структура власних дефектів цих мікрочастин також різна.

Видно (рисунок), що наноструктури телуриду свинцю з товщиною 8,3–8,5 мкм характеризуються вікном прозорості при  $\nu \leq 2750 \text{ cm}^{-1}$ , а максимум їх пропускання лежить при  $\nu \approx 1500 \text{ cm}^{-1}$ . Причому, у міру погіршення якості упаковки нанокристалітів крутизна кривої пропускання з високочастотної сторони спектру помітно ослабляється, знижується і інтегральне пропускання. Для плівки з товщиною 4,3 мкм високочастотна межа пропускання значно зсувається у бік великих  $\nu$  (рисунок – крива 3).

*Робота частково фінансується МОН України (державний реєстраційний номер 0109U001414).*

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА АТОМНО-СЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БИОСЕНСОРОВ

Гетманенко Н. Ю., Рожницкий Н. Н., Галайченко Е. Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники,  
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, лаб. Аналитической оптохемотроники,  
каф. БМЭ, тел. (057) 702-03-69), E-mail: [getmanenko@kture.kharkov.ua](mailto:getmanenko@kture.kharkov.ua).

Инфекционные заболевания продолжают наносить весьма ощутимый вред здоровью людей во всем мире, в Украине - прежде всего. Высокая технологическая и антропогенная нагрузка на окружающую среду, политические и экономические кризисы, неблагоприятная демографическая ситуация, старение нации способствуют распространению инфекций. Агрессивно в последние десятилетия проявляют себя туберкулез и дифтерия, корь и краснуха, грипп, СПИД. Ежегодно в мире регистрируют до 30 новых и малоизученных патогенов. Определение возбудителей инфекционных болезней актуально сегодня, необходимость усовершенствования методов и средств борьбы с инфекциями будет актуальной и в ближайшем будущем.

Лишь спустя шесть лет после изобретения атомно-силовой микроскопии (АСМ) в 1986г., в своей практике ее стали использовать биологи, медики, вирусологи. Это позволило визуализировать отдельные молекулы ДНК, исследовать морфологические свойства поверхностей бактерий, грибов, стафилококков и отдельных клеток.

Однако применение АСМ не ограничено лишь получением данных о морфологии объекта и его наномеханических свойствах. АСМ может быть использован в качестве сенсора на конкретные антигены человека. Принцип работы такого сенсора основывается на фундаментальном принципе АСМ. В АСМ взаимодействие между зондом и поверхностью образца носит силовой характер (силы Ван-дер-Ваальса). Модификация поверхности зонда и подложки силанами и силотранами позволяет закреплять на модифицированной поверхности один из свободных концов антигена или антитела. Закрепив антитело на поверхности зонда АСМ, используя свойства специфического взаимодействия антиген-антитело, становится возможным не только детектировать антиген на подложке, но и измерить величину силы взаимодействия комплекса антиген-антитело.

В работе рассмотрены примеры применения подобного использования АСМ, в том числе и как сенсорный элемент датчика отравляющих, взрывоопасных и токсичных веществ в атмосфере.

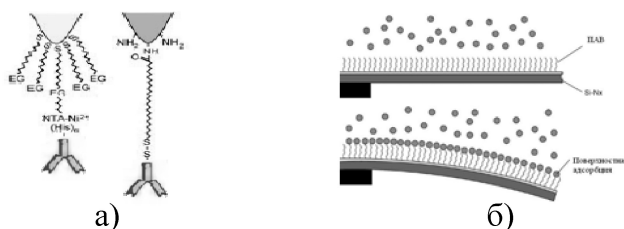


Рисунок 1 а) Привязка антигенов к поверхности модифицированных зондов;  
б) Изгиб кантилевера за счет адсорбции молекул анализируемого вещества.

Работа выполнена при поддержке регулярного проекта УНТЦ №4495 (руководитель проекта профессор Н.Н. Рожницкий).

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ДЖОЗЕФСОНА НА БАЗЕ ТРЁХСТЕННОЙ ГИБРИДНОЙ НАНОСТРУКТУРЫ

Грядун В. И.

Запорожский национальный технический университет,  
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, e-mail: [griadun@zntu.edu.ua](mailto:griadun@zntu.edu.ua)

В рамках механико-молекулярного моделирования методом ММ+ рассматривалась геометрически оптимизированная радиальная слоистая наноструктура (рис. 1), состоящая из трёх нанотрубок:

углеродной нанотрубки с индексами (5,5), имеющей металлические свойства;  
бор-азотной нанотрубки с индексами (9,9), имеющей диэлектрические свойства;  
углеродной нанотрубки с индексами (13,13), имеющей металлические свойства.

Цель моделирования представлялась оценками характеристик эффекта Джозефсона на такой наноструктуре с учётом хороших сверхпроводящих свойств углеродных нанотрубок при температуре 20 К.

Оценка высоты туннельного барьера для куперовских пар, которая составила величину 3.69 эВ, осуществлялась по зонной диаграмме в области верхней заполненной орбитали и уровня вакуума металлической нанотрубки с индексами (5,5) (рис. 2), рассчитанной методом *ab initio* с использованием минимального набора базовых волновых функций STO-3G.

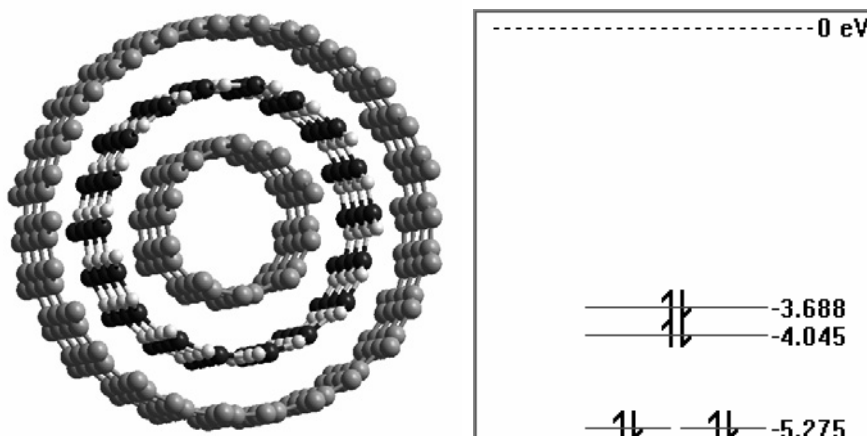


Рисунок 1 – Трёхстенная наноструктура из двух углеродных нанотрубок и разделяющей их диэлектрической бор-азотной нанотрубки.

Рисунок 2 - Зонная диаграмма металлической нанотрубки (5,5) в области уровня энергии НОМО 0.

Расстояние между углеродными нанотрубками составило величину 5,08 Å и при напряжении 1 мВ напряженность электрического поля в области стенки бор-азотной нанотрубки, как потенциального барьера, составляла величину ~ 20000 В/см

Коэффициент туннелирования куперовских пар рассчитывался в диапазоне до 2 мВ без учёта слабого наклона потолка потенциального барьера, обусловленного приложенным электрическим полем. При напряжении 1 мВ он составил величину ~  $3,15 \cdot 10^{-9}$ . Изменяя длину нанотрубок и напряжение можно регулировать туннельный ток наноструктуры, а увеличивая число бор-азотных нанотрубок можно уменьшать напряженность электрического поля в диэлектрике.

Таким образом, рассмотренная наноструктура может использоваться как сенсор электрического напряжения и как генератор электромагнитного излучения.

# СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКРИСТАЛІВ $A_2B_6$

**Д. В. Корбутяк**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,  
03028, м. Київ, проспект Науки, 41, [kdv45@isp.kiev.ua](mailto:kdv45@isp.kiev.ua)*

В останні роки велика увага приділяється дослідженню та розробці світловипромінюючих пристроїв на основі напівпровідникових нанокристалів (НК), в т.ч.  $A_2B_6$ , в яких можна змінювати довжину хвилі випромінювання за рахунок зміни розмірів НК без зміни їх хімічного складу. Істотними перевагами таких пристроїв є їх низьке енергоспоживання, висока міцність та високий квантовий вихід випромінювання (до ~ 80 %).

В доповіді розглянуті теоретичні моделі, які в значній мірі враховують вплив діелектричного оточення та величини розривів зон на їх випромінювальні характеристики в квантових ямах, дротах і точках. Оскільки для практичних застосувань важливо мати структури з НК  $A_2B_6$ , сформованих в різноманітних матрицях, то результати теоретичних розрахунків в рамках розвинутих моделей можуть бути використані для розробки оптимальних режимів синтезу НК  $A_2B_6$  в твердотільних полімерних матрицях з необхідними випромінювальними характеристиками.

Для НК  $A_2B_6$  найбільш поширеним методом синтезу є порівняно дешевий, що не потребує високовартісних технологічних установок, метод колоїдної хімії з подальшим перенесенням синтезованих НК в різноманітні полімерні матриці. Крім того, широко застосовуються золь-гель технології створення нанокомпозитних систем, що містять квантові точки напівпровідникових матеріалів  $A_2B_6$ , синтез НК "ядро-оболонка" (зокрема, CdSe/ZnS, CdTe/CdSe) з просторово-розділеними носіями заряду, виготовлення нанокластерів за методом Ленгмюра-Блоджет, ріст НК складної геометрії (нанодиски, нанокільця, тетраподи тощо), використання методу селективної інтердифузії атомів між бар'єрами і шарами квантових ям та ін.

Приведений огляд робіт, присвячених дослідженню люмінесцентних характеристик НК в залежності від їх розмірів та методів виготовлення. Висвітлені особливості залежності спектрів фотолюмінесценції (ФЛ) НК  $A_2B_6$  від температури та інтенсивності збудження. Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень величини екситонного зсуву Стокса в залежності від розмірів НК. Проведений аналіз нещодавно виявленого в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України гігантського зсуву Стокса (~ 600 меВ) в НК CdTe, інкорпорованих в полімерну матрицю ПДДА.

Велика кількість робіт присвячена розробці світлодіодів і низькопорогових лазерів на основі НК  $A_2B_6$ . Значна увага приділена можливості виготовлення білих світлодіодів шляхом синтезу в одній матриці НК різних розмірів, шляхом об'єднання голубих чипів InGaN з колоїдними НК CdSe-ZnSe, шляхом інкорпорування НК CdSe-ZnSe на межу поділу гетероструктури  $n$ -GaN- $p$ -GaN тощо. Щодо низькопорогових лазерів, то найбільших успіхів на сьогоднішній день досягнуто на НК CdSe та CdS-ZnS. НК-світлодіоди та низькопорогові лазери – це новітні розробки, що матимуть широке застосування в багатьох сучасних оптоелектронних приладах, в основі яких лежать принципово нові квантово-розмірні властивості нанокристалів.

## СЕНСОРНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК АТОМАРНО-КЛАСТЕРНОЇ ДИСПЕРСНОСТІ

Дроздов В.О., Ковальчук В.В., Дроздов М.О.,  
Грабовський О.В., Жеребцова Л.М.

*Державний інститут вимірювальної техніки, м. Одеса, Україна  
lslvv@rambler.ru*

Управління властивостями плівок – це одна з актуальних задач функціональної електроніки [1]. Процедуру управління можна реалізувати, наприклад, засобами введення атомарно-кластерних утворень у матрицю речовини [2].

Мета роботи полягала у вивченні сенсорних властивостей аморфних плівок керметів (АПК), створених на основі  $\text{SiO}_2$ -матриці і модифікованих шляхом введення кластерного растру d-металів. Ефекти провідності, що спостерігалися на АПК у залежності від напруженості електричного поля, умовно розділені на дві групи. До першої групи належать ефекти «слабого поля», що не викликають необернених змін електричних властивостей АПК. До другої віднесені саме ті явища, що виникають за рахунок необернених змін, в електричній структурі зразків (вони спричинені т.н. «сильним полем»).

Результати досліджень АПК дозволяють припустити, що високий питомий опір плівок  $\text{Cr-SiO}_2$  може бути обумовлений: 1) тунелюванням носіїв у склоподібному матеріалі  $\text{Cr-SiO}_2$  (островкова провідність), якщо ізолюючі прошарки між Cr-кластерами є малими, або ж 2) завдяки стрибковій провідності у деякому середовищі  $\text{Cr-SiO}_2$ , де перескок електронів по флукуаційних рівнях в склі є полегшеним завдяки наявності великої кількості домішкових центрів Cr (кластерних центрів - КЦ). У областях А і В, переважає інтенсивний захват інжектованих на пастки носіїв. При цьому залежність  $I(U)$  може сягати насичення або, навіть, супроводжуватися зменшенням струму із зростанням напруги.

Проведений нами модельний аналіз морфології АПК за методикою [3], дозволяє зробити висновок про селективний характер стрибкової провідності на змінному струмі. Цей підхід відкриває можливість визначити частотний спектр локалізованих станів і оцінити час перескоку  $\tau$ . Якщо геометричні розміри таких груп кластерів перевищують відстані між найближчими центрами, то дипольний момент групи КЦ є більшим, а отже, сумарна провідність збільшується. КЦ з великими значеннями  $\tau$  аналогічні до глибоких центрів захвату носіїв, що є характерним для піролітичних плівок  $\text{SiO}_2$ .

[1] Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф. Елементи функціональної електроніки, Київ (2002), 201 с.

[2] В.В.Ковальчук, Кластерная модификация полупроводников, К.Ні-Tech (2007), 309 с.

[3] В.А. Дроздов, В.В. Ковальчук, Ж.фіз.досл., 7 (4), 393 (2003)

# ЦИЛІНДРИЧНА РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНА СТРУКТУРА ЯК БАЗОВИЙ ЕЛЕМЕНТ НАНОСЕНСОРА

**О.Маханець, М.Довганюк, Н. Цюпак**

*Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича  
58012, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2  
[ktf@chnu.edu.ua](mailto:ktf@chnu.edu.ua)*

Зростання інтересу до резонансно-тунельних структур (РТС) зумовлено тим, що такі системи можуть бути джерелами когерентного випромінювання (поглинання) електромагнітних хвиль. Це дозволяє використовувати нано-РТС в якості базових елементів квантових каскадних лазерів [1] у випадку випромінювання, або ж – наносенсорів [2] у випадку поглинання. Такі лазери та наносенсори здатні працювати у когерентному (стосовно електронної системи) режимі в потрібному діапазоні частот (зокрема у актуальному терагерцовому).

У роботі розвинута теорія резонансних енергій (РЕ) і резонансних ширин (РШ) квазістаціонарних станів (КСС) електрона та електронної провідності відкритої симетричної двохбар'єрної резонансно-тунельної структури (РТС) циліндричної форми. У моделі ефективних мас та прямокутних потенціальних ям і бар'єрів розв'язано повне рівняння Шредінгера, в якому врахована взаємодія електронів з електромагнітним полем у наближенні слабкого сигналу.

На прикладі наносистеми  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$  виконані розрахунки спектральних параметрів, а також знайдено і проаналізовано залежність провідності від енергії моноенергетичного пучка, налітаючих на РТС електронів і від енергії електромагнітного поля, що поглинається чи випромінюється системою. Вперше встановлено прямий зв'язок між експериментально вимірюваними параметрами провідності та резонансними ширинами КСС електронів відкритої РТС.

Аналіз залежностей резонансних енергій і ширин КСС електронів та активної провідності від геометричних параметрів нано-РТС, енергії налітаючих на РТС електронів та енергії електромагнітного поля дозволяє зробити такі висновки.

При переходах електронів з вищих (нижчих) КСС у сусідні нижчі (вищі) стани формується негативна (позитивна) динамічна провідність системи і відбувається випромінювання (поглинання) електромагнітного поля з максимумом на частоті, пропорційній різниці резонансних енергій КСС між якими відбувається перехід.

Експериментально виміряна провідність РТС, як функція енергій налітаючих на РТС електронів і електромагнітного поля дозволяє визначити контур провідності, відповідні проєкції якого безпосередньо визначають основні спектральні параметри КСС електронів у досліджуваній відкритій циліндричній РТС.

У залежності від геометричних параметрів циліндричних нано-РТС і величин енергій, налітаючих на систему моноенергетичних електронів, ці системи можуть бути активними елементами чи квантового каскадного лазера (при негативній провідності), чи наносенсора (при позитивній провідності) у потрібному діапазоні частот.

[1] A.K.M.Newaz, W.Song, E.E.Mendez, Y.Lin, J.Nitta, *Phys.Rev.B*, **71**, 195303 (2005).

[2] W.Zhang, Ch.Xue, J.Xiong, B.Xie, T.Weil, Y.Chen, *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, **45**, 294 (2007).



# СТАТИСТИЧНА КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ З МІКРОНЕОДНОРІДНОСТЯМИ ЗАПОВНЕННЯ ОБ'ЄМУ

Маренков В.І., Кучерський А.Ю.

*Одеський національний університет імені І.І. Мечникова  
вул. Дворянська, 2, 65026 Одеса, Україна, e-mail: maren0@ukr.net*

Нагальним імперативом останніх десятиріч в галузі створення мікросенсорів є розвиток теоретичних і експериментальних досліджень електронних властивостей їх виокремлених елементів з геометричними розмірами співмірними з міжмолекулярними відстанями в твердому тілі і такими, що порівнюються з власним розміром молекул [1]. Окремим і особливо важливим для впровадженнь аспектом є визначення ефективних електронних характеристик мікронеоднорідних матеріалів з дефектами заповнення об'єму, просторова протяжність яких належить нанометровій шкалі. У цьому випадку ферміївська довжина носіїв базового матеріалу «задає» масштаби, що ними визначено межі прояву квантово-розмірних ефектів в об'ємі мікронеоднорідного зразка. В існуючих підходах, щодо опису впливу дефектів заповнення об'єму зразка: мікротріщин, мікрошпарин, мікропор [2] на електронні характеристики матеріалу з неоднорідностями, зокрема пористого кремнію [3], використовуються результати квантово-механічних розрахунків з великою кількістю припущень та підгоночних параметрів, що значно ускладнює, навіть на якісному рівні, інтерпретацію даних експерименту. В той же час, у реальних зразках геометричні розміри включень характеризуються функціями розподілу зі значною дисперсією, що висуває на передній план проблему статистичного осереднення за ансамблем полідисперсних мікронеоднорідностей. Таким чином, з огляду на кулонівську дальню дію, задача визначення ефективних електронних властивостей мікронеоднорідного матеріалу переводиться у ранг незводжувальної багаточастинкової проблеми, у напрямку вирішення якої зроблено лише перші кроки. В представленій роботі, із залученням результатів статистичного чарункового підходу опису електронних властивостей гетерогенних плазмових систем [4], розбудовується та набуває закінчених форм підґрунтя статистичної концепції моделювання електронних властивостей матеріалів з мікронеоднорідностями заповнення об'єму. Розглянуто важливі для фундаментальних досліджень та впровадженнь проблеми іонізації і переносу електричного заряду в мікронеоднорідних гетерогенних напівпровідникових матеріалах сучасних нано-технологій, зокрема у пристінковій плазмі пористих і шпаристих матеріалів. Запропоновано статистичний метод визначення осереднених за об'ємом ефективних електронних характеристик речовини з гетерогенними включеннями, який ґрунтується на чарунковій моделі рівноважних електрон-іонних процесів поблизу виокремленої поверхнею екстремуму самоузгодженого потенціалу кулонових неоднорідностей в околі макровключень (пор чи шпарин складної геометрії, що утворюють ансамбль порушень заповнення об'єму у зразку базового матеріалу).

Основним моментом пропонуємого статистичного підходу є визначення локального розподілу носіїв шляхом осереднення за ансамблем миттєвих електронейтральних областей, що утримують мікронеоднорідності, та виділені багатозв'язною поверхнею  $\Pi_{\left| \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{n}} \right|=0} \left( E_{\mathbf{n}} = \frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{n}} - \right.$

нормальна складова миттєвого електростатичного поля на поверхні  $\Pi$ , яка виокремлює індивідуальні інорідні включення в матриці основного матеріалу зразка). Зазвичай неоднорідності хаотично розподілені в об'ємі базового матеріалу зразка, що ним утворюється однозв'язна просторова область. Причому кожне з включень (об'єм, у якому відсутні структурні одиниці речовини - шпарини або пори тієї чи іншої форми) - завжди оточується базовим матеріалом зразка. Шпарини та пори можуть утримувати електрони, емітовані з речовини зразка, а також і ті, що проникли в об'єм шпарини внаслідок тунельного ефекту, і, таким чином, характеризуються певним від'ємним зарядом. При

нормальних умовах потік електронів емісії знехтливо малий і для пор мезоскопічних розмірів електрони, які локалізуються в їх об'ємі, справедливим є розподіл Максвелла – Больцмана. В області нанорозмірів пор, рівень Фермі носіїв залежить від електростатичного поля подвійного електричного шару поверхні, що нею обмежено пору, і суттєвим є врахування квантових поправок у дисперсійному рівнянні. Наявність гетерогенних включень породжує просторову неоднорідність миттєвого розподілу об'ємної густини електростатичного заряду у тілі зразка. Замкнена просторова область, що оточує пору - електронейтральна, і, внаслідок теплових флуктуацій у тілі зразка, неперервно змінюється у часі, причому ці зміни є зкорельованими з флуктуаціями електричного заряду електронів та іонів, які локалізуються в об'ємі виділеної пори. Миттєві розподіли електростатичного потенціалу та об'ємного заряду, дефінуються рівняннями Пуасона. Далекосяжний характер електростатичної взаємодії електронів провідності та іонного остову призводить до ефектів екранування та виникнення квазінейтральності в об'ємі зразка, тобто мова йде про електрон-діркову плазму. Причому поняття просторового масштабу розділу зарядів у такій системі потребує, на відміну від класичної газової плазми, де таку роль відіграє радіус Дебая, уточнення та нової інтерпретації. Теплові флуктуації локальної густини електричного заряду та осереднене електростатичне поле гетерогенних включень у матриці матеріалу основного зразка сумісно утворюють миттєвий розподіл просторового заряду та певний «фон» самоузгодженого електростатичного поля, яким, власне, і «контролюється» квазінейтральність зразка. В рівноважній системі з температурою  $T$  густина електронного компоненту визначається рівнем Фермі (електрохімічним потенціалом) електронної підсистеми. У випадку пор і шпарин, що утворюють множину виокремлених елементів в матриці основного матеріалу, в координатах Ейлера, пов'язаних з об'ємом окремого включення, квазінейтральність реалізується за рахунок існування в області простору, конгруентній з власним об'ємом зразка, миттєвих локальних областей нульового заряду - чарунок квазінейтральності, кожна з яких утримує в собі об'єм шпарини або пори, і просторові масштаби якої достатньо малі порівняно із загальною протяжністю системи (зразка в цілому). Осереднення розподілу миттєвого самоузгодженого потенціалу за ансамблем електронейтральних чарунок зразка надає можливість проводити визначення рівня Фермі електронів зразка у рамках ефективної електростатичної задачі щодо розподілу заряду та потенціалу в об'ємі осередненої чарунки електронейтральності. Кінцево функціональну залежність рівня Фермі електронів мікронеоднорідного зразка з дефектами заповнення об'єму визначається із системи рівнянь збереження заряду та балансу потоку електронного компоненту на поверхні об'ємного включення із залученням, з метою врахування впливу квантоворозмірних ефектів у тілі зразка, квазікласичної апроксимації Томаса-Фермі. Комп'ютерна симуляція електронних характеристик пористих та шпаристих матеріалів, що її проведено на основі моделі для нанообласті геометричних розмірів об'ємних включень, які мають порядок фермієвської довжини носіїв базового матеріалу, вказує на суттєвий вплив співвідношення «(концентрація)<sup>1/3</sup>/(розмір)» у ансамблі неоднорідностей на параметри енергетичного спектру носіїв. Дані, що їх одержано в представленій теоретичній моделі, відносно впливу геометричного розміру неоднорідностей на ефективний рівень Фермі носіїв в тілі поруватих зразків, добре якісно та кількісно узгоджуються з відомими з літератури результатами експериментальних вимірів характеристик зразків пористого кремнію, і можуть бути безпосередньо використані для проектування мікросенсорних систем.

1. Marenkov V.I. Journal of Molecular Liquids, 2005, Vol.120, pp.181-184.

3. Amato Giampiero, Delerue C., von Bardeleben H. J. Structural and optical properties of porous silicon nanostructures.- OPA, 1079 LH Amsterdam, The Netherlands, 1997 – 633 p.

4. Маренков В.І., Кучерський А.Ю. Статистична концепція розгляду і апроксимація Томаса Фермі в теорії властивостей гетерогенних плазмових систем

# REZONANCE TUNNELING STRUCTURES ON THE BASE OF II-VI THIN FILMS MATERIALS

**Semikina T.V.<sup>1</sup>, Kopalko K.<sup>2</sup>, Godlewski M.<sup>2</sup>, Minikayev R.<sup>2</sup>, Paszkowicz W.<sup>2</sup>,  
Komaschenko V.N.<sup>1</sup>, Mamykin S.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 03028 Kiev, Prospect Nauki 41, Ukraine  
e-mail: tanyasemikina@yahoo.co.uk*

<sup>2</sup> *Institute of physics PAS, 02-668 Warsaw, al. Lotnikow 32/46, Poland*

For the first time we obtained the resonance tunneling structure on the base of II-VI materials Mo-CdSe-(ZnS)<sub>m</sub>(ZnSe)<sub>n</sub>-Cu<sub>x</sub>S and Mo-CdS-(ZnS)<sub>m</sub>(ZnSe)<sub>n</sub>-Cu<sub>x</sub>S by serial usage of the follows technological methods: thermal evaporation in quasi-closed space, atomic layer deposition, thermal evaporation.

The back side molybdenum contacts were formed by magnetron sputtering with follows optical photolithography processing on the glassceramics substrates. Concerning the fact that ohmic contacts formations to ZnS and ZnSe materials have being stayed the problematic until now we solved this task by deposition of the additional layers, namely CdSe or CdS. The noticed layers were deposited in vacuum chamber at the rest pressure 10<sup>-3</sup> Pa by evaporation of the powders of the assorted materials. The grown films of CdSe had the textured hexagonal structure with (002) preferred orientation and grain size of 2 μm. The CdS thick films grew with small size crystal approximately 0.3 μm. Then the resonance tunneling structures based on the ZnS-ZnSe materials with number of the barriers equal two (consequently one quantum well), three (two quantum wells), for barriers (three quantum wells) for the first time were deposited by atomic layer deposition methods. The atomic layer deposition method allows growing the layers with thickness less than 1 nm and is one from the most perspective nanotechnological methods. During the processing we studied the different variations of the technological regimes because the preliminary results for resonance tunneling structures preparation were absent. Thus we varied the follows technological parameters: gas precursor H<sub>2</sub>S time leakage, leakage times of vapor of sublimated solid zinc and selenium. Also the temperatures of the heaters, purging time of nitrogen that cleaned the chamber after every step of precursor leakage were altered regarding the each technological processing. The number of the layers of ZnS and ZnSe and their thickness were determined by cycle's quantity. As a result for the first time the multilayer structures with variation of the ZnS and ZnSe layers with thickness of several nm each were prepared. To deposit the top conductive layer the p-type Cu<sub>x</sub>S nanofilm was grown by thermal evaporation. The fulfilled technology of ohmic contact preparation to ZnS and ZnSe with usage of Cu<sub>x</sub>S is unique.

The current-voltage characteristics showed the several areas with negative differential resistance on the forward branch of characteristics. The number of the ranges with negative differential resistance is an indicator of the quantity of the formed quantum wells. The new unusual current-voltage characteristic of the grown structures with preliminary physical explanation of the physical process is presented.

# МОДУЛЯЦІЙНА ПОЛЯРИМЕТРІЯ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ В НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВКАХ.

Максименко Л.С., Матяш І.Є., Мінайлова І.А., Руденко С.П., Сердега Б.К.  
ІФН ім. В.Лашкарьова НАН України.  
[serdega@isp.kiev.ua](mailto:serdega@isp.kiev.ua)

Основне завдання поляриметрії полягає у реєстрації стану поляризації хвилі взагалі та аналізі у загальному випадку еліптично поляризованого випромінювання зокрема. З наявних двох способів його реалізації (Джонсон- і Стокс-поляриметрия) особливою привабливістю володіє другий з тієї причини, що всі чотири компоненти вектора Стокса, являючи собою інтенсивності світла, є безпосередньо вимірюваними величинами. До цього доречно додати, що аналіз стану поляризації на основі її модуляції, як показано в [1] на прикладі дослідження лінійного двопронезаломлення, істотно підвищує виявну здатність щодо величини діелектричних констант та достовірність одержуваних результатів. Тому застосування методу поляризаційної модуляції (ПМ) доцільно при вимірюванні амплітудно-фазових характеристик поверхневого плазмон-поляритонного резонансу (ППР).

Суть способу полягає у вимірюванні Q- і V-компонент вектора Стокса. Q-компонента визначається величиною  $Q = E_s^2 - E_p^2$  різниці інтенсивностей  $E_s^2$  й  $E_p^2$  електричного поля хвилі, що пройшла зразок, чи відбита ним, коли азимут електричного поля вихідної хвилі  $\vec{E}$  становить кут  $45^\circ$  відносно площини падіння, тобто  $\vec{E}_s = \vec{E}_p$ . Величина  $V = E_s * E_p \sin \Delta$  характеризує циркулярну поляризацію, зумовлену різницею фаз  $\Delta$  між ортогональними компонентами  $E_s$  й  $E_p$  та їх добутком.

Методом ПМ досліджено в геометрії Кречманна амплітудно-фазові характеристики внутрішнього відбивання нанорозмірних плівок золота та композитних плівок. У діапазоні довжин хвиль  $500 \div 1000$  нм виміряно залежності від кута падіння світла Q- та V-компоненти вектора Стокса випромінювання, відбитого від напівциліндру повного внутрішнього відбивання із плівками Au та деяких композитів його плоскій поверхні. Показано, що в діапазоні параметрів прояву плазмон-поляритонного резонансу (кут падіння світла, довжина хвилі, товщина плівки металу) дисперсії амплітудної й фазової характеристик збігаються з аналогічними характеристиками класичного осцилятора.

Показано, що висока крутизна обох характеристик дає підстави для використання кожної із них в рефрактометричних приладах. Зокрема, на прикладі вимірювання релаксації діелектричних властивостей збудженої води продемонстровано чутливість по відношенню до показника заломлення на рівні  $\Delta n/n \cong 10^{-6}$ .

1. Грінченко В.Т., Нікітенко Є.В., Сердега Б.К. Доповіді НАН України, 1998.- №10.- с.83-88.

## НИЗЬКОРОЗМІРНІ НАНОСЕНСОРНІ РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНІ СТРУКТУРИ

**М.Ткач, Ю.Сеті, О.Войцехівська, І.Бойко**

*Назва Чернівецький національний університет імені Ю.Федьковича,  
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці 58012  
e-mail: ktf@chnu.edu.ua*

Сучасні технологічні можливості дозволяють практично створювати багаточастотні наносистеми відкритого типу різної просторової форми, а отже і просторової розмірності (квазидвовимірні – наноплівки, квазіодновимірні – нанодроти та різноманітні комбінації низьковимірних систем). Оскільки на всі фізичні процеси, що відбуваються у наносистемах взагалі, й у резонансно-тунельних структурах (РТС) зокрема, накладаються ефекти розмірного квантування, а в об'єктах різної розмірності воно приводить до залежностей законів дисперсії основних квазічастинок від одно- чи двовимірних квазіімпульсів, то й фізичні явища у таких наносистемах можуть кардинально відрізнятися не лише кількісно, а й якісно.

Ідея наносенсора проста. Якщо крізь кілька шарів наносистеми (наприклад плоскої), яка є сукупністю потенціальних ям і бар'єрів, пропускати електронний струм, то внаслідок існування квазістаціонарних станів у РТС, під дією зовнішнього електромагнітного поля струм на виході системи буде суттєво змінюватися, фіксуючи наявність поля.

Послідовної теорії провідності РТС, яка б пояснювала більшість відомих експериментальних залежностей від геометричних параметрів наносистем, поки що немає. Відомі теоретичні моделі або містять багато підгоночних параметрів, внаслідок чого втрачається важлива інформація про фізичну суть процесів, або використовується максимально проста модель з  $\delta$ -подібними потенціальними бар'єрами. Результати  $\delta$ -бар'єрної моделі дають лише якісну картину, але не можуть претендувати навіть на грубе зіставлення з експериментом.

У пропонованій роботі вивчається теоретична модель РТС, яка може містити кілька прямокутних ям і бар'єрів. У наближенні ефективних мас для електронів чи дірок на основі розв'язування повного рівняння Шредінгера з урахуванням взаємодії квазічастинок з електромагнітним полем будується теорія провідності РТС у залежності від геометричних і фізичних параметрів наносистеми.

Показано, що струм електронів, з енергією близькою до резонансної енергії квазістаціонарного стану РТС, у електромагнітному полі частоти  $\omega$  формує позитивну провідність з максимумом в околі енергії, що близька до енергії квантового переходу між квазістаціонарними станами електрона.

Підбором розмірів ям і ширин наночастин РТС та її дизайном можна оптимізувати роботу наносенсора, збільшуючи його максимальну чутливість при мінімальному струмі для фіксації електромагнітного випромінювання у потрібному діапазоні частот електромагнітних хвиль.

[1] М. В. Ткач, Квазічастинки у наногетеросистемах. Квантові точки та дроти, Чернівці: Рута (2003), с.312.

# СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫЕ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

**В.А. Смынтына, О.А. Кулинич, И.Р. Яцунский, И.А. Марчук**

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова, yatsunskiy@gmail.com*

Известно, что адсорбционные свойства пленок наноразмерной толщины используют для проектирования различных газовых сенсоров [1,2]. Однако, применение таких сенсоров имеет существенное ограничение, связанное с высокой температурной чувствительности их сенсорных параметров и ограничений, которые связаны с технологическим процессом их изготовления.

В настоящее время твердотельные сенсоры, вследствие наличия у них стабильных термополевых параметров, нашли широкое применение в качестве газовых, тензочувствительных, радиационных и других сенсоров. При переходе от микроразмерных к наноразмерным структурам оказалось, что наноразмерные структуры обладают некоторыми специфическими электрофизическими и механическими свойствами, что расширяет пределы их использования в качестве сенсорных устройств. Так, например, полупроводниковые наноструктуры, полученные с помощью химической обработки дефектной структуры в виде дислокаций несоответствия на границе гетероперехода, обладали отличными механическими, электрофизическими и структурными свойствами, что позволило использовать их в качестве сенсорных структур широкого применения.

В данной работе изучались тензочувствительные свойства кремниевой наноструктуры, полученной в процессе химического избирательного травления поверхности кремния под диоксидом кремния в структуре диоксид кремния - кремний. Положение максимума распределения островков наноструктурированного кремния по размерам зависело от уровня пластической деформации на границе раздела диоксид кремния - кремния, которая, в свою очередь, зависела от параметров диоксида кремния, кремния, толщины диоксида и от наличия исходных дефектов в кремнии, а, также, от времени обработки поверхности кремния под диоксидом кремния избирательным химическим травителем. Полученная наноструктура не содержала дефектов и предел ее текучести приближался к теоретически рассчитанному пределу  $0,1 \cdot E$ , где  $E$  – модуль Юнга. Учитывая это свойство, а, также, малые размеры островковой наноструктуры, можно прогнозировать ее использование в качестве тензочувствительных сенсоров с высокими тензочувствительными параметрами. На основе такого наноструктурированного кремния можно изготавливать структуры металл-кремний с барьером Шоттки или омические контакты с практически бездефектной границей раздела, а, значит, с идеальными барьерными и омическими свойствами

[1] Р.А. Андриевский, УФН, **179**, 4 (2009).

[2] А.В. Двуреченский, Наноматериалы и Нанотехнологии, **1** (2009).

**Секція ІХ**

**СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ  
СИСТЕМИ**

---

---

**Section IX**

**SENSORS AND INFORMATION  
SYSTEMS**

# АКУСТИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ: АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

**Болтенков В.А.**

*Одесский национальный политехнический университет, 1, просп. Шевченко,  
Одесса, Украина, vaboltentkov@mail.ru*

Акустические сенсорные сети (АСС) — конечное множество распределенных в двумерном пространстве или в трехмерном объеме акустических сенсоров (микрофонов), предназначенных для обнаружения и определения координат источника звука в зоне чувствительности сенсоров. Предполагается, что АСС имеет единый центр (или распределенные центры) обработки измерительной информации. В последние годы АСС стремительно развиваются и получили широкое распространение в самих различных прикладных и специальных технологиях: определение местоположения говорящего человека (видеоконференции, робототехника, проекты «умный дом»), обнаружение и локализация течей в оборудовании высокого давления (мониторинг агрегатов АЭС и магистральных трубопроводов), проекты по охране живой природы (наблюдение за исчезающими видами фауны, мониторинг браконьерства в заповедниках и национальных парках), специальные и контртеррористические применения (обнаружение выстрелов, огневых позиций, боевых машин и летательных аппаратов).

Практически во всех применениях к АСС предъявляются сходные требования по качеству АСС как информационной измерительной системы: максимально возможное быстродействие при обнаружении и оценивании координат источника звука, достаточное качество обнаружения и минимально возможная ошибка оценивания координат. Все эти показатели качества должны обеспечиваться при реально наблюдаемых отношениях сигнал/шум. В работе проанализированы алгоритмы обработки измерительной информации в АСС, основанные на попарно-корреляционном принципе оценивания разностей времен прихода акустического сигнала на каждую пару сенсоров сети с последующим оцениванием координат на основании решения системы гиперболических уравнений. Система гиперболических уравнений описывает поверхности положения источника [1]. Все алгоритмы ориентированы на использование в процессе обработки измерительной информации от всех сенсоров сети. Предложен алгоритм обнаружения акустического сигнала, основанный на отношении замкнутости для каждой тройки датчиков, входящих в АСС и исследованы его характеристики. Исследованы алгоритмы определения координат источника звука по принципу максимального правдоподобия (МПП). Показано, что МПП оценка координат источника связана с численным решением задачи нелинейной оптимизации. Различные алгоритмы нелинейной оптимизации исследованы по двум критериям – быстродействие (минимальные вычислительные затраты) и достижение максимально возможной точности оценки местоположения источника звука. Исследована чувствительность алгоритмов к выбору начального приближения. Поскольку скорость сходимости существенно зависит от начального приближения в качестве такового предложено выбирать аналитическое решение системы из трех гиперболических уравнений [2]. Полученные в работе результаты применимы к АСС различного назначения, в этом отношении результаты исследований являются достаточно универсальными.

[1] В.А. Болтенков. СЭМСТ, №1, 59-63 (2006) .

[2] R. Bucher, D. Misra. VLSI Design, 15, 2, 507-520 (2002).



# INTRINSICALLY SAFE AND RF INTERFERENCE FREE DEVICE FOR SYNCHRONISATION OF ULTRASONIC SCANS WITH THE HEART ACTIVITY

**O.Bener, M.Mani, O.Sonbul, A.Bener, A.Kalashnikov**

Department of Electrical and Electronic Engineering, Nottingham University,  
University Park, Nottingham, NG7 2RD, UK  
*Alexander.Kalashnikov@nottingham.ac.uk*

Ultrasonic scanners are used routinely today for medical diagnostics, especially in obstetrics. Interest in using scanners to diagnose cardiovascular disease (CVD) is growing steadily, and intravascular ultrasonic scanners are becoming more common than they used to be. They can inspect blood vessels from the inside and, *inter alia*, provide information related to the growth of lesions on the arterial walls that increase CVD risk. However, intravascular examination requires the application of special surgical procedures and expensive instrumentation. Ultrasonic scans of some superficial arteries (most notably, the common carotid artery) can be taken non-intrusively by placing a transducer on the patient's skin. Several clinical studies have been conducted that aimed to relate the arterial wall's parameters (i.e., intima-media thickness, or IMT) to the CVD risk. Although the results obtained to date are not yet conclusive, medical practitioners clearly are interested in an ultrasonic scanner that can measure IMT highly accurately [1].

Measuring IMT accurately using commercially available equipment is complicated for two reasons. First, IMT increases on the order of only 10–30  $\mu\text{m}$  per year [1]. To monitor changes on this scale an ultrasonic scanner must use a sampling frequency much higher than contemporary ultrasonic scanners use (typically 50–100 MHz). The required equivalent sampling frequency can be provided without excessive costs, for example, by using an FPGA-based ultrasonic instrument with a high equivalent sampling frequency [2]. Second, IMT can change within a single cardiac cycle (i.e., around every second) within 645..705  $\mu\text{m}$  [1]. Consequently, accurate ultrasonic IMT measurements require synchronisation with the heart's activity. We selected the electrocardiogram (ECG) as a suitable biomedical signal for this synchronisation. Acquiring an ECG involves placing conducting electrodes on the patient's skin, which presents a potential safety hazard. The possibility of high voltage's being applied to the patient in the case of an instrument's failure can be eliminated completely by using a battery-operated ECG monitor that communicates the ECG data wirelessly. The ECG receiver then triggers the ultrasonic scan at a particular point in the cardiac cycle. This feature allows comparing IMT values measured at different times, for example, before and after a treatment, or sometime after initial screening in order to re-assess the risk. RF communication is an unwanted source of interference with other medical electronic equipment in medical installations, so we chose infra-red communication for the development instead. We implemented the ECG monitor and receiver using microcontrollers, and successfully triggered the ultrasonic instrument we developed previously.

Development and experiment outcomes are presented and discussed.

- [1] Intima-Media Thickness and Atherosclerosis: Predicting the Risk, edited by P.-J.Touboul and J.R.Crouse III, Parthenon Publishing Group, 1997, 166p.
- [2] A.N. Kalashnikov, V. Ivchenko, R. E. Challis and B. R. Hayes-Gill, "High Accuracy Data Acquisition Architectures for Ultrasonic Imaging", *IEEE Trans. Ultrason., Ferroel. and Freq. Contr.*, vol.54, pp.1596-1605, 2007.

## РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА МІКРОЕЛЕКТРОННІЙ БАЗІ

Ленков С.В<sup>1</sup>., Барабаш О.В<sup>2</sup>., Балабін В.В<sup>1</sup>., Слюняєв А.С<sup>2</sup>., Савченко В.А<sup>2</sup>.

*1-Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, пр-т Глушкова, 2, корп. 8, м. Київ, e-mail: lenkov\_s@ukr.net*

*2-Національний авіаційний університет, пр-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ*

Джерелом даних для прийняття рішень в системах управління технічних об'єктів служать сенсори, що надають інформацію про параметри середовища, в якому функціонує система. Разом з тим останні досягнення науково-технічного прогресу у галузі нанотехнологій спричинили появу якісно нових надчутливих багатопараметричних датчиків, здатних до формування великої кількості первинної інформації, обробка якої у одному централізованому процесорі вже є недоцільною через значні часові витрати. В зв'язку з цим виникає потреба у розробці нових пристроїв, здатних одночасно сприймати фізичні поля об'єктів спостереження та обробляти інформацію про них для подальшої передачі споживачам.

Для вирішення такого завдання найбільш доцільним є використання специфічних програмних об'єктів – інтелектуальних компонентів, завданням яких є первинна обробка інформації і видача до центрального процесора готових рішень (висновків) щодо функціонування того чи іншого фізичного об'єкта.

Функціональну схему такого інтелектуального компонента наведено на рис. 1.

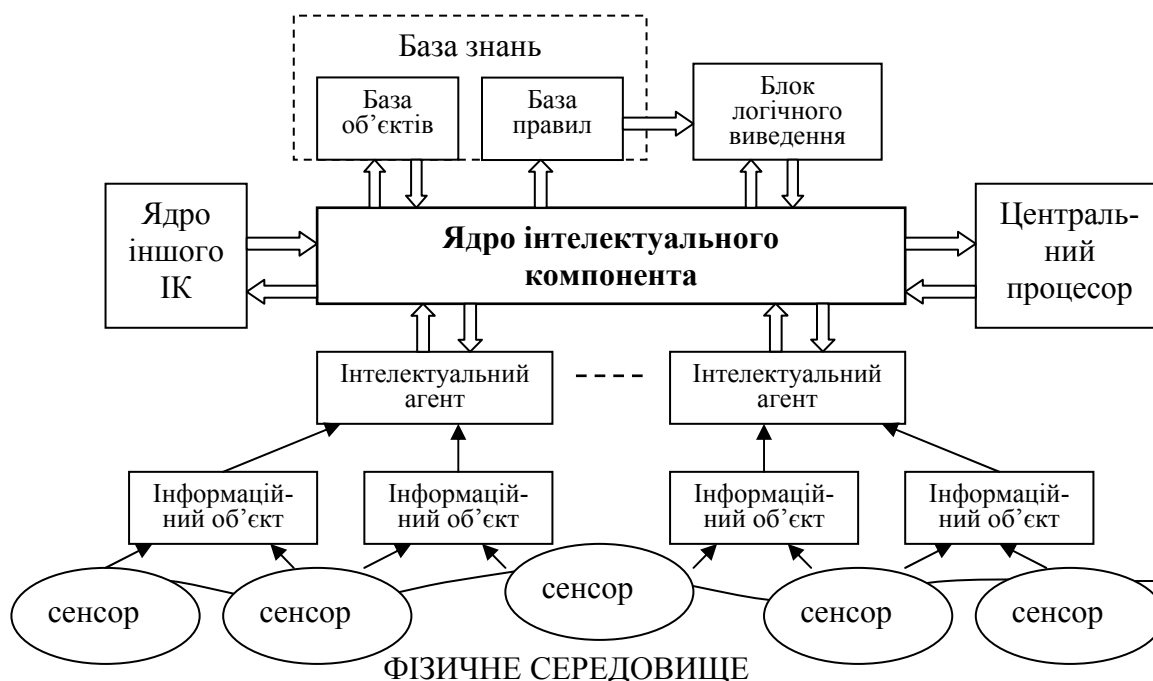


Рис. 1. Функціональна схема інтелектуального компонента системи управління

До складу інтелектуальних компонентів входять інтелектуальні агенти – програмні засоби, робота яких полягає у зборі і логічній обробці інформації від інформаційних об'єктів на основі застосування продукційних правил. В свою чергу інформаційні об'єкти, як нижній рівень інтелектуальної ієрархії, безпосередньо контактують з сенсорами середовища.

Розроблено математичні моделі інформаційних об'єктів та інтелектуальних агентів. Показано переваги застосування інтелектуальних компонентів в системах підтримки прийняття рішень та експертних системах.

# ТЕРМОСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ С УРАВНОВЕШИВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ

Дружинин А.О., Мельник В.Г., Рубанчук М.П., Лепих Я.И., Ленков С.В.

*Институт электродинамики НАН Украины*

*пр. Победы 56, г. Киев-57, 03680, Украина*

*E-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)*

Известно несколько разновидностей измерительных систем для определения малых изменений температуры объектов или количества выделенного тепла, которые могут применяться для реализации термобиосенсоров.

Большинство из них основаны на измерении разницы температур двумя термопреобразователями, один из которых находится в рабочей зоне, а второй – в зоне сравнения с условно стабильной температурой [1]. Реальная разрешающая способность таких систем недостаточна, так как трудно обеспечить равномерность и стабильность фонового температурного поля в рабочей зоне и зоне сравнения.

Для достижения достаточной чувствительности и точности измерений тепловых эффектов биохимических реакций необходимо сконцентрировать очень малое количество тепла на термочувствительном элементе измерительной системы. Также важно обеспечить инвариантность измерений к нестабильности температуры окружающей среды и неоднородностям тепловых полей в конструкции приборов.

Таковыми свойствами обладает термосенсорная система [2], в которой измеряются изменения интенсивности теплового потока из зоны выделения тепла с помощью дифференциальной схемы с близко расположенными термодатчиками, находящимися в стабильном фоновом температурном поле. Однако и в этом случае реальная чувствительность ограничена случайными (неспецифическими) тепловыми эффектами, искажающими измеряемый тепловой поток. В частности, это не позволяет работать с очень малыми объектами.

Дополнительное улучшение метрологических характеристик может быть достигнуто в системе со сравнением двух тепловых потоков на дифференциальном термосенсоре. Схематически такая конструкция изображена на рисунке 1. Один из этих потоков  $\Phi$  генерируется в рабочей кювете  $S$  биохимического реактора, а второй – в симметричной по отношению к сенсору кювете сравнения, снабженной миниатюрным нагревателем  $H$ . Напряжение на нагреватель подается микроконтроллером измерительной системы и регулируется таким образом, чтобы уравнивать встречные тепловые потоки на термосенсоре. Управление процессом уравнивания производится по разнице температур чувствительных элементов  $R_{t1}$  и  $R_{t2}$  дифференциального сенсора. В докладе приводятся измерительная схема, алгоритмы процесса измерения и варианты конструкций термосенсорных ячеек: планарной, в виде микрочипа, а также с применением сменных пластиковых кювет.

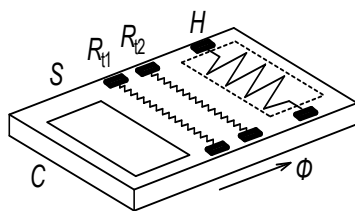


Рис.1 Термосенсор

[1] Биосенсоры: основы и приложения: Пер. с англ. / Под ред. Э. Тернера, И. Карубе, Дж. Уилсона. – М.: Мир, 1992. – 613 с.

[2] Мельник В.Г., Василенко О.Д., Стародуб М.Ф., Медведенко М.П. Високочутливі термометричні системи для біомедичних та технологічних вимірювань //Технічна електродинаміка, Тематичний випуск: "Проблеми сучасної електротехніки", - 2006 р. - ч.3, Київ, - с. 125 - 128.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

**В.Г. Мельник, М.П. Рубанчук, Гордиенко Ю.Е.**

*Институт электродинамики НАН Украины*

*пр. Победы 56, г. Киев-57, 03680, Украина*

E-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)

Измерение малых количеств теплоты является актуальной задачей при многих научных исследованиях, в частности для разработки термобиосенсорных систем. Поэтому важное практическое значение имеет создание малогабаритных, недорогих и простых в применении калориметров. В [1, 2] описана измерительная система, состоящая из калориметрической ячейки с дифференциальным датчиком температуры на основе миниатюрных термометров сопротивления, электронного модуля с мостовой измерительной цепью, аналого-цифровым преобразователем и микроконтроллером, а также включающая персональный компьютер для обработки и представления полученных данных. Отличительной особенностью этой системы является использование в качестве информативного сигнала теплового потока из зоны выделения тепла. Данная особенность позволяет реализовать высокочувствительные и малогабаритные приборы. В тоже время, функция преобразования такого калориметра и метрологические характеристики в целом имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при его использовании в качестве средства измерения.

В докладе рассмотрены конструкция и принцип действия калориметрической системы, представлены результаты исследований ее метрологических характеристик для случая определения тепловой энергии химической реакции при смешивании двух жидких компонентов в количестве около 0,1 г.

Целью исследований было определение функций преобразования тепловой мощности реакции и ее суммарной энергии, а также динамических характеристик, с которыми связана зависимость функции преобразования от длительности реакции. Исследовалось влияние на результат измерений воздействий при смешивании компонентов в реакторе калориметра. Эти воздействия приводят к аддитивным погрешностям измерений, которые ограничивают достижимую разрешающую способность системы. Рассматриваются способы и средства калибровки характеристик преобразования калориметра с помощью электрических эквивалентов теплоты химической реакции. С помощью аналитической модели тепловых потоков в калориметре проанализированы процессы установления в нем теплового равновесия, влияние внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, в частности, саморазогрева чувствительных элементов датчиков температуры.

[1]. Мельник В.Г. Построение высокочувствительных термоизмерительных систем на основе мостовых схем с дифференциальными импедансными сенсорами // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Збірник наукових праць. – К.: ІЕД НАНУ, 2005. - № 2 (11). – С. 102 – 103.

[2]. Василенко О.Д., Мельник В.Г., Міхаль О.О., Медведенко М.П., Стародуб М.Ф. Біосенсорні комплекси на основі імпедансометричних інформаційно - вимірювальних систем / Дослідження у галузі сенсорних систем та технологій. – К.: Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, 2006. - С. 287 – 297.

## СЕРИЙНОПРИГОДНЫЕ МУЛЬТИБИОСЕНСОРНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

**А.А. Михаль<sup>1</sup>, А.Д. Василенко<sup>1</sup>, С.В. Дзядевич<sup>2</sup>, В.Н. Пешкова<sup>2</sup>,  
Л.Н. Семенычева<sup>1</sup>, Л.В. Шкотова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт электродинамики НАН Украины пр. Победы 56, г. Киев-57,  
03680, Украина, E-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)*

<sup>2</sup>*Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины  
ул. акад. Заболотного 150, г. Киев - 143, Украина*

Основой любой электронной измерительной системы является измерительный канал, состоящий из последовательности преобразователей физических величин с нормированными характеристиками. Такой канал разрабатывается для каждой конкретной задачи с учетом ее условий: природы и диапазона возможных значений контролируемой величины, используемого метода измерений, а также необходимой чувствительности, точности, селективности и быстродействия аппаратуры. В биосенсорных системах условия применения различны, что существенно усложняет серийное производство, метрологическое обеспечение и аттестацию средств измерений. В результате реализовать потенциальную технико - экономическую эффективность таких приборов оказывается сложно. Перспективным путем преодоления этой проблемы может быть построение измерительного канала с гибкой структурой и использованием унифицированного набора функциональных преобразователей, который обеспечивает реализацию широкой совокупности методов измерений. Такая совокупность, в частности, может быть связана с применением биосенсоров на основе электрохимических эффектов, параметры которых могут измеряться амперометрическими и кондуктометрическими методами. Эти методы реализуются измерительными преобразователями компенсационного и мостового типов.

В докладе рассмотрены измерительные каналы на основе унифицированных базовых аппаратно-программных модулей, с общими для широкого круга измерительных систем функциями. Эти каналы также включают специализированные блоки для решения конкретных задач. Базовая часть таких систем, с которой связана большая часть их стоимости, обладает хорошей серийнопригодностью, и легко аттестуется. Прикладные измерительные блоки подключаются к базовому аппаратному модулю через простой узел адаптера, прикладное программное обеспечение может быть включено в базовый пакет либо подключаться по технологии «клиент-сервер». Приводятся примеры построения мультисенсорных систем амперометрического и кондуктометрического типов на основе изложенного подхода, приводятся их технические характеристики и обсуждаются результаты апробации. Также даются оценки возможной стоимости приборов в условиях серийного производства.

Для создания амперометрического мультибиосенсора для определения качества винопродуктов использовали ферменты глюкозооксидаза, алкогольоксидаза, лактатоксидаза и глицеролоксидаза. Разработанный лабораторный прототип амперометрического мультибиосенсора позволяет одновременно определять концентрации глюкозы, этанола, лактата и глицерина в вине и виноматериале. В случае кондуктометрического мультибиосенсора для определения сахаридов в пищевых продуктах использовали глюкозооксидазу и триферментные системы в составе: соответствующая гликозидаза (инвертаза,  $\beta$ -галактозидаза или  $\alpha$ -глюкозидаза), мутаротаза и глюкозооксидаза. Разработанный лабораторный прототип кондуктометрического мультибиосенсора позволяет одновременно определять концентрации глюкозы, сахарозы, мальтозы и лактозы в соках и молочных продуктах.

# SENSORS APPLICATION FOR HOME SECURITY SYSTEM

**Dr.Mohammed Yousef AL-Gawagzeh**

**Eng.Essa Hani Qiqeh**

*Al-Balqa Applied University, Faculty of Engineering, Computer Engineering  
Department, Jordan ,Al-salt(mohammed\_gogazeh@yahoo.com;essagg82@yahoo.com)*

Every homeowner knows that home security is a top priority for the family. Having a great home security system and a proper emergency plan will help your family to feel secure .

Home security system is a system presents a protection and safety to the people in home, companies and other building ,actually this paper focuses on the security of home because it is not just protecting the property but it saves the life of homeowners which are the most important thing.

The idea of this paper attempt to find a good solution for burglary and fire by using automated system deals with GSM modem and infrared ray unit.

Choosing a home security system is a reliable and safe way of protecting your home.Fire can devastate a home and a family. The number one cause of total loss and death by fire is the lack of working smoke detectors in the home .

Two important things can get if you using this system:

First:-to protect your house from stolen, which can turn-on the external buzzer and internal one when there is someone who passed through infrared ray, and by using GSM modem we can send a text message to house owner mobile to tell him a bout this problem and we can tell if the system is turn-on or turn off by using LED .

Second: - you can know if your house burnt by using the smoke and fire sensor in this system so if the temperature increase than 40c, and if existed a smoke the internal buzzer is make a sound until the temperature is down.

We developed a control for home security system to give same facilities with easier usage, faster process, saving money and high performance.

[1] [http://www.\\_homesecurity-infos.com/history-of-home-security-systems.html](http://www._homesecurity-infos.com/history-of-home-security-systems.html).

[2] <http://www.wisegeek.com/how-can-i-protect-my-home-from-fire.htm>.

[3] [www.homesecurityguru.com/introduction-to-alarms-and-sensors](http://www.homesecurityguru.com/introduction-to-alarms-and-sensors).

# ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ СО СЛОЖНОЙ ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ

**В.Г. Мельник, И.В. Онищенко, А.Д. Василенко,  
Е.Ю. Неболюбов, В.А. Романов, Я.И. Лепих**  
*Институт электродинамики НАН Украины  
пр. Победы 56, г. Киев-57, 03680, Украина  
E-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)*

Одним из важных направлений развития сенсорных систем является обеспечение непрерывного мониторинга состояния технических или естественных объектов. Во многих случаях это состояние характеризуется мгновенными значениями быстроизменяющихся (по отношению к затратам времени на измерение) информативных сигналов, а оценка должна производиться путем анализа массива данных измерений за некоторый период.

Такая задача характерна для биомедицинских исследований, в частности, с помощью биосенсоров. Например, в мультисенсорной системе, особенно проточной, для уменьшения динамических погрешностей выполняют циклическое сканирование сенсорного массива, поочередно подключая отдельные чувствительные элементы к входу электронного измерительного канала. Полученная совокупность результатов сортируется и объединяется в квазисинхронизированные пакеты данных, относящихся к каждому из сенсоров. Затем из совокупности этих пакетов извлекается необходимая информация.

Для выполнения обработки и анализа полученных данных контроллер измерительного средства должен периодически прерывать выполнение измерений, поскольку необходимые операции производятся по достаточно сложному алгоритму (сортировка данных, интегрирование изменений сигнала, спектральный анализ, распознавание образов и др.), что требует относительно много времени. Из-за этого не удаётся обеспечивать режим мониторинга в реальном времени и могут быть пропущены важные изменения состояния объекта контроля.

Решить данную проблему можно с помощью измерительного канала, обеспечивающего формирование потока результатов двумя измерительными модулями под управлением отдельного контроллера. Этот контроллер координирует переключение функций «измерение» и «передача данных» модулей таким образом, чтобы измерения производились ими поочередно и непрерывно с максимально возможной частотой. При этом свободный от выполнения измерений модуль передает в координирующий контроллер накопленный ранее массив данных. После приема каждого очередного массива координирующий контроллер производит его обработку и определяет необходимые интегральные показатели текущего состояния объекта.

В докладе рассматриваются варианты возможных структур приборов, реализующих такой способ мониторинга и алгоритмы их функционирования.

Применение предлагаемых технических решений позволяет существенно повысить быстродействие мониторинговых систем и достоверность результатов контроля.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

**В.А. Романов<sup>1</sup>, И.Б. Галелюка<sup>1</sup>, А.В. Ковырёва<sup>1</sup>, Е.В. Сарахан<sup>1</sup>, Н.Ф. Стародуб<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины,  
просп. Академика Глушкова, 40, г. Киев, 03680, Украина, тел.: (044) 526-32-04,  
e-mail: [dept230@insyg.kiev.ua](mailto:dept230@insyg.kiev.ua), [galib@gala.net](mailto:galib@gala.net)*

<sup>2</sup>*Национальный институт биоресурсов и природопользования Украины,  
ул. Героев Оборона, 15, г. Киев-041, 03041, Украина, тел.: (044) 241-02-68,  
e-mail: [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)*

Развитие мировых процессов глобализации ставит новые актуальные задачи перед отечественным сельским хозяйством. Для получения устойчивых урожаев в растениеводстве развитые страны начинают широко использовать технологии прецизионного земледелия, предусматривающие спутниковый контроль с наземным подтверждением за состоянием сельскохозяйственных культур. Эффективное использование таких технологий в Украине невозможно без создания цифровых карт земельных угодий, анализа спутниковых данных, обеспечения их синхронного наземного подтверждения, внесения управляющих воздействий в процесс выращивания растений по результатам этих наблюдений.

В докладе представлены разработки Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, которые выполнены совместно с Национальным университетом биоресурсов и природопользования Украины и Национальным научным центром «Институт виноградарства и виноделия им. В.Е. Таирова» НААНУ. Они охватывают целый ряд принципиально новых решений в области информационных технологий, а именно: построение цифровых карт опытных земельных угодий, анализ динамических моделей процесса фотосинтеза, который выбран в качестве базисного для экспрессной оценки состояния растений, создание компьютерных средств для измерения индукции флуоресценции хлорофилла, включающие оптические биосенсорные приборы с навигационной системой и беспроводным интерфейсом. На базе разработанных технических средств предложены информационные технологии для управления выращиванием сельскохозяйственных культур, которые обеспечивают выявление недостатка или переизбытка в увлажнении почв, элементах питания, позволяют осуществлять фитосанитарный контроль промышленных насаждений. Кроме того, предложенный подход позволяет осуществлять контроль загрязнения почв тяжелыми металлами, гербицидами, пестицидами и т.д.

Промышленное использование в Украине разработанных в Институте кибернетики информационных технологий для управления процессом повышения эффективности сельского хозяйства обеспечит перевод традиционных технологий в цифровой формат с разработкой соответствующих баз данных растительного материала, баз знаний сельскохозяйственных мероприятий, цифровых карт сельскохозяйственных полей.

Одновременно с управлением в режиме on-line процессом производительности продуктов растениеводства внедрение информационных технологий даст возможность оценить эффективность того или иного технологического приема при выращивании растений, а именно, внесения удобрения и его оптимальной дозировки, проведения мероприятий, направленных на защиту растений, корректировать оросительные нормы, напрямую учитывая потребности растения.



# ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ БІОСЕНСОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СЕЧОВИНИ НА ОСНОВІ АМОНІЙ-ЧУТЛИВОГО ПРИРОДНОГО ЦЕОЛІТУ

**О.Я. Саяпіна<sup>1</sup>, В.М. Пешкова<sup>1</sup>, Н. Жаффрезик-Рено<sup>2</sup>, С.В. Дзядевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут молекулярної біології і генетики НАН України,  
03680, м. Київ, вул. академіка Заболотного, 150,*

<sup>2</sup>*Університет Клода Бернарда, м.Ліон, Франція*

*E-mail: [osayapina4@gmail.com](mailto:osayapina4@gmail.com)*

Останнім часом в аналітичній практиці все частіше знаходять застосування цеоліти – кристалічні алюмосилікати, що володіють іонообмінними властивостями та здатністю забезпечувати молекулярно-ситовий відбір. Оскільки цеоліти беруть участь у процесах біомолекулярного розпізнавання та медіаторного електрокаталізу, розробка електрохімічних біосенсорів на їх основі має численні перспективи. Метою даної роботи було дослідити вплив амоній-чутливого природного цеоліту на аналітичні характеристики кондуктометричного ферментного біосенсора для визначення сечовини.

У дослідженнях використовувався природний цеоліт клиноптилоліт, який мав виражену вибірковість до іонів амонію (препарат порошкоподібного клиноптилоліту отримано від Société Méditerranéenne des Zéolithes, Франція). Середній розмір часточок цеоліту складав 400 нм (серед них 90 % мали розміри від 200 нм до 1 мкм). Зразок клиноптилоліту був мікропористим, з питомою площею поверхні близько 100 м<sup>2</sup>/г. Склад елементарної комірки кристалу визначався формулою (Na<sub>0.10</sub>K<sub>0.57</sub>)(Ca<sub>0.47</sub>Mg<sub>0.15</sub>)(Al<sub>1.97</sub>Fe<sub>0.12</sub>)(Si<sub>9.96</sub>Ti<sub>0.02</sub>)O<sub>24</sub>·7H<sub>2</sub>O.

У роботі вивчалися сенсори на основі фермента уреазу, які відрізнялися за складом і способом приготування біоселективних мембран. Імобілізацію селективних елементів всіх типів біосенсорів проводили за допомогою ковалентної зшивки глутаровим альдегідом. Ефективність іммобілізації та характеристики кондуктометричних датчиків у процесі вимірювань оцінювалися за допомогою імпедансної спектроскопії.

В ході дослідження було порівняно динамічний і лінійний діапазон визначення сечовини, відтворюваність та стабільність біосенсорів, модифікованих за допомогою цеоліту. Були отримані залежності відгуків отриманих біосенсорів від буферної ємності та значення рН робочого розчину.

В результаті роботи показано, що клиноптилоліт має здатність розширювати динамічний і лінійний діапазон, а також підвищувати операційну стабільність біоселективних мембран сенсорів. Встановлено можливість змінювати лінійний і динамічний діапазон уреазного біосенсора (на основі мембрани «уреаза-БСА»), застосовуючи різні способи включення NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-чутливого цеоліту до складу селективної мембрани.

Робота виконана за фінансової підтримки НАН України в рамках комплексної науково-технічної програми «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технічних потреб» та проекту 7 рамочної програми ЄС PIRSES-NANOBIOSENS.

# БАЗОВЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС С ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

**К.А. Величковский, В.Г. Мельник, И.В. Онищенко, С.В. Дзяевич, А.В. Кучин,  
В.А. Романов**

*Институт электродинамики НАН Украины  
пр. Победы, 56, г. Киев-57, 03680, Украина*

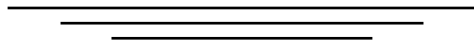
E-mail: [melnik@ied.org.ua](mailto:melnik@ied.org.ua)

Сенсорные приборы, в частности на основе биосенсоров, являются важнейшей частью современных технологических комплексов, позволяют решать задачи постоянного контроля состояния окружающей среды, качества продуктов питания, медицинской и ветеринарной диагностики. Народное хозяйство нуждается в разработке и налаживании серийного выпуска широкой номенклатуры таких измерительных средств. Одним из наиболее перспективных путей для этого является применение импедансометрических приборов и систем. Во многих случаях их структура может быть представлена в виде трех основных частей: базового аппаратно-программного комплекса (БАПК), обеспечивающего измерение, аналого-цифровую обработку и регистрацию параметров электрического импеданса; различных импедансных сенсоров, преобразующих информативные параметры исследуемых физических или химических процессов в сопротивление, емкость или другие параметры; прикладного проблемно-ориентированного программного обеспечения (ПОПО). ПОПО обеспечивает реализацию применяемого метода измерения путем управления средствами БАПК, выполняет специальную обработку выходных сигналов сенсоров и представляет полученные данные в необходимой для конкретного пользователя форме. Опыт разработок широкого класса подобных сенсорных систем показывает, что доля стоимости БАПК, как правило, составляет 70-80 %. С другой стороны, для каждой конкретной задачи часто требуется индивидуальная разработка сенсорного блока и, почти всегда, – специальный пакет ПОПО. В этих условиях актуальна разработка сенсорных систем с открытой архитектурой БАПК, обеспечивающей унифицированную адаптацию сенсоров различных типов, а также возможность реализации функций управления процессом измерения и представления полученных данных с помощью пакета ПОПО, который может быть реализован и протестирован независимо от БАПК.

В докладе рассматривается реализация сенсорной системы на основе БАПК с открытой архитектурой. Измерительный модуль БАПК построен по схеме моста переменного тока с регулируемым элементом на базе множительного ЦАП. В канале обработки выходного сигнала моста применен высокочувствительный интегрирующий АЦП с синхронным детектором. Приведены схемы адаптации измерительной цепи БАПК к различным типам сенсоров для распространенных задач сенсорного контроля. Рассматриваются функции, которые при этом выполняют основные блоки БАПК. Взаимодействие программной части БАПК с пакетом ПОПО осуществляется по технологии клиент – сервер. Рассматривается блок – схема алгоритма обмена данными и управления узлами измерительного модуля, реализованная в среде LabView. Программа-сервер позволяет управлять процессом измерения, принимать данные измерений, накапливать их и представлять графически. Программа – клиент позволяет вести мониторинг процесса измерения. Предложена унифицированная процедура обмена данными с прикладными клиентскими приложениями, которые могут быть реализованы непосредственно пользователем. Процесс обмена данными реализован с использованием проводных и беспроводных (Wi-Fi) технологий.

**Секція X**

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ**



**Section X**

**MATERIALS FOR SENSORS**

# ОБ'ЄМНІ МІКРО – ТА НАНОСТРУКТУРИ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ НА ОСНОВІ НИЗЬКОСИМЕТРИЧНИХ КРИСТАЛІВ ГРУПИ $A^{II}B^V$

Ащеулов А.А., Маник О.М., Маник Т.О.

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна*

Об'ємні мікро - та наноструктури на основі низькосиметричних кристалів CdSb, ZnSb та твердих розчинів на їх основі – перспективні напівпровідникові матеріали оптичного, сенсорного та електронного приладобудування. Однак природа цих кристалів та неконтрольовані умови їх кристалізації недостатньо досліджені, що не дозволяє отримувати матеріали з заданими властивостями.

Метою даної роботи є розробка технології об'ємних мікро - та наноструктур на основі напівпровідникових сполук групи  $A^{II}B^V$ , яка характеризується можливістю отримання шаруватих конструкцій із значенням товщин  $d$  в інтервалі  $10^{-8} - 10^{-6}$  м з необхідними фізичними характеристиками. При їх дослідженні особлива увага приділяється структурним змінам в сплавах при їх нагріванні вище критичної і охолодження до субкритичних температур. Відомі теоретичні моделі, що використовуються при аналізі цих процесів [1] напівфеноменологічні і не дозволяють теоретично пояснити процеси плавлення і кристалізації.

Створення такої моделі вимагало як врахування особливостей хімічного зв'язку, так і кількісних оцінок динамічних параметрів кристалічної ґратки, через потенціали міжатомних взаємодій, що визначались акустичними методами. Для прогнозування можливих особливостей досліджуваних сполук при плавленні та кристалізації необхідно мати значення енергетичних параметрів, що характеризують хімічні зв'язки. В нашому випадку це характеристичні частоти коливань атомів вздовж хімічних зв'язків, що описуються нееквівалентними гібридними орбіталями.

Такий підхід дав можливість розв'язати ряд технологічних проблем речовин, процес плавлення яких розглядається як наслідок механічної нестабільності, що приводить до неможливості існування кристала при температурах вище  $T_{пл}$ .

У випадку CdSb, ZnSb та твердих розчинів CdSb – ZnSb отримані характеристичні частоти відповідали температурному інтервалу  $\Delta T$ , що містить температуру плавлення цих сполук і складала  $14^\circ$ ,  $20^\circ$  та  $17,6^\circ$  відповідно. Ці результати підтверджуються експериментальними технологічними режимами отримання оптичних та термоелектричних матеріалів на основі CdSb [2]. У першому випадку розплав стабілізувався при  $T = 742,4$  К. Це дозволило отримати високоякісні монокристали CdSb з густиною дислокацій не більшою  $10^2$  см<sup>-2</sup> і коефіцієнтом оптичного поглинання  $\beta = 0,1 - 0,2$  см<sup>-1</sup> в спектральному діапазоні прозорості 2,9 – 30,0 мкм.

У другому випадку температура розплаву в процесі кристалізації злитку періодично змінювалася в діапазоні 731,4 – 741,4 К. Це привело до можливості створення об'ємно – періодичних шаруватих структур з підвищеним значенням коефіцієнта поперечної термо ЕРС ( $\Delta\alpha = 300 - 350$  мкв). Таким чином, розглянутий підхід дозволив визначити характеристичні температури складних низькосиметричних кристалів, що привело до можливості оптимального вибору технологічних режимів отримання матеріалів з заданими властивостями.

1. Маник О.М. Багатофакторний підхід в теоретичному матеріалознавстві. Чернівці: Прут, 1999. 432с.

2. Ащеулов А.А., Воронка Н.К., Маренкин С.Ф., Раренко И.М. Получение и использование оптимизированных материалов из антимонида кадмия // Неорганические материалы. 1996. т. 32, №9. с. 1049 – 1060.

## ХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ НЕЛЕГОВАНИХ ТА ЛЕГОВАНИХ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe ВОДНИМИ РОЗЧИНАМИ (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>–HBr–ЦИТРАТНА КИСЛОТА

**Чухненко П.С., Іваніцька В.Г.\*, Томашик З.Ф., Стратійчук І.Б., Томашик В.М.**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
м. Київ, пр. Науки, 41; [tomashyk@isp.kiev.ua](mailto:tomashyk@isp.kiev.ua); [polina\\_stoyan@ukr.net](mailto:polina_stoyan@ukr.net)*

*\*Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича м. Чернівці,  
вул. Л. Українки, 25*

У роботі досліджено характер хімічного травлення монокристалів нелегованого і легovanого елементами IV групи (Ge, Sn, Pb) CdTe водними розчинами (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>–HBr, а також (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>–HBr–цитратна кислота (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>).

Експерименти проводили з використанням методики диску, що обертається, на установці для хіміко-динамічного полірування (ХДП). Швидкість розчинення кристалів визначали за допомогою годинникового індикатора 1МІПІ із точністю ±1 мкм за різницею товщини кристалів до і після травлення. Травильні суміші готували з використанням 40 %-ної HBr (ос.ч.), 26 %-ного розчину (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (х.ч.), 40 %-ного розчину цитратної кислоти (х.ч.). Стан поверхні кристалів після травлення вивчали методами металографічного та профілографічного аналізів. Досліджені склади травильних сумішей, їх поліруючі властивості та швидкості травлення ( $v_{\text{тр}}$ ) зразків подано у таблиці ( $T = 295 \text{ K}$ ,  $\gamma = 84 \text{ хв}^{-1}$ ).

№	HBr : (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> : C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub> (об.%)	$v_{\text{тр}}$ , мкм/хв			
		CdTe	CdTe(Ge)	CdTe(Sn)	CdTe(Pb)
1.	35 : 65 : 0	6,2	7,3	7,6	7,5
2.	30 : 70 : 0	7,0	6,8	7,3	6,5
3.	25 : 75 : 0	6,9	7,1	7,5	7,2
4.	10 : 65 : 25	0,2	0,1	0,1	0,1
5.	5 : 65 : 30	0,3	0,3	0,1	0,2
6.	5 : 75 : 20	0,3	0,2	0,2	0,2
7.	10 : 80 : 10	4,5	4,2	5,5	5,2
8.	15 : 75 : 10	2,1	2,8	2,5	2,7

Травильні композиції № 1-7 є поліруючими для всіх досліджених зразків ( $v_{\text{п}} = 0,1-7,5 \text{ мкм/хв}$ ), а травник № 8 формує на полірованих поверхнях трикутні ямки травлення при  $v_{\text{п}} = 2,1-2,8 \text{ мкм/хв}$ , що свідчить про його селективну природу. При порівнянні швидкостей травлення легovanого та нелегованого кристалів CdTe впливає, що при травленні:

– зразків травильними сумішами (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – HBr найшвидше розчиняється CdTe(Sn), а швидкості розчинення інших кристалів співмірні.

– зразків травильними композиціями (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – HBr – C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> з більшим вмістом органічного компоненту найшвидше розчиняється нелегований CdTe, а із зменшенням вмісту C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub> швидше розчиняються легovanі кристали.

Результати профілографічного та металографічного аналізів поверхні зразків, одержаної в результаті травлення розробленими поліруючими травниками, показали перспективність їх використання для ХДП поверхні легovanого і нелегованого кадмій телуриду. Після хімічної обробки зразки необхідно негайно промити водним розчином тіосульфату натрію та деіонізованою водою.

# ВПЛИВ УМОВ ОДЕРЖАННЯ НА ПРОЦЕСИ НЕІЗОТЕРМІЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ В СТЕКЛАХ ТА ПЛІВКАХ СЕЛЕНУ

Горіна О.В.

*Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації  
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,  
Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4  
e-mail: [center\\_uzh@email.uz.ua](mailto:center_uzh@email.uz.ua)*

Дана робота присвячена дослідженню кінетики неізотермічної кристалізації склоподібного (с-Se) і аморфного (а-Se) селену. Склоподібний селен одержували з Se марки ОСЧ 17-3 методом вакуумного плавлення у кварцових ампулах. Температура гомогенізації  $T_c$  розплавів змінювалась в межах 508-1225К, а час гомогенізації складав 2 год. Охолодження розплавів проводилось на повітрі і у холодну воду. Тонкі аморфні плівки селену (0,6-2,0 мкм) одержувались на невідігріваних скляних підкладках методом резистивного випаровування у вакуумі с-Se із квазізамкнених ефузійних комірок.

Неізотермічна кристалізація с-Se досліджувалась методом кількісного диференціально-термічного аналізу (ДТА) в інтервалі температур 293-450 К. Лінійне нагрівання зразків здійснювалось за допомогою програмних регуляторів температури РИФ-0,1. Точність вимірювання температури –  $\pm 0,5$  К. Криві ДТА знімалися при швидкостях нагрівання  $q=0.017, 0.05, 0.10$  та  $0.15$  К/с. З кривих ДТА визначались характеристичні температури теплових ефектів  $T_g, T_c, T_m$  (температури склування (розм'якшення), кристалізації і плавлення, відповідно). Рентгеноструктурні дослідження склоподібних, закристиалізованих і полікристалічних матеріалів проводили на установці ДРОН-3 з використанням  $\text{CuK}_\alpha$  випромінювання ( $\lambda=1.5418 \text{ \AA}$ ).

Встановлено, що з ростом  $q$  значення  $T_g$  і  $T_c$  зсуваються в ділянку вищих температур. На основі залежностей  $T_g$  і  $T_c$  від  $q$  в рамках моделей Кіссінджера, Матусіти-Сакки і Огіса-Беннета для деяких зразків розраховані усереднені енергії активації кристалізації  $\langle E_c \rangle$ . Виявлено залежність величин  $T_c$  і  $\langle E_c \rangle$  від умов одержання.

Встановлено, що при одержанні склоподібного селену від температур гомогенізації з інтервалів 582-690, 1063-1099 та 1158-1188 К на кривих ДТА проявляються по два ефекти кристалізації, а їх інтенсивність є залежною від  $T_c$ . При цьому максимум першого ефекту кристалізації локалізований у досить вузькому інтервалі температур (385–389 К). З підвищенням температури гомогенізації розплаву різниця температур максимумів першого і другого ефектів кристалізації  $\Delta T_c$  зростає. На основі рентгеноструктурних досліджень показано, що при температурах, близьких до температури максимуму першого ефекту кристалізації проходить зародження і ріст кристалів як тригональної, так і  $\alpha$ -моноклінної модифікації. При цьому доля кристалічної фази  $\alpha$ -моноклінного Se в закристиалізованому зразку складає 20-25 %. При подальшому підвищенні температури  $\alpha$ -моноклінна модифікація Se переходить у тригональну..

Кристалізація аморфних плівок Se проходить в інтервалі температур 370-390 К і супроводжується різким зменшенням пропускання. Як і для с-Se, із збільшенням швидкості нагрівання температурний інтервал переходу а-Se в кристалічний стан зсувається в ділянку вищих температур. Дослідження впливу термоциклювання на оптичне пропускання аморфних плівок селену свідчить про можливість їх використання для реєстрації розподілу теплових потоків.

# WORKING MATERIAL FOR NEW CRYOGENIC FLUORESCENCE THERMOMETERS BASED ON DOPED MOLYBDATES

**Yu. Hizhnyi, S. Nedilko, V. Chornii, M. Slobodyanik, K. Terebilenko**

*Kyiv National Taras Shevchenko University, Acad. Hlushkova ave. 2, block 1, 03680 Kyiv, Ukraine, hizhnyi@univ.kiev.ua*

The work of precise fluorescence thermometers (FTs) is based on the measurements of temperature dependencies of the photoluminescence (PL) characteristics of the nanoscaled material. The presence of intensive and well-resolved PL bands is the main requirement for the working material of FT. The characteristics of these bands should strongly and uniformly depend on temperature. Almost all existing FTs are effective in temperature region ranging from 300 K to near a melting temperature point of the host matrix. This situation was predetermined mainly by applications that required control over objects with temperature above ambient conditions. However, novel technological applications require effective FTs for cryogenic region of temperatures (4.2 - 77 K). New technological schemes and methods that demand temperature measurements in cryogenic region with very high spatial resolution appeared in recent years [1]. At the same time, the temperature measurement accuracy is less important in such applications than the measurement accuracy of the temperature spatial distribution.

We present further development of our investigations that aim to create FTs for cryogenic region of temperatures on the base of the chromium-doped microcrystalline powders synthesized from  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MoO}_3 - \text{Cr}_2\text{O}_3$  system [2]. The temperature-dependent photoluminescence emission and excitation spectra of the powders with various grains size and chromium concentrations are studied in 4.2 – 300 K temperature region.

Two well-resolved emission bands peaking at 693.8 and 740.6 nm both originating from  ${}^2\text{E} \rightarrow {}^4\text{A}_2$  transitions of  $\text{Cr}^{3+}$  ions have different temperature dependence in 4.2 – 100 K region and are suitable for FT creation. Dependencies of spectral characteristics on temperature, Cr concentration, method of synthesis, ratio of the mixture components and the powder grain sizes are studied. The errors of the FT temperature measurements in 10 – 80 K range are estimated to be less than 6 %. The principal possibility of variation of the FT working temperature range by changing of the excitation wavelength is shown. Variation of the working temperature range of the proposed FT by means of variation of  $\text{Cr}^{3+}$  concentration in initial flux is studied. Dependence of the FT spatial resolution on the grains size of the powders and conditions of materials synthesis is analyzed.

[1] R. J. Babaian (ed.), Best Practice Policy Statement on Cryosurgery for the Treatment of Localized Prostate Cancer, American Urological Association Education and Research, Inc. Linthicum (MD), USA (2008).

[2] Yu. Hizhnyi, S. Nedilko, V. Chornii et al., *Sensor Letters* **8**, 1 (2010).

## **ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ ТРАНЗИСТОРНИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ Si**

**Грипа А.С., Павлик Б.В., Леновенко А.М.**

*Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки  
вул. ген. Тарнавського, 107, 79017 Львів, Україна  
e-mail: hrypaas@gmail.com*

Температура – один з найважливіших параметрів, що характеризує протікання різних фізичних процесів. Тому важливим є питання створення надійних датчиків температури, а також їх дослідження на стабільність параметрів під дією зовнішніх факторів.

Метою даної роботи було порівняння вольт-температурних характеристик емітер-база і колектор-база *p-n-p* транзисторів 2Т363А, а також дослідження впливу рентгенівського випромінювання на стабільність цих характеристик.

В діапазоні температур *0-100 °C* отримані лінійні залежності вольт-температурних характеристик обох переходів з дещо меншим кутовим коефіцієнтом нахилу у випадку колектор-база.

Досліджено дію малих доз радіації (*<500 Гр*) на стабільність характеристик. Показано, що при малих дозах опромінення спостерігається стабілізація вольт-температурних залежностей.

Запропоновано фізичну модель радіаційно-стимульованих процесів стабілізації характеристик таких структур. Дана модель базується на ефекті “заліковування” структурних дефектів *p-n*-переходів в полі радіації через механізм гетерування електрично активних центрів на лінійних дефектах. Реалізація даного механізму забезпечується збільшенням коефіцієнта дифузії дефектів в полі радіації на *1,5-2,0* порядки.



# CALIXARENES MODIFIED WITH DIFFERENT FUNCTIONAL GROUPS FOR PATTERN RECOGNITION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

Z. I. Kazantseva<sup>1</sup>, I. A. Koshets<sup>1</sup>, V. I. Kalchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, 41, Prospekt Nauki, Kiev, 03028,

<sup>2</sup> Institute of Organic Chemistry, NAS of Ukraine, 2, Murmanskaya str., Kiev, 252167,

Nowadays a great attention is paid to creation and development of miniaturized, low-cost, smart chemical sensing systems, which provide accurate and reliable real-time control of ambient medium. One of the most important problems under creation of such systems for pattern recognition of smells is the choice of appropriable sensitive materials for coating of sensor. From this point calixarene molecules modified with different functional groups are very promising materials [1]. This work is dedicated to study of properties of calixarene films for utilizing ones' as sensor coatings in gas sensory system for pattern recognition of volatile organic compounds.

8-channel QCM sensor system designed in our laboratory has been used in experiments. Detailed description of device and gas supplying regime can be found in [2].

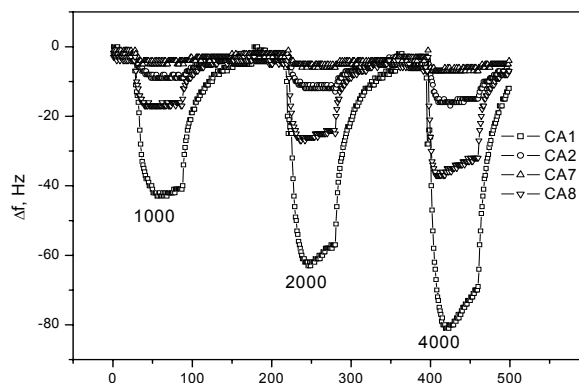


Fig. 1 Kinetic response of the selected sensors towards consequent injection of dichloroethane vapor into gas cell.

As sensitive coatings were used calixarene films, synthesized in the Institute of Organic Chemistry (Kiev, Ukraine). Eight type of calixarenes have been involved in our study.

Film thickness used in the work was in the range 150...200 nm (observed with ellipsometry) that corresponded to 4000...5000 Hz of frequency shift.

Sensitive and selective features of several types of calixarenes towards aromatics: benzene, toluene, n-xylene; and chlorine organics: chloroform, dichloroethane, dichloromethane have been studied. Concentration range was 500...10000 ppm and 10...400 ppm

for n-xylene. Typical kinetic response towards injection of dichloroethane vapor is shown in Fig. 1. Numbers in plots denote concentration of analyte.

Concentration dependencies were recalculated from kinetic curves and represented good linearity through the all concentration range.

Pattern recognition of chemical images of analytes has been carried out as well. Experimental database included responses of 5 injections of each analyte with concentration 1000 ppm (for n-xylene – 100 ppm). Three of them are used as training sample others remaining – as “unknown” analyte that should be recognized. Linear algorithm based on minimization of Euclidean distance in 8-dimension (sensors’) space has been used for pattern recognition. Overall scores of correct recognition was better 90%.

## References

1. C.D. Gutsche. Calixarenes, //The Royal Society of Chemistry – 1989 – P.172-180.
2. V.I.Kalchenko, I.A.Koshets, at all Calixarene based QCM sensors array and its response to volatile organic vapors// *Materials Science*, 20 (3), pp.73-88 (2002).

## ВЛИЯНИЕ ТИПА МЕТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА КОНТАКТОВ К СЕНСОРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

**Р.В. Конакова, Е.Ю. Колядина, Л.А. Матвеева, П.Л. Нелюба, В.В. Шинкаренко**

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины 03028, Киев, пр. Науки, 45, e-mail: [matveeva@isp.kiev.ua](mailto:matveeva@isp.kiev.ua)*

В сенсорных системах, фотоэлектронике и солнечной энергетике наблюдается развитие тенденции применения низкотемпературных технологий для изготовления чувствительных элементов на основе полупроводниковых материалов, а также полимеров. Комбинация низкотемпературных технологий с использованием тонкого промежуточного слоя фуллерена  $C_{60}$  между полупроводником и металлизацией позволила улучшить фотоэлектрические свойства чувствительных элементов на основе GaAs и Si. Введение фуллеренов в полимерную матрицу повышает эффективность солнечных элементов, что представляет научный и практический интерес. При формировании фотоэлектрических свойств солнечных элементов с фуллеренами немаловажную роль играет как тип металлизации, так и технология изготовления контактов.

Цель данной работы состояла в установлении влияния типа металлизации на свойства контактов к сенсорным элементам на основе полимеров с фуллеренами, а также влияния на них кратковременной радиационной обработки. Солнечные элементы включали подложку Si *n*-типа проводимости, нижний титановый слой, слой полимеров с фуллеренами и верхний слой металлизации. На поверхность кремния осаждали при комнатной температуре слой титана толщиной 40 нм. На него равномерно распыляли и затем высушивали растворенную в толуоле смесь полимеров РСВМ с фуллеренами  $C_{60}$  [6,6-фенил  $C_{60}$ ] и РЗНТ (поли3-гексинтиофен). Толщина полимерного слоя составляла 90 нм. На его поверхность через маску напыляли металлические контакты (золото или титан). Измерение сопротивления металл - полимерный композит - металл осуществлялось четырехпроводным методом. Для радиационной обработки структур использовалось микроволновое облучение импульсами частотой 2,45 ГГц, мощностью  $1,5 \text{ Вт/см}^2$  и длительностью 1 секунда. Суммарная длительность облучения не превышала 10 с.

Установлено, что в исходных структурах сопротивление металл - полимерный композит - металл зависит от типа металлизации. В исходном состоянии его величина для титановой металлизации была в два раза меньше, чем для золотой. Под действием микроволнового облучения уменьшалось суммарное сопротивление структуры как с титановыми, так и с золотыми верхними контактами, однако для титановой металлизации оно уменьшалось на порядок, а для золотой всего лишь в 2 раза. Радиационно-стимулированное уменьшение общего сопротивления структуры металл-полимер-металл объясняется радиационным упорядочением полимерного слоя и радиационно-стимулированной диффузией на границе раздела металл-полимер. Отличие во влиянии типа металлизации на свойства контактов к сенсорной структуре, в том числе под действием микроволнового облучения, можно объяснить спариванием *d*-орбиталей титана и *p*-орбиталей фуллерена  $C_{60}$ , которое приводит к появлению Ti-C связи и образованию карбида титана, а в случае золотой металлизации такое спаривание орбиталей не происходит. В результате образования TiC снижается барьерный контакт титан - полимер. На границе раздела золото - полимер взаимодействие с углеродом отсутствует, поэтому под действием микроволновой обработки барьерный контакт золото-полимер понижается на меньшую величину, чем в случае титанового контакта. Таким образом, при изготовлении сенсорных элементов на основе полимеров с фуллеренами более эффективна титановая металлизация, параметры контактов к которой можно улучшить, применяя микроволновую обработку.

## ПЕРКОЛЯЦИОННЫЕ ТОКИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ “СТЕКЛО-RuO<sub>2</sub>”

Курмашев Ш.Д., Бугаева Т.Н., Лавренова Т.И., Садова Н.Н., Софронков А.Н.<sup>1</sup>

*Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова*

<sup>1</sup>*Ополевский технический университет, Польша*

Развитие электроники, радиоэлектроники и измерительной техники требует значительного расширения исследований материалов, которые можно отнести к классу нано-структурированных композиций. Объединение стеклообразных диэлектриков с проводящими наполнителями позволяет получать материалы с новыми технологическими и эксплуатационными характеристиками. Введение в стеклянную матрицу проводящих дисперсных наполнителей существенно влияет на свойства гетерогенных композиций, в частности, придает им специфические электропроводящие свойства.

В настоящей работе приведены результаты исследования гетерогенных систем “стекло-RuO<sub>2</sub>” – одного из известных материалов для производства резистивных элементов гибридных интегральных схем. Несмотря на широкое использование таких систем, до настоящего времени нет однозначного объяснения структурно-фазовых превращений, физических механизмов электропроводности, причин деградации свойств этих материалов. В работе исследовано влияние свойств (в частности содержания примесей) и размеров зерен исходной стеклофритты, влияния геометрических размеров зерен и конгломератов проводящей фазы (RuO<sub>2</sub>, Bi<sub>2</sub>RuO<sub>3</sub>), режимов термической обработки исходных составов на механизмы переноса носителей заряда, величину электропроводности, температурный коэффициент удельного сопротивления толстых резистивных пленок. Показано, что при одном и том же содержании частиц проводящей фазы в исходной композиции критический порог, при котором начинается протекание перколяционных токов в пленках тем ниже, чем больше размеры блоков стеклянной фазы в исходных смесях.

Одним из важных параметров наполнителя является величина пакинг-фактора, которая позволяет учитывать форму частиц наполнителя и их пространственное распределение в объеме стеклянной матрицы. В терминах теории обобщенной проводимости рассмотрены особенности электропроводности гетерогенной системы “стекло-RuO<sub>2</sub>”. Такое рассмотрение, как известно, проводится для случаев двух не взаимодействующих фаз, предполагающих отсутствие влияния граничной поверхности между фазами на их свойства. Из возможных моделей двухфазных систем (последовательная, параллельная, матричная и др.) наиболее реализуемой является статистическая, которая предусматривает перколяционное поведение гетерогенной системы.

В качестве механизма токопротекания рассмотрен перенос электронов между отдельными проводящими зернами посредством термоэлектронной эмиссии, предполагающей наличие активационного процесса. Величина термоэлектронного тока экспоненциально зависит от высоты потенциального барьера между проводящими островками. При достаточно близком расположении перекрытие потенциалов сил изображения понижает высоту барьера, что приводит к возрастанию протекающего тока. Рассмотрен также механизм туннелирования электронов. Температурно-активационная составляющая может появляться из-за перераспределения зарядов между островками. Обсуждается возможность туннельно-резонансной электропроводности вследствие наличия примесей в стеклянной матрице.

# ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ZnO К ПАРАМ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ

Ляшков А.Ю., Анищенко А.А., Тонкошкур А.С.

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, пр. Гагарина 72,  
Днепропетровск, Украина, 49010, vdn@yandex.ru*

Сенсоры на основе полупроводниковых оксидно-цинковых керамик обладают достаточными для технического применения чувствительностью и быстродействием. Актуальной проблемой их совершенствования является поиск путей повышения селективности, в частности, при детектировании паров спиртов. Одним из актуальных направлений в решении данной проблемы представляется выявление индивидуальности в воздействии паров различных предельных спиртов на электропроводность керамики, что и было содержанием настоящей работы.

Изучалось влияние паров метилового (метанол), этилового (этанол), пропилового (пропанол), изо-пропилового (изо-пропанол), бутилового (бутанол, бутанол-1), изо-бутилового (изо-бутанол), втор-бутилового (втор-бутанол, бутанол-2), трет-бутилового (трет-бутанол), амилового, изо-амилового и трет-амилового спиртов в воздухе на электропроводность керамики на основе ZnO с добавкой Ag<sub>2</sub>O.

Образцы были изготовлены по стандартной керамической технологии, включающей в себя навеску исходных компонент квалификации «хч», мокрое смешивание, прессование при давлении 100 МПа, а также обжиг на воздухе при температуре 900°C в течении 1 часа. Количество добавки Ag<sub>2</sub>O не превышало 2 % по массе. Electroды были изготовлены путем вжигания серебряной пасты.

Анализ газочувствительных свойств осуществлялся исследованием температурных зависимостей величины отклика электропроводности керамики к наличию паров спиртов. Концентрация паров составляла 0,2–0,35 рп.

Установлено, что для большинства спиртов максимум отклика находится в диапазоне температур 550-580 К.

Наблюдалась тенденция увеличения величины отклика сенсора с ростом молекулярной массы спирта. Для каждого последующего изомера любого из спиртов отклик был меньше чем у предыдущего. Отклик уменьшался в последовательности спиртов: первичный, вторичный, третичный.

Установлено что в ряду спиртов одинакового строения с увеличивающейся молекулярной массой наблюдается корреляция между величиной отклика и: энергией Гиббса молекулы; энергией отрыва электрона; энергией ионизации; сродством к электрону; сродством к протону. Аналогично прослеживаются зависимости между откликом и: энергией отрыва электрона; энергией ионизации; сродством к электрону; сродством к протону в ряду изомеров одного и того же спирта. Однако универсальной корреляции учитывающей и молекулярную массу, и одновременно изомерию спиртов между рассчитанными энергетическими параметрами и величиной отклика сенсора для всего спектра исследованных спиртов в целом, проследить не удалось.

Ввиду отсутствия большинства интересующих нас данных для перечисленных спиртов в справочной литературе, был произведен их расчет в программном пакете Nupur Chem 5.0 неограниченным методом Хартри-Фока.

# КИНЕТИКА ЭПИТАКСИИ БУФЕРНЫХ СЛОЕВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $Zn_xCd_{1-x}Te$ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ

**Москвин П.П., Рашковецкий Л.В.\***

*Житомирский государственный технологический университет:  
ул. Черняховского 103, 10005 Житомир, Украина  
E-mail: [moskvin@us.zt.edu.ua](mailto:moskvin@us.zt.edu.ua)*

*\*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева, НАН Украины:  
пр. Науки 41, 03028 Киев, Украина*

Твердые растворы  $Zn_xCd_{1-x}Te$  представляют практический интерес как переходный буферный слой при формировании высокоэффективных полупроводниковых гетероструктур на основе системы  $Cd - Hg - Te$ . Последние широко применяются в оптоэлектронных преобразователях, регистрирующих инфракрасное излучение. Процесс формирования многослойных структур становится существенно проще, если каждый последующий слой твердого раствора в структуре осаждать при одинаковых или достаточно близких температурах. Существенное различие в основных физико-химических свойствах твердых растворов систем  $Cd - Hg - Te$  и  $Zn - Cd - Te$  накладывает жесткие ограничения при реализации таких режимов роста.

В работе проведено теоретическое и экспериментальное исследование процесса формирования буферных слоев в системе  $Zn - Cd - Te$ . Термодинамическое обоснование условий выращивания слоев твердых растворов осуществлялось с использованием модели диффузионно-ограниченной кристаллизации. Процесс подвода вещества к фронту роста описывался системой дифференциальных уравнений диффузии, когда уравнения фазовых равновесий, записанные для концентраций компонентов на границе раздела фаз, служили граничными условиями краевой задачи. Фазовые равновесия в рассматриваемой системе описывались моделью полиассоциативных растворов. Полученная теоретическая информация о влиянии параметров проведения процесса эпитаксии на свойства слоев твердого раствора использована при обосновании условий проведения кристаллизации. Эксперименты по выращиванию пленок твердых растворов  $Zn_xCd_{1-x}Te$  состава  $x \approx 0.05 - 0.20$  мол.дол. проводились методом жидкофазовой эпитаксии в закрытой вакуумированной системе в температурном интервале  $550-600^\circ\text{C}$ . Слои осаждались на химически полированные монокристаллические подложки  $CdTe$  с кристаллографической ориентацией (111). Состав выращенных слоев определялся методом рентгеновской дифрактометрии по кривым отражения  $Cu K_\alpha$  излучения. Достигнуто хорошее соответствие экспериментальных данных результатам моделирования кинетики роста слоев.

Результаты исследования низкотемпературной эпитаксии в системе  $Zn - Cd - Te$  позволяют утверждать о возможности кристаллизации эпитаксиальных слоев твердого раствора  $Zn_xCd_{1-x}Te$  в температурных условиях, близких к условиям формирования активного слоя  $Cd_xHg_{1-x}Te$  в гетероструктуре, предназначенной для работы в ИК диапазоне длин волн. При этом выбор температурно-временных режимов кристаллизации должен осуществляться с учетом поправки на пересыщение исходной жидкой фазы, т.е. с использованием кинетических представлений о процессе роста.

# INVESTIGATIONS OF $(As_2S_3)_{100-x}(SbSI)_x$ ( $0 \leq x \leq 40$ ) GLASSES AND NANOSTRUCTURES ON THEIR BASIS BY RAMAN SPECTROSCOPY AND X-RAY DIFFRACTIONS METHODS

<sup>1</sup>Mykaylo O.A., <sup>2</sup>Barj M., <sup>3</sup>Solomon A.M., <sup>4</sup>Gasinets S.M., <sup>4</sup>Yasinko T.I., <sup>1</sup>Kaynts D.I., <sup>4</sup>Rubish V.M.

<sup>1</sup>*Uzhgorod National University, 46, Pidgirna str., 888000 Uzhgorod, Ukraine, mykaylooksana@yahoo.com*

<sup>2</sup>*Université Lille1 Sciences et Technologies, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman LASIR, France*

<sup>3</sup>*Institute of Electron Physics, NASU, 21, Universitetska str., 888000 Uzhgorod, Ukraine*

<sup>4</sup>*Uzhgorod Scientific-Technological Center of the Institute for Information Recording, NASU, Uzhgorod, Ukraine, center.uzh@gmail.com*

Chalcogenide glassy semiconductors (ChVS) turn on constantly increasing interest due to wide possibilities of practical application and as unique objects of theoretical investigations. In this respect ChVS on the basis of antimony sulphoiodide (SbSI), crystalline analogue of which is a ferroelectric, present a considerable interest.

In this paper the results of structure investigations of  $(As_2S_3)_{100-x}(SbSI)_x$ ,  $(As_2Se_3)_{100-x}(SbSI)_x$  ( $0 \leq x \leq 40$ ) glasses and products of their crystallization by Raman spectroscopy and X-ray methods have been submitted.  $(As_2S_3)_{100-x}(SbSI)_x$  and  $(As_2Se_3)_{100-x}(SbSI)_x$  ( $0 \leq x \leq 40$ ) glasses were prepared by vacuum melting method of corresponding components mixture of  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$  and SbSI components which had been synthesized before from a high purity elementary substances. The melts were homogenized for 24-36 h at 720-870 K ( $As_2S_3 - SbSI$  system) and 800-870 K ( $As_2Se_3 - SbSI$  system). Cooling of melts was carried out on the air.

Investigations of X-ray powder diffraction patterns for glassy, crystallized and crystalline materials were carried out on DRON-3 X-ray apparatus ( $\lambda=1,5418 \text{ \AA}$ ).

On the basis of Raman spectra data a nanoheterogeneous structure for  $(As_2S_3)_{100-x}(SbSI)_x$  and  $(As_2Se_3)_{100-x}(SbSI)_x$  glasses was established. It is shown that the glass matrix is formed by binary structural units with heteropolar ( $AsS_3$ ,  $AsSe_3$ ,  $SbS_3$ ,  $SbI_3$  and  $AsI_3$ ) bonds and contains molecular fragments with homopolar bonds. Chain molecular associates  $(SbI_3)_m$  and  $(AsI_3)_n$  of different length can be formed in their matrix in the case of considerable content of iodide in the composition of glasses. The further analysis of X-ray powder diffraction patterns data showed that nanosize crystalline SbSI inclusions are being formed in glassy matrix at annealing of  $(As_2S_3)_{100-x}(SbSI)_x$  and  $(As_2Se_3)_{100-x}(SbSI)_x$  glasses.

The influence of annealing time on the crystalline size inclusions has been studied. It was shown that with the annealing time raising, the intensity of reflexes on X-ray powder diffraction patterns is increasing while their halfwidth is decreasing. It testifies to growing of dimensions of SbSI nanocrystals on glassy matrix.

# LUMINESCENT SENSORS OF HARD UV RADIATION DEVELOPED ON EUROPIUM-DOPED GERMANIUM OXIDE SOL GEL FILMS

S. Nedilko<sup>1</sup>, O. Chukova<sup>1</sup>, V. Scherbatskii<sup>1</sup>, G. Malashkevich<sup>2</sup>, Yu. Bokshits<sup>3</sup>, G. Shevchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Taras Shevchenko University of Kyiv, 03680, Kyiv, Ukraine, [chukova@univ.kiev.ua](mailto:chukova@univ.kiev.ua)

<sup>2</sup>Institute of Physics of NAS of Belarus, 68 Nezalezhnasti Ave., 220072, Minsk, Belarus

<sup>3</sup>Research Institute of Physicochemical Problems of Belarusian State University, Belarus

Detection of ultraviolet (UV) radiation is an important feature for health, military, environmental, and industrial fields. The hard UV radiation is defined as between 100 nm and 280 nm. Because the hard UV radiation is more energetic, it is also the most harmful.

In this paper we propose materials which are mainly sensitive for the deep UV radiation and give comparably weak response for other types of radiation. Recently, we have carried out investigation of thermal annealing and concentration effects on the spectral-luminescent properties of sol gel films based on the GeO<sub>2</sub> co-doped with europium and gold [1]. The sol gel films were obtained by means of centrifugation of film-forming solution prepared from a GeO<sub>2</sub> sol (pH = 8.0, concentration 5 wt %) and aqueous solutions of HAuCl<sub>4</sub> and a europium tartrate complex. Structure of the films surfaces were also studied using an atomic force microscope. It has been established that samples of the 87GeO<sub>2</sub>-10Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3Au and 97GeO<sub>2</sub>-3Au composition annealed at  $T_{\text{ann}} = 800^{\circ}\text{C}$  show intensive luminescence that can be excited in general by the radiation from the hard UV region. This luminescence spectra cover the region from 570 to 750 nm and diapason of the main intensity lines lie in the range 590 - 620 nm.

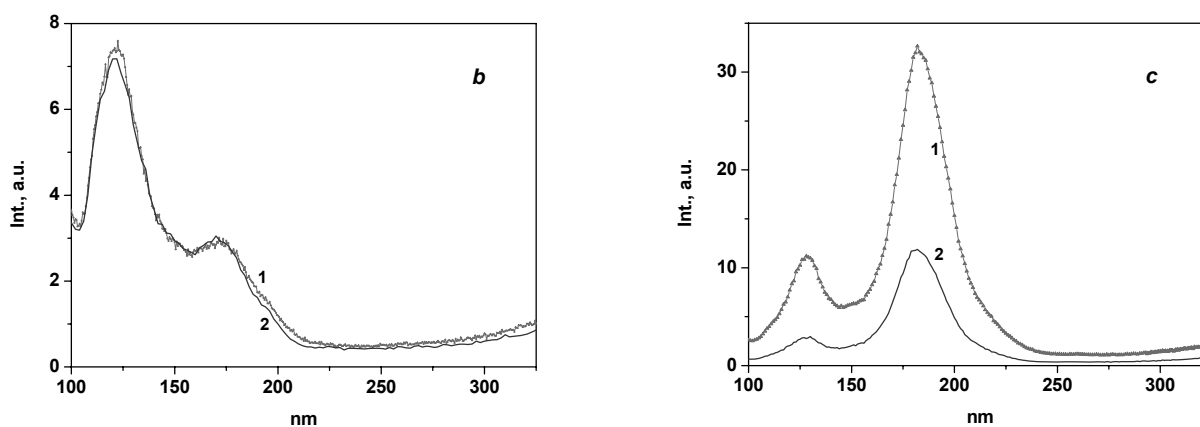


Fig. 1. Excitation spectra of the 97GeO<sub>2</sub>-3Au (left), and 87GeO<sub>2</sub>-10Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3Au (right) films at  $\lambda_{\text{reg}} = 695$  (left) and 615 nm (right), at RT (1) and 10 K (2).

Experiments with synchrotron radiation were carried out at SUPERLUMI station at HASYLAB, DESY, Hamburg, Project II-20080221. The work was supported by the Fundamental Researches State Fund of Ukraine (Project Nr. F29.1/038) and Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Project Nr. X 09K-078). [1] G. Malashkevich, S. Nedilko, et. al., HASYLAB Annual Report, (2008).

## ТВЕРДІ РОЗЧИНИ НА ОСНОВІ СПОЛУК IV-VI У ПРИСТРОЯХ ІЧ-ТЕХНІКИ

**Л.І. Никируй, В.М. Чобанюк, М.О. Галушак, Р.О. Дзумедзей**  
*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна,  
e-mail [lyubomyr.nykyruy@gmail.com](mailto:lyubomyr.nykyruy@gmail.com)*

Ефективність функціонування фотоприймальних пристроїв і лазерних джерел випромінювання визначається характеристиками матеріалу та електронними процесами, що протікають у ньому. Серед останніх найбільш важливу роль відіграють механізми розсіювання носіїв заряду. Процеси розсіювання носіїв детально вивчені для бінарних напівпровідникових сполук [1]. Однак для твердих розчинів, не дивлячись на велику кількість експериментальних даних, теоретичних аналіз таких процесів практично відсутній.

У роботі досліджено тверді розчини системи  $PbS_xSe_{1-x}$ . Утворення твердих розчинів спричинює перекриття енергетичних зон базових матеріалів, що у свою чергу робить складною поведінку рівня Фермі, тому аналіз процесів розсіювання не можна здійснювати у стандартному наближенні часу релаксації [2], а необхідно застосовувати варіаційну процедуру [1]. Для коректного розрахунку слід враховувати специфіку зміни параметрів матеріалу при переході від бінарних сполук до твердих розчинів. Стала ґратки утвореного твердого розчину визначалася за законом Вегарда [2], ширину забороненої зони визначено згідно [3], а деформаційну сталу, яка найбільш чутлива при заміні одних атомів іншими, визначали по методиці [4].

Досліджено концентраційні та температурні залежності рухливості носіїв заряду твердого розчину  $PbS_xSe_{1-x}$  при врахуванні розсіювання носіїв на: акустичних та оптичних коливаннях ґратки, кулонівському та короткодіючому потенціалах вакансій. Показано, що в інтервалі температур 4,2-300 К добре співпадання із експериментальними даними дає врахування розсіювання на акустичних фонах. Однак, для точного розрахунку будь-яких електрофізичних параметрів слід враховувати сумарну дію кількох механізмів розсіювання. Так, при 4,2 К у концентраційному інтервалі  $10^{22}$ - $10^{26}$  м<sup>-3</sup> суттєвим також буде врахування розсіювання на короткодіючому потенціалі вакансій, а для концентрацій  $10^{22}$ - $2 \cdot 10^{23}$  м<sup>-3</sup> – на кулонівському. При 77 К кулонівське розсіювання, яке при таких температурах все ще важливе для бінарних сполук, не буде домінуючим, зате для концентрацій  $10^{22}$ - $10^{23}$  м<sup>-3</sup> необхідно враховувати вплив розсіювання на оптичних фонах. При 300 К менш помітним стає розсіювання на короткодіючому потенціалі, яке суттєве лише в області високих концентрацій ( $\sim 10^{26}$  м<sup>-3</sup>), а розсіювання на оптичних фонах дає помітний внесок у сумарне для більш широкого концентраційного діапазону –  $10^{22}$ - $10^{24}$  м<sup>-3</sup>.

- [1] П.Н. Горлей, П.Н. Шендеровский. Вариационный метод в кинетической теории. К.:Наукова думка (1992).  
[2] В.И. Фистуль, Введение в физику полупроводников, М.: Высшая школа (1975).  
[3] H.Preier, Appl.Phys., **20**, 189 (1979).  
[4] Л.А. Фальковский, УФН, **178**(9), 923 (2008).



# МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ GaAs, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ $\gamma$ -ДЕТЕКТОРОВ

Оксанич А. П., Притчин С.Э.

КУЭИТУ, ул. Пролетарская, 24/37, г. Кременчук, Украина, 39600, [oksanich@ient.net](mailto:oksanich@ient.net)

Слитки арсенида галлия обладают достаточно высоким уровнем дислокаций и микродефектов, которые оказывают большое влияние на характеристики приборов. К таким приборам относятся твердотельные детекторы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения, изготавливаемые на основе полуизолирующего нелегированного (ПИН) GaAs. Для детекторов такого типа информация о плотности распределения микродефектов особенно важна, так как микродефекты приводят к рассеиванию излучения [1], и, как следствие, к искажению результатов измерения.

При промышленном производстве контроль этого параметра осуществляется по методу и согласно методики, описанной в ТУ 48-4-276-82. Актуальной является задача разработки метода, обладающего по сравнению с вышеупомянутой большей точностью, меньшей погрешностью и возможностью автоматизации процесса измерения.

Предлагаемый в работе метод основывается на том факте, что микродефекты дают фигуры травления в виде «ямок» или «бугорков». Микроскопическое изображение микродефектов в пластине ПИН GaAs, полученное при помощи микроинтерферометра Линника с увеличением  $16^{\times}$ , представлено на рисунке 1.

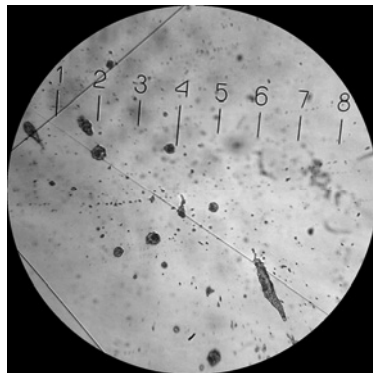


Рис.1. Микродефекты в ПИН GaAs

Определение плотности микродефектов и их классификация в предлагаемом методе производится путем телевизионной обработки видеоизображения. В отличие от метода, предложенного в [1], и учитывая статический характер получаемого изображения, для классификации микродефектов мы использовали метод искусственных нейронных сетей.

Предложенный метод позволил определять плотность микродефектов на уровне менее  $10 \text{ см}^{-2}$ .

1. Молодкин В.Б. Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в геометрии Лауэ в толстых монокристаллах с микродефектами нескольких типов / В.Б. Молодкин, С.И. Олиховский, С.В. Дмитриев, Е.Г. Лень, Е.В. Первак // *Металлофизика и новейшие технологии*. — 2006. — № 9. — С. 1177-1190.

2. Притчин С.Е. Система идентификации микродефектов слитков кремния телевизионным методом. / Притчин С.Е., Полтавец В.О. // *Нові технології. Науковий вісник ІЕНТ*. — 2005. — № 3(9). — С. 39-49.

# ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕТРАГОНАЛЬНЫХ МОДИФИКАЦИЙ $\text{InV}$

**Поживатенко В.В.**

*Николаевский государственный университет, механико-математический факультет*

*54030, г. Николаев, ул. Никольская, 24,  
pozhivatenko@mail.ru*

Соединение  $\text{InV}$  перспективно для применения в полупроводниковой электронике. В отличие от других соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  данное соединение является полуметаллом, кристаллизующимся в решётке тетрагональной структуры. Полуметаллические свойства  $\text{InV}$  позволяют получать на его основе твердые растворы с заданной величиной запрещённой зоны, что является ключевым свойством для развития технологии создания сенсорных датчиков, ИК-детекторов и перестраиваемых лазеров.

Экспериментальные сведения о кристаллической структуре  $\text{InV}$  приведены в работах [1 – 3]. Так как большинство соединений  $\text{A}^3\text{B}^5$  и твердые растворы, получаемые на их базе, кристаллизуются в структуре сфалерита, то часто теоретические расчёты выполняют для этой решётки [4 – 8]. Для сравнения результатов расчётов с экспериментом используются значения для соединения  $\text{InV}$  из [9, 10].

В данной работе проведены первопринципные расчёты кристаллической структуры, электронной зонной структуры и полной энергии бисмутида индия в рамках теории функционала плотности для тетрагональных модификаций  $\text{InV}$ . Предложен метод улучшения стандартного расчёта в приближения локальной плотности для расчёта полных энергий кристаллических структур бинарных соединений, использующий полуметалличность исходного соединения. Проведено сравнение с экспериментальными [1 - 3] и теоретическими [11 – 14] результатами.

- [1] W.P. Binnie, *Acta Cryst*, **9**, 686 (1956).
- [2] D.Y. Chang, G.A. Saunders, C. Savage, *Phys. Lett A*, **47**, 449 (1974).
- [3] Р.Х. Акчурин, В.Г. Зиновьев, Т.М. Кузьмичева, В.Б. Уфимцев, *Кристаллография*, **27**, 561 (1982).
- [4] Р.Х. Акчурин, О.В. Акимов, *ФТП*, **29**, 362 (1995).
- [5] Р.Х. Акчурин, Д.В. Комаров, *ЖТФ*, **67**, 50 (1997).
- [6] В.Г. Дейбук, Я.И. Виклюк, И.М. Раренко, *ФТП*, **33**, 289 (1999).
- [7] В.Г. Дейбук, Я.И. Виклюк, *ФТП*, **36**, 1171 (2002).
- [8] C. Falter, W. Ludwig, M. Selmke, W. Zierau, *Phys. Lett. A*, **105**, 139 (1984).
- [9] В.П. Васильев, Ж.-К. Гашон, *Неорг. материалы*, **42**, 1293 (2006).
- [10] *Термические константы веществ*, Вып. 5, Под ред. В.П. Глушко, ВИНТИ, Москва, 1971.
- [11] R. Boom, P.C.M. Vendel, F.R. De Boer, *Acta Metallurgica*, **21**, 807 (1973).
- [12] S. Curtarolo, A.N. Kolmogorov, F.H. Cocks, *Calphad*, **29**, 155, (2005). ([arXiv.org / cond-mat / 0502535](https://arxiv.org/abs/0502535)).
- [13] M. Ferhat, A. Zaoui, *Phys. Rev. B*, **73**, 115107 (2006).
- [14] A. Zaoui, D. Madouri, M. Ferhat, *Phil. Mag. Lett.*, **89**, 807 (2009).

# ВПЛИВ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ХРОМУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІМПЛАНТОВАНИХ БАГАТОЗАРЯДНОЮ ІМПЛАНТАЦІЄЮ СІРКИ (Si<sup>++</sup>) І ЦИНКУ (Zn<sup>++</sup>) НАПІВІЗОЛЮЮЧИХ ПІДКЛАДОК GaAs, ЛЕГОВАНИХ Cr.

**Новосядлий С.П., Сорохтей Т. Р.**

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Галицька 201,  
Івано-Франківськ. e-mail :1188788@mail.ru*

В таблиці приведені деякі результати досліджень, отримані для різних напівізольюючих кристалів. Взірці відпалювались при температурі 900<sup>0</sup> С протягом 20 хв та фотонним відпалом галогенними лампами на установці “Імпульс – 3” (УОЛ-П-1 на ксенонових лампах-спалахах ИНП – 16/250 А), де час експозиції варювався від 50 мс до 15 с. Як захисне (капсулююче) покриття використовувався нітрид кремнію.

Тип підкладки	Відпал (900 <sup>0</sup> С)		Двозарядна імплантација + відпал				
	Поверхнева провідність	Поверхнева концентрація x 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup>	Енергія кеВ	Доза x 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup>	Температура імплантацији °С	Поверхнева концентрація x 10 <sup>12</sup> см <sup>-2</sup>	Електронна активність %
Е	напівізолятор	----	200(Zn)	1,5	150	2,7	108
Е	----//----	----	200(Zn)	1,5	250	2,4	98
Е	----//----	----	250(S)	2	300	2,8	93
Н	----//----	----	200(Zn)	1,5	200	2,5	100
Н	----//----	----	200(S)	3	200	3,5	106
І	----//----	----	200(Zn)	2	200	2,5	108
А	p – тип	4	200(S)	3	200	2,0	30
В	----//----	3	200(Zn)	3	200	3,0	50
Д	----//----	0,5	200(S)	1,5	200	1,0	66
С	n – тип	4	200(S)	3,0	200	5	165
І	----//----	6	200(Zn)	2,5	200	6	185
І	---//----	6	200(S)	0,1	200	8	195

Слід відзначити, що якщо змінити капсулююче покриття Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> на AlN та високотемпературний відпал на фотонний, то формування провідних n – і p – шарів на порехні зникає. Це дозволяє зробити наступні висновки:

1. Капсулюючі покриття впливають на поверхневу агрегацію GaAs. Тому при високотемпературному відпалі слід використовувати як ізолююче покриття нітрид алюмінію, сформованим низькотемпературним процесом.
2. Для відпалу імплантованих шарів доцільно замінити високотемпературний відпал на фотонний з густиною енергії: 10<sup>2</sup> – 10<sup>3</sup> Дж/см<sup>2</sup> протягом 0,5 – 2 с.
3. Заміна однозарядних іонів багатозарядними дозволяє зменшити як енергію, дозу та температуру відпалу, що в кінцевому рахунку включає поверхневу сегрегацію.

[1] Новосядлий С.П. Фізико-технологічні основи субмікронних структур ВІС. Івано-Франківськ: Сімик-2003-351с.

[2] Новосядлий С.П., Возняк Ю.В., Сорохтей Т.Р. Фізико-технологічні особливості формування комплементарних арсенід-галієвих субмікронних структур ВІС // Збірник наукових праць 2-ої міжнародної конференції «Електронная компонентная база. Состояния и перспективы развития». – Харьков – 2009 – с111-113.

# ПРИМЕНЕНИЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В СЕНСОРАХ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМАХ

**И.Д. Толмачев, А.В. Стронский**

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,  
г. Киев, 03028, пр. Науки 41.*

Функциональные характеристики сенсоров во многом определяются используемыми материалами, структурами и методами изготовления. Халькогенидные стеклообразные полупроводники (ХСП) широко используются в сенсорике благодаря уникальным физическим свойствам, к которым относятся: оптическая прозрачность в ИК диапазоне, широкая область стеклообразования, большое разнообразие фотоиндуцированных эффектов (фотопотемнение и фотопросветление, фотокристаллизация, фотоиндуцированная анизотропия, фотодиффузия металлов и др.), устойчивость в агрессивных средах. В докладе будут рассмотрены различные варианты применения ХСП в качестве проводников излучения в сенсорных системах, а также, активных чувствительных элементов сенсоров.

Благодаря прозрачности в ИК диапазоне, волноводы из ХСП могут быть использованы в инфракрасной термометрии и спектроскопии в качестве среды, передающей излучение. Инфракрасные волокна необходимы для in-situ мониторинга различных процессов и дистанционного контроля взрывчатых газов. В том случае, когда часть излучения выходит из сердцевины волокна и поглощается образцом, прилегающим к сердцевине, реализуется сенсор на эванесцентной волне. Сердцевина волокна может быть покрыта веществом, селективно поглощающим некоторые органические молекулы. Таким образом, даже малые количества химических веществ в растворе становятся обнаружимыми эванесцентной волной без влияния на другие молекулы. Биомедицинские препараты и загрязнители, например, глюкоза и хлорированные углеводороды, обнаруживались при использовании инфракрасных ХСП волокон, покрытых полимером.

ИК сенсоры с использованием оптических ХСП волокон также могут быть использованы для измерения других физических параметров, например, смещения, давления, ускорения, магнитного поля и др. Такие сенсоры основаны на модуляции интенсивности проходящего излучения. В процессе измерения, физическое возмущение, взаимодействуя непосредственно с волокном или с каким-либо дополнительным устройством, сопряженным с волокном, вызывает изменение интенсивности излучения, распространяющегося в волокне.

Мембраны ХСП применяются в ионоселективных электродах, выборочно реагирующих на различные ионы, находящиеся в растворе. Системы, основанные на массивах таких электродов получили название «электронный язык». Эти системы были широко использованы для анализа минеральных вод, соков и др. пищевых продуктов.

Также ХСП могут быть использованы в резистивных сенсорах, в которых сопротивление чувствительного элемента изменяется под воздействием различных внешних факторов. Такие сенсоры могут применяться, например, в датчиках влажности или NO<sub>2</sub>.

# ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ ДАТЧИКІВ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ТИСКУ НА ОСНОВІ ПЛІВКОВОЇ СИСТЕМИ Cu/Cr

**Великодний Д.В., Пазуха І.М., Проценко І.Ю., Шумакова Н.І.**

*Сумський державний університет, вул. Р.-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,  
protsenko@aph.sumdu.edu.ua*

Можливість створення надточних чутливих елементів датчиків деформації та тиску на основі двошарової плівкової системи Cu/Cr, що будуть ефективними як в області пружної, так і пластичної деформації, стає актуальною задачею завдяки високим експлуатаційним характеристикам цієї плівкової системи. Дослідження тензорезистивних та тензобаричних характеристик проведені з використанням розробленої нами автоматизованої системи [1] у діапазоні деформацій  $\Delta\varepsilon_t = 0-2\%$  показали, що плівкова система характеризується високими (як для металевих плівок) значеннями середнього коефіцієнту тензочутливості, які знаходяться у межах від 10–30 одиниць. Величина коефіцієнта тензочутливості залежить від концентрації атомів Cr і збільшується з її ростом при фіксованому значенні товщини шару Cu. Величина деформації, при якій спостерігається перехід пружна-пластична деформація, для двошарових плівок Cu/Cr знаходиться у межах від 1,3 до 0,4% і зменшується зі збільшенням концентрації атомів Cr. У порівнянні з іншими плівковими зразками (наприклад, Fe/П, Cr/П, Fe/Cr/П) спостерігається стабільність величини коефіцієнта тензочутливості у залежності від кількості циклів деформації, що у свою чергу позитивно впливає на ресурс роботи датчика. У порівнянні з одношаровою плівкою Cu (де спостерігається подібна стабільність) плівкова система Cu/Cr виграє за рахунок підвищених значень величини коефіцієнта тензочутливості. Також необхідно зазначити, що чутливі елементи у вигляді дво- або багатошарових на основі Cu та Cr мають високу температурну стабільність з точки зору фазових перетворень, що підтверджується структурними і мас-спектрометричними дослідженнями. У плівковій системі Cu/Cr до 900 К майже повністю відсутня взаємна розчинність атомів, що гарантує стабільність характеристик тензорезистора і збільшення значень величини коефіцієнта тензочутливості у результаті інтерфейсного розсіювання електронів. Швидкість деформації у межах від 140 до 20%/с для даної плівкової системи виявляє мінімальний вплив на значення величини КТ, а її відмінність у межах 5% може бути пояснена зміною величини коефіцієнта тензочутливості з ростом числа деформаційних циклів.

Принцип роботи датчика тиску на основі плівкової системи Cu/Cr базується на тензорезистивних властивостях його чутливого елемента. При зміні тиску в робочому об'ємі вакуумної камери по відношенню до зовнішнього атмосферного тиску відбувається деформація чутливого елемента датчика, що призводить до зміни його електричного опору. Відносна зміна опору при зміні тиску має лінійну залежність в діапазоні значень тиску у вакуумній камері  $p = 20-40$  Па, що дозволяє даний датчик використовувати для вимірювання форвакууму. Значення баричного коефіцієнту опору [2] для системи Cu/Cr змінюється в межах від  $1.5 \cdot 10^{-3}$  до  $0.12 \cdot 10^{-3}$  Па<sup>-1</sup> в інтервалі значень товщин  $d = 50-120$  нм.

[1] S. I. Protsenko, D. V. Velykodnyi, V. A. Kheraj, M. S. Desai, C. J. Panchal, I. Yu. Protsenko, J. Mater. Sci., **44**, № 18, 4905-4910 (2009).

[2] I.M. Pazukha, I.E. Protsenko, Technical Physics., **55**, №4, 570-574 (2010).

## FORMATION OF $\epsilon$ -PHASE $\text{WO}_3$ NANOSTRUCTURES FOR SENSOR APPLICATIONS.

**J. Lappalainen<sup>1</sup>, R. Viter<sup>2</sup>, J. Puustinen<sup>1</sup>, D. Gornostayev<sup>1</sup>, V. Smyntyna<sup>2</sup>, I. Lydina<sup>2</sup>, V. Lantto<sup>1</sup> and H. Jantunen<sup>1</sup>.**

<sup>1</sup>*Microelectronics and materials physics laboratories, PO Box 4500, 90014, University of Oulu, Oulu, Finland, Tel: +358-85-53-27-20, Fax: +358-85-53-27-28, E-mail: Jyla@ee.oulu.fi*

<sup>2</sup>*Experimental physics department, Odessa I.I. Mechnikov University, 42 Pastera str., 65026, Odessa, Ukraine, +38067 66 39 327, viter\_r@mail.ru*

Ferroelectric phase of tungsten trioxide, called  $\epsilon$ -phase, appears as result of high pressure treatment or temperature decrease up to  $-40$  °C [1-3]. Because of pressure and temperature effect oxygen atoms in the  $\text{WO}_3$  structure are shifted from equilibrium positions. It results in dipole formation in  $\text{WO}_3$   $\epsilon$ -phase and its ferroelectric properties [3]. The decrease of grain size in metal oxides led phase transitions even at room temperatures [3].  $\text{WO}_3$   $\epsilon$ -phase nanostructures showed good sensitivity to acetone.

Laser ablation method allowed to depositing  $\text{WO}_3$  thin films with 7-15 nm grain size [4]. The influence of substrate temperature and oxygen concentration on structural, optical and sensitive properties of  $\text{WO}_3$  films has been studied [4]. However, room temperature deposition and thermal treatment effects and their impacts on phase transition, structural and optical properties of nanocrystalline tungsten trioxide films haven't been performed in details.

In the present work nanocrystalline tungsten trioxide films, deposited at room temperatures have been investigated with XRD, Raman and transmittance measurements. Post annealing influence on  $\epsilon$ -  $\text{WO}_3$  formation and phase transitions has been reported.

[1] L. Wang, A. Teleki, S. E. Pratsinis, and P. I. Gouma, Ferroelectric  $\text{WO}_3$  Nanoparticles for Acetone Selective Detection, *Journal of Chemistry of Materials*, **20**, No 15, 4794–4796 (2008).

[2] Cyrus Zamani, Olga Casals, Teresa Andreu, Joan Ramon Morante, Albert Romano-Rodriguez, Detection of amines with chromium-doped  $\text{WO}_3$  mesoporous material, *Sensors and Actuators B*, **140**, 557–562 (2009).

[3] M. Arai, S. Hayashi and K. Yamamoto, Raman studies of phase transitions in gas-evaporated  $\text{WO}_3$  microcrystals, *Solid State Communications*, **75**, No 7, 613-616 (1990).

[4] K.J. Lethy, D. Beena, R. Vinod Kumar, V.P. Mahadevan Pillai, V. Ganesan, Vasant Sathe, Structural, optical and morphological studies on laser ablated nanostructured  $\text{WO}_3$  thin films, *Applied Surface Science*, **254**, 2369–2376 (2008).

# ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРА РОЗЧИНЕНОГО КИСНЮ НА ОСНОВІ ОКСИДУ Ti, МОДИФІКОВАНОГО НАНОЧАСТИНКАМИ Ag і Au

Воробець В.С.

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України,,  
Київ-142, проспект академіка Палладіна, 32/34, тел.424-2280, факс 424-3070  
e-mail: [karpenko\\_s.v@mail.ru](mailto:karpenko_s.v@mail.ru)*

Діоксид титану, завдяки його високій каталітичній активності у процесі електровідновлення кисню, є перспективним матеріалом для використання в якості чутливого шару робочого електроду в електрохімічних сенсорах розчиненого кисню, розробка яких є актуальною на сьогоднішній день [1]. Важливим завданням при розробці електрохімічних сенсорів є підвищення каталітичної активності електродних матеріалів, що можливо за рахунок модифікування їх поверхні наночастинками благородних металів. У даній роботі приведено результати вивчення електрокаталітичної активності електродів на основі дисперсного TiO<sub>2</sub>, модифікованого оксидом цинку та наночастинками срібла і золота.

Плівки TiO<sub>2</sub> та TiO<sub>2</sub>-ZnO (0,1-10 % ZnO), модифіковані наночастинками Ag та Au одержували золь-гель методом, як описано в [2,3]. Середній розмір частинок у плівках, визначений методами АСМ і ПЕМ, дорівнював d=4-20 нм. Досліджено електрокаталітичну активність електродів на основі одержаних плівок у реакції електровідновлення розчиненого кисню. На поляризаційних кривих відновлення кисню на досліджених електродах спостерігалась одна хвиля струму. Встановлено залежність потенціалу відновлення O<sub>2</sub> від складу сполук. Показано, що введення наночастинок Ag та Au у плівки TiO<sub>2</sub> і TiO<sub>2</sub>-ZnO зменшує перенапругу відновлення кисню і розширює динамічну область потенціалів, при яких можливе визначення концентрації O<sub>2</sub>. В фізіологічному та ізотонічному розчинах NaCl реакція відновлення кисню на досліджених електродах протікала при катодних потенціалах -0,4 ÷ -0,5 В (відн. Х.С.Е). Динамічний діапазон потенціалів відновлення O<sub>2</sub> дорівнював ΔE=0,45-0,50 В (для немодифікованого TiO<sub>2</sub> ΔE=0,3-0,4 В). Максимальна чутливість модифікованих електродів до розчиненого кисню мала значення (5-8)·10<sup>-6</sup> г/л, що близько до чутливості Pt-електродів. На цих електродах також спостерігався добре виражений граничний струм, який сприяв точності вимірювання концентрації кисню. Нами показано, що граничний струм відновлення кисню на досліджених електродах є граничним дифузійним струмом, при цьому його залежність від концентрації розчиненого кисню в розчині NaCl була лінійною. З фотоелектрохімічних вимірів встановлено, що потенціал плоских зон модифікованих електродів зсувається в катодну сторону в порівнянні з немодифікованими. Встановлено залежність електрокаталітичної активності електродів від енергетичного положення зони провідності, яке визначається потенціалом плоских зон E<sub>пз</sub>. У порівнянні з платиновими електродами та електродами на основі немодифікованого нанодисперсного TiO<sub>2</sub> електроди на основі TiO<sub>2</sub>-ZnO-Ag та TiO<sub>2</sub>-ZnO- Au мають високу стабільність і відтворюваність характеристик при довгостроковому циклюванні потенціалу і перспективні для використання в електрохімічних сенсорах кисню.

[1] Колбасов Г.Я., Воробець В.С., Кордубан А.М. и др. ЖПХ, **79**, 605 (2006).

[2] Воробець В.С., Мануйлов Є.В., Гнатюк Ю.І. та ін. Хімія фізика та технологія поверхні, **14**, 382 (2008).

[3] Воробець В.С., Мануйлов Є.В., Смірнова Н.П. та ін. Тези доп. конф. „Хімія, фізика та технологія модифікування поверхні”, (Київ, 2009), Київ (2009), с.121.

# **Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ ДЕТЕКТОРІВ X- і γ-ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**Л.А. Косяченко, І.М. Раренко, В.М. Склярчук, Н.С. Юрценюк,  
О.Л. Масляничук, О.Ф. Склярчук, З.І. Захарук**

*Чернівецький національний університет, E-mail: lakos@chv.ukrpack.net*

Упродовж останніх десятиріч стрімко зростає необхідність у напівпровідникових детекторах X- і γ-випромінювання, які знайшли широке застосування в науці, медицині, промисловості, криміналістиці, для моніторингу довкілля та інших галузях. Основа таких детекторів – кристал напівпровідника, в якому під дією прикладеної напруги створюється електричне поле. У результаті взаємодії з речовиною високоенергетичний квант породжує електрон з кінетичною енергією, достатньою для збудження цілого каскаду електронно-діркових пар. У детекторі спектрометричного типу кожен квант повинен породжувати заряд пропорційний енергії поглинутого кванту. Для запобігання рекомбінації (захоплення) електронів і дірок потрібна висока напруженість електричного поля, а струм у колі детектора при відсутності сигналу має бути незначним, що досягається застосуванням матеріалу з високим питомим опором ( $\geq 10^9$  Ом·см). Інший спосіб зменшення темного струму – створення в кристалі p-n переходу або діода Шоттки, але це супроводжується зменшенням чутливості детектора на ділянці високих енергій квантів.

Як перспективний матеріал для детекторів X- і γ-випромінювання, ще в 1960-і роки був запропонований CdTe. Результати подальших досліджень висунули CdTe на перший план серед інших напівпровідникових матеріалів. Їх головна перевага порівняно з кремнієвими детекторами – можливість роботи без криогенного охолодження і розширення чутливості в область більших енергій квантів завдяки вищим атомним номерам Cd і Te. До монокристала CdTe висуваються жорсткі вимоги щодо його чистоти, досконалості й однорідності, які на сучасному рівні технології досягти складно. У кінці 1990-х років було доведено, що дефектність кристала зменшується при переході від CdTe до твердого розчину Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te ( $x \approx 0.1-0.2$ ), проте надії на подолання зазначених проблем повною мірою не виправдались. Пошук матеріалів для детекторів X- і γ-випромінювання продовжується, серед яких особливої уваги заслуговує Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te.

Серйозна проблема в технології Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te пов'язана з явищем сегрегації, яка призводить до неоднорідності складу вирощеного монокристалу. Твердий розчин Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te позбавлений цього недоліку, оскільки коефіцієнт сегрегації Mn в CdTe дещо менший 1, а не більший 1, як Zn. Більше того, для розширення забороненої зони CdTe до оптимального для детектора X- і γ-випромінювання значення необхідно ввести марганцю приблизно вдвічі менше, ніж цинку в разі Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te. Зменшення вмісту марганцю, як і відсутність сегрегації, значно спрощує технологію виготовлення напівізолюючого й однорідного матеріалу – ключову проблему, що стримує виробництво детекторів.

У даній роботі наведено результати дослідження електричних, оптичних і фотоелектричних характеристик кристалів Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te в широкому інтервалі  $x = 0.02-0.45$  з метою з'ясування можливостей їх застосування в детекторах X- і γ-випромінювання. Монокристали вирощені модифікованим методом Бріджмена в ампулах, нахилених до горизонту при їх обертанні для кращої однорідності сплаву. Знайдено ключові для детекторів параметри матеріалу – ширину забороненої зони, питомий опір, рухливість і часи життя носіїв заряду. Проаналізовано обмеження, які накладають ці параметри на енергетичну роздільну здатність детектора – найважливішу характеристику приладу спектрометричного типу.



**Секція XI**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ  
СЕНСОРІВ**

---

---

**Section XI**

**SENSORS TECHNOLOGICAL  
PROBLEMS**

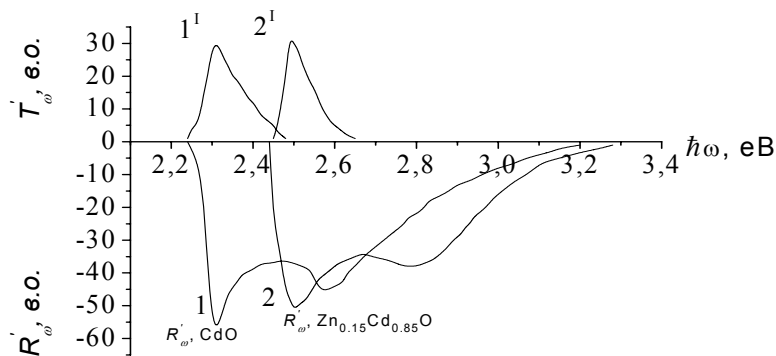
# ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ , ВИРОЩЕНИХ ВИСОКОЧАСТОТНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ

Хомяк В.В., Сльотов М. М., Сльотов О. М.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул.Коцюбинського 2, [v.khomyak@chnu.edu.ua](mailto:v.khomyak@chnu.edu.ua)

В теперішній час велика увага дослідників приділяється створенню і дослідженню тонких плівок твердих розчинів  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ . Це зумовлено перспективністю їх практичного використання в різних пристроях функціональної електроніки – оптоелектроніка, фотоелектроніка, спінтроніка, а також для створення активних і пасивних елементів сенсорних систем. Вирощування плівок з різним вмістом оксиду цинку і кадмію дозволяє ефективно керувати шириною забороненої зони, а отже істотно розширити функціональні можливості напівпровідникових пристроїв. Проведений аналіз літературних результатів свідчить про багаточисельність методів, що використовуються для формування тонких плівок  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ , які за своїми структурними, електричними і оптичними параметрами істотно відрізняються одна від одної. Тому актуальним залишається як проблема вдосконалення технології вирощування плівок твердих розчинів  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ , так і дослідження їх властивостей з використанням сучасних експериментальних методик.

Осадження плівок  $\text{CdO}$  і  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  проводилося методом ВЧ-магнетронного розпилення. Досліджено їх оптичні властивості з використанням  $\lambda$ -модуляції, які дозволили визначити ширину забороненої зони  $E_g$  і енергію спін-орбітального розщеплення  $\Delta_{SO}$ . Встановлено, що на оптичні властивості істотно впливають режими процесу вирощування. Для оксиду кадмію  $E_g \approx 2,31$  еВ при 300 К, що підтверджується диференціальними кривими вимірювання як оптичного пропускання  $T'_\omega$ , так і відбивання  $R'_\omega$  (рис. 1).



Різкі піки обох залежностей свідчать про достатньо високу структурну досконалість плівок. До того ж, спостерігається особливість в області енергій  $\hbar\omega > E_g$  при 2,57 еВ, яка зумовлена оптичними переходами за участю валентної підзони відщепленої за рахунок спін-орбітальної взаємодії. Наявність цих особливостей свідчить про кубічну структуру отриманих плівок  $\text{CdO}$ . Зі збільшенням вмісту Zn в плівках  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  спостерігається зсув максимумів диференціальних кривих  $R'_\omega$  і  $T'_\omega$ . Це свідчить, як і очікувалося, про збільшення ширини забороненої зони. На основі експериментальних результатів та їх аналізу одержано аналітичний вираз, який характеризує залежність ширини забороненої зони  $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  від процентного вмісту складових.

[1] R. Ferro, J. A. Rodriguez, I. Jimenez, A. Cirera, J. Cerda, and J. R. Morante, IEEE Sensors Journal, **5**, 48 (2005).

# ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ЗОВНІШНІХ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДО ЯКР-ТЕРМОМЕТРА

**Леновенко А.М., Григоренко В.В., Ковальчук Н.О.**

*Львівський національний університет ім. Ів.Франка,  
79000, м. Львів, вул. Університетська, 1, nadiakoval@gmail.com*

З метою автоматизації процесу вимірювання, покращення точності за рахунок статистичної обробки результатів та формування сигналів для керування зовнішніми пристроями розроблено спеціалізований інтерфейс зв'язку ЯКР-термометра з комп'ютером на базі мікроконтролера PSoC (Programmable System-On-Chip) компанії Cypress Semiconductor, особливістю якого є поєднання на одному кристалі стандартного мікропроцесорного ядра з цифровими і аналоговими реконфігурованими блоками. Такий підхід дозволив суттєво зменшити кількість зовнішніх периферійних елементів, оскільки практично вся аналогова і цифрова обробка сигналу здійснюється всередині мікроконтролера.

Блок-схема інтерфейсу на базі мікроконтролера PSoC представлена на Рис. 1.

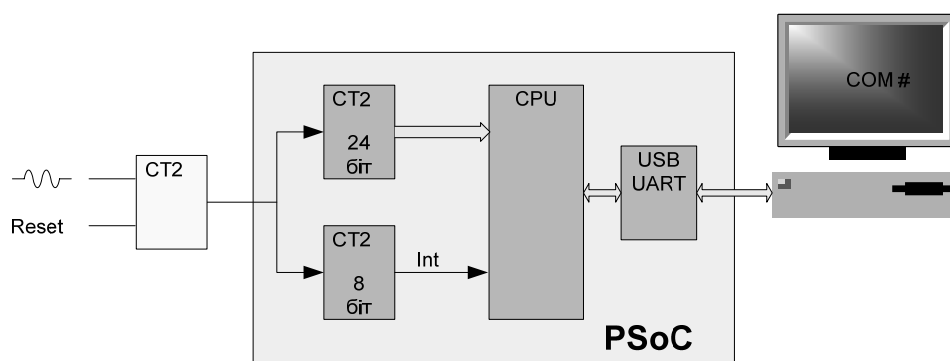


Рис. 1. Блок-схема інтерфейсу.

Інформаційна частота подається на вхід інтерфейсу у вигляді радіоімпульса. Для передачі даних в комп'ютер використано USB інтерфейс. Для спрощення написання програмної частини USB модуль мікроконтролера сконфігуровано для реалізації стандартного класу комунікаційного пристрою (Communication Device Class – CDC), а саме віртуального COM-порта. Такий підхід дозволяє використовувати наявне програмне забезпечення комп'ютера для відображення даних, наприклад, стандартний Hyper Terminal і не вимагає написання спеціального драйвера для USB пристрою. У той же час зберігаються всі переваги передачі даних USB інтерфейсу, такі як висока швидкість і простота апаратної частини.

Програма-інтерфейс для ядерно-квадрупольного резонансного термометра складається з двох частин: власне програми та драйверу, який забезпечує зв'язок між ЯКР-термометром та операційною системою. Програма розрахована на роботу у середовищі Windows з використанням бібліотеки .Net 2.0.

Інтерфейс може використовуватись для підключення інших інформаційних пристроїв з частотним вихідним сигналом не вище 30 МГц до обчислювальних засобів з метою обробки результатів вимірювань і формування керуючих сигналів.

# СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdTe, ВНЕДРЕННЫХ В ЖЕЛАТИН МЕТОДОМ ДВУШАГОВОЙ ДЕСОЛЬВАТАЦИИ

Савчук О.А., Тришук Л.И., Томашик В.Н., Томашик З.Ф.

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины,  
г. Киев, пр. Науки, 41, e-mail: [tomashyk@isp.kiev.ua](mailto:tomashyk@isp.kiev.ua)*

В настоящей работе проведены экспериментальные исследования процесса синтеза систем с нанокристаллами (НК) CdTe, внедрёнными в НК желатина. Благодаря своим полезным свойствам, таким как эмульгирование, пептизация, стабилизация и вяжущие свойства, желатин, являющийся природным нетоксичным, биологически совместимым биоматериалом, который часто используется для приготовления наночастиц, служащими носителями лекарств и переносчиками генов. Его также можно использовать в качестве агента для стабилизации поверхности нанокомпозитов НК-желатин в момент синтеза.

Синтез CdTe проводили при 20°C с использованием 0,1 М раствора CdI<sub>2</sub> (“х.ч.”), 99 %-ной тиогликолевой кислоты, а также электрохимически полученного телуроводорода. Растворы готовили с использованием деионизированной воды с удельным сопротивлением 2,5 МОм. Для получения Te<sup>2-</sup>-ионов и их стабилизации в реакционной среде до завершения процесса образования НК CdTe необходимо применять во время синтеза сильные восстановители, удалять растворенный кислород из растворов исходных веществ и поддерживать инертную атмосферу в реакторе барботированием аргона. Синтезированные НК CdTe были модифицированы с помощью тиогликолевой кислоты, при этом pH среды поддерживали с помощью добавления 1 М растворов NaOH.

Нанокмозиты CdTe/желатин были приготовлены методом двушаговой десольватации ацетоном. Раствор желатина готовили при температуре 50°C при постоянном перемешивании с использованием раствора формальдегида в качестве ингибитора полимеризации. Удаление десольватационного агента, избыточного свободного желатина и НК CdTe проводили с помощью двукратного центрифугирования при скорости вращения 10<sup>4</sup> мин<sup>-1</sup> в течение 10 мин.

Методом фотолюминесценции подтверждено присутствие НК CdTe/желатин в коллоидном растворе сразу после синтеза и после длительного хранения образцов при комнатной температуре. Поскольку положение пика люминесценции зависит от размера нанокристаллов, можно контролировать цвет люминесценции в видимой области спектра от зелёного до красного. По сравнению с монокристаллами НК-структурам свойственна более эффективная люминесценция при комнатной температуре, что является перспективным для создания малоинерционных эффективных оптоэлектронных приборов для нанoeлектроники.

Структуры на основе синтезированных нанокристаллов CdTe/желатин могут быть применены для изготовления люминофоров, оптических и люминесцентных биологических сенсоров.

# МОДИФИКАЦИЯ ОБЪЕМНЫХ И ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ФОСФИДА ГАЛЛИЯ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ АТОМАМИ ИНДИЯ

С.А.Стукалов, Н.Г.Евтушенко, С.А.Жуков, С.М.Ротнер, А.В.Тюрин  
*Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова  
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, 65082, Украина*

Разработка методов и понимание механизмов управления свойствами полупроводниковых материалов является одной из главных задач для создания оптоэлектронных устройств с заданными свойствами. Как было показано в [1], лазерное легирование позволяет получать гетеропереходы с приемлемыми фотоэлектрическими и люминесцентными свойствами.

Гетероструктуры GaInP-GaP были получены с использованием лазерного излучения (ЛИ) из области прозрачности кристаллов GaP[1]. Примесный и дефектный состав образцов, а также их изменения исследовались по спектрам фотолюминесценции (ФЛ) и послесвечения (ПС) при 77 К. Кроме того, были изучены спектры возбуждения (СВ) отдельных полос. Для выяснения особенностей взаимодействия импульсного ЛИ с GaP при легировании приповерхностных слоев атомами In спектры были сняты в зоне воздействия, под зоной и рядом с ней. Как показали экспериментальные данные, существенные изменения спектров ФЛ и ПС происходили не только в зоне воздействия ЛИ, но и рядом с зоной и под ней. Спектры исходного образца, снятые со стороны А(111) и со стороны В(111)-поверхности, были почти идентичны и зависели от энергии возбуждающего света, что свидетельствует об активационном характере ФЛ. При уменьшении длины волны возбуждающего излучения спектры смещались в сторону больших энергий.

В зоне воздействия лазерного излучения спектры ФЛ состояли из двух полос, что характерно для тройных соединений GaInP, положение и полуширина которых зависели от режимов лазерного легирования

Спектры ПС для исходного фосфида галлия, снятых со стороны А и В-поверхностей были почти идентичны и состояли из одной полосы 1,66 эВ. СВ ПС полосы 750 нм состояли из одной широкой полосы 2,41 эВ и  $\Delta E_{1/2}=0,26$  эВ. СВ ПС полосы 650 нм состояли из широкой полосы ( $\Delta E_{1/2}=0,29$  эВ) с тремя максимумами, что свидетельствует об участии в ее образовании нескольких каналов излучательной рекомбинации.

После легирования в режиме 1 положение спектров ПС со стороны В-поверхности не зависело от энергии возбуждения (максимум 1,7 эВ). Снижение энергии возбуждения приводило к разгоранию полосы 1,37 эВ. СП со стороны А-поверхности были сдвинуты в сторону высоких энергий (1,91 эВ) и содержали дополнительные максимумы 1,68 и 1,5 эВ.

Наиболее сильное изменение претерпели СВ ПС полосы 650 нм со стороны А-поверхности (они состояли из узкой полосы с максимумом  $\sim 2,36$  эВ). Со стороны В-поверхности СВ такой полосы представляли собой широкую полосу с тремя максимумами. Положение наиболее интенсивного соответствовало 2.62 эВ.

Обсуждаются особенности взаимодействия импульсного ЛИ с  $h\nu \sim \frac{1}{2} E_g$  GaP в процессе легирования, влияние режимов лазерного воздействия, механизмы перестройки дефектов и примесей и возможности улучшения структуры и свойств гетеропереходов.

1. N.G.Yevtushenko, S.A.Stukalov, S.M.Rotner\* //Photoelectronika,-2003.-№12.-pp.183-186.

# ХИМИКО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdTe и $Cd_xHg_{1-x}Te$ ЙОДОВЫДЕЛЯЮЩИМИ ТРАВИТЕЛЯМИ $HNO_3$ – $HI$ –ВИННАЯ КИСЛОТА

Томашик В.Н., Серицан М.В.\*, Томашик З.Ф., Денисюк Р.А.\*

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины

\*Житомирский госуниверситет имени И.Я. Франка, Житомир, Украина

e-mail: [tomashyk@isp.kiev.ua](mailto:tomashyk@isp.kiev.ua)

Изучены процессы химико-динамического полирования (ХДП) поверхности монокристаллов CdTe и твёрдых растворов  $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$  йодвыделяющими травителями  $HNO_3$  –  $HI$  – винная кислота ( $C_4H_6O_6$ ). Эксперименты проводили на установке для ХДП при температуре 293 К и скорости вращения диска  $\gamma = 80 \text{ мин}^{-1}$ . Перед началом исследования с поверхности образцов удаляли нарушенный слой толщиной 100-120 мкм. Травильные растворы готовили из 55 %-ой  $HI$ , 70 %-ой  $HNO_3$ , а также 27 %- и 40 %-ой  $C_4H_6O_6$  и выдерживали 2 часа для протекания химического взаимодействия между компонентами травителя.

С помощью математического планирования эксперимента на симплексе были построены диаграммы “состав травителя – скорость травления” и установлены границы полирующих, неполирующих и селективных растворов (см. рисунок). Исследуемый интервал составов травителей ограничен треугольником ABC с объемным соотношением  $HNO_3 : HI : C_4H_6O_6$  в вершинах A, B, C: A – 6 : 94 : 0; B – 9 : 31 : 60; C – 18 : 82 : 0.

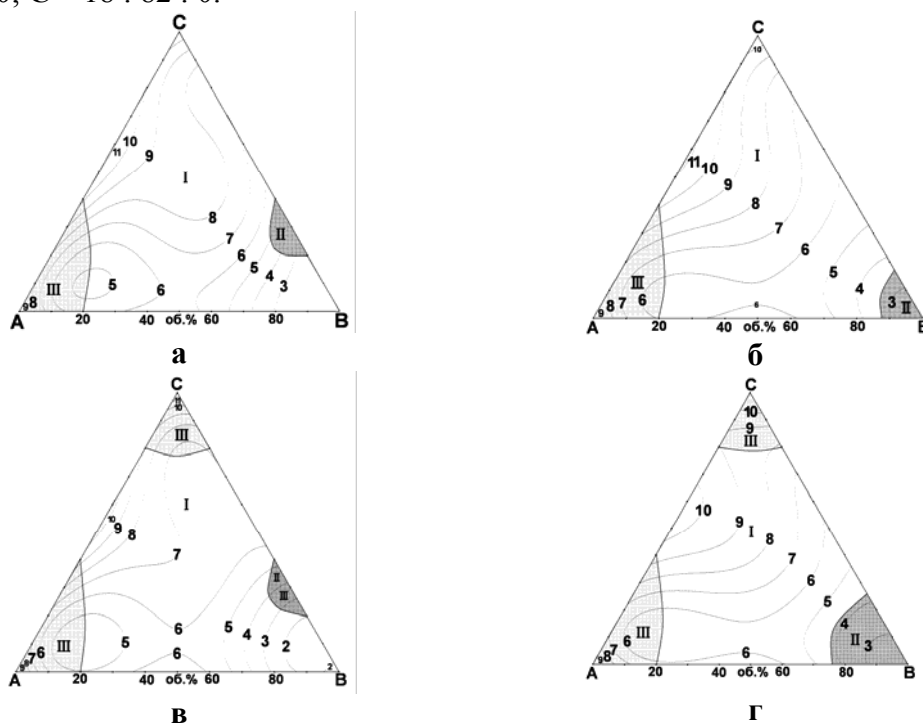


Рис. 1. Концентрационная зависимость скоростей травления CdTe (а, б) и  $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$  (в, г) в растворах  $HNO_3$ – $HI$ –27 %-ная  $C_4H_6O_6$  (а, в) и  $HNO_3$ – $HI$ –40 %-ная  $C_4H_6O_6$  (б, г) (I – области полирующих, II – неполирующих, III – селективных растворов)

Скорости ХДП этих материалов при использовании 27 %- и 40 %-ной  $C_4H_6O_6$  невелики и составляют 3,0-11,0 мкм/мин для CdTe и 2,0-10,0 мкм/мин для  $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ . Видно, что применение 27 %-ной  $C_4H_6O_6$  приводит к расширению границ полирующих травителей на диаграммах, при этом качество полированной поверхности этих полупроводников в обоих случаях высокое ( $R_z = 0,03 \leq 0,05 \text{ мкм}$ ).

# **СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ**

---

---

## **POSTER REPORTS**

### **Секція I**

**ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА ІНШІ ЯВИЩА,  
НА ОСНОВІ ЯКИХ МОЖУТЬ БУТИ  
СТВОРЕНІ СЕНСОРИ**

---

---

### **Section I**

**PHYSICAL, CHEMICAL AND OTHER  
PHENOMENA, AS A BASES OF SENSORS  
DEVELOPMENT**

# NEW ENVIRONMENTAL SENSORS ON BASIS OF NON-LINEAR EFFECTS: IR LASER EFFECT ON ENERGY EXCHANGE IN ATMOSPHERIC GASES

**Yu.Ya. Bunyakova<sup>1</sup>, G.P. Prepelitsa<sup>1,2</sup>, A.V. Ignatenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Odessa State Environmental University, Odessa*

<sup>2</sup>*Odessa National Polytechnical University, Odessa*

*E-mail: yubunyak@mail.ru*

The purpose of our work, which goes on our investigations [1,2], is carrying out the theoretical basis's of creating the new environmental sensors, in particular, for detecting the energy and heat exchange in atmospheric gases mixtures interacting with IR laser radiation. It is known that the interaction of the powerful laser radiation with aerosol atmosphere and search of new non-linear optical effects is one of the key problems today. Indeed, a resonant absorption of IR laser radiation by the atmospheric gases and redistribution of molecules on energy levels of internal degree of freedom occurs and results in changing the absorption coefficients of gases. We are modeling a kinetics of energy and heat exchange in the mixture CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O gases in atmosphere under passing the powerful CO<sub>2</sub> laser radiation pulses is studied within earlier developed generalized three-mode model of kinetic processes. The estimate for realization of the kinetical cooling effect by CO<sub>2</sub> for different atmosphere conditions and laser pulses parameters is given. To describe the energy exchange and relaxation processes in the CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>- H<sub>2</sub>O mixture, which interacts with laser radiation, the three-mode model of kinetic processes is used. The kinetics of three levels: 100, 001 (CO<sub>2</sub>) and v=1 (N<sub>2</sub>) is considered. The system of balance equations for relative populations is numerically solved. Numerical data for relative coefficient of absorption CO<sub>2</sub> for different heights are presented (it is used distribution of pressure and temperature according to mid-latitude atmospheric model [1]). In table 1 we present the data for the relative coefficient of absorption  $\bar{\alpha}_{CO_2}$  on the definite height  $H$ . All data for  $\bar{\alpha}_{CO_2}$  are obtained for the height distribution of pressure and temperature according to the mid-latitude atmospheric model [2] (A- data from ref.[1]; B – data of present paper). It is proposed new scheme of the sensor realizing an effect of the kinetical cooling by CO<sub>2</sub>.

Table. Temporary dependence of resonant absorption relative coefficient  $\bar{\alpha}_{CO_2}$  (  $sm^{-1}$  ) of laser radiation ( $\lambda=10,6\mu m$  ) by CO<sub>2</sub> for rectangular (R ) laser pulses (intensity  $I=10^5 W/sm^2$ ) on the height ( $H$ , km) for the mid-latitude atmospheric model: A- data [1]; B- present.

T, $\mu s$	A: 10-I; R, H=0	A: 10-I;R, H=10	B, 10-I; G, H=0	B, 10-I; G, H=10
0	1,0	1,0	1,0	1,0
1	0,60	0,12	0,57	0,13
2	0,52	0,08	0,46	0,05
3	0,63	0,27	0,59	0,19
4	0,67	0,35	0,64	0,28

[1] Glushkov A.V., Bunyakova Yu.Ya. et al, Sensor Electr. and Microsys.Techn. **N3**, 51 (2005); **N2**, 16 (2006); **N1**, 14-17 (2007); **N1**, 21 (2008).



# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОКИСЛЕННЯ ХАЛЬКОГЕНІДІВ ТАЛІЮ

Данилюк Г.Д., Балицький О.О., Савчин В.П.

*Львівський національний університет імені Івана Франка  
Факультет електроніки, вул. Драгоманова 50, м. Львів  
e-mail: [annadd@ukr.net](mailto:annadd@ukr.net)*

Процеси окислення бінарних напівпровідникових сполук широко застосовуються для формування гетеропереходів сонячних елементів, газових сенсорів тощо. Шаруваті напівпровідники в якості підкладок дозволяють уникнути негативних процесів на межі розділу, як то механічних напружень, викликаних розбіжністю параметрів ґратки та коефіцієнтів термічного розширення компонент гетеропереходу. Закономірності окислення шаруватих халькогенідів талію на сьогодні залишаються ще невивченими. Метою даної роботи був аналіз процесів окислення сульфиду талію (I). Оксидні сполуки талію (Tl (I) та Tl (III) ) отримували в наслідок швидкого окислення Tl<sub>2</sub>S на повітрі за кімнатної температури та порівнювали з відповідними процесами для металічного Tl. Отримані результати показують, що спектри катодолюмінісценції (КЛ) являють собою складну широку смугу свічення з максимумами при 2.2 та 1.8 еВ. Ці смуги приписують оксидам талію (за зіставленим з спектрами окисленого металу). З температурних залежностей КЛ оцінено відповідні енергії активації свічення. Проаналізовано термодинамічні дані системи Tl-S-O та запропоновано моделі окислення.

# ПРО МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ГАЗОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ ГЕТЕРОСТРУКТУР SnO<sub>2</sub>-Si.

А.І.Духлій<sup>(\*)</sup>, В.В. Ільченко, С.О.Гордієнко

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64,  
01033 Київ-33, Україна \* E-mail: [Anna.Duhliy@gmail.com](mailto:Anna.Duhliy@gmail.com)*

Превагами використання напівпровідникових матеріалів в сенсорах є висока чутливість, малі розміри, мала споживана потужність та мала собівартість таких пристроїв. В останній час створюються газочутливі гетероструктури відмінного від традиційного резистивного принципу дії. У цьому випадку властивості системи, в основному, визначаються поведінкою гетерограниці при газовій адсорбції.

В даній роботі досліджено зміни проходження струму через гетероструктури на основі SnO<sub>2</sub>-Si в залежності від товщини плівки SnO<sub>2</sub>. Вольтамперні характеристики (ВАХ) структур можна проаналізувати в моделі гетеропереходу, яка враховує перерозподіл напруги між наноструктурованою плівкою і напівпровідником. Якщо  $V_1$  – напруга, яка падає на наноструктурованій плівці,  $V_2$  – напруга яка падає на області просторового заряду (ОПЗ) в напівпровіднику, тоді струм через таку структуру може бути описаний виразом:

$$j = j_s \left( e^{\frac{eV_2}{kT}} - e^{\frac{eV_1}{kT}} \right), \text{ де } j_s \text{ – струм насичення.}$$

У першому наближенні газовий сенсор можна представити у вигляді еквівалентної схеми, що складається з ідеального діода і послідовно сполученого елемента, що описує властивості наноструктурованої плівки і поверхні розділу плівка – напівпровідник. Порівнюючи реальну ВАХ сенсора з ідеальною ВАХ для діода без врахування адсорбційного шару і поверхневих станів можна отримати залежність струму через послідовно сполучений елемент від напруги.

Були розраховані ВАХ наноструктурованої плівки SnO<sub>2</sub> в залежності від товщини адсорбційної плівки в лабораторній атмосфері та атмосфері насичених парів спирту. Для всіх залежностей можна виділити дві характерні ділянки. При малих зовнішніх напругах спостерігається лінійна залежність струму  $j = \sigma V_1$ . При великих прикладених напругах струм починає залежати за ступеневим законом:  $j \propto V^n$ , де  $n$  змінюється в межах від 2 до 4.

В результаті проведеної роботи було показано, що при зміні лабораторної атмосфери на атмосферу насичених парів спирту відбувається зростання струму в усьому діапазоні напруг. При малих зміщеннях має місце омичний струм, - перехід до ступеневої залежності відповідає струму обмеженому об'ємним зарядом пасток. При адсорбції концентрація їх збільшується. Дійсно, адсорбція молекул етилового спирту призводить до появи енергетичних рівнів у забороненій зоні адсорбційної плівки, які накладаються на власний розподіл локалізованих станів напівпровідника і змінюють цей розподіл, що спричиняє зміну довжини стрибка.

## ПІДСИЛЕННЯ ІЧ ПОГЛИНАННЯ МОЛЕКУЛ $\alpha$ -GLY В ЕФЕКТІ SEIRA

**Фесенко О.М., Довбешко Г.І., Єсилевський С.О.**

*Інститут фізики НАН України, просп. Науки, 46, 03680, Україна.*

Внаслідок активного розвитку нанотехнологій зараз велика увага приділяється дослідженню оптичних властивостей наноструктур [1-2] та їх взаємодії з біологічними молекулами [3-4]. Перспективним є те, що змінюючи розмір та форму наночастинок металів або напівпровідників, можна узгоджувати їхні оптичні характеристики (частоту плазмонних або поляритонних коливань) з оптичними характеристиками (частотою поглинання) біоорганічних молекул, розміщених поблизу цих наноструктур. Тому нині особливу увагу приділяють розвитку експериментальних методів, за допомогою яких можна досягти збільшення інтенсивності оптичних процесів поблизу шорсткої поверхні або острівцевої плівки металів.

На прикладі молекул  $\alpha$ -Gly нами досліджено ефект підсилення металевою поверхнею інфрачервоного (ІЧ) поглинання адсорбованих молекул (SEIRA - surface enhanced infrared absorption). Показано, що різні молекулярні групи підсилюються по-різному, найкраще підсилюються групи з неподіленою парою електронів. Проведено квантовохімічні ab-initio розрахунки оптимальної геометрії та коливальних спектрів комплексів  $\alpha$ -Gly з кластерами золота, що слугували моделю острівцевих плівок. Показано, що молекули  $\alpha$ -Gly можуть орієнтуватися по різному відносно золота та утворювати водневі зв'язки.

Проведено аналіз топології поверхні тонких металевих плівок та оцінено її вплив на підсилення ІЧ поглинання молекул  $\alpha$ -Gly в ефекті SEIRA. Показано, що максимальне підсилення ІЧ поглинання біологічних молекул забезпечують плівки золота товщиною 200-250 Å, з середнім розміром шорсткостей по висоті 10-20 Å, з протяжністю 200-900 Å, еліпсоїдальної форми. Ці експерименти дозволили підібрати оптимальні параметри шорстких поверхонь золота для отримання максимального підсилення ІЧ поглинання молекул  $\alpha$ -Gly. Отримані результати можна вподальшому використати при створенні чутливого ІЧ-сенсора на основі ефекту SEIRA для детектування малих кількостей речовини.

*Автори виражають подяку гранту (N GP/F27/0126) Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених.*

[1] А.А. Борщ, М.С. Бродин, В.Волков, В.Р.Ляховецкий, Р.Д.Федорович, Письма в ЖЭТФ, **84**, 248 (2006).

[2] М.Л. Дмитрук, О.С. Кондратенко, С.А. Коваленко, І.Г.Мамонтова, Фізика і хімія твердого тіла, **7(1)**, 39 (2006).

[3] M.Osawa in: Surface-enhanced infrared absorption spectroscopy / Handbook of vibrational spectroscopy, ed. By J.M. Chalmers, P.R. Griffiths, Chichester, Wiley (2002), v.1, p.785.

[4] G.I. Dovbeshko, O.M. Fesenko, Yu.M. Shirshov, V.I. Chegel, Semiconductor, Quantum Electronics and Optoelectronics, **7(4)**, 411 (2004).

# AUGER EFFECT IN ATOMS, SOLIDS AND POSSIBLE APPLICATIONS TO THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOLID SURFACES

L.V. Nikola<sup>1</sup>, T.A. Florko<sup>1,2</sup>, E.V. Mischenko<sup>2</sup>

*I.I.Mechnikov Odessa National University, Dvoryanskaya str.2, Odessa, 65001*

<sup>2</sup>*Odessa State Environmental University, P.O.Box 24a, Odessa, 65009*

*E-mail: quantflo@mail.ru*

The Auger electron spectroscopy is an effective method to study the chemical composition of solid surfaces and near-surface layers [1,2]. Under considering the method principles, it is just the two-step model that is used most widely when calculating the Auger decay (AD) characteristics. Since the vacancy lifetime in an inner atomic shell is rather long (about  $10^{-17}$  to  $10^{-14}$ s), the atom ionization and the Auger emission are considered to be two independent processes. In the more correct dynamic theory of the Auger effect the processes are not believed to be independent from one another. In this paper a novel calculation approach to description of AD characteristics for complex atomic systems basing on the S-matrix formalism [2] is applied to studying characteristics for atoms and solids. The method has been applied to calculate the ionization cross-sections of inner shells in various atoms and the Auger electron energy in solids (*Na, Si, Ge, Ag*). Two aspects are considered when determining the exit probability of Auger electrons from an atom, namely, the radiative transition under neutralization of a hole at the level *j* and the possibility of a considerable change in the initial hole distribution at the core levels at the AD via the radiative channel *jkl* associated as a rule with a considerable distinctions in the non-radiative transition probabilities. For definiteness sake, let the ionization of L levels in a multi-electron atom be considered. The probability of the Auger electron emission from the atom via the channel *L<sub>3</sub>Kl* (taken as an example) is defined by the ionization cross-section of the level *L<sub>3</sub>* as well as by a certain effective cross-section depending on the ionization cross-sections of the levels *L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>*. The Auger line intensity is defined by three atomic constants:  $A_{jkl} = \sigma_j f_i a_{jkl}$ , where  $a_{jkl}$  is the non-radiative transition probability;  $f_i$  is the Korster-Kronig coefficient;  $\sigma_j$ , the ionization cross-section defined by the matrix element calculated for wave functions of bound state and continuum one. Table presents data on the Auger electron energy for some solids calculated using the method of this paper and the semi-empirical method under Larkins' equivalent core approximation [1] as well as experimental data. Our approach provides more accurate results that is due to a considerable extent to more correct accounting for complex electron interaction. To conclude, note that the use of the Auger electron spectroscopy in analysis of the surface chemical composition requires consideration of Auger spectra, interpretation of effects like the shape transformations of valence Auger spectra due to appearance of new lines and intensity changes of lines caused by redistribution in electron state density of valence band.

Elementr	Auger line	Experiment	Theory [1]	Present
<i>Na</i>	<i>KL<sub>2,3</sub>L<sub>2,3</sub><sup>1</sup>D<sub>2</sub></i>	994,2	993,3	994,1
<i>Si</i>	<i>KL<sub>2,3</sub>L<sub>2,3</sub><sup>1</sup>D<sub>2</sub></i>	1616,4	1614,0	1615,9
<i>Ge</i>	<i>L<sub>3</sub>M<sub>4,5</sub>M<sub>4,5</sub><sup>1</sup>G<sub>4</sub></i>	1146,2	1147,2	1146,6
<i>Ag</i>	<i>M<sub>5</sub>N<sub>4,5</sub>N<sub>4,5</sub><sup>1</sup>G<sub>4</sub></i>	353,4	358,8	354,1

## References

- [1] T.Aberg, G.Hewat, Theory of Auger effect, Berlin: Springer, 1979; F.Larkins, J.Phys.: Solid State Phys. 10 (1977) 2453.  
 [2]. A.Glushkov etal, Int.J.Quant.Chem. 99 (2004) 889; 99 (2004) 936; 104 (2005) 562;

## ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОПТИЧНЕ ПРОПУСКАННЯ ПЛІВОК $As_{40}S_{48}Se_{12}$

<sup>1</sup>Гера Е.В., <sup>2</sup>Поп М.М., <sup>1</sup>Мар'ян В.М., <sup>1</sup>Дуркот М.О., <sup>1</sup>Кириленко В.К.,  
<sup>1</sup>Микуланинець-Мешко О.С., <sup>1</sup>Горват Ю.А.

<sup>1</sup>Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації  
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,  
Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4  
e-mail:center\_uzh@email.uz.ua

<sup>2</sup>Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Відомо[1,2], що світлочутливі характеристики халькогенідних плівок залежать від їх хімічного складу, технологічних умов приготування, товщини, умов опромінення (інтенсивність і довжина хвилі), температури реєструючого середовища. Шляхом зміни вищеназаних параметрів, а також конструктивних форм реалізації можна видозмінювати величини чутливості в широкому діапазоні. Дія гостросфокусованого лазерного випромінювання високої інтенсивності обумовлює зростання світлочутливості шарів  $As_2S_3$  на один-два порядки у порівнянні з результатами експонування при низькій інтенсивності опромінення. Чутливість плівок  $As_2S_3$  і  $As_2Se_3$  на довжині хвилі 514 нм при дії імпульсного вакуумного ультрафіолету підвищувалась приблизно на три порядки у порівнянні з величинами, характерними для неперервного опромінення. Однак, тут необхідно враховувати сильне поглинання, характерне для вакуумного ультрафіолету, і, відповідно, малу глибину шару халькогенідної плівки з модифікованими світлом властивостями.

В даному повідомленні наведені результати досліджень оптичного пропускання плівок  $As_{40}S_{48}Se_{12}$  у залежності від товщини плівок, довжини хвилі та потужності лазерного випромінювання. Опромінення плівок здійснювалося напівпровідниковими лазерами з  $\lambda=406$  і 530 нм. Дослідження проводились на плівках товщиною 200, 450, 800 та 1500 нм на довжині хвилі 520 нм (при дослідах з синім лазером) і 510 нм (при дослідах із зеленим лазером) з використанням спектрофотометра "Ocean optics SpectraSuite".

Дослідження показали, що з ростом потужності лазерного випромінювання рівень змін пропускання плівок  $As_{40}S_{48}Se_{12}$  збільшується. При цьому максимальні зміни відбуваються при малих часах засвітки. Світлочутливість плівок при дії випромінювання синього лазера підвищується по мірі зменшення товщини плівок. Це зв'язано з сильним поверхневим поглинанням випромінювання даної довжини хвилі. При дії випромінювання зеленого лазера ( $\lambda=530$  нм) найбільші зміни пропускання виявлені для плівок товщиною 450 нм.

1. Різак В.М., Різак І.М., Семак Д.Г. Функціональні халькогенідні напівпровідники // Ужгород: Закарпаття, 2001. – 152 с.
2. Венгер Е.Ф., Мельничук А.В., Стронский А.В. Фотостимулированные процессы в халькогенидных стеклообразных полупроводниках и их практическое применение // К.: Академперіодика, 2007. – 283 с.

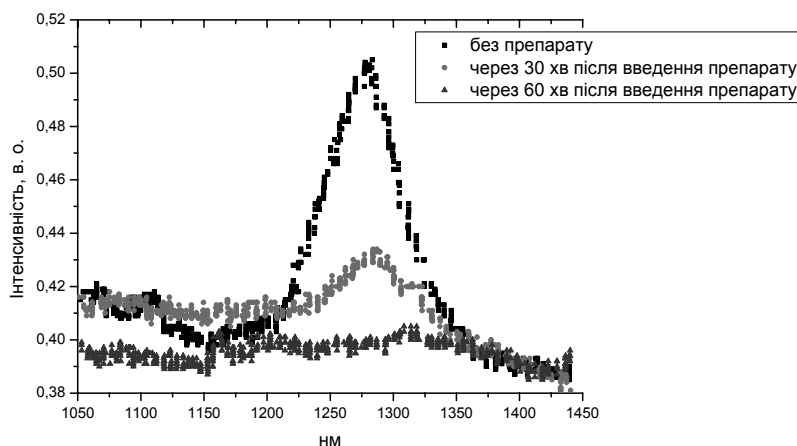
# ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ АНТИОКСИДАНТІВ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ СИНГЛЕТНОГО КИСНЮ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 1268 нм

Гарасевич С., Головій О., Мягченко Ю., Слободянюк О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет,  
Володимирська 64, 01033, Київ

Email: [o.holoviy@gmail.com](mailto:o.holoviy@gmail.com)

У біологічній клітині існує ймовірність утворення активних форм молекулярного кисню, які проявляють високу "агресивність" і здатні пошкоджувати білки, ферменти, ДНК і мембранні структури. Утворення таких форм активного кисню які являються вільними радикалами відбувається як у неферментативних, так і ферментативних реакціях під дією багатьох токсичних агентів, видимого світла, іонізуючого, ультрафіолетового випромінювань. Клітина має значний арсенал засобів, які контролюють утворення всіх форм активного кисню і забезпечують захист від них. Разом з тим при патологічних станах як тварин, так і рослинних організмів часто відбувається накопичення тих чи інших форм активного кисню. Більше того, є певні свідчення того, що саме неконтрольоване або незбалансоване утворення цих форм є безпосередньою причиною злоякісного росту, багатьох захворювань, інтоксикацій, фізіологічних розладів [1]. Однак, власних антиоксидантних ресурсів організму часто є недостатнім. Ринок пропонує велику кількість штучно створених антиоксидантів, дія яких зводиться до перехоплення збудження синглетного кисню ( $^1O_2$ ). Авторами запропонована методика об'єктивної оцінки ефективності дії антиоксидантних препаратів шляхом вимірювання інтенсивності люмінесценції синглетного кисню на довжині хвилі 1268 нм. На мал. 1 наведені спектри випромінювання синглетного кисню в інфрачервоній області в спиртованому розчині сенсibilізатора феофарбіда (Pheo(a)) до та після введення в розчин антиоксидантного препарату – Microhydrin (RoyaL Body Care (RBC), США).



Мал. 1. Зміна сигналу люмінесценції синглетного кисню за присутності антиоксидантного препарату Microhydrin

[1]. Noctor G., Foyer C. Ascorbate and Glutathione: Keeping Active Oxygen under Control // Annu. Rev. Plant Physiol. 1998. Vol. 49. P. 249-279.

# SPIN-CROSSOVER COMPOUNDS FOR SENSOR DEVICES

**Iu.V. Gudyma, A.Iu. Maksymov, E.M. Daskal**

*Chernivtsi National University, 2 Kotsubinskogo str., Chernivtsi 58012, e-mail:  
yugudyma@gmail.com*

In present, the physical restriction on write and saving data in switching and storage device actualize the searching of new materials, which must possess high capacity, high performance and memory cell of nanoscopic size. Such materials can be spin-crossover compounds. This is a class of complex coordination compounds with  $d^4 - d^7$  electronic configuration of transition metal ionic orbital's, which centralized in octahedral ligand field. In this coordination compounds under external perturbation take place transition between low spin (LS) and high spin (HS) configurations namely spin-crossover phenomenon. External perturbation as alternating magnetic field, light irradiation of different lightwave or temperature fluctuation, lead to considerable changes of structural, magnetic and optical properties of coordination spin-crossover compound, that is the phase transition occur. From practical point of view it is necessary to know the behavior of spin-crossover in real surrounding media, in presence of noise. Such theoretical analysis had been made in [1].

In this work we investigate the high temperature switching between LS and HS state perturbed by light irradiation. The behavior of spin-crossover coordination complex is regarded on Ising-like phenomenological model with such Hamiltonian:

$$H = -J \sum_{i,j} \sigma_i \sigma_j - \left( \frac{1}{2\beta} \ln g - \Delta + G \langle \sigma \rangle \right) \sum_i \sigma_i .$$

The master macroscopic equation in terms of concentration of high spin fraction ( $n_H$ ), which describe our model is:

$$2\tau \frac{d}{dt} n_H = (1 - n_H) \exp \beta \Delta E_{LH} \exp(2\beta z J n_H) - n_H \exp(-\beta \Delta E_{HL}) \exp(-2\beta z J n_H)$$

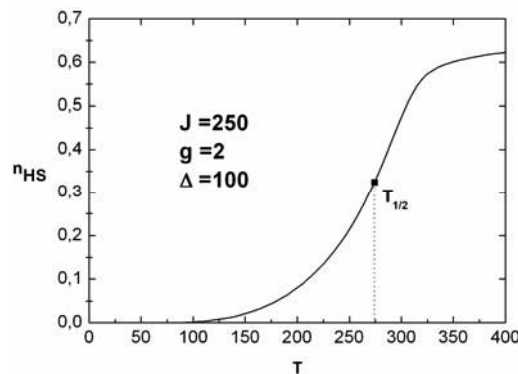


Fig.1. High temperature switching of transition equilibrium temperature  $T_{1/2} = 274K$

From Fig.1 we see that equilibrium temperature  $T_{1/2} = 274K$ , which corresponds to high temperature range. It have great importance for using spin-crossover materials as switchable device by room temperature or near to it.

[1] Gudyma Iu.V., Maksymov A.Iu. *Physica B* (2010) (in press).

# OPTIMAL LASER IONIZATION SCHEME FOR SEPARATING LONG-LIVED ACTINIDES AND FISSION PRODUCTS IN NUCLEAR FUEL

A.P. Fedchuk, A.V. Glushkov, O.Yu. Khetselius and A.A. Svinarenko

<sup>1</sup>*I.I.Mechnikov Odessa National University, Dvoryanskaya str.2, Odessa, 65001*  
*E-mail: nuclei08@mail.ru*

Using the modern nuclear-energy cycle is connected with several known serious risks, e.g. content of the dangerous radio nuclides in working nuclear fuel. One of the possible solutions is using gamma-neutron transmutation method. To make more effective transmutation one must usually take into account that the targets should be made of the nuclear isotopes fractions of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and the iodine fraction too (as a rule, the most radio toxic  $^{129}\text{I}$  isotope). It is further necessary to transmute  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{129}\text{I}$  isotopes to stable ones. The problem here is separation of the  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{129}\text{I}$  isotopes from the stable  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{133}\text{Cs}$  and  $^{127}\text{I}$ . The main purpose of the work is carrying out the optimal laser photoionization schemes for separating long-lived actinides and nuclear fission products, namely, Sr, Cs, I. Though the nuclides fractions of Zr, Pd, Sn, Tc and rare-earth isotopes should not be transmuted as the middle activity nuclear fusion coils, we define optimal isotopes laser separation parameters in this case too. The optimal laser photoionization scheme is based on laser excitation of isotopes into excited Rydberg states and further autoionization (first mechanism) and stochastic collisional ionization (second mechanism). To carry out computer modelling optimal scheme parameters for the  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{127}\text{I}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{107}\text{Pd}$ ,  $^{126}\text{Sn}$ ,  $^{151}\text{Sm}$ ,  $^{238-242}\text{Pu}$ ,  $^{241-243}\text{Am}$ ,  $^{242-244}\text{Cm}$ , Cf, U isotopes separating and detecting we used the optimized perturbation theory code, the Focker-Plank stochastic equation method, density matrices formalism [2,3]. As example let us consider the laser separation scheme for  $^{235-238}\text{U}$  isotopes. It includes the following steps: i). Laser excitation of the  $^{235}\text{U}$  isotopes from the ground  $5f^36d7s^2-^5L_6^0$  state and low lying metastable  $5f^36d7s^2-^5K_5^0$  state with energy  $620,32\text{ cm}^{-1}$ ; ii). Transition to the autoionization state with doubly excited external shell and then autoionization (laser field). A scheme for sensing the nuclear reaction products is considered on example of the spontaneous fusion  $^{252}\text{Cf}$  isotope on the unsymmetrical coils (Cs). Laser ionization sensing Cs isotopes is based on resonant excitation Cs ( $6^2S_{1/2}-7^2P_{3/2}, 4555\text{ \AA}$ ;  $6^2S_{1/2}-7^2P_{1/2}, 4593\text{ \AA}$ ) and further autoionization.

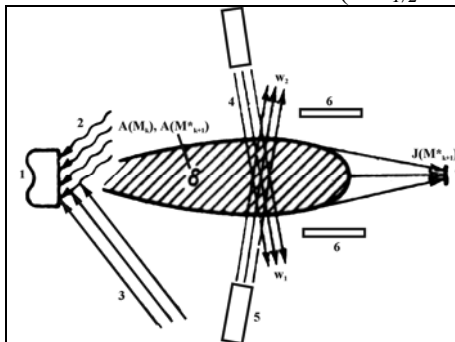


Fig. The laser photoionization sorting excited nuclei  $M_{k+1}^*$  with electric field and autoionization mechanisms: 1 – target of atoms  $M_k$ ; 2- flux of slow neutrons; 3 – laser ray for evaporation of target; 4 – laser ray for the first step excitation of atoms with excited nucleus  $A(M_{k+1}^*)$ ; 5 – laser ray for 2-step excitation to Rydberg states and autoionization or ionization by external electric field; 6 – collector system; 7 - atoms with excited nucleus  $A(M_{k+1}^*)$ ; 8–flux of evaporated atoms;

- [1] Letokhov V., Nonlinear selective photoprocesses in atoms and molecules.-Moscow, 1993.  
 [2] Glushkov A.V., Ivanov L.N., J.Phys.B. 26, L379 (1993); Glushkov A.V. etal, Phys.Scr. T135, 014022 (2009); Eur.Ph.J.60,195 (2008); Int.J.Quant.Ch. 109, 1727, 3325, 3473 (2009);  
 [3].Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Lovett L., Advances in the Theory of Atom. and Mol. Systems: Dynamics, Spectroscopy, Clusters, and Nanostructures. Series: Progress in Theor. Chem. and Phys. (Berlin, Springer). 20, 125-172 (2009).



# ВПЛИВ ПРОТОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ SI-GE

Литовченко П.Г.<sup>1</sup>, Дружинін А.О.<sup>2</sup>, Островський І.П.<sup>2</sup>, Ховерко Ю.М.<sup>2</sup>, Карпенко А.Я.<sup>1</sup>, Павловська Н.Т.<sup>1,2</sup>, Цмоць В.М.<sup>3</sup>, Павловський Ю.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

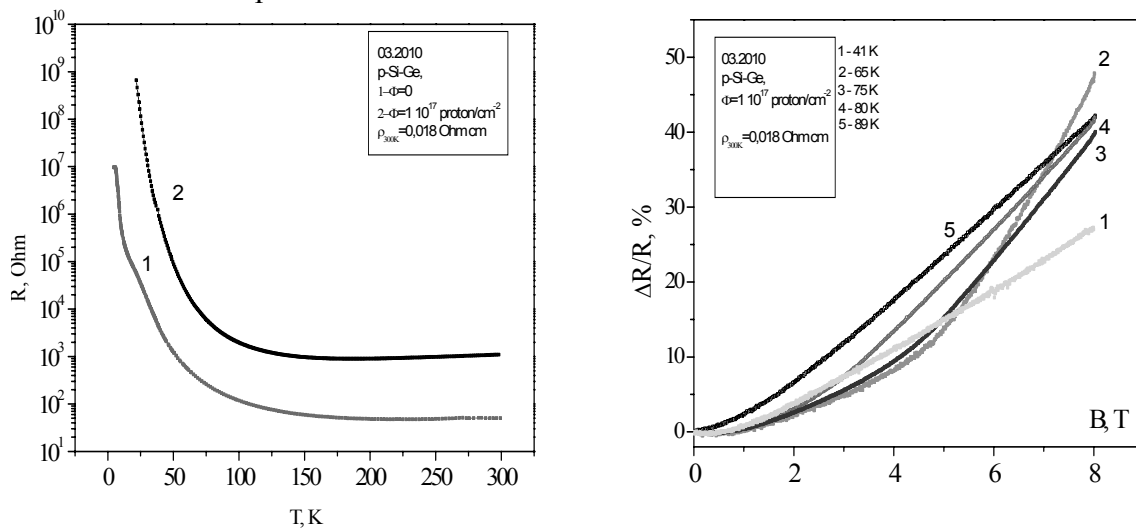
<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, Львів

<sup>3</sup>Дрогобицький ДПУ імені Івана Франка, Дрогобич

На сьогодні існує достатньо робіт, присвячених впливу іонізуючого опромінення на монокристалічний кремній та твердий розчин Si-Ge; проте такі дослідження проводились, в основному, на високоомних монокристалах. На відміну від них дана робота спрямована на дослідження впливу протонного опромінення на властивості легованих ниткоподібних кристалів (НК) мікронних розмірів твердих розчинів  $Si_{1-x}Ge_x$  з концентрацією домішки, яка відповідає області переходу метал-діелектрик (ПМД).

Досліджено вплив магнітного поля з індукцією до 14 Тл та опромінення 6МеВ протонами при температурі 40°C дозою  $\Phi=1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  на електропровідність НК  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x=0,03$ ) з питомим опором  $\rho=0,018 \text{ Ом} \times \text{см}$  в інтервалі температур 4,2÷300 К. Опромінення зразків здійснювалось на циклотроні У-120 ІЯД НАН України.

Типова температурна залежність опору опроміненого протонами дозою  $1 \times 10^{17} \text{ м}^{-2}$  НК  $Si_{1-x}Ge_x$  наведена на рис. 1, а. Результати експериментальних досліджень вказують на те, що температурна залежність опору кристалів істотно змінюється після опромінення.



а)

б)

Рис. 1. Температурні залежності опору (а) та польова залежність магнетоопору (б) мікрочисталів  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x=0,03$ ) з питомим опором  $\rho=0,018 \text{ Ом} \times \text{см}$ , опроміненних 6МеВ протонами дозою  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  при  $T=40^\circ\text{C}$ .

Результати дослідження магнітоопору НК  $Si_{1-x}Ge_x$  ( $x = 0,03$ ) зображені на рис. 1, б. Для зразків з діелектричного боку ПМД з  $\rho = 0,018 \text{ Ом} \times \text{см}$  магнітоопір опроміненних НК зростає в сильних магнітних полях.

Обговорюється природа виявлених ефектів.

# MOLECULAR ELEMENTS BASED ON BIPHENYL AND SPIROPIRANA IN SENSOR AND NANOELECTRONICS

**Dmitriev A.V.\*, Kondratenko P.A.\*\* , Glushkov A.V.\*\*\*, Lopatkin Yu.M.\***

\* *Sumy State University, 2 Rimsky-Korsakov str., Sumy, 40007*

\*\**National Aviation University, 1 av. Cosmonaut Komarov, Kyiv, 03680*

\*\*\**Odessa State Environmental University, P.O.Box 24a, Odessa-9, 65009*

*E-mail: yu\_lopatkin@ukr.net, yu\_lopatkin@mail.ru*

Extrapolation of Moore's Law about increasing of the productivity storage systems at a relatively distant future leads to a contradiction with the real possibilities of semiconductor planar technology, which depend on the fundamental physical limitations. So the search for other opportunities to create electronic circuits were began, in particular molecular switching elements. The creation of such elements is important for the creation of the element base of sensory devices. The presence of large quantities of organic compounds, which may be considered for use in molecular electronics, set the task of creating effective and cost-effective selection tools.

In this paper it was proposed and investigated the molecular structure on the basis of substituted biphenyl molecules and spiropirana.

It is shown that by using external stimuli it is possible to control the charge transfer through the molecule. It should be consider that the transport processes are probabilistic at the molecular level. Therefore, the stably working molecular element must contain a group of at least 10 identically oriented molecules.

Using modern quantum-chemical methods theoretical studies allow to understand the mechanisms of switching processes in the molecular elements. In particular, it was turn out well to create a molecular structure on the basis of biphenyl with mutually perpendicular orientation of the phenyl rings in the ground state. In this case pairing between  $\pi$ -electronic systems is practically absent, thus excluding the possibility of electron transfer along the molecular chain.

Using various external influences, it is possible to change angle between phenyl planes, thereby increasing the probability of electron transfer along the molecular chain. That is conductivity of the molecular element appears.

In particular, it was shown that at the external electric field the charge state of atoms in the molecule and the interaction between the substituents in the different phenyl rings change, resulting in the angle between the rings varies. Turn the rings relative to each other leads to a change in coupling between the  $\pi$ -ring systems, and thus to a change of the conductivity of the molecule.

In the model experiments, the external electric field is organized by the cation and anion of the diazonium salts, between which the investigated molecule is placed.

In the paper it is also considered the spiropirana molecule, which has appeared in a similar situation more effective. In this case, forcing leads to a change in hybridization ( $sp^3 \rightarrow sp^2$ ) of the atomic orbitals of the central carbon atom, resulting in the molecule acquires a flat conductive configuration. Removal of the external field leads to relaxation of the molecular structure to the ground state.

In the paper it was analyzed the influence of external effect on the probability of the electronic transitions at the excitation of molecules by light.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЕНСОРА НА ЛОКАЛЬНЫХ ПЛАЗМОНАХ В СЛОЕ НАНОЧАСТИЦ

**Т.А. Мишакова<sup>1</sup>, Е.Г. Борщаговский<sup>2</sup>, В.З. Лозовский<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Киевський національний університет ім.Т.Шевченка, Радіофізический факультет,  
пр.Глушкова, 2/5, 03022 Київ  
E-mail:mishakov@e-mail.ua*

<sup>2</sup>*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Лаїшкарєва НАН України, пр. Науки, 45,  
03028 Київ*

На основе самосогласованного подхода с использованием функций Грина нами построена модель оптического отклика слоя наночастиц случайно распределенных на поверхности [1]. Электромагнитное взаимодействие между частицами учитывается в построенной модели с помощью уравнения Липмана-Швингера [2] и модифицирует эффективную поляризуемость слоя.

На основе разработанного формализма была расчислена эффективная диэлектрическая функция слоя золотых наночастиц на стекле. Смоделированные спектры пропускания подобной структуры при нормальном падении демонстрируют сдвиг плазмонного резонанса при адсорбции дополнительного слоя на наночастицах. На основе разработанной модели, учитывающей межчастичное взаимодействие, можно рассчитать чувствительность подобных сенсоров а также находить оптимальные параметры наночастиц для повышения чувствительности.

[1] Є.Г.Борщагівський, В.З.Лозовський, Т.О.Мішакова, УФЖ, в печати

[2] В.З.Лозовский, Оптика и спектроскопия., **86**, 107 (1999).

# БОЗОНІВСЬКИЙ МАКСИМУМ ТА ВАЛЕНТНІ КОЛИВАННЯ У СТРУКТУРНО МОДИФІКОВАНОМУ СКЛОПОДІБНОМУ c-GeS<sub>2</sub>

Голомб Р., Кондрат О., Міца В.

Ужгородський національний університет, Інститут фізики і хімії твердого тіла  
88000, м.Ужгород, вул..Волошина 54. E-mail: mitsa@univ.uzhgorod.ua

В доповіді приводяться результати аналізу еволюції низькочастотних (НЧ) (рис.1) та валентних коливань c-GeS<sub>2</sub> [1] при загартуванні від різних фіктивних (T<sub>f</sub>) структурних температур (1173 К (T<sub>1</sub>), 1273 К (T<sub>2</sub>), 1373 К (T<sub>3</sub>) та 1473 К (T<sub>4</sub>)) та швидкостях (V<sub>i</sub>) охолодження 100 К/с (V<sub>1</sub>) і 150 К/с (V<sub>2</sub>). Найнижче значення частотного положення бозонівського (БМ) максимуму  $\nu_B=22.7 \text{ см}^{-1}$ , найменша інтенсивність коливань тетраедрів GeS<sub>4/2</sub>, зв'язаних по ребру при  $\nu_c=370 \text{ см}^{-1}$  і найменша доля нановключень кластерів на основі пірамід SGe<sub>3/3</sub>,  $\nu_n=256 \text{ см}^{-1}$ , спостерігається в c-GeS<sub>2</sub> для умов T<sub>2</sub>,V<sub>2</sub>. По мірі відхилення, як в бік збільшення, так і в бік зменшення T<sub>f</sub> від T<sub>2</sub>, в різній мірі, але одночасно, спостерігається:

- 1- зростання частоти положення БМ в порівнянні з  $\nu_B$  для (T<sub>2</sub>,V<sub>2</sub>) (рис);
- 2- зростання інтенсивності валентних коливань при  $\nu_c=370 \text{ см}^{-1}$  і  $\nu_n=256 \text{ см}^{-1}$ .

В поєднанні з результатами експериментальних досліджень НЧ Раман спектрів також приводяться дані першопринципних квантово-механічних розрахунків НЧ коливань замкнутих ланцюгових та кільцевих нанокластерів Ge<sub>n</sub>S<sub>m</sub>.

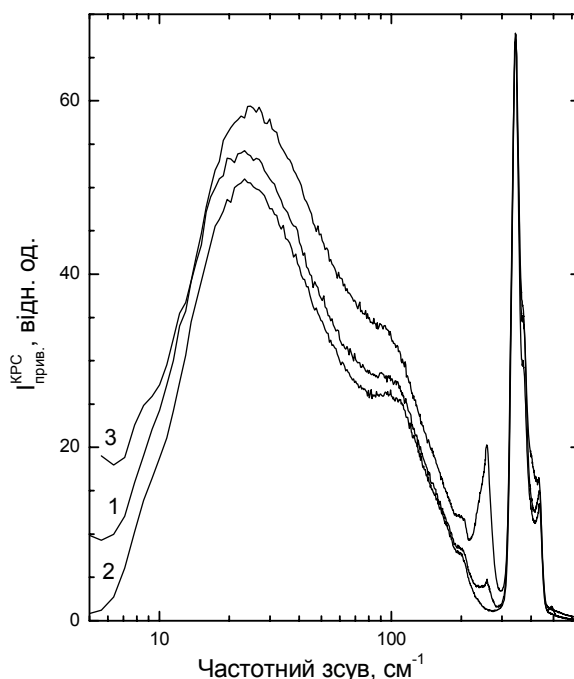


Рис. Поляризовані (HH) НЧ Раман спектри КРС c-GeS<sub>2</sub>(T<sub>x</sub>,V<sub>y</sub>), зняті при  $\lambda_{36}=488 \text{ нм}$ :  
1) T<sub>1</sub>,V<sub>1</sub>; 2) T<sub>2</sub>,V<sub>2</sub>; 3) T<sub>3</sub>,V<sub>2</sub>. Спектри нормалізовані на основну смугу коливань при  $342 \text{ см}^{-1}$ .

[1]. R.Holomb, P.Johansson, V.Mitsa and I.Rosola. Local structure of technologically modified g-GeS<sub>2</sub>: resonant Raman and absorption edge spectroscopy combined with ab initio calculations // Philosophical Magazine. – 2005. - Vol.85, No.25,1. – P.2947 –2960.

## ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В СТЕКЛАХ СИСТЕМИ As-Sb-S-I

<sup>1</sup>Гуранич О.Г., <sup>2</sup>Гуранич П.П., <sup>2</sup>Микайло О.А., <sup>1</sup>Риган М.Ю., <sup>1</sup>Перевузник В.П.,  
<sup>1</sup>Шнирко Г.М., <sup>1</sup>Пісак Р.П.

<sup>1</sup> Ужгородський Науково-Технологічний центр ІПРІ НАН, вул. Замкові сходи, 4,  
Ужгород, 88000, Україна, center.uzh@gmail.com

<sup>2</sup> Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, Ужгород, 88000,  
Україна, mykaylooksana@yahoo.com

Інтерес до вивчення склоподібних матеріалів системи As-Sb-S-I викликаний можливістю створення на їх основі сегнетоситалів і сенсорів різноманітного призначення, оскільки в даній системі існує сполука SbSI, яка в кристалічному стані володіє яскраво вираженими сегнетоелектричними властивостями.

Дана робота присвячена дослідженню впливу температури на оптичні та діелектричні властивості стекол даної системи по розрізу As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-SbSI.

Стекла системи As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-SbSI одержували методом вакуумного плавлення відповідних сумішей компонентів As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> та SbSI. Температури гомогенізації розплавів складали 720-870 К, час гомогенізації 24-36 год. Охолодження розплавів проводилось на повітрі, та у холодну воду.

Енергетичне положення краю поглинання  $E_g^\alpha$  визначались із вимірювань спектральної залежності краю поглинання на рівні  $\alpha$ , який відповідає середині інтервалу  $0.3 \leq \alpha d \leq 3$  ( $d$  – товщина зразка). Діелектричні параметри ( $\epsilon$  та  $\text{tg}\delta$ ) вимірювались на частоті 1 МГц у вимірювальному полі 0,1 Вт/см та в інтервалі температур 293-500К. Похибка вимірювань  $\epsilon$  складала 3 %, а  $\text{tg}\delta$ - 10 %.

Дослідження показали, що спектральні залежності краю поглинання стекол (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub>(SbSI)<sub>x</sub> при рівнях поглинання  $\alpha < 100 \text{ см}^{-1}$  описуються співвідношенням

$$: \alpha(h\nu) = \alpha_g \cdot \exp\left[\frac{h\nu - E_g^\alpha}{w}\right], \text{ де } w - \text{ енергетична ширина краю поглинання.}$$

Величина  $E_g^\alpha$  при  $10^3 \text{ см}^{-1}$  – ширина псевдозабороненої зони  $E_g$  стекол. Встановлено, що при збільшенні вмісту сульфойодиду сурми у складі стекол край поглинання зміщується у довгохвильову область спектру, відображаючи зменшення їх ширини  $E_g$ . Визначені значення  $E_g^\alpha$  змінюються від 2,23 еВ для скла As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> до 1,84 еВ для скла складу (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>10</sub>(SbSI)<sub>90</sub>. Зменшення оптичної щільності викликане структурною перебудовою при переході від As<sub>2</sub>S<sub>3</sub> до SbSI.

При підвищенні температури край поглинання зміщується в область менших енергій. Визначені з температурних залежностей  $\alpha(h\nu)$  параметри співвідношення Урбаха свідчать на користь переваги електрон-фононої взаємодії у формуванні краю поглинання. Встановлено, що при  $T > T_g$  ( $T_g$  – температура склування) крутість нахилу краю стекол з вмістом SbSI від 55 до 90 мол. % значно більша, ніж при  $T < T_g$ , що свідчить про упорядкованість структури матеріалів в цій ділянці температур. Дослідження структури стекол і їх діелектричних властивостей підтверджують дане припущення. Встановлено, що у даних стеклах в умовах неперервного нагрівання в ділянках температур  $T_g - T_c$  ( $T_c$  – температура кристалізації), відбувається кристалізація за переважним механізмом з виділенням кристалічного SbSI.

# STUDY OF NANOPOROUS SI FOR GAS SENSING APPLICATION

M. Pinkovska, N. Dmitruk\*, V. Khivrych, O. Kondratenko\*, P. Kuchynsky\*\*,  
P. Lytovchenko, L. Vlasukova\*\*

*Institute for Nuclear Research NAS of Ukraine, myrglory@yahoo.com*

*\* Institute of S/Physics NAS of Ukraine, Pr. Nauky 45, Kyiv dmitruk@isp.kiev.ua*

*\*\*BSU by A. Sevchenko, Kurchatova 7, Minsk, Byelorussia*

Nanoporous silicon due to high surface volume ratio, simple and inexpensive technology and suitable integration with standard silicon microelectronics is very attractive for modern sensor application. The physical principles of its operation are based on the environmental molecules' influence on an electronic state of the surface. Nowadays a lot of attention is paid to the obtaining of the adsorption-active surfaces with high sensitivity and desirable selectivity. The films of porous silicon for a long time were received by electrochemical etching, and then alternative method of high particles irradiation was proposed.

We study the absorption possibilities of porous silicon, treated by high charge particles, chemical plasma and ultrasound. Singlecrystal Si with  $d = 15\text{nm}$  natural dioxide film and structures Si/SiO<sub>2</sub> ( $d_{\text{SiO}_2} \approx 500\text{ nm}$ ) were used in experiment. Samples were irradiated in cyclotron U-120 by 6.8 MeV protons and 27.2 MeV  $\alpha$ -particles with nearly the same free run length (360 mkm) and also treated by chemical plasma. Structures Si/SiO<sub>2</sub>, irradiated by Ar (290 MeV), Xe (372 MeV), Bi(710 MeV), were chemically etched for revealing of nanosize pores in the region of hidden tracks. In some Xe irradiated structures etched nanopores were filled with SnO<sub>2</sub>. Sn is known to be highly used compound in gas sensors. Sn was also deposited on pure singlecrystal and thermally grown SiO<sub>2</sub> just forming SnO<sub>2</sub>/Si and SnO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si structures for comparison with SnO<sub>2</sub>/porous SiO<sub>2</sub>/Si.

Optical characteristics of samples were studied by the method of multyangle monochromatic ellipsometry and changes of optical constants (refraction index  $n$  and absorption coefficient  $k$ ) in ethyl alcohol, ammonia and acetone (relative to air) were analyzed. In addition scanning electron microscope and atomic force microscope were used. It was found that  $10^{17}\text{ cm}^{-2}$  fluencies of proton and alpha particles lead to increase of the surface roughness, despite of different radiation destruction action: surface loosening for protons ( $n$  drops from 3.84 to 2.9), while at the same fluency helium ions provoke near surface compression. In the last case the complex absorption index has become close to amorphous silicon value. The nature of irradiation behavior is not clear enough. We suppose the surface loosening is due to preferable vacancy clusters, created by fast protons. For alpha-particles radiation defects are more complicated and may engage interstitial atoms. Irradiated samples have become more sensitive to ammonia and acetone molecules. In the case of plasma-chemical treatment the refraction index increases and also influence of ammonia and acetone on Si increases.

Optical properties of Si/SiO<sub>2</sub> structures depend on the dimensions and the depths of nanopores, created by etching of the radiation induced hidden tracks in dioxide. The greatest optical constant changes occurred in structures, irradiated by Bi, when ions penetrate the whole oxide. These structures have also the best gas sensitivity.

Ultrasound treatment influences on optical characteristics as well, but these changes are unstable and ellipsometric parameters relax to the initial value in time.

In SnO<sub>2</sub>/porous SiO<sub>2</sub>/Si structures pores are nearly the same by dimension.

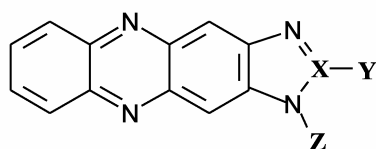
**By summing:** fast particle irradiation of Si and SiO<sub>2</sub>/Si is prospering for gas sensors.

# IMIDAZOPHENAZINE AS FLUORESCENT PROBE FOR OPTICAL pH-SENSING

O.A. Ryazanova, I.M. Voloshin, V.N. Zozulya

B. Verkin Institute for Low Temperature Physics & Engineering of NAS of Ukraine,  
47 Lenin ave., 61103 Kharkov, Ukraine, e-mail: ryazanova@ilt.kharkov.ua

Recent advances in fluorescence spectroscopy, optical fiber technology, and optoelectronics have led to an exciting new analytical technique called fiber-optical fluorosensing. Optical sensors offer some interesting advantages over other sensor types in that they are not subject to electrical interferences, do not require a reference signal, and can be quite small. Remote sensing over wide distances is another attractive feature of the method [1]. The fluorescence-based optical sensors are prepared by immobilizing an indicating layer on the distal end of a fiber optic cable. Dyes, enzymes, and antibodies can all be incorporated into the layer using a variety of immobilization techniques. In optical pH sensors the organic dyes are applied as indicators, whose properties depend on environment characteristics. A permanent search for the most suitable fluorescent dyes takes place.



**Fig.1.** Molecular structure of phenazine derivatives:

F1: X = C; Y = H; Z = H

F2: X = C; Y = CH<sub>3</sub>; Z = H

F3: X = C; Y = CF<sub>3</sub>; Z = H

F4: X = N; Y – absent; Z = H

F1rib: X = C; Y = H; Z = β-D-ribofuranose

F4gl: X = N; Y – absent; Z = β-D-glucopyranose

substantially affect the values of the deprotonation constants and the character of protonation for chromophore. The substitution of a hydrogen atom in the Z position by the sugar residue (Fig.1) blocks the formation of the anionic species, and results in enhancement of the dye emission intensity. The steep emission dependence for F1 and F1rib over pH range of 1-7 with intensities ratio of  $I_{pH7}/I_{pH1} = 60$  allows us to propose them as possible indicator dyes in fluorescence based pH sensors for investigation of processes accompanied by acidification, for example, in gastric pH-sensors.

[1] Otto S. Wolfbeis, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, **4(7)**, 184 (1985).

[2] O.A. Ryazanova, I.M. Voloshin, V.L. Makitruk, V.N. Zozulya, V.A. Karachevtsev, *Spectrochim. Acta A*, **66**, 849 (2007).

# ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МАГНЕТИКАХ С ТЕНЗОРНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.П. Шаповалов, П.А. Сайко

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова

В магнитных кристаллах со значением атомных спинов  $S = 1$  возможны два типа тензорных взаимодействий: взаимодействие спинов с кристаллическим полем и биквадратное обменное взаимодействие (БОВ). В случае, когда константы кристаллического поля -  $D$  и БОВ –  $K_0$  достаточно велики, а внешнее магнитное поле  $h$  направлено вдоль кристаллографической оси (ось  $z$ ), возможны две одноподрешеточные фазы, обладающие аксиальной симметрией. Первая из них – обычная ферромагнитная фаза (ФМФ) с осью ферромагнитного упорядочения, направленной вдоль оси  $z$ . Вторая – квадрупольная фаза (КФ), в которой при нулевой температуре ( $T=0$ ) даже в присутствии магнитного поля  $h$  намагниченность в системе равна нулю:  $M^Z=0$  [1].

При отличных от нуля температурах намагниченность  $M^Z$  определяется системой двух трансцендентных уравнений [2]. Решения этой системы различны для различных фаз, а увеличение внешнего магнитного поля индуцирует фазовый переход (ФП) из КФ в ФМФ. Этот переход происходит как ФП первого рода и сопровождается скачком намагниченности [3]. При низких температурах критическое значение магнитного поля  $h^*$ , при котором происходит ФП, практически не зависит от температуры. Таким образом, фиксируя скачок намагниченности  $M^Z$ , можно судить о достижении магнитным полем критического значения.

В настоящей работе исследуются одноосные магнетики с кристаллическим полем типа «легкая плоскость» и анизотропным БОВ при  $S=1$ . Предлагается их использование для создания низкотемпературных датчиков магнитного поля.

В работе построена фазовая  $T$ - $h$  диаграмма, на которой обозначена линия ФП первого рода между КФ и ФМФ. При определенной температуре  $T^C$  линия ФП первого рода оканчивается тройной точкой для ФМФ, КФ и парамагнитной фазы (ПМФ). Таким образом, при температурах  $T > T^C$  использование кристалла в качестве датчика магнитного поля невозможно.

В КФ при фиксированном значении магнитного поля  $h$  с ростом температуры намагниченность  $M^Z$  увеличивается, а в ПМФ – уменьшается. Поэтому температуре перехода между КФ и ПМФ соответствует максимальное значение функции  $M^Z(T)$ . В ФМФ при фиксированном значении  $h$  с ростом температуры квадрупольная составляющая параметра порядка  $\lambda$  уменьшается, проходя через ноль, а в ПМФ увеличивается, стремясь к нулю. Следовательно, температуре перехода между ФМФ и ПМФ соответствует минимальное значение функции  $\lambda(T)$ .

Построены кривые, которые иллюстрируют зависимость температуры  $T^C$  от параметров гамильтониана.

1. В.М. Матвеев, ЖЭТФ **65**, 1626 (1973).
2. Ф.П. Онуфриева, ЖЭТФ **89**, 2270 (1985)
3. И.П. Шаповалов, УФЖ **55**, 307 (2010).



# ВЛИЯНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК СУЛЬФИДА КАДМИЯ В ПОЛИМЕРЕ

В.А. Смынтына<sup>2</sup>, В.М. Скобеева<sup>1\*</sup>, Н.В. Малушин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт физики Одесского национального университета имени И.И. Мечникова

<sup>2</sup>Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

\*65082, Украина, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел. 0487230329,

e-mail: [v\\_skobeeva@ukr.net](mailto:v_skobeeva@ukr.net)

Одной из особенностей квантовых точек (КТ), изолированных в полимерной матрице, является значительная химическая активность их поверхности. Этот факт может быть использован для создания на основе КТ сенсоров различного назначения, катализаторов химических реакций. Люминесцентные характеристики КТ являются наиболее чувствительными к межфазным взаимодействиям на границе КТ - матрица.

В работе представлены результаты по влиянию различных внешних факторов (адсорбции молекул воды, облучения светом различной длины волны, температурной обработки в вакууме и на воздухе, физических свойств матрицы) на оптические и люминесцентные характеристики квантовых точек сульфида кадмия, выращенных в желатиновой матрице.

Результаты исследований показали, что край поглощения КТ CdS в процессе их хранения в атмосфере влажного воздуха смещается в область больших энергий. Установлено, что спектр свечения свежевыращенных образцов, состоящий из двух полос с  $\lambda_{\text{макс}} = 530 - 540$  нм и  $\lambda_{\text{макс}} = 650 - 690$  нм [1], в результате действия влаги претерпевает изменения, а именно, наблюдается увеличение интенсивности длинноволновой полосы люминесценции. Температурная обработка образцов в вакууме показала обратимость наблюдаемых изменений. Показана связь стехиометрического состава ионов атомов Cd и S на поверхности КТ со стабильностью спектра свечения. Обнаружен эффект фотостимуляции полосы с  $\lambda_{\text{макс}} = 650 - 690$  нм при облучении светом из области собственного поглощения КТ CdS, причем интенсивность свечения возрастает на два порядка и её величина сохраняется в течение длительного промежутка времени, а кинетика нарастания интенсивности люминесценции зависит от наличия молекул воды в желатиновой матрице.

На основании полученных экспериментальных результатов сделан вывод о поверхностной локализации центров свечения длинноволновой полосы свечения. Влияние молекул воды и облучения на излучательные свойства КТ CdS объясняются протеканием двух процессов: адсорбции гидроксильных групп на поверхности и фотоионизации КТ при облучении собственным светом, сопровождающейся захватом электронов в матрице и положительным зарядением поверхности КТ CdS.

[1] Smyntyna V.A., Skobeeva V.M., Malushin N.V. The nature of emission centers in CdS nanocrystals // Journal of Radiation Measurements.-2007.-V.42.-P.693-696.

# ЕКСИТОННЕ ПОГЛИНАННЯ ШАРУВАТИХ КРИСТАЛІВ GaSe ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ВОДНЕМ

**Жирко Ю.І., Скубенко М.А.**

*Інститут фізики НАН України, проспект Науки, 46, м. Київ, МСП, 03028*

Шаруваті напівпровідникові кристали InSe і GaSe викликають велику увагу дослідників завдяки тому, що створені на їх основі гетероструктури мають добру фоточутливість і знаходять застосування у сонячних комірках [1-5]. Традиційно велика увага дослідників також приділяється інтеркалюванню - введенню атомів і молекул у міжшаровий простір цих кристалів, оскільки поява великої кількості домішки у міжшаровому просторі суттєво змінює їх оптичні [6] та електричні [5] властивості, що може бути використано, зокрема, для створення на базі кристалів InSe і GaSe напівпровідникових сенсорів.

В роботі у широкому діапазоні температур (4,5 – 200К) проведені дослідження спектрів екситонного поглинання світла шаруватими кристалами GaSe інтеркальованими воднем в концентраціях  $x=0-5$  атомів водню на одну формульну одиницю кристала.

Показано, що зростання концентрації водню приводить до змін у низькотемпературних спектрах ( $T=4,5K$ ) екситонного поглинання інтеркальованих кристалів  $H_xGaSe$ . Зокрема, відбувається нелінійний високоенергетичний зсув і зростання півширини  $n=1$  екситонної смуги поглинання та, відповідно, зменшується енергія зв'язку екситона. При концентраціях  $x = 2-3$  в спектрі поглинання (при  $T=4,5K$ ) також спостерігається розщеплення основного  $n=1$  екситонного стану, яке майже досягає величини 4 меВ. Разом з тим з ростом температури кристала і в чистих GaSe, і в інтеркальованих воднем кристалах  $H_xGaSe$  спостерігається зростання інтегральної інтенсивності  $n=1$  екситонної смуги поглинання, яке (як показано в [6]) обумовлене затуханням поляритонів під час розсіювання екситонів на оптичних фонах.

Представлені результати співставлені з проведеними раніше оптичними, електричними, ЯМР, рентгенівськими та електронно-мікроскопічними дослідженнями інтеркальованих воднем кристалів  $H_xGaSe$  і  $H_xInSe$  [5,7,8].

## Література

1. Lebedev A.A, Rud' V.Yu., Rud' Yu.V. // Fiz. Tekh. Polupr.-1998.- V.32, No3.-P.353-355.
2. Katerinchuk V.N., Kovalyuk Z.D., Kaminskii V.M. // Pisma Zhurn.Tehn. Fiz.- 2000.- V.26, No2.-P.19-22.
3. Martines-Pastor J., Segura A., Valdes J.L. // J. Appl. Phys.- 1987.- V.62, No4.-P.1477-1483.
4. Shigetomi S., Ikari T. // J. Appl. Phys.- 2000.- V.88, No3.- P.1520-1524.
5. Yuriy Zhirko, Zakhar Kovayuk, Andriy Zaslonkin, Volodymyr Boledzyuk // Proc. of Int. Confer. "Nano/Molecular Photochemistry and Nanomaterials for Green Energy Development" (Solar'10, 15 -17 February 2010, Cairo, Egypt) p.48-49.
6. Yu.I. Zhirko // Phys. stat. sol.(b), **213**, 93-106 (1999) and **219**, 47-61 (2000).
7. Zhirko Yu.I., Kovalyuk Z.D., Pyrlja M.M., Boledzyuk V.B. // T.N. Vezirogly et al. (eds.) Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nano-materials, P. 325-340, © 2007 Springer.
8. Yu.I. Zhirko, Z.D. Kovalyuk, V.P. Klad'ko, V.V. Trachevsky., I.P.Shapovalova, A.L. Vorsovsky //Proc. of the 15 Int. Conf. "Hydrogen Economy and Hydrogen Treatment of Materials" HTM-2007, Donetsk, May 21-25, 2007, V.2, P. 606-610.

**Секція II**

**ПРОЕКТУВАННЯ ТА МАТЕМАТИЧНЕ  
МОДЕЛЮВАННЯ СЕНСОРІВ**

---

---

**Section II**

**SENSORS DESIGN  
AND MATHEMATICAL MODELING**

# РАСЧЁТ ПРОФИЛЯ ОПЗ ДАТЧИКОВ СО ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

Драгоев А.А., Каракис Ю.Н., Балабан А.П., Чемересюк Г.Г.

*Одесский национальный университет,  
физический факультет ул. Пастера, 42*

Обнаружено, что монокристаллические образцы сульфида кадмия, подвергнутые обработке в коронном разряде, приобретают способность на свету в видимой области генерировать фото-эдс различной полярности для коротких и длинных волн.

На основе таких элементов предлагается создавать сенсоры чувствительные не к интенсивности светового потока, а к его спектральному составу. Причём чувствительность и селективность к длине волны оказывается значительно повышенной. Поскольку спектральное распределение фотоответа обладает нулевой точкой, возникает возможность создания устройства, реагирующего на заданной длине волны на отсутствие тока датчика.. Одновременно при этом полностью снимается вопрос об уровне помех всех видов, в том числе и искусственно создаваемых.

Подробно рассматриваются особенности технологии создания сенсоров. В частности изменение вида спектрального распределения сигнала у образцов в зависимости от величины приложенного высоковольтного потенциала, напряжённости электрического поля (для различных расстояний между кристаллом и катодом), условий формирования пробоя и длительности обработки.

Показано, что приобретение аномальных свойств кристаллов CdS связано с появлением в ходе электрической обработки дополнительных нарушений кристаллической решётки в приповерхностных слоях. При этом на зонной диаграмме вблизи поверхности со стороны освещения образуется потенциальный барьер. В результате сильно поглощаемый коротковолновый свет создаёт носители на его передней стенке и создаётся дрейфовый поток к поверхности кристалла. Наоборот, - глубоко проникающий (из-за слабого поглощения) длинноволновый свет в основном создаёт носители в области задней стенки барьера. Эти носители внутренним полем увлекаются в противоположную сторону.

Модель подтверждается тщательным расчетом уравнений Пуассона. Показано, при каких условиях первоначально омический контакт может преобразовываться в потенциальный барьер в ОПЗ у поверхности и как при этом можно за счёт технологических приёмов управлять его параметрами – глубиной, шириной и крутизной стенок. Соответственно при этом оказывается возможным задавать и фотоэлектрические параметры сенсоров.

Осознанное управление ими позволяет создавать датчики с наперёд заданной величиной чувствительности в положительной и отрицательной области и, главное, - спектральное положение нулевой точки перехода от одной к другой.

# РОЗРАХУНОК ЗАЛЕЖНОСТІ ВИСОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАР'ЄРУ ГАЗОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ДІОДА ШОТКІ ВІД ТОВЩИНИ АДСОРБЦІЙНОГО ШАРУ

**А.І.Духлій<sup>(\*)</sup>, В.В. Ільченко, С.О.Гордієнко**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64,  
01033 Київ-33, Україна \* E-mail: [Anna.Duhliy@gmail.com](mailto:Anna.Duhliy@gmail.com)*

Напівпровідникові сенсори мають ряд переваг: висока чутливість, компактність, низька вартість й можливість інтеграції в сучасну кремнієву мікроелектронну технологію. Тому дослідження їх властивостей є важливою задачею. Метою даної роботи було показати результат розрахунку зміни висоти енергетичного бар'єру сенсора на основі моделі діода Шоткі при зміні товщини адсорбційного шару. Для розрахунку використовувався програмний пакет Mathematica.

В цій моделі величина бар'єру залежить від роботи виходу металу ( $\phi_m$ ), електронної спорідненості напівпровідника ( $\chi_s$ ) та типу легування і концентрації домішки в напівпровіднику.

$$\phi_b = \phi_m + \chi_s \text{ (для n типу)} \text{ і } \phi_b = E_g - (\phi_m + \chi_s) \text{ (для p типу)}. \quad (1)$$

Залежність висоти бар'єру Шоткі від щільності поверхневих станів та товщини адсорбційного шару:  $\phi_b = \gamma(\phi_m - \chi_s) + (1 - \gamma)(E_g - \phi_0)$ , де  $\gamma = \epsilon_i \epsilon_0 / (\epsilon_i \epsilon_0 + q\delta D_s)$ . При прямуванні товщини плівки до нуля отримуємо наближення (1), при прямуванні товщини до нескінченності, висота бар'єру визначається лише поверхневими станами. У випадку акцепторних поверхневих станів заряд що накопичився на них на одиницю площі буде рівний:  $Q_{ss} = -eD_s(E_g - e\phi_0 - e\phi_b)$ . Заряд в області просторового заряду

(ОПЗ) :  $Q_{sc} = -\sqrt{2e\epsilon_0\epsilon_s N_D(\phi_b - \mu)}$ . Об'ємний заряд  $Q_v = eN_t\delta$ , заряд, що індукується на поверхні металеві плівки буде протилежний до суми цих зарядів  $Q_m = -(Q_{ss} + Q_{sc} + Q_v)$ . Застосувавши теорему Гауса знаходимо падіння напруги на

$$\Delta = -\delta \frac{Q_m}{\epsilon_0 \epsilon_i}$$

адсорбційній плівці:  $\Delta = \phi_m - (\chi + \phi_b)$ . Прирівнявши отримаємо рівняння з якого можна розрахувати зміну висоти бар'єра  $\phi_b$  в залежності від товщини  $\delta$ , або знайти концентрацію пасток в адсорбційній плівці.

Розрахунок показав, що при фіксованому значенні поверхневих станів і при  $Q_{ss} > 0, eN_t > 0$ , при зміні концентрації від пасток від  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ , залежність висоти бар'єру Шоткі від товщини має максимум при товщині плівки  $15 \text{ \AA}$ , який спостерігається експериментально, а при всіх інших комбінаціях значень  $Q_{ss}, eN_t$  спостерігається лише мінімум. Тобто заряд акцепторних поверхневих станів і об'ємний заряд мають знак плюс.

# ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАГНИТОТРАНЗИСТОРА ОТ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ИНЖЕКТИРОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ

М.А.Глауберман, В.В.Егоров, Н.А.Канищева, В.В.Козел

*Учебно-научно-производственный центр при Одесском университете  
им.И.И.Мечникова, г. Одесса, ул. Маршала Говорова, 4*

Строгую теорию магнитотранзисторных структур (МТС) принято строить на основе уравнения непрерывности для инжектированных носителей (ИН) в базе [1], из которого следует выражение для эффективности преобразования  $S_R$ :

$$S_R \equiv \alpha^{-1} \frac{\partial \alpha}{\partial B} = \frac{\mu^* E b}{\varphi_T}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент передачи тока;  $B$  – магнитная индукция;  $\mu^*$  – холловская подвижность инжектированных носителей;  $E$  – напряженность электрического поля в базе;  $b$  – характерный размер МТС;  $\varphi_T \equiv kT/e$  – температурный потенциал.

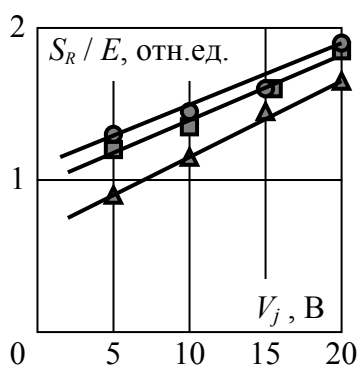
Важно: согласно (1), *единственным* свойством материала, определяющим  $S_R$ , является  $\mu^*$ . Но, как недавно отмечено [2],  $S_R$  может зависеть и от другого свойства материала – времени жизни инжектированных носителей  $\tau$ . В настоящей работе теоретически и экспериментально подтверждается существование этой зависимости.

Теоретические оценки основаны на модели криволинейного транзистора [2] с принятием усредненных значений для концентрации ИН  $n$  и ее градиента:  $n \approx n_0/2$ ;  $\text{grad } n \approx -n_0/b$ , где  $n_0$  – концентрация на эмиттере. Также предполагалось сильное электрическое поле:  $EL \gg \varphi_T$ , где  $L$  – диффузионная длина ИН. В результате получено

$$S_R = f(W/L) * \mu^* W/b, \quad (2)$$

где  $f$  – монотонно возрастающая функция;  $W$  – длины базы криволинейного транзистора. Поскольку же  $L \propto \tau^{1/2}$ , это дает убывающую зависимость  $S_R$  от  $\tau$ .

Для варьирования  $\tau$  в эксперименте использовались МТС, выполненные в эпитаксиальном  $n$ -слое на  $p$ -подложке. На  $pn$ -переход слой-подложка подавалось обратное смещение  $V_j$ , в результате чего толщину базы  $h$  можно было регулировать изменением  $V_j$  за счет эффекта Эрли. Но тем самым регулировалось и эффективное время жизни ИН:  $1/\tau_{\text{eff}} = 1/\tau + D/h^2$ , где  $D$  – коэффициент диффузии ИН.



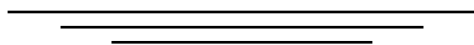
На рис. показаны экспериментальные зависимости величины  $S_R/E$  от смещения на подложке для 3-х образцов МТС. Выбор этой величины удобен потому, что она, согласно (1), зависит лишь от геометрии и материала МТС и не зависит от  $E$ . Поскольку  $\tau_{\text{eff}}$  (а значит и  $L$ ) монотонно убывает с убыванием  $h$ , а  $h$  убывает с ростом  $V_j$ , то возрастающий характер зависимостей подтверждает справедливость (2) и, в конечном итоге, - утверждение о зависимости  $S_R$  от  $\tau$ .

## Литература

1. Балтес Г.П., Попович Р.С. ТИИЭР. - 1986. - Т.74, No.8. - С. 60-90.
2. М.А.Глауберман и др. Известия вузов. Физика. - 2009. - No.1. - С. 58-66.

**Секція III**

**СЕНСОРИ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН**



**Section III**

**PHYSICAL SENSORS**

## ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdAs<sub>2</sub>

**Алибеков А.Г., Моллаев А.Ю., Сайпулаева Л.А.**

*Институт физики Дагестанского научного центра РАН*

*ул. М. Ярагского, 94, Махачкала, 367003, Россия*

*E-mail: [a.mollaev@mail.ru](mailto:a.mollaev@mail.ru)*

Актуальным и практически важным является поиск новых реперов - датчиков давления. С этой целью мы исследовали удельное электросопротивление и эффект Холла в CdAs<sub>2</sub> при гидростатическом давлении до  $P \leq 9$  GPa. Измерения проводились при подъеме и сбросе давления в области комнатных температур. Гидростатическое давление генерировалось в аппарате высокого давления типа «тороид», который помещался в соленоид с напряженностью магнитного поля  $H \leq 5$  кЭ. Более подробно методика эксперимента описана в работах [1,2]. Были измерены ориентированные образцы CdAs<sub>2</sub>. На образцах, вырезанных в направлении [100] удельное сопротивление и коэффициент Холла с ростом давления падали. На зависимостях  $\rho(P)$  и  $R_H(P)$  при давлениях  $P=3$  и  $5.5$  GPa наблюдаются два четких пика. Зависимость удельного сопротивления для образцов n-CdAs<sub>2</sub>, ориентированных в направлении [100] имеет более сложный характер. Удельное сопротивление с ростом давления увеличивается, на зависимости  $\rho(P)$  наблюдается три пика при  $P=1.8, 3$  и  $5.5$  GPa. Максимум при  $P=5.5$  GPa был интерпретирован как структурный фазовый переход, который наблюдался в работах [3,4]. Аналогичные структурные фазовые переходы при  $P=3.6$  и  $P=5.5$  GPa наблюдались на зависимостях  $R_H(P)$  для обоих образцов. Измерение  $\rho(P)$  и  $R_H(P)$  при сбросе давления происходит с большим гистерезисом. На барических зависимостях  $\rho(P)$  и  $R_H(P)$  при сбросе давления также наблюдался фазовый переход при  $P=3.6$  GPa. Совпадение значений начальных точек зависимостей  $\rho(P)$  и  $R_H(P)$  при подъеме давления со значениями конечных точек этих кривых при сбросе давления свидетельствует об обратимости фазового превращения и об отсутствии диссоциации и изменения фазового состава в исследованных образцах. Величины концентраций и подвижностей до и после фазового превращения позволяют сделать вывод – в диарсениде кадмия при давлении  $P=5.5$  GPa имеет место фазовый переход полупроводник–полупроводник. Отсутствие рентгеноструктурных исследований при высоких давлениях  $P \leq 9$  GPa не дает возможности более определенно судить о фазовом превращении в CdAs<sub>2</sub>. Вывод: на основе зависимостей  $\rho(P)$  и  $R_H(P)$  в образцах CdAs<sub>2</sub> получены две – три реперные точки, которые могут быть использованы для градуировки аппаратов высокого давления.

1. Khvostantsev L.G., Vereshchagin L.P., Novikov A.P. Device of Toroid type for High Pressure generation // High Temp.-High Pressure. 1977. V.9, №6, pp.637-639
2. А.Ю.Моллаев, Л.А.Сайпулаева, Р.К.Арсланов, С.Ф.Маренкин. Влияние гидростатического сжатия на электрофизические свойства монокристаллического диарсенида кадмия. Неорганические материалы, **37**, №4, 405-408 (2001).
3. Шипило В.Б., Плышевский Е.М., Бельский И.М. Реперные точки для аппаратов высокого давления с твердой средой, передающей давление. Физика газовых и твердофазных давлений., М.: Наука, 1978.
4. Тонков Е.Ю. Фазовые превращения соединений при высоком давлении. М.: Metallurgia, 1988.



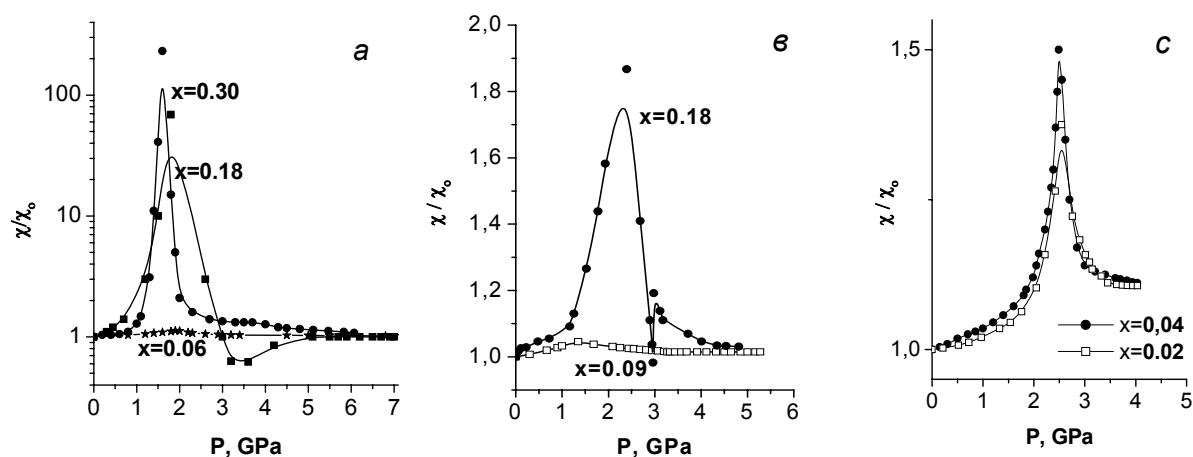
# ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ НА ПРИНЦИПЕ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

**Т.Р. Арсланов, А. Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов**

Учреждение РАН Институт физики им. Х.И.Амирханова Дагестанского научного центра РАН, 367003 Махачкала, Россия  
E-mail: arslanovr@gmail.com

В качестве индикатора свойств для датчиков давления в основном используется электросопротивление. Мы предлагаем использовать магнито – транспорт при высоком давлении, в качестве индикатора свойства в частности магнитные фазовые переходы. Были исследованы высокотемпературные ферромагнитные полупроводники  $\text{CdGeAs}_2\langle\text{Mn}\rangle$ ,  $\text{CdGeP}_2\langle\text{Mn}\rangle$  и  $\text{ZnGeAs}_2\langle\text{Mn}\rangle$  с различной степенью легирования. Относительная магнитная восприимчивость  $\chi/\chi_0$  ( $\chi_0$  – значение магнитной восприимчивости при атмосферном давлении) была измерена частотным методом [1].

На рисунке представлены барические зависимости магнитной восприимчивости для образцов  $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  - (a),  $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$  – (б) и  $p\text{-Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  – (с)



Из рисунка (рис (a)) видно, что с увеличением процентного содержания марганца (x) в  $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  максимум  $(\chi/\chi_0)(P)$  сдвигается в сторону низких давлении от  $P=2$  GPa для  $x=0.06$  до  $P=1.6$  GPa для  $x=0.3$ . Амплитуда максимума наоборот растет с увеличением процентного содержания марганца. Аналогичная картина наблюдается на  $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$  для двух образцов с  $x=0.9$  и  $x=0.18$ . Наблюдаемая зависимость относительной магнитной восприимчивости  $(\chi/\chi_0)(P)$  для образцов  $p\text{-Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$  ( $x=0.02$  и  $0.04$ ) представлена на рис (с), из рис. видно, что наблюдаемый сценарий схож, с предыдущими материалами.

Во всех исследованных образцах на зависимостях  $(\chi/\chi_0)(P)$  при сбросе давления наблюдается гистерезис, пики, на котором могут быть использованы в качестве реперов.

[1] А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, У.З. Залибеков, Т.Р. Арсланов, Сб. докл. Межд. конф. «Актуальные проблемы физики твердого тела» (Минск, 2009) с. 139.

# $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ

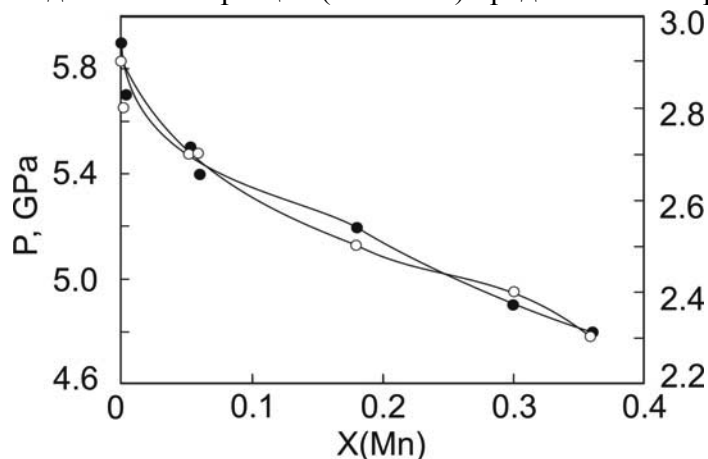
**Т.Р. Арсланов, А. Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов**

Учреждение РАН Институт физики им. Х.И.Амирханова Дагестанского научного центра РАН, 367003 Махачкала, Россия

E-mail: arslanovr@gmail.com

Проводились поисковые исследования полупроводниковых материалов – датчиков давления. Поиск проводился в двух направлениях: первое выявление полупроводниковых материалов, которые могут пополнить существенный набор датчиков давления калибраторов давления для аппаратов высокого давления (АВД) для синтеза сверхтвердых материалов (СТМ) и научных исследований. Второе для новых реперных материалов, которые могут быть рекомендованы в качестве командных элементов в технологических процессах получения СТМ и камнедрагоценного сырья.

Проведенные ранее исследования высокотемпературных ферромагнитных материалов [1, 2] позволило выявить ряд материалов, которые могут быть использованы в качестве датчиков давления – командных элементов для синтеза СТМ. В качестве материала для датчика давления был предложен  $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ . Нами были исследованы базовый образец  $p\text{-CdGeAs}_2$  и образцы  $p\text{-CdGeAs}_2$  легированные марганцем  $x=0\div 0.36$ . В качестве индикатора свойства были выбраны удельное электросопротивление и коэффициент Холла. Измерены удельное электросопротивление и коэффициент Холла при подъеме и сбросе давления в области комнатных температур в аппаратах высоко давления типа «Тороид». Во всех исследованных образцах ( $x = 0, 0.003, 0.053, 0.06, 0.18, 0.3$  и  $0.36$ ) были обнаружены структурные фазовые переходы при подъеме  $P= 5.9; 5.7; 5.5; 5.4; 5.2; 4.9; 4.8$  GPa и  $P=2.9; 2.8; 2.7; 2.6; 2.5; 2.4; 2.3$  GPa при сбросе давления. Зависимость положения точки фазового перехода от давления (темные точки – подъем, светлые – сброс давления) для исследованных образцов ( $x=0\div 0.36$ ) представлена на рисунке.



Предлагаемый материал  $p\text{-CdGeAs}_2$  легированный марганцем, который может служить датчиком давления в качестве командных элементов в диапазоне давлений  $P=4.8 \div 5.9$  GPa при подъеме давлений и  $P= 2.3 \div 2.9$  GPa при сбросе давления.

[1] А.Ю. Моллаев, И.К. Камилов, Р.К. Арсланов, У.З. Залибеков, С.Ф. Маренкин, *Fizika*, **8**, 1-2, 320 Баку (2007).

[2] A.Yu. Mollaev, I.K. Kamilov, R.K. Arslanov, U.Z. Zalibekov, S.F. Marenkin, V.M. Novotortsev and S.A. Varnavskiy, *High Pressure Research*, **26**, 4, 387 (2006).

# ЧАСТОТНЫЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОПЕРЕХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Курмашев Ш.Д.<sup>1</sup>

*Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова*

<sup>1</sup>*Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова*

E-mail: *kurm@mail.css.od.ua*

Рассмотрены конструкции и экспериментальные характеристики датчиков неэлектрических величин (температура, магнитное поле, свет, давление) на основе однопереходного транзистора, работающего в схеме генератора релаксационных колебаний. Выходным параметром датчиков является частота колебаний, определяемая величиной соответствующего воздействия.

Обсуждается принцип работы частотного преобразователя на однопереходном транзисторе (ОПТ). Генератор релаксационных колебаний на основе ОПТ представляет интерес как прибор, имеющий минимальное число составляющих элементов. Использование частоты как информативного сигнала позволяет избежать применения усилительных устройств и аналого-цифровых преобразователей при обработке информации, что снижает себестоимость систем радиоконтроля и радиуправления.

Статическая вольт-амперная характеристика ОПТ имеет участок с негативным (отрицательным) сопротивлением, что позволяет применять такие структуры в схемах генераторов прямоугольных импульсов, линейно изменяющегося напряжения, граничных устройств и преобразователей.

Разработаны радиоизмерительные преобразователи температуры. Наиболее термочувствительным параметром ОПТ является напряжение включения эмиттерного  $p-n$ -перехода  $U_B$ . С ростом температуры  $T$  сопротивление базы транзистора уменьшается, что приводит к соответствующему изменению напряжения  $U_B$ . Для улучшения линейности зависимости  $U_B(T)$  использована схема, в которой конденсатор заряжается через полевой МДП-транзистор. В схему включен также второй полевой транзистор с  $p-n$ -переходом в качестве затвора. Зависимость  $f(T)$  практически линейна, термочувствительность в диапазоне температур 250-400 °С составляет  $\sim 300$  Гц/град, что на порядок выше, чем у сенсора без полевых транзисторов. Для изучения влияния радиации на характеристики сенсоров составляющие транзисторы облучались потоком электронов с энергией 5 МэВ,  $\gamma$ -квантами с энергией 1 МэВ и потоком нейтронов с энергией 1.1 МэВ.

Представлен радиоизмерительный преобразователь магнитной индукции. При индукции  $B \approx 0.4$  Тл чувствительность к магнитному полю составляет  $\sim 20$  кГц/Тл.

Рассмотрен радиоизмерительный преобразователь оптического излучения на основе ОПТ и полевого фототранзистора. Для увеличения фоточувствительности и достижения линейности характеристики "частота-интенсивность" разработан также комбинированный фотоприемник на основе фоточувствительного ОПТ с фотодиодом во входной цепи. Чувствительность по частоте составляет  $K \approx 7$  кГц/мкВт/см<sup>2</sup>.

Предложен радиоизмерительный преобразователь давления на основе ОПТ, в котором расположенный рядом с эмиттером контакт к базе выполнен в виде перехода металл-полупроводник. Тензочувствительность контакта металл-полупроводник (барьер Шоттки) по обратному току во много раз выше чувствительности тензорезистора, в роли которого обычно выступает база ОПТ. При давлении 20 МПа чувствительность преобразователя составляет  $\sim 0.03$  кГц/МПа.

# DIGITAL SENSORS AT LOW TEMPERATURES

Michał Maćkowski and Waldemar Nawrocki

*Faculty of Electronics and Telecommunications, Poznan University of Technology  
ul. Piotrowo 3A, PL-60695 Poznan, Poland  
e-mail: nawrocki@et.put.poznan.pl.*

We investigated smart sensors (integrated circuits) in the temperature range from 77 to 300K. We measured the digital sensors of temperature and the digital sensors of pressure. We have investigated both lower limits of the operate temperature of digital sensors and measurement accuracy.

The testing of temperature sensors (carried out on samples of AD7416 and LM74 sensors) showed that digital sensors preserve their working ability at temperature much lower than that defined by the manufacturers. For the group of AD7416 sensors the lower limit of working temperature was equal to  $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$ . For one LM74 sensor the limit was even lower:  $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The reduction of lower limit of the measuring range is impossible for the AD7416 sensors because of construction their digital part. For some devices of the sensors tested the measurement error did not exceed  $\pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , for others it amounted to  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

We have measured 3 smart sensors of pressure of the type ASDX 100 D44R (made by Honeywell) in the temperature range from the room to the liquid nitrogen temperature. This sensors measure a differential pressure. According the data sheet for ASDX sensors their the operating temperature range is  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $+105\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Our measurements shown (see Figure) that smart sensors of pressure can operate at temperature of 77 K.

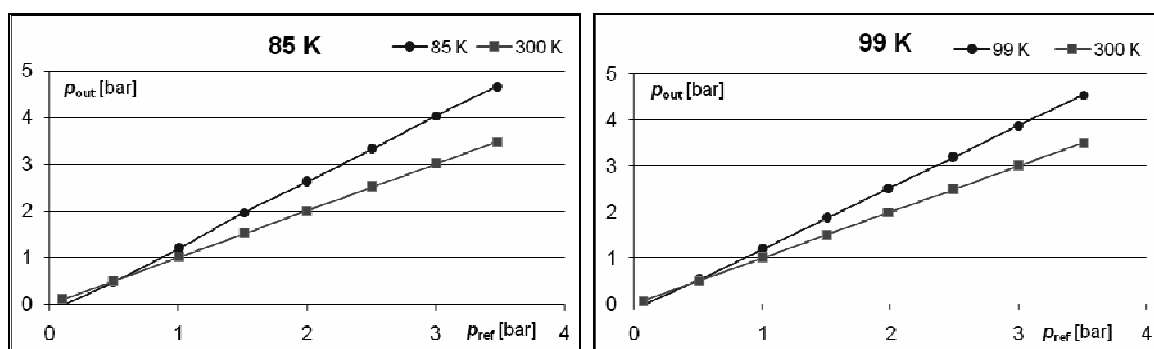


Figure 1. Output signal  $p_{out}$  from the ASDX 100 D44R pressure sensor at temperatures of 99 K and 85 K (● – points); the reference sensor was kept at 300 K (■ – points)

Unfortunately, lowering the temperature of a sensor causes large changes in a temperature coefficient  $k_T(T) = p_T/p_{300}$ . For instance, at 99 K the  $k_T$  coefficient amounts  $k_T = k_{99} = 1.29$  instead of  $k_{300} = 1$ ; at 85 K the  $k_T$  coefficient amounts  $k_T = k_{85} = 1.33$ , instead of  $k_{300} = 1$ . It means a rather large uncertainty of pressure measurements of 30% at low temperatures. Such value of uncertainty is usually not acceptable for users. However it is possible to compensate the uncertainty during digital signal processing in a measurement system. In our experiment all 3 pressure sensors were able to work in low temperature range down to 77 K. We repeated the cooling cycle of a sensor (from 300 K to 77 K) at least 5 times. After that we have not observed any changes in sensors parameters.

**Секція IV**

**ХІМІЧНІ СЕНСОРИ**

---

---

**Section IV**

**CHEMICAL SENSORS**

# MONITORING OF NEODYMIUM (III) IONS IN SOLUTION SAMPLE BY A NOVEL NEODYMIUM(III) SENSOR BASED ON N,N'-BIS(QUINOLINE-2-CARBOXAMIDO)-4,5-DIMETHYLBENZENE

**Ali hosein Imani**,<sup>1</sup> Hassan Ali Zamani,<sup>2</sup> Mohammad Reza Ganjali,<sup>3</sup>

Soraia Meghdadi,<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [hoseinimani@yahoo.com](mailto:hoseinimani@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [haszamani@yahoo.com](mailto:haszamani@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Center of Excellence in Electrochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran, [ganjali@gmail.com](mailto:ganjali@gmail.com)*

<sup>4</sup>*Department of Chemistry, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, [smeghdad@cc.iut.ac.ir](mailto:smeghdad@cc.iut.ac.ir)*

The N,N'-bis(quinoline-2-carboxamido)-4,5-dimethylbenzene (H<sub>2</sub>L<sub>4</sub>) was used as an excellent ionophore in construction of a Nd(III) PVC-based membrane sensor. This sensor shows very good selectivity and sensitivity towards Nd(III) ion over a wide variety of cations, including alkali, alkaline earth, transition and heavy metal ions. The proposed sensor exhibits a Nernstian behavior (with slope of  $19.7 \pm 0.4$  mV per decade) over a wide concentration range (from  $1.0 \times 10^{-5}$  to  $1.0 \times 10^{-2}$  M) with a detection limit of  $4.8 \times 10^{-6}$  M. It shows relatively fast response time, in the whole concentration range (<10 s), and can be used for a pH range of 2.9–9.2. The proposed sensor was successfully applied to the direct determination of Nd(III) ions in solution and as an indicator electrode in potentiometric titration of Nd(III) ions with EDTA.

Keywords: Potentiometry; PVC Membrane; Nd(III)

# ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ДЕСОРБЦІЇ З НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА МАС-СПЕКТРОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Ільченко В.В., Кравченко О.І., Телега В.М., Афанасьєв О. А.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ 033,

Володимирська 64, радіофізичний факультет, [vai@univ.kiev.ua](mailto:vai@univ.kiev.ua);

Використання гетеропереходу  $\text{SnO}_2 - \text{Si}$  з наноструктурованою плівкою  $\text{SnO}_2$  дає можливість створити датчик, чутливий до дипольних сполук завдяки тому, що молекули середовища, що досліджується, можуть проникати до гетерограниці і впливати на неї. Дослідження кінетики процесів адсорбції та десорбції на поверхні напівпровідникових гетероструктур необхідні для покращення їх характеристик [1].

При подачі на сенсор напруги, біля його поверхні виникає поле, що в свою чергу утримує дипольні молекули на поверхні. При вимкненні напруги починається процес десорбції, пов'язаний з тим, що утримуюче поле зникає. Сам процес можна спостерігати кількісно, за допомогою мас – спектрометра. Для спостереження динаміки десорбції з поверхні гетероструктури використовувався так званий метод «спалаху».

Щоб проаналізувати кінетику десорбції з сенсорної структури за допомогою мас – спектрометричного методу, було проведено «спалах» для експериментального зразка, при налаштуванні детектора мас – спектрометра на масове число 18 ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Експериментальна залежність величини сигналу на виході аналізатора мас – спектрометра у відносних одиницях від часу наведена на рис 1. Спочатку в коло зразка подавалась напруга величиною 2 В., і протягом часу  $t \approx 40 \text{ хв.}$  відбувалось його насичення, тобто відбувалась адсорбція молекул газу на поверхню зразка, з подальшим утримуванням їх приповерхневим полем. В момент часу позначений стрілкою А на рис. 1, напруга вимикалась, і утримуюче поле зникало, молекули починали рухатись в іонізатор мас – спектрометра.

Проаналізувавши отриману залежність, було виявлено що процес «спалаху», і відповідно зростання амплітуди сигналу мас – спектрометра має дві складові: швидку та повільну, яким відповідають сталі часу  $\tau_1 = 8 \text{ сек.}$  та  $\tau_2 = 71 \text{ сек.}$  відповідно. Спираючись на дані сталі часу можна сказати, що процес десорбції в даному випадку включає в себе 2 складові: швидку десорбцію з поверхні, та повільнішу десорбцію, пов'язану з вивільненням молекул з глибин наноструктурованого шару оксиду олова. При проведенні експерименту не спостерігалось уламків води, тобто частин молекули  $\text{H}_2\text{O}$ . Звідси можна зробити висновок, що з поверхні експериментального зразка вода десорбується у цілому вигляді, не розпадаючись на складові.

## Література

1. Г.П. Пека, В.І. Стріха. Поверхневі та контактні явища у напівпровідниках – К.:Либідь, 1992. – 240 с.

# СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В МАЛЫХ ОБЪЕМАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

**Колбасов Г. Я., Воробец В.С., Блинкова Л.В.**

*Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины,  
Киев-142, проспект академика Палладина, 32/34, тел.424-2280, факс 424-3070  
e-mail: kolbasov@ionc.kiev.ua*

Для определения концентрации кислорода, растворенного в биологических жидкостях, перспективными являются электрохимические сенсоры благодаря их высокой чувствительности и селективности, в основе работы которых лежит процесс электровосстановления кислорода. В настоящее время известны электрохимические сенсоры растворенного кислорода, в которых активным слоем рабочего электрода служат благородные металлы, однако такие сенсоры не позволяют измерять концентрацию кислорода в малом объеме жидкости вследствие их громоздкости, обусловленной использованием мембраны, проницаемой для кислорода. Целью данной работы была разработка электрохимического сенсора кислорода для анализа малых объемов биологических жидкостей, предназначенного для медико-биологического использования.

В качестве электродного материала для микроэлектрода сенсора использовали диоксид титана, полученный золь-гель методом и нанесенный на кончик стальной иглы, либо  $\text{TiO}_2$ , модифицированный La. Полученные микроэлектроды обладали низким значением потенциала электровосстановления кислорода ( $-400 \div -500$  мВ относит. Ag/AgCl), что исключало протекание побочных электрохимических реакций в биологически активных жидкостях, а также большим динамическим диапазоном потенциалов при восстановлении  $\text{O}_2$  ( $\sim 300$  мВ), что позволило исключить погрешность, связанную с падением потенциала на противозлектроде. Конструкция сенсора для определения концентрации кислорода в малом объеме, например, в кровеносном русле, капле крови или другой биологической жидкости выполнена по двухэлектродной схеме и включала рабочий микроэлектрод и противозлектрод, которые подключались к поляризующему устройству. Высокая скорость измерений (5-7 с) с помощью разработанного микроэлектрода и блока управления позволила практически полностью исключить погрешность измерений, связанную с диффузией атмосферного кислорода в каплю жидкости. В качестве противозэлектрода использовался тканевый углеродный материал ВИСКУМ либо пленка  $\text{SnO}_2$ .

Характеристики сенсора изучались в физиологическом (0,9%) и изотоническом (7,5%) растворах NaCl, глюкозе, плазме крови и ее заменителях: растворах рефортана и сорбилакта. На поляризационных кривых процесса восстановления кислорода наблюдалась одна волна тока, соответствующая суммарному двухэлектронному процессу восстановления кислорода без образования перекиси водорода, при этом предельный ток восстановления кислорода линейно зависел от концентрации  $\text{O}_2$ . Максимальная чувствительность сенсора к растворенному кислороду наблюдалась при катодном перенапряжении  $-0,45 - -0,70$  В и имела значение  $(1,0-1,5) \cdot 10^{-7}$  моль/л при высокой воспроизводимости характеристик. Разработанный прибор удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электрохимическим сенсорам кислорода и может быть использован в лабораторной практике.



## QCM-BASED GAS SENSORY SYSTEM FOR VOC'S DETECTION

Z.I. Kazantseva<sup>1</sup>, I.A. Koshets<sup>1</sup>, S.V. Riabov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Semiconductor Physics, NASU, 41, pr.Nauki, Kiev, Ukraine, 03028

<sup>2</sup> Institute of Macromolecular Chemistry the NASU Kharkovskoe shosse 48, Kiev, Ukraine, 02160

Quartz Crystal Microbalance (QCM) sensors are widely used in many practical applications in gaseous and liquid medium as mass sensitive sensors, for material characterization, etc. The QCM measurement technique uses the sensitivity of quartz crystal resonator with respect to any mass change at its surface in according to Sauerbrey relation [1]. Sensitivity of QCM technique is quite high – mass change of nanogram (and less) scale can be easily observed. When used as chemical sensor quartz surface covered with special coating called sensitive layer. This provides QCM sensor with required sensitivity and selectivity towards gas (or liquid) molecules under study. Polymers, nano-porous materials, macromolecular organic compounds are widely used as sensitive coatings. If several sensors coated with different sensitive layers to collect in array and apply to database obtained from sensors array special statistical algorithm based on multi-component analysis we obtain device designated as “Electronic Nose” (EN). The EN can be used for detection and identification of volatile organic compounds (VOC) using procedure of pattern recognition of chemical images.



Our team has experienced in design and creation of gas analytical sensory systems EN-type. They can be used for analysis of gaseous medium, environment monitoring, detection of hazard pollutants in air, in agriculture and food industry, etc. This work is dedicated to presentation of pilot model of QCM-based chemosensory system (Fig.1). It consists of 8-channel QCM-based sensor array, working cell, gas-supplying pathways, syringe for vapor injection, air filter-drier for providing fresh dry air for purification sensors between sampling, valve for switching “sampling” – “purification” and electronics (quartz oscillators, frequency counters, and interfacing with PC). Experiment controlling, data acquisition and process of recognition is being carried out by means of original software. Mode of gas supplying is non-flow type: after injection of analyte vapor cell is cut-off from surroundings. Standard radio-technical quartzes (10 MHz, AT-cut, Ø8mm) covered with appropriable sensitive layers are used as the sensor elements. For purpose of pattern recognition domestic software based on several statistical algorithms (Kmean, PCA, Neural Network, etc.) has been developed and integrated with software for device controlling. Polymers, calixarenes and cyclodextrins are used as sensitive coatings in our device.

### References

1. G. Sauerbrey, Verwendung von Schwingquartzen zur Wagung dünner Schichten und zur Mikrowagung, Z. Physik, 155 (1959), 206-222.

# СЕНСОР ВОЛОГОСТІ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНО НАПИЛЕНОЇ ПЛІВКИ КАЛЬЦЕЇНУ

**І.В.Кругленко, Ю.В.Бурлаченко, С.О.Кравченко, А.А. Савченко**  
*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України,  
просп. Науки, 41, Київ, 03028*

Сенсори вологості посідають важливе місце у сучасному виробництві та застосовуються у багатьох областях, таких як екологічний моніторинг, біотехнологія, сільське господарство, електроніка та ін. На сьогоднішній день існує велика кількість різновидів сенсорів вологості, як на основі неорганічних так і органічних чутливих покриттів.

Використання термічно нанесених плівок кальцеїну для реєстрації молекул води, зокрема в присутності інших домішок, нами не було виявлено в літературі. В той же час, молекула кальцеїну має ряд властивостей, які роблять цей матеріал надзвичайно привабливим як чутливе покриття для сенсорів вологості. Молекула кальцеїну містить гідроксильну (-ОН) та окси-групи (=О) у фенільному фрагменті, п'ять карбоксильних (-COOH) груп та два третинних атоми азоту (-N(CH<sub>2</sub>COOH)<sub>2</sub>), які можуть утворювати водневі зв'язки з молекулами води, різними органічними та неорганічними сполуками. Це є передумовою для створення центрів конденсації, зокрема у порожнинах, що, у випадку термічного напилення, невідворотно існують в проміжках між окремими молекулами кальцеїну або їх кластерами. Необхідно наголосити на тому факті, що кальцеїн є молекулою з гемінальним (сусіднім) розміщенням замісників, активних щодо утворення водневих зв'язків. Така конфігурація створює каркас для формування кластерів води, розмір яких буде залежати від концентрації парів води в повітряній суміші.

Адсорбційні властивості кальцеїну та ряду подібних за структурою органічних речовин досліджувалися за допомогою мас-чутливих сенсорів, ППР та оптичних сенсорів. Сенсор, модифікований плівкою кальцеїну, демонструє найбільшу чутливість до води, яка перевищує чутливості інших сенсорів, в тому числі і близького за структурою до кальцеїну барвника Родамін 6G, більш, ніж на порядок.

Результати одночасного вимірювання збільшення маси (КМБ) та зсуву кута плазмонного резонансу однакових плівок кальцеїну (прилади було сполучено послідовно) дали лінійну концентраційну залежність при збільшенні тиску парів води в діапазоні концентрацій від 2000 до 12000 ppm.

Чутливість плівки кальцеїну до інших полярних молекул, зокрема, спиртів, є на порядок нижчою за чутливість до води.

Дослідження за допомогою АФМ показали, що внаслідок обробки гідрофільної плівки кальцеїну парами води та при наступному висушуванні рельєф поверхні стає більш плавним, збільшується відстань між сусідніми вершинами та зменшується їх амплітуда.

Виявлені властивості термічно напилених плівок кальцеїну, а саме висока чутливість та селективність до парів води, лінійна залежність відгуку від концентрації води, зумовлюють значний інтерес до цього матеріалу з точки зору його застосування як специфічного датчика молекул води, який зокрема може доповнити масив сенсорів в приладах типу «електронний ніс» для визначення присутності води в сумішах.

# ПОВЕРХНЯ КРЕМНІЮ ЯК ЕЛЕМЕНТ СЕЛЕКТИВНИХ ХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ

**Литвиненко С.В., Бєлобров Д.О., Скришевський В.А.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01601 Київ, вул. Володимирська, 60; e-mail: litvin@univ.kiev.ua*

Для підвищення селективності сенсорів хімічних речовин, тобто можливості розрізняти речовини, використовують селективні мембрани, каталізатори, біохімічні реакції тощо. Але, такі засоби можуть погіршити деякі властивості сенсорів, як вартість, надійність, відтворюваність, технологічність. Нами досліджено ідею створити напівпровідниковий сенсор на базі кремнію, який набуває селективності завдяки поєднанню окремих сенсорів в масив та математичній обробці сигналів.

Масив сенсорів ми утворили з елементарних сенсорних структур [1]. Хоча для реалізації досліджуваного підходу селективного сенсору тип первинної структури сенсору та його трансдюсерний принцип не є важливими, охарактеризуємо цю „елементарну комірку”. Як відомо, профіль концентрації фотогенерованих носіїв заряду при сильному поглинанні світла суттєво залежить від поверхневої рекомбінації, яка виступає тим фізичним процесом, що залежить від контакту з досліджуваними речовинами. Фотоелектричний струм, який генерується в р-п переході на деякій відстані від поверхні, кількісно відображує процеси, які відбуваються на поверхні. Експерименти показують, що такі сенсорні структури реагують на різні речовини в рідкому стані. Хоча відгук залежить від типу речовини, його важко використати для її розпізнавання внаслідок низької селективності. Однак, не тільки різні речовини дають різні відгуки на одному елементарному сенсорі, але й різні елементарні сенсори для однієї речовини дають різні відгуки. Це наводить на думку, що набір відгуків різних елементарних сенсорів є характерним для певної речовини. При взаємодії масиву сенсорів з відомими речовинами одержують набір відгуків, а при тестуванні з невідомими речовинами порівнюють одержаний масив даних з вже відомими. Інструментом такого порівняння є група математичних методів, яка набула назву – розпізнавання образів.

Сенсорні елементи кількістю 12 ми відібрали з дещо різними характеристиками. Ефективна кількість сенсорів в масиві була збільшена в 7 разів, відповідно до того, що зчитування сигналів проводилося після початку контакту з речовиною через рівні відрізки часу. Підключення до кожного сенсорного елемента відбувалося шляхом світлової адресації. В якості речовин для тестування ми обрали воду, етиловий, ізопропиловий спирти та їх суміші.

Результати застосування математичної обробки (методу головних компонент, що належить до згаданого розпізнавання образів) були представлені у вигляді графічних діаграм у просторі головних компонент. У цих координатах дані, одержані від різних сенсорів, групуються у кластери, що відповідають певним речовинам. Якщо при подальшому тестуванні невідомої речовини дані розміщуються в межах одного з кластерів, то це вказує на наявність певної речовини, на яку сенсорний масив уже був налаштований. Отже, за такого підходу поверхня кремнію може відігравати роль первинного джерела інформації для створення селективного сенсору хімічних речовин.

[1] S.Litvinenko, A.Kozinetz, V.Skryshevsky, O.Tretyak, In T.Tsakalakos, ed., *Nanostructures: Synthesis, Functional Properties and Applications*, Kluwer, 2003, 649-654.

# DESIGN AND IMPLEMENTATION A SENSING SYSTEM FOR DEVELOPMENT A REAL-TIME SOIL MACRONUTRIENT

**(1)Dr.Shatha Kathim Jawad**

**(2)Dr.Mohammed Yousef AL-Gawagzeh**

**(3)Dr.Issam Trad**

*(1),(2)Al-Balqa Applied University, Faculty of Engineering, Computer Engineering Department, Jordan ,Al-salt([shatha\\_kadhim@yahoo.com](mailto:shatha_kadhim@yahoo.com),[mohammed\\_gogazeh@yahoo.com](mailto:mohammed_gogazeh@yahoo.com))*

*(3)Al-Issra University, Electrical Engineering Department, Jordan, Amman*

A good soil test is essential because it lets you know the specific nutrient needs of your land so you do not waste money on the wrong fertilizers. The soil test will also let you know whether you need to raise or lower the pH of your soil. Careful soil testing and correction of the soil to the specific needs of your garden assures that each crop gets exactly what it needs to grow and yield to its fullest potential.

The present instrument relates to a soil analysis system for determining chemical elements concentration, the concentration of elements is essential purpose but it will be a hard process if most soil analysis occur in soil labs where the needed instrument is found, few testing occur in field but through using huge machine some of them be on the surface of vehicles like tractors. So it will be a Turning point in soil testing world if we found a design that allow the farmer to test its soil in any time and achieve a result in moment, that is not an ordinary result, it is a result which tell him his land lacking elements, his land founded elements, and the suitable crop to cultivate in his field.

The purpose of this paper is to measure soil characteristics that include moisture content, the presence of nitrogen phosphate, potassium and other elements, the shortage percentage of them, and the suitable crop to cultivate in the testing field.

The soil analysis system further includes a soil testing device or probe which is operatively inserted into the soil to support the testing assemblies. Preferably, the soil analysis system is used in cooperation with a data collection system for recording soil characteristic data based upon the geographic location to which the soil characteristic data relates.

The hardware design include two PIC Microcontroller, external EEPROM, keypad as input unit, LCD as display unit ,and the ph sensor, the use of two PIC needed for add more code space and the data stored in the external EEPROM and a synchronization procedure done to achieve synchronization between the two PIC.

The result that obtained from the design system was very pluck to continue, and to be found in the markets and be bought by farmers.

[1] <http://www.soilsensor.com>.

[2] <http://www.ars.usda.gov>

[3][http://www.veristech.com/faqs/about\\_soil\\_ec.htm#What%20does%20soil%20electric](http://www.veristech.com/faqs/about_soil_ec.htm#What%20does%20soil%20electric).

# ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОДНЫХ СРЕД

Л.Н. Вилинская, Г.М. Бурлак

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул.Дидрихсона  
4, Одесса, Украина, 65029 тел.(048) 7-206-443*

Оксидные пленки алюминия представляют собой структуры с высокой каталитической активностью поверхности, что делает возможным использование этих пленок как сенсоров состава окружающей среды. Известно также о чувствительности этих пленок к уровню влажности [1]. В связи с этим представляло интерес изучить влияние химической обработки оксидных пленок алюминия в водных растворах различных соединений на интенсивность возникающей люминесценции. С этой целью изучались спектры термостимулированной люминесценции (ТСЛ). Кроме того, также представляло интерес выяснить влияние других веществ, растворенных в водных растворах, на интенсивность люминесценции пленок оксида алюминия, погруженных в эти растворы.

В данной работе исследовались образцы, которые представляли собой пленки на алюминиевой фольге технической чистоты, полученные электрохимическим методом в водном растворе щавелевой кислоты. Химическая обработка проводилась путем кипячения в 0,1 N водном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaI}$ . Установлено, что вследствие обработки оксида алюминия в водных растворах некоторых неорганических соединений происходит возникновение дополнительных полос ТСЛ и гашение тех, что существовали ранее. Показано, что при обработке в хлориде натрия происходит эффективное запасание светосуммы, что может быть объяснено увеличением каталитической активности поверхности оксида алюминия ионами хлора.

Изучалось влияние концентрации растворенного в водных растворах аммиака на интенсивность люминесценции пленок оксида алюминия, погруженных в эти растворы. Показано, что добавление небольших доз аммиака увеличивает интенсивность излучения пленок оксида алюминия. Чувствительность сенсоров зависит от технологии приготовления оксидных пленок и температуры. Сенсоры исследовались в температурном интервале от 278-354 К. Порог детектирования максимален в температурной области 288-302 К. Приведенные результаты указывают на перспективы практического использования оксидных пленок в качестве чувствительных элементов для сенсоров различных веществ.

1. Бурлак Г.М., Вилинская Л.Н. Влияние перекиси водорода на интенсивность люминесценции полупроводниковых пленок. //Sensor electronics and microsystem technologies. №4. 2008. С.53-55.

# TIN OXIDE-PORPHYRIN STRUCTURES AS OPTICAL SENSORS FOR BIO COMPOUNDS DETECTION.

**R. Viter<sup>1</sup>, V. Smyntyna<sup>1</sup>, I. Konup<sup>2</sup>, I. Lydina<sup>1</sup>, J. Puustinen<sup>3</sup>, J. Lappalainen<sup>3</sup>,  
Yu. Ishkov<sup>2</sup>, S. Vodzinskii<sup>2</sup>, and V. Ivanitsa<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>*Experimental physics department, Odessa I.I. Mechnikov University, 42 Pastera str., 65026, Odessa, Ukraine, +38067 66 39 327, viter\_r@mail.ru*

<sup>2</sup>*Microbiology department, Odessa I.I. Mechnikov University, 7, Dovzhenko, 65000, Odessa, Ukraine.*

<sup>3</sup>*Department of Electrical and Information Engineering, PO Box 4500, 90014, University of Oulu, Oulu, Finland, Tel: +358-85-53-27-20, Fax: +358-85-53-27-28, E-mail: Jyla@ee.oulu.fi*

Tin oxide is well known material for sensor application. Tin dioxide sensitive properties were studied by many authors. In spite of good sensitivity to different compounds it has low selectivity, which was compensated by varying of operation temperature or using metal dopants.

Porphyryns are often used for optical sensor applications [1]. It was reported that adsorption of molecules on porphyrin structures changed absorption spectra in visible light [1]. Absorption maximum position shift was observed under gas molecules adsorption [1].

2-Mercaptoethanol is organic liquid used in some biological applications. 2-Mercaptoethanol is considered a toxin, causing irritation to the nasal passageways and respiratory tract upon inhalation and irritation to the skin.

In the present work, tin oxide-porphyrin structures deposited on glass substrates have been investigated for 2-Mercaptoethanol detection. Tin oxide layer was deposited by electro-spray pyrolysis. Porphyrin layers were grown by dipping the substrates into porphyrin solution in water and toluene. Structural properties were characterized by XRD and AFM methods. Optical transmittance in range of 200-1100 nm and current-voltage (I-V) characterization of the structures were performed before and after adsorption of 2-Mercaptoethanol on their surfaces. Optical and electrical responses of the structures to 2-Mercaptoethanol at room temperature are reported. The influence of 2-Mercaptoethanol adsorption to I-V mechanism and optical transmittance was discussed.

[1] A. Dunbar, T.H. Richardson, A.J. McNaughton, W. Barford, J. Hutchinson, C.A. Hunter, Understanding the interactions of porphyrin LB films with NO<sub>2</sub>, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 284–285, **339–344** (2006)

# FABRICATION OF Tb<sup>3+</sup> ION-SELECTIVE ELECTRODE BASED ON N, N' -BIS(5-NITRO SALICYLIDENE)-2-AMINO BENZYL AMIN

**Mohammad Saleh Zabihi**,<sup>1</sup> Hassan Ali Zamani,<sup>2</sup> Mohammad Reza Ganjali,<sup>3</sup>

Soraia Meghdadi,<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [zabihisaleh@yahoo.com](mailto:zabihisaleh@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [haszamani@yahoo.com](mailto:haszamani@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Center of Excellence in Electrochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tehran, Tehran, Iran, [ganjali@gmail.com](mailto:ganjali@gmail.com)*

<sup>4</sup>*Department of Chemistry, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran, [smeghdad@cc.iut.ac.ir](mailto:smeghdad@cc.iut.ac.ir)*

Abstract: The PVC membrane, containing N, N' -bis(5-nitro salicylidene)-2-amino benzyl amin (H<sub>2</sub>L<sub>3</sub>) as a suitable ionophore exhibited a Nernstian response for the Tb<sup>3+</sup> ions over a wide concentration range between 1.0×10<sup>-2</sup> and 1×10<sup>-6</sup> M, with a detection limit of 6.7 × 10<sup>-7</sup> M in the pH range of 2.6 –9.4. It demonstrated a fast response time (~10 s) and it could be used for at least 10 weeks without any major potential deviation. Furthermore, the electrode revealed high selectivity with respect to all common alkali, alkaline earth, transition and heavy metal ions, including members of the lanthanide family other than Tb<sup>3+</sup>. The electrode was used as an indicator electrode in the potentiometric titration of Tb(III) ions with EDTA.

**Keywords:** Sensor, Potentiometry, PVC Membrane, Ion-Selective Electrode

# FABRICATION OF A HOLMIUM(III) PVC-MEMBRANE SENSOR BASED ON 4,5-DIMETHYL-1,2-BIS(2-PYRIDINE CARBOXAMIDO) BENZENE

**Abbas Zanganeh-Asadabadi**,<sup>1</sup> **Hassan Ali Zamani**,<sup>2</sup> **Mohammad Reza Ganjali**,<sup>3</sup>  
**Soraia Meghdadi**,<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [zanganehabbas@yahoo.com](mailto:zanganehabbas@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Department of Applied Chemistry, Quchan branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran, [haszamani@yahoo.com](mailto:haszamani@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Center of Excellence in Electrochemistry, Faculty of Chemistry, University of Tehran, Iran, [ganjali@gmail.com](mailto:ganjali@gmail.com)*

<sup>4</sup>*Department of Chemistry, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran, [smeghdad@cc.iut.ac.ir](mailto:smeghdad@cc.iut.ac.ir)*

## Abstract:

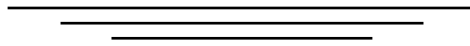
A highly selective and sensitive poly(vinyl chloride) membrane electrode, using 4,5-dimethyl-1,2-Bis(2-pyridine carboxamido)benzene as ionophore, has been prepared and examined as a  $\text{Ho}^{3+}$ -selective electrode. The best performance was obtained with the sensor having a membrane composition (w/w) of (DMPB, 2.0%), (PVC, 30%), (NPOE, 58%), (OA, 10%) with a wide working concentration range of  $1.0 \times 10^{-6}$  to  $1.0 \times 10^{-2}$  M between the pH values of 3.5 and 9.4. Furthermore, a Nernstian slope of  $20.1 \pm 0.2$  mV/decade of activity was demonstrated with a response time of 10 s. The sensor displayed a good selectivity for a broad variety of cations including alkali, alkaline earth, heavy and transition metals. The practical applicability of the electrode was demonstrated by its use as an indicator electrode in the potentiometric titration of  $\text{Ho}^{3+}$  ions with EDTA.

Keywords: Sensors; PVC membrane; Ion-selective electrode



**Секція V**

**БІОСЕНСОРИ**



**Section V**

**BIOSENSORS**

# НОВИЙ ПІДХІД ДО РЕЄСТРАЦІЇ БАКТЕРІЙНИХ КЛІТИН

**<sup>а</sup>Білий О.І., <sup>а</sup> Гетьман В.Б., <sup>б</sup>Коцюмбас І.Я., <sup>б</sup>Кушнір І.М., <sup>а</sup>Ференсович Я.П.,  
<sup>а</sup>Яремик Р.Я.**

*а – Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова.50,  
м. Львів, 79005, Україна; E-mail: bilyi@electronics.wups.lviv.ua.*

*б - ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок, вул. Донецька, 11, м. Львів, 79019,  
Україна; E-mail: dir@scivp.lviv.ua.*

Пристрій для реєстрації мікробіологічних частинок можна розглядати як інформаційну задачу, яка характеризується апріорною невизначеністю моменту появи досліджуваних об'єктів у зоні їх реєстрації, швидкою плинністю процесу їх реєстрації, широким динамічним діапазоном зміни вхідних інформаційних параметрів та їх статистичною незв'язністю. Ці причини не дозволяють забезпечити точність вимірювання на базі вимірювальних схем, функціонування яких забезпечується структурно, і вимагають програмно-апаратних методів вимірювань. Ефективне рішення даної задачі можливе при умові застосування адаптивних, програмно-керованих методів, реалізованих на базі швидкодіючих спеціалізованих схем високої інтеграції.

У роботі описаний пристрій для реєстрації бактерійних клітин у рідинних середовищах за змінами їх розмірного розподілу. Принцип дії пристрою базується на реєстрації змін інтенсивності розсіяного частинками світла, побудові на основі одержаних даних вимірювання кореляційної функції, яка виражає статистичні характеристики інтенсивності розсіяння світла частками, і одержання розподілу часток за розмірами, шляхом розв'язку інтегрального рівняння Френгольма першого роду. Основним функціональним вузлом пристрою є спеціалізований контролер, який реалізує функції цифрового управління оптико-механічними вузлами пристрою реєстрації мікрочастинок, програмно-керованого автокалібрування електричних аналогових трактів, сигнальної обробки даних вимірювання, аналого-цифрового перетворення інформаційних сигналів та передачі результатів у персональний комп'ютер. Розроблене програмне забезпечення спеціалізованого контролера являє собою пакет програм реального масштабу часу розроблений на мовах програмування MPASM-assembler та MPLAB-C для RISK-контролерів фірми Microchip. Пакет програм реалізований у вигляді бібліотеки програм, об'єктний код якої з допомогою програматора переписується у флеш-пам'ять контролера. Алгоритм функціонування контролера являє собою потік викликів підпрограм бібліотеки. Порядок послідовності викликів підпрограм ініціалізується у сеансі обміну даними з ПК, на початку роботи з контролером. Цей порядок при необхідності може змінюватись користувачем пристрою.

Процедура реєстрації мікрочастинок полягає у відокремленні сигналу від шумів, вимірюванні амплітуди та тривалості відповідних електричних імпульсів. Процес реєстрації частинок візуалізується у реальному масштабі часу на екрані монітора персонального комп'ютера. Розроблене програмне забезпечення 3D-графіки дозволяє у процесі вимірювання оцінювати розмірний розподіл досліджуваних об'єктів та їх концентрацію у рідинному середовищі, а також порівнювати отриману картину трьохмірної візуалізації результату із зображеннями еталонних тестових середовищ.

# INVESTIGATION OF INFLUENCE OF ZEOLITES ON ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF AMPEROMETRIC TRANSDUCERS

**T. Goriushkina<sup>a,b</sup>, B. Akata Kurç<sup>c</sup>, S. Dzyadevych<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Laboratory of Biomolecular Electronics, Institute of Molecular Biology and Genetics, Zabolotnogo Street 150, 03143 Kyiv, Ukraine, tel/fax +380 44 526 43 97;*

<sup>b</sup>*Taras Shevchenko National University, Volodymyrska Street 64, 01003 Kyiv, Ukraine;*

<sup>c</sup>*Micro and Nanotechnology Department, Central Laboratory, Middle East Technical University, 06530 Ankara, Turkey.*

*e-mail: [tatiana\\_goryushkina@yahoo.com](mailto:tatiana_goryushkina@yahoo.com)*

The detection and quantitative determination of hydrogen peroxide is of essential importance in food, clinical, pharmaceutical, and environmental analysis. A sensitive hydrogen peroxide sensor can also form a suitable basis for amperometric oxidase-based sensors for biologically important substances.

Achievement of high sensitivity and selectivity of amperometric transducers which are used for hydrogen peroxide determination is still important and prospective task which can be solved by using of nanoparticles. One of the most prospective nanoparticles in this sense are zeolites - hydrated aluminosilicates belonging to the family of the tectosilicates, organized into regular three-dimensional networks. The most interesting feature of the zeolites is their well defined pore and cage system, which can be changed during thermal and chemical treatment of zeolites. The large porous surface area and the hydrophilic character of the zeolite matrix not only provide higher protein loading but also decrease the resistance to substrate transport. Thus the zeolite modified electrode is a new prospective research field.

The aim of the present work was to investigate the effectiveness of usage of different zeolites types for optimization of sensitivity and selectivity of amperometric transducers.

At the result of the research was shown, that platinum printed electrodes SensLab covered with electropolymerized film PEDT with immobilized unmodified silicalites demonstrate higher responses to hydrogen peroxide in comparison with transducers without zeolites. Due to silicalites usage signals were decreased at the average by 40%. However, such effect was not observed in the case of usage of the same silicalites after thermal treatment (calcined silicalites). It also was shown that usage of silicalites with higher particle size results in more effective than usage of silicalites with lower size of particles. Finally it was observed that electrodes SensLab covered by polymeric membrane with Al-containing zeolites give at the average by 50% lower responses to interfering substances comparing with transducers unmodified with zeolites. Such property was registered for all tested Al-containing zeolites regardless of the Si/Al ratio of these nanoparticles. Calcined silicalites in all cases also demonstrated at the average by 35% lower responses to interfering substances comparing with transducers covered by PEDT-membrane without zeolites.

Thus it can be concluded that usage of silicalites for amperometric biosensor development leads to higher sensitivity of such devices to hydrogen peroxide and better analytical characteristics of sensors. From the other hand introduction of Al-containing zeolites and calcined silicalites into the sensitive membrane of amperometric biosensors allow to obtain the devise with higher selectivity and lower sensitivity to interfering substances.

This study was partly supported by a European Union project number PIRSES-GA-2008-230802.

# ЦИФРОВОЙ ДАТЧИК КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ОТРАЖЕНИЯ

**Иванченко И.А., Сантоний В.И., Смынтына В.А., Будиянская Л.М.**

*Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Дворянская, 2,  
г. Одесса, 65026*

Развитие фотометрии связывается с переходом к цифровому представлению и обработке измерительной информации. Предлагаемый датчик коэффициента направленного отражения поверхности основан на оригинальном цифровом методе измерения [1].

В структуру датчика входит отражательная оптопара излучатель–многоэлементный фотоприемник, построенная по базовому принципу и ориентированная по нормали к исследуемой поверхности.

Для разработки метода использовались две закономерности, сопровождающие сближение датчика с поверхностью отражения:

- зависимость пороговой дальности срабатывания фотоприемника  $l_{nop}$  от коэффициента отражения поверхности  $\rho$ ,
- зависимость координаты изображения  $a_u$  на поверхности фотоприемника от дальности  $l$ .

В результате объединения этих закономерностей сформирована координатная зависимость  $\rho$ , которая имеет вид

$$\rho = \frac{U_{nop}}{A} l_{nop}^2 = \frac{U_{nop}}{A} \left[ \frac{bl_{\text{дн}}(a_u \cdot \text{tg}\gamma + f)}{a_u(b \cdot \text{tg}\gamma - l_{\text{дн}}) + bf} \right]^2,$$

где оптико-геометрические параметры:  $b$  – измерительная база,  $l_{\text{дн}}$  – дальность настройки,  $\gamma$  – угол падения-отражения световых потоков,  $f$  – фокусное расстояние приемного объектива;  $U_{nop}$  – пороговое напряжение фотоприемника,  $A$  – коэффициент, объединяющий параметры оптопары, не зависящие от  $l$ .

Проведена экспериментальная проверка возможности технической реализации цифрового датчика на макете базовой оптопары излучатель ИЛПИ-103–линейка фотодиодов ФДК-148 в качестве фотоприемника.

Многоэлементный фотоприемник ФДК-148 выполняет в датчике функции дистанционного АЦП, преобразующего в код линейное перемещение. При уменьшении дистанции от оптопары до отражательной поверхности световое пятно последовательно перемещается по площадкам чувствительных элементов фотоприемника, вызывая появление фотоэда на выводах каждого из них. В соответствии с алгоритмом работы АЦП  $\rho = qn$ , где  $n$  – число выходных импульсов,  $q$  – квант АЦП, равный единичной координате и эквивалентному значению  $\rho$ . В результате, исходя из приведенного уравнения, многоэлементный фотоприемник представляет собой геометрическую шкалу коэффициента отражения.

Экспериментальные дистанционные характеристики датчика подтвердили соответствие между  $\rho$  и  $n$ , т.е. его цифровое представление. Точность измерений датчика может достигать десятых долей процента, если линейный размер кванта меньше миллиметра.

## Литература

1. Иванченко И.А., Сантоний В.И. Применение дискретизации оптического сигнала для измерения коэффициента направленного отражения // Збір. матер. Всеукр. н.-практ. конф. “Сучасні наукові досягнення – 2008”, 29-30 листопада 2008 р., Миколаїв, Т. II, С. 277-283.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙФА ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОСЕЛЕКТИВНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В БИОСЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

А.Л. Кукла, А.С. Павлюченко, Ю.В. Голтвянский,  
В.М. Архипова<sup>1</sup>, А.П. Солдаткин<sup>1</sup>

*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины  
03028, Киев, просп. Науки, 41, kukla@isp.kiev.ua*

<sup>1</sup>*Институт молекулярной биологии и генетики НАН Украины  
03143, Киев, ул. Заболотного, 150, a\_soldatkin@yahoo.com*

Ионоселективные полевые транзисторы (ИСПТ) в настоящее время являются альтернативой стеклянным электродам как для обычной рН-метрии, так и для определения активности различных типов ионов. рН-чувствительные ПТ широко используются для создания ферментных биосенсоров, основанных на применении специфических реакций, идущих с выделением либо поглощением протонов. В качестве протоночувствительного слоя в таких транзисторах наиболее часто применяется двухслойный диэлектрик  $\text{SiO}_2\text{-Si}_3\text{N}_4$ . Несмотря на достаточно хорошие характеристики этого материала, при работе в различных электролитах для ИСПТ все же характерна определенная нестабильность электрических параметров. В литературе описан ряд механизмов возникающей нестабильности, главным образом долговременной, связанной с процессами, происходящими на границе раздела нитрида кремния с раствором.

Целью данной работы было исследование стабильности системы «кремний – оксид кремния – нитрид кремния – раствор с фиксированным рН» в более коротком интервале времени, исчисляемом несколькими часами после начала воздействия электрических полей, характерных для стандартных рабочих режимов ИСПТ.

Исследован дрейф вольт-амперных характеристик и порогового напряжения *p*-канальных ИСПТ при продолжительном воздействии открывающего напряжения, приложенного к электролиту через электрод сравнения. На основании анализа полученных данных выдвинуто предположение о возможном механизме наблюдаемой нестабильности. Такой процесс может быть связан с наличием значительных структурных дефектов на поверхности нитрида кремния, и сопутствующих им “мелких” ловушек заряда, что может приводить к смещению локализованного положительного заряда к границе раздела с электролитом.

Хотя описанные изменения имеют обратимый характер, вносимые ими искажения могут быть неприемлемыми при осуществлении долговременных непрерывных измерений. Для уменьшения вероятности дрейфа порогового напряжения в процессе измерений, следует принимать технологические меры по улучшению качества подзатворного диэлектрика. Одной из таких мер является пассивация незаполненных связей и реструктуризация поверхностных дефектов путем отжига кристаллов датчиков в водороде. Показано также, что при конструировании ИСПТ и разработке аппаратуры контроля желательно использовать такие электрические режимы, при которых к затвору транзистора прикладывалось бы минимально возможное напряжение. С этой точки зрения предпочтительными являются транзисторы со встроенным каналом.

Работа выполнена при финансовой поддержке НАН Украины в рамках комплексной научно-технической программы «Сенсорні системи для медико-екологічних та промислово-технічних потреб».

# ОПТИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕСТРУКЦІЇ РІДКИХ ЖИВИЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ РОСТУ МІКРООРГАНІЗМІВ

<sup>a</sup>Білий О.І., <sup>a</sup> Гетьман В.Б., <sup>b</sup>Коцюмбас І.Я., <sup>b</sup>Кушнір І.М.

*a – Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Драгоманова.50, м. Львів, 79005, Україна; E-mail: bilyi@electronics.wups.lviv.ua.*

*b- ДНДКІ ветпрепаратів та кормових добавок, вул. Донецька,11, м. Львів, 79019, Україна; E-mail: dir@scivp.lviv.ua.*

Проблема виявлення та ідентифікації мікробних об'єктів в процесі життєдіяльності є важливою науковою і прикладною проблемою при дослідженні стерильності лікарських засобів, якості харчових продуктів, контролю чистоти водних середовищ, при екологічному моніторингу. Проведення мікробіологічних досліджень і необхідність здобуття достовірних результатів передбачає наявність чутливих стандартних живильних середовищ, основним компонентом яких є білкова компонента - пептон. Культивування бактерійних клітин супроводжується термічною обробкою живильних середовищ. Як правило, культивування клітин відбувається на протязі кількох годин при температурі 37 °С, а стерилізація розчинів при температурі 121 °С на протязі 15-20 хвилин. Різні температурні режими повинні приводити до деструкції живильних середовищ, а значить і до зміни їх фізико-хімічних властивостей. У даній роботі приведені спроби кількісно оцінити термічну деструкцію пептону за зміною світлорозсіюючих властивостей його водних розчинів. Дана оцінка проводилась шляхом визначення розмірного розподілу та концентрації часток у водних розчинах пептону, підданого термічній обробці.

Розподіл за розмірами визначають як розв'язок системи лінійних алгебраїчних рівнянь,

$$Ax = b, \quad (1)$$

де  $x$  – вектор розподілу за розмірами,

$b$  – вектор результатів вимірювання, компоненти якого визначають з матриці розподілу імпульсів розсіяного світла, реєстрованих за їх амплітудою та тривалістю,

$A$  – матриця, елементи якої визначають при градуванні, за результатами вимірювань на суспензіях латексів вибраних розмірів та ряду вимірювань на суспензії латексів максимального розміру при послідовному зниженні чутливості фотореєструючої системи пристрою.

Визначення істинної концентрації частинок різних розмірів проводять за значеннями вектора коефіцієнтів перерахунку, який визначають за результатами процедури градування. Такий підхід зумовлює зменшення похибки вимірювань і є застосований авторами вперше. Новим у розв'язуванні системи лінійних алгебраїчних рівнянь є те, що розв'язок визначають як результат ітераційного процесу з мінімізації нев'язки системи на підпросторі невід'ємних векторів, з зупинкою ітераційного процесу за критерієм L-кривої. Метод дозволяє отримувати точніші результати, ніж уже відомі авторам методи з літератури

# ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЧУТЛИВОСТІ BIFIDOBACTERIUM LONGUM В РІЗНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ДІАПАЗОНАХ

Гарасевич С., Головій О., Мягченко Ю., Слободянюк О.

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет,*

*Володимирська 64, 01033, Київ*

*Email: [myagch@mail.ru](mailto:myagch@mail.ru)*

Синглетний кисень - збуджена молекула, яка відіграє важливу роль у різноманітних процесах біосфери від чисто фотофізичних процесів у земній атмосфері, до включення в найважливіші фотобіологічні реакції живих організмів. У більшості випадків з синглетним киснем пов'язані деструктивні реакції, для нейтралізації яких у живих клітинах існують надійні генетично закріплені системи захисту, ефективна робота яких обов'язкова для виживання та нормальної роботи фотосинтетичного апарату, зорових фоторецепторів, нормального функціонування клітин шкіри та інших систем. З іншого боку, штучна стимуляція процесів генерації синглетного кисню широко застосовується в фотодинамічній терапії раку та інших захворюваннях, причому ця область фото-та лазерної медицини знаходиться в початковій стадії розвитку і має дуже позитивну перспективу.

Авторами запропоновано і реалізовано метод дослідження наявності синглетного кисню ( $^1O_2$ ) по швидкості зміни кута повороту площини поляризації в розчинах оптично активної речовини (глюкози), що споживається бактеріями. Зменшення активності споживання глюкози бактеріями *bifidobacterium longum* призводить до зменшення швидкості зміни кута повороту площини поляризації. Пригнічення життєдіяльності бактерій пов'язане зі збільшенням концентрації активного кисню в розчині під час опромінення цього розчину світлом певного спектрального складу, що корелює зі смугами поглинання молекулярного кисню [1]. Виміри проводились на автоматизованому поляриметри, який характеризується високою стабільністю та чутливістю, що особливо важливо при довготривалих експериментах [2]. Чутливість методу було перевірено шляхом додавання в розчин глюкози високоефективного фотосенсибілізатора синглетного кисню, що прискорювало процес пригнічення активності біфідобактерій.

[1] Захаров С.Д., Иванов А.В. // Светокислородный эффект в клетках и перспективы его применения в терапии опухолей. Квантовая электроника. 1999. Т. 29. С. 192-214.

[2] Цифровий поляриметр, патент України № 41093 від 12.05.2009, Мягченко М.Ю., Гарасевич С.Г., Ряшко Т.І., Слободянюк О.В., Мягченко Ю.О.

# ФЕРМЕНТНИЙ БІОСЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ L-КАРНІТИНУ

Назаренко О.А., Марченко С.В., Солдаткін О.П.

*Інститут молекулярної біології та генетики НАН України,  
03143, Київ, вул. Заболотного, 150*

E-mail: [helen\\_nazarenko@yahoo.com](mailto:helen_nazarenko@yahoo.com)

Інтерес до застосування та контролю вмісту L-карнітину (3R)-3-гідрокси-4-(триметиламмоніо)бутаноату) рідких середовищ організму пов'язаний з тим що L-карнітин відіграє фундаментальну роль в транспорті жирних кислот у мітохондрії, де відбувається їх окиснення з утворенням АТФ, що сприяє, тим самим, утилізації жирів. Крім цього L-карнітин проявляє зберігаючий ефект у відношенні до білків (за рахунок запобігання використанню амінокислот на енергетичні потреби). Таким чином, дефіцит L-карнітину призводить до порушення ліпідного та білкового обміну. Також приймає участь у процесах енергозабезпечення м'язової тканини та, що особливо важливо, серцевого м'яза. L-карнітин ефективний при серцевій недостатності, стенокардії та аритміях. Викликає незначне пригнічення ЦНС. L-карнітин необхідний для функціонування репродуктивної системи чоловіків. Існує багато паталогічних станів, причиною яких є нестача L-карнітину та визначення L-карнітину є необхідним відповідно до встановлення етіології процесу захворювання.

З усього вищезгаданого, зрозуміло, що існує потреба у наявності системи моніторингу концентрації L-карнітину, перш за все, у крові. До існуючих методів детекції L-карнітину відносяться радіоензиматичне визначення [1] та HPLC [2]. Перший метод широко використовується та дуже простий, але потребує використання радіоактивних ізотопів, які є складними у використанні та потребують спеціальних робочих умов, крім цього існує ризик для здоров'я при їх застосуванні, пов'язаний з радіацією. Хроматографічні методи дозволяють ідентифікувати та виділити деякі види ацил-карнітинів, але є достатньо дорогими у застосуванні.

Для вивчення концентрації L-карнітину у крові при захворюваннях та терапії необхідні прості, швидкі, точні, специфічні методи визначення з високою відтворюваністю сигналів. Альтернативним методом є біосенсорний.

При розробці біосенсора для визначення L-карнітину було обрано рН-чутливий польовий транзистор в якості перетворювача та фермент бутирилхолінестеразу (БуХЕ) в якості чутливого елемента. В основі роботи потенціометричного біосенсора для визначення концентрації L-карнітину лежить ефект ферментного інгібування. В ході роботи підібрано оптимальні умови проведення аналізу L-карнітину у модельних розчинах. Підібрано концентрацію ферменту бутирилхолінестерази у складі чутливої мембрани. Відпрацьовані умови іммобілізації ферменту БуХЕ у насичених парах глутарового альдегіду на поверхні перетворювачів. Визначено оптимальну концентрацію субстрату для детекції концентрації L-карнітину. За допомогою створеного біосенсора встановлено нижню межу чутливості, яка складає 0,2мМ L-карнітину та лінійний діапазон в межах 0,2-4мМ.

1. Borum P.R. J.Nutr. Biochem. **1**, 111. (1990).
2. McEntire C.J., Lever M., Storer M.K. Clin. Chim. Acta, **344**, 123 (2004).



# COLORIMETRIC TEST-SYSTEMS FOR PHENOLS DETECTION BASED ON COMPUTATIONAL MOLECULARLY-IMPRINTED POLYMER MEMBRANES.

**T.A.Sergeyeva<sup>1</sup>, L.A.Gorbach<sup>2</sup>, O.A.Slinchenko<sup>2</sup>, L.A.Goncharova<sup>2</sup>, O.V.Piletska<sup>3</sup>,  
O.O.Brovko<sup>2</sup>, L.M.Sergeeva<sup>2</sup>, G.V.Elska<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Molecular Biology and Genetics, 150 Zabolotnogo str., 03680, Kiev, Ukraine;*

<sup>2</sup> *Institute of Macromolecular Chemistry, 48 Kharkivske shosse, 02160, Kiev, Ukraine;*

<sup>3</sup> *Cranfield Health, Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, MK43 0AL, UK;*

*e-mail: t\_sergeyeva@yahoo.co.uk*

Colorimetric test-systems for the express control of phenols content in water were developed. The synthetic binding sites capable of phenol binding were formed in the structure of free-standing molecularly imprinted polymer membranes. The composition of molecularly-imprinted polymers able to recognition of phenol was optimized using the method of computational modeling, providing selection of functional monomers capable of interaction with phenol with high binding energy. Itaconic acid, 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid, acrylamide, and methacrylic acid were identified as optimal functional monomers able to interact with phenol with high binding energies ( -34.80 kCal/M, -30.86 kCal/M, -24.14 kCal/M, and -23.17 kCal/M, respectively) and used for the synthesis of molecularly-imprinted polymer membranes.

Molecularly-imprinted polymer membranes were obtained by co-polymerization of the functional monomer (itaconic acid / 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid / acrylamide / methacrylic acid) with (tri)ethyleneglycoldimethacrylate, and oligourethaneacrylate. Addition of the elastic component oligourethaneacrylate provided formation of the highly cross-linked polymer with receptor properties in a form of thin, flexible, and mechanically stable membrane. High accessibility of the artificial receptor sites for the interaction with the analyzed phenol molecules was achieved due to addition of linear polymer (polyethyleneglycol Mw 20 000) to the initial monomer mixture before the polymerization. As a result typical semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPNs) were formed. The cross-linked component of the semi-IPN was represented by the highly cross-linked molecularly-imprinted polymer, while the linear one was represented by polyethyleneglycol Mw 20 000.

Phenol-selective molecularly imprinted polymer membranes were used as a basis for the colorimetric test-system for revealing of phenol in aqueous samples. Phenol molecules selectively adsorbed by the molecularly-imprinted polymer membranes were revealed using color reaction with 4-aminoantipyrine. The intensity of the membranes' staining was proportional to phenol concentration in the analyzed sample. The detection limit of phenols detection using the developed colorimetric test-system based on molecularly-imprinted polymer membranes with the optimized composition comprised 50 nM, while the working range of the test-system comprised 50 nM–0.5 mM. Storage stability of test-systems at room temperature comprised 12 months. As compared to traditional methods of phenols detection the developed test-system is characterized by simplicity of operation, compactness, and low cost.

**ACKNOWLEDGEMENT.** Financial support from National Academy of Sciences of Ukraine is gratefully acknowledged.

## РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО АМПЕРОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ *IN VIVO* БІОСЕНСОРІВ.

**О.О. Солдаткін<sup>1</sup>, О.М. Щувайло<sup>1</sup>, Р. Сеспугліо<sup>2</sup>, О.П. Солдаткін<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Лабораторія біомолекулярної електроніки, Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, вул. Заболотного, 150, Київ, 03380, Україна, alex\_sold@yahoo.com,*

<sup>2</sup>*Відділ експериментальної медицини, EA4170, Університет ім. Клода Бернара, ул. Рокфеллера 8. Лион, 69373, Франція.*

На даний момент в світовій біосенсоріці розроблено велику кількість амперметричних перетворювачів на основі вуглецевих матеріалів. Серед них виділяються мікроелектроди на основі вуглецевого мікро волокна з діаметром від кількох до десятків мікрон, частина якого довжиною 100-500 мкм і слугує робочою поверхнею амперметричного мікроперетворювача. Такі електроди мають ряд переваг, саме вони є основою при створенні мікробіосенсорів призначених для *in vivo* застосування, де малі розміри та висока сумісність з біологічним матеріалом мають вирішальне значення. Однак у випадку використання таких мікроелектродів, як основи при створенні амперметричного біосенсора, вуглецеве волокно без попередньої підготовки не дає достатньої чутливості. Крім того у таких біосенсорів практично відсутня селективність, пов'язана з селективністю самого перетворювача.

Тому основною метою даної роботи була розробка універсального амперметричного мікроперетворювача на основі вуглецевого моно волокна з використанням металізації (рутенізації) поверхні та електрохімічного нанесення додаткових напівпроникних мембран для покращення як чутливості, так і селективності електроду.

В результаті проведеної роботи було розроблено універсальний амперметричний мікроперетворювач на основі модифікованого вуглецевого волокна для створення мікробіосенсорів на основі оксидоредуктаз (ферментів які каталізують окислення субстратів з накопиченням перекису водню). З метою збільшення чутливості та селективності мікроелектрода до перекису водню, була проведена металізація його робочої поверхні рутенієм. Як результат, отримано збільшення чутливості електроду до перекису водню на порядки. Потім для подальшого підвищення селективності на рутенізовані мікроелектроди було електрохімічно нанесено різні варіанти полімерних плівок на основі трьох ізомерів діамінобензолу. Найкращі характеристики були виявлені для мікроелектродів модифікованих рутенієм та покритих полімерною мембраною на основі мета-діамінобензолу. Саме такі мікроелектроди і були вибрані для подальшої роботи.

Модифікований мікроперетворювач було використано для розробки високо специфічного і чутливого до лактату біосенсора на основі лактат оксидази (як моделі оксидоредуктазного біосенсора). Розроблений лактатний мікробіосенсор було додатково модифіковано напівпроникною мембраною на основі полімерів нафіону та поліуретану, що дозволило розширити лінійний діапазон біосенсорного визначення лактату та змістити його в межі концентрацій лактату, які присутні в мозку щурів.

# БІОСЕНСОРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПРЕСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ РОСЛИН І ЇХ ВІРУСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**В.О. Романов<sup>1</sup>, Є.В. Сарахан<sup>1</sup>, І.Б. Галелюка<sup>1</sup>, Р.В. Сонько<sup>2</sup>, М.Ф. Стародуб<sup>2</sup>,  
М.Д. Мельничук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України*

<sup>2</sup>*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Для швидкої діагностики впливу екстремальних чинників довкілля на рослини розробляють різні методи з відповідним інструментальним забезпеченням. Одним з них є метод, що базується на реєстрації інтенсивності флуоресценції хлорофілу, який дозволяє отримувати інформацію щодо активності фотосинтетичного апарату тканин, а останній, в свою чергу, віддзеркалює загальний стан рослини. Важливою перевагою цього методу є його експресність та висока чутливість. Без сумніву, він є перспективним для практики рослинництва, оскільки відомо, що несприятливі фактори довкілля (екстремальні температури, надмірне освітлення, солі важких металів, висушування та інші), в першу чергу, негативно впливають на фотосинтетичний апарат рослин. Вимірювання індукції змінної флуоресценції хлорофілу може служити діагностичним критерієм стану рослин. Але для впровадження цього методу необхідно детально вивчити залежності змін параметрів флуоресценції та стану фотосинтетичного апарату рослини, а також створити високочутливі, прості та портативні пристрої, що були б здатні забезпечити комплексний та автоматичний збір інформації і її передачу в стаціонарні лабораторії для доопрацювання і науково обґрунтованої інтерпретації.

В Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України було розроблено експериментальні зразки інтелектуального біосенсорного приладу "Флоратест", в основу роботи яких покладено метод індукції флуоресценції хлорофілу.

Розроблений прилад побудований, як відкрита система, має змінні виносні оптичні сенсори та оригінальне методичне забезпечення, що дозволяє швидко орієнтувати його на те чи інше застосування. Його використання надає користувачеві наступні можливості: 1) експресно оцінити життєдіяльність рослин після засухи, морозу, зчеплення, внесення пестицидів; 2) експресне визначення оптимальних доз органічних і мінеральних добрив та біологічних добавок, щоб оптимізувати кількість внесених добрив і біологічних добавок та зменшити вміст нітратів в овочах; 3) оптимізувати технології прецизійного землеробства; 4) експресно визначити забруднення води, ґрунтів і повітря пестицидами, важкими металами і промисловими викидами; 5) економити енергетичні і водні ресурси при штучному поливі; 6) прогнозувати результати щодо майбутнього врожаю, наприклад, при страховому землеробстві; 7) забезпечити автоматизацію досліджень в області фізіології рослин.

"Флоратест" проходив ряд польових випробувань в Національному науковому центрі "Інститут виноградарства і виноробства ім. В.Є. Таїрова", Інституті садівництва УААН та Національному університеті природокористування та біоресурсів України при тестуванні стану різних сортів винограду, садових дерев та хмелю. Було встановлено, що за умов повітряної та ґрунтової засухи у рослин змінюються показники вмісту пігментів, загальної та легкозатримуваної води, інтенсивності дихання. Але проведення цих досліджень вимагає затрат часу та витрат на дорогі реактиви. Вірогідність запропонованого методу експрес-діагностики за індукцією флуоресценції хлорофілу листків рослин підтверджується

результатами фізіолого-біохімічних аналізів: менш стійкі до посухи рослини характеризуються більш високим рівнем інтенсивності флуоресценції хлорофілу листків. Загалом, було отримано висновок, що визначення останнього показника за допомогою приладу "Флоратест" дозволяє корегувати та оптимізувати технологію вирощування виноградної рослини та хмелю в реальному часі.

Специфічним фактором, що різко впливає на стан рослин, є виникнення та поширення інфекційних та грибкових захворювань. Найчастіше контроль за вірусною інфекцією здійснюють імуно-ферментним методом (ІФА), полімеразною ланцюговою реакцією (ПЛР) та іншими генно-інженерними методами. Нажаль, перелічені методи не є експресними, оскільки вимагають досить значного часу для їх виконання, крім того, для них потрібно коштовне обладнання, а проведення аналізів може бути здійснено тільки в стаціонарних лабораторіях кваліфікованими фахівцями. Зазначені недоліки можуть бути усунуті з використанням портативного приладу на основі поверхневого плазмонного резонансу (ППР), який розроблено в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. Він є портативним, що дозволяє здійснювати аналізи безпосередньо в польових умовах, а оскільки він обладнаний GSM/GPS-каналом, то отримані результати можуть бути швидко передані в стаціонарну лабораторію для ретельного опрацювання і підготовки відповідних висновків. При його розробці використана так звана "лабораторія на кристалі" – Spreeta TSPR 1A170100 компанії Nomadics, Inc. Spreeta включає призму з чутливою поверхнею. Ця призма містить лазерний діод з дзеркалом, фотодетектором та реєструючою коміркою. Вона реєструє зсув кута заломлення оптичного променя лазерного діода. Так, якщо нанести на чутливу поверхню призми селективний шар з специфічних антитіл, то при утворенні відповідного імунного комплексу (наприклад, з вірусними частками), буде змінюватись кут заломлення, величина якого реєструється, калібрується та передається радіоканалом в лабораторію. Біосенсор має ряд переваг перед іншими аналогами: 1) прямий експресний аналіз без використання додаткових реагентів (які, наприклад, потрібні для методу ІФА); 2) низька вартість аналізу (не більше 1-2 доларів США); 3) малі розміри та невелика вага (менше 0,2 кг); 4) низька вартість приладу; 5) живлення від батареї; 6) можливість використання в польових умовах, в місцях вирощування рослин; 7) висока продуктивність (до 10-ти аналізів за год.); 8) простота в застосуванні та інші.

Розроблений біосенсор було випробувано в Національному університеті біоресурсів та природокористування України при визначенні навантаження рослин деякими вірусами. Було виявлено, що результати аналізу за допомогою методу ІФА та імунного біосенсора мають досить високий збіг. Разом з тим, дані, що отримані обома цими методами, мали більший збіг з тими, що отримані за допомогою ПЛР, особливо в разі негативної відповіді. Та це й природно, адже серологічні (імунологічні) методи мають цілий ряд обмежень порівняно з генно-інженерними. До того ж, чутливість аналізу залежить від вмісту віроїдів в тканинах рослини і тут потрібно відпрацьовувати методичні підходи для отримання зразків та збільшення концентрації вірусних частинок. Але в будь-якому випадку не має сумнівів, що розроблений імунний біосенсор може бути використаний на практиці, особливо для виконання скринінгових обстежень. Окрім того, оскільки принцип роботи біосенсора полягає в реєстрації біоафінних взаємодій, то можна стверджувати, що він може допомогти в діагностиці захворювань, обумовлених вірусами, бактеріями та грибами не лише на основі використання специфічних антитіл, а й шляхом молекулярної гібридизації, коли проведення реакції з'єднано з одночасною фіксацією утвореного специфічного біомолекулярного комплексу.

# SPR BASED IMMUNE BIOSENSOR FOR THE DETECTION OF *Salmonella typhimurium*

N. F. Starodub<sup>1</sup>, I. M. Kushnir<sup>2</sup>, Ju. A. Ogorodnijchuk<sup>1</sup>, V. O. Romanov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National University of Life and Environmental Sciences, 15 Herojev Oboroni Str., Kiev, 03041 Ukraine; [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)

<sup>2</sup>State Scientific-Research Control Institute of Veterinary Preparations and Feed Additives of Ukraine

<sup>3</sup>V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

*Salmonella typhimurium* is one of the major pathogen dispersed through foodstuff. Some birds (chickens, ducks) and animals (foxes) may be infected by this microorganism and they may be as source for the dispersion of this disease on the human. To avoid non-desirable effects on the health the control of foodstuff should be constant. The traditional approaches which as a rule, are used for the revealing of the infected organisms are time consumable, routine and demand a special laboratory conditions with the very professional staff. For overcoming of these disadvantages there is necessary to develop instrumental methods, in particularly, based on the principles of biosensorics. Among others types of biosensors a special attention is paid that which based on the SPR with application of the different devices handmade in the laboratories and industrial produced: BIACORE (Sweden), Spreta (USA) [1, 2]. The efficiency of the instrumental methods depends on all sides: technical characteristics of the registering part, specific preparation of biological sensitive layer and algorithm of analysis fulfilment. At the optimization of the general characteristics of the biosensor there is necessary to take into consideration the main practice demands which concern sensitivity, specificity, rapidity, simplicity and low cost analysis. Unfortunately, in many cases, investigators involve or very expensive devices, or very complicate systems for the transducer preparation and analysis fulfilment. We used the miniature SPR based device developed by Spreta (USA) as basis of the registering part and improved it by GPS system (Fig. 1) which can provide the immediately transferring of the obtained results in the stationary laboratory for the further verification of analysis and taking of the appropriate decision to restrict of the infection source.

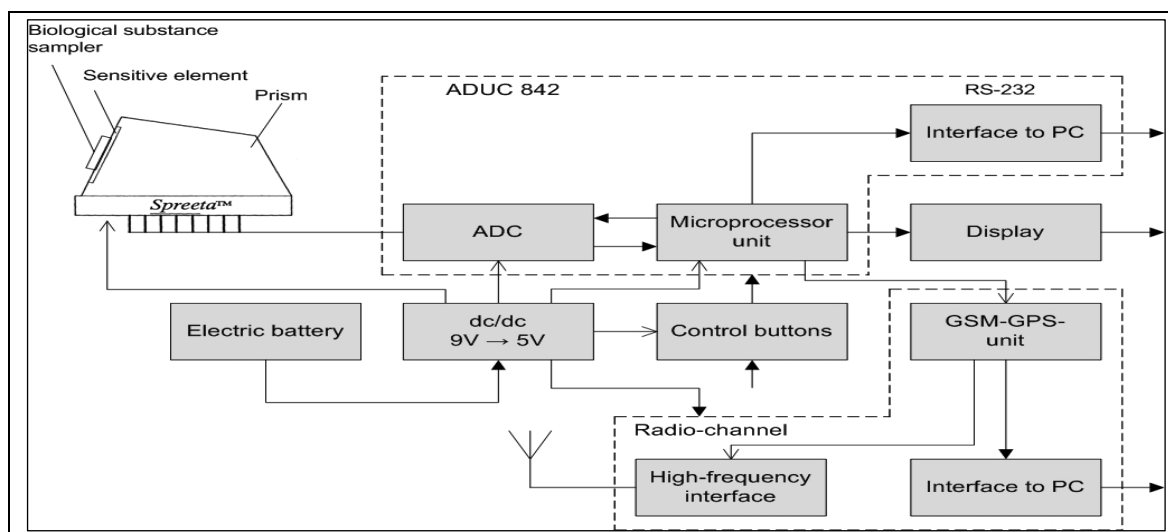


Fig. 1. Functional diagram of the device.

Analysis data are transferred from device to the medical center or the laboratory by

means of radiochannel. As radio-transmitter it is used the original unit, which is developed by the company "VD MAIS" [3]. Besides the obtained data also the information about the place of the analysis is transferred by means of radio-channel. For this goal it is used GPS-system, which is built in the radio-transmitter. Principle of the operation is based on the transferring all data through the radio-channel (by means of the GSM-technology) directly to the Internet, and then to the server of the medical organization. On the first stage the SPR curve is measured when the device sensitive surface is covered only by layer of analyte with antigens. The prism transforms optic signal of refraction angle into appropriate pulse sequence with different amplitude, which from prism exit comes in analog-digital converter (ADC). From ADC actual code values, which are proportional to SPR curve, enter to microprocessor unit. On the second stage the drop of investigated liquid is placed on the sensitive surface. If investigated liquid contains virus antibodies, then, in concordance with "antigen-antibody" reaction, the refraction angle of prism optical signal will vary. New refraction angle is transformed by microprocessor unit into pulse sequence. Microprocessor unit detects the shift between these two SPR curves. In case of detecting of shift between these curves the microprocessor unit displays proper information on display and simultaneously transfers these data via GSM- communication to the server of necessary organization. The data about the place of measure, which are received by means of built-in GPS-system, are transferred together with information about presence of disease.

The procedure of the transducer preparation included several sequential steps: a) cleaning of surface by ethanol, b) covering of surface by polyalylamine hydrochloride c) immobilization of protein A from *Staphylococcus aureus* and, at last, the oriented binding of the specific antibodies. The model solution of *S. typhimurium* with the number of concentrations (from  $10^3$  to  $10^8$  cells/mL) was prepared in 0,05 M tris-HCl buffer (pH 7,3). The time of the sample incubation with the transducer surface was about 5 min and after that the last was washed by the above mentioned buffer. The diagram of the obtained results is presented in Fig. 2 (the changes of microorganism concentrations are indicated by the pointers from above and the start of washing – by ones from bellow). It was stated that the sensor sensitivity was on the level  $10^3$  cells/mL and linear field is situated from this level up to  $10^7$  cells/mL. It is not sufficient sensitivity for all practice situations and, maybe, for its increasing there is necessary to find the most optimal variant of analysis from or/and to use the specific antibodies with high level of affinity.

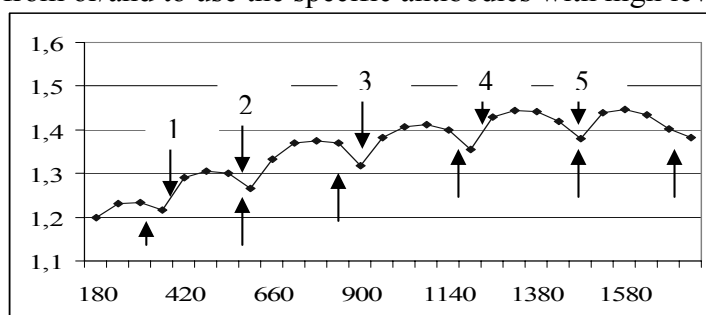


Fig. 2. Sensor diagram of the analysis of the different concentrations of *S. typhimurium*.  
1-5 –  $10^4$  -  $10^8$  cells/mL.

- [1] Son J. R., Kim G., Kothapalli A., Morgan M.T., Ess D. Detection of Salmonella enteritidis using a miniature optical surface Plasmon resonance biosensor. *J. Physics*, 2007, v. 61, pp. 1086-1090.
- [2] Betty G. M., Gortemaker J., Goverde R. L. J., Knapen F., Bergwerff A.A. Surface plasmon resonance (BIAcore) detection of serum antibodies against Salmonella enteritidis and Salmonella typhimurium. *J. Immunol. Methods*, 2002, v. 266, pp. 33-44.
- [3] <http://www.vdmais.kiev.ua>.

## BIOSENSORS AT THE DETERMINATION OF MYCOTOXINS

I. V. Pylypenko<sup>1</sup>, L. N. Pylypenko<sup>1</sup>, N. F. Starodub<sup>2</sup>, O. M. Brezvin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Academy of Foods Technology, 112 Kanatnaya Str., Odessa, Ukraine, 65039

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences, 15 Herojev Oboroni Str., Kyiv, 03041 Ukraine, [nikstarodub@yahoo.com](mailto:nikstarodub@yahoo.com)

<sup>3</sup>Taras Shevchenko Kiev National University, 2 Prospect Glushkova, Kyiv, 03127, Ukraine; <sup>3</sup>State Scientific-Research Control Institute of Veterinary Preparations and Feed Additives of Ukraine

Today it is well known over 500 of toxic metabolites produced by more than 250 of strains of microscopic fungi. Chronic mycotoxicosis presents real danger for human and animal health and moreover it causes much more damage than acute form of poisoning. Among of other forms of mycotoxins which are very widespread in environment T2, aflatoxin, zearalenon and patulin takes a special place since it may be revealed in different types of corn, vegetables, fruits and foodstuffs produced from these sources. For the prevention of non-desirable effects which may be appeared in case of microscopic fungi growth the main role belongs to prophylaxis through the regular control of the toxin concentration. It may be realized in case of the providing of practice by the analytical devices which have very high selectivity, sensitivity and are able to fulfill express analysis in field condition and on line regime.

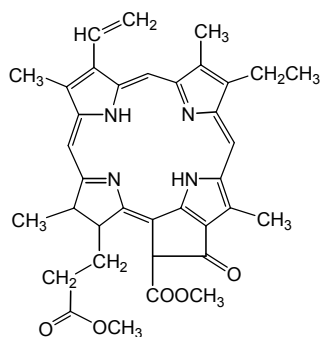
In this report the experimental data about the determination of the toxicity of the above mentioned substances by the optical biosensors based on the application of chemiluminescence (ChL) of *Daphnia magna* living media (ChL-test) and bioluminescence (BL) of bacteria (BL-test) will be presented. It is first step of the food and feed control which is characterized of their total toxicity. To register biochemical signal the special stationary and portable devices were developed early and we examine their efficiency of work. To reveal concentration of the concrete mycotoxins it was developed the optical immune biosensors based on the surface plasmon resonance (SPR), total internal reflection ellipsometry (TIRE) as well as the cerium oxide ISFETs, and calorimeters. Moreover, to increase sensor stability at the fulfillment of the repeated analysis it was used SPR based biosensors in which the selective layer was formed by the special organic molecules instead of the specific antibodies (Ab). It is shown that the sensitivity of ChL-test is much more (up to two orders) than traditional analysis based on the determination of the level of the *Daphnia* immobilization. BL-test has less sensitivity than ChL-test. Biosensor based on the TIRE has a maximal sensitivity, it allows to revealing mycotoxin T2 at the "direct" analysis (in case of the interaction immobilized Ab with analyte) up to 0.15 ng/ml. The sensitivity of the "competitive" analysis of this mycotoxin by ISFETs based biosensor is on the level of 3,0 ng/mL. In case of the analysis by "to saturated way" it allows reaching sensitivity 0.5 ng/mL. "Direct" analysis by SPR immune biosensor allows to us revealing mycotoxins in frame of the concentration of 1-10 µg/mL. It is not practically significant level. "Competitive" variant as well as "to saturated way" are much more sensitive (up to 2 orders). It can provide the determination of mycotoxins at the concentrations in the range from 0.01 to 1 µg/mL. The last sensitivity may be achieved by the SPR based biosensor in case of replacement of the specific Ab by the some calix[4]resorcinol arenas as artificial receptors. Immune biosensor based on the calorimeters and at the fulfilment of the analysis by the "direct" way has the sensitivity about 1 µg/mL. In the report it will be discussed not same details of the fundamental investigations (construction and principle of device work, reproducibility and consumption time, algorithm and simplicity procedure, costs of analysis and devices) only and the aspects connected with the efficiency of the concrete biosensor for the practical applications and perspectives of their industrial production. Especially, it will be paid attention to the modelling of the specific interactions for the development of the new generation of the analytical devices with increased stability, sensitivity and reproducibility according to practice demands. Finally, it will be presented data about the multifunctional immune biosensor with two different channels: (amperometrical and calorimetrical) and which is very perspective for the automatic verification of the results of the analysis.

# PHEOPHORBIDE-*a* METHYL ETHER AS FLUORESCENT PROBE FOR OPTICAL DETECTION OF G-QUADRUPLEX STRUCTURE

**V.N. Zozulya, O.A. Ryazanova, I.M. Voloshin**

*B. Verkin Institute for Low Temperature Physics & Engineering of NAS of Ukraine, 47 Lenin ave., 61103 Kharkov, Ukraine, e-mail: zozulya@ilt.kharkov.ua*

Last decade significant attention of scientists has drawn to the nucleic acid sequences riched in guanines which are capable to folding into four-stranded structures called G-quadruplexes (also known as G-tetrads or G4-DNA). They consist of a square arrangement of guanines (a tetrad), stabilized by Hoogsteen hydrogen bonding and by monovalent cations (potassium or sodium) situated in the center of the tetrads. G-quadruplexes can be formed by both DNA and RNA in intramolecular or intermolecular fashion. Such structures exist in essential regions of eukaryotic chromosomes (for example, so-called telomeric G-quadruplexes) and are involved in many important biological processes [1]. Also they have potential therapeutic applications, in particular, as aptamer regions with anti-HIV, anti-proliferative, and anti-thrombin activities.



**Fig.1.** Molecular structure of pheophorbide-*a* methyl ether (MePheo-*a*).

In the present work binding of pheophorbide-*a* methyl ether, MePheo-*a*, (Fig. 1) to synthetic four-stranded poly(G), double-stranded poly(A)·poly(U), poly(G)·poly(C) polynucleotides, and native DNA was studied [2] to show a possibility to use this dye as fluorescent probe for detection of G-quadruplex structures. Measurements were carried out in aqueous buffered solutions, pH6.9, of low ionic strength (2 mM Na<sup>+</sup>) in a wide range of phosphate-to-dye molar ratios (P/D) by methods of absorption and polarized fluorescent spectroscopy. It was established that binding of MePheo-*a* to four-stranded poly(G) is accompanied by significant spectral transformations of the dye. In particular, an absorption hypochromism, bathochromic shift of the Soret absorption band (~26 nm), bathochromic shift of fluorescence band maximum (~9 nm) and 30-45-fold increase of fluorescence intensity were observed. While their binding to double-stranded poly(A)·poly(U), poly(G)·poly(C) polynucleotides and to calf thymus DNA is accompanied by only insignificant spectral shifts of absorption and fluorescence bands and only about 4-fold rise of the fluorescence intensity. Observed spectral transformations and high value of fluorescence polarization degree evidence the intercalation of dye chromophore to four-stranded polynucleotide structure. Insignificant increase of the fluorescence polarization degree and weak spectral transformations of the dye under its interaction with double helixes signify occurrence of another binding mode, namely, incorporation of MePheo-*a* into the helix groove, presumably in dimeric form. Strong changes in the MePheo-*a* fluorescent characteristics under its binding to four-stranded poly(G) permit to use this dye for fluorescent probing of G-quadruplex structures.

[1] S. Neidle, *Curr. Opin. Struct. Biol.*, **19(3)**, 239 (1970).

[2] O.A. Ryazanova, I.M. Voloshin, L.V. Dubey, V.N. Zozulya, *Biophysical Bulletin*, **23(2)**, 20 (2009).



**Секція VI**

**РАДІАЦІЙНІ, ОПТИЧНІ  
ТА ОПТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ**

---

---

**Section VI**

**RADIATION, OPTICAL  
AND OPTOELECTRONIC SENSORS**

# КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОТОКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ $A_2B_6$

Ю.Н. Бобренко, В.Н.Комащенко, Н.В.Ярошенко, Г.И.Шереметова, Б.С.Атдаев

*Институт физики полупроводников им.В.Е.Лашкарева НАН Украины,  
проспект Науки 41, 03028, Киев, Украина, [sheremet@isp.kiev.ua](mailto:sheremet@isp.kiev.ua)*

Для применения УФ приемников в различных приборах необходимо знать их динамические характеристики: реакцию ФП на неоднородность по спектру, скорость изменения плотности потока фотонов и частотные характеристики. В данной работе исследовались кинетические характеристики ультрафиолетовых (УФ) фотоприемников на основе тонкопленочных поликристаллических гетероструктур типа  $p-Cu_xS/n-ZnS/n-CdSe/Mo$ , полученных по технологии, описанной в [1]. Базовые слои структуры ZnS и CdSe наносились в едином технологическом цикле термическим испарением в квазизамкнутом объеме на металлизированную Mo ситалловую подложку. Сильновырожденная составляющая гетероструктуры  $Cu_xS$  наносилась термическим испарением в вакууме. После этого образцы выдерживались на воздухе в течение нескольких суток с последующей герметизацией в металло-кварцевом корпусе.

В работе исследовалась реакция фотоприемника на изменение светового сигнала в виде прямоугольных импульсов в УФ и видимой области спектра. Времена нарастания и спада при импульсной засветке с различной частотой следования импульсов были неоднозначными и обуславливались структурой базы, состоящей из двух различных полупроводников - широкозонной части ZnS, толщиной от 100 до 300 нм и узкозонной части CdSe, толщиной 2-3 мкм. Область пространственного заряда (ОПЗ) расположена в ZnS и частично в CdSe, поэтому кинетические характеристики определяются двумя областями. УФ кванты поглощались верхним широкозонным полупроводником ZnS. Для видимого света сульфид цинка служил оптическим окном, и его поглощение происходило в CdSe.

В УФ области при подаче прямоугольного светового импульса с длиной волны  $\lambda=300$  нм начальный момент нарастания и спада фототока определялся при нагрузке  $R_n=10^2$  кОм постоянной времени  $\tau=10^{-3}$  сек, а при нагрузке 10 кОм -  $\tau=10^{-4}$  сек.

Реакция в видимой области на световой сигнал сопровождается всплеском, причем высота и ширина всплеска зависела от скорости подачи импульсов света. Эффект объясняется накоплением неосновных носителей заряда (дырок) и частичным захватом на уровни прилипания в CdSe что способствует заряду емкости с  $\tau=10^{-5}$  сек и параллельным медленным перераспределением электронов между уровнями прилипания и рекомбинационными центрами с захватом дырок, что ведет к медленному разряду емкости с  $\tau=10^{-2}$  сек. Емкость определялась зарядом донорных уровней и подвижным зарядом на глубоких уровнях.

Неоднозначна и частотная зависимость емкости на свету и в темноте. С понижением частоты емкость падает до отрицательных значений, т.е. приобретает индуктивный характер.

[1] Бобренко Ю.Н., Ярошенко Н.В., Шереметова Г.И.и др., ТКЭА, 5, 29 (2009)

# ДЕТЕКТИРОВАНИЕ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ ХЕМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОФОСФОРОВ ZnS,CdS-Ag, ZnS

**Гранкин В.П., Мартыш М.А., Гранкин Д.В.**

*Приазовский государственный технический университет,  
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500, Украина,  
e-mail: victor.grankin@gmail.com*

Химические взаимодействия атомов простых газов могут протекать с большим энерговыделением на локальный акт. Эта энергия в начальный момент сосредоточена на вновь образованных связях в виде неравновесных колебательных состояний, которые затем релаксируют. Неравновесные колебательные состояния взаимодействуют как с атомной, так и электронной подсистемами кристалла, переводя последнюю в возбужденное состояние. Хемоэмиссия электронов с поверхности и гетерогенная хемилюминесценция (ГХЛ) являются следствием этого.

Ранее в лаборатории было обнаружено новое явление – высокоэффективная электронная гетерогенная аккомодация (ВЭГА) энергии химической реакции электронной подсистемой полупроводника. Явление возникало при возбуждении образца УФ излучением и заполнении мелких электронных ловушек. При этом на несколько (до пяти) порядков увеличивалась скорость генерации колебательно-возбужденными частицами электронов в зону проводимости (системы  $H_2^{\nu}L$ ;  $O_2^{\nu}L$  – ZnS,CdS-Ag; ZnS) и интенсивность люминесценции кристаллофосфоров. Найдено, что вероятность релаксации колебательной энергии молекулы вблизи заполненной электронной ловушки близка к 1, а константа скорости ВЭГА оказалась на  $3 \div 5$  порядков выше, чем по фонному каналу. Установлено, что данный эффект можно использовать для построения сенсора для детектирования УФ излучения.

Разработан метод, основанный на измерении хемостимулированной люминесценции облученного предварительно УФ светом образца (например, ZnS,CdS-Ag; ZnS) с системой электронных ловушек. Приводятся результаты по исследованию величины интенсивности ГХЛ от уровня УФ излучения.

Определена зависимость скорости ВЭГА от глубины ловушек. Предложен элементарный механизм ВЭГА в приближении многоквантового колебательно-электронного перехода. Проведено компьютерное моделирование сенсора на основе ZnS,CdS-Ag, имеющего два типа ловушек. Найдено, что наличие мелких ловушек уменьшает величину хемостимулированной люминесценции, обусловленной забросом электронов с глубоких ловушек  $\nu$ -возбужденными молекулами. Дополнительный нагрев образца, наоборот, приводил к увеличению чувствительности и точности метода при наличии, наряду с глубокими, мелких ловушек.

Показано, что вероятность  $\nu$ -е релаксации  $\nu$ -возбужденной молекулы, связанной с переходом примесь-зона в монокристалле ZnS на 5 порядков величины больше, по сравнению с переходами зона-зона, а константы скорости этого процесса – больше на 9 порядков величины. Это указывает на возможность построения сенсора для регистрации ионизирующего излучения на основе ZnS,CdS-Ag; ZnS.

## БАГАТОПЕРЕХІДНІ КРЕМНІЄВІ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЯК СЕНСОРИ У СИСТЕМАХ ОПТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ

**М.В. Кіріченко, В.Р. Копач, Р.В. Зайцев, Н.В. Куца, К.Ю. Крикун**

*Національний технічний університет «ХПІ»*

*21, вул. Фрунзе, м. Харків, 61002, Україна*

*e-mail: kirichenko\_mv@mail.ru*

Попередні дослідження чутливості багатоперехідних кремнієвих фотоелектричних перетворювачів (БП *Si*-ФЕП) з вертикальними діодними комітками (ВДК) до кута  $\alpha$  надходження сонячного випромінювання відносно їх фотоприймальної поверхні показали [1], що на характер залежності напруги холостого ходу  $U_{XX}$  таких приладів від  $\alpha$  визначальний вплив справляє час життя неосновних носіїв заряду  $\tau_{n,p}$  у базовому кристалі *Si*-ФЕП, а коефіцієнт відбиття  $R$  від меж метал/*Si* всередині *Si*-ФЕП впливає на величину  $U_{XX}$ . Теоретично обґрунтована при цьому можливість реалізації для БП *Si*-ФЕП практично лінійної залежності  $U_{XX}(\alpha)$  надає перспективності використанню подібних приладів у якості енергонезалежних сенсорів в системах оптичної локації. Такі сенсори, на відміну від традиційних, не потребують зовнішнього джерела енергії, а при використанні плівкових рефлекторів *Al/n<sup>+</sup>-ITO* на вертикальних межах ВДК технологічно цілком досяжною є величина  $R$  на рівні до 90 %, що забезпечить збереження основної переваги БП *Si*-ФЕП – високих значень  $U_{XX}$  та суттєво полегшить реєстрацію корисного сигналу від таких сенсорів. Використання *n<sup>+</sup>-ITO* ще й у якості бар'єроутворюючого матеріалу є шляхом і до спрощення технології виготовлення БП *Si*-ФЕП за рахунок відмови від термодифузійного формування випрямляючих *p-n* переходів всередині ВДК.

Тому з метою визначення адекватності зазначених переваг реальним можливостям БП *Si*-ФЕП як сенсорів нової генерації для систем оптичної локації експериментально досліджено залежності  $U_{XX}(\alpha)$  і густини струму короткого замикання  $J_{KЗ}(\alpha)$  виготовлених нами БП *Si*-ФЕП на основі ВДК зі структурою *Al/n<sup>+</sup>-ITO/p-Si/p<sup>+</sup>-Si:Al/n<sup>+</sup>-ITO/Al*. Встановлено, що досліджуваним БП *Si*-ФЕП притаманний лінійний характер спаду нормованих значень вказаних параметрів зі збільшенням величини  $\alpha$ . Показано, що при цьому практично відсутня різниця між характером спаду  $U_{XX}^{норм}(\alpha)$  та  $J_{KЗ}^{норм}(\alpha)$  у випадку опромінення випрямляючого *n<sup>+</sup>-p* або *p<sup>+</sup>-p* переходу. Це пов'язано з незначною різницею значень  $R$  при опроміненні БП *Si*-ФЕП з боку *p<sup>+</sup>-p* переходу та з боку випрямляючого *n<sup>+</sup>-p* переходу. Вищезазначене підтверджує, що БП *Si*-ФЕП, подібні до досліджуваних, дійсно можуть бути використаними як досить ефективні сенсори нової генерації у системах оптичної локації.

Обговорюються напрямки подальшого удосконалення конструкції БП *Si*-ФЕП з метою полегшення реєстрації сигналу від сенсора вимірювальним приладом та більш гнучкого керування характером спаду залежності  $U_{XX}^{норм}(\alpha)$  за рахунок спрямованого регулювання  $\tau_{n,p}$  у базових кристалах шляхом створення додаткових рекомбінаційних центрів.

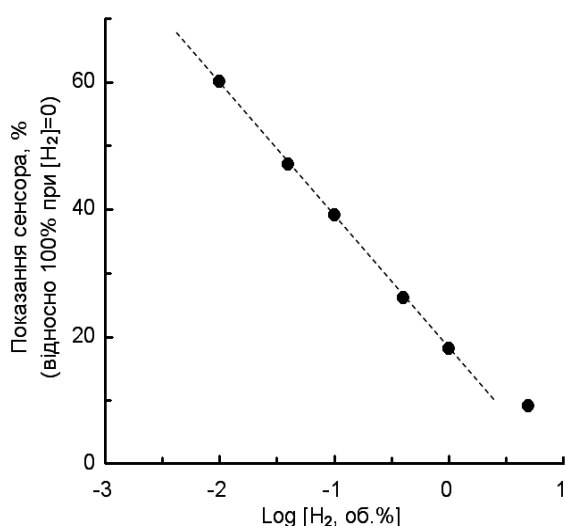
[1] Kirichenko M.V., Kopach V.R., Zaitsev R.V. et al. Sensitivity of silicon photovoltaic converters to the light incidence angle on their receiving surface // Sensor Electronics and Microsystem Technologies. – 2009. – No. 3. – P. 22-26.

# ВИСОКОЧУТЛИВИЙ ОПТИЧНИЙ СЕНСОР ВОДНЮ НА ОСНОВІ ПЛІВКИ WO<sub>3</sub>/Pt

**Колбасов Г.Я., Волков С.В., Краснов Ю.С., Фоманюк С.С.**

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України,  
Київ-142, проспект академіка Палладіна, 32/34, тел.424-2280, факс 424-3070  
e-mail: kolbasov@ionc.kiev.ua*

Оптичні сенсори водню на основі плівок оксидів перехідних металів, таких як WO<sub>3</sub> і MoO<sub>3</sub>, найбільшою мірою відповідають правилам техніки безпеки, оскільки вони не потребують контактів, що підводять струм. Покриті тонким каталітично активним шаром платини або паладію, ці плівки під дією молекулярного водню забарвлюються, при чому інтенсивність забарвлення залежить від концентрації водню. Для плівки WO<sub>3</sub> максимум оптичного поглинання припадає на  $\lambda \approx 1$  мкм, тому чутливість такого оптичного сенсора водню максимальна в ІЧ-ділянці світла. Але мала швидкодія сенсора, зазвичай порядку декількох хвилин, не дозволяє проводити ним моніторинг складу газової суміші безпосередньо під час зміни її складу.



Залежність показань сенсора від Log[H<sub>2</sub>] в аналізованій воднево-повітряній суміші.

На наведеному малюнку показаний результат калібрування сенсора при різних значеннях об'ємного вмісту водню в суміші з повітрям. Збільшення об'ємного вмісту водню в суміші з повітрям від 0% до 5% супроводжувалось зміною встановлених показань на РК-дисплеї блоку індикації від 100 до 9-ти, тому на графіку показана залежність показань від логарифма об'ємного вмісту H<sub>2</sub>.

Виготовлений зразок оптичного сенсора водню на основі плівки WO<sub>3</sub>/Pt придатний для визначення концентрації водню від 0 до 100 об.% з підвищеною чутливістю (менш, ніж 0,01%) в області концентрацій у суміші з повітрям 0 – 10% [H<sub>2</sub>]. Швидкодія сенсора при товщині плівки WO<sub>3</sub> ~1 мкм дорівнювала 40 с, проте зменшення товщини плівки до 30 нм дозволило підвищити швидкодію встановлення показань сенсора до 4 секунд.

Суттєве підвищення чутливості до водню розробленого і виготовленого нами лабораторного зразка оптичного сенсора водню з плівкою WO<sub>3</sub>/Pt було досягнуто за рахунок використання в сенсорі ефекту порушення повного внутрішнього відбиття ІЧ-світла від границі розподілу скло/WO<sub>3</sub> при проходженні променя уздовж скляного світлопровода. Цей світлопровід розташований в непрозорій робочій камері з двома отворами для прокачки аналізованої газової суміші і з обох кінців приєднаний до світловолоконних кабелів, що зв'язує сенсор з віддаленим блоком цифрової індикації, де в якості джерела ІЧ-світла був застосований ІЧ-світлодіод з  $\lambda_{\text{макс}} = 940$  нм, а фотоприймачем був ІЧ-фототранзистор.

# ПОКРАЩЕННЯ ДЕТЕКТОРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe ПІД ДІЄЮ НВЧ-ВІДПАЛУ

**О. П. Лоцько, Д. В. Корбутяк, Л. А. Демчина, В. М. Єрмаков,  
Н. Д. Вахняк Р. В. Конакова, В. В. Міленін, Р. А. Редько**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України  
03028, м. Київ, пр. Науки, 41, [div47@isp.kiev.ua](mailto:div47@isp.kiev.ua)*

Завдяки успіхам в технології вирощування компенсованих монокристалів телуриду кадмію, в останні роки значно зросла зацікавленість до їх вивчення та розробки на основі цих матеріалів високочутливих неохолоджуваних детекторів ядерних випромінювань. Перспективність використання CdTe в дозиметрії і спектрометрії X- і  $\gamma$ -випромінювань зумовлена великими номерами атомів, що входять до цієї сполуки ( $Z_{\text{Cd}} = 48$ ,  $Z_{\text{Te}} = 52$ ), великою шириною забороненої зони ( $E \approx 1,5$  eV при 300 K) та достатньо високою рухливістю носіїв заряду ( $\mu_e \sim 10^3$  см<sup>2</sup>/В·с,  $\mu_h \sim 10^2$  см<sup>2</sup>/В·с) при кімнатній температурі. Крім вказаних параметрів, важливою вимогою до детекторного матеріалу є високоомність, яка досягається, зокрема, шляхом легування CdTe елементами III (In, Al) або VII (Cl, Br) груп. Серед цих легуючих домішок традиційно найбільша увага приділяється хлору, який найчастіше використовується для вирощування високоомних монокристалів CdTe.

В роботі проведені дослідження впливу НВЧ-відпалу на детекторні властивості монокристалів CdTe:Cl. Після різки монокристала на пластини, шліфовки, поліровки, обробки зразків в хімічному травнику та нанесення контактів проводився короткочасовий НВЧ-відпал потужністю 7,5 Вт/см<sup>2</sup> з частотою 2,45 ГГц. НВЧ-відпал проводився в спеціальному режимі тривалістю по 3 с 10 раз з інтервалом між обробками 2–4 с тому, що саме при такій обробці малими дозами опромінення (малі дози – це такі дози НВЧ-опромінення, при яких ще не відбувається руйнування кристалу, або істотна зміна характеристик кристалічної ґратки) вдається уникнути неоднорідного перегріву зразка і отримати найкращі детекторні параметри. Дослідження показали, що менша тривалість відпалу не дає бажаного результату, а більша погіршує детекторні властивості телуриду кадмію. Використання інших потужностей відпалу також не дає покращення детекторних властивостей матеріалу. При аналізі отриманих результатів нами встановлено, що НВЧ-відпал приводить до активації центрів Cl<sub>Te</sub>, що фіксується істотним збільшенням інтенсивності лінії фотолюмінесценції (ФЛ), де донорними центрами є Cl<sub>Te</sub>.

Детальні дослідження залежності спектрів ФЛ від часу НВЧ-відпалу показали, що інтегральна інтенсивність низькотемпературної ( $T = 4,2$  K) фотолюмінесценції, яка є критерієм якості монокристала, змінюється немонотонно – зростання інтенсивності ФЛ при малих дозах НВЧ-опромінення (максимальне значення інтенсивності ФЛ досягається при сумарному часі опромінення  $t = 30$  с) змінюється її спадом при подальшому збільшенні часу НВЧ-обробки. Крім цього, відношення сигнал/шум, яке є основною характеристикою чутливості детекторів  $\gamma$ -випромінювання, до відпалу становило  $\approx 2$ , а після НВЧ-опромінення досягало значення 2,5. Збільшення інтенсивності ФЛ та величини відношення сигнал/шум в результаті низькодозового НВЧ-опромінення є проявом ефекту малих доз. Суть його полягає у релаксації термодинамічно нерівноважних, метастабільних дефектів під дією малих доз проникаючого НВЧ-випромінювання, що приводить до зменшення їх концентрації в порівнянні з вихідною концентрацією.

# ВИПРОМІНЮВАЛЬНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНО ЗІСТАРЕНИХ СВІТЛОДІОДНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ФОСФІДУ ГАЛІЮ.

**Ляшенко О.В.<sup>1</sup>, Власенко О.І.<sup>2</sup>, Неділько С.Г.<sup>1</sup>**

**Киселюк М.П.<sup>2</sup>, Велешук В.П.<sup>2</sup>, Щербацький В.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

03680, м. Київ, Проспект Глушкова, 2/1,

<sup>1</sup>E-mail: lyashenk@mail.univ.kiev.ua

<sup>2</sup>Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАНУ,

03028, м. Київ, Проспект Науки, 45

По закінченні процесу вирощування та технологічних обробок світлодіодні структури в сенсорних приладах перебувають у складному метастабільному стані з високим рівнем внутрішніх механічних неоднорідних напруг та нерівноважними дефектами. Раніше було встановлено [1], що у GaAsP/GaP структурах за рахунок процесу природного старіння відбувається зменшення кількості дефектів з малою енергією активації, що призвело до збільшення їх деградаційної стійкості, що є важливим для їх стабільної роботи без деградації електричних та оптичних характеристик сенсорів.

Отримані нами раніше зсуви у  $\Delta\lambda \sim 20-50$  нм червоної та зеленої смуг у природно-зістарених  $GaAs_{0,15}P_{0,85}/GaP$  структурах з необоротним утворенням інфрачервоної смуги, які супроводжуються акустичною емісією (АЕ), значно перевищують типові відомі зсуви –  $\Delta\lambda \sim 5-7$  нм, при яких АЕ відсутня.

В роботі виявлено вплив природного старіння GaP/GaP и GaAsP/GaP структур на зміну їх електричних і оптичних характеристик, а також встановлені механізми кардинальної трансформації спектрів електролюмінісценції (ЕЛ) при надпорогових густинах струму за рахунок підвищення температури до  $T=700$  °С і розпаду донорно - акцепторних пар  $Zn_{Ga} - O_p$ .

Максимальний зареєстрований в роботі зсув у червону область зеленої смуги ЕЛ, яка обумовлена рекомбінацією на ізоелектронних центрах азоту  $N_p$ , складає 90 нм для GaP:N, Zn-O/GaP структур та 84 нм для GaP:N/GaP структур.

Зсув смуги відбувається як при значному саморозігріві структури струмом 450...500 мА (при цьому  $T > 600$  °С), так при зовнішньому нагріванні ( $T \leq 600$  °С). При цьому колір випромінювання структури монотонно змінюється із зеленого на червоний. Встановлено, що значний зсув максимуму зеленої смуги відбувається за рахунок звуження ширини забороненої зони при рості температури активної області.

Показано, що в природньо- зістарених GaAs/Ga гетероструктурах одночасно з виникненням АЕ при надпороговому збільшенні струму переходу відбувається катастрофічний зсув спектра ЕЛ у червону область та перерозподіл інтенсивності ЕЛ по випромінювальній поверхні, при цьому світлодіоди на основі цих структур зберігають працездатність при струмах, у десятки разів перевищуючі їх відомі максимальні значення.

Проаналізовано механізми трансформації спектрів ЕЛ при надпорогових струмах, що призводять до оборотної і необоротної деградації інтенсивності ЕЛ, зокрема до зникнення червоної смуги ЕЛ. Показано, що домінуючим механізмом деградації, крім дислокаційного гасіння ЕЛ, є утворення та рух точкових дефектів.

1. В.П. Велешук, О.В. Ляшенко // Український Фізичний Журнал. – 2003. – Т. 48, № 9. – С. 941–945.

# INFLUENCE OF TEMPERATURE ON INELASTIC-ELASTIC CHARACTERISTICS OF GeSi AND SiO<sub>2</sub>

**Onanko A.P., Lyashenko O.V., Prodaivoda G.T., Vigva S.A., Onanko Y.A.**

*Taras Shevchenko Kyiv research national university,*

*Ukraine, Kyiv,*

*onanko@univ.kiev.ua*

In the present work the non-destructive method of the technological control the structure defects by measuring the internal friction (IF)  $Q^{-1}$  and elastic module  $E$  of GeSi is developed. Feature of solid solutions GeSi is high enough photosensitivity in infrared area. Thus there is an opportunity, changing a composition of a solution and a composition of alloying acceptor and donor impurities to change the long-wave border and the shape of a curve spectral photosensitivity in the field of 10000÷15000 nm.

The increasing of IF and decreasing of  $E$  were obtained with condition of exceeding the critical value of electrical current  $I_k$ . And that and other influence results in tearing off dislocation from weak stops that caused the increasing of IF. The temperature dependencies of elastic module  $E$  and IF in  $Ge_{0.96}Si_{0.04}$  under alternative deformation  $\varepsilon \approx 10^{-6}$  after technological mechanical treatment are on fig. 1 and fig. 2.

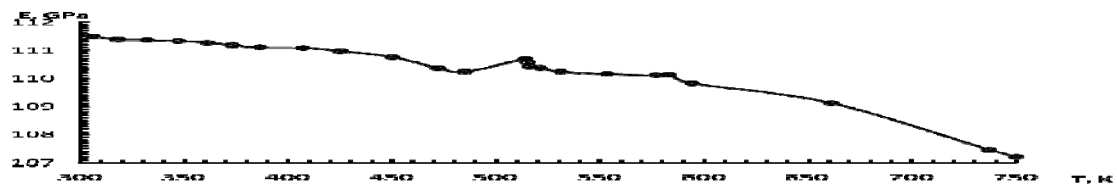


Fig. 1. Temperature dependence elastic module  $E$   $Ge_{0.96}Si_{0.04}$  after mechanical treatment.

Discovered increasing IF may be related to that the electrons of certain energy co-operate with dislocation segments under ultrasound deformation and is instrumental in their tearing off from points defects.

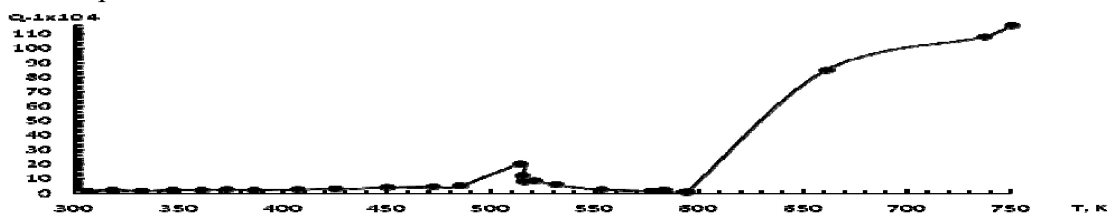


Fig. 2. Temperature dependence internal friction  $Q^{-1}$  in  $Ge_{0.96}Si_{0.04}$  after mechanical treatment.

Thus, the measurements of IF  $Q^{-1}$  after technological mechanical treatment are informed about the changing the thermo elastic strains  $\square_i$  in the  $Ge_{0.96}Si_{0.04}$  crystals, the increasing of IF maximums higher  $Q^{-1}_m$  is fixed the increasing of defects concentration. It is found out the influence of direct and variable electric current on growth of IF and on the simultaneous diminishing of absolute value of the elastic module  $E$  conditioned, which caused by that the stream of electrons is instrumental in distributions of dislocation segments vibratory under action of alternative deformation  $\varepsilon$ , to be torn away from point defects. Outcomes of an evaluation of dynamic characteristics defects can be applied for account of a condition of an annealing with the purpose of deriving specific structural imperfections in GeSi.



# INFLUENCE OF ULTRASOUND, ELECTRICAL CURRENT ON ELASTIC-INELASTIC CHARACTERISTICS OF GeSi AND SiO<sub>2</sub>

**Onanko A.P., Lyashenko O.V., Prodaivoda G.T., Vigva S.A., Onanko Y.A.**

*Taras Shevchenko Kyiv research national university,*

*Ukraine, Kyiv,*

*onanko@univ.kiev.ua*

In work the results of influencing of direct and variable electrical current at simultaneous influence of ultrasonic deformation  $\varepsilon$  on internal friction and the elastic module; the results of examinations of the relaxation processes in a crystalline lattice at thermal and ultrasonic processing on the temperature spectrum of internal friction and elastic module (indicatory surface of inelasticity-elasticity body) of GeSi are presented.

The influence of the external fields (electrical and magnetic) is possible to explain on IF within the framework of string dislocation mechanism of elastic vibrations attenuation in GeSi, designing the motion of the charged dislocations in these fields. Will consider GeSi crystal which periodic mechanical tension  $\tau = \tau_0 \exp(i\omega_0 t)$  is added to, and which is under the combined influence of external electric field  $\mathbf{E}$  and external magnetic field  $\mathbf{B}$ . If dislocation segment  $\xi(x,y)$ , that are vibrated under the act of tension  $\tau$ , is charged, additional forces will operate on it  $\mathbf{F}_e = e\rho(\xi)\mathbf{E}$  and  $\mathbf{F}_m = e\rho(\xi)[\xi', \mathbf{B}]$ , where  $\rho(\xi)$  - is the distribution function of electrical charge density on the dislocation segment.

The system of equations, which describes the movement of the charged dislocation under act of the mechanical, electrical and magnetic fields, within the framework of string dislocation model acquires the following kind:

$$M \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = V_d \frac{\partial \Delta \xi}{\partial x^2} - Q \frac{\partial \xi}{\partial t} + b\tau - b\tau_a - N_j \frac{\partial U}{\partial \xi} + e\rho(\xi)\mathbf{E} + e\rho(\xi)[\xi', \mathbf{B}], \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial t^2} - \frac{\rho}{G} \frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} = \rho b \frac{\partial \Delta}{\partial x^2} \left\{ \int_0^{\infty} \left[ \int_0^l \xi(x) dx \right] N(l) dl \right\}, \quad (2)$$

where  $M \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$  – inertial force,  $M \approx \rho b^2$  – effective mass of unit of dislocation length,

$\rho$  – crystal density,  $b$  – Byurgers vector,  $t$  – time.

$V_d \frac{\partial \Delta \xi}{\partial x^2}$  - force which is conditioned effective strain of bended dislocation line,

$V_d \approx Gb^2$  for screw dislocations,  $V_d \approx Gb^2/(1 - \mu)$  for line dislocations,

$G$  – the displacement module,

$\mu$  – Puasson coefficient.

$Q \frac{\partial \xi}{\partial t}$  - the force of the viscid braking,  $Q$  – damping constant or coefficient viscid braking,

$b\tau$  – external force which operates on unit of dislocation length,

$b\tau_a$  – force which operates on unit of dislocation length and tensions is conditioned, which arise up as a result of potential pattern of crystalline grate,

$N_j \frac{\partial U}{\partial \xi}$  - force, which operates on unit of dislocation length from the side of point defects,

which

co-operate with dislocation and located on dislocation line with the density  $N_j(x)$ ,

$U(\xi)$  – potential energy of co-operation,  $l$  - length of dislocation segment,

$N(l)$  - the distributing function of dislocation segments for lengths, which is conditioned  $N_j(x)$ .

Practically interesting is a case, when the external electrical and magnetic fields are periodic, that:  $\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp(i\omega_e t)$ ,  $\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \exp(i\omega_m t)$ .

# ВПЛИВ ВИСОКОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛІВ $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_3\text{Sb}_2\text{Cl}_9$

**Р.Р.Росул, П.П.Гуранич, О.Г.Сливка**

*Кафедра оптики, Ужгородський національний університет*

*88000, Ужгород, вул.Волошина, 54*

*e-mail: [rosul@ukr.net](mailto:rosul@ukr.net)*

Кристали  $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_3\text{Sb}_2\text{Cl}_9$  (DMAСA) є шаруватими сегнетоелектриками в яких при  $T=242\text{K}$  спостерігається сегнетоелектричний фазовий перехід. У параелектричній фазі DMAСA відноситься до моноклінної сингонії, просторова група -  $P2_1/c$  [1,2]. Механізм фазового переходу в даних кристалах пов'язується з перебудовою одного із двох різних типів DMA-катіонів, при цьому даний перехід проявляється як сегнетоелектричний перехід типу “лад-безлад”[1,3].

Вимірювання двоприменезаломлення проводилось в тривіконній оптичній камері високого гідростатичного тиску. Досліджувались монокристали  $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_3\text{Sb}_2\text{Cl}_9$  вирізані у формі пластин (100) зрізу. Зміни двоприменезаломлення визначались за допомогою методу Сенармона на довжині хвилі лазерного випромінювання 633нм.

Досліджено двоприменезаломлення кристалів DMAСA в інтервалі температур 200-300 К і гідростатичних тисків до 600 МПа. В даних кристалах спостерігається аномальна поведінка двоприменезаломлення, яка пов'язана з фазовим переходом з параелектричної у сегнетоелектричну фазу. На основі результатів дослідження двоприменезаломлення побудовано  $p, T$ -діаграму даних кристалів до 600МПа.

Результати досліджень баричної поведінки двоприменезаломлення в кристалах  $[\text{NH}_2(\text{CH}_3)_2]_3\text{Sb}_2\text{Cl}_9$  в параелектричній та сегнетоелектричній фазах надають можливість використання даних матеріалів в якості оптичних датчиків тиску.

[1] Ensinger U., Swarz W., Schmidt A., Z/Naturforsch (1982) , v.37b, p.1584.

[2] Jakubas R., Czaplа Z., Gawerski Z., Sobczyk L., Zogal O.J., T.Ias Phys.Status Solidi (a) (1986), v.93, p.449.

[3] R.Jakubas. Solid State Communications (1986), v.60, 4, p.389.

# MODIFICATION OF LUMINESCENT NANOSTRUCTURED SILICON IN WATER SOLUTIONS

**V. B. Shevchenko, V. A. Makara, O. I. Dacenko, T. S. Veblaya**

*Kyiv Taras Shevchenko National University, pr. Glushkova 6, 03022 Kyiv, Ukraine  
shevchenko@univ.kiev.ua*

Due to its biocompatibility, the nanostructured silicon is a promising material for applications in biology and medicine. Recently, many efforts have been made to study the possibility to use it as an active sensor matrix-substrate with optical properties sensitive to biomolecular environment [1]. It has also been suggested to use Si nanoparticles as fluorescent probes for biological applications [2]. The above-mentioned applications are expected to be realized in water-based media and, therefore, there is a need to investigate the processes of formation of nanostructured silicon properties in water. This work reports a combined study of interaction of the nanostructured silicon with water solutions by means of IR spectroscopy and photoluminescence as a function of degree of pre-oxidation of the samples and of pH of the solutions.

It is found that the reaction of silicon dissolution dominates at the first stage of water treatment, while the formation of the stoichiometric silicon oxide occurs at the second one. Porous silicon interaction with water is followed by increasing photoluminescence intensity and shifting the spectrum peak to higher energies, which is explained by decreasing sizes of nanocrystallites due to dissolution / oxidation of silicon [3]. Thereafter, the properties of nanoporous silicon are stabilized. The initial degree of oxidation of the samples oxidized in the air affects the time of stabilization of nanostructured silicon properties in water solutions, the thickness of oxide layer at the silicon nanostructure surface and parameters of photoluminescence of stabilized samples. The variation of the pH of water solutions from 4 to 8.5 influences mainly the rate of interaction of the nanostructured silicon with water and does not affect the chemical composition and photoluminescence of stabilized samples. So, the obtained results show that it is possible to control the photoluminescent properties of nanostructured silicon in water solutions.

- [1] G. Di Francia, V. La Ferrara, S. Manzo and S. Chiavarini, *Biosensors and Bioelectronics*. **21**, 661 (2005).
- [2] S. Sato, H. Yao and K. Kimura, *Physics, Chemistry and Application of Nanostructures: Reviews and Short Notes to Nanomeeting 2007*, Minsk, p.285.
- [3] E. P. Boonekamp and J. J. Kelly *J. Appl. Phys.* **75** 8121 (1994).

# ТЕМПЕРАТУРНО СТАБІЛЬНИЙ ІНФРАЧЕРВОНИЙ ФОТОПРИЙМАЧ НА ОСНОВІ $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$

Склярчук, О.Ф., Раренко Г.І., Склярчук О.Т., Швець О.Г., Галочкін О.В.,  
Громко Є.Д.\*, Ковальчук М.Л.\*, Колісник М.Г.

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,  
вул. М. Коцюбинського 2, м. Чернівці, Україна, [microel-dpt@chnu.edu.ua](mailto:microel-dpt@chnu.edu.ua)*

*\* Інститут термоелектрики НАНУ, вул. Науки, 1, м. Чернівці, Україна*

Прямозонний напівпровідник  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  – перспективний матеріал для фотодетекторів волоконно-оптичних ліній зв'язку. Ширина забороненої зони близько 0,72 еВ дозволяє створювати фоточутливі структури ефективні в області максимальної прозорості кварцового волокна (внутрішній квантовий вихід фотоелектричного перетворення майже 100% для довжини хвилі 1,55 мкм) яка відповідає найменшим втратам у кварці[1,2]. Висока концентрація електрично нейтральних стехіометричних вакансій, яка притаманна цьому матеріалу, зумовлює його високу радіаційну стійкість, що суттєво розширює область використання такого фотоприймача в різних фотоелектричних пристроях в порівнянні з приладами на основі германію та твердих розчинів  $\text{InGaAs}$ ,  $\text{GaInAsP}$  і  $\text{AlGaAsSb}$ , але одночасно ускладнює створення р-п-переходу легуванням. Тому для одержання фоточутливих структур необхідно створення гетеропереходів або поверхнево-бар'єрних діодних структур з контактом типу Шоттки. В даній роботі представлені результати дослідження фоточутливих діодів  $\text{Ni-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  при різних температурах.

Важливими параметрами діодних структур є не тільки внутрішній квантовий вихід фотоелектричного перетворення, але і зворотний темновий струм, який обмежує порогову чутливість фотоприймача. Можливість створення діодів з малими зворотними струмами значною мірою визначається якістю напівпровідникового матеріалу. Кристали  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  n-типу провідності вирощувались із синтезованого сплаву  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  модифікованою зонною плавкою з неперервним перемішуванням розплаву в зоні. Використання такого методу сприяло вирівнюванню температури і складу розплаву, як в об'ємі, так і на фронті кристалізації, в результаті чого однорідність електропровідності та інших параметрів по об'єму напівпровідника суттєво покращувалась. Фотодіоди, виготовлені на таких кристалах, демонстрували збільшення фотоелектрорушійної сили та суттєве зменшення струму при зворотному зміщенні (приблизно на порядок в порівнянні з діодами, виготовленими на кристалах, вирощених традиційним методом Бріджмена). Використання нікелю в якості випрямляючого контакту робить процес виготовлення діодів більш простим в порівнянні з гетеропереходами ІТО/ $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ , крім того, оптичне пропускання  $\text{Ni}$  в області 0.7-1.8 мкм неселективне в порівнянні з іншими металами (наприклад,  $\text{Au}$ ).

Темновий струм в досліджуваних діодах при зворотному зміщенні 10 В не перевищував  $2 \cdot 10^{-6}$  А (площа контактів  $1 \times 1 \text{ мм}^2$ ), а при охолодженні до  $-10^\circ\text{C}$  зменшувався на порядок. При цьому фоточутливість, яка в максимумі (1,57 мкм) складала 0,7 А/Вт, демонструвала доволі високу температурну стабільність.

Для  $\lambda=1,55\text{мкм}$  температурний коефіцієнт складав в середньому 0,3% на градус, при чому в інтервалі температур  $-10\div 20^\circ\text{C}$  не перевищував 0,05% на градус. Таким чином можна суттєво покращити характеристики приладу, застосовуючи термоохолодження готової діодної структури.

Для підтримання оптимальної температури ( $-10^\circ\text{C}$ ) було розроблено терморегулятор з використанням термоелектричного холодильника. Враховуючи те, що датчик температури може піддаватись впливу опромінення, була використана хромель-алюмелева термопара. У якості термодатчика «холодних кінців» застосовано діод 2Д 103А. Підсилювач сигналу термопари – «прецизійний операційний підсилювач» (ОП) ОР-07. Керуючий елемент живлення термоелектричного холодильника – транзисторний стабілізатор. Підсилювач розміщений в окремому корпусі, захищеному від опромінення.

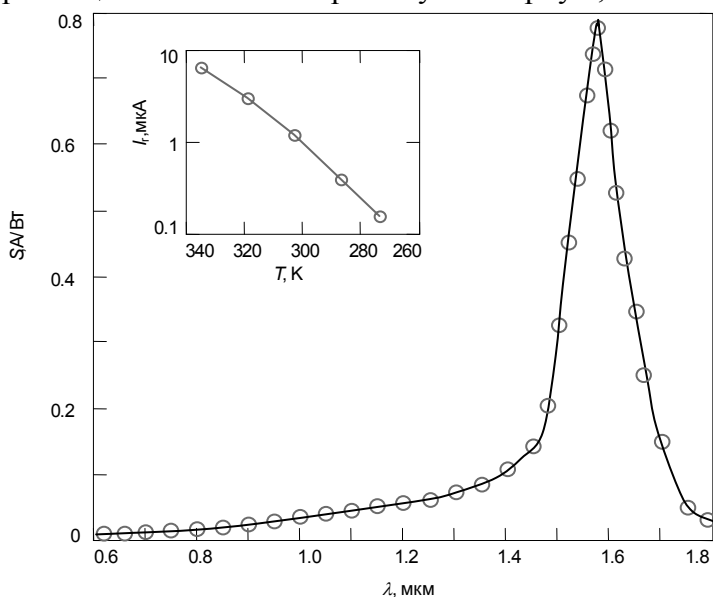


Рис.1. Спектр фоточутливості діода  $\text{Ni-Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$  при кімнатній температурі. Вгорі зліва - залежність зворотного струму від температури. Площа фоточутливого елемента –  $1 \text{мм}^2$ .

### Література:

1. 1. Малик А.И., Грушка Г.Г., Тевс Н.Р. Высокоэффективный измерительный фотодиод на основе ртутно-индиевого теллурида // ЖТФ.– 1990.– **60**.– Р. 146-146.
2. 2. L.A. Kosyachenko, I.S. Kabanova, V.M. Sklyarchuk, O.F. Sklyarchuk, I.M. Rarenko.  $\text{Hg}_3\text{In}_2\text{Te}_6$ -based photodiodes for fiber optic communication. Phys. Stat. Sol. A **206**, №. 2, 351–355 (2009).

## СЕНСОРЫ С ИЗОВАЛЕНТНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

**Слётов М.М.\***, **Косоловский В.В.**, **Слётов А.М.\*\***, **Ульяницкий К.С**

*Черновицкий национальный университет им.Ю.Федьковича, 58012, Черновцы, Украина,  
e-mail \*MSlyotov@mail.ru; \*\*LSlyotov@mail.ru*

Изготовление различного типа сенсоров на основе широкозонных II-VI соединений предполагает возможность вариации типа электропроводимости и создания барьерных структур. При этом актуальной остаётся проблема создания генерационно-рекомбинационных процессов с высокой эффективностью краевой области. Для этого могут быть использованы изоэлектронные примеси как такие, которые допускают изменение параметров выпрямляющих барьеров в широких пределах [1]. Поэтому исследовалось влияние примеси Mg на диффузионные свойства II-VI соединений, в частности, монокристаллов CdTe, ZnSe и слоёв ZnO. Такой выбор материалов обусловлен возможностью охватить широкий спектральный интервал в соответствии с изменением значений их ширины запрещенной зоны  $E_g - 1,5 \div 3,3$  eV при 300 К. Исходные монокристаллы CdTe и ZnSe выращивались методом Бриджмена-Стокбаргера из расплава под давлением инертного газа. Слои ZnO получались изотермическим отжигом ZnSe на воздухе. Аналогичный технологический процесс отжига проводился при легировании кристаллов Mg, в вакуумных ампулах. Вариация режимов позволяла получать диффузионные слои, как активные области выпрямляющих барьеров.

Физические свойства таких слоёв существенно отличаются от базового материала. Они определяются изменением ансамбля собственных и примесных точечных дефектов кристаллической решётки. Это проявляется на результатах электрофизических исследований, кривых качания X-лучей, спектров оптического поглощения  $T_\omega$ , отражения  $R_\omega$ , а также фотолюминесценции  $N_\omega$ . При этом исследовались как классические спектры, так и дифференциальные кривые, полученные методом  $\lambda$ -модуляции. Данный метод позволил выявить структурность спектров и определить возможные механизмы генерационно-рекомбинационных процессов.

Показана доминирующая роль изовалентной примеси Mg в формировании оптических процессов в краевой области. Они формируются межзонной рекомбинацией свободных носителей заряда при  $\hbar\omega \geq E_g$  и аннигиляцией связанных на  $Mg_{Zn}$  и  $Mg_{Cd}$  центрах замещения. Отметим, что в случае CdTe, в отличие от слоёв CdTe:Mg, межзонная рекомбинация не наблюдалась даже при низких температурах. Доминирующим процессом, что определяет также спектр  $N_\omega$ , является аннигиляция связанных экситонов. Проведенные исследования свойств излучения показывают, что оно сопровождается экситон-электронным взаимодействием. При этом проявляют себя экситон-фононные процессы. Активная роль такой природы излучения свидетельствует о значительном повышении качества материала. Последнее также влияет на электрические свойства, из которых самым важным есть образование р-типа проводимости. Это позволяет получать фоточувствительные диодные структуры. В случае слоёв ZnO:Mg они формируются активными областями гетероперехода. При этом доминирующую роль в таких слоях также играют оптические процессы в краевой области.

[1] В.И. Фистуль Физматлит, Москва (2004), с. 432.

## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdS:Mn<sup>2+</sup>

Н.В. Малушин<sup>1</sup>, В.А. Смынтына<sup>2</sup>, В.М. Скобеева<sup>1</sup>, Д.А. Струц<sup>2\*</sup>, Т.Ф.Завезион<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт физики Одесского национального университета имени И.И. Мечникова

<sup>2</sup> Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

\*65082, Украина, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел. 0487230329, e-mail:

[v.skobeeva@ukr.net](mailto:v.skobeeva@ukr.net)

Легирование полупроводниковых нанокристаллов (НК) ионами переходных металлов (Mn, Cr, Ni) является одним из перспективных способов получения эффективной фотолюминесценции, обусловленной внутрицентровым свечением. К преимуществам марганцевой люминесценции относится тот факт, что полоса излучения ионов Mn<sup>2+</sup> локализована в видимой области спектра, причем наиболее эффективным является излучательный переход, соответствующий зеленой области спектра.

Легирование НК CdS осуществлялось в процессе синтеза по методу золь-гель технологии. Исследовались спектры поглощения и фотолюминесценции CdS:Mn<sup>2+</sup> в зависимости от концентрации примеси и температуры измерения.

Установлено, что спектр свечения НК CdS:Mn<sup>2+</sup> состоит из трех полос, две из которых ( $\lambda_{\text{макс}} = 530\text{нм}$ ,  $\lambda_{\text{макс}} = 685\text{нм}$ ) соответствуют излучению нелегированного сульфида кадмия [1], а полоса с  $\lambda_{\text{макс}} = 585\text{нм}$  обусловлена примесью марганца [2].

На основании анализа спектров поглощения и температурной зависимости интенсивности полос свечения, составляющих спектр люминесценции легированных образцов, сделан вывод о механизме возбуждения примесной полосы.

На основании полученных экспериментальных данных предложена следующая схема возбуждения люминесценции. При возбуждении нанокристаллов CdS энергией из области собственного поглощения происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости с последующим захватом на поверхностные состояния. Существенным является тот факт, что в нанокристаллах концентрация поверхностных состояний является более значительной по сравнению с концентрацией объемных центров свечения. Захваченные неравновесные носители излучательно рекомбинируют с дырками на центрах свечения акцепторного типа, обуславливая полосу с длиной волны  $\lambda_{\text{макс}} = 585\text{нм}$ . В то же время, при наличии уровней иона марганца, происходит резонансная передача энергии на возбужденный уровень иона Mn<sup>2+</sup> - <sup>4</sup>T<sub>1</sub> с последующей излучательной рекомбинацией электрона в основное состояние <sup>6</sup>A<sub>1</sub>.

В соответствии с представленной схемой релаксации энергии возбужденного электрона в легированных НК CdS:Mn<sup>2+</sup>, экспериментально наблюдалось уменьшение интенсивности полосы люминесценции с  $\lambda_{\text{макс}} = 685\text{нм}$  и увеличение интенсивности полосы  $\lambda_{\text{макс}} = 585\text{нм}$ .

[1]. Smyntyna V.A., Skobeeva V.M., Malushin N.V. The nature of emission centers in CdS nanocrystals // Journal of Radiation Measurements. – 2007. - V.42. - P. 693-696.

[2]. D. J. Norris. High-Quality Manganese-Doped ZnSe Nanocrystals// Nanoletters.- 2001. – V.1. – P. 3-7.

# ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОНКИХ ПЛІВОК ПО ЇХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОМУ ЗАБАРВЛЕННЮ

Вахула О.А., Хоруженко В.Ю., Кукла О.Л., Самойлова І.О.

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
Київ-28, просп. Науки, 41, vahula@i.ua*

Для багатьох оптичних застосувань товщина плівки  $d$  і коефіцієнт заломлення плівки  $n$  дуже важливі. У деяких тонкоплівкових технологіях складно, або неможливо визначати оптичні параметри в процесі їх нанесення. В ряді сенсорних застосувань для оптимального вибору сенсорних матеріалів важливою є також інформація про оптичні параметри використовуваних чутливих шарів.

Нами запропоновано альтернативний метод визначення оптичних параметрів тонкої плівки. Ідея методу полягає у визначенні товщини і показника заломлення тонкої плівки за допомогою вимірювання її кольору (значень RGB). Метод може бути реалізований за допомогою моделювання кольору тонкої плівки і подальшого порівнянні з визначеними колориметричними характеристиками цієї ж плівки. Вимірювання останніх відбувається за допомогою спеціальної розробленої колориметричної системи, що складається з джерела світла, спеціальної кювети, що містить досліджуваний зразок плівки, а також системи реєстрації зображення, якою виступає 8-бітна кольорова веб-камера.

Мета даної роботи полягала в розробці математичної моделі, що дозволяла би визначити колір тонкої плівки, нанесеної на підкладку, якщо заздалегідь відомі показники заломлення тонкої плівки і підкладки, товщина плівки, спектр джерела світла і спектральні характеристики системи, що реєструє. Застосування такої моделі для вирішення зворотної задачі дозволяє отримати невідомі оптичні параметри плівки за їх вимірними кольоровими складовими.

В якості досліджуваних тонких плівок використовувалися шари третбутилкаліксаренів 3, 4, 5, 6, 8 типів товщиною 200-300 нм, а також плівки ряду халькогенідів Ge-As-S товщиною 200-800 нм, нанесені на кремнієві підкладки. Були використані такі методи досліджень, як атомно силова мікроскопія для визначення товщини тонких плівок, спектрофотометрія для визначення спектральних характеристик приймальної системи, а також RGB-колориметрія для визначення забарвлення досліджуваних тонких плівок.

Було розроблено математичну модель, яка дозволяє по визначеним колориметричним характеристикам тонких плівок визначати їх оптичні параметри. Модель будувалась на основі розрахунку первинних кольорових координат XYZ світла, відбитого від плівки, та подальшому їх транслюванні в кольорові координати RGB. Ці значення були розраховані для всіх можливих сполучень товщини плівки (в межах 150–450 нм) і показника заломлення (в межах 1–3), що дозволило сформулювати загальний масив RGB координат для різних плівок. Далі експериментально виміряні та пронормовані кольорові координати  $RGB_{\text{експ}}$  відгуку досліджуваної плівки порівнювались з кожним елементом розрахованої бази даних, та шляхом мінімізації функції нев'язки знаходили найбільш подібну трійку значень RGB і відповідні до неї значення товщини і показника заломлення тонкої плівки.

Показано, що роздільна здатність методу варіювалася в залежності від товщини і показника заломлення плівки, але вона була не гіршою, ніж 1 нм за товщиною плівки та 0,01 за показником її заломлення. Перевагами розробленого методу є швидкість визначення оптичних параметрів, невеликі габарити та дешевизна обладнання, а також можливість моніторингу зміни оптичних параметрів в режимі реального часу.



## ORGANIC PI-ELECTRON-CONTAINING SYSTEMS FOR THE SENSORS WITH OPTICAL RESPONSE

**V.M.Yashchuk, V.Yu.Kudrya, A.P.Naumenko, I.V.Lebedyeva**

*Kyiv National Taras Shevchenko University,  
2, Academician Glushkov's ave., 03127, Kyiv, UKRAINE*

Pi-electron-containing compounds are perspective for the creation of the sensors with optical response based on these compounds. The base of such sensors is the change of the physics and chemical properties as the result of the interaction with identified objects. The energy levels of organic molecules are in the «accessible» energy range and excited by photons with the wavelengths from 200 to 1000 nm. As the rule, they emit or quench the luminescence, possess the high chemical and photochemical reactivity, easy form the physical complexes of different type molecules. The compounds with the effective migration of energy excitations have to be enough sensitive. Under the condition of the definite energy levels displacement of the sensor molecules and identified molecules the last catch the electronic excitations energy that is fixed easy by the spectral methods. In such situation the identified molecule can be «activated» by itself or can form the different type complexes with pi-electron systems of the sensor that also capture the electronic excitation energy and are manifested spectrally in the peculiar manner.

Such sensors in the comparison with usual electronic sensors are more sensitive and express. In this paper the investigations results of a number of sensor-systems materials with the optical response were presented. Theses sensors sense: low concentrations of acids, molecular oxygen, soft ionizing irradiation,  $H^+$  and  $OH^-$  ions, anthropogenic pi-electron-containing impurities that easy dissolve in water (especially, phenol and other molecules of benzene ring size), and the biological objects (the DNA, RNA, proteins).

# ВПЛИВ ТРИВАЛОГО НЕЙТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНОГО СПЛАВУ $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{15}\text{B}_{15}$ В ІНФРАЧЕРВОНІЙ ОБЛАСТІ

**Поперенко Л.В., Носач Д.В., Юргелевич І.В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет, вул. Володимирська, 64, Київ 01601, Україна, plv@univ.kiev.ua*

Деякі аморфні структури за технологією їх створення є метастабільними та знаходяться в пружно-напруженому стані після їх отримання (наприклад, стрічки, виготовлені спінінгуванням розплаву). Опромінення нейтронами таких матеріалів може призводити до активації процесів структурної релаксації в приповерхневому шарі за рахунок його розігріву джоулевім теплом. Тому, в якості своєрідного детектора (чи сенсора) запропоновано використовувати аморфну структуру з оптичною характеристикою її залишкових напружень в приповерхневому шарі.

Досліджено стрічки сплаву  $\text{Fe}_{70}\text{Cr}_{15}\text{B}_{15}$ , які були загартовані із перегрітого до різних температур  $T_p$  над точкою плавлення розплаву, а саме з  $T_p=1250, 1310, 1350$  та  $1600^\circ\text{C}$ . Зразки цієї групи опромінювались протягом тривалого часу ( $\sim 12$  годин) низькоенергетичними нейтронами у потоці  $\sim 10^{11}$  нейтронів/см<sup>2</sup>·с на установці LAD (ISIS, Оксфордшир, Великобританія). Оптичні властивості зразків досліджувались методом спектральної еліпсометрії в ІЧ області спектру при обертанні зразка у власній площині. Вимірювання виконували як для поверхні стрічки, яка була у контакті з диском-охолоджувачем при гартуванні (контактна поверхня), так і для поверхні, яка залишалась вільною в процесі виготовлення (неконтактна поверхня). Оскільки за даними атомно-силової мікроскопії (АСМ) шорсткість контактної та неконтактної поверхонь була різною, то перед вимірюванням оптичних властивостей, з кожної поверхні стрічки було видалено шар полірування алмазними пастами з розміром зерен, що не перевищував 1 мкм. Подальші дослідження АСМ продемонстрували, що після такого двостороннього полірування параметри шорсткості на обох поверхнях відрізняються слабо, а також шорсткості є ненапруженими.

У спектральному інтервалі  $\nu=50-5000$  см<sup>-1</sup> були виміряні еліпсометричні параметри (зсув фаз  $\Delta$  між р- та s- компонентами еліпса поляризації та азимут  $\Psi$  відновленої лінійної поляризації) відбитого від поверхні світла в залежності від її азимутальної орієнтації у власній площині відносно s-напрямку. Отримано, що після нейтронного опромінення стрічки  $\Delta$  змінюється у всьому спектральному інтервалі не більше, ніж на  $2.5^\circ$ , а  $\text{tg}\Psi$  - на 0.1 при зміні кута повороту стрічки у межах  $\alpha=0-135^\circ$ . Зміни еліпсометричних параметрів подібного порядку були отримані для декількох кутів падіння ( $\varphi=65, 70$  та  $75^\circ$ ). Такі відхилення є малими і свідчать про те, що після нейтронного опромінення пружно-напружений стан аморфної стрічки релаксує, хоча напруження повністю не зникають. Отримано, що для контактної сторони стрічки після нейтронного опромінення дійсна частина діелектричної проникності  $\epsilon_1$  змінює знак і стає додатньою в ІЧ області спектра незалежно від значень параметрів  $\varphi$  та  $\alpha$  і, таким чином, ефекти пружно-напруженого стану мають пороговий характер по відношенню до зміни знаку  $\epsilon_1$ .

# РАДИАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**В.А. Завадский**

*Одесская государственная морская академия, г.Одесса, Украина*

*E-mail: vaaz@ukr.net*

В настоящей работе проведен анализ возможностей использования радиационного облучения различными частицами высоких энергий в технологии формирования заданных свойств в полупроводниковых материалах и изделиях электронной техники (ИЭТ) [1,2].

Исследовано влияние радиационной обработки быстрыми электронами на ИК – фоторезисторы на основе монокристаллов тройного соединения кадмий – ртуть – теллур. Показана возможность уменьшения темнового сопротивления и увеличения темнового тока при облучении быстрыми электронами дозами  $10^{13}$  -  $10^{16}$  см<sup>-2</sup>.

Облучение нейтронами также показало возможность повышения фоточувствительности эпитаксиальных структур арсенида галлия при малых дозах облучения (до  $1 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>), причем, наиболее эффективно при начальной концентрации свободных носителей заряда более  $1 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>

Исследовано влияние облучения быстрыми электронами на свойства оптических элементов из монокристаллических селенида цинка, германия, кремния и арсенида галлия. Облучение кристаллов ZnSe быстрыми электронами дозами, меньшими чем  $(7-8) \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>, вызывает увеличение проводимости и потерь, а дозами, большими чем  $(7-8) \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup>, - их уменьшение. Изучено влияние электронного облучения на поглощение излучения 10,6 мкм оптическими окнами из германия и арсенида галлия.

В работе рассматриваются механизмы воздействия облучения на фотоэлектрические параметры элементарных (Ge,Si), бинарных (ZnSe, GaAs) и тройных (CdHgTe) полупроводников. Показаны возможности управления параметрами некоторых ИЭТ на основе этих материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chernov A., Mamontov A. Ordering of defective crystal structure by ionizing radiation (effect of small doses of radiation) // Program of the MRS 1998 Spring Meeting, San Francisco, CA. – 1998. – P. 51.
2. Костенко С.П. Тенденции в материаловедении как перспектива появления новых электронных компонентов // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 1999. - № 2-3. – С. 37 – 43. – Библиогр.: с.43 (27 назв.)
3. Мокрицкий В.А., Завадский В.А. Влияние радиационной обработки на параметры интегральных преобразователей температуры. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2001. - № 1. – С. 25 – 27.
4. V.A. Zavadsky, V.A Mokritsky CdHgTe grown by LPE for photoreceivers // PHOTOELECTRONICS. Inter- universities scientific articles. – 2001. – N 10. p. 29 – 30.

# THERMOLUMINESCENT DETECTORS BASED ON YAP:Mn CRYSTALS

Ya. Zhydachevskii<sup>1,2</sup>, A. Suchocki<sup>2,3</sup>, M. Berkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera, 79646 Lviv, Ukraine  
*crystal@polynet.lviv.ua ; slavik\_zh@yahoo.com*

<sup>2</sup> Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, al. Lotników 32/46, 02-668 Warsaw, Poland

<sup>3</sup> Institute of Physics, Kazimierz Wielki University, Weyssenhoffa 11, 85-072 Bydgoszcz, Poland

An application potential of the manganese-doped yttrium aluminum perovskite (YAP) crystals for thermoluminescent (TL) dosimetry of ionizing radiation have been shown recently [1]. A relatively high sensitivity to ionizing radiation and a linear dose response at least up to 1 kGy are the most attractive properties of the material. In spite of the high effective atomic number ( $Z_{\text{eff}}=31.4$ ), this material is a good candidate for middle- and high-dose dosimetry of ionizing radiation, especially when tissue equivalence is not needed.

Two types of TL detectors based on YAP:Mn crystals are reported. First one is characterized by the main TL peak at 200 °C (see figure) and visible emission around 530 nm [2]. The second type detectors are characterized by the main TL peak at about 300 °C and visible emission around 640 nm.

The studied detectors in the form of single crystals were obtained by the Czochralski method in the Institute of Physics PAS. The studied detectors have sensitivity about 7.5 (type 1) and about 10 (type 2) relative to TLD-100. Main dosimetric properties of the detectors are reported. Both of them can be used in majority of commercial TL-readers for registration of ionizing radiation in wide range of absorbed doses (from  $10^{-4}$  to  $10^3$  Gy).

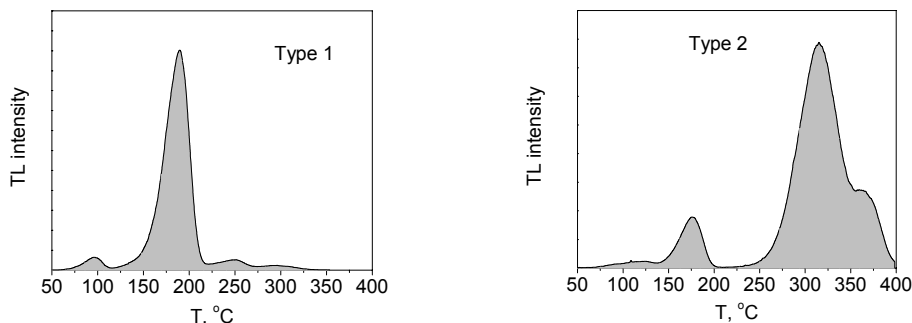


Fig. 1. TL glow curves of the YAP-Mn based TL detectors.

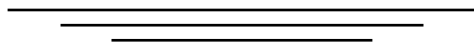
**Acknowledgements:** The work was partially supported by the European Union within the European Regional Development Fund, through grant Innovative Economy (POIG.01.01.02-00-108/09) and by the Ukrainian Ministry of Education and Science (project DB/Tern).

[1] Ya. Zhydachevskii et al., *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. (B)* **227** (2005) 545-550.

[2] Ya. Zhydachevskii et al., *Radiat. Meas.* (2010) doi:10.1016/j.radmeas.2009.12.035

**Секція VII**

**АКУСТОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ**



**Section VII**

**ACOUSTOELECTRONIC SENSORS**

# TECHNOLOGY DESIGN OF MOST EFFICIENT APPLICATION OF THE CRYSTALLINE MATERIALS AS SENSITIVE ELEMENTS FOR ELECTRO-, PIEZO- AND ACOUSTO-OPTICAL CELLS

**Andrushchak A.S., \*Mytsyk B.H., \*\*Solskii I.M., \*Demyanyshyn N.M., Kaidan M.V., Yurkevych O.V.**

*Lviv Polytechnic National University, 12 S.Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine,  
e-mail: [anat@polynet.lviv.ua](mailto:anat@polynet.lviv.ua)*

*\*G.V.Karpenko Physico-Mechanical Institute, NAS of Ukraine, 5 Naukova Str., Lviv,  
79601, Ukraine, e-mail: [mytsyk@mail.lviv.ua](mailto:mytsyk@mail.lviv.ua)*

*\*\*Scientific Research Company "Carat", 202 Stryjska Str., Lviv, 79031, Ukraine  
e-mail: [solskii@carat.lviv.ua](mailto:solskii@carat.lviv.ua)*

State-of-the-art the technology of development and manufacture of electro-, piezo- and acousto-optical cells do not foreseen conducting of pre-optimization of interaction between light and applied external influence (electrical and mechanical field or acoustical wave) in sensitive elements of corresponding devices. Since such sensitive elements are the crystalline materials, therefore the technology design for geometry optimization of electro-, piezo- and acousto-optical interactions for such anisotropic materials is scientifically justified and perspective with respect to practice. It will provide the most efficient application of electro-, piezo- and acousto-optical materials as sensitive elements for corresponding cells and is the main purpose of this work.

Design of such technology was probated for example of known crystals of pure lithium niobate and was also demonstrated for researched crystals of GaP, barium beta-borate and MgO-doped lithium niobate as prospective electro- and acousto-optic materials. So approbation of our design on the example of the known crystals of pure lithium niobate gave us a possible to promote more than in two times efficiency of such crystals during their using as working elements for acousto-optic cells [1,2]. For researched crystals of GaP [2], barium beta-borate [3] and MgO-doped lithium niobate [4] the maximal values of figure of merit were also found and are equal 46.8; 40 and  $20,6 \times 10^{-15} \text{ c}^3/\text{kg}$  accordingly. Such high values of  $M_2$  for these crystals testify to perspective of these crystals as good acousto-optic materials. According our electro-optic investigations in pure and MgO-doped lithium niobate crystals the application of most effective geometry for electro-optic interactions gives us a possible to increase nearly in 3 times [5] the efficiency of these crystals using as working elements for electro-optic cells.

This work has been supported by STCU-program (proj. #4584) and Ukrainian-Polish project #M/138-2009.

[1] A.S.Andrushchak, E.M.Chernyhivsky, Z.Yu.Gotra, M.V.Kaidan, A.V.Kityk, N.A.Andrushchak, T.A.Maksymyuk, B.G.Mytsyk, W.Schranz, J. Appl. Phys. 2010 (to be published)

[2] А.С.Андрущак Дис. док. техн. наук, НУ „Львівська політехніка”, Львів (2009).

[3] А.С.Андрущак, Я.В.Бобицький, М.В.Кайдан, Б.В.Тибінка, УФЖ, **50**, 26 (2005).

[4] A.S.Andrushchak, B.G.Mytsyk, N.M.Demyanyshyn, M.V.Kaidan, O.V.Yurkevych, Proc. 9-th International Conf. LFNМ 2008, (Alushta, Krimea, Ukraine) 66 (2008).

[5] A.S. Andrushchak, B.G.Mytsyk, N.M.Demyanyshyn, M.V.Kaidan, O.V.Yurkevych, S.S. Dumych, A.V. Kityk, W. Schranz, Opt. Lasers Engineering, **47**, 24 (2009).

## ВПЛИВ ВОДНЮ НА ТЕРМІЧНО ІНДУКОВАНІ АКУСТИЧНІ ХВИЛІ В СТРУКТУРАХ З ПОРУВАТИМ КРЕМНІЄМ

**Гаврильченко І.В., Манілов А.І., Скришевський Р.В., Шулімов Ю.Г.,  
Скришевський В.А.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
01601 Київ, вул. Володимирська, 60, Київ, e-mail: [ir@univ.kiev.ua](mailto:ir@univ.kiev.ua)*

Морфологічні особливості поруватого кремнію (ПК), його електрофізичні та оптичні властивості, а також низька собівартість і сумісність з кремнієвою технологією, обумовлюють перспективність даного матеріалу для застосувань у сенсорній електроніці. Металева плівка, товщиною  $\approx 30$  нм, нанесена на структуру ПК/p-Si створює умови для ефекту термостимульованого акустичного випромінювання (ТСАВ). При протіканні змінного струму вздовж металевого контакту у такій структурі створюється акустична хвиля з частотою, що вдвічі перевищує частоту прикладеної напруги [1]. Виникнення ТСАВ пояснюється відмінністю термічних властивостей ПК та монокристалічної підкладки [1,2]. Сенсорне застосування даного ефекту, а саме чутливість до адсорбції спирту, було запропоновано у статті [3].

У даній роботі розглянуто вплив адсорбції  $H_2$  на ТСАВ у структурах Al/ПК/p-Si. Проведено дослідження частотних спектрів та амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) термічно індукованих акустичних хвиль у відповідних зразках на повітрі та в атмосфері з  $H_2$ .

Взаємодія з воднем у структурах з шаром ПК може відбуватися за рахунок таких процесів:

1. Утворення хімічних Si- $H_x$  зв'язків на поверхні ПК: збагачення існуючих силанових груп та насичення обірваних Si- зв'язків.
2. Фізична адсорбція водню на дефектах структури ПК.
3. Проникнення водню з поверхні всередину кристалічної ґратки ПК.

Дані процеси супроводжуються посиленням збіднення структур носіями заряду, тобто зменшенням провідності. Це пояснюється захопленням водню на поверхневій рівні, а також пасивацією ним домішкових центрів бору у кристалічній ґратці ПК. Адсорбція водню у зразках підтверджується зростанням їх наскрізного електричного опору та імпедансу.

Встановлено, що має місце зміна вигляду АЧХ в присутності  $H_2$ , порівняно з випадком для повітря, зокрема, спостерігається зсув характеристичного піку ТСАВ у область низьких частот. Це пояснюється зміною теплопровідності та теплоємності ПК при адсорбції водню, оскільки значення цих параметрів визначають характеристики термічно індукованих хвиль у структурах з проміжним шаром ПК. Отже, показано чутливість ефекту ТСАВ у структурах Al/ПК/p-Si до присутності  $H_2$  у атмосфері.

1. H. Shinoda, T. Nakajima, K. Ueno & N. Koshida, Nature, 1999, 400, 26, P - 853-855
2. Qing Shen, Tetsuharu Takahashi and Taro Toyoda, Analytic. Sci., 2001, 17, P -281-283
3. I. Gavrilchenko, A. Benilov, Yu. Shulimov, V. Skryshevsky, Phys. Stat. Sol. (c), 2009, Vol. 6/7, P. - 1725-1728

# ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ $\text{TlInS}_2$ В ОКОЛІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ

**О.О.Гомоннай<sup>1</sup>, П.П.Гуранич<sup>1</sup>, Р.Р.Росул<sup>1</sup>, О.Г.Сливка<sup>1</sup>, І.Ю.Роман<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул.Підгірна, 46, [gomonnai\\_o@ukr.net](mailto:gomonnai_o@ukr.net)

<sup>2</sup> Інститут електронної фізики НАН України, 88000, Ужгород, вул.Університетська, 21

Експериментальні дослідження й аналіз температурно-спектрально-баричних діаграм фероїків, які дають можливість встановити співвідношення між деформаціями оптичної індикатриси, зумовленої змінами температури, тиску і довжини хвилі, дає можливість запропонувати такі матеріали в якості кристалооптичних датчиків температури й тиску.

Цікавими об'єктами для досліджень такого плану є кристали  $\text{TMX}_2$  ( $M = \text{Ga}, \text{In}$ ,  $X = \text{Se}, \text{S}$ ), які належать до групи низьковимірних шаруватих структур та структур ланцюгового типу. Серед них окреме місце займають квазідвовимірні напівпровідникові кристали  $\text{TlInS}_2$ , в яких на основі комплексних експериментальних і теоретичних досліджень встановлено існування неспівмірної фази, складною послідовністю фазових переходів (ФП), та можливістю кристалізації в різних структурах [1, 2]. Вивчення коноскопічних картин, тобто інтерференційних картин сегнетоелектриків в направленому світлі при схрещених поляризаторах при зміні температури дозволяють фіксувати структурні ФП.

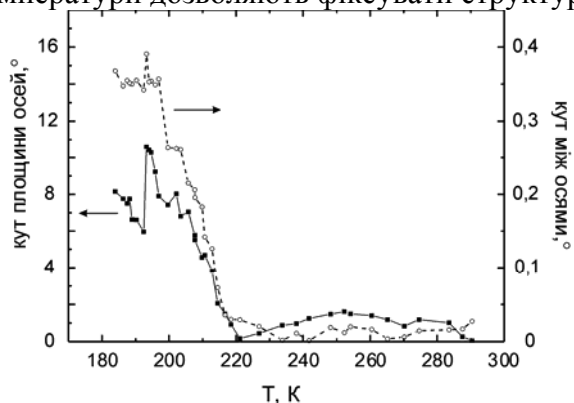


Рис. 1. Температурна поведінка кута між оптичними осями та орієнтація (кут) площини оптичних осей кристалу  $\text{TlInS}_2$ .

У результаті аналізу коноскопічних картин, зафіксованих при різних температурах, визначено температурну поведінку кута між оптичними осями та орієнтацію (кут) площини оптичних осей кристалу  $\text{TlInS}_2$ . На вказаних залежностях фіксується максимум при температурі  $T = 193$  К. Певні зміни відбуваються також в області 193-214 К, при цьому спостерігається збільшення кута між оптичними осями та орієнтації площини осей при зменшенні температури.

Дослідження проводилися методом аналізу коноскопічних картин та Сенармона з використанням He-Ne лазера ( $\lambda = 632.8$  мкм). Встановлено, що відстань між оптичними осями залежить від температури і при її зменшенні від  $T = 293$  К до  $T = 183$  К збільшується. Слід відмітити, що суттєві зміни коноскопічних картин спостерігаються саме в температурному інтервалі 220 – 190 К і обумовлені послідовними структурними ФП.

[1] A.M.Panich, J. Phys.: Condens. Matter. **20**,. 293202-1 (2008).

[2] O.O.Gomonai, P.P.Guranich, M.Y.Rigan, I.Y.Roman, A.G.Slivka, High Pressure Research. **28**, 615 (2008).



# МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНИХ КОЛИВАНЬ ПРЯМОКУТНОЇ ГІБРИДНОЇ СТРУКТУРИ П'ЄЗОРЕЗОНАТОР – ПОЛІМЕРНА ПЛІВКА ДЛЯ ГАЗОАНАЛІТИЧНИХ СЕНСОРІВ

**Курлюк В. В., Половина О. І., Коротченков О. А., Горб А. М.**

*Київський національний університет ім. Т. Шевченка,  
03680, просп. Глушкова, 2, Київ, Україна, e-mail: [kuryluk@univ.kiev.ua](mailto:kuryluk@univ.kiev.ua)*

Кварцові мікроваги широко використовуються для характеристики полімерних плівок, а також в якості п'єзоелектричних газоаналітичних сенсорів [1-2]. Принцип дії цих пристроїв ґрунтується на залежності величини резонансних частот  $f_{r,n}$  та напівширини  $\Delta\Gamma_n$  резонансних піків ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ) гібридної структури «п'єзокварц – плівка» від параметрів плівки (товщина  $h_f$ , густина  $\rho_f$ , комплексний модуль зсуву  $G_f = G_{f1} + jG_{f2}$ ). У випадку газоаналітичного сенсора  $\rho_f$  та  $G_f$  змінюються під впливом адсорбції певних речовин з оточуючого середовища. Експериментально,  $f_{r,n}$  та  $\Delta\Gamma_n$  визначаються за частотними залежностями складових комплексного електричного імпедансу структури:  $Z_{ГC}(f) = Z_1(f) + jZ_2(f)$ , які вимірюються в околі  $f_{r,n}$ .

Найчастіше вказані гібридні структури будуються на круглих чи прямокутних пластинах кварцу АТ-зрізу, в яких за допомогою певного профілю електродів збуджуються коливання зсуву в мегагерцевому діапазоні частот. В літературі описано цілий ряд експериментальних конфігурацій структур, для яких в рамках одновимірної моделі методом малих збурень одержано розрахункові формули, що пов'язують  $f_{r,n}$  та  $\Delta\Gamma_n$  з параметрами плівки ( $h_f, \rho_f, G_f$ ) та п'єзореzonатора [1]. Ці розрахункові формули ґрунтуються на наступних обмеженнях: 1) п'єзореzonатор та усі шари, що його покривають на одній чи обох базових площинах, є однорідними та необмеженими у бокових напрямках; 2) коливання структури описуються зсувною плоскою хвилею, хвильовий вектор якої є перпендикулярним до базової поверхні, а інші деформації ігноруються; 3) нехтується зміною жорсткості внаслідок п'єзоefекту, тобто, вважається, що  $f_{r,n} = n \cdot f_{r,1}$ .

Одним з шляхів вирішення проблеми підвищення чутливості таких сенсорів може бути зменшення лінійних розмірів гібридної структури чи використання лінзоподібних кварцових резонаторів [3]. При цьому умови застосування одновимірної моделі коливань порушуються і тому потрібно використовувати більш реалістичне дво- (2D) та тривимірне (3D) моделювання. В роботі [3] для аналізу структури типу кругла п'єзопластина – полімер вперше використано метод двовимірних скінчених елементів (2D-CEM).

В даній роботі електро-в'язко-пружні коливання прямокутної структури «електрод-кварц - електрод – полімерна плівка» аналізуються методами 2D-CEM та 3D-CEM. Такий підхід дозволяє уникнути обмежувальних припущень одновимірної моделі та точніше оцінити чутливість вимірюваних параметрів гібридної структури -  $f_{r,n}$  та  $\Delta\Gamma_n$  – до параметрів плівки, яка описується вісьмома параметрами:  $\rho_f, h_f, L_f$  (довжина),  $W_f$  (ширина),  $G_{f1}, G_{f2}, E_{f1}, E_{f2}$  ( $E_f = E_{f1} + jE_{f2}$  – комплексний модуль Юнга). Проведено розрахунок полів пружних зміщень у плівці на частотах  $f_{r,1}$  та  $f_{r,2}$ , частотних залежностей  $Z_1(f)$  та  $Z_2(f)$  для різних параметрів плівки. Проведено також кількісне порівняння результатів чисельних розрахунків, одержаних в рамках тривимірної, двовимірної та одновимірної моделей.

[1] O. Wolff and D. Johannsmann, J. Appl. Phys., **87**, 4182 (2000).

[2] Y. Fu, Harry O. Finklea, Anal. Chem., **75**, 5387 (2003).

[3] M. Herrsche, C. Ziegler, D. Johannsmann, J. Appl. Phys., **101**, 1 (2007).

# ОСОБЕННОСТИ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ РЕЖИМЕ ДИФРАКЦИИ ПРИ НАКЛОННОМ УГЛЕ ПАДЕНИЯ СВЕТА

Л. В. Михайловская\*, А. С. Михайловская\*\*

\*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, 65082, Одесса, Украина

\*\*Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Germany

E-mail: [lidam@onu.edu.ua](mailto:lidam@onu.edu.ua)

Взаимодействие света и звука широко используется в науке и технике, в частности, в оптике, лазерной технике, в оптической обработке информации. В связи с этим требуется знание особенностей проходящего и дифрагированных пучков в зависимости от параметров акустооптического взаимодействия, к которым, помимо длин волн света и звука, в простейшем случае относятся ширина и интенсивность звукового поля, а также угол падения света на звуковую решетку.

В большинстве случаев теоретический анализ АО взаимодействия относится к предельным случаям двумерной оптической решетки (приближение Рамана-Ната) или объемной (дифракция Брэгга). Обычно режим дифракции определяется величиной волнового параметра  $Q = 2\pi\lambda L / \Lambda^2$ , а именно  $Q < \pi/2$  – раман-натовский и  $Q \gg \pi/2$  – брэгговский дифракционный режимы. Здесь  $\lambda$ ,  $\Lambda$  – длины волн света и ультразвука в среде соответственно,  $L$  – размер области акустооптического взаимодействия. В области значений волнового параметра  $\pi < Q < 3\pi$  наблюдается промежуточный режим АО взаимодействия, который используется во многих из современных акустооптических устройств [1,2].

В работах [3,4] при нормальном падении света на бегущую звуковую волну в изотропной среде при изменении длины области АО взаимодействия детально анализируется переход от дифракции света на двумерной плоской звуковой решетке (приближение Рамана-Ната) к дифракции на трехмерной объемной решетке. В настоящей работе при произвольном угле падения света на звуковой столб проводится теоретический анализ и расчет интенсивностей спектра при дифракции света на плоской звуковой волне в изотропной среде. Исследуются изменения дифракционного спектра в зависимости от длины области акустооптического взаимодействия при неизменной интенсивности звуковой волны и от интенсивности звуковой волны при постоянной толщине звукового слоя. Для фиксированных звуковых параметров – интенсивности и толщины звукового слоя, исследуются также угловые зависимости интенсивностей дифракционного спектра.

[1] Г.Кайно, Акустические волны, Мир, Москва (1990), с.656.

[2] А.Корпел, Акустооптика, пер. с англ., Мир, Москва (1993), с.240.

[3] Л.В.Михайловская, А.С.Михайловская, Оптика и спектроскопия, **105**, 847 (2008).

[4] A.S.Mykhaylovskaya, L.V.Mikhaylovskaya, Proc. SPIE, **7388**, 73880S (8pp) (2010).

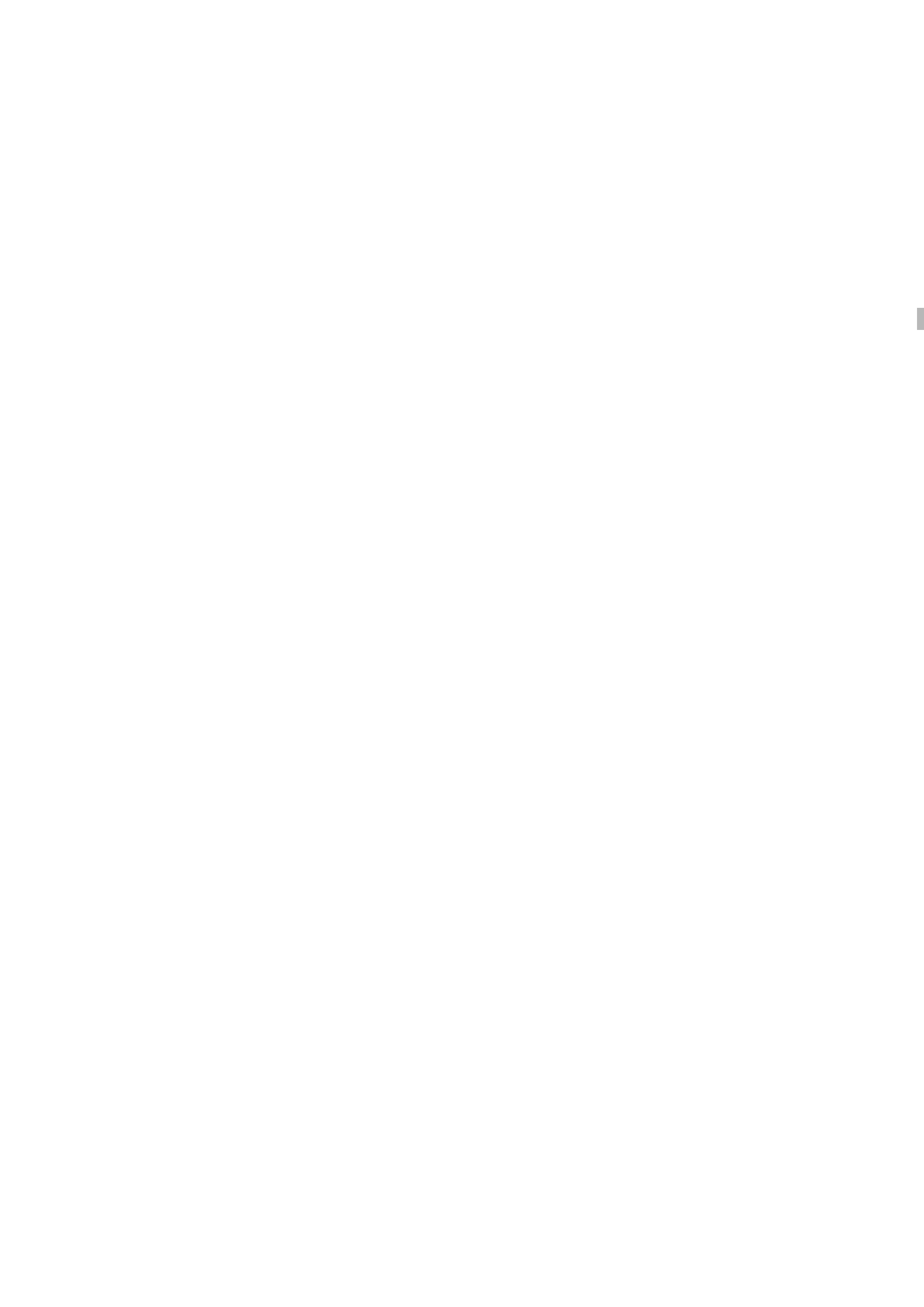
## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ.

**В.И. Митрохин,  
С.И. Рембеза,**

*Воронежский государственный технический университет (ВГТУ),  
394026 Россия, Воронеж, Московский пр., 14*

Предлагается новый фотопьезоэлектрический принцип преобразования энергии оптических импульсов в акустическую волну и электрический сигнал с использованием монокристаллических пластин пьезоэлектрических полупроводников, который состоит в следующем. При импульсном оптическом облучении полупроводниковой пластины пьезоактивного среза возникающая объемная фото-эдс индуцирует посредством обратного пьезоэлектрического эффекта объемную или поверхностную акустическую волну в кристалле. Возбужденная акустическая волна, в свою очередь, благодаря прямому пьезоэффекту порождает электрические импульсы на электродах полупроводниковой пластины. Таким образом, наблюдается последовательная цепь преобразований: оптическая энергия преобразуется в электрическую, электрическая в акустическую и, наконец, акустическая энергия в выходной электрический сигнал.

Если частоту световых импульсов выбрать равной частоте механического резонанса пластины, то амплитуда выходного электрического сигнала возрастет в  $Q$  раз, где  $Q$  – величина механической добротности пластины (составляющей величину порядка  $10^4$ ). Фотоприемник такого типа будет обладать свойствами высокодобротного фильтра оптических сигналов по частоте модуляции света. Использование данного физического принципа может оказаться эффективным путем создания оптоакустических резонансных устройств, характеризующихся высокой оптической чувствительностью и, что особенно важно – *избирательностью по частоте оптической модуляции*. Устройства функциональной электроники такого типа способны уже в тракте фотоприемника из спектра оптических сигналов выделять сигнал с частотой акустического резонанса, существенно повышая отношение сигнал/шум. В зависимости от диапазона частот на практике могут быть использованы полупроводниковые фоточувствительные резонаторы на основе объемных (изгибных, продольных, сдвиговых) колебаний и поверхностных акустических волн.



**Секція VIII**

**НАНОСЕНСОРИ (ФІЗИКА,  
МАТЕРІАЛИ, ТЕХНОЛОГІЯ)**

---

---

**Section VIII**

**NANOSENSORS (PHYSICS,  
MATERIALS, TECHNOLOGY)**

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛІНІЙОК ПРИЙМАЧІВ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ СПЕКТРА

Андрєєва К.В., Апатська М.В., Бунчук С.Г., Смолій М.І.

*Інститут Фізики Напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України  
пр.Науки, 41, м. Київ, Україна  
ev\_andreeva@bk.ru*

Терагерцовий діапазон – далекий інфрачервоний діапазон, на шкалі частот знаходиться між міліметровим діапазоном і середнім інфрачервоним діапазоном. Це довжини хвиль в діапазоні від 0,1 ТГц до 20 ТГц. Цьому спектральному діапазону відповідають характерні частоти коливання фононів в твердих тілах, коливання обертальних мод важких молекул. Практичним застосуванням терагерцової спектроскопії є дистанційне селективне зондування діелектричних об'єктів – органічних в тому числі вибухових речовин.

Для генерації та детектування терагерцового випромінювання використовують напівпровідникові антени, нелінійнооптичні кристали, надпровідні матеріали тощо.

Як показали теоретичні дослідження, перспективним матеріалом для виготовлення приймачів терагерцового випромінювання є твердий розчин CdHgTe.

Нами розроблена топологія та технологія виготовлення лінійок напівпровідникових антен ТГц-діапазону з розміром чутливого елемента - 10x50 мкм на базі епітаксійних плівок КРТ, отриманих методом рідкофазної або молекулярно променевої епітаксії.

Фотографія лінійки приймачів ТГц випромінювання наведена на рисунку.

Дослідження фотовідгуку виготовлених нами приймачів показало, що приймачі чутливі в діапазоні 14-16 ТГц при азотних і кімнатних температурах.

Виміряні значення чутливості становили  $S_v \sim 2.6$  В/Вт (розраховане значення потужності еквівалентної шуму  $NEP \sim 3.5 \cdot 10^{-10}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup>) при  $T=300$  К і  $S_v \sim 1.3 \cdot 10^3$  В/Вт

(розраховане значення  $NEP \sim 10^{-12}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup>) при  $T=78$  К.



# ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $Cd_{1-x}Zn_xTe$ – РАДІАЦІЙНИХ ДЕТЕКТОРІВ.

**Р.М. Балабай, С.С. Піскльонов**

*Криворізький державний педагогічний університет, кафедра фізики, 50086  
м.Кривий Ріг, пр. Гагаріна 54, [oks\\_pol@cabletv.dp.ua](mailto:oks_pol@cabletv.dp.ua)*

В останній час з'явився великий інтерес до кристалів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ , особливо у якості матеріалу для детекторів ядерного випромінювання. Ці кристали часто мають більш високу однорідність електрофізичних характеристик по об'єму кристалу і до того ж більш широку заборонену зону, ніж кристали  $CdTe$ , що дозволяє значно підвищити величину напруженості електричного поля у детекторах і суттєво покращити характеристики пристроїв.

Для твердих розчинів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  ширина забороненої зони із ростом складу  $x$  збільшується. Згідно даних рентгенографії, система  $CdTe-ZnTe$  утворює неперервний ряд твердих розчинів  $(0,0-1,0)$  структури сфалериту. Параметр ґратки для  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  лінійно зменшується із складом. Ця залежність описується рівнянням:  $a$ , нм =  $0.6472-0.04 \cdot x$ , де  $x$  – мольна частка  $ZnTe$ .

На жаль, недостатня кількість теоретичних і експериментальних даних, а також їх розходження, не дозволяють в повній мірі визначити всі переваги і недоліки матеріалу  $Cd_xZn_{1-x}Te$  як детектора, тому дослідження його енергетичних і електронних властивостей методами із перших принципів дасть необхідну додаткову інформацію.

Були здійснені розрахунки в рамках локального наближення формалізму функціоналу електронної густини. Електронно-іонна взаємодія була обчислена за допомогою зберігаючого норму *ab initio* псевдопотенціала Бечелета, Хеменна, Шльотера. Основні стани електронних систем виявлені шляхом діагоналізації матриці Гамільтоніана системи, якщо визначалися тільки електронні змінні при фіксованих атомних остовах. Атомний базис примітивної тетрагональної комірки суперрешітки для відтворення нескінченної плівки  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  у структурі цинкової обманки складався із 3 шарів атомів  $Te$  та 3 шарів атомів  $Cd$  або  $Zn$ , або їх суміші для відтворення розчину з  $x=0.17$ ,  $0.5$  або  $0.83$ . При цьому параметри комірки були такими, щоб у напрямках  $X$  та  $Y$  змодельовати нескінченну довжину плівки, а у напрямку  $Z$  – вільні поверхні  $(001)$ . Кількість валентних електронів для  $Cd$  або  $Zn$  приймалася 12, з урахуванням 10  $d$  - електронів попередньої оболонки. Використовуючи авторське програмне забезпечення, були отримані електронний спектр для  $\Gamma$  – точки зони Брилюена суперрешітки, просторові розподіли густини валентних електронів та її перетини, координати атомів (див. Рис.1).

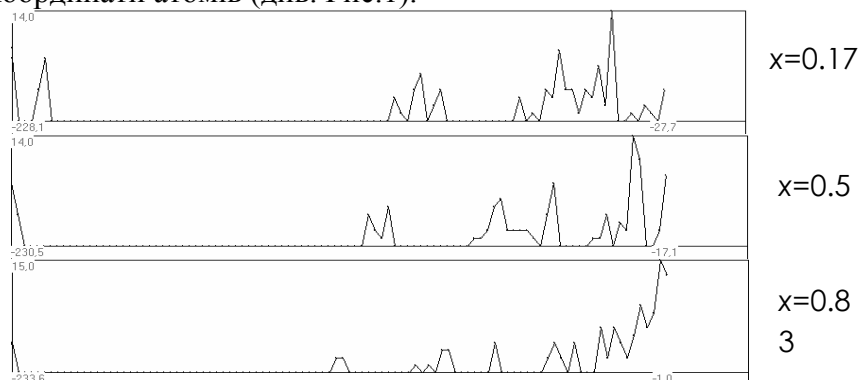


Рис.1. Зміна густини зайнятих станів при зміні коефіцієнту  $x$  у  $Cd_{1-x}Zn_xTe$

# ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОНТРАСТУ ЗОБРАЖЕНЬ СКЛАДНИХ МАТЕРІАЛІВ НАНОСЕНСОРІВ

Бобик М.Ю.

*Ужгородський національний Університет*  
*e-mail: [ivanc@mail.uzhgorod.ua](mailto:ivanc@mail.uzhgorod.ua)*

Теорія формування зображень в електронному мікроскопі детально розроблена для кристалів та зразків елементарних речовин. У більшості експериментальних робіт та комп'ютерних програм по обробці електронномікроскопічних зображень використовується саме такий підхід. Для аморфних речовин складного хімічного складу, які все частіше використовуються у якості чутливих елементів наносенсорів, даний підхід дуже обмежений і не враховує цілого ряду важливих факторів, які суттєво впливають на процеси формування контрасту зображень. В аморфних речовинах мінімальні розміри деталей будови на один–два порядки більші міжатомних відстаней, а інтерференційні ефекти проявляються лише в кількох незначних по інтенсивності розмитих гало на електроннограмах. У таких умовах хвильові властивості електронів при розсіюванні не відіграють суттєвої ролі і трактування контрасту зображень, включаючи і їх цифрову оцінку, може вестися в рамках теорії амплітудного контрасту.

У загальному, інтенсивність електронної хвилі, яка є результатом розсіювання зондуєчого пучка на об'єкті, складається з трьох основних частин. Перша визначає пружне некогерентне розсіювання, рівне сумі ефектів розсіювання кожним окремих атомом незалежно від всіх інших. Друга частина є пружним когерентним розсіюванням, яке зумовлює утворення дифракційної картини від аморфних матеріалів. І третя частина інтенсивності, утворюється за рахунок процесів непружного розсіювання. Проведені нами численні дослідження свідчать, що наявність відмічених проявів інтерференції електронних хвиль обов'язково слід враховувати при аналізі контрасту, використовуючи для цього найпростіші елементи теорії дифракційного контрасту. У цьому випадку слід розглядати комплексну картину структури реальних неупорядкованих речовин. 1. Більшість із них не є однорідними макросередовищами. Основні відхилення від однорідності зумовлюються локальними флуктуаціями густини матеріалу матриці зразка та наявністю в ній нанорозмірних пор. Для врахування цих особливостей при аналізі контрасту крім геометричної товщини необхідно розглядати й локальну атомну товщину. 2. У складних речовинах між собою ув'язані атоми кількох хімічних елементів, які мають різні розсіюючі здатності. Тому при аналізі процесів розсіювання слід приймати до уваги, що кожен хімічний елемент має свої диференціальні ефективні й повні перерізи пружного когерентного і некогерентного та непружного розсіювання електронів. 3. На величину контрасту нанорозмірних елементів зображень суттєво впливатимуть локальні відхилення хімічного складу об'єктів. 4. В дослідженнях слід контролювати наявність фазового розділення та інших видів неоднорідності матриці зразків і враховувати їх вплив на формування контрасту зображень. У цілому в строгому вигляді вирішення поставленої задачі на сьогодні не можливе як теоретично, так і експериментально. Тому необхідно використовувати адекватні до реального стану речей наближення. Кількісний же аналіз зображень вимагає застосування комплексу сучасних методик: електронна мікроскопія, локальний рентгеноспектральний аналіз, растрова або атомно-силова мікроскопія поверхні та нанодифракція.



# ЕЛЕКТРОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ТА ЕФЕКТИ ПАМ'ЯТІ ПРОВІДНОСТІ СИСТЕМИ НАНОКРИСТАЛІВ CdTe, ІНКОРПОРОВАНИХ В ПОЛІМЕРНУ МАТРИЦЮ

**С. І. Будзуляк, В. М. Єрмаков, С. М. Калитчук, Д. В. Корбутяк**  
*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України*  
03028, м. Київ, пр. Науки, 41, div47@isp.kiev.ua

**Л. П. Щербак, Ю. Б. Халавка**  
*Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича*  
58000, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, l.shcherbak@chnu.edu.ua

Нанокристалічні напівпровідникові сполуки  $A_2B_6$  починаючи з кінця дев'яностих років минулого століття завдяки відносній простоті їх отримання почали широкого використовуватися в якості активних матеріалів світловопромінюючих пристроїв, сонячних елементів, біологічних маркерів. Спектральні характеристики у видимій області таких матеріалів та розміри наночастинок змінюються шляхом зміни концентрації іонів  $Cd^{2+}$ , меркаптопохідних, рН розчину або часу протікання реакції. В той же час, процеси, які відбуваються при проходженні струму через полімерну структуру, що містить напівпровідникові квантові точки  $A_2B_6$ , в достатній мірі не вивчені.

В даній роботі досліджувалися ефекти, обумовлені проходженням струму в нанорозмірних структурах CdTe, інкорпорованих в полімерну матрицю. В такій системі носії струму між напівпровідниковими наночастинками можуть проходити тільки шляхом тунелювання або завдяки термічній активації. Ці особливості провідності досліджуваних систем демонструють низку нових цікавих закономірностей. Зокрема, проведені виміри вольт-амперних характеристик таких структур показують появу ефекту пам'яті. Він полягає в запам'ятовуванні зміни провідності системи при досягненні певних критичних значень прикладеної напруги. Ефект запам'ятовування є керованим та відтворюваним. Запропоновано пояснення отриманих особливостей провідності, яке ґрунтується на можливості захоплення та утримання додаткового заряду наночастинками після проходження струму через систему. Захоплений заряд може змінювати ймовірність переходу носіїв струму між наночастинками і, таким чином, впливати на провідність всієї системи.

Для деяких зразків наноструктур, у випадку відсутності ефекту пам'яті, спостерігалось поява випромінювання при проходженні струму. Встановлено, що форма кривих вольт-амперних характеристик безпосередньо пов'язана з процесом випромінювання, або з його відсутністю. Запропонована модель, яка описує та пояснює процес електролюмінесценції структури з нанокристалами телуриду кадмію, інкорпорованих в діелектричну матрицю.

Виявлені особливості вольт-амперних характеристик дають можливість зробити висновок, про вирішальну роль квантових ефектів в процесах переносу носіїв струму в дослідних наноструктурах.

## СИНТЕЗ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКРИСТАЛІВ $A_2B_6$

**Калитчук С. М., Корбутяк Д. В., Томашик З. Ф., Тріщук Л. І., Савчук О. А.**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,  
03028, м. Київ, пр. Науки, 41, kalytchuk@isp.kiev.ua*

**Щербак Л. П., Халавка Ю. Б.**

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
58000, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, l.shcherbak@chnu.edu.ua*

Великий інтерес до напівпровідникових нанокристалів (НК) зумовлений їх унікальними властивостями, які, завдяки квантуванню електронної густини станів в трьох напрямках, суттєво відрізняються від властивостей об'ємних напівпровідників. Пошук оптимальних технологічних режимів синтезу колоїдних розчинів НК  $A_2B_6$  з заданими характеристиками, вимагають детального вивчення випромінювальних характеристик НК в залежності від технологічних умов вирощування, розмірів НК, типу пасиватора та ін.

В роботі проведені дослідження особливостей спектрів фотолюмінесценції (ФЛ) НК CdS та CdTe, синтезованих у водних колоїдних розчинах при різних технологічних режимах.

Високолюмінесцентні колоїдні розчини НК CdS, стабілізовані L-цистеїном, отримано при кімнатній температурі методом осадження у водному середовищі при рН = 7. Співвідношення вмісту прекурсорів  $[Cd^{2+}]:[S^{2-}]:[L\text{-цистеїн}] = 4 \cdot 10^{-3} : 3,6 \cdot 10^{-3} : 8 \cdot 10^{-3}$  моль/л. Проведено легування домішкою  $Ag^+$  шляхом введення  $AgNO_3$  до початку синтезу та після утворення НК CdS. Спектри ФЛ даних зразків складаються з двох чітко виражених смуг з положенням  $\sim 2,4$  еВ (відповідає за рекомбінацію екситонів в НК CdS) та  $\sim 2,1$  еВ ("дефектна" смуга). Інтенсивність ФЛ при незначному легуванні сріблом ( $10^{-5}$  моль/л) збільшується, що свідчить про вплив поляризатора срібла на електронну структуру напівпровідникових НК CdS. При цьому відносна інтенсивність "дефектної" лінії збільшується, що пояснюється збільшенням дефектності поверхні НК при легуванні сріблом.

Колоїдні НК CdTe синтезували при кімнатній температурі з використанням 0,1 М розчину  $CdI_2(Cl_2)$ , тіогліколевої кислоти, L-цистеїну гідрохлориду і електрохімічно отриманого телуроводню у дисперсійному середовищі води та етанолу. Процес синтезу проводили при різних умовах протікання реакції. Досліджено вплив природи стабілізаторів, їх концентрації, рН середовища, концентрації і співвідношення реагентів на процес формування НК. У спектрі ФЛ синтезованих зразків спостерігається достатньо вузька лінія, зумовлена рекомбінацією екситонів. Максимум лінії ФЛ НК CdTe, пасивованих тіогліколевою кислотою знаходився при 2,35 еВ, а у випадку пасивації L-цистеїном – дещо зміщувався у більш високоенергетичну область (2,39 еВ) з одночасним зменшенням напівширини лінії (з 0,22 еВ до 0,15 еВ). Проведений аналіз залежності спектру ФЛ НК CdTe від типу пасиватора.

# SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Cr<sup>3+</sup>, Y<sup>3+</sup> AND Zr<sup>4+</sup> ACTIVATED FORSTERITE NANOCERAMICS

<sup>1</sup>**I. Karbovnyk**, <sup>2</sup>**I. Borshchyshyn**, <sup>2</sup>**Ya. Vakhula**, <sup>2</sup>**I. Lutsyuk**, <sup>1</sup>**I. Bolesta**

<sup>1</sup>*Ivan Franko National University of Lviv, Department of Electronics  
107 Tarnavskogo str., Lviv 79017, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University "Lviv Polytechnic", Silicate Chemical Technology Department  
12 Bandery str., Lviv 79013, Ukraine*

Synthesis and characterization of pure forsterite and three forsterite-based nanopowders, obtained by modifying of the Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> structure with Cr<sup>3+</sup>, Y<sup>3+</sup> and Zr<sup>4+</sup> ions have been performed.

Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, also known as forsterite, is well-known as an important material for electronics [1,2] and meets basic requirements for high-frequency applications. It is used, in particular, for the fabrication of high-quality insulators with low dielectric losses, luminophores, ceramic implants and a variety of other devices.

Forsterite powders were prepared by means of sol-gel technique which is considered one of the most energy saving and green technologies and, therefore, is extensively used in material science. The modification of the original powder-like forsterite structure by chromium, yttrium and zirconium ions was performed via two different routes: *a*) by adding water solution of Cr, Y or Zr salts into the initial sol; *b*) by mixing Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or ZrO<sub>2</sub> oxides powders with the initial xerogel. Cr<sup>3+</sup>, Y<sup>3+</sup> and Zr<sup>4+</sup> activated nanoceramics (average grain size of about 35 nm) were characterized by means of XRD, SEM and impedance spectroscopy techniques.

Impedance measurements were performed in the frequency range of 2–10<sup>6</sup> Hz. For this purpose AUTOLAB instrument from ECO CHEMIE was exploited. The analysis of the measured complex impedance spectra was carried out using Scribner Associates ZView software.

All three measured nanoceramics show similar impedance behavior, generally typical for this type of materials (the equivalent circuit describing the electrical behavior of the measured ceramic characterizes “bulk” conductivity and intergrain/boundary effects). Some distinctions in electrical properties, though, were revealed through equivalent circuit fit of the spectra. It has been established that Zr<sup>4+</sup> doped forsterite exhibit highest bulk AC conductivity. Grain boundary contribution to the impedance response was shown to be almost identical for Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Cr<sup>3+</sup>, the Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Y<sup>3+</sup> and the Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Zr<sup>4+</sup>.

Dielectric loss factor for all three types of studied nanoceramics is calculated from the measured impedance data in the frequency range of 1 kHz to 1 MHz.

- [1] T. Sugiyama, T. Tsunooka, K. Kakimoto, H. Ohsato. Journal of the European Ceramic Society **26**, 2097 (2006).
- [2] K.P. Sanosh, A. Balakrishan, L. Francis, N.N. Kim. Journal of Alloys and Compounds **495**, 113 (2010).

# НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ГРУППЫ $A_2B_6$ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЕЙ СПЕКТРА

**Кисс А. В., Смынтына В. А., Зубрицкий С. В., Никора Н. И.**

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,  
Физический факультет, ул. Пастера, 42*

В последнее время особое внимание уделяется полупроводниковым наноматериалам, причем интерес к ним постоянно возрастает. Это связано с огромной практической значимостью этих классов материалов для развития информационных технологий. Наноматериалы на основе полупроводников группы  $A_2B_6$  обладают уникальными оптическими свойствами и являются перспективными материалами для активных элементов нелинейной оптики и устройств наноэлектроники.

В работе подробно рассматриваются технологические особенности создания сенсоров на основе нанокристаллических образцов, полученных двумя различными методами синтеза. Выявлено изменение оптических и люминесцентных свойств (сдвиг края фундаментальной полосы поглощения в сторону более коротких длин волн, сложная структура спектров поглощения, люминесценции и ее изменения) нанокристаллов CdS в зависимости от значений регулируемых параметров - концентрации исходных реагентов, условий синтеза нанокристаллов, скорости проведения реакции, интенсивности и длины волны падающего света.

Установлено, что обнаруженное изменение оптических свойств нанокристаллов CdS связано с пространственной локализацией носителей заряда на поверхности и в приповерхностной области из-за нарушения периодичности кристаллической решетки, формирующие вариации поверхностного потенциала.

Полученные экспериментальные данные хорошо коррелируют с расчетными значениями, полученными с помощью модели, основанной на классической теории размерного квантования для нанокристаллов сферической формы и свидетельствуют о возможности получать датчики с наперед заданными свойствами.

Таким образом, разработанная технология получения полупроводниковых нанокристаллических сенсоров, чувствительных к ультрафиолетовому излучению, может быть успешно применена для создания фотоэлементов и датчиков.

## ЗСУВ СТОКСА В НАНОКРИСТАЛАХ CdTe: ЕКСПЕРИМЕНТ І ТЕОРІЯ

**Купчак І. М., Корбутяк Д. В., Крюченко Ю. В., Калитчук С. М.**  
*Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України,  
03028, м. Київ, пр. Науки, 41, div47@isp.kiev.ua*

Зсув смуг фотолюмінесценції по відношенню до спектру поглинання, відомий як зсув Стокса, є однією з важливих характеристик оптичних властивостей напівпровідників. Якщо в об'ємних напівпровідниках природа такого зсуву достатньо добре вивчена, то у випадку квантово-розмірних структур однозначного пояснення до цих пір не знайдено.

В роботі проведені експериментальні дослідження спектрів поглинання і фотолюмінесценції (ФЛ) квантових точок (КТ) CdTe, що знаходяться у водному колоїдному розчині та в полімерній матриці. Побудована теоретична модель, що описує можливі механізми зсуву Стокса у таких системах. Зокрема, передбачається, що резонансна компонента зсуву Стокса виникає за рахунок синглет-триплетного розщеплення станів "яскравих" і "темних" екситонів, а нерезонансна, відповідно, за рахунок екситон-фононої взаємодії і дисперсії КТ за розмірами. Розраховані залежності зсуву Стокса від середнього розміру КТ, величини дисперсії КТ за розмірами, характеристик фононного спектру та величини потенціального бар'єру для носіїв заряду на гетеромежі КТ–оточуюче середовище.

Для квантових точок CdTe в колоїдних розчинах результати розрахунків зсуву Стокса досить добре узгоджуються з експериментальними даними. Зокрема, для всіх досліджених нами наборів колоїдних КТ з середніми розмірами 1,8; 2,4 і 3,1 нм були отримані величини зсуву Стокса, які досить близькі до теоретично розрахованих величин.

В той же час, в КТ CdTe, інкорпорованих в полімерні матриці, спостерігаються гігантські зсуви Стокса (~0,6 еВ), які не можуть бути пояснені в рамках розвинутої теоретичної моделі. Відомо, що в процесі інкорпорування КТ в полімерні матриці відбувається певний відбір КТ за розмірами, тобто їх дисперсія дещо зменшується у порівнянні з дисперсією в колоїдному розчині. Згідно з наведеною моделлю, це мало б приводити до зменшення нерезонансної компоненти зсуву Стокса в КТ CdTe в полімерних матрицях, що суперечить отриманим експериментальним результатам. Отже, зсув Стокса в КТ CdTe, інкорпорованих в полімерні матриці, пов'язаний з іншими механізмами, не врахованими в рамках наведеної моделі. Найбільш очевидним є механізм, зумовлений утворенням хімічних зв'язків полімерної матриці з поверхнею КТ, внаслідок чого з'являються додаткові локальні інтерфейсні стани, які приймають участь в поглинанні світла в області енергій фотонів ~ 3 еВ.

## СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ СТРУКТУР ПОЛІМЕР ПОРУВАТИЙ КРЕМНІЙ

**Л. С. Монастирський, О. І. Аксіментьєва, М. Р. Павлик**

*Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
79005, Драгоманова 50, Львів, Україна.*

У зв'язку з інтенсивним розвитком нанотехнологій, в останні роки значна увага приділяється використанню наноструктур для виготовлення на їх основі чутливих газових сенсорів та проведення газового аналізу. Наноструктурами служать циліндричні одношарові та багатшарові, прямі та спіральні наноструктури, що мають лінійні розміри від кількох до кількох десятків нанометрів ( $10^{-9}$  м). Наноструктури, що мають гігантську адсорбуючу поверхню, мають переваги при виготовленні малогабаритних і високочутливих газових сенсорів. Виявлений ряд унікальних властивостей, та колосальні переваги наноструктур у величині активної поверхні обумовлюють великий інтерес до їх застосування у науці і техніці.

Нами застосовано гібридні структури полімер-поруватий кремній для формування газових сенсорів ряду актуальних компонент, зокрема,  $H_2$ ,  $CH_4$ , пропану, а також  $O_2$ ,  $CO_2$  та інших.

Застосовано плівки полімерів (поліаніліну, поліпарафенілену, поліортоамінофенолу), які було отримано методом високочастотного магнетронного осадження на поруватий кремній, з використанням мішеней з полімерів, в атмосфері аргону при тиску робочого газу  $10^{-3}$  мм. рт. ст., потужності генератора високочастотних коливань 100 Вт, відстанню від мішені до підкладки 70 мм та індукції магнітного поля 0,1 Тл.

Було досліджено спектри оптичного пропускання одержаних плівок на Фур'є-спектрофотометрі в спектральному діапазоні  $400-4000\text{ см}^{-1}$ . Порівняння спектрів плівок полімерів показало їхню ідентичність зі спектрами пропускання масивних зразків.

Морфологія поверхні полімерних плівок та їх структура були досліджені за допомогою електронного мікроскопа "JEOL JSM-T220A". Отримані і досліджені структури є важливі для галузей матеріалознавства і радіоелектронного приладобудування і можуть бути використані у медицині, видобувній, хімічній промисловості, для екологічного та індустріального контролю для аналізу газів та газових сумішей.

# ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБУДОВИ ЕЛЕКТРОННОЇ ГУСТИНИ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК В ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ.

**Рябчиков Д.В., Балабай Р.М.**

*Криворізький державний педагогічний університет, кафедра фізики, м. Кривий Ріг, пр. Гагарина 54, 50086, oks\_pol@cabletv.dp.ua*

Група вчених зі Стенфордського Університету показала, що датчики, збудовані на основі одношарових вуглецевих нанотрубок, дозволяють зафіксувати концентрацію до 2 мільйонних долів досліджуваної речовини [1].

Трубки можна використовувати як основний («чуттєвий») елемент датчика, а також як засіб зчитування даних з детектора. «Відклик» нанотрубки на конкретну досліджувану речовину в значній степені залежить від її будови.

Одним із фундаментальних питань нанотехнології – це розподіл і рух електронів в структурах, які мають складну геометрію. Експериментальне вирішення цього питання практично реалізувати дуже складно і тут виступають незамінними теоретичні методи із перших принципів, які не потребують даних із експерименту.

В даній роботі розрахунок розподілу електронної густини для вуглецевих нанотрубок різної хіральності в середовищі з газом і в вакуумі виконувались в рамках локального наближення теорії функціонала електронної густини і псевдопотенціала із перших принципів. Характеристики врівноважених електронних конфігурацій розраховувались в центрі зони Бриллюена на авторському програмному коді. На Рис. 1, 2 приводяться розраховані парціальні просторові розподіли електронної густини вуглецевої нанотрубки хіральності (6,0) рис.1 та хіральності (3,2) рис.2.



Рис.1 Просторовий розподіл густини валентних електронів вуглецевої нанотрубки хіральності (6,0). а) – у вакуумі, б) – в середовищі аміаку. Діапазон значень електронної густини 0.8...0.9 від максимального.



Рис.2 Просторовий розподіл густини валентних електронів вуглецевої нанотрубки хіральності (3,2). а) – у вакуумі, б) – в середовищі аміаку. Діапазон значень електронної густини 0.8...0.9 від максимального.

[1]. <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/40761>

# ВЛИЯНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НИЗКО РАЗМЕРНЫХ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ

Козловский С.И., Шаран.Н.Н

Институт физики полупроводников им. В.Е.Лашкаръова НАНУ, проспект Науки 41,  
03028 Киев, Украина, [lab25@isp.kiev.ua](mailto:lab25@isp.kiev.ua)  
Научно-исследовательский институт «Гелий», ул.Ватутина, 18, Винница, Украина,  
[c\\_polus@svitonline.com](mailto:c_polus@svitonline.com)

В настоящее время монокристаллический кремний рассматривается как один из основных материалов нового научно-технического направления в сенсорной технике, получившего название НЕМС (наноэлектромеханические системы). Это связано с тем, что кремниевые структуры сохраняют высокую упорядоченность и механическую стабильность при уменьшении их характерных размеров до нескольких нанометров. При таких размерах кремниевые структуры обладают абсолютно новыми свойствами, перспективными для создания на их основе электромеханических преобразователей нового поколения. Так, например, в работах [1-4] сообщалось о значительном увеличении, продольного пьезосопротивления в кремниевых проволоках (нитях) с дырочной проводимостью при уменьшении их площади поперечного сечения.

В настоящей работе проведено исследование влияния одноосной упругой деформации на процесс баллистического переноса носителей заряда в кремниевых структурах для случаев, когда движение носителей заряда в пространстве неограниченно, либо ограничено в одном или двух направлениях. Эти случаи соответствуют трехмерному ( $D=3$ ), двумерному ( $D=2$ ) и одномерному ( $D=1$ ) газу носителей заряда. Относительное изменение проводимости (кондактанса) структуры, обусловленное приложением механического напряжения  $X$ , находим суммированием по группам носителей  $\nu$

$$\Pi_l^{(D)} = \left[ \sum_{\nu} G_{\nu}^{(D)}(X) / \sum_{\nu} G_{\nu}^{(D)}(X=0) - 1 \right] / X. \quad (1)$$

В баллистическом режиме при малых напряжениях смещения кондактанс  $G_{\nu}^{(D)}$  вид

$$G_{\nu}^{(D)} = - \frac{2e^2}{(2\pi)^D \hbar} \sum_{n,m=1} \int \frac{\partial \varepsilon_{\vec{k}}^{(\nu)}}{\partial k} \frac{\partial f_0(\varepsilon_{\vec{k}}^{(\nu)} + \varepsilon_{nm}^{(\nu)})}{\partial \varepsilon_{\vec{k}}^{(\nu)}} d^D \vec{k}. \quad (2)$$

Здесь  $\vec{k}$  - волновой вектор,  $d^3 \vec{k} = 4\pi k^2 dk$ ;  $d^2 \vec{k} = 2\pi k dk$ ;  $d^1 \vec{k} = 2dk$ ,  $f_0$  - равновесная функция распределения. Суммирование в 2D и 1D структурах ведется по значениям энергии пространственного квантования  $\varepsilon_{nm}^{(\nu)}$ . При расчете  $G_{\nu}^{(D)}(X)$  мы полагали, что упругая деформация изменяет энергию носителей заряда  $\varepsilon_{\vec{k}}^{(\nu)} = \varepsilon^{(\nu)}(\vec{k}) + \Delta \varepsilon^{(\nu)}(\vec{k}, X)$ . Результаты расчета качественно согласуются с известными экспериментальными данными [1-4].

- [1] T. Toriyama, D. Funai and S. Sugiyama. J. Appl. Phys. **93**, 561 (2003).
- [2] T. Toriyama and S. Sugiyama. Sensors and Actuators A **108**, 244(2003).
- [3] R. He, P. Yang, Nature nanotechnology **1**, 42-46(2006).
- [4] K. Reck, J.Richter, O. Hansen, E.V. Thomsen, in: Micro Electro Mechanical Systems, 2008. MEMS 2008. IEEE 21st International Conference, pp.717 – 720.



# СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕЛЕКТРОННОМІКРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НАНОПОРИСТИХ АМОΡФНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СЕНСОРІВ

Сватюк О.Я., Боркач Е.І.

*Ужгородський національний університет, Ужгород, Университетская, 14,  
al-sv2006@newmail.ru*

*Закарпатський угорський педагогічний інститут, Берегово, Йієша, 1,  
barkats@kmf.uz.ua*

Електронномікроскопічні дослідження структури вимагають інтерпретації картин контрасту, які спостерігаються на ЕМ знімках, відображаючи ті чи інші структурні особливості об'єкта. Методика інтерпретації ЕМ зображень кристалічних або частково-кристалічних речовин у деталях приведена в багатьох статтях і монографіях. Кількість робіт, присвячених детальному аналізу формування картин зображення аморфних матеріалів, значно менша. При цьому переважно описують їх наноструктуру лише якісно: зазначають її однорідність або неоднорідність; вказують характер контрасту (амплітудний або фазовий); беруть до уваги лише відмінності здатностей атомів різних хімічних елементів розсіювати електронні пучки. В такому підході вважається, що нанонеоднорідності контрасту на ЕМ зображеннях визначається переважним чином різницею товщини різних локальних ділянок досліджуваного зразка.

Нами для аналізу електронномікроскопічних зображень нанопористих аморфних матеріалів для сенсорів розроблена комплексна методика статистичної обробки експериментальних даних. Вона дає можливість розділяти вклади в контраст зображень ефектів, зумовлених чотирма різними фізичними причинами: варіаціями геометричної товщини; наявністю нанопор; флуктуаціями хімічного складу матеріалу та локальним фазовим розділенням на наномасштабному рівні. Для кількісного опису характеру нанонеоднорідностей кожного із виділених чотирьох типів використовуються стандартні числові параметри «профілограм», застосованих в профілометрії, оптичній, електронній та атомно-силовій мікроскопії, кривих мікрофотометрування. Базою для таких розрахунків є лінія середнього контрасту зображень, яка визначається таким чином, щоб середньоквадратичне відхилення профілю контрасту від даної прямої було мінімальним. У якості математичної умови проведення середньої лінії є рівність суми площ «виступів» сумі площ «впадин» профілю відносно середньої лінії.

Використання розробленої методики дало можливість встановити основні закономірності впливу технологічних параметрів осадження аморфних матеріалів ряду халькогенідів та послідуєчих зовнішніх впливів на них на основні параметри нанонеоднорідності: середнє арифметичне значення варіації неоднорідностей різного типу; максимальне та мінімальне значення величини неоднорідностей; середні розміри неоднорідностей товщини, пористості та фазового розділення; гістограми розподілу неоднорідностей різного типу по розмірах та по інтенсивності прояву; частки об'єму та поверхні наносенсорів, що займають неоднорідності різного типу; геометричні профілі реалізації різних неоднорідностей в матеріалі; трьохмірні картини синтезу комплексного прояву всіх неоднорідностей у цілому. Аналізуються функціональні залежності електрофізичних властивостей сенсорів на основі нанопористих матеріалів від масштабу та ступіню прояву неоднорідностей їх структури та фазового складу.



**Секція ІХ**

**СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ  
СИСТЕМИ**

---

---

**Section IX**

**SENSORS AND INFORMATION  
SYSTEMS**

## РЕГИСТРАЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ СЕНСОРА НА ОСНОВЕ НЕИДЕАЛЬНОГО ГЕТЕРОПЕРЕХОДА

**Борщак В.А., Балабан А.П., Затовская Н.П., Куталова М.И., Смынтына В.А.**

*Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова*

*65082, Украина, Одесса, ул. Дворянская, 2, тел. 0487266356*

*E-mail: [borschak\\_va@mail.ru](mailto:borschak_va@mail.ru)*

Известно, что разнообразие процессов, которые протекают в неидеальных гетероструктурах, связано с такой характерной их особенностью, как наличие высокой плотности состояний на границе задела, причем некоторые эффекты могут быть использованы для создания сенсоров оптического и рентгеновского изображений.

Особенностью такого сенсора есть довольно длительное время накопления и хранение записанной оптической информации даже при комнатной температуре, а также возможность неразрушающего считывания. Поэтому исследование электронных процессов, которые приводят к накоплению и исчезновению записанной оптической информации представляется довольно интересным.

Авторы в течении длительного времени занимаются исследованиями неидеальных гетероструктур и разработкой сенсоров оптических и рентгеновских изображений на их основе, причем были разработаны несколько вариантов сенсора оптических и рентгеновских изображений на базе неидеальных гетероструктур. В то же время, проблема передачи с помощью таких сенсоров изображений движущихся объектов оставалась актуальной.

Для того, чтобы получить качественные изображения с помощью сенсора необходимо преодолеть фактор неоднородности. С этой целью создана универсальная программа, которая позволяет управлять процессом сканирования сенсора изображения и делать обработку полученных данных с последующим выводом изображения на монитор компьютера, а также преобразование файла с видеoinформацией в формат, доступный стандартным программам, которые работают с видеоизображениями. В результате работы такой программы в памяти компьютера появляется массив данных размером по крайней мере 256x256 пикселей (разрешение сканирования), которые соответствуют интенсивности видеосигнала на поверхности образца. Данные в массиве должны обновляться со скоростью не менее 25 раз в секунду.

Разработана методика быстрого приведения сенсора в равновесное состояние, которая заключается в кратковременном приложении к сенсору положительного смещения порядка величины барьера (1 В). Для регистрации движущихся изображений использовался сенсор на основе неидеального гетероперехода, конструкция которого описана в [1,2].

[1] Борщак В. А., Смынтина В. А., Затовська Н. П., Куталова М. І., Балабан А. П. Сенсор зображення з жорстким растром. Тези доповідей Всеукраїнського з'їзду «Фізика в Україні», Одеса. – 2005.- с. 137.

[2] V. A. Smyntyna, V. A. Borschak, M. I. Kutalova, N. P. Zatovskaya, A. P. Balaban. Image sensor on the basis of nonideal heterojunction with rigid raster. - Photoelectronics.- 2006.-№15.- pp.21-23.

# КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СПЕКТРІВ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

А.А. Горбань, М.Ф. Буланий, О.В. Коваленко, С.О. Омельченко, А.Р. Омельчук

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара,  
49010, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 72  
e-mail: bulanyi@ukr.net

Дана робота присвячена розробці автоматизованого вимірювального комплексу для проведення одночасних досліджень спектрів люмінесценції та електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) в широкому діапазоні температур, а також відпрацюванню відповідного програмного забезпечення необхідного для керування процесу вимірювання на такому комплексі. До блоку вимірювання спектрів люмінесценції входять такі основні блоки: інтерфейсний блок USB (1), драйвер крокового двигуна (2), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) (3), синхронний детектор з підсилювачем-атенуатором (4), блок живлення (5). Блок-схема автоматизованої частини установки подана на рис. 1.

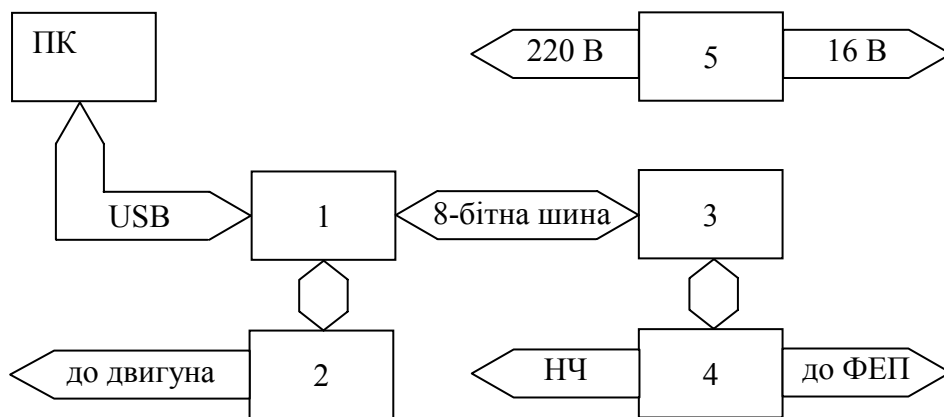


Рис. 1. Блок-схема автоматизованої частини установки.

Інтерфейсний блок USB виконаний у вигляді окремої плати з портом USB та набором інтерфейсів для підключення периферійних блоків. Блоки драйвера крокового двигуна та АЦП виконано у вигляді окремих плат, що підключаються до основного блоку та блоку живлення. Блок синхронного детектора з підсилювачем-атенуатором також виконаний у вигляді окремої плати, яка підключається до АЦП, фотоелектронного перетворювача (ФЕП), низькочастотного (НЧ) генератора та блоку живлення. Всі блоки знаходяться в одному спільному корпусі.

За допомогою керуючої програми забезпечено автоматизоване вимірювання. Програма підтримує тонкі настройки роботи драйвера крокового двигуна та АЦП, дозволяє отримати результати дослідження в графічному та текстовому вигляді з можливістю їх збереження.

# СЕНСОРИ ТА ПРИЛАДИ ДЛЯ СПОВІЩУВАЧІВ ПОЖЕЖНИХ ГАЗОВИХ

**Козубовський В.Р., Кормош В.В., Алякшев І.П., Ліщенко Н.Г.**

*Ужгородський національний університет, науково-дослідний інститут засобів аналітичної техніки вул. Мукачівська, 25, м. Ужгород, 88000, Україна*

В останні роки в Україні велика увага приділяється захисту населення від можливого отруєння оксидом вуглецю (СО), який є надзвичайно токсичним газом без кольору та запаху, і може накопичуватись в замкнених приміщеннях при працюючих двигунах автотранспорту, при неповному згорянні палива, пожежах, що призводить до частих смертельних випадків. Причина накопичення СО при пожежах – виділення СО на ранніх стадіях пожеж коли превалюють процеси тління матеріалу. При цьому температура і оптична густина (задимленість) в приміщенні суттєво не зростають і традиційні засоби виявлення пожежі (теплові і димові пожежні сповіщувачі) ще не спрацьовують. Тому очевидна доцільність розробки сповіщувача пожежного газового на базі електрохімічного напівпровідникового газочутливого елемента (далі - адсорбційний чутливий елемент - АЧЕ), в основі роботи якого лежить електрохімічні реакції на поверхні напівпровідника, легованого каталізатором, (наприклад, у випадку СО, каталізатор Pd:  $\text{Pd} + \text{O}_2 \xrightarrow{400^\circ\text{C}} \text{PdO}$ ;  $\text{PdO} + \text{CO} \xrightarrow{110^\circ\text{C}} \text{Pd} + \text{CO}_2$ ), які призводять до зміни його провідності за рахунок насичення поверхні матеріалу газом акцепторного або донорного типу (окислювач або відновлювач). Перевагою таких елементів є висока чутливість – на рівні десятих ppm, лінійною залежністю вихідного сигналу від концентрації газу, тривалий термін служби, стійкість до агресивних газів та до значних перевантажень по концентрації, стабільність, швидкодія та низька ціна. Однак суттєвим недоліком такого типу сенсора є значне енергоспоживання (порядку 200 мВ) що унеможливує його використання в сповіщувачах газових та сигналізаторах загазованості з автономним джерелом живлення.

Тому дуже актуальним для цього класу приладів є розроблений нами АЧЕ СО з незначним енергоспоживанням, призначеного для перетворення концентрації окису вуглецю в повітрі у електричний сигнал в приладах з автономним живленням, розробка приладу подвійного призначення – для аналізу загазованості у відповідності до проекту ДСТУ EN 50194, та пожежного сповіщувача газового у відповідності до ДСТУ EN 54-6, ДСТУ ISO 7240.

Сповіщувач пожежний газовий та газосигналізатор загазованості на базі АЧЕ СО з незначним енергоспоживанням характеризується простотою у використанні, можливістю тривалої роботи в неперервному режимі, можливістю передачі сигналу на значні відстані, малими габаритами та вагою, прийнятною ціною.

Налагодження серійного виробництва АЧЕ СО з незначним енергоспоживанням, сповіщувачів пожежних газових, газосигналізаторів загазованості, встановлення яких в системи пожежної та аварійної сигналізації дасть можливість:

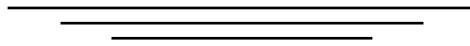
- виявлення пожежі на початковій стадії;
- запобігти небезпечних і аварійних ситуацій, отруєнню людей.

Розроблений нами сигналізаторами чадного газу ГСБ-01-3 повністю відповідає Європейському стандарту EN 50291 **Electrical apparatus for the detection of carbon monoxide in domestic premises**. Крім прямого призначення подібні прилади можна використовувати і як пожежні сповіщувачі газові відповідно до ДСТУ EN 54-6:2004 (Системи пожежної сигналізації. Частина 6).

Розроблений сповіщувач пожежний газовий та сигналізатори загазованості, конкурентоспроможні за своїми технічними та експлуатаційними характеристиками, а за економічними показниками матимуть перевагу над аналогами через нижчу вартість приладів і робіт з їх обслуговування.

**Секція X**

**МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ**



**Section X**

**MATERIALS FOR SENSORS**

# ПОЛУПРОВОДНИК CdTe – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕНСОРА ДАВЛЕНИЯ.

**Алибеков А.Г., Сайпулаева Л.А.**

*Институт физики Дагестанского научного центра РАН*

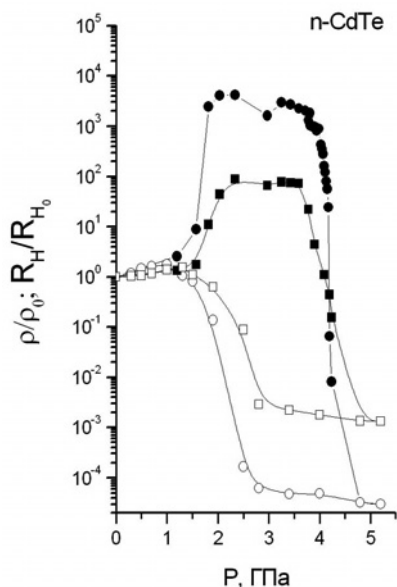
*ул. М. Ярагского, 94, Махачкала, 367003, Россия*

*E-mail: [a.mollaev@mail.ru](mailto:a.mollaev@mail.ru)*

Поисковые работы, в особенности связанные с оценкой перспективности полупроводников в качестве сенсора давления, требуют комплексного подхода. С учетом этого нами проведено комплексное исследование кинетических коэффициентов в CdTe при давлениях до 10 GPa.

Фазовые превращения в CdTe достаточно подробно изучены различными методами. В диапазоне давлений 0÷10 GPa было обнаружено два фазовых перехода: первый переход при 2.8÷3.9 GPa - цинковая обманка-натрий хлор и второй, при 9÷10 GPa - натрий хлор-белое олово. Однако, в работе [1] по рентгеноструктурным исследованиям было показано, что в области давлений 2.5÷4 GPa ситуация более сложная, имеет место два фазовых перехода: первый - цинковая обманка-киноварь, второй - киноварь-натрий хлор.

В *n*-CdTe ( $p=1.1$  Ом·см,  $R_H=810$  см<sup>2</sup>/Кл) впервые при высоком гидростатическом давлении до 6 GPa одновременно измерены удельное электросопротивление  $\rho$  и коэффициент Холла  $R_H$  при подъеме (темные точки) и сбросе давления (светлые точки) по методике, описанной в работе [2].



На барических зависимостях  $\rho/\rho_0(P)$  (кружки) и  $R_H/R_{H0}(P)$  (квадратики) в исследуемом диапазоне давлений наблюдаются два четких фазовых перехода при  $P=2.3$  GPa – цинковая обманка-киноварь и второй переход при  $P=3.8$  GPa – киноварь-натрий хлор. Из рисунка видно, что  $\rho$  и  $R_H$  сначала растут, затем падают на 8 и 4 порядка соответственно. Затем кривые выходят на насыщение. В области насыщения  $\sigma=3000$  Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup> и  $n=10^{21}$  см<sup>-3</sup>, что указывает на то, что в области насыщения мы имеем металлическую проводимость.

На основе собственных экспериментальных данных и представлений о поведении  $\rho$  в области высоких давлений для гетерофазных структур рассчитаны некоторые характеристические точки и параметры фазового превращения.

Из полученных экспериментальных данных можно сделать следующие рекомендации: использовать CdTe для калибровки аппаратов высокого давления, работающих при высоких давлениях до 9 GPa.

[1] D.Martinez-Garcia, Y.Le Godec, Mezowar, G.Syfosse, J.P.Itie and J.M.Besson, Phys. Stat. Sol. (b), **211**, 461 (1999).

[2] А.Ю.Моллаев, Л.А.Сайпулаева, Р.К.Арсланов, С.Ф.Маренкин, ФТВД, **12**, №4, 25 (2003).



# КРИСТАЛЛЫ ZnTe:Ni КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОТОРЕФРАКТОРОВ

Ю.Ф.Ваксман, В.В.Яцун, Е.А.Бережной, Бошерницан В.И.

*Одесский национальный университет имени И.И.Мечникова*

Халькогениды цинка, легированные переходными металлами используются в качестве активных сред и затворов для лазеров, излучающих в инфракрасной области спектра. Кристаллы ZnTe, легированные железом и никелем, являются перспективным материалом для фоторефракторов [1]. В связи с этим, получение кристаллов теллурида цинка, легированных никелем является актуальным.

В данной работе были исследованы кристаллы ZnTe:Ni, полученные диффузионным легированием. В качестве исходных использовались нелегированные монокристаллы ZnTe, выращенные методом свободного роста на ориентированной в плоскости (111) подложке ZnSe. Диффузия примеси осуществлялась из напыленного металлического слоя никеля в атмосфере Ar+He при температурах 1020-1120 К. Длительность диффузионного процесса составляла 5 часов. Полученные образцы ZnTe:Ni имели темно-коричневую окраску в отличие от красно-коричневой нелегированных кристаллов.

Исследовано оптическое поглощение в видимой и ИК-области спектра. Обнаружено смещение края фундаментального поглощения в сторону меньших энергий. По величине смещения определена концентрация примеси никеля. Максимальная концентрация примеси никеля составила  $6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  в кристаллах, полученных при 1120 К.

При  $T=77 \text{ К}$  на низкоэнергетическом крыле края поглощения наблюдаются линии, которые обусловлены внутрицентровыми оптическими переходами из основного  $^3T_1(F)$ -состояния на G-состояния иона  $\text{Ni}^{2+}$ .

В ИК-области наблюдаются полосы поглощения, обусловленные переходами из основного  $^3T_1(F)$ -состояния на низкоэнергетические возбужденные состояния  $^3T_2(F)$  и  $^3A_2(F)$  иона  $\text{Ni}^{2+}$ .

Наличие полос поглощения в видимой области позволило определить диффузионные профили примеси и рассчитать коэффициенты диффузии  $D$  никеля в кристаллах ZnTe при температурах 1020-1120 К. При температуре отжига кристаллов 1120 К коэффициент диффузии никеля составляет  $6 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ . По температурной зависимости  $D(T)$  определена энергия активации процесса диффузии, которая составляет 1.9 эВ.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что кристаллы ZnTe:Ni могут быть использованы в качестве материала для фоторефракторов, работающих в видимой и ИК-области.

1. Kreissl J., Schulz H.-J. Transition-metal impurities in II-VI semiconductors: characterization and switching of charge states // J. Cryst. Growth. – 1996. – V. 161. - P. 239-249.

# ФЕРОМАГНІТНІ КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

Білинський – Слотило В.Р.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Легування напівпровідникових сполук та твердих розчинів елементами з незаповненими d-, f- оболонками відкрило нові можливості в дослідженні станів домішкових атомів в матричних кристалах. Це насамперед утворення різного роду кластерів з великими магнітними моментами. Серед досліджених безщілинних, вузькозонних та широкозонних напівпровідників найбільшою різноманітністю магнітних властивостей володіють тверді розчини, що містять в якості магнітної компоненти хром, залізо, кобальт, гадоліній. Це привело до появи нових напівмагнітних напівпровідників на основі HgSe, HgTe. Особливої уваги заслуговують дослідження магнітних властивостей HgSe:Fe та  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$  у зв'язку з недавнім відкриттям надпровідності у таких сполуках як  $\text{FeSe}_x$  та  $\text{FeTe}_x$  [1].

Отримано кристали HgSe:Fe з  $N_{\text{Fe}}=5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$  ( $0 < x \leq 0,05$ ) методом Бріджмена [2]. Досліджено їх магнітну сприйнятливості  $\chi$  в температурному інтервалі (HgSe:Fe при  $T=2 - 300 \text{ K}$ ;  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$  при  $T=50 - 300 \text{ K}$ ), а також електронномікроскопічні зображення включень іншої фази в матриці кристалу  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ .

Для отриманих зразків HgSe:Fe з ростом  $N_{\text{Fe}}$  зростає парамагнетизм і при  $N_{\text{Fe}}=5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  в усьому інтервалі температур зразки є парамагнітними. Залежність  $\chi^{-1}(T)$  свідчить про виконання закону Кюрі, і постійна Кюрі узгоджується для іонної системи  $\text{Fe}^{3+}$  при низьких значеннях концентрації  $N_{\text{Fe}} \sim 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . З ростом  $N_{\text{Fe}}$  постійна Кюрі аномально залежить від  $N_{\text{Fe}}$ , і інтерпретується нами, як гібридизація зонних і домішкових станів.

Зовсім інший характер має поведінка  $\chi(T)$  для кристалів  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ . На кривій температурної залежності  $\chi$  має місце максимум, який свідчить про наявність магнітного фазового переходу подібного до фази спінового скла. З більшим вмістом хрому магнетизм зростає, а максимум  $\chi$  відповідає  $T \sim 106 \text{ K}$ .

Встановлено, що спостережувані високі значення  $\chi$  при зниженні температури пояснюються феромагнітним внеском  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ . Проведена оцінка внеску феромагнітних включень у магнітну сприйнятливості,  $\chi = \chi_{\text{Tg}} - \chi$ , (де  $\chi_{\text{Tg}}$  – максимальне значення  $\chi$  в точці фазового переходу;  $\chi$  – величина магнітної сприйнятливості, отримана в результаті екстраполяції лінійної залежності), дає значення  $\chi = 9,72 \cdot 10^3 \text{ см}^3/\text{г}$ , що приблизно в 5 разів більше ніж внесок  $\chi$ , зумовлений магнітним фазовим переходом.

Електронномікроскопічні дослідження свідчать, що значний ріст магнетизму у кристалах  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$  обумовлений феромагнітною фазою  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ . Наявність такої фази дає можливість створювати пристрої та елементи низькотемпературної сенсорної електроніки, оскільки феромагнітна температура Кюрі для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  становить  $106 \text{ K}$ .

Даний клас феромагнітних матеріалів має великі перспективи для широкого використання при виготовленні різноманітних оригінальних елементів сенсорної електроніки.

Література

1. Fong-Chi Hsu, Jiu-Yong Luo, Kuo-Wei Yeh et all. Superconductivity on the PbO-type structure  $\alpha\text{-FeSe}$  // Cond.mat. (08.07.2369).

2. Андрийчук М.Д., Белинский-Слотыло В.Р., Паранчич С.Ю. и др. Магнитное упорядочение в кристаллах  $\text{Cr}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}$ , полученных твердотельной рекристаллизацией // Неорганические материалы. 2009. т.45, №11, с.1-5.

## ПОРУВАТІ КРЕМНІЙ-ОКСИДНІ СТРУКТУРИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ СЕНСОРІВ

**В.А. Данько, І.З. Індутний, В.І. Минько, К.В. Михайловська, П.Є. Шепелявий**

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,  
просп. Науки, 41, Київ, 03028, Україна, E-mail: dan`ko-va@ukr.net*

Поруватий кремній, завдяки своїм унікальним властивостям, є перспективним матеріалом для різноманітного застосування. Огляд великого масиву літературних джерел даного спрямування вказує на можливість використання цього матеріалу в хімії, біології, медицині як основи газоаналізуючих (ацетон, вода, сірководень і т.п.) сенсорних пристроїв, датчиків вологості, твердотільних накопичувачів водню та багато іншого.

В даній роботі приведено результати досліджень поруватих кремній-оксидних структур, які є аналогом поруватого кремнію, та продемонстровано можливість використання їх в якості матеріалу для сенсорних пристроїв. Поруватий кремній зазвичай отримують з монокристалічного шляхом електрохімічного травлення, що має як свої переваги, так і недоліки. В даному випадку, ми спочатку скісним осадженням в вакуумі одержуємо порувату колоноподібну матрицю субоксиду кремнію ( $\text{SiO}_x$ ) заданого складу ( $x$ ), а потім з допомогою високотемпературного відпалу всередині колон формуємо нанокластери кремнію [1]. В залежності від температури відпалу ці нанокластери можуть бути кристалічними, чи аморфними, а їх розмір залежить від складу вихідного оксиду та також температури відпалу. Єдиною принциповою

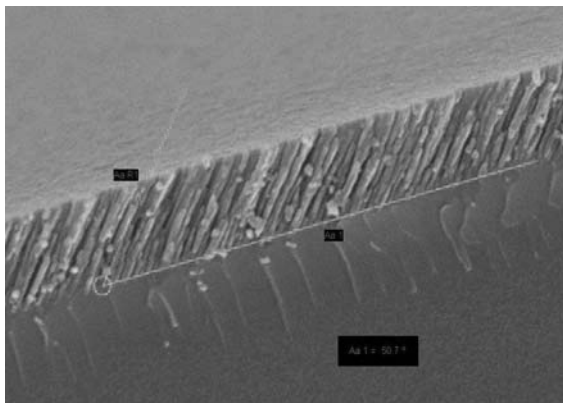


Рис.1.Електронно-мікроскопічне зображення перерізу плівки  $\text{SiO}_x$ , осадженої під кутом  $75^\circ$

відмінністю отриманої структури від поруватого кремнію є нахил колон (рис. 1). Значення поруватості отримуваних таким чином структур залежить від кута осадження (кут між нормаллю до підкладки та напрямом на випаровувач) і змінюється від 20 до 57 % при зміні кута осадження від  $60^\circ$  до  $75^\circ$ , при цьому діаметр колон варіюється в межах 10-100 нм. Такий процес формування поруватого кремнію є більш технологічно керованим в порівнянні з класичним та дозволяє отримувати однорідні шари заданої товщини, поруватості та вмісту кремнію.

В роботі продемонстровано, що завдяки високій ступені поруватості даний матеріал характеризується значною адсорбційною здатністю (зміна маси зразка досягала 20% при адсорбції парів аміаку). Одержано кінетичні залежності адсорбції парів аміаку і ацетону, та показано вплив адсорбції на фотолюмінісцентні властивості цього матеріалу. Крім того, шляхом різноманітних обробок (протравлювання в розчині або парах плавикової кислоти, УФ опромінення, адсорбція та відпал) вдається модифікувати розгалужену поверхню цього матеріалу, що є перспективним з точки зору забезпечення необхідної селективності сенсорних структур на його основі.

[1]. I. Z. Indutnyy, I. Yu. Maidanchuk, V.I. Min`ko, P.E. Shepelyavyy, V. A. Dan`ko. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 7(3), 1231 (2005).

# INVESTIGATION OF TIN CONTAINING ORGANIC COMPLEXES FOR THE PRODUCTION OF NANOSIZED TIN DIOXIDE FILMS

V.S. Grinevich<sup>1</sup>, S.N.Savin<sup>1</sup>, V.A. Smyntyna<sup>1</sup>, L.N. Filevskaya<sup>1</sup>  
B. Ulug<sup>2</sup>, M. Haluk Turkdemir<sup>3</sup>, A. Ulug<sup>2</sup> and Ş. Yaltkaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>-Odessa I.I. Mechnikov National University Odessa, Ukraine, grinevich@onu.edu.ua

<sup>2</sup>-Akdeniz University, Department of Physics, Antalya, Turkey

<sup>3</sup>- Uludag University, Department of Chemistry, Bursa, Turkey

Thin films adsorptive sensitive elements based on oxide materials with nanosized grains found wide spread application in modern gas analyzers. Tin dioxide is one of such materials which have good sensitivity to some gases and chemically resistivity to some harmful and poisoning gases. Thus, investigation of the production processes of nanosized oxide materials layers, i.e. tin dioxide, is appeared to be important.

Production technique of Tin dioxide thin films comprises polymers as a structuring additive. In the present work, which is dedicated to the investigation of this complex composition, a complex based on tin acetylacetonate was used as a precursor of tin dioxide.

Problem was realized after the thermogravimetric (TG) and derivatothermographic (DTG) investigation of the tin complex whose usage for the production of tin dioxide thin films promotes the formation of nano sized film structure. As soon as tin tetrachloride and acetylacetone were mixed the precursor containing tin dichloroacetylacetonate and some impurities containing tin oxides and tin tetraacetylacetonate form immediately.

Two types of tin complexes were investigated: Sample coded as N1 is prepared in Odessa I.I. Mechnikov National University (Odessa, Ukraine) and the one coded as N2 is produced in Akdeniz University (Antalya, Turkey). Production techniques of these complexes are the same except the final drying procedure of the powder which were oven dried in air in ONU and vacuum dried in Akdeniz University.

The weight losses of the samples in TG investigations reveal the compositional difference of the products. DTG data of the sample N1 at 100° C shows the presence of a water complex. Chloride analyses of both complexes reveal the presence of equal amount of chloride suggesting that dichloroacetylacetonate prevails in the compositions of both complexes.

The present work is supported by Ministry of Education and Science of Ukraine (International Scientific Project M/349-2008) and The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the grant 107T277.

# СКЛОУТВОРЕННЯ, КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ В СИСТЕМАХ $As_2S_3$ - $As_2Se_3$ ТА $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$

Гера Е.В.

*Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації  
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,  
Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4  
e-mail: [center\\_uzh@email.uz.ua](mailto:center_uzh@email.uz.ua)*

Властивості халькогенідних стекел та плівок на їх основі і, відповідно, функціональних елементів різноманітного призначення, в значній мірі визначаються чистотою вихідних компонентів та технологічними режимами синтезу.

В даній роботі наведені технологічні режими одержання стекел в системах  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  та  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$  та результати досліджень їх деяких фізико-хімічних параметрів.

Склоподібні зразки систем As-S-Se та As-Sb-S (розрізи  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  і  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$ ) готувались або шляхом прямого синтезу з особливо чистих елементарних компонентів, або із попередньо синтезованих сполук  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$  і  $Sb_2S_3$  у евакуйованих (0.01 Па) кварцових ампулах протягом 24-48 годин. Встановлено, що при синтезі сплавів із елементарних компонентів має місце відхилення складів одержаних склоподібних сплавів від заданих у ділянку менших значень халькогена (на 1-3 мас. %), тому у подальшому синтези сплавів даних систем проводили із бінарних сполук  $As_2S_3$ ,  $As_2Se_3$  і  $Sb_2S_3$ . Оскільки у склад сплавів входить сірка, яка характеризується високою пружністю парів, синтез проводили у декілька етапів, поступово підвищуючи температуру до температури гомогенізації.

Температури гомогенізації розплавів  $As_{40}S_{60-x}Se_x$  ( $0 \leq x \leq 60$ ) і  $As_{40-x}Sb_xS_{60}$  ( $0 \leq x \leq 40$ ) вибирались для кожного складу і не перевищували  $T_m$  більше, ніж на 50-100 К. Періодично розплави перемішували. Всі сплави системи  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  і сплави системи  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$  з вмістом трисульфиду сурми до 60 мол. % охолоджували зі швидкістю  $\sim 10$  К/с. Сплави ж  $As_{40-x}Sb_xS_{60}$  з  $x > 24$  одержували склоподібному вигляді тільки в режимі різкого гартування розплаву. У деяких випадках, для зняття залишкових механічних напруг, стекла відпалювались протягом декількох годин при температурах, на 20-30 К нижче температури склування  $T_g$  відповідних сплавів.

Характеристичні температури теплових ефектів  $T_g$ ,  $T_c$  і  $T_m$  визначались на основі даних диференціально-термічного аналізу (ДТА), який проводився за допомогою високочутливої установки при швидкості нагрівання  $\sim 0,08$  К/с. Точність визначення температур складала 0,5 К.

Дослідження кривих ДТА показали на відсутність ефекту кристалізації в стеклах, по складу близьких до сульфиду миш'яку. В системі  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  стекла кристалізуються при вмісті у їх складі  $\geq 50$  мол. %  $As_2Se_3$ , а в системі  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$   $\geq 30$  мол. %  $Sb_2S_3$ . При цьому, величина  $T_c$  зростає при збільшенні вмісту  $As_2S_3$  у складі стекел (від 579К для  $As_2Se_3$  до 627К для  $(As_2S_3)_{50}(As_2Se_3)_{50}$  і від 506К для  $Sb_2S_3$  до 643К для  $(As_2S_3)_{70}(Sb_2S_3)_{30}$ ). Величина  $T_g$  змінюється набагато слабше – від 458 К для  $As_2S_3$  до 447 К для  $As_2Se_3$  і до 483 К для  $Sb_2S_3$ .

При збільшенні вмісту селену та сурми у складі стекел вивчених систем густина та мікротвердість зростають (від 3,27 г/см<sup>3</sup> для  $As_2S_3$  до 4,51 г/см<sup>3</sup> для  $As_2Se_3$  і до 4,14 г/см<sup>3</sup> для  $Sb_2S_3$ ). Мікротвердість стекел в системі  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  змінюється в межах  $(11,2-14,7) \cdot 10^8$  Па, а в системі  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$  –  $(11,2-17,1) \cdot 10^8$  Па. При цьому на концентраційних залежностях  $\rho$  і  $H$  виявлені невеликі відхилення від адитивності.

На основі одержаних результатів в рамках концепції флукуаційного вільного об'єму розраховані об'єм  $V_h$  і енергія утворення  $E_h$  мікропорожнин в стеклах, побудовані їх концентраційні залежності, на основі яких зроблені висновки про характер структурних змін, що проходять в стеклах систем  $As_2S_3$ - $As_2Se_3$  та  $As_2S_3$ - $Sb_2S_3$  при зміні хімічного складу.

# ОЦІНКА СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ НАНО- ТА МІКРОЧАСТИНКАМИ *AgBr* у МАТРИЦЯХ ШПАРИСТОГО СКЛА ПО СПЕКТРАМ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ

С.А.Гевелюк<sup>1</sup>, І.К.Дойчо<sup>1</sup>, О.О.Птащенко<sup>1</sup>, Т.М.Толмачова<sup>1</sup>,  
С.О.Жуков<sup>2</sup>, О.В.Тюрин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Лабораторія некрystalічних середовищ (НДЛ-11) Одеського національного університету імені І.І.Мечникова, вул.Пастера, 42, 65082, Одеса, Україна*

<sup>2</sup> *НДІ фізики Одеського національного університету імені І.І.Мечникова, вул.Пастера, 27, 65082, Одеса, Україна*

Шляхом рідинно-газового мікросинтезу всередині матриць шпаристого скла двох типів, які відрізнялися переважним розміром шпарин, створено частинки *AgBr*. Як зв'язуюча речовина, що дозволяє достарчити складові реакції до найдрібніших шпарин, використовувався розчин полівінілового спирту в воді. Досліджено спектри люмінесценції здобутого матеріалу при збудженні лазером із довжиною хвилі 337 нм та при збудженні випромінюванням від ксенонової лампи із довжиною хвилі 430 нм. При використанні як матриці обох типів стекол виявлено ефект квантових обмежень, що складається у зсуві максимуму спектру фотолюмінесценції у короткохвильовий бік у порівнянні із типовим для мікрокристалітів *AgBr* із такою самою зв'язуючою речовиною значенням 800 нм. У дрібношпаристому склі цей пік є зсунутим на 150 нм, а у крупношпаристому – на 175 нм. Це свідчить про утворення частинок *AgBr* із нанометровими розмірами всередині шпарин. З загальних міркувань є зрозумілим, що бодай якась частина отриманого *AgBr*, принаймні, всередині завжди присутніх в обох типах матриці дуже крупних шпарин, може синтезуватися у вигляді мікрокристалітів, але слідів відповідного їм піку на спектрах фотолюмінесценції явно не фіксується. Проте, обробка пар спектрів, що їх було записано при неоднаковому збудженні, методом Аленцева-Фока дозволяє виявити для кожного з типів матриць внески у фотолюмінесценцію як наночастинок, так і незначної кількості мікрокристалітів, а також оцінити співвідношення цих внесків. З'ясовано, що у дрібношпаристій матриці загальна кількість утворених частинок *AgBr* як у вигляді кластерів, так і у вигляді мікрокристалітів більша, ніж у крупношпаристій. З іншого боку, всередині крупношпаристої матриці незначну кількість *AgBr*, що утворилася, розподілено між мікрокристалітами та нанокластерами у порівняному відсотковому вмісті, тоді як у дрібношпаристій матриці ймовірність формування мікрокристалітів менша ніж нанокластерів майже на порядок. Великий вміст нанокластерів, згодом, має підвищувати радіаційну чутливість матеріалу, бо для цих утворень співвідношення об'єму частинок до площі їхньої поверхні є більш оптимальним для радіаційного впливу. Отже можна зробити висновок щодо перспективності матеріалу, що складається з системи наночастинок *AgBr* всередині дрібношпаристої матриці із використанням полівінілового спирту як зв'язуючої речовини, для створення давачів радіації. До того ж, рівномірне розподілення за об'ємом матриці дрібних фоточутливих частинок у разі використання здобутого матеріалу для запису інформації на оптичний спосіб призведе до збільшення роздільної здатності реєструючого середовища.

## ПОЛІМЕРНІ КОЛОРИМЕТРИЧНІ ТЕСТ-СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МОЛЕКУЛЯРНО-ІМПРИНТОВАНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ БІООРГАНІЧНИХ МОЛЕКУЛ

**Горбач Л.А.<sup>1</sup>, Бровко О.О.<sup>1</sup>, Слінченко О.А.<sup>1</sup>, Сергєєва Л.М.<sup>1</sup>,  
Гончарова Л.А.<sup>1</sup>, Єльська Г.В.<sup>2</sup>, Сергєєва Т.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України,  
Київ, 02160, Харківське шосе 48,*

<sup>2</sup> *Інститут молекулярної біології та генетики НАН України,  
Київ, 03680, Заболотного 150  
[gorbachla@bigmir.net](mailto:gorbachla@bigmir.net)*

Своєчасна діагностика стану організму потребує точну інформацію щодо кількісного та якісного вмісту креатиніну у крові та сечі, тоді як патологічне збільшення цих показників свідчить про наявність гострих або хронічних захворювань. Тому, створення колориметричних полімерних тест-систем медичного призначення для експресних методів контролю вмісту біоорганічних молекул, зокрема креатиніну, є актуальною задачею.

Одним з шляхів рішення цієї проблеми є отримання полімерних систем за технологією молекулярного імпринтингу. Застосовуючи цю технологію синтезовано тест-системи у вигляді композиційних молекулярно-імпринтованих полімерних (МІП) мембран, які здатні до молекулярного розпізнавання, самоорганізації та селективної взаємодії. Пористою основою було обрано мікрофільтраційні полівініліденфторидні комерційні мембрани, на поверхню яких прищеплювали МІП шар. Поверхневу фотоініційовану модифікацію проводили у водному розчині в присутності функціонального мономера, зшивального агента - N,N'-метилєн-біс-акриламід, креатиніну та фотоініціатору. Отримані МІП мембрани та контрольні полімерні мембрани (без молекул-матриць) було застосовано для визначення вмісту креатиніну. Як функціональні мономери використовували органічні кислоти: ітаконову, метакрилову та 2-акриламід-2-метил-1-пропансульфонову. Показано, що застосування останньої в якості функціонального мономера забезпечує більш інтенсивне забарвлення колориметричних тест-систем. Ступінь модифікації визначали за різницею ваги до та після процедури прищепленої полімеризації. Особливості взаємодії креатиніну з функціональними мономерами досліджували методом ІЧ-спектроскопії.

Контроль кількості адсорбованого креатиніну МІП мембранами із розчинів проводили за допомоги якісної реакції Яффе. Показано, що забарвлення МІП мембран залежить від вмісту адсорбованого креатиніну та змінюється від помаранчевого-червоного до світло – жовтого.

Саркозин, сечовину, D(+) глюкозу та креатин застосовували для тестування селективності креатинін - імпринтованих полімерних мембран. Оптимізовано умови проведення якісної реакції Яффе, які дозволяють специфічно визначати тільки креатинін.

Таким чином, продемонстрована можливість застосування отриманих МІП мембран, як принципово нових, експресних колориметричних тест-систем, для визначення патологічних концентрацій креатиніну поза лабораторних умов, без залучення дорогого обладнання, які прості у використанні, працюють по типу «лакмусовий папірець» та впродовж тривалого часу зберігають стійке забарвлення.

Робота виконана за фінансової підтримки Національної академії наук України.

## ХСН ДЛЯ ПОРОГОВИХ ТЕРМООПТИЧНИХ СЕНСОРІВ

<sup>1</sup>Козусенок В.В., <sup>2</sup>Горіна О.В., <sup>1</sup>Туряниця І.І., <sup>2</sup>Тарнай А.А.

<sup>1</sup>Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

<sup>2</sup>Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації

Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,

Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4

e-mail: [center\\_uzh@email.uz.ua](mailto:center_uzh@email.uz.ua)

Вивчення кінетики і механізмів структурних перетворень, складу фаз, які виділяються при кристалізації стекол та плівок, дає можливість виробити конкретні рекомендації по підвищенню їх температурно-часової стабільності, керованій зміні властивостей при варіаціях складу, умов одержання, термічної обробки та експозиції, забезпечити можливість їх використання в якості елементів оптоелектроніки, сенсорики, систем запису і збереження інформації.

В даній роботі приведені результати досліджень кінетики кристалізації аморфних плівок  $(As_2S_3)_x(SbSI)_{100-x}$  ( $10 \leq x \leq 47$ ) та  $Sb_2Se_3$  оптичним методом. При дослідженнях використовувались тонкі плівки селену та селеніду сурми товщиною 0,2-2,0 мкм, які одержувались на скляних підкладках методом резистивного випаровування у вакуумі відповідних сплавів із квазізамкнених ефузійних комірок.

Реєстрація зміни пропускання проводилась на довжинах хвиль  $\lambda=750-920$  нм. При вивченні ізотермічної кристалізації зразки поміщались у термостатовану камеру, в якій забезпечувалась стабілізація температури в інтервалі температур 300-550 К. При дослідженні процесів неізотермічної кристалізації плівок здійснювалося лінійне нагрівання плівок з різними швидкостями. У першому випадку реєструвалась зміна оптичного пропускання від часу при постійній температурі витримки, у другому – зміна пропускання від температури

Дослідження показали, що залежності відносної зміни пропускання плівок від часу при різних постійних температурах відпалу мають релаксаційний характер. Постійні часу релаксації залежать від складу плівок та температури. Апроксимацією цих залежностей на основі співвідношення Колмогорова-Авраамі визначено показник степеня реакції кристалізації  $m$ . Для плівок  $Sb_2Se_3$  встановлено геометричний перехід від 3D до 2D моделі росту кристалічних включень, а для плівок  $(As_2S_3)_x(SbSI)_{100-x}$  – до одновимірної моделі росту.

Встановлено, що температурна залежність пропускання має сходинковий характер, а температура переходу залежить від складу плівок та швидкості нагрівання. Зокрема, для плівок  $(As_2S_3)_{10}(SbSI)_{90}$  температурний інтервал, де пропускання різко зменшується, складає 40-50 К. Для плівок даної системи з вмістом сульфойодиду сурми 70 і 80 мол. % та плівок  $Sb_2Se_3$  цей параметр є меншим і складає 5-15 К. Зменшується при зменшенні вмісту  $SbSI$  у складі плівок і відносна зміна пропускання плівок при кристалізації, причому найменша зміна виявлена для плівки  $(As_2S_3)_{47}(SbSI)_{53}$  (8-10 %). Встановлено, що перехід «аморфна фаза – кристалічна фаза» є незворотнім. Збільшення швидкості нагрівання призводить до зсуву температурного інтервалу переходу плівок у кристалічний стан у ділянку вищих температур, а сам перехід стає більш різким.

Одержані дані свідчать про можливість використання плівок  $(As_2S_3)_x(SbSI)_{100-x}$  та  $Sb_2Se_3$  в якості порогових термооптичних сенсорів.



## СТРУКТУРНІ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЛІВОК CdSe ТА ZnSe

М.М. Іващенко, А.С. Опанасюк, С.М. Данильченко\*, В.В. Старіков\*\*

*Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007,  
e-mail: m\_ivashchenko@ukr.net, opanasyuk\_sumdu@ukr.net*

*\*Інститут прикладної фізики НАН України, вул. Петропавлівська, 58, м. Суми, 40030  
e-mail: danil@ipflab.sumy.ua*

*\*\*Національний технічний університет «ХПІ», вул. Фрунзе 21, м. Харків, 61002  
e-mail: vadym\_starikov@mail.ru*

Селенід кадмію та цинку є перспективними матеріалами для виготовлення гетеропереходів, квантових ям та квантових точок, поглинаючих шарів та вікон сонячних перетворювачів, фотодетекторів, світлодіодів, електролюмінесцентних приладів. Особливу увагу останнім часом тонкі шари CdSe та ZnSe також привертають як складові монолітних інтегральних детекторів жорсткого іонізуючого випромінювання.

Для практичного використання плівок халькогенідів у мікро- та оптоелектроніці, детекторній техніці необхідна оптимізація їх структурних, оптичних та електрофізичних характеристик, які визначаються фізико-технологічними режимами нанесення конденсатів. Це і обумовило мету дослідження.

Плівки CdSe та ZnSe були отримані на очищених скляних підкладках методом термічного випарування у квазізамкненому об'ємі. Температура випарника при нанесенні шарів CdSe складала  $T_g = 973$  К, ZnSe -  $T_g = 1073$  К. Температура підкладки змінювалась у діапазоні  $T_n = 373 - 873$  К у випадку випаровування селеніду кадмію, та  $T_n = 373-973$  К - селеніду цинку. Структурні дослідження плівок були виконані на рентгенодифрактометрі ДРОН 4-07 у Ni-фільтрованому  $K_\alpha$  випромінюванні мідного анода. Знімання проводилось у діапазоні кутів  $2\theta$  від  $20^0$  до  $80^0$ , де  $2\theta$  – брегівський кут. Фазовий аналіз проводився шляхом співставлення міжплощинних відстаней і відносних інтенсивностей рентгенівських піків від досліджених зразків та еталона за даними JCPDS. Текстура плівок оцінювалась за методом Харріса. Визначення періоду кристалічної ґратки матеріалів шарів здійснювалося за допомогою екстраполяційного методу Нельсона – Рілі. Вимірювання спектральних залежностей коефіцієнта відбиття  $R(\lambda)$  та пропускання  $T(\lambda)$  проводилося на спектрофотометрі СФ-26 в інтервалі довжин хвиль  $\lambda = 300 - 900$  нм у випадку CdSe, та  $\lambda = 200 - 600$  нм у випадку ZnSe.

Ці дослідження дозволили визначити основні структурні характеристики плівок, такі як текстура, період кристалічної ґратки, розміри зерен, механізм росту та ін. у залежності від умов отримання зразків. В результаті оптичних досліджень визначена оптична ширина забороненої зони матеріалів, отримані спектральні розподіли коефіцієнтів поглинання  $\alpha(\lambda)$ , заломлення  $n(\lambda)$ , реальної  $\epsilon_1(\lambda)$  та уявної  $\epsilon_2(\lambda)$  частин оптичної діелектричної сталої зразків.

Встановлена залежність вищезгаданих характеристик від фізико-технологічних режимів конденсації плівок. Виявлені оптимальні умови нанесення структурно досконалих плівок CdSe та ZnSe для створення гетеросистем n-ZnSe/p-ZnTe/n-CdSe.

# ДЕФЕКТНАЯ СТРУКТУРА MWIR И LWIR ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Cd_xHg_{1-x}Te$ , ВЫРАЩЕННЫХ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ

Ижнин И.И.<sup>1</sup>, Денисов И.А.<sup>2</sup>, Смирнова Н.А.<sup>2</sup>, Мынбаев К.Д.<sup>3</sup>, Фицыч Е.И.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> НИИ материалов НПП «Карат», Львов, Украина

<sup>2</sup> ОАО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Москва, Россия

<sup>3</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.Петербург, Россия

<sup>4</sup> Львовский национальный университет им. Ивана Франка, Львов, Украина

Параметры фотодиодов ИК диапазона спектра на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  (КРТ) существенно образом зависят от дефектной структуры материала. В работе сообщается о результатах исследования с помощью ионного травления (ИТ) дефектной структуры эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных жидкофазной эпитаксией (ЖФЭ). В основе таких исследований лежит явление взаимодействия различных дефектов с межузельной ртутью  $Hg_i$ , происходящее при гигантском пересыщении кристалла  $Hg_i$ , что позволяет выявлять собственные и примесные дефекты в КРТ, исследуя релаксацию электрофизических параметров пленок после ИТ.

Номинально нелегированные пленки с составом активной области  $x \approx 0.2$  (LWIR) и  $x \approx 0.27-0.29$  (MWIR) были выращены на подложках  $CdZnTe$  (111) из Te растворов в закрытой системе. После роста пленки характеризовались р-типом проводимости ( $p \sim 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ), обусловленным присутствием вакансий ртути. Для уменьшения концентрации вакансий до уровня  $(5-10) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  или получения материала n-типа проводимости использовали термический отжиг в парах ртути при температуре  $350^\circ\text{C}$  в течение 5 часов или при  $230^\circ\text{C}$  в течение 48 часов, соответственно.

В спектрах фотолуминесценции ФЛ (84 К) исходных MWIR пленок р-типа наблюдалась одна полоса с энергией в максимуме, соответствующей ширине запрещенной зоны ( $E_g$ ) для данного состава  $x = 0.29$ ; после ИТ положение максимума не менялось, а интенсивность возрастала в три раза. В спектре ФЛ исходной MWIR пленки n-типа ( $x = 0.27$ ) наблюдали три полосы, с энергией в максимуме наиболее коротковолновой полосы, соответствующей  $E_g$ . Максимумы двух более длинноволновых полос отстояли от нее на 13 и 18 мэВ, что свидетельствовало о присутствии в образце акцепторных примесей.

Установлено, что во всех исследованных пленках присутствовал нейтральный дефект с концентрацией  $\sim 1 \cdot 10^{17}$  и  $\sim (3-6) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  для LWIR и MWIR пленок, соответственно. Этот дефект активируется при ИТ и образует заряженный донорный центр.

После распада центров (релаксации) концентрация электронов в пленках стабилизируется и характеризует суммарную концентрацию донорного фона. Для LWIR пленок концентрация остаточных доноров (77 К) составляет  $\sim (2-7) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  при подвижности электронов  $\sim 200000 \text{ см}^2/\text{Вс}$ . Для MWIR пленок n- и р-типа проводимости концентрация остаточных доноров (77 К) составляет  $\sim 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  при подвижности  $\sim 70000 \text{ см}^2/\text{Вс}$  и  $\sim 3 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$  при подвижности  $\sim 40000 \text{ см}^2/\text{Вс}$ , соответственно. Полученные значения концентрации донорного фона для пленок ЖФЭ являются наиболее низкими из исследованных ранее данным методом образцов КРТ различных технологий, что позволяет проводить дополнительное легирование пленок донорной примесью In, для получения более однородных и стабильных параметров пленок и приборов на их основе.

Работа частично была поддержана Министерством образования и науки Украины (договор № М/46–2000, № ДЗ/486–2009).

## **НРЦ – МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ**

**Д.Н. Хмиль, А.М.Камуз, П.Ф.Олексенко, Н.Г.Алексенко, О.А.Камуз, В.Г.Камуз**  
*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, г. Киев,  
просп. Науки 41, 03028*

В настоящее время энергосберегающим технологиям уделяется большое внимание. Так как на освещение используется 21% от всей мировой электроэнергии, то среди них особое место занимают белые светодиоды.

Экспертные оценки показывают, что их использование позволит значительно понизить потребление электрической энергии, используемой на освещение. Ожидается, что когда в массовом производстве будет достигнута светоотдача белых светодиодов порядка 150 лм/Вт, то они вытеснят обычные лампы накаливания. Эффективность белых светодиодов определяется в значительной мере параметрами люминофоров и очевидно, что для её повышения необходимы разработки новых люминофорных материалов.

При отработке технологического процесса синтеза люминофоров для белых светодиодов, технологю необходимо знать какие изменения технологического режима синтеза приводят к улучшению, а какие – к ухудшению цветовых характеристик люминофора с точки зрения применимости люминофоров для белых светодиодов. Цветовые характеристики системы люминофор-синий светодиод определяются четырьмя параметрами: спектром фотолюминесценции люминофора, длиной волны синего светодиода (обычно 460 нм), концентрацией порошка люминофора в люминофорной суспензии и толщиной плёнки суспензии. Процедура определения оптимальных значений этих параметров очень сложна и трудоёмка. Для определения оптимальных значений необходимо, как правило, изготовить и испытать десятки пробных образцов. Однако даже после таких трудоёмких и дорогостоящих испытаний нет уверенности в том, что определённые эмпирическим путём параметры есть оптимальными. Под оптимальными параметрами понимаются такие параметры, при которых координаты цветности системы люминофор-синий светодиод максимально близко приближаются к координатам цветности белого света.

Этот метод позволяет за короткий промежуток времени и, используя всего лишь одно измерение, определить величину НРЦ (наименьшую цветовую разницу) люминофора и белого света. Она определяет потенциальные параметры тестируемого люминофора при использовании его в белых светодиодах.

НРЦ – метод основан на том, что координаты цветности светодиода, со слоем люминофора на нём, изменяются при изменении концентрации люминофора в суспензии и толщины слоя суспензии. Экспериментально было установлено, что он применим для люминофоров с коэффициентами поглощения от нескольких обратных сантиметров до порядка  $10^4 \text{ см}^{-1}$ .

Использование данного метода позволит значительно ускорить и удешевить процесс разработки технологии синтеза новых люминофорных материалов.

# СТРУКТУРНІ ТА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК CdO, ОДЕРЖАНИХ РЕАКТИВНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ

Хомяк В.В.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
вул.Коцюбинського 2, [v.khomyak@chnu.edu.ua](mailto:v.khomyak@chnu.edu.ua)

До сьогоднішнього часу велика увага приділяється одержанню і дослідженню прозорих високопровідних тонких плівок оксидів металів ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ , ITO, CdO й ін.) завдяки широкому спектру їх застосування: газові та хімічні сенсори, прозорі електроди в електролюмінісцентних дисплеях на рідких кристалах, захисні та анти відбиваючі покриття, сонячні елементи тощо. Серед вищеназваних оксидів – найменше вивчений CdO, який належить до напівпровідників класу  $A^{II}B^{VI}$  з шириною забороненої зони  $E_g = 2.4 - 2.7$  eV [1].

Такі плівки CdO наносилися на кремнієві, кварцові та сіталові підкладки при температурах від 300 до 673 К з допомогою магнетронного розпилювання кадмієвої мішени в суміші аргону та кисню на установці ВУП-5М. Товщина одержаних плівок складала 100-1000 нм. Потужність, яка підводилась до катода, змінювалась від 7,5 до 38 Вт, тиск робочого газу – від 0,1 до 10,2 Па, що дало можливість встановити оптимальні технологічні умови одержання плівок.

Проведено дослідження структурних, електричних і оптичних характеристик одержаних плівок залежно від тиску та співвідношення вмісту газів у робочій камері ( $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ ), температури осадження і відпалу. Структурна досконалість контролювалася з допомогою XRD-дифракції. Оптична прозорість вимірювалася на спектрофотометрі СФ-20 при кімнатній температурі в діапазоні довжин хвиль 250 – 1000 нм. Отримані плівки CdO були прозорі, без проколів, з дзеркально гладкою поверхнею і володіли доброю адгезією до поверхні підкладок. Всі плівки мали  $n$ -тип провідності. Вимірювання питомого опору плівок  $\rho$  при різних температурах підкладки, зі зміною температури відпалу від 323 - 773 К проводилося з допомогою чотиризондового методу при постійній напрузі. При цьому потужність на катоді і робочий тиск газової суміші під час осадження плівок підтримувалися сталими впродовж всього процесу напilenня.

Дослідження дифракції X-променів показали сильний вплив технологічних умов на структурні властивості плівок CdO.

Встановлено, що питомий електричний опір і оптична прозорість сильно залежить від тиску і процентного вмісту компонентів газу ( $\text{Ar}$ ,  $\text{O}_2$ ) в робочій камері, температури підкладки та ізотермічного відпалу. Зі збільшенням процентного вмісту  $\text{O}_2$  в суміші газів, при сталому тиску в камері, опір плівок спочатку зменшується, досягає мінімального значення а потім знову зростає. Мінімальне значення питомого опору  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-3}$  Ом·см досягається у плівках вирощених при співвідношенні  $\text{Ar} : \text{O}_2 \approx 4:1$  і температурах підкладки  $T_n > 440$  К. Подальший відпал плівок на повітрі приводить до зменшення опору, який сягає величини  $(3-6) \cdot 10^{-4}$  Ом·см залежно від температури осадження. Оптична прозорість вирощених плівок CdO залежить від вищеназваних технологічних умов і знаходиться в межах 65–90%.

Зменшення опору плівок CdO зі збільшенням як температури осадження, так і температури відпалу є, очевидно, наслідком поліпшення мікроструктурності структури, за рахунок розростання розмірів зерен кристалітів, а також за рахунок зменшення площі міжбар'єрних кристалічних фаз. Ці фактори призводять до зменшення пасток для носіїв заряду та зменшення міжбар'єрного розсіювання на границях зерен і це, у свою чергу, веде до збільшення рухливості і електропровідності в полікристалічних напівпровідниках.

[1]. D.M. Ellis, S. J. C. Irvine, Proc. 10<sup>th</sup> European Workshop on MOVPE (Lecce, Italy, 2003), PS.II.03.

# ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО GaP КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АДсорбЦИОННЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

**Кириладш А.И.<sup>1</sup>, Яценко Ю.И.<sup>1</sup>, Кидалов В.В.<sup>1</sup>, Сукач Г.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Бердянский государственный педагогический университет, Украина, Запорожская обл., г. Бердянск., ул. Шмидта 4, 71100 shadow\_jura@mail.ru

<sup>2</sup> Национальный университет биоресурсов и природоиспользования Украины, Киев-041, ул. Героев обороны 15

В последнее время возникли определенные предпосылки для создания пористых слоев в полупроводниковых материалах на основе бинарных соединений типа  $A^3B^5$  [1]. Одной из областей их применения является создание на пористой основе высокочувствительных адсорбционных газовых сенсоров. В процессах адсорбции и десорбции газов участвуют приповерхностные слои микрокристаллов, поэтому, чем больше отношение поверхности кристаллов к их объему, тем эффективнее работа датчика, тем выше его чувствительность к газам. Наличие развитой поверхности за счет пор в пористом GaP делают его перспективным материалом для чувствительного элемента сенсоров.

Целью данной работы является получение пористого слоя на монокристаллической подложке фосфида галлия в различных кислотных средах, исследование результатов эксперимента, и определение оптимальных параметров травления.

Для проведения эксперимента были взяты монокристаллические образцы n-GaP легированные теллуром до концентрации носителей  $n=1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . После предварительной обработки образцы подвергались электрохимическому травлению в растворах:

$\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  
 $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$  при

одинаковых параметрах травления. Результаты исследования поверхности образцов на РЭМ показали, что на поверхности практически отсутствуют инородные примеси. Диаметр пор составляет от 0,5 до 1 мкм (Рис 1).

В данной работе нами было показано, каким образом образуется пористый слой на поверхности образцов монокристаллического GaP с определенными характеристиками и как зависит морфология пористого слоя от состава кислотной среды.

Нами было установлено, что травления в растворе  $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  приводит к возникновению пористой структуры с хаотическим распределением пор; вокруг ядер новых пор возникают розтавы древовидной формы; напряжение начала процесса зарождения новых пор для данного состава электролита составляет 16 В. Травление в растворе  $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{H}_2\text{O}$  зарождает пористый слой с меньшими диаметром и плотностью пор. Если травителем будет выступать  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$  то диаметр пор составит 0,07-0,3 мкм.

[1] Campbell I.H., Fauchet P.M., Solid State Commun. (1986),v.58.p.739

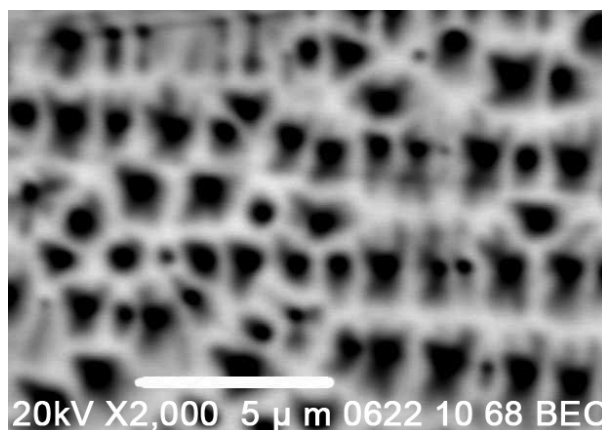


Рис 1. Изображение поверхности пористого GaP полученного травлением в растворе  $\text{HF}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

# NANOPOROUS FEATURES OF SPINEL CERAMICS FOR HUMIDITY SENSORS STUDIED WITH POSITRON ANNIHILATION TECHNIQUE

H. Klym

*Scientific Research Company "Carat", 202 Stryjska str., 79031, Lviv, Ukraine,*

*Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera str., 79013, Lviv, Ukraine*

*[klymha@yahoo.com](mailto:klymha@yahoo.com); [hklym@polynet.lviv.ua](mailto:hklym@polynet.lviv.ua)*

Nanoporous spinel-type  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics are one of the most perspective materials in view of their application in microelectronics as active elements for humidity sensors [1]. Because of significant complications in the microstructure of these ceramics revealed at the levels of individual grains, intergranular boundaries and nanopores, the further progress in this field is dependent on the development of new characterization techniques, such as positron annihilation lifetime (PAL) spectroscopy – one of the most powerful experimental methods for studying of structurally intrinsic voids in solids, which was effectively used earlier for investigation of vacancy-like defects and some their extended modifications.

Early was shown, that to study of nanoporous features in  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics using PAL data (in part so called o-Ps "pick-off" annihilation processes), the adequate mathematical model is needed. Such model can be Tao-Eldrup model earlier successful used for polymer materials. This work is aimed to study application possibilities of PAL technique to characterize nanoporous features of humidity-sensitive spinel  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics within well known a Tao-Eldrup model.

The studied ceramics were prepared in a special regime with maximal sintering temperatures  $T_s$  of 1400 °C during 2, 5 and 9 h. The initial fine-dispersive powders of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  with specific surface area of 12.4  $\text{m}^2/\text{g}$  and MgO with specific surface area of 10.7  $\text{m}^2/\text{g}$  were used as starting components within conventional ceramics technology route. The PAL measurements were performed with an ORTEC spectrometer using  $^{22}\text{Na}$  source placed between two sandwiched samples. The obtained spectra were mathematically treated with LT computer program using three-component fitting procedure. The shortest component of PAL spectra in the studied ceramics reflects mainly the microstructure specificity of the spinel with character octahedral and tetrahedral cation vacancies. The second component corresponds to extended defects located near intergranular boundaries. The third component is due to "pick-off" annihilation of o-Ps in the nanopores.

It is shown that Tao-Eldrup model can be successful used to calculation of nanopores size for  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics in spherical, cylinder, cubical and cuboidal approximation on o-Ps "pick-off" lifetime (third lifetime component of PAL spectra). In ceramics, sintered at 1400 °C during 2 and 5 h the nanopore sizes are ~0.24 nm, ~0.25-0.27 nm, 0.31 nm and ~0.32-0.34 nm, in cuboidal, cylindrical, cubic and spherical approximation, respectively. While in ceramics sintered at 1400 °C during 9 h the nanopore sizes are ~0.22 nm, ~0.23-0.25 nm, ~0.28 nm and ~0.28-0.31 nm, in cuboidal, cylindrical, cubic and spherical approximation, respectively. More perceptively structure of ceramics obtained during 9 h result in a smaller nanopore size.

Thus, PAL spectroscopy can be successful used for experimental studies of nanoporous features in humidity-sensitive  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  ceramics. The Tao-Eldrup model can be successful application to modeling and calculation of nanopore size in ceramic materials for sensors electronics.

# ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ХАЛЬКОГЕНІДІВ ГАЛІЮ, ІНДІЮ ТА ГЕРМАНІЮ ЯК СЕНСОРІВ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ

**Криськов Ц.А., Єремчук В.В., Коріневська І.О.,  
Люба Т.С., Рачковський О.М., Турніцький В.О.**

*Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка,  
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300, Україна  
E-mail: [fizkaf@ua.fm](mailto:fizkaf@ua.fm), [tsezary@mail.ru](mailto:tsezary@mail.ru)*

Напівпровідникові халькогеніди індію, галію та германію мають перспективи для розробки теплових і газових сенсорів завдяки широкому інтервалу зміни їх опору та шаруватій структурі [1,2]. Пробні дослідження підтвердили таку перспективу. Проте, технологія синтезу сполук, вирощування кристалів та формування тонких плівок з достатньо розвиненою поверхнею вимагають додаткових досліджень.

Для синтезу сполук використано метод прямого сплавлення у вакуумованих до залишкового тиску  $10^{-5}$  Па кварцових ампулах з примусовим перемішуванням компонентів. Таке перемішування виконували не менше двох разів – один раз при переведенні найтугоплавкішої компоненти у рідкий стан при температурах, які ще недостатні для формування хімічних зв'язків, інші перемішування проводили при температурі, яка відповідає температурі синтезу. Вирощування кристалів проводили методом Бріджмена-Стокбаргера у вертикальних електропечах. Швидкість руху ампул складала для різних сполук від 0,4 до 1,2 мм/год. Тонкі плівки отримували термічним напиленням на діелектричні та напівпровідникові підкладки.

Досліджені зміни опору при кімнатній температурі тонких плівок, напилених на поверхню сіталу, в атмосфері CO<sub>2</sub>.

Результати досліджень зміни опору тонких плівок

Сполука	Зміна опору, %	Час зміни, с	Час відновлення, с	
			300 К	500 К
GaS	25,2	25	310	160
GaSe	27,6	28	340	165
GaTe	26,8	25	320	180
InS	17,4	32	386	216
InSe	18,2	36	410	248
GeSe	12,6	17	286	145
GeTe	11,8	15	280	140

Проаналізовано залежність зміни параметрів зі структурою тонких плівок.

## Література

1. Шустров А.В., Кобозева Г.А., Мироненко И.А. Полупроводниковый газовый сенсор и способ его изготовления. //Патент РФ № 2143678 (МКИ: G01N27/12, H01L21/02).
2. Давыдов В.Ф., Щербаков А.С., Машков А.С., Батырев Ю.П. Способ повышения чувствительности газовых сенсоров //Патент РФ № 2165614 (МКИ G01N27/12).

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ОЛОВА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИРОКОЗОННЫХ II-VI СОЕДИНЕНИЙ

**В.П. Махний, Ю.Н. Бойко, В.В. Мельник, И.В. Ткаченко, Е.И. Черных**

*Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича*

*58012, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2, Украина*

*e-mail: [volvmel@mail.ru](mailto:volvmel@mail.ru)*

Особенностью элементов IV группы является то, что они входят в обе подрешетки бинарных соединений, образуя одновременно донорные и акцепторные центры. Это должно найти отражение в соответствующих изменениях структурно-чувствительных свойств полупроводника, в частности, электрических и оптических. К сожалению, физические свойства халькогенидов кадмия и цинка, которые относятся к важнейшим оптоэлектронным материалам, в этом контексте исследованы очень мало. В данной работе изучается влияние амфотерной примеси олова на основные электрические свойства широкозонных II-VI соединений.

Базовыми образцами служили тонкие (~1 мм) полупроводниковые пластинки, вырезанные из объемных кристаллов (CdTe, CdSe, CdS, ZnTe и ZnSe), которые были выращены методом Бриджмена из расплава стехиометрического состава. Тип и величина проводимости исходных подложек определяется ансамблем собственных точечных дефектов (СТД), поскольку кристаллы в процессе роста специально не легировались примесными атомами. Введение олова во все используемые материалы осуществлялось путем изотермического отжига подложек в насыщенных парах Sn в вакуумированной до  $10^{-4}$  Торр кварцевой ампуле при 850°C. Глубина залегания  $E_a$  электрически активных центров в легированных образцах определялась из температурных зависимостей сопротивления в диапазоне 77–400К. Важнейшие параметры объектов исследований при 300К приведены в таблице.

Базовые подложки		n, p-CdTe	n-CdSe	n-CdS	p-ZnTe	n-ZnSe
Параметры подложек, легированных оловом	Тип проводимости	n	n <sup>+</sup>	n	n	n
	$E_a$ , эВ	0,75	–	0,015	0,26	0,01
	$\rho$ , Ом·см	$10^{10}$	0,1	1	$10^2$	1

Анализ данных свидетельствует о том, что во всех соединениях, за исключением CdTe, олово образует мелкие донорные центры, которые способствуют увеличению электронной проводимости. В теллуриде кадмия примесь Sn выступает в роли компенсирующих центров и переводит этот материал в полуизолирующее состояние, независимо от типа и величины проводимости базовой подложки. Обратим также внимание на относительно высокую электронную проводимость образцов ZnTe:Sn, которую практически невозможно получить введением типичных донорных примесей. Обсуждаются вопросы использования объектов исследований для создания оптоэлектронных сенсоров.



## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГЕТЕРОСЛОЕВ ZnO, ЛЕГИРОВАННЫХ 3d-ЭЛЕМЕНТАМИ

**В.П. Махний, О.В. Кинзерская, С.А. Савчук, С.В. Хуснутдинов**

*Черновицкий национальный университет имени Ю. Федьковича*

*58012, Черновцы, ул. Коцюбинского, 2, Украина*

*e-mail: [OksanaKinzersky@rambler.ru](mailto:OksanaKinzersky@rambler.ru)*

Возросший в последние годы интерес к оксиду цинка вызван бурным развитием коротковолновой оптоэлектроники, спинтроники и солнечной энергетики [1]. Для удовлетворения этих областей наряду с разработкой методов выращивания объемных кристаллов ZnO также интенсивно развиваются технологии получения пленок и слоев этого материала. Одним из перспективных является метод изовалентного замещения (ИВЗ), которым, в частности, на подложках халькогенидов цинка были синтезированы гетерослои ZnO с эффективной люминесценцией в УФ-диапазоне спектра при 300 К. При этом, однако, остается нерешенной задача легирования этого соединения 3d-примесями, поскольку данный материал может служить основой элементной базы спинтроники благодаря высокой температуре Кюри ( $T_K \geq 300$  К [1]). Настоящая работа посвящена изучению механизма образования и основных физических свойств гетерослоев оксида цинка, легированных 3d-элементами.

Гетерослои ZnO создавались отжигом на воздухе подложек типоразмером  $4 \times 4 \times 1$  мм<sup>3</sup>, которые вырезались из объемного кристалла ZnSe. Последний выращен из расплава стехиометрического состава под давлением инертного газа и в процессе роста специально не легировался. В результате термообработки образуется гетерослой, толщина  $d$  которого зависит от температуры и времени отжига. Установлено, что процесс образования гетерослоев носит диффузионный характер, а коэффициент диффузии  $D$  в диапазоне температур 850-1050°C описывается эмпирическим выражением  $D = 8,7 \cdot 10^{-1} \exp(-1,23/kT)$ , см<sup>2</sup>/с. При этом слои ZnO растут в глубину подложки ZnSe и при больших температурах и временах отжига могут полностью «прошивать» ее, позволяя получать объемные образцы оксида цинка. Изучение химического состава гетерослоя показало, что кислород замещает селен базовой подложки, причем концентрация Se в ZnO составляет  $\sim 10^{19}$  см<sup>-3</sup> и выступает в роли изовалентной примеси. Последняя способствует резкому усилению краевого излучения оксида цинка, а также повышению его температурной и радиационной стойкости. Для получения гетерослоев с 3d-элементами использовались подложки ZnSe, предварительно легированные этими примесями (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) из паровой фазы в закрытом объеме [2]. Обсуждается природа полос поглощения и люминесценции легированных подложек ZnSe и гетерослоев ZnO, а также возможности их использования в функциональной электронике.

1. Ozgur U., Alivov Ya.I., Liu C. et al. A comprehensive review of ZnO materials and devices. // J. Appl. Phys., 2005, V. 98, P. 1-103.
2. Махний В.П., Кинзерська О.В., Уляницький С.К. Спосіб легування селеніду цинку домішками перехідних металів. // Патент на корисну модель UA46928 опубл. 11.01.2010, Бюл. №1, 2010 р.

# ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕНСОРНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $\text{In}_2\text{O}_3$ .

С.В. Мазурик, А.Б. Глот\*, А.В. Коваленко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, 49010  
Днепропетровск, пр.Гагарина 72, stas\_mazurik@mail.ru,

\*Division de Estudios de Posgrado, Universidad Tecnologica de la Mixteca, Huajuapán de Leon, Oaxaca 69000, Mexico

Широкий спектр возможностей по применению материалов на основе оксида индия (от нагревательных элементов до сенсоров газового содержания среды и влажности) предопределяет актуальность поиска новых составов и добавок, расширяющих области практического применения керамики. В работе исследовались физические свойства образцов поликристаллической керамики на основе оксида индия с различными добавками.

Образцы поликристаллической керамики на основе оксида индия получены по традиционной керамической технологии. Смешивание  $\text{In}_2\text{O}_3$  с добавками проводилось с использованием этилового спирта. Шликер сушился при температуре 350 К, и из него прессовались заготовки при давлении 46 МПа. Обжиги заготовок выполнялись на воздухе в течении 1 часа, температура обжига варьировалась в диапазоне от 1200 до 1500 К. В качестве электродов применялись: эвтектика In-Ga и Ag- электроды, вжигавшиеся на воздухе при 1070 К.

Исследованы образцы оксидно-индиевой керамики таких составов:  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Ag}_2\text{O}$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ;  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ;  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Co}_3\text{O}_4$ ;  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{PbO}$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{PbO}$ . Все образцы чувствительны к влаге и могут использоваться как сенсоры влажности. Использование различных добавок предполагало найти состав с более высокой проводимостью образцов керамики при сохранении ее сенсорных свойств. Проведено исследование и сравнение вольт-амперных характеристик и температурных зависимостей проводимости образцов керамики. Из них, образцам  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Ag}_2\text{O}$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  и  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$  свойственен эффект ограничения тока, а образец  $\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{PbO}$  имеет слабую варисторную вольт-амперную характеристику с коэффициентом нелинейности  $\beta \approx 2$ . В таблице приведены значения удельного сопротивления и энергии активации проводимости, определенные на основе анализа температурных зависимостей проводимости на этапе нагрева и на этапе охлаждения образцов.

Табл. Электрические свойства образцов.

№	Образец	$\rho$ , Ом×см	$E_\sigma$ при нагревании, эВ	$E_\sigma$ при охлаждении, эВ
1	$\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$ - $\text{PbO}$	$3,1 \times 10^7$	0,37	0,23
2	$\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Co}_3\text{O}_4$	$2,48 \times 10^7$	0,561	0,714
3	$\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{Ag}_2\text{O}$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$	$1,6 \times 10^5$	0,6	0,106
4	$\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{Bi}_2\text{O}_3$	$9 \times 10^9$	0,329	0,197
5	$\text{In}_2\text{O}_3$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{PbO}$	$2,8 \times 10^4$	0,22	0,04

# PARTICULARITIES OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF $\text{CuInAsSe}_3$ AT HIGH PRESSURES AND LOW TEMPERATURES

**N.V.Melnikova, O.L.Kheifets, A.N.Babushkin, K.V.Kurochka**

*Low Temperature Physics Dept, Ural State University, Lenina Avenue, 51, Ekaterinburg, 620083, Russia  
nvm.melnikova@gmail.com*

The purpose of present work is a study of the electrical properties of a new semiconductor  $\text{CuInAsSe}_3$  at pressures up to 45 GPa and in the temperature range 10-300 K.

Compound  $\text{CuInAsSe}_3$  crystallizes in a tetragonal symmetry, with cell parameters:  $a=5,7967 \text{ \AA}$ ;  $c=11,5471 \text{ \AA}$  [1]. Electrical properties have been investigated by means of impedance measurements with the meter-analyzer RCL-2000 in the range of frequencies 1-200 kHz. All of the temperature dependent electrical measurements were carried out in the dark and in an evacuated closed-cycle helium cryostat. High pressure from 12 GPa to 45 GPa has been generated in the diamond anvil cell with anvils of the "rounded cone-plane" type made of synthetic carbonado-type diamonds [2].

The hodographs of an impedance of  $\text{CuInAsSe}_3$  were obtained and the dependence of the conductivity from a frequency were investigated at 10-300 K and in the pressure range 12-45 GPa. From analysis of hodographs, from pressure dependencies of the tangent of dielectric loss angle and resistances, from frequency conductivity dependencies the ranges of the essential changes of electrical characteristics were determined. In  $\text{CuInAsSe}_3$  after 34 GPa a resistance sharply decreases and ceases to depend on frequencies, all curves  $\text{Re}Z(P)$  practically coincide. Similar behavior of electric properties on pressure have been observed for the semiconductor  $(\text{GeSe})_{0.05}(\text{CuAsSe}_2)_{0.95}$  [3]. Essential changes of the other studied electric properties have been observed at pressures 34-37 GPa. Changes can be connected to phase transition at this pressure. On the temperature dependence of the permittivity the feature (maximum) exists in temperature region 160-200 K. The height of this maximum depends on rate of the temperature change, the width of this maximum depends on the frequency of the alternative voltage.

The properties of studied compound do it as a perspective material for sensors on a pressure and on a temperature.

The researches were supported in part by Federal program "Scientific and research and educational personnel of the innovation Russia" to 2009-2013 and RFBR grant No 09-02-01316-a.

[1] N.V.Melnikova, O.L.Kheifets, O.A.Shabashova, A.N.Babushkin, O.F.Chistyakov. OMA 11 «Ordering in minerals and alloys», **2**, p.58 (2008).

[2] L.F.Verechagin, E.N.Yakovlev, G.N.Stepanov et al. JETF Lett (Russia), **16**, 240 (1972).

[3] N.V. Melnikova, A.N. Babushkin, O.V. Savina. Baric dependence of thermoelectromotive force of amorphous copper chalcogenides. High Pressure Phys. Technics, **19**, № 1, p.63 (2009).

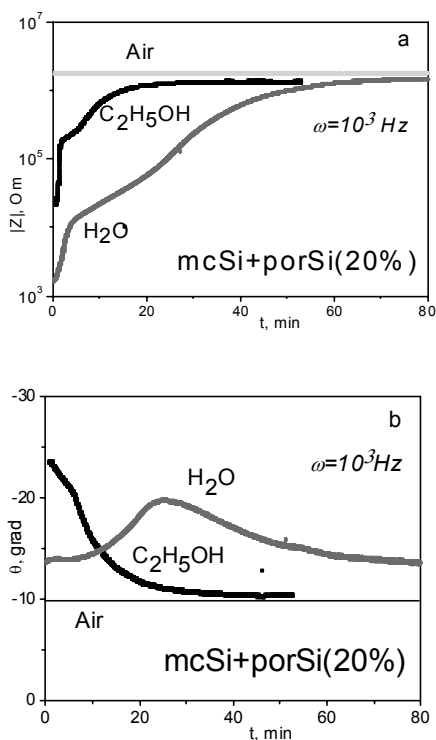
# КІНЕТИКА АДСОРБЦІЙНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДИСПЕРСНИХ КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУР

**Мілованов Ю.С., Кузнецов Г.В., Скришевський В.А.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка,*

*juri\_milovanov@yahoo.com*

Композитні структури на основі ультрадисперсних порошків кремнію є перспективними матеріалами для створення газових і хімічних сенсорів. Високі значення питомої поверхні і малі розміри кристалітів обумовлюють суттєву залежність їх електронних властивостей від поверхневого адсорбційного покриття. Одним з інформативних методів виявлення закономірностей впливу газового або рідинного середовища на фізико-хімічні властивості дисперсних композитних систем є спектроскопія повного імпедансу [1]. В роботі досліджені кореляційні зв'язки між часовими трансформаціями імпедансних спектрів і кінетикою адсорбційно-індукованих процесів в композитних кремнієвих структурах.



процесів в композитних кремнієвих структурах.

Дисперсні керамічні структури пресували з суміші порошків мікрочастичного (mcSi) з розміром кристалітів до 1-5 мкм та поруватого (porSi) кремнію р-типу. Поруватий кремній у вигляді гранул розміром 30-50 нм та нанокристалітами 2-5 нм на поверхні виготовляли методом хімічного травлення дрібнозернистої фракції вихідного порошку mcSi. Електрофізичні вимірювання структур здійснювали в електрохімічній комірці при кімнатній температурі. В якості зовнішніх реагентів використовували розчини етилового спирту та воду, полярні молекули яких при адсорбції призводять до суттєвих змін зарядового стану поверхні кристалітів кремнію.

Частотні та часові залежності повного імпедансу аналізували в полярних координатах  $Z(j\omega) = |Z| \exp(j\theta)$ , де  $|Z|$  - амплітуда імпедансу,  $\theta$  - кут фазового зсуву. Результати дослідження часових залежностей компонент комплексного опору композитних структур mcSi+porSi(20%) в

атмосфері повітря (Air) і в режимі десорбції етилового спирту ( $C_2H_5OH$ ) та води ( $H_2O$ ) наведені на рисунку (частота вимірювального сигналу  $\omega=1$ кГц). Модифікація кінетичних характеристик визначається умовами виготовлення порошків, складом та структурою композиту, частотними залежностями процесів переносу носіїв заряду.

Графоаналітична обробка часових залежностей імпедансу в рамках методу еквівалентних схем дає додаткову до традиційних частотних досліджень інформацію [1] про властивості об'єму та міжзеренних меж розділу кристалітів. Спостерігається значна адсорбційна чутливість до впливу етилового спирту або води, визначена швидкість зміни відгуку в умовах динамічної зміни адсорбційно - десорбційних характеристик середовища. Взаємодія хемосорбованих полярних молекул  $H_2O$  та  $C_2H_5OH$  з поверхнею напівпровідника обумовлює кінетику змін зарядового стану кристалітів і, відповідно, електричних параметрів дисперсних кремнієвих структур.

1 A.J. Bard, L.R. Faulkner. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. Wiley & Sons, Inc. -2001.

# ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА SiO<sub>2</sub>/SiC ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ ОКИСЛЕНИЯ ИЗ РАСТВОРА

Бачериков<sup>1</sup> Ю.Ю., Болтовец<sup>2</sup> Н.С., Конакова<sup>1</sup> Р.В., Колядина<sup>1</sup> Е.Ю.,  
Охрименко<sup>1</sup> О.Б.

<sup>1</sup>*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины,  
Киев, Украина, 03028, Киев-28, Проспект Науки 41, E-mail- [olga@isp.kiev.ua](mailto:olga@isp.kiev.ua)*

<sup>2</sup>*Государственное предприятие «Научно-исследовательский институт „Орион“»,  
03057 Киев, Украина*

Использование в сенсорных структурах широкозонного карбида кремния вместо кремния позволяет существенно поднять рабочую температуру сенсорного элемента. Одним из наиболее предпочтительных диэлектриков для карбидкремниевых приборных структур является SiO<sub>2</sub>. Однако, получение высококачественной границы раздела SiO<sub>2</sub>/SiC с минимальным количеством дефектов до настоящего времени остается проблемой. Концентрация дефектов в интерфейсе зависит от температуры нагрева, длительности окисления и качества SiC подложек, а также от условий роста.

В настоящей работе исследовались структуры двух типов, представляющих собой пленки SiO<sub>2</sub> на подложках n-6H-SiC, выращенного методом Лэли с концентрацией свободных электронов  $\sim 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Пленки SiO<sub>2</sub> наносились на Si – сторону SiC двумя способами: термическим окислением (ТО) и окислением из раствора (ОР). Толщина слоя SiO<sub>2</sub> составляла  $d_{\text{SiO}_2} \approx 70$  нм в случае ТО и  $d_{\text{SiO}_2} \approx 170$  нм в случае ОР. На образцах обоих типов измерялись спектры оптического пропускания, фотолюминесценции (ФЛ), и радиусы кривизны R структур SiO<sub>2</sub>/SiC, с учетом которых рассчитывались величины внутренних механических напряжений  $\sigma$

В спектрах поглощения структур обоих типов наблюдается полоса поглощения в области 630 нм, характерная для спектров поглощения карбида кремния, легированного азотом. Так как пленка SiO<sub>2</sub> в исследуемой области прозрачна, то поглощение всей структуры обусловлено подложкой SiC и границей раздела SiO<sub>2</sub>/SiC, поэтому в спектрах поглощения исследованных образцов различий не наблюдается.

В спектрах ФЛ структур SiO<sub>2</sub>/SiC наблюдается слабая полоса в области 450-500 нм, обусловленная локализацией на границе раздела SiC/пленка окисла структурных дефектов подложки и наличием механических напряжений. Незначительное изменение положения максимума полосы ФЛ для образцов с различным способом изготовления пленки SiO<sub>2</sub> является следствием различной величины внутренних механических напряжений в подложке SiC, обусловленных окисла разной толщины, что коррелирует с данными по измерению R и расчетам  $\sigma$ . Согласно этим данным пленка SiO<sub>2</sub> находится на выпуклой стороне подложки. Величина напряжений сжатия для образца, полученного методом ТО составляет  $\sigma = 7,79 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>, а для образца, полученного методом ОР -  $\sigma = 4,41 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>

На основании полученных экспериментальных результатов можно сделать вывод, что оба метода позволяют создавать структуры SiO<sub>2</sub>/SiC с малой концентрацией дефектов в интерфейсе, о чем свидетельствует низкая интенсивность полосы ФЛ.

# ВПЛИВ Mn НА СТРУКТУРУ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКОЛ СИСТЕМИ As–Se

**О. П. Паюк<sup>1</sup>, Н. Pribylova<sup>2</sup>, Ц. А. Криськов<sup>3</sup>, А. О. Губанова<sup>3</sup>, О. В. Стронський<sup>1</sup>, М. Vlček<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАНУ,  
03028 Київ, Україна; E-mail: Paiuk@ua.fm

<sup>2</sup> Faculty of Chemical Technology, University of Pardubice, Pardubice, Czech Republic

<sup>3</sup> Кам'янець-Подільський національний університет, кафедра фізики,  
32300 Кам'янець-Подільський, Україна

Інтенсивне дослідження халькогенідних стекол обумовлене широким технічним застосуванням в оптоелектроніці завдяки оптичній прозорості в ІЧ області спектру (зокрема, інфрачервоні системи на основі халькогенідних стекол масово впроваджуються в автомобілебудування і застосовуються в якості допоміжних пристроїв керування транспортним засобом в умовах погіршеної видимості), широкій області склоутворення, стійкості в агресивних середовищах і т. д. Ці властивості можна змінювати шляхом легування (наприклад, рідкоземельними елементами та перехідними металами) в залежності від області застосування. Перевагою використання стекол системи As–Se є простота та низька вартість отримання в порівнянні з Ge-вмісними стеклами.

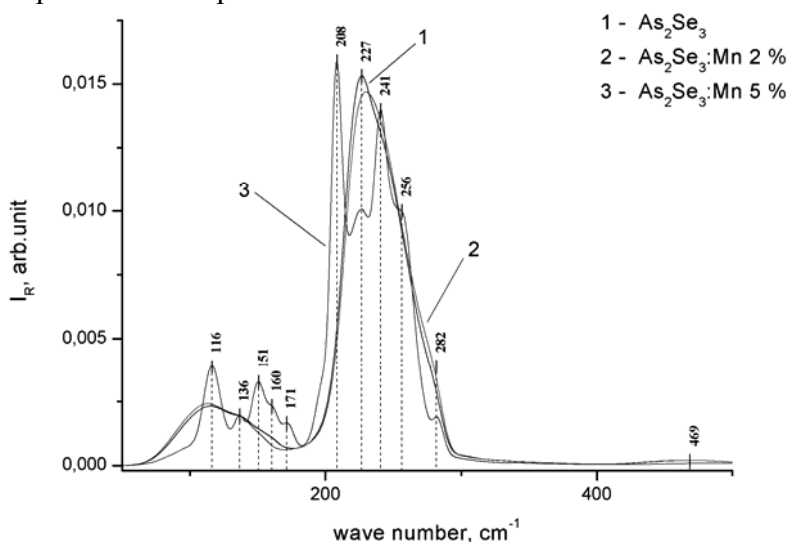


Рис. 1. Спектри КР стекол. Спектри нормалізовані на площу

Як видно з рис. 1., суттєві структурні зміни проявляються при концентраціях Mn > 2% (крива 3). В спектрах КР сильно зростає інтенсивність смуг при 116, 136, 151, 160, 171 см<sup>-1</sup>, характерних для нестехіометричних молекулярних фрагментів, утворених гомополярними As–As зв'язками. Широкий максимум при 227 см<sup>-1</sup> відповідає симетричним коливанням AsSe<sub>3</sub> пірамідальних структурних одиниць. На фоні основної смуги 200 – 300 см<sup>-1</sup> спостерігається смуга 208 см<sup>-1</sup>, яку відносять до коливання As–As зв'язків молекули As<sub>4</sub>Se<sub>4</sub> та 241 см<sup>-1</sup>, що вказує на існування As–Se зв'язків молекули As<sub>4</sub>Se<sub>3</sub>. Згин при 256 см<sup>-1</sup> частково пов'язують з присутністю Se–Se зв'язків та коливанням As–Se зв'язків молекули As<sub>4</sub>Se<sub>3</sub>. Вузька смуга при 282 см<sup>-1</sup> відноситься до коливної моди –Se–Se– містків між AsSe<sub>3</sub> пірамідками та As<sub>4</sub>Se<sub>4</sub> або As<sub>4</sub>Se<sub>3</sub> молекулярними фрагментами. Інтенсивність смуги при 469 см<sup>-1</sup>, характерної для коливання Se–Se зв'язків, зменшується.

Метою даної роботи є вивчення впливу Mn (із вмістом 2, 5 % ваги) на структуру As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> методом комбінаційного розсіювання світла. Спектри комбінаційного розсіювання (КР) світла вивчались при кімнатній температурі із використанням ІК фур'є-спектрометра BRUKER IFS55 EQUINOX з приставкою FRA-106 та Nd:YAG лазера з довжиною хвилі 1,06 мкм.

# МАГНІТНА АНІЗОТРОПІЯ В ПЛІВКАХ (La,Na)MnO<sub>3</sub>

Л.І. Паньків<sup>1</sup>, В.М. Цмоць<sup>1</sup>, І.С. Паньків<sup>1</sup>, А.Н. Щупляк<sup>1</sup>, О.І. Матвієнко<sup>2</sup>,  
О.І. Товстолиткін<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич  
<sup>2</sup> Інститут магнетизму НАН України, бульв. Вернадського 36-б, Київ 03142

Заміщені манганіти зі структурою перовскіту La<sub>1-x</sub>A<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub>, де A – іон лужноземельного або лужного елементу, є перспективними матеріалами для розробки чутливих магнітних сенсорів і елементів зчитування інформації [1]. Останнім часом цікаві магнітні і магніторезистивні властивості виявлено в об'ємних зразках, у яких лантан частково заміщений на натрій [2], однак магнітні параметри таких сполук в тонкоплівковому стані на даний час практично не досліджені.

З метою отримання інформації про магнітну анізотропію досліджували залежності магнітної сприйнятливості (МС) від напруженості магнітного поля. Об'єктами дослідження були плівки La<sub>0,84</sub>Na<sub>0,16</sub>MnO<sub>3</sub>, отримані методом магнетронного напилення на монокристалічні підкладки LaAlO<sub>3</sub>. Товщина плівок становила 20, 100 і 500 нм. Вимірювання проводили при температурах 77 і 300 К при орієнтації площини зразків паралельно і перпендикулярно до напрямку магнітного поля.

Виявлено значну анізотропію при 77 К, яка змінюється зі зміною товщини плівки. При температурі 300 К анізотропія практично не спостерігається.

Слід звернути увагу на те, що при 300 К абсолютні значення МС зменшуються зі збільшенням товщини плівки. Так, наприклад, для 20-нм-плівки  $\chi_{\perp} \sim \chi_{\parallel} = (321-221) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$  у полі  $H = 0,5 \text{ кЕ}$ , а для 500-нм-плівки –  $\chi_{\perp} \sim \chi_{\parallel} = (8-32) \cdot 10^{-3} \text{ см}^3/\text{г}$ .

Типові залежності  $\chi(H)$  на прикладі плівок товщиною 20 і 500 нм наведено на рис. 1.

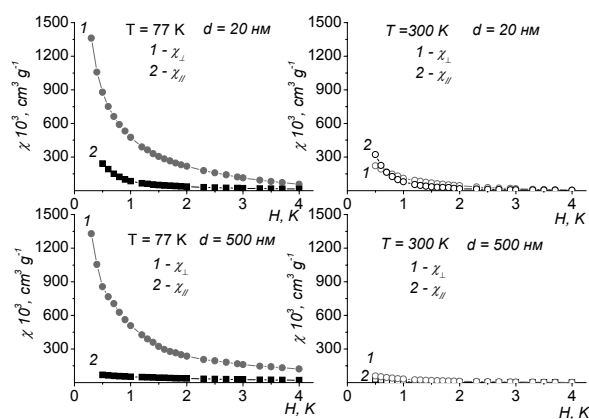


Рис. 1. Залежність МС від напруженості магнітного поля  $\chi(H)$  для плівок La<sub>0,84</sub>Na<sub>0,16</sub>MnO<sub>3</sub> товщиною 20 і 500 нм. Вимірювання виконувалися при 300 та 77 К.

Результати досліджень вказують напрямок керування магнітною анізотропією тонких плівок заміщених манганітів, що може привести до створення пристроїв з новими функціональними властивостями.

- [1] А-М. Naghiri-Gosnet and J-P. Renard, J. Phys. D: Appl. Phys., **36**, R127 (2003)  
[2] А.И. Товстолиткин, В.М. Цмоць, Л.И. Паньков и др., ФНТ, **36**, 280 (2010).

# ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ $\gamma$ -КВАНТАМИ НА ЗМІНИ ЕЛЕКТРО- ТА МАГНІТООПОРУ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ Si-Ge

Павловська Н.Т.<sup>1</sup>, Дружинін А.О.<sup>2</sup>, Островський І.П.<sup>2</sup>, Ховерко Ю.М.<sup>2</sup>, Литовченко П.Г.<sup>1</sup>, Цмоць В.М.<sup>3</sup>, Павловський Ю.В.<sup>3</sup>, Поварчук В.Ю.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, [pavlovskyy@mail.ru](mailto:pavlovskyy@mail.ru)

<sup>2</sup>Національний університет „Львівська політехніка”, Львів

<sup>3</sup>Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, Дрогобич

<sup>4</sup>Інститут фізики НАН України, Київ

Ниткоподібні кристали (НК) твердого розчину Si-Ge є перспективним матеріалом для створення радіаційно стійких сенсорів фізичних величин.

У роботі вивчається вплив опромінення  $\gamma$ -квантами на властивості легованих ниткоподібних кристалів мікронних розмірів твердих розчинів Si-Ge з концентрацією домішки, яка відповідає області переходу метал-діелектрик (ПМД) для створення радіаційно стійких сенсорів на їх основі.

Досліджено вплив опромінення  $\gamma$ -квантами (<sup>60</sup>Co) дозами до  $1 \cdot 10^{18} \text{ } \gamma_{\text{кв}}/\text{см}^2$  на електропровідність НК  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x = 0,03$ ) з питомим опором  $\rho = 0,012 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  в інтервалі температур  $4,2 \div 300 \text{ К}$ .

Типова температурна залежність опору опроміненого  $\gamma$ -квантами з дозами  $2,63 \cdot 10^{17}$ ,  $4 \cdot 10^{17}$  та  $1 \cdot 10^{18} \text{ } \gamma_{\text{кв}}/\text{см}^2$  НК  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  приведена на рис. 1, а. Результати експериментальних досліджень вказують на те, що температурна залежність опору кристалів практично не змінюється після опромінення дозою  $2,63 \cdot 10^{17} \text{ } \gamma_{\text{кв}}/\text{см}^2$ . Натомість за підвищення дози опромінення спостерігаються істотні зміни опору за температури 4,2 К. На рис. 1, б наведена дозова залежність змін опору для цього зразка. Ця тенденція спостерігається для кристалів з рівнем легування домішкою бору, що відповідає як металевому, так і діелектричному боку ПМД. Результати дослідження магнітоопору НК  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x = 0,03$ ) з різною дозою опромінення показали, що зміни магнітоопору у зразках, опромінені  $\gamma$ -квантами, є більш істотними порівняно зі зміною їх провідності.

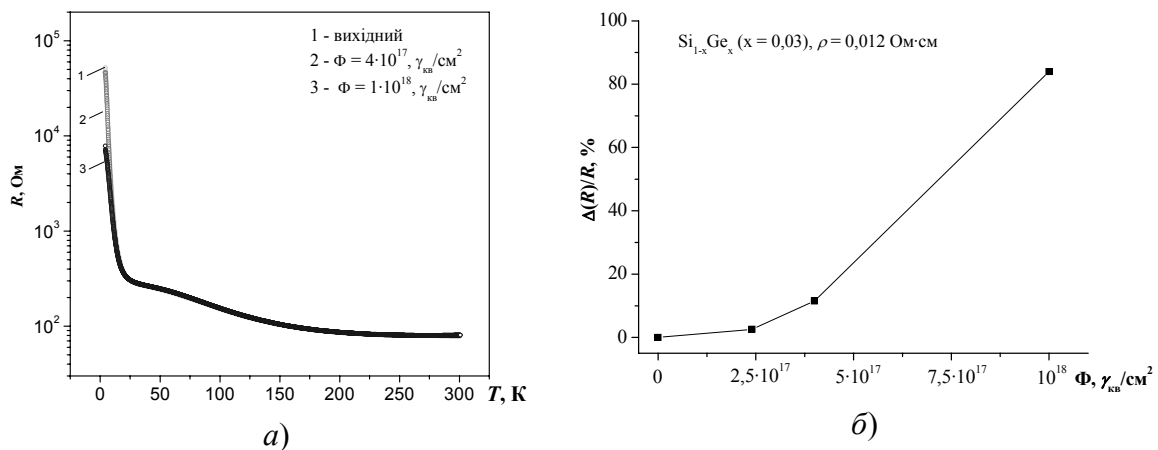


Рис.1. Температурна (а) та дозова (б) ( $T_{\text{вим}} = 4,2 \text{ К}$ ) залежності опору опроміненіх  $\gamma$ -квантами НК  $\text{Si}_{0,97}\text{Ge}_{0,03}$  з питомим опором  $\rho = 0,012 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

Одержані результати пояснюються особливостями стрибкової провідності носіїв по домішкській зоні при низьких температурах і дозволяють рекомендувати НК  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  ( $x = 0,03$ ) для створення низькотемпературних сенсорів механічних та теплових величин, стійких до дії радіації до  $1 \times 10^{17} \text{ } \gamma_{\text{кв}}/\text{см}^2$ .



# ФОТОІНДУКОВАНІ ЗМІНИ В ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТОНКИХ ШАРІВ $As_2S(Se,Te)_3$

**Н.Попович, Р.Голомб, В.Хіміч, О.Петраченков, В.Міца**

*Науково-дослідний інститут фізики і хімії твердого тіла  
Ужгородського національного університету  
Волошина, 54, Ужгород 88000, Україна  
E-mail: moshenec@rambler.ru*

Халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН) завдяки своїм унікальним фізичним властивостям широко застосовуються в різноманітних пристроях опто-, мікро- та наноелектроніки. Вони є цікавим об'єктом як в об'ємному, так і в тонкоплівковому виконанні, причому фізичні характеристики тонких шарів часто суттєво відрізняються від характеристик об'ємного матеріалу.

Мета нашої роботи полягала в експериментальному та теоретичному дослідженні індукованих лазерним опроміненням змін оптичних характеристик тонких шарів  $As_2S_3$ ,  $As_{40}Se_{60}$ ,  $As_{50}Se_{50}$  та  $As_2Te_3$ . Положення краю власного поглинання та показник заломлення розраховувалися із спектрів пропускання свіженанилених плівок та плівок, опромінених лазером з довжиною хвилі  $\lambda=0,488$  мкм та густиною потужності  $10^3$  Вт/см<sup>2</sup>. Виявлено зміни у спектрах поглинання та показниках заломлення. Спостережувані ефекти можна пояснити певними структурними перетвореннями, які відбуваються в аморфній плівці під дією лазерного променя, зокрема зміною геометрії структурних одиниць (кластерів) вихідної аморфної плівки, запропонованою авторами [1]. Крім того, зменшення поглинання після опромінення можна пояснити деяким зменшенням товщини плівки, зумовленим ущільненням структури плівки в результаті зміни геометрії структурних одиниць. Моделювання впливу зміни показника заломлення та товщини плівок дозволило порівняти експериментальні та розраховані теоретично спектри пропускання в області прозорості плівок.

Досліджено вплив вологості на зміну кольору плівок  $As_2Se_3$  при проходженні струму в розгерметизованих структурах  $SnO_2 - As_2Se_3 - Al$ . Виявлений ефект залежності кольору плівок від рівня вологості оточуючого середовища запропоновано використати в індикаторах герметичності пристроїв оптоелектроніки.

1. R. Holomb, N. Mateleshko, V. Mitsa, P. Johansson, A. Matic, M. Veres. *J. Non-Cryst. Sol.*, 352, 1607-1611 (2006).

# ДОМІШКОВО-ДЕФЕКТНИЙ СТАН ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК CdZnTe, ВИРОЩЕНИХ З РІДКОЇ ФАЗИ

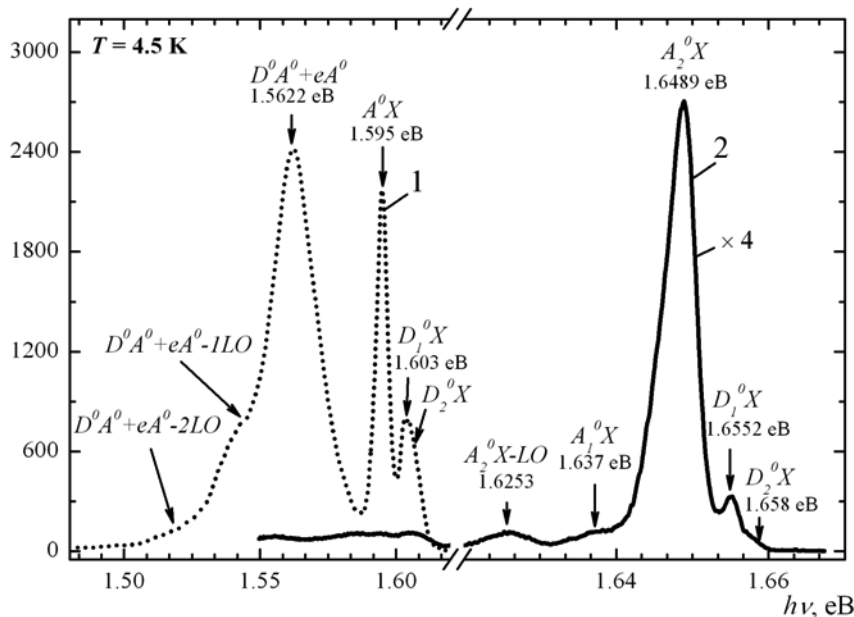
Рашковецький Л.В., Глинчук К.Д., Литовченко Н.М., Наска Ю.М., Стрільчук О.М., Сизов Ф.Ф.

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,  
пр-кт Науки, 41, Київ, 03028

Епітаксійні плівки CdZnTe, як альтернатива об'ємним кристалам, знаходять все ширше використання в опто- і інфрачервоній електроніці, радіаційній дозиметрії і сонячній енергетиці. При цьому такі плівки повинні бути структурно досконалими з мінімальною кількістю власних і домішкових дефектів.

В даній роботі представлені результати дослідження методом низькотемпературної фотолюмінесценції ( $T=5\text{K}$ ) дефектного стану епітаксійних плівок твердих розчинів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $x < 0.15$  мол.дол.), вирощених рідинно-фазною епітаксією із розчину телуру ( $>95\%$ ) в діапазоні температур  $500\text{--}580^\circ\text{C}$  на підкладках CdTe (111). На рис. наведено спектри низькотемпературної фотолюмінесценції підкладки (1) та вирощеної на її поверхні плівки  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $x = 0.1$ ) (2). Як видно, в люмінесцентному спектрі підкладки наявні як смуги зв'язаних екситонів  $D^0X$  та  $A^0X$ , які пов'язані з анігіляцією екситонів, зв'язаних на мілких нейтральних донорах та акцепторах, відповідно, так і складна домішкова смуга, яка є суперпозицією двох елементарних складових: смуги, пов'язаної з рекомбінацією на донорно-акцепторних парах ( $D^0A^0$ ),

$I$ , відн. од.



та смуги, зумовленої переходами вільних електронів на мілкі нейтральні акцептори ( $eA^0$ ). Інтенсивність домішкової смуги співмірна з інтенсивністю екситонних, що вказує на посередню якість матеріалу підкладки. Люмінесцентний спектр плівки зміщений відносно спектру підкладки в короткохвилову область, що пояснюється ефективним збільшенням

ширини забороненої зони епітаксійних шарів за рахунок зменшення сталої ґратки при введенні в розчин атомів цинку. В спектрі люмінесценції плівки  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  наявна одна домінуюча екситонна смуга  $A_2^0X$ , яка по величині інтенсивності майже в 20 разів перевищує всі інші, а її півширина становить  $\sim 2.5$  меВ, що спостерігалось на кращих об'ємних і плівкових зразках CdZnTe, вирощених різними методами (НРВ, МВЕ). Крім того в спектрі відсутні як домішкова смуга, так і смуга глибоких дефектів, яка пов'язана з випромінювальними переходами за участю А-центрів ( $V_{\text{Cd}} - D$ ). Зазначені особливості люмінесцентного спектру епітаксійної плівки свідчать про її високу структурну досконалість та відповідність її якості всім вимогам, які ставляться до сенсорного матеріалу.

# АГРЕГАЦИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ХРОМОФОРОВ В ПОЛИМЕРАХ

**Т.П. Ромашко, О.А. Хахель**

*Полтавское отделение Академии наук технологической кибернетики Украины, 36007,  
Полтава, ул. М.Бирюзова, 86/86, romashko-t@mail.ru*

Оптические свойства многих хромофорсодержащих полимеров зависят от физико-химических свойств окружения, что делает эти материалы востребованными в качестве разнообразных сенсоров в различных приложениях (см., например, работы [1-9]). Спектры флуоресценции концентрированных систем, содержащих ароматические хромофоры, характеризуются вариацией проявления разных форм агрегатов, количественные оценки которых, определение природы их состояний и закономерностей оптических свойств отсутствуют либо недостаточно освещены в литературе. В данной работе изложены результаты спектральных исследований хромофорсодержащих полимерных систем, проведенных с целью выяснения природы образующихся агрегатов и выявления спектральных закономерностей их проявлений

Так как агрегация хромофоров происходит преимущественно в системах с высокой их концентрацией, исследования абсорбционных спектров в таком случае возможны лишь за пределами полосы мономерного поглощения. Поэтому, для изучения проявлений агрегации ароматических хромофоров тут использованы флуоресцентные методы, а именно: изучение концентрационных зависимостей в спектрах флуоресценции, изучение спектров возбуждения флуоресценции и, для выяснения состава образующихся агрегатов, спектров синхронного сканирования флуоресценции.

Среди исследованных в работе хромофоров можно назвать нафталин, антрацен, 9,10-дибензантрацен, пирен, а также бензолные ядра. Данные хромофоры исследовались в полиметилметакрилатной матрице, а также в матрицах из таких полимеров как поливиниловый спирт, полидиэтиленгликольбисаллилкарбонат, эпоксиполимеры и полистирол (как фенолсодержащий полимерный материал). Хромофоры вводились в полимеры как в виде твердых растворов, так и в состав макромолекулярных цепей.

Установлено, что ароматические хромофоры агрегируют в основном состоянии и в разных системах эти агрегаты имеют разное строение и количественный состав. Спектральные данные свидетельствуют, что компоненты агрегатов проявляют некоторую регулярность, причина чего обсуждается в работе.

- [1] Bredford, O. Worsfold, I. R. Peterson et all., *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **3**, 1750 (2001).
- [2] R. Namura, K. Yamada, T. Masuda, *Chem. Commun*, 478 (2002).
- [3] B.S. Gaylord, A. J. Heeder, G.C. Bazon, *JACS*, **125**, 896 (2003).
- [4] N.T. Green, K.D. Shimizu, *JACS*, **127**, 5695 (2005).
- [5] C.J. Stephenson, K.D. Shimizu, *Polymer Int.*, **56**, 482 (2007).
- [6] Yu. Liu, L. Meng, X. Lu et all., *Polym. Adv. Technol.*, **19**, 137 (2007).
- [7] Chen, H. Sun, A. Pyayt et all., *J. Phys. Chem., C*, **112**, 8072 (2008).
- [8] P. Zhao, J. Jiang, B. Leng, H. Tian, *Macromol. Rapid Commun*, **30**, 1715 (2009).
- [9] P. J. Gilliard Jr., S.T. Iacono, S. M. Budy et all., *Sensors and Actuators B: Chem.*, **143**, 1 (2009).

# ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І ТЕРМОЧАСОВИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НА НЕЛІНІЙНІСТЬ СЕГНЕТОСИТАЛІВ (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub>(SbSI)<sub>x</sub>

<sup>1</sup>Рубіш В.М., <sup>1</sup>Гуранич О.Г., <sup>2</sup>Гуранич П.П., <sup>1</sup>Гасинець С.М., <sup>1</sup>Риган М.Ю.,  
<sup>1</sup>Перевузнник В.П.

<sup>1,2</sup>Ужгородський науково-технологічний центр матеріалів оптичних носіїв інформації  
Інституту проблем реєстрації інформації НАН України,  
Україна, 88000, Ужгород, вул. Замкові сходи, 4  
e-mail: [center\\_uzh@email.uz.ua](mailto:center_uzh@email.uz.ua)

<sup>2</sup>Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

Інтерес до вивчення халькогенідних стекел на основі сегнетоелектрика-напівпровідника сульфойодиду сурми викликаний можливістю створення на їх основі сегнетоситалів, параметрами яких можна керувати зміною хімічного складу та умов термообробки.

В даній роботі наведені результати досліджень впливу електричного поля на діелектричні параметри закристалізованих в різних режимах стекел системи As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-SbSI з вмістом сульфойодиду сурми 70, 80 і 90 мол. %.

В області температур вище кімнатної кристалічні включення SbSI знаходяться в параелектричній фазі. Про це свідчить характерне для сегнетоелектричних матеріалів зменшення діелектричної проникності закристалізованого скла при прикладенні зовнішнього електричного поля (рис.), обумовлене насиченням індукованої поляризації.

Нелінійність (реверсивна) одержаних сегнетоситалів у параелектричній фазі  $N_\epsilon = (1/\epsilon) d\epsilon/dE$  залежить від хімічного складу і термочасових режимів обробки. Встановлено, що збільшення температури і часу відпалу супроводжується зростанням по абсолютній величині  $N_\epsilon$  (наприклад, збільшення часу кристалізації скла (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>10</sub>(SbSI)<sub>90</sub> при  $T=410$  К з 10 до 50 хв. приводить до зміни  $N_\epsilon$  від -0,004 до -0,03 K<sup>-1</sup>), обумовленим збільшенням розмірів кристалічних включень у склоподібній матриці.

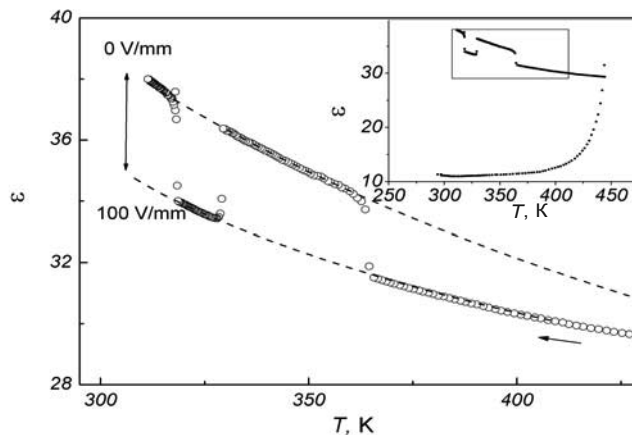


Рис. Температурна залежність  $\epsilon$  закристалізованого скла (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>10</sub>(SbSI)<sub>90</sub> при включенні і виключенні зовнішнього електричного поля

Обговорюється питання створення на основі розроблених сегнетоситалів низьковольтних варикондів з низьким температурним коефіцієнтом ємності та елементів сегнетоелектричної пам'яті.

# ГРАДІЄНТНІ ХВИЛЕВОДИ, ІЗ ЗАДАНИМ ПРОФІЛЕМ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛОПОДІБНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ, ДЛЯ СЕРЕДНЬОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ

І.І. Сакалош, Й.П. Шаркань, Г.Т. Горват  
Ужгородський національний університет  
вул. Підгірна, 46, 88000, Ужгород, Україна  
e-mail: [shark@univ.uzhgorod.ua](mailto:shark@univ.uzhgorod.ua)

Халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН) знайшли широке практичне застосування в мікрофотоніці завдяки структурній гнучкості, широкому діапазону оптичних і електричних властивостей, світлочутливості, високій оптичній лінійності, а також наявності нелінійних оптичних властивостей. Станом на сьогодні розроблено та створено цілий ряд мікроструктурних пристроїв, які використовують зазначені унікальні властивості халькогенідних стекел, серед них нам добре відомі такі як: ґратки, пристрої оптичної пам'яті та голографічного запису, оптичні підсилювачі та ін.

За останні десять років, дослідження в області мікрофотоніки надали ряд важливих технологічних рішень для підвищення ефективності астрономічного обладнання. Зокрема, оптичні волокна і пристрої інтегральної оптики вже використовуються, або будуть використовуватися в найближчому майбутньому. ХСН завдяки великими атомним масам халькогенідів і відносно слабкими зв'язками між головними атомами мають широке вікно прозорості від ближньої до середньої, або навіть далекої ІЧ області спектру. В зв'язку з цим планарні інтегрально-оптичні хвилеводи на основі селенідних і телуридних матеріалів знайшли застосування в проєкті Європейської космічної агенції (ESA) під назвою *Darwin*. Даним проєктом передбачається виведення в космос системи інфрачервоних телескопів з метою виявлення екзопланет земного типу, що не належать до Сонячної системи, шляхом реєстрації сигналів в середньому інфрачервоному діапазоні 5-20 мкм.

З метою покращення хвилеводних параметрів планарних інтегрально-оптичних хвилеводів на основі селенідних і телуридних матеріалів для середнього інфрачервоного діапазону нами розглянуто використання для наведених вище цілей планарних інтегрально-оптичних хвилеводів, градієнтний хвилеводний шар яких має експоненційний та параболічний профілі показника заломлення. Градієнтна плівка ХСН для хвилеводного шару наноситься методом дискретного термічного випаровування шляхом незалежної подачі вихідних компонент з окремих бункерів у загальний випаровувач. Причому швидкість подачі кожної речовини змінюється в процесі росту плівки, а закон зміни швидкостей подачі речовин визначається профілем показника заломлення одержуваних неоднорідних структур.

Проведено розрахунок розподілу електричної складової поля, модового складу та коефіцієнтів локалізації мод в планарних інтегрально-оптичних структурах з однорідним, експоненційним та параболічним профілем показника заломлення хвилеводного шару.

Показано, що використання в якості хвилеводного шару градієнтної плівки ХСН із заданим профілем показника заломлення забезпечує можливість регулювати модовий склад та хвилеводні параметри планарного інтегрально-оптичного хвилевода в досить широкому діапазоні.

# МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.П. Шаповалов, П.А. Сайко

*Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова,  
ул. Дворянская, 2, г.Одесса, Украина, 65000; e-mail: dtp@onu.edu.ua*

В одноосных магнитных кристаллах с большим значением константы кристаллического поля  $D$  и единичным значением атомных спинов  $S$  в случае, когда внешнее магнитное поле  $h$  направлено вдоль кристаллографической оси (ось  $z$ ), возможны две одноподрешеточные фазы, обладающие аксиальной симметрией. Первая из них – обычная ферромагнитная фаза (ФМФ) с осью ферромагнитного упорядочения, направленной вдоль оси  $z$ . Вторая – квадрупольная фаза (КФ), в которой при нулевой температуре ( $T=0$ ) даже в присутствии поля  $h$  намагниченность в системе равна нулю:  $M^Z=0$  [1]. При отличных от нуля температурах намагниченность  $M^Z$  определяется системой двух трансцендентных уравнений [2]. Решения этой системы различны для различных фаз, а фазовый переход (ФП) из КФ в ФМФ, индуцируемый увеличением внешнего магнитного поля, происходит как ФП первого рода, сопровождающийся скачком намагниченности [3]. При низких температурах значение критического поля  $h^*$ , при котором происходит этот переход, практически не зависит от температуры. Таким образом, фиксируя скачок намагниченности  $M^Z$ , можно судить о достижении магнитным полем критического значения.

В настоящей работе исследуются одноосные магнитные кристаллы с кристаллическим полем типа «легкая плоскость» при  $S=1$ . Предлагается использование таких материалов для создания низкотемпературных датчиков магнитного поля.

В работе построена фазовая  $T$ - $h$  диаграмма, на которой обозначена линия ФП первого рода между ФМФ и КФ. При определенной температуре  $T^C$  линия ФП первого рода оканчивается тройной точкой для ФМФ, КФ и парамагнитной фазы (ПМФ). Таким образом, при температурах  $T>T^C$  использование кристалла в качестве датчика магнитного поля невозможно.

В КФ при фиксированном значении магнитного поля  $h$  с ростом температуры намагниченность  $M^Z$  увеличивается, а в ПМФ – уменьшается. Поэтому температуре перехода между КФ и ПМФ соответствует максимальное значение функции  $M^Z(T)$ . В ФМФ при фиксированном значении  $h$  с ростом температуры квадрупольная намагниченность  $q$  уменьшается, проходя через ноль, а в ПМФ увеличивается, стремясь к нулю. Следовательно, температуре перехода между ФМФ и ПМФ соответствует минимальное значение функции  $q(T)$ .

Построены кривые, которые иллюстрируют зависимость температуры  $T^C$  от параметров гамильтониана.

- [1] В.М. Матвеев, ЖЭТФ **65**, 1626 (1973).
- [2] Ф.П. Онуфриева, ЖЭТФ **89**, 2270 (1985).
- [3] И.П. Шаповалов, УФЖ **55**, 307 (2010).

# МЕХАНІЗМИ ПРОХОДЖЕННЯ СТРУМУ В КОНТАКТАХ МЕТАЛ – ВИСОКООМНИЙ CdTe

**М. В. Скрипник, К.С. Ульяницький, В.В. Горлей, І.Г. Мотовилець**

Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича  
58012, Чернівці, вул. Коцюбинського, 2, Україна  
e-mail: [Skrup@meta.ua](mailto:Skrup@meta.ua)

Телурид кадмію вважається однею з найбільш перспективних сполук для виготовленні детекторів, призначених для реєстрації різних типів іонізуючих випромінювань. Одна з основних проблем при створенні таких приладів є отримання високоомного ( $>10^8$  Ом·см) напівпровідникового матеріалу. Ця задача частково вирішується легуванням CdTe хлором ( $\rho \approx 10^9$  Ом·см), однак параметри кристалів незворотно змінюються при експлуатації в умовах підвищених температур. Одним із можливих шляхів вирішення цієї задачі є легування телуриду кадмію амфотерною домішкою олова з парової фази, що дозволяє отримати при певних технологічних умовах високоомні шари. У даній роботі досліджуються особливості електричних властивостей контактів метал – напівпровідник, створених на основі підклади нок CdTe:Sn. Питомий опір матеріалу залежить від технологічних умов і змінюється у межах  $10^3 \div 10^{10}$  Ом·см.

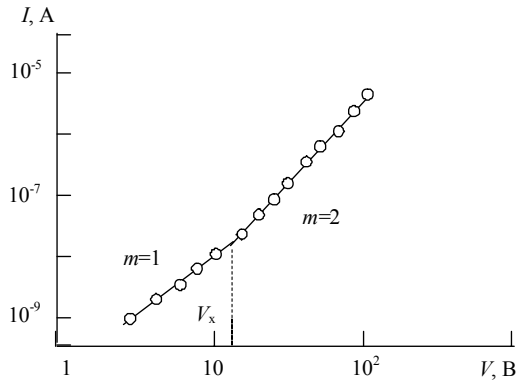


Рис. 1. Типова вольтамперна характеристика контактів Au-CdTe:Sn при 300К

Дослідження показали, що вольтамперні характеристики (ВАХ) всіх діодів підпорядковуються закону

$$I \sim V^m \quad (1)$$

де  $m$  показник степені приймає значення в інтервалі 1 – 6 у залежності від знаку і величини прикладеної напруги рис.1. При прямих низьких зміщеннях аж до певної напруги  $V_x$ , спостерігалась омічна ділянка з  $m=1$ . При цьому рівноважна концентрація дірок  $p_0$  у квазіізоляторі значно перевищує концентрацію інжектованих дірок  $p$  то струм визначається опором високоомного шару. У випадку квазіізолятора з одним

типом пасток напруга

$$V_x = e p_0 d_{i0} / \theta_0 \varepsilon, \quad (2)$$

де  $d_{i0}$  - товщина квазіізолятора,  $\varepsilon$  - його діелектрична проникливість, а  $\theta_0$  - відношення концентрації вільних дірок до концентрації дірок, захоплених на пастки, тобто

$$\theta_0 = p_0 / p_i = N_v / g N_i \exp(-E_t / kT) \quad (3)$$

де  $N_t$  і  $E_t$  - концентрація і глибина залягання пасток, а  $g$  - фактор їх спінового виродження.

При  $V > V_x$  струм починає зростати за квадратичним законом ( $m=2$ ) до деякого значення  $V_{ПЗП}$  (повне заповнення пасток). При цьому

$$V_{ПЗП} = 1/2 \cdot g \cdot N_i \cdot d_{i0} / \varepsilon \quad (4)$$

Ділянки із  $m=6 - 9$  в данному випадку не спостерігаються. Це зумовлено тим, що напруги  $V_{ПЗП}$  не вдалося досягнути оскільки при таких значеннях напруги через кристал протікають великі струми які викликають незворотній пробій бар'єра. Вирази (1) - (4) дозволили розрахувати основні параметри підкладинок CdTe:Sn у залежності від технологічних умов їх легування.

# НАНОПРОВОДА НА ОСНОВІ АРСЕНІДУ КАДМІЮ ( $\text{Cd}_3\text{As}_2$ )

Д.М. Степанчиков

Херсонський національний технічний університет, кафедра загальної та прикладної фізики, науково-дослідна лабораторія теорії твердого тіла, Бериславське шосе, 24, 73008, Херсон, Україна, e-mail: step\_75@mail.ru

Напівпровідники групи II-V з вузькими забороненими зонами є важливими матеріалами і мають численні прикладні застосування у ІЧ датчиках, лазерах, сонячних батареях, ультразвукових мультиплікаторах, холодовських генераторах. Ці матеріали демонструють значний ефект розмірного квантування внаслідок великих екситонних радіусів. Однак дослідження наномасштабних II-V напівпровідників не є таким розвинутим, як для II-VI і III-V матеріалів. Головним чином така затримка була пов'язана з труднощами синтезу. В останні роки ця проблема поступово вирішується і з'являється все більше повідомлень про отримання низькорозмірних структур на основі напівпровідників II-V [1].

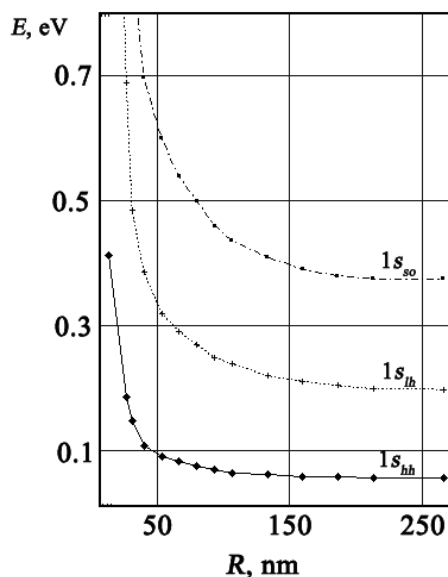


Рис.1. Енергії утворення екситонів в залежності від радіусу  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  нанопроводу.

До останнього часу відомо про отримання II-V нанопроводів на основі  $\text{Cd}_3\text{P}_2$ ,  $\text{Zn}_3\text{P}_2$ ,  $\text{Cd}_3\text{As}_2$ . Так є інформація про синтез монокристалічних  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  нанопроводів ( $\varnothing \sim 100$  нм) тепловим випаровуванням порошків  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  при  $750^\circ\text{C}$ . При цьому повідомляється про спостереження прямих ІЧ активних переходів у спектрах поглинання при 0,11; 0,28 і 0,54 еВ [2]. Це дозволяє використовувати  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  нанопровода як дешеві оптоелектронні пристрої і фотодатчики, які працюють у довгохвильовому діапазоні.

В роботі за методикою [3] проведено теоретичний аналіз екситонних спектрів  $\text{Cd}_3\text{As}_2$  нанопроводів. В основі аналізу покладена узагальнена зонна модель Кілдал [4], параметри якої перенормовані з урахуванням збільшення ефективних мас носіїв при зниженні розмірності кристалу. Отримано залежності енергії утворення основного стану екситону в залежності від радіусу нанопроводу. При цьому зафіксовано три екситонних серії, які пов'язані з трьома верхніми валентними зонами (рис.1). Енергії переходу у екситонні стани при радіусі нанопроводу  $\sim 60$  нм є дуже близькими до експериментальних. Цей факт свідчить про коректність прийнятих в роботі модельних уявлень і, отже, дозволяє використовувати отримані теоретичні результати для подальшого вивчення і прогнозування властивостей нанопроводів на основі  $\text{Cd}_3\text{As}_2$ .

нанопродів. В основі аналізу покладена узагальнена зонна модель Кілдал [4], параметри якої перенормовані з урахуванням збільшення ефективних мас носіїв при зниженні розмірності кристалу. Отримано залежності енергії утворення основного стану екситону в залежності від радіусу нанопроводу. При цьому зафіксовано три екситонних серії, які пов'язані з трьома верхніми валентними зонами (рис.1). Енергії переходу у екситонні стани при радіусі нанопроводу  $\sim 60$  нм є дуже близькими до експериментальних. Цей факт свідчить про коректність прийнятих в роботі модельних уявлень і, отже, дозволяє використовувати отримані теоретичні результати для подальшого вивчення і прогнозування властивостей нанопроводів на основі  $\text{Cd}_3\text{As}_2$ .

- [1] G. Shen, D. Chen, *Nanoscale Res Lett*, **4**, 779 (2009).
- [2] M. Omari, N. Kouklin et al., *Nanotechnology*, **19**, 105301 (2008).
- [3] M. Combescot, T. Guillet, *Eur. Phys. J. B*, **34**, 9 (2003).
- [4] D. Stepanchikov, G. Chuiko, *Condensed Matter Physics*, **12**(2), 239 (2009).



# PROPERTTIES OF POROUS InP AND GaAs OBTAINED BY ELECTROCHEMICAL METHOD

J. A. Suchikova<sup>1</sup>, V.V. Kidalov<sup>1</sup>, Kurulash O.I.<sup>1</sup> G. A. Sukach<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Berdiansk State Pedagogical University, Shmidta street 4, Ukraine, yanasuchikova@mail.ru*

<sup>2</sup>*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*15, Geroiv Ogorony Str., 03041, Kyiv,*

Porous substrates on the basis of compounds  $A^3B^5$  are perspective material for obtained homo- and hetero-epitaxial layers of high structural quality. So, in work [1] unstrained layers  $In_xGa_{1-x}As$  – on porous GaAs was received; properties high-quality of cubic GaN films, obtained by a method nitridization on porous substrates GaAs, are presented in our work [2]. We also in work [3] photoluminescence nanostructured by CdSe particles ( $d = 2.8\text{nm}$ ) of porous GaP films are investigated

The main aim of our researches was obtained porous InP and GaAs with the minimal size of pores.

Samples porous InP and GaAs were prepared by electrochemical etching.

The morphology of the received porous structures was investigated by means of scanning electronic microscope JSM-6490. The chemical compound has been studied by means of method EDAX. The structure of porous InP samples was investigated by X- ray diffraction with a DRON-3M diffractometer.

Thus, as a result of the electrolytic etchings of crystals n-InP (100) in a solution of a hydrochloric acid India with the size of pores 40 nm, distance between pores 5-10 nm was possible to receive nanoporous layers of phosphide. Thus thickness of a porous layer has made 35  $\mu\text{m}$ . It testifies that as a result of anodization thin long channels of pores were formed parallel each other which in cross-section have the form close to a correct quadrangle . Such form of pores is defined by orientation of a surface of the investigated sample.

Method EDAX had been established a chemical compound of the received porous layers of InP. The analysis of these results has shown, that during electrolytic process on a surface of samples were not formed oxides, however an initial crystal has been broken due to faster etching phosphorus. Lead x-ray researches of monocrystal and porous samples InP also have shown absence oxides on a surface and have allowed to draw a conclusion, that as a result of electrochemical etching there was no destruction of a crystal lattice – the received porous samples have monocrystal structure of type sfalerite.

[1]. F.Yu. Soldatenkov, V.P. Ulin, et.al., Technical Physics Letters, 25, 852(1999).

[2]. V. V. Kidalov, G. A. Sukach, et. al., Physica status solidi(a), **202**, 1668(2005).

[3]. Yu.Yu. Bachericov, O.V. Okhrimenko, V.V.Kidalov et. al., Semiconductors, **43**, 1473(2009).

# ПОВЕРХНЕВО-БАР'ЄРНІ ІНФРАЧЕРВОНІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ЧОТИРИКОМПОНЕНТНИХ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ ХАЛЬКОГЕНІДІВ СВИНЦЮ-ОЛОВА

**Ковальов Ю.Г., Рябець С.І., Ткачук А.І., Царенко О.М., Філер З.Ю.**

*Кіровоградський державний педагогічний університет*

*імені Володимира Винниченка,*

*вул. Шевченка, 1, м. Кіровоград 25006, E-mail: atkachuk08@meta.ua*

На основі вирощених методом рідинної епітаксії на діелектричних (111)BaF<sub>2</sub> і (100)KCl та напівпровідникових (100)Pb<sub>0,80</sub>Sn<sub>0,20</sub>Te підкладках епітаксійних шарів чотирикомпонентних твердих розчинів Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>, були сформовані методом термічного вакуумного напилення поверхнево-бар'єрні інфрачервоні сенсори трьох типів:

- 1) Cu/Cr/Au/ $\delta$ -шар/ $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>(KCl)/Al/Cr/Cu, де  $0,15 \leq x \leq 0,26$  (ат. д.),  $0,17 \leq y \leq 0,22$  (ат. д.),  $\delta$ -шар – тонкий проміжний тунельно-прозорий діелектричний шар власного окислу,  $d=3 \div 10$  мкм – товщина епітаксійних шарів,  $N_d < 3 \times 10^5$  см<sup>-2</sup> – поверхнева густина дислокацій,  $n=(0,8 \div 2,5) \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup> – концентрація носіїв струму при  $T \sim 80$  К,  $\mu_H=(8,1 \div 10,2) \times 10^3$  см<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup> – холлівська рухливість при  $T \sim 80$  К;
- 2) Pb/ $\delta$ -шар/ $p$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>/ $p^+$ -Pb<sub>0,80</sub>Sn<sub>0,20</sub>Te/Au/Cr/Cu, де  $0,13 \leq x \leq 0,18$  (ат. д.),  $0,02 \leq y \leq 0,04$  (ат. д.),  $d=2 \div 7$  мкм,  $N_d=(3 \div 9) \times 10^4$  см<sup>-2</sup>,  $p=(4,2 \div 7,5) \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup> при  $T \sim 80$  К,  $\mu_H=(0,9 \div 4,1) \times 10^3$  см<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup> при  $T \sim 80$  К;
- 3) Cu/Cr/Au/ $\delta$ -шар/ $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>(BaF<sub>2</sub>)/Pb, де  $0,05 \leq x \leq 0,11$  (ат. д.),  $0,73 \leq y \leq 0,76$  (ат. д.),  $d=2 \div 7$  мкм,  $N_d < 10^5$  см<sup>-2</sup>,  $n=(1,1 \div 3,2) \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup> при  $T \sim 80$  К,  $\mu_H=(7,1 \div 10,1) \times 10^3$  см<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup> при  $T \sim 80$  К.

В області напруг зміщення  $0,01 < U < 0,33$  В прямі вітки темнових вольт-амперних характеристик одержаних інфрачервоних сенсорів добре апроксимувались

залежністю:

$$I = I_S \cdot \exp \left[ \frac{q \cdot (U - I \cdot r)}{\beta \cdot k \cdot T} \right] \quad [A], \quad (1)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт ідеальності;  $I_S$  – струм насичення;  $k$  – стала Больцмана;  $T$  – температура вимірювання;  $r$  – послідовний опір. Зворотні вітки не насичувались і мали вигляд, що характерний для “м'якого пробую”.

Вольт-фарадні характеристики інфрачервоних сенсорів для зворотних напруг зміщення  $-0,8 < U < 0$  В добре апроксимувались залежністю:

$$C^{-2} = B \cdot \beta \cdot \left[ \beta \cdot \left( \varphi_{bi}^0 - \frac{k \cdot T}{q} \right) - U \right] \quad [\Phi^{-2}], \quad (2)$$

де  $B$  – коефіцієнт пропорційності;  $\varphi_{bi}^0$  – величина дифузійного потенціалу при нульовому зміщенні.

Поверхнево-бар'єрної структури Cu/Cr/Au/ $\delta$ -шар/ $n$ -Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub>/Al/Cr/Cu мали значення  $\beta=1,47 \div 2,12$ ;  $I_S=74 \div 183$  мкА;  $r=0,32 \div 0,98$  Ом;  $B=(3,5 \div 4,8) \times 10^{19}$  Ф<sup>-2</sup>·В<sup>-1</sup>;  $\varphi_{bi}^0=0,081 \div 0,122$  В; напруги відсічки  $U_F=0,122 \div 0,211$  В; ємності при нульовому зміщенні  $C_0=261 \div 333$  пФ; добутку диференційного опору при нульовому зміщенні на активну площу  $R_0A=0,30 \div 1,01$  Ом·см<sup>2</sup>; пікової квантової ефективності  $\eta_\lambda=0,28 \div 0,52$  та питомої виявної здатності  $D_\lambda^*=(0,61 \div 1,93) \times 10^{10}$  см<sup>2</sup>·Гц<sup>1/2</sup>·В<sup>-1</sup> при температурі фону  $T_\phi \sim 300$  К,  $T \sim 170$  К, піковій довжині хвилі  $\lambda_p=8 \div 9,9$  мкм і довжині хвилі відсічки  $\lambda_c=8,5 \div 10,4$  мкм.

# МАГНІТНІ ТА МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ СИЛЬНО КОРЕЛЬОВАНИХ СИСТЕМ (La,Bi)MnO<sub>3</sub>

О.І. Товстолигін<sup>1</sup>, А.М. Погорілий<sup>1</sup>, Т.І. Полек<sup>1</sup>, В.І. Каменєв<sup>2</sup>, Т.М. Тарасенко<sup>2</sup>,  
А.С. Мазур<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут магнетизму НАН України, бульв. Вернадського 36-б, Київ 03142,  
e-mail: [atov@imag.kiev.ua](mailto:atov@imag.kiev.ua)

<sup>2</sup>Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України,  
вул. Р. Люксембург, Донецьк 83114

Сильно корельовані системи на основі складних оксидів зі структурою перовскіту привертають до себе увагу із-за притаманного їм розмаїття фізичних властивостей. Особливе місце серед таких систем займають ферити та манганіти лантану-вісмуту, які відносять до категорії мультифероїків [1,2].

Матеріали з властивостями мультифероїків можуть проявляти одночасно (анти)феромагнітне і (анти)сегнетоелектричне впорядкування. Як результат, існує можливість впливу електричним полем на магнітні параметри матеріалу і, навпаки, здатність керувати електричними характеристиками шляхом зміни магнітного поля. Багатообіцяючими застосуваннями мультифероїків є високочутливі сенсори магнітного поля і електричного струму, а також керовані елементи в системах обробки сигналів [2].

Сполуки системи La<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> є зручними модельними об'єктами для вирішення фундаментальних задач щодо вивчення взаємодії магнітної та електричної підсистем речовин, які проявляють властивості мультифероїків. У роботі досліджено магнітні, електричні та магніторезистивні властивості об'ємних зразків La<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub>, синтезованих методом твердофазних реакцій [3].

Як впливає із результатів вимірювань, заміщення лантану на вісмут спричинює зміну симетрії кристалічної ґратки з ромбоєдричної на псевдокубічну. Збільшення вмісту вісмуту приводить до зниження температури магнітного впорядкування і збільшення питомого електричного опору зразків. У області високих температур поведінка електричного опору узгоджується з моделлю стрибкової провідності малих поляронів в адіабатичному наближенні [4]. Енергія активації поляронів збільшується зі збільшенням  $x$ .

У роботі експериментально продемонстровано можливість керування електричними параметрами зразків шляхом зміни зовнішнього магнітного поля. Зразки La<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> з  $x < 0,4$  характеризуються значними величинами магнітоопору (десятки відсотків у полях з індукцією до 1,5 Тл). Зі збільшенням вмісту вісмуту зменшується як абсолютне значення магнітоопору, так і температура, нижче якої вплив магнітного поля на електричний опір стає відчутним.

Робота підтримана Державним фондом фундаментальних досліджень України (спільний проект з Білоруським республіканським фондом фундаментальних досліджень №29.1/009).

[1] I.O. Troyanchuk, O.S. Mantytskaya *et al.*, ФНТ, **28**, 790 (2002).

[2] C.-W. Nan, M.I. Bichurin *et al.*, J. Appl. Phys., **103**, 031101 (2008).

[3] V.D. Doroshev, V.A. Borodin *et al.*, J. Appl. Phys., **104**, 093909 (2008).

[4] D. Emin and T. Holstein, Ann. Phys., **53**, 439 (1969).

## ОПЕРАТИВНИЙ І НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК ФЕРОГРАНАТІВ

**Ющук С.І., Юр'єв С.О., Лопатинський І.Є., Дубельт С.П., Лобойко В.І.**  
*Національний університет "Львівська політехніка",  
м. Львів, вул. Ст.Бандери, 12, Україна*

Застосування монокристалічних плівок ферогранатів в надвисокочастотній (НВЧ) електроніці замість об'ємних феритових резонаторів дозволяє здійснювати мініатюризацію мікрохвильових приладів за рахунок використання спінових і магнітостатичних хвиль і планарних технологій [1]. Найбільш перспективним матеріалом для використання в планарних НВЧ-пристроях є монокристалічні плівки залізо-ітрієвого гранату (ЗІГ)  $Y_3Fe_5O_{12}$  і деяких заміщених гранатів. Плівки ЗІГ вирощують методом рідкофазної епітаксії на поверхні підкладок, вирізаних з монокристала галій-гадолінієвого гранату. Основним параметром ферогранатових плівок є ширина лінії ( $\Delta H$ ) феромагнітного резонансу (ФМР), яка визначає магнітні втрати НВЧ-пристрою. Якість ферогранатової плівки в значній мірі залежить від стабільності значення  $\Delta H$  по її поверхні.

Розкид значень  $\Delta H$  і зростання магнітних втрат може бути спричинене: невідповідністю між параметрами решітки і коефіцієнтами теплового розширення в системі плівка-підкладка, що веде до утворення дислокацій і механічних напружень; включеннями чужорідних іонів, головним чином  $Pb^{2+}$  і  $Pt^{4+}$ , які потрапляють в плівку з розчину-розплаву; подряпинами та іншими дефектами на поверхні підкладки, які під час епітаксії заростають плівкою; захопленням крапель розчину-розплаву та їх кристалізацією на поверхні плівки на кінцевій стадії росту; різнотовщинністю плівки і розкидом її магнітних властивостей по площі феритової епітаксійної структури.

Для оперативного і неруйнівного контролю параметра  $\Delta H$  ферогранатових плівок великого розміру нами створено установку і методику вимірювань, в основу якої покладено підхід до намагніченої плівки як коливальної системи, що здійснює перевипромінювання НВЧ-хвилі з одного короткозамкнутого відрізка мікросмужкової лінії (МСЛ) в другий. При наявності феритового елемента у вигляді плівки над місцем сходження двох МСЛ отримуємо смуго-пропускаючий фільтр. Втрати в плівці характеризуються шириною лінії ФМР. Чим вужча ширина лінії, тим менші магнітні втрати. Поміщаючи такий фільтр в сильно неоднорідне постійне магнітне поле, вдається виділити з спектра ФМР окремі резонансні лінії. Даним спектрометром можна визначити ширину лінії ФМР локально по усій поверхні ферогранатової плівки діаметром до 60 мм і товщиною  $\leq 100$  мкм в діапазоні часто 1,2...4,0 ГГц. Отже, запропонована методика дозволяє досліджувати однорідність ферогранатової плівки по параметру  $\Delta H$  і вплив дефектів на спектр ФМР.

[1]. С.И. Ющук, С.А. Юрьев, П.С. Костюк, В.И. Бондар. Применение ферогранатовых эпитаксиальных структур в сверхвысокочастотной электронике // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2005. - №3(57). – с. 22-25.

# РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОННОЇ ГУСТИНИ В НАНОШПАРИНІ НАПІВПРОВІДНИКА

**О.Ю. Зубков , А.Ю.Кучерський, В.І. Маренков**

*Одеський Національний університет ім.І.І.Мечникова  
Фізичний факультет, 65082 Одеса, вул. Пастера 42  
[zuolegy@yandex.com](mailto:zuolegy@yandex.com), [maren0@ukr.net](mailto:maren0@ukr.net)*

У сучасних нанотехнологіях перспективним напрямком є використання напівпровідникових матеріалів з нановключеннями в об'ємі. Сюди відносяться проблеми визначення електронних параметрів поруваного кремнію та інших напівпровідників. Існує багато публікацій щодо моделювання властивостей квантово-розмірних ефектів в таких матеріалах та мається багато досліджень щодо експериментів з визначення електронних властивостей цих матеріалів, зокрема ширини забороненої зони. Складні квантово-механічні [1] моделі квантових точок, квантових ниток і т. ін., поки-що не дають однозначної відповіді щодо визначення зв'язку параметрів напівпровідникової матриці та її ефективних (осереднених за об'ємом) властивостей при створенні нанонеоднорідностей в об'ємі.

Було запропоновано модельний підхід щодо визначення ефективних електронних параметрів мікронеоднорідних напівпровідників з дефектами заповнення об'єму, заснований на уявленнях статистичної моделі квазінейтральних чарунок гетерогенної плазми [2,3]. Головним моментом підходу є визначення статистичної рівноваги електронного газу в об'ємі напівпровідникової матриці та шпарини шляхом спряження електростатичних задач для больцманівських електронів у власному об'ємі дефекту заповнення та фермієвських електронів в тілі напівпровідника. Для окремої шпарини в комп'ютерному експерименті визначено залежності осередненого за об'ємом рівня Фермі [4] електронного компоненту від температури та геометричних параметрів шпарини. Показано що для нано-розмірних шпарин суттєвою є залежність рівня  $F$  від їх поперечного розміру. Одержано загальне рівняння зв'язку між електронними та діелектричними параметрами незбуреної речовини напівпровідника, геометричними параметрами шпарини та ефективним рівнем локального електрохімічного потенціалу в області неоднорідності. Проведено конкретні розрахунки для високотемпературної напівпровідникової матриці з  $Al_2O_3$ . Обговорюються можливі впровадження отриманих результатів для сучасних нанотехнологій: виготовлення нанодатчиків які можна було б використовувати для визначення параметрів клітин новоутворень, вірусів і інших мікрооб'єктів, що є дуже актуальним в наш час [5].

[1] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Квантовая механика. Нерелятивистская теория (Наука, Москва 1989). – 767 с.

[2] A.Zagorodny, V. Mal'nev, S. Romyantsev. The influence of electron emission on the charge and effective potential of a dust particle in plasma// UJP. – 2005. – 50, N5. – p. 448-454.

[3] V.I. Marenkov and M.N. Chesnokov, Physical models of plasma with a condensed dispersed phase.- Kyiv: UMK VO, 1989.-189 p.

[4] В.І. Маренков, А.Ю. Кучерський Статистична концепція розгляду і апроксимація Томаса Фермі в теорії властивостей гетерогенних плазмових систем // Фізика аеродисперсних систем. – 2007. – № 44. – С. 107 -120.

[5] И.П. Суздалев Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М. КомКнига, 2006. – 592 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЁМНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Терлецкая Л.Л., Копыт Н.Х., Голубцов В.В.  
Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова  
Дворянская, 2, г. Одесса, 65026

Проблема объёмных неоднородностей в композиционных системах и приграничных областях слоёв приобрела особое значение в связи с интенсивным поиском возможностей уменьшения деградации полупроводниковых гомо- и гетероструктур, развитием технологий для создания новых приборов. В области интегральной сенсорной электроники на основе арсенида галлия по причине одностороннего подхода при оценке дефектности эпитаксиальных слоёв (по дислокациям), отсутствия соответствующего оборудования и методик для изучения объёмных неоднородностей всё ещё не удалось решить эту проблему ни на качественном, ни на количественном уровнях.

В данной работе проведены комплексные исследования когерентных (КН) и некогерентных (НН) неоднородностей в эпитаксиальных структурах GaAs, полученных в промышленных условиях методом жидкофазной эпитаксии. Установлено, что величина и распределение КН в виде внутренних механических напряжений (ВМН) в гомоэпитаксиальных слоях GaAs зависит от размерных параметров, ориентации подложек и параметров технологического процесса. С целью изучения влияния обработки поверхности исходных подложек на формирование ВМН НН изготавливались структуры, в которых эпитаксиальные слои толщиной 20 мкм наращивались в одном технологическом процессе на подложки трёх типов: 1 – после нарезки из слитка; 2 – после механической шлифовки; 3 – после химической полировки. Максимальные значения ВМН наблюдались в слоях на подложках 3-го типа. Минимальные ВМН выявлены в слоях на подложках 1-го типа, что свидетельствует о возможной пластической деформации в слое и вблизи границы раздела слой – подложка со стороны подложки. После селективного травления плотность дислокаций во всех слоях практически не отличалась –  $N_d \approx (3-4) \cdot 10^4 \text{ см}^{-2}$ . Однако, только после обработки образцов в проекционном травителе с помощью метода металлографических исследований обнаружено, что слои наследовали дефекты, связанные как со шлифовкой, так и с химической полировкой (заполированные линии скольжения). Очевидно, что при шлифовке подложек произошла пластическая деформация поверхностного слоя на глубину, превышающую толщину, удаляемую при шлифовке и полировке.

Одним из факторов, влияющих на величину ВМН и плотность дислокаций в слоях, является скорость охлаждения раствора-расплава, увеличение которой усиливает морфологическую нестабильность границы слой-расплав. При таких условиях происходит захват и формирование в растущем слое НН в виде легкоплавких микровключений галлия, которые создают дополнительные механические напряжения в эпитаксиальных слоях и способствуют ускоренной деградации приборных структур. Определены линейные размеры  $r=(0,05-0,2 \text{ мкм})$  и концентрация  $(10^{11} - 10^{12}) \text{ см}^{-3}$  НН в гомоэпитаксиальных слоях арсенида галлия.

На основе анализа экспериментальных и расчётных данных показана возможность контроля величин КН и НН в эпитаксиальных слоях арсенида галлия, получения малонапряжённых структур, оптимизации их структурных и функциональных характеристик.

**Секція XI**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ  
СЕНСОРІВ**

---

---

**Section XI**

**SENSORS TECHNOLOGICAL  
PROBLEMS**

# COMPARISON OF CdS/CdTe SOLAR CELLS WITH DIFFERENT ACTIVATION PROCESSES BASE LAYERS

G. Khrypunov<sup>1</sup>, A. Romeo<sup>2</sup>, T. Shelest<sup>1</sup>, T. Li<sup>1</sup>, A. Meriuts<sup>1</sup>, N. Kovtun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kharkov State Polytechnic University, UA-61002 Kharkov, Ukraine, khrip@ukr.net*

<sup>2</sup>*Faculty of Science, University of Verona, Ca' Vignal 2, Strada Delle Grazie, 37134 Verona, Italy*

CdS/CdTe polycrystalline thin film solar cells have a strong potential in scalability. Amongst several attractive features high chemical stability of CdTe and a simple compound formation are the most important ones for large area production of solar modules. A further simplification has been done by substituting the CdCl<sub>2</sub> step by treating CdTe films in an atmosphere containing a non toxic gas that is inert at room temperature, like HCFC12, that belongs to the Freon© family. This process has been applied for CdTe thin films deposited by on close spaced sublimation with very interesting results (15.8% efficiency) [1].

In this work the application of this novel “activation process” on the thermal vacuum evaporated solar cells on CdS/CdTe base cells will be described and a comparison of physical and electrical features with the standard process. Commercially available soda-lime glass coated with fluorine doped tin oxide (FTO) is used as a substrate. CdS layer is grown in a high vacuum evaporation chamber at a substrate temperature of 150 °C and subsequently annealed at 450 °C for recrystallization, CdTe is then deposited at a substrate temperature of 300°C in the same chamber without breaking the vacuum. CdCl<sub>2</sub> treatment is applied by evaporating 400-600 nm on to the CdTe surface and then annealing the stack in air at 430 °C for 30 minutes. Standard back contact are made by evaporating Cu/Au, after bromine-methanol treatment of the CdTe surface, followed by a short annealing at 200 °C in air. The efficiency cells above 10% are made with CdCl<sub>2</sub> treated CdTe layers.

For Freon© based activation process CdTe/CdS/FCO system prepared as described above is placed in an quartz ampoule to which an inert gas containing Chlorine and Argon are inserted. The treatment is typically done at a temperature of 400°C, for a few minutes and in an atmosphere of 100 mbar of Ar containing 15% of HCFC1<sub>2</sub>.

It was shown that crystallization and morphology of the CdTe affect the influence of post-deposition treatment on CdTe. CdTe grain size is small and post-deposition treatment is required to increase the grain size. The CdCl<sub>2</sub> treatment causes growth or even disintegration of grains in the CdTe layers bringing the poly-crystallites to rearrange in orientation. The CdCl<sub>2</sub> and Freon treatments both reduce the texture but for the Freon case the reduction is less stressed, probably because the gas is not reaching the junction. Intermixing of CdS and CdTe is milder for Freon treated devices and most probably in case of layers where the intermixing is not applied during deposition but just by the recrystallization treatment a longer Freon treatment is required.

We have started to fabricate finished devices with Freon treated CdTe layers and some preliminary results have brought to cells with efficiencies above 7%. The Freon treatment has still to be optimized for the CdTe cells, we believe that a too mild treatment has been applied and that transformation has not been completed at the junction region, this might give an explanation to the low fill factor of the devices. What most important is that the Freon treatment is feasible for any kind of CdTe solar cell device and that is able to substitute CdCl<sub>2</sub> if optimized for each different process.

This work supported by STCU Project 4301.

[1] N. Romeo, A. Bosio, A. Romeo, S. Mazzamuto and V. Canevari, Proc. of the 21st Eu-PVSEC, Dresden, Germany (2006), p. 1857.



# DEGRADATION PROCESSES ON THE CONTACT AREA IN HUMIDITY-SENSITIVE THICK FILMS

I. Hadzaman<sup>1,2</sup>, H. Klym<sup>1,3</sup>, O. Shpotyuk<sup>1</sup>, M. Vakiv<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Company "Carat", 202 Stryjska str., 79031, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup>Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University,  
24 I. Franko str., 82100, Drohobych, Ukraine

<sup>3</sup>Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera str., 79013, Lviv, Ukraine  
[klymha@yahoo.com](mailto:klymha@yahoo.com)

Spinel-type ceramics based on magnesium aluminates  $MgAl_2O_4$  are known to be widely used for humidity sensors. But their sensing functionality is sufficiently restricted because of bulk performance allowing, as a rule, no more than one kind of application. Thick-film performance of  $MgAl_2O_4$  ceramics has a number of essential advantages, non-available for other ceramic composites. In addition, the dielectric thick film based magnesium aluminates in combination with semiconductor thick films based on  $NiMn_2O_4$ - $CuMn_2O_4$ - $MnCo_2O_4$  ceramic system can be used as simultaneous thermistors and integrated humidity-temperature sensors with extremely rich range of exploitation properties. As sensor systems, these structures must be stable during a long time. But there are some problems connected with contact area in humidity-sensitive layers. This work is aimed to study degradation processes on these Ag-Ru contacts.

The bulk  $MgAl_2O_4$  ceramics were prepared via conventional sintering route. The pellets were sintered in a special regime with maximal sintering temperature of 1300 °C during 5 h. In a result, the humidity-sensitive ceramics with a so-called trimodal pore size distribution and character values of pore radiuses centered near 2.5, 85 and 450 nm and surface area near 6.93 m<sup>2</sup>/g were obtained.

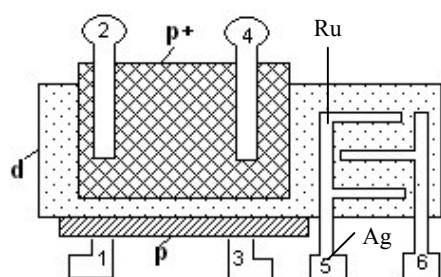


Fig. 1. Topological scheme of thick-film structures

The prepared dielectric (d-type) paste was printed on alumina substrates (Rubalit 708S) with Ag electrodes and previous formed temperature-sensitive (p-type) thick film using a manual screen-printing device equipped with a steel screen. From above of thick film, the Ru-contained electrodes were formed for study of electrophysical properties of humidity-sensitive thick-film elements. Then these structures were fired in furnace. The scheme of printed thick-film structures is shown in fig. 1.

It is shown, that initial dielectric d-type humidity-sensitive thick film based on  $MgAl_2O_4$  ceramics posses good linear dependence of electrical resistance from relative humidity without hysteresis in the range of relative-humidity of 40-99 % and can be used for humidity sensors. But after natural physical storage during 2-3 months, the thick-film elements lose of humidity-sensitivity. It is established that this effect caused by degradation processes in Ag-Ru contacts area. Sensitivity of d-type thick-film succeeds to be picked up thread after the repeated update of contact. But this sensitivity can be again lost after some time.

Thus, the new contact materials are needed for elimination of degradation processes in contact area in dielectric thick film.

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТОНКИХ ОКСИДНИХ ПЛІВОК $\text{SnO}_2\text{:Ni}$ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НЕРЕАКТИВНОГО НАПОРОШЕННЯ

Ільченко В.В., Костюкевич О.М., Колесник О.Г., Лушкін О.Є., Рудь А.В.

Радіофізичний ф-т., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул.  
Володимирська 64, Київ 01033, Україна; e-mail: mirror@ukr.net

Газочутливі гетероструктури на основі нанорозмірних шарів оксиду олова, як нелегованого, так і легovanого різними домішками, набули широкого застосування в сенсорній електроніці завдяки їх високій чутливості до змін хімічного складу газового середовища та відносно добрій вивченості фізичних властивостей [1]. Найбільш зручним методом для створення оксидних покриттів з товщинами 4-25 нм є реактивне магнетронне напилення з металічної мішені [2]. Проте даний метод ускладнений необхідністю постійного контролю парціальних тисків або потоків відразу двох компонент газовой суміші у робочий об'єм: кисню та баластного газу.

Суть запропонованого методу полягає в нереактивному магнетронному напорошенні плівки з оксидної мішені та подальшому прогріванні зразка в атмосфері кисню для відновлення хімічного складу утворених покриттів.

Експериментальні зразки виготовлялись в робочій камері промислової установки ВУП-5. Роль легуючого елемента виконували нікелеві пластинки відповідної площі, встановлені безпосередньо в межах зон ерозії. Підкладинкою для зразків слугували молібденові смужки розміром  $1 \times 5 \times 0,2$  мм. Осадження відбувалось в атмосфері аргону при тиску  $1,5 \cdot 10^{-2}$  торр та розрядному струмі 100 мА. Прогрівання отриманих плівок в атмосфері кисню проводилося при його тиску  $1 \cdot 10^{-2}$  торр. Температура підкладинки становила  $100^\circ\text{C}$ .

Було виготовлено дві партії зразків із оксидними плівками підвищеної товщини (1,5 мкм) з розрахунковим ступенем легування 1%: як прогрітих в атмосфері кисню, так і непрогрітих після запорошення. В якості еталонного зразка оксиду олова використовувався товстий шар  $\text{SnO}_2$ , осаджений на металеву підкладинку з його водного розчину. Хімічний склад отриманих покриттів досліджувався за допомогою часопротітного мас-спектрометра із лазерним джерелом іонів.

Аналіз експериментальних результатів показав, що нереактивне розпорошення плівок оксиду олова не дозволяє отримати плівки стехіометричного складу: вони можуть бути як збагаченими неокисленим оловом, так і збідненими на Sn. Помітне відхилення від стехіометричного складу в бік надлишку неокисленого олова спостерігається в плівках після декількох годин використання мішені з  $\text{SnO}_2$ . Експозиція зразків в атмосфері кисню дає змогу відновити стехіометричний склад плівки після напорошення з оксидної мішені.

[1] Gardner J., Persaud K.C. Electronic noses and olfaction 2000. Proceedings of the 7th International Symposium on Olfaction and Electronic Noses, ed. J.W. Gardner. Bristol & Philadelphia: IOP Publ., p.49

[2] О.Д. Вольпян, Б.Б. Мешков, П.П. Яковлев, В сб. докл. научн.-практ. симп. "Функциональные покрытия на стеклах". Харьков, 2003, с. 125–130.

# ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ

Курмашев Ш.Д.<sup>1</sup>, Викулин И.М.<sup>2</sup>, Беньковский П.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный университет им. И.И.Мечникова

<sup>2</sup>Одесская национальная академия связи им. А.С.Попова

E-mail: kurm@mail.css.od.ua

В работе изучались кремниевые фотоприемники (фоторезисторы и инжекционные фотодиоды), изготовленные из компенсированного материала (Si<Au>), подвергнутые облучению потоками быстрых электронов. Радиационная стойкость фотоприемников в первую очередь определяется степенью деградации значений удельной обнаружительной способности и фоточувствительности. Обнаружено, что низкотемпературный край нормированных спектров относительной фоточувствительности, зарегистрированных при температурах 77 и 100 К, для фотоприемников до и после облучения быстрыми электронами с интегральным потоком  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ , смещается в длинноволновую сторону (участок спектра собственной фоточувствительности). Это можно связать с образованием новых энергетических уровней в запрещенной зоне кремния. В то же время коротковолновый край участка спектра примесной фоточувствительности смещается в высокоэнергетическую сторону спектра. Величины абсолютных значений обнаружительной способности и фоточувствительности резко уменьшаются. Уменьшается также быстродействие, т.к. при облучении сопротивление эквивалентного фоторезистора увеличивается. Отмечена высокая чувствительность коэффициента фотоэлектрического усиления к облучению быстрыми электронами.

Характеристики инжекционных фотоприемников определяются их параметрами, которые непосредственно связаны с параметрами полупроводникового материала, из которого изготовлен фотоприемник. Показано, что воздействие потока быстрых электронов на фотоприемники приводит к уменьшению подвижности и концентрации основных носителей, а также к снижению времени жизни неосновных носителей тока в базе и увеличению времени пролета через базу. Это в свою очередь вызывает уменьшение коэффициента усиления фотоприемника, ухудшение инжекционных свойств *p-n*-переходов. Следовательно, устойчивость характеристик фотоприемников к радиации определяется радиационной стойкостью полупроводника.

Принимались во внимание два типа эффектов изменения параметров фотоприемников – остаточные (долговременные) и переходные (кратковременные). Переходные эффекты наблюдаются при воздействии на фотоприемник импульсного ионизирующего излучения в течение относительно короткого времени после его прекращения, что связано с возникновением переходных процессов в фотоприемниках (появление фототока, модуляция проводимости в полупроводниках при ионизационных эффектах, появление элементарных дефектов, неустойчивых к отжигу при комнатной температуре, увеличение токов утечки). Применение операций низкотемпературного отжига и радиационно-стимулированного отжига с целью восстановления первоначальных пороговых характеристик фоторезисторов привело к восстановлению обнаружительной способности до 50% своего значения до облучения.

# THE ROLE OF COPPER IN BIFACIAL CdTe SOLAR CELLS

**G. Khrypunov, A. Meriuts, T. Shelest, N. Deineko**

*Kharkov State Polytechnic University, UA-310002 Kharkov, Ukraine,  
meriuts@ukr.net*

CdTe polycrystalline thin film solar cells are important because of their low cost and high efficiency. They have shown long-term stable performance and high efficiency up to 16.5% under AM1.5 illumination. Amongst several attractive features high chemical stability of CdTe and a simple compound formation are the most important ones for large area production of solar modules. Moreover, there are new promising device configurations like bifacial solar cells, ultra-thin solar cells and flexible devices.

Standard solar cells on CdS/CdTe based have a Cu/Au back contact and typical efficiency range of 10 to 11%. It solar cells are grown by thermal vacuum evaporation methods. Commercially available soda-lime glass coated with fluorine doped tin oxide (FTO) or with in-house sputtered ITO is used as a substrate. CdS layer is grown in a high vacuum evaporation chamber at a substrate temperature of 150 °C and subsequently annealed at 450 °C for recrystallization, CdTe is then deposited at a substrate temperature of 300 °C in the same chamber without breaking the vacuum. CdCl<sub>2</sub> treatment is applied by evaporating 400-600 nm on to the CdTe surface and then annealing the stack in air at 430 °C for 30 minutes. Standard back contact are made by evaporating Cu/Au after bromine-methanol treatment of the CdTe surface, followed by a short annealing at 200 °C in air.

We present an innovative back contact for CdTe solar cell by the application of a transparent conducting oxide, typically ITO, as a back electrical contact on CdTe/CdS photovoltaic devices that acts as a free-Cu stable back contact and at the same time allows to realize bifacial CdTe solar cells, which can be illuminated from either or both sides.

It was shown, that application of a novel back contact, based on ITO, on p-CdTe opens a variety of new applications of CdTe solar cells. They can work as bifacial cells, illuminating the back and the front surfaces simultaneously or they can be used in tandem solar cells. The controlled insertion of a very limited amount of copper into the ITO back contact permits to have reproducible devices with high efficiencies still keeping the bifacial configuration. Thin CdTe layer solar cells with ITO back contact have been realized with efficiencies exceeding 10 %, the reduced thickness of CdTe allows to have a better performance (efficiencies exceeding 3.5%) on the back side illumination and reduces the amount of CdTe material.

A first analysis on the functioning of the ITO as back contact has been introduced, quantum efficiency measurements have shown the absence of copper in the junction region and the existence of a second junction opposite to the CdS/CdTe one, made by the ITO/CdTe interface. Solar cell layers need further optimisation and transport properties need investigation to improve the efficiency of bifacial cells. However, ITO back contact on CdTe provides superior cell stability, simplified processing and a potential for low cost production.

This work supported by STCU Project 4301.

## ВПЛИВ ВІДПАЛУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВІЗОЛЮЮЧОГО АРСЕНІДУ ГАЛІЮ (GaAs)

**Новосядлий С.П., Возняк Ю.В., Фрик О.Б.**

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, кафедра  
радіофізики і електроніки*

Різні методи і види термообробки, включаючи фотонні, проводились на підкладках, вирізаних по площині (100) із зливків, вирощених методами горизонтальної направленої кристалізації (зонної плавки (ЗП)) або методом Чохральського (Ч) із рідкою герметизацією розплаву.

Електричні властивості зрізів оцінювались по вимірюванню ефекту Холла в діапазоні температур 77-600 К при пошаровому стравленні зрізця, використовуючи відповідні тестові структури. В поставлених експериментах оцінювався вплив капсулюючих покриттів і відповідних атмосфер:  $H_2$ , Ar,  $AsH_3/H_2$ .

Розглянемо результати відпалу без капсулюючого покриття. Для термообробок використовувались поліровані пластини, з поверхні яких за допомогою хімічного травлення в розчині сірчаної кислоти і перекисі водню ( $H_2SO_4:H_2O_2=2:1$ ) або в розчині Каро видалився шар товщиною  $\geq 20\mu m$ .

Оброблювана сторона і показник	Дані при температурі відпалу, °C протягом 1 год.					
	700	750	800	850	875	925
1. Відпал у водні ( $H_2$ )						
Сторона	FF RF	FF RF	FF RF	FF RF	-	-
Тип	p/n p/n	p p/n	p p	p p	-	-
I <sub>ph</sub>	2 2	1000 2	1000 1000	2500 2500		
2. Відпал у аргоні (Ar)						
Сторона	- -	FF RF	FF RF	- -	FF RF	FF RF
Тип	- -	n n	n n	- -	n p	p p
I <sub>ph</sub>	- -	2 2	2 2	- -	2 1000	100 2500
3. Відпал в $AsH_3/H_2$ (арсин-водень)						
Сторона	- -	FF RF	FF RF	- -	FF RF	- -
Тип	- -	n n	n n/p	- -	p n/p	- -
I <sub>ph</sub>	- -	10 5	2 2	- -	1000 5	- -

В таблиці подані результати обробки підкладки напівізолюючого GaAs, який легований хромом, протягом 1 год. при різних температурах і складах газової атмосфери.

Із проведених досліджень можна зробити висновок, що капсулюючі покриття не приводять до конверсії типу провідності напівізолюючих підкладок GaAs в діапазоні температур 700-925 °C.

[1] Новосядлий С.П., Возняк Ю.В., Сорохтей Т.Р. Фізико-технологічні особливості формування комплементарних арсенідгалієвих субмікронних структур ВІС // Збірник наукових праць 2-ої міжнародної конференції “Електронная компонентная база. Состояние и перспективы развития” Харьков. – 2009. – С.111-113.

## Алфавітний вказівник

\*\*\*

### Index

Abbas Zanganeh-Asadabadi.....	212	Godlewski M. ....	127
Afaneh A. ....	16	Goncharova L.A. ....	221
Akata Kurç B. ....	215	Gopalan V. ....	45
Akifumi Koike.....	94	Gorbach L.A. ....	221
Aksimentyeva O. ....	87	Goriushkina T. ....	215
Ali hosein Imani .....	202	Gornostayev D. ....	162
Alzebda A. ....	16	Grill R. ....	54
Andrushchak A.S. ....	250	Grinevich V.S. ....	280
Babentsov V. ....	54	Gudyma Iu.V. ....	179
Babushkin A.N. ....	295	Hadzaman I. ....	317
Barj M. ....	154	Haluk Turkdemir M. ....	280
Bekshaev A.Ya. ....	104	Hassan Ali Zamani .....202, 211, 212	
Belas E. ....	54	Hidenori Mimura .....21, 94	
Bener A. ....	133	Hisahi Morii.....	94
Bener O. ....	133	Hizhnyi Yu. ....	147
Berkowski M. ....	248	Höschl P. ....	54
Bilash O.M. ....	68, 71	Ievtushenko A.I. ....	95, 96
Bokshits Yu. ....	155	Ignatenko A.V. ....	172
Bolesta I. ....	263	Ishkov Yu. ....	210
Borshchyshyn I. ....	263	Issam Trad .....208	
Brezvin O. M. ....	88, 227	Ivanitsa V. ....	210
Brovko O.O. ....	221	Ivchenko V. ....	16
Bunji Shinomiya.....	94	James R. ....	54
Bunyakova Yu.Ya. ....	172	Jantunen H. ....	162
Chegel V.I. ....	52, 83	Kaidan M.V. ....	250
Chornii V. ....	147	Kalashnikov A. ....	16, 133
Chukova O. ....	155	Kalchenko V.I. ....	149
Dacenko O. I. ....	239	Karbovnyk I. ....	263
Danilov S.N. ....	10	Kavetskyy T. ....	99
Daskal E.M. ....	179	Kaynts D.I. ....	154
Deineko N. ....	320	Kazantseva Z.I. ....	149, 205
Demidenko Yu. ....	52	Kheifets O.L. ....	295
Demyanyshyn N.M. ....	250	Khetselius O.Yu. ....	180
Dmitriev A.V. ....	182	Khivrych V. ....	186
Dmitruk N. ....	186	Khrypunov G. ....	316, 320
Dvoretzky S.A. ....	10	Khrypunov G. ....	320
Dzyadevych S. ....	215	Kidalov V.V. ....	309
Elska G.V. ....	221	Klym H. ....	290, 317
Fedchuk A.P. ....	180	Komaschenko V.N. ....	127
Fiederle M. ....	54	Kondratenko O. ....	186
Filevskaya L.N. ....	280	Kondratenko P.A. ....	182
Florko T.A. ....	176	Konopelnyk O. I. ....	42
Franc J. ....	54	Konup I. ....	210
Galaichenko O.M. ....	68	Kopalko K. ....	127
Ganichev S.D. ....	10	Koshets I.A. ....	149, 205
Gasinets S.M. ....	154	Kosyachenko L.A. ....	95
Glushkov A.V. ....	40, 180, 182	Kotsyumbas I. Ja. ....	88

Kovtun N. ....	316	Nikola L.V. ....	176
Kryshtal R.G. ....	19	Ogorodnijchuk Ju. A. ....	225
Kubát J. ....	54	Olshanetsky E.B. ....	10
Kuchynsky P. ....	186	Onanko A.P. ....	236, 237
Kudrya V. Yu. ....	245	Onanko Y.A. ....	236, 237
Kurochka K.V. ....	295	Orlinska O.V. ....	104
Kurulash O.I. ....	309	Pankratov A.N. ....	109
Kushnir I. M. ....	225	Paszkowicz W. ....	127
Kuznetsova I.E. ....	109	Patil S. ....	56
Kvon Z.D. ....	10	Patskovsky S. ....	85
Lantto V. ....	162	Phaner-Goutorb M. ....	76
Lappalainen J. ....	162, 210	Piletska O.V. ....	221
Lashkarev G.V. ....	95, 96	Pinkovska M. ....	186
Lazorenko V.I. ....	95, 96	Prepelitsa G.P. ....	172
Lebedyeva I.V. ....	245	Pribylova H. ....	298
Lepikh Ya.I. ....	40	Prodaivoda G.T. ....	236, 237
Li T. ....	316	Puustinen J. ....	162, 210
Lopatkin Yu.M. ....	182	Pylypenko I. V. ....	227
Lopatynska O.G. ....	83	Pylypenko L. N. ....	227
Lopatynskyi A.M. ....	83	Rachkov A. ....	85
Loptynskyi A. ....	52	Riabov S.V. ....	205
Lozovski V. ....	52	Romanov V. O. ....	225
Lut O. ....	87	Romeo A. ....	316
Lutsyuk I. ....	263	Rozhitskii M.M. ....	71
Lyashenko O.V. ....	236, 237	Rozhitskii Mykola ..... 77	
Lydina I. ....	162, 210	Rubish V.M. ....	154
Lytovchenko P. ....	186	Ryazanova O.A. ....	187, 228
Makara V. A. ....	239	Savin S.N. ....	280
Maksymov A.Iu. ....	179	Scherbatskii V. ....	155
Malashkevich G. ....	155	Sego Kanemaru ....	21
Mamykin S.V. ....	127	Semikina T.V. ....	127
Mani M. ....	133	Serdiuk T. ....	76
Masayoshi Nagao ..... 21		Sergeeva L.M. ....	221
Medved A.V. ....	19	Sergeyeva T.A. ....	221
Mel'nichenko M.M. ....	32	Shatha Kathim Jawad ..... 208	
Melnik V. ....	56	Shelest T. ....	316, 320
Melnikova N.V. ....	295	Shevchenko O. ....	87
Meriuts A. ....	316, 320	Shevchenko V. B. ....	239
Meunier M. ....	85	Shevchenko G. ....	155
Michał Maćkowski ..... 60, 200		Shikhabudinov A.M. ....	109
Mikhailov N.N. ....	10	Shmiryeva A. N. ....	88
Minikayev R. ....	127	Shmiryeva O. M. ....	90
Mischenko E.V. ....	176	Shmyryeva O. M. ....	32
Mohammad Reza Ganjali ..... 202, 211, 212		Shpotyuk O. ....	317
Mohammad Saleh Zabihi. .... 211		Shvets V.A. ....	10
Mohammed Yousef AL-Gawagzeh. 138, 208		Sidorov Yu.G. ....	10
Moravec P. ....	54	Sinha N. ....	56
Muzyka K.M. ....	71	Sitnik J.A. ....	32
Mykaylo O.A. ....	154	Sizov F. ....	54
Mytsyk B.H. ....	250	Sklyarchuk O.F. ....	95
Naumenko A.P. ....	245	Sklyarchuk V.M. ....	95
Nedilko S. ....	147, 155	Skryshevsky V.A. ....	76

Slinchenko O. A. ....	221	Апатська М.В. ....	258
Slobodyanik M. ....	147	Арсланов Р.К. ....	197, 198
Smyntyna V. A. ....	162, 210, 280	Арсланов Т.Р. ....	197, 198
Snizhko Dmytro. ....	77	Архипова В.М. ....	12, 217
Solomon A.M. ....	154	Атдаев Б.С. ....	230
Solskii I.M. ....	250	Афанасьев О. А. ....	203
Sonbul O. ....	133	Ашеулов А.А. ....	144
Soraia Meghdadi. ....	202, 211, 212	Балабай Р.М. ....	259, 267
Souterand E. ....	76	Балабан А.П. ....	192, 272
Starodub N. F. ....	32, 90, 88, 225, 227	Балабін В.В. ....	134
Suchikova J. A. ....	309	Балицький О.О. ....	173
Suchocki A. ....	248	Барабаш О.В. ....	134
Sukach G. A. ....	309	Бачериков Ю.Ю. ....	297
Svinarenko A.A. ....	180	Бачинський І.Я. ....	116
Sviridova S.V. ....	104	Белаш Е.М. ....	50
Takaharu Okunoyama. ....	94	Беньковский П.В. ....	319
Terebilenko K. ....	147	Бережной Е.А. ....	277
Tomoya Yoshida. ....	21	Березовская И.В. ....	117
Toru Aoki. ....	21, 94	Берков Ю.Н. ....	38
Tsivileva O.M. ....	109	Белобров Д.О. ....	207
Tsykhonya A. ....	52	Білий О.І. ....	214, 218
Ulug A. ....	280	Білінський І.В. ....	39
Ulug B. ....	280	Білінський –Слотило В.Р. ....	278
Vakhula Ya. ....	263	Білоіван О.А. ....	86
Vakiv M. ....	317	Блинкова Л.В. ....	204
Veblaya T. S. ....	239	Блонский И.В. ....	7
Vigva S.A. ....	236, 237	Бобик М.Ю. ....	260
Viter R. ....	162, 210	Бобренко Ю.Н. ....	230
Vlasukova L. ....	186	Бовсуновская И.А. ....	82
Vlček M. ....	298	Богдан О. В. ....	74
Vodzinskii S. ....	210	Божокин С.В. ....	36
Voloshin I.M. ....	187, 228	Бойко І. ....	129
Waldemar Nawrocki. ....	60, 200	Бойко Ю.Н. ....	292
Yaltkaya Ş. ....	280	Бойко В.А. ....	49
Yashchuk V.M. ....	245	Бойчук В.І. ....	39
Yasinko T.I. ....	154	Болтенков В.А. ....	132
Yoichiro Neo. ....	21, 94	Болтовец Н.С. ....	297
Yurkevych O.V. ....	250	Бондаренко О.А. ....	118
Zaitsev B.D. ....	109	Боркач Е.І. ....	269
Zholudov Y.T. ....	71	Борщаговский Е.Г. ....	183
Zhydachevskii Ya. ....	248	Борщак В.А. ....	272
Zozulya V.N. ....	187, 228	Бошерницан В.И. ....	277
Аксiментьева О. І. ....	64, 266	Бровко О.О. ....	283
Алексеев С.А. ....	108	Бугаева Т.Н. ....	151
Алексеенко А.А. ....	7	Будзуляк С. І. ....	261
Алексенко Н.Г. ....	287	Будиянская Л.М. ....	216
Алибеков А.Г. ....	196, 276	Буланый М.Ф. ....	273
Алякшев І.П. ....	274	Бунчук С.Г. ....	258
Андреева К.В. ....	258	Бурбело Р.М. ....	108
Андрусенко Д.А. ....	108	Бурлак Г.М. ....	209
Анисимов О.В. ....	65	Бурлаченко И.И. ....	118
Анищенко А.А. ....	152	Бурлаченко Ю.В. ....	66, 206



Ваксман Ю.Ф. ....	277	Грабовський О.В. ....	123
Василенко А.Д. ....	137, 139	Гранкин В.П. ....	231
Васько Ф.Т. ....	34	Гранкин Д.В. ....	231
Вахняк Н. Д. ....	234	Гребеньков И.Н. ....	81
Вахула О.А. ....	244	Григоренко В.В. ....	167
Велешук В.П. ....	235	Грипа А.С. ....	46, 148
Великодний Д.В. ....	161	Громко Є.Д. ....	240
Величковський К.А. ....	142	Грядун В. И. ....	121
Викулин И.М. ....	97, 199, 319	Губанова А. О. ....	298
Викулина Л.Ф. ....	199	Гуле Є.Г. ....	80
Вилинская Л.Н. ....	209	Гуранич О.Г. ....	185, 304
Вірт І.С. ....	105	Гуранич П.П. ....	185, 238, 252, 304
Власенко О.І. ....	235	Давиденко І.С. ....	80
Возняк Ю.В. ....	321	Данильченко С.М. ....	285
Войцехівська О. ....	129	Данилюк Г.Д. ....	173
Волков С.В. ....	233	Данилюк Д.О. ....	58
Волощук А.Г. ....	80	Даньків О.О. ....	112
Воробец В.С. ....	204	Данько В.А. ....	279
Воробець В.С. ....	163	Демчина Л. А. ....	234
Гаврильченко І.В. ....	251	Денисов И.А. ....	286
Гадзаман І.В. ....	105	Денисюк Р.А. ....	170
Галайченко Е. Н. ....	120	Дзумедзей Р.О. ....	156
Галелюка И.Б. ....	140	Дзядевич С.В. ....	12, 17, 137, 141, 142
Галелюка І.Б. ....	223	Дидурик А.В. ....	118
Галочкін О.В. ....	240	Дідик Р.І. ....	46
Галушак М.О. ....	156	Дмитрук А.Н. ....	7
Гарасевич С. ....	178, 219	Дмитрук И.Н. ....	7
Гасан-заде С.Г. ....	49	Дмитрук М. Л. ....	53, 74
Гасинець С.М. ....	304	Довбешко Г.І. ....	175
Гевелюк С.А. ....	282	Довганюк М. ....	124
Гера Е.В. ....	177, 281	Дойчо І.К. ....	282
Гетманенко Н.Ю. ....	120	Драгоев А.А. ....	192
Гетьман В.Б. ....	214, 218	Драпезо А.П. ....	61
Глауберман М.А. ....	194	Дроздов М.О. ....	123
Глинчук К.Д. ....	302	Дроздов В.О. ....	123
Глот А.Б. ....	294	Дроздов В.А. ....	118
Головій О. ....	178, 219	Дружинин А.О. ....	17, 135
Голомб Р. ....	184, 301	Дружинін А.О. ....	8, 181, 300
Голтвянский Ю.В. ....	217	Дубельт С.П. ....	312
Гомоннай О.О. ....	252	Дуркот М.О. ....	177
Гончарова Л.А. ....	283	Духлій А.І. ....	174, 193
Горб А. М. ....	253	Душко В.Г. ....	102
Горбань А.А. ....	273	Евтушенко Н.Г. ....	169
Горбанюк Т.І. ....	58, 67, 69	Егоров В.В. ....	194
Горбач Л.А. ....	283	Елісеєв Є.А. ....	45
Горват Г.Т. ....	305	Євтух А.А. ....	17, 67, 69
Горват Ю.А. ....	177	Євчук О.М. ....	64
Гордиенко Ю.Е. ....	136	Єльська Г.В. ....	12, 283
Гордієнко С.О. ....	174, 193	Єремчук В.В. ....	291
Гордієнко Ю.О. ....	17	Єрмаков В. М. ....	234, 261
Горіна О.В. ....	146, 284	Єсилевський С.О. ....	175
Горлей В.В. ....	307	Жафрезик-Рено Н. ....	141

Жеребцова Л.М.	123	Козел В.В.	194
Жирко Ю.І.	190	Козловский С.И.	268
Жолудов Ю.Т.	50	Козубовський В.Р.	274
Жуков С.А.	38, 169	Козусенок В.В.	284
Жуков С.О.	282	Колбасов Г. Я.	204, 233
Завадский В.А.	247	Колесник О.Г.	318
Завезион Т.Ф.	243	Колісник М.Г.	240
Зайцев Р.В.	232	Колядина Е.Ю.	150, 297
Затовская Н.П.	272	Комашенко В.Н.	230
Захарук З.І.	164	Конакова Р. В.	150, 234, 297
Зегря А.Г.	36	Кондрат О.	184
Зегря Г.Г.	36	Конін К.П.	41
Зеленин П.В.	38	Конопельник О.І.	64
Зубков О.Ю.	313	Копач В.Р.	232
Зубрицкий С. В.	264	Корбутяк Д. В.	122, 234, 261, 262, 265
Иванченко И.А.	216	Коренюк П.И.	7
Ижнин И.И.	286	Коріневська І.О.	291
Ирха В.И.	97	Кормош В.В.	274
Исаев Н.В.	108	Коровін О.В.	53
Іваніцька В.Г.	145	Коротченков О. А.	253
Иванов В.І.	41	Корпан Я.І.	86
Иванов І. І.	55	Косоловский В.В.	242
Иващенко М.М.	285	Косоротов В. Ф.	43
Ільченко В.В.	174, 193, 203, 318	Костильов В.П.	101
Індутний І.З.	279	Костюкевич О.М.	318
Кадан В.Н.	7	Косяченко Л.А.	164
Калитчук С. М.	261, 262, 265	Коцюмбас І.Я.	214, 218
Каменев В.І.	311	Кочергина А. А.	100
Камуз А.М.	287	Кравченко О.І.	203
Камуз О.А.	287	Кравченко С.О.	206
Камуз В.Г.	287	Краснов Ю.С.	233
Канищева Н.А.	194	Красюк Е.К.	84
Каракис Ю.Н.	100, 192	Крикун К.Ю.	232
Карась М.І.	98	Криськов Ц. А.	291, 298
Карачевцева Л.А.	41, 98	Кругленко І.В.	206
Карпенко А.Я.	181	Крюченко Ю. В.	265
Кидалов В.В.	289	Кузик О.В.	112
Кинзерская О.В.	293	Кузнецов Г.В.	296
Кириладш А.И.	289	Кузьмич А.Г.	108
Кириленко В.К.	177	Кукла А.Л.	217
Киселюк М.П.	235	Кукла О.Л.	12, 84, 244
Кисс А. В.	264	Кукоба А.В.	50
Кіріченко М.В.	232	Кукоба Е.А.	70
Клименко А.М.	118	Кулинич О.А.	130
Коваленко А.В.	294	Купчак І. М.	265
Коваленко О.В.	273	Курило І.В.	105
Ковальов Ю.Г.	310	Курилюк В. В.	253
Ковальчук В.В.	118, 123	Курмашев Ш.Д.	151, 199, 319
Ковальчук М.Л.	240	Курьсь Я.И.	82
Ковальчук Н.О.	167	Куталова М.И.	272
Ковальчук Т.В.	86	Кутраков О.П.	8
Ковырѐва А.В.	140	Куца Н.В.	232

Кучерський А.Ю.	125, 313	Махний В.П.	292, 293
Кучин А.В.	142	Межиловська Л.Й.	14
Кушнір І.М.	214, 218	Мелак В.Г.	101
Лавренова Т.И.	151	Мельник В.В.	292
Леваш Л.В.	102	Мельник В.Г.	17, 69, 135, 136, 139, 142
Ленков С.В.	135	Мельничук М.Д.	223
Леновенко А.М.	148, 167	Микайло О.А.	185
Лепіх Я.І.	17, 134, 135, 139	Микуланинець-Мешко О.С.	177
Лешко Р.Я.	39	Минько В.І.	279
Ленков С.В.	17, 134	Митрохин В.И.	255
Лис Р.М.	46	Михайловская А. С.	254
Лисенко В.С.	102	Михайловская Л. В.	254
Литвиненко О.О.	41	Михайловська К.В.	279
Литвиненко С.В.	207	Михаль А.А.	81, 137
Литовченко В.Г.	6, 58, 67, 69	Мишакова Т.А.	183
Литовченко Н.М.	302	Міленін В. В.	234
Литовченко П.Г.	181, 300	Мілованов Ю.С.	296
Ліщенко Н.Г.	274	Мінайлова І.А.	128
Лобойко В.І.	312	Мінько В.І.	53
Лозовский В.З.	183	Міца В.	184, 301
Лоп'янка М.А.	119	Моллаев А. Ю.	196, 197, 198
Лопатинський І.Є.	312	Монастирський Л.С.	266
Лоцько О. П.	234	Морозовская А.Н.	23
Лушкін О.Є.	318	Морозовська Г.М.	45
Люба Т.С.	291	Москвин П.П.	153
Лютый Т.В.	47	Мотовилець І.Г.	307
Лях-Кагуй Н.С.	8	Мынбаев К.Д.	36, 286
Ляшенко О.В.	235	Мягченко Ю.	178, 219
Ляшков А.Ю.	152	Назаренко О.А.	84, 220
Мазур А.С.	311	Насєка Ю.М.	302
Мазурик С.В.	294	Неболюбов Е.Ю.	139
Маковийчук М.И.	44	Неділько С.Г.	235
Максименко Л.С.	128	Неизвестный И.Г.	25
Максимова Н.К.	65	Нелюба П.Л.	150
Малашкевич Г.Є.	119	Никируй Л.І.	156
Малушин Н.В.	189, 243	Никируй Р.І.	119
Мамикін С.В.	53	Никора Н. И.	264
Маник О.М.	144	Ницук Ю.А.	100
Маник Т.О.	144	Новосядлий С.П.	159, 321
Манілов А.І.	251	Носач Д.В.	246
Мар'ямова І.Й.	8	Оксанич А. П.	157
Мар'ян В.М.	177	Олексенко П.Ф.	287
Маренков В.І.	125, 313	Оліх Я.М.	110
Мартыш М.А.	231	Омельченко С.О.	273
Марченко С.В.	84, 220	Омельчук А.Р.	273
Марчук И.А.	130	Онищенко В.Ф.	98
Маслеєва Н. В.	74	Онищенко И.В.	139, 142
Маслянчук О.Л.	164	Опанасюк А.С.	285
Матвеева Л.А.	150	Островський І.П.	8, 181, 300
Матвієнко О.І.	299	Охрименко О.Б.	297
Матяш І.Є.	128	Павлик Б.В.	46, 148
Маханець О.	124	Павлик М. Р.	266

Павлов И.А.	7	Рубіш В.М.	48, 304
Павловська Н.Т.	181, 300	Руденко С.П.	128
Павловський Ю.В.	181, 300	Рудий І.О.	105
Павлюченко А.С.	217	Рудь А.В.	318
Павлюченко О.С.	84	Рудько Г.Ю.	80
Пазуха І.М.	161	Рябець С.І.	310
Паньків І.С.	299	Рябчиков Д.В.	267
Паньків Л.І.	299	Савченко А.А.	206
Паршин К.А.	98	Савченко А.В.	101
Паюк О. П.	298	Савченко В.А.	134
Пелешак Р.М.	112, 116	Савчин В.П.	173
Перевузник В.П.	185, 304	Савчук А.В.	103
Петраченко О.	301	Савчук А.Й.	80
Пешкова В.Н.	137	Савчук О. А.	168, 262
Пешкова В.М.	141	Савчук С.А.	293
Пісак Р.П.	185	Садова Н.Н.	151
Піскльонов С.С.	259	Сайко П.А.	188, 306
Поварчук В.Ю.	300	Сайпулаєва Л.А.	196, 276
Погорілий А.М.	311	Сакалош І. І.	305
Поживатенко В.В.	158	Самойлов В.Б.	102
Полек Т.І.	311	Самойлова І.О.	244
Половина О. І.	253	Сантоний В.И.	216
Поляков А.Ю.	47	Сарахан Е.В.	140
Поп М.М.	177	Сарахан Є.В.	223
Поперенко Л.В.	246	Саченко А. В.	98
Попович Н.	301	Саяпіна О.Я.	141
Походенко В.Д.	82	Сватюк О.Я.	269
Притчин С.Э.	157	Свечников Г.С.	23
Прокошин В.И.	61	Свечников С.В.	45, 103
Проценко І.Ю.	161	Севастьянов Е.Ю.	65
Птащенко О. О.	72, 73, 74, 282	Семеней А.М.	75
Птащенко Ф. О.	72, 73, 74	Семенычева Л.Н.	137
Птушинський Ю.Г.	102	Серба О.А.	101
Раренко Г.І.	240	Сергеєва Т.А.	283
Раренко І.М.	164	Сергеєва Л.М.	283
Рачковський О.М.	291	Сергейченко Н.В.	65
Рашковецкий Л.В.	153	Сердега Б.К.	128
Рашковецкий Л.В.	302	Серицан М.В.	170
Редько Р. А.	234	Сеспуглю Р.	222
Рембеза С.И.	255	Сеті Ю.	129
Риган М.Ю.	185, 304	Сизов Ф.Ф.	302
Рогальова Н.С.	86	Склярчук В.М.	164
Рожицкий Н. Н.	75, 50, 70, 117, 120	Склярчук О.Т.	240
Роман І.Ю.	252	Склярчук О.Ф.	164, 240
Романець П.М.	34	Скобеева В.М.	189, 243
Романов В.А.	139, 140, 142	Скрипник М. В.	307
Романов В.О.	17, 223	Скришевський В.А.	29, 55, 207, 251, 296
Ромашко Т.П.	303	Скришевський Р.В.	251
Росновський О.А.	102	Скубенко М.А.	190
Росул Р.Р.	238, 252	Слётон А.М.	242
Ротнер С.М.	169	Слётон М.М.	242
Рубанчук М.П.	135, 136	Сливка О.Г.	238, 252

Слінченко О.А.	283	Турянця І.І.	284
Слободзян Д.П.	46	Тюрин А.В.	38, 169
Слободянюк О.	178, 219	Тюрин О.В.	282
Сльотов М. М.	166	Тягур Ю. І.	113
Сльотов О. М.	166	Угрин Ю.О.	112
Слюняєв А.С.	134	Ульяницький К.С.	242
Сминтина В.А.	130	Ульяницький К.С.	307
Смирнова Н.А.	286	Уставицкая Е.А.	82
Смолій М.І.	258	Федів В.І.	80
Смынтына В.А.	189, 216, 243, 264, 272	Ференсович Я.П.	214
Снопок Б.А.	66	Фесенко О.М.	175
Солдаткин А.П.	217	Фицыч Е.И.	286
Солдаткін О.О.	222	Філер З.Ю.	310
Солдаткін О.П.	12, 84, 220, 222	Фоманюк С.С.	233
Солнцев В.С.	58, 67, 69	Фреїк Д.М.	14, 119
Сонько Р.В.	223	Фрик О.Б.	321
Сорохтей Т. Р.	159	Хазинедарлу Э.	59
Соснова М.В.	53	Халавка Ю. Б.	261, 262
Софронков А.Н.	151	Хахель О.А.	303
Старий С.В.	49	Хацевич І.М.	58
Старіков В.В.	285	Хімич В.	301
Стародуб М.Ф.	223	Хмиль Д.Н.	287
Стародуб Н.Ф.	140	Ховерко Ю.М.	8, 181, 300
Стахіра Й.М.	31	Хомяк В.В.	166, 288
Стахіра Р.Й.	31	Хоруженко В.Ю.	244
Степанчиков Д.М.	308	Хуснутдинов С.В.	293
Стратійчук І.Б.	145	Царенко О.М.	310
Стрільчук О.М.	302	Ціж Б.Р.	64
Стріха М.В.	34, 49	Цмоць В.М.	181, 299, 300
Стронский А.В.	160	Цюпак Н.	124
Стронська О.Й.	41	Чемересюк Г.Г.	192
Стронський О. В.	298	Черненко В.В.	101
Струц Д.А.	243	Чернишов Е.В.	65
Стукалов С.А.	169	Черных Е.И.	292
Сукач Г.А.	289	Черняк Н.Г.	59
Тарасенко Т.М.	311	Чикалова – Лузина О.П.	36
Тарнай А.А.	284	Чобанюк В.М.	156
Телега В.М.	203	Чохань М.І.	64
Тимочко М.Д.	110	Чухненко П.С.	145
Ткач М.	129	Шапарь В.Н.	103
Ткаченко И.В.	292	Шаповалов И.П.	188, 306
Ткачук А.І.	310	Шаран Н.Н.	268
Товстолиткін О.І.	299, 311	Шаркань Й.П.	305
Толмачев И.Д.	160	Швець О.Г.	240
Толмачова Т.М.	282	Шепельський Г.А.	49
Томашик В.М.	145	Шепелявий П.Є.	279
Томашик В.Н.	168, 170	Шереметова Г.И.	230
Томашик З. Ф.	145, 168, 170, 262	Шикоряк Й.А.	46
Тонкошкур А.С.	152	Шинкаренко В.В.	150
Трищук Л.И.	168	Шкотова Л. В.	86, 137
Тріщук Л. І.	262	Шпак А.П.	48
Турніцький В.О.	291	Шпилевский Э.М.	27

Шпирко Г.М. ....	185
Штець П.П. ....	48
Шугарова В. В. ....	72
Шулімов Ю.Г. ....	251
Шумакова Н.І. ....	161
Щедрина Л.В. ....	43
Щербак Л. П. ....	261, 262
Щербацький В.П. ....	235
Щувайло О.М. ....	222
Щупляк А.Н. ....	299
Юр'єв С.О. ....	312
Юргелевич І.В. ....	246
Юрценюк Н.С. ....	164
Ющук С.І. ....	312
Яремик Р.Я. ....	214
Ярмолевич В.А. ....	61
Ярошенко Н.В. ....	230
Яценко Ю.И. ....	289
Яцун В.В. ....	277
Яцунский И.Р. ....	130

# З М І С Т

## CONTENTS

\*\*\*

### ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ

### PLENARY REPORTS

<b>Литовченко В.Г.</b> СЕНСОРИ НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ КЛАСТЕРІВ .....	6
<b>Блонский И.В., Дмитрук И.Н., Дмитрук А.Н., Кадан В.Н., Коренюк П.И., Павлов И.А., Алексеенко А.А.</b> НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОЧАСТИЦАХ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЛЕ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ .....	7
<b>Дружинін А.О., Мар’ямова І.Й., Островський І.П., Ховерко Ю.М., Кутраков О.П., Лях-Кагуй Н.С.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА НИТКОПОДІБНІ КРИСТАЛИ Si, SiGe ТА ШАРИ ПОЛІКРЕМНІЮ .....	8
<b>Mikhailov N.N., Dvoretzky S.A., Shvets V.A., Sidorov Yu.G., Kvon Z.D., Olshanetsky E.B., Danilov S.N., Ganichev S.D.</b> HgCdTe NANOSTRUCTURES. GROWTH, FUNDAMENTAL PHENOMENA AND APPLICATIONS.....	10
<b>Дзядевич С.В., Солдаткін О.П., Архипова В.М., Кукла О.Л., Єльська Г.В.</b> ФЕРМЕНТНІ БІОСЕНСОРИ НА ОСНОВІ ІОН-СЕЛЕКТИВНИХ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ .....	12
<b>Фреїк Д.М., Межиловська Л.Й.</b> НАНОТЕХНОЛОГІЇ І НАНОСТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СПОЛУК AIV-BVI.....	14
<b>Alzabda A., Afaneh A., Ivchenko V., Kalashnikov A.</b> ELECTRONIC ARCHITECTURES FOR ULTRASONIC TEMPERATURE MEASUREMENTS .....	16
<b>Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В., Дружинин А.О., Євтух А.А., Ленков С.В., Мельник В.Г., Романов В.О.</b> МІКРОЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	17
<b>Medved A.V., Kryshstal R.G.</b> SINGLE SH-SAW SENSOR AS A DISTRIBUTED SENSOR ARRAY FOR LIQUIDS RECOGNITIONS .....	19
<b>Hidenori Mimura, Toru Aoki, Yoichiro Neo, Masayoshi Nagao, Tomoya Yoshida Sego Kanemaru</b> FIELD EMITTER TECHNOLOGIES FOR ULTRA FINE IMAGE SENSORS.....	21

<b>Морозовская А.Н., Свечников Г.С. НАНОРАЗМЕРНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ МИКРОСИСТЕМНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.....</b>	<b>23</b>
<b>Неизвестный И.Г. ПРОБЛЕМЫ МДП ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ Ge И ПОЛУПРОВОДНИКОВ ТИПА A<sub>3</sub>B<sub>5</sub>.....</b>	<b>25</b>
<b>Шпилевский Э.М. НАНОСТРУКТУРЫ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СЕНСОРОВ .....</b>	<b>27</b>
<b>Скришевський В.А. ТОНКОПЛІВКОВІ СОНЯЧНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА РАДІАЦІЙНІ СЕНСОРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОРИСТОГО КРЕМНІЮ.....</b>	<b>29</b>
<b>Стахіра Й.М., Стахіра Р.Й. ДИНАМІКА МІЖЗОННОЇ ГУСТИНИ ЕЛЕКТРОНИХ СТАНІВ В УМОВАХ АКУСТООПТИЧНОГО ЗБУДЖЕННЯ ШАРУВАТИХ КРИСТАЛІВ .....</b>	<b>31</b>
<b>Starodub N.F., Sitnik J.A. Mel'nichenko M.M., Shmyryeva O.M. BIOSENSORS BASED ON THE NANOSTRUCTURED SILICON AND INTENDED FOR THE DETERMINATION OF NUMBER OF BIOCHEMICAL QUANTITIES.....</b>	<b>32</b>
<b>Васько Ф.Т., Романець П.М., Стріха М.В. РАДІАЦІЙНО ОБУМОВЛЕНА НЕРІВНОВАЖНІСТЬ НОСІВ У ГРАФЕНІ.....</b>	<b>34</b>
<b>Божокин С.В., Зегря А.Г., Мынбаев К.Д., Чикалова – Лузина О.П., Зегря Г.Г. НАНОБИОСЕНСОРЫ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЫ.....</b>	<b>36</b>

\*\*\*

## СЕКЦІЙНІ ДОПОВІДІ SECTIONAL REPORTS

\*\*\*

**Секція І. Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути  
створені сенсори**

**Section I. Physical, chemical and other phenomena, as a bases of sensors  
development**

<b>Тюрин А.В., Жуков С.А., Берков Ю.Н., Зеленин П.В. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФОТОВОЗБУЖДЕННЫХ J-АГРЕГАТОВ КРАСИТЕЛЯ АДСОРБИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ МИКРОКРИСТАЛЛОВ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА .....</b>	<b>38</b>
<b>Бойчук В.І., Білинський І.В., Лешко Р.Я. СПЕКТР ЕЛЕКТРОН-ДІРКОВОЇ ПАРИ У СФЕРИЧНІЙ КВАНТОВІЙ ТОЧЦІ З ЗАРЯДЖЕНОЮ ДОМШКОЮ В ЇЇ ЦЕНТРІ .....</b>	<b>39</b>



<b>Glushkov A.V. Lepikh Ya.I. HIGH-POWER MONOCHROMATIC GAMMA RADIATION SOURCES ON THE BASIS OF META-STABLE NUCLEI DISCHARGE INDUCED BY MUON CAPTURE AND NUCLEAR SENSORS</b> .....	40
<b>Карачевцева Л.А., Конін К.П., Іванов В.І., Литвиненко О.О., Стронська О.Й. ЕЛЕКТРО-ОПТИЧНИЙ ЕФЕКТ У ДВОВИМІРНИХ СТРУКТУРАХ МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ</b> .....	41
<b>Konopelnyk O. I. THERMOCHROMIC EFFECT IN CONDUCTING POLYAMINOARENES</b> .....	42
<b>Косоротов В. Ф. , Щедрина Л.В. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ, НАХОДЯЩИХСЯ В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ</b> .....	43
<b>Маковийчук М.И. НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ГАЗОАНАЛИТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ</b> .....	44
<b>Морозовська Г.М., Елісєєв Є.А., Свечников С.В., Gopalan V. СТРУКТУРА ТА ЛОКАЛЬНА ДИНАМІКА ДОМЕННИХ СТІНОК В НАНОМАСШТАБІ</b> .....	45
<b>Павлик Б.В., Грипа А.С., Слободзян Д.П., Лис Р.М., Шикоряк Й.А., Дідик Р.І. ПЕРЕБУДОВА ДЕФЕКТІВ В ПОВЕРХНЕВО-БАР'ЄРНИХ СТРУКТУРАХ Bi-Si-Al СТИМУЛЬОВАНА ДІЄЮ РАДІАЦІЇ</b> .....	46
<b>Поляков А.Ю., Лютый Т.В. ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО ШУМА НА ДИНАМИКУ НАМАГНИЧЕННОСТИ НАНОЧАСТИЦЫ В ЦИРКУЛЯРНО-ПОЛЯРИЗОВАННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b> .....	47
<b>Шпак А.П., Рубіш В.М., Штець П.П. ОДЕРЖАННЯ, СТРУКТУРА І ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОСИТАЛІВ НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГАЛОГЕНІДІВ СУРМИ</b> .....	48
<b>Стріха М.В., Бойко В.А., Гасан-заде С.Г., Старий С.В., Шепельський Г.А. ДИСКРИМІНАЦІЯ ТИПІВ ГЛИБОКИХ РЕКОМБІНАЦІЙНИХ РІВНІВ У InSb З БАРИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ФОТОПРОВІДНОСТІ</b> .....	49
<b>Жолудов Ю.Т., Белаш Е.М., Кукоба А.В., Рожицкий Н.Н. СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОГЕНЕРИРОВАННОЙ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ</b> .....	50

\*\*\*

## **Секція II. Проектування та математичне моделювання сенсорів**

### **Section II. Sensors design and mathematical modeling**

<b>Chegel V.I, Loptynskyi A., Demidenko Yu., Lozovski V. Tsykhonaya A. THE SPR SENSOR RESPONSE DEPENDS ON DISPERSITY OF BIOMOLECULAR ENVIRONMENT</b> .....	52
--	----

<b>Дмитрук М.Л., Мамикін С.В., Мінько В.І., Коровін О.В., Соснова М.В.</b> ОПТОХІМІЧНІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ПЛАЗМОННИХ СИСТЕМ З АНТИКОРЕЛЬОВАНИМ РЕЛЬЄФОМ ТА СЕЛЕКТИВНО-ЧУТЛИВОЮ ПЛІВКОЮ .....	53
<b>Franc J., Babentsov V., Sizov F., James R., Fiederle M., Hóschl P., Kubát J., Grill R., Belas E. Moravec P.</b> ACTUAL PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF ROOM TEMPERATURE SEMICONDUCTOR DETECTORS OF IONIZING RADIATION .....	54
<b>Іванов І.І., Скришевський В.А.</b> МОДЕЛЮВАННЯ СЕНСОРА НА ОСНОВІ БРЕГГІВСЬКОГО ДЗЕР-КАЛА З ПОРУВАТОГО КРЕМНІЮ.....	55
<b>Sinha N., Patil S., Melnik V.</b> MATHEMATICAL MODELING AND PHYSICAL PROPERTIES OF CARBON NANOTUBE SENSORS WITH STONE-WALES DEFECTS .....	56

\*\*\*

### Секція III. Сенсори фізичних величин

#### Section III. Physical sensors

<b>Горбанюк Т.І., Литовченко В.Г., Солнцев В.С., Хацевич І.М., Данилюк Д.О.</b> ВПЛИВ АДСОРБЦІЇ АМІНОКИСЛОТ НА ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ФОТОЛЮМІНІСЦЕНТНІ СПЕКТРИ БАГАТОШАРОВИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР З НАНОСТРУКТУРОВАНИМ КРЕМНІЄМ .....	58
<b>Черняк Н.Г., Хазинедарлу Э.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВИГАЦИОННОГО МАЯТНИКОВОГО КОМПЕНСАЦИОННОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ТРАНСФОРМАТОРНЫМ ДАТЧИКОМ УГЛА .....	59
<b>Waldemar Nawrocki, Michał Maćkowski</b> CAPACITY-TO-FREQUENCY TRANSDUCERS FOR THE RANGE OF LOW TEMPERATURES .....	60
<b>Прокошин В.И., Драпезо А.П., Ярмолович В.А.</b> ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА.....	61

\*\*\*

### Секція IV. Хімічні сенсори

#### Section IV. Chemical sensors

<b>Аксіментьєва О.І., Конопельник О.І., Ціж Б.Р., Євчук О.М., Чохань М.І.</b> ГНУЧКІ ЕЛЕМЕНТИ ОПТИЧНИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІМЕРНИХ СИСТЕМ .....	64
---	----

<b>Анисимов О.В., Максимова Н.К., Севастьянов Е.Ю., Сергейченко Н.В., Чернишов Е.В. УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТЬЮ И СТАБИЛЬНОСТЬЮ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ В ОБЪЕМ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК SnO<sub>2</sub> ПРИМЕСЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ.....</b>	<b>65</b>
<b>Бурлаченко Ю.В., Снопко Б.А. МЕТОД ОЦІНКИ УНІКАЛЬНОСТІ ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ МАСИВІВ ХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ .....</b>	<b>66</b>
<b>Євтух А.А., Горбанюк Т.І., Литовченко В.Г., Солнцев В.С., МЕТАЛІЧНІ СПЛАВИ ТА КОМПОЗИТИ ЯК КАТАЛІТИЧНО-АКТИВНІ ЕЛЕКТРОДИ МДН ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ.....</b>	<b>67</b>
<b>Galaichenko O.M., Bilash O.M. NEW METHOD AND NANOMATERIAL'S SENSOR INSTRUMENT FOR TUBERCULOSIS DIAGNOSTICS .....</b>	<b>68</b>
<b>Горбанюк Т.І., Євтух А.А., Литовченко В.Г., Солнцев В.С., Мельник В.Г. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОЧУТЛИВИХ ДАТЧИКІВ НА ВОДНЕВОМІСТКІ ГАЗИ НА ОСНОВІ НАНОСТРУКТУРОВАНОГО КРЕМНІЮ .....</b>	<b>69</b>
<b>Кукоба Е.А, Рожицкий Н.Н. ЭЛЕКТРОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ КСАНТЕНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ .....</b>	<b>70</b>
<b>Muzyka K.M., Bilash O.M., Zholudov Y.T., Rozhitskii M.M. PHOTONIC SENSOR BASED ON DIAMOND-LIKE CARBON NANOLAYER ELECTRODE FOR ELECTROCHEMILUMINESCENT BILIRUBIN DETERMINATION .....</b>	<b>71</b>
<b>Птащенко О. О., Птащенко Ф. О., Шугарова В. В. ВПЛИВ СТРУКТУРИ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯК ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ.....</b>	<b>72</b>
<b>Птащенко О. О., Птащенко Ф. О. P-N ПЕРЕХОДИ НА ОСНОВІ InGaN З КВАНТОВОЮ ЯМОЮЯК ГАЗОВІ СЕНСОРИ .....</b>	<b>73</b>
<b>Птащенко О. О., Птащенко Ф. О. , Дмитрук М. Л. Маслєєва Н. В., Богдан О. В. СУЛЬФІДНА АКТИВАЦІЯ P-N ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ GaAs ЯК ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ .....</b>	<b>74</b>
<b>Семеней А.М., Рожицкий Н. Н. АЛМАЗНЫЕ И АЛМАЗОПОДОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ В ЭЛЕКТРОАНАЛИТИКЕ .....</b>	<b>75</b>
<b>Serdiuk T., Skryshevsky V.A., Phaner-Goutorb M., Souterand E. PHOTOLUMINESCENCE SENSOR ON MELAMINE CONTAMINATION IN FAT LIQUID MILK.....</b>	<b>76</b>
<b>Snizhko Dmytro, Rozhitskii Mykola ELECTROCHEMICAL SENSORS ARRAY ACTUATOR BASED ON XMEGA AVR MICROCONTROLLER.....</b>	<b>77</b>

\*\*\*

## Секція V. Біосенсори

### Section V. Biosensors

<b>Федів В.І., Рудько Г.Ю., Савчук А.Й., Волощук А.Г., Давиденко І.С., Гуле Є.Г.</b> ЛЮМІНЕСЦЕНТНА ДІАГНОСТИКА КЛІТИННОЇ СТРУКТУРИ ПЕЧІНКИ .....	80
<b>Гребеньков И.Н., Михаль А.А.</b> АНАЛИЗ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ ДЛЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО БИОСЕНСОРА .....	81
<b>Курьсь Я.И., Бовсуновская И.А., Уставицкая Е.А., Походенко В.Д.</b> ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ БЕЗМЕДИАТОРНЫХ БИОСЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИ(о-ФЕНИЛЕДИАМИНА).....	82
<b>Lopatynskyi A.M., Lopatynska O.G., Chegel V.I.</b> SENSITIVITY PECULIARITIES OF GOLD NANOPARTICLE AS LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE BIOSENSOR.....	83
<b>Марченко С.В., Назаренко О.А., Кукла О.Л., Павлюченко О.С., Красюк Е.К., Солдаткін О.П.</b> БИОСЕНСОР НА ОСНОВІ КРЕАТИНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ КРЕАТИНІНУ В РЕАЛЬНИХ БІОЛОГІЧНИХ ЗРАЗКАХ .....	84
<b>Rachkov A., Patskovsky S., Meunier M.</b> SURFACE PLASMON RESONANCE SENSOR SYSTEM FOR DETECTION AND DISCRIMINATION OF OLIGONUCLEOTIDES RELATED TO THE RPOB GENE OF MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS .....	85
<b>Рогальова Н.С., Білоіван О.А., Ковальчук Т.В., Шкотова Л. В., Корпан Я.І.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ БІОСЕЛЕКТИВНОЇ МЕМБРАНИ АМПЕРОМЕТРИЧНОГО БИОСЕНСОРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛЮКОЗИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БАГАТОШАРОВИХ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК.....	86
<b>Shevchenko O., Lut O., Aksimientyeva O.</b> HIGHLY SENSITIVE SENSOR FOR DETECTION OF VITAMIN B <sub>1</sub> BASED ON THE NANOSTRUCTURED SURFACE OF NICKEL .....	87
<b>Kotsyumbas I. Ja., Brezvin O. M., Starodub N. F., Shmiryeva A. N.</b> OXIDE CERIUM ISFETs: PHYSICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS AT THE DETERMINATION OF SOME BIOCHEMICAL QUANTITIES .....	88
<b>Starodub N. F., Shmiryeva O. M.</b> MULTI-PARAMETRICAL AND MULTI- FUNCTIONAL MICROELECTRONIC BИОSENSORS FOR THE MEDICAL APPLICATIONS .....	90

\*\*\*

## Секція VI. Радіаційні, оптичні та оптоелектронні сенсори

### Section VI. Radiation, optical and optoelectronic sensors

<b>Toru Aoki, Akifumi Koike, Takaharu Okunoyama, Bunji Shinomiya, Hisahi Morii, Yoichiro Neo, Hidenori Mimura</b> HIGH SPEED PHOTON COUNTING X-RAY DETECTOR.....	94
<b>Ievtushenko A.I., Lashkarev G.V., Lazorenko V.I., Kosyachenko L.A., Sklyarchuk V.M., Sklyarchuk O.F.</b> PHOTOTRANSISTOR BASED ON n-ZnO:N/p-Si HETEROJUNCTION.....	95
<b>Ievtushenko A.I., Lashkarev G.V., Lazorenko V.I.</b> THE PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF FABRICATION FOR ULTRAVIOLET PHOTORESISTORS BASED ON ZnO FILMS.....	96
<b>Викулин И.М., Ирха В.И.</b> ВЛИЯНИЕ $\gamma$ - ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ.....	97
<b>Карачевцева Л.А, Онищенко В.Ф., Саченко А. В., Карась М.І., Паршин К.А.</b> ВПЛИВ ПОВЕРХНІ НА ЧУТЛИВІСТЬ ФОТОДЕТЕКТОРІВ НА ОСНОВІ СТРУКТУР МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ.....	98
<b>Kavetskyu T.</b> ON THE MICROSTRUCTURAL MECHANISMS OF RADIATION-STIMULATED PROCESSES IN CHALCOGENIDE VITREOUS SEMICONDUCTORS.....	99
<b>Кочергина А. А., Каракис Ю.Н., Ницук Ю.А.</b> ДАТЧИКИ ИНФРАКРАСНОГО СВЕТА НА ОСНОВЕ ОЧУВСТВЛЁННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ.....	100
<b>Костильов В.П., Мелак В.Г., Савченко А.В., Сербя О.А., Черненко В.В.</b> КРЕМНІЄВІ ФОТОПРИЙМАЧІ З РОЗШИРЕНОЮ ОБЛАСТЮ ЛІНІЙНОСТІ ЛЮКС-АМПЕРНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	101
<b>Леваш Л.В, Лисенко В.С. Птушинський Ю.Г. Душко В.Г. Росновський О.А., Самойлов В.Б.</b> USB-ВИМІРЮВАЧ ЕНЕРГІЇ ІМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	102
<b>Свечников С.В., Шапарь В.Н., Савчук А.В.</b> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИЧЕСКИХ ВРАЩАЮЩИХСЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.....	103
<b>Sviridova S.V., Bekshaev A.Ya., Orlinska O.V.</b> OPTICAL VORTEX SENSORS OF LINEAR AND ANGULAR DISPLACEMENTS.....	104
<b>Вірт І.С., Гадзаман І.В., Курило І.В., Рудий І.О.</b> НАПІВМАГНІТНІ КЕРАМІЧНІ ТА ПЛІВКОВІ МАТЕРІАЛИ ZnMeO (Me=Mn, Cr, Co) ДЛЯ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ.....	105

\*\*\*

## Секція VII. Акустoeлектронні сенсори

### Section VII. Acoustoelectronic sensors

- Андрусенко Д.А., Алексеев С.А., Бурбело Р.М., Исаев Н.В., Кузьмич А.Г.**  
ФОТОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМАХ PS-  
ЖИДКОСТЬ. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕГИСТРАЦИЯ..... 108
- Kuznetsova I.E., Zaitsev B.D., Shikhabudinov A.M., Tsivileva O.M., Pankratov A.N.**  
APPLICATION OF THE FILMS OF MYCELIUM EXTRACTS AS SENSITIVE  
ELEMENT FOR ACOUSTOELECTRONIC GAS SENSORS ..... 109
- Оліх Я.М., Тимочко М.Д.** СПОСТЕРЕЖЕННЯ АКУСТОІНДУКОВАНОЇ  
ПЕРЕБУДОВИ МЕТАСТАБІЛЬНОГО ДЕФЕКТУ В  $\gamma$ -ОПРОМІНЕНОМУ КРЕМНІЇ  
n-Si-Fz ..... 110
- Пелешак Р.М., Кузик О.В., Даньків О.О., Угрин Ю.О.** ДИНАМІЧНІ  
ДЕФОРМАЦІЙНІ ЕФЕКТИ У ГЕТЕРОСИСТЕМІ InAs/GaAs З КВАНТОВИМИ  
ТОЧКАМИ InAs ПІД ДІЮ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ХВИЛІ..... 112
- Тягун Ю. І.** ДОСЛІДЖЕННЯ “БАРОСТРУМІВ” В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ  
СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ  $Sn_2P_2S_6$  ..... 113

\*\*\*

## Секція VIII. Наносенсори (фізика, матеріали, технологія)

### Section VIII. Nanosensors (physics, materials, technology)

- Пелешак Р.М., Бачинський І.Я.** ФОРМУВАННЯ n-n+ ПЕРЕХОДІВ У  
НАПРУЖЕНИХ НАНОГЕТЕРОСИСТЕМАХ З КВАНТОВИМИ ТОЧКАМИ  
(InAs/GaAs, CdTe/ZnTe)..... 116
- Березовская И.В., Рожицкий Н.Н.** ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК В КАЧЕСТВЕ ДЕТЕКТОРОВ  
НАНОФОТОННЫХ СЕНСОРОВ ..... 117
- Дроздов В.А., Ковальчук В.В., Бурлаченко И.И., Дидурик А.В., Клименко А.М.,  
Бондаренко О.А.** СЕНСОРНАЯ ДИАГНОСТИКА КЛАСТЕРИЗОВАННЫХ  
МЕТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА ..... 118
- Фреїк Д.М., Малашкевич Г.Є., Никируй Р.І., Лоп’янюк М.А.** ТОПОЛОГІЧНІ  
ТИПИ І ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУР ХАЛЬКОГЕНІДІВ СВИНЦЮ ..... 119

<b>Гетманенко Н.Ю., Ружицкий Н. Н., Галайченко Е. Н</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПА АТОМНО-СЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БИОСЕНСОРОВ .....	120
<b>Грядун В. И.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ДЖОЗЕФСОНА НА БАЗЕ ТРЁХСТЕННОЙ ГИБРИДНОЙ НАНОСТРУКТУРЫ.....	121
<b>Корбутяк Д. В.</b> СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКРИСТАЛІВ А2В6 .....	122
<b>Дроздов В.О., Ковальчук В.В., Дроздов М.О., Грабовський О.В., Жеребцова Л.М.</b> СЕНСОРНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК АТОМАРНО-КЛАСТЕРНОЇ ДИСПЕРСНОСТІ .....	123
<b>Маханець О., Довганюк М., Цюпак Н.</b> ЦИЛІНДРИЧНА РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНА СТРУКТУРА ЯК БАЗОВИЙ ЕЛЕМЕНТ НАНОСЕНСОРА .....	124
<b>Маренков В.І., Кучерський А.Ю.</b> СТАТИСТИЧНА КОНЦЕПЦІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ З МІКРОНЕОДНОРІДНОСТЯМИ ЗАПОВНЕННЯ ОБ'ЄМУ.....	125
<b>Semikina T.V., Kopalko K., Godlewski M., Minikayev R., Paszkowicz W., Komashenko V.N, Mamykin S.V.</b> REZONANCE TUNNELING STRUCTURES ON THE BASE OF II-VI THIN FILMS MATERIALS .....	127
<b>Максименко Л.С., Матяш І.Є., Мінайлова І.А., Руденко С.П., Сердега Б.К.</b> МОДУЛЯЦІЙНА ПОЛЯРИМЕТРІЯ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ В НАНОРОЗМІРНИХ ПЛІВКАХ .....	128
<b>Ткач М., Сеті Ю., Войцехівська О., Бойко І.</b> НИЗЬКОРОЗМІРНІ НАНОСЕНСОРНІ РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНІ СТРУКТУРИ .....	129
<b>Сминтина В.А., Кулинич О.А., Яцунский И.Р., Марчук И.А.</b> СЕНСОРНЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУР, СФОРМИРОВАННЫЕ НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ .....	130

\*\*\*

## **Секція ІХ. Сенсори та інформаційні системи**

### **Section IX. Sensors and information systems**

<b>Болтенков В.А.</b> АКУСТИЧЕСКИЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ: АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ .....	132
<b>Bener O., Mani M., Sonbul O., Bener A., Kalashnikov A.</b> INTRINSICALLY SAFE AND RF INTERFERENCE FREE DEVICE FOR SYNCHRONISATION OF ULTRASONIC SCANS WITH THE HEART ACTIVITY .....	133

<b>Ленков С.В., Барабаш О.В., Балабін В.В., Слюняєв А.С., Савченко В.А., Лепих Я.І. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА МІКРОЕЛЕКТРОННІЙ БАЗІ .....</b>	<b>134</b>
<b>Дружинин А.О., Мельник В.Г., Рубанчук М.П., Лепих Я.І., Ленков С.В. ТЕРМОСЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ С УРАВНОВЕШИВАНИЕМ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ.....</b>	<b>135</b>
<b>Мельник В.Г., Рубанчук М.П., Гордиенко Ю.Е. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>136</b>
<b>Михаль А.А., Василенко А.Д., Дзядевич С.В., Пешкова В.Н., Семенычева Л.Н., Шкотова Л.В. СЕРИЙНОПРИГОДНЫЕ МУЛЬТИБИОСЕНСОРНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА .....</b>	<b>137</b>
<b>Mohammed Yousef AL-Gawagzeh SENSORS APPLICATION FOR HOME SECURITY SYSTEM.....</b>	<b>138</b>
<b>Мельник В.Г., Онищенко И.В., Василенко А.Д., Неболюбов Е.Ю., Романов В.А., Лепих Я.И. ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ СО СЛОЖНОЙ ОБРАБОТКОЙ ДАННЫХ .....</b>	<b>139</b>
<b>Романов В.А., Галелюка И.Б., Ковырёва А.В., Сарахан Е.В., Стародуб Н.Ф. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА .....</b>	<b>140</b>
<b>Саяпіна О.Я., Пешкова В.М., Жаффрезик-Рено Н., Дзядевич С.В. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНДУКТОМЕТРИЧНИХ БІОСЕНСОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ СЕЧОВИНИ НА ОСНОВІ АМОНІЙ-ЧУТЛИВОГО ПРИРОДНОГО ЦЕОЛІТУ .....</b>	<b>141</b>
<b>Мельник В.Г., Онищенко И.В., Величковський К.А.Дзядевич С.В Кучин А.В., Романов В.А. БАЗОВЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОТКРЫТОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ .....</b>	<b>142</b>

\*\*\*

## **Секція X. Матеріали для сенсорів**

### **Section X. Materials for sensors**

<b>Ашеулов А.А., Маник О.М., Маник Т.О. ОБ'ЄМНІ МІКРО – ТА НАНОСТРУКТУРИ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ НА ОСНОВІ НИЗЬКОСИМЕТРИЧНИХ КРИСТАЛІВ ГРУПИ <math>A_{II}V_V</math> .....</b>	<b>144</b>
<b>Чухненко П.С., Іваніцька В.Г., Томашик З.Ф., Стратійчук І.Б., Томашик В.М. ХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ НЕЛЕГОВАНИХ ТА ЛЕГОВАНИХ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe ВОДНИМИ РОЗЧИНАМИ <math>(NH_4)_2Cr_2O_7</math>–HBr–ЦИТРАТНА КИСЛОТА .....</b>	<b>145</b>



<b>Горіна О.В.</b> ВПЛИВ УМОВ ОДЕРЖАННЯ НА ПРОЦЕСИ НЕІЗОТЕРМІЧНОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ В СТЕКЛАХ ТА ПЛІВКАХ СЕЛЕНУ .....	146
<b>Hizhnyi Yu., Nedilko S., Chornii V., Slobodyanik M., Terebilenko K.</b> WORKING MATERIAL FOR NEW CRYOGENIC FLUORESCENCE THERMOMETERS BASED ON DOPED MOLYBDATES .....	147
<b>Грипа А.С., Павлик Б.В., Леновенко А.М.</b> ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ПАРАМЕТРИ ТРАНЗИСТОРНИХ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗИ Si .....	148
<b>Kazantseva Z.I., Koshets I.A., Kalchenko V.I.</b> CALIXARENES MODIFIED WITH DIFFERENT FUNCTIONAL GROUPS FOR PATTERN RECOGNITION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS .....	149
<b>Конакова Р.В., Колядина Е.Ю., Матвеева Л.А., Нелюба П.Л., Шинкаренко В.В.</b> ВЛИЯНИЕ ТИПА МЕТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА КОНТАКТОВ К СЕНСОРНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ .....	150
<b>Курмашев Ш.Д., Бугаева Т.Н., Лавренова Т.И., Садова Н.Н., Софронков А.Н.</b> ПЕРКОЛЯЦИОННЫЕ ТОКИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ “СТЕКЛО-RuO <sub>2</sub> ” .....	151
<b>Ляшков А.Ю., Анищенко А.А., Тонкошкур А.С.</b> ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ZnO К ПАРАМ ПРЕДЕЛЬНЫХ ОДНОАТОМНЫХ СПИРТОВ .....	152
<b>Москвин П.П., Рашковецкий Л.В.</b> КИНЕТИКА ЭПИТАКСИИ БУФЕРНЫХ СЛОЕВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Zn <sub>x</sub> Cd <sub>1-x</sub> Te ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИК ИЗЛУЧЕНИЯ .....	153
<b>Mykaylo O.A., Barj M., Solomon A.M., Gasinets S.M., Yasinko T.I., Kaynts D.I., Rubish V.M.</b> INVESTIGATIONS OF (As <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ) <sub>100-x</sub> (SbSI) <sub>x</sub> AND (As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> ) <sub>100-x</sub> (SbSI) <sub>x</sub> (0≤x≤ 40) GLASSES AND NANOSTRUCTURES ON THEIR BASIS BY RAMAN SPECTROSCOPY AND X-RAY DIFFRACTIONS METHODS .....	154
<b>Nedilko S., Chukova O., Scherbatskii V., Malashkevich G., Bokshits Yu., Shevchenko G.</b> LUMINESCENT SENSORS OF HARD UV RADIATION DEVELOPED ON EUROPIUM-DOPED GERMANIUM OXIDE SOL GEL FILMS .....	155
<b>Никируй Л.І., Чобанюк В.М., Галушак М.О., Дзумедзей Р.О.</b> ТВЕРДІ РОЗЧИНИ НА ОСНОВІ СПОЛУК IV-VI У ПРИСТРОЯХ ІЧ-ТЕХНІКИ .....	156
<b>Оксанич А. П., Притчин С.Э.</b> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОДЕФЕКТОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ GaAs, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ γ –ДЕТЕКТОРОВ .....	157
<b>Поживатенко В.В.</b> ПЕРВОПРИНЦИПНЫЙ РАСЧЁТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕТРАГОНАЛЬНЫХ МОДИФИКАЦИЙ InBi .....	158
<b>Новосядлий С.П., Сорохтей Т. Р.</b> ВПЛИВ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ХРОМУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ІМПЛАНТОВАНИХ БАГАТОЗАРЯДНОЮ	

ІМПЛАНТАЦІЄЮ СІРКИ ( $\text{Si}^{++}$ ) І ЦИНКУ ( $\text{Zn}^{++}$ ) НАПІВІЗОЛЮЮЧИХ ПІДКЛАДОК GaAs, ЛЕГОВАНИХ Cr.....	159
<b>Толмачев И.Д., Стронский А.В.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ В СЕНСОРАХ И СЕНСОРНЫХ СИСТЕМАХ .....	160
<b>Великодний Д.В., Пазуха І.М., Проценко І.Ю., Шумакова Н.І.</b> ЧУТЛИВІ ЕЛЕМЕНТИ ДАТЧИКІВ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ТИСКУ НА ОСНОВІ ПЛІВКОВОЇ СИСТЕМИ Cu/Cr.....	161
<b>Lappalainen J., Viter R., Puustinen J., Gornostayev D., Smyntyna V., Lydina I., Lantto V. Jantunen H.</b> FORMATION OF E-PHASE $\text{WO}_3$ NANOSTRUCTURES FOR SENSOR APPLICATIONS .....	162
<b>Воробець В.С.</b> ЕЛЕКТРОДНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРА РОЗЧИНЕНОГО КИСНЮ НА ОСНОВІ ОКСИДУ Ti, МОДИФІКОВАНОГО НАНОЧАСТИНКАМИ Ag і Au.....	163
<b>Косяченко Л.А., Раренко І.М., Склярчук В.М., Юрценюк Н.С., Маслянчук О.Л., Склярчук О.Ф., Захарук З.І.</b> $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ЯК МАТЕРІАЛ ДЛЯ ДЕТЕКТОРІВ X- і $\gamma$ -ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	164

\*\*\*

## Секція XI. Технологічні проблеми сенсорів

### Section XI. Sensors technological problems

<b>Хомяк В.В., Сльотов М. М., Сльотов О. М.</b> ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ , ВИРОЩЕНИХ ВИСОКОЧАСТОТНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ .....	166
<b>Леновенко А.М., Григоренко В.В., Ковальчук Н.О.</b> ІНТЕРФЕЙС ДЛЯ ПІДКЛЮЧЕННЯ ЗОВНІШНІХ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ДО ЯКР-ТЕРМОМЕТРА .....	167
<b>Савчук О.А., Трищук Л.И., Томашик В.Н., Томашик З.Ф.</b> СИНТЕЗ І ХАРАКТЕРИСТИКА КВАНТОВИХ ТОЧЕК CdTe, ВНЕДРЕННИХ В ЖЕЛАТИН МЕТОДОМ ДВУШАГОВОЇ ДЕСОЛЬВАТАЦІИ .....	168
<b>Стукалов С.А., Евтушенко Н.Г., Жуков С.А., Ротнер С.М., Тюрин А.В.</b> МОДИФИКАЦІЯ ОБ'ЄМНИХ І ПРИПОВЕРХНОСТНИХ СВОЙСТВ ФОСФИДА ГАЛЛІЯ В ПРОЦЕСЕ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГІРОВАНИЯ АТОМАМИ ІНДИЯ.....	169
<b>Томашик В.Н., Серицан М.В., Томашик З.Ф., Денисюк Р.А.</b> ХИМИКО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdTe и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ЙОДОВЫДЕЛЯЮЩИМИ ТРАВИТЕЛЯМИ $\text{HNO}_3$ - $\text{HI}$ -ВИННАЯ КИСЛОТА .....	170

\*\*\*

## СТЕНДОВІ ДОПОВІДІ

### POSTER REPORTS

\*\*\*

#### Секція І. Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори

#### Section I. Physical, chemical and other phenomena, as a bases of sensors development

- Bunyakova Yu.Ya., Prepelitsa G.P., Ignatenko A.V.** NEW ENVIRONMENTAL SENSORS ON BASIS OF NON-LINEAR EFFECTS: IR LASER EFFECT ON ENERGY EXCHANGE IN ATMOSPHERIC GASES ..... 172
- Данилюк Г.Д., Балицький О.О., Савчин В.П.** ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОКИСЛЕННЯ ХАЛЬКОГЕНІДІВ ТАЛІЮ ..... 173
- Духлій А.І., Ільченко В.В., Гордієнко С.О.** ПРО МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ГАЗОВОЇ ЧУТЛИВОСТІ ГЕТЕРОСТРУКТУР SnO<sub>2</sub>-Si ..... 174
- Фесенко О.М., Довбешко Г.І., Єсилевський С.О.** ПІДСИЛЕННЯ ІЧ ПОГЛИНАННЯ МОЛЕКУЛ  $\alpha$ -Gly В ЕФЕКТІ SEIRA ..... 175
- Nikola L.V., Florko T.A., Mischenko E.V.** AUGER EFFECT IN ATOMS, SOLIDS AND POSSIBLE APPLICATIONS TO THE CHEMICAL COMPOSITION OF SOLID SURFACES ..... 176
- Гера Е.В., Поп М.М., Мар'ян В.М., Дуркот М.О., Кириленко В.К., Микуланинець-Мешко О.С., Горват Ю.А.** ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОПТИЧНЕ ПРОПУСКАННЯ ПЛІВОК As<sub>40</sub>S<sub>48</sub>Se<sub>12</sub> ..... 177
- Гарасевич С., Головій О., Мягченко Ю., Слободянюк О.** ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДІЇ АНТИОКСИДАНТІВ ШЛЯХОМ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ СИНГЛЕТНОГО КИСНЮ НА ДОВЖИНІ ХВИЛІ 1268 нм ..... 178
- Gudyma Iu.V., Maksymov A.Iu., Daskal E.M.** SPIN-CROSSOVER COMPOUNDS FOR SENSOR DEVICES ..... 179
- Fedchuk A.P., Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A.** OPTIMAL LASER IONIZATION SCHEME FOR SEPARATING LONG-LIVED ACTINIDES AND FISSION PRODUCTS IN NUCLEAR FUEL ..... 180
- Литовченко П.Г., Дружинін А.О., Островський І.П., Ховерко Ю.М., Карпенко А.Я., Павловська Н.Т., Цмоць В.М., Павловський Ю.В.** ВПЛИВ

ПРОТОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ Si-Ge.....	181
<b>Dmitriev A.V., Kondratenko P.A., Glushkov A.V., Lopatkin Yu.M. MOLECULAR ELEMENTS BASED ON BIPHENYL AND SPIROPIRANA IN SENSOR AND NANO-ELECTRONICS .....</b>	<b>182</b>
<b>Мишакова Т.А., Борщаговский Е.Г., Лозовский В.З. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЕНСОРА НА ЛОКАЛЬНЫХ ПЛАЗМАХ В СЛОЕ НАНОЧАСТИЦ.....</b>	<b>183</b>
<b>Голомб Р., Кондрат О., Міца В. БОЗОНІВСЬКИЙ МАКСИМУМ ТА ВАЛЕНТНІ КОЛИВАННЯ У СТРУКТУРНО МОДИФІКОВАНОМУ СКЛОПОДІБНОМУ c-GeS<sub>2</sub> .....</b>	<b>184</b>
<b>Гуранич О.Г., Гуранич П.П., Микайло О.А., Риган М.Ю., Перевузник В.П., Шпирко Г.М., Пісак Р.П. ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В СТЕКЛАХ СИСТЕМИ As-Sb-S-I .....</b>	<b>185</b>
<b>Pinkovska M., Dmitruk N., Khivrych V., Kondratenko O., Kuchynsky P., Lytovchenko P., Vlasukova L. STUDY OF NANOPOROUS Si FOR GAS SENSING APPLICATION .....</b>	<b>186</b>
<b>Ryazanova O.A., Voloshin I.M., Zozulya V.N. IMIDAZOPHENAZINE AS FLUORESCENT PROBE FOR OPTICAL PH-SENSING .....</b>	<b>187</b>
<b>Шаповалов И.П., Сайко П.А. ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МАГНЕТИКАХ С ТЕНЗОРНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ .....</b>	<b>188</b>
<b>Смынтына В.А., Скобеева В.М., Малущин Н.В. ВЛИЯНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК СУЛЬФИДА КАДМИЯ В ПОЛИМЕРЕ.....</b>	<b>189</b>
<b>Жирко Ю.І., Скубенко М.А. ЕКСИТОННЕ ПОГЛИНАННЯ ШАРУВАТИХ КРИСТАЛІВ GaSe ІНТЕРКАЛЬОВАНИХ ВОДНЕМ.....</b>	<b>190</b>

\*\*\*

## **Секція II. Проектування та математичне моделювання сенсорів**

### **Section II. Sensors design and mathematical modeling**

<b>Драгоев А.А., Каракис Ю.Н., Балабан А.П., Чемересюк Г.Г. РАСЧЁТ ПРОФИЛЯ ОПЗ ДАТЧИКОВ СО ЗНАКОПЕРЕМЕННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ .....</b>	<b>192</b>
<b>Духлій А.І., Ільченко В.В., Гордієнко С.О. РОЗРАХУНОК ЗАЛЕЖНОСТІ ВИСОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАР'ЄРУ ГАЗОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВІ ДІОДА ШОТКІ ВІД ТОВЩИНИ АДСОРБЦІЙНОГО ШАРУ .....</b>	<b>193</b>

<b>Глауберман М.А., Егоров В.В., Канищева Н.А., Козел В.В. ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАГНИТОТРАНЗИСТОРА ОТ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ИНЖЕКТИРОВАННЫХ НОСИТЕЛЕЙ.....</b>	<b>194</b>
--	------------

\*\*\*

### **Секція III. Сенсори фізичних величин**

#### **Section III. Physical sensors**

<b>Алибеков А.Г., Моллаев А.Ю., Сайпулаева Л.А. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ CdAs<sub>2</sub> .....</b>	<b>196</b>
<b>Арсланов Т.Р., Моллаев А. Ю., Арсланов Р.К. ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ НА ПРИНЦИПЕ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА.....</b>	<b>197</b>
<b>Арсланов Т.Р., Моллаев А. Ю., Арсланов Р.К. Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>GeAs<sub>2</sub> – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>198</b>
<b>Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Курмашев Ш.Д. ЧАСТОТНЫЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОДНОПЕРЕХОДНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ.....</b>	<b>199</b>
<b>Michał Maćkowski Waldemar Nawrocki DIGITAL SENSORS AT LOW TEMPERATURES.....</b>	<b>200</b>

\*\*\*

### **Секція IV. Хімічні сенсори**

#### **Section IV. Chemical sensors**

<b>Ali hosein Imani, Hassan Ali Zamani, Mohammad Reza Ganjali, Soraia Meghdadi MONITORING OF NEODYMIUM (III) IONS IN SOLUTION SAMPLE BY A NOVEL NEODYMIUM(III) SENSOR BASED ON N,N'-BIS(QUINOLINE-2-CARBOXAMIDO)-4,5-DIMETHYLBENZENE .....</b>	<b>202</b>
<b>Льченко В.В., Кравченко О.І., Телега В.М., Афанасьєв О. А. ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ДЕСОРБЦІЇ З НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА МАС-СПЕКТРОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ .....</b>	<b>203</b>
<b>Колбасов Г. Я., Воробец В.С., Блинкова Л.В. СЕНСОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В МАЛЫХ ОБЪЕМАХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ.....</b>	<b>204</b>

<b>Kazantseva Z.I., Koshets I.A., Riabov S.V. QCM-BASED GAS SENSORY SYSTEM FOR VOC'S DETECTION.....</b>	<b>205</b>
<b>Кругленко І.В., Бурлаченко Ю.В., Кравченко С.О., Савченко А.А. СЕНСОР ВОЛОГОСТІ НА ОСНОВІ ТЕРМІЧНО НАПИЛЕНОЇ ПЛІВКИ КАЛЬЦЕЇНУ.....</b>	<b>206</b>
<b>Литвиненко С.В., Белобров Д.О., Скришевський В.А. ПОВЕРХНЯ КРЕМНІЮ ЯК ЕЛЕМЕНТ СЕЛЕКТИВНИХ ХІМІЧНИХ СЕНСОРІВ .....</b>	<b>207</b>
<b>Shatha Kathim Jawad, Mohammed Yousef AL-Gawagzeh, Issam Trad DESIGN AND IMPLEMENTATION A SENSING SYSTEM FOR DEVELOPMENT A REAL-TIME SOIL MACRONUTRIENT .....</b>	<b>208</b>
<b>Вилинская Л.Н., Бурлак Г.М. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОДНЫХ СРЕД.....</b>	<b>209</b>
<b>Viter R., Smyntyna V., Konup I., Lydina I., Puustinen J., Lappalainen J., Ishkov Yu., Vodzinskii S., Ivanitsa V. TIN OXIDE-PORPHYRIN STRUCTURES AS OPTICAL SENSORS FOR BIO COMPOUNDS DETECTION .....</b>	<b>210</b>
<b>Mohammad Saleh Zabihi, Hassan Ali Zamani, Mohammad Reza Ganjali, Soraia Meghdadi. FABRICATION OF Tb<sup>3+</sup> ION-SELECTIVE ELECTRODE BASED ON N, N' -BIS(5-NITRO SALICYLIDENE)-2-AMINO BENZYL AMIN.....</b>	<b>211</b>
<b>Abbas Zanganeh-Asadabadi, Hassan Ali Zamani, Mohammad Reza Ganjali, Soraia Meghdadi FABRICATION OF A HOLMIUM(III) PVC-MEMBRANE SENSOR BASED ON 4,5-DIMETHYL-1,2-BIS(2 -PYRIDINE CARBOXAMIDO) BENZENE .....</b>	<b>212</b>

\*\*\*

## Секція V. Біосенсори

### Section V. Biosensors

<b>Білий О.І., Гетьман В.Б., Коцюмбас І.Я., Кушнір І.М., Ференсович Я.П., Яремик Р.Я. НОВИЙ ПІДХІД ДО РЕЄСТРАЦІЇ БАКТЕРІЙНИХ КЛІТИН.....</b>	<b>214</b>
<b>Goriushkina T., Akata Kurç B., Dzyadevych S. INVESTIGATION OF INFLUENCE OF ZEOLITES ON ANALYTICAL CHARACTERISTICS OF AMPEROMETRIC TRANSDUCERS.....</b>	<b>215</b>
<b>Иванченко И.А., Сантоний В.И., Смынтына В.А., Будиянская Л.М. ЦИФРОВОЙ ДАТЧИК КОЭФФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ОТРАЖЕНИЯ .....</b>	<b>216</b>
<b>Кукла А.Л., Павлюченко А.С., Голтвянский Ю.В., Архипова В.М., Солдаткин А.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ДРЕЙФА ХАРАКТЕРИСТИК ИОНОСЕЛЕКТИВНЫХ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В БИОСЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ.....</b>	<b>217</b>

<b>Білий О.І., Гетьман В.Б., Коцюмбас І.Я., Кушнір І.М. ОПТИЧНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕСТРУКЦІЇ РІДКИХ ЖИВИЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ РОСТУ МІКРООРГАНІЗМІВ .....</b>	<b>218</b>
<b>Гарасевич С., Головій О., Мягченко Ю., Слободянюк О. ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОЧУТЛИВОСТІ <i>VIFIDOBACTERIUM LONGUM</i> В РІЗНИХ СПЕКТРАЛЬНИХ ДІАПАЗОНАХ.....</b>	<b>219</b>
<b>Назаренко О.А., Марченко С.В., Солдаткін О.П. ФЕРМЕНТНИЙ БІОСЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ L-КАРНІТИНУ .....</b>	<b>220</b>
<b>Sergeyeva T.A., Gorbach L.A., Slinchenko O.A., Goncharova L.A., Piletska O.V., Brovko O.O., Sergeeva L.M., Elska G.V. COLORIMETRIC TEST-SYSTEMS FOR PHENOLS DETECTION BASED ON COMPUTATIONAL MOLECULARLY-IMPRINTED POLYMER MEMBRANES.....</b>	<b>221</b>
<b>Солдаткін О.О., Щувайло О.М., Сеспуглію Р., Солдаткін О.П. РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО АМПЕРОМЕТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ДЛЯ <i>IN VIVO</i> БІОСЕНСОРІВ.....</b>	<b>222</b>
<b>Романов В.О, Сарахан Є.В., Галелюка І.Б., Сонько Р.В., Стародуб М.Ф., Мельничук М.Д. БІОСЕНСОРНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПРЕСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ РОСЛИН І ЇХ ВІРУСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....</b>	<b>223</b>
<b>Starodub N. F., Kushnir I. M. , Ogorodnijchuk Ju. A., Romanov V. O. SPR BASED IMMUNE BIOSENSOR FOR THE DETECTION OF <i>SALMONELLA TYPHIMURIUM</i>.....</b>	<b>225</b>
<b>Pylypenko I. V., Pylypenko L. N., Starodub N. F., Brezvin O. M. BIOSENSORS AT THE DETERMINATION OF MYCOTOXINS .....</b>	<b>227</b>
<b>Zozulya V.N., Ryazanova O.A., Voloshin I.M. PHEOPHORBIIDE-<i>a</i> METHYL ETHER AS FLUORESCENT PROBE FOR OPTICAL DETECTION OF G-QUADRUPLEX STRUCTURE.....</b>	<b>228</b>

\*\*\*

## **Секція VI. Радіаційні, оптичні та оптоелектронні сенсори**

### **Section VI. Radiation, optical and optoelectronic sensors**

<b>Бобренко Ю.Н., Комащенко В.Н., Ярошенко Н.В., Шереметова Г.И., Атдаев Б.С. КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОТОКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СОЕДИНЕНИЙ <math>A_2V_6</math> .....</b>	<b>230</b>
<b>Гранкин В.П., Мартыш М.А., Гранкин Д.В. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ ХЕМОСТИМУЛИРОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОФОСФОРОВ ZnS,CdS-Ag, ZnS.....</b>	<b>231</b>

<b>Кіріченко М.В., Копач В.Р., Зайцев Р.В., Куца Н.В., Крикун К.Ю.</b> БАГАТОПЕРЕХІДНІ КРЕМНІЄВІ ФОТОПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЯК СЕНСОРИ У СИСТЕМАХ ОПТИЧНОЇ ЛОКАЦІЇ.....	232
<b>Колбасов Г.Я., Волков С.В., Краснов Ю.С., Фоманюк С.С.</b> ВИСОКОЧУТЛИВИЙ ОПТИЧНИЙ СЕНСОР ВОДНЮ НА ОСНОВІ ПЛІВКИ WO <sub>3</sub> /Pt.....	233
<b>Лоцько О. П. , Корбутяк Д. В. , Демчина Л. А. , Єрмаков В. М. , Вахняк Н. Д., Конакова Р. В., Міленін В. В., Редько Р. А.</b> ПОКРАЩЕННЯ ДЕТЕКТОРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe ПІД ДІЄЮ НВЧ-ВІДПАЛУ.....	234
<b>Ляшенко О.В., Власенко О.І., Неділько С.Г., Киселюк М.П., Велешук В.П., Щербацький В.П.</b> ВИПРОМІНЮВАЛЬНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНО ЗІСТАРЕНИХ СВІТЛОДІОДНИХ СТРУКТУР НА ОСНОВІ ФОСФІДУ ГАЛІЮ.....	235
<b>Onanko A.P., Lyashenko O.V., Prodaivoda G.T., Vigva S.A., Onanko Y.A.</b> INFLUENCE OF TEMPERATURE ON INELASTIC-ELASTIC CHARACTERISTICS OF GeSi AND SiO <sub>2</sub> .....	236
<b>Onanko A.P., Lyashenko O.V., Prodaivoda G.T., Vigva S.A., Onanko Y.A.</b> INFLUENCE OF ULTRASOUND, ELECTRICAL CURRENT ON ELASTIC- INELASTIC CHARACTERISTICS OF GeSi AND SiO <sub>2</sub> .....	237
<b>Росул Р.Р., Гуранич П.П., Сливка О.Г.</b> ВПЛИВ ВИСОКОГО ГІДРОСТАТИЧНОГО ТИСКУ НА ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНИХ КРИСТАЛІВ [NH <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> Sb <sub>2</sub> Cl <sub>9</sub> .....	238
<b>Shevchenko V. B., Makara V. A., Dacenko O. I., Veblaya T. S.</b> MODIFICATION OF LUMINESCENT NANOSTRUCTURED SILICON IN WATER SOLUTIONS .....	239
<b>Склярчук, О.Ф., Раренко Г.І., Склярчук О.Т., Швець О.Г., Галочкін О.В., Громко Є.Д., Ковальчук М.Л., Колісник М.Г.</b> ТЕМПЕРАТУРНО СТАБІЛЬНИЙ ІНФРАЧЕРВОНИЙ ФОТОПРИЙМАЧ НА ОСНОВІ Hg <sub>3</sub> In <sub>2</sub> Te <sub>6</sub> .....	240
<b>Слётов М.М., Косоловский В.В., Слётов А.М., Ульяницкий К.С</b> СЕНСОРИ С ИЗОВАЛЕНТНЫМИ ПРИМЕСЯМИ .....	242
<b>Малушин Н.В., Смынтына В.А., Скобеева В.М., Струц Д.А.,Завезион Т.Ф.</b> ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ CdS:Mn <sup>2+</sup> .....	243
<b>Вахула О.А., Хоруженко В.Ю., Кукла О.Л., Самойлова І.О.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТОНКИХ ПЛІВОК ПО ЇХ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОМУ ЗАБАРВЛЕННЮ .....	244
<b>Yashchuk V.M., Kudrya V.Yu., Naumenko A.P., Lebedyeva I.V.</b> ORGANIC PI- ELECTRON-CONTAINING SYSTEMS FOR THE SENSORS WITH OPTICAL RESPONSE.....	245
<b>Поперенко Л.В., Носач Д.В., Юргелевич І.В.</b> ВПЛИВ ТРИВАЛОГО НЕЙТРОННОГО ОПРОМІНЕННЯ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНОГО СПЛАВУ Fe <sub>70</sub> Cr <sub>15</sub> V <sub>15</sub> В ІНФРАЧЕРВОНИЙ ОБЛАСТІ .....	246



<b>Завадский В.А.</b> РАДИАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	247
<b>Zhydachevskii Ya., Suchocki A., Berkowski M.</b> THERMOLUMINESCENT DETECTORS BASED ON YAP:Mn CRYSTALS .....	248

\*\*\*

## **Секція VII. Акустoeлектронні сенсори**

### **Section VII. Acoustoelectronic sensors**

<b>Andrushchak A.S., Mytsyk B.H., Solskii I.M., Demyanyshyn N.M., Kaidan M.V., Yurkevych O.V.</b> TECHNOLOGY DESIGN OF MOST EFFICIENT APPLICATION OF THE CRYSTALLINE MATERIALS AS SENSITIVE ELEMENTS FOR ELECTRO-, PIEZO- AND ACOUSTO-OPTICAL CELLS .....	250
<b>Гаврильченко І.В., Манілов А.І., Скришевський Р.В., Шулімов Ю.Г., Скришевський В.А.</b> ВПЛИВ ВОДНЮ НА ТЕРМІЧНО ІНДУКОВАНІ АКУСТИЧНІ ХВИЛІ В СТРУКТУРАХ З ПОРУВАТИМ КРЕМНІЄМ .....	251
<b>Гомоннай О.О., Гуранич П.П., Росул Р.Р., Сливка О.Г., Роман І.Ю.</b> ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ $\text{TlInS}_2$ В ОКОЛІ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ .....	252
<b>Курилюк В. В, Половина О. І., Коротченков О. А., Горб А. М.</b> МОДЕЛЮВАННЯ ТРИВИМІРНИХ КОЛИВАНЬ ПРЯМОКУТНОЇ ГІБРИДНОЇ СТРУКТУРИ П'ЄЗОРЕЗОНАТОР – ПОЛІМЕРНА ПЛІВКА ДЛЯ ГАЗОАНАЛІТИЧНИХ СЕНСОРІВ .....	253
<b>Михайловская Л. В., Михайловская А. С.</b> ОСОБЕННОСТИ АКУСТООПТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ РЕЖИМЕ ДИФРАКЦИИ ПРИ НАКЛОННОМ УГЛЕ ПАДЕНИЯ СВЕТА .....	254
<b>Митрохин В.И., Рембеза С.И.,</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФОТОПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ .....	255

\*\*\*

## Секція VIII. Наносенсори (фізика, матеріали, технологія)

### Section VIII. Nanosensors (physics, materials, technology)

<b>Андрєєва К.В., Апатська М.В., Бунчук С.Г., Смолій М.І. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛІНІОК ПРИЙМАЧІВ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДІАПАЗОНУ СПЕКТРА.....</b>	<b>258</b>
<b>Балабай Р.М., Піскльонов С.С. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ <math>Cd_{1-x}Zn_xTe</math> – РАДІАЦІЙНИХ ДЕТЕКТОРІВ.....</b>	<b>259</b>
<b>Бобик М.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОНТРАСТУ ЗОБРАЖЕНЬ СКЛАДНИХ МАТЕРІАЛІВ НАНОСЕНСОРІВ.....</b>	<b>260</b>
<b>Будзуляк С. І. , Єрмаков В. М. , Калитчук С. М. , Корбутяк Д. В., Щербак Л. П., Халавка Ю. Б. ЕЛЕКТРОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЯ ТА ЕФЕКТИ ПАМ'ЯТІ ПРОВІДНОСТІ СИСТЕМИ НАНОКРИСТАЛІВ <math>CdTe</math>, ІНКОРПОРОВАНИХ В ПОЛІМЕРНУ МАТРИЦЮ .....</b>	<b>261</b>
<b>Калитчук С. М., Корбутяк Д. В., Томашик З. Ф., Тріщук Л. І., Савчук О. А., Щербак Л. П., Халавка Ю. Б. СИНТЕЗ ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКРИСТАЛІВ <math>A_2V_6</math> .....</b>	<b>262</b>
<b>Karbovnyk I., Borshchyshyn I., Vakhula Ya., Lutsyuk I., Bolesta I. SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF <math>Cr^{3+}</math>, <math>Y^{3+}</math> AND <math>Zr^{4+}</math> ACTIVATED FORSTERITE NANOCERAMICS.....</b>	<b>263</b>
<b>Кисс А. В., Смынтына В. А., Зубрицкий С. В., Никора Н. И. НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ГРУППЫ <math>A_2V_6</math> ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ И ВИДИМОЙ ОБЛАСТЕЙ СПЕКТРА .....</b>	<b>264</b>
<b>Купчак І. М., Корбутяк Д. В., Крюченко Ю. В., Калитчук С. М. ЗСУВ СТОКСА В НАНОКРИСТАЛАХ <math>CdTe</math>: ЕКСПЕРИМЕНТ І ТЕОРІЯ .....</b>	<b>265</b>
<b>Монастирський Л.С., Аксіментьєва О. І., Павлик М. Р. СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ СТРУКТУР ПОЛІМЕР ПОРУВАТИЙ КРЕМНІЙ .....</b>	<b>266</b>
<b>Рябчиков Д.В., Балабай Р.М. ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕБУДОВИ ЕЛЕКТРОННОЇ ГУСТИНИ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОТРУБОК В ГАЗОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ .....</b>	<b>267</b>
<b>Козловский С.И., ШаранН.Н ВЛИЯНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НИЗКО РАЗМЕРНЫХ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУРАХ.....</b>	<b>268</b>
<b>Сватюк О.Я., Боркач Е.І. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕЛЕКТРОННОМІКРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ НАНОПОРИСТИХ АМОΡΦНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СЕНСОРІВ .....</b>	<b>269</b>

\*\*\*

## Секція ІХ. Сенсори та інформаційні системи

### Section IX. Sensors and information systems

- Борщак В.А., Балабан А.П., Затовская Н.П., Куталова М.И., Смынтына В.А.**  
РЕГИСТРАЦИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ СЕНСОРА НА  
ОСНОВЕ НЕИДЕАЛЬНОГО ГЕТЕРОПЕРЕХОДА ..... 272
- Горбань А.А., Буланий, М.Ф., Коваленко О.В., Омельченко С.О., Омельчук А.Р.**  
КОМПЛЕКСНА АВТОМАТИЧНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СПЕКТРІВ  
ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ ..... 273
- Козубовський В.Р., Кормош В.В., Алякшев І.П., Ліщенко Н.Г.** СЕНСОРИ ТА  
ПРИЛАДИ ДЛЯ СПОВІЩУВАЧІВ ПОЖЕЖНИХ ГАЗОВИХ ..... 274

\*\*\*

## Секція Х. Матеріали для сенсорів

### Section X. Materials for sensors

- Алибеков А.Г., Сайпулаева Л.А.** ПОЛУПРОВОДНИК CdTe – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ  
МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕНСОРА ДАВЛЕНИЯ ..... 276
- Ваксман Ю.Ф., Яцун В.В., Бережной Е.А., Бошернищан В.И.** КРИСТАЛЛЫ  
ZnTe:Ni КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ ФОТОРЕФРАКТОРОВ ..... 277
- Білінський –Слотило В.Р.** ФЕРОМАГНІТНІ КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ  
ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРНОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ..... 278
- Данько В.А., Індутний І.З., Минько В.І., Михайловська К.В., Шепелявий П.Є.**  
ПОРУВАТІ КРЕМНІЙ-ОКСИДНІ СТРУКТУРИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ  
МАТЕРІАЛ ДЛЯ СЕНСОРІВ ..... 279
- Grinevich V.S., Savin S.N., Smyntyna V.A., Filevskaya L.N., Ulug B., Haluk  
Turkdemir M., Ulug A., Yaltkaya Ş.** INVESTIGATION OF TIN CONTAINING  
ORGANIC COMPLEXES FOR THE PRODUCTION OF NANOSIZED TIN DIOXIDE  
FILMS ..... 280
- Гера Е.В.** СКЛОУТВОРЕННЯ, КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ  
ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ В СИСТЕМАХ As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-As<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ТА As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> ..... 281
- Гевелюк С.А., Дойчо І.К., Птащенко О.О., Толмачова Т.М., Жуков С.О.,  
Тюрин О.В.** ОЦІНКА СПІВВІДНОШЕННЯ МІЖ НАНО- ТА

МІКРОЧАСТИНКАМИ AgBr У МАТРИЦЯХ ШПАРИСТОГО СКЛА ПО СПЕКТРАМ ФОТОЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ .....	282
<b>Горбач Л.А., Бровко О.О., Слінченко О.А., Сергеева Л.М., Гончарова Л.А., Єльська Г.В., Сергеева Т.А.</b> ПОЛІМЕРНІ КОЛОРИМЕТРИЧНІ ТЕСТ-СИСТЕМИ НА ОСНОВІ МОЛЕКУЛЯРНО-ІМПРИНТОВАНИХ ПОЛІМЕРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ БІООРГАНІЧНИХ МОЛЕКУЛ .....	283
<b>Козусенок В.В., Горіна О.В., Туряниця І.І., Тарнай А.А.</b> ХСН ДЛЯ ПОРОГОВИХ ТЕРМООПТИЧНИХ СЕНСОРІВ .....	284
<b>Іващенко М.М., Опанасюк А.С., Данильченко С.М., Старіков В.В.</b> СТРУКТУРНІ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЛІВОК CdSe ТА ZnSe.....	285
<b>Ижнин И.И., Денисов И.А., Смирнова Н.А., Мынбаев К.Д., Фицыч Е.И.</b> ДЕФЕКТНАЯ СТРУКТУРА MWIR И LWIR ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК Cd <sub>x</sub> Hg <sub>1-x</sub> Te, ВЫРАЩЕННЫХ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ .....	286
<b>Хмиль Д.Н., Камуз А.М., Олексенко П.Ф., Алексенко Н.Г., Камуз О.А., Камуз В.Г.</b> НРЦ – МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ .....	287
<b>Хомяк В.В.</b> СТРУКТУРНІ ТА ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВОК CdO, ОДЕРЖАНИХ РЕАКТИВНИМ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЮВАННЯМ.....	288
<b>Кириладш А.И., Яценко Ю.И., Кидалов В.В., Сукач Г.А.</b> ПОЛУЧЕНИЕ ПОРИСТОГО GaP КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АДСОРБЦИОННЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ .....	289
<b>Klym H.</b> NANOPOROUS FEATURES OF SPINEL CERAMICS FOR HUMIDITY SENSORS STUDIED WITH POSITRON ANNIHILATION TECHNIQUE .....	290
<b>Криськов Ц.А., Єремчук В.В., Коріневська І.О., Люба Т.С., Рачковський О.М., Турніцький В.О.</b> ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ХАЛЬКОГЕНІДІВ ГАЛШЮ, ІНДІЮ ТА ГЕРМАНШЮ ЯК СЕНСОРІВ ГАЗОВИХ СЕРЕДОВИЩ .....	291
<b>Махний В.П., Бойко Ю.Н., Мельник В.В., Ткаченко И.В., Черных Е.И.</b> ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ОЛОВА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИРОКОЗОННЫХ II-VI СОЕДИНЕНИЙ .....	292
<b>Махний В.П., Кинзерская О.В., Савчук С.А., Хуснутдинов С.В.</b> ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ГЕТЕРОСЛОЕВ ZnO, ЛЕГИРОВАННЫХ 3d-ЭЛЕМЕНТАМИ.....	293
<b>Мазурик С.В., Глот А.Б., Коваленко А.В.</b> ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕНСОРНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	294
<b>Melnikova N.V., Kheifets O.L., Babushkin A.N., Kurochka K.V.</b> PARTICULARITIES OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF CuInAsSe <sub>3</sub> AT HIGH PRESSURES AND LOW TEMPERATURES .....	295
<b>Мілованов Ю.С., Кузнецов Г.В., Скришевський В.А.</b> КІНЕТИКА АДСОРБЦІЙНОЇ ЧУТЛИВОСТІ ДИСПЕРСНИХ КРЕМНІЄВИХ СТРУКТУР .....	296

<b>Бачериков Ю.Ю., Болтовец Н.С., Конакова Р.В., Колядина Е.Ю., Охрименко О.Б. ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА SiO<sub>2</sub>/SiC ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И МЕТОДОМ ОКИСЛЕНИЯ ИЗ РАСТВОРА .....</b>	<b>297</b>
<b>Паюк О. П., Pribylova H., Криськов Ц. А., Губанова А. О., Стронський О. В., Vlček M. ВПЛИВ Mn НА СТРУКТУРУ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СТЕКОЛ СИСТЕМИ As–Se .....</b>	<b>298</b>
<b>Паньків Л.І., Цмоць В.М., Паньків І.С., Щупляк А.Н., Матвієнко О.І., Товстолиткін О.І. МАГНІТНА АНІЗОТРОПІЯ В ПЛІВКАХ (La,Na)MnO<sub>3</sub>.....</b>	<b>299</b>
<b>Павловська Н.Т., Дружинін А.О., Островський І.П., Ховерко Ю.М., Литовченко П.Г., Цмоць В.М., Павловський Ю.В., Поварчук В.Ю. ВПЛИВ ОПРОМІНЕННЯ <math>\gamma</math>-КВАНТАМИ НА ЗМІНИ ЕЛЕКТРО- ТА МАГНІТООПОРУ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ Si-Ge .....</b>	<b>300</b>
<b>Попович Н., Голомб Р., Хіміч В., Петраченков О., Міца В. ФОТОІНДУКОВАНІ ЗМІНИ В ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ТОНКИХ ШАРІВ As<sub>2</sub>S(Se,Te)<sub>3</sub> .....</b>	<b>301</b>
<b>Рашковецький Л.В., Глинчук К.Д., Литовченко Н.М., Насека Ю.М., Стрільчук О.М., Сизов Ф.Ф. ДОМШКОВО-ДЕФЕКТНИЙ СТАН ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК CdZnTe, ВИРОЩЕНИХ З РІДКОЇ ФАЗИ .....</b>	<b>302</b>
<b>Ромашко Т.П., Хахель О.А. АГРЕГАЦІЯ АРОМАТИЧЕСКИХ ХРОМОФОРОВ В ПОЛИМЕРАХ .....</b>	<b>303</b>
<b>Рубіш В.М., Гуранич О.Г., Гуранич П.П., Гасинець С.М., Риган М.Ю., Перевузник В.П. ВПЛИВ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ І ТЕРМОЧАСОВИХ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ НА НЕЛІНІЙНІСТЬ СЕГНЕТОСИТАЛІВ (As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub>(SbSI)<sub>x</sub> .....</b>	<b>304</b>
<b>Сакалош І. І., Шаркань Й.П., Горват Г.Т. ГРАДІЄНТНІ ХВИЛЕВОДИ, ІЗ ЗАДАНИМ ПРОФІЛЕМ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ НА ОСНОВІ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛОПОДІБНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ, ДЛЯ СЕРЕДНЬОГО ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ .....</b>	<b>305</b>
<b>Шаповалов И.П., Сайко П.А. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ДАТЧИКОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ .....</b>	<b>306</b>
<b>Скрипник М. В., Уляницький К.С., Горлей В.В., Мотовилиць І.Г. МЕХАНІЗМИ ПРОХОДЖЕННЯ СТРУМУ В КОНТАКТАХ МЕТАЛ – ВИСОКООМНИЙ CdTe .....</b>	<b>307</b>
<b>Степанчиков Д.М. НАНОПРОВОДА НА ОСНОВІ АРСЕНІДУ КАДМІЮ (Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>) .....</b>	<b>308</b>
<b>Suchikova J. A., Kidalov V.V., Kurulash O.I., Sukach G. A. PROPERTTIES OF POROUS InP AND GaAs OBTAINED BY ELECTROCHEMICAL METHOD.....</b>	<b>309</b>
<b>Ковальов Ю.Г., Рябець С.І., Ткачук А.І., Царенко О.М., Філер З.Ю. ПОВЕРХНЕВО-БАР'ЄРНІ ІНФРАЧЕРВОНІ СЕНСОРИ НА ОСНОВІ ЧОТИРИКОМПОНЕНТНИХ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ ХАЛЬКОГЕНІДІВ СВИНЦЮ- ОЛОВА .....</b>	<b>310</b>

<b>Товстолиткін О.І., Погорілий А.М., Полек Т.І., Каменєв В.І., Тарасенко Т.М., Мазур А.С. МАГНІТНІ ТА МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ СИЛЬНО КОРЕЛЬОВАНИХ СИСТЕМ (La,Bi)MnO<sub>3</sub> .....</b>	<b>311</b>
<b>Ющук С.І., Юр'єв С.О., Лопатинський І.Є., Дубельт С.П., Лобойко В.І. ОПЕРАТИВНИЙ І НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ЕПІТАКСІЙНИХ ПЛІВОК ФЕРОГРАНАТІВ .....</b>	<b>312</b>
<b>Зубков О.Ю., Кучерський А.Ю., Маренков В.І. РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРОННОЇ ГУСТИНИ В НАНОШПАРИНІ НАПІВПРОВІДНИКА .....</b>	<b>313</b>
<b>Терлецкая Л.Л., Копыт Н.Х., Голубцов В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЪЁМНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ.....</b>	<b>314</b>

\*\*\*

## **Секція XI. Технологічні проблеми сенсорів**

### **Section XI. Sensors technological problems**

<b>Khrypunov G., Romeo A., Shelest T., Li T., Meriuts A., Kovtun N. COMPARISON OF CdS/CdTe SOLAR CELLS WITH DIFFERENT ACTIVATION PROCESSES BASE LAYERS .....</b>	<b>316</b>
<b>Hadzaman I., Klym H., Shpotyuk O., Vakiv M. DEGRADATION PROCESSES ON THE CONTACT AREA IN HUMIDITY-SENSITIVE THICK FILMS .....</b>	<b>317</b>
<b>Ільченко В.В., Костюкевич О.М., Колесник О.Г., Лушкін О.Є., Рудь А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ТОНКИХ ОКСИДНИХ ПЛІВОК SnO<sub>2</sub>:Ni МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НЕРЕАКТИВНОГО НАПОРОШЕННЯ .....</b>	<b>318</b>
<b>Курмашев Ш.Д., Викулин И.М., Беньковский П.В. ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ФОТОПРИЕМНИКОВ .....</b>	<b>319</b>
<b>Khrypunov G., Meriuts A., Shelest T., Deineko N. THE ROLE OF COPPER IN BIFACIAL CdTe SOLAR CELLS .....</b>	<b>320</b>
<b>Новосядлий С.П., Возняк Ю.В., Фрик О.Б. ВПЛИВ ВІДПАЛУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВІЗОЛЮЮЧОГО АРСЕНІДУ ГАЛІЮ (GaAs).....</b>	<b>321</b>
<b>АЛФАВІТНИЙ ВКАЗІВНИК.....</b>	<b>323</b>

*Наукове видання*

**4-а Міжнародна  
науково-технічна конференція  
СЕНСОРНА ЕЛЕКТРОНІКА  
ТА МІКРОСИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
(СЕМСТ–4)**

Україна, Одеса, 28 червня — 2 липня 2010 р.

***ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ***

*Українською, російською та англійською мовами*

Зав. редакцією *Т. М. Забанова*  
Технічний редактор *М. М. Бушин*

---

Підписано до друку 22.06.2010. Формат 60x84/8. Папір офсетний. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 41,39. Тираж 300 прим. Вид. № 82. Зам. № 410.

Видавництво і друкарня «Астропринт»  
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21  
Тел.: (0482) 37-07-95, 37-14-25, 33-07-17, (048) 7-855-855  
[www.astroprint.odessa.ua](http://www.astroprint.odessa.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.

**4-та Міжнародна** науково-технічна конференція “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” (SEMST–4) : тези доповідей = 4th International Scientific and Technical Conference “Sensors Electronics and Microsystems Technology” (SEMST–4) : book of abstracts : (Одеса, 28 червня — 2 липня 2010 р.) / гл. ред. В. А. Сминтина ; ред. кол. І. В. Блонський, Я. І. Лепих [та ін.]. — Одеса : Астропринт, 2010. — 356 с.

ISBN 978–966–190–339–4

Дана збірка містить тези доповідей 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології” (SEMST-4).

Матеріали відображають зміст доповідей конференції, в яких викладено нові результати, стан і перспективи досліджень в області сенсорики за основними її напрямками: фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори; проектування та математичне моделювання сенсорів; сенсори фізичних величин; хімічні сенсори; біосенсори; радіаційні, оптичні та оптоелектронні сенсори; акустoeлектронні сенсори; наносенсори (фізика, матеріали, технологія); сенсори та інформаційні системи; матеріали для сенсорів; технологічні проблеми сенсорів; мікросистемні технології (MST); деградація, метрологія та атестація сенсорів.

Більша частина відповідних повних доповідей за рекомендацією програмного комітету і редакційної колегії конференції буде опублікована в науково-технічних журналах: “Сенсорна електроніка і мікросистемні технології”, “Журнал фізичних досліджень”, “Semicond. Phys. Quant. Electron. Optoelectron”, “Функціональні матеріали”, “Фотоелектроніка”.

Видання тез доповідей здійснено з авторських оригіналів, підготовлених до друку програмним комітетом і редакційною колегією конференції.

**ББК 32я431**  
**УДК 621.38(063)**