

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Одеський національний університет імені  
І. І. Мечникова

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE  
OF UKRAINE  
Odesa I. I. Mechnykov National University

**СЕНСОРНА  
ЕЛЕКТРОНІКА  
І МІКРОСИСТЕМНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ  
2021 — Т. 18, № 2**

**SENSOR  
ELECTRONICS  
AND MICROSYSTEM  
TECHNOLOGIES  
2021 — VOL. 18, No. 2**

*Науково-технічний журнал*

*Scientific and Technical Journal*

Заснований 13.11.2003 року  
Виходить 4 рази на рік

It is based 13.11.2003 року  
The Journal issue four times a year

УДК 681.586

UDC 681.586

Засновник Одеський національний  
університет імені І. І. Мечникова

Founded by Odesa I. I. Mechnykov  
National University

За підтримки Українського фізичного  
товариства

At support of the Ukrainian Physical  
Society

Свідоцтво про державну реєстрацію  
КВ № 8131

Certificate of State Registration KB № 8131

Журнал входить до переліку фахових видань  
ВАК України з фізико-математичних,  
технічних та біологічних наук

The Journal is a part of list of the issues  
recommended by SAK of Ukraine on physical  
and mathematical, engineering and biological  
sciences

Журнал реферується РЖ «Джерело»  
і ВІНІТІ (Росія), включено в міжнародні бази  
Index Copernicus, РІНЦ, наукова електронна  
бібліотека Cross Ref. Elibrary, Directory of  
Research Journal Indexing, General Impact  
Factor EBSCO

The Journal is reviewed by RJ “Djereło”  
and RJ ICSTI (Russia), is included in the  
International Base Index Copernicus, RSCI,  
Cross Ref. Elibrary, Directory of Research  
Journal Indexing, General Impact Factor  
EBSCO

Видається за рішенням Вченої ради  
Одеського національного університету  
імені І. І. Мечникова  
*Протокол № 12 від 31.05.2021 р.*

Publishes on the resolution of Odesa  
I. I. Mechnykov National University  
Scientific Council  
*Transaction No. 12, 31.05.2021*

Адреса редакції:  
вул. Дворянська, 2, МННФТЦ (НДЛІ-3),  
Одеський національний університет  
імені І. І. Мечникова, Одеса, 65082, Україна.  
Тел./Факс: +38(048)723-34-61

Editorial address:  
2, Dvoryanskaya Str., ISEPTC (RL-3),  
Odesa I. I. Mechnykov National University,  
Odesa, 65082, Ukraine.  
Ph./Fax: +38(048)723-34-61

## Редакційна колегія

Головний редактор – **В. А. Сминтина**  
Заступник головного редактора – **Я. І. Лепіх**  
**А. П. Балабан** (Одеса, Україна) –  
відповідальний секретар

**О. Є. Беляєв** (Київ, Україна)  
**І. В. Блонський** (Київ, Україна)  
**В. Г. Вербицький** (Київ, Україна)  
**Б. М. Галкін** (Одеса, Україна)  
**Ю. В. Гуляєв** (Москва, Росія)  
**Ю. О. Гунченко** (Одеса, Україна)  
**А. Д'Аміко** (Рим, Італія)  
**Н. Джаффрезік Рене** (Ліон, Франція)  
**С. В. Дзядевич** (Київ, Україна)  
**Г. В. Сльська** (Київ, Україна)  
**В. О. Іваниця** (Одеса, Україна)  
**О. М. Калашніков** (Ноттінгем, Велика Британія)  
**О. В. Коваленко** (Дніпро, Україна)  
**І. А. Кравченко** (Одеса, Україна)  
**В. Г. Литовченко** (Київ, Україна)  
**С. В. Ленков** (Київ, Україна)  
**Є. В. Малахов** (Одеса, Україна)  
**А. Медвідь** (Ріга, Латвія)  
**А. С. Опанасюк** (Суми, Україна)  
**С. М. Рябченко** (Київ, Україна)  
**В. А. Скришевський** (Київ, Україна)  
**О. П. Солдаткін** (Київ, Україна)  
**М. Ф. Стародуб** (Київ, Україна)  
**Й. М. Стахіра** (Львів, Україна)  
**М. В. Стріха** (Київ, Україна)  
**М. В. Ткач** (Чернівці, Україна)  
**А. Чаудхрі** (Чандігар, Індія)  
**Є. М. Шерегій** (Жешув, Польща)

## Editorial Board

Editor-in-Chief – **V. A. Smyntyna**  
Vice Editor-in-Chief – **Ya. I. Lepikh**  
**A. P. Balaban** (Odesa, Ukraine) –  
responsible editor

**A. E. Belyaev** (Kyiv, Ukraine)  
**I. V. Blonskii** (Kyiv, Ukraine)  
**V. G. Verbitsky** (Kyiv, Ukraine)  
**B. M. Galkin** (Odesa, Ukraine)  
**Yu. A. Gulyaev** (Moscow, Russia)  
**Yu. O. Gunchenko** (Odesa, Ukraine)  
**A. D'Amiko** (Rome, Italy)  
**N. Jaffrezik Renault** (Lyon, France)  
**S. V. Dzyadevych** (Kyiv, Ukraine)  
**G. V. Elskaya** (Kyiv, Ukraine)  
**V. O. Ivanytsia** (Odesa, Ukraine)  
**O. M. Kalashnikov** (Nottingham, United Kingdom)  
**O. V. Kovalenko** (Dnipro, Ukraine)  
**I. A. Kravchenko** (Odesa, Ukraine)  
**V. G. Litovchenko** (Kyiv, Ukraine)  
**S. V. Lenkov** (Kyiv, Ukraine)  
**E. V. Malakhov** (Odesa, Ukraine)  
**Arturs Medvids** (Riga, Latvia)  
**A. S. Opanasyuk** (Sumy, Ukraine)  
**S. M. Ryabchenko** (Kyiv, Ukraine)  
**V. A. Skryshevsky** (Kyiv, Ukraine)  
**A. P. Soldatkin** (Kyiv, Ukraine)  
**N. F. Starodub** (Kyiv, Ukraine)  
**J. M. Stakhira** (Lviv, Ukraine)  
**M. V. Strikha** (Kyiv, Ukraine)  
**M. V. Tkach** (Chernivtsi, Ukraine)  
**A. Chaundhri** (Chandigarh, India)  
**E. M. Sheregii** (Rzeszow, Poland)

Науковий редактор випуску  
та відповідальний за випуск – **Я. І. Лепіх**

## ЗМІСТ

## CONTENTS

**Біосенсори****Biosensors**

*O. O. Soldatkin, I. S. Kucherenko,  
O. Ya. Sayapina, D. Yu. Kucherenko,  
S. V. Marchenko, A. P. Soldatkin,  
S. V. Dzyadevych*

DEVELOPMENT OF ARGININE  
DEIMINASE BASED CONDUCTOMETRIC  
BIOSENSOR FOR ARGININE  
DETERMINATION ..... 4

*O. O. Солдаткін, І. С. Кучеренко,  
О. Я. Саяпіна, Д. Ю. Кучеренко,  
С. В. Марченко, О. П. Солдаткін,  
С. В. Дзядевич*

РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО  
БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ  
АРГІНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ  
АРГІНІНУ

**Матеріали для сенсорів****Sensor materials**

*Ya. I. Lepikh, T. I. Lavrenova, A. P. Balaban*

STRUCTURAL-PHASE  
TRANSFORMATIONS IN FILMS AT  
THE INTERFACE OF THE  
HETEROSYSTEM “GLASS - CLUSTERS  
Ag-Pd” – Sn-Pb ..... 14

*Я. І. Леніх, Т. І. Лавренова, А. П. Балабан*

СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ  
В ПЛІВКАХ НА ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ  
ГЕТЕРОСИСТЕМИ «СКЛЮ – КЛАСТЕРИ  
Ag-Pd» – Sn-Pb

**Сенсори та інформаційні системи****Sensors and information systems**

*V. I. Santoniy, Ya. I. Lepikh, V. I. Yanko,  
I. A. Ivanchenko, L. M. Budiyanskaya*

FORMATION OF THE OPTOELECTRONIC  
SYSTEM DIRECTIONAL DIAGRAM  
USING FIBER-OPTIC CABLE ..... 20

*V. I. Сантоній, Я. І. Леніх, В. І. Янко,  
І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська*

ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ  
СПРЯМОВАНOSTI  
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ  
КАБЕЛІВ

**Дискусії****Discussions**

*Alexander Gabovich, Vladimir Kuznetsov*

WESTERN SCIENCE HUMILIATION  
AS A SYMPTOM OF THE WHOLE  
CIVILIZATION DECLINE ..... 33

*Олександр Габович, Володимир Кузнецов*

УПОСЛІДЖЕННЯ ЗАХІДНОЇ НАУКИ  
ЯК СИМПТОМ ЗАНЕПАДУ ВСІЇ  
ЦИВІЛІЗАЦІЇ

**Наукова спадщина****Scientific heritage**

*V. I. Strikha*

SEMICONDUCTOR SENSORS –  
SEMICONDUCTOR ELECTRONICS  
PROMISING DIRECTION ..... 47

*В. І. Стріха*

НАПІВПРОВІДНИКОВІ СЕНСОРИ –  
ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМ  
НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

**Персоналії. До 60-річчя професора**

**Стріхи Максима Віталійовича ..... 54**

**Інформація для авторів****Вимоги до оформлення статей**

**у журнал ..... 56**

**Information for authors****The requirements on papers**

**preparation ..... 59**

# БІОСЕНСОРИ

# BIOSENSORS

---

---

УДК 543.555+577.15

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235200

## РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ АРГІНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРГІНІНУ

*О. О. Солдаткін<sup>1,2</sup>, І. С. Кучеренко<sup>1</sup>, О. Я. Саяпіна<sup>1</sup>, Д. Ю. Кучеренко<sup>1</sup>,  
С. В. Марченко<sup>1</sup>, О. П. Солдаткін<sup>1,2</sup>, С. В. Дзядевич<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Інститут молекулярної біології та генетики НАН України,  
вул. Заболотного, 150, 03680, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська, 64, 01003, м. Київ, Україна

e-mail авторів: alex\_sold@yahoo.com, kucherenko.i.s@gmail.com, oysaiapina@gmail.com,  
svmarchenkosv@gmail.com, a\_soldatkin@yahoo.com, dzyad@yahoo.com

## РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ АРГІНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРГІНІНУ

*О. О. Солдаткін, І. С. Кучеренко, О. Я. Саяпіна, Д. Ю. Кучеренко,  
С. В. Марченко, О. П. Солдаткін, С. В. Дзядевич*

**Анотація.** Вперше розроблено кондуктометричний ферментний біосенсор для визначення концентрацій аргініну. При виготовленні біоселективної мембрани біосенсора використовували аргініндеїміназу, яка була іммобілізована ковалентною зшивкою глутаровим альдегідом з бичачим сироватковим альбуміном на поверхні золотого планарного перетворювача. В роботі було перевірено вплив параметрів розчину (іонна сила, буферна ємність) на функціонування біосенсора для визначення аргініну. Показано, що запропонований моноферментний біосенсор характеризувався гарною селективністю відносно можливих інтерферуючих речовин. Біосенсор характеризувався високою чутливістю до аргініну (мінімальна границя визначення – 5 мкМ). Лінійний діапазон біосенсорного визначення аналіту був від 10 до 800 мкМ. Чутливість біосенсора до аргініну - 72 мкСм/мМ. Показано, що розроблений біосенсор є перспективним для застосування при аналізі концентрацій аргініну в реальних зразках.

**Ключові слова:** аргінін, кондуктометрія, біосенсор, іммобілізований фермент, аргініндеїміназа

## DEVELOPMENT OF ARGININE DEIMINASE BASED CONDUCTOMETRIC BIOSENSOR FOR ARGININE DETERMINATION

*O. O. Soldatkin, I. S. Kucherenko, O. Ya. Sayapina, D. Yu. Kucherenko,  
S. V. Marchenko, A. P. Soldatkin, S. V. Dzyadevych*

**Abstract.** For the first time, a conductometric enzyme biosensor was developed to determine arginine concentrations. The bioselective membrane of the biosensor was formed by immobilization of arginine deiminase on the surface of gold planar transducer using covalent crosslinking of glutaraldehyde with bovine serum albumin. An effect of the solution characteristics (ionic strength, buffer capacity) on the biosensor functioning was studied. The proposed monoenzyme biosensor was shown to have high sensitivity to arginine (minimum limit of detection - 5  $\mu\text{M}$ ) and good selectivity towards possible interferents. The linear range of determination was from 10 to 800  $\mu\text{M}$ . The biosensor sensitivity to arginine is 72  $\mu\text{S}/\mu\text{M}$ . The developed biosensor was demonstrated to be promising for the arginine analysis in real samples.

**Keywords:** arginine, conductometry, biosensor, immobilized enzyme, arginine deiminase

## РАЗРАБОТКА ФЕРМЕНТНОГО КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО БИОСЕНСОРА НА ОСНОВЕ АРГИНИНДЕИМИНАЗЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АРГИНИНА

*A. A. Солдаткин, И. С. Кучеренко, О. Я. Саяпина, Д. Ю. Кучеренко,  
С. В. Марченко, А. П. Солдаткин, С. В. Дзядевич*

**Аннотация.** Впервые был разработан кондуктометрический ферментный биосенсор для определения концентраций аргинина. При изготовлении биоселективных мембран биосенсора использовали аргининдеиминазу, которая была иммобилизована ковалентной сшивкой глутаровым альдегидом с бычьим сывороточным альбумином на поверхности золотого планарного преобразователя. В работе было проверено влияние параметров раствора (ионная сила, буферная емкость) на функционирование биосенсора для определения аргинина. Показано, что предложенный моноферментный биосенсор характеризовался хорошей селективностью в отношении возможных интерферирующих веществ. Предложенный биосенсор характеризовался высокой чувствительностью к аргинину (минимальная граница определения - 5  $\mu\text{M}$ ). Линейный диапазон биосенсорного определения аналита был от 10 до 800  $\mu\text{M}$ . Чувствительность биосенсора к аргинину - 72  $\mu\text{См}/\mu\text{M}$ . Показано, что разработанный биосенсор является перспективным для применения при анализе концентраций аргинина в реальных образцах.

**Ключевые слова:** аргинин, кондуктометрия, биосенсор, иммобилизованный фермент, аргининдеиминаза

## 1. ВСТУП

Амінокислота L-аргінін відноситься до найбільш лужних амінокислот і має найбільшу ізоелектричну точку 10,76 у порівнянні з іншими 20 амінокислотами, відіграє важливу роль в поділі клітин, загоюванні ран, синтезі білку, імунних реакціях і багатьох інших біологічних функціях. До того ж аргінін є фізіологічним попередником оксиду азоту (NO) [1], який відіграє роль ключового посередника в судинному гомеостазі. Коли кількість аргінін-похідних речовин значно зменшується це може бути шкідливим для здоров'я, і навіть небезпечним для життя.

L-аргінін є важливим біомаркером низки захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин, зокрема гіпераргінінемії, викликаній генетичним дефектом в гені ARG1 (дефіцит аргінази) [2-3]. Кількість L-аргініну в сечі є показником наявності гомозиготної цистинурії [4], гепатокарциноми, меланоми шкіри та колоректального раку, туберкульозу легенів. Зокрема встановлено, що у хворих на туберкульоз легень спостерігається зниження загального рівня амінокислот у сироватці крові. При діагностиці колоректального раку L-аргінін виконує роль додаткового маркера до аргінази сироватки крові на початковій та метастатичній стадіях раку.

На даний момент в світі для аналізу концентрації L-аргініну використовують такі методи, як спектрофотометрія, флуориметрія, хроматографія, полярографія, високоефективна рідинна хроматографія та інші [5]. Запропоновані методи є досить складними, коштовними та потребують складної попередньої підготовки проб. Наприклад, для спектрофотометричних методів реакція з нінгідрином є низькоспецифічною, а реакція на основі двохферментної системи (аргіназа/уреаза) можлива лише у випадку відсутності сечовини у аналізованих зразках. Значним недоліком інших, згаданих вище, методів є вплив інтерферуючих речовин, зокрема, лізину, проліну, цитруліну, сечовини. Відповідно для їх реалізації, необхідна додаткова обробка аналізованих проб.

Окрім традиційних методів аналізу аргініну існують і біосенсорні. Серед цих розробок ви-

різняються біосенсори на основі різних типів електрохімічних перетворювачів, переважна більшість з яких на основі амперметричних перетворювачів. При розробці амперметричних біосенсорів використовують в основному одноферментну систему на основі оксидази L- та D-амінокислот або ж декарбоксилази аргініну. Нажаль, дані типи біосенсорів є не достатньо селективними, особливо для визначення аргініну в складних багатокомпонентних зразках (кров, соки тощо).

У випадку розробки кондуктометричних та потенціометричних біосенсорів використовується двохферментна система на основі аргінази/уреази [6, 7]. Вагомим недоліком такої біосенсорної системи є певна втрата чутливості у зв'язку з використанням кількох ферментів, крім того, неможливість аналізу складних зразків, що містять сечовину, зокрема кров, сеча, тощо.

Відомий біосенсор на основі іон-селективного електроду для визначення L-аргініну у фруктових соках, що базується на використанні лише одного ферменту – аргініндеімінази [8]. Нажаль, для функціонування він потребує технологічно складного електроду порівняння і має ряд недоліків таких як світлочутливість, складність технології його подальшої мініатюризації, неможливість використання недорогої тонкоплівчастої технології виготовлення. До того ж чутливість використаних в роботі іон-селективних електродів є не найкращою.

Тому головною метою даної роботи є створення такого кондуктометричного біосенсора на основі аргініндеімінази для кількісного визначення аргініну в рідинах біологічного походження, який би дозволив більш швидко та селективно визначати концентрацію аргініну та був би більш перспективним та дешевим для подальшого масового виробництва.

## 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

У дослідженнях використовувалися препарат ліофілізованого ферменту аргініндеіміназа (АДІ) з *E. Coli* фірми „MyBioSource” (USA). Бичачий сироватковий альбумін (БСА) (фракція V), гліцерин та 50%-й водний розчин глутарового альдегіду (ГА) були отримані від фірми

„Sigma-Aldrich Chemie” (Steinheim, Germany). Як субстрат і аналізовану речовину використовували L-аргінін, як буферний розчин - калій-фосфатний розчин ( $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-NaOH}$ ), рН 7,2 фірми “Merck” (Німеччина). Інші неорганічні сполуки, що використовувалися в роботі, були вітчизняного виробництва та мали ступінь чистоти “х.ч.” та „ч.д.а.”.

У роботі використано кондуктометричні перетворювачі, виготовлені згідно наших рекомендацій та ескізів в Інституті фізики напівпровідників ім. Лашкарьова (м. Київ, Україна). Вони складаються з двох ідентичних пар золотих гребінчастих електродів, виготовлених вакуумним напиленням золота на основу з ситалу розміром 5x40 мм. Чутлива поверхня кожної електродної пари була приблизно 1,0x1,5 мм. Відстань між пальцями гребінок та ширина самих пальців гребінок складала 20 мкм.

Кондуктометричний біосенсор на основі аргініндеїмінази для кількісного аналізу аргініну підключали до експериментальної установки для кондуктометричних вимірювань, що працювала у режимі кондуктометричних вимірювань при частоті струму 37 кГц та амплітуді 14 мВ. В роботі використовували вимірювальну установку та перетворювачі, детально описані в попередніх роботах [9]

Для виготовлення робочої мембрани готували розчин з вмістом 10% аргініндеїмінази, 5% сироваткового альбуміну бика (БСА), 10% гліцерину у 20 мМ фосфатному буфері, рН 7,5. Суміш для приготування референтної мембрани готували таким же чином, але замість ферментів брали тільки БСА (15 %). Перед нанесенням на поверхню перетворювача приготувані розчини (для референтної і робочої мембран) змішували з водним розчином глутарового альдегіду (1 %) у співвідношенні 1:1. Отримані розчини зразу ж наносили на робочу частину перетворювачів. Обидві мембрани були з однаковим вмістом білка. Потім сенсори висушували протягом різного часу на повітрі за кімнатної температури. Перед початком роботи для вимивання надлишку глутарового альдегіду сенсор розміщували у буферному розчині, в якому і проводились подальші дослідження. До складу гелів додавався гліцерин для стабілізації ферментів при іммобілізації та за-

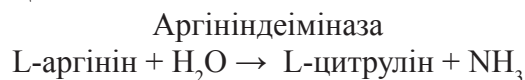
побігання передчасному підсиханню розчину, нанесеного на поверхню перетворювача. В свою чергу, сироватковий альбумін бика в складі ферментних мембран відіграв роль стабілізуючого агенту для ферментів.

Вимірювання проводились в 10 мМ калій-фосфатному буферному розчині рН 7,5 при кімнатній температурі у відкритій комірці з інтенсивним перемішуванням. Спочатку сенсор розміщували у комірці для вимірювання об'ємом 2 мл, заповнений фосфатним буферним розчином. Для отримання стабільного початкового сигналу (базової лінії) сенсор вимочували деякий час в буферному розчині. Потім для отримання сигналу на субстрат необхідної концентрації в комірку додавали певну аліквоту стандартного концентрованого вихідного розчину субстрату. Неспецифічні зміни вихідного сигналу, зв'язані з коливаннями температури, рН середовища, коливаннями напруги в мережі нівелювалися завдяки використанню в роботі диференційного режиму вимірювань, тобто вимірювалась різниця сигналів з двох пар електродів з активною та неактивною мембраною, розташованих на одному перетворювачі. Дослідження проводились щонайменше у трьох повторностях.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

#### 3.1. Принцип функціонування біосенсора для визначення аргініну

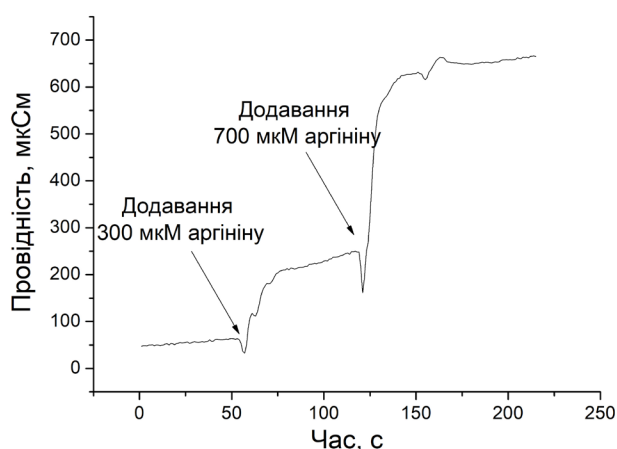
В основі роботи кондуктометричного біосенсора на основі аргініндеїмінази для кількісного аналізу аргініну в рідинах біологічного походження лежить наступна ферментативна реакція:



В процесі проходження ферментативної реакції аргініндеїміназа розщеплює аргінін при цьому змінюється провідність розчину в приелектродному просторі, яку і можна реєструвати за допомогою кондуктометричного перетворювача [10].

З метою перевірки працездатності, свіже-виготовлений кондуктометричний біосенсор на основі аргініндеїмінази поміщали до

робочої комірки об'ємом 2,0 мл, заповненої 10 мМ калій-фосфатним буфером, рН 7,5, та витримували декілька хвилин для отримання стабільної базової лінії. Потім додавали певну аліквоту модельного розчину аргініну та отримували сигнал біосенсора. Сигнал від біосенсорів автоматично оброблявся персональним комп'ютером і виводився у графічному вигляді. Графічне зображення відгуків кондуктометричного біосенсора на основі аргініндеімінази на послідовне додавання декількох аліквот модельного розчину аргініну показано на Рис. 1.



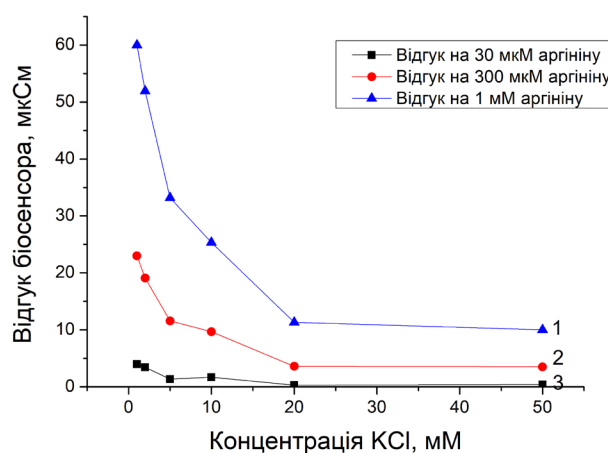
**Рис. 1. Типові відгуки кондуктометричного біосенсора для визначення аргініну на реальному прикладі проведення експерименту**

### 3.2. Вплив буферної ємності на роботу аргінін-чутливого біосенсора

В основі кондуктометричного методу, як відомо, лежить вимірювання зміни провідності розчину, що аналізується. Ця зміна провідності може залежати як від самої ферментативної реакції, так і від характеристик розчину в якому ця реакція проходить. Тому перш за все було досліджено вплив параметрів розчину на величину відгуку нашого сенсора.

Однією з важливих характеристик буфера, що може негативно впливати на вимірювання за допомогою кондуктометричного біосенсора, є іонна сила. Щоб дослідити цей вплив, було проведено вимірювання величини сигналу на три концентрації субстрату (30 мкМ, 300 мкМ та 1 мМ аргініну) із додаванням у

розчин різних концентрацій КСІ (від 1 мМ до 50 мМ) (Рис. 2). З отриманого графіка видно, що при збільшенні іонної сили відгуки на усі концентрації субстрату зменшуються за експонентою: спочатку спостерігається значне зменшення величини відгуків біосенсора, а при концентрації 20 мМ КСІ величина сигналу падає до 15%, і при подальших додаваннях КСІ сигнал залишається стабільним. Одна з головних причин такої залежності пов'язана із зростанням фонові провідності розчину. Тому при проведенні вимірювань за допомогою кондуктометричного біосенсора дуже важливим є контроль іонної сили аналізованих зразків.

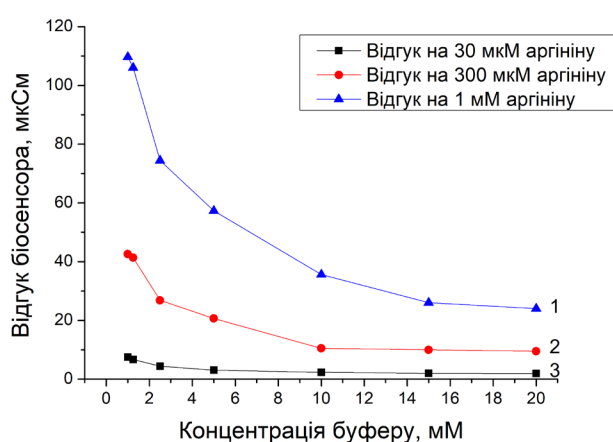


**Рис. 2. Залежність величини відгуку біосенсора від іонної сили розчину. Концентрація аргініну 1 мМ (1), 300 мкМ (2) та 30 мкМ (3). Вимірювання проводились в 10 мМ калій-фосфатному буфері, рН 7,5**

Ще одним параметром робочого буфера, що сильно впливає на функціонування кондуктометричних біосенсорів є буферна ємність. Тому було перевірено вплив концентрації буферного розчину на величину відгуків біосенсора (Рис. 3). Видно, що при зміні концентрації буферного розчину в певній мірі змінюються величини відгуків біосенсора. Чутливість кондуктометричного біосенсора щодо наявності аргініну у вимірювальній комірці виявилася найбільшою у 1 мМ калій-фосфатному буфері, рН 7,5. Нажаль робочий розчин за такої буферної ємності має слабкі буферні властивості, а відповідно, сенсор буде працювати нестабільно. Далі при підвищенні концентрації буфера,



відгуки біосенсора на усі три концентрації аргініну експоненційно зменшувались. При роботі біосенсора в 5 мМ буфері чутливість біосенсора до субстрату падала на 50-60%. У випадку роботи біосенсора в 10 та 20 мМ фосфатному буфері чутливість біосенсора щодо аргініну падала менше 30%. Тому використовуючи для проведення аналізу буферні розчини різної концентрації можна знаходити компроміс між чутливістю біосенсора до субстрату та стабільною роботою в розчині, що характеризується буферними властивостями.



**Рис. 3. Графіки залежності відгуків сенсора на різні концентрації аргініну від концентрації буфера. Концентрація аргініну 1 мМ (1), 300 мкМ (2) та 30 мкМ (3). Вимірювання проводились у калій-фосфатному буфері, рН 7,5**

### 3.3. Аналіз селективності аргінін-чутливого біосенсора

Основною проблемою відомих амперометричних біосенсорів для визначення аргініну є погана селективність відносно електроактивних речовин, типу аскорбінової кислоти. Використання кондуктометричного методу аналізу теоретично мало значно покращити селективність біосенсора. Проблемою двоферментного біосенсора на основі коїммобілізованих уреаз з аргіназою є чутливість до сечовини, яка присутня майже у всіх реальних біологічних зразках. Використання біоселективної мембрани біосенсора на основі аргініндеїмінази має вирішити проблему з чутливості біосенсора до сечовини. Відповідно для практичного засто-

сування запропонованого кондуктометричного біосенсора для визначення концентрації аргініну у реальних зразках потрібно було довести, що селективність його роботи є достатньою. Для цього було проведено ряд експериментів із дослідження впливу інтерферуючих речовин на роботу розробленого біосенсора. В експериментальну комірку вносили розчин з 300 мкМ та 1 мМ інтерферуючої речовини (сечовина, ЕДТА, глутамін, глюкоза, глутамат, аскорбінова кислота, лимона кислота, дофамін, та ін.). Відгуки на можливі інтерферуючі речовини порівнювали з відгуками біосенсора на тіж самі концентрації аргініну. Результати експерименту свідчать про те, що розроблений кондуктометричний біосенсор проявляє достатню селективність до аргініну відносно ряду можливих інтерферуючих речовин (Табл. 1). Відповідно запропонований біосенсор можна рекомендувати для аналізу аргініну в реальних біологічних зразках.

**Таблиця 1**  
Селективність розробленого біосенсора на основі аргініндеїмінази

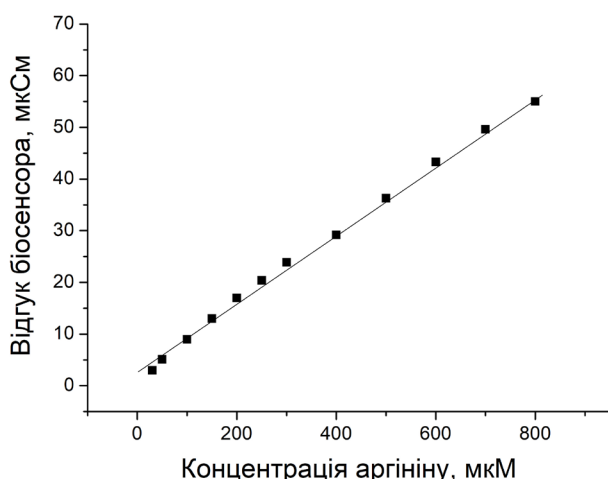
Речовина	Відгук біосенсора на речовину, мкСм	
	300 мкМ	1000 мкМ
Сечовина	4	10
ЕДТА	2,5	9
Глутамін	2,3	8
Глюкоза	2	7
Глутамат	3,5	10
Лим. к-та	1,5	4
NaCl	2,5	7
Аск. к-та	0	0
Гліцин	1,7	6,3
Бенз. к-та	0	0
Дофамін	0,9	2,7
Аспартаг	4	11
<b>Аргінін</b>	<b>23,2</b>	<b>59,7</b>

### 3.4. Перевірка аналітичних характеристик кондуктометричного біосенсора для визначення аргініну

Останнім етапом розробки будь-якого біосенсора є аналіз його аналітичних характеристик та перспектив застосування для роботи

з реальними зразками. Відповідно, в роботі було проаналізовано робочі параметри розробленого біосенсора на основі аргініндеїмінази для визначення концентрації аргініну.

Мінімальну межу визначення аргініну враховували як концентрацію аргініну, додавання якої у вимірювальну комірку призводить до відгуку біосенсора в три рази більшого за величину шуму базової лінії. Виявилось, що мінімальна межа вимірювання аргініну дорівнювала 5 мкМ. Для встановлення лінійного діапазону функціонування біосенсора було побудовано калібрувальна крива визначення аргініну (Рис. 4). Лінійний діапазон роботи розробленого біосенсора був від 10 до 800 мкМ. Лінійна ділянка даної калібрувальної кривої описується рівнянням  $G=0,06 \cdot C+2,96$ , де  $G$  – зміна провідності (мкСм),  $C$  – концентрація аргініну (мкМ). Чутливість біосенсора до аргініну була 72 мкСм/мМ.



**Рис. 4.** Лінійна ділянка калібрувальної кривої біосенсора для визначення аргініну. Вимірювання проводились в 10 мМ калій-фосфатному буфері рН 7,5

Отримані аналітичні характеристики свідчать про перспективність подальшого застосування розробленого біосенсора для кількісного аналізу аргініну в реальних зразках.

#### 4. ВИСНОВКИ

В роботі, розроблено новий кондуктометричний біосенсор на основі аргініндеїмінази для кількісного визначення аргініну. Визначе-

но вплив основних параметрів робочого буферу (іонна сила, буферна ємність) на величину відгуків аргінін-чутливого біосенсора. Оптимальними робочим буферним розчином для функціонування запропонованого біосенсора був 10 мМ калій-фосфатний буфер, рН 7,5.

Також в роботі перевірена селективність біосенсора на основі аргініндеїмінази відносно можливих інтерферентних речовин (сечовина, ЕДТА, глутамін, глюкоза, глутамат, аскорбінова кислота, лимона кислота, дофамін, та ін.). Величини відгуків на ці речовини не перевищували 15 %, що свідчить про не погану специфічність розробленого біосенсора.

Перевірено аналітичні характеристики розробленого біосенсора: чутливість, лінійний діапазон, мінімальна межа визначення, тощо. Показано, що біосенсор має високу чутливість до аргініну: мінімальна межа визначення – 5 мкМ. Лінійний діапазон роботи біосенсора знаходився в межах від 10 до 800 мкМ.

Отримані параметри біосенсора свідчать про перспективність використання розробленого біосенсора на основі аргініндеїмінази для визначення концентрації аргініну в реальних біологічних зразках.

#### 5. ПОДЯКА

Робота виконана за рахунок коштів гранту НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих учених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки у 2021 р.

#### 6. СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1]. O. Ikkert, N. Kurhaliuk, S. Hordii, Vplyv L-aphininu ta N $\omega$ -nitro – l-arhininu na stan enerhozabezpechennia mitokhondrii pechinky shchuriv iz riznoiu rezystentnistiu do hipoksii v razi dii stresovykh navantazhen, Visnyk Lviv. un-tu., 2002, No. 28. S. 271–278 (in Ukrainian).
- [2]. N. Ye. Stasiuk, S. R. Bass, H. Z. Haida, Kh. S. Yepriemian, M. V. Honchar Novyi enzy-matychnyi metod vyznachennia L-arhininu za vykorystannia arhinazy liudyny ta ureazy, Scientific Journal «ScienceRise» 2015, No. 6/1(11), S. 43–48 (in Ukrainian).

- [3]. B. Vynnytska Myronovska, Y. Bobak, Y. Garbe, C. Dittfeld, O. Stasyk, L. A. Kunz-Schughart Single amino acid arginine starvation efficiently sensitizes cancer cells to canavanine treatment and irradiation, *Inter. Journal of Cancer*. 2012, Vol. 130, Issue 9. P. 2164–2175.
- [4]. S. M. Morales Cystinuria: diagnosis and therapeutic approach. *An. Sist. Sanit. Navar.* 2011, Vol. 34, Issue 3. P. 453–461.
- [5]. H. Z. Haida, N. Ye. Stasiuk, M. V. Honchar. *Metody analizu l-argininu // Biotechnologia acta*, 2014, Vol. 7(1). P. 31–39 (*in Ukrainian*).
- [6]. O. V. Soldatkina, O. O. Soldatkin, T. P. Velychko, V. O. Prilipko, M. A. Kuibida, S. V. Dzyadevych, Conductometric biosensor for arginine determination in pharmaceuticals. *Bioelectrochemistry*, 2018, Vol. 124, Pages 40–46.
- [7]. M. Shelyakina, V. Arkhypova, O. Saiapina, B. Akata, S. Dzyadevych, Urease-based ISFET biosensor for arginine determination. *Talanta*, 2014, Vol. 121, P. 18–23.
- [8]. N. Verma, A.K. Singh, P.J. Kaur, Biosensor based on ion selective electrode for detection of L-arginine in fruit juices, *Anal. Chem.* 2015, Vol. 70. P. 1111–1115.
- [9]. V. G. Mel'nik, A. D. Vasilenko, A. E. Dudchenko, V. D. Pogrebnyak, *Issledovaniya podavleniya sinfaznoj pomekhi v biosensornoj konduktometrisheskoj sisteme s differencial'nymi datchikami. Sensor Electronics and Microsystem Technologies* 2014, Vol. 11, № 3, C. 49–61 (*in Russian*).
- [10]. S. V. Dziadevych *Konduktometrychni fermentni biosensory: teoriia, tekhnolohiia, zastosuvannia. Biopolimery i klityna* 2005, Vol. 21, C. 91–106 (*in Ukrainian*).

Стаття надійшла до редакції 15.05.2021 р.

UDC 543.555+577.15

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235200

## DEVELOPMENT OF ARGININE DEIMINASE BASED CONDUCTOMETRIC BIOSENSOR FOR ARGININE DETERMINATION

*O. O. Soldatkin<sup>1,2</sup>, I. S. Kucherenko<sup>1,2</sup>, O. Ya. Sayapina<sup>1</sup>, D. Yu. Kucherenko<sup>1</sup>, S. V. Marchenko<sup>1</sup>, A. P. Soldatkin<sup>1,2</sup>, S. V. Dzyadevych<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Molecular Biology and Genetics, NAS of Ukraine, 150 Zabolotnogo str., 03680, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Taras Shevchenko Kyiv National University, 64 Volodymyrska str., 01601, Kyiv, Ukraine

### Summary

L-arginine plays an important role in cell division, protein synthesis, immune reactions, wound healing, and has a lot of other biological functions. When the amount of arginine-derived substances decreases significantly, it can be harmful for health and even life-threatening. L-arginine is an important biomarker of a number of metabolic disorders. At present, spectrophotometry, fluorimetry, chromatography, polarography, high performance liquid chromatography, etc. are used to analyze the L-arginine concentration throughout the world. These methods are rather complex and expensive, they require complex pretreatment of samples. Biosensors may be an alternative to known techniques.

**The aim** of this work was to develop a new conductometric monoenzyme biosensor for arginine concentrations determination

**Methods:** The conductometric method of analysis with differential measurement mode was used in the work. Two pairs of gold interdigitated electrodes deposited on a sital substrate were used as a

conductometric transducer. To create a bioselective element of the monoenzyme biosensor we used the arginine deiminase, which was immobilized on the surface of the physical transducer by covalent crosslinking of glutaraldehyde with bovine serum albumin.

**Results:** An effect of the solution characteristics (ionic strength, buffer capacity) on the biosensor functioning was studied. The proposed monoenzyme biosensor was shown to have high sensitivity to arginine and good selectivity towards possible interferents. The main analytical characteristics of the developed biosensor have been studied.

**Conclusion:** The linear range of determination was from 10 to 800  $\mu\text{M}$  arginine. The minimum limit of monoenzyme biosensor detection - 5  $\mu\text{M}$ . The biosensor sensitivity to arginine is 72  $\mu\text{S}/\mu\text{M}$ . The developed biosensor was demonstrated to be promising for the arginine analysis in real samples.

**Keywords:** arginine, conductometry, biosensor, immobilized enzyme, arginine deiminase

УДК 543.555+577.15

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235200

## РОЗРОБКА КОНДУКТОМЕТРИЧНОГО БІОСЕНСОРА НА ОСНОВІ АРГІНІНДЕІМІНАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АРГІНІНУ

*О. О. Солдаткін<sup>1,2</sup>, І. С. Кучеренко<sup>1</sup>, О. Я. Саяпіна<sup>1</sup>, Д. Ю. Кучеренко<sup>1</sup>,  
С. В. Марченко<sup>1</sup>, О. П. Солдаткін<sup>1,2</sup>, С. В. Дзядевич<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Інститут молекулярної біології та генетики НАН України,  
вул. Заболотного, 150, 03680, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
вул. Володимирська, 64, 01003, м. Київ, Україна

e-mail авторів: alex\_sold@yahoo.com, kucherenko.i.s@gmail.com, oysaiapina@gmail.com,  
svmarchenkosv@gmail.com, a\_soldatkin@yahoo.com, dzyad@yahoo.com

### Реферат

Амінокислота L-аргінін відіграє важливу роль в поділі клітин, загоюванні ран, синтезі білку, імунних реакціях і багатьох інших біологічних функціях. Коли кількість аргінін-похідних речовин значно зменшується, це може бути шкідливим для здоров'я і навіть небезпечним для життя. L-аргінін є важливим біомаркером низки захворювань, пов'язаних з порушенням обміну речовин. На даний момент в світі для аналізу концентрації L-аргініну використовують такі методи як спектрофотометрія, флуориметрія, хроматографія, полярографія, високоефективна рідинна хроматографія та інші. Запропоновані методи є досить складними, дороговартісними та потребують складної попередньої підготовки проб. Альтернативою відомим методикам можуть бути біосенсиори.

**Мета** даної роботи полягала в розробці нового кондуктометричного ферментного біосенсора для селективного визначення концентрацій аргініну.

**Методи дослідження:** В роботі застосовували кондуктометричний метод аналізу з диференційним режимом вимірювання. Як кондуктометричний перетворювач використовувались дві пари золотих гребінчастих електродів, нанесених на силалову підкладку. Для створення біоселективного елементу моноферментного біосенсора використовували аргініндеїміназу, яка була іммобілізована ковалентною зшивкою глутаровим альдегідом з бичачим сироватковим альбуміном на поверхні фізичного перетворювача.

**Результати дослідження:** В роботі було перевірено вплив параметрів розчину (іонна сила, буферна ємність) на функціонування біосенсора для визначення аргініну. Показано, що запропонований моноферментний біосенсор характеризувався гарною селективністю відносно можливих інтерферуючих речовин. Досліджено основні аналітичні характеристики розробленого біосенсора при визначенні концентрацій аргініну.

**Висновки:** Запропонований біосенсор характеризувався високою чутливістю до аргініну (мінімальна границя визначення – 5 мкМ). Лінійний діапазон біосенсорного визначення аналіту був від 10 до 800 мкМ. Чутливість біосенсора до аргініну - 72 мкСм/мМ. Показано, що розроблений біосенсор є перспективним для застосування при аналізі аргініну в реальних зразках.

**Ключові слова:** аргінін, кондуктометрия, біосенсор, іммобілізований фермент, аргінін-деїміназа

# МАТЕРІАЛИ ДЛЯ СЕНСОРІВ

---

## SENSOR MATERIALS

---

---

УДК 621.32; 535.37

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235202

### СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПЛІВКАХ НА ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ ГЕТЕРОСИСТЕМИ «СКЛО – КЛАСТЕРИ Ag-Pd» – Sn-Pb

Я. І. Лепіх, Т. І. Лавренова, А. П. Балабан

*Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при ОНУ  
імені І. І. Мечникова,  
e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua*

### СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПЛІВКАХ НА ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ ГЕТЕРОСИСТЕМИ «СКЛО – КЛАСТЕРИ Ag-Pd» – Sn-Pb

Я. І. Лепіх, Т. І. Лавренова, А. П. Балабан

**Анотація.** Досліджено структурно-фазові перетворення у плівках на границі розділу гетеросистеми «скло – кластери Ag-Pd» – Sn-Pb.

Встановлено зв'язок цих перетворень з дисперсністю вихідних компонентів матеріалів системи за однакових температурних режимів обробки плівкових елементів.

Показано, що структурно-фазові перетворення в контактних елементах мікроелектронних пристроїв гібридних інтегральних схем, сенсорів, сонячних елементів тощо виготовлених з функціональних матеріалів на основі вказаної системи можуть призводити до деградаційних процесів і, як наслідок, до зниження надійності радіоелектронних виробів.

**Ключові слова:** гетеросистеми «скло – кластери», границя поділу, структурно-фазові перетворення

### STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS IN FILMS AT THE INTERFACE OF THE HETEROSYSTEM “GLASS - CLUSTERS Ag-Pd” – Sn-Pb

Ya. I. Lepikh, T. I. Lavrenova, A. P. Balaban

**Abstract.** Structural-phase transformations in films at the interface of the heterosystem "glass - Ag-Pd clusters" – Sn-Pb have been investigated.

The relationship between these transformations and the initial system material component dispersion is established at the same film element temperature operating mode.

It is shown that structural-phase transformations in contact elements of hybrid integrated circuits microelectronic devices, sensors and solar cells, etc. made of functional materials based on the specified heterosystem can lead to degradation processes and, as a consequence, to a decrease in the electronic product reliability.

**Keywords:** heterosystems "glass - clusters", interface, structural-phase transformations

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ПЛЕНКАХ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ГЕТЕРОСИСТЕМЫ «СТЕКЛО - КЛАСТЕРЫ Ag-Pd» – Sn-Pb

*Я. И. Лепих, Т. И. Лавренова, А. П. Балабан*

**Аннотация.** Исследованы структурно-фазовые превращения в пленках на границе раздела гетеросистемы «стекло - кластеры Ag-Pd» – Sn-Pb.

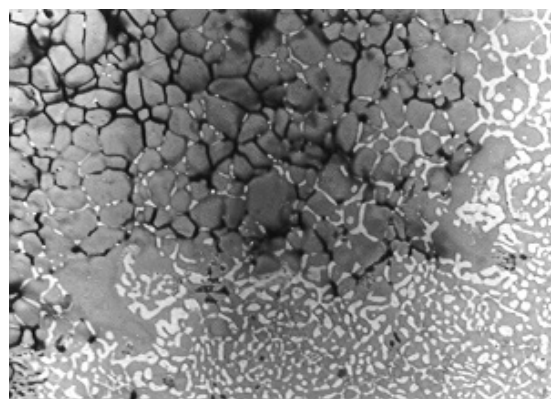
Установлена связь этих преобразований с дисперсностью исходных компонентов материалов системы при одинаковых температурных режимах обработки пленочных элементов.

Показано, что структурно-фазовые превращения в контактных элементах микроэлектронных устройств гибридных интегральных схем, сенсоров, солнечных элементов и т.п. изготовленных из функциональных материалов на основе указанной системы могут приводить к деградиационным процессам и, как следствие, к снижению надежности радиоэлектронных изделий.

**Ключевые слова:** гетеросистемы «стекло - кластеры», граница раздела, структурно-фазовые превращения

### Вступ

Одним з основних матеріалів, що використовуються для виготовлення провідників і контактних площадок (КП) товстоплівкових елементів в мікроелектронних пристроях (МЕП), (гібридних інтегральних схемах (ГІС) сенсорах, сонячних батареях та інших виробів мікро- і радіоелектроніки) є провідникові пасти на основі срібла (Ag) і системи срібло-паладій (Ag-Pd) [1, 2]. Виводи компонентів МЕП приєднуються до контактних площадок, виконаних, зокрема, за товстоплівковою технологією, різними методами: адгезійним з'єднанням, паянням, термокомпресією. Найбільш поширеним способом отримання контакту в мікроелектроніці є паяння низькотемпературними пастоподібними олов'яно-свинцевими припоями. Проте, як показали дослідження, якість низькотемпературного паяння в даний час недостатньо висока. На практиці відмови провідникових контактних елементів, що відбуваються в мікроелектронних пристроях, пов'язані з частковим або повним руйнуванням контактів з їх деградацією [3–5] (рис. 1).



**Рис. 1.** Руйнування контактної Ag-Pd – Sn-Pb площадки. Растровий електронний мікроскоп. Режим накладення вторинних і відбитих електронів. Збільшення 1000x

До теперішнього часу в літературі немає однозначного пояснення структурно-фазовим перетворенням і пов'язаних з ними причинами деградації властивостей цих матеріалів. Тому, в даній роботі ставилася задача дослідження структурно-фазових перетворень на межі розділу «скло - кластери Ag, Pd» – Sn - Pb.

### Дослідження і обговорення результатів

Для виявлення чинників, перешкоджаючих процесам розчинення і взаємної дифузії Ag-Pd в розплаві Sn-Pb, які згодом призводять до руйнування контактів Ag-Pd – Sn-Pb, проводився порівняльний аналіз структурних особливостей і хімічного складу системи підкладка - Ag-Pd – Sn-Pb для тест-плат 2-х груп: група А і група Б, що відрізнялися між собою дисперсністю вихідних компонентів.

Встановлено, що для зразків групи Б адгезія системи скло-Ag-Pd – Sn-Pb з керамічною підкладкою складає 10 – 7,8 МПа і при прискорених випробуваннях (температура - 130° С, відносна вологість - 98%.) протягом 200 годин зменшується незначно (від 10 до 5 МПа), а після 160 годин випробувань не змінюється. Для зразків групи А (дрібнодисперсні) за тих же умов спостерігається повне руйнування контактів після 20 хвилин випробувань.

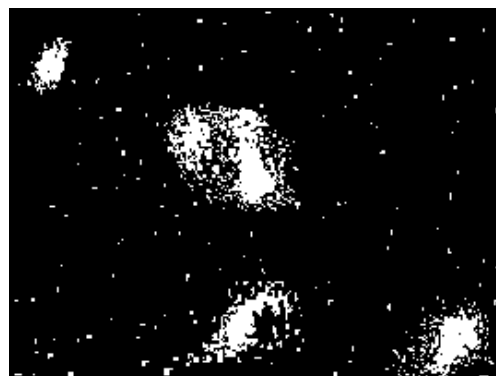
Структуру і хімічний склад на межі розділу підкладка – скло-Ag-Pd – Sn-Pb досліджували методами растрової електронної мікроскопії в режимі рентгенівського мікроаналізу (РМА), методом повторної іонної мас-спектроскопії (ПІМС) і ІЧ-спектроскопії багатократного порушеного повного внутрішнього відбиття (БПВВ).

Аналізовані об'єкти – контактні площадки, відокремлені від керамічної підкладки стандартним методом відриву провідника, припаяного до товстоплівкового шару. При цьому досліджувалися як поверхня провідника в області зчеплення з підкладкою, так і подальші товстоплівкові шари після хімічного і іонного травлення адгезійного шару. Слід зазначити, що для тест-плат групи А мало місце механічне відділення по межі розділу КП - підкладка і часткове руйнування товстоплівкового шару. Для тест-плат групи Б відрив відбувався в області керамічної підкладки, при цьому сила зчеплення КП з підкладкою для зразків цієї групи була приблизно на порядок вища.

Результати досліджень свідчать про сильне розчинення функціонального матеріалу товстоплівкового провідника в олов'яно-свинцевому розплаві у зразків, виготовлених з використанням паст групи А. У зразків цієї групи поширо-

вий РМА адгезійної області підкладка – скло-Ag-Pd – Sn-Pb показав наявність інтенсивних сигналів характеристичного рентгенівського випромінювання Sn і Pb навіть на межі розділу КП - підкладка. За результатами напівкількісного РМА встановлено зміну співвідношення концентрацій основних компонентів припою. Інтенсивність сигналу характеристичного рентгенівського випромінювання Sn на межі розділу КП - підкладка збільшується в 1,5 рази в порівнянні з інтенсивністю сигналу Sn в чистому припої Sn-Pb. Крім того, у зразків цієї групи пошироковий РМА адгезійної області показав наявність сильного сигналу Sn навіть в приповерхневих шарах кераміки на глибині ~ 3 мкм, що свідчить про практично повне розчинення в процесі взаємодії функціонального матеріалу КП в розплаві Sn-Pb (рис 2.).

У зразків групи Б на межі розділу КП – керамічна підкладка компонентів розплав не знайдено.



**Рис. 2. Зображення поверхні КП після відриву від керамічної підкладки у характеристичному рентгенівському випромінюванні Ag (світлі області). Виявлено сильне розчинення срібла після паяння**

Мас-спектрометрія і РМА показали ідентичність елементного складу контактних площадок зразків обох груп: основні елементи -Ag, Pd, Si, Al, Ca, Mg, K, Ti, O, C, H, домішкові (на рівні шумів) – Fe, Cu, Na, Ni, Cr, B, N, Zn. Відмінність полягає в кількісному вмісті домішкових елементів і фазовому складі досліджуваних об'єктів.

У зразків групи Б при дослідженні методом ПІМС межі розділу КП -підкладка і тіла



КП після хімічного і подальшого іонного усунення адгезійного шару встановлено, що Pd на межі розділу практично відсутній, також встановлено значне зменшення вмісту Ag. Так на мас-спектр пік Ag в області контакту КП з підкладкою з'явився при  $U=150$  В, в тілі КП – при  $U=15$  В, в той час, як елементи кераміки реєструвалися вже при  $U=50$  В. Зменшення інтенсивності піків Ag, Pd на межі розділу товстоплівковий шар - підкладка відбувається унаслідок утворення між вказаними елементами і іншими компонентами кераміки сильних хімічних зв'язків, що утрудняє і зменшує емісію іонів  $Ag^+$ ,  $Pd^+$ . Крім того, в мас-спектрі контактних площадок зразків групи Б зареєстровані іони, які є осколками сполук  $AgPd$  і  $Ag_2Pd_3$ . Подібні з'єднання ущільнюють структуру і перешкоджають процесам дифузії і розчинення матеріалу КП в розплаві Sn-Pb.

В мас-спектрі КП групи Б (на відміну від КП групи А) спостерігаються іони з масовими числами 41 і 57, відповідні гідратованим  $MgOH^+$ ,  $CaOH^+$  і  $MgHO^{2+}$ . Інтенсивність піку з масовим числом 56 (CaO) на порядок менше, що свідчить про наявність Ca в КП групі А у вигляді оксиду CaO, а в КП групи Б - переважно в гідратній формі. Крім того, у КП групи Б інтенсивність піку з масовим числом 24 (що відповідає іону  $Mg^+$ ) в двічі менша ніж у КП групи А. Отже, в КП групи Б Mg знаходиться в складі складного хімічного з'єднання.

В мас-спектрі КП групи Б (на відмінність від КП групи А) спостерігається інтенсивний пік іона  $H_2O^+$ . Поява катіонів  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Al^{3+}$  з OH-групами і іона  $H_2O^+$  обумовлено особливостями технологічного процесу відпалу провідникових паст, оскільки початкові пасти обох груп за своїм хімічним складом практично не відрізняються.

ІЧ-спектроскопія БППВВ адгезійної області і поверхні КП групи Б також показала наявність OH-груп. Присутність гідратованих іонів і зв'язаної води можна пояснити утворенням сольватних і гідратних структур.

У разі утворення сольватних систем в скляній матриці виділяються фази складної просторової структури, наприклад, типу  $Me(OH_2)_k^1$ . Природно, що просторово-складні структури блокують дифузію Sn в матрицю і перешко-

джають розчиненню інших її компонентів (Ag, Pd) в розплаві припою.

Для КП групи А характерна просторова ущільнена структура (механічна суміш оксидів), що викликає капілярне затікання Sn при паянні і взаємодифузію Ag і Pd в Sn, тобто розчинення функціонального матеріалу площадки в розплаві.

### Висновки

Дослідженням встановлено, що утворення у вихідній скляній матриці інтерметалічних з'єднань  $Ag_xPd_y$  і сольватних систем складної просторової структури типу  $Me(OH_2)_k^1$  блокує дифузію олова у матрицю і перешкоджає розчиненню інших її компонентів (Ag, Pd) у розплаві олово-свинець.

При наявності у скляній матриці інтерметалічних сполук  $Ag_xPd_y$  і сольватних систем складної просторової структури типу  $Me(OH_2)_k^1$  адгезія товстої півки з керамічною підкладкою зростає і становить 5-10 МПа.

### Список використаної літератури

- [1]. V. Alexiades, A. D. Solomon. Mathematical Modeling of Melting and Freezing Processes. – Washington DC: Hemisphere Publ. Co, 1993. – 323 p.
- [2]. Javierre-Pérez E. Literature Study: Numerical methods for solving Stefan problems, Report 03-16. – Delft.: Delft University of Technology, 2003. – 94 p.
- [3]. Caldwell J., Kwan Y. Y. Numerical methods for one-dimensional Stefan problems // Commun. Numer. Meth. Engng. – 2004. – №20. – P. 535–545.
- [4]. Krasnoshlyk N. A., Bogatyryov A. O. Chislennoe reshenie zadach s podvizhnymi mezhfaznymi granicami // Visnik Cherkas'kogo universitetu. Seriya «Prikladna matematika. Informatika». – 2011. – Т. 194. – S. 16–31 (in Russian).
- [5]. Lepikh Ya. I., Lavrenova T. I., Sadova N. M. ta in. Strukturno-fazovi peretvorennia i elektrofizychni vlastyvoli kompozytsiinykh materialiv na bazi systemy “ $SiO_2-B_2O_3-Bi_2O_3-ZnO-BaO$ ” // SEMST. – 2018– Vol.15, № 4.- PP. 31-40. DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2018.4.150507> (In Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 28.05.2021 р.

UDC 621.32; 535.37

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235202

## STRUCTURAL-PHASE TRANSFORMATIONS IN FILMS AT THE INTERFACE OF THE HETEROSYSTEM "GLASS - CLUSTERS Ag-Pd" – Sn-Pb

*Ya. I. Lepikh, T. I. Lavrenova, A. P. Balaban*

*Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and NAS of Ukraine  
at the Odesa I. I. Mechnykov National University  
e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua*

### Summary

Structural-phase transformations in films at the interface of the heterosystem "glass - Ag-Pd clusters" – Sn-Pb have been investigated.

The relationship between these transformations and the initial system material component dispersion is established at the same film element temperature operating mode.

It is shown that structural-phase transformations in contact elements of hybrid integrated circuits microelectronic devices, sensors and solar cells, etc. made of functional materials based on the specified heterosystem can lead to degradation processes and, as a consequence, to a decrease in the electronic product reliability.

The microelectronic devices component outputs are connected to the contact pads, made, in particular, by thick-film technology, by various methods: adhesive bonding, soldering, thermocompression. The most common way to obtain contact in microelectronics is soldering with low-temperature paste-like tin-lead solders. However, as studies have shown, the quality of low-temperature soldering is at the present time not high enough. In practice, failures of conductive contact elements occurring in microelectronic devices are connected with partial or complete contact destruction, with their degradation

**Keywords:** heterosystems "glass - clusters", interface, structural-phase transformations

УДК 621.32; 535.37

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235202

## СТРУКТУРНО-ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПЛІВКАХ НА ГРАНИЦІ РОЗДІЛУ ГЕТЕРОСИСТЕМИ «СКЛО – КЛАСТЕРИ Ag-Pd» – Sn-Pb

*Я. І. Лепіх, Т. І. Лавренова, А. П. Балабан*

*Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України при ОНУ  
імені І. І. Мечникова, e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua*

### Реферат

Досліджено структурно-фазові перетворення у плівках на границі розділу гетеро системи «скло – кластери Ag-Pd» – Sn-Pb.

Встановлено зв'язок цих перетворень з дисперсністю вихідних компонентів матеріалів системи за однакових температурних режимів обробки плівкових елементів.

Показано, що структурно-фазові перетворення в контактних елементах мікроелектронних пристроїв гібридних інтегральних схем, сенсорів та сонячних елементів тощо виготовлених з функціональних матеріалів на основі вказаної гетеросистеми можуть призводити до деградаційних процесів і, як наслідок, до зниження надійності радіоелектронних виробів.

Виводи компонентів МЕП приєднуються до контактних площадок, виконаних, зокрема, за товстоплівковою технологією, різними методами: адгезійним з'єднанням, паянням, термокомпресією. Найбільш поширеним способом отримання контакту в мікроелектроніці є паяння низькотемпературними пастоподібними олов'яно-свинцевими припоями. Проте, як показали дослідження, якість низькотемпературного паяння в даний час недостатньо висока. На практиці відмови провідникових контактних елементів, що відбуваються в мікроелектронних пристроях, пов'язані з частковим або повним руйнуванням контактів, з їх деградацією

**Ключові слова:** гетеросистеми «скло – кластери», границя поділу, структурно-фазові перетворення

# СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

---

## SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

---

---

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

### ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

*В. І. Сантоній, Я. І. Лепіх, В. І. Янко, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при Одеському Національному університеті імені І. І. Мечникова  
e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

### ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

*В. І. Сантоній, Я. І. Лепіх, В. І. Янко, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська*

**Анотація.** Описано метод формування діаграми спрямованості (ДС) оптико-електронної системи (ОЕС) з можливістю керування нею у просторі. Обґрунтовано та створено спосіб формування зони виявлення об'єкта локації складної форми у приймально-передавальній оптичній системі за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК). Вирішена задача по створенню кругової зони огляду багатоканальної ОЕС, призначеної для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях.

За результатами лабораторних випробувань розробленої 6-канальної ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС.

**Ключові слова:** оптико-електронна система, діаграма спрямованості, об'єкт локації, випромінювач, фотоприймач, оптоволоконний кабель, моделювання

### FORMATION OF THE OPTOELECTRONIC SYSTEM DIRECTIONAL DIAGRAM USING FIBER-OPTIC CABLE

*V. I. Santoniy, Ya. I. Lepikh, V. I. Yanko, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiynskaya*

**Abstract.** The method of forming directional diagrams (RD) with the possibility of controlling it in space is described. The method of forming of the object location detection zone of complex shape in the transmitter-receiver optical system with the help of fiber-optic cables (OIC) is substantiated

and created. The problem of a circular field of view of a multi-channel optoelectronic system (ECO) creating, designed for advanced high-speed objects at short distance detection has been solved.

According to the results of laboratory tests of the developed ECO model is established that in the working range of distances of a location of 0,5 ... 10,0 m reliable detection of the target high-speed and high-precision registration of object in all DS directions is reached.

**Keywords:** optoelectronic system, directional diagram, object of location, emitter, photodetector, fiber-optic cable, modeling

## ФОРМИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ ОПТОВОЛОКОННОГО КАБЕЛЯ

*В. И. Сантоний, Я. И. Лепих, В. И. Янко, И. А. Иванченко, Л. М. Будиянская*

**Аннотация.** Описан метод формирования диаграммы направленности (ДН) оптико-электронной системы (ОЭС) с возможностью управления ею в пространстве. Обосновано и создан способ формирования зоны обнаружения объекта локации сложной формы в приемо-передающей оптической системе с помощью оптоволоконных кабелей (ОВК). Решена задача по созданию круговой зоны обзора многоканальной ОЭС, предназначенной для опережающего выявления высокоскоростных объектов на малых расстояниях.

По результатам лабораторных испытаний разработанной 6-канальной ОЭС установлено, что в рабочем диапазоне дистанций локации 0,5 ... 10,0 м достигнуто надежное обнаружение скоростной цели и высокоточная регистрация объекта во всех направлениях ДН.

**Ключевые слова:** оптико-электронная система, диаграмма направленности, объект локации, излучатель, фотоприемник, оптоволоконный кабель, моделирование

### Вступ

Досягнення високого рівня розпізнавання об'єкта локації на малих відстанях оптико-електронними засобами пов'язане з необхідністю визначення стійких ознак відбитого сигналу в умовах завад і значних часових обмежень. Час поширення випромінювання на відстані декількох метрів становить порядку наносекундних значень, що істотно ускладнює виявлення та розпізнавання високошвидкісних об'єктів методами оптичної локації.

В [1] описані наносекундні оптико-електронні триканальні вимірювачі відстані для орієнтації літальних апаратів при горизонтальній посадці, що забезпечують достовірний вимір відстані до перешкод в нижній півсфері та в бічній області простору. Також відоме застосування наносекундних далекомірних датчиків в оптико-електронних системах (ОЕС) для розпізнавання тривимірних зображень [2, 3].

Однак, відсутні в них рішення по створенню кругової зони огляду наносекундних ОЕС, призначених для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях, актуалізує проблему формування у приймально-передавальній оптичній системі ДС складної форми – задача, вирішенню якої присвячена дана робота.

### Метод формування ДС ОЕС

Важливою характеристикою ОЕС кругового огляду є кутове просторове розрізнення, котре визначає кутову точність показання координат об'єктів. Багатоканальний принцип побудови оптичної системи ОЕС дозволяє досягти точності визначення кутових координат не гірше однієї кутової хвилини [4]. Виходячи з цього основою розробленої ОЕС є 6-канальна схема, кожний канал якої містить приймально-передавальні оптико-електронні модулі (ОЕМ) зі сформованими протяжними зонами реєстрації об'єкта локації (рисунок 1).

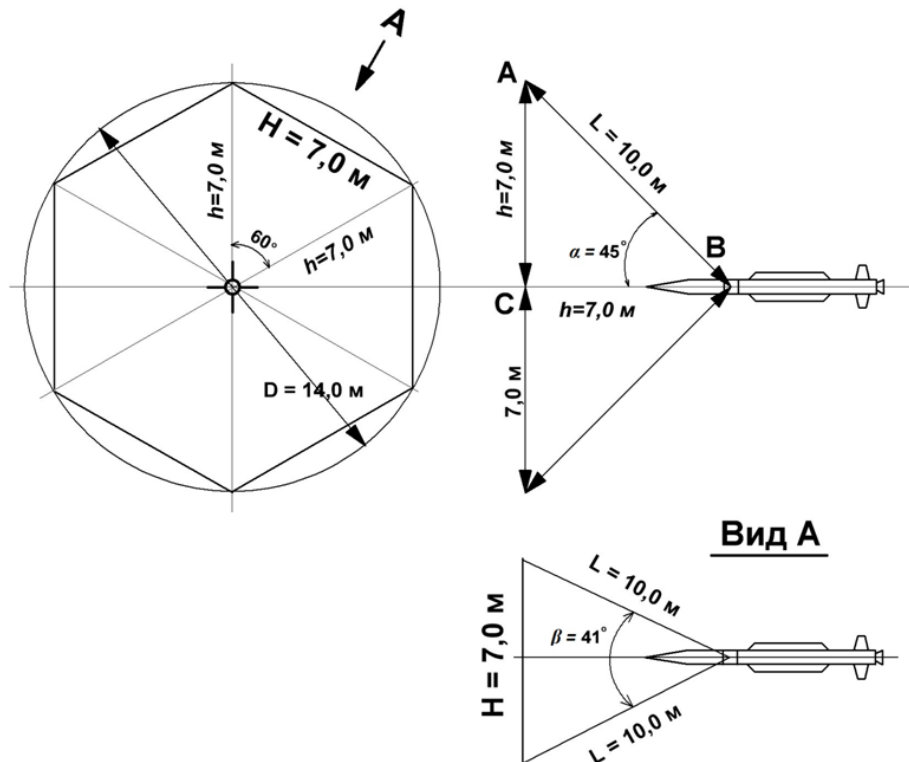


Рис. 1. Зона виявлення ОС.

$L = AB$  – відстань до об'єкта,  $BC$  – вісь ОЕС,  $H$  – довжина смуги опромінення окремого каналу,  $\alpha$  – кут місця каналу,  $\beta$  – кут поля зору каналу

У випадку необхідності виявлення об'єкта на певній відстані, наприклад,  $L = AB = 10$  м під кутом місця  $\alpha = 45^\circ$ , відносно вісі  $BC$  6-канальної ОЕС, довжина смуги опромінення  $H$  кожного каналу виходячи з співвідношень трикутника визначається як:

$$H = L \sin \alpha. \quad (1)$$

Відповідно до (1),  $H = 7$  м (рисунок 1).

Кут поля зору  $\beta$  одного каналу становить (рисунок 1, вид А)

$$\beta = 2 \arcsin \frac{0,5H}{L}. \quad (2)$$

Відповідно із співвідношеннями (1) та (2)  $\beta = 41^\circ$  для значень  $H$  та  $L$ .

Схема створює у площині, перпендикулярній вісі ОЕС, кругову зону виявлення з азимутальним кутовим полем  $360^\circ$  та з секторним кутом  $60^\circ$ , відповідним полю зору кожного з шести ОЕМ.

Формування складу ОЕМ окремого каналу ОЕС обумовлюється досягненням оптималь-

них енергетичних співвідношень у сполученні з конструктивними обмеженнями. Поле зору оптичної системи кожного з шести ОЕМ формується за допомогою двох об'єктивів – передавального та приймального. Властивості обох об'єктивів залежать від лінійного збільшення збирального елемента, для якого справедливо співвідношення [5-6]

$$H = h \frac{L}{l}, \quad (3)$$

де:  $H$  – розмір об'єкта (у даному випадку це смуга опромінення);

$h$  – розмір зображення об'єкта;

$L$  – відстань від об'єкта до збирального елемента;

$l$  – відстань від зображення об'єкта до збирального елемента або фокусна відстань.

Згідно співвідношенню (3) величини тіла світіння випромінювача і чутливого майданчика фотоприймача (ФП) для заданої величини протяжності зони опромінення поверхні об'єкта пропорційні відношенню вимірюва-

ної відстані до фокусної відстані відповідного об'єктива.

Головною вимогою до передавального об'єктива є забезпечення трансляції у напрямку об'єкта всього потоку випромінювання, що поширюється у тілесному куті  $\beta$ . Вимога задовольняється шляхом використання плоскоопуклої або двоопуклої лінзи з мінімальними діаметром і фокусною відстанню.

Приймальний об'єктив, призначений для збирання відбитого від об'єкта випромінювання, передбачає застосування оптичного елемента з максимально можливою, виходячи із конструктивних параметрів, площею поверхні, яка визначає рівень сигналу фотоприймального каналу.

Таким чином, при обмеженій загальній площі поверхні для розміщення передавального і приймального об'єктивів основну її частину повинен займати збиральний оптичний елемент фотоприймального каналу. Стандартне юстирування ОЕС передбачає забезпечення рівності поздовжніх розмірів полів зору передавального та приймального об'єктивів і перевищення вдвічі ширини поля зору приймального об'єктива відносно ширини зони опромінення поверхні об'єкта з метою оптимізації просторово-енергетичного розподілу потужності сигналу, що зондує.

Кругова зона огляду багатоканальної ОЕС створюється шляхом формування у кожному каналі ДС у вигляді смуги. Відповідно співвідношенню (3) довжина смуги опромінення  $H$  визначається розмірами тіла світіння випромінювача  $B$  і чутливого майданчика ФП при певному відношенні вимірюваної відстані до фокусної відстані відповідного об'єктива.

Конструктивні обмеження, властиві далекомірним ОЕС, які працюють у ближній зоні, а також використання зондуючого випромінювання з тривалістю імпульсів наносекундного діапазону, змушують застосовувати випромінювач та ФП з малорозмірними тілами світіння і фоточутливими майданчиками. Наслідком цього є обмеження у розмірі об'єкта виявлення, які можливо усунути шляхом формування протяжної ДС передавального та приймального об'єктивів ОЕС [7].

Існує декілька методів формування смуги опромінення поверхні об'єкта локації. Один із них полягає у використанні такої кількості випромінювачів та ФП, розташованих лінійно, яка, в результаті підсумовування ДС окремих елементів, утворить на поверхні об'єкта світлову смугу випромінювача та поле зору ФП необхідних розмірів [8]. Така багатоелементна оптична та випромінювальна система не є оптимальною внаслідок ускладнення просторово-енергетичних характеристик ОЕС у частині юстирування оптичної складової та підвищення енергоємності пристрою. Більш оптимальним є застосування циліндричної лінзи, використання якої дає можливість випромінювачу подовжувати смугу опромінення поверхні об'єкта локації. Тим не менш, загальна зона опромінення необхідного розміру та потужності також створюється шляхом поєднання декількох об'єктивів з циліндричними лінзами.

Формування зони фоточутливості приймального каналу зі значними поздовжніми і мінімальними поперечними розмірами також являє собою складну задачу. Відбита протяжна смуга опромінення поверхні об'єкта локації на вході приймального об'єктива перетворюється у фокальній площині приймального об'єктива у її протяжне зображення, яке регламентує протяжність зони чутливості ФП. Формування зони фоточутливості можливе шляхом створення лінійки ФП [9, 10].

Точність вимірювання безперервного сигналу збільшується зі зростанням числа елементів лінійки ФП, що досягається зменшенням розміру елемента і ширини розділового проміжку. Досягнутий дозвіл в лінійці становить 10 ... 15 мкм при загальній кількості елементів порядку  $10^3$ , для діапазону відстаней ближньої локації забезпечує дискретизацію з координування з міліметровою точністю. При цьому наявність значних проміжків між фоточутливими майданчиками, визначуваних розмірами корпусу ФП, викликає переривання чутливості у межах всієї зони. Межа точності вимірювання відстані в 1 мм досягнута також шляхом введення в оптичну систему ФП раstra, який є носієм апріорної інформації про становище об'єкта у вигляді коду, що дозволяє оптичним

методом вирішити задачу його вимірювання [8, 11, 12].

Найбільш ефективним являється пропонуванний засіб формування з мінімальними втратами ДС передавальних та приймальних об'єктивів ОЕС за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК), які забезпечують рівномірність розподілу потужності випромінювання та фотоприйому у площині перетину відповідних ОВК. Головним призначенням ОВК є формування у передавальному об'єктиві тіла світіння, а в приймальному – фоточутливого майданчика необхідної форми та площі. Схема приймально-передавальної оптичної системи ОЕС наведена на рисунку 2.

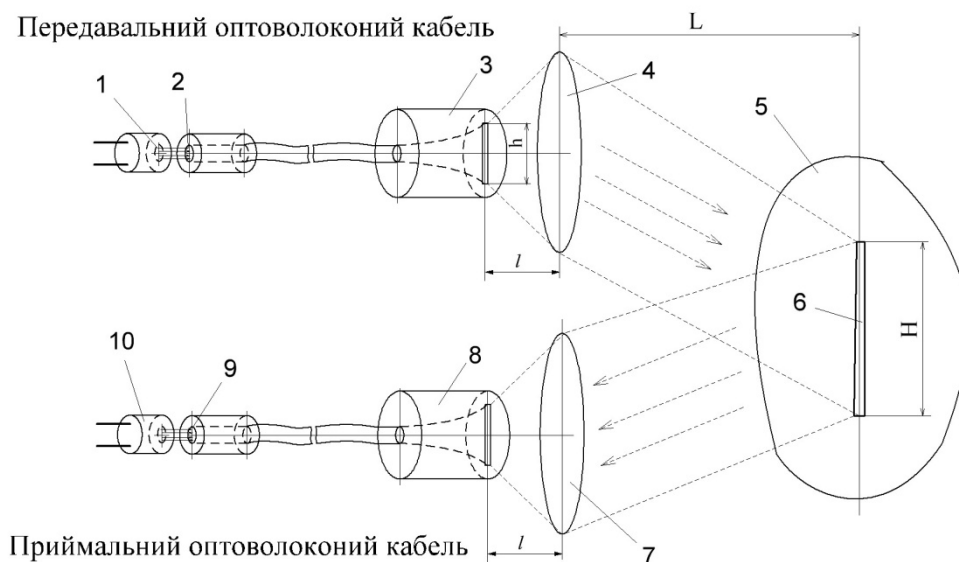
У передавальному ОВК кінець 2 прямокутного перетину розташовується перед вихідним вікном випромінювача 1 та сполучається з ним геометрично за допомогою плоско-опуклої лінзи з метою повного введення випромінювання в ОВК. Кінець 3 передавального ОВК, перетин якого відповідає необхідній формі та площі тіла світіння випромінювача, поєднується з фокальною площиною передавального

об'єктива 4. Випромінювання лазера (випромінювача) спрямовується за допомогою передавального об'єктива 4 на поверхню об'єкта 5 у вигляді смуги 6 необхідного розміру, відбивається та з частковою потужністю захоплюється приймальним об'єктивом 7 і фокусується на поверхні чутливого майданчика ФП 10 [13].

Приймальний ОВК формується дзеркально передавальному. Кінець 8 приймального ОВК, розміри і форма якого співпадають з параметрами зображення відбитого потоку випромінювання, розташовується у фокальній площині приймального об'єктива 7. Кінець 9 круглого перетину з'єднується з вхідним вікном ФП 10, забезпечуючи передачу вхідного потоку випромінювання на фоточутливий майданчик.

У відповідності з рівнянням (3) для одержання на поверхні об'єкта, розташованого на відстані  $L$ , смуги опромінення протяжністю  $H$  необхідно встановити у передавальному об'єктиві на фокусній відстані  $l$  тіло світіння довжиною  $h$

$$h = H \frac{l}{L}. \quad (4)$$



**Рис. 2. Оптична схема ОЕС**

1 – вихідне вікно випромінювача, 2 – кінець прямокутного перетину передавального ОВК, 3 – кінець передавального ОВК з перетином, пов'язаним з формою та площею тіла світіння випромінювача, 4 – передавальний об'єктив, 5 – поверхня об'єкта локації, 6 – смуга опромінення, 7 – приймальний об'єктив, 8 – кінець приймального ОВК з перетином, пов'язаним з формою та площею зображення відбитого випромінювання, 9 – кінець круглого перетину приймального ОВК, 10 – вхідне вікно ФП



За умови мінімізації ширини смуги опромінення кількість оптоволокон  $n$  діаметром  $d$ , розташованих у лінійний ряд у кінці 3 передавального ОВК (рисунок 2), розраховується як

$$n = \frac{h}{d}. \quad (5)$$

Смуга опромінення на поверхні об'єкта має вид лінійної послідовності круглих світлових плям. Загальна площа  $S$  пучка, що складається із  $n$  оптоволокон, дорівнює

$$S = n \frac{\pi d^2}{4}. \quad (6)$$

Діаметр  $D$  пучка оптоволокон вхідного кінця 2 круглого перетину передавального ОВК, створеного шляхом спресовування  $n$  оптоволокон у циліндричній гільзі, з урахуванням (4) дорівнює

$$D = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}} = d\sqrt{n}. \quad (7)$$

Для розрахунку макета ОЕС використані рівняння (3...7), як базові при застосуванні однопінкових приймального та передавального об'єктивів. Довжина хвилі випромінювання обраного для ОЕС лазерного діода SPLPL 90 становить 0,905 мкм. Тіло світіння випромінювача є смугою розмірами  $a \times b = 200 \times 2$  мкм. Максимум кута розбіжності випромінювання у площині, паралельній р-п-переходу, становить  $9^\circ$ , перпендикулярній –  $25^\circ$ . Виходячи із співвідношення (3) для отримання на поверхні об'єкта локації смуги довжиною 7 м передавальна лінза повинна мати фокусну відстань  $l \approx 250$  мкм. Застосування подібних мікролінз неможливо через великі габаритні розміри корпусів лазерних діодів. Відстань від зовнішньої поверхні прозорого вікна корпусу до тіла світіння може сягати величин декількох міліметрів.

Отримання  $H = 7$  м у ОЕС досягнуто в результаті подовження  $h$  з 0,2 мм до 4,55 мм за допомогою передавального ОВК, розрахованого за співвідношенням (4), з використанням передавальної лінзи з  $l = 6,5$  мм та діаметром 9 мм.

Передавальний ОВК сформовано із багатомодових оптоволокон з  $d = 50$  мкм, орієнтова-

них для передачі випромінювання з довжиною хвилі 0,9 мкм. Відповідно рівнянню (5) у волоконному світловоді  $n = 91$  шт. При цьому світлова смуга на поверхні об'єкта мала розмір  $7,0 \times 0,077$  м, у відповідності з співвідношенням (3), та вид лінійної послідовності круглих плям. Площа  $S$  вхідного кінця передавального ОВК круглого перетину, який з'єднується з вихідним вікном В, відповідно рівнянню (6) –  $0,18$  мм<sup>2</sup>. Вхідний  $D$  пучка оптоволокон, згідно з співвідношенням (7), складає  $\sim 0,48$  мм. На рисунку 3 наведена оптична схема введення випромінювання лазера 1 у вхідний кінець передавального ОВК.

З метою повного перехоплювання випромінювання лазера та подальшим введенням у вхідний кінець ОВК підібрана плоско-опукла лінза 2 з  $l = 1,8$  мм та діаметром 3,5 мм. Розмір майданчика опромінення 3 на плоскій поверхні лінзи дорівнює у горизонтальній площині:

$$c = a + 2(\operatorname{tg}4,5^\circ \times l) = 0,252 \text{ мм},$$

у вертикальній площині:

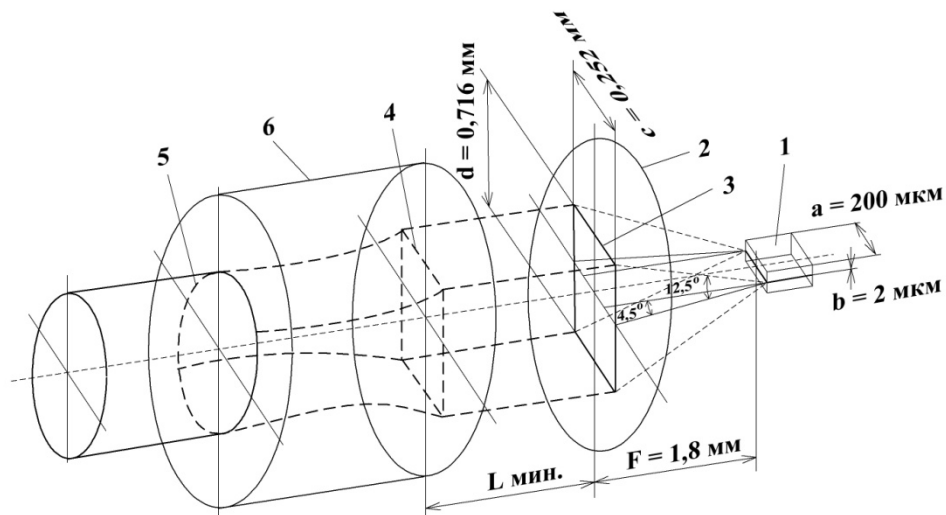
$$d = 2(\operatorname{tg}12,5^\circ \times l) = 0,716 \text{ мм}.$$

Загальна площа майданчика опромінення складає  $\sim 0,18$  мм<sup>2</sup>.

Для узгодження круглої форми пучка оптоволокон ОВК з формою отриманого майданчика опромінення гільза 6 вхідного кінця передавального ОВК виготовляється наступним чином. Оптоволоконам за допомогою спеціального пресування з круглого перетину 5 надається необхідна прямокутна форма 4. При цьому загальна площа усіх оптоволокон зберігається незмінною. Вихідний кінець передавального ОВК, що має розміри та форму подовженого тіла світіння випромінювача розміром 4,55 мм, розташовано у фокальній площині передавального об'єктива.

Спектральний діапазон фоточутливості лавинного фотодіода МТАРD-07-007, який застосовано у розробленій ОЕС, складає 0,4-1,1 мкм з максимумом на довжині хвилі 0,8 мкм. Діаметр кругової області фоточутливості – 0,5 мм.

На засаді попередніх розрахунків для отримання надійного прийому відбитого імпульсного сигналу, що зондує, від поверхні об'єкта локації з коефіцієнтом відбиття у діапазоні 0,1...0,8, з урахуванням складних метеоумов та робочого діапазону дистанцій локації, міні-



**Рис. 3. Оптична схема введення випромінювання випромінювача у вхідний кінець передавального ОВК. 1 – випромінювач (лазер), 2 – плоско-опукла лінза, 3 – майданчик опромінення лінзи 2, 4 – прямокутна форма перетину ОВК, 5 – кругла форма перетину ОВК, 6 – циліндрична гільза;**

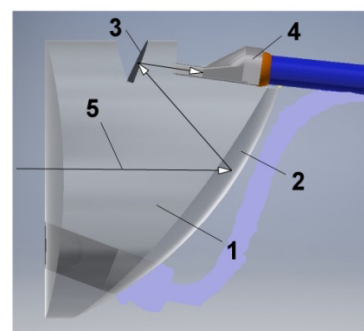
**a – горизонтальний розмір тіла світіння випромінювача, b – вертикальний розмір тіла світіння випромінювача, c – горизонтальний розмір майданчика опромінення 3, d – вертикальний розмір майданчика опромінення 3, L – фокусна відстань лінзи 2**

мальна площа приймального об'єктива складає  $700 \text{ мм}^2$ , що пропорційно концентруючій лінзі діаметром 30 мм. При розмірах зони опромінення на поверхні об'єкта  $7,0 \times 0,077 \text{ м}$  її зображення у фокальній площині приймального об'єктива з фокусною відстанню  $l = 30 \text{ мм}$ , у відповідності з співвідношенням (3), дорівнює  $21,0 \times 0,5 \text{ мм}$ .

Для узгодження з мінімальними втратами зображення зони опромінення поверхні об'єкта локації з площею зони чутливості ФП використано приймальний ОВК ідентичний передавальному в сукупності з дзеркальним оптичним елементом замість приймальної лінзи, що концентрує, діаметром 30 мм.

На рисунку 4 наведені 3D-модель приймального ОВК з дзеркальним оптичним елементом і схема проходження відбитих від поверхні об'єкта променів (рисунок 4, а) та експериментальний зразок, виконаний з органічного скла (рисунок 4, б).

Дзеркальний оптичний елемент 1 циліндричної форми має вхідне вікно діаметром 30 мм. Задня поверхня 2 виконана у вигляді торопараболічного увігнутого дзеркала. Вхідний кінець приймального ОВК 4 закріплено



а



б

**Рис. 4. Приймальний ОВК з оригінальним оптичним елементом/1 – дзеркальний оптичний елемент циліндричної форми, 2 – торопараболічне увігнуто дзеркало, 3 – плоске дзеркало, 4 – вхідний кінець приймального ОВК, 5 – промінь відбитого від поверхні об'єкта випромінювання**

за допомогою оптичного клею. Частина відбитого від поверхні об'єкта випромінювання 5 через вхідне вікно надходить до поверхні 2, фокусується та відбивається у напрямку плоского дзеркала 3 і далі до входу 4 приймального ОВК.

Форма елемента 1 розрахована в програмному середовищі Trace Pro Expert і дозволяє отримати на вході 4 форму відбитого сигналу у вигляді смуги з  $H = 4,55$  мм. Приймальний ОВК трансформує смугу з розмірами  $4,55 \times 0,045$  мм у круглий перетин діаметром  $0,48$  мм. Вихідний кінець приймального ОВК сполучається з чутливою площадкою ФП діаметром  $0,5$  мм. Таким чином, відбитий від поверхні об'єкта локації сигнал з мінімальними втратами надходить до чутливої поверхні ФП. Експериментальний зразок дзеркального оптичного елемента виконаний з органічного скла 3D-фрезеруванням за засади розробленої моделі. Практичний результат формування смугового тіла світіння на виході передавального ОВК макета ОЕС візуалізований на рисунку 5 у вигляді фото,

одержаного завдяки застосуванню у якості випромінювача джерела випромінювання видимого діапазону.



**Рис. 5. Фото дослідного зразка передавального ОВК**

Для визначення перетину ДС передавального і приймального об'єктивів, а також оцінки відношення прийнятої потужності до випромінюваної, в програмному середовищі Trace Pro Expert розроблена комп'ютерна модель поширення випромінювання до поверхні об'єкта та назад у діапазоні відстаней  $1 \dots 10$  м. До складу моделі входить 3D-модель приймального і передавального об'єктивів, перенесена з конструкторської програми Autodesk Inventor.

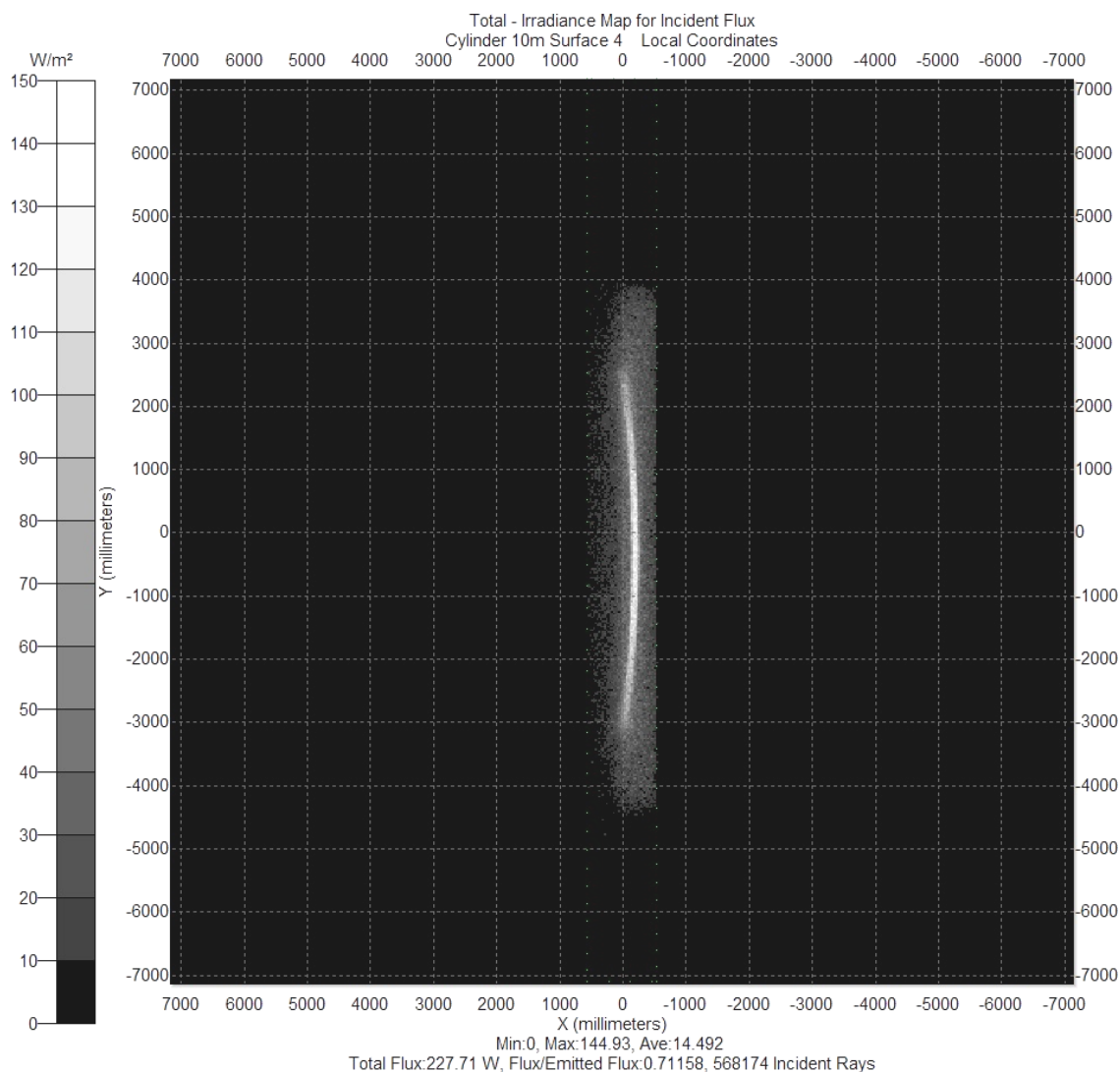
Новий спосіб формування діаграми спрямованості смугової форми оптико-електро-

них пристроїв, розроблений нами, включає формування випромінювання від випромінювача і поля зору фотоприймача оптико-електронного пристрою через елементи, що фокусують. Новизна його визначається тим, що у передавальний та приймальний канали розміщені оптоволоконні кабелі, при цьому вхідний кінець круглого перетину передавального оптоволоконного кабелю сполучається з вихідним вікном випромінювача, а вихідний кінець смугової форми поєднується з фокальною площиною передавального об'єктива. Також у фокальній площині приймального об'єктива розташовується вхідний кінець смугової форми приймального оптоволоконного кабелю, а вихідний кінець круглого перетину сполучається з вхідним вікном фотоприймача.

Для розробки та створення оптимальної структури високоточного 6-канального ОЕС було проведено комп'ютерне моделювання [11]. У моделююче програмне середовище введені наступні початкові дані та припущення:

- тіло світіння випромінювача (В) має розміри  $200 \times 10$  мкм;
- потужність випромінювання випромінювача –  $150$  Вт;
- поверхня об'єкта є комп'ютерна ламбертовим відбивачем;
- коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта дорівнює  $0,8$ , що відповідає білій матовій поверхні;
- потужність всіх відбитих променів однакова.

Комп'ютерним моделюванням просторово-енергетичних характеристик ОЕС, призначеної для функціонування у діапазоні вимірюваних відстаней  $0,5 \dots 10,0$  м з протяжністю діаграми спрямованості рівній  $7$  м на максимальній відстані, визначена структура макета ОЕС у складі інфрачервоного лазерного діода SPLPL 90-3, лавинного фотодіода МТАРD-07-007, передавального та приймального ОВК розрахункової будови. Результат комп'ютерного моделювання діаграми спрямованості ОЕС у графічному і чисельному поданні для відстані  $10$  м представлений на рисунку 6, де більш яскравим білим кольором показано зображення тіла світіння випромінювача. Зображення фоточутливого майданчика ФП зі зміненими властивостями показано у вигляді поля точок з меншою яскравістю.



**Рис. 6. Перетин діаграм спрямованості випромінювача і ФП в ОЕС**

Результати моделювання енергетичних співвідношень між випромінюваним світловим потоком випромінювача та прийнятим ФП наведені у таблиці 1 та на рисунку 7.

Таблиця 1

Результати змодельованих та розрахункових  $P_{\text{фп}}$ , Вт

$L$ , м	змодельована $P_{\text{фп}}$ , Вт	розрахункова $P_{\text{фп}}$ , Вт
1	0,0128	0,0128
2	0,00366	0,0032
3	0,00155	0,0014
5	0,00061	0,00051
10	0,000125	0,000128

Порівняння змодельованої дистанційної залежності потужності сигналу  $P_{\text{фп}}$  на вхідному вікні ФП (рисунку 7, крива 1) із розрахованою згідно закону квадратів відстаней (рисунку 7, крива 2), показало їх ідентичність.

$$P_{\text{фп}} = f(1/L^2).$$

Мінімальне значення  $P_{\text{фп}}$  на відстані 10 м при використанні лавинного фотодіода МТАРD-07-007 з чутливістю 50 А/Вт призвело до появи в структурі діода фотоструму величиною 6,25 мА. Струм такої величини на диференціальному опорі фотодіода 10 Ом викликав падіння напруги в 62,5 мВ, що на три порядки більше чутливості інтегральних імпульсних підсилювачів, використовуваних на вході ФП.

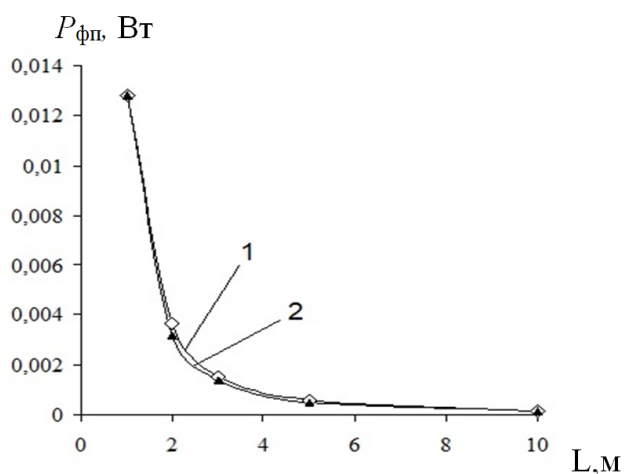


Рис. 7. Залежність потужності сигналу  $P_{\text{фп}}$  на вхідному вікні ФП від відстані  $L$

Таким чином отримані практичні результати підтвердили, що використання розробленого способу формування діаграми спрямованості смугової форми ОЕС за допомогою одного випромінювача та одного фотоприймача дозволило подовжити зону опромінення поверхні об'єкта з рівномірним розподілом потужності випромінювання і чутливості фотоприймача, внаслідок чого підвищена точність виявлення об'єкта та виключена можливість його пропуску, без підвищення енергоємності ОЕС.

### Висновки

Розроблено метод формування ДС на поверхні об'єкта локації, з можливістю керування нею у просторі. Створена кругова зона огляду багатоканальних ОЕС, призначених для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях. Спосіб формування ДС смугової форми ОЕС реалізовано шляхом використання оптоволоконних кабелів змінної форми перетину у проміжках між приймально-передавальними оптичними елементами та випромінювачем і фотоприймачем. Розроблено елементи конструкції ОВК, що сформували необхідні ДС смугової форми передавальних та приймальних об'єктивів ОЕС з мінімальними енергетичними втратами. Розроблена структура 6-канального ОЕС забезпечила оптимальне відношення прийнятої потужності до випромінюваної у межах діапазону вимірюваних відстаней та ДС опромі-

нення поверхні об'єкта локації без підвищення енергоємності системи.

За результатами лабораторних випробувань макета розробленої ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС. Запропонований спосіб формування ДС дозволяє підвищити точність виявлення об'єкта ОЕС в результаті подовження зони опромінення поверхні, що виключає можливість його пропуску.

Робота виконувалась на замовлення МОН України та за підтримкою Державного Підприємства «КБ «Південне» ім. М.К.Янгеля».

### Список використаної літератури

- [1]. Legkij V.N., Budnov S.A., Sankov O.V. i dr. Adaptivnye optoelektronnye pribory letatelnykh apparatov // Interekspo/ Mezhdunar. nauch. konf. «SibOptika-2018»: sb. materialov v 2 t. T. 1. – Novosibirsk: SGUGiT, 2018. – 3–11 s. (in Russian).
- [2]. Legkij V.N., Galun B.V., Sankov O.V. Optoelektronnye elementy Ustrojstva sistem specialnogo naznacheniya. – Novosibirsk: NGTU, 2011. – 455 s. (in Russian).
- [3]. Legkij V.N., Yushenko V.P., Shumejko V.A. i dr. Vysokoinformativnye optiko-lokacionnye sistemy s obrabotkoj trehmernykh izobrazhenij // «Doklady AN VSh RF». – Novosibirsk: NGTU, 2017. – No 3 (36). – S. 64–73. (in Russian).
- [4]. Prudnikov N.V., Shlishevskij V.B. Panoramnye optiko-elektronnye ustrojstva krugovogo i sektornogo obzora // Vestnik SGUGiT, vyp. 1 (33), 2016, S. 148–161. (in Russian).
- [5]. Molebnyi V. V. Optyko-lokatsiini systemy. Osnovy funktsionalnoi pobudovy. M., Mashynobuduvannia, 1981 (in Ukrainian).
- [6]. Budiyanskaya L. M., Santonij V. I., Ivanchenko I. A. Metod samoskanirovaniya dlya izmereniya diagrammy napravlenosti optiko-elektronnykh ustrojstv // Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, 2000, Vyp. 2 (11), Pp. 168–172 (in Russian).
- [7]. Lepikh Ya., Santoniy V., Yanko V. Modeling Method of Optoelectronic Sensors Functioning in Dynamic Mode // The world of science

and innovation. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 134-139. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

[8]. Ivanchenko I.A., Santonij V.I., Budiyanskaya L.M. Distancionnyj optiko-elektronnyj datchik s rastroj reshetkoj // Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoj apparature. –2005. –No.4. –S. 31–34 (*in Russian*).

[9]. Lepikh Ya. I., Ivanchenko I. A., Budiyanskaya L. M., Santonij V. I. Puti intellektualizacii optiko-elektronnogo sensora // Sensor Electronics and Microsystem Technologies, 2014, T. 11, No. 2, Pp. 62–64 (*in Russian*).

[10]. High-accurate optico-electronic distance measurement of short distances for moving objects. / Science and Technology Center in Ukraine. Annual Report 1999. Kyiv 2000, p. 43.

[11]. Santoniy V., Yanko V. Lepikh Ya. Modeling Method of Optoelectronic Sensors Functioning in Dynamic Mode// The world of science and innovation. Abstracts of the 3rd International

scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 134–139. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

[12]. Ya. I. Lepikh, V. I. Santoniy, V. V. Yanko, L. M. Budianskaya, I. O. Ivanchenko

Optoelectronic radar for the high-speed objects movement parameter determination. Sensor Electronics and Microsystem Technologies 2020 – T. 17, No. 3, Pp. 12–19.

[13]. Budiyanska L. Ivanchenko I., Lepikh Ya. Method for detecting aerosol formations with optical location sensor // The world of science and innovation. Abstracts of the 3rd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2020. Pp. 21–27. URL: <https://sci-conf.com.ua/iii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-the-world-of-science-and-innovation-14-16-oktyabrya-2020-goda-london-velikobritaniya-arhiv/>

Стаття надійшла до редакції 19.04.2021 р.

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

## FORMATION OF THE OPTOELECTRONIC SYSTEM DIRECTIONAL DIAGRAM USING FIBER-OPTIC CABLE

*V. I. Santoniy, Ya. I. Lepikh, V. I. Yanko, I. A. Ivanchenko, L. M. Budiyanskaya*

Interdepartmental scientific-educational physics and technical center of MES and NAS of Ukraine  
at the Odesa I.I. Mechnykov National University  
e-mail: [ndl\\_lepikh@onu.edu.ua](mailto:ndl_lepikh@onu.edu.ua)

### Summary

The method of forming directional diagrams (RD) with the possibility of controlling it in space is described. The method of forming of the object location detection zone of complex shape in the transmitter-receiver optical system with the help of fiber-optic cables (OIC) is substantiated and created. The problem of a circular field of view of a multi-channel optoelectronic system (ECO) creating, designed for advanced high-speed objects at short distance detection has been solved.

According to the results of laboratory tests of the developed ECO model is established that in the working range of distances of a location of 0,5 ... 10,0 m reliable detection of the target high-speed

and high-precision registration of object in all DS directions is reached. The proposed method of DS forming allows increasing the accuracy of detection of the ECO object as a result of the elongation of the surface irradiation zone eliminates its omission possibility.

The practical value of the study in the field of short-range optical location is due to the fact that it allows detecting objects in different situations and can identify them. The obtained results allow developing new, high-precision ECO, which operation principle will be based on new location methods and techniques and optoelectronics modern element base.

The results of the work can be used in space technology and transport, namely in devices for remote detection of approach / removal, collision prevention and docking of various objects, as well as in the design and construction of a number of modern laser-location detection and recognition systems, range, and for these classes advanced system development.

**Keywords:** optoelectronic system, directional diagram, object of location, emitter, photodetector, fiber-optic cable, modeling

UDC 528.021.7:681.78

DOI: 10.18524/1815-7459.2021.2.235205

## ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНOSTІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТОВОЛОКОННИХ КАБЕЛІВ

*В. І. Сантоній, Я. І. Лепіх, В. І. Янко, І. О. Іванченко, Л. М. Будіянська*

Міжвідомчий науково-навчальний фізико-технічний центр МОН і НАН України  
при Одеському Національному університеті імені І. І. Мечникова  
e-mail: ndl\_lepikh@onu.edu.ua

### Реферат

Описано метод формування діаграми спрямованості (ДС) з можливістю керування нею у просторі. Обґрунтовано та створено спосіб формування зони виявлення об'єкта локації складної форми у приймально-передавальній оптичній системі за допомогою оптоволоконних кабелів (ОВК). Вирішена задача по створенню кругової зони огляду багатоканальної оптико-електронної системи (ОЕС), призначеної для випереджувального виявлення високошвидкісних об'єктів на малих відстанях.

За результатами лабораторних випробувань макета розробленої ОЕС встановлено, що в робочому діапазоні дистанцій локації 0,5...10,0 м досягнуто надійне виявлення швидкісної цілі та високоточна реєстрація об'єкта у всіх напрямках ДС. Запропонований спосіб формування ДС дозволяє підвищити точність виявлення об'єкта ОЕС в результаті подовження зони опромінення поверхні, що виключає можливість його пропуску

Практична цінність проведеного дослідження в області оптичної локації ближньої дії обумовлена тим, що дозволяє виявляти об'єкти в різних ситуаціях і може проводити їх ідентифікацію. Отримані результати дозволяють розробляти нові, високоточні ОЕС, принцип дії яких буде засновано на нових способах і методах локації та сучасної елементної бази оптоелектроніки.

Результати роботи можуть бути використані у космічній техніці та транспорті, а саме у пристроях дистанційного визначення наближення/віддалення, попередження зіткнень та стикування різних об'єктів, а також при проектуванні і створенні ряду сучасних лазерно-локаційних

систем виявлення і розпізнавання, дальнометрії, а також для розробки перспективних систем зазначених класів.

**Ключові слова:** оптико-електронна система, діаграма спрямованості, об'єкт локації, випромінювач, фотоприймач, оптоволоконний кабель, моделювання



## ДИСКУСІЇ

---

## DISCUSSIONS

---

---

УДК 3.32.3427

DOI:10.18524/1815-7459.2021.2.235210

### УПОСЛІДЖЕННЯ ЗАХІДНОЇ НАУКИ ЯК СИМПТОМ ЗАНЕПАДУ ВСІЄЇ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

*Олександр Габович<sup>1</sup>, Володимир Кузнецов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Інститут фізики Національної академії наук, 03028, проспект Науки 46, Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут філософії Національної академії наук, 01001, вул. Трьохсвятительська 4, Київ, Україна, e-mail: alexander.gabovich@gmail.com

### УПОСЛІДЖЕННЯ ЗАХІДНОЇ НАУКИ ЯК СИМПТОМ ЗАНЕПАДУ ВСІЄЇ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

*Олександр Габович, Володимир Кузнецов*

**Анотація.** Розглянуті деякі аспекти радикальної зміни ціннісних орієнтацій у сучасній західній науці. Під впливом лівацької ідеології та під гаслами абстрактної справедливості керівництво європейських та північно-американських інституцій намагається розширити присутність нових членів у науковій та освітянській сферах за квотним принципом, зважаючи на расові й гендерні, а не меритократичні ознаки (якісна загальна й університетська освіта, наполегливість при здобутті нових знань, розвинуті розумові здібності в цій царині). Показано, що швидке законодавче чи позазаконне введення квот для представників меншин замість підвищення їхнього наукового рівня та добробуту може тільки обмежити залучення до наукової діяльності талановитих осіб будь-якої статі або раси й буде мати наслідком занепад світової науки в цілому.

**Ключові слова:** тренди ціннісних орієнтацій у науці, меритократія, меланократія

### WESTERN SCIENCE HUMILIATION AS A SYMPTOM OF THE WHOLE CIVILIZATION DECLINE

*Alexander Gabovich, Vladimir Kuznetsov*

**Abstract.** Some aspects of the radical change of value orientations in modern western science are considered. Influenced by leftist ideology and under the slogans of abstract justice, the leadership of European and North American institutions is trying to expand the presence of new members in the

scientific and educational spheres on the quota basis, taking into account racial and gender rather than meritocratic characteristics (high-quality basic and university education level, persistence to obtain new knowledge, developed mental abilities in this area). It has been shown that the rapid legislative or illegal introduction of quotas for minorities instead of increasing their scientific level and well-being can only limit the recruiting of talented people of any gender or race into science and will result in the decline of the world science as a whole.

**Keywords:** trends of value orientations in science, meritocracy, melanocracy

## УНИЖЕНИЕ ЗАПАДНОЙ НАУКИ КАК СИМПТОМ УПАДКА ВСЕЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

*Александр Габович, Владимир Кузнецов*

**Аннотация.** Рассмотрены некоторые аспекты радикального изменения ценностных ориентаций в современной западной науке. Под влиянием левацкой идеологии и под лозунгами абстрактной справедливости руководство европейских и северо-американских институтов пытается расширить присутствие новых членов в научной и образовательной сферах по квотному принципу, основываясь на расовых и гендерных, а не меритократических признаках (качественное общее и университетское образование, настойчивость при получении новых знаний, развитые умственные способности в этой области). Показано, что быстрое законодательное или незаконное введение квот для представителей меньшинств вместо повышения их научного уровня и благосостояния может только ограничить привлечение к научной деятельности талантливых лиц любого пола или расы и будет иметь следствием упадок мировой науки в целом.

**Ключевые слова:** тренды ценностных ориентаций в науке, меритократия, меланократия

### 1. Вступ

Ця публікація є значно розширеним та радикально переробленим варіантом неопублікованої замітки в колись славетному та колись британському журналі Nature (Природа). Її надіслав наприкінці 2020 року інтернаціональний колектив науковців і університетських викладачів з України, Румунії, Бельгії, Німеччини й Італії. Поштовхом для її написання стали численні майже директивні пропозиції, опубліковані на шпальтах цього видання та інших авторитетних наукових джерел, здебільшого зі США та Сполученого Королівства, розширити ніяким чином не засноване на наукових досягненнях представництво в наукових інститутах, редколегіях журналів та корпусі авторів за рахунок вихідців із різного виду плеканих на даний історичний момент меншин. Ішлося і про жінок, і про інші статі, які вони називають «гендери», оскільки на їхню думку, згідно з новітньою антинауковою біологією прогрес-

систів, статей більше, ніж дві. Але головними бенефіціарами перерозподілу посад мали би стати особи з підвищеним вмістом пігменту меланіну в епідермісі (шкірі). Сукупність публікацій, звернень та адміністративних дій у країнах Європи, Канади та США свідчить, що іноді свідомо, а іноді підсвідомо, але наголос робиться на залученні до висот чи-то глибин природничих наук (sciences, Wissenschaften) саме чорношкірих африканців або їхніх нащадків, котрі мешкають на інших континентах.

Можна з великою імовірністю припустити, що, якби автори відхиленої замітки підтримали підкреслену в журналі вимогу про необхідність створення у науково-університетському середовищі особливих преференцій або квот у дусі так званої позитивної дискримінації, то вона майже напевно побачило б світ. Але сталося те, що мало статися в епоху позірної та удаваної політичної коректності.

Аби бодай якось виправити викривлену картину Світу, створену ідеологами новітнього расизму (визнаного в країнах Заходу анти-расизмом, майже аналогічно ситуації, передбаченою колись британським письменником Джорджем Орвеллом [1], ми оприлюднили дві різні й, відповідно до видавничих вимог перероблені, версії цієї замітки в українській загальнонаціональній газеті «День» [2] і в інтернетівській російськомовній журнал-газеті «Мастерская» (ФРН) [3]. Ця наша стаття містить частину матеріалу й аргументацію з цих статей, але претендує передусім на деяке філософське узагальнення проблеми, котра є конче важливою для природознавців, інженерів, лікарів, аграріїв і, власне, не лише для науковців. Дійсно, варто розглянути певне історико-культурне коріння нинішнього раптового здичавіння наших Західних друзів, а також цілком можливі катастрофічні наслідки для науки й освіти в усьому світі, якщо процеси заміни меритократії (meritocracy [4]) на «меланократію» (расистське просування по службовій драбині на підставі кольору шкіри) триватимуть. До речі, більш «традиційна» зневага до людей, тому що в них, бач, забагато меланіну в шкірі, є такою ж злочинною та нічим не виправданою, як і новітній расизм протилежного стибу, про який ідеться.

## 2. Пролегомени

Будемо виходити з очевидних (сподіваємося, що не лише для нас) речей. Отже, наука й освіта є взаємопов'язаними сферами високопрофесійної діяльності, яка потребує неперерсичних розумових здібностей та довготривалої творчої роботи над складним науковим матеріалом. Більше того, обсяг «мінімуму», який необхідно не тільки завчити, але й достатньо глибоко зрозуміти, з часом неухильно зростає. За інших рівних умов, тільки особи з якісною шкільною й університетською освітою можуть успішно займатися наукою. Часи самоуків минули та ніколи не повернуться. В свою чергу, якість освітньої системи залежить від наукового рівня того, хто в ній викладає.

Необхідними, але не достатніми, умовами заслуженого залучення до цих сфер є багаторічне навчання, яке вимагає великих зусиль і наполегливості. Крім позитивної мотивації, успішність навчання передбачає наявність інтелектуальної й моральної здатності, обумовленої індивідуальною генетичною спадковістю, родинним вихованням і соціальним середовищем студента. Ми переконані (й це підтверджується історичним досвідом людства), що здатність до наукової діяльності притаманна певним особинам різних рас біологічного виду *Homo Sapiens*. Інша справа, що для кожної раси кількість таких особин є незначною. Це й не дивно, бо нашому біологічному виду потрібні члени суспільства з іншими чеснотами. В правовому сенсі всі вони в цивілізованих країнах є рівними, незалежно від статі, раси, освіти, майнового та соціального стану. Але потреба в науковцях зростає, а тому відповідний добір є дуже потрібною суспільною функцією. Виявлення корисних для наукової діяльності якостей та сприяння їх розвитку відбувається в різного стибу мережах системи загальної та вищої освіти. Добір носіїв придатності для науки та належне використання їх здібностей є головною умовою розвитку науки та невпинного покращення умов життя людства, чого прагнуть усі цивілізовані країни.

Ясна річ, що далеко не всі представники роду людського, що вийшли з якогось середовища, мають певне етнічне походження, належать до якоїсь раси [5] та мають здібності до наукової праці, стають вченими. Що ж може заохочувати тих, хто не здатен до цієї важкої діяльності, до намагань «зайнятися наукою», про яку вони іноді не мають зеленого поняття? Перш за все, відносно непогане (на Заході – не в нас!) матеріальне забезпечення працівників науки й освіти. По-друге, хибне уявлення, що ця робота є «чистою» та не важкою в порівнянні, скажімо, з миттям посуду в ресторані або прибиранням. По-третє, відсутність усвідомлення, що пізнавальна діяльність є напруженою, часто цілодобовою, захоплюючою, але виснажливою. Тому зі стороннього боку науково-освітня кар'єра здається привабливою для певних кіл не занадто освіченої широкої

публіки<sup>1</sup>, яка трактує науку й освіту як свого роду земний Елізіум. Потрапляння до нього нібито не передбачає жодних попередніх умов, як-то певного виховання в сім'ї, солідної університетської підготовки й безперервної напруженої розумової праці, ввижається добре оплачуваною синекурою.

Саме тому в представників певних соціальних та етнічно-релігійних груп, які насправді потерпали в недавньому минулому від різних видів гноблення, виникає ілюзія, підтримана ліво-ліберальними провокаторами, на кшталт сумнозвісного сенатора США, полум'яного комуніста Берні Сандерса, що їх відносно невелика присутність в науці і освіті спричинена досі наявною дискримінацією, а не об'єктивними факторами. Для її подолання орди лівих ідеологів та їх прагматичних прихильників пропонують увести розширені квоти для обов'язкового, забезпеченого законом, представництва вказаних груп у науці і освіті. Ясна річ, що це має відбуватися та вже відбувається за рахунок представників інших верств населення. Ідеологічною підставою для таких пропозицій є виділення в суспільстві нібито пригноблених, але, за визначенням, прогресивних страт, і панівних консервативних страт, які буцімто зацікавлені в збереженні сво-

го незаслуженого привілейованого становища в суспільстві. Хто ж ці «вороги»? Правильно, це білі чоловіки (так звані, “dead white males”), котрі й створили Західну цивілізацію, яка так не подобається бунтівникам та яку вони, водночас, дуже прагнуть очолити.

Натомість, на нашу думку, в порівнянні з більшістю галузей суспільного духовного і матеріального виробництва, сучасна наука є найменш дискримінаційною цариною діяльності щодо всіх соціальних груп та меншин. Адже головними визначальними факторами для вступу в храм науки є (та завжди були!) інтелектуальна гідність, висока розумова потуга та високоякісна фахова освіта неофітів. Лише деякі (sic!) генії проходили самотужки повз стандартну браму, а, натомість, перестрибували стіни. Проте поодинокі винятки лише підкреслюють необхідність усталеної процедури.

В історію науки та її сучасний поступ робили й роблять вагомі внески представники різних рас і етносів. Дійсно, не для всіх них шлях у науку був і залишається однаково легким. Це стосується також і потенційно обдарованих членів, які зростали в сприятливому науково-культурному середовищі. Але багато хто з тих, хто народився в суспільному доквіллі, в якому наука не мала жодної цінності, але змалку мали відповідні здібності й сильно бажали стати науковцями, насправді стали видатними вченими, попри складні обставини їхнього життя. Назвемо хоча би сина пекаря, колишнього мірошника Джорджа Гріна, який прийшов у науку пізно, але став першокласною зіркою [6]. Його імені функції Гріна відомі всім фізикам та математикам. І він не скиглив, що він не лорд, маючи гідність чесного селянина, як не скиглив і син коваля з Нової Зеландії великий Ернест Резерфорд, який врешті став лордом за свої видатні наукові та державницькі заслуги [7]. Власне, й засновник наукового методу та найвідоміший фізик усіх часів, Айзек Ньютон, походив із селянської родини [8].

Втім, незаперечним фактом є те, що не ставали вченими й вихідці з освічених та заможних суспільних верств, котрі бажали йти в науку, але їм забракло хисту. Як не крути, але єдиною незаперечною перепусткою в науку було і досі залишається щасливе та час-

<sup>1</sup> За наших умов нестерпне бажання долучитися до науки численних керівних осіб, котрі не мали, не мають та ніколи не матимуть жодного відношення до науки як соціальної інституції зі створенню нового знання та його практичного застосування, можна пояснити двома причинами. По-перше, це якась вишенька на соціальному торті. Ось, наприклад, невіглас Янукович дуже хотів стати професором. Йому здавалося, що він таким чином підніметься над своїм походженням та поліпшить свою репутацію. Злочином проти суспільства є те, що особи, які «допомогли» йому стати професором, не понесли жодної моральної чи матеріальної відповідальності, «підвищили» завдяки своїй безпринципності власний академічний статус та продовжують «керувати» академічними соціальними та гуманітарними науками. По-друге, існує досить солідна цукерка: отримання доплат за наукові звання та ступені. Наприклад, у міністрів, членів різних наглядацьких рад та суддів Конституційного суду ці доплати перевершують заробітну платню професорів навіть так званих дослідницьких університетів. У масштабах України – це втрачені мільярди доларів на добробут, пиху та втіху негідників і роб.

то випадкове поєднання здібностей, бажань і сприятливих умов, а за відсутності останніх – несамовиті прагнення подолати мінливості долі та різноманітні перешкоди.

Як і спорт вищих досягнень, наука є конкурентним середовищем. Однак, на відміну від спорту, де для визначення переможців існують однакові для всіх правила й існує незалежне об'єктивне суддівство, головну роль в оцінці наукових досягнень відіграють відгуки колег на отримані науковцями нові знання. Ці оцінки виносяться, базуючись на науковому етосі та спільних для науковців цінностях [9]. У країнах, де саме ці вироблені протягом останніх століть у Європі цінності визначають добір учених, наука, як правило, має належне фінансування й квітне. Навпаки, в країнах, де ці цінності підміняються бюрократичними вимогами, а видатними вченими автоматично вважаються так звані науково-організаційні керівники, наука швидко та невідворотно відстає від світової науки та стає симулякром [10]. Так відбувалося й, на жаль, триває в багатьох країнах, котрі десятиліттями знаходились під владою Радянського Союзу в так званому соціалістичному таборі. Ще прикрішим є те, що наразі під гаслами подолання нібито наявної в сучасній західній науці дискримінації певних, в тенденційний спосіб вибраних, меншин пропонується скасувати меритократичні критерії оцінки наукових здібностей та запровадити квотний доступ до науково-освітніх посад на підставі дійсної або уявної приналежності юридично й фактично підтримуваних осіб до плеканих меншин.

### **3. Витяг із історії боротьби проти дискримінації**

У Західному світі на зламі 19-20 століть почалася боротьба за надання жінкам рівних юридичних і економічних прав із чоловіками [11]. В основному, але не повністю, поставлене завдання виконане, хоча прихильниці й прихильники радикального фемінізму так не вважають і боротьбу за статево-рівність продовжують. Але позаяк у розпаленій уяві прогресистів виникла ідея про гендерну множинність, то проблема рівності прав для всіх учасників кар'єрних перегонів неймовірно усклад-

нилась, принаймні, з математично-комбінаторної точки зору.

З іншого боку, потужний рух за громадянські права расових меншин у США розпочався значно пізніше, а саме, в 60-і роки 20 століття. Він мав наслідком введення програми позитивної дискримінації, яка полягала, зокрема, в наданні представникам національних меншин переваг для вступу до університетів [12]. Однак, як свідчить статистика, на даний час відсоток афроамериканців в освіті й науці (зокрема, вони складають 9 % в так званих STEM галузях, тобто в науці, технології, інженерній справі та математиці [13]) є дещо меншим за їх відсоток у сучасному населенні США [14]. Слід підкреслити, що природним чином зменшується й відсоток представленості в цій науково-освітній сфері і «корінних» білих громадян при зростанні частки азіатів і вихідців зі Східної Європи. Успішні наукові іммігранти аж ніяк не вважають себе жертвами дискримінації з боку англосаксонської еліти (яка при уважному дослідженні виявляється не зовсім англосаксонською). Іммігранти першого покоління роблять все для того, щоб, якщо не вони, то бодай їхні діти отримали б освіту не гіршу, а частіше навіть кращу, ніж діти старожилів.

### **4. Право як основний метод соціальної інженерії або соціальної терапії**

Жодне сучасне суспільство, а тим паче воно ж у минулому не є ідеальним. У кожній країні є свої скелети в шафі. Висування ідей щодо усунення наслідків минулих кричущих несправедливостей, з метою уникнення їх у майбутньому, є характерною рисою розвитку Західної цивілізації, заснованої на іудейсько-християнських (біблійних) цінностях. Водночас, будь-які реформи не повинні призводити до нових негараздів. На наш погляд, одним з історично виправданих методів поліпшення суспільства є поступова соціальна інженерія (дивись, наприклад [15, 16, 17]). Згідно з останньою, законодавча й інші підсистеми правової системи повинні діяти в цілому як колективний соціальний інженер, який розробляє правові норми з метою подолання суспільних недоліків і відслідковує їхню ефективність щодо поліпшення суспільства. В разі неефективності законодавства в розв'язанні соціальних проблем, соціальний інженер повинен з'ясувати її причини й змінювати запропоновані

раніше норми з метою усунення цих причин. Тому найбільш перспективним способом поліпшення суспільства є введення правових норм з метою усунення наявних недоліків. Очікується, що ці норми сприятимуть розвитку тих сфер, до яких вони будуть застосовуватися. Однак при цьому нові норми мають відповідати професійним особливостям сфер, на які впливають запропоновані новації. Інакше останні можуть зашкодити цим сферам та навіть їх повністю зруйнувати.

Розглянемо тепер один із наріжних каменів Західної цивілізації: науку, створену впродовж віків університетськими монахами, священниками й викладачами, військовими інженерами, придворними й пересічними лікарями, професійними юристами, кваліфікованими ремісниками, моряками й будівниками маяків, просто допитливими людьми з простонароддя, буржуазії й аристократії. Наука не тільки розвивалась, але й набула певного суспільного оформлення як конче важлива демократична інституція, що органічно та творчо (не без проблем!) поєднує державні та приватні інтереси й зусилля.

Звісно, наявне досі правове регулювання Західної науки не було та не є ідеальним, але воно позбавлене багатьох недоліків, властивих науці тоталітарних суспільств, зокрема, вітчизняного, породженого радянським військово-промисловим комплексом та паразитичним пропагандистським апаратом [18]. Попри різні труднощі, які наука Північної Америки та Західної Європи досі спромоглася успішно долати, традиційний правовий підхід до кадрової політики забезпечував добір і залучення в науку нових молодих людей на підставі їхніх здібностей і мотивації до створення нового знання, тобто на підставі меритократичних цінностей. Водночас, обговорювана нами оголошена на Заході спроба їхньої заміни нечіткими та раціонально не обґрунтованими вимогами соціальної, гендерної та/або расової справедливості та нехтуючи інтересами справи, тобто науки як такої, неодмінно призведе до приниження, а згодом і зникнення науки як інституту з виробництву нового знання здатними, підготовленими і мотивованими для такої діяльності його членами. Причина проста: квотний принцип означає можливість для фахово нездатних зайняти чільні позиції в науці, тобто визначати напрямки наукової діяльності та розміри фінансування проєктів, і неможливість таланови-

тим людям, яким не пощастить проскочити сито відбору за ненауковими ознаками, долучитися до науково-освітньої сфери людської діяльності. Цей неправовий підхід у химерний спосіб віддзеркалює етнічні, соціальні та ідеологічні чистки в науці гітлерівської Німеччини й Радянського Союзу, де, як відомо, негативні наслідки не забарилися.

### **5. Зрада ліво-ліберальної наукової інтелігенції Британії та США під час Холодної війни та після неї**

Соціалістична хвороба час від часу охоплювала частину європейського, а, згодом, і американського суспільства впродовж віків, хоча до другої половини 19 століття, коли з'явилося отруйне (та, як показали подальші події, економічно хибне) вчення Карла Маркса, з шкідливими мрійниками про тоталітарне щастя вдавалося вчасно розправлятися. Ми маємо на увазі таких теоретиків, як Томас Мор або Томмазо Кампанелла, й таких кривавих практиків, як Максиміліан Робесп'єр. До речі, французьким яacobінцям під проводом останнього вдалося додати «свою лепту» в науку: стратити великого вченого Антуана Лавуазьє. Після Маркса соціалісти здійснили низку революцій, одна з яких виявилася «вдалою» і створила монстра – Радянський Союз, котрий знищив мільйони своїх і чужих громадян, включно з тисячами найкращих науковців. Тому, коли дійшло до створення ядерної зброї, то радянським комуністам довелося красти ідеї й креслення в США й Британії. Тут стали в пригоді ідеалістично налаштовані просякнуті лівою ідеологією науковці.

Серед цих науковців були й народжені в англосаксонських країнах «корисні ідіоти» (за влучним виразом підступного Володимира Леніна), і новітні емігранти із захопленої німецькими нацистами континентальної Європи. Вони заочно щиро любили країну фальшивих рад робітників і селян і безкоштовно самовіддано шпигували на її користь, зраджуючи Британію, США й Канаду, які їх врятували від загибелі в Аушвіці або архіпелазі ГУ-ЛАГ не менш кривавого Радянського Союзу. Про їхні ганебні вчинки та хибні погляди варто уважно прочитати (дивись, наприклад, джерела [19]), аби уникнути бодай найменшого впливу соціалістичної ідеології, котра суперечить як біологічним, так і соціальним властивостям людини (*Homo Sapiens*).

Не всі ліво-налаштовані науковці ставали на злочинний шлях зради в юридичному сенсі, але всі вони боролися [20] з дуже обмеженими та виваженими й цілком законними спробами патріотів (зокрема, оббреханого ними та досі неналежно оціненого сенатора США Джозефа Маккарті [21]) обмежити вплив комуністичного лобі в США й (у меншій мірі) Британії. Крім того, вони цькували в університетах та ЗМІ, які були та досі є майже повністю на їх боці, науковців, котрі були антикомуністами й справжніми патріотами, наприклад, видатного фізика, іммігранта з Угорщини, Едварда Теллера [22]. Навіть зараз, описуючи історію науки в США, вони відверто засуджують [23] *саме за патріотизм* видатних американських учених минулого, скажімо, Нобелівського лауреата Ернеста Лоуренса [24]. Натомість, російсько-імперський, російсько-радянський, та російсько-путінський патріотизм московітів всіляко підтримується ними й досі. Тобто, зусилля радянських фізиків і хіміків, котрі, використавши невтомну працю шпигунів, відтворили «ядерно-ракетний щит» Росії, вітаються *американськими лібералами сучасності* за те, що вони поклали край монополії англосаксів на цю зброю.

## 6. Перетворення марксистської класової догми на гендерну й расову

А тим часом хибна теорія Маркса прогнала боротьбу за робітничий клас. Останній продовжував страждати, але саме в комуністичних країнах, а в капіталістичних його життя різко покращилося після Другої світової війни, попри шалену агітацію радянських агентів впливу та пропаганду з Москви. А тому представник лівої філософської Франкфуртської школи, котра втекла від неминучої загибелі в окупованій Гітлером Європі, Герберт Маркузе змінив орієнтири, оголосивши праведниками не робітників і бідне селянство (як його несамолюбивий попередник Карл Маркс), а різного роду меншини: гендерні, сексуальні, і, насамперед, расові [25]. Тобто на світову арену вийшов расизм навиворіт: «чорні» стали вважатися кращими за «білих» через колір шкіри. Таким чином, ліві й ліберали залучали мільйони прихильників замість робітників, які не захотіли підтримувати цей паразитичний прошарок ідеологів. Але від прагнення та засад боротьби проти цінностей традиційного За-

хідного суспільства Маркузе та його прихильники не відмовились, змінивши не стратегію повалення ненависного успішного ворога, а тактику.

Проте варто згадати, що практичне втілення всіх запропонованих раніше революційних рецептів миттєвого, в масштабі історичного часу, поліпшення суспільства приводило до ще більш кричущих несправедливостей, ніж ті, проти яких були спрямовані дії запеклих революціонерів. Головний доведений історією висновок полягає в тому, що корінною вадою комуністичного реформаторства є розчленування живого суспільного організму на нібито прогресивні групи людей, які чомусь завжди є пригнобленими, й реакційні, але панівні, верстви населення. А отже, лише соціальна революція під комуністичними кровожерливими гаслами повинна привести до ліквідації «експлуататорів», включно із заможними селянами, ремісниками й дрібними торговцями, і до приходу до влади прогресивних класів, які на ділі завжди виявляються прошарком непрофесійних невмілих керманічів. У перспективі ці перевороты мали би побудувати царство Боже на Землі. Як ми зазначали, згідно із філософією пана Маркузе, рушієм благодворних змін мають стати різного роду меншини.

Підкреслимо, що, як би ні оцінювати розвиток соціальних наук на Заході і в Україні, людське суспільство все ще залишається і можливо залишатиметься малодослідженим і малозрозумілим розмаїтим об'єктом, складність якого не поступається складності людського організму чи його мозку. Тому прості «революційні» рішення найскладніших суспільних проблем на підставі далеко не повних і не точних знань окремих сторін суспільного організму є принципово недоцільними. Це стосується не тільки суспільства в цілому, але й його окремої складової – інституції під гордою назвою «наука».

## 7. Наукова спільнота як експериментальне поле втілення прогресистських ідей

Нарешті перейдемо до головної теми нашого дослідження, а саме, до тих подій, які наразі розгортаються в науково-розвинених США і західно-європейських країнах. Їх можна порівняти хіба що з розвалом Римської імперії, коли «останній римлянин» Боецій жажнувся пастухам-варварам на Форумі. Та згадаймо, що науково-культурні на-

слідки нашестя варварів були подолані лише через тисячу років, а доти Європа пасла задніх у порівнянні з Китаєм та ісламським світом.

В наші ж часи в обговорюваній нами науково-освітній сфері західного суспільства поширюється зі швидкістю верхової лісової пожежі наратив про те, що англосакси (власне, всі «білі») є більшими та більш підступними расистами, ніж німецькі нацисти. Авторами цієї сумнівної тези є «професори» особливих наук, що мають справу з нібито наявними спеціальними освітніми потребами «чорних людей».

Чому нас особливо турбує доля науки в Західних країнах? Адже в Україні з цим набагато гірше. Відповідь на це питання проста. А саме: у нас завжди було гірше, є гірше і буде гірше, хоча нечисленні групи однодумців намагаються, щоб ще гірше не стало. Проте раніше було на кого рівнятися, ким захоплюватися. Та й переважна більшість корисних фундаментальних і прикладних досліджень виконувалась на Заході. Зараз чималий внесок роблять і вчені з Азії та Латинської Америки. Зроблені ними відкриття визнаються і винагороджуються світовим науковим співтовариством, яке в цілому давно позбулося будь-яких расистських забобонів. Прикладами можуть служити Нобелівські премії з фізики пакистанця Абдуса Салама і єгиптянина Ахмеда Хасана Зевейла, премія Абеля індуса Срініваса Варадхана і Філдсівська премія іранки Мар'ям Мірзахані.

Під час нашого наукового стажування на Заході ми зустрічали на відповідальних посадах і в професорських когортах людей різного кольору шкіри й етнічного походження. Вони зайняли посади й отримали звання завдяки своїм талантам, прагненню до знань, наполегливій розумовій роботі зі шкільної лави. При цьому доходи наших закордонних колег на порядок менші за доходи тих, хто з таким же рівнем знань і кваліфікації працює в області високотехнологічного бізнесу чи наукоємного матеріального виробництва, не кажучи вже про боксерів, баскетболістів або ідолів шоу-бізнесу. Проте ці достойники в силу власного вибору самовіддано слугують науці. Та цього, виявляється, замало, і служіння це неправильне, бо «расистське».

Тепер досі наявну меритократичну основу науки намагаються вихолостити фанатики «святого Флойда», невігласа рецидивіста та наркомана, які об'єднуються під гаслом BLM [26] (Black Life

Matters). Догоджати цій галасливій і неосвіченій публіці стали Американське фізичне товариство, Американське хімічне товариство, Американська асоціація філософії науки та інші поважні спільноти дослідників, а також багато провідних наукових журналів. Вони заявили про свою ідейну і кадрову підтримку BLM і обіцяють провести расову та етнічну чистку в своїх керівних органах. А що ж насправді пропонують прихильники расової нерівності, яка видається ними за справедливість найвищого гатунку?

Насамперед, реформатори планують спростити шкільні курси математики й природничих наук. Наприклад, задавати запитання з математики і вимагати від учнів розв'язувати задачі визнано діями, котрі суперечать спроможності й сподіванням деяких расових меншин, а, отже, є наслідком системної «білої переваги» [27]. Якщо спрощено, то вже сама постановка запитання про те, чому дорівнює синус кута в 30 градусів, є глибоко расистською. Намір же поставити це запитання учневі з нині привілейованої частини людства є глибоко обурливим домаганням і порушенням його невід'ємних прав. У цьому сенсі цікаво, а чому учню китайського чи індійського походження це запитання не розриває серце? Останнє, суто риторичне, запитання слід було б на практиці задати прихильникам боротьби з системним «расизмом» в шкільній математиці. Упущенням з їхнього боку є й те, що ми досі не задалися схожим запитанням: а якого кольору шкіра була у староегипетських і давньовавілонських жерців, котрі стояли у витоків математичної науки? З нашої точки зору це аж ніяк не впливає на величину синуса, а нова «мода» стверджує, що ще й як впливає!

Але ми зосередимося не на середній освіті (це окрема тема), а на науці та вищій освіті. Щодо науки (sciences), то плани «реформаторів» теж вельми цікаві. Вже вигадано відокремлення «чорних» фізиків від інших колег з метою якось улестити перших [28]. Мабуть, вони будуть видавати на-гора якісь специфічні результати, відмінні від тих, які отримуватимуть науковці з іншої «курії». Чим не здійснене німецькими нацистами відокремлення «арійської» науки від «єврейської»? У нас однак виникає природне запитання: «А посилатися вони будуть тільки на себе? Тобто, чи замкненим буде цикл досліджень?»

В «реформаторів» є й інша, радикальніша, точка



зору на залучення в науку тих, хто відрізняється на підставі зовнішніх біологічних ознак (в основному, оцінювачів турбує процентний вміст пігменту меланіну в епідермісі) і тепер належить до посилено опікуваних категорій населення. А саме, пропонується зробити науку інклюзивною, тобто ввести квоти в науці, але вже не тільки для расових, але й для сексуальних меншин різного забарвлення (“sex and gender” [29]). Це раніше, в курсі біології для загальноосвітньої школи писали, що статей тільки дві, а не три або більше. Але реформатори скасовують не тільки соціальні закони, а й застарілі, на їхню думку, догми біології. Більше того, вони навіть особливу феміністську філософію науки спромоглися створити [30]. Щодо расової інклюзії, то, виступаючи на підтримку (вже наявних!) наукових співтовариств з расовим ухилом, прихильники расових преференцій тим не менш планують запрошувати представників упослідженої раси на їх засідання [31]. Правда, не зрозуміло, з яким статусом: чи можуть вони, скажімо, робити зауваження по суті справи, чи мають тільки ствердно кивати головою?

Однак і прихильники радикального поділу вчених за расою, й прихильники квотування для расових і «гендерних» меншин у своїх намірах мають начебто спиратися на експериментальні соціологічні дані. Виявляється, що «покращувачі» вже давно відслідковують бази даних, де збираються відомості про наукові публікації, та самотужки відокремлюють «ягнят» від «козенят» [32]. Можна здогадуватися, як вони стать авторів визначають у європейців: імена підказують, хоча й така ознака аж ніяк не є однозначною. А у китайців як? А як вони їхній колір шкіри визначають? Адже «Сміт» може бути як «чорним», так і «білим» чи навіть «жовтим» (якщо він з Гонконгу)?

Рух BLM прагне не тільки радикально змінити сьогодення й майбутнє, а й вплинути на минуле, переписуючи історію, скасовуючи культуру («cancel culture»), відправляючи в забуття імена спонсорів університетів і дослідницьких установ, їхніх славних професорів, та й науку, виконану протягом того часу, доки гасла BLM і Г. Маркузе, ще не заповнили засоби масової інформації та не забезпечили вихід на вулиці сотень тисяч далеких від науки прихильників радикальних змін [33].

Тим часом провідні наукові журнали рекомендують цілеспрямовано змінювати расовий склад

університетських викладачів, щоб потім це ж саме відбулося зі студентами [34]. Висловлюються вимоги не рівності, про яку цілком справедливо мріяв Мартін Лютер Кінг, а преференцій, привілеїв для меншин, не обумовлених жодними заслугами, а тільки кольором шкіри або гендером, визначеним на сучасний антинауковий манер. Зазначимо, що на суб'єктів із хромосомними аномаліями або з психічними розладами при визначенні гендеру не слід посилається, оскільки конфігурації хромосом XX чи XY залишаються нормою й визначають стать людини [35], а пропозиції щодо збільшення гендерів спираються не на біологію, а радше на нав'язувану суспільству психологію. Сутність подібних вимог добре виражена в листі, опублікованому в авторитетному британському журналі Nature з одним із найбільших імпаکت-факторів [36.] Автором є бакалавр із соціології, яка не має за душею навіть тез із викладом отриманих наукових результатів: «Занадто багато людей опираються визнанню расизму, тому що вони хочуть сказати: «Ми всі хороші люди». Я стверджую, що бути хорошим означає навчитися розпізнавати расизм і культуру дискримінації, а потім вжити заходів. Це означає вибір [кандидатур] з тих, кого часто не помічають або активно виключають, залучення чорних учених, включаючи студентів і постдоков, для отримання нагород і запрошень виступати головними спікерами. Це означає запрошувати чорних вчених для оголошення доповідей в департаментах. Це означає створення інституційних програм допомоги чорним постдокам та іншим майбутнім науковцям, щоб вони переходили з історично маргіналізованих груп на посади добре забезпечених викладачів».

В останній фразі важливо те, чого в ній немає. А саме, в ній ні слова не говориться про те, чи здатна буде захищена група займатиметься науковими дослідженнями та викладати, бо її членів планується запрошувати тільки за колір шкіри. З іншого боку, закінчується виклад програми словами «добре забезпечених викладачів». Тобто висувуються економічні вимоги до платників податків («білих» і «чорних»), натомість їм не обіцяють нічого...

Доходить до граничного абсурду. Коли один із нас у черговий раз відвідав Центр теоретичної фізики в Мірамаре (Трієст, Італія), то всім учасникам семінару роздали анкети, куди довелося записати як расову ознаку горде Caucasian (це вони так європейців нарекли). Виразно тхнуло Третім Райхом.

Але цього мало. Як розповіли бразильці, їх скопом записали в «кольорові», а тому виділили гроші на переліт і додаткові гроші на прокорм. Однак, члени бразильської делегації зі сміхом повідомили, що вона вся складалася з «білих»: осіб португальського, італійського та навіть єврейсько-сефардського походження. Боже, караючи людей, ти перш за все забираєш у них розум!

У зв'язку з цією кумедною ситуацією з расовими студіями, варто звернути увагу й на те, що заради кар'єри певні особи можуть оголосити себе «чорношкірими», «індіанцями», або представниками якоїсь вигаданої «сьомої статі» лише для того, аби зайняти поза чергою чільне місце в науково-освітньому товаристві. Уявіть собі, що якийсь жевжик обійме посаду професора теоретичної фізики в шанованому університеті лише завдяки вигаданій приналежності до сексуальної меншини! А до того йде.

Протилежні приклади, які руйнують ідею ліваків, що для просування по адміністративних щаблях у науковій ієрархії необхідно давати якимсь обраним «нешасненьким» незаслужені «кнедлики» за рахунок інших, начебто «незаслужено ошасливлених» громадян, легко знайти, про що вже йшлося вище. Але варто додати свіжу, хоча, на жаль, сумну новину. В березневому 2021 року випуску журналу *Nature Materials* вміщений некролог на померлого в 2020 році видатного фізико-хіміка Джона Майріга Томаса [37]. Він за своє життя опублікував понад тисячу сто (1100) статей, оглядів і книг. Тато професора був валлійським шахтарем. Професором у Кембриджському університеті і директором Королівського інституту у Лондоні його син став не за процент меланіну в шкірі, а за таланти і працьовитість. Типовий приклад зникаючої натури – Західної меритократії.

Можна було б навести ще багато цитат, вилити на лівих діячів потоки справедливої критики і абсолютно зайвої, але неминучої, жовчі. Однак, робити це безглуздо, оскільки історія розпорядилася інакше. Мабуть, часи Ньютонів (1642-1727), Фарадеїв (1791-1867), Ейнштейнів (1879-1955) і Андерсонів (1923-2020) пройшли. Ми хотіли б помилитися, але, схоже, настає епоха заміни меритократії на меланократію.

А що відбувається з відомими вченими, коли вони відкрито висувують наукові аргументи проти меланократії [38], свідчать уже не поодинокі при-

клади вигнання з Західних університетів інакомислячих за «неполіткоректні» не тільки публічні, але й підслухані доброзичливцями приватні висловлювання. Наприклад, класичною розправою лівого істеблїшменту з дисидентом за негативне ставлення до так званого «урізноманїтнення» (diversity) стало цькування й звільнення відомого канадсько-чеського хіміка Томаша Худліцкого (Tomáš Hudlický) [39]. На додаток, з друку вилучили його вже прийняту редакцією журналу *Angewandte Chemie* статтю, яку встигли виставити онлайн.

### Список використаної літератури

- [1]. G. Orwell. *1984* (Houghton Mifflin Harcourt, Boston, 2011).
- [2]. [https://day.kyiv.ua/sites/all/libraries/pdfs/web/viewer.html?file=/sites/default/files/pdf\\_newspaper/58-59\\_ukr.pdf](https://day.kyiv.ua/sites/all/libraries/pdfs/web/viewer.html?file=/sites/default/files/pdf_newspaper/58-59_ukr.pdf)
- [3]. <https://club.berkovich-zametki.com/?p=60899>
- [4]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Meritocracy>. Класичною країною меритократії є нинішній Сингапур. З 19 століття в США та Британії меритократія слугувала основою освіти, науки та просування по службі, хоча елементи елітарності та майнової переваги, поза сумнівом, ще довго давались узнаки. Але згодом ліберальний істеблїшмент почав паплюжити меритократію. Зокрема, запровадили вищу освіту практично для всіх. Зараз ця система удаваної рівності можливостей, а фактично лицемірного брехливого приховування прикрого стану речей, домінує в Україні також. Дивись дискусію про меритократію з точки зору її ворогів (її прихильники мовчать, мабуть, змушено) у джерелах: J. Bloodworth. *The Myth of Meritocracy* (Biteback Publishing, 2017); P. Mandler. *The Crisis of the Meritocracy. Britain's Transition to Mass Education since the Second World War* (Oxford University Press, Oxford, 2020); D. Markovits. *The Meritocracy Trap. How America's Foundational Myth Feeds Inequality, Dismantles the Middle Class, and Devours the Elite* (Penguin Press, New York, 2019); M. Young. *The Rise of the Meritocracy, 1870–2033. An Essay on Education and Equality* (Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1958).

- [5]. Поняття людської раси не є простим, його не можна декретувати, як це робить ліво-ліберальна більшість американської псевдо-еліти. Зауважимо, що, принаймні, кількість рас не дорівнює трьом, чому вчила недолуга радянська школа, а релігійна приналежність не має нічого спільного з расою, попри тому, що твердить не менш недолуга сучасна американська школа. Про раси можна прочитати в гідних довіри джерелах: А. Barnett. *The Human Species* (Penguin Books, New York, 1961); J. Relethford. *The Human Species. An Introduction to Biological Anthropology. Eighth Edition.* (McGraw-Hill, New York, 2009).
- [6]. L. Challis, F. Sheard. *The Green of Green functions* // *Physics Today*, v. **56**, N 12, p. 41-46 (2003).
- [7]. J. L. Heilbron. *Ernest Rutherford and the Explosion of Atoms* (Oxford University Press, Oxford, 2003).
- [8]. R. S. Westfall. *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton* (Cambridge University Press, Cambridge, 1980).
- [9]. R. Merton. *Social Theory and Social Structure* (The Free Press, New York, 1968), P. 596.
- [10]. О. Габолич, В. Кузнєцов та інші. *Симптоми тяжкої хвороби, або що являє собою вітчизняна наука* // *День*, 10. 03. 2003 <http://www.day.kiev.ua/133570/>
- [11]. G. Skirbekk, N. Gilje. *A History of Western Thought. From Ancient Greece to the Twentieth Century* (Routledge, New York, 2001).
- [12]. В. Кузнєцов. *Філософія права. Історія, та сучасність: Навчальний посібник* (Стилос, Київ, 2003).
- [13]. C. Woolston. *US science static on diversity* // *Nature*, v. **592**, N 7856, p. 805-806 (2021).
- [14]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Race\\_and\\_ethnicity\\_in\\_the\\_United\\_States\\_Census](https://en.wikipedia.org/wiki/Race_and_ethnicity_in_the_United_States_Census)
- [15]. J. A. Gardner. *The sociological jurisprudence of Roscoe Pound (Part I)* // *Villanova Law Review*, v. **7**, N 1, p. 1-27 (1961); J. A. Gardner. *The sociological jurisprudence of Roscoe Pound (Part II)* // *Villanova Law Review*, v. **7**, N 2, p. 165-192 (1961).
- [16]. К. Popper. *The Poverty of Historicism* (The Beacon Press, London, 1957).
- [17]. C. Varga. *Ex Post Facto Legislation*. In book: C. B. Gray (Ed.). *The Philosophy of Law. An Encyclopedia. Volume I-II. A-Z* (Routledge, New York, 1999). P. 275.
- [18]. О. Габолич, В. Кузнєцов, Н. Семенова. *Українська фундаментальна наука і європейські цінності, Друге видання* (Видавництво Києво-Могилянської академії, Київ, 2016).
- [19]. N. T. Greenspan. *Atomic Spy. The Dark Lives of Klaus Fuchs* (Viking, New York, 2020); D. Horowitz. *The Black Book of the American Left. The Collected Conservative Writings of David Horowitz, Volume I.* (Encounter Books, New York, 2013); D. Horowitz. *The Black Book of the American Left. The Collected Conservative Writings of David Horowitz, Volume II. Progressives* (Encounter Books, New York, 2014); M. Meeropol. "A spy who turned his family in": Revisiting David Greenglass and the Rosenberg case // *American Communist History*, v. **17**, N 2, p. 247-260 (2018).
- [20]. J. D. Jackson. *Panofsky agonistes: The 1950 loyalty oaths at Berkeley* // *Physics Today*, v. **62**, N 1, p. 41-47 (2009); E. W. Schrecker. *No Ivory Tower. McCarthyism and the Universities* (Oxford University Press, Oxford, 1986).
- [21]. R. W. Griffith. *The Politics of Fear. Joseph R. McCarthy and the Senate* (The University of Massachusetts Press, Amherst, 1987).
- [22]. S. B. Libby, M. S. Weiss. *Edward Teller's scientific life* // *Physics Today*, v. **57**, N 8, p. 45-51 (2004).
- [23]. J. Roebke. *Ernest Lawrence's brilliant failure* // *Physics Today*, v. **72**, N 3, p. 32-39 (2019).
- [24]. M. Hiltzik. *Big Science. Ernest Lawrence and the Invention that Launched the Military-Industrial Complex* (Simon & Schuster, New York, 2015).
- [25]. H. Marcuse. *Technology, War and Fascism. Collected Papers of Herbert Marcuse, Volume 1* (Routledge, London, 1998); H. Marcuse. *Towards a Critical Theory of Society. Collected Papers of Herbert Marcuse, Volume 2* (Routledge, London, 2001).
- [26]. M. W. Makgoba, *Black scientists matter*, *Science* v. **369**, N 6506, p. 884 (2020).
- [27]. [https://www.foxnews.com/us/oregon-education-math-white-supremacy?fbclid=IwAR2HVdx6Jwa\\_PIX9U-](https://www.foxnews.com/us/oregon-education-math-white-supremacy?fbclid=IwAR2HVdx6Jwa_PIX9U-)

57WluExYoLKIGomAH33CGWLp-nh23GFHdatp59kzps; <https://www.foxnews.com/us/teachers-at-posh-nyc-school-release-8-page-anti-racism-manifesto-sparks-uproar-report>.

[28]. C. D. Brown, E. Gonzales. *Excellence and power in the Black physics community*, Nature Physics, v. **17**, N 1, p. 3-4 (2021).

[29]. Editorial, *Accounting for sex and gender makes science better*, Nature, v. **588**, N 7837, p. 196 (2020).

[30]. H. E. Grasswick (ed.). *Feminist Epistemology and Philosophy of Science: Power in Knowledge*. (Springer, Amsterdam, 2011).

[31]. E. K. Carlson, *Building community among black physicists*, Physics, v. **13**, p. 185 (2020).

[32]. M. Linkova, E. G. Teich, D. S. Bassett, *Tackling academia's publication inequities*, Physics, v. **13**, p. 191 (2020).

[33]. G. Viglione, N. Subbaraman, *Universities scrub names of racist leaders — students say it's a first step*, Nature, v. **584**, N 7821, p. 331-332 (2020).

[34]. C. Gore-Felton, C. Khan, J. Njenga, *Make Black history core to degrees, tie tenure to anti-racism efforts*, Nature, v. **583**, N 7818, p. 683 (2020).

[35]. E. A. Carlson. *The 7 Sexes. Biology of Sex Determination* (Indiana University Press, Bloomington, 2013).

[36]. N. Bumpus, *Too many senior white academics still resist recognizing racism*, Nature, v. **583**, N 7818, p. 661 (2020).

[37]. R. Catlow, G. Hutchings, *John Meurig Thomas (1932–2020)*, Nature Materials, v. **20**, N 3, p. 280 (2021).

[38]. L. M. Krauss. *The ideological corruption of science. In American laboratories and universities, the spirit of Trofim Lysenko has suddenly been woke*. <https://www.wsj.com/articles/the-ideological-corruption-of-science-11594572501>; L. M. Krauss. *Racism is real. But science isn't the problem*. <https://quilllette.com/2020/07/03/racism-is-real-but-science-isnt-the-problem/>

[39]. <https://www.nas.org/blogs/article/the-case-of-tomas-hudlicky-where-now>

Стаття надійшла до редакції 20.05.2021 р.

UDC 3.32.3427

DOI:10.18524/1815-7459.2021.2.235210

## WESTERN SCIENCE HUMILIATION AS A SYMPTOM OF THE WHOLE CIVILIZATION DECLINE

*Alexander Gabovich<sup>1</sup>, Vladimir Kuznetsov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Physics of the National Academy of Sciences, 03028, 46 Nauky Avenue, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Philosophy of the National Academy of Sciences, 01001, 4 Tryokhsviatitelska street, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexander.gabovich@gmail.com

### Summary

Some aspects of the radical change of value orientations in modern western science are considered. Influenced by leftist ideology and under the slogans of abstract justice, the leadership of European and North American institutions is trying to expand the presence of new members in the scientific and educational spheres on the quota basis, taking into account racial and gender rather than meritocratic characteristics (high-quality basic and university education level, persistence to obtain new knowledge, developed mental abilities in this area). It has been shown that the rapid legislative or illegal introduction of quotas for minorities instead of increasing their scientific level and well-being can only limit the recruiting of talented people of any gender or race into science and will result in the decline of the world science as a whole.

The quota principle means the opportunity for the professionally incompetent persons to take leading positions in science, i.e. to determine the directions of scientific activity and the amount of project funding. At the same time, it means the impossibility for talented people, who are unlucky to slip through the selection bottleneck due to non-scientific reasons, to join the scientific and educational spheres of human activity.

First of all, the reformers plan to simplify school courses in mathematics and science. For example, asking math questions and forcing students to solve problems is considered as actions that contradict the abilities and expectations of some racial minorities and are therefore the result of a systemic “white superiority”. To put it simply, the very question of what is the sine value of a 30 degree angle is deeply racist. Meanwhile, leading scientific journals recommend purposeful changing of the racial composition of the university staff, so that later the same thing should happen to students. They do not demand equality, which Martin Luther King rightly dreamed of, but preferences, privileges for minorities, not due to any merit, but taking into account only the skin color or gender, defined in a modern anti-scientific manner.

**Keywords:** trends of value orientations in science, meritocracy, melanocracy

УДК 3.32.3427

DOI:10.18524/1815-7459.2021.2.235210

## УПОСЛІДЖЕННЯ ЗАХІДНОЇ НАУКИ ЯК СИМПТОМ ЗАНЕПАДУ ВСІЄЇ ЦИВІЛІЗАЦІЇ

*Олександр Габович<sup>1</sup>, Володимир Кузнєцов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Інститут фізики Національної академії наук, 03028, проспект Науки 46, Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут філософії Національної академії наук, 01001, вул. Трьохсвятительська, 4, Київ, Україна, e-mail: alexander.gabovich@gmail.com

### Реферат

Розглянуто деякі аспекти радикальної зміни ціннісних орієнтацій у сучасній західній науці. Під впливом лівацької ідеології та під гаслами абстрактної справедливості керівництво європейських та північно-американських інституцій намагається розширити присутність нових членів у науковій та освітянській сферах за квотним принципом, зважаючи на расові й гендерні, а не меритократичні ознаки (якісна загальна й університетська освіта, наполегливість до здобуття нових знань, розвинуті розумові здібності в цій царині). Показано, що швидке законодавче чи позазаконне введення квот для представників меншин замість підвищення їхнього наукового рівня та добробуту може тільки обмежити залучення до наукової діяльності талановитих осіб будь-якої статі або раси й буде мати наслідком занепад світової науки в цілому.

Квотний принцип означає можливість для фахово нездатних зайняти чільні позиції в науці, тобто визначати напрямки наукової діяльності та розміри фінансування проєктів, і неможливість талановитим людям, яким не пощастить проскочити сито відбору за ненауковими ознаками, долучитися до науково-освітньої сфери людської діяльності.

Насамперед, реформатори планують спростити шкільні курси математики й природничих наук. Наприклад, задавати запитання з математики і вимагати від учнів розв'язувати задачі визнано діями, котрі суперечать спроможності й сподіванням деяких расових меншин, а, отже, є наслідком системної «білої переваги». Якщо спрощено, то вже сама постановка запитання про те, чому дорівнює синус кута в 30 градусів, є глибоко расистською.

Тим часом провідні наукові журнали рекомендують цілеспрямовано змінювати расовий склад університетських викладачів, щоб потім це ж саме відбулося зі студентами. Висловлюються вимоги не рівності, про яку цілком справедливо мріяв Мартін Лютер Кінг, а преференцій, привілеїв для меншин, не обумовлених жодними заслугами, а тільки кольором шкіри або гендером, визначеним на сучасний антинауковий манер.

**Ключові слова:** тренди ціннісних орієнтацій у науці, меритократія, меланократія

# НАУКОВА СПАДЩИНА

# SCIENTIFIC HERITAGE

## З НАУКОВОЇ СПАДЩИНИ – ЯК ПОЧИНАЛАСЯ СЕНСОРИКА

Від редакції

Визначний український фізик, доктор фізико-математичних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, засновник і перший президент Академії наук вищої школи України Віталій Іларіонович Стріха (1931 – 1999) ввійшов в історію науки про напівпровідники як творець сучасної теорії контакту метал-напівпровідник з урахуванням проміжного зазору, яка мала революційне значення для напівпровідникової НВЧ-електроніки в 1960-ті. Водночас учений був і одним із піонерів української фотовольтаїки: створені в його лабораторії фотоперетворювачі на основі дешевого аморфного кремнію мали в 1990-ті рекордні характеристики.

Нарешті, проф. В.І. Стріха став наприкінці 1980-х фундатором української біосенсоріки, покликаної сполучити переваги напівпровідникових пристроїв із чутливістю біомолекул. Саме він (разом із А.А.Шульгою) був автором першого україномовного огляду з проблем біосенсорів (надрукований у «Віснику АН УРСР», №2, 1988). А впродовж останніх років життя учений (спільно з колегами з КНУ імені Тараса Шевченка, науковцями Інституту молекулярної біології і генетики НАН та дослідниками з ліонської «Еколь сентраль») виконав великий цикл робіт, які, в кінцевому підсумку, стали підставою для присудження Золотої медалі імені Володимира Вернадського НАН України 2016 р. (щоправда, імені самого ініціатора цього напрямку досліджень згадано при цьому не було).

Проф. В.І. Стріха був водночас невтомним популяризатором науки. Наприкінці життя (1997р.) він написав велику оглядову статтю

про напівпровідникові сенсори, орієнтовану на широке коло студентів, науковців, дослідників та інженерів. Але через передчасну смерть ученого цю статтю не було тоді надруковано. А тим часом вона досі не втратила свого пізнавального значення, і редакція журналу пропонує її читачам у рік 90-річчя від дня народження проф. В.І. Стріхи.

Зазначимо лише, що з часу її написання (1997р.), природно, відбувався потужний розвиток сенсоріки в цілому. Коли писалася ця стаття, напівпровідникова сенсоріка домінувала над іншими принципами побудови сенсорів, переважаючи їх як за основними метрологічними, так і за масогабаритними характеристиками.

Відтоді з'явилися сенсори на основі п'єзоелектричних, акустоелектронних, оптоелектронних, фотолюмінесцентних, електрохемолюмінесцентних та інших фізико-хімічних принципів. Відбулися інтеграційні процеси різних технологій виготовлення сенсорів, зокрема, технології Ленгмюра-Блоджетт (Л-Б) і технології пристроїв на поверхневих акустичних хвилях, що принципово змінило одночасно досягнення надвисокої вибірковості аналітів за рахунок рецепторних властивостей Л-Б плівок і спрощеного поєднання сенсора з мікропроцесорною технікою за рахунок властивостей акустоелектронної частини сенсора. Тим самим вдалося здійснити інтелектуалізацію сенсора.

Останнє в часи написання статті не розглядалося як один із напрямів і задач створення інтелектуальних сенсорів.

© В. І. Стріха, 2021

Ну і, звичайно, слід сказати про прискорений за останні роки розвиток наносенсоріки, особливо з одержанням графену, дослідженням квантових явищ в одно- і двомірних середовищах і появою технологій формування відповідних плівкових структур.

Все ж, на нашу думку, стаття проф. Стріхи В. І., 90-річчя від дня народження якого сповнюється 30 травня 2021 р. має бути цікавою і важливою для фахівців і науковців, що працюють у даній науковій галузі, оскільки дає можливість оглянути і оцінити сенсоріку в ретро- і перспективі.

DOI:10.18524/1815-7459.2021.2.235212

## НАПІВПРОВІДНИКОВІ СЕНСОРИ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ

*В. І. Стріха*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

### Вступ

Всім відомі величезні успіхи напівпровідникової електроніки, які привели до створення інтегральних схем з високим ступенем інтеграції. В свою чергу інтегральна техніка визначила розвиток обчислювальної техніки, техніки зв'язку та контролю за виробничими процесами, побутової техніки високого класу, створення високоточної зброї тощо. Саме це і визначило основні науково-технічні досягнення сучасної цивілізації.

В останні 10-15 років велика увага дослідників у галузі напівпровідників та напівпровідникової електроніки була повернута до створення різного роду напівпровідникових сенсорів, які активно використовуються разом з мікросхемами і визначають новий перспективний напрям напівпровідникової електроніки - напівпровідникову сенсоріку.

Чим же викликаний активний розвиток напівпровідникової сенсоріки? Справа в тому, що розвиток цивілізації вимагає все більшого контролю за хімічним складом навколишнього середовища, контролю великого числа виробничих операцій, контролю великого числа медичних показників тощо. Якщо допустити, що кожна людина має право щоденно знати лише 10 параметрів, що важливі для її життя, то загальна кількість вимірювань кожного

дня досягне  $5 \times 10^{10}$ . Це - величезна кількість вимірювань, яку не можна реалізувати існуючими методами. Тому потрібний принципово новий підхід. І цей підхід можливий у рамках застосування напівпровідників, які чутливі до різноманітних зовнішніх дій, та використання розробленої в інтегральній техніці технології, яка вже сьогодні дозволяє в одному технологічному процесі отримувати до  $10^7$  окремих елементів.

### Визначення та класифікація напівпровідникових сенсорів

Загалом поняття «сенсор» можна визначити як первинний елемент вимірювальної системи, який перетворює вимірюваний сигнал однієї природи в сигнал іншої природи.

Всі вимірювані сигнали залежно від їх природи можна розділити на три великі групи: фізичні, хімічні та біологічні. Виходячи з цього, всі сенсорні також поділяються на три групи:

- 1) фізичні сенсорні,
- 2) хімічні сенсорні,
- 3) біологічні сенсорні або біосенсорні.

В свою чергу фізичні сенсорні в залежності від характеру фізичного сигналу можуть бути поділені на подальші групи:

- 1) Механічні,
- 2) Термічні,



- 3) Електричні,
- 4) Магнітні,
- 5) Радіаційні.

Як видно з цього розподілу, механічні сенсори чутливі до швидкості, прискорення, розмірів тощо. Термічні сенсори чутливі до температури, потоків тепла тощо. За допомогою електричних сенсорів можна фіксувати струм, напругу, заряд та інші електричні параметри, а за допомогою магнітних сенсорів - магнітне поле, магнітний момент та інші магнітні характеристики. Радіаційні сенсори вимірюють інтенсивність випромінювання різної природи, його фазу тощо. Хімічні сенсори розділяються на газові та рідинні і можуть реєструвати склад, концентрацію та інші характеристики хімічних сполук.

Біосенсори реєструють склад та концентрацію біологічно активних речовин.

### Принципи застосування напівпровідників у сенсорах

Як відомо, напівпровідники є надзвичайно чутливими до зміни зовнішніх умов. Їх властивості змінюються зі зміною температури, під дією електричного та магнітного полів, під дією зовнішнього опромінювання і багатьох інших факторів.

Чим же обумовлені такі зміни? В самому напівпровіднику ці зміни, в першу чергу, визначаються енергетичними переходами між валентною зоною та зоною провідності, а також між домішковими рівнями та дозволеними зонами. При цьому змінюється провідність напівпровідника. Крім того, зміна властивостей напівпровідника відбувається також при просторовому переміщенні зарядів. Такий ефект, наприклад, спостерігається при одночасному впливі електричного та магнітного полів, коли носії заряду накопичуються на поверхнях, перпендикулярних електричному та магнітному полям (ефект Холла).

У випадку напівпровідникових приладів дія зовнішніх полів може бути складнішою, але і в цьому випадку важливими складовими процесів, що відбуваються, є енергетичні та просторові переходи носіїв заряду. Наприклад, в р-п переході важливими є просторові

переходи від n- до р-області, а в біполярному транзисторі важливими є просторові переходи інжектованих носіїв від емітера до колектора, що при різних опорах кола емітера і колектора і спричиняє ефект підсилення сигналу. Якщо на біполярний транзистор діє також освітлення, то ми маємо одночасно енергетичні та просторові переходи.

Чутливість напівпровідників до хімічного чи біологічного сигналу головним чином визначається зміною вигину енергетичних зон коло поверхні напівпровідника. Це може обумовлюватися зміною поверхневих зарядів в результаті адсорбції і приводить до зміни провідності напівпровідника, зміни випростуючих властивостей контакту метал-напівпровідник тощо.

### Основні параметри сенсорів

Напівпровідникові сенсори характеризуються передавальними характеристиками, а також довгочасовою стабільністю та надійністю їх роботи. Серед передавальних характеристик найбільш важливими є точність вимірювань:

$$E(\%) = 100 \frac{X_m - X_1}{X_1},$$

де  $X_1$  - точне значення невідомої величини, а  $X_m$  - значення, що вимірюється, а також чутливість

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X},$$

де  $Y$  та  $X$  вихідний та вхідний сигнали.

Крім того, важливими передавальними характеристиками є нелінійність, повторюваність та інші.

Важливу роль відіграють також стабільність та відсутність дрейфу характеристик при зміні температури і з перебігом часу.

Особливе значення має надійність сенсорів. Як відомо, надійність визначається відмовами, які поділяються на катастрофічні, коли сенсори виходять з ладу, короткочасові, після яких параметри відновлюються до попередніх значень, та довгочасові зміни, після яких настає відмова.

Всі ці параметри та характеристики треба враховувати при розгляді роботи напівпровідникових сенсорів.

## Основи технології напівпровідникових сенсорів

Більшість напівпровідникових сенсорів виготовляється з використанням технології виготовлення інтегральних схем. Як відомо, основні етапи виготовлення інтегральних схем такі: вирощування епітаксіальних шарів, окислення, легування, травлення, створення полікремнієвих чи діелектричних шарів, нанесення металічних шарів. Формування планарної структури вимагає також застосування літографії.

Вирощування епітаксіальних шарів звичайно проводиться методом газової чи рідинної епітаксії. Окислення проводиться при високих температурах і може бути сухим чи вологим. В результаті спостерігається різна швидкість окислення та отримують окисли з різними властивостями.

При легуванні напівпровідників може застосовуватися дифузія домішок чи іонна імплантація. При дифузії ми маємо зменшення концентрації домішок від поверхні вглиб напівпровідника. При іонному легуванні концентрація домішок має максимум під поверхнею напівпровідника.

При літографії застосовуються фоторезисти, які можуть бути позитивними (розчиняється область, що освітлюється) та негативними (розчиняється затемнена область).

Процес травлення, який забезпечує необхідні властивості поверхні, зазвичай складається з трьох етапів: доставка реактивів до поверхні, реакція, видалення продуктів реакції. Травлення буває рідинним та сухим. В свою чергу, сухе травлення може бути фізичним (розпилення) та хімічним (травлення в реактивній плазмі).

Металізація необхідна для створення омичних та випростуючих контактів. Найбільш поширені такі методи металізації: вакуумне напилювання, катодне розпилення та хімічне нанесення в розчинах.

Але крім стандартних операцій, які застосовуються в мікроелектроніці, для створення сенсорів розроблений ряд особливих технологічних прийомів. Це, перш за все, технологія формування трьохмірних сенсорів. Вона базується на тому, що кремній в деяких травниках травиться з різною швидкістю в різних криста-

лографічних напрямках. Так, наприклад, при травленні кремнію в КОН швидкість травлення в напрямку (100) відрізняється від швидкості травлення в напрямку (111) в 400 разів. Це дозволяє отримувати трьохмірні кремнієві структури для механічних сенсорів різного призначення.

Розроблені також технології з'єднання діелектричних та напівпровідникових шарів для створення спеціальних сенсорів. Особливу проблему являє капсулювання сенсорів різного призначення. І тут розроблені оригінальні технологічні рішення, які забезпечують вирішення цієї проблеми.

## Механічні сенсори

Механічні сенсори є приладами, які використовують для вимірювань механічних дій. Сюди відносять сенсори для визначення положення, швидкості, прискорення, сили, тиску, маси, густини, в'язкості та багатьох інших фізичних величин. Для більшості цих сенсорів використовується технологія спеціального травлення, що дозволяє отримувати трьохвимірні структури. Великою проблемою при створенні таких сенсорів є проблема створення комбінованих структур. Для цього, як уже відзначалося раніше, розвинуті спеціальні технології, наприклад, технологія з'єднання кремнію зі склом чи кремнію з кремнієм.

У багатьох механічних сенсорах використовується п'єзоопір, що базований на зміні енергетичної структури кремнію при дії на нього механічної сили. В результаті цієї зміни відбувається зміна електричного опору кремнію.

Крім того, в механічних сенсорах широко використовується також зміна ємності під дією механічних сил у спеціальній структурі сенсора.

Важливою проблемою для механічних сенсорів є також проблема вимірювання швидкості рідинних потоків. Такі потоки можна, наприклад, виміряти за допомогою контролю охолодження гарячої області напівпровідника потоком, що проходить повз цю область.

Мікромеханічні сенсори можуть застосовуватися в промисловості, автоматичній, медично-му обладнанні та домашньому господарстві.

## Термосенсори

Термосенсори застосовуються для вимірювань температури, потоків тепла, потужності тощо. В цих сенсорах використовується зміна провідності напівпровідника за рахунок переходів носіїв між дозволеними зонами напівпровідника та між домішковими рівнями і дозволеними зонами, а також зміна з температурою характеристик напівпровідникових приладів. Звичайно використовують експоненціальну залежність опору чи параметрів приладу від температури:

$$R \sim e^{\frac{E}{kT}},$$

де  $E$  може бути шириною забороненої зони, енергетичним положенням домішкового рівня, висотою потенційного бар'єру тощо.

Крім того, в напівпровідникових сенсорах може використовуватися такий ефект, як термо-ЕРС. Як відомо, сигнал термо-ЕРС

$$\Delta V = \alpha \Delta T,$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт термоерс, а  $\Delta T$  - різниця температур між гарячим та холодним контактами.

Для підсилення вихідного сигналу звичайно використовують сигнал від багатьох термопар, які включені послідовно. В цьому випадку загальний сигнал  $V = \Sigma \Delta V$ , де  $\Delta V$  - сигнал від кожної окремої термопари. Слід особливо відзначити, що термосенсори є також базовим елементом для створення сенсорів іншого типу, наприклад, механічних сенсорів для вимірювання потоків, радіаційних сенсорів та хімічних або біологічних сенсорів.

## Електричні сенсори

Електричні напівпровідникові сенсори перетворюють електричний сигнал однієї форми в іншу, або електричний сигнал в сигнал іншої природи.

Прикладом сенсорів першої групи є перетворення змінного сигналу в постійний за допомогою нелінійного напівпровідникового елементу або застосування транзистора для підсилення електричного сигналу.

Прикладом сенсорів другого типу є п'єзосенсори чи ємнісні сенсори. В

п'єзосенсорах, як відомо, під дією електричних полів змінюються розміри п'єзокристалу, а в ємнісних сенсорах під дією постійної напруги може змінюватись ємність мікроконденсатора, яку можна вимірювати при прикладанні змінної напруги.

На сьогоднішній день створена величезна кількість різних напівпровідникових електричних сенсорів для вимірювань струму, напруги, напруженості поля та інших електричних величин.

## Магнітні сенсори

Магнітні сенсори, як правило, перетворюють дію магнітного поля в електричний сигнал.

Найширше в магнітних сенсорах використовують гальваномагнітні ефекти в напівпровідниках. Це, перш за все, ефект Холла. Як відомо, цей ефект виявляється, коли через напівпровідник проходить електричний струм, а сам напівпровідник вміщений в магнітне поле, напрям якого перпендикулярний до електричного поля. Тоді, завдяки дії сили Лоренца, на гранях напівпровідника, перпендикулярних як до електричного, так і магнітного поля, виникає електрорушійна сила, яка і називається ЕРС Холла.

Другим гальваномагнітним ефектом, який використовується в магнітних сенсорах, є магнітоопір. Він обумовлений зміною довжини вільного пробігу носіїв заряду в перпендикулярному магнітному полі.

Як магнітні сенсори можуть також використовуватись напівпровідникові структури, наприклад, МДН транзистор, в якому відбувається зміна довжини вільного пробігу носіїв у магнітному полі. Існуючі магнітні сенсори на основі напівпровідників та напівпровідникових структур можуть перебивати шість порядків величин магнітного поля, починаючи з  $10^{-5}$  Т до 10 Т.

## Радіаційні сенсори

Радіаційні сенсори трансформують вхідний сигнал в електричний сигнал. Вхідним сигналом у випадку радіаційних сенсорів може бути

електромагнітне випромінювання (НВЧ хвилі, світло), або потоки частинок (електрони, протони тощо). Ці сенсори мають забезпечувати детектування в надзвичайно широкому спектрі енергій від  $10^9$  еВ (космічні промені) до  $10^{-10}$  еВ (радіохвилі).

Електромагнітні випромінювання або частинки, які поглинаються в напівпровіднику, можуть викликати різні зміни його характеристик. Поглинання залежить від віддалі до поверхні по закону

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\alpha x},$$

де  $\alpha$  є коефіцієнтом поглинання. Коефіцієнт  $\alpha$  залежить від характеру радіаційного випромінювання. Наприклад, електрони з енергією від 10 до 100 кеВ поглинаються в кремнії на глибині від 4 до 40 мікрон, а фотони з тією ж енергією поглинаються на глибині від 0,06 до 60 см відповідно.

Поглинання радіаційного випромінювання може приводити до зміни провідності за рахунок зміни концентрації носіїв у дозволених зонах та до появи електрорушійної сили за рахунок розділення носіїв внутрішніми полями (p-n перехід, транзистор та інше).

### Хімічні сенсори

Хімічні сенсори виконують функцію визначення роду хімічної сполуки та її концентрації в газовому та рідкому середовищі. Для цих сенсорів найбільш широко використовуються напівпровідникові плівки та польові транзистори.

В багатьох випадках в результаті адсорбції відбувається зміна вигину зон, яку можна детектувати різними методами (зміна провідності, ємності, контактної різниці потенціалів тощо).

Зміна вигину зон відбувається в результаті зміни заряду адсорбованих часточок. Наприклад, при адсорбції кисню відбувається його дисоціація до форми  $O^-$ , де електрон екстрагується із об'єму напівпровідника. При адсорбції важливим є також склад напівпровідника, на якому відбувається адсорбція. Наприклад, при адсорбції кисню на поверхні GaAs він взаємодіє переважно з As. Для підсилення адсорбції

або створення чи збільшення концентрації активних часточок часто використовують покриття поверхні каталітично активними сполуками.

Як приклад, що пояснює каталітичну дію додаткового покриття, можна привести дію покриття Pt на адсорбцію водню. В результаті адсорбції  $H_2$  на Pt відбувається перехід  $H_2 \rightarrow H^+$ , а це і означає збільшення концентрації активних заряджених часточок при адсорбції водню на поверхні напівпровідника.

На сьогоднішній день розроблена величезна кількість хімічних напівпровідникових сенсорів, які використовують різні напівпровідники та різні принципи детектування хімічних сполук в газових та рідких середовищах.

### Біосенсори

Біосенсори детектують біологічно активні речовини.

Як відомо, в живому організмі сукупність всіх внутрішньоклітинних та міжклітинних реакцій мусить підтримуватись на стабільному рівні. Така підтримка постійного складу внутрішнього середовища живого організму називається гомеостазом. Існування гомеостазу обумовлюється біологічно активними сполуками - ферментами, антитілами та гормонами. Ферменти - це біологічно активні каталізатори, які працюють в кожній клітині. Каталіз проходить на активному центрі ферменту за схемою:



де  $E$  - фермент,  $S$  - субстрат,  $P$  - продукт.

Антитіла захищають організм від чужорідних білків. Схема такого захисту подальша: антитіла взаємодіють з антигенами чужорідного білка, в результаті утворюється складна структура антитіло-антиген, що розпадається. Це і приводить до знищення чужих для організму білків.

Гормони виконують в організмі регулюючу функцію.

Для реєстрації біологічно активних речовин, як правило, застосовують біологічно активні мембрани, які наносяться на поверхню напівпровідника чи напівпровідникової структури. Така біологічно активна мембрана може включати в себе іммобілізовані (прив'язані)

ферменти чи інші біологічно активні компоненти. В результаті взаємодії таких біологічно активних компонентів з розчином, в якому є біологічно активні речовини, відбувається зміна хімічного складу розчину, яка може детектуватися на принципах, які застосовуються в хімічних сенсорах.

В біосенсорах можна також використовувати і фізичні методи детектування. Наприклад, при реакції антигену, іммобілізованого на поверхні, з антигеном, змінюється величина ємності системи металічний електрод - напівпровідник за рахунок зміни діелектричних властивостей проміжку між металом та напівпровідником.

Сьогодні проблема створення біосенсорів різного призначення активно розробляється дослідниками, випуск таких сенсорів налагоджується різними фірмами.

### **Області застосування та ринок напівпровідникових сенсорів**

На сьогоднішній день напівпровідникові сенсори найбільш активно застосовуються в таких областях:

- 1) Периферія обчислювальних машин.
- 2) Космос та авіація.
- 3) Контроль навколишнього середовища.
- 4) Телекомунікації.
- 5) Системи безпеки.
- 6) Контроль виробничих процесів.
- 7) Транспорт.
- 8) Медицина.
- 9) Домашнє обладнання.
- 10) Іграшки.

В цих областях найбільше застосування знайшли такі сенсори:

- 1) прискорення,
- 2) тиску,
- 3) температури,
- 4) потоків,
- 5) рівня,
- 6) хімічні,
- 7) положення,
- 8) мікрохвильові,
- 9) контролю інжекції чорнил,
- 10) контролю роботи мікрофільтрів,
- 11) контролю запису та відтворення інфор-

мації на магнітних дисках і т.п.

Проблемою напівпровідникових сенсорів на сьогоднішній день займаються тисячі вчених у всьому світі, а кількість публікацій вже перевищила 20000 робіт. Тільки в Європі проблемою напівпровідникових сенсорів займаються понад 300 фірм. Ринок сенсорів тільки в Європі в 1995 році складав 11 млрд. дол., і за прогнозами в 2002 році цей ринок виросте більш ніж у 3 рази і досягне 38 млрд. доларів.

Таким чином, напівпровідникові сенсори вже в найближчий час можуть посісти друге місце в напівпровідниковій електроніці після традиційної інтегральної електроніки.

### **Список використаної літератури**

- [1]. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. Т.1,2. Москва, Мир, 1984.
- [2]. S. M. Sze. Semiconductor Sensors. New York, John. Wiley, 1994.
- [3]. A. F. P. Turner. Biosensors Fundamentals and Applications, Oxford, 1987.
- [4]. W. Gopel et al, New York, VCH, Sensors, v.1-5,1992.

Стаття надійшла до редакції 25.05.2021 р.

## ДО 60-РІЧЧЯ ПРОФЕСОРА СТІХИ МАКСИМА ВІТАЛІЙОВИЧА

**СТІХА Максим Віталійович** - відомий учений у галузі фізики напівпровідників та українського перекладознавства, доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник інституту фізики напівпровідників ім. В.Є Лашкарьова НАН України, професор Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, академік АН вищої школи України, віце-президент АН ВШ України, письменник, перекладач, громадський діяч.

Народився 24.06.1961 р. в Києві в родині науковців (батько проф. В.І. Стріха (1931-1999), був одним із фундаторів сучасної фізики напівпровідників в Україні, засновником і першим президентом АН вищої школи України). Закінчив радіофізичний факультет КНУ ім. Т. Шевченка.

У 1987 році закінчив аспірантуру Фізико-технічного інституту ім. А. Ф. Йоффе АН СРСР (м. Ленінград, Росія) та захистив кандидатську дисертацію за темою "Оже-рекомбінація та ударна іонізація через домішкові центри у напівпровідниках". У 1997 році закінчив докторантуру ІФН ім. В. Є. Лашкарьова НАН України та захистив докторську дисертацію за темою "Оптичні та рекомбінаційні переходи в напівпровідниках з дефектами, деформаціями та неоднорідностями складу".

З 1983 р. працює в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

З 2008 р. – професор кафедри фізичної електроніки Київського національного університету ім. Т.Г.Шевченка, читає курс «Фізика конденсованого середовища» та веде науковий семінар для магістрів. З 2010 р. – по 2012 р. – завідувач, з 2012 р. по 2014 р. – професор кафедри перекладу Київського університету Б.Грінченка (за сумісництвом).

Плідною і корисною для науки і освіти України була діяльність М.В.Стріхи на посаді заступника міністра освіти і науки України з 2008 р. по 2010 р. і з 2014 по 2019 рр.

Наукові інтереси в галузі фізики напівпровідників – побудова послідовної теорії оптичних та рекомбінаційних переходів у реальних



напівпровідниках, покращення властивостей матеріалів напівпровідникової електроніки, фізика графену. Теоретично передбачив низку нових ефектів у одновісних стиснутих безщільних та вузькощілинних напівпровідниках, показав, що одновісний стиск у цих матеріалах може призвести до суттєвого (на порядки) зростання квантового виходу випромінювання. Автор першого огляду з фізики графену українською мовою, надрукованого у нашому журналі в 2010р.

Професор Стріха М.В. є автором понад 200 наукових праць з фізики напівпровідників, у т.ч. 4 огляди, 1 навчальний посібник з грифом МОН та патент.

Вражаючою є різносторонність інтересів, енциклопедичність знань і високий рівень плідної праці на інших, окрім фізики, галузях знань і напрямках діяльності – письменницька, зокрема як перекладача класиків світової

літератури, культурологічна, просвітницька, громадська і політична. Максим Віталійович є автором понад 100 статей, присвячених питанням державотворення, історії, культури, літературознавства, мови, постатям і явищам українського перекладу та 2 монографій з перекладознавства: «Данте й українська література» (2003), «Український художній переклад: між літературою і націєтворенням» (2006).

У галузі українського перекладознавства запропонував і обґрунтував концепцію націєтворчої функції українського художнього перекладу. Перекладав українською мовою поетичні та прозові твори Данте, В.Вордсворта, А.Ч.Свінберна, Р.Л.Стівенсона, Ж.М.Ередіа, В.Вітмена, Е.Дікінсона, Р.Кіплінга, Д.Г.Лоуренса, Т.С.Еліота, Ш.Мараї, інших класичних та сучасних авторів. Автор книги віршів «Сонети та октави» (1991). Видав авторські перекладні антології англійської, американської, російської поезій. За переклад «Божественної комедії» Данте отримав премію Максима Рильського, а також Італійську відзнаку для українського перекладача.

Віце-президент Академії наук Вищої школи України з 2010 р.

Член Українського фізичного товариства (з 1992; з 2004 – член Бюро Координаційної ради). Член Асоціації українських письменників (1997, віце-президент з 2009) та Національної спілки письменників України (1994).

У 1990–1994 – депутат Київської міської ради, в 1993–1995 – радник міністра культури України.

Член редколегій журналів «Світ фізики», «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології», «Українського фізичного журналу», «Українознавство», «Всесвіт».

Лауреат Нагород Ярослава Мудрого і Святого Володимира АН ВШ України. Нагороджений Почесною Грамотою МОН України (2007). Відзнака «За наукові досягнення» Президії НАН України (2008). Лауреат премії журналу «Сучасність» (2005) та премії ім. Миколи Лукаша журналу «Всесвіт» (2008).

Нам приємно відзначити і нашу багатолітню співпрацю з Максимом Віталійовичем на ниві науки і освіти, зокрема, у роботі в редколегії нашого журналу та проведенні наукових форумів на базі нашого університету, а також як автора низки актуальних наукових статей і серії методично-оглядових статей з докладним розглядом явищ розсіяння електронів у каналі провідності нанотранзисторів, у яких використано дещо інший підхід до теорії MOSFET, більш адекватний до фізики нанотранзисторів.

Тож в день Вашого Ювілею, шановний Максиме Віталійовичу, прийміть найщиріші побажання добра, здоров'я, щастя, такої ж кипучої енергії, натхнення і творчих успіхів на всіх напрямках Вашої багатогранної діяльності!

Редколегія

## ІНФОРМАЦІЯ ДЛЯ АВТОРІВ. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У ЖУРНАЛ

Журнал «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» публікує статті, короткі повідомлення, листи до Редакції, а також коментарі, що містять результати фундаментальних і прикладних досліджень, за наступними напрямками:

1. Фізичні, хімічні та інші явища, на основі яких можуть бути створені сенсори
2. Проектування і математичне моделювання сенсорів
3. Сенсори фізичних величин
4. Оптичні, оптоелектронні і радіаційні сенсори
5. Акустoeлектронні сенсори
6. Хімічні сенсори
7. Біосенсори
8. Наносенсори (фізика, матеріали, технологія)
9. Матеріали для сенсорів
10. Технологія виробництва сенсорів
11. Сенсори та інформаційні системи
12. Мікросистемні та нанотехнології (MST, LIGA-технологія та ін.)
13. Деградація, метрологія і сертифікація сенсорів

Журнал публікує також замовлені огляди з актуальних питань, що відповідають його тематиці, поточну інформацію – хроніку, персоналії, платні рекламні повідомлення, оголошення щодо конференцій.

Основний текст статті повинен відповідати вимогам Постанови Президії ВАК України від 15.01.2003 р. №7-05/1 (Бюлетень ВАК України 1, 2003 р.) і бути структурованим. Матеріали, що надсилаються до Редакції, повинні бути написані з максимальною ясністю і чіткістю викладу тексту. У поданому рукописі повинна бути обґрунтована актуальність розв'язуваної задачі, сформульована мета дослідження, міститися оригінальна частина і висновки, що забезпечують розуміння суті отриманих результатів і їх новизну. Автори повинні уникати необґрунтованого введення нових термінів і вузькопрофільних жаргонних висловів.

Редакція журналу просить авторів при направленні статей до друку керуватися наступними правилами:

1. Рукописи повинні надсилатися у двох примірниках українською, або російською, або англійською мовою і супроводжуватися файлами тексту і малюнків на CD. Рукописи, які пропонуються авторами з України або країн СНД до видання англійською мовою обов'язково доповнюються україномовною або російськомовною версією. Електронна копія може бути надіслана електронною поштою.

2. Прийнятні формати тексту: MS Word (rtf, doc).

3. Прийнятні графічні формати для рисунків: EPS, TIFF, BMP, PCX, WMF, MS Word і MS Graf, JPEG. Рисунки створені за допомогою програмного забезпечення для математичних і статистичних обчислень, повинні бути перетворені до одного з цих форматів.

4. На статті авторів з України мають бути експертні висновки про можливість відкритого друку.

### **Рукописи надсилати за адресою:**

Лепіх Ярослав Ілліч, Заст. гол. редактора, Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, МННФТЦ (НДЛ-3), вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна.

**Телефон / факс** +38(048) 723-34-61,

**E-mail:** semst-journal@onu.edu.ua,

**http://semst.onu.edu.ua**

*Здійснюється анонімне рецензування рукописів статей.*



**Правила підготовки рукопису:**

Рукописи повинні супроводжуватися офіційним листом, підписаним керівником установи, де була виконана робота. Це правило не стосується робіт представлених авторами із закордону чи міжнародними групами авторів.

Авторське право переходить Видавцю.

Титульний аркуш:

1. PACS і Універсальний Десятковий Код Класифікації (УДК) (для авторів із країн СНД) — у верхньому лівому куті. Допускається декілька відділених комами кодів. Якщо ніякі коди класифікації не позначені, код(и) буде(-уть) визначено Редакційною Колегією.

2. Назва роботи (по центру, прописними літерами, шрифт 14pt, жирно).

3. Прізвище (-а) автора(-ів) (по центру, шрифт 12pt).

4. Назва установи, повна адреса, телефони і факси, e-mail для кожного автора, нижче, через один інтервал, окремим рядком (по центру, шрифт 12pt).

5. Анотація: до 1000 символів.

6. Ключові слова: їхня кількість не повинна перевищувати восьми слів. В особливих випадках можна використовувати терміни з двома — чи трьома словами. Ці слова повинні бути розміщені під анотацією і написані тією самою мовою.

П.п. 2,3,4,5,6 послідовно викласти українською, англійською і російською мовами.

Для авторів з закордону, які не володіють українською або російською мовами, пп. 2-5 викладаються англійською мовою.

7. До кожного примірника статті додаються реферати українською та англійською мовами (кожен реферат на окремому аркуші). Особливу увагу слід приділяти написанню резюме статті англійською мовою. Для цього доцільно користуватися послугами кваліфікованих спеціалістів-лінгвістів з подальшим науковим редагуванням тексту автором(-ами). Перед словом «реферат» необхідно написати повну назву статті відповідною мовою, УДК, прізвища та ініціали авторів, назви установ. Реферат обсягом 200-250 слів має бути структурованим: мета (чітко сформульована), методи дослідження, результати дослідження (стисло), узагальнення або висновки.

Після тексту реферату з абзацу розміщуються ключові слова.

8. Текст статті повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, на білому папері формату А4. Поля: зліва - 3см, справа - 1,5см, вверху і знизу - 2,5см. Шрифт 12pt. Підзаголовки, якщо вони є, повинні бути надруковані прописними літерами, жирно.

Рівняння повинні бути введені, використовуючи MS Equation Editor або MathType. Роботи з рукописними вставками не приймаються. Таблиці повинні бути представлені на окремих аркушах у форматі відповідних текстових форматів (див. вище), чи у форматі тексту (з колонками, відділеними інтервалами, комами, крапкам з комою, чи знаками табулювання).

9. У кінці тексту статті указати прізвища, імена та по батькові усіх авторів, поштову адресу, телефон, факс, e-mail (для кореспонденції).

10. Список літератури повинен бути надрукований через 1,5 інтервали, з літературою, пронумерованою в порядку її появи в тексті. Бібліографія друкується лише латиницею (кирилиця подається в транслітерації). Порядок оформлення літератури повинен відповідати вимогам ВАК України, наприклад:

[1]. I.M. Cidilkov skii. *Elektrony i dyrki v poluprovodnikah*. Nauka, M. 450 s. (1972).

[2]. J.A. Hall. *Imaging tubes*. Chap. 14 in *The Infrared Handbook*, Eds. W.W. Wolfe, G.J. Zissis, pp. 132-176, ERIM, Ann Arbor, MI (1978).

[3]. N. Blutzer, A.S. Jensen. *Current readout of infrared detectors // Opt. Eng.*, 26(3), pp. 241-248 (1987).

11. Підписи до рисунків і таблиць повинні бути надруковані в рукописі з двома пробілами після списку літератури. Виносок, якщо можливо, бажано уникати.

Приймаються тільки високоякісні рисунки. Написи і символи повинні бути надруковані усередині рисунку. Негативи, слайди, і діапозитиви не приймаються.

Кожен рисунок повинен бути надрукований на окремому аркуші і мати розмір, що не перевищує 160x200 мм. Для тексту на рисунках використовуйте шрифт 10pt. Одиниці виміру повинні бути позначені після коми

(не в круглих дужках). Усі рисунки повинні бути пронумеровані в порядку їх появи в тексті, з частинами позначеними як (а), (б), і т.д. Розміщення номерів рисунків і напису усередині малюнків не дозволяються. Зі зворотної сторони, напишіть олівцем назву, прізвище(а) автора(-ів), номер малюнка і позначте верх стрілкою.

Фотографії повинні бути оригінальними. Кольоровий друк можливий, якщо його вартість сплачується авторами чи їх спонсорами.

12. Стаття має бути підписана автором (усіма авторами) з зазначенням дати на останній сторінці.

Автори несуть повну відповідальність за бездоганне мовне оформлення тексту, особливо за правильну наукову термінологію (її слід звіряти за фаховими термінологічними словниками).

13. Датою надходження статті вважається день, коли до редколегії надійшов остаточний варіант статті після рецензування.

Після одержання коректури статті автор повинен виправити лише помилки (чітко, синьою або чорною ручкою неправильно закреслити, а поряд з цим на полі написати правильний варіант) і терміново відіслати статтю на адресу редколегії електронною поштою.

Підпис автора у кінці статті означає, що автор передає права на видання своєї статті редакції. Автор гарантує, що стаття оригінальна; ні стаття, ні рисунки до неї не були опубліковані в інших виданнях.

Відхилені статті не повертаються.

#### **До уваги авторів**

Міжнародна агенція ISSN встановила скорочену назву нашого журналу «**Sens. elektron. mikrosist. tehnol.**» Просимо Вас у своїх посиланнях і бібліографічних даних статей використовувати саме таку назву оскільки по ній буде здійснюватися посилання на Вашу статтю.

# INFORMATION FOR AUTHORS

## THE REQUIREMENTS ON PAPERS PREPARATION

Journal «Sensor Electronics and Microsystems Technologies» publishes articles, brief messages, letters to Editors, and comments containing results of fundamental and applied researches, on the following directions:

1. Physical, chemical and other phenomena, as the bases of sensors
2. Sensors design and mathematical modeling
3. Physical sensors
4. Optical, optoelectronic and radiation sensors
5. Acoustoelectronic sensors
6. Chemical sensors
7. Biosensors
8. Nanosensors (physics, materials, technology)
9. Sensor materials
10. Sensors production technologies
11. Sensors and information systems
12. Microsystems and nano- technologies (MST, LIGA-technologies et al.)
13. Sensor's degradation, metrology and certification

The journal publishes the custom-made reviews on actual questions appropriate to the mentioned subjects, current information – chronicle, special papers devoted to known scientists, paid advertising messages, conferences announcements.

The basic article text should meet the SAC Ukraine Presidium Decree requirements from 15.01.2003 № 7-05/1 (SAC Bulletin № 1, 2003) and be structured. The materials sent to Editors, should be written with the maximal text presentation clearness and accuracy. In the submitted manuscript the actuality of problem should be reflected, the purpose of the work should be formulated. It must contain an original part and conclu-

sions providing the received results essence and their novelty understanding. The authors should avoid the new terms and narrow profile jargon phrase unreasonable introduction.

Journal Edition asks authors at a direction of articles in a print to be guided by the following rules:

1. Manuscripts should be submitted in duplicate in Ukrainian, English, or Russian, a hard copy and supplemented with a text file and figures on a CD. Manuscripts which are offered by authors from Ukraine or CIS countries to the edition in English are necessarily supplemented by Ukrainian or Russian version. An electronic copy may be submitted by e-mail.
2. Acceptable text formats: MS Word (rtf, doc).
3. Acceptable graphic formats for figures: EPS, TIFF, BMP, PCX, CDR, WMF, MS Word and MS Graf, JPEG. Figures created using software for mathematical and statistical calculations should be converted to one of these formats.
4. For articles of authors from Ukraine there should be expert conclusions about an opportunity of an open print.

### **Manuscripts should be sent to:**

Lepikh Yaroslav Illich, The Vice Editor, Odesa National I.I. Mechnykov University, ISEPTC (RL-3), str. Dvoryanskaya, 2, Odesa, 65082, Ukraine.

**Phone/fax** +38(048) 723-34-61,

**E-mail:** semst-journal@onu.edu.ua,

**http://**semst.onu.edu.ua

*Manuscripts of articles anonymous reviewing is carried out*

**The manuscript preparation rules:**

The manuscripts should be supplemented with the Official letter signed by a chief manager of the institution where the work was performed. This rule does not apply to papers submitted by authors from abroad or international groups of authors.

Copyright transfer to the Publisher.

Title Page:

1. PACS and Universal Decimal Classification code (for authors from CIS) in the top left corner. Several comma-separated codes are allowed. If no classification codes are indicated, the code(s) will be assigned by the Editorial Board.

2. Title of the paper (central, capital, bold, 14pt).

3. Name (-s) of the author(-s) below, in one space (central, normal face, 12pt).

4. Name of affiliated institution, full address, phone and fax numbers, e-mail addresses (if available) for each author below, in one space (central, normal face, 12pt).

5. Abstract: up to 1000 characters.

6. Keywords: its amount must not exceed eight words. In the specific cases it is acceptable to use two- or three-word terms. These words must be placed under the abstract and written in the same language.

Items 2,3,4,5,6 must be presented in series in Ukrainian, English and Russian languages.

For authors from abroad which do not know Ukrainian or Russian languages, items 2-5 may be presented only in English.

7. To each copy of the article abstracts in Ukrainian and the English language are applied (each abstract on a separate sheet). The special attention should be given to the writing of the article summary in English. For this purpose it is expedient to use the qualified experts - linguists with the further scientific editing the text by the author (-s). Before the word "abstract" it is necessary to write the full article name by the appropriate language, UDC, surnames and the initials of the authors, names of affiliated institutions. The abstract in volume of 200-250 words must be structured: the purpose (precisely formulated), research methods and results (shortly), generalizations or conclu-

sions. After the text of the abstract from the item key words are placed.

8. Article text should be printed 1,5-spaced on white paper A4 format with a 12pt, margins: left — 3sm, right — 1,5, upper and lower — 2,5sm. Titles of the sections if it is present should be typed bold, capitals.

Equations should be entered using MS Equation Editor or MathType. Papers with handwritten equations are not accepted. Notations should be defined when the first appearing in the text.

Tables should be submitted on separate pages in the format of appropriate text formats (see above), or in the text format (with columns separated by interval, commas, or tabulation characters).

9. At the article text end one must indicate surnames, names and patronymics of all authors, the mail address, the phone, a fax, e-mail (for the correspondence).

10. List of references should be 1,5-spaced, with references numbered in order of their appearance in the text. The bibliography is printed only by the roman type (cyrillics represents in transliteration).

The literature registration order should conform to DAS of Ukraine requirements, for example:

[1]. I.M. Cidilkov skii. *Elektrony i dyrki v poluprovodnikah*. Nauka, M. 450 s. (1972).

[2]. J.A. Hall. *Imaging tubes*. Chap. 14 in *The Infrared Handbook*, Eds. W.W. Wolfe, G.J. Zissis, pp. 132-176, ERIM, Ann Arbor, MI (1978).

[3]. N. Blutzer, A.S. Jensen. *Current readout of infrared detectors // Opt. Eng.*, 26(3), pp. 241-248 (1987).

11. Figures and tables captions should be printed in the manuscript double-spaced after the list of references. Footnotes should be avoided if possible.

Only high-quality pictures can be accepted. Inscriptions and symbols should be printed inside picture. Negatives, and slides are not accepted.

Each figure should be printed on a separate page and have a size not exceeding 160x200 mm. For text inside figures, use 10pt. Measurement

units should be indicated after a comma (not in blankets). All figures are to be numbered in order of its appearance in the text, with sections denoted as (a), (b), etc. Placing the figure numbers and captions inside figures is not allowed. On the backside, write with a pencil the paper title, author(s) name(s) and figure number, and mark the topside with an arrow.

Photographs should be submitted as original prints. Color printing is possible if its cost is covered by the authors or their sponsors.

12. The article must be signed by author (all authors) with the date indication on the last page.

Authors bear full responsibility for irrefragable language make out of the text, especially for a correct scientific terminology (it should be verified under terminological dictionaries of the appropriate speciality).

13. The date of article acceptance is that one when the final variant comes to the publisher after a prepublication review.

After obtaining the proof sheet the author should correct mistakes (clearly cancel incorrect variant with blue or black ink and put the correct variant on border) and send urgently the revised variant to the editor by e-mail.

Author's signature at the article end vouches that author grants a copyright to the publisher. Author vouches that the work has not been published elsewhere, either completely, or in part and has not been submitted to another journal.

Not accepted manuscripts will not be returned.

#### **To author attention**

International agency ISSN has established our Journal shortcut – «**Sens. elektron. mikrosist. tehnol.**» We ask you in your references and article bibliographic dates use such name as on it the reference to your article will be carried out.

---

*Комп'ютерне верстання – С. О. Остапенко*

Підп. до друку 24.06.2021. Формат 60×84/8.  
Ум.-друк. арк. 7,21. Тираж 50 пр.  
Зам. № 2295.

**Видавець і виготовлювач**  
**Одеський національний університет імені І. І. Мечникова**

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4215 від 22.11.2011 р.

Україна, 65082, м. Одеса, вул. Єлісаветинська, 12  
Тел.: (048) 723 28 39