

## **ВИСНОВОК**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Курищука Сергія Івановича на тему: «Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі» на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю – 104 Фізика та астрономія галузь знань - 10 Природничі науки**

**1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт Університету.**

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри електроніки і енергетики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича за темами та проектами:

- “Фотоперетворювачі на основі тонких плівок оксидів і сульфідів перехідних металів для фотоелектроніки і сонячної енергетики” (номер державної реєстрації 0122U001309).

- “Розробка на основі напівпровідникових кристалів та тонких плівок приладів електроніки та фотовольтаїки” (номер державної реєстрації 0121U111110).

- “Гетеропереходи на основі тонких плівок графіту та графену для застосування в електроніці, сонячній енергетиці та детекторах частинок високої енергії” (номер державної реєстрації 0120U101250).

Роль дисертанта у виконанні цих науково-дослідних тем полягала у отриманні тонких плівок оксиду міді, графіту, різних металів та виготовленні гетероструктур на їх основі. Також дисертант проводив вимірювання електричних, оптичних і фотоелектричних властивостей тонких плівок та гетероструктур і приймав активну участь у обробці та аналізі отриманих експериментальних результатів, їх інтерпретації та поясненні.

**Метою дисертаційного дослідження** є дослідження структурних, електричних та оптичних властивостей тонких плівок оксиду міді та графіту і розробка гетероструктур на їх основі та дослідження домінуючих механізмів струмопереносу, бар'єрних параметрів та фотоелектричних властивостей з метою встановлення можливості їхнього використання у приладах електроніки і фотовольтаїки.

**Методи дослідження** - скануюча електронна мікроскопія, рентгенівська спектроскопія, вимірювання спектрів пропускання та відбивання, електричного опору тонких плівок, вимірювання вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик та спектрального розподілу квантової ефективності досліджуваних гетеропереходів.

**Об'єкт дослідження** - тонкі плівки оксиду міді та графіту і гетеропереходи на їх основі.

**Предмет дослідження** - структурні, електричні та оптичні властивості тонких плівок оксиду міді та графіту і механізми струмопереносу, електричні та фотоелектричні властивості в гетеропереходах створених на їх основі.

## **2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації**

У дисертаційній роботі були поставлені такі завдання:

- Отримати тонкі плівки оксиду міді та графіту з заданими структурними, електричними та оптичними властивостями.
- Дослідити структурні, електричні та оптичні властивості тонких плівок оксиду міді та графіту.
- Встановити бар'єрні параметри та домінуючі механізми струмопереносу при прямих та зворотніх зміщеннях.
- Дослідити фотоелектричні властивості виготовлених гетероструктур.

## **3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна:**

В даній роботі **вперше**:

1. Досліджено вплив температури підкладки та вмісту реактивного газу  $O_2$  на структурні, електричні та оптичні властивості тонких плівок  $CuO$ , напилених методом реактивного магнетронного розпилення. Встановлено, що при оптимальних режимах підкладки формуються напівпровідникові полікристалічні плівки  $CuO$  р-типу провідності з розміром зерен  $D \sim 26$  нм, з шириною забороненої зони  $E_g^{op} = 1.65$  еВ, поверхневим опором  $\rho = 5,96$  кОм/□. Крім того встановлено, що оптимальним омичним контактом до плівки р- $CuO$  є нікелевий.

2. На основі створення розробки теоретичної моделі тонкоплівкових сонячних елементів із структурою скло/ІТО/графіт/ $CuO$ /Ni. Теоретичні порогові значення ефективності фотоелектричних пристроїв визначені для різних товщин активного шару  $CuO$  з використанням нормалізованої інтенсивності світла, еквівалентної спектру AM1.5. Змодельовано вольт-амперні характеристики напівемпіричними методами, які показали, що ефективність фотоелектричного перетворення залежить від товщини активного шару, з ефективністю 25,2% для плівок  $CuO$  товщиною 500 нм.

3. Досліджено вплив товщини фронтального шару графіту на електричні і фотоелектричні властивості гетеропереходів графіт/n-Si виготовлених методом електронно-променевого випаровування із різною товщиною плівок графіту ( $d = 25 \dots 40$  нм). Встановлено, що виготовлені діоди Шотткі графіт/n-Si володіють висотою потенціального бар'єру ( $\phi_0 = 0,46 - 0,56$  еВ) в залежності від товщини плівки. При прямих зміщеннях домінуючі механізми струмопереносу гарно описуються в рамках генераційно-рекомбінаційної моделі, а при зворотніх зміщеннях тунельною моделлю.

4. Розроблено фоточутливі органічно-неорганічні гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe, які володіють такими фотоелектричними параметрами: напруга холостого ходу  $V_{oc}=0,5$  В, струм короткого замикання

$I_{sc}=0,28$  мА/см<sup>2</sup>, та є перспективними для роботи в умовах підвищеного рівня радіації.

5. Виготовлено фотодіоди на основі унікального поєднання радіаційостійких функціональних матеріалів: тонкоплівкового графіту та монокристалічного напівпровідника CdZnTe, які володіють наступними параметрами: чутливість 0,25 А Вт<sup>-1</sup>; детективність  $6,5 \times 10^{11}$  Джонс, також характеризуються швидкими часами відгуку підйому/спаду (1,2/7,2 мкс) і широким лінійним динамічним діапазоном (77 дБ).

#### **4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Обсяг дисертації складає 153 сторінки, включає 64 рисунки, 10 таблиць. Список використаних джерел містить 208 найменувань.

Дисертаційна робота є самостійною науковою працею, має теоретичне та прикладне значення. Усі висновки, рекомендації та положення, що характеризують наукову новизну дослідження, сформульовані особисто автором дисертації.

Результати дисертації опубліковані в 14 наукових працях, з них 8 статей у виданні, що індексується у наукометричній базі даних SCOPUS, одна стаття у наукових фахових виданнях України. Апробація основних наукових результатів відбулася у формі доповідей на 7 Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях.

#### **5. Рівень теоретичної підготовки дисертанта рівень його обізнаності з результатами наукових досліджень інших науковців.**

Ключові наукові результати, положення і висновки, які представляють суть дисертаційного дослідження, отримано та сформульовано здобувачем особисто.

Особистий внесок здобувача в основних роботах [1-8] полягає в наступному: В роботах [1-4], [6,7] здобувач особисто планував та проводив

більшість експериментальних досліджень, самостійно аналізував та пояснював результати і писав статті. З співавторами перерахованих робіт проводилося обговорення результатів та моделей для їхньої інтерпретації. В роботах [5-8] здобувач спільно з співавторами планував та проводив експериментальні дослідження, аналізував, пояснював та обговорював з співавторами отримані результати і брав активну участь у написанні статей.

## **6. Наукове та практичне значення роботи.**

Результати досліджень проведених в рамках цієї дисертаційної роботи мають велике практичне значення для розробки різних електронних та оптоелектронних приладів на основі бар'єрних гетероструктур з відтворюваними та стабільними характеристиками за різних умов експлуатації.

1. Розроблено фотодіоди для ультрафіолетової, видимої та близької інфрачервоної області спектру на основі унікального поєднання радіаційостійких функціональних матеріалів: тонкоплівкового напівметалевого графіту та монокристалічного напівпровідника CdZnTe. Фотодіоди на основі Графіт/CdZnTe проявляють максимальну чутливість на рівні  $0,25 \text{ A Вт}^{-1}$  та володіють детективністю  $6,5 \times 10^{11}$  Джонс, що близько до найкращих гетеропереходних фотодіодів виготовлених на основі твердого розчину CdZnTe. Пристрої також характеризуються швидкими часами відгуку підйому/спаду (1,2/7,2 мкс) і широким лінійним динамічним діапазоном (77 дБ). Запропоновані фотодіоди можуть використовуватися в космічних і земних приладах з високим рівнем іонізуючого випромінювання.

2. Виготовлено фоточутливі органічно-неорганічні гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe, та показано, що вони можуть використовуватися в якості фотоприймачів.

3. Розроблена технологія виготовлення, методом реактивного магнетронного розпилення, напівпровідникових полікристалічних плівок CuO р-типу провідності з розміром зерен  $D \sim 26 \text{ нм.}$ , шириною забороненої зони

$E_g^{op} = 1.65$  eV та поверхневим опором -  $\rho = 5,96$  кОм/□, що особливо актуально для виготовлення фотоелектричних перетворювачів.

## **7. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок дисертанта в публікації.**

Особистий внесок дисертанта в дисертації такий, який вказаний у пункті 5 цього висновку.

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи UNICHECK показав на 4,76% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні положення і висновки дисертаційної роботи викладені у 7 наукових працях. Зокрема, 6 з них індексовані у наукометричній базі Scopus, 1 наукова праця – у виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України. Матеріали дисертації доповідалися і опубліковані у 7 тезах доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Результати дисертації повною мірою викладені в зазначених публікаціях.

### ***Наукові праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:***

1. Kuryshchuk S.I., Kovalyuk T. T., Parkhomenko H. P., Solovan M. M. Structural, electrical and optical properties of CuO thin films obtained by reactive magnetron sputtering. *East European Journal of Physics*. 2021. Vol. 2021, no. 4. P. 76–85.
2. Kuryshchuk S. I., Kovaliuk T. T., Koziarsky I. P., Solovan M. M. Structural, electrical and optical properties of Graphite films are drawn with pencils of different hardness. *East European Journal of Physics*. 2022. Vol. 2022, no. 3. P. 91–96.
3. Myroniuk L.A., Myroniuk D.V., Maistruk E.V., Kuryshchuk S.I., Ievtushenko A.I., Danylenko I.M., Strelchuk V.V., Koziarskyi I.P. Mechanical

exfoliation of graphite to graphene in polyvinylpyrrolidone aqueous solution. *Himia, Fizika ta Tehnologija Poverhni*. 2023. Vol. 14, no. 2. P. 230-236.

4. Kuryshchuk S.I., Orletskii I.G., Shyrovkov O.V., Myroniuk D.V., Solovan M.M. Optical and Electrical Properties of CuO Thin Films by Spray Pyrolysis Method. *Acta Physica Polonica A*. 2022. Vol. 142, no. 5. P. 625-628.

5. Kuryshchuk S. I., Solovan M. M., Mostovyi A. I. Fabrication and investigation of graphite/p-InP Schottky-type heterojunction. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 2021. Vol. 12126. ISSN: 0277-786X

6. Mostovyi A.I., Kuryshchuk S.I., Asanov N., Parkhomenko H.P., Kovaliuk T.T., Orletskiy I.G., Solovan M.M., Brus V.V. A self-powered UV–vis–NIR graphite/CdZnTe Schottky junction photodiode. *Semiconductor Science and Technology*. 2023. Vol. 38, no. 8. P. 085002. (Q3 – <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=27191&tip=sid&clean=0>)

***Наукові праці у виданнях, включених до переліку  
наукових фахових видань України:***

7. Курищук С. І., Мостовий А.І., Козярьський І.П., Солован М.М. Вплив товщини плівки графіту на електричні та фотоелектричні властивості гетеропереходів типу діодів шотткі графіт/n-Si. *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. 2022. Т. 19. № 3. С. 30-37.

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

8. Курищук С.І., Ковалюк Т.Т., Солован М.М., Мар'янчук П.Д. Оптичні властивості тонких плівок оксиду міді (CuO). *Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем «MEICS-2020»*: тези доповідей на V Всеукраїнській науково-практичній конференції: 25-27 листопада, 2020р. Дніпро, 2020. С. 133-134.

9. Курищук С.І., Мостовий А.І., Солован М.М. Електричні властивості діодів Шотткі графіт/p-InP виготовлених методом перенесення нарисованої

плівки графіту на підкладку InP. *Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкарьовські читання – 2021» з міжнародною участю* : Київ, 5-7 квітня, 2021р. Україна, С. 67-68.

10. Курищук С.І., Солован М.М., Ковалюк Т.Т. Електричні властивості тонких плівок оксиду міді (CuO). *Всеукраїнська наукова конференція «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: застосування, дослідження, освіта»* : Одеса, 15 квітня, 2021р. С. 66-67.

11. Курищук С.І., Ковалюк Т.Т., Пархоменко Г.П., Солован М.М. Структурні властивості тонких плівок оксиду міді (CuO). *VI Всеукраїнська науково-практична конференція «MEICS-2021»* : Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем, 24-26 листопада, 2021р. Дніпро, 2021. С. 177-178.

12. Курищук С.І., Мостовий А.І., Солован М.М. Вплив товщини плівки графіту на електричні властивості діодів Шотткі графіт/n-Si. *«Electrical and Power Engineering and Electromechanics (EPEE 2022)»* : proceedings. Odesa Military Academy, May 12, 2022. P. 57-58.

13. Kuryshchuk S.I., Orletskii I.G., Shyrokov O.V., Myroniuk D.V., Solovan M.M. Optical and Electrical Properties of CuO Thin Films by Spray Pyrolysis Method. *Proceedings of the 50th International School & Conference on the Physics of Semiconductors «Jaszowiec 2022»* : June 4–10, 2022. Szczyrk, Poland, 2022. P. 625-628.

14. Myroniuk L. A., Myroniuk D. V., Koziarskyi I. P., Mastruk E. V., Kuryshchuk S. I., Ievtushenko A. I., Danylenko I. M., Strelchuk V. V., Solovan M. M. Mechanical exfoliation of graphite to graphene in polyvinylpyrrolidone aqueous solution. *Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface”*: 19–20 October 2022. Kyiv, Ukraine. P. 125.

## **8. Апробація результатів.**

Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:



1. *Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем «MEICS-2020»*: тези доповідей на V Всеукраїнській науково-практичній конференції: 25-27 листопада, 2020р. Дніпро.

2. *Конференція молодих вчених з фізики напівпровідників «Лашкар'ювські читання – 2021» з міжнародною участю* : Київ, 5-7 квітня, 2021р. Україна.

3. *Всеукраїнська наукова конференція «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: застосування, дослідження, освіта»* : Одеса, 15 квітня, 2021р.

4. *VI Всеукраїнська науково-практична конференція «MEICS-2021»* : Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем, 24-26 листопада, 2021р. Дніпро.

5. *«Electrical and Power Engineering and Electromechanics (EPEE 2022)»* : proceedings. Odesa Military Academy, May 12, 2022.

6. *Proceedings of the 50th International School & Conference on the Physics of Semiconductors «Jaszowiec 2022»* : June 4–10, 2022. Szczyrk, Poland, 2022.

7. *Ukrainian Conference with International Participation “Chemistry, Physics and Technology of Surface”*: 19–20 October 2022. Kyiv, Ukraine.

#### **9. Оцінка мови і стилю дисертації.**

Мова і стиль дисертації відповідають вимогам, що висувуються до праць такого рівня.

**10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.**

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Фізика та астрономія» галузі знань 10 «Природничі науки», спеціальності 104 «Фізика та астрономія».

**11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.**

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

**12. Рекомендації дисертації до захисту.**

Дисертаційна робота Курищука Сергія Івановича «Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі», подана на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія, за її актуальністю, науково-технічним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблем, практичним значенням отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 (із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №341 від 21.03.2022 р. та №502 від 19.05.2023); за результатами публічної презентації матеріалів дисертації та їх обговорення на відкритому семінарі кафедри кореляційної оптики навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 28 грудня 2023 року дисертацію Курищука Сергія Івановича рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії.

Голова засідання,  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, завідувач кафедри  
кореляційної оптики  
Чернівецького національного університету  
імені Юрія Федьковича



Петро МАКСИМЯК

