

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора фізико-математичних наук, професора

Федіва Володимира Івановича

на дисертаційну роботу

Курищука Сергія Івановича

**«Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та
гетероструктури на їх основі»,**

подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії, з галузі
знань 10 “Природничі науки” та спеціальності 104 “Фізика та астрономія”

I. Актуальність теми дисертації.

Особливий інтерес до дослідження тонких плівок дешевих і нетоксичних напівпровідникових матеріалів зумовлений економічною доцільністю при їх застосуванні у напівпровідниковому приладобудуванні, зокрема як функціональні шари в газових сенсорах, фотодіодах, сонячних елементах. Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі, які використовуються в рамках цього дисертаційного дослідження, є перспективними матеріалами для виготовлення гетероструктурних оптоелектронних приладів. Оксид міді, будучи нетоксичним і дешевим напівпровідниковим матеріалом із прямозонною структурою, є перспективним матеріалом для подальшого розвитку тонкоплівкових сонячних елементів. Зокрема, розроблено нове покоління напівпрозорих сонячних елементів на основі оксиду міді з ефективністю 8,4%. Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям тонких плівок графіту він є перспективним матеріалом для використання як шар вікна у гетероструктурних оптоелектронних приладах.

Структурні, електричні та оптичні властивості тонких плівок суттєво залежать від технологічних режимів їх виготовлення, тому актуальність дисертаційного дослідження полягає у розробці оптимальних режимів виготовлення тонких плівок оксиду міді, вуглецевих та вуглецевмісних матеріалів та виготовлення раніше не досліджених, перспективних гетеропереходів для їх застосування у електроніці та фотовольтаїці.

II. Наукова новизна і практичне значення роботи.

У дисертаційній роботі, предметом дослідження якої стали структурні,

електричні та оптичні властивості тонких плівок оксиду міді та графіту і механізми струмопереносу, електричні та фотоелектричні властивості гетеропереходів, створених на їх основі, вперше:

1. Досліджено вплив температури підкладки на структурні електричні та оптичні властивості тонких плівок CuO, напилених методом реактивного магнетронного розпилення.

2. Показано можливість розробки тонкоплівкових сонячних елементів зі структурою скло/ITO/графіт/CuO/Ni з допомогою напівемпіричних методів.

3. Досліджено вплив товщини фронтального шару графіту на електричні й фотоелектричні властивості гетеропереходів графіт/n-Si, виготовлених методом електронно-променевого випаровування

4. Встановлено фотоелектричні параметри органічно-неорганічної гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe.

5. Виготовлено фотодіоди Графіт/CdZnTe і встановлено їх параметри (чутливість, детективність, часи відгуку, лінійний динамічний діапазон).

Практична цінність роботи полягає в тому, що автором вперше було:

- розроблено технологію виготовлення, методом реактивного магнетронного розпилення, напівпровідникових полікристалічних плівок CuO р-типу провідності з розміром зерен $D = 26$ нм, шириною забороненої зони $E_g^{op} = 1.65$ еВ та поверхневим опором $\rho = 5,96$ кОм/□, що особливо актуально для виготовлення фотоелектричних перетворювачів;

- запропоновано простий, екологічно безпечний та дешевий метод отримання високоякісного графену з використанням кухонного блендера й органічного розчинника полівінілпіролідону як нетоксичного диспергатора. Графен, отриманий таким способом, може бути використано для створення оптоелектронних приладів.

- виготовлено органічно-неорганічні гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe; які можуть використовуватися як фотоприймачі.

- розроблено фотодіоди для ультрафіолетової, видимої та близької інфрачервоної областей спектра на основі унікального поєднання радіаційно стійких функціональних матеріалів: тонкоплівкового напівметалевого графіту та монокристалічного напівпровідника CdZnTe, які можуть використовуватися в космічних і земних приладах із високим рівнем іонізуючого випромінювання.

III. Достовірність результатів дисертації, сформульованих положень і висновків.

Дисертаційна робота С.І. Курищука є складовою частиною науково-дослідних робіт кафедри електроніки і енергетики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича за темами та проєктами: “Кристали та тонкі плівки звичайних і напівмагнітних халькогенідних напівпровідників та оксидів металів: технологія одержання, фізичні властивості, створення на їх основі приладів електроніки, спінтроники, сонячної енергетики і світловипромінюючих структур” (номер державної реєстрації 011U 004594); “Розробка на основі напівпровідникових кристалів та тонких плівок приладів електроніки та фотовольтаїки” (номер державної реєстрації 0121U 111110). “Гетеропереходи на основі тонких плівок графіту та графену для застосування в електроніці, сонячній енергетиці та детекторах частинок високої енергії” (номер державної реєстрації 0120U101250), що є підтвердженням важливості та актуальності цієї роботи.

Проведений комплекс досліджень включив в себе дослідження скануючої електронної мікроскопії, рентгенівської спектроскопії, спектрів пропускання та відбивання, електричного опору тонких плівок, а також вольт-амперних і вольт-фарадних характеристик та спектрального розподілу квантової ефективності досліджуваних гетеропереходів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень дисертаційної роботи С.І. Курищука базується на застосуванні сучасних фізичних методів досліджень і визначається застосуванням відомих модельних уявлень і надійних теоретичних і числових методів розрахунків. Основні висновки, положення та рекомендації, сформульовані в дисертації, логічно витікають із отриманих результатів.

IV. Апробація результатів дисертації, повнота викладу основних положень, висновків і рекомендацій.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації доповідались на 7 конференціях, а також викладені в 14 наукових працях: 7 статтях у фахових наукових журналах (із них 6 реферуються наукометричною базою Scopus та належать до кuartилів Q1-Q2), та 7 праць у збірниках тез доповідей на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях за профілем

проведених досліджень. Публікації і автореферат об'єктивно і в повній мірі відображають зміст дисертації.

V. Зауваження щодо дисертаційної роботи:

1) Для експлуатації запропонованих гетеропереходів в якості оптоелектронних та електронних приладів важливим є стабільність їх характеристик з часом. На жаль в роботі немає інформації про це.

2) В роботі описано метод виробництва високоякісного графену у водному розчині ПВП. Графен вивчали як у вигляді порошків, так і у вигляді тонких плівок. Про присутність і вплив ПВП згадується тільки на стор.84, зокрема “Прозорість графенових дисперсій визначено при довжині хвилі 660 нм, при якій вплив ПВП незначний”. Але раманівська спектроскопія не виявила присутності у зразках ПВП і при подальшому використанні матеріалу у гетероструктурах не згадується ймовірний вплив присутності молекул ПВП на характеристики та функціональність досліджуваних гетеропереходів.

3) у пункті 3.5 представлено виготовлення та дослідження фоточутливих органічно-неорганічних гетеропереходів графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe. Для створення омичного тилового контакту до кристала CdZnTe n-типу провідності використовували вплавлення індію, а для створення фронтального контакту до плівки PEDOT:PSS – провідний аерозоль на основі графіту (стор.100). На рис 3.23 зображено характеристики гетероструктур PEDOT:PSS/n-CdZnTe. Графіт як контакт включений в назву дослідженого гетеропереходу. Чому в назві гетеропереходу немає четвертого компоненту - індія (In)?

4) На стор.56 вказано, що “Енергія активації для тонких плівок CuO, отриманих методом піролізу розпилення [81], коливається в широкому діапазоні: від 0,08 до 0,57 еВ.” Джерело літератури 81 не містить інформацію про діапазон енергій активацій для тонких плівок CuO, отриманих методом піролізу розпилення.

5) зовнішню квантову ефективність розраховують на стор 112 та стор 61, але формули 2.16 та 3.14,3.15 різні.

6) Є деякі зауваження технічного характеру: на стор. 47 - описка в ожиницях вимірювання $k\Omega/\dots$; на стор.53 - “спрій піроліз”; на стор.65 - “фотомелектричними параметрами”, на стор.77 - “діапазон привабливої сили ВандерВаальса.”, стор.84 - “різні”, стор.106 - “швидкодію”, використання

висловів - “дуже добре”.

Однак, зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Курищука С.І. В цілому дисертація являє собою закінчене наукове дослідження, в якому отримано нові, науково обґрунтовані результати в галузі фізики напівпровідників, конденсованих середовищ та нанофізики.

VI. Висновок щодо відповідності дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Враховуючи актуальність теми дисертації, значний обсяг проведених досліджень, наукову і практичну цінність отриманих результатів, об'єм дисертації вважаю, що дисертаційна робота Курищука С.І. **“Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі”** подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії, з галузі знань 10 “Природничі науки” та спеціальності 104 “Фізика та астрономія” відповідає вимогам “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 року №44, та її автор **Курищук Сергій Іванович**, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 “Фізика та астрономія”.

Офіційний опонент

завідувач кафедри біологічної фізики
та медичної інформатики

Буковинського державного медичного університету,
доктор фізико-математичних наук,
професор

Володимир ФЕДІВ

