

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Курищука Сергія Івановича

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

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

104 Фізика та астрономія.

Актуальність теми.

Дисертаційна робота Курищука С.І. присвячена розробці оптимальних режимів виготовлення тонких плівок оксиду міді, вуглецевих та вуглецевмісних матеріалів із заданими та відтворюваними електричними та оптичними властивостями. Особливий інтерес до дослідження тонких плівок напівпровідникових матеріалів викликаний їх широким спектром застосувань у напівпровідниковому приладобудуванні та економічною доцільністю заміни технологій, що використовують об'ємні кристали, на технології з тонкими плівками. Використання гетероструктур для виготовлення фотоелектричних перетворювачів має значний потенціал для підвищення функціональних характеристик та забезпечення більш ефективного використання енергії. Крім того, тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих та вуглецевмісних матеріалів, досліджувані в цій дисертації, є перспективними для виготовлення гетероструктурних оптоелектронних пристроїв. Саме ці аспекти вивчаються та розкрито в дисертаційній роботі.

Актуальність теми також підтверджується значною кількістю наукових публікацій, пов'язаних з тематикою дисертаційної роботи, у міжнародних журналах з високим рейтингом.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до планів науково-дослідних робіт кафедри електроніки і енергетики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Структура роботи.

Слід зазначити, що дисертаційну роботу написано згідно вимог до оформлення кваліфікаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Зокрема, вона складається з анотації, вступу, трьох розділів, основних результатів та висновків, переліку цитованої літератури та додатку зі списком публікацій за темою дисертації.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведений аналіз фізичних властивостей тонких плівок оксиду міді, проаналізовано можливості застосування тонких плівок графіту як шару вікна в гетероструктурних оптоелектронних приладах. Продемонстровано значну зацікавленість учених з усього світу дослідженнями тонких плівок оксиду міді та графіту, а також розробкою високоефективних оптоелектронних приладів на їх основі.

У **другому розділі** методом реактивного магнетронного розпилення при постійному струмі виготовлено тонкі плівки CuO . Визначено елементний склад цих плівок. Представлено розподіл елементів на поверхні, які входять до складу даних плівок. Установлено, що розмір зерен для плівок, отриманих при нижчій температурі підкладки, становить ~ 16 нм, а для плівок, отриманих при вищій температурі ~ 26 нм. На дифрактограмах спостерігається більша інтенсивність піків для плівок отриманих при вищих температурах підкладки, що може бути зумовлено кращою структурною досконалістю тонких плівок та більшим розміром зерен. Проведений аналіз спектрального розподілу коефіцієнтів відбивання і пропускання визначено оптичну ширину забороненої зони для двох зразків. Проведено дослідження

електричних властивостей тонких плівок CuO. Чотиризондовим методом визначено величини поверхневого опору плівок.

Методом спреї-піролізу отримано тонкі плівки CuO р-типу електропровідності товщиною до 0,3 мкм із близьким до оптимального для фотоперетворювачів оптичним значенням ширини забороненої зони 1,54 еВ. Розраховано швидкість генерації вільних носіїв заряду в активному шарі сонячного елемента Графіт/CuO/Ni. Показано, що запропоновані сонячні елементи Графіт/CuO/Ni можуть мати широкий діапазон високої світлочутливості від 300 до 900 нм. На основі напівемпіричної моделі розраховано світлові ВАХ запропонованих сонячних елементів. Показано можливість використання тонких плівок оксиду міді (CuO) як активного шару в тонкоплівкових сонячних елементах зі структурою скло/ІТО/графіт/CuO/Ni.

Третій розділ розкриває результати дослідження структурних, оптичних та електричних властивостей тонких плівок графіту в залежності від твердості стержнів (2H, H, HB, B та 2B), отриманих методом “олівець-на-напівпровіднику”. За допомогою методу електронно-променевого випаровування виготовлено фоточутливі діоди Шотткі графіт/n-Si з різною товщиною плівок графіту. Досліджено електричні та фотоелектричні властивості органічно-неорганічного гетеропереходу Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe. Запропоновано новий фотодіод Шотткі Графіт/CdZnTe для роботи у фотогальванічному режимі в ультрафіолетовому (UV), видимому (vis) і ближньому інфрачервоному (NIR) діапазонах.

Послідовність представлення результатів дослідження є оптимальною, логічною та структурованою. Проведені експериментальні і теоретичні дослідження є взаємодоповнюючими.

Найважливішими результатами дисертаційної роботи, які представляють **наукову цінність та новизну** є:

1. Дослідження впливу температури підкладки на структурні електричні та оптичні властивості тонких плівок CuO, напилених методом реактивного магнетронного розпилення. В дисертаційній роботі встановлено, що при оптимальних температурах підкладки формуються напівпровідникові полікристалічні плівки CuO р-типу провідності з розміром зерен $D \sim 26$ нм, оптичною шириною забороненої зони 1.65 eV.

2. Показано можливість розробки тонкоплівкових сонячних елементів зі структурою скло/ІТО/графіт/CuO/Ni. Вольт-амперні характеристики, змодельовані напівемпіричними методами, показують, 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 й фотоелектричні властивості гетеропереходів графіт/n-Si, виготовлених методом електронно-променевого випаровування з різною товщиною плівок графіту.

4. Встановлено, що органічно-неорганічні гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe мають наступні фотоелектричні параметри: напруга холостого ходу $V_{oc}=0,5$ В, струм короткого замикання $I_{sc}=0,28$ мА/см², що є перспективним для роботи в умовах підвищеного рівня радіації.

Достовірність результатів та обґрунтованість наукових висновків забезпечена використанням сучасних експериментальних методів. Теоретичні результати отримані з використанням апробованих теоретичних підходів. Усі методи дослідження є взаємодоповнюючими, відтворюваними та узгодженими між собою. Достовірність отриманих результатів дослідження підтверджується кореляцією з результатами інших авторів,

грунтовним аналізом, опублікуванням результатів дослідження у рейтингових журналах, а також апробацією на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Наведені в дисертаційній роботі результати узгоджуються з існуючими положеннями фізики напівпровідників.

Практична цінність результатів.

Результати роботи Курищука С.І. можуть бути використані при розробці електронних та оптоелектронних приладів на основі бар'єрних гетероструктур із відтворюваними та стабільними характеристиками за різних умов експлуатації.

В роботі розроблено технологію виготовлення, методом реактивного магнетронного розпилення, напівпровідникових полікристалічних плівок CuO р-типу провідності з розміром зерен ~ 26 нм.

Запропоновано простий, екологічно безпечний та дешевий метод отримання високоякісного графену, який може бути використаний для створення оптоелектронних приладів.

Розроблено фотодіоди для ультрафіолетової, видимої та близької інфрачервоної областей спектра на основі поєднання радіаційно стійких функціональних матеріалів: тонкоплівкового напівметалевого графіту та монокристалічного напівпровідника CdZnTe .

Повнота викладу результатів в опублікованих наукових працях та апробація роботи.

Основні положення та результати дисертаційної роботи Курищука С.І. повною мірою викладено в 7 наукових працях та апробовано на 7 наукових конференціях. Серед публікацій: 6 статей у виданнях, які індексуються міжнародними наукометричними базами даних Web of Science та/або Scopus,

1 стаття у фахових науковому виданні України та 7 публікацій у матеріалах і тезах доповідей міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Поряд з цим дисертаційна робота містить окремі **недоліки**:

1. У параграфі 2.6 запропоновано новий сонячний елемент на основі гетероструктури графіт/CuO, та проведено його детальний розрахунок. Але незрозуміло чому при розрахунку не враховано поверхневу рекомбінацію та рекомбінацію через дефекти у матеріалі поглинача?
2. Параграф 3.4, сторінка 97, при аналізі домінуючих механізмів струмопереносу визначається коефіцієнт гама, але не зрозуміло що це за коефіцієнт і для чого він визначається.
3. На сторінках 114 та 115 при розрахунках детективності фотодіодів використовуються значення теплового шуму, розраховані на основі шунтуючого опору. Чому не проводили прямі вимірювання шуму у фотодіодах?
4. В розділі 1, який містить літературний огляд немає посилань під представленими рисунками. Такі посилання є в тексті дисертації, але для зручності аналізу вони мали б міститись і безпосередньо під рисунком.

Зроблені зауваження не впливають на високу оцінку отриманих результатів. Дисертація Курищука С.І. виконана на високому науковому рівні, отримано ряд нових наукових результатів, які розширюють уявлення про структурні, електричні та оптичні властивості тонких плівок оксиду міді та графіту та розробку гетероструктур на їх основі.

Стиль викладу результатів дослідження, наукових положень та висновків відповідає стандартам наукових публікацій. Реферат до дисертації

і опубліковані наукові праці повністю відображають основний зміст та положення дисертаційної роботи. Дисертація за об'ємом та оформленням відповідає поставленим вимогам до кваліфікаційних робіт.

Загальний висновок.

Дисертація Курищука Сергія Івановича є завершеним науковим дослідженням. Висновки роботи повністю відображають основні положення, які виносяться на захист.

На підставі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Курищука Сергія Івановича «Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі» за обсягом виконаних досліджень, науковою і практичною цінністю отриманих результатів у повній мірі відповідає вимогам до оформлення дисертації відповідно до Наказу МОН України №40 від 12.01.2017 та «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 12.01.2022р. №44, а її автор – Курищук Сергій Іванович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Офіційний опонент,

доктор фізико-математичних наук, професор

директор навчально-наукового

фізико-технологічного інституту

Волинського національного університету

імені Лесі Українки

ПІДПИС *Г. МIRONCHUK*
ЗАСВІДЧУЮ
Вчений секретар університету
«___» _____ 20__ р.



Галина МИРОНЧУК