

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, доцента,
асистента кафедри електроніки і енергетики
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Сльотова Олексія Михайловича
на дисертаційне дослідження Курищука Сергія Івановича
«Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та
гетероструктури на їх основі»

Актуальність дисертаційного дослідження

Рецензована робота присвячена дослідженню тонких плівок, які є невід'ємною складовою сучасної електроніки та оптоелектроніки. Особливий інтерес до дослідження тонких плівок напівпровідникових матеріалів обумовлений, зокрема, широким спектром застосувань цих матеріалів у напівпровідниковому приладобудуванні, а також економічною доцільністю відмови від технологій з використанням об'ємних кристалів на користь тонких плівок.

Таким чином, актуальність дисертаційного дослідження полягає у розробці оптимальних режимів виготовлення тонких плівок оксиду міді та графіту та виготовлення раніше недосліджених, перспективних гетеропереходів для застосування у електроніці і фотовольтаїці на основі тонких плівок оксиду міді, вуглецевих та вуглецевмісних матеріалів.

Практична цінність роботи

Дисертація є однією з небагатьох робіт в якій використовуються сучасні методи комп'ютерного моделювання та експериментальні дослідження сучасних оптоелектронних приладів.

Результати дисертаційного дослідження можуть бути використані компаніями які виготовляють сонячні елементи та фотодіоди, а також в науково-дослідній сфері для комплексного підходу до досліджень сучасних фотовольтаїчних приладів і підвищення їх ефективності.

Робота містить науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, які можна використовувати в навчальному процесі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, які представлені в дисертаційній роботі, є добре обґрунтованими, а також належно висвітлені у відповідних розділах дисертації. Основні результати, отримані здобувачем та винесені на захист, цілком відповідають меті та завданням роботи, обговорювалися на наукових семінарах кафедри електроніки і енергетики ІНІФТКН, наукових конференціях та опубліковані у рейтингових рецензованих фахових

виданнях. Достовірність отриманих результатів ґрунтується на використанні загальноприйнятих експериментальних і теоретичних підходів та методів дослідження та не викликає сумнівів.

Під час виконання дисертаційного дослідження було проведено дуже багато експериментальної роботи та проаналізовано велику кількість наукової літератури.

Наукова новизна

Основні наукові результати, які представлені в дисертаційній роботі Курищука С.І., які отримані **вперше** є такими:

- Досліджено вплив температури підкладки на структурні електричні та оптичні властивості тонких плівок CuO , напилених методом реактивного магнетронного розпилення. Встановлено що при оптимальних температурах 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/□ і нікелевий контакт є хорошим омичним контактом до плівки р- CuO .
- Показано можливість розробки тонкоплівкових сонячних елементів зі структурою скло/ІТО/графіт/ CuO /Ni. Теоретичні порогові значення ефективності фотоелектричних пристроїв були визначені для різних товщин активного шару CuO з використанням нормалізованої інтенсивності світла, еквівалентної спектру AM1.5. 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.
- 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: структура №1 $d = 25$ нм, структура №2 $d = 40$ нм. Встановлено, що виготовлені діоди Шотткі графіт/n-Si володіють висотою потенціального бар'єру: для структури №1 $\phi_0 = 0,46$ еВ, для структури №2 $\phi_0 = 0,56$ еВ. При прямих зміщеннях домінуючі механізми струмопереносу гарно описуються в рамках генераційно-рекомбінаційної моделі, а при зворотніх зміщеннях тунельною моделлю.
- Встановлено, що органічно-неорганічні гетероструктури Графіт/PEDOT:PSS/n-CdZnTe володіють такими фотоелектричними параметрами: напруга холостого ходу $V_{oc} = 0,5$ В, струм короткого замикання $I_{sc} = 0,28$ мА/см² є перспективними для роботи в умовах підвищеного рівня радіації.
- Виготовлено фотодіоди на основі унікального поєднання радіаційостійких функціональних матеріалів: тонкоплівкового графіту та

монокристалічного напівпровідника CdZnTe. Фотодіоди Графіт/CdZnTe володіють наступними параметрами: чутливість $0,25 \text{ A W}^{-1}$; 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).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

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

– “Кристали та тонкі плівки звичайних і напівмагнітних халькогенідних напівпровідників та оксидів металів: технологія одержання, фізичні властивості, створення на їх основі приладів електроніки, спінтроніки, 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).

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.

Структура і зміст дисертації

Дисертація складається з анотації (двома мовами), вступу, трьох розділів, висновків до кожного з розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатку.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, сформульована мета, основні задачі, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна і практична цінність отриманих результатів, представлено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У першому розділі дисертації представлено літературний огляд, який свідчить про значну зацікавленість учених з усього світу у дослідженні тонких плівок оксиду міді та графіту, а також у розробці високоефективних приладів оптоелектронних приладів на їх основі.

Другий розділ дисертації присвячено виготовленню тонких плівок CuO різними методами та дослідженню їх структурних, оптичних та електричних

властивостей з метою їх використання в конструкції сонячних елементів в якості функціонального шару поглинача світла. Також запропоновано модель сонячного елемента на основі плівок CuO , який може володіти максимальною ефективністю 25%.

У третьому розділі дисертації представлено результати дослідження структурних, оптичних та електричних властивостей тонких плівок графіту та графену. Розроблено гетероструктури з використанням цих вуглецевих матеріалів. Варто відмітити, що 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 $0,25 \text{ A W}^{-1}$ та володіють детективністю на рівні $6,5 \times 10^{11}$ Джонс, що близько до найкращих гетеропереходних фотодіодів виготовлених на основі твердого розчину CdZnTe . Пристрої також характеризуються швидкими часами відгуку підйому/спаду ($1,2/7,2 \text{ мкс}$) і широким лінійним динамічним діапазоном (77 дБ). Запропоновані фотодіоди можуть використовуватися в космічних і земних застосуваннях з високим рівнем іонізуючого випромінювання.

У висновках наведено основні результати, які складають наукову новизну та практичну цінність роботи. Список використаної літератури містить 208 позицій.

Повнота викладу матеріалів у роботах, які опубліковані автором

Основні наукові результати, отримані під час виконання дисертаційного дослідження Курищука С.І. опубліковано в 6 наукових статей у наукових журналах, які індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus та WoS, 1 наукова стаття у журналі включеному до переліку наукових фахових видань України, а також у 7 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях.

Це дає право стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають важливе значення для збільшення ефективності новітніх фотовольтаїчних приладів.

Відомості про дотримання академічної доброчесності

У дисертації та наукових публікаціях Курищука С.І. відсутні порушення академічної доброчесності.

Зауваження до дисертації

1. Розділ 2 присвячений дослідженню тонких плівок CuO і досягнуто покращення їх структурної досконалості, але немає досліджень спектрів

фотолюмінесценції, які могли підтвердити покращення структурної досконалості плівок.

2. У третьому розділі параграф 3.3 досліджуються діоди Шотткі на основі кремнію. Однак кремній досліджується близько 100 років, краще було сфокусуватися на детальнішому дослідженні нових раніше не досліджуваних структурах.

3. Залишається не зрозумілим вибір матеріалу підкладки p-InP, оскільки в склад цього напівпровідника входить дорогий індій. На даний час всі виробники сонячних елементів уникають дорогих матеріалів у конструкції сонячних елементів.

4. Дисертаційна робота написана хорошою науковою мовою, проте в ній зустрічаються не зовсім вдалі скорочення, орфографічні помилки та неточності.

Однак наведені зауваження не заперечують наукових результатів дисертації Курищука Сергія Івановича. Вони не впливають на висновок про високий науковий рівень дисертаційного дослідження та його загальну позитивну оцінку.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Курищука Сергія Івановича «Тонкі плівки оксиду міді, вуглецевих і вуглецевмісних матеріалів та гетероструктури на їх основі», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія за її актуальністю, науково-теоретичним рівнем, новизною постановки та розв'язання проблеми, 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 2022р. №44.

Вважаю, що Сергій Іванович Курищук заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

Рецензент

доктор технічних наук, доцент,
асистент кафедри електроніки і енергетики
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича

Олексій СЛЬОТОВ

Підпис *Сльотова О.* засвідчую
Учений секретар Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича
Дир. Осв. Н. Сльот
" 23 " травня 2024