РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, кандидата фізико-математичних наук, старшого викладача кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету **Тищенка Костянтина Володимировича**

на дисертаційну роботу здобувача **Євдокименка Владислава Юрійовича**

на тему: «Оптимізація характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO:Al, SnS для перетворювачів сонячної енергії», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми дисертаційної роботи

У наш час виникла задача пошуку нових матеріалів для створення сонячних елементів третього покоління та підвищення їх ефективності і тривалості стабільної роботи. Сьогодні з цією метою запропоновано використовувати оксиди металів, оскільки вони є стійкими в атмосфері та можуть бути одержані з використанням великої кількості технологічно простих та дешевих методів. Так, оксид цинку (ZnO) у наш час розглядають альтернативою традиційному матеріалу прозорих струмопровідних шарів електронних приладів яким є ІТО, а оксид міді (CuO) є перспективним матеріалом поглинальних шарів плівкових фотоперетворювачів. Ще одним перспективним матеріалом для створення поглинальних шарів плівкових сонячних елементів вважається сульфід олова (SnS), оскільки має високий коефіцієнт поглинання світла (близько 10^5 $см^{-1}$) і ширину забороненої зони E_g =(1,4-1,5) еВ, близьку до максимуму перетворення сонячної енергії в електричну. Оксидні матеріали (ZnO, CuO) та сульфід олова (SnS) мають унікальні електронні та оптичні властивості, що робить їх перспективними не тільки для використання у геліоенергетиці але і у сенсориці та гнучкій електроніці.

Нанесення плівок цих матеріалів може бути здійснений за допомогою простих та економічно вигідних хімічних методів, таких як 3D друк та розпилення чорнил на основі суспензій наночастинок. Це значно знижує вартість виробництва сонячних елементів та відкриває нові можливості для їх широкомасштабного застосування. Вказані методи є простими та ефективними для створення плівок великої площі, з контрольованими характеристиками, і можуть бути використані для створення приладів геліоенергетики, сенсорики та гнучкої електроніки. В той же час оптимізація характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO, SnS дозволяє досягти більш високих показників ефективності та стабільності сонячних перетворювачів, що є важливим кроком у розвитку цієї галузі.

Дослідження вказаних вище матеріалів має великий практичний потенціал для вдосконалення енергоефективних технологій, розвитку сучасної оптоелектроніки та створення елементів гнучкої електроніки. Таким чином, дисертаційна робота стане вагомим внеском у розуміння та вдосконалення характеристик зазначених сполук для їхнього оптимального використання в різних галузях науки та техніки.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертація виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт лабораторії оптоелектроніки та геліоенергетики кафедри електроніки і комп'ютерної техніки Сумського державного університету: держбюджетні теми № 0122U000787 (2022-2024 рр.) «Керування структурно-фазовим станом наночастинок і плівок нових оксидних матеріалів, нанесених хімічними методами, для потреб гнучкої електроніки і геліоенергетики» (виконавець); № 0124U000541 (2024 р.) «Синтез та оптимізація властивостей наноструктурованих плівок системи Cu-Sn-S легованої домішками Zn, Mg, Mn, Se для приладів геліоенергетики та термоелектроніки» (виконавець); науково-дослідні роботи за договором М/58-2023 від 25.08.2023 р. (2023-2024 рр.) «3D-друковані функціональні елементи для гнучких електронних

пристроїв» (відповідальний виконавець); грант НАТО SPS Project 5916 (2021-2022 рр.) «3D printed functional elements for flexible electronic devices» (виконавець).

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дослідженні

Євдокименко В. Ю. провів теоретичні та експериментальні дослідження на високому рівні, у достатньому обсязі, розробив відповідні теоретичні моделі та експериментальні методики. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, результатів, рекомендацій та висновків підтверджуються ретельною постановкою дослідницьких завдань, високим рівнем відповідності даних, отриманих за допомогою комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень, а також впровадженням результатів дисертаційної роботи у виробничих умовах та навчальному процесі.

Результати всіх експериментальних та теоретичних досліджень автор представляв на численних міжнародних конференціях та симпозіумах.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

У дисертаційній роботі сформульовано та обґрунтовано ряд наукових положень, висновків і рекомендацій, які є новаторськими. Найзначущі наукові досягнення, що відображають особистий внесок автора у розв'язання досліджуваної проблеми і характеризують інноваційність дослідження, на мою думку, включають наступне:

1. Автор визначив фізико-технологічні умови для отримання однофазних високотекстурованих плівок сполук ZnO, SnS, CuO за допомогою методів 3D-друку та розпилення чорнил. Ці плівки мають оптимальні розміри когерентних областей, низький рівень мікродеформацій і контрольовану стехіометрію, що робить їх придатними для використання у пристроях.

2. Встановлено фізико-технологічні умови отримання методом 3D друку однофазних високотекстурованих та суцільних плівок CuO на гнучких підкладках, умови їх термічного післяростового відпалу, які покращують якість текстури плівок.

3. На основі плівок ZnO, AZO та CuO з оптимізованими характеристиками, виключно хімічними методами, створено прототип СЕ з конструкцією ITO/AZO/*n*-ZnO/*p*-CuO/Cu, виміряні його оптичні, фотоелектричні та електричні характеристики при різних температурах.

Практична цінність отриманих результатів

Отримані у дисертаційній роботі результати та висновки можуть бути застосовані для прогнозування експлуатаційних властивостей приладів геліоенергетики, сенсорики та термоелектрики на основі сполук ZnO, SnS, CuO та гетеропереходів на їх основі. Модифікований екструдер та система подачі чорнил 3D принтера можуть служити прототипом для створення відносно дешевого промислового технологічного процесу нанесення плівок напівпровідникових сполук різного хімічного складу із контрольованими властивостями для приладового використання. Створені та досліджені у роботі прототипи сонячних елементів з гетеропереходом *n*-ZnO / *p*-CuO можуть бути використані як основа для подальшого розвитку ефективних та економічно вигідних фотогальванічних пристроїв. Завдяки їх високій ефективності перетворення сонячної енергії та стабільності, ці прототипи можуть знайти застосування в різних галузях, від побутових сонячних панелей до масштабних сонячних електростанцій.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати наукового дослідження Євдокименка В. Ю. відображені у 19 наукових працях, з яких 3 статті у зарубіжних наукових періодичних виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними

базами даних (Scopus та Web of Science) та належать до квартилів Q1 - Q2, 3 статті у матеріалах Міжнародних наукових конференціях, що індексуються науковометричною базою Scopus, 13 тез доповідей.

Основні результати дисертації відповідають вимогам пункту 8 "Порядку присудження ступеня доктор 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.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення

Дисертаційна робота Євдокименка В. Ю. являє собою завершену та змістовну наукову працю. За структурою, мовою та стилем викладу, оформлення дисертації відповідає вимогам, затвердженим наказом МОН України № 40 від 12.11.2017.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження

Не дивлячись на значний обсяг теоретичних розрахунків та отриманих експериментальних результатів, представлена дисертація має деякі зауваження та дискусійні питання, а саме:

1. Результати дослідження показали, що у отриманих плівках CuO зі збільшенням температури від 673 К до 723 К відбувається процес фазового переходу від CuO до Cu_2O. Чи спостерігали ви це явище, при дослідженні багатокомпонентної структури з гетеропереходом *n*-ZnO / *p*-CuO?

2. Чому при дослідженні багатокомпонентної структури на дифрактограмах видно лише піки оксиду цинку? Чи не повинні бути присутні фази інших сполук, які входять до структури?

3. Чому температура відпалу досліджуваних плівок CuO на гнучких підкладках відрізняється від скляних? І чи можливо створити сонячний елемент на досліджуваних вами гнучких підкладках?

Однак наведені вище зауваження не мають принципового характеру та не знижують цінності отриманих у дисертації результатів, їх практичної доцільності, та не ставлять під сумнів достовірність та обґрунтованість основних положень, що виносяться на захист.

Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Євдокименка Владислава Юрійовича «Оптимізація характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO:Al, SnS для перетворювачів сонячної енергії» є завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні, і за актуальністю, науковою новизною та практичним значенням відповідає вимогам п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктор 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, а автор роботи – Євдокименко Владислав Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 - «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент:
старший викладач кафедри електроніки,
загальної та прикладної фізики
Сумського державного університету
кандидат фізико-математичних наук **Костянтин ТИЩЕНКО**

Підпис Тищенка К. В.
засвідчую
фахівець відділу кадрів
Скляренко О. М.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІДДІЛ КАДРІВ