

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри прикладної математики та моделювання складних систем Сумського державного університету **Гончарова Олександра Андрійовича** 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

Оксиди металів почали широко використовуватись у сучасних мікро- та наноелектронних пристроях, зокрема в сонячній енергетиці та гнучкій електроніці. Це пояснюється їх високою стійкістю до атмосферних умов та можливістю отримання за допомогою численних простих і економічних технологічних методів. Використання наночастинок та тонких плівок оксидів металів у сонячних перетворювачах відкриває нові можливості для підвищення ефективності та зниження вартості виробництва сонячних елементів. Оксиди міді (CuO) та цинку (ZnO:Al) легованого алюмінієм (AZO) мають унікальні оптичні та електричні характеристики, що робить їх перспективними матеріалами для створення ефективних фотогальванічних елементів.

CuO є одним з найбільш досліджуваних напівпровідникових матеріалів завдяки своїм відмінним фотокаталітичним і електронно-дірковим властивостям. Він може ефективно поглинати сонячне світло і перетворювати його на електричну енергію, що робить його ідеальним для використання в сонячних елементах третього покоління. ZnO є перспективною альтернативою традиційним матеріалам прозорих струмопровідних шарів на основі ІТО завдяки дешевизні, високій провідності та стабільності у різних умовах експлуатації.

SnS також привертає увагу дослідників завдяки своїм екологічно безпечним властивостям, низькій токсичності та ширині забороненої зони ($E_g = (1,4-1,5)$ eВ) близькій до оптимуму Шоклі-Квайзера.

Крім того, вказані вище матеріали можна отримувати за допомогою різноманітних технологічно простих та економічно вигідних методів, таких як хімічне осадження, розпилення та 3D друк.

Оптимізація характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO, SnS повинна дозволити досягти значного прогресу у створенні високоефективних, надійних і доступних плівкових сонячних перетворювачів. Вивчення процесів синтезу наночастинок та нанесення плівок та післяростообробки цих матеріалів допоможе оптимізувати їх структуру та властивості, що безпосередньо впливає на ефективність сонячних елементів. Дослідження впливу різних легуючих елементів і методів обробки на характеристики плівок відкриває нові горизонти для вдосконалення технологій виробництва та експлуатації сонячних панелей.

Таким чином, дисертаційна робота, присвячена оптимізації характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO:Al, SnS, є актуальною і перспективною, оскільки вона спрямована на вирішення важливих питань сучасної енергетики та технологій виробництва сонячних елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Основний зміст роботи складають результати досліджень, які дисертант проводив протягом всього періоду навчання в аспірантурі (2020 – 2024 роки) відповідно до наукового напрямку науково-дослідної лабораторії оптоелектроніки та геліоенергетики кафедри електроніки і комп'ютерної техніки Сумського державного університету, а також під час виконання держбюджетних тем № 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-дослідної роботи за договором M/58-2023 від 25.08.2023 р. (2023-2024 рр.) «3D-друковані функціональні елементи для гнучких електронних пристроїв» (відповідальний виконавець); гранту 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

Дисертаційне дослідження Євдокименка В. Ю. відзначається високим науково-методичним рівнем та використанням сучасних методів досліджень, які відповідають міжнародним стандартам. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у даному дослідженні, обґрунтовані на основі ретельного аналізу великого обсягу експериментальних даних та теоретичних досліджень.

Отримані результати були перевірені та підтверджені за допомогою незалежних досліджень, що додає достовірності та надійності висновкам. Всі результати доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані у фахових та міжнародних виданнях. Рекомендації, запропоновані у дисертації, мають практичне застосування і можуть бути використані для подальших наукових досліджень та у промисловості. Таким чином, робота має значну наукову та практичну цінність, що підтверджується як теоретичними, так і експериментальними результатами, та сприяє розвитку обраної наукової галузі.

Оцінка новизни наукових результатів дисертаційного дослідження

Серед найбільш вагомих результатів, що складають наукову новизну роботи, на мій погляд, слід відзначити наступні:

1. Автором встановлено фізико-технологічні умови отримання методами друку (3D друком та методом розпилення чорнил) однофазних високотекстурованих плівок сполук ZnO:Al, SnS, CuO з оптимальними розмірами областей когерентного значення, низьким рівнем мікрODEформацій і керованою стехіометрією, придатних для приладового використання.

2. Встановлено фізико-технологічні умови отримання методом друку однофазних високотекстурованих та суцільних плівок CuO на скляних і гнучких підкладках, умови їх термічного післяростового відпалу, які покращують якість текстури плівок, дозволяють видалити сторонні органічні домішки та приводять до контрольованої зміни фазового складу з CuO до Cu₂O.

3. Реалізовано п'ять різних варіантів синтезу (з різними прекурсорами) для отримання однофазних орторомбічних плівок SnS, які дозволяють одержувати практично однофазні НЧ сполуки SnS або SnS₂.

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

Практична цінність отриманих результатів

Ряд результатів одержаних в дисертації мають безумовну практичну цінність:

1. Розроблений спеціалізований для друку рідкими або напіврідкими матеріалами екструдер для 3D принтеру, оснащений системою дозування, яка забезпечує точний контроль подачі наночорнил у вигляді крапель може стати прототипом для створення промислових установок нанесення плівок у мікроелектроніці, гнучкій електроніці та геліоенергетиці.

2. Запропоновані дешеві хімічні методи та установлені взаємозв'язки між фізико-технологічними умовами синтезу наночастинок і нанесення плівок ZnO:Al, SnS, CuO та їх елементним складом, структурними, субструктурними,

оптичними характеристиками будуть використані у подальшому для створення приладів геліоенергетики, сенсорики та гнучкої електроніки із покращеними характеристиками.

3. Створений прототип СЕ з конструкцією ITO / ZnO:Al / *n*-ZnO / *p*-CuO / Cu на основі гетеропереходу *n*-ZnO / *p*-CuO може бути використаний у подальшому для виготовлення дешевих ФЕП та фотодетекторів великої площі.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Вивчивши опубліковані наукові праці здобувача, варто відмітити, що основні результати наукового дослідження Євдокименка В. Ю. опубліковані 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 кватилів Q1 - Q2, 3 статті у матеріалах Міжнародних наукових конференціях, що індексуються наукометричною базою Scopus, 13 тез доповідей.

У всіх опублікованих працях Євдокименка В. Ю. докладно і в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати та висновки дисертації. Наукові положення та результати досліджень, отримані автором дисертації, пройшли етап апробації на різних рівнях і обговорювалися на наукових конференціях як національного, так і міжнародного рівня.

У звітних матеріалах, опублікованих протягом дослідження, достатньо повно викладені основні результати дисертації, що відповідає 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 12.01.2017.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження

Дисертаційна робота представлена на високому професійному рівні, загальне враження від роботи – позитивне. Проте, під час розгляду дисертації виникли деякі зауваження та дискусійні питання, а саме:

1. У дисертації автор вказує, що однією із вимог до плівкових ФЕП сонячної енергії є однофазність синтезованих наночастинок та створених плівок. Чи досяг автор поставленої мети? Як саме вплине присутність сторонніх фаз на характеристики приладів?

2. У роботі обговорюється створений автором прототип СЕ з конструкцією ITO / ZnO:Al / *n*-ZnO / *p*-CuO / Cu. Навіщо у даній конструкції використовується ZnO:Al і чому саме вибрана така конструкція СЕ?

3. Обсяг дисертаційної роботи є значним (207 сторінок), що для дисертації на здобуття ступеня доктора філософії можна вважати великим, через велику кількість проведених експериментів.

Водночас, вищевказані зауваження носять дискусійний характер або технічний характер і не впливають на наукову цінність та загальний позитивний висновок щодо виконаного дисертаційного дослідження. Вони викликані актуальністю тематики та загальним науково-практичним інтересом до цього дослідження.

Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Євдокименка Владислава Юрійовича на тему: «Оптимізація характеристик наночастинок та плівок сполук CuO, ZnO:Al, SnS

для перетворювачів сонячної енергії» є завершеним самостійним дослідженням, яке має як теоретичну новизну, так і практичну значущість. Вона виділяється актуальністю та важливістю досліджуваної теми, а також успішним впровадженням отриманих результатів та теоретичних положень.

Дисертація цілком 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:

професор кафедри прикладної математики та
моделювання складних систем
Сумського державного університету
доктор фізико-математичних наук,
професор

Олександр ГОНЧАРОВ

Підпис *Гончарова О.А.*
засвідчую
Фалівець відділу кадрів
Скляренко О.М.

