

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук, професора, професора кафедри охорони праці та фізики Сумського національного аграрного університету **Лободи Валерія Борисовича** 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

Зараз ведеться активний пошук нових матеріалів, які можуть стати альтернативою традиційним матеріалам фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на основі кремнію (Si), телуриду кадмію (CdTe), арсеніду галію (GaAs), тощо. Ці традиційні матеріали мають певні недоліки: кремнієві перетворювачі забезпечуючи досить високу ефективність фотоперетворення, але є дорогими, оскільки потребують складної технології створення монокристалів та великої товщини поглинального шару ((200-300) мкм), в той же час такі матеріали як індій (In) і галій (Ga) є досить рідкими і надто дорогими для масового виробництва сонячних елементів. Одним із перспективних замінників цих матеріалів є оксидна сполука CuO , яка має оптимальні оптичні властивості, зокрема ширину забороненої зони 1,4 еВ, що відповідає оптимуму Шоклі-Квайзера. Сульфід олова (SnS) також, вважається перспективним матеріалом для створення поглинальних шарів плівкових сонячних елементів, оскільки має p -тип провідності, високий коефіцієнт поглинання світла (близько 10^5 см^{-1}) і ширину забороненої зони $E_g = (1,4-1,5) \text{ еВ}$, близьку до максимуму перетворення сонячної енергії в електричну.

Відомо, що ФЕП крім поглинального шару обов'язково містять віконний та високопровідний фронтальний струмознімальний шари. Альтернативними до традиційних матеріалів цих шарів розглядаються такі матеріали як ZnSe і

ZnS (замість віконного шару CdS), а для фронтального струмознімального шару замість ІТО – ZnO. Для створення оптимальних конструкцій ФЕП необхідно мінімізувати оптичні та рекомбінаційні втрати в приладах, базуючись на оптичних та електричних параметрах матеріалів що використовуються. Це завдання і було основною метою даної роботи.

Також, у роботі розроблено нові перспективні та дешеві методи нанесення плівок сполук CuO, ZnO та SnS на скляні та гнучкі підкладки. До них відносяться метод 3D друку та розпилення наночорнил, оскільки ці методи не вимагають використання вакууму, легко масштабуються та дозволяють швидко та рівномірно наносити матеріал підкладки великої площі.

Все вищенаведене свідчить про значну актуальність представленої дисертаційної роботи здобувача Євдокименка Владислава Юрійовича.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Автор брав активну участь у наукових програмах державного та міжнародних рівнів. Дисертація виконана у рамках 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 М/58-2023 від 25.08.2023 р. (2023-2024 рр.) «3D-друковані функціональні елементи для гнучких електронних пристроїв» (відповідальний виконавець); гранту NATO SPS Project 5916 (2021-2022 рр.) «3D printed functional elements for flexible electronic devices» (виконавець).

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дослідженні

Наукові положення, висновки та рекомендації, представлені автором у дисертації, відзначаються високим рівнем обґрунтованості. Автор детально опрацював та осмислив значний обсяг літератури як вітчизняних, так і зарубіжних вчених. Висновки та рекомендації дисертації є логічними та ґрунтуються на всебічному та об'єктивному аналізі досліджуваних явищ із застосуванням сучасних наукових методів.

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження, наукових положень та рекомендацій дисертанта підтверджено їхньою апробацією та схваленням на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

Наукова та практична цінність дисертації та новизна результатів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у наступному:

1. Встановлено фізико-технологічні умови отримання методом друку однофазних високотекстурованих та суцільних плівок CuO на гнучких підкладках. Встановлено умови термічного післяростового відпалу, які покращують якість текстури плівок, дозволяють видалити сторонні органічні домішки та приводять до контрольованої зміни фазового складу з CuO до Cu_2O .

2. Визначено фізико-технологічні умови для отримання однофазних високотекстурованих і суцільних плівок CuO на скляних та гнучких підкладках методом друку. Також встановлено оптимальні параметри термічного післяростового відпалу, які покращують текстуру плівок, видаляють органічні домішки та забезпечують контрольовану зміну фазового складу з CuO до Cu_2O .

3. Реалізовано п'ять різних варіантів синтезу для отримання однофазних орторомбічних плівок SnS та гексагональних SnS_2 : 1 – синтез в триетаноламіні при 293 К з осаджувачем $\text{CH}_3\text{C(S)NH}_2$; 2 – синтез в триетаноламіні при 293 К

з осаджувачем Na_2S ; 3 – синтез в діетиленгліколі (ДЕГ) при 483 К з осаджувачем $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$; 4 – синтез в ДЕГ при 483 К з осаджувачем Na_2S ; 5 – синтез в ДЕГ при 483 К з осаджувачем $\text{CH}_3\text{C}(\text{S})\text{NH}_2$.

4. Повністю хімічними методами створені робочі прототипи сонячних елементів на основі багатoshарової структури $\text{ITO}/\text{ZnO}(1\text{at.\%Al})/n\text{-ZnO}/p\text{-CuO}$ та оптимізовано їх характеристики, керуючі фізико-технологічними та фізико-хімічними умовами отримання.

Практична цінність отриманих результатів

Встановлені взаємозв'язки між фізико- та хіміко-технологічними умовами синтезу наночастинок і нанесення плівок $\text{ZnO}:\text{Al}$, CuO , SnS та структурними, оптичними, електричними характеристиками, елементним складом можуть бути використані для створення приладів сонячної енергетики та гнучкої електроніки з покращеними робочими властивостями.

Одержані результати дослідження впроваджено у навчальний та науковий процес кафедри електроніки і комп'ютерної техніки Сумського державного університету.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати наукового дослідження опубліковані у 19 наукових працях, серед 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. Основні наукові результати роботи доповідалися на Міжнародних та Всеукраїнських конференціях та семінарах, що висвітлено у 13 тезах доповідей.

Результати дисертації, що відповідає вимогам пункту 8 «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.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення

Після детального ознайомлення з дисертацією, можна зробити висновок, що робота відповідає чинним вимогам МОН України. Її структура включає зміст, анотацію двома мовами, вступ, список публікацій за темою дисертації, п'ять розділів з висновками до кожного з них, загальні висновки, список використаних джерел та додаток. Усі частини роботи викладені коректно і повністю відображають проблематику та наукові підходи до її вирішення. Дисертація відрізняється науковим стилем викладу, логічністю, послідовністю та структурованістю, з обґрунтуваннями до кожного етапу дослідження.

Дисертація відповідає вимогам викладеним у Постанові Кабінету міністрів «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктор філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 № 44.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження

На мою думку по тексту дисертаційного дослідження можна зробити такі зауваження :

1. Як розрізняються між собою розміри ОКР та розміри наночастинок?
2. З тексту роботи не зрозуміло, навіщо досліджувані плівки піддавали термічному відпалу і як температура відпалу впливала на їх характеристики.
3. На багатьох рисунках, що ілюструють структуру плівок (СЕМ та ПЕМ) не чітко видно надписи (умови при яких їх знімали). Доцільніше було б збільшити масштаб таких рисунків.

Проте, вищезазначені зауваження носять дискусійний характер і не виливають на наукову цінність та загальний позитивний висновок щодо виконаного дисертаційного дослідження..

Загальна оцінка роботи, її відповідність встановленим вимогам

Оформлення дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам.

У цілому, дисертаційна робота Євдокименка В. Ю. являє собою завершене експериментальне та теоретичне дослідження, що виконане на високому науковому рівні та представляє як науковий, так і практичний інтерес.

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Євдокименка В. Ю. «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 пунктів 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. Дисертант Євдокименко Владислав Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

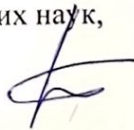
Офіційний опонент:

професор кафедри охорони праці та фізики

Сумського національного аграрного університету

Кандидат фізико-математичних наук,

професор



Валерій ЛОБОДА



ПІДПИС *Лобода В.В.*
ЗАСВІДЧУЮ
ПРОВІДНИЙ ФАХІВЕЦЬ
Мельник І.П.