

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Заїки Володимира Володимировича

«Синтез та фізичні властивості модифікованих тонких плівок та композитів на основі ZnO та кальцієвого апатиту», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 –

Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність дослідження

Тонкі плівки ZnO є одним з перспективних матеріалів завдяки своїм унікальним електронним, оптичним і п'єзоелектричним властивостям, що робить їх вигідними для широкого спектру застосувань у промисловості, медицині та енергетиці. Це зумовлює необхідність підвищення теоретичного та практичного рівня досліджень таких матеріалів через пошук нових підходів до їх синтезу та модифікації. Особливе місце займають дослідження, що спрямовані на створення багатофункціональних матеріалів на основі оксиду цинку з прогнозованими властивостями, що дозволяє значно розширити їх застосування в сучасних технологіях.

Таким чином, дисертаційна робота Володимира Володимировича Заїки, яка присвячена встановленню особливостей формування модифікованих тонких плівок та композитів на основі ZnO і кальцієвого апатиту, є актуальною та своєчасною.

Аналіз змісту дисертаційної роботи, як основної її частини, так і публікацій, вказує, що дисертація відповідає вимогам спеціальності «105 – Прикладна фізика та наноматеріали». У роботі чітко і з достатньою повнотою обґрунтовано актуальність та доцільність дослідження, визначено об'єкт, предмет, мету і завдання, а також обґрунтовано методологічні засади дослідження. Наукова новизна роботи полягає у тому, що В.В. Заїкою вперше було синтезовано композитні плівки на основі ZnO та гідроксоapatиту кальцію і досліджено їх фізико-хімічні властивості. Цей факт демонструє практичне значення отриманих результатів та вказує на високий рівень дослідження.

Дисертація складається зі вступу та чотирьох розділів, список використаних джерел містить 148 посилань. У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження фізичних властивостей тонких плівок на основі

ZnO, розкрито наукову новизну отриманих результатів, а також наведено можливі напрямки їх практичного застосування, зокрема у сфері оптичної електроніки та нанотехнологій.

У **першому розділі** «Структура, електронна будова та властивості тонких плівок оксиду цинку» проведено аналіз, систематизацію та узагальнення сучасного наукового доробку щодо створення тонких плівок ZnO, їх структури, електронних та оптичних властивостей. На основі узагальнень результатів попередніх досліджень було виокремлено основні підходи до синтезу та модифікації тонких плівок ZnO, що сприяє покращенню їх фізичних властивостей. У цьому розділі проаналізовано вплив модифікації тонких плівок ZnO на їхні фізичні властивості та їхній потенціал для практичного застосування в різних галузях, зокрема в якості світлодіодів та сенсорах газів. Наведено інформацію про типи дефектів у плівках і їхній вплив на оптичні та електронні властивості, а також детально розглянуто умови синтезу та модифікації плівок для досягнення найкращих результатів у різноманітних прикладних застосуваннях. Разом з тим зазначається нестача систематичних досліджень електронної будови тонких плівок ZnO при їх добуванні різними хімічними елементами, зокрема алюмінієм та галієм, що дозволило автору коректно окреслити мету та задачі дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячений огляду методик синтезу та дослідження властивостей тонких плівок на основі ZnO. Зокрема розглянуто методи - рентгенівська дифракція, сканувальна електронна мікроскопія, сканувальна тунельна мікроскопія. Крім того, описано методи рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФС) для визначення хімічного складу та стану поверхні, а також методи спектрального аналізу для дослідження забороненої зони та оптичної прозорості плівок. Автор описує умови проведення експериментів та параметри обладнання, що були використані для синтезу та дослідження плівок, зокрема метод радіочастотного магнетронного осадження для отримання високоякісних плівок.

У **третьому розділі** дисертації розглядаються структурно-морфологічні особливості тонких плівок ZnO, зокрема вплив потужності магнетронного

осадження під час синтезу плівок та легування алюмінієм і галієм на морфологічні та оптичні властивості. У цьому розділі автором розв'язано цілий ряд важливих завдань, пов'язаних із контролем морфології плівок на нанорівні, що безпосередньо впливає на їхні електронні й оптичні властивості. Особливий інтерес становить дослідження кількості легованого елементу у плівках та їхнього впливу на зміну ширини забороненої зони й оптичну прозорість. Також у цьому розділі проведено квантовомеханічні розрахунки електронної будови плівок ZnO, легуваних алюмінієм і галієм, та експериментально підтверджено результати цих розрахунків.

Четвертий розділ дисертації присвячений синтезу перспективних композитів на основі ZnO та дослідженню їхніх фізичних властивостей. У цьому розділі розглянуто композитні плівки ZnO з кальцієвим апатитом, а також плівки з додаванням вісмуту та композити $\text{TiO}_2/\text{ZrO}_2$. Зазначається, що композитні плівки ZnO з кальцієвим апатитом зберігають прозорість понад 85% у всьому видимому діапазоні, а також характеризуються розвиненою наноповерхнею. За допомогою методу РФС показано збереження хімічних зв'язків Zn-O та Ca-O. Для композитних плівок ZnO з вісмутом спостерігається зменшення оптичної прозорості та зменшення ширини забороненої зони в порівнянні з недопованими плівками ZnO.

Використання сучасних інструментів для виявлення плагіату підтвердило, що текст роботи відповідає критеріям **академічної доброчесності та є оригінальним науковим дослідженням**. Окрім цього, не було виявлено жодних елементів **фальсифікації чи фабрикації даних**, що свідчить про те, що всі представлені результати є наслідком добросовісної наукової праці автора. Дослідження, викладене у дисертації, проведено з дотриманням усіх вимог академічної етики, а наукові положення, висновки та експериментальні дані демонструють **новизну та практичну цінність**.

Висновки дослідження чіткі, завершені, вагомі, а весь поданий матеріал логічно структурований.

Результати дисертації своєчасно та у повному об'ємі опубліковані в 5 статтях у спеціалізованих наукових журналах, також результати були представлені й обговорені на 7 конференціях, до числа яких входять і міжнародні.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних джерел, проведенні основної частини експериментальних досліджень, обробці й аналізі експериментальних даних, а також у написанні дисертації.

Серед основних наукових результатів дисертаційної роботи Заїки Володимира Володимировича слід виділити наступні:

- Встановлено, що допування плівок ZnO вісмутом змінює їхні морфологічні характеристики, причому вісмут у складі плівок перебуває у двох хімічних станах: металевому та у формі Bi_2O_3 .
- Композитні плівки на основі ZnO і Ca-ГАП зберігають електропровідність, а їх поверхня характеризується наявністю круглих зерен на поверхні плівки.
- Допування алюмінієм та галієм ніяк не впливає на положення основних електронних рівнів цинку, водночас при значних концентраціях алюмінію спостерігається зменшення енергії зв'язку основного $1s$ рівня кисню, що вказує на збільшення електронної густини біля атомів кисню.
- Морфологія поверхні плівок ZnO значною мірою залежить від концентрації допанта та густини потоку під час осадження. При додаванні Al у концентрації 0.2 ат. % спостерігається злиття зерен, і при збільшенні концентрації Al до 0.5 ат. % розмір зерен зростає до ~ 100 нм. Проте подальше збільшення концентрації алюмінію не призводить до збільшення розміру зерен.
- Всі склади плівок демонструють текстурований ріст уздовж осі c з мінімальним відхиленням від нормалі. Структура плівок формується ще на стадії нуклеації.

У якості зауважень по дисертації можна відзначити наступне:

- У розділі 3.1 - Тонкі плівки ZnO, зокрема на Рис. 3.1 - Дифрактограма плівки ZnO, наведено дифракційні дослідження плівок ZnO. Враховуючи складність таких вимірювань для плівок, не можу не зробити зауваження щодо наведених результатів: необхідно вказувати умови проведення експериментів - марку приладу (дифрактометра), довжину хвилі рентгенівського випромінювання, товщину плівки, геометрію дифрактометрії: Брега-Брентано чи ковзаючий пучок. Чому не проведено індексацію дифракційних ліній?
- Теж саме можна віднести і до розділу 4.1. Композитні тонкі плівки на основі ZnO та гідроксиапатиту (Рис. 4.2. Дифрактограма композитної плівки $Zn_{37.7}O_{53.4}P_{4.3}Ca_{4.6}$). З чим пов'язано дифузійне гало в околі 25 град.? Потрібно зазначити, що наведену дифрактограму можна використовувати тільки для загального уявлення про структуру композитів, але некоректно розраховувати з неї мікроструктурні параметри (розмір кристалітів).
- У роботі є недоліки в оформленні рисунків: використовується різний стиль підписів англійською та українською мовами, на деяких рисунках підписи мають різний розмір шрифтів. Це впливає на загальну естетику роботи, проте не впливає на сприйняття даних.
- Відсутні деякі параметри для опису процесу радіочастотного магнетронного осадження: температура підкладки, склад робочого газу та кут осадження.

Зроблені зауваження не знижують загальної високої оцінки конкретних результатів, отриманих у даній дисертаційній роботі.

Висновок

Ознайомлення з дисертаційною роботою, науковими публікаціями та матеріалами конференцій дозволяє дійти висновку, що наукове дослідження В.В.Заїки є завершеною науковою працею та містить нові наукові результати. Оцінюючи наукові, експериментальні та практичні результати дисертаційного

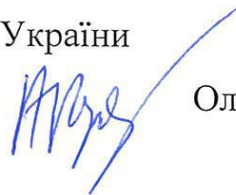
дослідження, результати їх наукової перевірки, вважаю, що робота «Синтез та фізичні властивості модифікованих тонких плівок та композитів на основі ZnO та кальцієвого апатиту» за своїм змістом, обґрунтуванням та новизною наукових результатів відповідає вимогам наказів «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» та «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» до дисертацій докторів філософії, а її автор Володимир Володимирович Заїка заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю «105. – Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент

завідувач відділу фізики дисперсних систем

Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

д.ф.-м.н., професор



Олександр РУДЬ

Підпис Олександра РУДЯ засвідчую:

Учений секретар Інституту металофізики

ім. Г.В. Курдюмова НАН України к.ф.-м.н.



Марина САВЧУК