

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фіз.-мат. наук Сафрюк Надії Володимирівни на дисертацію Миронюка Дениса Валерійовича "Вплив деяких видів іонізуючого випромінювання на властивості плівок оксиду цинку", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Напівпровідники на основі оксиду цинку завдяки своїм унікальним властивостям можуть широко застосовуватись в якості функціональних матеріалів для електронних та оптоелектронних пристроїв. Наявність сильних вбудованих полів спонтанної та п'єзоелектричної поляризації, висока дрейфова швидкість електронів дозволяють працювати пристроям на їх базі при високих значеннях: робочих напруг (> 100 В), напруженості електричного поля (3 МВ/см) та високих температур експлуатації ($400\div 500$ °С). Дані матеріали мають схожі властивості з нітридними структурами A^3B^5 , але мають набагато нижчу вартість.

Найпоширенішими сферами використання структур на основі ZnO на даний час є системи безпроводного зв'язку та обробки сигналів, з об'ємними та поверхневими акустичними хвилями електромеханічних систем (високе значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку). Але більш перспективними дані структури є у сфері радіаційно-стійких до різних видів іонізуючого випромінювання приладів, у порівнянні з аналогами (GaN, SiC). Крім об'ємних шарів мікронних товщин останнім часом все більш активно використовуються тонкі плівки ZnO з товщиною до 100 нм. Радіаційна стійкість об'ємних шарів вивчається вже досить давно, а от повного розуміння її механізмів в тонких плівках ZnO на даний час ще не існує.

Важливим практичним завданням є пошук методик росту структур ZnO для здешевлення отриманих тонкоплівкових зразків. Таким методом може бути високочастотне магнетронне розпилення, використання якого дає змогу вирощувати великі та однорідні по площі зразки. У вирощені плівки, для покра-

щення властивостей, вводять ізовалентні домішки в малих дозах. В даній роботі використовувались домішки Al та Cd та здійснювалась оптимізація по кількості домішок для покращення радіаційної стійкості тонких плівок ZnO.

У зв'язку з цим, тема даної дисертаційної роботи, що присвячена визначенню фізичного впливу різних видів іонізуючого випромінювання на мікרוструктуру, зонний та фононний спектри нелегованих та легованих алюмінієм та кадмієм плівок оксиду цинку є, безумовно, актуальною.

Також на актуальність виконаних в дисертації досліджень вказує і те, що вони виконувалися у відділі фізики і технології фотоелектронних та магнітоактивних матеріалів Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України в рамках держбюджетних тем №0110U000143 “Фотоелектронні матеріали на основі легованих плівок ZnO” (2010-2012 рр.) №0113U000312 “Прозорі електропровідні плівки на основі легованого ZnO з підвищеною радіаційною стійкістю для фотоелектронних пристроїв” (2013-2015 рр.).

Дисертаційна робота складається із вступу, літературного огляду, розділу з описом експериментальних методик та чотирьох оригінальних розділів, висновків та списку цитованої літератури з 116 найменувань. Дисертація викладена на 120 сторінках тексту, і містить 41 рисунок та 15 таблиць. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 статтях в провідних вітчизняних та зарубіжних журналах та апробовано на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях.

Автореферат та наукові статті повністю відображають зміст дисертації. Оформлення роботи відповідає нормативам, прийнятим ДАК МОН України для кандидатських дисертацій. Робота є закінченою науковою працею, в якій кваліфіковано проведені експериментальні процедури, проаналізовані і обґрунтовані результати експериментів.

До основних оригінальних результатів роботи слід віднести:

1. Створення широкої експериментальної бази з великою кількістю прецизійних методів дослідження, таких як рентгенівська дифрактометрія,

фотолюмінесценція, катодолюмінісценція, комбінаційне розсіювання світла та ін.

2. Виявлено значну радіаційну стійкість легованих Al плівок ZnO. Спостерігалась незначна зміна електричного опору за рахунок зменшення концентрації власних дефектів при їх опроміненні, аж до флюенсів $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$.

3. Використання та підбір кількості ізовалентних домішок Cd в плівках ZnO для покращення їх радіаційної стійкості. Так, концентрації Cd (0,4 - 0,5 %) роблять плівки стійкими до опромінення швидкими важкими іонами.

4. Дослідження можливості і ефективності застосування різного типу підкладок для використання приладів на основі плівок ZnO в умовах високої радіації. Виявлено, що сапфірова підкладка є кращим кандидатом для таких умов, на противагу до кремнієвої підкладки.

5. Розробка комплексного підходу для інтерпретації результатів дослідження. Який можна поділити на 2 фази: 1) спочатку при пружних зіткненнях електронів з ядром утворюються складні дефектні комплекси, за чим слідує «розбухання» ґратки; 2) непружні зіткнення електрон-електрон приводять до підвищення температури ґратки, що приводить до радіаційного відпалу та релаксації ґратки.

6. Цікавим результатом є отриманий зі спектрів фотолюмінесценції розподіл за дефектами, який став підтвердженням теоретичної моделі розробленої Луком. Для плівок з іонним типом зв'язку, якими є плівки ZnO, характерні утворення складних дефектних комплексів (антиструктурних дефектів), а не дефектів типу вакансій чи міжвузольних атомів.

До дисертаційної роботи можна зробити такі зауваження:

1. В авторефераті, та й в роботі в цілому, не приведені товщини вирощених тонких плівок ZnO, що не дає можливості оцінити їх деформаційний стан – це область псевдоморфного росту (докритична товщина), чи область часткової релаксації шляхом утворення дислокацій (закритична товщина).

2. В роботі не показано підбору легування домішкою Al зі знаходженням ефективної кількості для покращення властивостей, як наприклад, це було зроблено для Cd.

3. Для опису структурних характеристик використовується тільки вертикальний параметр ґратки c . І зовсім немає інформації про латеральний параметр a , яка дала б змогу говорити про те чи напруги є біаксіальними чи мають якийсь інший характер?

4. Щодо похибок вимірювання структурних характеристик в роботі не було вказано кількість зразків, які використовувались для аналізу. Чи був статистичний набір?

5. З тексту не видно, як змінювалась густина дислокацій з опроміненням і взагалі не приведена оцінка їх густини.

6. Дуже стисло в дисертації описаний процес осадження плівок. Хотілось би дізнатись чи були якісь особливості в порівнянні з літературними даними? Чи покращили методику, розробили якісь нові вузли? Якими були етапи багато-стадійного ВЧ магнетронного розпилення?

Однак, зроблені зауваження носять характер побажання для подальших наукових досліджень і не впливають на загальну високу оцінку результатів роботи та висновків. Надійність одержаних результатів та обґрунтованість висновків зумовлені використанням великого набору сучасних методів експериментальних досліджень та адекватністю запропонованих моделей зміни мікроструктури плівок ZnO, механізмів підвищення радіаційної стійкості легованих плівок ZnO під дією опромінення в залежності від умов вирощування. Одержані в дисертації результати є вагомим внеском у фізику твердого тіла та напівпровідникового матеріалознавство, забезпечуючи необхідний набір експериментальних даних для теоретичних досліджень радіаційної стійкості тонких плівок ZnO. Дисертант вміло володіє всіма вищезгаданими експериментальними методами та добре інтерпретує отримані експериментальні дані. Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при вирощуванні плівок оксиду цинку, легованих малими

концентраціями ізовалентних домішок Al та Cd, для створення оптоелектронних пристроїв, польових транзисторів та мікроелектромеханічних систем з підвищеною радіаційною стійкістю, а також в якості провідного прозорого електрода у тонкоплівкових сонячних елементах, здатних працювати в умовах високої фонові радіації.

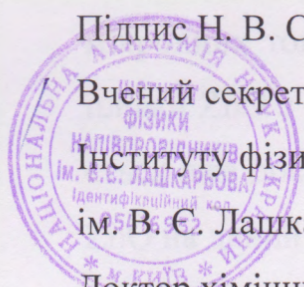
Враховуючи актуальність теми, наукове та практичне значення одержаних результатів можна зробити висновок що дисертаційна робота Миронюка Дениса Валерійовича "Вплив деяких видів іонізуючого випромінювання на властивості плівок оксиду цинку" повністю відповідає вимогам п. 11, 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань" (Постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567) та нормативним актам Департаменту з атестації кадрів Міністерства освіти і науки України, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Старший науковий співробітник
Інституту фізики напівпровідників
ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Кандидат фізико-математичних наук

Н. В. Сафрук

Підпис Н. В. Сафрук засвідчую:

Вчений секретар
Інституту фізики напівпровідників
ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
Доктор хімічних наук, професор



В. М. Томашик