

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Мазур Тетяни Михайлівни
“Дефектна підсистема, оптичні та електричні властивості бездомішкових і
легованих плівок кадмій телуриду”,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю “104 Фізика та астрономія”
(галузь знань 10 Природничі науки)

Відгук приготовлено на основі вивчення рукопису дисертаційного дослідження та наукових праць здобувача.

I. Актуальність теми дослідження

CdTe відноситься до напівпровідникових матеріалів, які активно використовуються в оптоелектроніці, для створення детекторів γ - і X-випромінювання. Розвиток тонкоплівкової технології та нанотехнологій дозволяє суттєво розширити спектр застосування напівпровідникових матеріалів. При цьому, на перший план виходять питання, пов'язані із впливом технологічних факторів на комплекс процесів, що супроводжують отримання таких структур із різним характером самоорганізації. Фізико-хімічні властивості тонких плівок, отриманих методами фізичного осадження із парової фази суттєво залежать від технологічних умов, що визначаються умовами рівноваги із паровою фазою та зумовлюють характер формування різного типу точкових дефектів: вакансій, міжвузлових і домішкових атомів, а також їх комплексів.

У дисертаційній роботі розглядаються закономірності впливу технологічних факторів отримання бездомішкових та легованих тонких плівок II-VI на їх структуру, оптичні та електричні властивості, що в комплексі визначають можливості їх практичного застосування. Дисертантка вивчала властивості як тонких плівок бездомішкового CdTe, отримані вакуумними методами, так і приповерхневі нанорозмірні леговані шари CdTe:Li, CdTe:Ca, CdTe:O, отримані за власною

запропонованою методикою, встановила вплив системи дефектів на комплекс таких властивостей.

Все це визначає **актуальність** дисертації Мазур Т.М. для розвитку напівпровідникового матеріалознавства зокрема, та фізики і хімії поверхні, фізики твердого тіла, взагалі. Останнє підтверджується і тим, що робота виконувалась у межах тематики наукових досліджень кафедри фізики і хімії твердого тіла фізико-технічного факультету ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» МОН України.

II. Загальна характеристика дисертаційної роботи

Об'єктом дослідження є взаємозв'язок структурних, електричних, оптичних та фотоелектричних властивостей тонких плівок на основі CdTe, вирощених осадженням парофазними методами за різних технологічних умов.

Предметом дослідження є особливості впливу умов парофазної сублімації на структуру, електричні, оптичні та фотоелектричні властивості поверхневого шару тонких плівок на основі CdTe (CdTe:Li, CdTe:Ca, CdTe:O).

Для вирішення поставленої мети у роботі використані сучасні експериментальні методи: товщина плівок контролювалася профілометром Bruker DekTak XT, відпал здійснювали у атмосфері кисню при температурах (300-700) K у муфельній печі Nabertherm LH04, електричні параметри досліджено методом імпедансної спектроскопії (аналізатор Autolab PGSTAT 12/FRA-2). Морфологію поверхні аналізували АСМ методами (CSM Instrument Technique). Методами кристалохімічних підходів виконано дослідження системи дефектів. На основі розробленої електрофізичної моделі досліджено вплив меж зерен на фотоелектричні властивості.

Для обробки експериментальних даних використано надійне програмне забезпечення Gwyddion. Теоретичні розрахунки виконували у середовищах Maple 14, Excel та Origin.

Наведений перелік методик та обладнання, а також програмне забезпечення для моделювання і обробки даних активно використовують дослідницькі групи, що

займаються фізико-хімічними проблемами напівпровідникового матеріалознавства, та що підтверджує їх надійність та достовірність отриманих результатів.

III. Зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота Мазур Тетяни Михайлівни виконувалася у розрізі досліджень, які проводилися на базі наукових лабораторій кафедри фізики і хімії твердого тіла фізико-технічного факультету ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника». Зокрема, вона є складова частина кафедральної науково-дослідної роботи “Домінуючі точкові дефекти і механізми утворення твердих розчинів на основі сполук AІІВVI та AІVВVI” (державний реєстраційний номер 0116U008179, керівник – проф. Прокопів В.В.).

IV. Основні наукові результати та їх новизна

Ознайомлення з науковими положеннями та основними результатами дисертаційної роботи Мазур Т.М. дає змогу зауважити ґрунтовність проведеного аналізу та практичну спрямованість результатів. Тетяна Михайлівна чітко обґрунтувала актуальність теми дисертаційного дослідження, вказала мету та завдання роботи, навела перелік використовуваних методик. Проведений літературний огляд дозволив зробити аналіз сучасного стану досліджень структурних, енергетичних, оптичних та фотоелектричних характеристик тонких плівок на основі бездомішкового та легованого CdTe, а також визначити задачі, які актуальні сьогодні для дослідження та практичного впровадження таких плівок для оптоелектроніки та фотоелектрики.

Зокрема, вперше для тонких плівок CdTe запропоновано систему квазіхімічних реакцій утворення дефектів, розв'язок якої дав можливість розрахувати холлівську концентрацію носіїв та вакансій різних зарядових станів компонент досліджуваної сполуки. Таким чином виявилось можливим теоретично визначити температуру інверсії провідності для плівок, залежності концентрації вакансій від тисків пари компонент.

Показано формування поверхнево-бар'єрних структур на базі підкладок CdTe:Li і CdTe:O, які мають набагато більшу висоту потенціального бар'єру в порівнянні з еталонними (бездомішковими) матеріалами, потужність сонячного випромінювання для яких склала 69 мВт/см². Показано залежність ефективності сонячних елементів на основі CdTe від якості матеріалу підкладки. Зокрема, встановлено, що модифікація підкладок призводить до збільшення ефективності яка спостерігається для поверхнево-бар'єрних діодів з квантово-розмірною поверхнею: η (CdTe) = 5%, η (CdTe:Li) = 9%, η (CdTe:O) = 13%.

На основі дослідження оптичних властивостей та фотолюмінесценції бездомішкового CdTe та легованих Ca, Li, O₂ приповерхневих шарів на його основі зроблено висновки про формування інтенсивної фотолюмінесценції при легуванні CdTe ізовалентною домішкою Ca (квантова ефективність склала $\eta \sim 8-10\%$ при 300 K), та про можливість отримання високоефективного крайового випромінювання при легуванні CdTe домішкою Li методом дифузії ($\eta = 12\%$).

Дослідження системи дефектів встановили утворення центрів Li_{Cd} , які спричиняють люмінесценцію у крайовій області. Причому, таке легування дозволяє отримувати шари CdTe:Li високої якості і не впливати на властивості базових кристалів CdTe.

Робота завершується висновками, в яких у стислій формі подані основні наукові та практичні результати, отримані в процесі дослідження, що дозволяє вважати роботу Мазур Т.М, самостійною і завершеною в рамках поставлених завдань. Дисертація написана грамотно, стиль викладу забезпечує легкість і доступність сприйняття.

V. Практична цінність

Результати експериментальних досліджень, що наведені у дисертаційній роботі дозволили запропонувати варіанти практичного використання. Зокрема, Т.М. Мазур запропонувала спосіб формування приповерхневих нанометрових шарів легованих матеріалів на основі CdTe, що дозволило отримати смуги інтенсивної люмінесценції без зміни оптичних властивостей базового матеріалу. Причому,

отримана ефективність склала 8-10%. Крім того, такі види легування дозволили суттєво зменшити опір вихідного CdTe та, відповідно, з високою точністю дослідити поведінку фотоелектричних параметрів досліджуваних напівпровідникових тонких плівок.

Тетяна Михайлівна приділила необхідну увагу надійності проведених експериментальних досліджень, про що свідчить добра відтворюваність результатів і їх узгодження із відомими на сьогодні.

VI. Достовірність результатів та обґрунтованість висновків

Достовірність результатів дисертації Мазур Т.М., у першу чергу, зумовлена вибором сучасних теоретичних підходів розрахунків системи дефектів, вихідними даними для яких виступили власні експериментальні значення. Експериментальні дослідження структурних характеристик та значень фотоелектричних параметрів виконано на сучасному обладнанні, яке характеризується надійністю та достатньою точністю для наведених у роботі висновків.

Все це у поєднанні із фізико-хімічним моделюванням багатьох вивчених процесів і закономірностей забезпечило роботі достатню достовірність результатів та обґрунтованість висновків.

Матеріали дисертації викладені у 37 публікаціях, у тому числі, 1 патенті, 11 статтях, опублікованих у фахових та закордонних наукових журналах, серед яких 8 статей у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз (Scopus, WoS), матеріалах 25 міжнародних та всеукраїнських конференцій, з яких 3 індексуються в наукометричних базах Scopus та/або WoS. Наукові результати опубліковані у вітчизняних та міжнародних журналах, які здійснюють незалежне наукове рецензування, що визначає високий рівень роботи загалом. Робота не містить ознак академічного плагіату і відповідає вимогам академічної доброчесності.

VII. Зауваження до дисертації

1. У дисертаційній роботі Мазур Тетяни Михайлівни описано методику двотемпературного відпалу, досліджуються власні точкові дефекти в бездомішкових

плівках CdTe. Однак, не наведено детальних технологічних режимів реалізації цього методу: парціальні тиски парів компонентів, температурні інтервали.

2. Вивчаючи нанорозмірні поверхневі шари Тетяна Михайлівна здійснювала легування базового матеріалу Ca, Li, O₂. При цьому отримані цікаві результати. Однак, добре відомо, що добре практичне застосування отримав CdTe:Cl, який добре зарекомендував себе для фотоелектрики як певний перехідний шар. Було б цікаво порівняти його властивості та властивості досліджуваних у роботі матеріалів.

3. Методичний другий розділ дисертації “Синтез та вирощування монокристалів, технологія осадження та контроль властивостей тонких плівок CdTe” у ряді випадків носить загальний характер, не має конкретизації стосовно поставленої задачі. Ці деталі розписані в інших розділах роботи. Бажано було б такі речі подавати комплексно, разом.

4. У п.2.4.1 йде мова про мікрохімічний аналіз. Суттєвим доповненням до такого аналізу були б дані про вміст чи відсутність окремих фаз Cd чи Te.

5. Є також деякі зауваження щодо оформлення роботи, які утруднюють її читання. Так, температура часто позначається як у градусах Кельвіна (напр., стор. 87, 92, 97, 139 та ін.), так і у градусах Цельсія (стор. 85, 142)

Проте, зроблені зауваження і побажання не впливають на загальний високий науковий рівень дисертації, не піддають сумніву основні наукові результати, отримані автором, їх новизну та практичне значення.

VIII. Загальна оцінка роботи

Дисертація Мазур Т.М. є ґрунтовним науковим дослідженням, присвяченим проблемам фізичного матеріалознавства напівпровідників, фізики і технології тонких плівок, сучасних методів дослідження поверхні, яке включає комплексне теоретичне і експериментальне вивчення процесів дефектоутворення у бездомішкових тонких плівках на основі кадмій телуриду та у легованих приповерхневих шарах CdTe:Li, CdTe:Ca, CdTe:O, комплексу їх фотоелектричних характеристик, які відкривають нові шляхи оптимізації параметрів, необхідних для

створення елементної бази мікро- і наноелектроніки, зокрема, оптоелектроніки та фотоелектрики.

Дисертація написана на високому науковому рівні та належним чином оформлена. Результати роботи опубліковані у чисельних публікаціях, які індексуються міжнародними наукометричними базами.

ІХ. Висновок

Дисертація Мазур Тетяни Михайлівни «Дефектна підсистема, оптичні та електричні властивості бездомішкових і легованих плівок кадмій телуриду» є самостійним і завершеним науковим дослідженням. Дисертанткою отримані нові науково обгрунтовані теоретичні та практичні результати та зроблені відповідні висновки, що дозволяють стверджувати про вирішення авторкою поставлених у роботі наукових завдань.

Зміст дисертаційної роботи і висвітлені в ній результати дослідження відповідають спеціальності 104 «Фізика та астрономія» та вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №167 від 6 березня 2019 р., а її автор – Мазур Тетяна Михайлівна – заслуговує присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділу фізики поверхні та
напівпровідникової нанофотоніки
Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

Д.В. Корбутяк

Д.В. Корбутяк

Підпис Д.В. Корбутяка засвідчую

В.о. вченого секретаря

Інституту фізики напівпровідників

ім. В.Є. Лашкарьова НАН України

канд. фіз.-мат. наук, Стефаніка



Р.А. Редько

Київський національний
університет імені Тараса Шевченка
03.04-30/02
30 04 2020