

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

МИКИТЮКА ТАРАСА ІВАНОВИЧА

«Електричні, оптичні та фотоелектричні процеси в тонкоплівкових гетероструктурах CdS/CdMgTe»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків

Актуальність теми дисертаційного дослідження

Сонячна енергетика, що використовує невичерпне джерело енергії, є пріоритетною у здійсненні «зеленого» переходу від шкідливого для клімату викопного палива до «чистих» відновлюваних джерел енергії, а також у забезпеченні сталого доступу до енергії у всьому світі. Згідно з прогнозом розвитку фотоелектричної сонячної енергетики до 2030 р. від Bloomberg NEF, загальний обсяг потужностей сонячної енергетики у 2022 р. очікується на рівні 214 ГВт., а до 2030 р. прогнозується приріст в розмірі 311 ГВт. Технології виробництва тонкоплівкових сонячних елементів другого покоління, зокрема сонячні елементи на основі телуриду кадмію, постійно удосконалюються упродовж останніх десятиліть. Це пов'язано з тим, що навіть рекордні значення ефективності сонячних елементів на основі CdTe залишаються далекими від теоретичної межі. Одним з перспективних напрямків є заміна CdTe твердим розчином CdMgTe (що дозволяє керувати шириною забороненої зони поглинача) і застосування гетероструктур CdS/CdMgTe як окремих сонячних елементів, так і в якості верхньої комірки в тандемних сонячних фотоелектричних установках. Тому експериментальні дослідження електричних і фотоелектричних характеристик гетероструктур CdS/Cd_{1-x}Mg_xTe, їх інтерпретація і визначення основних параметрів матеріалу і гетероструктури, знаходження оптимального значення ширини забороненої зони верхнього сонячного елемента тандемної Cd_{1-x}Mg_xTe/CuInSe₂ структури і, врешті решт, формулювання рекомендацій щодо створення сонячних елементів на основі CdMgTe з максимально можливою квантовою ефективністю є актуальною проблемою як з наукової, так і практичної точок зору.

Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів, викладених у дисертації, базується на застосуванні сучасних фізичних методів досліджень електричних, оптичних і фотоелектричних характеристик напівпровідникових

тонкоплівкових гетероструктур, а також відповідних математичних методів обробки експериментальних результатів із використанням достовірних літературних даних для моделювання фізичних процесів.

До найбільш істотних **наукових результатів**, отриманих в ході дисертаційного дослідження, слід віднести такі:

1. Експериментально досліджено і проаналізовано вольт-амперні характеристики гетероструктур CdS/CdMgTe при різних температурах. Встановлено механізми переносу заряду і визначено ключові параметри досліджуваних гетероструктур, зокрема концентрацію некомпенсованих домішок, енергію генераційно-рекомбінаційного центру, час життя носіїв заряду, висоту потенціального бар'єра.

2. Експериментально досліджено оптичні і фотоелектричні характеристики гетероструктур CdS/CdMgTe. Розроблену раніше теоретичну модель фотоелектричної квантової ефективності адаптовано для досліджуваних гетероструктур, а її співставлення зі спектром CdS/Cd_{0,92}Mg_{0,08}Te дозволило зрозуміти, які параметри негативно впливають на ефективність фотоелектричного перетворення, а отже, - сформулювати шляхи її покращення.

3. Розраховано струми короткого замикання у верхньому і нижньому елементах тандемного Cd_{1-x}Mg_xTe/CuInSe₂ сонячного елемента зі врахуванням спектрів пропускання усіх шарів. Доведено, що інтегральні характеристики тандемного сонячного елемента можна достатньо точно визначити без урахування багаторазових відбивань та інтерференційних ефектів.

4. Визначено оптимальне значення ширини забороненої зони Cd_{1-x}Mg_xTe для тандемної структури з нижнім CuInSe₂ сонячним елементом при однаковій ефективності фотоелектричного перетворення. Показано, що пропускання верхнього сонячного елемента у спектральній області 850–1150 нм у тандемній структурі перевищує 85%.

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що автором вперше було досліджено електричні, оптичні і фотоелектричні характеристики гетероструктур CdS/CdMgTe, проаналізовано фізичні процеси, що відбуваються в них, визначено основні параметри матеріалів. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні високоефективних сонячних елементів на основі CdS/CdMgTe, тандемних сонячних елементів CdMgTe/CuInSe₂ з оптимальними параметрами для повномасштабного промислового виробництва

сонячних електростанцій, а також у наукових дослідженнях матеріалів і гетероструктур для сонячної енергетики.

Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях. У дисертації узагальнено наукові результати, які належать безпосередньо автору і опубліковані у 8-и статтях у міжнародних та вітчизняних фахових виданнях та 10-и тезах доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях. Робота повністю відповідає принципам академічної доброчесності.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Автореферат у повній мірі відображає основний зміст дисертації.

Однак, до дисертаційної роботи є певні **зауваження**:

1) При розрахунках вольт-амперних характеристик згідно теорії генерації-рекомбінації Саа-Нойса-Шоклі (п. 2.6) автор не наводить енергетичну діаграму досліджуваної гетероструктури CdS/CdMgTe. Це ускладнює сприйняття і розуміння позначень у формулах (2.31)-(2.36).

2) У п. 2.6.2 автор аналізує вольт-амперні характеристики гетероструктури CdS/Cd_{0.92}Mg_{0.08}Te при різних температурах і визначає енергію термічної активації електропровідності $\Delta E = 0.185$ eV (рис. 2.13, а,б). На жаль, в тексті не наводяться дані про природу цього енергетичного рівня.

3) При співставленні результатів розрахунків з експериментом у розділах 2 і 3 автор застосовує підбір трьох і більше параметрів. Варто було б вказати на точність визначення цих параметрів і чи не можна отримати такі самі теоретичні залежності при інших комбінаціях параметрів матеріалу і гетероструктури.

4) На рис. 3.9 (п. 3.3) продемонстровано узгодження експериментально отриманих спектрів квантової ефективності з результатами розрахунків. Натомість не вказані значення швидкості поверхневої рекомбінації та коефіцієнта дифузії дірок, які використані при розрахунках.

5) Є деякі зауваження технічного характеру: автор зсилається на стор. 92 – на рівняння (3.97), (3.99), а на стор 108 на рис.2б та на рис.3, які відсутні; на стор.57 – „оксисену”, на стор. 75 – „характеристики”, на стор.87 – „проливає світло”, на стор. 89 – „енергія вакууму”. На багатьох рисунках відсутня текстова інформація українською мовою.

Однак, зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи Микитюка Т.І. В цілому дисертація являє собою закінчене наукове дослідження, в якому отримано нові, науково обґрунтовані результати в галузі фізики напівпровідників.

Враховуючи актуальність теми дисертації, значний обсяг проведених досліджень, наукову і практичну цінність отриманих результатів, об'єм дисертації вважаю, що дисертаційна робота Микитюка Т.І. “Електричні, оптичні та фотоелектричні процеси в тонкоплівкових гетероструктурах CdS/CdMgTe” відповідає вимогам МОН України, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. „Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів”, а її автор, Микитюк Тарас Іванович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків.

Офіційний опонент

завідувач кафедри біологічної фізики

та медичної інформатики

Буковинського державного медичного університету,

доктор фізико-математичних наук,

професор



Володимир ФЕДІВ

Підпис Федіва В
 _____ засвічено
 Начальник відділу кадрів
 Буковинського державного медичного університету



Dr. Leonid