

ВІДГУК

офіційного опонента Лепіха Ярослава Ілліча
на дисертаційну роботу Петруся Романа Юрійовича «**Структурно-морфологічні та оптоелектронні властивості тонких плівок халькогенідів кадмію**», представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Однією із найважливіших задач сучасного матеріалознавства у галузі напівпровідникового приладобудування є отримання плівкових матеріалів з керованими властивостями, які можуть бути перспективними для створення приладних структур на їх основі. Тонкі плівки халькогенідів кадмію відносяться до важливих функціональних матеріалів для виготовлення на їх основі ряду високоефективних пристроїв оптоелектроніки, детекторів іонізуючого випромінювання, фотоелектричних перетворювачів, світлодіодів, газових сенсорів тощо.

Плівки халькогенідів кадмію можна осаджувати різними методами, однак не існує одного оптимального методу осадження напівпровідникових плівок, який би задовольняв одночасно усім критеріям (близькість з технологічними процесами виготовлення приладних структур, фізико-хімічна сумісність з підкладками, площа покриття, економічна доцільність та ін.). Тому розвиток наукових основ осадження напівпровідникових тонких плівок халькогенідів кадмію і встановлення загальних закономірностей впливу методів синтезу на структурно-морфологічні та оптоелектронні властивості плівок є безумовно актуальною проблемою. На електрофізичні властивості, експлуатаційні характеристики тонкоплівкових елементів ключові ролі відіграють морфологія поверхні, структура та стехіометрія. Заданням конкретних умов нанесення можна одержувати плівки з необхідним набором їх властивостей.

Маловивченою залишається проблема використання нанотехнологій для отримання матеріалів із набором різнофункціональних властивостей та створення на їх основі напівпровідникових приладних структур з суттєво підвищеними функціональними та експлуатаційними характеристиками. Нанокompозитні матеріали можуть проявляти виняткові оптичні властивості завдяки локалізованим плазмонам, а резонансні явища в них можуть викликати значне підсилення електромагнітного поля.

Таким чином, актуальність дисертації Р.Ю. Петруся «Структурно-морфологічні та оптоелектронні властивості тонких плівок халькогенідів кадмію» не викликає сумнівів і полягає у комплексному дослідженні морфології поверхні, елементного складу, структури, оптичних характеристик тонких плівок CdS, CdSe та CdTe та гетероструктур на їх основі залежно від методу

осадження плівок, а одержані результати необхідні для створення і вдосконалення сучасних тонкоплівкових напівпровідникових приладів.

Дисертація виконувалася відповідно до завдань низки державних наукових програм, що є додатковим свідченням актуальності дисертації. Зокрема «Тривимірний сонячний елемент», № держреєстрації 0111U001221 (2011–2012 рр.); «Сонячні елементи на основі гетеропереходів CdS/CdTe з вбудованими масивами металічних наночастинок», № держреєстрації 0113U001368 (2013–2014 рр.); «Текстуровані сонячні елементи CdS/CdTe з наночастинками золота і розширеним спектром fotocутливості та системи відбору енергії», № держреєстрації 0115U000437 (2015–2016 рр.); «Науково-прикладні методи та комбіновані системи компенсації пікового навантаження електромереж на базі суперконденсаторів», № держреєстрації 0116U001548 (2016–2017 рр.); «Сонячні елементи на основі варізонних структур A_2B_6 та A_3B_5 з впровадженими нанорозмірними об'єктами», № держреєстрації 0117U004448 (2017–2018 рр.); «Розроблення високоефективних методів відбору енергії від фотоелектричних модулів».

Результати проведених автором комплексних досліджень є важливі і роблять вагомий внесок у розуміння фізичних процесів, що відбуваються в поверхнево-бар'єрних та гетероструктурах на основі плівок халькогенідів кадмію, в тому числі з текстурованою поверхнею та вбудованим масивом наночастинок золота.

Новизна наукових положень та висновків.

Вдалих вибір об'єктів та методів дослідження, логічність сформульованих завдань та правильне їх вирішення дозволили авторів отримати низку нових наукових результатів, серед яких, на мою думку, слід відзначити такі:

1. За результатами теоретичних розрахунків зонно-енергетичних діаграм тонких плівок CdX (X=S, Se і Te) досліджено трансформацію електронного енергетичного спектру в процесі переходу кристал–тонка плівка, виявлено, що дисперсія енергетичних рівнів зменшується при переході від монокристала до тонкої плівки халькогеніду кадмію.
2. Встановлено спектральну залежність основних оптичних характеристик (коефіцієнта поглинання $\alpha(\lambda)$, показника заломлення $n(\lambda)$, коефіцієнта екстинкції $k(\lambda)$ та діелектричної проникності $\epsilon(\lambda)$) напівпровідникових плівок CdS, CdSe та CdTe залежно від методу їх осадження та модифікування.
3. Виявлено зростання ширини забороненої зони тонких плівок CdS зі зменшенням товщини плівки ($d < 100$ нм);

4. Розроблено фізико-хімічні основи технології синтезу масиву НЧ Au заданого розподілу за розміром, сфероїдальної форми і рівномірним розподілом по поверхні та сформовано підкладки CdS:НЧ Au/ІТО/скло для реалізації фоточутливих структур на їх основі;
5. Розроблено фізико-хімічні основи технології реалізації фоточутливих плоских, текстурованих (n -CdS/ p -CdTe) та із вбудованим масивом НЧ Au гетероструктур (n -CdS:НЧ Au/ p -CdTe). Встановлено, що використання текстурованої поверхні та масиву НЧ Au у структурі сонячного елемента призводить до зростання густини струму короткого замикання та напруги холостого ходу, та незначним зменшенням фактора заповнення.

Результати дисертації мають важливе практичне значення. Зокрема, нові наукові дані про кристалічну, електронну енергетичну структуру та морфологію поверхні плівок халькогенідів кадмію, їх оптичні та електрофізичні характеристики залежно від методу осадження можна використати для прогнозування характеристик та можливостей експлуатаційних властивостей приладних багатошарових структур на їх основі.

Розроблені фізико-технологічні процеси керованого створення текстурованих підкладок та синтезу наночастинок золота можуть бути запроваджені у виробництві високоефективних тонкопліткових сонячних елементів на основі гетеропереходу n -CdS/ p -CdTe.

У дисертації запропоновано алгоритм відслідковування точки максимальної потужності сонячних елементів та розроблено систему ефективного відбору енергії з використанням суперконденсаторів, що забезпечує середньодобовий приріст отриманої енергії на 21,1 % порівняно з промисловим аналогом.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень та висновків забезпечено використанням комплексу взаємодоповнюючих експериментальних методик, апробованих теоретичних підходів, відтворюваністю результатів та їх узгодженням як між собою, так і з результатами інших авторів. Для досліджень застосовано сучасне обладнання вітчизняних та міжнародних наукових лабораторій.

Наукова новизна результатів і висновків є експериментально і теоретично обґрунтованою.

Повнота викладу результатів в опублікованих наукових працях та апробація роботи.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження повною мірою викладено в 70 наукових працях та апробовано на численних наукових конференціях. Серед публікацій: 29 статей у наукових міжнародних журналах та фахових виданнях України (з них 25 включено до наукометричних баз даних Web of Science та/або Scopus), 4 статті у матеріалах конференцій, які індикуються наукометричними базами даних, 31 публікацій у вигляді тез доповідей та матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Разом із тим, дисертація не позбавлена певних недоліків, що висловлено у наступних зауваженнях.

1. У роботі не обґрунтовано критерії вибору товщини поглинального та віконного шарів фоточутливих гетероструктур.
2. Не знайшло задовільного пояснення зміщення (з 2,36 до 2,28 еВ) оптичної ширини забороненої зони плівок CdS у довгохвильову ділянку спектра після синтезу на їх поверхні масивів наночастинок Au.
3. Без параграфу “1.3. Високочастотне магнетронне розпилення” можна було би обійтися, оскільки у ньому викладено відому інформацію.
4. Доцільно було шкалу інтенсивності X-променевої дифрактограм представити в логарифмічному масштабі, що дало б змогу виявити і проаналізувати слабкі відбивання, а також отримати параметри максимумів з більшою точністю. Водночас, форма і структура максимумів дає додаткову інформацію щодо особливостей кристалічної структури плівки.
5. Невиправдана подрібнено матеріал дисертації на окремі підрозділи. Наприклад, у розділі 3 окремі підрозділи обсягом в одну сторінку: 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.2.2, 3.2.3, 3.3.1 та інші.

Зазначені зауваження, однак, не є принциповими і, жодним чином, не знижують наукову новизну та практичну цінність результатів та висновків дисертаційного дослідження.

Дисертація логічно структурована, оформлена згідно вимог. Стиль і мова роботи відповідають стандартам наукових публікацій. Автореферат і опубліковані наукові праці належною мірою відображають зміст та основні положення дисертації.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Петруся Романа Юрійовича є завершеним науковим дослідженням. Висновки роботи повністю відображають основні положення, які виносяться на захист.

Враховуючи актуальність теми, наукову новизну і практичну цінність роботи повноту викладення отриманих результатів у наукових публікаціях високого рівня, вважаю, що дисертація **Романа Юрійовича Петруся «Структурно-морфологічні та оптоелектронні властивості тонких плівок халькогенід кадмію»**, є завершеною науковою працею, що за своїм науковим рівнем актуальністю виконаних досліджень, практичним значенням, об'ємом і оформленням відповідає вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженою Постановою Кабінету міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а сам Роман Юрійович Петрусь заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук, професор,
директор Міжвідомчого науково-навчального
фізико-технічного центру МОН і НАН України
при ОНУ імені І.І. Мечникова

Я.І. Лепіх

підпис Лепіха Я.І. засвідчую:

Вчений секретар,
кандидат хімічних наук, доцент


30.04.2021

С.В. Куранд

09 03 04 - 30/32
04