

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Д'яченка Олексія Вікторовича
«Оптимізація структурних, електричних та оптичних характеристик
шарів тонкоплівкових сонячних елементів на основі
оксидів Mg, Zn, Cu, отриманих спреї-піролізом», подану на здобуття
наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
зі спеціальності 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем»

Дисертаційна робота Д'яченка О. В. присвячена вирішенню декількох важливих проблем фізики приладів, елементів і систем, а саме: визначенню впливу фізичних процесів у фотоперетворювачах, які у своєму складі містять функціональні шари на основі сполук ITO, ZnO:Al, Zn_{1-x}Mg_xO, Cu₂O, CuO; одержанню функціональних шарів сонячних елементів на основі плівок оксидів Mg, Zn, Cu із оптимальними структурними, субструктурними та оптичними властивостями; дослідженню наноструктурованого матеріалу на основі твердого розчину Zn_{1-x}Mg_xO із оптимальними властивостями для використання у фотоперетворювачах; створенню прототипу сонячного елемента та дослідженню його характеристик.

Актуальність теми. Однією із актуальних задач сучасного матеріалознавства у галузі напівпровідникової електроніки є отримання плівкових матеріалів з керованими властивостями, які можуть бути перспективними для створення різноманітних приладів, у тому числі і фотоперетворювачів сонячної енергії. На сьогодні широкого розвитку набули тонкоплівкові сонячні елементи першого та другого покоління, які, традиційно, у своїх конструкціях використовують напівпровідникові сполуки Si, CdTe, Cu(In_x, Ga_{1-x})(S, Se)₂, CdS, ITO (In₂O₃ - SnO₂) та демонструють ефективність у діапазоні (22–26) %. Але ці матеріали мають ряд суттєвих недоліків: кремій є непрямозонним напівпровідником, що вимагає створення високоякісних моно- або полікристалічних, товстих (100–300 мкм) шарів для створення високоефективних приладів, вартість видобутку In, Ga, Te є високою, що призводить до підвищення вартості одиниці енергії генерованої сонячними елементами, Cd та Se – токсичні хімічні елементи, що знижує рівень екологічності приладів. Тому, напівпровідникові оксиди на основі Mg, Zn, Cu, на цей час розглядають як альтернативу традиційним матеріалам, оскільки вони є екологічно безпечними, мають кращі фізичні властивості у порівнянні із традиційними матеріалами, а також дозволяють створювати шари приладів, використовуючи суттєво дешевші методи, зокрема техніку пульсуючого спреї-піролізу.



Слід відмітити, що застосування хімічних методів одержання функціональних шарів для приладового застосування у геліоенергетиці є додатковим способом зниження вартості одиниці енергії, що генерується сонячними елементами.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується також тим, що вона виконувалася у рамках ряду держбюджетних НДР, в тому числі і міжнародного науково-дослідного проекту та міжнародного індивідуального гранту.

Новизна і наукова цінність результатів.

У дисертаційній роботі отримано ряд нових наукових результатів, що сприяють подальшому розвитку основ матеріалознавства ряду оксидних сполук для приладового застосування в геліоенергетиці. Так автором було проведено моделювання фізичних процесів втрати енергії фотоелектричних приладів на основі гетеропереходів із конструкцією (ITO, ZnO:Al) / Zn_{1-x}Mg_xO / (CuO, Cu₂O), а також вивчення впливу оптичних та рекомбінаційних втрат в таких фотоперетворювачах на їх ефективність. Крім того, проведені експериментальні дослідження функціональних шарів фотоелектричних приладів, а саме плівок ZnO, MgO, CuO, та твердого розчину Zn_{1-x}Mg_xO, в тому числі одержаних з суспензії наночастинок. Також вивчено процеси фазоутворення у плівках і наночастинках та визначено фізико-технологічні умови одержання таких структур з оптимальними властивостями для використання у сонячних елементах.

Відзначаю **найбільш важливі**, з моєї точки зору, наукові результати, одержані в дисертаційній роботі.

1. У результаті моделювання процесів фотоперетворення світла в сонячних елементах на основі гетеропереходу *n*-Zn_{1-x}Mg_xO / *p*-Cu_xO з використанням програмного пакета SCAPS та фізичних процесів, пов'язаних з оптичними й рекомбінаційними втратами в таких приладах, уперше встановлено, що максимальну ефективність мають фотоелектричні перетворювачі із віконним шаром із твердого розчину Zn_{0,7}Mg_{0,3}O. Визначено вплив оптичних та рекомбінаційних втрат на густину струму короткого замикання й ефективність перетворення сонячної енергії приладом.

2. Уперше визначено вплив фізико-технологічних параметрів нанесення плівок MgO з використанням вихідного розчину, що містив хлорид магнію, методом пульсуючого спреї-піролізу на їх структурні, субструктурні, оптичні властивості. Встановлені оптимальні умови одержання плівок із контрольованими і відтворюваними характеристиками, придатними для приладового використання.

3. Удосконалено уявлення про вплив структурно-фазового стану плівок MgO, Zn_{1-x}Mg_xO та CuO на їх оптичні характеристики (спектральні залежності

коефіцієнтів пропускання і поглинання, ширину забороненої зони матеріалу, коефіцієнти заломлення й екстинкції тощо). Показано, що шари оксидів мають високі значення коефіцієнта пропускання (80–90 %), розраховано оптичну ширину забороненої зони зразків твердого розчину $Zn_{1-x}Mg_xO$ залежно від вмісту магнію.

Для вирішення усіх цих задач дисертантом було використано достатньо широкий комплекс сучасних методів моделювання, нанесення тонкоплівкових зразків та їх дослідження.

Достовірність результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень.

Достовірність результатів, одержаних у роботі, зумовлена комплексним використанням сучасних методів дослідження матеріалів, таких як рентгеноструктурний аналіз, сканувальна електронна мікроскопія, атомно-силова мікроскопія, рентгенівський спектральний мікроаналіз, раманівська спектроскопія, фотолюмінесцентні дослідження та ін.

Вивчення структурних, оптичних та електрофізичних властивостей зразків проводилось методами, які доповнювали один одного, що дозволило збільшити надійність отриманих результатів.

Більшість результатів та висновків, які наведені у роботі є достатньо обґрунтованими та викликають науковий інтерес. Одержані дані добре корелюють між собою та з результатами, отриманими іншими авторами.

Варто також відзначити **практичну значимість роботи**, а саме було розроблено автоматизовану лабораторну установку, що дозволяє наносити тонкі шари сполук оксидів металів і твердих розчинів різного хімічного складу та їх гетеропереходи як в атмосфері, так і в газовому середовищі з контрольованими властивостями для приладового використання в областях опто- та мікроелектроніки, геліоенергетики та сенсоріки. Створено прототип ФЕП із конструкцією $ITO / n-Zn_{1-x}Mg_xO / p-CuO / Cu$ та виміряні його темнові ВАХ при різних температурах. Проведені розрахунки рекомбінаційних та оптичних втрат світла, і моделювання основних робочих характеристик досліджуваних структур на основі гетеропереходів можуть бути використані в подальшому для підвищення їх ефективності.

Апробація результатів дисертації. Публікації. Основні наукові результати роботи достатньо широко доповідалися і представлялися на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях та семінарах. Серед наукових праць 5 статей опубліковано у наукових журналах, а 6 статей у матеріалах конференцій, одержано 2 патенти на корисну модель. Варто відзначити, що вісім праць пошукача надруковані у виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus і Web of Science Core Collection.

Зауваження по дисертаційній роботі та автореферату.

1. Як будь яке моделювання, моделювання фізичних процесів у фотоперетворювачах повинно базуватись на основоположних рівняннях електроніки, в даному випадку це рівняння неперервності та струмоперенесення в умовах зовнішнього освітлення приладу, що, власне, і моделюється за допомогою програмного середовища SCAPS. Після цього автор проводить розрахунки фотоелектричних параметрів сонячних елементів за допомогою відповідних формул, взятих з літературних джерел. Одержані результати дещо відрізняються, що викликає сумніви в їх достовірності. На жаль, автором в роботі не надано пояснення такої розбіжності результатів і необхідності розрахунку параметрів фотоперетворювачів двома різними методами.

2. На жаль, поза увагою автора лишилося пояснення фізичних процесів, які викликають зміну розмірів областей когерентного розсіювання та рівня мікродеформацій в плівках при зміні фізико-технологічних умов їх нанесення. Автор повинен також пояснити яке відношення мають ці величини до характеристик сонячних перетворювачів, які розробляються.

3. У роботі наведено значний об'єм експериментальних даних, отриманих різними методами, однак для декількох з них відсутня інформація про похибки вимірювання величин цими методами.

4. Аналіз результатів електричних досліджень, на мій погляд, не достатньо повний. Оскільки розглядається прототип фотоперетворювачів, необхідно було провести вимірювання їх світлових вольт-амперних характеристик та визначити такі параметри як густина струму короткого замикання, напруга холостого ходу, ефективність.

5. Висновки роботи цілком відповідають поставленим завданням, але їх формулювання інколи не досить вдалі. Висновки в ряді випадків занадто багатослівні, а деякі з них сформульовані не як висновки, а як результати.

6. В третьому пункті не визначено ступень новизни, а четвертий пункт слід було віднести до практичної значимості.

Однак наведені вище зауваження не мають принципового характеру та не знижують високу цінності отриманих у дисертації результатів, їх практичне значення, не ставлять під сумнів достовірність та обґрунтованість основних положень, що виносяться на захист.

Оформлення дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам. Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи.

В цілому, дисертаційна робота Д'яченка О. В. являє собою завершене експериментальне та теоретичне дослідження, що виконане на високому науковому рівні та представляє як науковий, так і практичний інтерес. За своїм

змістом дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем».

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Д'яченка Олексія Вікторовича «Оптимізація структурних, електричних та оптичних характеристик шарів тонкоплівкових сонячних елементів на основі оксидів Mg, Zn, Cu, отриманих спреї-піролізом» є завершеною науковою працею, яка виконана на високому науковому рівні, і за актуальністю, науковою новизною та практичним значенням відповідає вимогам пп. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – «фізика приладів, елементів і систем».

Офіційний опонент,

в. о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок
Інституту прикладної фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор

О. Г. Пономарьов

Підпис Пономарьова О. Г.

доктора фізико-математичних наук, професора,

в. о. завідувача відділу фізики пучків заряджених частинок **завіряю.**

Вчений секретар

Інституту прикладної фізики НАН України

кандидат фізико-математичних наук



О. І. Ворошило