

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Дзумедзея Романа Олексійовича

«Розсіювання носіїв заряду у тонких полікристалічних плівках та пресованих матеріалах на основі телуридів свинцю та олова»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні

1. Актуальність теми дисертаційної роботи зумовлена необхідністю уточнення характеру поведінки носіїв заряду, яка визначає електрофізичні властивості напівпровідників, зокрема, відповідає за весь комплекс термоелектричних параметрів та яка задається технологічними факторами отримання пресованих полікристалічних зразків чи тонких плівок.

Термоелектричні пристрої привертають все більшу увагу через їх надійність у експлуатації, підвищені вимоги до екологічної безпеки. Іншими важливими вимогами є пониження вартості та підвищення ефективності. Відповідно, перехід до тонких плівок дозволяє на кілька порядків зменшити кількість вихідного матеріалу, що впливає на кінцеву вартість, а регулюванням технології вдається плавно керувати властивостями, зокрема, створювати структури пониженої розмірності, реалізувати квантові ефекти, чим можна підсилити ефективність матеріалів.

Ще одним шляхом покращення властивостей є формування матеріалів методом пресування порошку. Цей підхід дозволяє створювати численні межі зерен, які ефективно розсіюють фонони та, тим самим, підвищують термоелектричну добротність.

Таким чином, дослідження транспортних властивостей для одних і тих самих матеріалів на основі телуридів свинцю та олова, але у різних типах – у вигляді тонких плівок чи об'ємних пресованих зразків – є актуальною науковою задачею, яка присвячена вивченню фундаментальних процесів, що спостерігаються на границях зерен чи які пов'язані із впливом поверхні та доповнюють існуючі знання у фізиці і хімії поверхні.

Дисертаційна робота виконувалася у рамках як держбюджетних наукових проектів МОН України, так і міжнародного гранту наукової програми НАТО.

2. Основні наукові результати та їх новизну, наведені у дисертації, можна звести до наступних пунктів:

2.1. У дисертаційній роботі Дзумедзея Романа Олексійовича досліджено особливості динаміки носіїв заряду на різних неоднорідностях

матеріалу. При цьому, на прикладі розрахунку температурних залежностей ефективної маси вперше перевірено коректність застосування варіаційного принципу. Добре узгодження теоретичних та експериментальних значень вказує як на правильність вибору моделі, так і на достовірності кінцевих результатів.

2.2. Вперше проведено дослідження механізмів розсіювання носіїв заряду при аналізі термоелектричних властивостей серії матеріалів, отриманих методом пресування порошку: бінарного PbTe та твердих розчинів $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $PbTe_{1-x}Se_x$. Досліджено можливості оптимізації термоелектричних параметрів цих матеріалів на основі регулювання технологічних факторів експерименту. Виконано порівняння їх властивостей із властивостями легованих матеріалів типу PbTe:Bi, PbTe:Sb.

2.3. Показано, що відпал порошоків для пресування на повітрі призводить до зменшення їх питомої електропровідності та до збільшення концентрації носіїв. Відповідне зменшення рухливості електронів пояснено впливом на систему потенціальних бар'єрів на границях кристалітів.

2.4. Показано, що дифузія атомів оксигену вглиб приповерхневого шару здійснюється по міжвузлових позиціях. Визначено енергію утворення комплексу «домішковий атом – вакансія плюмбуму».

2.5. Дисертантом вперше досліджено транспорт носіїв заряду для випадку тонких плівок систем PbTe:Bi/ситал, PbTe:Bi/слюда, PbTe:Sb/ситал, PbTe:Sb/слюда та SnTe/слюда та встановлено механізми зародження і росту поверхневих утворень, які безпосередньо впливають на розсіювання носіїв заряду. Вказано на домінування розсіювання на міжзеренних границях для усіх досліджуваних зразків. Визначено діапазони товщин тонких плівок при яких вплив поверхневого розсіювання є найбільш суттєвим.

3. Достовірність результатів та обґрунтованість висновків визначаються комплексом проведених теоретичних розрахунків та виконаних експериментальних досліджень на сучасному обладнанні, які добре корелюють між собою, відповідають тим знанням, які на сьогодні є фундаментом сучасних уявлень про фізику і хімію поверхневих явищ у напівпровідниках.

4. Наукова і практична цінність

Наукова цінність дисертаційної роботи визначається розробленими теоретичними підходами, які пояснюють характер взаємодії електронів з неоднорідностями кристалічної ґратки, а також особливості їх динаміки, які пов'язані із поверхневими ефектами. На їх основі здійснено детальні

теоретичний і експериментальний аналіз температурних і концентраційних залежностей рухливості носіїв заряду, важливих термоелектричних параметрів (коефіцієнту термо-ЕРС, питомої електропровідності та теплопровідності), визначено домінуючі механізми розсіювання носіїв заряду та встановлено їх зв'язок із структурною досконалістю матеріалу. Визначено умови формування складів та структури матеріалів із максимальними термоелектричними характеристиками.

Практичне значення дисертації підтверджується серією патентів України на технологію формування матеріалів із розвинутою поверхнею, яка визначає прикладні характеристики для їх застосувань у якості віток термоелементів. Виконані дослідження дозволили зробити висновки про оптимізацію властивостей матеріалів шляхом керування технологічними процесами, які визначають наперед задані структурні параметри тонких плівок чи пресованих полікристалічних матеріалів (розмір і орієнтація нанокристалітів, топологія поверхні, структурна досконалість) та володіють високою термоелектричною ефективністю.

5. Зауваження до змісту дисертації

При детальному аналізі дисертаційної роботи можна зробити певні зауваження та пропозиції. Зокрема:

5.1. У основному тексті дисертації згадується, що розглядається модель енергетичних зон Кейна (розділ 2, формула (2.1)). Однак, відомо, що існують й інші моделі. Було б цікаво виконати схожі розрахунки при використанні, наприклад, шестизонної моделі Діммока.

5.2. При дослідженні різних механізмів розсіювання носіїв заряду для випадку потрійних чи легованих сполук враховуються, в основному, точкові дефекти, але не акцентується увага на аналізі більш складних утворень, наприклад, комплексів точкових дефектів чи дислокацій.

5.3. У п'ятому розділі дисертації наведено велику кількість табличних даних та графічного матеріалу щодо виміряних електричних параметрів плівок PbTe:Sb, PbTe:Bi, SnTe, осаджених на різні підкладки, зроблено певні висновки щодо процесів зародження і росту, а також формування структури поверхневих наноутворень для цих плівок. Було б бажано надати більш детальне пояснення причин, що зумовлюють відзначені закономірності, залежно від технологічних факторів.

5.4. Місцями у дисертації зустрічаються технічні огріхи. Зокрема, на стор. 64 замість «також підтверджує зменшення», очевидно, мала б бути фраза «також підтверджує зменшення», а замість «температури для» – фраза «температури для», тощо. На деяких рисунках підписи на осях наведено на

англійській мові (напр., рис. 4.5 на стор. 85), хоча на інших рисунках, навіть на сусідніх рис. 4.4 та рис. 4.6, підписи наводяться на українській мові.

5.5. Цікавим могло б бути узагальнення автором у вигляді єдиної таблиці значень термоелектричних параметрів досліджуваних складів матеріалів пресованих зразків та тонких плівок.

Однак ці зауваження не ставлять під сумнів отримані основні наукові та практичні результати і висновки дисертаційної роботи і не знижують її загальну високу оцінку, а можуть бути рекомендаціями для майбутніх досліджень автора.

6. Загальна оцінка роботи

Дисертація Дзумедзея Р.О. є закінченим науковим дослідженням, присвяченим проблемам фізичного матеріалознавства напівпровідників, яке включає комплексне теоретичне і експериментальне вивчення процесів перенесення носіїв заряду у тонких плівках та пресованих полікристалічних зразках, що характеризуються визначальним впливом поверхні, та відкриває нові шляхи оптимізації параметрів, необхідних для створення елементної бази мікро- і наноелектроніки, зокрема, для потреб термоелектрики.

Автореферат повністю відображає зміст дисертаційної роботи і розкриває основні її положення. Дисертація написана на належному науковому рівні, оформлена відповідно до вимог, зрозуміло викладена.

7. Висновок

Дисертаційна робота Дзумедзея Романа Олексійовича «Розсіювання носіїв заряду у тонких полікристалічних плівках та пресованих матеріалах на основі телуридів свинцю та олова» як за обсягом проведених експериментальних досліджень, а також рівнем теоретичної інтерпретації результатів відповідає всім вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Офіційний опонент:

професор, завідувач кафедри експериментальної фізики та інформаційно вимірювальних технологій

Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки,

доктор фізико-математичних наук

С. А. Федосов

підпис
ЗАСВІДОУЮ
Вчений секретар університету
29 11 2019

Формальний відомлення і
підписи: С. А. Федосов
050205/42
02 02 19