

РЕЦЕНЗІЯ

доктор фізико-математичних наук, професор
кафедри термоелектрики та медичної фізики
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Маханця Олександра Михайловича
на дисертаційну роботу **Рибчакова Дениса Євгенійовича**
**«Вплив фазової стабільності та мікроструктури системи Vi-Te-Sb-Se
на термоелектричні властивості екструдованих матеріалів»,**
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань
10 Природничі науки за спеціальністю
105 Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дисертаційної роботи.

Незважаючи на значну кількість досліджень у цій галузі, проблема підвищення термоелектричної ефективності матеріалів залишається актуальною як для фундаментальної науки, так і для сучасних енергетичних технологій. Це пов'язано зі складністю взаємозв'язку між фазовим складом, мікроструктурою, параметрами хімічного зв'язку та електрофізичними властивостями матеріалів. Особливої ваги ця проблема набуває у контексті розвитку «зеленої» енергетики та створення ефективних систем використання відпрацьованого тепла. У зв'язку з цим дисертаційна робота Рибчакова Д.Є., що присвячена встановленню закономірностей впливу фазової стабільності та мікроструктури на властивості екструдованих термоелектричних матеріалів, є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до наукових напрямів кафедри термоелектрики та медичної фізики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича в межах науково-дослідної тематики, пов'язаної з фізикою та матеріалознавством термоелектричних матеріалів (державний реєстраційний номер 0121U110896). Тематика дисертації безпосередньо відповідає сучасним напрямкам розвитку прикладної фізики та наноматеріалів, зокрема в частині створення нових матеріалів для перетворення енергії.

Структура та зміст дисертації.

Дисертаційна робота має логічну та послідовну структуру, складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (114 найменувань) та додатків. Матеріал викладено послідовно, аргументовано та на належному науковому рівні, з достатньою кількістю ілюстративного матеріалу (64 рисунки, 25 таблиць).

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також задекларовано особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячений аналізу сучасного стану досліджень термоелектричних матеріалів на основі систем Bi-Te-Sb-Se. Автором проведено ґрунтовний огляд літературних джерел, розглянуто основні методи синтезу та модифікації термоелектричних матеріалів (методи Чохральського, Бріджмена, зонної плавки, гарячої екструзії), а також проаналізовано сучасні підходи до підвищення їх термоелектричної добротності. Особливу увагу приділено ролі легування та структурної модифікації у формуванні електрофізичних властивостей, що дало змогу обґрунтувати напрями власних досліджень.

У другому розділі наведено результати моделювання фазових діаграм та аналізу хімічного зв'язку в системі Bi-Te-Sb-Se. Автором виконано побудову ізотермічних перерізів багатокомпонентних систем (зокрема, для температур 300, 400, 500 та 600°C), досліджено області фазової стабільності та проведено квантово-хімічний аналіз міжатомної взаємодії. Запропонований підхід, який інтегрує термодинамічний аналіз з квантово-хімічним моделюванням, дозволив встановити закономірності формування фазового складу та оцінити вплив міжатомних взаємодій на властивості матеріалів.

Особливої уваги заслуговують результати дослідження взаємодії компонентів із галогенами. Автором переконливо показано, що використання йоду як легувальної домішки є більш ефективним порівняно з бромом, що пояснюється особливостями енергетики міжатомної взаємодії (вищими енергіями дисоціації зв'язків I-Bi та I-Te) та стабільністю відповідних хімічних зв'язків.

Третій розділ присвячений дослідженню впливу легувальних домішок та додаткових фаз на властивості матеріалів на основі Bi₂Te₃. Автором проведено аналіз впливу CdTe та CdSb на електрофізичні характеристики матеріалів. Встановлено, що використання CdTe є перспективним для створення композитних матеріалів із покращеними властивостями (зокрема, завдяки його інертності та стабільності), тоді як CdSb проявляє високу хімічну активність та негативно впливає на стабільність характеристик, що підтверджується експериментальними даними.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень екструдованих матеріалів. Детально описано методику синтезу, механоактивації та гарячої екструзії. Проведено вимірювання коефіцієнта

Зеєбека та електропровідності отриманих зразків. На основі аналізу отриманих залежностей встановлено оптимальні умови отримання матеріалів (зокрема, вміст CdTe на рівні 33%) із покращеними термоелектричними характеристиками.

Наукова новизна отриманих результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у комплексному підході до дослідження взаємозв'язку між фазовою стабільністю, параметрами хімічного зв'язку, мікроструктурою та термоелектричними властивостями матеріалів системи Bi-Te-Sb-Se.

У роботі:

– запропоновано підхід до моделювання фазових рівноваг у багатокомпонентних системах Bi-Sb-Se-Te, що ґрунтується на методі триангуляції та побудові ізотермічних перерізів;

– встановлено закономірності впливу галогенів (йоду та бром) на параметри міжатомної взаємодії, зокрема на енергії дисоціації відповідних хімічних зв'язків;

– теоретично обґрунтовано ефективність використання йоду як легувальної домішки порівняно з бромом;

– експериментально підтверджено можливість зміни типу провідності Bi_2Te_3 (з електронного на дірковий) при введенні йоду безпосередньо в процесі механоактивації;

– визначено оптимальні умови використання CdTe (33% за об'ємом) для створення композитних термоелектричних матеріалів із покращеною однорідністю властивостей.

Практичне значення роботи.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для розроблення нових високоефективних термоелектричних матеріалів та вдосконалення технологій їх виготовлення. Запропоновані підходи можуть бути використані при створенні матеріалів для термоелектричних генераторів та охолоджувальних систем, зокрема в галузі відновлювальної енергетики та приладобудування.

Отримані результати мають важливе значення для розвитку сучасного термоелектричного матеріалознавства та можуть бути використані у подальших наукових дослідженнях і прикладних розробках, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з прикладної фізики.

Обґрунтованість та достовірність результатів.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням сучасних методів теоретичного аналізу (термодинамічне моделювання, квантово-хімічні розрахунки) та експериментальних досліджень (високотемпературний синтез, механоактивація, гаряча екструзія, вимірювання електрофізичних характеристик). Достатній обсяг експериментального матеріалу, узгодженість отриманих результатів із літературними даними та їх апробація на міжнародних наукових конференціях додатково підтверджують обґрунтованість висновків.

Основні результати дисертації опубліковані у фахових наукових виданнях, що свідчить про належний рівень апробації роботи та її відкритість для наукової спільноти.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Поряд із безперечними перевагами дисертаційна робота містить окремі недоліки та дискусійні положення:

У роботі недостатньо детально розглянуто вплив параметрів гарячої екструзії, зокрема швидкості деформації та режимів охолодження, на формування текстури та анізотропії властивостей матеріалів. Бажано було б навести кількісні оцінки або порівняння для різних режимів.

Доцільно було б доповнити дослідження прямими вимірюваннями теплопровідності та розрахунками термоелектричної добротності ZT для всіх серій отриманих зразків, що дало б змогу більш повно оцінити ефективність розроблених матеріалів.

У роботі наведено значний обсяг теоретичних розрахунків параметрів хімічного зв'язку, однак для окремих результатів бажано було б подати більш детальне порівняння з експериментальними або літературними даними (наприклад, для енергій дисоціації зв'язку V_i-Te).

У тексті дисертації трапляються окремі стилістичні неточності та повторення, які, однак, не впливають на загальне сприйняття роботи.

Зазначені зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

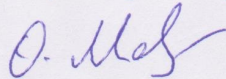
Дисертаційна робота Рибчакова Дениса Євгенійовича «Вплив фазової стабільності та мікроструктури системи $V_i-Te-Sb-Se$ на термоелектричні властивості екструдованих матеріалів» є завершеним, самостійним та цілісним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні. За

актуальністю теми, науковою новизною, практичним значенням та рівнем виконання робота відповідає вимогам, що ставляться до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії згідно з «Вимогам до оформлення дисертації», затверджених Наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р., та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022 року (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ № 507 від 03.05.2024 р.).

Вважаю, що автор дисертаційної роботи, Рибчаков Денис Євгенійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 – Природничі науки.

РЕЦЕНЗЕНТ:

доктор фізико-математичних наук, професор
кафедри термоелектрики та медичної фізики
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича



Олександр МАХАНЕЦЬ

