



ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., проф. Іван ДЕМІДОВ

«19» 12 . 2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації доцента кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, кандидата фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника ДЗУНДЗИ Богдана Степановича на тему «Твердотільні термо- і фотоелектричні перетворювачі енергії та сенсорні елементи на основі модифікованих структур телуридів», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 *Твердотільна електроніка*

Призначені рішенням Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка» (протокол № 6 від «28» листопада 2023 р.) рецензенти:

- **ГОЛЯКА Роман Любомирович**, професор кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій, доктор технічних наук, професор;
- **БАРИЛО Григорій Іванович**, професор кафедри електронної інженерії, доктор технічних наук, професор;
- **ХОВЕРКО Юрій Миколайович**, професор кафедри напівпровідникової електроніки, доктор технічних наук, професор,

розглянувши докторську дисертацію **ДЗУНДЗИ Богдана Степановича «Твердотільні термо- і фотоелектричні перетворювачі енергії та сенсорні елементи на основі модифікованих структур телуридів»** (тему дисертації затверджено «22» жовтня 2019 р. на засіданні Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка», протокол № 58, та уточнено «28» листопада 2023 р. на засіданні Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка», протокол № 6), наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами фахового семінару кафедри напівпровідникової електроніки Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету «Львівська політехніка» (протокол № 3 від 13 лютого 2024 р.), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів докторської дисертації:

1. Дисертація ДЗУНДЗИ Богдана Степановича, представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 *Твердотільна електроніка*, є кваліфікаційною науковою працею, підготовленою у вигляді рукопису, характеризується єдністю змісту, відповідає принципам академічної доброчесності, підготовлена здобувачем самостійно. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності робота відповідає вимогам п. 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. **Актуальність теми дослідження.** У зв'язку із загостренням екологічних проблем постійно зростає інтерес до альтернативної енергетики. З кожним роком частина

енергії, яка виробляється з відновлюваних джерел, постійно зростає, як і кількість досліджень у даній сфері. Зокрема, активно розвивається напрямок використання аморфних тонкоплівкових сонячних елементів з великою площею (II-покоління). Також актуальною науковою проблемою є дослідження термоелектричних перетворювачів як альтернативних джерел енергії, охолоджувачів та високочутливих температурних сенсорів. Термоелектричні перетворювачі є одним із перспективних, а в деяких випадках єдиним доступним джерелом електричної енергії. Уже багато років ведеться пошук матеріалів з покращеними термоелектричними властивостями, і розроблена велика кількість як матеріалів, так методів дослідження. Особливо варто відзначити сполуки телуру, які зараз активно досліджуються, і займають провідну роль серед всіх термоелектричних матеріалів, завдяки поєднанню відносно високих термоелектричних характеристиках, відносній простоті отримання та достатній механічній міцності. Однак, досі існує потреба в підвищенні термоелектричної ефективності перетворювачів енергії, особливо це стосується тонкоплівкових структур, властивості яких значно відрізняються, завдяки впливу поверхні та розмірних ефектів. Також відчувається недостатня кількість простих та ефективних методів дослідження комплексних характеристик термоелектричних матеріалів на одному зразку. Для розробки ефективних термоелектричних та фотоелектричних напівпровідникових перетворювачів енергії необхідна велика кількість експериментальних вимірювань, зокрема, коефіцієнта Зеебека, холлівської концентрації носіїв, питомої електропровідності, фотопровідності, часу релаксації носіїв заряду та їх залежностей від технологічних режимів, температури, магнітного поля, що є достатньо трудомістким завданням.

При розробці термо- та фотоелектричних перетворювачів та сенсорів на їх основі потрібно враховувати, з одного боку, їх специфічність та різноманітний характер завдань сучасної фото- та термоелектрики, а з іншого – особливості залежностей експлуатаційних параметрів тонких плівок телуридів від структури та технологічних факторів отримання. З погляду практичного застосування, існує потреба як в уніфікації та оптимізації методів вимірювання для можливості дослідження всіх термоелектричних параметрів на одному зразку типової конфігурації для підвищення точності та надійності отриманих результатів, так і в розробці термоелектричних матеріалів підвищеної ефективності та перетворювачів енергії і високочутливих сенсорів на їх основі.

Тому дисертація присвячена розв'язанню **актуальної науково-технічної проблеми твердотільної електроніки** з розроблення напівпровідникових структур для високоефективних термоелектричних і фотоелектричних перетворювачів енергії та сенсорних елементів на основі модифікованих структур телуридів, а також дослідження залежностей термоелектричних властивостей від хімічного складу, структури та технологічних факторів отримання.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами забезпечений тим, що дисертація виконана в наукових лабораторіях кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Національного університету "Львівська політехніка" та кафедр комп'ютерної інженерії та електроніки, фізики і хімії твердого тіла Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника та є складовою частиною проектів: грант "Thermoelectric Materials and Devices for Energy Saving and Security Increase" (This research is sponsored by NATO's Public Diplomacy Division in the framework of "Science for Peace". 2014-2016 p.p., SFP#984536); "Нові композитні та тонкоплівкові термоелектричні матеріали на основі багатокомпонентних сполук Ag-Pb-Sb-Te (LAST): технологія, властивості, використання" (2015-2016 p.p., державний реєстраційний номер 0115U002303, МОН України); "Отримання і властивості термоелектричних матеріалів на основі плюмбум телуриду з нановключеннями" (2017-2018 p.p., державний реєстраційний номер 0117U002407, МОН України); "Розробка і оптимізація технології отримання масивних, тонкоплівкових та наноструктурованих матеріалів на основі сполук систем Pb-Bi(Sb)-Te для термоелектричних перетворювачів енергії" (2013 p., державний реєстраційний номер 0113U000185, МОН України); "Термоелектричні матеріали на основі нанорозмірних структур сполук IV-VI" (2011 p., державний реєстраційний номер 0111U001766, МОН України); "Технологія, спектральні та термоелектричні властивості

багатошарових низькорозмірних гетероструктур на основі халькогенідів свинцю” (2012 р, державний реєстраційний номер 0112U003693, МОН України); “Елементи гібридних сенсорних мікросистем для біомедичних застосувань” (2022-2023 р.р., державний реєстраційний номер 0122U000858, МОН України).

4. Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів. Основні наукові результати, які становлять суть дисертації, отримано та сформульовано автором особисто.

Роботи [13, 26] – це одноосібні статті здобувача, де автору належить ідея та оптимізація методів дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників, підготовка, проведення та аналіз експериментальних досліджень зі встановлення впливу міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать:

- проведення експериментальних досліджень та встановлення впливу технологічних факторів, поверхні, міжзеренних меж та розмірних ефектів на термоелектричні властивості тонкоплівкових напівпровідникових структур [7,19,20]. Зі співавторами проводились окремі вимірювання, теоретичні розрахунки та обговорення результатів;

- проведення досліджень термоелектричних властивостей напівпровідникових структур та розробка високоефективного напівпровідникового тонкоплівкового матеріалу для термоелектричних перетворювачів енергії [1,5,21-24,34,35]. Співавторам належить розробка та синтез об’ємних матеріалів, окремі ідеї та вимірювання, а також обговорення результатів;

- вдосконалення методики та проведення дослідження параметрів термоелектричного гнучкого тонкоплівкового сенсора теплового випромінювання [12]. Зі співавторами проводилася розробка та синтез матеріалів, дослідження їх термоелектричних властивостей та обговорення отриманих результатів;

- запропонована ідея удосконалення методів дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників, що дало можливість проводити дослідження на зразку однієї конфігурації, розроблена структурна та електрична схема програмно-апаратного комплексу для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів, які дають можливість в одному технологічному циклі, на зразку однієї конфігурації, неруйнівними методами отримати всі необхідні параметри досліджуваного зразка [6, 11, 32, 33]. Зі співавторами даних робіт проводились окремі вимірювання та обговорення результатів;

- розроблена концепція інфрачервоного сенсора, конструкція термоелектричного охолоджувача та програмно-апаратна система керування багатоступеневим криогенним термоелектричним охолоджувачем, необхідним для роботи інфрачервоного сенсора [2-3]. Співавторам належить проведення синтезу та дослідження матеріалу для сенсора, виготовлення сенсора, а також обговорення отриманих результатів;

- розроблений високоефективний термоелектричний охолоджувач та електрична схема і конструкція системи керування прецизійним термоелектричним термостатом з можливістю автономної роботи, безперервного моніторингу та ведення журналу температур [7]. Зі співавторами даних робіт проведено синтез та дослідження термоелектричного матеріалу для охолоджувача, а також обговорення отриманих результатів;

- запропонована ідея, методика, виконана реалізація, а також практичне застосування розроблених засобів, проведені експериментальні дослідження електропровідності, фотопровідності високоомних напівпровідникових плівок, встановлено вплив хімічного складу та факторів отримання на фотоелектричні властивості [25,30]. Експериментально досліджено залежності електричних властивостей плівок кадмій телуриду легованого Li та Ca. Визначено провідність легованого шару, швидкість та глибину дифузії [28,29]. Зі співавторами даних робіт проводились підготовка зразків та обговорення результатів;

- розроблені автором способи обробки сигналів, концепція, схемотехніка та програмна складову системи для дослідження та діагностики термоелектричних перетворювачів методами імпедансної спектроскопії [27]. Зі співавторами даної роботи проводилося моделювання та обговорення результатів;

- розроблений тестовий елемент та адаптована методика і засоби для вимірювання електричних параметрів напівпровідникових GaAs структур та проведення електрофізичного діагностування їх надійності ще на етапі виготовлення кристалу [14-16]. Співавторами

розроблена методика отримання структур, проводились окремі вимірювання, теоретичні розрахунки та обговорення результатів;

- розроблена комплексна система генерування електричної енергії з покращеними термоелектричними перетворювачами енергії на основі легованого стибієм n-PbTe:Bi та сполука p-PbSnTe [31]. Разом зі співавторами проведено експериментальні дослідження та обговорення результатів;

- розробка прецизійної установки та дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів, проведення досліджень, аналіз джерел, технічна графіка [4, 17, 19]. Разом зі співавторами проведено деякі експериментальні дослідження, моделювання та обговорення результатів;

- запропонована концепція сенсорної мікросистеми для біомедичних застосувань. Запропонована функціонально-електрична схема інтегральних перетворювачів сигналів від фоточутливих елементів на основі КМОН-операційних підсилювачів, що призначена для побудови елементної бази гібридних сенсорних мікросистем для біомедичних застосувань. Проведено моделювання та визначено їх експлуатаційні характеристики [8, 9]. Разом зі співавторами проведено деякі експериментальні дослідження, моделювання та обговорення результатів.

5. Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача. У докторській дисертації “Твердотільні термо- і фотоелектричні перетворювачі енергії та сенсорні елементи на основі модифікованих структур телуридів” результати, отримані в кандидатській дисертації «Вплив міжфазних меж на механізми розсіювання носіїв струму в плівках халькогенідів свинцю» Дзундзи Богдана Степановича не використовувались.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації. Висвітлені в дисертаційній роботі Дзундзи Б.С. наукові положення, висновки та рекомендації є експериментально і теоретично обґрунтованими, достовірними та апробованими. Обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації базується на використанні відомих методів при виконанні дослідження та припущень, які не суперечать відомим науковим та методологічним підходам та забезпечують адекватність отриманих результатів. Достовірність наукових положень та зроблених висновків підтверджується узгодженістю результатів теоретичних досліджень та моделювання з результатами експериментів на реальних зразках термоелектричних матеріалів та даними відомих з літературних джерел досліджень, а також практичним впровадженням частини результатів дисертаційного дослідження.

7. Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше встановлено взаємозв'язок між електрофізичними властивостями напівпровідникових матеріалів на основі модифікованих плівок телуридів та визначено основні закономірності зміни їх характеристик від хімічного складу, структури та технологічних факторів отримання, що дало змогу прогнозувати параметри сучасних термо- та фотоелектричних пристроїв мікро- та наносистемної техніки:

1. Вперше встановлено, що у тонких полікристалічних плівках PbTe, товщиною до 2500 нм, отриманих на поліамідних підкладках, для яких поверхнева рухливість носіїв складає $\mu_{s(\text{PbTe})} = 7,5 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, домінуючим механізмом розсіювання є дифузне розсіювання на поверхні, яке впливає на середню довжину вільного пробігу носіїв $\lambda \approx 260 \text{ нм}$, що враховано під час отримання плівок різної товщини.

2. Вперше показано, що для плівок SnTe, з концентрацією носіїв заряду до $3 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ та розмірами кристалітів порядку 100 нм, для яких міжбар'єрна рухливість становить $\mu_{s(\text{SnTe})} = 56,4 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ вплив міжзеренного розсіювання є домінуючий завдяки досить малим розмірам кристалітів у латеральному напрямку та високій концентрації носіїв заряду, що дає можливість отримувати тонкі плівки з наперед заданими властивостями.

3. Вперше виявлено, що легування домішками модифікованих структур телуридів призводить до значного збільшення коефіцієнта термоелектричної потужності порядку

44 мкВт/см·К² для сполук на основі SnTe в широкому діапазоні температур, що спричинено ефектом формування резонансного рівня поблизу енергії Фермі внаслідок придушення біполярної провідності при високій температурі і, як наслідок, зменшення енергетичного розділення між валентними зонами легких і важких дірок.

4. Набули подальшого розвитку основні підходи одержання багатошарових термоелементів на основі низькотемпературних (до 300°C) сполук Bi₂Te₃ та середньотемпературних (до 600°C) термоелектричних матеріалів на основі легovanого PbTe (n-тип) та GeTe (p-тип), що суттєво підвищило до 14% ККД розроблених термоелектричних пристроїв з максимумами добротності ZT у багатошаровій структурі.

5. Вперше встановлено, що для полікристалічних шарів CdTe міжзеренні межі володіють домінуючим впливом на перенесення носіїв заряду та фотоелектричні властивості цих плівок. Так, за частот вище 100 Гц, електропровідність зростає за законом $\sigma \sim \omega^{0.54}$, що вказує на стрибкову провідність і свідчить про наявність локалізованих станів в тонких плівках CdTe, які спричинені протяжними дефектами на границях зерен. Показано, що зменшення товщини плівки CdTe та вибору підкладки дає можливість збільшити фотопровідність, що важливо для керування фоточутливістю розроблених створених пристроїв, на основі полікристалічних плівок.

6. Набула подальшого розвитку концепція побудови ІЧ-сенсорів на основі PbTe:In для діапазону довжин хвиль до 4,2 мкм, які функціонують за температур до 150 К, що забезпечується розробленим багатостадійним кріогенним термоелектричним охолоджувачем. Перевагою такого сенсорного елемента є його функціонування за температур, вищих за температуру рідкого азоту.

7. Вперше запропоновано архітектуру гібридної сенсорної мікросистеми для визначення біомедичних показників людини, в основу якої покладено розроблений інтегральний перетворювач сигналів від діодних фоточутливих сенсорних елементів, які працюють в діапазоні довжин хвиль від 400 до 1040 нм. Перевагою цього перетворювача є можливість усунення постійної складової, амплітуда якої на порядки перевищує низькочастотний корисний сигнал з динамічною зміною рівня компенсації, фільтрування сигналу та приведення його до діапазону АЦП.

8. Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність результатів дослідження полягає в тому, що проведені дослідження дали можливість встановити закономірності зміни фото- та термоелектричних властивостей модифікованих структур телуридів від хімічного складу, структури та технологічних факторів отримання та створити високоефективні первинні перетворювачі енергії разом з високочутливими сенсорами на їх основі, а розроблені методи та засоби дозволили автоматизувати трудомісткі дослідження як термоелектричних, так і фотоелектричних характеристик напівпровідникових матеріалів та виготовлених перетворювачів енергії.

Удосконалено методику непрямих вимірювань та розроблено засоби, що вперше дало змогу в одному технологічному циклі неруйнівними методами проводити повний цикл дослідження термоелектричних властивостей та значно зменшило затрати часу на проведення і обробку експериментальних даних.

Розроблено багатошаровий високоефективний термоелектричний модуль перетворення енергії для широкого робочого діапазону температур, який поєднує матеріали на основі твердих розчинів Bi₂Te₃, середньотемпературні (на основі легovanого PbTe), нові матеріали p-типу (на основі напівпровідникових сполук GeTe), легovanих до 5 атомних % Bi, що дозволило суттєво знизити концентрацію дірок, рівень яких забезпечує оптимальне значення термоелектричної ефективності (ZT), при збереженні задовільних механічних властивостей, на відміну від високоефективного PbTe p-типу.

Розроблено термоелектричний перетворювач енергії на основі пліткових матеріалів p-типу Bi_{2-x}Sb_xTe₃ і n-типу Bi₂Te_{3-y}Se_y на тонкій поліамідній підкладці з безрозмірною термоелектричною добротністю $ZT = 0,6$ і ККД $\sim 3,6\%$ при різниці температур 100 К, що є вище у порівнянні з існуючими аналогами промислових мікроперетворювачів.

Створено систему управління термоелектричними охолоджувачами інфрачервоних давачів на основі плівок PbTe, працездатних в діапазоні довжин хвиль 4,2 мкм, за температур 150 К.

Розроблено гібридну сенсорну мікросистему для біомедичних застосувань, яка дає змогу визначати індекс перфузії і забезпечує безперервний моніторинг роботи серця, дихання, параметрів крові людини.

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях. Дисертація Дзундзи Б.С. містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць, опублікованих за її матеріалами, відповідають наказу МОН України № 1220 від 23.09.2019 року «Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук».

Основні положення й наукові результати дисертації викладено у 52 опублікованих працях, серед яких: 23 статті у наукових фахових виданнях України та інших держав, які індексовані міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, 2 статті у періодичних виданнях інших держав, 10 статей у наукових фахових виданнях України, 4 патенти України на винахід, 2 патенти України на корисну модель, 11 матеріалів і тез доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях.

Статті у наукових періодичних виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus та/або Web of Science

1. Maksymuk M., **Dzundza B.**, Matkivsky O., Shneck R., Dashevsky Z. Development of the high performance thermoelectric uncouple based on Bi₂Te₃ compounds. *Journal of Power Sources*. 2022. Vol. 530. P. 231301. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.231301> (Здобувачем розроблено методику, проведено експериментальні дослідження термоелектричних властивостей, обробку та інтерпретацію отриманих результатів) (Scopus, Q1).
2. Gradauskas J., **Dzundza B.S.**, Chernyak L., Dashevsky Z.M. Two-Color Infrared Sensor on the PbTe: In p-n Junction. *Sensors (Switzerland)*. 2021. Vol. 21. P 1195. <https://doi.org/10.3390/s21041195> (Розроблено концепцію інфрачервоного сенсора, конструкцію термоелектричного охолоджувача та програмно-апаратну систему керування багатоступеневим кріогенним термоелектричним охолоджувачем необхідним для роботи інфрачервоного сенсора) (Scopus, Q1).
3. Gradauskas J., **Dzundza B.S.**, Chernyak L., Dashevsky Z.M. Detection of 9.5 μm CO₂ laser pulses in indium doped PbTe p-n junction. *Physica B: Condensed Matter*. 2021. No. 607. P. 412855. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.412855> (Розроблено конструкцію прототипу сенсора інфрачервоного випромінювання, показано, що така конструкція забезпечує роботу сенсора при температурах до 180 К, які досягаються кріогенним термоелектричним охолоджувачем) (Scopus, Q2).
4. Dashevsky Z., Mamykin S., **Dzundza B.**, Auslender M., Shneck, R.Z. A Review of Nanocrystalline Film Thermoelectrics on Lead Chalcogenide Semiconductors: Progress and Application. *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 3774. <https://doi.org/10.3390/en16093774> (Здобувачем проведено експериментальні дослідження гальваномагнітних та термоелектричних властивостей тонких плівок на основі легovanого PbTe, обробку та візуалізацію отриманих результатів. Зростання коефіцієнта Зесбека пояснено потенційним рельєфом на межах зерен) (Scopus, Q1).
5. Maksymuk M., Parashchuk T., **Dzundza B.**, Chernyak L., Dashevsky Z. Highly efficient bismuth telluride-based thermoelectric microconverters. *Materials Today Energy*. 2021. Vol. 21. P. 100753. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100753> (Здобувачем проведено аналіз експериментальних даних температурних залежностей термоелектричних параметрів тонких плівок, обробку та візуалізацію отриманих результатів) (Scopus, Q1).

6. **Dzundza B.S.**, Kostyuk O.B., Pysklynets U.M., Dashevsky Z.M. Development of high-precision hardware and software tools for automated determination of the characteristics of thermoelectric devices. *Physics and chemistry of solid state*. 2023. V. 24, No. 2. P. 278-283. <https://doi.org/10.15330/pcss.24.2.278-283> (Розроблено високоточну установку для дослідження термоелектричних пристроїв у діапазон температур 300-900 К. Створено комп'ютерні засоби автоматизованого вимірювання та попередньої обробки експериментальних даних, що значно підвищило точність визначення термоелектричних параметрів) (Web of Science, Scopus, Q4).
7. Dunets R.B., **Dzundza B.S.**, Deichakivskiy M.V., Mandzyuk V.I., Terletsy A., Poplavskiy O.P. Methods of computer tools development for measuring and analysis of electrical properties of semiconductor films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/9, No. 103. P. 32-38 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.195253> (Запропоновано методику та розроблено засоби вимірювання електричних параметрів та обробки отриманих експериментальних даних із врахуванням моделей опису фізичних процесів, які визначають експлуатаційні характеристики напівпровідникового матеріалу. Проведено експериментальні дослідження серії тонких плівок n-PbTe. На основі моделювання визначено електричні параметри приповерхневих шарів, розділено вплив поверхневого та зернограничного механізмів розсіювання носіїв заряду на електричні параметри плівок) (Scopus, Q3).
8. Когут І.Т., **Дзундза Б.С.**, Голота В.І., Никируй Л.І. Моделювання інтегральних перетворювачів сигналів для біомедичних сенсорних мікросистем. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2023. Т. 24, № 3. С. С. Р. 515-519. <https://doi.org/10.15330/pcss.24.3.515-519> (Здобувачем розроблено функціонально-електричну схеми інтегрального перетворювачів сигналів від фоточутливих елементів на основі КМОН-операційних підсилювачів, що призначена для побудови елементної бази гібридних сенсорних мікросистем для біомедичних застосувань. Проведено моделювання та визначено їх експлуатаційні характеристики) (Web of Science, Scopus, Q4).
9. **Дзундза Б.С.**, Когут І.Т., Голота В.І., Туровська Л.В. Принципи побудови гібридних мікросистем для біомедичних застосувань. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2022. Т. 23, № 4. С. 776-784. <https://doi.org/10.15330/pcss.23.4.776-784> (Здобувачем запропоновано концепцію сенсорної мікросистеми та розроблено прототип програмно-апаратних засобів для неперервного моніторингу серцевого ритму, рівня сатурації та інших параметрів крові методом фотоплетизмографії) (ФПП.) (Web of Science, Scopus, Q4).
10. **Dzundza B.S.**, Kostyuk O.B., Dashevsky Z.M. Features of computer control systems designing for precision thermoelectric coolers. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. Vol. 22, No 2. P. 278-283. <https://doi.org/10.15330/pcss.22.2.278-283> (Здобувачем запропоновано ідею, розроблено ефективну електричну схему та алгоритм роботи, а також робочий прототип термоелектричного прецизійного термостата. Показано, що розроблений алгоритм забезпечує ефективне безударне управління та точність підтримання температури 0,03 °С) (Web of Science, Scopus, Q4).
11. Дунець Р.Б., **Дзундза Б.С.**, Туровська Л.В., Павлюк М.Ф., Поплавський О.П. Особливості розробки спеціалізованої інформаційно-вимірювальної системи для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2021. Т. 2, №5 (110). С. 23-31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227135> (Запропонована ідея та розроблена структурна та електрична схеми і програмне забезпечення вимірювальної системи для дослідження термоелектричних параметрів як масивних, так і тонкопліткових термоелектричних матеріалів, а також експрес аналізу експлуатаційних характеристик готових модулів. Проведено експериментальні дослідження термоелектричного матеріалу на основі Bi_2Te_3 та $PbTe$) (Scopus, Q4).
12. Kostyuk O.B., Yavorsky Ya.S., **Dzundza B.S.**, Dashevsky Z.M. Development of thermal detector based on flexible film thermoelectric module. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2021. Vol. 22, No. 1. P. 45-52. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.22.1.45-52> (Здобувачем вдосконалено методику та проведено дослідження параметрів термоелектричного

- гнучкого тонкоплівкового сенсора теплового випромінювання, показано, що висока чутливість обумовлена високим коефіцієнтом Зеебека та низькою теплопровідністю тонкої термоелектричної плівки) (Web of Science, Scopus, Q4).
13. Дзундза Б.С. Автоматизований програмно-апаратний комплекс для вимірювання термоелектричних параметрів напівпровідникових матеріалів. *Термоелектрика*. 2018. №5. С. 5–12. http://jt.inst.cv.ua/wp-content/uploads/2021/12/jt_2018_05_ru.pdf (Здобувачем вдосконалено методику та розроблена електрична схема, та створена діюча установка вимірювання коефіцієнта Зеебека, холлівської концентрації носіїв, питомої електропровідності напівпровідникових термоелектричних матеріалів. Розроблена комп'ютерна програма, яка забезпечує автоматизацію вимірювань, реєстрацією і первинною обробку даних) (Scopus, Q4).
 14. Novosiadlyi S.P., Gryga V.M., **Dzundza B.S.**, Novosiadlyi S., Mandzyuk V.I., Klym H., Poplavskiy O.P. Features of formation of microwave GaAs structures on homo and hetero-transitions for the submicron LSIC structures. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1, No. 5 (97). P. 13–19. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.157212> (Досліджено умови формування двомірного електронного газу в гетероструктурах з визначенням рухливості електронів в залежності від орієнтації поверхні) (Scopus, Q3).
 15. Novosyadlyj S., Kotyk M., **Dzundza B.**, Gryga V., Mandzyuk V. Development of technology of superconducting multilevel wiring in speed GaAs structures of LSI/VLSI. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. V 1, N 5 (91). P. 53–62. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123143> (Досліджено вплив температури відпалу на електрофізичні параметри тонкоплівкових структур GaAs) (Scopus, Q3).
 16. Novosyadlyj S.P., **Dzundza B.S.**, Gryga V.M., Novosyadlyj S., Kotyk M.V., Mandzyuk V.M. Research into constructive and technological features of epitaxial gallium-arsenide structures formation on silicon substrates. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, No. 5 (87). P. 54–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.104563> (Здобувачем розроблено тестовий елемент та адаптовано методику і засоби для вимірювання електричних параметрів напівпровідникових GaAs структур та проведення електрофізичного діагностування їх надійності ще на етапі виготовлення кристалу) (Scopus, Q3)
 17. Mamykin S., Shneck R.Z., **Dzundza B.**, Gao F., Dashevsky Z. A Novel Solar System of Electricity and Heat. *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 3036. <https://doi.org/10.3390/en16073036> (Здобувачем проведено дослідження багатощарового термоелектричного модуля для перетворення прямої сонячної енергії в електричну. Високий ККД ~15% досягнуто поєднанням високоефективних низькотемпературних термоелектричних матеріалів 300–600 K) та середньотемпературних матеріалів (600–900 K)) (Scopus, Q1)
 18. Dashevsky Z., Jarashneli A., Unigovski Y., **Dzundza B.**, Gao F., Shneck R.Z. Development of a High Performance Gas Thermoelectric Generator (TEG) with Possible Use of Waste Heat. *Energies*. 2022. Vol. 15 No 11. P. 3960–3976 <https://doi.org/10.3390/en15113960> (Здобувачем проведено розробку прецизійної установи та дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів на основі легованих сполук телуридів, обробку, візуалізацію та інтерпретацію отриманих результатів) (Scopus, Q1)
 19. Ruvinskii M.A., Kostyuk O.B., **Dzundza B.S.**, Makovyshyn V.I. The influence of surface on scattering of carriers and kinetic effects in n-PbTe films. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*. 2017. Vol. 15, No. 2. P. 277–288. https://www.imp.kiev.ua/nanosys/en/articles/2017/2/nano_vol15_iss2_p0277p0288_2017_abstract.html (Здобувачем здійснено планування та проведення експериментальних досліджень гальваномагнітних та термоелектричних властивостей плівок n-PbTe на різних підкладках. Встановлено вплив механізмів поверхневого розсіювання носіїв заряду) (Scopus, Q4)
 20. Ruvinskii M.A., Kostyuk O.B., **Dzundza B.S.**, Yaremiy I.P., Mokhnatskyi M.L., Yavorskyu Ya.S. Kinetic phenomena and thermoelectric properties of polycrystalline thin films based on

- PbSnAgTe compounds. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017. Vol. 9, No. 5. P. 05004-1–05004-6. https://jnep.sumdu.edu.ua/en/component/content/full_article/2340 (Здобувачем здійснено планування та проведення експериментальних досліджень тонких полікристалічних плівок на основі сполук PbSnAgTe. Досліджено залежність провідності, рухливості носіїв струму та питомої термоелектричної потужності від температури для даних конденсатів, встановлено механізми перенесення носіїв струму) (Scopus, Q4)
21. Kostyuk O.B., **Dzundza B.S.**, Maksymuk M., Chernyak L., Dashevsky Z.M. Development of spark plasma sintering (SPS) for preparation of nanocrystalline p-type $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$ thermoelectric material. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21, No. 4. P. 628–634. <https://doi.org/10.15330/pcss.21.4.628-634> (Здобувачем проведено дослідження термоелектричні властивості напівпровідникових матеріалів на основі $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, показано, що матеріали на основі даного хімічного складу володіють високою термоелектричною добротністю) (Scopus, Q4).
22. Рувінський М.А., Костюк О.Б., **Дзундза Б.С.** Вплив ефектів розмірності на термоелектричні властивості тонких плівок PbTe. *Журнал нано- та електронної фізики*. 2016. Vol. 8, No. 2. P. 02051-1–02051-6. [https://doi.org/10.21272/jnep.8\(2\).02051](https://doi.org/10.21272/jnep.8(2).02051) (Здобувачем проведено експериментальні дослідження та термоелектричні розрахунки електричних властивостей напівпровідникових плівок n-PbTe різних товщин) (Scopus, Q4)
23. Салій Я.П., **Дзундза Б.С.**, Биліна І.С., Костюк О.Б. Вплив технологічних факторів отримання на морфологію поверхні та електричні властивості плівок PbTe легованих Bi. *Нано- і електронна фізика*. 2016. Т. 8, №2. С. 02045-1 – 02045-6. [https://doi.org/10.21272/jnep.8\(2\).02045](https://doi.org/10.21272/jnep.8(2).02045) (Досліджено вплив технологічних факторів отримання: часу та температур випарника та підкладки на морфологію поверхні та електричні властивості осаджених з пари у вакуумі на підкладки з ситалу плівок PbTe легованого Bi) (Scopus, Q4).

Статті у періодичних виданнях інших держав:

24. Mamykin S., Mamontova I., **Dzundza B.**, Gao F., Shneck R., Dashevsky Z. Development of a solar energy systems based on the high perfection bulk and film thermoelectric modules. *Journal of Solar Energy Research Updates*. 2022. Vol. 9. P. 38-51. <https://doi.org/10.31875/2410-2199.2022.09.05> (Проведено експериментальні дослідження пліткових термоелектричних перетворювачів енергії, обробку та візуалізацію отриманих результатів. Показано, що термоелектричні перетворювачі з вихідною напругою в кілька вольт можна використовувати в мікро-сонячних енергетичних системах).
25. **Dzundza B.S.**, Prokopiv V.V., Mazur T.M. Method of study of photoelectric parameters of high impedance semiconductor films. *Journal of New Technologies in Environmental Science*. 2019. No. 1. P. 30–35. <https://jntes.tu.kielce.pl/2019/03/19/number-1-volume-3/> (Вдосконалено методу вимірювання та розроблено програмно-апаратні засоби дослідження електропровідності та фотопровідності напівпровідникових плівок з високим електричним опором. Досліджено фотоелектричні властивості напівпровідникових плівок CdTe в залежності від технологічних факторів їх отримання та визначено енергію активації рухливості)

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

26. **Дзундза Б.С.** Вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, № 2. С. 384–388. https://dev.pnu.edu.ua/inst/phys_che/start/pcss/vol13/!1302-14.pdf (Здобувачем досліджено вплив міжфазних меж на розсіювання носіїв струму у плівках телуриду свинцю та олова, осадженого на підкладках з поліамідної стрічки від їх товщини. Встановлено, що

- домінуючу роль відіграють розсіювання на поверхні та міжзеренних межах), (Категорія А).
27. Dunets R.B., **Dzundza B.S.**, Kostyuk O.B. Specialized software and hardware for impedance spectroscopy of thermoelectric energy converters. *ISTCMTM. (Measuring Equipment and Metrology)*. 2020. Vol. 81, No. 4. P. 18–24 <https://doi.org/10.23939/istcmtm2020.04.018> (Здобувачем представлено методичку характеристики термоелектричних перетворювачів енергії на основі дослідження частотної залежності їх імпедансу. Розроблено спеціалізовані апаратно-програмні засоби для імпедансної спектроскопії термоелектричних модулів. Проведено моделювання, яке добре описує експериментальні результати та дає можливість отримати не тільки електричні але і теплові характеристики термоелектричного перетворювача енергії), (Категорія Б).
 28. Prokopiv V.V., **Dzundza B.S.**, Sharyn S.V., Turovska L.V., Matkivskiy O.M. Electrical properties of cadmium telluride thin films doped with calcium and lithium. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2020. Vol. 21, No 2. P. 232-237 <https://doi.org/10.15330/pcss.21.2.232-237> (Здобувачем експериментально досліджено залежності електричних властивостей плівок кадмій телуриду р-типу провідності від технологічних факторів їх отримання. Визначено провідність легованого шару, швидкість та глибину дифузії), (Категорія А).
 29. Прокопів В.В., Костюк О.Б., **Дзундза Б.С.**, Мазур Т.М., Туровська Л.В., Матківський О.М., Дейчаківський М.В. Електричні властивості тонких шарів CdTe <Ca>. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2019. Т. 20, № 4. С. 372–375. <https://doi.org/10.15330/pcss.20.4.372-375> (Здобувачем експериментально досліджено залежності електричних властивостей плівок кадмій телуриду легованого Ca. Визначено провідність легованого шару, швидкість та глибину дифузії), (Категорія А).
 30. **Дзундза Б.С.**, Прокопів В.В., Мазур Т.М., Юрчишин Л.Д. Автоматизація вимірювань фотоелектричних параметрів високоімпедансних напівпровідникових плівок. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2018. Т. 19, № 4. С. 363–367. <https://doi.org/10.15330/pcss.19.4.363-367> (Здобувачем представлено методичку вимірювання електропровідності та фотопровідності напівпровідникових плівок з високим електричним опором. Розроблено електричну схему та комп'ютерну програму, що забезпечує автоматизацію вимірювань, реєстрацію і первинною обробку даних та аналіз експериментальних даних), (Категорія А).
 31. Prokopiv V.V., Nykuryu L.I., Voznyak O.M., **Dzundza B.S.**, Horichok I.V., Yavorskiy Ya.S., Matkivskiy O.M., Mazur T.M. The thermoelectric solar generator. *Physics and Chemistry of Solid State*. 2017. Vol. 18, No. 3. С. 372–375. <https://doi.org/10.15330/pcss.18.3.372-375> (Розроблено комплексну систему генерування електричної енергії з покращеними термоелектричними перетворювачами енергії на основі легованого стибієм n-PbTe:Bi та сполука p-PbSnTe), (Категорія А).
 32. Галушак М.О., **Дзундза Б.С.**, Ткачук А.І., Фреїк Д.М. Автоматизований комплекс для вимірювань термоелектричних параметрів напівпровідників. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. № 1 (30). с. 79–83. <https://mpky.nung.edu.ua/index.php/mpky/article/download/161/165/645> (Здобувачем вдосконалена методика, розроблена електрична схема, та створена діюча установка автоматизованого вимірювання електричних параметрів, тип провідності, питомий електричний опір ρ , стала Холла концентрація RH , носіїв заряду n , рухливість μ , магнітоопір, коефіцієнт термо-е.р.с., напівпровідникових плівок та масивних зразків), (Категорія Б).
 33. Фреїк Д.М., **Дзундза Б.С.**, Ткачук А.І., Кушнір Т.П. Автоматизація вимірювань електричних параметрів напівпровідникових плівок. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2012. Т. 13, № 3. С. 816–820. https://dev.pnu.edu.ua/inst/phys_che/start/pcss/vol13/!1303-42.pdf (Здобувачем розроблена установка електричних параметрів напівпровідникових плівок та комп'ютерна програма, що забезпечує автоматизацію вимірювань, реєстрацію і первинною обробку даних та попередній аналіз експериментальних даних вже в процесі вимірювання), (Категорія А).

34. **Дзундза Б.С.**, Костюк О.Б., Маковишин В.І., Перегінчук М.Ю. Термоелектричні властивості тонких плівок на основі чистого і легованого плюмбум телуриду. *Термоелектрика*. 2016. № 6. С. 55-61. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2016_06_uk.pdf (Здобувачем досліджено вплив технологічних факторів отримання: часу та температур осадження на морфологію поверхні та термоелектричні властивості тонких плівок на основі чистого і легованого бісмутом плюмбум телуриду $PbTe:Bi$ та сполук $Pb_{17}Ag_2Te_{20}$. Встановлено, що максимальну термоелектричну потужність мають зразки $PbTe:Bi$ товщиною близько 0.3 – 0.5 мкм, яка досягає 25 мВт/К²см що є значно більше ніж у чистому плюмбум телуриді).
35. **Дзундза Б.С.**, Костюк О.Б., Маковишин В.І. Товщинні залежності термоелектричних параметрів тонких плівок на основі сполук LAST. *Фізика і хімія твердого тіла*. 2016. Т. 17, №3. С. 368–371. https://dev.pnu.edu.ua/inst/phys_che/start/pccs/vol17/1703-09.pdf (Здобувачем проведено експериментальні дослідження термоелектричних властивості тонких плівок на основі сполук $PbSnAgTe$, осаджених на підкладках зі слюди. Встановлено, що конденсати товщиною $d < 500$ нм характеризуються покращеними термоелектричними властивостями), (Категорія А).

Патенти:

36. Патент на винахід №. 127861 Україна. Спосіб дослідження фотоелектричних властивостей високоімпедансних напівпровідникових матеріалів / Дунець Р.Б., **Дзундза Б.С.**, Дейчаківський М.В.; ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – а201910765; заявл. 31.10.2019; опубл. 31.01.2024, бюл. № 5/2024. (Здобувачем вдосконалено методика дослідження фотоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів та діагностування плівкових фотоелектричних перетворювачів енергії).
37. Патент на винахід №. 126766 Україна. Програмно-апаратний комплекс для досліджень термоелектричних властивостей напівпровідникових структур / **Дзундза Б.С.**; ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – а201910764; заявл. 31.10.2019; опубл. 01.02.2023, бюл. № 5. (Здобувачем створено програмно-апаратний комплекс для досліджень термоелектричних властивостей напівпровідникових структур та діагностування надійності термоелектричних перетворювачів енергії).
38. Патент на винахід № 125141. Україна. Спосіб Електрофізичного Діагностування Субмікронних Структур ВІС / Новосядлий С.П., **Дзундза Б.С.**, Грига В.М., Новосядлий С.В., Мандзюк В.І.; ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – а201907077; заявл. 25.11.2020; опубл. 19.01.2022, бюл. № 3. (Здобувачем вдосконалено спосіб електрофізичного діагностування субмікронних структур інтегральних схем, який полягає у створенні тестової структури в стандартному технологічному процесі формування інтегральної схеми).
39. Патент на винахід №120899. Україна. Спосіб формування надпровідної металізації в субмікронних арсенідгалієвих структурах ВІС / Новосядлий С.П., Котик М.В., **Дзундза Б.С.**, Грига В.М., Новосядлий С.В., Мандзюк В.І.; ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – а201810997; заявл. 07.11.2018; опубл. 25.02.2020, бюл. № 4. (Здобувачем встановлено вплив температури відпалу на електрофізичні параметри тонкоплівкових структур $GaAs$).
40. Патент на корисну модель №126261. Україна. Спосіб отримання термоелектричного тонкоплівкового матеріалу на основі багатокомпонентних сполук $Ag-Pb-Sn-Te$ / **Дзундза Б.С.**, Костюк О.Б., Горічок І.В., Яворський Я.С.; Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. – u 2018 00323; заявл. 11.01.2018; опубл. 11.06.2018. бюл. № 4. (Здобувачем проведено експериментальні вимірювання термоелектричних параметрів тонкоплівкових структур $Ag-Pb-Sb-Te$ різної товщини, встановлено технологічні фактори отримання тонких плівок з термоелектричною потужністю 25 мВт/К²см).
41. Патент на корисну модель № 93185. Україна. Спосіб покращення термоелектричних властивостей наноструктурованого станум телуриду р-типу / Фреїк Д.М., **Дзундза Б.С.**,

Чавяк І.І., Ткачук А.І.; ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”. – u201402813; заявл. 20.03.2014; опубл. 25.09.2014, бюл. № 18/2014. (Здобувачем проведено експериментальні вимірювання термоелектричних параметрів тонких наноструктурованих плівок станум телуриду різної товщини, встановлено технологічні фактори отримання тонких плівок з термоелектричною потужністю 20 мкВт/К²см)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

42. Dashevsky Z., Mamykin S., Shneck R., **Dzundza B.** Solar Hybrid System Using High Performance Thermoelectric Generator. IX Українська наукова конференція з фізики напівпровідників (УНКФН–9). Ужгород, Україна 22 - 26 травня 2023. С. 7-8. (Здобувачем проведено дослідження багатошарового термоелектричного модуля для перетворення прямої сонячної енергії в електричну).
43. Dunets R., **Dzundza B.**, Turovska L., Senkiv N. Features of the implementation of methods for a comprehensive study of properties of thermoelectric materials. *International scientific and practical conference «Intellectual systems and information technologies»*. Odesa, Ukraine, 2021. – P.71-76. (Здобувачем адаптовано методи для реалізації програмно-апаратних засобів комплексного неруйнівного дослідження термоелектричних параметрів напівпровідників. Розроблено засоби що дали можливість проводити весь комплекс термоелектричних вимірювань в одному технологічному циклі та на одному зразку типової конфігурації, зокрема, вимірювання термо-е.р.с., електропровідності, коефіцієнта Холла, магнітоопору, коефіцієнта Нернста-Еттінгсгаузена, теплопровідності, термоелектричної добротності.)
44. Kostyuk O.B., **Dzundza B.S.**, Yavorskyi Ya.S., Naidych B.P., Dzumedzey R.O., Makovyshyn V.I. Features of the fabrication and properties of thin-film energy converters based on doped PbTe. XVII international Freik conference on physics and technology of thin films and nanosystems. Ivano-Frankivsk, Ukraine, 2021. P. 178. (Здобувачем проведено вимірювання частотних залежностей імпедансу отриманих тонкопліткових термоелектричних генераторів на основі сполук PbSnAgTe, показано, що тонкі плівки на основі сполуки Pb₁₄Sn₄Ag₂Te₂₀ мають найвищу термоелектричну ефективність порівняно з іншими аналогічними за хімічним складом плівками PbSnAgTe).
45. **Дзундза Б.С.** Особливості проектування комп'ютерної системи для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідників. V міжнародна науково-практична конференція “Прикладні науково-технічні дослідження”. Івано-Франківськ, Україна, 5-7 квітня 2021. – с. 220–221. (Здобувачем вибрано та оптимізовано методи вимірювання, розроблена концепція та створена спеціалізована вимірювальна система для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів).
46. Дунець Р.Б., **Дзундза Б.С.**, Дейчаківський М.В., Павлюк М.Ф. Комп'ютерна система для імпедансної спектроскопії термоелектричних перетворювачів енергії. Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції Луцьк, Україна, 29-30 жовтня 2020. – с. 25–26. (Здобувачем розроблена концепція та створена спеціалізована вимірювальна система для дослідження термоелектричних властивостей напівпровідникових матеріалів методами імпедансної спектроскопії).
47. **Dzundza B.S.**, Dunets R.B., Kostyuk O.B. Specialized hardware and software for the study of thermoelectric properties of semiconductor. 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET - 2020), Lviv-Slavske, Ukraine, February 25-29, 2020. – p. 6. (Здобувачем запропонована ідея та реалізована вимірювальна система для автоматизованої експрес-діагностики серії термоелектричних модулів з визначення ймовірного виду дефекту)
48. **Dzundza B.S.**, Kostyuk O.B., Mazur T. Software and Hardware Complex for Study of Photoelectric Properties of Semiconductor Structures. 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Kyiv, Ukraine, April 16-18, 2019. – с. 635–639.

(Здобувачем на розробленому вимірювальному комплексі проведено експериментальні дослідження впливу меж зерен на механізмом фотопровідності в тонких полікристалічних плівках CdTe та визначено енергію активації рухливості).

49. Prokopiv V.V., Mazur T.M., **Dzundza B.S.**, Matkivskiy O.M. Electrical Properties of Thin Layers of CdTe Obtained by Chemical Obtained Alloying with Calcium Ions. *IV International Scientific-Technical Conference, Actual Problems of Renewable Power Engineering, Construction and Environmental Engineering*. Kielce, Poland, 6-8 February, 2020. – p. 141. (Здобувачем проведено експериментальні дослідження фотопровідності напівпровідникових плівок CdTe легованих Ca в залежності від технологічних факторів їх отримання та визначено енергію активації рухливості).
50. Holovata O.B., **Dzundza B.S.** Thermoelectric Properties of Thin Film Microgenerators Based on Lead Telluride *XIX International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems*. Ivano-Frankivsk, Ukraine, October 09-14, 2023 – с. 150. (Здобувачем отримано зразки тонкоплівкового термоелектричного генератора на основі сполук PbSnAgTe та легованого PbTe:Sb на гнучких слюдяних підкладках. Проведено дослідження їх термоелектричних властивостей класичними методами, а також методи імпедансної спектроскопії. Встановлено, що максимальна потужність досягається при товщинах близько 5 мкм).
51. **Dzundza B.S.**, Prokopiv V.V., Mazur T.M., Turovska L.V. , Yavorskiy Ya.S. Photosensitivity of Polycrystalline Films of Cadmium Telluride. *XVII international Freik conference on physics and technology of thin films and nanosystems*. Ivano-Frankivsk, Ukraine, May 20-25, 2019. – p. 241. (Здобувачем проведено вимірювання фотоелектричних властивостей напівпровідникових структур CdTe, отриманих на різних підкладках, встановлено, що у полікристалічних структурах CdTe фотопровідність в основному визначається процесом на межах зерен).
52. Прокопів В.В., Мазур Т.М., Гасюк І.М., **Дзундза Б.С.**, Костюк О.Б., Яворський Я.С. Електричні властивості полікристалічних плівок CdTe. *VIII українська наукова конференція з фізики напівпровідників УНКФН-8*, Ужгород, Україна, 2 - 4 жовтня, 2018. – с 412–413. (Здобувачем проведено експериментальні вимірювання методом імпедансної спектроскопії частотної залежності дійсної та уявної складових питомого опору плівок CdTe на підкладки із слюди. При збільшенні частоти вище 100 Гц провідність зростає за законом $\sigma \sim \omega^{0.54}$, що вказує на стрибкову провідність).

10. Впровадження результатів наукових досліджень. Результати дисертаційної роботи впроваджено в наукових дослідженнях та навчальному процесі у Прикарпатському національному університету імені Василя Стефаника на фізико-технічному факультету, а також розроблені підходи, методи та засоби, зокрема система керування прецизійним термоелектричним охолоджувачем використовується Приватним науково-виробничим підприємством "КОМЕЛ" при розробці систем термостатування. Вказані впровадження підтверджуються відповідними актами.

11. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на профільних конференціях: V міжнародна науково-практична конференція "Прикладні науково-технічні дослідження" (Івано-Франківськ, Україна, 2021); Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Луцьк, Україна, 2020); 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET - 2020) (Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, 2018); 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (Kiev, Ukraine, 2019); IV International Scientific-Technical Conference, Actual Problems of Renewable Power Engineering, Construction and Environmental Engineering (Kielce, Poland, 2020); Всеукраїнська наукова конференція "Актуальні проблеми теоретичної, експериментальної та прикладної фізики" АПТЕПФ 2012 (Тернопіль, Україна, 2012); XVII international Freik conference on physics and technology of thin films and nanosystems. (Ivano-Frankivsk, Ukraine,

2019, 2017, 2015); Українська наукова конференція з фізики напівпровідників (УНКФН) (Ужгород, Україна, 2023, 2018); 8-а Міжнародна науково-технічна конференція “Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ-8) (Одеса Україна, 2018); IV Міжнародна науково-практична конференція “Матеріали електронної техніки та сучасні інформаційні технології” (Кременчук, Україна, 2010).

12. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення. Дисертація викладена професійно, кваліфіковано та грамотно. Матеріали логічно систематизовані та коректно оформлені. За структурою, мовою та стилем викладення дисертація відповідає вимогам МОН України.

13. Відповідність принципам академічної доброчесності. У процесі перевірки на академічний плагіат рукопису дисертації Дзундзи Б.С. встановлено відповідність електронного варіанту дисертації, наданого здобувачем, паперовому варіанту дисертації. У результаті перевірки дисертації Дзундзи Б.С. академічного плагіату не виявлено.

14. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту. Робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.27.01 *Твердотільна електроніка*, зокрема напряму досліджень: “Прилади на основі р-п структур, термоелектричних, гальваномагнітних, фотоелектричних та інших ефектів”.

15. Характеристика здобувача, ступінь наукової зрілості. Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують Дзундзу Б.С. як кваліфікованого фахівця і дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень. Йому притаманне логічне мислення, вміння ставити наукові завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти основні та вторинні аспекти. Дзундза Б.С. є сформованим, кваліфікованим науковцем з глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки.

ВИСНОВОК

Дисертація Дзундзи Богдана Степановича «Твердотільні термо- і фотоелектричні перетворювачі енергії та сенсорні елементи на основі модифікованих структур телуридів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, у якій розв’язано актуальну науково-технічну проблему з розроблення напівпровідникових структур для високоефективних термоелектричних і фотоелектричних перетворювачів енергії та сенсорних елементів на основі модифікованих структур телуридів, а також дослідження залежностей термоелектричних властивостей від хімічного складу, структури та технологічних факторів отримання, що має важливе значення для термоелектрики та фотоелектрики.

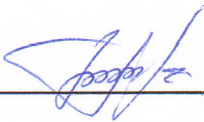
У 52 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 23 статті у наукових фахових виданнях України та інших держав, які індексовані міжнародними наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science, 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 10 статей у наукових фахових виданнях України, 4 патенти України на винахід, 2 патенти України на корисну модель, 11 матеріалів і тез доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях.

Дисертація підготовлена за спеціальністю 123 *Комп’ютерна інженерія*, відповідає паспорту спеціальності 05.27.01 *Твердотільна електроніка* (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України 14 вересня 2011 року № 1057), та вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня доктора наук, п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197.

З урахуванням актуальності теми дослідження, наукової новизни, теоретичного та практичного значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, обґрунтованості висновків на основі одержаних достовірних результатів, особистого внеску здобувача у розв'язання важливої науково-технічної проблеми, достатньої повноти викладення матеріалів дисертації, що характеризується єдністю змісту, відповідності принципам академічної доброчесності, а також беручи до уваги наукову зрілість та професійні якості Дзундзи Богдана Степановича, рекомендувати дисертацію «Твердотільні термо- і фотоелектричні перетворювачі енергії та сенсорні елементи на основі модифікованих структур телуридів» для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.01 *Твердотільна електроніка*.

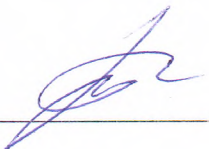
Рецензенти:

Професор кафедри електронної інженерії
Навчально-наукового інституту
телекомунікацій, радіоелектроніки та
електронної техніки Національного
університету «Львівська політехніка»,
д.т.н., професор



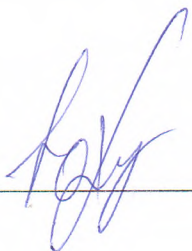
Григорій БАРИЛО

Професор кафедри електронних засобів
інформаційно-комп'ютерних технологій
Навчально-наукового інституту
телекомунікацій, радіоелектроніки та
електронної техніки Національного
університету «Львівська політехніка»,
д.т.н., професор



Роман ГОЛЯКА

Професор кафедри напівпровідникової
електроніки Навчально-наукового
Інституту телекомунікацій,
радіоелектроніки та електронної техніки
Національного університету «Львівська
політехніка», д.т.н., професор



Юрій ХОВЕРКО

13.02.2024р.