



ЗАТВЕРДЖУЄ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

д.т.н., проф. Іван ДЕМИДОВ
«18» 06 2024 р.

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів
докторської дисертації «Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів
термометрів опору та термоелектричних перетворювачів»,
кандидата технічних наук, доцента
ПАШКЕВИЧА ВОЛОДИМИРА ЗЕНОВІЙОВИЧА,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин**

Призначені рішенням Вченої ради Національного університету «Львівська політехніка» (протокол № 10 від 26.03.2024 р.) рецензенти:

- професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор Пил. СКОРОПАД;
- професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор Святослав ЯЦИШИН;
- професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, д.т.н., професор Василь ЯЦУК.

1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена розвитку фізичних засад термометрії, зокрема, отримання нових чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворюв. з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками з дослідження напівпровідникових матеріалів, встановлення основних закономірностей функ. перетворення чутливих елементів термоперетворювачів та розроблення принципів керування ними шляхом запровадження сучасних методів моделювання властивостей, зокрема, лінійного методу приєднаних плоских хвиль (FLAPW) у межах теорії функціоналу густини (DFT), що розширює діапазон температурних вимірювань, підвищує точність та стабільність характеристик у діапазоні 4,2÷1300 К.

Сучасний рівень розвитку наукових досліджень є основою для створення та запровадження принципово нових технологій, засобів та систем у всіх сферах життєдіяльності, а пошук нових методів та засобів температурних вимірювань є одним з пріоритетних напрямків фундаментальних та прикладних досліджень. Використання нових ефективних термометричних матеріалів для виготовлення чутливих елементів термоперетворювачів та сучасних методів моделювання їхніх властивостей дозволяє підвищити метрологічні характеристики у широкому температурному діапазоні.

Одними з найбільш чутливих кінетичних властивостей термометричних матеріалів є електроопір та термо-ерс, а зміна їхніх значень з температурою використовується у термометрах опору та термоелектричних перетворювачах. Напівпровідникові матеріали

набули широкого впровадження для виготовлення чутливих елементів термометрів опору та володіють низкою переваг перед термометрами з металів, зокрема, мають невеликі розміри, високу чутливість та швидкодію до температурних коливань, а температурний коефіцієнт опору (ТКО) у таких термометрах є у рази більшим, ніж ТКО термометрів з металів тощо. Однак низька межа температурних вимірювань та нелінійна залежність опору від температури ускладнює стандартизацію характеристик таких термометрів.

Також, стабільність та відтворюваність кінетичних властивостей чутливих елементів залежить від стабільності кристалічної та електронної структур матеріалів, з яких вони виготовлені. Усунення та мінімізація неконтрольованих змін термометричних характеристик є можливою при запровадженні нових напівпровідникових матеріалів та фізичних принципів оптимізації їхніх властивостей, а також сучасних методів моделювання цих властивостей.

Вагомий внесок у розвиток основ сучасної термометрії зробили, зокрема, О.А. Геращенко, Б.І. Стадник, В.І. Лах, В.П. Бабак, В.А. Ромака, Я.Т. Луцик, Т.Г. Грищенко, Л.А. Назаренко та інші.

З огляду на наведене вище, *розвиток фізичних засад отримання нових чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними і експлуатаційними характеристиками та принципів керування ними шляхом запровадження сучасних методів моделювання властивостей є безумовно актуальним і доцільним* як для розуміння природи фізичних процесів у чутливих елементах термоперетворювачів, так і при отриманні та впровадженні нових та ефективних чутливих елементів для роботи у діапазоні 4,2÷1300 К. Науковий доробок дисертанта однозначно вказує на *пріоритетність вітчизняних досліджень та отримання чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з сучасних напівпровідникових матеріалів.*

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертацію виконано у Національному університеті “Львівська політехніка” у межах пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України, визначених Законами України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки” та “Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні”, згідно планів виконання науково-дослідних робіт, зокрема: МОН України за фаховим напрямом “Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка”:

– “Дослідження температурної та часової стабільності і відтворюваності характеристик чутливих елементів термоперетворювачів на основі інтерметалічних напівпровідників” (2015-2019 рр., № ДР 0114U005464).

– “Дослідження стабільності термометричних характеристик чутливих елементів термоперетворювачів на основі новітніх термометричних матеріалів” (2022-2026 рр., № ДР 0122U002092).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Усі наукові результати, викладені у дисертації, отримано й опрацьовано автором особисто. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, у роботі використано лише ті ідеї, положення і розрахунки, які є результатом особистої роботи здобувача і становлять його індивідуальний внесок.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій забезпечені чіткою постановкою та виконанням завдань, що широко апробовані та достатньо висвітлені у літературі. Методологічною основою дисертаційного дослідження є комплексний підхід до аналізу фізичних засад функціонування чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів, а також методів метрологічних досліджень. Дослідницький комплекс містить:

- математичне моделювання кінетичних, енергетичних, структурних та термодинамічних властивостей чутливих елементів термоперетворювачів;
- експериментальні вимірювання температурних залежностей коефіцієнта термо-ерс, питомого електроопору та магнітної сприйнятливості, дослідження кристалічної структури матеріалів чутливих елементів термоперетворювачів методами рентгенівського та спектрального аналізів, металографії, температурної і часової стабільності, а також відтворюваності їхніх властивостей.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

У дисертаційній роботі отримано та сформульовано наступні нові наукові результати:

1. *Розвинуто принципи керування* термометричними характеристиками (функціями перетворення) чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів шляхом використання сучасних методів моделювання, зокрема, лінійного методу приєднаних плоских хвиль (FLAPW) та циклічного покрокового корегуванням початкових умов розрахунків з параметрами експериментальних вимірювань функцій перетворення, що дозволило підвищити точність моделювання і отримати чутливі елементи термоперетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

2. *Вперше запроваджено моделювання* властивостей досліджених матеріалів чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів, зокрема, питомого електроопору ρ , коефіцієнта термо-ерс α , питомої магнітної сприйнятливості χ , розподілу густини електронних станів (DOS), зонної структури, ширини забороненої зони ε_g , глибини залягання рівня Фермі ε_F , термодинамічних властивостей, зокрема, ентальпії змішування $\Delta H_{mix}(x)$ та вільної енергії $\Delta G(x)$ (потенціал Гельмгольца), а також структурних параметрів шляхом *запровадження* розрахунків лінійним методом приєднаних плоских хвиль (FLAPW) у межах теорії функціоналу густини (DFT), що дозволило підвищити точність моделювання, встановити умови існування однозначних залежностей функцій перетворення, межі існування та використання матеріалів термоперетворювачів, а також отримати чутливі елементи термометрів опору та термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

3. *Вперше встановлено закономірності* функцій перетворення отриманих чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів на основі досліджених термометричних матеріалів з однозначними залежностями та високим значенням електроопору і термо-ерс, що підвищує точність та розширяє діапазон температурних вимірювань одним термометром. Чутливі елементи термометрів опору та термоелектричних перетворювачів, виготовлені з термометричних матеріалів $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$, $\text{V}_{1-x}\text{Ti}_x\text{FeSb}$ та VFe_{1-x} .

$x\text{Ti}_x\text{Sb}$ можуть використовуватися для температурних вимірювань за наявності магнітного поля, оскільки є парамагнетиками Паулі.

4. *Вперше* отримана лінійка чутливих елементів термоелектричних перетворювачів з досліджених термометричних матеріалів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками у діапазоні 4,2–1300 К, в яких залежно від знака термоерс провідників формувалася термоелектрична пара платина-термометричний матеріал, платиноройд-термометричний матеріал або термометричний матеріал (M1)-термометричний матеріал (M2), що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань одним термометром.

5. *Вперше* отримана лінійка чутливих елементів термометрів опору на основі досліджених термометричних матеріалів з однозначними залежностями та високими значеннями температурного коефіцієнта опору (ТКО), що підвищує точність та розширює діапазон температурних вимірювань одним термометром.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

6.1. Публікації у наукових виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах Scopus

1. Romaka V.A. Study of the structural, electrokinetic and magnetic characteristics of the $\text{Er}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ semiconductor / V. A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, V. Krayovskyy, A. Horyn, P. Klyzub, **V. Pashkevych** // Phys. Chem. Solid State. – 2020. – Vol. 21, № 4.– P. 689–694. DOI: 10.15330/pcss.21.4.689–694.

2. Romaka V.A. Features of structural, energetic, electrokinetic investigation of energy and electrokinetic characteristics of thermoelectric material $\text{TiCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$ / V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, A.M. Horyn, I.M. Romaniv, **V.Z. Pashkevych**, A.Ya. Horpeniuk // J. Thermoelectricity. – 2020. –Vol. 3. – P. 5–18. DOI: http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2020_03_en.pdf.

3. Romaka L. Synthesis and electrical transport properties of $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ semiconducting solid solution / L. Romaka, Yu. Stadnyk, V.A. Romaka, P. Klyzub, **V. Pashkevych**, A. Horyn, P. Garanyuk // Phys. Chem. Solid State – 2021. – Vol. 22, № 1.– P. 146–152. DOI: 10.15330/pcss.22.1.146–152.

4. Konyk M. Phase equilibria in the Gd–Cr–Ge system at 1070 K / M. Konyk, L. Romaka, Yu. Stadnyk, V.V. Romaka, **V. Pashkevych**. // Phys. Chem. Solid State. – 2021. – Vol. 22, N 2.– P. 248–254. DOI:10.15330/pcss.22.2.248-254.

5. Stadnyk Yu. Modeling of Structural and Energetic Parameters of $p\text{-Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ Semiconductor / Yu. Stadnyk, V.A. Romaka, A. Horyn, V.V. Romaka, L. Romaka, P. Klyzub, **V. Pashkevich**, // Phys. Chem. Solid State. – 2021. – Vol. 22, № 3. – P. 509–515. DOI: 10.15330/pcss.22.3.509–515.

6. Romaka V.A. Study of structural, thermodynamic, energy, kinetic and magnetic properties of thermoelectric material $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ / V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, **V.Z. Pashkevich**, V.V. Romaka, A.M. Horyn, P.Yu. Demchenko // J. Thermoelectricity. – 2021. – Vol. 1. – P. 32–50. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_01_en.pdf.

7. Romaka V.A. Investigation of properties of new thermoelectric material $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, V.V. Romaka, P.Yu. Demchenko, L.P. Romaka, **V.Z. Pashkevich**,

A.M. Horyn, A.Ya. Horpeniuk // J. Thermoelectricity. – 2021. – Vol. 2. – P. 18–30. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2021_02_en.pdf.

8. Romaka L. Phase equilibrium diagram of the Hf-Fe-Sn system at 1070 K / L. Romaka, V.V. Romaka, Yu. Stadnyk, V. Pashkevych / Phys. Chem. Solid State. – 2021. – Vol. 22, № 4. – P. 761–766. DOI: 10.15330/pcss.22.4.761-766

9. Romaka V.A. Investigation of Thermoelectric Material Based on $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ Solid Solution. I. Experimental Results / V.A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn, V. Pashkevich, H. Nychporuk, P. Garanyuk // Phys. Chem. Solid State. – 2022. – Vol. 23, № 2. – P. 235–241. DOI: 10.15330/pcss.23.2.235-241.

10. Romaka V.A. Investigation of thermoelectric material based $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ solid solution. II. Modeling of characteristics / V.A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, V.V. Romaka, P. Demchenko, V. Pashkevich, A. Horyn // Phys. Chem. Solid State. – 2022. – Vol. 23, № 3. – P. 497–504. DOI: 10.15330/pcss.23.3.497-504.

11. Romaka V.V. Features of mechanisms of electrical conductivity in semiconductive solid solution $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / V.V. Romaka, V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, P.Yu. Demchenko, V.Z. Pashkevich, A.M. Horyn // Ukr. J. Phys. – 2022. – Vol. 67, № 5. – P. 370–379. <https://doi.org/10.15407/ujpe67.5.370>.

12. Romaka V.A. Peculiarities of structural, kinetic, energetic and magnetic properties semiconductor solid solution $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ / V.A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, P. Demchenko, A. Horyn, V. Pashkevych, P. Haraniuk // Phys. Chem. Solid State. – 2023. – Vol. 24, № 1. – P. 84–91. DOI: 10.15330/pcss.24.1.84-91.

13. Romaka V.V. Features of the generation of the energy states in the semiconductor $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ / V.V. Romaka, V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, Y.O. Plevachuk, V.Z. Pashkevich, P.I. Haraniuk // Ukr. J. Phys. – 2023. – Vol. 68, № 4. – P. 274–283. <https://doi.org/10.15407/ujpe68.4.274>

14. Romaka V.A. Research of the thermoelectric material $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$: modeling of properties / V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, Yu.O. Plevachuk, V.V. Romaka, A.M. Horyn, V.Z. Pashkevych, A.V. Zelinskiy // J. Thermoelectricity. – 2022. – Vol. 1. – P. 28–40. http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2022_01_en.pdf.

15. Romaka V.V. Modelling of the properties of the semiconductor solid solution $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ in the presence of magnetic ordering / V.V. Romaka, V.A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, Yu. Plevachuk, A. Horyn, V. Pashkevych, P. Haraniuk // Phys. Chem. Solid State. – 2023. – Vol. 24, № 3. – P. 503–508. DOI: 10.15330/pcss.24.3.503-508.

16. Stadnyk Yu. Experimental studies of a new thermoelectric material based on semiconductor solid solution $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{NiSn}$ / Yu. Stadnyk, V.A. Romaka, L. Romaka, A. Horyn, V. Pashkevych // Phys. Chem. Solid State. – 2024. – Vol. 25, № 1. – P. 157–163. DOI: 10.15330/pcss.25.1.157-163.

6.2. Публікації у наукових фахових виданнях України та виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз

17. Krayovskyy V. Kinetic and energetic performances of thermometric material $\text{TiCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$: modeling and experiment / V. Krayovskyy, V. Pashkevych, A. Haranuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn // Measuring equipment and metrology. – 2021. – Vol. 82, № 1. – P. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcm2021.01.019>. (*Index Copernicus*).

18. Krayovskyy V. Research of thermoelectric material $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$. I. Modeling of performances / V. Krayovskyy, V. Pashkevych, A. Horpenuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L.

Romaka, A. Horyn, V. Romaka // Measuring equipment and metrology. – 2021. – Vol. 82, № 2. – P. 16–21. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2021.02.022>. (*Index Copernicus*).

19. Krayovskyy V. Study of thermometric material $Er_{1-x}Sc_xNiSb$. II. Experimental results / V. Krayovskyy, V. Pashkevych, A. Horpenuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn // Measuring equipment and metrology. – 2021. – Vol. 82, № 3. – P. 5–11. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2021.03.005>. (*Index Copernicus*).

20. Krayovskyy V. Features simulation of characteristics of thermometric material $Lu_{1-x}Sc_xNiSb$ / V. Krayovskyy, V. Pashkevych, A. Horpenuk, V.A. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn, V.V. Romaka // Measuring equipment and metrology. – 2021. – Vol. 82, № 4. P. 12–17. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2021.04.012>. (*Index Copernicus*).

21. Pashkevych V. Studies of thermometric material $Lu_{1-x}Zr_xNiSb$ / V. Pashkevych, V. Krayovskyy, M. Rokomanyuk, P. Haranuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn, D. Fruchart // Measuring equipment and metrology. – 2022. – Vol. 83, № 1. P. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.01.010>. (*Index Copernicus*).

22. Pashkevych V. Characteristics of thermometric material $Lu_{1-x}Sc_xNiSb$ / V. Pashkevych, V. Krayovskyy, A. Horpenyuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn, V.V. Romaka // Measuring equipment and metrology – 2022. – Vol. 83, № 2. P. 21–25. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.02.021>. (*Index Copernicus*).

23. Pashkevych V. Investigation of sensitive elements of temperature transducers based on thermometric material $Lu_{1-x}Sc_xNiSb$ / V. Pashkevych, V. Krayovskyy, P. Haranuk, V. Romaka, Yu. Stadnyk, L. Romaka, A. Horyn // Measuring equipment and metrology – 2022. – Vol. 83, № 3. P. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2022.03.016>. (*Index Copernicus*).

24. Krayovskyy V. Sensitive elements of temperature converters based on $HfNi_{1-x}Cu_xSn$ thermometric material / Krayovskyy V., Rokomanyuk M., Luzhetska N., Pashkevych V., Romaka V., Stadnyk Yu., Romaka L., Horyn A. // Measuring equipment and metrology – 2023. – Vol. 84, № 1. P. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.23939/istcmtm2023.01.011>. (*Index Copernicus*).

25. Стадник Ю. В. Енергетичні та електрокінетичні характеристики напівпровідникового твердого розчину $TiCo_{1-x}Mn_xSb$ / Ю. В. Стадник, Л.П. Ромака, В.А. Ромака, М.Б. Коник, В.З. Пашкевич, А.М. Горинь, М.В. Рокоманюк // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2021. – Вип. 62(1). – С. 88–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vch.6201.088>.

26. Горинь А. Дослідження напівпровідникового твердого розчину $Lu_{1-x}Sc_xNiSb$ / А. Горинь, Ю. Стадник, Л. Ромака, П. Демченко, В. Пашкевич, М. Коник // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2022. – Вип. 63. – С. 134–142. DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6301.134>.

27. Пашкевич В.З. Особливості моделювання характеристик термометричного матеріалу $Er_{1-x}Sc_xNiSb$ / В.З. Пашкевич, П.І. Гаранюк, Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, М.В. Рокоманюк, Л.П. Ромака, А.М. Горинь // Комп'ютерні технології друкарства – 2022. № 1 (47). – С. 191–199. DOI 10.32403/2411-9210-2022-1-47-191-199.

28. Пашкевич В.З. Комп'ютерне моделювання властивостей термометричного матеріалу $Lu_{1-x}Sc_xNiSb$ / В.З. Пашкевич, В.А. Ромака, Ю.В. Стадник, Л.П. Ромака, П.І. Гаранюк, А.Я. Горпенюк, А.М. Горинь // Комп'ютерні технології друкарства – 2022. № 2 (48). – С. 232–244. DOI: 10.32403/2411-9210-2022-2-48-232-244.

29. Стадник Ю.В. Дослідження властивостей напівпровідника $n-TiNiS$, легованого донорною домішкою Nb / Ю.В. Стадник, Л.П. Ромака, А.М. Горинь, В.А. Ромака, П.Ю. Демченко, В.З. Пашкевич, П.І. Гаранюк // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2023. – Вип. 64. – С. 120–127. DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.6401.120>.

30. Ромака Л.П. Особливості структурних, кінетичних та енергетичних властивостей твердого розчину $HfNi_{1-x}Cu_xSn$ / Л.П. Ромака, Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, А.М. Горинь, П.Ю.

6.3. Публікації, які засвідчують апробацію результатів дисертації:

31. Romaka V.A. Features of structural, thermodynamic, energetic, kinetic and magnetic characteristics of $\text{Lu}_{1-x}\text{Zr}_x\text{NiSb}$ solid solution / V.A. Romaka, Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, A.M. Horyn, **V.Z. Pashkevych**, M.V. Rokomanuk // Coll. Abs. XVIII Int. Freik Conf. Phys. Technol. Thin Films and Nanosystems. October 11-16, 2021, Ivano-Frankivsk, Ukraine. – 2021. – P. 87.

32. Stadnyk Yu.V. Investigation of semiconductive thermoelectric material $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Yu.V. Stadnyk, L.P. Romaka, A.M. Horyn, V.V. Romaka, M.V. Rokomanuk, **V.Z. Pashkevych** // Coll. Abs. XVIII Int. Freik Conf. Phys. Technol. Thin Films and Nanosystems. October 11-16, 2021, Ivano-Frankivsk, Ukraine. – 2021. – P. 88.

33. Горинь А.М. Дослідження напівпровідникового твердого розчину $\text{TiCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Sb}$ / А.М. Горинь, Л.П. Ромака, Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, І.М. Романів, **В.З. Пашкевич** // Матеріали V Всеукр. наук. конф. “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 15 квітня, 2021, Житомир. – 2021. – С. 156–157.

34. Стадник Ю. Структурні, термодинамічні, енергетичні та кінетичні характеристики твердого розчину $\text{Er}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Ю. Стадник, В. Ромака, А. Горинь, Л. Ромака, П. Клизуб, **В. Пашкевич** // 36. наук. праць XVIII наук. конф. “Львівські хімічні читання – 2021”. 31 травня-2 червня, 2021, Львів. – 2021. – С. Н8.

35. Стадник Ю.В. $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, Л.П. Ромака, А.М. Горинь, **В.З. Пашкевич**, М.В. Рокоманюк // Матеріали II Міжнар. конф. “Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології”. 1-3 червня, 2022. Луцьк, Україна. – 2022. – С. 62-65. 36. Ромака Л.П. Моделювання характеристик термоелектричного матеріалу $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Л.П. Ромака, В.А. Ромака, Ю.В. Стадник, А.М. Горинь, **В.З. Пашкевич**, М.В. Рокоманюк, П.Ю. Демченко // Матеріали II Міжнар. конф. “Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології”. 1-3 червня, 2022. Луцьк, Україна. – 2022. – С. 81-84. 37. Ромака Л.П. Моделювання характеристик твердого розчину $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Л.П. Ромака, Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, А.М. Горинь, П.Ю. Демченко, **В.З. Пашкевич**, М.В. Рокоманюк // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 05 жовтня, 2022, Житомир. Україна. – 2022. – С. 47–48.

38. Стадник Ю.В. Експериментальні дослідження твердого розчину $\text{Lu}_{1-x}\text{Sc}_x\text{NiSb}$ / Ю.В. Стадник, Л.П. Ромака, В.А. Ромака, А.М. Горинь, П.Ю. Демченко, **В.З. Пашкевич**, М.В. Рокоманюк // Матеріали VI Всеукраїнської наукової конференції “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 05 жовтня, 2022, Житомир. Україна. – 2022. – 50–51.

39. Ромака Л.П. Моделювання властивостей фази пів-Гейслера $\text{Lu}_{1-x}\text{V}_x\text{NiSb}$ за різного валентного стану ванадія / Л.П. Ромака, В.В. Ромака, Ю.В. Стадник, В.А. Ромака, А.М. Горинь, **В.З. Пашкевич** // Матеріали III Міжнар. конф. “Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології”. 1–3 червня, 2023. Луцьк, Україна. – 2023. – С. 86-89.

40. Stadnyk Yu. Features of the kinetic properties of the half-Heusler phase $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{NiSn}$ / Yu. Stadnyk, V.A. Romaka, L. Romaka, A. Horyn, **V. Pashkevych** / Abstract XV International Conference on Crystal Chemistry of Intermetallic compounds. Lviv, Ukraine, September, 25–28. – 2023. – P. 123.

41. Стадник Ю.В. Дослідження властивостей твердого розчину $\text{TiCo}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Sb}$ / Ю.В. Стадник, Л.П. Ромака, В.А. Ромака, А.М. Горинь, **В.З. Пашкевич** // Матеріали VII

Всеукраїнської наукової конференції “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 01 травня, 2024, Житомир. Україна. – 2024. – С. 96–97.

42. Romaka L. Research of new thermoelectric material $Hf_{1-x}Nb_xNiSn$ /L. Romaka, Yu. Stadnyk, A. Horyn, V.A. Romaka, V. Pashkevych / Abstract XXI International Conference on Inorganic Chemistry Ukraine. Uzhhorod 3-6 June 2024. – P 89.

6.4. Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

43. Ю.В. Стадник, Л.П. Ромака, П.Ю. Демченко, А.М. Горинь, **В.З. Пашкевич**. Термоелектричний сплав на основі олова. *Патент України на винахід*, № 127468, Бюлетень № 35 від 30.08.2023 р.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Розроблені положення та наукові результати дисертації оприлюднені та обговорені на профільних міжнародних та всеукраїнських конференціях: XVIII Int. Freik Conf. Phys. Technol. Thin Films and Nanosystems. October 11-16, 2021, Ivano-Frankivsk, Ukraine. – 2021; V Всеукр. наук. конф. “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 15 квітня, 2021, Житомир. – 2021; XVIII наук. конф. “Львівські хімічні читання – 2021”. 31 травня-2 червня, 2021, Львів. – 2021; “Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології”. 1-3 червня, 2022. Луцьк, Україна. – 2022; “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 05 жовтня, 2022, Житомир. Україна. – 2022; “Актуальні проблеми хімії, матеріалознавства та екології”. 1–3 червня, 2023. Луцьк, Україна. – 2023; XV International Conference on Crystal Chemistry of Intermetallic compounds. Lviv, Ukraine, September, 25–28. – 2023; “Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи”. 01.05.2024, Житомир, Україна. – 2024; XXI International Conference on Inorganic Chemistry Ukraine. Uzhhorod, Ukraine. 3-6 June 2024.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукові положення дисертаційної роботи, висновки та рекомендації є важливим внеском у створення науково-технологічних засад моделювання та отримання нових чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів на основі досліджених термометричних матеріалів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками у діапазоні температур $T=4,2\div 1300$ К.

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Результати дисертаційного дослідження Пашкевича Володимира Зеновійовича впроваджені та використовуються в ПрАТ НВО “Термоприлад”, м. Львів, Акт про впровадження від 25.01.2024 р.; АТ “Львівський хімічний завод”, м. Львів, Акт про впровадження від 07.02.2024 р.; у навчальному процесі та при виконанні науково-дослідних робіт у Національному університеті “Львівська політехніка” на кафедрах інформаційно-вимірвальних технологій (Акт про впровадження від 20.02.2024 р.) та електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій (Акт про впровадження від 15.02.2024 р.).

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертаційна робота Пашкевича В.З. складається зі вступу, 5 розділів, висновків,

додатків та списку використаних джерел.

Мова та стиль викладення є на належному науково-технічному рівні, за структурою та оформленням дисертація повністю відповідає вимогам МОН України (наказ № 40 від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019 р.).

11. У докторській дисертації «Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів» матеріали кандидатської дисертації Пашкевича В.З. не використовувались.

12. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту

Дисертація за сутністю наукової проблеми, завдань та отриманими результатами відповідає паспорту спеціальності 05.11.04 – *прилади та методи вимірювання теплових величин* (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 економічних наук, пп. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою КМУ № 1197 від 17.11.2021 р.

У ході обговорення дисертаційної роботи до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

13. З урахуванням зазначеного, ухвалили:

13.1. Дисертація Пашкевича Володимира Зеновійовича «Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів» є завершеною, виконаною самостійно кваліфікаційною науковою працею, у якій наведене обґрунтування та нове вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення точності та стабільності температурних вимірювань у широкому температурному діапазоні, що виявляється у *розвитку фізичних засад* отримання чутливих елементів термометрів опору і термоелектричних перетворювачів з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками та *розроблення принципів* керування ними шляхом запровадження *сучасних методів* моделювання їхніх властивостей.

13.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

13.3. У 43 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, серед яких: 30 статей у міжнародних та вітчизняних періодичних наукових фахових виданнях, з яких 16 статей у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus, 8 – Index Copernicus, 6 статей у наукових фахових виданнях України, 1 патент України на винахід, 12 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних науково-технічних конференцій.

13.4. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.11.04 – *прилади та методи вимірювання теплових величин* (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 технічних наук, пп. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою КМУ № 1197 від 17.11.2021 р.

13.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

13.6. Із урахуванням наукової зрілості та професійних якостей **Пашкевича Володимира Зеновійовича** дисертаційна робота «*Розвиток фізичних засад створення чутливих елементів термометрів опору та термоелектричних перетворювачів*» рекомендується до розгляду у спеціалізованій вченій раді Д 35.052.21.

Рецензенти:

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій,

д.т.н.,

професор



Пилип СКОРОПАД

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій,

д.т.н.,

професор



Святослав ЯЦИШИН

Професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій,

д.т.н.,

професор



Василь ЯЦУК