

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри інформаційно-вимірювальних технологій
Національного університету "Львівська політехніка"

Гоц Наталії Євгенівни

на дисертацію Рокоманюк Марії Василівни на тему «Розроблення чутливих елементів перетворювачів температури на основі новітніх термометричних матеріалів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 - Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка в галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування

Актуальність теми роботи

Вимірювання температури є одним з найпоширеніших видів вимірювання - за оцінками експертів, вони становлять близько 30 % від загального обсягу вимірювальних задач. Характерною особливістю термометрії є потреби у високій точності, часто на рівні еталонних вимірювань, оскільки лише це забезпечує необхідну якість технологічних процесів і кінцевих виробів. Актуальність дослідження зумовлена зростаючими вимогами до точності і стабільності температурних вимірювань у високотехнологічних сферах - зокрема, у космічній техніці, енергетиці, медицині - де застосування традиційних матеріалів уже не забезпечує необхідного рівня метрологічних показників. Напівпровідникові термоперетворювачі є надзвичайно перспективними завдяки своїй чутливості, швидкодії та компактності. Запропонований підхід розвитку нових засобів температурних вимірювань та методів моделювання їхніх метрологічних властивостей (зокрема, функцій перетворення) шляхом застосування для виготовлення чутливих елементів термоперетворювачів опору та термоелектричних перетворювачів новітніх термометричних матеріалів сприяє покращення метрологічних та експлуатаційних характеристик та розширює діапазон температурних вимірювань

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка»: "Теоретичні та прикладні основи метрології і вимірювань в ІТ (інформаційно-вимірювальних, кібер-фізичних, робототехнічних та інших системах) та згідно плану виконання науково-дослідної роботи МОН України за фаховим напрямом "Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка" – "Дослідження температурної та часової

стабільності і відтворюваності характеристик чутливих елементів термоперетворювачів на основі $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$ ” (2020-2024 рр., № 0120U100693).

Основні наукові результати дисертації, їх достовірність та новизна

Наукова новизна результатів, викладених у дисертації, підтверджуються такими основними положеннями:

1. Розвинуто принципи отримання чутливих елементів перетворювачів температури з новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ і $TiCo_{1-x}Mn_xSb$ з наперед заданими характеристиками (функціями перетворення) шляхом запровадження моделювання властивостей досліджених термометричних матеріалів лінеаризованим методом присднаних плоских хвиль (FLAPW) та циклічного покрокового корегування початкових умов моделювання з параметрами експериментальних вимірювань функцій перетворення, що дозволило підвищити точність моделювання і отримати чутливі елементи перетворювачів температури з покращеними метрологічними та експлуатаційними властивостями.

2. Уперше встановлено закономірності функцій перетворення чутливих елементів перетворювачів температури з покращеними метрологічними характеристиками на основі досліджених новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$ у температурному діапазоні $4,2\div 1300$ К.

3. Розвинуто метод отримання серії чутливих елементів термоелектричних перетворювачів на основі термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$ шляхом побудови термоелектричної пари з використанням новітніх термометричних матеріалів: (1) з електронним типом провідності та (2) з дірковим типом провідності, що дозволяє збільшити чутливість у ~ 5 разів та розширяє діапазон температурних вимірювань.

4. Розвинуто метод отримання серії термічно стабільних чутливих елементів термоперетворювачів опору з новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$, що розширяє діапазон та підвищує точність температурних вимірювань.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота Рокоманюк М.В. є завершеним науковим дослідженням із чіткою структурою та послідовним викладом матеріалу. Робота складається із анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (111 найменувань) і додатків. Загальний обсяг становить 154 сторінки, включаючи 51 рисунок, 7 таблиць та 24 формули.

Вступ підтверджує важливість теми дисертації, обґрунтовує актуальність і необхідність дисертаційного дослідження, визначає мету дослідження та науково-технічні завдання, необхідні для реалізації поставленої мети. Наведено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами й темами, містить наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Представлено особистий внесок здобувача, надано відомості про публікації та апробацію основних результатів дослідження, а також інформацію про їх впровадження, зазначено структуру дисертаційної роботи.

Перший розділ “Аналіз стану температурних вимірювань термоперетворювачами на основі напівпровідникових матеріалів” показує глибокий аналіз сучасних методів та засобів температурних вимірювань з використанням термоелектричних перетворювачів та термоперетворювачів опору, побудованих на основі напівпровідникових чутливих елементів. Показано, що термоперетворювачі опору на базі традиційних напівпровідників демонструють високу чутливість і стабільність лише в обмеженому діапазоні температур. Термоелектричні перетворювачі, виготовлені з класичних матеріалів, характеризуються низькою термоелектричною добротністю та схильністю до структурної деградації в умовах дії високих температур та агресивного середовища. Вирішення проблеми розширення температурного діапазону, підвищення чутливості, температурної та часової стабільності термоперетворювачів опору та термоелектричних перетворювачів пов'язане з пошуком нових матеріалів чутливих елементів, які забезпечують стабільність термометричних характеристик. Це дозволило Рокоманюк М.В. чітко сформулювати мету та завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі “Методи та алгоритми досліджень” подано опис теоретичних і експериментальних методів дослідження застосованих у роботі. Моделювання властивостей чутливих елементів термоперетворювачів охоплює розрахунки їхніх структурних, термодинамічних, енергетичних, електрокінетичних та магнітних характеристик. Застосування повнопотенціального методу ліаренізованих плоских хвиль (LFAPW) дозволило досягти високої точності моделювання властивостей чутливих елементів на основі новітніх термометричних матеріалів.

У третьому розділі “Дослідження чутливих елементів термоперетворювачів на основі новітніх термометричних матеріалів” представлено результати моделювання та експериментальних досліджень чутливих елементів термоперетворювачів на основі напівпровідникових матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$. Комплексні дослідження їхніх структурних, енергетичних, кінетичних та магнітних властивостей дозволило визначити умови за яких електрокінетичні характеристики чутливих елементів є прогнозованими та стабільними до температурних та часових змін. Протягом

тривалого часу досліджувалась часова стабільність окремих чутливих елементів шляхом вимірювання за температури 80 К значень електроопору та термо-ерс. Встановлено, що після 21 термоциклу значення температури, отримані з вимірювань є стабільними у межах $\pm 0,045$ К, що свідчить про високу перспективність застосування чутливих елементів термоперетворювачів на основі новітніх термометричних матеріалів.

У четвертому розділі “Дослідження чутливих елементів термоперетворювачів опору та термоелектричних перетворювачів, реалізованих на основі новітніх термометричних матеріалів” наведено результати дослідження реалізації та термометричні характеристики чутливих елементів перетворювачів температури на основі матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$. Встановлено, що ці матеріали демонструють високу чутливість і стабільність в широкому температурному діапазоні 4,2 - 1300 К, що підтверджує їх придатність для застосування у термоперетворювачах опору та термоелектричних перетворювачах. При використанні новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, який залежно від концентрації легуючої домішки, можна отримати дві вітки термopари з електронним (1) та дірковим (2) типами провідностей.

Висновки містять інформацію щодо основних наукових результатів роботи. У додатках представлено акти впровадження. Анотація дисертації коректно відображає її основні положення.

Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 29 наукових праць, серед яких: 13 статей у міжнародних та вітчизняних періодичних фахових виданнях, з яких 3 статті індексується у Scopus, 6 – Copernicus, 4 статті у фахових виданнях України, 1 патент України на корисну модель, 15 матеріалів та тез за результатами міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференцій.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження апробовано на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях: Міжнародна конференція метрологів МКМ'2019 (XXIII міжнародний семінар метрологів MCM'2019), 10-12 вересня, 2019, Львів. – 2019; XIV International conference on Crystal Chemistry of Intermetallic Compounds, September 22-26, 2019, Lviv, Ukraine. – 2019; XXII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids, June 17-19, 2020, Lviv, Ukraine. – 2020; XVIII наук. конф. «Львівські хімічні читання – 2021», 31 травня – 2 червня, 2021, Львів. – 2021; V Всеукр. наук. конф. Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи, 15 квітня, 2021, Житомир. – 2021; XVIII International Freik Conference on Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems, October 11-16, 2021, Ivano-Frankivsk. – 2021; II International Scientific Conference. Current problems of chemistry, materials science

and ecology, June 1-3, 2022, Lutsk, Ukraine. – 2022; VI Всеукр. наук. конф. «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи», 5 жовтня, 2022, Житомир. – 2022; Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-вимірювальні технології ІВТ 2022, 9-10 листопада, 2022р. Львів. – 2022; VII Всеукраїнська наукова конференція «Актуальні задачі хімії: дослідження та перспективи», 19 квітня, 2023, Житомир. – 2023; XIX наукова конференція «Львівські хімічні читання - 2023», 29-31 травня, 2023, Львів. – 2023.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами перевірки дисертаційної роботи Рокоманюк Марії Василівни на наявність текстових співпадінь, порушень академічної доброчесності не виявлено. Ознаки фальсифікації тексту у роботі відсутні.

Оформлення, мова та стиль дисертації

Дисертація оформлена відповідно до встановлених вимог щодо структури, змісту та бібліографічного опису. Текст роботи відзначається логічністю викладу, послідовністю подачею матеріалу та структурною впорядкованістю розділів. Мова дисертації є науковою, граматично правильною, а використана термінологія є загальноприйнятою. Стиль викладу витриманий і цілком відповідає вимогам до наукових досліджень.

Використання результатів дослідження

Результати дисертаційного дослідження впроваджені та використовуються в ПрАТ НВО «Термоприлад», м. Львів, Акт про впровадження від 20.12.2024 р.; АТ «Львівський хімічний завод», м. Львів, Акт про впровадження від 09.01.2025 р.; ТОВ «Теплосoft», м. Львів, Акт про впровадження від 23.03.2023р. та ТОВ «Репласт» м. Львів, Акт про впровадження від 24.04.2023р.; у навчальному процесі та при виконанні науково дослідних робіт на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Акт про впровадження від 15.04.2025р.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Незважаючи на високу оцінку дисертаційного дослідження, деякі положення потребують додаткового пояснення або уточнення з метою більш повного розкриття досліджуваної проблематики, а саме:

1. Доцільно було б сформулювати чіткі висновки який із варіантів легування базової сполуки TiCoSb - елементами домішки Sc, Mo чи Mn - виявилися найбільш ефективними щодо температурної чутливості та часової стабільності чутливих елементів термоперетворювачів.

2. У тексті дисертаційної роботи не зазначено кількість виготовлених і досліджених зразків чутливих елементів для кожної з легованих сполук, що могло б підвищити наукову обґрунтованість зроблених висновків.

3. У роботі зазначено проведення моделювання енергетичних характеристик чутливих елементів методом FPAW. Однак не зовсім зрозуміло, чому не використовувався вже апробований метод ККР метод вказано, з використанням якого саме програмного забезпечення.

4. Вважаю, що розділ 1 має надмірно великий обсяг інформації щодо аналізу існуючих засобів вимірювання температури, частина викладеного матеріалу носить описовий характер. Доцільно було б зосередитись на сучасних і найбільш актуальних, які безпосередньо формують наукову проблему та формулюють мету дослідження.

5. Дещо не сприймається структура викладу змісту підрозділів розділу 4, зокрема, пункти п. 4.1. і п. 4.2. мають однакові початкові формулювання ("Дослідження чутливих елементів..."), що створює враження стилістичної одноманітності.

Наведені вище зауваження та побажання жодним чином не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи здобувачки, яка є завершеним науковим дослідженням, що містить отримані особисто здобувачем нові наукові результати, які обґрунтовують та вирішують важливе науково-технічне завдання підвищення точності та стабільності температурних вимірювань у широкому температурному діапазоні, що виявляється в отриманні чутливих елементів перетворювачів температури з новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ і $TiCo_{1-x}Mn_xSb$ з покращеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками та запровадженням сучасних методів моделювання їхніх властивостей

Загальні висновки та оцінка дисертації

Дисертація Рокоманюк Марії Василівни на тему «Розроблення чутливих елементів перетворювачів температури на основі новітніх термометричних матеріалів» представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 - Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, галузь знань 15 - Автоматизація та приладобудування, є актуальною, завершеною науковою працею, виконана на належному науково-теоретичному рівні з доступно викладеним матеріалом. Отримані наукові результати у дисертаційному дослідженні, становлять вагомий внесок у розвиток науково-технологічних засад моделювання та отримання нових чутливих елементів термоперетворювачів на основі новітніх термометричних матеріалів $Ti_{1-x}Sc_xCoSb$, $Ti_{1-x}Mo_xCoSb$ та $TiCo_{1-x}Mn_xSb$, які забезпечують стабільність і відтворюваність метрологічних характеристик у широкому діапазоні температур.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю, науковою новизною та відсутністю порушень академічної доброчесності цілком відповідає

вимогам постанови Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року "Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", а здобувачка Рокоманюк Марія Василівна заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 - Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка із галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційно-
вимірвальних технологій
Національного університету
"Львівська політехніка"



Наталія ГОЦ

Підпис д.т.н., професора Наталії ГОЦ
"ЗАСВІДЧУЮ"

Вчений секретар Національного університету
"Львівська політехніка"
" " 2025р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ