

**МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Л. І. Анатичук

В. В. Лисько

М. В. Гаврилюк



Інститут термоелектрики
2024

УДК 53.082

Книгу присвячено послідовному викладу методів визначення термоелектричних властивостей матеріалів, аналізу їх переваг, недоліків та раціональних застосувань. У книзі наведено відомості про обладнання, яке ґрунтується на застосуванні цих методів. Зокрема, для роздільного та комплексного вимірювань термоелектричних властивостей матеріалів.

Особливу увагу приділено високоточному абсолютному комплексному методу визначення термоелектричних параметрів матеріалів в широкому інтервалі температур. Наводяться результати розвитку цього методу, отримані фахівцями Інституту термоелектрики (Україна) більш ніж за 50 років. Подано відомості про системне дослідження похибок при вимірюваннях та шляхів їх оптимізації, про комп'ютерні методи моделювання та проектування вимірювальних пристроїв. Наведено опис розробленого на їх основі автоматизованого обладнання, яке за точністю вимірювань та продуктивністю у 3-5 разів переважає відоме у світі. Воно є важливим інструментом для розробки нових термоелектричних матеріалів і покращення властивостей відомих.

Книгу призначено для дослідників та розробників термоелектричних матеріалів, фахівців в області метрології матеріалів; для студентів та аспірантів, які спеціалізуються в галузі термоелектрики; для фахівців суміжних галузей науки та техніки.

Редактори: Горський П.В., Кузь Р.В.

Для отримання дозволу авторів на копіювання звертайтеся:
Інститут термоелектрики, а/с 86, Головопшта, Чернівці, 58002, Україна.
Тел. +380-372-550-202.
Факс +380-372-541-917.
E-mail: anatychn@gmail.com.

ISBN 978-966-997-250-7

© 2024, Л.І. Анатичук. Усі права захищено.

Зміст

Вступ	6
Розділ 1. Методи вимірювання термоелектричних властивостей матеріалів	10
1.1. Коефіцієнт термоЕРС	10
1.1.1. Найпростіший метод.....	10
1.1.2. Інтегральний метод	11
1.1.3. Метод гарячого зонду	13
1.2. Електропровідність	14
1.2.1. Двзондовий метод	14
1.2.2. Чотиризондовий метод	16
1.2.3. Безконтактні методи	17
1.3. Теплопровідність	18
1.3.1. Відносний метод.....	18
1.3.2. Абсолютний метод.....	19
1.3.3. Метод із застосуванням давача теплового потоку	20
1.3.4. Нестационарний метод	21
1.3.5. Метод лазерного спалаху.....	23
1.3.6. Метод гарячої дробини	25
1.3.7. Метод нестационарного гарячого мосту	26
1.3.8. Метод гарячого диску	26
1.3.9. 3ω - метод.....	27
1.4. Добротність. Метод Хармана	28
Розділ 2. Обладнання для вимірювання термоелектричних властивостей матеріалів	30
2.1. Роздільні методи	30
2.1.1. Вимірювання електропровідності.....	30
2.1.2. Вимірювання термоЕРС	31
2.1.3. Вимірювання теплопровідності	32
2.2. Комплексні методи	33
2.2.1. Спільні вимірювання електропровідності та термоЕРС	33

2.2.2. Спільні вимірювання теплопровідності, електропровідності та термоЕРС.....	34
--	----

Розділ 3. Розвиток комплексного абсолютного методу вимірювання термоелектричних властивостей матеріалів в Інституті термоелектрики (Україна)..... 47

3.1. Фізичні моделі комплексного абсолютного методу та їх математичний опис.....	51
3.2. Комп'ютерна модель.....	57
3.3. Фактори, які впливають на точність вимірювань та способи їх мінімізації.....	58
3.3.1. Радіаційне випромінювання.....	58
3.3.2. Втрати тепла через електроди та через притискний механізм.....	72
3.3.3. Відхилення від точкового контакту зі зразком вимірювальних зондів та термопар.....	73
3.3.4. Теплові та електричні притискні контакти.....	75
3.3.5. Втрати тепла за високих температур.....	83
3.3.6. Вплив ефекту Пельтьє на похибки вимірювання електропровідності.....	90
3.4. Похибки вимірювань.....	94

Розділ 4. Вимірювальні блоки..... 95

4.1. Конструкція вимірювального блоку для інтервалу температур 30 – 550 °С.....	95
4.2. Конструкція вимірювального блоку для інтервалу температур 30 – 900 °С.....	97
4.3. Електрична схема вимірювального блоку.....	105

Розділ 5. Автоматизація вимірювань комплексним абсолютним методом.....106

Розділ 6. Обладнання для абсолютних комплексних вимірювань термоелектричних властивостей матеріалів..... 115

6.1. Вимірювальне обладнання “АЛТЕК-10001”.....	115
6.2. Вимірювальне обладнання “АЛТЕК-10001М”.....	117

Розділ 7. Про можливість підвищення швидкодії при вимірюваннях абсолютним комплексним методом.....120

7.1. Підвищення швидкості встановлення стаціонарних умов при вимірюваннях	120
7.2. Вимірювання в умовах неперервної зміни температури	125
Розділ 8. Нові можливості абсолютного методу	130
8.1. Визначення термоЕРС зі співвідношення Томсона	130
8.2. Модифікація методу Хармана	131
8.3. Новий підхід при вимірюванні теплопровідності	133
Розділ 9. Методи та обладнання для виготовлення зразків	135
9.1. Вибір зразків зі зливків	136
9.1.1. Метод визначення термоелектричних властивостей зливків	136
9.1.2. Фізична та комп'ютерна моделі методу	137
9.1.3. Похибки при вимірюванні електропровідності та термоЕРС....	138
9.1.4. Вимірювання теплопровідності зливків	141
9.1.5. Автоматизоване обладнання “АЛТЕК-10003”	143
9.2. Виготовлення зразків	152
9.3. Створення контактів	155
9.4. Визначення контактного опору структур “метал – термоелектричний матеріал”	157
Розділ 10. Вимірювання параметрів матеріалів у складі термоелектричних перетворювачів енергії	166
Перелік посилань	185