

І.В. Горічок¹, А.І. Ткачук^{1,2}, О.С. Криницький², О.М. Матківський¹

Визначення теплопровідності напівпровідників методом радіального теплового потоку

¹Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна, E-mail: fcss@pu.if.ua

²Івано-Франківський національний університет нафти і газу вул. Карпатська 15, Івано-Франківськ, 76000, Україна

Преставлена установка для вимірювання теплопровідності напівпровідникових матеріалів методом радіального теплового потоку. Розроблена методика апробована на термоелектричних зразках пльомбум телуриду.

Ключові слова: теплопровідність, тепловий потік, методи дослідження.

Стаття постуила до редакції 11.07.2013; прийнята до друку 15.09.2013.

Вступ

Напівпровідникові матеріали на основі сполук IV-VI (PbTe, SnTe) – відносяться до промислових термоелектричних матеріалів для середньотемпературного діапазону (500-700) К [1-3]. Зусилля дослідників направлені на пошук технологічних можливостей покращення їх експлуатаційні характеристики, серед яких слід відзначити, у першу чергу, термоелектричну добротність Z ($Z = \alpha^2 \sigma / \chi$, де α – коефіцієнт термо-ЕРС, σ – питома електропровідність, χ – теплопровідність), безрозмірну термоелектричну добротність ZT , яка визначається крім того і температурою T та коефіцієнт потужності $\alpha^2 \sigma$ [3].

Найбільш важливим і одночасно трудомістким для вимірювання є коефіцієнт теплопровідності [4]. Так, зокрема, серед відомих методів визначення χ слід відзначити стаціонарні абсолютні (метод Розенберга при низьких температурах, низькотемпературний метод, метод вимірювання теплопровідності матеріалів з низькою провідністю тепла, високотемпературний метод, метод з радіаційним екраном), стаціонарні порівняльні (Метод Стакс і Чесмара, метод Бауерса), інші стаціонарні методи (метод ізольованої гарячої пластинки і метод циліндрів, метод вимірювання теплового потоку, метод Кольрауша, метод прямого нагріву, метод труби і гарячого дроту, метод динамічного калориметра) і динамічні (Метод А.В. і А.Ф. Іоффе, перехідний метод гарячого дроту і гарячої смужки, зондовий метод, метод Ангстрема, метод Хармана, методи регулярного режиму, метод

калориметра) [4]. Найбільш слабким місцем у цих методів є некоректне врахування теплових потоків. Нижче показана методика і установка радіального методу теплового потоку.

Метод радіального теплового потоку відноситься до числа стаціонарних абсолютних. З усіх стаціонарних методів вимірювання теплопровідності при високих температурах радіальний є надійним внаслідок мінімізації у ньому втрат тепла. Здійснюється він у такий спосіб (рис. 1) [4]: уздовж осі циліндричного зразка розміщується нагрівач, що створює градієнт температури в радіальному напрямку, який вимірюється двома термометрами, розташованими вздовж радіуса.

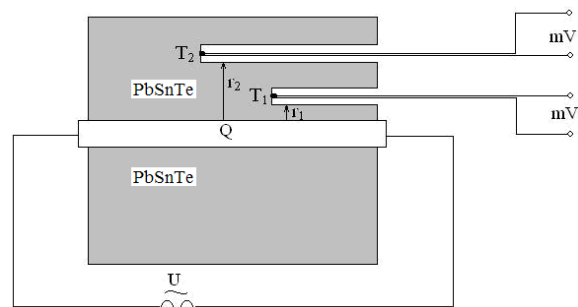


Рис. 1. Схема установки для вимірювання теплопровідності з використанням радіального теплового потоку: Q – нагрівник; T_1 і T_2 – температури взірця на відстані r_1 та r_2 від осі.

Для того щоб збурення температурного поля, внесеного кінцями зразка, не перевищували (2-3) %, необхідно, зберігаючи певне співвідношення між

довжиною зразка L і діаметром d .

Крім того на похибку в абсолютній величині теплопровідності впливає неточність вимірювання відстані від осі зразка до термопар. Вона може досягати великих значних значень – (10-20) %.

У випадку використання тільки двох термопар також можуть виникнути похибки і у визначенні температурної залежності χ з двох причин:

1. Зміщення контакту нагрівача у зразку і пов'язана з ним зміна симетрії температурного поля. Це призводить до зміни розмірів розрахованого теплового потоку.
2. Незначні зміни в розміщенні внутрішньої термопари помітно спотворюють також вимірювану температуру. Це зумовлено значним градієнтом температури за довжиною, яка рівна розміру спаю термопари.

Таким чином, задача кріплення термопар і нагрівача в даному методі має свої практичні складності. Зразок із нагрівачем і термопарами є основною частиною вимірювальної схеми (установки), що треба монтувати для кожного нового вимірювання. Цей істотний недолік радіального методу усувається, якщо використовувати зразок, розрізаний по осі циліндра на дві половини. У цьому випадку установка нагрівача і термопар значно спрощується і вони можуть бути використані для вимірювання декількох зразків [4].

Перевагами радіального методу є те, що при вимірюваннях термопари розташовуються перпендикулярно градієнту температури, що забезпечує правильність їхніх показів. Крім того є можливість створення таких умов, при яких випромінювання з поверхні нагрівача незначне. Це необхідно при вимірюванні теплопровідності речовин, прозорих в інфрачервоній області спектра. При високій температурі потік електромагнітного випромінювання крізь такі зразки може зрівнятися з потоком енергії, що виникає за рахунок теплопровідності ґратки, і навіть перевищити його. Мала поверхня нагрівача дає можливість усунути цей додатковий механізм теплопровідності.

Безсумнівно, що при температурах, що перевищують (1000-1200) К, радіальний метод є в тих або інших модифікаціях основним.

Вимірювання температур при цьому проводиться високотемпературними термопарами або оптичними пірометрами.

Схема і загальний вигляд наведеної нами установки представлені на рис. 1 і рис. 2 відповідно. Уздовж осі циліндричного зразка поміщається нагрівач (ніхромовий дріт). Пропускаючи через нього струм створюється градієнт температури в радіальному напрямку. Останній вимірюється двома хромель-алюмелевими термопарами. Теплопровідність обчислюється із співвідношення:

$$\chi = q \ln \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \frac{1}{2\pi(T_1 - T_2)}, \quad (1)$$

де q – електрична потужність на одиницю довжини нагрівача; r_1 – відстані від центра зразка до термопар; T_1 – температури в цих точках.

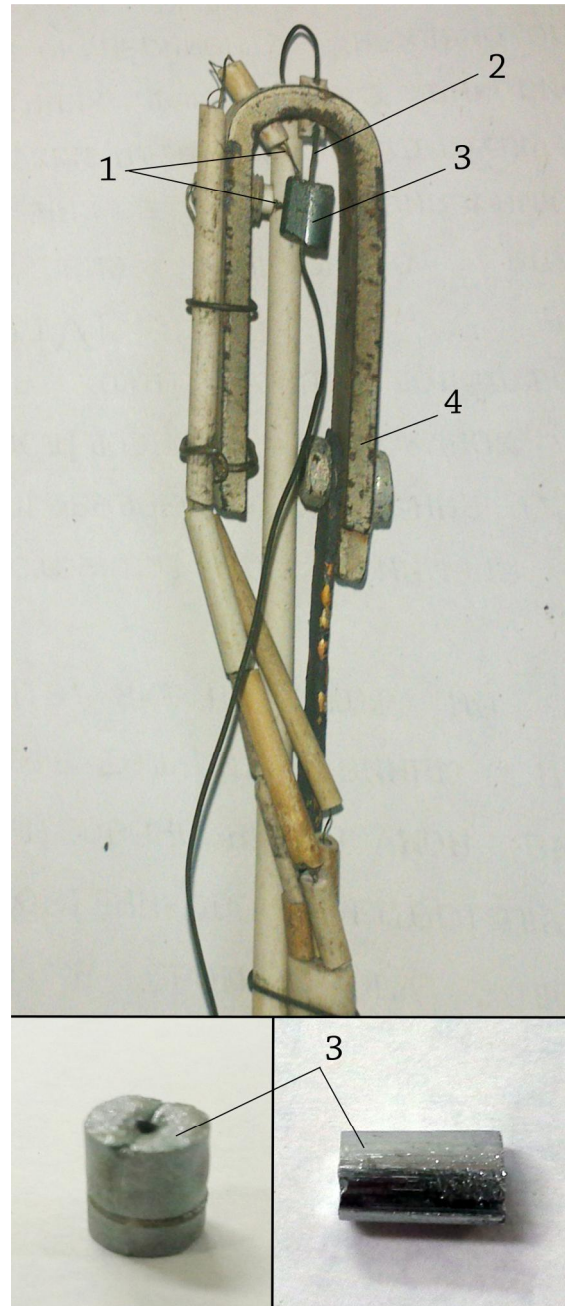


Рис. 2. Загальний вигляд установки для вимірювання теплопровідності методом радіального теплового потоку: 1 – термопари; 2 – нагрівник; 3 – зразок; 4 – каркас.

Запропонована установка дає можливість визначити теплопровідність чистих, легованих, твердих розчинів масивних напівпровідникових матеріалів в широкому діапазоні температур.

Щоб отримати зразки термоелектричного п्लомбум телуриду для методу радіального теплового потоку матеріал подрібнювали в агатовій ступці та виділивши фракції розміру (0,05 - 0,5) мм, пресували під тиском (0,5-1) ГПа, в результаті чого отримували циліндричної форми зразки діаметром $d = 5$ мм та $l = 10$ мм. Отримані зразки відпалювались при температурі 800 К.

Даним методом було здійснено цикл вимірювань

для зразків РbTe для якого середнє значення теплопровідності складо $\chi \approx 0,006$ Вт/(см К). На рис. 3 показано загальний хід значень теплопровідності від температури.

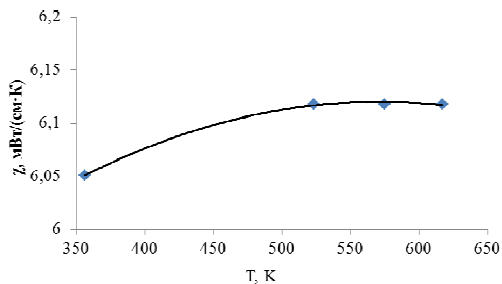


Рис. 3. Залежність теплопровідності (χ) масивних зразків РbTe від температури.

Для визначення реальної похибки було проведено вимірювання теплопровідності еталонного фторопластового циліндричного зразка з $L/d \approx 1$, як і у термоелектричних стержнів. Виміряна теплопровідність становить $0,0027$ Вт/(К см) при табличному значенні $0,0025$ Вт/(К см). Тобто відносна похибка становить $\approx 10\%$.

Висновки

1. Запропонована конструкція, виготовлена і зібрана установка для вимірювання теплопровідності напівпровідникових матеріалів методом радіального теплового потоку.

2. Розроблена методика апробована на термоелектричних зразках пльомбум телуриду і забезпечує точність $\sim 10\%$.

Автори висловлюють вдячність проф. Фреїку Д.М. за постановку задач досліджень та обговорення їх результатів.

Робота частково фінансується в межах наукових проектів МОН України (державні реєстраційні номери 0113U000185) та ДФФД МОН України (державний реєстраційний номер 0113U003689).

Горічок І.В. – к.х.н., старший науковий співробітник;
Ткачук А.І. – аспірант кафедри технічної діагностики і моніторингу, старший лаборант навчально-дослідного центру напівпровідникового матеріалознавства;
Криницький О.С. – аспірант кафедри технічної діагностики і моніторингу;
Матківський О.М. – аспірант кафедри фізики і хімії твердого тіла.

- [1] А.В. Дмитриев, И.П. Звягин, Успехи физических наук 180(2), 821 (2010).
- [2] Н.Х. Абрикосов, Л.Е. Шелимова, Полупроводниковые материалы на основе соединений AIVBVI (Наука. М. 1987).
- [3] В.М. Шперун, Д.М. Фреїк, Р.І. Запхляк, Термоелектрика телуриду свинцю та його аналогів (Плай. Івано-Франківськ, 2000).
- [4] М.О.Галушак, В.Г. Ральченко, А.І. Ткачук, Д.М. Фреїк, Фізика і хімія твердого тіла 14(2), 317 (2013).

I.V. Gorichok¹, A.I. Tkachuk^{1,2}, O.S. Krunutsky², O.M. Matkivsky¹

Determination of Semiconductors Thermal Conductivity by Radial Heat Flow

¹Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University
 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine, E-mail: fcss@pu.if.ua
²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
 15, Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

Depicting setting for measuring the thermal conductivity of semiconductor materials by radial heat flow. The technique has been tested on samples of thermoelectric lead telluride.

Keywords: thermal conductivity, heat flow, research methods.