

І.В. Горічок<sup>1</sup>, А.І. Ткачук<sup>1,2</sup>, О.С. Криницький<sup>2</sup>, О.М. Матківський<sup>1</sup>

## Визначення теплопровідності напівпровідників методом радіального теплового потоку

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна, E-mail: [fcss@pu.if.ua](mailto:fcss@pu.if.ua)

<sup>2</sup>Івано-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.

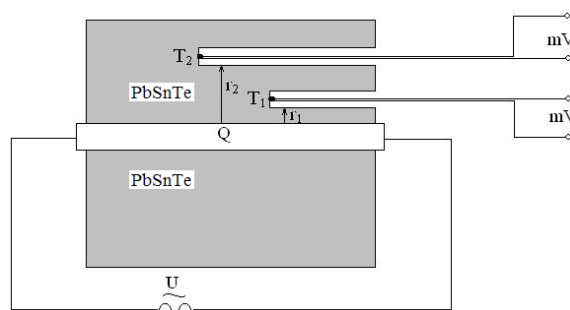
### Вступ

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  $\alpha$  – коефіцієнт термо-ЕРС,  $\sigma$  – питома електропровідність,  $\chi$  – 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  $\chi$  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  $\chi$  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.

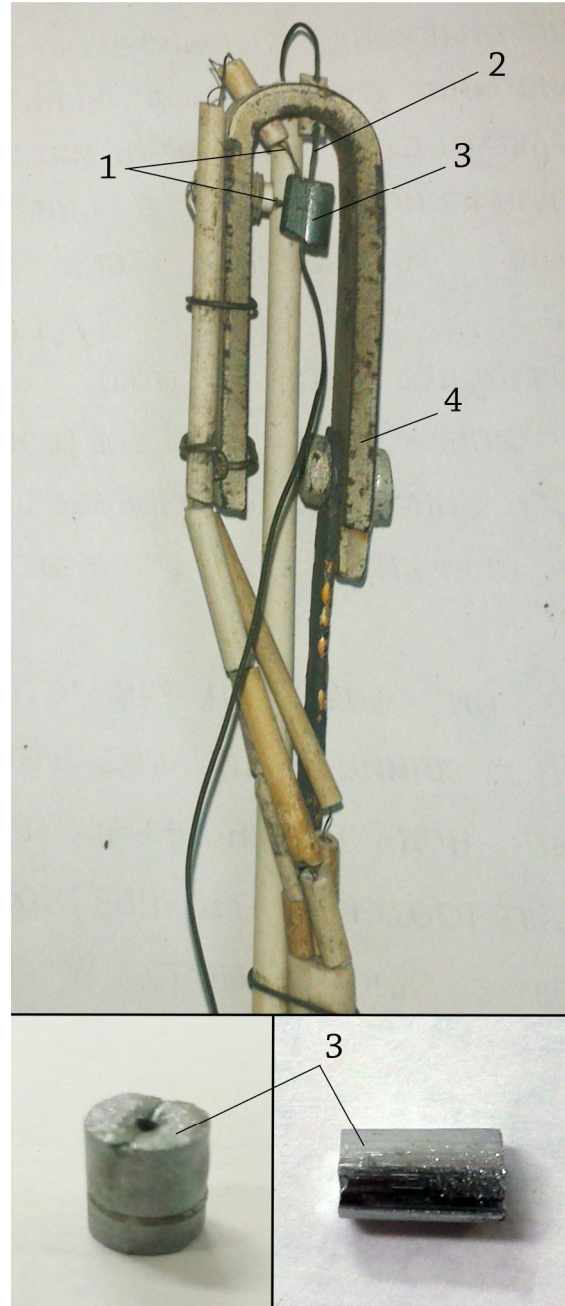


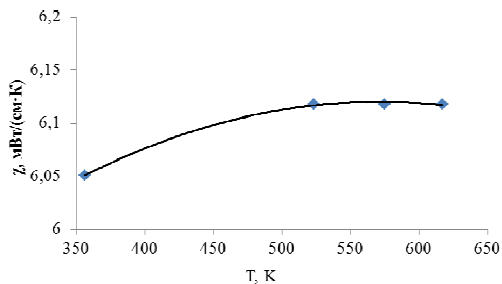
Рис. 2. Загальний вигляд установки для вимірювання теплопровідності методом радіального теплового потоку: 1 – термопари; 2 – нагрівник; 3 – зразок; 4 – каркас.

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 РbТе 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 ( $\chi$ ) масивних зразків РbТе 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] A.V. Dmitriev, I.P. Zvjagin, Uspehi fizicheskikh nauk 180(2), 821 (2010).
- [2] N.H. Abrikosov, L.E. Shelimova, Poluprovodnikovye materialy na osnove soedinenij AIVBVI (Nauka. M. 1987).
- [3] V.M. Shperun, D.M. Freik, R.I. Zapuhljak, Termoelektrika teluridu svincju ta jogo analogiv (Plaj. Ivano-Frankivs'k, 2000).
- [4] M.O.Galushhak, V.G. Ral'chenko, A.I. Tkachuk, D.M. Freik, Physics and chemistry of solid state 14(2), 317 (2013).

I.V. Gorichok<sup>1</sup>, A.I. Tkachuk<sup>1,2</sup>, O.S. Krunutsky<sup>2</sup>, O.M. Matkivsky<sup>1</sup>

## Determination of Semiconductors Thermal Conductivity by Radial Heat Flow

<sup>1</sup>Vasyl Stefanyk PreCarpathian National University  
 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine, E-mail: [fcss@pu.if.ua](mailto:fcss@pu.if.ua)  
<sup>2</sup>Ivano-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.