

Д.М. Фреїк<sup>1</sup>, Р.І. Запужляк<sup>2</sup>, А.І. Терлецький<sup>2</sup>, Н.І. Дикун<sup>2</sup>, А.І. Ткачук<sup>1</sup>  
**Комірка для вимірювання теплопровідності твердих тіл**

<sup>1</sup>Фізико-хімічний інститут Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна, E-mail: [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)

<sup>2</sup>Кафедра радіофізики і електроніки Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76025, Україна, E-mail: [ruslan.zapukhlyak@pu.if.ua](mailto:ruslan.zapukhlyak@pu.if.ua)

Приведено опис комірки для вимірювання теплопровідності твердих тіл в інтервалі температур від кімнатної до 500 °С на основі розробленої методики експерименту.

**Ключові слова:** теплопровідність, термо-Е.Р.С., електропровідність, вимірювальна комірка.

Стаття поступила до редакції 22.10.2010; прийнята до друку 15.12.2010.

## Вступ

Термоелектричні матеріали (ТЕ) в останні роки набувають широкого поширення в новітніх технологіях, як альтернативні джерела енергії, або в якості базових для холодильних установок. Тому вивчення властивостей існуючих матеріалів та пошук нових викликає неабиякий інтерес з боку дослідників. Значного успіху в цьому напрямі можна досягнути маючи точні методики та комплекси вимірювання термоелектричних параметрів. Контроль якості матеріалу тісно пов'язаний із виробничими затратами [1].

Основними параметрами, що визначають якість термоелектричних матеріалів є коефіцієнт термо-Е.Р.С. ( $\alpha$ ), електропровідність ( $\sigma$ ), коефіцієнт теплопровідності ( $\chi$ ) та термоелектрична добротність ( $Z = \alpha^2 \sigma / \chi$ ) або безрозмірна термоелектрична добротність (ZT). Вивчення температурних залежностей цих параметрів дає можливість створення нових матеріалів із значно покращеними термоелектричними характеристиками на основі яких можна конструювати високоефективні термоелектричні пристрої.

Методикам вимірювання термоелектричних параметрів присвячено велику кількість наукових робіт, однак більшість із них є складними і дають можливість вимірювати тільки окремі характеристики матеріалу [2-5].

Виходячи з цього, нами було запропоновано теорію стаціонарної абсолютної методики вимірювання теплопровідності твердого тіла [6] та на її основі було розроблено вимірювальну комірку, яка дає можливість в єдиному експерименті додатково отримати дані з термо-Е.Р.С. та електропровідності.

Ця методика розроблялася у зв'язку із необхідністю вимірювання коефіцієнта теплопровідності невеликих зразків із матеріалу, який погано проводить тепло.

## I. Конструкція вимірювальної комірки

Конструктивно установка (рис.1) складається із двох нагрівників (пічок): зовнішнього (3) та внутрішнього (2) весь вільний простір між якими заповнено теплоізолятором (азбест) (11). Внутрішній нагрівник утримується у зовнішньому виключно за рахунок сил тертя. Зовнішній нагрівник кріпиться за допомогою відрізків кварцових труб (6) та (7) і затиснутий між фланцем (5) та основою (4) за допомогою шпильок (8). Зразок (1) поміщається між верхнім і нижнім контактами (10), що виготовлені із срібла з метою забезпечення кращого теплового та електричного контактів. Нагрівники, основа, фланець і шпильки виготовлені з нержавіючого заліза. Зовнішній нагрівник намотаний ніхромовим проводом, внутрішній - молібденовим.

Вся система поміщена на підставку (12) і електрично-ізолювана від неї керамічними перехідниками (9).

За таких умов, основа, зовнішній та внутрішній нагрівники гальванічно-ізолювані один від одного.

Температура  $T_3$  зовнішнього нагрівника вимірюється двома термопарами в діагонально протилежних точках для кращого контролю температури. Температура  $T_{ВН}$  внутрішнього нагрівника і  $T_0$  – температура основи вимірюється як гальванічно розділеними термопарами  $T_{ВН1}$  і  $T_0$ , так і гальванічно-зв'язаними термопарами  $Cr_{mВН}-Al_{mВН}$  (хромель-алюмель) та  $Cr_{m0}-Al_{m0}$  відповідно. Ці

термопари відрізняються від звичайних тим, що це, фактично,  $Alm-Ag-Crm$ -термопари. Однак, завдяки високій теплопровідності срібла температуру срібного контакту можна вважати однорідною і розглядати цю температуру як звичайну алюмель-хромелеву. Контактні провідники цих термопар також використовуються для вимірювання термо-Е.Р.С зразка та його питомого опору. В першому випадку вимірюють термо-Е.Р.С між алюмелевими провідниками  $Alm_{вн}$  та  $Alm_0$  або хромелевими провідниками  $Crm_{вн}$  та  $Crm_0$ . Отримана величина є термо-Е.Р.С матеріалу по відношенню до алюмеля чи хромеля, відповідно. Для визначення питомого опору зразка через пару алюмелевих провідників пропускають калібрований струм, а падіння напруги вимірюють на хромелевих провідниках. Оскільки падіння напруги на кінцях провідників складається з падіння напруги на омичному опорі зразка та термо-Е.Р.С матеріалу по відношенню до хромеля, то міняючи напрямок струму та усереднюючи отримані результати можна визначити опір зразка, а отже і його питомий опір. Струм можна також пропускати через пару хромелевих провідників, а падіння напруги вимірювати на алюмелевих провідниках.

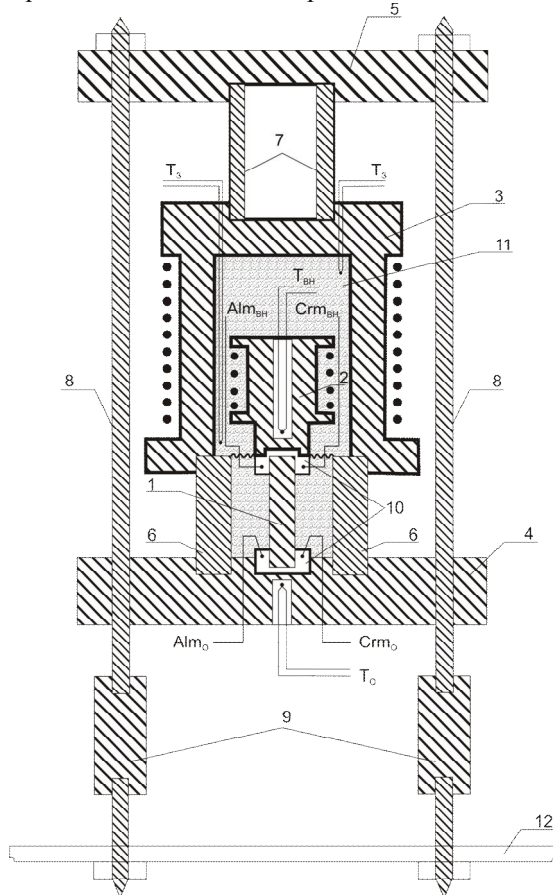


Рис. 1. Конструктивна схема вимірювальної комірки.

Зовнішній нагрівник живиться від джерела змінного струму через електронний терморегулятор, який підтримує стабільну температуру  $T_3$ . Для живлення внутрішнього нагрівника використовується джерело постійного стабілізованого струму. Було встановлено, що для підвищення точності вимірювань, також необхідно стабілізувати напругу зовнішньої мережі (220 В). Струм і напруга на внутрішньому нагрівнику контролюється електронними мультиметрами за схемою, що компенсує вплив підвідних струмових провідників (рис. 2).

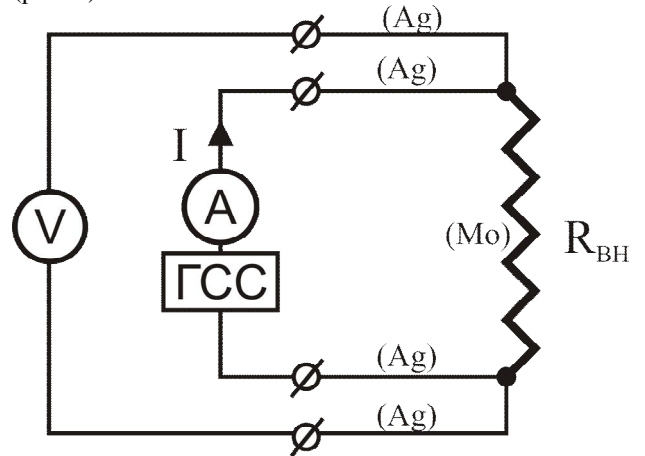


Рис. 2. Схема контролю потужності внутрішнього нагрівника.

Потужність нагрівника визначається простим добутком струму на падіння напруги. Підвідні провідники виготовлено із срібла з метою зменшення їх опору, а отже неконтрольованого потоку тепла в області між внутрішнім та зовнішнім нагрівниками. Срібло вибрано також з тієї причини, що воно майже не окислюється за високих температур.

Калібрований струм від генератора стабільного струму (ГСС) пропускається через одну пару струмових провідників, а падіння напруги вимірюється на іншій. Така схема дозволяє визначити потужність внутрішнього нагрівника з великою точністю, що визначається головним чином точністю задання струму та точністю вимірювання падіння напруги. Використовуючи прилади для вимірювання струму та напруги з точністю 0,1 % можна визначити потужність внутрішнього нагрівника з точністю 0,2 %.

Напруги всіх термопар та контактів контролюються одним і тим же мультиметром з метою зменшення впливу дрейфу нуля приладу і комутуються по черзі з допомогою 8-ми позиційного перемикача на три напрямки (1) (рис. 3).

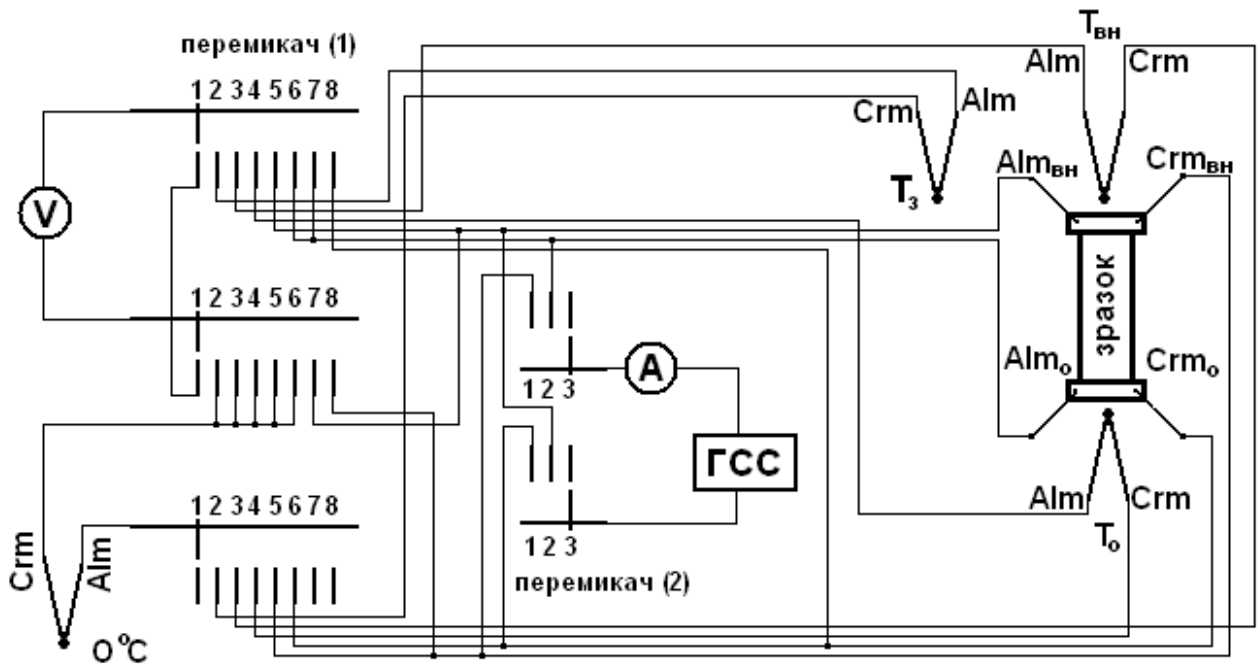


Рис. 3. Схема електричної комутації термопар та контактів комірки.

В позиції 1 здійснюється калібрування вольтметра та корекція нуля. В позиціях 2-6 вимірюються Е.Р.С. хромель-алюмелевих термопар ( $T_z$ ,  $T_{вн}$ ,  $T_0$ ,  $Crm_{вн}-Alm_{вн}$  та  $Crm_0-Alm_0$ ) по відношенню до Е.Р.С. при  $0^\circ C$ . В позиціях 7 і 8 вимірюється термо- Е.Р.С. зразка по відношенню до алюмелю чи хромелю відповідно за умов, що трипозиційний перемикач (2) знаходиться в позиції 3. Для визначення питомого опору перемикач (1) встановлюється в позицію 7, а перемикач (2) в позицію 1. В такому випадку струм пропускається через хромелеві провідники, а падіння напруги знімається з алюмелевих. Якщо перемикач (1) встановлюється в позицію 8, а перемикач (2) в позицію 2, тоді струм пропускається через алюмелеві провідники, а падіння напруги знімається з хромелевих.

## Висновки

Розроблено комірку для вимірювання теплопровідності твердих тіл, яка дає можливість додатково отримати дані з електропровідності та термо-Е.Р.С.

матеріалу в інтервалі температур від кімнатної до  $500^\circ C$ .

Вказано на технологічні особливості конструкції вимірювальної комірки, які впливають на точність результатів експерименту.

*Робота виконана у рамках наукових проектів МОН України (державний реєстраційний номер 0107U006768) та Держкомінформ науки України (державний реєстраційний номер 0110U007675).*

**Фреїк Д.М.** – заслужений діяч науки і техніки України, доктор хімічних наук, професор, директор Фізико-хімічного інституту, завідувач кафедри фізики і хімії твердого тіла;

**Запухляк Р.І.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент;

**Терлецький А.І.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент;

**Дикун Н.І.** – асистент;

**Ткачук А.І.** – аспірант.

- [1] Л.І. Анатичук, М.В. Гаврилюк, В.В. Лисько Установка для вимірювання властивостей термоелектричного матеріалу// *Термоелектрика*. (3), сс. 41-49 (2010).
- [2] Л.И. Анатичук. *Термоэлементы и термоэлектрические устройства*. Наук. думка, К. 768 с (1978).
- [3] А.С. Охотин, А.С. Пушкарский, Р.П. Боровикова, В.А. Симонов. *Методы измерения характеристики термоэлектрических материалов и преобразователей*. Наука, М. 167 с (1974).
- [4] А.Л. Вайнер *Термоэлектрические параметры и их измерение*. Студия "Негоциант", Одесса. 68 с (1998).
- [5] Ю.В. Воробьев, В.Н. Д обровольский, В.И. Стриха. *Методы исследования полупроводников*. Вища школа, К. 232 с. (1988).
- [6] Д.М. Фреїк, А.І. Терлецький, М.О. Галушак, Р.І. Запухляк, Н.І. Дикун. Стационарний метод визначення термоелектричних параметрів напівпровідників. I. Фізичні основи // *Методи та прилади контролю якості*, (25), сс. 88-93 (2010).

D.M. Freik<sup>1</sup>, R.I. Zapukhlyak<sup>2</sup>, A.I. Terletsky<sup>2</sup>, N.I. Dykun<sup>2</sup>, A.I. Tkachuk<sup>1</sup>

## Measuring Cell for Solid Thermal Conductivity

<sup>1</sup> Physical-chemical institute of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)

<sup>2</sup> Department of Radiophysics and Electronics of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76025, Ukraine, E-mail: [ruslan.zapukhlyak@pu.if.ua](mailto:ruslan.zapukhlyak@pu.if.ua)

A cell for measuring of the thermal conductivity of solids in the temperature range from ambient conditions up to 500 °C was described on the base of theoretical technique developed before.

**Key words:** thermal conductivity, thermoelectric power, conductivity, measuring cell.