

УДК 536.24



Микитюк П.Д.

Микитюк П.Д. канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю. канд. фіз.-мат. наук, доцент³

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,
e-mail: anatyuch@gmail.com;

²Чернівецький національний університет імені
Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58012, Україна
e-mail: anatyuch@gmail.com,

³Вищий державний навчальний заклад України
«Буковинський державний медичний університет»,
Театральна площа, 2, Чернівці, 58002, Україна



Микитюк О.Ю.

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В НАГРІВНИКУ ЗІ ЗМІННИМИ ПО ДОВЖИНІ ОПОРОМ У ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

Досліджено розподіл температури у нагрівнику зі змінним опором по його довжині, що використовується у напівпровідниковому термоперетворювачі. Встановлено, що максимальна локалізація температури в точці контакту нагрівника зі спаєм термопари дозволяє збільшити температуру в його центрі майже в два рази в порівнянні зі звичайним варіантом нагрівника, що істотно збільшує чутливість термоперетворювача. Бібл. 2, рис. 1, табл. 1.

Ключові слова: нагрівник, термоперетворювач, розподіл температури.

Вступ

В [1] зазначено, що доцільним є розгляд можливості створення такого нагрівника для термоелектричного вимірювального термоперетворювача (ТП), який міг би забезпечити максимальну температуру в його геометричному центрі, де, зазвичай, конструктивно розташовують спаї віток термопари. Такий підхід дозволить суттєво зменшити теплові втрати в конструкції ТП, а отже – підвищити ефективність його роботи.

Метою даної роботи є оцінка граничних можливостей такого варіанту оптимізації конструкції ТП.

Модель нагрівника зі змінним опором по його довжині

Розрахуємо значення температури в центрі нагрівника при умові, що все тепло виділяється в ньому. Розрахунок проведемо для манганінового нагрівника в скляній ізоляції з опором 16 Ом. Теплофізичні властивості скла врахуємо введенням «ефективних» значень теплопровідності та інших характеристик нагрівника.

У найпростішому варіанті втрати тепла, що виділяється в нагрівнику, відбуваються лише через теплопровідність нагрівника. Тоді справедливою є формула [2]:

$$\Delta T_{\max} = \frac{U_H^2}{8\kappa_H \rho_H}, \quad (1)$$

де U_H – електрична напруга на нагрівнику, а κ_H , ρ_H , – теплопровідність і питомий опір нагрівника, відповідно.

Підставивши параметри для нагрівника, для струму $I_H = 5$ мА, отримаємо, що максимальний перепад температури в нагрівнику $\Delta T_{\max} = 44$ °С.

У реальних ТП істотний вплив мають і інші механізми теплових втрат. Врахування теплових втрат по теплопровідності матеріалу нагрівника і шляхом конвективного теплообміну, як показано в [1], може привести до зменшення температури в центрі нагрівника в 1.5 рази. Тому максимальна концентрація тепла в центрі нагрівника, де розміщується спай віток терморари, очікувано, може суттєво підвищити чутливість ТП.

Такий варіант конструкції нагрівника може бути реалізований в нагрівнику зі змінним опором по його довжині, максимум якого приходить на точку теплового контакту терморари і нагрівника.

Для визначення доцільності такої конструкції нагрівника розглянемо модель нагрівника, показану на рис. 1, у якій зміна опору нагрівника по його довжині досягається за рахунок зміни його поперечного перерізу.

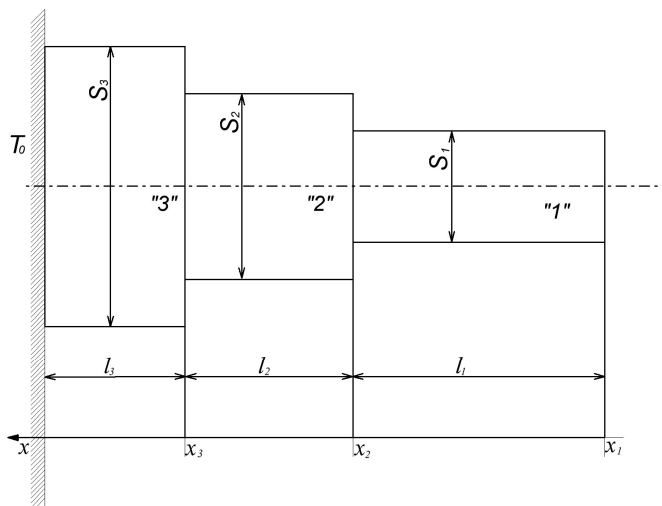


Рис. 1. Модель для розрахунку розподілу температури в нагрівнику зі змінним поперечним перерізом.

Розрахунок теплового балансу нагрівника зі змінним поперечним перерізом.

Позначимо

$$\theta_H = T(x_H) - T_0, \quad (2)$$

$$a_H = \frac{\pi d_H C_{0H}}{\chi_H S_H}, \quad (3)$$

$$b_H = \frac{\rho_H I_H^2}{\kappa_H S_H^2}, \quad (4)$$

де x_H – координата нагрівника по його довжині,

$Tx_H - T_0$ – різниця температури на нагрівнику,

d_H – діаметр нагрівника,

C_0 – коефіцієнт теплообміну із зовнішнім середовищем,

ρ_H – питомий опір нагрівника,

S_H – площа поперечного перерізу нагрівника,

I_H – струм, що проходить через нагрівник,

χ_H – теплопровідність матеріалу нагрівника.

Тоді умову теплового балансу нагрівника можна записати наступним чином:

$$d^2\theta_i/dx_i^2 - a_i\theta_i + b_i = 0, \quad (5)$$

де $i = 1, 2, 3$.

Перетворимо вираз (5), ввівши нову змінну $X_i = x - x_i$ (6)

Так як

$$\frac{d}{dx} = \frac{dX_i}{dx} \cdot \frac{d}{dX_i} = \frac{d}{dX_i}, \quad (7)$$

то (5) буде мати наступний вигляд:

$$d^2\theta_i/dX_i^2 - a_i\theta_i + b_i = 0 \quad (8)$$

Розв'язок (8) проведемо для граничних умов зведених в таблицю 1

Таблиця 1

Граничні умови для розв'язку рівняння теплового балансу нагрівника ТП

№ п/п	x	X_i	θ_i
1.	0	$X_3 = \ell_3$	$\theta_3(x=0) = 0; \theta_3(x_3 - \ell_3) = 0$
2.	x_3	$X_3 = 0$ $X_2 = \ell_2$	$\theta_3(x_3) = \theta_2(x_3)$ $\theta_3(x_3) = \theta_2(x_3)$ $\theta_3(X_3 = 0) = \theta_2(X_2 = \ell_2)$ $\left[-\chi_3 S_3 \frac{\partial \theta_3}{\partial X_3} \Big _{x_3=0} \cdot (+1) \right] + \left[-\chi_2 S_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial X_2} \Big _{x_2=\ell_2} \cdot (-1) \right] = 0$
3.	x_2	$X_2 = 0$ $X_1 = \ell_1$	$\theta_2(x_2) = \theta_1(x_2)$ $\theta_2(X_2 = 0) = \theta_1(X_2 = \ell_1)$ $\left[-\chi_2 S_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial X_2} \Big _{x_2=0} \cdot (+1) \right] + \left[-\chi_1 S_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial X_1} \Big _{x_1=\ell_1} \cdot (-1) \right] = 0$
4.	x_1	$X_1 = 0$	$\theta_1(x_1) = T_1 - T_0$ $\theta_1(x_1 = 0) = T_1 - T_0$ $-\chi_1 S_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial X_1} \Big _{x_1=0} = 0$

У результаті складних і громіздких перетворень, що в даній роботі не наводяться, отримаємо формулу для максимальної різниці температур у нагрівнику зі змінним поперечним перерізом:

$$T_1 - T_0 = \frac{b_1}{a_1} - \frac{\frac{b_3}{a_2} + \left(\frac{b_1}{a_1} - \frac{b_2}{a_2} \right) \left[\text{ch}L_2 \cdot \text{ch}L_3 + K_{23} \text{sh}L_2 \cdot \text{sh}L_3 \right] + \left(\frac{b_2}{a_2} - \frac{b_3}{a_3} \right) \text{ch}L_3}{\left(\text{ch}L_1 \cdot \text{ch}L_2 + K_{12} \text{sh}L_1 \cdot \text{sh}L_2 \right) \text{ch}L_3 + \left(K_{13} \text{sh}L_1 \cdot \text{ch}L_2 + K_{23} \text{ch}L_1 \cdot \text{sh}L_2 \right) \text{sh}L_3}, \quad (9)$$

$$\text{де: } L_i = \sqrt{a_i} \ell_i, \quad (10)$$

$$K_{12} = \frac{S_1 \kappa_1 \sqrt{a_1}}{S_2 \kappa_2 \sqrt{a_2}}, \quad (11)$$

$$K_{23} = \frac{S_2 \kappa_2 \sqrt{a_2}}{S_3 \kappa_3 \sqrt{a_3}}, \quad (12)$$

$$K_{13} = K_{12} \cdot K_{23} = \frac{S_1 \kappa_1 \sqrt{a_1}}{S_3 \kappa_3 \sqrt{a_3}}, \quad (13)$$

Для перевірки теоретичних викладок у роботі досліджувався нагрівник ТП, виготовлений з двох відрізків мідного мікропроводу і центрального відрізка, виготовленого з манганінового мікропроводу, з'єднаних між собою. Довжина нагрівника не перевищувала 1.5 мм, причому довжина його центральної частини складала 250 мкм. Діаметр мікропроводу дорівнює 10 мкм. Вибір міді та манганіну був зумовлений не лише різницею в питомому шарі, але і можливістю зведення до мінімуму паразитних ефектів, що виникають у місцях контакту різнорідних матеріалів, оскільки манганін в парі з міддю має найменший коефіцієнт термоЕРС. Для зниження теплових втрат бокова поверхня термопари в термоперетворювачі була зменшена. При перерізі 15×15 (мкм²) її довжина не перевищувала 750 мкм.

Враховавши у (9) вищезазначені числові значення параметрів та теплофізичні характеристики матеріалів для розрахунку на повітрі отримаємо, що в нагрівнику зі змінним поперечним перерізом вираш по температурі в його центрі спостерігається майже в два рази, що підтверджується відповідним приростом вольт-ватної чутливості ТП зі змінним поперечним опором нагрівника при дослідженні таких ТП.

Застосування нагрівників зі змінним опором по його довжині дає хороші результати по приросту вольт-ватної чутливості, однак такі суттєві недоліки як нестабільність в часі, мала механічна міцність і необхідність захисту поверхні нагрівника від окислення дещо обмежують застосування таких нагрівників на практиці. Більш технологічним рішенням, що може різко підвищити якість ТП, може бути застосування для нагрівників мікропроводу у скляній ізоляції зі змінним перерізом його провідника. Однак це є темою окремих серйозних досліджень.

Висновки

1. Чутливість ТП можна істотно підвищити шляхом максимальної концентрації тепла в точці контакту нагрівника і спаю термопари.
2. Застосування в конструкції ТП нагрівника зі змінним поперечним перерізом дозволяє збільшити температуру в його центрі майже в два рази.
3. Доцільним є проведення досліджень зі створення та застосування в якості нагрівника ТП мікропроводу в скляній ізоляції зі змінним поперечним перерізом.

Література

1. Микитюк П. Д., Микитюк О. Ю. Про вплив термопари на розподіл температури в нагрівнику вимірювального термоперетворювача. «Термоелектрика» № 1, 2018 р. - с. 78-81
2. Анатичук Л. И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. – К.: Наукова думка, 1979. - 7 68 с

Надійшла до редакції 05.04.2018

Микитюк П.Д. канд. физ.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю. канд. физ.-мат. наук, доцент³

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина; *e-mail: anatyach@gmail.com*;
²Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58000, Украина *e-mail: anatyach@gmail.com*;
³Вищий державний навчальний заклад України «Буковинський
державний медичний університет», Театральна площа, 2,
Черновці, 58002, Україна

P.D.Mykytiuk^{1,2}, *Candidate Phys.-math. Sciences*
O.Yu.Mykytiuk³ *Candidate Phys.-math. Sciences, docent*

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine *e-mail: anatyach@gmail.com*;
²Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynskiyi str., Chernivtsi, 58000, Ukraine
e-mail: anatyach@gmail.com
³Higher State Educational Institution of Ukraine “Bukovinian State
Medical University”, 2, Theatre Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN A HEATER WITH A RESISTANCE VARIABLE ALONG ITS LENGTH IN A THERMOELECTRIC CONVERTER

This paper studies temperature distribution in a heater with variable resistance along its length which is used in a semiconductor thermal converter. It is established that maximum localization of temperature at point of contact between the heater and the thermocouple junction allows increasing the temperature in its centre almost twice as compared to conventional heater variant that significantly increases the sensitivity of thermal converter. Bibl. 2, Fig. 1, table 1.

Key words: heater, thermal converter, temperature distribution.

References

1. Mykytiuk P.D., Mykytiuk O.Yu. (2018). Impact of thermocouple on temperature distribution in the heater of measuring thermal converter. *J. Thermoelectricity*, 1, 78-81
2. Anatyachuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiye ustroystva: Spravochnik* [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].

Submitted 05.04.2018