

СЕНСОРИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

SENSORS AND INFORMATION SYSTEMS

PACS number(s): 81.05.Xj, 84.60.Rb

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.4.294630>

ВПЛИВ ВИХРОВИХ СТРУМІВ НА ПАРАМЕТРИ АНІЗОТРОПНОГО УНІПОЛЯРНОГО ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

А. А. Ащеулов¹, О. С. Веренко², М. Я. Дерев'янчук², Д. О. Лавренюк²

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України

вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна, ashcheulov.anatoly@gmail.com

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58002, Україна, m.derevianchuk@ukr.net

ВПЛИВ ВИХРОВИХ СТРУМІВ НА ПАРАМЕТРИ АНІЗОТРОПНОГО УНІПОЛЯРНОГО ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

А. А. Ащеулов, О. С. Веренко, М. Я. Дерев'янчук, Д. О. Лавренюк

Анотація. Проведена оцінка впливу вихрових термоелектричних і електричних струмів та вихрових теплових потоків на величину поперечного термоЕРС E_{\perp} і ККД η анізотропного уніполярного термоелемента. У випадку поперечного термоЕРС анізотропного уніполярного термоелемента оцінка такого впливу проводилась з врахуванням вихрового струму який обумовлений анізотропією термоЕРС, а для оцінки ККД η – з врахуванням вихрових струмів, що обумовлені анізотропією коефіцієнтів термоЕРС α_{ik} , електропровідності σ_{ik} і теплопровідності κ_{ik} ($i, k = 1..3$). Результати досліджень показали, що вплив вихрового термоелектричного струму веде до зміни значення оптимального кута нахилу γ та деякого зменшення величини поперечного термоЕРС E_{\perp} . ККД η під дією вихрових термоелектричних і електричних струмів та вихрового теплового потоку зазнає значнішого впливу. Проведені дослідження показують, що такі анізотропні уніполярні термоелементи на основі стандартних анізотропних уніполярних матеріалів (наприклад, $CdSb$ –антимонід кадмію) можуть бути використано у якості сенсорів приймачів прохідного типу для контролю густини лазерного випромінювання у спектральному діапазоні 2,9–40,0 мкм.

Ключові слова: анізотропія, термоелемент, вихровий струм, термоЕРС, електропровідність, теплопровідність, ККД

THE INFLUENCE OF EDDY CURRENTS ON PARAMETERS OF ANISOTROPIC UNIPOLAR THERMOELEMENT

A. A. Ashcheulov, O. S. Verenko, M. Ya. Derevianchuk, D. O. Lavreniuk

Abstract. The impact of eddy thermoelectric and electric currents and eddy heat fluxes on the value of transverse thermoEMF E_{\perp} and efficiency η of an anisotropic unipolar thermocouple was evaluated. In the case of transverse thermoEMF of an anisotropic unipolar thermoelement, the assessment of such influence was carried out taking into account the eddy current caused by the anisotropy of the thermoEMF, and for the evaluation of the efficiency η – taking into account the eddy currents caused by the anisotropy of the coefficients of thermoEMF α_{ik} , electrical conductivity σ_{ik} and thermal conductivity κ_{ik} ($i, k = 1..3$). The research results showed that the effect of the eddy thermoelectric current leads to a change in the value of the optimal angle of inclination γ and a certain decrease in the value of the transverse thermoelectric power E_{\perp} . Efficiency η under the action of eddy thermoelectric and electric currents and eddy heat flow is more significantly affected. The conducted studies show that such anisotropic unipolar thermoelements based on standard anisotropic unipolar materials (for example, *CdSb* – cadmium antimonide) can be used as sensors of pass-through type receivers to control the density of laser radiation in the spectral range of 2.9–40.0 μm .

Keywords: anisotropy, thermocouple, eddy current, thermoEMF, electrical conductivity, thermal conductivity, efficiency

Вступ

У 1882 році В. Томсон отримав вираз поперечного термоЕРС, що виникає у анізотропних структурах. Пізніше, Г. Бореліус, керуючись результатами досліджень В. Томсона, записав формулу для поперечного термоЕРС у залежності від геометричних розмірів анізотропної пластини. [1]. Експериментальні дослідження цього явища було проведено на початку 60-х років минулого століття Л. Анагичуком [2, 3].

Наявність однієї гілки, відсутність класичних спаїв, взаємоперпендикулярність електричного та теплового полів сприяло підвищенню інтересу дослідників, що привело до появи низки різноманітних пристроїв та приладів на його основі [4]. У цьому напрямку вже опубліковано досить велику кількість досліджень, які показали його перспективність, яка, на жаль, стримується малим значенням термоелектричної ефективності існуючих анізотропних уніполярних термоелектричних матеріалів (АУТМ). Відомі різні процеси визначення добротності анізотропних термоелектричних матеріалів, у тому числі і безконтактним спо-

собом [5]. Проте всі отримані результати вимірювань свідчать про необхідність відшукання способів і методів покращення існуючих показників термоелектричної ефективності АУТМ.

Фізична модель анізотропного уніполярного термоелемента

Основними параметрами анізотропних термоелементів запропонованих В. Томсоном на основі АУТМ є поперечна термоЕРС E_{\perp} та його ККД η , які для невеликих ΔT при нехтуванні впливами ефектів Томсона і Бріджмена, представляються наступними виразами

$$E_{\perp} = \frac{1}{2}(\alpha_{11} - \alpha_{22}) \sin 2\gamma \frac{a}{b} \Delta T, \quad (1)$$

$$\eta = \frac{1}{4} Z_u (T_1 - T_2), \quad (2)$$

де Z_u – добротність АУТМ у класичному представленні. Цей параметр Z_u , у класичному вигляді, для анізотропного уніполярного термоелемента (АУТ) поперечного типу представляється наступним виразом [3]

$$Z_u = \frac{\sigma_{11}\sigma_{22}(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 \cos^2 \gamma \sin^2 \gamma}{(\kappa_{11} \cos^2 \gamma + \kappa_{22} \sin^2 \gamma)(\sigma_{11} \cos^2 \gamma + \sigma_{22} \sin^2 \gamma)}, \quad (3)$$

де $\alpha_{11}, \alpha_{22}, \sigma_{11}, \sigma_{22}, \kappa_{11}, \kappa_{22}$ – діагональні компоненти тензорів другого рангу $\hat{\alpha}$ (тензор термоЕРС), $\hat{\sigma}$ (тензор електропровідності), $\hat{\kappa}$ (тензор теплопровідності) які мають наступний вигляд [6]

$$\hat{\alpha} = \alpha_0 \begin{vmatrix} \alpha_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{33} \end{vmatrix}, \quad \hat{\sigma} = \sigma_0 \begin{vmatrix} \sigma_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{33} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$\hat{\kappa} = \kappa_0 \begin{vmatrix} \kappa_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \kappa_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_{33} \end{vmatrix}.$$

Як відомо АУТ являє собою прямокутну пластину довжиною a , шириною b та висотою c вибрана кристалографічна вісь OX з зна-

ченнями $\alpha_{11}, \sigma_{11}, \kappa_{11}$ та вісь OY з значеннями $\alpha_{22}, \sigma_{22}, \kappa_{22}$ розташовано у площині її бічної грані $a \times b$ та орієнтовано під деяким кутом γ (Рис. 1).

Таке розташування веде до появи, як поперечної так і поздовжньої складових вищезазначених тензорів

$$\alpha_{\parallel} = \alpha_0 (\alpha_{11} \cos^2 \gamma + \alpha_{22} \sin^2 \gamma), \quad \alpha_{\perp} = \alpha_0 (\alpha_{11} - \alpha_{22}) \sin \gamma \cos \gamma, \quad (5)$$

$$\sigma_{\parallel} = \sigma_0 (\sigma_{11} \cos^2 \gamma + \sigma_{22} \sin^2 \gamma), \quad \sigma_{\perp} = \sigma_0 (\sigma_{11} - \sigma_{22}) \sin \gamma \cos \gamma, \quad (6)$$

$$\kappa_{\parallel} = \kappa_0 (\kappa_{11} \cos^2 \gamma + \kappa_{22} \sin^2 \gamma), \quad \kappa_{\perp} = \kappa_0 (\kappa_{11} - \kappa_{22}) \sin \gamma \cos \gamma. \quad (7)$$

Згідно співвідношення Самойловича [7, 8]

$$\frac{\partial \alpha_{11}}{\partial x} \neq \frac{\partial \alpha_{22}}{\partial y}, \quad \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x} \neq \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial y}, \quad \frac{\partial \kappa_{11}}{\partial x} \neq \frac{\partial \kappa_{22}}{\partial y} \quad (8)$$

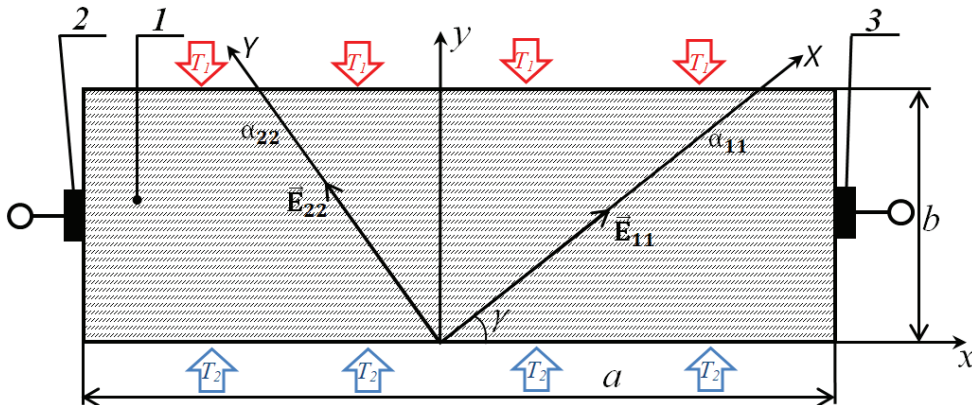


Рис. 1. Структурна схема анізотропного уніполярного термоелемента (T_1 – температура гарячої грані пластини, T_2 – температура холодної грані пластини, 1 – анізотропна пластинка, 2, 3 – вихідні контакти).

прикладання градієнта температур $\partial T / \partial y$ веде до виникнення в її об'ємі відповідних бокових вихрових термоелектричних і електричних полів та струмів, вихрового теплового потоку [9], які дещо змінюють величину термоелектричної добротності Z_u .

Для оцінки величини їх впливу на поперечну термоЕРС Томсона E_{\perp} та ККД η знаходимо коефіцієнти перетворення $m_{\alpha}, m_{\sigma}, m_{\kappa}$, які матимуть наступний вигляд:

$$m_{\alpha} = \frac{\alpha_{\perp}}{\alpha_{\parallel}} = \frac{(\alpha_{11} - \alpha_{22}) \tan \gamma}{\alpha_{11} + \alpha_{22} \tan^2 \gamma}, \quad (9)$$

$$m_{\sigma} = \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\parallel}} = \frac{(\sigma_{11} - \sigma_{22}) \tan \gamma}{\sigma_{11} + \sigma_{22} \tan^2 \gamma}, \quad (10)$$

$$m_{\kappa} = \frac{\kappa_{\perp}}{\kappa_{\parallel}} = \frac{(\kappa_{11} - \kappa_{22}) \tan \gamma}{\kappa_{11} + \kappa_{22} \tan^2 \gamma}. \quad (11)$$

Відмітимо, що коефіцієнти $m_\alpha, m_\sigma, m_\kappa$ визначаються як коефіцієнтами анізотропії $K_\alpha = \alpha_{11}/\alpha_{22}$, $K_\sigma = \sigma_{11}/\sigma_{22}$, $K_\kappa = \kappa_{11}/\kappa_{22}$, так і тангенсом кута нахилу – $\tan \gamma$. При цьому, в залежності від застосованого АУТМ, ці коефіцієнти можуть мати значення як більші за 1, так і менші 1. Також слід відмітити, що у залежності від значень $K_\alpha, K_\sigma, K_\kappa$ залежить напрямок обертання вихорів з ламінарним характером течії, що виникають в об'ємі АУТМ. При

$K_\alpha, K_\sigma, K_\kappa \in (0;1)$ вихорі мають лівосторонній напрям обертання, а при $K_\alpha, K_\sigma, K_\kappa \in (1; \infty)$ – правосторонній.

У випадку протікання струму через АУТ у режимі охолодження – числовий аналіз значень показує, що для вивчення впливу цих величин на значення добротності Z_u оптимальніше застосовувати зведений коефіцієнт перетворення m_z

$$m_z = \frac{m_\alpha^2 \cdot m_\sigma}{m_\kappa} = \frac{(\alpha_{11} - \alpha_{22})^2 (\sigma_{11} - \sigma_{22}) (\kappa_{11} + \kappa_{22} \tan^2 \gamma) \tan^2 \gamma}{(\alpha_{11} + \alpha_{22} \tan^2 \gamma)^2 (\sigma_{11} + \sigma_{22} \tan^2 \gamma) (\kappa_{11} - \kappa_{22})}. \quad (12)$$

При використанні такого класичного анізотропного уніполярного матеріалу, як антимонід кадмію ($CdSb$) в області температур $200-280 K$, вищезгадані коефіцієнти характеризуватимуться наступними величинами $K_\alpha, K_\kappa \in (0;1)$, а $K_\sigma \in (1; \infty)$ [10].

Для інших матеріалів ($Zn, Bi, ZnSb, CdAs_2, \dots$) коефіцієнти $K_\alpha, K_\sigma, K_\kappa$ характеризуються іншими значеннями.

На Рис. 2 наведено залежність функції $m_\alpha(K), m_\sigma(K), m_\kappa(K)$ аналіз якого показує, що величина m при $0 < K < 1$ обмежена значенням (-1) .

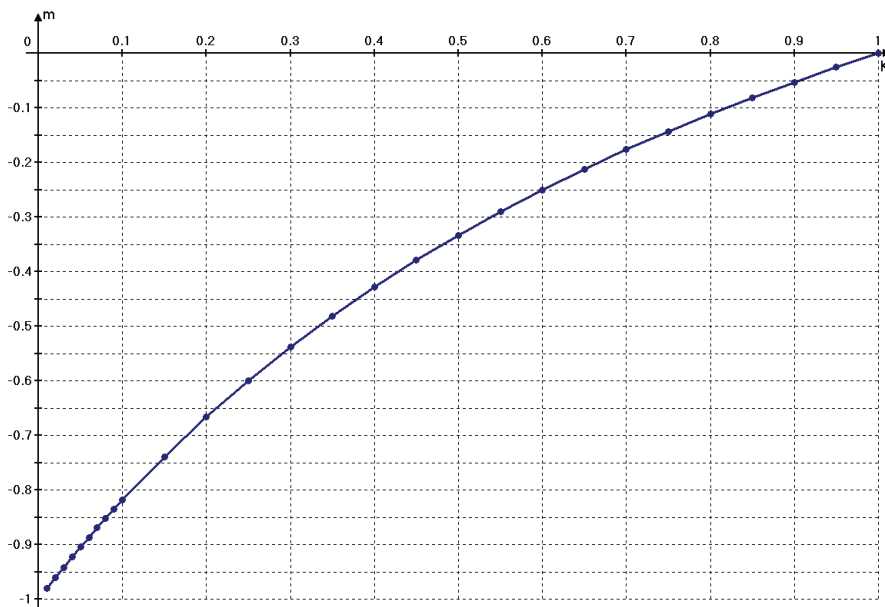


Рис. 2. Залежність $m(K)$, при куті $\gamma = 45^\circ$ ($0 < K < 1$).

Для $1 < K < \infty$, при куті $\gamma = 45^\circ$, функції $m_\alpha(K), m_\sigma(K), m_\kappa(K)$ обмежені верхнім значенням 1 (Рис. 3).

Таким чином загальний вигляд термоелектричної добротності АУТ матиме наступний вигляд:

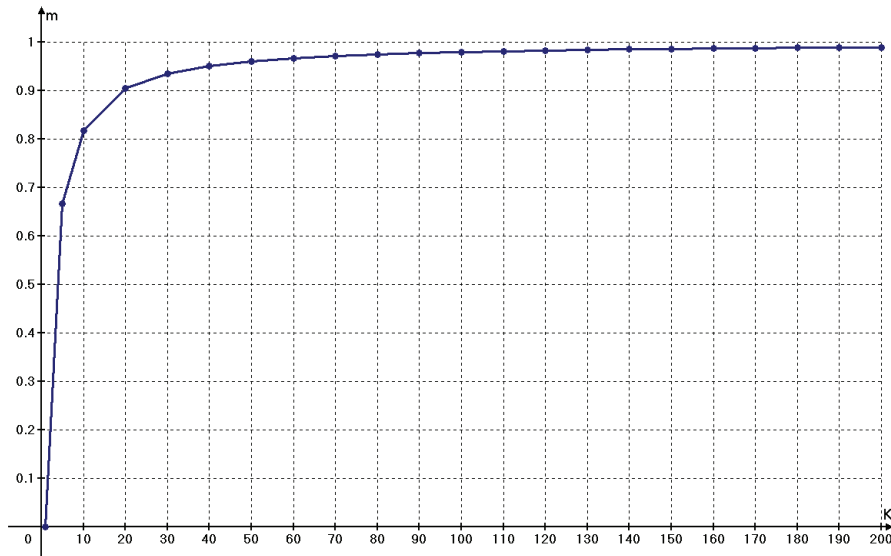


Рис. 3. Залежність $m(K)$, при куті $\gamma = 45^\circ$ ($1 < K < \infty$).

$$Z_u^* = Z_u \cdot m_z = \frac{\sigma_{11}\sigma_{22}(\alpha_{11} - \alpha_{22})^2 (\sigma_{11} - \sigma_{22})^3 \tan^4 \gamma}{(\alpha_{11} + \alpha_{22} \tan^2 \gamma)^2 (\sigma_{11} + \sigma_{22} \tan^2 \gamma)^2 (\kappa_{11} - \kappa_{22})} \quad (13)$$

Для отримання значення поперечного термоЕРС E_{\perp}^* із врахуванням вихрових токів з ламінарним характером течії необхідно використувати наступну формулу

$$E_{\perp}^* = E_{\perp} \cdot m_{\alpha} = \frac{4(\alpha_{11} - \alpha_{22})^2 \tan^2 \frac{\gamma}{2}}{(\alpha_{11} + \alpha_{22} \tan^2 \gamma) \left(1 + \tan^2 \frac{\gamma}{2}\right)^2} \frac{a}{b} \Delta T \quad (14)$$

Обговорення

Для оцінки впливу вихрових термоелектричних струмів, з ламінарним характером течії, на значення поперечної термоЕРС E_{\perp} проведемо чисельні розрахунки на прикладі однієї уніполярної анізотропної структури. У таблиці 1, для порівняння, представимо значення термоЕРС E_{\perp} , обчислене за формулою (1) та значення термоЕРС E_{\perp}^* – згідно формули (14), для антимоніду кадмію (*CdSb*) в області температур 200–280 K ($a/b = 10$, $\Delta T = 1$). Наведемо значення E_{\perp} та E_{\perp}^* у випадках нахилу кристолографічної осі *OX* до довжини *a* під кутами $\gamma = 30^\circ; 45^\circ; 60^\circ$.

Таблиця 1

Значення термоЕРС при різних кутах нахилу вибраної кристолографічної осі

γ	30°	45°	60°
E_{\perp} (мкВ)	1281,72	1480,0	1281,72
E_{\perp}^* (мкВ)	535,11	940,09	1033,21

Із таблиці 1 робимо висновки, що у випадку застосування такого матеріалу, як антимонід кадмію (*CdSb*) вплив на поперечну термоЕРС E_{\perp} складає 58% ($\gamma = 30^\circ$), 36% ($\gamma = 45^\circ$) та 19% ($\gamma = 60^\circ$).

У відповідності роботі [11], для великих $Z_u^* \cdot \bar{T}$, більш точне ККД анізотропного уніполярного термоелемента, без врахування температурної залежності α , σ і κ , слід вираховувати за формулою

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \frac{1}{1 + \frac{2(1 + \bar{M}_1)}{Z_u^* T_1}} \quad (15)$$

де

$$\bar{M}_1 = \sqrt{\frac{\left[1 + Z_u^* \left(\bar{T} + \frac{T_1 - T_2}{2}\right)\right] \left[1 + Z_u^* \left(\bar{T} - \frac{T_1 - T_2}{2}\right)\right]}{Z_u^* (T_1 - T_2)}} \cdot \ln \frac{1 + Z_u^* \left(\bar{T} + \frac{T_1 - T_2}{2}\right)}{1 + Z_u^* \left(\bar{T} - \frac{T_1 - T_2}{2}\right)}. \quad (16)$$

Чисельні оцінки показують, що вихрові термоелектричні, електричні струми та теплові потоки, що характеризуються ламінарним характером течії дещо зменшують величини як поперечного термоЕРС E_{\perp} , так і ККД η АУТ.

Висновки

Досліджено вплив вихрових термоелектричних, електричних струмів та теплових потоків з ламінарним характером течії на величини термоЕРС E_{\perp} та ККД η . Результати досліджень показали, що у класичному випадку максимальне значення поперечного термоЕРС E_{\perp} спостерігається при куті $\gamma = 45^\circ$, а вплив вихрового термоелектричного струму обумовленого анізотропією коефіцієнта термоЕРС $\hat{\alpha}$ веде до зміни оптимального кута γ при деякому зменшенні величини термоЕРС.

Аналіз отриманих результатів демонструє, що вплив розглядуваних вихорів з ламінарним характером течії на поперечну термоЕРС E_{\perp} не такий суттєвий, як на ККД η . Чисельний аналіз показує, що у випадку застосування такого матеріалу, як антимонід кадмію (CdSb) вплив на поперечну термоЕРС складає 64% (при куті $\gamma = 45^\circ$), а на ККД вплив є суттєвішим.

Таким чином, вищезгаданий АУТ рекомендовано застосувати у якості сенсорів ряду оригінальних приладів та пристроїв, наприклад у якості сенсорів приймача прохідного типу для контролю густини лазерного випромінювання у спектральному діапазоні 2,9–40,0 мкм. [10, 12].

Список використаної літератури

[1]. AL. Chapt 13. William Thomson (Lord Kelvin) and thermoelectricity. In: Collins M, Dougal R, Koenig C, Ruddock I, editors. Kelvin, Thermodynamics and the Natural World. WIT

Press; 2015. pp. 337–362. doi: 10.2495/978-1-84564-149-8/014.

[2]. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity. Vol. 1. Physics of Thermoelectricity. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity (1998).

[3]. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric power converters. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity (2003).

[4]. Whatmore R. W. Pyroelectric devices and materials // Rep. Prog. Phys. – v.49. – p.1335–1386 (1986).

[5]. Ashcheulov, A. A., Balaziukuk, V. N., Belychuk D. D., Lavreniuk, D. O., Romaniuk, I. S. and Romaniuk, B. I., Protse bezkontaktneho vyznachennia dobrotnosti anizotropnykh termoelektrychnykh materialiv, Patent Ukrainy № 143093 (2020) (in Ukrainian).

[6]. Nye J. F. Physical Properties of Crystals: Their Representation by Tensors and Matrices. Oxford University Press, Oxford (1985).

[7]. Termoelektrychni i termomahnitni metody peretvorennia enerhii: konspekt lektsii profesora A. H. Samoilovycha. Chernivtsi: Ruta, 228 s. (2006) (in Ukrainian).

[8]. Ashcheulov, A, Derevianchuk, M, Lavreniuk, D. The method of turbulent transformation of energy. *Engineering Reports*. 5(7): e12620 (2023). doi: 10.1002/eng.2.12620.

[9]. Carslaw H., Jaeger J. Conduction of Heat in Solids. 2 edition. – Oxford University Press, USA, 510 p. (1959).

[10]. Ashcheulov A. A., Romaniuk I. S. Anizotropni optychni termoelementy na osnovi antymonidu kadmiu ta yikh zastosuvannia // A. A. Ashcheulov, I. S. Romaniuk. – Chernivtsi: Zoloti lytavry, 228 s. (2012) (in Ukrainian).

[11]. Slipchenko V. N. Do pytannia pro KKD anizotropnoho termoelementa // UFZh. – T. 21, № 1. – s. 124–129 (1976) (in Ukrainian).

[12]. Ashcheulov, A. A. Anizotropnyi termoelektrychnyi sensor, Patent Ukrainy № 39677 (2009) (in Ukrainian).

Стаття надійшла до редакції 28.11.2023 р.

PACS number(s): 81.05.Xj, 84.60.Rb

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.4.294630>

THE INFLUENCE OF EDDY CURRENTS ON PARAMETERS OF ANISOTROPIC UNIPOLAR THERMOELEMENT

A. A. Ashcheulov¹, O. S. Verenko², M. Ya. Derevianchuk², D. O. Lavreniuk²

¹Institute of Thermoelectricity, National Academy of Sciences and Ministry of Education and Science of Ukraine, 1 Nauky Street, Chernivtsi, 58029, Ukraine, ashcheulov.anatoly@gmail.com

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsyubynskogo Street, Chernivtsi, 58002, Ukraine, m.derevianchuk@ukr.net

Summary

The purpose of this study is to evaluate the influence of eddy thermoelectric and electric currents and eddy heat flows with a laminar flow character on the value of transverse thermoEMF E_{\perp} and efficiency η of an anisotropic unipolar thermocouple. In the case of transverse thermoEMF of an anisotropic unipolar thermoelement, the assessment of such influence was carried out taking into account the eddy current caused by the anisotropy of the thermoEMF, and for the evaluation of the efficiency η – taking into account the eddy currents caused by the anisotropy of the coefficients of thermoEMF α_{ik} , electrical conductivity σ_{ik} and thermal conductivity κ_{ik} ($i, k = 1..3$). The research results showed that the influence of the studied current leads to a change in the value of the optimal angle of inclination γ between one of the selected crystallographic axes and the length a of the thermoelement and to some decrease in the value of the transverse thermoelectric power. Efficiency η under the action of eddy thermoelectric and electric currents and eddy heat flow is more significantly affected. Numerical analysis shows that in the case of using such a material as cadmium antimonide, the effect on the transverse thermoEMF is 36% ($\gamma = 45^{\circ}$), and the effect on the efficiency is more significant.

Thus, the above-mentioned anisotropic unipolar thermocouple is recommended to be used as a sensor of a number of original devices and devices, for example, as sensors of a pass-through type receiver for controlling the density of laser radiation in the spectral range of 2.9–40.0 μm .

Keywords: anisotropy, thermocouple, eddy current, thermoEMF, electrical conductivity, thermal conductivity, efficiency

PACS number(s): 81.05.Xj, 84.60.Rb

DOI: <https://doi.org/10.18524/1815-7459.2023.4.294630>

ВПЛИВ ВИХРОВИХ СТРУМІВ НА ПАРАМЕТРИ АНІЗОТРОПНОГО УНІПОЛЯРНОГО ТЕРМОЕЛЕМЕНТА

А. А. Ащеулов¹, О. С. Веренко², М. Я. Дерев'янчук², Д. О. Лавренюк²

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України

вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна, ashcheulov.anatoly@gmail.com

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58002, Україна, m.derevianchuk@ukr.net

Реферат

Метою даного дослідження є оцінка впливу вихрових термоелектричних і електричних струмів та вихрових теплових потоків з ламінарним характером течії на величину поперечного термоЕРС E_{\perp} і ККД η анізотропного уніполярного термоелемента. У випадку поперечного термоЕРС анізотропного уніполярного термоелемента оцінка такого впливу проводилась з врахуванням вихрового струму який обумовлений анізотропією термоЕРС, а для оцінки ККД η – з врахуванням вихрових струмів, що обумовлені анізотропією коефіцієнтів термоЕРС α_{ik} , електропровідності σ_{ik} і теплопровідності κ_{ik} ($i, k = 1..3$). Результати досліджень показали, що вплив струму, що досліджується, веде до зміни значення оптимального кута нахилу γ між однією із вибраних кристалографічних осей та довжиною a термоелемента і деякого зменшення величини поперечного термоЕРС E_{\perp} . ККД η під дією вихрових термоелектричних і електричних струмів та вихрового теплового потоку зазнає значнішого впливу. Чисельний аналіз показує, що у випадку застосування такого матеріалу, як антимонід кадмія вплив на поперечну термоЕРС складає 36% ($\gamma = 45^{\circ}$), а на ККД вплив є суттєвішим.

Таким чином вищезгаданий анізотропний уніполярний термоелемент рекомендовано застосовувати, як сенсор ряду оригінальних приладів та пристроїв, наприклад у якості сенсорів приймача прохідного типу для контролю густини лазерного випромінювання у спектральному діапазоні 2,9–40,0 мкм.

Ключові слова: анізотропія, термоелемент, вихровий струм, термоЕРС, електропровідність, теплопровідність, ККД