

УДК 621.315.592

І.В. Гуцул, А.А. Ашеулов

Вплив теплопровідності на параметри анізотропного термоелемента

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58012, Україна, тел. (037-2) 54-72-42, ss-dpt@chnu.cv.ua

Розглянуто вплив анізотропії теплопровідності на поперечну складову напруженості термоелектричного поля при різній взаємоорієнтації пластин і теплопроводу. Приведені вирази основних параметрів анізотропних термоелементів (АТ).

Ключові слова: анізотропна пластинка, теплопровід, анізотропія теплопровідності, променевий потік, електрорушійна сила.

Стаття поступила до редакції 29.08.2002; прийнята до друку 23.02.2003

Крім поперечної термоерс [1], зумовленої анізотропією коефіцієнтів термоерс [2] і електропровідності [3], значну зацікавленість являє питання її поведінки у випадку ефекту анізотропії теплопровідності [4].

Для цього розглянемо монокристалічну пластину

і розмірами $a \gg b > c$ (рис. 1, а), грані якої орієнтовані під деяким кутом φ таким чином, що тензори коефіцієнтів термоерс \mathcal{E} і теплопровідності \mathcal{K} в лабораторній системі координат XYZ задаються наступним чином [5]

$$\mathcal{E} = \begin{pmatrix} \alpha_{\parallel} \sin^2 \varphi + \alpha_{\perp} \cos^2 \varphi & 0 & (\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}) \sin \varphi \cos \varphi \\ 0 & \alpha_{\perp} & 0 \\ (\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}) \sin \varphi \cos \varphi & 0 & \alpha_{\parallel} \cos^2 \varphi + \alpha_{\perp} \sin^2 \varphi \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$\mathcal{K} = \begin{pmatrix} \kappa_{\parallel} \sin^2 \varphi + \kappa_{\perp} \cos^2 \varphi & 0 & (\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) \sin \varphi \cos \varphi \\ 0 & \kappa_{\perp} & 0 \\ (\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) \sin \varphi \cos \varphi & 0 & \kappa_{\parallel} \cos^2 \varphi + \kappa_{\perp} \sin^2 \varphi \end{pmatrix}.$$

На верхній грані цієї пластини задана густина променевого потоку q_0 , а її нижня грань знаходиться в теплоконтаті з теплопроводом 3 із того ж матеріалу, що і пластинка, бокові грані пластини адіабатично ізольовані, тобто

$$q_x = q_y = 0, \quad q|_{z=b} = q_0, \quad T|_{x=0,y=0} = T_0,$$

де q_x, q_y, q_z – компоненти вектора теплового потоку, T_0 – температура термостата 4. Компоненти тензорів \mathcal{E} і \mathcal{K} не залежать від температури і електричні струми відсутні. Кристалографічна орієнтація пластинки 1 аналогічна орієнтації теплопроводу 3.

У цьому випадку компоненти градієнта температури у точці

$$\frac{\partial T}{\partial x} = q_0 (\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) (\kappa_{\parallel} \kappa_{\perp})^{-1} \sin \varphi_1 \cos \varphi_1,$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = -q_0 (\kappa_{\parallel} \sin^2 \varphi_1 + \kappa_{\perp} \cos^2 \varphi_1) (\kappa_{\parallel} \kappa_{\perp})^{-1}$$

і ізотерми в об'ємах пластинки і теплопроводу розміщені під деяким кутом Ψ (рис. 2).

$$|\Psi| = \arctg[(\kappa_{\parallel} - \kappa_{\perp}) \sin \varphi_1 \times \\ \times \cos \varphi_1 (\kappa_{\parallel} \sin^2 \varphi_1 + \kappa_{\perp} \cos^2 \varphi_1)^{-1}].$$

Необхідно відмітити, що під цим кутом ψ виконана нижня грань теплопроводу, який знаходиться в теплоконтакті з термостатом 4.

Напруженість термоелектричного поля E_i^T , яке виникає у пластині [5,6]

$$E_{x_1}^T = \alpha_{11} \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha_{13} \frac{\partial T}{\partial z} = q_0 (\alpha_{\perp} \aleph_{\parallel} - \alpha_{\parallel} \aleph_{\perp}) \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (\aleph_{\parallel} \aleph_{\perp})^{-1}.$$

Якщо висота пластини задовольняє співвідношенню [7]

$$2b (\aleph_{\parallel} \sin^2 \varphi_1 + \aleph_{\perp} \cos^2 \varphi_1) \times [d (\aleph_{\parallel} \sin^2 \varphi_2 + \aleph_{\perp} \cos^2 \varphi_2)]^{-1} \leq 10^{-2},$$

де d – розмір теплопроводу у напрямку розповсюдження теплового потоку, то при повороті пластини 1 навколо b на кут 180° (рис. 1,б) напруженість термоелектричного поля $E_{x_2}^T$ задається наступним чином

$$E_{x_2}^T = q_0 (\alpha_{\parallel} \aleph_{\parallel} - \alpha_{\perp} \aleph_{\perp}) \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (\aleph_{\parallel} \aleph_{\perp})^{-1}.$$

У випадку використання теплопроводу 3 із іншого матеріалу, наприклад, шаруватого композиту, який оптимізований по максимуму анізотропії коефіцієнта теплопровідності згідно [8], напруженість термоелектричного поля $E_{x_3}^T$ має вигляд

$$E_{x_3}^T = q_0 (\alpha_{\parallel} \aleph'_{\parallel} - \alpha_{\perp} \aleph'_{\perp}) \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 (\aleph'_{\parallel} \aleph'_{\perp})^{-1}.$$

Таким чином, у наближенні тонкого шару в нашому випадку з'являється реальна можливість незалежного підбору відповідних матеріалів як для пластини 1, так і для теплопроводу 3.

Згідно [9,10], електрорушійна сила ξ і коефіцієнт корисної дії η розглядуваного пристрою задаються наступними співвідношеннями (для випадку $\varphi_1 = \varphi_2 = 45^\circ$)

$$\xi = 0.5 a q_0 (\alpha_{\parallel} \aleph'_{\parallel} - \alpha_{\perp} \aleph'_{\perp}) (\aleph'_{\parallel} \aleph'_{\perp})^{-1},$$

$$\eta = \eta_k \{1 + (T_1 - T_0)(1 + m^2)\} \times \rho \left[0,25 T_1 b q_0 m (\alpha_{\parallel} \aleph'_{\parallel} - \alpha_{\perp} \aleph'_{\perp})^2 (\aleph'_{\parallel} \aleph'_{\perp})^{-2} \right]^{-1},$$

де η_k – к.к.д. циклу Карно, ρ – питомий опір матеріалу пластини, $m = R_H R_a^{-1}$, R_H – опір навантаження, $R_a = \rho a (bc)^{-1}$ – опір пластини, T_1 – температура верхньої грані пластини.

Якщо використовувати такий АТ як датчик промених потоків, то його характеристики, такі як вольт-ватна чутливість S , потужність еквівалентного шуму ПЕШ і постійна часу мають наступний вигляд

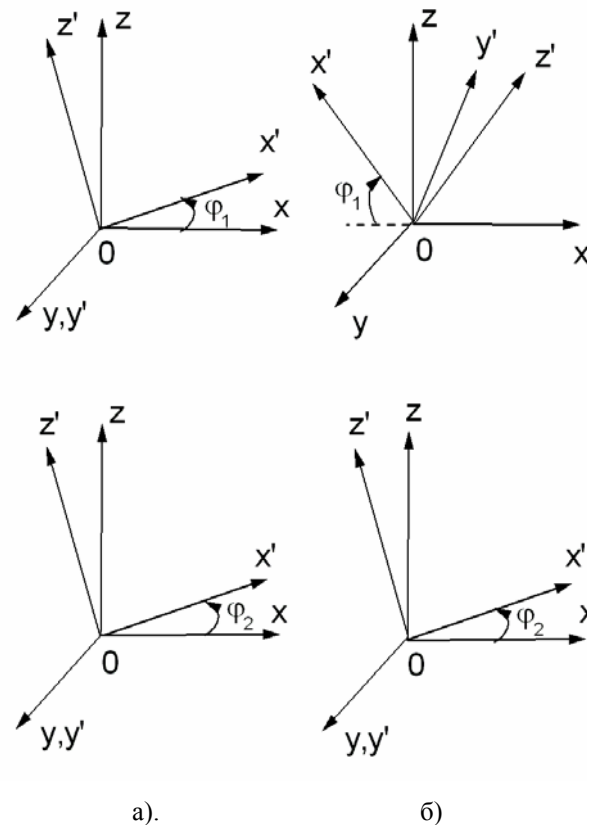
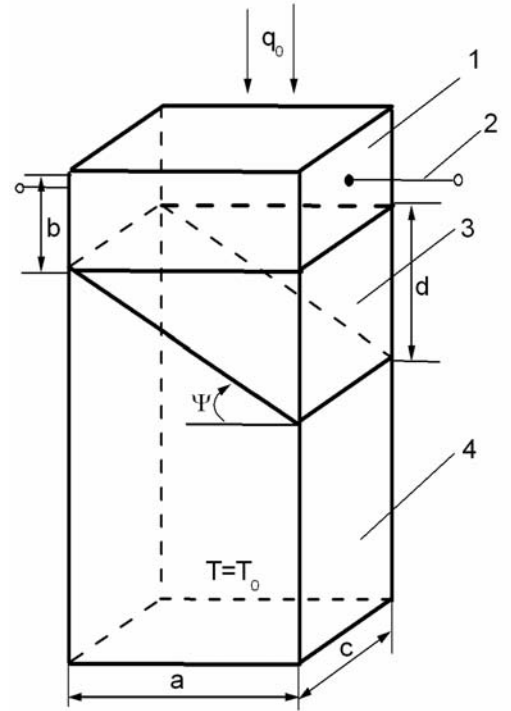


Рис. 1. Анізотропний термоелемент: 1 – анізотропна пластинка; 2 – електровиводи; 3 – теплопровід; 4 – термостат. Внизу наведені кристалографічні орієнтації пластини і теплопроводу: а) до переорієнтації пластини; б) після переорієнтації пластини.

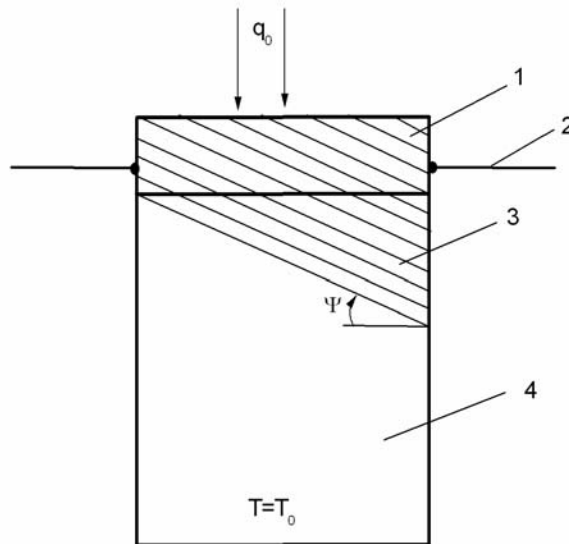


Рис. 2. Розподіл ізотерм в об'ємах пластини 1 і теплопроводу 3.

$$S = 0,5 (\alpha_{\parallel} S'_{\parallel} - \alpha_{\perp} S'_{\perp}) (S'_{\parallel} S'_{\perp})^{-1},$$

$$\text{ПЕШ} = 8 (k_0 T_0 a b^{-1} c)^{1/2} (\alpha_{\parallel} S'_{\parallel} - \alpha_{\perp} S'_{\perp}) (S'_{\parallel} S'_{\perp})^{-1},$$

$$\tau = 0,4 b^2 a_0^{-1},$$

де k_0 – постійна Больцмана, T – середня температура, a_0 – температуропровідність матеріалу АТ.

Аналіз властивостей реально існуючих анізотропних термоелектричних матеріалів показує, що для створення високоефективних датчиків, які працюють при високих температурах, необхідно використовувати для пластини 1 силіциди хрому і

марганцю, а також монокристали ренію і берилію. Для анізотропних датчиків, які працюють при кімнатних температурах, найбільш придатними є монокристали вісмуту [3], а також евтектичні композиції CdSb-MeSb, де Me – Ni, Co, Mn, Fe [13].

Таким чином, анізотропія теплопровідності дозволяє підвищити якісно – кількісні показники АТ і розширити область їх застосування.

Гуцул І.В. – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри теоретичної фізики;
Ащеулов А.А. – доктор технічних наук, професор.

- [1] W. Tomson. On thermoelectric currents in linear conductors of crystallintidiens. // *Math.Phys.Papers*, **1**, pp.266-273 (1882).
- [2] А.Г. Самойлович, Л.Л. Коренблум. Современное состояние термоэлектрических и термомагнитных явлений в полупроводниках. // *УФН*, **49**(2), с.243-259(1953).
- [3] Л.И. Анатычук. *Термоэлементы и термоэлектрические устройства*. Наукова думка, Киев (1979).
- [4] M. Kohler. Dependence of thermoelectric phenomena from crystalline orientation. // *Annal.Phys.*, **40**(13), pp.243-249 (1941).
- [5] И.М. Пилат, А.Б. Беликов, Л.Л. Казанская, А.А. Ащеулов. Влияние анизотропии теплопроводности на поперечную термоэдс в анизотропных средах // *ФТП*, **10**(5), сс.1019-1021 (1976).
- [6] А.А. Ащеулов, А.Б. Беликов, А.И. Раренко. Поперечная термоэдс, обусловленная анизотропией теплопроводности // *УФЖ*, **38**(8), сс.1226-1231 (1993).
- [7] А.А. Ащеулов. Фізико-хімічні основи технології оптичних, анізотропних термоелектричних і оптикотермоелектричних матеріалів з антимоніду кадмію. // *Автореф. дис...доктора техн. наук*. Чернівці. 47с.
- [8] В.П. Бабин, Г.С. Гудкин, Э.И. Дашевский и др.. Искусственно-анизотропные термоэлементы и их предельные возможности // *ФТП*, **8**(4), сс.748-754 (1974).
- [9] В.М. Сліпченко. До питання про ККД анізотропних термоелементів // *УФЖ*, **21**(1), сс.124-129 (1976).
- [10] А.А. Ащеулов, І.В. Гуцул, А.И. Раренко. Анізотропний термоелемент внутрішнього оптичного отраження // *УФЖ*, **38**(6), сс.923-928 (1993).
- [11] А.А. Ащеулов, И.М. Пилат, И.М. Раренко. Влияние на вольт-ваттную чувствительность АТ // *Физ.электроника*, **21**, сс.98-100 (1980).

- [12] А.А. Ащеулов, А.Б. Беликов, С.М. Куликовская. Радиационные термоэлементы на основе эффекта анизотропии // *Оптический журнал*, **8**, сс.68-70 (1993).
- [13] А.А. Ashcheulov, I.M. Rarenko, N.K. Voronka. Optimezed materials based on cadmium antimonide and their application. // *J.of Thermoelectricity*, **3**, pp. 73-78 (1995).

I.V. Gutsul, A.A. Ashcheulov

The Influence of Thermoconductivity on the Parameters of Anisotropic Thermoelement

*Juri Fedkovich Chernivtsi National University,
2, Kotsubinski Str., Chernivtsi, 58012*

The influence of the thermoconductivity anisotropy on the transversal component of thermoelectric field strength for different orientation of the plate and the thermoconductor is considered. The expressions for the main parameters of the anisotropic thermoelements (AT) are presented.