

## ДО ПИТАННЯ ПРО ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ШТУЧНО-АніЗОТРОПНИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ

Указано на помилковість характеристик штучно-анізотропних термоелементів. Окреслено один з можливих шляхів її усунення.

Mistaken characteristics of artificial-anisotropic thermoelement have been pointed out [1]. One of the possible way of correcting has been outlined.

В працях [1, 2] розглянуто можливості використання неоднорідного середовища для створення анізотропного термоелемента. Середовище являє собою систему смуг 1 і 2, матеріали яких мають різні кінетичні коефіцієнти:  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – термоерс;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  і  $\chi_1$ ,  $\chi_2$  – питомі опори і питомі теплопровідності;  $d_1$  і  $d_2$  – ширини,  $h$  – висоти смуг (рис. 1). Вважається, що смужки знаходяться в ідеальному електричному і тепловому контактах між собою. При достатньо малих  $d_1$  і  $d_2$  таке середовище можна вважати анізотропним і описувати його властивості тензорами другого рангу.

Автори [1] правильно відзначають, що при достатньо малих  $d_1$  і  $d_2$  порівняно із розмірами зразка його матеріал можна вважати неперервним анізотропним середовищем і описувати кінетичні коефіцієнти за допомогою тензорів другого рангу.

Наприклад, тензор термоерс в осях  $x_0$ ,  $y_0$  матиме вигляд

$$\bar{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_{11}^0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22}^0 \end{pmatrix},$$

де  $\alpha_{11}^0$  і  $\alpha_{22}^0$  – термоерс вздовж осей  $x_0$ ,  $y_0$ . Ана-

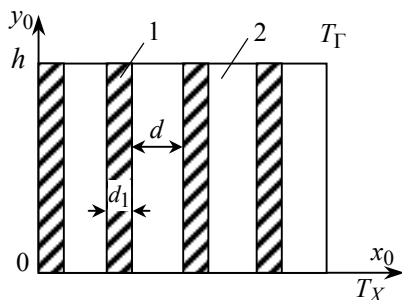


Рис. 1. Принципова схема штучно-анізотропного середовища: 1 і 2 – смужки, виготовлені з різних матеріалів.

логічно представляються тензори  $\hat{\rho}$  і  $\hat{\chi}$ . Вирази для компонент  $\alpha_{11}^0$ ,  $\alpha_{22}^0$ ,  $\rho_{11}^0$ ,  $\rho_{22}^0$ ,  $\chi_{11}^0$  знайдені в [1]. Вираз  $\chi_{22}^0$  знайти важче, бо треба врахувати ефект вихрових термоелектричних струмів (ВТС) [2], який тут виникає. Це зробити нелегко, тому що у формуванні ВТС беруть участь усі смужки, внаслідок чого задача стає дуже громіздкою і знайти аналітичний її розв'язок практично неможливо (рис. 2). Тому автори [1] вважають, що в формуванні ВТС основну роль відіграють лише дві сусідні смужки, які "утворюють короткозамкнутий контур, в якому внаслідок ефекта Зеебека циркулює струм" силою

$$I = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{\rho_1 / d_1 + \rho_2 / d_2} \frac{T_{\Gamma} - T_X}{h}.$$

Цей вираз справедливий лише за умови, коли при закорочених торцях бічні сторони смужок електроізолювані, що суперечить прийнятій моделі системи смужок.

Отже, вираз для сили струму в рамках прийнятої моделі обґрунтувати неможливо і тому його справедливості є сумнівною. Разом з цим, результати, одержані з його допомогою, є кардинальни-

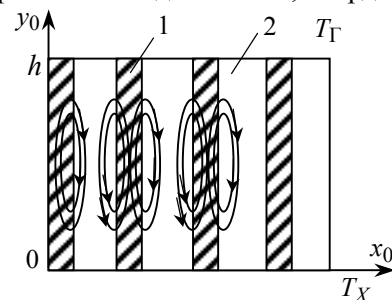


Рис. 2. Принципова схема розподілу ліній ВТС у штучно-анізотропному середовищі під дією градієнта температури  $(T_{\Gamma} - T_X)/h$ .

ми: на них побудована вся обчислювальна частина праці [1]. Щоб зробити правильний розрахунок у цьому випадку, потрібно знайти компоненти густини ВТС і далі  $\chi_{22}^0$ . Для правильного

обчислення  $\chi_{22}^0$  слід розглядати цю саму задачу для всієї системи смуг. Потрібно записати закони збереження енергії та числа часток в диференціальній формі в стаціонарному випадку з урахуванням теплових граничних умов і умов електричної ізоляції. Теплові граничні умови можуть бути, наприклад, такими:  $T(x,0)=T_0$ ,  $T(x,h)=T_\Gamma$  – ізотермічні умови,  $\frac{\partial T(0,y)}{\partial x} = \frac{\partial T(l,y)}{\partial x} = 0$  – адіабатична ізоляція бокових граней, де  $T_0$  і  $T_\Gamma$  – температури нижньої і верхньої грані (рис. 2). Умови електричної ізоляції – це рівність нулю нормальних до границі зразка складових густини електричного струму. Крім цього, потрібні ще умови зшивання на границях смужок по густині струму, по тепловому потоку, температурі і потенціалу. Диференціальні рівняння (згадані вище закони), які при цьому треба розв'язати, – це рівняння відносно температури і потенціалу, – є нелінійними і знайти їх розв'язок практично неможливо.

Краще при розрахунку  $\chi_{22}^0$  ВТС не враховувати, вважаючи їх малими. Експерименти доводять, що для сучасних термоелектричних матеріалів, ефект ВТС – це ефект досить слабкий і в ряді випадків його можна не враховувати. Без врахування ВТС матимемо

$$\chi_{12}^0 = (\chi_1 + n\chi_2)/(n+1), \text{ де } n = d_2 / d_1.$$

При повороті системи смуг відносно осі, що перпендикулярна площині  $(x_0, y_0)$  на кут  $\varphi$  (рис.3), тензори  $\hat{\alpha}$ ,  $\hat{\rho}$ ,  $\hat{\chi}$  стають недіагональними. Така система являє собою штучно-анізотропний термоелемент: при наявності градієнта температури вздовж осі  $y$  виникає термоерс вздовж осі  $x$ , яку можна вирахувати за формулою

$$E = \alpha_{12} \frac{\Delta T}{h} l,$$

де  $l$  – довжина термоелемента,  $h$  – висота,  $\Delta T = T_\Gamma - T_X$ , а  $\alpha_{12}$  – компонента тензора термоерс

$$\alpha_{12} = \left( \alpha_{11}^0 - \alpha_{22}^0 \right) \sin \varphi \cos \varphi,$$

де

$$\alpha_{11}^0 = \frac{\alpha_1 \chi_2 + n \alpha_2 \chi_1}{\chi_1 + \chi_2}, \quad \alpha_{22}^0 = \frac{\alpha_1^0 + n \alpha_2 \rho_1}{n \rho_1 + \rho_2}.$$

Анізотропна термоелектрична ефективність

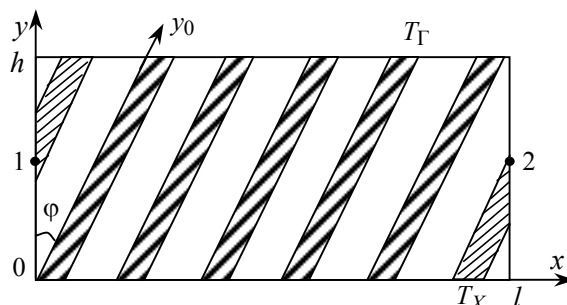


Рис. 3. Принципова схема штучно-анізотропного термоелемента

$$Z_a = \alpha_{12}^2 / (\chi_{22} \rho_{11}),$$

де

$$\rho_{11} = \frac{\rho_1 + n \rho_2}{n+1} \cos^2 \varphi + \frac{\rho_1 \rho_2 (n+1)}{\rho_2 + n \rho_1} \sin^2 \varphi,$$

$$\chi_{22} = \frac{\chi_1 \chi_2 (n+1)}{\chi_2 + n \chi_1} \sin^2 \varphi + \frac{\chi_1 + n \chi_2}{n+1} \cos^2 \varphi.$$

Знаючи  $Z_a$ , можна розрахувати відповідні енергетичні характеристики термоелектричних приладів: коефіцієнт корисної дії термогенератора, холодильний коефіцієнт, максимальне зниження температури і т.д. Вирази для цих характеристик є в літературі і їх можна використати готовими [2].

У випадку, коли розподіл температури двовимірний, наприклад, при граничних умовах

$$T(x,0) = T(0,y) = T(l,y) = T_0, \quad q_2(x,h) = q,$$

де  $q$  – потік тепла, що падає на верхню грань штучного анізотропного термоелемента (рис. 3), виникнуть ВТС. Доказом їх існування може бути різниця потенціалів, яка виникає між точками 1 і 2. Розрахунок ВТС в анізотропному середовищі для випадку, коли  $\varphi=45^\circ$  зроблено в [3]. Там же знайдено указану різницю потенціалів.

На закінчення слід зазначити, що описаний штучно-анізотропний термоелемент може мати кращу термоелектричну ефективність при відповідному виборі матеріалів смужок, ніж звичайний анізотропний термоелемент.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабин В.П., Гудкин Т.С., Дашевский З.М. и др. Искусственно-анизотропные термоэлементы и их предельные возможности. // ФТП. - 1974. - 8, №4. - С.742-753.
2. Анатыхук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. - Киев.: Наук. дукма, 1979.
3. Охрем В.Г. До питання про вихрові термоелектричні струми в анізотропному середовищі // Науковий вісник ЧНУ. Вип. 92: Фізика. Електроніка - Чернівці: ЧНУ, 2000. - С.50-51.