



Константинович І.А.

Константинович І.А.^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна;

²Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ ГІРОТРОПНИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ У РЕЖИМІ ОХОЛОДЖЕННЯ

Проведено комп'ютерне моделювання температурних полів для гіротропних термоелементів прямокутної, спіральної й оптимальної форм. Розглянуті термоелектричні матеріали BiSb, Ag₂Te й InSb для гіротропних термоелементів. Отримані залежності ΔT_{max} від температури для гіротропних термоелементів різних форм. Показано, що використання Ag₂Te доцільно в діапазоні температур 150 – 300 К, а BiSb в температурному діапазоні 80 – 120 К.

Ключові слова: гіротропний термоелемент, магнітне поле, термоелектричний матеріал, добротність.

Computer simulation of temperature fields for gyrotropic thermoelements of the rectangular, spiral and optimal shapes was performed. BiSb, Ag₂Te and InSb thermoelectric materials for gyrotropic thermoelements were considered. The temperature dependences for gyrotropic thermoelements of various shapes were obtained. It was shown that in the temperature range of 150 – 300 K it is reasonable to use Ag₂Te, whereas BiSb can be efficiently used in the range of 80 – 120 K.

Key words: gyrotropic thermoelement, magnetic field, thermoelectric material, figure of merit.

Вступ

Узагальнена теорія термоелектрики дозволила розробити методи відкриття нових типів термоелементів, а їх застосування в анізотропних середовищах зробило можливим винахід, дослідження й створення ряду принципово нових типів термоелементів з унікальними властивостями, які істотно розширили можливості термоелектрики.

Перспективним напрямком розвитку прикладного застосування термоелектрики є винахід нових типів термоелементів на основі гіротропних середовищ [1 – 19]. Ці можливості термоелектрики мало досліджувалися, і їхня реалізація уможливить розширення елементної бази термоелектрики, підвищення конкурентної здатності термоелектричних перетворювачів енергії, а також створення на їхній основі термоелектричної продукції підвищеної якості.

Актуальність роботи полягає в необхідності підвищення ефективності й надійності термоелектричних перетворювачів енергії на основі гіротропних середовищ для використання їх у приладобудуванні.

Мета роботи – оцінка ефективності гіротропних термоелементів у режимі охолодження.

Математична модель

Рівняння теплопровідності для однорідного гіротропного середовища має вигляд

$$\kappa \Delta T + \rho_0 j^2 + 2\alpha_B \left(j_y \frac{\partial T}{\partial x} - j_x \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0, \quad (1)$$

де κ – коефіцієнт теплопровідності гіротропного середовища; ρ_0 – питомий електричний опір; j – модуль вектора густини електричного струму; \mathbf{j} – вектор щільності електричного струму, j_x, j_y – його проекція в декартовій системі координат; $\alpha_B = Q_{\perp} B$ – асиметрична частина тензора термоЕРС, який у гіротропному середовищі має вигляд

$$\alpha = \begin{pmatrix} \alpha_0 & \alpha_B & 0 \\ -\alpha_B & \alpha_0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{\perp} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де Q_{\perp} – коефіцієнт Нернста – Етінгсгаузена.

Враховуючи аксіальну симетрію системи, запишемо вираз (1) у полярній системі координат

$$\kappa \Delta T + \rho_0 j^2 + 2Q_{\perp} B \left(j_{\phi} \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{j_r}{r} \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) = 0, \quad (3)$$

де j_r, j_{ϕ} – радіальна й азимутальна складові вектора густини струму r – радіус термоелемента.

Якщо припустити, що гаряча сторона (T_1) адіабатично ізольована й не враховувати втрати через бічні поверхні, тоді можна скористатися відомою формулою для розрахунків максимальної різниці температур між сторонами термоелемента ΔT_{max} [5]

$$(\Delta T)_{max} = \frac{1}{2} T_1^2 \frac{\alpha_B^2}{\rho_0 \kappa}. \quad (4)$$

Результати комп'ютерного моделювання

Існує цілий ряд джерел, що описують властивості гіротропних матеріалів для низькотемпературної області [1 – 2]. На рис. 1 наведені залежності добротності матеріалів *BiSb*, *Ag₂Te* й *InSb* від температури [1, 3, 4].

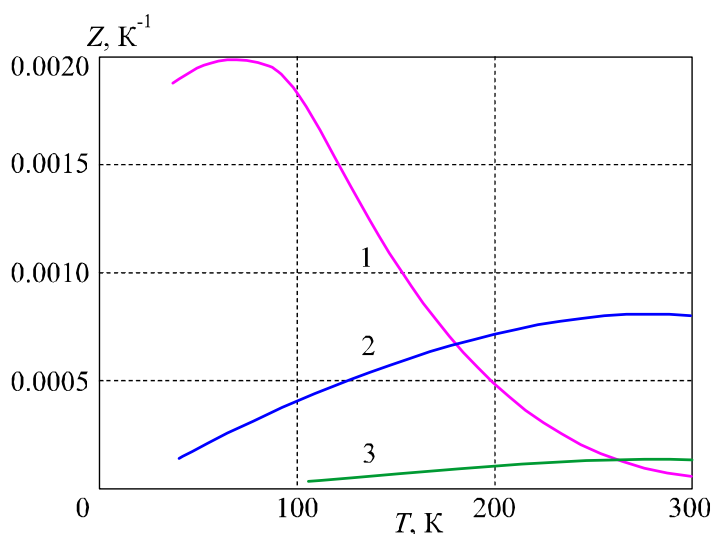
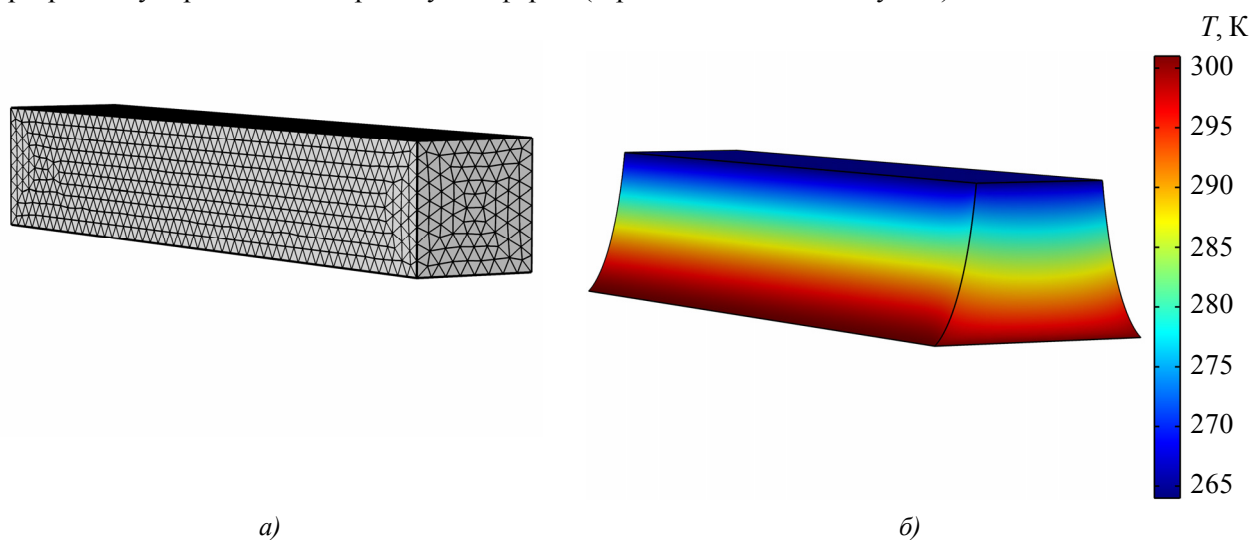


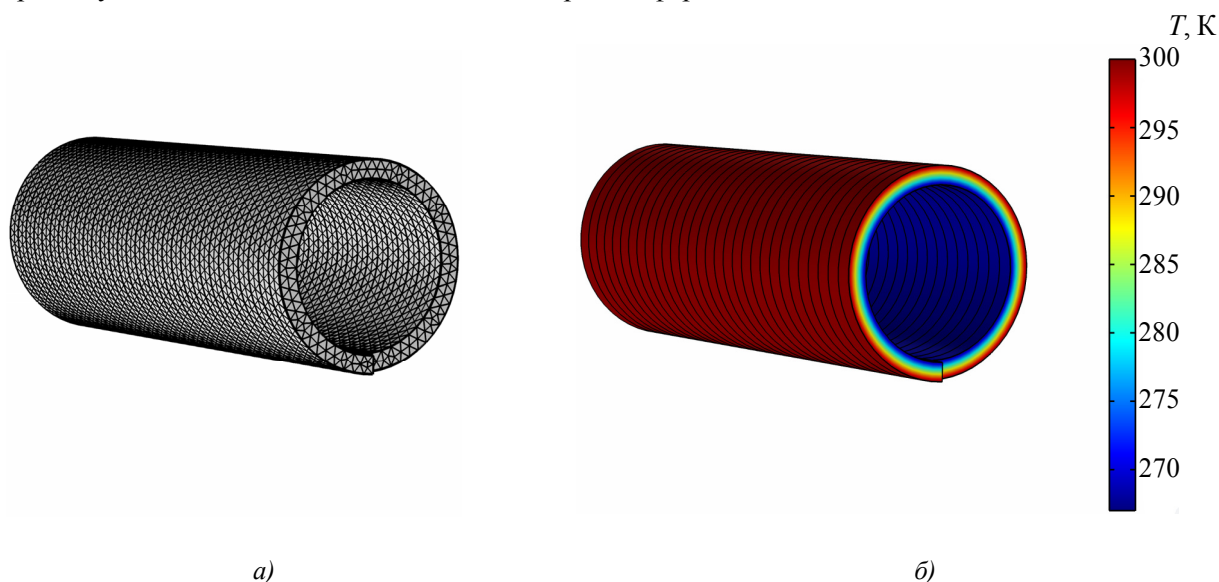
Рис. 1. Залежність добротності Z від температури T
(1 – *BiSb*, 2 – *Ag₂Te*, 3 – *InSb*) [1, 3, 4].

Для побудови комп'ютерної моделі гіротропних термоелементів прямокутної, спіральної й оптимальної форм використаний пакет прикладних програм Comsol Multiphysics [20]. Розрахунки розподілів температур у гіротропних термоелементах здійснювався методом скінченних елементів. За допомогою комп'ютерного моделювання були визначені розподіли температур у гіротропних термоелементах різної форми для матеріалу Ag_2Te й магнітного поля з індукцією $B = 1$ Тл. На рис. 2 наведені тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у гіротропному термоелементі прямокутної форми (термоелемент Еттінгсгаузена).



а) б)
Рис. 2. Тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у гіротропному термоелементі прямокутної форми.

На рис. 3 наведені тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у спіральному гіротропному термоелементі. Ці термоелементи ефективно використовувати для охолодження об'єктів циліндричної форми.



а) б)
Рис. 3. Тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у гіротропному спіральному термоелементі.

На рис. 4 наведені тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у гіротропному термоелементі оптимальної форми.

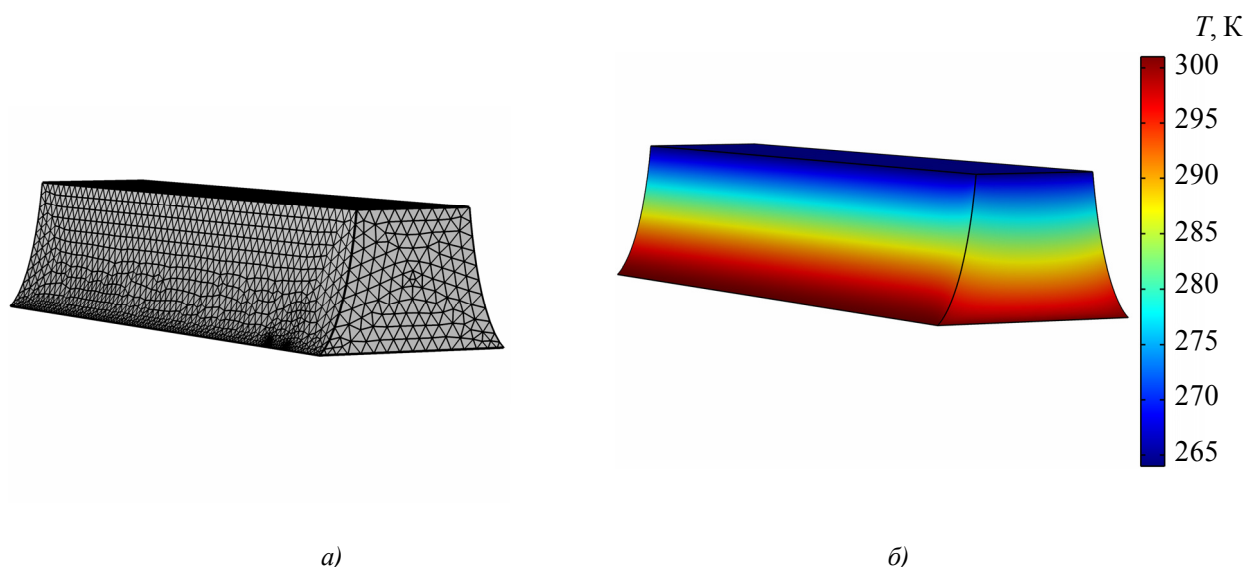


Рис. 4. Тривимірні моделі сітки методу скінченних елементів (а) і розподілу температур (б) у гіротропному термоелементі оптимальної форми.

Використовуючи дані, наведені на рис. 1, отримані залежності максимальної різниці температур від температури на гарячій стороні термоелемента для $BiSb$, Ag_2Te й $InSb$ (рис. 5).

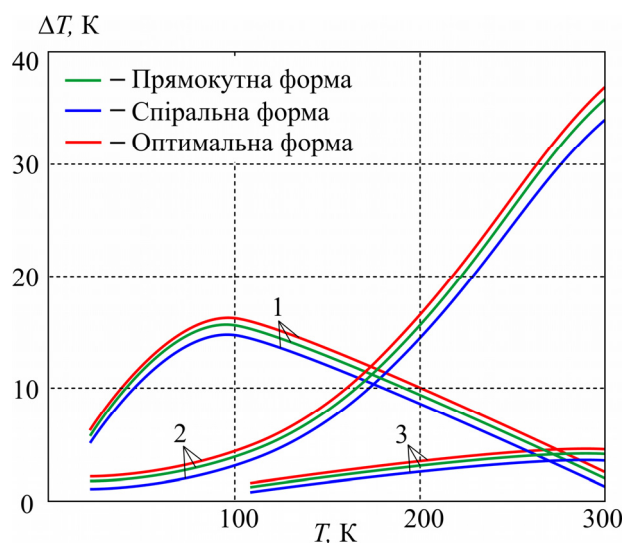


Рис. 5. Залежність ΔT_{max} від T_1 . (1 – $BiSb$, 2 – Ag_2Te , 3 – $InSb$).

Видно, що використання матеріалу Ag_2Te в діапазоні температур 200 – 300 К дає найбільші значення $(\Delta T)_{max}$, при $T_2 = 300$ К значення $(\Delta T)_{max} \approx 36$ К. А значить використання Ag_2Te доцільніше в цьому діапазоні температур, а в температурному діапазоні 80 – 120 К краще застосовувати $BiSb$ – $(\Delta T)_{max} \approx 17$ К. Ці матеріали можуть бути використані при виготовленні гіротропних термоелементів для медичних приладів, працюючих у криогенній області.

Висновки

1. Аналітичними й числовими методами досліджені основні співвідношення для розрахунків оптимальних характеристик гіротропних термоелементів у режимі охолодження. Для випадку

матеріалу Ag_2Te проведено комп'ютерне моделювання й отримані розподіли температури в гіротропних термоелементах різних форм.

- Отримані залежності ΔT_{max} від температури для гіротропних термоелементів різних форм. Показано, що використання Ag_2Te доцільне в діапазоні температур 150–300 К, для якого $(\Delta T)_{max} \approx 36$ К, а в температурному діапазоні 80–120 К краще застосовувати $BiSb$ – $(\Delta T)_{max} \approx 17$ К.

Література

- Анатичук. Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства Киев, Наукова думка. – 1979. 766 с.
- Осипов Э.В., Варич Н.И., Микитей П.П. Исследование эффекта Эттингсгаузена в монокристаллах $Bi_{1-x}Sb_x$. – ФТП, 1971, 5, №11, с.2202 – 2204.
- Алиев С.А., Алиев М.И., Агаев З.Ф., Арасли Д.Г. Материал для холодильника Эттингсгаузена. Авт. свид. №828269, 1981.
- Алиев С.А., Зульфигаров Э.И. Термомагнитные и термоэлектрические явления в науке и технике. – Баку. – «ЭЛИМ». – 2009. – 325 с.
- Самойлович А.Г. Термоэлектрические и термомагнитные методы превращения энергии. – Черновцы: Рута, 2006. – 226 с.
- Анатичук. Л.И. „Термоэлектричество. Т. 2. Термоэлектрические преобразователи энергии”. Киев, Черновцы: „Наукова думка”, 2003. – 386 с.
- Самойлович А.Г., Коренблит Л.Л. Современное состояние теории термоэлектрических и термомагнитных явлений в полупроводниках // УФН. – 1953. – Т. 49, № 2. – С. 243-272.
- Nakamura H., Ikeda K., Yamaguchi S. Transport coefficients of $InSb$ in a strong magnetic field // XVI-th international conference on thermoelectrics, – Dresden, Germany. – 1997. – P. 142-146.
- Анатичук Л.І., Лусте О.Я., Федорук Я.Г., Шинкарук С.М. Вихрові термоелектричні струми в гіротропному середовищі з радіальним розподілом температури // Термоелектрика. – 2004. – № 1. – С. 19 – 24.
- Лусте О.Я., Федорук Я.Г. Гіротропний термоелемент в неоднорідному магнітному полі // Термоелектрика. – 2006. – №1. – С. 16 – 22.
- Лусте О.Я., Федорук Я.Г. Оптимізація матеріалів для гіротропних термоелементів // Термоелектрика. – 2008. – №4. – С. 21 – 26.
- Агаев З. Ф., Арасли Д. Г., Алиев С. А. Термомагнітний перетворювач ІЧ-випромінювання. – Проблеми енергетики. – 2003. – № 3. – С. 12 – 21.
- Немов С.А., Прошин В.І., Таранасов Г.Л., Парфен'єв Р.В., Шамшур Д.В., Черняев А.В. Поперечний ефект Нернста-Еттингсгаузена, резонансне розсіяння та надпровідність у $SnTe$: In. – Фізика твердого тіла. – 2009. – Т. 51. – № 1. – С. 461-464.
- Harman T.G., Honig J.M. Thermoelectric and thermomagnetic effects and applications. – New York, Mc. Graw – Hill, 1967. – 377 p.
- Nakamura H., Ikeda K. and Yamaguchi S. Transport coefficients of $InSb$ in a strong magnetic field // Research report. NIFS series, Nagoya, Japan (1998). – 23 p.
- Hiroaki Nakamura, Kazuaki Ikeda, Satarou Yamaguchi. Transport coefficients of $InSb$ in a strong magnetic field // Proceedings of XVIth International Conference on Thermoelectrics. – Dresden (Germany). August 26-29, 1997. – P. 142 – 146.

17. Баранський П.І., Гайдар Г.П. Анізотропія термоелектричних властивостей багатодолинних напівпровідників кубічної симетрії під впливом зовнішніх спрямованих дій. – Термоелектрика, 2014, №1, с. 13.
18. Goldsmid H.J., Volckmann E.H. Galvanomagnetic and thermoelectric measurements on polycrystalline $Bi_{88}Sb_{12}$ // Proceedings of XVIth International Conference on Thermoelectrics. Dresden (Germany), August 26-29, 1997. – P. 142 – 146.
19. Anatyshuk L.I., Vikhor L.N., Low-temperature Thermoelectric Cooling under Optimal Legs Inhomogeneity in the Optimal Nonuniform Magnetic Field, in Proceedings of XVIth International Conference on Thermoelectrics, Dresden, August 26-29, 1997. – P. 397 – 400.
20. COMSOL Multiphysics User's Guide // COMSOLAB. – 2010. – 804 p.

Надійшла до редакції 31.05.2016