

**Захарчук Т.В.¹, Константинович І.А канд. фіз.-мат. наук, доцент^{1,2},
Константинович А.В. док. фіз.-мат. наук, доцент¹, Форбатюк А.В.¹**

¹Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58012, Україна

²Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatykh@gmail.com

ПРО ЕФЕКТИВНІСТЬ СПІРАЛЬНИХ ГІРОТРОПНИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ У РЕЖИМІ ОХОЛОДЖЕННЯ

Розглянуто характеристики матеріалів BiSb, Ag₂Te й InSb в постійному магнітному полі. Досліджено основні співвідношення для розрахунку оптимальних параметрів спіральних гіротропних термоелементів у режимі охолодження, аналітичними та числовими методами. Отримано залежності максимальної різниці температур для гіротропних термоелементів різних форм. Показано, що при постійних магнітних полях доцільно використовувати BiSb в температурному діапазоні 80 – 120 К, а Ag₂Te для 150 – 300 К. Бібл. 13, рис 4.

Ключові слова: гіротропне середовище, індукція магнітного поля, спіральний гіротропний термоелемент.

Вступ

Відомо, що термоелектричні прилади широко застосовуються в енергетиці, холодильній та вимірювальній техніці. Однак можливості практичного використання термоелектрики залежать від прогресу у фізиці термоелектричного перетворення енергії, оскільки основною властивістю термоелектричних приладів є здатність використовувати взаємні перетворення електричної та теплової енергій [1 – 12]. Головні досягнення термоелектрики в області приладобудування, в основному, здобуті на базі фізики термопарних термоелементів. Розробка методів відкриття нових типів термоелементів базується на використанні узагальненої теорії термоелектрики. Винайти, створити та дослідити низку принципово нових типів термоелементів з унікальними властивостями, допомогло застосування цих методів до анізотропних середовищ, чим істотно розширили можливості термоелектрики. Тому одним з найкращих напрямків розвитку прикладного застосування термоелектрики є пошук нових типів термоелементів з використанням гіротропних середовищ. Такі можливості майже не досліджувались, а їх реалізація дозволить збільшити елементну базу термоелектрики, створювати продукцію підвищеної якості на їх основі та підвищити конкурентну спроможність таких перетворювачів енергії

Актуальним є можливість збільшення ефективності та надійності термоелектричних перетворювачів енергії з метою використання їх в приладобудуванні. Також перевагою використання гіротропних термоелементів є відсутність внутрішніх спаїв, що забезпечує

надійність і технологічність, можливість безпайного зеднання кілець у просторову спіральну структуру, що істотно збільшує функціональні можливості термоелемента, особливо при їх використанні у холодильній та вимірювальній техніці.

Метою роботи є оцінка ефективності спіральних гіротропних термоелементів в режимі охолодження, для подальшого використання їх в холодильній та вимірювальній техніці.

Математична модель

Відомо, що для однорідного гіротропного середовища рівняння теплопровідності має наступний вигляд [1]:

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

де ρ_0 – питомий електричний опір гіротропного середовища; κ – коефіцієнт теплопровідності; j – модуль вектора густини електричного струму; j_x, j_y – проекції вектора \mathbf{j} в декартовій системі координат; $\alpha_B = Q_{\perp} B$ – асиметрична частина тензора термоЕРС; Q_{\perp} – коефіцієнт Нернста-Еттінгсгаузена; B – індукція магнітного поля. Тензор термоЕРС, у гіротропному середовищі має вигляд

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

У полярній системі координат, враховуючи аксіальну симетрію системи, маємо

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

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

Режим охолодження

Розглянуто низку літературних джерел, які описують властивості гіротропних матеріалів [1 – 8]. Для матеріалів *BiSb*, *Ag₂Te* та *InSb* на які діє стале магнітне поле, побудовано залежності добротності від температури [1 – 4].

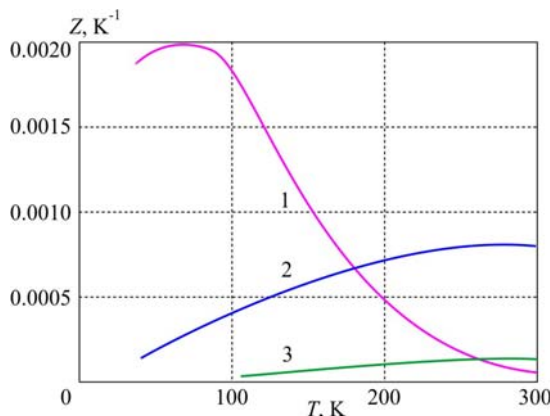


Рис. 1. Залежність добротності гіротропних матеріалів від температури
 (1 – *BiSb*, 2 – *Ag₂Te*, 3 – *InSb*) [1 – 4].

Далі проведено моделювання гіротропних термоелементів для матеріалу Ag_2Te . На термоелементи діяло магнітне поле з індукцією $B = 1$ Тл. На рис. 2 наведено тривимірні модель розподілу температури у спіральному гіротропному термоелементі (круглий переріз) [13].

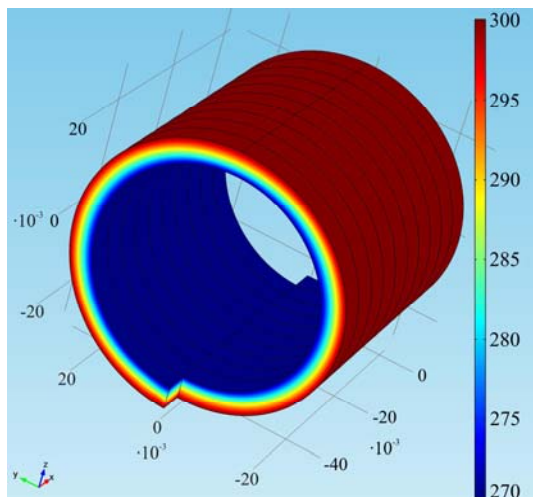


Рис. 2. Модель розподілу температури в спіральному гіротропному термоелементі (круглий переріз)

На рис. 3 наведено тривимірні модель розподілу температури у спіральному гіротропному термоелементі (квадратний переріз)

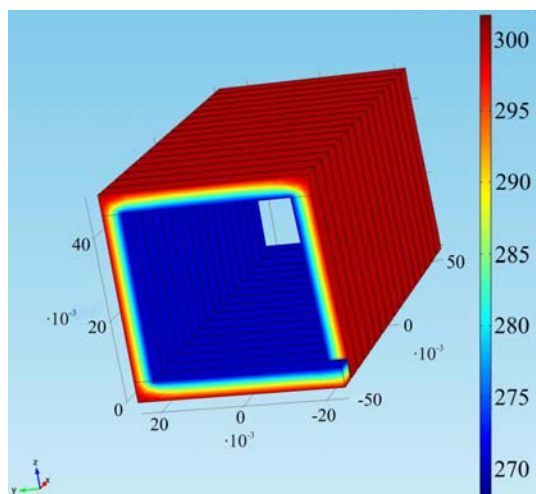


Рис. 3. Модель розподілу температури в спіральному гіротропному термоелементі (квадратний переріз)

Якщо припустити, що гаряча сторона спірального гіротропного термоелемента адіабатично ізольована та нехтувати втратами через бічні поверхні термоелемента, можна скористатися формулою для розрахунку максимальної різниці температур ΔT_{max} між сторонами спірального гіротропного термоелемента [5]. Використовуючи дані, представлені на рис. 1, можна отримати залежність максимальної різниці температур від температури гарячої сторони термоелемента для $BiSb$, Ag_2Te та $InSb$ (рис. 4).

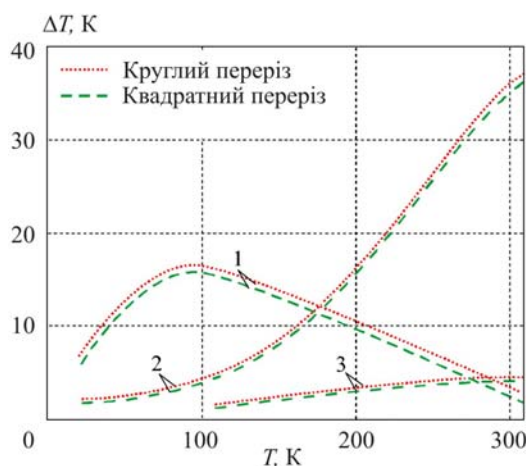


Рис. 4. Залежність максимальної різниці температур ΔT_{\max} від температури горячої сторони (1 – BiSb, 2 – Ag_2Te , 3 – InSb)

З рис. 4 видно, що використання матеріалу Ag_2Te в діапазоні температур 200–300 К дає найбільші значення $(\Delta T)_{\max}$, при $T_2 = 300$ К значення $(\Delta T)_{\max} \approx 37$ К. А значить Ag_2Te доцільніше використовувати в цьому діапазоні температур, а в температурному діапазоні 80–120 К $BiSb - (\Delta T)_{\max} \approx 17$ К для круглого перерізу.

Висновки

Досліджені основні співвідношення для розрахунків оптимальних параметрів гіротропних термоелементів у режимі охолодження, аналітичними й числовими методами. Для матеріалу Ag_2Te проведено комп'ютерне моделювання й отримані розподіли температури в гіротропних термоелементах.

Показано, що використання матеріалу Ag_2Te доцільніше в діапазоні температур 200–300 К $(\Delta T)_{\max} \approx 37$ К, а в інтервалі температур 80–120 К краще застосовувати $BiSb - (\Delta T)_{\max} \approx 17$ К круглого перерізу.

Література

1. L.I. Anatyshuk, Thermoelements and Thermoelectric Devices. Reference Book, Kyiv, Naukova Dumka, 1979, 766 p.
2. E.V. Osipov, N.I. Varich, P.P. Mikitey, Study of the Ettingshausen effect in $Bi_{1-x}Sb_x$ Single Crystals, Semiconductors 5(11), 2202 – 2204 (1971).
3. S.A.Aliev, M.I.Aliev, Z.F.Agaev, and D.G.Arasli, Material for Ettingshausen's Cooler, Certificate of Authorship №828269, 1981.
4. S.A.Aliev, E.I.Zulfigarov, Thermomagnetic and Thermoelectric Effects in Science and Technology (Baku, Elm Publ., 2009), 325 p.
5. A.G.Samoilovich, Thermoelectric and Thermomagnetic Energy Conversion Methods (Chernivtsi, Ruta, 2006), 226 p.
6. L.I.Anatyshuk, Thermoelectricity, Vol.2, Thermoelectric Power Converters (Kyiv, Chernivtsi: Naukova Dumka, 2003), 386 p.
7. A.G.Samoilovich, L.L.Korenblit, Current Status of Theory of Thermoelectric and Thermomagnetic Effects in Semiconductors, Advances in Physical Sciences 49(2), 243 – 272 (1953).

8. H.Nakamura, K.Ikeda, and S.Yamaguchi, Transport Coefficients of InSb in a Strong Magnetic Field, Proc. of XVI-th International Conference on Thermoelectrics, Dresden, Germany, 142 – 146(1997).
9. L.I.Anatychuk, O.J.Luste, Ya.G.Fedoruk, and S.M.Shinkaruk, Eddy Thermoelectric Currents in Gyrotropic Medium with a Radial Temperature Distribution, J.Thermoelectricity 1, 19 – 24(2004).
10. O.J.Luste, Ya.G.Fedoruk, Gyrotropic Thermoelement in the Inhomogeneous Magnetic Field, J.Thermoelectricity 1, 16 – 22(2006).
11. O.J.Luste, Ya.G.Fedoruk, Optimization of Materials for Gyrotropic Thermoelements, J.Thermoelectricity 4, 21 – 26 (2008).
12. I.A. Konstantynovych, O.V. Rendigevich, On the efficiency of gyrotropic thermoelements in generation mode J.Thermoelectricity 1, 64 – 69 (2016).
13. I.A. Konstantynovych, On the efficiency of gyrotropic thermoelements in cooling mode J.Thermoelectricity 3, 46 – 50 (2016).

Надійшла до редакції 07.02.2019

**Захарчук Т.В.¹, Константинович І.А канд. физ.-мат. наук, доцент^{1,2},
Константинович А.В. док. физ.-мат. наук, доцент¹, Форбатюк А.В.¹**

¹Черновицкий национальный университет
им. Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,
Черновцы, 58012, Украина

²Институт термoeлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,
e-mail: anatyck@gmail.com

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПИРАЛЬНЫХ ГИРОТРОПНЫХ ТЕРМОЭЛЕМЕНТОВ В РЕЖИМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

Рассмотрены характеристики материалов BiSb, Ag₂Te и InSb в постоянном магнитном поле. Исследованы основные соотношения для расчетов оптимальных параметров спиральных гиrotропных термоэлементов в режиме охлаждения, аналитическими и числовыми методами. Получены зависимости максимального перепада температур для гиrotропных термоэлементов различной формы. Показано, что при постоянных магнитных полях целесообразно использовать BiSb в температурном диапазоне 80 – 120 К, а Ag₂Te для 150 – 300 К.

Ключевые слова: гиrotропная среда, индукция магнитного поля, спиральный гиrotропный термоэлемент.

**Zakharchuk T.V.¹,
Konstantynovych I.A. Candidate Phys.-math. Sciences, doctent^{1,2},
Konstantynovych A.V. Doctor Phys.-math. Sciences, doctent¹,
Forbatiuk A.V.¹**

¹Yu.Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58012, Ukraine,

²Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine; e-mail: *anatykh@gmail.com*

In this paper, the characteristics of BiSb, Ag₂Te and InSb materials in constant magnetic field were considered. Analytical and numerical methods were used to study the basic relations for the calculation of optimal parameters of spiral gyrotropic thermoelements in cooling mode. The dependences of maximum temperature difference for gyrotropic thermoelements of various shapes were obtained. It was shown that at constant magnetic fields the use of BiSb is more reasonable in the temperature range of 80-120 K, whereas in the range of 200 – 300 K it is worthwhile to use Ag₂Te.

Keywords: gyrotropic medium, magnetic field induction, spiral gyrotropic thermoelement.

References

1. Anatykhuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiie ustroistva. Spravochnik. [Thermoelements and thermoelectric devices. Reference Book]*. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
2. Osipov E.V., Varich N.I., Mikitey P.P. (1971). Study of the Ettingshausen effect in Bi_{1-x}Sb_x single crystals. *Semiconductors*, 5(11), 2202 – 2204.
3. Aliev S.A., Aliev M.I., Agaev Z.F., Arasli D.G. (1981). Material for Ettingshausen's cooler. *Certificate of Authorship №828269*.
4. Aliev S.A., Zulfigarov E.I. (2009). *Termomagnitnyie i termoelektricheskiie efekty v nauke i tekhnologii [Thermomagnetic and thermoelectric effects in science and technology]*. Baku: Elm Publ. [in Russian].
5. Samoilovich A.G. (2006). *Termoelektricheskiie i termomagnitnyie metody preobrazovaniia energii [Thermoelectric and thermomagnetic energy conversion methods]*. Chernivtsi: Ruta [in Russian].
6. Anatykhuk L.I. (2003). *Termoelektrichestvo, T.2, Termoelektricheskiie preobrazovateli energii [Thermoelectricity, Vol.2, Thermoelectric Power Converters]*. Kyiv, Chernivtsi: Naukova Dumka [in Russian].
7. Samoilovich A.G., Korenblit L.L. (1953). Current status of theory of thermoelectric and thermomagnetic effects in semiconductors. *Advances in Physical Sciences*, 49(2), 243 – 272.
8. Nakamura H., Ikeda K., and Yamaguchi S. (1997). Transport coefficients of InSb in a strong magnetic field. *Proc. of XVI International Conference on Thermoelectrics* (Dresden, Germany, 1997).
9. Anatykhuk L.I., Luste O.J., Fedoruk Ya.G., Shinkaruk S.M. (2004). Eddy thermoelectric currents in gyrotropic medium with a radial temperature distribution. *J. Thermoelectricity* 1, P. 19 – 24.
10. Luste O.J., Fedoruk Ya.G. (2006). Gyrotropic thermoelement in the inhomogeneous magnetic field. *J. Thermoelectricity*, 1, 16 – 22.
11. Luste O.J., Fedoruk Ya.G. (2008). Optimization of materials for gyrotropic thermoelements. *J. Thermoelectricity*, 4, 21 – 26.
12. Konstantynovych I.A., Rendigevych O.V. (2016). On the efficiency of gyrotropic thermoelements in generation mode *J. Thermoelectricity*, 1, 64 – 69.
13. Konstantynovych I.A. (2016). On the efficiency of gyrotropic thermoelements in cooling mode. *J. Thermoelectricity*, 3, 46 – 50.

Submitted 07.02.2019