

Original article

In print article

<https://doi.org/10.26565/2222-5617-2023-38-05>

UDC 537.32

PACS numbers: 72.15.Jf, 44.10.+i

КОНЦЕНТРАЦІЙНІ АНОМАЛІЇ ГАЛЬВАНОМАГНІТНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ НА ОСНОВІ Sb_2Te_3 В СИСТЕМІ $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$

К.В. Мартинова , О.І. Рогачова 

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", вул. Курпичова, 2, 61002 Харків, Україна
E-mail: Kateryna.Martynova@khpі.edu.ua

Надійшла до редакції 02 березня 2023 р. Переглянуто 05 квітня 2023 р.

Прийнято до друку 15 квітня 2023 р.

На сьогодні тверді розчини на основі телуридів сурми та вісмуту є одними з найбільш широко вживаних матеріалів для р- гілок термоелектричних перетворювачів, які використовують при кімнатній температурі і нижче. В даній роботі представлені результати дослідження гальваномагнітних властивостей (електропровідності σ , коефіцієнта Холла R_H , холлівської рухливості носіїв заряду μ_n) термоелектричних твердих розчинів $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ в інтервалі складів поблизу чистого Sb_2Te_3 ($x = 1 - 0.96$) при температурах $T = 80$ К та $T = 300$ К.

Дослідження проведено на литих полікристалічних зразках, отриманих методом кристалізації з розплаву з подальшим довгостроковим відпалом у вакуумі при температурі $T = 650$ К. Гальваномагнітні властивості вимірювали стандартним $d\sigma$ -методом. Експериментальна комірка охолоджувалась рідким азотом. Похибка при вимірюванні R_H та σ не перевищувала $\pm 5\%$.

Показано, що введення перших порцій Bi_2Te_3 призводить до різкого зниження σ , що пов'язується із високим ступенем розпорядкування кристалічної решітки. В інтервалі складів $x = 0.99 - 0.9825$ на концентраційних залежностях $\sigma(x)$ і $\mu_n(x)$ виявлене аномальне зростання σ та μ_n . Наявність таких концентраційних аномалій пов'язується з переходом від розведених до концентрованих твердих розчинів. Висловлено припущення про перколяційну природу зазначеного фазового переходу. В рамках задачі сфер теорії перколяції надана оцінка радіуса деформаційної сфери R_0 для атома домішки (Bi). Отримане значення R_0 узгоджується із короткодючим потенціалом домішки. Встановлено, що положення аномалій $\sigma(x)$ і $\mu_n(x)$ не змінюється при зниженні температури від 300 К до 80 К.

Таким чином, спостереження концентраційних аномалій властивостей для твердого розчину $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ в інтервалі складів поблизу чистого Sb_2Te_3 є ще одним підтвердженням гіпотези про універсальний характер поведінки твердих розчинів за малої концентрації домішки. Виявлені аномалії необхідно враховувати при розробці методів підвищення термоелектричної ефективності матеріалів шляхом створення твердих розчинів або додавання легуючих компонентів.

Ключові слова: тверді розчини $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$, склад, електропровідність, коефіцієнт Холла, холлівська рухливість, перколяція.

Як цитувати: К.В. Мартинова, О.І. Рогачова. Концентраційні аномалії гальваномагнітних властивостей твердих розчинів на основі Sb_2Te_3 в системі $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика». вип. 38. 2023; 31-35. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2023-38-05>

In cites: K.V. Martynova, O.I. Rogachova. Concentration anomalies of galvanomagnetic properties of $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ solid solutions based on Sb_2Te_3 in the $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ system. The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Physics" Iss. 38, 2023; 31-35. <https://doi.org/10.26565/2222-5617-2023-38-05> (in Ukrainian).

ВСТУП

Вже багато десятиріч найважливішою задачею термоелектричного (ТЕ) матеріалознавства є підвищення ТЕ добротності Z матеріалів ($Z = S^2\sigma/\lambda$, де S – коефіцієнт Зеебека, σ – електропровідність, λ – теплопровідність) [1-3]. Одним із широко використовуваних методів підвищення Z лишається метод утворення твердого розчину (ТР) між двома ТЕ матеріалами.

Тверді розчини $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$, утворені заміщенням $\text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$ в катіонній підгратці, належать до широко вживаних ТЕ матеріалів для p -гілок ТЕ перетворювача, що застосовуються за температур поблизу кімнатної [1-14]. Нещодавно відкриті топологічні властивості матеріалів типу V_2VI_3 [15] привертають увагу до більш детального дослідження залежностей їх властивостей від різних параметрів (температури, складу та інш). Електропровідність σ і рухливість носіїв заряду μ є одними з характеристик, що визначають ТЕ ефективність матеріалів, у зв'язку з чим дослідження гальваномагнітних властивостей має суттєве прикладне значення.

Телурид сурми – це сильно вироджений дірковий напівпровідник з шириною забороненої зони $\Delta E = 0.2$ еВ [9]. Sb_2Te_3 кристалізується в ромбоєдричну решітку з параметрами $a_R = 10.447$ Å, $\alpha_R = 23.55^\circ$ [3]. Основними носіями заряду у Sb_2Te_3 виступають атоми Sb , що займають антиструктурні позиції в решітці (Sb_{Te}) [5, 10]. Кожен атом Sb_{Te} привносить одну дірку, що обумовлює p – тип провідності Sb_2Te_3 . Значення концентрації дірок в Sb_2Te_3 $p \sim 10^{20}$ см⁻³ за кімнатної температури [3,5]. Значення σ та μ_H Sb_2Te_3 за кімнатної температури за даними різних робіт становили для σ 2500 - 4500 (Ом·см⁻¹) [11-14], для μ_H : 80 – 400 см²/(В·с) [13, 14] залежно від способу приготування зразків.

В одній із наших попередніх робіт [16] ми отримали залежності ТЕ-властивостей нелегованих литих полікристалів $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ від складу ТР в широкому діапазоні x ($x = 0 - 1$) і встановили, що катіонне заміщення $\text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$ призводить до різкого зниження σ і збільшення S . При більш детальному дослідженні інтервалу концентрацій $x = 0 - 0.07$ нами були виявлені аномалії механічних та ТЕ властивостей (мікротвердість, S , σ , коефіцієнт Холла R_H) в інтервалі складів $x = 0.005 - 0.01$ [17]

На сьогодні зібраний великий об'єм свідочств (огляд таких робіт дано у [18, 19]) про виявлення в різних системах аномалій на залежностях властивостей від складу ТР при вмісті домішки ~ 1 ат.%. В цих роботах висловлюється припущення про зв'язок цих аномалій із реалізацією фазового переходу (ФП) перколяційного типу (розведений-концентрований ТР), що супроводжується критичними явищами [20, 21]. Закономірно очікувати, що таке

явище матиме універсальний характер, тобто буде властивим для будь-яких ТР. Для підтвердження цієї гіпотези необхідно поширювати клас досліджуваних об'єктів і асортимент властивостей, які вивчаються.

Об'єктами дослідження в даній роботі були литі нелеговані полікристалічні тверді розчини на основі Sb_2Te_3 системи $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ в інтервалі складів $x = 1 - 0.96$.

Мета роботи – дослідити залежності кінетичних коефіцієнтів від складу ТР $(\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x)_2\text{Te}_3$ в інтервалі $x = 1 - 0.96$ при температурах $T = 80$ К та $T = 300$ К задля виявлення можливого існування концентраційних аномалій властивостей та їх залежності від температури.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Полікристалічні зразки виготовляли з високочистих (не менш ніж 99.999 % основного компонента) вихідних елементів шляхом їх прямого сплавлення при $T = (1075 \pm 10)$ К протягом 2 годин у вакуумованих кварцових ампулах, охолодженням до температури $T = (650 \pm 5)$ К і наступним відпалом при цій температурі протягом 300 годин. Після відпалу зразки охолоджувались зі швидкістю вимкненої печі. Гальваномагнітні властивості (σ , R_H) досліджували методом постійного струму та постійного магнітного поля в термічно ізольованій вакуумованій експериментальній комірці при температурах 80 та 300 К. Комірка була розташована в зазорі електромагніту, величина магнітного поля у зазорі складала $B = 1$ Тл. Зразки у формі паралелепіпедів $3 \times 3 \times 10$ мм для вимірювання випилювали із злитків. Похибка вимірювання R_H та σ не перевищувала $\pm 5\%$. Значення холлівської рухливості носіїв заряду μ_H розраховували як $\mu_H = \sigma R_H$.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для всіх зразків в інтервалі складів $x = 1 - 0.96$ було проведено вимірювання кінетичних коефіцієнтів R_H та σ при температурах 80 та 300 К. На рис. 1 зображені залежності σ (рис. 1,а) і μ_H (рис. 1,б) від складу x при цих температурах.

Досліджуваний інтервал складів ($x = 1 - 0.96$) прилягає до чистого Sb_2Te_3 . При збільшенні вмісту Bi_2Te_3 в ТР відбувається катіонне заміщення $\text{Sb} \rightarrow \text{Bi}$. Можна побачити, що залежності σ і μ_H від складу ТР мають спільний хід: при доданні перших порцій Bi ($x = 1 - 0.995$) рухливість носіїв заряду знижується і відповідно знижується σ . Після цього спостерігається інтервал аномального зростання σ і μ_H ($x = 0.99 - 0.9825$), після чого σ і μ_H знову знижуються.

Як і в попередній нашій роботі [17], ділянку аномального зростання σ і μ_H в інтервалі $x = 0.99 -$

0.9825 можна пов'язати з реалізацією концентраційного ФП перколяційного типу від розведеного ТР до концентрованого. Відповідно до теорії перколяції, за певної критичної концентрації, що називається «порогом перколяції», у ТР утворюється нескінченний континуум пов'язаних між собою деформаційних полів атомів домішки, т. зв. "нескінченний перколяційний кластер".

Hall mobility of charge carriers μ_H (b) of samples of solid solutions $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ on composition x for temperatures: 1 – $T = 80$ K; 5 – $T = 300$ K.

В [19] було зазначено, при формуванні ТР значну роль має взаємодія деформаційних полів атомів домішки. Перекриття деформаційних полів окремих атомів призводить до того, що напруги протилежних знаків компенсуються. За рахунок цього рух носіїв заряду всередині кластера полегшується, що сприяє підвищенню μ_H . Враховуючи, що електропровідність прямо пропорційна рухливості ($\sigma = ne\mu$, де e – заряд електрона) підвищення μ_H як наслідок призводить до збільшення σ . Таким чином, аномальний ріст σ і μ_H поблизу $x = 0.99$ можна пов'язати з критичними явищами, що супроводжують утворення нескінченного кластера взаємодіючих атомів домішки.

Перколяційний перехід розбавлений – концентрований ТР в значній мірі представляє собою геометричний ФП. При зниженні температури і зменшенні дії теплових факторів, вплив перетворень у кристалічній решітці на властивості матеріалу стає визначальним. Тому закономірно, що при переході до нижчих температур ($T = 80$ K) спостережувані аномалії проявляються більш чітко.

Доцільним представляється взяти у якості критичного складу x_c концентрацію, що відповідає початку аномального зростання σ та μ_H ($x = 0.99$). Користуючись висновком задачі сфер теорії перколяції [20, 21], знаючи значення x_c , можна обчислити радіус «сфери взаємодії» атома домішки (Bi) з умови:

$$\frac{4}{3}\pi N_c (2R_0)^3 \approx 2.7 \quad (1)$$

де N_c – середнє число центрів сфер в одиниці об'єму при складі, що відповідає порозу перколяції ($x = x_c$).

Розраховане значення складало $R_0 = (1.2 \pm 0.05) a_0$, де a_0 – параметр елементарної комірки Sb_2Te_3 (в квазікубічному представленні). Таке значення відповідає короткодючому характеру деформаційної взаємодії.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено дослідження гальваномагнітних властивостей полікристалів твердих розчинів $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ ($x = 1 - 0.96$) у залежності від складу твердого розчину при різних температурах.

1. Показано, що залежності електропровідності σ і холлівської рухливості носіїв заряду μ_H від складу x мають виражено немонотонний характер. Виявлене різке зниження σ при введенні перших порцій Bi_2Te_3

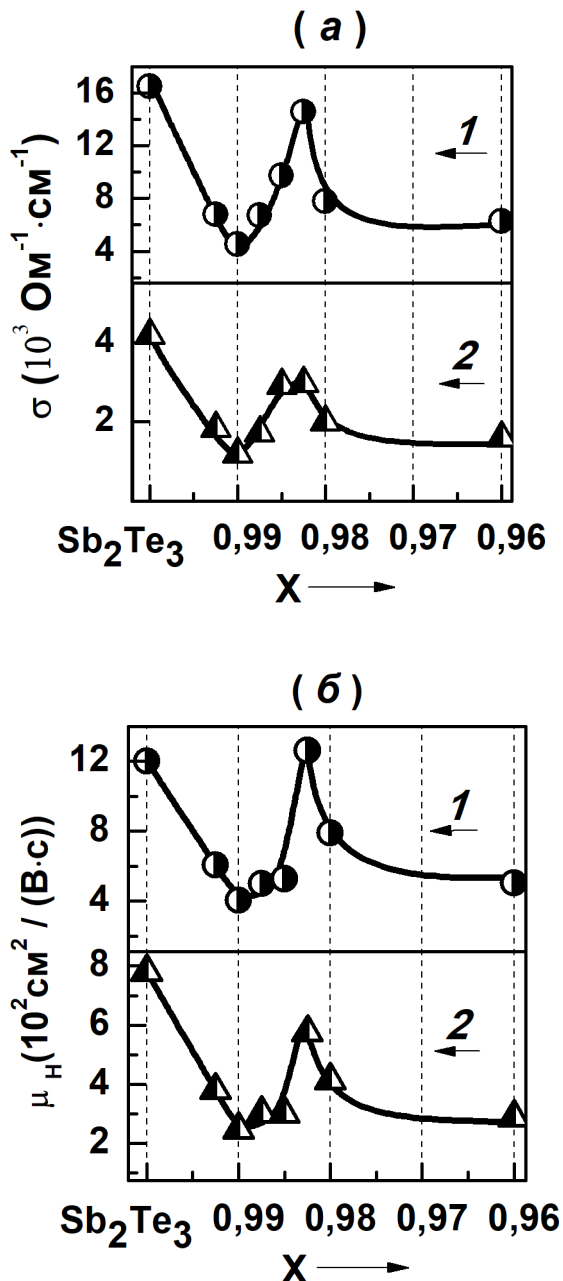


Рис. 1. Залежності електропровідності σ (а) та холлівської рухливості носіїв заряду μ_H (б) зразків твердих розчинів $(Bi_xSb_{1-x})_2Te_3$ від складу x для температур: 1 – $T = 80$ K; 5 – $T = 300$ K.

Fig. 1. Dependences of electrical conductivity σ (a) and

пов'язується із високим ступенем розупорядкування кристалічної решітки. Аномальне зростання σ і μ_n в інтервалі складів $x = 0.99 - 0.9825$ пов'язується із релаксацією внутрішніх напруг, що супроводжує утворення «нескінченного кластера» при переході від розведеного до концентрованого твердого розчину.

2. Показано, що положення аномалій не змінюється при зниженні температури.

3. Надана оцінка радіуса деформаційної сфери для атома домішки (Bi). Величина $R_0 = (1.2 \pm 0.05) a_0$ відповідає короткодіючому характеру деформаційної взаємодії.

3. Спостереження концентраційних аномалій властивостей для твердого розчину $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ як з боку чистого Bi_2Te_3 [18], так і з боку чистого Sb_2Te_3 , підтверджує гіпотезу про універсальний характер поведінки твердих розчинів за малої концентрації домішки, висловлену у попередніх роботах.

4. Виявлені ефекти важливо враховувати при розробці методів підвищення термоелектричної ефективності матеріалів шляхом формування твердих розчинів та легування.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. Mukherjee, A. Srivastava and A.K. Singh. *J. Mater. Chem. C*, 10, 12524 (2022). <https://doi.org/10.1039/D2TC02448A>
2. C. Uher (ed.). *Materials Aspect of Thermoelectricity*, CRC Press, Boca Raton, 624 (2016). <https://doi.org/10.1201/9781315197029>
3. D.M. Rowe. *CRC Handbook of Thermoelectrics: Macro to Nano*. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, (2006). <https://doi.org/10.1201/9781420038903>
4. J. Wei, L. Yang, Z. Ma, P. Song, M. Zhang. *J. Ma [et. al.]*, *J. Mater. Sci*, vol. 5512642+ (2020). <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04949-0>
5. М. Гольцман, В.А. Кудинов, И.А. Смирнов. *Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3* . М.: Наука (1972).
6. T. Cao, X.-L. Shi, M. Li, B. Hu, W. Chen, W.-D. Liu, et al. *eScience*, 3(3), 2667 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.esci.2023.100122>
7. X.-L. Shi, J. Zou, and Z.-G. Chen. *Chem. Rev.*, 120 (15), 7399, (2020). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00026>
8. Z. Soleimani, S. Zoras, B. Ceranic, S. Shahzad. *Y. Cui Sustain.*, 37, 2213 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100604>
9. J. Zhang, C.-Z. Chang, Z. Zhang, J. Wen, X. Feng and K. Li. *Nat. Commun.*, 2:574 (2011). <https://doi.org/10.1038/ncomms1588>
10. V.A. Kulbachinsky, H. Ozaki, Y. Miyahara and K. Funagai. *JETP*, 97(6), 1212 (2003). <https://doi.org/10.1134/1.1641903>
11. Н.Х. Абрикосов, Л.В. Порецкая, И.П. Иванова, *ЖНХ*, 4,

(11), 2525 (1959).

12. B. Roy, B.R. Chakraborty, R. Bhattacharya, A.K. Dutta. *Solid State Commun*, 25, 617 (1978). [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(78\)91503-X](https://doi.org/10.1016/0038-1098(78)91503-X)
13. L.R. Testardi, J.N. Bierly and F.J. Donahoe. *J Phys Chem Solids*, 23, 1200 (1962). [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(62\)90168-3](https://doi.org/10.1016/0022-3697(62)90168-3)
14. H.-W. Jeon, H.-Ph. Ha, D.-B. Hyun and J.-D. Shim, *J. Phys. Chem. Solids*, 52(4), 579 (1991). [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(91\)90151-O](https://doi.org/10.1016/0022-3697(91)90151-O)
15. L.D. Ivanova, Yu.V. Granatkina, *Inorg. Mater.*, 36, 672, (2000). <https://doi.org/10.1007/BF02758419>
16. K Martynova, E. Rogacheva, *Funct Mater*, 25(1), 54 (2018). DOI:10.15407/fm25.01.054
17. E.I. Rogacheva, K.V. Martynova and A.S. Bondarenko, *J. Thermoelectr*, 5, 47 (2016).
18. E.I. Rogacheva, *J. Thermoelectr*, 2, 61 (2007)
19. E.I. Rogacheva, O.N. Nashchekina. In: *Advanced Thermoelectric Materials*, Ed. Ch.R. Park, 2019, John Willey & Sons (2019) 383. DOI:10.1002/9781119407348.ch9
20. B.I. Shklovskii, A.L. Efros, *Electronic Properties of Doped Semiconductors*, Springer-Verlag, New York, (1984) 388 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02403-4>
21. D. Stauffer, A. Aharony, *Introduction to Percolation Theory*, Taylor & Francis, London/Washington DC (1992), 192 p. <https://doi.org/10.1201/9781315274386>

REFERENCES

1. M. Mukherjee, A. Srivastava and A. K. Singh. *J. Mater. Chem. C*, 10, 12524 (2022). <https://doi.org/10.1039/D2TC02448A>
2. C. Uher (ed.). *Materials Aspect of Thermoelectricity*, CRC Press, Boca Raton, 624 (2016). <https://doi.org/10.1201/9781315197029>
3. D.M. Rowe. *CRC Handbook of Thermoelectrics: Macro to Nano*. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, (2006). <https://doi.org/10.1201/9781420038903>
4. J. Wei, L. Yang, Z. Ma, P. Song, M. Zhang, J. Ma [et. al.]. *J. Mater. Sci*, vol. 5512642+ (2020). <https://doi.org/10.1007/s10853-020-04949-0>
5. M. Goltsman, V.A. Kudinov, and I.A. Smirnov. *Semiconducting thermoelectric materials based on Bi_2Te_3* . М.: Nauka (1972) (in Russian).
6. T. Cao, X.-L. Shi, M. Li, B. Hu, W. Chen, W.-D. Liu, et al. *eScience*, 3(3), 2667 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.esci.2023.100122>
7. X.-L. Shi, J. Zou, and Z.-G. Chen. *Chem. Rev.*, 120 (15), 7399, (2020). <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00026>
8. Z. Soleimani, S. Zoras, B. Ceranic, S. Shahzad, Y. Cui *Sustain.*, 37, 2213 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100604>
9. J. Zhang, C.-Z. Chang, Z. Zhang, J. Wen, X. Feng and K. Li. *Nat. Commun.*, 2:574 (2011). <https://doi.org/10.1038/ncomms1588>
10. V.A. Kulbachinsky, H. Ozaki, Y. Miyahara and K. Funagai. *JETP*, 97(6), 1212 (2003). <https://doi.org/10.1134/1.1641903>
11. N.Kh. Abrikosov, L.V. Poretskaya, and I.E. Ivanova. *Russ. J. Inorganic Chem.*, 4(11), 2525 (1959). (In Russian)
12. B. Roy, B.R. Chakraborty, R. Bhattacharya, A.K. Dutta. *Solid State Commun*, 25, 617 (1978). [https://doi.org/10.1016/0038-1098\(78\)91503-X](https://doi.org/10.1016/0038-1098(78)91503-X)

1098(78)91503-X

13. L.R. Testardi, J.N. Bierly and F.J. Donahoe. J Phys Chem Solids, 23, 1200 (1962). [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(62\)90168-3](https://doi.org/10.1016/0022-3697(62)90168-3)

14. H.-W. Jeon, H.-Ph. Ha, D.-B. Hyun and J.-D. Shim. J. Phys. Chem. Solids, 52(4), 579 (1991). [https://doi.org/10.1016/0022-3697\(91\)90151-0](https://doi.org/10.1016/0022-3697(91)90151-0)

15. L.D. Ivanova, Yu.V. Granatkina. Inorg. Mater., 36, 672, (2000). <https://doi.org/10.1007/BF02758419>

16. K Martynova, E. Rogacheva. Funct Mater, 25(1), 54 (2018). DOI:10.15407/fm25.01.054

17. E.I.Rogacheva, K.V. Martynova and A.S. Bondarenko. J.

Thermoelectr, 5, 47 (2016).

18. E.I. Rogacheva. J. Thermoelectr, 2, 61 (2007).

19. E.I. Rogacheva, O.N. Nashchekina. In: Advanced Thermoelectric Materials, Ed. Ch.R. Park, 2019, John Willey & Sons (2019) 383. DOI:10.1002/9781119407348.ch9

20. B.I. Shklovskii, A.L. Efros. Electronic Properties of Doped Semiconductors, Springer-Verlag, New York, (1984) 388 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02403-4>

21. D. Stauffer, A. Aharony. Introduction to Percolation Theory, Taylor & Francis, London/Washington DC (1992), 192 p. <https://doi.org/10.1201/9781315274386>

CONCENTRATION ANOMALIES OF GALVANOMAGNETIC PROPERTIES OF $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ SOLID SOLUTIONS BASED ON Sb_2Te_3 IN THE $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ SYSTEM

K.V. Martynova, O.I. Rogacheva

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kyrypchova St. 2, 61002 Kharkiv, Ukraine

E-mail: Kateryna.Martynova@khpj.edu.ua

Received on March 02, 2023. Reviewed on April 05, 2023.

Accepted for publication on April 15, 2023.

Today, solid solutions based on antimony and bismuth tellurides are among the most widely used materials for the p-legs of thermoelectric converters used at room temperature and below. This paper presents the results of a study of galvanomagnetic properties (electrical conductivity σ , Hall coefficient R_H , Hall mobility of charge carriers μ_H) of thermoelectric solid solutions $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ in the range of compositions close to pure antimony telluride ($x = 1 - 0.96$) at temperatures $T = 80$ K and $T = 300$ K.

The study was carried out on cast polycrystalline samples obtained by the method of crystallization from the melt followed by long-term annealing in vacuum at a temperature of $T = 650$ K. Galvanomagnetic properties were measured by the standard dc-method, the experimental cell was cooled with liquid nitrogen. The measurement error of R_H and σ did not exceed $\pm 5\%$.

It is shown that the introduction of the first portions of Bi_2Te_3 leads to a sharp decrease in σ , which is associated with a high degree of disorder of the crystal lattice. In the range of compositions $x = 0.99 - 0.9825$, the concentration dependences of $\sigma(x)$ and $\mu_H(x)$ revealed anomalous growth of σ and μ_H . The presence of concentration anomalies is associated with the transition from dilute to concentrated solid solutions. An assumption is made about the percolation nature of the phase transition. Within the framework of the problem of spheres of percolation theory, within the framework of the task of spheres of the theory of percolation the radius of the deformation sphere of an impurity atom (Bi) is estimated. The obtained value is consistent with the short-range potential of the impurity. It is shown that the position of the anomalies in the $\sigma(x)$ and $\mu_H(x)$ dependences does not change with the decrease in temperature down to 80K.

Thus, the observation of concentration anomalies of the properties for the solid solution $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ is another confirmation of the hypothesis about the universal nature of the behavior of solid solutions at a low impurity concentration. The detected anomalies must be taken into account when developing methods for increasing the thermoelectric performance of materials by creating solid solutions and doping.

Keywords: $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ solid solutions, composition, electrical conductivity, Hall coefficient, Hall mobility, percolation.