

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ $\text{Sm}_2\text{Te}_3\text{--GeTe}$

© 2019 З. М. Мухтарова ✉

*Институт катализа и неорганической химии имени академика М. Нагиева НАНА
пр. Г. Джавида-113, AZ-1143 Баку, Азербайджан*

Аннотация. Методами физико-химического анализа – дифференциально-термическим, высокотемпературным дифференциально-термическим, рентгенофазовым, микроструктурным, а также измерением микротвердости изучена система $\text{Sm}_2\text{Te}_3\text{--GeTe}$, которая является квазибинарным сечением тройной системы Ge--Sm--Te . При соотношении исходных теллуридов 1:1 (50 мол. %) и температуре 1100 К по перитектической реакции $\text{ж} + \text{Sm}_2\text{Te}_3 \rightarrow \text{GeSm}_2\text{Te}_4$ образуется тройное соединение GeSm_2Te_4 . Образцы системы, богатые GeTe , представляют собой компактные слитки блестяще-серого цвета, а сплавы, богатые Sm_2Te_3 – спек черного цвета. Ликвидус системы $\text{Sm}_2\text{Te}_3\text{--GeTe}$ состоит из трех ветвей: Sm_2Te_3 , GeSm_2Te_4 и α -твердых растворов на основе GeTe . Рентгенофазовый анализ закристаллизованных образцов показал, что набор рентгеновских отражений соответствует фазам Sm_2Te_3 , GeSm_2Te_4 и α -твердых растворов на основе GeTe . Установлено образование инконгруэнтно плавящегося соединения состава GeSm_2Te_4 , которое может использоваться как термоэлектрический материал. На основе GeTe образуется узкая область твердого раствора.

Ключевые слова: фазовая диаграмма, эвтектика, микротвердость, квазибинарное сечение, полупроводник, термограмма.

ВВЕДЕНИЕ

Теллурид германия нашел практическое применение в качестве материала термоэлектрических преобразователей и в ИК технике. Поиск новых неорганических материалов, обладающих самым разнообразным сочетанием практически важных свойств, представляет собой одну из основных задач, стоящих перед химией полупроводников. GeTe и некоторые сплавы на его основе являются перспективными материалами. В литературе имеются сведения о влиянии разных элементов и соединений на термоэлектрические свойства теллурида германия [1–18].

Синтез новых сложных тройных сплавов из областей твердых растворов на основе исходных полупроводниковых соединений позволяет рекомендовать полученные материалы для использования в различных областях науки и техники.

Целью настоящей работы является исследование фазовых равновесий в системе $\text{Sm}_2\text{Te}_3\text{--GeTe}$ с построением фазовой диаграммы, опре-

делением областей гомогенности и новых полупроводниковых фаз.

Система Sm--Te . Диаграмма состояния системы Sm--Te построена в работе [19]. Полуторный теллурид самария Sm_2Te_3 плавится при 1773 ± 50 К. Соединение Sm_2Te_3 имеет кристаллическую структуру типа Sb_2S_3 , относится к ромбической сингонии с параметрами решетки: $a = 12.04$, $b = 11.86$, $c = 7.34$ Å.

Система Ge--Te . В системе найдено одно соединение – GeTe . Монотеллурид германия плавится конгруэнтно при 996 К. Эвтектика между монотеллуридом германием имеет температуру 993 К и состав 49.85 mol % Te . GeTe кристаллизуется в кубической сингонии (структура типа NaCl) с периодом решетки: $a = 6.01$ Å [10].

Для определения характера взаимодействия в тройной системе Ge--Te--Sm нами ранее были исследованы разрезы: $\text{Ge}_{0.80}\text{Te}_{0.20}\text{--Sm}_{0.80}\text{Te}_{0.20}$ [20] и $\text{GeTe--Sm}_5\text{Ge}_3$ [21].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Разрез $\text{Sm}_2\text{Te}_3\text{--GeTe}$ исследован методами физико-химического анализа: дифференци-

✉ Мухтарова Зияфат Мамед кызы,
e-mail: ziyafatmukhtarova47@mail.ru

ально-термическим (ДТА), высокотемпературным дифференциально-термическим (ВДТА), рентгенофазовым (РФА), микроструктурным (МСА), а также измерением плотности и микротвердости.

ДТА проводили на пирометре НТР-75 в вакуумированных до 0.1333 Па кварцевых ампулах, эталоном служил Al_2O_3 . Скорость нагрева составляла 9–10 К/min (погрешность ± 5 К).

ВДТА проводили по аналогичной методике. В связи с высокой температурой плавления исходных компонентов, ВДТА осуществляли в высокотемпературном анализаторе (установка марки ВДТА-8). Образцы для ВДТА готовили в виде прессованных штапиков диаметром $5.7 \cdot 10^{-3}$ – $6 \cdot 10^{-3}$ м и высотой около $5 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве эталонного образца использовали штапик из молибдена.

РФА порошкообразных образцов проводили на рентгенодифрактометре ДРОН-2 в CuK_α -излучении с Ni-фильтром.

МСА осуществляли с помощью микроскопа МИМ-8 на предварительно приготовленных шлифах, полированных пастой ГОИ. Травителем служила смесь 1н HNO_3 и 3%-ной H_2O_2 в соотношении 2:1, время травления – 10–15 секунд.

Микротвердость сплавов измеряли на микротвердомере ПМТ-3 с нагрузкой 0.15 Н.

Плотность сплавов определяли пикнометрически, наполнителем служил толуол.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам, полученным методами физико-химического анализа, построена диаграмма состояния разреза Sm_2Te_3 – GeTe , который является квазибинарным сечением тройной системы Ge – Te – Sm .

Для исследования были синтезированы двойные соединения: Sm_2Te_3 и GeTe из элементов высокой степени чистоты следующих марок: германий – В-4, теллур – В-3, самарий – СМ-1. Вакуумированные кварцевые ампулы с исходными веществами нагревали со скоростью 50 К/min до 1300 К, выдерживали в расплавленном состоянии 1.5–2 часа, после чего охлаждали медленно до комнатной температуры.

Сплавы с составами в интервале 40–100 mol % Sm_2Te_3 отжигали в течение 500 часов при 1000 К. Сплавы с составами в интервале 60–100 mol % GeTe отжигали в зависимости от состава при 700–800 К в течение 240–300 часов. Отожженные сплавы исследовали классическими методами физико-химического анализа. Образцы системы, богатые GeTe , представляют собой компактные слитки блестяще-серого цвета, а сплавы, богатые Sm_2Te_3 , спек черного цвета.

Рассмотрим диаграмму состояний системы Sm_2Te_3 – GeTe . Разрез Sm_2Te_3 – GeTe является квазибинарным сечением тройной системы Ge – Te – Sm (рис. 1). При соотношении исходных теллуридов 1:1 (50 mol %) и температуре 1100 К по перитектической реакции $\text{ж} + \text{Sm}_2\text{Te}_3 \rightarrow \text{GeSm}_2\text{Te}_4$ образуется тройное соединение GeSm_2Te_4 .

Ликвидус системы Sm_2Te_3 – GeTe состоит из трех ветвей, отвечающих плавлению Sm_2Te_3 , GeSm_2Te_4 и α -твердых растворов на основе GeTe .

Рентгенфазовый анализ (рис. 2) закристаллизованных образцов показал, что набор рентгеновских отражений соответствует фазам Sm_2Te_3 , GeSm_2Te_4 и α -твердых растворов на основе GeTe .

Для определения растворимости Sm_2Te_3 в GeTe проведен дополнительный отжиг сплавов 1, 3, 5 mol % Sm_2Te_3 при 920 К (время отжига – 340 часов). После отжига по данным химического анализа определена растворимость Sm_2Te_3 в GeTe , которая составила 2 mol %.

С практической точки зрения полученное соединение может быть перспективным термо-

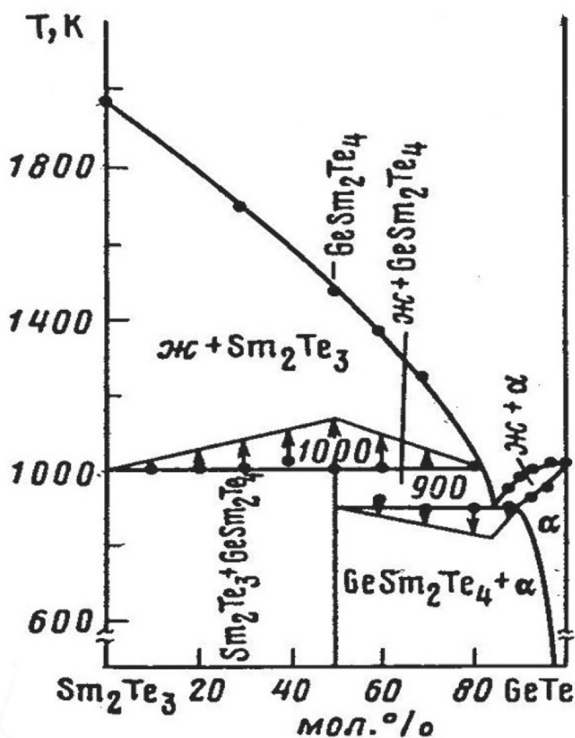


Рис. 1. Диаграмма состояния системы Sm_2Te_3 – GeTe
[Fig.1. Diagram of the system Sm_2Te_3 – GeTe]

электрическим материалом для изготовления положительной ветви термоэлемента.

Твердые растворы на основе GeTe имеют кубическую решетку. Значения параметров решетки исследуемых твердых растворов на основе GeTe по сравнению с параметрами решетки GeTe незначительно выше. Параметр решетки GeTe $a = 6.01\text{E}$, а параметр решетки исследуемых твердых растворов на основе GeTe $a = 6.08\text{E}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, построена фазовая диаграмма Sm_2Te_3 –GeTe. Установлено, что разрез Sm_2Te_3 –GeTe является квазинарным сечением тройной системы Ge–Te–Sm. В системе при соотношении исходных теллуридов 1:1 (50 mol %) образуется инконгруэнтно плавящееся тройное соединение состава GeSm_2Te_4 . На основе GeTe образуется узкая область твердого раствора.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kohri H., Shiota I., Kato M., Ohsugi J., Goto T. Synthesis and Thermoelectric Properties of Bi_2Te_3 –GeTe Pseudo Binary System // *Advances in Science and Technology*, 2006, v. 46, pp. 168–173. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ST.46.168

2. Gelbstein Y., Dado B., Ben-Yehuda O., Sadia Y., Dashevsky Z. and Dariel M.P. Highly efficient Ge-rich $\text{Ge}_x\text{Pb}_{1-x}\text{Te}$ thermoelectric alloys // *Journal of Electronic Materials*, 2010, v. 39(9), pp. 2049–2052. DOI: 10.1007/s11664-009-1012-z

3. Gelbstein Y., Davidow J., Girard S. N., Chung D. Y. and Kanatzidis M. Controlling metallurgical phase separation reactions of the $\text{Ge}_{0.87}\text{Pb}_{0.13}\text{Te}$ alloy for high thermoelectric performance // *Advanced Energy Materials*, 2013, v. 3, pp. 815–820. DOI: 10.1002/aenm.201200970

4. Gelbstein Y., Dashevsky Z., Dariel M. P. Highly efficient bismuth telluride doped p-type $\text{Pb}_{0.15}\text{Ge}_{0.87}\text{Te}$ for thermoelectric applications // *Physical Status Solidi*, 2007, v. 1(6), pp. 232–234. DOI: 10.1002/pssr.200701160

5. Gelbstein Y., Ben-Yehuda O., Dashevsky Z., Dariel M. P. Phase transitions of p-type (Pb,Sn,Ge)Te-based alloys for thermoelectric applications // *Journal of Crystal Growth*, 2009, v. 311(18), pp. 4289–4292. DOI: 10.1007/s11664-008-0652-8

6. Gelbstein Y., Ben-Yehuda O., Pinhas E., et al. Thermoelectric properties of (Pb,Sn,Ge) Te-based alloys // *Journal of Electronic Materials*, 2009, v. 38(7), pp. 1478–1482. DOI: 10.1007/s11664-008-0652-8

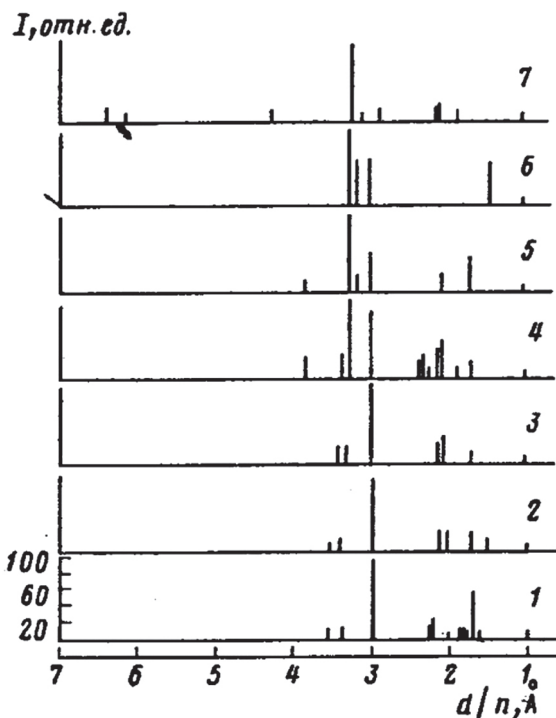


Рис. 2. Штрихдиаграммы сплавов системы Sm_2Te_3 –GeTe: 1 – GeTe; 2 – 5 мол. % Sm_2Te_3 ; 3 – 20 мол. % Sm_2Te_3 ; 4 – 50 мол. % Sm_2Te_3 ; 5 – 60 мол. % Sm_2Te_3 ; 6 – 80 мол. % Sm_2Te_3 ; 7 – Sm_2Te_3
 [Fig. 2. Stick-diagram of alloys of Sm_2Te_3 –GeTe: 1 – GeTe; 2 – 5 mol % Sm_2Te_3 ; 3 – 20 mol % Sm_2Te_3 ; 4 – 50 mol % Sm_2Te_3 ; 5 – 60 mol % Sm_2Te_3 ; 6 – 80 mol % Sm_2Te_3 ; 7 – Sm_2Te_3]

7. Li J., Chen Z., Zhang X., Sun Y., Yang J., Pei Y. Electronic origin of the high thermo- electric performance of GeTe among the p-type group IV monotel- lurides // *NPG Asia Materials*, 2017, v. 9, p. 353. DOI: 10.1038/am.2017.8

8. Sante D.Di., Barone P., Bertacco R., Picozzi S. Electric control of the giant rashba effect in bulk GeTe // *Advanced materials*, 2013, v. 25(27), pp. 3625–3626. DOI: 10.1002/adma.201203199

9. Li J., Zhang X., Lin S., Chen Z., Pei Y. Realizing the high thermoelectric performance of GeTe by Sb-doping and Se-alloying // *Chem. Mater.*, 2017, v. 29 (2), pp. 605–611. DOI: 10.1021/acs.chemmater.6b04066

10. Абрикосов Н. Х., Шелимова Л. Е. *Полупроводниковые материалы на основе соединений AIV BVI. М.: Наука, 1975, 195 с.*

11. Коржуев М. А. Влияние легирования на пара- метры GeTe. Серия 6. М.: 1983, no. 6 (179), с. 33–36.

12. Okoye I. Electronic and optical properties of SnTe and GeTe // *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2002, v. 14(36), pp. 8625–8637. DOI: 10.1088/0953-8984/14/36/318

13. Gelbstein Y., Rosenberg Y., Sadia Y., Dariel M. P. Thermoelectric properties evolution of spark plasma

sintered $(\text{Ge}_{0.6}\text{Pb}_{0.3}\text{Sn}_{0.1})\text{Te}$ following a spinodal decomposition // *Journal of Physical Chemistry*, 2010, v. 114(30), pp. 13126–13131. DOI: 10.1021/jp103697s

14. Rosenthal T., Schneider N., Stiewe C., Düblinger M., Oeckler O. Real Structure and Thermoelectric Properties of GeTe-Rich Germanium Antimony Tellurides // *Chem. Mater.*, 2011, v. 23(19), pp. 4349–4356. DOI: 10.1021/cm201717z

15. Li J., Chen Z., Zhang X., Yu H., Wu Z., Xie H., Chen Y., Pei Y. Simultaneous Optimization of Carrier Concentration and Alloy Scattering for Ultrahigh // *Chem. Mater.*, 2017, v. 4(12), p. 341. DOI: 10.1002/adv.201700341

16. Bletskan D.I. Phase equilibrium in the system AIV-BVI—part II: systems germanium-chalcogen // *Journal of Ovonic Research*, 2005, v. 1(5), p. 53–60.

17. Li S. P., Li J. Q., Wang Q. B., Wang L., Liu F. S., Ao W. Q. Synthesis and thermoelectric properties of

the $(\text{GeTe})_{1-x}(\text{PbTe})_x$ alloys // *Solid State Sciences*, 2011, v. 13(2), pp. 399–403. DOI: 10.1016/j.solidstate-sciences.2010.11.045

18. Gelbstein Y., Dado B., Ben-Yehuda O., Sadia Y., Dashevsky Z. and Dariel M.P. High thermoelectric figure of merit and nanostructuring in bulk p-type $\text{Ge}_x(\text{Sn}_y\text{Pb}_{1-y})_{1-x}\text{Te}$ alloys following a spinodal decomposition reaction // *Chemistry of Materials*, 2010, v. 22(3), pp. 1054–1058. DOI: 10.1021/cm902009t

19. Ярембаш Е. И., Елисеев А. А. *Халькогениды редкоземельных элементов: синтез и кристаллохимия*. М.: Наука, 1975. 258 с

20. Mukhtarova Z. M., Bakhtiyarly I. B., Azhdarova D. S. Politermicheskoye secheniye $\text{Ge}_{0.80}\text{Te}_{0.20}-\text{Sm}_{0.80}\text{Te}_{0.20}$. // *Azerb. khim. zhurn.*, 2010, no. 4, pp. 144–146.

21. Mukhtarova Z. M., Bakhtiyarly I. B., Azhdarova D. S. Issledovaniye politermicheskogo secheniye $\text{Ge}_{0.84}\text{Te}_{0.16}-\text{Sm}_5\text{Ge}_2\text{Te}_7$ v troynoy sisteme Ge–Te–Sm // *Azerb. khim. zhurn.*, 2011, no. 4, pp. 57–59.

UDC 546.659.289.24

DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2019.21/770>

Received 19.02.2019

Accepted 15.05.2019

PHASE EQUILIBRIUM IN SYSTEM $\text{Sm}_2\text{Te}_3-\text{GeTe}$

© 2019 Z. M. Mukhtarova✉

*Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry, Azerbaijan National Academy of Sciences,
113 H. Javid ave., AZ-1143 Baku, Azerbaijan*

Abstract

Objective. GeTe and some alloys on its basis are prospective materials. There are information on the influence of rare earth chalcogenides on thermoelectrically properties of germanium telluride in literature. Synthesis of new complicated triple alloys from the fields of solid solutions on the base of initial semiconductive compounds allows me to recommend the obtained materials for usage in different possible fields of science and technics.

Purpose. The aim of this work is an investigation of phase equilibrium interaction in $\text{Sm}_2\text{Te}_3-\text{GeTe}$ system with phase diagram construction, definition of homogeneity fields and new semiconductive phases.

Methods and methodology. The section of $\text{Sm}_2\text{Te}_3-\text{GeTe}$ was studied by methods of physical-chemical analysis: differential-thermal (DTA), high temperature differential-thermal (HTDT), X-ray phase, microstructural analysis (MSA), as well as measurement of density and micro hardness. DTA was performed with pyrometer HTP-75. HTDT was performed with HTDT-8m ($T_{\text{melt}} \geq 1500 \times 2000$ K) by analogical method. X-ray phase analysis was performed by powder method with X-ray diffractometer DRON-2 (CuK_α -radiation with Ni-filter). MSA was performed with microscope MIM-8. Micro hardness of alloys was measured with micro-hardness tester PMP-3. Density of alloys was determined by pycnometer test.

Results. Based on data of physical-chemical analysis the diagram of state of $\text{Sm}_2\text{Te}_3-\text{GeTe}$ system has been constructed. The cutting is a quasibinary section of a triple system Ge–Te–Sm. At the ratio of initial tellurides 1:1 (50 mol %) and the temperature 1100 K according to peritectic reaction $m+\text{Sm}_2\text{Te}_3 \rightarrow \text{GeSm}_2\text{Te}_4$ the triple complex GeSm_2Te_4 is formed. The liquidus of $\text{Sm}_2\text{Te}_3-\text{GeTe}$ system consists of three branches, which are responsible for fusion (melting) of Sm_2Te_3 , GeSm_2Te_4 and α -solid solutions based on GeTe. X-ray phase analysis of crystallized samples

✉ Mukhtarova Ziyafat, e-mail: ziyafatmukhtarova47@mail.ru

showed, that collection of X-ray reflections corresponds to the phases Sm_2Te_3 –GeTe, GeSm_2Te_4 and γ - solid solutions based on GeTe. In order to determine the dissolution of Sm_2Te_3 in GeTe there has been carried out additional burning of alloys 1,3,5 mol % Sm_2Te_3 at 920K (time of annealing – 340 hours). After annealing, according to the data of chemical analysis, the dissolution of Sm_2Te_3 in GeTe was 2 mol %.

From practical point of view the obtained compound can be a perspective thermoelectrical material for making a positive branch of thermoelement.

Conclusions. Thus, the phase diagram Sm_2Te_3 –GeTe has been constructed. It has been established, that the cutting Sm_2Te_3 –GeTe is a quasibinary section of a triple system Ge–Te–Sm. In the system, at the ratio of initial tellurides 1:1 (50 mol %) an incongruently melting triple compound of in GeSm_2Te_4 composition is formed. On the base of GeTe a narrow field of solid solution is formed.

Keywords: phase diagram, eutectic, microhardness, quasi binary sections, semiconductor, thermogram.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

- Kohri H., Shiota I., Kato M., Ohsugi J., Goto T. Synthesis and Thermoelectric Properties of Bi_2Te_3 –GeTe Pseudo Binary System. *Advances in Science and Technology*, 2006, v. 46, pp. 168–173. DOI: 10.4028/www.scientific.net/ST.46.168
- Gelbstein Y., Dado B., Ben-Yehuda O., Sadia Y., Dashevsky Z. and Dariel M. P. Highly efficient Ge-Rich $\text{Ge}_x\text{Pb}_{1-x}\text{Te}$ thermoelectric alloys. *Journal of Electronic Materials*, 2010, v. 39(9), pp. 2049–2052. DOI: 10.1007/s11664-009-1012-z
- Gelbstein Y., Davidow J., Girard S.N., Chung D. Y. and Kanatzidis M. Controlling Metallurgical Phase Separation Reactions of the $\text{Ge}_{0.87}\text{Pb}_{0.13}\text{Te}$ Alloy for High Thermoelectric Performance. *Advanced Energy Materials*, 2013, v. 3, pp. 815–820. DOI: 10.1002/aenm.201200970
- Gelbstein Y., Dashevsky Z. and Dariel M. P. Highly efficient bismuth telluride doped p-type $\text{Pb}_{0.15}\text{Ge}_{0.87}\text{Te}$ for thermoelectric applications. *Physical Status Solidi*, 2007, v. 1(6), pp. 232–234. DOI: 10.1002/pssr.200701160
- Gelbstein Y., Ben-Yehuda O., Dashevsky Z. and Dariel M. P. Phase transitions of p-type (Pb,Sn,Ge)Te-based alloys for thermoelectric applications. *Journal of Crystal Growth*, 2009, v. 311(18), pp. 4289–4292. DOI: 10.1007/s11664-008-0652-8
- Gelbstein Y., Ben-Yehuda O., Pinhas E., et al. Thermoelectric properties of (Pb,Sn,Ge) Te-based alloys. *Journal of Electronic Materials*, 2009, v. 38(7), pp. 1478–1482. DOI: 10.1007/s11664-008-0652-8
- Li J., Chen Z., Zhang X., Sun Y., Yang J., Pei Y. Electronic origin of the high thermoelectric performance of GeTe among the p-type group IV monotellurides. *NPG Asia Materials*, 2017, v. 9, p. 353. DOI: 10.1038/am.2017.8
- Sante D. Di., Barone P., Bertacco R., Picozzi S. Electric control of the giant rashba effect in bulk GeTe. *Advanced materials*, 2013, v. 25(27), pp. 3625–3626. DOI: 10.1002/adma.201203199
- Li J., Zhang X., Lin S., Chen Z., Pei Y. Realizing the high thermoelectric performance of GeTe by Sb-doping and Se-alloying. *Chem. Mater.*, 2017, v. 29(2), pp. 605–611. DOI: 10.1021/acs.chemmater.6b04066
- Abrikosov N. Kh., Shelimova L. B. *Poluprovodnikovye materialy na osnove soedineniy AIV BVI*. [Semiconductor materials based on compounds AIV BVI.]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 195 p. (in Russ.)
- Korzhuev M. A. *Vliyaniye legirovaniya na parametric of GeTe. Series 6*. [Effect of doping on GeTe parameters. Series 6]. Moscow, 1983, no. 6 (179), pp. 33–36. (in Russ.)
- Okoye I. Electronic and optical properties of SnTe and GeTe. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 2002, v. 14(36), pp. 8625–8637. DOI: 10.1088/0953-8984/14/36/318
- Gelbstein Y., Rosenberg Y., Sadia Y. and Dariel M. P. Thermoelectric properties evolution of spark plasma sintered $(\text{Ge}_{0.6}\text{Pb}_{0.3}\text{Sn}_{0.1})\text{Te}$ following a spinodal decomposition. *Journal of Physical Chemistry*, 2010, v. 114(30), pp. 13126–13131. DOI: 10.1021/jp103697s
- Rosenthal T., Schneider N., Stiewe C., Düblinger M., Oeckler O. Real Structure and thermoelectric properties of GeTe-rich germanium antimony tellurides. *Chem. Mater.*, 2011, v. 23(19), pp. 4349–4356. DOI: 10.1021/cm201717z
- Li J., Chen Z., Zhang X., Yu H., Wu Z., Xie H., Chen Y., Pei Y. Simultaneous optimization of carrier concentration and alloy scattering for ultrahigh. *Chem. Mater.*, 2017, v. 4(12), p. 341. DOI: 10.1002/advs.201700341
- Bletska D. I. Phase equilibrium in the system AIV-BVI-part II: systems germanium-chalcogen. *Journal of Ovonic Research*, 2005, v. 1(5), p. 53–60.

17. Li S. P., Li J. Q., Wang Q. B., Wang L., Liu F. S., Ao W. Q. Synthesis and thermoelectric properties of the $(\text{GeTe})_{1-x}(\text{PbTe})_x$ alloys. *Solid State Sciences*, 2011, v. 13(2), pp. 399–403. DOI: 10.1016/j.solidstatesciences.2010.11.045

18. Gelbstein Y., Dado B., Ben-Yehuda O., Sadia Y., Dashevsky Z., Dariel M. P. High thermoelectric figure of merit and nanostructuring in bulk p-type $\text{Ge}_x(\text{Sn}_y\text{Pb}_{1-y})_{1-x}$ Te alloys following a spinodal decomposition reaction. *Chemistry of Materials*, 2010, v. 22(3), pp. 1054–1058. DOI: 10.1021/cm902009t

19. Yarembash E. I., Eliseev A. A. *Khal'kogenidy redkozemel'nykh elementov: sintez i kristallokhimiya* [Chalcogenides of rare-earth elements: synthesis and crystal chemistry]. Moscow, Nauka Publ., 1975, p. 258. (in Russ.)

20. Mukhtarova Z. M., Bakhtiyarly I. B., Azhdarova D. S. Politermicheskoye secheniye $\text{Ge}_{0.80}\text{Te}_{0.20}-\text{Sm}_{0.80}\text{Te}_{0.20}$. *Azerb. khim. zhurn.*, 2010, no. 4, pp. 144–146.

21. Mukhtarova Z. M., Bakhtiyarly I. B., Azhdarova D. S. Issledovaniye politermicheskogo secheniye $\text{Ge}_{0.84}\text{Te}_{0.16}-\text{Sm}_5\text{Ge}_2\text{Te}_7$ v troynoy sisteme Ge–Te–Sm. *Aze-rb. khim. zhurn.*, 2011, no. 4, pp. 57–59.

Мухтарова Зияфат Мамед кызы – доктор философии по химии, ведущий научный сотрудник, Институт катализ и неорганической химии НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан; e-mail: ziyafatmukhtarova@mail.ru. ORCID iD 0000-0003-1222-969X.

Mukhtarova Ziyafat – PhD in Chemistry, Leading Researcher, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan; e-mail: ziyafatmukhtarova@mail.ru. ORCID iD 0000-0003-1222-969X.