

УДК 546.654.87

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМЕ  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-LuBi}$ 

Ф.М.САДЫГОВ, З.И.ИСМАИЛОВ, С.Г.МАМЕДОВА,  
Е.К.ДЖАФАРОВА, К.М.МУСТАФАЕВА  
Бакинский Государственный Университет  
zakir-51@mail.ru

Методами физико-химического анализа исследована диаграмма состояния системы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Lu Bi}$ .

Установлено, что взаимодействие является эвтектическим с ограниченной областью растворимости на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , граница которой при 300 К доходит до 3 мол.% LuBi.

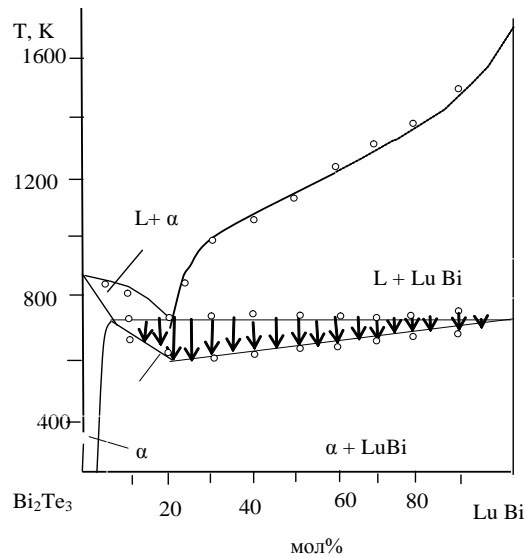
В широком интервале температур исследованы удельная электропроводность и коэффициент термо-э.д.с. сплавов  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$  ( $x \leq 0,05$ ).

**Ключевые слова:** микротвердость, кристаллизация, растворимость, термоэлектрические свойства, электропроводность

В настоящей работе приведены результаты исследования физико-химических и термоэлектрических свойств сплавов системы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Lu Bi}$ .

Физико-химические и кристаллохимические свойства исходных соединений описаны детально [1-3].

Диаграмму состояния  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Lu Bi}$  изучали методами дифференциального термического анализа (ДТА), рентгенофазового (РФА), микроструктурного (МСА), а также определением микротвердости и плотности. Согласно предварительному ДТА, образцы сплавов отжигали при 900 К в течение 500 ч. Термоэлектрические свойства оценивали на поликристаллических образцах по методике, аналогичной приведенной в [4]. По результатам ДТА, РФА и МСА построили диаграмму состояния системы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-LuBi}$  (рис 1).



**Рис.1.** Диаграмма состояния сплавов системы  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ -LuBi

Эта диаграмма состояния простого эвтектического типа с ограниченной областью твёрдых растворов на основе теллурида висмута (до 3 мол.% LuBi при 300К). Эвтектика системы имеет состав 80 мол.%

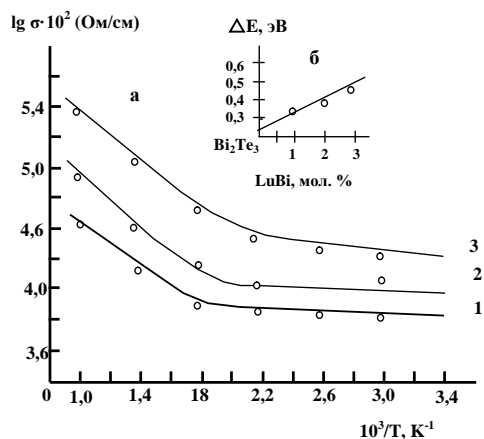
$\text{Bi}_2\text{Te}_2 + 20$  мол.% LuBi и плавится при 755 К. Из микротвердости сплавов системы  $\text{Bi}_2\text{Te}_2$ -LuBi видно, что в области твёрдых растворов на основе теллурида висмута вначале обнаруживается рост значений микротвердости для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  от 980 до 985 МПа для твёрдого раствора состава 97 мол.%  $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + 3$  мол.% LuBi. Затем в области двухфазной смеси для более светлой фазы на основе теллурида висмута значение микротвердости остается постоянным. Для LuBi получено значение микротвердости 2350 МПа, которое остается стабильным в сплавах богатых LuBi до ~65 мол.%.

Исследованы температурные зависимости термоэлектрических параметров сплавов из области твёрдых растворов на основе p-n-  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  в интервале 300-900К. Кривые зависимости  $\lg \sigma \sim f(T)$  твёрдых растворов  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$  ( $x < 0,05$ ) во всём температурном интервале имеют полупроводниковый ход проводимости (рис.2).

При ~500°К начинается область собственной проводимости, по наклону кривых в указанной области рассчитаны значение термической ширины запрещенной зоны. Начало области собственной проводимости с увеличением в составе твёрдых растворов LuBi смещается в сторону высоких температур.

С увеличением LuBi в твёрдых растворах на основе p- $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  значение ширины запрещенной зоны растёт от 0,16 для  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  до 0,37эВ для твёрдого раствора состава  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0,97}(\text{LuBi})_{0,03}$  объясняется тем, что теллурид висмута относится к полупроводникам с дефектной структурой. В области малых добавок LuBi возможно, заполняются дефекты, имею-

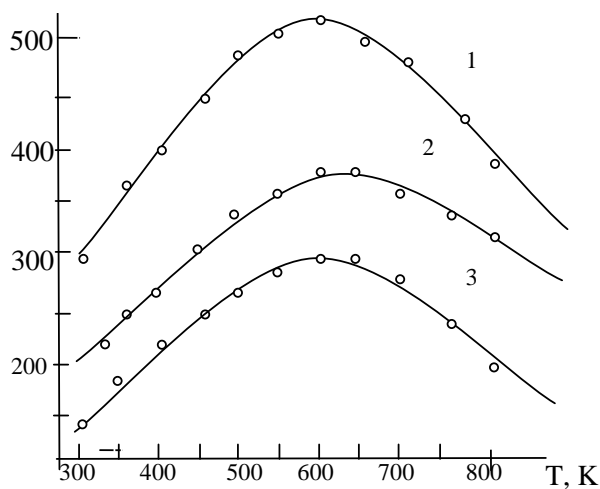
щиеся в структуре p-  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . В результате степень локализации электронов, статически распределенных между дефектами и атомами теллура (или висмута), усиливается, вызывая рост ширины запрещенной зоны [5].



**Рис. 2.** Температурные зависимости удельной электропроводности твердых растворов на основе  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$ , содержащих  $x=0,05$  (1),  $x=0,01$ (2),  $x=0,03$ (3) (а) и изменение термической ширины запрещенной зоны твердых растворов (б).

Характер изменения коэффициента термо-э.д.с. твёрдых растворов  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$  в зависимости от температуры показан на рис.3.

$\alpha$ , мкВ/град.



**Рис. 3.** Температурные зависимости коэффициента термо-э.д.с. твердых растворов на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , содержащих 1 (1), 2 (2) и 3 (3) мол.% LuBi (3)

Видно, что  $\alpha$  в зависимости от температуры в исследуемых сплавах изменяется сильнее, чем в обычных полупроводниках. Вначале коэффициента термо-э.д.с. растут линейно и хорошо согласуется теоретически и значениями, рассчитанными для вырожденных полупроводников в случае параболической зонной структурой носителей зарядов (в предположении стабильности кинетических коэффициентов [6]). При более высоких температурах начинается резкий рост термо-э.д.с., а с дальнейшим повышением температуры для каждого состава твердого раствора достигается ее максимальная величина. Температура, при которой наступает насыщение термо-э.д.с., зависит от концентрации монотеллурида лютеция в сплавах  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$ .

Дальнейшая тенденция к уменьшению коэффициента термо-э.д.с., вероятно, вызвана приближением к области собственной проводимости в исследуемых материалах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . М.: Наука, 1972, 320 с.
2. Абрикосов Н.Х., Банкина В.Ф. Порецкая Л.В. и др. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе. М.: Наука, 1975, 173с.
3. Kulbachinskii V. A., Kytin V. G., Kudryashov A. A., Tarasov P.M. Thermoelectric properties of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  and  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  Single Crystals with Magnetic Impurities 9TH European Conference on Thermoelectrics: ect 2011. AIP Conference Proceedings, Volume 1449, pp. 95-98 (2012).
4. Андреев О.В., Халиков А.И., Лактионов Ф.В., Щурова М.А. Измерение электропроводности и термо-ЭДС: Учебно-методический комплекс. Методические указания для студентов направления 020100.68 «Химия». Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2012, 44 с.
5. Patent. Термоэлектрический материал на основе теллурида висмута № I 20040065.
6. Аскеров Б.М. Кинетические эффекты в полупроводниках, Л.: Наука, 1970, 450 с. и преобразования информации: Учеб. пособие/ ПетрГУ. – Петрозаводск, 2003, 126 с.

#### $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ -LuBi SİSTEMİNDƏ QARŞILIQLI TƏSİR

F.M.SADIQOV , Z.İ.SMAYILOV, S.H.MƏMMƏDOVA ,  
E.K.CƏFƏROVA, K.Z.MUSTAFAYEVA

#### XÜLASƏ

Fiziki-kimyəvi analiz üsulları ilə  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  –LuBi sistemi tədqiq edilmiş və sistemin hal diaqramı qurulmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, sistemdə qarşılıqlı təsir evtektik tiplidir,  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  əsasında məhdud həllolma sahəsi mövcuddur, 300K-də onun sərhədləri 3mol% LuBi təşkil edir. Həmçinin geniş temperatur intervalında  $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{LuBi})_x$  ( $x < 0,03$ ) ərintilərinin məxsusi elektrik keçiriciliyi və termo e.h.q. əmsalı tədqiq edilmişdir.

**Açar sözlər:** mikrobərklik, kristallaşma, həllolma, termoelektrik xassələri, elektrik keçiriciliyi

## INTERACTIONS IN THE SYSTEM OF BiTe<sub>3</sub>-LuBi

F.M.SADYGOV, Z.LISMAYILOV, S.H.MAMMADOVA,  
E.K.JAFAROVA, K.Z.MUSTAFAYEVA

### SUMMARY

The phase diagrams of the Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>-LuBi system were studied using methods of physicochemical analysis. It was established that the interaction in this system is eutectic with limited range of solubility based on Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> whose boundary comes to 3 mol.% LuBi at 300 K.

The electric conductivity and the coefficient of thermal EMF of (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>(LuBi)<sub>x</sub> ( $x \leq 0,05$ ) alloys were investigated in a wide temperature range.

**Key words:** microhardness, crystallization, solubility, electrical conductivity, thermo-electrical properties

*Поступила в редакцию: 04.11.2014 г.*

*Подписано к печати: 23.06.2015 г.*