

## KİMYA

УДК 541.06

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ  
 $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  в СИСТЕМЕ  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  – $\text{HoSe}$** **Г.Б.ОРУДЖЕВА, Ф.М.САДЫГОВ,  
З.И.ИСМАИЛОВ, Т.М.ИЛЬЯСЛЫ*****Бакинский Государственный Университет  
zakir-51@mail.ru***

*Уточнена растворимость  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  в  $\text{HoSe}$  методом микроструктурного анализа и путем использования электрофизических свойств. Наблюдается снижение удельного сопротивления и рост ЭДС при увеличении содержания  $\text{HoSe}$  от 0,5 до 2,5 мол % включительно. При увеличении содержания  $\text{HoSe}$  от 3,0 до 5,0 мол % эти величины меняются в обратном направлении, что свидетельствует о появлении в образцах второй фазы. Микротвердость изученных образцов при увеличении содержания  $\text{HoSe}$  от 3,0 до 5,0 мол % закономерно возрастает с 519,4 до 744,8 МПа.*

**Ключевые слова:** *сплав, растворимость, удельное сопротивление, термо-ЭДС, микротвердость*

Одна из основных задач современного материаловедения термоэлектрических материалов заключается в замене  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  на другие более экологичные и дешевые материалы. Желательно, чтобы новые материалы по своим техническим характеристикам были подобны  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . В настоящее время наблюдается повышенный интерес к разработке различных способов синтеза селенида висмута  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  как потенциального термоэлектрического материала. Возможность применения сплавов на основе селенида висмута  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  в качестве термоэлектрического материала в макро- и наноструктурах активно изучается в последние годы. Доказано, что термоэлектрические характеристики улучшаются при переходе  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  в наноструктурированное состояние [1-4]. Соединение  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  является термоэлектрическим преобразователем n-типа с концентрацией носи-

телей зарядов электронов  $8 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  [3]. В работе [5] изучена фазовая диаграмма системы  $\text{Vi}_2\text{Se}_3\text{-HoSe}$ .

Для приготовления образцов (составы указаны в таблице 1) навески Vi Ви-0000, Se ос.ч 174 и Ho Гол. М-1 помещали в кварцевую ампулу, которую вакуумировали до остаточного давления 0,1 Па и запаивали. Ампулу 12 часов выдерживали в печи при  $t = 400\text{-}500^\circ\text{C}$ , затем температуру повышали до  $850^\circ\text{C}$  и выдерживали до двух дней, после чего печь охлаждали в режиме выключения.

Для изучения особенностей фазовых равновесий в изученных образцах исследовали их электрофизические характеристики, а также измеряли их микротвердость. Электропроводность и термо-ЭДС измеряли по методике, описанной в работе [6]. Перед измерениями образец из полученных сплавов изготавливали цилиндрический образец с параллельными верхней и нижней гранью и высотой 8-12 мм. Образец помещали между двумя клеммами рабочей камеры установки. Нагрев при помощи градиентного нагрева производили до тех пор, пока температура самой горячей клеммы не достигала  $155^\circ\text{C}$ . Измерение микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3М с точностью 7%.

Все синтезированные образцы имеют полупроводниковый тип проводимости (рис. 1 и 2). С повышением температуры удельное сопротивление уменьшается. При увеличении содержания HoSe до 2,5% включительно, наблюдается снижение удельного сопротивления  $\rho$  и повышение термо-ЭДС  $\alpha$ . С увеличением температуры практически не меняются значения электропроводности и термо-ЭДС в образце, содержанием 97,5%  $\text{Vi}_2\text{Se}_3$ .

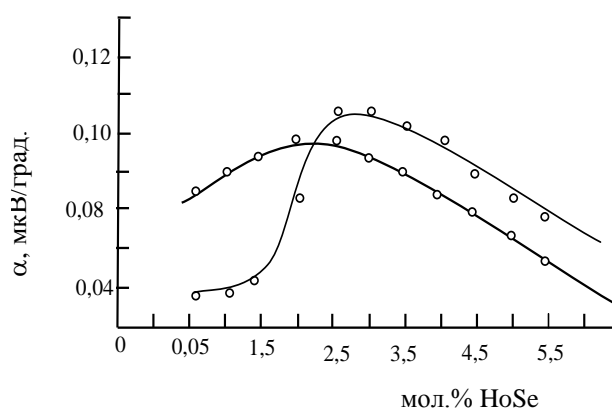
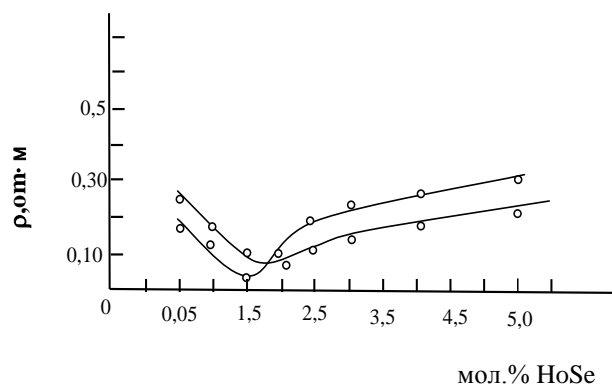


Рис. 1. Динамика изменения термо-ЭДС изученных образцов.



**Рис. 2.** Динамика изменения удельного сопротивления изученных образцов.

1. 2,5 мол % HoSe
2. 0,5 мол % HoSe

С увеличением содержания HoSe в образцах от 3 до 5% величина  $\alpha$  понижается, а  $\rho$  возрастает, что объясняется с появлением в образцах второй фазы. Микротвердость образцов закономерно возрастает (таб. 1).

Таблица 1

Мол.% HoSe	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Единицы микротвердости Мпа	519,4	539	578,2	627,2	666,4

На основе  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  образуется твердый раствор. Величина растворимости в таких условиях (около  $25^\circ\text{C}$ ) составляет 2,5 мол.% HoSe. Отсутствие в образцах эвтектики позволяет предполагать, что на основе  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  - HoSe по разрезу образуется раствор, изотермическая растворимость в котором с повышением температуры возрастает. Так, в ходе исследования уточнены данные по растворимости HoSe в  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  при комнатной температуре.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Chemical Intercalation of Zerovalent Metals into 2D Layered  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  Nanoribbons/Kristie J. Koski [et. all]/ Journal of the American Chemical Society. 2012, v. 134, pp. 13773-13779.
2. Magnetic and Transport Properties of Mn-doped  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  and  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$  /J. Choi [et al.]/ Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2006, v. 304, pp. e164-e166.
3. P-type  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  for Topological Insulator and Low-temperature Thermoelectric Applications/ Hor, Y. S. [et. al]/Phys. Rev. 2009, b 79 (19) 5208.
4. Synthesis and Thermoelectric Properties of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  Nanostructures/Kadel [et. all]/ Nanoscale Res Lett. 2011,6:57, pp. 1-7
5. Ильясов Т. М., Садыгов Ф. М. Закономерности фазообразования в системах  $\text{A}_2\text{VX}_3\text{-SmX}$ /Неорганические материалы. 1990, т., 26, №11, с. 2276-2279.

6. Шабаров А. Б., Андреев О. В., Халиков А. И. Экспериментальное определение термо ЭДС в элементах термоэлектродгенератора на основе моносulfида самария и селенида меди/ Вестник Тюменского государственного университета.2010, №6, с. 88-92.

**Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> –HoSe SİSTEMİNDƏ Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>T ƏSASINDA OLAN  
ƏRİNTİLƏRNİN ELEKTRO-FİZİKİ XASSƏLƏRİ**

**Q.B.ORUCOVA, F.M. SADIQOV,  
Z.I.İSMAYILOV, T.M.İLYASLI**

**XÜLASƏ**

Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-də HoSe-in həllolması mikroquruluş analiz metodu və elektrofiziki xassələrin ölçülməsi yolu ilə dəqiqləşdirilmişdir. Nümunələrdə HoSe- nin miqdarı 0,5 - dən 2,5 mol. % qədər artması zamanı EHQ-nin artması zamanı və xüsusi müqavimətin azalması müşahidə edilmişdir. HoSe-nin 3,0 - dən 5,0 mol. % - qədər artması zamanı qeyd edilən kəmiyyətlər isə azalır ki, bu da nümunələrdə 2-ci fazanın olmasını dəlalət edir. Tədqiq edilmiş nümunələrdə HoSe-nin 3,0-dən 5,0 mol. % - qədər dəyişməsi mikrobərkliyin qanuna uyğun olaraq 519,4 – dən 744,8 MPa qədər artır.

**Açar sözlər:** ərinti, həllolma, xüsusi müqavimət, termo-EHQ, mikrobərklik

**ELECTRICAL PROPERTIES OF ALLOYS BASED ON THE  
Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> IN Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> - HoSe SYSTEM**

**G.B.ORUJOVA, F.M. SADIGOV, Z.I.ISMAYILOV, T.M.ILYASLI**

**SUMMARY**

The HoSe solubility in Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> by microstructural analysis and by studying the electrophysical properties was refined. A decrease in the resistivity and thermoelectric power increase by increasing the HoSe content from 0,5 to 2,5 mol. %.. By increasing the content of HoSe from 3,0 to 5,0 mol. % these variables vary in the opposite direction, which indicates the appearance of the samples of the second phase. Microhardness of the studied samples by increasing the HoSe content from 3,0 to 5,0 mol. % increases regularly from 519,4 to 744,8 MPa.

**Key words:** alloy, solubility, resistivity, thermo-emf, microhardness

*Поступила в редакцию: 20.11.2013г.*

*Подписано к печати: 11.06.2014 г.*