

## СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ СТЕКЛООБРАЗНЫХ $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$ И КОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ С СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

Н.В. Мельникова<sup>1</sup>, А.Ю. Чуфаров<sup>2</sup>, А.Н. Бабушкин<sup>1</sup>, К.В. Курочка<sup>1</sup>, В.Ю. Зарубин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет, пр. Ленина, 51, Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт химии твердого тела УрО РАН,  
ул. Первомайская, 91, Екатеринбург, Российская Федерация

E-mail: [nvm.melnikova@gmail.com](mailto:nvm.melnikova@gmail.com)

## ABSORPTION SPECTRA OF GLASSY $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$ AND COMPOSITES ON THEIR BASIS CONTAINING CARBON NANOTUBES

N.V. Melnikova<sup>1</sup>, A.Yu. Chufarov<sup>2</sup>, A.N. Babushkin<sup>1</sup>, K.V. Kurochka<sup>1</sup>, V.Yu. Zarubin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University, Institute of Natural Science,  
51 Lenina ave., Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,  
91 Pervomayskaya str., Ekaterinburg, Russian Federation

E-mail: [nvm.melnikova@gmail.com](mailto:nvm.melnikova@gmail.com)

Исследованы спектры поглощения стеклообразных ионных проводников  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и стеклообразных композитов на их основе, содержащих углеродные нанотрубки (CNT – carbon nanotubes),  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ , оценены ширина запрещенной зоны и энергия Урбаха.

The absorption spectra of glassy ionic conductors  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  and glassy composites based on them containing carbon nanotubes (CNT - carbon nanotubes)  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S} + \text{CNT})_3$  have been studied, the width of the band gap and the Urbach energy were estimated.

Халькогенидные ионпроводящие стекла перспективны в качестве материалов для металлизированных ячеек памяти, для резисторов с функциональной зависимостью электросопротивления от времени и других приложений [1-3]. Цель работы – исследовать оптические свойства стеклообразных материалов  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ ,  $x = 0.4; 0.5; 0.6$ .

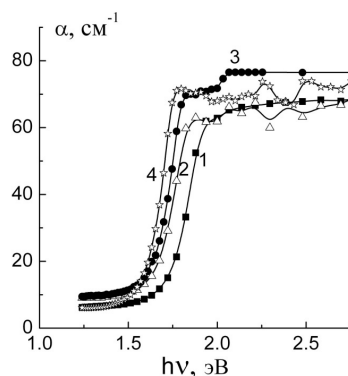
Стекла из систем  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ ,  $x = 0.4; 0.5; 0.6$  - смешанные (электронно-ионные) полупроводники с преобладающей (не менее 0.95) долей ионной проводимости, зависящей от состава [3-5]. Мобильными являются катионы  $\text{Ag}^+$ . Материалы при толщине менее 1 мм прозрачные красные на просвет. Методика синтеза материалов, повышение доли ионной проводимости и их армирование при добавлении углеродных одностенных нанотрубок детально описаны в [5]. Оптические свойства измеряли на образцах толщиной 0.7-1.0 мм в спектральном диапазоне 325-1000 нм с помощью спектрофотометра ПЭ-5300ВИ, в котором в качестве источника излучения использовалась галогенная лампа.

Спектры поглощения материалов представлены на рис. 1. Для всех материалов характерна высокая прозрачность в широкой области энергий  $E < E_g$  и крутой край поглощения. Характеристическую энергию Урбаха  $E_U$  и ширину оптической щели  $E_g$  (Табл. 1) рассчитывали соответствующими методами, исходя из порядков величины коэффициента поглощения ( $1 < \alpha < 10^3$ ) и вида его зависимости от энергии фотонов [1]. Энергия Урбаха определена из наклона линейного участка графика  $\ln \alpha(h\nu)$  в области «хвоста» Урбаха, где

$$\alpha(h\nu) = \alpha_0 \exp\left(-\frac{E_g - h\nu}{E_U}\right)$$

Полученные не очень высокие (по сравнению с другими ионпроводящими стеклами из аналогичных систем, см. например [6]) значения энергии Урбаха, которая характеризует меру

беспорядка, большая крутизна края поглощения и вид спектров поглощения и пропускания больше характерны для упорядоченных материалов. Эти результаты согласуются с предложенной ранее моделью атомной структуры стекла [5], изученной с применением основных положений фрагментарной модели строения стекол [7], спектроскопии комбинационного рассеяния света и сканирующей электронной микроскопии, и являются подтверждением наличия в сетке стекла упорядоченных в масштабе 1 нм структурных единиц, обеспечивающих возможность высокого ионного переноса [5].



**Рис. 1** - Спектры поглощения материалов  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$ : 1 -  $\text{AgGe}_{1.4}\text{As}_{0.6}\text{S}_3$ , 2 -  $\text{AgGe}_{1.5}\text{As}_{0.5}(\text{S}+\text{CNT})_3$ , 3 -  $\text{AgGe}_{1.5}\text{As}_{0.5}\text{S}_3$ , 4 -  $\text{AgGe}_{1.6}\text{As}_{0.4}\text{S}_3$

**Таблица 1:**

Ширина оптической щели, энергия Урбаха и энергия активации электропроводности стеклообразных  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$  и  $\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$ .

Материал	x	$E_g$ , эВ	$E_U$ , эВ	$E_a$ , эВ
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$	0.4	1.56	0.147	0.40
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$		1.58	0.155	0.51
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$	0.5	1.45	0.103	0.24
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$		1.48	0.137	0.51
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}\text{S}_3$	0.6	1.48	0.117	0.47
$\text{AgGe}_{1+x}\text{As}_{1-x}(\text{S}+\text{CNT})_3$		1.50	0.130	0.54

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-02-00857-а.

#### Список использованных источников:

1. Tanaka K., Shimakawa K. Amorph. Chalc. Semicond. and Related Mat. NY:Springer. 2011. 258 p.
2. Мельникова Н.В., Хейфец О.Л., Бабушкин А.Н., Филиппов А.Л., Курочка К.В. // Пат. 2533551 РФ. МПК H01C 7/00, C01B 19/00. Резистивный материал // 2014. Бюл. №32. 7 с.
3. Kurochka K.V., Melnikova N.V., Volkova Ya.Yu, Zaikova V.E. // IOP. J. Physics: Conf. Ser. 2015. V. 586. P. 012011.
4. Kurochka K.V., Melnikova N.V., Ustinova I.S., Volkova Ya.Yu, Alikin D.O. // IOP. J. Physics: Conf. Ser. 2014. V. 500. P. 192007.
5. Мельникова Н.В., Курочка К.В., Хейфец О.Л., Кадырова Н.И., Волкова Я.Ю. // Известия РАН. Серия физическая. 2015. Т. 79, №6. С. 790-794.
6. Studenyak I.P., Neimet Yu.Yu., Rati Y.Y., Stanko D., Kranjčec M., Kökényesi S., Daróci L., Bohdan R. // Optical Materials. 2014. V. 37. P. 718-723.
7. Алейникова К.Б., Зинченко Е.Н., Лихач Н.И. // Заводская лаборатория. 2005. Т. 71. №4. С. 27-31.