

PACS: 62.50.+p, 72.20.-i

О.Л. Хейфец, А.В. Тебеньков, А.Л. Филиппов, Э.Ф. Шакиров,  
Н.В. Мельникова, А.Н. Бабушкин

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$

Уральский государственный университет  
пр. Ленина, 51, г. Екатеринбург, 620000, Россия  
E-mail: olga.kobeleva@usu.ru

*В рамках поиска материалов, сочетающих ионную проводимость с сегнетоэлектрическими свойствами, был синтезирован халькогенид  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$ . Проведены исследования его электрических свойств в области частот до 200 kHz при давлениях до 48 GPa и магнитных полях до 1 Т с применением метода импедансной спектроскопии. Определены области существенных изменений электрических свойств.*

**Ключевые слова:** высокие давления, импедансная спектроскопия, магнитные поля, сегнетоэлектрики, фазовые переходы

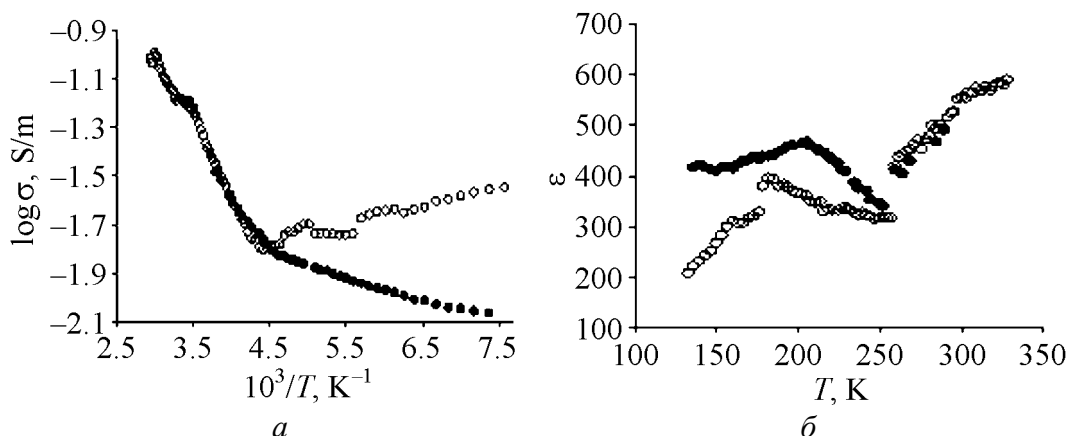
В лаборатории физики экстремальных воздействий на вещество УрГУ проведены исследования разнообразных многокомпонентных халькогенидов серебра и меди [1–4]. Изучение свойств сегнетоэлектрических материалов в широких диапазонах давлений позволяет выявить изменения кристаллической решетки и электронной структуры, открывает возможности создавать на их основе датчики физических параметров.

У соединения  $\text{AgPbAsSe}_3$  обнаружены сегнетоэлектрические свойства (максимальное значение диэлектрической проницаемости 55000) [5]. Однако большие значения проводимости не позволили провести измерения кривой поляризации. В рамках поиска материалов, сочетающих ионную проводимость с сегнетоэлектрическими свойствами, были синтезированы халькогениды  $(\text{PbSe})_x(\text{AgAsSe}_2)_{1-x}$  ( $x = 0.7-0.9$ ).

Данная работа посвящена изучению электрических свойств образца с  $x = 0.8$  при высоких давлениях в области частот до 200 kHz и при магнитных полях от 0.1 до 1 Т. Исследования проведены при температуре 300 К.

По данным рентгеноструктурного анализа, синтезированный материал представляет собой смесь двух фаз –  $\text{PbSe}$  и  $\text{AgAsSe}_2$ . Состав имеет серый цвет, обладает металлическим блеском.

Для генерации давлений до 48 GPa использовали камеру высокого давления с наковальнями типа закругленный конус–плоскость из искусственных

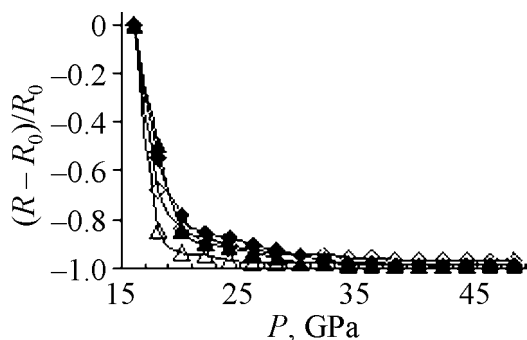


**Рис. 1.** Температурные зависимости электропроводности (а) и диэлектрической проницаемости (б)  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$ :  $\circ$  – нагревание,  $\bullet$  – охлаждение

поликристаллических алмазов «карбонадо» [6]. Электрические свойства образцов исследовали с помощью измерителя-анализатора импеданса RLC-2000 в диапазоне частот 1–200 kHz. При измерениях на постоянном токе сопротивление определяли по падению напряжения на образце. Обнаружено, что при нормальном давлении образец проявляет сегнетоэлектрические свойства (рис. 1).

### Результаты и их обсуждение

На рис. 2 приведены барические зависимости относительного изменения сопротивления при нагружении и снятии нагружения с образца в условиях магнитного поля и при его отсутствии. Сопротивление резко падает в области давлений 16–22 GPa. При снятии нагружения сопротивление в несколько раз больше, чем до нагружения. Поведение сопротивления при приложении магнитного поля аналогично поведению в его отсутствие.

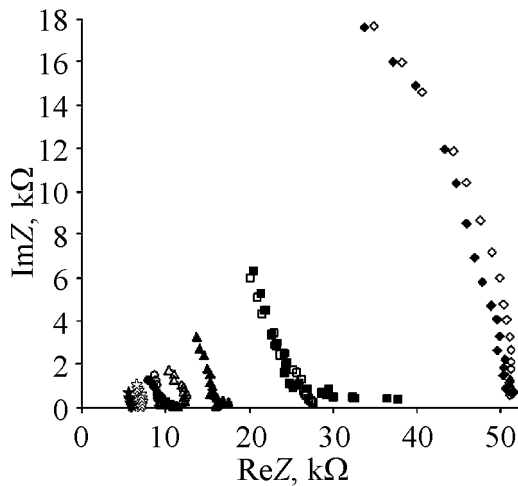


**Рис. 2.** Барические зависимости относительного изменения сопротивления  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  при постоянном токе в поле 1 Т ( $\Delta$ ,  $\blacktriangle$ ) и в отсутствие поля ( $\blacklozenge$ ,  $\diamond$ ) при нагружении (темные символы) и снятии нагружения (светлые)

Такое поведение сопротивления может быть связано с существованием фазового перехода в образце в области давлений  $\sim 20$  GPa. Фазовый переход может быть обусловлен изменением структуры или изменениями в электронной системе.

Был детально изучен импеданс образца в области давлений, где предположительно существует фазовый переход. Измерения были проведены в отсутствие магнитного поля и в магнитных полях от 0.1 до 1 Т при нагружении образца.

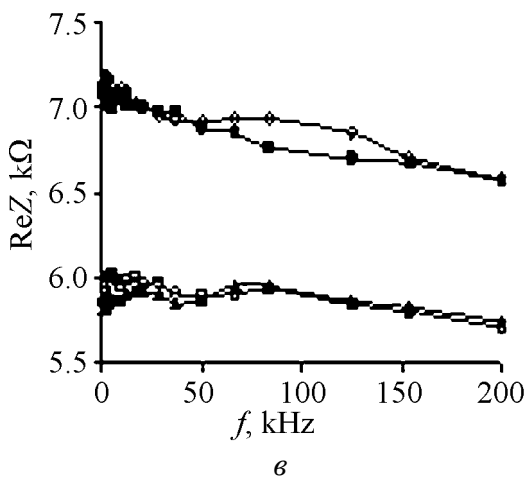
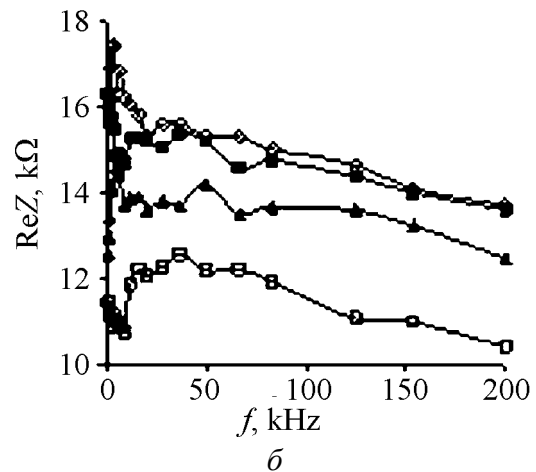
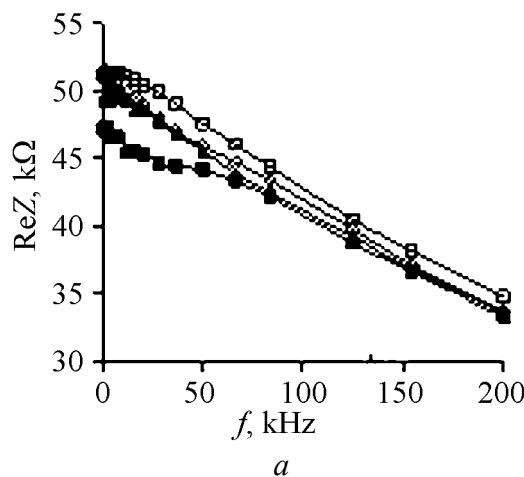
Были измерены и проанализированы годографы импеданса в области



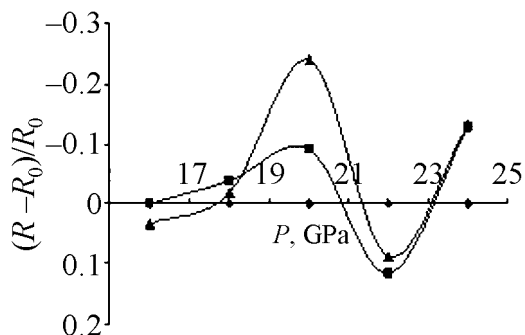
**Рис. 3.** Годографы импеданса  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  при разных давлениях  $P$ , GPa:  $\diamond, \blacklozenge$  – 16;  $\square, \blacksquare$  – 18;  $\triangle, \blacktriangle$  – 20;  $\circ, \bullet$  – 22;  $\star, \blackstar$  – 24; в поле 1 Т – светлые символы, в отсутствие поля – темные

частот 1–200 kHz и магнитных полей 0.1–1 Т. На рис. 3 приведены годографы импеданса при разных давлениях в отсутствие магнитного поля и в магнитном поле 1 Т. С ростом давления действительная и мнимая части импеданса убывают. В области давлений 18–22 GPa наблюдается изменение низкочастотной части годографов.

На рис. 4 представлены зависимости сопротивления от частоты при разных давлениях при отсутствии магнитного поля и в магнитных полях 0.5 и 1 Т. Видно, что при давлениях 16 и 18 GPa сопротивление монотонно убывает с ростом частоты, а при давлениях 18–22 GPa наблюдается немонотонное поведение сопротивления в области низких частот.



**Рис. 4.** Частотные зависимости сопротивления  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  при давлениях 16 (а), 20 (б) и 24 GPa (в) в разных магнитных полях, Т:  $\circ$  – 0,  $\blacksquare$  – 0.1,  $\blacktriangle$  – 0.5,  $\square$  – 1



**Рис. 5.** Барические зависимости относительного изменения сопротивления (частота 200 kHz) в разных магнитных полях, T: ● – 0, ■ – 0.5, ▲ – 1

На рис. 5. приведены барические зависимости относительного изменения сопротивления в разных магнитных полях. Видно, что в области давлений 18–22 GPa наблюдается сильное изменение в поведении сопротивления (наличие минимума и максимума на кривой). Такая картина наблюдается на зависимостях мнимой части импеданса и тангенса угла диэлектрических потерь. Подобное поведение электрических характеристик в магнитном поле обычно связано с возникающим в этой области фазовым переходом.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы.

1. В образце  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  имеется частично обратимый фазовый переход в области давлений 18–22 GPa.

2. По сравнению с образцом  $\text{AgPbAsSe}_3$  область фазового перехода смещается в сторону более низких давлений.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. и гранта РФФИ 10-02-96036.

1. E.R. Baranova et al., Solid State Ionics **24**, 255 (1999).
2. E.R. Baranova et al., Solid State Ionics **146**, 415 (2002).
3. Н.В. Мельникова, О.Л. Хейфец и др., АЭЭ **5**, 56 (2007); **5**, 40 (2007).
4. О.Л. Хейфец, А.Н. Бабушкин, О.А. Шабашова, Н.В. Мельникова, ФНТ **33**, 374 (2007).
5. О.Л. Хейфец, Л.Я. Кобелев, Н.В. Мельникова, Л.Л. Нугаева, ЖТФ **77**, 90 (2007).
6. L.F. Vereshchagin, E.N. Yakovlev, B.V. Vinogradov, G.N. Stepanov, K.Kh. Bibaev, T.I. Alaeva, V.P. Sakun, High Temperatures–High Pressures **6**, 499 (1974).

О.Л. Хейфец, О.В. Тебеньков, О.Л. Філіпов, Е.Ф. Шакіров, Н.В. Мельникова, О.М. Бабушкін

## ВПЛИВ ВИСОКОГО ТИСКУ І МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$

В рамках пошуку матеріалів, які поєднують іонну провідність з сегнетоелектричними властивостями, було синтезовано халькогенід  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$ . Проведено дослідження його електричних властивостей в області частот до 200 kHz при

тиску до 48 GPa і магнітних полях до 1 Т із застосуванням методу імпедансної спектроскопії. Визначено області суттєвих змін електричних властивостей.

**Ключові слова:** високий тиск, імпедансна спектроскопія, магнітні поля, сегнетоелектрики, фазові переходи

*O.L. Kheifets, A.V. Tebenkov, A.L. Filippov, E.F. Shakirov, N.V. Melnikova, A.N. Babushkin*

## EFFECTS OF HIGH PRESSURES AND MAGNETIC FIELDS ON ELECTRIC PROPERTIES OF $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$

Within the limits of searching the materials with ionic conductivity and ferroelectric properties, the chalcogenide  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  has been synthesized. The researches of electrical properties in the frequency range to 200 kHz at pressures to 48 GPa and magnetic fields to 1 T have been performed. The investigation was carried out by the method of impedance spectroscopy. Regions of essential changes of electric properties have been determined.

**Keywords:** high pressures, impedance spectroscopy, magnetic fields, ferroelectrics, phase transitions

**Fig. 1.** Temperature dependences of conductivity ( $\sigma$ ) and dielectric permittivity ( $\epsilon$ ) of  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$ :  $\circ$  – heating,  $\bullet$  – cooling

**Fig. 2.** Baric dependences of relative change of resistance of  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  on  $dc$  in magnetic field 1T ( $\Delta$ ,  $\blacktriangle$ ) and without a field ( $\circ$ ,  $\bullet$ ) under load (dark symbols) and with no load (light)

**Fig. 3.** Hodographs of impedance of  $\text{AgPbAsSe}_3$   $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  at different pressures  $P$ , GPa:  $\blacklozenge$ ,  $\diamond$  – 16;  $\square$ ,  $\blacksquare$  – 18;  $\triangle$ ,  $\blacktriangle$  – 20;  $\circ$ ,  $\bullet$  – 22;  $\star$ ,  $\blackstar$  – 24; in the field of 1 T – light symbols, without the field – dark

**Fig. 4.** Frequency dependences of resistance of  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  for pressures 16 ( $a$ ), 20 ( $b$ ) and 24 GPa ( $c$ ) in different magnetic fields, T:  $\circ$  – 0,  $\blacksquare$  – 0.1,  $\blacktriangle$  – 0.5,  $\square$  – 1

**Fig. 5.** Baric dependences of relative change of resistance (frequency 200 kHz) of  $(\text{PbSe})_{0.8}(\text{AgAsSe}_2)_{0.2}$  in different magnetic fields, T:  $\bullet$  – 0,  $\blacksquare$  – 0.5,  $\blacktriangle$  – 1