

ные условия синтеза твердых растворов сегнетомагнетиков. Рассчитаны параметры кристаллических решеток твердых растворов, которые хорошо согласуются с литературными данными.

На температурных зависимостях диэлектрической проницаемости для исследованных образцов наблюдается резкий максимум, отвечающий фазовому превращению «сегнетоэлектрик-параэлектрик», при температурах 972,5 К и 965,3 К для $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ и $\text{Bi}_{3,90}\text{La}_{0,10}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ соответственно. Установлено, что при замещении ионов висмута ионами лантана в твердых растворах температура Кюри снижается.

Диэлектрические потери твердых растворов увеличивались с ростом температуры и уменьшались при увеличении степени замещения ионов висмута на ионы лантана, при этом на зависимостях $\text{tg}\delta = f(T)$ для образцов так же наблюдались аномальные участки в области температур 570–620 К, 950–990 К для $\text{Bi}_{4-x}\text{La}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ и 1020–1050 К $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$. Первая аномалия связана с миграцией дефектов (кислородных вакансий и др.) к межзеренным границам керамики, а вторая и третья аномалии связаны с фазовым переходом «сегнетоэлектрик-параэлектрик». Проводимость образцов носила полупроводниковый характер, причем значение энергии активации электропроводности уменьшалось при замещении висмута лантаном в титанате висмута и в феррите висмута.

Таким образом, при помощи кремнического метода синтеза получены твердые растворы $\text{Bi}_{4-x}\text{La}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($x = 0,05, 0,10$), $\text{Bi}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_3$ ($x = 0,05, 0,1$), исследована их кристаллическая структура, электропроводимость и диэлектрические свойства. Найдено, что замещение ионов висмута ионами лантана в титанате висмута $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ и в феррите висмута BiFeO_3 приводит к уменьшению температуры Кюри, значений диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь, а также снижению энергозатрат при электропереносе.

УДК 666.22

М.Г. Дронова, А.В. Семенча
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

СИНТЕЗ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ As-S-Se-I ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛИНЗ ИНФРАКРАСНЫХ СВЕТОДИОДОВ

Создание фото- и светодиодов является сложной задачей. Основной проблемой готовых оптических изделий является низкий КПД по причине самопоглощения излучения в объеме кристалла. Существуют

разные варианты решения данной проблемы: увеличение шероховатости поверхности излучающего кристалла, нанесение специальных покрытий, использование фокусирующих линз. В качестве материалов для линз могут быть использованы полимерные материалы (ПММА, полистирол и др.[1]), монокристаллы Si, ZnS [2]. Халькогенидные стекла могут быть использованы в качестве линз, фокусирующих излучение ик-диодов. Такие стекла должны пропускать в диапазоне 1-6 мк при различных условиях внешней среды. Синтез стекол существенно дешевле процесса выращивания монокристаллов. Наиболее точные оптические детали могут быть получены из легкоплавких стекол As-S-Se-I. Для создания оптического элемента, в котором присутствует механический контакт стекла и металла необходимо учитывать термические и механические характеристики компонентов конструкции. Известно, что при введении йода в халькогенидные стекла As-S-Se возникают значительные изменения структуры. В связи с этим, актуальной задачей является изучение влияния йода на физические параметры стекла, такие как модуль Юнга, модуль Пуассона, коэффициент термического расширения, температура стеклования, температура плавления и др. Определено оптимальное соотношение компонентов стекла для литья линз ик-диодов.

Целью работы является изучение зависимости термических и механических параметров стекла As-S-Se-I от концентрации компонентов.

Стекла $(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}I_x$ были синтезированы впервые. Образцы синтезировали из высокочистых (ОСЧ) элементов вакуумным спеканием в качающейся печи при нагреве до 600 °С. Полученные стекла были исследованы методом дифференциального термического анализа при скорости нагревания 2,5 град/мин, ультразвуковым, дилатометрическими методами. Коэффициент Пуассона, модуль Юнга были рассчитаны по скорости распространения продольных и поперечных волн в образцах стекла [6]. Измерения проводились ультразвуковым методом с использованием дефектоскопа УД2-12. Точность измерения пробега импульса 0,01 мкс. Частотные характеристики: 5 МГц – для продольных волн, 1,67 МГц – для сдвиговых. Измерение скорости продольных волн проводилось “эхо-методом” при температуре 25 °С. Скорость сдвиговых волн измерялась методом прохождения сигнала между двумя головками с Y – срезом пьезокварца. Погрешность измерения: 0,3% - продольные волны, 0,5% - сдвиговые волны. Определение коэффициента термического расширения проводили при стандартной

скорости нагревания 3 град/мин на dilatометре WinTA 908. Плотность стекол измеряли методом гидростатического взвешивания, в качестве жидкости использовали тетрагидрид углерода ХЧ.

Результаты измерения плотности представлены на рисунке 1. По dilatометрическим измерениям (рисунок 2) определены температуры стеклования и плавления, произведен расчет коэффициентов термического расширения α_i – стекла в твердом состоянии и α_e – стекла в вязкоупругом состоянии (таблица 1). Зависимости температуры стеклования, плавления от содержания йода носит нелинейный характер. Наименьшее значение температуры плавления, при которой ещё возможна эксплуатация стекла в качестве линзы, наблюдается при введении 12,6 мол.% йода в состав стекла. Расчет коэффициентов упругости производился в соответствии с формулами:

$$C_{11} = dC_l^2, \quad (1)$$

$$G = dC_t^2, \quad (2)$$

$$\mu = \left[\left(\frac{C_l}{C_t} \right)^2 - 2 \right] / 2 \left[\left(\frac{C_l}{C_t} \right)^2 - 1 \right] \quad (3)$$

$$E = \frac{C_{11}(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (4)$$

$$K = \frac{C_{11}(1 + \mu)}{3(1 - \mu)}, \quad (5)$$

где C_l, C_t - скорости прохождения продольных и поперечных волн соответственно, d – плотность, μ – коэффициент Пуассона, G – модуль сдвига, E – модуль Юнга, K – коэффициент объемного сжатия.

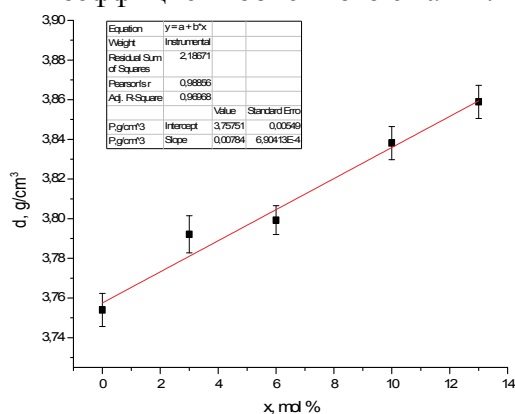


Рисунок 1 – Зависимость плотности стекла $(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}I_x$ от содержания йода.

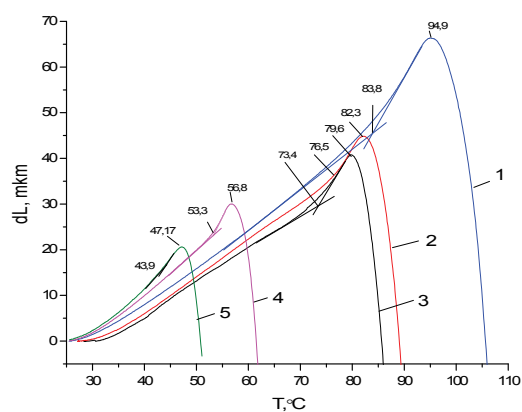


Рисунок 2 – Dilатометрические зависимости стекла $(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}I_x$ с разным содержанием йода: 1) – 0 мол.%, 2) – 3 мол.%, 3) – 6 мол.%, 4) – 10 мол.%. 5) – 13 мол.%

Коэффициент Пуассона практически не зависит от концентрации йода. Наибольшее влияние йода наблюдается в зависимости модуля Юнга, коэффициента объемного сжатия, меняющихся линейной (таблица 2).

Таблица 1 – Термические характеристики стекол $(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}I_x$

Состав, мол. %		$T_g, ^\circ C$	$T_g, ^\circ C$	$T_{пл}, ^\circ C$	α_e	α_i
$(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}$	I_x	(2,5 К/мин)	(3К/мин)	(3 К/мин)	$\cdot 10^6, K^{-1}$	$\cdot 10^6, K^{-1}$
100,00	0	83,8	82,3	94,9	99,1	43,8
96,77	3,23	76,5	67,2	82,3	95,8	40,7
93,75	6,25	73,4	53,1	79,6	87,6	35,5
90,00	10,00	53,3	43,4	56,8	118,0	49,3
87,38	12,62	43,9	29,5	47,2	79,1	61,0

Таблица 2 – Механические характеристики стекол $(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}I_x$

Состав, мол. %		$d, г/см^3$	$G, ГПа$	μ	$E, ГПа$	$K, ГПа$
$(As_{14,22}S_{26,89}Se_{58,89})_{1-x}$	I_x					
100,00	0	3,75	3,9	0,32	10,4	9,6
96,77	3,23	3,79	3,6	0,33	9,6	9,4
93,75	6,25	3,80	3,7	0,32	9,9	9,2
90,00	10,00	3,84	3,4	0,33	8,8	8,7
87,38	12,62	3,86	3,2	0,33	8,6	8,5

Выводы. Результаты экспериментов показали, что добавка йода в стекло As-S-Se в значительной степени влияет на изменение температуры плавления и упругих модулей. При увеличении концентрации йода стекло становится более легкоплавким и менее прочным. Критическое содержание йода, при котором стекло имеет минимально возможную для эксплуатации температуру плавления, составляет 12,6 мол.%. Все синтезированные стекла нерастворимы в воде.

ЛИТЕРАТУРА

1. IOVU M. S., New $As_2S_3:Pr^{3*}$ - polymer composite materials. Journal of optoelectronics and advanced materials Vol. 8, No. 1, February 2006, P. 257 – 260.
2. Juejun Hu, Lan Li at all. Flexible integrated photonics: where materials, mechanics and optics meet [Invited]. OPTICAL MATERIALS EXPRESS. V. 3, No. 9. P. 1-1
3. Немилев С.В. Оптическое материаловедение: Оптические стекла. Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011 г. - 175 с.
4. Борисова З.У. Халькогенидные полупроводниковые стекла. – Л.:Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 344 с.

5. Markov V.A., Semench A.V at all. Adhesive As-S-Se-I immersion lenses for enhancing radiation characteristics of mid-IR LEDs operating in wide temperature range. *Infrared Physics and Technology*. Infrared Physics and Technology. 2016, Vol. 78, P. 167–172

УДК 628.544

П.А. Клебеко, аспирант
(РУП «ЦНИИКИВР», г. Минск)

СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ

На сегодняшний день отходы станций водоподготовки практически не вовлечены в хозяйственный оборот, а складываются или вывозятся на захоронение. Среди данных отходов можно выделить железосодержащие осадки станций обезжелезивания, осадки коагуляции, недопал извести, отработанные ионообменные смолы. Для всех данных отходов предложен ряд направлений их полезного использования [1–3].

При водоподготовке воды из подземных источников преимущественно используется их обезжелезивание. На сегодняшний день в Республике Беларусь построено и действует около 400 станций обезжелезивания, однако, согласно данным экономического отдела Министерства ЖКХ необходимо строительство еще около 1200 станций обезжелезивания.

В Республике Беларусь наиболее распространенным методом обезжелезивания воды является фильтрование через зернистую загрузку с предварительной глубокой либо упрощенной аэрацией. Доля воды, расходуемой для промывки, достаточно велика и может достигать до 10% от общего расхода очищаемой воды. В процессе очистки промывных вод образуются железосодержащие осадки. Согласно классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь их классифицируют на: осадок после промывки фильтров обезжелезивания (гидроокись железа и марганца), обезвоженный осадок станций водоподготовки питьевой воды, обезвоженный осадок станций обезжелезивания (гидроокись железа и марганца). Все они относятся к отходам третьего класса опасности.

Известно, что наличие на поверхности фильтрующей загрузки оксидов железа, марганца, меди способствует повышению эффективности окисления железа (II) в железо (III), что в значительной степени и определяет эффективность очистки подземных вод. Благодаря высокому содержанию железа в осадках обезжелезивания в данной работе