Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 621.383.8

ДИФФУЗИЯ ИОНОВ КАЛИЯ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ В СТЕКЛЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ОПТИКИ

З.В. Шомахов, Р.А. Шомахова, О.А. Молоканов, А.М. Кармоков
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»
360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173
shozamir@yandex.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.677

Аннотация: Приведены результаты исследования электропроводности и диффузии ионов калия в боратно-бариевом стекле ($C78-5$) – 2,2% SiO_2 57,8% B_2O_3 8,2% K_2O 19,0% BaO 3,5% CaO 8,8% Al_2O_3 0,5% MgO при пропускании электрического тока через образец. Рассчитаны временные зависимости коэффициентов диффузии при пропускании электрического тока при постоянной температуре.

Ключевые слова: электропроводность, диффузия ионов, боратно-бариевое стекло, изотермический отжиг.

1. Введение

В процессе пропускание постоянного электрического тока в одном направлении через стекло, происходит перераспределение элементов. Положительные и отрицательные ионы перемещаются в противоположные направления. В результате на границах стекла с электродами происходит накопление этих ионов. В стекле, по направлению совпадающем с направлением электрического тока возникает градиент концентрации ионов – носителей тока. В результате в стекле возникает движущая сила создаваемая градиентом концентрации в противоположном направлении массопереносу, создаваемому электрическим током.

Таким образом, при измерении электропроводности стекол, мы получаем результирующие этих двух противоположно направленных конкурирующих потоков масс значение, что согласуется с уравнением Нернста-Планка для диффузионного потока ионов в электрическом поле [1-3].

3. Методика эксперимента и описание результатов

Исследованные нами образцы стекол имеют ограниченные размеры в виде круглых пластин толщиной 0,4 мм и диаметром 25 мм, поэтому содержание компонентов в стекле имеют определенные ограниченные значения. В связи с этим диффузионные процессы, протекающие в образце можно рассматривать как диффузия из ограниченного источника.

Экспериментальные результаты температурной зависимости удельной электропроводности стекла $C78-5$ при нагревании образцов до температур 400, 450 и 500°C приведены на рис. 1.

Изотермический отжиг образцов *C78–5* не приводит к изменению электропроводности стекла [4]. При однонаправленном пропускании тока в процессе отжига наблюдаются небольшие изменения электропроводности, и после 3 ч отжига она больше не изменяется.

Рис. 1. Температурная зависимость удельной электропроводности для боратно-бариевого стекла *C78–5* при трех режимах нагрева: 1 – 400 °С, 2 – 450 °С, 3 – 500 °С.

При знакопеременном токе после достижения температуры 450 °С электропроводность стабилизируется, причем значение электропроводности оказывается на один порядка величины выше, чем для однонаправленного тока. По-видимому, это связано с образованием и ростом наноразмерных кристаллических фаз и переносом заряженных частиц при однонаправленном токе [5]. Последнее приводит к обеднению прианодной области стекла положительными ионами, участвующими в проводимости, и переносу их к границе стекло – катодный электрод.

В процессе измерения электропроводности при однонаправленном пропускании тока через образец прошел удельный электрический заряд $\sim 0,005$ Кл/см², который обусловил массоперенос и стимулировал рост новых фаз, так как при температуре отжига в данном стекле имеет место преобладание ионного механизма электропроводности.

Изменение скорости нагрева, до температуры отжига, меняет вид зависимостей $\sigma(T)$, что может быть связано с изменением механизма проводимости и с релаксационными процессами в стекле (см. рис. 2).

Зависимость числа заряженных частиц n на единицу площади, принявших участие в массопереносе через объем боратно-бариевого стекла *C78–5*, от времени в процессе нагрева и изотермической выдержки при температуре 450 °С показана на рис. 3.

Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности стекла C78–5 от скорости нагрева: 1 – скорость нагрева 2,61 °C/мин, 2 – скорость нагрева 3,17 °C/мин, 3 – скорость нагрева 3,67 °C/мин.

Рис. 3. Зависимость числа заряженных частиц n на единицу площади, принявших участие в массопереносе через объем стекла C78–5, и температуры образца от времени t в процессе нагрева и изотермической выдержки при 450 °C: 1 – число частиц, 2 – температура образца.

Как видно из рис. 3, с повышением температуры число частиц, участвовавших в переносе зарядов через образец, до температуры ~450 °C мало, затем возрастает, почти линейно со временем. При температуре ~450 °C наблюдается равномерное увеличение скорости накопления заряда, что соответствует изменению доминирующего механизма электропроводности, когда наибольший вклад в перенос зарядов вносят щелочные катионы.

Соответствующее число атомов щелочных металлов под действием электрических сил уходит из прианодной области образца, и, соответственно этому, в прикатодной области их содержание повышается. Таким образом, под воздействием тока происходит изменение состава и, соответствующее этому, изменение структуры стекла, преимущественно в приэлектродных областях образца. Из-за оттока носителей зарядов из прикатодной области ее электропроводность уменьшается, что влечет уменьшение электропроводности образца в целом. В прикатодной области происходит накопление продуктов массопереноса с изменением химического состава, и, соответственно этому, становятся возможны химические реакции с материалом контактного электрода. Такие изменения происходят только за счет ионного механизма переноса зарядов, т.е. при температурах выше 450 °С.

Различие электропроводности, полученной при однонаправленном и знакопеременном пропускании тока, обусловлено тем, что при однонаправленном токе помимо образования наноразмерных фаз в стекле происходит электромассоперенос в направлении от анода к катоду. Электропроводность при этом осуществляется преимущественно щелочным металлом K , массовое содержание которого в этом стекле составляет 8,2% K_2O .

Рис. 4. Временная зависимость коэффициента диффузии ионов калия в боратно-бариевом стекле C78–5: 1 – 500 °С, 2 – 450 °С, 3 – 400 °С.

Таким образом, в отличие от знакопеременного электрического тока однонаправленное пропускание тока через образец оказывает существенное влияние на структуру, состав и электропроводность исследованных стекол. Очевидно, это связано с переносом ионов, участвующих в электропроводности, в одном направлении. Отжиг в

течение 5 ч при температуре 450 °С приводит к равновесному состоянию и стабилизирует структуру стекла, что важно для стабильности работы приборов применения.

Используя экспериментально полученные зависимости удельной электропроводности от температуры, времени отжига и концентрации ионов щелочных металлов рассчитан коэффициент диффузии щелочного катиона [6] (см. рис. 4).

3. Заключение

Затронутые проблемы нуждаются в дальнейшей разработке, как физиков, так и химиков, т.к. изучение механизмов проводимости и диффузии в стеклах крайне важно для управления и прогнозирования поведения материалов, используемых в электронной технике.

Библиографический список:

1. **Никольский, Б.П.** Иониты в химической технологии. / Б.П. Никольский, П.Г. Романков. – Л.: Химия, 1982. – 416 с.
2. **Андреев, Н.С.** Явление ликвации в стеклах / Н.С. Андреев, О.В. Мазурин, Е.А. Порай-Кошиц. – Л.: Наука, 1974. – 220 с.
3. **Слезов, В.В.** Диффузионный распад твердых растворов / В.В. Слезов, В.В. Сагалович // Успехи физических наук. – 1987. – Т. 151. – Вып. 1. – С. 67-104.
4. **Кармоков, А.М.** Электрофизические свойства специальных стекол электронной техники / А.М. Кармоков, О.А. Молоканов, О.О. Молоканова, З.В. Шомахов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2015. – Вып. 7. – С. 263-269.
5. **Кармоков, А.М.** Влияние электрического тока на массоперенос в свинцово-силикатном стекле $C78-4$ / А.М. Кармоков, О.А. Молоканов, З.В. Шомахов // Стекло и керамика. – 2017. – № 2. – С. 6-8.
6. **Тюрина, З.Г.** Диффузия ионов натрия и электропроводность в стеклообразном и закристаллизованном $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ / З.Г. Тюрина, Н.Г. Тюрина, С.И. Свиридов // Физика и химия стекла. – 2015. – Т. 41. – № 6. – С. 782-785.

References:

1. **Nikolskiy, B.P.** Ionity v himicheskoy tekhnologii. / B.P. Nikolskiy, P.G. Romankov. – L.: Himiya, 1982. – 416 p.
2. **Andreev, N.S.** Yavlenie likvacii v steklah / N.S. Andreev, O.V. Mazurin, E.A. Porai-Koshits. – L.: Nauka, 1974. – 220 p.
3. **Slezov, V.V.** Diffuzionnyj raspad tverdyh rastvorov / V.V. Slezov, V.V. Sagalovich // Uspekhi fizicheskikh nauk. – 1987. – V. 151. – I. 1. – P. 67-104.
4. **Karmokov, A.M.** Elektrofizicheskie svojstva special'nyh stekol elektronnoj tekhniki / A.M. Karmokov, O.A. Molokanov, O.O. Molokanova, Z.V. Shomakhov // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2015. – I. 7. – P. 263-269.

5. **Karmokov, A.M.** Vliyanie elektricheskogo toka na massoperenos v svincovo-silikatnom stekle C78–4 / A.M. Karmokov, O.A. Molokanov, Z.V. Shomakhov // *Steklo i keramika*. – 2017. – no. 2. – P. 6-8.
6. **Tyurina, Z.G.** Diffuziya ionov natriya i elektroprovodnost' v stekloobraznom i zakristallizovannom $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ / Z.G. Tyurina, N.G. Tyurina, S.I. Sviridov // *Fizika i himiya stekla*. – 2015. – V. 41. – no. 6. – P. 782-785.

DIFFUSION OF POTASSIUM IONS AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN GLASS FOR ELECTRONIC OPTICS

Z.V. Shomakhov, R.A. Shomakhova, O.A. Molokanov, A.M. Karmokov
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
shozamir@yandex.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.677

Abstract: The results of a study of the electrical conductivity and diffusion of potassium ions in borate-barium glass (S78–5) – 2,2 % SiO_2 57,8 % B_2O_3 8,2 % K_2O 19,0 % BaO 3,5 % CaO 8,8 % Al_2O_3 0,5 % MgO with the passage of electric current through the sample. The time dependences of self-diffusion coefficients are calculated for the transmission of an electric current at a constant temperature.

Keywords: *electrical conductivity, ion diffusion, borate-barium glass, isothermal annealing.*

Шомахов Замир Валериевич – к.ф.-м.н., доцент кафедры электроники и информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
Шомахова Рузана Аслановна – старший преподаватель кафедры управления качеством ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
Молоканов Олег Артемович – к.т.н., доцент кафедры электроники и информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»
Кармоков Ахмед Мацевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры электроники и информационных технологий ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Zamir V. Shomakhov – Ph. D., Docent of the Department of Electronics and Information Technology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
Ruzana A. Shomakhova – Senior Lecturer of the Department of Quality Management, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
Oleg A. Molokanov – Ph. D., Docent of the Department of Electronics and Information Technology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
Akhmed M. Karmokov – Dr. Sc., Professor of the Department of Electronics and Information Technology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov