

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

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

*МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ*

**выпуск 5**

**ТВЕРЬ 2013**

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

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

**Рецензенты:**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной физики  
Тверского государственного технического университета

*А.Н. Болотов*

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики пьезо-  
и сегнетоэлектриков Тверского государственного университета

*Н.Н. Большакова*

**Редакционная коллегия:**

Самсонов Владимир Михайлович – заведующий кафедрой теоретической физики  
ТвГУ, профессор, д.ф.-м.н. (ответственный редактор);

Созаев Виктор Адыгеевич – заведующий кафедрой физики факультета электронной  
техники Северо-Кавказского горно-металлургического института, профессор, д.ф.-м.н.;

Гафнер Юрий Яковлевич – заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики  
Хакасского государственного университета, профессор, д.ф.-м.н.;

Сдобняков Николай Юрьевич – доцент, к.ф.-м.н. (зам. ответственного редактора,  
ответственный секретарь);

Базулев Анатолий Николаевич – доцент, к.ф.-м.н.;

Комаров Павел Вячеславович – доцент, к.ф.-м.н.;

Скопич Виктор Леонидович – доцент, к.ф.-м.н.;

Соколов Денис Николаевич – технический редактор.

**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, 2013. – Вып. 5. –  
440 с.

ISBN 978-5-7609-0877-3

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 теоретической  
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 978-5-7609-0877-3

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2013

© Тверской государственный  
университет, 2013

УДК 621.383.8

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ БОРАТНО-БАРИЕВОГО СТЕКЛА С78-5 В ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА НАНОКРИСТАЛЛОВ

А.М. Кармоков, З.В. Шомахов, О.А. Молоканов

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова  
360004, Кабардино-Балкария, Нальчик, ул. Чернышевского, 173  
shozamir@yandex.ru*

**Аннотация:** Экспериментально исследованы температурная зависимость и кинетика изменения электропроводности при изотермическом отжиге боратно-бариевого стекла С78-5. Получены значения энергии активации электропроводности в разных температурных диапазонах, соответствующих разным механизмам проводимости. Установлено, что в процессе изотермического отжига удельная проводимость стекла увеличивается, тем интенсивнее, чем выше температура отжига.

**Ключевые слова:** *изотермический отжиг, кинетика электропроводности, боратно-бариевое стекло, структурные превращения, удельная электропроводность, фазообразование, энергия активации проводимости.*

Боратно-бариевые стекла широко используются при производстве приборов электронной оптики [1]. Физико-химические процессы, происходящие в стекле, оказывают существенное влияние на электрофизические свойства и определяют важные для эксплуатации приборов применения характеристики (стабильность параметров, надежность, долговечность и др.). В связи с этим исследования влияния пропускания электрического тока на проводимость стекла С78–5, применяемого в производстве некоторых изделий электронной оптики, могут представлять практический интерес.

Все исследованные образцы были изготовлены во Владикавказском технологическом центре «Баспик». Образцы представляли собой полированные диски диаметром 24,8 мм и толщиной 0,42 мм. На торцовую поверхность дисков нанесены хромовые электроды. На одной стороне диска находится общий сплошной электрод по всей площади диска, а на второй стороне — центральный измерительный электрод, который окружен охранным электродом кольцевой формы, исключающим вклад поверхностных токов в измеряемые проводимости.

Измерения электропроводности проводились в процессах нагрева, изотермического отжига при определенной температуре ( $T = 450^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 5 \text{ ч}$ ) и последующего нагрева данного образца через 72 ч. По результатам измерения электропроводности построены температурные зависимости электропроводности материала исследованных образцов, а по данным, полученным в ходе изотермической выдержки, получены кинетические зависимости электропроводности.

Электропроводность стекол имеет активационный характер и можно ожидать, что зависимость логарифма обратного сопротивления от обратной температуры будет линейной [2]. На рис. 1 представлены в координатах Аррениуса температурные зависимости удельной электропроводности стекла  $C78-5$ , полученные при двух последовательных нагревах образца.

Для каждого цикла нагрева на графике выделяются две линейные области, соответствующие низким и высоким температурам. При первом нагреве в низкотемпературной области энергия активации проводимости составляет  $0,1 \text{ эВ}$ , а при повторном нагреве – уменьшается до  $0,03 \text{ эВ}$ . В высокотемпературной области для обоих нагревов энергия активации проводимости примерно равны и составляет  $1,89 \text{ эВ}$ .

Различие величины электропроводности и энергии ее активации между первым и последующим нагревом легко может быть объяснено процессами образования и роста новых фаз при отжиге [3,4].

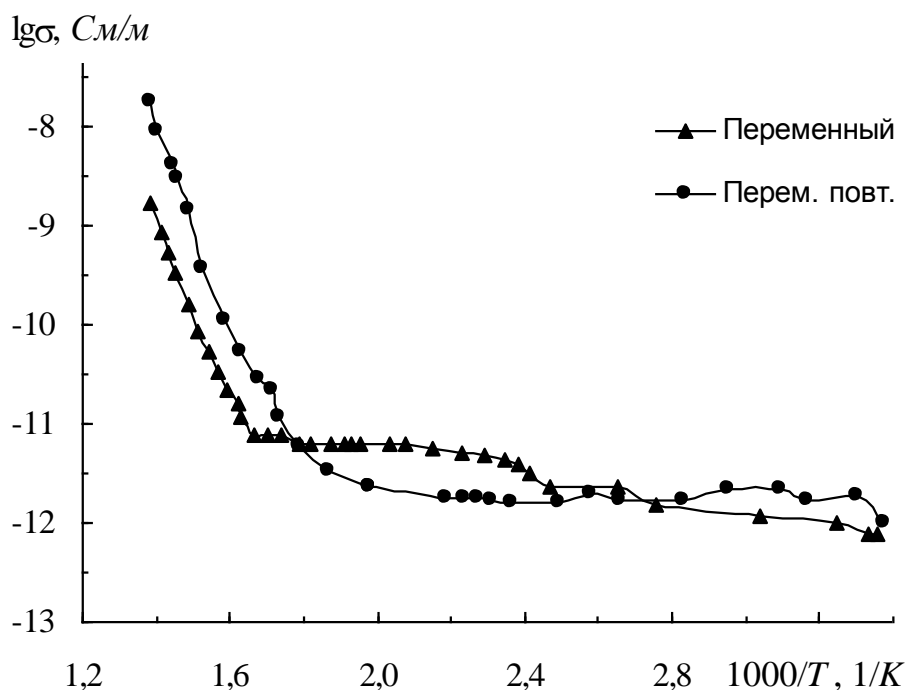


Рис. 1. Температурная зависимость удельной электропроводности стекла  $C78-5$  в процессе двух последовательных нагревов от комнатной температуры до  $T = 450^\circ\text{C}$ .

В различных технологических процессах, особенно, связанных с термическими воздействиями, в стеклах происходит зарождение и рост различных кристаллических фаз. Эти фазы характеризуются разнообразием их состава и нанометровыми размерами. С целью выявления особенностей процесса фазообразования был проведен анализ фазового состава исследованных стекол после отжига в различных

термодинамических условиях. Исследования выполнялись на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6. Для всех образцов дифрактограммы снимались в диапазоне углов рассеяния  $2\Theta$  от  $6$  до  $75^\circ$  (соответствующие межплоскостные расстояния в кристаллических структурах от  $1,47$  до  $0,127$  нм,) [5,6]. Исследованные образцы представляли собой полированные диски боратно-бариевых стекол  $C78-5$ . Образцы, предназначенные для анализа, отжигались в вакууме при двух температурах:  $400$  и  $500^\circ\text{C}$ . Время отжига составляло  $5$  часов. Кроме отожженных анализировались контрольные, то есть неотожженные образцы.

Боратно-бариевое стекло  $C78-5$  после отжига в вакууме при  $500^\circ\text{C}$  имеет максимальное содержание кристаллофаз.

Качественный анализ рентгенограмм показывает, что пики в области относительно малых углов рассеяния  $2\Theta$  от  $\sim 14$  до  $\sim 18^\circ$  соответствует пикам  $\text{SiO}_2$  со значительным искажением параметров решетки, что проявляется в значительных сдвигах и деформациях. Очевидно, это связано с малыми (нанометровыми) размерами и несовершенной структурой образующихся кристаллических частиц диоксида кремния.

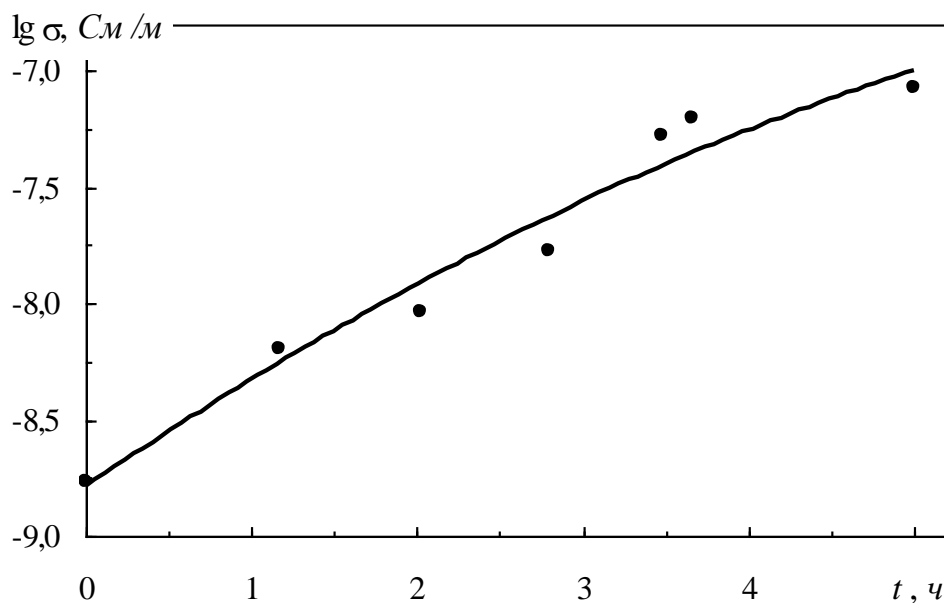


Рис. 2. Зависимость удельной электропроводности от времени изотермического отжига в вакууме для стекла  $C78-5$  при температуре  $T = 450^\circ\text{C}$ .

В процессе изотермического отжига удельная проводимость стекла увеличивается, тем интенсивнее, чем выше температура отжига. Уровень проводимости стекла при высокой температуре ( $T = 450^\circ\text{C}$ ) стремится к  $\sim 10^{-7}$  см/м. Обращает на себя внимание тот факт, что проводимость кристаллического кварца при  $400^\circ\text{C}$  составляет  $\sim 10^{-8}$  см/м [7]. Возможно,

что именно растущие наноразмерные кристаллы диоксида кремния, зафиксированные на рентгенограммах, определяют конечный уровень проводимости.

### **Библиографический список:**

1. **Кулов, С.К.** Микроканальные пластины / С.К. Кулов. – Владикавказ: Северо-Кавказский технологический университет, 2001. – 86 с.
2. **Anderson, O.L.** Calculation of activation energy of ionic conductivity in silica glasses by classical methods / O.L. Anderson, D.A. Stuart // Journal of the American Ceramic Society. - 1954. -V. 37. - No. 12. - P. 573-580.
3. **Шомахов, З.В.** Электропроводность свинцово-силикатного стекла в процессах нагрева и изотермического отжига / З.В. Шомахов, О.А. Молоканов, А.М. Кармоков // Нано- и микросистемная техника. - 2011. - № 7. - С. 14-17.
4. **Кулов, С.К.** Наноразмерные неоднородности на поверхности свинцово-силикатного стекла для МКП / С.К. Кулов, А.М. Кармоков, О.А. Молоканов // Известия Российской академии наук. Серия физическая. - 2009. - Т. 73. - № 11. - С. 1649-1651.
5. **Шомахов, З.В.** Электропроводность боратно-бариевого стекла в процессе образования и роста нанокристаллов / З.В. Шомахов // VIII Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов»: сборник материалов, Москва (15-18 ноября 2011 года). – М.: ИМЕТ РАН, 2011. – С. 334.
6. **Шомахов, З.В.** Электропроводность боратно-бариевого стекла в процессе образования и роста нанокристаллов / З.В. Шомахов, О.А. Молоканов, А.М. Кармоков и др. // Известия КБГУ. – 2011. – Т. I. – № 3. – С. 102-105.
7. **Шомахов, З.В.** Влияние температуры изотермического отжига на образование нанокристаллов в стекле С78-5 / З.В. Шомахов, В.И. Альмяшев, А.М. Кармоков и др. // Известия КБГУ. – 2011. – Т. I. – №4. – С. 5-7.