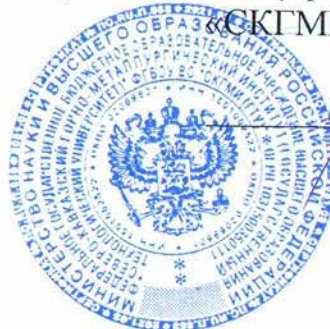


«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
стратегическому развитию ФГБОУ ВО
«СКТМИ (ГТУ)»



С.В. Галачиева

«17» августа 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Молокановой Ольги Олеговны «Влияние изотермического отжига на структуру, электрические и оптические свойства стекол для электронной техники», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15 – Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика

Актуальность работы. В диссертационной работе Молокановой О.О. исследованы специальные стекла, применяемые в электронной технике: свинцово-силикатные марок С87-2, С78-5 и боратно-бариевое марки С78-4. Для этих стекол, подвергнутых изотермическим отжигам в различных условиях, выявлены закономерности изменения их структуры, электрических и оптических свойств.

Объекты исследования диссертационной работы широко востребованы в современной электронной технике. Свинцово-силикатные стекла используются в производстве оптических кабелей систем передачи данных, рентгеновских линз, канальных вторично-электронных усилителей, в частности микроканальных пластин, и др. Структурные изменения в функциональных стеклах при различных физико-химических воздействиях на них в процессе производства и эксплуатации вносят существенный вклад в стабильность работы и срок службы изделий. Стабильность эксплуатационных параметров и сроки эксплуатации конечных изделий также зависят от изменений электропроводности, диэлектрических, оптических и эмиссионных свойств применяемых стекол

Образование новых фаз приводит к изменениям важных для конечного применения функциональных свойств материалов. Высокая температура является причиной возрастания подвижности частиц и усиления диффузионных процессов, что, в свою очередь, приводит к изменению фазового состава материала и к изменению физико-химических свойств функциональных стекол.

Все вышеизложенное делает актуальными проведенные исследования влияния процессов возникновения и роста новых фаз при различных отжигах

на структуру, электрические и оптические характеристики функциональных стекол электронной техники.

Целью диссертационной работы являлось выявление закономерностей и теоретический анализ структурных, электрических и оптических изменений при изотермических отжигах специальных стекол, применяемых в электронной технике.

Основные положения, выносимые на защиту. Сформулированные во введении диссертации основные положения, выносимые на защиту, являются корректными и вытекают из содержания работы.

Научная новизна. Научную новизну представленной диссертационной работы определяют следующие результаты, полученные соискателем.

Исследовано изменение удельной электропроводности в ходе изотермических отжигов стекол С87-2, С78-4 и С78-5, и выявлены закономерности происходящих при этом изменений электромассопереноса и электродиффузии при различных температурах.

Обнаружено образование и рост новых кристаллических фаз в результате отжигов исходно аморфных стекол и рассчитаны характерные размеры возникающих нанообразований.

В исследованных стеклах установлены закономерности структурных изменений в новых наноразмерных фазах, возникших в ходе изотермических отжигов.

Изучено влияние электромассопереноса и изменений фазового состава на электропроводность исследованных стекол.

Определены значения ширины запрещенной зоны наноразмерных фаз, возникших в результате высокотемпературных отжигов стекол С87-2, С78-4 и С78-5 по результатам измерения их оптических свойств.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Полученные автором в диссертации результаты достаточно согласуются с существующими в науке представлениями о фазовых переходах, об образовании частиц новых фаз, о электромассопереносе в стеклах и о поведении оптических характеристик стекол. Результаты исследований автора по теме диссертационной работы прошли апробацию на восьми научных конференциях, и в трудах этих конференций опубликовано десять докладов.

Значимость результатов исследования для науки и практики заключается в следующем.

Установленные в диссертации закономерности влияния высокотемпературных воздействий на стекла и протекания электрического тока через них на формирование кристаллических фаз в стекле и на электропроводность стекол внесут вклад в уточнения моделей фазообразования в аморфных средах и в модели, описывающие электропроводность слабопроводящих аморфных материалов с ионной составляющей проводимости.

Результаты, полученные при исследовании температурных и временных зависимостей электропроводности, структурных и фазовых изменений в

процессе отжига стекол С87-2, С78-4 и С78-5, были рекомендованы для внедрения.

Созданные в ходе выполнения работы экспериментальная установка и методики исследования электрических свойств диэлектрических и слабопроводящих материалов при температурах 20–600 °С используется в организации, в которой выполнены исследования, для дальнейших научно-исследовательских работ и в учебном процессе.

Общая характеристика и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 106 наименований. Общий объем диссертации составляет 150 страниц, включая 79 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, приведена научная новизна и практическая значимость результатов, обоснованность и достоверность результатов, а также изложены основные положения, выносимые на защиту и сведения об апробации работы.

В первой главе приведен литературный обзор и анализ научных публикаций, по особенностям строения стекол и по теоретическим представлениям об образовании зародышей кристаллических фаз в аморфной среде и росте этих зародышей. Проведен анализ литературных данных по исследованию характеристик и параметров функциональные стекол для электронной техники, на основе которого подтверждена актуальность темы диссертационного исследования.

Во второй главе приведено описание экспериментальных установок, методик проведения экспериментов и также методик подготовки образцов для изучения электропроводности и электромассопереноса. Представлены описания методик обработки экспериментальных результатов, а также стандартных приборов ДРОН-6, АСМ и спектрофотометров, использованных автором для изучения структуры, морфологии поверхности и оптических свойств стекол.

В третьей главе изложены результаты исследования влияния высокотемпературных изотермических отжига на электропроводность, электромассоперенос, структурные и фазовые изменения в стеклах С78-4, С87-2 и С78-5 при двух режимах пропускания тока. Первый режим – непрерывный однонаправленный ток, второй режим – симметричный знакопеременный ток. Установлены основные факторы, влияющие на проводимость образцов при непрерывном однонаправленном токе через образец: электромассоперенос и формирование в стеклах кристаллических фаз нанометровых размеров и их последующий рост. Для этих режимов пропускания тока через образец построены временные зависимости электромассопереноса и роста кристаллических фаз нанометровых размеров в процессе отжига.

Рассчитан эффективный коэффициент диффузии ионов щелочных металлов натрия и калия, которыми осуществляется электропроводность в стеклах. Обнаружено, что коэффициент диффузии возрастает с течением времени отжига и через некоторое время, которое характерно для каждого стекла, коэффициент диффузии стабилизируется. Отмечается, что в результате

обеднения прианодной области ионами натрия и калия, электропроводность образца в целом уменьшается.

Методами рентгенофазового анализа установлено образование и рост частиц наноразмерных кристаллических фаз в изученных стеклах в процессе изотермических отжигов. Проведена оценка размеров нанокристаллических частиц, что составляет от 5 до 12 нм. Показано, что на диффузионные процессы в ходе отжига оказывает влияние образование и рост новых фаз.

Рентгенодифракционным методом на поверхности и в объеме образцов свинцово-силикатного стекла С87-2, отжигавшихся в среде водорода, обнаружены кристаллические частицы металлического свинца, окислов свинца и сложных силикатов с размерами 4–8 нм.

В четвертой главе приводятся результаты изучения оптических свойств стекол С78-4, С87-2 и С78-5. Показано, что в результате отжига в водороде край собственного поглощения стекол свинцово-силикатной системы С87-2 и С78-4 сдвигается к большим длинам волн. Для стекла С87-2 с повышением времени отжига в водороде до 2 часов край поглощения смещается от 300 до 700 нм, а для боратно-бариевого стекла С78-5 край собственного поглощения смещается от 340 до 1000 нм. По экстраполяции линии краев поглощения определена ширина запрещенной зоны нанокристаллических фаз, которые образуются в стеклах под действием высокой температуры.

Показано, что отжиг стекла С87-2 при 400 °С как в воздухе, так и в вакууме повышает коэффициент зеркального отражения по сравнению с неотожженным стеклом. Наибольшее изменение коэффициента отражения происходит после отжига на воздухе при 400 °С.

В заключении диссертации сформулированы общие выводы по работе.

Основные замечания

1. Для приведенных в работе экспериментальных данных не показаны, как это обычно принято, значения погрешности измерений. В том числе, и на графиках не показаны величины допустимых отклонений. Можно было бы на графиках, где приводятся тренды аппроксимации, привести значения коэффициентов корреляции R^2 .

2. Уравнение 3.14 (стр. 72 диссертации, оно же на стр. 12 автореферата) содержит какую-то ошибку. Правая часть этого уравнения по размерности соответствует σ^2 .

3. Непонятно поведение размеров нанокристаллов в стекле С78-4 при 400 °С, приведенное на рис. 3.17 (стр. 83 диссертации). Судя по рисунку, производная по времени, то есть скорость изменения размера, здесь с течением времени возрастает, так как крутизна графика увеличивается. В то время как на рис. 3.14 (стр. 81 диссертации) показана скорость роста нанокристаллов в стекле С78-4 при 400 °С, которая с течением времени уменьшается.

4. В тексте диссертации имеются допущенные опечатки (см., например, стр. 3 и 98: «в результате», где должно быть «в результате»; стр. 8; «выполнение», где должно быть «выполнения» и «исследования», где должно быть «исследования»; стр. 57: «вакууметры», где должно быть «вакуумметры»;

стр. 137: «рентгенодифракционным»), где должно быть «рентгенодифракционным»).

Отмеченные замечания не влияют на результаты, полученные в работе, и не снижают научной и практической значимости полученных результатов и общую положительную оценку работы.

Заключение.

Рассмотренная диссертация представляет собой самостоятельно выполненную, цельную и завершенную научно-квалификационную работу на достаточно актуальную тему. Автореферат диссертации дает достаточно полное представление о проведенных автором исследованиях и полученных результатах. Диссертационная работа Молокановой Ольги Олеговны «Влияние изотермического отжига на структуру, электрические и оптические свойства стекол для электронной техники» соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Молоканова Ольга Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.15 – Физика и технология наноструктур, атомная и молекулярная физика.

Отзыв составлен доктором технических наук, профессором заведующим кафедрой электронных приборов Козыревым Евгением Николаевичем (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», 362021, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, тел.: +78672407101, e-mail: info@skgmi-gtu.ru)

Отзыв обсужден и одобрен на заседании научного семинара «Электроника и наноэлектроника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», руководитель семинара доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой электронных приборов ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)» Козырев Е.Н., протокол № 1 дата 12.08.2022 г. Результаты голосования: «За» – 12 чел., «Против» – нет, «Воздержались» – нет.

Заведующий кафедрой электронных приборов ФГБОУ ВО «СКГМИ (ГТУ)»
доктор технических наук, профессор

Е.Н. Козырев



12.08.2022г.