

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор АО «Наука и инновации» -  
управляющей организации АО «ВНИИХТ»,

доктор экономических наук

  
А.В. Ивакин

 2019 г.

  
ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Федотова Сергея Сергеевича «Влияние химического состава на формирование двулучепреломляющих нанорешеток в силикатных стеклах фемтосекундным лазерным излучением», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Диссертационная работа Федотова С.С. посвящена созданию нанорешеток в объеме двухкомпонентных титаносиликатных, щелочносилкатных, а также многокомпонентных боросиликатных стекол с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. Интерес к данному направлению научных исследований неуклонно растет с каждым годом. Это связано как со стремлением к миниатюризации устройств и компонент интегральной оптики и фотоники, так и с продолжением общей тенденции ухода от использования электронов в качестве переносчиков информации и замене их фотонами. Использование стекол в качестве среды для передачи информации имеет ряд преимуществ перед другими решениями, прежде всего при создании двух- и трехмерных структур в объеме стекла, способных обеспечивать как направленное движение света, так и его преобразование. При этом «неограниченные» возможности изменения химического состава

многокомпонентных оксидных стекол в том числе и на наноуровне, могут стать решающими факторами при создании будущих сценариев развития оптического материаловедения.

На основании изложенного актуальность выполненного диссертантом исследования процессов лазерной нано- и микроуровневой модификации состава и структуры оксидных стекол является очевидной и не подлежит сомнению.

Автором представлен аналитический обзор существующих литературных данных (раздел 1), относящихся к формированию нанорешеток в оксидных стеклах при воздействии фемтосекундного лазерного излучения. Достаточно подробно описано строение нанорешеток, их свойства, а также гипотезы их формирования. Проанализировав существующие данные, диссертант приходит к выводу о несистематичности и противоречивости данных о формировании нанорешеток в стеклах, отличных от кварцевого, и выбирает объекты для своего исследования. В целом, данный выбор представляется обоснованным. Он дает возможность оценить влияние как катионов-модификаторов ( $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), так и катионов, встраивающихся в структуру стекла на примере оксида титана.

Следует обратить внимание, что список источников состоит целиком из англоязычных статей, подготовленных зарубежными группами исследователей в последние 15-20 лет. Этот факт подтверждает, что область исследований является относительно новой, а также ограниченность подобных исследований в России. Данный подход распространен автором на всю диссертацию – из 99 ссылок лишь 3 отечественных (№83 – Павлушкин «...», №91 – Сигаев «...», №93 – Паспорт лазера). Для основных разделов 2 и 3 подобное ограничение, по меньшей мере, представляется спорным.

Методическая часть (раздел 2) позволяет сделать вывод о том, что диссертанту были предоставлены широкие возможности по части методов исследования с привлечением таких методов как ПЭМ, СЭМ, ЭДРС, КР. Работа выполнена с привлечением передовых технологий и использованием

самого современного приборного обеспечения. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. К сожалению, очень кратко описан метод количественного измерения параметров двулучепреломления, основной метод, использованный диссертантом. Недостаточно проанализированы «приборные и др.» ошибки. На двух страницах 55 и 56 в разделах по синтезу стекол 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 практически дословно повторяются абзацы.

Из рассмотрения третьего раздела диссертации «Результаты исследований и их обсуждение» следует, что диссертантом проделана большая по объему экспериментальная работа, позволившая сделать весьма существенные выводы о природе образования нанорешеток в многокомпонентных стеклах. Особенно примечательными являются результаты по записи нанорешеток в стеклах с различной концентрацией оксида натрия – оказалось, что увеличение концентрации приводит к увеличению минимального количества импульсов для создания нанорешетки, но, что самое главное, при подаче более  $10^7$  импульсов на точку фазовый сдвиг во всех стеклах, включая кварцевое, приходит к примерно одинаковому значению. Данное наблюдение позволяет прийти к важному выводу о том, что процессы формирования нанорешеток в натриевосиликатных стеклах и в кварцевом стекле являются близкими в части образования наноразмерных пор, с той разницей, что оксид натрия ( $\text{Na}^+$ ) его лимитирует. В явном виде стадия массопереноса осталась недоисследованной, а в выводах – невысказанной, что можно отнести к замечаниям.

Другим интересным результатом является выделение нанокристаллов силиката натрия, формирующихся на границах нанопор в нанорешетке. К сожалению, непонятно, и диссертант это отмечает, произошла ли нанокристаллизация во время модифицирования фемтосекундным лазерным пучком или во время исследования электронным пучком в процессе проведения исследования методом ПЭМ. Хотелось бы услышать о возможных практических применениях данного явления.

Как в диссертации, так и в автореферате имеют недочеты, связанные с оформлением (рисунков и т.п.). Так, в автореферате подписи к осям на рисунке 7 мелкие и трудночитаемые; на рисунке 3.2.3.2 диссертации отсутствуют масштабные линейки, что затрудняет определение периода представленных нанорешеток. Шкала ординат на рисунке 3.2.3.4 обозначена у.е., вместо атом. или масс. процентов; отсутствуют подписи к оси абсцисс на рисунках 3.2.5.1 и 3.2.5.2. Расхожие термины часто приводятся без кавычек. Рубрикация разделов излишне зарегламентирована; спорна нумерация рисунков вплоть до четвертого знака; автор практически не пользуется округлением цифровых значений измеренных и рассчитанных величин. В диссертации отсутствует завершающий раздел «Обсуждение результатов...». С учетом многоплановости составов и структур исследованных стекол, а также полученных незаурядных (новых) результатов, этот раздел был бы вполне уместным.

Высказанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают теоретической и практической значимости полученных результатов.

Подводя итог обсуждаемой диссертационной работы можно сказать, что Федотовым С.С. проведено полное и систематическое исследование, вносящее значительный вклад в область знаний о взаимодействии фемтосекундных лазерных импульсов со стеклами в общем, и формировании нанорешеток в частности. Помимо значительного фундаментального вклада, работа имеет и прикладную значимость. Автором впервые сформирован конвертер поляризации в объеме многокомпонентного стекла. Большой интерес представляет дальнейшее развитие работы С.С. Федотова и распространение предложенных в ней подходов к промышленным оптическим стеклам, поскольку только стекла оптического качества могут представлять интерес для реального практического применения стекол с модифицированной в наномасштабе структурой. Значительный интерес представляет и расширение номенклатуры модифицируемых стекол за

пределы оксидных систем: весьма плодотворным может оказаться применение фемтосекундного лазерного излучения к фторидным и оксифторидным стеклам.

Автореферат диссертации и публикации, выполненные в ведущих изданиях данной отрасли, полностью отражают основное содержание работы. Хочется надеяться, что данные исследования найдут свое продолжение в других работах диссертанта, так как полученные результаты не только отвечают на часть поставленных вопросов, но и задают новые, демонстрируя, как еще мы далеки от полного и исчерпывающего химико-материаловедческого понимания вопросов взаимодействия света и вещества.

Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов» по пунктам 1, 2 формулы специальности и пунктам 1.1 и 2 области исследования.

Диссертационная работа Федотова С.С. на тему «Влияние химического состава на формирование двулучепреломляющих нанорешеток в силикатных стеклах фемтосекундным лазерным излучением» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата химических наук, а ее автор, Федотов Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Диссертация и автореферат Федотова С.С. «Влияние химического состава на формирование двулучепреломляющих нанорешеток в силикатных стеклах фемтосекундным лазерным излучением» обсуждены, а отзыв заслушан и утвержден на заседании совета АО «ВНИИХТ», протокол №1 от 15.02.2019 года.

Начальник отделения  
«Функциональных  
материалов радиационной фотоники»

П.Б. Басков

Главный научный сотрудник лаборатории  
«Функциональные пленочно-стекло-волоконные  
материалы радиационной фотоники»

В.В. Сахаров

Басков Петр Борисович, кандидат технических наук, начальник отделения «Функциональные материалы радиационной фотоники» акционерного общества «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 33, раб. тел. 8-499-324-40-30, e-mail: [baskovpb@vniiht.ru](mailto:baskovpb@vniiht.ru))

Сахаров Вячеслав Васильевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории «Функциональные пленочно-стекло-волоконные материалы радиационной фотоники» акционерного общества «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе, 33, раб. тел. 8-499-324-40-30, e-mail: [baskovpb@vniiht.ru](mailto:baskovpb@vniiht.ru))