

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации

Никулиной Ольги Владимировны

На тему: «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов

на основе SiO_2 »,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Актуальность темы. Диссертация Никулиной О.В. «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов на основе SiO_2 », посвящена выяснению механизмов радиационных изменений оптических и механических свойств кварцевых стекол различной чистоты, используемых как в качестве оптических материалов, так и в качестве элементов конструкционных композитов. Цель диссертационной работы представляется весьма актуальной, поскольку окончательного понимания механизмов радиационно-индуцированных процессов в диэлектрических материалах, и, в частности в кварцевых стеклах в настоящее время еще нет. Если в металлах радиационная деградация свойств вполне объясняется процессами, связанными с накоплением и трансформацией радиационных дефектов структуры, то в диэлектриках существенный вклад дают процессы ионизации среды, накопления и разделения электрического заряда. В работе поэтому предпринята попытка изучения именно таких процессов. При этом понятным представляется использование подхода, учитывающего реальную нано-неоднородную структуру стекол, которая определяет распределение в объеме индуцированного ионизирующим облучением электрического заряда. Подход ранее с успехом был применен для объяснения изменений оптических свойств фторидных стекол, и логичным представляется попытка автора применить его для другого типа стекол, кварцевых, а также не только для радиационной оптики, но и механики кварцевых материалов.

Научная новизна и практическая значимость исследований. Поставленная в диссертации Никулиной О.В. цель вполне достигнута. Получены важные результаты, которые обладают научной новизной и имеют практическую значимость:

1. Экспериментально показано соответствие между размерами доменов в нано-неоднородной по плотности структуре кварцевых стекол и размерами областей когерентного рассеяния света в этих же облученных стеклах. Показано, что оптические потери в гамма-облученных кварцевых легированных стеклах сильно зависят от размеров таких областей, пропорционально четвертой степени.

2. Интересным является предложенный механизм радиационного упрочнения кварцевых стекол за счет напряжений, возникающих в результате кулоновского взаимодействия между разделёнными в структурных нано-неоднородностях заряженными областями. Оценка величины механических напряжений, кулоновского упрочнения, может принимать значения до 400 МПа.

3. С помощью оригинальных акустомеханических измерений непосредственно в условиях интенсивного облучения протонами в кварцевом стекле обнаружена доза достижения максимального радиационного упрочнения 1 МГр. Эта доза соответствует расчету дозы завершения кулоновского упрочнения.

4. Экспериментально показано, что увеличение после гамма-облучения предела прочности композиционного материала на основе наполнителя из кварцевого волокна и

неорганического связующего можно связывать с кулоновским упрочнением стеклянных волокон.

Теоретическая значимость полученных Никулиной О.В. результатов заключается в установлении причины радиационного упрочнения кварцевых стекол за счет индуцированных ионизирующим облучением кулоновских напряжений.

Практическая значимость работы определяется:

- предложенным способом предсказания радиационных изменений оптических и механических свойств кварцевых стекол с помощью рентгеноструктурного анализа,
- разработкой высокотемпературного, радиационно-стойкого композиционного материала на основе наполнителя из кварцевого волокна и неорганического связующего.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, личный вклад автора

Достоверность научных положений и выводов обеспечена использованием современных методов исследований, к которым относятся рентгенография и оптическая спектроскопия. Методика акусто-механических измерений непосредственно в условиях ионного облучения позволила автору получить достоверные результаты изменений механических свойств материалов при радиации. Также проведены обычные пострадиационные исследования. Для теоретического обоснования полученных результатов использованы современные представления физики твердого тела. В диссертационной работе соблюдается системность исследований. Автор лично участвовала в постановке задач, проведении экспериментов, в расчетах и обработке полученных результатов, их анализе.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация Никулиной О.В. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении автором обоснована актуальность исследований, сформулированы поставленная цель и решённые задачи, приведены научная новизна и практическая значимость работы, положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором рассмотрены имеющиеся к настоящему времени результаты экспериментальных и теоретических исследований структуры неорганических стекол на атомном и нано- уровнях, влияния разупорядоченности структуры на оптические свойства в области края фундаментального оптического поглощения. Автор приводит результаты современных исследований в области атомной структуры стекол, из которых следует, что стекла вне зависимости от их состава имеют неоднородное нано-кластерное строение, в котором основой являются домены/кластеры размером от 1 до 10 нм с упорядоченным атомным расположением.

Автором проанализированы известные экспериментальные результаты влияния гамма-облучения на оптические свойства стекол различного состава и рассмотрены предлагаемые механизмы возникновения радиационно-индуцированных оптических потерь в стеклах. Отмечено, что длинноволновый сдвиг края поглощения наблюдается абсолютно у всех типов стекол после облучения и выглядит одинаково вне зависимости от их состава. Одинаковые радиационные изменения оптических свойств стекол следует связывать с общей для всех стекол причиной, по мнению автора, с предложенным ранее механизмом образования радиационно-индуцированных оптических потерь за счет

наведенного релеевского рассеяния из-за разделения электрического заряда в нано-областях стекол. Такой подход с успехом был применён и экспериментально обоснован для объяснения изменений оптических свойств фторидных стекол. Размер, рассеивающих по Релею свет доменов, определяется корреляционным радиусом ближнего порядка, который соответствует размеру мельчайших элементов структуры, определяемому размером областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения.

Во второй главе автором приведены результаты исследований радиационных изменений оптических свойств силикатных стекол, у которых исходная наноструктура различалась вследствие их легирования различным количеством примесей Al_2O_3 , Ga_2O_3 , Nd_2O_3 . После гамма-облучения происходит радиационное окрашивание стекол, которое автору удастся описать потерями на рассеяние в индуцируемой облучением оптически неоднородной среде – объеме стекла. С помощью теории рассеяния Релея получена аппроксимация спектров оптического пропускания и оценены размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) света для каждого стекла. Эти размеры, как видно из рентгеновских измерений, коррелируют с размерами ОКР рентгеновского излучения. Это явилось экспериментальным подтверждением того, что радиационная окраска стекол вызвана рассеянием в индуцируемой ионизирующим облучением оптически неоднородной среде.

В третьей главе автором предложен механизм возникновения индуцированных облучением внутренних механических напряжений в стекле (радиационно-индуцированное кулоновское упрочнение). Приведены оценки, согласно которым значения напряжений в кварцевом стекле находятся в интервале 40-400 МПа, а упрочнение происходит до дозы ~ 1 МГр. При такой поглощенной дозе весь объем стекла разбивается на заряженные области.

Для экспериментальной проверки величины оцененной предельной дозы автором были проведены измерения акусто-механических свойств стекол непосредственно в процессе интенсивного ($5 \cdot 10^3$ Гр/с) протонного облучения. Для измерений модуля упругости и декремента затухания акустических колебаний установка на основе резонансного метода составного пьезоэлектрического вибратора. Автором экспериментально показано, что радиационно-индуцированные изменения акустических свойств кварцевых стекол, также, как и изменения оптических свойств, характеризуются предельной дозой порядка 1 МГр. Полученные экспериментальные результаты подтверждают один и тот же механизм радиационно-индуцированных изменений оптических и механических свойств кварцевого стекла.

В четвертой главе автором приведены описание разработки высокотемпературного радиационно-стойкого композиционного материала (КМ), и результаты исследований изменений его механических свойств после облучения на гамма-источнике ^{137}Cs . Также, как в условиях протонного облучения кварцевого стекла, после гамма-облучения не наблюдается изменений модуля упругости КМ, но предел прочности при изгибе увеличивается. При этом максимальное наблюдаемое упрочнение составляет порядка 20 МПа и находится в диапазоне оценок кулоновского упрочнения кварцевого стекла.

В целом диссертация Никулиной О.В. является законченным исследованием, представляет решение актуальных задач, объединенных общим подходом, решающим важные задачи радиационного материаловедения.

Замечания по работе. К содержанию работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. В главе 3, в параграфе 3.4 представлены исследования акустомеханических свойств чистых кварцевых стекол КУ-1. Для подтверждения связи между механическими свойствами и наноструктуры было бы важно исследовать влияние примесного состава на акустомеханические свойства легированных стекол.

2. Во второй главе делается вывод о соответствии полученных из рентгеноструктурного анализа размеров ОКР со значениями ОКР света, рассчитанных для облученных стекол по теории Релея. Однако не приведены результаты рентгенографических исследований стекол после облучения. Важно, меняется ли структура стекла после гамма-облучения.

3. В четвертой главе делается вывод о том, что композиционный материал не подвержен радиолизу, однако не приведены исследования структуры КМ после облучения.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационного исследования Никулиной О.В.

Общее заключение. Основные результаты диссертации опубликованы в 10 научных работах, из которых 3 статьи в ведущих рецензируемых журналах и тезисах из Перечня ВАК РФ, 2 патента, 5 работ в иностранных журналах и тезисах докладов на международных научно-технических конференциях.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации.

Уровень решаемых задач соответствующим требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Диссертационное исследование Никулиной Ольги Владимировны «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов на основе SiO_2 » является завершенной научно-квалифицированной работой, которая по критериям актуальности, научной новизне, обоснованности и достоверности выводов соответствует специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния, удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Я даю согласие на обработку моих персональных данных и на размещение их в свободном доступе в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и в единой информационной системе.

Я даю согласие на обработку персональных данных (приказ Минобрнауки России от 01.07.2015 № 662).

Официальный оппонент – Виталий Алексеевич Хрячков, доктор физико-математических наук (специальность - 01.04.01 Приборы и методы экспериментальной физики), начальник

управления перспективных исследований АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского».

Почтовый адрес: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, 1

Телефон: +7 (484) 399-89-61

E-mail: postbox@ippe.ru

Официальный оппонент

Виталий Алексеевич Хрячков

Подпись В.А. Хрячкова заверяю

Заместитель генерального директора

АО «Государственный научный центр

Российской Федерации – Физико-

энергетический институт имени А.И.

Лейпунского» по развитию и

международной деятельности

Н.Г.Айрапетова

«15» марта 2022 г.