

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Никулиной Ольги Владимировны

на тему: «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов на основе SiO₂»,

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

Актуальность

Диссертация Никулиной О.В. «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов на основе SiO₂», посвящена исследованию радиационных-индуцированных изменений оптических и механических свойств кварцевых стекол с учетом наличия наномасштабных частично кристаллизованных неоднородностей. Цель диссертационной работы – установить взаимосвязь между радиационно-индуцированными изменениями оптических и механических свойств кварцевых стекол и материалов на их основе.

Кварцевое стекло относится к числу наиболее широко применяемых на практике оптических материалов, является основой для получения оптических волокон, применяемых в различных измерительных приборах. В виде стеклотканей/волокон оно входит в состав композиционных материалов для элементов конструкций в авиационной отрасли, в транспорте, строительстве, в том числе для эксплуатации в условиях радиационных нагрузок. Однако облучение приводит к ухудшению оптических свойств и увеличению механической хрупкости. При этом объяснение механизмов радиационно-индуцированных процессов в кварцевых стеклах к настоящему времени недостаточно для их целенаправленной модификации к условиям эксплуатации в радиационных полях.

Особенность радиационного материаловедения стекол в целом связана с тем, что развитые на сегодняшний день подходы, применяемые к кристаллическим материалам, основаны на изучении механизма влияния

образующихся при облучении дефектов периодической структуры. Однако, для стекол такие подходы не применимы. В исходном стекле такого типа дефекты присутствуют в большем количестве, чем может образоваться в условиях облучения.

Автором рассмотрен подход к исследованию радиационно-индуцированных процессов с учетом наномасштабной неоднородной структуры исходного состояния стекол. Подход представляется достаточно общим для развития радиационного материаловедения стекол. Для проверки общности такого подхода он может быть применен в исследованиях радиационных изменений оптических, механических и других свойств стекол.

Исследования радиационных изменений как оптических, так и механических свойств кварцевых стекол с учетом их реальной наноструктуры безусловно *актуальны*.

Научная новизна и практическая значимость исследований

В диссертации Никулиной О.В. представлены результаты, обладающие научной новизной и имеющие практическую значимость:

1. Обнаружено соответствие между размерами доменов d в нанонеоднородной структуре кварцевых стекол и размерами областей когерентного рассеяния света в облученных кварцевых стеклах.

2. Предложен механизм радиационного упрочнения кварцевых стекол за счет кулоновских напряжений, возникающих в результате радиационно-индуцированного разделения электрического заряда на структурных нанонеоднородностях. Величина механических напряжений в результате радиационно-индуцированного кулоновского упрочнения может достигать значений до 400 МПа.

3. С помощью акустомеханических измерений в условиях интенсивного облучения протонами в кварцевом стекле обнаружена доза достижения максимального радиационного упрочнения 106 Гр. До этой дозы

при постоянном модуле Юнга происходит уменьшение декремента акустических колебаний.

4. Экспериментально показано увеличение предела прочности композиционного материала на основе наполнителя из кварцевого волокна и неорганического связующего после гамма-облучения. Значения максимального упрочнения находятся в пределах расчетов кулоновского упрочнения силикатного стекла.

На основе полученных Никулиной О.В. результатов *теоретическая и практическая значимость работы* определяется в следующем:

- показано, как использовать результаты рентгеноструктурного анализа кварцевых стекол для предсказания радиационных изменений их свойств,

- причиной радиационного упрочнения кварцевых стекол являются индуцированные кулоновские напряжения, способ оценки которых предложен в работе,

- разработан высокотемпературный, радиационно-стойкий композиционный материал 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 комплекса современных методов исследований (рентгенографический анализ, оптическая спектроскопия, физико-механические измерения, в том числе непосредственно в условиях ионного облучения), теоретического обоснования, а также тем, что основные закономерности радиационно-индуцированных изменений свойств материалов были установлены как в процессе непосредственного радиационного воздействия, так и в результате пострадиационных исследований. В диссертационной работе соблюдается системность исследований. Автор лично участвовал в постановке задач, провел

эксперименты, расчеты и обработку полученных результатов, а также принимал участие в их анализе.

Краткая характеристика диссертации

Диссертация Никулиной О.В. состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении автором обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках диссертации, формулируются цели, задачи, научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе автором рассмотрены имеющиеся к настоящему времени результаты экспериментальных и теоретических исследований структуры стекол на нано- уровнях, ее влияние на оптические свойства в области края фундаментального оптического поглощения. Автором представлены и проанализированы известные экспериментальные результаты влияния гамма-облучения на оптические свойства стекол различного состава. Автором отмечено, что изменения оптических свойств стекол после облучения имеют одинаковый характер вне зависимости от состава. Предлагается объяснить такие одинаковые радиационные изменения оптических свойств стекол образованием радиационно-индуцированных оптических потерь за счет наведенного релеевского рассеяния из-за разделения электрического заряда в нано-областях (доменах) стекол. Размер рассеивающих свет доменов в соответствии с таким механизмом определяется размером областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения.

Во второй главе автором приведены результаты исследований радиационных изменений оптических свойств силикатных стекол с различными легирующими добавками: Al_2O_3 , Ga_2O_3 , Nd_2O_3 . Автор с помощью теории рассеяния Релея рассчитывал размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) света. Связь радиационных изменений

оптических свойств кварцевых стекол с их наноструктурой автором показана с помощью рентгеноструктурных исследований с определением размеров ОКР рентгеновского излучения. Полученные автором результаты ОКР из рентгеновских дифрактограмм и из оптических спектров облученных стекол хорошо коррелируют друг с другом. Это является экспериментальным подтверждением того, что радиационная окраска стекол вызвана рассеянием в индуцируемой оптически неоднородной среде. Отмечено, что имеется предельная доза насыщения радиационной окраски кварцевых стекол, порядка 10^6 Гр.

В третьей главе автором предложен механизм радиационно-индуцированного кулоновского упрочнения стекла, приведены результаты измерений механических свойств кварцевого стекла непосредственно под действием мощного протонного облучения. Автором показано, что радиационно-индуцированные изменения акустических свойств кварцевых стекол, также, как и изменения оптических свойств, характеризуются предельной дозой порядка 10^6 Гр. Полученные автором экспериментальные результаты подтверждают один и тот же механизм радиационно-индуцированных изменений оптических и механических свойств кварцевого стекла.

В четвертой главе автором представлены результаты исследований изменений механических свойств композиционного материала на основе кварцевого стекла после облучения на гамма-источнике ^{137}Cs . Также, как в условиях протонного облучения кварцевого стекла, после гамма-облучения композиционного материала, не наблюдается изменений модуля упругости. Однако, после гамма-облучения предел прочности композиционного материала при изгибе увеличивается до максимального значения порядка 20 МПа, и соответствует оценкам кулоновского упрочнения кварцевого стекла.

В общих выводах и заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В целом диссертация Никулиной О.В. является самостоятельной, завершённой научной-технической работой в области физики конденсированного состояния и представляет собой не только теоретическую, но и практическую значимость.

Замечания по работе

В качестве замечаний к работе можно привести следующие:

- Для анализа рентгеноструктурных данных в работе используется подход Релея, в котором коэффициент рассеяния пропорционален четвертой степени размера рассеивателей ($\sim d^4$). Однако в работе не представлен анализ достоверности этой зависимости для полученного в работе набора значений d для различных стекол.
- В работе получено, что величина механических напряжений в результате радиационно-индуцированного кулоновского упрочнения может достигать значений до 400 МПа. При этом не отмечается, что это результат получен именно для выбранных условий облучения.
- В работе не поясняется выбор источников и условий облучения стекол, использованных в работе.
- В работе не рассматривается перераспределение заряда под воздействием облучения, но не рассматриваются возможности изменения размеров имеющихся наноразмерных доменов с частичным упорядочением, не рассматривается возможность кристаллизации аморфных областей в материале под облучением. Насколько эти неучтенные эффекты могут повлиять на результаты работы.
- Во второй главе при расчете потерь на рассеяние Релея не учтено отличие показателей преломления центров рассеяния и среды (стекла).
- В диссертационной работе и автореферате присутствует заметное число грамматических ошибок.
- В литературном обзоре представлены графики без достаточного пояснения величин, отложенных по осям (Рис. 1.7 - 1.10).

- Некоторые величины представлены с явным превышением количества значащих цифр ($\lambda_0 = 155,625$ нм - стр 49; $B = 2,12 \pm 0,01484$ - стр. 50), прочностные характеристики образцов материала КМ (Таблица 3 на стр. 89) представлены без указания ошибок измерения.

Несмотря на приведенные выше замечания, диссертация Никулиной О.В. заслуживает положительной оценки.

Общее заключение по работе

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

Считаю, что диссертационная работа Никулиной Ольги Владимировны «Радиационное упрочнение и оптические свойства материалов на основе SiO_2 » является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на высоком уровне, полностью соответствует критериям специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния и требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор - Никулина О.В. - достойна присвоения ей ученой степени кандидата физико-математических наук.

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

доктор физико-математических наук

С.В. Рогожкин

Сведения:

Рогожкин Сергей Васильевич

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, начальник отдела Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Почтовый адрес: 123182, Россия, г. Москва, пл. Академика Курчатова, д.1

Телефон: +7 (499) 789-63-74

E-mail: sergey.rogozhkin@itep.ru

Подпись С.В. Рогожкина заверяю:

Директор департамента кадровой
политики

НИЦ «Курчатовский институт»

С.В. Андрущук

08.04.2022