

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор ИОФ РАН,
член-корреспондент РАН,
д.ф.-м.н., профессор



Гарнов С.В.

11 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра

«Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук»
на диссертационную работу Пржиялковского Дмитрия Владимировича

«Особенности формирования волоконных брэгговских решёток
методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Пржиялковского Д.В. посвящена изучению особенностей процесса записи волоконных брэгговских решёток с помощью излучения фемтосекундного лазера. В центре внимания данной работы находится воздействие сфокусированного фемтосекундного излучения на материал оптического волокна в процессе записи брэгговских решёток, а также свойства полученных образцов брэгговских структур при повышенной температуре и механической деформации.

Работа включает в себя 4 главы, введение, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы. Текст диссертации содержит 111 страниц, 26 рисунков 2 таблицы, список литературы насчитывает 198 наименований. Автореферат содержит 22 страницы, 9 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 14 наименований.

В первой главе (обзор литературы) обсуждается волоконная брэгговская решётка (ВБР): общепринятая типология решёток, распространённые и перспективные методы создания, основные свойства. Также в этой главе освещаются особенности воздействия температуры и деформации на волоконные брэгговские решётки. Отдельное внимание уделено явлению регенерации ВБР условиям его наблюдения в решётках, записанных различными методами в различных волокнах.

Во второй главе подробно описывается новый многопроходный метод записи, основная идея и особенности модернизации схемы синхронизации работы лазера с движением микропозиционеров. Приводится схема всей установки для записи волоконных брэгговских решёток. Помимо этого, описаны установки для исследования термических и

прочностных характеристик полученных образцов ВБР, а также теоретические основы и особенности выбранных методов исследования.

В третьей главе приводятся результаты экспериментов по записи брэгговских волоконных решёток предложенным методом. Представленные результаты демонстрируют эффективность нового многопроходного метода записи ВБР. Показана возможность формирования как слабоотражающих волоконных брэгговских решёток, так и решёток, с высоким отражением. Экспериментально продемонстрировала возможность записи ВБР с близкими спектральными характеристиками. Обнаружен коротковолновый сдвиг длины волны брэгговского резонанса при многопроходной записи решёток, что свидетельствует о снижении среднего эффективного показателя преломления структуры. Отмечается, что наблюдаемый коротковолновый сдвиг характерен для всех исследованных типов волокон, вне зависимости от состава сердцевины. Предлагается модель согласно которой в областях фокусировки записываемого излучения образуется нанопористая структура с перераспределением плотности кварцевого стекла по объёму. Снижение среднего эффективного показателя преломления объясняется особенностями взаимодействия распространяющейся моды с элементами сформированной брэгговской структуры.

В четвёртой главе приводятся результаты экспериментов по изучению термических и прочностных свойств полученных образцов ВБР. Наблюдаемые эффекты объясняются с точки зрения предложенной в главе 3 модели и дополняют её. Исследовались образцы брэгговских решёток, записанные в стандартном телекоммуникационном низколегированном германосиликатном волокне SMF-28 Corning. В ходе длительного (до 3000 часов) изотермического отжига выявлена немонотонная динамика изменения как длины волны брэгговского резонанса, так и уровня отражения исследуемых волоконных решёток, в исследуемых образцах наблюдается явление регенерации. Предложена модель формирования регенерируемых решеток в основе которой лежит формирование кристаллических центров в облученных областях кварцевого стекла. Во второй части четвертой главы приводятся результаты прочностных испытаний. Показано, что механическая прочность записываемых при помощи излучения фемтосекундного лазера ВБР зависит от энергии импульса записываемого излучения.

В заключении автор упорядоченно приводит и формулирует полученные в диссертационной работе основные результаты.

Актуальность темы диссертационной работы

Волоконная брэгговская решётка является важным элементом компонентной базы современных волоконно-оптических приборов и устройств, широко используется в качестве узкополосного фильтра, как элемент резонаторов в волоконных лазерах, как чувствительный элемент точечных и распределённых сенсорных систем. Работа Пржиялковского Д.В. посвящена изучению особенностей формирования таких структур под действием фемтосекундного лазерного излучения, а также совершенствованию методов их записи, в том числе и в оптических волокнах, не обладающих чувствительностью к УФ облучению, изучению и оптимизации характеристик ВБР, что обуславливает актуальность и практическую значимость данной работы. Представленный в настоящей диссертационной работе метод многопроходной фемтосекундной поточечной записи позволяет создавать брэгговские структуры с высокой степенью воспроизводимости, а также открывает новые

возможности для изучения процессов, происходящих при воздействии интенсивного фемтосекундного лазерного излучения на кварцевое стекло оптического волокна.

Новизна исследования и полученных результатов

В работе впервые предложен многопроходный метод поточечной записи брэгговских решеток с помощью фемтосекундного излучения. Выявлены новые особенности в динамике формирования и термического распада брэгговских решеток, предложены качественные модели, описывающие наблюдаемые явления, изучены прочностные характеристики ВБР в зависимости от энергии записывающего излучения. Результаты исследований были опубликованы в отечественных и зарубежных журналах, а также представлены на нескольких отечественных и международных конференциях.

Степень обоснованности и достоверности результатов

В диссертационной работе Пржиялковского Д.В. использованы общепринятые методы экспериментального исследования с применением современных аппаратных средств. Основные положения и выводы диссертации не противоречат современным теоретическим представлениям, экспериментальные результаты, полученные в работе, коррелируют с результатами других авторов.

Научная и прикладная значимость полученных результатов

Представленные в диссертационной работе Пржиялковского Д.В. результаты исследований расширяют понимание физических процессов, лежащих в основе фемтосекундной поточечной записи волоконных брэгговских решёток. Предложенный многопроходный метод записи позволяет существенно увеличить возможности контроля технологического процесса записи ВБР поточечными методами, тем самым обеспечивая запись волоконных брэгговских решёток с более высокой точностью и воспроизводимостью параметров. Кроме того, он является эффективным методом исследования динамики формирования ВБР под действием фемтосекундного излучения. Высказаны предположения о формировании и термической трансформации брэгговских решеток. Результаты, полученные при исследовании механической прочности решеток, позволяют оптимизировать технологию создания ВБР для применения в сенсорных оптических кабелях различного назначения.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в рамках данной диссертационной работы новые сведения могут быть использованы как основа для дальнейших исследований в области взаимодействия фемтосекундного излучения с материалом волокна.

Продемонстрированные в диссертационной работе Пржиялковского Д.В. технические решения могут быть использованы при создании установок для записи волоконных брэгговских решёток на основе фемтосекундного лазера. Показанные в работе прочностные характеристики ВБР и динамика их параметров при высокотемпературном воздействии могут быть использованы для создания приборов и систем на основе ВБР для работы в тяжёлых условиях эксплуатации, где функционирование приборов или их чувствительных элементов сопряжены с воздействием повышенных температур и механических напряжений.

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат диссертационной работы Пржиялковского Д.В. соответствует п. 25. «Положения о присуждении ученых степеней», его содержание полностью отражает основное содержание диссертационной работы, полученные результаты и выводы.

Соответствие работы паспорту специальности

Диссертация Пржиялковского Дмитрия Владимировича «Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи» соответствует паспорту специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния»: П. 1 Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы и свойств неорганических и органических соединений как в кристаллическом (моно- и поликристаллы), так и в аморфном состоянии, в том числе композитов и гетероструктур, в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления; П.2 Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности; П.4 Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

Апробация работы

Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах, из них: 1 статья в издании, входящем в Перечень ВАК, 1 статья в журнале, входящем в РИНЦ, 4 статьи в зарубежных рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Scopus и Web of Science, 4 публикации в трудах международных и российских конференций. Автор представил результаты своих работ на 5 российских и международных конференциях.

Замечания по работе

1. В обзоре литературы физика взаимодействия сверхкороткого импульса с диэлектриком освещена неполно. Автор не ссылается на наиболее цитируемые работы по этой теме. Это проявилось, в частности, в некорректной интерпретации результатов в части роли и механизма лавинной ионизации, которые детально изучены в работе [Rajeev P.P., Gertsvolf M., Corkum P.B., Rayner D.M., Field dependent avalanche ionization rates in dielectrics, Physical Review Letters, 102, 083001, 2009], и которую автор не принял во внимание.
2. При обсуждении температурной стойкости ВБР, записанных в световодах на основе кварцевого стекла, даются явно завышенные значения температуры, при которой ВБР сохраняют свои свойства. Например, на странице 40 утверждается: «Такие решётки способны выдерживать длительное воздействие температуры вплоть до 1400°C [103, 119, 120]». Однако, в цитированной работе [103] утверждается, что уже при температуре 1295°C световод разрушается, поэтому более высокие температуры не использовались в экспериментах. В работах же [119, 120] световод изготавливался из более высокотемпературного стекла.

3. Формула (3) дает выражение для спектральной ширины ВБР по первым нулям спектра отражения, в то время как в тексте ошибочно утверждается, что это спектральная ширина на полувысоте.
4. В тексте отсутствует информация о характерном размере области облучения световода и не обсуждается геометрия перетяжки лазерного пучка в месте записи ВБР. Это закономерно привело к неточности в описании формулы (7): так, при вычислении коэффициента отражения ВБР утверждается, что интеграл перекрытия η является долей оптической мощности, распространяющейся по сердцевине, хотя это доля мощности, распространяющаяся по модифицированной части световода, которая совершенно не совпадает с сердцевиной в случае фемтосекундной записи ВБР.
5. В рамках данной работы не обсуждаются оптические потери, наводимые в сердцевине световода при записи ВБР фемтосекундным излучением. Полезно было бы привести оценки уровня потерь, поскольку он является критичным для некоторых применений.
6. Стр. 41, первый абзац. Автор вводит в оборот новый термин «затравочная решётка» без пояснения. Из текста в первом абзаце не вполне ясно, какими характеристиками (например, коэффициентом отражения или дозой облучения, поглощенной при записи) должна обладать ВБР, чтобы считаться «затравочной». Также в данном абзаце следовало бы привести ссылки на источники, в которых описаны режимы изготовления регенерированных ВБР.
7. Стр. 42, с точки зрения химии стекла утверждение «германий является довольно большим атомом, имеющим большое количество связей в структуре стекла и его диффузия маловероятна» выглядит не вполне корректно. Правильнее было бы написать, что в кварцевом стекле атомы германия, присутствующие в виде легирующей добавки, в подавляющем большинстве имеют ту же степень координации («4»), что и стеклообразующие атомы кремния, поэтому структурно они жестко связаны через атомы кислорода с основной сеткой стекла и не могут сквозь неё диффундировать.
8. Рисунок 3.11 стр. 76 приведены результаты эксперимента по нецентральной записи ВБР. На графике заметна выпадающая точка (красная кривая), в тексте этот факт никак не освещается. Есть ли этому какие-то физические объяснения?
9. На рис. 4.8 приведена зависимость некоторого параметра, отражающего прочность световода от корня четвертой степени из энергии записывающих лазерных импульсов. Разброс значений настолько велик, а диапазон изменения величин настолько мал, что корни других степеней столь же успешно аппроксимируют представленную экспериментальную зависимость. Таким образом, вывод автора о преобладающем влиянии четырехфотонного процесса на прочность световода представляется недостаточно обоснованным.
10. В тексте явно не указана температура отжига записанных с помощью фемтосекундного излучения ВБР, для которых динамики термического распада приведена на рис. 4.2. Можно только догадываться, что отжиг «фемтосекундных» решёток скорее всего проводился при той же температуре (650 °C), что и отжиг ВБР, записанной с помощью ультрафиолетового излучения – поскольку в дальнейшем автор анализирует и сравнивает кривые распада этих ВБР.
11. Текст диссертации, как и текст автореферата, не лишен опечаток, орфографических и пунктуационных ошибок. Также встречаются сленговые, жаргонные или узкоспециализированные термины, которые не всегда сопровождаются

соответствующими пояснениями и расшифровкой, что затрудняет понимание материала. Например, на стр. 32-34, 71 используется неизвестный термин «плазма твердого тела», который по контексту соответствует общепринятому «электронно-дырочная плазма». На стр. 72 (первый абзац) пропущена единица измерения длины волны (хотя из контекста и ясно, что это микрометры). На некоторых графиках содержатся подписи осей на английском языке, к примеру, рисунки 3.10, 4.6-4.8.

Перечисленные замечания не снижают научную новизну и не умаляют практическую значимость представленной диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Пржиялковского Д.В. представляет собой законченное научное исследование и по объему результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов удовлетворяет требованиям, установленным пп. 9–14. «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (<https://docs.cntd.ru/document/499047147>), а ее автор, Пржиялковский Дмитрий Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Отзыв на диссертационную работу Пржиялковского Д.В. «Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи» рассмотрен и одобрен на заседании учёного совета Научного центра волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН (НЦВО РАН) – обособленного подразделения Института общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук. Присутствовало 15 членов совета. Результаты голосования: «за» – 15 членов, «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 89 от 25 ноября 2024 года.

Председатель учёного совета НЦВО РАН,
руководитель НЦВО РАН, доктор физико-
математических наук по специальности
01.04.07 «Физика конденсированного
состояния»,

Тел.: +7(916)7765110

E-mail: sls@fo.gpi.ru



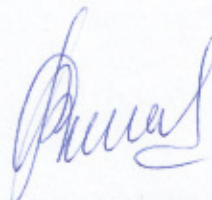
Семенов Сергей Львович

« 29 » 11 2024 г.

Заведующий лабораторией волоконной
оптики НЦВО РАН, кандидат физико-
математических наук по специальности
01.04.03 «Радиофизика»

Тел.: +7(926)2040567

E-mail: sav@fo.gpi.ru



Васильев Сергей Александрович

« 29 » 11 2024 г.

Сведения о ведущей организации

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук» (ИОФ РАН)

Адрес: 119991 ГСП-1, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38

Телефон: +7 (499) 503-87-34

Адрес электронной почты: office@gpi.ru

Адрес официального сайта в сети «Интернет»: <https://www.gpi.ru/>