

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.111.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова
Российской академии наук, по диссертации на соискание ученой степени
кандидата наук.

аттестационное дело N _____
решение диссертационного совета от 20 декабря 2024 г., № 13

О присуждении Пржиялковскому Дмитрию Владимировичу,
гражданину России, ученой степени кандидата физико-математических
наук.

Диссертация на тему: «**Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи**» принята к защите 30 сентября 2024, протокол № 9, диссертационным советом 24.1.111.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) (125009, Москва, ул. Моховая, д.11, корп.7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ Минобрнауки РФ о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.)

Соискатель Пржиялковский Дмитрий Владимирович 1994 года рождения в 2018 г закончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» физический факультет с присвоением звания Магистр по направлению «Физика». В 2022 году закончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН) по специальности 11.06.01 – «Электроника, радиотехника и системы связи» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» в 2023 году Пржиялковский Д.В. сдал кандидатский экзамен по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

В настоящее время Пржиялковский Д.В. работает в лаборатории Оптоэлектронных и волоконно-оптических систем № 190 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) в должности научного сотрудника.

Работа выполнена в лаборатории Оптоэлектронных и волоконно-оптических систем №190 ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

Научный руководитель: Бутов Олег Владиславович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, руководитель Лаборатории оптоэлектронных и волоконно-оптических систем №190 и Лаборатории волоконно-оптических технологий №195.

Официальные оппоненты:

Кудряшов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией Лазерной нанопластики и биомедицины ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН.

Фотиади Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Нелинейной и микроволновой фотоники ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет».

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», **в своем положительном отзыве**, подписанном Семеновым Сергеем Львовичем, доктором физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», председателем учёного совета ИЦВО РАН, руководителем ИЦВО РАН, а также Васильевым Сергеем Александровичем, заведующим лабораторией волоконной оптики ИЦВО РАН, кандидатом физико-математических наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика», и утвержденном директором Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», доктором физико-математических наук, профессором, член-корреспондентом РАН Гарновым Сергеем Владимировичем, **указала**, что диссертация Пржиялковского Дмитрия Владимировича «Особенности формирования волоконных брэгговских решёток методом многопроходной фемтосекундной поточечной записи» является завершённым научным трудом и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Пржиялковский Д.В. **достоин** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния». В отзыве отмечено, что поставленные задачи решены на высоком теоретическом и экспериментальном уровне, цель диссертационного исследования достигнута. Основные положения работы и выводы сформулированы ясно и аргументированно. Полученные результаты обладают несомненной научной и прикладной значимостью и новизной.

В отзыве указаны следующие замечания:

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 °С), 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.

Основные результаты диссертационной работы изложены в 10 работах, в том числе 4 – в журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus, 1 статья в издании, входящем в Перечень ВАК, 1 публикация в журнале, входящем в РИНЦ, и 4 публикации в трудах международных и российских конференций. Публикации по материалам диссертации отражают основные результаты диссертационной работы.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Laktaev I.D., Przhiialkovskii D.V., Ustimchik V.E., Butov O.V. Thermal aging of Bragg gratings inscribed in pristine Ge and N doped fibers // *Applied Optics*. – 2019. – Vol. 58. No. 34. – P. 9326– 9330.

2. Przhiialkovskii D.V., Butov O.V. High precision point by point fiber Bragg grating inscription // *Results in Physics*. – 2021. – Vol. 30. – P. 104902.

3. Ulyanov I., Przhiialkovskii D.V., Butov O.V. Point by point inscription of chirped apodized fiber Bragg gratings for application as ultrashort pulse stretchers // *Results in Physics*. – 2022. – Vol. 32. – P.105101.

4. Butov O.V., Przhiialkovskii D.V., Lopunov A.I., Pnev A.B. Strength properties of femtosecond induced defects and weak Bragg gratings for distributed optical fiber sensors// *Optics & Laser Technology*. – 2022. – Vol. 162. – P.109271.

5. Пржиялковский Д В., Плюскова Н А., Бутов О В. Регенерация волоконных брэгговских решеток, записанных поточечным методом с помощью излучения фемтосекундного лазера // *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. – 2024. – №8. <http://jre.cplire.ru/jre/aug24/6/text.pdf>

6. Пржиялковский Д. В., Бутов О.В. Высокоточная запись брэгговских решеток поточечным методом // *Прикладная фотоника*. – 2022. – Т .8, №3. – С. 50 – 69.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

На автореферат диссертации поступили отзывы из:

- Из акционерного общества «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» ПАО «ПНППК» от к.ф.-м.н., заместителя директора научно-технического центра – начальника управления волоконных компонентов ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» – главного конструктора волоконно-оптических компонентов Шевцова Дениса Игоревича. Отзыв положительный. Замечаний по автореферату нет.
- Из общества с ограниченной ответственностью «Т8» от кандидата физико-математических наук, начальника отдела разработки лазеров ООО «Т8» Никитина Сергея Петровича. Отзыв положительный. (Замечания: в тексте автореферата не приведена ни одна схема установки, что усложняет ознакомление с разработанными методами записи ВБР; в автореферате не отмечена важность проведённого исследования для области волоконной сенсорики).

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации:

Кудряшов Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, (специальность 01.04.21 – Лазерная физика), ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией лазерной нанофизики и биомедицины Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, является крупным специалистом в области лазерной физики и лазерно-индуцированных фазовых переходов.

Фотиади Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.07 – Физика твёрдого тела), ведущий научный сотрудник лаборатории Нелинейной и микроволновой фотоники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет», является признанным экспертом в области нелинейной волоконной оптики, волоконных лазеров и сенсоров.

Официальные оппоненты широко известны своими достижениями в данных отраслях науки, имеют многочисленные научные труды в рецензируемых научных журналах, способны определить актуальность, новизну, научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» известно своими разработками и исследованиями в области лазерной физики, волоконной оптики, пионерскими работами в области волоконно-оптических технологий и волоконных брэгговских структур. Сотрудники научного центра волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН, являющегося обособленным подразделением Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН, являются выдающимися экспертами в области оппонируемой диссертации, многочисленные публикации которых в рецензируемых отечественных и международных научных изданиях, свидетельствуют об их способности адекватно оценить результаты, представленные автором для защиты.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: В диссертационной работе представлен новый поточечный метод многопроходной записи волоконных брэгговских решёток на основе излучения фемтосекундного лазера. Данный метод позволил расширить возможности контроля процесса поточечной записи брэгговских решёток, а также является новым средством исследования локальных изменений показателя преломления материала волокна в результате воздействия записывающего фемтосекундного излучения. В ходе работы был обнаружен ряд новых эффектов, в частности, впервые обнаружен коротковолновый сдвиг длины волны брэгговского резонанса в процессе многопроходной записи. Также впервые наблюдалось явление регенерации волоконных брэгговских решёток, записанных поточечным методом с помощью излучения фемтосекундного лазера в низколегированном германосиликатном волокне без предварительного его насыщения молекулярным водородом. В работе предложена качественная модель, описывающая комплекс наблюдаемых явлений. Представлены эксплуатационные характеристики получаемых предложенным способом образцов волоконных брэгговских структур при воздействии повышенных температур и механической деформации.

Теоретическая значимость исследования: Проанализирован процесс многопроходной записи в волокнах с различным составом сердцевины при вариациях мощности записывающего излучения. Отмечено, что наблюдаемый коротковолновый сдвиг длины волны брэгговского резонанса, который говорит о снижении среднего эффективного показателя преломления формируемой структуры, характерен для всех исследованных образцов оптических волокон. В рамках предложенной модели, коротковолновый сдвиг объясняется формированием участков нанопористой структуры в центре экспонированной области штриха решётки, а наблюдаемое явление регенерации – формированием новой кристаллической фазы вещества на границах, образовавшихся в процессе записи, нанопор. Показана степенная зависимость механической прочности полученных образцов волоконных брэгговских решёток от энергии записывающего излучения. Полученные в работе результаты уточняют и углубляют понимание физических процессов, лежащих в основе поточечной фемтосекундной записи.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики: Предложенный в рамках диссертационной работы Пржиялковского Д.В. многопроходный метод записи позволяет с высокой точностью, недостижимой ранее для поточечных методов, контролировать процесс создания волоконных брэгговских решёток. На практике демонстрируется возможность поэтапного создания брэгговских структур с наперёд заданными параметрами, а также различия в дисперсии параметров у решёток, записанных в однопроходном и многопроходном режимах. Показано, что механическая прочность создаваемых брэгговских решёток снижается при увеличении энергии импульса записывающего излучения. В процессе изотермического отжига при температурах 650 °С и выше наблюдается дрейф брэгговской длины волны записанных решёток, который является следствием неупругого растяжения. Эта информация позволяет оптимизировать их применение для

широкого круга задач, в частности, для задач современной рефлектометрии, в высокотемпературных сенсорах и датчиках деформации.

Оценка достоверности результатов исследования: Для исследования многопроходного процесса записи волоконных брэгговских решёток и воздействия фокусированного фемтосекундного излучения на материал волокна в работе использованы широко известные экспериментальные методики спектральных исследований волоконных брэгговских структур, длительный изотермический отжиг и испытание образцов волоконных решёток на разрыв.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается их воспроизводимостью, корреляцией с результатами других авторов, использованием современного оборудования и стандартных математических методов обработки данных.

Основные результаты диссертационной работы Пржиялковского Д.В. были опубликованы в рецензируемых российских и международных изданиях, в том числе в журналах уровня Q1 (WoS), а также представлены научной общественности на специализированных отечественных и международных конференциях.

Личный вклад соискателя: Результаты, представленные в данной диссертационной работе, получены лично Пржиялковский Д.В. или при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. На все заданные в ходе заседания вопросы Пржиялковский Д. В. дал аргументированные ответы.

На заседании 20 декабря 2024 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, развивающей представления об особенностях взаимодействия фемтосекундного излучения с материалом волокна в процессе многопроходной поточечной записи волоконных брэгговских решёток, а также за вклад в совершенствование методов создания волоконных брэгговских структур, присудить Пржиялковскому Д.В. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования участвующие в заседании члены диссертационного совета в количестве 16 человек, из которых 4 доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из общего числа 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук, академик РАН

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор физико-математических наук



С.А. Никитов

И.Е. Кузнецова

«20» декабря 2024 г.