

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.063.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ИМ. А.М. ПРОХОРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24 мая 2021 г. № 147.

О присуждении Егоровой Ольге Николаевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Структуры волоконных световодов, образованные элементами из стекла различного состава» по специальности 01.04.21 – Лазерная физика принята к защите 21 декабря 2020 года (протокол заседания №141) диссертационным советом Д 002.063.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (119991 Москва, ул. Вавилова, 38, совет создан приказом Рособнадзора № 2048-1308 от 19 октября 2007 г.).

Соискатель Егорова Ольга Николаевна 1976 года рождения. В 1998 году соискатель окончила Московский государственный инженерно-физический институт (технический университет) по специальности «физика твердого тела». В 2006 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Оптимизация и применения двухкаскадных ВКР-лазеров на основе фосфоросиликатных световодов» по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

В настоящее время работает в должности старшего научного сотрудника в Отделе лазерной физики Центра естественно-научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М.

Прохорова РАН. Диссертация выполнена в Отделе лазерной физики ЦЕНИ ИОФ РАН.

Официальные оппоненты:

Голант Константин Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Лаборатории волоконно-оптических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН);

Мешковский Игорь Касьянович, доктор технических наук, профессор, Директор Научно-исследовательского центра световодной фотоники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО);

Каблуков Сергей Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Акционерное общество «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова» (АО «НПО ГОИ им. С. И. Вавилова») в своем положительном заключении, подписанном Бурдиным Антоном Владимировичем, доктором технических наук, профессором, заместителем генерального директора по научной работе и развитию и Никоноровым Николаем Валентиновичем, доктором физико-математических наук, профессором, членом Научно-технического совета АО «Научно-производственного объединения Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», утвержденном Генеральным директором АО «Научно-производственного объединения Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», кандидатом технических наук Дукельским Константином Владимировичем, указала, что диссертация Егоровой О.Н.

соответствует требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Для создания преформы и последующей вытяжки из нее оптического волокна в диссертационной работе использовался известный метод «стержень-трубка». В таком подходе стекла для стержня и трубки по составу могут быть разными, но одним их основных требований к такой технологии является близость коэффициентов термического линейного расширения (КТЛР) материалов стержня и трубки. В работе в качестве трубки использовалось кварцевое стекло, а в качестве стержня – фосфатное стекло. Известно, что кварцевые и фосфатные стекла имеют различные КТЛР, которые могут отличаться более чем в 10 раз. Возникает вопрос, который не рассмотрен в работе – насколько такая большая разница в КТЛР влияет на при охлаждении заготовки и оптического волокна на напряжения, дефекты и трещины на границе сердцевина-оболочка и на само оптическое качество (оптические потери) волокна?
2. В диссертационной работе продемонстрированы эксперименты по записи брэгговских решеток в оптическом волокне. Как правило такие решетки записываются в силикатном стекле с добавлением германия. Работ в этом направлении чрезвычайно много, и такие волоконные брэгговские решетки сегодня крайне востребованы на рынке фотоники. В диссертационной работе реализована запись волоконных брэгговских решеток в фосфатном стекле. Более того в работе подчеркнуто, что впервые «...обнаружено наличие фоточувствительности к действию излучения на длине волны 248 нм, что позволяет формировать резонатор лазера непосредственно в середине активного световода...». В диссертационной работе не указано, какие именно записываются решетки: амплитудные,

амплитудно-фазовые или фазовые, не раскрыт механизм записи таких решеток, не установлено какой фактор наиболее сильно влияет на фоточувствительность фосфатного стекла. Фоточувствительность на длине волны 248 нм у световода на фосфатном стекле не обнаружена, а механизм не исследован. Также не раскрыта методическая часть, касающаяся записи брэгговских решеток. Какая была схема записи – использовалась фазовая маска или интерферометр Тальбота? Решетка записывалась и одного импульса или многократно облучалась?

3. Не проводилось сопоставление фоточувствительности волокна на основе фосфатного стекла без эрбия и с эрбием. Осталось неясным, как добавки эрбия изменяют фоточувствительность волокна, так как запись брэгговских решеток осуществлялась в УФ диапазоне (248 нм и 193 нм), а у эрбия в этом диапазоне много полос поглощения, т.е. не повлияло ли добавление эрбия в фосфатное стекло на снижение его фоточувствительности? На сколько брэгговские решетки, записанные в активированном фосфатном волокне стабильны к излучению накачки, воздействию температуры, а также какой срок их службы?

Соискатель имеет 106 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 51 работа, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликовано 25 работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. O.N. Egorova, S.L. Semjonov, A.F. Kosolapov, A.N. Denisov, A.D. Pryamikov, D.A. Gaponov, A.S Biriukov, E.M. Dianov, M.Y. Salganskii, V.F. Khopin, M.V. Yashkov, A.N. Gurianov, D.V. Kuksenkov, "Single-mode all-silica photonic bandgap fiber with 20- μ m mode-field diameter," *Optics Express*, Vol. 16, No. 16, pp. 11735-11740 (2008).
2. O.N. Egorova, S.L. Semjonov, V.V. Velmiskin, Yu. P. Yatsenko, S.E. Sverchkov, B. I. Galagan, B.I. Denker, E.M. Dianov, "Phosphate-core silica-clad

Er/Yb-doped optical fiber and cladding pumped laser,” *Optics Express*, Vol. 22, No. 7, pp. 7632-7637 (2014).

3. O.N. Egorova, S.L. Semjonov, O.I. Medvedkov, V.S. Astapovich, A.G. Okhrimchuk, B.I. Galagan, B.I. Denker, S.E. Sverchkov, E.M. Dianov, “High-beam quality, high-efficiency laser based on fiber with heavily Yb³⁺-doped phosphate core and silica cladding,” *Optics Letters*, Vol. 40, No. 16, pp. 3762-3765 (2015).

4. О. Н. Егорова, М.С. Астапович, Л.А. Мельников, М. Ю. Салганский, В. П. Мишкин, К. Н. Нищев, С. Л. Семенов, Е. М. Дианов, «Влияние структуры и изгибов многосердцевинного волоконного световода на перекрестные оптические помехи,» *Квантовая электроника*, т. 46, № 3, с 262-266 (2016).

5. O. N. Egorova, S. L. Semjonov, A. K. Senatorov, M. Y. Salganskii, A. V. Koklyushkin, V. N. Nazarov, A. E. Korolev, D. V. Kuksenkov, Ming-Jun Li, and E. M. Dianov, “Multicore fiber with rectangular cross-section,” *Optics Letters*, Vol. 39, No. 7, pp. 2168-2170 (2014).

6. О.Н. Егорова, М.С. Астапович, М.Е. Белкин, С.Л. Семенов, “Многосердцевинное оптическое волокно и линия задержки на его основе, *Квантовая электроника*,” т. 46, № 12, сс. 1134-1138 (2016).

7. О.Н. Егорова, О.И. Медведков, Е. С. Серегин, С.А. Васильев, С.Е. Свечков, Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, Г.Л. Даниелян, В.И. Пустовой, С.Л. Семенов, «Одночастотный волоконный лазер с резонатором, сформированным брэгговскими решетками, записанными в сердцевине активного композитного световода излучением KrF лазера (248 нм),» *Квантовая электроника*, т. 49, №12, сс. 1112-1116 (2019).

На автореферат диссертации поступило два отзыва:

1. Из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», подписал отзыв профессор кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем, доктор физико-математических наук, профессор Наний Олег Евгеньевич.

Отзыв положительный, содержит 3 замечания.

Во-первых, согласно рисунку 5 наблюдается большой (до 15 дБ) разброс величины перекрестных оптических помех при заданном радиусе изгиба. В тексте автореферата не указано, какие механизмы могут приводить к данному эффекту.

Во-вторых, при обсуждении гетерогенных световодов прямоугольного и круглого поперечного сечения, с сердцевинами, расположенными в один ряд, не указана величина перекрестных оптических помех между не соседними сердцевинами, а также основные механизмы, определяющие величину этих помех.

В-третьих, при обсуждении возможных применений полученных структур световодов не казано, каким образом возможно получение интерферометра Фабри-Перо, интегрированного в структуру световода, путем соединения в электрическом разряде торцов композитного и обычного волокна. Между тем отсутствие данного описания приводит к противоречию с высказанным ранее утверждением, о том, что композитные световоды могут быть соединены со световодами из кварцевого стекла с помощью процесса сварки в электрическом разряде без образования дефектов в местах соединений.

2. Из Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.», заведующий кафедрой «Приборостроение», доктор физико-математических наук, профессор Мельников Леонид Аркадьевич.

Отзыв положительный, замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и сотрудники ведущей организации широко известны своими достижениями в соответствующей

области науки и способны оценить научную и практическую значимость рассматриваемой в диссертации проблемы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны микроструктурированные световоды с фотонной запрещенной зоной и сердцевинной из стекла, с малым отношением диаметра элемента d к расстоянию между центрами соседних элементов Λ . Для световодов с $d/\Lambda \sim 0,1-0,2$ продемонстрирована локализация излучения в пределах запрещенной зоны с оптическими потерями на уровне 20-30 дБ/км. Для световодов с $d/\Lambda < 0,4$ с сердцевинной, образованной одним отсутствующим элементом оболочки, показан одномодовый режим в пределах всего спектрального диапазона фундаментальной запрещенной зоны.

Предложен подход к созданию активных одномодовых световодов с увеличенным диаметром поля моды, основанный на использовании нового типа микроструктурированных световодов с фотонной запрещенной зоной и сердцевинной из стекла, имеющих малое отношение d / Λ .

Реализован подход к созданию активных композитных световодов методом «стержень в трубке» с сердцевинной из фосфатного стекла и оболочкой из кварцевого стекла, которые характеризуются высокой дифференциальной эффективностью лазерной генерации и фоточувствительностью к действию излучения ультрафиолетового диапазона.

Предложен новый подход к снижению перекрестных оптических помех в многосердцевинных волоконных световодах за счет снижения коэффициента связи между сердцевинами путем введения промежуточного слоя с пониженным показателем преломления.

Доказано, что направленный изгиб за счет прямоугольной формы поперечного сечения световода позволяет избежать роста перекрестных оптических помех между сердцевинами гетерогенного многосердцевинного световода, вызванного уменьшением разности постоянных распространения

мод соседних сердцевин при приближении радиуса изгиба световода к критическому.

Предложено и реализовано техническое решение, заключающееся в снижении массы и габаритов волоконно-оптических линий задержки за счет использования последовательного прохождения сигнала по сердцевинам многосердцевинного волоконного световода.

Получены одночастотные волоконные лазеры на композитных волоконных световодах, легированных ионами эрбия.

Предложен и реализован метод создания интегрированного в структуру волоконного световода интерферометра Фабри–Перо, основанный на сварке композитного световода в электрическом разряде.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Показано, что сердцевина световода с фотонной запрещенной зоной и с $d/\Lambda < 0,4$, сформированная одним отсутствующим элементом оболочки, является одномодовой в пределах всей фундаментальной запрещенной зоны. На основании расчета и анализа зонных диаграмм объяснен эффект одномодовости в широком спектральном диапазоне.

Объяснен механизм снижения перекрестных оптических помех в многосердцевинных волоконных световодах за счет использования барьерного слоя с пониженным показателем преломления.

Предложен и обоснован подход, позволяющий минимизировать перекрестные оптические помехи при изгибе гетерогенного многосердцевинного световода с прямоугольным поперечным сечением.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: в диссертации разработаны структуры волоконных световодов, технологические процессы их создания, методики измерения их характеристик, а также элементы функциональных устройств на их основе, которые вносят существенный вклад в решение проблемы создания

элементной базы для таких областей, как квантовая электроника, радиофотоника, оптические телекоммуникации. В частности, технология создания волоконных световодов с высокой концентрацией редкоземельных ионов с сердцевиной, изготовленной из фосфатного стекла, и оболочкой из кварцевого стекла, перспективность которой показана в работе, открывает новые возможности для улучшения надежности и других эксплуатационных характеристик волоконных лазеров и усилителей с малой длиной активного элемента, например, одночастотных волоконных лазеров. Предложенные методы снижения перекрестных оптических помех между сердцевинами многосердцевинного волоконного световода позволяют разрабатывать световоды с увеличенным количеством сердцевинок для систем связи, в которых увеличение скорости передачи информации достигается за счет пространственного уплотнения каналов. Предложенное в работе решение позволяет снизить массу и габариты волоконно-оптических линий задержки, что важно для использования этих элементов в бортовых устройствах. Разработанный чувствительный элемент датчика деформации на основе композитного волоконного световода может быть использован для создания функциональных устройств, используемых в таких областях, как строительство, транспорт, энергетика и т.д..

Оценка достоверности результатов исследования выявила: достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечена применением современных экспериментальных методов исследования и воспроизводимостью экспериментальных результатов, их согласием с результатами численного моделирования и данными, полученными другими научными группами.

Личный вклад соискателя состоит в выборе научного направления и разработке детального плана исследований в рамках диссертационной работы. Все экспериментальные результаты, а также результаты численного моделирования были получены лично или при непосредственном участии соискателя. Егорова О.Н. внесла определяющий вклад в обработку и

интерпретацию всех полученных данных, подготовку полученных результатов к публикации и в представлении полученных результатов на семинарах и конференциях.

На заседании 24 мая 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Егоровой Ольге Николаевне ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за « 19 » , против « 0 », недействительных бюллетеней « 1 ».

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН

С.В. Гарнов

Ученый секретарь диссертационного совета
канд. физ.-мат. наук

А.А. Ушаков

26 мая 2021 г.

