

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 20 декабря 2021 г. № 157.

О присуждении Поносовой Анастасии Александровне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Источники излучения на основе высококонцентрированных эрбиевых композитных световодов» по специальности 01.04.21 – Лазерная физика по физико-математическим наукам принята к защите 13 октября 2021 года (протокол заседания № 152) 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 Поносова Анастасия Александровна 1992 года рождения. В 2015 году соискатель окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский университет».

В 2019 году соискатель окончила аспирантуру ИОФ РАН по специальности 01.04.21 – Лазерная физика. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано ИОФ РАН в 2021 г. В настоящее время работает в группе анализа практических уязвимостей систем квантовой криптографии в ООО

«Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий (ООО «МЦКТ») в должности научного сотрудника.

Диссертация выполнена в Научном центре лазерных материалов и технологий ИОФ РАН в лаборатории активных сред твердотельных лазеров.

Научный руководитель – Цветков Владимир Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора ИОФ РАН по научной работе;

Официальные оппоненты:

Кундикова Наталия Дмитриевна, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией нелинейной оптики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук;

Лазарев Владимир Алексеевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории стабилизированных лазерных систем НОЦ «Фотоника и ИК-техника» Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана».

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук», в своем положительном заключении, подписанном Андриановым Алексеем Вячеславовичем, кандидатом физико-математических наук, заведующим лабораторией квантовой и нелинейной оптики сильно локализованных полей и Хазановым Ефимом Аркадьевичем, академиком РАН, заместителем директора по научной работе, руководителем отделения нелинейной динамики и оптики, и утвержденном Директором ИПФ РАН, членом – корреспондентом РАН Денисовым Григорием Геннадьевичем, указала, что диссертация Поносовой А.А. «Источники излучения на основе высококонцентрированных эрбиевых композитных световодов», являясь законченным научным исследованием, полностью

удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Поносова Анастасия Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21-Лазерная физика.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. Основным результатом Главы 2 являются данные о спектральных профилях поглощения и усиления и временах жизни лазерного уровня в ионах эрбия и сердцевине исследуемых световодов. Для получения более общего представления об их лазерных свойствах было бы полезно провести оценку результатов измерений в сравнении с расчетными значениями. А именно: 1) в разделе 2.2.3 было полезно осуществить сравнение измеренных величин поглощения по слабому сигналу с рассчитанными значениями на основе сечений поглощения и концентрации активных ионов; 2) в разделе 2.2.4, возможно, имело бы смысл поставить эксперимент по оценке мощности насыщения поглощения. Тогда, измеренное значение можно было бы сравнить со значением, рассчитанным на основе данных по времени жизни и сечения поглощения. Для полноты сведений о световодах с двойной оболочкой также нужно привести значение числовой апертуры второй оболочки.
2. Одним из преимуществ композитных световодов, как отмечается в диссертации, является возможность их сварки со стандартными кварцевыми световодами с относительно малыми потерями. В экспериментах (например, при исследовании источников УСИ, раздел 3.2.1) значение потерь на сварке одномодового композитного световода варьируются от 0,3 дБ до 2,1 дБ. Необходимо прокомментировать причину большого разброса данных значений.
3. В разделе 3.2.1 следовало бы нормировать приводимые на рисунках автокорреляционные функции первого порядка на единицу, что

- сделало бы возможным более наглядное сравнение длин когерентности при изменении мощности (например, на рис.22а).
4. При обсуждении усиления ультракоротких импульсов, раздел 4.2.2, следовало привести спектр непосредственно после задающего источника, что бы можно было достоверно судить о генерации новых частотных компонентах. Следовало также учитывать, что в усилителе форма спектра может изменяться не только за счет эффектов керровской романовской нелинейностей, но также за счет спектральной неоднородности профиля усиления.
 5. Приведенный в разделе 4.2.2 способ позволяет оценить коэффициент нелинейности световода лишь по порядку величины. Соответствует ли полученный в диссертации коэффициент нелинейности, оценкам на основе керровского коэффициента стекла и площади поля моды?
 6. На рис. 56(б) измерения АКФ имеет форму нехарактерную для реальных импульсов. По-видимому, имела место систематическая погрешность в измерении.
 7. На рис. 62 в подписи указано, что приведены автокорреляционные функции, хотя показанные кривые соответствуют временной форме импульсов.
 8. Не ясно, учитывалась ли измеренная сложная форма импульса (и доля энергии в пьедестале) при расчете пиковой мощности 28 кВт в усилителе в разделе 4.3?
 9. Остается неясным, какими эффектами можно объяснить столь высокую величину дисперсии в композитном световоде, полученную в разделе 5.2.2?

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликовано 4 работы.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Поносова, А.А.** Широкополосный волоконный эрбиевый источник / А.А. Поносова, О.Л. Кель, А.И. Семерикова, А.С. Курков //Фотон-экспресс. - 2015. – Т. 126. - № 6. - С. 91-92.
2. Галаган, Б.И. Широкополосный волоконный источник ИК излучения на основе высоколегированного $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ композитного оптического волокна с накачкой в оболочку/Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, **А.А. Поносова**, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков//Прикладная фотоника. – 2016. – Т.3 - № 2. – С. 146-157.
3. Галаган, Б.И. Усилитель на основе высоколегированного $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ композитного оптического волокна/ Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, **А.А. Поносова**, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков //Фотон-экспресс. - 2017. -№ 6 (142). - С. 35-36.
4. Denker, B. I. Infrared broadband all-fiber light source based on high-concentration $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ composite double-clad fiber/B.I. Denker, O.N. Egorova, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, **A.A. Ponosova**, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov and V.B. Tsvetkov//Laser Physics Letters. – 2017. – Vol. 14. – №. 7. – 075101(4pp).
5. Галаган, Б.И. Композитные световоды с Er/Yb фосфатной сердцевиной и двойной кварцевой оболочкой для компактных усилителей/Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, **А.А. Поносова**, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков// Квантовая электроника. – 2018. – Т.48. - № 6. – С. 550 – 553.
6. Denker, B. I. Femtosecond laser based on a multicomponent fiber with a 3 wt.% Er-doped phosphate core and silica cladding/B.I. Denker, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, **A.A. Ponosova**, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov and V.B. Tsvetkov//Laser Physics Letters. – 2019. – Vol. 16. - № 8. – 085103 (4 pp).
7. Denker, B. I. Gain characteristics of fibers with a heavily erbium-doped phosphate-based core and silica cladding/B. I. Galagan, V. A. Kamynin, **A. A. Ponosova**, K. E. Riumkin, S. L. Semjonov, S. E. Sverchkov, and V. B. Tsvetkov //J. Opt. Soc. Am. B. - 2019. - Vol. 36. - № 10. - P. 2705-2711.

8. Галаган, Б.И. Источники излучения на основе высококонцентрированных эрбиевых композитных световодов/Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков// Фотон-экспресс. - 2019. -№ 6. - С. 214-215.

На автореферат диссертации поступило четыре отзыва:

1. Из Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, подписанный старшим научным сотрудником с исполнением функций заведующего лабораторией фотоники, кандидатом физико-математических наук, Константиновым Юрием Александровичем. Отзыв положительный, содержит три замечания: 1) в автореферате не представлено ни одной оптической принципиальной схемы источника излучения. Даже если их конструкции тривиальны, такая графическая информация все равно является желательной для понимания сути исследования; 2) полученный соискателем импульсный режим не охарактеризован с точки зрения контрастности импульса, а этот параметр является достаточно важным для ряда применений волоконных источников; 3) в работе исследована функция чирпа фемтосекундного импульса, но в автореферате нигде не указано, каким способом это осуществлено.
2. Из Санкт – Петербургского политехнического университета Петра Великого, подписанный профессором Высшей инженерной – физической школы, доктором физико – математических наук, профессором Фотиади Александром Эпаминондовичем. Отзыв положительный, содержит восемь замечаний: 1) в автореферате сообщается о том, что сердцевина композитных оптических световодов изготовлена из фосфатного стекла, однако точный состав не указан; 2) в описании результатов измерения концентрации компонентов стекла в сердцевине с помощью СЭМ с энергодисперсионным рентгеновским спектрометром концентрация ионов эрбия указана в вес.%, а на графике представлены мол.%

оксида эрбия, что сложно для восприятия; 3) сообщается о высоком содержании ионов Gd в сердцевине световодов, но роль данных ионов из текста автореферата не ясна; 4) в описании свойств световодов, легированных совместно ионами эрбия и иттербия, было бы полезно привести числовую апертуру или разницу показателей преломления между сердцевиной и первой оболочкой, а также между первой и второй оболочками световода; 5) в автореферате не предоставлены экспериментальные схемы исследованных источников, поэтому в главе 3 не ясно исследованы схемы с попутной или встречной накачкой; 6) в главе 4, разделе 4.1.2 представлены только наилучшие результаты для усилителей на основе композитных световодов, легированных системой иттербий-эрбий, однако в тексте автореферата нет пояснений, чем обусловлены полученные экспериментальные результаты; 7) в автореферате не указан прибор, на котором выполнялось измерение FROG-спектрограмм; 8) в автореферате не предоставлено исследование непрерывной лазерной генерации одномодового световода, легированного 3 вес.% ионов эрбия, было бы интересно сравнить эффективность генерации данного световода со световодом, легированным 1 вес.% ионов эрбия, а также с теоретически ожидаемыми значениями.

3. Из ПАО «Пермской научно – производственной приборостроительной компании», подписанный начальником лаборатории волоконных систем отдела волоконно-оптических систем специального назначения Солдатовым Павлом Николаевичем, Отзыв положительный, содержит три замечания: 1) с разработанные в рамках данной работы световоды имеют высокую числовую апертуру на уровне 0,26...0,28, что позволяет судить об их высокой изгибоустойчивости, вместе с тем было бы целесообразно провести дополнительные исследовательские испытания по определению

потерь оптической мощности на разных радиусах изгиба; 2) при испытаниях оптических схем следует уделить больше внимания исследованию долговременных параметров будущих изделий (лазеры, усилители) в диапазоне рабочих температур предполагаемых объектов применения; 3) также немаловажен аспект будущего применения разработанных световодов и излучателей на их основе – для двойного назначения, с учетом воздействия специальных факторов.

4. Из ПАО «Пермской научно – производственной приборостроительной компании», подписанный начальником отдела специальных оптических волокон, кандидатом физико-математических наук Азановой Ириной Сергеевной и главным конструктором структурного подразделения, начальником лаборатории, кандидатом технических наук Журавлевым Антоном Александровичем. Отзыв положительный, содержит три замечания: 1) в научно-практической значимости работы логичнее было бы говорить о возможности сокращения габаритов оптического блока, а не всего источника в целом, т.к. в составе источника большой объем занимают электронные модули управления, лазеры накачки и другие компоненты; 2) в описании третьей главы автор ссылается на «однопроходную» и «двухпроходную» схемы, однако сами схемы не приведены; 3) не приводятся экспериментальные результаты исследования волоконных источников излучения, однако не приведено ни одной фотографии экспериментальных образцов источников, их схемы.

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:

созданы полностью волоконные суперлюминесцентные источники с выходной мощностью до 30 мВт, близкой к значениям суперлюминесцентных волоконных источников излучения на основе кварцевых эрбиевых световодов, с длиной активной среды (до 50 см), на порядок меньшей в сравнении со стандартными эрбиевыми волокнами;

созданы полностью волоконные эрбиевые усилители, обеспечивающие коэффициент усиления порядка 38 дБ для сигнала мощностью 1 мкВт при длине активной среды от 20 до 50 см;

установлено, что коэффициент усиления на единицу длины композитных световодов достигает значений 3,1 дБ/см, сопоставимых с удельными коэффициентами усиления полностью фосфатных световодов (от 3 до 5.2 дБ/см) и превышающих на порядок удельные коэффициенты усиления кварцевых световодов;

на основе композитного световода, легированного $3,06 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ионов эрбия, длиной 15 см создан непрерывный полностью волоконный лазер с эффективностью лазерной генерации до 39 % и выходной мощностью 105 мВт на длине волны 1535 нм при накачке в сердцевину лазерным диодом с длиной волны генерации 976 нм;

разработан стабильный полностью волоконный фемтосекундный лазер на основе высококонцентрированного композитного световода длиной 7 см с синхронизацией мод за счет нелинейного вращения плоскости поляризации с длительностью импульсов порядка 480 фс и отношением сигнал-шум в радиочастотном спектре лазера более 50 дБ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

изучены возможности высококонцентрированных композитных эрбиевых световодов по созданию стабильных фемтосекундных волоконных лазеров малой (менее 10 см) длины с синхронизацией мод за счет нелинейной эволюции плоскости поляризации с длительностью импульсов менее 500 фс;

при этом усиление ультракоротких импульсов в одномодовых композитных световодах приводит к нелинейному сжатию импульсов, что позволяет увеличить пиковую мощность за счет увеличения энергии и уменьшения длительности импульса одновременно;

выявлено, что высокая эффективность усиления и лазерной генерации композитных световодов, содержащих от $1,02 \cdot 10^{20}$ до $3,06 \cdot 10^{20}$ см⁻³ ионов эрбия, сохраняется даже при высоком содержании оксида кремния (от 50 до 75 мол.%) в легированной эрбием сердцевине.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

созданы макеты цельно-волоконных усилителей, непрерывных и импульсных лазеров, обеспечивающие тот же уровень выходных параметров, что и традиционные волоконные схемы, но с длиной активной среды от 20 до 50 см, на порядок меньшей в сравнении с кварцевыми эрбиевыми световодами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные данные получены с помощью современного оборудования, экспериментальные данные хорошо согласуются с литературными данными. Положения и выводы, сформулированные в диссертационной работе, получили апробацию на всероссийских и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад соискателя состоит в:

проведении экспериментальных измерений и численных расчетов, интерпретации полученных данных, в написании научных статей и их подготовке к публикации, в представлении результатов исследования на конференциях и семинарах.

На заседании 20 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Поносовой Анастасии Александровне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 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 «20», против «0», недействительных бюллетеней «0».

Председатель диссертационного совета
член-корреспондент РАН

С.В. Гарнов

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

А.А. Ушаков

21 декабря 2021

