

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.238.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
НАУЧНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК», ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.03.2022 № 152

О присуждении Анашкиной Елене Александровне, гражданке РФ,
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Управление нелинейно-оптическими и лазерными процессами в волокнах и микрорезонаторах» по специальности 1.3.19 – лазерная физика принята к защите 06.12.2021 г., протокол № 146 диссертационным советом 24.1.238.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46, приказ Министерства образования и науки РФ № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Анашкина Елена Александровна 1987 года рождения в 2010 году окончила с отличием Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Сверширокополосное преобразование фемтосекундных оптических импульсов в средах с нестационарным нелинейным откликом» защитила в 2013 году в диссертационном совете Д 002.069.02, созданном на базе ИПФ РАН, и работает старшим научным сотрудником в ИПФ РАН. Диссертация выполнена в отделении Нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН.

Официальные оппоненты Колачевский Николай Николаевич, член-корр. РАН, доктор физ.-мат. наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук; Романова Елена Анатольевна, доктор физ.-мат. наук, профессор Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского; Юлин Алексей Викторович, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный

исследовательский университет ИТМО» дали положительные отзывы на диссертацию. Ведущая организация ФГБУН Институт автоматизации и электротехники Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск) в своем положительном заключении, подписанном д.ф.-м.н., г.н.с. Подивиловым Евгением Вадимовичем и утвержденном директором ИАиЭ СО РАН, член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Бабиным Сергеем Алексеевичем, указала, что диссертация актуальна, имеет важное значение как для фундаментальных исследований, так и для практических применений, является законченным научным исследованием, а ее автор, Анашкина Елена Александровна, заслуживает присуждения степени доктора физ.-мат. наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Соискатель имеет 35 статей, опубликованных в 2015-2021 гг. в рецензируемых научных изданиях первого и второго квартилей, индексируемых по международной базе Scopus. Наиболее значимыми работами по теме диссертации являются:

1. Anashkina E. A., Dorofeev V. V., Koltashev V. V., Kim, A. V. Development of Er^{3+} -doped high-purity tellurite glass fibers for gain-switched laser operation at $2.7 \mu\text{m}$ // Opt. Mater. Express. 2017. V. 7, № 12. P. 4337–4351.
2. Anashkina E. A., Shiryaev V. S., Koptev M. Y., Stepanov B. S., Muravyev S. V. Development of As-Se tapered suspended-core fibers for ultra-broadband mid-IR wavelength conversion // J. Non-Cryst. Solids. 2018. V. 480. P. 43–50.
3. Anashkina E. A., Ginzburg V. N., Kochetkov A. A., Yakovlev I. V., Kim A. V., Khazanov E. A. Single-shot laser pulse reconstruction based on self-phase modulated spectra measurements // Sci. Rep. 2016. V. 6. P. 33749.
4. Anashkina E. A., Andrianov A. V., Koptev M. Yu., Kim A. V. Complete field characterization of ultrashort pulses in fiber photonics // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2018. V. 24, № 3, P. 8700107
5. Anashkina E.A., Andrianov A.V. Erbium-doped tellurite glass microlaser in C-band and L-band // J. Light. Technol. 2021. V. 39. P. 3568–3574.

На диссертацию поступили 8 отзывов, все отзывы положительные. В них отмечаются высокий уровень работы, ее актуальность, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В положительном отзыве ведущей организации, наряду с редакционными, содержатся замечания: в работе не обсуждается ресурсоёмкость предложенного метода восстановления формы и фазы ультракоротких импульсов (УКИ); не приводятся типичных значений времён, необходимых для проведения процедуры восстановления; не пояснено понятие «нелинейное обратное распространение».

Положительный отзыв официального оппонента член.-корр. РАН д.ф.-м.н. Н.Н. Колачевского содержит следующие замечания: 1) в диссертации желательно видеть краткое описание методов изготовления оптических волокон; 2) в тексте диссертации не затронут вопрос о структуре генерируемого широкополосного суперконтинуума (глава 2), комментарий о возможности генерации гребенки частот с выделенными отдельными модами был бы полезен; 3) хотелось бы иметь описание границ применимости предложенного в главе 3 метода - какая длительность импульса может быть охарактеризована, чем определяется предельная чувствительность метода по интенсивности; 4) какова добротность использовавшихся микрорезонаторов? Насколько существенны процессы деградации Q-фактора и условий возбуждения в процессе экспериментов и на длительных временах? Достаточно ли воспроизводимость для поставленной задачи? Хотелось бы иметь оценку на отношение мощности несущей к мощности излучения в определенном спектральном диапазоне вокруг нее и сравнение с классическими лазерными источниками.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. Е.А. Романовой содержит, вместе с редакционными, следующие замечания: 1) в тексте диссертации недостаточно внимания уделено анализу волноводных свойств рассматриваемых структур - нет информации о числе мод световода в заданном спектральном интервале, об отсечках мод и области одномодового режима; 2) в волокне с подвешенной сердцевинкой могут сформироваться моды, бегущие по воздушной оболочке. Эти эффекты не учитывались в компьютерной модели и не обсуждались в диссертационной работе; 3) в тексте диссертации нет информации о том, как в расчетах задавалась спектральная зависимость показателя преломления для исследуемых стекол, не указано, как определялись значения керровской постоянной для разных составов; 4) в работе утверждается, что режимы генерации гребенок с солитоноподобными спектрами в кварцевых микросферах отличаются от известных режимов, но не указано, в чем состоят эти отличия; 5) в описании метода характеристики УКИ не обсуждается вклад радиационных потерь в световоде.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.В. Юлина содержит следующие замечания: 1) возможна ли дальнейшая оптимизация параметров лазерной системы путем подбора коэффициента отражения на разных длинах волн; 2) не указано, какие факторы ограничивают максимальный сдвиг частоты солитонов, распространяющихся в теллуридных оптоволоконках; 3) какую

роль в формировании оптического суперконтинуума играют солитоны, которые могут формироваться в частотной области, соответствующей аномальной дисперсии; 4) недостаточно точно сформулировано, как именно из проведённого моделирования следует вывод о распаде исходного импульса на последовательность солитонов; 5) в диссертации экспериментально показано, что существуют частотные гребёнки с солитоноподобными спектрами, содержащими как ТЕ, так и ТМ моды. Можно ли в этом случае говорить о формировании эллиптически поляризованного солитона? Связано ли формирование такого солитона с неустойчивостью одномодового солитона? Воспроизводятся ли экспериментальные результаты при моделировании векторного уравнения Луджиато-Лефевра? 6) следует пояснить, каким образом осуществляется селекция мод и почему наличие инверсии приводит к возбуждению только моды, распространяющейся в том же направлении, что и волна накачки.

Положительные отзывы на диссертацию д.ф.-м.н. О.Н. Егоровой, д.ф.-м.н. А.С. Раевского, д.х.н. И.В. Скрипачева, д.т.н. В.Боброва замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в областях лазерной физики, нелинейной волоконной оптики, оптики микрорезонаторов и оптических материалов, а ведущая организация является передовым институтом в области лазерной физики, волоконной оптики и оптики микрорезонаторов.

Диссертационный совет отмечает, что в результате выполненных соискателем исследований:

- Продемонстрированы широкополосное лазерное усиление и лазерная генерация на длинах волн ≥ 2.3 мкм в волокнах из теллуридных стекол: на длине волны 2.3 мкм в волокнах, легированных ионами Tm^{3+} , и в диапазоне 2.7-2.8 мкм в волокнах, легированных ионами Er^{3+} . Теоретически показана возможность создания лазерных источников мощностью ~ 1 Вт на длине волны 2.3 мкм.
- Показано, что в халькогенидных волокнах специальной конструкции при накачке импульсами на длине волны 2 мкм могут быть сгенерированы суперконтинуумы со спектральной шириной 3 октавы: в диапазоне 1-8 мкм в волокнах с сердцевиной/оболочкой из стекол Te-As-Se/As-S, и в диапазоне 1-10 мкм в волокнах из стекла As-Se с сердцевиной, окруженной воздушными отверстиями.

- Предложен, разработан и исследован новый метод нахождения профиля интенсивности и фазы УКИ на основе измерения исходного спектра импульса и двух дополнительных спектров, полученных в результате преобразования исходного импульса в нелинейных элементах с керровской нелинейностью для различных значений B -интеграла.
- Исследованы процессы, обусловленные керровской и рамановской нелинейностями, в кварцевых микросферах при накачке в областях нормальной и аномальной дисперсии. При накачке в области нормальной дисперсии обнаружены новые режимы генерации рамановских гребенок, соответствующих солитонам. Достигнута одномодовая рамановская генерация, перестраиваемая в диапазоне 1.631-1.685 мкм, при перестройке накачки в диапазоне 1.52-1.57 мкм. Исследована генерация «паттернов Тьюринга», соответствующих N импульсам в резонаторе.
- Показана возможность применения оптических частотных гребенок, сгенерированных в кварцевых микросферах, в качестве источников многоканального лазерного излучения в пассивных оптических сетях с мультиплексированием с разделением по длине волны.
- Предложен и разработан новый аналитический метод описания непрерывной лазерной генерации в активных микрорезонаторах, учитывающий конкуренцию мод. С помощью данного метода детально исследована генерация в теллуритных микросферах, легированных ионами Tm^{3+} и Er^{3+} .

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Теоретически показаны новые перспективы лазерной генерации и нелинейно-оптического преобразования излучения в специальных волокнах на основе теллуритных и халькогенидных стекол, что позволит значительно расширить границы возможностей современных лазерных систем в среднем ИК диапазоне.
- Обнаружены и теоретически исследованы новые режимы генерации частотных гребенок в микрорезонаторах, имеющие огромное фундаментальное значение.
- Предложен и разработан аналитический метод для описания непрерывной лазерной генерации в активных микрорезонаторах с учетом конкуренции мод, позволивший предсказать новые режимы генерации и объяснить ряд экспериментальных результатов. Метод может найти широкое применение при теоретическом исследовании различных микролазерных систем.

Значение полученных результатов для практики состоит в том, что:

- Предложены и исследованы новые источники оптического излучения в диапазоне длин волн >2 мкм с управляемыми параметрами, которые могут применяться при разработке лазерных систем для практических применений, включая дистанционное обнаружение вредных или опасных веществ, биомедицинские приложения.
- Предложен и разработан новый метод измерения профилей интенсивности и фазы УКИ, который может применяться в различных лазерных системах и в оптоволоконных системах связи для характеристики сигналов длительностью от 0,02 до 100 пс в широком частотном диапазоне от видимого до среднего ИК.
- Продемонстрированы новые возможности преобразования оптического излучения в микрорезонаторах, которые могут применяться при разработке миниатюрных фотонных устройств для многих приложений, включая спектроскопию и телекоммуникации.

Достоверность результатов исследования подтверждается хорошим совпадением теоретических и экспериментальных результатов. В исследованиях применялись надежные и хорошо апробированные методы математического моделирования и численных расчетов. Положения и результаты диссертации опубликованы в авторитетных научных журналах, докладывались на российских и международных конференциях.

Личный вклад соискателя. Все выносимые на защиту положения и результаты получены соискателем лично, либо при ее непосредственном участии или руководстве. Анашкиной Е.А. принадлежит определяющий вклад в концептуализацию и постановку всех задач диссертационного исследования, а также в интерпретацию результатов. Теоретические результаты получены Анашкиной Е.А. лично либо под ее руководством. В экспериментальных исследованиях вклад соискателя состоял в постановке задач, обработке, анализе и интерпретации данных, в участии в проведении экспериментов.

На все вопросы и замечания, высказанные в ходе защиты и содержащиеся в отзывах, Анашкиной Е.А. были даны ответы и комментарии.

Диссертация Е.А.Анашкиной оформлена в виде научного доклада, подготовленного на основе совокупности ранее опубликованных соискателем работ по лазерной физике, имеющих большое значение для науки, и представляет собой краткое обобщенное изложение результатов проведенных соискателем исследований, известных широкому кругу специалистов.

На заседании от 21.03.2022 г. диссертационный совет принял решение: за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Анашкиной Е.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за - 24, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета,
академик РАН



Литвак Александр Григорьевич

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук



Абубакиров Эдуард Булатович



21 марта 2022 г.