

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной деятельности

д-р техн. наук, доцент

В.М. Бабушкин

2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации

федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева - КАИ»

на диссертационную работу Скворцова Михаил Игоревича «Исследование волоконных лазеров на основе регулярной и случайной распределенной обратной связи на структурах, сформированных методом фемтосекундной поточечной записи», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6 «Оптика»

1 Вводные положения

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель: д-р.физ.-мат.наук, член-корреспондент РАН Бабин Сергей Алексеевич.

На отзыв ведущей организации были представлены:

- диссертация – 1 том, 139 листов;
- автореферат – брошюра, 1 усл. печ. лист.

2 Актуальность работы

Диссертация Скворцова Михаила Игоревича посвящена исследованию и усовершенствованию характеристик эрбиевого лазера с распределённой

обратной связью (РОС-лазер) посредством применения резонаторов, изготовленных с помощью методики фемтосекундной (фс) модификации показателя преломления в волоконных световодах.

В настоящее время одночастотные волоконные лазеры получили широкое распространение в различных областях применения, от сенсорики до прецизионных измерений. Наиболее распространённой конфигурацией является РОС-лазер, резонатор которого формируется волоконно-брагговской решёткой (ВБР) с фазовым сдвигом, изготовленной в сердцевине активного волокна. Методика поточечной фемтосекундной записи позволяет записывать ВБР с уникальными характеристиками: изготовление возможно в нефоточувствительном волокне, при этом форма области модификации показателя преломления имеет вид эллипса, что сказывается на различии в добротности резонатора для разных поляризационных компонент и обеспечивает одночастотный режим генерации. Ранее исследование характеристик РОС-лазеров на основе таких структур, изготовленных в волокне без сохранения поляризации, не проводилось.

В работе предлагаются к рассмотрению следующие подходы: генерация одночастотного режима без физического воздействия на резонатор, уменьшение его физической длины, и сужение мгновенной ширины линии излучения РОС-лазера за счёт использования случайной РОС (СРОС).

Таким образом, актуальность темы диссертации Скворцова Михаила Игоревича несомненна.

3 Структура и содержание диссертации

Диссертация Скворцова М.И. состоит из введения, трёх глав, заключения, списка сокращений, списка литературы. Полный объём диссертации составляет 139 страниц, включая 65 рисунков и 3 таблицы. Список литературы содержит 163 наименования.

Введение содержит описание предметной области исследования, обоснование его актуальности, формулировку цели и задач, а также представление научной новизны и практической значимости работы. Структура диссертации изложена по главам, приведены сведения о публикациях по теме исследования и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены теоретические основы резонатора РОС-лазера: приведены упрощённые аналитические выражения для ключевых характеристик структуры (спектральная ширина, коэффициенты отражения и пропускания), а также описана методика моделирования оптического спектра резонатора на основе теории связанных мод. Представлено сравнение технологий изготовления резонаторов: фемтосекундной поточечной записи и голографического метода с использованием ультрафиолетового излучения. Продемонстрирована обобщенная схема РОС-лазера и приведено описание методик для получения спектральных и мощностных параметров излучателя.

Вторая глава посвящена анализу характеристик эрбиевых волоконных лазеров с резонаторами, сформированными методом фемтосекундной лазерной микрообработки. Теоретически подтверждена возможность генерации излучения с одной поляризационной компонентой в РОС-лазере с 32 мм резонатором. Представлен экспериментальный образец волоконного лазера с рекордно коротким резонатором длиной 5,3 мм, изготовленным в композитном световоде. В заключении главы представлено сравнение спектрального состава излучения РОС-лазеров, резонаторы которых сформированы методом поточечной фемтосекундной обработки и голографическим методом с применением ультрафиолетового излучения. В конце главы приведено сравнение частотного состава излучения РОС-лазеров, резонаторы которых изготовлены с применением поточечной фемтосекундной методики и голографической с использованием УФ-излучения.

В третьей главе представлен теоретический анализ мгновенной ширины линии излучения РОС-лазера с многокилометровой катушкой одномодового волокна SMF-28, приваренной к свободному концу резонатора и формирующей

случайную распределённую обратную связь (СРОС). Экспериментально подтверждённые теоретические оценки демонстрируют возможность многократного сужения мгновенной ширины линии излучения РОС-лазера в гибридной конфигурации. В качестве альтернативы протяжённой катушке волокна SMF-28 предлагается использование распределённого обратного отражателя на искусственной случайной структуре, созданной фемтосекундным методом поточечной записи. Данная структура была также приварена к выходному торцу резонатора РОС-лазера. Методом самогетеродинирования установлено семикратное сужение ширины линии излучения РОС-лазера в гибридной конфигурации на временных интервалах порядка 100 мксек. Также искусственная СРОС была задействована в схемах с полукоткрытыми и кольцевым резонаторами, обеспечив одночастотный режим генерации. Применение широкополосной СРОС существенно упростило перестройку длины волны генерации, что подтверждено экспериментально в схеме с полукоткрытым резонатором.

В заключении представлены основные результаты работы, полученные в процессе исследования.

4 Научная новизна результатов диссертационного исследования

По результатам рассмотрения диссертации и доступных публикаций автора можно выделить ряд результатов исследований, обоснованно претендующие на научную новизну:

- подходы к созданию одночастотных РОС-лазеров на основе ВБР с фазовым сдвигом в качестве резонатора, изготовленной с применением фемтосекундной поточечной методики в коммерческом световоде без сохранения поляризации и без физического воздействия на резонатор.
- подходы к созданию сверхкоротких РОС-лазеров (достигнута длина резонатора 5,3 мм), спектральные и мощностные характеристики которых не

уступают аналогичным параметрам для типового РОС-лазера с длиной резонатора на порядок больше.

- метод сужения мгновенной ширины линии генерации РОС-лазера до субгерцовых значений с применением дополнительной СРОС в виде катушки одномодового волоконного световода или СРОС, изготовленной с применением фемтосекундной поточечной методики.

5 Значимость для науки результатов диссертационных исследований автора

Обоснованный и реализованный в диссертации подход к созданию одночастотных РОС- и СРОС-лазеров и разработанные научные подходы к их проектированию способствуют развитию общей методологической базы проектирования таких лазеров.

Полученные результаты исследований расширяют знания в области волоконных лазеров.

Диссертационная работа содержит **значимые научные результаты по заявленной специальности 1.3.6 - Оптика**, в частности, по п. 8 паспорта специальности «Разработка базовых принципов построения источников светового излучения и функционирования фотонных и оптоэлектронных устройств. Лазерная спектроскопия, оптические прецизионные измерения, стандарты частоты и времени, квантовые сенсоры».

Обоснованность и достоверность результатов работы сомнений не вызывают и обеспечиваются, в частности, адекватностью использованных методов и построенных на их основе расчетных моделей. Полученные автором результаты являются достоверными и согласуются с результатами аналогичных исследований в ряде отечественных и зарубежных лабораторий.

6 Практическая значимость результатов диссертационных исследований автора

По результатам рассмотрения диссертации и доступных публикаций автора также можно выделить ряд результатов исследований, обоснованно претендующие на практическую значимость:

- Представлена реализация одночастотных РОС-лазеров и даны рекомендации по получению требуемых характеристик излучения и параметров излучателя для широкого спектра приложений.

- Представлена реализация узкополосного эрбиевого лазера с полукрытым резонатором, где в качестве слабоотражающего распределенного зеркала впервые использовалась СРОС на основе искусственной случайной рэлеевской структуры, изготовленной с помощью поточечной фемтосекундной методики. В совокупности с механическим растяжением ВБР для данной схемы получена перестройка длины волны узкополосной генерации.

- Представлена реализация одночастотного эрбиевого лазера в кольцевой конфигурации, где в резонатор была включена СРОС на основе искусственной случайной рэлеевской структуры.

Практическая значимость результатов заключается в том, что разработанные модели и методика, а также полученные результаты исследований могут быть непосредственно использованы при разработке перспективных СРОС-лазеров.

7 Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Основные положения и выводы диссертационной работы, в силу отмеченной выше научной и практической значимости отдельных результатов, могут найти применение:

- в научно-исследовательских подразделениях ФГУП ВНИИОФИ, ФГУП ВНИИФТРИ и других Государственных заказчиков, при определении направлений развития лазерной техники для систем метрологии, а также

разработке соответствующих концепций, программ, тактико-технических и проектных заданий;

- в ведущих предприятиях и организациях России, специализирующихся в области разработки лазерных источников и оборудования, таких как Т8, ПАО ПНППК, НЦВО РАН и др., при выборе и разработке технических и проектных решений по созданию лазерных систем;

- в учреждениях Минздрава РФ в целях создания лазерных систем медицинского назначения.

Считаем целесообразным, кроме того, использование научных результатов диссертации в учебном процессе учреждений высшего образования в части методики проектирования РОС- и СРОС-лазеров.

Рекомендуется продолжение работ в данном направлении.

8 Замечания

По существу работы.

1. В диссертации раздел научной новизны сформулирован в стиле практической значимости и не раскрывает новых научных подходов, на основании которых получены отраженные в нем технические данные и характеристики.

2. Ни в диссертации, ни в автореферате, ни в других материалах не найдено информации, о том, какому пункту паспорта специальности 1.3.6 – Оптика, физико-математические науки соответствуют проведенные исследования и полученные результаты.

3. Хотелось бы получить объяснение физики провалов в спектре отражения СРОС (рис. 3.7 диссертации или рис. 5 автореферата), которое не было получено в ходе обсуждения диссертации. Возникает ряд сомнений о возможности получения такой детерминированной структуры отражения от последовательности соединенных случайных решеток.

По оформлению.

4. Возвращаясь к замечанию п. 3, не понятно о каком рис. 5,б идет речь в автореферате.

5. Несмотря на то, что автореферат, несомненно, отражает содержание диссертации, следует отметить, что его объем использован не эффективно. При выбранном формате текста автореферат мог бы нести больше научной информации, описывающей физическую природу полученных результатов, а не простое их перечисление.

Отмеченные недостатки не являются основанием для сомнения в достоверности результатов диссертации и сделанных на их основе выводов.

9 Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней

Скворцова Михаил Игоревича «Исследование волоконных лазеров на основе регулярной и случайной распределенной обратной связи на структурах, сформированных методом фемтосекундной поточечной записи», соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, а именно – задачи создания волоконных лазеров на основе регулярной и случайной распределенной обратной связи с улучшенными характеристиками.

Результаты исследований апробированы на российских и международных научных конференциях.

Основные результаты диссертационной работы в достаточной степени отражены в опубликованных автором научных трудах, в том числе – в рецензируемых научных изданиях, входящих в соответствующий Перечень. Уровень и объем публикаций соответствует требованиям п. 11 и п. 13 Положения.

По результатам рассмотрения диссертации не обнаружены какие-либо факты использования заимствованных материалов без ссылки на источники, т.е. диссертация соответствует требованиям п. 14 Положения.

Автореферат диссертации, в целом, отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения.

Работа соответствует заявленной специальности 1.3.6 «Оптика» и области физико-математических наук и в полной мере отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, представляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Ее автор, Скворцова Михаил Игоревича, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составлен на основании обсуждения диссертационной работы на расширенном заседании кафедры радиوفотоники и микроволновых технологий 23.01.2025, протокол №2/1.

Отзыв составил:

д-р .техн. наук, доцент,
Кузнецов Артём Анатольевич,
заведующий кафедрой радиوفотоники и
микроволновых технологий
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Казанский национальный
исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ)



А.А. Кузнецов

Докторская диссертация защищена
по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-
электронные приборы и комплексы
Адрес организации: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
Рабочий телефон: +7 (843) 231-59-34
Адрес эл. почты: AAKuznetsov@kai.ru
Сайт: www.kai.ru

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело, их дальнейшую обработку и размещение в сети Интернет