

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Каблукова Сергея Ивановича на диссертацию Зверева Андрея Дмитриевича «Волоконные источники ультракоротких импульсов с гигагерцовой и субгигагерцовой частотами следования импульсов в спектральном диапазоне 1.5-1.6 мкм», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Актуальность

Полностью волоконные источники высокочастотных ультракоротких импульсов (с фемто- и пикосекундной длительностью) находят применение в различных областях, поскольку позволяют работать с быстро протекающими процессами с минимизацией теплового воздействия. Такие источники обладают уникальными характеристиками, включая высокую пиковую мощность, широкий спектральный диапазон и стабильность генерации, что делает их востребованными в биомедицине, телекоммуникации, а также при генерации суперконтинуума или терагерцового излучения. Кроме того, высокая частота повторения импульсов позволяет значительно ускорить процессы обработки данных, повысить точность измерений в спектроскопии сверхбыстрых процессов и метрологии. В связи с этим разработка компактных, энергоэффективных и надежных волоконных лазеров с высокой частотой повторения импульсов является важной научно-технической задачей, открывающей новые возможности для фундаментальных и прикладных исследований.

Научная новизна

Наиболее прямой способ увеличения частоты повторения ультракоротких импульсов связан с уменьшением длины резонатора лазера. Для реализации данного подхода в диссертационной работе предложено совместное использование композитного волокна с повышенной концентрацией активных ионов и аэрозольно-синтезированных бесполимерных пленок одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ). Данные компоненты позволили автору существенно сократить длину резонатора, как в линейном, так и в кольцевом исполнении. На их основе были реализованы компактные и стабильные источники ультракоротких импульсов с основными частотами повторения от 47 до 489 МГц.

Практическая ценность

Результаты исследования оптических свойств композитного волокна и насыщающегося поглотителя на основе ОУНТ позволяют проводить теоретическое моделирование и проектирование лазерных систем, создаваемых на их основе. Проведенные исследования показали возможность создания компактных, стабильных, полностью волоконных источников ультракоротких импульсов с возможностью регулировки частоты повторения в широком диапазоне от десятков до сотен МГц. Подобные источники могут

использоваться в микроскопии высокого временного разрешения, связи и спектроскопии.

Содержание работы

Диссертация Зверева А.Д. включает 117 страниц основного текста, содержащих введение, четыре главы, заключение и список литературы, насчитывающий 123 источника. Материал иллюстрирован 72 рисунками и 10 таблицами, что подчёркивает полноту и наглядность представленных результатов.

Введение посвящено описанию актуальности темы исследования, формулированию цели и постановке задач исследования. Так же в нем перечислены элементы научной новизны, практической значимости работы, защищаемые положения и данные об апробации результатов.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена анализу существующих подходов к генерации ультракоротких импульсов. Особое внимание уделено методам повышения частоты их повторения, с выявлением преимуществ и ограничений различных подходов.

Во второй главе диссертации представлены результаты изучения оптических свойств композитных волокон и плёнок ОУНТ, показаны их спектральные и дисперсионные характеристики, а также потенциал для использования в качестве активной среды и насыщающегося поглотителя.

В третьей главе приведено исследование линейных лазеров, реализованных на основе композитного волокна, продемонстрированы возможности увеличения частоты следования импульсов за счёт миниатюризации резонатора. При длине активного волокна 10 см, используя для получения ультракоротких импульсов ОУНТ, удалось увеличить основную частоту повторения импульсов до 150 МГц.

Четвертая глава диссертации посвящена реализации лазеров с кольцевыми резонаторами, в которых достигнуты режимы гармонической синхронизации мод с частотой повторения УКИ 23 ГГц. При использовании гибридного волоконного элемента (выполняющего роль оптического мультиплексора, изолятора и делителя), композитного волокна, легированного комплексом активных ионов Er/Yb и пленки ОУНТ удалось получить стабильный режим генерации с основной частотой повторения импульсов 484 МГц.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Достоверность результатов

Представленные в диссертации результаты отличаются высокой степенью достоверности, что обеспечивается применением корректной методологии, включающей проверенные расчетные алгоритмы и современное программное обеспечение для моделирования лазерных процессов. Экспериментальная часть выполнена с использованием сертифицированного высокоточного измерительного оборудования, что гарантирует надежность полученных данных. Дополнительным подтверждением достоверности

является согласованность теоретических расчетов и экспериментальных наблюдений, а также воспроизводимость основных результатов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Сформулированные в диссертационной работе научные положения и выводы обладают высокой степенью обоснованности, так как логически следуют из проведенных теоретических исследований и экспериментальных результатов. Рекомендации по применению разработанных источников ультракоротких импульсов базируются на системном анализе их характеристик и демонстрируют соответствие современному уровню развития лазерной физики. Дополнительным аргументом в пользу научной состоятельности работы является её апробация в профессиональном сообществе: по теме диссертации опубликовано 18 работ, включая 6 статей в изданиях, входящих в базы данных WoS и рекомендованных ВАК.

Несмотря на общую положительную оценку диссертации к работе имеется несколько **замечаний**:

1. Сравнивая рисунки 49 и 62, можно прийти к заключению, что при формулировке выводов к главе 3 было сделано ошибочное утверждение о том, что "реализация основной частоты повторения импульсов более 200 МГц на данной компонентной базе невозможна". Тем не менее, сравнивая Рис. 49, где длина резонатора 67 см, и Рис. 62, где из компонентов похожих размеров изображен кольцевой резонатор длиной $L_{\text{общ}} = 42$ см, можно заключить, что длина линейного резонатора также может быть уменьшена. Кроме того, поскольку в линейной схеме длина активного волокна на 8 см короче, то линейный резонатор может быть сокращен до 36 см, что чуть ли не в два раза меньше, чем представленная на Рис. 49 схема. Таким образом частота следования импульсов может быть увеличена до ~ 300 МГц, что существенно больше, чем указанные в выводах 200 МГц.
2. В выводах к главе 4 написано: "Для уменьшения мощности накачки, необходимой для осуществления генерации, использовалось композитное волокно, легированное комплексом активных ионов Er/Yb (в отличие от волокна, которое использовалось в линейных схемах)." В диссертации не указано по какой причине в линейной и кольцевой схемах использовались разные композитные волокна. Кроме того, в Таблице 2, где сравниваются различные активные Er волокна, следовало также привести композитное Er волокно.
3. В диссертации проводится численное моделирование, но не всегда обосновывается выбор параметров. Например, отсутствует обоснование выбора параметра нелинейности композитного волокна $\gamma = 0,004 \text{ Вт}^{-1}\text{м}^{-1}$.
4. Присутствуют опечатки и погрешности в оформлении. Например, в оглавлении нарушен порядок нумерации, где дважды встречаются пункты с совпадающими номерами 1.2 и 1.3.

Представленные выше замечания не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования.

Заключение

Диссертационная работа «Волоконные источники ультракоротких импульсов с гигагерцовой и субгигагерцовой частотами следования импульсов в спектральном диапазоне 1.5-1.6 мкм» Зверева Андрея Дмитриевича является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном и инженерном уровне, и соответствует всем требованиям, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с действующим «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 16 октября 2024 года). Считаю, что автор диссертации Зверев Андрей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Согласие на обработку персональных данных

Я, Каблуков Сергей Иванович, согласен на обработку, размещение и хранение моих персональных данных, связанных с деятельностью диссертационного совета 24.1.223.03

Официальный оппонент:

Каблуков Сергей Иванович, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика», главный научный сотрудник лаборатории оптических сенсорных систем, ИАиЭ СО РАН.

630090, Новосибирская область,

г. Новосибирск, пр-кт Академика Коптюга, д.1,

тел: +73833306832

e-mail: kab@iae.nsk.su

Главный научный сотрудник лаборатории

Оптических сенсорных систем,

ИАиЭ СО РАН,

Доктор физико-математических наук,

Профессор РАН

_____/ Каблуков С.И
30.09.25 (дата)

Подпись Каблукова Сергея Ивановича удостоверяю: _____

И.о. ученого секретаря ИАиЭ СО РАН

к.ф.-м.н.

Абдуллина С.Р.
« 30 » сентября 2025 г.