

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт лазерной физики
Сибирского отделения
Российской академии наук

 О.Н. Прудников

«» октябрь 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт лазерной физики Сибирского отделения
Российской академии наук на диссертационную работу

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 темы

Волоконные лазеры, генерирующие ультракороткие импульсы с
высокой частотой повторения, играют ключевую роль в современных
научных и технологических приложениях. Благодаря своей компактности,
энергоэффективности и высокой стабильности они находят применение в
прецизионной микрообработке материалов, микроскопии, оптической
телекоммуникации и квантовых технологиях. Такие лазеры позволяют
исследовать сверхбыстрые процессы в веществе с исключительно высоким
временным разрешением, что открывает новые возможности в физике, химии
и биологии. Развитие технологий генерации ультракоротких импульсов с
повышенной частотой повторения способствует созданию более

эффективных систем для медицинской диагностики, оптической спектроскопии и обработки информации.

Научная новизна работы заключается в реализации компактных полностью волоконных источников ультракоротких импульсов (УКИ) с высокой частотой повторения, благодаря использованию уникальных композитных волокон с повышенной концентрацией активных ионов эрбия (более $1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) и пленок аэрозольно-синтезированных одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ).

Содержание диссертации

Диссертационная работа Зверева А.Д. изложена на 117 страницах, которые содержат введение, четыре главы, заключение и список литературы, который содержит 123 источника. Текст иллюстрируют 72 рисунка и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены цель и задачи работы. Так же раскрывается новизна и практическая значимость исследования, перечисляются защищаемые положения и приводятся данные об апробации результатов.

Глава 1 (обзор литературы) посвящена исследованию современных методов получения ультракоротких импульсов и проведению сравнительного анализа способов увеличения их частоты повторения.

Во второй главе диссертации описаны результаты исследования оптических параметров композитных волокон и пленок одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ), которые в дальнейшем используются в качестве насыщающегося поглотителя. Показано, что композитное волокно обладает высоким удельным усилением в оптическом диапазоне 1,5 мкм (более 60 дБ/м), а параметр дисперсии групповых скоростей (на длине волны 1543,5 нм) составляет $-9,2 \text{ пс}^2/\text{км}$. Данные значения позволяют использовать для реализации источников УКИ композитное волокно длиной менее 10 см. Проведена оценка оптических параметров ОУНТ.

В третьей главе диссертации продемонстрировано постепенное изменение линейной гантеливидной схемы резонатора с целью увеличения частоты повторения УКИ. Было показано, что использование в резонаторах линейного типа композитного волокна и пленок ОУНТ позволяет увеличить основную частоту повторения импульсов в режиме синхронизации мод до 150 МГц.

В четвертой главе диссертации описаны эксперименты по реализации УКИ в кольцевых резонаторах с субгигагерцовыми и гигагерцовыми частотами. В классической схеме лазера удалось получить режимы гармонической синхронизации мод с частотой следования УКИ более 20 ГГц. Используя кольцевой резонатор, реализованный с помощью гибридного оптического элемента, композитного волокна и пленок ОУНТ, удалось создать семейство лазеров с основными частотами повторения УКИ от 100 до 484 МГц.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития физико-математических наук, в частности нелинейной оптики и лазерной физики, заключается в развитии методов генерации ультракоротких импульсов с высокой частотой повторения на основе инновационных активных сред и насыщающихся поглотителей. Полученные результаты, включая демонстрацию гармонической синхронизации мод на гигагерцовых частотах и управление спектрально-временными параметрами импульсов, представляют научный интерес для дальнейшего развития теории волоконных лазеров и управления сверхбыстрыми оптическими процессами.

С учетом продемонстрированной возможности создания компактных источников ультракоротких импульсов с частотами повторения до 1 ГГц и выше, такие лазерные системы могут быть рассмотрены в качестве ключевого элемента для построения высокопроизводительных оптических аналого-цифровых преобразователей. Разработанные подходы к миниатюризации резонаторов и улучшению их шумовых характеристик целесообразно использовать в перспективных системах связи следующего

поколения, для функционального тестирования компонентов интегральной фотоники и микроволновой фотоники.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается комплексным подходом, включающим теоретическое моделирование. Применение апробированных методик расчетов, современных средств математического моделирования и сертифицированного измерительного оборудования гарантирует высокую точность данных. Дополнительным подтверждением достоверности выводов служит их публикация в авторитетных рецензируемых научных изданиях. Всего по теме диссертации опубликовано 18 работ (12 в трудах конференций и 6 в журналах из списка WoS и перечня ВАК).

Автореферат отражает основное содержание работы.

Вместе с тем работа не лишена некоторых недостатков, среди которых можно выделить следующие:

1. В защищаемом положении номер 3 указано, что отношение сигнал/шум частоты повторения импульсов составляет 70 дБ. Однако по приведенным радиочастотным спектрам в тексте диссертации невозможно однозначно этого утверждать.

2. Не все ссылки на научные статьи подобраны корректно. Также в ряде случаев ссылки не приведены, хотя приводится информация из сторонних работ. В главе 4.4 (и далее) приводится сравнение полученных результатов с работой [108] из списка цитируемой литературы. При этом в данной статье рассматривался другой тип резонатора лазера и другие режимы работы. Для сравнения следовало найти более схожий пример

3. Для большинства приведенных радиочастотных и оптических спектров не приведено разрешение анализаторов. В результате достоверность измерений уровней сигнал/шум радиочастотных межмодовых биений лазеров неоднозначна. Также на графиках мощности не приведен диапазон ошибок экспериментальных данных.

4. В главе 3.6. описано применение трех слоев углеродных нанотрубок толщиной 60 нм, при этом не обосновано количество слоев. Ранее в диссертации было доказано, что достаточно одного слоя.

5. В таблице 9 приведены численные данные измерений уровней сигнал/шум межмодовых биений лазеров с различными длинами резонаторов. Приведены значения 75 дБ и 70 дБ для длин резонаторов 0,81 и 0,67 м соответственно. Для волоконных лазеров эти значения достаточно высокие. Однако не приведены радиочастотные спектры, подтверждающие эти величины.

6. Не всегда объясняется физика результатов

7. В тексте диссертации и автореферата присутствуют опечатки и неверно сформулированные предложения.

Перечисленные замечания относятся к недостаткам представления материала и не снижают значимости диссертационного исследования.

Заключение:

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

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19. Лазерная физика по физико-математическим наукам. Считаю, что автор диссертации Зверев Андрей Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Диссертация А.Д. Зверева и проект отзыва были рассмотрены и одобрены на научном семинаре Отдела лазерной физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, протокол № 1 от «3» октября 2025 г.

Отзыв составил

Старший научный сотрудник лаборатории 1.1 Оптических часов,

к.ф.-м.н.

Коляда Наталья Александровна

Согласна на обработку персональных данных

03.10.2025

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Сокращённое наименование: ИЛФ СО РАН

630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 15Б

телефон: +7 (383) 333-29-67

электронная почта: info@laser.nsc.ru

web-сайт: <http://www.laser.nsc.ru>

Подпись старшего научного сотрудника ИЛФ СО РАН

Коляда Наталья Александровны

Удостоверяю

Ученый секретарь ИЛФ СО РАН

к.ф.-м.н.

Покасов Павел Викторович

3 октября 2025 г.