

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.063.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ИМ. А.М. ПРОХОРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 07.10.2019 протокол № 217

О присуждении ФИЛАТОВОЙ СЕРАФИМЕ АНДРЕЕВНЕ, гражданке РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Волоконные лазеры двухмикронного диапазона для медицинских применений» по специальности 01.04.21 — Лазерная физика принята к защите «15» апреля 2019 г. № протокола 210 диссертационным советом Д 002.063.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (119991 Москва, ул. Вавилова, 38, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.).

Соискатель Филатова Серафима Андреевна 1990 года рождения. В 2013 году соискатель окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет приборостроения и информатики» по направлению «Оптотехника». В 2017 году соискатель окончила аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории Фотоника: квантовые материалы и технологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории активных сред твердотельных лазеров (Отдел лазерных кристаллов) Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Цветков Владимир Борисович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, руководитель Научного центра лазерных материалов и технологий.

Официальные оппоненты:

Бутов Олег Владиславович – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории волоконно-оптических технологий.

Каблуков Сергей Иванович – доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией оптических сенсорных систем.

Дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ), г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Нанием Олегом Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем физического факультета МГУ и утвержденном проректором Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, указала, что работа Филатовой С.А. соответствует требованиям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 — Лазерная физика.

В отзыве указаны следующие замечания:

1. В разделе 3.2.2 данной диссертации приведены характеристики иттербиевого волоконного лазера, который используется в качестве накачки гольмиевого волоконного лазера, работающего в режиме синхронизации мод. Однако информация о мощности накачки, необходимой для реализации синхронизации мод и генерации ультракороткого импульсного излучения отсутствует. Эта информация необходима для оценки эффективности гольмиевого волоконного лазера.
2. В разделе 3.2.2 написано, что: «Были проведены эксперименты по определению зависимости спектральных характеристик лазерного излучения от длины активного волокна в резонаторе лазера. Длина гольмиевого волокна варьировалась от 4,5 м до 6,3 м». Из текста диссертации не ясно, является ли изменение длины активного волокна в резонаторе лазера определяющим фактором, который влияет на длину волны генерации лазера.
3. В разделе 3.3.2 показано, что при усилении ультракоротких импульсов высокой мощности возникает спектральная деформация усиленного излучения. Однако отсутствует информация о том, как это сказывается на форме и длительности усиливаемых импульсов.
4. Несмотря на то что в данной работе были реализованы схемы гольмиевых волоконных лазеров, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах (в том числе в режиме ультракоротких импульсов), в четвертой главе рассматривается воздействие на биологические ткани только непрерывным излучением на длине волны 2,1 мкм. Интерес представляет сравнение результатов воздействия непрерывного излучения и импульсного, в том числе ультракороткого, излучения на биологические ткани. Данный вопрос в диссертации не рассмотрен.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, из них 5 работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Список наиболее значительных работ:

1. Filatova S.A., Shcherbakov I.A., Tsvetkov V.B. Optical properties of animal tissues in the wavelength range from 350 to 2600 nm // Journal of Biomedical Optics. – 2017. – Т. 22. – №. 3. – С. 035009-035009.
2. Камынин В.А., Филатова С.А., Жлуктова И.В., Цветков В.Б. Пикосекундный гольмиевый волоконный лазер с накачкой на длине волны 1125 нм // Квантовая электроника. – 2016. – Т. 46. – №. 12. – С. 1082-1084.
3. Filatova S.A., Kamynin V.A., Zhluktova I.V., Trikshev A.I., Tsvetkov V.B. All-fiber passively mode-locked Ho-laser pumped by ytterbium fiber laser// Laser Physics Letters. - 2016. - Т. 13. - №11 - С. 115103.
4. Filatova S.A., Kamynin V.A., Tsvetkov V.B., Medvedkov O.I., Kurkov A.S. Gain spectrum of the Ho-doped fiber amplifier // Laser Physics Letters. – 2015. – Т. 12. – №. 9. – С. 095105.
5. Филатова С.А., Камынин В.А., Рябова А.В., Лощенов В.Б., Зеленков П.В., Золотовский И.О., Цветков В.Б., Курков А.С. Воздействие излучения гольмиевого волоконного лазера ( $\lambda=2.1$  мкм) на ткань оболочки спинного мозга и жировую ткань // Квантовая электроника. – 2015. – Т. 45. – №. 8. – С. 781-784.

На автореферат поступил отзыв от Коробко Дмитрия Александровича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории квантовой электроники и оптоэлектроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный университет». Отзыв положительный. В качестве замечания отмечено, что соискателю можно было уделить несколько больше внимания обнаруженному (крайне интересному!) эффекту удвоению частоты следования сигналов (при малом увеличении мощности накачки) в режиме т.н. гармонической синхронизации мод. При этом само замечание можно рассматривать не как критику, а скорее, как пожелание и предложение к проведению дальнейших исследований в данном направлении.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается известностью их работ в области лазерной физики и высокой степенью научного авторитета, обусловленного компетентностью и значимостью их работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Выполнена комплексная работа, посвященная исследованию оптических свойств различных биологических тканей в диапазоне 0,36–2,6 мкм; созданию, исследованию и оптимизации гольмиевых волоконных лазерных систем, излучающих в диапазоне 2,02–2,15 мкм и работающих в непрерывном и импульсном режимах; а также исследованию результатов воздействия непрерывного двухмикронного лазерного излучения на биологические ткани бесконтактным и контактными методами.
- Обнаружено изменение спектров пропускания биологических тканей в зависимости от времени между подготовкой образца и проведением измерения.
- Впервые реализован полностью волоконный гольмиевый лазер, работающий в режиме синхронизации мод за счет нелинейного вращения плоскости поляризации с генерацией ультракоротких импульсов длительностью менее 50 пс в диапазоне длин волн 2,06–2,08 мкм.
- Создан, исследован и оптимизирован усилитель слабого сигнала на основе кварцевого волокна, легированного ионами гольмия, работающий в диапазоне длин волн 2,02–2,15 мкм. Максимальный коэффициент усиления слабого сигнала в оптимизированном варианте достигнут на длине волны 2,05 мкм и составил 35,8 дБ.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что результаты работы могут быть использованы при создании лазерных систем как для медицинских, так и для других прикладных и научных применений. В работе продемонстрирована возможность генерации и усиления как непрерывного, так и импульсного (в том числе ультракороткого) излучения в

спектральном диапазоне 2,02–2,15 мкм с помощью гольмиевых волоконных лазеров и усилителей. Также показано, что система «задающий генератор ультракоротких импульсов–усилитель» может быть в дальнейшем применима для создания источников суперконтинуума в среднем ИК-диапазоне. Проанализированы механизм и размеры повреждения биологических тканей при воздействии на них в течение определенного времени непрерывного излучения различной мощности с длиной волны 2,1 мкм бесконтактным и контактными методами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработанные лазерные системы на основе гольмиевых волокон могут найти применение в различных прикладных и научных исследованиях, например в приборах для детектирования и анализа атмосферных газов ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), поскольку в двухмикронной области спектра имеются их линии поглощения. Преимуществом двухмикронного излучения является его безопасность для глаз (излучение поглощается стекловидным телом глаза и не достигает сетчатки), поэтому гольмиевые лазерные системы могут быть использованы в приборах для лазерного сканирования и детектирования объектов (ЛИДАР), а также для атмосферной связи и измерения скорости ветра. Двухмикронное излучение может быть использовано для обработки материалов, в основном для резки, сварки и маркировки полимеров. В результате работы созданы гольмиевые волоконные лазерные системы с характеристиками излучения, подходящими для внедрения в медицинские приборы для хирургических, косметологических, терапевтических и диагностических целей. Это позволит существенно расширить и усовершенствовать базу медицинских лазерных приборов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты экспериментов согласуются с имеющимися расчетными данными и теоретическими представлениями.

