

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИАиЭ СО РАН
чл.-корр. РАН
Бабин Сергей Алексеевич

« 12 » 12 2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук
(ИАиЭ СО РАН)

на диссертационную работу Коптева Максима Юрьевича
«Разработка перестраиваемого полностью волоконного источника
фемтосекундных импульсов на основе гибридной Er-Tm лазерной системы»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.19– лазерная физика.

В настоящее время разработка перестраиваемых в ближнем и среднем ИК диапазонах волоконных лазерных источников является весьма **актуальной задачей**, которая имеет важное значение как для фундаментальных исследований, так и для многочисленных практических применений. В частности, поскольку в этот диапазон попадают "окна прозрачности" атмосферы, такие волоконные источники могут стать составной частью лидаров и оптических линий связи следующего поколения, а также применяться для мониторинга окружающей среды с помощью дистанционной спектроскопии. Предлагаемая диссертационная работа имеет **целью** разработку волоконных лазерных источников, перестраиваемых в среднем ИК диапазоне за счёт нелинейного преобразования длин волн в германатных и теллуридных световодах, а также разработку гибридной эрбий-тулиевой фемтосекундной лазерной системы, необходимой для их накачки. Проведённое исследование вносит значительный вклад в изучение эффектов нелинейного преобразования длин волн, таких как генерация суперконтинуума и перестраиваемых рамановских солитонов, в нелинейных световодах на основе оксидов германия и теллура.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы. Общий объем диссертационной работы составляет 106 страниц, включая 50 рисунков и список литературы из 103 наименований.

Во введении изложены актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования, приведены

положения, выносимые на защиту и сведения об апробации полученных результатов.

Первая глава посвящена разработке фемтосекундных лазерных систем на основе эрбиевых световодов с большой площадью поля моды. В ней представлен обзор литературы по теме разработки волоконных лазерных систем с высокой пиковой мощностью в импульсе, описаны основные методы повышения порога нелинейных эффектов в оптических волокнах. Представлены две мощные фемтосекундные волоконные системы на основе LMA и конусного активных эрбиевых волокон. Экспериментально исследованы различные режимы работы данных систем, произведено измерение характеристик выходных импульсов методом оптического стробирования с разрешением по частоте.

Вторая глава содержит обзор литературы на тему создания фемтосекундного волоконного задающего генератора в двухмикронном диапазоне длин волн, а также теоретические основы эффекта рамановского самосдвига частоты. Здесь также демонстрируется гибридная эрбий-тулиевая волоконная система, в которой в качестве импульсов затравки для тулиевого усилителя используется сгенерированный в нелинейном кварцевом световоде рамановский солитон при накачке полуторамикронными фемтосекундными импульсами. Произведено измерение параметров импульсов на выходе системы, исследован режим работы с усилением растянутых во времени импульсов. Кроме этого продемонстрирован режим генерации двухцветных оптически-синхронизированных импульсов в тулиевом активном световоде.

Третья глава посвящена нелинейному преобразованию фемтосекундных импульсов в средний ИК диапазон с специальных световодах. В ней приведен обзор литературы, касающийся основных принципов нелинейного преобразования в оптических волокнах, а также сравнительные характеристики световодов, прозрачных в среднем ИК диапазоне. Представлены результаты исследования генерации широкополосного суперконтинуума в конусных германатных световодах при накачке фемтосекундными импульсами наноджоульного уровня энергии на длинах волн 1.5 и 2 мкм. Продемонстрирована генерация рамановских солитонов в широком диапазоне длин волн среднего ИК спектра в теллуридном световоде с подвешенной сердцевиной. Методом оптического стробирования с разрешением по частоте показано, что перестраиваемые импульсы действительно являются солитонами.

В заключении перечислены основные результаты проведённого диссертационного исследования.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на 8 международных и всероссийских конференциях.

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 17 работ, из которых 9 статей в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 2 статьи в сборниках трудов и 6 тезисов докладов.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и исследовании фемтосекундной волоконной лазерной системы с использованием специализированных активных эрбиевых волокон с большой площадью поля моды и вытянутого в виде конуса. В первом случае в CPA режиме системе получены субмикроджоульные импульсы на длине волны 1.6 мкм с пиковой мощностью 750 кВт. В полностью волоконном режиме получены импульсы с энергией 14 нДж и пиковой мощностью 165 кВт, что близко к рекордному значению для систем без внешнего компрессора. Для конусного световода получены импульсы на длине волны 1.56 мкм с энергией 8 мкДж и длительностью 500 фс, что соответствует пиковой мощности 10 МВт. Показано, что тулиевый волоконный усилитель может работать в режиме генерации двухцветных оптически синхронизированных фемтосекундных импульсов, при котором один импульс имеет длину волны 2 мкм, а второй может быть перестроен в диапазоне 2.15–2.3 мкм. Продемонстрирована возможность генерации широкополосного суперконтинуума в диапазоне 1.5 – 3 мкм в германатных световодах с накачкой фемтосекундными импульсами на длине 1.5 мкм. В ходе исследования преобразования спектра гибридной эрбий-тулиевой лазерной системы, генерирующей фемтосекундные импульсы наноджоульного уровня энергии на длинах волн 1.5 и 2 мкм, была показана возможность генерации перестраиваемых в диапазоне 1.6 - 2.65 мкм рамановских солитонов, с длительностью порядка 100 фс в микроструктурированных теллуридных световодах.

Практическая значимость результатов работы не вызывает сомнений. Созданы мощные волоконные лазерные системы на основе LMA и конусных активных эрбиевых световодов с мегаваттной пиковой мощностью. Такие системы могут найти широкое применение в медицине, микрообработке материалов, а также имеют множество научных приложений. Создана двухцветная тулиевая лазерная система, генерирующая импульсы на длинах волн 2 и 2.3 мкм, которая может быть использована в качестве затравки для мощных твердотельных Cr:ZnSe или Cr:ZnS усилителей. Разработанные в ходе диссертационной работы источники излучения среднего ИК-диапазона (1.5 – 3 мкм) могут найти широкое применение в задачах спектроскопии, дистанционного зондирования атмосферы и телекоммуникациях. Полученные результаты представляют практический интерес в организациях, специализирующихся на разработке фемтосекундных лазерных систем, а также на исследовании нелинейных взаимодействий в оптических волокнах.

Результаты могут быть использованы в Научном центре волоконной оптики РАН, МГУ им. Ломоносова, Институте радиотехники и электроники РАН, Институте автоматики и электрометрии СО РАН, Физическом институте РАН и других организациях.

Достоверность представленных результатов обусловлена использованием современных измерительных приборов и применяемых методов экспериментального и численного исследования, сопоставлением данных, полученных различными методами, апробацией результатов на международных конференциях и публикациями в ведущих рецензируемых журналах.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

По содержанию диссертационной работы могут быть сделаны следующие замечания:

1. Никак не обсуждается важность и влияние поляризационных эффектов, которые в случае используемых волокон без сохранения состояния поляризации могут быть значимы для отдельно взятых применений.

2. Не проводится прямого сравнения с результатами численного моделирования, которое хоть и выходит за рамки настоящей работы, но, судя по публикациям, проводилось при участии автора.

3. Не обсуждается роль состава специализированных эрбиевых световодов в достижении представленных параметров ультракоротких импульсов. Так в случае LMA-световода наверняка существуют коммерчески-доступные альтернативы, которые могли бы быть использованы для последующей генерации дисперсионных волн в коротковолновый диапазон и исследования других нелинейных эффектов.

Перечисленные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку работы и несколько не снижают ценность полученных результатов. Диссертационная работа Коптева М. Ю. «Разработка перестраиваемого полностью волоконного источника фемтосекундных импульсов на основе гибридной Er-Tm лазерной системы» является законченным научным исследованием и отвечает требованиям установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. (ред. от 02.08.2016 г.), а ее автор, Коптев Максим Юрьевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – лазерная физика.

Доклад по диссертации заслушан на семинаре УНЦ «Квантовая оптика» «12» ноября 2021 г.

Отзыв составил научный сотрудник лаборатории волоконной оптики
Института автоматики и электрометрии СО РАН,
кандидат физико-математических наук
Харенко Денис Сергеевич
630090 г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д.1, ИАиЭ СО РАН
Тел.: 8 (383) 330-79-69
E-mail: kharenko@iae.nsk.su



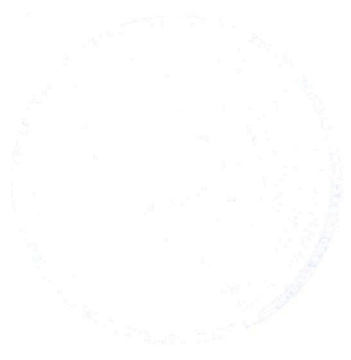
Подпись Харенко Д. С. удостоверяю

И.о. учёного секретаря
Института автоматики и электрометрии СО РАН,
кандидат физико-математических наук
Абдуллина С. Р.



Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук» (ИАиЭ СО РАН)
630090 г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, д.1, ИАиЭ СО РАН
Контактный телефон: 8 (383) 330-79-69
Интернет-сайт: www.iae.nsk.su, e-mail: iae@iae.nsk.su



Пронумеровано, прошито, скреплено печатью
_____ страниц

С.А. Бабин