

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

**Фирстова Сергея Владимировича «Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона»**, представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Уникальные свойства лазерного излучения привели к стремительному проникновению лазерных технологий практически во все области человеческой деятельности. Этот процесс предъявляет новые требования к источникам лазерного излучения. Диссертационная работа С.В. Фирстова посвящена созданию новых активных сред на основе световодов, легированных висмутом, для достижения эффективной лазерной генерации и оптического усиления в спектральных областях, большинство из которых являются недоступными для традиционных волоконных допированных ионами редкоземельных элементов. Проведение подобных исследований является актуальным, имеет важное прикладное значение и представляет несомненный научный интерес.

Одним из важнейших результатов работы является демонстрация возможности создания мощных, непрерывных, полностью волоконных лазеров в областях длин волн 1330 и 1460 нм с высоким значением эффективности. Среди достижений следует особо отметить обнаруженное явление деградации висмутовых центров при воздействии лазерного излучения УФ и видимого диапазона, а также возможность их восстановления при термообработке. В работе продемонстрирован способ повышения активности центров в высокогерманатных световодах, содержащих висмут, что крайне важно для создания устройств с короткими резонаторами.

Достоверность результатов обеспечена реально работающими устройствами, полученными патентами, применением разработанных и отработанных в процессе диссертационной работы, методов исследования; использованием современного научного оборудования.

Результаты работы опубликованы в 21 статье зарубежных и отечественных научных журналов, рекомендованных ВАК РФ, и защищены патентом РФ на изобретение. Основные результаты неоднократно докладывались на ведущих международных и всероссийских конференциях. Все это является свидетельством высокой научной ценности результатов диссертационной работы.

Содержание автореферата могло бы быть улучшено путем расширения раздела содержащего описание применимости полученных результатов в приложениях и для фундаментальной науки . Указанное замечание не влияет на ценность данной работы, которая выполнена на высоком научном уровне. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация С.В. Фирстова является законченным научным исследованием, полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Габитов Ильдар Равильевич,  
Профессор Сколковского Института Науки и Технологий  
Профессор Аризонского Университета  
OSA Fellow



Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования “Сколковский институт науки и технологий”

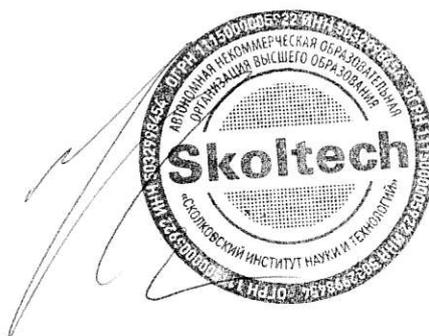
Адрес: 143025, Российская Федерация,  
Московская область, Одинцовский район,  
Новоивановское городское поселение,  
деревня Сколково,  
ул. Новая, д.100

Тел: +7(495)280-14-81

e-mail: [inbox@skoltech.ru](mailto:inbox@skoltech.ru)

Подпись И.Р. Габитова заверяю

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛА  
КАДРОВОГО АДМИНИСТРИРОВАНИЯ  
БУРДЕНКО Н.Г.



## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Фирстова Сергея Владимировича «Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика**

Поиск и разработка новых лазерных сред является одной из основных задач современной лазерной физики. Диссертация С.В. Фирстова посвящена созданию висмутовых волоконных световодов с уникальными характеристиками для реализации лазеров и оптических усилителей в ближнем ИК диапазоне. Висмутовые волоконные световоды – пример совершенно новой лазерной среды для спектральной области 1300–1800 нм, разработанной в течение последнего десятилетия. Поэтому разработка и изучение таких материалов является без сомнений актуальной задачей.

В диссертации С.В. Фирстова решено несколько важных проблем, а именно:

- 1) Поиск и получение световодов, содержащих висмут, для применения при разработке эффективных лазеров в ближней ИК области
- 2) Создание активных волоконных световодов для новых спектральных областей, которые были мало задействованы из-за низкой эффективности световодов с редкоземельными ионами
- 3) Предложен способ повышения количества висмутовых активных центров в высокогерманатных световодах, легированных висмутом, что имеет принципиально важное значение для практических целей.

Следует также отметить, что при проведении исследований были обнаружены и изучены новые оптические явления - фотопроектирование висмутовых световодов и их термически наведенное восстановление. В работе С.В. Фирстова получены оригинальные результаты мирового уровня. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку они получены с применением отработанных методов исследования и прошли апробацию на ведущих международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах, на изобретение получен патент РФ. Результаты диссертации С. В. Фирстова имеют большое научное (фундаментальное) и прикладное значение и вносят существенный вклад в решение одной из главных научных задач лазерной физики – поиск и разработка новых типов лазерных сред.

В качестве замечаний можно отметить, что в автореферате недостаточно полно обоснован принцип выбора условий температурной обработки для достижения максимального количества висмутовых активных центров.

Указанное замечание носит рекомендательный характер и не оказывает влияния на общую положительную оценку данной работы, которая выполнена на достаточно высоком научном уровне.

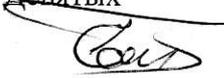
Считаю, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, которое по актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Зав. лабораторией высокочистых оптических материалов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых  
Российской академии наук (ИХВВ РАН), д.х.н.

Адрес: 603951, Нижний Новгород, ул. Тропинина, д. 49

тел: +7 (831) 462-77-50

e-mail: gavr@ihps.nnov.ru

  
Е.М. Гавришук

Подпись руки Е.М.Гаврилука заверяю  
ученый секретарь ИХВВ РАН





О.П.Лазукина

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Фирстова Сергея Владимировича  
«Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для  
эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона», представленной на  
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по  
специальности 01.04.21 – Лазерная физика

В диссертационной работе С.В. Фирстова решается актуальная научная проблема, касающаяся исследования новых лазерных материалов для разработки эффективных волоконных источников когерентного излучения для ближнего инфракрасного диапазона оптического спектра. Актуальность сформулированной проблемы обуславливается необходимостью поиска новых активных сред для создания лазеров с широкой востребованностью в различных областях науки и техники.

Целью диссертации С.В. Фирстова являлось проведение поискового исследования новых лазерных сред на основе волоконных световодов, легированных ионами висмута, и систематического комплексного изучения их оптических свойств, а также создание на их основе эффективных лазерных устройств.

В качестве основных результатов работы можно отметить следующее:

- 1) Разработан новый класс эффективных волоконных висмутовых лазеров, генерирующих излучение в областях длин волн 1330, 1460 нм, и с выходной непрерывной оптической мощностью более 10 Вт.
- 2) Обнаружено и впервые исследовано явление фотоиндуцированного обесцвечивания активных центров, возникающее при воздействии лазерного излучения в висмутовых волоконных световодах с высоким содержанием оксида германия, а также предложен физический механизм данного явления.
- 3) Разработан новый тип висмутовых волоконных световодов, обеспечивающих эффективное оптическое усиление в области 1700 нм. На основе предложенного активного световода разработан ряд волоконно-оптических устройств: новый класс эффективных непрерывных лазеров, суперлюминесцентный источник излучения, волоконно-оптический усилитель оптического сигнала.
- 4) Предложен способ повышения висмутовых лазерно-активных центров, а также увеличения эффективности усиления и генерации оптического излучения в германосиликатных световодах с высоким содержанием оксида германия.
- 5) На основе разработанного висмут-эрбиевого световода реализован волоконный усилитель оптического сигнала с спектральной полосой оптического усиления более 250 нм.

Полученные результаты исследований являются оригинальными и имеют научную и практическую значимость. Достоверность полученных результатов и выводов не вызывает сомнений и подтверждается тщательностью проработки методик исследования, полученным патентом, их обсуждением на ведущих международных конференциях и публикацией в престижных рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ.

В качестве замечаний по автореферату можно указать, что не приведено сравнительного анализа характеристик разработанных волоконно-оптических устройств с

соответствующими аналогами. Тем не менее, указанное замечание не влияет на общую положительную оценку данной работы, которая выполнена на высоком научно-техническом уровне. Данная работа вносит весомый вклад в области лазерной физики, в частности, связанное с созданием и изучением новых лазерных материалов. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа С.В. Фирстова «Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона» является логически завершенной работой, полностью удовлетворяющей требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

доктор технических наук, профессор,  
директор НОЦ «Фотоника и ИК-техника»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

В. Е. Карасик

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Адрес: 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5 стр. 1  
Тел: +7 (495) 263-6011  
e-mail: karassik@bmstu.ru

Подпись В.Е. Карасика удостоверяю



ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА  
ПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ  
КАРОВА О. В.  
8-499-263-60-48

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации *Фирстова Сергея Владимировича* «**Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона**», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

Диссертационная работа С.В. Фирстова посвящена разработке и подробному изучению оптических и генерационных свойств висмутовых волоконных световодов, которые в настоящее время используются для создания лазеров и оптических усилителей в различных областях ближнего ИК-диапазона. Висмутовые световоды являются примером новых лазерных сред, которые обладают уникальными спектрально-люминесцентными свойствами, зависящими в сильной степени от выбора химического состава стеклянной матрицы. Это определяет новизну и актуальность проведения исследований в данном направлении.

Следует отметить, что диссертация С.В. Фирстова вносит существенный вклад в разработку и изучение висмутовых волоконных световодов, используемых в качестве активных сред для оптических устройств генерации и усиления ИК излучения.

Наиболее важными результатами, которые следует выделить, являются следующие: 1) обнаружение и всестороннее исследование нового оптического явления фотообесцвечивания висмутовых активных центров, 2) разработка световодов для эффективных (>50%) висмутовых лазеров с высокой выходной мощностью (>20 Вт) и широкополосных усилителей (с полосой усиления более 250 нм). Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку они получены с применением современного оборудования и отработанных методов исследования.

Полученные результаты имеют большое научное и прикладное значение в бурно развивающихся областях лазерной физики, фотоники и волоконной оптики. Полученные результаты опубликованы в высокорейтинговых научных журналах, индексируемых в системах Web of Sciences, Scopus, и входящих в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Имеется патент РФ на изобретение. Также результаты неоднократно докладывались на ведущих международных конференциях.

В качестве замечаний по автореферату можно отметить следующее:

- 1) Автором не указано влияние скорости охлаждения световода на интенсивность процесса восстановления активных центров при температурной обработке.

- 2) При описании способа увеличения висмутовых активных центров путем термического отжига было бы уместным привести информацию об изменении ненасыщаемых потерь в висмутовых световодах.

Указанные замечания не оказывают влияния на общую положительную оценку данной работы, которая выполнена на достаточно высоком научном уровне. Диссертация С.В. Фирстова является законченным научным исследованием, направленным на решение важной научной проблемы. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертация С.В. Фирстова по своему объему, актуальности, научной новизне и практической значимости полностью удовлетворяет требованиям и критериям пп. 9-14 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.; ред. от 28.08.2017 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Антропова Татьяна Викторовна,  
заведующая лабораторией физической химии стекла ИХС РАН  
доктор химических наук (специальность 02.00.04 – физическая химия),  
доцент



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова  
Российской академии наук (ИХС РАН)  
Адрес: 199034, Санкт-Петербург наб. Макарова, д. 2  
Тел: +7(812)325-49-94  
e-mail: antr2@yandex.ru

10 октября 2018 г.

Подпись Антроповой Т. В.  
удостоверяю



 О.В. Круглова