

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 ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 29.10.2018 г., протокол № 191

О присуждении ФИРСТОВУ СЕРГЕЮ ВЛАДИМИРОВИЧУ,  
гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-  
математических наук.

Диссертация «Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона» по специальности по специальности 01.04.21 – Лазерная физика по физико-математическим наукам принята к защите «22» июня 2018 года, № протокола 185 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 Фирстов Сергей Владимирович 1984 года рождения. Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика по физико-математическим наукам «Лазеры на волоконных световодах, легированных висмутом, генерирующие в спектральном диапазоне 1300–1550 нм» защитил в 2009 г. в диссертационном совете Д 002.063.03, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, работает старшим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Научный центр волоконной оптики Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории волоконных лазеров и усилителей Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научный центр волоконной оптики Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

**Бабин Сергей Алексеевич**, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией волоконной оптики, директор Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Институт автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук.

**Попова Марина Николаевна**, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.05 – Оптика, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Фурье-спектроскопии отдела спектроскопии конденсированных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт спектроскопии Российской академии наук.

**Ильичев Николай Николаевич**, доктор физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, профессор, заведующий лабораторией нелинейной оптики примесных центров отдела взаимодействия когерентного излучения с веществом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования **Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова** в своем положительном заключении, подписанном Нанием Олегом Евгеньевичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем Физического факультета, Садовниковым Борисом Иосифовичем, доктором физико-математических наук, заведующим отделением экспериментальной и теоретической физики Физического факультета и Вохник Ольгой Михайловной, кандидатом физико-математических наук, ученым секретарем кафедры оптики, спектроскопии и физики наносистем Физического факультета и утвержденном Федяниным Андреем Анатольевичем, доктором физико-математических наук, профессором, проректором ФГБОУ ВО МГУ имени М. В. Ломоносова указала, что диссертационная работа Фирстова С.В. «Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК-диапазона» является законченным научным исследованием. Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности. Автореферат полно и правильно отражает основные результаты и выводы работы и соответствует содержанию диссертации. Диссертация полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Фирстов Сергей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Существенных недостатков в работе нет, отметим лишь следующие замечания, возникшие в ходе ознакомления с работой.

1. При описании генерационных свойств термически обработанных световодов было бы уместным провести сравнение с аналогичными свойствами исходного (необработанного) световода.

2. Для висмутовых волоконных лазеров использовались световоды с высоким содержанием оксида германия (>40 мол.%), что приводит к повышению вероятности возникновения нелинейных эффектов при лазерной генерации. Однако в работе данных о таких эффектах не приведено.

3. В работе приводится способ повышения количества висмутовых активных центров в световодах с высоким содержанием оксида германия. Однако остается непонятным, работает ли данный подход других типов волоконных световодов.

Отмеченные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку работы и не снижают ценность полученных результатов. Результаты, полученные в диссертации, представляют практический интерес в организациях, связанных с изучением лазерных сред и разработкой устройств на их основе.

Соискатель имеет 85 опубликованных работ, в том числе 43 работы по теме диссертации: 21 работа (общим объемом 119 страниц) опубликована в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ. Все работы, включенные в диссертацию, выполнены в соавторстве с коллегами, однако диссертант внес определяющий вклад, включая формулирование задач исследования и пути их решения.

Наиболее значимые научные публикации по теме диссертации:

1. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Melkumov M. A., Riumkin K. E., Shubin A. V., and Dianov E.M., Bismuth-doped optical fibers and fiber lasers for a spectral region of 1600–1800 nm // *Optics Letters*. – 2014. – Vol. 39. – Issue 24. –P. 6927–6930
2. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Riumkin K. E., Khagai A. M., Kharakhordin A. V., Melkumov M. A., Dianov E. M., Laser-Active Fibers Doped with Bismuth for a Wavelength Region of 1.6-1.8  $\mu\text{m}$  // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. – 2018. – vol. 20 – issue 5. – P. 0902415 [Available electronic version on <https://ieeexplore.ieee.org/document/8279401>] DOI: 10.1109/JSTQE.2018.2801461

3. **Firstov S.**, Alyshev S., Khopin V., Melkumov M., Guryanov A., Dianov E. Photobleaching effect in bismuth-doped germanosilicate fibers // *Optics Express*. –2015. – vol. 23. – Issue 15. – P. 19226–33
4. **Firstov S. V.**, Firstova E. G., Alyshev S. V., Khopin V. F., Riumkin K. E., Melkumov M. A., Guryanov A. N., Dianov E. M., Recovery of IR luminescence in photobleached bismuth-doped fibers by thermal annealing // *Laser Physics*. – 2016. – vol. 26. – P. 084007
5. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Firstova E. G., Melkumov M. A., Khegay A. M., Khopin V. F., Guryanov A. N., Dianov E. M., Dependence of the photobleaching on laser radiation wavelength in bismuth-doped germanosilicate fibers // *J. Luminescence*. – 2017. – vol. 182. – P. 87–90.
6. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Kharakhordin A. V., Riumkin K. E., and Dianov E. M., Laser-induced bleaching and thermo-stimulated recovery of luminescent centers in bismuth-doped optical fibers // *Optical Materials Express*. – 2017. – vol. 7. – P. 3422–3432
7. **Firstov S. V.**, Khopin V. F., Alyshev S. V., Firstova E. G., Riumkin K. E., Melkumov M. A., Khegai A. M., Kashaykin P. F., Guryanov A. N., and Dianov E. M., Effect of gamma-irradiation on the optical properties of bismuth-doped germanosilicate fibers // *Optical Materials Express*. – 2016. – vol. 6. – P. 3303–3308
8. **Фирстов С. В.**, Шубин А. В., Хопин В. Ф., Мелькумов М. А., Буфетов И. А., Медведков О. И., Гурьянов А. Н., Дианов Е. М., Лазер на германосиликатном волоконном световоде, легированном висмутом, с выходной мощностью 20 Вт на длине волны 1460 нм// *Квантовая электроника*. – 2011. – Т. 41. – № 7. – С. 581–583
9. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Riumkin K. E., Melkumov M. A., Medvedkov O. I., Dianov E. M., Watt-level, continuous-wave bismuth-doped all-fiber laser operating at 1.7  $\mu\text{m}$  // *Optics Letters*. – 2015. – vol. 40. – Issue 18. – P. 4360–4363
10. **Firstov S. V.**, Alyshev S. V., Riumkin K. E., Khopin V. F., Guryanov A. N., Melkumov M. A. & Dianov E. M., A 23-dB bismuth-doped optical fiber amplifier for a 1700-nm band // *Scientific Reports*. – 2016. – vol. 6. – P. 28939
11. **Firstov S.**, Kharakhordin A., Alyshev S., Riumkin K., Firstova E., Melkumov M., Khopin V., Guryanov A., Dianov E., Formation of Laser-Active Centers in Bismuth-Doped High-Germania Silica Fibers by Thermal Treatment// *Optics Express*. – 2018. – vol. 26. – Issue 10. – P. 12363–12371
12. **Firstov S. V.**, Riumkin K. E., Khegai A. M., Alyshev S. V., Melkumov M. A., Khopin V. F., Afanasiev F. V., Guryanov A. N. and Dianov E. M.,

На автореферат диссертации поступили 4 отзыва:

- 1) От Габитова Ильдара Равильевича, профессора Сколковского института науки и технологий, профессора Аризонского университета. Отзыв положительный. В качестве замечаний было указано, что содержание автореферата могло бы быть улучшено путем расширения раздела содержащего описание применимости полученных результатов в приложениях и для фундаментальной науки.
- 2) От Гаврищука Евгения Михайловича, доктора химических наук, заведующего лабораторией высокочистых оптических материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых Российской академии наук. Отзыв положительный. В качестве замечаний было указано, что недостаточно полно обоснован принцип выбора условий температурной обработки для достижения максимального количества висмутовых активных центров.
- 3) От Карасика Валерия Ефимовича, доктора технических наук, профессора, директора научно-образовательного центра «Фотоника и ИК-техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана». Отзыв положительный. В качестве замечаний было указано, что не приведено сравнительного анализа характеристик разработанных волоконно-оптических устройств с соответствующими аналогами.
- 4) От Антроповой Татьяны Викторовны, доктора химических наук, доцента, заведующей лабораторией физической химии стекла Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Трудового Красного Знамени Института химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук. Отзыв положительный. В качестве замечаний было указано, что:
  - а) автором не указано влияние скорости охлаждения световода на интенсивность процесса восстановления активных центров при температурной обработке;
  - б) при описании способа увеличения висмутовых активных центров путем термического отжига было бы уместным привести информацию об изменении ненасыщаемых потерь в висмутовых световодах.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью, большим опытом исследований и наличием публикаций в области лазерной физики и волоконной оптики.

Диссертационный совет отмечает, что:

на основании выполненных соискателем исследований впервые получены следующие научные результаты: разработаны волоконные световоды, легированные висмутом, для получения эффективной генерации и оптического усиления в диапазоне длин волн 1600–1800 нм; обнаружен и исследован процесс фотообесцвечивания активных центров, возникающий в висмутовых световодах при облучении УФ, видимом и ИК лазерном излучении; определены условия и закономерности восстановления фотообесцвеченных висмутовых активных центров; предложен способ увеличения количества активных центров с люминесценцией в области 1700 нм в висмутовых световодах; создан висмут-эрбиевый световод с полосой оптического усиления более 200 нм в диапазоне длин волн 1530–1775 нм.

*Теоретическая значимость исследования* обоснована тем, что установлена взаимосвязь основных параметров технологического процесса получения световодов с формированием висмутовых центров, люминесцирующих в области длин волн 1.7 мкм. Выявлены закономерности протекания процессов фотоиндуцированного обесцвечивания активных центров и их термически активированного восстановления в световодах с сердцевиной из кварцевого стекла с содержанием оксида германия выше 40 мол.%.

*Научная новизна диссертации* заключается в следующем.

Проведена разработка и систематическое комплексное исследование оптических свойств нового типа лазерных сред, а именно висмутовых световодов для эффективных волоконных лазеров, излучающих в области 1300–1800 нм. Проведен детальный анализ особенностей протекания процесса фотообесцвечивания висмутовых активных центров и их последующего восстановления при термообработке. Предложен и реализован способ увеличения количества активных центров в висмутовых германосиликатных световодах.

*Значение полученных соискателем результатов исследования для практики* подтверждается следующим. Созданы и изучены режимы работы ряда волоконно-оптических устройств на основе разработанных световодов, содержащих висмут: непрерывные волоконные лазеры для спектральных областей 1460 и 1700 нм с дифференциальной эффективностью 30–50%;

суперлюминесцентный источник ИК-излучения; широкополосный усилитель с оптическим усилением более 10 дБ в диапазоне длин волн 1530–1775 нм.

*Оценка достоверности результатов исследования* выявила, что: экспериментальные результаты были получены с применением отработанных методов исследования на современном научном оборудовании; имеется согласованность результатов, полученных различными методами и с данными численного расчета. Кроме того, достоверность результатов подтверждается созданием реально работающих устройств, патентом и публикациями в престижных рецензируемых научных журналах, а также обсуждением на российских и международных конференциях.

*Личный вклад соискателя* состоит в формулировании задач исследования и пути их решения, участии в разработке методов исследования, проведении экспериментов и обработке полученных результатов. Соискатель внес определяющий вклад в анализ, интерпретацию полученных данных, формулирование выводов, а также написании статей и апробацию результатов исследования. Указанные в диссертации результаты получены лично или под его научным руководством.

На заседании 29 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Фирстову С.В. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту «0» человек, проголосовали: за «16», против «нет» действительных бюллетеней «1».

Председатель диссертационного совета  
академик РАН



*[Signature]* И.А. Щербаков

Ученый секретарь диссертационного совета  
канд. физ.-мат. наук

*[Signature]* Т.Б. Воляк

30 октября 2018 г.