

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.223.02, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ЦЕНТРА «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ ИМ. А.М. ПРОХОРОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23.05.2022 № 247

О присуждении Харахордину Александру Васильевичу, гражданину РФ,
ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Фото- и термоиндуцированные процессы в световодах с сердцевиной из $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ стекла, легированного висмутом» по специальности 1.3.19. Лазерная физика принята к защите «21» марта 2022 г. (протокол заседания № 244) диссертационным советом 24.1.223.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук (119991 Москва, ул. Вавилова, 38, приказ о возобновлении деятельности совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д002.063.03 от 18.11.2020 г. № 683/нк).

Соискатель Харахордин Александр Васильевич 1991 года рождения. В 2014 г. соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет». В 2018 г. соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного учреждения науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской

академии наук по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории волоконных лазерах и усилителей в Научном центре волоконной оптики им. Е.М. Дианова РАН (НЦВО РАН, обособленное подразделение ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН)).

Диссертация выполнена в лаборатории волоконных лазеров и усилителей НЦВО РАН.

Научный руководитель – Фирстов Сергей Владимирович, доктор физико-математических наук, заместитель руководителя по научной работе НЦВО РАН.

Официальные оппоненты:

Бутов Олег Владиславович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук».

Дворецкий Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры РЛ-2 «Лазерные электронные системы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный

исследовательский университет ИТМО» в своем положительном заключении, подписанном Мешковским И.К., доктором технических наук, профессором, директором Научно-исследовательского центра световодной фотоники университета ИТМО указала, что диссертация является завершённым научным исследованием, вносящим заметный вклад в данный раздел современной лазерной физики. Содержание диссертационной работы соответствует указанной специальности. Автореферат полно и правильно отражает основные результаты и выводы работы и соответствует содержанию диссертации. Диссертация «Фото- и термоиндуцированные процессы в световодах с сердцевиной из $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ стекла, легированного висмутом» полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Харахордин Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 7 работ в рецензируемых научных изданиях.

Список наиболее значительных работ:

- 1) **Kharakhordin A.V.**, Alyshev S.V., Firstova E.G., Khagai A.M., Melkumov M.A., Khopin V.F., Lobanov A.S., Guryanov A.N., Firstov S.V. Analysis of thermally activated processes in bismuth-doped $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ glass fibers using the demarcation energy concept // *Optical Materials Express*. – 2019. – Vol. 9. – Issue 11. – P. 4239-4246
- 2) Alyshev S.V., **Kharakhordin A.V.**, Firstova E.G., Khagai A.M., Melkumov M.A., Khopin V.F., Lobanov A.S., Guryanov A.N., Firstov S.V. Photostability of laser-active centers in bismuth-doped $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ glass fibers under pumping at 1550 nm // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27. – Issue 22. – P. 31542-31552
- 3) Фирстов С.В., Фирстова Е.Г., **Харахордин А.В.**, Рюмкин К.Е., Алышев С.В., Мелькумов М.А., Дианов Е.М. Антистоксова люминесценция в

световодах с сердцевиной из высокогерманатного стекла, легированного висмутом // *Квантовая электроника*. – 2019. – Т. 49. – №3. – С. 237–240

4) Firstov S.V., Alyshev S.V., Khopin V. F., **Kharakhordin A.V.**, Lobanov A.S., Firstova E.G., Riumkin K.E., Khagai A.M., Melkumov M.A., Guryanov A. N., Dianov E. M. Effect of heat treatment parameters on the optical properties of bismuth-doped $\text{GeO}_2\text{:SiO}_2$ glass fibers // *Optical Materials Express*. – 2019. – Vol. 9. – Issue 5. – P. 2165-2174

5) Firstov S.V., Levchenko A.E., **Kharakhordin A.V.**, Khagai A.M., Alyshev S.V., Melkumov M.A., Khopin V.F., Lobanov A.S., Guryanov A.N. Effect of drawing conditions on optical properties of bismuth-doped high- $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ fibers // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2020. – Vol. 32. – Issue 15. – P. 913 - 916

6) **Kharakhordin A.V.**, Alyshev S.V., Firstova E.G., Lobanov A.S., Khopin V.F., Khagai A.M., Melkumov M.A., Guryanov A.N., Firstov S.V. Lasing properties of thermally treated $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ glass fibers doped with bismuth // *Applied Physics B*. – 2020. – Vol. 126. – P. 87

7) Alyshev S.V., **Kharakhordin A.V.**, Khagai A.M., Riumkin K.E., Firstova E.G., Melkumov M.A., Khopin V.F., Lobanov A.S., Guryanov A.N., Firstov S.V. Thermal stability of bismuth-doped high- GeO_2 fiber lasers // *Proc. SPIE 11357, Fiber Lasers and Glass Photonics: Materials through Applications II*. – 2020. – 113570P

На автореферат поступил 1 отзыв:

От Рябочкиной Полины Анатольевны, доктора физико-математических наук, профессора, и.о. заведующей кафедрой фотоники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». Отзыв положительный. В качестве замечаний было указано, что:

1) В автореферате неоднократно используется термин «высокогерманатные световоды», который можно классифицировать как

жаргон. Уместно использование термина «световоды с высоким содержанием оксида германия».

2) В автореферате отмечается, что в сетке стекла существуют структурные элементы, включающие ион висмута, – прекурсоры ВАЦ, которые в результате тепловой обработки могут быть преобразованы в ВАЦ. Далее автор работы, рассматривая процесс преобразования прекурсоров в ВАЦ химической реакцией первого порядка, и описывая зависимость скорости процесса от температуры уравнением Аррениуса, оценивает значения энергии активации и константы скорости реакции формирования ВАЦ. Полученные различные значения энергии активации автор работы объясняет различными физическими процессами прекурсоров ВАЦ. О каких физических процессах идет речь из изложения автореферата не ясно.

3) В автореферате отмечается, что при увеличении скорости вытяжки оптических висмутовых световодов увеличивается дифференциальная эффективность лазеров на их основе, однако объяснения данного факта в нем не приводится.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой степенью их компетентности в вопросах лазерной физики и волоконной оптики, что позволяет им критически оценить научную ценность и достоверность результатов, полученных в работе Харахордина А.В.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Исследованы термоиндуцированные процессы формирования висмутовых активных центров (ВАЦ) в световодах с сердцевиной из $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ стекла, легированного висмутом; определены значения энергии активации и константы скорости протекания физико-химических реакций изучаемых процессов; получены экспериментальные данные по влиянию скорости и

температуры вытяжки световода на процесс формирования ВАЦ и неактивных форм висмута.

Обнаружен и исследован эффект фотообесцвечивания ВАЦ с полосой люминесценции около 1700 нм, индуцированный воздействием лазерного излучения ближнего ИК-диапазона. Установлено, что скорость изучаемого процесса возрастает с повышением температуры активного световода. Предложена и разработана феноменологическая модель изучаемого процесса, включающая оптические и обратимые физико-химические реакции. Применение данной модели позволило провести оценку стабильности выходных параметров висмутовых лазеров в процессе их долговременной работы при различных температурах.

Теоретическая значимость исследования определяется разработкой модели индуцированного ИК-излучением процесса деградации люминесцентных и абсорбционных свойств висмутовых световодов при повышенных температурах. На основе данной модели было выполнено прогнозирование изменения эффективности висмутовых лазеров при их непрерывной работе в течение 5000 час. Кроме того, показана возможность применения концепции демаркационной энергии для анализа механизмов формирования ВАЦ. Полученные данные позволяют расширить объем фундаментальных знаний о свойствах и структуре ВАЦ.

Научная новизна диссертации заключается в следующем.

Проведено систематическое исследование фотодеструкции и термоиндуцированного формирования ВАЦ, результатом которого стало установление закономерностей протекания таких процессов в стеклообразных материалах. Определены фундаментальные параметры, характеризующие данные процессы. Предложена феноменологическая модель процесса фотообесцвечивания ВАЦ.

Получены экспериментальные данные об основных параметрах процесса вытяжки, оказывающих существенное влияние на оптические свойства висмутовых световодов. Определена степень влияния процесса фотообесцвечивания ВАЦ на выходные параметры висмутовых лазеров при их непрерывной работе.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается следующим.

Проведенные исследования термоиндуцированного формирования ВАЦ и оптимизации параметров вытяжки позволили разработать световоды с увеличенным содержанием ВАЦ, имеющих полосу усиления в области длин волн 1600–1800 нм, а также световоды с улучшенным отношением поглощения ВАЦ к оптическим (ненасыщаемым) потерям, применение которых в качестве активных сред для лазеров позволило повысить эффективность с 17 до 34%.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что: результаты численного расчета построенной модели согласуются с имеющимися экспериментальными данными; в работе использовались известные, отработанные методы измерения, наблюдалась высокая повторяемость получаемых результатов. Более того, достоверность результатов подтверждается наличием реально работающих устройств: волоконных лазеров и усилителей.

Личный вклад соискателя состоит в проведении измерений, анализе и интерпретации экспериментальных данных, в написании научных публикаций по полученным результатам исследований и представления их на научных конференциях.

Харахордин Александр Васильевич ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

