

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Фирстова Сергея Владимировича
«АКТИВНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ВИСМУТОМ, ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ
ЛАЗЕРОВ БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА», представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук (специальность 01.04.21 – лазерная физика)

Известно, что волоконные лазеры, в которых рабочей средой служат световоды из кварцевого стекла, легированного ионами редкоземельных металлов (Nd, Yb, Er, Tm, Ho), являются эффективными и стабильными источниками излучения, работающими в дискретных спектральных областях ближнего ИК диапазона (0,9-2,1 мкм), но при этом области 1.15–1.5 мкм и 1.6–1.8 мкм остаются незаполненными. Поэтому актуальной является задача создания новых волоконных источников в данных областях.

Диссертационная работа С. В. Фирстова посвящена исследованию новых лазерных сред на основе волоконных световодов, легированных висмутом. В работе проведено комплексное изучение их оптических свойств и на этой основе созданы эффективные устройства для генерации и усиления оптического излучения в новых спектральных диапазонах. Изложенные в диссертации результаты подводят итог многолетней работы автора.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цели и задачи диссертации, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы, приведены защищаемые положения, сведения об апробации работы и публикациях автора, излагается структура диссертации.

В главе 1 (обзорной) рассмотрены основные оптические и генерационные характеристики волоконных световодов, легированных ионами редкоземельных элементов. Также приводится подробное описание спектрально-люминесцентных свойств и способов получения световодов, легированных висмутом. Показано, что висмутовые световоды можно использовать в качестве активных сред для волоконных лазеров и усилителей в спектральной области 1150–1550 нм, но их эффективность ограничена уровнем 25%. Из анализа опубликованных результатов сформулированы основные проблемы и направления исследований в области изучения и разработки висмутовых волоконных световодов и эффективных устройств на их основе.

В главе 2 приводится описание параметров экспериментальных образцов, технологии их изготовления, основных методов исследования спектрально-люминесцентных свойств висмутовых световодов различного химического состава, в т.ч. из чисто кварцевого, алюмо-, фосфо- и германосиликатного стекла. В результате проведенного исследования были определены основные полосы поглощения и

люминесценции, относящиеся к висмутовым активным центрам в разных стеклах. Далее основное внимание было уделено изучению оптических свойств висмутовых германосиликатных световодов с различным содержанием оксида германия (от 5 до 95 мол.%) как потенциальных активных сред для спектральной области 1600–1800 нм. Было установлено, что при >30 мол.% появляются новые полосы поглощения, максимумы которых расположены на длинах волн 1650, 925 и 460 нм, при этом наблюдается ИК люминесценция с максимумом около 1700 нм. Исследование оптического усиления в области 1700 нм и ненасыщаемого поглощения от концентрации висмута показало, что существует оптимальная концентрация, которая составляет величину ~0.01 вес.%, зависящую от условий изготовления, в частности, температуры спекания пористых стеклообразных слоев в процессе изготовления заготовки.

В главе 3 описываются новые явления, в частности, фотообесцвечивание и термоиндуцированное восстановление висмутовых активных центров (ВАЦ), обнаруженные автором. Показано, что скорость обесцвечивания ВАЦ-Ge существенно снижется при уменьшении энергии кванта излучения. При использовании лазерного излучения с длиной волны, превышающей 1000 нм, эффект обесцвечивания не был обнаружен. Из этого следует, что ВАЦ-Ge являются устойчивыми к собственному (генерируемому) лазерному излучению и излучению накачки. При этом ВАЦ-Ge и ВАЦ-Si являются наиболее чувствительными к лазерному излучению на 532 нм и почти полностью обесцвечиваются, а ВАЦ-P и ВАЦ-Al обесцвечиваются слабо. Далее рассматривается возможность восстановления спектрально-люминесцентных свойств облученных световодов с висмутом при термообработке (причём до уровня большего, чем начальный) и повторного фотообесцвечивания ВАЦ в световодах (по циклу).

Глава 4 посвящена разработке эффективных волоконных лазеров, усилителей, и суперлюминесцентного источника на основе висмутовых световодов с разными матрицами, работающих в различных областях ближнего ИК диапазона: 1280-1360 нм, 1400–1500 нм, 1600-1800 нм.

Глава 5 посвящена рассмотрению основных характеристик разработанной комбинированной активной среды на основе волоконного световода, солегированного висмутом и эрбием, что позволяет увеличить полосу усиления до >200 нм.

В заключении сформулированы основные результаты, из которых я отметил бы следующие:

1. Обнаружено и исследовано явление фотопроектирования, возникающее в световодах с сердцевиной из германосиликатного стекла, легированного висмутом, при облучении лазерным излучением УФ, видимого и ИК диапазона. Показано, что процесс

фотопроекции обусловлен фотообесцвечиванием висмутовых активных центров. Предложен механизм данного явления, заключающийся в модификации локальной структуры активного центра в результате фотоионизации кислород-дефицитного дефекта.

2. Обнаружен процесс восстановления активных центров, который инициируется при нагреве облученных световодов при температуре выше 200 °С. Проведены детальные исследования процесса восстановления, определены оптимальные условия нагрева для полного восстановления фотообесцвеченных висмутовых активных центров с возможностью периодического «стирания» и «наведения» активных центров.

3. На основе световода с сердцевиной из германосиликатного стекла (с содержанием 5 мол.% GeO_2), легированного висмутом, создан непрерывный волоконный лазер, генерирующий ИК излучение на длине волны 1460 нм (на лазерном переходе висмутового центра, ассоциированного с кремнием), с рекордными параметрами при комнатной температуре: выходная мощность более 20 Вт, дифференциальная эффективность > 50%.

4. На основании комплексного исследования оптических и генерационных свойств легированных висмутом волоконных световодов с сердцевиной из стекла, содержащего более 40 мол.% оксида германия, показано, что такие световоды обладают оптическим усилением в диапазоне длин волн от 1600 до 1800 нм и могут использоваться в качестве активной среды для лазеров и оптических усилителей в указанном спектральном диапазоне. В частности, получена лазерная генерация на 1625, 1688, 1703, 1735 и 1775 нм с максимальной эффективностью более 30% и выходной мощностью более 2 Вт.

5. Разработан висмутовый волоконный усилитель, накачиваемый излучением лазерных диодов с длиной волны 1550 нм и мощностью 300 мВт, с коэффициентом усиления на длине волны 1710 нм – 23 дБ, шириной полосы усиления по уровню 3 дБ – 40 нм при уровне шум-фактора – 7 дБ.

6. Разработан висмут-эрбиевый световод, на основе которого реализован широкополосный волоконно-оптический усилитель, обладающий коэффициентом усиления не менее 10 дБ и шум-фактором 7–10 дБ в области длин волн от 1515 до 1775 нм (ширина полосы более 250 нм), при накачке лазерным диодом с длиной волны 1460 нм и выходной мощностью 350 мВт.

Нет сомнений в том, что большинство экспериментальных результатов диссертационной работы носит приоритетный характер и имеют высокую надежность и точность полученных данных. В работе продемонстрирован высокий уровень эксперимента с использованием современных методов и технических средств лазерной физики и спектроскопии, в разработке которых автор принимал непосредственное участие. Научную новизну и значимость также подтверждает публикация основных

результатов работы в ведущих российских и зарубежных журналах, и многочисленные доклады на международных конференциях.

В качестве замечаний следует отметить:

- 1) Обзорная глава 1 выглядит слишком большой по объему с приведением сведений из учебников, таких как общие свойства волоконных световодов и подробности о волоконных световодах, легированных ионами редкоземельных элементов, которые можно было бы опустить.
- 2) Количество точек, приведенных на рис. 2.31 (стр.115 диссертации) не позволяет утверждать, что оптимальное значение концентрации висмута составляет 0,01 вес. % (исходя из данных рисунка, оно лежит в интервале 0,005-0,015 вес. %)
- 3) Было бы полезным более детально сравнить разработанные висмутовые волоконные лазеры в диапазонах 1280-1360 нм, 1400-1500 нм, 1600-1800 нм с альтернативными волоконными источниками, в частности, ВКР-лазерами.

Отметим, что указанные недостатки не носят принципиального характера и не снижают ценности полученных автором результатов, имеющих высокую научную новизну и практическую значимость.

Автореферат диссертации С. В. Фирстова точно отражает содержание и выводы работы, а сама диссертация отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, представленным на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. По совокупности, качеству представленных результатов и уровню квалификации С. В. Фирстова считаю его безусловно заслуживающим присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Директор ИАиЭ СО РАН,
заведующий лабораторией волоконной оптики,
чл.-корр. РАН

С. А. Бабин

Подпись С. А. Бабина заверяю

И.о. ученого секретаря Института, к.ф.м.н. *

Е. И. Донцова



С отзывом ознакомлен
12.10.2018 г. *Ф.И.О.*