

Отзыв официального оппонента о диссертации Сергея Владимировича Фирстова "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 настоящее время широкое распространение получили волоконные лазеры, в которых активной средой служит кварцевые световоды, легированные трехвалентными ионами редкоземельных элементов: Nd, Yb, Er, Tm и Ho. Длины волн генерации таких лазеров находятся в диапазоне 900 – 2100 нм и сосредоточены в отдельных областях указанного спектрального диапазона. В определенной части спектрального диапазона, а именно, 1150-1500 нм и 1600-1800 нм, эффективных волоконных лазеров и усилителей с активными элементами на основе световодов нет. Потребность в волоконных лазерах, излучающих в этом диапазоне, и усилителях диктуется требованиями практики. Световоды, легированные эрбием, имеют полосу усиления в области длин волн 1530 – 1625 нм и широко используются в волоконных линиях связи для передачи информации. В настоящее время объем информации, передаваемой по линиям связи, постоянно растет, а скорость передаваемой по традиционным волоконным линиям связи информации близка к своему пределу. Расширение спектрального диапазона волоконных лазеров будет способствовать решению задачи увеличения скорости и объема информации, передаваемой по волоконным линиям связи.

Диссертационная работа Сергея Владимировича Фирстова посвящена поиску и исследованию новых лазерных сред для волоконных лазеров и усилителей, работающих в ближнем ИК-диапазоне. В качестве активного лазерного материала в диссертации рассмотрены световоды, легированные висмутом, а также висмутом и эрбием одновременно. Тема диссертации, несомненно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации составляет 252 страницы, включая 132 рисунка, 13 таблиц и библиографию из 226 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, указана научная новизна, представлены ключевые положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы и публикациях автора.

В главе 1 представлен обзор литературы по существующим в настоящее время активным световодам на основе кварцевого стекла, которые используются для создания волоконных лазеров с длиной волны излучения в ближнем ИК-диапазоне. Приведены основные оптические характеристики волоконных световодов, легированных ионами редкоземельных элементов, а также лазеров на их основе.

В этой главе также приведены опубликованные в литературе спектрально-люминесцентные характеристики световодов, легированных висмутом. Дан подробный обзор свойств этих световодов, а также описаны способы их изготовления. Показано, что волоконные световоды, легированные висмутом, могут использоваться как активные среды для создания волоконных лазеров и усилителей в спектральном диапазоне 1150 – 1550 нм.

На основе анализа опубликованных в литературе данных сделан вывод о необходимости систематического комплексного исследования оптических свойств кварцевых волоконных световодов, легированных висмутом.

Как одно из возможных направлений совершенствования характеристик висмутовых волокон рассмотрены результаты исследования волокон, легированных одновременно и висмутом и эрбием.

В главе 2 приведено подробное описание параметров экспериментальных образцов световодов, легированных висмутом. Приведены детали технологии их изготовления. Подробно описаны методы исследования спектрально-люминесцентных характеристик висмутовых световодов разного химического состава сердцевины волокна.

Отдельный раздел этой главы посвящен классификации висмутовых центров в световодах с различным легированием сердцевины. В частности рассмотрены световоды с сердцевиной $\text{Bi}:\text{SiO}_2$, $\text{Bi}:(\text{SiO}_2\text{-GeO}_2)$ и $\text{Bi}:(\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{P}_2\text{O}_5)$.

На основе результатов исследования были определены основные полосы поглощения и люминесценции висмутовых центров, ассоциированных с кремнием/германием/фосфором.

Приведены результаты исследования германо-силикатных висмутовых световодов с различным содержанием оксида германия. Было обнаружено, что введение оксида германия в сердцевину волновода в количестве менее 10 мол. % оказывает слабое влияние на формирование висмутовых активных центров с полосой усиления в области 1400 нм.

Установлено, что введение оксида германия в количествах более 30 мол. % приводит к появлению новых полос поглощения, максимумы которых расположены на длинах волн 460, 925 и 1650 нм.

На основе проведенных исследований разработаны и исследованы активные световоды, легированные висмутом, с высоким (более 40 мол. %) содержанием оксида германия и с полосой усиления в области длин волн 1600 – 1800 нм.

Исследована величина ненасыщаемого поглощения в висмутовых световодах и эффективность оптического усиления (дБ/мВт) на длинах волн вблизи 1700 нм в зависимости от концентрации висмута. Обнаружено, что зависимость эффективности оптического усиления от концентрации висмута имеет максимум. Этот результат позволяет выбирать оптимальную концентрацию висмута в световоде.

Проведены исследования, направленные на оптимизацию технологии изготовления волоконных световодов с целью повышения их эффективности. В частности выявлено, что на эффективность световодов оказывает влияние температура спекания пористых стеклообразных слоев, содержащих висмут. Показано, что с ростом температуры спекания от 1800 до 1900 °С происходит улучшение усилительных свойств световодов.

В главе 3 рассмотрены процессы фотообесцвечивания или фотопотемнения висмутовых световодов под действием лазерного или ионизирующего излучения. Приведены результаты большого количества экспериментов, касающиеся регистрации результатов процессов фотопреобразования висмутовых активных центров.

В висмутовых световодах с сердцевиной из $50\text{GeO}_2\text{-}50\text{SiO}_2$ стекла обнаружены явления фотопросветления и фотопотемнения, которые происходят под действием лазерного излучения с длиной волны, лежащей в УФ, видимой и ИК-области спектра. Исследованы динамические и спектральные особенности процессов фотопреобразования в световодах. Показано, что явление фотопросветления связано с фотообесцвечиванием висмутовых активных центров.

Исследование фотообесцвечивания висмутовых центров под действием излучения с длиной волны 532 нм показало, что процесс распада висмутовых центров происходит при участии двух квантов излучения.

Предложен механизм фотообесцвечивания, который заключается в фотоионизации кислородно-дефицитного центра, участвующего в образовании висмутового активного центра.

Показано, что активные центры в алюмосиликатных световодах с висмутом устойчивы к лазерному излучению. В то же время в фосфоро-/германосиликатных и высокогерманатных световодах под действием лазерного излучения происходит фотообесцвечивание висмутовых активных центров.

Обнаружено, что при нагреве облученных световодов происходит процесс восстановления активных центров. Определены оптимальные условия для полного

восстановления висмутовых активных центров. Найдено, что оптимальная температура нагрева лежит в диапазоне 400 – 600 °С.

Для повышения концентрации висмутовых активных центров с полосой усиления в области 1600 – 1800 нм с около 50 мол. % содержанием оксида германия предложено нагревать световоды до температуры 550 – 600 °С с последующим охлаждением. Эта технология позволила увеличить концентрацию висмутовых центров почти в 2 раза по отношению к их исходному количеству.

Показана возможность "записи" и "стирания" активных центров в висмутовых световодах.

Приведены результаты исследования влияния ионизирующего излучения на оптические характеристики висмутовых световодов. В частности показано, что даже малая концентрация висмута делает световод чувствительным к радиации, приводя к повышению скорости наведения потерь в световодах при облучении.

Обнаружено возникновение новой полосы поглощения в висмутовых световодах с высоким содержанием оксида германия, максимум которой находится вблизи 1200 нм. Эта полоса появляется как при воздействии гамма-излучения, так и под действием излучения с длиной волны 532 нм. Проведено исследование температурных и временных зависимостей наведения и релаксации этой полосы поглощения. Найдена энергия активации дефектных центров, ответственных за эту полосу, а также порядок кинетики, характеризующих природу протекающих в стекле процессов.

В главе 4 приведены характеристики волоконных лазеров, усилителей, а также суперлюминесцентного источника, которые были созданы на основе разработанных висмутовых световодов.

Созданы непрерывные волоконные лазеры на основе висмутовых волокон, с длиной волны излучения 1330 и 1460 нм, с выходной мощностью 10 Вт (КПД 40 %) и 22 Вт (КПД 60 %), соответственно.

Продемонстрирована генерация на длинах волн 1625, 1688, 1703, 1735 и 1775 нм на висмутовых световодах с высоким содержанием оксида германия.

Получена выходная мощность генерации 2 Вт на длине волны 1700 нм с эффективностью 30 % при использовании висмутового световода.

На основе висмутового световода создан суперлюминесцентный источник ИК-излучения с длиной волны 1730 нм, шириной спектра 50 нм, мощностью излучения 7 мВт при мощности накачки 650 мВт.

На основе висмутового световода разработан волоконно-оптический усилитель, который обладает усилением 23 дБ на длине волны 1710 нм при ширине полосы усиления

40 дБ по уровню 3 дБ, при накачке излучением лазерных диодов с длиной волны 1550 нм и мощностью 300 мВт.

В главе 5 приведены результаты исследования световодов легированных одновременно и эрбием и висмутом. Целью этой работы являлось получение активной среды с полосой усиления более широкой, чем полоса усиления эрбиевого волоконного усилителя. Проведены исследования характеристик созданных усилителей в зависимости от концентрации висмутовых активных центров и эрбия.

Показано экспериментально, что оптимальным является применение кварцевых световодов с высоким содержанием оксида германия, которые обладают широкой полосой люминесценции в области длин волн 1200 – 1700 нм.

При оптимальном соотношении эрбия и висмута была получена полоса оптического усиления более 250 нм в области длин волн 1500 – 1800 нм.

На основе световода, легированного эрбием и висмутом, разработан усилитель с коэффициентом усиления не менее 15 дБ в области длин волн от 1515 до 1775 нм с шириной полосы усиления более 250 нм.

Среди результатов диссертации необходимо выделить те, которые касаются создания усилителей в области длин волн 1515-1775 нм, которые могут найти применение на практике.

Необходимо отметить отдельно системный характер подхода к исследованиям, когда последовательное решение поставленной задачи создания новой активной среды выполняется одновременно с решением технологических проблем, и сопровождается комплексным изучением характеристик получившегося материала, что обеспечивает создание световода с оптимальными характеристиками. Объем выполненной работы велик. Постановка задач, подходы к их решению и результаты описаны в диссертации подробно и ясно.

Диссертация написана хорошим и грамотным языком и легко читается.

Содержание диссертации правильно отражено в автореферате.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Результаты диссертации опубликованы в 43 работах, из них 21 статья в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, получен 1 патент, 20 работ опубликовано в трудах Всероссийских и Международных конференций. Результаты диссертационной работы докладывались на Всероссийских и Международных конференциях, а также на семинарах и хорошо известны специалистам.

Диссертация Сергея Владимировича Фирстова представляет собой систематическое законченное научное исследование в области лазерной физики.

Совокупность результатов и положений, содержащихся в диссертации, позволяют квалифицировать ее как значительное достижение в области лазерной физики и волоконной оптики.

Основные результаты диссертации представляют большой интерес для фундаментальной науки. Результаты работы имеют также и практическую значимость, создавая элементную базу для возможного расширения диапазона используемых длин волн волоконных линий связи.

Как определенный недостаток воспринимается феноменологический подход к представлению экспериментальных данных, касающихся описания висмутовых активных центров.

Приведенное выше замечание не умаляет научной значимости диссертации.

Диссертационная работа Сергея Владимировича Фирстова "Активные волоконные световоды, легированные висмутом, для эффективных лазеров ближнего ИК диапазона", отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемым ВАК Российской Федерации к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук. Автор диссертации, Сергей Владимирович Фирстов, несомненно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.21 - лазерная физика.

Заведующий лабораторией ИОФ РАН,
доктор физико-математических наук

Н.Н.Ильичев

Подпись Н.Н.Ильичева заверяю

И.О. ученого секретаря ИОФ РАН,
доктор физико-математических наук

С.Н.Андреев



Ильичев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией отдела ВКИВ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт общей физики им. А.М.Прохорова Российской академии наук.

108840 г. Москва, г. Троицк, Октябрьский проспект, д. 10, кв. 124.

Тел.: 499-135-0327, ilichev@kapella.gpi.ru

С отзывом
04.10.2018г
ознакомлен
ФМ