

ОТЗЫВ

официального оппонента, Бутова Олега Владиславовича, доктора физико-математических наук на диссертационную работу Харахордина Александра Васильевича «Фото- и термоиндуцированные процессы в световодах с сердцевиной из GeO_2 – SiO_2 стекла, легированного висмутом», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Диссертация А.В. Харахордина посвящена исследованию процессов воздействия лазерного излучения и тепловой обработки на оптические свойства световодов с сердцевиной из германосиликатного (~50 мол.% GeO_2 – 50 мол.% SiO_2) стекла, легированного висмутом. Висмутовые световоды стали объектом пристального внимания со стороны научного сообщества и разработчиков волоконно-оптических систем еще в 2005 году, что обусловлено их уникальными спектрально-люминесцентными свойствами. В процессе изучения их свойств были обнаружены новые интересные явления, природа которых до сих пор оставалась не достаточно изученной. Именно это стало мотивацией для проведения исследований, выполненных в данной диссертационной работе, актуальность которых не вызывает сомнений.

В рамках диссертационной работы было проведено систематическое исследование свойств висмутовых световодов с сердцевиной из $\text{Bi}:\text{GeO}_2$ – SiO_2 стекла, результатами которого стало получение нового объема важных экспериментальных данных позволяющих приблизиться к пониманию фундаментальных механизмов физико-химических процессов, инициированных лазерным и/или тепловым воздействием в таких световодах. Особо следует отметить подробное изучение процесса термически индуцированного формирования висмутовых активных центров (ВАЦ), где, в частности, использовалась концепция демаркационной энергии. Это позволило определить характерные параметры процесса (энергия активации, ее распределение, скорость процесса и др.) и предложить возможный механизм. Помимо фундаментальных знаний о свойствах ВАЦ, в данной работе получены результаты прикладного характера, указывающие на

возможности масштабирования выходных параметров висмутовых лазеров. Впервые экспериментально установлено, что процесс вытяжки висмутовых световодов может оказывать существенное влияние на их оптические характеристики. В частности, показано, что при увеличении скорости вытяжки с 10 м/мин до 40 - 100 м/мин происходят необратимые процессы, приводящие к заметному снижению ненасыщаемых потерь в висмутовых световодах, что позволяет добиться увеличения КПД лазеров и усилителей на основе таких световодов. Одним из любопытных результатов, имеющего, без сомнений, научную и прикладную ценность, стало наблюдение явления деградации ВАЦ при совместном воздействии лазерной и тепловой обработки и его последующее изучение. Была построена феноменологическая модель данного процесса, которая была применена для оценки долговременной работы висмутовых лазеров.

Диссертационная работа А.В. Харахордина представляет собой хорошо структурированное исследование. Автором последовательно и подробно изучены эффекты, связанные с трансформацией ВАЦ в световодах на основе германосиликатного стекла под действием внешних факторов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении определены цели и задачи работы, обоснована актуальность, научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит обзор и анализ ранее опубликованных результатов по теме диссертации. Приведен краткий список (в хронологической последовательности) важнейших научных результатов в области разработки висмутовых волоконных световодов и устройств на их основе. Представлены основные достижения, полученные для висмутовых лазеров, работающих в различных спектральных областях. Также приводится основная информация по существующим моделям висмутовых активных центров. Помимо этого, представлены основные результаты, полученные на момент начала диссертационной работы для фото- и термоиндуцированных явлений, обнаруженных в висмутовых волоконных световодах.

Во второй главе кратко описаны методы изготовления волоконных световодов, в частности, метод MCVD, процесс вытяжки световодов, а также основные методики исследования абсорбционных, люминесцентных и усилительных свойств висмутовых световодов, используемые в данной работе.

В третьей главе представлены экспериментальные результаты, полученные при изучении фотоиндуцированных процессов. Основное внимание было уделено взаимосвязи антистоксовой люминесценции с ВАЦ и процессом их фотодеградаций. Получены температурные зависимости интенсивности стоксовой и антистоксовой люминесценции. Сделаны предположения о возможном механизме температурного тушения антистоксовой люминесценции. Установлено, что при облучении лазерным излучением видимого диапазона наблюдается необратимое тушение как стоксовой, так и антистоксовой полос люминесценции, вызванное деградацией ВАЦ.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния процессов, возникающих в висмутовых световодах под действием тепловой обработки, на их оптические свойства. Представлены результаты экспериментов влияния параметров отжига (температура, длительность, скорость нагрева и охлаждения) на абсорбционные, люминесцентные и лазерные свойства висмутовых световодов. Особое внимание было уделено изучению влияния параметров вытяжки на свойства световодов. Показано, что наряду с незначительным снижением активного поглощения ВАЦ наблюдается существенное снижение ненасыщаемых потерь, что позволяет оптимизировать процесс вытяжки и, как следствие, получить лазеры с повышенной эффективностью генерации.

В пятой главе представлены результаты исследования нового явления, заключающегося в перманентном разрушении ВАЦ при совместном действии ИК излучения и тепловой обработки. Предложена модель, описывающая динамические зависимости процесса. На основе данной модели сделан теоретический прогноз долговременной стабильности работы висмутовых лазеров при различных температурах. Показано, что

исследуемые световоды и устройства на их основе остаются стабильными на промежутке времени более 5000 часов при нагреве не более 100 °С.

В заключительной части диссертации изложены основные результаты работы.

В качестве недостатков работы можно отметить следующие:

1. В диссертационной работе основное внимание сосредоточено на изучении фотоиндуцированных процессов преимущественно в одном типе висмутовых световодов с сердцевиной из германосиликатного стекла с 50 мол.% GeO_2 . Автору следовало бы уделить больше внимание анализу образцов световодов с различной концентрацией как висмута, так и оксида германия.
2. На рисунке 3.3 приведена динамика интенсивности люминесценции ВАЦ, ассоциированных с германием при облучении образца на длине волны 407 нм. Утверждается о наличии двух характерных временах распада люминесценции – 4 и 200 мкс. Однако, автором не приводятся убедительные данные, позволяющие однозначно интерпретировать представленные данные как физическую реальность, а не «аппаратный» эффект, связанный, возможно, с присутствием остаточного излучения накачки или временем срабатывания фотоприемной аппаратуры.
3. В четвертой главе автором показано, что существует некая оптимальная температура отжига образцов, при которой удастся достичь максимума интенсивности люминесценции. При дальнейшем повышении температуры люминесцентные свойства световода заметно снижаются. Механизм такого эффекта остается нераскрытым. Кроме того, при построении модели на основе концепции демаркационной энергии не учитывает наблюдаемый эффект при повышенных температурах.
4. В пятой главе проведено теоретическое моделирование поведения лазеров на основе световодов, легированных висмутом. При этом данное моделирование не учитывает реального роста ненасыщаемых

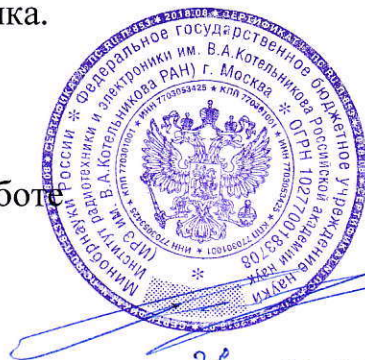
потерь. Кроме того, интересно было экспериментально подтвердить полученные теоретические расчеты.

Следует отметить, что указанные выше недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертация А.В. Харахордина выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научное исследование, соответствующее специальности 1.3.19 – Лазерная физика. Результаты диссертации представляют значительную научную и практическую ценность. Результаты полученные в ходе выполнения исследования апробированы на ведущих научных отечественных и зарубежных конференциях и опубликованы в высокорейтинговых журналах, в том числе, входящих в первую четверть базы данных научного цитирования Web of Science. Автореферат корректно и в полной мере отражает содержание и полученные результаты диссертации.

Считаю, что диссертационная работа А.В. Харахордина удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент
заместитель директора по научной работе
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
доктор физико-математических наук,



О. В. Бутов

«26» апреля 2022 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова Российской академии наук» 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.,
тел.: +7 (495) 629 3447,
e-mail: obutov@cplire.ru