

ОТЗЫВ

Официального оппонента, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории «волоконных световодов и элементов на их основе» Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук Попова Сергея Михайловича, на диссертацию Пластинина Евгения Александровича **«Волоконные световоды с сердцевинной на основе консолидированного нанопористого стекла, легированного висмутом, церием или диспрозием»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.19. – Лазерная физика.

Актуальность темы. Диссертация Пластинина Е.А. посвящена разработке метода получения новых активных материалов на основе консолидированных легированных нанопористых стёкол для волоконной оптики.

Пожалуй, самыми распространёнными методами изготовления преформ волоконных световодов являются газофазные методы (MCVD, VAD, OVD). Однако они имеют свои пределы применения. Например, при введении высокой концентрации допантов возможно проявление кластеризационных эффектов. В тоже время, для получения эффективных и мощных волоконных источников лазерного излучения необходима высокая концентрация активирующих допантов. Таким образом, возникает необходимость привлечения и разработки новых методов изготовления преформ.

Легирование нанопористых стёкол стало одним из таких предложенных подходов. Тонкая (от 1 до 100 нм) структура каналов может позволить вводить большие концентрации активирующих допантов без проявления кластеризационных эффектов. Кроме того, данный подход позволяет точнее варьировать параметры консолидации стекла (температуру и атмосферу), что имеет влияние на ионное состояние допанта в стекле, а значит и на свойства стекла.

Несмотря на имевшиеся достижения в области легирования нанопористых стёкол для изготовления сердцевин волоконных световодов, к моменту начала работы оставалось актуальным проведение исследований как по поиску составов нанопористых стёкол, пригодных для вытяжки волоконных световодов, так и по определению параметров легирования нанопористых стёкол редкоземельными элементами и висмутом. Кроме того, необходимо было исследование способов оптимизации состава легированных нанопористых стёкол для увеличения эффективности волоконных световодов на их основе.

Содержание работы. Диссертация Пластинина Е.А. посвящена созданию кварцевого стекла, легированного висмутом, церием или диспрозием на основе нанопористых структур. Диссертация состоит из 6 глав общим объёмом 148 стр. Текст диссертации подкреплён 134 литературными ссылками.

Во **введении** описаны цели и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведена методология и методы исследования, а также обозначены выносимые на защиту положения.

Первая глава диссертации посвящена обзору современного состояния исследований нанопористых стёкол, а также их легирования висмутом, церием и диспрозием.

Вторая глава диссертации посвящена описанию экспериментальных образцов и методов их исследования (атомно-эмиссионная спектроскопия, энергодисперсионный микроанализ, сканирующая электронная спектроскопия, рентгенофазовый анализ, спектрально-люминесцентный анализ).

Третья глава диссертации посвящена исследованию состава и структуры нанопористых стёкол. В ней приведено сравнение стёкол «Corning», «Wuhan» и «РХТУ». Автором показано, что стёкла «Corning» и «Wuhan» подходят для дальнейшего изготовления световодов на их основе, в то время, как стёкла «РХТУ» не обладают необходимой физико-химической устойчивостью при нагреве до 2000°C.

Четвёртая глава диссертации посвящена исследованию нанопористых стёкол, легированных висмутом. Описан процесс пропитывания нитратом висмута и консолидации нанопористых стёкол. Он позволяет вводить до 0.85 ат.% висмута без признаков кластеризации висмута. Спектрально-люминесцентные свойства таких стёкол аналогичны свойствам стёкол с висмутом, изготовленным с помощью MCVD-технологии. Впервые изготовлены волоконные световоды с сердцевинной на основе нанопористого стекла, легированного висмутом. Рассмотрено влияния солегирования нанопористых стёкол висмутом и танталом на их люминесцентные свойства. Обнаружен эффект увеличения интенсивности ИК-люминесценции висмутовых активных центров при таком солегировании.

Пятая глава диссертации посвящена исследованию нанопористых стёкол, легированных церием. Экспериментально изучено термическое разложение селената церия. Описан метод пропитывания селенатом церия и консолидации нанопористых стёкол. Данный метод позволяет вводить до 0.07 ат.% церия в нанопористые стёкла, причём эта величина может быть увеличена до 0.6 ат.% при предварительном протравливании нанопористого стекла с помощью плавиковой кислоты. Исследовано влияние высокотемпературного (>1600°C) нагрева на структурные и люминесцентные свойства нанопористого стекла с церием. Впервые изготовлен световод с сердцевинной из консолидированного нанопористого стекла, легированного церием. Проведены измерения эффекта радиolumинесценции в серии таких световодов с церием, указывающего на наличие отклика на γ -излучение.

Шестая глава диссертации посвящена исследованию нанопористых стёкол, легированных диспрозием. Описан процесс пропитывания нитратом диспрозия и консолидации нанопористых стёкол. Он позволяет вводить до 0.21 ат.% диспрозия в стекло. Определена область оптимальной концентрации диспрозия в нанопористом стекле с точки зрения люминесцентных и структурных свойств (0.05-0.08 ат.%). Впервые изготовлен световод с сердцевинной из нанопористого стекла, легированного диспрозием. Люминесцентные свойства изготовленного световода сохраняются после вытяжки и соответствуют свойствам световодов, получаемых другими группами.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается за счёт исследования образцов стёкол и световодов на сертифицированном оборудовании для спектрально-люминесцентного и структурного анализа. Состав и чистота используемых в работе реактивов подтверждаются паспортами образцов, предоставленными производителями. В диссертации приведён анализ большого числа научных работ отечественных и зарубежных исследователей как по теме образования нанопористых стёкол, так и по теме легирования стёкол висмутом, церием или диспрозием для получения волоконных световодов. Научные положения и выводы диссертации подкреплены публикациями в рецензируемых журналах и тезисами докладов.

Научная новизна заключается:

- в определении требований к составу нанопористых стёкол, пригодных для создания волоконных световодов. Отбор нанопористых стёкол на основе этих требований позволил впервые изготовить волоконные световоды с сердцевинной из нанопористого стекла, легированного висмутом, церием или диспрозием;

- во введении рекордной концентрации висмута в кварцевое стекло (0.85 ат.%), при которой не наблюдается его кластеризации;
- в наблюдении эффекта увеличения интенсивности ИК-люминесценции при солегировании танталом и висмутом кварцевого стекла за счёт увеличения числа висмутовых активных центров.

Положения, выносимые на защиту, сформулированные соискателем, вытекают из результатов проведенного научного исследования.

Теоретическая и практическая значимость диссертации заключается в определении требований к нанопористым стёклам, при удовлетворении которых они могут быть использованы для создания волоконных световодов; в разработке метода получения легированных консолидированных нанопористых стёкол для дальнейшего их использования при создании сердцевин волоконных световодов. Впервые изготовлены световоды на основе консолидированных нанопористых стёкол, легированных висмутом, церием или диспрозием, позволяющие получать излучение в инфракрасной, ультрафиолетовой и видимой областях спектра, соответственно. Продemonстрировано, что световоды из консолидированного нанопористого стекла, содержащего ионы церия, обладают сцинтилляционными свойствами, эффективными для регистрации γ -излучения. В волоконном световоде, легированном диспрозием, при возбуждении на длине волны 445 нм наблюдалась интенсивная жёлтая люминесценция, которая может быть использована для создания лазеров видимого диапазона. Экспериментально обнаружен эффект увеличения интенсивности люминесценции в области ближнего ИК-диапазона при солегировании кварцевых стёкол висмутом и танталом. Данный эффект позволяет увеличить эффективность волоконных лазеров и усилителей.

Достоверность полученных результатов (выводов), научных положений и рекомендаций обеспечивается за счет использования современных методов исследования, качественной постановки экспериментов и сравнением экспериментальных данных с результатами других научных групп.

Опубликование и представление результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 5 статьях в научных журналах, входящих в Перечень ВАК РФ и индексируемых базами научной литературы РИНЦ, Web Of Science и Scopus. Основные результаты диссертации были изложены в 7 докладах на международных и всероссийских научных мероприятиях, симпозиумах и семинарах.

Замечания:

1. В работе в световодах, легированных висмутом, не было получено лазерной генерации. Автор указывает, что это связано с загрязнением матрицы стекла переходными металлами, в частности, железом. Однако автор не приводит никакого описания возможностей, как избавиться от этого загрязнения.
2. В разделе о солегировании нанопористых стёкол висмутом и танталом отсутствует описание механизма увеличения доли висмутовых активных центров, ассоциированных с алюминием, приводящего к увеличению интенсивности ИК-люминесценции.
3. При описании процесса пропитки нанопористых стёкол, возможно, стоило подробнее описать выбор данных температурных режимов для каждой из возможных легирующих примесей. Это необходимо для повторения данной работы другими исследователями ввиду безусловной оригинальности данной работы.

Приведенные замечания не затрагивают основного содержания диссертации и не снижают её научно-практической значимости.

Заключение. Диссертационная работа Пластинина Евгения Александровича «Волоконные световоды с сердцевиной на основе консолидированного нанопористого стекла, легированного висмутом, церием или диспрозием» является законченной научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном уровне и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с действующим «Положением о присуждении учёных степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г. в текущей редакции.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19. Лазерная физика. Считаю, что автор диссертации Пластинин Евгений Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Попов Сергей Михайлович,
кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика, старший научный сотрудник лаборатории «волоконных световодов и элементов на их основе» Фрязинского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова Российской академии наук (ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН).

Почтовый адрес: 141190, г. Фрязино, Московская область, пл. Введенского 1
Телефон +7 (925) 338-57-02, эл. почта: sergei@popov.eu.org

Попов Сергей Михайлович

Дата, подпись

Подпись С. М. Попова удостоверяю
Учёный секретарь
ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН
д.ф.-м.н.

Чучева Г.В.

Дата, подпись