

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, директора Научного центра волоконной оптики Российской академии наук Семенова Сергея Львовича на диссертационную работу Ветчинникова Максима Павловича «Формирование в объеме оксидных стекол оптических микроструктур на основе металлических и полупроводниковых наночастиц фемтосекундным лазерным излучением», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Стремительное развитие и возрастающая доступность мощных лазерных систем способствовало возникновению новой научной области, целью которой является рассмотрение процессов, протекающих при воздействии лазерных импульсов малой длительности на оптически прозрачные материалы. Многочисленные исследования, проведенные за последние двадцать лет, позволили выявить ряд явлений, происходящих при поглощении материалом сверхкоротких импульсов, таких как изменение показателя преломления, формирование нанопустот, нанопериодических структур («нанорешеток») и т.д., которые могут быть применены при разработке принципиально новых или усовершенствования существующих устройств фотоники и интегральной оптики. По этой причине метод фемтосекундного лазерного модифицирования сегодня рассматривается как один из наиболее перспективных способов микро- и нанообработки оптических материалов.

Выбранные в качестве объектов настоящего исследования стекла, содержащие добавки благородных металлов или полупроводниковых соединений, несомненно, являются материалом, представляющим повышенный интерес для осуществления их фемтосекундного лазерного модифицирования. Возможность локального формирования различных микроструктур, оптическими свойствами которых можно управлять за счет контроля размера и количества образующихся нанокластеров и наночастиц металлов или

полупроводников обеспечивает высокий потенциал для практической реализации данных стекол в качестве устройств фотоники, интегральной оптики и хранения информации. Несмотря на многочисленность исследований подобного рода существующий сегодня уровень достижений, как с научной, так и с технологической точек зрения, сильно ограничен.

В связи с этим, актуальность диссертационной работы Ветчинникова М.П., направленной на разработку научных подходов к одностадийному формированию оптических микроструктур, обладающих люминесценцией и поляризационно-зависимым двулучепреломлением, в оксидных стеклах, содержащих добавки серебра или сульфида кадмия, путем воздействия сфокусированного пучка фемтосекундного лазера не подлежит сомнению.

Очевидна научная новизна результатов, полученных в диссертации Ветчинникова М.П. В работе впервые демонстрируется возможность формирования оптических микроструктур, обладающих как люминесценцией, так и поляризационно-зависимым двулучепреломлением, осуществляемая путем воздействия сфокусированных лазерных импульсов на оксидные стекла, содержащие добавки серебра или сульфида кадмия. Образующие лазерно-индуцированные микроструктуры, при этом, содержат одновременно нанокластеры и наночастицы серебра или сульфида кадмия, количественное соотношение между которыми определяет оптические свойства записанных в объеме стекол модифицированных областей. Использование фемтосекундного лазерного излучения, как показывают результаты проведенных исследований, позволяет управлять размером, интенсивностью окраски, параметрами люминесценции и поляризационно-зависимого двулучепреломления микроструктур на основе наноразмерных металлических или полупроводниковых частиц. Данный эффект реализуется за счет локального изменения температуры в области воздействия лазерного пучка. Интересным результатом также представляется обнаружение нового типа двулучепреломления микроструктур, возникновение которого связывается

автором с образованием наночастиц серебра или сульфида кадмия, размером более ~ 5 нм.

Практическая значимость проведенного исследования вызывает повышенный интерес. Автором работы были определены составы стекол на основе двух систем – $K_2O-ZnO-B_2O_3-SiO_2$ и $ZnO-P_2O_5$, содержащих добавки серебра или сульфида кадмия. Разработанная методика синтеза позволяет получать стекла, высокое качество которых обеспечивает стабильную воспроизводимость записи оптических микроструктур с помощью фемтосекундного лазерного пучка. Высокой практической ценностью обладает предлагаемый в работе метод лазерного модифицирования стекол, который позволяет добиться локального формирования нанокластеров и наночастиц серебра или сульфида кадмия в объеме синтезированных силикатных и фосфатных стекол без необходимости проведения дополнительной термообработки в процессе или после лазерной обработки. Более того, на примере стекол группы ОС-CdS демонстрируется возможность стирания и последующей перезаписи лазерно-индуцированных микроструктур. Предложенные подходы легли в основу полученного патента РФ и поданной заявки на изобретение «Способ лазерного модифицирования стекла». Не меньшей практической значимостью характеризуются результаты исследований по установлению влияния содержания введенных в состав стекол добавок и условий лазерного облучения на размер и оптические характеристики формируемых микроструктур. На основании результатов данных исследований был определен ряд составов силикатных и фосфатных стекол, содержащих добавки серебра или сульфида кадмия, а также параметры лазерного пучка, использование которых целесообразно для достижения наибольших значений фазового сдвига двулучепреломления и отношения сигнал/шум люминесценции для формируемых модификаций. Описанные в работе результаты исследований обладают широкими перспективами для создания устройств перезаписываемой оптической памяти и калибровочных пластин для флуоресцентной микроскопии.

Диссертационная работа Ветчинникова М.П. изложена на 178 страницах машинописного текста и состоит из введения, трех глав, выводов и списка цитируемой литературы, состоящего из 184 источников.

Все разделы научной работы (введение, аналитический обзор литературы, методическая часть, результаты исследований и их анализ, выводы по работе) отражены в необходимом количестве.

Содержание работы соответствует поставленным целям и задачам исследования. Предложенная автором интерпретация экспериментальных данных не содержит внутренних противоречий и согласуется с научными данными, опубликованными другими авторами.

По материалам диссертации опубликовано 23 печатных работы, из них 6 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК (3 – в российском журнале, 3 – в международных). Основные результаты диссертации представлены на ряде конференций, в том числе зарубежных. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (грант 14.Z50.31.0009), Совета по грантам при президенте РФ (грант МК-9290.2016.3) и РФФИ (гранты 18-33-00595, 18-53-00005 и 19-32-80032).

В целом, диссертационная работа является законченным научным исследованием по выбранной тематике. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

Замечания по работе следующие:

1. В диссертации описание результатов исследования и их обсуждение сведены в одну главу (глава 3). Подобное решение затрудняет прочтение и понимание работы;
2. В главе 2.3 диссертации говорится о том, что запись микроструктур велась с регулируемой поляризацией лазерного пучка, однако в обсуждении результатов экспериментов по лазерному модифицированию стекол не упоминается о влиянии поляризации лазерного излучения на интенсивность люминесценции записанных микрообластей;
3. На странице 122 диссертации утверждается, что возникновение поляризационно-зависимого двулучепреломления было обнаружено

исключительно для окрашенных микроструктур, сформированных в стеклах серий ОС-CdS и PZ-Ag. Однако на оптических снимках микроструктур, записанных в стеклах составов ОС-Ag при воздействии 10^6 лазерных импульсов с частотой повторения 1 МГц (рисунок 51 б), также можно заметить наличие желто-коричневой окраски, что, согласно выявленной тенденции, должно было привести к возникновению поляризационно-зависимого двулучепреломления в данных микроструктурах;

4. При изучении морфологии сформированных лазерно-индуцированных микроструктур автору следовало бы разработать теоретическую модель физико-химических процессов, происходящих при воздействии лазерного излучения на изучаемые в данной работе силикатные и фосфатные стекла, или хотя бы провести оценку распределения температур в области экспонирования стекла. Подобные расчеты смогли бы более полно раскрыть сценарий формирования наноразмерных частиц серебра или сульфида кадмия под действием сфокусированного лазерного излучения (впрочем, это скорее пожелание к постановке нового диссертационного исследования);
5. На странице 145 диссертации соискатель утверждает, что максимальная интенсивность люминесценции микроструктур сосредоточена на их периферии. Для подтверждения на рисунке 71 приводятся профили распределения интенсивности люминесценции, полученные путем анализа соответствующих оптических снимков с применением специального программного обеспечения. Дополнительно можно было бы осуществить съемку спектров люминесценции с различных зон микроструктур и произвести их сравнительный анализ;
6. Имеются замечания в оформлении диссертационной работы. В частности, имеются опiski в подрисуночных подписях:
 - к рисунку 43, расположенном на странице 100 диссертации: необходимо исключить фразу «Длина волны возбуждения люминесценции – 365 нм»;
 - к рисунку 58, расположенном на странице 117 диссертации: вместо слова «поглощения» должно быть употреблено слово «люминесценции».

Тем не менее, приведенные выше замечания не снижают очень высокой оценки проделанной работы и значимости полученных в ней результатов.

Диссертационная работа Ветчинникова Максима Павловича «Формирование в объеме оксидных стекол оптических микроструктур на основе металлических и полупроводниковых наночастиц фемтосекундным лазерным излучением» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, соответствует паспорту специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов» и в полной мере удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация содержит новые, научно-обоснованные технологические решения в сфере лазерного микроструктурирования оптически прозрачных сред, имеющие весьма существенное практическое значение для развития науки и производства. Автор диссертации, Ветчинников Максим Павлович, заслуживает присвоения степени кандидата химических наук по специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Официальный оппонент,

Доктор физико-математических наук,

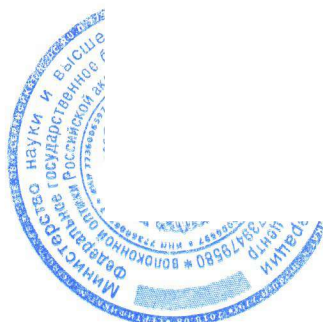
Директор Научного центра волоконной оптики

Российской академии наук

119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38.

Телефон: +7 (499) 783-56-21

Почта: sls@fo.gpi.ru



(Handwritten signature)

С.Л. Семенов

08.08.2019 г.