

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института проблем лазерных и
информационных технологий РАН, академик



В.Я. Панченко

«19» ноября 2014 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Сергеева Александра Александровича «Взаимодействие лазерного излучения с нанокompозитными системами на основе биополимерных и биосиликатных матриц в условиях влияния параметров окружающей среды», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика

Работа посвящена исследованию процессов взаимодействия лазерного излучения с новыми, синтезированными на основе принципа биомиметического моделирования, материалами, которые являются основой для создания оптических сенсоров и устройств управления лазерным излучением.

Целью диссертации является исследование особенностей процессов взаимодействия лазерного излучения с нанокompозитными системами на основе самоорганизующихся биополимерных и биосиликатных матриц, в том числе допированных наночастицами и индикаторами, направленных на создание новых оптических хемосенсорных элементов и систем управления лазерным излучением.

Актуальность темы диссертации Сергеева А.А. обусловлена практической потребностью в создании доступных оптических материалов, сочетающих в себе технологичность, высокую чувствительность к внешним воздействиям и низкую стоимость. Данные материалы востребованы для создания широкого класса устройств, работа которых связана с генерацией, детектированием, передачей и обработкой оптического излучения.

Диссертация Сергеева А.А. состоит из введения, трех глав и заключения, в котором кратко сформулированы основные результаты работы. Общий объем диссертации составляет 139 страниц, включая список литературы из 263 наименований. Работа в целом

оформлена в соответствии с правилами, написана ясно и логично. Её материал изложен достаточно полно и последовательно.

Во введении проведен обзор современного состояния исследований в области создания оптических сенсорных систем и систем управления лазерным излучением, рассмотрены основные принципы построения таких систем, указаны их достоинства и недостатки. Обзор, сделанный из 209 источников, демонстрирует хорошие знания диссертанта в области проводимых исследований. В заключительной части введения сформулированы цели диссертационной работы и выносимые на защиту положения.

В первой главе рассматривается возможность использования многослойных полимерных покрытий с внедренным индикатором для детектирования газообразных химических веществ. Представленные результаты комплексных исследований оптических свойств указанного покрытия для случая индикатора бромтимоловый синий и аммиака, в качестве определяемого вещества, дают четкое представление об особенностях протекающих процессов и возможностях многослойного покрытия в области оптической сенсорики. Для повышения чувствительности разрабатываемого сенсора предложено применение чувствительного слоя, показатель преломления которого больше показателя преломления волновода. Проведены исследования зависимости основных параметров сенсора, таких как: чувствительность, селективность, времена срабатывания и восстановления, от толщины покрытия. Показано, что оптимальная толщина покрытия, позволяющая регистрировать аммиак на уровне тысячных долей предельно допустимой концентрации, равняется 75 нм.

Во второй главе исследуется взаимодействие лазерного излучения с волноводными пленками различных химических форм хитозана и применение хитозановых волноводов для создания интегрально-оптических сенсоров относительной влажности окружающей среды, функционирующих без создания дополнительного чувствительного слоя. Разработана методика создания планарных волноводов на основе хитозана. Исследована зависимость волноводных свойств от типа химической формы полимера. Определены условия, при которых хитозановые волноводы могут использоваться в качестве пороговых или широкодиапазонных сенсоров относительной влажности окружающей среды.

В третьей главе диссертации представлены результаты исследования взаимодействия лазерного излучения с объемными силикатными нанокомпозитами на основе полупроводниковых квантовых точек, обладающими свойствами фотоиндуцированного изменения коэффициента поглощения и показателя преломления. Определены спектральные зависимости коэффициента поглощения от дозы экспозиции

лазерным излучением. Методами оптической интерферометрии определено фотоиндуцированное изменение показателя преломления. Показано, что силикатный нанокompозит на основе полупроводниковых квантовых точек сульфида кадмия может использоваться в качестве оптически активной среды при создании устройств управления типа «свет-свет». Предложена модель, описывающая протекающие процессы.

В заключении подводятся итоги проделанной работы и приводятся важнейшие результаты, полученные в ходе диссертационного исследования.

К новым научным результатам диссертационной работы Сергеева А.А. можно отнести следующие:

1. Установлено, что многослойная биополимерная структура, сформированная на поверхности ионообменного волновода с $\Delta n = -0.015$ и допированная индикатором бромтимоловый синий, обеспечивает модуляцию распространяемого в волноводе лазерного излучения не менее 0.1 дБ при концентрации аммиака в окружающей волновод среде равной 0.09 ppm, что позволяет использовать ее в качестве высокочувствительных элементов интегрально-оптических сенсоров аммиака.

2. Методом спектроскопии волноводных мод подтвержден волноводный характер распространения лазерного излучения в тонких пленках биополимера хитозана. Доказано, что величина затухания существенно зависит от ионной формы полимера и изменяется в пределах от 12 дБ/см для нейтральной формы хитозана до 0.825 дБ/см для цитрата хитозана.

3. Показано, что формирование волноводного слоя из гидрофильного полимера обеспечивает амплитудную модуляцию распространяемого в волноводе лазерного излучения вследствие формирования градиента показателя преломления по профилю волновода при воздействии паров воды. На основании полученных данных разработаны принципы построения волноводных оптических сенсоров относительной влажности окружающей среды, функционирующих в диапазоне не менее 15-90% с чувствительностью не хуже 0.015 ± 0.002 дБ на один процент относительной влажности и временем срабатывания не более двух секунд.

4. На примере двух типов ионных форм хитозана продемонстрирована возможность создания пороговых сенсоров относительной влажности, имеющих соотношение сигнал/шум не менее 18 дБ и порог срабатывания при 40% и 60% относительной влажности.

5. Доказана возможность создания оптического модулятора типа «свет-свет» на основе нанокompозита, состоящего из квантовых точек сульфида кадмия в силикатной матрице. Установлено, что экспозиция лазерным излучением с $\lambda = 405.9$ нм приводит к

динамическому изменению оптических характеристик нанокompозита, выражающемся в изменении коэффициента поглощения, показателя преломления и длинноволновому сдвигу максимума люминесценции, определяемых дозой экспозиции. Максимально достигнутые величины фотоиндуцированного коэффициента поглощения ($\Delta\alpha \approx 13.86 \pm 0.001 \text{ см}^{-1}$), показателя преломления ($\Delta n = (5.4 \pm 0.02) \cdot 10^{-3}$) и сдвига максимума люминесценции ($\Delta\lambda = 50 \text{ нм}$) соответствуют дозе экспозиции $E = 90 \text{ Дж/см}^2$ при концентрации квантовых точек в нанокompозите 0.3 %масс.

6. Установлено, что величина оптического отклика нанокompозита, состоящего из квантовых точек сульфида кадмия в силикатной матрице, зависит от поляризации модифицирующего излучения и достигает максимального значения при угле поляризации порядка 50° , что является дополнительной возможностью управления оптическим излучением.

Научная значимость результатов, полученных в диссертации, заключается в обосновании принципиальной возможности использования природных и биомиметических полимерных материалов при создании различных оптических устройств. Предложенные в данной работе подходы к созданию оптических сенсорных систем открывают пути дальнейшего развития исследований такого класса материалов и оптимизации их характеристик. Кроме того, в работе впервые проведены исследования динамической фотомодификации оптических характеристик нового нанокompозитного материала на основе квантовых точек сульфида кадмия, результаты которых позволяют расширить представления о процессах, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с наноструктурированными материалами.

Практическая значимость диссертации заключается в том, что представленные результаты исследований позволяют усовершенствовать существующие методы создания оптических волноводных сенсорных систем, расширить круг материалов для использования в качестве чувствительных элементов оптических сенсорных систем и уменьшить затраты на их производство. Результаты исследований объемных нанокompозитных материалов, обладающих эффектом фотоиндуцированного динамического изменения оптических характеристик, могут быть использованы при разработке оптических логических элементов.

Результаты диссертационной работы могут быть применены в организациях, занимающихся созданием и исследованием новых оптических материалов: Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Национальный исследовательский ядерный университет

«МИФИ» (г. Москва), Центр фотохимии РАН (г. Москва), Институт автоматизации и электрометрии СО РАН (г. Новосибирск) и др.

Замечания по диссертационной работе

В работе имеется ряд недостатков, таких как пунктуационные ошибки («электроны возбужденные», «покрытий состоящих» и др.), несогласованности и отдельные опечатки («Биомиметических подход», «в многослойный структурах», «численные расчеты ...проводилось» и др.).

К основным недостаткам диссертационной работы можно отнести следующее:

1. При исследовании многослойных покрытий использовался только ионообменный волновод, поддерживающий две распространяющиеся моды. Было бы интересно узнать зависимость сенсорных характеристик от типа используемого волновода.
2. Времена достижения максимальных значений фотоиндуцированного изменения показателя преломления и коэффициента поглощения составляют несколько секунд. Могут ли эти эффекты быть связаны с нагревом материала?
3. В главе 3 отсутствуют схемы экспериментальных установок по определению зависимости величины фотоабсорбции от угла поляризации и установки по определению фотоиндуцированного изменения показателя преломления.

Приведенные замечания не носят принципиального характера, они не снижают высокой оценки научной значимости работы и не ставят под сомнение компетентность автора диссертации. Основные научные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными.

Заключение

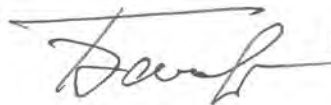
Диссертация Сергеева Александра Александровича представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает специальности 01.04.21 – лазерная физика. Диссертационная работа «Взаимодействие лазерного излучения с нанокompозитными системами на основе биополимерных и биосиликатных матриц в условиях влияния параметров окружающей среды» соответствует требованиям положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. Результаты работы опубликованы в тринадцати журналах из перечня ВАК. Таким образом, автор, Сергеев Александр Александрович, заслуживает присуждения

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Работа была заслушана и обсуждена на научном семинаре Отделения перспективных лазерных технологий Института проблем лазерных и информационных технологий РАН 17 ноября 2014 г.

Отзыв подготовил

руководитель отдела, д.ф.-м.н., профессор



В.Н. Баграташвили