

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Новосибирский национальный
исследовательский государственный
университет»
Чл.-корр. РАН, профессор



М.П. Федорук

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Чубакова Вячеслава Павловича
«Фотонно-кристаллические пленки опала как матрицы оптических
композитных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.05 «оптика».

Диссертационная работа Чубакова Вячеслава Павловича посвящена изучению оптических свойств фотонно-кристаллических пленок опала и композитов на их основе. Данная тематика исследований относится к числу перспективных направлений в области современной фотоники и материаловедения. Ожидается, что новые наноструктурированные материалы на основе фотонных кристаллов позволят создавать принципиально новые оптические устройства, существенно расширяя возможности управления светом вследствие наличия разрешенных и запрещенных зон для распространения света. Уникальные свойства наноструктурированных материалов оказываются востребованным для создания волноводов, микрорезонаторов, интегральных оптических логических устройств.

По сравнению с использованием методов литографии для получения трехмерных фотонных кристаллов, активно исследуемые в диссертационной работе методы самосборки открывают возможности масштабирования технологии и снижения стоимости, что представляется весьма перспективным при их широком внедрении. Методы самосборки используются для формирования структуры, аналогичной природному благородному опалу. Тем не менее, до последнего времени отмечается, что по ряду технологических причин получаемые фотонные кристаллы могут обладать различными дефектами структуры, влияющими на их оптические свойства. Как следствие, не решен ряд фундаментальных задач, заключающихся в их характеристике. Также непрерывно совершенствуются способы создания композитных материалов на основе фотонных кристаллов. В этой связи основная цель диссертационной работы В.П. Чубакова – систематическое изучение оптических свойств фотонно-кристаллических пленок опала и нанокомпозитов на их основе для использования в качестве оптоэлектронных сенсорных устройств – является актуальной и представляет большой практический и научный интерес.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

В первой главе представлен литературный обзор. В ней рассматриваются основные свойства фотонных кристаллов. В частности, обсуждаются различные способы получения трехмерных фотонных кристаллов, имеющих структуру опала, при этом особое внимание уделяется методам самосборки. Приведено детальное описание дефектов, возникающих во время укладки сферических частиц и при дальнейшей обработке: отжиге и получении инвертированных опалов. Кроме того, рассмотрены основные принципы создания функциональных композитов на основе фотонных кристаллов, приведены характерные примеры из литературных источников.

Вторая глава посвящена подробному описанию оптических свойств используемых в работе фотонно-кристаллических пленок опала, полученных двумя методами: методом подвижного мениска и методом гравитационной укладки. Выполненное в работе тщательное исследование оптических свойств образцов показало наличие в них слабого двулучепреломления. Применение методов спектральной эллипсометрии, коноскопии, а также разработанной экспериментальной установки позволили измерить величину двулучепреломления, направление оптических осей и ориентацию оптической индикатрисы. На основе проведенных измерений обсуждаются факторы, влияющие на деформацию получаемых трехмерных фотонных кристаллов.

В третьей главе исследована зависимость положения стоп-зоны в спектре пропускания фотонно-кристаллических пленок опала от температуры и влажности. На основе фотонно-кристаллических пленок опала и гигроскопических солей предложен новый тип оптического датчика относительной влажности. Преимуществом такого датчика является отсутствие необходимости калибровки.

Четвертая глава посвящена селективному детектированию первичных алифатических аминов композитами на основе пирилоцианиновых красителей и фотонно-кристаллических пленок опала. Выполнено исследование оптических свойств трех новых пирилоцианиновых красителей, исследованы спектры возбуждения и флуоресценции. Показано, что после реакции пирилоцианиновых красителей с первичными алифатическими аминами формировались соответствующие пиридоцианиновые красители с флуоресценцией, смещенной в коротковолновую область спектра. В случае реакции с аммиаком и *n*-толуидином продукты реакции флуоресценцией не обладали. Применение фотонно-кристаллической пленки опала в качестве подложки позволило усилить регистрируемый оптический сигнал на порядок величины за счет пространственного разделения излучения возбуждения и флуоресценции, а также снижения эффекта концентрационного тушения. В итоге оптическими средствами измерения регистрировалась реакция пленки пирилоцианинового красителя, нанесенной на фотонно-кристаллическую матрицу опала, с парами аминов. Минимальная зарегистрированная концентрация *n*-бутиламина составила 0,1 ppm, при характерном времени экспозиции 10 минут.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

К наиболее значимым результатам диссертации можно отнести следующее:

1. Обнаружено наличие оптической анизотропии у фотонно-кристаллических пленок, полученных широко применяемыми методами – подвижного мениска и гравитационной укладки. Установлено, что анизотропия формируется вследствие вытягивания кристаллической структуры вдоль действия некомпенсированных сил в момент получения пленок. Направление и величина деформации кристаллической структуры зависят от вектора приложенной силы. Разработана методика численного определения интегральных по объему поляризационных особенностей в ФК.

2. На примере опалов, показано, что поляризационные свойства трехмерных ФК можно описывать в терминах классической кристаллооптики. Величина показателя преломления в зависимости от направления распространения света описывается оптической индикатрисой. Симметрия кристаллической решетки описывается сингонией.

3. Продемонстрирована перспективность использования фотонно-кристаллических пленок опала в качестве матриц для создания функциональных нанокомпозитов для устройств фотоники и оптических датчиков. На примере инфильтрации фотонно-кристаллической матрицы опала гигроскопическими солями создан колориметрический датчик влажности, обладающий высокой стабильностью и не требующий калибровки.

4. Установлено, что использование фотонно-кристаллических пленок опала в качестве матрицы для нанокомпозитов позволяет повысить чувствительность детектирования аминов в 10 раз по сравнению со стеклянной подложкой. Показана возможность детектирования паров *n*-бутиламина концентрацией меньшей, чем ПДК для человека, при использовании пирилоцианиновых красителей в наноразмерной матрице опала.

Обоснованность и достоверность результатов, выводов и защищаемых положений подтверждается корректным использованием современных экспериментальных методов, подходов и инструментальной базы, использованием современных теорий и методов анализа данных. Достоверность полученных результатов подтверждается также воспроизводимыми результатами экспериментов, апробацией основных результатов на научных конференциях и семинарах, в опубликованных работах.

Научная значимость результатов заключается в получении новых фундаментальных данных о закономерностях формирования трехмерных фотонных кристаллов методами самосборки, а также в разработке подходов для создания функциональных композитов на их основе

Диссертационное исследование представляет значительный *практический интерес и значимость*, в связи с тем, что разработанные в нем способы анализа двулучепреломления и структуры могут быть использованы для совершенствования методов получения фотонных кристаллов, а на основе изученных композитов могут быть созданы новые типы газовых датчиков.

Вместе с тем, имеется несколько замечаний по изложению результатов диссертационной работы:

1. В тексте диссертации используется значительное количество сокращений; ряд предложений включает по две и более аббревиатуры. Некоторые аббревиатуры в тексте не расшифровываются (напр., ДМСО) Вкупе с отсутствием в диссертации списка сокращений, данный факт существенно затрудняет чтение текста специалистами в смежных областях физики.

2. Следует отметить некоторую небрежность формулировок. Например, на с.8 автореферата говорится: «Это подтверждает ГЦК решетку пленок опала, измеренную ранее на электронном микроскопе». На с.9 этот тезис опровергается: «Наличие двулучепреломления говорит об отклонении кристаллической структуры от ГЦК решётки», при этом наличие противоречащих друг другу утверждений никак не обсуждается. Там же, на с. 9 автореферата: «Полученные данные свидетельствуют о том, что основной причиной формирования анизотропии является двулучепреломление плёнок», в то время как логическая связь должна быть обратной: анизотропия является причиной, а двулучепреломление – следствием. Другой пример можно найти на с. 10, где говорится, что фотонно-кристаллические оптические волокна были представлены «лишь несколько лет назад». Вместе с тем первая работа [Optics Letters vol.21 No.19 1547-1549 (1996)] была опубликована ровно двадцать лет назад, а в СВЧ-диапазоне – двадцать пять лет назад.

3. Из текста диссертации не вполне ясно, чем обусловлено значительное (двукратное) расхождение кривых пропускания на краях диапазона на рис. 25. В тексте

говорится об «имеющемся хорошем согласии», при этом наблюдаемое на графиках расхождение никак не комментируется.

Отмеченные недостатки касаются способа и формы изложения результатов диссертационной работы и не снижают общего высокого научного уровня работы и ценности полученных в ней результатов.

Таким образом, диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой цельное научное исследование, содержащее решение актуальных научных задач. Диссертация вносит существенный вклад в понимание оптических характеристик фотонных кристаллов и композитов на их основе. Текст диссертации оформлен в соответствии с требованиями ВАК. Автореферат корректно отражает ее основное содержание. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений. Основные результаты рассматриваемой диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных конференциях. По теме диссертации имеется три публикации в изданиях из перечня ВАК РФ и один патент, достаточно полно отражающие основные результаты работы.

Все изложенное выше дает основание утверждать, что диссертационная работа В.П. Чубакова отвечает требованиям, установленным «Положениям о порядке присуждения ученых степеней» согласно Постановлению Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Чубаков Вячеслав Павлович заслуживает искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «оптика».

Доклад В.П. Чубакова по материалам диссертационной работы был заслушан и обсужден на научном семинаре отдела лазерной физики и инновационных технологий НГУ «28» декабря 2016 года.

Отзыв подготовил
старший научный сотрудник отдела лазерной физики и инновационных технологий НГУ,
доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н.
Тел. (383)3634165, e-mail: smirnov@lab.nsu.ru
«28» декабря 2016 г.

С.В. Смирнов

Секретарь семинара
научный сотрудник отдела лазерной физики
и инновационных технологий НГУ, к.ф.-м.н.
«28» декабря 2016 г.

А.В. Иваненко

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Ученый секретарь НГУ

