

УТВЕРЖДАЮ



Директор ИАиЭ СО РАН

академик РАН

*А.М. Шалагин* А.М. Шалагин

«20» июня 2016 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института автоматки и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН)

Диссертация «Фотонно-кристаллические пленки опала как матрицы оптических композитных материалов» выполнена в лаборатории физики лазеров ИАиЭ СО РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Чубаков Вячеслав Павлович работал в ИАиЭ СО РАН в должности инженера-программиста.

В 2012 г. окончил Новосибирский государственный университет по специальности физика.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. ИАиЭ СО РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Плеханов Александр Иванович, заведующий лабораторией физики лазеров ИАиЭ СО РАН.

Диссертация «Фотонно-кристаллические пленки опала как матрицы оптических композитных материалов» была рассмотрена на межлабораторном семинаре Учебно-научного центра «Квантовая оптика» ИАиЭ СО РАН 16 июня 2016 года.

На семинаре присутствовали:

Шалагин Анатолий Михайлович, акад. РАН, ИАиЭ СО РАН  
Бабин Сергей Алексеевич, чл.-корр. РАН, ИАиЭ СО РАН  
Ильичев Леонид Вениаминович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Каблуков Сергей Иванович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Малиновский Валерий Константинович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Плеханов Александр Иванович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Суровцев Николай Владимирович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Фрумин Леонид Лазаревич, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Чаповский Павел Львович, д.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Шелковников Владимир Владимирович, д.х.н. НИОХ СО РАН  
Ватник Илья Дмитриевич, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Злобина Екатерина Алексеевна, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Лобач Иван Александрович, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Микерин Сергей Львович, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Наливайко Валерий Игоревич, к.ф.-м.н., ИАиЭ СО РАН  
Орлова Наталья Алексеевна, к.х.н. НИОХ СО РАН  
Перминов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н., ИФП СО РАН  
Каргаполова Ирина Юрьевна, НИОХ СО РАН  
Донцова Екатерина Игоревна, ИАиЭ СО РАН  
Угожаев Владимир Дмитриевич, ИАиЭ СО РАН  
Томилиин Владимир Александрович, ИАиЭ СО РАН

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

**Актуальность работы.**

Фотонные кристаллы представляют собой класс наноструктурированных материалов перспективных для исследования новых явлений распространения и взаимодействия света с веществом, а также создания различных приложений на их основе. Отличительной особенностью фотонных кристаллов является наличие периодического изменения диэлектрической проницаемости или

периодической неоднородности на размерах порядка длины волны света. Вследствие этого падающий свет дифрагирует на периодической структуре и в энергетическом спектре наблюдаются запрещенные (стоп-зоны) и разрешенные зоны для его распространения в определенных направлениях. В случае высокого диэлектрического контраста и наличия определенной симметрии в трехмерном фотонном кристалле возможно формирования полной фотонной запрещенной зоны. Распространение света с энергией полной фотонной запрещенной зоны подавлено в любом направлении.

Специально созданные дефекты в такой регулярной структуре приводят к формированию локализованных состояний электромагнитных волн. В случае протяженных и точечных дефектов формируются волноводы и микрорезонаторы с характерным размером порядка длины волны излучения. Таким образом, фотонные кристаллы перспективны в приложениях для увеличения эффективной длины взаимодействия света с веществом, создания новых типов лазеров, волноводов, суперлинз, суперпризм, а также для создания интегрированных оптических логических и сенсорных устройств.

По типу модуляции диэлектрической проницаемости обычно рассматривают одномерные, двумерные и трехмерные фотонные кристаллы. Трехмерные фотонные кристаллы являются наиболее общим вариантом по характеру наблюдаемых явлений и представляют наибольший интерес для исследователей.

Возросший интерес к фотонным кристаллам обусловлен развитием в последние годы методов получения подобных наноструктурированных систем. Одним из наиболее практичных вариантов создания трехмерных фотонных кристаллов является использование методов самосборки, позволяющих получать структуры аналогичные природному благородному опалу. Возможность использования полученных образцов напрямую зависит от совершенства их структуры.

Основная цель диссертационной работы В.П. Чубакова была сформулирована как систематическое изучение оптических свойств фотонно-кристаллических пленок опала и нанокомпозитов на их основе для использования в качестве оптоэлектронных сенсорных устройств. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе были сформулированы следующие задачи: исследование влияния условий получения и внешних факторов на оптические и микроструктурные свойства фотонных кристаллов и нанокомпозитов, анализ методов функционализации фотонных кристаллов для получения композитных материалов с заданными откликом на внешнее воздействие, изучение возможности применения полученных нанокомпозитов в качестве оптоэлектронных сенсорных устройств.

#### **Личное участие соискателя.**

В ходе выполнения работы основные эксперименты выполнены В.П. Чубаковым. Он принимал активное участие в постановке задач, теоретическом анализе, обсуждении результатов и подготовке статей. При выполнении диссертационной работы В.П. Чубаков проявил себя высококвалифицированным научным работником, способным самостоятельно решать сложные задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.

#### **Новизна.**

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Экспериментально обнаружено наличие поляризационной анизотропии у фотонно-кристаллических пленок опала, полученных методами подвижного мениска и гравитационной укладки. Впервые измерено двулучепреломление, оптическая индикатриса и сингония таких образцов.
2. Установлено, что на основе композита из газопроницаемой фотонно-кристаллической матрицы и гигроскопических солей возможно создание колориметрического датчика относительной влажности. Такой датчик

обладает высокой стабильностью, не требует калибровки и позволяет измерять относительную влажность с точностью до 2%.

3. Экспериментально изучены оптические свойства трех новых пирилоцианиновых красителей и производных от них пиридоцианиновых красителей. Измерен их квантовый выход. На примере рассмотренных аминов было показано, что пиридоцианиновые красители формируются при реакции пирилоцианиновых красителей только с первичными алифатическими аминами. Таким образом, установлено, что измерения интенсивности флуоресценции пирилоцианиновых и пиридоцианиновых красителей позволяют определить тип и количество аминов вступивших в реакцию. Выявлено, что нанесение пленок пирилоцианиновых красителей на фотонно-кристаллическую матрицу опала позволяет усиливать сигнал флуоресценции и детектировать наличие паров *n*-бутиламина при концентрациях десятикратно меньших, чем предельно допустимая для человека.

#### **Степень достоверности результатов.**

Все полученные результаты не противоречат известным научным положениям, экспериментальным и теоретическим результатам других работ. Все экспериментальные результаты получены с применением современных методов исследования, а измерения проведены с помощью точных калиброванных приборов. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, обоснованы полученными в работе экспериментальными и теоретическими результатами.

#### **Практическая значимость.**

Результаты диссертации, несомненно, имеют практическую значимость. Разработанные экспериментальные подходы для исследования анизотропии трехмерных фотонных кристаллов позволяют неразрушающим способом характеризовать двулучепреломление и кристаллическую решетку получаемых образцов, что напрямую влияет на возможность их практического

использования. А измеренные таким образом характеристики способствуют развитию методов получения фотонных кристаллов.

Предложенный в работе сенсор относительной влажности представляет интерес для проведения измерений в условиях высокой влажности, запыленности или в агрессивных средах.

Полученные результаты селективного детектирования паров первичных алифатических аминов по люминесценции красителей пирилоцианинового ряда, открывают направление создания сенсора вредных и отравляющих веществ концентрацией ниже, чем предельно допустимая для человека.

### **Ценность научных работ соискателя ученой степени**

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что в них поставлена и решена научная проблема анизотропии распространения света в образцах трехмерных фотонных кристаллах полученных методами самосборки, а также представлена методология и примеры создания оптических сенсорных устройств на основе фотонно-кристаллических пленок опала. Научные работы соискателя развивают и дополняют положения по исследуемым вопросам.

### **Соответствие специальности.**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 01.04.05 – «Оптика» в части физико-математических наук.

### **Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.**

Результаты работы докладывались автором на следующих конференциях и семинарах: XLVL Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс» (26-30 апреля 2008, Новосибирск); Международная студенческая конференция «Оптика и фотоника» OSA & SPIE (10-11 ноября 2008, Новосибирск); Международная научная студенческая

конференция «Студент и научно-технический прогресс» (11-15 апреля 2009, Новосибирск); Международная конференция «Органическая нанофотоника» ICON-Russia 2009 (21-28 июня 2009, Санкт-Петербург); Международный форум по нанотехнологиям Rusnanotech 09 (6-8 октября 2009, Москва); XLIX Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс» (16-20 апреля 2011, Новосибирск); Всероссийская конференция «Фотоника органических и гибридных наноструктур» (5-9 сентября 2011, Черноголовка); Russian-British workshop on new advanced materials and systems for photonics and sensors (17-20 march 2014, Novosibirsk)

Результаты диссертационной работы достаточно подробно и в полном объеме отражены в трех опубликованных печатных работах в рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией:

1. Плеханов А.И., Чубаков В.П., Чубаков П.А. Поляризационная анизотропия монокристаллических пленок опала // ФТТ. – 2011. – Т.53. – вып.6. – С. 1081-1087.
2. Чубаков В.П., Чубаков П.А., Плеханов А.И. Датчик влажности на основе фотонно-кристаллической пленки опала // Российские нанотехнологии. – 2012. – Т. 7. – № 9-10. – С. 59-61.
3. Чубаков В.П., Чубаков П.А., Плеханов А.И., Орлова Н.А., Каргаполова И.Ю., Шелковников В.В. Люминесцентное детектирование паров первичных алифатических аминов в низких концентрациях хромофорами пирилоцианинового ряда // Российские нанотехнологии. – 2016. – Т. 11. – №. 7-8. – С. 30-34.

Оригинальность разработанных соискателем решений подтверждается также свидетельством об изобретении полезной модели:

4. Пат. RU147599 Российская Федерация, МПК G 01 W 1/11. Чувствительный элемент для измерения влажности воздуха / Чубаков В.П., Чубаков П.А.; заявитель и патентообладатель ФГБУН ИАиЭ СО РАН. - № 2014129045/28; заявл. 15.07.2014; опубл. 10.11.2014, Бюл. № 31. – 2 с.

В представленной работе соблюдены требования, установленные в п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертация «Фотонно-кристаллические пленки опала как матрицы оптических композитных материалов» Чубакова Вячеслава Павловича признана завершенной и рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика»

Председатель семинара  
академик РАН

 Шалагин А. М.