

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.114.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КРИСТАЛЛОГРАФИЯ И
ФОТОНИКА» РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ПО ДИССЕРТАЦИИ
РОГОВА ОЛЕГА ЮРЬЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 11 февраля 2020 г., протокол № 4

О присуждении **Рогову Олегу Юрьевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Формирование и исследование хиральных фотонных наноструктур методами электронной и ионной микроскопии» по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния» принята к защите 12.11.2019 г., протокол № 6, диссертационным советом Д 002.114.01 на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук» (ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России), 119333, г. Москва, Ленинский проспект, дом 59. Диссертационный совет Д 002.114.01 создан приказом Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Рогов Олег Юрьевич, 1989 г.р., в 2012 г. окончил кафедру физической электроники МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «фундаментальная радиофизика и физическая электроника». В настоящее время работает в лаборатории электронной микроскопии структурного подразделения ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН – «Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН» (ИК РАН), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в должности младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории электронной микроскопии структурного подразделения ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН – ИК РАН, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – **Артемов Владимир Викторович**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории электронной микроскопии Института кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Официальные оппоненты:

Аронзон Борис Аронович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией физического материаловедения полупроводников Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук;

Боргардт Николай Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

— дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (Факультет наук о материалах)**, г. Москва, в своём **положительном отзыве**, подписанном доцентом факультета наук о материалах А.А. Елисеевым, заведующим кафедры наноматериалов факультета наук о материалах, доктором химических наук, чл.-корр. РАН Е.А. Гудиным; заместителем декана по научной работе факультета наук о материалах чл.-корр. РАН А.В. Лукашиным; и утвержденном проректором – начальником Управления научной политики и организации научных исследований ФГБОУ МГУ им. М.В. Ломоносова А.А. Федяниным, указала, что диссертационная работа Рогова Олега Юрьевича «Формирование и исследование хиральных фотонных наноструктур методами электронной и ионной микроскопии» посвящена изготовлению фотонных и хиральных наноструктур методами ионной микроскопии с помощью фокусированного ионного пучка (ФИП), и исследованию физических свойств этих наноструктур методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Поскольку оптические свойства таких структур в значительной мере зависят от процесса формирования структуры и точности передачи заложенного «отпечатка» ионным пучком, в диссертационной работе также исследуются современные подходы осуществления прецизионного контроля ФИП с помощью специально подготавливаемых цифровых шаблонов, определению оптимальных параметров травления ФИП и диагностике наноструктур методами трехмерной реконструкции на основе ФИП-томографии. Необходимость совершенствования существующих методов литографии оптических наноструктур, разработки новых подходов изготовления и исследования фотонных метаматериалов, рассматриваемых в работе, обладает высокой практической значимостью для задач современной фотоники.

Практическая значимость работы достаточно велика за счет предложенного комплекса методов разработки, изготовления и диагностики наноструктур для видимого диапазона. Разработаны новые методические приемы получения фотонных метаматериалов и проведено их исследование методами электронной и ионной микроскопии, оптическими методами. Полученные результаты обладают научной и практической значимостью и могут быть использованы в научных учреждениях: МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, НИЯУ «МИФИ», учреждениях Российской академии наук: ИВС РАН, ИОНХ РАН и др. Выводы диссертационной работы достоверны, подтверждены количественными оценками и не вызывают сомнений.

Диссертация Рогова Олега Юрьевича «Формирование и исследование хиральных фотонных наноструктур методами электронной и ионной микроскопии», соответствует паспорту специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» в Части 1 «Теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и в том числе материалов световодов как в твердом, так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления», Части 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами» и Части 7 «Технические и технологические приложения физики конденсированного состояния».

Работа является законченным исследованием и полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным согласно пунктам 9-14 раздела II Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а ее автор, Рогов Олег Юрьевич, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

По теме диссертационной работы опубликовано 6 статей в рецензируемых научных журналах. Результаты представлены на 6 различных международных конференциях. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Implications of the causality principle for ultra chiral metamaterials / M.V. Gorkunov, V.E. Dmitrienko, A. A. Ezhov, V.V. Artemov, **O.Y. Rogov** // **Scientific Reports**. — 2015. — Т. 5, No 1.

2. Extreme optical activity and circular dichroism of chiral metal hole arrays / M. V. Gorkunov, A. A. Ezhov, V. V. Artemov, **O. Y. Rogov**, S. G. Yudin // **Applied Physics Letters**. — 2014. — Т. 104, No 22. — С. 221102.
3. FIB-fabricated complex-shaped 3D chiral photonic silicon nanostructures / **O.Y. Rogov**, V.V. Artemov, M.V Gorkunov, A.A. Ezhov, D.N. Khmelenin // **Journal of Microscopy**. — 2017. — Т. 268, No 3. — С. 254—258.
4. AFM reconstruction of complex-shaped chiral plasmonic nanostructures / A. Kondratov, **O. Rogov**, R. Gainutdinov // **Ultramicroscopy**. — 2017. — Т. 181. — С. 81—85.
5. Extreme optical chirality of plasmonic nanohole arrays due to chiral Fano resonance / A. V. Kondratov, M. V. Gorkunov, A. N. Darinskii, R. V. Gainutdinov, **O. Y. Rogov**, A. A. Ezhov, and V. V. Artemov // **Physical Review B**. — 2016. — Т. 93, No 19.
6. Chiral visible light metasurface patterned in monocrystalline silicon by focused ion beam / M. V. Gorkunov, **O.Y. Rogov**, A. V. Kondratov, V. V. Artemov, R. V. Gainutdinov, A. A. Ezhov // **Scientific Reports**. — 2018. — Т. 8, No 1. - С. 1—10.

На диссертацию и автореферат поступило 3 **положительных отзыва**.

Колмычек Ирина Алексеевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры общей физики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» отметила в качестве замечания, что есть некоторые недочеты по оформлению автореферата и незначительное количество опечаток.

Митюхляев Виталий Борисович – к.ф.-м.н., начальник отдела акционерного общества «Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума» отметил в качестве замечания к автореферату отсутствие данных по достигнутой точности изготовления хиральных фотонных наноструктур методом ФИП.

Башарин Алексей Андреевич – к.т.н., доцент лаборатории «Сверхпроводящие метаматериалы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» отметил в качестве замечания, что есть незначительное количество опечаток в тексте автореферата.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами в области физики твердого тела, электронной и ионной микроскопии, а в ведущей

организации активно проводятся работы по созданию и исследованию наноструктур различными современными экспериментальными методами.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований реализован и успешно применён комплекс современных методов электронной и ионной микроскопии, а также рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) для исследования хиральных фотонных наноструктур различной симметрии в тонких слоях серебра и структурах вида кремний-на-сапфире (КНС), изготовленных методом фокусированного ионного пучка (ФИП) по программируемым цифровым шаблонам. Определены параметры ФИП, оптимальные для литографии единичных хиральных наноструктур и их массивов. Показано, что сформированные наноструктуры обладают экстремальными значениями кругового дихроизма и оптического вращения в видимом диапазоне спектра. Выявлены различия в оптическом пропускании эпитаксиальной пленки кремния в КНС до и после изготовления в ней периодического профиля переменной глубины. Установлено, что термическое окисление обеспечивает повышение оптической прозрачности наноструктур в КНС по сравнению с измеренной для образца до отжига. Методами РСМА проведен сравнительный анализ концентрационных профилей и карт распределения химических элементов в КНС при изготовлении хиральных фотонных наноструктур. Методами просвечивающей микроскопии и РСМА исследован процесс имплантации галлия в приповерхностные слои КНС после обработки ФИП при изготовлении хиральных фотонных наноструктур. Методами трехмерной ФИП-томографии определен рельеф поверхности хиральных наноструктур в КНС, получены трехмерные модели слоев в КНС для изготовленных наноструктур до и после их термического окисления. Показана применимость полученных моделей для численного моделирования.

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что: для формирования и исследования хиральных фотонных наноструктур, обладающих экстремально высокими показателями оптического вращения и кругового дихроизма, подобран и успешно применен комплекс методов включающий: растровую и просвечивающую электронную микроскопию, трехмерную ФИП-томографию и сегментацию серий изображений растровой микроскопии для определения рельефа хиральных фотонных наноструктур, а также РСМА. Результаты, полученные в работе, применимы для изготовления фотонных метаматериалов с экстремальными показателями оптического вращения (до 90°) и кругового дихроизма (до 0,9 отн. ед.). Исследованное влияние имплантации галлия при использовании ФИП для обработки эпитаксиальных структур КНС и предложенный технологический

подход к уменьшению нарушенного слоя в кремнии с сохранением симметрии наноструктур обладают высоким прикладным потенциалом для создания различных функциональных диэлектрических метаповерхностей, применимых в качестве пропускающих спектрально- и поляризационно-селективных оптических фильтров, фокусирующих и преломляющих элементов, а также для генерации высших гармоник.

Оценка достоверности результатов диссертационной работы выявила, что экспериментальные результаты получены соискателем с применением современного оборудования, сертифицированного в соответствии с международными стандартами. Достоверность результатов также обеспечивается получением значительного объема экспериментальных данных, измеренных с использованием широкого набора методов, и квалифицированным качественным и количественным анализом. Обоснованность положений, выносимых соискателем на защиту, подтверждается хорошей согласованностью полученных экспериментальных данных с теоретическими расчетами, оптической диагностикой и данными из литературных источников. По материалам диссертации опубликовано **6 статей** в рецензируемых международных научных журналах, входящих в список рекомендованных ВАК, а также лично представлены устные доклады на национальных и международных научных конференциях, опубликованы материалы конференций.

Личный вклад соискателя состоял в проведении экспериментов методами растровой и просвечивающей электронной микроскопии, обработке и интерпретации полученных данных, подготовке программ генерации цифровых шаблонов для ФИП, проведении ФИП-томографии изготовленных наноструктур и сегментации серий изображений; расчете параметров термического окисления КНС, оптимальных параметров ФИП и времени экспозиции ионного пучка, а также подготовке образцов. Автор активно участвовал в обсуждении и обобщении полученных результатов и формировании научных выводов, а также в подготовке научных публикаций в журналах и устных докладов на международных отечественных и зарубежных конференциях, школах и семинарах.

Диссертация отвечает на ключевые вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства. Объединяющим фактором и основной идейной линией являются исследования комплексом методов электронной и ионной микроскопии с применением современных подходов к обработке и интерпретации экспериментальных данных, представляющих интерес как с точки зрения физики конденсированных сред, так и разработки новых функциональных материалов и решения широкого спектра практических задач в современной оптике.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая полностью соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 11 февраля 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Рогову Олегу Юрьевичу учёную степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета,
член-корреспондент РАН

М.В. Ковальчук

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

К.В. Фролов

« 11 » февраля 2020 г.

Учёный секретарь ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН
кандидат физико-математических наук



Л.А. Дадинова