

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 22.03.2021 № 123

О присуждении Смирнову Антону Андреевичу, гражданину РФ,

учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Фотоиндуцированное формирование полупроводниковых наночастиц в полимерных матрицах» по специальности 01.04.21 – Лазерная физика принята к защите 21 декабря 2020 г., протокол №122, диссертационным советом Д 002.069.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения (ФГБНУ) «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН), 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.

Соискатель, Смирнов Антон Андреевич, 1990 года рождения, в 2013 году окончил ННГУ им. Н.И. Лобачевского, в 2017 году окончил аспирантуру ИПФ РАН, работает младшим научным сотрудником в ИПФ РАН.

Диссертация выполнена в отделе 340 ИПФ РАН.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Битюрин Никита Михайлович, заведующий лабораторией 341 «Лазерной наномодификации материалов» отдела 340 ИПФ РАН.

Официальные оппоненты, Свиридов Александр Петрович, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института фотонных технологий Федерального научно-исследовательского центра «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук и Шорохов Александр Сергеевич, кандидат физ.-мат. наук, научный сотрудник физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский

государственный университет имени М. В. Ломоносова» дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, ФГБНУ Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н.Семенова Российской академии наук (г. Москва) в своём положительном заключении, подписанном ведущим научным сотрудником, к.ф.-м.н. Айбушем Арсением Валериевичем и утверждённом директором ФИЦ ХФ РАН, д.х.н., профессором В.А.Надточено, указала, что диссертация А.А.Смирнова соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Соискатель имеет по теме диссертации 23 опубликованные работы, в том числе: 10 статей в рецензируемых журналах, 1 патент и 12 работ в трудах всероссийских и международных конференций. Наиболее значимыми работами являются:

1. Smirnov A.A., Elagin V., Afanasiev A., Pikulin A., Bityurin N. Luminescent patterns recorded by laser irradiation of a PMMA matrix with a soluble CdS precursor // Opt. Mater. Express. 2020. Vol. 10. No. 9. Pp. 2114-2125.

2. Smirnov A.A., Afanasiev A., Gusev S., Tatarskiy D., Ermolaev N., Bityurin N. Exposure dependence of the UV initiated optical absorption increase in polymer films with a soluble CdS precursor and its relation to the photoinduced nanoparticle growth // Opt. Mater. Express. 2018. Vol. 8. No. 6. pp. 1603-1612.

3 Smirnov A.A., Pikulin A., Bityurin N. Spatial localization of nanoparticle growth in photoinduced nanocomposites // Appl. Phys. A. 2018. Vol. 124. P.117.

4. Smirnov A.A., Pikulin A., Sapogova N., Bityurin N. Femtosecond laser irradiation of plasmonic nanoparticles in polymer matrix: Implications for photothermal and photochemical material alteration // Micromachines. 2014. Vol. 5. No. 4. pp. 1202-1218.

5. Bityurin N., Smirnov A.A. Model for UV induced growth of semiconductor nanoparticles in polymer films // Appl. Surf. Sci. 2019. Vol. 487. pp. 678-691.

На диссертацию и автореферат поступило 6 отзывов. Все отзывы положительные, в них отмечают актуальность диссертации, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Положительный отзыв ведущей организации, кроме стилистических, содержит следующие замечания: при моделировании процесса роста полупроводниковых наночастиц следовало бы использовать более точную формулу для зависимости ширины запрещенной зоны от размера частицы; в диссертации не представлены спектры фотовозбуждения люминесцентных полос.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.П.Свиридова содержит, наряду с редакционными, следующие замечания: название диссертации является слишком общим; во введении отсутствуют литературные данные по спектрам люминесценции наночастиц сульфида кадмия и ссылки на ряд работ по формированию структур из наночастиц благородных металлов; в ряде мест диссертации, где идет речь об оптической плотности, не указана толщина образцов. Положительный отзыв официального оппонента к.ф.-м.н. А.С.Шорохова содержит, кроме редакционных, следующие замечания: во введении следовало бы обсудить возможность использования рассматриваемых в диссертации процессов для объемной растровой фотоактивации и для создания объектов с внедренными квантовыми точками; в работе не достаточно подробно рассмотрено влияние длительности лазерного импульса на процесс создания микроструктур; в пятой главе упоминается, но не рассматривается фотоиндуцированный процесс в сильном ближнем поле плазмонной наночастицы при воздействии фемтосекундного лазерного излучения; четко не сформулированы условия, когда размер области формирования наночастиц будет определяться дифракционным пределом при фокусировке оптической накачки.

Положительный отзыв на автореферат к.т.н. М.М.Сергеева (ИТМО, СПб) содержит следующие замечания: не объяснено, как полимерная матрица влияет на спектр люминесценции модифицированной области при увеличении плотности энергии УФ лазерного излучения, не указано, будут ли процессы роста наночастиц CdS, происходящие при воздействии импульсного излучения на длинах волн 266 и 355 нм, аналогичны процессам, происходящим при воздействии непрерывного излучения на длине волны 365 нм; остались не раскрыты условия перехода механизма лазерного синтеза наночастиц от

фотохимического к фототермическому. Положительный отзыв на автореферат д. ф.-м. н. Г.А.Шафеева (ИЦВИ ИОФ РАН, г. Москва) содержит замечание о предпочтительности формулировки защищаемых положений без использования численных значений параметров. Положительный отзыв на автореферат к. ф.-м. н. С.В.Старинского (Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск) замечаний не содержит.

На все вопросы и замечания, содержащиеся в отзывах, А.А.Смирновым были даны ответы и комментарии.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что они являются признанными специалистами в области лазерной физики и оптических наноматериалов, а ведущая организация является одним из лидеров в области лазерной физики и нанооптики.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

- показано, что при воздействии 15-наносекундных лазерных импульсов 4-й гармоники Nd:YAG лазера на материал, состоящий из полимерной матрицы полиметилметакрилата (ПММА) с добавленным в нее нерастворимым прекурсором наночастиц CdS при малых значениях плотности энергии в импульсе люминесценция соответствует образованию наночастиц в зернах прекурсора внутри матрицы, а с увеличением плотности энергии спектр смещается в коротковолновую область, что соответствует влиянию полимерной матрицы;
- получен новый материал ПММА/ TEDBCd на основе специального соединения, растворенного в полимерной матрице, в котором при воздействии УФ излучения образуются наночастицы сульфида кадмия, и исследованы его свойства;
- показано, что экспериментальные характеристики светоиндуцированного гетерогенного роста наночастиц CdS внутри полимера могут быть объяснены с помощью теоретической модели, предполагающей, что лимитирующей стадией процесса является фотохимический распад прекурсора, с квантовым выходом, зависящим от температуры, а также учитывающей влияние размеров наночастиц на их оптические свойства.

- показано, что формирование в пленках ПММА/TEDBCd люминесцентных микроструктур может быть реализовано с помощью импульсного лазерного излучения третьей гармоники Nd:YAG лазера (длина волны 355 нм) методами прямой лазерной записи или с помощью масок, таких как монослой прозрачных диэлектрических микросфер, нанесенный на поверхность материала;

- теоретически показано, что при локальном иницировании образования наночастиц в фотоиндуцированных нанокompозитах процесс их формирования может оказаться нелокальным в силу диффузионного механизма их роста. Одним из механизмов локализации является захват диффундирующих продуктов распада прекурсора уже образованными частицами. Локальное иницирование может быть осуществлено как сфокусированным лазерным пучком, так лазерным нагревом металлических частиц, внедренных в полимерную матрицу.

**Теоретическая значимость работы** подтверждается тем, что построена базовая теоретическая модель светоиндуцированного роста полупроводниковых наночастиц внутри полимерной матрицы.

**Практическая значимость работы** связана с перспективами использования полученных результатов для трехмерного структурирования материала оптическими методами. Исследуемые материалы и методы работы с ними представляют интерес для изготовления оптических и оптоэлектронных устройств, светоизлучающих микросистем, элементов прозрачной электроники.

**Достоверность результатов исследования обоснована тем, что:**

- экспериментальные результаты получены с помощью сертифицированного оборудования, калибровки которого выполнены производителем или с помощью широко распространённых стандартных методов;

- теоретическая часть исследований основана на известных аналитических и численных подходах и подтверждается экспериментальными результатами;

- результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих журналах и докладывались на международных конференциях.

### **Личный вклад соискателя**

Представленные в диссертации результаты были получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Эксперименты по УФ воздействию на материалы и исследованию их оптических свойств, а также по лазерной модификации материалов ПММА/TEDBCd спланированы и проведены автором лично. Теоретическое моделирование проводилось совместно с научным руководителем. Автор участвовал в построении данных моделей, им выполнены все расчеты.

На заседании от 22.03.2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Смирнову А.А. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 9 докторов наук по специальности 01.04.21 рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 23, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета  
академик РАН

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

«22» марта 2021 г.

