

**ОТЗЫВ официального оппонента Шорохова Александра Сергеевича
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Смирнова Антона Андреевича
на тему: «Фотоиндуцированное формирование полупроводниковых
наночастиц в полимерных матрицах»
по специальности 01.04.21 – «лазерная физика»**

Диссертация А.А. Смирнова посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию процессов формирования полупроводниковых наночастиц в полимерных матрицах при воздействии УФ излучения. Подобные нанокompозитные материалы могут быть использованы в различных областях науки и техники, в частности, в оптоэлектронике при создании активных светоизлучающих устройств. Чаще всего такие соединения получают с помощью синтеза наночастиц с последующим внедрением в раствор полимера. В представленной работе автор делает акцент на альтернативном подходе – росте наночастиц внутри полимерной матрицы в результате фотоиндуцированного разложения прекурсора. Это дает возможность пространственно-селективного структурирования материала и создания нового типа объектов. Все вышеуказанное определяет актуальность темы представленного исследования.

Диссертационная работа А.А. Смирнова состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитированной литературы. Кроме того, в приложении также представлены результаты по УФ-индуцированным нанокompозитам на основе полимерных материалов с двумя прекурсорами, которые не вошли в основные выводы. Работа оформлена на 121 страницах, включая 83 рисунка и 118 библиографических ссылок.

Во **введении** автор описывает актуальность проводимого исследования, отмечает нерешенные в данной области науки задачи, формулирует цели, указывает, в чем состоит новизна и практическая значимость. Также

приведены данные по апробации результатов работы. Закачивается введение обзором литературы, показывающим современное состояние исследований в данной области науки.

В **первой главе** автор рассматривает различные виды прекурсоров для УФ-индуцированного формирования наночастиц в полимерных матрицах. Приведены два альтернативных случая – полимер с добавленным в него нерастворимым соединением кадмия и полимер с растворимым соединением циклическим дитиолатом кадмия TEDBCd. В представленной работе это соединение впервые применялось как прекурсор именно для фотохимического процесса.

Во **второй главе** диссертации исследуются фотоиндуцированные процессы формирования наночастиц CdS в матрице ПММА/TEDBCd. Изучается зависимость оптических свойств полученного в результате фотоздействия материала от параметров УФ облучения. В последнем разделе главы представлена методика, разработанная для исследования оптических свойств прозрачных материалов непосредственно в процессе фотохимической реакции.

В **третьей главе** диссертации разработана теоретическая модель формирования полупроводниковых наночастиц CdS в полимерной матрице с растворимым прекурсором под воздействием УФ излучения. Представлено описание применяемой модели, приведены уравнения и используемые приближения, обсуждается распределение формируемых кластеров по размерам, проводится сравнение теоретических результатов с экспериментом.

В **четвертой главе** диссертации рассмотрены возможности формирования микроразмерных люминесцентных структур в полимерных матрицах с растворимым прекурсором с помощью лазерного воздействия. Экспериментально продемонстрирована как прямая запись сфокусированным лазерным лучом с помощью механического сканирования, так и запись

микроструктур с помощью маски в виде монослоя прозрачных диэлектрических микросфер.

В **пятой** главе диссертации проведено теоретическое описание лазерно-индуцированного формирования наночастиц внутри матрицы в локально ограниченной области. В качестве примеров рассмотрено сфокусированное излучение, а также задача о разрушении прекурсора вблизи металлической наночастицы внутри полимерной матрицы при воздействии ультракороткими лазерными импульсами.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Среди достоинств диссертации А.А. Смирнова следует указать доступный авторский стиль изложения, который позволяет читателю, который не является экспертом в представленной области, понять содержание проведенного исследования. Следует отметить, что была проделана не только серьезная экспериментальная работа, но и основательный теоретический анализ, который позволил объяснить наблюдаемые явления. С этой точки зрения представленная диссертация является полноценным законченным исследованием. Выполненная работа проведена на высоком мировом уровне, о чем свидетельствуют публикации автора в международных научных журналах.

Несмотря на общее положительное впечатление от диссертационной работы А.А. Смирнова, считаю необходимым сделать ряд замечаний и отразить некоторые возникшие при прочтении вопросы:

1. Во введении автор обсуждает двухфотонную полимеризацию как один из возможных подходов для создания трехмерных микроструктур из полимерных материалов. Можно ли похожий метод применить к объемной растровой фотоактивации в рассмотренных в работе соединениях? Можно

- ли таким образом создавать сложные трехмерные объекты с внедренными в них квантовыми точками?
2. В работе рассматривается воздействие как непрерывных, так и импульсных источников света на исследуемые образцы. При этом достаточно подробно обсуждается зависимость эффекта от интенсивности падающего излучения, но не до конца остается понятно влияние длительности импульса на протекание процесса. Есть ли разница между облучением УФ диодом, как, например, во второй главе работы, или облучением наносекундными импульсами от Nd:YAG лазера? Почему было необходимо использовать оба типа источников?
 3. В пятой главе диссертационной работы при описании механизмов модификации материала при воздействии ультракоротких лазерных импульсов автор отмечает локализацию поля металлическими наночастицами и двухфотонное поглощение, а затем говорит про термоактивацию при нагреве. При этом в дальнейшем для описания он выбирает именно термоактивированную реакцию. Из текста не до конца ясно, почему предпочтение было отдано именно этому механизму. Из литературы известно, что при воздействии сверхкороткими лазерными импульсами на плазмонные наночастицы можно добиться очень высоких значений локального поля вблизи них при незначительном нагреве самих частиц (что обеспечивается очень малой средней и высокой пиковой мощностью накачки). На мой взгляд, в данном случае фотоиндуцированный процесс может доминировать над термоиндуцированным процессом.
 4. В работе также не удалось найти в явном виде ответ на вопрос, каков же будет минимальный размер области формирования наночастиц за счет фотоактивации. Можно ли добиться случая, когда этот размер будет определяться напрямую дифракционным пределом при фокусировке оптической накачки?

5. В тексте диссертации присутствуют опечатки; иногда встречаются разные обозначения одинаковых величин (к примеру, частота лазера в одном месте записана как «5 имп/с», а в другом как «5 Гц»). Также оформление некоторых рисунков может вводить читателя в заблуждение. В частности, ни рис. 8 в тексте автореферата, а также аналогичном рисунке 3.11 из основного текста диссертации приводятся экспериментальные точки двух цветов, при этом они сопровождаются двумя расчетными линиями в той же цветовой последовательности. Это наводит на мысль, что соответствующие одному цвету точки и линии нужно сопоставлять между собой, однако далее приводятся аналогичные графики, где цвет точек остается тем же, а одна из линий меняет свой цвет.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Не вызывает сомнений актуальность работы, ее новизна, а также достоверность представленных положений и выводов. Диссертация отвечает всем требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», а ее содержание соответствует паспорту специальности 01.04.21 – «лазерная физика» по физико-математическим наукам.

Таким образом, соискатель Смирнов Антон Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»

Шорохов Александр Сергеевич



Контактные данные:

тел.: + 7 (926) 380-34-49, e-mail: shorokhov@nanolab.phys.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация:

01.04.21 – Лазерная физика

Адрес места работы:

199991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 2

Физический факультет Московского Государственного университета
им. М.В. Ломоносова

Тел.: + 7 (926) 380-34-49, e-mail: shorokhov@nanolab.phys.msu.ru

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации



Подпись работника физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

А.С. Шорохова удостоверяю

Начальник
отдела кадров



04.03.2021 г.



Н. Г. Саисов