

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПФ РАН,
академик РАН Г.Г. Денисов



«10» июля 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Кудряшова Андрея Александровича «Лазерно-индуцированное формирование металлических и полупроводниковых наноструктур в полимере» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.

Работа выполнена в отделе нанооптики и высокочувствительных оптических измерений (отд. 340) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Битюрин Никита Михайлович, заведующий лабораторией лазерной наномодификации материалов ИПФ РАН, доктор физико-математических наук, профессор.

В 2020 г. соискатель учёной степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки 03.04.03. Радиофизика.

Сроки обучения в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»: с 1 сентября 2020 года по 31 августа 2024 года.

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000015 от 10 июля 2024 года.

В период подготовки диссертации соискатель Кудряшов Андрей Александрович работал младшим научным сотрудником в отделе нанооптики и высокочувствительных оптических измерений (отд. 340) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации

Представленные в диссертации результаты были получены лично автором, либо при его непосредственном участии. Все эксперименты по УФ/лазерному воздействию на материалы и исследованию их оптического поглощения и фотолюминесценции проведены

автором лично. Постановка задач, интерпретация результатов экспериментов, а также разработка теоретических моделей проводились совместно с научным руководителем.

Соединение $(\text{Ph}_3\text{P})\text{Au}(n\text{-Bu})$ было синтезировано в ИМХ РАН С. В. Барышниковой. Образцы в виде полистирольных пленок с добавленными прекурсорами были изготовлены И. С. Лукичевым. Исследования методами просвечивающей электронной микроскопии проводились в ИФМ РАН С. А. Гусевым и Д. А. Татарским. Рамановская спектроскопия проводилась в ФИЦ ХФ РАН совместно с В. А. Надточенко.

Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования

Впервые проведено теоретическое и экспериментальное исследование фотоиндуцированных нанокompозитов на основе полимерной матрицы, содержащей несколько различных прекурсоров, и формирования наночастиц типа ядро-оболочка в таких материалах.

1. Было подобрано золотосодержащее соединение $(\text{Ph}_3\text{P})\text{Au}(n\text{-Bu})$ и получен нанокompозитный материал полистирол/золотые наночастицы на его основе. Показано, что это соединение растворимо в полистироле, обладает фоточувствительностью и совместимо в полистироле с известным прекурсором сульфида кадмия.

2. Проведено теоретическое исследование роста оболочек у наночастиц-ядер в результате фотохимического распада прекурсора в полимерной матрице. Показано, что эффективность процесса роста оболочки существенно ограничивается процессом роста отдельных (паразитных) наночастиц.

3. Проведено экспериментальное исследование фотоиндуцированного роста наночастиц в полистирольной матрице, содержащей два прекурсора (Au и CdS). Наночастицы золота в этих образцах были получены без видимого разрушения прекурсора CdS. При дальнейшем УФ облучении с одновременным измерением оптических свойств этих образцов, было обнаружено в спектрах поглощения смещение пика плазмонного резонанса в сторону длинных волн, что характерно для наночастиц типа ядро-оболочка Au/CdS, а также возникновение характерной для CdS люминесценции.

4. Была разработана теоретическая модель лазерно-индуцированного роста наночастиц типа ядро-оболочка (Au/CdS) в полимерной матрице, в которой наночастицы золота выступают в качестве преобразователя излучения пикосекундных лазерных импульсов в тепло, а рост оболочки происходит в результате локального термического распада прекурсора CdS в окрестности золотой наночастицы. Показано, что при всех ограничивающих факторах для реалистичных значений кинетических параметров прекурсора можно получить оболочку размером порядка радиуса ядра.

5. Получен оригинальный результат по использованию золотых наночастиц как преобразователей лазерного излучения в тепло для карбонизации полистирола. В местах облучения полистирольной пленки, содержащей золотые наночастицы, наносекундными импульсами в полосе плазмонного резонанса золота и прозрачности матрицы были получены люминесцирующие структуры аморфного углерода, в частности, структуры ядро-оболочка золото/углерод. Разработана модель, которая хорошо описывает экспериментальные результаты.

6. Получены графитоподобные люминесцентные структуры в результате карбонизации полистирольных микрошариков фемтосекундными лазерными импульсами.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Все представленные результаты диссертационного исследования являются достоверными и обоснованными. В работе применялись надежные и апробированные методы и подходы. Положения и основные результаты диссертационной работы опубликованы в рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, в изданиях, входящих в «Перечень ВАК». Результаты докладывались на российских и международных симпозиумах и конференциях, обсуждались на научных семинарах.

Практическая и теоретическая значимость результатов исследования

Значимость работы связана с перспективами использования полученных теоретических и экспериментальных результатов в области изготовления фотоиндуцированных нанокompозитных материалов, содержащих наночастицы сложного состава, такие как ядро-оболочка, имеющие ряд преимуществ по сравнению с однокомпонентными наночастицами. Такие материалы интересны для применения в оптических и оптоэлектронных устройствах, в частности, в прозрачной гибкой электронике.

Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук

1. Smirnov, A.A., Kudryashov, A., Agareva, N., Afanasiev, A., Gusev, S., Tatarskiy, D., Bityurin, N. In-situ monitoring of the evolution of the optical properties for UV LED irradiated polymer-based photo-induced nanocomposites // Appl. Surf. Sci. - 2019. – Vol. 486. - P. 376–382.
2. Bityurin, N., Kudryashov, A. Diffusion-assisted ultrashort laser pulse induced photothermal growth of core-shell nanoparticles in polymer matrix // Opt. Express. - 2021. – Vol. 29. - P. 37376.
3. Kudryashov, A., Baryshnikova, S., Gusev, S., Tatarskiy, D., Lukichev, I., Agareva, N., Poddel'sky, A., Bityurin, N. UV-Induced Gold Nanoparticle Growth in Polystyrene Matrix with Soluble Precursor // Photonics. - 2022. – Vol. 9. - P. 776.
4. Патент РФ № 785991. Способ лазериндуцированного создания наночастиц типа ядро-оболочка в полимерных матрицах / Битюрин Н. М., Кудряшов А. А. Приоритет 25.04.2022. Регистрация 15.12.2022.
5. Kudryashov, A., Gusev, S., Tatarsky, V., Nadtochenko, D., Bityurin, N. Gold nanoparticles-mediated nanosecond laser-induced polystyrene carbonization with luminescent amorphous products // JOSA B (статья на рецензии).
6. Bityurin, N., Sapogova, N., Kudryashov, A., Pikulin, A. Heterogeneous models for UV induced precursor-mediated growth of CdS nanoparticles in PMMA films. Fitting experimental curves and core-shell growth // ACS OMEGA (статья на рецензии).

Ценность научных работ диссертанта отражается высоким уровнем публикаций в рецензируемых международных журналах. Они неоднократно обсуждались на различных конференциях и семинарах.

Результаты, представленные в диссертационной работе, изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Формулировки результатов изложены в соответствии с личным вкладом автора в каждую из опубликованных статей. Ссылки на источники заимствования материалов оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.19. Лазерная физика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Лазерно-индуцированное формирование металлических и полупроводниковых наноструктур в полимере» Кудряшова Андрея Александровича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.


Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.

Присутствовало на заседании 16 чел.

Результаты голосования: «за» – 16 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел.
протокол № 9 от « 20 » июня 2024 г.



Стародубцев Михаил Викторович,
доктор физико-математических наук,
Председатель Ученого совета отделения
нелинейной динамики и оптики



Шилягин Павел Андреевич,
кандидат физико-математических наук,
Учёный секретарь отделения нелинейной динамики
и оптики, зам. зав. отделом 340