

«Утверждаю»  
Директор федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки Института  
лазерной физики Сибирского  
отделения Российской академии  
наук доктор физико-  
математических наук  
О.Н. Прудников

«23» мая 2025 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе Осипова Антона Владиславовича «Лазерный синтез линейных углеродных структур», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.19 – Лазерная физика

Диссертационная работа А.В. Осипова посвящена исследованию механизмов формирования, свойств и стабилизации наноразмерных линейных углеродных структур, синтезированных лазерно-индуцированным методом. В работе предложен двухстадийный метод лазерно-индуцированного синтеза линейных углеродных наноструктур, показана возможность управления их структурными свойствами за счет изменения условий лазерного воздействия, продемонстрирована стабилизация линейных углеродных структур за счет использования наночастиц золота и детально изучены их структурно-размерные и спектроскопические свойства.

В настоящий момент лазерные методы активно используются в различных отраслях науки и техники. Взаимодействие лазерного излучения, в том числе лазерных импульсов ультракороткой длительности, с веществом является актуальным направлением исследований. Посредством лазерного

излучения возможен синтез перспективных наноматериалов с уникальными свойствами, а также создание новых композитных материалов на их основе .

**Актуальность работы** не вызывает сомнений и заключается в разработке метода лазерно-индуцированного синтеза наноматериалов с заданными оптическими и структурными свойствами. Интенсивная фотоионизация, высокая температура и давление, создаваемые лазерным взаимодействием с веществом в предельно короткие времена, дают возможность получать материалы, которые трудно синтезировать в обычных условиях или традиционными методами.

Наиболее перспективными и активно разрабатываемыми наноматериалами являются структуры на основе углерода, в частности, линейные углеродные структуры. Актуальность разработки методов синтеза линейных углеродных структур обусловлена их уникальными свойствами и возможностью применения в фотонике и молекулярной электронике. Для развития лазерно-индуцированного метода синтеза линейных углеродных структур необходимо понимание фундаментальных процессов взаимодействия лазерного излучения с веществом, что позволит спрогнозировать и управлять свойствами получаемых структур.

Для достижения цели работы соискателю необходимо было изучить особенности лазерной жидкофазной абляции аморфного углеродного материала (шунгитного углерода) для разработки схемы и процедуры синтеза углеродных цепей; найти способ стабилизации синтезированных углеродных цепей для предотвращения перехода их в состояние с  $sp^2$ - или  $sp^3$ -гибридизацией; изучить их размерно-структурные и спектрально-кинетические свойства; создать экспериментальные схемы по осаждению получаемых наноструктур; изучить процессы поглощения поляризованного света образцами в системе высокоориентированных квазиодномерных линейных систем.

**Научная новизна работы** также не вызывает сомнений и связана, в основном, с разработкой двухстадийного метода лазерно-индуцированного

синтеза линейных углеродных наноструктур, который позволяет управлять их структурными свойствами путём изменения параметров лазерного воздействия. В процессе подготовки диссертационной работы было установлено, что фрагментация частиц шунгита в коллоидных системах с добавлением наночастиц золота обеспечивает стабилизацию пучков линейных углеродных цепей, предотвращая их сворачивание в другие аллотропные формы. Впервые продемонстрирована возможность формирования молекулярных кристаллов, состоящих из параллельных массивов линейных углеродных цепей, которые сохраняют свойства молекулярной структуры и демонстрируют возможность оптического возбуждения экситонов при накачке в диапазоне 370-390 нм. Экспериментально показано, что прикрепление к концам углеродных цепей золотых наночастиц приводит к их электронному легированию, что увеличивает интенсивность люминесценции таких комплексов на порядок по сравнению с цепями, стабилизированными водородом и/или гидроксильными группами. При этом обнаружено, что фотолюминесценция гибридных структур золото-углерод демонстрирует не только красное, но и голубое смещение на 30-80 нм от длины волны возбуждения 532 нм, обусловленное эффективной плазмонной накачкой. Кроме того, подтверждено, что ориентированные пучки линейных цепей способны к субволновому взаимодействию с линейно поляризованным лазерным излучением.

Следует отметить, что достоверность полученных результатов подтверждается построением адекватных теоретических моделей, использованием апробированных методов исследования, применением современного прецизионного экспериментального оборудования и поверенных средств измерений, воспроизводимостью результатов измерений и анализом их погрешностей.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 140 наименований, в том числе 20 работ

автора. Материал диссертации изложен на 125 страницах, сопровождается 46 рисунками и 1 таблицей.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, отражена степень разработанности темы исследования, сформулированы цели и задачи диссертации, представлены методология и методы исследования, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, сформулированы научные положения, выносимые на защиту, а также представлены сведения об апробации результатов работы.

**В первой главе** проведен литературный обзор по лазерному синтезу углеродных наноструктур, описаны свойства одномерных углеродных структур, методы их получения и стабилизации, а также описаны перспективы их практического использования.

**Во второй главе** автор приводит результаты экспериментов по высокоэнергетическому и высокоинтенсивному лазерному облучению различных углеродных мишеней, помещенных в воду. Экспериментально показано влияние параметров лазерного излучения на динамику формирования углеродных наноструктур, для создания углеродных наночастиц с заданными свойствами. Представлены результаты измерений спектров комбинационного рассеяния коллоидных систем.

**В третьей главе** представлена методика создания микроскопически длинных линейных углеродных цепей, их стабилизация и анализ структурных и оптических свойств карбиновых цепей, стабилизированных золотыми наночастицами. Метод синтеза основан на формировании углеродных цепей путем вторичной фрагментации углеродного коллоидного раствора.

**В четвертой главе** описаны разработка, создание и исследование лабораторного образца упорядоченной стабилизированной карбиновой пленки на поверхности прозрачной подложки по схеме капельного осаждения. Были исследованы оптические свойства предельно тонких углеродных цепей, измерены спектры фотолюминесценции карбиновых

цепочек, синтезированных в присутствии наночастиц золота и в отсутствие наночастиц золота. Было продемонстрировано изменение зависимости интенсивности фотолюминесценции пленки из карбиновых цепочек от угла поляризации. Представлены модели дипольных оптических переходов для люминесценции упорядоченной карбиновой пленки. Представлен анализ интенсивности фотолюминесценции углеродных цепочек разной длины.

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

На основе анализа диссертационной работы А.В. Осипова можно заключить, что работа имеет существенную **научную и практическую значимость**.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в Институте лазерной физики СО РАН, Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Институте спектроскопии РАН, Уральском федеральном университете им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Национальном исследовательском Томском политехническом университете, Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН и в других организациях.

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, опубликованы в 29 работах, 12 из которых входят в индекс цитирования WoS и Scopus, 6 в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации, 9 публикаций в сборниках материалов научных конференций.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

#### **Соответствие научной специальности**

Тематика и содержание диссертационной работы соответствуют направлениям исследований 2, 3 и 4 паспорта научной специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

К представленной диссертационной работе имеются следующие **вопросы и замечания:**

1. Во введении при изложении теоретической и практической значимости работы в пункте 1 написано, что «Экспериментально доказана эффективность методов лазерной абляции в жидкости для получения углеродных частиц с узкой размерной дисперсией». Следует отметить, что данный факт уже известен относительно давно. В данном пункте не хватает информации по характеристикам лазерного излучения и условиям проведения экспериментов для достижения узкой размерной дисперсии. Чем по мнению автора достигается узкое распределение частиц по размеру?

2. Изложенный литературный обзор, посвященный линейным углеродным структурам (разделы 1.4 и 1.5), недостаточно отражает современное состояние исследований по синтезу таких структур, отражено лишь 5 работ, опубликованных после 2020 г.

3. Проводилась ли оценка квантового выхода фотолуминесценции исследуемых линейных углеродных структур?

4. Обнаруженные неточности и опечатки:

- в тексте диссертации сокращение УНТ вводится на стр.23, расшифровка только на 28 стр., отсутствует расшифровка сокращению ЛАЖ (стр. 33);
- на стр.35 в 4-ом предложении в слове «учитываются» опечатка, правильно «учтены»;
- в таблице 1 nm – написаны по-английски;
- в тексте диссертации опечатка в слове «лабораторный» на стр. 99.

Сформулированные замечания и вопросы не являются принципиальными и носят в основном рекомендательный характер.

### **Заключение**

Диссертационная работа Осипова Антона Владиславовича «Лазерный синтез линейных углеродных структур» является завершённым научно-квалификационным исследованием, выполненным автором в существенной мере самостоятельно и на высоком научном уровне. Диссертация

соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (в редакции от 16.10.2024), а ее автор Осипов Антон Владиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Диссертация Осипова А. В. обсуждена, а настоящий отзыв обсужден и утвержден на научном семинаре теоретической лаборатории ИЛФ СО РАН, который проходил 23 мая 2025 г. в 10-00, протокол №1.

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник, заведующий теоретической лабораторией ИЛФ СО РАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук

Тайченачев Алексей Владимирович

23.05.2025

Подпись главного научного сотрудника ИЛФ СО РАН

Тайченачева Алексея Владимировича

удостоверяю

Ученый секретарь ИЛФ СО РАН

к.ф.-м.н. Покасов Павел Викторович

23.05.25

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с уставом: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук

Сокращённое наименование: ИЛФ СО РАН

Юридический адрес: 630090, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 15Б

телефон: +7 (383) 333-29-67

электронная почта: info@laser.nsc.ru

web-сайт: http://www.laser.nsc.ru