

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)  
6D060400 – Физика

АЛИХАЙДАРОВА ЭЛЬМИРА ЖУМАГАЛИЕВНА

### **Особенности фотоиндуцированных электронных процессов в наноструктурах на основе оксида графена**

**Актуальность темы.** Углерод является одним из наиболее распространенных химических элементов. Углеродные материалы, которые включают графит, алмазы, фуллерены, углеродные нанотрубки и графен хорошо известны уже долгое время.

Графен и его производные в настоящее время активно исследуются и используются при разработке устройств оптоэлектроники, фотовольтаики и фотокатализа. Графен с поверхностными кислородсодержащими группами называют оксидом графена. Оксид графена и его модификации, в отличие от графена, является более удобным материалом для исследователей, поскольку его легко получить, а также использовать в практических целях.

Исследования в области использования графена структур в последнее время привели к значительному росту публикаций в области синтеза и изучения люминесцирующих углеродных и графеновых точек. В сравнении с традиционными полупроводниковыми квантовыми точками и органическими красителями, фотолюминесцирующие углеродсодержащие (carbon-based) квантовые точки обладают высокой устойчивостью в водных растворах, химической инертностью, фотостабильностью, биосовместимостью и низкой токсичностью.

Различными авторами показано, что оптические свойства графеновых точек зависят как от их структуры, так и состава. Например, что ширина запрещенной зоны графеновых точек влияет на положение максимума их свечения по шкале длин волн. Этот параметр может быть модифицирован путем изменения степени окисления графена, а также поверхностно-краевыми состояниями. Кроме того, было продемонстрировано, что при химическом синтезе графеновых квантовых точек, также можно управлять величиной квантового выхода их свечения путем восстановления карбоксильных и эпокси-групп на поверхности оксида графена, которые являются центрами безызлучательной рекомбинации электронно-дырочных пар. Авторами работы продемонстрировано, что допирование графеновых точек атомами азота приводит к гипсохромному сдвигу спектра фотолюминесценции, тогда как уменьшение дефектности и наличие функциональных групп – к батохромному эффекту.

Синтез графеновых точек возможен двумя путями – «снизу-вверх» и «сверху-вниз». Первый подход основан на росте подходящего прекурсора, например небольших молекул ароматических углеводородов или полимеров,

в нано-размерные графеновые точки путем реакций, проводимых методами катализа металлов, либо гидротермального или микроволнового синтеза и т.д. В подходе «сверху-вниз» подразумевается прямое расщепление объемных углеродных материалов, например сажи или графита, на наноразмерные квантовые точки, путем жидкостного расслоения или методом электронно-лучевой литографии. Также данный подход может быть реализован с помощью метода лазерной абляции. При этом исключается использование дополнительных реактивов, что особенно важно для люминесцирующих объектов, например углеродных и графеновых квантовых точек.

Люминесцентную способность графеновых точек можно повысить с помощью явления локализованного плазмонного резонанса (ЛПР) наночастиц (НЧ) металлов. Изучение фотофизических процессов в люминофорах и молекулярных ансамблях, проходящих вблизи поверхности плазмонных наночастиц, является одной из актуальных задач современной оптической спектроскопии и люминесценции. Известно, что молекулы, помещенные вблизи поверхности наночастиц металлов, подвергаются действию локальных электромагнитных полей. При этом, в зависимости от расстояния между наночастицами и молекулами, скорости внутримолекулярных переходов либо увеличиваются, либо уменьшаются. В настоящее время только начинают появляться работы, посвященные взаимодействию графеновых точек с плазмонными наночастицами. Плазмонный эффект может быть использован для усиления люминесценции графеновых точек. Это откроет возможности их эффективного использования в таких областях, как создание чернил для целей безопасности, биоимиджинг, антибактериальные и дезинфицирующие систем, сенсоры ионов тяжелых металлов, фотоэлектрические устройства и светодиоды.

**Целью** диссертационной работы является исследование особенностей фотоиндуцированных электронных процессов в наноструктурах на основе оксида графена и его производных.

**Объектами исследования** являются наноструктуры на основе оксида графена (SLGO), восстановленного оксида графена (rGO) и оксида графена, допированный азотом (NGO), а также плазмонные наночастицы (НЧ) серебра и золота.

**Научная новизна** включает следующее:

1) Установлена взаимосвязь между условиями получения, структурно-морфологическими и оптическими свойствами полученных графеновых наноструктур. Разработана методика синтеза графеновых точек на основе оксида графена и его производных методом лазерной абляции;

2) Проведено систематическое исследование влияния наночастиц металлов на фотопроцессы в графеновых наноструктурах при изменении условий их взаимодействия;

3) Исследовано влияние наночастиц серебра на оптоэлектронные свойства пленок оксида графена, нанесенных методом аэрографии. Показано, что полученные наноструктуры GO+НЧ Ag демонстрируют значения

фототока, светочувствительность и детектирующую способность, сравнимую со значениями, полученными другими группами для чистого графена.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертационной работы определена поставленными задачами и состоит из введения, 4 разделов, заключения, библиографии. Она изложена на 99 страницах машинописного текста, иллюстрируется 50 рисунками, 16 таблицами, содержит список цитируемой литературы из 303 наименований.

**Основные результаты включают следующее:**

1. Структурные и спектрально-люминесцентные свойства наноточек на основе оксида графена и его производных определяются условиями их получения.

2. Тушение быстрой флуоресценции и усиление длительного свечения графеновых точек вблизи наночастиц металлов обусловлено Ферстеровским переносом энергии и плазмонным эффектом.

3. Допирование пленок оксида графена НЧ серебра приводит к росту значений фототока и улучшению их чувствительности и детектирующей способности.

**Научно-практическая значимость работы:** Полученные результаты могут быть использованы для управления оптическими свойствами графеновых наноструктур различного состава. Полученные результаты могут быть использованы для создания оптических наноматериалов, в фотовольтаике, молекулярной электронике и в фотокатализе.

Полученные данные показывают, что метод лазерной абляции может быть успешно использован для получения графеновых точек с заданными свойствами. Люминесцирующая способность графеновых структур может быть увеличена как путем использования оптимальных условий их получения, так и за счет плазмонного эффекта НЧ металлов.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных конференциях: 12ая международная научная конференция «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и Эксперимент» (Павлодар, 2022); Международная научная конференция «Химическая физика молекул и полифункциональных материалов» (Оренбург, 2022); XV Международная научная конференция «Физика твердого тела» (Астана, 2022).

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ: 3 статьи в журналах, входящих в базу Thomson Reuters и Scopus (1 статья в Carbon Letters IF-4.5, Q2; 1 статья в Materials Research Express, IF – 2.025, Q4; 1 статья в Materials Today: Proceedings, Процентиль, Scopus 38); 3 статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере науки и высшего образования МНВО РК, и 3 публикации в материалах международных конференций.