

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию

Тютрина Александра Александровича

«Образование наноразмерных люминесцирующих сред под действием плазмы газового разряда», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа А.А. Тютрина посвящена исследованию механизмов формирования и свойств наноразмерных люминесцирующих конденсированных сред, возникающих под действием плазмы газового разряда в неорганических и органических материалах. В работе детально изучены спектроскопические свойства типичных представителей таких материалов и процессы возбуждения фотолюминесценции, проанализированы механизмы формирования поверхностных центров окраски при обработке плазмой газового разряда.

Плазменные методы широко применяются в современных технологиях создания функциональных элементов фотоники, нано- и оптоэлектроники, в технологиях модификации поверхности и др. Посредством плазменных технологий возможен синтез перспективных наноматериалов, создание композитных материалов с новыми свойствами. **Актуальность работы определяется** потребностью в совершенствовании технологий и новых материалах, в том числе люминесцентных, передовых отраслей экономики, связанных с производством лазеров, источников света, детекторов и сенсоров, оптическими коммуникациями и т.п. Для развития плазменных технологий необходимо понимание фундаментальных процессов взаимодействия плазмы с веществом, что позволит прогнозировать и управлять свойствами конденсированных сред, подвергнутых обработке плазмой с определёнными характеристиками.

Для достижения цели работы было необходимо проанализировать методы применения плазмы для создания люминесцирующих сред, определить

оптимальные подходы; разработать установки для генерации плазмы, пригодные для формирования люминесцирующих сред. Далее, фокус внимания автора разделяется на две задачи: 1) исследовать процессы, происходящие в неорганических конденсированных средах, типичном диэлектрике, под воздействием плазмы: создать поверхностные центры окраски в кристаллах фторида лития и обосновать механизмы формирования центров окраски в среде тлеющего разряда; 2) синтезировать и исследовать свойства углеродных наночастиц, образованных под действием плазмы газового разряда из неорганических материалов, моносахарида, глюкозы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения.

**В первой главе** рассмотрены способы генерации плазмы применительно к созданию люминесцирующих сред, рассмотрены основные механизмы образования люминесцирующих сред, определены перспективные направления применения плазмы как инструмента создания наноструктур на поверхности материалов и синтеза люминесцентных наночастиц.

**Вторая глава** посвящена описанию методики и техники эксперимента. Разработаны две экспериментальные установки для создания наноразмерных люминесцентных сред в плазме газового разряда. Приведены характеристики используемого для исследований оборудования, описаны методики измерения и подготовки образцов.

**В третьей главе** автор приводит результаты исследования формирования поверхностных центров окраски в кристаллах фторида лития в плазме тлеющего разряда. Образцы кристаллов размещались и выдерживались в разных зонах тлеющего разряда, для исследования механизмов окрашивания проведено сопоставление вклада электронов, ионов и УФ-излучения в дефектообразование. Показано, что наибольшая концентрация центров свечения достигается для кристаллов, расположенных в приэлектродных областях и при относительно высоких напряжениях в области первой страты положительного столба. Для подтверждения гипотезы о преобладании фотонного механизма образования центров окраски в LiF было исследовано

аксиальное распределение ВУФ излучения тлеющего разряда в воздухе в зависимости от напряжения и давления. Исследования показали, что положительный столб тлеющего разряда является областью интенсивного ВУФ излучения при высоком напряжении, наряду с приэлектродными областями. Таким образом автор показал корреляцию между интенсивностью люминесценции образцов кристаллов фторида лития, подвергнутых воздействию плазмы тлеющего разряда и мощностью ВУФ излучения в различных зонах разряда.

**В четвертой главе**, с целью исследования в чистом виде процессов формирования поверхностных центров окраски в LiF под действием низкоэнергетических электронов, и сопоставления свойств объёмных и поверхностных центров, изучены люминесцентные свойства облучённых электронами с энергиями от 0.03 до 3 кэВ, глубина проникновения которых составляет от 0,2 до 157 нм по теоретическим и экспериментальным оценкам. Для формирования поверхностных наноразмерных слоев с центрами окраски использовались электронный растровый микроскоп с литографической приставкой, и разрядная трубка. Результаты исследований позволили обосновать идентичность центров окраски, образующихся как в объеме, так и в приповерхностном слое.

**Пятая глава** посвящена решению второго блока задач по синтезу углеродных точек плазменными методами из раствора глюкозы и исследованию их структурных и люминесцентных свойств. Описана методика получения наноточек, исследованы их люминесцентные характеристики, предложен механизм люминесценции. Установлено наличие трех компонентов в кинетике свечения, что связывается с наличием в углеродных наноточках трех различных типов центров люминесценции с разными вероятностями квантовых переходов. Показано, что различия в кинетических характеристиках связаны с активацией наноточек поверхностными состояниями, образующими центры люминесценции. В частности, экспериментальным путем продемонстрировано,

что кратковременная компонента люминесценции относится к C=O функциональной группе на поверхности.

Разнообразие задач, решаемых в диссертационном исследовании объединено плазменными технологиями воздействия на вещество в конденсированном состоянии и получением люминесцентных сред, в том числе наноструктурированных. В ходе выполнения диссертационного исследования получены **значимые для науки и техники результаты**, из которых хотелось бы отметить следующие:

1. Доказано, что центры окраски на поверхности кристаллов фторида лития, подвергнутых воздействию плазмы тлеющего разряда, преимущественно создаются под действием ВУФ излучения тлеющего разряда, а не за счет облучения электронами либо ионами разряда.
2. Показано, что агрегатные центры окраски, образованные при облучении кристаллов LiF низкоэнергетическими электронами в поверхностном нанослое, имеют спектрально-кинетические характеристики свечения, аналогичные соответствующим характеристикам объемных центров.
3. Синтезированы микроплазменным методом углеродные наноточки, биосовместимы с тканями живых организмов, установлено существование в них трех различных центров свечения.
4. Показано, что тлеющий разряд может быть успешно использован как инструмент для создания тонких люминесцирующих слоев в кристаллах и наночастиц для научных и технических приложений.

**Практическая значимость** результатов работы состоит в разработке научно-технических основ для создания технологий получения наноструктурных материалов, элементов на основе кристаллов для фотоники, наноэлектроники. Результаты работы могут быть использованы на предприятиях: АО ПНППК, АО НИИПП, АО «Монокристалл», АО Зеленоградский нанотехнологический центр, в научных учреждениях: Институт сильноточной электроники СО РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе.

На основании полученных результатов диссертантом сформулированы три основных положения, выносимых на защиту. Все защищаемые положения базируются на результатах тщательно спланированных экспериментов, теоретическом анализе закономерностей, сопоставлением результатов с литературными данными. **Полученные в работе результаты являются новыми и достоверными, выводы и защищаемые положения достаточно обоснованы.** Достоверность подтверждается использованием современных методов исследования спектрально-кинетических характеристик твердого тела, воспроизводимостью результатов, анализом погрешностей, анализом согласованностью теоретических оценок и экспериментальных данных.

По работе имеются следующие замечания:

1. В работе не приведены сведения об исходных данных образцов кристаллов, используемых для создания люминесцирующих слоев (чистота, дефектный состав, оптические свойства и пр.). При изучении процессов окрашивания свойства исходных образцов могут влиять на результаты экспериментов.

2. Нет ясности по режимам воздействия на образцы в процессе их облучения в плазме тлеющего разряда (время воздействия, плотность мощности). Есть ли повторяемость результатов?

3. В разделе 4.2 сказано, что с помощью электронного микроскопа на кристалле LiF создавались люминесцирующие зоны (фигуры) при разных параметрах облучения (дозы, тока, времени). Однако, в работе этих данных не приводится.

4. На рисунке 4.3 приведено изображение образца в люминесцентном свете, при этом сказано, что каждый квадрат имеет разную дозу облучения. При этом информация о дозах отсутствует.

5. Обнаруженный автором эффект изменения соотношения интенсивности полос 540 и 680 нм при облучении электронами различных энергий, и в различных просканированных точках, не получил должного объяснения. Автор связывает данное различие с «временным параметром

облучения», под которым, вероятно, подразумевается время облучения. Каков был этот параметр в каждом эксперименте, не ясно из представленных результатов.

6. Для полученных углеродных наноточек было бы не лишним подтвердить дисперсный состав порошка другими методами.

Перечисленные замечания не снижают общую положительную оценку работы, носят рекомендательный характер для дальнейшего развития тематики исследования.

Полученные в ходе диссертационного исследования результаты **прошли необходимую апробацию**, были представлены на всероссийских и международных научных конференциях. Основное содержание работы опубликовано в 6-ти изданиях, входящих в список ВАК, в том числе в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science.

**Автореферат** соответствует содержанию и структуре диссертации, адекватно отражает полученные в работе результаты.

#### **Соответствие научной специальности**

Диссертация соответствует следующим направлениям исследований, отраженным в паспорте специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния:

2) Теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности.

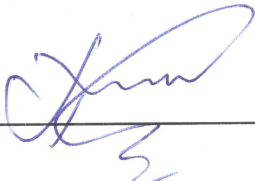
4) Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

6) Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

Диссертация соответствует отрасли физико-математических наук.

Таким образом, совокупность представленных научных результатов позволяет сделать заключение, что диссертационная работа Тютрина А.А. «Образование наноразмерных люминесцирующих сред под действием плазмы газового разряда», является законченной научно-квалификационной работой, выполненной в рамках актуального направления физики конденсированного состояния. Диссертация удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Тютрин Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

05.09.2023

  
\_\_\_\_\_/Полисадова Елена Федоровна/

Полисадова Елена Федоровна - профессор отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», д.ф.-м.н. по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Адрес: 634050, г. Томск, проспект Ленина, д. 30

Телефон: +7-905-992-5509

E-mail: elp@tpu.ru

05.09.2023

Подпись Полисадовой Елены Федоровны заверяю

Ученый секретарь ТПУ



Кулинич Е.А.