

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Кройчук Марии Кирилловны
на тему: «Генерация третьей оптической гармоники и усиление
фотолюминесценции квантовых точек в полупроводниковых кластерах
наночастиц с резонансами типа Ми»
по специальности 1.3.19 – «лазерная физика»**

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Кройчук М.К. посвящена исследованию влияния коллективных оптических мод в олигомерах полупроводниковых наночастиц с резонансами типа Ми на генерацию третьей оптической гармоники и фотолюминесценцию квантовых точек, интегрированных в них. Изучение нелинейного отклика образцов осуществляется для Ми-резонансных нанокластеров с различным количеством близко расположенных нанодисков при возбуждении линейно или азимутально поляризованными лазерными фемтосекундными импульсами на установке, обеспечивающей возможность микроскопии третьей оптической гармоники отдельного олигомера. Благодаря субмикронному размеру полупроводниковых нанокластеров и их высокому показателю преломления возможно резонансное возрастание поля в них, что открывает перспективы применения таких систем в полностью оптических чипах для управления светом, а также для задач детектирования ближнепольных эффектов в дальнем поле. Возможности использования для этой цели отдельных полупроводниковых частиц активно изучаются в последнее десятилетие. В частности, следует понять, каковы условия возбуждения коллективных мод в полупроводниковых олигомерах и как возникающие коллективные моды могут влиять на оптические характеристики таких систем и их нелинейно-оптический отклик. Кроме того, взаимодействие с нанорезонаторами полупроводниковых квантовых точек позволяет усилить излучение последних, что представляет большой интерес с точки зрения развития наноразмерных источников фотонов. Таким образом, тема диссертационной работы Кройчук М.К., безусловно, **актуальна и перспективна.**

Структура и содержание диссертации

Текст диссертационной работы состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 127 страниц, включая 87 рисунков. Список литературы насчитывает 91 наименование на 8 страницах. Постановки задач и результаты сформулированы строгим научным языком и отражают проведенные исследования. Выводы, сделанные в рамках работы, сопровождаются экспериментальными подтверждениями, которые в большинстве случаев также проверяются численно. Обзор литературы оформлен аккуратно и полно отражает современное состояние исследуемой научной области. Автореферат правильно передает содержание и текст диссертации.

Во **Введении** представлены все необходимые блоки согласно требованиям, предъявленным к кандидатским диссертациям. Проведен обзор современного состояния научной области для обоснования актуальности, новизны и практической значимости темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, описана методология диссертационного исследования, подчеркнута степень достоверности и проведенная апробация результатов, а также сформулированы защищаемые положения.

Первая глава посвящена описанию современного состояния исследуемой научной области, а также основным вехам ее развития. Он включает в себя описание преимуществ использования полупроводниковых наночастиц и влияние их объединения в нанокластеры для дополнительного управления оптическими свойствами наносистем за счет возбуждения коллективных оптических мод, помимо возникающих при наноструктурировании. Приведены основные достижения использования полупроводниковых структур для генерации нелинейных гармоник и управления излучением квантовых точек.

Вторая глава посвящена исследованию генерации третьей оптической гармоники от олигомеров полупроводниковых наночастиц с высоким показателем преломления и низким поглощением при возбуждении линейно поляризованным светом. В первой части проведена подробная характеристика образцов, используемых также в следующей главе. Рассмотрены экспериментальная установка нелинейной микроспектроскопии и основной подход измерения усиления третьей гармоники от отдельного нанокластера сфокусированным лазерным пучком. В рамках главы обнаружена зависимость интенсивности нелинейного отклика олигомера от вращения поляризации возбуждающего света, проявляющаяся в различном количестве максимумов, зависящем от числа и расположения наночастиц в олигомере.

В третьей главе исследуется дополнительное усиление интенсивности третьей оптической гармоники от кремниевых квадрумеров относительно неструктурированного материала при возбуждении нормально падающим азимутально поляризованным лазерным импульсом коллективной магнитной моды олигомера. Впервые показано рекордное увеличение эффективности взаимодействия света с веществом на два порядка и управление им при смене условий возбуждения, например, длины волны и поляризации накачки.

В четвертой главе изучается фотолуминесценция квантовых точек антимонида индия, внедренных в квадрумеры из арсенида галлия. Экспериментально показано влияние коллективных мод олигомера на интенсивность излучения квантового источника при возбуждении линейно поляризованным светом при низкой температуре. Численно продемонстрировано дальнейшее развитие системы при использовании накачки с более сложным распределением электрического поля для возбуждения добротных коллективных резонансов. В работе также установлено, что за счет увеличения направленности излучения квантовых точек при взаимодействии с оптическими модами квадрумера детектируемая интенсивность их излучения дополнительно вырастает в 5 раз.

Заключение сформулировано строгим научным языком и четко отражает основные результаты диссертационного исследования.

Данная работа вносит также вклад в развитие наноразмерных источников фотонов, поскольку демонстрирует методы усиления излучения квантовых точек при их взаимодействии с нанорезонаторами.

Результаты, выносимые на защиту, апробированы на международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах и не противоречат известным научным теориям. Экспериментальные исследования проводились на современном оборудовании, были воспроизводимыми и подтверждались расчетами, а также данными из литературных источников. Стоит отметить высокий уровень и качество проведенных исследований и использованных технологий для изготовления, характеристики и изучения новых эффектов в олигомерах полупроводниковых наночастиц. Анализ диссертационной работы и публикаций автора по теме исследования свидетельствуют о **достоверности** результатов и об **обоснованности защищаемых научных положений**.

Результаты обладают безусловной **научной новизной**. Впервые показано увеличение интенсивности третьей оптической гармоники на два порядка от олигомеров кремниевых нанодисков относительно неструктурированной среды при возбуждении коллективных мод за счет ближнепольного взаимодействия наночастиц. Продемонстрировано управление интенсивностью нелинейного отклика при изменении состояния поляризации возбуждающего излучения и длины волны накачки. В работе также предложен механизм увеличения интенсивности фотолюминесценции квантовых точек при возбуждении их на длине волны коллективных резонансов полупроводниковых олигомеров.

Научная и практическая значимость полученных результатов имеет важное значение для развития квантовой инженерии источников излучения с требуемыми оптическими параметрами, а также для создания управляемых преобразователей частоты, применимых для полностью оптических чипов и квантовых интерфейсов. В рамках работы над диссертацией получен патент, описывающий способ детектирования изменения показателя преломления среды с использованием диэлектрических наночастиц и их чувствительного нелинейного отклика. Результаты данной работы позволяют исследовать локальное взаимодействие нанообъектов без использования микроскопа и других ближнепольных техник.

По диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**:

- 1) Обзор диссертационной работы содержит всю необходимую для понимания результатов и методов измерений информацию. Однако работа существенно выиграла бы, если бы в тексте была приведена подробная программа исследований и указана явная взаимосвязь между поставленными задачами.

- 2) В разделе 4.3 главы II автор утверждает, что «при вращении образца относительно направления поляризации линейный отклик системы будет изотропным», однако приведенное формальное объяснение данного утверждения не представляется убедительным.
- 3) Автор заявляет, что для случая квадрумера излучение на утроенной частоте является линейно поляризованным. Между тем, как следует из рисунка 45, соотношение сигналов третьей гармоники, полученных для случаев, когда направления пропускания анализатора параллельно и перпендикулярно поляризации излучения на основной частоте, составляет 5:1, поэтому для того, чтобы уверенно утверждать, что излучение третьей гармоники линейно поляризовано, следует показать, что в последнем случае регистрируемый сигнал обусловлен шумами.

Однако эти замечания не влияют на общую положительную оценку выполненной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Кройчук М.К. «Генерация третьей оптической гармоники и усиление фотолюминесценции квантовых точек в полупроводниковых кластерах наночастиц с резонансами типа Ми» актуальна и интересна для научного сообщества и выполнена на высоком уровне. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19 – «лазерная физика» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кройчук Мария Кирилловна, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «лазерная физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет, кафедра общей физики и молекулярной электроники, профессор

Головань Леонид Анатольевич

Контактные данные:

Тел.: 939-46-57. E-mail: golovan@physics.msu.ru

Степень и шифр специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация:

01.04.21 – Лазерная физика

Адрес места работы:

ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, дом 1, строение 2, Физический Факультет, кафедра общей физики и молекулярной электроники

Подпись официального оппонента

Голованя Леонида Анатольевича удостоверяю:

Ученый секретарь физического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор



В.А. Карavaев

«05» мая 2023 г.