

## 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

В диссертационной работе Кройчук М.К. приведены результаты экспериментальных исследований нелинейно-оптического взаимодействия света с наночастицами, включая влияние поляризации поля на возбуждение резонансных мод в наночастицах, а также влияние возбуждения коллективных оптических мод полупроводниковых нанокластеров на их нелинейно-оптический отклик и излучение связанных с нанокластерами квантовых точек. Полученные автором результаты на примере генерации третьей оптической гармоники демонстрируют возможность использования наноразмерных олигомеров для управления характером и эффективностью нелинейно-оптического взаимодействия света со средой. Полученные автором результаты увеличения интенсивности источников света на базе полупроводниковых олигомеров, объединенных с квантовыми точками, имеют важное значение для развития одной из важных областей современной нанофотоники, развивающей квантовую инженерию источников излучения с требуемыми оптическими параметрами. Следует отметить высокий уровень проведенных исследований. Так, в создании структур, характеристики образцов и измерениях были использованы ряд передовых технологий и методик: электронно-лучевая литография, реактивное ионное травление, растровая электронная микроскопия, спектроскопия рассеяния в темном поле, спектроскопия пропускания с использованием излучения суперконтинуума, источники лазерного излучения фемтосекундной длительности, оптические измерения при криогенных температурах. Центральным в работе было использование в качестве наночастиц - полупроводников с высоким показателем преломления и низким поглощением в исследуемой спектральной области – кремний и арсенид галлия. Нанофотоника на основе неметаллических наночастиц является одним из центральных и пока ещё слабоизученным направлением исследований современной нанофотоники. Полученные автором диссертационной работы результаты являются значимым вкладом в эту область, в части управления светом на наномасштабе и в области управления излучением нано локализованных источников света, поэтому тема диссертационной работы Кройчук М.К., безусловно, актуальна и перспективна.

### Структура и содержание диссертации

Текст диссертационной работы состоит из введения, обзора литературы, трех оригинальных глав, заключения и библиографического списка. Общий объем работы составляет 127 страниц, включая 87 рисунков. Список литературы насчитывает 91

наименование на 8 страницах. Текст диссертации написан полно и грамотно, выводы сопровождаются экспериментальными и/или численными подтверждениями. Автореферат правильно отражает содержание диссертации и соответствует тексту диссертации.

**Введение** соответствует необходимой структуре, предъявляемой к кандидатским диссертациям. Во введении приведена и обоснована актуальность выбранной темы диссертации, грамотно сформулированы цели и задачи работы, структурированы основные методы исследования, описана научная новизна, приведены защищаемые положения и список публикаций и выступлений автора по теме диссертационной работы.

**В первой главе** проведен исторический экскурс и анализ современных работ по теме диссертационного исследования. Проведён обзор понятий и подходов, необходимых для описания основного содержания результатов диссертационной работы. Основным языком описания наблюдаемых резонансов - использование коллективных оптических мод, возбуждаемых в олигомерах полупроводниковых наночастиц с резонансами типа Ми. В данной главе также проведён анализ преимуществ использования Ми-резонансных нанокластеров в нелинейной оптике и перспективы их объединения с квантовыми точками.

**Вторая глава** подробно описывает экспериментальную методику для измерения третьей оптической гармоники от отдельного полупроводникового нанокластера фемтосекундными лазерными импульсами, которая также использовалась в третьей главе диссертации. Показана возможность детектирования нелинейного сигнала от отдельных наноразмерных олигомеров Ми-резонансных частиц на длине волны их магнитного дипольного резонанса. Особое внимание уделяется влиянию симметрии образца (тримера и квадрумера) на модуляцию эффективности преобразования частоты при вращении структур относительно неподвижной линейно-поляризованной накачки.

**Третья глава** содержит результаты измерений усиления эффективности генерации третьей оптической гармоники при возбуждении отдельных квадрумеров нормально падающими сильно сфокусированными азимутально-поляризованными лазерными импульсами. Используются пучки накачки с более сложным распределением электрического поля, чем во второй главе, для эффективного возбуждения коллективной магнитной моды олигомера. Получены рекордно - высокие значения интенсивности генерации третьей гармоники.

**В четвертой главе** представлены результаты измерений влияния коллективных мод олигомеров на излучение квантовых точек, помещенных в объем полупроводниковых наночастиц олигомера, при низких температурах. Показано увеличение интенсивности отдельных линий фотолюминесценции при их возбуждении на длине волны оптических резонансов нанокластера, благодаря увеличению поглощения света в материале барьерных слоев арсенида галлия. В работе экспериментально показано влияние фотонной структуры на зарегистрированную интенсивность фотолюминесценции за счет роста ее направленности при взаимодействии с коллективной магнитной дипольной

модой олигомера. Представлены результаты проведённого автором численного анализа возможной оптимизации параметров рассматриваемой системы.

**В заключении** четко сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Результаты, полученные автором в рамках диссертационной работы, опубликованы в рецензируемых научных журналах с высоким импакт фактором и доложены на различных международных конференциях. Полученные на современном оборудовании экспериментальные данные не противоречат имеющимся литературным сведениям и проведенным в рамках работы расчетам, что свидетельствует об их **достоверности**. Вышеперечисленное и анализ диссертации свидетельствует об **обоснованности защищаемых научных положений**, выносимых автором на защиту. Результаты обладают **научной новизной**. Впервые исследован нелинейный отклик отдельных олигомеров полупроводниковых наночастиц при различных поляризациях излучения накачки, влияющих на эффективность возбуждения коллективных мод нанокластеров. Показано усиление фотолуминесценции квантовых точек при их освещении на длинах волн соответствующих резонансов и использовании олигомеров как наноантенн для фотонных источников.

**Научная и практическая значимость** полученных результатов обусловлена возможностью создания на их основе эффективных наноразмерных источников и преобразователей частоты, применимых для полностью оптических чипов и квантовых интерфейсов. Одним из практически важных результатов диссертационной работы, защищённый патентом, является развитая методика детектирования изменения показателя преломления среды с использованием диэлектрических наночастиц.

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

- Одним из важнейших результатов диссертационной работы является развитый подход управления эффективностью генерации третьей гармоники за счёт инженерии резонансных мод в наночастицах. Однако физика этого процесса недостаточно ясно изложена – является ли этот контроль следствием резонансного увеличения эффективной нелинейной восприимчивости наночастиц (за счёт управления влиянием на связанные электроны) или следствием увеличения локальных полей. Нет обсуждения важного вопроса - можно ли в наночастицах реализовать резонанс одновременно на фундаментальной частоте и на частоте генерации третьей гармоники излучения?
- В диссертационной работе нет обсуждения возможности использования тёмных мод в наночастицах исследуемой геометрии для управления нелинейно-оптическим взаимодействием.
- В последней главе приведены результаты исследований влияния наночастиц на флуоресценцию квантовых точек. В этой главе отсутствует анализ возможного влияния наночастиц на статистику излучения квантовых точек, а также на стабилизацию параметров флуоресценции квантовых точек, включая фотодеградацию и мерцание.

Сделанные замечания не затрагивают выносимые на защиту положения и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

### 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» выполнена на актуальную тему, на высоком научном 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:

кандидат физико-математических наук,  
ФГБУН Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН), ведущий  
научный сотрудник

Мелентьев Павел Николаевич

«17» апреля 2023г.

### Контактные данные:

Тел.: +7 495 851 0233. E-mail: [melentiev@isan.troitsk.ru](mailto:melentiev@isan.troitsk.ru)

Степень и шифр специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация: 01.04.03 - радиофизика

### Адрес места работы:

г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, д. 5, Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

### Подпись официального оппонента

Мелентьева Павла Николаевича удостоверяю  
Заместитель директора ИСАН по научной работе, д.ф.-м.н.

«17» апреля 2023 г.

/Сурин Л.А./