

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе ШЕЛАЕВА Артема Викторовича «**Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и спектроскопия с использованием зондов кантилеверного типа**» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, специальность 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики.

Изобретение Гердом Биннигом и Генрихом Рорером сканирующего зондового микроскопа (Нобелевская премия по физике, 1986г), позволяющего получать трёхмерное изображение поверхности (топографию) с высоким разрешением, привело к бурному развитию целых отраслей физики и материаловедения.

Множество трудностей, которые усложняли исследование образцов с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), побудили к 1986 году разработать атомно-силовой микроскоп, который мог использовать те самые силы взаимодействия между образцом и остриём, которые так мешали в случае СТМ. Атомно-силовой микроскоп позволяет проводить измерения не только в вакууме, но и в атмосфере, заранее заданном газе и даже сквозь плёнку жидкости, что стало несомненным успехом для развития биологической микроскопии. Так была положено начало эры сканирующей зондовой микроскопии. Вскоре была представлена микроскопия ближнего поля, которая позволила увеличить пространственное до единиц нанометров.

До последнего времени исследование различных свойств материалов спектральными методами было ограничено дифракционным пределом, который составляет около 200 нм для видимого оптического диапазона.

В диссертации А.В.ШЕЛАЕВА рассматриваются новые аспекты интеграции методов зондовой микроскопии, а именно ближнепольной оптической микроскопии (NSOM-СБОМ) с методами оптической спектроскопии и микроскопии позволившей преодолеть дифракционный предел и тем самым объединить преимущества обоих методов.

Помимо развития оптимизации апертурных СБОМ зондов на основе кантилеверов с полый пирамидой, диссертант А.В.ШЕЛАЕВ представил результаты применения разработанной методики для исследования таких объектов как

полосковый лазер ближнего ИК диапазона, кольцевых и дисковых микрорезонаторов, InP квантовых точек.

Очевидно важно развитие способов аттестации ближнепольных зондов с апертурой и оптических антенн. Благодаря этому, тематика диссертационной работы А.В.ШЕЛАЕВА представляет значительный научный интерес и, несомненно, является *актуальной*.

Из задач, стоящих перед диссертантом, можно выделить разработку способа экспериментального определения коэффициента усиления электрического поля и размера области локализации усиленного плазмонной антенной оптического поля с учетом влияния на эти параметры свойств образца, а также исследование и аттестация оптических антенн на основе полимерной наночастицы с золотым покрытием.

Результаты работы диссертанта представляют интерес при создании при исследовании как прозрачных, так и непрозрачных образцов с новыми наноструктурными объектами, а также устройств на их основе.

Автор представил результаты исследования в виде трех глав, посвященных как обзору литературы, методикам, так и описанию, и обсуждению экспериментальных результатов. *Возможно, для лучшего восприятия материала диссертации следовало не перегружать **Вторую главу**.*

Первая глава, содержит ряд обзорных положений, в частности, развитие методов СБОМ, типы обратной связи и конфигурации оптических схем возбуждения и детектирования излучения.

Представляется важным описание гигантского комбинационного рассеяния света и механизмы усиления поля на острие наноантенны, рассмотрение современных теоретических и экспериментальных работ, в которых описаны результаты, полученные методами ГКР микроскопии

Диссертант продемонстрировал понимание сложных физических процессов, приводя литературные данные о способах аттестации зондов с апертурой.

Во **Второй главе** приведены экспериментальные апертурные методы, использующие в качестве СБОМ зонда кантилевер с полый пирамидой с апертурой.

Исследованы образцы InP/GaInP квантовых точек с двухмодовым распределения по размерам «квантовых точек» (!?) с размерами 100-200 нм. *(Известно, что представляют интерес квантовые точки размером менее 10нм, когда проявляются особенности пространственного квантования. Поэтому размеры более 100 нм вряд ли можно отнести к собственно «квантовым точкам»)*

Интересны оценки диссертанта «сверху» разрешения СБОМ Пренебрегая размером КТ, получена оценка в 100 нм ($\sim\lambda/7$) в режиме возбуждения и сбора через апертуру.

Достаточно подробно рассмотрена методика сбора излучения через апертуру СБОМ зонда при возбуждении образца сбоку в дальнем поле. Данная методика особенно актуальна в случае непрозрачных образцов и когда требуется равномерное освещение микроструктуры. (*встречаются некорректности – например «плазма линии лазера вблизи основной частоты излучения» (sic!)*)

Нужно выделить раздел, связанный с визуализацией мод шепчущих галерей, которая затруднительна в стандартной конфокальной конфигурации, так как требует пространственного разрешения ~ 100 нм.

Методически важна методика восстановления оптического состава мод лазера на основе апертурного СБОМ с использованием кантилеверного зонда в контактном методе. С ее помощью было изучено распределение интенсивности мощного лазера на поверхности зеркала лазера, в ближней зоне и на переходе в дальнюю зону. (*Опять неточность – «над поверхностью свет распределяется по трем гребням» (sic!)*)

в Третьей главе диссертации исследованы безапертурные методы СБОМ, основанных на ГКР эффекте и использующих в качестве зонда плазмонную наноантенну.

Представляет интерес способ определения параметров оптической антенны используемой в ГКР микроскопии, а именно коэффициента усиления электрического поля g и радиуса области локализации усиленного поля ρ .

Требуется пояснение применения формулы, на основании которой определяется, в частности, радиус области локализации усиленного поля ρ .

$$g \approx \left((F_{NET} - 1) \frac{\lambda^2}{4NA^2 \rho^2} \right)^{\frac{1}{4}}$$

Вычисление коэффициента усиления электрического поля g и радиуса области локализации усиленного поля ρ , приведенное в диссертации, сопряжено с рядом допущений, поэтому необходимо привести погрешности (%) локального коэффициента усиления электрического поля вблизи острия оптической антенны, который ($g \approx 6.5$) и локального коэффициента усиления КР ($F_{near} \approx 1730$).

Наиболее важными выводами диссертационной работы считаю:

1. Доказанную возможность эффективно возбудить в микрорезонаторе моды шепчущей галереи и измерить ближнепольную пространственную и спектральную структуру мод с разрешением < 100 нм.

2. Доказанную возможность получить спектры люминесценции индивидуальных квантовых точек и провести «картирование» распределения интенсивности люминесценции на поверхности образца с разрешением менее 100нм.

В целом диссертационная работа выполнена на хорошем научном уровне, что подтверждается публикациями в журналах (Следует отметить обзор в УФН, опубликованный в 2017г) и докладами на большом количестве конференций.

Замеченные недостатки данной диссертационной работы, отмечены в тексте курсивом.

Общее впечатление о диссертационной работе А.В.ШЕЛАЕВА положительное, диссертант продемонстрировал понимание изучаемых эффектов и изрядное экспериментальное мастерство. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики..

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник отдела люминесценции им.С.И.Вавилова
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического
института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)

доктор физ.-мат. наук, профессор

А.Г.Витухновский

адрес: Москва, 119991, Ленинский проспект, д.53
email: vitukhnovsky@mail.ru, alexei@sci.lebedev.ru
тел:+7(499)135-7860, +7(916)494-6001

Подпись А.Г.Витухновского подтверждаю
Ученый секретарь ФИАН
кандидат физ.-мат.наук



А.В.Колобов

“16” октября 2017г.