

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки

ИНСТИТУТ СПЕКТРОСКОПИИ
Российской академии наук (ИСАН)
профессор В.Н. Задков

«23» октября 2017 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт спектроскопии Российской академии наук» (ИСАН)
о диссертации Шелаева Артема Викторовича на тему «Сканирующая
ближнепольная оптическая микроскопия и спектроскопия с использованием
зондов кантилеверного типа», представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности: 01.04.01 – «Приборы и
методы экспериментальной физики»

Диссертация Шелаева Артема Викторовича посвящена исследованию и развитию методов сканирующей ближнепольной оптической микроскопии и спектроскопии с нанометровым разрешением с использованием зондов кантилеверного типа. Отметим высокую актуальность выбранной темы диссертации, связанную с отсутствием на сегодняшний день развитых подходов характеристики ближнего поля оптических объектов с нанометровым пространственным разрешением. Решение этой задачи является ключевым фактором в развитии ряда областей, связанных с использованием оптических свойств наноразмерных структур: наноплазмоника, нанофотоника, наносенсорика, квантовые нанотехнологии.

Методы оптической микроскопии и спектроскопии с нанометровым разрешением основанные на применении зондов известны давно, однако их практическое использование до сих пор сопряжено с большим количеством артефактов и вызывает ряд сложностей при проведении количественных измерений. Это связано в основном с тем, что величина сигнала, регистрируемая оптическим наноразмерным зондом оказывается значительно меньше сигнала засветки, обусловленного большим уровнем рассеяния возбуждающего излучения

как на образце, так и на составных частях кантилевера, обладающих макроскопическими размерами и расположенными вблизи исследуемого объекта. В этой связи, исследуемые в работе А.В. Шелаева подходы микроскопии и спектроскопии, основанные на измерениях на смещённой от возбуждающего излучения частоте являются востребованными и актуальными, убедительно показывают возможности применения апертурной оптической микроскопии и спектроскопии с нанометровым разрешением для ряда нанообъектов: квантовые излучатели, флуоресцирующие резонаторы.

Диссертационная работа А.В. Шелаева состоит из введения, 3-х глав и заключения. Во введении приведена мотивация диссертационной работы, её научная новизна, научно-практическая значимость, достоверность полученных результатов, перечислены выносимые на защиту положения, а также опубликованные работы. В первой главе сделан краткий обзор известных ближнепольных методов микроскопии и спектроскопии. Во второй главе рассмотрены подходы микроскопии и спектроскопии с нанометровым разрешением, основанные на применении апертурных методов. Убедительно показаны результаты проведённых исследований возможности характеристики ближнего поля излучения одиночных квантовых точек в схеме с освещением и сбором через апертуру. Также продемонстрированы возможности измерения распределения мод шепчущей галереи в пространстве при освещении сбоку от кантилевера апертурного зонда. В третьей главе приведены результаты исследований использования безапертурных методов для характеристики ближнего поля оптических плазмонных антенн. В заключении кратко изложены основные результаты диссертационной работы, согласующиеся с положениями, выносимыми на защиту. В целом, диссертационная работа представляет собой научно-обоснованный труд, при этом достоверность научных положений, выводов и заключений не вызывает сомнений.

Следует отметить некоторые недостатки, имеющиеся в работе:

1. В обзоре существующих методов микроскопии и спектроскопии с нанометровым разрешением отсутствуют хорошо зарекомендовавшие себя методы: (а) использующие сфокусированный электронный пучок и оптический спектрометр, (б) методы структурированного освещения поверхности, (с) стохастические методы восстановления изображения с использованием люминофоров.
2. Пропускание света через нанотверстие является одним из важных аспектов диссертационной работы. В этой связи использованная ссылка [13] – очень плохой выбор литературного источника рассматривающего пропускание света через наноразмерную апертуру. Здесь принципиально важно сослаться на работы Бете, Боукампа, Эбесена, а также на работы В.С. Летохова с В.В. Климовым и В.И. Балыкиным.

3. Указанная в разделе 1.2. формула (3) – пропускание света через нанотверстие является сильно приближённой. Существует ряд уточнений этой формулы, которые существенно лучше описывают пропускание света через нанотверстие в реальном эксперименте.
4. В главе 1 не рассмотрено существенное влияние геометрии апертуры на пропускание света (эллиптичность, острые края и т.д.), т.к. это представляется важным для работы ближнепольной апертурной микроскопии.
5. При описании измерений пропускания света через кантилеверы с апертурой нет деталей использованной нормировки: (а) нормировка на мощность пробного излучения, или (б) нормировка на площадь апертуры. Обычно такая нормировка проводится на площадь апертуры, т.к. получаемое значение пропускания перестаёт зависеть от диаметра возбуждающего излучения. В работе нет анализа, почему полученные экспериментальные данные пропускания света через апертуру зонда на несколько порядков ниже известных в литературе значений, нет обсуждения влияния геометрии апертуры на измеренные значения пропускания. Нет измерений спектрального пропускания света через апертуру.
6. В работе не проведено сравнение предельных характеристик исследованного типа нанозонда в форме полой пирамиды кантилевера с широко используемым типом нанозонда основанного на оптическом оптоволокне. В частности нет анализа, почему найденное в диссертационной работе значение для максимальной мощности излучения, которую можно подавать на нанозонд в форме полой пирамиды кантилевера, на порядок больше чем мощность, которую можно подать на оптоволоконный зонд при равных значениях оптического пропускания нанозондов обоих типов (от 10^{-5} до 10^{-4})?
7. В главе 3 нет данных измерений зависимости усиления поля плазмонными резонансами на разных длинах волн. Такие измерения позволили бы количественно сравнить полученные результаты с известными теоретическими расчётами.

Отмеченные недостатки, однако, носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Достоинством диссертации является актуальность темы, практическая значимость полученных экспериментальных результатов и высокий экспериментальный уровень выполненных работ. Достоверность результатов не вызывает сомнений. Некоторые из них, несомненно, могут найти практическое применение. Целесообразно продолжить развитие в работе А.В. Шелаева методы оптической характеристики наноструктур в ряде научных лабораторий Института спектроскопии, ФИАН, ФГУП «ВНИИА», МФТИ, ИТМО и ряда других учреждений.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации являются новыми и достоверными, они опубликованы в 9-ти статьях, а также в 2-х патентах. Кроме того, результаты были апробированы на международных и всероссийских конференциях.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики», а именно п. 2 Разработка новых принципов и методов измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики и позволяющих существенно увеличить точность, чувствительность и быстродействие измерений. Разработка и создание научной аппаратуры и приборов для экспериментальных исследований в различных областях физики.

Таким образом, диссертация Шелаева Артема Викторовича «Сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия и спектроскопия с использованием зондов кантилеверного типа» представляет собой научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные решения и разработки, что соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени по специальности 01.04.01 – «Приборы и методы экспериментальной физики».

Диссертация заслушана, а отзыв рассмотрен и одобрен в ходе дискуссии на расширенном заседании лаборатории лазерной спектроскопии отдела лазерной спектроскопии 17.10.2017. Отзыв составил в.н.с., к.ф.-м.н. Мелентьев П.Н.

Ведущий научный сотрудник
Лаборатории лазерной спектроскопии
к.ф.-м.н

Мелентьев Павел Николаевич

Заведующий отделом
лазерной спектроскопии,
профессор, д.ф.-м.н.

Рябов Евгений Артурович

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)

108840 г. Москва, г. Троицк, ул. Физическая, 5

Тел: 8 (495) 851-02-33

E-mail: isan@isan.troitsk.ru