


**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института  
спектроскопии Российской академии наук,  
д.ф.-м.н., профессор



Задков В.Н.

20 сентября 2016 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук (ИСАН)**

Диссертация Черкуна А.П. «Физические аспекты сканирующего фотоэмиссионного микроскопа на основе зонда-капилляра» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук выполнена в отделе лазерной спектроскопии ИСАН.

Соискатель Черкун Александр Павлович, 1958 года рождения, в 1981 году закончил Московский физико-технический институт по специальности «Автоматика и электроника». В период подготовки диссертации с 2002 по 2016 г. соискатель работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте спектроскопии Российской академии наук, занимая должность научного сотрудника лаборатории спектроскопии ультрабыстрых процессов в отделе лазерной спектроскопии. В 2014 году был прикреплен к аспирантуре ИСАН для работы над диссертацией и сдачи кандидатских экзаменов.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институте спектроскопии Российской академии наук в 2015 году.

Научный руководитель – Чекалин Сергей Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела лазерной спектроскопии ИСАН.

По итогам обсуждения диссертации на заседании научного семинара отдела лазерной спектроскопии ИСАН 30 марта 2016 года принято следующее заключение:

## 1. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Черкуна Александра Павловича посвящена разработке методики зондовой оптической микроскопии с субволновым пространственным разрешением.

Актуальность представленной работы определяется необходимостью разработки новых оптических методов исследования свойств поверхности с субволновым пространственным разрешением, включая изучение рельефа поверхности и локальной фотоэмиссионной активности, а также ближнепольные эффекты.

Цель диссертационной работы заключается в разработке, создании и апробации экспериментального комплекса сканирующей зондовой микроскопии для рельефных, ближнепольных и фотоэмиссионных оптических исследований поверхности.

В процессе выполнения диссертационной работы были решены следующие задачи:

1. Исследована проблема оптимального использования пьезоэлектрического эффекта в датчиках контакта массивных и жёстких оптических зондов с поверхностью для достижения максимальной чувствительности и быстродействия. Выдвинут новый принцип организации датчика, где пьезорезонатор и вершина зонда имеют разные амплитуды механических колебаний, что приводит к эффекту малошумящего механического усиления сигнала контактного давления. Разработанная конструкция дает возможность работать с жёсткими оптическими, проволочными металлическими и капиллярными зондами.
2. Создано простое и эффективное сканирующее устройство для позиционирования зонда относительно образца с нанометровой точностью. Разработанный сканер работает в условиях вакуума  $10^{-6}$  Торр и не чувствителен к вибрациям от форвакуумного и турбомолекулярного насосов.
3. Создана система управляющей электроники для организации сканирования и накопления информации о локальных свойствах поверхности с целью получения тех или иных видов изображений.
4. Разработан экспериментальный комплекс сканирующей микроскопии оптического ближнего поля.
5. Разработан экспериментальный комплекс сканирующей фотоэмиссионной микроскопии на основе зонда-капилляра и получены первые демонстрационные изображения фотоэмиссионной активности поверхности.

## **2. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации**

К личному вкладу автора относятся: практическая реализация идеи вакуумного фотоэмиссионного сканирующего микроскопа; разработка пьезоэлектрического сканера; доказательство ряда утверждений о предельно достижимых чувствительности и быстродействии датчиков силы на основе пьезорезонаторов; идея двухрезонансной конструкции датчика контакта с эффектом механического усиления и её практическая реализация; разработка теоретического описания, экспериментальная проверка и разработка технологии производства датчиков типа «камертон-зонд».

**Основные научные результаты** работы заключаются в следующем:

1. В рамках теории, подтверждённой экспериментально, обоснованы следующие утверждения: а) быстродействие датчиков контакта на основе пьезорезонаторов не обратно пропорционально добротности резонатора, а может произвольно задаваться элементами усилительной электроники; б) слежение за изменением фазы колебаний не даёт априорных преимуществ в быстродействии перед слежением за амплитудой; в) при кратном повышении быстродействия чувствительность уменьшается не пропорционально, а лишь как корень квадратный из этой величины (кратности); г) можно организовать малошумящее механическое усиление такое, что связь между быстродействием и чувствительностью будет определяться не параметрами серийного резонатора, а более выигрышными механическими параметрами зондовой части датчика. На этой основе разработаны датчики, которые несмотря на использование массивных и жёстких зондов, имеют чувствительность и быстродействие, близкие к соответствующим параметрам атомно-силовых кантилеверных устройств.
2. При работе в режиме микроскопа оптического ближнего поля впервые экспериментально зарегистрирована флуоресцентная резонансная передача энергии к единичной молекуле, где размер оптического изображения объекта оказался равен 12 нм, то есть порядка двух Фёрстеровских радиусов.
3. Показана возможность создания фотоэмиссионного микроскопа на основе зонда-капилляра, с возможностью одновременного исследования рельефа поверхности и её фотоэмиссионной активности.

## **3. Степень достоверности результатов проведённых исследований**

Достоверность полученных экспериментальных результатов обеспечивается:

- современным уровнем используемого оборудования;

- хорошим соответствием экспериментальных результатов с расчетами, проведенными в рамках развитых теоретических моделей;
- внутренней согласованностью результатов, полученных на всех этапах проводимых исследований.

#### **4. Новизна и практическая значимость**

Результаты, определяющие **научную новизну** работы:

1. Разработан новый «двухрезонансный» принцип организации датчиков контакта зонда с поверхностью на основе пьезоэлектрических резонаторов.
2. С использованием развитой методики впервые зарегистрирована флуоресцентная резонансная передача энергии к единичной молекуле.

Результаты, обуславливающие **практическую значимость** работы:

1. Разработанные конструкции двухрезонансных датчиков контакта обладают большим потенциалом для практических приложений в зондовой микроскопии. В частности, золотой проволочный зонд с микропрутком, соединённый с часовым камертонным резонатором по новой схеме, позволяет проводить безапертурную оптическую микроскопию ближнего поля, регистрировать рельеф, локальную диэлектрическую проницаемость и проводимость поверхности, её "псевдовязкость" и "псевдоупругость".
2. Сканирующая микроскопия на основе зонда-капилляра позволяет к достоинствам «мягкой» фотодесорбции молекулярных ионов фемтосекундными лазерными импульсами в процессе масспектрометрического анализа добавить субволновое пространственное разрешение.

#### **5. Ценность научных работ соискателя**

Ценность научных работ соискателя заключается в следующем:

1. Разработана оригинальная конструкция датчика контакта, которая может найти широкое применение в зондовой микроскопии. Проведённый теоретический анализ позволил уточнить ряд вопросов, касающихся использования пьезорезонаторов в качестве датчиков силы.
2. Создан и апробирован экспериментальный комплекс сканирующего фотоэмиссионного микроскопа на основе зонда-капилляра.

## **6. Специальность, которой соответствует диссертация**

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.05 – оптика (физико-математические науки).

## **7. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем**

Основные результаты диссертации изложены в 6 статьях, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки РФ.

Публикации в журналах из перечня ВАК:

1. Serebryakov D.V., Cherkun A.P., Loginov B.A., Letokhov V.S. Tuning-fork-based fast highly sensitive surface-contact sensor for atomic force microscopy/near-field scanning optical microscopy // Review of Scientific Instruments. – 2002. – V. 73, № 4. – P. 1795-1802.
2. Cherkun A.P., Serebryakov D.V., Sekatskii S.K., Morozov I.V., Letokhov V.S. Double-resonance probe for near-field scanning optical microscopy // Review of Scientific Instruments. – 2006. – V. 77, № 3. – P. 033703.
3. Балыкин В.И., Борисов П.А., Летохов В.С., Мелентьев П.Н., Руднев С.Н., Черкун А.П., Акименко А.П., Апель П.Ю., Скуратов В.А. Атомная "камера-обскура" с нанометровым разрешением // Письма в ЖЭТФ. – 2006. – Т. 84, № 8. – С. 544-547.
4. Serebryakov D.V., Sekatskii S.K., Cherkun A.P., Dukenbayev K., Morozov I.V., Letokhov V.S., Dietler G. Scanning near-field optical microscope based on a double resonant fibre probe montage and equipped with time-gated photon detection // Journal of Microscopy. – 2008. – V. 229, № 2. – P. 287–292.
5. Асеев С.А., Миронов Б.Н., Миногин В.Г., Черкун А.П., Чекалин С.В. Микроскопия фотоионизационных процессов // Квантовая электроника. – 2013. – Т. 43, № 4. – С. 308-312.
6. Черкун А.П., Миронов Б.Н., Асеев С.А., Чекалин С.В. Фотоэлектронная сканирующая микроскопия с полым остриём // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 99, № 10. – С. 683-686.

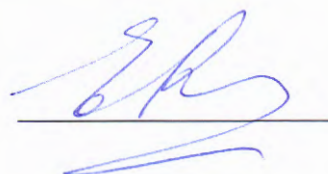
Диссертация Черкуна Александра Павловича «Физические аспекты сканирующего фотоэмиссионного микроскопа на основе зонда-капилляра» удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - оптика.

Заключение принято на заседании научного семинара отдела лазерной спектроскопии Института спектроскопии РАН.

Присутствовало на заседании 18 человек, в том числе 5 докторов наук и 9 кандидатов наук. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Протокол № 1045 от 30 марта 2016 года.

Председатель семинара  
отдела лазерной спектроскопии,  
заведующий отделом,  
доктор физ.-мат. наук, профессор



Рябов Е.А.

Подпись д.ф.-м.н. Е.А. Рябова заверяю.

Ученый секретарь ИСАН  
кандидат физ.-мат. наук



Перминов Е.Б.