

ОТЗЫВ

на диссертацию Филимоненко Дмитрия Сергеевича
«Применение методов атомно-силовой и сканирующей ближнеполевой микроскопии для детектирования локальных топографических, оптических и магнитных свойств наноразмерных объектов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа направлена на развитие методов сканирующей ближнеполевой оптической (СБОМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на исследование топографии и оптических свойств поверхностей объектов живой и неживой природы, исследование спектрально-люминесцентных свойств NV-центров алмаза в магнитном поле.

Содержание диссертационной работы по объекту, предмету и методам исследования, а также по выносимым на защиту положениям соответствует пунктам 3 (люминесценция, оптика биообъектов), 4 (лазерная спектроскопия) и 5 (разработка основ новых технологий регистрации и обработки изображений, диагностики биообъектов; методы оптических и спектральных измерений) раздела III паспорта специальности 01.04.05 – оптика, отрасли «физико-математические науки».

2. Актуальность темы диссертации

Методы сканирующей ближнеполевой оптической микроскопии (СБОМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) являются исключительно важными для исследования физико-химических свойств объектов в нанометровом масштабе.

Диссертационные исследования нацелены на выявление информативных параметров, которые характеризуют модификацию рельефа клеточных мембран при воздействии ряда неблагоприятных факторов и могут быть использованы для ранней доклинической диагностики патологических состояний. Автор диссертации совершенствовал характеристики оптоволоконных зондов для сканирующей ближнеполевой оптической микроскопии, что важно с точки зрения получения качественных топографических и оптических изображений объектов. Результаты по выявлению эффектов кросс-релаксации в слабом магнитном поле для ансамбля NV-центров в алмазе способствуют расширению аналитических возможностей сканирующей ближнеполевой оптической микроскопии, что в перспективе позволит реализовать полностью оптический сенсор магнитного поля на основе функционализированного нанокристаллом алмаза оптоволоконного зонда СБОМ.

Диссертационная работа Филимоненко Д.С. выполнялась в рамках ряда заданий государственных программ научных исследований и договоров,

финансируемых Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований. Тема диссертации соответствует пункту 4. Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: наноматериалы и нанотехнологии, нанодиагностика» перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы согласно Указу Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156 и пункту 6. “Электроника и фотоника”, перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденного Постановлением СМ РБ от 12.03. 2015 г. № 190.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Сопоставление результатов приведенных в диссертационной работе с опубликованными в данной области исследований, подтверждает новизну выносимых на защиту положений.

Следующие основные научно обоснованные результаты диссертационной работы Филимоненко Д.С. и научные положения, выносимые на защиту, относятся к новым:

- обнаружены изменения наноструктуры шероховатости поверхности эритроцитов человека, подвергшихся воздействию ионов цинка и свинца, а также лимфоцитов человека, подвергшихся воздействию ионов цинка, и выявлена зависимость параметров шероховатости поверхности эритроцитов от содержания внутриклеточного кальция;

- установлено, что корреляционная длина нормированной автокорреляционной функции профилей шероховатости эритроцитов и лимфоцитов является информативным статистическим параметром, позволяющим охарактеризовать степень металл-индуцированных изменений тонкой структуры поверхности клеток;

- показано, что для эффективной реализации работы СБОМ в режиме прерывистого контакта необходимо оптимизировать геометрические характеристики изогнутых оптоволоконных зондов (радиус, угол изгиба и длину загнутой части), а также способ сопряжения зонда с камертоном.

- экспериментально обнаружено, что зависимость интенсивности ИК фотолюминесценции ансамбля NV-центров в алмазе от напряженности магнитного поля имеет выраженный резонанс в области слабого магнитного поля, причем мощность и поляризация возбуждающего фотолюминесценцию лазерного излучения определяет амплитуду и ширину резонанса.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Надежность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием актуальных экспериментальных методов, а также грамотным анализом экспериментальных результатов с опорой на необходимые литературные ссылки. В частных случаях, где возможно сравнение результатов

исследования с результатами, представленными в литературе, установлено их хорошее соответствие. Результаты работы прошли апробацию на крупных международных научных конференциях, опубликованы в авторитетных научных журналах, включенных в перечень ВАК, а также в иностранных научных изданиях. Вышеизложенное не оставляет сомнений в достоверности представленных в диссертации выводов и рекомендаций.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации

Научная значимость результатов состоит в обнаружении и характеристике морфологических и структурных изменений мембран клеток крови человека и их оптических свойств в результате воздействия тяжелых металлов и иных неблагоприятных факторов; в повышении чувствительности диагностики оптических и топографических свойств биообъектов, в том числе в жидких средах, за счет создания оптимизированных оптоволоконных зондов для ближнеполевой оптической микроскопии; в экспериментальном обнаружении эффекта кросс-релаксации между различным образом ориентированными группами NV-центров в слабом магнитном поле путем регистрации сигнала видимой и инфракрасной фотолюминесценции ансамбля NV-центров в различных образцах алмаза.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в создании оптимизированных зондов для СБОМ, которые используются для собственных нужд в Институте физике НАН Беларуси. Экономический эффект от внедрения заключается не только в обеспечении собственных потребностей в зондах, но и в реализации коммерческих партий зондов зарубежным заказчикам.

Значительный интерес представляют также оптоволоконные зонды, функционализированные нанокристаллом алмаза, содержащим NV-центры, работоспособность которых продемонстрирована в работе. А обнаруженный автором эффект резонансного поведения люминесценции ансамбля NV-центров в области слабых магнитных полей может послужить основой нового полностью оптического способа NV-магнитометрии, что в перспективе позволит превратить функционализированный зонд в уникальное аналитическое средство измерений.

Предложенный способ оценки степени воздействия ионов свинца и цинка на мембрану эритроцитов человека по данным АСМ-измерений запатентован и внедрен в учебный процесс, используется при проведении научно-исследовательской работы на кафедре медицинской и биологической физики Гомельского государственного медицинского университета. Вышеуказанный способ при внедрении в клиническую практику может быть использован для ранней доклинической диагностики различного рода патологических состояний, связанных с воздействием тяжелых металлов.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации Филимоненко Д.С. опубликованы в

14 статьях в изданиях, соответствующих п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, в 23 статьях в сборниках научных трудов и материалов научных конференций, в 23 публикациях в сборниках тезисов докладов конференций, а также в 1 патенте на изобретение Республики Беларусь.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям, установленным ВАК. Диссертационная работа состоит из оглавления, перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, трёх глав, заключения, списка использованных источников (175 наименований), списка публикаций соискателя (61 наименование) и приложения. Оформление диссертации (разбиение по главам, представление рисунков и таблиц, список использованных источников и собственных работ автора) выполнено в соответствии с требованиями ВАК. Результаты диссертации представлены последовательно, логично и написаны ясным научным языком. Автореферат отражает содержание работы, ее структуру, выносимые на защиту положения и выводы.

8. Замечания по диссертации

1. В тексте работы следовало привести воспроизводимость положения сенсора на образце в процессе многократного сканирования.

2. В работе определена длительность затухания люминесценции алмазной наночастицы $\tau = 33$ нс, и сделано заключение, о том, что это значение согласуется со временем жизни NV-центра (стр.90). NV-центр в алмазе может иметь два зарядовых состояниях - NV^0 и NV^- и время жизни для этих состояний заметно различаются. По литературным данным для NV^- $\tau = 8-13$ нс, а для NV^0 $\tau = 19-32$ нс. При этом время жизни сильно зависит от концентрации NV-центров из-за процессов переноса энергии между двумя близко расположенными центрами. В работе показано, что исследованные НРНТ-алмазы содержат как NV^0 -, так и NV^- центры. Следовательно, экспериментальная кривая затухания люминесценции (рис 3.5) должна содержать как минимум 2 компоненты с разными временами жизни.

3. В работе обсуждается влияние магнитного поля на интенсивность люминесценции NV-центров, желательно также провести исследования влияния магнитного поля на длительность затухания люминесценции этих центров.

4. При регистрации спектров люминесценции алмазных микро- и наночастиц не учтена возможность их разогрева анализирующим лазерным излучением. Увеличение температуры образца должно приводить к тушению люминесценции NV-центров. Этот эффект, по-видимому, проявляется на графике рис. 3.15, где показано, что амплитуда нулевого резонанса выходит на насыщение с ростом мощности возбуждающего оптического излучения и даже снижается при больших мощностях.

5. На графике рис.3.10 отсутствует масштаб оси ординат.

Вместе с тем, указанные замечания не ставят под сомнение общую положительную оценку работы, её выводы и выносимые на защиту положения, а также научную и практическую значимость полученных результатов.

9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Содержание диссертационной работы Филимоненко Д. С. отражает личный вклад автора в опубликованные научные материалы. Вклад соискателя состоит в постановке задач исследования, проведении основных экспериментов, анализе и научном обобщении полученных результатов, изготовлении и оптимизации параметров оптоволоконных зондов для СБОМ, участии в планировании теоретических расчетов и их сопоставлении с результатами экспериментов, а также в непосредственном участии в подготовке и написании всех публикаций и представлении результатов на научных конференциях. Анализ содержания диссертации, а также научного уровня публикаций позволяют заключить, что Филимоненко Д. С. является высококвалифицированным ученым, соответствующим квалификационным требованиям, предъявляемым к соискателям ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

10. Выводы

Диссертация Филимоненко Д.С. является завершенной самостоятельно выполненной квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с п. 20 «Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий». Считаю, что автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика за следующие новые научно обоснованные результаты, которые в совокупности являются существенным вкладом в развитие оптических методов нанодиагностики физико-химических свойств различных объектов, в том числе биологических:

1. Выявление наноразмерных изменений поверхности мембран эритроцитов и лимфоцитов при воздействии ионами цинка и свинца, установление в качестве наиболее информативного параметра степени наблюдаемых изменений длины корреляции автокорреляционной функции, и обнаружение нарушения структуры цитоскелета и пространственной организации белковых кластеров мембран эритроцитов в условиях повышенной внутриклеточной концентрации ионов кальция.

2. Установление оптимальных геометрических параметров изогнутых оптоволоконных зондов в режиме прерывистого контакта для сканирующей ближнеполевой оптической микроскопии, что обеспечивает шестикратное увеличение добротности системы регистрации.

3. Обнаружение явления резонансного увеличения интенсивности фотолюминесценции ансамбля NV-центров в алмазе от величины магнитного поля при малых значениях напряженности, а также установление влияния мощности и поляризации лазерного излучения накачки на амплитуду и форму обнаруженных экстремумов.


Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий лабораторией спектроскопии

Научно-исследовательского учреждения

«Институт прикладных физических проблем

имени А. Н. Севченко»

Белорусского государственного университета  М.П. Самцов

Я, Самцов Михаил Петрович, даю согласие на публикацию данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Института физики НАН Беларуси в сети Интернет.



М.П. Самцов

09.01.2024

Подпись Самцова М.П. удостоверяю
Начальник ОК Жаков Р.И.

