

ОТЗЫВ

официального оппонента Бабунца Романа Андреевича на диссертацию Большедворского Степана Викторовича «Исследование центров окраски в наноалмазах и их агрегатах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика»

Квалификационная работа Большедворского С.В. «Исследование центров окраски в наноалмазах и их агрегатах» направлена на изучение оптических и спиновых свойств перспективных на данный момент NV и SiV центров окраски в синтетических наноалмазах.

Выбранная тема исследований, без сомнения, является актуальной, поскольку относится к бурно развивающемуся направлению фотоники. Благодаря уникальным свойствам центры окраски находят свое применение в ряде приложений квантовых технологий и наносенсорике. На данный момент, существует множество успешных применений центров окраски для измерения магнитных и электрических полей, температуры, в том числе внутри труднодоступных объектов, таких как живые клетки.

Научная новизна диссертации Большедворского С.В. заключается в экспериментальном исследовании люминесцентных характеристик одиночных NV и SiV центров окраски в синтетических наноалмазах с минимальными размерами. Полученные экспериментальные данные представляют практический интерес, поскольку большинство приложений требуют стабильных и идентичных квантовых систем.

Достоверность полученных автором результатов не вызывает сомнений. В работе используются различные методы исследований результаты которых согласуются между собой и хорошо описываются известными моделями.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 97 наименований, включает 37 рисунков и 2 таблицы. Объем диссертации составляет 104 страницы.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, её научная новизна и практическая значимость, сформулированы цели и задачи работы, а также защищаемые положения, личный вклад автора и сведения об апробации работы.

В первой главе приведен литературный обзор по центрам окраски в алмазе. В главе содержится подробное описание алмаза как материала - платформы для точечных квантовых дефектов, детально разобраны два типа центров окраски в алмазе: Азот-Вакансия и Кремний-Вакансия.

Во второй главе описываются экспериментальные методики, используемые в работе. Глава содержит информацию о природе однофотонного излучения и методиках его детектирования, дается подробное описание экспериментальной установки, собранной для проведения исследовательских работ. В работе подробно описаны процессы химической обработки алмазов и подготовки образцов для исследования, включая описание размещения наноалмазов на поверхности и способов корреляции карт фотолюминесценции и топологии поверхности образца.

Третья глава диссертации посвящена исследованию свойств одиночных NV центров в детонационных наноалмазах. Приводятся снимки, полученные с помощью просвечивающего электронного микроскопа и гистограмма размеров кристаллов детонационных наноалмазов, используемых в данной работе. Показано, что световой поток в насыщении от одиночных NV центров в агрегатах детонационных наноалмазов в 2.2 ± 0.9 раза больше, чем от одиночных NV центров в наноалмазах, полученных дроблением. Проведена оценка вероятности найти одиночный NV центр в одном наноалмазе, которая составила 0.0015%. Проведены исследования когерентных свойств электронного спина одиночных NV центров в детонационных наноалмазах.

Четвертая глава начинается с описания процесса синтеза наноалмазов из органических компонент методом высоких давлений и высоких температур. В главе подробно исследованы характеристики кристаллической структуры данных алмазов методами комбинационного рассеяния, просвечивающей электронной микроскопии и с помощью рентген-дифракционного рассеяния. Представлены результаты исследования люминесцентных свойств одиночных SiV центров окраски и проведена оценка вероятности обнаружить наноалмаз с оптически активным SiV центром, которая составила 0.53%. В работе измерялись функция автокорреляции второго порядка, время жизни возбужденного состояния, кривые насыщения для светового потока и спектры фотолюминесценции.

В заключении приведены основные научные результаты диссертационной работы.

К тесту диссертационной работы имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В тексте диссертационной работы встречаются опечатки, например, стр. 39 «Экспериментальное определить регистрация однофотонного излучения», стр. 7 «Исследовать времена».
2. Текст диссертации содержит жаргонизмы, например: стр. 5 «преимуществом квантовых точек – твердотельностью», подпись к рис 27б «рентген дифракционный пик».
3. Встречается небрежное оформление графиков. Рис. 27б и Рис. 29 – кривая аппроксимации данных почти полностью закрывает экспериментальные данные.
4. На стр. 41 на рисунке 12 не показана диафрагма – основной элемент конфокального микроскопа.
5. На рис 19а проведена аппроксимация линией с кубической зависимостью, хотя по приведенным данным можно нарисовать любую зависимость.
6. В 3 главе диссертации отсутствует обсуждение влияния формы и поверхности наноалмазов на световой поток от NV центров.
7. В пункте 3.3 приведено оценка вероятности нахождения одиночного NV центра в одиночном детонационном наноалмазе, которая составила 0.0015%. Могут ли эти данные быть обобщены?
8. Почему при расчете вероятности обнаружить одиночный NV центр в одиночном кристалле детонационного наноалмаза за размер агрегата принимается высота?
9. В главе 4 не указан процент Si в образцах, которые используются в процессе роста наноалмазов.

Отмеченные замечания не влияют на достоверность и значимость полученных Большедворским С.В. результатов и выводов и не снижают общую высокую оценку данной работы.

Результаты работы прошли широкую апробацию на международных конференциях и опубликованы в трех статьях в рецензируемых журналах, входящих в базу данных Web of Science.

Обсуждая диссертационную работу Большедворского С.В. в целом, следует отметить последовательность в её выполнении и полноту методов исследования: рентген, комбинационное рассеяние, электронная микроскопия, атомно-силовая микроскопия, фотолюминесценция, оптически детектируемый магнитный резонанс. Объем проделанной работы несомненно впечатляет.

Диссертационная работа Большедворского С.В. является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертационная работа Большедворского Степана Викторовича «Исследование центров окраски в наноалмазах и их агрегатах» удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – «Лазерная физика».

Официальный оппонент:

к.ф.-м.н., Бабунц Роман Андреевич,
старший научный сотрудник лаборатории
микроволновой спектроскопии кристаллов,
Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН



2.17.2022

194021 г. Санкт-Петербург,
Политехническая ул., 26
Тел. +79119994243
e-mail: roman.babunts@gmail.com

Подпись Бабунца Романа Андреевича заверяю



Подпись Бабунца Р.А. удостоверяю
в отделе кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе

И.С. Буселер

Список публикаций

официального оппонента Р.А. Бабунца в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертации С.В. Большедворского "Исследование центров окраски в наноалмазах и их агрегатах" за последние пять лет

1. I.D. Breev, Z. Shang, A.Y. Poshakinskiy, H. Singh, Y. Berencen, M. Hollenbach, S.S. Nagalyuk, E.N. Mokhov, R.A. Babunts, P.G. Baranov, D. Suter, S.A. Tarasenko, G.V. Astakhov, A.N. Anisimov, Inverted fine structure of a 6H-SiC qubit enabling robust spin-photon interface, *npj Quantum Information* **8**, 23 (2022)
2. Y.A. Uspenskaya, E.V. Edinach, A.S. Gurin, R.A. Babunts, H.R. Asatryan, N.G. Romanov, P.G. Baranov, J. Lumines, Light and spins in rare-earth doped garnets **251**, 119166 (2022)
3. Р.А. Бабунц, А.С. Гурин, И.В. Ильин, А.Л. Бундакова, М.В. Музафарова, А.Г. Бадалян, Н.Г. Романов, П.Г. Баранов, Высокочастотная ЭПР-спектроскопия парамагнитных центров марганца в кристаллах GaAs:Mn, ФТТ, **63**, вып. 11, 1906-1914 (2021)
4. V.A. Soltamov, B.V. Yavkin, G.V. Mamin, S.B. Orlinskii, I.D. Breev, A.P. Bundakova, R.A. Babunts, A.N. Anisimov, P.G. Baranov, Electron nuclear interactions in spin-3/2 color centers in silicon carbide: A high-field pulse EPR and ENDOR study, *Phys. Rev. B* **104**, no. 12, art. no.125205 (2021)
5. Р.А. Бабунц, А.Н. Анисимов, И.Д. Бреев, А.С. Гурин, А.П. Бундакова, М.В. Музафарова, Е.Н. Мохов, П.Г. Баранов, Полностью оптическая регистрация сверхтонких электронно-ядерных взаимодействий в спиновых центрах в кристаллах 6H-SiC с модифицированным изотопным составом ¹³C, Письма в ЖЭТФ **114**, вып. 8, 533 - 540 (2021)
6. Е.В. Единач, А.Д. Криворучко, А.С. Гурин, М.В. Музафарова, И.В. Ильин, Р.А. Бабунц, Н.Г. Романов, А.Г. Бадалян, П.Г. Баранов, Применение высокочастотной ЭПР спектроскопии для идентификации и разделения позиций азота и ванадия в кристаллах и гетероструктурах карбида кремния, ФТП **54**, вып. 1, 103-110 (2020)
7. И.Д. Бреев, А.Н. Анисимов, Р.А. Бабунц, П.Г. Баранов, Спектроскопия оптического детектирования магнитного резонанса в карбиде кремния с использованием развертки температуры, Журнал прикладной спектроскопии **87**, вып. 1, 25-28 (2020)
8. Р.А. Бабунц, Д.Д. Крамущенко, А.С. Гурин, А.П. Бундакова, М.В. Музафарова, А.Г. Бадалян, Н.Г. Романов, П.Г. Баранов, Особенности высокочастотной ЭПР/ЭСЭ/ОДМР спектроскопии NV-дефектов в алмазе, ФТТ **62**, вып. 11, 1807-1815 (2020)
9. Р.А. Бабунц, А.С. Гурин, Ю.А. Успенская, Г.Р. Асатрян, Д.О. Толмачев, Н.Г. Романов, А.Г. Бадалян, П.Г. Баранов, Особенности высокочастотного спектрометра электронного парамагнитного резонанса с модуляцией частоты, Письма ЖТФ **46**, вып. 9, 47-50 (2020)

10. А.Н. Анисимов, Р.А. Бабунц, И.Д. Бреев, В.А. Солтамов, Е.Н. Мохов, П.Г. Баранов, Высокотемпературные спиновые манипуляции на центрах окраски в ромбическом политипе карбида кремния 21R-SiC, Письма в ЖЭТФ **112**, вып. 12, 813-819 (2020)