

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.223.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
ИМ. А.М. ПРОХОРОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 02 июня 2025 г. № 27

О присуждении Ромшину Алексею Максимовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Термометрия на основе люминесцентных центров “кремний-вакансия” в наноалмазах» по специальности 1.3.19. Лазерная физика принята к защите 17 марта 2025 г. (протокол заседания № 23) диссертационным советом 24.1.223.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (119991 ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, д. 38, приказ о выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» от 12.12.2023 г. № 2290/нк).

Соискатель Ромшин Алексей Максимович, 31 мая 1996 года рождения. В 2020 г. Ромшин Алексей Максимович окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». В 2024 году соискатель окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 1.3.19. (01.04.21) Лазерная физика.

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника Отдела фотоиндуцированных поверхностных явлений Центра естественно-научных исследований Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в Отделе фотоиндуцированных поверхностных явлений Центра естественно-научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель — Власов Игорь Иванович, кандидат физ.-мат. наук, зав. лабораторией углеродной нанофотоники Отдела фотоиндуцированных поверхностных явлений Центра естественно-научных исследований Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук», Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

Маньшина Алина Анвяровна, доктор химических наук, профессор кафедры лазерной химии и лазерного материаловедения Института химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Санкт-Петербургского государственного университета, Правительства Российской Федерации.

Доленко Татьяна Альдефонсовна, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель группы лазерной спектроскопии наносистем в жидких средах Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

дали положительные отзывы о диссертации со следующими замечаниями:

1. Замечания Маньшиной А.А.:

1) Формулировка цели работы кажется не совсем корректной в части «разработка нового оптического метода детектирования локальных температурных полей». По сути, в работе используется классический оптический метод, использующий чувствительность спектрального положения полос люминесценции к температуре. Целью работы, по всей вероятности, все же было изучение перспективности наноалмазов с центрами кремний-вакансия в качестве температурных сенсоров. Либо возможна иная формулировка.

- 2) В главе 1 представлены принципы оптической термометрии на основе различных типов объектов и перечислены особенности температурных сенсоров на их основе. Обобщающий анализ ключевых характеристик различных температурных сенсоров подчеркнул бы актуальность обсуждаемых в диссертации вопросов. Также раздел, обсуждающий наноалмазы и их применение в нанотермометрии, смотрелся бы более интересно, если бы был проведен внимательный сравнительный анализ «термометрических характеристик» наноалмазов с различными типами дефектов (N-V, Si-V, Ge-V). Есть ощущение, что такое сравнение еще больше подчеркнуло бы значимость представляемых в работе результатов.
- 3) На стр. 60 представлено описание объектов исследования и, в частности «НРНТ-частицы, синтезированные (а) в смеси адамантана (C₁₀H₁₆) и детонационных наноалмазов при давлении ~7.5 ГПа, температурах 1500-1600 °С и временной выдержке 20 с, и (б) чисто из адамантана при температурах 1600-1700 °С и давлении 8 ГПа.». Далее по тексту диссертации, где обсуждаются НРНТ алмазы, в большей части случаев непонятно о каком подвиде алмазов НРНТ идет речь.
- 4) Заключение о моно- /поли-кристалличности образцов наноалмазов требует все-таки проведения исследований методами рентгеноструктурного/рентгенофазового анализа, либо дифракции электронов. Визуальная оценка на основе изображений частиц не может быть основанием для выводов о кристалличности: «РЭМ-изображения исследуемых частиц приведены на рис. 2.1. Видно, что частица, полученная методом НРНТ (рис. 2.3а), обладает ярко выраженной сингулярной огранкой и является монокристаллом. В то же время частицы, полученные методами CVD и (НРНТ+CVD) (рис. 2.3б,в), имеют поликристаллическую структуру, причем для частиц, полученных методом CVD, она выражена более ярко». Кроме того, рентгенофазовый анализ позволил бы сделать выводы о размерах областей когерентного рассеяния исследуемых образцов, и, возможно предоставил дополнительную информацию о роли структурных особенностей наноалмазов при их использовании в качестве нагревателя/температурного сенсора. Так на стр 97 указано, что «аморфный углерод при получении (НРНТ+CVD)-частиц локализуется между алмазных зерен, характерный размер которых составляет 30-100 нм». Как была получена информация о размере зерен?
- 5) В главе 4 представлены интересные результаты по изучению теплопродукции митохондрий, изолированных из мозга мышей, зафиксированы выраженные тепловые всплески митохондрий, изучена кинетика этих процессов, однако отсутствует информация о типе наноалмазов, использованных для этих исследований.
- 6) Есть погрешности в оформлении, неудачные формулировки, опечатки – отсутствует рисунок 1.21e хотя ссылка на него есть; криогенные методы анализа; низкое структурное качество

поликристаллических частиц и т.п.

2. Замечания Доленко Т.А.:

- 1) К сожалению, в главе 1 – обзоре литературы – отсутствует сравнительный анализ основных характеристик имеющихся люминесцентных нанотермосенсоров локального окружения, что позволило бы четче обосновать преимущества разработанного автором диссертационной работы термосенсора на основе наноалмазов с Si-V центрами.
- 2) Из характеристик термометров более информативной является относительная чувствительность параметра к температуре. Такая величина показывает зависимость точности измерения температуры от диапазона ее изменения (п.2.1.3.).
- 3) Каковы квантовые выходы люминесценции исследованных наноалмазов/ансамблей Si-V центров на длинах волн возбуждающего излучения – 473 нм, 532 нм? Как эта характеристика зависит от методов синтеза и очистки наноалмазов с Si-V центрами?
- 4) Почему уровень шума термометра был исследован только для термометра на основе (НРНТ+CVD) алмазов, если в предыдущем параграфе был сделан вывод, что наиболее оптимальными для использования в качестве термосенсоров являются НРНТ-алмазы (раздел 2.4.)?
- 5) В разделе 2.4. уровень шума термометров анализируется для частиц четырех размеров, но в каждом случае представлены данные только для одной частицы. Отсутствие усреднения по ансамблю частиц или анализа разброса параметров делает выводы по размерной зависимости чувствительности и уровня шума менее надежными. Следовало бы показать повторяемость измерений хотя бы на 3-5 термометрах каждого размера.
- 6) В п.3.1. очень подробно исследованы особенности влияния на температурное поле нагревателя и точность измерения пространственного распределения температуры характеристик алмазной частицы в водной среде. В заключении к главе 3 сделан следующий вывод: «Полученные результаты позволяют точно оценивать тепловые свойства на границе раздела «алмаз-среда» и подчеркивают потенциал алмазных люминесцентных нанотермометров для измерения температуры в биологических объектах». Какие среды имеются в виду? Проводились ли подобные оценки для биологических тканей, в которых содержание воды зависит от вида клеток и тканей и колеблется от 10 % в клетках эмали зуба до 90 % в клетках развивающегося зародыша? Этот вопрос тем более интересен, так как апробация нанотермометра проведена на митохондриях, в состав которых входит целый ряд различных белков, ферментов, жирных кислот и т.д.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном Натальей Анатольевной Чумаковой, доктором химических наук, главным научным сотрудником лаборатории кинетики механохимических и свободно-радикальных процессов им. В.В. Воеводского Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук и утвержденным И.О. директора Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, доктором физико-математических наук, Александром Викторовичем Чертовичем, указала, что, в целом, диссертация Ромшина А.М. представляет собой законченную научную работу по актуальной тематике. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, что подтверждается большим количеством публикаций в высокорейтинговых журналах: 8 печатных работ в рецензируемых научных журналах, входящих в «Перечень журналов ВАК», из которых 7 статей опубликованы в журналах, индексируемых в международной базе данных Web of Science, и 8 тезисов международных и всероссийских конференций. Диссертация написана грамотным языком, четко структурирована. Тема диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.19. Лазерная физика по физико-математическим наукам. Содержание и основные выводы диссертации полностью отражены в автореферате.

Диссертационная работа Ромшина Алексея Максимовича «Термометрия на основе люминесцентных центров “кремний-вакансия” в наноалмазах» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (ред. от 16 октября 2024 г.), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Вместе с тем, работа не лишена некоторых недостатков, среди которых можно выделить следующие:

- 1) Литературный обзор не содержит сравнительной таблицы параметров наноразмерных термосенсоров различной природы (органических красителей, квантовых точек, ионов редкоземельных металлов, углеродных точек, полимерных комплексов и алмазных наночастиц). Наличие такой таблицы позволило бы точнее установить преимущества и недостатки термометров, разработанных автором диссертационной работы.

2) По какой причине в разных экспериментах автор использует излучение, возбуждающее люминесценцию SiV центров, различных, хотя и близких, длин волн? Оценивался ли квантовый выход люминесценции SiV-центров.

3) Описание температурных зависимостей сдвига и ширины БФЛ люминесценции SiV-центров в алмазных микрочастицах (рис. 2.4), близких к линейным в изучаемом температурном диапазоне (25-55°C), проведено с использованием полиномов третьей степени, что является избыточным.

4) В диссертационной работе исследована чувствительность люминесценции SiV-центров к температуре в диапазоне 20-55 градусов. Чем мотивирован выбор такого узкого интервала? Какие предельные значения температур, при которых можно данные алмазные термометры?

5) Какова зависимость люминесцентных свойств SiV-центров от размеров алмазных частиц?

6) С какой целью были проведены детальные измерения формы линий отдельных переходов при температурах 4К и 11К?

7) Насколько прекурсор и технология приготовления наноалмазов влияют на их свойства?

8) Можно ли данные наноалмазы использовать для измерения температуры среды в режимах импульсного (пикосекундного) разогрева до температур выше 600 градусов?

Перечисленные замечания не снижают значимости диссертационного исследования.

Соискатель имеет 8 публикаций в рецензируемых научных изданиях по теме диссертации, включая 7 статей в журналах, индексируемых в международной базе данных Web of Science. В рецензируемых научных изданиях опубликовано 8 работ по люминесцентной термометрии на основе центров окраски в алмазах, в которых соискатель принял непосредственное участие при проведении экспериментов, обработке экспериментальных данных и написании публикаций. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Список наиболее значительных работ:

1. Fourier Transform Limited Linewidth of Optical Transitions in Single SiV Centers in 'Adamantane' Nanodiamonds / **A.M. Romshin**, O.S. Kudryavtsev, E.A. Ekimov, A.B. Shkarin, D. Rattenbacher, M.V. Rakhlin, A.A. Toropov, I.I. Vlasov // *JETP Letters*. – 2020. – Vol. 112. – P. 13-16. DOI: 10.1134/S002136402013010X
2. A new approach to precise mapping of local temperature fields in submicrometer aqueous volumes / **A.M. Romshin**, V. Zeeb, A.K. Martyanov,

- O.S. Kudryavtsev, D.G. Pasternak, V.S. Sedov, V.G. Ralchenko, A.G. Sinogeykin, I.I. Vlasov // *Scientific Reports*. – 2021. – Vol. 11. – P. 14228. DOI: 10.1038/s41598-021-93374-7
3. Heat Release by Isolated Mouse Brain Mitochondria Detected with Diamond Thermometer / **A.M. Romshin**, A.A. Osypov, I.Yu. Popova, V.E. Zeeb, A.G. Sinogeykin, I.I. Vlasov // *Nanomaterials*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 98. DOI: 10.3390/nano13010098
 4. Temperature characteristics of ‘silicon-vacancy’ luminescent centers in diamond particles synthesized by various methods / **A.M. Romshin**, Pasternak D.G., Altakhov A.S., Bagramov R.K., Filonenko V.P., Vlasov I.I. // *Optics and Spectroscopy*. – 2023. – Vol. 131. – № 2. – P. 133. DOI: 10.61011/EOS.2023.02.55773.18-23
 5. Nanoscale thermal control of a single living cell enabled by diamond heater-thermometer / **A.M. Romshin**, V. Zeeb, E. Glushkov, A. Radenovic, A.G. Sinogeykin, I.I. Vlasov // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – P. 8546. DOI: 10.1038/s41598-023-35141-4
 6. Warm Cells, Hot Mitochondria: Achievements and Problems of Ultralocal Thermometry / A.G. Kruglov, **A.M. Romshin**, A.B. Nikiforova, A. Plotnikova, I.I. Vlasov // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – Vol. 24. – № 23. – P. 16955. DOI: 10.3390/ijms242316955
 7. The Relationship between the Temperature in the Deep Layers of the Somatosensory Cortex and Blood Flow Velocity in the Brain of Anesthetized Mice / **A.M. Romshin**, A.A. Osypov, V.K. Krohaleva, S.G. Zhuravlev, O.N. Egorova, I.I. Vlasov, I.Yu. Popova // *Biophysics*. – 2024. – Vol. 69. – № 2. – P. 306-313. DOI: 10.1134/S0006350924700374
 8. Rapid neurostimulation at the micron scale with an optically controlled thermal-capture technique / **A.M. Romshin**, N.A. Aseyev, O.S. Idzhilova, A.A. Koryagina, V.E. Zeeb, I.I. Vlasov, P.M. Balaban // *Biomaterials Science*. – 2025. – Vol. 13. – P. 250-260. DOI: 10.1039/D4BM01114G

На автореферат поступили 2 отзыва, от Витухновского Алексея Григорьевича, д.ф.-м.н., высококвалифицированного главного научного сотрудника Отдела люминесценции им. С.И. Вавилова Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева и Бабунца Романа Андреевича, к.ф.-м.н., заведующего лабораторией микроволновой спектроскопии кристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук. Все отзывы положительные, замечаний не содержат.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой степенью их компетенции в вопросах лазерной физики, подтвержденной большим числом публикаций в ведущих рецензируемых изданиях, что позволяет им оценить достоверность

полученных результатов и научно-практическую значимость рассматриваемой в диссертации проблемы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан полностью оптический метод нанотермометрии, основанный на использовании нового типа излучательных элементов — наноалмазов с SiV-центрами, люминесценция которых фотостабильна и нечувствительна к внешним параметрам.

Предложено использование адамантановых HPNT-наноалмазов, содержащих SiV-центры в качестве высокоточных термосенсоров, в том числе при криогенных температурах. **Предложено** использование поликристаллической CVD-алмазной частицы с люминесцирующими SiV-центрами в качестве гибридного термометра-нагревателя, совмещающего функции температурного сенсора и управляемого источника тепла. **Предложен** новый подход к определению локальной температуропроводности биологических жидкостей, живых клеток и органелл.

Доказана перспективность использования нового алмазного термометра для измерений температуры биологических объектов, в частности, митохондрий.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Разработан новый алгоритм для точного определения спектрального положения линий различных люминесцентных источников.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработанный оптический метод открывает новые технологические возможности, связанные с достоверным мониторингом теплопродукции вблизи/внутри живой клетки, ультралокальным термическим управлением структурными и биохимическими процессами в клетке, выявлением конструктивных недостатков на стадии разработки электронных интегральных схем и контролем качества при их серийном производстве.

Создан макет устройства контроля температуры в наноразмерных областях и определены его основные характеристики, проведена апробация метода на биологических объектах.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

В работе показано, что температурная чувствительность SiV-центров зависит от метода синтеза алмазных частиц. Наибольшей температурной чувствительностью обладают алмазы, синтезированные при высоком давлении и высокой температуре (HPHT методом) из адамантана. Установлено, что наноалмазы, синтезированные HPHT методом из адамантана, имеют самую узкую ширину линии (94 МГц) излучения одиночного SiV-центра при криогенных температурах среди известных SiV-содержащих наноалмазов, полученных HPHT и CVD методами. Установлено, что поликристаллические алмазные частицы, синтезированные CVD методом и содержащие люминесцирующие SiV-центры, сочетают в себе свойства как термометра, так и эффективного нагревателя. Предложен новый метод изучения динамики тепловых процессов в наноразмерных системах, основанный на использовании одиночной алмазной частицы, сочетающей свойства термометра и нагревателя. Впервые CVD алмазные частицы с SiV-центрами успешно апробированы для измерения температуры вблизи органелл размером ~ 1 мкм.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что все выводы диссертации обоснованы и подтверждены данными научных экспериментов, проведенных с применением специально разработанных методик, при использовании современного научного оборудования, математического моделирования и специально разработанных экспериментальных стендов. Было проведено сравнение полученных соискателем результатов с имеющимися литературными данными по рассматриваемой тематике. Материалы исследования опубликованы в высокорейтинговых научных журналах и доложены на всероссийских и международных конференциях.

Личный вклад соискателя является определяющим и заключается в активном участии в постановке задач, определении способов их решения, сборке и юстировке экспериментальных установок, автоматизации измерений, проведении экспериментов и численных расчетов, анализе, обработке и интерпретации полученных данных, написании текстов статей. Все результаты, представленные в работе, получены соискателем лично, либо в соавторстве при его непосредственном участии.

Соискатель Ромшин Алексей Максимович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, замечания ведущей организации и оппонентов, согласился с некоторыми замечаниями и привел собственную аргументацию.

На заседании 02 июня 2025 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, имеющей значение для развития

лазерной физики и заключающееся в разработке нового оптического метода детектирования локальных температурных полей с помощью наноалмазов, содержащих люминесцирующие SiV-центры, и технических решений на его основе присудить Ромшину Алексею Максимовичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 17, «против» 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета
академик РАН



Гарнов
Сергей
Владимирович

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат физико-математических наук

Осадчий
Александр
Валентинович

02 июня 2025 г.