

## **Отзыв научного руководителя**

о диссертационной работе

**Чэня Цзяцзюня**

**«Структурная трансформация азотных примесных центров в алмазе под действием ультракоротких лазерных импульсов»,**

представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Чэнь Цзяцзюнь занимается научной работой в Отделении квантовой радиофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ОКРФ ФИАН) в лаборатории лазерной нанофизики и биомедицины с 2020 г. по настоящее время. В 2017 году Ц. Чэнь окончил бакалавриат в Томском политехническом университете по направлению «22.03.01 Материаловедение и технологии материалов», в 2019 году – там же магистратуру по тому же направлению. В 2019 году поступил и в 2023 году окончил очную аспирантуру Физического института им. П. Н. Лебедева РАН по направлению «03.06.01 Физика и астрономия». С 2020 года Ц. Чэнь является сотрудником ФИАН в должности высококвалифицированного младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа Ц. Чэня была активно начата в 2019 году в ФИАН по теме, более близкой к магистерской работе – по фемто- и наносекундному ударно-волновому упрочнению поверхности металлов, однако, пандемия коронавируса почти на год отложила исследования и разрушила научную коллаборацию по теме с Институтом проблем химической кинетики РАН, где готовились исходные образцы и анализировалась, как результат, лазерно-индуцированное изменение микротвердости. В результате, в 2021 году Ц. Чэню пришлось вынужденно остановить исследования по ударно-волновому упрочнению и начать новое для себя изучение структурных трансформаций азотных примесных центров в синтетическом и природном алмазах с высоким содержанием азота под воздействием ультракоротких лазерных импульсов, выполняемое в рамках гранта

Российского научного фонда. Данная тема также является весьма актуальной, так как в последнее десятилетие создание оптических центров в алмазах с использованием сверхкоротких лазерных импульсов привлекает большое внимание благодаря потенциальным применениям в интегральной фотонике и сенсорике, однако, исследования сосредоточены на создании относительно структурно простых NV-центров в высокочистых (низкоазотных) синтетических алмазах. Напротив, в высокоазотных природных и синтетических алмазах оптические центры находятся в кластерных формах с различными степенями агрегации и могут претерпевать под действием фемтосекундного лазерного облучения более сложные реакции, однако сведения об исследованиях в этом направлении в литературе отсутствуют. Соответственно, исследования Ц. Чэня были направлены на систематические исследования трансформации оптических центров в высокоазотных природных и синтетических алмазах при условиях фемтосекундного лазерного облучения, варьируемых по энергии и экспозиции лазерных импульсов. В результате, были осуществлены изменения оптических характеристик высокоазотных природных и синтетических алмазов и установлены механизмы агрегации и дезагрегации наиболее распространённых в них азотных оптических центров под действием фемтосекундного лазерного облучения. Для этого пришлось освоить большой объем литературы по инфракрасной, оптической, фотолюминесцентной и комбинационного рассеяния спектроскопии алмаза и его азотных примесных оптических центров, технологии синтеза и обработки алмаза, а также практически – соответствующие аналитические методы спектроскопии, сочетание которых значительно повысило надежность и полноту экспериментальных результатов. Результаты, полученные в диссертационной работе Ц. Чэня, имеют практическую ценность для технологий алмазной фотоники и лазерной маркировки алмазов.

В сравнительных исследованиях синтетического и природного алмазов Ц. Чэнь использовал репрезентативные образцы с высоким содержанием азота, которое в синтетическом алмазе проявляется преимущественно в виде одноатомных замещающих примесных центров, а в природных алмазах – в агрегированных формах. Исследование Ц. Чэня механизма трансформации одноатомных центров в синтетическом алмазе под действием лазерных импульсов показало, что его результаты могут послужить основой



для понимания более сложных лазерно-индуцированных трансформаций агрегированных дефектов азота в природном алмазе. В частности, Ц. Чэнь рассмотрел немонотонные структурные изменения азотных оптических центров с ростом энергии фемтосекундных лазерных импульсов в виде последовательности процессов агрегации и диссоциации. Эти противоположные процессы были объяснены им с учетом изменения концентрации фотогенерированных собственных междоузельно-вакансионных дефектов алмаза: при низких интенсивностях лазерного излучения, фотогенерируемые дефекты «вакансия-междоузлие» низкой концентрации способствуют объединению более мелких азотных центров (С-, А-, NV-центры) в присутствии вакансий, образуя более агрегированные центры НЗ и Н4. Однако, при более высоких энергиях фемтосекундных лазерных импульсов, как было установлено диссертантом, гораздо более высокая фотогенерированная локальная концентрация вакансий и междоузлий приводит к отрыву атомов азота от высокоагрегированных азотных центров (НЗ, Н4), превращая их в итоге в NV-центры. Этот механизм, при котором направление трансформации оптических центров непрямо зависит от интенсивности фемтосекундного лазерного излучения, ещё не был описан в литературе. Кроме того, Ц. Чэнь предложил каскадный механизм фотоионизации в кристалле высокоазотного синтетического алмаза через резонансный дефектный уровень С-центров, на основании чего происходит генерация электрон-дырочной плазмы вакансионно-междоузельных пар.

В ходе выполнения диссертационной работы в сжатые сроки Ц. Чэнь дружелюбно и конструктивно взаимодействовал с коллегами, принимал участие в лабораторных мероприятиях. Он пользуется уважением коллектива.

Научная достоверность данных, представленных в диссертации Ц. Чэнем, не вызывает сомнений. Результаты, представленные в диссертационной работе, были представлены на научных семинарах ФИАН, а также на российских и международных научных конференциях. По материалам диссертации было опубликовано 7 работ в рецензируемых научных журналах. Соискатель является соавтором более 15 статей, рецензируемых в Web of Science. Считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет предъявляемым к кандидатским диссертациям требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства

Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Чэнь Цзяцзюнь заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. – Лазерная физика.

Научный руководитель, заведующий лабораторией лазерной нанофизики и биомедицины, ведущий научный сотрудник ФИАН, доктор физико-математических наук, доцент

Кудряшов Сергей Иванович

22» Июль 2025 г.

ФИАН, 119991 Москва, Ленинский пр-кт, д.53

Тел. 7(499) 132-62-30

E-mail: [kudryashovsi@lebedev.ru](mailto:kudryashovsi@lebedev.ru)

Подпись Кудряшова Сергея Ивановича заверяю:

Помощник директора ФИАН,

Савинов Сергей Юрьевич