

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.074.04 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «20» апреля 2021 г. №5

О присуждении Дресвянскому Владимиру Петровичу, гражданину РФ,
учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Дефектообразование при фемтосекундном лазерном возбуждении и свойства индуцированных центров окраски в диэлектрических кристаллах» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 21 декабря 2020 года, протокол №2, диссертационным советом Д 212.074.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007 г.).

Соискатель Дресвянский Владимир Петрович 1971 года рождения. В 1993 году окончил факультет авиационного радиоэлектронного оборудования Киевского высшего военного авиационного инженерного училища с присвоением квалификации «Радиоинженер». В 1998 году поступил в заочную аспирантуру Иркутского государственного университета, по окончании которой в 2003 году успешно защитил диссертацию «Аксиальное распределение интенсивности люминесценции и рассеяния возбуждающего излучения в кубических кристаллах с наведенной анизотропией» на соискание ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертация выполнена в лаборатории лазерных систем и технологий Иркутского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики СО РАН (ИФ ИЛФ СО РАН). Часть исследований, отраженных в диссертационной работе были выполнены в НИИ Прикладной физики ИГУ.

Официальные оппоненты:

Наумов Андрей Витальевич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующий отделом спектроскопии конденсированных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук РАН;

Шамирзаев Тимур Сезгирович, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории физики и технологии гетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук;

Егранов Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории физики монокристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН - обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск - в своём положительном заключении, подписанном Шабановым Василием Филипповичем, академиком РАН, доктором физико-математических наук, профессором, научным руководителем ФИЦ КНЦ СО РАН, и утверждённом Балаевым Дмитрием Александровичем, директором ИФ СО РАН, доктором

физико-математических наук, указала, что автореферат и публикации по теме диссертации полностью отражают ее содержание. Диссертация Дресвянского В.П. «Дефектообразование при фемтосекундном лазерном возбуждении и свойства индуцированных центров окраски в диэлектрических кристаллах» выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, вносящую заметный вклад в развитие актуальных научных направлений, связанных с исследованием взаимодействия мощного излучения с твердотельными средами и спектроскопии твёрдого тела. Диссертация отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Владимир Петрович Дресвянский, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

По теме диссертационного исследования опубликовано 48 научных публикаций в международных и российских журналах, индексируемых в международных базах Web of science, Scopus или включенных в перечень ВАК, один патент на полезную модель и один патент на изобретение. Совокупность опубликованных научных результатов определяет принципиальные признаки предложенной автором диссертации физической модели процессов дефектообразования при фемтосекундном лазерном облучении диэлектрических кристаллов, а также структурных и динамических характеристик, индуцированных дефектов. В диссертации не обнаружены недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Martynovich E.F., Chernova E.O., Dresvyanskiy V.P., Bugrov A.E., Kostryukov P.V., Konyashchenko A.V. Laser recording of color voxels in lithium fluoride// Optics and Laser Technology. – 2020. – Vol. 131. – P. 106430.
2. Shipilova O.I., Gorbunov S.P., Paperny V.L., Chernykh A.A., Dresvyanskiy V.P., Martynovich E.F., Rakevich A.L. Fabrication of metal-dielectric nanocomposites using a table-top ion implanter// Surface & Coatings Technology. – 2020. – Vol. 393. – P. 125742.
3. Дресвянский В.П., Кузнецов А.В., Энхбат С., Мартынович Е.Ф. Контроль нагрева материала в процессе лазерного дефектообразования// Известия РАН. Серия физическая. – 2020. – Том 84. – № 7. – С. 982–986.
4. Martynovich E.F., Dresvyanskiy V.P., Rakevich A.L., Lazareva N.L., Arsentieva M.A., Tyutrin A.A., Bukhtsoozh O., Enkhbat S., Kostryukov P.V., Perminov B.E., Konyashchenko A.V. Creating of luminescent defects in crystalline media by a scanning laser beam// Appl. Phys. Lett. – 2019. – Vol. 114. – P. 121901.
5. Зилов С.А., Войтович А.П., Бойченко С.В., Кузнецов А.В., Дресвянский В.П., Мартынович Е.Ф. и др. Переориентация одиночных F_2 -центров в кристалле LiF// Известия РАН. Серия физическая. – 2016. – Том 80. – № 1. – С. 89–92.
6. Дресвянский В.П., Моисеева М.А., Кузнецов А.В., Глазунов Д.С., Мартынович Е.Ф. Запасание энергии в кристаллах фторида лития под действием фемтосекундных лазерных импульсов// Известия РАН, Серия физическая. – 2016. – Том 80. – № 1.– С. 93–97.
7. Martynovich E.F., Dresvyanskiy V.P., Voitovich A.P., Bagayev S.N. Highly sensitive nonlinear luminescent ceramics for volumetric and multilayer data carriers// Quantum Electronics. – 2015. – Vol. 45. – P. 953–958.
8. Martynovich E.F., Dresviansky V.P., Kuznetsov A.V., Kuzakov A.S., Popov A.A., Alekseev S.V., Losev V.F., Ratakhin A.N., Bagayev S.N.. Simulation of filamentation of single femtosecond laser pulses in LiF// Laser Physics. – 2014. – Vol. 24. – № 7. – P. 074001.
9. Мартынович Е.Ф., Дресвянский В.П., Зилов С.А., Бронникова Н.А., Максимова Н.Т., Старченко А.А. Удвоение частоты модуляции в аксиально–периодической зависимости люминесценции F_3^+ -центров в кристаллах LiF// Оптика и спектроскопия. – 2006. – Том 101. – №1. – С. 113–118.

10. Martynovich E.F., Petite G., Dresvyanskiy V.P., Starchenko A.A. Spatially periodical structures under femtosecond pulsed excitation of crystals// Applied Physics Letters. – 2004. – Vol. 84. – № 22. – P. 4550–4552.

11. Мартынович Е.Ф., Дресвянский В.П., Зилов С.А., Максимова Н.Т., Старченко А.А. Метод исследования мультиполярности и ориентации элементарных осцилляторов центров окраски в кубических кристаллах, основанный на аксиально–периодической зависимости интенсивности люминесценции// Оптика и спектроскопия. – 2004. – Том 96. – № 6. – С. 933–937.

12. Martynovich E.F., Dresvyanskiy V.P. The piezomodulation method for investigating the multipolarity of elementary oscillators in cubic crystals// Optics Communications. - 2003. - Vol. 65. - № 6. - P. 154–157.

13. Мартынович Е.Ф., Руденко Г.В., Дресвянский В.П. Влияние дисперсионного расплывания ультракороткого импульса на результаты измерений в фемтосекундном кристаллическом интерферометре// Оптика и спектроскопия. – 2003. – Том 95. – № 5. – С. 819–823.

14. Мартынович Е.Ф., Дресвянский В.П. Фемтосекундный кристаллический автокоррелометр// Приборы и техника эксперимента. – 2003. – Том 46. – № 6. – С. 123–127.

15. Мартынович Е.Ф., Башков Д.А., Дресвянский В.П. Автоматизированный интерферометр. Патент на полезную модель RU 27950 U1, 27.02.2003. Заявка № 2002115906/20 от 13.06.2002.

16. Мартынович Е.Ф., Чернова Е.О., Дресвянский В.П. Способ записи полноцветных люминесцентных изображений в объеме оптического носителя. Патент на изобретение RU 2653575 C1, 11.05.2018. Заявка № 2017122783 от 27.06.2017.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Официальный оппонент *Наумов Андрей Витальевич*, доктор физико-математических наук, профессор РАН, заведующий отделом спектроскопии конденсированных сред Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института спектроскопии Российской академии наук РАН.

Замечания:

1. Одним из принципиальных достоинств лазерно-индуцированных центров окраски в неорганических кристаллах является их высокая стабильность и долговечность. Автор в диссертации интерпретирует

исчезновение люминесценции центров без ее последующего восстановления в течение времени наблюдения как фоторазрушение в результате процессов ионизации, сопровождающихся отрывом электрона и образованием F_2^+ центров и/или фотодиссоциации с образованием пары F центров. Не ясно, является ли данное объяснение единственно возможным. На мой взгляд, стоило больше внимания уделить вопросу о возможных способах фотообесцвечивания уже сформированных квантовых излучателей, возможности управляемого переключения излучателя между «светлыми» и «темными» состояниями.

2. Во второй главе (п.2.6, стр. 144 и далее) автор рассматривает задачу о перераспределении нагрева в пространстве. Для получения аналитического решения при этом вносятся некоторые предположения, в частности, приближение филамента бесконечной длины (предположение, основанное на экспериментальном факте высокого значения отношения длины филамента к его толщине). При этом автор не рассматривает микроскопическую природу среды в филаменте. В этой связи возникает вопрос, насколько сильно пространственное распределение и плотность возникающих дефектов внутри филамента может исказить полученное решение?

3. При рассмотрении поляризационных зависимостей квантовых траекторий фотолюминесценции одиночных центров окраски было бы интересно обсудить вопрос взаимодействия со световыми полями, в которых присутствует аксиальная компонента поляризации. Во-первых, современная адаптивная оптика позволяет синтезировать световые поля (напр., спиральные пучки) с заданными поляризационными характеристиками, тем самым существенно расширяя возможности спектроскопии одиночных квантовых излучателей. Во-вторых, при использовании высокоапертурных объективов соответствующие компоненты могут привести к дополнительным эффектам. Проводилась ли оценка последнего эффекта в диссертационной работе?

Официальный оппонент *Шамирзаев Тимур Сезгирович*, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории физики и технологии гетероструктур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук. Замечания:

1. При рассмотрении в третьей главе диссертации анизотропии лазерного дефектообразования в оптически изотропных кристаллах фторида лития автор пользуется понятием эффективной массы электрона и его анизотропией. Поскольку само понятие эффективной массы носителя заряда привязано к экстремуму зон, было бы не плохо обсудить применимость этого приближения и происходящую при этом модификацию эффективной массы электрона и ее анизотропию, при (1) разогреве электронов, когда их энергия становится на несколько электронвольт больше, чем на дне зоны, при (2) сильной локализации электронов (когда энергия локализации сравнима, по порядку величины, с шириной запрещенной зоны) и при (3) учете поляронного эффекта при движении электрона вблизи дна зоны проводимости.

2. Анализируя эволюцию первичных френкелевских дефектов, образовавшихся в процессе фемтосекундного лазерного облучения кристаллов, т.е. их последующую перезарядку, миграцию, агрегацию и нуклеацию, автор плодотворно учитывает температурные зависимости этих процессов. Однако в рамках работы рассматривались только температуры, превышающие температуру формирования первичных дефектов. Между тем понижение температуры образцов сразу же после окончания лазерного облучения (вплоть до легко достижимых температур жидкого азота - 77 К), могло бы дать дополнительную информацию при выявлении важности той или иной цепочки промежуточных процессов приводящих к образованию конечных дефектных комплексов.

3. В четвертой главе при рассмотрении люминесценции от одиночных центров окраски автором при непрерывном возбуждении наблюдалась аperiodическая последовательность гашения и последующего восстановления излучения центра с течением времени, названная квантовой траекторией. Для объяснения этого явления центр обосновано описывался как многоуровневая система с несколькими конкурирующими каналами излучательной и безызлучательной рекомбинации электронного возбуждения. Аналогичное поведение динамики интенсивности люминесценции при непрерывном возбуждении имеет место для одиночных полупроводниковых квантовых точек, и получило название «blinking». Вероятностное распределение off-интервалов для различных систем полупроводниковых квантовых точек хорошо изучено и описывается степенной функцией, в отличие от приведенного на рис.4.8 экспоненциального распределения, найденного в диссертационной работе для F_2 центра в кристалле LiF. На мой взгляд, сравнение поведения временной динамики люминесценции одиночных квантовых излучателей в различных твердотельных системах и обсуждение причин их сходства и различий было бы украшением диссертации.

4. Текст диссертации написан ясным научным языком, однако, во второй главе наблюдается досадный сбой в нумерации рисунков и отсылок в тексте к этим рисункам. Так, после рисунка 2.10 снова появляются рисунки с номерами от 2.6 и далее.

Официальный оппонент *Егранов Александр Васильевич*, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории физики монокристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Замечания:

1. При описании рис. 2.25 (кривая 1) автор пишет, что в данном случае в ходе облучения процессов агрегации еще нет, а на рисунке отчетливо наблюдается полоса F_2 центров.

2. Исследовались только два типа центров, оба из которых имеют триплетное состояние, хотя этот эффект обнаружен довольно давно. Естественно было бы расширить исследования на центры, как собственные, так и примесные, не имеющие триплетных состояний. Возможно и в других кристаллах. Это только бы усилило доказательную базу этого эффекта.

3. Анализ зависимости интенсивности люминесценции от времени (траектория интенсивности) для одиночных органических молекул, имеющих триплетное состояние, проводился во многих работах (например, Th. Basche, S. Kummer and Ch. Brauchle. «Direct spectroscopic observation of quantum jumps of a single molecule.» *Nature* 373.6510 (1995): 132-134). Из такого анализа определялась вероятность перехода в триплетное состояние и время жизни в триплетном состоянии и в самом простом случае использовали только величину интервала и количество таких интервалов, как для on, так и off случаев и никакого анализа уравнений для этого не требовалось. Предварительно полученные таким образом результаты далее можно было использовать в уравнениях (4.1). И даже в случае сильной флуктуации свечения, когда требовался учет интенсивности, процедура не сильно усложнялась (например, Garcia-Parajo M.F., Veerman J.A., Bouwhuis R., Vallee R., & van Hulst N.F. «Optical probing of single fluorescent molecules and proteins» *Chem. Phys. Chem.*, (2001), 2(6), 347-360). Автор пошел более сложным путем и в результате не смог оценить из экспериментальных данных вероятность перехода в триплетное состояние.

4. Сравнивая изображения свечения одиночных F_2 центров (рис.4.3) с аналогичными изображениями свечения органических молекул, имеющие в своем составе десятки, а может быть сотни атомов (например, Garcia-Parajo M.F., Veerman J.A., Bouwhuis R., Vallee R., & van Hulst N.F. «Optical probing of

single fluorescent molecules and proteins» Chem. Phys. Chem., (2001), 2(6), 347-360), видим, что размеры светящегося пятна сопоставимы в обоих случаях, и светящееся пятно значительно превосходит размеры F_2 центров, и может быть и размеры органических молекул. Чем определяется размер светящегося пятна одиночных молекул?

5. Для обоснования выбора времени жизни триплетного состояния (10 сек) автор ссылается на известные данные для F_2 центров в щелочно-галогидных кристаллах, при этом приводит статью, в которой время жизни триплетного состояния F_2 центров в кристалле LiF составляло 72 мсек (хотя не совсем понятно, что они измеряли). В щелочно-галогидных кристаллах такое большое время жизни для этих центров характерно при низких температурах, при комнатной температуре оно значительно короче.

6. Неоднократно и в диссертации, и в автореферате встречается выражение: «электрон-фононным и электронно-колебательным однородным уширением спектральных линий». В чем разница?

7. В автореферате можно обнаружить много небрежностей, особенно это касается подписей к рисункам - к примеру, рис. 2 в автореферате и рис. 2.25 в диссертации три кривые без описания, в то время как в статье было нормальное описание трех кривых, на рис 8 в автореферате три вида спектров и шесть фотографий образцов и объяснений нет, ни в подписи к рисунку, ни в тексте автореферата. Если они одинаковы или просто очень похожи, то надо было и привести один спектр.

8. Не обоснованным выглядит стремление автора ввести новую терминологию - например: квантовые траектории интенсивности люминесценции, что просто означает зависимость интенсивности свечения от времени (по размеру ничуть не больше). И если второе понятно без объяснений, то первое надо постоянно объяснять и напоминать. В зарубежной литературе используется для этого термин траектория свечения (по-видимому, тоже не совсем удачный), автор ввел дополнение к нему в виде квантовые. Какой смысл несет слово квантовые?

9. Автор использует много паразитных слов не несущих никакой информации - например: постоянно использует выражение «записанные спектры свечения» вместо обычно используемого в литературе спектры свечения или «Рисунок 2.9 - Картина распределения интенсивности фотолюминесценции» - вместо просто распределение интенсивности фотолюминесценции или Рисунок 2.21 «отдельных временных компонентов» - что означает слово отдельных и т.д. И в основном это касается описания экспериментальных результатов. В тоже время обзор, который занимает тоже значительную часть диссертации, написан ясно, понятно и хорошо.

10. Вопросы, рассмотренные в диссертации, далеко не ограничиваются защищаемыми положениями. В частности, автор рассматривал процессы, происходящие при термолюминесценции кристаллов, как дозиметрических, так и беспримесных выращенных на воздухе. Автором предложен механизм термостимулированного высвечивания запасенной энергии. Основным свечением в спектре термостимулированной люминесценции является, как считает автор, свечение F_2 центра окраски. По мнению диссертанта в этих процессах участвуют и другие центры окраски. Первые попытки связать пики термолюминесценции фтористого лития с центрами окраски возникли в самом начале исследований ТСЛ в дозиметрических кристаллах LiF. Позднее от этого пришлось отказаться. Но время от времени к этому возвращаются, в частности в тех работах, на которые автор ссылается. Утверждения автора о природе термолюминесценции можно считать еще одной попыткой связать ТСЛ с центрами окраски.

Ведущая организация – *Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН - обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН», г. Красноярск.* Замечания:

1. В некоторых фторидах, например, CaF_2 , при сопоставимых плотностях мощности фемтосекундных импульсов генерация суперконтинуума (ГСК) возможна в условиях фокусировки в объёмный образец, наблюдалась ли ГСК в условиях экспериментов, выполненных автором?

2. Утверждение о том, что толщина отдельных филаментов, а также оставляемых ими шпуров, много меньшая длины волны накачки, требует объяснения, не является бесспорным, так как высокий показатель многофотонности n возбуждения среды предполагает преодоление дифракционного предела минимум в корень из n , а пороговый характер самофокусировки в сочетании с коагуляционными процессами способны обеспечить дополнительное уменьшение размера результирующего филамента (шпура).

3. Несмотря на непререкаемый авторитет акад. Келдыша, его теория содержит определённые приближения, и особую ценность имело бы обнаружение отклонений от неё, до сих пор, по большому счёту, не найденных. Возможно, вклады туннельного и многофотонного механизмов имеют разную зависимость от длины волны. В частности, для туннельного механизма вклад промежуточного резонанса может быть столь незначителен. Таким образом, интерес представляли бы 1) вариации поведения облучаемого образца по мере накопления в нём центров окраски 2) более подробный сравнительный анализ экспериментальных результатов по дефектообразованию, полученных на длинах волн 950 и 800 нм. Первая из этих длин волн попадает в точный 10-фотонный резонанс с экситонным состоянием, в то время как вторая отстроена от 8-фотонного резонанса на 0.6 эВ.

4. Имеется ограниченное количество замечаний к грамматике и стилистике текста.

Отзывы на автореферат:

1. *Войтович Александр Павлович*, доктор физико-математических наук, профессор, академик, главный научный сотрудник Института физики Национальной академии наук Беларуси. Замечаний нет.

2. *Кандидов Валерий Петрович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Замечания:

1. Исследования люминесцирующих дефектов в широкозонных диэлектрических кристаллах под действием интенсивных фемтосекундных лазерных импульсов выполнено в режиме множественной филаментации, который характеризуется случайным распределением в пространстве «горячих» точек с высокой интенсивностью светового поля. Представляется, что анализ дефектов, образующихся в уединенном филаменте при воздействии одиночного импульса, позволил бы исключить возможные погрешности при регистрации интенсивности люминесценции и спектроскопическом исследовании динамики дефектов.

2. Влияние температуры на время жизни F_2^+ центров рассмотрено на основе оценок энерговклада лазерной плазмы. Вместе с тем, не обсуждается возможность получения непрерывной температурной зависимости времени жизни дефектов при независимом нагреве образцов.

3. Утверждение о существенном отличии среднего времени жизни для излучающего и неизлучающего состояний дефекта времени затухания F_2 и примесно-вакантных центров на стр. 28 не подкреплено конкретными полученными численными значениями, полученными экспериментально.

4. При обсуждении на стр. 26 квантовых траекторий флуоресценции F_2 центра дана ошибочная адресация к экспериментальным и теоретическим кривым на рис. 13.

3. *Лисицын Виктор Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор-консультант отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий Национального исследовательского Томского политехнического университета. Замечания:

1. В работе не описана предыстория используемых для экспериментов кристаллов LiF и их дефектности. Но исходная дефектность может влиять на развитие процессов при воздействии излучения.

2. В названии работы есть слова «...в диэлектрических материалах...» хотя в тексте, автореферата сказано только о LiF. Хотя противоречия в этом я не

вижу. Нужно было всего лишь сделать краткое обобщение, в котором показать полную аналогию стимулированных радиацией процессов во всех изученных ионных кристаллах.

4. *Комаров Фадей Фадеевич*, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий лабораторией элионики НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета. Замечание. К сожалению, в тексте автореферата мне не удалось обнаружить конкретные данные о примесном составе, исследуемых образцов кристаллов, не представлена методика подготовки образцов к проведению исследований.

5. *Полисадова Елена Федоровна*, доктор физико-математических наук, профессор отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Замечание: автор использует термин довольно спорный термин «лазерное дефектообразование». Более корректная формулировка с точки зрения физики процесса «лазерно-индуцированное дефектообразование».

6. *Слюсарева Евгения Алексеевна*, доктор физико-математических наук, доцент, профессор базовой кафедры фотоники и лазерных технологий Института инженерной физики и радиоэлектроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет». Замечаний нет.

7. *Вайнштейн Илья Александрович*, профессор РАН, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-образовательного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» УрФУ, заведующий кафедрой Физических методов и приборов контроля качества, Физико-технологический институт, УрФУ. Замечаний нет.

8. *Соломонов Владимир Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории квантовой электроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института

электрофизики Уральского отделения Российской академии наук. Замечаний нет.

9. *Рябухо Владимир Петрович*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры оптики и биофотоники Саратовского национального исследовательского университета, заведующий лабораторией проблем когерентно-оптических измерений в точной механике Института проблем точной механики и управления РАН. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их достижений в области физики конденсированного состояния, радиационной физики, физики взаимодействия излучения с веществом и спектроскопии, наличием публикаций по данным направлениям, а также способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Официальный оппонент доктор физико-математических наук, *Наумов А.В.* – известный учёный, специалист мирового уровня в области селективной лазерной спектроскопии и флуоресцентной микроскопии сверхвысокого пространственного разрешения (наноскопии) примесных конденсированных сред и нанобъектов. Член дирекции Совета по квантовой электронике и оптике Европейского физического общества. Член Координационного совета профессоров Российской академии наук. Автор 94 печатных работ в рецензируемых изданиях, из них 3 монографии, 93 статьи индексированы в базе Web of Science.

Официальный оппонент доктор физико-математических наук, *Шамирзаев Т.С.* – известный специалист в области физики твердого тела, физики полупроводников и оптических свойств гетероструктур. Автор более 120 научных публикаций, включая 1 монографию.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, *Егранов А.В.* – высококвалифицированный специалист в области радиационной физики твердого тела, спектроскопии радиационных и примесных дефектов в ионных кристаллах. Автор более 110 научных трудов, включая 2 монографии.

Ведущая организация – *Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН - обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»* – один из ведущих исследовательских центров России в области актуальных проблем физики конденсированных сред, оптики и лазерной физики, в том числе проблем достижения предельных концентраций мощности и энергии, спектроскопии сверхвысокого разрешения, а также проблем взаимодействия излучения с веществом. *Балаев Д.А.*, доктор физико-математических наук, известный специалист в области физики конденсированного состояния, физики магнитных явлений, магнитных наночастиц. Автор более 100 научных публикаций. *Шабанов В.Ф.*, академик РАН, доктор физико-математических наук, специалист мирового уровня в области нелинейной оптики, спектроскопии кристаллов и фотоники. Автор и соавтор 250 научных работ, пяти монографий, 12 патентов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **установлено**, что азимутальные зависимости эффективности высоконелинейной межзонной фотоионизации и эффективности самофокусировки находятся в противофазе; **показано**, что анизотропия восприимчивости третьего порядка вносит более сильный вклад в формирование азимутальной зависимости дефектообразования по сравнению с анизотропией эффективной массы электрона; **установлено**, что эффективность образования простых и агрегатных центров окраски в кубических кристаллах LiF при нормальном падении лазерного луча на плоскость грани куба периодически зависит от азимутального угла θ между электрическим вектором E и ребром куба на этой грани с периодом $\pi/2$, при этом максимумы эффективности дефектообразования достигаются при значениях азимутального угла $n\pi/4$, где n – нечетное число; **показано**, что при повышении температуры в области прохождения световых филаментов до 480 К время жизни F_2^+ центров окраски составляет 14 мс, что на шесть порядков меньше, чем при температуре 300 К, а время жизни анионных

вакансий на четыре порядка меньше, чем при температуре 300 К и составляет 2,5 мс, что существенно ускоряет процессы агрегации; **предложена** методика контроля температуры в процессе лазерного возбуждения, основанная на оценке соотношения интенсивностей полос поглощения простых и агрегатных центров окраски.

Совокупность перечисленных результатов определяет принципиальные признаки предложенной в диссертации физической модели процессов дефектообразования при фемтосекундном лазерном возбуждении в диэлектрических кристаллах.

Обоснована методика исследования фотопереориентации одиночных радиационных дефектов в кристаллах, апробированная на примере F_2 и F_3^+ центров окраски во фториде лития. В отличие от F_2 центра, который переориентируется только в триплетном состоянии, F_3^+ центр переориентируется в основном состоянии, причем такая переориентация не приводит к поступательной диффузии центра. **Определены** соотношения для интенсивностей люминесценции одиночного центра окраски при его различных ориентациях, в зависимости от ориентации кристалла и направления поляризации возбуждающего света. На основе полученных данных **построены** динамические модели F_2 и F_3^+ центров в щелочно-галоидных кристаллах. **Реализован** метод лазерной сканирующей конфокальной люминесцентной микроскопии одиночных радиационных дефектов, основанный на анализе соотношения интенсивностей (характеров) поляризованных квантовых траекторий. **Разработаны** математический аппарат и алгоритмы для анализа поляризованных квантовых траекторий, **сформированы** таблицы характеров квантовых траекторий для всех возможных ориентаций одиночных центров окраски в кубическом кристалле.

Теоретическая значимость исследования определяется: развитием теоретических представлений об азимутальной анизотропии взаимодействия интенсивного лазерного излучения с кристаллическими средами кубической сингонии, которая сказывается на эффективности образования практически

всех типов простых и агрегатных электронных центров окраски через два разнонаправленных механизма. Во-первых, через управление величиной эффективной нелинейной восприимчивости третьего порядка, определяемой компонентами ее тензора, и контролирующей самофокусировку и величину ее критической интенсивности. Во-вторых, через управление эффективной массой действующих носителей, участвующих в процессах высоконелинейной межзонной фотоионизации, в образовании анионных экситонов, распадающихся затем на френкелевские пары, которые в ходе последующих процессов миграции, перезарядки и агрегации формируют стабильные люминесцирующие квантовые системы.

Представленная в диссертации совокупность научных результатов вносит существенный вклад в развитие нелинейной фотофизики конденсированных сред.

Значимость полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается патентами на полезную модель и на изобретение; **предложен** и экспериментально обоснован способ лазерной записи объемных полноцветных изображений на оптическом носителе на основе кристаллов и оптических керамик фторида лития.

Оценка достоверности результатов исследования: для **экспериментальных работ** результаты получены с использованием апробированных методов анализа на современном сертифицированном оборудовании; **выводы базируются** на обобщении результатов современных теоретических и экспериментальных исследований в области радиационной физики твердого тела, физики взаимодействия интенсивного оптического излучения с конденсированными средами и спектроскопии; **использованы** современные методики сбора и обработки экспериментальных результатов.

Личный вклад соискателя: диссертация обобщает результаты исследований, проведенных в соавторстве с преобладающим вкладом автора. Методы и подходы в рамках исследований механизмов взаимодействия интенсивного фемтосекундного лазерного излучения с диэлектрическими

кристаллами и изучения свойств одиночных люминесцирующих дефектов в существенной мере разработаны автором диссертации. Научные результаты, основные положения, вынесенные на защиту, и общие выводы диссертации, сформулированы лично автором.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация Дресвянского В.П. является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной тематике, результаты которого имеют высокую научную и практическую значимость. Работа соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. с последующими дополнениями, а также отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 20 апреля 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Дресвянскому Владимиру Петровичу учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 9 докторов по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в совет, проголосовали: за – 17, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. председателя
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
профессор

Афанасьев Николай Тихонович

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
профессор

Аграфонов Юрий Васильевич

20 апреля 2021 г.

