

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н.
ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 10 октября 2022 г № 33

О присуждении Пестовскому Николаю Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Излучательные процессы при возбуждении импульсной катодолюминесценции конденсированных сред» по специальности 1.3.6 — Оптика принята к защите 4 июля 2022 года, (протокол заседания № 29) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Пестовский Николай Валерьевич, 21 мая 1990 года рождения, в 2013 году с отличием окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» по направлению «Прикладные математика и физика». С 2013 года обучался в аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ)

по направлению «Физика и астрономия» и закончил её в 2017 году. Справка об обучении и сдаче кандидатских экзаменов выдана МФТИ в 2017 году.

С 2012 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности высококвалифицированного научного сотрудника в Отделе оптики низкотемпературной плазмы Отделения оптики.

Диссертационная работа Н. В. Пестовского выполнена в Отделении оптики ФИАН.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук Савинов Сергей Юрьевич, помощник директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Глушков Владимир Витальевич, доктор физико-математических наук, доцент, заместитель директора по научно-организационной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук» (ИОФ РАН);
2. Соломонов Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УРО РАН) (г. Екатеринбург)

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» (МГУ), город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном заместителем заведующего кафедрой Оптики, спектроскопии и физики наносистем

Физического факультета МГУ, кандидатом физико-математических наук, доцентом Каменских Ириной Александровной и заведующим Отделом физических проблем квантовой электроники Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ, доктором физико-математических наук, профессором Васильевым Андреем Николаевичем, и утвержденном проректором Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», начальником управления научной политики, доктором физико-математических наук, профессором Федяниным Андреем Анатольевичем, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям, изложенным в Положении о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 47 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 27 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science, опубликовано 12 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем Н. В. Пестовским работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Завертяев М. В., Козлов В. А., Пестовский Н. В., Петров А. А., Родионов А. А., Савинов С. Ю., Цхай С. Н., Заварцев Ю. Д., Загуменный А. И., Кутовой С. А., Излучение молекулярного азота при бомбардировке электронами пиролитического аэрогеля SiO_2 и алюминия // Письма в ЖЭТФ. – 2019. – Т. 110. – №. 10. – С. 652-657.

2. Belov M. V., Koutovoi S. A., Kozlov V. A., Pestovskii N. V., Savinov S. Yu., Zagumennyi A. I., Zavartsev Yu. D., and Zavertyaev M. V., Measurement of non-linearity in the cathodoluminescence yield for non-doped scintillators //Journal of Applied Physics. – 2021. – Т. 130. – №. 23. – С. 233101.
3. Завертяев М.В., Загуменный А.И., Козлов В.А., Очкин В.Н., Пестовский Н.В., Петров А.А., Савинов С.Ю., Сопоставление спектров катодо- и гамма-люминесценции сцинтилляционных кристаллов //Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – №. 10. - С. 73-79.
4. Belov M. V., Koutovoi S. A., Kozlov V. A., Pestovskii N. V., Savinov S. Yu., Vlasov V. I., Zagumennyi A. I., Zavartsev Yu. D., and Zavertyaev M. V., Wavelength-Resolved Photoluminescence and Cathodoluminescence Decay Times of LSO: Ce Scintillator Co-doped with Lithium and Scandium //Journal of Russian Laser Research. – 2021. – Т. 42. – №. 3. – С. 313-317.
5. Белов М. В., Заварцев Ю. Д., Завертяев М. В., Загуменный А. И., Козлов В. А., Кутовой С. А., Пестовский Н. В., Савинов С. Ю., Сцинтилляционные характеристики новых кристаллов LuScSiO_5 //Краткие сообщения по физике ФИАН – 2021. – Т. 48. – №. 4. – С. 3-8.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области физики твердого тела, физики электронных возбуждений в диэлектриках и полупроводниках, спектроскопии и люминесценции, физики сцинтилляционных процессов и импульсной катодолуминесценции (ИКЛ), а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра мирового уровня, проводящего теоретические и экспериментальные исследования в области физики сцинтилляционных процессов.

Диссертация Пестовского Н. В. посвящена исследованию излучательных процессов, возбуждаемых при бомбардировке электронными пучками с энергией 50-300 кэВ и плотностью тока ~ 100 А/см² широкозонных материалов в атмосфере воздуха при атмосферном давлении. Обнаружены процессы взаимодействия электронных возбуждений, создаваемых в диоксиде кремния электронным пучком, и молекул азота окружающего воздуха, предложен и применён новый экспериментальный метод исследования нелинейности ИКЛ широкозонных материалов, сформулированы критерии применимости метода ИКЛ для измерения сцинтилляционных параметров конденсированных сред, и, используя его, выполнены исследования параметров сцинтилляции ряда новых веществ.

Актуальность темы диссертации подтверждается широким использованием сцинтилляционных детекторов для спектрометрии ионизирующего излучения в медицине, промышленности и науке. Также, метод ИКЛ для исследования вещества широко применяется в геологии и физике твёрдого тела. В этой связи, задачи изучения особенностей физических процессов, происходящих при возбуждении ИКЛ, а также исследование методом ИКЛ процессов сцинтилляции и характеристик новых веществ являются актуальными как с общетеоретической точки зрения, так и с точки зрения практики.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что при бомбардировке электронами высокодисперсного диоксида кремния на воздухе излучение второй положительной системы полос молекулы азота возбуждается не только прямым электронным ударом, но и некоторым иным механизмом. Высказана гипотеза, что этот механизм состоит в передаче энергии от

электронных возбуждений, создаваемых в диоксиде кремния, молекулам азота при обменном взаимодействии.

2. Разработан метод измерения нелинейных характеристик сцинтилляции широкозонных веществ, основанный на одновременной регистрации энергии рентгеновского излучения и энергии ИКЛ. Его преимущество - отсутствие ограничений на ширину запрещенной зоны изучаемых веществ. Разработанный метод использован для исследований зависимости энергии ИКЛ $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$, PbWO_4 , CeF_3 и BaF_2 от энергии электронного пучка. Полученные зависимости близки к степенным с показателем степени, превышающим единицу. Дано объяснение этому факту на основе представления о кулоновском расталкивании возбуждающего пучка электронов.
3. Получены экспериментальные зависимости выхода ИКЛ кристаллов PbWO_4 , CeF_3 и BaF_2 от средней объемной плотности электронных возбуждений, создаваемых пучком электронов. Разная форма кривых, соответствующих разным исследованным материалам, указывает на разные механизмы безызлучательного тушения в них неравновесных электронных возбуждений.
4. Показано, что спектр ИКЛ исследуемого вещества совпадает со спектром его сцинтилляции под действием ионизирующего излучения иных типов и энергией в том случае, если все полосы люминесценции этого вещества имеют одинаковую нелинейность ИКЛ. Показано, что время высвечивания сцинтилляции веществ может быть измерено методом ИКЛ с учетом искажений, вносимых в кинетику ИКЛ формой зависимости тока пучка электронов от времени, а также явлений нелинейности ИКЛ. Сама зависимость тока пучка от времени может быть получена на основе анализа кинетики излучения 2^+N_2 и рентгеновского излучения, вызываемых пучком электронов.

5. Измерены спектрально-кинетические параметры ИКЛ новых кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce:Sc:Li}$, LuScSiO_5 , $\text{GdVO}_4\text{:Ca}^{2+}$ и $\text{YVO}_4\text{:Ca}^{2+}$ и исследованы радиационные повреждения спектра ИКЛ нестехиометрических кристаллов $\text{Lu}_{3,01-x}\text{Y}_x\text{Al}_{4,99}\text{O}_{12}\text{:Ce:Cr}$ и LFS-3.

Установлено, что кристаллы группы $\text{Lu}_{3,01-x}\text{Y}_x\text{Al}_{4,99}\text{O}_{12}\text{:Ce:Cr}$ подвержены значительным радиационным повреждениям, вызванным действием гамма-излучения источника ^{60}Co при поглощенной дозе 45 Мрад. В то же время радиационных повреждений кристалла LFS-3 под действием пучка протонов с энергией 150 МэВ при плотности потока частиц $4,4 \cdot 10^{12}$ частиц/см² не обнаружено.

Установлено, что кристалл LuScSiO_5 обладает яркой собственной люминесценцией при комнатной температуре с временем высвечивания сцинтилляции $\tau = 990 \pm 1$ нс. Для кристалла $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Sc:Li}$ - $\tau = 39.1 \pm 0.1$ нс, для $\text{GdVO}_4\text{:Ca}$ - $\tau = 5 \pm 1$ мкс и для $\text{YVO}_4\text{:Ca}$ - $\tau = 12 \pm 1$ мкс.

Новизна представленных автором результатов обусловлена тем, что:

- Возбуждение излучения молекул азота при взаимодействии с поверхностью твердого тела обнаружено впервые;

- Впервые предложен и реализован метод исследования нелинейности сцинтилляции веществ на основе измерения зависимости параметров ИКЛ от параметров электронного пучка, измеренных по его рентгеновскому излучению;

- Впервые сформулированы критерии применимости метода ИКЛ для измерения спектра и кинетики сцинтилляции веществ, а также для исследования их радиационной деградации;

- Впервые методом ИКЛ определены спектрально-кинетические параметры сцинтилляции новых кристаллов $\text{Lu}_2\text{SiO}_5\text{:Ce:Sc:Li}$, LuScSiO_5 , $\text{GdVO}_4\text{:Ca}^{2+}$ и $\text{YVO}_4\text{:Ca}^{2+}$ и исследованы

радиационные повреждения спектра ИКЛ нестехиометрических кристаллов $\text{Lu}_{3,01-x}\text{Y}_x\text{Al}_{4,99}\text{O}_{12}:\text{Ce}:\text{Cr}$ и LFS-3.

- Впервые установлено, что новый кристалл LuScSiO_5 обладает яркой собственной люминесценцией при комнатной температуре.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что обнаруженные процессы взаимодействия электронных возбуждений твёрдого тела и молекул окружающего газа могут влиять на механизмы люминесценции вещества, а также искажать данные, получаемые при люминесцентном анализе методом ИКЛ, и их необходимо учитывать. Предложенный соискателем метод исследования нелинейности ИКЛ веществ, не имеющий ограничений на ширину их запрещенной зоны, может быть использован как для изучения физики взаимодействия электронных возбуждений широкозонных материалов между собой при их высокой концентрации, так и для характеристики нелинейных параметров сцинтилляции новых сцинтиллирующих материалов. Продемонстрированная автором применимость метода ИКЛ для измерения спектра и кинетики сцинтилляции позволяет его использовать при изготовлении сцинтилляторов для массовой характеристики выращенных кристаллов. Результаты исследований сцинтилляционных параметров и их деградации для ряда новых веществ полезны для разработчиков новых сцинтилляционных материалов.

Полученные результаты могут быть применены в таких организациях как Институт сильноточной электроники СО РАН, Институт электрофизики УРО РАН, Институт Кристаллографии РАН, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Институт спектроскопии РАН,

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Московский инженерно-физический институт, АО «Гиредмет», ФГУП ВНИИА, РФЯЦ – ВНИИТФ и других.

Достоверность результатов работы обусловлена применением современного сертифицированного оборудования и современных математических методов обработки информации, что подтверждается согласием данных, полученных в ходе различных экспериментов, и их воспроизводимостью. Справедливость ряда представленных в диссертации результатов подтверждается их согласием с данными, полученными другими авторами.

Основные научные результаты, включенные в диссертацию Пестовского Н. В., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. В частности, автором лично были предложены метод измерения нелинейности сцинтилляции по зависимости параметров люминесценции от параметров рентгеновского излучения возбуждающего пучка электронов, идея эксперимента по сопоставлению механизмов возбуждения второй положительной системы полос излучения молекулы азота, и использование для устранения мощной электромагнитной наводки длинного оптоволоконного кабеля. Пестовский Н. В. внес определяющий вклад в создание экспериментальной установки, лично выполнил все эксперименты по измерению ИКЛ, описанные в диссертации, и обработку их результатов. Подготовка результатов работ к публикации проводилась совместно с соавторами.

В ходе защиты соискатель Пестовский Н. В. аргументированно ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 10 октября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Н. В. Пестовскому учёную степень кандидата

физико-математических наук за решение научной задачи по исследованию излучательных процессов при возбуждении ИКЛ.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 21 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.6 — Оптика), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени -19,
против присуждения учёной степени -0,
недействительных бюллетеней - 2.

Заместитель председателя диссертационного совета
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Пудалов Владимир Моисеевич

Учёный секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

10 октября 2022 г.