

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет Д 212.267.04, созданный на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», извещает о результатах состоявшейся 07 марта 2019 года публичной защиты диссертации Бураченко Александра Геннадьевича «Импульсная катодолюминесценция и излучение Вавилова-Черенкова диэлектриков и полупроводников при возбуждении пучком убегающих электронов» по специальности 01.04.05 – Оптика на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

На заседании присутствовали 20 из 25 членов диссертационного совета, в том числе 6 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика:

- | | |
|--|----------|
| 1. Майер Г. В., доктор физико-математических наук, председатель диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 2. Войцеховский А. В., доктор физико-математических наук, профессор, заместитель председателя диссертационного совета, | 01.04.05 |
| 3. Пойзнер Б. Н., кандидат физико-математических наук, профессор, учёный секретарь диссертационного совета, | 01.04.03 |
| 4. Артюхов В. Я., доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, | 01.04.21 |
| 5. Беличенко В. П., доктор физико-математических наук, доцент, | 01.04.03 |
| 6. Дмитренко А. Г., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 7. Донченко В. А., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 8. Дунаевский Г. Е., доктор технических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 9. Кабанов М. В., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 10. Козырев А. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 11. Копылова Т. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 12. Самохвалов И. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 13. Соколова И. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 14. Тарасенко В. Ф., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.21 |
| 15. Улеников О. Н., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.05 |
| 16. Фисанов В. В., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 17. Черепанов В. Н., доктор физико-математических наук, доцент, | 01.04.05 |
| 18. Шандаров С. М. доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |
| 19. Юдин Н. А., доктор технических наук, старший научный сотрудник, | 01.04.21 |
| 20. Якубов В. П., доктор физико-математических наук, профессор, | 01.04.03 |

Заседание провёл председатель диссертационного совета доктор физико-математических наук, профессор Майер Георгий Владимирович.

По результатам защиты диссертации тайным голосованием (результаты голосования: за присуждение учёной степени – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет) диссертационный совет принял решение присудить А. Г. Бураченко учёную степень кандидата физико-математических наук.

**Заключение диссертационного совета Д 212.267.04,
созданного на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07.03.2019 № 158

О присуждении **Бураченко Александру Геннадьевичу**, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация **«Импульсная катодолюминесценция и излучение Вавилова-Черенкова диэлектриков и полупроводников при возбуждении пучком убегающих электронов»** по специальности **01.04.05** – Оптика принята к защите 06.12.2018 (протокол заседания № 156) диссертационным советом **Д 212.267.04**, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012).

Соискатель **Бураченко Александр Геннадьевич**, 1984 года рождения.

В 2007 году соискатель окончил государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Томский государственный университет».

В 2010 году соискатель очно окончил аспирантуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский государственный университет».

Работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории оптических излучений в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории оптических излучений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель – **Тарасенко Виктор Федотович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория оптических излучений, заведующий лабораторией.

Официальные оппоненты:

Мартынович Евгений Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутский филиал, заведующий филиалом

Смирнов Серафим Всеволодович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», кафедра физической электроники, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Национальный исследовательский Томский политехнический университет**», г. Томск, в своём положительном отзыве, подписанном **Клименовым Василием Александровичем** (доктор технических наук, профессор, отделение материаловедения, заведующий отделением), указала, что актуальность исследования обусловлена тем, что свечение кристаллов используется как для определения характеристик электронных пучков с помощью сцинтилляционных датчиков и датчиков на основе излучения Вавилова-Черенкова, так и для определения структуры и состава материалов по спектрам импульсной катодолюминесценции. При регистрации свечения диэлектрических и полупроводниковых материалов, один из видов свечения будет являться паразитным по отношению к другому, в зависимости

от того, какой тип приемников излучения применяется. Поэтому важно знать соотношение импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова в спектре свечения различных материалов при воздействии пучком электронов. А. Г. Бураченко показано, что возбуждение импульсной катодолюминесценции субнаносекундными пучками электронов позволяет исследовать переходные характеристики излучательной рекомбинации электронно-дырочных пар в полупроводниках и диэлектриках и соответственно получать количественную информацию о термализации горячих носителей на краях разрешенных зон (проводимости и валентной) в кристаллической решетке; предложена гипотеза, объясняющая различие во временах нарастания импульсной катодолюминесценции для природного и искусственного алмаза: в поликристаллическом алмазе, в отличие от монокристаллического, из-за наличия sp^2 -гибридизированных углеродных связей на границах кристаллитов создается большая плотность состояний вблизи краев зон, что сокращает время термализации горячих носителей и приводит к сокращению длительности фронта рекомбинационного излучения в видимом диапазоне спектра; с использованием численных расчетов спектральной плотности потока излучения Вавилова-Черенкова и сравнения их с экспериментально измеренными значениями спектральной плотности свечения спектрально разделены импульсная катодолюминесценция и излучение Вавилова-Черенкова в алмазе; предложен метод повышения чувствительности пороговых черенковских детекторов полного поглощения, имеющий преимущества перед известным методом определения наличия ИВЧ в таких детекторах, в условиях, когда энергия электронов составляет десятки-сотни кэВ. Результаты исследования могут быть использованы при создании черенковских детекторов и сцинтилляционных датчиков, регистрирующих потоки электронов с энергией десятки-сотни кэВ, а также при проведении расчетов зонной структуры полупроводников и диэлектриков.

Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 14 работ (из них 3 статьи в зарубежных научных журналах,

входящих в Web of Science, 11 статей в российских научных журналах, переводные версии которых входят в Web of Science), коллективная монография опубликована 1, в сборниках материалов конференций, входящих в Scopus, опубликовано 2 работы, в прочем российском научном журнале опубликовано 3 работы, в сборниках материалов всероссийских и международных конференций опубликовано 8 работ. Общий объём публикаций – 31,26 а.л., авторский вклад – 3,48 а.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации, опубликованные в журналах, включённых в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:

1. Бакшт Е. Х. Импульсная катодоллюминесценция алмаза, кальцита, сподумена и флюорита под воздействием электронного пучка субнаносекундной длительности / Е. Х. Бакшт, **А. Г. Бураченко**, В. Ф. Тарасенко // Письма в Журнал технической физики. – 2010. – Т. 36, вып. 21. – С. 102–110. – 0,32 / 0,11 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Baksht E. Kh. Pulsed Cathodoluminescence of Diamond, Calcite, Spodumene, and Fluorite under the Action of Subnanosecond Electron Beam / E. Kh. Baksht, **A. G. Burachenko**, V. F. Tarasenko // Technical Physics Letters. – 2010. – Vol. 36, № 11. – P. 1020–1023. – DOI: 10.1134/S1063785010110143.

2. **Бураченко А. Г.** Люминесценция кристаллов Ga₂O₃ при возбуждении пучком убегающих электронов / А. Г. Бураченко, Д. В. Белоplotов, И. А. Прудаев, Д. А. Сорокин, В. Ф. Тарасенко, О. П. Толбанов // Оптика и спектроскопия. – 2017. – Т. 123, № 6. – С. 861–865. – DOI: 10.7868/S00304034171100456. – 0,38 / 0,14 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Burachenko A. G. Luminescence of Ga₂O₃ Crystals Excited with a Runaway Electron Beam / A. G. Burachenko, D. V. Beloplotov, I. A. Prudaev, D. A. Sorokin, V. F. Tarasenko, O. P. Tolbanov // Optics and Spectroscopy. – 2017. – Vol. 123, № 6. – P. 867–870. – DOI: 10.1134/S0030400X17110042.

3. Tarasenko V. F. Luminescence of Polymethyl Methacrylate Excited by a Runaway Electron Beam and by a KrCl Excilamp / V. F. Tarasenko, E. Kh. Baksht, **A. G. Burachenko**, D. V. Beloplotov, A. V. Kozyrev // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2017. – Vol. 45, № 1. – P. 76–84. – DOI: 10.1109/TPS.2016.2637570. – 0,75 / 0,15 а.л. (*Web of Science*).

4. Sorokin D. A. Luminescence of crystals excited by a runaway electron beam and by excilamp radiation with a peak wavelength of 222 nm / D. A. Sorokin, **A. G. Burachenko**, D. V. Beloplotov, V. F. Tarasenko, E. Kh. Baksht, E. I. Lipatov, M. I. Lomaev // Journal of Applied Physics. – 2017. – Vol. 122. – P. 154902-01–154902-06. – DOI: 10.1063/1.4996965. – 0,71 / 0,11 а.л. (*Web of Science*).

5. Липатов Е. И. Идентификация природных и синтетических алмазов по спектрам оптического поглощения и катодолюминесценции / Е. И. Липатов, **А. Г. Бураченко**, С. М. Авдеев, В. Ф. Тарасенко, М. А. Бублик // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2018. – Т. 61, № 3. – С. 62–75. – 1,17 / 0,3 а.л.

в переводной версии журнала, входящей в Web of Science:

Lipatov E. I. Identification of natural and synthetic diamonds from their optical absorption and cathodoluminescence spectra / E. I. Lipatov., **A. G. Burachenko**, S. M. Avdeev, V. F. Tarasenko, M. A. Bublik // Russian Physics Journal. – 2018. – Vol. 63, № 3. – P. 469–483. – DOI: 10.1007/s11182-018-1422-6.

На автореферат поступило 6 положительных отзывов. Отзывы представили:

1. **А. А. Тренькин**, канд. физ.-мат. наук, заместитель начальника отделения – начальник отдела Российского федерального ядерного центра Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики, г. Саров, *без замечаний*. 2. **А. С. Насибов**, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник лаборатории полупроводниковых лазеров с электронной накачкой Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, *с замечанием*: из автореферата недостаточно ясно следует преимущество возбуждения импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова убегающими электронами в сравнении с другими способами формирования ультракоротких сгустков

электронов, например, СВЧ. 3. **А. П. Шевелько**, д-р физ.-мат. наук, высококвалифицированный ведущий научный сотрудник отдела спектроскопии Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, *с замечаниями*: при описании экспериментального комплекса (Глава 2) следовало бы привести схемы экспериментальных установок, что позволило бы лучше понять методики измерений, используемых для регистрации импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова в различных образцах; в п. № 3 практической значимости следовало конкретизировать, в каких именно исследованиях важно использование пучков электронов субнаносекундной длительности.

4. **Е. Л. Латуш**, д-р физ.-мат. наук, проф., профессор кафедры квантовой радиофизики Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, *с замечанием*: графики на рисунке 4 представлены в различном временном масштабе, что затрудняет сравнение времен нарастания и спада катодолюминесценции в различных материалах.

5. **Н. А. Ашурбеков**, д-р физ.-мат. наук, руководитель научно-образовательного центра «физика плазмы», проректор по научной работе и инновациям Дагестанского государственного университета, г. Махачкала, *с замечанием*: в четвертой главе приведены исследования импульсной катодолюминесценции и ИВЧ в полиметилметакрилате, однако, судя по автореферату, окончательные выводы по этому разделу не сформулированы.

6. **А. П. Потылицын**, д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета, *с замечаниями*: не проанализированы причины резкого различия в выходе излучения Вавилова-Черенкова для искусственного и природного алмаза; предложение об использовании CaF_2 и CaCO_3 в качестве радиаторов для генерации излучения Вавилова-Черенкова электронами с энергией более 200 кэВ следовало более детально обосновать.

В отзывах указывается, что актуальность темы исследования обусловлена востребованностью импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова для решения как научных (например, при создании

токамаков), так и прикладных задач (например, в лучевой терапии), а также возможностью их применения в широком классе детекторов, применяемых в экспериментальной физике, медицине и биологии). А. Г. Бураченко получен ряд новых научных результатов: определены времена нарастания импульсов катодолюминесценции ряда материалов, что позволяет идентифицировать их структуры по характерным значениям указанных времен; предложен метод повышения чувствительности пороговых черенковских детекторов полного поглощения; показано, что коротковолновая часть поглощенного излучения Вавилова-Черенкова может давать вклад в люминесценцию облучаемого вещества; экспериментально обнаружена новая полоса в спектре излучения Ga_2O_3 , легированного Fe; определены количественные соотношения импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова в спектре свечения природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза IIa типа; предложен способ повышения чувствительности детекторов при регистрации излучения Вавилова-Черенкова. Исследование вносит вклад в развитие технологии детектирования заряженных частиц, его результаты могут быть использованы при исследовании спектров импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова, а также для диагностики пучков убегающих электронов в плазме различных физических установок и при разработке датчиков.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что **Е. Ф. Мартынович** – известный высококвалифицированный специалист в области люминесценции, радиационной физики, член Научного совета РАН по люминесценции; **С. В. Смирнов** является специалистом в области физики твёрдого тела и полупроводников, включая действие излучения и пучков электронов на полупроводники и диэлектрики; на базе **Национального исследовательского Томского политехнического университета** проводятся исследования в области люминесценции и излучения Вавилова-Черенкова различных диэлектриков и полупроводников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан метод повышения чувствительности пороговых черенковских детекторов полного поглощения;

получена новая экспериментальная информация о временах нарастания импульсов катодолюминесценции природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза Па типа, природного сподумена и кальцита;

предложена научная гипотеза, объясняющая разницу во временах нарастания импульсов катодолюминесценции природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза Па типа;

показано, что благодаря проведенным численным расчетам спектральной плотности энергии излучения Вавилова-Черенкова и сравнению их с экспериментальными значениями спектральной плотности энергии излучения этого вещества стало возможно спектрально разделить импульсную катодолюминесценцию и излучение Вавилова-Черенкова в спектре свечения этого вещества.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

определены длительности нарастания импульсов катодолюминесценции исследуемых кристаллов, позволяющие получать количественную информацию о термализации горячих носителей на краях разрешённых зон (проводимости и валентной) в кристаллической решётке;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы комплекс известных экспериментальных методик измерения спектральных и амплитудно-временных характеристик излучения; среда Mathcad для проведения численного расчёта спектральной плотности энергии излучения Вавилова-Черенкова и оценки доли излучения, регистрируемой приёмной аппаратурой; программа ЕРНСА 2 для решения дифференциального уравнения Бете-Блоха, описывающего ионизационные потери энергии электронов при движении в исследуемых средах, и для расчёта рассеяния электронов в этих средах методом Монте-Карло;

установлено, что коротковолновое излучение Вавилова-Черенкова в области оптического поглощения вещества даёт вклад в излучение катодолюминесценции. Это необходимо учитывать при проведении количественных оценок спектрально-кинетических характеристик импульсной катодолюминесценции исследуемого вещества.

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

разработан метод повышения чувствительности пороговых черенковских детекторов полного поглощения, имеющий преимущества перед известным методом определения наличия излучения Вавилова-Черенкова в таких детекторах, в условиях, когда энергия электронов составляет десятки-сотни кэВ;

предложен идентификационный признак определения структуры алмаза (поликристаллической либо монокристаллической) по времени нарастания импульсной катодолюминесценции;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию методики регистрации излучения Вавилова-Черенкова, которая будет полезна, например, специалистам, занимающимся диагностикой пучков убегающих электронов в токамаках, где при энергиях электронов десятки-сотни кэВ в радиаторах черенковских детекторов может возникать катодолюминесценция, которая вносит паразитный вклад в регистрируемый сигнал.

Рекомендации об использовании результатов диссертационного исследования.

Полученные результаты могут быть использованы при создании датчиков излучения Вавилова-Черенкова и сцинтилляционных датчиков, используемых при регистрации потоков электронов с различной энергией, а также в различных научно-образовательных учреждениях, институтах, научно-производственных предприятиях, в которых занимаются исследованиями свечения (катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова) неметаллических материалов при воздействии потоков электронов, например, в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность обосновывается воспроизводимостью результатов измерений (не хуже 80%) в различных сериях экспериментов при одинаковых условиях;

использованы современные сертифицированные приборы для регистрации амплитудно-временных и спектральных характеристик излучения; для проведения численного моделирования использована современная программная среда Mathcad и программа Erhca 2;

выявлено согласие экспериментально полученных и расчётных значений спектральной плотности энергии излучения Вавилова-Черенкова в различных средах.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

определены времена нарастания импульсов катодолюминесценции для природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза IIa типа;

определены условия, в которых достоверно зарегистрировано излучение Вавилова-Черенкова при возбуждении его пучками электронов с энергиями десятки-сотни кэВ (вплоть до 300 кэВ);

определены количественные соотношения импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова в спектре свечения природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза IIa типа;

показано, что коротковолновая часть поглощенного излучения Вавилова-Черенкова может давать вклад в люминесценцию облучаемого вещества;

экспериментально обнаружена новая полоса в спектре излучения Ga₂O₃, легированного Fe.

Личный вклад соискателя состоит в: участии в постановке цели и задач, создании экспериментальных установок, планировании и проведении экспериментов, самостоятельном проведении расчетов в программной среде Mathcad, подготовке материалов для научных публикаций и выступлений на конференциях.

Диссертация отвечает критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней для диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, и, в соответствии с пунктом 9 Положения, является научно-квалификационной работой,

в которой содержится решение научной задачи исследования импульсной катодолюминесценции различных диэлектриков и полупроводников при возбуждении пучками электронов субнаносекундной длительности и определения соотношения импульсной катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова в спектре свечения различных диэлектриков и полупроводников при воздействии пучками убегających электронов с энергией десятки-сотни кэВ, имеющей значение для развития физики диэлектриков и полупроводников, в частности, для усовершенствования детекторов черенковского излучения путем повышения чувствительности регистрации излучения Вавилова-Черенкова.

На заседании 07.03.2019 диссертационный совет принял решение присудить **Бураченко А. Г.** учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.05 – Оптика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Handwritten signature of Georgiy Vladimirovich Maier

Майер

Георгий Владимирович

Учёный секретарь

диссертационного совета

Handwritten signature of Boris Nikolaevich Poizner

Пойзнер

Борис Николаевич

07.03.2019