

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Бураченко Александра Геннадьевича «Импульсная катодолюминесценция и излучение Вавилова-Черенкова диэлектриков и полупроводников при возбуждении пучком убегающих электронов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Актуальность исследования. Детекторы оптического излучения находят широкое применение во многих областях науки и техники. Наибольшее применение нашли полупроводниковые детекторы, работа которых основана на использовании фотоэлектрических или люминесцентных свойств материалов. Но в связи с новыми применениями высокоэнергетических пучков электронов в энергетике и особенно в медицине, возникает задача поиска новых решений обеспечивающих высокое энергетическое и временное разрешение детекторов оптического излучения. Одним из перспективных направлений исследований, является создание детекторов на использовании излучения Вавилова-Черенкова (ИВЧ). Для этого необходимо осуществить поиск материалов, обладающих максимальным световым выходом и максимальным быстродействием. Поиск материалов связан в первую очередь с разработкой и созданием необходимого экспериментального оборудования, поэтому основная цель работы: разработка комплекса аппаратуры для целей возбуждения и регистрации импульсных катодолюминесценции и излучения Вавилова-Черенкова является очень актуальной.

Содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

В первой главе рассматриваются вопросы формирования пучков убегающих электронов наносекундной длительности. Рассмотрены некоторые вопросы взаимодействия ускоренных электронов с веществом и происходящие при этом явления, такие как катодолюминесценция и излучение Вавилова-Черенкова (ИВЧ). Показано, что ИВЧ может быть использовано при создании детекторов высокоэнергетических частиц.

Вторая глава посвящена описанию методик, приборов и образцов, используемых в работе. Наибольшее внимание уделено описанию экспериментальной установки на основе генератора электронов СЛЭП-150 и быстродействующей регистрирующей системы. Разработанная установка позволяет регистрировать спектры катодолюминесценции и ИВЧ в диапазоне длин волн от 200 до 850 нм с временным разрешением не более 300 пс. Для повышения точности измерений была проведена работа по расчету и измерению распределения убегающих электронов по энергиям.

В главе 3 приводятся результаты расчета спектров излучения Вавилова-Черенкова для различных материалов. Приведен алгоритм расчета с учетом ионизационных потерь и рассеяния электронов, как в выводном окне, так и в исследуемом материале.

Глава 4 содержит результаты исследования спектров ИВЧ в образцах полиметилметакрилата. Сопоставление спектров свечения образцов при возбуждении электронным пучком со спектрами возбуждения

фотолюминесценции KrCl лампой с длиной волны 222 нм показало, что в данных образцах преобладает именно этот механизм излучения.

Глава 5 посвящена демонстрации возможностей разработанной установки и методики измерений. Исследовались как спектры ИВЧ, так и спектры катодолюминесценции различных образцов полупроводниковых материалов с различной шириной запрещенной зоны. Исследования проводились в импульсном режиме с временным разрешением порядка 100 пс. По результатам исследований проведена оценка вклада ИВЧ в суммарный спектр излучения образцов, экспериментальные результаты на участке от 220 нм до 360 качественно соответствуют результатам расчетов.

Наиболее важным результатом работы, является разработка экспериментальной установки и метода регистрации катодолюминесценции и ИВЧ, при возбуждении пучком убегающих электронов. Использование современных источников электронов и высокочувствительных регистрирующих систем позволило повысить точность измерений с временным разрешением до 100 пс. Для получения пучка был использован диффузный разряд при высоких давлениях газа. Электроны из области разряда в атмосферу выводились на образец через алюминиевую фольгу. Экспериментально были определены как распределение электронов по энергиям, так и временные характеристики импульсов. С помощью разработанной установки были проведены исследования спектров излучения ряда природных и искусственных оптических материалов. С целью оценки доли ИВЧ в общем спектре излучения был проведен расчет, учитывающий распределения убегающих электронов в образце по углам и энергиям. Показано, что наиболее эффективно ИВЧ возбуждается в области длин волн менее 320 нм.

В Заключении приводятся основные результаты работы, а также предложения по дальнейшему развитию исследований.

#### Научная ценность и практическая значимость

В работе показано, что возбуждение импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) 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. Полученная информация будет полезна для проведения расчетов зонной структуры полупроводников и диэлектриков.

На основании полученных кинетических характеристик ИКЛ для природного и искусственного алмаза Па типа была предложена гипотеза, объясняющая разницу во временах нарастания импульсов ИКЛ в этих алмазах.

Практическая значимость работы обусловлена тем, что предложенный метод повышения чувствительности пороговых черенковских детекторов полного поглощения имеет преимущества перед известным методом определения наличия ИВЧ в таких детекторах, в условиях, когда энергия электронов составляет десятки-сотни кэВ.

### Новизна результатов исследования

1. Впервые определены времена нарастания импульсов катодолюминесценции для природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза IIa типа, природного сподумена и кальцита.

2. Обнаружена новая полоса в спектре свечения  $Ga_2O_3$ , легированного Fe.

3. В работе определены количественные соотношения ИКЛ и ИВЧ в спектре свечения природного монокристаллического и искусственного поликристаллического алмаза IIa типа.

4. Показано, что коротковолновая часть поглощенного ИВЧ может давать вклад в люминесценцию облучаемого вещества.

Полученные результаты и защищаемые положения отличаются достоверностью и обоснованностью. В основе утверждения о достоверности лежат: использование приемной аппаратуры с высоким временным и спектральным разрешением; повторяемость результатов измерений; использование апробированного метода расчета спектров электронного пучка и известных методик измерения спектрально-кинетических характеристик свечения, а также хорошим совпадением экспериментально полученных и расчетных спектров ИВЧ.

Апробация материалов диссертации и публикации. Все основные положения и выводы по работе опубликованы в научно-технических изданиях, в том числе в журналах по оптической тематике из списка ВАК, а также докладывались на Российских и Международных конференциях.

Автореферат диссертации адекватно отражает содержание диссертационной работы.

По содержанию диссертационной работы имеется ряд замечаний:

1. Первое и третье научное положение сформулировано относительно конкретных частных свойств образцов природного и искусственного алмаза с неизвестной историей, составом и структурой, что снижает их научную значимость.

2. Глава 4 посвящена исследованию спектров свечения полиметилметакрилата, однако полученные результаты не нашли отражения в научных положениях и в выводах по работе хотя и представляют научный и практический интерес.

3. На стр. 102 диссертации и на странице 18 автореферата сообщается, что в ряде образцов, в том числе в сапфире, сульфиде кадмия и селениде цинка, при возбуждении ультрафиолетовым излучением фотолюминесценция не наблюдается, что ставит под сомнение корректность проведенных измерений.

4. Несмотря на перспективность разработанной экспериментальной установки, в работе отсутствуют рекомендации по дальнейшей её доработке и практическому использованию.

5. В работе и автореферате имеются нарушения единства терминологии, например: «диэлектрики»- «полупроводники»- «неметаллические вещества».

Заключение. Сделанные замечания не влияют на положительную оценку диссертационной работы. Считаю, что диссертационная работа Бураченко Александра Геннадьевича «Импульсная катодолюминесценция и излучение



Вавилова-Черенкова диэлектриков и полупроводников при возбуждении пучком убегающих электронов» является законченным научным исследованием, содержащим большой объем экспериментальных результатов, представляющих практический и научный интерес. Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Бураченко Александр Геннадьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – оптика.

Официальный оппонент  
 профессор кафедры  
 физической электроники  
 федерального государственного  
 бюджетного образовательного  
 учреждения высшего образования  
 «Томский государственный университет  
 систем управления и радиоэлектроники»,  
 доктор технических наук  
 (01.04.10 – Физика полупроводников  
 и диэлектриков),  
 профессор



Смирнов Серафим Всеволодович  
 serafim.smirnov@mail.ru

18.02.2019

Подпись С. В. Смирнова удостоверяю

Ученый секретарь ФУСУР




Е. В. Прокопчук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»  
 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40;  
 тел. (3822) 51-05-30; office@tusur.ru;  
<https://tusur.ru>