

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Спиридонова Дмитрия Михайловича

«Спектрально-кинетические закономерности оптически и термостимулированной люминесценции в облученных структурах нитрида алюминия»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07–Физика конденсированного состояния

**Актуальность темы.** Нитриды третьей группы (InN, GaN, AlN) и их твердые растворы являются объектами интенсивного исследования, в первую очередь, в связи с перспективами использования в полупроводниковых источниках излучения в коротковолновой и ближней ультрафиолетовой областях. В диссертационной работе Спиридонова Дмитрия Михайловича показана возможность использования материалов на основе AlN в качестве термолюминесцентных датчиков в твердотельной дозиметрии. Для этих применений необходимо проведение фундаментальных исследований, позволяющих понять роль дефектов данной структуры в формировании оптических и люминесцентных свойств облученных материалов, в том числе и монокристаллов AlN, синтез которых начался сравнительно недавно. Работа является актуальной и важной с практической и научной точек зрения.

Целью диссертационной работы Спиридонова Д.М. является изучение спектрально-кинетических характеристик радиационно-стимулированного поведения и количественная оценка энергетических параметров оптически активных дефектных центров в облученных материалах на основе нитрида алюминия.

**Анализ содержания диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, библиографического списка используемой литературы из 130 наименований. Диссертация изложена на 156 страницах, включая 50 рисунков, 28 таблиц.

*Во введении* дается краткое обоснование выбора темы диссертации, ее актуальность, сформулирована цель, задачи исследований, изложены положения, выносимые на защиту. Отмечена научная новизна и практическая значимость, апробация и личный вклад автора в работу.

*В первой главе* представлен обзор и анализ литературы. Рассмотрены основные типы собственных и примесных дефектов в нитриде алюминия. Приведены основные методы получения данного материала в различных структурных модификациях. Представлена таблица с физико-химическими свойствами AlN и отдельно выделены и

рассмотрены оптические свойства. Особое внимание уделено сравнению литературных данных по полосам люминесценции при различном виде воздействия.

*Вторая глава* посвящена описанию объектов и методов исследований. Приведено описание оборудования, а также используемые методики для исследования термо-, фото- и оптически стимулированных процессов, для получения спектров поглощения, фото и импульсной катодолюминесценции, описан измеритель лазерной энергии и мощности. В качестве объектов исследования выступали монокристаллы и микропорошки нитрида алюминия.

*В третьей главе* представлены результаты по исследованию оптического поглощения и люминесцентных свойств порошков и монокристаллов нитрида алюминия в необлученном состоянии. Исследованы спектры поглощения и показано, что в области 1,1 - 5,0 эВ присутствуют полосы как собственной, так и примесной природы. В спектрах импульсной катодолюминесценции были выделены три полосы свечения при 2,1, 2,7 и 3,2 эВ. При исследовании спектров фотолюминесценции в диапазоне 300-600 нм обнаружены две пары взаимосвязанных гауссовых компонент 2,61, 2,76 и 3,18, 3,44 эВ. Первые две полосы отнесены к сложному дефекту типа  $V_{Al}-2O_N$ , а остальные две – могут быть связаны с комплексами типа  $V_{Al}-O_N$ .

*Четвертая глава* посвящена изучению процессов люминесценции в облученных УФ и  $\beta$  - излучением материалах при оптической и термической стимуляции. Рассчитаны постоянные времени затухания, полученные после  $\beta$  - облучения монокристаллов AlN и найден максимум свечения при 3,43 эВ. При лазерной стимуляции  $\beta$  - облученных материалов были определены значения постоянных времени затухания и проведена оценка сечений фотоионизации ловушек носителей заряда. Приведены данные по спектрально-люминесцентным зависимостям интенсивности свечения после облучения фотонами и установлено, что присутствуют полосы 2,0, 2,91 и 3,44 эВ, причем последняя – доминирует. Проанализированы кривые термолюминесценции и показано, что наблюдаемый отклик формируется за счет опустошения ловушки с энергией активации 0,49 эВ, при этом порядок кинетики равен 1,35. На основе полученных данных предложена зонная модель термолюминесцентного свечения. В конце главы приведен сравнительный анализ результатов исследований люминесценции при различном виде стимуляции. Первые три защищаемых положения полностью обоснованы.

*В пятой главе* приведены дозиметрические свойства нитрида алюминия при различных видах стимуляции. Установлена компенсационная связь между энергией активации и эффективным частотным фактором в процессах термолюминесценции монокристаллов и порошков нитрида алюминия, оценена изокинетическая температура.

Приведены дозовые зависимости термолюминесценции и оптически стимулированной люминесценции при УФ и  $\beta$  - облучении. Показано, что высокий суточный фединг как в монокристаллах (около 75%), так и в порошках (более 90%) ограничивает применение для задач персональной дозиметрии в качестве накопительных детекторных элементов, но при этом данные материалы могут быть перспективными для быстрого мониторинга дозовых нагрузок. Четвертое защищаемое положение полностью обосновано.

#### **Новизна полученных результатов.**

1. Проведены количественные оценки параметров кинетики термо- и оптически стимулированной люминесценции, энергии активации центров захвата для облученных УФ и  $\beta$  - излучением монокристаллов AlN.
2. Сформулирована зонная модель, описывающая особенности термолюминесценции и показано, что активными центрами в облученных монокристаллах нитрида алюминия являются кислородные примеси и образующиеся на их основе комплексы с участием различных вакансий.
3. Проведена оценка сечений фотоионизации кислородсвязанных центров на основе данных по анализу кривых затухания оптически стимулированной люминесценции.
4. Установлены важные количественные характеристики дозовых зависимостей термо- и оптически стимулированной люминесценции после УФ и  $\beta$  - облучения.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.** Автор корректно использует известные научные методы обоснования полученных результатов. Достоверность полученных экспериментальных данных, научных положений и выводов обеспечиваются корректностью постановки цели работы, решаемых задач, их физической обоснованностью, хорошим уровнем экспериментальных исследований с применением современных методов, а также оценки воспроизводимости. Кроме того достоверность обеспечивается непротиворечивостью полученных результатов существующим представлениям по исследованию оптических свойств материалов на основе нитрида алюминия.

**Практическая ценность работы.** В диссертационной работе приведены практические рекомендации для возможных дозиметрических применений материалов на основе AlN, которые подтверждены 3 патентами РФ на изобретение.

#### **По работе сделаны следующие замечания.**

1. В п. 3.1 главы 3, приводятся две возможные идентификации центра свечения в области менее 2,2 эВ. В выводах же к данной главе автор склоняется ко второму варианту, при этом не обосновано, почему автор придерживается этой идентификации.

2. На рис. 4.9 главы 4 приведены спектры возбуждения и зависимость отклика термолюминесценции исследуемых монокристаллов. Данные кривые аппроксимированы гауссоидами. На спектре свечения экспериментальные точки заканчиваются около 2 эВ, но автор продолжает аппроксимацию в область, где экспериментальных точек нет.
3. В п. 5.1 главы 5 показано, что максимум термолюминесценции в порошке наблюдается при  $T_{\max} = 500\text{K}$ , в объемных монокристаллах  $T_{\max} = 470\text{K}$ . С чем связан данный сдвиг в работе не поясняется.
4. В п. 5.4.1 и 5.4.2. приведены исследования фединга в монокристаллах и порошках. Показано, что положение максимума термолюминесценции с увеличением времени хранения облученных образцов у монокристаллов и порошков смещается в область высоких температур на разную величину (30 К и 116 К), при этом полуширина практически не изменяется (27 К и 24 К). С чем связана разная величина смещения в работе не обсуждается.
5. Общее замечание по оформлению и структуре диссертации. Во-первых, использование английского языка в таблицах, в подписях к рисункам, в терминологии. Во-вторых, не для всех измерений указана погрешность. Например, на с. 36 не указана точность при описании распределения частиц по размерам, на с. 39 и 40 не указаны погрешности при определении рамановских сдвигов и параметров решетки. В-третьих, термин «структура» используется в двух значениях, а именно в качестве кристаллической структуры и в качестве структурной модификации материала (монокристалл, порошок).

Высказанные замечания не влияют на общую положительную характеристику работы. В целом, работа выполнена на высоком научном и профессиональном уровне. Ее результаты опубликованы в 9 статьях, в том числе в 6 статьях в рецензируемых журналах согласно перечню ВАК РФ, 15 тезисах докладов, 3 патентах РФ.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация соответствует п. 4 «Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ» и п. 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами» паспорта специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Считаю, что диссертационная работа Спиридонова Дмитрия Михайловича «Спектрально-кинетические закономерности оптически и термостимулированной

люминесценции в облученных структурах нитрида алюминия», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, соответствует всем требованиям пунктов 9-14, предъявляемым к кандидатским диссертациям, «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842, а ее автор Спиридонов Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Научный сотрудник  
лаборатории квантовой электроники  
Института электрофизики УрО РАН,  
к.ф.-м.н., 01.04.07 –  
физика конденсированного состояния



Спирина А.В.

Подпись Спириной А.В. удостоверяю:  
Ученый секретарь  
Института электрофизики УрО РАН,  
к.ф.-м.н.

Кокорина Е.Е.

27 февраля 2015 г.

Спирина Альфия Виликовна  
г. Екатеринбург, 620016, ул. Амундсена, д. 106  
e-mail: [rasuleva@iep.uran.ru](mailto:rasuleva@iep.uran.ru)  
полное название организации: Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской  
академии наук  
раб. тел.: +7(343)267-87-79