

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Учреждения образования
«Белорусский государственный
университет информатики и
радиоэлектроники»

В. А. Богуш

5 декабря 2025 г.

ОТЗЫВ

оппонирующей организации – Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», на диссертационную работу РОМАНОВА Ивана Александровича «Структура и люминесцентные свойства диэлектрических пленок на основе слоев оксида и нитрида кремния и нанокompозитов « SiO_2 с нанокристаллами SnO_2 »», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа И. А. Романова содержит результаты выполненного им экспериментального исследования закономерностей изменения люминесцентных и электрофизических свойств диэлектрических пленок на основе слоев нитрида и оксида кремния, а также слоев оксида кремния, имплантированных ионами олова, в зависимости от их элементного и структурно-фазового состава. Они представляют фундаментальный научный интерес для понимания особенностей электронных процессов в слоистых структурах из оксида и нитрида кремния, определяющих их люминесцентные и электрофизические свойства, что актуально, в том числе, и для практического использования таких структур в оптоэлектронике.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и физико-математической отрасли наук. Область исследований соответствует п.2 Элементный и фазовый состав, структура (строение) и физические свойства конденсированных сред (систем), п.5 Изменение состава, структуры и свойств конденсированных сред под влиянием внешних воздействий и п.9 Физические принципы функционирования, создания и применения приборов и устройств, действие которых основано на свойствах веществ в конденсированном состоянии названного паспорта.

Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК. Текст диссертации включает введение, общую характеристику работы, обзорную главу и три главы с материалами выполненного исследования, заключение, библиографический список использованных источников (242 наименования в библиографическом списке и 21 печатная работа автора), 2 приложения, в которых представлена Методика определения функции спектральной чувствительности спектрометрической системы и Акты внедрения (3), подтверждающие практическое применение результатов исследования.

Общий объем диссертации 164 страницы. Изложение результатов в диссертации и автореферате сделано на русском языке и исчерпывающе проиллюстрировано (55 рисунков в диссертации). Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание самой диссертации.

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

К наиболее значимым результатам работы, отличающимся научной новизной, следует отнести следующие:

2.1. Обнаружено, что в зависимости от способа возбуждения люминесценции в слоистых пленочных структурах из оксида и нитрида кремния на монокристаллическом кремнии при фотолюминесценции доминирующую роль играют излучательные процессы, связанные с дефектами, вызванными избыточной концентрацией кремния в нитриде кремния, а при электролюминесценции дефекты в слоях оксида кремния.

2.2. Получены количественные характеристики фото- и электролюминесценции, а также электрофизических свойств слоистых пленочных структур из оксида и нитрида кремния на монокристаллическом кремнии и установлены закономерности их изменения в зависимости от фазового состава и присутствующих в них дефектов, что следует учитывать при разработке оптоэлектронных элементов на их основе.

2.3. Обнаружено образование нанокристаллов диоксида олова в слоях диоксида кремния, имплантированных ионами олова, и закономерности их влияния на люминесцентные и электрофизические свойства образовавшихся композитов, что открывает новые возможности в создании светоизлучающих структур по традиционной технологии изготовления интегральных микросхем на кремнии.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

3.1. Установление различных доминирующих источников света в слоистых пленочных структурах из оксида и нитрида кремния на монокристаллическом кремнии ($\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{Si}$, $\text{SiO}_y/\text{SiN}_x/\text{SiO}_z/\text{Si}$ и $\text{SiO}_y/\text{SiN}_x/\text{SiO}_z/\text{Si}$) в зависимости от способа возбуждения люминесценции, а именно дефекты, связанные с избыточной концентрацией кремния в нитриде кремния, при фотолюминесценции и дефекты в слоях оксида кремния при электролюминесценции.

3.2. Закономерности изменения интенсивности электролюминесценции в слоистых пленочных структурах из оксида и нитрида кремния в зависимости от количества прошедшего через них заряда.

3.3. Закономерности изменения структуры, фазового состава, фото- и электролюминесценции композитов, сформированных имплантацией ионов олова в диоксид кремния, обнаруживших образование нанокристаллов диоксида олова в нем, что в зависимости от дозы имплантированных ионов и температуры последующего отжига определяет наблюдаемые изменения свойств таких композитов.

4. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Представленную к защите диссертацию отличает выбор актуального с научной точки зрения объекта исследования – слоистые структуры из оксида и нитрида кремния, обладающие значительными перспективами для применения в интегральной оптоэлектронике.

Обширный экспериментальный материал, полученный с использованием современных методов анализа твердых тел, его обстоятельный анализ и предложенные соискателем оригинальные модельные представления обладают новизной. Это подтверждают публикации соискателя в престижных международных научных журналах. Они признаны мировым научным сообществом и обеспечивают приоритет Республики Беларусь в синтезе и исследовании оксидных композитов.

Таким образом, полностью выполнены требования к кандидатским диссертациям, регламентированные п.20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, поскольку диссертация содержит новые научные результаты по одному из актуальных направлений научных исследований. Научная квалификация соискателя соответствует ученой степени кандидата физико-математических наук.

5. Рекомендации по практическому применению результатов работы

Диссертация содержит результаты, носящие фундаментальный характер в области физики конденсированного состояния. Их применение ориентировано

в первую очередь на практическое применение при конструировании светоизлучающих структур по технологии изготовления кремниевых интегральных микросхем и на продвижение знаний о закономерностях взаимосвязи состава и структуры слоистых структур на основе оксида и нитрида кремния с их люминесцентными и электрофизическими свойствами. Развитые модельные представления и полученные экспериментальные данные могут быть использованы для дальнейших работ в области физики конденсированного состояния, а также в учебном процессе при подготовке специалистов с высшим образованием в области микро- и наноэлектроники, о чем свидетельствуют приложенные к диссертации Акты о практическом использовании результатов исследования в учебном процессе в БГУ.

Прикладной потенциал результатов диссертационного исследования состоит в возможности разрабатывать и изготавливать новые элементы оптоэлектроники на предприятиях электронной промышленности Республики Беларусь, таких как ОАО «Интеграл», МНИРМ.

6. Замечания по работе

6.1. Вынесенные на защиту положения перегружены количественными показателями, относящимися к выявленным закономерностям, что маскирует физическую природу и развитые модельные представления об этих закономерностях.

6.2. Фотолюминесцентные исследования следовало бы провести и при пониженной температуре (4 – 77 К), чтобы получить больше информации о взаимосвязи наблюдающихся особенностей оптических свойств светоизлучающих слоев с их составом и дефектной структурой.

6.3. Электролюминесцентные исследования следовало бы провести не только на структурах с жидкостным электрическим контактом, но и с твердотельным пленочным контактом.

6.4. Полученные данные по люминесцентным и электрофизическим свойствам изготовленных структур следовало бы критически сравнить с опубликованными данными других исследователей.

Приведенные замечания носят рекомендательный характер и не умаляют общей положительной оценки диссертационной работы.

7. Заключение

Диссертация «Структура и люминесцентные свойства диэлектрических пленок на основе слоев оксида и нитрида кремния и нанокompозитов “SiO₂ с нанокристаллами SnO₂”», представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика

конденсированного состояния, подготовлена на актуальную тему, содержит принципиально новые научные результаты и полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь. Ее автор – РОМАНОВ Иван Александрович, заслуживает присуждения искомой ученой степени по названной специальности за новые научно обоснованные результаты, отмеченные в п.3 данного отзыва.

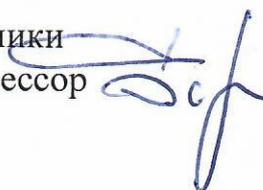
Согласно приказу ректора Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники В. А. Богуша № 381-о от 03.12.2025 данный отзыв рассмотрен и принят на расширенном заседании кафедры микро- и наноэлектроники 5 декабря 2025 года, протокол № 7, на котором соискатель И. А. Романов выступил с докладом и квалифицированно ответил на заданные ему вопросы. В заседании участвовали 3 доктора наук, 5 кандидатов наук, а также другие сотрудники кафедры микро- и наноэлектроники и НИЧ БГУИР. Результаты открытого голосования участников заседания, имеющих ученые степени: «за» – 8, «против» – нет, «воздержался» – нет.

Председательствующий на заседании
заместитель заведующего кафедрой
микро- и наноэлектроники
кандидат технических наук, доцент



А. А. Степанов

Эксперт по диссертации
профессор кафедры микро- и наноэлектроники
доктор физико-математических наук, профессор



В. Е. Борисенко

Ученый секретарь на заседании
доцент кафедры микро- и наноэлектроники
кандидат технических наук, доцент



Д. А. Котов