

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Европейцева Евгения Андреевича  
«Кинетика экситонной фотолюминесценции в квантовых ямах в системе (Al,Ga,In)N»,  
представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.11 – «физика полупроводников»

Спектроскопические исследования гетероструктур с квантовыми ямами в системе (Al,Ga,In)N обусловили существенный прогресс как в фундаментальной физике АЗ-нитридных соединений, так и в создании источников когерентного и спонтанного излучения на их основе. Однако, несмотря на обширные исследования излучательных свойств АЗ-нитридных структур с квантовыми ямами, можно отметить нехватку экспериментальных данных об экситонных эффектах в таких структурах, зачастую определяющих их оптические свойства, особенно в ультрафиолетовой области спектра. Поэтому актуальность темы диссертации не вызывает сомнений.

В автореферате во введении освещается современное состояние исследований по данному направлению, убедительно аргументируется взаимосвязь вошедших в диссертацию исследований, их новизна и обоснованность, формулируются цели, задачи и основные положения, выносимые на защиту. Описание оригинальной части диссертации начинается с аналитического обзора, приводящего общие сведения о структуре энергетических зон и особенностях фотолюминесценции объёмных полупроводников AlN, GaN, InGaN, а также гетероструктур на их основе. Особое внимание уделено экситонным эффектам и нетривиальному электрон-дырочному короткодействующему обменному взаимодействию в наноструктурах. Следующая глава посвящена описанию исследовательских методик, во многом разработанных непосредственно соискателем, а также исследуемых образцов, методов их изготовления и результатов исследования их структурных свойств. Третья глава посвящена экспериментальному исследованию кинетики излучения ультратонких квантовых ям GaN/AlN, а также нанокколонок различного диаметра, формируемых постростовыми методами из планарных гетероструктур. Следует отметить пионерский характер этих исследований, поскольку они позволили определить экспериментально зависимость величины обменного расщепления от толщины GaN/AlN квантовых ям, варьируемой от 1 до 4 монослоев, а также позволили впервые разрешить тонкую структуру одиночного экситона в монослойных ямах, содержащего, к примеру, 4 терма для темного состояния в полном согласии с теоретическими расчетами. Следующая глава посвящена оптимизации дизайна AlGaN квантовых ям с учетом экситонных эффектов, что привело к обеспечению высокого внутреннего квантового выхода фотолюминесценции с длиной волны менее 300 нм при комнатной температуре. В заключительной главе приводятся результаты исследования стержневидных нанокколонок типа ядро-оболочка с квантовыми ямами InGaN/GaN, которые позволили провести

идентификацию наблюдаемых полос излучения и определить их характерные времена затухания, определяемые во многом различиями в проявлениях квантоворазмерного эффекта Штарка в ямах, выращенных на различных кристаллографических плоскостях. В заключении систематизированы основные результаты работы, представленные в 8 рецензируемых статьях, включая публикации в Nano Letters и Nanomaterials, и доложенные на ряде конференций.

В совокупности результаты, представленные в автореферате, представляют законченный цикл исследований, выполненный на высоком научном уровне и вносящий заметный вклад в понимание излучательных свойств квантово-размерных гетероструктур на основе нитридов III группы. Автореферат полностью отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, а её автор – Европейцев Евгений Андреевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – «физика полупроводников».

Д.ф.-м.н. Максимов Михаил Викторович,  
зав. Лабораторией нанофотоники,  
Академический университет им. Ж.И. Алферова

Подпись Максимова М.В. удостоверяю

21.05.2024

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ**

«21» 05 2024.