

Отзыв

члена диссертационного совета Игнатъева Ивана Владимировича на диссертацию **Шапенкова Севастьяна Владимировича** на тему **«Взаимосвязь атомной структуры и люминесцентных свойств протяженных дефектов в нитриде галлия»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Диссертация Севастьяна Владимировича Шапенкова посвящена изучению дислокаций и сопутствующих им протяженных дефектов в гексагональном нитриде галлия. Нитрид галлия является промышленным широкозонным полупроводниковым материалом, широко используемым для производства светодиодов и силовой электроники. Нитрид галлия выращивают эпитаксиальными методами на коммерческих подложках, в частности, на сапфире. Несоответствие кристаллических решеток нитрида галлия и подложки приводит к высокой плотности ростовых дислокаций в эпитаксиальном слое. Это обстоятельство стимулирует активные исследования дислокаций и сопутствующих им явлений. В связи с этим тема диссертации является несомненно актуальной.

С точки зрения фундаментальных исследований, дислокации представляют собой один из видов естественных низкоразмерных полупроводниковых структур. Дислокации формируют одномерные квантовые ямы (квантовые нити) для носителей заряда, а дефекты упаковки, входящие в структуру расщепленных дислокаций и расширенных дислокационных узлов, формируют двумерные квантовые ямы. Люминесцентные свойства двумерных квантовых ям достаточно хорошо изучены. Свойства одномерных электронных систем, однако, изучены в меньшей степени, поскольку используемые методы гетероэпитаксии не позволяют добиться их приемлемого качества. В частности, были найдены существенные различия спектра и поляризационной зависимости спектральных полос дислокационной люминесценции в образцах нитрида галлия с различным удельным сопротивлением. Они не наблюдались для других полупроводников с тетраэдрической координацией (CdS, ZnSe, Ge, Si) и являются уникальным свойством нитрида галлия, требующим тщательного исследования. Это явилось одной из мотиваций диссертационного исследования.

Диссертационная работа С. В. Шапенкова состоит из введения, четырех глав и заключения. В первой главе, на основе обзора литературы, подробно изложены базовые представления о дислокациях и других типах дефектов, описаны их люминесцентные свойства и методы их исследования с помощью просвечивающей электронной

микроскопии и катодолюминесценции. Вторая глава диссертации посвящена описанию экспериментальных методов исследования дислокаций. В частности, подробно рассмотрены методы изучения катодолюминесценции в сканирующем и просвечивающем электронном микроскопах. Третья и четвертая главы посвящены описанию оригинальных результатов. С. В. Шапенков использует сложный в экспериментальном отношении подход, а именно, сопоставление структуры ядер дислокаций на атомарном масштабе и спектральных характеристик дислокаций, введенных наноиндентированием. Важным достоинством и новизной работы является получение результатов для одиночных дислокаций и порождаемых ими расширенных дислокационных узлов. В этих главах приводится много экспериментальных результатов и дается их подробный анализ.

В диссертационной работе получено много новых и важных результатов. Среди них можно отметить несколько наиболее значимых результатов.

1. Разработана методика получения тонких образцов нитрида галлия с дислокациями, введенными наноиндентированием. Эти образцы пригодны для исследования дислокаций методами просвечивающей электронной микроскопии и катодолюминесценции.

2. Продемонстрировано образование двух видов расширенных дислокационных узлов – одиночных треугольных и двойных треугольных узлов, содержащих непрерывный дефект упаковки.

3. Установлено, что расширенные дислокационные узлы характеризуются люминесцентной полосой IRL (intersection related luminescence), спектральное положение которой и ее тонкая структура как от внешнего механического напряжения, так и от геометрических параметров узлов.

4. Для оценки равновесной конфигурации структуры расщепленных дислокаций предложена модель, учитывающая как механические силы, так и кулоновское взаимодействие между ядрами частичных дислокаций с различными зарядами.

В заключение следует отметить, что диссертация изложена ясным научным языком. Обсуждаемые методы исследования и полученные результаты хорошо проиллюстрированы многочисленными рисунками. Главы 3 и 4, содержащие описание оригинальных результатов, содержат заключительные выводы. По содержанию диссертационной работы есть замечание:

схема оптических переходов, показанная на рисунке 3.25, кажется не вполне корректной, так как из нее создается впечатление, что энергия низкоэнергетического перехода больше высокоэнергетического.

Есть также замечание стилистического характера: в тексте диссертации, см., например, стр. 70, 72-74, присутствуют очень длинные предложения (5 – 9 строчек), что затрудняет восприятие текста.

Сделанные замечания не затрагивают основных положений и выводов диссертации. Совершенное владение сложной экспериментальной техникой, объем и качество полученных экспериментальных результатов, их тщательный анализ, основанный на глубоком понимании физических процессов в исследованных структурах, свидетельствуют о высокой научной квалификации диссертанта.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных методов и экспериментальной техники, воспроизводимостью получаемых экспериментальных данных на большом числе образцов, в том числе данных, полученных на аналитических установках других лабораторий.

Результаты диссертационной работы расширяют фундаментальные представления о свойствах протяженных дефектов в полупроводниках и квантово-размерных структурах, что имеет важное **теоретическое и прикладное значение**. Эти результаты могут лечь в основу новых полупроводниковых светоизлучающих приборов.

Результаты диссертации хорошо апробированы и известны специалистам. Они опубликованы в рецензируемых научных журналах и докладывались на международных научных конференциях, соответствующих тематике работы.

Считаю, что диссертация Шапенкова Севастьяна Владимировича на тему: «Взаимосвязь атомной структуры и люминесцентных свойств протяженных дефектов в нитриде галлия» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель, Шапенков Севастьян Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников. Пункты 9 и 11 указанного Порядка диссертантом не нарушены.

Член диссертационного совета

Доктор физ.-мат. наук,
профессор СПбГУ



/Игнатъев И.В.

Дата 16 ноября 2023