

Отзыв

члена диссертационного совета Заморянской Марии Владимировны 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.

Работа Шапенкова С.В. посвящена исследованию структуры и люминесценции дислокаций и образованных ими других протяженных дефектов в гексагональном нитриде галлия, GaN. Нитрид галлия является важным промышленным материалом для производства в первую очередь светоизлучателей УФ диапазона, а также элементов силовой электроники. Устройства на основе нитрида галлия и его твердых растворов получают эпитаксиальными методами на типовых подложках из чужеродных материалов, что приводит к большой плотности ростовых дислокаций, которые значительно уменьшают эффективность светоотдачи. С другой стороны, как недавно это было обнаружено, интенсивность собственной люминесценции свежевведенных расщепленных дислокаций в GaN может превышать интенсивность межзонного излучения при комнатной и даже более высоких температурах, что ранее не наблюдалось ни на одном из родственных по структуре полупроводнике и открывает принципиальную возможность повышения эффективности светоизлучающих приборов при условии правильного понимания происхождения этого явления. Эти факты стимулируют проведение исследований в этом направлении и позволяют характеризовать тему диссертации как **весьма актуальную**.

К моменту постановки темы исследования рецензируемой работы авторами нескольких научных групп сообщалось о наблюдении трех различающиеся по спектральному положению полос люминесценции в пластически деформированном дислокационном нитриде галлия. Удивительным, в частности, оказалось различие в спектральном положении в образцах различного удельного сопротивления с одинаковой дислокационной структурой, определяемой из катодоллюминесцентных СЭМ изображений. Хотя предположения о причинах такого различия были высказаны, прямые экспериментальные данные об их происхождении до настоящей работы получены не были, что связано с чрезвычайной сложностью выполнения подобных исследований.

Автору рецензируемой диссертации удалось **впервые** провести одновременно исследования структуры одиночных дислокаций и узлов их пересечений с разрешением вплоть до атомарного и спектральных характеристик излучения таких дефектов, собрать информацию о некоторых других их люминесцентных характеристиках. Среди многих

новых результатов, представленных Шапенковым С.В. в диссертации, можно выделить как основные следующие:

1. Оригинальная методика получения тонких областей образцов GaN с введенными дислокациями, которые достаточно тонкие для проведения структурных исследований методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и достаточно толстые для изучения катодоллюминесценции;

2. Демонстрация формирования двух видов расширенных дислокационных узлов в местах пересечения введенных расщепленных дислокаций, содержащих дефект упаковки I_2 ;

3. Одновременная регистрация ПЭМ изображений структуры расширенных дислокационных узлов и их люминесценции на характерной им длине волны;

4. Факт сосуществования в полуизолирующем GaN, легированном железом, дислокаций с совершенным и расщепленным ядром, а также протяженных дислокационных узлов с регистрацией всех трех характерных спектральных полос их излучения;

5. Теоретическая модель оценки равновесной конфигурации структуры расщепленных дислокаций с учетом помимо обычно учитываемого упругого, так и кулоновского взаимодействия между разнозаряженными ядрами частичных дислокаций.

Диссертация построена логично, изложена грамотным языком, а результаты хорошо проиллюстрированы. Тем не менее, автору не удалось избежать опечаток, неудачных формулировок, и орфографических ошибок. Стоит выделить следующие **замечания**:

1) Важной характеристикой центра люминесценции является его поведение при различных уровнях возбуждения. К сожалению, автором работы подобные зависимости не изучались;

2) В разделах 1.2.6 и 3.5.2 на основании полученных результатов утверждается, что точечные дефекты в изучаемом диапазоне (3,0-3,5 эВ) не оказывают влияние на люминесценцию введенных дислокаций. Между тем, точечные дефекты при взаимодействии с ядрами дислокаций могут изменять их структуру, например, двойные ступеньки или перегибы. Такая возможность в диссертации не обсуждается.

3) Для получения информации о векторах Бюргера дислокаций из ПЭМ контрастов автор впервые провел анализ критерия gb для структуры вюрцита, результаты которого суммированы в таблицы 4.1 и 4.2. К сожалению, комментарии к ним слишком

лаконичны, чтобы неспециалисту в области просвечивающей электронной микроскопии их можно было использовать для анализа полученных ПЭМ изображений.

Отмеченные выше замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы, которая выполнена на высоком экспериментальном уровне. Следует отметить, что успех в достижении цели исследования во многом стал возможен благодаря использованию наиболее современных методов просвечивающей и растровой электронной микроскопии, которыми Шапенков С.В. овладел в совершенстве, что характеризует его как сложившегося высококвалифицированного специалиста в этой области.

Достоверность экспериментальных результатов подтверждается их воспроизводимостью на различных образцах, использованием современной экспериментальной техники, совпадением результатов экспериментов при проведении на аналогичном в других научных группах, использованием хорошо известных общепринятых физических представлений и теорий при интерпретации полученных данных.

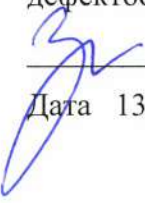
Теоретическая и практическая значимость. Новые данные о происхождении и свойствах люминесценции введённых дислокаций в нитриде галлия расширяют существующие представления о взаимосвязи структуры дефектов и их электронных свойств для широкого круга полупроводников с тетраэдрической координацией, а высокая интенсивность люминесценции расщепленных дислокаций указывает на возможность разработки новых полупроводниковых светоизлучающих приборов, основанной на инженерии дефектов.

Полученные автором результаты опубликованы в четырех статьях в рецензируемых научных изданиях и представлены на пяти конференциях, включая две международные.

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», 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, главный научный сотрудник, заведующий лаб. Диффузии и дефектообразования в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе

 /Заморянская М.В.

Дата 13.11.2023



Подпись Заморянской М.В. удостоверяю
зав. отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

М.В. | Н.С. Гусарко