

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Савчука Александра Александровича на тему
**«Разработка технологии выращивания слоев гетероструктуры на основе нитрида
галлия для лазерных диодов в устройствах освещения»**, представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов
электронной техники», состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 30.11.2022 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 19.09.2022, протокол №4.

Диссертация выполнена в лаборатории перспективной солнечной энергетики (ПСЭ) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Мурашев Виктор Николаевич, д.т.н., ведущий эксперт научного проекта кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 4 от 19.09.2022 г.) в составе:

1. Ховайло Владимир Васильевич – д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС» – председатель комиссии;
2. Мухин Сергей Иванович – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС»;
3. Пархоменко Юрий Николаевич – д.ф.-м.н., профессор, научный руководитель АО «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности Гиредмет»;
4. Лагов Петр Борисович – д.ф.-м.н., профессор, начальник отдела научного центра сертификации элементов и оборудования АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем», ГК «Роскосмос»;
5. Якимов Евгений Борисович – д.ф.-м.н., заведующий лабораторией локальной диагностики полупроводниковых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показано, что для применения в системах освещения на основе лазерных диодов (ЛД) наибольшую эффективность с существующими люминофорами обеспечивают ЛД спектрального диапазона 465-475 нм;

обоснована целесообразность создания гетероструктур на основе GaN неполярной ориентации, для создания ЛД, предназначенных для систем освещения.

Был исследован механизм образования дефектов в темплейтах a-GaN на r-сапфире. Согласно полученным результатам основным типом дефектов являются V-дефекты. С помощью проведения серии экспериментов по выращиванию пленок a-GaN при различных технологических условиях и анализа результата дифрактометрии в геометрии $\Delta\omega$ было установлено, что аналогично с-плоскости, для неполярной a-плоскости вероятность зарождения V-дефекта связана с плотностью смешанных дислокаций. Наименьшая плотность V-дефектов ($5,5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$) удалось добиться для образца, выращенного с использованием трехступенчатого роста с применением двухслоевого ввода газов. На первом этапе проводилась нитридизация при 950°C , на второй этапе выращивался низкотемпературный (700°C) буферный слой GaN, на третьем этапе выращивалась пленка GaN при температуре 1000°C . Источниками компонентов III и V были ТЭГ и аммиак соответственно.

Было показано, что для активации акцепторной примеси в a-GaN более эффективным является отжиг в атмосфере кислорода. Получить максимальную проводимость дырочного типа при этом сохранив гладко-зеркальную морфологию поверхности удалось при температуре реактора 950°C , расходе ТЭГ, аммиака и Cr_2Mg $333 \text{ см}^3/\text{мин}$, $4000 \text{ см}^3/\text{мин}$ и $300 \text{ см}^3/\text{мин}$ соответственно, при этом температура МО ТЭГ – 17°C и давление – $0,6 \text{ бар}$, температура Cr_2Mg 15°C и давление – $0,5 \text{ бар}$. Отжиг проводился в течение 30 мин в атмосфере кислорода.

Было показано, что для достижения высокой концентрации электронов при сохранении гладкозеркальной морфологии пленок a-GaN целесообразно применение серы в качестве прекурсора. Наилучших результатов по электронной проводимости и морфологии поверхности удалось добиться при использовании в качестве прекурсора H_2S и следующем технологическом режиме: температура реактора 950°C , расхода ТЭГ, аммиака и H_2S $333 \text{ см}^3/\text{мин}$, $3000 \text{ см}^3/\text{мин}$ и $400 \text{ см}^3/\text{мин}$ соответственно, при этом температура МО ТЭГ – 17°C и давление – $0,6 \text{ бар}$.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

- установлено, что для применения в лазерных устройствах освещения с наиболее распространенными люминофорами наибольшая энергетическая эффективность может быть достигнута с помощью ЛД, выращенных на a-GaN неполярной ориентации;
- предложена гипотеза, объясняющая механизм зарождения V-дефектов в a-GaN за счет большей скорости роста в местах выхода скоплений смешанных дислокаций на поверхность пленки;
- доказано, что для активации дырочной проводимости эмиттерных слоев ЛД на основе a-GaN наиболее эффективным является низкотемпературный отжиг в атмосфере кислорода;
- разработана технология выращивания эпитаксиальных слоев a-GaN на подложках r-сапфира без ex-situ обработки.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

• достоверность научных результатов подтверждается использованием современных методик исследования, аттестованных измерительных установок и приборов, согласованностью результатов, полученных различными методами.

Личный вклад автора в настоящую работу состоит в постановке целей и задач, непосредственном участии в лабораторных экспериментах, в том числе в разработке методики изготовления образцов, проведении экспериментальных измерений, обработке, анализе и оценке полученных результатов измерений.

По теме диссертации опубликовано десять печатных работ в изданиях, входящих в перечень ВАК, из которых 9 входят в базы Web of Science/Scopus и 1 - патент

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Савчука Александра Александровича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи разработки технологии создания, с помощью МОС-гидридной эпитаксии, слоев гетероструктуры нитридных лазерных диодов, предназначенных для использования в высокоэффективных системах освещения. Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными в решении практических задач.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Савчуку Александру Александровичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



В.В. Ховайло

30.11.2022