

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Малина Тимура Валерьевича «Эпитаксиальные слои GaN на кремниевых подложках для AlGaN/GaN гетероструктур с высокой подвижностью электронов» по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников.

Аммиачная молекулярно-лучевая эпитаксия (аммиачная МЛЭ) является одним из основных методов выращивания гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) на основе нитридов элементов третьей группы ($A^{III}N$), пригодных для изготовления приборов силовой и СВЧ электроники посткремниевого поколения. Актуальность использования подложек кремния в технологии аммиачной МЛЭ $A^{III}N/Si$ ГЭС обусловлена кристаллическим совершенством этого подложечного материала, его высокой теплопроводностью, коммерческой доступностью пластин диаметром до 200 мм и перспективой монолитной интеграции элементной базы $A^{III}N$ в кремниевую приборную архитектуру. Но $A^{III}N$ и Si в значительной мере рассогласованы по постоянным кристаллических решеток и коэффициентам термического расширения (КТР). Поиск подходов, позволяющих исключить склонность ГЭС к растрескиванию и, по возможности, снизить плотность пронизывающих дислокаций полностью, является актуальными задачами, имеющими как прикладную, так и научную значимость. Данная диссертационная работа посвящена поиску путей решения проблем выращивания методом аммиачной МЛЭ на подложках кремния буферных слоев GaN, стойких к трещинообразованию и имеющих морфологию поверхности, пригодную для формирования гетеропереходов приборного качества.

Главный результат диссертационной работы состоит в том, что Т.В. Малин показал, что аморфная фаза нитрида кремния в составе двумерного кристаллического нитридизованного слоя поверхности подложки кремния является существенным фактором трещинообразования в пленках GaN/Si. Выявлены закономерности формирования аморфной фазы в зависимости от условий нитридизации поверхности кремния. Выработаны технологические рекомендации по подавлению зарождения и развития аморфной фазы до уровня, исключаящего инициацию процесса трещинообразования в пленках GaN/Si. Также предложены решения, позволяющие управлять морфологией поверхности

буферных слоев GaN/Si. В итоге автором продемонстрирована возможность выращивания методом аммиачной МЛЭ AlGaN/GaN гетероструктур с двумерным электронным газом на подложках кремния, сравнимых по качеству с идентичными ГЭС, синтезированными в аналогичных условиях на сапфировых подложках. Важно подчеркнуть, что достигнутые результаты в значительной мере стали возможны в результате применения в экспериментах оригинальной методики определения температуры подложки, основанной на анализе спектров излучения подложки, разработанной соискателем.

В качестве замечания к работе можно отметить отсутствие в автореферате описания методики оценки напряжений в слоях GaN, выращенных на подложках кремния и сапфира по данным фотолюминесценции (ФЛ), не ясным так же остаётся, почему автор не использовал для определения остаточных напряжений использованный в другой части работы метод КРС. Данное замечание не является существенным, а диссертационная работа Т.В. Малина безусловно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам Т.В. Малин заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

PhD, ведущий инженер

Центра радиофотоники и СВЧ технологий

А.В. Катков

Национальный Исследовательский
Ядерный Университет «МИФИ»

Почтовый адрес: 115409, Москва, Каширское ш., 31

Телефон: +7 495 788 56 99, доб. 8439

Эл. почта: AVKatkov@mephi.ru,

Сайт: <https://mephi.ru>

Поступила в печать 25.03.2025
Одобрено / Отвержено Д.И.