

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЯ РОСТА НА СТРУКТУРНОЕ СОВЕРШЕНСТВО БУФЕРНЫХ СЛОЕВ AlN И AlGAN, ВЫРАЩЕННЫХ АММИАЧНОЙ МЛЭ

petrov@semiteq.ru

Петров С.И., канд. физ.-мат. наук,
Зайцев С.В., науч. сотр.,
Мамаев В.В.,
Новиков С.А.,

Прохоренков Д.С. инженер-исследователь
ЗАО "Научное и технологическое оборудование"

Аннотация. Показано влияние сурфактанта при выращивании слоев AlN на дефектную структуру. Важными параметрами, определяющими механизмы роста и дефектообразования, являются эффективный поток компонентов растущей пленки и сурфактанта. Слои AlN выращенные с использованием сурфактанта имеют плотность дефектов ниже, чем слои выращенные без потока галлия при тех же условиях.

Ключевые слова: Нитридные гетероструктуры AlN/AlGa_N, оптоэлектронные приборы УФ диапазона, СВЧ транзисторы, плотность дислокаций.

Благодаря своим уникальным свойствам нитриды металлов третьей группы представляют интерес как в производстве мощных СВЧ приборов, так и в оптоэлектронике. Наряду с высокими приборными качествами существует проблема доступности согласованных по параметру решетки подложек, что приводит к высокой плотности дислокаций в активных слоях. Одним из способов снижения плотности дислокаций является увеличение температуры роста зародышевых слоев. При росте нитридных гетероструктур на сапфировых подложках в качестве зародышевого слоя может быть использован AlN. Нитрид алюминия имеет значительно более высокую температуру разложения в вакууме по сравнению с GaN, что позволяет производить рост его пленок с низкими потоками аммиака при температурах выше 1000°C. Однако реализация этого способа менее эффективна в методе в МЛЭ, чем в МОГФЭ. Задача повышения ростовых температур в МЛЭ является актуальной и требует разработки и создания специализированных узлов оборудования. Требуемые условия были созданы на установке STE3N,

показано, что увеличение температуры и потока аммиака на начальном этапе роста снижают плотность дислокаций и увеличивают подвижность в слоях GaN.

На предыдущем этапе были разработаны и опробованы способы выращивания гетероструктур с пониженной плотности дислокаций с использованием экстремально высоких температур на начальных этапах роста.

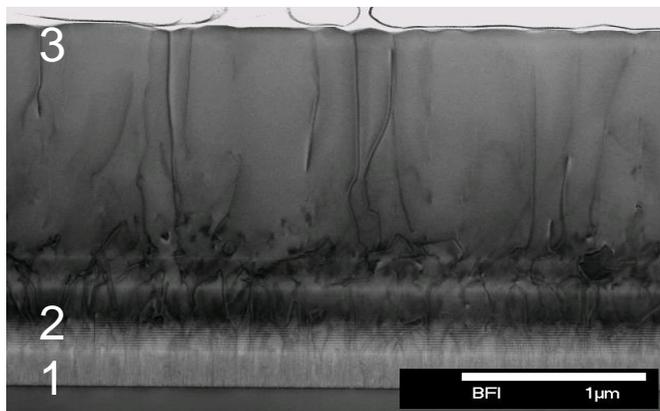
На данном этапе были поставлены следующие цели:

1. Снижение плотности дислокаций до $(1-5) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ с слоев AlGaN с содержанием Al более 50%, прозрачных в ультрафиолетовом диапазоне до 230нм.

2. Анализ информации об особенностях формирования слоев AlGaN с высоким содержанием алюминия.

Введение сурфактанта – вещества находящегося на ростовой поверхности и при этом не участвующего в росте пленки – меняет кинетику адатомов, увеличивая их поверхностную подвижность. При небольшом потоке аммиака и температуре выше 1000°C рост нитрида галлия невозможен, поэтому Ga может выступать в качестве сурфактанта для роста слоев AlN. Важными параметрами, определяющими механизмы роста и дефектообразования, являются эффективный поток компонентов растущей пленки и сурфактанта. При этом температура подложки влияет на скорость десорбции галлия с поверхности, что накладывает ограничение на поток галлия. Слои AlN выращенные с использованием сурфактанта имеют плотность дефектов ниже, чем слои выращенные без потока галлия при тех же условиях. Использование аperiodических сверхрешеток, градиентов слоев переменного состава и их комбинаций позволяет снизить плотность прорастающих дислокаций путем их загиба и объединения. В частности добавление эффективного потока галлия равному потоку алюминия при температуре подложки выше 1050°C обеспечивает сохранение скорости роста, что говорит о том, что атомы галлия не встраиваются в решетку AlN, при этом обеспечивает ускоренный переход в двумерный режим роста.

Схожий подход использован для выращивания гетероструктур на основе AlGaN прозрачных в ультрафиолетовом диапазоне. По изображениям гетероструктур AlN/Al_{0,7}Ga_{0,3}N полученным просвечивающей электронной микроскопией оценена плотность дислокаций в слое Al_{0,7}Ga_{0,3}N, прозрачном в УФ диапазоне при длине волны менее 230нм и непосредственно прилегающем к активной области, которая составила $(3-5) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$.



Изображение многослойной гетероструктуры AlN/сверхрешетка/AlGaN полученное с помощью просвечивающего электронного микроскопа; указаны слои и полные плотности дислокаций:

1 – AlN; $(3-4) \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$; 2 – SLS; 3 – AlGaN; $(3-5) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$

Установлено, что использование сурфактанта Ga при выращивании буферных слоев AlN толщиной более 200 нм при температуре до 1150°C на подложке сапфире, а затем выращивание переходных областей AlGaN, включая сверхрешетки, при температуре 900–920°C приводит к значительному улучшению свойств всей структуры.

Получены гетероструктуры AlN/AlGaN/GaN/AlGaN для мощных полевых транзисторов СВЧ диапазона с подвижностью электронов в двумерном электронном газе на 30% выше (до $2100 \text{ см}^2/\text{Вс}$) при их концентрации $(1.5-1.6) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2}$

Плотность дислокаций в слоях AlGaN с содержанием алюминия до 70 % (прозрачных в ультрафиолетовом диапазоне до 230 нм) снижена до значений $(3-5) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$

Полученные результаты будут использованы для дальнейшего снижения плотности дислокаций до $(1-2) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$ в слоях AlGaN, разработки методики оценки дефектности структуры AlN/AlGaN с использованием мозаичной теории и мультифрактального анализа, а также приборной апробации полученных результатов.

Цели 2016 года:

1. Разработка методик оценки дефектностью структуры AlN/AlGaN. Дефектная структура слоев нитридов выращенных на рассогласованных

подложках является основным негативным фактором при производстве приборов на их основе. Количественная оценка качества структур производимая по количеству дислокаций не всегда может быть использована для прогнозирования надежности и деградационных свойств прибора. Предлагается методика оценки структур с использованием мозаичной теории и мультифрактального анализа.

2. Приборная апробация полученных результатов. Апробация методов роста низкодислокационных слоев AlGaIn для солнечно слепых приемников (фотокаатодов). Содержание алюминия в буферном слое AlGaIn должно обеспечивать пропускание при длине волны более 240-250 нм. Для этого необходимо использовать буферные слои с содержанием алюминия не менее 70-80%.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08048 «р_офи_м».