

УДК 621.382.323

РОСТ НИТРИДНЫХ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР: ОТ ЭПИТАКСИИ БУФЕРНЫХ СЛОЁВ ДО ПАССИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ

© Т. В. Малин¹, Д. С. Милахин¹, В. Г. Мансуров¹, А. С. Кожухов¹,
Д. Ю. Протасов^{1,2}, И. Д. Лошкарев¹, К. С. Журавлев¹

¹Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13

²Новосибирский государственный технический университет,
630073, г. Новосибирск, просп. К. Маркса, 20

E-mail: mal-tv@isp.nsc.ru

Демонстрируется возможность выращивания методом аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии структурно-совершенных высокоомных слоёв GaN, позволяющих формировать гетероструктуры SiN/Al(GaN)/GaN для транзисторов с высокой подвижностью электронов. Определены условия выращивания слоёв GaN с гладкой морфологией поверхности (среднеквадратичное отклонение ~ 2 нм), пригодных для создания резких гетерограниц, и продемонстрирована возможность улучшения кристаллического совершенства слоя GaN за счёт использования буферного высокотемпературного (температура роста более 940 °С) слоя AlN. Показано, что *in situ* пассивация поверхности гетероструктур Al(GaN)/GaN ультратонким слоем SiN позволяет формировать нормально закрытые транзисторы с рекордно низкими значениями токового коллапса ($\sim 1\%$).

Ключевые слова: GaN, NH₃-МБЕ, Al(GaN)/GaN-HEMT, коллапс тока, пассивация.

DOI: 10.15372/AUT20200505

Введение. На данный момент гетероструктуры Al(GaN)/GaN с двумерным электронным газом (two dimensional electron gas, 2DEG) для изготовления нитридных транзисторов с высокой подвижностью электронов (high electron mobility transistor, HEMT) прочно обосновались среди материалов, используемых в СВЧ-электронике. Один из ключевых параметров, определяющих предельные характеристики СВЧ-транзисторов, — подвижность электронов в 2DEG. Основными механизмами, ограничивающими подвижность электронов, помимо неоднородности состава барьерного слоя AlGaIn, являются рассеяние на неупорядоченных поляризационных зарядах на гетерогранице вследствие её шероховатости и рассеяние электронов в деформационном поле вокруг дислокаций [1]. Таким образом, получение гладкой морфологии активного слоя GaN и формирование резкой гетерограницы Al(GaN)/GaN в совокупности с уменьшением плотности дислокаций в активном слое GaN — важные шаги на пути к достижению предельных электрофизических параметров гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) для HEMT.

Не менее важной задачей при росте ГЭС для HEMT на основе A₃-нитридов является получение буферного слоя GaN с высокими значениями пробивного напряжения. Как известно, слои GaN зачастую имеют *n*-тип проводимости из-за непреднамеренного легирования кислородом из остаточной атмосферы ростовой камеры [2]. Существует два подхода к решению данной задачи. Первый заключается в преднамеренной компенсации доноров акцепторами (углеродом или железом) [3, 4]. Второй, часто реализуемый в технологии газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений, основан на преднамеренном снижении структурного совершенства буферных слоёв GaN, в результате которого происходит увеличение количества краевых дислокаций и возрастание концентрации глубоких