

УДК 539.239: 537.312.5

DOI: 10.17223/00213411/63/1/84

И.А. ФИЛИППОВ¹, В.А. ШАХНОВ¹, Л.Э. ВЕЛИКОВСКИЙ², П.А. БРУДНЫЙ², О.И. ДЕМЧЕНКО³**ПЛАЗМЕННОЕ ТРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ InAlN/GaN HEMT ***

Проанализированы экспериментальные данные по плазменному травлению суб-100-нм затворных щелей в транзисторах с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе гетероструктур InAlN/GaN. Рассмотрено влияние параметров процесса плазменного травления на деградацию параметров InAlN/GaN HEMT. Показана возможность формирования затворной щели длиной 70 нм в InAlN/GaN HEMT с помощью реактивного ионного травления в Si₃N₄ толщиной 105 нм.

Ключевые слова: InAlN/GaN-транзистор с высокой подвижностью электронов, плазменное травление.

Введение

Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе гетероструктур (InAlGa)N/GaN обладают большим потенциалом для применения в мощных усилителях СВЧ-диапазона. HEMT на основе AlGaIn/GaN гетероструктур широко применяются в усилителях сантиметрового диапазона длин волн. В настоящее время разработкам HEMT на основе GaN для миллиметрового диапазона длин волн посвящено большое внимание в литературе. Уменьшение длины затвора (L_g) до нескольких десятков нанометров является основным способом увеличения рабочей частоты транзисторов, однако оно приводит к повышению напряженности электрического поля в канале и необходимости пропорционального уменьшения толщины широкозонного слоя из-за появления короткоканальных эффектов [1]. Гетероструктуры на основе InAlN/GaN и AlN/GaN имеют более высокую по сравнению с AlGaIn/GaN концентрацию электронов в 2DEG [2–5]. Благодаря этому, в гетероструктурах InAlN/GaN можно уменьшить толщину широкозонного слоя InAlN, сохраняя высокую плотность тока транзистора [6], что позволяет в HEMT на гетероструктурах InAlN/GaN получить высокие значения выходной мощности в мм-диапазоне длин волн [7]. Уменьшение L_g и расстояния затвор – канал влечет за собой необходимость изменения режимов электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ) и плазменного травления – ключевых процессов, используемых при формировании затворов.

Плазменное травление в технологии затворов GaN HEMT

Для повышения устойчивости металлизации затвора его нижнюю часть часто формируют через щель в Si₃N₄. В этом случае после осаждения Si₃N₄, методом ЭЛЛ формируется щель в резисте, а затем плазменным травлением рисунок в резисте переносится в Si₃N₄. Процесс плазменного травления должен обеспечивать максимальную анизотропию и селективность травления (соотношения скоростей травления резиста и Si₃N₄) при минимальной деградации электрофизических параметров гетероструктуры. Гетероструктуры с небольшим расстоянием затвор – канал в ходе плазменного травления оказываются под более сильным воздействием бомбардировки ионами плазмы, что приводит к деградации электрофизических параметров двумерного электронного газа (2DEG) в канале транзистора [8]. Основными методами травления, используемыми для формирования затворной щели в транзисторах, являются реактивное ионное травление (RIE) и реактивное ионное травление с индуктивно-связанной плазмой (ICP-RIE). Для очистки поверхности используется режим плазменного травления (PE). Для травления Si₃N₄ используются содержащие фтор газы: SF₆, CHF₃ и ряд других, в состав газовой смеси добавляют O₂, Ar, He или N₂ [9–11]. Содержащие углерод газы легко образуют полимеры на боковой поверхности травящейся щели, что способствует повышению анизотропии процесса травления, поэтому для предотвращения маскировки дна щели полимерами в газовую смесь часто добавляют кислород. Низкая селективность травле-

* Работа выполнена при финансовой поддержке ПНИЭР «Исследования и разработки технологии изготовления сверхвысокочастотных монолитных интегральных схем на основе гетероструктур InAlN/GaN для изделий космического применения» (Соглашение № 14.578.21.0240 от 29.09.2017 г.) УИР RFMEFI 57817X240.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>