

Омические контакты к эпитаксиальным слоям AlGa_n:Si с различным содержанием Al

М. В. Толстой¹, И. А. Ламкин², В. Н. Жмерик¹, С. А. Тарасов², А. В. Афанасьев²

¹ ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

тел: (921) 633-69-30, эл. почта: tolstoymv@gmail.com

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

тел: (812) 234-31-64, эл. почта: IALamkin@mail.ru

В последнее десятилетие активно разрабатываются светоизлучающие и фотоприемные приборы на основе широкозонных нитридных соединений третьей группы AlGa_n с рабочими длинами волн вплоть до глубокого ультрафиолетового (УФ) диапазона (200 нм и менее), что необходимо для проведения уникальных физических химических, медико-биологических исследований и развития новых технологий. Эти приборы существенно превосходят традиционные вакуумные приборы по рабочим напряжениям, размерам и возможностям регулировки спектрального диапазона. Однако в технологии приборных структур на основе соединений AlGa_n имеются не до конца решенные проблемы и получение низкоомных омических контактов к слоям n-Al_xGa_{1-x}N с высоким содержанием Al ($x > 0.4$) является одной из них.

В работе исследовалось влияние высокотемпературного отжига на вольт-амперные характеристики (ВАХ) многослойных металлических контактов к эпитаксиальным слоям Al_xGa_{1-x}N:Si с $x=0-0.6$. Слои с толщиной ~1 микрон выращивались методом молекулярно-пучковой эпитаксии с плазменной активацией азота на подложках с-Al₂O₃ в металл-обогащенных условиях. Для легирования слоев использовался твердотельный эффузионный источник кремния. Введение на начальных стадиях роста трехстадийного буферного слоя AlN и короткопериодной сверхрешетки AlN/AlGa_n позволило получить удовлетворительное структурное качество слоев, имевших плотность прорастающих дислокаций $10^9-10^{10} \text{ см}^{-2}$ и полупроводящие свойства при отсутствии легирования. В легированных слоях холловские измерения обнаружили концентрацию электронов $8 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Два типа контактов Ti/Al(50/50 нм) и Ti/Al/Ti/Au (20/120/50/120 нм) напылялись методами резистивного и электронно-лучевого напыления, соответственно, а затем с помощью фотолитографии формировались контактные площадки с размером 400 мкм×400 мкм и различным межэлектрод-

ным расстоянием (5-100 мкм) для измерений ВАХ. Отжиг контактов в температурном диапазоне (500-800°C) проводился с помощью либо резистивного нагрева, либо быстрого высокотемпературного отжига (RTA). Образцы отжигались как в вакууме, так и в атмосфере водорода.

При измерениях ВАХ образцов была обнаружена их сильная зависимость от содержания Al в слоях $Al_xGa_{1-x}N:Si$. Образцы со слоями с низким содержанием Al ($x=0-0.1$) демонстрировали для всех типов контактов омическое сопротивление (линейную ВАХ) без какого-либо отжига. Однако, для образцов с более высоким содержанием Al ($x=0.4$) в слоях наблюдалась нелинейность ВАХ, которая исчезала лишь после отжига в вакууме при температуре 750°C в течение 10 минут. Еще большая нелинейность ВАХ с напряжением отсечки ~5 В и относительно высокие значения дифференциального сопротивления при больших напряжениях были обнаружены для слоев с высоким содержанием Al ($x=0.6$) и обоими типами контактов. Эти отрицательные эффекты могли быть уменьшены в случае многослойного контакта Ti/Al/Ti/Au путем его отжига при температуре ~700°C в вакууме как с помощью резистивного нагрева, так и методом RTA в течение 10 мин и 30 с, соответственно. После этих операций наблюдалось уменьшение напряжения отсечки до 2-3В и заметное (примерно на порядок) снижение дифференциального сопротивления. Таким образом, были получены контакты к слоям $Al_{0.6}Ga_{0.4}N:Si$ с напряжением отсечки <3 В и прямым напряжением ~10 В при токе ~200 мА, что примерно соответствует значениям дифференциальных сопротивлений в светодиодных структурах УФ-диапазона.

Снижение контактного сопротивления после отжига объясняется, во-первых, снижением потенциального барьера для электронов из-за образования в приконтактных областях нитрида титана с меньшей работой выхода чем у металлического титана и, кроме того, это может быть связано с сужением данного потенциального барьера из-за увеличения проводимости полупроводника вблизи контакта вследствие ускорения таких диффузионных процессов в этой области как экстракция азота из полупроводника, образование металлических микрошунтов и др.