

## Формирование структур диодов Шоттки на GaN с применением ионной имплантации

*В настоящей работе рассмотрены технологические особенности формирования диодных структур на основе GaN. Проведен анализ влияния ионной имплантации Si<sup>+</sup> на сопротивление омических контактов диодных структур. Определены режимы имплантации и отжига при формировании ионно-легированных слоев с высокой степенью активации примеси.*

**Ключевые слова:** Нитрид галлия, ионная имплантация, кремний, омический контакт, фотонный отжиг, степень активации примеси.

В последние годы усилия ученых и разработчиков направлены на исследование возможности использования широкозонных полупроводников для создания силовых приборов.

Одним из таких широкозонных полупроводников является нитрид галлия (GaN). Этот материал обладает рядом уникальных физических свойств, включающих большую ширину запрещенной зоны, высокую скорость дрейфа носителей, высокое напряжение пробоя, высокую теплопроводность, высокую химическую и термическую стабильность. Поэтому GaN рассматривается как один из наиболее перспективных материалов для создания микроэлектронных приборов нового поколения. Использование ионной имплантации для создания таких приборов является уникальным методом, который дает возможность при достаточно низких температурах точно дозировать внедряемую примесь и создавать локальные легированные области.

В настоящей работе рассмотрены технологические особенности формирования диодных структур на GaN. Проведен сравнительный анализ вольт-амперных характеристик диодных структур, сформированных с применением операции ионной имплантации Si<sup>+</sup> и без нее. Представлены значения удельного контактного сопротивления омических контактов на основе системы металлизации Ti/Al/Ni/Au, сформированных на ионно-легированных слоях GaN.

В качестве исходных образцов использовались эпитаксиальные слои нитрида галлия, выращенные методом MOCVD (химическое осаждение из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений) на сапфировой подложке диаметром 2 дюйма. Толщина активного слоя составляет 2.5 мкм.



Рисунок 1 – Эпитаксиальная структура GaN.

Омические контакты диодных структур формировались на двух типах слоев GaN. В первом случае омический контакт формировался на поверхности высокоомного активного слоя GaN. Во втором случае для уменьшения контактного сопротивления до формирования омического контакта проводилась операция ионной имплантации  $\text{Si}^+$ . Ионное легирование кремнием осуществлялось на установке «Везувий-1» с энергией 50 кэВ и дозой  $10^{15} \text{см}^{-2}$  [1]. Имплантация ионов кремния проводилась при комнатной температуре под углом  $7^\circ$  к нормали для минимизации эффекта каналирования [2]. При таком режиме имплантации получен профиль с максимумом концентрации кремния  $10^{20} \text{см}^{-3}$  на глубине 0,1 мкм.

Для активации примеси использовался высокотемпературный фотонный отжиг. Отжиг проводился в течении 1 минуты в диапазоне температур от 1100 до 1300 °С в среде азота. В качестве защитных покрытий при отжиге использовались пленки  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Степень активации внедренной примеси достигает 100% при температуре отжига 1250 °С, подвижность при этом достигает значений  $40 \text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ .

При температуре отжига свыше 1250 °С наблюдалось полное разрушение защитных диэлектрических покрытий. При этом на поверхности GaN наблюдалось скопление жидкого галлия, что свидетельствует об испарении азота из объема полупроводника. Вследствие процессов дефектообразования на поверхности GaN при температурах отжига 1300 °С оказалось невозможным сформировать качественные омические контакты для проведения холловских измерений [3].



Рисунок 2 – Поверхность GaN после отжига при температуре 1300 °С.

На образцах, отожженных при температурах от 1100 до 1250 °С, были проведены холловские измерения. По результатам измерения были построены зависимости концентрации и подвижности от температуры отжига. Установлено что при увеличении температуры отжига увеличивается как концентрация носителей заряда, так и их подвижность [4]. Максимальное значение параметров показывают образцы, отожженные при температуре 1250 °С.

Омические контакты напылялись методом электронно-лучевого испарения системы металлов Ti/Al/Ni/Au с соответствующими толщинами 50/4000/20/150 нм. Контакты Шоттки площадью  $9 \cdot 10^{-4} \text{см}^2$  формировались на основе двухслойной системы металлизации Ni/Au и имеют толщины 20 нм и 150 нм соответственно.

Величина удельного контактного сопротивления контактов, сформированных на ионно-легированных слоях GaN, составляет  $4 \cdot 10^{-6} \text{Ом}\cdot\text{см}^2$ , что значительно меньше по сравнению с удельным контактным сопротивлением контакта на нелегированном GaN ( $9 \cdot 10^{-2} \text{Ом}\cdot\text{см}^2$ ).

После проведения всех технологических операций были получены две диодные структуры, прямые ветви вольт-амперных характеристик которых представлены на слайде. Из графика видно, что диодная структура с ионно-легированными слоями имеет меньшее прямое падение напряжения. Это связано с меньшим контактным сопротивлением омического контакта данной структуры.

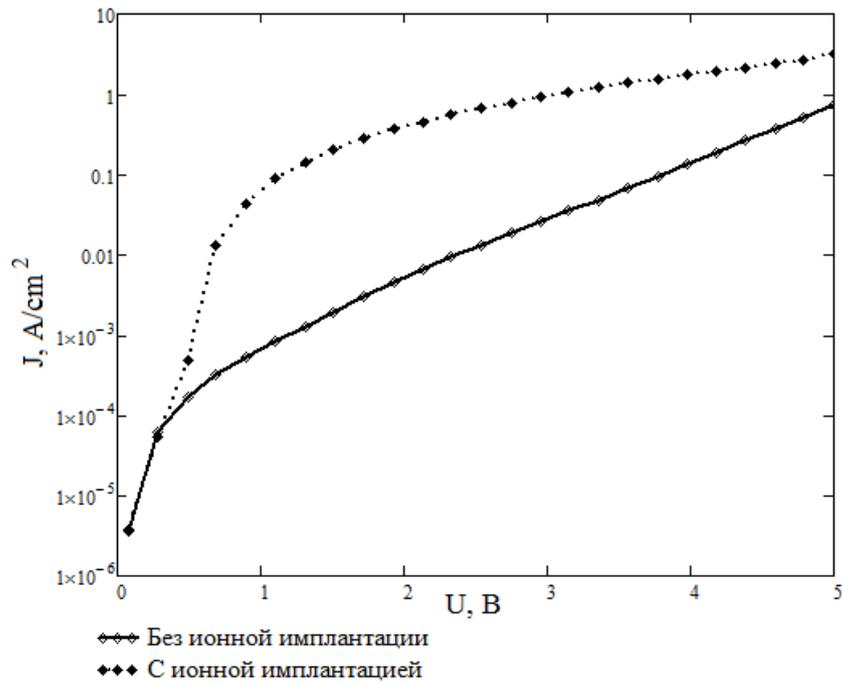


Рисунок 4 – Прямая ветвь вольт-амперной характеристики.

Таким образом, установлено, что диодные структуры, изготовленные с применением технологии ионной имплантации, имеют меньшее прямое падение напряжения, равное примерно 2 В при плотности тока 1 А/см<sup>2</sup>. Ионная имплантация кремния в GaN является перспективной технологией для формирования омических контактов для различных приборных структур на нитриде галлия.

#### Библиографический список

1. А.В. Желаннов, Д.Г.Федоров, Б.И.Селезнев. Исследование ионно-легированных слоев GaN.// Физические и физико-химические основы ионной имплантации, V всероссийская конференция и школа молодых ученых и специалистов, 27-30 октября 2014, с 25.
2. П.А. Карасев, А.Ю. Азаров, А.И. Титов, С.О. Кучеев. Плотность каскадов смещений кластерного иона: методика расчета и влияние на образование структурных нарушений в ZnO и GaN. // ФТП, том 43, вып. 6 (2009)
3. Bogus Boratyrnski, Wojciech Macherzynski, Andrzej Drozdziel, Krzysztof Pyszniak. Ion implanted ohmic contacts to AlGaIn/GaN structures// Journal of electrical engineering, Vol. 60, No. 5, 2009, 273–275.
4. James A. Fellows, Y.K. Yeo, Mee-YI Ryu, R.L.Hengehold. Electrical and optical activation studies of Si-implanted GaN // J. of Electronics Materials. 2005.V. 34. Issue 8. 1157-1164 PP 1157-1164.