

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОЭПИТАКСИАЛЬНОГО ПЕРЕХОДА AlGaIn/GaN

А.В.Желаннов, Б.И.Селезнев*, Д.Г.Федоров

APPLICATION OF ION IMPLANTATION IN THE FORMATION OF DEVICE STRUCTURES BASED ON THE HETEROEPIITAXIAL AlGaIn/GaN TRANSITION

A.V.Zhelannov, B.I.Seleznev*, D.G.Fedorov

ОАО «ОКБ-Планета», Великий Новгород

*Институт электронных и информационных систем НовГУ, Boris.Seleznev@novsu.ru

Рассматривается технологический цикл формирования диодных структур на основе гетероэпитаксиального перехода AlGaIn/GaN с применением технологии ионной имплантации через маску диоксида кремния разной толщины. Представлены распределения Si⁺ в AlGaIn, имплантированного через маску разной толщины. Показано уменьшение контактного сопротивления омических контактов на основе Ti/Al/Ni/Au с 1,2 Ом·мм до 0,8 Ом·мм при использовании пленки SiO₂ толщиной 50 нм по сравнению с образцами без ионного легирования. Барьерные контакты сформированы на основе системы металлизации Ni/Au. Представлены исследования вольтамперных характеристик диодных структур с разной глубиной залегания максимума имплантированной примеси. Показана перспективность использования технологии ионной имплантации для уменьшения контактного сопротивления диодных структур на основе гетероэпитаксиального перехода AlGaIn/GaN.

Ключевые слова: ионная имплантация, гетероэпитаксиальная структура AlGaIn/GaN, вольтамперная характеристика, диодная структура

The technological cycle of the formation of diode structures based on the AlGaIn/GaN heteroepi-epithelial transition using the technology of ion implantation through a mask of silicon dioxide of different thickness is considered. The distribution of Si⁺ in AlGaIn implanted through a mask of different thickness is presented. A decrease in the contact resistance of ohmic contacts on the basis of Ti/Al/Ni/Au from 1.2 Ω·mm to 0.8 Ω·mm is shown when using a 50 nm thick SiO₂ film compared to samples without ion doping. Barrier contacts are formed on the basis of the Ni/Au metalization system. Studies of the current-voltage characteristics of diode structures with different depths of the maximum implanted impurity are presented. The application perspectiveness of implantation technology to reduce the contact resistance of diode structures based on the AlGaIn/GaN heteroepitaxial transition is shown.

Keywords: ion implantation, AlGaIn / GaN heteroepitaxial structure, current-voltage characteristic, diode structure

В последние годы проявляется возрастающий интерес к приборам микроэлектронной техники на основе широкозонных гетероэпитаксиальных систем AlGaIn/GaN. Большая ширина запрещенной зоны и, соответственно, большие напряжения пробоя, высокая скорость насыщения электронов делают эти структуры чрезвычайно перспективными для мощных СВЧ-приборов [1].

В настоящей работе ставится задача уменьшения контактного сопротивления омических контактов диодных структур на основе AlGaIn/GaN, используя технологию ионной имплантации (ИИ) [2]. Для проведения экспериментов использовалась гетероэпитаксиальная структура AlGaIn/GaN, представленная на рис. 1.

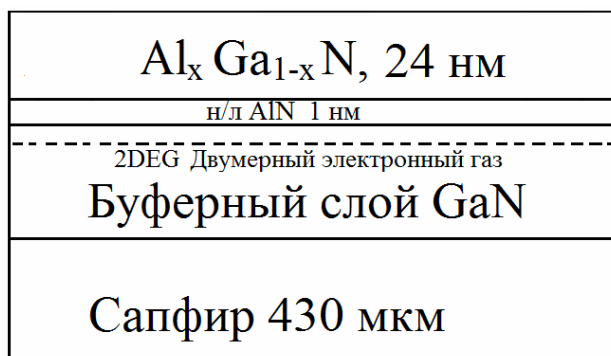


Рис. 1. Исходная гетероэпитаксиальная структура

Гетероэпитаксиальные структуры выращивались методом химического осаждения из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений на 2-дюймовых сапфировых подложках.

При использовании ИИ необходимо сформировать локальные области сильнолегированного материала. При этом необходимо, чтобы максимум распределения примеси приходился на уровень двумерного электронного газа, формируемого на границе раздела AlGaIn и GaN, т.е. на глубину 25 нм. Проведенные ранее работы [3] показывают, что при энергии легирования 50 кэВ максимум распределения Si⁺ в GaN приходится на глубину порядка 100 нм. Установка ионной имплантации не позволяет проводить имплантацию ионов с энергией меньше 50 кэВ, поэтому для уменьшения глубины залегания внедренной примеси предлагается использовать диэлектрические пленки диоксида кремния разной толщины, служащие маской при проведении процесса легирования.

Формирование приборных структур начиналось с изоляции активных областей. Для этого проводилось травление структуры в плазме на основе Cl₂/BCl₃/Ar на глубину порядка 100 нм. Травление выполнялось через фоторезистивную маску.

Создание сильнолегированных слоев проводилось с использованием ионного легирования кремния через предварительно сформированную маску диоксида кремния толщиной 50 и 100 нм. Для

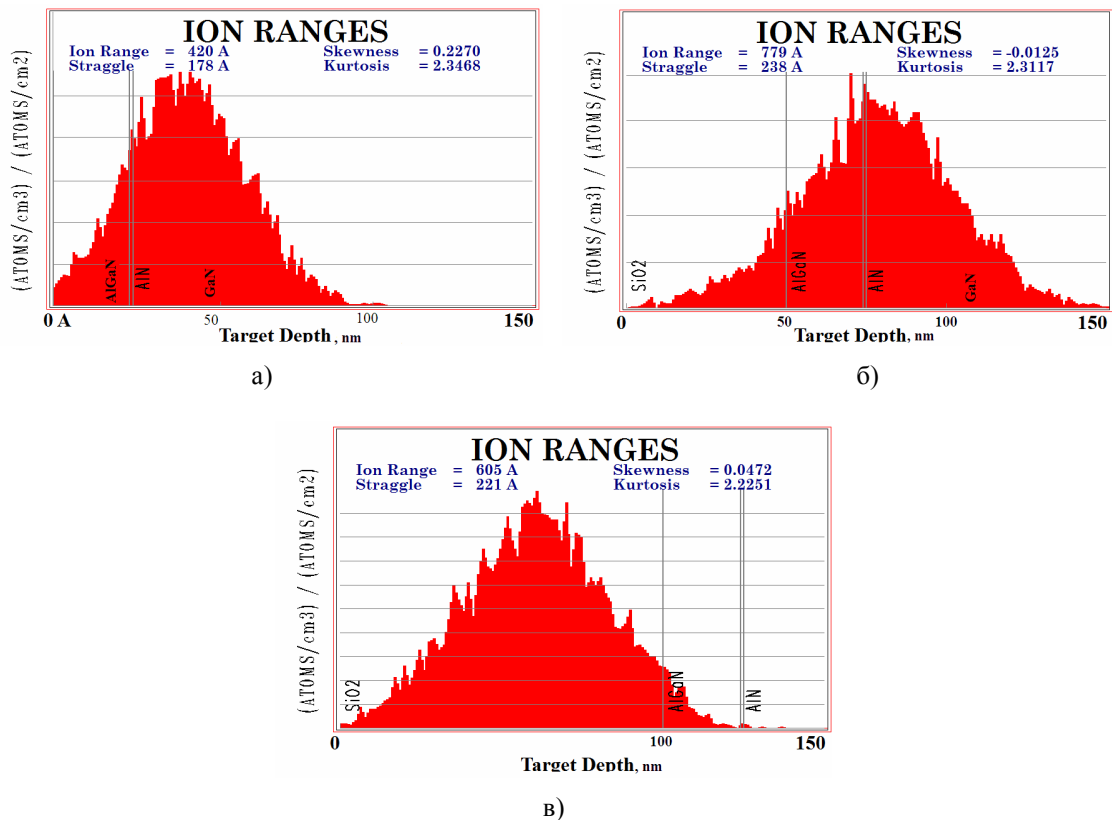


Рис.2. Расчет максимума распределения Si^+ в AlGaIn/GaN: а) без SiO_2 , б) через пленку SiO_2 толщиной 50 нм, в) через пленку SiO_2 толщиной 100 нм

определения толщины маски был осуществлен расчет средней проецированной длины пробега в системе AlGaIn, выполненной в программе расчета SRIM (рис.2) [4].

По данным моделирования максимум концентрации примеси в процессе ИИ через пленку SiO_2 толщиной 100 нм остается в пленке диоксида кремния. При толщине маски 50 нм максимум Si^+ в AlGaIn/GaN приходится на глубину 25 нм, а при проведении имплантации без использования маски максимум концентрации Si^+ располагается на глубине более 40 нм. Имплантация ионов Si^+ в полупроводник проводилась с энергией внедряемых ионов — 50 кэВ и дозой 10^{15} см^{-2} . Для предотвращения эффекта канализирования пластины располагаются под углом 7° к нормали падающего луча [5]. После легирования структуры подвергались высокотемпературному фотонному отжигу в среде азота с применением защитного покрытия из SiO_2 . Отжиг проводился в течение 1 минуты при температуре 1250°C [6].

На следующем этапе создания приборных структур формировалась система омических контактов к легированным областям. В качестве металлизации омических контактов использовалась система Ti/Al/Ni/Au. Для сравнения характеристик контакты также создавались к полупроводнику без процесса ИИ. Контакты формировались электронно-лучевым напылением с использованием технологии взрывной фотолитографии. После создания контактных площадок проводился отжиг металлизации при температуре 800°C в течение 30 секунд.

Оценка контактного сопротивления выполнялась с использованием метода длинной линии на тестовых структурах с расстоянием между контактами 30, 25, 20, 15, 10 и 5 мкм. Расчет контактного сопротивления омических контактов показал, что применение ионного легирования через пленку диоксида кремния толщиной 50 нм позволяет снизить контактное сопротивление с $1,2 \text{ Ом} \cdot \text{мм}$ до $0,8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}$.

Формирование контакта Шоттки диаметров 150 мкм осуществлялось с помощью электронно-лучевого напыления системы Ni/Au (0,07/0,3 мкм). Контакты формировались с помощью взрывной фотолитографии. Высота барьера и коэффициент неидеальности при этом составляли 0,66 и 1,37 эВ. Пассивация готовых структур выполнялась с помощью диэлектрической пленки на основе нитрида кремния (рис.3).

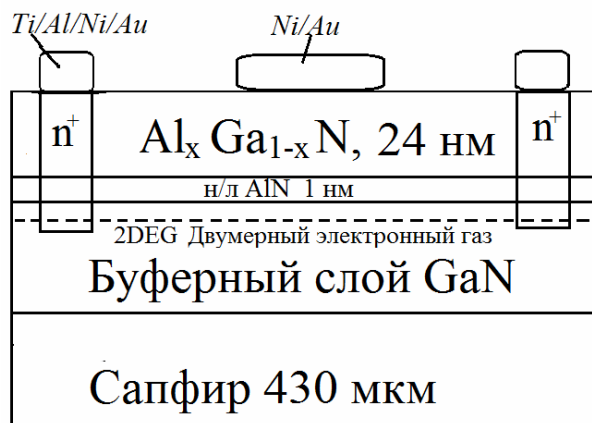


Рис.3. Диодная структура с ионно-легированным слоем

После изготовления диодных структур проведен анализ вольт-амперных характеристик. Прямые вольт-амперные характеристики структур представлены на рис.4.

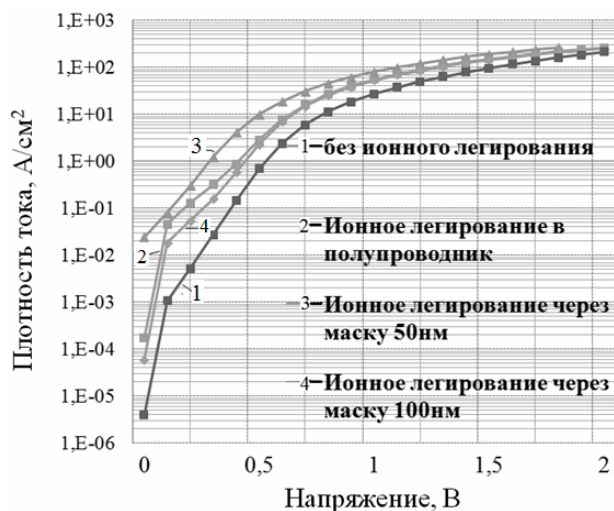


Рис.4. Прямые вольт-амперные характеристики диодных структур

При анализе характеристик определены значения прямого падения напряжения по уровню прямого тока 100 A/cm^2 .

Глубина залегания Si^+ в AlGaIn и прямое падение напряжения диодных структур при использовании разной толщины маски SiO_2 при проведении процесса ионной имплантации

	Без ИИ	Без SiO_2	SiO_2 50 нм	SiO_2 100 нм
R_p , нм		40	25	—
$U_{пр}$, В (при 100 A/cm^2)	1,58	1,33	1,1	1,40

Диодные структуры, легированные через маску 50 нм, имеют меньшее прямое падение напряжения, что обусловлено расположением максимума распределения имплантированной примеси на глубине, соответствующей залеганию двумерного электронного газа.

Таким образом, в работе рассмотрена технология формирования омических контактов к диодным структурам на основе гетероперехода AlGaIn/GaN. Показана перспективность использования ионной имплантации кремния для формирования омических контактов. Определены условия

формирования ионно-легированных слоев, при которых происходит уменьшение контактного сопротивления омических контактов. Представлены улучшенные прямые вольт-амперные характеристики диодных структур, сформированных с применением ионной имплантации.

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания, проект №3.3572.2017/ПЧ.

1. Торхов Н.А., Божков В.Г., Добуш И.М. и др. Мощные AlGaIn/GaN HEMT-транзисторы X- и Ku-диапазонов // Доклады ТУСУРа. 2015. №1(35). С.52-55.
2. Recht F., McCarthy L., Rajan S. et al. Nonalloyed ohmic contacts in AlGaIn/GaN HEMTs by ion implantation with reduced activation annealing temperature // IEEE Electron Dev. Lett. 2006. Vol.27. №4. P.205-207.
3. Федоров Д.Г., Селезнев Б.И., Желаннов А.В. Применение технологии ионной имплантации для формирования приборов на основе GaN // Мат. IX Междуна. науч.-техн. конф. «Микро- и нанотехнологии в электронике». Нальчик, 2017. С.411-414.
4. <http://www.srim.org/> (дата обращения: 04.03.2019).
5. Карасев П.А., Азаров А.Ю., Титов А.И., Кучеев С.О. Плотность каскадов смещения кластерного иона: методика расчета и влияние на образование структурных нарушений в ZnO и GaN // ФТП. 2009. Т.43. Вып.6. С.721-729.
6. Селезнев Б.И., Москалев Г.Я., Федоров Д.Г. Фотонный отжиг имплантированных кремнием слоев нитрида галлия // ФТП. 2016. Т.50. Вып. 6. С.848-853.

References

1. Torkhov N.A., Bozhkov V.G., Dobush I.M. et al. Moshchnye AlGaIn/GaN HEMT-tranzistory X- i Q-diapazonov [Powerful AlGaIn/GaN NEMT Transistors of X - and Q- bands]. Proc. of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 2015, no. 1(35), pp.52-55.
2. Recht F., McCarthy L., Rajan S. et al. Nonalloyed ohmic contacts in AlGaIn/GaN HEMTs by ion implantation with reduced activation annealing temperature. IEEE Electron Dev. Lett, 2006, vol.27, no. 4, pp. 205-207.
3. Fedorov D.G., Seleznev B.I., Zhelannov A.V. Primenenie tekhnologii ionnoi implantatsii dlia formirovaniia priborov na osnove GaN [Application of ion implantation technology to form GaN-based devices]. Proc. of IX International Scientific and Technical Conference "Micro-and Nanotechnologies in Electronics". Nalchik, 2017, pp. 411-414.
4. Available at: <http://www.srim.org/> (accessed: 04.03.2019).
5. Karasev P.A., Azarov A.Iu., Titov A.I., Kucheev S.O. Plotnost' kaskadov smeshcheniia klaster'nogo iona: metodika rascheta i vliianie na obrazovanie strukturnykh narushenii v ZnO i GaN [Density of cluster ion displacement cascades: calculation method and influence on the formation of structural disturbances in ZnO and GaN], FTE, 2009, vol. 43, issue.6, pp.721-729.
6. Seleznev B.I., Moskaev G.Ia., Fedorov D.G. Fotonnii otzhig implantirovannykh kremniem sloev nitrída galliia [Photonic annealing of silicon-implanted gallium nitride layers], FTE, 2016, vol. 50, iss.6, pp.848-853.