

ПРИМЕНЕНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ АРГОНА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖПРИБОРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В AlGaN/AlN/GaN HEMT-СТРУКТУРАХ

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

APPLICATION OF IONIC IMPLANTATION OF ARGON FOR FORMING INTER-DEVICE INSULATION IN AlGaN/AlN/GaN HEMT-STRUCTURES

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

*ОАО «ОКБ-Планета», Великий Новгород, FedorovDG@okbplaneta.ru

**Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, Boris.Seleznev@novsu.ru

Рассматривается технологический цикл формирования межприборной изоляции на гетероэпитаксиальной структуре AlGaN/AlN/GaN, выращенной на подложке кремния с применением технологии ионной имплантации и травления мезы. Проведен расчет профиля Ar⁺⁺ в гетероэпитаксиальной структуре AlGaN/AlN/GaN, а также с помощью программы TRIM получено распределение дефектов в гетероэпитаксиальной структуре. Представлено распределение аргона в гетероэпитаксиальных слоях AlGaN/AlN/GaN после проведения ионной имплантации. Было определено, что для обеспечения надежной изоляции ионной имплантацией необходимо использовать дважды ионизированный аргон с энергией 125 кэВ. Проведены измерения сопротивления межприборной изоляции, сформированной методом ионной имплантации и травлением мезы. Получена зависимость сопротивления межприборной изоляции от дозы внедренной примеси аргона. Показана перспективность использования технологии ионной имплантации для создания межприборной изоляции на AlGaN/AlN/GaN.

Ключевые слова: ионная имплантация, гетероэпитаксиальная структура AlGaN/AlN/GaN, межприборная изоляция, меза-изоляция

Для цитирования: Федоров Д.Г., Боченков Г.М., Желаннов А.В., Селезнев Б.И. Применение ионной имплантации аргона для формирования межприборной изоляции в AlGaN/AlN/GaN HEMT-структурах // Вестник НовГУ. Сер.: Технические науки. 2021. №4(125). С. 60-63. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4\(125\).60-63](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4(125).60-63)

A technological cycle of the formation of inter-device insulation on a heteroepitaxial AlGaN/AlN/GaN structure grown on a silicon substrate using the technology of ion implantation and mesa etching is considered. The Ar⁺⁺ profile in the AlGaN/AlN/GaN heteroepitaxial structure has been calculated, and the distribution of defects in the heteroepitaxial structure has been obtained using the TRIM program. The distribution of argon in heteroepitaxial layers of AlGaN/AlN/GaN after ion implantation is presented. It has been determined that to ensure reliable insulation by ion implantation, it is necessary to use double ionized argon with an energy of 125 keV. The resistance of the inter-device insulation formed by ion implantation and mesa etching has been measured. The dependence of the inter-device insulation resistance on the dose of the introduced argon impurity has been obtained. It is shown that the use of ion implantation technology is promising for creating inter-device insulation on AlGaN/AlN/GaN.

Keywords: ion implantation, heteroepitaxial AlGaN/AlN/GaN structure, inter-device insulation, mesa isolation

For citation: Fedorov D.G., Bochenkov G.M., Zhelannov A.V., Seleznev B.I. Application of ionic implantation of argon for forming inter-device insulation in AlGaN/AlN/GaN HEMT-structures // Vestnik NovSU. Issue: Engineering Sciences. 2021. №4(125). P. 60-63. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4\(125\).60-63](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2021.4(125).60-63)

1. Введение

Гетероструктуры на основе AlGaN/AlN/GaN обладают сочетанием уникальных параметров, таких как высокое напряжение пробоя, химическая и термическая стабильность, высокая теплопроводность и скорость дрейфа электронов. Все это делает данные структуры перспективными для изготовления микроприборов нового поколения. Кроме того, гетероструктуры AlGaN/AlN/GaN, выращенные на подложках Si, имеют большие размеры и меньшую стоимость.

При изготовлении приборов на основе AlGaN/AlN/GaN существуют задачи, связанные с формированием надежной межприборной изоляции. На практике для изоляции структур на пластине обычно используют травление мезаструктуры. Вследствие ограниченных возможностей жидкост-

ного травления нитридных полупроводников основным способом формирования мезаизоляции является «сухое» травление. Основным методом, применяемым для «сухого» травления эпитаксиальных структур AlGaN/GaN, является реактивно-ионное травление. Однако существуют недостатки процесса травления мезы, связанные с профилем боковых стенок. Использование травления в качестве межприборной изоляции может привести к контакту между металлизацией затвора и слоем двумерного электронного газа на боковой стенке мезы, что повлечет дополнительный ток утечки затвора и снизит напряжение пробоя. Кроме того, вертикальные стенки мезы могут быть причиной разрыва затворной субмикронной металлизации, что может приводить к выходу из строя приборной структуры (рис. 1а) [1].

С другой стороны, в последнее время в технологии создания приборов на основе III-нитридов, можно

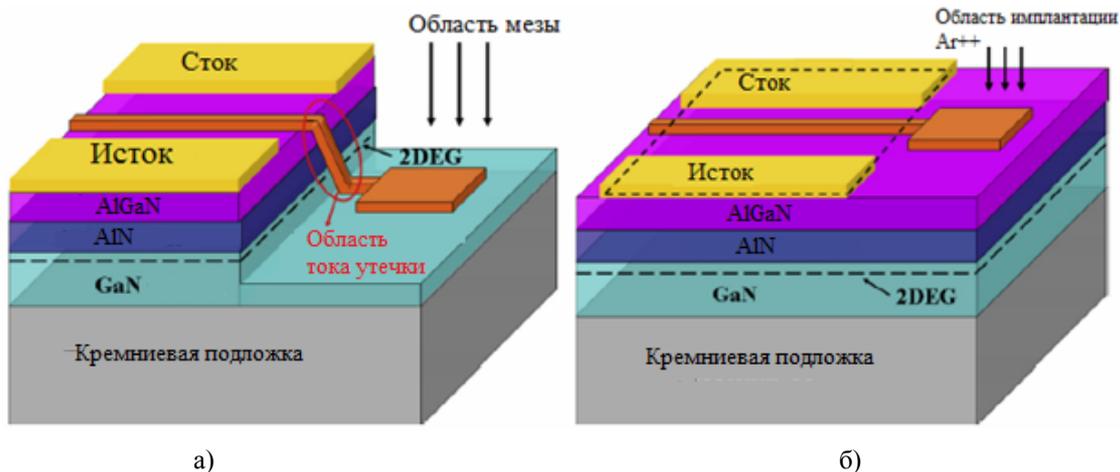


Рис.1. Транзисторная структура с межприборной изоляцией, сформированная травлением мезы (а) и ионной имплантацией (б)

уверено выделить тенденцию использования ионной имплантации примесей, не относящихся к легирующим. В данном случае используются эффекты накопления и трансформации дефектов для создания локальных областей полупроводника, обладающих требуемыми свойствами. Технология планарной ионной имплантации позволяет избежать проблемы, связанной с покрытием ступеньки при формировании субмикронной металлизации затвора на краю мезы (рис.1б) [2].

В работах [3,4] для формирования высокоомных слоев на поверхности гетероструктуры AlGaN/AlN/GaN использовалась ионная имплантация различными ионами (H^+ , He^+ , N^+ , F^+ , Mg^+ и Ar^+). В настоящем исследовании для формирования изоляции ионной имплантацией использовались ионы аргона. Предполагается, что при имплантации тяжелых ионов вносится больше дефектов и нарушений в решетку полупроводника при одинаковой дозе легирования по сравнению с ионами легких примесей [5].

2. Методика эксперимента

В настоящей работе рассмотрены различные методы формирования межприборной изоляции. Показаны способы изоляции с применением технологии ионной имплантации и травлением мезы.

В качестве исследуемых образцов использовались гетероструктуры AlGaN/AlN/GaN, выращенные методом MOCVD. Схематичное изображение гетероструктуры AlGaN/AlN/GaN представлено на рис.2.



Рис.2. Схематичное изображение экспериментальной гетероструктуры AlGaN/AlN/GaN

Для оценки сопротивления на поверхности AlGaN/AlN/GaN были изготовлены тестовые структуры с омическими контактами, разделенными полупроводником с известными размерами. Омические контакты формировались методом электронно-лучевого напыления системы металлов Ti/Al/Ni/Au [6].

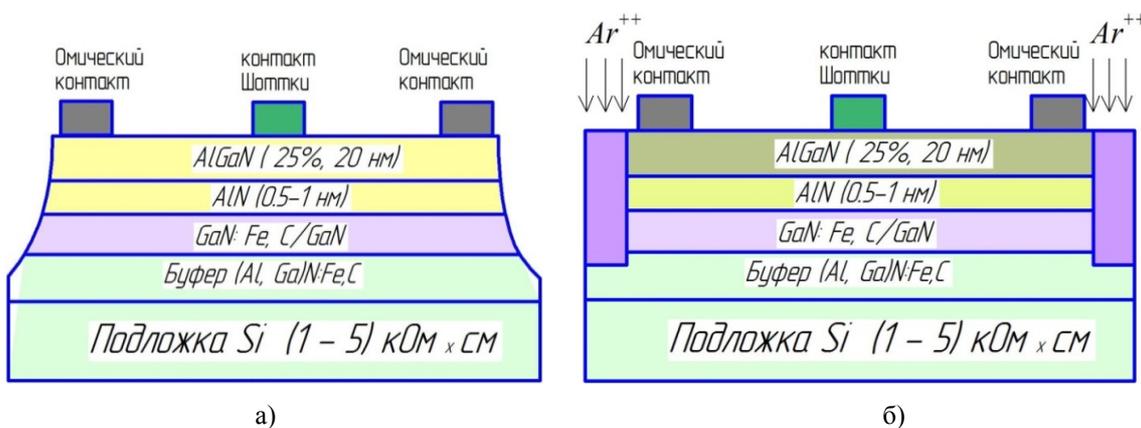
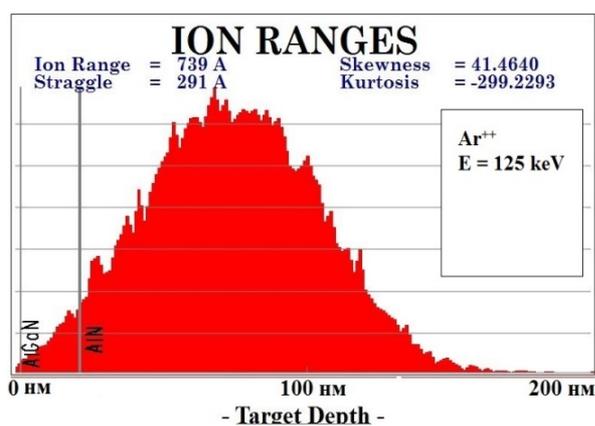
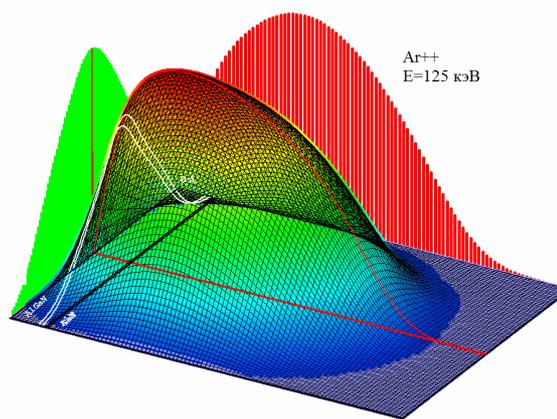


Рис.3. Изоляция структуры, сформированная: а) травлением мезы, б) ионной имплантацией



a)



б)

Рис.4. Расчет профиля аргона в эпитаксиальной структуре AlGaIn/AlN/GaN (а), распределение дефектов (б)

Мегаизоляция формируется путем реактивно-ионного травления на установке, оснащенной источником индуктивно-связанной плазмы в хлорсодержащей среде на основе газовой смеси $\text{Cl}_2/\text{BCl}_3/\text{Ar}$ с расходами газов 20/60/10 сссм соответственно. Травление проводилось при мощности источника индуктивно-связанной плазмы 40 Вт и высокочастотной мощности 80 Вт через маску фоторезиста. Для обеспечения надежной изоляции травление проводилось до буферного слоя на глубину 130 нм. Схематичное изображение гетероструктуры AlGaIn/AlN/GaN с сформированной мегаизоляцией представлено на рис.3а. Сопротивление изоляции составило 60 кОм. Формирование межприборной изоляции методом ионной имплантации проводилось на установке ионного легирования «Везувий-1».

3. Результаты экспериментальных исследований и расчетов

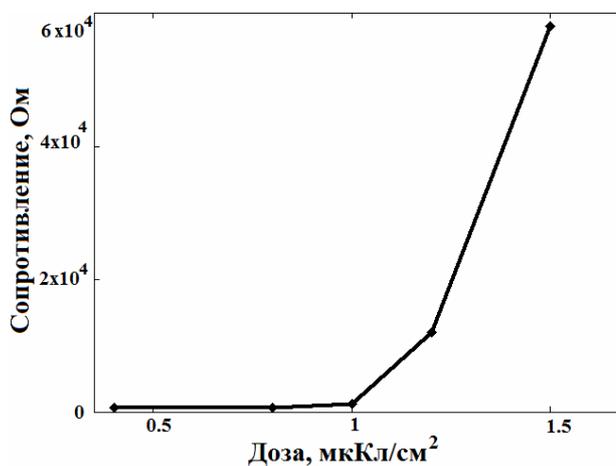
Для определения режима ионной имплантации был проведен расчет профиля аргона в эпитаксиальной структуре AlGaIn/AlN/GaN и распределение дефектов с помощью программы TRIM (рис.4). Выбор данной программы в качестве инструмента для моделирования процесса ионной имплантации объясняется простотой и вместе с тем достаточной корректностью описания процесса [7]. По данным расчета энергия внедряемых ионов составила 125 кэВ.

Для формирования межприборной изоляции методом ионной имплантации были проведены процессы с различной дозой имплантации при энергии внедряемых ионов Ar^{++} 125 кэВ. Области имплантации гетероструктуры AlGaIn/AlN/GaN для формирования изоляции схематично показаны на рис.3б.

Результаты измерения сопротивления изоляции

№ режима	Доза, мкКл/см ²	Сопротивление, Ом
1	0,4	640
2	0,8	720
3	1	1200
4	1,2	12000
5	1,5	58000

Результаты измерений приведены в таблице. По данным результатам был построен график зависимости сопротивления от дозы имплантации. График представлен на рис.5.

Рис.5. График зависимости сопротивления изоляции от дозы имплантации Ar^{++}

Из рис.5 видно, что с ростом дозы внедряемой примеси экспоненциально увеличивается сопротивление изоляции, и максимальное значение сопротивления изоляции составило 58 кОм при дозе имплантации 1,5 мкКл/см². Предполагается, что дальнейшее увеличение дозы приведет к значительному росту межприборной изоляции, но это требует дополнительных дорогостоящих образцов для исследования.

4. Заключение

При изготовлении приборов на основе AlGaIn/AlN/GaN мегаизоляция обеспечивает надежную межприборную изоляцию с высоким сопротивлением, однако использование данного метода имеет проблемы, связанные с покрытием ступеньки при формировании металлизации, и риск контакта металлизации с двумерным электронным газом.

При использовании ионной имплантации аргона для формирования межприборной изоляции также достигается высокое значение сопротивления изоляции, кроме того применение ионной имплантации

решает проблему покрытия ступеньки при формировании субмикронной металлизации затвора на краю мезы и обеспечивает планарность структуры. Для дальнейшего увеличения сопротивления межприборной изоляции при использовании ионной имплантации аргона необходимо провести оптимизацию режима имплантации.

1. Chiu H., Chen C., Kao H. et al. Sidewall defects of AlGaIn/GaN HEMTs evaluated by low frequency noise analysis // *Microelectronics Reliability*. 2013. Vol.53(12). P.1897-1900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2013.06.015>
2. Werquin M., Vellas N., Guhel Y. et al. First results of AlGaIn/GaN HEMTs on sapphire substrate using an argon-ion implant isolation technology // *Microw. Opt. Technol. Lett.* 2005. Vol.46(4). P.311-315. DOI: <https://doi.org/10.1002/mop.20974>
3. Kasai H., Ogawa H., Nishimura T. et al. Nitrogen ion implantation isolation technology for normally-off GaN MISFETs on p-GaN substrate // *Phys. Status Solidi C*. 2014. Vol.11 (3-4). P.914-917. DOI: <https://doi.org/10.1002/pssc.201300436>
4. Taube A., Kaminska E., Kozubal M. et al. Ion implantation for isolation of AlGaIn/GaN HEMTs using C or Al // *Phys. Status Solidi A*. 2015. Vol.212 (5). P.1162-1169.
5. Niketa S., Sandeep K. D., Nidhi C. Refined isolation techniques for GaN-based high electron mobility transistors // *Materials science in semiconductor processing*. 2018. Vol.87. P.195-201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.05.015>
6. Желаннов А.В., Ионов А.С., Селезнев Б.И., Федоров Д.Г. Омические контакты к приборным структурам на основе нитрида галлия // *Физика и техника полупроводников*. 2020. Т.54. №3. С.246-250. DOI: <https://doi.org/10.21883/FTP.2020.03.49028.9224>

водников. 2020. Т.54. №3. С.246-250. DOI: <https://doi.org/10.21883/FTP.2020.03.49028.9224>

7. Interactions of ions with matter [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://srim.org/> (дата обращения: 12.10.2021).

References

1. Chiu H., Chen C., Kao H. et al. Sidewall defects of AlGaIn/GaN HEMTs evaluated by low frequency noise analysis. *Microelectronics Reliability*, 2013, vol. 53, pp. 1897-1900. doi: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2013.06.015>
2. Werquin M., Vellas N., Guhel Y., Ducatteau D., Bou-dart B., Germain M. First results of AlGaIn/GaN HEMTs on sapphire substrate using an argon-ion implant isolation technology. *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 2005, vol. 46, no. 4, pp. 311-315. doi: <https://doi.org/10.1002/mop.20974>
3. Kasai H., Ogawa H., Nishimura T. et al. Nitrogen ion implantation isolation technology for normally-off GaN MISFETs on p-GaN substrate. *Phys. Status Solidi C.*, 2014, vol. 11 (3-4), pp. 914-917. doi: <https://doi.org/10.1002/pssc.201300436>
4. Taube A., Kaminska E., Kozubal M. et al. Ion implantation for isolation of AlGaIn/GaN HEMTs using C or Al. *Phys. Status Solidi A*, 2015, vol. 212, no. 5, pp. 1162-1169.
5. Niketa S., Sandeep K. D., Nidhi C. Refined isolation techniques for GaN-based high electron mobility transistors. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2018, vol. 87, pp. 195-201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2018.05.015>
6. Zhelannov A.V., Ionov A.S., Seleznev B.I., Fedorov D.G. Омические контакты к приборным структурам на основе нитрида галлия [Ohmic contacts to device structures based on gallium nitride]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov — Physics and Technology of Semiconductors*, 2020, vol. 54, no. 3, pp. 246-250. doi: <https://doi.org/10.21883/FTP.2020.03.49028.9224>
7. Interactions of ions with matter. Available at: <http://srim.org/>. (accessed 12.10.2021)