



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-24-1-5-12>

УДК 539.25; 538.91; 538.97

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОСАЖДЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ МЕТОДОМ ICP CVD НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ ТОКИ УТЕЧКИ В AlGaN/GaN HEMT

С. А. ДЕМИДОВИЧ^{1,2}, А. Д. ЮНИК¹, Н. С. КОВАЛЬЧУК¹, Я. А. СОЛОВЬЁВ¹

¹ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» (Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Исследовано влияние технологических параметров осаждения диэлектрических пассивирующих пленок методом ICP CVD (соотношение газов, мощность индуктивно-связанной плазмы, температура подложки, рабочее давление) на структурные и электрофизические свойства слоев AlGaN-поверхности. Показано, что предварительная плазмохимическая обработка AlGaN в кислородной среде приводит к формированию контролируемого оксидного интерфейса, снижающего поверхностные состояния и подавляющего токи утечки сток-исток в закрытом состоянии на два-три порядка. Установлена корреляция между режимами осаждения нитрида кремния (SiN) и степенью плазменного повреждения AlGaN/GaN-гетероструктур. Для минимизации деградации предложен композитный диэлектрик на основе кислородсодержащего нитрида кремния (SiON). Ключевым результатом является разработка комбинированного подхода: предварительная модификация поверхности AlGaN кислородной плазмой с последующим осаждением SiON в мягком режиме ICP CVD (мощность ≤ 300 Вт, давление ≥ 14 Па). Полученные результаты демонстрируют перспективность комбинированного подхода (предварительная модификация поверхности + управляемая пассивация) для минимизации деградации электрофизических свойств HEMT-структур.

Ключевые слова: оксинитрид кремния, плазма высокой плотности, AlGaN/GaN HEMT, поверхностные утечки, осаждение из газовой фазы.

Благодарность. Научные исследования выполнены в рамках гранта Президента Республики Беларусь.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Влияние технологических параметров осаждения диэлектрических слоев методом ICP CVD на поверхностные токи утечки в AlGaN/GaN HEMT / С. А. Демидович [и др.] // Доклады БГУИР. 2026. Т. 24, № 1. С. 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-24-1-5-12>.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DEPOSITION OF DIELECTRIC LAYERS BY THE ICP CVD METHOD ON SURFACE LEAKAGE CURRENTS IN AlGaN/GaN HEMT

SERGEY DEMIDOVICH^{1,2}, ANDREY YUNIK¹, NATALLIA KOVALCHUK¹,
JAROSLAV SOLOVJOV¹

¹JSC “INTEGRAL” – Manager Holding Company “INTEGRAL” (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The influence of technological parameters of deposition of dielectric passivating films by the ICP CVD method (gas ratio, inductively coupled plasma power, substrate temperature, operating pressure) on the structural and electrophysical properties of AlGaN surface layers was studied. It is shown that preliminary plasma-chemical treatment of AlGaN in an oxygen environment leads to the formation of a controlled oxide interface, which reduces surface states and suppresses drain-source leakage currents in the closed state by two to three orders of magnitude. A correlation was established between silicon nitride (SiN) deposition conditions and the degree of plasma-induced damage to AlGaN/GaN heterostructures. To minimize degradation, a composite dielectric based on oxygen-containing silicon nitride (SiON) is proposed. The key result is the development of a com-

bined approach: preliminary modification of the AlGa_N surface with oxygen plasma followed by SiON deposition in a low-power ICP CVD regime (power ≤ 300 W, pressure ≥ 14 Pa). The obtained results demonstrate the promise of the combined approach (surface pre-modification + controlled passivation) for minimizing the degradation of the electrophysical properties of HEMT structures.

Keywords: silicon oxynitride, high-density plasma, AlGa_N/Ga_N HEMT, surface leakage, chemical vapor deposition.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflicts of interests.

Gratitude. This research was supported by a grant from the President of the Republic of Belarus.

For citation. Demidovich S., Yunik A., Kovalechuk N., Solovjov Ja. (2026) The Influence of Technological Parameters of Deposition of Dielectric Layers by the ICP CVD Method on Surface Leakage Currents in AlGa_N/Ga_N HEMT. *Doklady BGUIR*. 24 (1), 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-24-1-5-12> (in Russian).

Введение

Гетероструктуры AlGa_N/Ga_N служат основой для создания высокочастотных и высоковольтных устройств благодаря уникальным свойствам двумерного электронного газа (2DEG). Высокая подвижность носителей заряда (~ 2000 см²/(В·с)) и их концентрация ($\sim 10^{13}$ см⁻²) обеспечивают рекордные значения плотности тока насыщения и выходной мощности [1]. Однако ключевыми ограничениями надежности Ga_N-приборов, таких как транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT), остаются коллапс тока и высокий уровень токов утечки. Эти явления напрямую связаны с дефектами поверхности AlGa_N-слоя, включая неконтролируемое окисление и захват носителей заряда в поверхностных состояниях. Отсутствие пассивации поверхности AlGa_N, а также наличие исходного оксидного слоя существенно влияют на мощность и надежность Ga_N-HEMT [2].

Исследования демонстрируют, что захват и релаксация электронов в поверхностных состояниях зависят от напряженности электрического поля, температуры и ширины запрещенной зоны интерфейса, что объясняет зависимость тока утечки от внешних условий [3]. При этом незначительные вариации параметров пассивации поверхности, таких как состав, толщина и других свойств покрытий (или изменение условий осаждения), приводят к существенному росту утечек и снижению напряжения пробоя в выключенном состоянии [4]. Например, наличие дефектов на границе AlGa_N/диэлектрик может создавать пути для туннелирования носителей, усиливая токи утечки [5].

Для подавления деградационных процессов предложены различные пассивирующие материалы, включая SiO₂ [6–8], Si₃N₄ [9–12], SiON [13], Al₂O₃ [14], HfO₂ [15] и др. Часто применяют многослойные структуры, где тонкий (~ 10 нм) буферный слой минимизирует повреждение поверхности при осаждении [16–18]. Тем не менее большинство существующих подходов не обеспечивают комплексного решения: часть методов снижает ток утечки, но не обеспечивает надежность прибора из-за низкого качества пленки, другие не устанавливают четкой корреляции между параметрами диэлектрика (толщина, плотность, состав) и характеристиками прибора.

Цель исследований – получение процесса пассивации поверхности AlGa_N/Ga_N HEMT путем химического осаждения из газовой фазы (CVD) методом индуктивно-связанного плазменного осаждения (ICP), направленного на одновременное подавление коллапса тока и снижение токов утечки. В рамках исследования анализируются ключевые технологические параметры (мощность плазмы, температура подложки, соотношение газовых прекурсоров) и их влияние на электрофизические свойства диэлектрических пленок. Особое внимание уделяется минимизации дефектности интерфейса AlGa_N/диэлектрик и стабилизации поверхностных состояний.

Методика проведения эксперимента

Исследуемая эпитаксиальная структура гетероструктуры AlGa_N/Ga_N включала сверху вниз слой Ga_N толщиной 2–3 нм, нелегированный барьер Al_{0,25}Ga_{0,75}N толщиной 22 нм, спейсер AlN (1–2 нм), каналный слой Ga_N толщиной 330 нм и буфер Ga_N толщиной 4,85 мкм на подложке Si (рис. 1). Процесс изготовления приборов начался с формирования изолированных областей мезы методом ICP в газовой среде BCl₃/Cl₂. Затем были сформированы омические контакты из металлических слоев Ti/Al/Ni/Au (20/120/40/40 нм) с последующим быстрым термическим отжигом при 720 °C в течение 60 с в атмосфере азота N₂. Затворные электроды изготавливались

из слоев Ni/Au: 30/300 нм. Омические контакты и затворные электроды формировались с помощью электронно-лучевого испарения и метода фотолитографии с удалением резиста (lift-off). Перед осаждением диэлектрика поверхность гетероструктуры обрабатывалась кислородной плазмой в течение 10 мин при давлении 40 Па для улучшения качества интерфейса.



Рис. 1. Общий вид поперечного сечения гетероструктуры HEMT
Fig. 1. General cross-sectional view of the HEMT heterostructure

Тестовая структура HEMT имела следующие параметры:

- длина затвора – 2,0 мкм;
- расстояние между истоком и стоком – 14,5 мкм;
- расстояние между затвором и стоком – 8,0 мкм;
- ширина затвора – 3,8 мкм.

Электрические характеристики измерялись с помощью анализатора силовых приборов Keysight B1505A. Осаждение диэлектрических пленок выполнялось методом CVD в ICP-реакторе установки STE ICP200D (SemiTEq, Санкт-Петербург). Для оценки параметров диэлектрика использовались кремниевые подложки КДБ-12 диаметром 100 мм. Толщина пленки и показатель преломления измерялись спектральным эллипсометром ЭМ-6022. Механические напряжения определялись с помощью хроматического датчика белого света (CWL-сенсора). Изображения срезов тестовых образцов исследовались методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе S-4800. Морфология поверхности оценивалась с помощью атомно-силового микроскопа NTEGRA Prima.

Результаты исследований и их обсуждение

В изготовленных тестовых образцах AlGaIn/GaN-гетероструктур начальный уровень тока утечки сток-исток в закрытом состоянии (I_{DSS}) составил от 5 до 10 мкА при напряжениях $V_{GS} = -5$ В и $V_{DS} = 100$ В. Для улучшения состояния поверхности AlGaIn была применена предварительная плазменная обработка в средах азота (N_2) и кислорода (O_2). Наилучшие результаты продемонстрировала обработка кислородной плазмой в течение 10 мин при давлении 40 Па: уровень тока утечки сток-исток I_{DSS} снизился до 10–100 нА ($V_{DS} = 100$ В).

В качестве исходного режима осаждения использовали процесс с низкой мощностью, рабочим давлением и температурой: мощность ICP-плазмы – (–50) Вт, давление – 1 Па, температура подложки – 120 °С, соотношение потоков $SiH_4/N_2 = 1:60$. После осаждения тока утечки сток-исток I_{DSS} возрос до 50–70 мкА. Эксперименты показали, что добавление закиси азота (N_2O) улучшает характеристики тока утечки. Зависимость I_{DSS} от соотношения N_2O/SiH_4 и показателя преломления пленки представлена на рис. 2.

При увеличении соотношения N_2O/SiH_4 до 10 ток утечки снижается до 5 мкА, а дальнейшее повышение доли N_2O не приводит к значительным изменениям. Оптимальное соотношение N_2O/SiH_4 составило 10, что подтверждается стабилизацией показателя преломления пленки ($n = 1,49$) при дальнейшем росте потока N_2O . Кроме того, выявлена зависимость уровня тока утечки сток-исток I_{DSS} от времени, прошедшего после осаждения. Повторные измерения показали улучшение тока утечки через 30 сут: I_{DSS} снизился до 10 мкА при исходных параметрах осаждения. Это может быть связано с временной стабилизацией поверхностных состояний на границе AlGaIn. Введение N_2O и оптимизация параметров осаждения сократили время стабилизации.

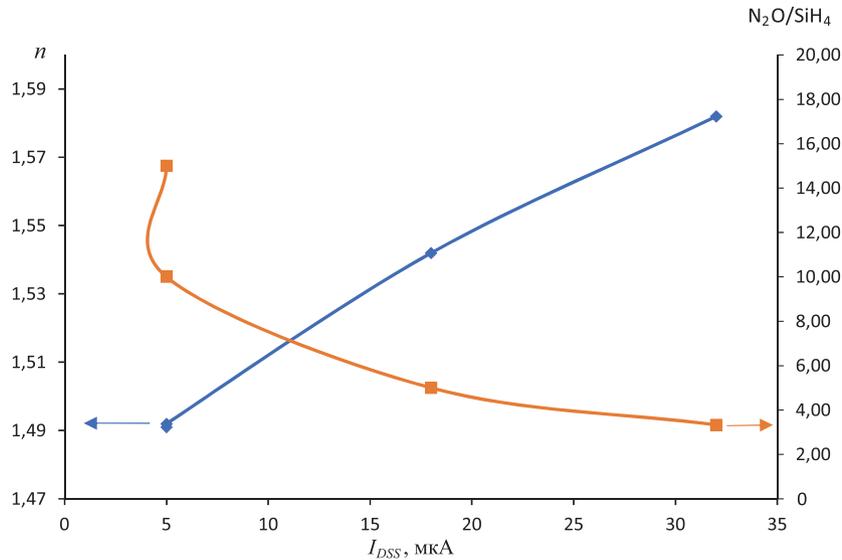


Рис. 2. Зависимость тока утечки сток-исток в закрытом состоянии от соотношения N_2O/SiH_4 и показателя преломления пленки
Fig. 2. The dependence of the leakage current in a closed state on the N_2O/SiH_4 ratio and the film refraction indicator

В ходе дальнейших исследований параметры процесса осаждения пленки кислородсодержащего нитрида кремния SiON – мощность ICP-плазмы, температура подложки T и рабочее давление p – были увеличены с целью улучшения качества пленки. Повышение этих параметров приводило к росту тока утечки сток-исток I_{DSS} . Однако синхронное увеличение всех трех параметров ICP, T , p позволило снизить I_{DSS} и сократить время стабилизации поверхностных состояний на границе AlGaN. На рис. 3 представлена зависимость времени стабилизации тока утечки сток-исток I_{DSS} от параметров осаждения при фиксированном соотношении газовых потоков.

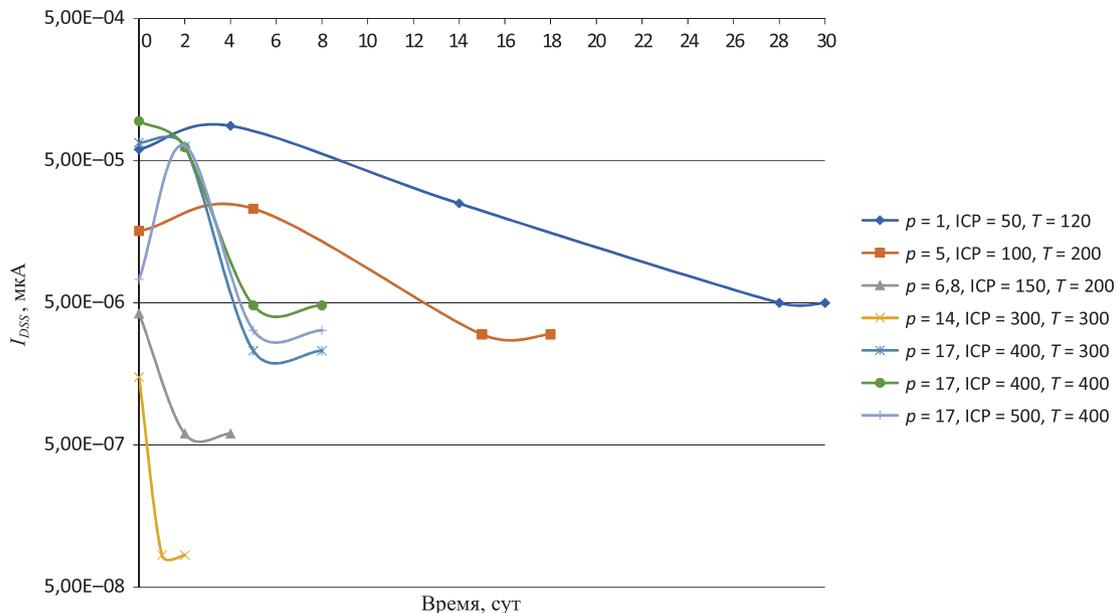


Рис. 3. Время стабилизации тока утечки в зависимости от параметров процесса осаждения (ICP; T , °C; p , Па) при одинаковом соотношении газов
Fig. 3. The stabilization time of the leakage current depending on the parameters of the precipitation process (ICP, T , °C; p , Pa) with the same gas ratio

Анализ данных показал, что при низких значениях ICP, T и p наблюдалось максимальное время стабилизации (порядка 30 сут). Постепенное увеличение этих параметров привело к снижению

начального уровня тока утечки сток-исток I_{DSS} и сокращению времени стабилизации до 1–2 сут. Однако при мощности ИСР-плазмы выше 400 Вт, даже на фоне повышенного давления p и температуры подложки T , наблюдалось ухудшение характеристик: рост I_{DSS} (до 60–90 мкА) и увеличение времени стабилизации до 6 сут. Это может быть связано с деградацией поверхности AlGaN из-за чрезмерной энергии плазмы, что требует дополнительного изучения.

Оптимальные параметры осаждения составили: рабочее давление $p = 14$ Па, мощность ИСР-плазмы – 300 Вт, температура подложки $T = 300$ °С. При толщине пленки 50 нм значение I_{DSS} находилось в диапазоне 50–100 нА. Последующие исследования подтвердили, что данная толщина достаточна для формирования защитного подслоя, обеспечивающего совместимость с последующим осаждением диэлектрических пленок с повышенной механической и электрической прочностью. Это позволяет минимизировать дефекты на границе раздела и улучшить надежность многослойной структуры.

На тестовых образцах AlGaN/GaN-гетероструктур с помощью РЭМ были получены изображения среза затвора с пассивацией оксинитридом кремния (рис. 4).

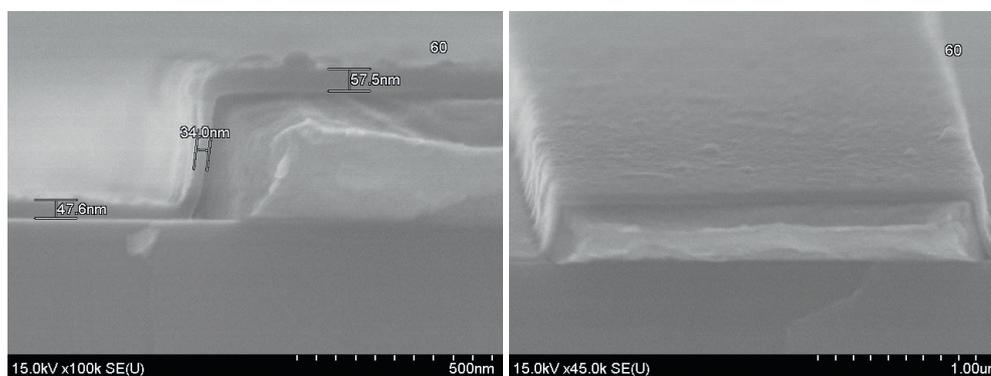


Рис. 4. Изображение поверхности тестового образца

Fig. 4. Test sample surface image

Как видно из рис. 4, толщина осажденного диэлектрика составила порядка $(50 \pm 7,5)$ нм, толщина боковой поверхности – 34 нм. Таким образом, осаждение можно считать практически конформным.

Также методом атомно-силовой микроскопии исследовали морфологию поверхности данной диэлектрической пленки, нанесенной на кремниевую подложку (рис. 5). На рисунке видно, что на поверхности пленки отсутствуют какие-либо заметные неровности. Средняя шероховатость поверхности на площади 10×10 мкм² составила 0,302 нм при толщине пленки 50 нм, что является достаточно хорошим результатом.

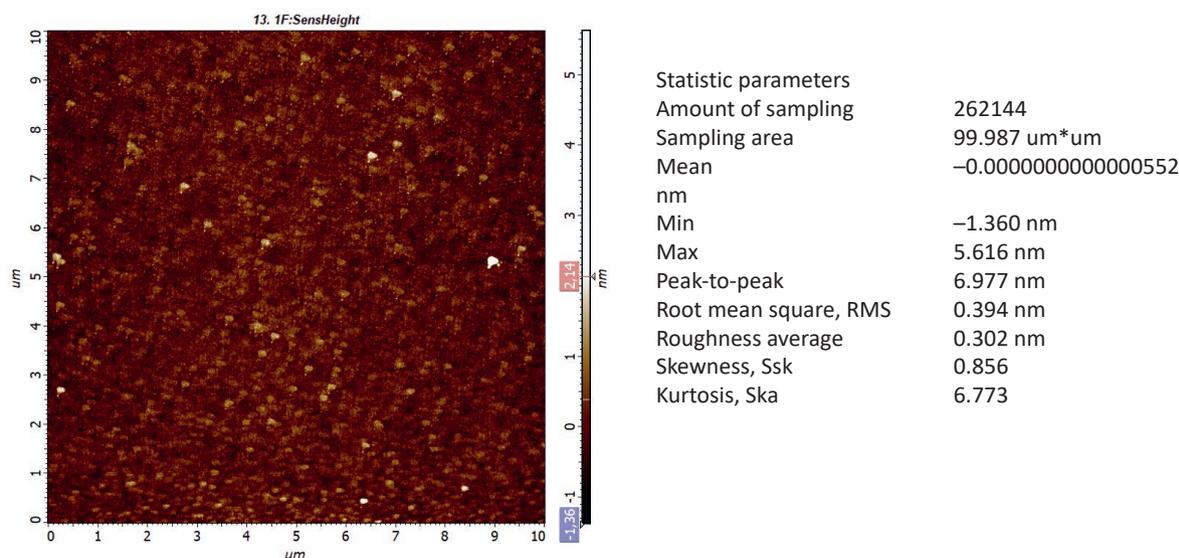


Рис. 5. Изображение и статистика параметров поверхности пленки SiON

Fig. 5. Image Test and surface parameter statistics for SiON film

Разработанная технология была апробирована при изготовлении силовых НЕМТ с общей шириной затвора 16 мм. На готовом приборе получены достаточно низкие токи утечки сток-исток I_{DSS} в закрытом состоянии – не более 2 мкА ($V_{GS} = -5$ В и $V_{DS} = 100$ В).

Заключение

1. Проведенное исследование подтвердило значительное влияние режимов плазмохимического осаждения (ICP CVD) диэлектрических пассивирующих пленок на электрофизические характеристики AlGaIn/GaN НЕМТ. Разработанный метод предварительной плазменной обработки поверхности AlGaIn в кислородной среде продемонстрировал эффективное подавление тока утечки сток-исток в закрытом состоянии на два-три порядка, что связано с минимизацией поверхностных дефектов и подавлением паразитных токовых каналов. Установленные критические параметры осаждения (соотношение газовых компонентов, мощность плазмы, температура подложки и давление) позволили определить оптимальные условия для предотвращения коллапса тока и снижения утечек.

2. Предложенный режим пассивации на основе кислородсодержащего нитрида кремния (SiON) обеспечил сохранение стабильности электрофизических свойств транзисторов после воздействия плазмы, что подтверждает его преимущества перед традиционными методами. Комбинированный подход, объединяющий предварительную модификацию поверхности и управляемое осаждение диэлектрика, открывает новые возможности для повышения надежности и производительности НЕМТ-структур в условиях высоких напряжений и температур.

3. Полученные результаты имеют важное прикладное значение для разработки AlGaIn/GaN-устройств нового поколения, включая компоненты силовой электроники и СВЧ-техники. Дальнейшие исследования целесообразно направить на оптимизацию предложенной технологии для массового производства, а также на изучение влияния других диэлектрических материалов и плазменных режимов на долговременную стабильность транзисторов на основе GaN.

Список литературы

1. Investigation of the Fabrication Processes of AlGaIn/AlN/GaN HEMTs with in SITU Si₃N₄ Passivation / K. N. Tomosh [et al.] // Semiconductors. Vol. 50, No 10. P. 1416–1420.
2. Surface Electrical Characterization of Defect Related Inhomogeneities of AlGaIn/GaN/Si Heterostructures Using Scanning Capacitance Microscopy / A. Szyszka [et al.] // Materials Science in Semiconductor Processing. 2019. Vol. 94. P. 57–63. DOI: 10.1016/j.mssp.2019.01.043.
3. Mao, L.-F. Investigating the Effects of the Interface Defects on the Gate Leakage Current in MOSFETs / L.-F. Mao // Applied Surface Science. 2008. Vol. 254, No 20. P. 6628–6632. DOI: 10.1016/j.apsusc.2008.04.045.
4. Comprehensive Comparison of MOCVD- and LPCVD-SiN_x Surface Passivation for AlGaIn/GaN HEMTs for 5G RF Applications / L. Deng [et al.] // Micromachines. 2023. Vol. 14, No 11. DOI: 10.3390/mi14112104.5.
5. Meyer, D. J. Pre-Passivation Plasma Surface Treatment Effects on Critical Device Electrical Parameters of AlGaIn/GaN HEMTs / D. J. Meyer, J. R. Flemish, J. M. Redwing // International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology, CS MANTECH 2008. P. 261–264.
6. High Quality PECVD SiO₂ Process for Recessed MOS-Gate of AlGaIn/GaN-On-Si Metal-Oxide-Semiconductor Heterostructure Field-Effect Transistors / J. Lee [et al.] // Solid State Electron. 2016. Vol. 122. P. 32–36.
7. AlGaIn/GaN MOS-HEMT Device Fabricated Using a High Quality PECVD Passivation Process / A. Chakroun [et al.] // IEEE Electr. Device Lett. 2017. Vol. 38. P. 779–782.
8. Reactive Evaporation of SiO_x Films for Passivation of GaN High-Electron-Mobility Transistors / G. Zhu [et al.] // Journal of Physics and Chemistry of Solids. DOI: 10.1016/j.jpics.2018.12.021.
9. Investigation of Surface Related Leakage Current in AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistors / J. K. Kaushik [et al.] // Thin Solid Films. 2016. Vol. 612. P. 147–152. DOI: 10.1016/j.tsf.2016.06.003.
10. GaN-Based Metal-Insulator-Semiconductor High-Electron-Mobility Transistors Using Low-Pressure Chemical Vapor Deposition SiN_x as Gate Dielectric / M. Hua [et al.] // IEEE Electron Device Letters. 2015. Vol. 36, No 5. P. 448–450. DOI: 10.1109/LED.2015.2409878.
11. Оптимизация процесса пассивации при изготовлении СВЧ-транзисторов на основе AlGaIn/GaN гетероструктур методом ICP CVD / А. А. Слепцова [и др.] // Материалы электронной техники. 2020. Т. 23, № 2. С. 127–133. DOI: 10.17073/1609-3577-2020-23-2-127-133.

12. Jin, C. Silicon Nitride Has Been Broadly Used as a Passivation Film Material and Shown to Improve Device Performance / C. Jin // *Electronics Letters*. 2018. Vol. 54, No15. DOI: 10.1049/el.2018.1401.
13. Effective Passivation with High-Density Positive Fixed Charges for GaN MIS-HEMTs / S.-C. Liu [et al.] // *IEEE Journal of the Electron Devices Society*. 2017. Vol. 5, No 3. P. 170–174. DOI: 10.1109/jeds.2017.2669100.
14. Impact of Al₂O₃ Passivation on AlGaN/GaN Nanoribbon High-Electron-Mobility Transistors / S. Joglekar [et al.] // *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2016. Vol. 63, No 1. P. 318–325. DOI: 10.1109/ted.2015.2500159.
15. Influence of Oxygen-Plasma Treatment on AlGaN/GaN Metal-Oxide-Semiconductor Heterostructure Field-Effect Transistors with HfO₂ by Atomic Layer Deposition: Leakage Current and Density of States Reduction / R. Stoklas [et al.] // *Semiconductor Science and Technology*. 2017. Vol. 32, No 4. DOI: 10.1088/1361-6641/aa5fcb.
16. Koehler, A. D. Advances in AlGaN/GaN HEMT Surface Passivation / A. D. Koehler // *ECS Trans*. 2016. P. 75–99. DOI: 10.1149/07512.0099ecst.
17. Chenkai, D. Improvement of DC Performance and RF Characteristics in GaN-Based HEMTs Using SiN_x Stress-Engineering Technique / D. Chenkai, W. Peiran, T. Chuying // *Nanomaterials*. 2024. Vol. 14, No 18. DOI: 10.3390/nano14181471.
18. Tongde, H. Small- and Large-Signal Analyses of Different Low-Pressure-Chemical-Vapor-Deposition SiN_x Passivations for Microwave GaN HEMTs / H. Tongde, B. Johan // *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2018. Vol. 99. P. 1–7. DOI: 10.1109/TED.2017.2789305.

Поступила 18.07.2025

Принята в печать 09.09.2025

References

1. Tomosh K. N., Pavlov A. Y., Pavlov V. Y., Khabibullin R. A., Arutyunyan S. S., Maltsev P. P. (2016). Investigation of the Fabrication Processes of AlGaN/AlN/GaN HEMTs with in SITU Si₃N₄ Passivation. *Semiconductors*. 50 (10),1416–1420.
2. Szyszka A., Wośko M., Paszkiewicz B., Paszkiewicz R. (2019) Surface Electrical Characterization of Defect Related Inhomogeneities of AlGaN/GaN/Si Heterostructures Using Scanning Capacitance Microscopy. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 94, 57–63. DOI: 10.1016/j.mssp.2019.01.043.
3. Mao L.-F. (2008) Investigating the Effects of the Interface Defects on the Gate Leakage Current in MOSFETs. *Applied Surface Science*. 254 (20), 6628–6632. DOI: 10.1016/j.apsusc.2008.04.045.
4. Deng L., Zhou L., Lu H., Yang L., Yu Q., Zhang M., et al. (2023) Comprehensive Comparison of MOCVD- and LPCVD-SiN_x Surface Passivation for AlGaN/GaN HEMTs for 5G RF Applications. *Micromachines*. 14 (11). DOI: 10.3390/mi14112104.
5. Meyer D. J., Flemish J. R., Redwing J. M. (2008) Pre-Passivation Plasma Surface Treatment Effects on Critical Device Electrical Parameters of AlGaN/GaN HEMTs. *International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology, CS MANTECH 2008*. 261–264.
6. Lee J., Kim H., Seo K., Cho C., Cha H. (2016) High Quality PECVD SiO₂ Process for Recessed MOS-Gate of AlGaN/GaN-On-Si Metal-Oxide-Semiconductor Heterostructure Field-Effect Transistors. *Solid State Electron*. 122, 32–36.
7. Chakroun A., Jaouad A., Soltani A., Arenas O., Aimez V., Arès R., et al. (2017) AlGaN/GaN MOS-HEMT Device Fabricated Using a High Quality PECVD Passivation Process. *IEEE Electr. Device Lett*. 38, 779–782.
8. Zhu G., Liang G., Zhou Y., Chen X., Xu X., Feng X., et al. (2018) Reactive Evaporation of SiO_x Films for Passivation of GaN High-Electron-Mobility Transistors. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. DOI: 10.1016/j.jpics.2018.12.021.
9. Kaushik J. K., Balakrishnan V. R., Mongia D., Kumar U., Dayal S., Panwar B. S., et al. (2016) Investigation of Surface Related Leakage Current in AlGaN/GaN High Electron Mobility Transistors. *Thin Solid Films*. 612, 147–152. DOI: 10.1016/j.tsf.2016.06.003.
10. Hua M., Liu C., Yang S., Liu S., Fu K., Dong Z., et al. (2015) GaN-Based Metal-Insulator-Semiconductor High-Electron-Mobility Transistors Using Low-Pressure Chemical Vapor Deposition SiN_x as Gate Dielectric. *IEEE Electron Device Letters*. 36 (5), 448–450. DOI: 10.1109/LED.2015.2409878.
11. Sleptsova A. A., Chernykh S. V., Podgorny D. A., Zhilnikov I. A. (2020) Optimization of Passivation in AlGaN/GaN Heterostructure Microwave Transistor Fabrication by ICP CVD. *Electronic Engineering Materials*. 23 (2), 127–133. DOI: 10.17073/1609-3577-2020-23-2-127-133 (in Russian).
12. Jin C. (2018) Silicon Nitride Has Been Broadly Used as a Passivation Film Material and Shown to Improve Device Performance. *Electronics Letters*. 54 (15). DOI: 10.1049/el.2018.1401.
13. Liu S.-C., Huang C.-K., Chang C.-H., Lin Y.-C., Chen B.-Y., Tsai S.-P., et al. (2017) Effective Passivation with High-Density Positive Fixed Charges for GaN MIS-HEMTs. *IEEE Journal of the Electron Devices Society*. 5 (3), 170–174. DOI: 10.1109/jeds.2017.2669100.

14. Joglekar S., Azize M., Jones E. J., Piedra D., Gradecak S., Palacios T. (2016). Impact of Al₂O₃ Passivation on AlGaIn/GaN Nanoribbon High-Electron-Mobility Transistors. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 63 (1), 318–325. DOI: 10.1109/ted.2015.2500159.
15. Stoklas R., Gregušová D., Blaho M., Fröhlich K., Novák J., Matys M., et al. (2017) Influence of Oxygen-Plasma Treatment on AlGaIn/GaN Metal-Oxide-Semiconductor Heterostructure Field-Effect Transistors with HfO₂ by Atomic Layer Deposition: Leakage Current and Density of States Reduction. *Semiconductor Science and Technology*. 32 (4). DOI: 10.1088/1361-6641/aa5fcb.
16. Koehler A. D. (2016) Advances in AlGaIn/GaN HEMT Surface Passivation. *ECS Trans.* 75–99. DOI: 10.1149/07512.0099ecst.
17. Chenkai D., Peiran W., Chuying T. (2024) Improvement of DC Performance and RF Characteristics in GaN-Based HEMTs Using SiN_x Stress-Engineering Technique. *Nanomaterials*. 14 (18). DOI: 10.3390/nano14181471.
18. Tongde H., Johan B. (2018) Bergsten Small- and Large-Signal Analyses of Different Low-Pressure-Chemical-Vapor-Deposition SiN_x Passivations for Microwave GaN HEMTs. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 99, 1–7. DOI: 10.1109/TED.2017.2789305.

Received: 18 July 2025

Accepted: 9 September 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Демидович С. А., вед. инж. отрасл. лаб. новых технологий и материалов научно-технического центра (НТЦ), ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ» (ОАО «ИНТЕГРАЛ»); асп., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Юник А. Д., вед. инж. отрасл. лаб. новых технологий и материалов НТЦ, ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Ковальчук Н. С., канд. техн. наук, доц., зам. ген. дир. – гл. инж., ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Соловьёв Я. А., д-р техн. наук, доц., зав. отрасл. лаб. новых технологий и материалов НТЦ, ОАО «ИНТЕГРАЛ»

Адрес для корреспонденции

220108, Республика Беларусь,
Минск, ул. Корженевского, 16
ОАО «ИНТЕГРАЛ» –
управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Тел.: +375 29 207-10-84
E-mail: SDemidovich@integral.by
Демидович Сергей Александрович

Information about the authors

Demidovich S., Leading Engineer at the R&D Center for Branch Laboratory of New Technologies and Materials, JSC “INTEGRAL” – Manager Holding Company “INTEGRAL” (JSC “INTEGRAL”); Postgraduate, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Yunik A., Leading Engineer at the R&D Center for Branch Laboratory of New Technologies and Materials, JSC “INTEGRAL”

Kovalchuk N., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy General Director – Chief Engineer, JSC “INTEGRAL”

Solovjov Ja., Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Laboratory of New Technologies and Materials, JSC “INTEGRAL”

Address for correspondence

220108, Republic of Belarus,
Minsk, Korzhenevskogo St., 16
JSC “INTEGRAL” –
Manager Holding Company “INTEGRAL”
Tel.: +375 29 207-10-84
E-mail: SDemidovich@integral.by
Demidovich Sergey