Высокоомный GaN буфер для AlGaN/GaN-HEMT

Малин Т.В.¹, Милахин Д.С.¹, Александров И.А.¹, Земляков В.Е.³, Егоркин В.И.³,
Зайцев А.А.³, Протасов Д.Ю.¹, Кожухов А.С.¹, Бер Б.Я.⁴, Казанцев Д.Ю.⁴, Мансуров В.Г.¹,
К.С. Журавлёв^{1,2}

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

³ Национальный исследовательский университет «МИЭТ» Москва, Зеленоград, пл. Шокина, 1

⁴ Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26

DOI 10.34077/Semicond2019-429

Одной из наиболее важных задач при росте гетероструктур для транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) на основе соединений A_3N является получение буферного слоя GaN с высокими значениями пробивного напряжения. В данной работе продемонстрирована возможность получения методом аммиачной молекулярно-лучевой эпитаксии (NH_3 -MBE) намеренно нелегированных высокоомных слоёв GaN для HEMT путём оптимизации ростовых условий на основании расчётов концентраций фоновых примесей для различных соотношений потоков галлия и аммиака.

Для определения влияния условий роста на вероятность формирования точечных дефектов в GaN были проведены расчеты их энергий формирования и концентраций в зависимости от условий роста слоев. Расчеты проводились методами теории функционала плотности в приближении обобщенного градиента с использованием функционала PBE [1] в пакете программ Quantum Espresso 6.3 [2]. Согласно полученным в ходе расчётов данным (рис. 1) существуют ростовые условия, при которых выращиваемые слои GaN могут обладать высоким сопротивлением и при этом достаточно низкой концентрацией дефектов. Сопоставление результатов расчётов концентраций углерода и кислорода в слое GaN с результатами профилей ВИМС позволяет оценить концентрацию свободных электронов в слое GaN $8.0 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$, что соответствует сопротивлению $2.1 \times 10^{11} \text{ Ohm}/\square$.

Эпитаксиальные слои GaN и AlGaN/GaN гетероструктуры (ГЭС) с двумерным электронным газом (2DEG) выращивались на подложке сапфира методом NH_3 -MBE на установке CBE Riber 32. Концентрация $n=1,0 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ и подвижность $\mu=1650 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ электронов в ГЭС была измерена с помощью эффекта Холла. Полевые транзисторы формировались методом оптической литографии с затвором Шоттки длиной $0.25 \text{ }\mu\text{m}$ и омическими контактами на основе металлизации Ti/Al/Ni/Au. ВАХ транзисторов с шириной затвора $90 \text{ }\mu\text{m}$ приведены на рис. 5а. Удельная крутизна транзистора составила 250 mS/mm . Измеренный ток утечки закрытого транзистора при подаче запирающего напряжения -5 V и напряжении сток-исток $U_{\text{си}} = 135 \text{ V}$ составил $\sim 220 \text{ }\mu\text{A}$ (см. рис. 2), что с одной стороны открывает возможность работы транзистора при напряжении на стоке до 70 V с другой стороны резко повышает надежность при работе на стандартном для СВЧ-применений напряжении 28 V .

Рис.1. – Расчётные зависимости общей концентрации фоновых примесей кислорода и углерода как функция химического потенциала галлия.

Рис.2. – Измерение тока утечки закрытого транзистора.

[1] J. P. Perdew, K. Burke, and M. Ernzerhof // *Phys. Rev. Lett.* **77**, 3865 (1996).

[2] P. Giannozzi et al. // *J. Phys.:Condens. Matter* **21** 395502 (2009).