

02;06;2

Влияние гамма-радиации на характеристические сопротивления нитридгаллиевых гетероструктурных транзисторов с высокой подвижностью электронов

© А.М. Куракин

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва НАН Украины,
Киев

E-mail: Andrey.Kurakin@mail.ru

Поступило в Редакцию 1 апреля 2003 г.

Представлены результаты исследования влияния гамма-излучения Co^{60} на транзисторы с высокой подвижностью электронов (ВПЭ) на основе гетероструктуры AlGaIn/GaN. Анализируются дозовые зависимости суммарного сопротивления контактов истока и стока транзистора, которые получены с использованием графоаналитического метода расчета характеристических сопротивлений ВПЭ-транзистора. Обнаружено, что контакты испытывают существенную деградацию при воздействии излучения, что оказывает пагубное влияние на работоспособность транзистора и может обуславливать наблюдаемое ухудшение параметров транзистора (тока насыщения, крутизны).

Принимая во внимание то, что полупроводниковые материалы группы три-нитридов являются на сегодняшний день серьезными конкурентами GaAs и SiC в области высокотемпературной и сверхмощной СВЧ-электроники, исследования, направленные на изучение деградации приборов на основе три-нитридов под воздействием ионизирующих излучений, приобретают особую важность как метод исследования

дефектной структуры материала, а также как метод оценки надежности готовых приборов.

Объектами исследования были ВПЭ-транзисторные структуры на основе номинально нелегированных гетероструктур AlGaIn/GaN (барьерный слой $\text{Al}_{0,33}\text{Ga}_{0,67}\text{N}$ — 23 nm, буферный слой GaN — 1100 nm, низкотемпературный слой $\text{Al}_{0,14}\text{Ga}_{0,86}\text{N}$ — 40 nm), выращенных на сапфировой подложке. Транзисторы имели ширину канала 200, 250, 300 и 400 μm . Длина затвора варьировалась от 150 до 350 nm. Затвор был удален от стока и истока на 1 и 2 μm соответственно. При комнатной температуре концентрация и подвижность носителей заряда в канале были $1,05 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ и $1250 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ соответственно.

Приборы облучались при комнатной температуре гамма-квантами Co^{60} интенсивностью $\sim 100 \text{ P/s}$ до доз 10^8 rad . Разогрев во время облучения не превышал 40°C . Для контроля параметров транзистора через несколько часов после набора очередной дозы при комнатной температуре проводились измерения вольт-амперных характеристик приборов.

Для определения сопротивления полностью открытого канала транзистора и суммы сопротивлений истока и стока транзистора с затвором Шоттки в [1] предложен графоаналитический метод определения характеристических сопротивлений по экспериментальной стокзатворной характеристике. Несмотря на удобство данного метода при обработке результатов эксперимента, для расширения областей его применения на столь важные в современной электронике приборы, как ВПЭ-транзисторы, необходимо внесение некоторых модификаций, которые в основном касаются аналитического выражения сопротивления канала транзистора.

Используя аналитическое выражение для вольт-амперной характеристики ВПЭ транзистора (см. [2])

$$\frac{IL_{eff}}{A} = \left(V_G - V_{off} - \frac{I}{AE_C} \right) (V_{DS} - I(R_S + R_D)) - \frac{1}{2} \{ (V_{DS} - IR_D)^2 - I^2 R_S^2 \}, \quad (1)$$

где I — ток через прибор, L_{eff} — эффективная ширина области обеднения, $A = \mu\epsilon W/(d + \Delta d)$, μ — подвижность носителей в канале, ϵ и d — диэлектрическая проницаемость и толщина барьерного слоя,

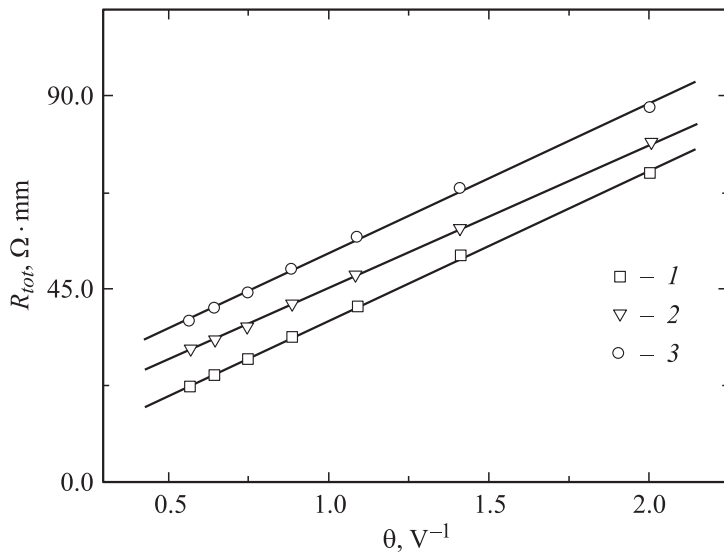


Рис. 1. Зависимость полного сопротивления ВПЭ-транзистора от θ : 1 — необлученный образец, 2 — облученный до 10^6 rad, 3 — до 10^8 rad.

W — ширина канала, Δd — эффективная толщина области двумерного электронного газа, V_G — напряжение на затворе, V_{off} — напряжение перекрытия канала, E_C — критическое электрическое поле, V_{DS} — напряжение сток-исток, $R_D R_S$ — сопротивления контактов стока и истока.

Найдем производную dI/dV_{DS} .

После некоторых преобразований окончательно получим выражение для полного сопротивления ВПЭ-транзистора, в приближении $2(V_G - V_{off}) \gg V_{DS}$:

$$R_{tot} = \frac{L}{A(V_G - V_{off} - V_{DS})} + (R_S + R_D) \left(1 + \frac{V_{DS}}{2(V_G - V_{off} - V_{DS})} \right). \quad (2)$$

В рамках проведенного исследования были произведены расчеты полного сопротивления транзисторов по экспериментальным вольт-амперным характеристикам и оценка сопротивлений контактов истока и стока до и после облучения с использованием выражения (2).

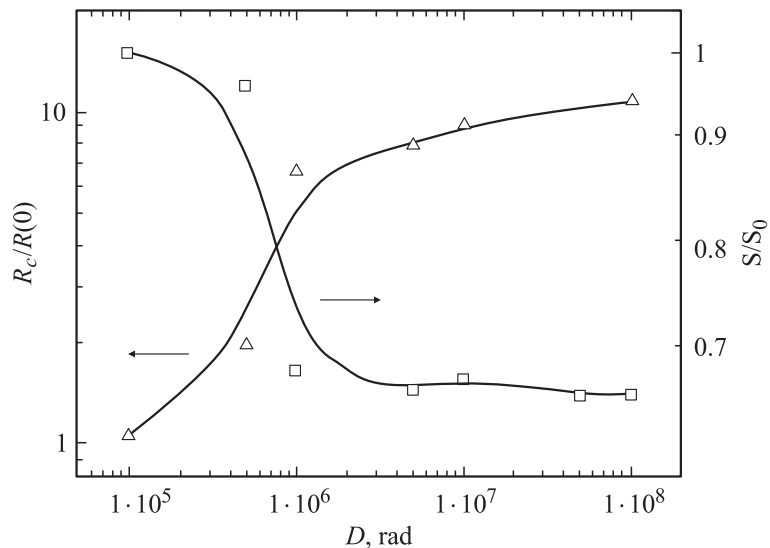


Рис. 2. Дозовые зависимости контактного сопротивления и крутизны ВПЭ-транзистора на AlGaIn/GaN (ширина канала $200 \mu\text{m}$, длина затвора $0.25 \mu\text{m}$).

Рис. 1 отображает зависимость полного сопротивления ВПЭ-транзистора от параметра $\theta = 1/(V_G - V_{off} - V_{DS})$ при $V_{DS} = 0.1 \text{ V}$. Линейный характер данной зависимости указывает на то, что приближение (2) для полного сопротивления ВПЭ-транзистора достаточно точно описывает его изменения с увеличением напряжения на затворе.

Предложенный графоаналитический метод дает немного завышенные значения контактных сопротивлений транзисторов (для транзисторов с шириной канала $200 \mu\text{m}$ и $L_G = 0.25 \mu\text{m}$ данная величина составляла 1.6 и $10.4 \Omega \cdot \text{mm}$ для необлученного и облученного до дозы 10^6 rad образца соответственно) по сравнению с результатами, полученными на структурах для контроля сопротивлений контактов шириной $150 \mu\text{m}$ (1.2 и $6.9 \Omega \cdot \text{mm}$), что может быть объяснено ненулевым вкладом омического сопротивления базы транзистора.

Необходимо отметить, что сопротивления контактов исследуемых структур испытывают значительную деградацию при относительно малых дозах облучения $\sim 10^6 \text{ rad}$; несмотря на это, транзисторы

сохраняют работоспособность до дозы 10^8 rad, что находится в согласии с результатами, представленными в работе [3]. Наблюдаемые корреляции в поведении дозовых зависимостей полного контактного сопротивления и крутизны транзистора (рис. 2) свидетельствуют о том, что в целом данные, полученные с использованием представленного метода, правильно отображают изменения контактных сопротивлений ВПЭ-транзисторов в ходе радиационно-стимулированной деградации.

Таким образом, в результате проведенного исследования было установлено, что графоаналитический метод расчета характеристических сопротивлений является достаточно перспективным для применения к задачам по определению надежности контактов ВПЭ-транзисторов и оценке их сопротивления. Принимая во внимание значительную деградацию омических контактов истока и стока, а также учитывая то, что свойства контактов фактически определяют шумовые характеристики прибора и, согласно общей теории ВПЭ-транзисторов [2], крутизна транзистора зависит от величины полного сопротивления контактов, можно утверждать, что качество контактов истока и стока определяет работоспособность прибора в условиях непрерывного воздействия гамма-радиации.

Автор выражает особую благодарность профессорам Р. В. Конаковой и А. Е. Беляеву, благодаря которым стало возможным проведение данного исследования.

Список литературы

- [1] Морозов С.Г., Спиридонов Н.С., Туз А.Д. // Электронная техника СВЧ. Полупроводниковые приборы. 1987. № 2. С. 100–101.
- [2] *Molecular beam epitaxy and heterostructures* / Ed. by L.L. Chang. New York, 1985. 580 p.
- [3] Vitusevich S.A., Klein N., Belyaev A.E. et al. // Phys. Stat. Sol. (a). 2003. V. 195. N 1. P. 101–105.