



УДК 621.382.037.37

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.246.247

# ГЕТЕРОБИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР С ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОБОЯ НА ОСНОВЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУР СОЕДИНЕНИЙ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

## HETEROBIPOLAR TRANSISTOR WITH HIGH BREAKDOWN VOLTAGE BASED ON GaAs COMPOUNDS NANOHETEROSTRUCTURES

ЕГОРКИН ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ  
egorkin@qdn.miee.ru

EGORKIN VLADIMIR I.  
egorkin@qdn.miee.ru

ЖУРАВЛЁВ МАКСИМ НИКОЛАЕВИЧ

ZHURAVLEV MAXIM N.

ЗЕМЛЯКОВ ВАЛЕРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

ZEMLYAKOV VALERY E.

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»  
124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, 1

National Research University of Electronic Technology  
1 Shokin Square, Zelenograd, Moscow, 124498, Russia

Проведены исследования возможности повышения пробивного напряжения гетеробиполярного транзистора на основе соединений арсенида галлия. Повышение пробивного напряжения достигается за счет использования анизотропного химического травления и плазмохимической обработки с осаждением  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . Получены значения пробивного напряжения более 25 В.

**Ключевые слова:** гетеробиполярный транзистор; арсенид галлия; пробой; СВЧ электроника.

The paper highlights the possibility of increasing the breakdown voltage of a heterobipolar transistor on the basis of gallium arsenide compounds. The breakdown voltage increase has been achieved due to the use of anisotropic chemical etching and plasma-chemical treatment with deposition of  $\text{Si}_3\text{N}_4$ . The value of the breakdown voltage is more than 25 V.

**Keywords:** heterobipolar transistor; gallium arsenide; breakdown; microwave electronics.

В последние годы в связи с развитием технологий мобильной связи и высокоскоростной передачи больших массивов данных сформировался спрос на соответствующую элементную базу в С- и X-диапазонах. Приборы должны обладать высокой рабочей частотой, большой выходной мощностью, низкими фазовыми шумами и др. По совокупности параметров, особенно в части низких фазовых шумов, этим требованиям удовлетворяют гетеропереходные биполярные транзисторы (ГБТ) [1]. При работе ГБТ в переходе коллектор–база образуются большие электрические поля, поэтому необходимо высокое напряжения питания. Таким образом, для повышения пробивного напряжения необходимо модифицировать технологический маршрут или конструкцию транзистора [2].

Проведенные нами исследования первых экспериментальных образцов ГБТ показали преимущественно поверхностный характер пробоя (рис. 1). При проведении операции травления мезаструктуры происходит подтрав под маску из фоторезиста. В результате маска отслаивается, а боковая поверхность становится дефектной. Большая концентрация дефектов приводит к возникновению дополнительных уровней в запрещенной зоне, росту проводимости по поверхностным состояниям и пробоем биполярного транзистора.

Для подавления возникновения пробоя в приповерхностной области использовался анизотропный травитель мезы гетеробиполярного транзистора на основе  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ . Ориентация эмиттерного контакта выбирается параллельной базовому срезу пластины. На поверхность осаждается тонкий слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , который используется как маска. Перед нанесением диэлектрика проводится дополнительная обработка поверхности прибора в элегазе. В результате глубина подтравливания под маску уменьшается, а стенка травления становится ровной. Маска из нитрида кремния удаляется с помощью травления в низкоэнергетической плазме (энергия 10–20 эВ). Использование ионов с малой энергией не приводит к аморфизации поверхности и возникновению дефектов. Маска удаляется для выравнивания

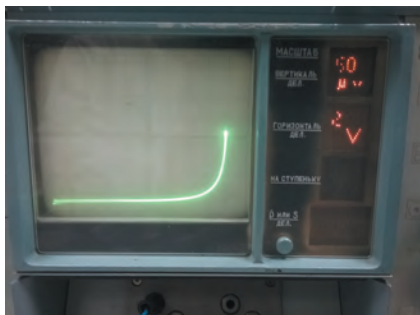


Рис. 1. Мягкий пробой после пассивации нитридом кремния. Пробивное напряжение 18 В

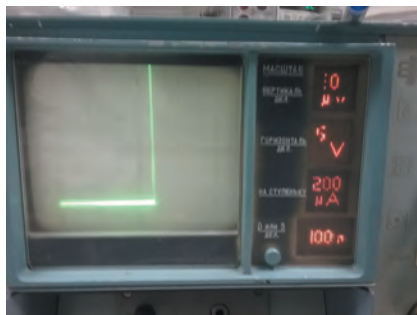


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика лабораторного образца ГБТ с повышенным пробивным напряжением

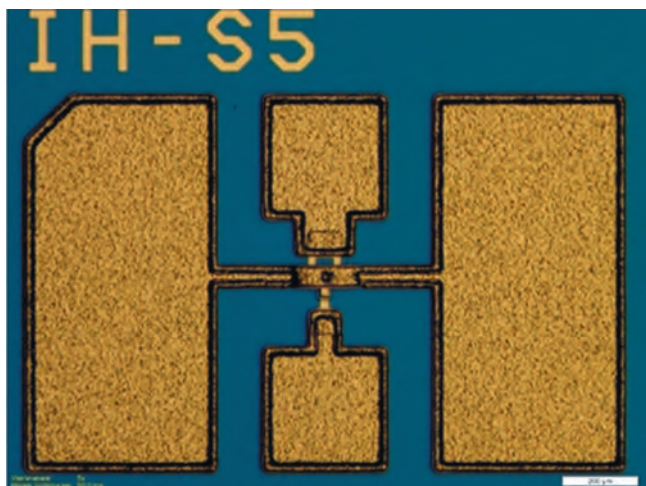


Рис. 3. Фотография единичной ячейки лабораторного образца ГБТ

края и исключения обрыва металлизации вдоль боковой стенки. Боковая поверхность пассивируется  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

В результате проведенных операций характер пробоя изменился. Из рис. 2 видно, что пробой имеет лавинный характер без утечек по поверхности и пробивное напряжение коллектор–база имеет значение, близкое к расчетному для заданных толщин слоя мезы коллектора и концентрации электронов в слое коллектора. Изготовленный образец гетеробиполярного транзистора с повышенным пробивным напряжением показан на рис. 3.

На универсальном измерителе характеристик полупроводниковых приборов были измерены низкочастотные параметры тестовых кристаллов гетеробиполярных транзисторов. В качестве испытуемых образцов были выбраны транзисторы  $2 \times 50 \text{ мкм}^2$  (маркировка на пластине S5). Измерялись вольт-амперная характеристика, пробивное напряжение, низкочастотное усиление по току. Усиление по току получилось более 100, пробивное напряжение — более 20 В, вольт-амперная характеристика схожа по своим параметрам с характеристиками фаундри-фабрик ведущих мировых производителей.

Измерения  $S$ -параметров (рис. 4) и  $H$ -параметров (рис. 5) показали, что наши приборы потенциально работоспособны до миллиметрового диапазона длин волн и на них возможно построение усилителей и генераторов, аналогичных импортным микросхемам. Линейная экстраполяция функций  $|H_{21}|$  и  $G_U$  до 0 дБ дает значение максимальной частоты усиления и отсечки,  $F_{\text{max}} = 32 \text{ ГГц}$  и  $F_t = 38 \text{ ГГц}$  соответственно. То есть измеренные лабораторные образцы ГБТ демонстрируют усиление в полосе 1 до 20 ГГц и частоты отсечки  $F_{\text{max}} F_t = 30\text{--}40 \text{ ГГц}$ .

Авторы считают, что в данной работе новой является разработка технологических подходов для создания на основе соединений GaAs мощных ГБТ с повышенным пробивным напряжением. Для изготовленных лабораторных образцов измерялись вольт-амперная характеристика, пробивное напряжение, низкочастотное усиление по току. Усиление по току получилось более 100, пробивное напряжение — более 20 В, вольт-амперная характеристика схожа по своим параметрам с фаундри-фабрик ведущих мировых производителей элементной базы СВЧ.

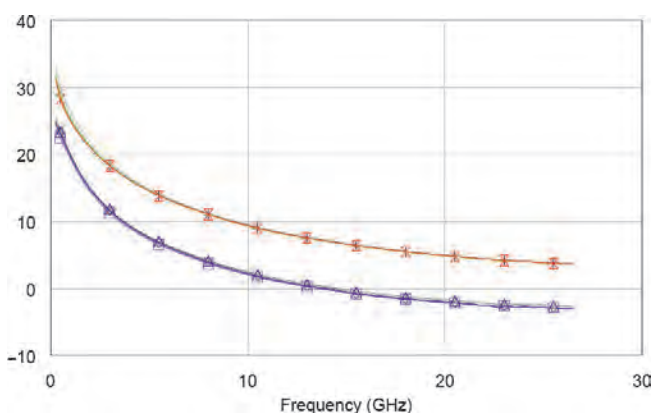
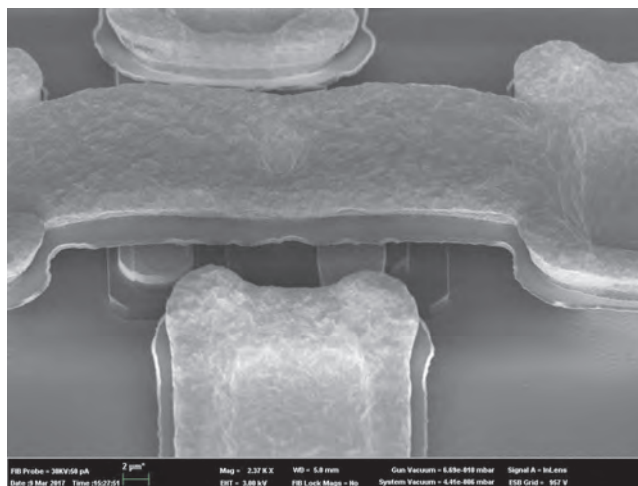


Рис. 4.  $S_{21}$  (дБ) для различных лабораторных образцов ГБТ

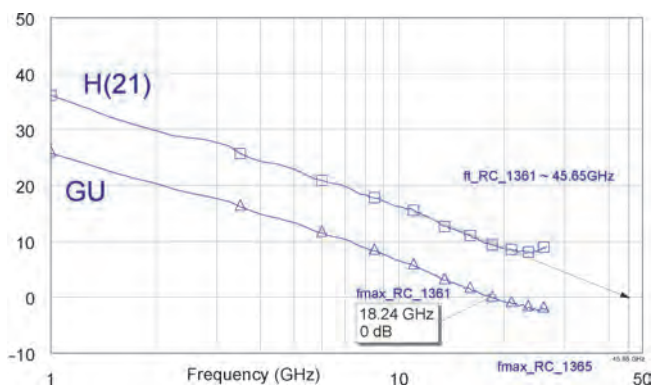


Рис. 5. Зависимость параметра  $|H_{21}|$  и коэффициент однонаправленного усиления  $G_U$  (дБ) для лабораторного образца ГБТ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, ГК №14.578.21.0212 от 29 сентября 2016 г. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57816X0212.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Reisch M. *High-Frequency Bipolar Transistors* — Springer, 2003. — 658 p.
2. Lee C.-P., Chau F.H.F., Ma W., Wang N.-L. *The Safe Operating Area of GaAs-Based Heterojunction Bipolar Transistors*, IEEE Trans. Electron. Dev., 53. 2681–2688 (2006).