

# Исследование параметров радиационностойкого NPN транзистора в ВЧ и СВЧ диапазоне

А.Н. Петлицкий<sup>1</sup>, Т.В. Петлицкая<sup>1</sup>, В.А. Пилипенко<sup>1</sup>, И.В. Малый<sup>1</sup>, В.А. Филипеня<sup>1</sup>,  
Д.И. Дергачёв<sup>1</sup>, Ю.А. Марудо<sup>1</sup>, В.М. Борздов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Интеграл»

<sup>2</sup>Беларусский Государственный Университет

**Аннотация:** проведены исследования ВАХ и ВФХ NPN транзисторов, а также исследования ВАХ в условиях воздействия накопленной дозы  $\gamma$ -квантов. Проведены исследования динамических параметров NPN транзисторов и определены время пролета носителей через базу и граничная частота.

**Ключевые слова:** радиационно-стойкая ИМС, биполярная аналоговая ИС, техпроцесс, элементная база

## 1. Введение

Наиболее перспективным для реализации широкого ряда быстродействующих, широкополосных, микромощных, радиационно-стойких, малошумящих аналоговых интегральных микросхем, является биполярный комплементарный техпроцесс, так как позволяет получить на одном кристалле NPN и PNP транзисторы с идентичными статическими и динамическими параметрами.

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Расчет конструктивных параметров структуры элементов с использованием программного пакета TMA. Моделирование процесса проводилось по маршруту изготовления.

Моделирование ВАХ основных параметров элементной базы проводился для следующих элементов:

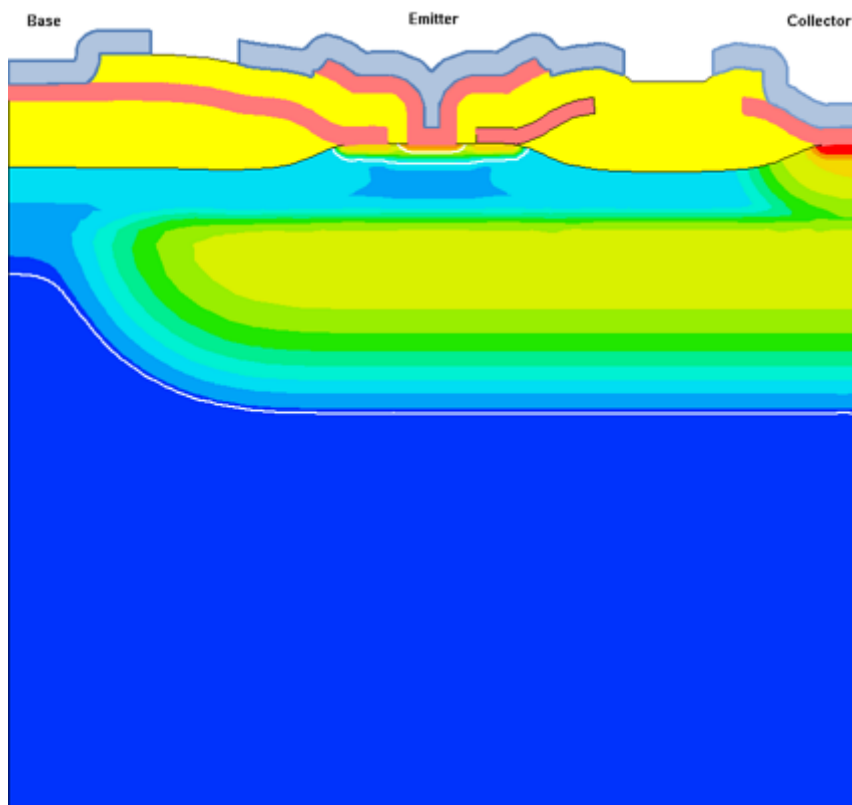
- вертикальный NPN – транзистор;
- вертикальный PNP – транзистор;
- тест на изоляцию между N+скрытыми слоями.

На основании проведенного расчета уточнены режимы формирования активных областей. Расчетные значения вольтамперных характеристик, полученные в результате проведения технологического моделирования, приведены в таблице 1.

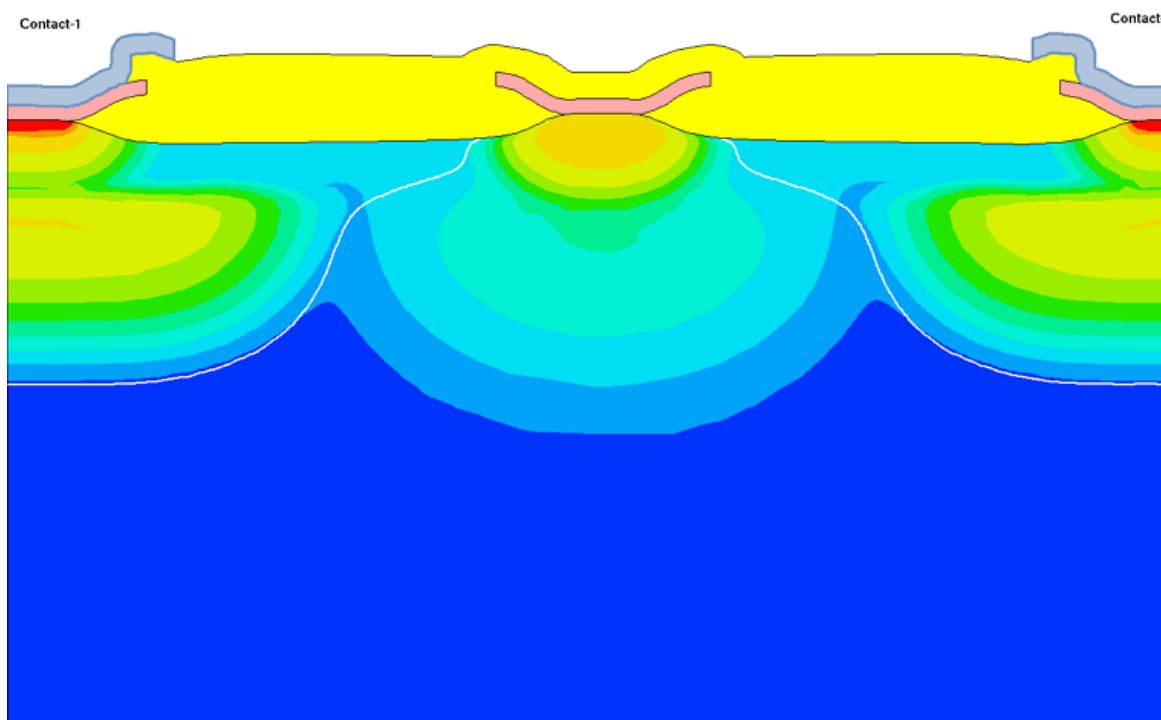
Таблица 1. Расчетные ВАХ элементной базы

Наименование элемента	Параметр	Расчетное значение	Требования	
			MIN	MAX
Рабочий вертикальный NPN транзистор ( $S_{\text{э}}=1,5 \times 6 \text{ мкм}^2$ )	Вст ( $I_{\text{б}}=1 \text{ мкА}$ )	135	60	150
	$U_{\text{кз}}$ (В) ( $I=10 \text{ мкА}$ )	13	8	15
	$U_{\text{эб}}$ (В) ( $I=10 \text{ мкА}$ )	4,5	4	6
	$U_{\text{кб}}$ (В) ( $I=10 \text{ мкА}$ )	30	15	30
Напряжение пробоя изоляции между N+скрытыми слоями	$U_{\text{пр}}$ (В) ( $I=10 \text{ мкА}$ )	39	16	50

На рисунке 1 приведено сечение рассчитанного NPN транзистора и на рисунке 2 тест на изоляцию.



**Рисунок 1.** Вертикальное сечение рассчитанного NPN транзистора



**Рисунок 2.** Вертикальное сечение рассчитанного теста на изоляцию между N+скрытыми слоями

После изготовления тестовой матрицы было проведено исследование вертикальной структуры элементной базы высокочастотных радиационно-стойких биполярных аналоговых микросхем. На рисунках 3 и 4 приведены РЭМ-фото изготовленного NPN транзистора.

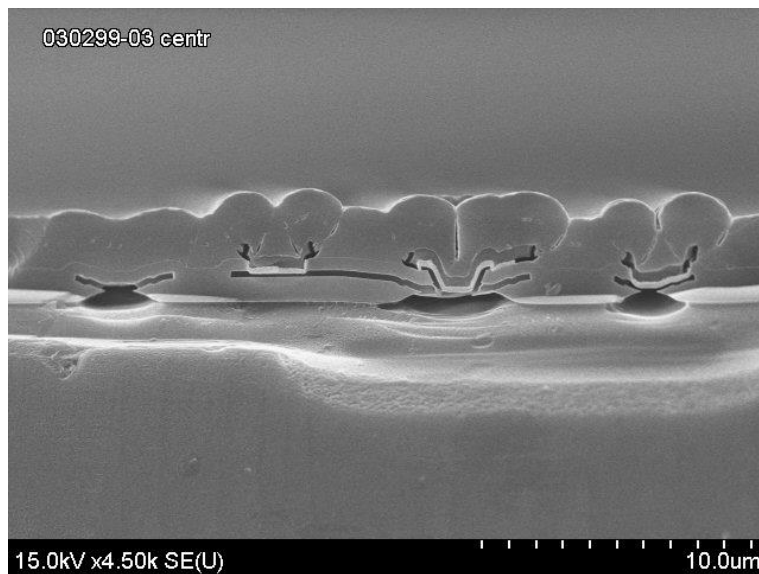


Рисунок 3. РЭМ-фото скола через NPN транзистор

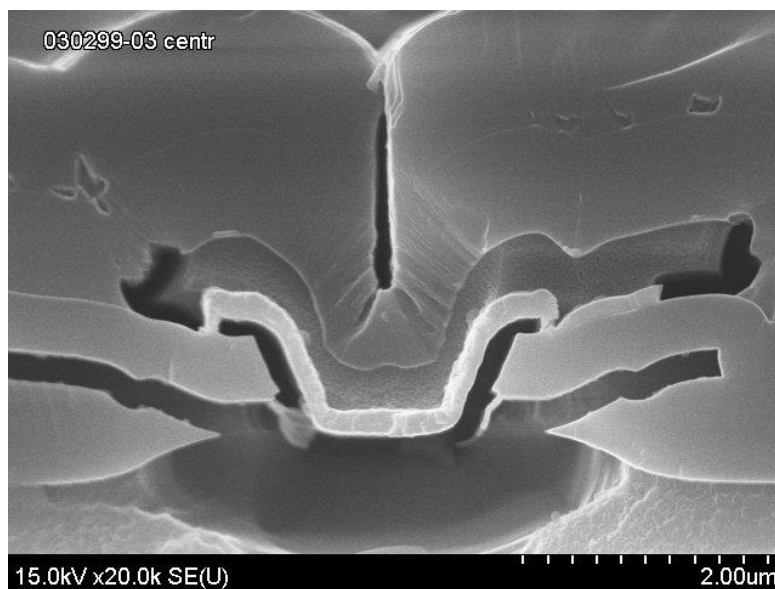


Рисунок 4. РЭМ-фото скола через эмиттерную область транзистора

На изготовленных пластинах тестовой матрицы проведены исследования вольтамперных характеристик элементной базы:

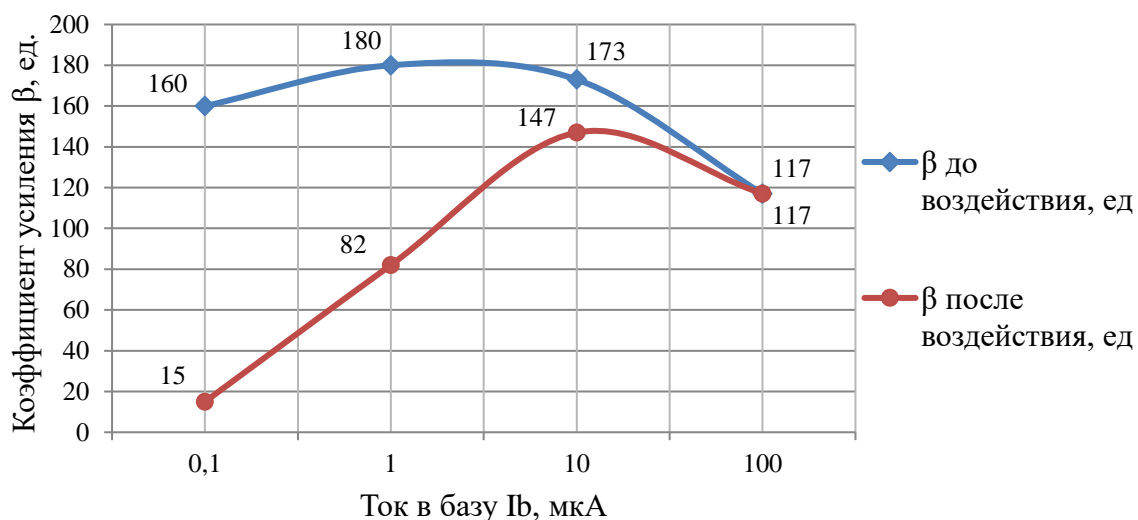
- измерения ВАХ в диапазоне температур: НУ,  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- исследования ВАХ транзисторов в условиях воздействия накопленной дозы  $\gamma$ -квантов  $10^6$  рад (фактор  $\Gamma_{И7}$ ).

Исследования динамических параметров включает в себя:

- измерения емкостей р-п переходов транзисторов;
- моделирование процесса, расчет времени пролета носителей через базу;
- определение граничной частоты.

После измерений ВАХ и ВФХ элементной базы в диапазоне температур была проведена экстракция SPICE параметров, рассчитаны удельные емкости р-п переходов и рассчитаны температурные коэффициенты сопротивления.

На рисунке 5 приведены зависимости результатов исследования транзисторов до и после воздействия спецфактора  $\Gamma_{И7}$  ( $\gamma$ -кванты) с накопленной дозой  $10^6$  рад.



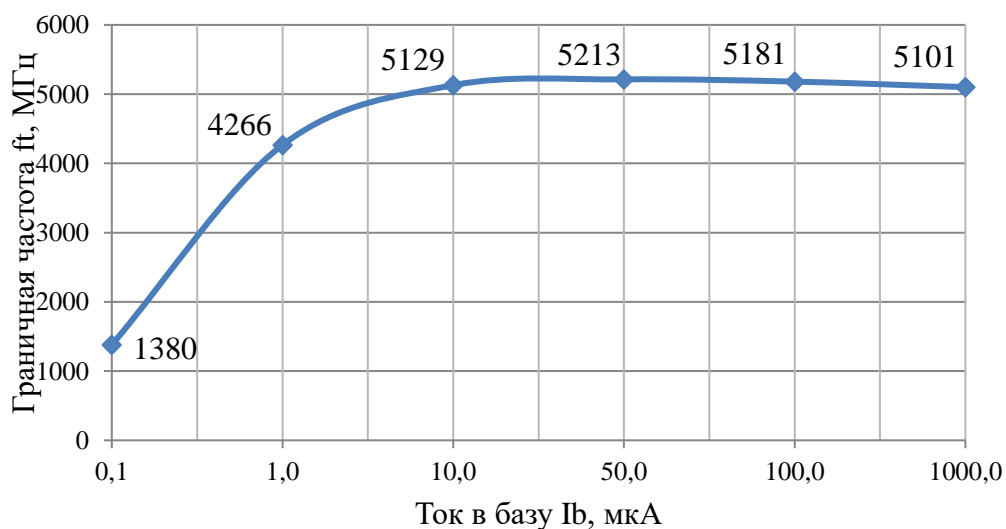
**Рисунок 5.** Зависимость коэффициента усиления NPN транзистора от тока в базу до и после воздействия фактора 7И7

Как следует из полученных данных, после воздействия спецфактора 7И7 наблюдается падение коэффициентов усиления транзисторов на малых токах в базу (менее 10 мкА).

Времена пролета носителей через базу NPN транзисторов в (tf) прямом и инверсном (tr) включении определены из результатов приборно-технологического моделирования с помощью пакета TCAD:

$$- tf=3.0 \cdot 10^{-11} \text{ с}, tr=1.0 \cdot 10^{-11} \text{ с}.$$

Расчет граничной частоты транзисторов был проведен на основе замеренных емкостей р-п переходов. Моделирование транзисторов было проведено с использованием программы SPECTRE (version 5.0.33). Результаты моделирования проиллюстрированы на рисунке 6.



**Рисунок 6.** Зависимость расчета граничной частоты NPN транзисторов от тока в базу

Максимальные значения граничной частоты  $f_t$  транзистора достигается при уровне базового тока  $I_b=50$  мкА.