

# Разработка элементной базы радиационно-стойких биполярных аналоговых ИМС

А.Н. Петлицкий<sup>1</sup>, Т.В. Петлицкая<sup>1</sup>, В.А. Филипенко<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:** в данной работе разработаны технические требования на проектирование топологии для разработки библиотеки проектирования транзисторного уровня и базового техпроцесса изготовления радиационностойких высокочастотных биполярных аналоговых ИС и БМК. Проведены исследования ВАХ транзисторов в условиях воздействия накопленной дозы  $\gamma$ -квантов. Проведены исследования динамических параметров и определены время пролета носителей через базу и граничная частота.

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

## 1. Введение

В настоящее время основными направлениями развития технологий изготовления биполярных аналоговых ИС являются:

- увеличение граничной частоты  $f_T$ ;
- уменьшение ширины эмиттера для уменьшения рабочего тока, соответствующего максимуму  $f_T$ ;
- формирование высококачественных пассивных элементов – конденсаторов с высокой удельной емкостью и малыми токами утечки, высокоомных резисторов с малой паразитной емкостью, индуктивностей с высокой добротностью;
- увеличение уровней межсоединений доступных при проектировании топологии;
- выработка новых критериев качества базового техпроцесса вместо традиционных, включающих максимум  $f_T$ , величину пробивного напряжения коллектор-эмиттер и коллектор-база;
- развитие так называемого «разумного производства» (smart foundry), которое предполагает блочное построение технологического маршрута изготовления микросхем с возможностью выбора заказчиком определенного количества типовых блоков для реализации требуемого набора параметров ИС и исключения из маршрута избыточных блоков технологических операций;
- расширение области применения ИС в условиях воздействия ионизирующих излучений при использовании в промышленных, военных и космических объектах.

Наиболее перспективным для реализации широкого ряда быстродействующих, широкополосных, микромощных, радиационно-стойких, малощумящих 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. Изготовление тестовой матрицы и экспериментальные результаты

Устойчивость ИМС к воздействию СВВФ и требуемые высокочастотные характеристики достигаются использованием специальных конструктивных и технологических решений:

- формирование высоколегированных  $p^+$  областей между элементами;
- использование вертикальных изолированных PNP транзисторов;

- формирование  $n^+$  и  $p^+$  скрытых слоев для предотвращения тиристорного эффекта;
- использование мелкозалегающих базовых областей вертикальных NPN и PNP транзисторов;
- использование слоев поликристаллического кремния (ПКК) для формирования пассивных базовых областей и эмиттерных областей вертикальных NPN и PNP транзисторов;
- использование методов самосовмещения при формировании базовых и эмиттерных областей NPN и PNP транзисторов.

Для изготовления тестовой матрицы выбрана структура на подложке КДБ-10 с тремя скрытыми слоями и эпитаксиальной пленкой  $n$ -типа.

Толщина и удельное сопротивление эпитаксиальной пленки выбраны исходя из требований к пробивному напряжению коллектор-эмиттер и коэффициенту усиления NPN и PNP транзисторов ( $U_{кэ\text{ проб.}} \geq 8 \text{ В}$ ). В качестве межкомпонентной изоляции используется изоляция  $\text{locos}+p-n$ -переход.

Активные области структуры формируются методами ионного легирования с использованием фоторезистивных масок.

Расчет конструктивных параметров структуры элементов с использованием программного пакета TMA. Моделирование ВАХ основных параметров элементной базы проводился для следующих элементов:

- вертикальный  $pnp$  – транзистор;
- вертикальный  $npn$  – транзистор;
- тест на изоляцию между  $N^+$  скрытыми слоями.

При моделировании процесса был проведен эксперимент по дозе легирования бором в слои « $P$ -скрытый коллектор» и « $P$ -карман» для вертикального PNP транзистора. В соответствии с результатами расчета при изготовлении экспериментальных образцов использовались оптимальные дозы. На основании проведенного расчета уточнены режимы формирования активных областей.

На изготовленных пластинах 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  $7I_7$ ).

Исследования динамических параметров включает в себя:

- измерения емкостей  $p-n$  переходов транзисторов;
- моделирование процесса, расчет времени пролета носителей через базу;
- определение граничной частоты.

Были проведены исследования ВАХ транзисторов до и после воздействия спецфактора  $7I_7$  ( $\gamma$ -кванты) с дозой  $10^6$  рад, в условиях воздействия накопленной дозы  $\gamma$ -квантов. После воздействия спецфактора  $7I_7$  наблюдается падение коэффициентов усиления транзисторов на малых токах в базу (менее  $10 \text{ мкА}$ ).

Был проведен расчет граничной частоты транзисторов на основе замеренных емкостей  $p-n$  переходов. Моделирование транзисторов было проведено с использованием программы SPECTRE (version 5.0.33). Максимальные значения граничной частоты  $f_t$  для обоих типов транзисторов достигаются при одном уровне базового тока  $I_b = 5E-05 \text{ А}$ . Времена пролета носителей через базу транзисторов в ( $tf$ ) прямом и инверсном ( $tr$ ) включении определены из результатов приборно-технологического моделирования с помощью пакета TCAD:

- PNP транзистор:
  - $tf = 3.5 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ ,  $tr = 1.2 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ ;
- NPN транзистор:
  - $tf = 3.0 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ ,  $tr = 1.0 \cdot 10^{-11} \text{ с}$ .

### 3. Заключение

В ходе разработки элементной базы:

- проведено технологическое моделирование вертикальной структуры элементной базы для определения режимов формирования ее активных областей;
- разработаны технические требования на проектирование топологии;
- разработана конструкция элементной базы и топология тестовой матрицы;
- разработан технологический маршрут изготовления элементной базы;
- изготовлены экспериментальные образцы пластин тестовой матрицы;
- проведено исследование ВАХ элементной базы;
- исследованы динамические параметры элементной базы;
- сняты справочные зависимости параметров элементной базы в НУ и при КТ;
- рассчитаны SPICE-параметры элементной базы;
- проведены испытания элементной базы на устойчивость к воздействию СВВФ по фактору  $7.I_7$  до уровня  $10^6$  рад (6Ус).

Разработанные технические требования на проектирование топологии могут быть использованы для разработки библиотеки проектирования транзисторного уровня и базового техпроцесса изготовления радиационностойких высокочастотных биполярных аналоговых ИС и БМК.