

УДК 621.383.52:539.12.04

DOI:10.36815/2073-8250-2020-258-3-34-42

РАДИАЦИОННО СТОЙКИЙ БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР НА СТРУКТУРАХ «КРЕМНИЙ НА ИЗОЛЯТОРЕ»

Т.А. Шоболова, С.В. Оболенский, Ю.А. Кабальнов
Филиал РФЯЦ ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякова»
603950, г. Нижний Новгород, БОКС № 486

По результатам моделирования транспорта носителей заряда представлена эффективная конструкция биполярных транзисторов с латеральной геометрией, с высоким уровнем коэффициента передачи тока базы и повышенной радиационной стойкостью. Технология изготовления латеральных биполярных транзисторов совместима с субмикронной КМОП технологией на структурах «кремний на изоляторе» и может быть актуальна при разработке аналого-цифровых микросхем радиочастотного диапазона длин волн аппаратуры спутниковой навигации, стойкой к воздействию ионизирующего излучения.

Ключевые слова: биполярный транзистор, латеральная геометрия, структуры «кремний на изоляторе», ионизирующее излучение, радиационная стойкость

Сведения об авторах: Шоболова Тамара Александровна, shobolova.ta@mail.ru; Кабальнов Юрий Аркадьевич, к.т.н., Kabalnov@niiis.nnov.ru; Оболенский Сергей Владимирович, д.т.н., obolensk@rf.unn.ru

RADIATION RESISTANT BIPOLAR SOI TRANSISTORS

T.A. Shobolova, S.V. Obolensky, Yu.A. Kabalnov
Branch of the Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Research Institute of
Experimental Physics Research - Institute of Measuring Systems named after Yu.E. Sedakov
603950, Nizhniy Novgorod, box №486

In this paper the new design of lateral bipolar transistors is presented, made on the basis of the charge carrier transport modeling. New design provides high level of base current transmission coefficient and enhanced radiation resistance. The manufacturing technology of the lateral bipolar transistors is compatible with a submicron SOI CMOS technology and can be of vital importance when developing RF analogue-to-digital microcircuits for ionizing radiation resistant satellite-navigation equipment.

Keywords: bipolar transistor, lateral geometry, silicon-on-insulator (SOI) structures, ionizing radiation, radiation resistance

Data on authors: Shobolova Tamara Aleksandrovna, shobolova.ta@mail.ru; Kabalnov Yury Arkadievich, Ph.D., kabalnov@niiis.nnov.ru; Obolensky Sergey Vladimirovich, Sc.D., obolensk@rf.unn.ru

Введение

Биполярные транзисторы, обладая высокой помехоустойчивостью, низким уровнем шумов и большим коэффициентом усиления, широко применяются в качестве активных элементов интегральных схем усилителей, генераторов и других аналоговых устройств с высокими электрическими характеристиками [1, 2]. Объединение технологии биполярных транзисторов с КМОП технологией изготовления интегральных схем позволяет на одном кристалле сочетать функции обработки аналоговых и цифровых сигналов. БиКМОП технология объединяет преимущества КМОП технологии, связанные с малой потребляемой мощностью и высокой степенью интеграции, и биполярной технологии, связанные с низким коэффициентом шума. В БиКМОП схемах в настоящее время в основном применяются биполярные транзисторы с вертикальной структурой, выполненные на основе соединений кремния-германия. Сложная технология изготовления схем с использованием соединений кремния-германия значительно увеличивает затраты на их разработку и выпуск.

Стойкость микросхем к воздействию ионизирующего излучения может быть повышена за счёт использования структур «кремний на изоляторе» (КНИ). Структуры КНИ получили широкое распространение при изготовлении радиационно стойкой элементной базы по КМОП технологии. Полная диэлектрическая изоляция элементов схем при воздействии ионизирующего излучения снижает вероятность утечек по подложке и исключает образование паразитных тиристорных структур. Однако изготовление биполярных транзисторов с вертикальной геометрией на подложках КНИ крайне затруднено. Это обусловлено малой толщиной, не более 200 нм, приборного слоя кремния, ограниченного со стороны подложки слоем «захороненного» диэлектрика.

Биполярные транзисторы с горизонтальной структурой, выполненные на эпитаксиальных слоях или объёмном кремнии, давно используются при изготовлении интегральных схем, в том числе элементов инжекционной логики (И²Л) [3]. Вместе с тем латеральные транзисторы как горизонтальные структуры с боковой инжекцией проявляют более высокую чувствительность к воздействию ионизирующего излучения в сравнении с вертикальными транзисторами. Активная база латеральных транзисторов формировалась как область, заключённая между диффузионными слоями эмиттера и коллектора, и её толщина определялась расстоянием между окнами в фоторезистивных масках. При микронных проектных нормах толщина базы латеральных транзисторов значительно превышала толщину базы вертикальных транзисторов, у которых она формируется в процессе диффузии примесей в область активной базы и эмиттера. Большое время пролёта носителями заряда области базы горизонтальных транзисторов обуславливало снижение коэффициента передачи тока базы даже при небольших уровнях воздействия.

Уменьшение проектных норм до сотен нанометров обеспечивает проведение разработки рассчитанных на радио- и сверхвысокий диапазоны рабочих частот латеральных транзисторов на диэлектрических плёнках [4]. В работе [4] активная база с толщиной меньше 100 нм формируется с использованием спейсеров в качестве масок при имплантации примеси. По самосовмещённой технологии формируются области эмиттера и коллектора и селективно имплантированные малыми дозами области коллектора. Пассивная база создаётся диффузией из насыщенной бором плёнки поликристаллического кремния по всей области активной базы сверху. Kontakтами к базе служат слои поликристалли-

ческого кремния и металла. Вместе с тем уменьшение времени пролёта носителей в базовой области не является достаточным условием для обеспечения высокой радиационной стойкости данной конструкции. Следует отметить, что большая площадь контакта активной и пассивной базы может привести к росту базового тока и соответствующему снижению коэффициента усиления транзисторов при воздействии ионизирующего излучения. Радиационная стойкость латеральных транзисторов на структурах КНИ к воздействию гамма-излучения (средняя энергия 1 МэВ) до настоящего времени детально не исследовалась.

В работе по результатам моделирования транспорта носителей заряда в 2D и 3D квазигидродинамическом приближении с учётом радиационного воздействия представлена эффективная конструкция и технология изготовления радиационно стойких латеральных биполярных транзисторов на структурах «кремний на изоляторе». Транзисторы могут быть использованы в качестве активных элементов в аналого-цифровых схемах приёмопередающих модулей бортовой аппаратуры спутниковой связи.

Физико-топологическая модель транзисторов

Рассмотрены варианты структур латеральных транзисторов, а также зависимость их параметров от уровня воздействия ионизирующего излучения. Оптимальная конструкция транзисторов определялась по результатам численного моделирования транспорта носителей заряда. Расположение активных областей эмиттера, базы и коллектора таково, что движение носителей заряда от эмиттера к коллектору проходит параллельно поверхности полупроводниковой структуры. Это позволяет разместить транзистор в 200 нм-м приборном слое кремния. Приоритетной задачей было снижение величины базовых токов, определяющих токи рекомбинации в активных областях структуры транзистора. Важным фактором конструкции, влияющим на транспорт носителей и параметры транзисторов, явилось расположение контактов к области активной базы.

На рис. 1 представлены конструкции биполярных транзисторов, которые использовались при расчётах, с верхним и периферийным контактом к области активной базы. Транзисторы выполнены в

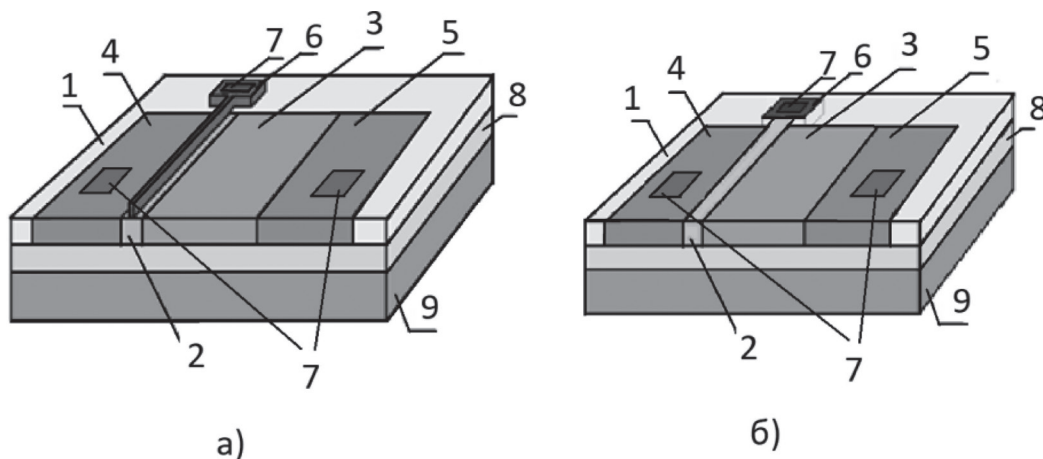


Рис. 1

Модельный вид конструкции биполярных транзисторов с верхним (а) и периферийным (б) контактом к базе: 1 – диэлектрическая изоляция; 2 – область активной базы; 3 – область p^- -коллектора; 4 – область p^+ -эмиттера; 5 – p^+ -коллектор; 6 – пассивная база; 7 – области контактов; 8 – «захороненный» диэлектрик; 9 – подложка

эпитаксиальном слое кремния толщиной 200 нм и имеют латеральное расположение активных областей эмиттера, базы и коллектора. Формировались транзисторы в электрически изолированном кармане с использованием боковой диэлектрической изоляции и слоя «захороненного» диэлектрика. Сравнивались параметры транзисторов, имеющих аналогичную геометрию активных областей и равную концентрацию примеси в n^+ -эмиттере и коллекторе ($N_{e,c(n+)}$), базе (N_b) и n^- -коллекторе ($N_{c(n-)}$). Толщина области активной базы (W) определяется проектными нормами субмикронной технологии с диапазоном 0.24-0.35 мкм. Максимальная ширина активной области транзистора была обусловлена шириной активной базы и составляла при моделировании 10 мкм. Силицидированные контакты к эмиттеру и коллектору выполняются аналогично для обоих транзисторов. Отличие конструкции транзисторов заключается в верхней и периферийной геометрии контактов к пассивной базе. Концентрации примесей в активных областях варьировались с целью определения оптимальных электрических параметров транзисторов. В сильнолегированных областях эмиттера и коллектора ($N_{e,c(n+)}$) концентрации примеси при расчётах начинались с уровня $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, в области активной базы (N_b) с уровня $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Контакты к базе моделировались с пренебрежимо малым контактным сопротивлением. Значения электрофизических параметров варьировались с учётом требований к параметрам микросхем, выполненных по субмикронной биполярной и КМОП технологии. Учитывались требования к параметрам транзисторов по диапазону напряжений питания, токам потребления, коэффициенту передачи тока базы. Рассматривалась схема включения транзистора с общим эмиттером. Напряжение, приложенное к области базы, варьировалось в пределах

0-0.9 В, напряжение, приложенное к коллектору, – от 0 до 3.3 В.

Численное моделирование транспорта носителей заряда проводили с использованием САПР TCAD в 2D и 3D квазигидродинамическом приближении. Модель включала систему уравнений Пуассона, непрерывности, баланса энергии и импульса носителей заряда, выражения для плотности токов и потоков энергии электронов и дырок. Возможности TCAD, основанные на совокупности физических моделей, алгоритмах построения сетки и программных комплексах для численного моделирования, позволяют с хорошим приближением выполнять расчёты электрических параметров транзисторов с оптимизацией технологических режимов их изготовления.

В модели учитывались диффузионные и дрейфовые процессы транспорта носителей заряда. Был проведён анализ взаимного влияния отдельных процессов на эффективность работы транзистора: интенсивности рекомбинации инжектированных электронов и дырок в базе, инжекции носителей заряда из базы в эмиттер, вклада поперечного, т. е. ортогонального к направлению тока эмиттер-коллектор, сопротивления базы. Распределения электрических полей и потенциалов для двух типов транзисторов существенно различаются, поэтому наиболее точные результаты для плотности токов были получены в трёхмерном приближении. Так как толщина активной базы для структур латеральных транзисторов, выполненных по субмикронной технологии с проектными нормами в диапазоне 0.24-0.35 мкм, соответствует топологическим нормам, транспорт носителей заряда моделировали без учёта нехарактерных для данной топологии квазибаллистических эффектов. Эффективность функционирования транзистора определялась по результатам расчёта вольт-амперных характеристик. Моделировалось про-

течение тока в транзисторах до и после воздействия ионизирующего излучения. Оптимизация конструкции и технологии изготовления биполярных транзисторов выполнялась по критерию уровня их радиационной стойкости.

Радиационное воздействие учитывалось путём изменения электрофизических параметров полупроводниковой структуры транзистора. Так как транзисторы формируются в электрически изолированных карманах, наибольшее влияние на их характеристики при воздействии ионизирующего излучения оказывают связанные положительные заряды, накапливающиеся в боковой изоляции, пассивации и «захороненных» диэлектриках. Связанный положительный заряд в слое диэлектриков вводился на границе с рабочим слоем кремния. Величина заряда была пропорциональна дозе ионизирующего излучения. Основное внимание уделялось расчётам характеристик *n-p-n* биполярных транзисторов как наиболее чувствительных к воздействию ионизирующего излучения. Учитывалось влияние радиационного воздействия на уровни токов транзисторов в закрытом и рабочем состоянии с потенциалом на базе в диапазоне от 0 до 0.9 В.

Результаты моделирования

Для транзисторов с периферийной геометрией контакта сопротивление активной базы зависит от её ширины. По величине тока коллектора и коэффициента передачи тока базы был определён оптимальный

размер области активной базы. В соответствии с результатами моделирования взаимосвязанных эффектов инжекции из эмиттера носителей заряда и изменения сопротивления базы была определена оптимальная ширина базы с учётом воздействия ионизирующего излучения. В табл. 1 представлены результаты моделирования в 2D приближении характеристик *n-p-n* биполярных транзисторов с различной шириной базы при напряжении на базе $U_b = 0.7$ В и напряжении коллектора $U_c = 3.3$ В до и после воздействия ионизирующего гамма-излучения при наведённой плотности поверхностных состояний $N_s = 10^{12}$ см⁻². Хорошо прослеживается зависимость параметров транзисторов от размера области активной базы. Из таблицы следует, что транзисторы с шириной базы менее 5 мкм имеют низкие коэффициенты усиления и отказывают при воздействии ионизирующего излучения. При увеличении ширины базы до 10 мкм заметно снижение коллекторных токов, обусловленное ростом её сопротивления. Наилучшие характеристики у транзисторов с шириной базы 5-7 мкм. Следует отметить, что конструкция транзистора с периферийной пассивной базой допускает выполнение топологии в виде ячеистой структуры при необходимости увеличения его мощности.

Параметры транзисторов зависят от уровня легирования его активных областей. Оптимальные концентрации примеси в эмиттере, базе и коллекторе для транзисторов с периферийным контактом

Таблица 1

Параметры транзисторов до и после воздействия ионизирующего излучения

W , мкм	До облучения			После облучения		
	I_c , А	I_b , А	β	I_c , А	I_b , А	β
0.2	$4.6 \cdot 10^{-7}$	$6.8 \cdot 10^{-8}$	6.7	отказ	отказ	отказ
3	$6.3 \cdot 10^{-6}$	$3.3 \cdot 10^{-7}$	19	отказ	отказ	отказ
5	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$3.0 \cdot 10^{-7}$	~90	$7.8 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{-6}$	~90
7	$2.5 \cdot 10^{-5}$	$2.9 \cdot 10^{-7}$	~85	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$7.8 \cdot 10^{-6}$	~85
10	$2.1 \cdot 10^{-5}$	$2.5 \cdot 10^{-7}$	~85	$5.4 \cdot 10^{-4}$	$6.3 \cdot 10^{-6}$	~85

Таблица 2

Параметры транзисторов в зависимости от уровня легирования активных областей

№ п/п	$N_{e,c(n+)}, \text{см}^{-3}$	$N_b, \text{см}^{-3}$	$N_{c(n-)}, \text{см}^{-3}$	$I_c, \text{А}$	$I_b, \text{А}$	β
1	1×10^{19}	$8 \cdot 10^{16}$	1×10^{17}	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	125
2	1×10^{19}	1×10^{17}	1×10^{17}	$1,027 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	89
3	1×10^{19}	2×10^{17}	1×10^{17}	$5,02 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	46
4	1×10^{19}	1×10^{17}	2×10^{17}	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-7}$	41
5	1×10^{20}	1×10^{17}	1×10^{17}	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	65

к базе определялись по величине коллекторного тока и коэффициента передачи тока базы. При расчётах варьировались уровни концентрации примеси в одной из трёх активных областей транзистора. В табл. 2 представлены результаты моделирования в 3D квазигидродинамическом приближении характеристик транзисторов при различных значениях концентрации примеси в сильнолегированных областях эмиттера и коллектора ($N_{e,c(n+)}$), области активной базы (N_b) и низколегированной области коллектора ($N_{c(n-)}$) (напряжение на базе $U_b = 0.7 \text{ В}$, напряжение коллектора $U_c = 3.3 \text{ В}$).

Из таблицы следует, что на величину коэффициента передачи тока базы оказывают влияние уровни концентрации примеси всех трёх активных областей транзистора. Снижение уровня легирования активной базы приводит к увеличению β . Однако при этом падает напряжение пробоя транзисто-

ров даже при относительно малых дозах облучения. При увеличении концентрации примеси в сильнолегированных областях эмиттера и коллектора роста коэффициента передачи тока базы не наблюдается. Его величина сохраняется на уровне средних значений. К оптимальной можно отнести концентрацию примеси в области n^+ -эмиттера-коллектора на уровне $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ при концентрации примеси в активной базе $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Сравнение параметров транзисторов с верхним и периферийным базовым контактом показывает значительные преимущества последних. Характеристики двух типов транзисторов до и после воздействия ионизирующего излучения в зависимости от уровня наведённой плотности поверхностных состояний при напряжении на базе $U_b = 0.7 \text{ В}$ и напряжении коллектора $U_c = 3.3 \text{ В}$ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры транзисторов с боковым и верхним контактом к базе

Тип базового контакта	Параметры транзисторов	До облучения	После воздействия гамма-излучения* (соответствующий уровень N_s)		
			$N_s = 10^{10} \text{ см}^{-2}$	$N_s = 10^{11} \text{ см}^{-2}$	$N_s = 10^{12} \text{ см}^{-2}$
С боковым контактом	$I_c, \text{А}$	$2.7 \cdot 10^{-6}$	$2.8 \cdot 10^{-6}$	$2.9 \cdot 10^{-6}$	$7.8 \cdot 10^{-4}$
	$I_b, \text{А}$	$5.0 \cdot 10^{-8}$	$5.1 \cdot 10^{-8}$	$5.13 \cdot 10^{-8}$	$9.1 \cdot 10^{-6}$
	β	~ 54	~ 55	~ 56	~ 85
С верхним контактом	$I_c, \text{А}$	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$3.6 \cdot 10^{-4}$	$3.7 \cdot 10^{-4}$	отказ
	$I_b, \text{А}$	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$7.3 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-4}$	отказ
	β	13	4.9	1.9	отказ

* – без учета влияния нейтронного излучения

Сравнивались характеристики транзисторов с аналогичной геометрией и равными концентрациями примеси в активных областях структур. При расчётах использовались полученные ранее оптимальные концентрации примеси в области эмиттера, базы и коллектора. Как видно из таблицы, латеральные транзисторы с «традиционным» верхним контактом к области активной базы имеют значительно меньшую величину коэффициента передачи тока базы, при этом после облучения при наведённой плотности поверхностных состояний $N_s = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ наблюдается отказ функционирования. Воздействие ионизирующего излучения на транзисторы с периферийным контактом к области активной базы приводит к росту величины коллекторных и базовых токов, что обусловлено влиянием связанных положительных зарядов в диэлектриках. Однако катастрофических отказов работы транзисторов отмечено не было. При облучении транзисторы сохраняли высокие уровни коэффициента передачи тока базы. Рост коллекторных и базовых токов транзисторов при облучении в основном определяется паразитными каналами утечек. Существенно меньший вклад вносят токи рекомбинации носителей заряда на границе раздела с диэлектриком.

Уровни по своему характеру рекомбинационных базовых токов для двух типов транзисторов существенно различаются. Расположение базового контакта сверху над областью активной базы приводит к снижению коэффициента передачи тока базы транзисторов ввиду высокого уровня инжекции основных носителей заряда из области активной базы в эмиттер. Конструктивный вариант транзистора с областью пассивной базы на периферии активной позволяет организовать эффективный транспорт носителей заряда от эмиттера к коллектору за счёт изменения распределения поля в области активной базы по сравнению с «традиционным» транзисто-

ром. Конструкция транзистора с областью пассивной базы на периферии активной позволяет значительно улучшить его характеристики и обеспечить достижение высокого уровня стойкости к ионизирующему излучению.

Распределения плотности базовых и коллекторных токов в таблицах были представлены как результаты расчётов в 2D и 3D приближении. Результаты показывают необходимость учёта трёхмерных эффектов. Используемые на практике транзисторы с верхним контактом к области активной базы обладают близкой к 2D симметрией в распределении токов. Транзисторы с периферийным контактом к области активной базы такой симметрии не имеют, поэтому наиболее точные результаты получены в 3D приближении. Так как градиенты распределения поля в активной базе транзисторов различной геометрии по направлению отличаются, также отличаются распределения плотности базовых и коллекторных токов и коэффициент передачи тока базы.

Изменения параметров транзисторов в изолированных диэлектриком карманах представлены как результат преобладающего воздействия гамма-излучения без учёта влияния эквивалентного уровня быстрых нейтронов. Известно [3], что воздействие нейтронов приводит к эффектам смещения и снижению коэффициента передачи тока базы транзисторов. Учёт изменения времени жизни носителей заряда при моделировании, обусловленный эффектами смещения, не показал отказов функционирования транзисторов с периферийным контактом к базе. Однако влияние эквивалентного уровня быстрых нейтронов требует дополнительного рассмотрения. Следует отметить, что показаны активные режимы работы транзисторов, т. к. при этом результаты моделирования и измерений параметров тестовых структур обычно различаются в пределах 10-15 %. В обла-

сти микрорежимов значения параметров при моделировании необходимо анализировать отдельно, т. к. они могут отличаться порядком величины с данными измерений.

Маршрут изготовления

Технологический маршрут изготовления латеральных биполярных транзисторов совмещается с КМОП маршрутом по составу операций. Биполярные транзисторы формируются на структурах «кремний на изоляторе» с толщиной приборного слоя кремния 200 нм и толщиной скрытого слоя диэлектрика 150-200 нм. В технологическом маршруте используются операции фотолитографии, осаждения диэлектрических и проводящих слоёв, операции ионного легирования, термических обработок, плазмохимического травления. Топологическая схема размещения активных и пассивных областей биполярного транзистора представлена на рис. 2. Оптимальные геометрические размеры области активной базы определяются по результатам моделирования – толщина 0.2-0.3 мкм, ширина 5-7 мкм. Первоначально проводится

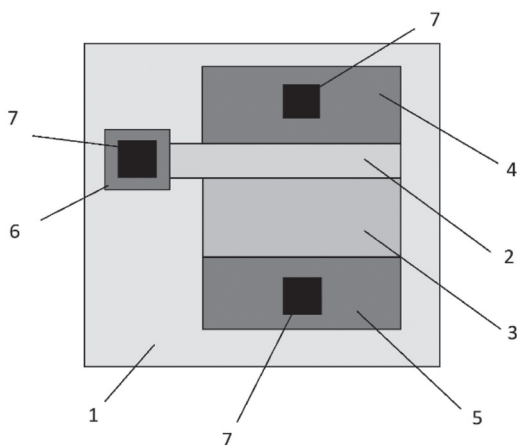


Рис. 2

Топологическая схема биполярного транзистора с периферийным контактом к базе:

1 – диэлектрическая изоляция; 2 – область активной базы; 3 – область n^- -коллектора; 4 – область n^+ -эмиттера; 5 – n^+ -коллектор; 6 – пассивная база; 7 – области контактов

формирование электрически изолированной приборной области транзистора с использованием операций фотолитографии и плазмохимического травления эпитаксиального слоя кремния по маскам двуокиси и нитрида кремния. Выполняется боковая диэлектрическая изоляция осаждением плёнки двуокиси кремния. Затем с использованием операции химико-механической полировки проводится планаризация поверхности.

Легирование области активной базы транзисторов выполняют по маске фоторезиста через буферный слой двуокиси кремния. Для более равномерного распределения примеси на всю глубину эпитаксиального слоя кремния легирование базы для n - p - n транзисторов проводят двойной имплантацией ионами бора и BF_2^+ . Слаболегированную область коллектора выполняют двойной имплантацией ионами фосфора также по маске фоторезиста через буферный слой двуокиси кремния на всю глубину эпитаксиального кремния. После нанесения на поверхность структур плёнки диэлектрика имплантацией ионов фосфора формируют n^+ области эмиттера и коллектора, имплантацией ионов бора p^+ область пассивной базы. Дозы легирования определяются по результатам моделирования оптимальных для характеристик транзисторов концентраций примеси в активных областях структур: $N_{e,c(n^+)}$, N_b , $N_{c(n^-)}$. Для активации примеси и отжига радиационных дефектов используют быстрый термический отжиг в течение 30 секунд с нагревом поверхности кристаллов до температуры 1000 °С. После осаждения плёнки диэлектрика и травления контактных окон к областям эмиттера, базы и коллектора формируют металлизацию, при этом количество уровней металла определяется степенью сложности микросхемы. Латеральные биполярные транзисторы p - n - p типа изготавливают аналогично с изменением типа примеси рабочих областей структур.

Близость конструкции и технологии изготовления латеральных биполярных и МОП транзисторов может обеспечить успешную разработку электрических схем и проектирование совмещённой топологии БикМОП интегральных схем. Уровни коллекторных токов биполярных транзисторов близки к плотности драйверных токов МОП транзисторов, созданных по технологии с соответствующими проектными нормами.

Заключение

Рассмотрены конструктивные варианты латеральных биполярных транзисторов на структурах «кремний на изоляторе». Приводятся результаты численного моделирования с использованием САПР TCAD транспорта носителей заряда в активных областях транзисторов в 2D и 3D квазигидродинамическом приближении. В модели учитывались диффузионные и дрейфовые процессы движения носителей с анализом взаимного влияния на работу транзисторов интенсивности рекомбинации электронов и дырок в базе, инжекции носителей заряда из базы в эмиттер, вклада сопротивления базы. Эффективность функционирования транзисторов определялась по результатам расчёта вольт-амперных

характеристик. Моделировалось протекание тока до и после воздействия ионизирующего излучения. Радиационное воздействие учитывалось путём изменения электрофизических параметров полупроводниковой структуры транзисторов.

Из сравнения параметров транзисторов определена оптимальная конструкция с периферийным базовым контактом. Конструкция латеральных биполярных транзисторов с периферийным контактом к базе позволяет организовать эффективный транспорт носителей заряда от эмиттера к коллектору, что обуславливает повышенный коэффициент передачи тока базы и достижение максимальных уровней стойкости к ионизирующему излучению. Характеристики транзисторов сохраняют свои значения при наведённой при гамма-излучении плотности поверхностных состояний $N_s = 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Предложенная конструкция и технология изготовления латеральных биполярных транзисторов совместима с технологией КМОП БИС и может представлять интерес при разработке радиационно стойких аналоговых и цифровых схем бортовой аппаратуры спутниковой связи.

Литература

1. Зи, С. Физика полупроводниковых приборов / М.: Мир, 1984.
2. Гаман, В.И. Физика полупроводниковых приборов / Томск, 1989.
3. Агаханян, Т.М. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах / Т.М. Агаханян, Е.Р. Аствацатурьян, П.К. Скоробогатов // М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. I.-S. M. Sun, W.T. Ng, H. Mochizuki, K. Kanekiyo, T. Kobayashi, M. Toita, H. Imai, A. Ishikawa, S. Tamura, K. Takasuka, RF lateral BJT on SOI for realization of RF SOI-BiCMOS technology, IEEE, Conference: Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, 2006.

References

1. Zi S., Fizika poluprovodnikovyykh priborov [Physics of semiconductor devices]. Moscow, Mir, 1984.
2. Gaman V.I., Fizika poluprovodnikovyykh priborov [Physics of semiconductor devices]. Tomsk, 1989.
3. Agakhanyan T.M., Astvatsyryan E.R., Skorobogatov P.K., Radiatsionnyye efekty v integral'nykh mikroskhemakh [Radiation effects in integrated microcircuits]. Moscow, Energoatomizdat, 1989.
4. Sun I.-S. M., Ng W.T., Mochizuki H., Kanekiyo K., Kobayashi T., Toita M., Imai H., Ishikawa A., Tamura S., Takasuka K. RF lateral BJT on SOI for realization of RF SOI-BiCMOS technology. IEEE Conference: Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, 2006.