

ISSN 2220-6418

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО «РОСКОСМОС»
АКАДЕМИЯ ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ КОСМОНАВТИКИ имени К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ» РАН
(ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР РАН имени А. А. ДОРОДНИЦЫНА)
АО «УПКБ "ДЕТАЛЬ"», АО «РАДИОЗАВОД», ПЕНЗЕНСКИЙ ФИЛИАЛ ФГУП НТЦ «АТЛАС»
ФГУП ФНПЦ «ПО "СТАРТ" имени М. В. ПРОЦЕНКО», АО «НИИЭМП»
АО «ПНИЭИ», АО «НИИФИ», АО «НПП "РУБИН"»
ЕВРАЗИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени Л. Н. ГУМИЛЕВА
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



ТРУДЫ
МЕЖДУНАРОДНОГО СИМПОЗИУМА
НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО

*Посвящается 60-й годовщине
полета первого человека в космос*

Том 1

ПЕНЗА 2021

3. Затучный Д.А. К проблеме устойчивости и радиотехнической защищенности навигационных систем воздушного судна гражданской авиации, использующих точные системы спутниковой навигации. - Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», Пенза, 2018, Том 1, стр. 38-40.

4. Слюсар В. Радиопереходы связи с БПЛА: примеры реализации. - Электроника: наука, технология, бизнес. – 2010. - № 5. С. 56 - 60.

5. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов. Под ред.: М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2009.

6. Шаваев А.В. Разработка рекомендации по совершенствованию обслуживания беспилотных авиационных систем. - В сборнике: Наука и молодёжь: проблемы, поиски, решения, Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Сибирский государственный индустриальный университет; под общественной редакцией М.В. Темлянцева, 2019, с. 314-322.

УДК 621.382

Головашкин¹А.Н., Денисова²А.Е., Селивёрстова³В.В.

^{1,2,3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{1,2,3} kirpa@pnzgu.ru

СНИЖЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДИФФУЗИОННЫХ РЕЗИСТОРОВ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ P-N-ПЕРЕХОДОВ НА СЕЧЕНИЕ РЕЗИСТОРА

Аннотация. Диффузионные резисторы широко используются в аналоговых микросхемах. Достоинством диффузионных резисторов является то, что они изготавливаются в едином технологическом процессе вместе с активными элементами микросхемы. Алгоритм расчета, представленный на открытых интернет-ресурсах, является неточным, т.е. дает высокую погрешность номинала. Одной из составляющих суммарной погрешности номинала является погрешность на проектирование резистора. В статье рассматривается методика расчета диффузионных резисторов, которая позволяет уменьшить погрешность воспроизведения на стадии проектирования резистора за счет учета влияния областей объемного заряда p-n-переходов на сечение резистора.

Ключевые слова: диффузионный резистор, снижение погрешности, эффективная толщина, p-n-переход, контактная разность потенциалов, условие электронейтральности.

Введение

В полупроводниковых микросхемах функцию резистора выполняет объем полупроводника, имеющий определенные размеры и конфигурацию, или транзисторная схема (аналог резистора). Интегральные резисторы могут быть разделены на следующие типы в зависимости от их структуры: диффузионные (на основе эмиттерной или базовой области); эпитаксиальные (на основе коллекторной области); пинч-резисторы, а также резисторы, изготавливаемые методом ионного легирования. Актуальность работы заключается в том, что все интегральные резисторы, кроме последнего из перечисленных типов, изготавливаются одновременно с активными элементами микросхем без введения дополнительных этапов обработки. Они создаются на основе коллекторной, базовой или эмиттерной областей транзистора [1].

Диффузионные резисторы изготавливаются на основе базовой и эмиттерной областей транзисторной структуры, с помощью одно- и двухстадийной диффузии. Диффузионные резисторы обладают низкой точностью.

Основной целью настоящей работы является разработка методики уточненного расчета с целью снижения относительной погрешности при проектировании резисторов данного типа. Для этого необходимо учесть влияние толщины p-n-переходов на сечение резистора.

Предмет и методы исследования

Предметом исследования является высокая погрешность диффузионных резисторов.

В качестве методов исследования использовались: анализ литературы, анализ документации, моделирование, проектирование.

Основная часть

Одной из причин высокой погрешности номинала диффузионных резисторов является использование для расчетов геометрической толщины слоя, без учета областей объемного заряда (ООЗ) p-n-переходов. В доступных источниках для расчета сопротивления квадрата используются следующие формулы:

$$\rho = \frac{1}{q\mu N_{эф}}, \quad (1)$$

где ρ – удельное объемное сопротивление, μ – подвижность основных носителей, N – эффективная концентрация примеси, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона;

$$R_S = \rho / \delta_{геом}, \quad (2)$$

где R_S – удельное поверхностное сопротивление, $\delta_{геом}$ – геометрическая толщина слоя [2].

Для того, чтобы добиться снижения погрешности на проектирование резистора, необходимо определить эффективную толщину сечения используемого для формирования резистора слоя транзисторной структуры. Расчеты производились для диффузионного резистора, сформированного на основе базовой области транзисторной структуры с параметрами, представленными в таблице 1.

Параметры выбранной транзисторной структуры

Таблица 1

Исходная подложка	Примеси	Концентрация примеси коллектора, N_K , см ⁻³	Поверхностная концентрация примеси, N_S , см ⁻³	Необходимая глубина залегания эмиттерного перехода, x_z , мкм	Необходимая глубина залегания коллекторного перехода, x_k , мкм
Si – p-типа	Бор – база-Фосфор – эмиттер	10^{13}	$5 \cdot 10^{17}$	0,2	5,2

Для определения эффективной толщины базовой области необходимо рассчитать контактные разности потенциалов и толщину коллекторного перехода.

Первым этапом, используя профиль распределения эффективной концентрации примеси, были определены максимальные концентрации в базе ($N_{bmax} = 3,31 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$) и в коллекторе ($N_{kp} = 10^{19} \text{ м}^{-3}$).

Предварительно, для расчетов использовалась модель резкого p - n -перехода, применение которой не дало адекватных результатов. Далее была использована уточненная модель с применением условия электронейтральности.

При использовании метода последовательного приближения и выполнения некоторых вычислений, были получены следующие значения толщины ООЗ p - n -перехода со стороны базы (δp_k) и коллектора (δn_k), а также толщина коллекторного перехода (δ_k):

$$\delta n_k = 6 \text{ мкм},$$

$$\delta p_k = 0,5 \text{ мкм},$$

$$\delta_k = 6,5 \text{ мкм}.$$

Контактная разность при полученных значениях равна

$$\varphi_{k1} = 0,265 \text{ В},$$

$$\varphi_{k2} = 0,275 \text{ В}.$$

Условие электронейтральности выполняется, следовательно, значения толщины ООЗ p - n -перехода подобраны верно.

Далее найдено значение эффективной толщины базовой области

$$\delta_{\text{Вэфф}} = \delta_{\text{Вгеом}} - \delta p_k = 4,5 \text{ мкм}, \quad (3)$$

где $\delta_{\text{Вгеом}} = 5 \text{ мкм}$ – геометрическая толщина базы.

Используя эффективную толщину области, рассчитывается значение удельного поверхностного сопротивления.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования был проведен расчет сопротивления квадрата для базовой области выбранной транзисторной структуры (таблица 1) без учета (по формулам 1 и 2) и с учетом, используя эффективную толщину базовой области (формула 3), толщины ООЗ p - n -перехода.

Сравнив результаты расчетов, было выявлено, что эффективная толщина базовой области на 10% меньше, чем геометрическая, относительная погрешность сопротивления равна 11%.

По результатам исследования можно сделать вывод, что при учете толщины ООЗ p - n -переходов транзисторной структуры в расчете эффективной толщины, используемой для формирования резистора области, возможно снизить погрешность на проектирование диффузионных резисторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королёв [и др.]; под общей ред. чл.-корр. РАН проф. Ю. А. Чаплыгина. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015 — 397 с.: ил.
2. Белоус А.И., Красников Г.Я., Солодуха В.А. Основы проектирования субмикронных микросхем. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2020. — 782 с.
3. Ковалев, А. Н. Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография / А. Н. Ковалев. — Москва: МИСИС, 2011. — 364 с.

УДК 621.382

Селиверстова В.В.

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

kipra@pnzgu.ru

РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ ПОДВИЖНОСТИ ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИМЕСИ В БАЗЕ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Аннотация. Для заданной биполярной структуры построены профили легирования для двухстадийной диффузии для базы и одностадийной - для эмиттера. На основе полученных профилей легирования построен профиль эффективной концентрации, который вносит вклад в расчет подвижности основных носителей заряда в базе данной структуры. По результатам представлена зависимость подвижности основных носителей заряда от концентрации.

Ключевые слова: концентрация, эффективная концентрация, примесь, профиль распределения, подвижность.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы состоит в том, что базовая область биполярных транзисторов в полупроводниковой технологии используется в том числе и для формирования диффузионных, в частности, пинч-резисторов. Реальное распределение примеси в базе неравномерно и профиль распределения эффективной концентрации не является линейным. Неравномерное распределение примеси в базе ведет также к различным значениям подвижности носителей заряда в разных частях базы, так как подвижность имеет нелинейную зависимость от концентрации.

Целью исследования является расчет и построение профиля распределения эффективной концентрации основных носителей заряда в базе, а также расчет зависимости подвижности основных носителей заряда от концентрации, что в дальнейшем может снизить погрешность при проектировании диффузионных резисторов на базе биполярных транзисторов.

1 Расчет профиля эффективной концентрации

Рассматривается биполярная структура, в которой сформированы области коллектора – Si p -типа, базы – Sb, эмиттера – Al.

Базовая область образуется в ходе двухстадийной диффузии. Распределение примеси представлено на рисунке 1: