

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ
ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ**

Учебно-методическое пособие

Составители:
Ю. И. Дикарев,
Л. Н. Владимирова,
В. М. Рубинштейн

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Интегральные резисторы.....	5
1.1. Основные характеристики интегральных резисторов	5
1.2. Топология интегральных резисторов	9
1.3. Особенности расчета диффузионных резисторов	10
1.4. Примеры расчета интегральных резисторов.....	12
2. Конденсаторы ИМС	18
2.1. Диффузионные конденсаторы.....	18
2.2. МДМ конденсаторы.....	24
2.3. Расчет диффузионных конденсаторов.....	26
2.4. Пример расчета диффузионного конденсатора	28
3. Контрольные вопросы и задания.....	30
4. Литература	34

зией, разброс этого отношения при $b \geq 25$ мкм обычно лежит в пределах $\pm 0,5\%$. Когда ширина резистора уменьшается до 7 мкм, разброс отношений сопротивлений увеличивается до 2 %. С увеличением проектного отношения сопротивлений возрастает и разброс отношений. Так, если при отношении номиналов 1 : 1 разброс отношений составляет $\pm 0,5\%$, то при отношении номиналов 5 : 1 – 1,5 %.

Сопротивление диффузионного резистора представляет собой объемное сопротивление участка диффузионного слоя, ограниченного p - n -переходом. Оно определяется геометрическими размерами диффузионной области и распределением примеси по глубине диффузионного слоя, которое, в свою очередь, характеризуется удельным поверхностным сопротивлением R_s . Значение R_s зависит от технологических режимов диффузии и для базовой области составляет 100–300 Ом/□. На основе базового диффузионного слоя можно получить резисторы с номиналами сопротивления от 100 Ом до 60 кОм.

При необходимости создания в ИМС резисторов с $R > 60$ кОм используют пинч-резисторы. Структура пинч-резистора, сформированного в базовом диффузионном слое p -типа, показана на рис. 2.

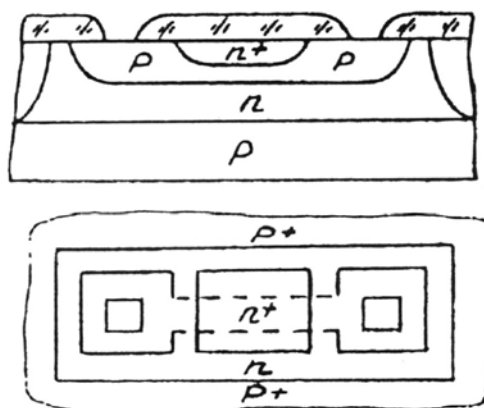


Рис. 2. Конструкция пинч-резистора

Такой резистор по R превосходит все другие типы диффузионных резисторов, но имеет очень большой разброс сопротивлений из-за совместного влияния погрешностей эмиттерной (n^+) и базовой (p^+) диффузий.

Резистор представляет собой тонкий канал p -типа, изолированный со всех сторон обратносмещенным p - n -переходом, так как эмиттерный слой n^+ -типа за пределами резистора соединяется с эпитаксиальным n -слоем. Для изготовления пинч-резистора используется донная слаболегированная часть p -слоя с $R_s = 5 \div 10$ кОм/□ и более. Максимальное сопротивление таких резисторов может составлять 200–300 кОм и более даже при простейшей полосковой конфигурации. Однако следует учитывать, что из-за эффекта модуляции канала пинч-резисторы имеют линейный участок ВАХ только до 1–1,5 В.

Если номинальное сопротивление диффузионного резистора не превышает 100 Ом, то использование базового слоя для его изготовления нецелесообразно. Для получения резисторов с малыми номиналами используют низкоомный эмиттерный слой (рис. 3).

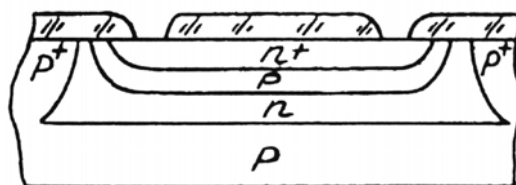


Рис. 3. Конструкция резистора на основе эмиттерного диффузионного слоя

Для получения высокоомных резисторов ИМС используются и эпитаксиальные коллекторные слои (рис. 4). Из всех областей транзистора коллекторная имеет максимальное R_s (1–10 кОм/□). Эпитаксиальный слой легирован однородно по толщине, поэтому проводимость эпитаксиального резистора, в отличие от диффузионного, постоянна по всему сечению. Однако следует учитывать, что эпитаксиальный резистор формируется самой продолжительной диффузией (разделительной) и разброс номиналов сопротивлений таких резисторов из-за невоспроизводимости боковой и прямой диффузий значителен. Кроме этого, разброс обусловлен и колебаниями толщины и уровня легирования эпитаксиальных слоев.

Поскольку коллекторная область слабо легирована, эпитаксиальные резисторы имеют высокое пробивное напряжение (более 100 В) и большой ТКС.

Еще большее R_s ($2 \div 20$ кОм/□) можно получить в эпитаксиальном пинч-резисторе, в котором поперечное сечение уменьшено сверху на глубину базового слоя. Пробивное напряжение таких резисторов определяется $U_{\text{проб}}$ перехода база-коллектор (40–50 В).

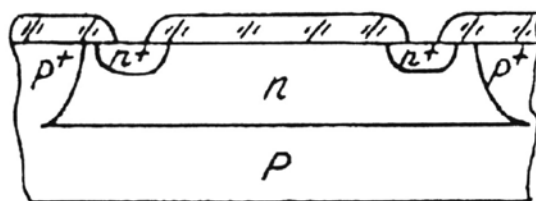


Рис. 4. Конструкция эпитаксиального резистора

В последнее время все большее распространение получают ионно-легированные резисторы (рис. 5). Такие резисторы обеспечивают сочетание высокого R_s и сравнительно малого разброса сопротивлений. Так как глубина имплантированных слоев составляет 0,1–0,3 мкм, и ионная имплантация позволяет получить малую концентрацию легирующей примеси в слое, то при соответствующем выборе дозы легирования и параметров

отжига можно получить $R_s = 0.5 \div 20$ кОм/□ в резисторах со структурой рис. 5а и $R_s = 0.5 \div 1$ кОм/□ в резисторах со структурой рис. 5б. Могут быть достигнуты номиналы сопротивлений в десятки МОм.

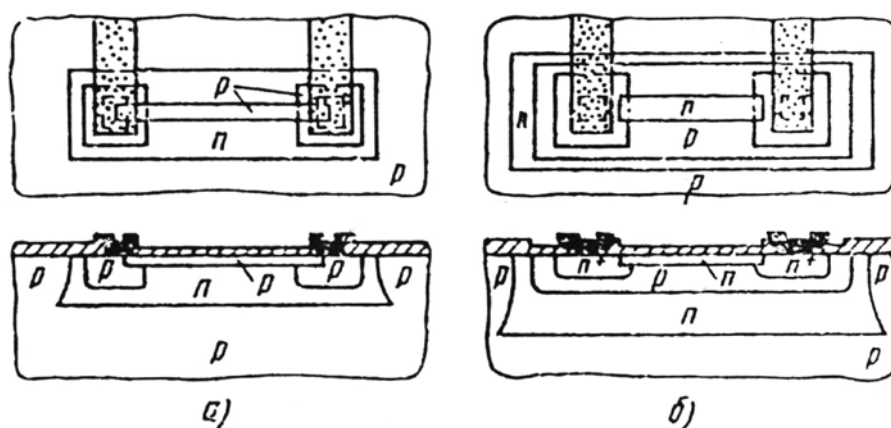


Рис. 5. Конструкция ионно-легированных резисторов

Поскольку толщина имплантированного слоя мала, к нему трудно получить надежные омические контакты. Поэтому на краях резисторного слоя на этапе базовой или эмиттерной диффузии получают p (рис. 5а) или n^+ (рис. 5б) области, к которым омический контакт осуществляется обычным образом.

В таблице 1 приведены основные характеристики интегральных резисторов. Видно, что ТКС интегральных резисторов довольно высок. Этот факт, а также низкая воспроизводимость номинала являются основными недостатками таких резисторов. К их недостаткам также относится и зависимость номинального сопротивления от величины приложенного напряжения, которое может модулировать толщину резистивного слоя вследствие полевого эффекта.

Таблица 1

Характеристики интегральных резисторов

Тип резистора	Толщина слоя, мкм	R_s , Ом/□	$\alpha_R \cdot 10^3$, 1/градус	Разброс, %	
				R	Отн. R(1 : 1)
Диф. резистор на основе базовой области	2,5–3,5	100–300	1–3	10	1
Диф. Резистор на основе эмитт. области	1,5–2,5	2–5	0,1	10	1
Пинч-резистор (базовый)	0,5–1	$(5-10) \cdot 10^3$	3–5	40	6
Эпитаксиальный	7–10	$(1-10) \cdot 10^3$	3,5–5	30	5
Пинч-эпитакс.	3,5–6	$(2-20) \cdot 10^3$	4	50	10
Ионно-легиров.	0,1–0,2	$(0,5-20) \cdot 10^3$	0,2–1	6	2