

Лекция 8

Тема: Пассивные и активные элементы полупроводниковых интегральных микросхем (Продолжение)

- 1) Смешанные монокристаллические ИС на МОП и биполярных структурах.
- 2) Полупроводниковые резисторы.
- 3) Диффузионные резисторы.
- 4) Ионно-легированные резисторы.
- 5) Эквивалентные схемы.

СМЕШАННЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ИС НА МОП И БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУРАХ

Биполярные структуры обеспечивают высокоточное преобразование аналоговых величин и обладают большими управляющими токами. КМОП-схемы имеют большую степень интеграции, малую потребляемую мощность и эффективно используются в запоминающих устройствах. В настоящее время активно развивается технология, позволяющая интегрально объединить биполярные и КМОП-схемы в одном кристалле и таким образом существенно расширить функциональные возможности ИС, БИС и особенно СБИС. На рис. 64 приведен пример интеграции И²Л-структур с КМОП-структурами с биполярными *p*-карманами. Аналогичное совмещение возможно в случае КМОП-структур с биполярными *n*-карманами.

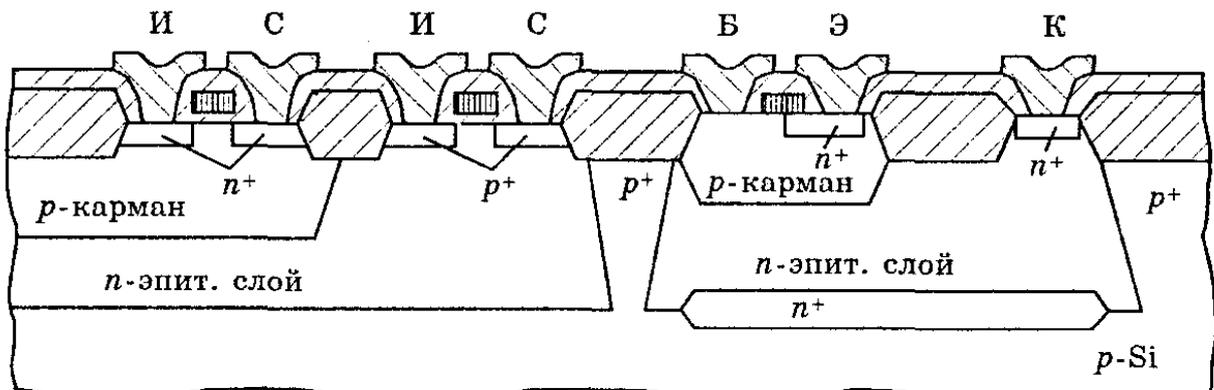


Рис. 64. КМОП-структура с *p*-карманами и кремниевыми затворами

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Первоначально в полупроводниковых ИС применялись только диффузионные резисторы (ДР), основу которых составлял один из диффузионных слоев, расположенных в изолированном кармане. В настоящее время большое распространение получили также ионно-имплантированные резисторы.

ДИФФУЗИОННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

Для диффузионных резисторов чаще всего используется полоска базового слоя с двумя омическими контактами (рис. 65, *a*). Для такой полосковой конфигурации сопротивление ДР согласно (13) записывается в виде

$$R = R_s(a/b), \quad (19)$$

где R_s – удельное сопротивление слоя, а размеры a и b показаны на рис. 65.

И длина, и ширина полоскового ДР ограничены. Длина a не может превышать размеров кристалла. Ширина b ограничена возможностями фотолитографии, боковой диффузией, а также допустимым разбросом (10-20%).

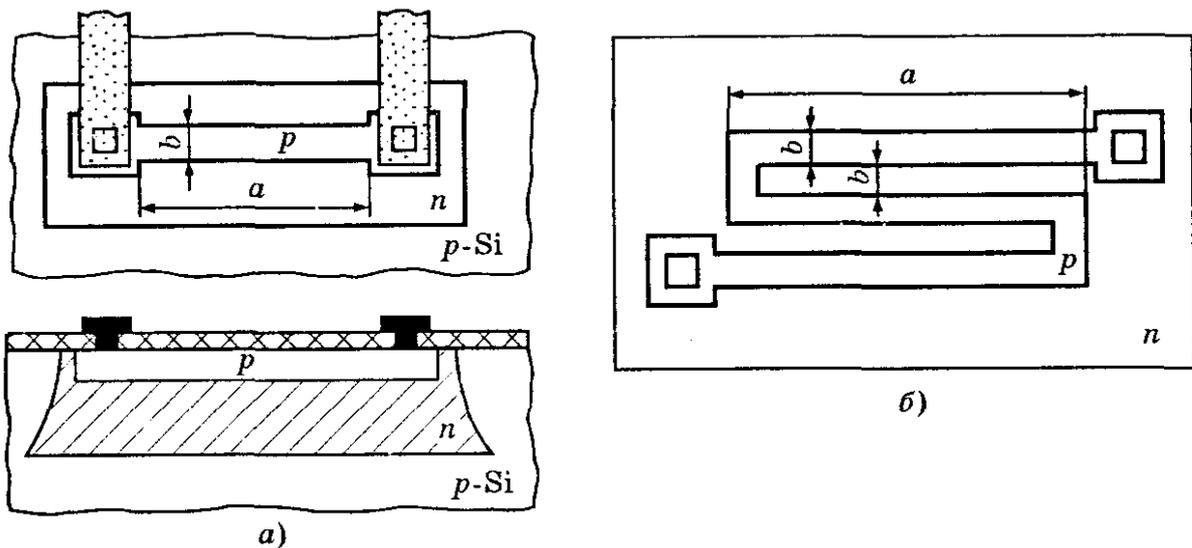


Рис. 65. Диффузионный резистор с полосковой (а) и с зигзагообразной конфигурацией (б)

Подставляя в (19) значения $R_s = 200 \text{ Ом}/\square$ и $a/b = 100$, получаем типичное значение максимального сопротивления $R_{\text{макс}} = 20 \text{ кОм}$. Это значение можно повысить в 2-3 раза, используя не полосковую, а зигзагообразную конфигурацию ДР (рис. 65, б). В этом случае сопротивление записывается в более общем виде

$$R = R_s \left(\frac{\sum a_i}{b} + n + 1,3 \right). \quad (20)$$

Здесь n – количество «петель» (на рис. 65, б $n = 2$), а слагаемое 1,3 учитывает неоднородность ДР в районе омических контактов.

Количество «петель» в конечном счете ограничено площадью, отводимой под ДР. Обычно $n < 3$, в противном случае площадь резистора может достигать 15-20 % площади всего кристалла. Максимальное сопротивление при $n = 3$ не превышает 50-60 кОм.

Температурный коэффициент сопротивления ДР, выполненного на основе базового слоя, составляет 0,15-0,30 %/°С, в зависимости от значения R_s . Разброс сопротивлений относительно расчетного номинала составляет $\pm(15-20)\%$. При этом сопротивления резисторов, расположенных на одном кристалле, меняются в одну и ту же сторону. Поэтому отношение сопротивлений сохраняется с гораздо меньшим допуском ($\pm 3\%$ и менее), а температурный коэффициент для отношения сопротивлений не превышает $\pm 0,01\%/^{\circ}\text{C}$. Эта особенность ДР играет важную роль и широко используется при разработке ИС.

Если необходимые номиналы сопротивлений превышают 50-60 кОм, можно использовать так называемые пинч-резисторы. Структура пинч-резистора показана на рис. 66. По сравнению с простейшим ДР пинч-резистор имеет меньшую площадь сечения и большее удельное сопротивление (так как используется донная, т.е. слабо легированная часть p -слоя). Поэтому у пинч-резисторов удельное сопротивление слоя обычно составляет 2-5 кОм/ \square и более, в зависимости от толщины. При таком значении R_s максимальное сопротивление может достигать значений 200-300 кОм даже при простейшей полосковой конфигурации.

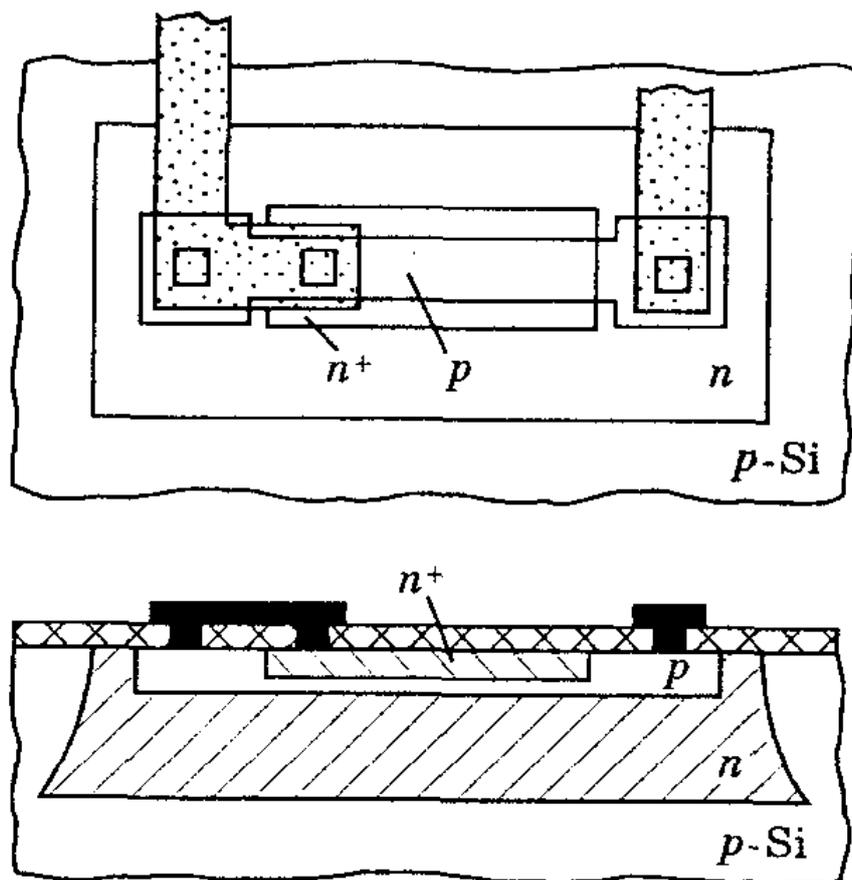


Рис. 66. Пинч-резистор

Недостатками пинч-резисторов являются: большой разброс номиналов (до 50 %) из-за сильного влияния изменения толщины p -слоя, большой температурный коэффициент сопротивления ($0,3-0,5 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$) из-за меньшей степени легирования донной части p -слоя, нелинейность вольт-амперной характеристики при напряжениях более 1-1,5 В. Последняя особенность вытекает из аналогии между структурами пинч-резистора и полевого транзистора (рис. 56, б). ВАХ пинч-резистора совпадает с ВАХ полевого транзистора, если напряжение на затворе последнего положить равным нулю (поскольку у пинч-резистора слои n^+ и p соединены друг с другом металлизацией). Пробивное напряжение пинч-резисторов определяется пробивным напряжением эмиттерного перехода (обычно 5-7 В).

Если необходимые номиналы сопротивлений составляют 100 Ом и менее, то использование базового слоя в ДР нецелесообразно, так как

согласно (19) ширина резистора должна быть меньше его длины, что конструктивно трудно осуществить. Для получения ДР с малыми номиналами сопротивлений используют низкоомный эмиттерный слой. При значениях $R_s = 5-15 \text{ Ом}/\square$, свойственных этому слою (табл. 2), удается получить минимальные сопротивления 3-5 Ом с температурным коэффициентом 0,01-0,02 %/°C.

ИОННО-ЛЕГИРОВАННЫЕ РЕЗИСТОРЫ

За последнее время все большее распространение получают ионно-легируемые резисторы, которые в отличие от ДР получаются не диффузией, а локальной ионной имплантацией примеси.

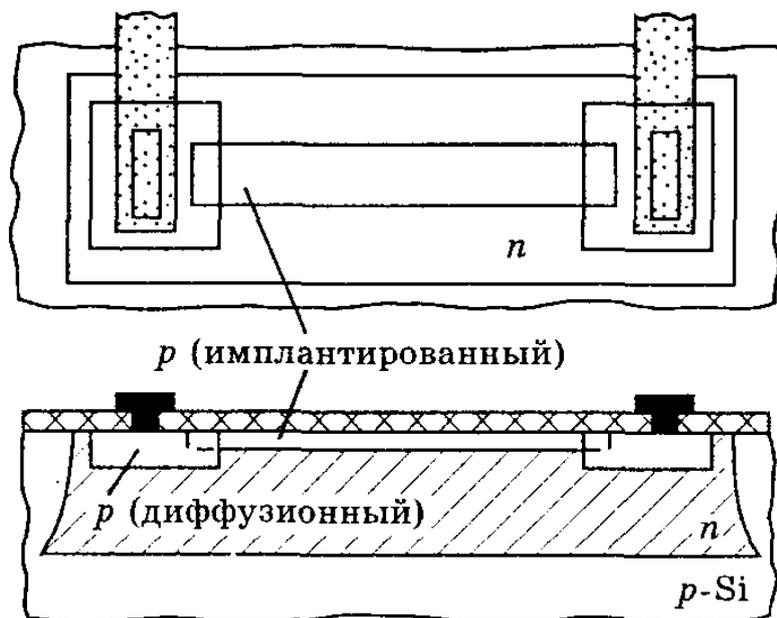


Рис. 67. Ионно-легируемый резистор

Структура ионно-легируемого резистора такая же, как ДР (рис. 67), но глубина имплантированного p -слоя значительно меньше глубины базового слоя и составляет всего 0,2-0,3 мкм. Кроме того, ионная

имплантация позволяет обеспечить сколь угодно малую концентрацию примеси в слое. Оба фактора способствуют получению весьма высоких удельных сопротивлений слоя – до 10-20 кОм/□. При этом номиналы сопротивлений могут составлять сотни килоом. ТКС меньше, чем у ДР, и лежит в пределах 3-5%/°С, а разброс сопротивлений не превышает ±(5-10)%.

Поскольку толщина имплантированного слоя мала, к нему трудно осуществить омические контакты. Поэтому по краям резистивного слоя на этапе базовой диффузии осуществляют узкие диффузионные *p*-слои, к которым омический контакт осуществляется обычным способом.