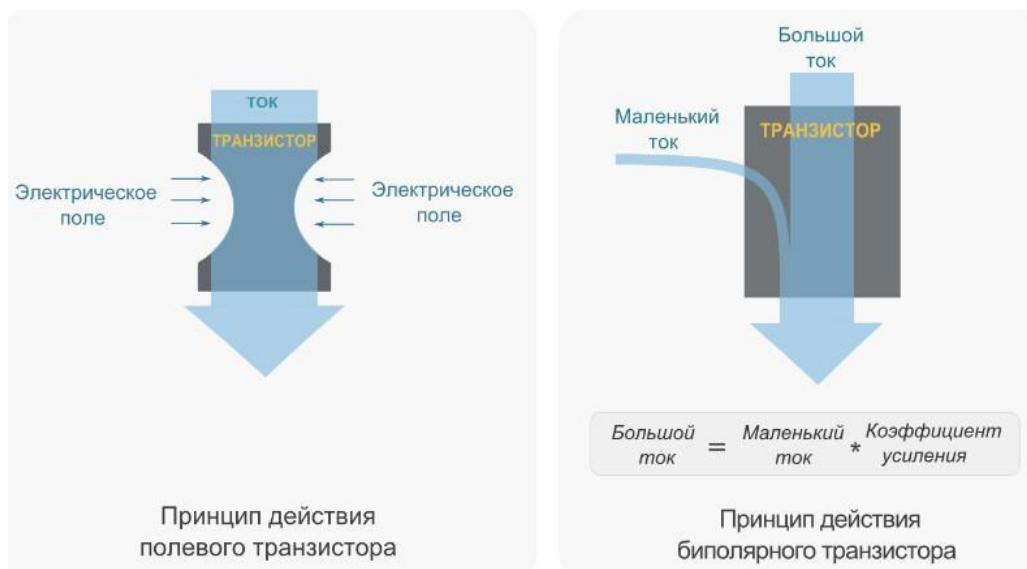


ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор – полупроводниковый прибор, в котором регулирование тока осуществляется изменением проводимости проводящего канала с помощью поперечного электрического поля.

В отличие от биполярного транзистора, ток полевого транзистора обусловлен потоком основных носителей.

Т.о. основное отличие биполярного транзистора от полевого в том, что сила проходящего через него тока регулируется внешним электрическим полем, т.е напряжением, а в биполярном транзисторе, сила тока в выходной цепи регулируется управляющим током. Это можно схематически пояснить рисунком:



Электроды полевого транзистора называют *истоком (И)*, *стоком (С)* и *затвором (З)*. Управляющее напряжение прикладывается между затвором и истоком. От напряжения между затвором и истоком зависит проводимость канала, следовательно, и величина тока. Таким образом, полевой транзистор можно рассматривать как источник тока, управляемый напряжением затвор-исток.

Если амплитуда изменения управляющего сигнала достаточно велика, сопротивление канала может изменяться в очень больших пределах. В этом случае полевой транзистор можно использовать в качестве электронного ключа.

По конструкции полевые транзисторы можно разбить на две группы:

- с управляющим *p-n*-переходом;
- с металлическим затвором, изолированным от канала диэлектриком.

Транзисторы второго вида называют МДП-транзисторами (металл – диэлектрик – полупроводник). В большинстве случаев диэлектриком является двуокись кремния SiO_2 , поэтому обычно используется название -МОП транзисторы (металл – окисел – полупроводник). В современных МОП-транзисторах для изготовления затвора часто используется поликристаллический кремний. Однако название МОП-транзистор используют и для таких приборов.

Проводимость канала полевого транзистора может быть электронной или дырочной. Если канал имеет электронную проводимость, то транзистор называют *n*-канальным. Транзисторы с каналами, имеющими дырочную проводимость, называют *p*-канальными. В МОП-транзисторах канал может быть обеднён носителями или обогащён ими. Таким образом, понятие «полевой транзистор» объединяет шесть различных видов полупроводниковых приборов.

Полевые транзисторы с управляемым *p*–*n*-переходом

Структура полевого транзистора с каналом *n*-типа показана на рисунке 1, а на рисунке 2 приведено его условное графическое обозначение.

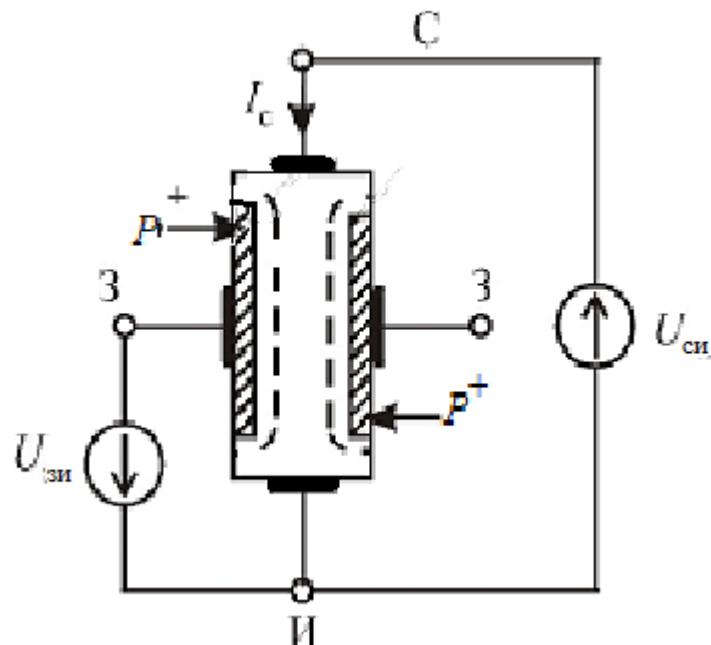


Рисунок 1

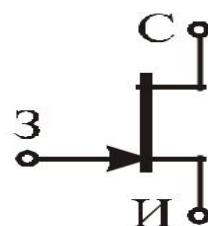


Рисунок 2

Канал между стоком и истоком формируется из слабо обогащённого полупроводника *n*-типа. Две области затвора содержат сильно обогащённый полупроводник *p*-типа. Принцип действия полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом основан на изменении проводимости канала за счёт изменения его поперечного сечения. Между стоком и истоком включается напряжение та-кой полярности, чтобы основные носители заряда (электроны в канале *n*-типа) перемещались от истока к стоку. Между затвором и истоком включено отрицательное управляющее напряжение, которое запирает *p-n*-переход. Чем больше это напряжение, тем шире запирающий слой и уже канал. С уменьшением по-перечного сечения канала его сопротивление увеличивается, а ток в цепи сток – исток уменьшается. Это позволяет управлять током стока с помощью напряже-ния затвор-исток U_{zi} . При некоторой величине напряжения затвор-исток запирающий слой полностью перекрывает канал, что приводит к уменьшению проводимости канала. Напряжение U_{zi} , при котором перекрывается канал, называют напряжением отсечки и обозначают U_{ots} . Для *n*-канального полевого транзистора напряжение отсечки отрицательно.

Рассмотрим вольт-амперные характеристики полевого транзистора. Входные характеристики у полевого транзистора отсутствуют, т.к. входной ток равен нулю.

Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим *p-n*-переходом и каналом *n*-типа показаны на рисунке 3.

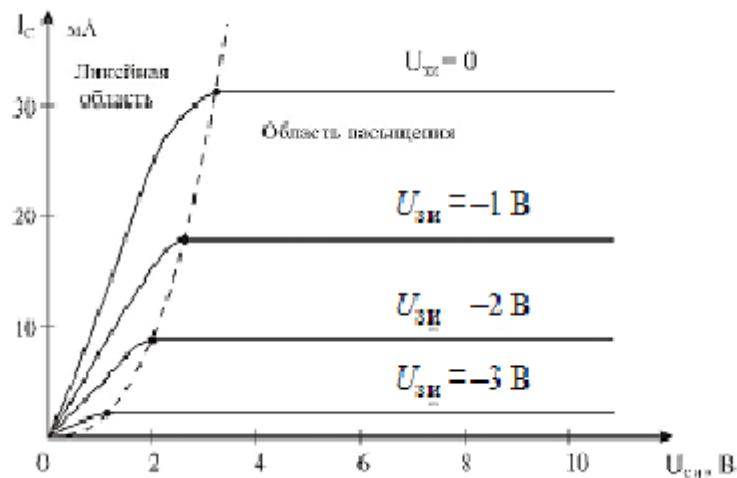


Рисунок 3

На выходной характеристике можно выделить две области – линейную (триодную) и насыщения. В линейной области ВАХ представляют прямые, наклон которых зависит от напряжения затвор-исток U_{zi} . Минимальное сопротивление канала достигается, когда напряжение $U_{zi} = 0$, так как проводящая часть канала в этом случае имеет наибольшее сечение. Таким образом, в линейной области полевой транзистор можно использовать как резистор, сопротивление которого регулируется напряжением затвора.

В области насыщения ветви выходной характеристики расположены почти горизонтально. Это объясняется тем, что при увеличении напряжения

сток-исток $U_{\text{си}}$ область перекрытия канала вблизи стока расширяется и сопротивление канала увеличивается.

В области насыщения полевой транзистор удобно моделировать передаточной характеристикой – зависимостью тока стока I_c от напряжения затвористок $U_{\text{зи}}$ при постоянном напряжении сток-исток.

Передаточная характеристика n -канального полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом показана на рисунке 4.

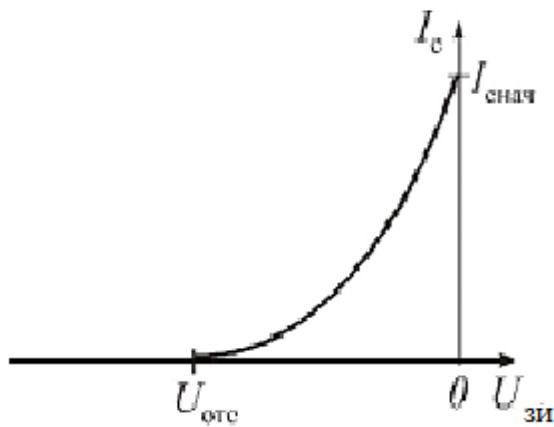


Рисунок 4

При нулевом напряжении на затворе ток стока имеет максимальное значение, которое называют *начальным* $I_c \text{ нач}$. При увеличении напряжения затвор-исток ток стока уменьшается и при напряжении отсечки $U_{\text{отс}}$ становится близким к нулю.

Поведение p -канальных полевых транзисторов описывается такими же характеристиками. Следует учесть только, что для p -канальных ПТ напряжения имеют другую полярность, т. е. $U_{\text{отс}} > 0$, а $U_{\text{си}} < 0$.

Полевые транзисторы с изолированным затвором

Полевой транзистор с изолированным затвором – это полевой транзистор, имеющий один или несколько затворов, электрически изолированных от проводящего канала.

МОП-транзисторы находят широкое применение в современной электронике. В ряде областей, в том числе в цифровой электронике, они почти полностью вытеснили биполярные транзисторы. Это объясняется следующими причинами. Во-первых, полевые транзисторы имеют высокое входное сопротивление и обеспечивают малое потребление энергии. Во-вторых, МОП-транзисторы занимают на кристалле интегральной схемы значительно меньшую площадь, чем биполярные. Поэтому плотность компоновки элементов в - МОП интегральных схемах значительно выше. В-третьих, технологии производства интегральных схем на МОП-транзисторах требуют меньшего числа операций, чем технологии изготовления ИС на биполярных транзисторах.