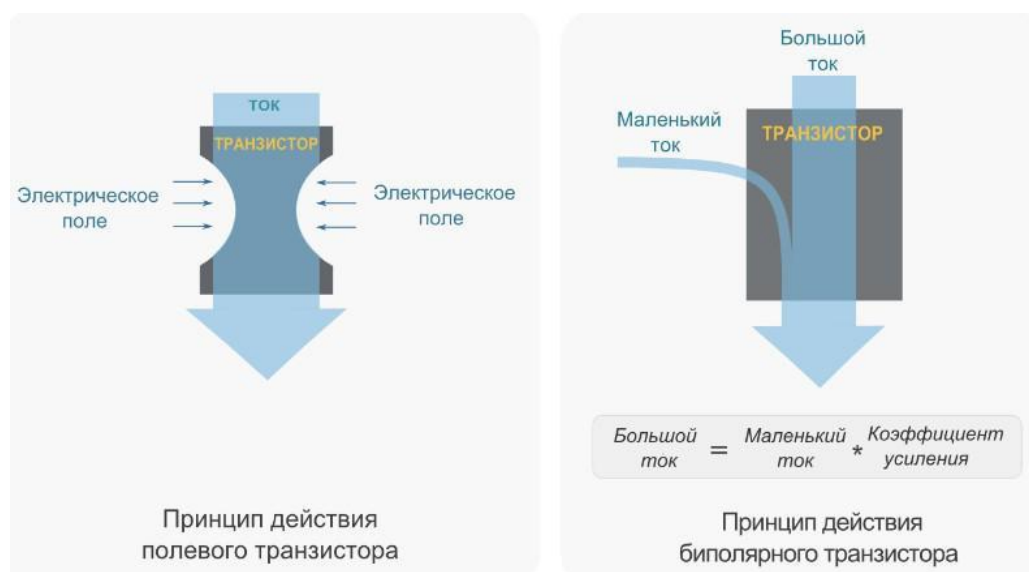


ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

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 управляющим p – n -переходом

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

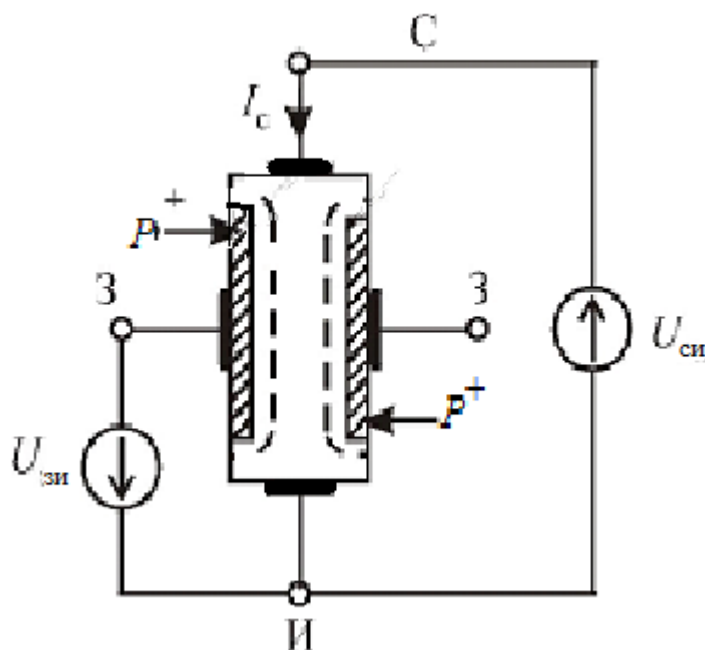


Рисунок 1

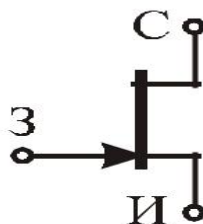


Рисунок 2

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 такой 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 поперечного сечения канала его сопротивление увеличивается, а ток в цепи сток – исток уменьшается. Это позволяет управлять током стока с помощью напряжения затвор-исток $U_{зи}$. При некоторой величине напряжения затвор-исток запирающий слой полностью перекрывает канал, что приводит к уменьшению проводимости канала. Напряжение $U_{зи}$, при котором перекрывается канал, называют напряжением отсечки и обозначают $U_{отс}$. 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.

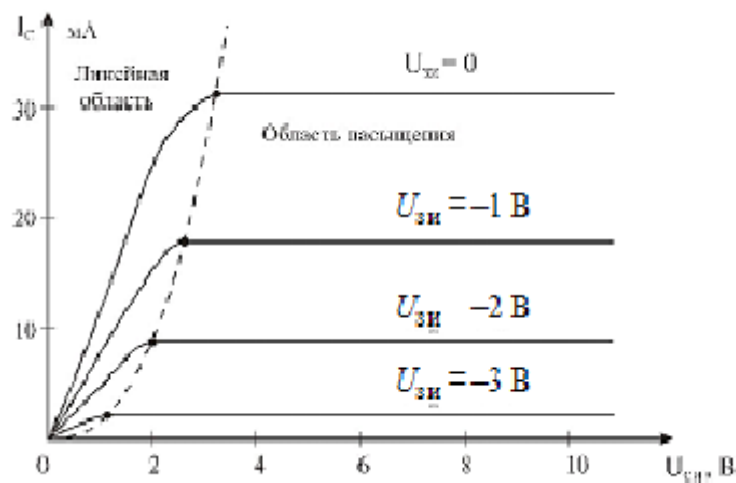


Рисунок 3

На выходной характеристике можно выделить две области – линейную (триодную) и насыщения. В линейной области ВАХ представляют прямые, наклон которых зависит от напряжения затвор-исток $U_{зи}$. Минимальное сопротивление канала достигается, когда напряжение $U_{зи} = 0$, 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 $U_{си}$ 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 $U_{зи}$ при постоянном напряжении сток-исток.

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

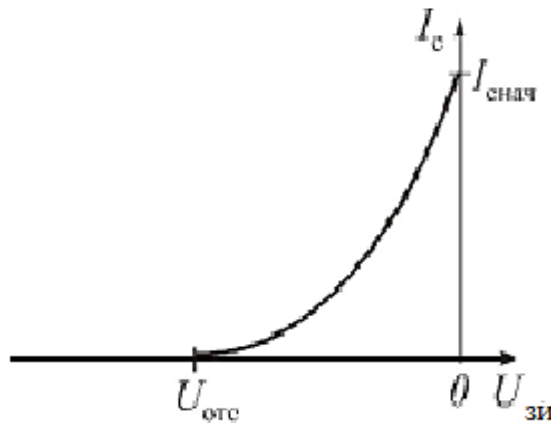


Рисунок 4

При нулевом напряжении на затворе ток стока имеет максимальное значение, которое называют *начальным* $I_{снач}$. При увеличении напряжения затвор-исток ток стока уменьшается и при напряжении отсечки $U_{отс}$ 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. $U_{отс} > 0$, а $U_{си} < 0$.

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.