

Если канал П. т. — полупроводник p -типа, то к истоку прикладывается положит. потенциал, а к стоку — отрицательный. При любом типе проводимости канала ток всегда переносится носителями заряда только одного знака: либо электронами, либо дырками, поэтому П. т. наз. иногда униполярными транзисторами.

Различают 2 осн. типа П. т. К первому типу относят П. т., в к-рых затвором служит p — n -переход (П. т. с управляющим p — n -переходом) или барьер металл — полупроводник (*Шоттки барьер*). Ко второму типу относят П. т., в к-рых металлич. электрод затвора отделён от канала тонким слоем диэлектрика, — П. т. с изолированным затвором.

Идея, лежащая в основе работы П. т. с затвором в виде p — n -перехода, высказана в нач. 50-х гг. У. Шокли (W. Shockley, США). Она поясняется на рис. 2. Под металлич. электродом затвора П. т. сформирован p -слой, так что между затвором и любым из двух др. электродов П. т. существует p — n -переход. Толщина канала d , по к-рому ток может протекать между истоком и стоком, зависит от напряжения, приложенного к затвору. Между истоком и затвором прикладывается напряжение U_3 , смещающее p — n -переход в запорном направлении (в П. т. с каналом n -типа это условие соответствует «минусу» на затворе). Тогда под затвором возникает обеднённый слой (см. p — n -переход), имеющий очень высокое сопротивление. Чем больше напряжение U_3 , тем больше толщина обеднённого слоя. В пределах обеднённого слоя ток практически течь не может. Поэтому увеличение U_3 соответствует сужению канала, по к-рому протекает ток между истоком и стоком. Меняя напряжение на затворе, можно управлять током в канале. Чем больше U_3 , тем толще обеднённый слой и тоньше канал и, следовательно, тем больше его сопротивление и тем меньше ток в канале. При достаточной величине U_3 обеднённый слой под затвором может полностью перекрыть канал, и ток в канале обратится в нуль. Соответствующее напряжение $U_3 = U_0$ наз. на п р я ж е н и е м от с е ч к и.

Ширина области объёмного заряда обратномощённого p — n -перехода

$$W = \left[\frac{2\epsilon\epsilon_0(U_3 + U_K)}{eN_d} \right]^{1/2},$$

где e — заряд электрона, N_d — концентрация доноров в материале канала, ϵ — диэлектрич. проницаемость материала, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — диэлектрич. постоянная, U_K — контактная разность потенциалов в p — n -переходе. Очевидно, толщина канала $d = h - W$, где h — геом. толщина канала (рис. 2). Напряжение отсечки U_0 находится из условия $W = h$:

$$U_0 = \frac{eN_d h^2}{2\epsilon\epsilon_0} - U_K \approx \frac{eN_d h^2}{2\epsilon\epsilon_0}.$$

Принцип работы П. т. с затвором в виде барьера Шоттки (ПТШ) аналогичен. Разница лишь в том, что обеднённый слой в канале под затвором создаётся приложением запорного напряжения к контакту металл — полупроводник.

ПТШ и П. т. с управляющим p — n -переходом, как правило, являются П. т. с нормально открытым каналом. Так принято наз. П. т., в к-рых при отсутствии напряжения на затворе ($U_3 = 0$) канал открыт и между истоком и стоком возможно протекание тока. В *цифровых устройствах* для снижения потребляемой мощности применяют также нормально закрытые П. т. В этих приборах толщина канала h настолько мала, что канал под действием контактной разности потенциалов U_K при нулевом напряжении на затворе полностью обеднён носителями заряда, т. е. канал практически закрыт. Рабочей областью входных сигналов таких П. т. являются отпирающие значения U_3 от $U_3 = 0$ до $U_3 \approx U_K$.

В П. т. с изолиров. затвором между каналом П. т. и металлич. электродом затвора размещается тонкий

слой диэлектрика (рис. 3, 4). Поэтому такие П. т. наз. МДП-транзисторами (металл — диэлектрик — полупроводник; см. *МДП-структура*). Часто в МДП-транзисторе слоем диэлектрика служит окисел на поверхности полупроводника. В этом случае П. т. наз. МОП-

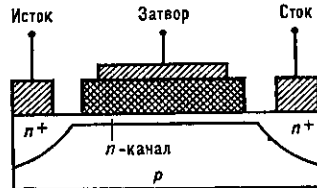


Рис. 3.

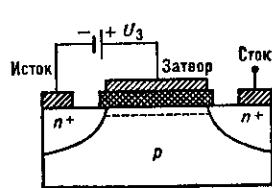


Рис. 4.

транзисторами (металл — окисел — полупроводник). Первые МДП-транзисторы появились в сер. 50-х гг.

МДП-транзисторы могут быть как с нормально открытым, так и с нормально закрытым каналами. МДП-транзистор с нормально открытым, встроенным каналом показан на рис. 3 на примере МДП-транзистора с каналом n -типа. Транзистор выполнен на подложке p -типа. Сверху подложки методами диффузии, *ионной имплантации* или *эпитаксии* формируются проводящий канал n -типа и две глубокие p^+ -области для создания омич. контактов в области истока и стока. Область затвора представляет собой конденсатор, в к-ром одной обкладкой служит металлич. электрод затвора, а другой — канал П. т. Если между затвором и каналом приложить напряжение, то в зависимости от его знака канал будет обогащаться или обедняться подвижными носителями заряда. Соответственно, сопротивление обогащения электронами приповерхностного слоя полупроводника под затвором. Обратная полярность напряжения на затворе вызывает обеднение канала электронами аналогично П. т. с управляющим p — n -переходом.

Для работы МДП-транзистора принципиально важно, чтобы поверхность раздела диэлектрик — полупроводник под затвором имела низкую плотность электронных *поверхностных состояний*. В противном случае изменение напряжения на затворе может приводить не к изменению концентрации носителей в канале, а лишь к перезарядке поверхностных состояний.

МДП-транзистор с индуциров. каналом показан на рис. 4. Из сравнения рис. 3 и 4 видно, что этот транзистор отличается от МДП-транзистора со встроенным каналом отсутствием n -слоя под затвором. Если напряжение на затворе отсутствует ($U_3 = 0$), то в МДП-транзисторе, показанном на рис. 4, отсутствует и канал (транзистор с нормально закрытым каналом), а сам транзистор представляет собой два последовательно включённых p — n -перехода. При любой полярности напряжения между истоком и стоком один из этих p — n -переходов оказывается включённым в обратном направлении и ток в цепи исток — сток практически равен нулю.

Если приложить к затвору напряжение U_3 в такой полярности, как показано на рис. 4, то поле под затвором будет отеснять дырки и притягивать в подзатворную область электроны. При достаточно большом напряжении U_3 , называемом напряжением отпирающего, под затвором происходит инверсия типа проводимости: вблизи затвора образуется тонкий слой n -типа. Между истоком и стоком возникает проводящий канал. При дальнейшем увеличении U_3 возрастает концентрация электронов в канале и сопротивление его уменьшается.

Осн. параметры П. т. Для П. т. характерно очень высокое входное сопротивление по пост. току $R_{вх}$.