

Лекция № 5

ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевыми транзисторами (ПТ) называют трехэлектродные полупроводниковые приборы, в которых управление током осуществляется изменением проводимости токопроводящего канала путем воздействия электрического поля, поперечного к направлению тока. Токопроводящий канал соединяет две сильнолегированные области. Область, из которой носители заряда уходят в канал, называется **истоком**, а область, в которую они приходят, — **стоком**. Электрическое поле, изменяющее проводимость канала, создается путем подачи управляющего напряжения на электрод, называемый **затвором**. В полевых транзисторах от истока к стоку перемещаются только основные носители заряда (либо электроны, либо дырки), поэтому их часто называют **униполярными**.

Существует две разновидности полевых транзисторов, различающихся физической структурой и способом управления проводимостью канала.

Электрический переход между полупроводниками с разным типом электропроводности нашел свое применение в полевых транзисторах с **управляющим р-п переходом**.

В них в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой противоположен типу электропроводности канала, в результате чего между затвором и каналом образуется р-п-переход.

В транзисторах с **изолированным затвором** между металлическим затвором и проводящим каналом расположен тонкий слой диэлектрика так, что образуется структура металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структура). Такие транзисторы обычно называют МДП-транзисторами.

Полевой транзистор с р-п переходом

На рисунке 5.1 приведена схема включения полевого транзистора.

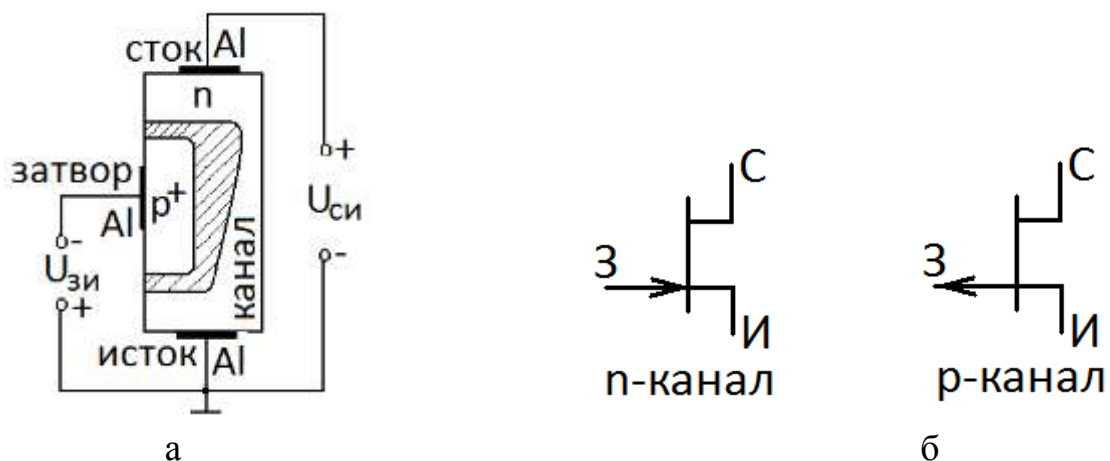


Рис. 5.1 – ПТ с управляющим р-п переходом : а – устройство; б – графическое изображение

Во входную цепь включен источник обратного смещения $U_{зи}$ на р-п переходе между затвором и каналом. Выходная цепь состоит из источника постоянного напряжения $U_{си}$ плюс соединенного к стоку. Исток является общей точкой схемы. Контакты истока и стока невыпрямляющие. Канал может иметь электропроводимость, как р-типа, так и n-типа; поскольку $\mu_n > \mu_p$ выгоднее применять n-канал. Затвор выполняют в виде полупроводниковой области р⁺-типа.

Полевой транзистор работает следующим образом. При отсутствии напряжения на затворе основные носители заряда - электроны под действием ускоряющего электрического поля в канале ($E = 10^5 \div 10^4$ В/см) дрейфуют в направлении от истока к стоку, в то время как р-п переход для них заперт. Ток I_c , создаваемый этими электронами, определяется как напряжением стока $U_{си}$, так и сопротивлением канала. Последнее зависит от поперечного сечения канала, которое ограничивается р-п переходом (заштрихованная область). Поскольку потенциал электрического поля линейно возрастает от истока к стоку вдоль канала, толщина р-п перехода минимальна вблизи истока и максимальна вблизи стока, и канал сужается вдоль р-п перехода от стока к истоку. Таким образом, наибольшим сопротивлением канал обладает в наиболее узкой своей части.

Если в результате подачи к затвору переменного напряжения сигнала результирующее обратное напряжение на затворе $U_{зи}$ повысится, то толщина р-п перехода по всей его длине увеличится, а площадь сечения канала и, следовательно, ток в цепи стока уменьшаются. На рисунке 2,а изображена характеристика прямой передачи $I_c = f(U_{зи})$. Указанный эффект будет тем сильнее, чем больше удельное сопротивление материала полупроводника, поэтому полевые транзисторы выполняют из высокоомного материала.

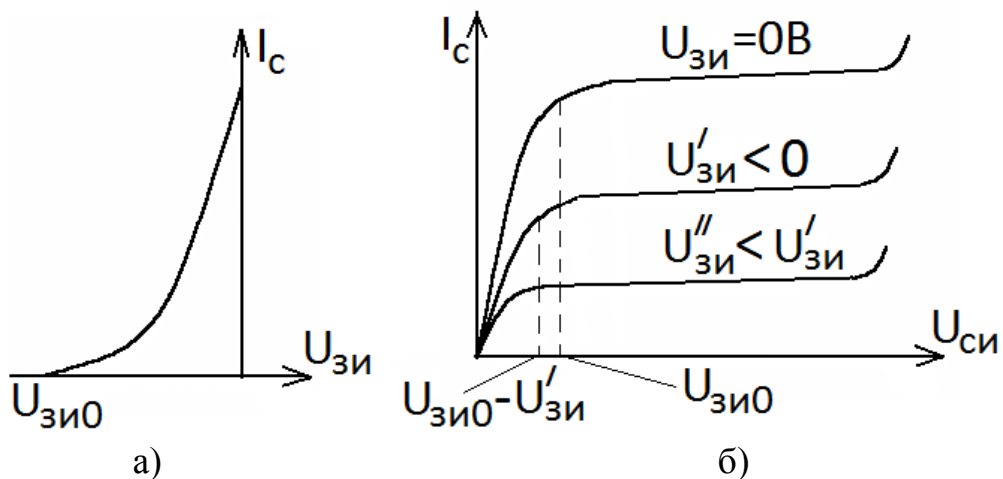


Рис. 5.2 – Характеристики прямой передачи (а) и выходные (б) ПТ с управляющим р-п переходом

При больших обратных напряжениях на затворе, равным напряжению отсечки $U_{зи0}$, сечение канала в его узкой части станет равным нулю и ток через

канал прекратится. Такой режим называется режимом отсечки. Характеристика прямой передачи хорошо описывается формулой

$$I_C = I_{C0} \left(1 - \left(\frac{U_{зи}}{U_{зи0}} \right)^2 \right) \quad (5.1)$$

На рисунке 5.2,б изображено семейство статических выходных характеристик $I_C = f(U_{си})$ при различных значениях напряжения затвора $U_{зи}$. Каждая характеристика имеет два участка - омический (для малых $U_{си}$) и насыщения (для больших $U_{си}$). При $U_{зи} = 0$ с увеличением напряжения U_C ток I_C вначале нарастает почти линейно, однако далее характеристика перестает подчиняться закону Ома; ток I_C начинает расти медленно, ибо его увеличение приводит к повышению падения напряжения в канале и потенциала вдоль канала. Вследствие этого увеличиваются толщина запирающего слоя и сопротивление канала возрастает, а также замедляется возрастание самого тока I_C . При напряжении насыщения $U_{си} = U_{зи0}$ сечение канала приближается к нулю и рост I_C прекращается.

Следующая характеристика, снятая при некотором обратном напряжении затвора $U'_{зи}$, когда запирающий слой имеет большую толщину при тех же значениях $U_{си}$, будет более пологой на начальном участке и насыщение наступит раньше (при меньших значениях $U'_{си} = U_{зи0} - U'_{зи}$).

Особенность полевых транзисторов заключается в наличии у них на характеристиках термостабильной точки, т. е. точки, в которой ток стока практически постоянен при различных температурах (рисунки 5.3). Это объясняется следующим образом.

При повышении температуры из-за уменьшения подвижности носителей удельная проводимость канала уменьшается, а следовательно, уменьшается и ток стока. Одновременно сокращается ширина р-п перехода, расширяется проводящая часть канала и увеличивается ток. Первое сказывается при больших токах стока, второе при малых. Эти два противоположных процесса при определенном выборе рабочей точки могут взаимно компенсироваться. При правильном выборе ее положения основной причиной дрейфа тока стока может быть высокоомный резистор в цепи в зависимости от температуры будет изменяться падение напряжения по входной цепи, которое изменит рабочий ток стока.

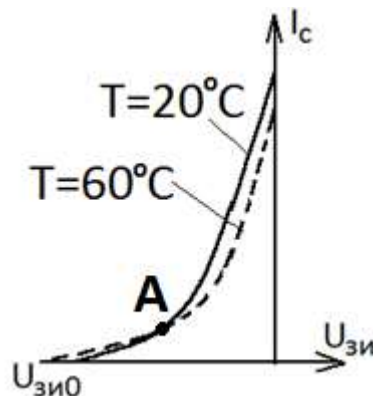


Рис.5.3 – Зависимость характеристики прямой передачи от температуры

