

Действительно, входной сигнал в П. т. подаётся на затвор, сопротивление k -рога в П. т. с управляющим p — n -переходом и ПТШ определяется сопротивлением обратного смещённого p — n -перехода или сопротивлением барьера Шоттки, а в МДП-транзисторе — сопротивлением слоя диэлектрика. Величина $R_{вх}$ в П. т. обычно превосходит 10^6 Ом, в некоторых конструкциях достигает 10^{14} Ом. Входное сопротивление по перем. току практически определяется ёмкостью затвора $C_{вх}$. В сверхвысокочастотных П. т. величина $C_{вх} < 1$ пФ, в мощных низкочастотных П. т. величина $C_{вх} \approx 100$ пФ.

Усилит. свойства П. т. характеризуются крутизной вольт-амперной характеристики S , определяемой как отношение изменения тока между истоком и стоком (тока стока) ΔI_c к изменению напряжения на затворе ΔU_a при пост. напряжении на стоке:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_a} \Big|_{U_c = \text{const}}$$

При неизменной структуре прибора крутизна растёт прямо пропорционально ширине затвора B (рис. 5). Поэтому при сравнении усилит. свойств разл. типов П. т. используется понятие уд. крутизны S^* (отношение крутизны к ширине затвора B). Крутизна П. т.

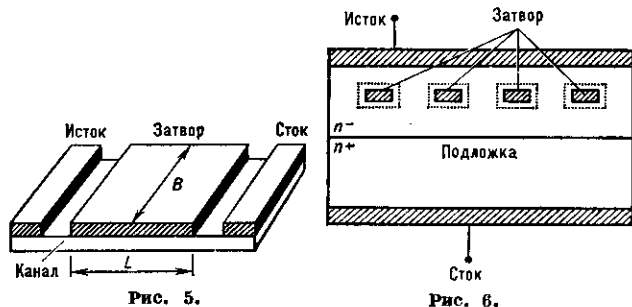


Рис. 5.

Рис. 6.

измеряется в сименсах, уд. крутизна — в сименсах/мм. В серийных П. т. $S^* \approx 0,05-0,2$ См/мм. В лаб. разработках достигнуты значения $S^* \approx 1,2$ См/мм при 300 К и ≈ 2 См/мм при 77 К.

П. т. относятся к малопомнящим приборам. Типичное значение коэф. шума (см. *Шумовая температура*) серийных П. т. $K_{ш} \approx 1-3$ дБ. Предельные ВЧ-свойства П. т. определяются временем пролёта носителей под затвором $t_{пр}$ вдоль канала. Макс. рабочая частота П. т. может быть оценена, как $f_{\max} \sim 1/t_{пр} \sim v_{\max}/L$, где L — длина затвора (рис. 5). Величина L в серийных П. т. составляет 0,5–10 мкм. В лаб. условиях широко исследуются приборы с $L \approx 0,1-0,25$ мкм. Величина v_{\max} в кремниевых приборах не превосходит дрейфовой скорости насыщения $v_s \sim 1 \cdot 10^7$ см/с (см. *Лавинно-пролётный диод*). В П. т. на основе соединений А^{III}В^V при $L \leq 0,5$ мкм важную роль играют т. н. баллистич. эффекты (движение носителей заряда без столкновений на длине канала), за счёт к-рых величина v_{\max} возрастает до $(4-6) \cdot 10^7$ см/с. Предельная частота генерации П. т. превосходит 200 ГГц. Предельно малое время переключения П. т. ~ 5 пс.

Осн. разновидности П. т. По областям применения все П. т. можно условно разбить на 4 осн. группы: П. т. для цифровых устройств и интегральных схем (ЦУ и ИС), П. т. общего применения, сверхвысокочастотные П. т. и мощные П. т.

П. т., предназначенные для работы в ЦУ и ИС, должны обладать малыми габаритами, высокой скоростью переключения и мин. энергией переключения. Серийные П. т. для ЦУ и ИС в наст. время изготавливаются в осн. из Si и характеризуются следующими параметрами: длина затвора ~ 1 мкм, время переключения ~ 1 нс, энергия переключения ~ 1 пДж. Лучшие результаты получены с использованием П. т. на основе гетероструктур с селективным легированием (ГСЛ) [3, 4]. В ГСЛ-

транзисторах, называемых также транзисторами с высокой подвижностью электронов (ВПЭТ), используются свойства двумерного электронного газа, образующегося в некоторых гетероструктурах на границе узкозонного и широкозонного слоёв гетеропары. С использованием гетеропары GaAlAs/GaAs получены ГСЛ-транзисторы с временем переключения 5 пс и энергией переключения $\sim 2,0 \cdot 10^{-14}$ Дж. Исследуются также ГСЛ-транзисторы с использованием др. гетеропар на основе соединений А^{III}В^V.

Осн. требование к сверхвысокочастотным П. т. состоит в достижении макс. мощности или коэф. усиления на предельно высокой частоте. Продвижение в область высоких частот требует уменьшения длины затвора и макс. использования баллистич. эффектов для достижения высокой скорости носителей. Для изготовления сверхвысокочастотных П. т. в наст. время используется в осн. GaAs, в к-ром баллистич. превышение скорости над максимально возможным равновесным значением выражено значительно сильнее, чем в Si. Серийные СВЧ П. т. работают на частотах до ~ 40 ГГц. Лаб. разработки проводятся на частотах 90–140 ГГц. Предельная частота генерации (230 ГГц) получена в ГСЛ-транзисторах на основе GaAs/InGaAs, изготовленных с помощью молекулярно-пучковой эпитаксии.

Мощные П. т. работают при напряжении в цепи канала $\sim 10^3$ В и коммутируемом токе ~ 10 А. Т. к. мощность на единицу рабочей площади структуры принципиально ограничена необходимостью отводить тепло, мощные П. т. имеют большую общую длину электродов. Часто используется встречно-птыревая система электродов [2]. Мощные П. т. изготавливаются на основе Si и GaAs. Характерные рабочие частоты мощных П. т. достигают величин $\sim 10^3$ МГц.

Новые разновидности П. т. Транзисторы с проникаемой базой (ТПБ) предложены в 1979 и, по оценкам, способны, в принципе, повысить рабочую частоту П. т. до 10^{12} Гц (1 ТГц). Носители заряда в канале ТПБ движутся не вдоль поверхности полупроводниковой плёнки, а перпендикулярно ей. Длина канала, и следовательно время пролёта носителей, в ТПБ могут быть значительно уменьшены в сравнении с планарным П. т. При планарной конструкции мин. размер затвора L определяется возможными рентг. или электронно-лучевой микрофотографии: $L \geq 0,1$ мкм (1000 Å). Предельно малая величина L в ТПБ определяется толщиной плёнки, к-рая может быть получена в совр. установке молекулярно-пучковой эпитаксии, и составляет неск. атомных слоёв.

Электроны в ТПБ (рис. 6) движутся от истока к стоку в направлении, перпендикулярном поверхности плёнки. Затвором служит металлич. сетка, «погружённая» в толщу полупроводниковой структуры ТПБ. По принципу действия ТПБ аналогичен ПТШ. Между металлич. сеткой и полупроводником возникает барьер Шоттки. Толщина обеднённой области вблизи проводников сетки определяется напряжением на затворе. Если толщина обеднённой области меньше расстояния между проводниками сетки, канал открыт и электроны свободно движутся к стоку. При достаточно большом напряжении обеднённые области перекрываются — канал закрыт. Осн. проблема создания ТПБ состоит в получении качеств. границы раздела металл — полупроводник. ТПБ имеет большое сходство с электронной лампой, в к-рой управляющим электродом является металлич. сетка.

Др. разновидностью П. т., в к-ром достигается уменьшение длины канала,

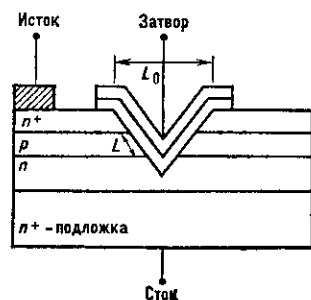


Рис. 7.