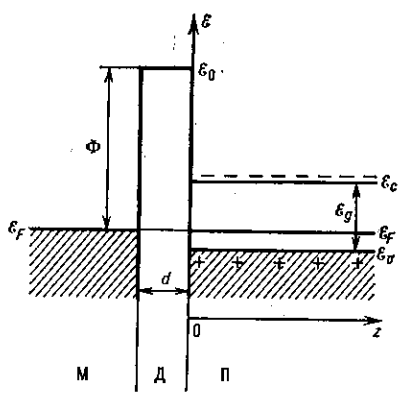


Рис. 2. Энергетическая диаграмма МДП-структуры на основе полупроводника p-типа при отсутствии напряжения V на затворе. Заштрихованы состояния, занимаемые электронами при T = 0K; Φ — работа выхода металла; ε<sub>0</sub> — энергия электрона в вакууме; ε<sub>v</sub> — потолок валентной зоны; ε<sub>c</sub> — дно зоны проводимости; ε<sub>F</sub> — уровень Ферми; ε<sub>g</sub> — ширина запрещенной зоны полупроводника.



сти полупроводника формируется слой, обогащенный осн. носителями (см. Контактные явления в полупроводниках). При V > 0 зоны изгибаются «вниз» (рис. 3, б) и в приповерхностной области уменьшается число

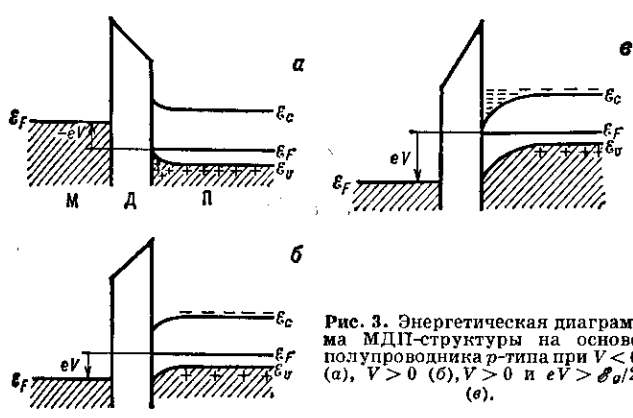


Рис. 3. Энергетическая диаграмма МДП-структуры на основе полупроводника p-типа при V < 0 (а), V > 0 (б), V > 0 и eV > ε<sub>g</sub>/2 (в).

осн. носителей (обедненный слой). При дальнейшем увеличении положит. напряжения зоны изгибаются столь сильно, что середина запрещенной зоны вблизи поверхности опускается ниже ε<sub>F</sub> (рис. 3, в). С этого момента концентрация электронов превышает концентрацию дырок (инверсионный слой).

При сильной инверсии, когда дно зоны проводимости ε<sub>c</sub> опускается ниже ε<sub>F</sub> (рис. 4), концентрация электронов в инверсионном слое слабо зависит от темп-ры

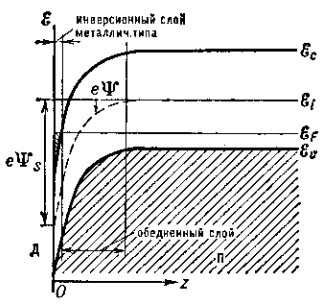


Рис. 4. Участок зонной диаграммы приповерхностной области МДП-структуры (рис. 3, в) в режиме сильной инверсии; ε<sub>i</sub> — середина запрещенной зоны; ψ — электростатический потенциал; заштрихованы состояния, занятые электронами при T → 0 K.

T, а проводимость σ инверсионного слоя приобретает металлич. характер: ∂σ/∂T < 0. Инверсионный слой отделен от объема полупроводника обедненным слоем, где имеется фиксиров. заряд, связанный с донорами и акцепторами, а концентрация электронов и дырок мала.

Слой пространственного заряда в МДП-структуре. Характеристикой изгиба зон служит электростатич. потенциал Ψ, к-рый изменяется от 0 в объеме полупровод-

ника до значения Ψ<sub>s</sub> на его поверхности (z = 0). При высоких темп-рах и слабой инверсии концентрация электронов n и дырок p в слое экспоненциально зависит от ψ:

$$n = n_0 \exp(e\Psi/kT),$$

$$p = p_0 \exp(e\Psi/kT),$$

где n<sub>0</sub> и p<sub>0</sub> — равновесные концентрации электронов и дырок в объеме полупроводника. При сильной инверсии и понижении темп-ры в инверсионном слое возникает фермиевское вырождение газа электронов (или дырок).

Ёмкость МДП-структуры. Из условия электронейтральности МДП-с. следует, что заряд на металл. затворе Q равен сумме заряда в инверсионном слое Q<sub>i</sub> и заряда ионизованных акцепторов и доноров в обедненном слое полупроводника

$$Q = Q_i + e(N_a - N_d)W. \quad (2)$$

Здесь W — толщина обедненного слоя, N<sub>a</sub> и N<sub>d</sub> — концентрации соответственно акцепторов и доноров в объеме полупроводника, e — элементарный заряд.

Полное напряжение V, приложенное к МДП-с., распределяется между слоем диэлектрика и слоем пространственного заряда в полупроводнике; МДП-с. можно рассматривать как последоват. соединения 2 конденсаторов. Дифференц. ёмкость на единицу площади C = dQ/dV определяется соотношением

$$C = \frac{C_{\text{диэл}} \cdot C_{\text{пп}}}{C_{\text{диэл}} + C_{\text{пп}}},$$

где C<sub>диэл</sub> = ε/4ld — ёмкость диэлектрика, C<sub>пп</sub> = Q/dΨ<sub>s</sub> — дифференц. ёмкость полупроводника.

При V < 0 (режим обогащения) ёмкость C<sub>пп</sub> ≫ C<sub>диэл</sub> и полная ёмкость C близка к C<sub>диэл</sub> (рис. 5). При V ≈ 0 (обеднение) область

обеднения служит добавочным слоем диэлектрика и ёмкость МДП-с. падает. В области инверсии (V > 0) дифференц. ёмкость образованного инверсионного слоя намного превышает ёмкость диэлектрика и C ~ C<sub>диэл</sub>. Это означает, что почти весь заряд, вводимый в МДП-с., при дальнейшем увеличении V (при сильной инверсии) сосредоточивается в инверсионном слое.

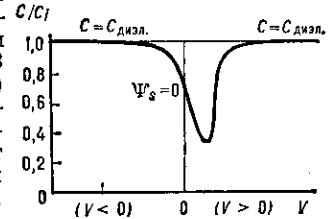


Рис. 5. Квазистатическая вольт-фарадная характеристика МДП-структуры.

То же самое происходит и при низких темп-рах (kT ≪ ε<sub>F</sub> - ε<sub>v</sub>, ε<sub>c</sub> - ε<sub>F</sub>), когда проводимость в объеме полупроводника становится исчезающе малой («вымерзает»): при изменении V заряд обедненного слоя не успевает измениться и равновесие между объемом полупроводника и инверсионным слоем практически не устанавливается. В этом случае для изменения заряда инверсионного слоя необходим омический контакт непосредственно с ним. В обоих случаях концентрация носителей заряда в инверсионном слое N<sub>s</sub> линейно связана с V:

$$N_s = \frac{C_{\text{диэл}}}{e} (V - V_t), \quad (3)$$

где V<sub>t</sub> = const — т. н. пороговое напряжение, зависящее от физ. свойств границы диэлектрик — полупроводник.

В реальной МДП-с. вблизи границы раздела существуют связанные электронные состояния, непрерывно распределенные по энергии в пределах запрещенной зоны (обусловленные дефектами кристаллич. решётки, примесными ионами и т. д., концентрирующимися вблизи границы раздела полупроводник — диэлектрик). Перезарядка этих состояний при изменении V может происходить с разл. скоростью, поэтому в случае пере-