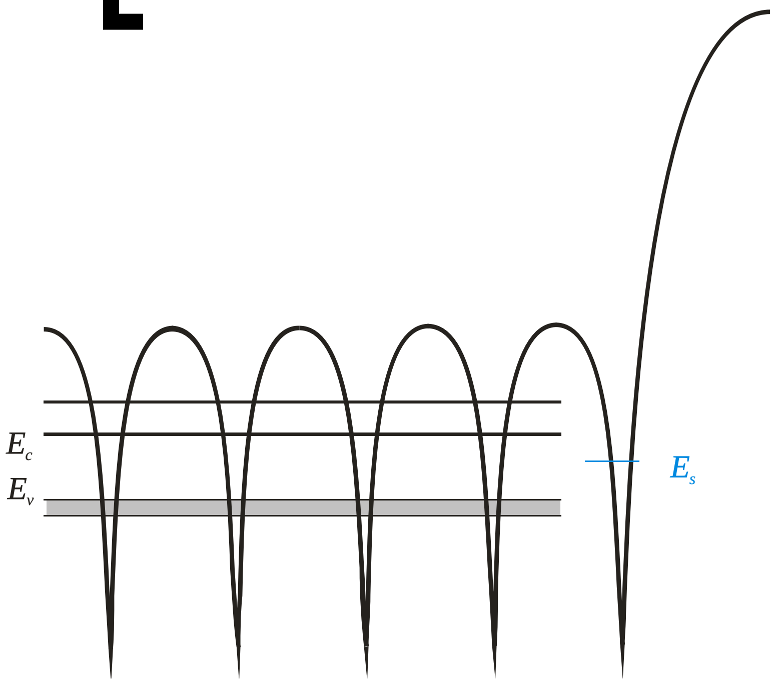
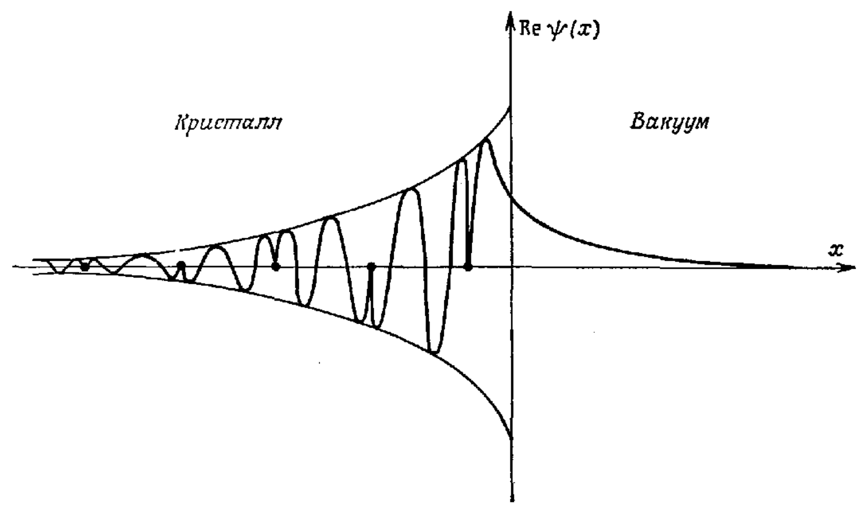
Двумерные полупроводниковые системы

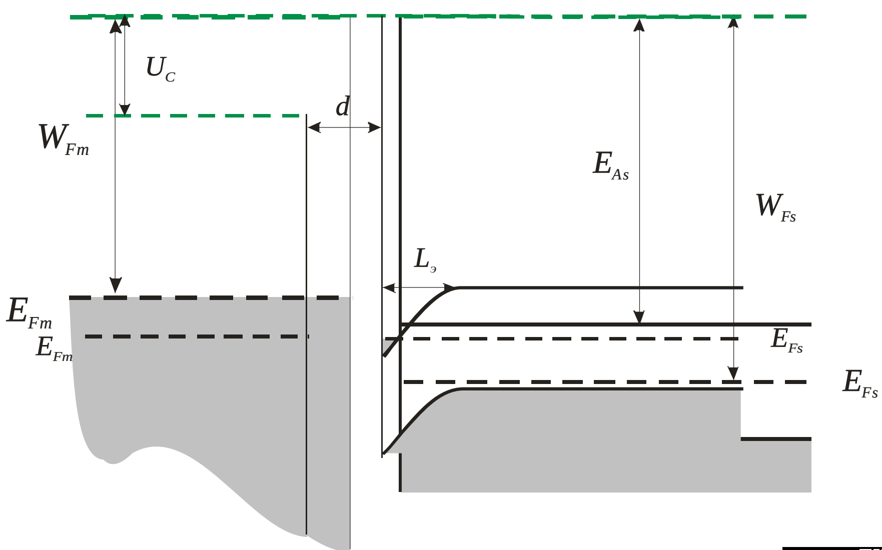
1. Виды двумерных полупроводниковых систем.
2. Самосогласованный потенциал.
3. Емкость двумерной системы.
4. Экранирование в двумерной системе.

Поверхностные состояния





Обогащенные слои



$$n = \frac{1}{e} U_C C \qquad C = \frac{ee_0}{d_{эфф}} \qquad d_{эфф} \approx d + L_э$$

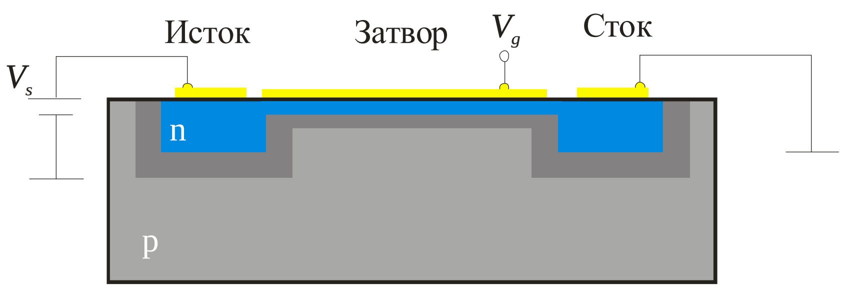
Условие наблюдения квантования

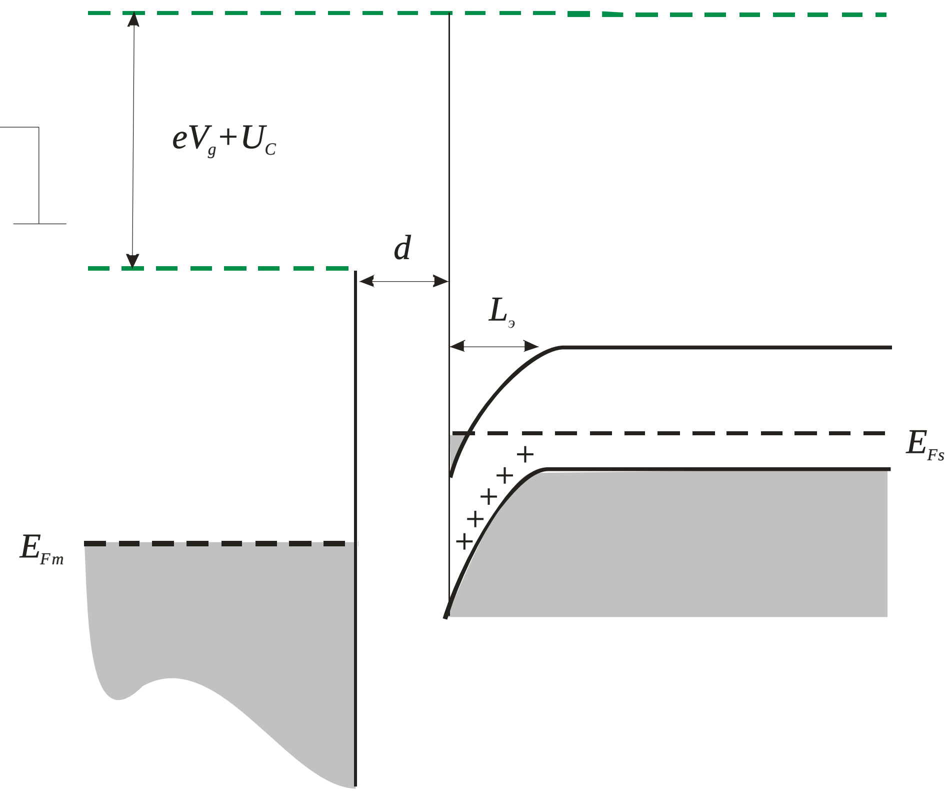
$$\Delta E_z \geq kT \qquad \Delta E_z \approx \left(\frac{\hbar^2}{2m}\right)^{1/3} \left(\frac{3p}{2} eF\right)^{2/3}$$

$$F = \frac{U_C}{d_{эфф}} = \frac{U_C}{d + L_э}$$

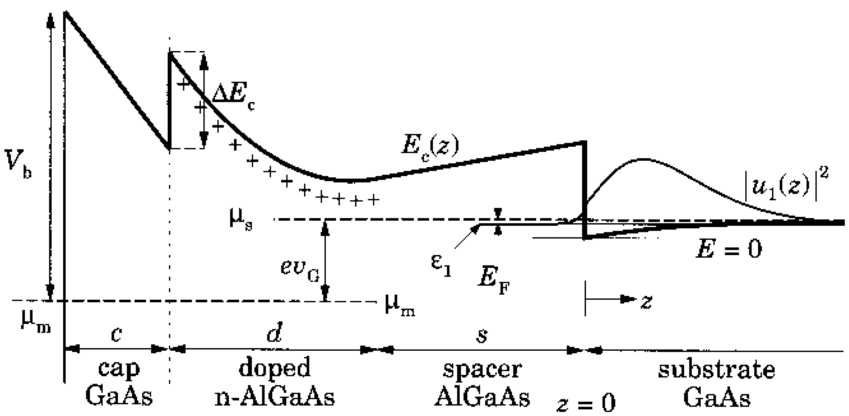
$$L_э = L_D \sqrt{\frac{qD}{k_0 T \mu}} \qquad L_D = \sqrt{\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_s k_0 T}{q^2 n}}$$

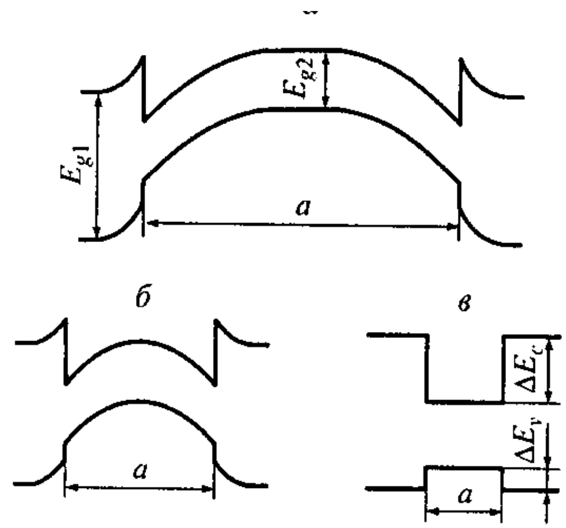
Инверсионные слои



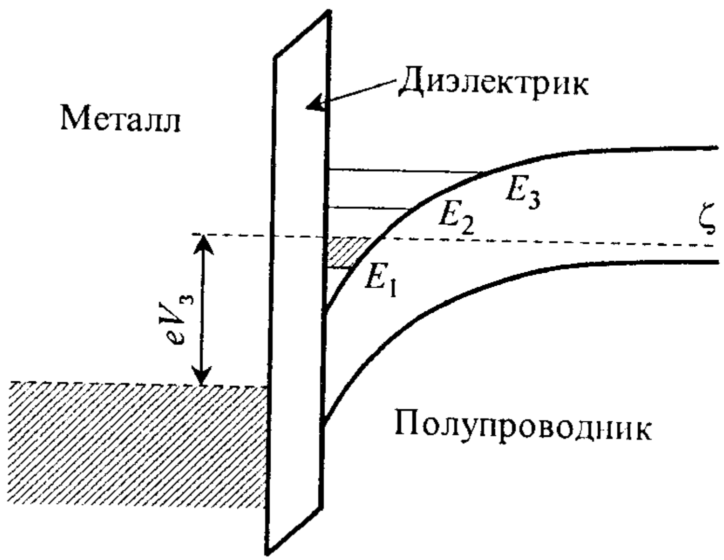


Гетероструктуры





Самосогласованный потенциал



$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_z}\frac{\partial^2}{\partial z^2}-qV(z)\right)\xi(z)=E_i\xi_i(z)$$

$$n(z)=\sum_i N_i\left|\xi_i(z)\right|^2$$

$$\rho(z)=q\left(-\sum_i N_i\left|\xi_i(z)\right|^2+N_D-N_A\right)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2}=-\frac{1}{ee_0}r(z)$$

Вариационный метод

Пробная волновая функция

$$y_0(z) = f_0(a,b,z) \qquad \langle \hat{H} \rangle_{f00}(a,b) = \int f_0(a,b,z)\hat{H}f_0(a,b,z)dz$$

$$f_0(a,b,z) = \sum_n c_{on}(a,b) y_n(z) \qquad \langle \hat{H} \rangle_{f00} = \sum_n |c_{0n}|^2 E_n \qquad \sum_n |c_{0n}|^2 = 1$$

$$\min \langle \hat{H} \rangle_{f00} \approx E_0$$

$$y_n(z) = f_n(a,b,z) \qquad \min \langle \hat{H} \rangle_{fnn} = E_n$$

Приближение Фэнга-Ховарда

Функция Фэнга-Ховарда

$$u(z) = (\tfrac{1}{2}b^3)^{1/2} z \exp(-\tfrac{1}{2}bz) \qquad \rho(z) = -en_{2D}|u(z)|^2 = -\tfrac{1}{2}en_{2D}b^3z^2\exp(-bz)$$

$$d^2\phi_H(z)/dz^2 = -\rho/\epsilon_0\epsilon_b \qquad \phi_H(z) = -\frac{en_{2D}}{2\epsilon_0\epsilon_b b}\{6-[(bz)^2+4bz+6]\exp(-bz)\}$$

Поскольку n_{2D} >1, минимизировать надо полную энергию 2D системы

$$E = \tfrac{1}{2}\sum_j q_j\phi_j \qquad E_T = \langle\hat{T}\rangle + \tfrac{1}{2}\langle V_H\rangle$$

$$\langle\hat{T}\rangle = \frac{\hbar^2}{2m}\frac{b^3}{2}\int_0^\infty z\exp(-\tfrac{1}{2}bz)\left[-\frac{d^2}{dz^2}z\exp(-\tfrac{1}{2}bz)\right]dz = \frac{\hbar^2b^2}{8m}$$

$$\langle V_H\rangle = \frac{e^2n_{2D}}{2\epsilon_0\epsilon_b b}\frac{b^3}{2}\int_0^\infty\{6-[(bz)^2+4bz+6]\exp(-bz)\}\,z^2\exp(-bz)\,dz = \frac{33e^2n_{2D}}{16\epsilon_0\epsilon_b b}$$

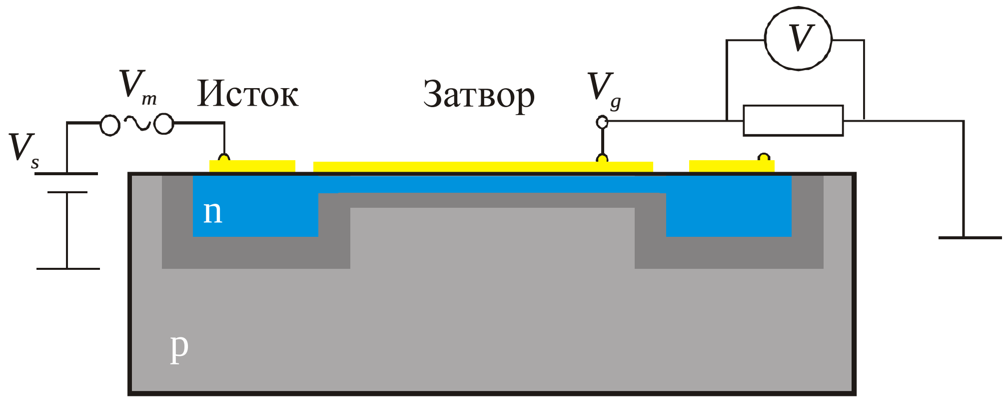
Энергия подзоны

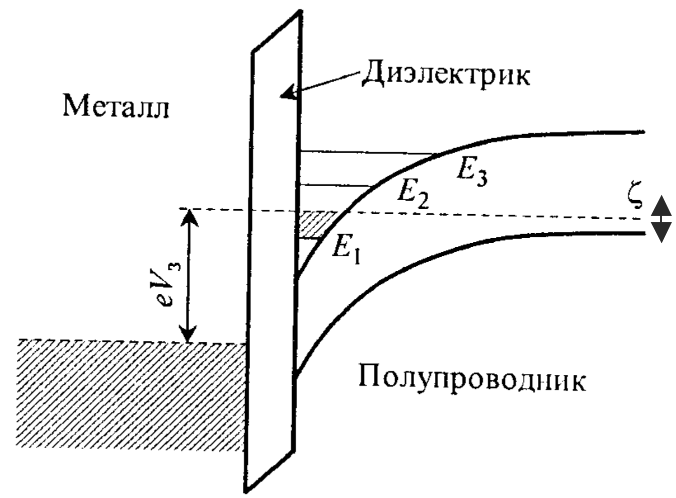
$$E_{\mathrm{T}} = \langle \hat{T} \rangle + \tfrac{1}{2}\langle V_{\mathrm{H}} \rangle = \frac{\hbar^2 b^2}{8m} + \frac{33 e^2 n_{\mathrm{2D}}}{32 \epsilon_0 \epsilon_{\mathrm{b}} b}$$

$$b = \left(\frac{33 m e^2 n_{\mathrm{2D}}}{8 \hbar^2 \epsilon_0 \epsilon_{\mathrm{b}}} \right)^{1/3} \qquad \hat{H}_1 = \hat{T} + V_{\mathrm{H}} \qquad \varepsilon_1 \doteq \langle \hat{H}_1 \rangle$$

$$\varepsilon_1 = \left[\frac{5}{16} \left(\frac{33}{2} \right)^{2/3} \right] \left[\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{e^2 n_{\mathrm{2D}}}{\epsilon_0 \epsilon_{\mathrm{b}}} \right)^2 \right]^{1/3}$$

Емкость двумерной системы





$$dz = dE_1 + dE_F \qquad C = \frac{edn_{2D}}{dz} = \frac{1}{C_0^{-1} + C_F^{-1}}$$

$$C_0 = \frac{edn_{2D}}{dE_1} \qquad C_F = \frac{edn_{2D}}{dE_F} \qquad n_{2D} = \int_0^{E_F} g_{2D}dE \Rightarrow \frac{\partial n_{2D}}{\partial E_F} = g_{2D}(E_F)$$

При большой толщине диэлектрика *d*

$$dE_1 \approx dj_b \Rightarrow C_0 \approx \frac{edn_{2D}}{dj_b} = \frac{ee_0}{d}$$