A decorative graphic consisting of a thin gold circle on the left side. A thick black bracket is positioned on the left, and a thick gold bracket is on the right, both framing a horizontal bar. The bar has a gradient from light green on the left to white on the right.

Квантование в непрямозонных полупроводниках.

1. Квантование при анизотропии массы.
2. Приповерхностные квантовые ямы.
3. Долинное расщепление.

Анизотропия массы

$$[T - e\phi(z) - E]\psi = 0$$

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i,j} w_{ij} p_i p_j \quad p_j = -i\hbar(\partial/\partial x_j)$$

$$\psi(x, y, z) = \xi(z) \exp(ik_1 x + ik_2 y)$$

$$\left. \begin{aligned} -\frac{1}{2} w_{33} \hbar^2 (d^2 \xi / dz^2) - \hbar^2 (w_{13} k_1 + w_{23} k_2) (d\xi / dz) \\ - [e\phi(z) + E'] \xi(z) = 0 \end{aligned} \right| E = E' + \frac{1}{2} \hbar^2 (w_{11} k_1^2 + 2w_{12} k_1 k_2 + w_{22} k_2^2)$$

$$\xi(z) = \zeta(z) \exp[-iz(w_{13} k_1 + w_{23} k_2) / w_{33}]$$

$$d^2 \zeta_i / dz^2 + (2m_3 / \hbar^2) [E_i'' + e\phi(z)] \zeta_i(z) = 0 \quad m_3 = w_{33}^{-1}$$

$$E_i(k_1, k_2) = E_i'' + \frac{1}{2} \hbar^2 \left[\left(w_{11} - \frac{w_{13}^2}{w_{33}} \right) k_1^2 + 2 \left(w_{12} - \frac{w_{13} w_{23}}{w_{33}} \right) k_1 k_2 + \left(w_{22} - \frac{w_{23}^2}{w_{33}} \right) k_2^2 \right]$$

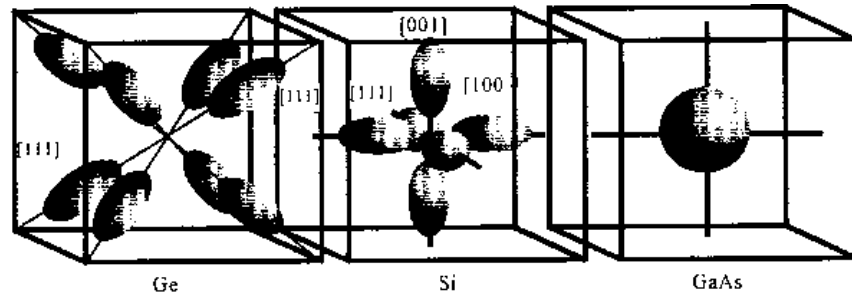


Рис. 4.13. Форма и расположение изоэнергетических поверхностей в Ge, Si, GaAs [16]

Плотность состояний и циклотронная масса

$$dG = \frac{2g_n dp_x dp_y}{(2\pi\hbar)^2} = \frac{2g_n dS_p}{(2\pi\hbar)^2} = \frac{2g_n}{(2\pi\hbar)^2} \frac{dS_p}{dE} dE \Rightarrow g(E) = \frac{2g_n}{(2\pi\hbar)^2} \frac{dS_p}{dE}$$

В физике металлов доказывается, что циклотронная масса $m_c = \frac{1}{2\pi} \frac{dS_p}{dE}$

В случае поверхности Ферми в форме эллипса имеем $m_c = \sqrt{m_x m_y}$

$E = \frac{p_x^2}{2m_x} + \frac{p_y^2}{2m_y}$ Для того, чтобы получить данное выражение достаточно совершить поворот системы координат в плоскости xu на α

$$\operatorname{tg}(2\alpha) = \frac{2(w_{zz}w_{xy} - w_{xz}w_{yz})}{w_{xx}w_{zz} - w_{yy}w_{zz} - w_{xz}^2 + w_{yz}^2}$$

$$\frac{1}{m_x} = \left(w_{xx} - \frac{w_{xz}^2}{w_{zz}} \right) \cos^2(\alpha) + \left(w_{yy} - \frac{w_{yz}^2}{w_{zz}} \right) \sin^2(\alpha) + 2 \left(w_{xy} - \frac{w_{xz}w_{yz}}{w_{zz}} \right) \sin(2\alpha)$$

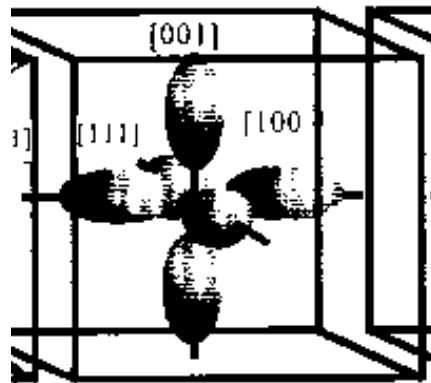
$$\frac{1}{m_y} = \left(w_{yy} - \frac{w_{yz}^2}{w_{zz}} \right) \cos^2(\alpha) + \left(w_{xx} - \frac{w_{xz}^2}{w_{zz}} \right) \sin^2(\alpha) - 2 \left(w_{xy} - \frac{w_{xz}w_{yz}}{w_{zz}} \right) \sin(2\alpha)$$

Масса при разных ориентациях

TABLE I. Effective masses for three surface orientations, for semiconductors having band structures like those of the conduction band of Si (six {100} ellipsoids of revolution) or of Ge (four {111} ellipsoids of revolution). The principal effective masses in the ellipsoids are m_x , m_y , and m_z . The derived values are m_n , the effective mass perpendicular to the surface, and m_1 and m_2 , the principal masses of the constant-energy ellipse in the surface, defined by Eq. (13). The degeneracy of each set of ellipses is n_v .

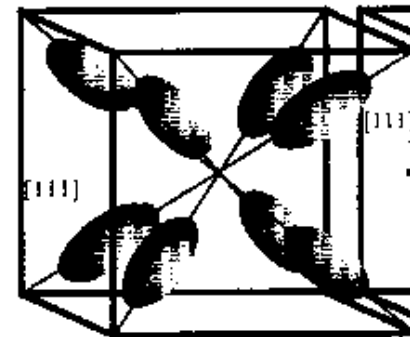
Surface orientation	Si				Ge			
	m_1	m_2	m_3	n_v	m_1	m_2	m_3	n_v
{100}	m_x m_x	m_y m_z	m_z m_x	2 4	m_x	$(m_x+2m_z)/3$	$(3m_x m_z)/(m_x+2m_z)$	4
{110}	m_x m_x	$(m_x+m_z)/2$ m_z	$(2m_x m_z)/(m_x+m_z)$ m_x	4 2	m_x m_x	$(m_x+2m_z)/3$ m_z	$(3m_x m_z)/(m_x+2m_z)$ m_x	2 2
{111}	m_x	$(m_x+2m_z)/3$	$(3m_x m_z)/(m_x+2m_z)$	6	m_x m_x	$\frac{m_x}{(m_x+8m_z)/9}$	$\frac{m_x m_z}{(9m_x m_z)/(m_x+8m_z)}$	1 3

$$m_l = 0.916m_0 \quad m_t = 0.19m_0$$



Si

$$m_l = 1.58m_0 \quad m_t = 0.082m_0$$



Ge

Спектр при разных ориентациях

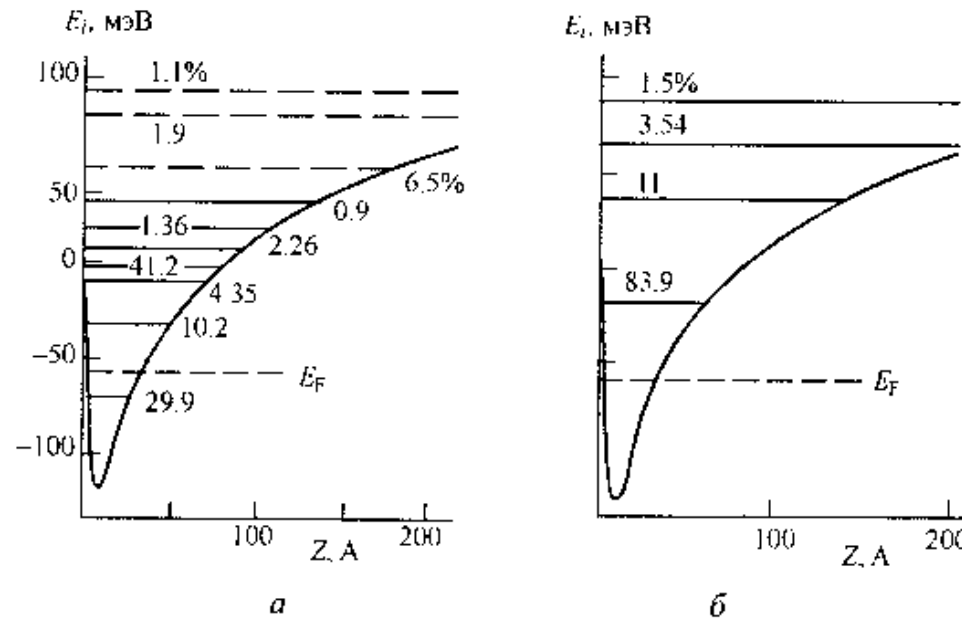


Рис. 4.17. Энергетические диаграммы ОПЗ с указанием заселенности квантовых подзон для ориентации поверхностей (111) (а) и (100) (б); штриховые линии – положения квантовых подзон для электронов с более легкой массой квантования; цифры – процентный вклад заполнения данного уровня в общую плотность заряда