

バルク構造と量子構造

■ バルク構造

- 周期性: 長距離 ≧ 格子間隔

■ 量子構造

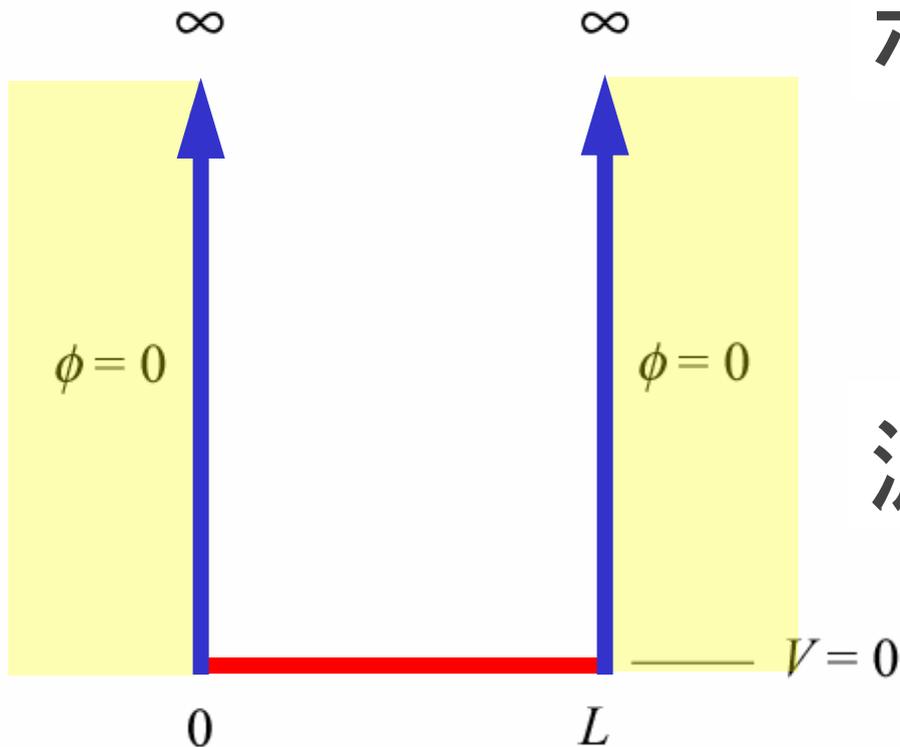
- 周期性: 短距離

■ 量子効果

- 量子準位, トンネル効果

量子構造

■ ポテンシャル井戸



ポテンシャル

$$V(x) = 0 \quad (0 < x < L)$$

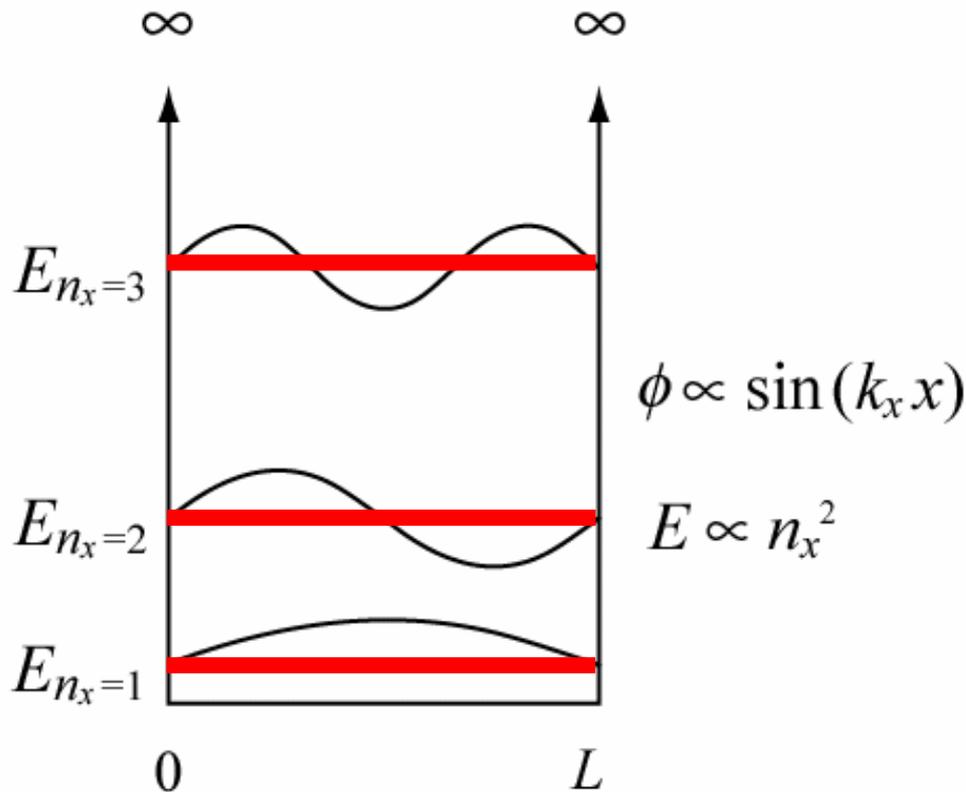
$$V(0) = V(L) = \infty$$

波動関数

$$\phi(x) = 0 \quad (x \leq 0, L \leq x)$$

量子構造

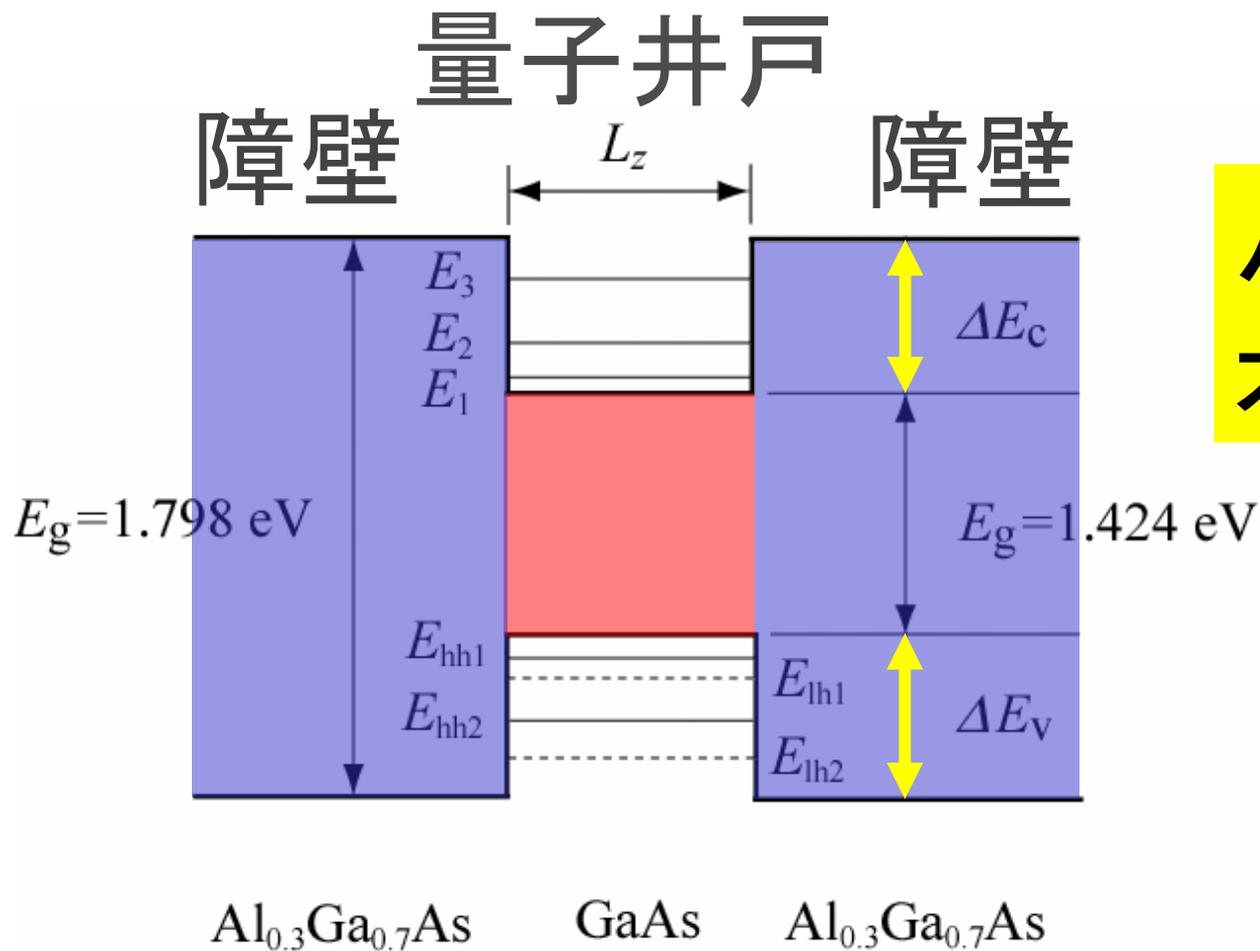
■ ポテンシャル井戸



$$k_x = \frac{n_x \pi}{L}$$

離散的

半導体量子構造



バンド
オフセット

半導体量子構造

■ 単結晶

ベース関数 ψ

■ 周期的ポテンシャル  有効質量

■ 周期: ~ 0.5 nm

近似

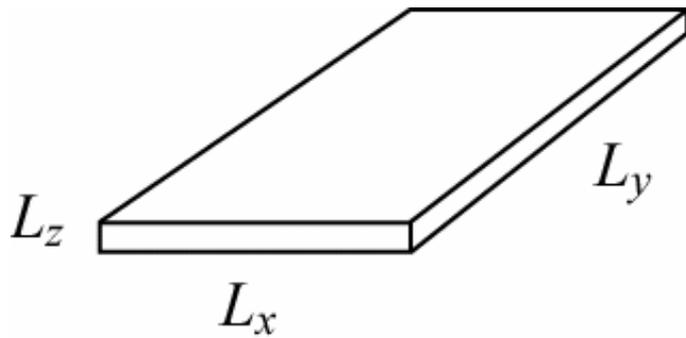
■ 量子構造

包絡線関数 ϕ

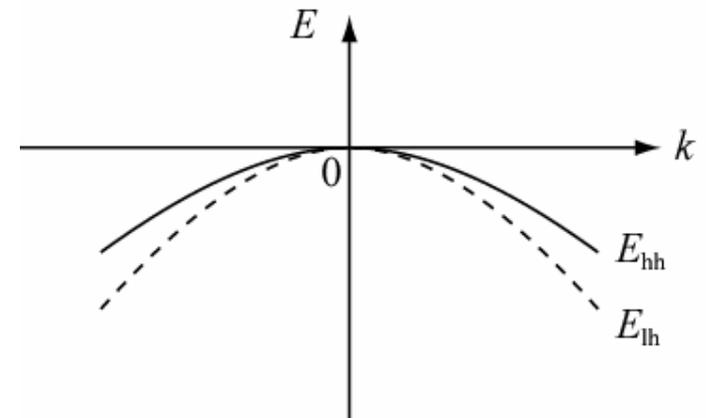
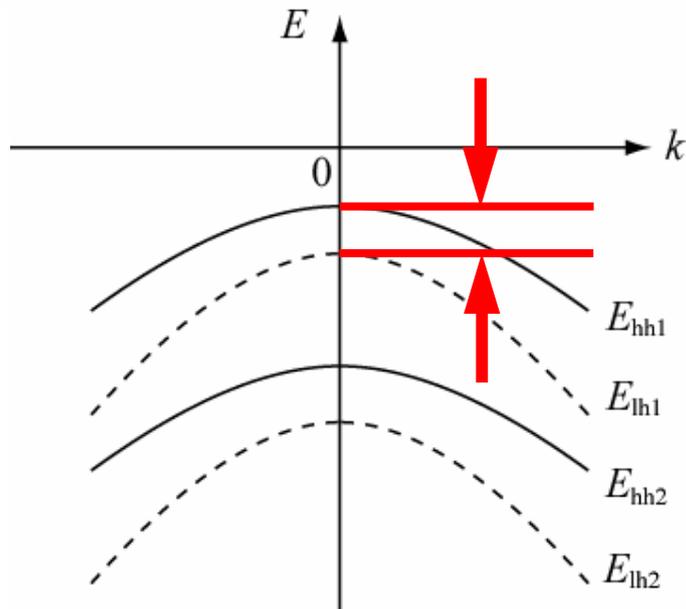
■ 箱型ポテンシャル

■ 井戸幅: 数十 nm

1次元量子井戸



$$E = E_{xy} + \frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\pi^2}{L_z^2} n_z^2$$

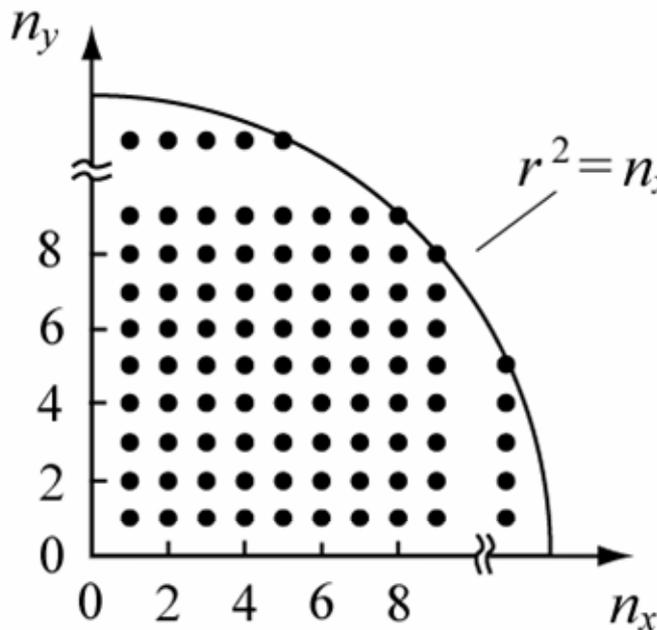


cf. バルク構造

1次元量子井戸

■ 状態数

- 組合せの数: $E \leq E_{xy}$



スピン

$$N = 2 \times \frac{\pi r^2}{4} = \frac{m^* L^2}{\hbar^2 \pi} E_{xy}$$

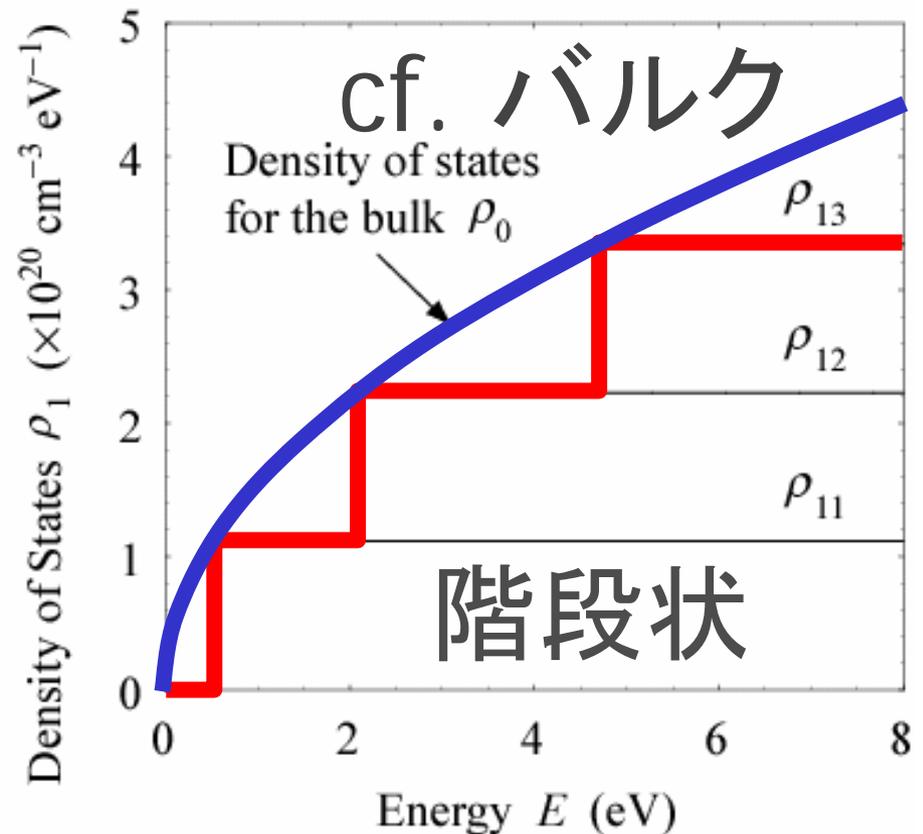
$$n = \frac{N}{L^2 L_z} = \frac{m^*}{\hbar^2 \pi L_z} (E - E_{z=1})$$

1次元量子井戸

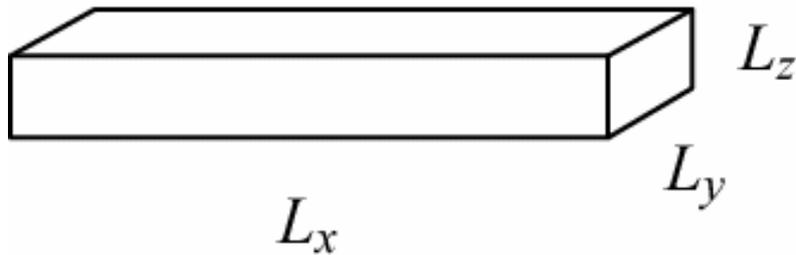
■ 状態密度

$$n = \frac{m^*}{\hbar^2 \pi L_z} (E - E_{z=1})$$

$$\rho_1(E) = \frac{dn}{dE} = \frac{m^*}{\hbar^2 \pi L_z}$$



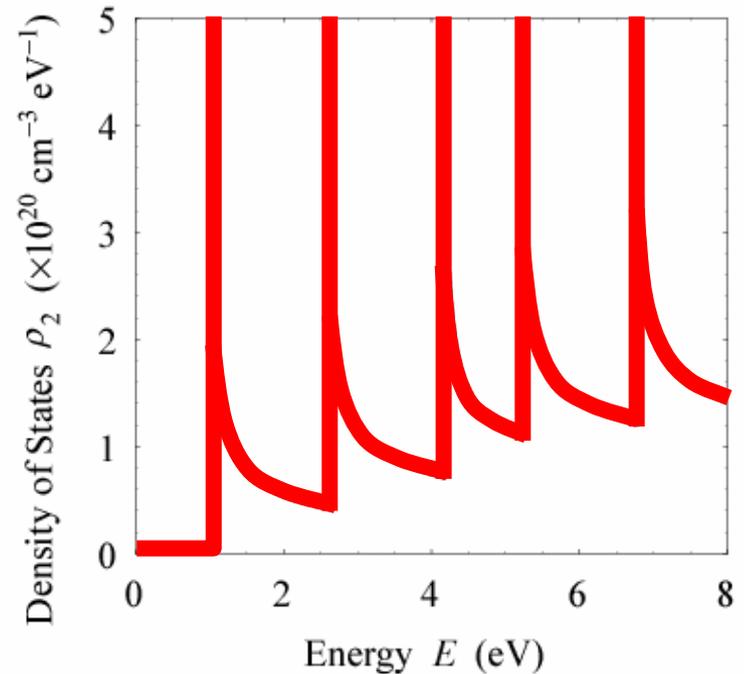
2次元量子井戸



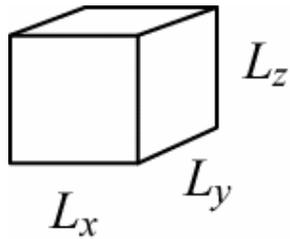
$$E = E_x + \frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\pi^2}{L^2} (n_y^2 + n_z^2)$$

$$\rho_2(E) = \frac{\sqrt{2m^*}}{\hbar\pi L^2} (E - E_{yz})^{-1/2}$$

鋸齒状



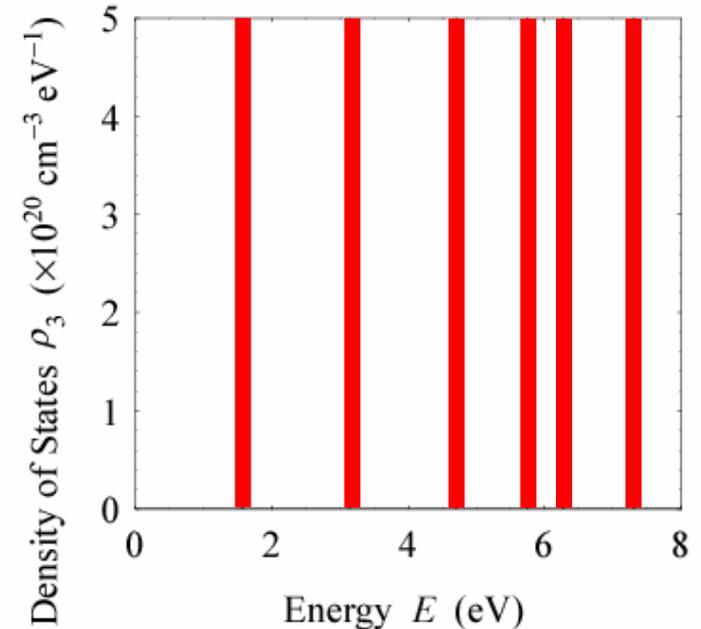
3次元量子井戸



$$E = \frac{\hbar^2}{2m^*} \frac{\pi^2}{L^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

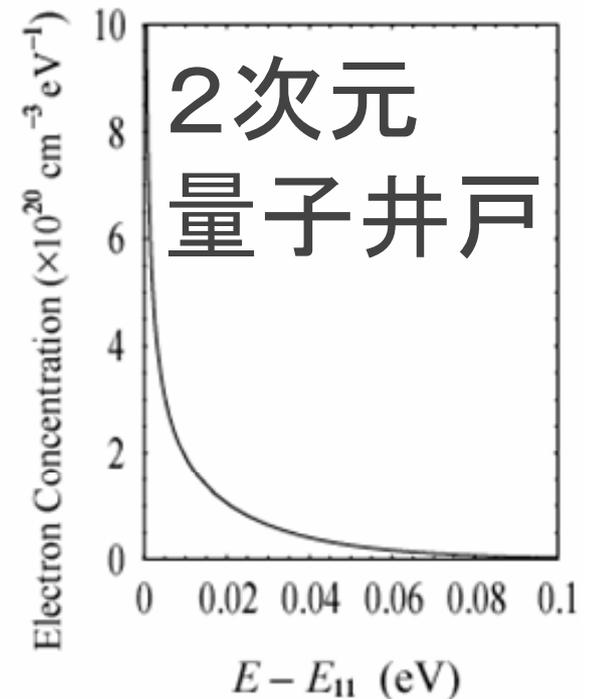
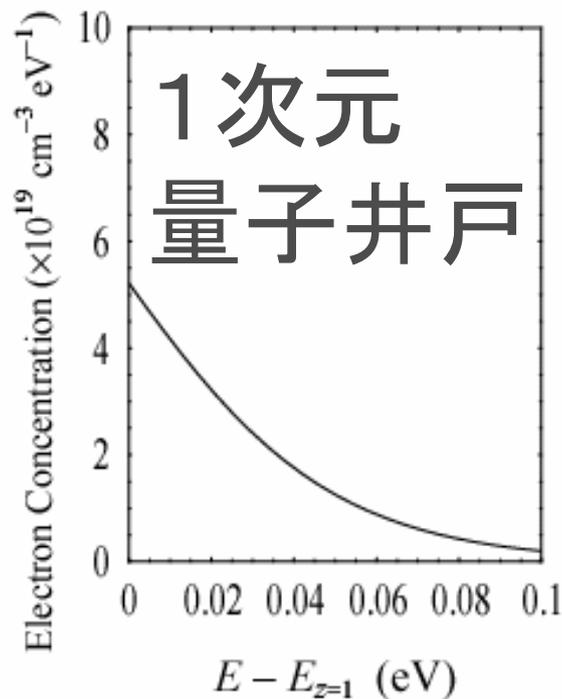
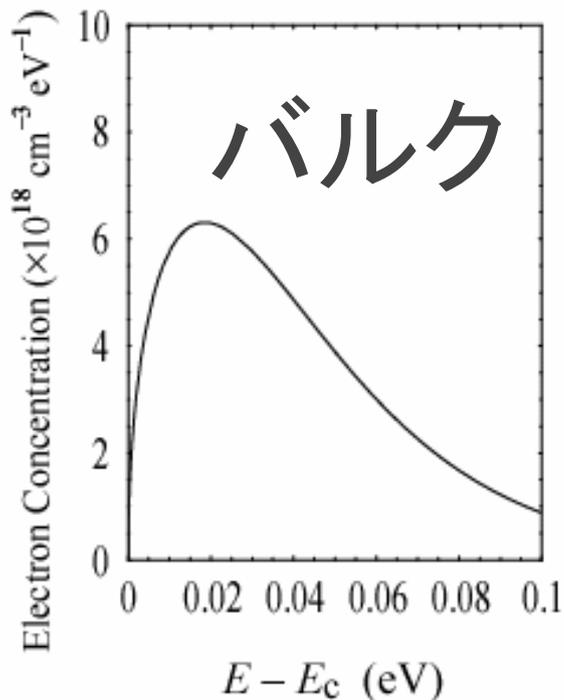
$$\rho_3(E) = 2 \sum_{n_x, n_y, n_z} \delta(E - E_x - E_y - E_z)$$

デルタ関数



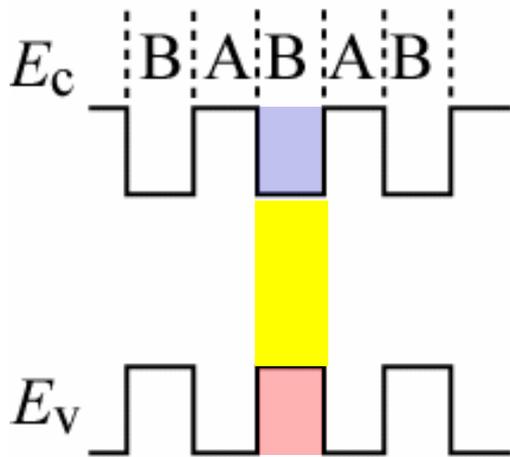
バルクと量子井戸の比較

■ 電子のエネルギー分布

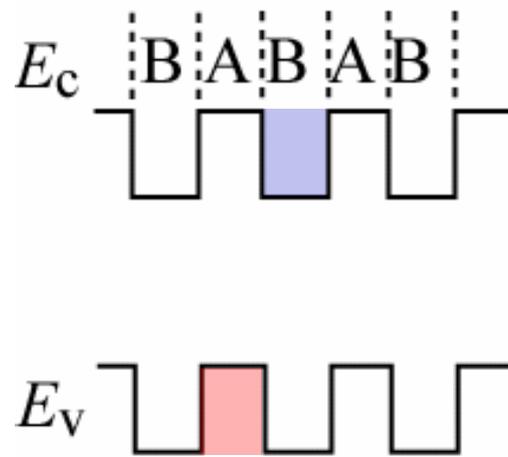


量子構造の分類

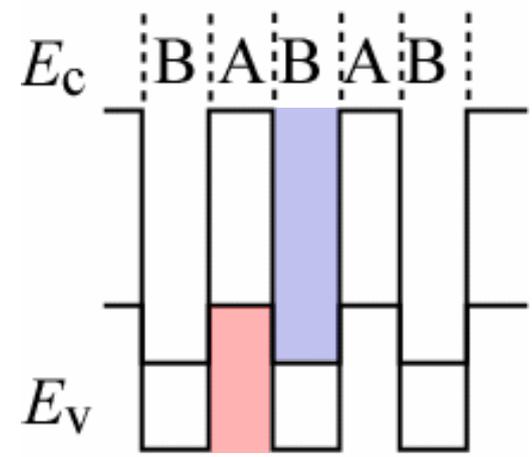
■ポテンシャル



タイプ I



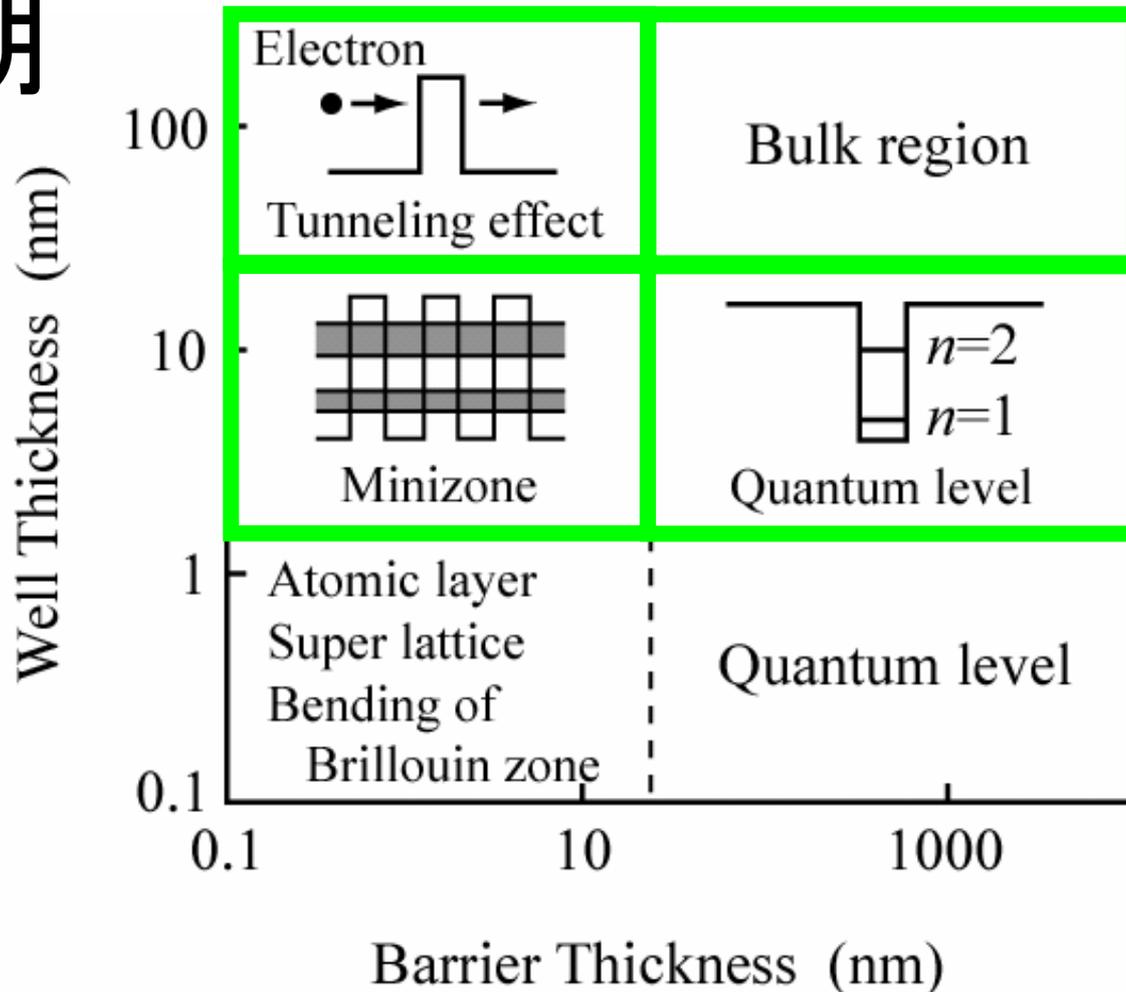
タイプ II



タイプ III

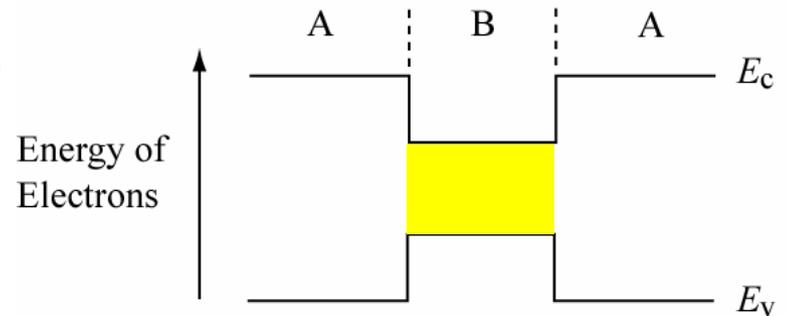
量子構造の分類

■ 周期

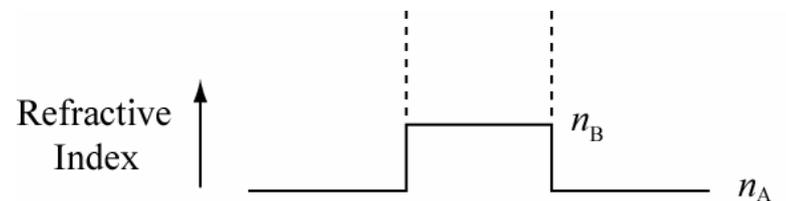


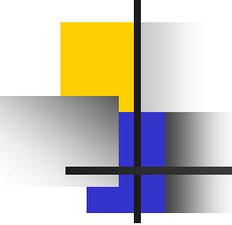
量子構造とヘテロ構造

- エネルギー障壁
 - キャリア閉込め



- 屈折率差
 - 光閉込め





量子構造と歪

- 格子不整合

- 層厚 $>$ 臨界膜厚

- 転位

- 層厚 $<$ 臨界膜厚

- 弾性歪

- バンド構造エンジニアリング