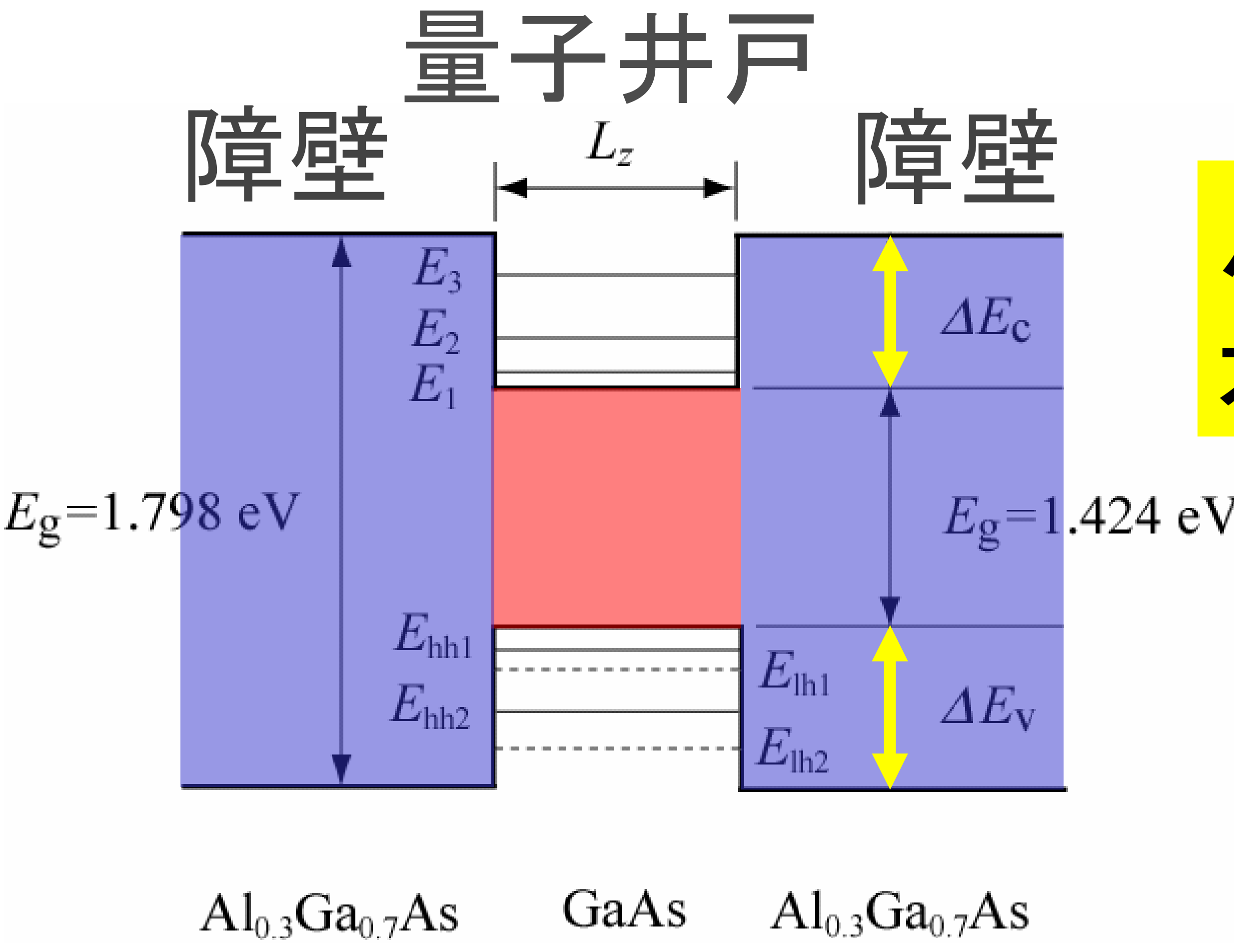
半導体量子構造

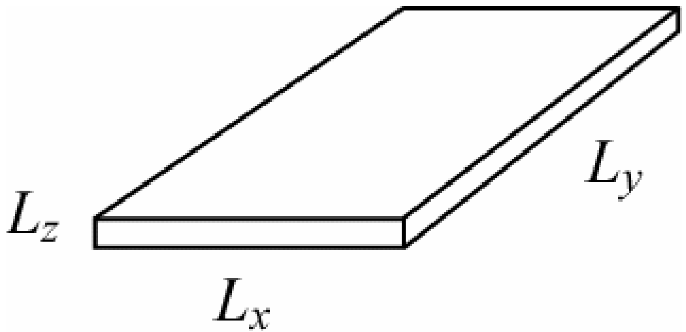


バンド
オフセット

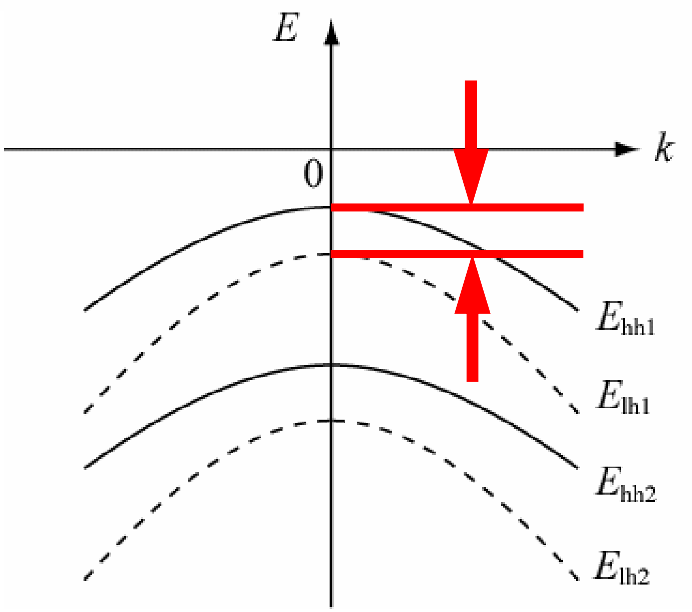
半導体量子構造

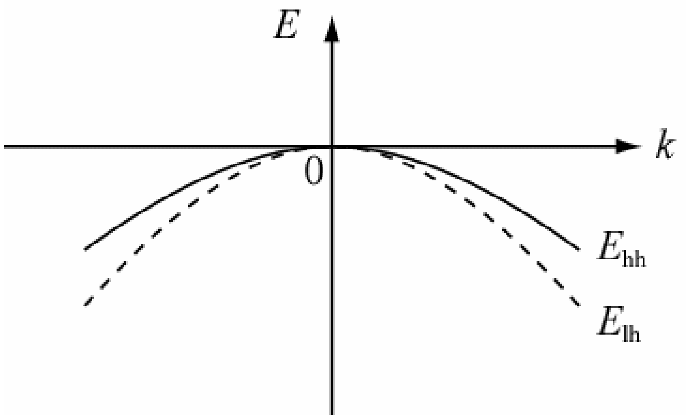
- 単結晶　　ベース関数 Ψ
  - 周期的ポテンシャル ⇒ 有効質量近似
    - 周期：～0.5 nm
- 量子構造　　包絡線関数 Φ
  - 箱型ポテンシャル
    - 井戸幅：数十 nm

1次元量子井戸



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

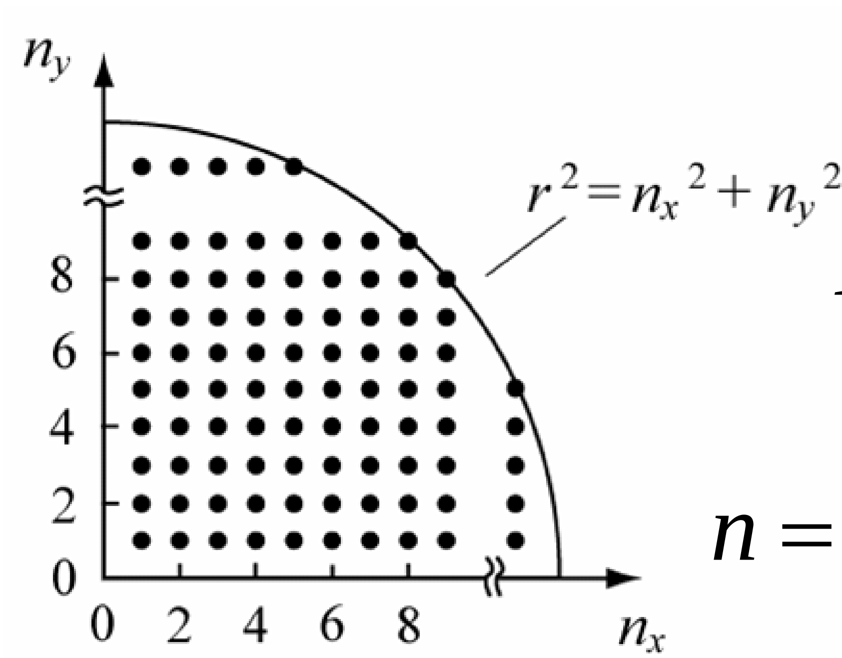




cf. バルク構造

1次元量子井戸

- 状態数
  - 組合せの数: $E \leqq E_{xy}$



スピン

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

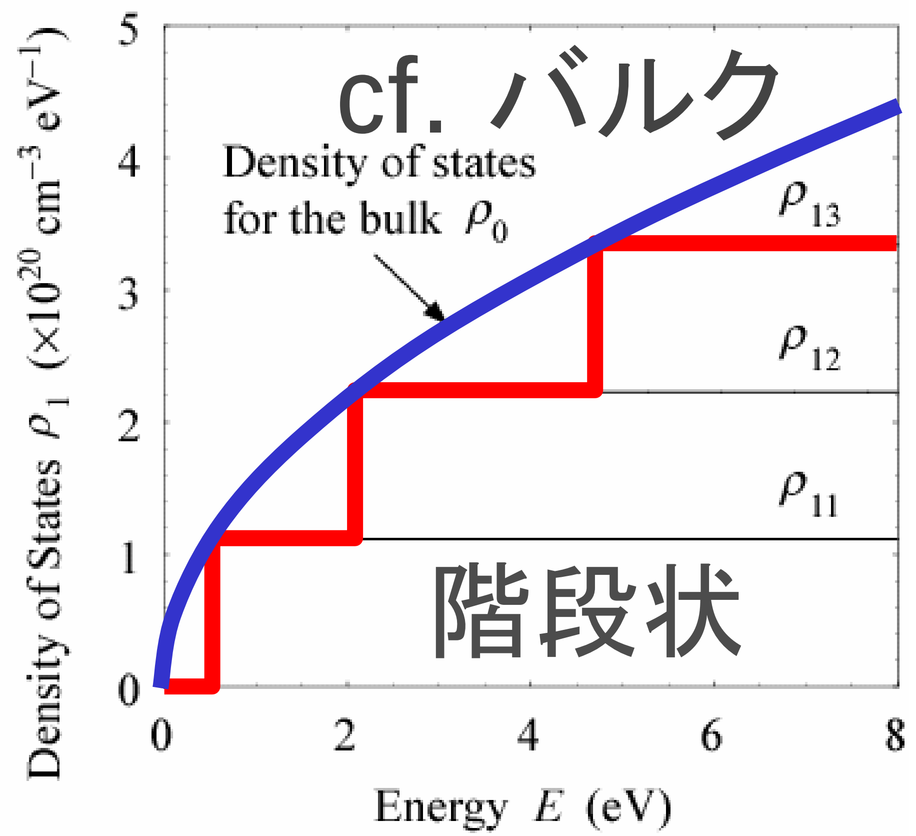
$$n = \frac{N}{L^2 L_z} = \frac{m^*}{\hbar^2 \pi L_z} (E - E_{z=1})$$

1次元量子井戸

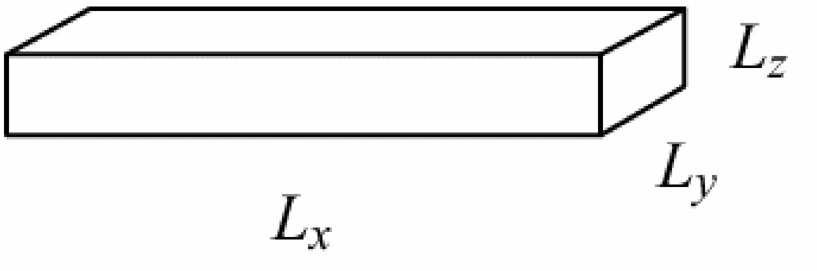
- 状態密度

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

$$\rho_1(E) = \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}E} = \frac{m^*}{\hbar^2 \pi L_z}$$



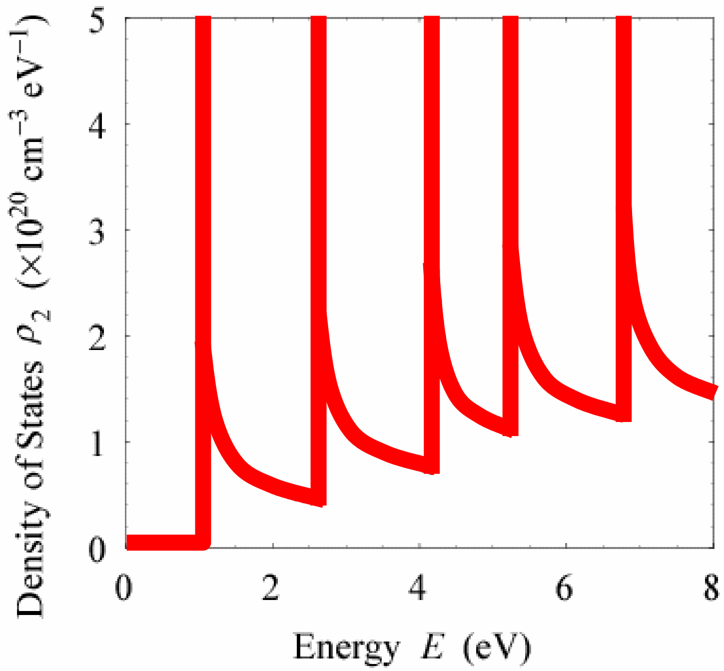
2次元量子井戸



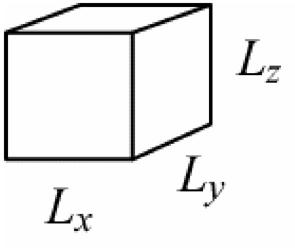
鋸歯状

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

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



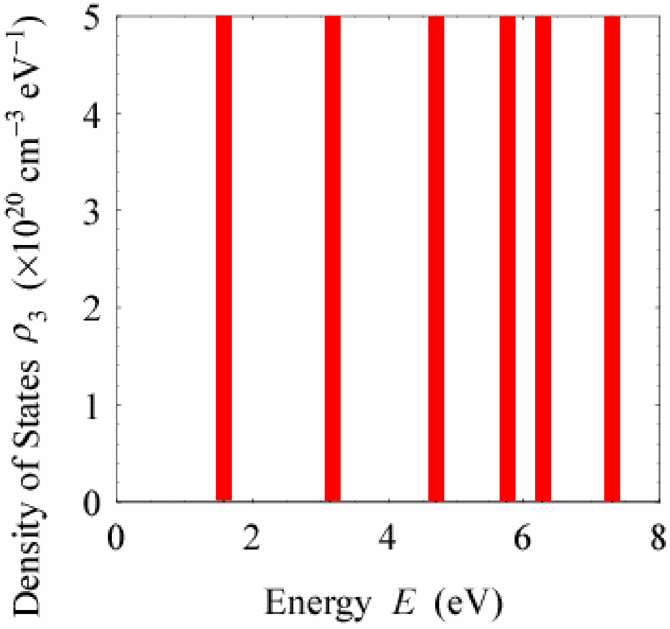
３次元量子井戸



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

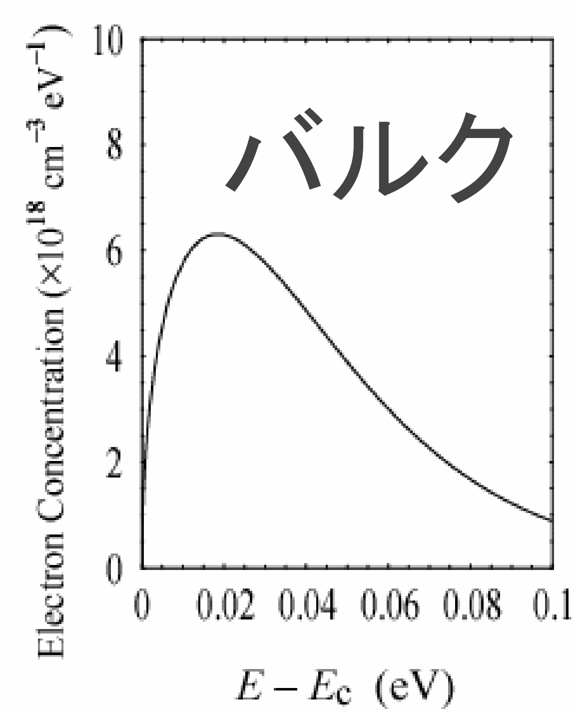
$$\rho_3(E) = 2\sum_{n_x, n_y, n_z}\delta(E - E_x - E_y - E_z)$$

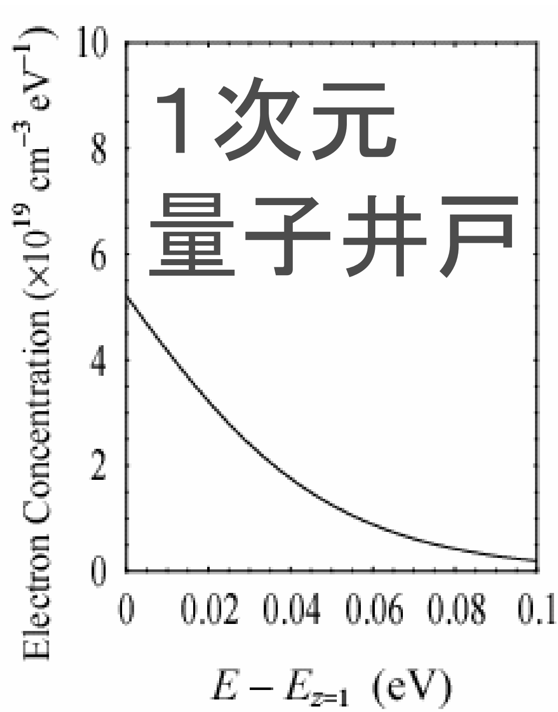
デルタ関数

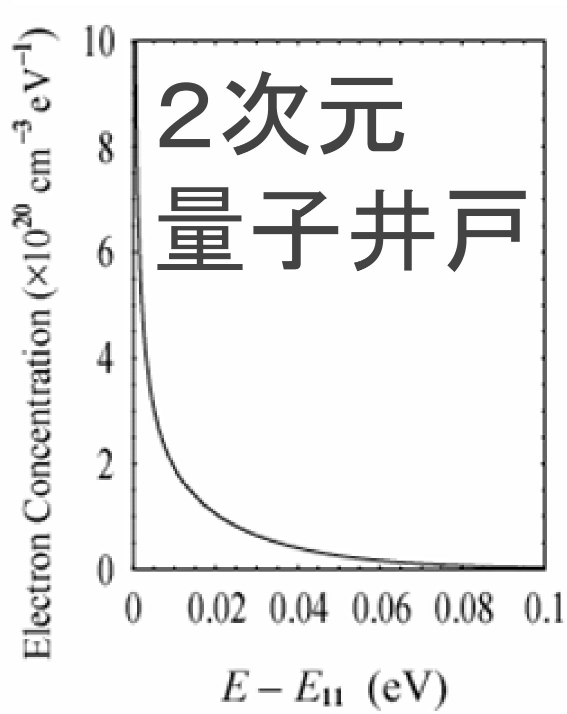


量子井戸レーザー

- 活性層：量子井戸

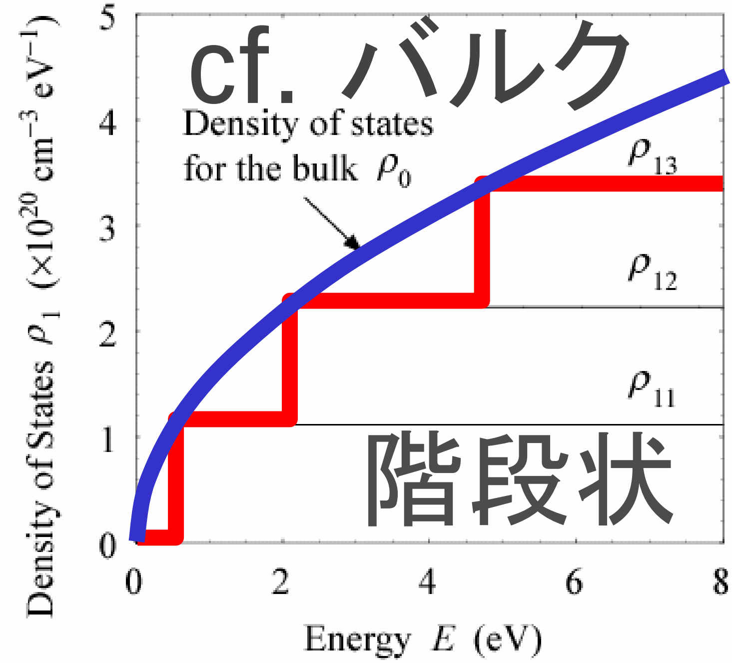






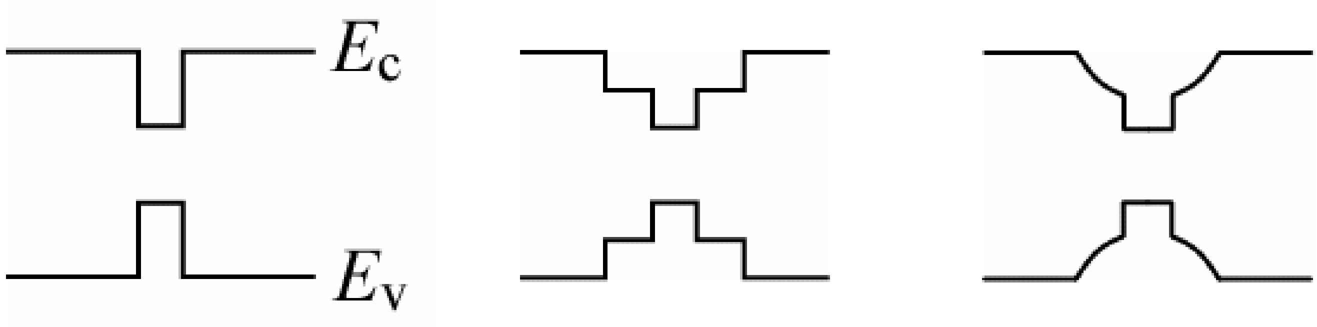
量子井戸レーザー

- 特長
  - 低しきい値
  - 高効率
  - 狭スペクトル
  - 高速変調
  - 低チャーピング



量子井戸レーザー

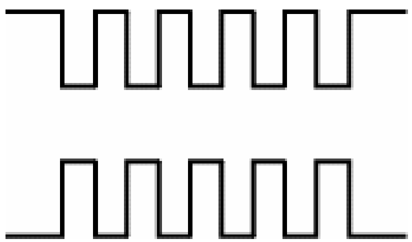
- 単一量子井戸

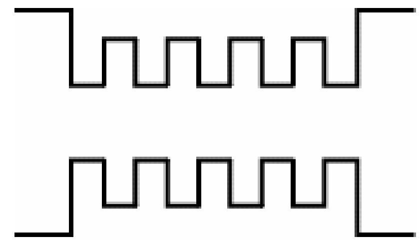


SQW　　SCH　　GRIN-SCH

量子井戸レーザー

- 多重量子井戸



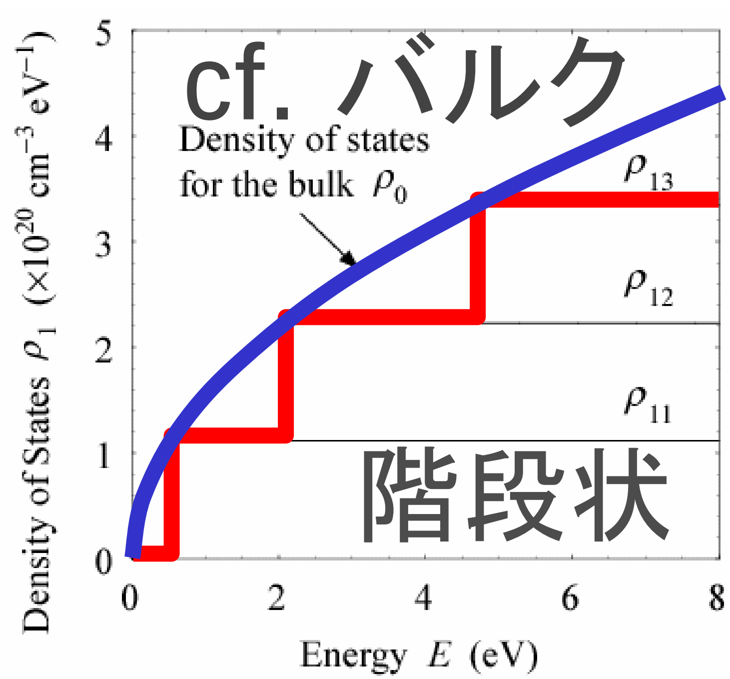


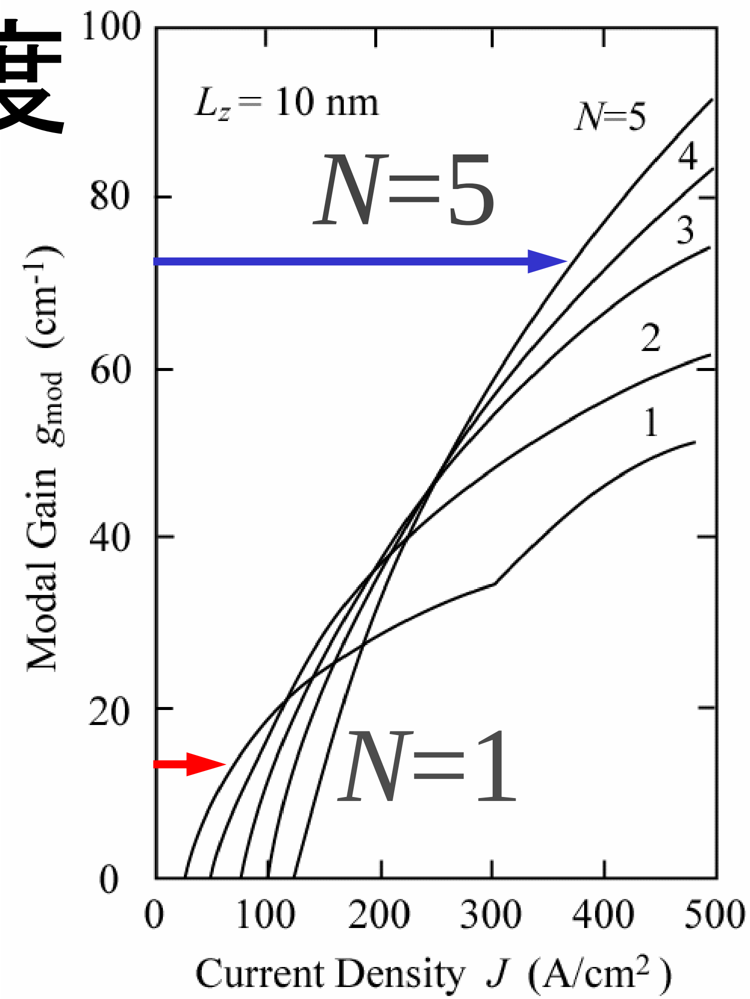
MQW　　　　Modified MQW

光閉込め係数 大　キャリア分布 均一

量子井戸レーザー

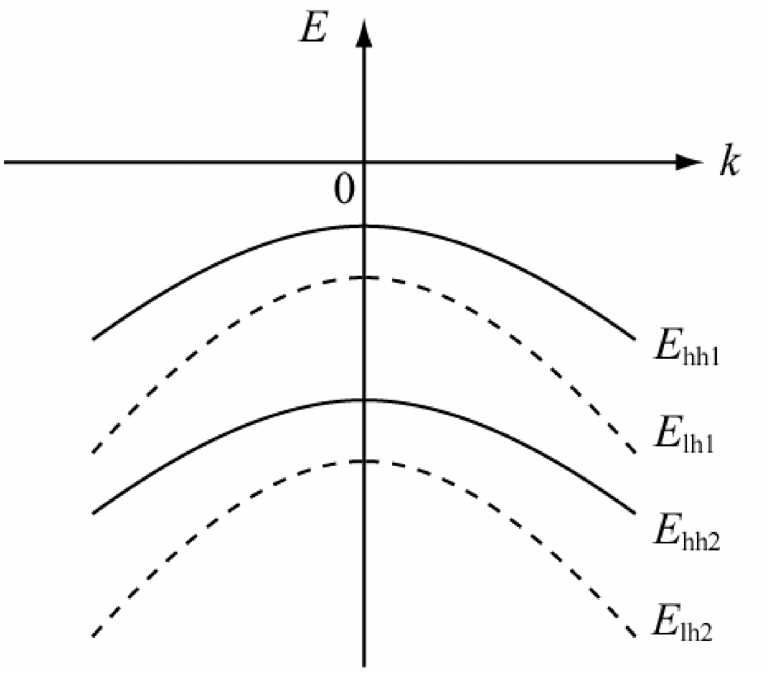
- 階段状状態密度
  - 低しきい値





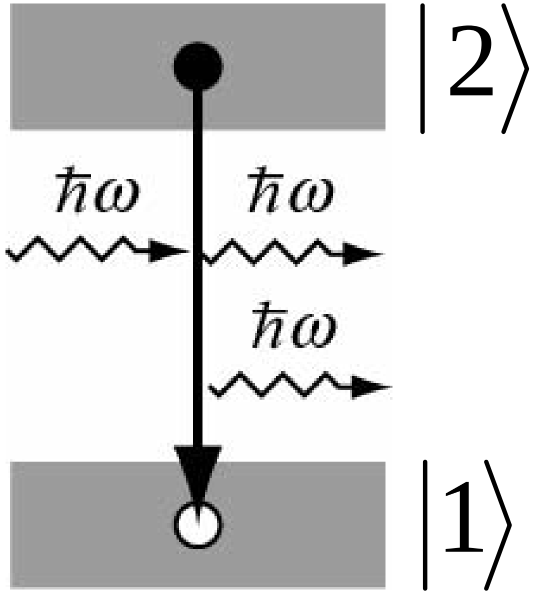
量子井戸レーザー

- 異方性利得 (TE-TM)
  - バルク
    - ～20 cm^{-1}
  - 量子井戸
    - ～140 cm^{-1}



量子井戸レーザー

- 誘導放出による光増幅



誘導放出

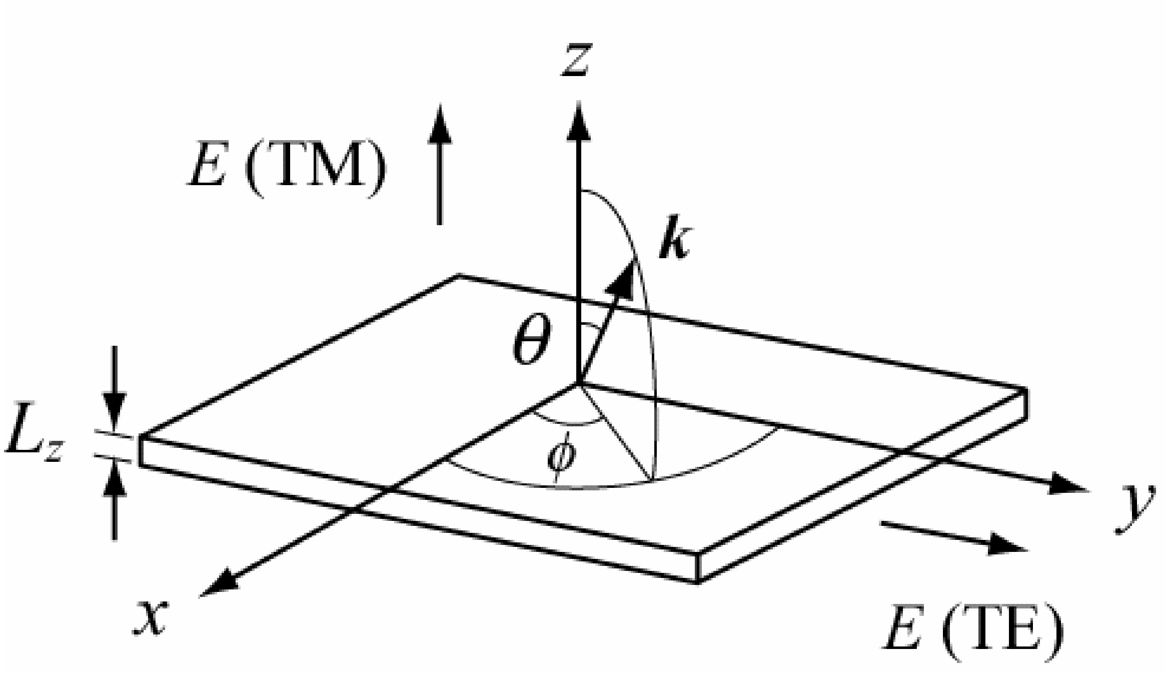
遷移レート

$$\propto \left|\langle 1|\boldsymbol{p}|2\rangle\right|^2 = M^2$$

$$\boldsymbol{p} = -\mathrm{i}\hbar\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{r}}$$

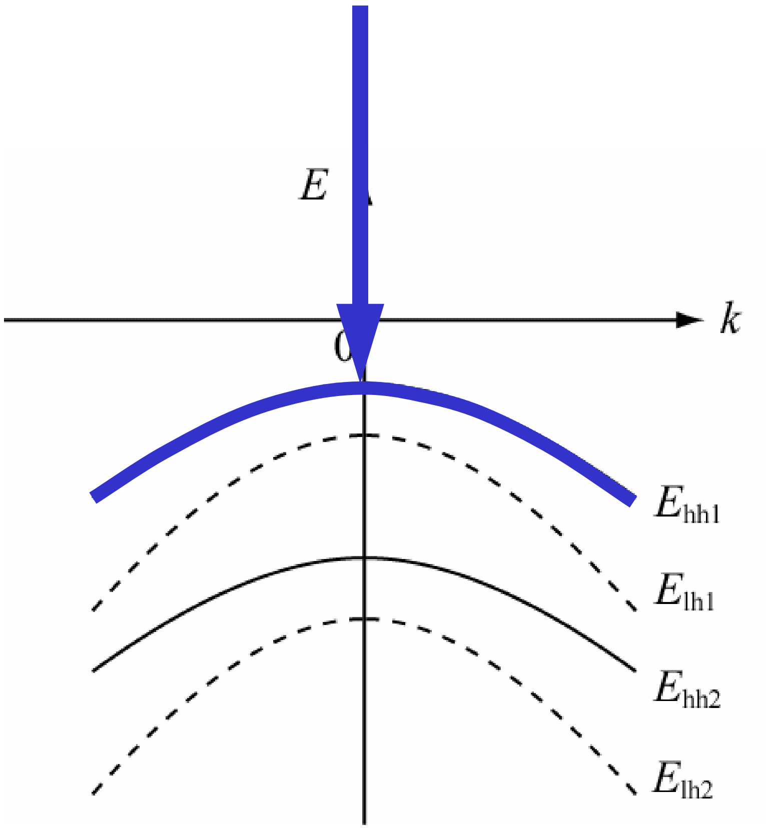
量子井戸レーザー

- 量子井戸における偏波



量子井戸レーザー

- 伝導帯ー重い正孔



TEモード

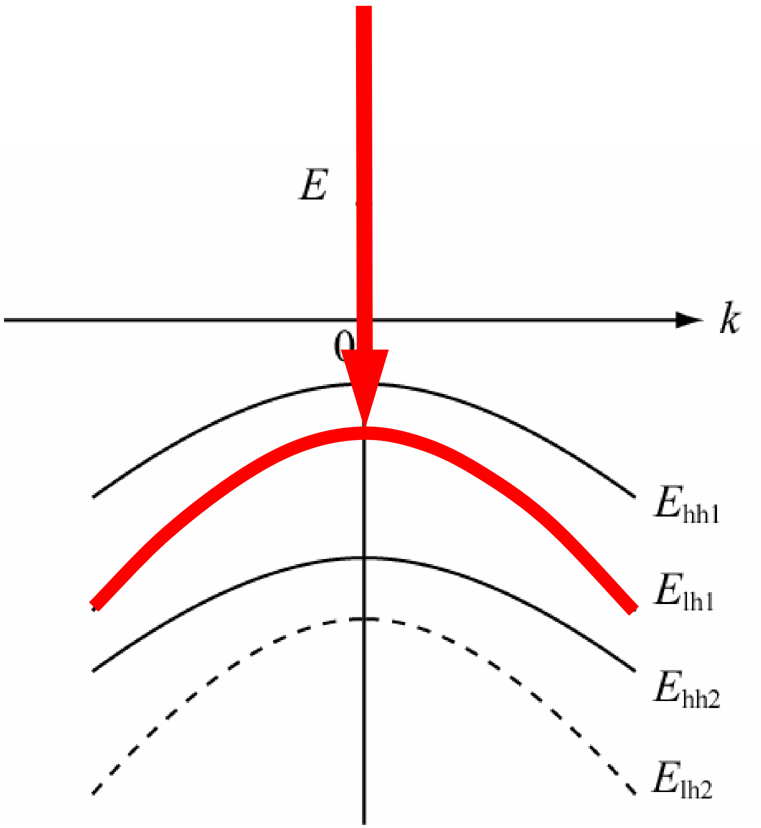
$$\left\langle M^2 \right\rangle_{hh,TE} = \frac{3}{2} M^2$$

TMモード

$$\left\langle M^2 \right\rangle_{hh,TM} = 0$$

量子井戸レーザー

- 伝導帯ー軽い正孔



TEモード

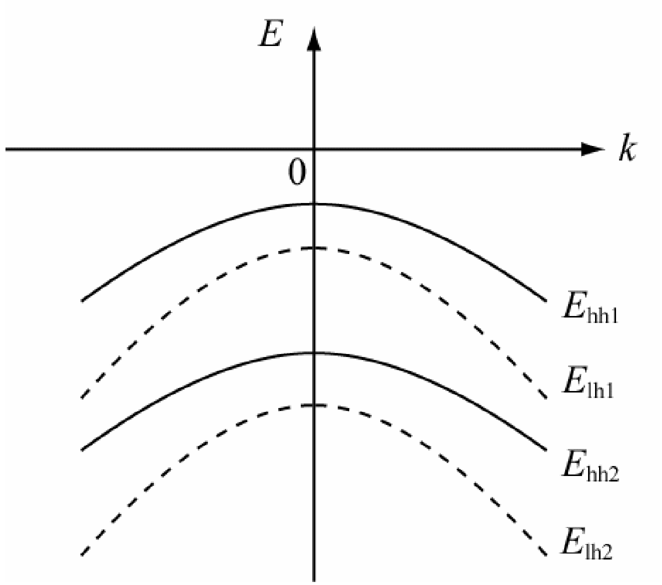
$$\left\langle M^2 \right\rangle_{\mathrm{lh,TE}} = \frac{1}{2} M^2$$

TMモード

$$\left\langle M^2 \right\rangle_{\mathrm{lh,TM}} = 2M^2$$

量子井戸レーザー

- 光利得



正孔濃度

$$p_{\mathrm{hh}} > p_{\mathrm{lh}}$$

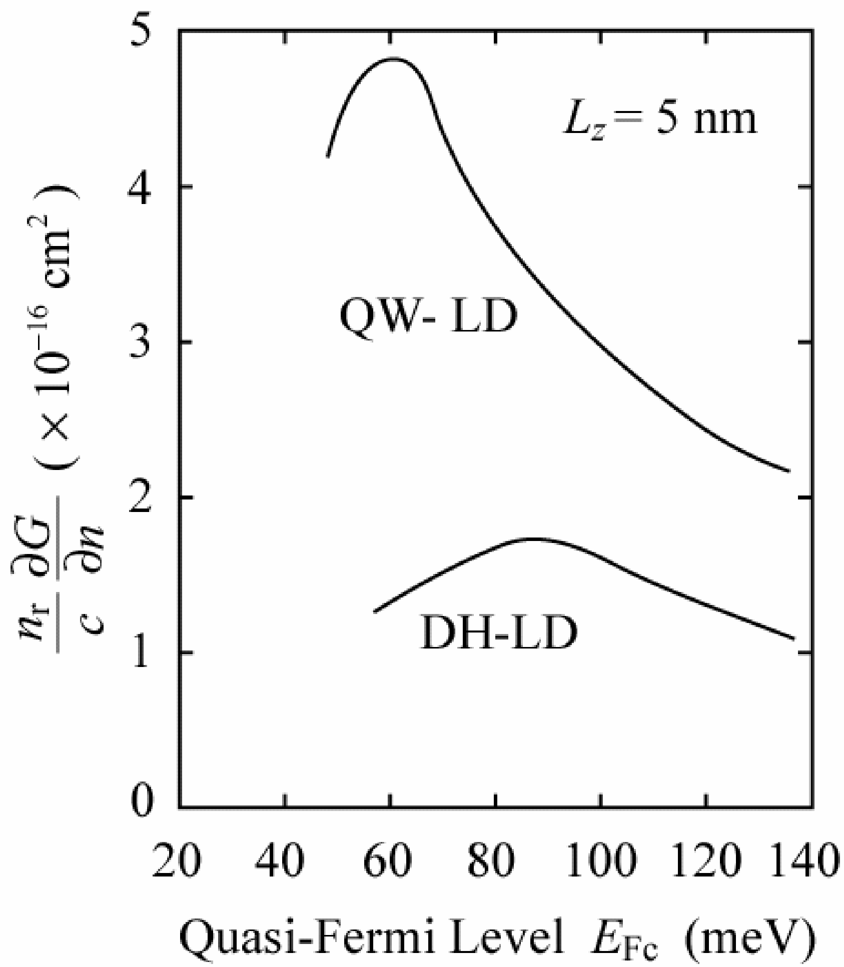
$$g_{\mathrm{e\text{-}hh,TE}} > g_{\mathrm{e\text{-}lh,TM}} > g_{\mathrm{e\text{-}lh,TE}}$$

量子井戸レーザー

- 高速変調

共振周波数

$$f_r = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\partial G}{\partial n}\frac{S_0}{\tau_{ph}}}$$



量子井戸レーザー

- 狭スペクトル線幅

$$\Delta\omega_0 = \frac{\hbar\omega_m c E_{\mathrm{cv}} \ln(1/R)}{4\pi P_0 n_{\mathrm{r}} L}\left(1+\alpha^2\right)$$

$$\alpha = -\frac{2\omega_m}{n_{\mathrm{r}}}\frac{\partial n_{\mathrm{r}}}{\partial n}\left(\frac{\partial G}{\partial n}\right)^{-1}$$