

歪量子井戸レーザー

- 活性層：歪量子井戸

- 原子間距離変化

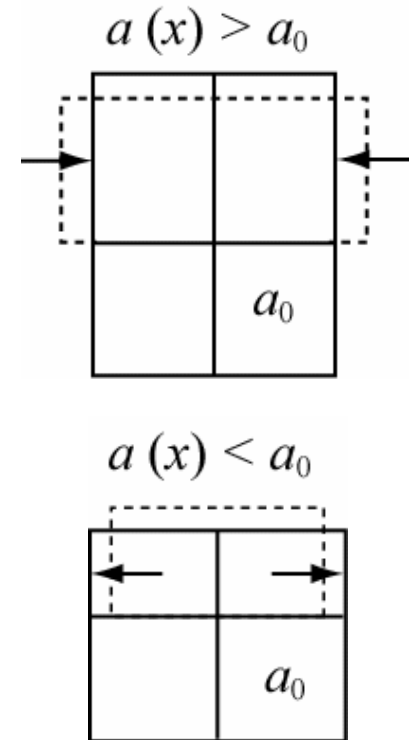
⇒ バンドの変化

- 低しきい値，高効率

- 狭スペクトル

- 高速変調，低チャープング

- 異方性利得





歪量子井戸レーザー

- 歪の印加方法
 - 外部応力
 - 内部応力
 - 熱膨張係数の差
 - 格子不整合

歪量子井戸レーザー

- 格子不整合

- 臨界膜厚以上

- 転位 ⇒ 特性劣化

- 厚膜 ($>1 \mu\text{m}$) では緩和

- 臨界膜厚未満

- 弾性歪 ⇒ 特性向上

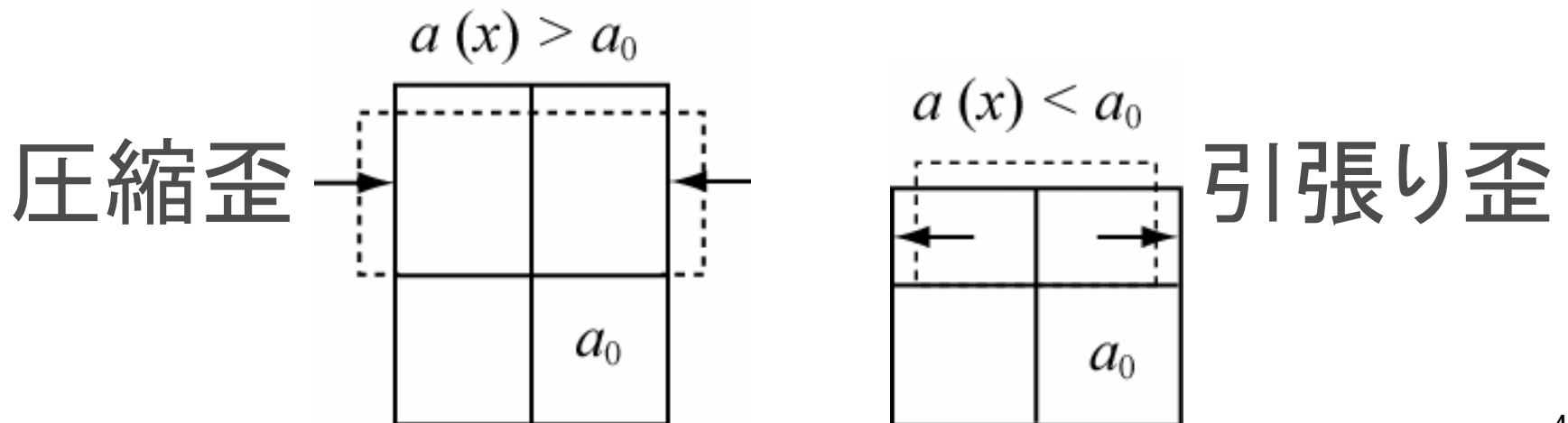
- ~~■ 歪バルク~~, 歪量子井戸

歪量子井戸レーザー

■ 結晶成長と歪

成長層本来の格子定数 $a(x)$

基板の格子定数 a_0



歪量子井戸レーザー

- 歪量子井戸の解析

- シュレーディンガー方程式

$$[H_{\text{LK}} + H']\psi(\mathbf{r}) = E(\mathbf{k})\psi(\mathbf{r})$$

$$H_{\text{LK}} = H_0 + H_{kp} + H_{\text{SO}}$$

Luttinger-Kohn Hamiltonian

歪量子井戸レーザー

- 歪量子井戸の解析

- シュレーディンガー方程式

$$\left[H_{\text{LK}} + H' \right] \psi(\mathbf{r}) = E(\mathbf{k}) \psi(\mathbf{r})$$

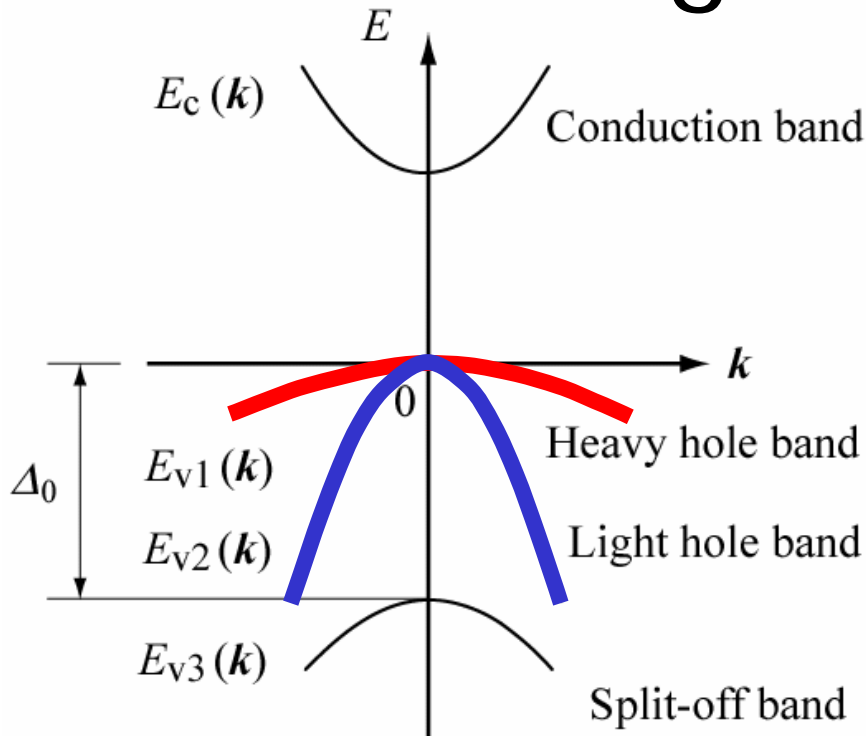
$$H' = H_{\text{OS}} + H_{\text{SS}}$$

Pikus-Bir Hamiltonian: 歪

歪量子井戸レーザー

■ 歪量子井戸の解析

■ Luttinger-Kohn Hamiltonian



$$\Delta_0 > 0.3 \text{ eV}$$

$$H_{\text{LK}} = \begin{bmatrix} a_+ & b & c & 0 \\ b^* & a_- & 0 & c \\ c^* & 0 & a_- & -b \\ 0 & c^* & -b^* & a_+ \end{bmatrix}$$

歪量子井戸レーザー

■ 歪量子井戸の解析

■ Luttinger-Kohn Hamiltonian

$$a_{\pm} = \frac{\hbar^2}{2m_0} \left[-(\gamma_1 \mp 2\gamma_2)k_z^2 - (\gamma_1 \pm \gamma_2)(k_x^2 + k_y^2) \right]$$

$$b = \frac{\hbar^2}{m_0} \sqrt{3} \gamma_3 (k_x - ik_y) k_z$$

$$c = \frac{\hbar^2}{2m_0} \sqrt{3} \left[\gamma_2 (k_x^2 - k_y^2) k_z^2 - i2\gamma_3 k_x k_y \right]$$

歪量子井戸レーザー

■ 歪量子井戸の解析

■ Luttinger Parameters γ_i

$$\frac{1}{m_0}(\gamma_1 - 2\gamma_2) = \frac{1}{m_{hh}^*}$$

$$\frac{1}{m_0}(\gamma_1 + 2\gamma_2) = \frac{1}{m_{lh}^*}$$

歪量子井戸レーザー

■ 歪量子井戸の解析

■ Luttinger-Kohn Hamiltonian

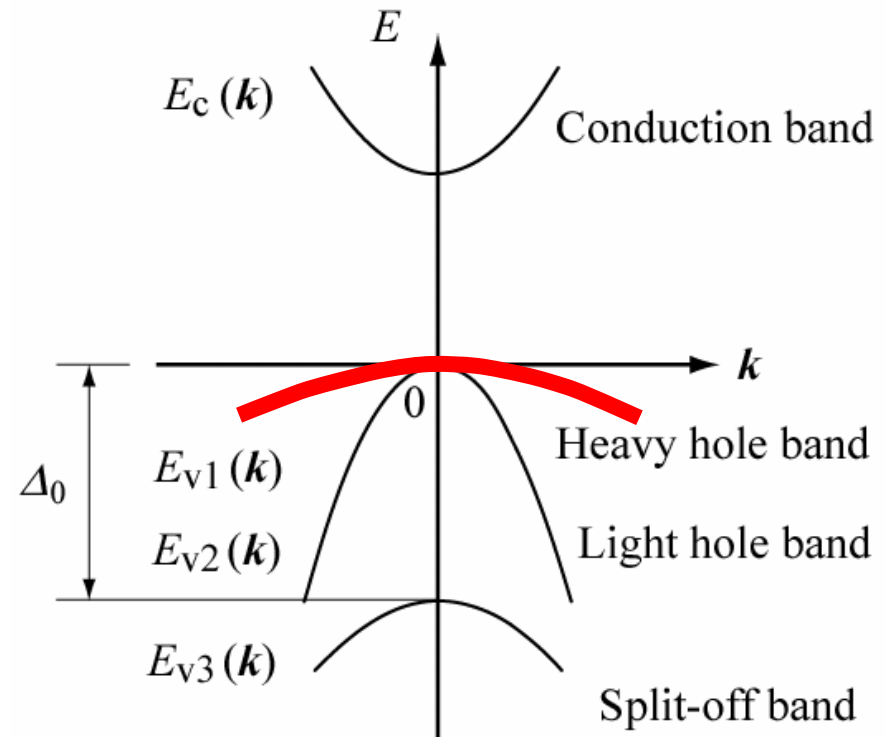
$$H_{\text{LK}} \psi = \begin{bmatrix} a_+ & b & c & 0 \\ b^* & a_- & 0 & c \\ c^* & 0 & a_- & -b \\ 0 & c^* & -b^* & a_+ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left| \frac{3}{2}, \frac{3}{2} \right\rangle \\ \left| \frac{3}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle \\ \left| \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle \\ \left| \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \right\rangle \end{bmatrix}$$

価電子帯の波動関数

■ 重い正孔バンド

$$\left| \frac{3}{2}, \frac{3}{2} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |(x + iy)\alpha\rangle$$

$$\left| \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} |(x - iy)\beta\rangle$$

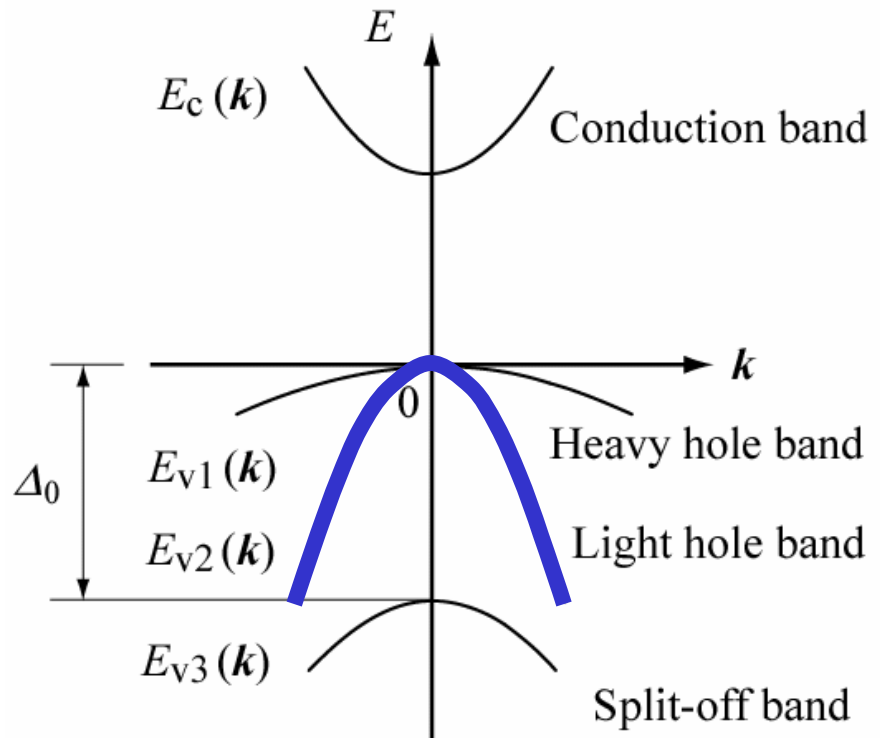


価電子帯の波動関数

■ 軽い正孔バンド

$$\left| \frac{3}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{6}} |2z\alpha + (x + iy)\beta\rangle$$

$$\left| \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{6}} |2z\beta - (x - iy)\alpha\rangle$$



歪量子井戸レーザー

■ 歪量子井戸の解析

■ 応力 σ と歪 ε 立方晶

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix}$$

歪量子井戸レーザー

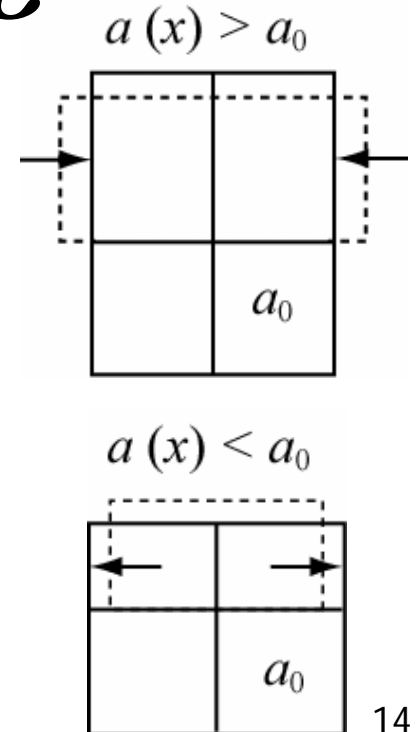
■ 歪量子井戸の解析

■ 格子不整合による歪 ε

$$\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = \frac{a_0 - a(x)}{a(x)} = \varepsilon$$

$$\varepsilon_{zz} \neq 0$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zx} = 0$$



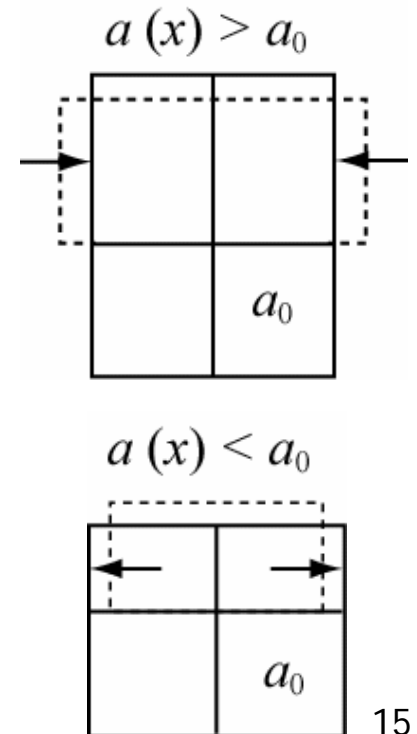
歪量子井戸レーザー

- 歪量子井戸の解析
 - 面内の2軸性応力

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0$$

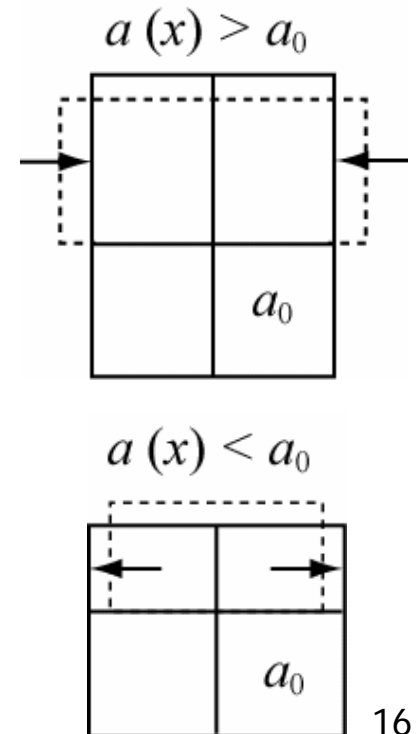


歪量子井戸レーザー

- 歪量子井戸の解析
 - 面内の2軸性応力

$$\varepsilon_{zz} = -\frac{2c_{12}}{c_{11}} \varepsilon$$

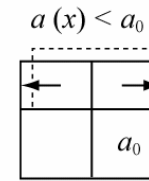
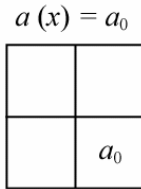
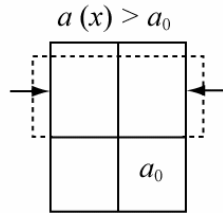
$$\sigma = \left(c_{11} + c_{12} - \frac{2c_{12}^2}{c_{11}} \right) \varepsilon$$



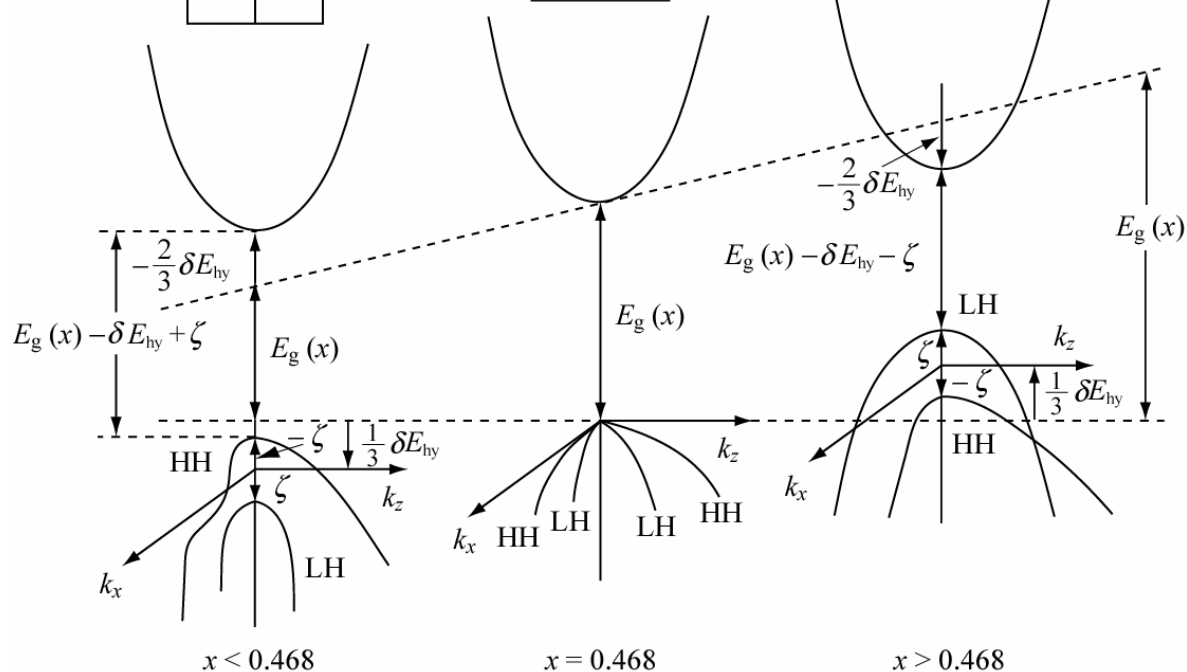
量子井戸レーザー

■ 歪とバンド

圧縮歪



引張り歪



量子井戸レーザー

■ 異方性利得

■ 引張り歪

- $g_{TM} > g_{TE}$

■ 格子整合

- $g_{TE} > g_{TM}$

■ 圧縮歪

- $g_{TE} > g_{TM}$

