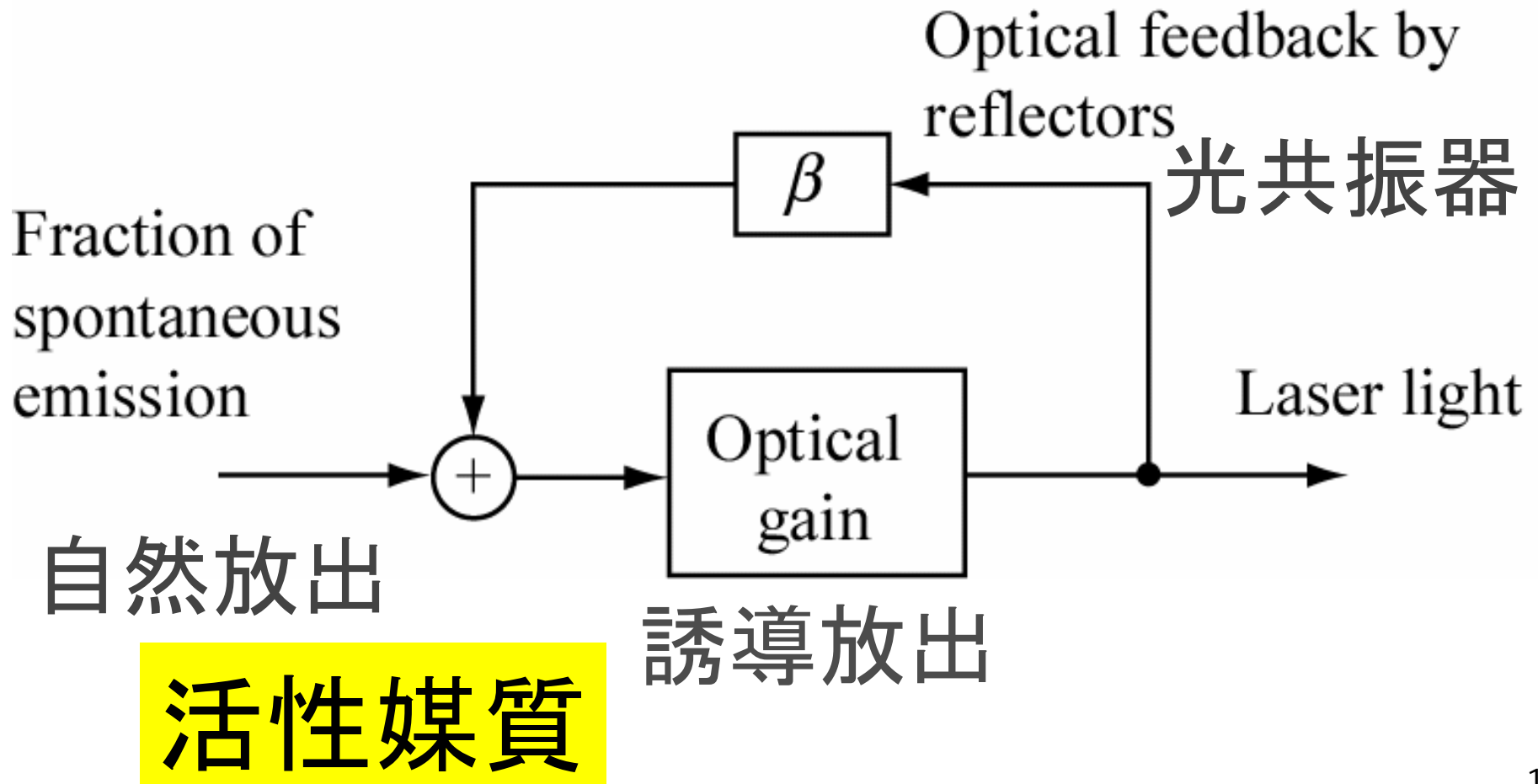


レーザーの基本構成



半導体レーザー

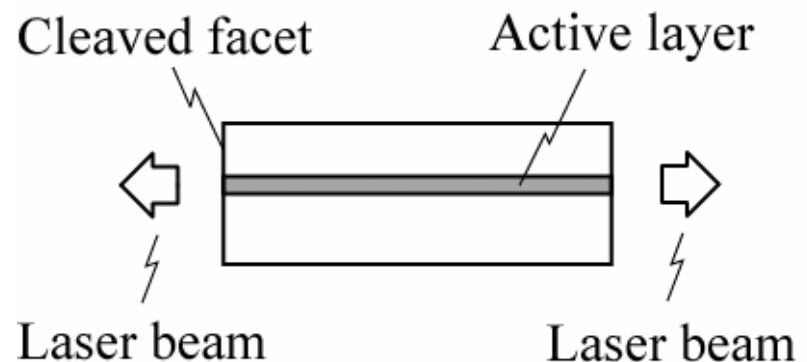
■ 活性層

- 自然放出光の発生

- 誘導放出による光増幅

■ 光共振器

- 光の帰還



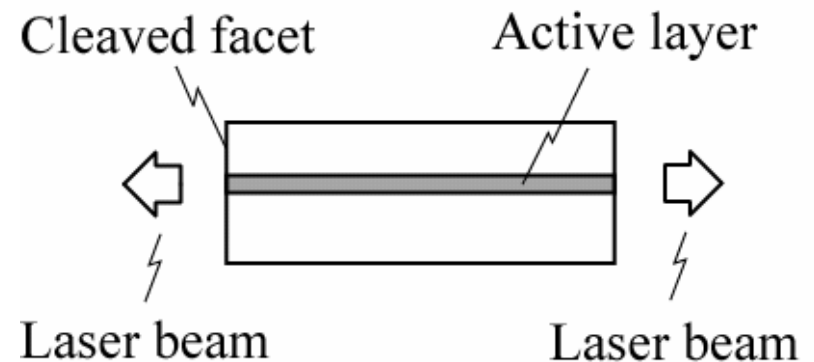
半導体レーザー

- 必須の構成要素

- 光共振器

- pn接合

- ダブルヘテロ構造

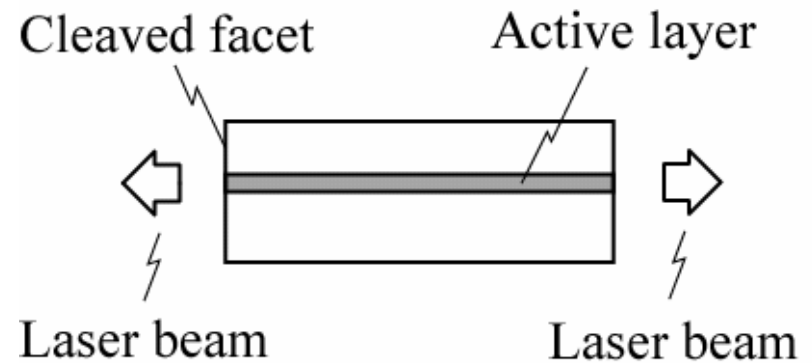


半導体レーザー

■ 光共振器

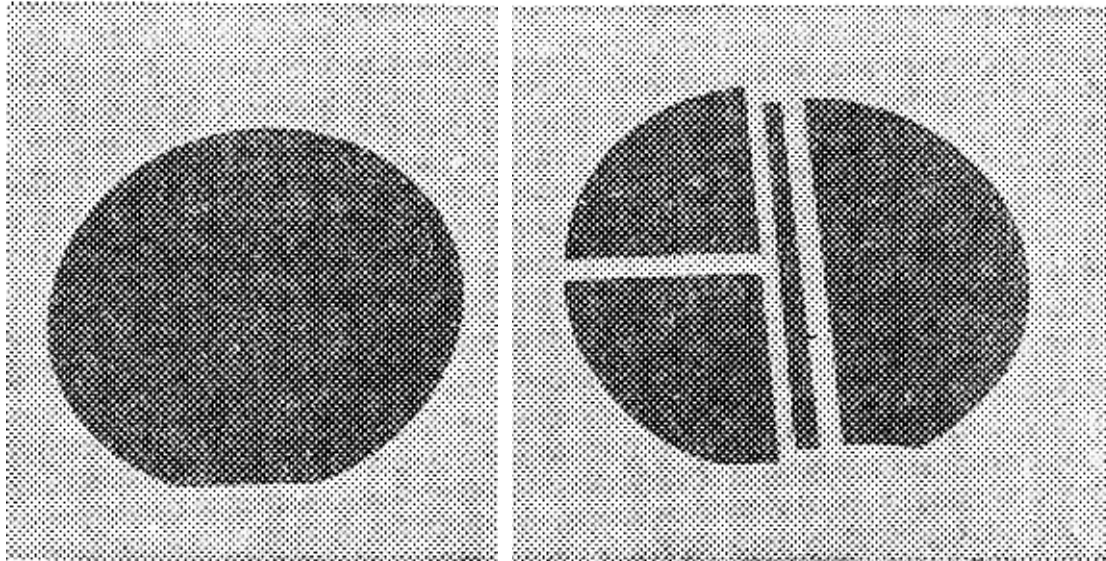
■ へき開面

{011}面
{0 $\bar{1}$ 1}面



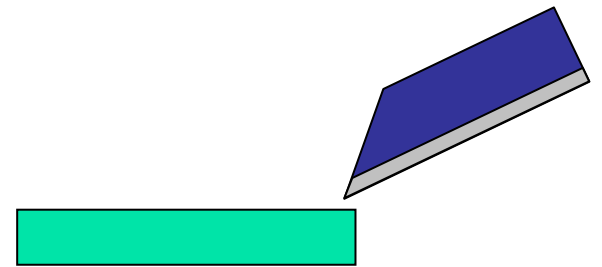
$$R_0 = \left(\frac{n_r - 1}{n_r + 1} \right)^2$$

へき開



半導体基板

へき開後



基板

原子間力が
弱い面

⇒へき開面

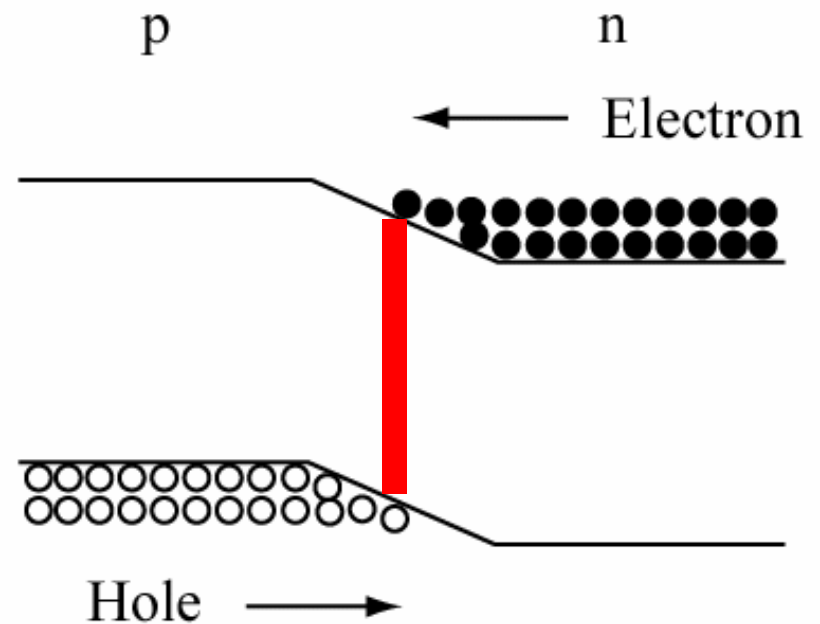
半導体レーザー

■ pn接合

■ 順バイアス

活性層への
キャリア注入

➡ 反転分布



半導体レーザー

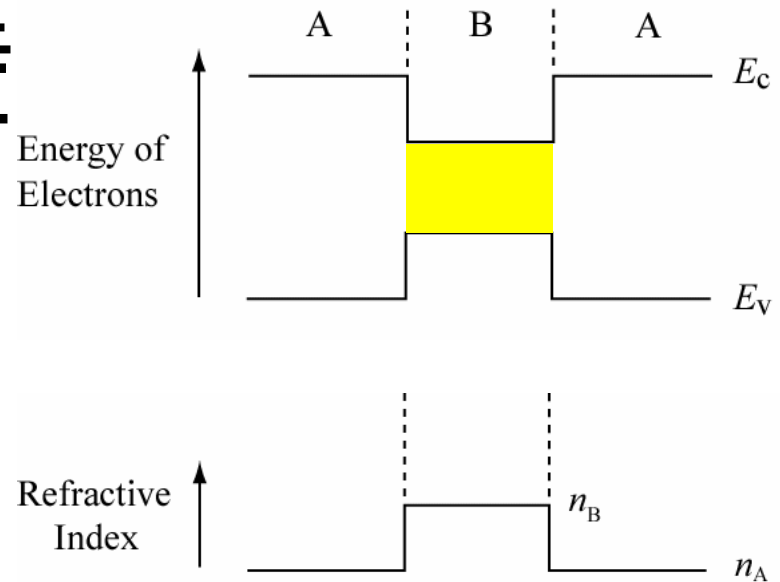
■ ダブルヘテロ接合

■ エネルギー障壁

■ キャリア閉込め

■ 屈折率分布

■ 光閉込め



半導体レーザー

■ 発振条件 透過特性

$$\frac{I_t}{I_0} = \frac{T_1 T_2 G_{s0}}{\left(1 - G_{s0} \sqrt{R_1 R_2}\right)^2 + 4 G_{s0} \sqrt{R_1 R_2} \sin^2(n_r k_0 L)}$$

発振

$$I_0 = 0 \quad \text{かつ} \quad I_t > 0$$

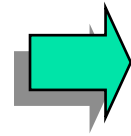
共振条件: $\sin(n_r k_0 L) = 0$

利得条件: $1 - G_{s0} \sqrt{R_1 R_2} = 0$

半導体レーザー

■ 共振条件

$$\sin(n_r k_0 L) = 0$$



$$n_r k_0 L = n\pi$$

n : 整数

垂直入射

$$L = n \frac{\lambda_0}{2n_{rt}}$$

半導体レーザー

■ 利得条件

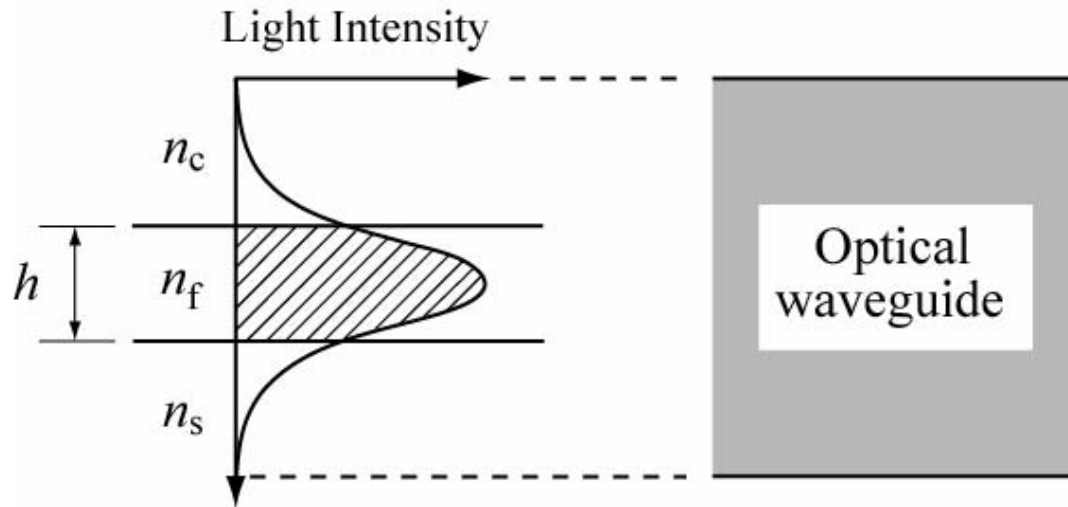
$$1 - G_{s0} \sqrt{R_1 R_2} = 1 - \exp(gL) \sqrt{R_1 R_2} = 0$$

$$g = \frac{1}{L} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}$$

(利得) =
(ミラー損失)

半導体レーザー

■ 利得と光強度分布



$$\begin{aligned} g &= \Gamma_a g_a - \Gamma_a \alpha_a - \Gamma_p \alpha_p - \Gamma_n \alpha_n \\ &= \Gamma_a g_a - \alpha_i \end{aligned}$$

半導体レーザー

■ 発振しきい利得

$$g = \frac{1}{L} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}$$

$$g = \Gamma_a g_a - \alpha_i$$

$$\Gamma_a g_a = \alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}} = \alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}$$

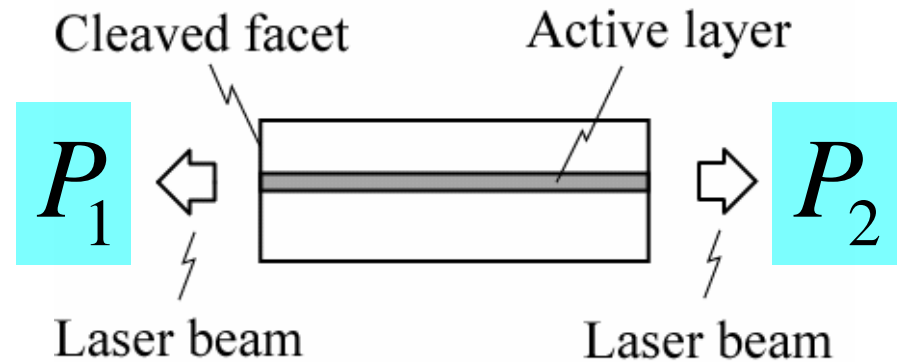
(発振しきい利得) =

(内部損失) + (ミラー損失)

半導体レーザー

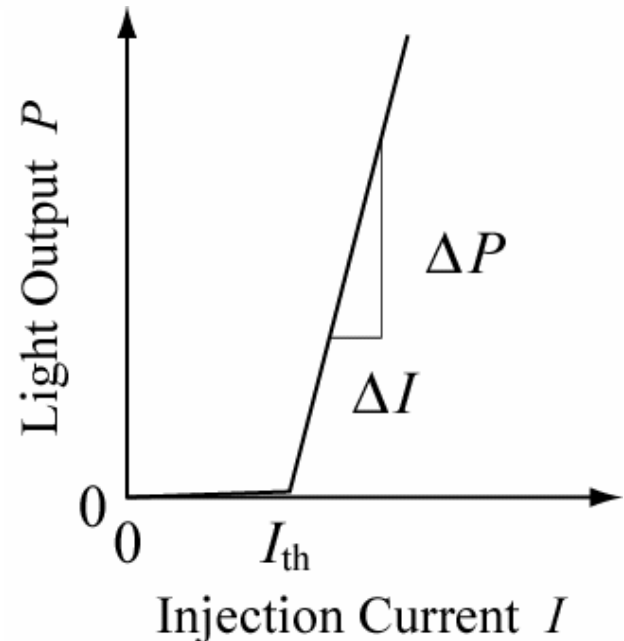
■ 発光効率

$$P = P_1 + P_2$$



スロープ効率

$$S_{dj} = \frac{\Delta P_j}{\Delta I}$$

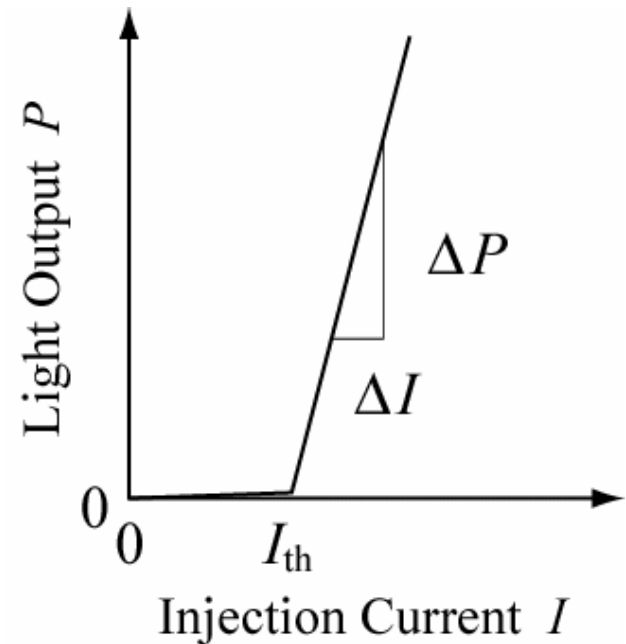


半導体レーザー

■ 発光効率

外部微分
量子効率

$$\eta_{dj} = \frac{\Delta P_j}{\hbar\omega} \div \frac{\Delta I}{e}$$
$$= S_{dj} \frac{e}{\hbar\omega}$$



(外部放出光子数)

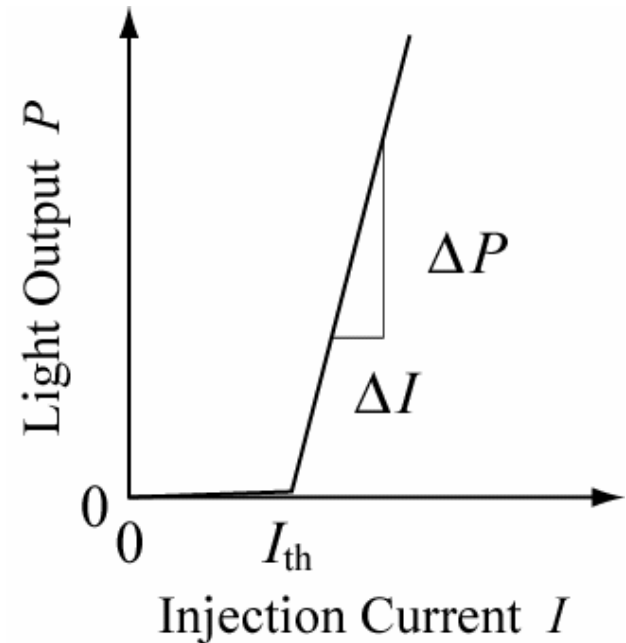
(注入キャリア数)

半導体レーザー

■ 発光効率

外部微分
量子効率

$$\eta_{dj} = \eta_i \frac{\frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}}{\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 R_2}}$$

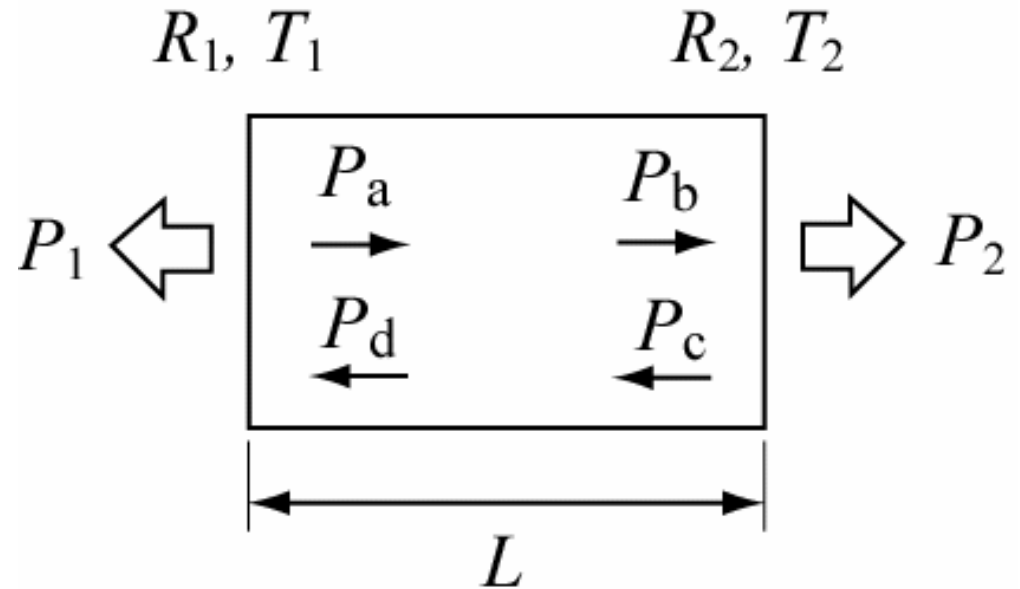


η_i : 内部量子効率

半導体レーザー

■ 出力比

$$P = P_1 + P_2$$



$$P_1 = \frac{T_1 \sqrt{R_2}}{T_1 \sqrt{R_2} + T_2 \sqrt{R_1}} P$$

$$P_2 = \frac{T_2 \sqrt{R_1}}{T_1 \sqrt{R_2} + T_2 \sqrt{R_1}} P$$

半導体レーザー

■ レート方程式

キャリア
濃度

$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - G(n)S - \frac{n}{\tau_n}$$

光子数
密度

$$\frac{dS}{dt} = G(n)S - \frac{S}{\tau_{ph}} + \beta_{sp} \frac{n}{\tau_r}$$

半導体レーザー

■ レート方程式 キャリア濃度

$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - G(n)S - \frac{n}{\tau_n}$$

キャリア
注入

誘導
放出

自然
放出

非発光
再結合

半導体レーザー

■ レート方程式 光子数密度

$$\frac{dS}{dt} = G(n)S - \frac{S}{\tau_{\text{ph}}} + \beta_{\text{sp}} \frac{n}{\tau_{\text{r}}}$$

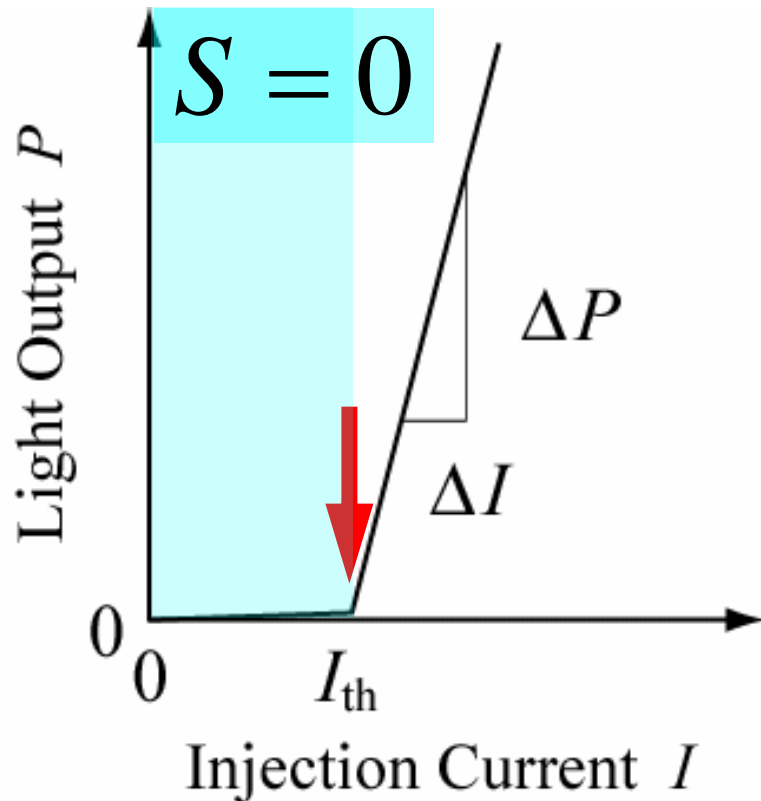
誘導
放出

共振器
損失

自然
放出

半導体レーザー

■ 発振しきい値



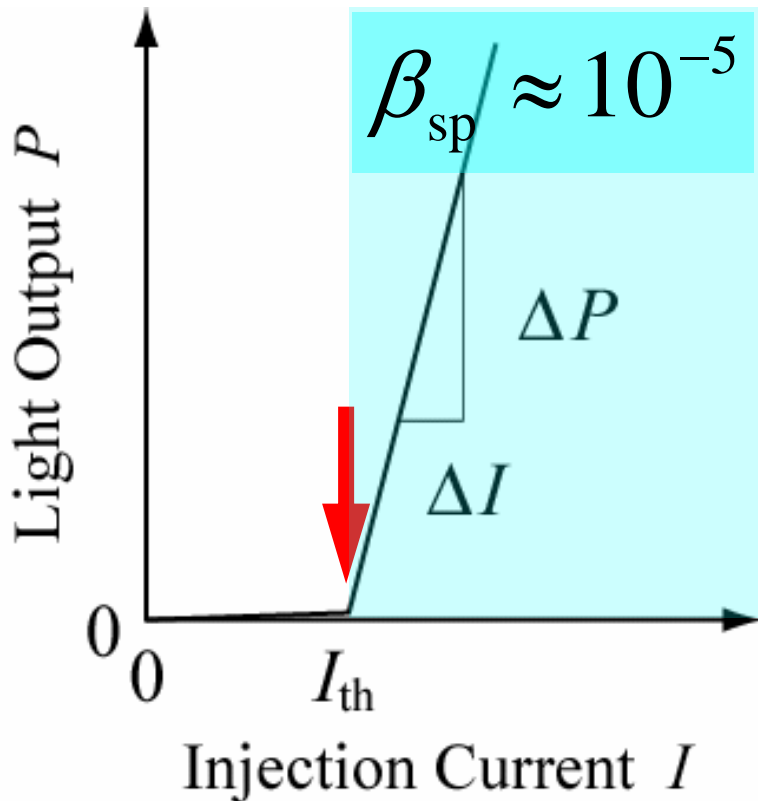
$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - \frac{n}{\tau_n}$$

定常状態 $\frac{dn}{dt} = 0$

$$n_{th} = \frac{J_{th}}{ed} \tau_n$$

半導体レーザー

■ 発振しきい値



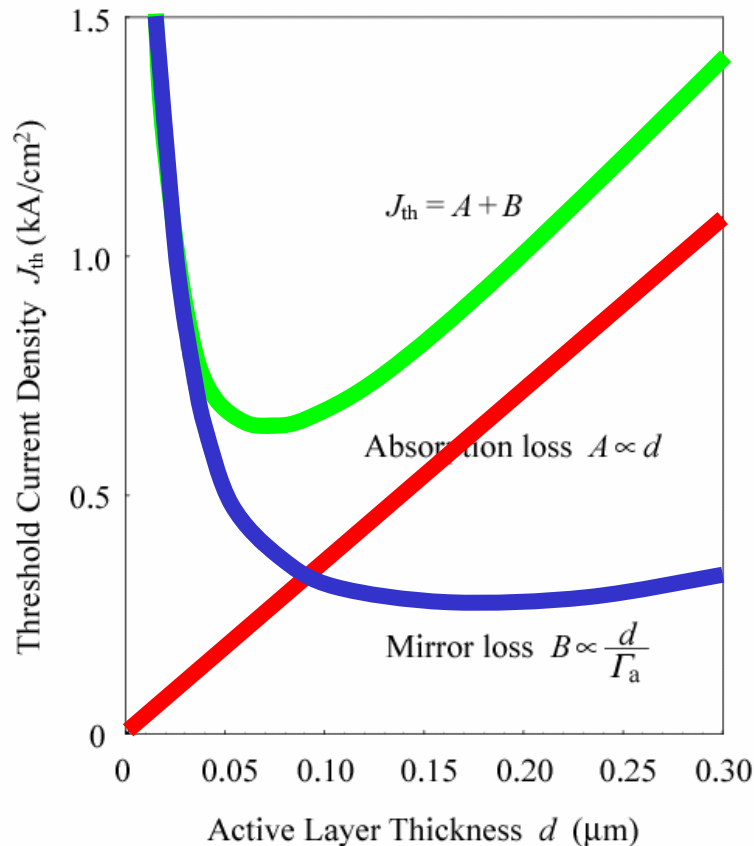
$$\frac{dS}{dt} = G(n)S - \frac{S}{\tau_{ph}}$$

定常状態 $\frac{dS}{dt} = 0$

$$n_{th} = \frac{1}{\Gamma_a g_0 \tau_{ph}} + n_0$$

半導体レーザー

■ 発振しきい電流密度



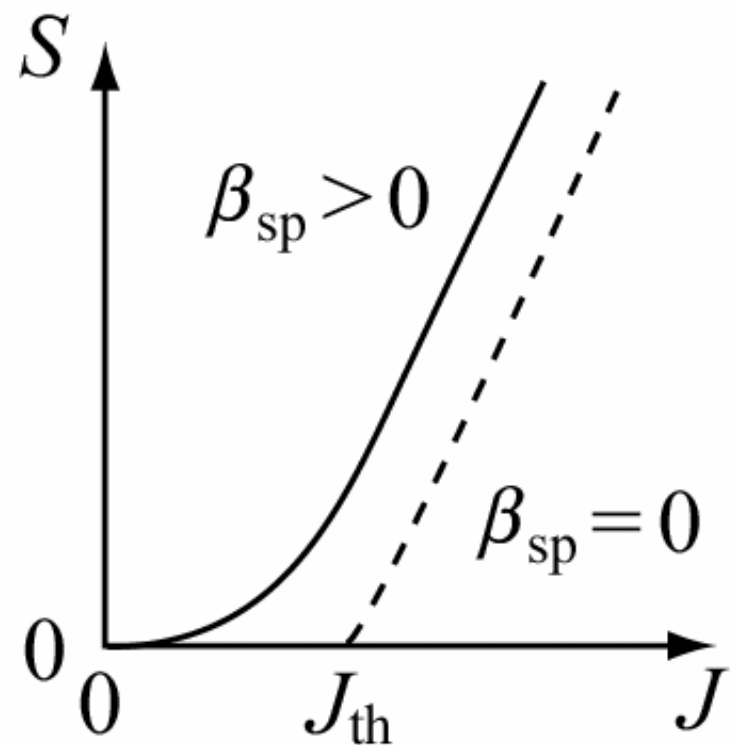
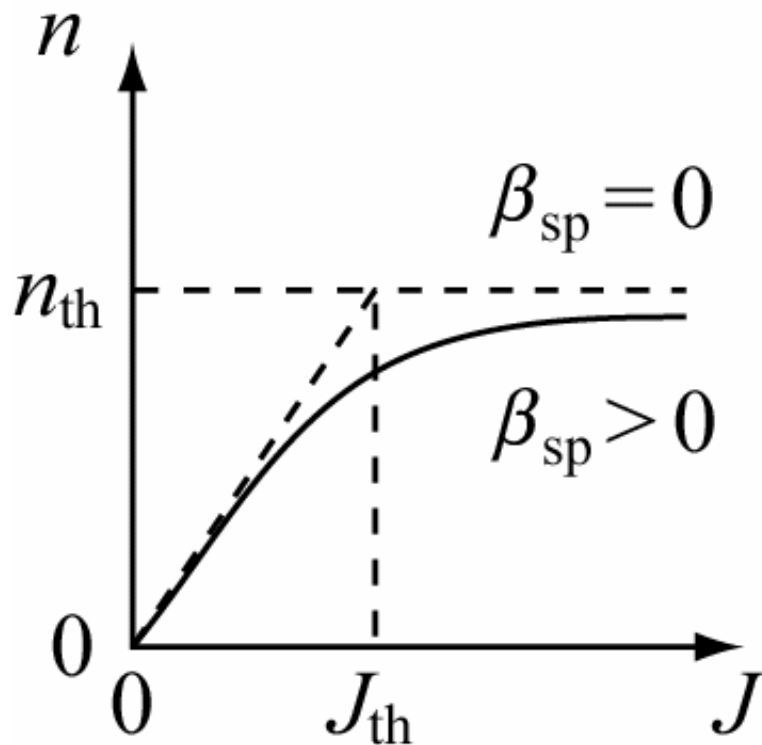
$$J_{th} = A + B$$

$$A = \frac{ed}{\tau_n} n_0$$

$$B = \frac{ed}{\tau_n} \frac{1}{\Gamma_a g_0 \tau_{ph}}$$

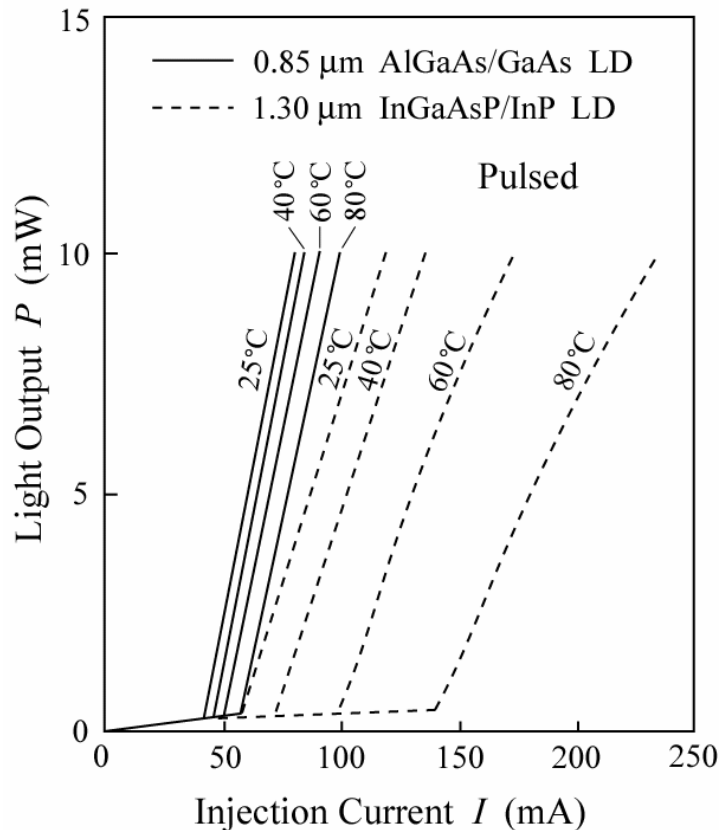
半導体レーザー

■ 電流－光出力特性



半導体レーザー

■ 電流－光出力特性 温度特性



$$J_{\text{th}} = J_{\text{th0}} \exp\left(\frac{T_j}{T_0}\right)$$

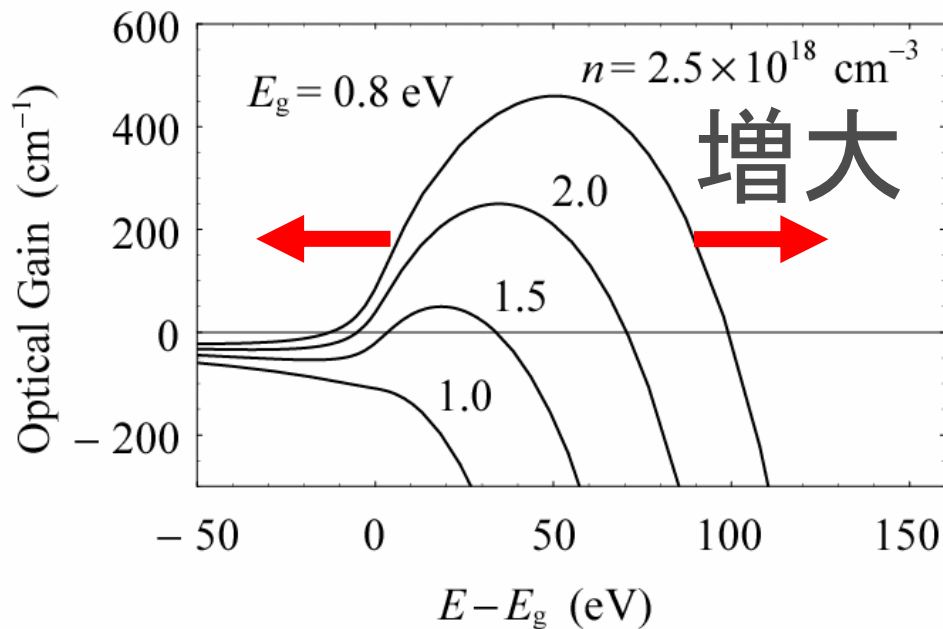
T_j : 活性層の温度

T_0 : 特性温度

半導体レーザー

■ 温度上昇による J_{th} 増大

利得スペクトル



キャリア
オーバーフロー

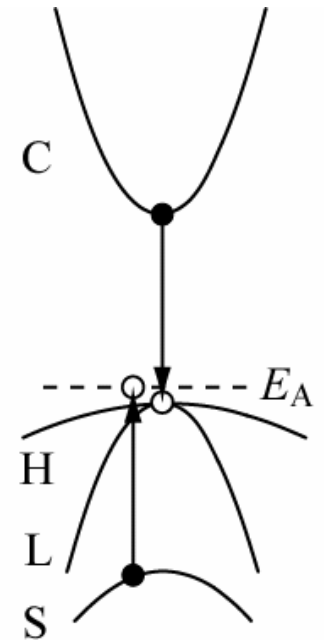
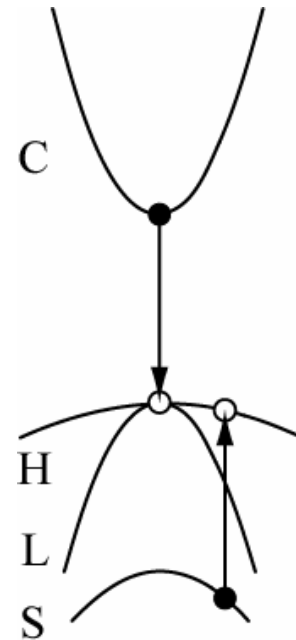
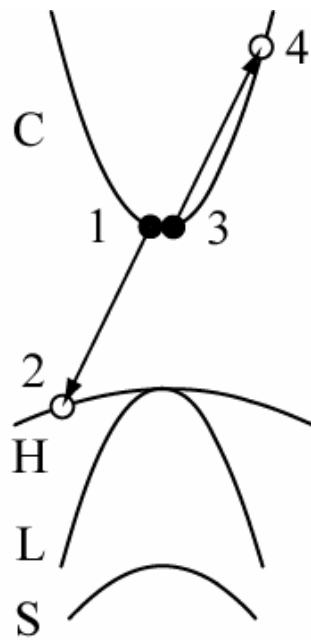
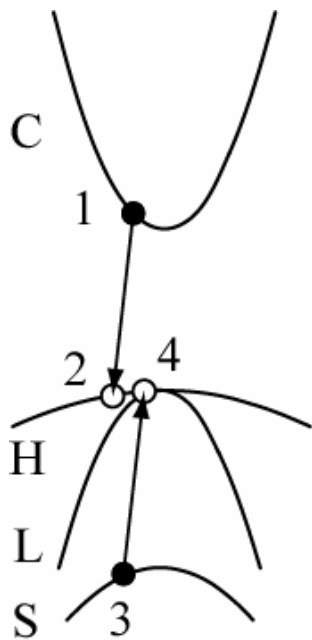
自由キャリア
吸収

半導体レーザー

■ 温度上昇による J_{th} 増大

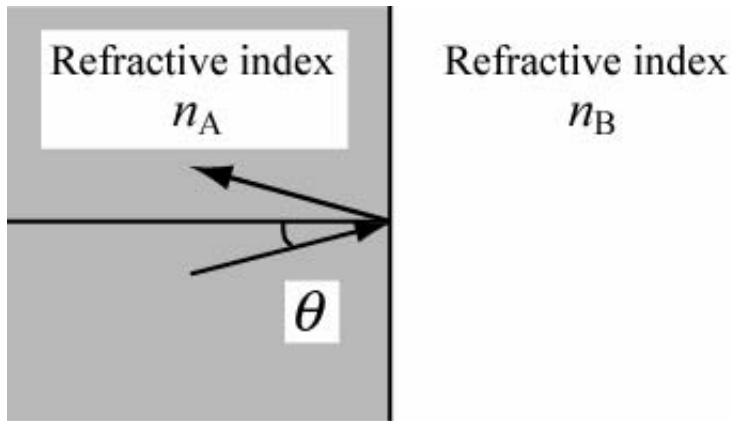
オージェ効果

価電子帯吸収



半導体レーザー

■ 偏光



$$g_{th}(TE) < g_{th}(TM)$$

TEモード発振

