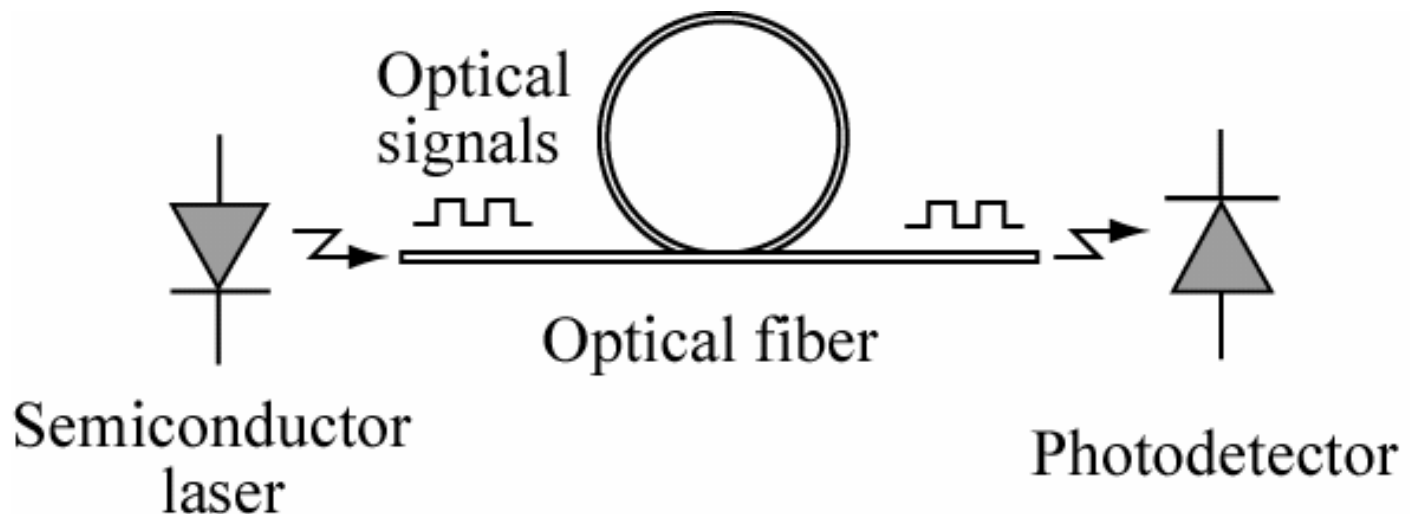


半導体レーザー

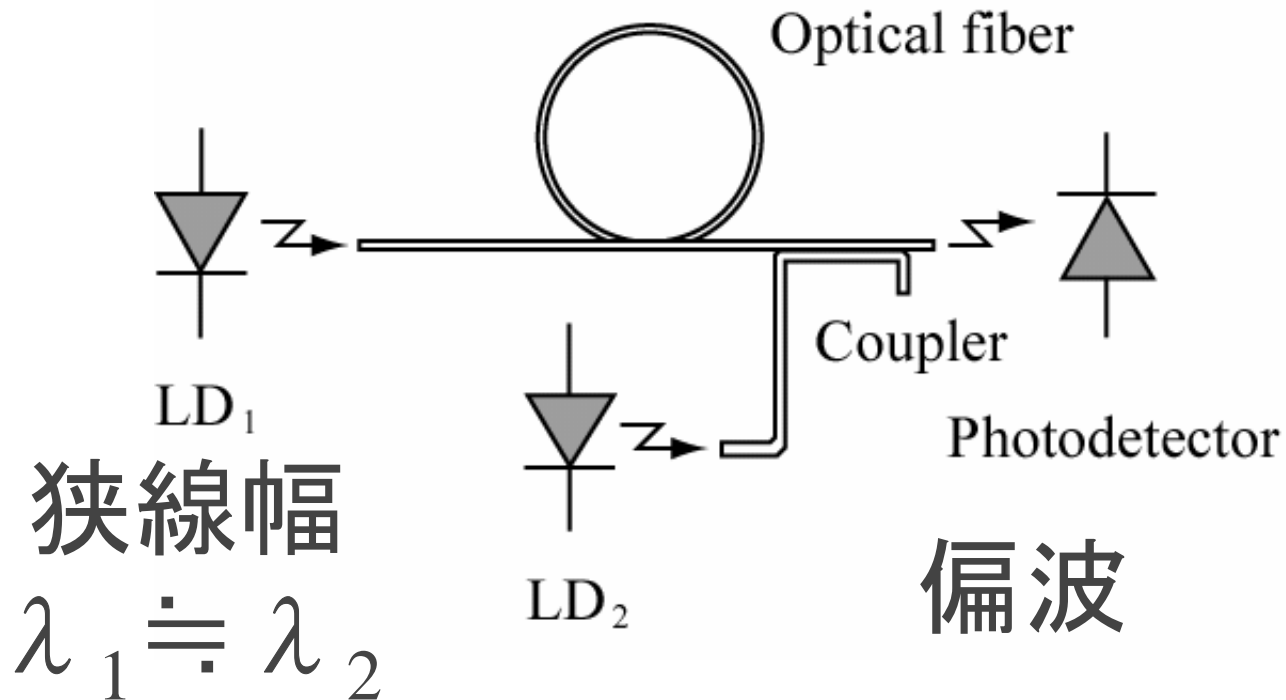
- 光通信システムと変調
 - 強度変調-直接検波方式



光ファイバー増幅器 ➡ 超長距離伝送

半導体レーザー

- 光通信システムと変調
 - コヒーレント方式



半導体レーザー

■ 半導体レーザーの変調

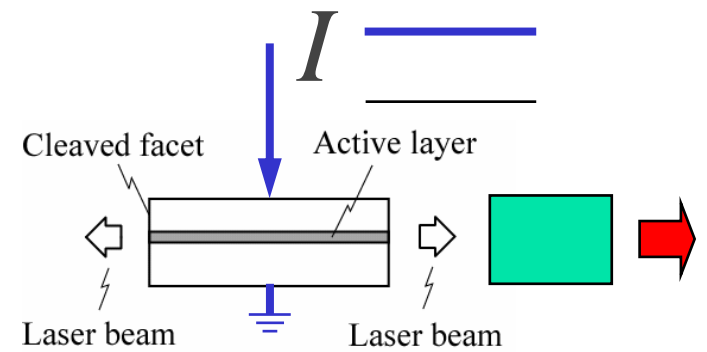
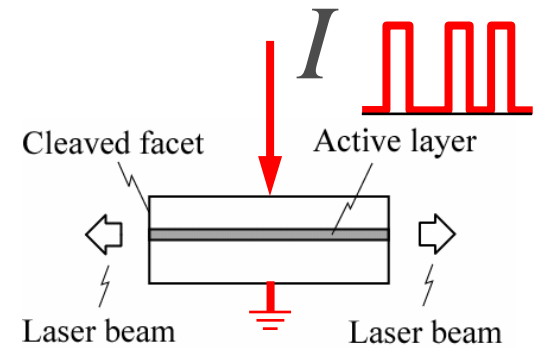
■ 直接変調

■ 注入電流変調

■ 外部変調

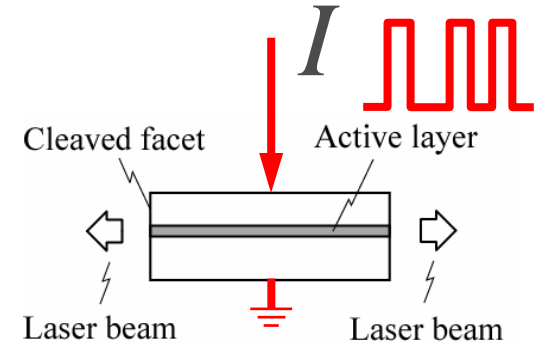
■ 注入電流一定

■ 外部変調器



半導体レーザー

- 直接変調
- レート方程式



キャリア
濃度

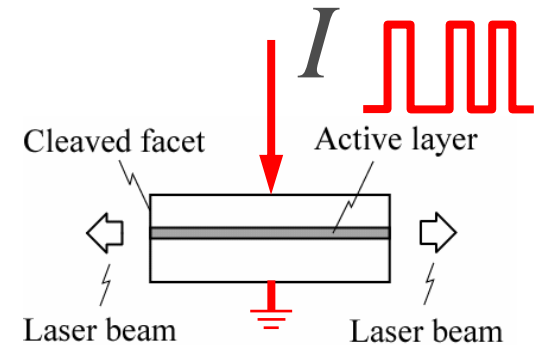
$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - G(n)S - \frac{n}{\tau_n}$$

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

- 直接変調
- 小信号解析



$$J = J_0 + \delta J(\omega) \exp(i\omega t)$$



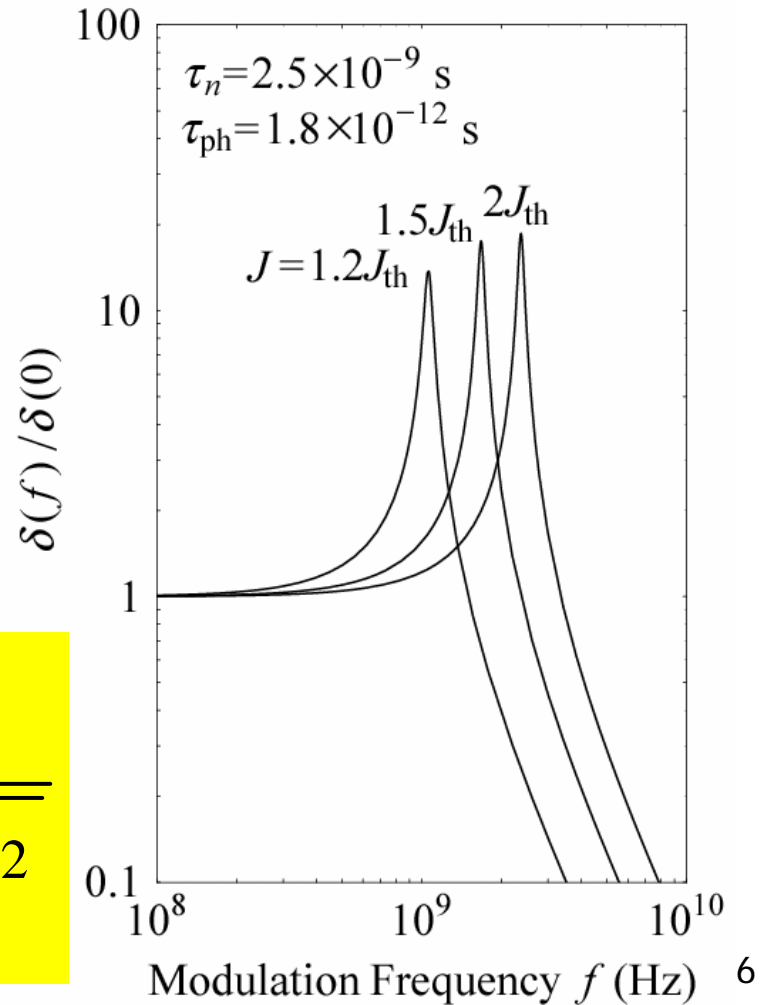
$$n = n_0 + \delta n(\omega) \exp(i\omega t)$$
$$S = S_0 + \delta S(\omega) \exp(i\omega t)$$

半導体レーザー

- 直接変調
- 変調度

$$\delta(\omega) = \frac{\delta S(\omega)}{\delta n(\omega)} = \frac{\delta S(f)}{\delta n(f)}$$

$$\frac{\delta(\omega)}{\delta(0)} = \frac{\omega_r^2}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_r^2)^2 + \omega^2 \gamma_0^2}}$$



半導体レーザー

■ 半導体レーザーの変調

■ アナログ変調

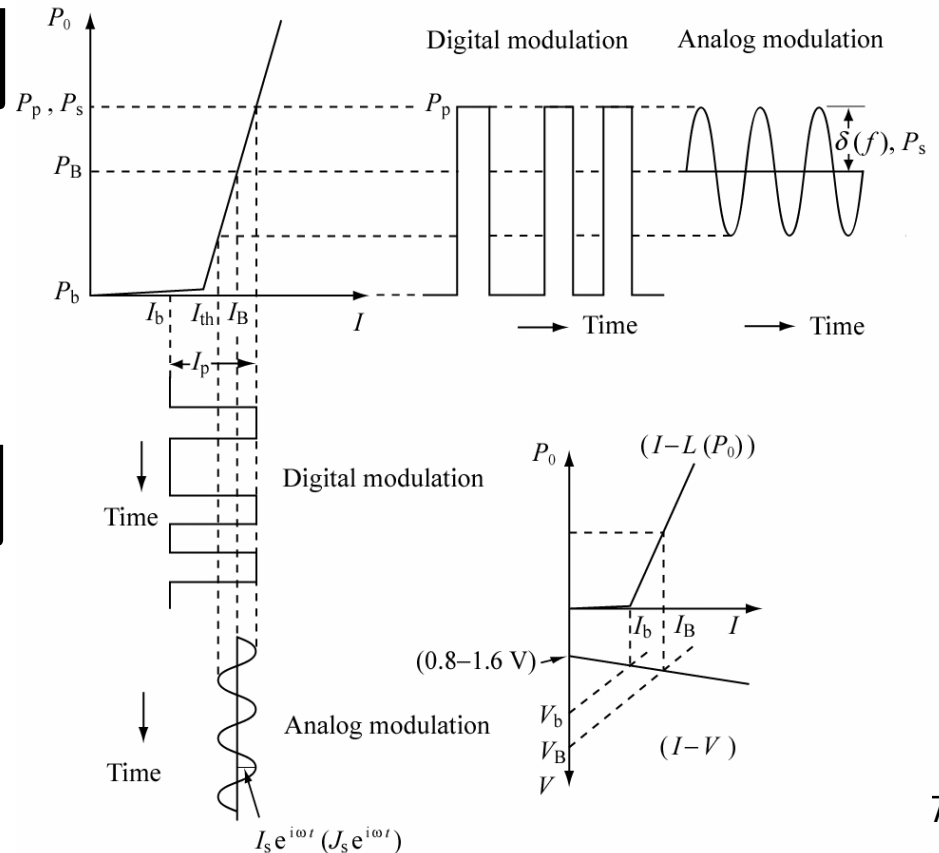
■ 電流

⇒ 光強度

■ デジタル変調

■ 光ON/OFF

⇒ 1/0



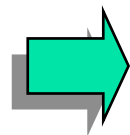
半導体レーザー

■ 半導体レーザーの変調

■ アナログ変調

■ 低速変調

■ 信号歪の影響大



短距離伝送 CATVなど

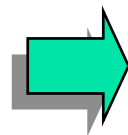
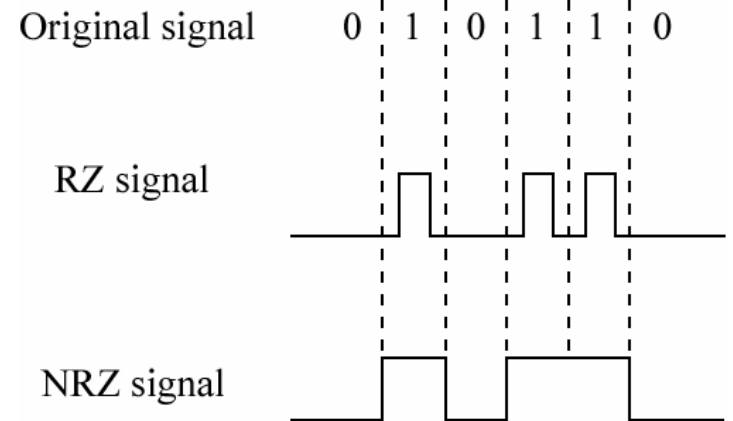
半導体レーザー

■ 半導体レーザーの変調

■ デジタル変調

■ 高速変調

■ 信号歪の影響小



長距離伝送 幹線, 海底

半導体レーザー

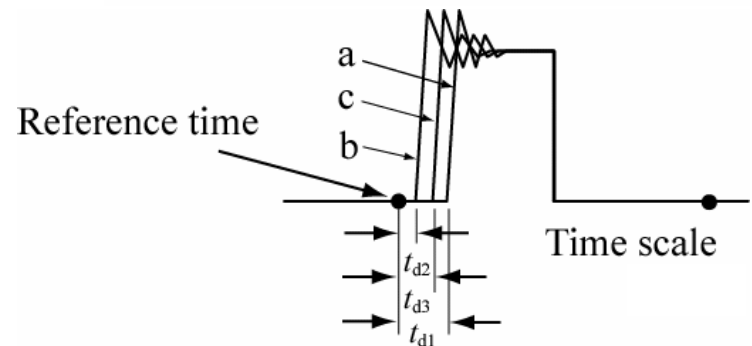
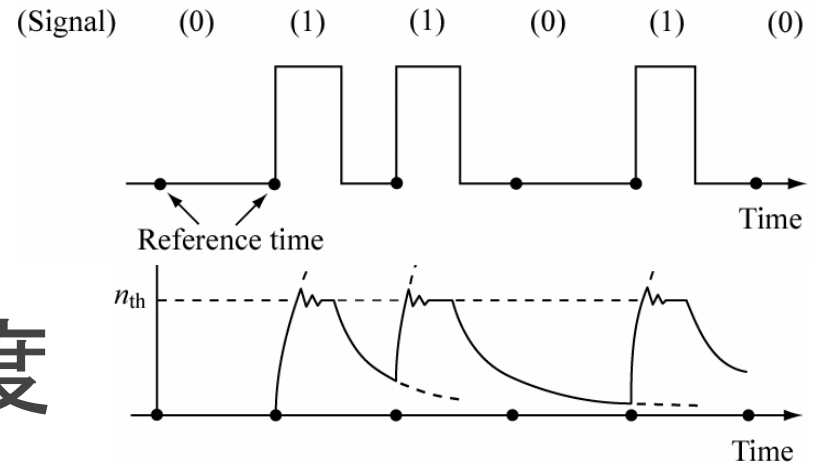
■ 半導体レーザーの変調

■ デジタル変調

■ パターン効果

キャリア濃度

t_d 異なる



半導体レーザー

■ 多モード発振と分散

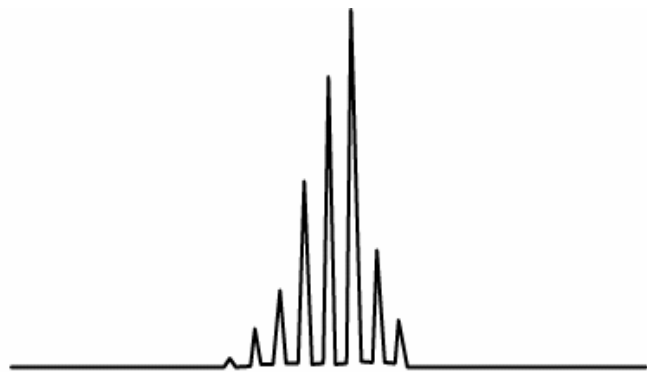
50 Å



10 km伝搬後の時間差

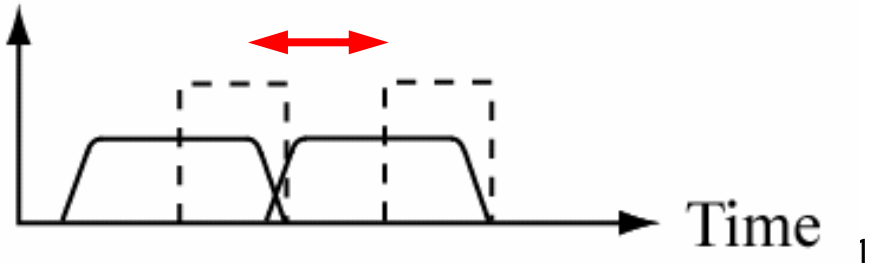
$$2 \text{ ps}/\text{Å}/\text{km} \times 50 \text{ Å} \times 10 \text{ km}$$

$$= 1 \text{ ns}$$



Wavelength (nm)

Light Intensity

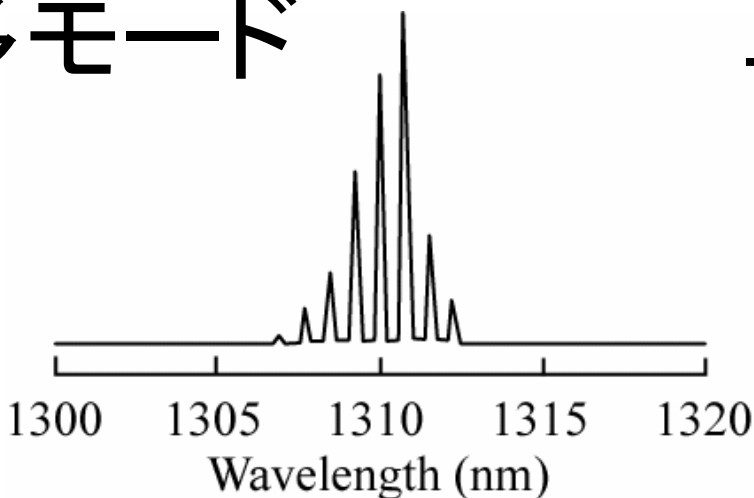


Time

半導体レーザー

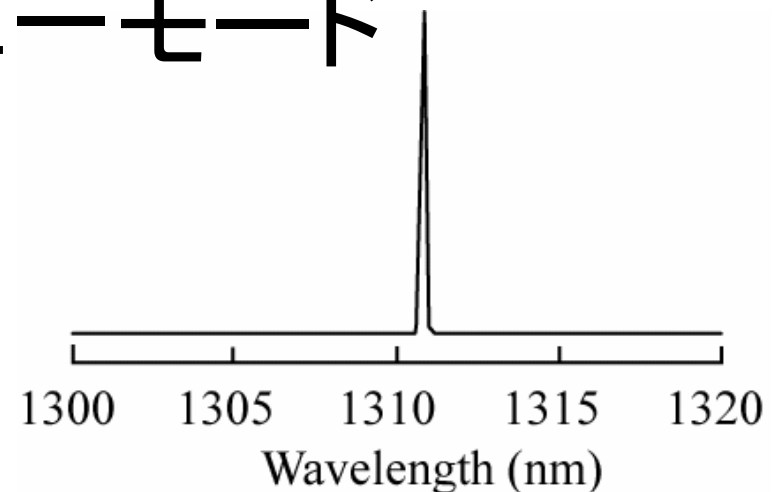
■ 縦モードと通信距離

多モード



短距離

単一モード



長距離



半導体レーザー

■ 雑音

■ 半導体レーザー固有

- 量子雑音: AM, FM

- 縦モード: 分配, ホッピング

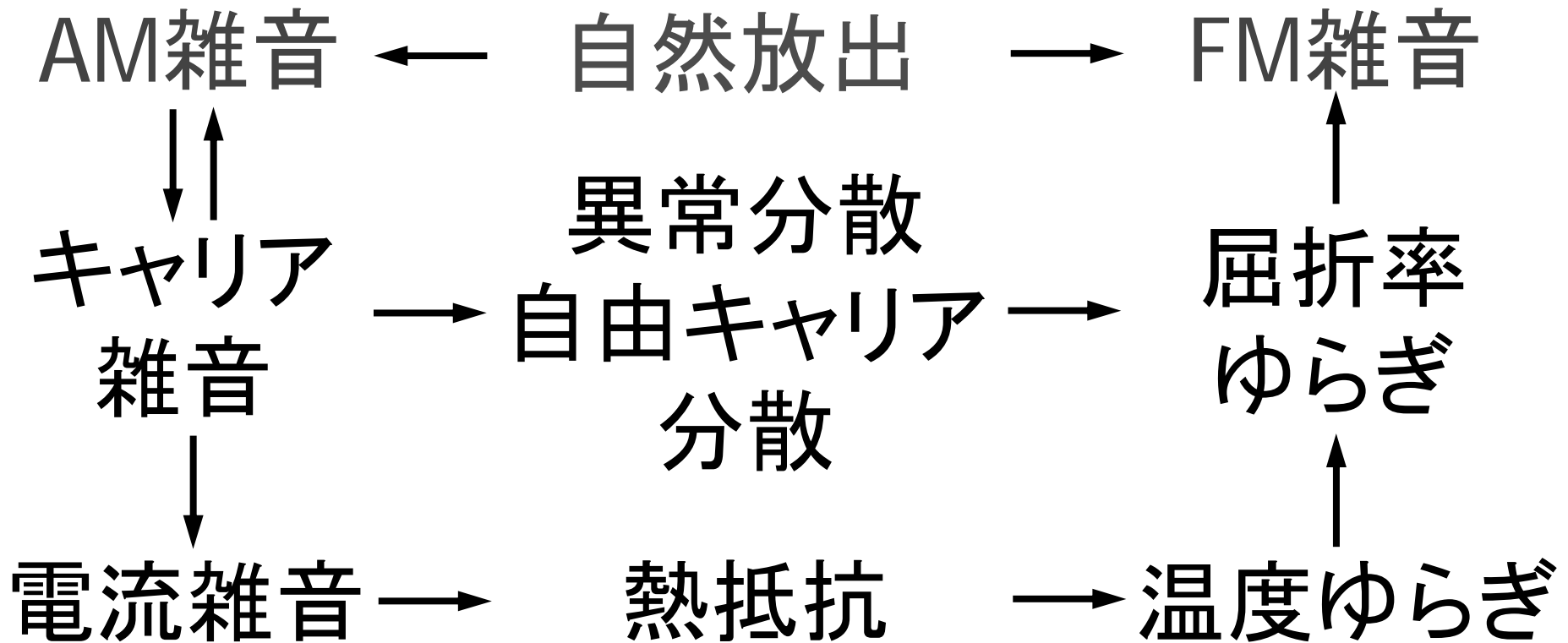
■ 外部の影響

- 戻り光

- 温度変動, 電源変動

半導体レーザー

■ 量子雑音



半導体レーザー

- 量子雑音の解析：半古典論
 - 電磁界：古典論
 - 物質（分極）：量子論

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu\epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \mu \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\mathbf{P} + \mathbf{p})$$

半導体レーザー

- 量子雑音の解析：半古典論
 - 単一モード発振を仮定

$$E_n(t) = [A_0 + \delta(t)] \exp\{i[\omega_m t + \phi(t)]\}$$

$$-\frac{1}{\varepsilon_0} \frac{\partial^2 p_n}{\partial t^2} = \Delta(t) \exp\{i[\omega_m t + \phi(t)]\}$$



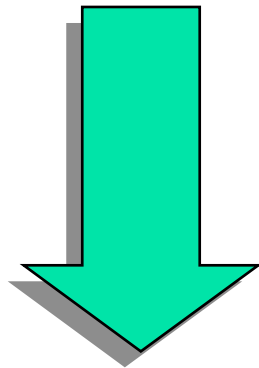
半導体レーザー

- 量子雑音の解析: スペクトル
 - AM雑音: 強度ゆらぎ
 - FM雑音: 周波数ゆらぎ
- 電界スペクトル
 - レーザー光のスペクトル線幅

半導体レーザー

- 量子雑音の解析: スペクトル

ゆらぎの自己相関関数



ウィーナー・ヒンチン
の定理

スペクトル密度関数

半導体レーザー

■ 量子雑音の解析: スペクトル

■ AM雑音

$$\begin{aligned} W_{\Delta P}(\Omega) &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \Delta P(t + \tau) \Delta P(t) \rangle e^{-i\Omega\tau} d\tau \\ &= \frac{\hbar \omega_m c E_{cv} P_0 \ln(1/R)}{\pi (\Omega^2 + \omega_1^2) n_r L} \end{aligned}$$

半導体レーザー

■ 量子雑音の解析: スペクトル

■ FM雑音

$$\begin{aligned} W_{\Delta\omega}(\Omega) &= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \langle \Delta\omega(t+\tau)\Delta\omega(t) \rangle e^{-i\Omega\tau} d\tau \\ &= \frac{\hbar\omega_m c E_{cv} \ln(1/R)}{4\pi P_0 n_r L} \left[1 + \frac{\alpha^2 \omega_1^2}{\Omega^2 + \omega_1^2} \right] \end{aligned}$$



半導体レーザー

■ 量子雑音の解析: スペクトル

■ スペクトル線幅

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

Modified Schawlow-Townes
Linewidth Formula

半導体レーザー

- 量子雑音の解析: スペクトル
 - α パラメータ

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

$$G(n) = \frac{c}{n_r} g$$