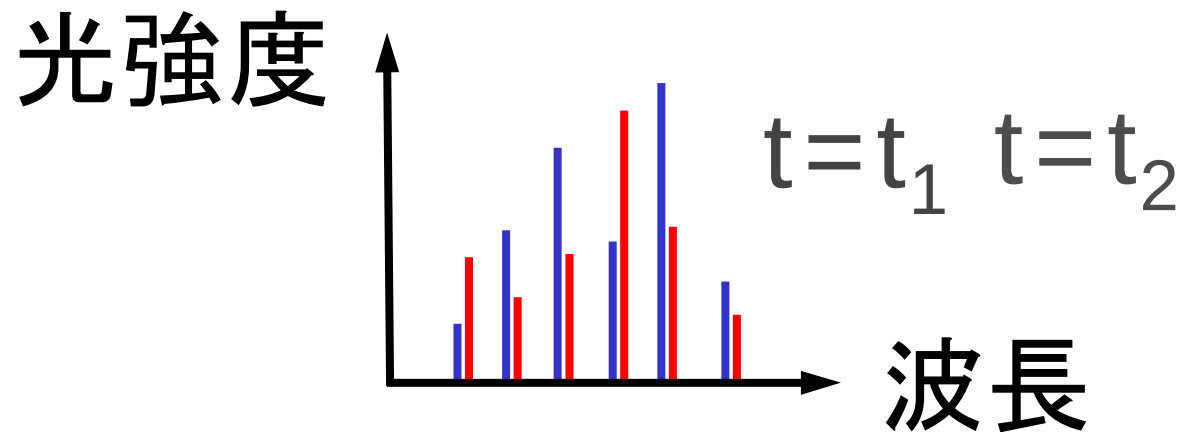


半導体レーザー

- モード分配雑音 (縦モード)
 - 多モード発振



個々のモード選択 ➡ 大きな雑音

半導体レーザー

■モード分配雑音（縦モード）

■原因

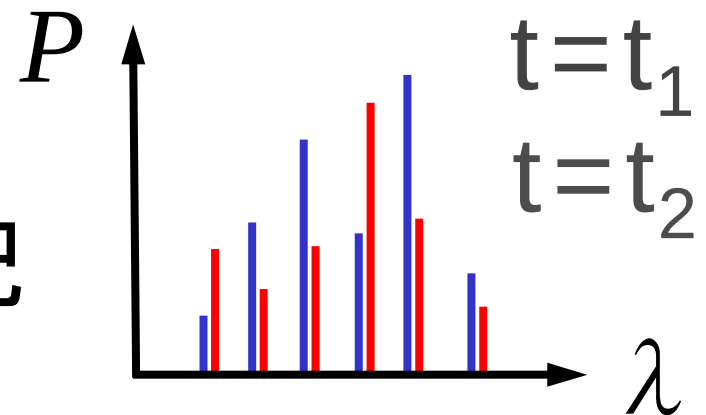
■光利得

ランダムに分配

■対策

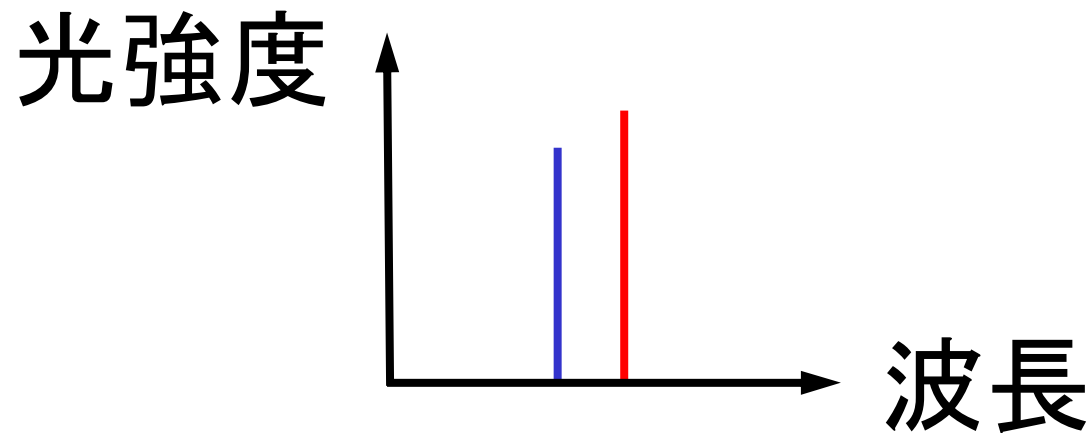
■単一軸モード化

■モード選択性の無いシステム



半導体レーザー

- モードホッピング雑音 (縦モード)
- 単一モード発振



交互にランダム発振 ➡ 大きな雑音

半導体レーザー

■モードホッピング雑音（縦モード）

■原因

- 自然放出のゆらぎ

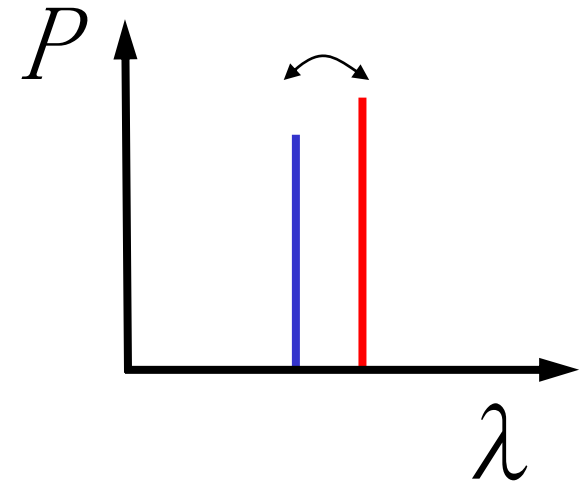
- 光利得

発振モードに集中

■対策

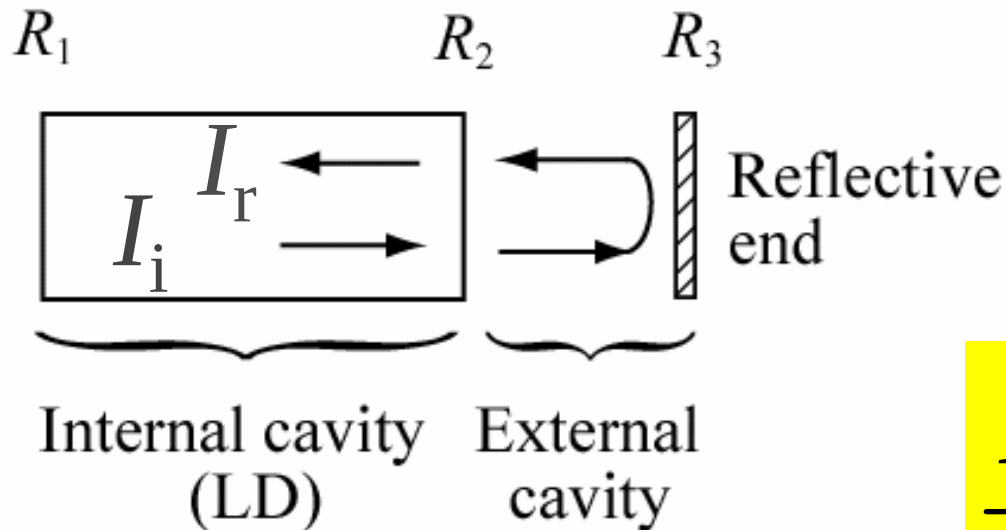
- 安定な単一軸モード化

- 多モード化



半導体レーザー

■ 戻り光雑音

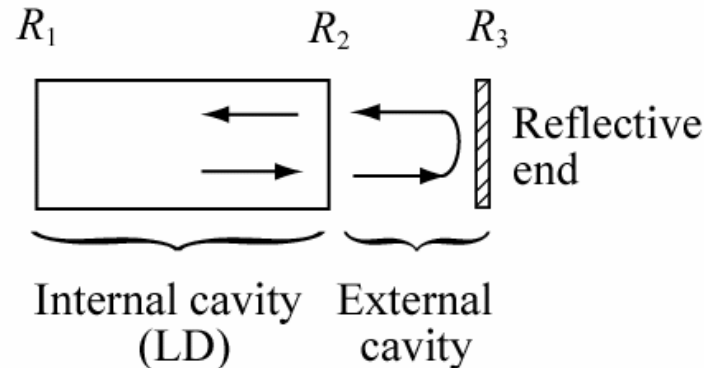


複合共振器

$$\frac{I_r}{I_i} \geq 10^{-6}$$

半導体レーザー

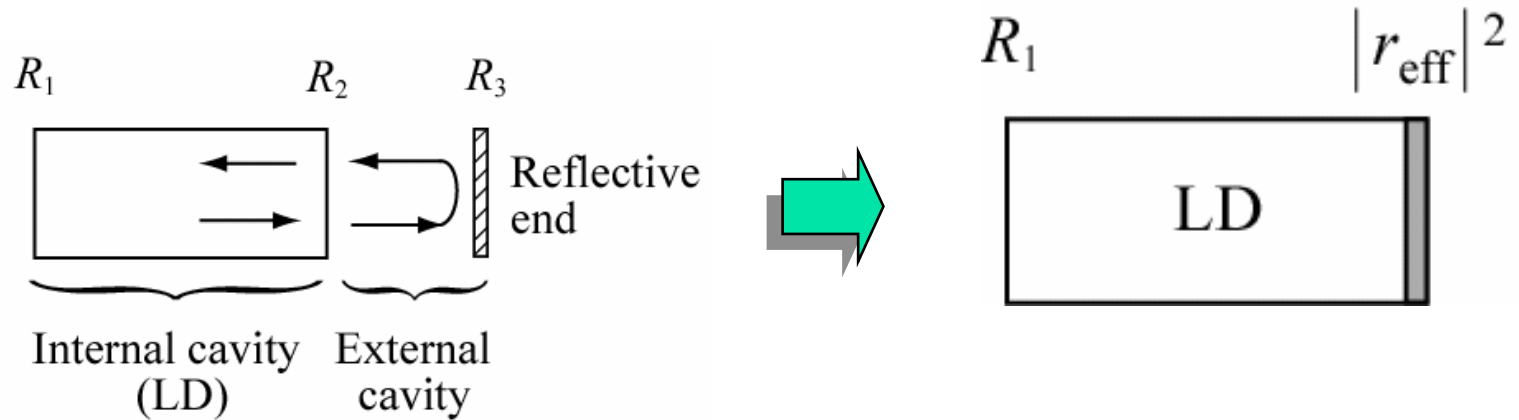
■ 戻り光雑音の解析



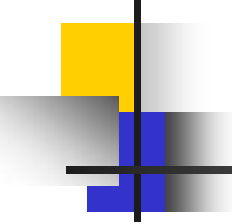
$$E_r e^{i\Omega t} = E_i e^{i\Omega t} \times \left[\sqrt{R_2} + (1 - R_2) \sqrt{R_3} e^{-i\Omega \tau} + (1 - R_2) \sqrt{R_2} R_3 e^{-i2\Omega \tau} + \dots \right]$$

半導体レーザー

■ 戻り光雑音の解析



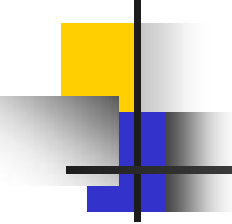
$$r_{\text{eff}} = \frac{E_r}{E_i} = \sqrt{R_2} \left[1 + (1 - R_2) \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} e^{-i\Omega\tau} \right]$$



半導体レーザー

- 戻り光雑音の解析
 - 電界に対する減衰レート

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}\gamma &= \frac{1}{2} \frac{c}{n_{r0}} \left(\alpha_i + \frac{1}{2L} \ln \frac{1}{R_1 r_{\text{eff}}^2} \right) \\ &\approx \frac{1}{2} \gamma_0 - \kappa e^{-i\Omega\tau}\end{aligned}$$

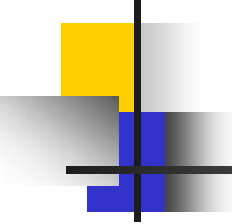


半導体レーザー

- 戻り光雑音の解析
 - 戻り光の結合レート

$$\kappa = \frac{c}{2n_{r0}L} (1 - R_2) \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

$$\frac{1}{\tau_n} < \kappa < \frac{1}{\tau_{ph}}$$



半導体レーザー

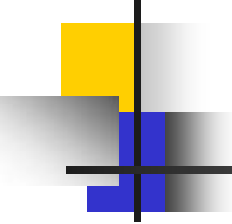
- 戻り光雑音の解析
- レート方程式

電界

$$\frac{dE(t)}{dt} = \left\{ i[\omega_N(n) - \Omega] + \frac{G(n) - \gamma_0}{2} \right\} E(t) + \kappa E(t - \tau) e^{-i\Omega\tau}$$

キャリア
濃度

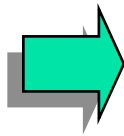
$$\frac{dn}{dt} = \frac{J}{ed} - G(n)|E|^2 - \frac{n}{\tau_n}$$



半導体レーザー

■ 戻り光雑音の解析

電界 E : 定常値



$$n_{\text{th}} = n_0 + \Delta n$$

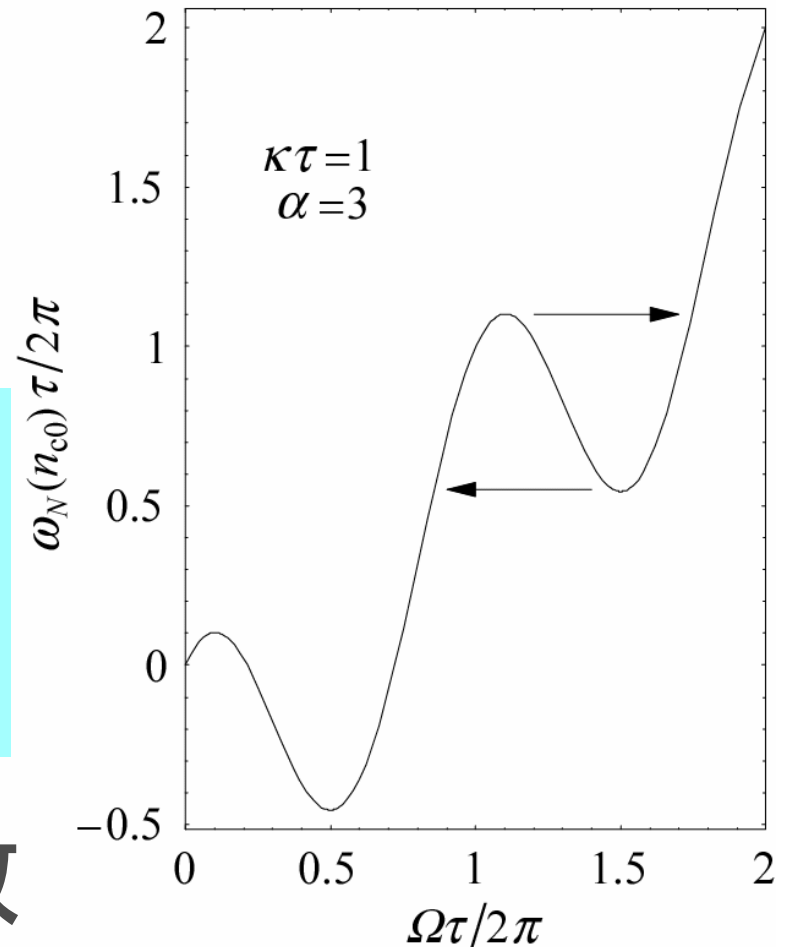
$$G_{\text{th}} = G(n_0) + \frac{\partial G}{\partial n} \Delta n$$

半導体レーザー

■ 戻り光雑音 共振角周波数

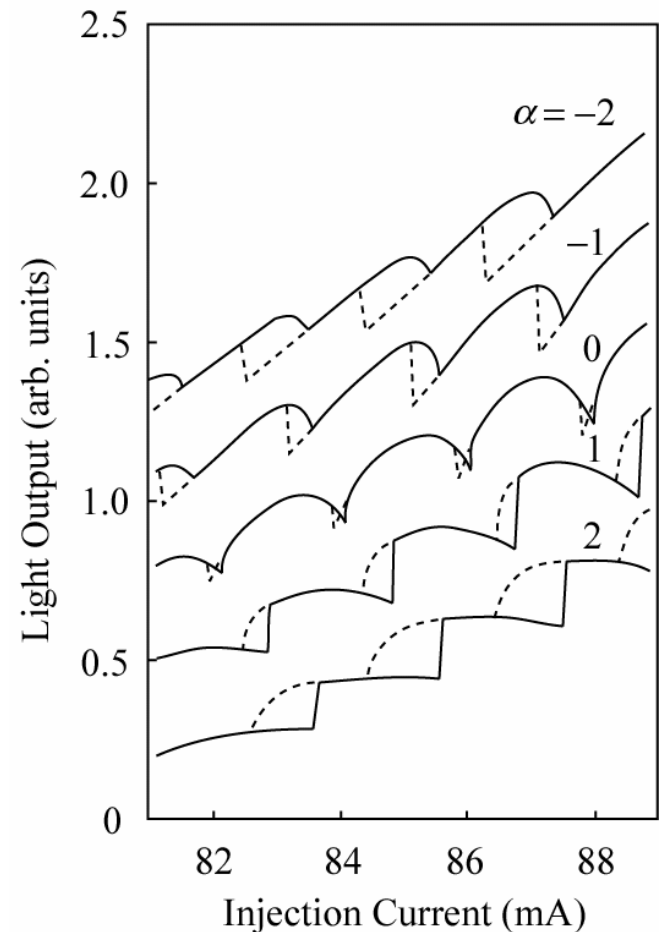
$$\omega_N(n_0) = \Omega + \kappa \sin(\Omega \tau) - \alpha \kappa [1 - \cos(\Omega \tau)]$$

Ω : 発振角周波数



半導体レーザー

- 戻り光雑音
- モード跳び
- ヒステリシス



半導体レーザー

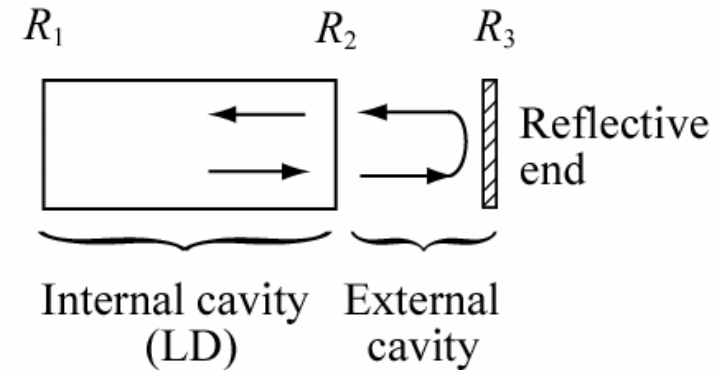
■ 戻り光雑音対策

- 単一モード化

- 多モード化

- 結合レートの κ 低減

- 光アイソレータ



半導体レーザー

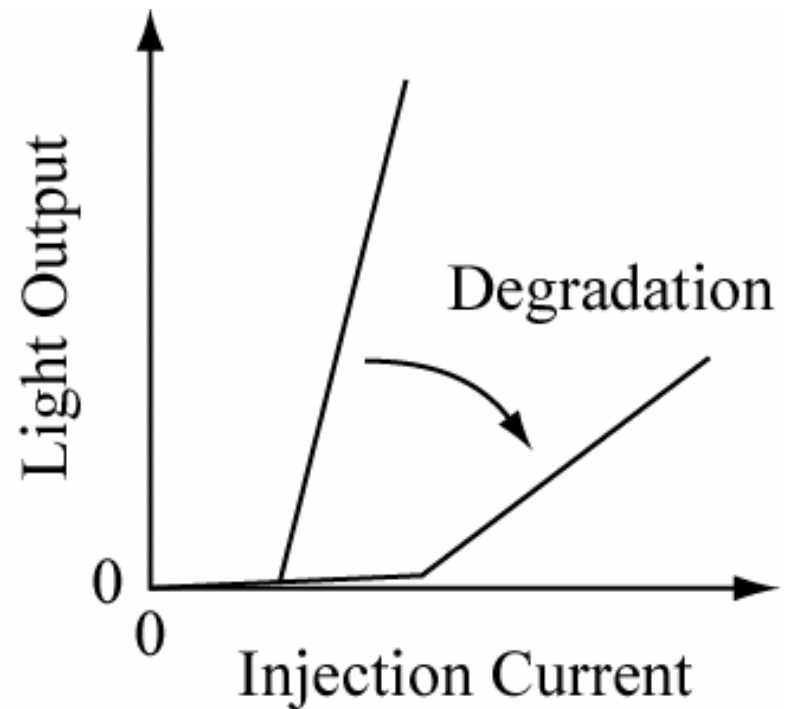
■ 劣化現象

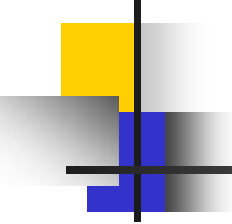
■ J_{th} 上昇

■ η 低下



連続発振
不可能





半導体レーザー

■劣化の原因

- 結晶欠陥の増殖と移動
- 反射面の破壊，表面変化
- オーミック電極の劣化
- 点欠陥の発生

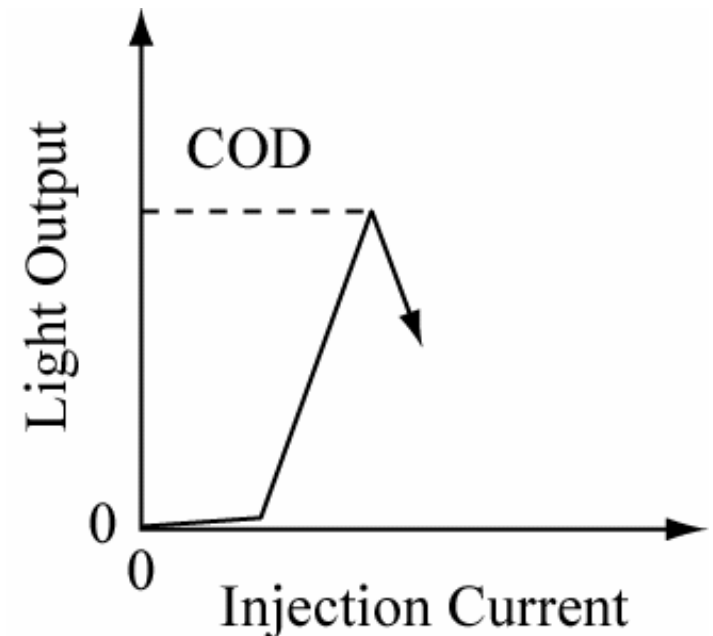
半導体レーザー

■ 光学損傷

■ Catastrophic Optical Damage (COD)

■ 端面温度
⇒ 融点

■ 回復不可能



半導体レーザー

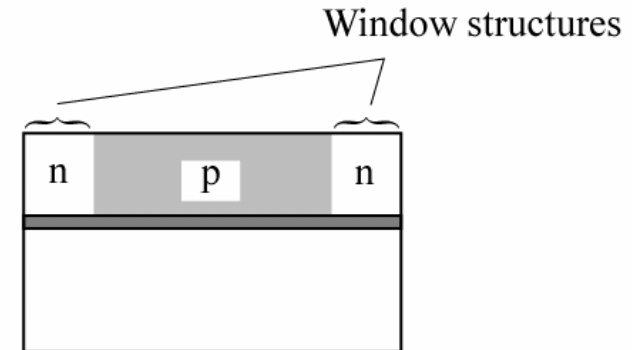
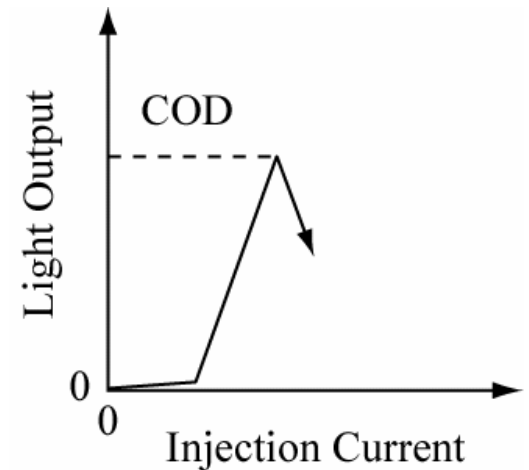
■ 光学損傷

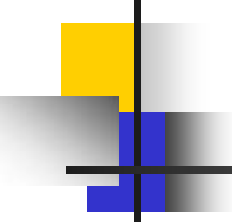
■ 原因

■ 表面準位 $\Rightarrow$ 光吸収

■ 対策

■ 非吸収領域
 $\Rightarrow E_g$ 増大





半導体レーザー

■ ダークライン欠陥

■ 原因

- 点欠陥の放出・吸収
⇒ 転位の成長

■ 対策

- 転位の少ない基板
- 結晶成長条件の最適化

半導体レーザー

■ 反射面劣化

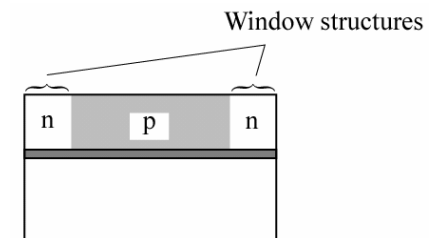
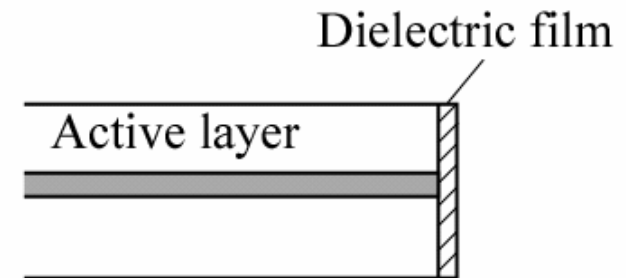
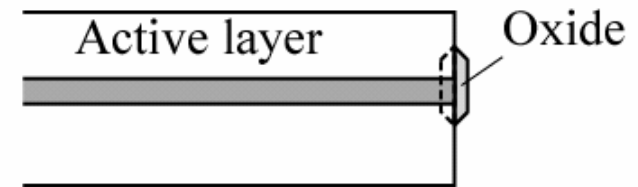
■ 原因

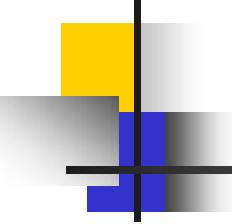
■ 酸化物形成

■ 対策

■ 誘電体薄膜の形成

■ 窓構造





半導体レーザー

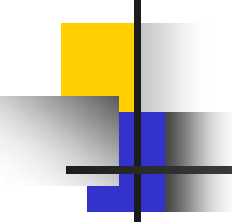
■ 寿命

■ 定出力動作

- 初期電流の2倍になる時間

■ 定電流動作

- 初期出力の半分になる時間



半導体レーザー

■ 寿命

- 強制劣化試験による寿命推定
 - 光通信用: 27年
- 強制劣化による素子選別
 - スクリーニング(Screening)