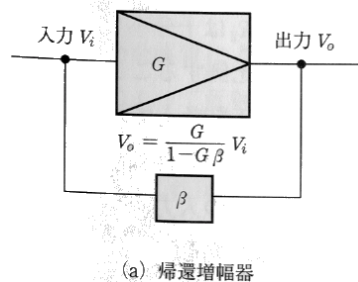
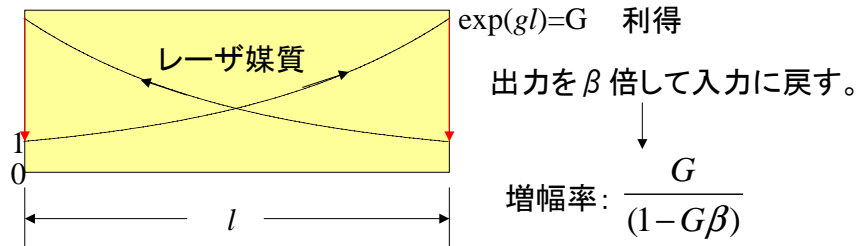
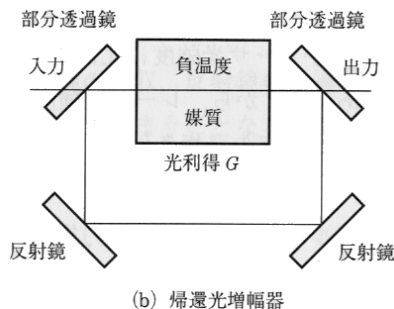


レーザ発振の条件



(a) 帰還増幅器



(b) 帰還光増幅器

利得: $G = \exp(gl)$

$g < 0$ のとき、 $G < 1$ となり、吸収(損失)

$g > 0$ のとき、 $G > 1$ となり、増幅(利得)

帰還増幅器(出力を β 倍して戻す)では

$$\text{増幅率: } \frac{G}{(1 - G\beta)}$$

$G\beta = 1$ で、増幅率 ∞ ?

無限小の入力に対して、有限の出力 \rightarrow 発振器

レーザの場合、 β は反射鏡の反射率

レーザレート方程式

$$\frac{dn_2}{dt} = -W_L(n_2 - n_1)N_p - w_{21}n_2 + R_2$$

$$\frac{dn_1}{dt} = W_L(n_2 - n_1)N_p + w_{21}n_2 - w_{10}n_1$$

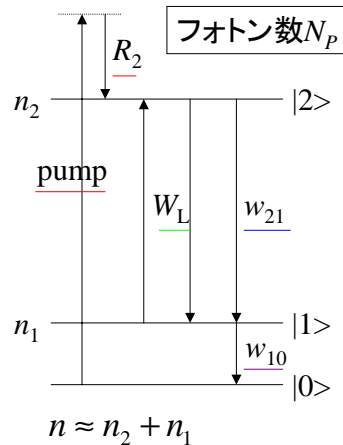
定常状態 $\frac{d}{dt} = 0$

$$n_2 - n_1 = R_2 \frac{1 - w_{21}/w_{10}}{W_L N_p + w_{21}}$$

反転分布($n_2 - n_1 > 0$)のためには

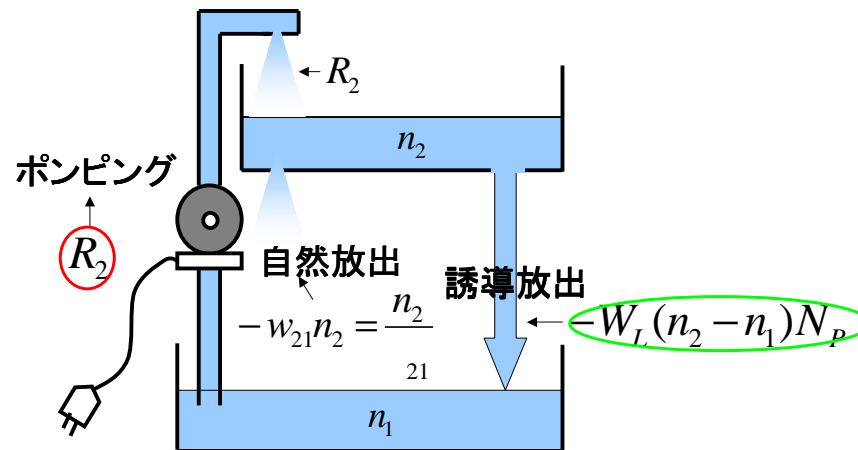
$$1 - \frac{w_{21}}{w_{10}} > 0 \rightarrow w_{10} > w_{21} \rightarrow \tau_{10} < \tau_{21}$$

$|2\rangle$ の寿命のほうが $|1\rangle$ の寿命より長い

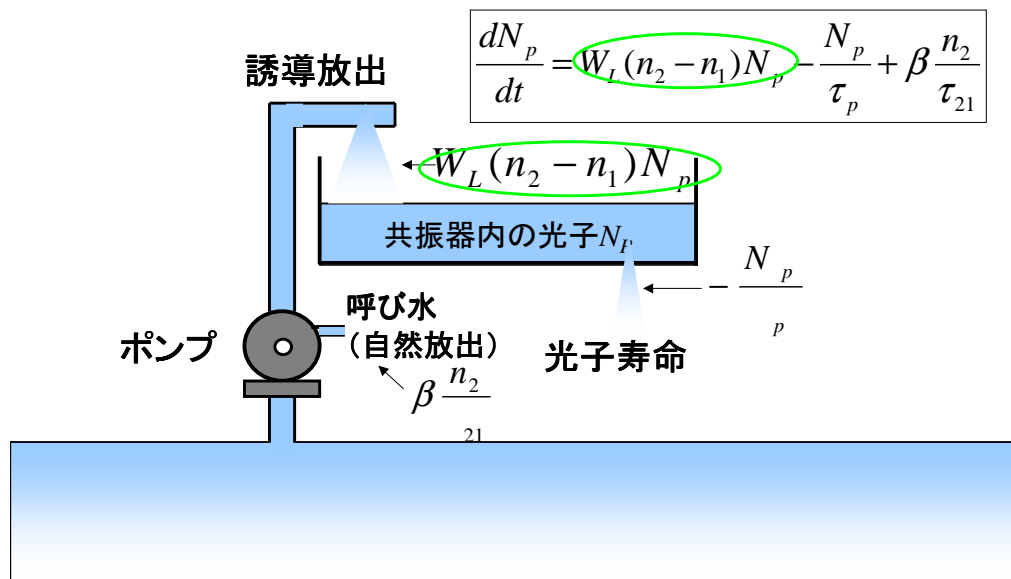


レーザレート方程式(電子の事情)

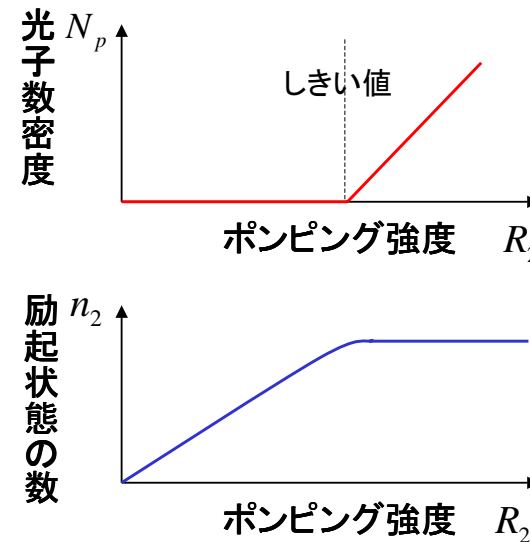
$$\frac{dn_2}{dt} = -W_L(n_2 - n_1)N_p - w_{21}n_2 + R_2$$



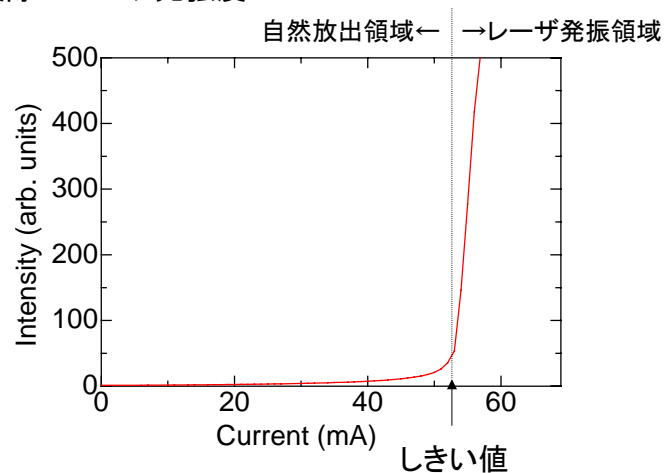
レーザレート方程式(光子の事情)



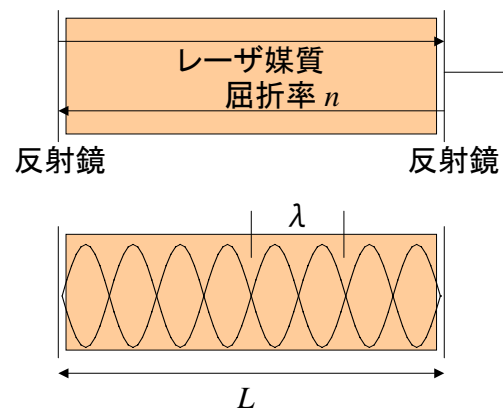
レーザレート方程式の解



実際のレーザ光強度



ファブリ・ペロ共振器



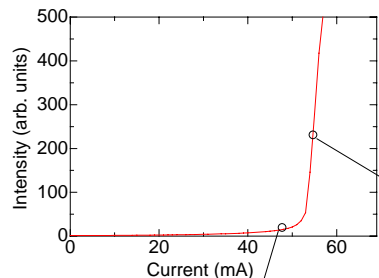
負温度(反転分布)の
レーザ媒質
によるレーザ発振

$$nL = \frac{\lambda_m}{2} m \quad m: \text{整数}$$

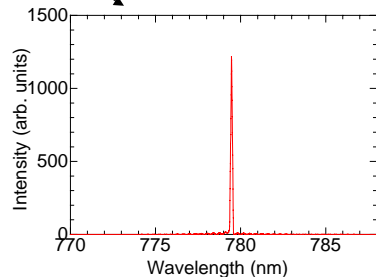
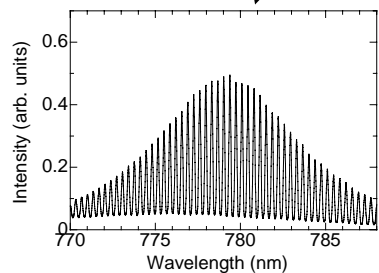
縦モード

$$\lambda_m = \frac{2nL}{m}$$

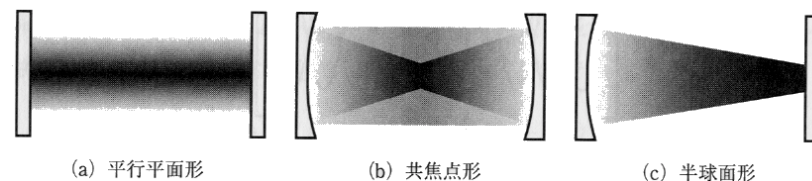
実際のレーザスペクトル



単一モード発振
→モードの引き込み



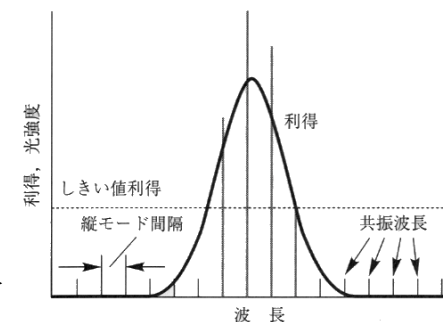
レーザ共振器の例



モード間隔

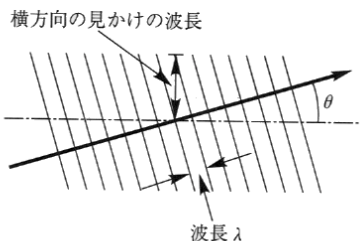
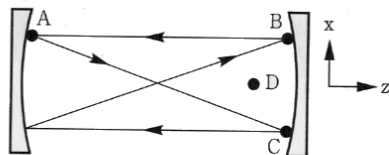
$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2nL}$$

$$\Delta f = ? \text{ (課題)}$$



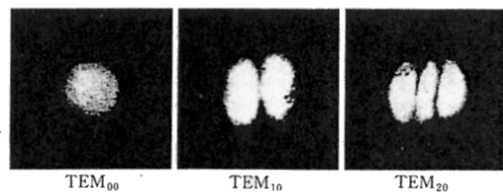
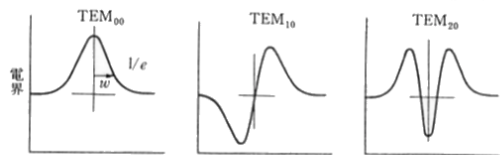
多モード発振 →

横モード



(a) 光路の模式図

(b) 光の波面と見かけの波長

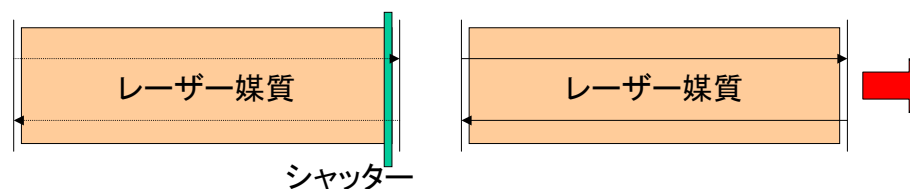


パルス発振

・Qスイッチ

Q値: レーザの発振のしやすさのため

$$Q = 2\pi\nu \frac{\text{共振器内に蓄えられるエネルギー}}{\text{毎秒失われるエネルギー}}$$



シャッター閉: Q値 小
反転分布 大

シャッター開: Q値 大
巨大パルス光出力

・モード同期

m番目のモードの電場

$$E_m = E_0 \exp[i\{\omega_m t + \phi_m\}] = E_0 \exp[i\{(\omega_0 + m\Delta\omega)t + \phi_m\}]$$

$$E = \sum_m E_m$$

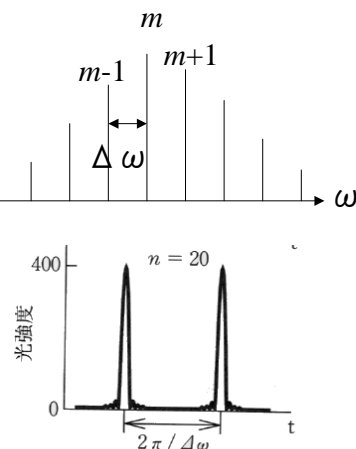
ϕ_m がすべてのmに対して0となるとき、

$$E = E_0 \exp[i\omega_0 t] \frac{1 - \exp[i(m_{\max} + 1)\Delta\alpha]}{1 - \exp(i\Delta\alpha)}$$

$$= E_0 \exp[i\omega_0 t] f(t)$$

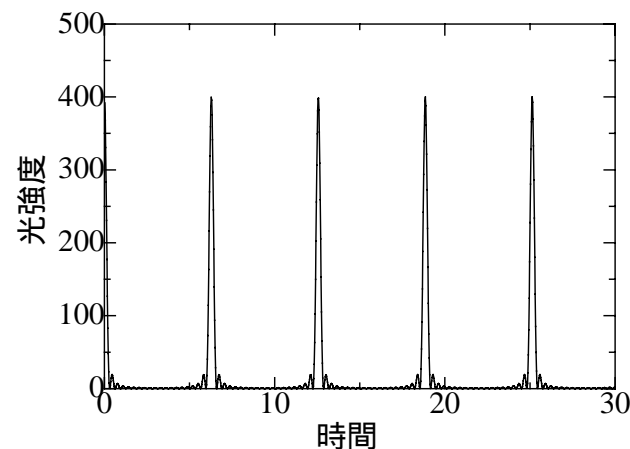
角振動数 ω_0 の光が $f(t)$ で変調。

→ 間隔 $T = 2\pi / \Delta\omega = 2L/c$ のパルス列



$f(t)$ の計算例

$$f(t) = \frac{1 - \cos[(m_{\max} + 1)\Delta\alpha t]}{1 - \cos(\Delta\alpha t)}$$

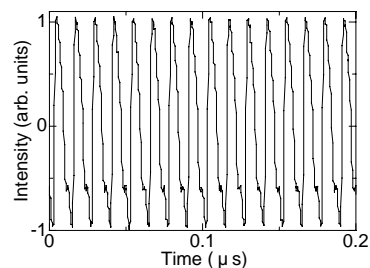


モードロックチタンサファイアレーザー

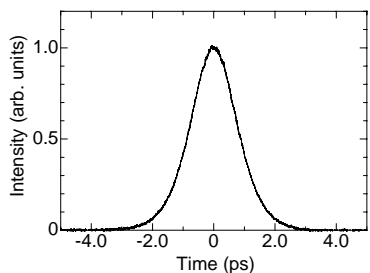


7号館P-311

パルス列(80MHz繰り返し)



パルス幅(約1ps=10⁻¹²s)



課題

1. ミラー間隔を L として縦モードの間隔 $\Delta\lambda$ および Δf を計算せよ。ただし λ は波長、 f は周波数であり、モードを m とするとき $\lambda_m f_m = c$ である。 $\Delta\lambda$ は m に依存するが、 Δf は m に依存しない。
2. ω_0 の角振動数を持っている波の振幅を Ωt ($\Omega \ll \omega$) で変調する。たとえば、 $\cos(\omega_0 t) \cos(\Omega t)$ とすると、側波帯(サイドバンド)が出来ることを示せ。→モード同期の方法
3. 極短パルス光レーザーについて調べよ。(7号館に実物があります。)