

# 高フィネス ファブリーペロー共振器による 半導体レーザーの周波数安定化

中川研究室

島津 享平

## <背景>

我々、中川研究室ではルビジウム原子( $^{87}\text{Rb}$ )を用いて光トラップ中で原子を操作することにより、量子的効果を利用した、量子計算の確立を目標として研究を行っています。ルビジウム原子を **Rydberg** 原子状態にするために原子 **Rydberg** 励起状態に励起する必要があり、励起に適したレーザーの開発が必要となります。**Rydberg** 原子とは、電子の主量子数 $n$ の大きな電子軌道を持つ原子です。特徴としては、原子半径が大きく、束縛エネルギーが小さい、エネルギー準位間隔が小さいということです。エネルギー準位間隔が小さいということから、レーザーの周波数を安定化しなければなりません。

## <目的>

**Rydberg** 励起に用いられている共振器を用いた半導体レーザーの周波数安定化。

## <原理>

ファブリーペロー共振器とは2枚の凹面鏡を平行に設置して周波数強度をいて一間隔にするためのものである。共振器作成にあたり共振器のビーム径の計算方法は、

$$\omega_{(z)} = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi \omega_0}\right)^2} \quad \dots (a)$$

$$R_{(z)} = z \left[ 1 + \left(\frac{\pi \omega_0^2}{\lambda z}\right)^2 \right] \quad \dots (b)$$

となる。またフィネスを求める計算式は、

$$F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R} \quad \dots (c)$$

として与えられ、透過光のスペクトル間隔を FSR(Free Spectral Range)といい、

$$FSR = \frac{c}{2L} \cdot \cdot \cdot (d)$$

今回用いた共振器において FSR は 3.12GHz となった。

また、共振するときを得られるモードの周波数変化の式は、

$$f = \left[ q + (m + n + 1) \frac{\cos^{-1} \sqrt{g_1 g_2}}{\pi} \right] \frac{c}{2L} \cdot \cdot \cdot (e)$$

として与えられる。このときの、モード間隔の比率  $\gamma = \cos^{-1} \sqrt{g_1 g_2} / \pi$  で与えられて、理論値は、 $\gamma = 0.14$  となる。また、 $g_1, g_2$  はそれぞれ共振器長における凹面鏡の曲率半径との割合を示す。 $(g = 1 - L/R)$

共振器を作製し、反射光を用いて半導体レーザーの周波数を安定化させる。共振時における反射率  $\eta_R$ 、透過率  $\eta_T$ 、また、ミラーの損失  $A$  はつぎのような式で示すことができる。

$$\eta_R = \frac{1}{(1+T/A)^2} \cdot \cdot \cdot (f)$$

$$\eta_T = \frac{1}{(1+A/T)^2} \cdot \cdot \cdot (g)$$

$$R + T + A = 1 \cdot \cdot \cdot (h)$$

これらを持ちいてそれぞれ凹面鏡がどのような特徴を持つかを評価することができる。(R : 反射率、T : 透過率)

### <実験>

#### 実験装置

ビーム直径(498 $\mu$ m)にあうように光学系を図(1)のように組み実験を行った。

実験に使用した半導体レーザーの周波数は 780nm のものをしようした。

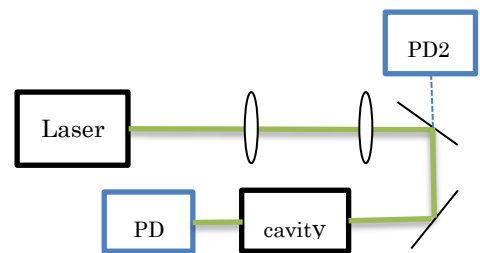


図1 光学系

#### 実験方法

共振器の透過光のスペクトルを PD でモニターすることにより、フィネスと共振線幅の見積もりを行った。このときに、半導体レーザーに 2MHz の変調を加えてスペクトルの測定を行っている。次に、透過光のスペクトルのモードの評価を行った。次に共振時の反射光の割合を PD2 でモニターした。

<結果>

共振器の透過光のスペクトル

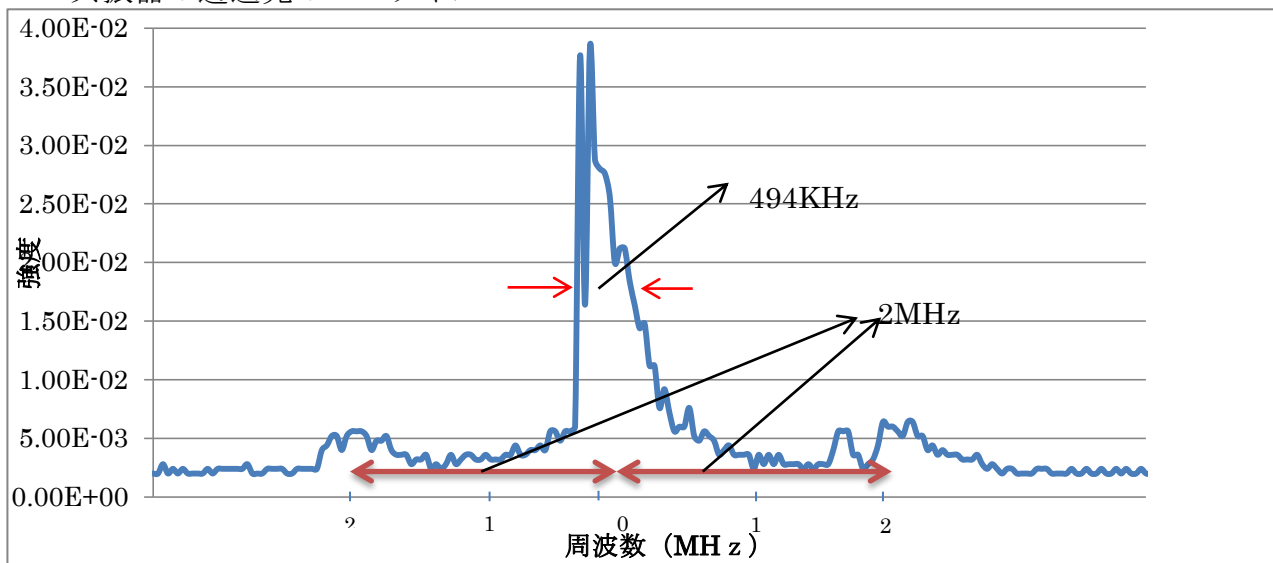
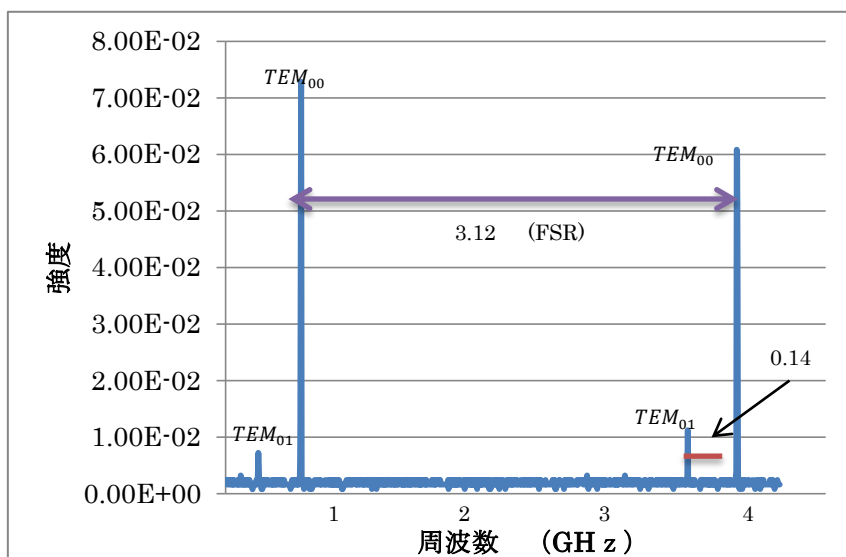


図2 共振器の透過光スペクトル

2MHzの変調を加えたときにおける共振線幅は494KHzとなった。このことよりフィネス  $F$  は  $F=6315$  となった。

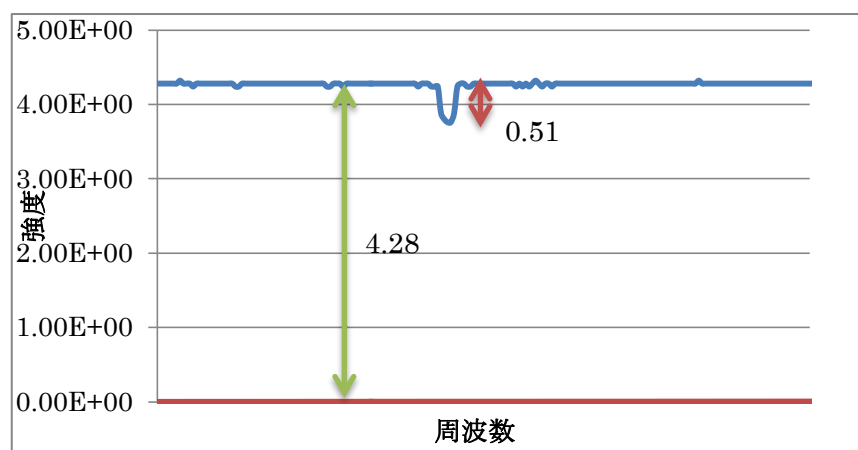
・共振器のモード評価

共振器の透過光スペクトルのモードの評価を行ってみた。図(3)より、 $TEM_{00}$ と $TEM_{00}$ のFSR(フリースペクトルレンジ)は3.12GHzであり、 $TEM_{01}$ と $TEM_{00}$ における周波数は0.41GHzとなり、モード間隔は $\gamma=0.14$ となった。理論値の $\gamma=0.13$ とほぼ一致していることから、実験装置における光学系のビーム直径が共振器のビーム直径に一致していることがわかった。



図(3) 透過光のスペクトルモード

## 共振時における反射光の割合



図(4) 共振時の反射光強度

測定結果図(4)の結果から共振時における反射率は12%となった。

### <まとめ>

測定を行った結果から、共振時における反射率 $\eta_R$ 、透過率 $\eta_T$ 、ミラー損失Aの計算を行った。計算結果は、 $\eta_R = 87.9\%$  ,  $\eta_T = 0.385\%$  ,  $A=375\text{ppm}$  となった。また、今回用いた凹面鏡の性能と測定結果から得た値を表(1)に示す。

表 1 凹面鏡の理論値と測定値

	フィネス	反射率	透過率	ミラー損失
理論値	10140	99.97%	0.01%	
測定値	6150	99.96%	0.02%	375ppm

### <今後の展望と目標>

今後、この共振器を用いてフィードバックの回路の作成を行い半導体レーザーの周波数安定化を目指していくつもりです。