

カルシウムイオン冷却のための
866 nm 狭線幅フィルタ型外部共振器半導体レーザーの開発

向山研究室 近藤 茂

1 目的

外部共振器半導体レーザー(以下 ECLD)はその線幅の値がレーザー冷却の対象となる原子やイオンの共鳴の自然幅より十分小さく、問題なくレーザー冷却に用いられると私たちの研究室で考えられていた。このことについて新たに干渉フィルタを用いた外部共振器半導体レーザーを作成してその線幅について自己遅延ヘテロダイン法を用いてビートを測定することによって評価し、共鳴の自然幅より十分小さいことを確認する。

2 原理

2.1 干渉フィルタを用いた ECLD

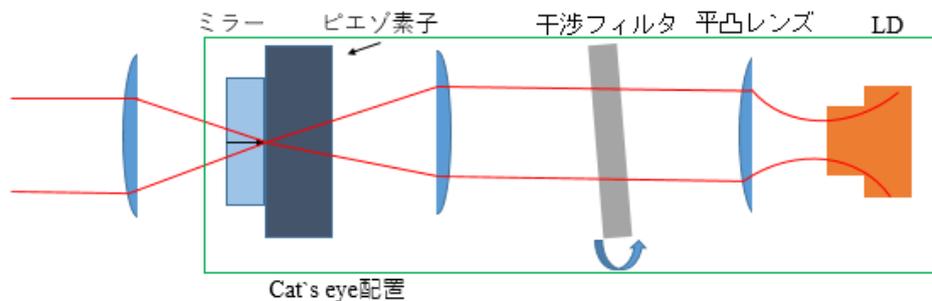


図 1: 干渉フィルタを用いた ECLD の構造

ECLD(External Cavity Laser Diode) は外部に共振器のある LD のことを指す。これは回折格子を波長選択素子として用いたものが主であったが、これに代わって干渉フィルタを用いたものが近年開発されている。[1]これは回折格子を用いた場合と比べて振動に強く、安定性が良い。上図にフィルタ型 ECLD の構造を示した。緑枠で囲った部分を Cat's eye 配置という。これにより振動によって LD が微小に動いたとしてもミラーの表面に焦点があるため反射光が LD にフィードバックされる。外部共振器長が微小に振れてもピエゾが動くことによってフィードバックが可能である

2.2 線幅の測定と自己遅延ヘテロダイン法について

線幅を測定するときレーザー光を直接検出するとレーザー光のスペクトルは電氣的測定が不可能な領域で測定される。周波数が近い波が二つあるとビート(うなり)が生じ、レーザー光もビートの周波数であればそれは MHz~GHz という電氣的測定が可能な領域で測定できる。このビートに周波数幅があればビートの原因である周波数にも幅があることになる。このようにしてビートで線幅つまり周波数幅の測定ができる。具体的な測定法の一つに自己遅延ヘテロダイン法がある。

・自己遅延ヘテロダイン法

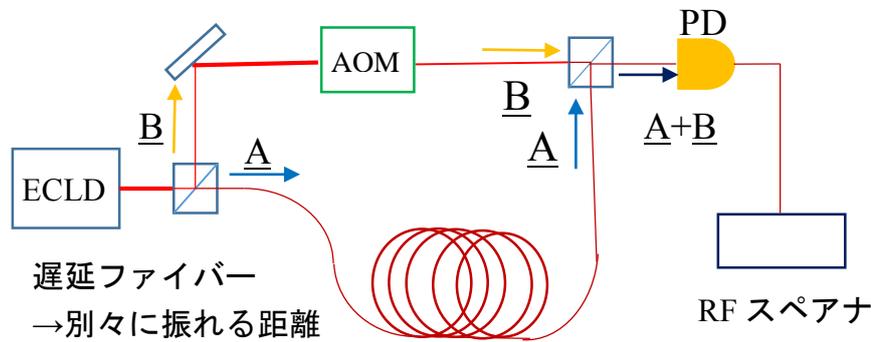


図 2: 自己遅延ヘテロダイン法

ECLD から出た光を PBS で二つに分けてそれぞれ経路 A、B とする。経路 A ではコヒーレン長を越える遅延を与えて経路 B の光との位相相関をなくす。経路 B では音響光学素子 (AOM: (Acoustic Optical Modulator))を通して位相変調をし、経路 A と B の光のビートを観測しやすい位置に持ってくる。経路 A と B を経た二つの光を合わせてフォトディテクター (PD)で検出し、RF スペクトラムアナライザでそれらのビートを測定する。この測定で RF スペクトラムアナライザが表示する線幅のスペクトルは二つのレーザー光が重なってできたもののため求めたい線幅の 2 倍の半値全幅を持つ。ゆえに半値全幅の半分が求める線幅の値である。

3 制作したもの

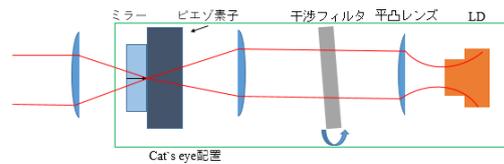
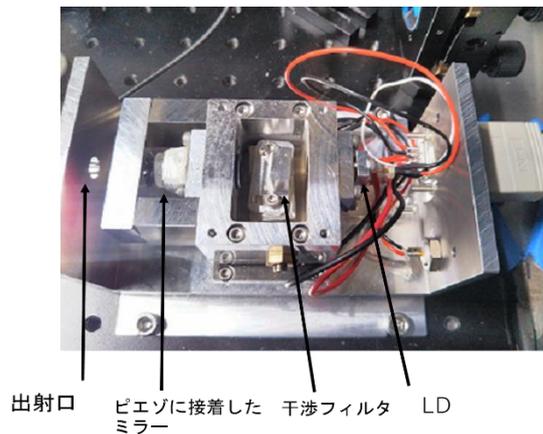


図 3:制作した ECLD(左)、右の ECLD の構造と対応している

左図が制作した ECLD である。発振波長は 866 nm で、共振器長は 60 mm とした。フィルタのステージの下部に温度調整機構を付けている。発振閾値を求めたところ $I_{th} = 27.0 \text{ mA}$ であった。

4 線幅の測定結果

4.1 ミラー前のレンズを出力で最適化したとき

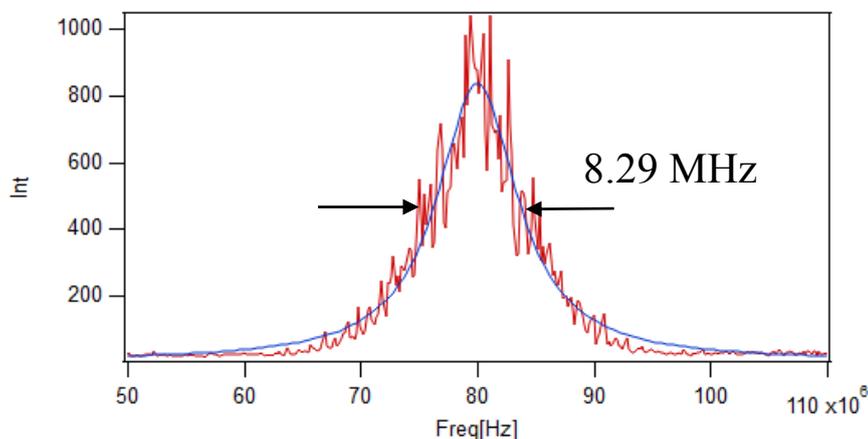


図 4:出力で最適化したとき

線幅の値は平均で 4.42 MHz で対象の共鳴の自然幅 1.69 MHz である。このことから ECLD の線幅は MHz つまり原子やイオンの共鳴の自然幅より大きい値になることがある。線幅がこの値ではレーザー冷却に不適であるためミラー前のレンズの位置を線幅を測りながら少しずつ調整していった。

4.2 ミラーの前のレンズの位置を線幅を測りながら最適化したとき

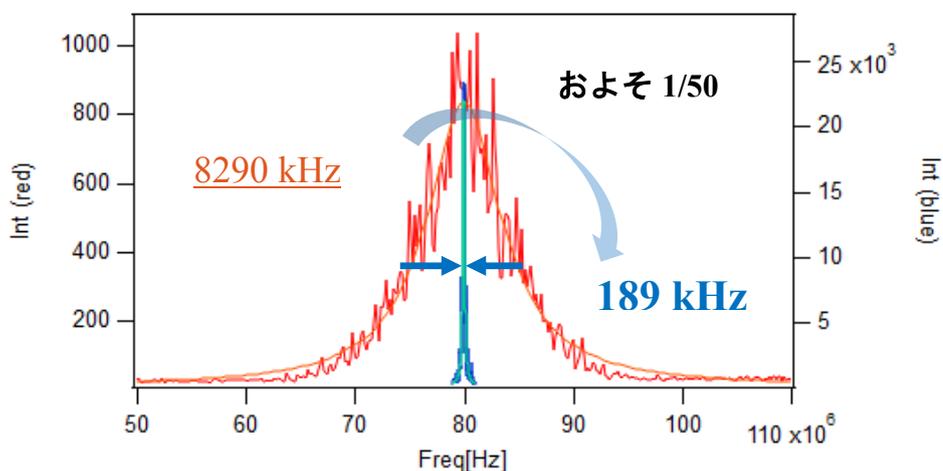


図 4:調整の前後でのスペクトル

赤色が調整前、
青色が調整後のスペクトルを表す

調整前で 4.42 MHz、調整後 90.0 kHz と調整の前後で線幅の大きさがもとの 1/50 にまで変化した。ECLD の線幅は MHz を十分切る程度のもと考えていたが調整でこれは大きく変化する。また、これは線幅の値を実際に測定しなければどれぐらい変化するのかが分からない。

4.3 別の 866 nm の ECLD の線幅の測定

ECLD の線幅が共鳴の自然幅より大きいことがあるとわかったので別の 866 nm の ECLD についても自己遅延ヘテロダイン法で同様の測定を行った。

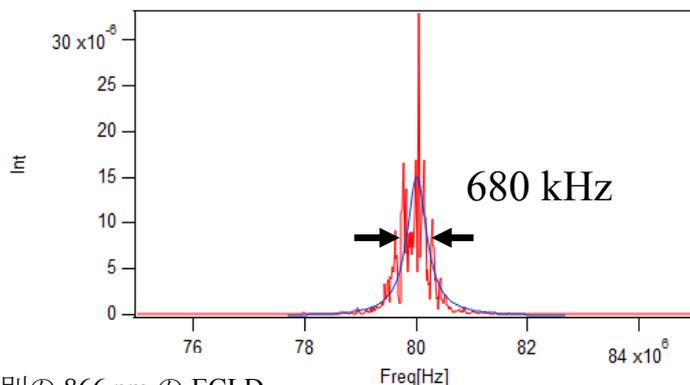


図 5:別の 866 nm の ECLD

線幅の値は 343 kHz であった。制作したものはこれのおよそ 1/4 の線幅の大きさである。

4.4 二つの 866 nm の ECLD のビートの測定

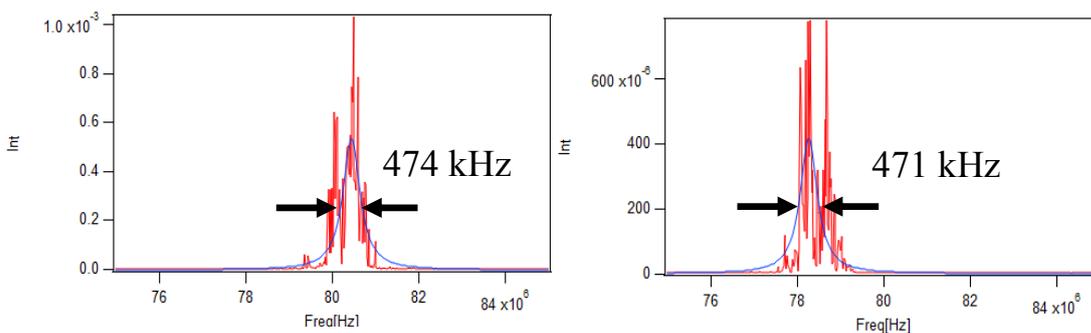


図 6: 二つの 866 nm の ECLD のビートの測定

半値全幅は平均で 600 kHz であり、個々の線幅の和より大きい。(600 > 90+343)個々のレーザーの周波数の振れの中心が異なってビートの中心周波数が動くことが原因だと考える。二つのビートで線幅を評価するときはこういったことを考える必要がある。

5 まとめ

- ・ 干渉フィルタを用いた 866 nm の ECLD で線幅が 90.0 kHz のものを制作した。
- ・ 経験的に ECLD は狭線幅でレーザー冷却に用いるのに適していると考えられていたがこれが誤りであることの一例となった。
- ・ ECLD の線幅は細かい調整をすることで大きく変化する。線幅の測定をしながら細かい調整をすることで線幅の最適化が行える。
- ・ 二つのレーザーを用いたビート測定では測定されるビートの中心が動くことを考慮して線幅を評価する必要がある。

参考文献

- [1] Matthias Scholl: "Interference Filter stabilized external cavity diode laser", March 18, 2010