

干渉フィルターを用いた $1.5\mu\text{m}$ 帯狭線幅波長可変レーザーの開発

中川研究室 中 信長

1 目的・背景

我々の研究室では光周波数コムを基準とした周波数測定や吸収スペクトルの測定について研究を行っている。光周波数コムとは高精度な光周波数が一定間隔に櫛の歯状に並んでいるレーザーである。光周波数コムは周波数帯域を1オクターブ以上持つモードロックレーザーに線幅の十分狭いレーザーを位相同期させる必要があり、従って基準となるレーザーとしてより安定な線幅の狭いレーザーが求められ、本研究テーマであるフィルター型 ECLD の製作へと至った。

現在研究室では回折格子型の ECLD を運用しているが、振動に弱く音の影響を大きく受ける欠点がある。開発したフィルター型 ECLD は振動に対して鈍感であり、回折格子型よりも線幅が狭いレーザーを出すことができるという論文もある[1]。ここでは広く利用され汎用性の高い $1.5\mu\text{m}$ 帯での波長可変レーザーの製作を行う。

2 原理

2.1 外部共振器型半導体レーザー

外部共振器レーザー (ECLD) は半導体レーザー (LD) に AR コートを施しレーザーを取り出して外部共振器を組んだものである。外部に共振器を組むことで共振器長が伸び、また波長選択の機構を入れることができる。波長選択の方法によって大きく分けて二通りの方法があり回折格子型 ECLD、フィルター型 ECLD と分ける事ができる。

2.1.2 フィルター型 ECLD

干渉フィルターを用いて波長選択する ECLD をフィルター型 ECLD と呼ぶ。干渉フィルターは異なる屈折率をもつ誘電体多層膜のフィルターであり、特定の波長域を透過する性質とファブリペロー共振器による干渉を利用した波長選択が特徴である。

干渉フィルターの透過率は共振の影響で周波数毎に異なり、フィルター面に対する入射光の角度によってピーク周波数が変わる。

干渉フィルターに入射した光は境界面を反射面としてファブリペロー共振器を構成するが、入射角と波長によって屈折角が変わり、周波数毎に光路長の差が生まれる。このときフィルターへの入射角を操作することで透過波長帯を変え、任意の波長を選択できる。[2]

フィルター型 ECLD は回折格子型 ECLD に対して選択可能波長領域が狭いが、振動に対する感度が低く安定な点の特徴となる。またフィルターと LD を変えることで性能を容易に変化させることができる。

2.2 キャッツアイ構造

フィルター型 ECLD ではキャッツアイ構造を用いることで光軸のズレに強くなり安定度が増す。キャッツアイ構造を取らない場合、光軸がずれたりミラーの角度が変わると共振が崩れるが、キャッツアイ構造を用いることでそれらの障害に強くなる。

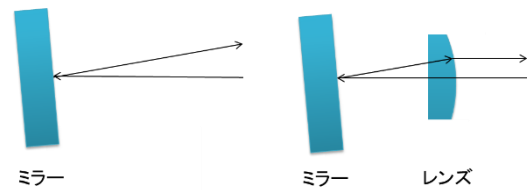


図 2.1 キャッツアイ構造

キャッツアイ構造はレンズの焦点にミラーを置くことで入射光を戻すように構成され、入射光を入射方向へと反射することができる。レンズやミラー、LD がずれても戻り光が入射光と平行になるため、振動に対して強い ECLD となる。

第三章 フィルター型 ECLD の製作

この章では本研究において製作したフィルター型 ECLD の概要を示す。

3.1 製作内容

今回製作したフィルター型 ECLD は図 3.1 のように設計した。

フィルター型 ECLD を製作するにあたって、既存の回折格子型 ECLD を参考に製作を行った。使用した利得チップは SAF1550P2 である。共振器長を 45mm に設

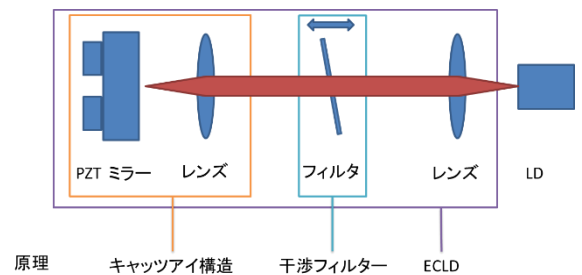


図 3.1 製作した ECLD の概略図

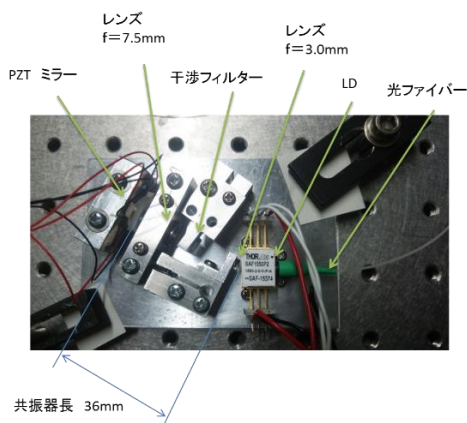


図 3.2 製作したフィルター型 ECLD の写真

計し、FSR の増大を図った。レンズの焦点距離は 3mm、7.5mm で設計を行い、LD 側レンズとフィルターマウントに微調ネジを取り付け調整可能にした。ミラーにピエゾ素子を取り付け、共振器長の制御を行う。設計、製作した ECLD は図 3.2 のようになった。

第四章 ECLD の評価方法

第三章ではフィルター型 ECLD の作成を行ったが、この章ではその評価を目的とする。

4.1 P-I 特性

ECLD のアライメント調整を行い、フィルターを入れた状態で P-I 特性の測定を行った。結果を図 4.1、SAF1550P2 の P-I 特性としてスペックシートに載っていた値を図 4.2 に示す。

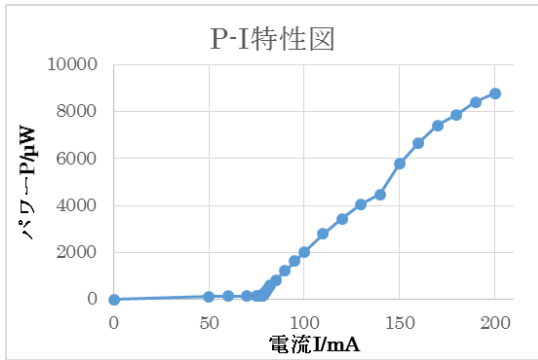


図 4.1 P-I 特性図

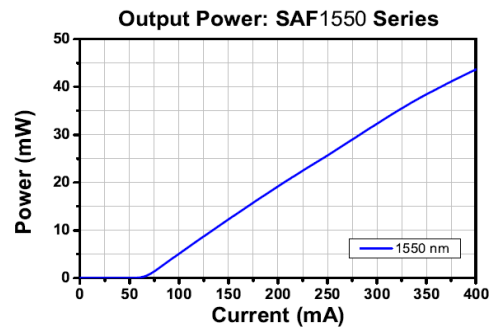


図 4.2 SAF1550P2 の P-I 特性

測定した P-I 特性とスペックシートを見比べると、共振器によるパワーのロスが 50%程度であることがわかる。またスペックシート状の閾値電流は 60mA 程度だが測定した閾値電流は 78mA となった。フィルターによる吸収等により ECLD にはパワーのロスがあるが、明らかにロスが大きすぎる為、アライメントが不十分であると思われる。

また測定結果では 140mA 付近でパワーが落ち込んでいる事がわかる。これはモードホップにより発振が不安定になったことが原因と考えられる。

4.2 モードホップの測定

4.1 からアライメント等を変えずに出力を波長計に入れてモードホップの測定を行った。図 4.3 に LD 電流の変化によるモードホップの測定結果を示す。

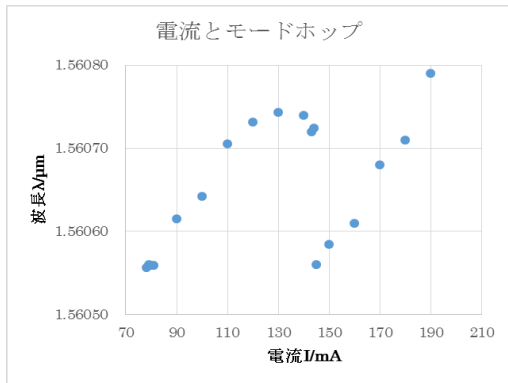


図 4.3 LD 電流とモードホップ

LD 電流が 140mA 付近でモードホップが起きていることがわかる。4.1 で測定した P-I 特性では 140mA 付近で電流が落ち込んでいたがやはりモードホップが原因であったと言える。またモードホップしない範囲が少なくとも 3GHz ある事がわかる。

4.3 ヘテロダイン法

ここでは作成したフィルター型 ECLD の線幅が狭くなっているかどうかを評価する。ヘテロダイン法とは二台のレーザーを重ね合わせ、信号強度のビート信号を取り出し、その線幅を測定する手法である。観測されるビート信号の線幅は二台の線幅の和となる為、既知の線幅のレーザーと組み合わせることで線幅を測ることができる。この測定では製作したフィルター型 ECLD と既存の回折格子型 ECLD のビートを測定し線幅の測定を行った。図 4.5 に測定結果を、図 4.6 にその拡大図を示す。

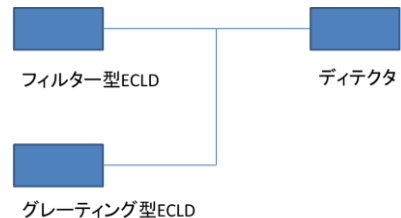


図 4.4 ヘテロダイン測定

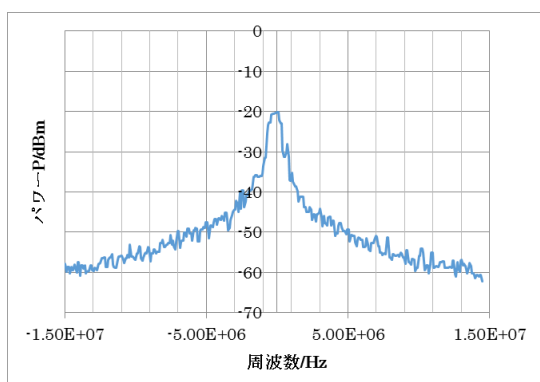


図 4.5 ビート測定の結果

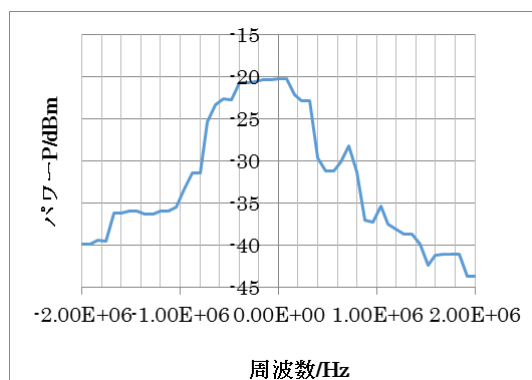


図 4.6 拡大図

ビートの半値全幅は 1MHz となった。回折格子型とフィルター型の半値全幅が同程度と仮定すると線幅は 500kHz となる。参考論文[1]ではフィルター型の線幅は 5kHz であり、100 倍の値となっている。

線幅が太い理由として様々な原因が考えられる。まず測定したのはビートの線幅であるので正確な線幅がわからず、回折格子型 ECLD の線幅が太い場合その影響をうけてビートも太くなることが挙げられる。他のレーザーとのビート測定を行うことや自己遅延ヘテロダイン法による測定を行うことで解決できると考えられる。

また P-I 特性の測定結果からアライメントの調整が不十分であることがわかるが、これが悪影響を与えている原因の一つであると言える。電流源からのノイズを今回考慮していないが、線幅に大きく影響を与える部分であるのでよりノイズの少ない電流源を使用することで改善する可能性があるといえる。

4.4 今後の課題

今後の課題として以下の内容が挙げられる。

- ・製作した ECLD の正確な線幅が測定できていないため、同タイプの ECLD、光周波数コムとのビート測定をして正確な線幅の評価をする必要がある。
- ・ECLD の性能向上の為に、絶縁のために ECLD を覆う箱作る、ベースマウントにペルチェを追加し温度を安定化させる必要があるといえる。外部からの影響を減らすことで安定化に寄与すると考えられる。
- ・フィルターの設置方法の改善やアライメント調整の最適化を行う必要がある。現在のフィルターマウントではフィルターの可動範囲が狭く、選択可能な波長領域が狭められてしまっているのでその改善を行う必要がある。またアライメントの調整不足が明らかなのでその改善により線幅が狭くなると期待できる。

参考文献

- [1]Shayne Bennetts,* Gordon D. McDonald, Kyle S. Hardman, John E. Debs, Carlos C. N. Kuhn, John D. Close and Nicholas P Robins “External cavity diode lasers with 5kHz linewidth and 200nm tuning range at 1.55 μ m and methods for linewidth measurement”
- [2]霜田光一 “レーザー物理入門” 岩波書店