

# 狭線幅光源のための 1.5 $\mu\text{m}$ 帯外部共振器型半導体レーザー

武者研究室 浅谷情良

## 1. 序論

本研究室ではレーザーに関する研究を行っているが、周波数安定化が1つの柱である。現在、周波数安定化を行っている波長帯は、1.5  $\mu\text{m}$  と 1.03  $\mu\text{m}$  とがある。1.5  $\mu\text{m}$  の外部共振器型半導体レーザー(External Cavity Laser Diode : ECLD)は光共振器を周波数基準として周波数安定化している。1.03  $\mu\text{m}$  のファイバーDFB(Distributed Feedback)はその第二高調波を宇宙重力波検出器(DECIGO)用の光源としてヨウ素分子の吸収線を周波数基準として周波数安定化を行う。それらの光源はCW発振・縦横シングルモード・単一偏光・モードホップなしでの周波数の連続掃引・1 MHz 未満の線幅・周波数の高速制御性・低い強度雑音が求められており、ECLD が有力な候補である。

## 2. 原理

### 2.1 外部共振器型半導体レーザーの原理

半導体レーザー(Laser Diode:LD)は劈開面でフレネル反射をしてレーザー発振するため2つの劈開面が共振器になっており小型で消費電力が低く安価であるが、共振器長が非常に短いためFSRが大きく、線幅が太いという欠点がある。そこで共振器をLDの外部に伸ばすことでFSRが小さくなり線幅が狭くなる。しかし今度はLDの利得の中に多くの縦モードが含まれるようになりマルチモード発振をしてしまうので、フィルターなどの波長選択素子により1つの縦モードを切り出すことにより狭線幅なシングルモード発振を得ることができる。これが外部共振器型半導体レーザー(External Cavity Laser Diode:ECLD)である。

### 2.2 ECLD の種類

ECLDには大きく分けて回折格子型とフィルター型がある。

回折格子型はLittrow構成とLittman構成があるが今回はLittrow構成の説明をする。Littrow構成の回折格子型ECLDの概念図はFig. 1のようになる。

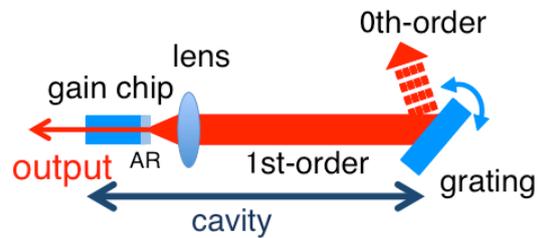


Fig. 1 Littrow 構成の回折格子型 ECLD

Littrow構成ではLDの片側の劈開面をARコーティングされたゲインチップから出た光はコリメートレンズによりコリメートされ回折格子により1次光がゲインチップに戻って、もう片方の劈開面と回折格子とで共振器が組まれる。1次光が共振するので回折格子の角度を変えることにより発振波長を選択することができる。

フィルター型ECLDの概念図はFig. 2のようになる。

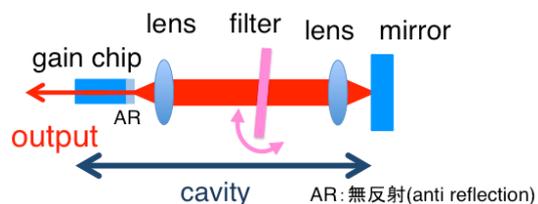


Fig. 2 フィルター型 ECLD

フィルター型ECLDではLDの片側の劈開面とミ

ラーによって共振器を組み、フィルターの角度を変えることで波長選択を行う。フィルター型 ECLD では光軸のずれなどによるアライメントのずれを保障するために、もう 1 つコリメートレンズを使ってミラーに集光するキャッツアイ反射構造を用いることが多い。

### 3. 回折格子型 ECLD の開発

#### 3.1 構成

1.5  $\mu\text{m}$  帯のファイバー結合されたゲインチップを用いて回折格子型とフィルター型の ECLD を作製し性能を比較した。また理論的に線幅は共振器長により決まるが実際には機械的安定性も大きな影響を与えることから、回折格子型では 21.1 mm と 60 mm との異なる共振器長で作製し優劣の比較を行った。

実際に作製した回折格子型 ECLD を Fig. 3 に示す。またゲインチップの模式図とコリメートレンズマウントや回折格子の拡大図を Fig. 4 に示す。

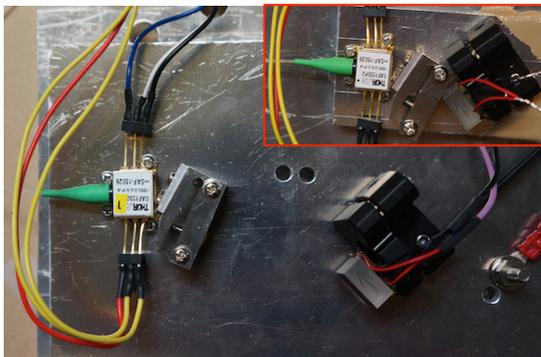


Fig. 3 作製した回折格子型 ECLD



Fig. 4 回折格子型 ECLD の一部拡大図

ゲインチップ、コリメートレンズ、アイソレーター、ファイバーまでが一体化されているゲイン

チップを使用した。ゲインチップから出た光はコリメートレンズによりコリメートするが共振器の回折損を減らすためにはこのレンズの位置が非常に重要になる。このため、Fig.4 に示すような板バネ構造のコリメートレンズマウントを自作し光軸方向は矢印で示す精密ネジで、光軸と垂直な方向は固定部に遊びをつけて手で微調した。回折格子はピエゾ圧電素子(PZT)を介してミラーマウントに固定し、波長の粗調はミラーマウントの調節ネジで微調は PZT により行った。

#### 3.2 性能評価

ECLD の性能を評価するために、それぞれ出力 (P-I)特性、線幅、相対強度雑音(Relative Intensity Noise:RIN)を測定した。線幅は自己遅延ヘテロダイン法により測定し、遅延ファイバーの長さは 25 km にしたためそれによって決まる分解能は 8 kHz であった。共振器長 21.1 mm と 60 mm とで比較すると P-I 特性は Table. 1 のように、線幅と RIN は Fig. 5 のようになった。

Table. 1 回折格子型 ECLD の P-I 特性

	閾値 [mA]	最大出力 [mW]
21.1 mm	63.1	13.13
60 mm	56.6	13.56

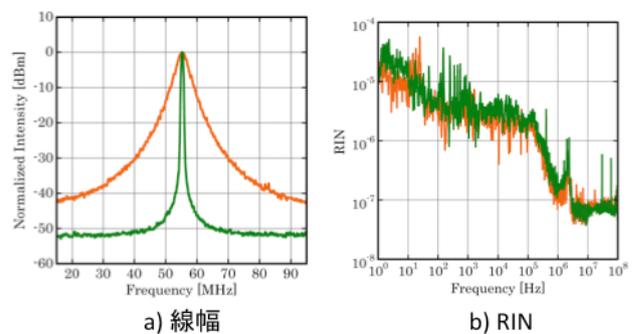


Fig. 5 回折格子型 ECLD の線幅と RIN

Table. 1 で最大出力は 300 mA における出力を表している。Fig. 5 でオレンジ色は共振器長 21.1 mm を緑色は 60 mm をそれぞれ表している。Table. 1 から共振器長を伸ばしても出力は下がらなかった。Fig. 5 から RIN も共振器長を伸ばしたことによる影響は少ないといえる。線幅は半値全幅で共振器長 21.1 mm では 2.2 MHz で 60 mm では 450 kHz であり共振器長を伸ばしたことによって 1 桁小さくなった。この結果から理論通り線幅は共振器長が長い方が狭くなると分かったので、共振器長を 60 mm 程度にしてフィルター型 ECLD を製作し回折格子型と比較することにした。また、線幅の目標値は 100 kHz でありこれまで本研究室で作製した ECLD もそのくらいの線幅であったことから機械的安定性により線幅が悪化していたと考えられる。

#### 4. フィルター型 ECLD の開発

##### 4.1 構成

実際に作製したフィルター型 ECLD を Fig. 6 に示す。

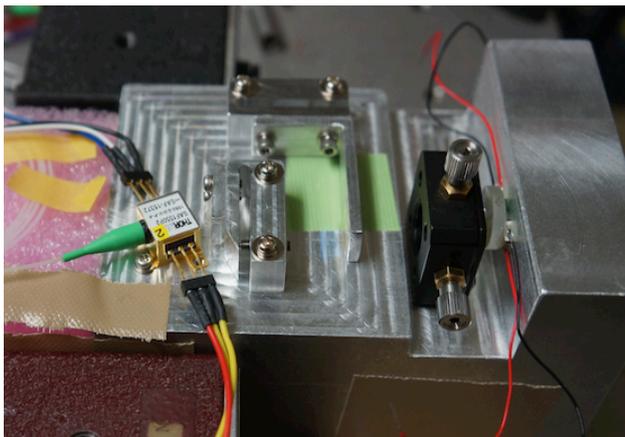


Fig. 6 作製したフィルター型 ECLD

フィルター型 ECLD はコリメートレンズマウントまでは回折格子型と同じ機構を用いた。フィルターマウントにはコリメートレンズマウントと同じ

構造の板バネ構造のマウントを使い、波長を大きく変えるときには固定部の遊びを使って手で動かし、小さく変えるときには精密ネジを使った。ミラーに集光するためのレンズは市販の xy プレートで固定し光軸と垂直な方向は固定部に遊びをつけて手で光軸方向は xy プレートの中にきられているネジ穴を使って調整した。ミラーは回折格子と同様に PZT を介して金属の壁に固定した。回折格子型で共振器長を伸ばしても線幅が目標値 100 kHz に到達しなかったため、フィルター型では共振器を 1 つの金属に固定してその金属の厚みを分厚くすることで機械的安定性の向上を図った。

##### 4.2 回折格子型との比較

回折格子型と比較する前に発振スペクトルを測定した。Fig. 7 に示すようにフィルターを入れる前はマルチモード発振をしていたがフィルターを入れることによりシングルモード発振を得ることができた。

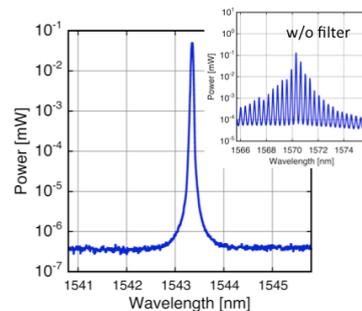
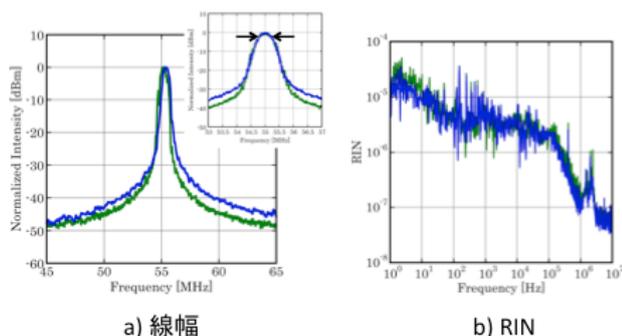


Fig. 7 発振スペクトル

続いて、回折格子型と同様に P-I 特性、線幅、RIN を測定した。P-I 特性は Table. 2 のようになり線幅と RIN は Fig. 8 のようになった。Table. 1 で最大出力は 300 mA における出力を表しており、Fig. 8 の緑色の線は回折格子型を青色の線はフィルター型を表している。P-I 特性、線幅、RIN ともに回折格子型と同様に測定した。

**Table. 2 P-I 特性の比較**

	閾値 [mA]	最大出力 [mW]
回折格子型	56.6	13.56
フィルターなし	56.6	28.44
フィルターあり	82.0	17.63

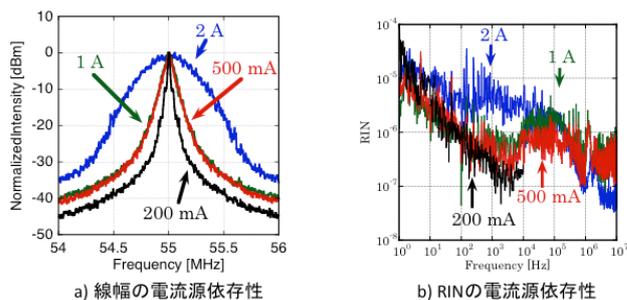


**Fig. 8 線幅と RIN の比較**

Table. 2 よりフィルターを入れることで閾値が上がり最大出力が下がったが回折格子型とはほとんど変わらないといえる。Fig. 8 からフィルター型の線幅は 350 kHz であり線幅も RIN も回折格子型とフィルター型とで有意な差はないといえる。しかし線幅は 100 kHz よりもずっと太く、RIN も傾き  $1/f$  で下がらないことから何か環境的な要因により線幅や RIN が制限されていると考えられる。

#### 4.3 線幅や RIN の電流源依存性

電流源に含まれる雑音により線幅や RIN が制限されていると考えた。これまでは定格 2 A の電流源を使っていたが、電流源は定格が大きいほど含まれる雑音が大きいことが分かったのでフィルター型 ECLD で電流源依存性を調べたところ Fig. 9 のようになった。Fig. 9 で青色の線は定格 2 A の電流源を濃い緑色、赤色、黒色はそれぞれ定格 1 A、500 mA、200 mA の電流源を示している。



**Fig. 9 線幅と RIN の電流源依存性**

Fig. 9 より定格 200 mA で線幅は 12 kHz となった。定格 2 A よりも 500 mA などの方が線幅は狭くなっており RIN の傾きも  $1/f$  に近くなっているので、実際に電流源の雑音により制限されていたということが分かった。また 500 mA と 200 mA を比較すると 200 mA の方がどちらも良くなることから、さらに雑音が少ない電流源を使うことで線幅や RIN のさらなる改善が見込まれるということが分かる。これまで使っていた光源の線幅と比べると RIN はほとんど変わらず、線幅も今までの光源が 70 kHz であったので同等以上の性能を持っているといえる。Fig. 9 はフィルター型のみ示したが、回折格子型でも同じようになりフィルター型との優位な差は見られなかった。

#### 5. まとめと展望

1.5  $\mu\text{m}$  帯のファイバー結合されているゲインチップを用いて回折格子型、フィルター型の ECLD を作製・評価した。線幅は共振器長が長い方が狭くなり、フィルター型と回折格子型で有意な差はなくどちらも従来と同等以上の性能を確認した。また線幅や RIN は電流源の雑音の影響を大きく受けていることが分かった。今後は外乱を排除しさらなる狭線幅化を図るとともに 1.5  $\mu\text{m}$ 1.03  $\mu\text{m}$  帯で強固な作りの ECLD を作製し安定か実験に組み込んで評価する予定である。