

# パラメトリック蛍光励起用半導体レーザーの作製及び性能評価

1433058 宮本研究室 館野 博直

## 1 目的

本研究の目的はパラメトリック蛍光励起用半導体レーザーとして使用するため、拡張共振器付き半導体レーザー (ECDL) を作製し、その性能を確認することである。目標とする性能は、波長 405 nm、出力 100 mW、コヒーレンス長 3mm~30mm である。また、ECDL のビームの成形を行い、そのビームスポット、パワーを確認する。

## 2 レーザーの作製

本実験では Littrow 配置の Extend Cavity Diode Laser(ECDL) を採用した。Littrow 配置とは半導体の後ろ側の反射面と反射型の回折格子によって外部共振器を構成したものである。レーザーを回折格子に入射した場合、0 次光と -1 次光に分かれる。0 次光が出力光となる。特定波長の -1 次光を半導体に返すよう回折格子の角度を調整することで、発振波長が選択され、回折格子を用いない場合に比べて狭いスペクトル幅にすることが出来る。

レーザーダイオードは日亜化学工業の NDV4B16 を使用した。回折格子は島津製作所の 2400 lines/mm を使用した。アルミ材で ECDL のマウント (回折格子用以外) を作製した。回折格子用のマウントは板バネ部分があるため、へたりが少ないベリリウム銅を使用した。

## 3 ECDL の発振の確認

レーザーダイオードに LD 電源をつなぎ、電流を流した。レーザーダイオードに流す電流 (以下 LD 電流と表記) は 30 mA とした。レーザーダイオードの閾値電流が 33 mA であるのでそれを超えないためである。回折格子を -1 次光がレーザーダイオードに戻るよう調整した。(波長選択を図 1、フィードバック操作を図 2 に示した。) 拡張共振器により、レーザー発振するとき閾値以下の電流でも発振する。発振したとき出力が大きくなる。この特徴を利用して、0 次光が強く光る (出力が最も強くなる) 角度に回折格子を固定した。(以下の方法でフィードバックの角度を発見した。出力はフォトダイオードで確認した。)

## 4 電流パワー特性

電流値と光アイソレータを通した後のパワー特性の結果を以下の図 3 に示す。光アイソレータを入れた理由は波長計に光を入射させるためのファイバーにレーザーを入れたとき、ファイバー端面から反射して、ファイバーと ECDL との間で共振器ができ、レーザーのスペクトル幅が変わってしまうのを防ぐためである。電流 40 mA 以上の電流値では電流値の変化に対してほぼ一定の割合で光アイソレータの透過光のパワーが上昇することが分かった。240 mW 前後で

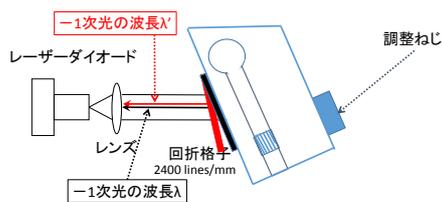


図 1: ECDL の波長選択

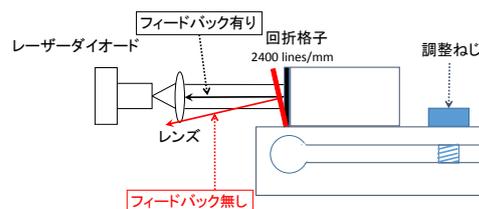


図 2: ECDL のフィードバックの操作

測定値が不連続に変化しているのはのはパワーメータの表示レンジを 100 mW から 300 mW に切り替えたとき表示する値が変わってしまったためである。グラフから目的のパワーである 100 mW 以上を得るためには 250 mA 必要であることが分かった。

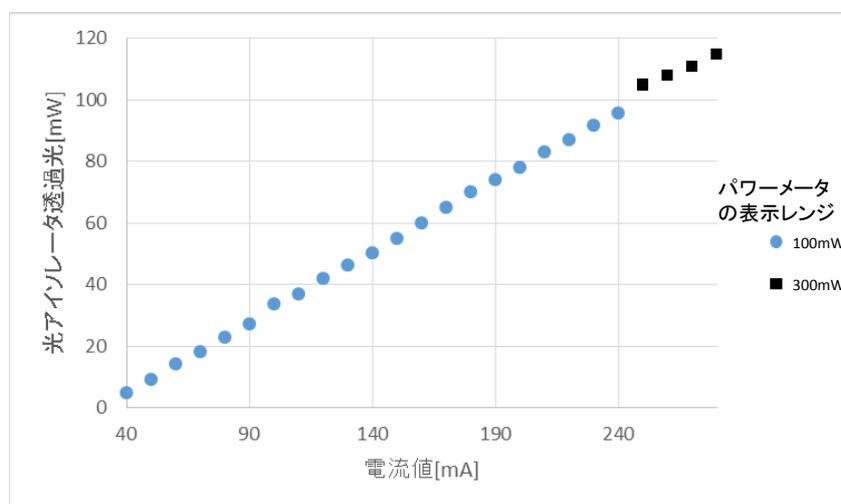


図 3: 電流-パワー特性

## 5 波長計による狭帯域化の確認

レーザーがシングルモード発振のときのみ波長の測定値が 0.001 nm の精度で得られることを利用して狭帯域化を確認することができる。測定結果を以下の表 1 に示す。温度制御なしでは電流 90 mA まで波長を測れた。その電流を超えると波長計で波長を測ることができなくなった。より直接的な原因として LD の温度が安定していないことが原因だと思われる。LD マウントとグレーティングマウントの間にペルチェ素子、LD マウントにサーミスタを取り付け、LD 電源につなぎ、温度制御を行える状態にした。LD を 20 °C に安定化させ、波長計の実験を行った。その結果、電流 280 mA まで測ることができた。

表 1: 波長計で波長の測定が可能だった最大電流 (室温 25 °C)

制御した温度	波長の測定が可能だった最大電流
温度制御なし	90mA
10 °C	220mA
20 °C	280mA

## 6 ビーム成形

ECDL のレーザーの複素振幅をビーム断面に対して一様にするため、対物レンズを通した後焦点で空間フィルターに通すことでビームの成形を行うことができる。そのための光学系の概略を図 4 に示す。

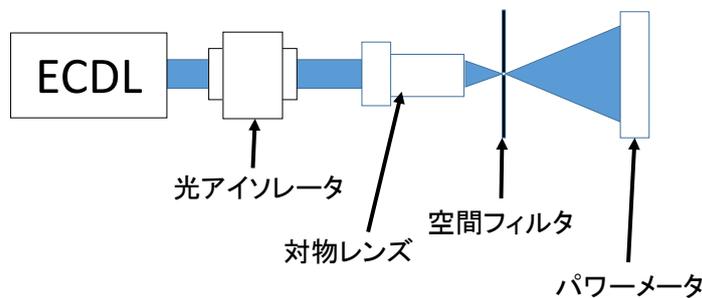


図 4: ビーム成形用光学系

焦点位置でのスポットの直径を式に示す [3]

$$d = 1.22 \frac{\lambda z}{w} \quad (1)$$

$d$ : 焦点位置でのビーム半径、 $\lambda$ : 使用レーザー波長、 $z$ : レンズの焦点距離、 $w$ : レンズの位置での平行光のビーム半径

対物レンズ (NA=0.25,  $f=16.56$  mm) を使用した。対物レンズ入射前の平行光の大きさは縦 5 mm、横 3 mm (いずれも全幅) だったので式 (3.1) に横の長さ (半幅) を代入して、 $d = 5.5 \times 10^{-6}$  m と求められた。よって焦点位置での横の長さは  $11 \times 10^{-6}$  m となる。縦の長さはそれよりも短くなるのが予想されるので、まずは空間フィルターの穴の直径は  $10 \times 10^{-6}$  m のものを使用してみたことにした。表 2 のエアリーパターンの成形については以下に示す。

- ○ は焦点部分に空間フィルターを置いた状態でエアリーパターンが形成された。
- △ は焦点部分に空間フィルターを置くと縦に長い楕円型のスポットを形成し、その状態から対物レンズを動かすとエアリーパターンが形成された。(中心のスポットも大きかった。)

表 2: ビーム成形後の最大パワーとエアリーパターン

空間フィルタの穴の直径	空間フィルターを通した後の最大パワー	エアリーパターンの成形
10 $\mu\text{m}$	23 mW	○
15 $\mu\text{m}$	60mW	△
20 $\mu\text{m}$	66mW	×
25 $\mu\text{m}$	88mW	×

- ×は焦点部分に空間フィルターを置くと縦に長い楕円型のスポットを形成し、その状態から対物レンズを動かすとエアリーパターンが形成された。(しかし、中心のスポットが小さかった。)

15 $\mu\text{m}$  の空間フィルタを用いて行ったところ最も強度の高い部分が中心よりも下にあるので強度が高い部分を中心に移動させる。また、空間フィルタの穴の直径を 10 $\mu\text{m}$  のものに戻し、再度調整を行った。穴の直径 10 $\mu\text{m}$  の空間フィルタを用いてビーム成形を行った後の出力は 23 m W しか出ていないため、再度調整を行う必要がある。



図 5: ビーム成形後のビームスポット。左の図は空間フィルタ径 15 $\mu\text{m}$ 、ND フィルタ (透過率 1%, 5%, 10%)、右の図は空間フィルタ径 10 $\mu\text{m}$ 、ND フィルタ (1%, 10%, 25%)

## 7 干渉計による波長スペクトル幅の測定

ビーム成形後の光のコヒーレンス長を確認するため、マイケルソン干渉計を組み、干渉縞の確認を行った。組み立てた概形を図 6 に示す。

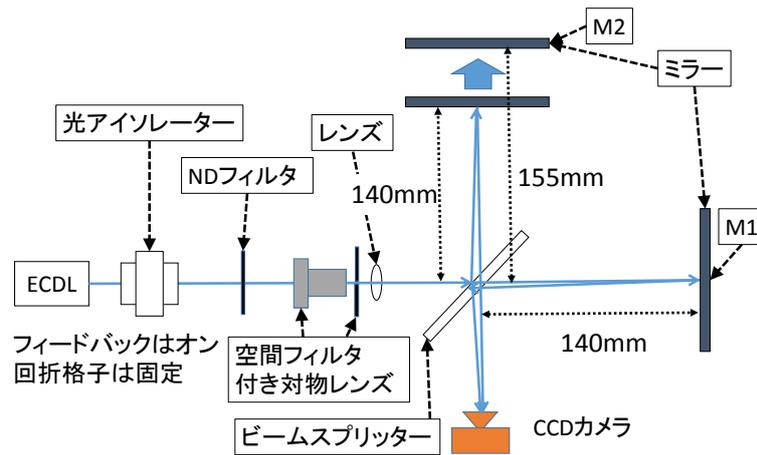


図 6: 干渉計の計測のアライメント

マイケルソン干渉計の一つのミラーを動かしたところ、一定の周期 (光路長 6 mm) で干渉縞が明瞭になったり不明瞭になったりした。干渉縞が明瞭になった区間は最大で 0.64 mm であり、目標とするコヒーレンス長 3~30mm に満たなかった。

表 3: ミラーの移動による光路長の変化と干渉縞の変化

干渉縞が明瞭になった時の ミラーの位置 (光路長換算)[mm]	干渉縞が不明瞭になった時の ミラーの位置 (光路長換算)[mm]	その間隔 [mm]
3.98	4.58	0.60
9.78	10.30	0.52
15.54	16.02	0.48
21.12	21.76	0.64

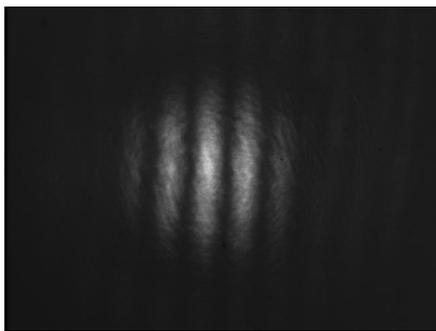


図 7: 光路長差 10.06mm での強度分布

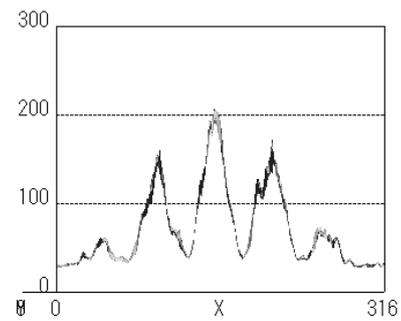


図 8: 光路長差 10.06mm での断面図

## 8 まとめ

Littrow 配置の拡張共振器付き半導体レーザーを作成し、性能評価を行った。波長 405 nm、出力 100 mW を達成したがコヒーレンス長 3 mm~30 mm は得られなかった。ビーム成形後の出力は 23 mW であった。

今後の課題として、ビーム成形後の出力は 50mW 以上、コヒーレンス長は 30 mm 以上の性能を目標とする。

## 参考文献

- [1] Yosuke Shimada, Yuko Chida, Nozomi Ohtsubo, Takatoshi Aoki, Makoto Takeuchi et al.”A simplified 461-nm laser system using blue laser diodes and a hollow cathode lamp for laser cooling of Sr”Rev. Sci. Instrum. **84**, 063101 (2013)
- [2] C. J. Hawthorn, K. P. Weber, and R. E. Scholten ”Littrow configuration tunable external cavity diode laser with fixed direction output beam”Rev. Sci. Instrum.**72**,4477(2001)
- [3] Joseph W. Goodman ”Introduction to Fourier Optics” 出版社 : Mcgraw Hill Book Co Ltd ; 出版年 : 2000 年