

コヒーレントビーム結合を用いた，緑色半導体レーザーシステムの開発

西岡研究室 永嶋圭佑

2024年3月8日

1 研究の背景・目的

半導体レーザーダイオード (Laser Diode: 以下, LD) はレーザープロジェクタやレーザーディスプレイなど，すでに家電などに応用されている。LD は電気-光変換効率が 50% 以上と高く，小型・軽量・安価である優れたレーザー光源である。[1]LD には横シングルモード LD と横マルチモード LD の 2 種類がある。それぞれの内部構造を図 1 に示す。

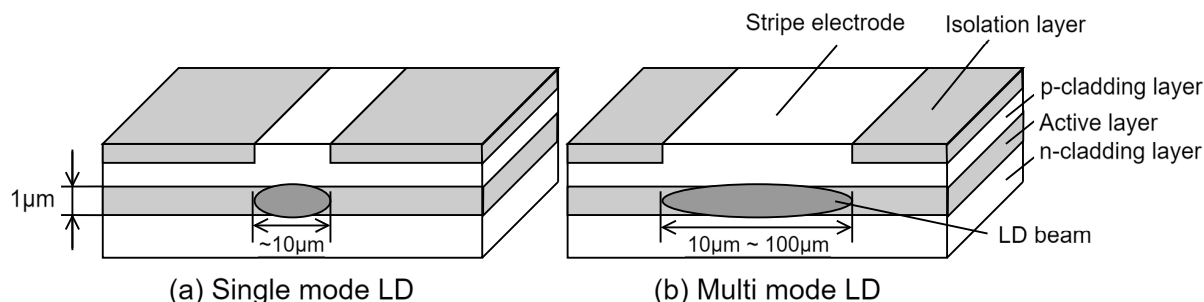


図 1 LD の内部構造

LD の大まかな構造は n クラッド層，活性層，p クラッド層の 3 層構造である。活性層でレーザー発振を起こし，側面からレーザービームを放出する。レーザー発振を起こすには，バンド間遷移と，光の閉じ込めを行う必要がある。活性層でバンドギャップを作り電流が流れるとバンド間遷移が起きる。また，活性層は化合物半導体で作られるが，その屈折率は化合物 Al の含有量が大いほど低くなる。つまり，屈折率は高/低/高で層間に差があり，全反射によって光を閉じ込める。図 1.1 は左側が横シングルモード LD，右側が横マルチモード LD である。両者の違いはストライプ電極の幅である。LD はストライプ電極から電流が流れるが，この幅が広いほど活性層の広い部分で誘導放出が起きるため，高出力となる。しかし，活性層の幅も広くなるため，横マルチモードとなる。[2][3]したがって，LD は高出力化すると，横マルチモードで発振する。

本研究では，複数の緑色 LD をコヒーレントビーム結合する，横シングルモードかつ数十 W の高出力レーザーを目的として，狭帯域波長可変レーザーと主増幅器による MOPA (Master oscillator and Power Amplifier: 以下, MOPA) システムを開発する。ビーム結合にはフォトリフラクティブ効果を用いた受動ビーム結合を用いる。

2 原理

コヒーレントビーム結合のために、図2の構成を検討する。

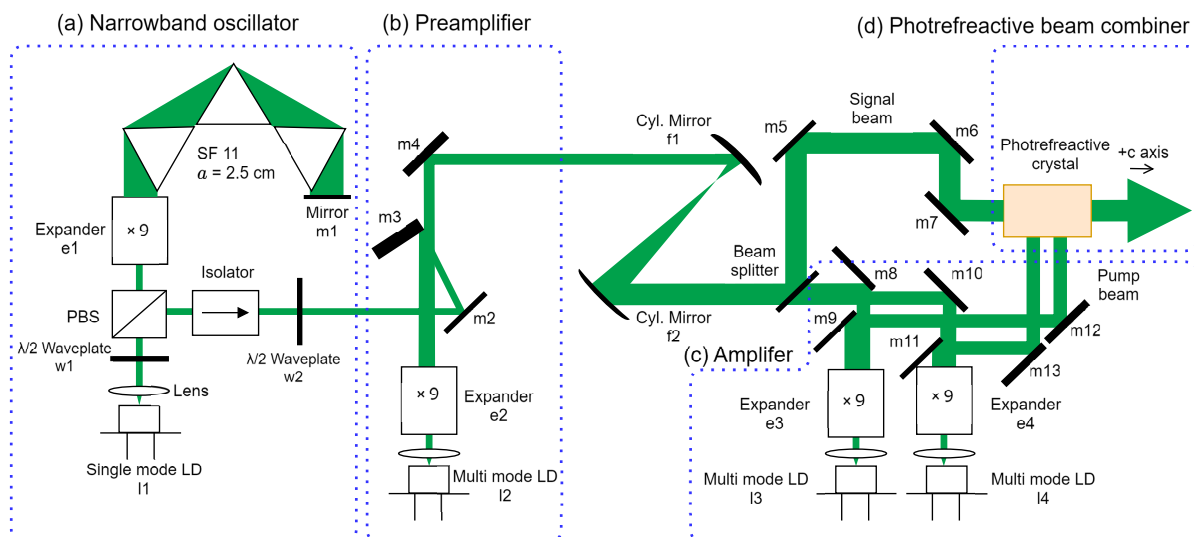


図2 コヒーレントビーム結合による単一横モード緑色レーザー光発生システム

システムは以下の構成から成る。

- (a) 狭帯域波長可変レーザー (Narrowband oscillator)
- (b) 前置増幅器 (Preamplifier)
- (c) 多ビーム主増幅器 (Amplifier)
- (d) フォトリフラクティブビーム結合システム (Photorefractive beam combiner)

フォトリフラクティブ結晶内で干渉を起こすためには、十分なコヒーレンス長を確保する必要がある。[4] 狭帯域波長可変レーザーで横モードがシングルかつ狭帯域な光を作る。前置増幅器は、後段でシグナル光と励起光に分ける際に、パワーがそれぞれ小さくなるため、等しい波長で増幅する。多ビーム主増幅器で同じ波長の励起光を作り、最後にフォトリフラクティブビーム結合システムでシグナル光と励起光を干渉させてビーム結合する。

狭帯域波長可変レーザーは、横シングルモード LD に外部共振器を取り付け波長を狭帯域化する。LD の出射光を 3 つのプリズムに通しミラーで反射させて LD に戻す。プリズムはプリユースター角で配置し、p 偏向のみ入射することで、損失を減らした。

前置増幅器は、線幅と波長を等しいまま増幅する。光を横マルチモード LD の活性層に注入し、内部で反射させて戻す。注入された光が種になって発振するため、同じ波長で増幅することができる。

多ビーム主増幅器は、狭帯域化された光をビームスプリッターで分割し、前置増幅器と同じ方法で増幅して励起光を作る。また、シグナル光と励起光に分岐させるが、分岐点から結晶内で干渉するまでの光路長を等しくする必要がある。

3 実験の方法

狭帯域波長可変レーザーの波長可変特性を I_{single} とミラー m_1 の角度をそれぞれ動かして測定した。ただし、横シングルモード LD の発振閾値電流である 33.5 mA と、100 mA、190 mA で、それぞれ測定した。得られた波長可変特性を図 3 に示す。

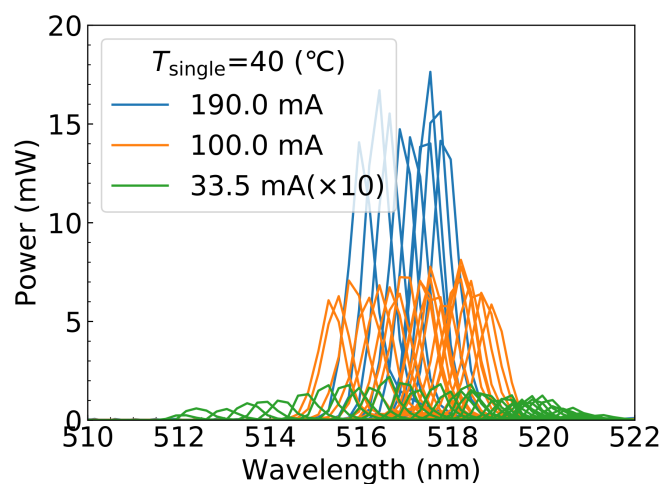


図 3 狭帯域波長可変レーザーの波長可変特性

電流を上げるほどパワーは大きくなるが、波長可変範囲が狭まることがわかった。波長は 514 nm から 520 nm まで動かせることがわかった。

また、FSR = 50 GHz のエタロンを用いて、狭帯域波長可変レーザーの線幅を測定した。得られた結果を図 4 に示す。

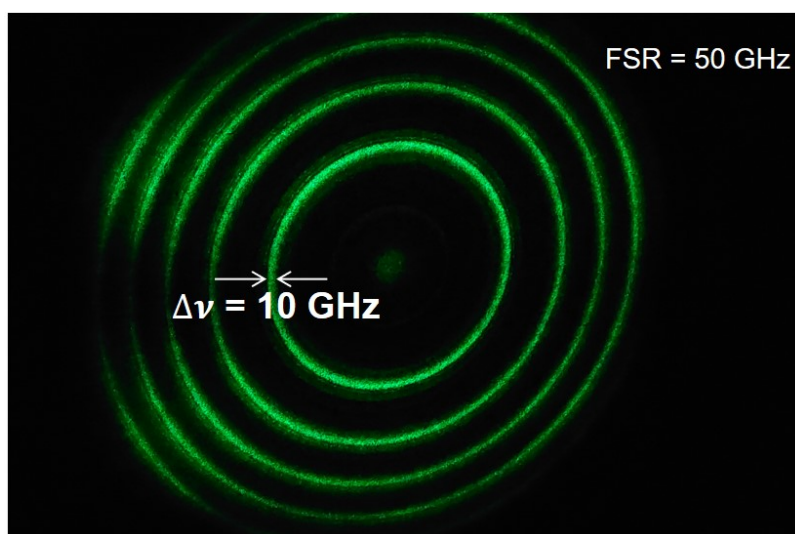


図 4 狭帯域波長可変特性レーザーの線幅

図4より線幅は10 GHzまで狭線幅化できていることがわかる。これより、コヒーレンス長は3 cm程度であることがわかった。

次に、狭帯域波長可変レーザーの出射光を前置増幅器で増幅して、利得を測定した。得られた結果を図5に示す。

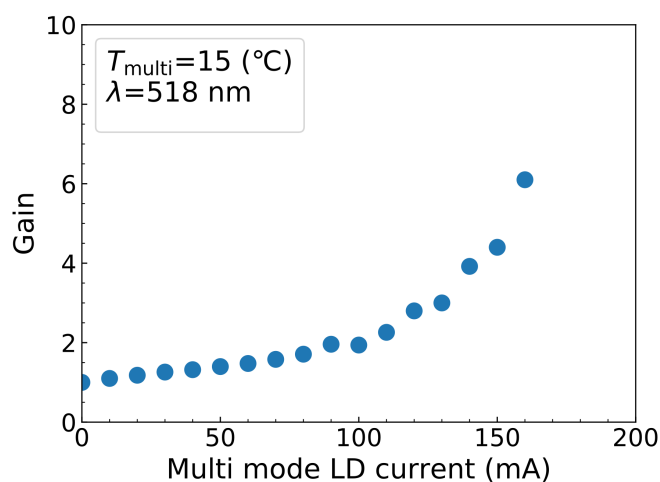


図5 横マルチモードLDの駆動電流と増幅利得の関係

図5より、 $I_{\text{multi}} = 160$ mAで、増幅利得が6.1となった。 I_{multi} が大きいほど、大きな増幅利得を得られるが、増幅器のLDの寄生発振が起きない $I_{\text{multi}} = 160$ mAまでとした。

4 結論

本研究では、複数の緑色LDをコヒーレントビーム結合する、横シングルモードかつ高出力レーザーを目的として、狭帯域波長可変レーザーと前置増幅器を開発した。LDの波長特性が温度と電流に依存していることがわかり、発振器と増幅器、それぞれのLDが波長518 nmで発振するように調整した。狭帯域波長可変レーザーの出射光を前置増幅器で増幅し、フォトリフレクティブコヒーレントビーム結合に適した狭帯域レーザー光を発生できた。

参考文献

- [1] 實野孝久, 徳村啓雨, 玉村寿, “半導体レーザービーム整形技術 - 直接加工のためのビーム整形, 現状と課題, 将来展望 -,” レーザー研究, **31**, 330-336 (2003).
- [2] 平田照二, わかる半導体レーザーの基礎と応用: レーザ・ダイオードの発光原理および諸特性とその展望 (CQ出版, 東京, 2001), 第2章.
- [3] 滝口由朗, 朝妻庸紀, 平田照二, “ブロードエリア型半導体レーザーの横モード特性,” 光学, **37**, 172-177 (2008).
- [4] 岡成海, “緑色波長におけるLiNbO₃の二光波混合利得計測,” 2023年度卒業論文.