

Pr:YLF レーザ励起用 GaN 半導体レーザーの温度制御特性

Temperature Control of GaN Diode Lasers for Pumping Pr:YLF Lasers

根本寛之(M1),渡辺洋次郎(M2)

H. Nemoto, Y.Watanabe

Abstract

To scale-up diode-pumped Pr:YLF lasers, operation condition of GaN diode-lasers is reexamined. A GaN-LD exhibits significant wavelength red-shift due to carrier separation at the quantum well and the laser pumping efficiency decreases. We try to decrease the red-shift by cooling the diode by Peltier devices

1. はじめに

一般的な固体レーザー材料は近赤外域に発光遷移を持つものに対して Pr³⁺イオンは 可視域に多数の発光遷移が存在する。過去において Pr³⁺ドープレーザー材料は Ar イオンレーザー励起[1]により実現されたが、青色域でレーザー発振する GaN 系半導体レーザー (GaN-LD)が開発されたことにより再度研究が行われてきている。

現在までに GaN-LD 励起 Pr:YLF 固体レーザーにおいて赤色、橙色、緑色の CW 発振、赤色、橙色の AO-Q-switch 発振[2], 共振器内 CW-SHG による紫外線発振[2]等が報告されている。次の段階を考えると必然的に、緑色での AO Q-switching, パルス SHG 変換, passive-Q-switching, モード同期発振等の高い共振器内光強度を用いた非線形効果を利用した動作の開発が期待される。しかしながら、現在市販 GaN-LD の定格は最大 1 W であり励起光強度が十分ではない。さらに量子井戸構造における電荷分離による半導体レーザーの中心波長の長波長シフトにより、吸収線幅があまり広くない結晶母材では、励起出力を最大限利用できていないのが現状である。そこで我々は、現有する GaN-LD の動作特性を詳しく調べた。GaN-LD の出力を最大限に利用するために冷却機構を製作し、冷却時の性能を詳しく調査し、緑色での Q-switching, SHG 発振、Passive Q-switching、モード同期発振の実験への準備を行った。

2. 励起ビーム径の測定

最初に共振器内 Pr:YLF 結晶中の GaN-LD のビーム径を測定し、私たちの計算結果との比較を行った。

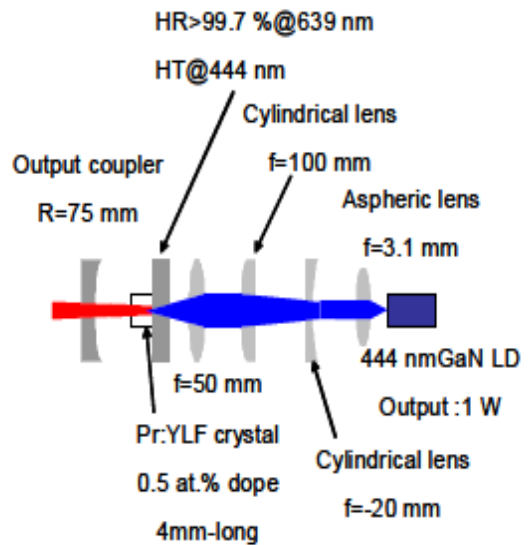


Fig. 1 Experimenta setup of a red CW Pr:YLF laser.

実験系は Fig.1 に示す中心波長 444nm の GaN-LD、非球面コーリーメートレンズ、シリンダリカルレンズ対、集光レンズ、長さ 4 mm の Pr:YLF 結晶 2 枚の共振器ミラーで構成される。赤色 CW 発振レーザー共振器を組み、最大強度で発振するように調整後、共振器部分を外し、CCD カメラを設置して励起レーザープロファイルを測定した。結果を Fig.2 に示す。この結果から、垂直方向のビーム径はビーム広がり角の定格値を用いて理論計算と良く一致しているが平行方向はあまり一致してなく、さらにビームの広がり対称でないことが分かる。この計測結果から、GaN-LD の実効広がり角を補正して光学系設計を行う必要があることがわかった。

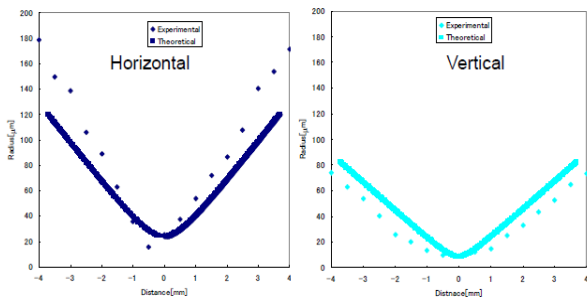


Fig. 2 Measured pumping beam profiles compared with the theoretical prediction obtained by the rated beam divergence of GaN-LD.

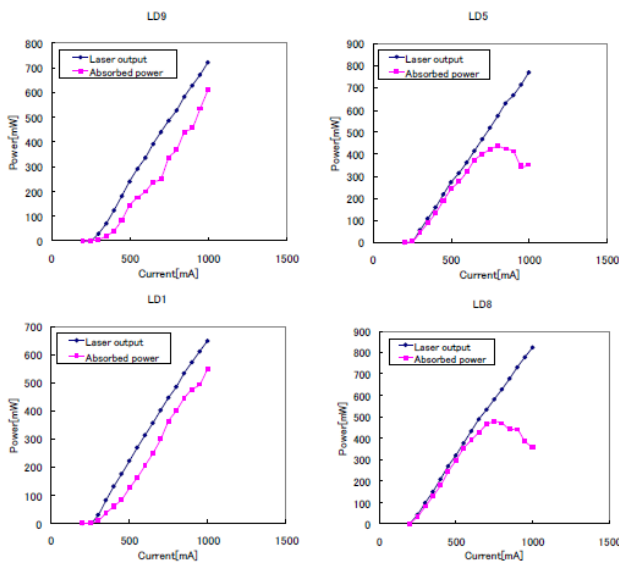


Fig. 3 Output power of four GaN-LDs and absorbed power by 4-mm Pr:YLF crystal as a function of current.

3. 電流-出力、吸収パワー特性の測定

Fig. 3 に GaN-LD の電流-出力特性と 4-mm 長 Pr:YLF の吸収パワー特性の測定結果を示す。番号は LD を区別するために便宜上つけられた物である。LD1,9 は出力が増加するごとに、吸収パワーも増加するが、しかし LD5,6 は出力が 700mW を超えるあたりで吸収パワーが減少に転じている。これは青色 LD のキャリア注入による中心波長シフトにより Pr:YLF の吸収スペクトルピーク (Fig. 4)444nm から大幅にずれるからである。

4. 出力-波長特性の測定

Fig. 5 に GaN-LD の出力-波長特性の測定結果を示

す。どの LD も基本的に出力が増加するごとに中心波長が長波長にシフトすることが分かる。波長シフトが連続的ではないのは、共振器モードジャンプが起きるためである。

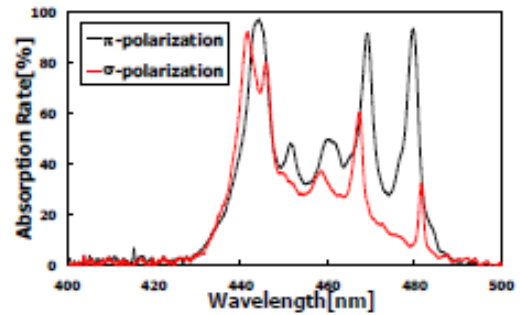


Fig. 4 Absorption spectra of Pr:YLF crystal around 450nm at room temperature for π and σ polarizations.

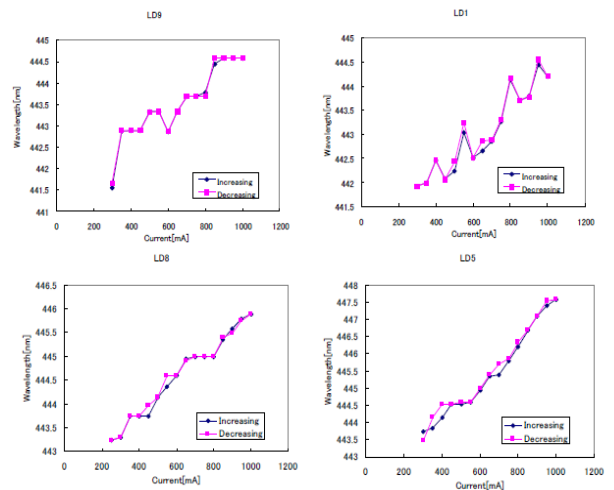


Fig. 5 Laser wavelength shift of the GaN-LDs as a function of current.

5. LD の冷却機構

制作した LD の冷却機構を Fig. 6 に示す。冷却には、フェローテック社製の最大吸熱量 6.9W の穴あきペルチェ素子 9506/023/040B を使用している。LD の発熱量は最大 4W と見積もれるのでこのペルチェ素子で充分 LD を冷却できる。ペルチェ素子の熱はヒートシンクと空冷により逃がしている。ヒートシンクは H40×100×100mm の大きさの物を使用している。

構造としては LD を銅製の LD ホルダーで固定し、そのホルダーにペルチェ素子密着させて LD の熱を逃がす構造になっている。LD の電気的な接続はヒ

ートシンクに開けた穴とペルチェ素子の穴を通して行っている。また、ペルチェ素子とホルダーとヒートシンクの間はシリコングリスを塗ることにより熱伝導率を上げている。

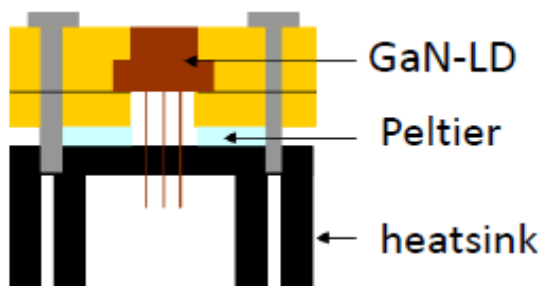


Fig. 6 Cooling structure of GaN-LDs.

6. LD の冷却効果

LD のペルチェ冷却有無での温度変化は Fig. 7 に示す。ペルチェ素子には 4A の電流を流している。最大で 20 度程度温度が下がっている。

Fig. 8, 9 に LD の冷却時の波長、出力特性を示す。波長は冷却の効果により最大で 2 nm ほど減少しており、電流 1A 時に励起に最適な発振波長 444nm に近づいているが、励起効率の高い 444nm には達することはできなかった。GaN-LD の波長温度依存性は 0.053 nm/k、光出力依存性は 0.016nm/mW であり[3]、実験結果ともほぼ一致している。出力は、冷却の効果により電流 1 A 時に 120 mW ほど増加している。Fig. 10 は冷却による、吸収パワーの改善を示している。冷却をしない場合は途中で吸収パワーは減少しているが、冷却時には吸収パワーは減少せずに単調増加している。そのため、冷却をしていない場合にくらべると 320mW ほど増加しており、大きな改善が見られた。Fig. 1 の実験装置の場合、赤色 CW 発振では 140mW ほどの出力の増加が見込まれる。

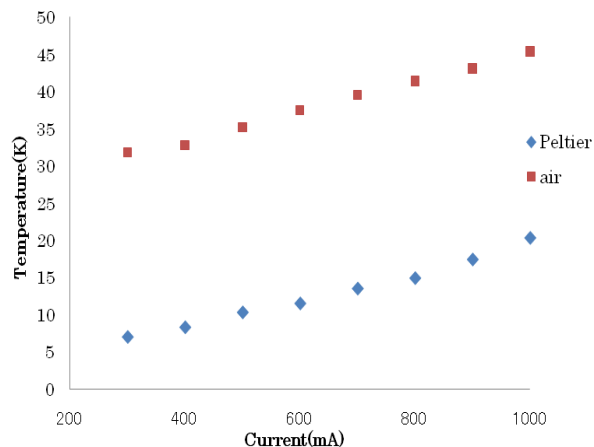


Fig. 7 Operation temperature of GaN-LD with and without external cooling as a function of injection current.

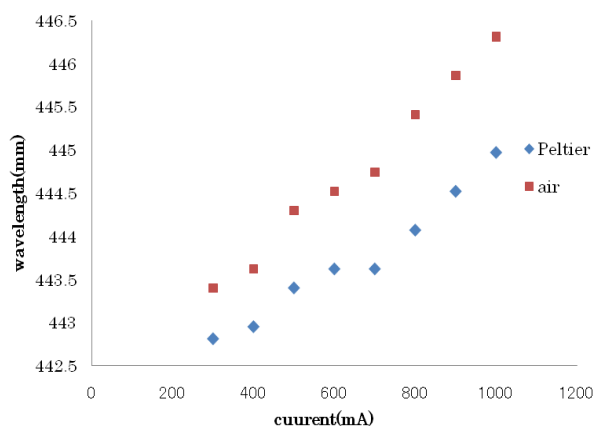


Fig. 8 Wavelength of GaN-LD with and without external cooling as a function of injection current.

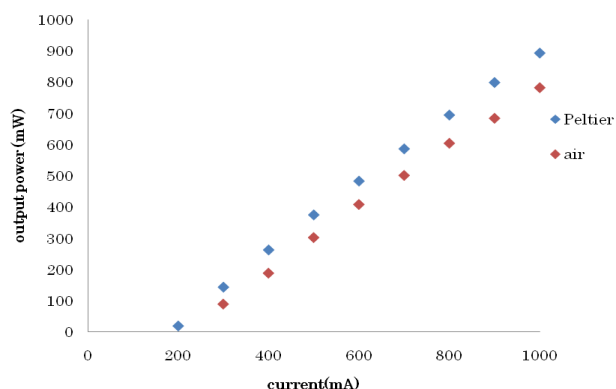


Fig. 9 Output power of GaN-LD with and without external cooling as a function of injection current.

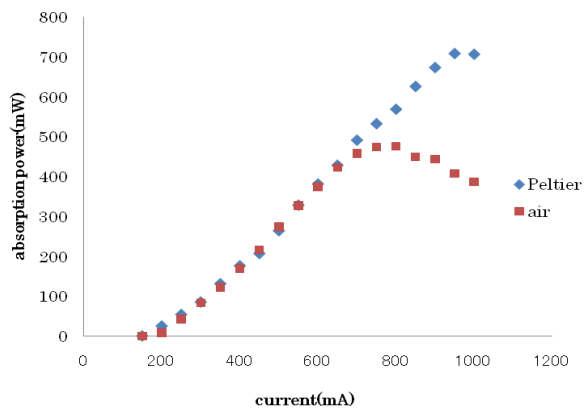


Fig. 10 Absorbed pump laser power with and without external cooling as a function of injection current.

7. まとめ

青色 LD の特性を調査することにより、励起ビーム径と波長シフトによる吸収パワーに問題が生じていることが発覚した。励起ビーム径は、実測された M2 値を用いて整形する必要があり、吸収パワーの問題はペルチェ素子による冷却機構により、一応の改善ができた。より吸収パワーを増加させるためには水冷等でより強力に冷却するか、1W 動作で許容波長で発振する LD を用意する必要がある。

References

- [1] H.Taniguchi et al, AppL.Phys.Lett. **1**,2421(1995).
- [2] 児嶋洋典 慶應義塾大学工学部卒業論文 (2009).
- [3] 小野正明 東芝レビュー**60**, 9 (2005).