

# 高出力 GaN ダイオード励起 Pr:LiYF<sub>4</sub> 赤色レーザー

## High Power GaN Diode Laser Pumped Pr:LiYF<sub>4</sub> Red laser

上村敏広(B4), 橋本浩平(D3)

T. Kamimura and K. Hashimoto

### Abstract

A CW Pr:LiYF<sub>4</sub> laser at 639nm pumped by two high power GaN laser diodes (441nm and 444nm) was demonstrated. The highest power of 213mW was achieved with the optical-optical conversion efficiency of 24.1% for the total incident power of 882mW.

### 1 はじめに

可視光レーザーは画像表示, 銀塩写真のプリント, バイオイメージング, 医療といった様々な分野において注目を集めている。中でも, 近年特に注目を集めているのがディスプレイやプロジェクターといった画像表示システムへの応用である。レーザー光は単色性, 集光性が非常に高いため, 色再現性が良く高解像度な画像表示を実現することができる。現在, 大手電機メーカー数社からレーザー光を光源とするプロジェクションディスプレイの試作器が発表されているが, 熱負荷環境および製造コストの解決が必要であり, 単純な装置構成で熱負荷に強く, 高効率で安価な RGB レーザー光源の開発が待ち望まれている。青色 (~460 nm) の領域では, 445nm で 500mW の GaN 系半導体レーザーによってシングルチップで実現されているが, 高出力な緑色 (~532 nm) 及び赤色 (~635 nm) 光源を半導体レーザーで直接実現するのは難しい。それらにかわる光源として半導体レーザー励起固体レーザーが候補に挙がるが, 可視光を発生するには近赤外半導体レーザーの 2 倍波発生[1]もしくは多段励起[2]が必要となり, 効率的にはあまり良くない。

3 価のプラセオジウムイオン(Pr<sup>3+</sup>)をドープした材料は青, 緑, オレンジ, 赤といった可視光域において直接レーザー発振可能であり, 440nm 帯に吸収スペクトルを持つため, GaN 系半導体レーザーでの励起が可能であり, 高効率化が期待できる。

我々は, 波長 440 nm の GaN 系半導体レーザーが高

出力化可能であるならば, Pr<sup>3+</sup>ドープ固体レーザーを直接励起することで単純な装置構成でかつ高い電気-赤色光変換効率で 635 nm 帯のディスプレイに適した赤色レーザーを実現できるであろうと考え研究を行っている[3]。

本研究においては, Pr:LiYF<sub>4</sub> 結晶が,  $\pi$  偏光において 444nm 付近,  $\sigma$  偏光において 442nm 付近で吸収のピークを持つことに着目し, 高出力化を目指して, 励起用の GaN 系半導体レーザーを 2 台用意し, PBS で励起光を重ね合わせることで得た 639nm 赤色レーザー発振特性を報告する。

### 2 実験

本研究では, 長さ 4mm, Pr<sup>3+</sup>を 0.5at.%ドープした LiYF<sub>4</sub> 結晶を用いた。この結晶は c 軸と平行にカットされており, 入射面には 444nm 高透過, 570~660nm 高反射のダイクロイックコート, その反対側には AR コートを施してある。実験では, 日亜化学製の最大出力 500mW の 441nm および 444nm の GaN 系半導体レーザーを使用した。これらの半導体レーザー水平方向および垂直方向への広がり角は 441nm の LD は 16.1°, 38.0°, 444nm の LD は 11.0°, 37.2° である。441nmLD の励起電源には, Newport 社製の 505B, 444nmLD の励起電源には旭データシステム社製の ALP-7033CA を使用した。吸収スペクトルの測定には, 日立 U-2000 ダブルビーム分光光度計を用いて測定した。

レーザー発振実験では, Fig.1 に示すように, それぞれの半導体レーザー光を非球面レンズによって平行光線にしてから, PBS を用いて重ね合わせた。その励起光を, 焦点距離 50mm の片凸レンズで Pr:LiYF<sub>4</sub> 結晶内に集光した。ここで, 出力鏡には反射率 96%, 曲率半径 75mm のものを使用した。実験は, まず 444nmLD のみを使用して, レーザー出力が最大になるようにアライメントを行った後, XYZ ステージ上に載せた

441nmLD の位置を調整して、その励起光がもう一方のものと同重なるようにした。

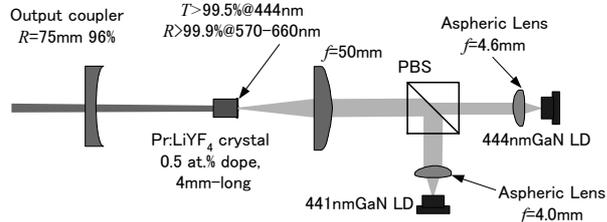


Fig.1: Experimental setup of Pr:LiYF<sub>4</sub> laser pumped by two laser diodes.

### 3 実験結果

Fig.2 は、400~500nm における  $\pi$  偏光および  $\sigma$  偏光の吸収スペクトルである。  $\pi$  偏光においては 444nm 付近、  $\sigma$  偏光においては 441nm 付近で吸収のピークが観測された。 これより、440nm 帯の GaN 系半導体レーザーから出た励起光の偏光方向を互いに垂直にして PBS で重ね合わせて結晶を励起できる。

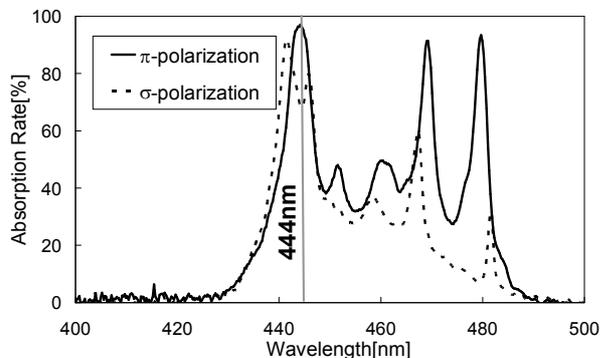


Fig.2:  $\pi$  and  $\sigma$ -polarized absorption spectra of 10 mm-long Pr<sup>3+</sup> 0.5 at.% doped LiYF<sub>4</sub> crystal around 450 nm at room temperature.

Fig.2 に 1 台の LD による  $\pi$  偏光および  $\sigma$  偏光励起における、吸収パワーに対する 639nm 赤色レーザー出力特性を示す。 LD のパッケージの温度が 20°C の時、441nmLD の実際の中心波長を測定したところ、閾値付近で 441.6nm だったものが、駆動電流を 500mA に増加させると、441.8nm に変化した。同様に 444nmLD では、

閾値付近で 444.4nm だったものが、駆動電流が 500mA になると 444.7nm まで変化した。 444nm  $\pi$  偏光, 444nm  $\sigma$  偏光, 441nm  $\pi$  偏光, 441nm  $\sigma$  偏光での励起における発振閾値は、それぞれ 62mW, 98mW, 214mW, 141mW であった。また、最大出力は 119mW, 46mW, 31mW, 82mW であった。この結果から、この 2 台の LD においては、444nm  $\pi$  偏光励起と 441nm  $\sigma$  偏光励起の組み合わせが最適であるということを確認した。

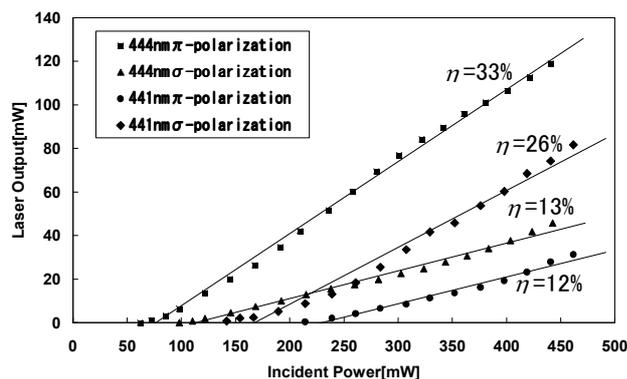


Fig.3: Output power at 639 nm as a function of incident power for various pumping wavelength and polarization with a 96% output coupler.

Table 1 に単独 LD 励起と 2 台の LD による重畳励起した時のレーザー発振特性を示した。 2 台の LD による重畳励起を行った時、最大出力が 213mW、この時の入射パワーに対する光-光変換効率は 24.1% となった。この最大出力は 444nm, 441nm 単独励起における最大出力の合計を上回っており、重畳励起によるさらなる高出力化に成功した。また、光-光変換効率も 444nm 単一  $\pi$  偏光励起には及ばないものの、高い値を得ることができた。

### 4 結論

本研究では、Pr:LiYF<sub>4</sub> 結晶は 440nm 帯において  $\pi$  偏光と  $\sigma$  偏光両方で高い吸収特性を持つことを着目し、444nm および 441nm の波長を持つ 2 台の GaN 系半導体レーザーを励起源として赤色 Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの発振を行い、最大 213mW、光-光変換効率で 24.1% という高効率なレーザー出力を得た。

Table1: Comparison of 639nm laser characteristics of single laser diode pumping and combined pumping

	444nm LD pump		441nm LD pump		p-polarized 444nm and s-polarized 441nm combined pump
	$\pi$ -polarization	$\sigma$ -polarization	$\pi$ -polarization	$\sigma$ -polarization	
Maximum Input Power[mW]	441	443	462	462	882
Maximum Absorbed Power[mW]	388	223	214	338	674
Absorption Rate[%]	88	50	46	73	76
Maximum Output Power[mW]	119	46	31	82	213
Threshold[mW]	62	98	214	141	—
Slope efficiency[%]	33	13	12	26	—
optical-optical conversion efficiency[%]	27	10.3	6.8	17.7	24.1

## References

- [1] X. P. Hu, X. Wang, Z. Yan, H. X. Li, J. L. He and S. N. Zhu, Appl. Phys. B **86**, 265 (2007)
- [2] P. W. Binum, T. L. Boyd, M. A. Pessot, Opt. Lett. **21**, 34(1996)
- [3] K. Hashimoto and F. Kannari, Opt. Lett. **32**, 2493 (2007)