

長尺 Pr:YLF 結晶を用いた赤色レーザの高出力 cw/Q スイッチ発振

High Power red cw/Q-switch laser by using a long Pr:YLF crystal

清田 恭章(B3), 田中 裕樹(D1), 狩山 了介(M2), 飯島 功大(M1)

Yasuaki Kiyota, Hiroki Tanaka, Ryosuke Kariyama, Kodai Iijima

Abstract

A 1.2-cm-long Pr³⁺ doped LiYF₄ (YLF) crystal is used as a laser gain medium to increase the pumping efficiency of InGaN diode laser. We report the experimental results of cw and passive Q-switch red (639 nm) laser. We also achieve higher output powers than ever both in cw and Q-switch operations.

1. はじめに

三価のプラセオジウムイオンは、シアンから深赤にかけて多数の発光遷移を持つレーザ利得媒質として知られている。また、吸収のピークは青波長域に存在し、近年高出力化が進む青色 LD による高効率な励起が可能である。これまでにプラセオジウムイオンをレーザ利得媒質として用いた固体レーザに関する研究は、母材として LiYF₄(YLF)を採用した Pr:YLF 結晶で多く行われてきた。Pr:YLF をレーザ媒質として用いた室温での LD 励起のレーザ発振は、緑、オレンジ、赤、深赤で達成されている^[1]。我々はこれまでに、4 台の高出力青色 LD(各 3.5W) を励起光源に用いることで Pr:YLF 可視レーザの高出力化を行った^[2]。従来の高出力化に関する研究ではアイソレータを用いずに共振器両端からの強励起を可能にするため、2 個の Pr:YLF 結晶を配置した Z 型共振器を使用していた。しかし当該共振器は比較的大きな回折損失を有しており、また可飽和吸収体を挿入するための集光点において非点収差が生じるため、改善すべき点があった。

そこで本研究では、十分な励起吸収を持つ長尺の Pr:YLF 結晶と非対称な励起光学系を用いることにより、ファラデーアイソレータを用いずに共振器両端からの合計 4 台の LD による強励起を低

回折損失でかつ集光点における非点収差のない V 字共振器において可能にした。

ここでは、赤波長域(639 nm)における cw 発振動作と同波長域における可飽和吸収体として Cr:YAG を用いた受動 Q スイッチ発振動作について報告する。

2. 実験セットアップ

赤波長域での cw 発振実験

実験セットアップ図を Fig.1 に示す。今回用いた Pr:YLF 結晶は AC material 社製 1.2 cm 長(0.5 at.%)で、入射平面ミラーに近接して設置されている。励起光源は、最大出力 3.5 W の 日亜化学社製 InGaN 青色 LD である。各 LD の発振波長は空冷ペルチェを用いることで Pr:YLF の吸収ピークに近い 444 nm 及び 442 nm に調整した。ビーム品質を示す M² は 1.50(fast axis) x 13.0(slow axis)となっている。各 LD からの励起光は、コリメートレンズによってコリメートされる。その後 f=100 mm と -20 mm のシリンドリカルレンズペアをよりビーム径を拡張され、偏光ビームスプリッターを介して偏光重畳された後、それぞれ f=100 mm, 150 mm のレンズによって Pr:YLF 結晶端面から 3 mm 及び 8 mm の点に集光する。この非対称な励起集光光学系を用いることにより、共振器を介した反対側の LD に到達する透過光の単位面積あたりのパワーを低減し、LD の破損を防ぐことが可能になる。

共振器を構成するミラーは入射平面鏡(HR@640 nm, HT@440 nm), 入射凹面鏡(HR@640 nm,

HT@440 nm, ROC=100 mm), 出力平面鏡 (T=10 %@640 nm)の三枚となっている.

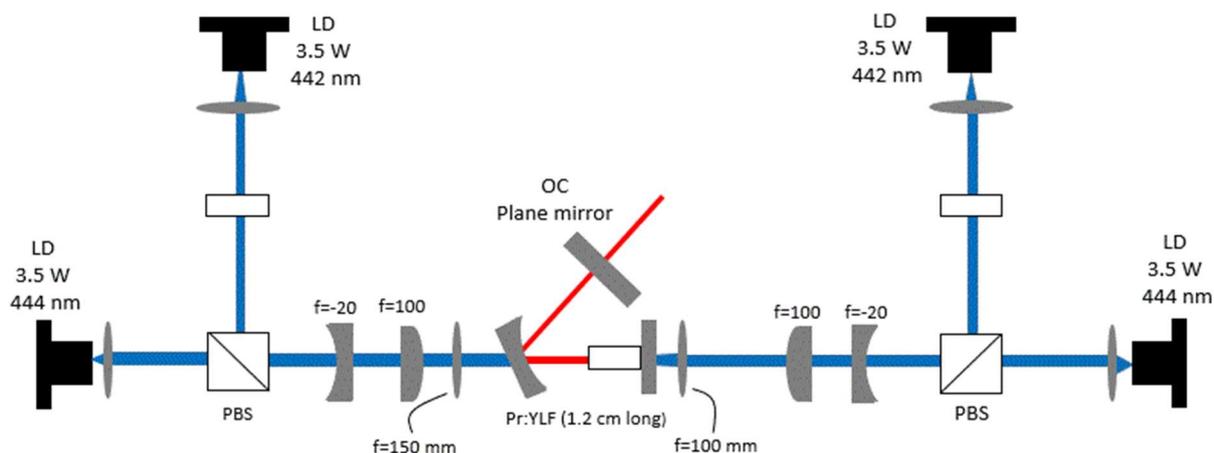


Fig.1 Experimental Setup of cw operation

赤波長域での受動 Q スイッチ発振実験

本実験は Fig. 1 に示す cw 発振実験の実験セットアップでの OC における集光点に赤波長域での可飽和吸収体として Cr:YAG を挿入することにより行った. このとき用いた Cr:YAG 結晶は厚さ 2.4 mm と 1.3 mm の non-coat 結晶 (Scientific material Inc.社製)の 2 種類である. 共振器モード計算から推定された Cr:YAG 挿入位置での共振器内ビーム径は $90 \mu\text{m} \times 70 \mu\text{m}$ である.

3. 実験結果

赤波長域での cw 発振実験

赤波長域での cw 発振実験結果について報告する. 最大励起吸収パワーは 10 W となり, これは吸収効率 83 %に相当する値である.

cw 発振動作特性を Fig. 2 に示す.

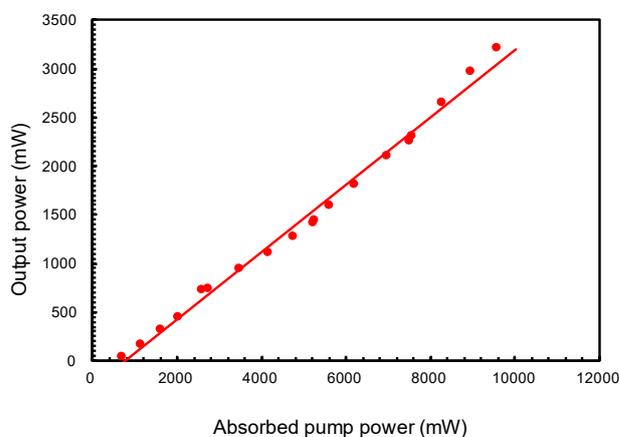


Fig. 2 Experimental result of cw operation

最大励起吸収時における出力は 3.5 W で, 発振閾値は 0.75 W, スロープ効率は 35 %となっている. 昨年の高出力化に向けた研究で到達した最大出力は 2.93 W であったので, 単純な最大出力パワーの増大は達成することができたが, その時のスロープ効率は 41 %であったので, レーザとしての性能

は低下してしまっただけで、その原因としては、共振器内部に何らかの損失が存在していることが考えられるが、我々は従来よりも長い結晶を用いたことによる結晶品質の劣化の可能性を考え、これを検証した。同様な共振器において、Pr:YLF 結晶を 1.2 mm のものから 5 mm のものに変更し、2 台励起時におけるスロープ効率を取得したところ 43 % のスロープ効率を得られ、結晶の品質劣化による共振器内部損失の増大が示唆される結果が得られた。

赤波長域での受動 Q スイッチ発振実験

赤波長域での受動 Q スイッチ発振実験結果について報告する。

2.4 mm の Cr:YAG を可飽和吸収体として用いた実験では、最大励起吸収時に平均出力 0.99 W、パルス幅 55 ns、繰り返し周波数 72 kHz の受動 Q スイッチ動作が得られた(Fig. 3(a),(b))。また、1.3 mm の Cr:YAG を用いた場合には、最大励起吸収時に平均出力 1.33 W、パルス幅 80 ns、繰り返し周波数 123kHz の高い平均出力での受動 Q スイッチ動作を得ることができた (Fig. 4(a),(b))。なお、それぞれの実験における発振閾値は 1.45 W 及び 0.985 W となっていた。

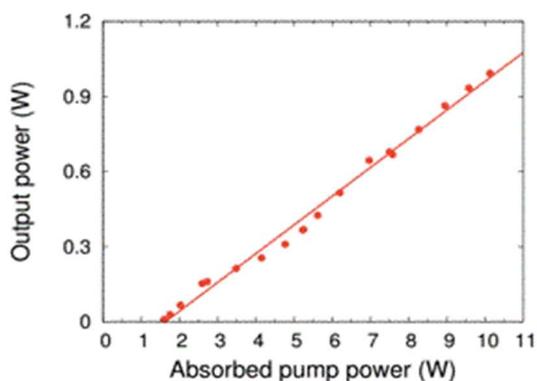


Fig.3 (a)

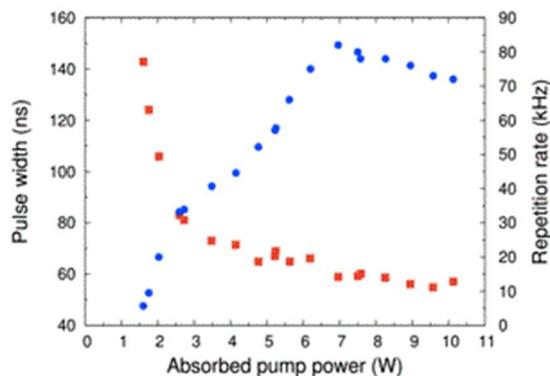


Fig.3 (b)

Fig.3 Experimental result of passive Q-switch operation with Cr:YAG(2.4 mm)
(a) Output power, (b) Pulse width

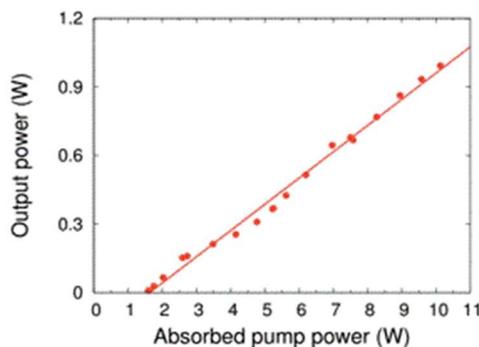


Fig.4 (a)

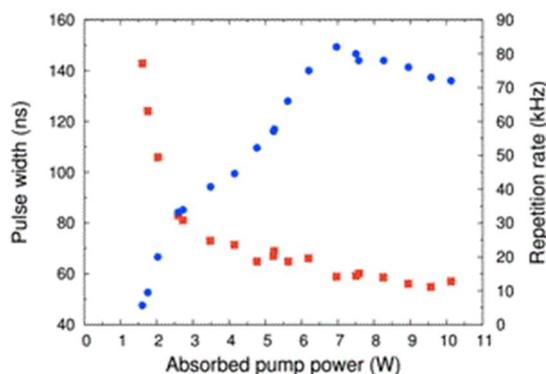


Fig.4 (b)

Fig.4 Experimental result of passive Q-switch operation with Cr:YAG(1.3 mm)
(a) Output power, (b) Pulse width

4. まとめ

大きな励起吸収率を持つ Pr:YLF 結晶と非対称な励起光学系を用いることで、共振器両端からの合計 4 台の LD による強励起を低回折損失でかつ集光点における非点収差のない V 字共振器において可能にした。最大励起吸収 10 W における cw 発振動作は最大出力 3.5 W, 発振閾値 0.75 W, スロープ効率 35 % となった。スロープ効率の低下が見受けられたが、その原因としては結晶品質の劣化に伴う共振器内部損失の増大が原因ではないかと考えられる。また、同共振器における Cr:YAG を可飽和吸収体として用いた受動 Q スイッチ実験では Cr:YAG 結晶長 2.4 mm 及び 1.3 mm においてそれぞれ最大励起吸収時において平均出力 0.99, 1.33 W, パルス幅 55, 80 ns, 繰り返し周波数 72, 123 kHz の動作特性が得られた。

References

- [1] Gün, T., Metz, P., & Huber, G. (2011). Power scaling of laser diode pumped Pr 3+: LiYF 4 cw lasers: efficient laser operation at 522.6 nm, 545.9 nm, 607.2 nm, and 639.5 nm. *Optics letters*, 36(6), 1002-1004.
- [2] Iijima, K., Kariyama, R., Tanaka, H., Hirose, K., & Kannari, F. (2015, June). Power Scaling of InGaN-Blue-LD pumped Pr 3+: YLF Laser and Passive Q-switching. In *The European Conference on Lasers and Electro-Optics* (p. CA_8_1). Optical Society of America.