

擬似 CW 半導体レーザー励起赤および橙色受動 Q スイッチ Pr:YLF レーザとその共振器内第二高調波発生

Red and orange passive Q-switched Pr:YLF lasers pumped by quasi-cw InGaN diode laser and second harmonic generation

狩山 了介 (B4), 田中裕樹 (M1)

Ryosuke Kariyama and Hiroki Tanaka

Abstract

We report the experimental results of red and orange passively Q-switched Pr:YLF lasers, and passively Q-switched intra-cavity second harmonic generation. For reducing thermal load in the laser crystal, the InGaN diode laser was operated in a quasi CW mode.

1. はじめに

Pr³⁺ドープフッ化物材料は青色から近赤外にかけて多くの発光遷移がある。また波長 440 nm 帯に強い吸収帯を持ち、InGaN 半導体レーザーの登場と高出力化により高効率な直接励起が可能となった [1]。可視域で直接発振できるレーザーは共振器内 2 倍波変換で紫外光を得ることが可能であり、従来の赤外レーザーを 2 度、3 度波長変換して実現していた Nd³⁺系レーザーに比べ、コンパクト化・高効率化が可能な紫外レーザー光源として注目されている。紫外光は微細加工分野などへの応用が期待できるが、その場合、パルス動作と高ピークパワーの実現が重要になる。我々は従来まで 1- μ m 波長帯で可飽和吸収体として広く用いられてきた Cr:YAG 結晶が可視域でも可飽和吸収特性を持つことを見出し [2]、橙色 (607 nm)、赤色 (639 nm) での Pr : YLF レーザの受動 Q スイッチ動作を実現した。今回、この 639 nm の赤色受動 Q スイッチレーザー共振器に非線形結晶を挿入し共振器内 2 倍波を発生させることにより

コンパクトな紫外パルスレーザー (320 nm) を実現した。

2. 実験セットアップ

A. 擬似 CW 励起受動 Q スイッチレーザー

赤色および橙色受動 Q スイッチレーザー実験では Fig. 1 に示す V 字共振器を構成した。励起 LD は出力 3.5 W の InGaN LD (日亜化学工業社製、出力波長 444 nm) を使用し、今回は Pr:YLF 結晶の熱負荷を低減するため擬似 CW 動作させた。LD の M² は 1.50 (fast axis) x 13.0 (slow axis) である。LD の擬似 CW 動作はパルスの ON 時間を 100 μ s、Duty サイクル 10% とした。出力した LD 光を f=4.6 mm のレンズでコリメートし、f=100 mm と -20 mm のシリンドリカルレンズペアを通過後 f=50 mm のレンズで 3.7 mm の Pr³⁺:YLF 結晶 (Pr³⁺ 0.5 at.%) に集光した。赤色レーザーの共振器は入射側に HR (>99.7% at 639 nm) 平面鏡を使用し、折り返し鏡は HR (>99.7% at 607, 639 nm) 凹面鏡を折り返し角 40° で設置し、出力鏡は 639 nm において透過率 T=10% の凹面鏡を使用した。凹面鏡の曲率半径はいずれも 75 mm である。また、橙色レーザーは赤色の共振器の入射側平面鏡を反射率 99.7% (at 607 nm)、6.0% (at 639 nm) の平面鏡に換えて実験を行った。実験で使用した可飽和吸収体は Cr⁴⁺:YAG 結晶 (Scientific Materials Inc. 製) で、AR

コートが 600-640 nm の帯域で施しており直径 4 mm 厚さ 1.3 mm である。線形透過率は 633 nm において 88.5% である [2].

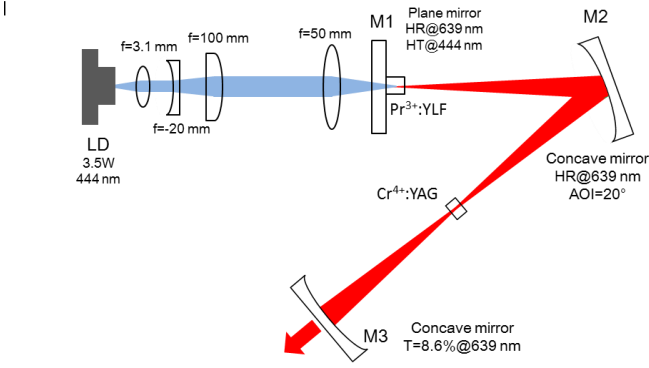


Fig. 1. The experimental setup of passive Q-switched Pr³⁺:YLF laser.

B. 受動 Q スイッチレーザの共振器内 SHG

受動 Q スイッチのセットアップに平面鏡を追加し Fig. 2 のような Z 型共振器を構成した。M3(R>99.7% at 639 nm, T=84% at 320 nm)を SHG の取り出し鏡とし, M4 は HR(>99.7% at 639, 320 nm)平面鏡を用いた。また, 非線形結晶として LBO 結晶を用いた。

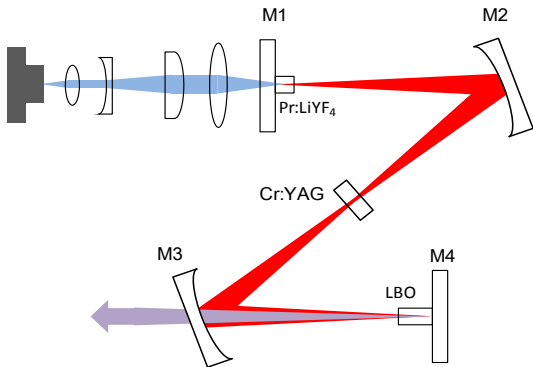


Fig. 2 The experimental setup of intra-cavity SHG.

3. 実験結果

A. 擬似 CW 励起受動 Q スイッチレーザ

吸収パワー 5.8 W の時, 波長 639 nm(607 nm)において最大平均パワー 1159 mW(634 mW), 最短パ

ルス幅 104 ns(118 ns), Q スイッチ発振の繰り返し周波数 750 kHz(212 kHz), 発振閾値 740 mW(1835 mW), スロープ効率 23.9%(17.0%)となった。ここでこれらの平均パワーは, 擬似 CW 励起時は励起パルスが実際にレーザ媒質に入射している時間のみの出力に換算している。したがって, duty 比 10% なので正味の平均パワーはこれらの 10% である。パルス励起時のレーザ発振は緩和発振特性を示すので, 定常的発振に達した時点で評価している。励起パワーが上昇するにつれて, 繰り返し周波数が顕著に増大していくことが確認された。

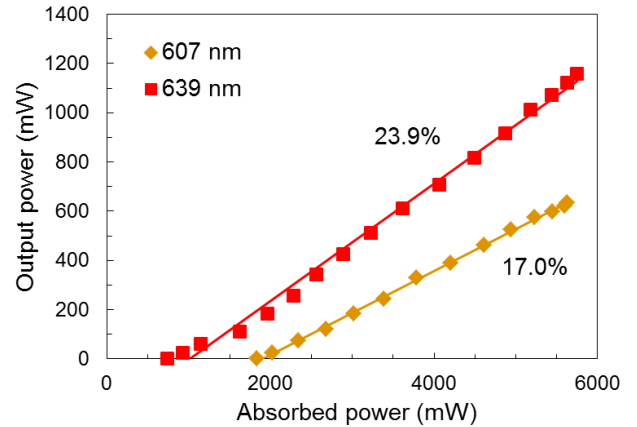


Fig. 3 Plots of the red and orange Q-switched laser average power.

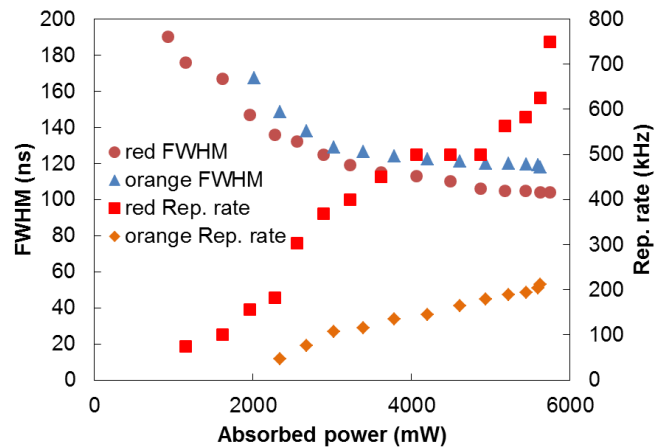


Fig. 4 Plots of the red and orange Q-switched laser pulse

duration and repetition rate.

B. 受動 Q スイッチレーザの共振器内 SHG

波長 320 nm の SH 光は最大励起吸収 4.5 W の時、平均パワーは 82 mW、発振閾値 1.2 W となった。励起吸収 3 W 近傍までは出力は非線形に増加してゆくが、その後ほぼ線形の増加になった。この原因は強励起時にレーザ結晶における熱レンズにより非線形結晶における集光サイズが設計よりも大きくなってしまったためと予想できる。

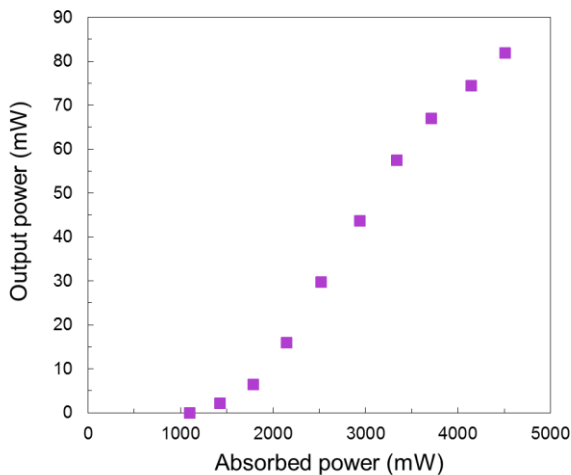


Fig. 5 Plots of the SH pulse average laser output.

4. まとめ

青色 LD の擬似 CW 動作によって赤、橙の受動 Q スイッチ発振の出力を向上させた。また、LBO 結晶を共振器内に挿入することで受動 Q スイッチ SHG の発振を達成した。受動 Q スイッチの簡便なセットアップを利用してマイクロチップパルスレーザへの展開が期待される。

References

[1] T. Gün, P. Metz, and G. Huber, *Opt. Lett.* **36**,

1002- 1004 (2011).

[2] R. Abe, J. Kojou, K. Masuda, and F. Kannari, *Appl. Phys. Exp.* **6**, 032703-1-3 (2013).