

320 nm 受動 Q スイッチ共振器内二倍波 Pr:YLF レーザ

320 nm Passively Q-switched Intracavity Frequency Doubling Pr:YLF Laser Pumped by Blue Laser Diodes

狩山 了介 (M1)

Ryosuke Kariyama

Abstract

We demonstrate a high-power blue InGaN diode laser pumped passively Q-switching of a Pr³⁺:LiYF₄ laser with a Cr⁴⁺:YAG saturable absorber and its intracavity SHG at 320-nm deep UV. Under high power pumping, the repetition rate reaches to 52 kHz with a pulse width of 50 ns. The peak power reached to 30 W.

1. はじめに

紫外域のパルスレーザは医療, 加工, リソグラフィなど様々な領域でのアプリケーションへの応用が期待されている. しかし Nd 系固体レーザでは紫外発振のために多段の波長変換が必要となり電気-光変換効率が低いのが現状である. 一方, 三価のプラセオジウムイオンをドープしたフッ化物結晶は可視全域に多数の発行遷移を有し, さらに酸化物と比較してマルチフォノンによる非輻射遷移が小さいため低閾値で高効率なレーザ発振が可能であり, コヒーレントな可視光源のための最も有望なレーザ結晶である. そして一回の波長変換により高効率な紫外光発生が実現可能となる. また, 受動 Q スイッチレーザは音響光学素子(AOM)などのアクティブな素子を必要としないため簡素でコンパクトであり, マイクロチップ化することにより正確な繰り返し周波数を必要としないレーザ点火などのアプリケーションへの応用が期待される. 現在 1-mm 帯の受動 Q スイッチ動作のための可飽和吸収体として最も利用されているのが Cr⁴⁺:YAG 結晶である. 我々はこれまでにこの Cr:YAG 結晶が可視域におい

ても可飽和吸収を示すことを確認し, 640, 607 nm の Pr:YLF レーザにおいて受動 Q スイッチ動作を達成している[1]. 本研究での可視域における受動 Q スイッチレーザの高いピーク強度を利用して高効率な紫外光の発生について報告する

2. 実験セットアップ

Fig. 1 に本実験で使用した紫外光発生のセットアップを示す. 励起光源は日亜化学工業社製 InGaN 青色半導体レーザを 2 台使用した. a 軸カットの Pr:YLF 結晶は吸収ピークを 444-nm (c ⊥ E), 442-nm (c // E) に持つためそれぞれ波長の異なる 2 つの LD (エミッタサイズ 1 x 30 mm) を用いペルチェ素子による温度制御で発振波長の最適化を行った. LD からの出射ビームは f = 4.6 mm の非球面レンズでコリメートされ, f = -20, 100 mm のシリンダリカルレンズ対で横方向に 5 倍に拡大された後, f = 75 mm の集光レンズで Pr:YLF 結晶に入射した. 波長 442-nm の LD は同様に 5 倍に整形された後, 半波長板を通過し偏光ビームスプリッタにより偏光重畳した. 結晶長 5 mm, 外径 5 mm の Pr:YLF 結晶 (AC Materials Inc.) はインジウムシートを介して銅ホルダに取り付け, 銅ホルダは水冷し 16°C に固定した. Fig.1 の平面ミラー M1 は HR(>99.7%)@640 nm, M2 は曲率 75 mm で HR(>99.7%)@640 nm, HT(>95%)@444 nm, T = 80% @320 nm であり, M3 は HR(>99%)@640, 320 nm の平面ミラーである. Cr⁴⁺:YAG 結晶 (Scientific Materials 社製) は結晶長 2.4 mm, 640nm において初期透過率 T₀ = 91% であり, 波長変換のために用いた LBO 結晶は 5 x 5 x 8 mm

である。M2 から出力結合された波長 320 nm のパルス波形はフォトダイオード (HAMAMATSU-S3883) 及びデジタルオシロスコープ (LeCroy Xi62) により取得した。

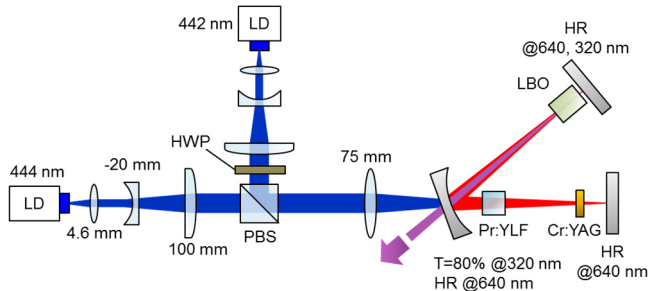


Fig. 1 Experimental Setup.

3. 実験結果

取得した平均パワー、Q スイッチパルス特性、パルス列をそれぞれ Fig. 2, 3, 4 に示す。Pr:YLF 結晶の吸収係数は π , σ 偏光において $3.5, 1.7 \text{ cm}^{-1}$ であり、最大励起吸収は 3.8 W であった。ここで π 偏光の 444 nm の吸収率は 83% 、 σ 偏光の 442 nm の吸収率は 57% である。最大励起吸収時の平均パワー、最短パルス幅、繰り返し周波数はそれぞれ 76 mW , 49.8 ns , 52 kHz であった。

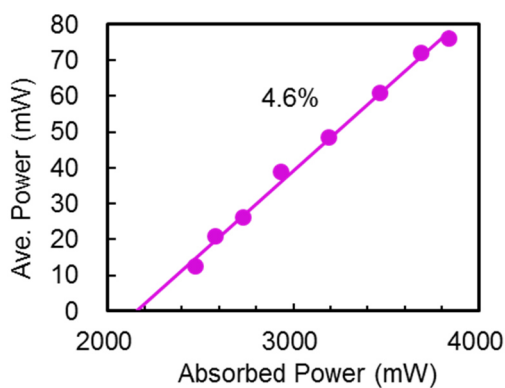


Fig. 2 The UV average output power.

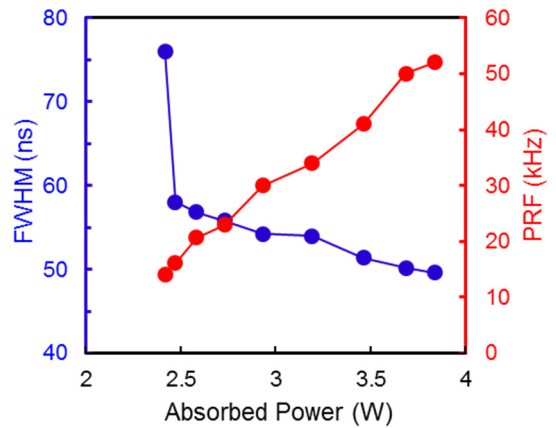


Fig. 3 UV pulse duration (FWHM) (blue point) and UV pulse repetition frequency (red one).

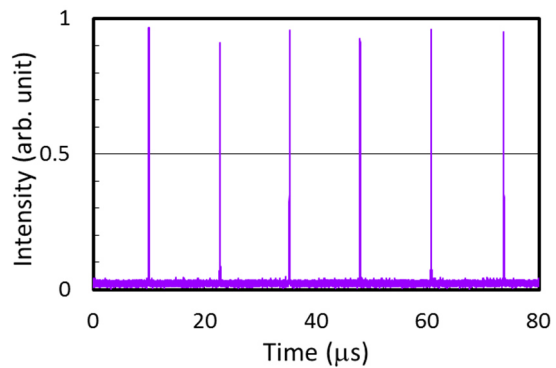


Fig. 4 The pulse train of the UV pulse laser.

Fig. 2-3 から算出した SH 光のピークパワーは Fig. 5 のようになり、徐々に飽和していることがわかる。受動 Q スイッチのピークパワーは解析的には可飽和吸収体の初期・飽和時の透過率に依存し、励起パワーに対しては不変となる[2]。そのため励起パワーを増大させるに連れて Q スイッチパルスの繰り返し周波数が増え、受動 Q スイッチ動作時の SH 光の平均パワーは cw-SHG のように励起パワーの自乗に比例して増加するのではなく線形に増加する。

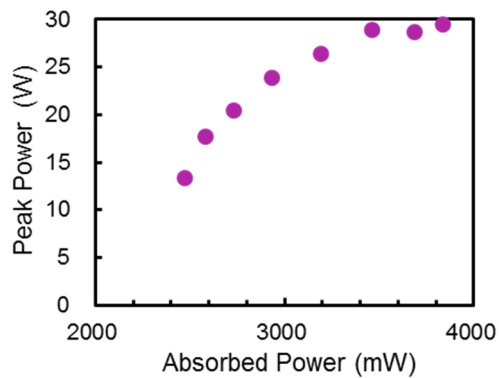


Fig. 5 UV peak power.

Composite Nd:YAG Laser Passively Q-switched by Cr⁴⁺:YAG Saturable Absorber," Jpn. J. Appl. Phys. 40 1253 (2001).

また, SH 光のビームプロファイルを Fig. 6 に示す. ビーム品質は $M_x^2 \times M_y^2 = 1.22 \times 1.64$ となり, ウォークオフ効果などによりビーム品質が悪化しやすい SH 光においては比較的高ビーム品質が得られている. これは共振器内の可飽和吸収体によって高次モードが抑制されるアパーチャー効果に起因していると考えられる.

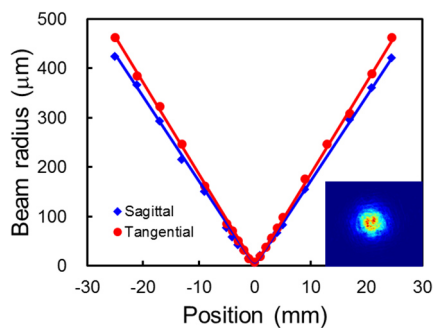


Fig. 6 Beam profile of the laser operating.

References

- [1] R. Abe, J. Kojou, K. Masuda and F. Kannari, "Cr⁴⁺-doped Y₃Al₅O₁₂ as a saturable absorber for a Q-switched and mode-locked 639-nm Pr³⁺-doped LiYF₄ laser." Appl. Phys. Express 6.3 (2013): 032703.
- [2] N. Pavel, J. Saikawa, S. Kurimura and T.Taira, " High Average Power Diode End-Pumped