

Q スイッチ Pr:YLF レーザの共振器内 2 次高調波発生によるパルス紫外光発生

Intra-Cavity Second-Harmonic Generation in UV of Q-switched Pr:YLF Laser

渡辺洋次郎(M2), 小城絢一朗(D3), 根本寛之(M1)

Y. Watanabe, J. Kojou, and H. Nemoto

Abstract

Q-switched Pr:YLF laser at 522 nm pumped by four GaN laser diodes (444 nm and 441 nm) is tried. The transmission at 522 nm for AOM is too low to allow the laser oscillation.

1 はじめに

Pr³⁺ ドープ材料は青色から赤色にかける可視光域に多くの発光遷移があり、また波長 440 nm 帯に強い吸収スペクトルを持つ。また高出力化・長波長化が進んできた GaN 系半導体レーザ (GaN-LD) による励起が可能であり、可視域のレーザ発振を波長変換なしで実現できる。さらに 2 倍波変換で紫外光を得ることも可能で、コンパクト化・高効率化に向けた材料として注目されている。

これまでに、我々は出力パワー 1 W の GaN-LD を励起源として赤色 (639 nm), 橙色 (607 nm), 緑色 (522 nm) のレーザ発振の実験を行った。また音響光学効果を利用して波長 639 nm および 607 nm において、Pr:YLF レーザを Q-switch 動作させた。さらに波長 639 nm における Q スイッチ Pr:YLF レーザの共振器内に LBO 結晶を挿入し、共振器内 SHG によって波長 320 nm の紫外パルスの発生実験を行った。

今回我々は波長 522 nm における Q スイッチ動作の実験を行った。

2 実験:V 字共振器 CW 発振実験

実験は、長さ 3.7 mm, Pr³⁺ を 0.5 at.% ドープした YLF 結晶を用いた。この結晶は c 軸と平行にカットされている。励起源には、最大出力 1 W の 444 nm および 441 nm の GaN-LD を使用した。

Fig. 1 に Pr:YLF レーザの CW 発振の実験セットアップを示す。励起源である波長 444 nm の LD 光を非球面

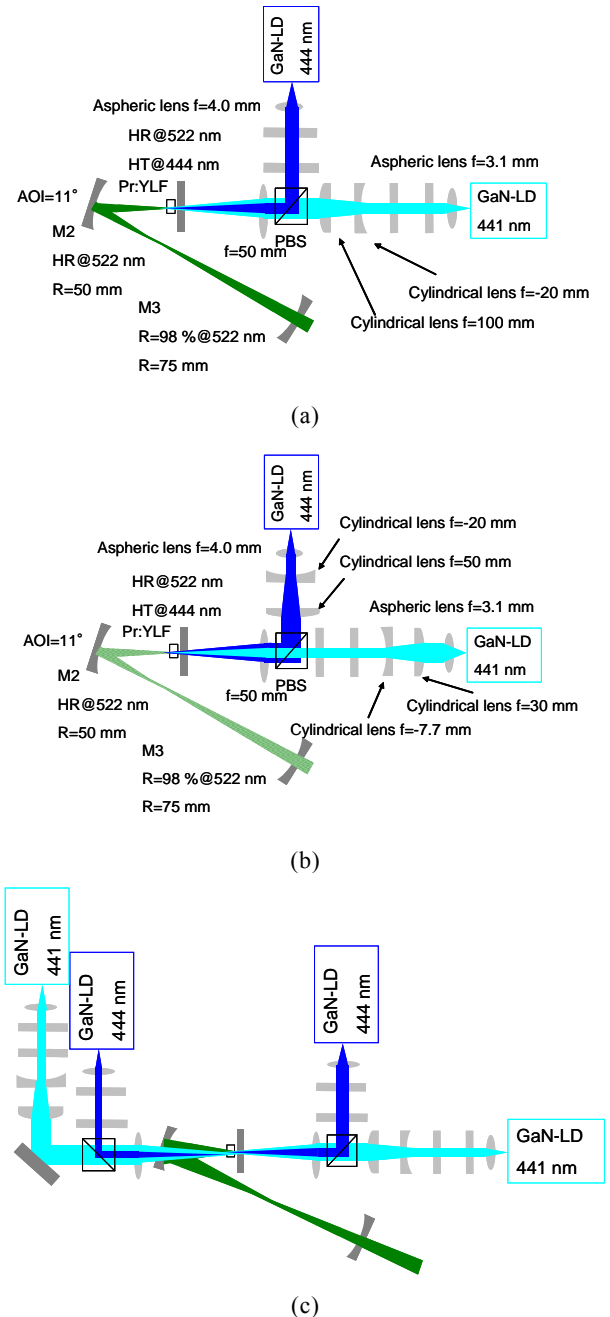


Fig. 1 Experimental setups of CW Pr:YLF laser. (a) Pumping system for horizontal direction. (b) Pumping system for vertical direction. (c) Four GaN-LDs pumping system for horizontal direction.

レンズ $f=4.0\text{ mm}$ で平行光線にし、シリンドリカルレンズ対 $f=-20\text{ mm}$ および $f=50\text{ mm}$ でビームシェイピングを行った後、PBS で波長 441 nm の LD 光と光路を合わせた。波長 441 nm の半導体レーザ光は、非球面レンズ $f=3.1\text{ mm}$ で平行光線にし、シリンドリカルレンズ対 $f=30\text{ mm}$ および $f=-7.7\text{ mm}$ で鉛直方向を $f=-20\text{ mm}$ 、 $f=100\text{ mm}$ で水平方向のビームシェイピングを行った。2つの半導体レーザ光を集光レンズ $f=50\text{ mm}$ で結晶の端面に集光した。共振器は $\text{HR}>99.5\% @522\text{ nm}$ の平面鏡、 $\text{HR}>99.5\% @522\text{ nm}$ の凹面鏡 ($R=50\text{ mm}$) および $R=98\% @522\text{ nm}$ の凹面鏡 ($R=75\text{ mm}$) で構成した。

Fig. 2 に共振器モードの計算結果を示す。V字の折り返し角は 22° ($\text{AOI}=11^\circ$) である。Fig. 3 は結晶内の波長 444 nm および波長 441 nm の半導体レーザ光と共振器モードの関係である。CW 発振実験ではさらに、Fig. 1 (c)に示されているように、凹面鏡側からも励起を行った。このときのそれぞれの波長の LD に対する励起光学素子は平面鏡側から入射しているものと同じものを使用した。Fig. 4 は吸収パワーに対する CW 発振時の出力パワーである。励起は Fig. 1 (c)の平面鏡側の LD の電流を上げていった。まず波長 444 nm の LD の電流を上げていき、最大駆動させ (900 mA)、その状態で波長 441 nm の LD の電流を上げていき、最大駆動させた (750 mA)。同様に凹面鏡側の LD についても波長 444 nm の LD については 1000 mA まで、波長 441 nm の LD については 750 mA まで電流を上げて励起を行った。Fig. 4 の出力特性をみると傾きが一定ではな

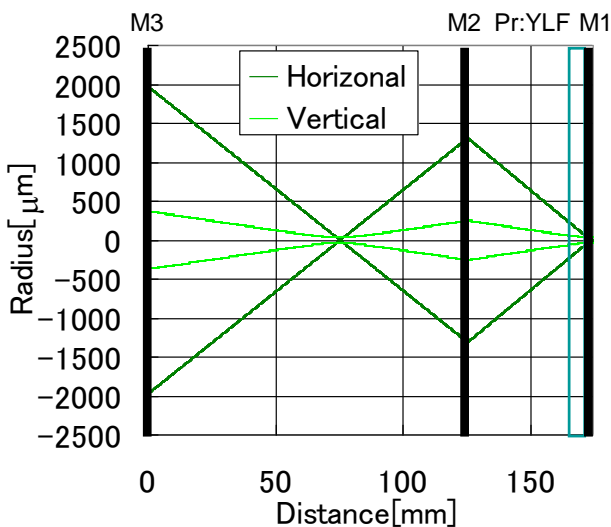
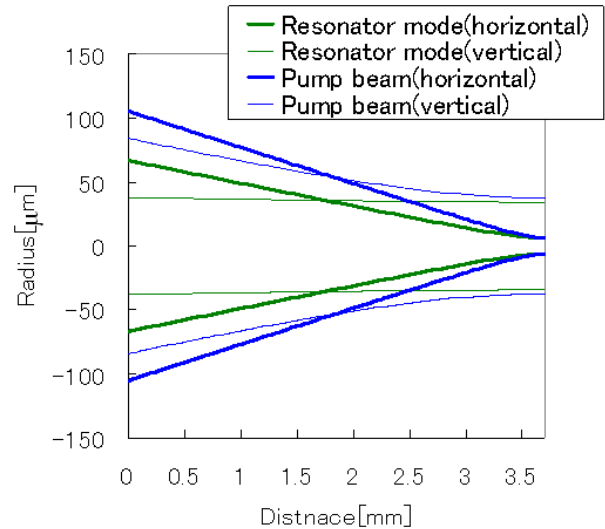
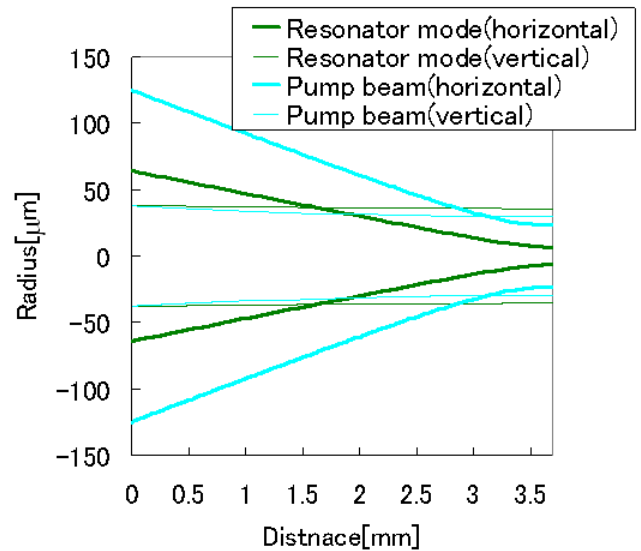


Fig. 2 The calculated beam profile in the laser resonator with a cavity length of 174.34 mm .

い。傾きが小さいところが 2箇所あるが、これは励起の仕方を、平面鏡側の波長 444 nm の LD、波長 441 nm の LD、凹面鏡側の波長 444 nm の LD、波長 441 nm の LD という順番に駆動電流を上げていき、Fig.3 から分かるように波長 441 nm の LD 光と共振器モードの整合は波長 444 nm のそれに比べて悪いので、吸収パワーに対する出力特性が悪くなっている。



(a)



(b)

Fig. 3 The calculated resonator mode and pump beam profiles of (a) 444 nm GaN-LD and (b) 441 nm GaN-LD in the Pr:YLF crystal.

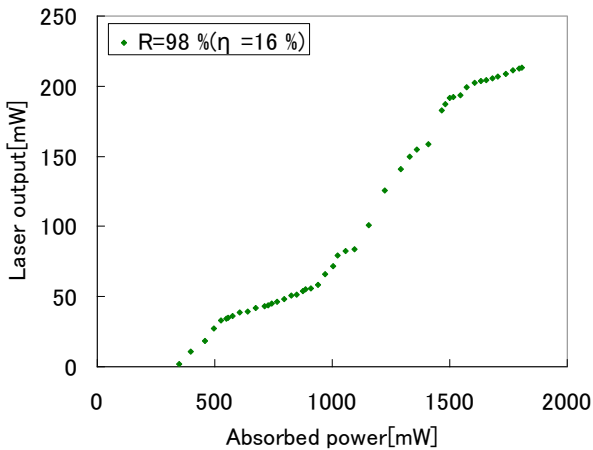


Fig. 4 Plots of the output power at 522 nm as a function of absorbed pump power.

3 実験: Q スイッチ

Fig. 1 (c)のセットアップで AOM を共振器内に挿入した (Fig. 5) . 出力鏡の反射率を HR@522 nm に代えたが, 励起光学系や他の共振器を構成しているミラーは CW 発振時と同じ素子を用いた. しかし AOM を挿入した状態では発振させることができなかった. そこで Fig. 6 のような実験セットアップで AOM を共振器の外部に置き, AOM の損失を測定した. 波長 522 nm のレーザ光の偏光に対して AOM を共振器内に入れた場合と同じ方向と AOM を 90° 回転させた方向の透過率を測定した結果, それぞれの場合で透過率が 96 % および 94 % であった. Fig. 4 の出力特性から, AOM を挿入していない場合の波長 522 nm のレーザ発振閾値が 300 mW ほどであることが分かる. このとき出力鏡の反射率が 98 % であり, 共振器の損失としては 2 % にあたる. Fig. 5 のように共振器を構成しているミラーの反射率は全て HR@522 nm であり, 共振器の損失は AOM における損失 8 % (往復として) である. したがって閾値がおよそ 4 倍の 1.2 W ほどになると見積られる. Fig. 4 において吸収パワーが 300 mW から 500 mW の傾きで 1.2 W まで励起できたとすると, 出力は 200 mW ほどと見積られる. しかし現状では出力を 200 mW まで上げるには吸収パワーを 1.5 W まで上げる必要がある. したがって AOM を挿入した場合, 閾値ぎりぎりであると考えられる. 以上から, AOM の損失が原因で発振閾値が上がり, 励起パワーが発振閾値ぎりぎりになってしまい, 発振が難しかったのではないかと考

えられる. 改善方法としては, 透過率の高い AOM を用いること, V 字の角度をさらに小さくすることによって非点収差を小さくすること, YLF 結晶の熱による影響を減らすために結晶を冷却することなどがあげられる.

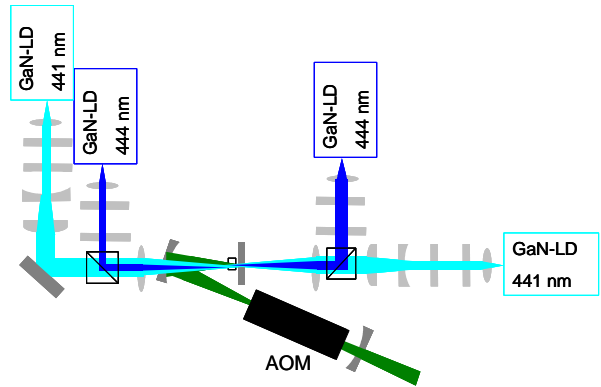


Fig. 5 The setup of AO Q-switched of Pr:YLF laser at 522 nm

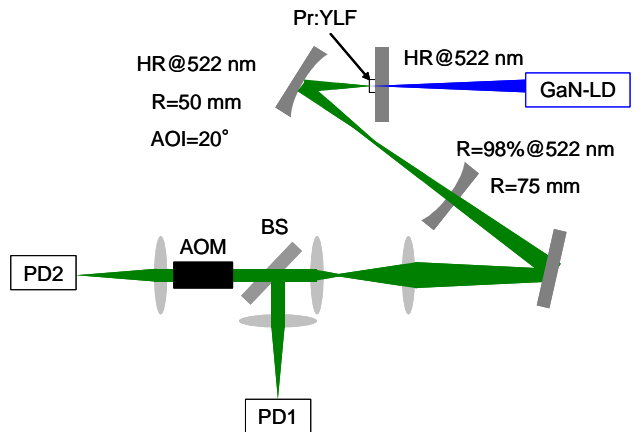


Fig. 6 Measurement of transmission at 522 nm for AOM.

4 結論

本研究では, 波長 522 nm における Q スイッチ Pr:YLF レーザの共振器内 SHG の実験を行うことを目的として, GaN-LD を 4 台用いて Q スイッチの実験を行った. しかし, AOM を共振器内に挿入した段階ではレーザ発振をさせることができなかった. 原因は, AOM の透過率が, レーザ発振をさせるには低かったのではないかと考えられる. 改善方法としては, 透過率の高い AOM を用いること, V 字の角度をさらに小さくすることによって非点収差を小さくすること, YLF 結晶の熱による影響を減らすために結晶を冷却することなどがあげられる.