

# 高出力 GaN ダイオード励起 Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの共振器内 SHG および受動 Q-witching

## Intracavity Second Harmonic Generation and passive Q-switching of GaN Diode Laser Pumped Pr:LiYF<sub>4</sub> Laser

上村敏広 (B4), 橋本浩平(D3), P.Agrawal (M1)

T. Kamimura, K. Hashimoto and P. Agrawal

### Abstract

Continuous-wave ultraviolet light at 320nm has been obtained by intracavity frequency doubling of GaN diode laser pumped red-emit Pr:LiYF<sub>4</sub> laser. Using LiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> as nonlinear medium, 1.2mW of ultraviolet radiation was achieved. In addition, we tried to passively Q-switching Pr:LiYF<sub>4</sub> laser oscillation.

### 1 はじめに

現在、固体レーザーによる紫外光発生においては、複屈折結晶を利用した位相整合もしくは擬位相整合の2段階の非線形波長変換が用いられている。Nd系レーザーにおいては、3倍波発生で355nm[1][2][3]、4倍波発生で261nm[4]の紫外光が得られる。それらは、パルス発振においては高いピーク出力によって高効率なものが得られているが、CW発振では非線形結晶の非線形効果係数の低さ、また共振器外に非線形結晶を置くシングルパス変換法を用いることから紫外光変換効率は1%程度に留まっている[3]。また、可視光と赤外光の和周波混合による紫外光発生では効率の良いCW発振が可能なものの実験装置が複雑であり、単一縦モード発振する必要がある[5]。

一方、Pr系固体レーザーは可視光域に基本波を持つため、1回の波長変換で紫外光を発生させることが可能である。例えばOPSで励起した640nm Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーのSHGにより320nm紫外光が得られている[6]。

また、Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーのパルス化が可能ならば、共振器外に置いた非線形結晶でシングルパスの波長変換において高効率な変換へとつながる。

本研究では、639nm赤色 Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの共振器内SHGによる320nm紫外光発生について報告する。基本波励起光源には444nm GaN系半導体レーザーを、非線形結晶にはLiB<sub>3</sub>O<sub>5</sub> (LBO)を用いた。また、可飽和

吸収体を用いた Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの受動 Q-switch 化への取り組みについても合わせて報告する。

### 2 実験

Fig.1 に 320nm 共振器内 Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザー SHG 実験セットアップを示す。基本波発生は励起源には、日亜化学製の最大出力 500mW の 444nm GaN 系半導体レーザーを使用し、そ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。LD から出た半導体レーザー光は焦点距離 4.6mm の非球面レンズによって平行光線とし、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。この時、M1-M2 間、M2-M3 間の距離はそれぞれ 97mm, 160mm である。また、M2 は 639nm で高反射率(R>99%)、320nm で AR コーティングが、M3 は 639nm, 320nm で高反射のコーティングが施されている。複屈折性を持つ非線形結晶としては、本研究では LBO(リトアニア Ekspla 社製)を選んだ。この LBO 結晶は位相整合計算により  $\phi=53.6^\circ$  にカットされたおり、その表面は 639nm, 320nm に対してともに AR コーティングされている 5×5×8mm のものである。

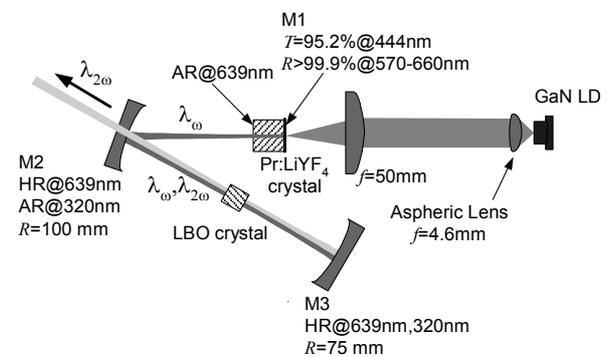


Fig.1 Experimental setup of 320 nm intracavity frequency doubled Pr:LiYF<sub>4</sub> laser.

また、受動 Q-switch 化を目指し、600nm~650nm 帯域における可飽和吸収体として知られる RG610 ガラスフィルターを Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの V 型共振器に挿入した。このガラスフィルターは Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの波長である 639nm における吸収を 1%程度に抑えるために、光学研磨により厚さ 90 $\mu$ m に加工した。

### 3 実験結果

Fig.2 に Pr:LiYF<sub>4</sub> 結晶に吸収されたパワーに対する 320nm 紫外光の出力を示す。今回の実験では、最大出力は 1.2mW、吸収光に対する光-光変換効率は 0.3% と低いものとなってしまった。この原因としては M2 出力鏡の 640nm 紫外光における反射率が十分に高くなく、基本波の閉じ込めが十分でなかったことが予想できる。

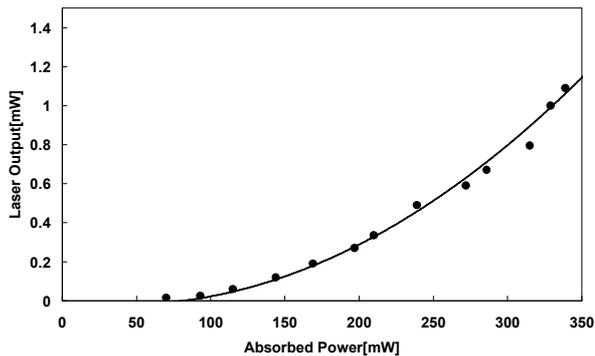


Fig.2 Output power of 320 nm second harmonics of Pr:LiYF<sub>4</sub> laser as a function of absorbed pump power.

Q-switch 化においては、ガラスフィルターを Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの V 型共振器に挿入した状態で CW 発振させることに成功するまでには至った。この時の励起光閾値は 220mW で、通常のレーザーより約 140mW 高い。閾値近傍での Q-switch 化を狙ったが、飽和吸収が開始する閾値付近でのアライメントが困難であり、パルス発振を確認することは未だ成功していない。パルス発振を実現するためには、フィルターにおけるビーム強度を高めるといった方法が考えられる。例えば、今回設計した共振器ではビームスポット径は 120 $\mu$ m 程度であったが、ABCD 行列より共振器を再設計し、30 $\mu$ m まで絞ることができればビーム強度は元の 10 倍以上に高めることができる。

### 4 結論

本研究では、639nm Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの LBO 結晶を用いた共振器内 SHG による 320nm 紫外光発生実験を行い、低出力・低効率ながらも実際に紫外光を得ることができた。今後は、共振器内におけるロスを低減することで、高出力・高効率を目指すことができると考えられる。また、Pr レーザーの他の可視光遷移を利用することで 360nm, 303nm, 261nm といった波長の紫外光を発生させることも可能だと考えられる。

また、共振器内に可飽和吸収体による Pr:LiYF<sub>4</sub> レーザーの受動 Q-switch 化にも取り組んだが、飽和吸収を開始する発振閾値付近でのアライメントの困難さから、パルス発振させることに成功できなかった。

### References

- [1] B. Wu, N. Chen, C. Chen, D. Deng, and Z. Xu, *Opt. Lett.* **14**, 1080 (1989)
- [2] H. Kitano, T. Matsui, K. Sato, N. Ushiyama, M. Yoshimura, Y. Mori, and T. Sasaki, *Opt. Lett.* **28**, 263 (2003).
- [3] K. Mizuuchi, A. Morikawa, T. Sugita, K. Yamamoto, N. Pavel, and T. Taira, *Appl. Phys. Lett.* **85**, 3959 (2004)
- [4] L.B. Chang, S.C. Wang, A.H. Kung, *Opt. Commun.* **209**, 397 (2002)
- [5] Y. Kaneda and S. Kubota, *Opt. Lett.* **20**, 2204 (1995)
- [6] A. Richter, N. Pavel, E. Heumann, G. Huber, D. Parisi, A. Toncelli, M. Tonell, A. Diening and W. Seelert, *Opt. Express* **14**, 3238 (2006)