

Ho レーザー励起用波長 1.9 μm 帯 Tm:GdVO₄ レーザーの基礎実験

Experimental studies on the characteristics of a 1.9- μm Tm:GdVO₄ laser for pumping Ho lasers.

三宅良宜¹, 阿部巧¹, 佐藤篤², 浅井和弘², 石井昌憲³, 水谷耕平³

Yoshiki Miyake¹, Takumi Abe¹, Atsushi Sato², Kazuhiro Asai², Shoken Ishii³, Kohei Mizutani³

¹東北工業大学大学院, ²東北工業大学, ³情報通信研究機構

¹Graduate School, Tohoku Institute of Technology, ²Tohoku Institute of Technology, ³NICT

Abstract

Ho lasers operating at 2.05 μm are useful as CO₂ lidar transmitters. Recently, a singly doped Ho laser pumped by a 1.9- μm laser has received attention because of the efficient energy transfer process compared to a conventional Tm,Ho-codoped lasers. In this study, we have developed a 1.9- μm Tm:GdVO₄ laser as a pump source of Ho lasers. An output energy of 16.6 mJ was obtained in normal mode operations at room temperature.

1. はじめに

近年、温室効果ガスである CO₂ を測定するための波長 2 μm 帯 Ho レーザーが研究されている[1]。従来より、Tm,Ho コドープ結晶により、Tm イオンから Ho イオンにエネルギーを遷移させる方式の 2 μm 帯レーザーが多数報告されている[2-4]。しかしながら、この方式では Tm-Ho イオン間の逆遷移や、Ho 上準位からのアップコンバージョンが起こるといった短所が存在する。一方、Ho レーザーの上準位を Tm レーザーにより直接励起する方式では、アップコンバージョンによる損失が少なく高効率化に適していると考えられる[5,6]。また Ho レーザーでの量子効率が 94% と高いため、非放射遷移に伴う熱が発生しにくいという長所を有する。本研究では、Ho レーザー励起のための 1.9 μm 帯 Tm:GdVO₄ レーザーを試作し、その基礎実験を行った。

2. エネルギー遷移過程

Fig.1 は Tm:GdVO₄ レーザー励起 Ho レーザーのエネルギー準位図を示す。波長 798nm の励起光により Tm イオンが ³H₄ へ励起され、その後クロス緩和を起し ³H₄ と ³H₆ のイオンにより、2 つの Tm イオンが ³F₄ へ励起される。³F₄ にイオンが蓄積され、反転分布が形成されると波長 1920nm で発振が起こる。このとき 798nm の励起光子 1 つに対し 1920nm の発振光子が 2 つ発生するため、量子効率は約 83% となる。ここで発振した波長 1920nm のレーザー光は Ho の励起に利用され、Ho レーザーにおける量子効率は 94% となる。

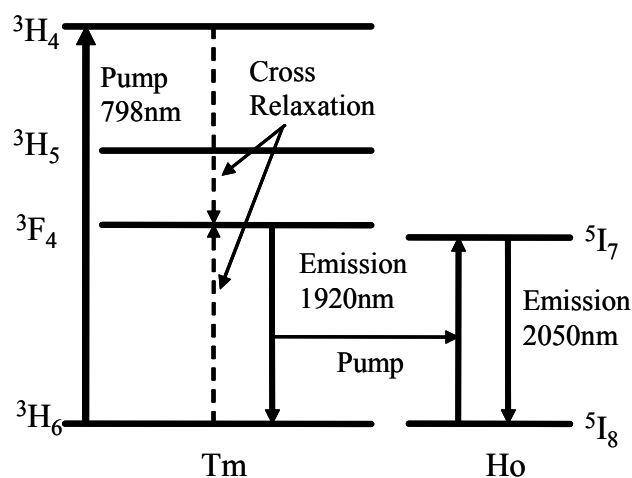


Fig.1 Energy level diagram of a Tm:GdVO₄-laser pumped Ho laser.

3. 共振器構成

Fig.2 は励起ヘッドの構成を示す。レーザー結晶は三角柱型であり、長さ 12mm の 2%Tm ドープ部の両端に、長さ 5mm のアンドープ部が接合されている。結晶端面には 1920nm に対する AR コーティングが施されており、結晶表面は研磨により銅製のヒートシンクへの熱伝達率を向上させている。3 つの結晶側面に、それぞれピークパワー 100W の 2 段スタック型半導体レーザー(LD)が 2 個ずつ配置され、励起光はロッドレンズとライトガイドにより、レーザーロッドのドープ部に集光される。

Fig.3 は実験に用いたレーザー共振器の構成図を示す。共振器は、焦点距離 1m の凹面全反射鏡と、焦点距離 100mm の凹面出力鏡から構成されたファブリーペロー型であり、共振器長は 100mm である。

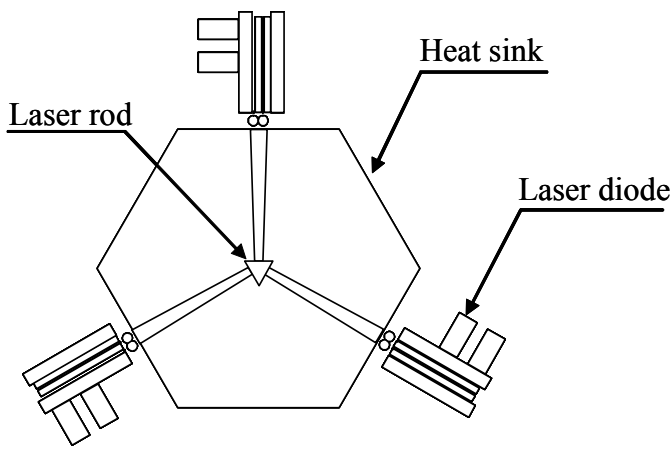


Fig.2 Pump head design of Tm:GdVO₄ laser.

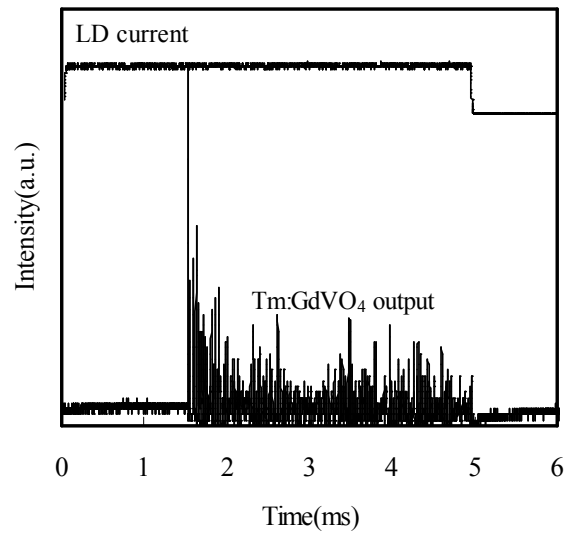


Fig.4. Oscilloscope trace of the Tm:GdVO₄ laser output.

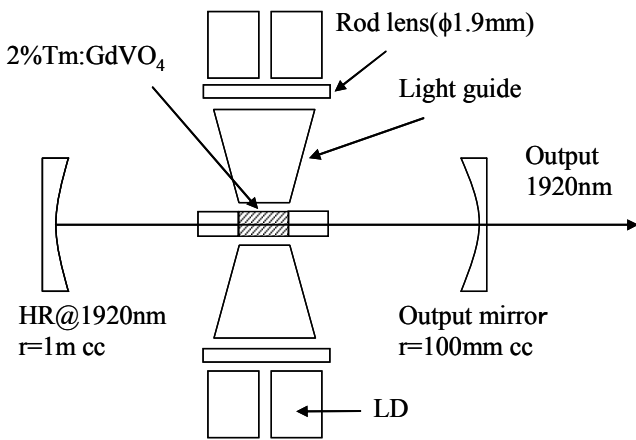


Fig.3 Experimental setup of the Tm:GdVO₄ laser.

4. 実験結果

Fig.4 はノーマル発振時における Tm:GdVO₄ レーザーのパルス時間波形を示す。励起パルス幅は 5ms であり、励起開始からレーザー発振に至るまでの立ち上がり時間は約 1.5ms であった。また、レーザーは緩和発振しているが、定常状態には至っていないことがわかった。

Fig.5 は入出力特性を示す。横軸は励起エネルギー、縦軸は出力エネルギーを表す。動作条件は、結晶の冷却水温度 15°C、LD の冷却水温度 28°C、繰り返し周波数 5Hz とした。出力鏡には手持ちの 2μm 帯レーザー用の出力鏡のうち、実験において 1920nm で最も効率よく発振したものを使用した。励起エネルギーが 3.4J のときノーマル発振出力は 16.6mJ であった。変換効率が低い要因として、Tm:GdVO₄ 結晶における再吸収による損失が大きいことが考えられる。

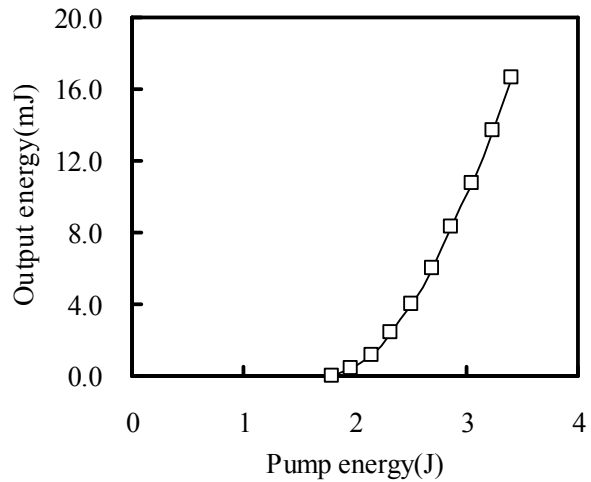


Fig.5 Output energy versus pump energy for the Tm:GdVO₄ laser.

5. おわりに

本研究では、Ho レーザーの励起するための光源として、波長 1.9μm 帯の Tm:GdVO₄ レーザーを試作し、その基礎実験を行った。今後、Ho レーザー励起のための条件の最適化ならびに Ho レーザーの励起実験を進めていく。

参考文献

1. S. Ishii, K. Mizutani *et al.*, Appl. Opt. **49**, 1809 (2010).
2. 佐藤他, 第 27 回レーザーセンシングシンポジウム, PE-27(2009).
3. V. Sudesh and K. Asai, J. Opt. Soc. Am. B **20**, 1829(2003).
4. Jirong Yu *et al.*, Opt. Lett. **31**, 462(2006).
5. P. A. Budni *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B **17**, 723(2000).
6. P. A. Budni *et al.*, Opt. Lett. **28**, 1016(2003).