

波長 2.05 μm 小型 Tm,Ho 添加バナデートレーザの開発

Development of a compact Tm,Ho-codoped vanadate laser at 2.05 μm

佐藤 篤¹, 浅井和弘¹, 石井昌憲², 水谷耕平²

Atsushi Sato¹, Kazuhiro Asai¹, Shoken Ishii², and Kohei Mizutani²

¹ 東北工業大学, ² 情報通信研究機構

¹Tohoku Institute of Technology, ²National Institute of Information and Communications Technology

Abstract

We developed a compact Tm,Ho-codoped vanadate laser operating around 2.05 μm . The laser has a simple design consisting of a laser crystal and a single-emitter laser-diode mounted on an open heatsink. In quasi-continuous-wave-mode operations at a repetition frequency of 100 Hz, an averaged output power of 0.1 W was obtained for an averaged pump power of 0.65 W. An optical-to-optical conversion efficiency of 16% was achieved at a temperature of 40°C.

1. はじめに

二酸化炭素をターゲットとした大気環境計測用ライダーでは、その光送信機用光源として波長 1.6 μm 帯及び 2 μm 帯のレーザが注目されている¹⁻²⁾。このうち、波長 2 μm 帯では、二酸化炭素の適度な吸収が得られる波長 2.05 μm 付近で発振し、かつレーザの高出力化に適している Tm,Ho 添加結晶がレーザ媒質として多く用いられている³⁾。一方、差分吸収ライダーのように二酸化炭素分子による吸収を利用した観測では、二酸化炭素の吸収線にレーザの発振波長を同調させるため、レーザ発振器に対し、周波数安定度の高い単一縦モードレーザを用いたインジェクションシーディングを行う必要がある⁴⁾。しかしながら、波長 2 μm 以上の長波長領域では、十分な出力や周波数安定度を有する分布帰還型半導体レーザやファイバレーザなどの簡便な光源の入手が困難な状況にある。本研究では、Nd:YAGレーザ励起用の波長 808nm 半導体レーザでの励起が可能であるなどの利点を有し、波長 2.05 μm 近傍で発振する Tm,Ho 添加バナデート結晶を用い⁵⁾、オープンヒートシンク型のシングルエミッタ半導体レーザ励起による小型かつ簡便な構成の 2 μm レーザの試作ならびに動作実験を行ったので、その結果について報告する。

2. レーザの設計・試作

レーザ設計は、光線追跡ソフトウェアを用いてレーザ結晶内での励起強度分布を解析することにより行った。シミュレーションでは、Fig.1 に示される 2 種類の構成について検討した。Fig.1(a)は、励起光学系として直径 3mm の球レンズを用いた構成であり、Fig.1(b)は、励起光学系を使用しない構成となっている。シミュレーションにおける励起用半導体レーザの光出力は 8W とし、光軸上に厚さ 0.7mm の Tm,Ho:GdVO₄ 結晶を配置した場合の最適位置でのレーザ結晶内励起光密度を求めた。Fig.1(a)の構成では、球レンズにおける球面収差のため十分な集光ができず、最小スポットにおける励起光密度は 6kW/cm² 程度しか得られないことがわかった。これに対し、Fig.1(b)の構成では、半導体レーザからレーザ結晶までの距離が 0.2mm のとき、励起光密度は 21kW/cm² となることがわかった。

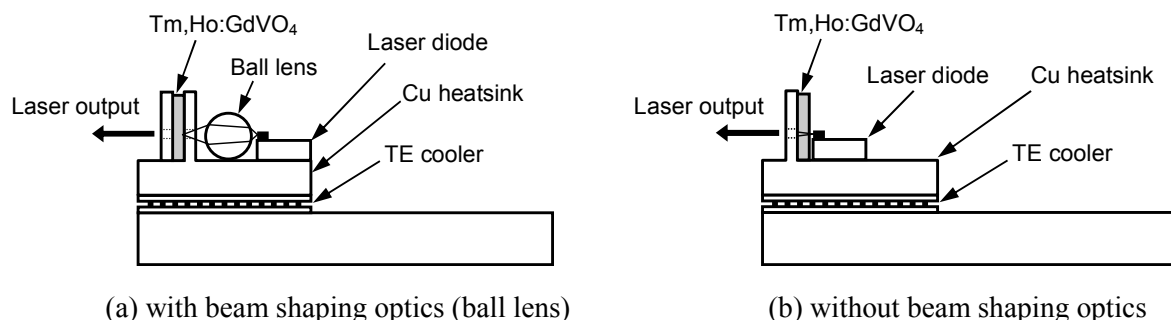


Fig. 1 Schematic diagram of the Tm,Ho:GdVO₄ laser (side-view).

Fig.2 は、Fig.1(b)の構成におけるシミュレーション結果に基づき試作した小型 Tm,Ho:GdVO₄ レーザを示す。レーザ結晶は、厚さ 0.7mm、Tm ドープ率 7 at.%、Ho ドープ率 0.4 at.% の Tm,Ho:GdVO₄ であり、結晶の励起側端面には R>99.8%@2.05μm 及び T>90%@0.8μm となるようなダイクロイックコーティング、出力側端面には R=99%@2.05μm 及び R>90%@0.8μm となるようなダイクロイックコーティングがそれぞれ施されている。励起光源は、オープンヒートシンク型のシングルエミッタ半導体レーザである。レーザ構成の簡略化のため、レーザ結晶と半導体レーザは、ヒートシンクを共有しており、個別の温度制御は行っていない。ヒートシンク温度は、半導体レーザの底面近くでモニタされており、40°C を保つようにペルチェ素子により制御されている。

3. 実験結果

試作した Tm,Ho:GdVO₄ レーザの動作実験は、連続発振(CW)動作及び疑似連続発振(QCW)動作において行ったが、CW 動作でのレーザ発振は得られなかった。Fig.3 は、QCW 動作時における入出力特性を示す。横軸は平均励起パワーであり、縦軸は平均出力パワーを表している。動作条件は、励起光パルス幅を 1ms、繰り返し周波数を 100Hz とした。これは、デューティ比 10% に相当する。使用した励起用半導体レーザは最大で 8W の CW 出力が可能であるが、今回の実験では、ヒートシンク温度の設定がやや高く、半導体レーザや結晶に負荷を与える可能性があったため、励起光パルスのピークパワーの上限は 6.5W とした。この場合、最大励起光密度は 17kW/cm² となる。実験では、最大励起パワー付近でもレーザ出力の飽和は見られず、ピーク出力パワー 1W、平均出力パワー 0.1W が得られた。また、このとき、光対光変換効率 16% の高効率動作が達成された。連続発振が得られなかった理由として、高ピークパワーの連続的な励起に伴い発生する結晶内部の熱を小型のヒートシンクでは十分に排熱できなかったことと、励起密度が低かったことが挙げられる。

4. おわりに

本研究では、波長 2.05μm 付近で発振する小型レーザの開発を行った。試作した Tm,Ho:GdVO₄ レーザでは、連続発振は得られなかったが、QCW 動作において室温での高効率動作を達成した。今後、最小限の励起光学系の追加により、励起密度を高め、連続発振動作を目指す。

謝辞

本研究の一部は、JST 平成 20 年度シーズ発掘試験の助成により行われた。

参考文献

- 1) D. Sakaizawa *et al.*, Appl. Opt. **48**, 748 (2009).
- 2) G. J. Koch *et al.*, Appl. Opt. **43**, 5092 (2004).
- 3) J. Yu *et al.*, Opt. Lett. **31**, 462 (2006).
- 4) K. Mizutani *et al.*, Proceedings of SPIE **7153**, 71530J1 (2008).
- 5) A. Sato *et al.*, *Advanced Solid-State Photonics (ASSP) 2008*, paper: WE39.

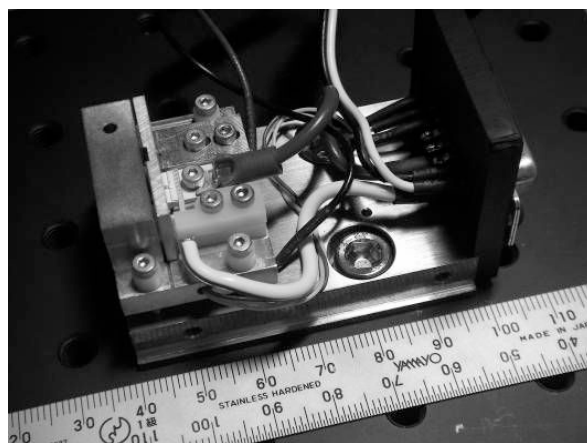


Fig.2 Photograph of the Tm,Ho:GdVO₄ laser.

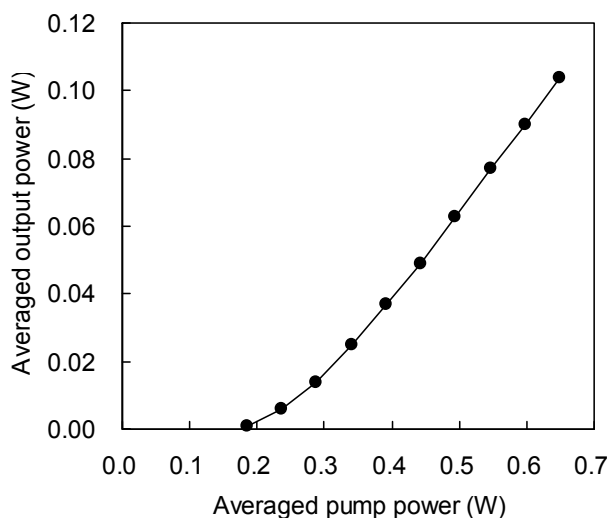


Fig.3 Averaged output power as a function of averaged pump power in QCW-mode operations.