

波長 2μm コヒーレントライダーのための マイクロチップ固体レーザーの動作特性

Lasing characteristics of a microchip solid-state laser for 2-micron coherent lidars

佐藤 篤¹, 浅井和弘¹, 石井昌憲², 水谷耕平², 板部敏和²

Atsushi Sato¹, Kazuhiro Asai¹, Shoken Ishii², Kohei Mizutani², and Toshikazu Itabe²

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 microchip Tm,Ho:GdVO₄ laser for 2-micron coherent lidars. An output power of 0.55 W was obtained for an incident pump power of 2.8 W at a crystal temperature of 18 °C. When the laser was operated with 0.4-W output power, a maximum slope efficiency of 35% was achieved. In addition, the beam quality factor M^2 was measured by the scanning knife-edge technique. A beam quality value of $M^2 < 1.1$ was obtained at an output power of 0.4 W.

1. はじめに

波長 2.05μm 付近で発振する Tm,Ho コドープ結晶を用いた固体レーザーは、目に対する安全性が高いことに加え、二酸化炭素(CO₂)の吸収線が利用可能であることから、CO₂ 濃度観測用差分吸収ライダー(DIAL)の光送信機に適している¹⁻²⁾。DIAL 用レーザーでは、高出力化と共に狭帯域化が必要とされるため、光送信機には、高安定レーザー(以下、シーダーと呼ぶ)により光注入同期された高出力パルスレーザーが使用される³⁾。波長 2μm 帯のシーダーとしては、分布帰還型半導体レーザーや外部共振器型半導体レーザーなどの利用も考えられるが、波長 2μm 以上の赤外半導体レーザー技術はまだ十分に確立されていないため、目下のところ、DIAL のシーダーとしての仕様を満たす波長 2.05μm 付近で発振する半導体レーザーは出現していない。このような背景から、我々は固体レーザー技術に基づいたシーダーの開発を進めている。

近年、可視及び近赤外領域の固体レーザー結晶として、YVO₄ や GdVO₄ などのバナデート結晶が、その優れた熱的性質及び光学的性質から注目されているが⁴⁻⁵⁾、波長 2μm 帯での報告例は極めて少なく、Tm,Ho コドープ結晶を用いた高効率な室温動作は達成されていない⁶⁻⁸⁾。これは、室温動作の準 3 準位レーザーでは避けることのできないレーザー下準位でのレーザー光の再吸収がバナデート結晶では特に強く起こり最適設計が難しいことが原因の一つとして考えられる。本研究では、波長 2.05μm 付近で発振する Tm,Ho:GdVO₄ レーザーにおいて、ディスク状の結晶(マイクロチップ結晶)を用いることにより再吸収損失を低減し、室温での高効率動作を達成したので、その結果を報告する。

2. レーザーの設計 試作

Fig.1 は、試作した端面励起型マイクロチップ Tm,Ho:GdVO₄ レーザーの構成を示す。励起光源は、最大出力 4W の AlGaAs 半導体レーザーであり温度同調により波長 805nm で動作させた。励起用半導体レーザーから出射した励起光は、2枚のレンズによりビーム整形され、レーザー結晶上で 30×60μm のスポットサイズ(半径)に集光される。マイクロチップ結晶の励起側端面は波長 800nm に対して高透過、波長 2050nm に対して全反射、出力側端面は波長 800nm に対して反射率 95%、波長 2050nm に対して反射率 99% となるようにダイクロイックコーティングされており、光共振器はこれらの両端面の間で構成されている。この出力側端面

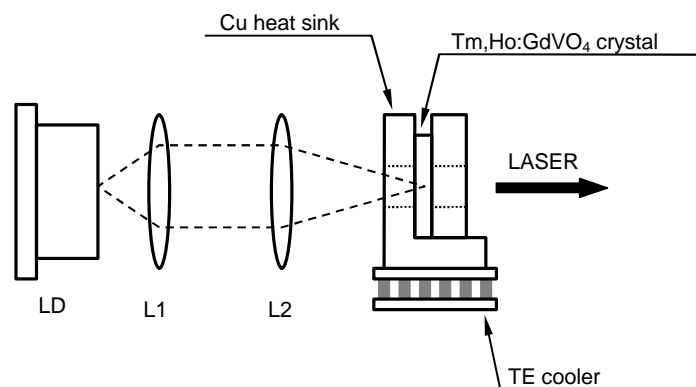


Fig.1 Schematic diagram of the microchip Tm,Ho:GdVO₄ laser.

の励起波長に対する高反射コーティングにより励起光は、往復のパスで結晶に吸収され、その結果、励起光吸収率は57%から80%にまで高められる。使用した結晶は、Tmが7 at.%、Hoが0.4 at.%ドープされたGdVO₄結晶であり厚さは0.7mmである。また、結晶の両端面は、ペルチエ素子上にマウントされた銅製ヒートシンクで伝導冷却されている。

3. 実験結果

Fig.2 は、Tm,Ho:GdVO₄ レーザの連続発振時における入出力特性を示す。結晶温度は、18 °Cとした。入射励起パワーが1.5W以下のとき、出力パワーは励起パワーの増加と共に直線的に増加し、このとき、スロープ効率35%、光対光変換効率24%が得られた。これは、室温付近で動作するTm,Ho コーポのバナデートレーザでは、最も高い効率である。また、結晶温度を40 °Cまで上昇させた場合でも、レーザ発振は確認され、入射励起パワー1.7Wのとき0.3Wで発振していることがわかった。最大出力パワーは、入射励起パワー2.8Wに対し得られ、0.55Wに達した。しかしながら、入射励起パワーが1.5W以上の場合、励起強度を高めると共にスロープ効率の低下が起こることがわかった。これは、強励起下におけるレーザ上準位からのアップコンバージョンや、ビーム品質の低下に伴うモードマッチング効率の低下が原因として考えられる。Fig.3 は、ナイフエッジ法により測定した入射励起パワーに対するビーム品質(M^2 値)の変化を示す。入射励起パワーが1.7W以下のとき、水平方向及び垂直方向における M^2 はいずれも1.1以下であったが、励起パワーを増加させると共に M^2 は最大で1.9まで増加した。以上の結果から、現在の構成では、出力0.4W程度までは、高効率かつ高ビーム品質(TEM₀₀ モード)での動作が可能であることがわかった。

4. おわりに

本研究では、波長2.05 μ m付近で発振するシーダー用光源としてTm,Ho:GdVO₄レーザに注目し、レーザの試作ならびに基本的動作特性の測定を行った。試作したTm,Ho:GdVO₄レーザは、室温付近の動作において優れた出力特性を示した。今後さらに、単一周波数化を進めていく。

参考文献

- 1) G. J. Koch, B. W. Barnes, M. Petros, J. Y. Beyon, F. Amzajerjian, J. Yu, R. E. Davis, S. Ismail, S. Vay, M. J. Kavaya, and U. N. Singh, *Appl. Opt.* **43**, 5092 (2004).
- 2) T. M. Taczak and D. K. Killinger, *Appl. Opt.* **37**, 8460 (1998).
- 3) G. J. Koch, A. N. Dharamsi, C. M. Fitzgerald, and J. C. McCarthy, *Appl. Opt.* **39**, 3664 (2000).
- 4) H. Zhang, J. Liu, J. Wang, C. Wang, L. Zhu, Z. Shao, X. Meng, X. Hu, M. Jiang, and Y. T. Chow, *J. Opt. Soc. Am. B* **19**, 18 (2002).
- 5) Y. Urata and S. Wada, *Appl. Opt.* **44**, 3087 (2005).
- 6) A. Sato, K. Asai, and K. Mizutani, *Opt. Lett.* **29**, 836 (2004).
- 7) B. Yao, Y. Wang, Y. Ju, and W. He, *Opt. Express* **13**, 5157 (2005).
- 8) P. J. Morris, W. Lüthy and H. P. Weber, *Opt. Commun.* **111**, 493 (1994).

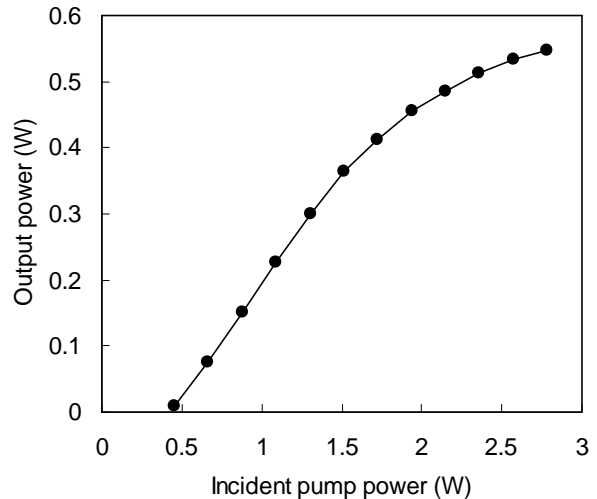


Fig.2 Output power as a function of incident pump power.

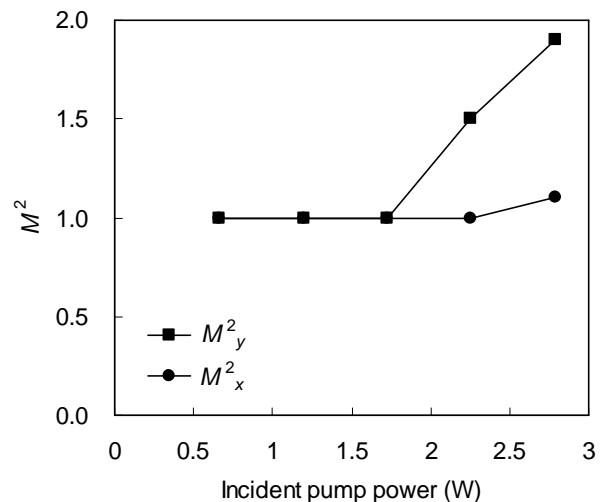


Fig.3 Beam quality factor M^2 as a function of incident pump power.