

側面励起型 Tm:YLF レーザー励起 Ho:YLF レーザーの開発

佐藤 篤¹, 石井 昌憲²

¹東北工業大学 (〒982-8577 宮城県仙台市太白区八木山香澄町 35-1)

²東京都立大学 (〒191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6)

Development of a Ho:YLF Laser Pumped by a Side-Pumped Tm:YLF Laser

Atsushi SATO¹ and Shoken ISHII²

¹Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama-kasumi-cho, Taihaku-ku, Sendai, Miyagi 982-8577

²Tokyo Metropolitan Univ., 6-6 Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, Japan 191-0065

Abstract: A Ho:YLF laser intracavity-pumped by a side-pumped Tm:YLF rod laser was proposed, and the Tm:YLF and Ho:YLF laser heads for this laser system were developed and evaluated. In normal-mode operations of the Tm:YLF laser, an output energy of 18 mJ was obtained at a crystal temperature of 15°C. Using this laser, the transmission of the Ho:YLF rod at the Tm:YLF laser wavelength was measured. As expected, the 5-mm-long Ho:YLF rod exhibited an absorption efficiency of approximately 10%, corresponding to the output coupling for the Tm:YLF laser in the intracavity-pumping scheme.

Key Words: Solid-state laser, Pulsed laser, Doppler lidar

1. はじめに

衛星搭載ドップラー風ライダー(DWL)は、数値予報精度の向上に寄与するアクティブセンサーとして期待されている¹⁾。光ヘテロダイン検波方式の波長 2 μm 帯 DWL は、光送信機に用いる Ho レーザーのアイセイフ性や高エネルギー動作に適した光学特性から、風観測用ライダーシステムを構築する上での有力な選択肢の一つである。筆者らのグループによる先行研究では、Tm,Ho コドープ結晶を用いた波長 2 μm 帯レーザーにおいて、超低高度衛星搭載を想定した要求仕様を満たす光送信機用レーザーの実現可能性を実証したが²⁾、衛星搭載に向けた低消費電力化が課題として残っていた。低消費電力化には、レーザー動作温度の上昇による冷却用電力の低減及びレーザーの高効率化による励起用半導体レーザー(LD)の駆動電力の低減が必要であり、そのための新しい発振方式として、Tm レーザー共振器内共鳴励起による Ho レーザーを提案した³⁾。本稿では、励起光源となる側面励起型 Tm:YLF レーザーならびに 2 μm レーザー発振器となる Ho:YLF レーザーの開発状況について報告する。

2. レーザーの構成及び Tm:YLF レーザー実験

共振器内共鳴励起型 Ho:YLF レーザーの動作実証は、Fig. 1 に示される構成により行うことを想定しており、本研究では、そこで用いるレーザーヘッドの基礎実験を行った。Ho:YLF レーザーの励起光源となる Tm:YLF レーザーは、直径 3 mm、長さ 8 mm の 6%Tm:YLF ロッドを疑似連続発振(QCW)LD により 3 方向から側面励起する構造となっている。LD の励起パルス幅は 1~1.2 ms とした。この励起パルス幅は、LD

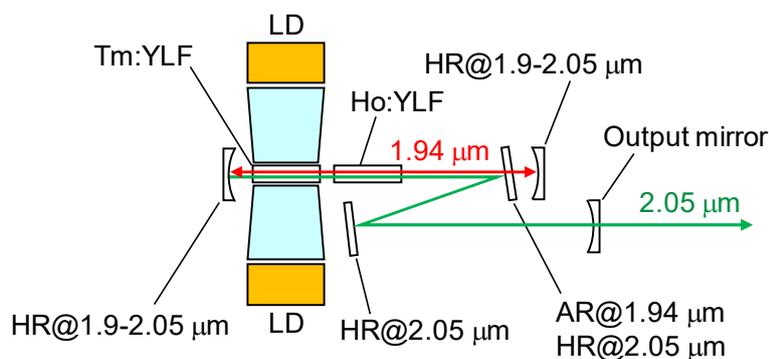


Fig. 1. Experimental setup of the intracavity-pumped Ho:YLF laser.

のデータシート上の典型値よりも数倍長い場合、負荷軽減の目的で繰り返し周波数を 5 Hz とし、ディューティ比を 1% 以下に抑えている。Fig. 2 に Tm:YLF レーザー部の外観を示す。結晶及び LD は銅製ヒートシンクにより伝導冷却されており、LD 光はヒートシンク間に挿入された厚さ 1.2 mm の石英ライトガイドを通して結晶内に入射させた。Fig. 3 に Tm:YLF レーザー単体での入出力特性を示す。Tm レーザー実験は、Fig. 2 に示されるように Tm:YLF レーザーヘッドを 2 枚の共振器ミラー間に設置することにより行った。共振器は、曲率半径 1 m の全反射鏡と曲率半径 100 mm、反射率 98% の出力鏡により構成し、共振器長は 95 mm とした。結晶ヒートシンク用冷却水の温度を 15°C、励起パルス幅を 1 ms 及び 1.2 ms とし、ノーマル発振出力を比較した。同じ励起エネルギーに対するレーザー出力は、いずれの励起パルス幅に対しても等しいことが確かめられた。励起パルス幅 1.2 ms において、励起エネルギー 1.29 J のとき最大出力 18 mJ が得られた。今後、基礎データ取得後、2 ms 程度まで励起パルス幅を増加させ、数十 mJ レベルで動作させる予定である。

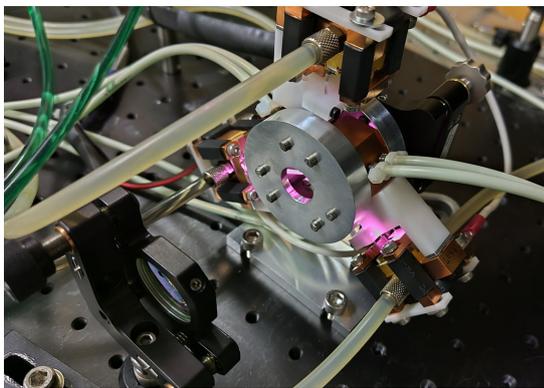


Fig. 2. Photograph of the side-pumped Tm:YLF laser.

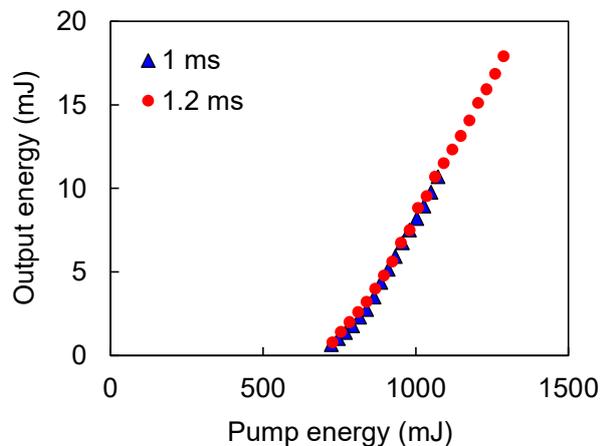


Fig. 3. Output energy of the Tm:YLF laser in normal-mode operations as a function of pump energy.

3. Ho:YLF レーザーの試作

Fig. 4 に試作した Ho:YLF レーザーを示す。Ho:YLF レーザーは、Tm:YLF レーザーによる端面励起となるため、Ho レーザーロッドの側面全面を銅製ヒートシンクで伝導冷却した。ヒートシンク用の冷却水温度は 15°C とした。使用した Ho:YLF ロッドは、直径 3 mm、長さ 5 mm であり、Ho ドープ率は 0.5 at.% である。レーザー設計において、励起光源となる Tm:YLF レーザーは、波長 1.91~1.94 μm 付近で発振することが想定されており³⁾、この波長領域での Ho:YLF 結晶の吸収係数は $0.3 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ 程度である⁴⁾。また、波長 1.915 μm 付近のピーク波長に対する π 偏光に比べ σ 偏光の方がわずかに高い⁴⁾。発振させた Tm:YLF レーザーの出力を用いて Ho:YLF ロッドでの透過率の測定を行った結果を Fig. 5 に示す。Tm:YLF

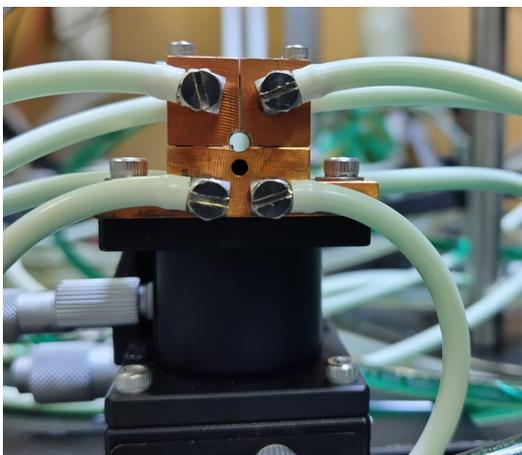


Fig. 4. Photograph of the Ho:YLF laser head.

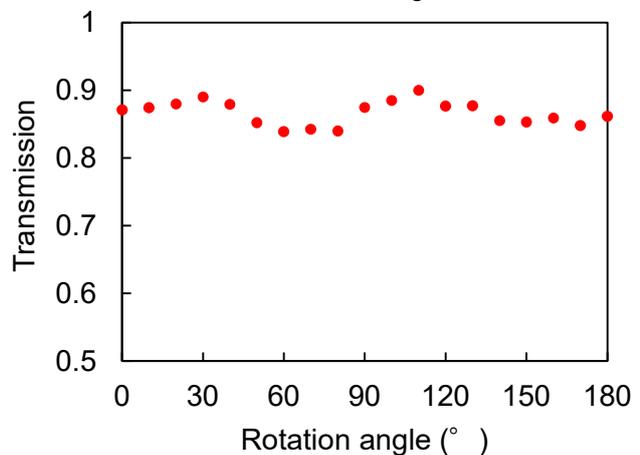


Fig. 5. Transmission of the Ho:YLF rod at the Tm:YLF laser wavelengths.

レーザーの出力光は、直径 1.6 mm のアパーチャーを通してビーム径を制限した後、Ho:YLF ロッドへと入射させた。また、Tm:YLF レーザーの偏光は、 $\lambda/2$ 波長板により回転させた。測定の結果、透過率は入射光の偏光に依存し、84~90%の間で変化することが確認された。吸収係数 $0.3 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ の場合の Ho:YLF ロッドの透過率は、計算上 90%となるため、概ね想定通りの吸収が得られていることがわかった。共振器内励起時の Tm:YLF レーザーの発振波長は、本実験と異なる可能性があるが、得られた Ho:YLF ロッドの透過特性は共振器内励起時における Tm:YLF レーザーの出力結合の推定に寄与する。

4. まとめ

本稿では、Tm:YLF レーザーを励起光源とした共振器内共鳴励起型 Ho:YLF レーザーの開発状況について述べた。側面励起型 Tm:YLF レーザーヘッド及び端面励起型 Ho:YLF レーザーヘッドを試作し、レーザー設計に必要な基礎データの測定を行った。今後、Tm:YLF レーザーの高出力化を進め、Ho:YLF レーザーの発振実験に着手する。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K04929 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) S. Ishii, P. Baron, M. Aoki, A. Sato, K. Okamoto, T. Ishibasi, T. Y. Tanaka, T. T. Sekiyama, T. Maki, K. Yamashita, T. Nishizawa, M. Satoh, T. Iwasaki, M. Yasui, K. Mizutani, S. Ochiai, Y. Satoh, D. Sakaizawa, R. Oki, and T. Kubota: *J. Meteor. Soc. Japan* **95** (2017) 301.
- 2) A. Sato, M. Aoki, S. Ishii, R. Otsuka, K. Mizutani, and S. Ochiai: *IEEE Photon. Technol. Lett.* **29** (2017) 134.
- 3) A. Sato and S. Ishii: The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO-PR 2022) (Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, 31 July - 5 August, 2022), P-CTh1-06.
- 4) B. M. Walsh, N. P. Barnes, and B. D. Bartolo: *J. Appl. Phys.* **83** (1998) 2772.