

# 角柱型 Tm,Ho:LLF ロッドを用いた 伝導冷却型 Q スイッチ・レーザの室温動作特性

Lasing characteristics of a conductively cooled, Q-switched laser  
with a triangular-prism Tm,Ho:LLF rod at room temperature

佐藤 篤, 浅井和弘, 町田 博\*, 浦田佳治\*\*, 和田智之\*\*, 水谷耕平\*\*\*  
A. Sato, K. Asai, H. Machida\*, T. Urata\*\*, S. Wada\*\*, and K. Mizutani\*\*\*

東北工業大学, \*NEC トーキン, \*\*メガオプト, \*\*\*情報通信研究機構  
Tohoku Institute of Technology, \*NEC TOKIN Corp., \*\*Megaopto Co., Ltd, \*\*\*NICT

## Abstract

We propose a novel laser pump head with a triangular-prism Tm,Ho:LLF rod for conductive-cooling. The laser design was optimized by using a ray-tracing software, and a pump absorption efficiency was expected to be approximately 80% under an optimum design. Laser experiments were made in normal-mode and Q-switched operations at room temperature. An output energy of 95 mJ and an optical-to-optical conversion efficiency of 10% were obtained at a pulse repetition frequency of 5 Hz in normal-mode operation. Using a fused-silica acousto-optic Q-switch, the laser produced an output energy of 21 mJ in a single Q-switched pulse.

## 1. はじめに

筆者らは、風向・風速測定用コヒーレント・ドップラー・ライダーや CO<sub>2</sub> 観測用 DIAL などへの応用が可能な高いコヒーレンスを有するアイセーフ(eye-safe)固体レーザの研究を行っている。アイセーフ・レーザの中でも、波長 2 $\mu$ m 帯で発振する Tm,Ho コドープ固体レーザは、レーザ上準位寿命が長いことから Q スイッチ動作時あるいはアンプ動作時におけるエネルギー蓄積効率が高く、また Ho の適度な誘導放出断面積が数百 ns オーダーの比較的長い Q スイッチ・パルスの発生を可能にするため、狭帯域かつ高出力動作を必要とするコヒーレント・ライダー用の光源として適している。Tm,Ho コドープ材料のホスト結晶としては、強励起時におけるアップコンバージョンが起こりにくいことから、従来より YLF が多く用いられてきた<sup>1)</sup>。しかしながら、LLF や GdVO<sub>4</sub> などの新しいホスト結晶が YLF よりも高効率で発振することが筆者らの動作比較実験により明らかとなった<sup>2-4)</sup>。一方、衛星搭載ライダーなどでは高い耐環境性が要求されるため、この点から LD 励起型でかつ伝導冷却方式を採用した送信機用固体レーザが必要とされている。本研究では、レーザ結晶として Tm,Ho:LLF を用いた伝導冷却型固体レーザの最適設計法を検討すると共に、試作した Tm,Ho:LLF レーザの Q スイッチ動作実験を行ったので報告する。

## 2. 励起ヘッドの設計

レーザ・ロッド形状は、ヒートシンクとの接触面となるレーザ・ロッド側面の面積を大きくするため三角柱とした。この形状では、励起ヘッドの構造が 3 方向からの励起となるため、4 方向励起のような偶数方向からの励起に比べロッド中心付近にピークをもつ励起強度分布を形成しやすい利点がある。Fig.1 は、三角柱ロッドを用いた励起ヘッドの概略を示す。ヒートシンクは、励起用スリットを有しており、ここからライトガイドにより集光された励起光がレーザ・ロッドへ入射する。レーザ・ロッドは、Tm イオン及び Ho イオンがそれぞれ 5%

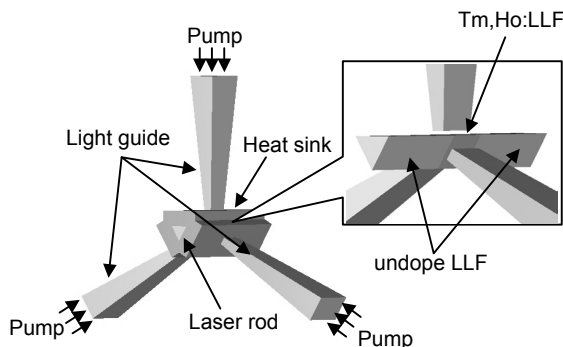


Fig.1 Design of the conductively cooled pump head.

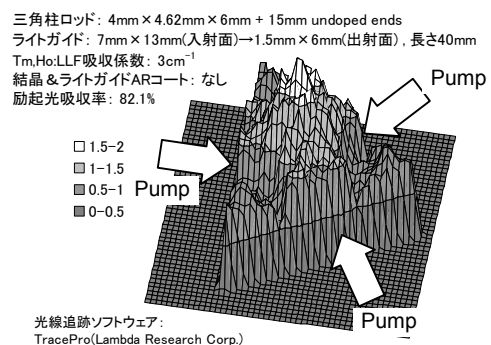


Fig.2 Calculated pump distribution in the laser rod.

及び 0.5% 添加されたドーブ部(長さ 6mm)とアンドーブ部(長さ 15mm)からなるコンポジット LLF ロッドであり、ロッド断面(三角形)のサイズは底辺 4.6mm×高さ 4mm となっている。レーザ・ロッドの両端面は波長 2.05 $\mu\text{m}$  に対して AR コーティングされている。励起用 LD は、コリメート用マイクロレンズ付きの 7 段スタック型 Quasi-CW LD であり、パルス幅 1.5ms、中心波長 791nm で動作させた。この設計におけるレーザ・ロッド内励起強度分布の解析結果を Fig.2 に示す。パラメータとしてライトガイド出射面の面積(=励起用スリット面積)を変化させた場合、高さ 1.5mm×幅 6mm としたとき最適な結果が得られ、そのとき励起光の吸収率は 82% に達することがわかった。

### 3. 実験結果

Fig.3(a)及び(b)は、ヒートシンクとの接触面であるロッド側面を研磨した場合と研磨していない場合におけるノーマル発振特性の比較結果を示す。光共振器は、反射率 80%の平面出力鏡と平面全反射鏡からなるファブリーペロー型共振器とし、共振器長は 90mm とした。ロッド側面を研磨しない場合、繰り返し周波数を 1Hz から 5Hz に変化させたとき、レーザ出力は 98mJ から 49mJ に減少した。これに対し、側面を研磨したロッドでは結晶とヒートシンクとの間の熱伝達率を高めることができるため、5Hz で動作させた場合でもレーザ出力の低下は小さいことが確かめられた。このとき、5Hz でのスロープ効率、側面研磨なしのロッドでは 9%であったのに対し、側面研磨ありのロッドではその 2 倍の 19%に達することがわかった。次に共振器内に AO Q スイッチを挿入し、Q スイッチ動作実験を行った。Fig.4 は、Fig.3(b)の実験に使用した側面研磨ロッドを用いた場合の Q スイッチ発振特性を示す。繰り返し周波数 4Hz のとき、最大パルス・エネルギー 21mJ が得られた。また、5Hz の場合でもパルス・エネルギーの低下はほとんどなく、このとき最大平均パワー 0.1W が得られた。最大パルス・エネルギーにおけるパルス幅は約 730ns であった。強励起時におけるスロープ効率の低下は、アップコンバージョンによるレーザ上準位でのエネルギー蓄積効率の低下が原因であると考えられる。

### 4. おわりに

今回使用した Tm,Ho:LLF ロッドは、結晶品質が低かったため、十分な動作効率が得られなかった。今後、高品質な結晶に置き換えることにより、高効率化ならびに高繰り返し化を進めていく。

### 参考文献

- 1) J. Yu *et al.*, Opt. Lett. **23**, 780 (1998).
- 2) 佐藤他, 第 22 回レーザセンシングシンポジウム, P-5-06, p.49-52 (2003).
- 3) V. Sudesh, K. Asai *et al.*, J. Opt. Soc. Am. B **20**, 1829 (2003).
- 4) A. Sato, K. Asai, and K. Mizutani, Opt. Lett. **29**, 836 (2004).

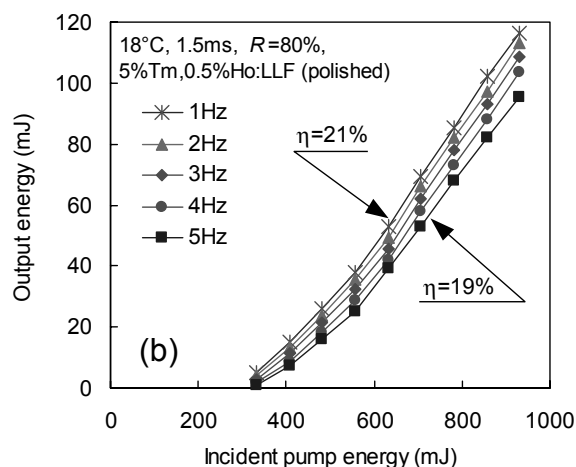
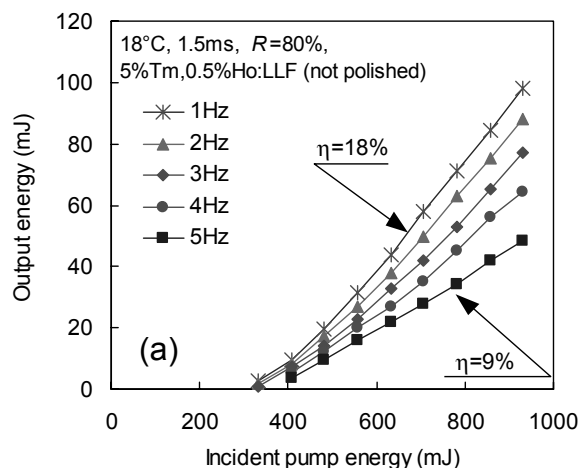


Fig.3 Lasing characteristics of the Tm,Ho:LLF laser in normal mode operations.

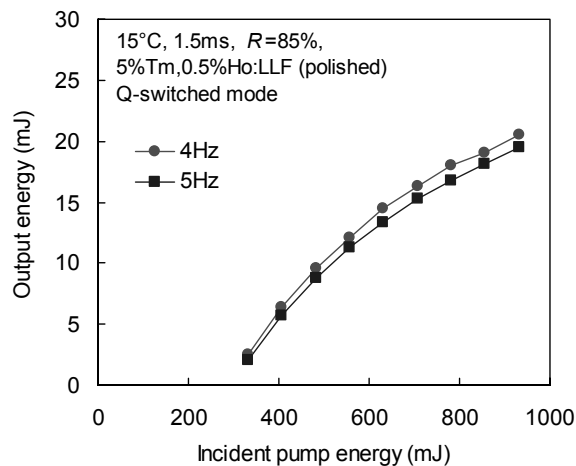


Fig.4 Q-switched pulse energy as a function of incident pump energy.