

低温域での Tm,Ho コドープレーザーの電子冷却化の検討

佐藤 篤¹, 草刈 星貴¹, 伊藤 大喜¹

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)

Study on thermoelectric cooling of a Tm,Ho-codoped laser in the low-temperature region

Atsushi SATO¹, Toshiki KUSAKARI¹, and Daiki ITO¹

¹Tohoku Institute of Technology, 35-1 Yagiyama-Kasumi, Taihaku, Sendai, Miyagi 982-8577

Abstract: Tm,Ho-codoped lasers operating at 2 μm are promising candidates as a laser transmitter for Doppler wind lidar systems. Conductive-cooling with a thermoelectric (TE) cooler offers the feasibility of developing the laser transmitter operating under severe environment, such as space. However, excessive cooling by using the TE cooler leads to a significant increase in the power consumption for cooling. In this study, Tm,Ho-codoped lasers with TE coolers operating at temperatures around -20°C was developed, and characteristics of the laser and the cooling system were investigated. Laser experiments were performed with Tm,Ho:LLF crystals in a dry nitrogen environment. In normal-mode operations at -17.5°C , the laser produced an output energy of 20.7 mJ at a pulse repetition frequency of 5 Hz. Based on these results, a trade-off between power consumptions of the cooling system and the optical pumping module is discussed.

Key Words: Solid-state laser, Cooling system, LIDAR application

1. はじめに

波長 $2\mu\text{m}$ 帯で発振する Ho ドープ固体レーザーは、従来より、風観測用ドップラーライダーや二酸化炭素観測用差分吸収ライダーの光源として開発が進められてきた¹⁻³⁾。近年、Tmファイバーレーザー励起の端面励起型 Ho レーザーが高平均出力動作として注目されているが、高エネルギー動作が求められる用途では、波長 $0.79\mu\text{m}$ 帯高出力半導体レーザーによる側面励起が可能な Tm,Ho コドープレーザーが必要となる⁴⁾。情報通信研究機構(NICT)では、 -80°C で 100mJ 級かつ高平均出力 ($>7\text{W}$)の伝導冷却型 Tm,Ho:YLF レーザーの開発に成功しているが⁵⁾、現行システムでは冷却電力が大きいことが課題となっている。一方、水冷型レーザーから始まり室温動作環境で研究開発を展開してきた米国航空宇宙局(NASA)の Tm,Ho コドープレーザーは、励起エネルギーの高さと平均出力の低さが課題となっている⁶⁾。このような背景から、 $-40\sim 0^\circ\text{C}$ 付近の温度帯は大規模な冷凍機が不要かつ励起電力も抑えられるため、有望な動作温度帯である。この温度帯は、ペルチェ素子の利用可能性も有しており、今後、ペルチェ素子の実用上の排熱能力の評価やレーザー結晶の最適ドープ率の検討が必要となる。そこで、本研究では、ペルチェ素子による冷却能力の評価と Tm,Ho コドープレーザーの最適化を目的とした電子冷却型 Tm,Ho:LLF レーザーを試作し、電子冷却化の基礎実験を行った。

2. 結晶冷却部の構成

Fig. 1 に結晶マウント及び電子冷却部の構造を示す。レーザー結晶は、プリユースターカットの 5% Tm,0.5% Ho:LLF であり、サイズは $2.5(\text{H})\times 3(\text{W})\times 2.7(\text{L})\text{mm}$ である。これをレーザー光軸方向に 2 個並べて配置し、長さ 5.4mm 相当の結晶として使用

した。結晶の全ての面は、光学研磨されている。励起はプリユースターカット端面から行い、残りの側面 4 面が銅製ヒートシンクとの接触面となる。ペルチェ素子(ジーマックス FPH1-7108AC)は、上下の結晶マウントにそれぞれ取り付け、その排熱面は水冷ヒートシンクにより温度保持した。ペルチェ素子の仕様は、最大電流 8.5A、最大電圧 8.8V、最大吸熱量 43.1W、最大温度差 70°C 、吸熱面及び排熱面サイズ $30\times 30\text{mm}$ である。Fig. 2(a)及び(b)にそれぞれ温度モニタ位置及びペルチェ素子の基礎特性を示す。温度測定は、白金温度センサーにより行った。また、実験は窒素置換環境下で行った。 $\Delta T(=T_w-T_p)$ は、ペルチェ素子の吸熱面-排熱面間の温度差に相当しているが、グラフからわかる通り、同じ温度差を作る場合でも低温ほど大きな電力を必要とする。これは、ペルチェ素子の吸熱面からの熱だけでなく、連続供給されている室温の窒素ガスからも吸熱しているためであると考えられる。

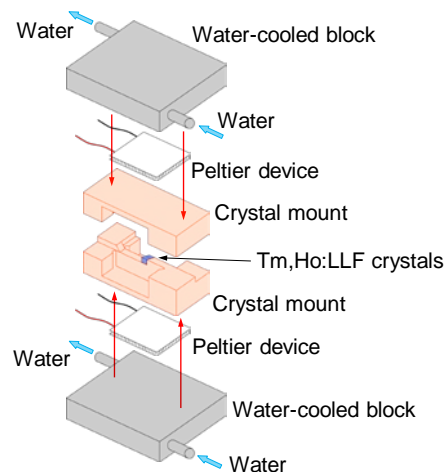


Fig. 1 Geometry of a thermoelectric cooled crystal mount.

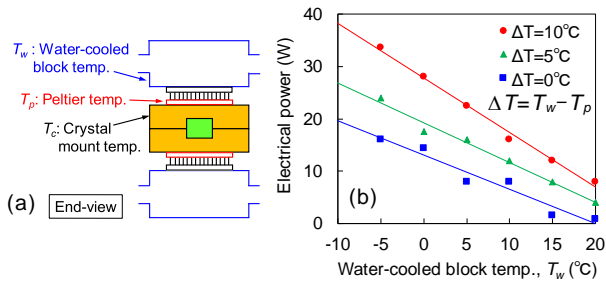


Fig. 2 Cooling performance without optical pumping. (a) Monitoring point. (b) Electrical powers for different ΔT .

3. レーザの構成

Fig. 3 に試作した Tm,Ho:LLF レーザの共振器構成を示す。励起光源は、中心波長 792nm、パルピッチ 1.9mm の 2 段スタック型半導体レーザー(LD)であり、パルス長 5ms、繰り返し周波数 5Hz で駆動した。LD から出射した励起光は、直径 2mm のロッドレンズにより軸方向がコリメートされた後に焦点距離 25.4mm のレンズでレーザ結晶に集光される。レーザ結晶での励起光吸収率は、光線追跡シミュレーションの結果、71%であることがわかった。励起方式は端面励起型であるが、レーザ光軸がブリュースター角を満たす方向であるのに対し、励起光軸はレーザ結晶のブリュースターカット面に垂直であるため、角度の違いを利用し空間的に 2 つの光軸が分離されている。共振器はファブリーペロー型であり、共振器長は 1.48m とした。出力鏡反射率は 85% である。レーザ装置全体は、シートで覆い、周囲の空気を窒素置換した。

4. 実験結果

Fig. 4 にペルチェ素子の吸熱面温度 $T_p = -17.5^\circ\text{C}$ 、 0°C 、 20°C のときのノーマル発振特性を示す。励起エネルギー 1030mJ に対し、 20°C のとき出力エネルギー 11mJ が得られ、 -17.5°C まで冷却することにより出力エネルギーは 20.7mJ まで増加した。ここで得られた発振しきい値及びスロープ効率から、測定した各温度において出力エネルギーが 20mJ となる励起用 LD の駆動電力を求め、ペルチ

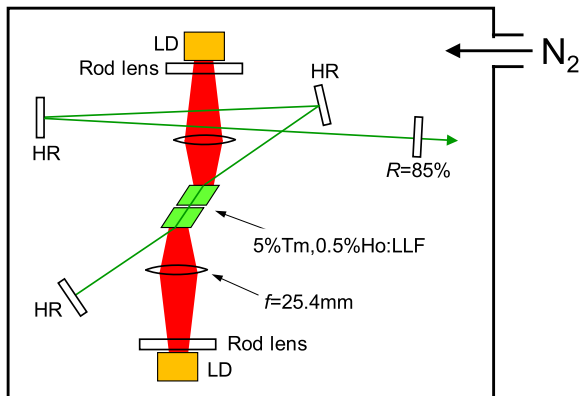


Fig. 3 Resonator configuration of the end-pumped Tm,Ho:LLF laser.

エ素子の駆動電力と比較した結果を Fig. 5 に示す。なお、LD 冷却用電力は、結晶温度とは無関係であり、このトレードオフには関係ないため、このデータには含めていない。実験の結果、レーザ出力の温度依存性に比べ、ペルチエ素子の駆動電流の温度依存性が極めて大きいことがわかった。ただし、今回の実験では、Fig. 2(b)に示した通り、窒素ガスの影響を大きく受けているため、今後、この影響を軽減しながら検討を進めていく。

5. まとめ

本研究では、 -20°C 付近で動作する電子冷却型 Tm,Ho:LLF レーザを試作し、レーザ出力特性と冷却部及び励起部駆動電力の温度依存性について検討した。今後、この温度帯でのドープ率の最適化と並行して、電子冷却方式の導入可能性についてさらに検討を進めていく。

参考文献

- 1) U. N. Singh *et al.*: Opt. Mater. Express **5** (2015) 827.
- 2) S. Ishii *et al.*: Appl. Opt. **49** (2010) 1809.
- 3) S. Ishii *et al.*: J. Meteor. Soc. Japan **95** (2017), <http://doi.org/10.2151/jmsj.2017-017>.
- 4) C. T. Wu *et al.*: Laser Phys. **22** (2012) 635.
- 5) A. Sato *et al.*: IEEE Photon. Technol. Lett. **29** (2017) 134.
- 6) Y. Bai *et al.*: Opt. Lett. **37** (2012) 2562.

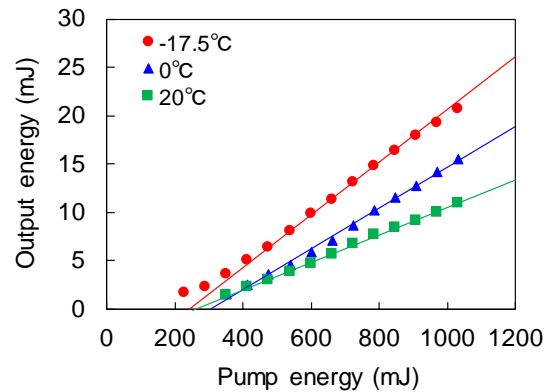


Fig. 4 Output energy as a function of pump energy.

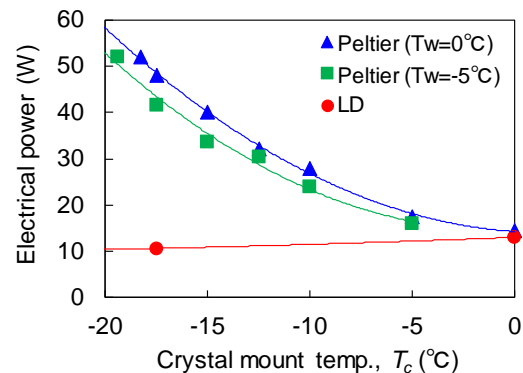


Fig. 5 Temperature dependence of electrical power for LDs and Peltier devices.