

レーザダイオード励起高効率Tm:YAGセラミックレーザ

Laser-diode pumped highly-efficient Tm³⁺:YAG ceramic laser

前田 真吾、千葉 健太郎、鈴木 祐仁、古味 孝夫、嶺 康晴、土志田 実

Shingo MAEDA, Kentaro CHIBA, Yuji SUZUKI, Takao KOMI, Yasuharu MINE and Minoru DOSHIDA

防衛省 技術研究本部 電子装備研究所 (〒154-8511 東京都世田谷区池尻1-2-24)

Electronic Research System Center, TRDI, Ministry of Defense, 1-2-24, Ikejiri, Setagaya, Tokyo, 154-8511, JAPAN

We report on highly-efficient continuous-wave Tm³⁺:YAG ceramic lasers at 2μm of absorbed pump from a laser diode. We obtained output power of 11.5 W with a slope efficiency of 66.5% at 10°C by pumping around the peak of absorption of 787 nm. The maximum output power of 12.1 W with a slope efficiency of 66.2% was achieved when pumping at the wavelength of 789 nm shifted from the peak of absorption to lessen a thermal instability.

1. はじめに

2 μm帯は、野外において背景ノイズの比較的小さい波長域で、目に障害を起こしにくいアイセーフ領域である。水(1.94 μm)、水蒸気(1.88 μm、1.91 μm)、二酸化炭素(1.96 μm、2.01 μm、2.06 μm)、メタン(1.67 μm)などの吸収帯は点在するが、大気の透過性も良いため、この波長帯で発振するレーザは、医療、リモートセンシング、防衛技術など様々な分野で幅広く研究されている^[1]。また、2 μm帯は、光パラメトリック共振器(OPO)により中赤外域光を発生できる波長帯であるため、その励起光源として高出力化等の研究も盛んに行われている。我々は、その波長帯の中でも2016 nmを効率的に発生させる媒質としてTm³⁺(ツリウム)をYAG (Y₃Al₅O₁₂)にドーブしたセラミック結晶を用い、高出力かつ高効率なレーザの開発を行った。本研究でレーザ媒質に採用したセラミック結晶は、品質が年々向上しており、同波長帯の発生において、数多くの成果をあげており^[2]、単結晶では難しい大型の結晶作製や製造コストの低減という点からも注目されている。

2. 実験

Fig. 1に、その光学配置図を示す。励起光はレーザダイオード(DILAS社製)から出射された波長787nmまたは789nmの連続発振光で、焦点距離75mmのレンズで集光され、Tm³⁺イオン濃度6.2 at.%のYAGセラミック結晶(ワールドラボ社製)へと入射される。その結晶は、寸法が4mm×4mm×10mmで、ペルチェ素子及び放熱マウント(スパークリングフoton社製)によって10°Cに温度調節されている。結晶両端面には、無反射コーティングが施され、励起側の端面には2μm付近の波長に対し、高反射コーティングが施されている。また、出力結合ミラーには曲率半径250mmの凹面ミラーを用い、その反射率は2μm付近の波長において96%を用いた。本レーザ共振器は、ABCD行列式を解くことで、レーザのビームウエストがセラミック結晶中心で100μmになるように設計している。

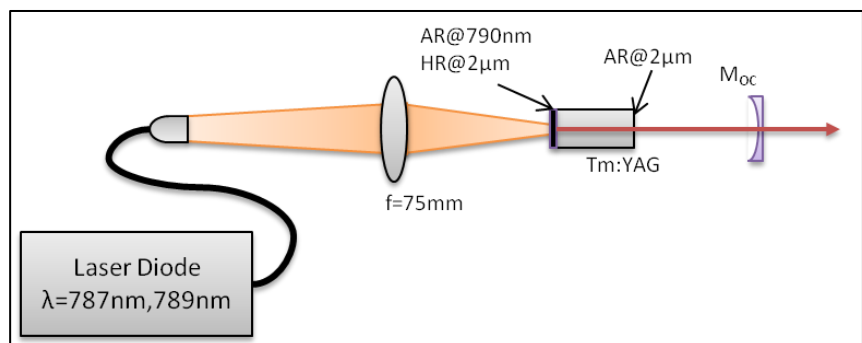


Fig. 1. The schematic diagram of the experimental setup

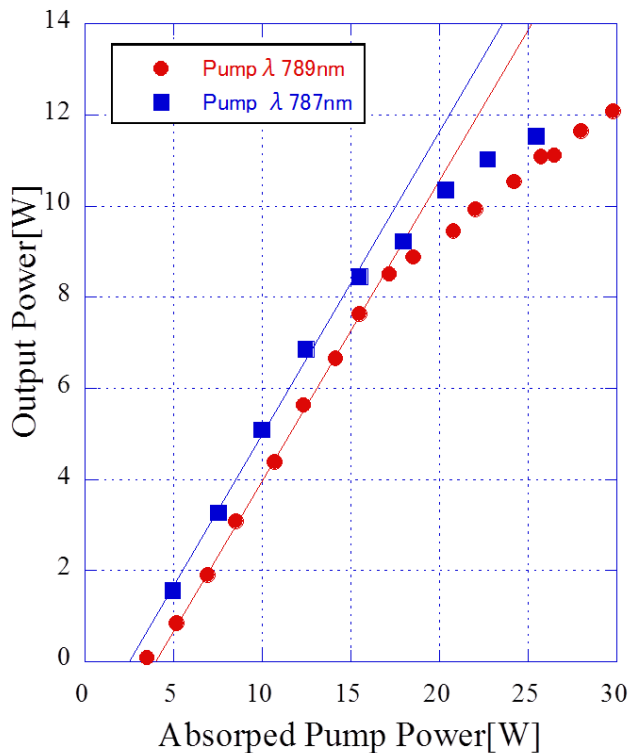


Fig. 2. The plots of the output power as a function of the absorbed pump power and linear fittings.

3. 結果と考察

Fig. 2に、入射光吸収強度とレーザ出力強度を示す。まず、励起波長が媒質の吸収ピーク波長付近であり787nmの時、出力11.5Wが得られ、その時のスロープ効率は66.5%で、光-光効率は52.7%(最大値)であった。しかし、図からもわかるように、出力強度が大きくなると、排熱不良及び結晶内での熱レンズ効果により、共振器の安定条件が崩れるため、レーザ発振が極めて不安定になる。そこで、励起波長をさらに長波長側に2nmシフトした789nmにし、吸収量を低減することでレーザの高出力化を試みた。ドープ濃度が比較的高く結晶長も比較的長い結晶を用いることで、結晶内での単位長あたりの吸収量が低減され、熱の集中が緩和される。当然ながら光-光効率は31.1%(最大値)に下がったが、スロープ効率は66.2%と大きく下がることなく本実験における最大出力である12.1Wを得た。これまでのTm:YAGをレーザ媒質に用いた最も高いスロープ効率は、セラミック結晶による65%^[3]であったが、それを上回る成果を得た。

4. まとめ

本研究では、Tm:YAGセラミック結晶を用い、高出力の2μm帯レーザ光(波長2016nm)の発生を行った。Tm:YAGの吸収ピーク付近である787nmで励起した時、これまでに無い高いスロープ効率66.5%を得た。一方で、さらに長波長側にシフトさせた789nmで励起した時、本研究における最大出力12.1Wが得られた。既に、セラミックは単結晶の場合よりも高効率を得ており^[3]、その粒界散乱が極めて軽微かつ光学的均一性にも優れていることを示唆している。この高いスロープ効率は、セラミック材料の光学損失低減に起因しているため、冷却方法の改善により更なる高効率化、高出力化が期待できる。

5. 謝辞

本研究の遂行にあたって、ワールドラボ株式会社の池末明生博士に貴重なご助言をいただきました。この場を借りて感謝いたします。

6. 参考文献

- [1] K.Scholle et al., "Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics," (InTech, 2010).
- [2] J. Sanghera et al., "Ceramic Laser Materials," *Materials*, **5**, 258-277 (2012).
- [3] W. L. Gao et al., "Highly efficient 2 μm Tm:YAG ceramic laser," *Opt. Lett.* **37**, 1075 (2012).