

セラミックを使った超コンパクトパワーレーザー

～半導体レーザー励起型低温冷却希土類セラミックレーザー～

Compact power ceramic laser for scientific and industrial applications

Objective

QUADRA-P は fs～ps の時間領域で高パルスエネルギー (>1J)・高繰り返し (~100Hz) の両立を目指す世界初のパワーレーザーであり、発生する高強度場を利用して新しい物理の開拓や新産業基盤技術に資することができる。従来のレーザー増幅器では、効率や熱除去能力の限界が装置の大型化やビーム品質の低下を招いていた。このため、新規の Yb:YAG セラミック材料と独自の増幅器構造を提案し、高いパワースケーラビリティを有する増幅器を試作し、性能評価を行っている。

Quadra-P is an advanced laser system for obtaining high pulse energy with fs-ps pulse duration at high repetition rate. Using a conventional laser amplifier, the poor efficiency and insufficient heat removal result in the increased system size. We have originally designed a new laser amplifier, which can artificially control the characteristics of a laser material made of composite Yb: YAG ceramics, to drastically improve the energy extraction efficiency and heat removal in low temperature condition.

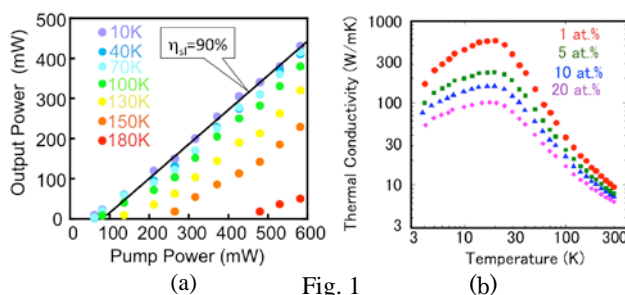


Fig. 1

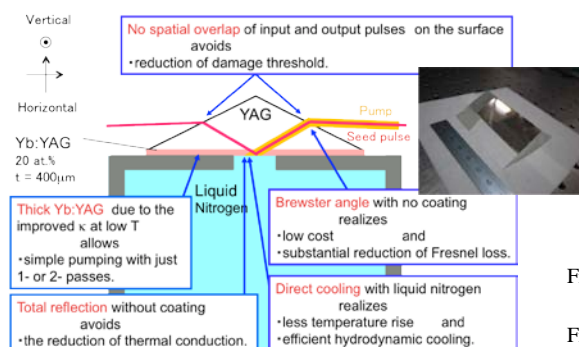


Fig. 2

Achievement

- レーザー材料として Yb:YAG 結晶を低温冷却することに着目し、理論限界値の高効率動作 (光-光変換効率 90%) を実現した¹⁾ (Fig.1(a))。さらに低温時の熱伝導率向上 (Fig.1(b)) を利用して結晶の温度上昇を 1/10 以下に抑えて安定動作を実現した。

- YAG/Yb:YAG コンポジットセラミック技術を利用した独自の TRAM (Total-Reflection Active-Mirror) 型増幅器 (Fig.2) を開発し、低温動作と組み合わせて高い熱除去能力と高い光学破壊閾値の両立を目指した²⁾。その結果、100Hz の高繰り返しパルスレーザーとして、高光-光変換効率 (30%) と高パルスエネルギー (150mJ) を実現した (Fig.3)。

- We have demonstrated an efficient operation approaching the theoretical limit by using a cryogenically cooled Yb:YAG laser oscillator. The optical slope efficiency was 90%¹⁾ (Fig. 1). The improved thermal conductivity of Yb:YAG at low temperature also enables the stable operation with reducing the temperature rise by a factor of 10.

- An original amplifier concept "cryogenic TRAM" of YAG/Yb:YAG composite ceramic (Fig. 2) was developed for the high energy-fluence operation with efficient heat removal realizing a pulse energy of 150 mJ at 100-Hz repetition rate²⁾ (Fig. 3).

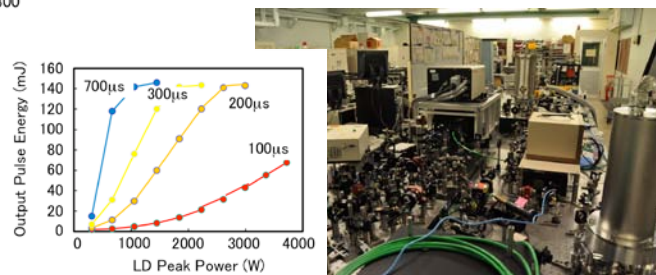


Fig. 3

Fig. 1: Output power of Yb:YAG laser oscillator (a) and measured thermal conductivity of Yb:YAG as a function of temperature (b).

Fig. 2: Total-reflection active-mirror (TRAM).

Fig. 3: Laser system with cryogenic TRAMs and output pulse energy at 100 Hz.

Reference

- H. Furuse, J. Kawanaka, K. Takeshita, N. Miyanaga, T. Saiki, K. Imasaki, M. Fujita, and S. Ishii, "Total-reflection active-mirror laser with cryogenic Yb:YAG ceramics," *Opt. Lett.* **34**, 3439-3441 (2009).
- Y. Takeuchi, J. Kawanaka, A. Yoshida, R. Yasuhara, T. Kawashima, H. Kan and N. Miyanaga, "Sub-kHz cryogenic Yb:YAG regenerative amplifier by using a total-reflection active mirror" *Appl. Phys.B* **104**, 29-32 (2011).