

文章编号: 0258-7025(2010)Supplement 1-0061-03

# 高效率激光二极管抽运 Tm:YAP 激光器实验研究

李 静 杨苏辉 张海洋 赵长明

(北京理工大学光电学院, 北京 100081)

**摘要** 简述了  $2\ \mu\text{m}$  波段激光器潜在的应用前景。报道了采用  $793\ \text{nm}$  激光二极管(LD)端面抽运 Tm:YAP 激光器, 实现室温下小型化的  $1.99\ \mu\text{m}$  激光的高效输出。在抽运功率为  $4.5\ \text{W}$  时, 获得功率为  $933\ \text{mW}$ , 中心波长为  $1.99\ \mu\text{m}$  的激光输出, 光-光转换效率为  $27\%$ , 斜率效率为  $37\%$ 。实验分析了影响激光输出的因素如输出镜曲率半径、耦合输出率和腔长等。

**关键词** 激光器; Tm:YAP 晶体;  $2\ \mu\text{m}$  激光; 人眼安全

**中图分类号** TN248.1 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201037s1.0061

## Experimental Research of High Efficient Laser Diode-Pumped Tm:YAP Laser

Li Jing Yang Suhui Zhang Haiyang Zhao Changming

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract** The potential application of  $2\ \mu\text{m}$  laser is introduced. A  $793\ \text{nm}$  fiber-coupled laser diode is used to end pump Tm:YAP laser. A high efficient and  $1990\ \text{nm}$  laser at room temperature is obtained.  $933\ \text{mW}$  output power is attained at  $1990\ \text{nm}$  when pumping power is  $4.5\ \text{W}$ . The optical-to-optical efficiency is  $27\%$ , and the slope efficiency is  $37\%$ . The influencing factors of the laser output are also analysed, such as the curve radius of output mirror, the output transmission and the length of the laser resonator.

**Key words** lasers; Tm:YAP crystal;  $2\ \mu\text{m}$  laser; eye-safe

### 1 引 言

$2\ \mu\text{m}$  波段的激光器有很广泛的应用, 如光谱学、大气监测、激光医疗、激光雷达等, 因而引起了广泛的研究<sup>[1~4]</sup>。大气在  $2\ \mu\text{m}$  波段有很多吸收峰, 例如水蒸气的吸收波段是  $1.88, 1.91$  和  $2.01\ \mu\text{m}$ , 二氧化碳的吸收波段是  $1.96, 2.01$  和  $2.06\ \mu\text{m}$ 。可以利用这些吸收带进行大气监测和差分吸收雷达<sup>[5,6]</sup>。 $2\ \mu\text{m}$  激光器还可以作为光参量振荡器和光参量放大器的抽运源, 从而得到用于红外干扰系统的中红外波段激光<sup>[7~10]</sup>。

本文介绍了 Tm:YAP 晶体的一些特性和不同掺杂浓度下的吸收系数, 报道了  $795\ \text{nm}$  激光二极

管(LD)端面抽运 Tm:YAP 固体激光器, 实现了室温下小型化的  $1990\ \text{nm}$  激光的高效输出。

### 2 实验装置

Tm:YAP 晶体有很多优点。YAP 晶体的受激发射截面是 YAG 的 2 倍(二者分别是  $5.0 \times 10^{-21}\ \text{cm}^2$  和  $2.2 \times 10^{-21}\ \text{cm}^2$ )。YAP 晶体的优势在于其各向异性, 能输出线偏振激光, 其固有的双折射性质可以有效地降低热致退偏振和热透镜效应对光束质量造成的危害。图 1 为不同掺杂浓度下 Tm:YAP 晶体的吸收系数。由图可见, 掺杂浓度高的晶体吸收系数大, 但是掺杂浓度过高的话, 准三能级的

**收稿日期**: 2009-12-12; **收到修改稿日期**: 2010-01-28

**基金项目**: 国家自然科学基金(60778011)资助课题。

**作者简介**: 李 静(1985—), 女, 博士研究生, 主要从事固体激光器和光纤放大器等方面的研究。

E-mail: lij802305@163.com。

**导师简介**: 杨苏辉(1968—), 女, 副教授, 博士生导师, 主要从事激光物理、固体激光器、光纤激光器和放大器以及激光测距和激光雷达等方面的研究。E-mail: suhuiyang@bit.edu.cn。

Tm:YAP 晶体里再吸收现象会很严重,这样也会影响激光器的输出。

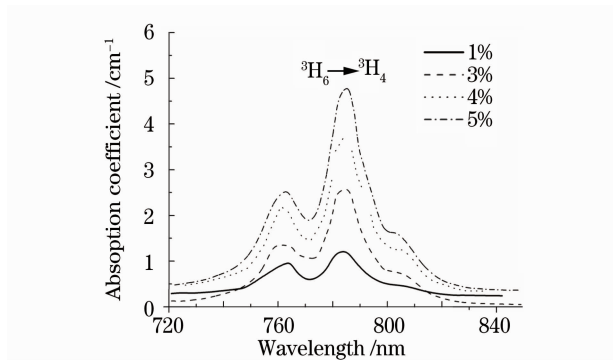


图1 不同掺杂浓度(质量分数)下 Tm:YAP 晶体的吸收系数

Fig. 1 Absorption coefficient of Tm:YAP crystal with different thulium-doped concentrations (mass fraction)

Tm:YAP 晶体在 795 nm 附近有很强的吸收峰,采用输出波长 793 nm 光纤输出抽运源,输出波长可通过温度调节至晶体的吸收峰。实验中使用了两个抽运源。一个抽运源的纤芯直径是 100  $\mu\text{m}$ ,数值孔径是 0.22,最大输出功率为 2.8 W;另外一个抽运源的纤芯直径是 200  $\mu\text{m}$ ,数值孔径是 0.22。Tm:YAP 激光器结构如图 2 所示,采用 1:1 的聚焦耦合系统。平面输入镜镀有 2  $\mu\text{m}$  全反和 793 nm 附近的增透膜。输出镜有平面镜和凹面镜(曲率半径为 50,100 和 200 mm)。输出耦合镜的透射率为 6.4% 和 8%。

激光工作物质为质量分数 5% 掺杂的 Tm:YAP 晶体,晶体尺寸为 3 mm $\times$ 3 mm $\times$ 5 mm,激光晶体两端经过严格的光学研磨,两端镀有 795 nm 和 1990 nm 的增透膜。晶体用铜铂包裹放入紫铜热沉中,晶体温度控制在 293 K。

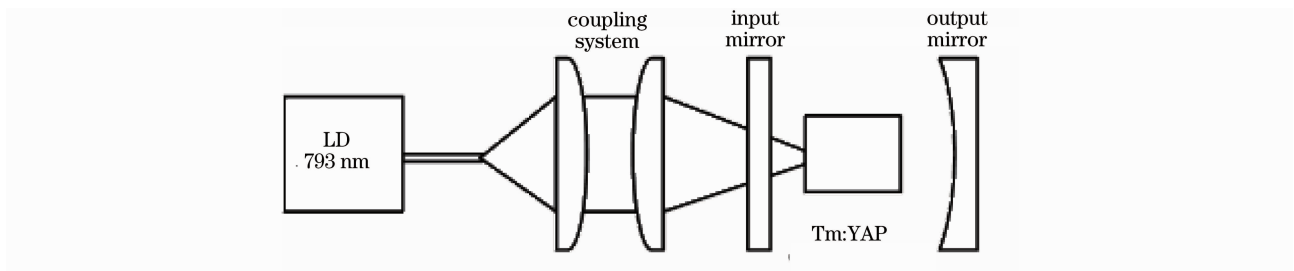


图 2 LD 抽运 Tm:YAP 激光器结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of LD pumped Tm:YAP laser

### 3 实验结果及分析

#### 3.1 200 $\mu\text{m}$ 抽运源抽运

在 200  $\mu\text{m}$  抽运源抽运条件下,平-平腔 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线如图 3 所示。平-平腔腔长为 28 mm。用输出透射率为 8% 的输出

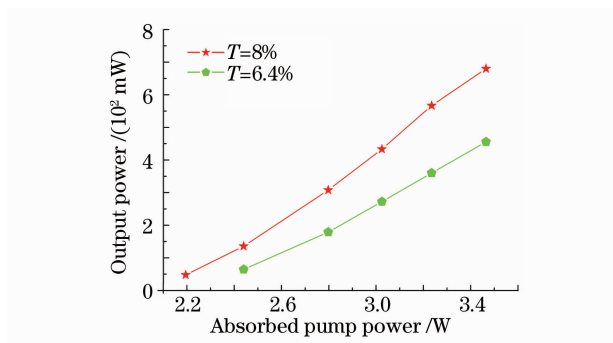


图 3 不同输出透射率下,平-平腔 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线

Fig. 3 Output power curve of plano-plano cavity Tm:YAP laser at different output transmissions

镜,得到最大功率为 680 mW,斜率效率为 49.8%,光-光转换效率为 19.6%。当使用 6.4% 输出镜时,激光输出功率降为 456 mW,斜率效率降为 38.3%。

图 4 所示为 200  $\mu\text{m}$  抽运源抽运条件下平-凹腔 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线。在输出镜曲率半径均为 100 mm 和腔长均为 28 mm 时,使用 8% 输

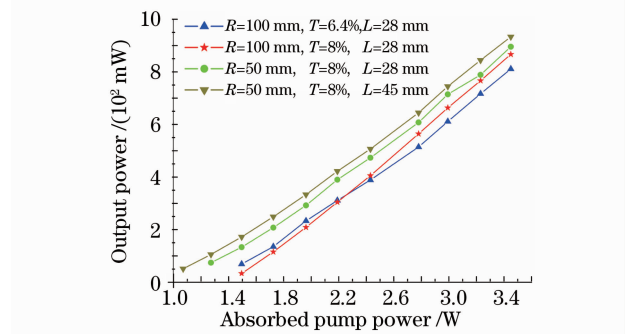


图 4 不同条件下平-凹腔 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线

Fig. 4 Output power curve of plano-concave cavity Tm:YAP laser at different conditions

出透射率的最高功率为 867 mW,斜率效率为 42.6%,光-光转换效率为 25%。同时 6.4%输出透射率对应的最高功率为 811 mW,斜率效率为 39.2%。当使用曲率半径为 50 mm 的输出镜,腔长为 28 mm 时,最高功率为 895 mW,斜率效率为 37.7%,光-光转换效率为 25.9%。当腔长为 45 mm 时,最高功率增加为 933 mW,斜率效率为 37%,光-光转换效率为 27%。

### 3.2 100 $\mu\text{m}$ 抽运源抽运

图 5 为在 100  $\mu\text{m}$  抽运源抽运条件和不同曲率半径输出镜条件下,平-凹腔型的 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线。输出镜的透射率均为 8%,腔长为 30 mm。从图中可以看出,使用曲率半径为 50 mm 的输出镜得到 588 mW 最高功率,斜率效率为 41.5%,光-光转换效率为 24.5%。输出镜曲率半径分别为 100 mm 和 200 mm 时,对应的最高功率分别降为 444 mW 和 355 mW。可以看出激光器输出镜曲率半径为 50 mm,腔内的激光束腰和抽运光斑匹配得比较好,所以得到的功率较高。如果合理调节激光器各参数,使抽运光半径和腔内激光束腰半径匹配得更好,这样就可以得到更好的输出功率。

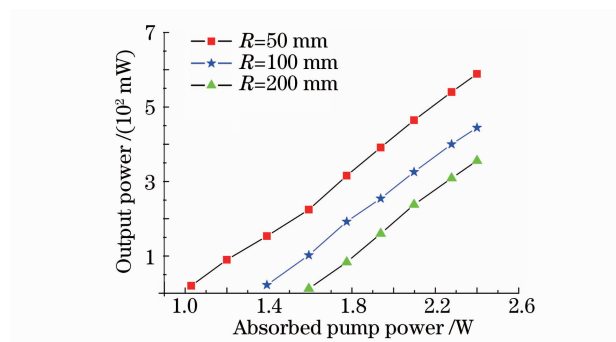


图 5 输出镜曲率半径不同条件下平-凹腔型 Tm:YAP 激光器的输出功率曲线

Fig. 5 Output power curve of plano-concave cavity Tm:YAP laser at different curve radii of output mirrors

## 4 结 论

对室温下不同条件的 Tm:YAP 激光器进行了实验研究。相同条件下,平-凹腔的输出功率比平-平腔的要高。在 200  $\mu\text{m}$  抽运源抽运条件下,得到最高功率为 933 mW 的 1990 nm 激光输出,斜率效率为 37.1%,光-光转换效率为 27%。

### 参 考 文 献

- Lin Zhifeng, Gao Chunqing, Gao Mingwei. Experimental investigation of laser diode end pump Tm:YAG Laser. [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 181~185
- 林志峰, 高春清, 高明伟. 激光二极管端面抽运 Tm:YAG 激光器 [J]. *中国激光*, 2007, **34**(2): 181~185
- Han Long, Wei Lei, Wu Junyong *et al.*. Experimental research of laser diode pumped Tm:YAP[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(s1): 29~32
- 韩 隆, 魏 磊, 吴军勇 等. 激光二极管抽运 Tm:YAP 晶体实验研究[J]. *中国激光*, 2008, **35**(s1): 29~32
- Yufeng Li, Baoquan Yao, Yuezu Wang *et al.*. High efficient diode-pumped Tm:YAP laser at room temperature[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(5): 286~287
- Zhifeng Lin, Chunqing Gao, Mingwei Gao *et al.*. Diode-pumped single-frequency microchip CTH:YAG lasers using different pump spot diameters[J]. *Appl. Phys. B*, 2009, **94**(1): 81~84
- G. J. Koch, A. N. Dharamsi, C. M Fitzgerald *et al.*. Frequency stabilization of Ho:Tm:YLF laser to absorption lines of carbon dioxide[J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**: 3664~3669
- S. W. Henderson, J. M. Paul, C. P. Hale. Coherent laser radar at 2  $\mu\text{m}$  using solid-state lasers [J]. *IEEE T. Geosci. Remote.*, 1993, **31**(1): 4~15
- A. Zakei, G. J. Wagner, W. J. Alford *et al.*. High-power, rapidly-tunable ZnGeP<sub>2</sub> intracavity optical parametric oscillator [C]. in Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science and Photonic Applications Systems Technologies, Technical Digest (CD), 2005, CThY5
- Alex Dergachev, Darrell Armstrong, Arlee Smith *et al.*. 3.4- $\mu\text{m}$  ZGP RISTRA nanosecond optical parametric oscillator pumped by a 2.05- $\mu\text{m}$  Ho:YLF MOPA system[J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(22): 14404~14413
- Günther Renz, Willy Bohn. Two-micron thulium pumped holmium laser source for DIRCM applications[C]. *SPIE*, 2007, **6552**: 655202
- Daniel Creeden, Peter A. Ketteridge, Peter A. Budni *et al.*. Mid-infrared ZnGeP<sub>2</sub> parametric oscillator directly pumped by a pulsed 2  $\mu\text{m}$  Tm-doped fiber laser[J]. *Opt. Lett.*, 2008, **33**(4): 315~317