

文章编号 : 0253-2239(2002)10-1216-03

# (Tm, Ho):YLF 微片激光器的实验研究

姚宝权<sup>1)</sup> 王 骐<sup>1)</sup> 王月珠<sup>1)</sup> 于占东<sup>1)</sup> 夏元钦<sup>1)</sup> Bourdet G L<sup>2)</sup>

(1), 哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 哈尔滨 150001  
(2), Luli, Ecole Polytechnique, Route de Saclay, F 91128 Palaiseau Cedex, France

摘要: 报道了一台连续 792 nm Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光器纵向抽运的(Tm, Ho):YLF 微片激光器。在室温条件下, 当抽运功率为 680 mW 时, 激光器在 2.06 μm 波长的输出功率达到 90 mW。激光器阈值为 380 mW, 光光转换效率为 13%, 斜率效率为 26%。

关键词: (Tm, Ho):YLF 晶体; 微片激光器; Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 激光

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

## 1 引 言

2 μm (Tm, Ho):YLF 激光因其广阔的军用、民用前景而备受人们青睐。军事上已应用于激光成像雷达、激光红外定向干扰等领域<sup>[1]</sup>。在民用方面, 2 μm 波长激光可应用于相干多普勒雷达测量风切变和风速<sup>[2]</sup>, 而应用于激光差分吸收雷达能够测量大气中 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 的浓度。

自从 20 世纪 60 年代 Johnson, Boyd 和 Nassau 等<sup>[3]</sup>研究 Ho<sup>3+</sup> 激光特性以来, 人们已对 Ho 激光器进行了广泛而深入的研究<sup>[4, 5]</sup>。进入 20 世纪 90 年代以后, 国际上出现了激光二极管抽运、多种掺杂、多种基质的 2 μm (Tm, Ho) 激光器<sup>[6, 7]</sup>。

YLF 晶体是比较好的基质材料, 非常适合于三价稀土金属离子(例如 Tm<sup>3+</sup>、Ho<sup>3+</sup>)的掺杂。(Tm, Ho):YLF 荧光寿命长达 12 ms, 有效激光上能级寿命为 6 ms, 比其他基质材料都要长, 适合于连续激光抽运。而且同其他基质相比上变频损耗小, Tm-Ho 之间能量传递时间短。YLF 作为基质, 还具有好的抗光学损伤能力, 没有热诱发的双折射, 以及输出激光是线偏振的。

本文对 Tm<sup>3+</sup> 敏化的 Ho:YLF 微片激光器进行了实验研究, 并对实验现象和实验结果进行了分析。

## 2 (Tm, Ho):YLF 微片激光器实验装置

图 1 为 (Tm, Ho):YLF 激光晶体的吸收谱线, 图

中 *c* 为晶体 *c* 轴, 可以看到抽运光的吸收峰值在 785 nm 和 792 nm 附近。

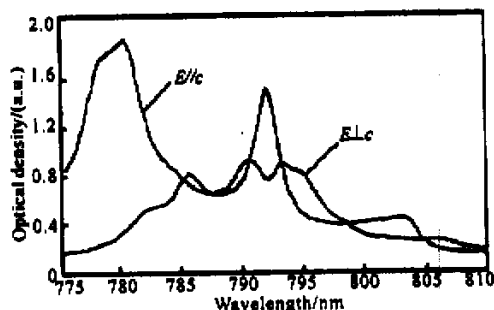


Fig. 1 The absorption spectrum of (Tm, Ho):YLF crystal

整个实验装置如图 2 所示。我们选用的抽运光源是美国光谱物理公司的 3960C 型连续钛宝石激光器, 激光器的输出中心波长调至 792 nm, 利用 Burleigh WA-4500 波长计测得的线宽为 0.235 nm。

实验所用的晶体为 6% Tm、0.4% Ho 掺杂的 YLF 晶体。晶体是沿 *a* 轴生长 [100] 方向切割的。晶体外形尺寸为 4 mm × 4 mm × 2.5 mm。YLF 晶体两个端面互相平行, 并且抛光。在晶体前表面镀有对 2 μm 激光的高反膜(反射率  $R \approx 98\%$ ), 同时对 792 nm 透射率在 85% 以上。在晶体的后表面镀有对 2 μm 激光的全反膜( $R > 99.9\%$ ), 同时后表面镀有对 792 nm 的全反膜, 以构成双向抽运结构。这样, 利用晶体固有的平行平面, 形成自准直的 2 μm 纵向抽运平腔微片激光器。

激光晶体采用热电制冷方式, 制冷片型号为 TEC1-12705。制冷片的冷端与热沉固定在一起, 热端由铜质散热片结合风冷散热。冷端与热端涂有导

热硅质,以确保热接触良好。晶体用外表面涂有导热硅脂的铝箔包起,嵌入热电制冷的铜质热沉中,仅有前表面露出。在热沉中嵌有热敏电阻,实时检测

激光工作物质的温度。为了避免制冷状态下晶体表面结露,用氮气吹拂其表面。

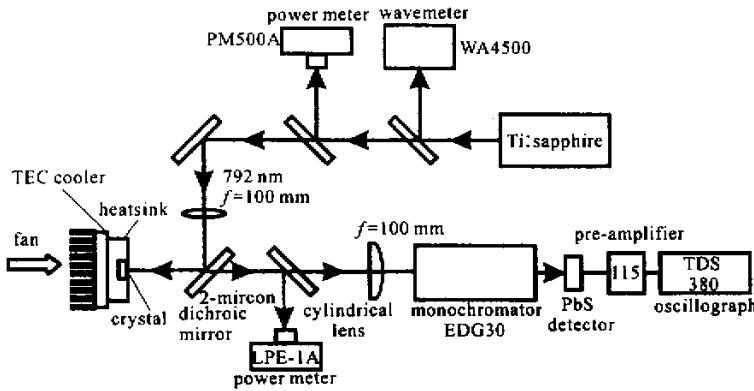


Fig.2 Schematic of the experimental set-up used in (Tm, Ho):YLF microchip laser end-pumped by a CW Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser

实验中,对抽运光功率的测量采用美国 Molelectron 公司的 PM500A 型功率计,探头型号为 PM30,对输出激光功率的测量采用 LPE-1A 型功率计。对激光波长的测量采用 WDG30 光栅单色仪,激光器输出的连续光经斩波器后用 PbS 探测器接收,探测器输出的微弱脉冲信号通过 Model-115 型前置放大器放大,利用示波器监测信号。

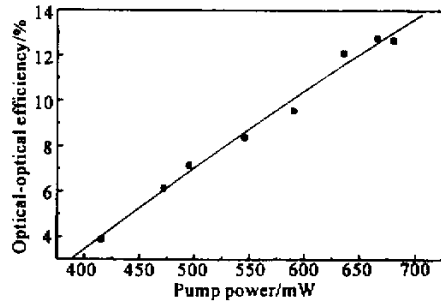


Fig. 4 The optical-to-optical efficiency vs pump power 辐射<sup>[8]</sup>。对于室温条件下运行的准三能级激光系统,在横向弛豫过程中,会发生上变频效应,即粒子跃迁到激光上能级<sup>5</sup>I<sub>7</sub> 以上的其他能级。由于这些能级不稳定,能级粒子很容易发生自发辐射,在自发辐射过程中伴随着荧光的产生。如果抽运光与晶体间不垂直,系统不能形成激光振荡,或在抽运光能量很弱,达不到激光器阈值的条件下,绿色荧光依然产生。这说明,只要抽运光存在,系统就有上变频现象发生。上变频会消耗上能级粒子数,进而降低激光增益。

### 3 实验结果及讨论

图 3 表示 (Tm, Ho):YLF 晶体在温度 T 为 292.8 K 时,激光器输入功率与输出功率的关系。图 4 是抽运光与振荡光的转化效率。激光器的阈值在 380 mW 附近,最大输出功率为 90 mW。激光器的斜率效率为 26%,最大光-光转换效率为 13%。

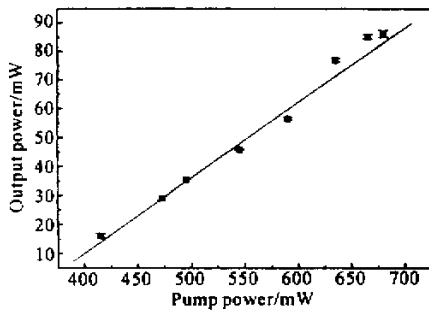


Fig. 3 The relationship of the pump power and output power

当抽运光聚焦后入射到晶体端面上时,产生肉眼可识的黄绿色荧光。根据 Tm, Ho 系统的能级跃迁图如图 5 所示,可知对于 Ho<sup>3+</sup>,存在 <sup>5</sup>S<sub>2</sub> → <sup>5</sup>I<sub>8</sub>: 539 nm~550 nm, <sup>5</sup>F<sub>4</sub> → <sup>5</sup>I<sub>8</sub>: 534 nm~546 nm 的跃迁

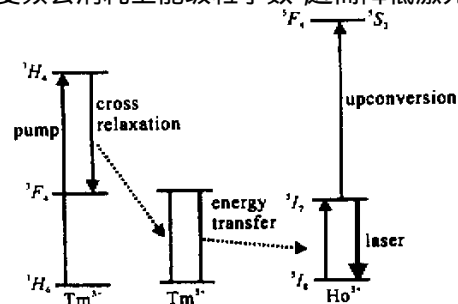


Fig. 5 Diagram of pumping and energy-level transition for (Tm, Ho):YLF laser

$\text{Ho}^{3+}$  激光的下能级位于  $217\text{ cm}^{-1} \sim 315\text{ cm}^{-1}$  之间的某一个斯塔克能级上,接近基态,而上能级位于  $5153\text{ cm}^{-1} \sim 5293\text{ cm}^{-1}$  之间的某一个斯塔克能级上。因此室温时,该系统为准三能级系统。只有很高的上激发态密度才能实现粒子数反转,因此室温条件下上变频效应很难抑制。对于掺杂浓度和长度一定的晶体,抑制上变频的有效方法是降低温度。随着温度的降低, $1 + f_i/f_u$  的值不断减小( $f_i$  是根据玻尔兹曼分布, $\text{Ho}^{3+}$  激光下能级 $^5I_8$  中某一斯塔克能级占整个能级的粒子数比值, $f_u$  是根据按玻尔兹曼分布,激光上能级 $^5I_7$  中某一斯塔克能级的粒子数占整个能级粒子数的比值)<sup>[9]</sup>。低温状态下,该系数接近于 1,此时准三能级系统变为四能级系统。在反转至上能级的粒子数密度很小的条件下就能实现粒子数反转和较高的增益,低上激发态密度能够有效降低上变频的发生。

实验中发现,振荡光输出功率受温度的影响比较大。在不制冷的情况下,当抽运光聚焦到晶体中心时,由于晶体产生局部过热和上变频效应影响激光输出。图 6 为不同温度下的晶体输出特性曲线。可以看出,温度越高,激光的输出功率越低。

此外,对于平-平腔微片激光器,抽运光的入射

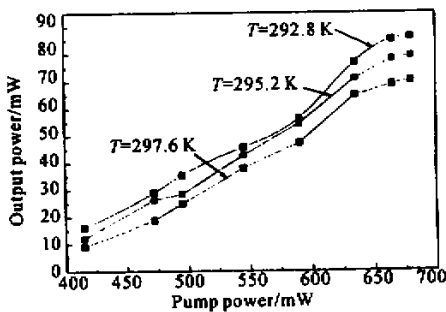


Fig. 6 The output power as the function of pump power under the different temperatures  $T$  of crystal

## Experimental Study of (Tm, Ho):YLF Microchip Laser

Yao Baoquan<sup>1)</sup> Wang Qi<sup>1)</sup> Wang Yuezhong<sup>1)</sup> Yu Zhandong<sup>1)</sup> Xia Yuanqin<sup>1)</sup> Bourdet G L<sup>2)</sup>

(1), National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)  
(2), Luli, Ecole Polytechnique, Route de Saclay, F 91128 Palaiseau Cedex, France

(Received 13 September 2001; revised 31 October 2001)

**Abstract:** A (Tm, Ho):YLF microchip laser pumped by a CW Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> laser and tuned to 792 nm is discussed. At room temperature, the laser output power of 90 mW is obtained when pumped by 680 mW power. The laser threshold is about 390 mW, the optical-optical conversion efficiency and slope efficiency are 13% and 26% respectively.

**Key words:** (Tm, Ho):YLF; microchip laser; Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

方向对激光器的输出有很大影响。实验中要求晶体端面法线要与抽运光保持严格的平行关系。考虑到抽运光的偏振吸收特性,要仔细调整晶体的方位,使抽运光相对晶体呈  $\pi$  偏振。

**结论** 利用连续 792 nm 激光纵向抽运微片 (Tm, Ho):YLF 晶体,在室温条件下产生 2  $\mu\text{m}$  激光振荡。Tm-Ho 准三能级系统的上变频效应是影响激光器输出的重要因素,同时温度对激光器输出的影响也不容忽视。在良好的制冷条件下,将提高激光输出功率。

## 参 考 文 献

- [1] Ren Guoguang. Status and development trend of airborne laser-based IRCM. *Laser and Infrared* (激光与红外), 2000, **30**(6):323~327 (in Chinese)
- [2] Henderson S W, Suni P J M, Hale C P *et al.*. Coherent laser radar at 2  $\mu\text{m}$  using solid-state lasers. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1993, **31**(1):4~14
- [3] Johnson L F. Optical maser characteristics of rare-earth ions in crystals. *J. Appl. Phys.*, 1963, **34**(4):897~909
- [4] Lotem H, Kalisky Y, Kagan J *et al.*. A 2  $\mu\text{m}$  holmium laser. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, **24**(6):1193~1200
- [5] Budni P A, Pomeranz L A, Lemons M L *et al.*. Efficient mid-infrared laser using 1.9- $\mu\text{m}$ -pumped Ho:YAG and ZnGeP<sub>2</sub> optical parametric oscillators. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 2000, **17**(5):723~728
- [6] McGuckin B T, Menzies R T. Efficient CW diode-pumped Tm:Ho:YLF laser with tunability near 2.067  $\mu\text{m}$ . *IEEE J. Quant. Electron.*, 1992, **28**(4):1025~1028
- [7] Budni P A, Pomeranz L A, Lemons M L *et al.*. 10 W mid-IR holmium pumped ZnGeP<sub>2</sub> OPO. *OSA TOPS. Advanced Solid State Lasers*, 1998, **19**:226~229
- [8] Falconieri M, Lanzi A, Salvetti G *et al.*. Fluorescence dynamics in Tm:Ho:YLF following 800 nm pulsed laser excitation. *Appl. Phys. (B)*, 1998, **66**(2):153~162
- [9] Mark E S. Holmium YLF amplifier performance and the prospects for multi-joule energies using diode-laser pumping. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1993, **29**(2):440~451