

文章编号: 1001-3806(2004)01-0039-03

# 重频 Cr, Tm, HoYAG 激光器输出特性的实验研究

陈慧敏, 刘 磊, 李家泽

(北京理工大学 光电工程系, 北京 100081)

摘要: 根据对 2.1 $\mu$ m 波长 Cr, Tm, HoYAG 激光器输出特性的实验研究, 详细分析了腔长、输出镜透过率、全反镜曲率半径和水温等因素对激光器输出的影响。在镀银腔情况下, 重频 5Hz 时, 激光阈值为 47J, 斜效率为 1.3%, 输入能量为 144J 时, 最大输出为 7.9W。重频 10Hz 时, 激光阈值为 45J, 斜效率为 1.1%, 输入能量为 121J 时, 最大输出为 9.7W。

关键词: Cr, Tm, HoYAG 激光; 能级; 热透镜效应; 镀银腔

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

## Experimental research of Cr, Tm, HoYAG in different frequency

CHEN Hui-min, LIU Lei, LI Jia-ze

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** According to a lot of experimental research to Cr, Tm, HoYAG laser operating at 2.1 $\mu$ m wavelength, the factors effecting on the output characteristics, such as cavity length, transparent index of output mirror, the radius of high reflectivity concave mirror and cooling temperatures, are discussed. Using the cavity with silver, whose frequency is 5Hz, the laser threshold, slope efficiency and output maximum energy are 47J, 1.3% and 1.6J respectively. Meanwhile, when whose frequency is 10Hz, the laser threshold, slope efficiency and output maximum energy are 45J, 1.1% and 0.97J respectively.

**Key words:** Cr, Tm, HoYAG laser; energy level; thermal lensing effect; silver cavity

## 引 言

2.1 $\mu$ m 波段的激光具有穿透深度浅、组织吸收系数大等优点, 可广泛应用于骨科、神经外科、妇科、普外科、消化科等领域。早在 1965 年, 美国的 JOHNSON 等人首先在液氮温度下使 Er, Tm, Ho: YAG 激光器输出功率达 15W。直到 1985 年, 前苏联 ANTIPENKO 等人用吸收可见光的铬代替钬, 大大降低了激光阈值, 实现了室温下 Cr, Tm, HoYAG 激光输出(Cr, Tm, HoYAG 可简称为 HoYAG)。国内从上世纪 90 年代初开展了研究, 1995 年, 华中科技大学叶洪波等人研制了一台实验样机, 室温下输出能量达 3J<sup>[1]</sup>。1997 年, 中国计量学院光电子研究所的黄莉蕾等人, 使用国产晶体, 水温 18 $^{\circ}$ C~22 $^{\circ}$ C, 单脉冲能量为 0.8J~1.4J<sup>[2]</sup>。北京理工大学的杨继超等人, 在 0 $^{\circ}$ C~10 $^{\circ}$ C 的温度下, 得到 Cr, Tm, Ho

YAG 激光器激光输出为 1J~1.5J, 经石英光纤传输后输出 500mJ~800mJ<sup>[3]</sup>。安徽光机所鲁士平课题组研制的 HJZ-1-10 型钬激光治疗机输出脉冲重复频率为 4Hz~10Hz, 输出平均功率为 14W 左右<sup>[4]</sup>。除北京理工大学外, 所用谐振腔均为平凹腔。国内对重复频率下, 各种不同腔型、不同曲率半径、不同透过率对输出平均功率的影响报道几乎没有。因此, 有必要对各种参数进行详细的研究。

## 1 钬激光器的工作原理

Cr, Tm, HoYAG 激光器是以 Cr<sup>3+</sup> 和 Tm<sup>3+</sup> 双掺杂物质作为光敏剂, 工作在 Ho<sup>3+</sup> 的 2.1 $\mu$ m<sup>5</sup>I<sub>7</sub>~<sup>5</sup>I<sub>8</sub> 跃迁过程的激光器, Cr, Tm, HoYAG 晶体的能量转移图如图 1 所示。

在可见光范围内, Cr<sup>3+</sup> 有相当宽的吸收谱带, 能够有效地吸收闪光灯所发出的光, 经过无辐射跃迁后, 从 <sup>4</sup>T<sub>2</sub> 跃回到能级 <sup>2</sup>E, 再通过偶极子-偶极子相互作用将其能量转移给 Tm<sup>3+</sup> 的 <sup>3</sup>F<sub>3</sub> 和 <sup>3</sup>H<sub>4</sub> 能级上。从 <sup>3</sup>F<sub>3</sub> 能级上发生的无辐射跃迁使所有的受激发的 Tm<sup>3+</sup> 离子处于 <sup>3</sup>H<sub>4</sub> 态。然后, 每一个激发的 Tm<sup>3+</sup> 通过交叉弛豫过程与一个处于基态的 Tm<sup>3+</sup> 相互作用,

作者简介: 陈慧敏(1973-), 男, 博士研究生, 主要从事激光医疗仪器的研制和开发。

E-mail: chenhuimin@bit.edu.cn

收稿日期: 2003-05-20; 收到修改稿日期: 2003-06-22

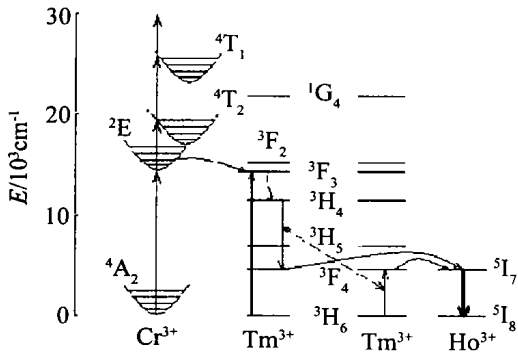


Fig. 1 Spectroscopic scheme of the Cr, Tm, Ho:YAG medium

从而产生两个处于 $^3F_4$ 态的 $Tm^{3+}$ 。最后,这两个 $Tm^{3+}$ 又分别把它们得到的能量转移给两个 $Ho^{3+}$ ,使其布居在较高的能级 $^5I_7$ 上,当 $Ho^{3+}$ 从 $^5I_7$ 能级跃回到 $^5I_8$ 能级上时,就产生了波长为 $2.1\mu m$ 的激光输出。由此可以看出:激发1个 $Cr^{3+}$ ,可以使2个处于基态的 $Ho^{3+}$ 上升到较高的能级上产生激光作用,大大提高了泵浦效率。美国的QUARLES等人<sup>[5]</sup>在Cr, Tm, Ho:YAG激光器的研究中,通过选择YAG晶体做基质材料并选择最佳的掺杂比,使Ho:YAG激光斜率效率达到5.1%。

## 2 试验过程与结果分析

### 2.1 试验装置介绍

实验中所用到的泵浦方式为脉冲氙灯泵浦,聚光腔是镀银腔,晶体尺寸为 $\varnothing 4mm \times 100mm$ ,氙灯外套掺钨熔石英玻璃管,用于吸收泵浦光的紫外线辐射,防止在晶体内形成色心。电源的放电电容为 $200\mu F$ ,电感为 $160\mu H$ ,能够提供最大泵浦能量为 $225J$ ,放电脉冲半宽度为 $350\mu s$ 。需要制冷时,由氟立昂冷却去离子水,温度范围可调。

图2为Cr, Tm, Ho:YAG激光器结构图。其中输出镜 $M_2$ 为平面镜,输出透过率有10%, 15%, 20% 3种,全反镜 $M_1$ 为凸面镜,曲率半径为1m, 2m两种,腔长为206mm, 216mm和226mm 3种。

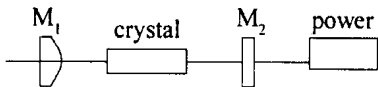


Fig. 2 The structure of Cr, Tm, Ho:YAG laser output

### 2.2 腔长的改变对输出功率的影响

$M_1$ 采用半径为1m的凸面镜,平面镜 $M_2$ 的透过率为10%,水温 $(10 \pm 1)^\circ C$ 。选择3种不同的腔长,分别为206mm(曲线A)、216mm(曲线B)、226mm(曲线C)。输入能量选择64J, 81J, 100J, 121J和144J。并分别测重复频率为5Hz和10Hz时

的输出功率。腔长的改变对输出功率的影响如图3所示。在其它条件一定时,随着腔长的增加,输出功率下降。由于热透镜效应严重,采用平凸腔来补偿。重复频率5Hz时,热透镜效应不算太严重,输出功率随输入能量的增加几乎线性上升。而重复频率10Hz时,当输入能量变大时,由于水泵的流速小,无法完全带走氙灯和晶体产生的热量,最终导致输出功率变小(如曲线C所示,同时与腔长变长有关)。

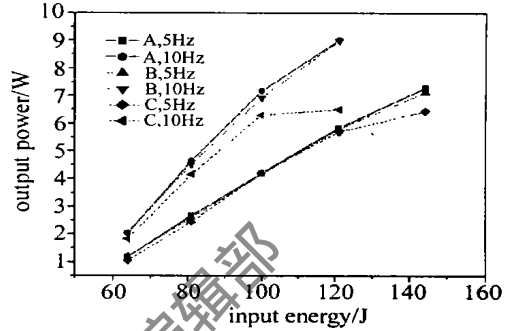


Fig. 3 The effect of length on laser output

### 2.3 不同透过率对输出功率的影响

$M_1$ 采用半径为1m的凸面镜,水温 $(1 \pm 1)^\circ C$ ,腔长216mm,平面镜 $M_2$ 的透过率分别为10%, 15%, 20%,输入能量选择49J, 64J, 81J, 100J, 121J和144J。并分别测不同的重复频率5Hz和10Hz时的输出功率。曲线如图4所示。在其它条件一定时,随着平面镜 $M_2$ 透过率的增加,输出功率反而呈下降趋势。

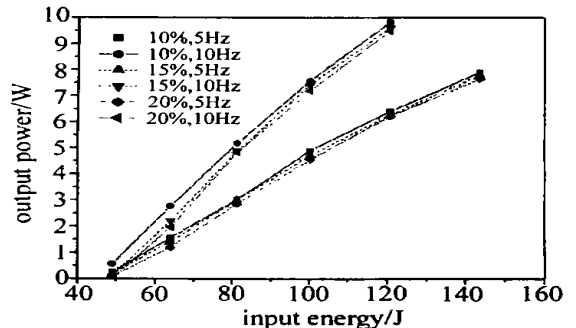


Fig. 4 The effect of transmittance on laser output

### 2.4 不同曲率半径对输出功率的影响

平面镜 $M_2$ 的透过率为10%,水温 $(1 \pm 1)^\circ C$ ,腔长216mm,凸面镜 $M_1$ 的半径分别为1m和2m,输入能量选择49J, 64J, 81J, 100J, 121J和144J,在重复频率为5Hz和10Hz时分别进行测量输出功率。曲线如图5所示。在其它条件一定时,随着凸面镜 $M_1$ 半径的增加,输出功率反而呈下降趋势。

### 2.5 不同温度对输出功率的影响

凸面镜 $M_1$ 的半径为1m,平面镜 $M_2$ 的透过率

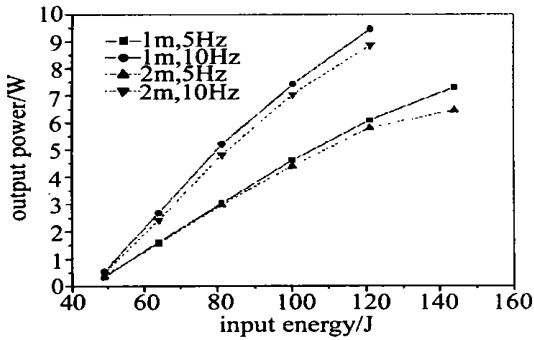


Fig. 5 The effect of curvature on laser output

为10%，腔长选择216mm，输入能量选择49J, 64J, 81J, 100J, 121J和144J，在重复频率为5Hz和10Hz时，分别测量不同温度时输出功率值。变化曲线如图6所示。在其它条件一定时，随着水温的升高，输出功率呈下降趋势。

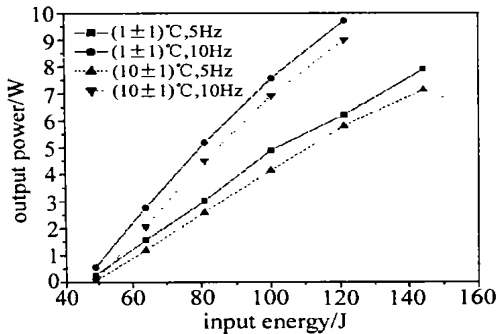


Fig. 6 The effect of temperature on laser output

## 2.6 改进方法

### (1) 水泵的流速大小直接关系到高重复频率时

(上接第38页)

系数确定，相应的增益分布特性同时确定，抽运功率的改变只会影响到各点绝对强度的大小。

由模拟计算与实验结果符合较好可知，该数值模型的可信度是很高的，由它得到的理论分析完全可以用来指导实验研究。

## 4 结论

考虑到二极管激光器输出光束特性，建立模拟计算二极管侧面泵浦固体激光器的数值模型，运用该数值模型模拟分析泵浦距离、吸收系数等参量对泵浦均匀性的影响，为实际优化设计二极管侧面泵

浦固体激光器提供理论依据。理论计算结果与实验结果符合较好，可以看出，该数值模型具有很高的可信度。

### 参考文献

- [1] 任国光, 黄裕年. 激光与红外, 2002, 32(4): 211~ 217.
- [2] 戴特力. 半导体二极管泵浦固体激光器. 成都: 四川大学出版社, 1993. 122~ 141.
- [3] XIE W J, TAM S Ch, LAM Y L. Opt Engng, 2001, 40(8): 1568 ~ 1572.
- [4] AJER H, LANDRO S, RUSTAD G *et al.* Opt Lett, 1992, 17 (24): 1785~ 1787.
- [5] MARSHALL L R, KAZA, BURNHAM R L. Opt Lett, 1992, 17 (3): 186~ 188.
- [6] 吕百达. 光束的传输变换和光束质量控制. 成都: 四川大学出版社, 1992. 60~ 65.

## 3 结论

聚光腔采用镀银腔， $M_1$ 采用半径为1m的凸面镜，平面镜 $M_2$ 的透过率为10%，晶体尺寸为 $\varnothing 4\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，水温 $(1 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，腔长216mm时，重复频率5Hz和10Hz时均得到最大输出功率，其值分别为7.9W(5Hz, 144J)，9.7W(10Hz, 121J)。5Hz的阈值为47J，斜效率为1.3%，10Hz的阈值为45J，斜效率为1.1%，随着实验条件的进一步优化，会得到更大的输出功率。

### 参考文献

- [1] 叶洪波, 邝能俊, 朱长虹 *et al.* 激光技术, 1996(12): 352~ 355.
- [2] 黄莉蕾, 纪元新, 陈箫竹 *et al.* 光电子·激光, 1998, 9(3): 214~ 216.
- [3] 杨继超. 激光血管成形仪激光器及控制系统的研究. 北京理工大学学位论文, 1997. 10.
- [4] 鲁士平. 光电子技术与信息, 1997, 10(1): 封4.
- [5] QUARLES G J, ROSENBAUM A, MARGUARDT C I. A P L, 1989, 55(11): 1062~ 1064.