

2.7  $\mu\text{m}$  的 Er:YAP 激光器

曾瑞荣 沈鸿元 黄呈辉 周玉平 于桂芳

曾政东 吕 坚 叶启金

(中国科学院福建物质结构研究所, 350002)

**提要:** 本文从实验上研究了掺 10 at%  $\text{Er}^{3+}$  离子和 20 at%  $\text{Er}^{3+}$  离子的  $\alpha$  轴  $\text{YAlO}_3$  晶体的脉冲激光作用。在所用的实验条件下, 激光同时有三条谱线起振, 它们的波长分别是 2.7110、2.7299 和 2.7950  $\mu\text{m}$ , 给出了这三条谱线输出能量和起振的时间特性。从  $\phi 6.25 \times 78 \text{ mm}$  的  $\text{Er}^{3+}$ : YAP 棒中得到了 240 mJ 的 2.7  $\mu\text{m}$  激光, 激光阈值为 10 J。

**关键词:** 2.7  $\mu\text{m}$  Er:YAP 激光、YAG 透镜

A 2.7  $\mu\text{m}$  Er:YAP laser

Zeng Ruirong, Shen Hongyuan, Huang Chenghui, Zhou Yuping,

Yu Guifang, Zeng Zengdong, Lu Jian, Ye Qijing

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Academia Sinica, Fuzhou)

**Abstract:** The pulsed laser performances of  $\alpha$ -axis YAP crystal doped with 10 at%, 20 at%  $\text{Er}^{3+}$  ion have been studied experimentally. In our experimental condition, it is possible to excite simultaneously three spectral lines at 2.7110  $\mu\text{m}$ , 2.7299  $\mu\text{m}$  and 2.7950  $\mu\text{m}$ . The output energy and the time characteristics are given for these spectral lines. 240 mJ output energy has been obtained at 2.7  $\mu\text{m}$  range from a  $6.25 \times 78 \text{ mm}$   $\text{Er}^{3+}$ :YAP rod with a threshold energy of about 10 J.

**Key words:** 2.7  $\mu\text{m}$  Er:YAP laser, YAG lens

3  $\mu\text{m}$  激光由于能与生物组织产生强烈的作用, 在精细外科手术中引起人们极大的兴趣<sup>[1]</sup>。掺铒铝酸钇晶体(Er:YAP)  $4I_{11/2}$  和  $4I_{13/2}$  能级分别有 6 个和 7 个斯塔克子能级, 其相应的 42 个跃迁的荧光波长从 2.6255  $\mu\text{m}$  延伸到 2.9205  $\mu\text{m}$ <sup>[2]</sup>。迄今, 利用掺 20 at% Er 离子的  $\alpha$  轴 YAP 棒已有 7 条谱线实现了激光运转, 但没有得到 2.7118  $\mu\text{m}$  谱线<sup>[3]</sup>。本文实验表明在含 10 at% 和 20 at%  $\text{Er}^{3+}$  离子的 YAP 晶体中能同时实现波长为 2.7110  $\mu\text{m}$ 、2.7299  $\mu\text{m}$  和 2.7950  $\mu\text{m}$  3 条谱线的激光振荡。本文报道了这种激光的特性。

## 一、实验和结果

实验所用掺 10 at% 和掺 20 at%  $\text{Er}^{3+}$  离子的  $\alpha$  轴  $\text{YAlO}_3$  棒是从提拉法生长的  $\phi 20 \times 120 \text{ mm}^2$  的单晶毛坯中切出, 激光棒尺寸为  $\phi 6.25 \times 70 \text{ mm}^2$ , 未镀增透膜的棒置于单椭圆聚光

腔内,棒结晶的 *b* 轴放在灯平面内,用  $\phi 7 \times 70 \text{ mm}^2$  的脉冲氙灯激励,激励源重复率 1 pps,用滤紫外玻璃管滤去氙灯的紫外辐射,棒和氙灯用冷却水冷却。由于  $\text{K}_2\text{O}$  玻璃在  $2.5 \mu\text{m}$  后存在吸收,我们用 YAP 晶体的平晶作输出镜的基片,输出镜在  $2.7 \mu\text{m}$  到  $2.9 \mu\text{m}$  范围透过率的变化小于 3%。激光波长用 44 W 型平面光栅单色仪确定,所用光栅为 300 线/mm,线色散率的倒数为  $6.4 \text{ nm/mm}$ ,平面光栅单色仪的波长用  $1.3414 \mu\text{m}$  Nd:YAP 激光校正<sup>[4]</sup>。用焦距 6cm 的 YAG 透镜将激光聚在输入刀口的窄缝上,输出信号用 PbS 光敏电阻接收并在 ST-22 型双线示波器上显示。激光输出能量用 RJ-7100 型激光能量计测量。

图 1 是两种不同掺杂浓度样品的激光输出曲线。输出镜在  $2.7106$ 、 $2.7294$  和  $2.7950 \mu\text{m}$  的透过率分别是 8%、6.3% 和 6.8%。从图中看到这两个样品的激光输出的总能量相差不多,将近 240 mJ、阈值分别为 10 J 和 15.7 J。

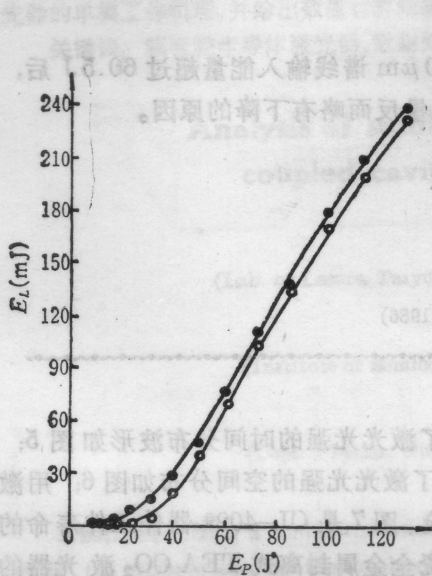


图 1 不同掺杂浓度 Er:YAP 激光输出曲线

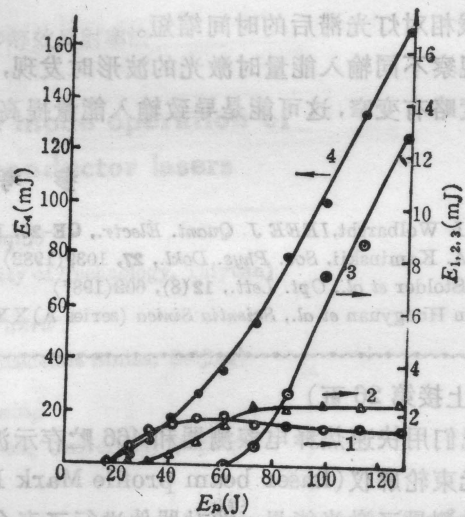


图 2 激光输出曲线

1— $2.7110 \mu\text{m}$ ; 2— $2.7299 \mu\text{m}$ ; 3— $2.7950 \mu\text{m}$ ;  
4—分光前 3 条谱线的总输出能量

在寻找激光中所包含的谱线时,为了防止经 YAG 透镜聚焦的激光将刀口窄缝打坏,在光路中插入一块  $\text{K}_2\text{O}$  玻璃将激光能量适当衰减。出入刀口窄缝的宽度均约  $30 \mu\text{m}$ 。结果发现激光同时存在波长为  $2.7110$ 、 $2.7299$  和  $2.7950 \mu\text{m}$  的 3 条谱线。

为了搞清这 3 条谱线的运转特性,将平面光栅单色仪输入输出刀口窄缝的宽度加大到 1 mm,避免经透镜聚焦的激光损坏刀口,并将 RJ-7100 型激光能量计放在出口窄缝处测量输出能量。图 2 曲线 1、2 和 3 分别为 3 条谱线的输出曲线,曲线 4 是分光前激光的总能量的输出曲线,其能量用左边的纵坐标表示。从图 2 看到,  $2.7110 \mu\text{m}$  谱线阈值最低,但其输出能量增长缓慢,在输入能量超过  $60.5 \text{ J}$  后,输出反而有下降趋势。 $2.7950 \mu\text{m}$  谱线阈值高达  $56.2 \text{ J}$ ,但其输出增长很快。在输入能量较高时,它在输出中占主要地位,在输入能量为  $128 \text{ J}$  时,这条谱线的输出将近占总输出的  $2/3$ 。

图 3 给出了输入  $128 \text{ J}$  时,氙灯光和 3 条不同波长激光的时间特性,照片上第一条曲线是灯光波形,后一条曲线是相应波长激光的波形,照片上横座标的时标是  $100 \mu\text{s}$ /大格,上述 3

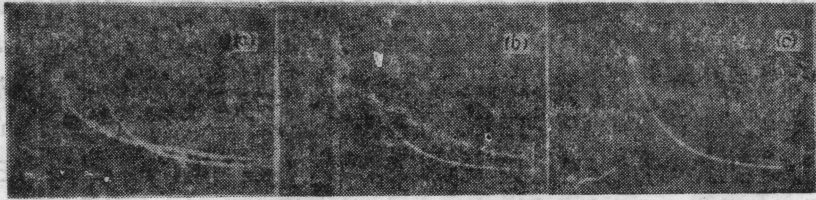


图3 泵浦灯光和3条激光谱线的时间特性  
(a) 2.7110 μm; (b) 2.7299 μm; (c) 2.7950 μm

条谱线相对于灯光滞后的时间，依次分别为 70、90 和 140 μs。三条谱线中 2.7950 μm 谱线持续时间最长，其脉冲持续时间超过 600 μs。

观察 3 条谱线起振相对于灯光滞后时间与输入泵浦能量时发现，随着泵浦能量的提高，3 条谱线相对灯光滞后的时间缩短。

观察不同输入能量时激光的波形时发现，对 2.7110 μm 谱线输入能量超过 60.5 J 后，脉冲宽度略有变窄，这可能是导致输入能量提高而输出能量反而略有下降的原因。

参 考 文 献

- 1 M. I. Wolbarsht, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-20**, 1427(1984)
- 2 A. A. Kaminskii, *Sov. Phys. Dokl.*, **27**, 1039(1982)
- 3 M. Stolder *et al.*, *Opt. Lett.*, **12**(8), 602(1987)
- 4 Shen Hongyuan *et al.*, *Scientia Sinica (series A)* **XXI**, 11,1224(1986)

(上接第 26 页)

我们用快速热释电探测器和 466 贮存示波器测量了激光光强的时间分布波形如图 5；用激光光束轮廓仪(Laser beam profile Mark IV) 测量了激光光强的空间分布如图 6；用激光能量计测量了激光能量，并对器件进行了寿命运行实验，图 7 是 CL-402# 器件寿命的能量归一化实验曲线。测量结果表明，我们研制的小型陶瓷全金属封离式 TEA CO<sub>2</sub> 激光器的输出能量 > 20 mJ，脉宽 < 50 ns，由此可算出其峰值功率为 0.16 MW (峰值能量占总能量的 40%)，这与前面理论计算的峰值功率基本相符。器件的工作寿命 > 10<sup>6</sup> 次。由图 6 可知，激光输出为高斯基模，从图可算出基模的束散角为 3.1 m rad，这与前面理论计算的散角完全一致。

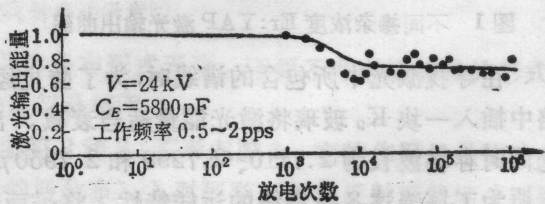


图7 激光器寿命实验曲线

CL-402#管(1987,12,28~1988,4,19)最终次数  
100079 次,最终激光能量 23.7 mJ

我们把该器件装在 TEA CO<sub>2</sub> 激光测距机上，已成功地进行了野外实验，在中等能见度气候条件下，实测最大距离为 5.515 km，在能见度 20 m 的浓雾天气下，最远测程为 2.735 km。

参 考 文 献

- 1 K. J. Andrews, P. E. Hyer *et al.*, *J. Phys E: Sci. Instrum.*, **8**, 493(1975)
- 2 T. Y. Chang, *Rev. Sci. Instrum.*, **44**, 405(1973)