

1.6 μm $\text{Er}^{3+}:\text{YAP}$ 激光输出特性的实验研究

周玉平 沈鸿元 黄呈辉 曾瑞荣 于桂芳
曾政东 李敢生 叶启金
(中国科学院福建物构所, 350002)

提要: 文本从实验上研究了掺 1 at% Er^{3+} 离子的 a 轴 YAP 晶体的脉冲激光作用。在所用的实验条件下, 激光同时有二条谱线: 1.655 μm 和 1.663 μm , 均为线偏振光。给出了激光的输出特性。换上适当的介质镜, 同一棒还获得 2.730 μm 和 2.711 μm 的双波长激光振荡。

关键词: 1.6 μm $\text{Er}^{3+}:\text{YAP}$ 激光, 偏振, 时间特性

Output performances of 1.6 μm $\text{Er}^{3+}:\text{YAP}$ laser

Zhou Yuping, Shen Hongyuan, Huang Chenghui, Zeng Ruirong,
Yu Guifang, Zeng Zhengdong, Li Gansheng, Ye Qijin

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

Abstract: Pulse laser action of a -axis YAP crystal with an activator concentration of 1 at% Er^{3+} ion has been studied. Two spectral lines at 1.655 μm and 1.6623 μm can oscillate simultaneously in this laser. Both spectral lines are linear polarization beams with polarized directions parallel to crystallographic B and C axes respectively. The output energy curve and time habit of oscillation for both emissions are also given. 103.7 mJ output energy at 1.66 μm has been achieved from $\phi 5 \times 75$ mm $\text{Er}^{3+}:\text{YAP}$ rod with a laser threshold of 28 J.

Key words: 1.6 μm $\text{Er}^{3+}:\text{YAP}$ laser, polarization, temporal properties

引 言

本文实验研究了掺 1 at% Er^{3+} 离子的 a 轴 YAlO_3 晶体的脉冲激光作用, 在现有的实验条件下, 获得了两条谱线的同时振荡, 它们的波长分别为 1.655 μm 和 1.663 μm , 这两条谱线相当于文献[1]中从 $4S_{3/2}$ 的 E_2 和 E_1 能级到 $4I_{9/2}$ 的 B_2 和 B_1 能级间跃迁产生的激光。文中还报道了这些谱线的偏振状态、起振时间特性和输出特性的实验结果。

二、实验与结果

实验所用掺 1 at% Er^{3+} 离子的 a 轴 YAP 棒是从提拉法生长的 $\phi 20 \times 120$ mm 的单晶上切下的, 尺寸是 $\phi 5 \times 75$ mm, 棒端面镀以 1.66 μm 的增透膜, 晶体结晶的 b 轴置于灯与棒的平面内。用 $\phi 7 \times 70$ mm 的脉冲氙灯激励, 激励源的重复率为 1 Hz。用滤紫外玻璃管滤去氙灯

的紫外辐射,灯和棒用冷却水冷却,采用平面-平面型谐振腔,输出镜在 $1.64\sim 1.70\mu\text{m}$ 透过率的差异小于 1.5% ,在 $1.66\mu\text{m}$ 的透过率为 5.44% ;全反射镜在 $1.64\sim 1.70\mu\text{m}$ 的透过率差异小于 0.03% ,在 $1.66\mu\text{m}$ 的透过率为 0.39% 。激光波长用44W型平面光栅单色仪确定,在 $1.6\mu\text{m}$ 实验中使用600条/mm的光栅,闪耀波长在 $1\mu\text{m}$,测量光谱范围为 $0.67\sim 2.0\mu\text{m}$,其分辨率是 3.2nm/mm 。同一根棒在做 $2.7\mu\text{m}$ 实验时采用300条/mm的光栅,其闪耀波长在 $2\mu\text{m}$,测量光谱范围为 $1.3\sim 4.0\mu\text{m}$,其分辨率是 6.4nm/mm 。 $2.7\mu\text{m}$ 的实验所用的实验条件见文献[2]。光栅单色仪的波长用 $1.3414\mu\text{m}$ Nd:YAP激光波长校正^[3]。用焦距6cm的YAG透镜将激光聚在单色仪的入射窄缝上,输出信号由PbS光敏电阻接收后在ST-22型示波器上显示。在观察激光振荡的时间特性时,将激光信号与由硅光二极管接收的氙灯灯光信号在双线示波器上进行比较。激光的输出能量用RJ-7100型激光能量计测量。激光的偏振状态用格兰-汤普逊棱镜检查。实验装置示于图1。

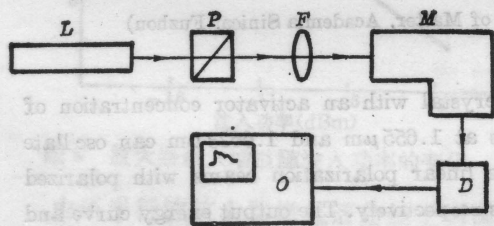
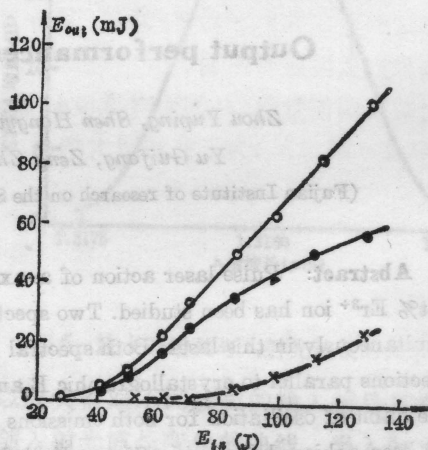


图1 实验装置

L—Er:YAP激光器; P—格兰-汤普逊棱镜
F—YAG透镜; M—44W平面光栅单色仪;
O—ST-22双线示波器, D—硅光二极管

图2 $1.6\mu\text{m}$ 激光输出能量与输入能量的关系

○—总输出能量; ●—平行于结晶 c 轴的 $1.663\mu\text{m}$ 谱线的输出能量; ×—平行于结晶 b 轴的 $1.655\mu\text{m}$ 谱线的输出能量

实验发现 Er^{3+} :YAP激光同时有两条谱线起振,为了测定它们的波长,将单色仪的输入和输出狭缝宽度置于 $30\mu\text{m}$,经反复测量,确认激光波长为 $1.663\mu\text{m}$ 和 $1.655\mu\text{m}$ 。经与文献[1]发表的 Er^{3+} 离子在YAP晶体的能级图比对,后者相当于从 $^4S_{3/2}$ 的 E_2 斯塔克子能级到 $^4I_{9/2}$ 的 B_2 斯塔克子能级的跃迁。

用格兰-汤普逊棱镜对此二谱线检偏,发现它们都是线偏振光。前者的偏振方向平行于晶体的 c 轴,后者的偏振方向平行于 b 轴。

换上 $2.7\mu\text{m}$ 的腔镜后获得了 $2.7\mu\text{m}$ 的激光,与掺杂 $1\text{at}\%$ Er^{3+} 的 a 轴YAP棒不同,此时仅获得 $2.711\mu\text{m}$ 和 $2.730\mu\text{m}$ 两条谱线的同时振荡,而不是文献[2]报道的 2.711 、 2.730 和 $2.795\mu\text{m}$ 三条谱线的同时振荡。用格兰-汤普逊棱镜检验它们的偏振状态,其结果与文献[2]报道的一致。 $2.711\mu\text{m}$ 谱线是线偏振光,其偏振方向平行于晶体的 b 轴,而 $2.730\mu\text{m}$ 谱线是部分偏振光,沿着晶体 c 轴方向的输出幅度较沿着 b 轴方向的输出幅度大,这些结果与文献[4]报道的结果一致。

图 2 给出 1.6 μm $\text{Er}:\text{YAlO}_3$ 激光的输出曲线, 激光阈值是 28 J, 输入能量 128 J 时, 得到 103.7 mJ 的激光输出。当输入 128 J 时 1.663 μm 的输出能量比 1.655 μm 大一倍多, 后者的阈值大约是前者的 1.8 倍。

图 3 给出了输入 72 J 时氙灯光和 1.655、1.663、2.711 和 2.730 μm 激光振荡的波形, 照片上上一条曲线是氙灯波形, 后一条是激光波形。从照片中看到 1.663 μm 谱线最先起振, 经 20 μs 后 1.655 μm 谱线与 1.663 μm 谱线同时振荡。2.711 μm 和 2.730 μm 激光较上述谱线滞后 20~30 μs 起振。这可能是由于 2.7 μm 激光上能级 ${}^4I_{11/2}$ 上粒子数的积累要通过 ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ 这一级联的能量转移来实现, 因而由 ${}^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ 跃迁产生的 2.7 μm 激光比由 ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ 跃迁产生的 1.6 μm 激光滞后了几十 μs 。此外, 还看到 2.7 μm 激光脉冲宽度较 1.6 μm 激光和灯光脉冲宽度宽得多, 这可能是由于 2.7 μm 激光的下能级 ${}^4I_{13/2}$ 通过交叉弛豫 (${}^4I_{13/2} - {}^4I_{15/2} = {}^4I_{13/2} - {}^4I_{9/2}$) 不仅使此能级上的粒子数退集居, 而且增加了激光上能级的粒子数, 这种交叉弛豫过程使下能级起了“蓄水库”的作用, 从而延长了激光振荡的持续时间。这种作用在掺 10 at% Er^{3+} 离子的 YAP 中更显著, 因为提高 Er^{3+} 离子浓度后, 缩短了相邻 Er^{3+} 离子间的距离, 提高了上述交叉弛豫的几率, 从而延长了激光振荡的持续时间, 这可能就是文献[2]中 2.795 μm 谱线脉冲持续时间超过 500 μs 的原因。

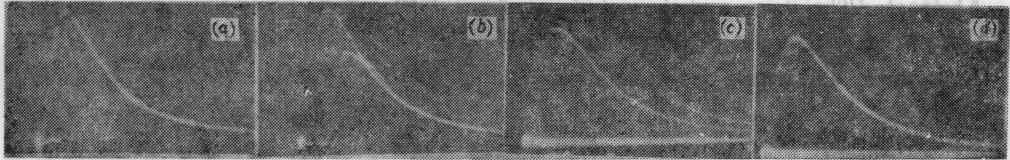


图 3 泵浦灯和四条激光谱线振荡的时间特性(时标: 100 $\mu\text{s}/\text{div}$)

(a) 1.6623 μm , (b) 1.6549 μm , (c) 2.7299 μm , (d) 2.7110 μm

参 考 文 献

- 1 M. Dälwylor, W. Lüthy *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-23**(2), 158(1987)
- 2 曾瑞荣, 沈鸿元 *et al.*, 中国激光—激光器件专集, **17**(增刊), 60(1990)
- 3 H. Y. Shen, Y. P. Zhou *et al.*, *Optics and Laser Technology*, **18**(4), 193(1986)
- 4 于桂芳, 沈鸿元 *et al.*, 激光技术, (待发表)

(上接第 52 页)

压控电压变化约 0.4 V, 由此而算出相应的最佳延时的漂移(图 3(b))在 24 ns 左右, 补偿延时失调而使功率的相对增加约为 20%(图 3(c))。这和以前的实验结果^[2], 即延时失调 10~15 ns, 放大器输出下降 10% 的数据是一致的

本文所介绍的技术不但可以推广到其它重复率脉冲激光系统, 而且, 如果将压控调放大器的触发延时改为压控调振荡器的输入电源电压, 则可以容易地形成自动控制的稳功率输出激光振荡器, 后者在实际工作中也是很有用的。

参 考 文 献

- 1 J. A. Paisner, *Appl. Phys. B*, **46**, 253(1988)
- 2 梁培辉 *et al.*, 中国激光, **14**(1), 45(1987)
- 3 梁培辉 *et al.*, 光学学报, **7**(9), 783(1987)