

YAG 板条激光振荡放大器(MOPA)的实验研究

冯国英 吕百达 蔡邦维 孔繁龙

(四川大学激光物理与激光化学研究所,成都,610064)

黄永忠 徐天华

(西南技术物理研究所,成都,610041)

摘要: 建立了一级振荡二级放大 YAG 板条激光装置,并进行了自由振荡和使用新型 YAG Cr⁴⁺ 色心晶体调 Q 输出的能量放大以及光束质量随放大级泵浦能量变化的实验研究。结果表明,该 MOPA 系统由于热效应小,可输出高光束质量的激光。

关键词: 主振荡-功率放大 YAG 板条激光器 YAG: Cr⁴⁺ 调 Q 晶体

Experimental study of a YAG slab MOPA laser

Feng Guoying, Lü Baida, Cai Bangwei, Kong Fanlong

(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu, 610064)

Huang Yongzhong, Xu Tianhua

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu, 610041)

Abstract: A YAG slab oscillator and two-stage amplifier system has been built up. The free-running and Q-switching experiments, using a novel YAG: Cr⁴⁺ colour centre crystal, have been performed, and have shown the advantage of the slab MOPA system capable of providing good beam quality due to its low thermal effects.

Key words: master oscillator-power amplifier(MOPA) YAG slab laser YAG: Cr⁴⁺ Q-switch crystal

一、引 言

理论和实验研究表明,合理设计的板条固体激光器热效应小,输出光束参数乘积(束腰宽度×远场发散角)随泵浦功率变化小,可提供高光束质量和高平均功率输出。本文目的是在自由振荡和调 Q 工作情况下对 MOPA^[1,2](主振荡-功率放大器)式一级振荡、二级放大的 YAG 板条激光系统进行实验研究,并对所得结果加以分析讨论。

二、实 验 装 置

实验中使用的 21kW 固体激光电源分为三路,每路二灯,用“预燃法”闪灯,每路最大功率为 7kW,延时可调(1~500μs),工作频率 0.2~30Hz 连续可调。此外,我们还在该装置上增加了计算机控制系统和闪光灯同步采样电路等。

在实验中所用的三根板条中,振荡级为(Nd, Ce):YAG,二级放大用两根 Nd:YAG,有关参数见附表。振荡器用流动空气冷却,二级放大器均用水冷方式。在该 MOPA 系统中,振荡器由于气冷的限制,重复频率可达 5Hz,而两放大级原则上可工作在 30Hz,在进行一级振荡二级放大板条固体激光实验时,用 He-Ne 激光器准直光路,振荡级输出的激光依次通过第一放大

Table YAG slab parameters

	slab 1	slab 2	slab 3
crystal	(Nd, Ce): YAG	Nd YAG	Nd YAG
dimension (mm ³)	4.8 × 10 × 114	4.8 × 10 × 113	6.1 × 12.5 × 108
refractive index $n_{1.06\mu m}$	1.82	1.82	1.82

70%，腔长 0.55m，腔内插入一口径为 1.5mm × 3.0mm 的小孔光阑；调 Q 工作时，则在振荡级腔内插入 $\phi 2\text{mm}$ 的小孔光阑和新型 YAG: Cr⁴⁺ 色心调 Q 晶体。实验中在振荡级加小孔的目的是为了得到光束质量较好的种子光源。

在实验中，我们采用自己建立的 2D CCD 光束剖面诊断系统测量光束质量，用采样频率可达 30Hz 的 LSR- II 型激光能量比率计测能量。

三、实验结果和讨论

对该 YAG MOPA 系统作了自由振荡和调 Q 输出实验。实验结果如下：

1. 自由振荡

当泵浦能量为 145J 时，激光输出能量为 142mJ，经 Nd:YAG 板条两级放大。由于振荡级输出光束口径的 2 倍小于放大级介质的口径，可不考虑因光束不匹配而引起的能量损耗。振荡级输出的激光经第一级放大后的输出能量随第一放大级泵浦能量的变化曲线和经第二级放大后(第一级放大级泵浦能量固定为 113J)的输出能量随第二放大级泵浦能量的变化曲线见图 1。由图可见，随着放大级泵浦能量和放大级数的增加激光输出能量变大。当第一放大级和第二放大级泵浦能量均为 113J 时，激光输出能量为 567mJ，放大倍数达 4.0。

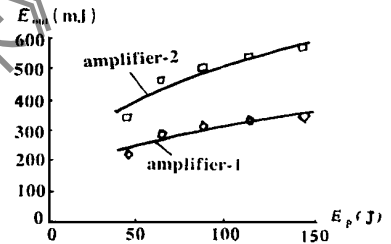


Fig. 1 The output energy (E_{out}) of the first and second stage amplifiers as a function of the pumping energy (E_p) of amplifier stages. The input energy from the free running oscillator is 142mJ

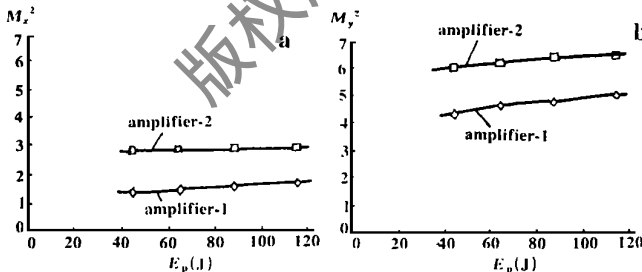


Fig. 2 The beam quality factors M_x^2 and M_y^2 of the first and second stage amplifiers in the X (a) and Y (b) directions are plotted against the pumping energy (E_p) of amplifier stages. The beam quality factors M_x^2 , M_y^2 of the input free-running laser are 1.4 and 2.2, respectively

束宽 $w_{xz} = 0.906\text{mm}$ ，宽度方向的束宽 $w_{yz} = 1.182\text{mm}$ 。利用公式^[3]

$$M^2 = (\pi w_0 / \lambda z) \sqrt{w_z^2 - w_0^2} \tag{1}$$

级和第二放大级。工作频率为 5Hz。

自由振荡级谐振腔为平凹腔，凹面全反镜曲率半径为 3m，平面耦合输出镜的反射率为

我们对振荡级、一级放大和二级放大输出激光的光束质量用 2D CCD 系统和光腰两点法进行了测量。测得振荡级当泵浦能量为 145J 时，输出光束经焦距 $f = 200\text{mm}$ 的透镜变换后在光腰处板条厚度方向 (X 方向) 的束宽 $w_{x0} = 0.151\text{mm}$ ，宽度方向 (Y 方向) 的束宽 $w_{y0} = 0.185\text{mm}$ ，距光腰 $z = 293\text{mm}$ 处板条厚度方向的

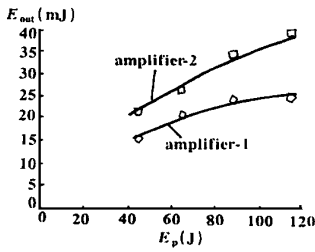


Fig. 3 The output energy (E_{out}) of the first and second stage amplifiers as a function of the pumping energy (E_p) of amplifier stages. The input energy from the Q-switch oscillator is 10.1mJ

为 113J 时激光经二级放大后输出能量 39.5mJ, 放大倍数 3.9。

实验测得振荡级输出光束经焦距 $f = 200\text{mm}$ 的透镜变换后在光腰处板条厚度方向的束宽 $w_{x0} = 0.087\text{mm}$, 板条宽度方向的束宽 $w_{y0} = 0.129\text{mm}$, 距光腰 $z = 95\text{mm}$ 处板条厚度方向的束宽 $w_{xz} = 0.289\text{mm}$, 板条宽度方向的束宽 $w_{yz} = 0.276\text{mm}$ 。计算可得: $M_x^2 = 1.1$, $M_y^2 = 1.4$ 。振荡级输出的光束经第一级和二级放大后 M_x^2 和 M_y^2 随放大级泵浦能量的变化曲线见图 4。调 Q 后, 光斑尺寸变小, 可能是因为色心晶体非线性漂白效应所致, 故有更好的光束质量。由图可知, 当第一放大级和第二放大级的泵浦能量均为 113J 时, 由 MOPA 系统输出光束 M^2 因子为: $M_x^2 = 1.6$, $M_y^2 = 2.2$ 。

计算可得: $M_x^2 = 1.4$, $M_y^2 = 2.2$ 。振荡级输出的光束经第一级和二级放大后在板条厚度方向的光束质量因子 M_x^2 和在板条宽度方向的光束质量因子 M_y^2 随放大级泵浦能量的变化曲线见图 2。由图知, M^2 随放大级级数增加而增大, 但在每一级, M^2 随泵浦能量增加变化不大。当两级放大泵浦能量均为 113J 时, 由 MOPA 系统输出光束 M^2 因子为 $M_x^2 = 2.9$, $M_y^2 = 6.4$ 。

2. 调 Q 实验

用新型色心晶体 YAG:Cr⁴⁺ 调 Q 输出 10.1mJ 的激光经第一级和二级放大后的输出能量随放大级泵浦能量的变化曲线见图 3。由图可见, 随着放大级泵浦能量的增加和放大级级数的增加, 输出能量变大, 当两放大级泵浦能量均

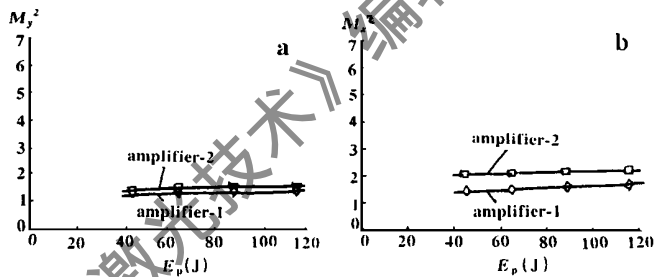


Fig. 4 The beam quality factors M_x^2 and M_y^2 of the first and second stage amplifiers in the X (a) and Y (b) directions are plotted against the pumping energy (E_p) of amplifier stages. The beam quality factors M_x^2 , M_y^2 of the input Q-switch laser are 1.1 and 1.4, respectively

四、小 结

本文所进行的 YAG 板条固体激光振荡放大实验表明, 与传统的棒状 MOPA 系统比较, 由于板条激光系统能补偿一阶热效应, 可得到更好的输出光束质量, 并且 M^2 因子随泵浦能量/功率变化较小。调 Q 后, M^2 因子还可进一步减小。在解决一些关键技术问题后, 实验得到, 在自由振荡二级放大后输出能量 567mJ 时, $M_x^2 = 2.9$, $M_y^2 = 6.4$ 。对调 Q 情况, 当输出能量为 39.5mJ 时, $M_x^2 = 1.6$, $M_y^2 = 2.2$ 。据我们所知, 这是国内首次在 YAG 板条 MOPA 系统中实现近衍射极限的放大。但是, 自由振荡时板条激光系统宽度方向的 M_y^2 因子仍较大, 应当采用专门技术措施才能进一步提高光束质量和输出功率。本文为我们的阶段性实验研究结果, 该项工作在继续进行中, 有关结果将另文报道。

该项工作得到国家高技术 416-2.20 项目支持。作者感谢长春光机学院梁作亮教授、姜晓华副教授在实验中给予的多方帮助。

激光扫描共焦荧光显微镜的电子控制系统研究*

张 平 向际鹰 吴 震

(华中理工大学光电子工程系, 武汉, 430074)

摘要: 介绍了激光扫描共焦荧光显微镜的电子控制系统, 为了提高激光扫描器的定位精度, 在系统中提出采用基于闭环像素时钟发生器的检流计振镜所固有的扫描非线性失真补偿方案, 减少输出图象的枕形畸变, 实现行扫描空间位置的均匀性。在以细分梯形波电流驱动反应式步进电机情况下, 根据实测 $\theta-i$ 曲线, 用反插法求得与步进电机运行非均匀性相补偿的相电流波, 从而获得在小电流情况下高角度均匀的步进电机细分运行特性。

关键词: 激光扫描 电子控制系统 帧扫描 行扫描

Study on electronic control system for laser scanning confocal fluorescence microscope

Zhang Ping, Xiang Jiying, Wu Zhen

(Dept. of Optoelectronic Enging, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: The electronic control system for laser scanning confocal fluorescence microscope is described in this paper. For improvement of the positing precision of laser scanner, a high accuracy scanning image sampling method, based on pixels clock generator, is adapted to correct the non-linear output image pincushion distortion caused by the rotational inertial of the e mechanical parts of laser scanner. In order to detect the scanning spatial position under the case of step motor driving, according to the experimentally measured $I-\theta$ curve, we can get the phase current wave form which compensates the non-linearity of $I-\theta$ curve by means of interpolation method. Therefore, the step motor can operate with high angle uniformity under the condition of low current mode.

Key words: laser scanning electronic control system frame scan line scan

一、引 言

激光扫描共焦荧光显微术是将激光共焦扫描技术和荧光成象技术结合在一起, 激光共焦

* 国家自然科学基金资助。

参 考 文 献

- 1 Wall K F, Schulz P A, Aggarwal R L *et al.* IEEE J Q E, 1993; 29(6): 1505~ 1514
- 2 Seidel S. Opt & Quant Electron, 1995; 27: 625~ 632
- 3 曾秉斌, 徐德衍, 王润文. 应用激光, 1994; 14(3): 104~ 108

* * *

作者简介: 冯国英, 女, 1970 年出生。硕士, 博士研究生。主要研究方向为新型和高功率固体激光器, 光束传输变换和光学设计等。