

文章编号: 1001-3806(2007)05-0449-03

利用内腔变形反射镜补偿激光器畸变的研究

杨振刚, 陈海清*, 王 磊, 任温馨

(华中科技大学 光电子科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 固体激光器中, 增益介质由于热沉积产生的热畸变严重影响了激光器的稳定性和输出功率以及光束质量。为了补偿激光器腔内畸变, 采用了一种利用变形反射镜作为内腔反射镜的方法, 运用静电力作用于变形薄膜反射镜, 来改变谐振腔的结构。从外部引入一束参考光通过激光腔, 利用波前探测器可测得腔内畸变对参考光的影响, 并利用变形反射镜校正此畸变。实验结果表明, 该方法能对腔内畸变进行有效的补偿, 提高激光器的输出功率及光束质量。

关键词: 激光技术; 变形反射镜; 波前探测器; 畸变补偿; 输出功率

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

Investigation of laser aberration compensation using an intra-cavity deformable mirror

YANG Zhen-gang, CHEN Hai-qing, WANG Lei, REN Wen-xin

(Institute of Optoelectronic Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract Thermal induced distortion in the gain element is the main obstacle to be overcome in the scaling of solid-state lasers to very high output powers. In order to compensate the aberration, the method of using an intra-cavity deformable mirror was carried out. The intra-cavity configuration was changed when the deformable mirror was input the voltage. A referenced light from outside cavity was used to get across the intra-cavity. The effect of the intra-cavity aberration to the referenced light could be detected with a wavefront detector and was compensated by using the deformable mirror. The experimental results indicate the intra-cavity aberration was effectively compensated and the output power and beam quality were improved.

Key words laser technique; deformable mirror; wavefront detector; aberration compensation; output power

引 言

在固体激光器中, 激光棒内热沉积是在所难免的, 它会导致激光棒内温度分布不均, 热应力和受热形变等现象, 因此产生热透镜效应^[1-3]。为弥补热透镜效应, 可采用激光棒端面研磨成曲面法、引入透镜法等方法^[4-9]。虽然一个好的内腔结构能有效地减小热透镜效应的球面畸变影响, 但不能对非球面畸变进行补偿, 当热量增加时, 最终导致激光器效率低, 并会形成多模振荡^[10]。而国内对非球面畸变进行补偿的问题并未见报道。本文中研究的是运用静电力作用的变形薄膜反射镜来提高激光器的输出光束质量。这种方式最特别的是通过计算机反馈控制系统, 能对非球面畸变进行补偿, 自动优化得到最佳输出光束。

1 实验装置

1.1 激光器的腔内设置

为了研究内腔变形镜在改变激光器输出光束质量中的作用, 构造如图 1 所示 Nd:YAG 谐振腔。Nd:YAG

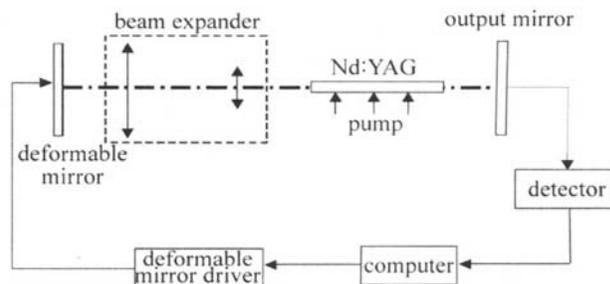


Fig 1 Schematic diagram for experimental system

的尺寸为 $\varnothing 3\text{mm} \times 10\text{mm}$, 利用弧灯进行抽运; 输出镜的透过率为 6%; 腔中加入 5 倍的扩束系统, 是为了降低入射到变形镜上的功率密度, 并使得入射到变形镜上的振荡光束口径覆盖尽可能多的电极。初始时, 未给变形镜施加电压, 在 1000W 的抽运功率下, 输出功率为 68mW。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (10476010)

作者简介: 杨振刚 (1979), 男, 博士研究生, 主要从事光学检测及光电控制方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: hqcher@mail.hust.edu.cn

收稿日期: 2006-11-07; 收到修改稿日期: 2006-12-08

1.2 变形反射镜

实验选用的是由美国 Agiloptics公司生产的基于微电子机械系统技术的连续面型变形反射镜,其型号为 Multi-25/37-HR A1 口径为 25mm,驱动电极 37通道,最大变形量为 4 μ m,功率密度阈值为 12.5kW/cm²,实验中,电极上电压限制在 200V 以下。变形镜的电极分布和编号如图 2 所示。

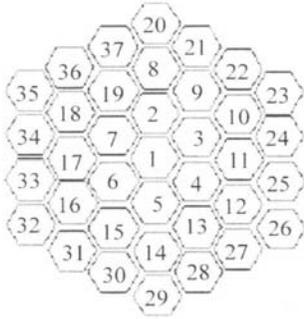


Fig 2 Electrode pattern of deformable mirror

2 实验过程及结果分析

2.1 输出功率

入射到变形镜上的振荡光束口径主要覆盖中心电极圈,实验中边缘电极圈(8号电极圈和20号电极圈)每个电极单独输入 200V 电压,对激光器的输出功率和光斑形状基本上无影响。所以,实验重点测试中心电极圈对激光束输出质量的影响。

开始时分别对 1号~7号电极单独施加 200V 电压,测得 1号、3号和 7号电极对输出功率有明显影响。中心 1号电极对输出功率影响最大,使得激光器基本上无输出;3号电极对输出功率影响较大,使得输出功率明显的降低;2号、4号、5号和 6号电极对输出功率影响不大;7号电极对输出功率的影响也较为明显,使得输出功率有一定的提高。

为此,分别对 1号、3号和 7号电极单独施加不同的电压,从 0V~200V,每次间隔 20V,得到施加电压与输出功率的关系曲线如图 3 所示。

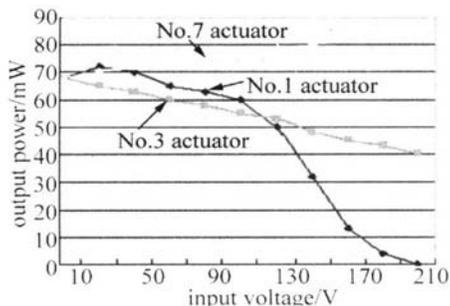


Fig 3 Output power by different input voltage to single electrode

由图 3 可知,对 1号电极来说,施加较低电压时,输出功率相比于初始值反而略有提高,只是随着电压

的增加输出功率逐渐下降;电压在 0V~100V 之间时,功率下降幅度不大,而当电压超过 100V 后,输出功率随电压的升高急剧下降。对 3号电极来说,输出功率随着电压的增加逐渐下降,下降幅度基本一致;对 7号电极来说,输出功率随着电压的增加逐渐升高,升高幅度也基本一致。

由上述实验结果可知,对变形镜的电极施加不同的电压时,会对激光器的输出功率产生较大的影响。当抽运功率一定时,必定存在一种最佳的电压输入方式,使得激光器的输出功率最大。

2.2 输出光斑形状

改变变形镜电压的输入方式,激光器的输出功率变化较大,其相应的光斑形状也会发生较大的变化。实验中利用 CCD 拍摄了几幅不同输出功率时对应的光斑形状图,如图 4 所示。图 4a 是初始情况下,输出

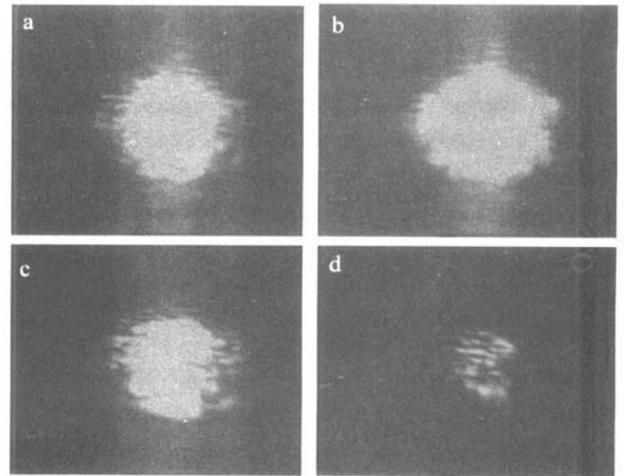


Fig 4 Beam profile for different input voltage
a—initial profile b—200V into Na 7 electrode c—200V into Na 3 electrode d—200V into Na 1 and Na 7

功率为 68mW 时的光斑图样;图 4b 是 7号电极施加 200V 电压的情况下,输出功率为 85mW 时的光斑图样;图 4c 是 3号电极施加 200V 电压的情况下,输出功率为 40mW 时的光斑图样;图 4d 是 1号和 7号电极同时施加 200V 电压的情况下,输出功率为 6mW 时的光斑图样。

由上述不同的光斑图形可知,对变形镜的电极施加不同组合方式的电压时,激光器输出光斑形状变化也很大;且输出功率越大,其相应的光斑形状越佳,输出的光束质量也越高。为此,在本套系统实验条件下,寻找变形镜最优电压输入方式时,只需测试激光器输出功率。抽运功率一定时,输出功率最大时,即可认为此时激光器输出光束质量最优。

2.3 腔内畸变的测量

固体激光器工作时腔内会产生热畸变,影响了激

激光器输出光束的质量。当热畸变到一定程度时, 激光器甚至不能出光。精确测量激光器工作时腔内畸变大小的方法当前并未见报道。这里提出一种利用 Hartmann 探测激光器腔内畸变的方法来研究激光器工作时畸变对波前的影响, 并通过变形镜补偿此畸变, 探测激光器输出光束的变化。实验中选用的 Hartmann 是由美国 Spiricon 公司生产, 其型号为: HWA-TM 1010-10D-HS-633nm。

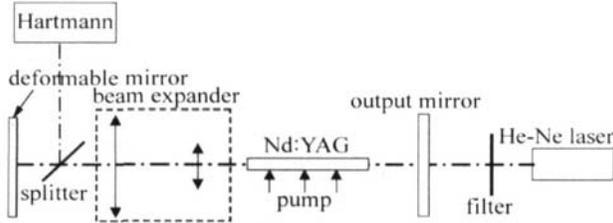


Fig 5 Schematic diagram for aberration measure

测试畸变实验原理图如图 5 所示。在腔内加入一半透半反镜 (对波长 632.8nm 半透半反, 对波长 1064nm 透过率为 99%), 腔外由 He-Ne 激光器发出的参考光 (前置 632.8nm 波长的滤光片, 带宽 12nm) 通过激光棒入射到变形镜上, 通过半透半反镜反射到 Hartmann 上探测波前。

初始时未给变形镜施加电压。激光器未工作时, 可测得参考光波前的 P-V 值为 $4.5\mu\text{m}$ 。当抽运功率为 1200W 时, 激光器输出功率为 110mW, 此时 P-V 值为 $10.2\mu\text{m}$ 。这表明激光器工作时腔内产生的畸变使得参考光波前发生较大的变化。

2.4 利用变形镜补偿腔内畸变

激光器工作时给变形镜施加不同的电压模式, 测得的参考光波前 P-V 值及激光器输出功率如表 1 所示。

Table 1 P-V value and output power for different voltage input mode

pump power /W	voltage input mode	P-V value of referenced light/ μm	output power /mW
0	null	4.5	0
1200	null	10.2	110
1200	defocus	14.1	38
1200	X, Y tilt	9.3	118
1200	random	13.4	53
1200	random	8.7	122

由表中数据可知, 在一定抽运功率条件下时, 通过

改变变形镜的电压输入模式, 可改变参考光的波前。且当参考光波前接近初始值时, 可认为补偿了激光器腔内的畸变, 提高了激光器的输出功率及光束质量。

3 结论

对高功率激光系统, 人们最为关注的技术指标是: 输出功率、光束质量以及效率。现今发展大功率固体激光器急待解决的问题就是克服在激光器增益介质中由热引起的畸变现象对这些性能产生的影响。作者通过实验证实, 将变形反射镜作为激光器的内腔结构, 通过对参考光束波前的校正, 可以提高激光器的输出功率及光束质量。由变形镜和 Hartmann 构成的自适应光学系统, 利用参考光波前为反馈信号, 通过软件设计, 可以形成一个闭环系统, 自动补偿腔内畸变, 优化激光器的输出光束质量。

参考文献

- [1] SNHA S, MANSSELL J D, BYER R L. Deformable mirrors for high-power lasers [J]. *SP E*, 2002, 4493: 55~63
- [2] DAYTON D C, MANSSELL J D, GONGLEWAKI J D *et al*. Novel micromachined membrane mirror characterization and closed loop demonstration [J]. *Opt Commun*, 2001, 200: 99~105
- [3] CHEREZOVA T Y, CHESNOKOV S S, KAPTSOV L N *et al*. Super-Gaussian laser intensity output formation by means of adaptive optics [J]. *Opt Commun*, 1998, 155: 99~106
- [4] ZHAO C H, FAN Zh W, WANG P F. New thermal lens equation of LD side-pumped solid-state laser rod [J]. *Journal of Optoelectronics & Laser*, 2005, 16(8): 1004~1006 (in Chinese).
- [5] ZHANG L H, WANG X M, MA M J. Analysis for optimized design and thermal lens effect of LD-pumped solid state laser [J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2005, 22(6): 855~858 (in Chinese).
- [6] YANG Y M, WEN J G, WANG Sh Y. The thermal lens focus of the end-pumped Nd:YAG laser [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, 24(12): 1769~1772 (in Chinese).
- [7] LI Q, WANG Zh M, FANG M X. Thermal lens focal length measurement of high power lamp pumped CW Nd:YAG laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2004, 31(9): 1117~1120 (in Chinese).
- [8] ZOU J, ZHAO Sh Zh, YANG K J. Determining the thermal lens focus of LD end-pumped Nd:GdVO₄ solid-state laser with CCD detecting method [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(4): 425~428 (in Chinese).
- [9] YU B H, NI Y J, LOU G Y. The influence of laser output from the thermal lens effect of Nd:YAG laser [J]. *Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2004, 17(2): 166~169 (in Chinese).
- [10] LUBGT W, VALENTINE G, GRKIN J *et al*. Active transverse mode control and optimization of an all-solid state laser using an intracavity adaptive optic mirror [J]. *Optics Express*, 2002, 10(13): 550~555