

8×8 阵列压电厚膜驱动变形镜的制备及性能研究

刘相果¹, 胡东霞², 冯小东¹, 曾祥明¹

(1. 中国电子科技集团公司第26研究所, 重庆 400060; 2. 中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 利用流延工艺制备大尺寸高性能压电陶瓷片(100 mm×100 mm×0.50 mm), 在此基础上研究 8×8 阵列排布的厚膜压电陶瓷驱动连续变形镜的制备工艺技术, 并对变形镜的理论拟合面形和实际闭环控制校正面形进行研究分析。结果表明, 变形镜的初始面形的像差振幅为 2.664λ, 像差均方根振幅为 0.557λ, 而经闭环控制校正+手动微校正后, 获得较佳的镜面效果像差振幅为 0.36λ, 像差均方根振幅为 0.095λ; 闭环控制校正面形与理论拟合的面形(像差振幅为 0.005λ, 像差均方根振幅为 0)存在一定差距, 主要原因是变形镜制备工艺过程或驱动闭环控制系统存在一定的滞后性或试验误差造成的。

关键词: 大尺寸厚膜压电陶瓷; 流延工艺; 变形镜; 闭环控制

中图分类号: TN282

文献标识码: A

Study on Preparing Methods and Performances of 8×8 Arrays Bimorph Deformable Mirror with Piezoelectric Ceramics Plate

LIU Xiangguo¹, HU Dongxia², FENG Xiaodong¹, ZENG Xiangming¹

(1. 26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China;

2. Research Center of Laser Fusion, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: The piezoelectric ceramic plate with high performance and large size of 100 mm×100 mm×0.5 mm has been prepared by the casting technique, and the preparation technique of a 8×8 array bimorph deformable mirror with piezoelectric ceramic plate was studied in this work. The theoretical and practical compensation and correction for aberrations of bimorph deformable mirror were investigated by the feedback control technology. The results showed that the aberrations amplitude of bimorph deformable mirror before correcting with feedback control technology was 2.664λ and RMS was 0.557λ, while after correcting, the aberrations amplitude was 0.36λ and RMS was 0.095λ. There exist some differences between theoretically correcting (0.005λ and RMS was 0) and practically correcting, which was caused by the following reason: unperfected gluing technology, hysteresis of testing system, testing irregularities, and so on.

Key words: piezoelectric ceramics with thick film and big size; casting techniques, bimorph deformable mirror; feedback control technology

0 引言

自适应光学控制技术是能否得到相位一致的强激光束的关键, 而自适应光学技术的关键是自适应激光变形镜的制造水平^[1-3]。自适应激光变形镜的微驱动技术是实现自适应变形镜的关键技术, 目前, 变形镜主要分为分块变形镜和连续变形镜两种。

连续变形镜是目前强激光自适应光学系统武器系统采用的主要结构形式, 其主要驱动结构形式主要有离散位移驱动式、离散力驱动式、弯曲力矩驱动式、整体压电式、静电薄膜式、离散压电驱动连续式^[4-8]。中国科学院光电所已将离散压电驱动连续变形镜成功应用到各类自适应光学系统中, 其压电

驱动部分采用叠层压电陶瓷堆结构形式制造^[4-5]。在压电驱动致动器结构设计上, 叠层压电陶瓷致动器虽然驱动位移量大, 但其存在叠层致动器组之间变形一致性差, 变形回零滞后性差, 电容量及发热量均大, 使用寿命低, 导致高频响应(>1 kHz)特性差, 难以在高频响应、高可靠性的强激光变形镜系统中使用^[9-12]。

本文主要研究一种满足高频响应强激光变形镜需求的大尺寸压电陶瓷薄片的制备工艺技术, 在此基础上进行探讨压电薄膜驱动连续变形镜的结构及制备工艺技术, 并对变形镜的静态特性及动态性能进行测试。

收稿日期: 2012-03-06

作者简介: 刘相果(1976-), 男, 安徽萧县人, 高级工程师, 博士, 主要从事特种功能材料及器件的研究。

1 厚膜压电陶瓷连续驱动变形镜的结构设计

变形镜结构为8×8阵列排布,电极间隙为3.0 mm(见图1)。其结构剖面示意图如图2所示。其中,反射镜面衬底材料为K9玻璃,其外形尺寸100 mm×100 mm×5.00 mm。驱动材料为厚膜压电陶瓷,其外形尺寸100 mm×100 mm×0.50 mm。粘接过渡层为环氧树脂,紫外曝光固化。

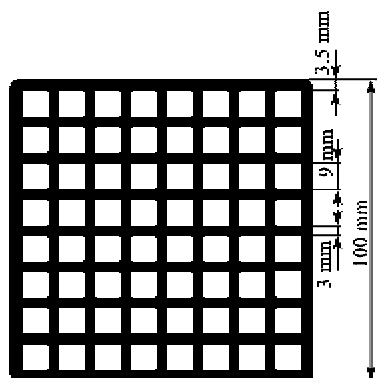


图1 变形镜电极分割示意图

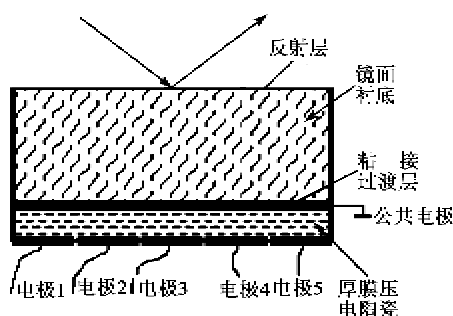


图2 变形镜组成结构示意图

2 厚膜压电陶瓷连续驱动变形镜的制备工艺

主要包括大尺寸厚膜压电陶瓷的制备工艺、陶瓷电极分割工艺及变形镜粘接固化工艺。

1) 100 mm×100 mm×0.50 mm 厚膜压电陶瓷的制备。采用流延工艺制备薄膜,然后经过叠层、温等静压、排胶、烧结、研磨、制备电极(蒸发金电极)、极化而形成的大尺寸陶瓷薄片。该工艺制备的陶瓷材料分散一致性好,杂质及缺陷少。该工艺条件要求高,工艺流程长,若工艺控制不当,难以烧结出大尺寸压电陶瓷片。在制备工艺过程中,压电陶瓷(PZT)材料流延工艺、排胶工艺、烧结工艺、极化工艺等参数的选择是关键。

2) 电极分割工艺。极化后的压电陶瓷在

120 ℃老化 24 h 后进行电极分割,主要采用曝光、腐蚀工艺制备。在感光胶涂覆过程中必须均匀,否则形成的电极间隙不均匀。

3) 粘接固化工艺。变形镜的粘接固化工艺采用负压、常温紫外固化环氧胶进行固化处理,主要目的:

a. 防止固化过程产生应力而引起镜面的变形或瓷片裂纹的产生;

b. 大面积粘接过程产生的粘接缺陷是粘接气泡或空洞的产生,而负压粘接可减少气泡的产生。

固化再采用导电胶焊接引线后,形成可测试的变形镜样品,如图3所示。

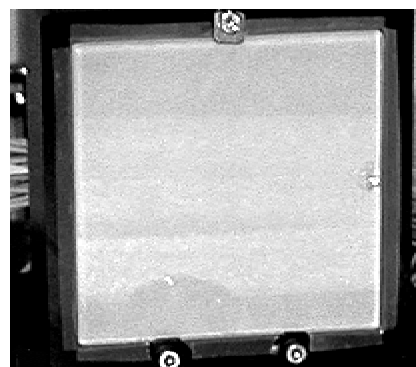


图3 变形镜样品

3 压电陶瓷连续驱动变形镜性能测试与分析

3.1 压电陶瓷驱动变形镜试验光路系统及光路校准

图4为试验光路测试系统,图中 f 为焦距。图5为该系统的

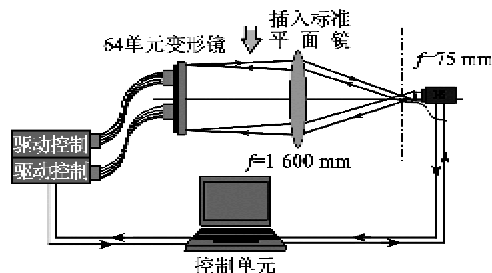


图4 压电陶瓷驱动变形镜试验光路系统

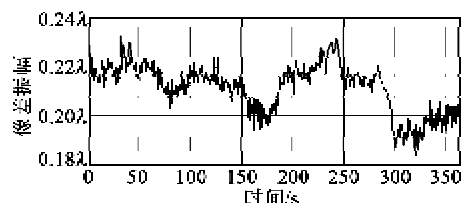


图5 试验光路的稳定性测试

3.2 变形镜的面形度校正

采用驱动电压(150, -150 V)驱动不同单元, 获得的 64 单元镜面响应函数, 如图 6 所示。

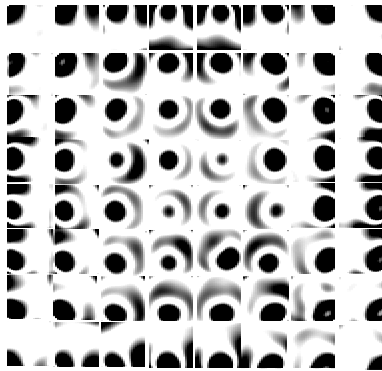


图 6 驱动电压(150, -150 V)下的 64 单元镜面响应函数

图 7 为插入标准平面镜的光路系统像差图像。图 8 为扣除光路系统像差后的变形镜面初始面形。由图 7、8 可知, 插入标准平面镜后, 系统像差振幅为 1.106λ , 像差均方根振幅为 0.293λ , 在扣除光路系统像差后的变形镜面初始面形的像差振幅为 2.564λ , 像差均方根振幅为 0.557λ 。

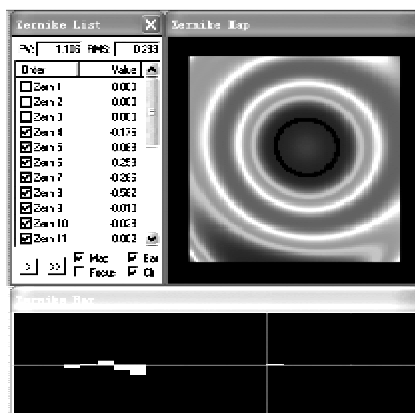


图 7 插入标准镜后的光路系统像差

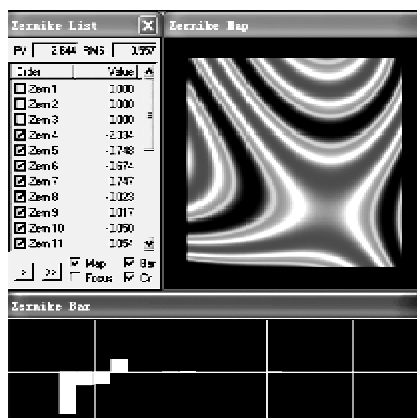
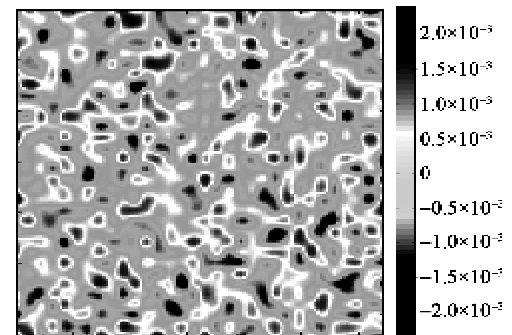
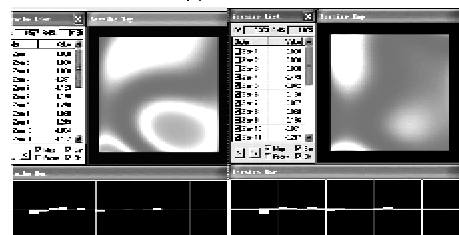


图 8 扣除光路系统像差后的变形镜初始面形
根据图 8 初始面形的像差振幅为 2.564λ , 像差

均方根振幅为 0.557λ , 进行软件模型模拟分析, 获得的理论镜面面形像差振幅为 0.005λ , 像差均方根振幅为 0 (见图 9(a))。采用试验系统的闭环控制系统对镜面进行试验闭环校正, 获得的镜面如图 9(b)所示。



(a) 理论模拟面形



(b) 闭环校正面形 (c) 闭环校正后手动调整面形

图 9 理论拟合面形与实际闭环控制校正面形

通过闭环控制后, 实际获得的镜面面形的像差振幅为 0.60λ , 像差均方根振幅为 0.150λ 。由图 9(b)可知, 实际闭环控制获得的面形与理论分析拟合面形有一定的差距, 这与整个系统的闭环控制设计有关, 需进一步改进控制系统设计, 从而缩小理论拟合与实际闭环控制的面形差距。针对系统缺陷问题, 作者在闭环控制后, 再利用手动控制驱动电路系统对变形镜的镜面特性进行调整, 获得镜面面形的像差振幅为 0.36λ , 像差均方根振幅为 0.095λ (见图 9(c))。

4 结论

1) 采用流延工艺制备出满足变形镜制备工艺的要求大尺寸高性能压电陶瓷片 ($100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 0.50\text{ mm}$), 并采用该瓷片制备出 8×8 阵列排布的厚膜压电陶瓷驱动连续变形镜。

2) 制备的变形镜的初始面形的像差振幅为 2.564λ , 像差均方根振幅为 0.557λ , 经过闭环光路试验控制系统校正+手动微校正后, 获得较佳的镜面效果的像差振幅为 0.36λ , 像差均方根振幅为 0.095λ 。

3) 闭环光路试验控制系统校正获得的面形(像差振幅为 0.60λ , 像差均方根振幅为 0.150λ)与理论拟合的面形(像差振幅为 0.005λ , 像差均方根振幅为 0)存在一定的差距, 说明变形镜的制备工艺过程或驱动闭环控制系统存在一定的滞后性或试验误差。

参考文献:

- [1] CHEREZOVA T Y, CHESNOKOV S S, KAPTSOV L N, et al. Doughnut-like laser beam intensity output formation by means of adaptive optics[J]. Optics Express, 1998, 155: 99-106.
- [2] CHEREZOVA T Y, KAPTSOV L N, KUDRYASHOV A V. CW industrial rod YAG: Nd³⁺ laser with an intracavity active bimorph mirror[J]. Applied Optics, 1996, 35: 2554-2561.
- [3] KUDRYASHOV A V, SHMALHAUSEN V I. Semi-passive bimorph flexible mirrors for atmospheric adaptive optics applications[J]. Optical Engineering, 1996, 35(11): 3064-3073.
- [4] 凌宁, 官春林, 王岚, 等. 61 单元分立式压电变形反射镜的研制[J]. 强激光与粒子束, 1998, 10(4): 527-530.
- [5] 曾志革, 凌宁, 饶学军. 能动薄镜面的有限元分析[J]. 光电工程, 1995, 22(2): 8-19.
- [6] 杨强, 朱建平, 曹根瑞. 双压电变形反射镜的优化设计[J]. 光学学报, 1999, 19(9): 1163-1169.
- [7] 曹根瑞, 杨强. 13 单元双压电晶片变形反射镜主要性能参数的测试[J]. 光学技术, 1996, 22(4): 25-29.
- [8] 于洋, 曹根瑞. 主动光学反射镜面形的校正能力及其优化设计[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(2): 229-230.
- [9] CHEREZOVA T Y, CHESNOKOV S S, KAPTSOV L N, et al. Super-Gaussian output laser beam formation by bimorph adaptive mirror[J]. Optics Communications, 1998, 155: 99-106.
- [10] ROUNDY K. Propagation factor quantifies laser beam performance[J]. Laser Focus World, 1999, 12: 119-122.
- [11] ZEEK E, MAGINNIS K, STERLING B K, et al. Pulse compression by use of deformable mirrors[J]. Optics Letters, 1999, 24 (7): 493-495.
- [12] DRUON F, CHERIAUS G, FAURE J, et al. Wave-front correlation of femtosecond terawatt lasers by deformable mirrors[J]. Optics Letters, 1998, 23 (13): 1043-1045.

(上接第 65 页)

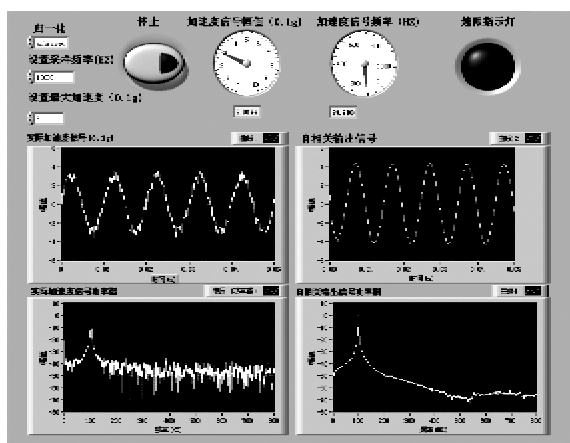


图 6 测量系统虚拟仪器前面板显示图

4 结束语

本文从惯性式测振传感器的力学模型出发, 分析了压电惯性式振动加速度测量系统的工作原理及其灵敏度推导。基于自相关滤波进行信号处理从而精确加速度, 借助 LabVIEW 虚拟仪器平台开发了自动化测控系统, 基本满足测振系统的需求。由于

时间有限, 该系统还可继续扩充完善, 如振动位移, 振动速度等多维多路信号的检测和监控等。

参考文献:

- [1] 王伯雄. 测试技术基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] 施文康, 余晓芬. 检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [3] 高晋占. 微弱信号检测[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
- [4] 周化仁. 检测与转换技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1989.
- [5] 徐科军. 信号分析与处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [6] 邓国红, 邢峰, 欧健, 等. 压电智能车射结构振动主动控制技术[J]. 重庆理工大学学报: 自然科学版, 2009(3): 7-10.
- [7] 刘君华, 贾惠芹, 丁晖, 等. 虚拟仪器图形化编程语言 LabVIEW 教程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [8] 杨乐平, 李海涛, 杨磊. LabVIEW 程序设计与应用[M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2005.