

文章编号: 0253-2239(2001)03-0380-03

利用光纤共焦扫描显微镜的轴向响应曲线测定 压电陶瓷的逆压电伸缩效应*

刘 力 杨莉松 王桂英 徐至展

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要: 在光纤共焦扫描显微镜(FOCSM)的基础上, 利用其轴向响应曲线的线性部分, 给出了一种测定物体微位移的新方法。并用该方法精确测量了压电陶瓷微小的逆压电伸缩效应, 分辨率可以达到 5 nm。

关键词: 共焦显微镜; 轴向响应曲线; 压电陶瓷

中图分类号: TN206 文献标识码: A

1 引 言

压电陶瓷(PZT)的逆压电伸缩效应已在许多精密仪器和自动控制中得到了广泛应用。其中逆电压伸缩的伸缩量与电压的线性关系起着重要作用。压电陶瓷器件加压后的伸缩量本身十分微小, 因此, 测定伸缩量与电压的线性关系有较大难度。本文结合光纤共焦扫描显微镜的最新发展, 从其轴向响应曲线出发, 提出一种测量表面形貌和微位移的新方法。利用该方法测定压电陶瓷器件的伸缩量与电压的关系及其回滞效应, 具有直观、快速、精确的优点。用类似的方法已成功地测定了光栅和光盘的表面形貌^[1-3]。

2 原 理

本测量方法是建立在光纤共焦扫描显微镜的基础上的^[4,5]。由于使用了光纤耦合器件, 光纤共焦扫描显微镜系统结构紧凑、小型化、抗干扰性强, 而且成像是完全相干的。当光纤共焦扫描显微镜与点光源联合使用时, 光纤共焦扫描显微镜的信号强度系数可以优化到 81%^[6]。

在光纤共焦扫描显微镜的轴向响应曲线中, 强度最大的位置对应于焦点处, 焦点附近的光由于空间滤波作用严重衰减, 传统的共焦显微镜是将样品恰巧放置在焦点处, 这样对于获得较高的轴向分辨

率并非优点, 因为尽管焦点处的光强响应最大, 但是响应曲线对样品位置的导数为零。相反, 如果将样品放在稍微远离焦点的位置上, 即放置在响应曲线的斜坡上, 则响应曲线对样品位置的导数为最大, 因此, 在斜坡上, 样品高度的变化导致了信号光强度的变化, 这种效果可以用于样品表面深度成像。用这种方法得到的轴向分辨率可以达到 5 nm。而且, 由于该方法没有用到伺服反馈回路和锁定探测, 所以测量速度很快, 操作方便, 具有较高的测量精度。

3 实 验

光纤共焦扫描显微镜的实验装置如图 1 所示, 用稳定的 He-Ne 激光器作为光源, 其强度的均方根误差为 $\pm 0.1\%$, 光束通过透镜 L₁, 进入 2×2 单模光纤耦合器(3M PMC-82-H 型)的端口 1, 从端口 2 出射的激光作为点源, 由透镜 L₂ 准直, 再由物镜 L₃ 聚焦在样品上。样品反射和散射的信号光沿原路返回, 经过耦合器后, 由端口 4 出射到探测器 CCD 上, 再与计算机连接, 进行数据处理。

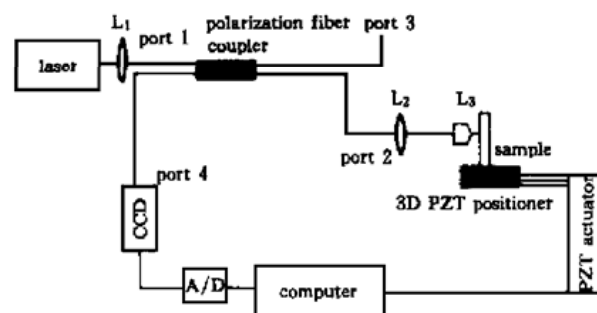


Fig. 1 Experimental setup

实验主要分为两部分:

* 国家自然科学基金(69637030, 69777004)资助项目。

收稿日期: 1999-09-30; 收到修改稿日期: 2000-01-03

1) 对轴向响应曲线的倾斜度进行校准。利用标准压电陶瓷驱动器(Melles Griot 17PCZ013 型)携带均匀反射率的平面镜,沿 z 轴通过焦点扫描。测量得到共焦扫描显微成像系统的轴向响应曲线。然后进行数值分析,计算响应曲线光强对样品位置的导数 $|dI(z)/dz|$,发现光强在 0.3~0.7 的区域内,导数 $k = |dI(z)/dz|$ 近似为常数。此区所对应的样品高度变化范围为 0.5 μm 。我们用最小二乘法对该段曲线进行线性拟合,拟合的结果如图 2 所示,其中,点线为实验结果,实线为拟合结果。可见,在该区域内,样品高度的变化和光强度的变化为线性关系。 k 与物镜的数值孔径有关,数值孔径越大,斜率越大,可测量范围越小,为此,选择的数值孔径 $\text{NA} = 0.65$,可测量范围为 0.5 μm ,在该范围内,光强度随样品高度的变化关系为: $k = \Delta I / \Delta z = 0.869$,通过 k ,可以将光强变化转换为高度变化,即轴向的位置变化。

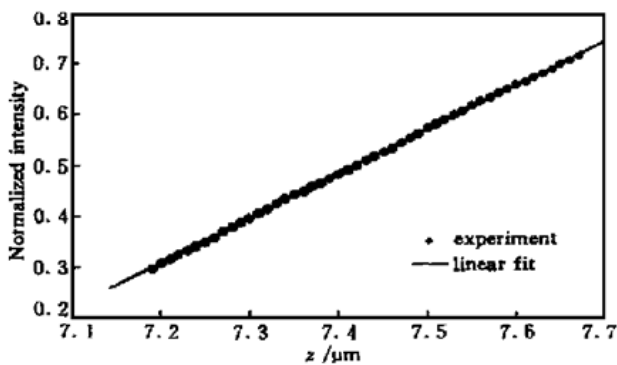


Fig. 2 Linear region of the axial response curve of the FOCSM

2) 测量压电陶瓷的逆压电关系。被测压电陶瓷为硬性材料,型号为轴向伸缩(d33)模圆环,尺寸为内径 55 mm,外径 70 mm,高 60 mm。两端加工成平行平面,在其上安置与第一部分实验中相同反射率的平面镜。我们使用的电源为稳压电源 PS325 型(Stanford Research Systems, Inc),其电压稳定性为 1 V。提供压电陶瓷所需要的 0~600 V 直流电压。

首先将被测的压电陶瓷上的平面镜放置在轴向响应曲线的线性区域上,记录该位置处的光强,然后对压电陶瓷加一直流电压,再次记录该位置处的光强,即可求得相应于该电压的伸缩量。由于压电陶瓷的伸长范围大于该方法的测围,我们进行分段测量,每次,都将压电陶瓷的伸长控制在测量范围内。然后对电压进行慢速扫描,扫描步幅为 10 V,同时记录不同电压对应的平面镜不同位置处的光强,因此,可以得到相应的光强变化与电压的关系。然后,结合第一部分实验中光强与轴向位置的变化关系,最

终可以获得电压与压电陶瓷的伸缩量之间的关系。电压缓慢地由 0 升到 600 V,再缓慢降到 0,由此获得压电陶瓷随电压变化的伸长收缩关系,结果如图 3 所示。其中,实线为电压升高而压电陶瓷伸长的关系,虚线为电压降低而压电陶瓷回滞收缩的关系。可以看出该压电陶瓷具有较好的线性,经计算,线性度为 0.9%,且具有较好的回程效果,能够近似返回原点,中途的位置变化小于 5%。

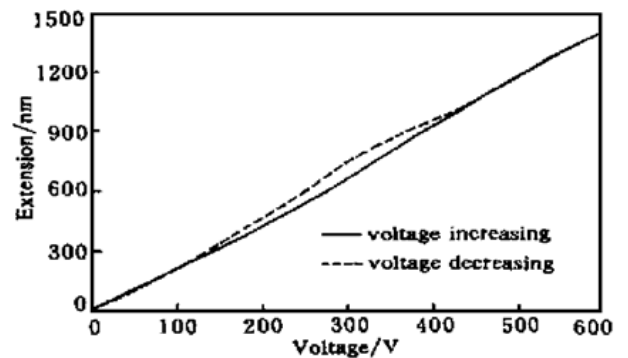


Fig. 3 PZT extension versus voltage

4 讨 论

测量误差有三部分:理论线性拟合误差、系统误差和偶然误差。理论线性拟合误差是由于轴向响应曲线和拟合线并不完全重合,有一定的偏差。在轴向响应曲线的线性区内,线性拟合误差远小于 1 nm。系统误差主要来自于激光器的起伏、光学系统的机械不稳定性、探测器的噪声等。偶然误差主要由环境噪音、读数误差、操作误差等造成。在测量同一点时,由系统误差和偶然误差引起的光强起伏 $\Delta E < 0.4\%$,拟合曲线的斜率为 k ,则轴向距离的测量不确定性,即轴向分辨率等于 $\Delta E/k$ 。由于 k 与数值孔径有关,数值孔径越大, k 值越大,分辨精度越高。但是,提高数值孔径,会使系统的测量范围缩短,因此,在系统设计中,要综合考虑轴向分辨率和测量范围这两方面因素,选择合适的数值孔径的物镜。对于本测量系统($\text{NA} = 0.65$),分辨率达到了 5 nm。此外,由于我们在实验中使用的电源的内阻较大,使压电陶瓷放电变缓,因此,在实验中,我们尽量延长各点的测量时间,特别在测量回程中,使压电陶瓷尽量放电,由电源引起的误差可忽略不计。

由此可见,利用该方法测量压电陶瓷的逆压电伸缩,是一种精确、直观、灵敏、快速的方法。

致谢 中国科学院硅酸盐研究所陈大任教授提供了实验所用的压电陶瓷器件,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Lee C H, Wang J. Noninterferometric differential confocal microscopy with 2nm depth resolution. *Opt. Commun.*, 1997, **135**(4, 5, 6): 233~ 237
- [2] Lee C H, Wang J. Optical measurement of the viscoelastic and biochemical responses of living cells to mechanical perturbation. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(4): 307~ 309
- [3] 杨莉松, 王桂英, 徐至展. 反射式光纤共焦扫描成像的研究. *光学学报*, 1999, **19**(7): 962~ 967
- [4] Wilson T, Sheppard C J R. *Theory and Practice of Scanning Optical microscopy*. London: Academic Press, 1984
- [5] Dabbs T, Glass M. Fiber optic confocal microscope: FOCON. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(16): 3030~ 3035
- [6] Gu Min. *Principle of Optics Three-Dimensional Imaging in Confocal Microscopy*. London: Academic Press, 1996.

Measurement of Converse Piezoelectric Expand and Contract of PZT with the Axial Response Curve of Fiber-Optical Confocal Scanning Imaging Microscope

Liu Li Yang Lisong Wang Guiying Xu Zhizhan

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 30 September 1999; revised 3 January 2000)

Abstract: By utilizing the axial response curve of fiber optical confocal scanning microscope, a new technique for measuring the micro position has been developed. Using this technique, the converse piezoelectric expand and contract of PZT with resolution as high as 5 nm was measured.

Key words: confocal microscope; axial response curve; PZT