

文章编号:1004-4213(2010)04-0618-4

一种 MEMS 周期可调光栅衍射特性的实验研究*

李太平, 李晓莹[†], 虞益挺, 燕斌, 孙瑞康, 乔大勇

(西北工业大学 机电学院 微/纳米系统实验室, 西安 710072)

摘要:介绍了一种周期连续可调的微型可编程光栅. 光栅采用静电梳齿驱动, 不同驱动电压对应不同周期变化, 从而引起特定级次衍射角发生变化. 为了测得不同驱动电压下的衍射角变化, 搭建了实验测量光学系统, 利用激光三角法测量原理及图像处理的方法得出实验结果. 测量结果与光栅测量参量计算角度变化基本一致, 不同电压下的衍射角变化与不同的周期变化对应良好.

关键词:微机电系统; 周期可调光栅; 激光三角法; 图像处理

中图分类号: TP211+.6

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20103904.0618

0 引言

基于微机电系统 (Micro Electro-Mechanical System, MEMS) 技术的微型可编程光栅, 具有体积小、重量轻等优点^[1], 尤其是微型可编程光栅结构参数的动态可控性, 是传统光栅所无法比拟的. 微型可编程光栅作为主要的色散元件, 为微型光谱仪、光通讯等技术开辟了新的发展方向.

本文自主研制了一种基于玻璃体上硅 (Silicon on Glass, SOG) 工艺的周期可调式的微型可编程光栅, 通过静电梳齿驱动改变光栅周期参量, 不同的电压对应不同的光栅周期, 从而引起特定级次的衍射角发生变化. 周期可调光栅周期的改变引起光谱偏移, 而周期变化范围直接决定了光栅在微型光谱仪、光通讯中的光谱段及其应用领域, 因此对周期可调光栅的衍射特性进行测量是很有必要的.

为了监测不同电压下光栅不同周期的光学性能变化情况, 搭建了一套简易光学系统. 本文结合激光三角法和数字图像处理技术对周期可调光栅的衍射特性进行测试, 为周期可调光栅的后续工作研究提供了技术参考.

1 工作原理

图 1 为周期可调式微型可编程光栅结构简图, 光栅采用静电梳齿结构驱动, 可动梳齿连接于光栅, 固定梳齿连接于固定锚点.

当施加一定电压于固定梳齿和可动梳齿, 产生的静电力驱动可动梳齿, 可动梳齿和光栅相连, 带动

光栅结构向两侧均匀拉伸, 改变光栅间隙, 从而达到改变光栅周期的目的. 光栅采用 SOG 工艺加工, 且周期连续可调.

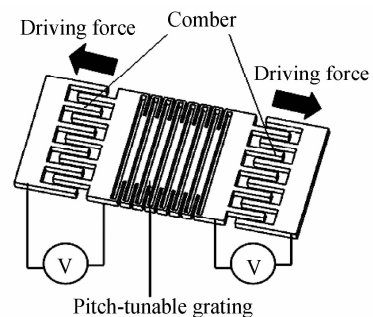


图 1 周期可调光栅

Fig. 1 Schematic diagram of pitch-tunable grating

图 2 为光栅工作在透射模式下的情形, 设光栅

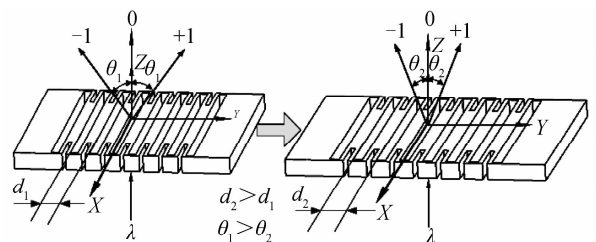


图 2 激光垂直入射周期可调光栅

Fig. 2 The situation for laser vertical incident into pitch-tunable grating

初始状态周期为 d_1 , 衍射角为 θ_1 , 入射激光波长为 λ , k 为衍射级次, 取 $k=1$, 用光栅方程^[2]描述为

$$d_1 \sin \theta_1 = k\lambda = \lambda \quad (1)$$

光栅周期变化后增加为 d_2 , 衍射角为 θ_2 , d_2 和 θ_2 满足

$$d_2 \sin \theta_2 = k\lambda = \lambda \quad (2)$$

由于周期 $d_2 > d_1$, 故光栅周期改变后衍射角发生变化

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2 > 0 \quad (3)$$

* 西北工业大学博士论文创新基金(CX200611)资助

[†] Tel: 029-88460353

Email: xiaoy@nwpu.edu.cn

收稿日期: 2009-10-23

修回日期: 2009-11-30

针对光栅周期变化引起的衍射角 $\Delta\theta$ 进行测量, 由于周期可调光栅用 60 V 直流电驱动, 对应不同的电压光栅具有不同的周期, 故实际测量不同的电压下光栅衍射角的变化。

2 测量原理及方法

为了测量周期可调光栅不同电压下的衍射角变化, 搭建了一套简单的实验光学系统. 实验采用 He-Ne 激光器和 CCD 相机等装置, 利用激光三角法测量原理, 采用图像处理的方法得出光栅周期变化引起的衍射角变化。

角度测量的方法很多^[3], 本文采用的激光三角法是一种精确测量小角度的方法^[4], 该方法用一束激光照射到光探测器接收面上, 形成一个激光光斑, 当激光束偏移一个小角度时, 照射到光探测器接收面上的激光光斑位置随之发生改变, 根据其光斑位置的变化和测量系统的结构参量求出小角度。

激光三角法测量原理如图 3, MN 为未加电时衍射激光束, 其垂直照射到 CCD 相机的感光芯片上, 当周期可调光栅周期改变时衍射光束发生偏移时偏移到 MP , 位移 NP 可以通过数字图像处理的方法计算出, 而 MN 的长度可以直接测量. 若 N 点在探测器接收面上的位置为 n , P 点在探测器接收面上的位置为 p , MN 长度为 d , MN 偏移的角度为 α , 则可得

$$PN = p - n \quad (4)$$

$$\tan \alpha = (p - n) / d \quad (5)$$

$$\alpha = \arctan((p - n) / d) \quad (6)$$

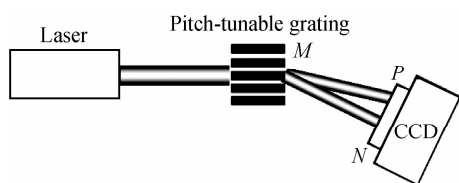


图 3 激光三角法测量原理

Fig. 3 Principle of laser triangulation

实验测量系统装置如图 4, 其中光源采用波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光, 可调衰减器用来调节 CCD 相机接收到的光斑强弱, 狭缝用来选择需要的光栅衍射级次, 直流可调电源用来给光栅提供驱动

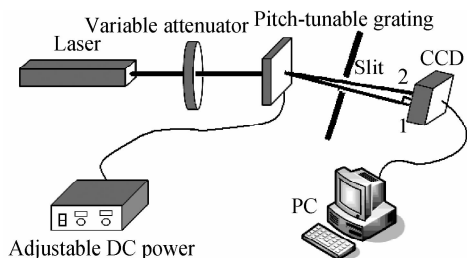


图 4 测量系统实验装置图

Fig. 4 The experimental device of measurement system

电源, PC 机用来记录 CCD 相机记录的激光光斑图像。

PN 的长度可以通过分别确定 P 、 N 点的激光光斑位置中心计算. 激光光斑位置中心通过数字图像处理的方法获得: 首先对 CCD 相机获取的图像进行中值滤波, 然后对图像二值化、去除噪音, 最后对图像进行边缘提取^[5]、曲线拟合计算出光斑中心。

3 测量结果及分析

实验选用的是北京微视新纪元科技有限公司的 MVC1000 系列 CCD 彩色数字摄像机, 其有效像素为 1280×1024 , 像素尺寸为 $5.2 \times 5.2 \mu\text{m}^2$. 鉴于 CCD 摄像机获取的激光光斑图像较规则, 曲线拟合时可以采用形心法^[6] 获取图像中心. 结合数字图像处理的图像中心坐标与像素尺寸可直接计算出激光光斑的位移, 进一步可计算出衍射角的变化。

根据测量实验方案所得图片处理并计算光栅 +1 级、+2 级衍射级次衍射角变化相关结果, 用 MATLAB 绘制成的曲线如图 5。

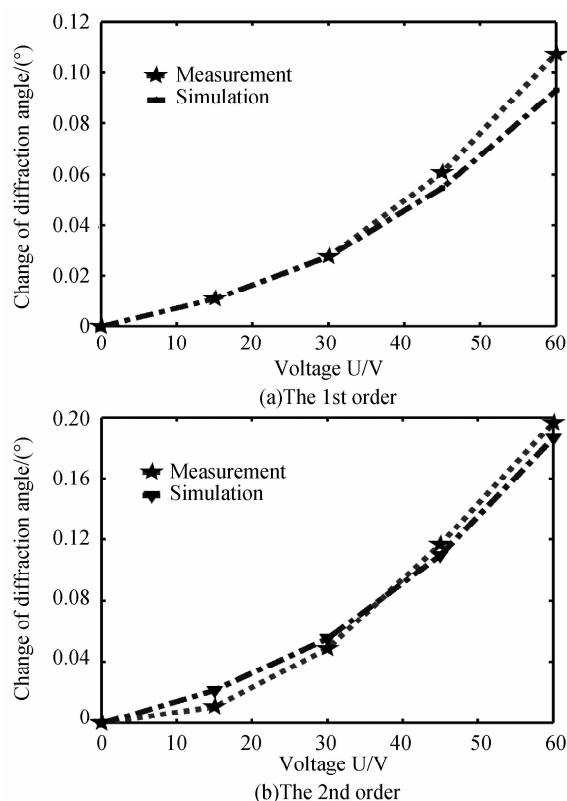


图 5 +1 级和 +2 级测量结果

Fig. 5 Measurement results for the 1st order and the 2nd order

图 6 为实际显微镜下测量出的单个光栅周期变化曲线, 光栅周期变化引起的衍射角变化测量结果与光栅测量参量计算结果基本一致, +1 级角度变化约为 0.1073° 约 15.38%, +2 级角度变化约 0.1966° 误差约为 5.36%. 该误差主要由于图像处

理和光栅周期测量误差导致。

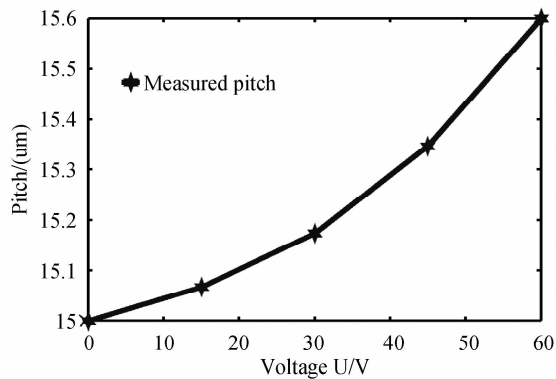


图6 实际测量周期随电压变化曲线
Fig. 6 Measured pitch vs. voltage

测量结果充分验证了周期可调光栅 5% 的周期可调范围, +1 级、+2 级相对其他级有较高的衍射效率, 可应用于后期光栅的光谱分析。

4 结论

介绍了周期可调光栅的工作原理, 设计了一套结合激光三角法和数字图像处理的光学测试系统, 对周期可调光栅的衍射特性进行了测试. 该测试方法简单易行, 且可根据需要进一步提高测量精度. 测量结果充分验证了周期可调光栅 5% 的周期可调范围, 且通过测试证明不同电压下光栅周期变化与测量周期变化基本一致, 周期可调光栅可以对光谱进行准确有效地调制. 本文的测试方法及结果为周期可调光栅的深入研究奠定了良好基础, 同时对光栅

应用于微型光谱仪、光通讯等领域提供了有价值的技术参考。

参考文献

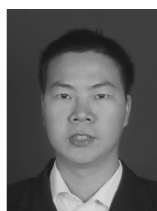
- [1] YU Yi-ting, YUAN Wei-zheng. Review of MEMS-based programmable gratings: Part II [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2008, **29**(6): 1339-1344.
虞益挺, 苑伟政. MEMS 微型可编程光栅的研究现状(下)[J]. *仪器仪表学报*, 2008, **29**(6): 1339-1344.
- [2] YU Dao-yin, TAN Heng-ying. *Engineering optics* [M]. Tianjing: China Machine Press, 1999: 267-268.
郁道银, 谈恒英. *工程光学*[M]. 天津: 机械工业出版社, 1999: 267-268.
- [3] WANG Qi-dong, CHEN Chun-kun. Study of laser dynamic measurement of angle[J]. *Acta Photonica Sinica*, 1995, **24**(1): 68-71.
王启东, 陈纯坤. 激光动态角度测量研究[J]. *光子学报*, 1995, **24**(1): 68-71.
- [4] ZHOU Hong-feng, WANG Dong-yun, HUANG Ti-ru, et al. The study of measure model and optical path design of small angle measured by laser triangulation[J]. *Journal of Yunnan Nationalities University*, 2008, **17**(3): 277-279.
周红锋, 王东云, 黄梯儒, 等. 激光三角法测量小角度的测量模型和光路设计研究[J]. *云南民族大学学报*, 2008, **17**(3): 277-279.
- [5] JIN Jin-jiang, ZHANG Zhi-jiang. Calculation of feature points imaging center for vision coordinate measurement [J]. *Metrology Technology*, 2003(6): 3-4.
金锦耀, 张之江. 视觉坐标测量中特征点成像中心的计算[J]. *计量技术*, 2003(6): 3-4.
- [6] LI Xiao-lei. A study of guide-ways linearity measurement based on image[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007.
李晓蕾. 图像法实现导轨直线度测量系统的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.

Experimental Investigation of Diffraction Property for a MEMS-based Pitch-tunable Grating

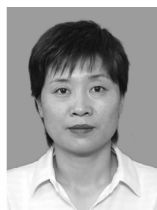
LI Tai-ping, LI Xiao-ying, YU Yi-ting, YAN Bin, SUN Rui-kang, QIAO Da-yong
(MEMS/NEMS Lab, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: A MEMS-based pitch-tunable grating with continuously variable pitch is proposed. The grating is electrostatic comb actuated. With the change of the voltage, the pitch and the diffraction angle of specific order are also changed simultaneously. In order to supervise the change of diffraction angle, an experimental measurement system is designed and established, the diffraction angle's variability is obtained by image processing. The measured results agree with the theoretical calculation very well. The error has resulted from image processing and structure machining technics error. The experimental results testify about the tuning range of pitch(5%) adequately. This work lays a good foundation for our future research in micro spectrometer and optical communication, and provides valuable technical references.

Key words: Micro electromechanical system; Pitch-tunable grating; Laser triangulation; Image processing



LI Tai-ping was born in 1982. Now he is pursuing the M. S. degree in micro-electromechanical systems and nano-technology, and his research interests focus on optical MEMS.



LI Xiao-ying was born in 1968. She received her M. S. degree from Northwestern Polytechnical University in 1992. Now she is an associate professor, and her research interests focus on mechanical manufacturing, MEMS, measuring and testing technologies.