

文章编号: 0253-2239(2003)07-1005-3

基于微机电系统技术的投影型微光学编码器*

李以贵¹ 远藤哲生² 羽根一博²

(¹ 上海交通大学微纳米技术研究院, 上海 200030
² 日本东北大学机械电子系, 日本仙台市, 980-8579)

摘要: 对投影型微光学编码器的原理进行了分析, 结合微机电系统集成技术, 提出并实现了投影型微光学编码器。它是利用微机电系统集成技术将标尺光栅、指示光栅、光电二极管集成化构成投影型光栅微编码器。它具有体积小、光路调整容易的特点。实验结果表明, 利用微细加工制作微光学编码器是完全可行的。该器件较之传统的光学编码器在经济性及小型化等方面具有非常明显的优势。

关键词: 微型光机电系统; 投影型编码器; 光栅成像
中图分类号: TH741 文献标识码: A

1 引 言

光栅编码器是实现位置测量的常用方法之一。两枚平行衍射光栅构成的平行式编码器的构造既简单又便宜, 最适合一般的应用场合。但是, 近年来随着高精度测量的需要, 对编码器的精度、分辨率的要求也提高了。要提高编码器的分辨率, 方法之一是把衍射光栅的栅距加工得很小。但是光栅栅距变小后, 光受衍射的影响就不能忽略, 平行式编码器的光栅栅距也存在这种衍射的极限。分辨率要求更高的场合, 一般用干涉型激光编码器。由于是利用衍射光的干涉, 光源是激光, 而且要由许多光学部件构成, 所以系统既复杂又昂贵。

为了用简单的光学系统来解决上述问题, Pattigrew^[1] 研究了远距离工作的投影型编码器。3 枚等栅距的衍射光栅等间隔平行放置的情况下, 即使利用非相干光源及远间隔也能获得高对比度信号。但是 3 枚光栅的投影型编码器与平行式编码器比较, 光栅的准直在 3 枚光栅之间进行, 并且增加了部件数量。张海联等^[2] 提出了用反向调制照明法分析光栅成像效应的观点, 研究了光栅系统的反向衍射干涉效应, 成功地揭示了泰伯效应与劳效应的内在联系, 并在白光双光栅衍射干涉的“消色效应”的基础上获得了白光扩展光源照明下白光光栅成像效应和具有实用意义的四光栅干涉系统。

我们利用微机电系统集成技术研制成功标尺光栅、指示光栅、光电二极管(PD)集成化构成投影型微光栅编码器。它具有小型, 光路调整容易的特点。

2 原 理

2.1 光栅成像

图 1 所示为 3 枚衍射光栅平行组成的光学系统。非相干光源照射到标尺光栅上。成像光栅 G_3 上成像可用光学传递函数进行解析^[3,4], 用下式表示:

$$F(\sigma) = \Pi(2\sigma p) \exp(i\pi 2\sigma m p) \left[1 \pm \left(\sigma - \frac{mp}{\lambda z} \right) \frac{\lambda z}{2\epsilon} \right] \times \text{sinc} \left\{ 4\epsilon \sigma \left[1 \pm \left(\sigma - \frac{mp}{\lambda z} \right) \frac{\lambda z}{2\epsilon} \right] \right\},$$
$$\text{for } + \frac{mp}{\lambda z} - \frac{2\epsilon}{\lambda z} \leq \sigma \leq \frac{mp}{\lambda z}$$
$$\text{for } - \frac{mp}{\lambda z} \leq \sigma \leq \frac{mp}{\lambda z} + \frac{2\epsilon}{\lambda z} \quad (1)$$

其中 σ 为空间频率, p 为光瞳光栅栅距, 2ϵ 为光瞳光栅狭缝的幅宽, z 为光栅间距离, λ 为光源的波长, m 为整数。 $\Pi(x)$ 为栉型函数:

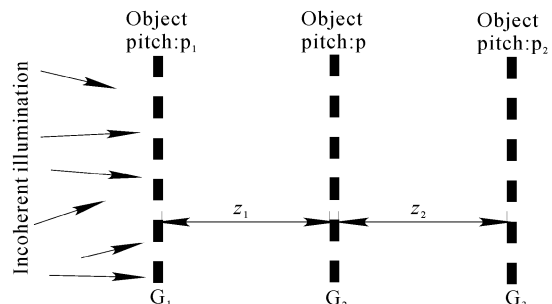


Fig. 1 Optical system of grating imaging

* 日本文部省基金资助课题。

E-mail: ygli@sjtu.edu.cn

收稿日期: 2002-05-28; 收到修改稿日期: 2002-08-23

$$\Pi(x) = \sum_{-\infty}^{\infty} \delta(N-x). \quad (2)$$

光栅栅距 $p = 80 \mu\text{m}$, $z = 2.5 \text{ mm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ 像的光学传递函数计算结果如图 2 所示。横轴表示像的空间频率。

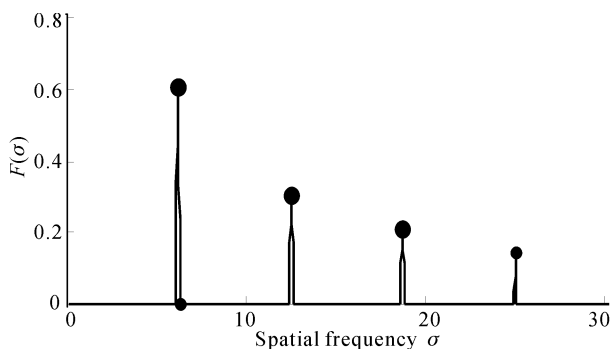


Fig. 2 Calculated result of optical transfer function

2.2 投影型编码器

图 3 为投影型微编码器的概略图。它由硅透射型衍射光栅(其作用相当于图 1 中的 G_1, G_3)、集成在该光栅的光电探测器 PD、反射型光栅(其作用相当于图 1 中的 G_2)及非相干光源组成。从传感器后方的非相干光源发出的光照射在硅光栅上,光从穿透部分发出。

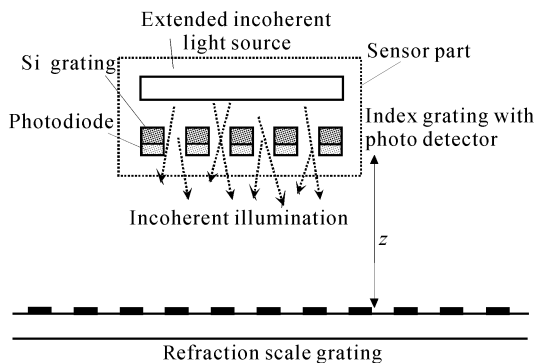


Fig. 3 The structure of micro encoder

如果反射型光栅相对传感器来说作横向运动,传感器上所成像的位置相对传感器运动方向来说就作反方向运动,则从光电探测器上可知位移变化量。光栅栅距每变化 1/2 周期,输出信号变化 1 周期。

3 器件的设计

编码器位置的测量,必须有 2 相相位差为 90° 的信号。但为了得到稳定的位置测量信号,得到 4 相每相差 90° 的信号,希望得到 180° 相位差的信号。因此设计 4 相信号的器件。图 4 为设计的微编码器。

在硅刻穿后制作的光栅 G_1 的硅梁上制作光电

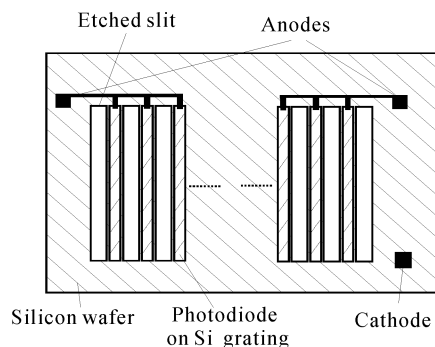


Fig. 4 Designed micro encoder

探测器阵列。所配置的光电探测器阵列的栅距是中央光栅 G_1 栅距的 1/2。从中央光栅出来的光由于往上下扩散,其信号被上下的光电探测器阵列检出。

4 制作工艺

基于微机电系统技术,我们制作了集成型微编码器。图 5 所示为工艺流程图。首先热氧化厚 $200 \mu\text{m}$ 的 n 型 Si 基板,基板表面上生长一层 SiO_2 膜。接着,TMAH 刻蚀使光栅穿透部分减薄到 $40 \mu\text{m}$ 。进行腐蚀部分的尺寸大小为 $2.5 \text{ mm} \times 5.7 \text{ mm}$ 。然后,硼注入形成 p-n 结,制作铝电极完成光栅型光电探测器部分。最后反应离子刻蚀形成垂直的透射型光栅 G_1 。光栅栅距为 $40 \mu\text{m}$ 和 $80 \mu\text{m}$,器件的尺寸为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。

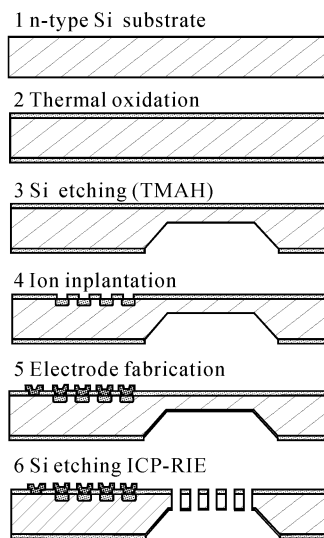


Fig. 5 The sequence of processes

图 6 所示为制作出的栅距 $80 \mu\text{m}$ 照片。器件底下的文字通过硅的刻穿部分作的光栅能被清楚地看到。测出光电探测器光电探测器的灵敏度约为 21 mA/W 。

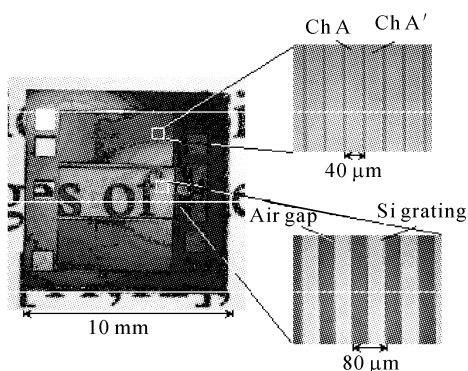


Fig. 6 The micrograph of fabricated optical encoder

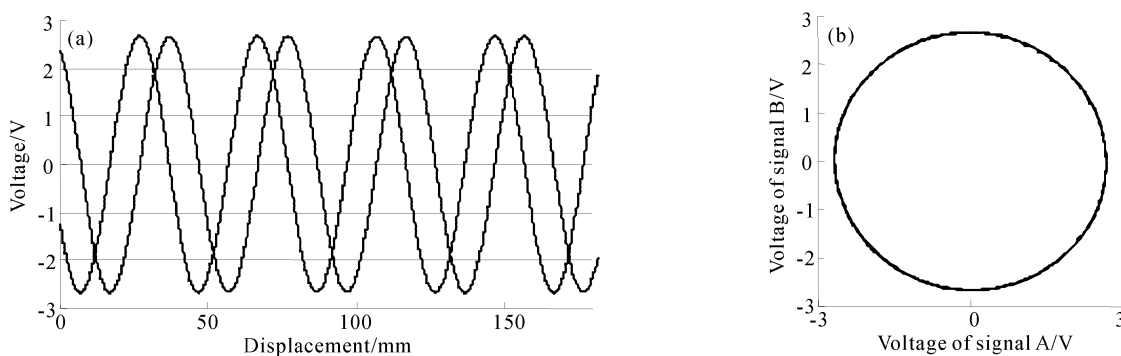


Fig. 7 (a) Output signals of micro encoder; (b) Lissajous figure

结论 利用光栅成像原理提出了微型编码器。由微细加工技术在硅基板上实现了该编码器。该编码器的光栅部分集成了标尺光栅 G_1 、指示光栅 G_3 及信号检出用光电探测器 PD。由于只由传感部分、反射型光栅及光源三部分构成光学检测系统,故编码器的体积非常小。传感部分由微机电系统技术制作而成。对该编码器进行位置测量,得到质量很好的正弦信号。该编码器与原来的平行式编码器相比,有更大的空间应用范围。

5 实验结果及讨论

实验用反射型光栅是在玻璃板上镀铝,分别光刻成栅距为 $40\ \mu\text{m}$, $80\ \mu\text{m}$ 的光栅,有铝膜的条状光栅作为反射镜用。光源使用卤素灯。该编码器固定在平台上,反射型光栅由马达驱动而使位置变化来进行测定。输出信号互相相差 180° 相位,差动信号经放大后,进入计算机进行处理。图 7 为测量的位置信号的正弦波输出与利萨如图形。由图可知,一个正弦波信号的周期是 $40\ \mu\text{m}$,故可达精度为 $20\ \mu\text{m}$ 。可移动范围为 $7\ \text{mm}$ 。

参 考 文 献

- 1 Pattigrew R M. Analysys of grating imaging and its application to displacement metrogy. *Proc. SPIE*, 1977, **136**:325~332
- 2 Zhang Hailian, Gu Quwu. Analysis of grating imaging by the method of backward illuminating modulation. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(2):145~150 (in Chinese)
- 3 Hane K, Grover C P. Imaging with rectangular transmission grating. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1987, **4**(4):706~711
- 4 Hane K, Grover C P. Magnified grating images used in displacement sensing. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(14):2355~2359

Projection Type Micro-Optical Encoder Based on MEMS Technology

Li Yigui¹ Tetsuo Endo² Kazuhiro Hane²

(¹ Institute of Micro/Nanometer Science and Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)
(² Department of Mechatronics and Precision Engineering, Tohoku University, Sendai 980-8579, Japan)

(Received 28 May 2002; revised 23 August 2002)

Abstract: The principle of projection type micro-optical encoder has been described and the optics theory of grating imaging is deduced. And the encoder is developed based on MEMS technology. The integrated encoder consists of scale grating, index grating and photodiodes therefore it is compact and easy to alignment. Experiment indicates that the fabricated encoder can measure the displacement and is completely feasible and has obvious advantages both in cost and miniaturization compared with traditional optic encoder.

Key words: micro-opto-electromechanical system (MOEMS); projection type encoder; grating imaging