

激光莫尔传感器在精密定位中的应用

张金龙^{1,2}

(1. 南京师范大学电气与电子工程学院, 210042, 南京; 2. 东南大学自动控制系统, 210096, 南京)

[摘要] 应用激光莫尔信号传感器设计了一套精密定位装置, 可实现高精度位置检测及精密自动定位; 系统采用的激光补偿技术及差动光栅技术, 极大地提高了位置检测信号的灵敏度与定位精度. 实验结果表明, 精密定位装置可获得 ±0.1 μm 的定位精度, 对集成电路制造技术等精密加工工程领域具有重要的实用价值.

[关键词] 莫尔传感器, 差动技术, 精密定位, 工业控制计算机

[中图分类号] TP212, [文献标识码] B, [文章编号] 1672-1292-(2004)01-0035-03

0 引言

高精度检测与定位技术是一项集光、机、电一体的高新技术, 它在精密加工、微电子工程、生物工程、纳米技术研究开发等领域具有广泛的应用. 近年来随着精密检测定位技术的不断创新, 利用激光莫尔信号来检测位置误差, 从而实现高精度定位的方法已成为研究的重点^[1~3]. 本文利用激光莫尔信号传感器设计了一套精密检测定位装置, 该装置可实现高精度位置检测及精密自动定位, 取得了微米级高精度定位实验结果.

1 激光莫尔传感器

传感器组成如图 1 所示, 两片衍射光栅平行设置, 激光光束垂直入射光栅, 由光栅的衍射形成透射的 0 次莫尔信号 $\Psi_0(\Delta x, G)$, 该信号由光电二极管检测后转换为电信号. 透过的 0 次莫尔信号强度随两片光栅间的相对位移呈周期性变化, 其理论关系由下式表示^[1~3].

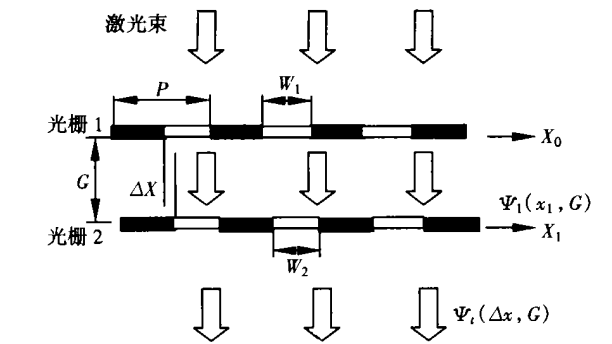


图 1 激光莫尔传感器结构

$$\Psi_i(\Delta x, G)_0 = A_i \int_{-W_2/2+\Delta x}^{W_2/2+\Delta x} \Psi_1(x_1, G) dx_1$$

$$\Psi_1(x_1, G) = \sum_{l=-M}^M A_l \int_{-w_1/2}^{w_1/2} \frac{1}{r^{1/2}} (1 + G/r) \cdot \exp(-ikr) dx_0$$
$$r = [G^2 + (x_0 - x_1 + lp)^2]^{1/2}$$

式中: $k = 2\pi/\lambda$ 为波数; λ 为波长; 光栅常数均为 p ; 两光栅间距为 G ; $2M + 1$ 为激光光束所覆盖的光栅条数; w_1 为第一片光栅的光栅缝隙宽度; w_2 为第二片衍射光栅的光栅缝隙宽度; 两片光栅之间的相对位移为 Δx .

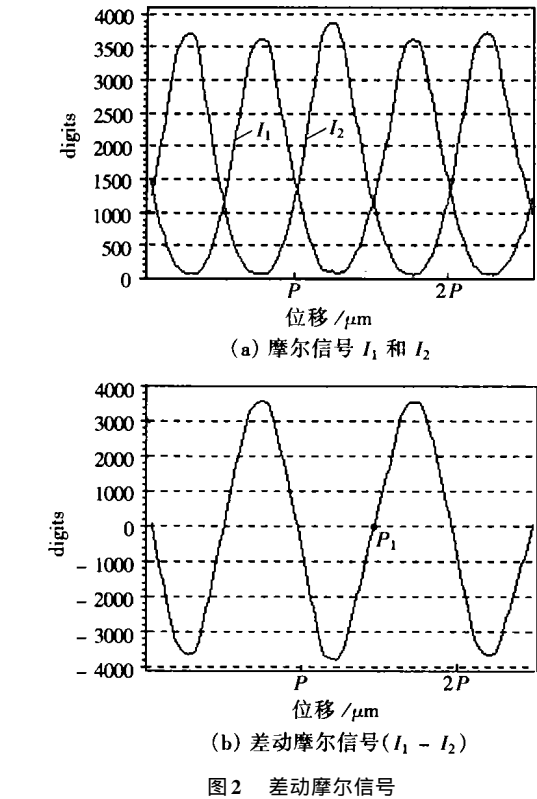
根据上述关系, 检测莫尔光信号强度, 确定两片光栅间的相对位移 Δx , 再通过计算机控制实现精密定位.

2 差动式精密定位方法

为了确保定位的高精度, 本系统采用了差动光栅技术, 设置了两组光栅, 两组光栅分别错开 $+P/4$ 和 $-P/4$, 当激光经过这两组光栅时, 可以获得相位相差 180° 的两个莫尔信号 I_1 和 I_2 , 取两个莫尔信号的差值(即差动莫尔信号)为检测控制信号. 图 2(a)(b) 为实验测得的莫尔信号和差动莫尔信号, 可以看出差动莫尔信号将反映位移变化的光强值有效地放大了一倍, 特别是在定位点附近差动莫尔信号的变化率很陡, 微小位移便会导致大的光强变化, 极大地提高了位置检测信号的灵敏度, 且在定位点附近光强变化与光栅移动的位移量成线性关系, 可以定量地获得位置偏差的大小及位置偏离的方向.

差动莫尔信号随两光栅的相对位移呈周期性变化(见图 2), 在一个位移周期内, 差动信号为零处(即两组莫尔信号的交点) 设置为定位点, 此时

位移偏差为零. 在精密定位控制时一片光栅固定, 另一片光栅固定在微动台上, 根据信号的大小和正负由微机控制精密驱动, 控制范围为精密定位点两侧 $\pm P/2$. 由于差动法取得是两组莫尔信号的交点为精密定位点, 即使激光源的光强变化及光栅间的间距调整, 其精密定位点的位置也不会受到影响, 而且两组莫尔信号中含有的同相噪声成份, 在差动控制信号中得到最大程度的削弱, 使控制信号具有良好的信噪比, 有利于定位精度的提高.



3 激光光强补偿

精密定位系统的测量精度受到很多方面因素的影响, 其中一个很重要的因素是激光源本身的稳定性, 光强的偏移会对测量精度带来系统误差. 为保证定位系统达到高的测量精度, 应保证 He-Ne 激光源在长期工作状态下, 其光强波动率不超过 $\pm 5\%$. 本系统采用 N 沟道结型场效应管 (JFET) 实时改变放大电路的增益, 来抑制激光光强的波动. 补偿电路如图 3 所示, 采用场效应管对管连接方式, 取一束不经光栅衍射的直接照射到光电二极管上的激光光束作为参考光源, 参考光源的波动与所检测的零次莫尔光的波动相同. 定量分析可知, 补偿电路的放大倍数 $K = 1 + R_2 / (R_1 + R_{DS2})$. 当光强增大时, 参考光源信号 U_r 相应增大, 引起 JFET 的漏源电阻增大, 放大倍数 K 下降, 从而使输出信

号 U_o 下降; 反之, 光强减小时, K 、 U_o 增大. 这样当激光光强发生变化时, 补偿电路实时地抑制因光强波动而产生的光栅信号的波动, 获得更为真实的检测信号.

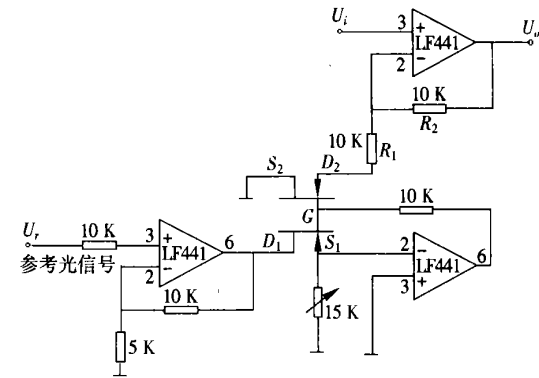


图 3 光强补偿电路

4 精密定位控制系统

精密定位控制系统如图 4 所示, 使用两组衍射光栅(A、C 和 B、D). 系统所用激光光源为 He-Ne 激光, 波长 $\lambda = 633\text{ nm}$, 激光器发出的激光束经过分光镜两次分光被分成两束, 垂直透射光栅副 A、C 和 B、D, 产生透射的 0 次莫尔信号, 由光电二极管转换为电信号, 并经放大、滤波等处理后, 输入工业控制计算机. 工控机根据差动莫尔信号的大小和极性发出相应的驱动脉冲信号, 驱动微动台, 使光栅 C、D 相对于光栅 A、B 移动调整, 达到所要求的位置精度范围. 当系统受到扰动, 反映位置变化的差动莫尔信号曲线偏离误差带, 工控机便会发出相应的控制脉冲进行自动复位, 使位置偏差始终控制在所要求的精度范围内, 整个定位过程由计算机实时检测控制完成. 图 5 示出了精密定位装置的定位结果, 定位误差带设置在 $\pm 100\text{ digits}$ 内, 定位点附近位移与光强关系为: $1\text{ digits} \approx 1\text{ nm}$, 位置偏差 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$, 即定位精度达 $\pm 0.1\text{ }\mu\text{m}$.

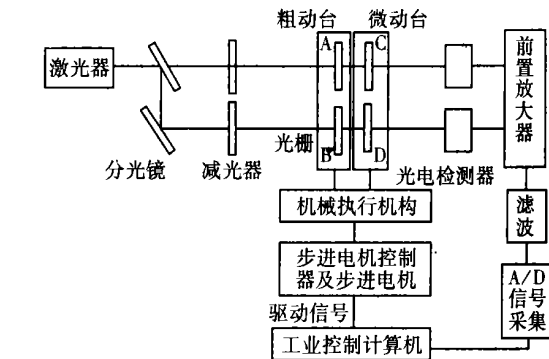


图 4 精密检测及定位系统框图

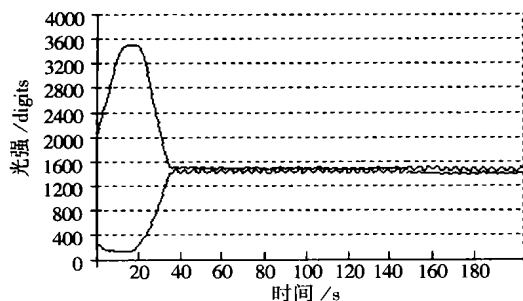


图5 精密定位结果

5 结束语

应用激光莫尔信号传感器设计的精密检测定位装置, 可实现高精度位置检测及精密自动定位。系统采用的激光补偿技术及差动光栅技术, 极大地提高了位置检测信号的灵敏度与定位精度。实验结果表明, 精密定位装置可获得微米级的定位精度, 对集成电路制造技术等精密加工工程领域具有重

要的实用价值。

[参考文献]

- [1] Alok Kumar Kanjilal. Automatic mask alignment without a microscope[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1995, 44(3): 806~ 809.
- [2] Liu Jingnan, H Funhashi. Precision position control system using moiré signals[J]. Proceedings of the 1995 IEEE IEGON, 1995, 2: 968~ 972.
- [3] Liu Jingnan, H Uchida. Precision Alignment of Pulse Stage Using Moire Signals[C]. Proceedings of the 41st SICE Annual Conference, 2002, 1: 382~ 385.
- [4] Uchida Y, Hattori S, Nomura T. An automatic mask alignment technique using moire interference[J]. Journal of Vacuum Science and Technology, 1987, B5: 244~ 247.
- [5] G Bouwhuis, Wittelock. Automatic alignment technique for optical projection printing[J]. IEEE Trans. Electron Devices, 1979, ED- 26(4).

Application of Laser Moire Sensors to Precision Positioning

Zhang Jinlong^{1,2}

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Nanjing Normal Univ, Nanjing 210042, PRC)

(2. Department of Automatic Control, Southeast Univ, Nanjing 210096, PRC)

Abstract: This paper presents the design for a precise positioning device by employing laser Moire sensors. The device can make precise measuring and positioning. The laser compensating technique and differential grating technique greatly improve the sensitivity to position signals and positioning precision. The experimental result shows that the device can attain positioning accuracy of $\pm 0.1\mu\text{m}$. The approaches are of high value for accelerating the advancement of integrated circuit manufacturing technology.

Key words: Moire sensor, differential technique, precision positioning, industrial control computer

[责任编辑: 刘健]