

doi:10.3788/gzxb20124112.1452

光刻物镜波像差检测平台移相装置的研制

齐克奇, 向阳

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 长春 130033)

摘 要:针对基于剪切干涉原理的光刻投影物镜波像差检测设备中相移测量的需求,设计了一种移相装置.该装置采用了桥式放大机构,获得了较大放大比和相对紧凑的结构.从原理上对桥式放大机构进行了分析和讨论,得到了输入位移与其放大比之间的函数关系,并得到了其关系曲线.经过非线性有限元分析,对该装置的变形、受力和模态特性进行了验证.验证结果满足检测平台移相要求.

关键词:光刻投影物镜;波像差;相移测量;桥式放大机构;有限元

中图分类号: TN305.7

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)12-1452-4

0 引言

投影光刻对大规模集成电路的制造来说至关重要,可以说投影光刻工艺的水平决定了集成电路的制造水平^[1-2].投影物镜决定了投影光刻机的图形传递能力,是光刻机的核心^[3-4].特征线宽是光刻机的重要指标之一,其中波像差是影响光刻机光刻分辨率和套刻精度的一个重要因素^[5-6].目前可用于光刻机投影物镜系统波像差检测的装置包括点衍射干涉仪(Point Diffraction Interferometer, PDI)、狭缝衍射干涉仪(Line Diffraction Interferometer, LDI)、剪切干涉仪(Lateral Shearing Interferometer, LSI)^[7-9]等.

本文所提到的光刻物镜波像差检测平台采用的是基于剪切干涉原理的相移测量的方法.数字波面移相干涉术具有优良的测试精度,因此被广泛用于各种现代干涉测量中^[10].移相器作为移相干涉仪中的主要部件,其性能的好坏(即有关移相误差的问题)是影响数字波面移相干涉仪测试精度的重要因素之一.所以对移相器的定位精度提出了很高要求.要达到该波像差检测平台要求的定位精度,现在普遍使用的是压电陶瓷作为驱动器,柔性铰链作为导向机构的微定位机构.但是压电陶瓷的伸长最多只有自身长度的 1% 左右,这样的伸长量很难满足很多实际应用的需求.多数情况下,科研人员都会通过使用放大机构将压电陶瓷的行程放大到实际需要的大小.同时,由于压电陶瓷其本身具有非线性和迟滞

等特点,要精确实现移相过程中每一步,还应对光栅位置和位移进行实施测量.为解决以上问题,本文构造了一个通过桥式结构进行放大,采用电容传感器进行实时反馈的压电陶瓷驱动移相装置,并通过有限元方法对其运动特性进行了分析.

1 移相装置结构模型

光刻物镜波像差检测平台的检测原理如图 1 所示.移相装置的总体结构如图 2 所示.由图中可以看出整个装置包括压电陶瓷、桥式放大机构、电容传感器、压电陶瓷安装部件、光栅、光栅压块和导向片.

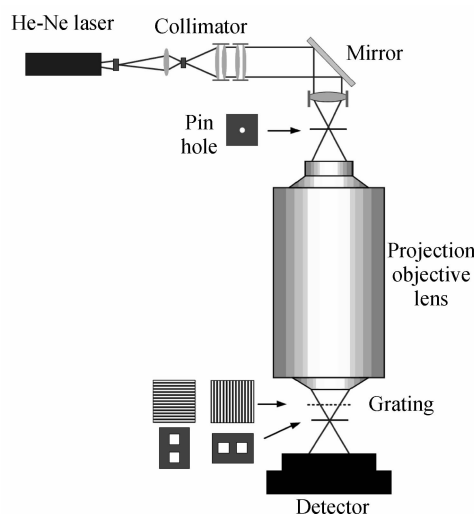


图 1 光刻物镜波像差检测平台检测原理图
Fig. 1 Schematic of the wavefront aberration testing stage for lithographic projection objective

基金项目:02 重大科技专项资助

第一作者:齐克奇(1985-),男,助理研究员,硕士,主要研究方向为光学检测设备. Email: qikeqi1985@126.com

收稿日期:2012-07-30;修回日期:2012-09-17

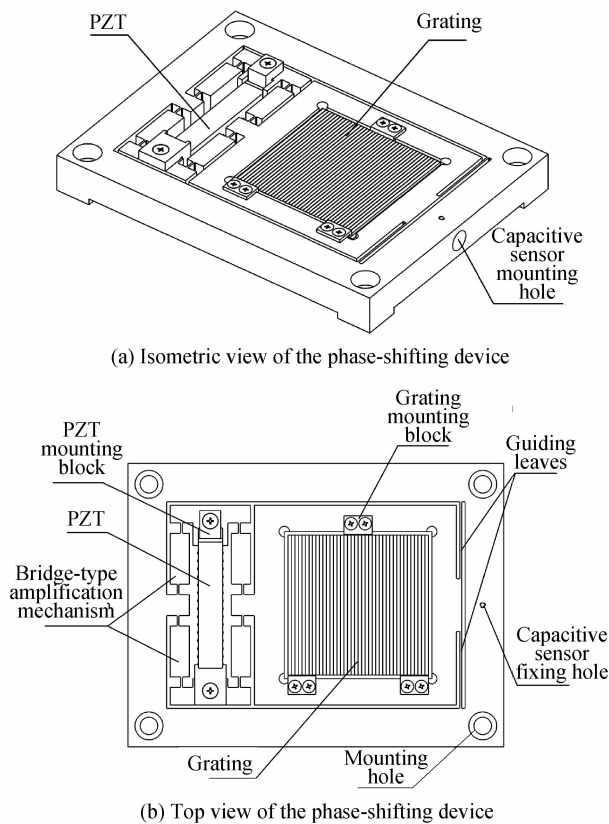


图2 移相装置总体结构图
Fig.2 Diagram of the phase-shifting device

2 移相装置的工作原理

从图 2(b)中可以看出,压电陶瓷伸长时将带动桥式放大机构一同伸长,由于桥式结构特殊的工作原理,将带动光栅水平移动.导向片将保证光栅运行的直线度,并且加强了除了运动方向以外各自由度的刚度.电容传感器作为反馈对光栅位置进行实时监控,以保证整个装置的定位精度.下面着重介绍桥式放大机构的工作特点.

2.1 桥式放大机构的工作原理

一般来说,柔性位移放大机构主要分为两类:杠杆式和桥式.杠杆式位移放大机构最为常见.但其放大比与铰链间的长度比有关,使其结构不够紧凑,而且其杠杆刚度对放大效率也有较大影响.而桥式放大机构结构较为紧凑,具有较大的放大比,同时其输出位移具有很好的线性度,其工作原理如图 3 所示.由图 3 可以看出,当对上下两根刚性杆 1 和 2 施加一对如图中白色箭头所示方向相反的竖直方向的力时,由于柔性铰链的变形,刚性杆 1 和刚性杆 2 分别向上和向下运动.这时将带动刚性杆 7 产生一个如图中黑色箭头所示的水平向左的位移.

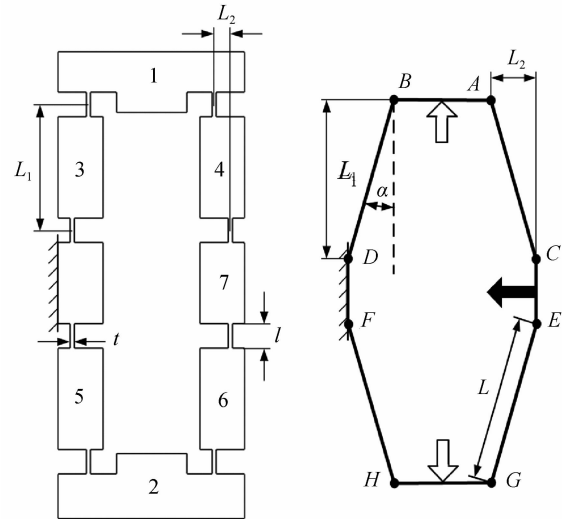


图3 桥式位移放大机构原理图
Fig.3 Schematic of bridge-type displacement amplification mechanism

由于该结构是对称结构,这里只选取结构的四分之一对其运动特性进行分析.由图 4 可以看出:当 A 运动到 A' 时,由于 AC 和 CE 为刚性杆,AC 将产

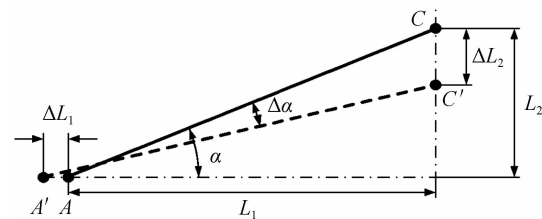


图4 桥式放大机构 1/4 结构的运动原理图
Fig.4 Quarter kinematic model of bridge-type amplification mechanism

生一个顺时针的角位移 $\Delta\alpha$,同时 C 将产生一个向下的位移 ΔL_2 ,则有

$$\begin{cases} L\cos\alpha + \Delta L_1 = L\cos(\alpha - \Delta\alpha) \\ L\sin\alpha - \Delta L_2 = L\sin(\alpha - \Delta\alpha) \end{cases} \quad (1)$$

将式(1)中的两式进行平方并相加,可以将 $(\alpha - \Delta\alpha)$ 消去代入,得到

$$\Delta L_2^2 + \Delta L_1^2 + 2L(\Delta L_1 \cos\alpha - \Delta L_2 \sin\alpha) = 0 \quad (2)$$

则有

$$\Delta L_2 = \frac{\sqrt{L^2 \sin^2\alpha - 2L\Delta L_1 \cos\alpha - \Delta L_1^2} + L\sin\alpha}{L} \quad (3)$$

由式(3)可以得出桥式放大机构的放大比为

$$\lambda = \frac{\sqrt{L^2 \sin^2\alpha - 2L\Delta L_1 \cos\alpha - \Delta L_1^2} + L\sin\alpha}{\Delta L_1} \quad (4)$$

又因为 $\alpha = \arctan(L_1/L_2)$, $L = \sqrt{L_1^2 + L_2^2}$, 所以

$$\lambda = \{[(L_1^2 + L_2^2)\sin^2(\arctan(L_1/L_2)) - 2\sqrt{L_1^2 + L_2^2} \cdot$$

$$\frac{\Delta L_1 \cos(\arctan(L_1/L_2)) - \Delta L_1^2 \cdot \sqrt{L_1^2 + L_2^2} \cdot \sin(\arctan(L_1/L_2))}{\Delta L_1} \quad (5)$$

图 5 为桥式放大机构在 $L_1 = 17.5, L_2 = 1$ 的情况下,不同输入位移所对应的放大系数图,从图中可以明显看出当输入量较小时,式(5)可信度较差,使用时对大输入的结构参考价值更高。

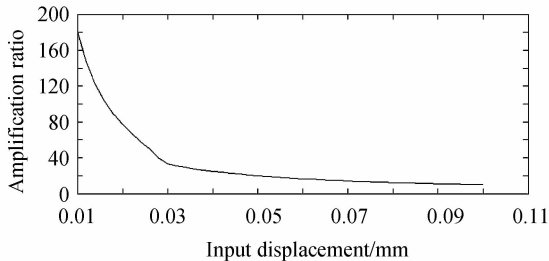


图 5 桥式放大机构的放大系数与输入位移的关系曲线
Fig. 5 Curve of input displacement and amplification ratio of bridge-type amplification mechanism

3 移相装置的有限元分析

为了确定该装置的变形和受力特性并与放大倍率理论计算值进行对比,借助有限元软件 ANSYS 对该机构进行有限元分析.由图 4 可知,由于结构变形所导致角 α 变化较大,将对结构的放大比有较大影响.为了得到较为准确的结果,这里采用的是非线性的算法。

图 6 所示为驱动力 250 N 时,输入端位移为 $32.2 \mu\text{m}$,输出端的位移为 $321 \mu\text{m}$.可以计算出放大比为 10.03。

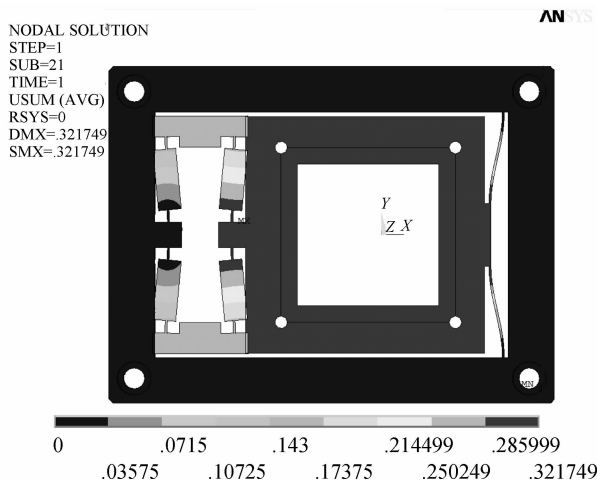


图 6 移相装置结构变形图
Fig. 6 Deformation diagram of phase-shifting device

图 7 为驱动力 250N 时移相装置的应力云图.由图中可以看出其受力状态较为良好。

对比式(5)中输入位移为 $32 \mu\text{m}$ 时的放大倍率为 31.两者相差较大的主要原因有两点:1)式(5)比较适合大输入位移的情况, $32 \mu\text{m}$ 的输入值相对较小;2)式(5)是理想情况,而非线性有限元不只考虑

了结构的弹性变形,还在反复的迭代过程中不断更新结构的刚度矩阵,更加逼近真实情况.由此可知,有限元计算结果较为可信,式(5)更适合观察趋势,作为参考。

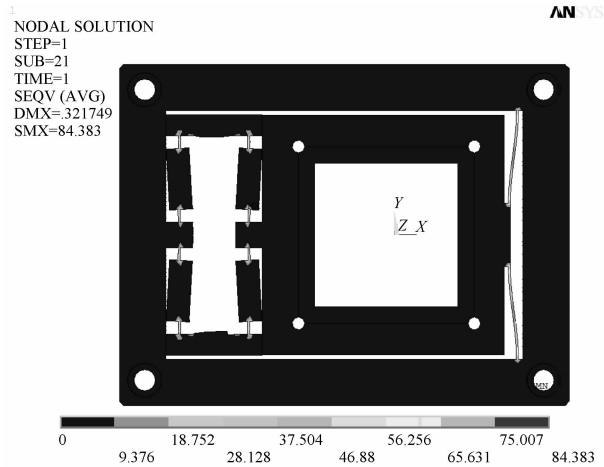


图 7 移相装置应力云图
Fig. 7 Stress contour plot of phase-shifting device

为了对移相装置的结构刚度进行进一步的了解,本文对其模态特性进行了分析.图 8 为移相装置的一阶模态图.表 1 为其前五阶模态。

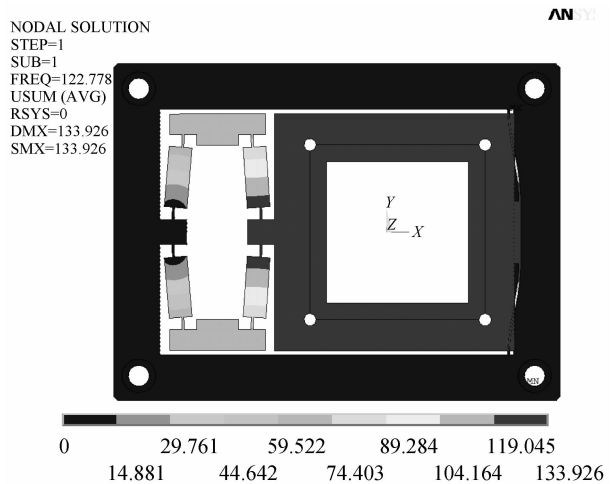


图 8 移相装置的一阶模态图
Fig. 8 Diagram of first-order modal of phase-shifting device

表 1 移相装置的前五阶模态

Table 1 The first 5 models of phase-shifting device

Modal order	Modal frequency/Hz
1	122.78
2	134.55
3	441.23
4	448.44
5	449.64

计算结果表明,移相装置的模态特性较为良好。

4 结论

本文设计了一种光刻投影物镜波像差检测平台的移相装置.为了获得了较大放大比和紧凑的结构,

该装置采用了桥式放大机构. 本文对桥式放大机构从原理上进行了分析和讨论, 并得到了输入位移与其放大比之间的函数关系及曲线. 通过非线性有限元的方法, 计算了装置的变形情况、受力状态、模态特性和其放大比, 并与理论值进行了对比, 证实其结构特性在相移测量中具有一定优势.

经有限元分析的实例, 其放大比达到 10.03. 而所选择压电陶瓷的分辨率为 0.25 nm, 则整个装置的分辨率为 2.5 nm, 满足光刻波像差检测过程中相移的需求.

参考文献

- [1] XU Xiao-dong, WANG Hui. Lithography technology for sub265 nm nodes and beyond[J]. *Semiconductor Technology*, 2007, **32**(11): 921-925.
徐晓东, 汪辉. 亚 65 nm 及以下节点的光刻技术[J]. 半导体技术, 2007, **32**(11): 921-925.
- [2] GUO Li-ping, HUANG Hui-jie, WANG Xiang-zhao. Study of integrator rod in step and scan lithography[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7): 981-985.
郭立萍, 黄惠杰, 王向朝. 积分棒在步进扫描投影光刻系统中的应用[J]. 光子学报, 2006, **35**(7): 981-985.
- [3] ZHOU Hu-ming, HAN Juan. Match and alignment accuracy of step and repeat system [J]. *Electronics & Packaging*, 2003, **3**(3): 40-44.
周虎明, 韩隽. 光刻机的匹配和调整[J]. 电子与封装, 2003, **3**(3): 40-44.
- [4] YUAN Qiong-yan, WANG Xiang-zhao. Recent development of international mainstream lithographic tools[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2007, **41**(1): 57-63.
袁琼雁, 王向朝. 国际主流光刻机研发的最新进展[J]. 激光与光电子学进展, 2007, **41**(1): 57-63.
- [5] ZHANG Wen-tao, LI Tong-bao. Analysis of nanometrology and atom photolithography[J]. *Journal of Applied Optics*, 2006, **27**(3): 242-249.
张文涛, 李同保. 纳米计量与原子光刻技术分析[J]. 应用光学, 2006, **27**(3): 242-249.
- [6] LUO Xian-gang, YAO Han-min, ZHOU Chong-xi, et al. New technology which can improve lithography resolution[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(9): 834-837.
罗先刚, 姚汉民, 周冲喜, 等. 可提高光刻分辨率的新技术[J]. 光子学报, 2000, **29**(9): 834-837.
- [7] HASEGAWA M, OUCHI C, HASEGAWA T, et al. Recent progress of EUV wavefront metrology in EUVA[C]. *SPIE*, 2004, **5533**: 27-36.
- [8] HASEGAWA T, OUCHI C, HASEGAWA M, et al. EUV wavefront metrology system in EUVA [C]. *SPIE*, 2004, **5374**: 797-807.
- [9] MURAKAMI K, SAITO J, OTA K, et al. Development of an experimental EUV interferometer for benchmarking several EUV wavefront metrology schemes[C]. *SPIE*, 2003, **5037**: 257-264.
- [10] MIAO Er-long, ZHANG Jian, GU Yong-qiang, et al. Measurement error analysis of high precision fizeau interferometer for lithography projection objective [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, **37**(8): 2029-2034.
苗二龙, 张健, 谷勇强, 等. 用于光刻投影物镜检测的高精度菲佐干涉仪误差分析[J]. 中国激光, 2010, **37**(8): 2029-2034.

Development of Phase-shifting Device of Wavefront Aberration Detecting Stage for Lithographic Projection Objective

QI Ke-qi, XIANG Yang

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: To meet the requirement of phase-shifting measurement of the wavefront aberration detecting stage for lithographic projection objective, based on theory of Shearing Interferometry, a phase-shifting device is designed. Bridge amplification mechanism is adopted to obtain a larger amplification ratio and a relatively compact structure. The theory of the bridge amplification mechanism was analyzed and discussed, and the functional relationship and its curve between input displacement and amplification ratio were obtained. To make sure the availability of this structure, nonlinear finite element analysis was proceeded. And the results meet the requirements of phase-shifting device of wavefront aberration detecting stage.

Key words: Lithographic projection objective; Wavefront aberration; Phase-shifting measurement; Bridge-type amplification mechanism; Finite element method