



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102368139 A

(43) 申请公布日 2012.03.07

(21) 申请号 201110346849.0

(22) 申请日 2011.11.07

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 向阳 于长淦

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 张伟

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

G01M 11/02 (2006.01)

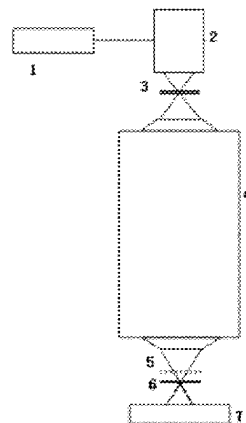
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

## (54) 发明名称

一种高精度系统波像差检测方法

## (57) 摘要

一种高精度系统波像差检测方法属于光学检测领域,其步骤包括:光源发射照明光束,进入照明系统和小孔空间滤波器后衍射产生理想球面波前的光束;入射进入被测投影物镜,带有像差信息的出射光束经光栅衍射及空间滤波器后发生干涉并由图像传感器采集,进行波面拟合,得到波像差;通过入射和旋转 180° 后入射进入被测投影物镜得到两次波前测量结果,利用 Zernike 多项式在单位圆域的特性,分离出系统误差中的非旋转对称成分,增加两次光轴外点测量,计算出系统误差,将测量值与系统误差相减,获得被测投影物镜实际波像差。本发明提出的干涉仪装置系统误差标定方法,能够标定由干涉仪所导致的系统误差,提高了干涉仪的测量精度。



1. 一种高精度系统波像差检测方法,其特征在于,该方法步骤如下:

步骤 1) 光源 (1) 发射照明光束,进入照明系统 (2) 后由照明系统 (2) 调节光强分布和照明方式后,出射光束通过小孔空间滤波器 (3) 后衍射产生球面波前的光束;

步骤 2) 步骤 1) 所述的通过小孔空间滤波器 (3) 后衍射产生球面波前的光束入射进入被测投影物镜 (4) 后,出射光束带有像差信息;

步骤 3) 上述带有像差信息的出射光束分别依次通过分束装置 (5) 中横向放置的光栅 (51)、横向放置的像面空间滤波器 (6) 和分束装置 (5) 中纵向放置的光栅 (52)、纵向放置的像面空间滤波器 (6) 后,带有被测投影物镜 (4) 波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光并发生干涉,推动所述分束装置 (5) 沿刻线垂直方向移动,从而在  $\pm 1$  级衍射光之间引入相移;

步骤 4) 由图像传感器 (7) 采集波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光的干涉条纹图,利用计算机对干涉条纹图进行位相提取及相位展开,计算出光束依次通过分束装置 (5) 中横向放置的光栅 (51)、横向放置的像面空间滤波器 (6) 和分束装置 (5) 中纵向放置的光栅 (52)、纵向放置的像面空间滤波器 (6) 两个正交方向上波面的信息,采用微分 Zernike 多项式进行波面拟合,得到 36 项 Zernike 系数表示的波像差的测量值  $W_{\text{test}}$ ;

步骤 5) 步骤 1) 所述的通过小孔空间滤波器 (3) 后衍射产生球面波前的光束入射进入被测投影物镜 (4) 后,同时获得波前测量结果  $W_0$ ,被测波前  $W_0$  可表示为  $W_0 = W_s + W_a + W'$ ,其中  $W_s$  表示系统误差中旋转对称项, $W_a$  表示系统误差中非旋转对称项, $W'$  表示被测光学系统实际波像差;

步骤 6) 步骤 1) 所述的通过小孔空间滤波器 (3) 后衍射产生球面波前的光束入射进入将被测投影物镜 (4) 旋转  $180^\circ$  后获得波前测量结果  $W_{180}$ ,被测波前  $W_{180}$  可表示为  $W_{180} = W_s + W_a' + W'$ , $W_a'$  表示旋转后系统误差中非旋转对称项,将两次的测量结果相减,得到两次测量结果的差值  $W_0 - W_{180} = W_a - W_a'$ ,利用 Zernike 多项式在单位圆域的正交特性,分离出系统误差中的非旋转对称项  $W_a$ ;

步骤 7) 对系统误差中的旋转对称项以及系统误差中的角阶数为  $2\theta$  非旋转对称成分的分离,在光束入射进入被测投影物镜 (4) 和光束入射进入将被测投影物镜 (4) 旋转  $180^\circ$  两次测量的基础上增加两次光轴外点测量,计算出由 Zernike 多项式表示的系统误差  $W_{\text{system}}$  并存储在计算机中,在进行投影物镜 (4) 系统波像差检测时将测量值  $W_{\text{test}}$  与系统误差  $W_{\text{system}}$  相减,获得被测投影物镜 (4) 实际波像差  $W'$ 。

## 一种高精度系统波像差检测方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学检测领域,涉及一种高精度系统波像差检测方法。

### 背景技术

[0002] 光刻机投影物镜是半导体制造过程中光刻部分的核心部件,随着半导体产业向更小的线宽尺度发展,对光刻投影物镜的性能提出愈来愈严苛的要求。系统波像差是评价光刻机投影物镜性能的标志性指标之一。光刻机能否曝出几十个纳米的特征线宽,很大程度上取决于投影物镜的系统波像差能否控制在几个纳米的范围内。这就要求发展和拥有亚纳米级精度的系统波像差检测技术和装备,精确地测量投影物镜的系统波像差,评估其可能实现的特征线宽,并为投影物镜的进一步超精密装配和修磨提供指导性定量依据。

[0003] 目前光刻机系统波像差检测装置包括两种类型,衍射型干涉仪和剪切型干涉仪,其中衍射型干涉仪包括点衍射干涉仪(Point Diffraction Interferometer, PDI)、狭缝衍射干涉仪(Line Diffraction Interferometer, LDI)、剪切型干涉仪包括剪切干涉仪(Lateral Shearing Interferometer, LSI)或泰伯干涉仪(Digital Talbot Interferometer, DTI)等。前述干涉测量方法的特点是可以对投影物镜进行全视场的系统波像差检测,得到各视场点 36 项泽尼克系数表示的波像差,具有检测精度高,重复性好等优点。

[0004] 为实现系统波像差测量,Medecky 提出了用于 EUV(extreme ultraviolet,远紫外线)波段工作波长检测的相移点衍射干涉仪(Phase shifting point diffraction interferometer,美国专利 US5835217),该方法的测量原理是,采用光栅作为分束元件产生测试波和参考波,二者通过位于像面上的空间滤波器后发生干涉,由图像传感器采集干涉图,通过对干涉条纹的处理,最终得到由 Zernike 多项式所表示的系统波像差。该方法的优点是测量精度高,但由于空间滤波器是由直径小于系统衍射极限分辨率的小孔组成,对于高 NA 的光学系统所需要的小孔直径将达到几十个纳米,这就为小孔的制备以及对准带来极大的难度,并且随着小孔空间滤波器直径的减小,干涉条纹对比度也将下降。

[0005] 在美国专利 US7352475 中,Hasegawa 采用了剪切干涉仪的结构,使用经光栅衍射后的  $\pm 1$  级衍射光作为信息的载体,用较大的窗口代替小孔空间滤波器,从而使通过的光能量增强,改善了干涉条纹对比度,使干涉仪具有较大的动态范围。由于采用了剪切干涉的光路结构,干涉仪系统误差对测量具有很大的影响,影响了测量的精度。

[0006] 以上所述的几种干涉仪,系统误差的分离是很重要的过程,直接影响着测量的准确度。要达到检测精度的要求,需对系统误差进行标定,主要的系统误差包括:探测器倾斜导致的像散,光栅衍射引入的像差等。在剔除了系统误差之后,可以得到准确的光学系统波像差信息。

### 发明内容

[0007] 为了解决现有干涉测量方法导致测量结果中存在系统误差,影响检测精度的问

题,本发明提出一种可标定系统误差的高精度系统波像差检测方法来解决现在技术中存在的问题。

[0008] 一种高精度系统波像差检测方法,该方法步骤如下:

[0009] 步骤 1) 光源发射照明光束,进入照明系统后由照明系统调节光强分布和照明方式后,出射光束通过小孔空间滤波器后衍射产生球面波前的光束;

[0010] 步骤 2) 所述光束入射进入被测投影物镜后,出射光束带有像差信息;

[0011] 步骤 3) 所述带有像差信息的出射光束分别依次通过分束装置中横向放置的光栅、横向放置的像面空间滤波器和分束装置中纵向放置的光栅、纵向放置的像面空间滤波器后,带有被测投影物镜波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光并发生干涉,推动所述分束装置沿刻线垂直方向移动,从而在  $\pm 1$  级衍射光之间引入相移;

[0012] 步骤 4) 由图像传感器采集波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光的干涉条纹图,利用计算机对干涉条纹图进行位相提取及相位展开,计算出光束依次通过分束装置中横向放置的光栅、横向放置的像面空间滤波器和分束装置中纵向放置的光栅、纵向放置的像面空间滤波器两个正交方向上波面的信息,采用微分 Zernike 多项式进行波面拟合,得到 36 项 Zernike 系数表示的波像差的测量值  $W_{\text{test}}$ ;

[0013] 步骤 5) 所述光束入射进入被测投影物镜后,同时获得波前测量结果  $W_0$ ,被测波前  $W_0$  可表示为; $W_0 = W_s + W_a + W'$  其中  $W_s$  表示系统误差中旋转对称项, $W_a$  表示系统误差中非旋转对称项, $W'$  表示被测光学系统实际波像差;

[0014] 步骤 6) 所述光束入射进入将被测投影物镜旋转  $180^\circ$  后获得波前测量结果  $W_{180}$ ,被测波前  $W_{180}$  可表示为; $W_{180} = W_s + W_a' + W'$ ,  $W_a'$  表示旋转后系统误差中非旋转对称项,将两次的测量结果相减,得到两次测量结果的差值  $W_0 - W_{180} = W_a - W_a'$ ,利用 Zernike 多项式在单位圆域的正交特性,分离出系统误差中的非旋转对称项  $W_a$ ;

[0015] 步骤 7) 对系统误差中的旋转对称项以及系统误差中的角阶数为  $2\theta$  非旋转对称成分的分离,在光束入射进入被测投影物镜和光束入射进入将被测投影物镜旋转  $180^\circ$  两次测量的基础上增加两次光轴外点测量,计算出由 Zernike 多项式表示的系统误差  $W_{\text{system}}$  并存储在计算机中,在进行投影物镜系统波像差检测时将测量值  $W_{\text{test}}$  与系统误差  $W_{\text{system}}$  相减,获得被测投影物镜实际波像差  $W'$ 。

[0016] 本发明的有益效果:本发明高精度系统波像差检测方法采用较大的窗口代替小孔,提高了系统光通量,从而使信噪比提高,进而提高了干涉条纹对比度,改善了测量精度。另外本发明提出的干涉仪装置系统误差标定方法,能够标定由干涉仪所导致的系统误差,提高了干涉仪的测量精度。

## 附图说明

[0017] 图 1 一种高精度系统波像差检测方法的装置图。

[0018] 图 2 一种高精度系统波像差检测方法的分束装置平面图。

[0019] 图 3 一种高精度系统波像差检测方法的像面空间滤波器平面图。

## 具体实施方式

[0020] 如图 1 所示,一种高精度系统波像差检测方法,该方法所应用的装置包括:光源 1、

照明系统 2、小孔空间滤波器 3、投影物镜 4、分束装置 5、像面空间滤波器 6 和图像传感器 7，波像差检测方法步骤如下：

[0021] 步骤 1) 光源 1 发射照明光束，进入照明系统 2 后由照明系统 2 调节光强分布和照明方式后，出射光束通过小孔空间滤波器 3 后衍射产生理想球面波前的光束；其中小孔直径  $d$  小于入射光束衍射极限分辨率，

[0022] 并满足式： $d \leq \frac{\lambda}{2NA_1}$

[0023] 其中  $\lambda$  为光源 1 波长， $NA_1$  为照明系统 2 在小孔空间滤波器 3 侧的数值孔径。经过空间滤波器的滤波作用，消除了照明系统 2 所导致的像差。

[0024] 光源 1 为波长约为 193nm 的 ArF 准分子激光器、波长约为 248nm 的 KrF 准分子激光器或可见光波段的激光器；照明系统 2 为扩束透镜组或光束整形器；小孔空间滤波器 3 位于被测投影物镜 4 物方平面，可通过电子束曝光或反应离子束刻蚀方法制备；

[0025] 步骤 2) 所述光束入射进入被测投影物镜 4 后，出射光束带有像差信息；

[0026] 投影物镜 4 为全透射式投影物镜、折返式投影物镜或全反射式投影物镜；

[0027] 步骤 3) 所述带有像差信息的出射光束分别依次通过分束装置 5 中横向放置的光栅 51、横向放置的像面空间滤波器 6 和分束装置 5 中纵向放置的光栅 52、纵向放置的像面空间滤波器 6 后，带有被测投影物镜 4 波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光并发生干涉，推动所述分束装置 5 中的光栅 51、52 沿刻线垂直方向移动，从而在  $\pm 1$  级衍射光之间引入相移；

[0028] 如图 2 所示，由于采用剪切干涉原理，获得投影物镜 4 系统波像差需要正交方向上的两次测量，因此作为分束装置 5 的二元光栅由刻线方向相互正交并且周期以及占空比完全相同的两个光栅 51、52 组成；光栅 51、52 为二元振幅光栅或二元位相光栅

[0029] 如图 3 所示，像面空间滤波器 6 位于待测投影物镜 4 像平面，正交放置的像面空间滤波器 6 由两个大的窗口组成，

[0030] 窗口宽度相等并且满足式 (2)： $w = \frac{2f\lambda}{NA_1}$

[0031] 式中  $\lambda$  为光源 1 波长， $NA_1$  为投影物镜 3 像方数值孔径， $f$  为投影物镜 3 出瞳波像差空间频率。

[0032] 由于级次选择像面空间滤波器 6 的作用，只有  $\pm 1$  级衍射光能通过像面空间滤波器 6 中的窗口，零级以及更高级次的衍射光都被像面空间滤波器 6 截至，通过使用级次选择窗口作为像面空间滤波器 6 使得噪声减小并且测量精度获得改善。通过像面空间滤波器 6 之后携带被测投影物镜 4 系统信息的  $\pm 1$  级衍射光互相发生干涉；

[0033] 步骤 4) 由图像传感器 7 采集波像差信息为  $\pm 1$  级衍射光的干涉条纹图，利用计算机对干涉条纹图进行位相提取及相位展开，计算出光束依次通过分束装置 5 中横向放置的光栅 51、横向放置的像面空间滤波器 6 和分束装置 5 中纵向放置的光栅 52、纵向放置的像面空间滤波器 6 两个正交方向上波面的信息，采用微分 Zernike 多项式进行波面拟合，得到 36 项 Zernike 系数表示的波像差的测量值  $W_{test}$ ；

[0034] 步骤 5) 所述光束入射进入被测投影物镜 4 后，同时获得波前测量结果  $W_0$ ，此时的被测波前由系统误差及被测投影物镜 4 实际波像差组成，被测波前  $W_0$  可表示为： $W_0 = W_s + W_a + W'$ ，其中  $W_s$  表示系统误差中旋转对称项， $W_a$  表示系统误差中非旋转对称项， $W'$  表示

被测投影物镜 4 实际波像差；

[0035] 步骤 6) 所述光束入射进入将被测投影物镜 4 旋转  $180^\circ$  后获得波前测量结果  $W_{180}$ ，被测波前  $W_{180}$  可表示为： $W_{180} = W_s + W_a' + W'$ ， $W_a'$  表示旋转后系统误差中非旋转对称项；

[0036] 将两次的测量结果相减，得到两次测量结果的差值  $W_0 - W_{180} = W_a - W_a'$ ，利用 Zernike 多项式在单位圆域的特性，分离出系统误差中的非旋转对称成分  $W_a$ ；

[0037] 步骤 7) 对系统误差中的旋转对称项以及系统误差中的角阶数为  $2\theta$  非旋转对称成分的分离，在光束入射进入被测投影物镜 4 和光束入射进入将被测投影物镜 4 旋转  $180^\circ$  两次测量的基础上，增加光束入射进入被测投影物镜 4 和光束入射进入将被测投影物镜 4 旋转  $180^\circ$  的两次光轴外点测量，计算出由 Zernike 多项式表示的系统误差  $W_{\text{system}}$  并存储在计算机中，在进行投影物镜 4 系统波像差检测时将测量值  $W_{\text{test}}$  与系统误差  $W_{\text{system}}$  相减，获得被测投影物镜 4 实际波像差  $W'$ 。

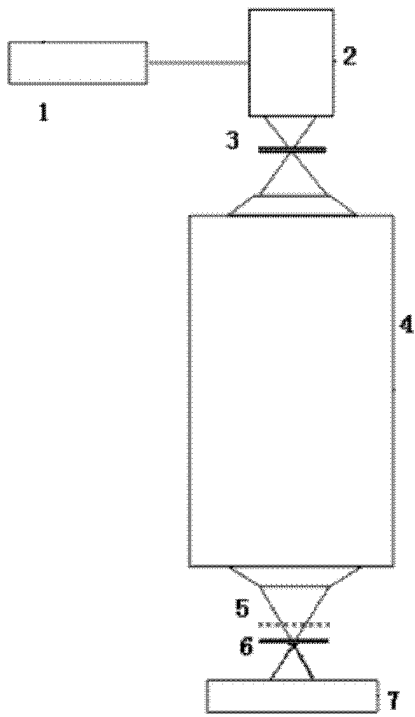


图 1

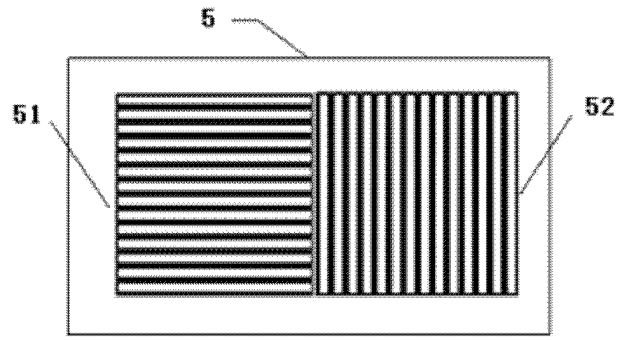


图 2

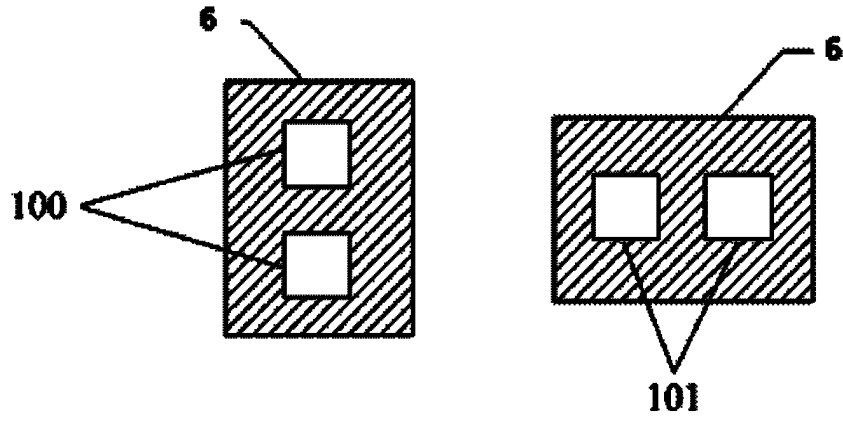


图 3