



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102289152 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 21

(21) 申请号 201110127852. 3

(22) 申请日 2011. 05. 18

(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 金春水 王丽萍 张宇

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006. 01)

G01M 11/02 (2006. 01)

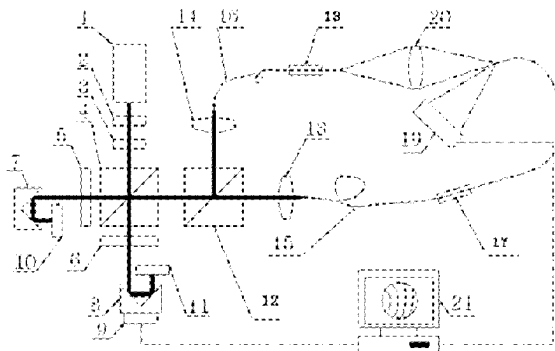
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

光学系统波像差检测装置

(57) 摘要

光学系统波像差检测装置, 涉及光学测量技术领域, 它解决现有光学系统波像差检测装置在移相过程中存在偏摆误差和横移误差的问题, 本发明的分光系统出射的两束共光路的正交线偏振光经过第二偏振分光棱镜分光, 参考光和测试光经过第一耦合透镜和第二耦合透镜耦合到带有电动偏振控制器的参考光纤和测试光纤中, 测试光纤出射的光经被检光学系统照射到参考光纤的镀膜端面上反射, 调整第一角锥棱镜使测试球面波与参考球面波产生干涉, 采用压电陶瓷移动对偏摆误差不敏感的第二角锥棱镜实现移相过程, 第二平面反射镜使得对移相过程中的横移误差不敏感, 利用光电探测器采集干涉图, 送入计算机利用移相算法进行数据处理和分析。获得被检光学系统波像差。



1. 光学系统波像差检测装置,该装置包括分光系统、第二偏振分光棱镜(12)、第一耦合透镜(13)、第二耦合透镜(14)、参考光纤(15)、测试光纤(16)、第一电动偏振控制器(17)、第二电动偏振控制器(18)、被检光学系统(19)、光电探测器(20)、计算机(21);其特征是,所述分光系统包括激光器(1)、中性密度滤光片(2)、二分之一波片(3)、第一偏振分光棱镜(4)、第一四分之一波片(5)、第二四分之一波片(6)、第一角锥棱镜(7)、第二角锥棱镜(8)、第一平面反射镜(10)、第二平面反射镜(11);所述激光器(1)出射的光束经中性密度滤光片(2)、二分之一波片(3)和第一偏振分光棱镜(4)后,分成两束正交的线偏振光,第一束线偏振光经过第一偏振分光棱镜(4)的水平方向的第一四分之一波片(5)和第一角锥棱镜(7)后,经第一平面反射镜(10)反射至第一偏振分光棱镜(4);第二束线偏振光经过第一偏振分光棱镜(4)垂直方向的第二四分之一波片(6)和第二角锥棱镜(8)后,经第二平面反射镜(11)反射至第一偏振分光棱镜(4),所述第一偏振分光棱镜(4)出射的两束光经过第二偏振分光棱镜(12)后分光,参考光束经第一耦合透镜(13)耦合到参考光纤(15)中,测试光束经第二耦合透镜(14)耦合到测试光纤(16)中,所述第一电动偏振控制器(17)和第二电动偏振控制器(18)分别控制参考光束和测试光束的偏振态,所述测试光纤(16)出射的光束经被检光学系统(19)聚焦到参考光纤(15)的出射端面上,光电探测器(20)接收测试光纤(16)出射的测试光束和参考光纤(15)端面反射的参考光束的干涉图,将干涉图传送至计算机(21),获得光学系统波像差。

2. 根据权利要求1所述的光学系统波像差检测装置,其特征在于,所述参考光纤(15)的出射端面位于被检光学系统(19)的像平面上,测试光纤(16)的出射端面位于被检光学系统(19)的物平面上。

3. 根据权利要求1所述的光学系统波像差检测装置,其特征在于,所述的第一束线偏振光经过第一偏振分光棱镜(4)的水平方向的第一四分之一波片(5)和第一角锥棱镜(7)后,第一束线偏振光的偏振方向改变90度。

4. 根据权利要求1所述的光学系统波像差检测装置,其特征在于,第二束线偏振光经过第一偏振分光棱镜(4)垂直方向的第二四分之一波片(6)和第二角锥棱镜(8)后,第二束线偏振光的偏振方向改变90度。

5. 根据权利要求1所述的光学系统波像差检测装置,其特征在于,所述分光系统还包括压电陶瓷(9),采用压电陶瓷(9)移动第二角锥棱镜(8)实现步长为 $\pi/2$ 的移相。

## 光学系统波像差检测装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学测量技术领域,具体涉及一种光学系统波像差检测装置。

### 背景技术

[0002] 极紫外光刻技术是建立在传统光学光刻基础上的下一代光刻技术,它最大限度地继承了目前光学光刻的发展成果。极紫外光刻的工作波长为 13 ~ 14nm 的极紫外波段,在光源技术、光学系统、极紫外多层膜技术、反射式掩膜技术、超高精度控制技术、抗蚀剂技术、光学元件加工 / 检测技术等方面都与传统的光学光刻有重大的区别。作为光刻机核心单元系统之一的投影光刻物镜为了实现光刻分辨率及临界尺寸控制的要求,光学系统的 RMS 波像差应小于  $\lambda / 20$ 。如此高精度的光学系统就需要更高精度的检测装置,目前较先进的美国 Zygo 和 Wyko 公司的相关干涉仪产品一般都采用标准球面镜头来产生参考球面波,但是由于光学加工和装配等影响,导致参考球面波的像差都大于  $\lambda / 50$ ,无法进一步减小,这就直接导致了当前干涉仪的检测精度只能达到  $\lambda / 20 - \lambda / 50$  ( $\lambda = 632.8\text{nm}$ ),远远不能满足极紫外光刻投影物镜系统波像差的检测要求。

[0003] 因此,寻找超高精度的参考球面波就成为提高检测装置测量精度的关键问题所在。

[0004] Raymond N. Smart 和 J. Strong 于 1972 年发明了点衍射干涉仪,它借助小孔衍射产生的近似理想的球面波作为参考波消除了常规干涉仪参考波面误差的影响,大大的提高了检测精度。随着光学检测要求的不断提高,点衍射干涉仪正日益显现出其优点,并广泛的应用于高精度光学检测中,为极紫外光刻投影物镜系统波像差的高精度检测提供了可能性。

[0005] 点衍射干涉仪虽然解决了参考球面波的问题,但是点衍射干涉仪中存在的一些误差源如光源的不稳定误差、光电探测器的非线性误差、光电探测器的量化误差、环境误差等仍旧限制着干涉仪的检测精度。

[0006] 1974 年 Bruning 等人提出了移相干涉术,他把通讯理论中的同步相位探测技术引入到光学干涉测量技术中,是计算机辅助干涉测量技术中的一个重大的发展。其原理是在干涉仪的两相干光的相位差之间引入有序的位移,当参考光程 (或相位) 变化时干涉条纹的位置也作相应的移动。在此过程中,用光电探测器对干涉图进行采样,经图像采集卡数字化得到计算机能够处理的数字信号,最后由计算机按照一定的数学模型根据光强的变化求得相位分布。移相干涉术的优点在于计算简单、速度快、精度高,关键技术在于通过计算机分析处理测量的数据,从而获得所测的相位值。

[0007] 为了实现光学检测向超高精度发展,点衍射干涉仪和移相干涉术的有机结合无疑是一个必然趋势。

[0008] 一种移相点衍射干涉仪是由物面小孔板、透射光栅、像面小孔板以及光电探测器组成,由物面小孔板上的小孔衍射产生理想的球面波经被测光学元件或系统会聚后,经过透射光栅发生衍射,并在像面小孔板上形成若干衍射级,使 +1 级 (或 0 级) 衍射光通过像面小孔板上的一个小孔衍射产生理想球面波作为参考光,0 级 (或 +1 级) 衍射光经过像面

小孔板上一个窗作为测试光,其他衍射级次被像面小孔板的不透明部分遮挡。测试光和参考光在光电探测器上形成干涉条纹,通过横向移动透射光栅实现了移相,采用移相算法对条纹进行分析,提高了测量精度。

[0009] 另一种移相点衍射干涉仪将透射光栅置于物面小孔板之前,物面小孔板含有小孔和一个较大的窗,0 级衍射光经过小孔产生理想的球面波,+1 级衍射光直接通过窗。两束光经被检光学元件或系统后,被聚焦到像面小孔板上,这里 0 级衍射光经过窗作为测试光,+1 级衍射光经过小孔衍射作为参考光,这种移相点衍射干涉仪两束光都只经过一次小孔滤波,相对前一种点衍射干涉仪来说提高了参考光的光强,同时提高了条纹对比度。

[0010] 2005 年 Gary E. Sommargren 在专利 US6909,510B2 “Application of the phaseshifting diffraction interferometer for measuring convex mirrors and negative lenses” 采用两根柔性纤芯的端面代替小孔构成了双光纤点衍射干涉仪,测试光纤出射的光通过被检光学元件照射到参考光纤端面上,反射后和参考光纤出射的衍射波干涉,经成像透镜在光电探测器上形成干涉条纹,检测装置在测试光路中引入了移相,最终双光纤相移点衍射干涉仪实现了对凸透镜和负透镜的高精度检测。

[0011] 然而,上述现有的波像差检测装置无法在移相过程中消除偏摆误差和横移误差,这就有可能造成检测结果的不精确,从而给实现超高精度的检测带来了困难。

## 发明内容

[0012] 本发明为解决现有光学系统波像差检测装置在移相过程中存在偏摆误差和横移误差的问题,提供一种光学系统波像差检测装置。

[0013] 光学系统波像差检测装置,该装置包括分光系统、第二偏振分光棱镜、第一耦合透镜、第二耦合透镜、参考光纤、测试光纤、第一电动偏振控制器、第二电动偏振控制器、被检光学系统、光电探测器、计算机;所述分光系统包括激光器、中性密度滤光片、二分之一波片、第一偏振分光棱镜、第一四分之一波片、第二四分之一波片、第一角锥棱镜、第二角锥棱镜、第一平面反射镜、第二平面反射镜;所述激光器出射的光束经中性密度滤光片、二分之一波片和第一偏振分光棱镜后,分成两束正交的线偏振光,第一束线偏振光经过第一偏振分光棱镜的水平方向的第一四分之一波片和第一角锥棱镜后,经第一平面反射镜反射至第一偏振分光棱镜;第二束线偏振光经过第一偏振分光棱镜垂直方向的第二四分之一波片和第二角锥棱镜后,经第二平面反射镜反射至第一偏振分光棱镜,所述第一偏振分光棱镜出射的两束光经过第二偏振分光棱镜后分光,参考光束经第一耦合透镜耦合到参考光纤中,测试光束经第二耦合透镜耦合到测试光纤中,所述第一电动偏振控制器和第二电动偏振控制器分别控制参考光束和测试光束的偏振态,所述测试光纤出射的光束经被检光学系统聚焦到参考光纤的出射端面上,光电探测器接收测试光纤出射的测试光束和参考光纤端面反射的参考光束的干涉图,将干涉图传送至计算机,获得光学系统波像差。

[0014] 本发明的工作原理:本发明所述的分光系统出射的两束共光路的正交线偏振光共同经过第二偏振分光棱镜分光,参考光和测试光分别经过第一耦合透镜和第二耦合透镜耦合到带有电动偏振控制器的参考光纤和测试光纤中,测试光纤出射的光经被检光学系统照射到参考光纤的镀膜端面上反射,调整第一角锥棱镜使测试球面波与参考球面波光程匹配从而产生干涉,利用压电陶瓷移动对偏摆误差不敏感的第二角锥棱镜实现移相过程,并且

加入第二平面反射镜使得对移相过程中的横移误差不敏感,利用光电探测器采集干涉图,送入计算机利用移相算法进行数据处理和分析,即得到被检光学系统波像差。

[0015] 本发明的有益效果:本发明采用两根光纤,测试光纤衍射出来的标准球面波经被检光学系统聚焦后作为测试光,参考光纤直接衍射出的标准球面波作为参考光,采用压电陶瓷对测试波进行移相,利用角锥棱镜与反射镜组合的使用方式消除了移相过程中的偏摆误差及平移误差,最终能够实现对光学系统波像差的超高精度检测。

#### 附图说明

[0016] 图1为本发明所述的光学系统波像差检测装置的示意图;

[0017] 图中:1、激光器,2、中性密度滤光片,3、二分之一波片,4、第一偏振分光棱镜,5、第一四分之一波片,6、第二四分之一波片,7、第一角锥棱镜,8、第二角锥棱镜,9、压电陶瓷,10、第一平面反射镜,11、第二平面反射镜,12、第二偏振分光棱镜,13、第一耦合透镜,14、第二耦合透镜,15、参考光纤,16、测试光纤,17、第一电动偏振控制器,18、第二电动偏振控制器,19、被检光学系统,20、光电探测器,21、计算机。

#### 具体实施方式

[0018] 具体实施方式一、结合图1说明本实施方式,该装置包括分光系统、第二偏振分光棱镜12、第一耦合透镜13、第二耦合透镜14、参考光纤15、测试光纤16、第一电动偏振控制器17、第二电动偏振控制器18、被检光学系统19、光电探测器20、计算机21;所述分光系统包括激光器1、中性密度滤光片2、二分之一波片3、第一偏振分光棱镜4、第一四分之一波片5、第二四分之一波片6、第一角锥棱镜7、第二角锥棱镜8、第一平面反射镜10、第二平面反射镜11;所述激光器1出射的光束经中性密度滤光片2、二分之一波片3和第一偏振分光棱镜4后,分成两束正交的线偏振光,第一束线偏振光经过第一偏振分光棱镜4的水平方向的第一四分之一波片5和第一角锥棱镜7后,经第一平面反射镜10反射至第一偏振分光棱镜4;第二束线偏振光经过第一偏振分光棱镜4垂直方向的第二四分之一波片6和第二角锥棱镜8后,经第二平面反射镜11反射至第一偏振分光棱镜4,所述第一偏振分光棱镜4出射的两束光经过第二偏振分光棱镜12后分光,参考光束经第一耦合透镜13耦合到参考光纤15中,测试光束经第二耦合透镜14耦合到测试光纤16中,所述第一电动偏振控制器17和第二电动偏振控制器18分别控制参考光束和测试光束的偏振态,所述测试光纤16出射的光束经被检光学系统19聚焦到参考光纤15的出射端面上,光电探测器20接收测试光纤16出射的测试光束和参考光纤15端面反射的参考光束的干涉图,将干涉图传送至计算机21,获得光学系统波像差。

[0019] 本实施方式所述的参考光纤15的出射端面位于被检光学系统19的像平面上,测试光纤16的出射端面位于被检光学系统19的物平面上。

[0020] 本实施方式所述的第一束线偏振光经过第一偏振分光棱镜4的水平方向的第一四分之一波片5和第一角锥棱镜7后,第一束线偏振光的偏振方向改变90度。第二束线偏振光经过第一偏振分光棱镜4垂直方向的第二四分之一波片6和第二角锥棱镜8后,第二束线偏振光的偏振方向改变90度。

[0021] 本实施方式所述的分光系统还包括压电陶瓷9,采用压电陶瓷9移动第二角锥棱

镜 8 实现步长为  $\pi/2$  的移相。

[0022] 本发明所述的激光器 1 出射的线偏振光经过中性密度滤光片 2 衰减光的能量,光束通过二分之一波片 3 调整偏振方向,通过第一偏振分光棱镜 4 分成两束正交的线偏振光,一束反射,一束透射,两束线偏振光分别经第一平面反射镜 10 和第二平面反射镜 11 反射回第一偏振分光棱镜 4 的过程中,分别两次通过第一四分之一波片 5、第二四分之一波片 6 及第一角锥棱镜 7、第二角锥棱镜 8,其偏振方向各自改变 90 度,先前的反射光束透射,先前的透射光束反射,并通过压电陶瓷 9 实现步长为  $\pi/2$  的移相,从第一偏振分光棱镜 4 出射的两束光经过第二偏振分光棱镜 12 后分光,参考光和测试光分别经过第一耦合透镜 13 和第二耦合透镜 14 耦合到参考光纤 15 和测试光纤 16 中,两光纤分别由第一电动偏振控制器 17 和第二电动偏振控制器 18 控制偏振态,测试光纤 16 出射的光经被检光学系统 19 聚焦到参考光纤 15 的镀膜端面上,调整第一角锥棱镜 7 使得在参考光纤 15 端面上反射的测试球面波与参考光纤 15 出射的参考球面波发生干涉,利用光电探测器 20 采集干涉图,送入计算机 21 利用移相算法进行数据处理和分析,即得到光学系统波像差。

[0023] 在上述过程中,可以通过旋转 1/2 波片 3、调整第一电动偏振控制器 17 及第二电动偏振控制器 18 来调整两束光的相对强度,以达到最佳条纹对比度,引入了对偏摆误差不敏感的第一角锥棱镜 7 和第二角锥棱镜 8,通过移动第一角锥棱镜 7 来调整测试光和参考光的光程差,通过压电陶瓷 9 移动第二角锥棱镜 8 来实现步长为  $\pi/2$  的移相,通过引入第二平面反射镜 11 使得测量结果对第二角锥棱镜 8 在移相过程中的横移不敏感,通过引入第一平面反射镜 10 来实现两束光的共光路,通过引入第二偏振分光棱镜 12 使两束共光路的光分光,通过使参考光纤 15 端面镀膜,提高光强的利用率。

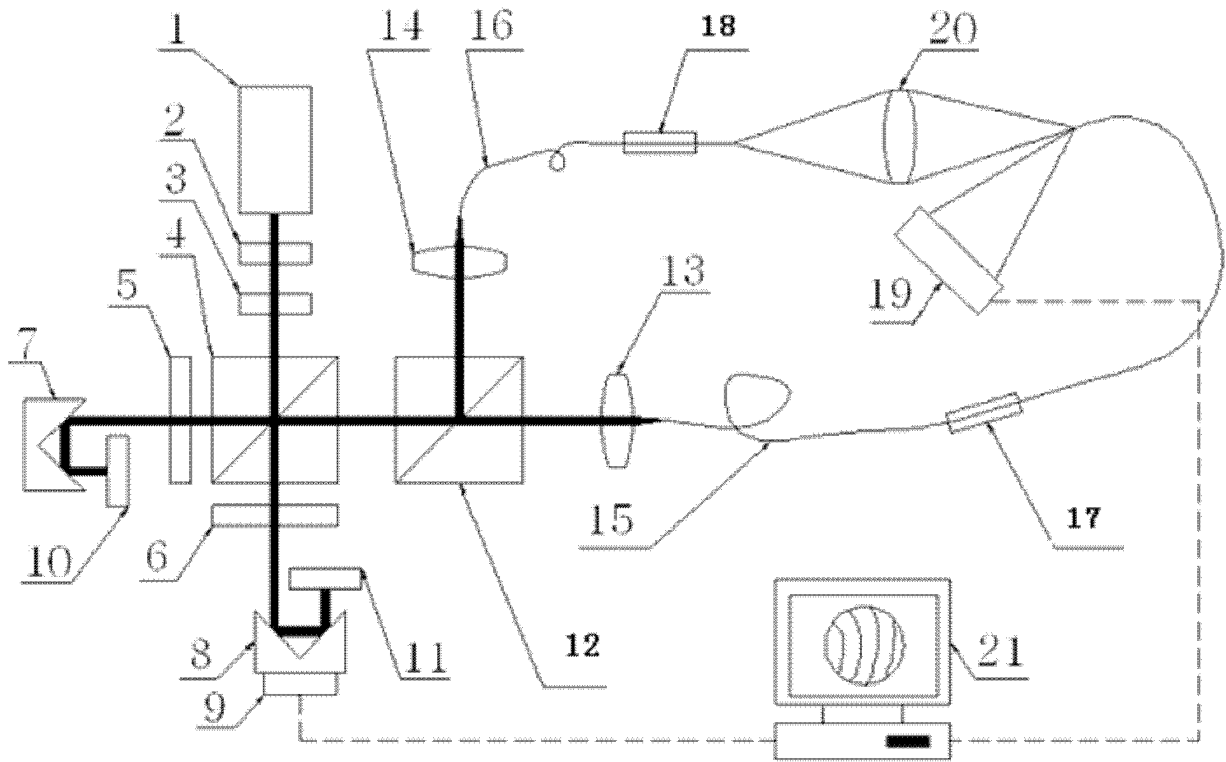


图 1