



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109099859 B

(45) 授权公告日 2021.07.27

(21) 申请号 201811123643.X

G01N 21/88 (2006.01)

(22) 申请日 2018.09.26

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

KR 20160087600 A, 2016.07.22

申请公布号 CN 109099859 A

JP 2016080564 A, 2016.05.16

(43) 申请公布日 2018.12.28

CN 104759945 A, 2015.07.08

(73) 专利权人 中国科学院上海光学精密机械研究所

CN 109211166 A, 2019.01.15

CN 102941534 A, 2013.02.27

地址 201800 上海市嘉定区清河路390号

Kudo, R 等.《High-accuracy three-

(72) 发明人 邵建达 刘世杰 倪开灶 黄保铭
潘靖宇 周游 王微微 鲁棋

dimensional aspheric mirror measurement with nanoprofiler based on normal vector tracing method》.《OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING》.2017,第98卷第159-162页.

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 31317

张敏.《子孔径拼接检测技术的研究》.《中国博士学位论文全文数据库 基础科技辑》.2015,(第9期),

代理人 张宁展

审查员 王芳芳

(51) Int. Cl.

G01B 11/24 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

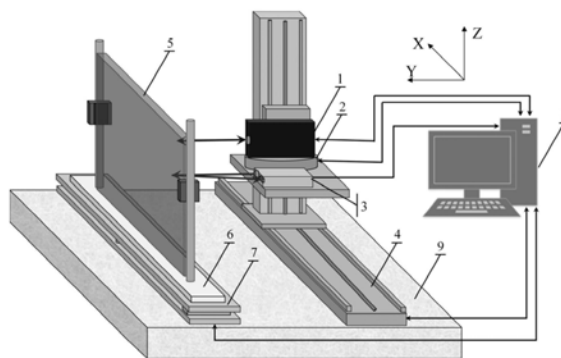
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置和方法

(57) 摘要

一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置和方法。该装置主要包括瞬态干涉测量系统、俯仰偏摆姿态调节机构、激光位移传感器、XYZ精密位移平台、大口径平面光学元件、样品夹持装置、样品调平机构、计算机和隔振平台。本发明对大口径光学元件表面缺陷三维形貌能实现全口径快速扫描测量,深度测量分辨率达到亚纳米量级;能够准确识别区分表面缺陷的类型,提升了测量结果的可靠性。



1. 一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置,其特征在于,包括瞬态干涉测量系统(1)、俯仰偏摆姿态调节机构(2)、激光位移传感器(3)、XYZ精密位移平台(4)、待测的大口径平面光学元件(5)、样品夹持装置(6)、样品调平机构(7)、计算机(8)和隔振平台(9);

所述的XYZ精密位移平台(4)和样品调平机构(7)平行地安装在所述的隔振平台(9)上,所述的样品调平机构(7)绕X和Z轴转动;

所述的俯仰偏摆姿态调节机构(2)和所述的激光位移传感器(3)并排放置在XYZ精密位移平台(4)上,所述的俯仰偏摆姿态调节机构(2)绕X和Z轴转动;所述的激光位移传感器(3)发射的激光沿Y方向入射到待测的大口径平面光学元件(5)待测平面,所述的瞬态干涉测量系统(1)安装在所述的俯仰偏摆姿态调节机构(2)上;

所述的样品夹持装置(6)位于样品调平机构(7)上,样品夹持装置(6)从待测大口径平面光学元件(5)侧面夹持固定;被夹持的待测大口径平面光学元件(5)的待测平面与XYZ精密位移平台(4)的XZ面平行;

所述的瞬态干涉测量系统(1)包括低相干LED光源(10),沿该低相干LED光源(10)的光束输出方向依次是第一会聚透镜(11)、针孔光阑(12)、第二会聚透镜(13)、偏振片(14)、第三会聚透镜(15)、偏振分束器(16),该偏振分束器(16)将入射光分为s偏振光和p偏振光,所述的p偏振光通过第一四分之一波片(17)聚焦到参考镜(18),所述的s偏振光通过第二四分之一波片(19)聚焦到待测的大口径平面光学元件(5),该待测的大口径平面光学元件(5)的反射光和所述的参考镜(18)的反射光分别经所述的第二四分之一波片(19)、第一四分之一波片(17)并在所述的偏振分束器(16)重合,在该重合光束方向依次是第四会聚透镜(20)、第三四分之一波片(21)和偏振相机(22);所述的针孔光阑(12)位于所述的第一会聚透镜(11)和第二会聚透镜(13)的公共焦点位置;

所述的计算机(8)与所述的瞬态干涉测量系统(1)、俯仰偏摆姿态调节机构(2)、激光位移传感器(3)、XYZ精密位移平台(4)、样品调平机构(7)相连。

2. 利用权利要求1所述的大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置进行大口光学元件表面缺陷三维形貌的检测方法,其特征在于该方法包括下列步骤:

1) 将待测大口径平面光学元件(5)用样品夹持装置(6)夹持固定后,置于所述的样品调平机构(7)上,使所述的待测大口径平面光学元件(5)的待测平面与坐标的XZ平面基本平行,所述的计算机(8)控制所述的XYZ精密位移平台(4),带动所述的激光位移传感器(3)分别沿Z和X方向依次移动到位于待测大口径平面光学元件(5)待测表面两直角边缘的A、B、C三点,其中A和B的X坐标一致,B和C的Z坐标一致,所述的激光位移传感器(3)依次测量A、B、C三点的距离,分别记为 Y_A 、 Y_B 和 Y_C ,作为Y坐标,三个测量点的X和Z坐标由XYZ精密位移平台(4)输入所述的计算机(8),分别为A(X_A, Z_A)、B(X_B, Z_B)和C(X_C, Z_C),其中 $X_A = X_B, Z_B = Z_C$;

2) 所述的计算机(8)根据所述的A、B、C三点坐标按下列公式计算待测大口径平面光学元件(5)的俯仰和偏摆角度分别为 θ 和 ϕ :

$$\theta = \arctan \left(\frac{|Y_B - Y_A|}{|Z_B - Z_A|} \right)$$

$$\phi = \arctan \left(\frac{|Y_C - Y_B|}{|X_C - X_B|} \right)$$

所述的计算机(8)控制所述的样品调平机构(7),将待测大口径平面光学元件(5)的俯仰和偏摆姿态向相反方向分别调节 θ 和 ϕ 角度,完成待测大口径平面光学元件(5)调平;

3)所述的计算机(8)控制所述的XYZ精密位移平台(4),带动所述的瞬态干涉测量系统(1)沿Y方向移动,直至所述的瞬态干涉测量系统(1)聚焦到待测大口径平面光学元件(5)待测平面,所述的偏振相机(22)视场中出现清晰的图像;所述的计算机(8)控制所述的俯仰偏摆姿态调节机构(2),使其依次调节瞬态干涉测量系统(1)的俯仰和偏摆角度,并配合XYZ精密位移平台(4)沿Y方向精密移动,直至所述的偏振相机(22)视场中出现水平干涉条纹图像;

4)所述的计算机(8)根据待测大口径平面光学元件(5)的长度L和宽度W,瞬态干涉测量系统(1)单次测量视场的长度s和宽度w,X方向和Z方向子孔径重叠量分别为h和v;按下列公式计算扫描的列数M和行数N:

$$M = \text{INT}[L/(s-h)] + 1, N = \text{INT}[W/(w-v)] + 1, \text{INT为向下取整函数};$$

5)所述的计算机(8)控制XYZ精密位移平台(4)将所述的瞬态干涉测量系统(1)移动到大口径平面光学元件(5)起始位置(X_0, Z_0),沿X方向对元件表面进行扫描测量,所述的瞬态干涉测量系统(1)将该子孔径数据输入所述的计算机(8);单个子孔径视场测量完成后,瞬态干涉测量系统(1)沿X向移动距离s-h,测量下一个子孔径区域,完成第一行扫描后,瞬态干涉测量系统(1)沿Z方向移动w-v距离,开始第二行扫描;

6)重复步骤5)中扫描过程,直至完成待测大口径平面光学元件(5)整个表面扫描;

7)所述的计算机(8)将瞬态干涉测量系统(1)传输到计算机(8)上的所有子孔径数据,按特征匹配法进行拼接,获得大口径平面光学元件(5)的全口径表面三维形貌分布,通过二值化、特征提取过程获取大口径平面光学元件表面缺陷的横向尺寸,包括划痕的长度和宽度,麻点的直径;依次在每一个提取的缺陷周围选取一个矩形小区域,该矩形小区域恰好将所述的表面缺陷包含在内,计算该区域内去除缺陷区域后剩余部分的平均高度;以此高度值为基准,计算表面缺陷的纵向最大深度和平均深度;

8)所述的计算机(8)根据划痕、麻点下凹缺陷的纵向最大深度和平均深度值小于0,纤维、灰尘上凸污染物的纵向最大深度和平均深度大于0,区分表面缺陷的类型。

大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及光学元件表面缺陷检测,特别是一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌的测量装置和方法。

背景技术

[0002] 随着现代加工技术的快速发展,精密光学元件越来越广泛地应用于诸如高功率激光系统、红外夜视微光成像系统、航空镜头、半导体加工制造以及光刻设备等国防军工和民用领域。这些领域对元件表面缺陷有非常严格的技术要求。在加工、运输和使用过程中产生的划痕、麻点、开口气泡和崩边等表面缺陷随机分布在光学元件表面,对光学元件的工作性能有严重影响。如在高功率激光装置中,一方面,表面缺陷对入射光产生散射,导致激光能量损耗与光束质量降低;另一方面,表面缺陷的深度对入射激光远场光强分布产生严重调制。在一定范围内,划痕深度越大,其在远场产生的调制光强极值越大,光束横向空间分布越不均匀,导致局部光场增强,使元件本身及其下游元件遭到损伤的概率大大增加,对整个系统的正常运转与功能实现形成巨大威胁。因此,必须对元件表面缺陷进行精确检测,为元件后续的加工工艺改进提供指导建议。目前,国内外对大口径光学元件表面缺陷的检测方法主要包括目视法、显微散射暗场成像法等。目视法主要是在暗室环境中用强光手电照射元件表面,由检验员观察缺陷产生的散射光来完成缺陷横向尺寸检测。目视检测结果极易受到检验员生理或心理状态的影响,具有主观性强、分辨率低、无法精确量化和可靠性低等缺点,而且不能测量缺陷纵向深度。

[0003] 基于机器视觉的显微散射暗场成像技术(参考文献[1]Liu D,Yang Y,Wang L,et al.Microscopic scattering imaging measurement and digital evaluation system of defects for fine optical surface[J].Optics Communications,2007,278(2):240-246.)利用环形光源以一定的角度斜入射到待测元件表面,若元件表面没有缺陷,光束在表面形成镜面反射,没有光进入成像系统被CCD接收,成像面得到暗背景。反之,表面缺陷对入射光产生散射,部分散射光通过成像系统被CCD接收,在成像面得到暗背景亮像。该技术能够较好的检测划痕、麻点等表面缺陷的二维形貌,但其还不能准确区分划痕和纤维、灰尘和麻点。此外,精密光学元件表面缺陷深度通常在几十纳米到百纳米,该方法无法准确测量其深度。

[0004] 其他仪器,如光学轮廓仪、原子力显微镜和隧道扫描显微镜(参考文献[2]Gomez S,Hale K,Burrows J,et al.Measurements of surface defects on optical components[J].Measurement Science and Technology,1998,9(4):607-616.)等,能够对表面缺陷的横向尺寸和纵向深度实现精确测量,但测量范围比较小,需要事先借助肉眼或放大镜等辅助设备观察,并在表面缺陷区域附近做好标记,然后才能测量分析。整个过程较繁琐、耗时较长、而且容易对元件产生污染和新的损伤。因此,这类仪器一般适用于局部表面形貌分析,无法实现全口径测量,而且仪器价格昂贵。

发明内容

[0005] 为解决大口径光学元件表面缺陷三维形貌全口径测量,并有效区分划痕和纤维、麻点和灰尘等不同类型缺陷的问题,本发明提供一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置和方法。该装置对大口径光学元件表面缺陷三维形貌能实现全口径快速扫描测量,深度测量分辨率达到亚纳米量级;能够准确识别区分表面缺陷的类型,提升了测量结果的可靠性。

[0006] 为达到上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置,其特点在于,包括瞬态干涉测量系统、俯仰偏摆姿态调节机构、激光位移传感器、XYZ精密位移平台、待测的大口径平面光学元件、样品夹持装置、样品调平机构、计算机和隔振平台;

[0008] 所述的XYZ精密位移平台和样品调平机构平行地安装在所述的隔振平台上,所述的样品调平机构绕X和Z轴转动;

[0009] 所述的俯仰偏摆姿态调节机构和所述的激光位移传感器并排放置在所述的XYZ精密位移平台上,所述的俯仰偏摆姿态调节机构绕X和Z轴转动;所述的激光位移传感器发射的激光沿Y方向入射到待测的大口径平面光学元件待测平面,所述的瞬态干涉测量系统安装在所述的俯仰偏摆姿态调节机构上;

[0010] 所述的样品夹持装置位于样品调平机构上,样品夹持装置从待测大口径平面光学元件侧面夹持固定;被夹持的待测大口径平面光学元件的待测平面与XYZ精密位移平台的XZ面平行;

[0011] 所述的瞬态干涉测量系统包括低相干LED光源,沿该低相干LED光源的光束输出方向依次是第一会聚透镜、针孔光阑、第二会聚透镜、偏振片、第三会聚透镜、偏振分束器,该偏振分束器将入射光分为s偏振光和p偏振光,所述的p偏振光通过第一四分之一波片聚焦到参考镜,所述的s偏振光通过第二四分之一波片聚焦到待测的大口径平面光学元件,该待测的大口径平面光学元件的反射光和所述的参考镜的反射光分别经所述的第二四分之一波片、第一四分之一波片并在所述的偏振分束器重合,在该重合光束方向依次是第四会聚透镜、第三四分之一波片和偏振相机;所述的针孔光阑位于所述的第一会聚透镜和第二会聚透镜的公共焦点位置;

[0012] 所述的计算机与所述的瞬态干涉测量系统、俯仰偏摆姿态调节机构、激光位移传感器、XYZ精密位移平台、样品调平机构相连。

[0013] 利用上述大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置进行大口径光学元件表面缺陷三维形貌的检测方法,其特点在于该方法包括下列步骤:

[0014] 1) 将待测大口径平面光学元件用样品夹持装置夹持固定后,置于所述的样品调平机构上,使所述的待测大口径平面光学元件的待测平面与坐标的XZ平面基本平行,所述的计算机控制所述的XYZ精密位移平台,带动所述的激光位移传感器分别沿Z和X方向依次移动到位于待测大口径平面光学元件待测表面两直角边缘的A、B、C三点,其中A和B的X坐标一致,B和C的Z坐标一致,所述的激光位移传感器依次测量A、B、C三点的距离,分别记为 Y_A 、 Y_B 和 Y_C ,作为Y坐标,三个测量点的X和Z坐标由XYZ精密位移平台输入所述的计算机,分别为A(X_A , Z_A)、B(X_B , Z_B)和C(X_C , Z_C),其中 $X_A = X_B$, $Z_B = Z_C$;

[0015] 2) 所述的计算机根据所述的A、B、C三点坐标按下列公式计算待测大口径平面光学

元件的俯仰和偏摆角度分别为 θ 和 ϕ ：

$$[0016] \quad \theta = \arctan \left(\frac{|Y_B - Y_A|}{|Z_B - Z_A|} \right)$$

$$[0017] \quad \phi = \arctan \left(\frac{|Y_C - Y_B|}{|X_C - X_B|} \right)$$

[0018] 所述的计算机控制所述的样品调平机构,将待测大口径平面光学元件的俯仰和偏摆姿态向相反方向分别调节 θ 和 ϕ 角度,完成待测大口径平面光学元件调平;

[0019] 3) 所述的计算机控制所述的XYZ精密位移平台,带动瞬态干涉测量系统沿Y方向移动,直至所述的瞬态干涉测量系统聚焦到待测大口径平面光学元件待测平面,所述的偏振相机视场中出现清晰的图像;所述的计算机控制所述的俯仰偏摆姿态调节机构,使其依次调节瞬态干涉测量系统的俯仰和偏摆角度,并配合XYZ精密位移平台沿Y方向精密移动,直至偏振相机视场中出现水平干涉条纹图像;

[0020] 4) 所述的计算机根据待测大口径平面光学元件的长度L和宽度W,瞬态干涉测量系统单次测量视场的长度s和宽度w,X方向和Z方向子孔径重叠量分别为h和v;按下列公式计算扫描的列数M和行数N:

$$[0021] \quad M = \text{INT}[L/(s-h)] + 1, N = \text{INT}[W/(w-v)] + 1, \text{INT为向下取整函数};$$

[0022] 5) 所述的计算机控制XYZ精密位移平台将所述的瞬态干涉测量系统移动到大口径平面光学元件起始位置(X0,Z0),沿X方向对元件表面进行扫描测量,所述的瞬态干涉测量系统将该子孔径数据输入所述的计算机:单个子孔径视场测量完成后,瞬态干涉测量系统沿X向移动距离s-h,测量下一个子孔径区域,完成第一行扫描后,瞬态干涉测量系统沿Z方向移动w-v距离,开始第二行扫描;

[0023] 6) 重复步骤5)中扫描过程,直至完成待测大口径平面光学元件整个表面扫描;

[0024] 7) 所述的计算机将瞬态干涉测量系统传输到计算机上的所有子孔径数据,按特征匹配法进行拼接,获得大口径平面光学元件的全口径表面三维形貌分布,通过二值化、特征提取过程获取大口径平面光学元件表面缺陷的横向尺寸,包括划痕的长度和宽度,麻点的直径;依次在每一个提取的缺陷周围选取一个矩形小区域,该矩形小区域恰好将所述的表面缺陷包含在内,计算该区域内去除缺陷区域后剩余部分的平均高度;以此高度值为基准,计算表面缺陷的纵向最大深度和平均深度;

[0025] 8) 所述的计算机根据划痕、麻点等下凹缺陷的纵向最大深度和平均深度值小于0,纤维、灰尘等上凸污染物的纵向最大深度和平均深度大于0,区分表面缺陷的类型。

[0026] 本发明的优点如下:

[0027] 与现有的光学元件表面缺陷测量装置和方法相比,本发明测量装置和测量方法主要具有以下优点:

[0028] 1、本发明能实现大口径光学元件表面缺陷三维形貌全口径准确测量。利用瞬态干涉技术实现表面缺陷的纵向深度精确测量,分辨率可达到亚纳米量级。克服了显微散射暗场成像技术不能测量表面缺陷深度的问题。利用激光位移传感器、XYZ精密位移平台、样品调平机构实现大口径光学元件精确调平,瞬态干涉测量系统由XYZ精密位移平台带动,按预设路径实现全口径扫描,实现对表面缺陷的全貌测量分析。解决了光学轮廓仪、原子力显微

镜等仪器只能对表面缺陷局部区域的三维形貌进行测量的问题。

[0029] 2、提高测量效率。本发明采用的技术方案无需事先对元件表面观察和标记，瞬态干涉测量系统单个视场测量时间短，配合XYZ精密位移平台的准确、快速移动，极大地缩短了大口径光学元件的测量时间。克服了光学轮廓仪、原子力显微镜等仪器对元件表面缺陷测量分析过程繁琐、耗时耗力问题。

[0030] 3、能够准确区分不同类型表面缺陷，提高测量结果可靠性。本发明利用瞬态干涉测量系统测量划痕、麻点等下凹缺陷的深度值小于0，纤维、麻点等上凸污染物的深度值大于0，根据所测缺陷深度值的正负即可判别表面缺陷的类型，解决了应用于大口径光学元件表面缺陷检测的显微散射暗场成像技术不能准确区分划痕和纤维、麻点和灰尘的问题。

附图说明

[0031] 图1是本发明大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置的结构示意图。

[0032] 图2是本发明瞬态干涉测量系统的结构示意图。

[0033] 图3是本发明大口径平面光学元件调平时在其表面选取测量点的示意图。

[0034] 图4是本发明采用的大口径平面光学元件全口径扫描路径示意图。

[0035] 图5是本发明区分不同类型缺陷的原理示意图。

[0036] 图中：1-瞬态干涉测量系统；2-俯仰偏摆姿态调节机构；3-激光位移传感器；4-XYZ精密位移平台；5-大口径平面光学元件；6-样品夹持装置；7-样品调平机构；8-计算机；9-隔振平台；10-低相干LED光源；11-第一会聚透镜；12-针孔光阑；13-第二会聚透镜；14-偏振片；15-第三会聚透镜；16-偏振分束器；17-第一四分之一波片；18-参考镜；19-第二四分之一波片；20-第四会聚透镜；21-第三四分之一波片；22-偏振相机；23-凸起缺陷；24-下凹缺陷。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图和具体实施例对本发明进行做进一步详细阐述，但不应以此限制本发明的保护范围。

[0038] 一种大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置，如图1所示，该装置主要包括瞬态干涉测量系统1、俯仰偏摆姿态调节机构2、激光位移传感器3、XYZ精密位移平台4、大口径平面光学元件5、样品夹持装置6、样品调平机构7、计算机8和隔振平台9。

[0039] 所述的XYZ精密位移平台4和样品调平机构7平行地安装在所述的隔振平台9上，所述的样品调平机构7绕X和Z轴转动；

[0040] 所述的俯仰偏摆姿态调节机构2和所述的激光位移传感器3并排放置在XYZ精密位移平台4上，所述的俯仰偏摆姿态调节机构2绕X和Z轴转动；所述的激光位移传感器3发射的激光沿Y方向入射到待测的大口径平面光学元件5的待测平面，所述的瞬态干涉测量系统1安装在所述的俯仰偏摆姿态调节机构2上；

[0041] 所述的样品夹持装置6位于样品调平机构7上，样品夹持装置6从待测大口径平面光学元件5侧面夹持固定；被夹持的待测大口径平面光学元件5的待测平面与XYZ精密位移平台4的XZ面平行；

[0042] 如图2所示，所述的瞬态干涉测量系统1主要包括低相干LED光源10、第一会聚透镜

11、针孔光阑12、第二会聚透镜13、偏振片14、第三会聚透镜15、偏振分束器16、第一四分之一波片17、参考镜18、第二四分之一波片19、第四会聚透镜20、第三四分之一波片21和偏振相机22。低相干LED光源10发出的光束经过第一会聚透镜11后聚焦到针孔光阑12处,针孔光阑12将会聚光斑周围杂散光滤除。第二会聚透镜13前焦点位置与针孔光阑12位置重合,光束经过第二会聚透镜13后成为准直光。偏振片14用于调节准直光的偏振态。准直光经过第三会聚透镜15后,被偏振分束器16分成s偏振光和p偏振光,s偏振光通过第二四分之一波片19聚焦到大口径平面光学元件5的待测表面,p偏振光通过第一四分之一波片17聚焦到参考镜18。经大口径平面光学元件5的反射光和参考镜18的反射光分别通过第二四分之一波片19、第一四分之一波片17并在偏振分束器16重合,在该重合光束方向依次是第四会聚透镜20。第四会聚透镜20将两束光聚焦后,经第三四分之一波片21入射到偏振相机22。

[0043] 利用上述大口径光学元件表面缺陷三维形貌测量装置进行大口径光学元件表面缺陷三维形貌的测量方法,该方法主要包括以下步骤:

[0044] 1) 大口径平面光学元件5被样品夹持装置6夹持固定后,置于所述的样品调平机构7上,使所述的大口径平面光学元件5的待测平面与坐标XZ平面基本平行。所述的计算机8控制XYZ精密位移平台4,带动所述的激光位移传感器3分别沿Z和X方向依次移动到图3所示的位于大口径平面光学元件5待测表面两直角边缘的A、B、C三点处,其中A和B的X坐标一致,B和C的Z坐标一致,激光位移传感器3依次测量A、B、C三点与其距离,分别记为 Y_A 、 Y_B 和 Y_C ,作为Y坐标,三个测量点的X和Z坐标由XYZ精密位移平台4提供,分别为A(X_A, Z_A)、B(X_B, Z_B)和C(X_C, Z_C),其中 $X_A = X_B, Z_B = Z_C$;

[0045] 2) 根据所述的A、B、C三点坐标按下列公式计算大口径平面光学元件5的俯仰和偏摆角度分别为 θ 和 ϕ :

$$[0046] \quad \theta = \arctan \left(\frac{|Y_B - Y_A|}{|Z_B - Z_A|} \right)$$

$$[0047] \quad \phi = \arctan \left(\frac{|Y_C - Y_B|}{|X_C - X_B|} \right)$$

[0048] 所述的计算机8控制所述的样品调平机构7,将大口径平面光学元件5的俯仰和偏摆姿态向相反方向分别调节 θ 和 ϕ 角度,完成大口径平面光学元件5调平;

[0049] 3) 所述的计算机8控制XYZ精密位移平台4,带动瞬态干涉测量系统1沿Y方向移动,直至所述的瞬态干涉测量系统1聚焦到大口径平面光学元件5表面,所述的偏振相机22视场中出现清晰的图像;所述的计算机8控制所述的俯仰偏摆姿态调节机构7,使其依次调节瞬态干涉测量系统1的俯仰和偏摆角度,并配合XYZ精密位移平台4沿Y方向精密移动,直至偏振相机22视场中出现水平干涉条纹图像;

[0050] 4) 如图4所示,计算机8根据大口径平面光学元件5的长度L和宽度W,瞬态干涉测量系统1单次测量视场的长度s和宽度w,X方向和Z方向子孔径重叠量分别为h和v;按下列公式计算扫描的列数M和行数N:

$$[0051] \quad M = \text{INT}[L/(s-h)] + 1, N = \text{INT}[W/(w-v)] + 1, \text{INT为向下取整函数};$$

[0052] 5) 计算机8控制XYZ精密位移平台4将所述的瞬态干涉测量系统1移动到大口径平面光学元件5起始位置(X_0, Z_0),按图4所示的扫描路径对大口径平面光学元件5表面进行测

量,沿X方向对元件表面进行扫描,瞬态干涉测量系统1将该子孔径数据输入计算机8:单个子孔径视场测量完成后,瞬态干涉测量系统1沿X向移动距离s-h,测量下一个子孔径区域,完成第一行扫描后,瞬态干涉测量系统1沿Z方向移动w-v距离,开始第二行扫描;

[0053] 6) 重复步骤5) 中扫描过程,直至完成大口径平面光学元件5整个表面扫描;

[0054] 7) 计算机8将瞬态干涉测量系统1传输到计算机8上的所有子孔径数据,按特征匹配法进行拼接,获得大口径平面光学元件5的全口径表面三维形貌分布,通过二值化、特征提取过程获取大口径平面光学元件表面缺陷的横向尺寸,包括划痕的长度和宽度,麻点的直径;依次在每一个提取的缺陷周围选取一个矩形小区域,该区域恰好将表面缺陷包含在内,计算该区域内去除缺陷区域后剩余部分的平均高度;以此高度值为基准,计算表面缺陷的纵向最大深度和平均深度;

[0055] 8) 如图5所示,计算机8根据划痕、麻点等下凹缺陷的纵向深度 $d < 0$,纤维、灰尘等上凸污染物的纵向深度 $d > 0$,区分表面缺陷的类型。

[0056] 实验表明,本发明对大口径光学元件表面缺陷三维形貌能实现全口径快速扫描测量,深度测量分辨率达到亚纳米量级;能够准确识别区分表面缺陷的类型,提升了测量结果的可靠性。

[0057] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

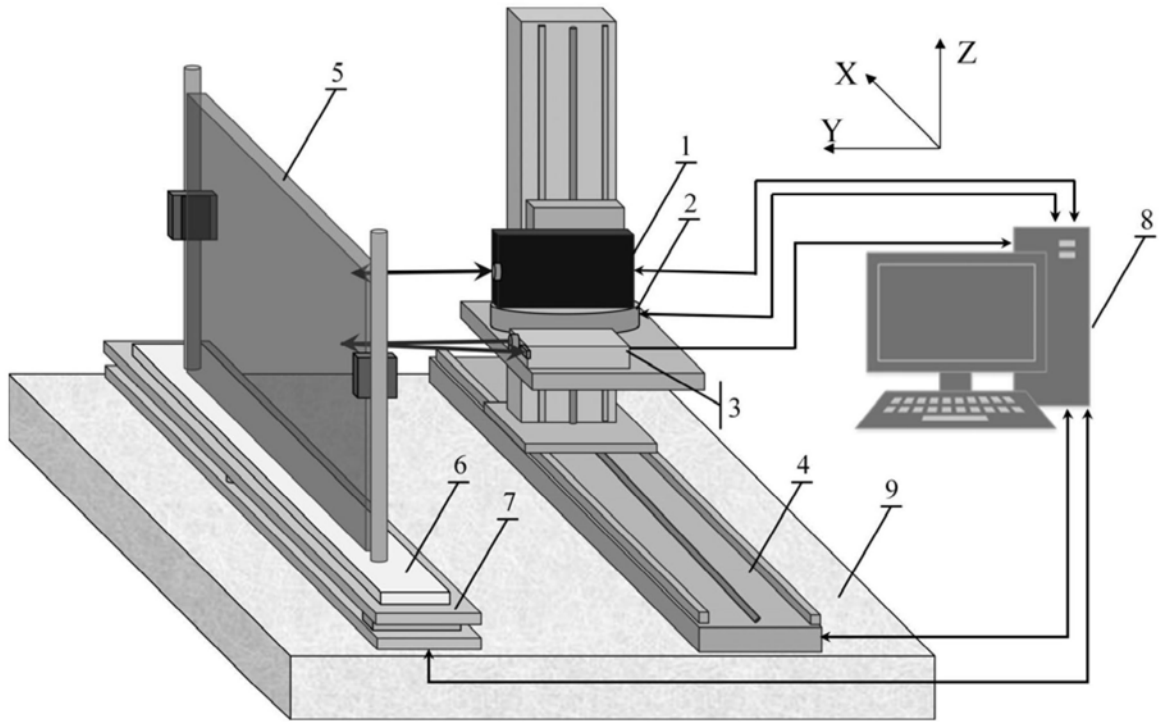


图1

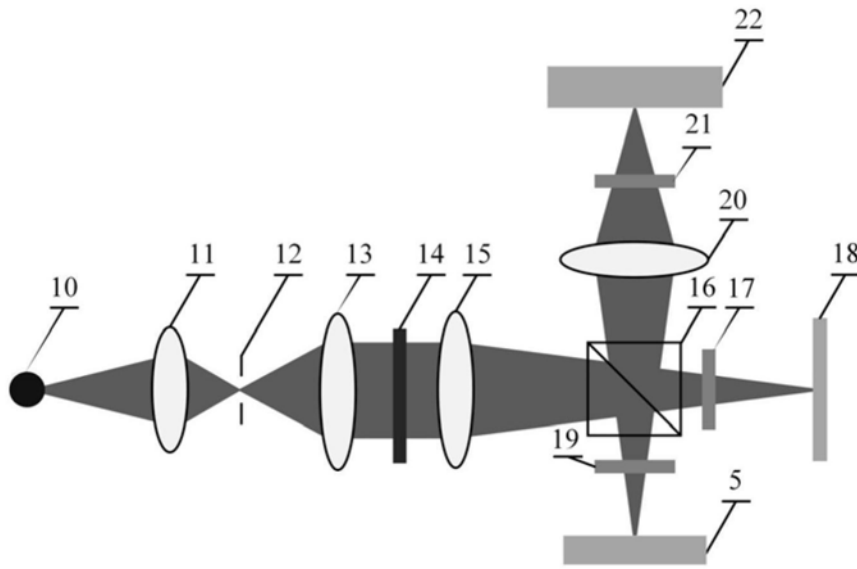


图2

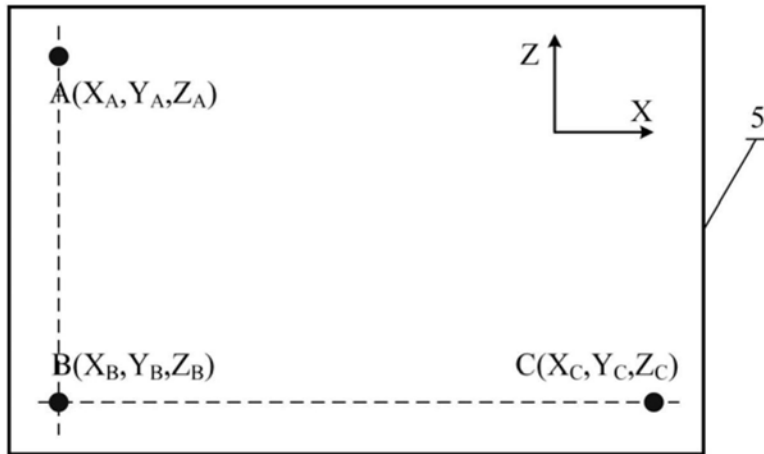


图3

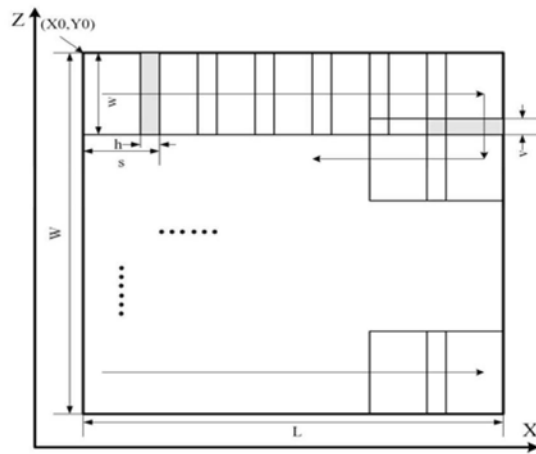


图4

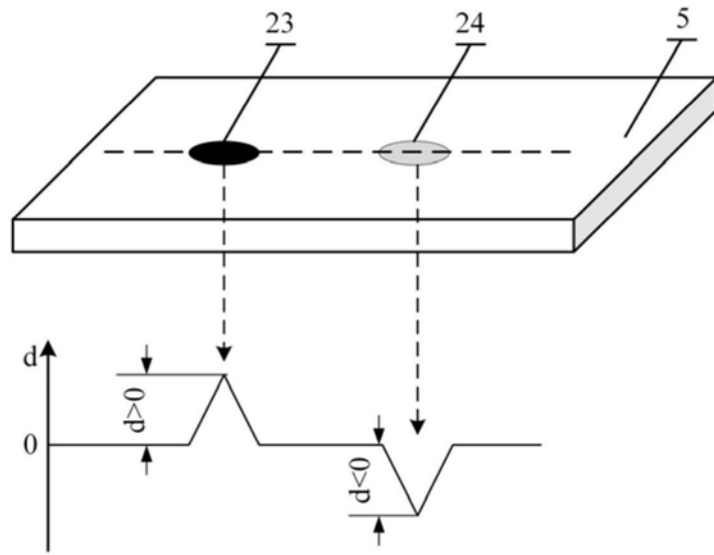


图5