

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102175143 B

(45) 授权公告日 2012. 11. 28

(21) 申请号 201110041536. 4

CN 101634747 A, 2010. 01. 27, 全文.

(22) 申请日 2011. 02. 21

CN 1312480 A, 2001. 09. 12, 全文.

US 6445453 B2, 2002. 09. 03, 全文.

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

审查员 杨叁

(72) 发明人 刘俭 谭久彬 唐建波 李镁钰

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 牟永林

(51) Int. Cl.

G01B 9/04 (2006. 01)

G01B 11/24 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5804813 A, 1998. 09. 08, 全文.

CN 1609590 A, 2005. 04. 27, 全文.

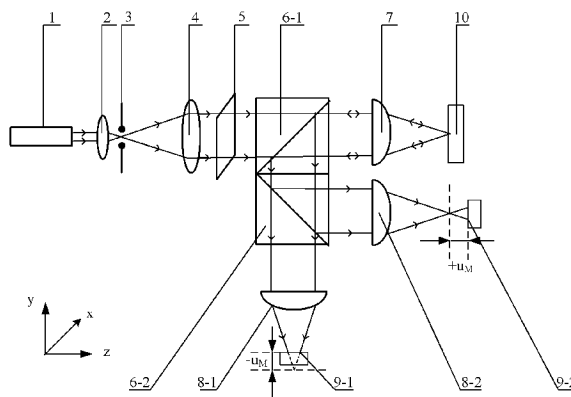
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置

(57) 摘要

基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,属于微观测量技术领域。它解决了差动共焦检测技术在进行三维测量时,测量效率低的问题。激光器产生的激光束通过聚焦透镜汇聚于针孔,经滤波后经过准直扩束透镜扩束再经矩形光阑入射至第一分光镜,第一分光镜的透射光束入射至探测聚焦柱透镜,在探测聚焦柱透镜的像方焦平面上形成线聚集;由被测样本反射后的光束经过探测聚焦柱透镜透射后,经第一分光镜的光束入射至第二分光镜,第二分光镜的透射光束经过第一收集柱透镜后线聚焦至第一线阵点探测器的光敏面上;第二分光镜的反射光束经过第二收集柱透镜后线聚焦至第二线阵点探测器的光敏面上。本发明适用于差动共焦检测。



1. 一种基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,它包括在同轴光路上依次设置的激光器(1)、聚焦透镜(2)、针孔(3)和准直扩束透镜(4),其特征在于:所述基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置还包括矩形光阑(5)、第一分光镜(6-1)、第二分光镜(6-2)、探测聚焦柱透镜(7)、第一收集柱透镜(8-1)、第二收集柱透镜(8-2)、第一线阵点探测器(9-1)和第二线阵点探测器(9-2),

激光器(1)产生的激光束通过聚焦透镜(2)汇聚于针孔(3),经针孔(3)滤波后的点光源经过准直扩束透镜(4)扩束后,再经矩形光阑(5)入射至第一分光镜(6-1),

经第一分光镜(6-1)透射后的透射光束入射至探测聚焦柱透镜(7),并在探测聚焦柱透镜(7)的像方焦平面上形成线聚集,用于对设置于探测聚焦柱透镜(7)的像方焦平面上的被测样本(10)进行线照明;

由被测样本(10)反射后的光束经过探测聚焦柱透镜(7)透射后,再经第一分光镜(6-1)反射的光束入射至第二分光镜(6-2),

第二分光镜(6-2)的透射光束经过第一收集柱透镜(8-1)后线聚焦至第一线阵点探测器(9-1)的光敏面上,第一线阵点探测器(9-1)设置于第一收集柱透镜(8-1)的焦前位置;

第二分光镜(6-2)的反射光束经过第二收集柱透镜(8-2)后线聚焦至第二线阵点探测器(9-2)的光敏面上,第二线阵点探测器(9-2)设置于第二收集柱透镜(8-2)的焦后位置;

第一线阵点探测器(9-1)和第二线阵点探测器(9-2)的离焦量相等。

2. 根据权利要求1所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述针孔(3)设置在聚焦透镜(2)的像方焦点处。

3. 根据权利要求1或2所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述聚焦透镜(2)的像方焦点与准直扩束透镜(4)的物方焦点重合。

4. 根据权利要求1所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述矩形光阑(5)的对角线长度小于经准直扩束透镜(4)扩束后的光束的光斑直径,大于经准直扩束透镜(4)扩束后的光束的光斑半径。

5. 根据权利要求1所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述探测聚焦柱透镜(7)为平凸柱透镜。

6. 根据权利要求1所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:第一收集柱透镜(8-1)和第二收集柱透镜(8-2)为技术参数相同的平凸柱透镜。

7. 根据权利要求1所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述第一线阵点探测器(9-1)和第二线阵点探测器(9-2)的技术参数相同。

8. 根据权利要求1或7所述的基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,其特征在于:所述第一线阵点探测器(9-1)和第二线阵点探测器(9-2)均为由一组单模光纤构成的线阵光强点探测端及对应的光电接收器构成。

基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置,属于微观测量技术领域。

背景技术

[0002] 共焦显微成像技术的基本思想是通过引入针孔探测器抑制杂散光,并产生轴向层析能力,该技术通过逐点的对样品的 X-Y 面进行二维扫描测量,获得当前 X-Y 面的图像,再对样品进行 Z 向(轴向)扫描,并对下一 X-Y 面进行逐点二维扫描,以此类推,通过将获得的二维图像进行“堆叠”处理,得到样品的三维重构图像。由于这种测量方法十分耗时,为提高共焦检测技术的测量效率,人们在此基础上提出了用狭缝探测代替点探测进行共焦测量的方法。用狭缝探测进行共焦测量的方法大大提高了样品 X-Y 面的扫描检测速度,但由于该方法的前端光路采用的是圆对称光路,使得在狭缝探测器接收端的光强分布不均匀,中心光强明显高于狭缝边缘处的光强,从而导致了最终的测量误差。

[0003] 2002 年 6 月,吴开杰、李刚等在《基于线扫描方式的激光共焦显微镜的研究》(吴开杰、李刚、虞启琏、金霞,仪器仪表学报,第 23 卷第 3 期增刊)中,提出了用柱透镜代替圆透镜的共焦检测技术,该方法使探测器接收端的光强分布更加均匀,并且显著提高了横向量程范围,提高了共焦检测技术的测量效率。但该方法采用的顶点层析方式,使系统轴向分辨力低,并且三维测量效率低下。

[0004] 差动共焦检测技术将差动检测引入了共焦显微检测技术中,它采用两路差动探测信号对传统的共焦光路进行改进。相对于传统共焦检测技术,差动共焦检测技术具有独特的零点跟踪特性,具有高轴向分辨力和二倍于传统共焦的轴向响应线性区间。当采用零点层析测量方法时,差动共焦检测技术提供大大高于传统共焦顶点层析测量方法的轴向分辨力;当采用轴向响应线性区间测量方法时,差动共焦检测技术提供二倍于传统共焦的轴向量程和远远高于传统共焦的轴向分辨力,此外当样品轴向尺寸小于轴向响应线性区间大小时,通过一次横向扫描即可获得样品的三维表面信息。因此,差动共焦轴向响应线性区间测量方法能够测量的样品轴向尺寸可达到传统共焦线性区间测量方法的两倍,轴向分辨力也得到了显著提高,并且相对于零点层析方法具有较高的测量效率。但采用差动共焦检测技术进行三维测量时,仍需要对样品的 X-Y 面进行逐点扫描,测量效率仍然低下。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决差动共焦检测技术在进行三维测量时,测量效率低的问题,提供一种基于柱透镜光路的线扫描差动共焦测量装置。

[0006] 本发明包括在同轴光路上依次设置的激光器、聚焦透镜、针孔和准直扩束透镜,它还包括矩形光阑、第一分光镜、第二分光镜、探测聚焦柱透镜、第一收集柱透镜、第二收集柱透镜、第一线阵点探测器和第二线阵点探测器,

[0007] 激光器产生的激光束通过聚焦透镜汇聚于针孔,经针孔滤波后的点光源经过准直

扩束透镜扩束后,再经矩形光阑入射至第一分光镜,

[0008] 经第一分光镜透射后的透射光束入射至探测聚焦柱透镜,并在探测聚焦柱透镜的像方焦平面上形成线聚集,用于对设置于探测聚焦柱透镜的像方焦平面上的被测样本进行线照明;

[0009] 由被测样本反射后的光束经过探测聚焦柱透镜透射后,再经第一分光镜反射的光束入射至第二分光镜,

[0010] 第二分光镜的透射光束经过第一收集柱透镜后线聚焦至第一线阵点探测器的光敏面上,第一线阵点探测器设置于第一收集柱透镜的焦前位置;

[0011] 第二分光镜的反射光束经过第二收集柱透镜后线聚焦至第二线阵点探测器的光敏面上,第二线阵点探测器设置于第二收集柱透镜的焦后位置;

[0012] 第一线阵点探测器和第二线阵点探测器的离焦量相等。

[0013] 本发明的优点是:

[0014] 一:本发明采用柱透镜对差动共焦测量光路进行一维扩展实现了线扫描,同时利用差动共焦轴向响应特性曲线线性区间测量方法具有大轴向量程、高轴向分辨力的特点,将柱透镜引入差动共焦系统后的柱透镜差动共焦检测技术既具有大轴向量程、高轴向分辨力的优点,又可通过一次Y向(或X向)扫描即可实现对被测样品的测量,形成对大尺寸微结构元件的快速测量能力;

[0015] 二:本发明采用准直扩束透镜将激光束的直径扩大,实现了对被测样本表面照明范围的扩展;准直扩束透镜的出射光在被分光前使用矩形光阑遮挡掉光束的边缘部分,使最终经过探测聚焦柱透镜后,对被测样本进行照明的光束强度分布更加均匀,更利于基于柱透镜光路线扫描的共焦检测轴向测量,降低了因测量光强分布不均匀导致的测量误差;

[0016] 三:采用线阵点探测器使基于柱透镜光路的线扫描差动共焦检测技术具有三维分辨能力;线阵点探测器可以实现对探测面线聚焦光束的对应点探测,从而使柱透镜没有光焦度方向的分辨能力,通过将探测到的各点信号进行重构即可得到被测样品的三维表面信息,实现了柱透镜差动共焦测量系统的三维测量;此外相较于线阵 CCD 探测器,采用线阵点探测器可以实现对微弱信号的探测,进而提高测量精度。

[0017] 本发明通过对被测样本进行一维扫描运动即可获得其三维形貌,大大提高了测量效率;可用于大尺寸微结构光学元件、微结构机械元件、集成电路元件中三维微细结构的检测,并达到高精度、非接触及三维快速检测的目的。

附图说明

[0018] 图1为本发明的结构示意图;图中 $-u_M$ 表示离焦量。

[0019] 图2为所述线阵点探测器的结构示意图;

[0020] 图3为图1中被测样本的左视图,箭头y表示被测样本的移动方向;

[0021] 图4为本发明装置的等效光路图;

[0022] 图5为经过矩形光阑的理想平面波入射至探测聚焦柱透镜的衍射光斑示意图;

[0023] 图6为本发明的柱透镜共焦与传统圆透镜共焦的横向响应特性对比曲线图;

[0024] 图7为本发明的柱透镜共焦与传统圆透镜共焦的轴向响应特性对比曲线图;

[0025] 图8为本发明装置的轴向差动响应特性曲线图。

具体实施方式

[0026] 具体实施方式一：下面结合图 1 至图 3 说明本实施方式，

[0027] 本实施方式包括在同轴光路上依次设置的激光器 1、聚焦透镜 2、针孔 3 和准直扩束透镜 4，它还包括矩形光阑 5、第一分光镜 6-1、第二分光镜 6-2、探测聚焦柱透镜 7、第一收集柱透镜 8-1、第二收集柱透镜 8-2、第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2，

[0028] 激光器 1 产生的激光束通过聚焦透镜 2 汇聚于针孔 3，经针孔 3 滤波后的点光源经过准直扩束透镜 4 扩束后，再经矩形光阑 5 入射至第一分光镜 6-1，

[0029] 经第一分光镜 6-1 透射后的透射光束入射至探测聚焦柱透镜 7，并在探测聚焦柱透镜 7 的像方焦平面上形成线聚集，用于对设置于探测聚焦柱透镜 7 的像方焦平面上的被测样本 10 进行线照明；

[0030] 由被测样本 10 反射后的光束经过探测聚焦柱透镜 7 透射后，再经第一分光镜 6-1 反射的光束入射至第二分光镜 6-2，

[0031] 第二分光镜 6-2 的透射光束经过第一收集柱透镜 8-1 后线聚焦至第一线阵点探测器 9-1 的光敏面上，第一线阵点探测器 9-1 设置于第一收集柱透镜 8-1 的焦前位置；

[0032] 第二分光镜 6-2 的反射光束经过第二收集柱透镜 8-2 后线聚焦至第二线阵点探测器 9-2 的光敏面上，第二线阵点探测器 9-2 设置于第二收集柱透镜 8-2 的焦后位置；

[0033] 第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 的离焦量相等。

[0034] 本实施方式中的矩形光阑 5、探测聚焦柱透镜 7、第一收集柱透镜 8-1、第一线阵点探测器 9-1、第二收集柱透镜 8-2 和第二线阵点探测器 9-2 构成了柱透镜线扫描差动共焦测量光路，实现了差动共焦显微测量技术的一维扩展，同时保持了差动共焦测量技术大轴向量程、高轴向分辨力的优点；其中探测聚焦柱透镜 7 位于第一分光镜 6-1 的透射光路上，并在被测样本 10 之前；第一收集柱透镜 8-1 和第一线阵点探测器 9-1 依次位于第二分光镜 6-2 的透射光路上，第二收集柱透镜 8-2 和第二线阵点探测器 9-2 依次位于第二分光镜 6-2 的反射光路上。

[0035] 本实施方式利用通过矩形光阑 5 整形后的宽光束及三个柱透镜将传统的差动共焦测量系统进行了一维扩展，在被测样本 10 的被测面形成线扫描，从而同时获得大轴向量程、高轴向分辨力和大横向量程；使用线阵点探测器接收探测面光强，从而使柱透镜没有光焦度方向的分辨能力，实现对被测样本 10 被测面的三维成像。采用柱透镜差动共焦轴向响应曲线线性区测量方法，对被测样本 10 进行一次 Y 向或 X 向带状扫描，即可获得被测样本 10 对应区域表面的三维信息，具有连续点并行扫描能力，并兼有差动共焦测量技术所具有的高精度、大量程特点，可以实现对被测样品的快速扫描测量。

[0036] 具体实施方式二：下面结合图 1 说明本实施方式，

[0037] 本实施方式为对实施方式一的进一步说明，所述针孔 3 设置在聚焦透镜 2 的像方焦点处。其它与实施方式一相同。

[0038] 具体实施方式三：下面结合图 1 说明本实施方式，

[0039] 本实施方式为对实施方式一或二的进一步说明，所述聚焦透镜 2 的像方焦点与准直扩束透镜 4 的物方焦点重合。其它与实施方式一或二相同。

[0040] 具体实施方式四：下面结合图 1 说明本实施方式，

[0041] 本实施方式为对实施方式一的进一步说明,所述矩形光阑 5 的对角线长度小于经准直扩束透镜 4 扩束后的光束的光斑直径,大于经准直扩束透镜 4 扩束后的光束的光斑半径。其它与实施方式一相同。

[0042] 具体实施方式五:下面结合图 1 说明本实施方式,

[0043] 本实施方式为对实施方式一的进一步说明,所述探测聚焦柱透镜 7 为平凸柱透镜。其它与实施方式一相同。

[0044] 具体实施方式六:下面结合图 1 说明本实施方式,

[0045] 本实施方式为对实施方式一的进一步说明,第一收集柱透镜 8-1 和第二收集柱透镜 8-2 为技术参数相同的平凸柱透镜。其它与实施方式一相同。

[0046] 具体实施方式七:本实施方式为对实施方式一的进一步说明,所述第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 的技术参数相同。其它与实施方式一相同。

[0047] 具体实施方式八:下面结合图 2 至图 8 说明本实施方式,

[0048] 本实施方式为对实施方式一或七的进一步说明,所述第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 均为由一组单模光纤构成的线阵光强点探测端及对应的光电接收器构成。其它与实施方式一或七相同。

[0049] 所述第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 的组成分别为:一组单模光纤的一端紧密排列为一条直线,每一条单模光纤的另一端与对应的光电接收器相连接。

[0050] 本发明装置的工作过程如下:

[0051] 激光器 1 产生的激光束通过聚焦透镜 2 汇聚于聚焦透镜 2 的像方焦点上,位于聚焦透镜 2 像方焦点处的针孔 3 对光束进行整形,使形成近似理想点光源。

[0052] 准直扩束透镜 4 的物方焦点与聚焦透镜 2 的像方焦点重合,经针孔 3 滤波后的点光源经过准直扩束透镜 4 后形成近似理想平面波,经矩形光阑 5 遮挡掉光束的边缘部分后获得光强分布更加均匀的矩形平面波。

[0053] 经矩形光阑 5 获得的光强分布更加均匀的近似理想平面波经过第一分光镜 6-1 透射后,经过探测聚焦柱透镜 7,在探测聚焦柱透镜 7 的像方焦平面上的被测样本 10 处形成线聚焦。

[0054] 经过被测样本 10 反射,再经过探测聚焦柱透镜 7、第一分光镜 6-1 反射、第二分光镜 6-2 透射后,由第一收集柱透镜 8-1 形成线聚焦;经过被测样本 10 反射,再经过探测聚焦柱透镜 7、第一分光镜 6-1 反射、第二分光镜 6-2 反射后,由第二收集柱透镜 8-2 形成线聚焦。

[0055] 最后对由第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 探测到的等离焦信号进行差动处理,利用差动曲线的线性区间解算出被测样品的高度;因为第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 的各点探测端具有确定的空间位置信息,因此可以得到被测样本 10 的横向坐标,从而获得被测样品的三维结构。

[0056] 本发明装置可以分为以下五部分:

[0057] 第一部分:采用准直扩束透镜 4 将其入射光束的直径扩大,可扩大到 2-3cm,它直接扩展了检测装置的横向量程,准直扩束透镜 4 的出射光在分光前使用矩形光阑 5 遮挡掉光束的边缘部分,使照明光束强度分布更加均匀,利于共焦检测轴向测量,降低了因测量光强分布不均匀导致的测量误差;

[0058] 第二部分:经过探测聚焦柱透镜 7 形成的线聚焦光斑对被测样本 10 进行线照明,使共焦测量技术由点照明变为线照明,能同时获得被测样本 10 表面线聚焦光斑区域信息;

[0059] 第三部分:第二分光镜 6-2 的透射光路上依次配置的第一收集柱透镜 8-1、第一线阵点探测器 9-1,第二分光镜 6-2 的反射光路上依次配置的第二收集柱透镜 8-2 和第二线阵点探测器 9-2,实现了利用柱透镜对差动共焦测量光路的线性扩展,因而使该测量装置具有大轴向量程、高轴向分辨力的特点,并且能同时获得被测样本 10 线聚焦光斑区域表面信息;

[0060] 第四部分:使用第一线阵点探测器 9-1 和第二线阵点探测器 9-2 作为本发明装置的探测部分。

[0061] 第五部分:采用了差动共焦轴向响应线性区间测量方法,使被测样本 10 做一维匀速扫描运动,通过本测量装置即可获得其三维表面信息,大大提高了共焦显微检测技术的测量效率,实现了快速测量。

[0062] 下面给出基于菲涅尔衍射的对本发明装置的理论分析结果,并与传统圆透镜差动共焦的横向响应特性和轴向响应特性做对比,说明本发明的可行性与优越性。

[0063] 分析过程建立在图 3 的基础上,图中 S 为点光源,透镜 L_{2i} 为准直扩束透镜 4, t_0 为成像样品的透过率函数, P_1 是 L_{1i} 和 L_{1c} 的光瞳函数,实际光路中 L_{1i} 和 L_{1c} 为同一探测聚焦柱透镜, P_2 是 L_{2c} 的光瞳函数, L_{2c} 为探测聚焦柱透镜, f_1 是 L_{1i} 和 L_{1c} 的焦距, f_2 是 L_{2c} 的焦距, D_2 为线阵点探测器。当探测器位于后离焦位置 Δz_2 时探测面上的复振幅分布 $U_{\Delta z_2}(x_i, y_i)$ 为:

$$[0064] \quad U_{\Delta z_2}(x_i, y_i) = C \cdot \iint h_1(\xi, \eta) t_0(\xi - x_s, \eta - y_s) \cdot \iint P_2(x_2, y_2) \cdot \quad ,$$

(公式一)

$$[0065] \quad \exp\left[-\frac{jk_1}{2}\left(\frac{\Delta z_1}{f_1^2} + \frac{\Delta z_2}{f_2^2}\right)x_2^2\right] \cdot \exp\left[\frac{jk}{2}\left(\frac{1}{f_2 + d_0} + \frac{1}{f_1}\right)y_2^2\right] \cdot$$

$$[0066] \quad \exp\left\{-jk\left[\left(\frac{\xi}{f_1} + \frac{x_i}{f_2}\right)x_2 + \left(\frac{\eta}{f_1} + \frac{y_i}{f_2 + d_0}\right)y_2\right]\right\} dx_2 dy_2 \cdot d\xi d\eta$$

[0067] 其中 C 为常数; Δz_1 为被测面偏移焦平面距离, (x_s, y_s) 为被测样品在被测面偏移量; k 为波数, $k = 2\pi/\lambda$; d_0 为柱透镜 L_{1c} 和 L_{2c} 之间距离; (ξ, η) 为被测面坐标, (x_2, y_2) 为柱透镜 L_{1c} 面坐标; $h_1(\xi, \eta)$ 为收集柱透镜 L_{1i} 的光瞳函数。

$$[0068] \quad h_1(\xi, \eta) = \iint P_1(x_1, y_1) \exp\left(-\frac{jk\Delta z_1}{2f_1^2}x_1^2\right) \exp\left(\frac{jk}{2f_1}y_1^2\right) \exp\left[-\frac{jk}{f_1}(x_1\xi + y_1\eta)\right] dx_1 dy_1 \quad ,$$

公式二

$$[0069] \quad \text{定义 } u = \frac{kD_1^2\Delta z_1}{2f_1^2}, \quad u \text{ 为系统的轴向无量纲位移,}$$

$$[0070] \quad v = \frac{kL_1}{f_1}\xi, \quad v \text{ 为系统的横向无量纲位移,}$$

$$[0071] \quad u_d = \frac{kD_2^2}{2f_2^2}\Delta z_2, \quad u_d \text{ 为线阵点探测器 } D_2 \text{ 的轴向无量纲离焦量,}$$

[0072] 上式中 D_1 、 L_1 分别为柱透镜 L_{1i} 和 L_{1c} 的宽度和长度, D_2 为柱透镜 L_{2c} 的宽度。

[0073] 则探测到的归一化光强为：

$$I(u+u_d, v) = |h_1(u, v)|^2 |h_2(u+u_d, v)|^2, \quad \text{公式三}$$

[0075] 其中 $h_1(u, v)$ 和 $h_2(u+u_d, v)$ 按公式四定义，

$$h(u, v) = D \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \exp(-jux^2) \exp(-jvx) dx, \quad \text{公式四}$$

[0077] 其中 D 为柱透镜宽度。

[0078] 需要说明的是，理想柱透镜的 y 方向不具有光焦度，因此柱透镜的横向归一化坐标对应其具有光焦度的 x 向实际坐标，公式三说明装置所使用的改进共焦方法与传统共焦的轴向响应特性函数 $I(u, v) = |h(u, v)|^2 |h(u+u_d, v)|^2$ 具有相同的形式，不同的是光瞳函数导致了最终结果的差异。

[0079] 引入差动检测技术后的轴向响应特性为：

$$I = I(u+u_d, v) - I(u-u_d, v), \quad \text{公式五}$$

[0081] 公式五即为所述装置的轴向响应特性函数。

[0082] 其中 $I(u-u_d, v)$ 按公式三定义。当轴向无量纲离焦量 $u_d = 25$ 时，各响应特性曲线见图 5 至图 7。

[0083] 由说明书附图 5 和图 6 可以看出，柱透镜共焦与圆透镜共焦具有相似的性质，而光瞳函数的不同使得柱透镜共焦的轴向、横向分辨率均小于圆透镜共焦，而轴向、横向量程均大于圆透镜共焦。以上结果说明柱透镜共焦的细节分辨能力弱于圆透镜共焦，而所能测量的样本微结构尺寸大于圆透镜共焦。

[0084] 由图 7 可知，本发明装置的线性区测量范围约为传统柱透镜共焦响应曲线的两倍，并且轴向测量分辨力远高于传统柱透镜共焦技术。以上结果说明本发明装置具有大量程、高轴向测量分辨力的特点。

[0085] 以上从理论上阐述了将现有共焦检测装置中的圆透镜（收集物镜和探测聚焦透镜）替换为柱透镜而构成本发明装置的可行性及优越性。

[0086] 本发明不局限于上述实施方式，还可以是上述各实施方式中所述技术特征的合理组合。

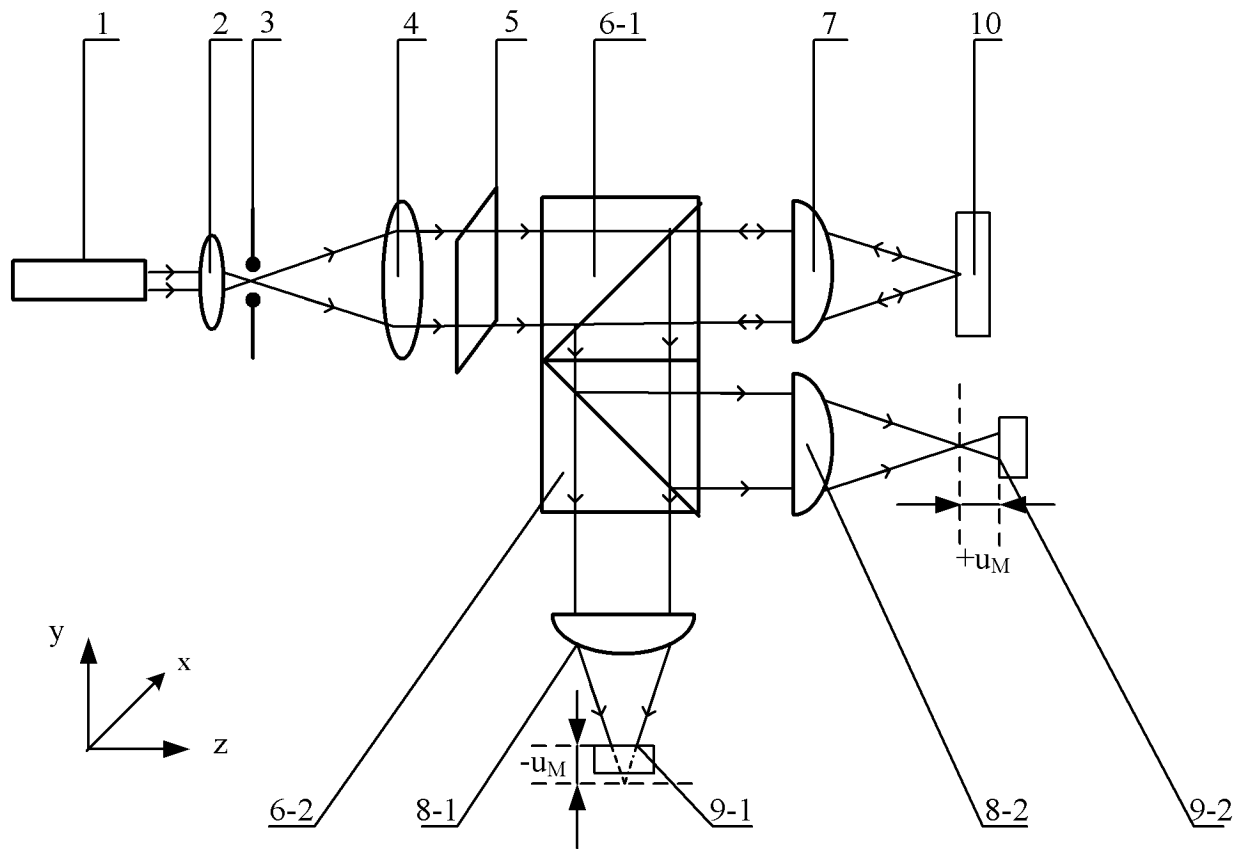


图 1

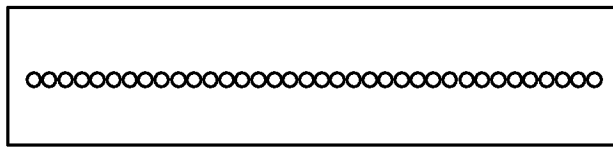


图 2

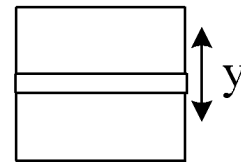


图 3

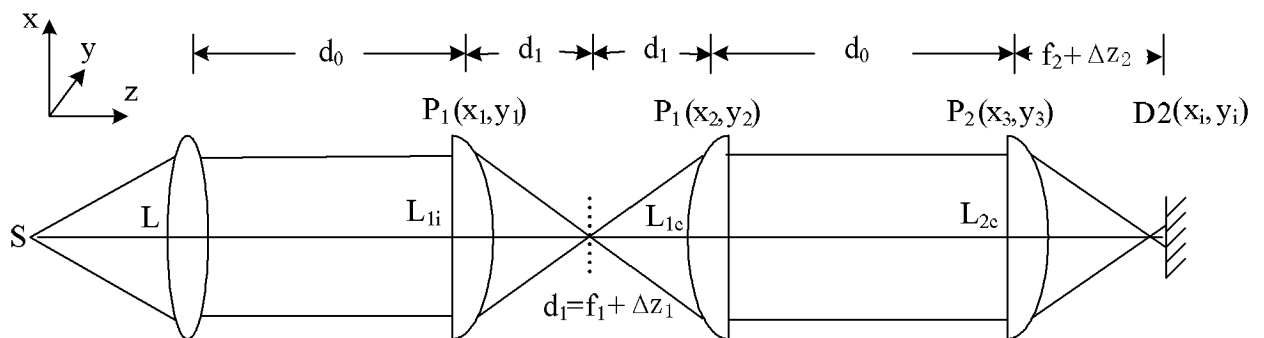


图 4

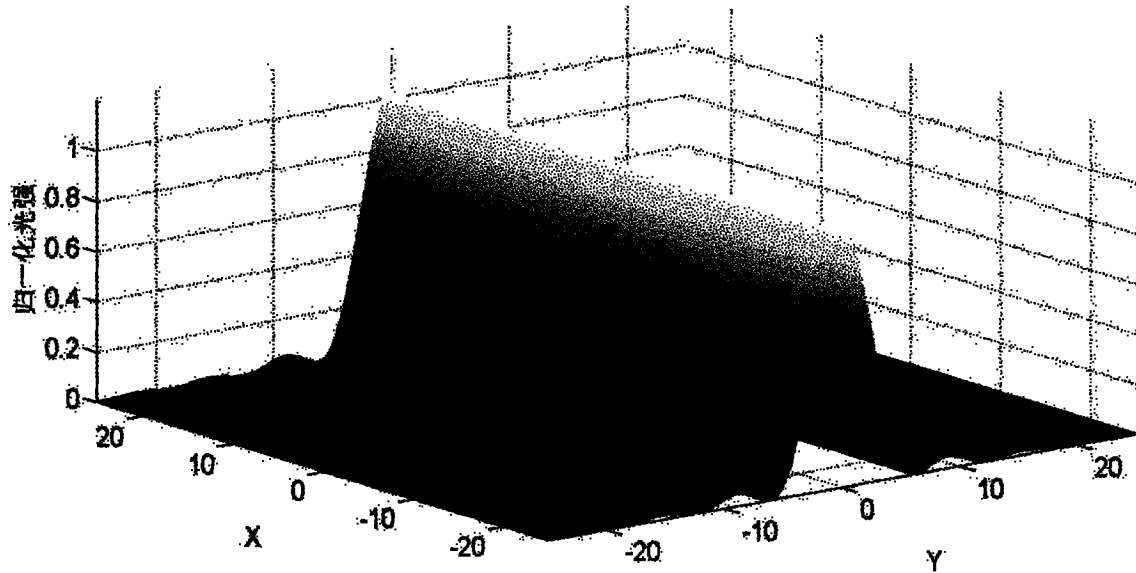


图 5

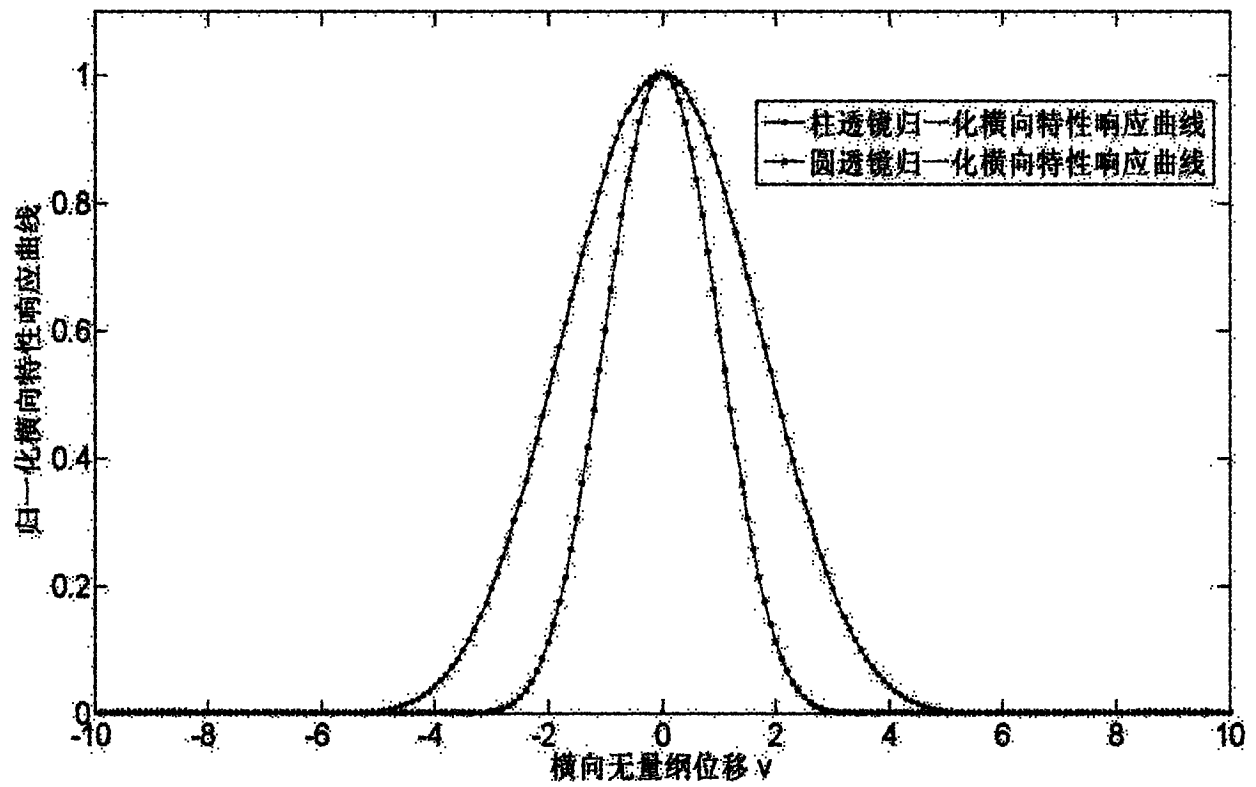


图 6

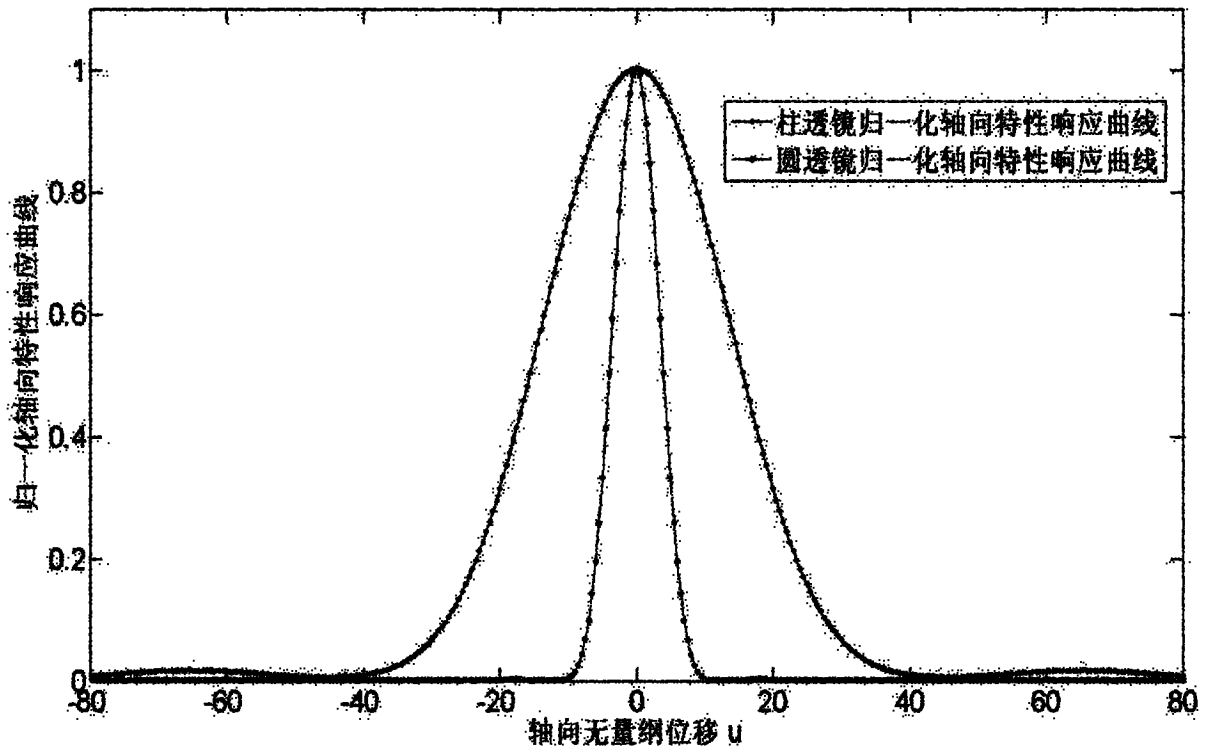


图 7

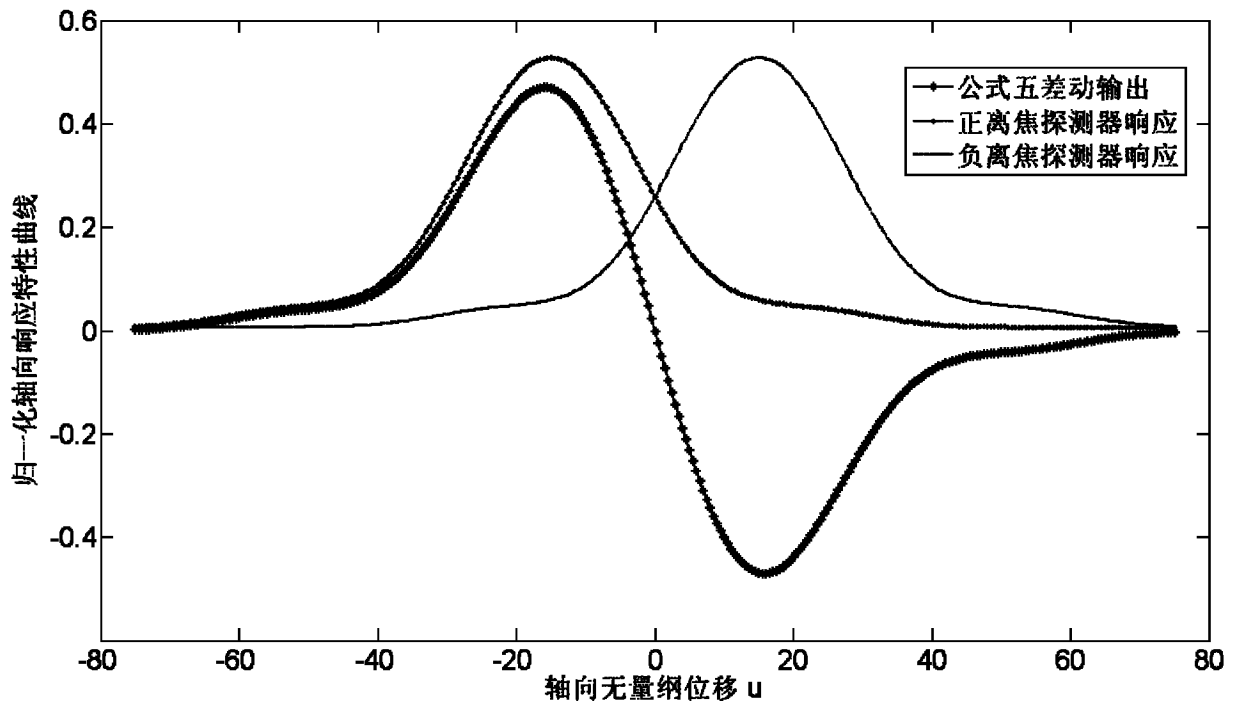


图 8