



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102037309 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 27

(21) 申请号 200980117889. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2009. 05. 19

G01B 11/00(2006. 01)

G01B 11/24(2006. 01)

(30) 优先权数据

0809037. 5 2008. 05. 19 GB

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 11. 17

(86) PCT申请的申请数据

PCT/GB2009/001260 2009. 05. 19

(87) PCT申请的公布数据

W02009/141606 EN 2009. 11. 26

(71) 申请人 瑞尼斯豪公司

地址 英国格洛斯特郡

(72) 发明人 尼古拉斯·约翰·韦斯顿

亚历山大·戴维·麦肯德里克

(74) 专利代理机构 北京金思港知识产权代理有

限公司 11349

代理人 邵毓琴

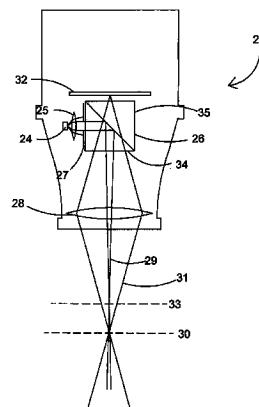
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 18 页

(54) 发明名称

光学检查探头

(57) 摘要

一种光学检查探头,该光学检查探头用于得到和提供将要检查的物体的图像。所述光学检查探头包括:成像组件,该成像组件用于捕获物体的图像;以及照明组件,该照明组件用于产生被朝向物体引导的光束。该光学检查探头被构造成使得所述光束会聚在位于第一焦平面的焦点处。



1. 一种光学检查探头,该光学检查探头包括:  
成像组件,该成像组件用于捕获物体的图像;以及  
照明组件,该照明组件用于产生被朝向所述物体引导的光束,并且该光束会聚在位于第一焦平面的焦点处。
2. 根据权利要求1所述的光学检查探头,其中,所述光束被朝向所述成像组件的物平面引导,并且其中所述光束在所述物平面处会聚于其焦点或者在与该物平面相交之前会聚于其焦点。
3. 根据权利要求1或2所述的光学检查探头,其中,所述光束的焦点基本上与所述光学检查探头的成像光学轴线重合。
4. 根据权利要求1至3中任一项所述的光学检查探头,其中,所述光束被沿着照明光学轴线从所述光学检查探头引导到所述第一焦平面,该照明光学轴线基本上与所述光学检查探头的成像光学轴线重合。
5. 根据权利要求1至4中任一项所述的光学检查探头,其中,所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头是可调节的。
6. 根据权利要求5所述的光学检查探头,其中,所述照明组件包括可动光源,使得所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头是可调节的。
7. 根据权利要求5或6所述的光学检查探头,该光学检查探头进一步包括位于所述光束的路径上的至少一个透镜,所述至少一个透镜沿着所述光束的路径是可移动的,使得所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头是可调节的。
8. 根据权利要求5至9中任一项所述的光学检查探头,该光学检查探头进一步包括自适应光学元件,该自适应光学元件位于所述光束的路径上,该自适应光学元件的光学特性是可改变的,以便改变所述光束的焦点相对于所述光学检查探头的位置。
9. 根据权利要求5至8中任一项所述的光学检查探头,其中,位于其调节好的位置的所述焦点保持基本上与所述光学检查探头的成像光学轴线重合。
10. 根据权利要求1至9中任一项所述的光学检查探头,该光学检查探头被构造成使得所述光束从其焦点发散,所述光束的发散度是可选择性地调节的。
11. 根据权利要求1至10中任一项所述的光学检查探头,该光学检查探头被构造成使得所述光束从其焦点发散,以在所述成像组件的物平面处照亮一照明区域,所述照明区域的位置是可选择性地调节的。
12. 根据权利要求1至11中任一项所述的光学检查探头,其中,所述照明组件设有至少一个光学元件,用于控制所述光束的尺寸。
13. 根据权利要求12所述的光学检查探头,其中,该光学检查探头设有至少一个光学元件,用于提供各种光束尺寸。
14. 根据权利要求13所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件是尺寸可变的光学元件。
15. 根据权利要求13或14所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件是形状可变的光学元件。
16. 根据权利要求13至15中任一项所述的光学检查探头,其中,设有至少两个可互换的光学元件。

17. 根据权利要求 12 至 16 中任一项所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件是可动的。

18. 根据权利要求 17 所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件沿着所述光束的长度是可动的。

19. 根据权利要求 17 所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件在所述光束内是可动的。

20. 根据权利要求 12 至 19 中任一项所述的光学检查探头,其中,所述至少一个光学元件为光圈。

21. 根据权利要求 1 至 20 中任一项所述的光学检查探头,其中,所述光学检查探头为视觉探头。

22. 根据权利要求 1 至 21 中任一项所述的光学检查探头,其中,所述成像组件包括物镜和物平面,并且其中所述成像组件具有不大于所述物镜与所述物平面之间的距离的 1/100 的景深。

23. 根据权利要求 1 至 21 中任一项所述的光学检查探头,其中,所述成像组件的景深不大于 3mm。

24. 一种检查物体的特征的方法,该方法包括:

得到光学检查探头,该光学检查探头包括:成像组件,该成像组件用于捕获将要检查的特征的图像;以及照明组件,该照明组件用于产生被朝向该特征引导的光束,并且该光束会聚在位于第一焦平面的焦点处;以及

将所述光束的焦点布置成使得该光束在到达该特征之前在所述光束的焦点处会聚;以及

得到所述物体的特征的至少一个图像。

## 光学检查探头

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学检查探头及其使用方法。更具体的说,本发明涉及一种用于对窄孔内部进行成像的视觉检查探头。

### 背景技术

[0002] 当制造部件时,例如那些在汽车或航空工业中使用的部件,通常希望确定这些部件已经制造成在预期公差范围内。

[0003] 传统上,部件的特征尺寸通过将部件安装在坐标测量机器上并且使安装在坐标测量机器上的接触探头与所关注的特征接触来确定。得到特征周围不同点的坐标,由此能够确定其尺寸、形状和方位。

[0004] 使用接触探头具有几个缺点。

[0005] 使用接触探头进行测量会很慢(例如,检查涡轮叶盘会花费 15 小时),并且接近(例如进入非常窄或小的孔)会受到限制。

[0006] 有时,在部件具有易损表面涂层或具有抛光表面的情况下或在部件具有柔性且在接触探头的力的作用下明显移动的情况下,希望避免与部件物理接触。在这样的情况下,可以使用非接触探头,例如光学探头。

[0007] 已知的光学探头使用准直光束或者发散光束来照亮所关注的表面。目前的光学探头受困于准确度差、视野有限、镜面反射造成的伪像以及来自重量或大尺寸的限制。

### 发明内容

[0008] 本发明的第一方面提供了一种光学检查探头,该光学检查探头包括:成像组件,该成像组件用于捕获物体的图像;以及照明组件,该照明组件用于产生被朝向所述物体引导的光束,并且该光束会聚在位于第一焦平面的焦点处。

[0009] 已经发现提供会聚光束能够有助于物体的检查。尤其对于接近受到限制的特征(例如物体中的开口),情况同样如此。例如,本发明在检查孔时是特别有用的,原因是其能够在试图得到孔的内表面或底部的图像时避免照亮形成有该孔的表面。

[0010] 所述照明系统可以包括用于产生光束的光源。

[0011] 所述成像组件可以被布置成检测从物平面或者从物平面附近沿着成像光学轴线反射向所述光学检查探头的光线。所述成像组件可以包括传感器和成像透镜组件,该成像透镜组件包括至少一个成像透镜。光线可以在到达传感器之前穿过所述成像透镜组件。

[0012] 所述光束可以被朝向所述成像组件的物平面引导。在这样的情况下,所述光束可以在所述物平面处会聚于其焦点或者在与所述物平面相交之前会聚于其焦点。

[0013] 所述光束的焦点可以基本上与所述光学检查探头的成像光学轴线重合。

[0014] 所述光束可以被沿着照明光学轴线从所述光学检查探头引导到所述第一焦平面。所述照明光学轴线可以基本上与所述光学检查探头的成像光学轴线重合。

[0015] 透视变形通常沿着光学检查探头的成像光学轴线最小;因此从沿着光学检查探头

的成像光学轴线检测到的图像得到的任何测量数据都能够比从光学检查探头的成像光学轴线之外检测到的图像更准确。因此,沿着光学检查探头的成像光学轴线进行照明是有利的,使得提供最准确测量数据的区域可以被清楚地成像。

[0016] 在所述光束的路径上可以布置至少一个光学元件,包括例如第一透镜,以将所述光束引导至位于第一焦平面的焦点。

[0017] 用于将光束引导至位于第一焦平面的焦点的该至少一个光学元件可以被包括在所述成像透镜组件中。也就是说,所述成像透镜组件也可以被构造成将光束引导至其焦点。在这样的情况下,所述照明组件和所述成像组件可以具有至少一个共同的光学元件。

[0018] 本发明特别涉及这种类型的光学检查探头,该类型的光学检查探头得到将要检查的物体的图像并能够将该图像提供给第三方系统(例如图像处理器和/或终端用户),使得可以在图像处理期间使用特征识别技术,以便得到关于该物体的度量数据。这样的光学检查探头通常称为视频检查探头,或者摄像检查探头,在此统称为视觉检查探头。这与已知的非接触检查探头形成对比,该非接触检查探头将结构化光束(例如光线)投射到物体上,并且分析结构化光线由于物体而发生的变形以得到测量信息。

[0019] 所述光学检查探头可以进一步包括具有窗的壳体。在这样的情况下,所述至少一个光学元件,例如所述第一透镜,可以被布置成使所述光束穿过该窗引导到第一焦平面。该第一焦平面优选位于所述壳体之外。所述壳体可以防止外部光线到达成像组件的传感器而使所检测到的图像模糊。

[0020] 所述光源可以是例如发光二极管(LED)或者激光器。可以使用其它已知的光源。

[0021] 所述成像透镜组件可以与其它透镜组件互换。例如,可以设置具有不同尺寸的至少两个透镜,所述至少两个透镜是可以互换的。

[0022] 改变透镜的能力可能是有用的,例如,在将要成像的部件具有需要不同图像尺寸/分辨率和/或限制探头的接近的多个表面的情况下。因此,所述光学检查探头能够以不同视野/分辨率和工作距离检查部件是有利的。可以使用具有不同光学特性的不同透镜组件来实现这一点。

[0023] 优选地,所述传感器包括二维的像素阵列,例如电荷耦合器件(CCD)或者互补金属氧化物半导体(CMOS)阵列。可以使用其它已知的像素化传感器。

[0024] 所述传感器可以包括例如方形、六边形、八边形或者三角形像素。传感器的像素形状可以根据将要检查的特征的形状来选择。例如,包括三角形像素的传感器可以提供圆孔的图像,该圆孔的图像具有比由包括方形像素的传感器提供的相同孔的图像更好的分辨率;因此,具有三角形像素的传感器可以被选择以提供圆孔的图像。

[0025] 优选地,所述图像组件将数据以图像的形式发送给处理器。

[0026] 所述光学检查探头可以包括布置在光束路径上的分束器。

[0027] 所述分束器可以为非偏振光分束器。优选地,所述分束器为偏振光分束器。在所述分束器为偏振光分束器的情况下,偏振滤光片可以位于光源和所述偏振光分束器之间;这样可以减少来自偏振光分束器的表面的光束在传感器上的寄生反射。可选地,偏振光源(例如偏振激光器)可以与偏振光分束器一起使用。

[0028] 可以在光学检查探头的分束器和/或其它光学元件的表面上使用防反射涂层;这样可以减少来自所述表面/光学元件的光束在传感器上的寄生反射。

[0029] 可选地,所述分束器和/或其它光学元件的平面表面可以布置成使它们的法线以这样一种方式未对准,即使得所述光学元件的表面将光束反射到传感器上。

[0030] 在使用中,第一焦平面可以在物平面上方。在这样的情况下,所述光学检查探头向下探视将要检查的表面。所述光学检查探头可以可选地以其它方位使用,例如用于检查探头附近的竖直表面。

[0031] 当要使用所述光学检查探头来检查孔时,在所述第一焦平面和所述物平面之间的最小距离优选为将要测量的孔的深度的一半;如果该距离小于该将要测量的孔的深度的一半,则光束的边缘光线会与形成有该孔的表面相交。当要使用所述光学检查探头来检查多个孔时,在第一焦平面和物平面之间的最小距离优选为将要测量的最深孔的深度的一半。

[0032] 所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头可以是可调节的。该光学检查探头可以被构造成使所述光束的焦点的位置相对于所述物平面是可调节的。特别是,所述光束的焦点的位置可以沿着照明光学轴线调节。

[0033] 所述光束的焦点的位置的调节可以通过例如调节所述光源的表观或实际光学位置来实现。所述照明组件可以包括可动光源,使得所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头是可调节的。

[0034] 所述光源的表观光学位置可以通过使用例如光学元件来改变。可以在所述光束的路径上设置至少一个光学元件,例如透镜,所述至少一个透镜沿着所述光束的路径是可移动的,使得所述光束的焦点的位置相对于所述光学检查探头是可调节的。

[0035] 所述光学检查探头可以包括自适应光学元件,该自适应光学元件定位在所述光束的路径上,所述自适应光学元件的光学特性是可以变化的,以便改变所述光束的焦点相对于所述光学检查探头的位置。这样的自适应光学元件可以例如为液晶透镜、流体静力学透镜或可变形镜。所述自适应光学元件的位置可以被固定。可选地,所述自适应光学元件可以是可动的。

[0036] 所述照明系统的焦点在其调节好的位置处可以保持基本上与所述光学检查探针的成像光学轴线重合。

[0037] 所述光束在所述焦点处会聚之后朝向所述物平面发散;因此该光束在物平面处照明一区域。该照明区域可以是表面上的将要检查的关注区域。该照明区域的尺寸是可调节的。这可以通过调节所述光束的发散度来实现。另外地或者可选地,所述照明区域的位置是可调节的。照明轴线的角度可以是可选择性地调节的。这样,照明区域的位置是可以选择性地调节的。

[0038] 所述照明组件可以设有至少一个光学元件,用于控制所述光束的尺寸。所述光学检查探头的光源自身可以包括至少一个光学元件。所述至少一个光学元件可以可选地位于光源之外。优选地,这样的外部光学元件可以位于所述光源和所述分束器之间。可选地,所述至少一个光学元件可以位于所述透镜组件和所述第一焦平面之间。所述至少一个光学元件可位于所述分束器和所述成像透镜组件之间。可选地,所述至少一个光学元件可以位于所述成像透镜内。

[0039] 优选地,所述至少一个光学元件为光圈。该光圈可以为固定尺寸的单个光圈。所述光圈的尺寸可以被选择为限制所述光束在所述物平面处的宽度,以适用于将要检查的孔。如果有多个将要检查的孔,则有利的是,所述光圈的尺寸可以被选择成限制所述光束在所

述物平面处的宽度以适用于将要检查的最窄孔。所述光圈可以被选择成将所述光束的直径限制到孔的宽度或者略大于孔的宽度。

[0040] 所述至少一个光学元件可以提供各种光束尺寸。在这样的情况下,所述至少一个光学元件可以为可变尺寸的光学元件。所述至少一个光学元件可以为形状可变的光学元件。

[0041] 在所述光学元件为光圈的情况下,所述光学检查探头可设有各种光圈尺寸。所述光圈可以为尺寸可变的光圈,例如可调节的可变光圈。可变光圈可以固定至离散的若干光圈尺寸处,或者可以连续地调节。所述光圈可以具有可变尺寸和形状,例如光阀式光圈。因此,优选地,所述光学检查探头被构造成使得有效光圈尺寸有效地变化。

[0042] 可以设置至少两个可互换的光学元件。例如,可以在转盘上设置至少两个光圈。

[0043] 所述至少一个光学元件可以被固定。例如,所述至少一个光学元件可以沿着所述光束的路径设在固定位置上。

[0044] 当所述光学元件为例如光圈,并且该光圈沿着所述光束的路径设置在固定位置时,改变该光圈的尺寸可以导致在所述物平面处由所述光束照明的区域发生改变。

[0045] 所述至少一个光学元件可以是可动的。所述至少一个光学元件可以沿着所述光束的长度可动。例如,所述至少一个光学元件可以沿着光束的长度可动;该运动可以有助于在物平面处的照明区域的尺寸变化。

[0046] 所述至少一个光学元件可以在所述光束内可动。这样的运动可以是快速运动。在这样的情况下,可以使位于所述物平面处的照明区域在该物平面上移动。所述照明区域在所述物平面的位置可以通过在所述光束内移动所述至少一个光学元件(例如光圈)来调节,使得可以扫描物平面处的表面。所述焦平面也可以以这样的方式来调节;所述焦平面既可以移动也可以不移动。优选地,所述焦平面保持与所述光学检查探头的成像光学轴线基本上重合,同时所述照明区域在所述物平面上移动。

[0047] 所述至少一个光学元件可以在所述光束内变形,使得在所述物平面处的照明区域可以在该物平面上移动。所述至少一个光学元件可以可选地例如为倾斜或平动的透镜或镜子。在其中任意一种情况下,都可以附加地设置光圈。

[0048] 所述成像组件可以包括物镜和物平面。优选地,所述成像组件的景深不大于所述物镜和所述物平面之间的距离的 $1/100$ 。优选地,所述成像组件的景深不小于所述物镜和所述物平面之间的距离的 $1/1000$ 。

[0049] 优选地,所述成像组件的景深不大于 $5\text{mm}$ ,尤其不大于 $3\text{mm}$ 。优选地,所述成像组件的景深不小于 $20\ \mu\text{m}$ ,更优选不小于 $40\ \mu\text{m}$ ,例如不小于 $50\ \mu\text{m}$ 。景深可以在所述成像组件的物平面的两侧上基本上均匀地分布。例如,在景深为 $3\text{mm}$ 的情况下,景深在物平面的两侧均可以为 $1.5\text{mm}$ 。

[0050] 本发明的第二方面提供了一种包括光学检查装置的坐标测量机器。

[0051] 本发明的第三方面提供一种检测物体特征的方法,该方法包括:得到光学检查探头,该光学检查探头包括:成像组件,该成像组件用于捕获将要检查的特征的图像;以及照明组件,该照明组件用于产生被朝向该特征引导的光束,并且该光束汇聚在位于第一焦平面的焦点处;以及将所述光束的焦点布置成使得该光束在到达该特征之前在所述光束的焦点处会聚;以及得到物体的特征的至少一个图像。

[0052] 该特征可以是物体上的开口,例如孔或洞。该方法可以包括将所述光束的焦点基本上布置在开口的口部处 / 或该口部之前。

[0053] 本发明的第四方面提供了一种使用光学检查探头来检查工件特征的方法,该光学检查探头包括:成像组件,该成像组件用于捕获物体的图像;以及照明组件,该照明组件用于产生被朝向该物体引导的光束,并且该光束会聚在位于第一焦平面的焦点处,该方法包括:(a) 相对于所述工件定位光学检查装置;(b) 照亮所述特征,并且检测该特征的图像。

[0054] 该方法可以包括确定图像的坐标数据的附加步骤。该方法还可包括对图像进行图像处理以提取描述该特征的信息的步骤。

[0055] 所述光学检查装置可以为视觉探头。

[0056] 优选地,描述该特征的信息包括尺寸信息。

[0057] 本发明还提供一种光学检查探头,该光学检查探头包括:具有窗的壳体;用于产生光束的光源;布置在所述光束的路径上的分束器;透镜组件,该透镜组件布置成将由所述分束器反射的光线引导通过所述窗而到达所述壳体之外的焦平面,优选地,该透镜组件可以与其它透镜组件互换;检测器,该检测器布置成检测进入所述窗并且通过所述透镜和所述分束器的光线。

[0058] 另外,本发明提供一种使用光学检查探头来检查工件的特征的方法,该光学检查探头可以以至少一个线性自由度和至少一个旋转自由度相对于所述工件定位,该方法包括:(a) 将所述光学检查探头相对于所述工件定位在多个位置和 / 或多个方位上,以由此得到所述特征的多个图像;(b) 确定用于所述多个图像的坐标数据,并且将所述图像组合以形成合成图像;以及(c) 对所述合成图像进行图像处理,以提取描述该特征的信息。

[0059] 所述光学检查探头可以为照相机探头。

[0060] 优选的是,步骤(a)包括将光线区域投射到所述特征的表面上,并且检测所述投射的光线区域的图像。

[0061] 优选的是,该特征的多个图像是重叠的。

[0062] 所述光学检查探头可以定位在多个方位和位置上。

[0063] 可以确定所述多个图像的二维或三维坐标数据。

[0064] 所述图像处理可以包括:确定通过滤波算法和类似算法良好地聚焦的图像的选择区域;对所述图像进行摄像畸变校正;准备二维或三维的复合图像,该复合图像仅包括被良好地聚焦的图像的选择区域。可以使用已知的图像处理技术来检测所关注的特征上的点,例如比较合成图像的亮度值和阈值,并由此确定边界。

[0065] 在优选的实施例中,所述光学检查探头被定位成将光束投射到所述特征的边缘上,使得该边缘形成轮廓。

[0066] 本发明还提供一种从工件的特征的部分的多个图像中提取表面信息的方法,该图像在多个已知方位下得到,该方法包括:(a) 确定所述图像的每个像素在坐标系统中的坐标位置;(b) 可选地,确定图像的锐聚焦的区域;(c) 将在坐标系统中的图像组合以形成合成图像;(d) 对该合成图像进行图像处理以提取所述特征的信息。

[0067] 优选的是,该特征的信息包括尺寸信息。

[0068] 本发明还提供一种使用光学检查探头检查工件的特征的装置,该光学检查探头可以以至少一个线性自由度和一个旋转自由度相对于所述工件定位,该装置包括用于执行以



下步骤的控制器：(a) 将光学检查探头相对于所述工件定位于多个位置和 / 或方位，由此得到所述特征的多个图像；(b) 确定所述多个图像的坐标数据，并且将所述多个图像组合以形成合成图像；以及 (c) 对该合成图像进行图像处理以提取描述该特征的信息。

[0069] 本发明还提供一种从工件的特征的部分的多个图像提取表面信息的装置，该图像在多个已知方位下得到，该装置包括执行以下步骤的控制器：(a) 确定图像的每个像素在坐标系统中的坐标位置；(b) 可选地，确定所述图像的锐聚焦的区域；(c) 将坐标系统中的图像组合以形成合成图像；(d) 对该合成图像进行图像处理以提取所述特征的信息。

## 附图说明

[0070] 现在将参照以下附图对本发明的优选实施例进行描述：

[0071] 图 1 示出了具有铰接探测头和安装在该铰接探头上的照相机探头的坐标测量机器；

[0072] 图 2 示出了在图 1 中示出的照相机探头的第二光学结构；

[0073] 图 3 示出了在图 1 中示出的照相机探头的第三光学结构；

[0074] 图 4a、4b 和 4c 示出了图 1 示出的照相机探头的第四光学结构，其允许照明系统的焦点变化；

[0075] 图 5 示出了图 1 示出的结合有不同光圈尺寸的照相机探头的第五光学结构；

[0076] 图 6a 和 6b 分别示出了具有同心环的光阑和具有像素矩阵的光阑；

[0077] 图 7 示出了图 1 示出的照相机探头的第六光学结构，该照相机探头具有沿着光线路径长度可动的光圈；

[0078] 图 8 示出了图 1 示出的照相机探头的第七光学结构，该照相机探头具有在光线路径的宽度上可动的光圈；

[0079] 图 9a 和 9b 示出了在图 1 中示出的照相机探头的另一个可选光学结构；

[0080] 图 10 为涡轮机叶片的包括孔的部分的截面视图，示出了从照相机探头投射出的光束；

[0081] 图 11 示出了图 10 的结构，其中照相机探头在另一可选位置处；

[0082] 图 12 示出了当照相机探头被定位在图 11 的位置 B' 时，在照相机探头的检测器上的图像；

[0083] 图 13 示出了当照相机探头被定位在图 11 的位置 B 时，照相机探头的检测器上的图像；

[0084] 图 14 为图 10 的涡轮机叶片的一部分的俯视图，示出了投射的光点的多个位置；

[0085] 图 15A 和 15B 示出了在测量窄孔时的 CMM 和铰接探测头的路径；以及

[0086] 图 16 示出了来自布置在参考坐标系统中的多个图像的数据。

## 具体实施方式

[0087] 图 1 示出了坐标测量机器 (CMM) 10，该坐标测量机器 10 包括工作台 12 和主轴 14，部件 16 能够安装在该工作台 12 上，主轴 14 在 X、Y 和 Z 方向上相对于工作台 12 是可动的。铰接探测头 18 安装在主轴 14 上并且能够以至少两个轴线 A1、A2 为中心旋转。照相机探头 20 安装在铰接探测头 18 上。因而，照相机探头 20 可以通过 CMM 10 而沿着 X、Y 和 Z 运动

并且能够通过铰接探测头 18 而以轴线 A1 和 A2 为中心旋转。CMM 或铰接探测头可以提供附加的运动,例如,铰接探测头可以提供以照相机探头的纵向轴线 A3 为中心的旋转。

[0088] 在 CMM 10 和铰接探测头 18 中设置有马达(未示出),用于将照相机探头 20 驱动到期望的位置/方位,这些马达由向 CMM 10 和铰接探测头 18 发送驱动信号的控制器/计算机 22/23 来控制。CMM 10 和铰接探测头 18 的位置通过传感器(未示出)确定,并且这些位置被反馈到控制器/计算机 22/23。

[0089] 在图 2 中更详细地示出了照相机探头 20 的构造。

[0090] 图 2 为示出照相机探头 20 的内部布局的简化图。例如发光二极管(LED)之类的光源 24 产生光束 29,并且光束 29 被导向第一透镜 25、光圈 27,然后到达分束器 26。分束器 26 将光束反射向摄像透镜 28,摄像透镜 28 将光线聚焦在第一焦平面 33。光线继续行进到照相机探头的物平面 30(此时已发散)。在物平面 30 处的表面反射回的光线经过摄像透镜 28 和分束器 26,然后被检测器 32(通常为电荷耦合器件 CCD)检测到。

[0091] 这样的布局被称为“通过透镜照明”(TTLI)。照明组件的焦平面相对于检测器的物平面的这种结构具有的优点在于,能够将光线向下引导到窄孔,而不会照亮部件的其内部形成有该窄孔的表面。这使得探头具有既拥有浅景深(视野深度)也拥有深景深的优点。

[0092] 该结构在如下情况下尤其有利:探头具有浅景深,并且部件的其中形成有孔的表面在该浅景深范围之外,因此焦点没有对准。在景深小于或大约等于孔的深度的情况下也是如此。这样,如果光束 29 落到其中形成有孔的表面上,则所述表面将比孔的侧壁更加有效地反射该光束。这样的反射光线将在传感器上表现为明亮的焦点没有对准的区域,并且将会干扰由在物平面 30 上的所关注的特征(即孔的侧壁)返回到照相机探头 20 的光线。

[0093] 在探头具有深景深的情况下,其中形成有孔的表面和孔的侧壁/底部都可以在焦点上。如果情况是这样的话,表面的图像将趋于比孔的图像更亮,因此占据检测器的动态范围的比例更大。这样会导致孔的图像质量较低,并且由此难以区别孔内部的图像的各个部分。还存在孔的图像由于传感器伪像例如模糊现象而模糊的风险,原因是物体的前表面的图像要亮得多。

[0094] 在图 2 示出的实施例中,光圈 27 是固定尺寸的;可以选择光圈的尺寸以将物表面 30 处光束照明区域的宽度限制为将要测量的最窄孔的直径。这样,即使当检查最窄的孔时,也可以避免从形成有孔的表面形成反射光线。

[0095] 如图所示的布局的缺点在于,来自光源 24 的一些光线被分束器 26 的前表面 34 和侧表面 35 反射到检测器 32,由此在检测器 32 上形成假亮点,并进一步使来自物平面 30 处的表面的图像模糊。

[0096] 图 3 示出了照相机探头 20 的改进布局,该改进布局克服了在检测器上形成假亮点的问题。在图 3 所示的结构中,使用了偏振光分束器 26a,并且在光源 24 的前面设置偏振滤光片 36,以形成偏振光束。偏振光被偏振光分束器 26a 有选择地朝向摄像透镜 28 反射。没有任何通过偏振光分束器 26a 射向摄像透镜 28 的光线被偏振光分束器 26a 的前表面 34 向回反射向检测器 32。也没有任何光线通过偏振光分束器 26a 传到侧表面 35,从而在该侧表面上也没有发生反射。由此与图 2 所示的装置相比,减少或者完全消除了照相机上的亮点。图 3 的结构还具有以下优点:仅仅被表面分散、并由此随机地偏振的照明返回到照相机;由此删除了能够造成测量异常的镜面反射。

[0097] 检测器 32 为二维像素化检测器；可以使用 CCDs 之外的其它检测器，例如互补金属氧化物半导体 (CMOS) 阵列。通过校准知道每个像素相对于基准点（例如检测器中心）在 X 和 Y 上的位置，由此可以确定被检测图像相对于基准点的位置。

[0098] 摄像透镜 28 被选择成给照相机探头 20 提供浅景深，例如  $\pm 20 \mu\text{m}$ 。如果表面被检测到位于焦点，则将知道该表面距离检测器的距离在与该景深对应的范围内；因此，浅景深意味着位于焦点的表面的位置能够被确定在一个小范围内。因此，使用的景深越浅，就越能够更精确地确定表面的位置。

[0099] 本发明的照相机探头 20 尤其适用于测量窄孔，该窄孔不能通过传统装置测量。一个这样的应用是设在涡轮叶片中用于气膜冷却的窄孔。这些孔通常具有  $300 \mu\text{m}$  至  $2\text{mm}$  的直径并且不能通过传统装置接近。

[0100] 图 4a、4b 和 4c 示出了在图 1 中所示的照相机探头的光学结构，其允许照明系统的焦点改变。改变照明系统的焦点能够导致由照明系统在物平面处照明的区域变化。

[0101] 图 4a 示出了具有可动光源的光学结构。光源 24 能够沿着光束 29 的路径在第一位置 24a 和第二位置 24b 之间移动。

[0102] 在第一位置 24a 处，第一光束 29a 被摄像透镜 28 聚焦于第一焦点 300a。第一焦点 300a 位于第一焦平面 300a 上且高于照相机物平面 30。第一光束 29a 从第一焦点 300a 朝向照相机物平面 30 发散。当第一光束 29a 到达照相机物平面 30 时，第一光束 29a 照亮直径为 a 的第一区域。

[0103] 在第二位置 24b 处，第二光束 29b 被摄像透镜 28 聚焦于第二焦点 300b。第二焦点 300b 位于第二焦平面 300b 上且高于照相机物平面 30。第二光束 29b 从第二焦点 300b 朝向照相机物平面 30 发散。当第二光束 29b 到达照相机物平面 30 时，第二光束 29b 照亮直径为 b 的第二区域。

[0104] 第一和第二焦点 300a、300b 的位置由摄像透镜 28 的特性以及光源 24a 和 24b 与摄像透镜 28 之间的距离确定。照明区域的直径 a 和 b 由光束 29a 的发散度和第一和第二焦点 300a、300b 与照相机物平面 30 之间的距离确定。

[0105] 通过改变光源 24 和摄像透镜 18 之间的距离，可以由此调整照明区域的直径 a 和 b，使得其适用于照明不同直径的内孔。在该实施例中，当光源 24 越靠近摄像透镜 18 时，照明区域的直径就越小。

[0106] 图 4b 示出了具有位于光源 24 和摄像透镜 28 之间的辅助透镜 25 的光学结构。辅助透镜 25 能够沿着光束 29 的路径在第一位置 25c 和第二位置 25d 之间移动。

[0107] 如图 4b 所示，摄像透镜 18 将光束 29c 和 29d 聚焦于位于照相机物平面 30 上方的焦点 300c 和 300d 处，然后光束 29c 和 29d 朝向照相机物平面 30 发散。当光束 29c 和 29d 到达照相机物平面 30 时，光束 29c 和 29d 照亮了直径为 c 和 d 的区域。

[0108] 辅助透镜 25 的位置变化导致光束 29 的发散度变化，并由此也导致光源 24 的表观光学位置 24c 和 24d 的变化。这两个因素影响照明区域 c 和 d 的尺寸。因此，照明区域的尺寸能够通过沿着光束的路径移动辅助透镜 25 来调节；因此该装置可以适用于与不同直径的孔一起使用。

[0109] 图 4c 示出了具有自适应光学元件 250 的光学结构，该自适应光学元件 250 位于光束 29 的路径上。该自适应光学元件可以为例如液体透镜、液晶透镜、流体透镜或可变形镜。

[0110] 控制信号 251 被用来改变自适应光学元件 250 的光学性能。这样通过在摄像透镜 28 之前调整光束 29e 和 29f 的发散度来改变光源 24 的表观光学位置 24e 和 24f。通过改变自适应光学元件 250 的光学特性而不是改变透镜的位置,减小了光束 29 离开系统光学轴线(假定系统最初良好地对准)的风险。

[0111] 图 5 示出了结合有不同光圈尺寸的图 1 的照相机探头的光学结构。在图 2 中示出的光圈 27 具有固定的尺寸,该固定的尺寸被选定为使光束在物平面处变窄到适合于将要检查的最窄孔的尺寸;因此不能在单个图像中测量较大直径的孔。相反,为了测量较大的孔,照相机系统必须在孔周围扫描光束 29,拍摄多幅孔的图像。这些多幅图像然后被组合而形成孔的复合图像。

[0112] 为了克服这个问题,在装置中可以设置很多光圈直径,例如可变光圈 270,从而可以调节物平面 30 处的照明区域以适合不同的孔尺寸。

[0113] 图 5 具体示出了安装在光束 29 的路径上的机械可变的片状可变光圈 270。可变光圈 270 允许光束 29 的直径在最小直径和最大直径之间变化。当可变光圈 270 被设定至其最小直径时,第一光束 29m 能够通过可变光圈 270,然后在物平面 30 处照亮直径为 m 的区域。当可变光圈 270 被设定至其最大直径时,第二光束 29n 能够通过可变光圈 270,然后在物平面 30 处照亮直径为 n 的区域。由此,物平面处的照亮区域的直径能够通过调节可变光圈 270 的直径来调节。在将要检查的孔的直径变化很大的情况下,该结构是很有用的。

[0114] 在图 5 的光学结构中,光束 29 的焦点 300 位于成像系统的物平面 30 上方的固定距离 X 处。光束焦平面 33 在物平面 30 上方的固定距离 X 为由照相机探头测量的最深孔的深度的至少一半。如果固定距离 X 小于由照相机探头测量的最深孔的深度的至少一半,则光束 9 的边缘光线会与部件表面相交,进行检查的孔形成在该部件表面内;如前所讨论的那样,这样会带来感测图像的问题。

[0115] 如果已知的是仅仅将要检查有限数量的孔直径,则光束 29 在物平面 30 处的照明区域仅仅需具有几个离散的直径。这可以通过为装置提供安装在移动组件上的几个光圈来实现,例如旋转圆盘或盘(未示出)。然后可以为将由照相机探头检查的每个孔选择尺寸合适的光圈。

[0116] 在必须测量与旋转圆盘上的任何固定光圈都不匹配的孔的情况下,将选择最接近匹配而不会太大的光圈。照相机于是将必须移动以与图 2 所示的固定光圈结构相同的方式扫描光束。

[0117] 提供不同尺寸的光圈的另一种方式是通过使用光阀,例如可透射和可反射的液晶阵列、在硅阵列上的液晶、微机电阵列(MEMs)或其它光阀技术。在光阀中,TTL 束的直径能够以电子方式改变。光阀可以布置在光源和摄像透镜之间,如在本文描述的其它可变光圈结构中一样。控制信号被用来改变光阀的特性并由此改变光束。

[0118] 图 6a 示出了具有很多同心环 602 和 604 的光阀 600。控制信号被用来使一些环 602 不透明。不透明环 602 的数量控制能够通过光阀 600 的光束的直径。

[0119] 图 6b 示出了具有像素矩阵 612、614 的可替换光阀 610。这里,使用控制信号来使一些像素 612 不透明。不透明像素 612 的数量和位置控制能够通过光阀的光束的直径和形状。改变光阀的形状以及光阀的尺寸的能力提供了测量一些非圆形孔的可能性,而无需在整个孔上扫描光束。

[0120] 在图 6b 的光阀 610 中示出的像素为方形像素。对于圆形或者接近圆形的孔,在使用例如六边形或三角形像素的阵列时具有优势。

[0121] 图 7 示出了在图 1 中示出的照相机探头的光学结构,该照相机探头具有沿着光束 29 的路径可动的光圈 271。固定直径的光圈 271 被布置在发散或会聚的光束 29 的范围内。将光圈 271 沿着光束 29 的长度从第一光圈位置 271g 移动到第二光圈位置 271h 限制了光束 29 在通过摄像透镜 28 时(从第一光束 29g 到第二光束 29h)的发散度。这转而控制了光束在照相机物平面 30 处的照明区域的直径,由此将照明区域从第一直径 g 限制为第二直径 h。因此可以实现光束 29 在物平面处的照明区域的直径的变化(在最大值和最小值之间)。

[0122] 图 8 示出了图 1 所示的照相机探头的光学结构,该照相机探头具有位于光束 29 的路径上的光学元件,例如光圈 272。光圈 272 快速移动(倾斜或平移)通过光束 29,光束 29 要么被反射掉要么通过光圈 272。在光束通过光圈 272 的情况下,光束沿着光学路径继续行进到分束器 26,并且被分束器 26 反射,然后通过摄像透镜 28 射向物平面 30。

[0123] 在第一光圈位置 272j 处,光束 29j 通过光圈 272 并且在物平面处照亮区域 j。光圈快速地移动到第二光圈位置 272k;这里,光束 272k 通过光圈 272 并且在物平面处照亮区域 k。当光圈 272 快速移动通过光束时,物平面处的照明区域在整个物平面 30 上移动或扫描,使得整个孔在照相机探头的积分时间期间都将接收一些照明。

[0124] 扫描动作可以遵循孔的预期形状进行。可选地,可沿着固定路径执行光栅扫描;这样的路径可以是例如矩形或螺旋形扫描。在光栅扫描的情况下,光源可以仅在光束处于用于照亮孔的侧壁的一个位置(或者有可能照亮孔的侧壁的一个位置)时打开。

[0125] 扫描元件和光束 29 的其它光学元件被设计成使得光束 29g 和 29h 的焦点 300g 和 300h 在光束移动时不移动。因而,光束 29g 和 29h 呈现出以焦点 300g 和 300h 为中心枢转,由此使意外照亮形成有孔的表面的可能性最小。

[0126] 应理解到,焦点 300g 和 300h 可以在扫描过程期间交替地移动。

[0127] 图 9a 和 9b 示出了图 1 示出的照相机探头的另一个备选光学结构。应理解,照相机的透镜组件例如照相机探头可以包括很多透镜。另外,摄像透镜可以包括其它的光学元件。还应该理解,在照相机中布置光学元件和照相机探头有很多方式,以使得光源能够照亮区域并且获得该区域的图像。本申请中描述的实施例给出了这样结构的多个实例。

[0128] 在图 9a 的结构中,照明组件 240 与其光学元件(未示出)一起设置在摄像透镜组件 280 的前方。摄像透镜组件 280 包括两个透镜,即第一透镜 280a 和第二透镜 280b。照相机探头被设置成能够捕获在物平面 30 处的或者在照相机探头的视场内的表面的图像。

[0129] 照明组件 240 包括产生光束 290 的光源(未示出),在照明组件中的光学元件(未示出)将光束 290 聚焦在位于第一焦平面 330 处的焦点 300x 处。光朝向照相机探头的物平面 30 继续行进(此时已发散)。从物平面 30 处的表面反射回来的光通过第一透镜 280a 和第二透镜 280b,然后由检测传感器 32 检测到。

[0130] 在图 9a 的实施例中,照明组件相对于摄像透镜组件的结构可以导致从表面反射到一些光不能到达检测传感器 32;然而,这样并不必然使所得到的图像质量变差。这样特别的结构对照明组件的宽度有限制,并由此限制离开照明组件的光束的直径;照明组件越宽,则由检测传感器 32 感测到的图像越模糊。

[0131] 图 9b 示出了照相机探头的另一个可能的光学结构。这里,光源 24 设在照相机探头的成像路径之外。分束器 26 设在透镜组件中以将光束 290 从光源引导到物平面 30。通过精细布置,可能使得分束器不会干扰照相机探头的成像路径。应理解,可以使用例如转动镜来代替分束器。

[0132] 现在将参照图 10-15 描述测量窄孔的一个合适的方法。

[0133] 在第一步骤中,通过 CMM 或铰接探测头或者它们的组合将照相机探头定位,使得光点入射在所关注的特征的表面上。图 10 示出了涡轮叶片 38 的一部分的横截面,其包括窄孔 40。窄孔 40 的轮廓在顶面 42 和 44 处具有最大直径,并且直径一直减小至直径最小的中央喉部或计量部分 46。

[0134] 为了测量计量部分 46,照相机探头被定位成将光点投射在计量部分的表面上。在选择照相机探头的位置和方位时要考虑几点。必须保持视线,以能够投射光点和检测图像。光路径优选定位成尽可能垂直于所关注的平面,因为这会保持平面的更大区域位于焦点,并且使最大水平的照明返回照相机。这是基于浅景深的一个重要考虑。

[0135] 照相机探头的位置和方位也被选择以呈现轮廓地将光点定位在所关注的特征的边缘。通过这样做,在边缘(亮的)和孔(暗的)之间形成尖锐线,由此简化了图像处理。然而,通过选择使边缘形成轮廓的路径,可能不会保持光路径垂直于所关注的平面。对探头的位置和方位的另一个重要考虑在于确保 TTLI 不会修剪其中形成有孔的表面。将 TTLI 聚焦在照相机的焦平面上方使得 TTLI 的直径在孔穿透表面处变为其最小值。可以根据将要检查的孔的最小孔尺寸和最大的长度-直径比确定 TTLI 焦平面和照相机焦平面之间的最优距离。

[0136] 在图 10 的结构中,视线和使计量部分的边缘形成轮廓的要求导致光线路径沿着表面法线远离其最优位置定位。

[0137] 图 10 示出了定位在位置 A 处的照相机探头。在该位置 A 中,具有视线并且测量部件的边缘呈现出轮廓。光路径几乎垂直于表面法线,由此给予非常少的返回照明,并且使得焦平面的表面区域非常小。

[0138] 图 11 示出了定位在位置 B 的照相机探头。在该位置 B 中,具有视线并且光路径靠近表面法线。然而,计量部分的边缘没有呈现轮廓,这使得图像处理难以进行。在位置 B' 中,照相机探头向下移动以测量计量部分的底部边缘。在有视线的时候,边缘呈现出轮廓,并且光路径靠近表面法线。

[0139] 图 12 示出了当照相机探头处于位置 B' 时在检测器中接收到的图像 48。该图像示出了对应于从计量部分表面反射的光线的月牙形亮区域 50 和光通过孔的暗部分 52。能够从亮和暗之间看到对应于边缘的清晰边界 53。

[0140] 图 13 示出了当照相机探头位于位置 B 时在检测器中接收到的图像 54。由于边缘没有呈现轮廓,图像 56 和 58 的对应于不同表面的部分没有被清楚区别,并且在图像 56 和 58 之间的边界 60 也没有被良好地限定。

[0141] 照相机探头移动以获得覆盖该特征的范围的一系列图像。

[0142] 图 14 示出了在图 10 中示出的涡轮机叶片 30 的顶面,示出了窄孔 40 的颈部 42 和计量部分 46。计量部分的放大区域 50 示出了入射在计量部分的边缘上的一系列光点 48。每个光点都使边缘呈现出轮廓。

[0143] 照相机探头可以通过移动 CMM、铰接探头或它们的组合而移动到每个新的位置。

[0144] CMM 的运动和探测头的运动的组合具有的优点在于,对形成轮廓所需的照相机探头的角度形成更多控制。通常,照相机探头可以定位成通过移动 CMM 使成所关注的边缘呈现轮廓,然后转动铰接探测头以从孔 55 的中心线呈放射状地定位光点,来获取每个图像。例如,CMM 可以沿着圆形路径移动,同时铰接探测头以其轴线 A1 为中心旋转。

[0145] CMM/ 铰接探测头所遵循的路径可以是 CAD 模型中得到的已知路径。

[0146] 图 15A 和 15B 示出了 CMM 的主轴 14 沿着以孔的中心线 59 为中心的圆形路径 56 移动以及铰接探测头 18 以轴线 A1 为中心旋转,以将从照相机探头射出的光束 58 定位在期望方向上。

[0147] 理想地,图像被如此地获得,使得在检测到的光点之间有重叠,这样使得图像处理更容易。

[0148] 由于照相机探头在执行该方法期间旋转,因此在特征例如孔周围获得图像,图像在 XY 平面中位于不同角度。这是因为枢转探测头的运动所致。

[0149] 如前所述,由于照相机探头的校准,像素的 XY 位置是已知的。反射的点已知为在名义上是沿着探头的光轴的。照相机探头在空间上的位置由于 CMM 和铰接探测头的坐标是已知的。因此,可以确定每个像素在 CMM 参考系上的 X、Y 和 Z 位置。由此通过确定每个图像的每个像素的坐标而将每个图像拼接在一起。

[0150] 未处理的图像被拼接在一起以形成合成图像。在点重叠的地方,可以形成连续的拼接图像,并且可以使用一个算法来拼接所关注的整个区域。在光点没有重叠的地方,仅仅在具有点照明的地方形成图像,因此形成不完整的图像。

[0151] 图 16 示出了在布置在参考坐标系中的 XY 平面中得到的一组图像 60-64。图像是重叠的,并且相对于彼此是倾斜的。

[0152] 照相机探头或特征可以相对于彼此倾斜,使得图像不在 XY 平面中。这样,可以通过形成 VOCSELS (3D 像素) 的图而使用相同的技术。每个 VOCSELS 具有从已知像素位置得到的 X 和 Y 坐标和从焦平面相对于探测头的位置和坐标得到的 Z 坐标。在 Z 坐标上的误差范围将大于在 X 和 Y 上的误差范围,由此使得 VOCSELS 为矩形。

[0153] 离散的图像被拼接在一起而形成合成图像。在图像之间具有重叠的地方,亮度被叠加(例如通过首先将一个数值作为亮度)。这导致亮区域变得更亮,而暗区域变得更暗,从而提高对比度。

[0154] 一旦图像被拼接在一起而形成合成图像,则利用已知的图像处理技术来检测所关注的特征上的点(例如利用图像分析技术来确定亮区域和暗区域之间的边界)。例如通过“二乘匹配(MATCHING SQUARES)”算法。可以使用亮度阈值来确定边界。一旦边界已被确定,则可以通过将边界作为 3D 空间中的数据点来处理而确定特征的参数。在图 16 中示出了高亮度区域和低亮度区域之间的边界 68。

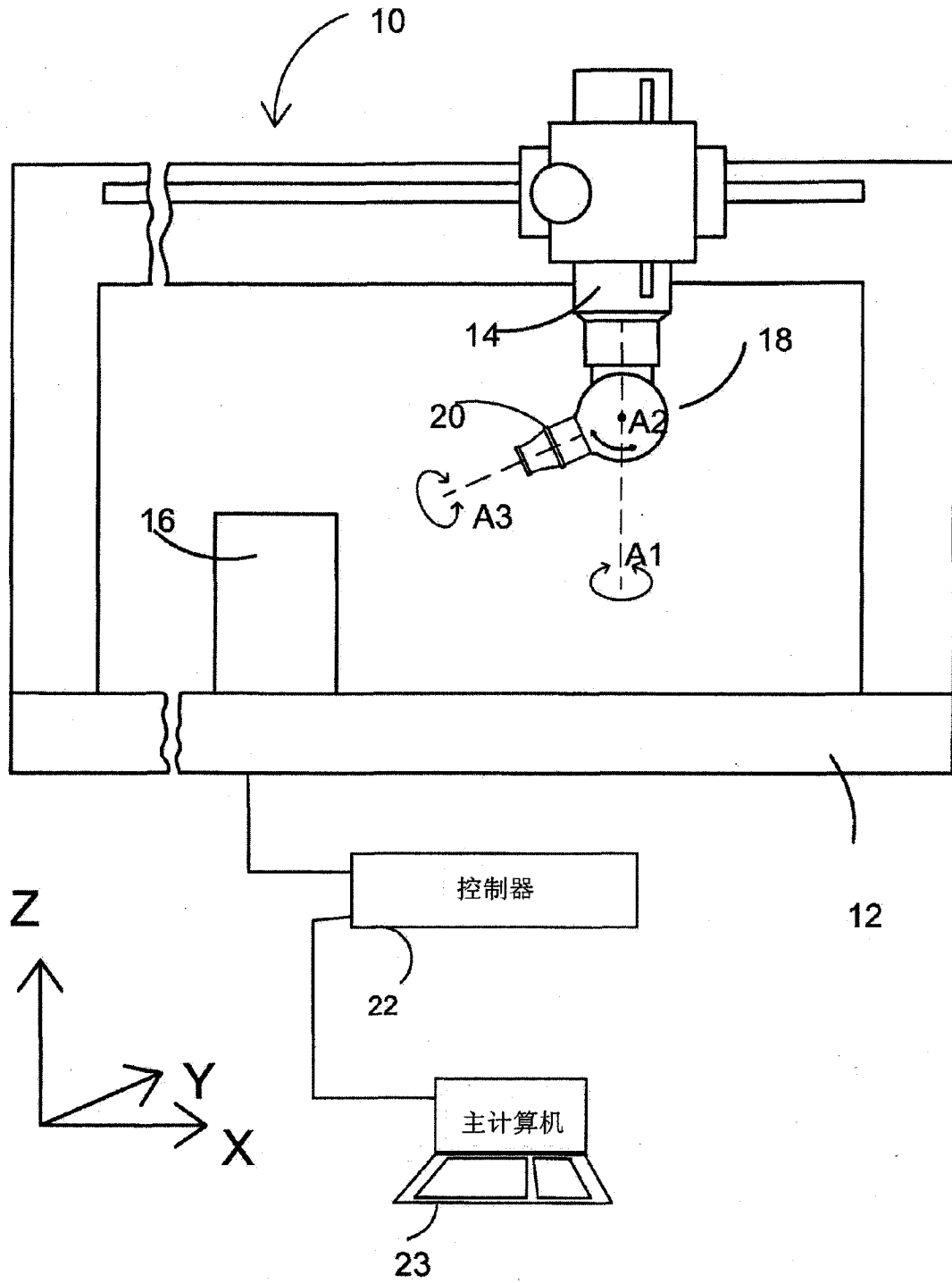


图 1



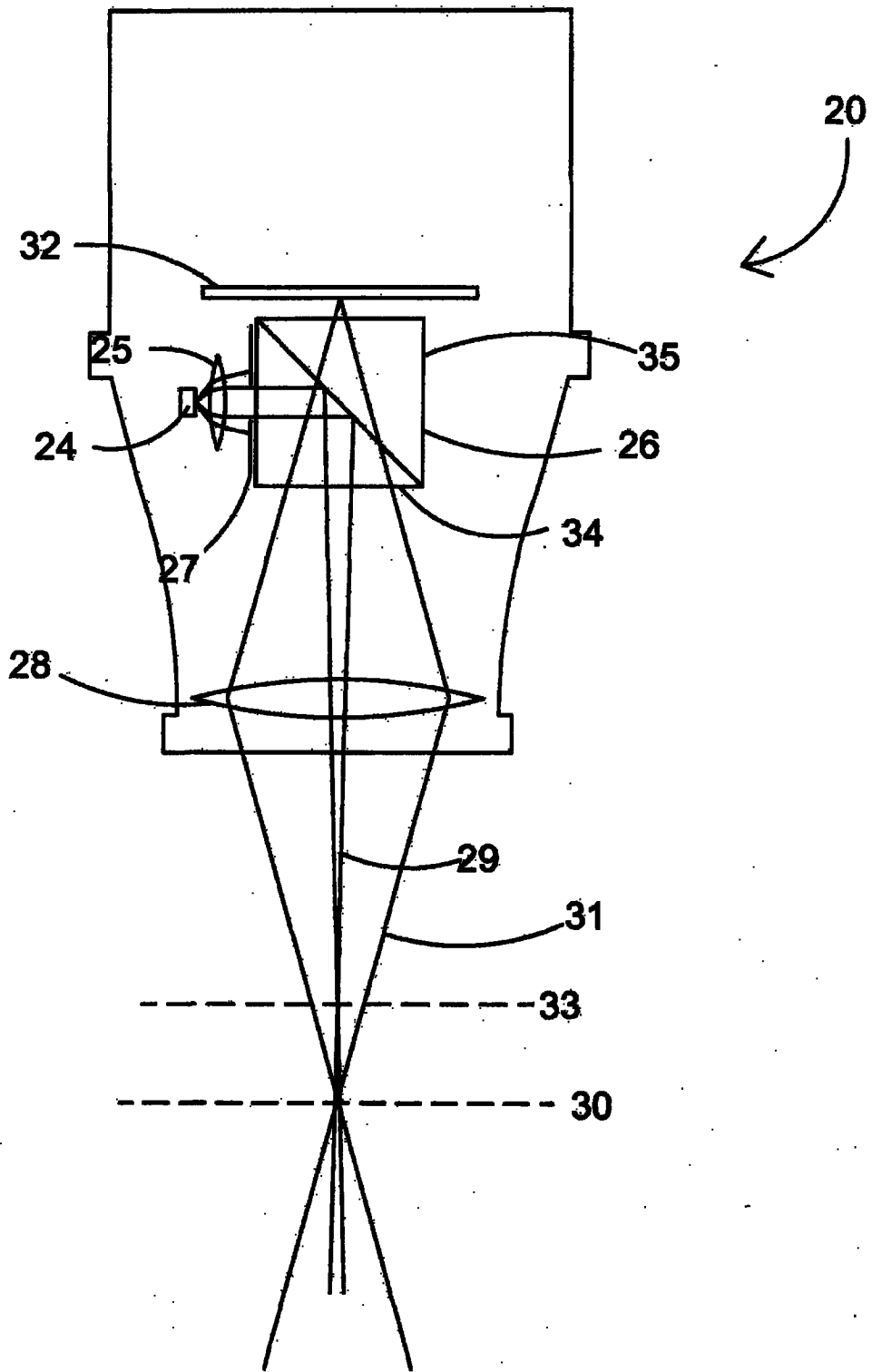


图 2

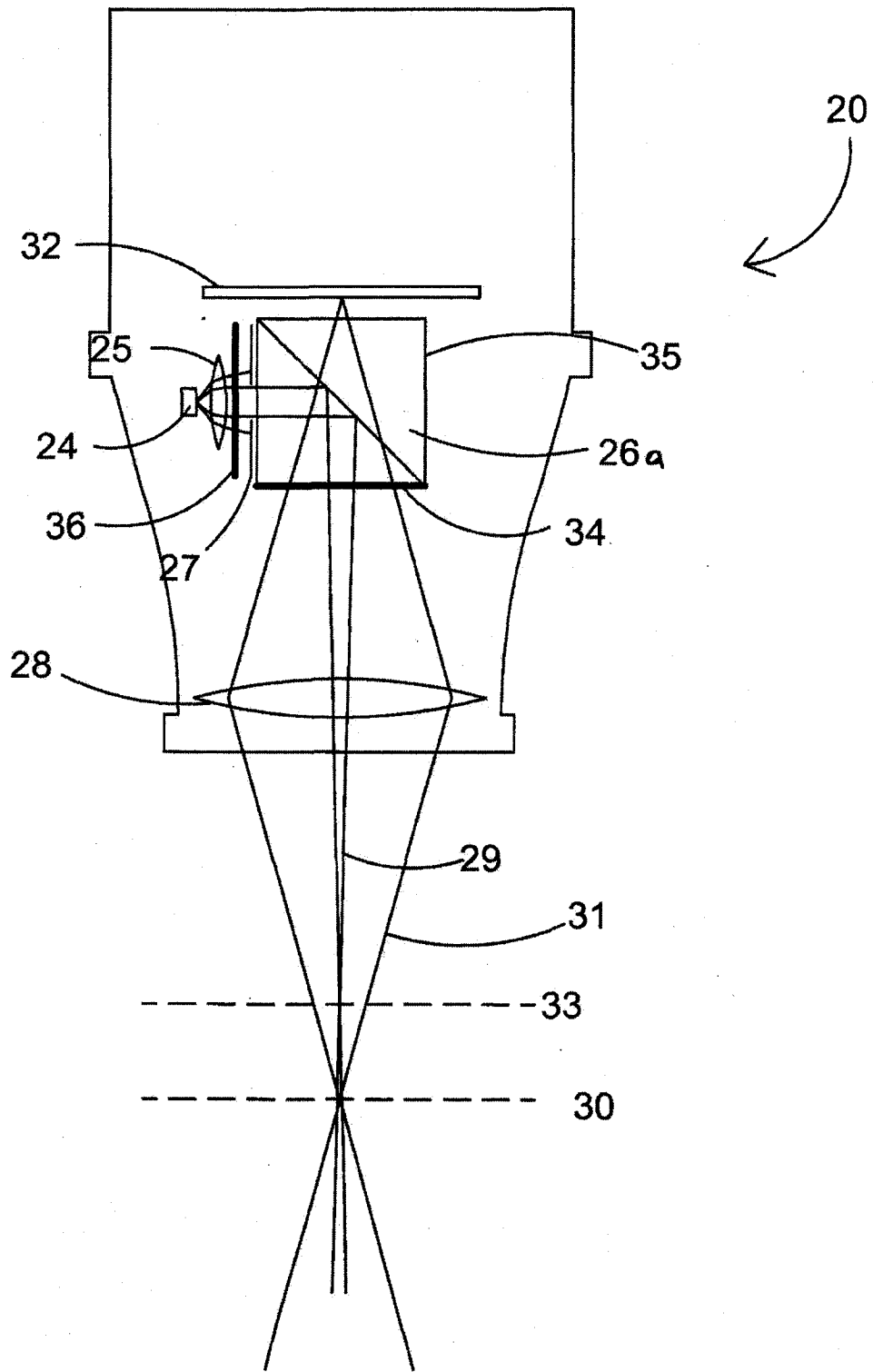


图 3

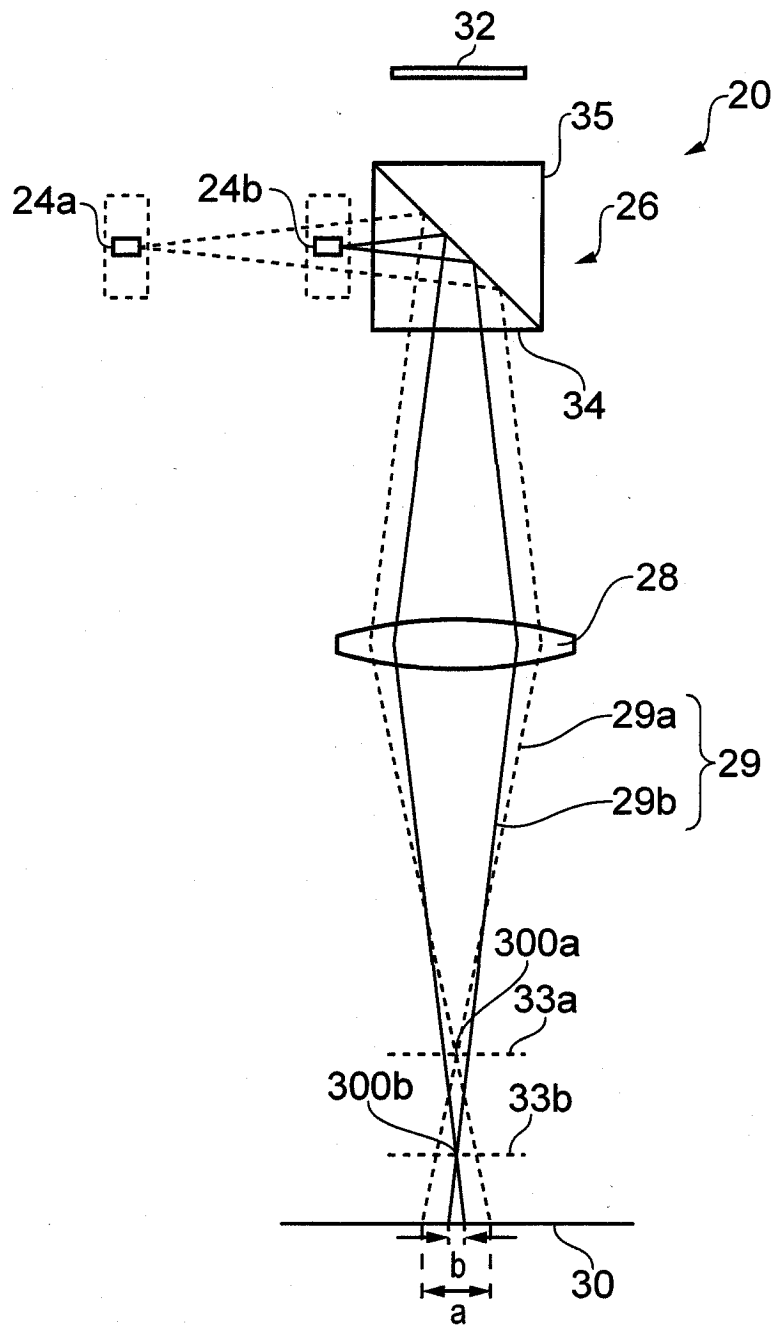


图 4a

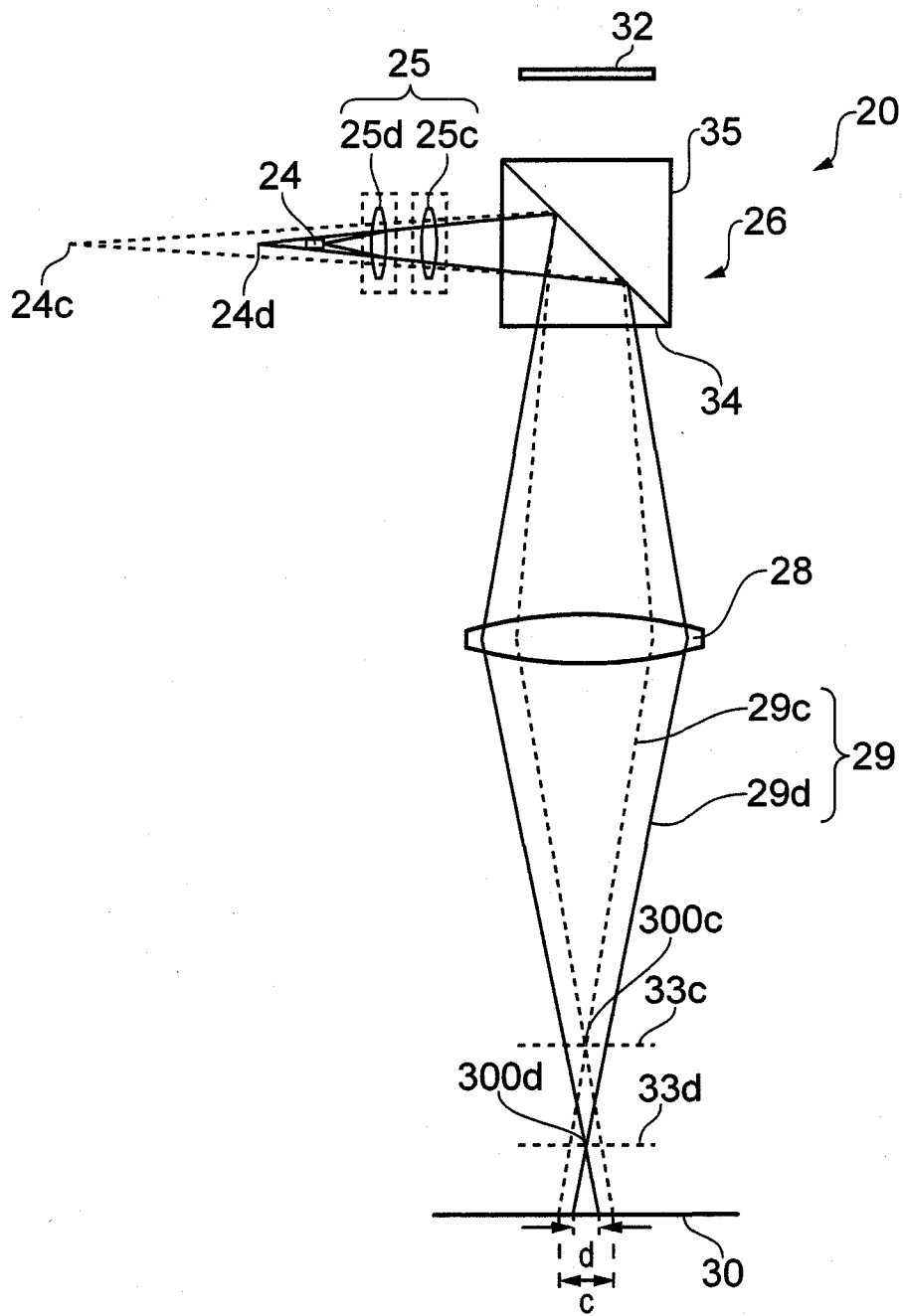


图 4b

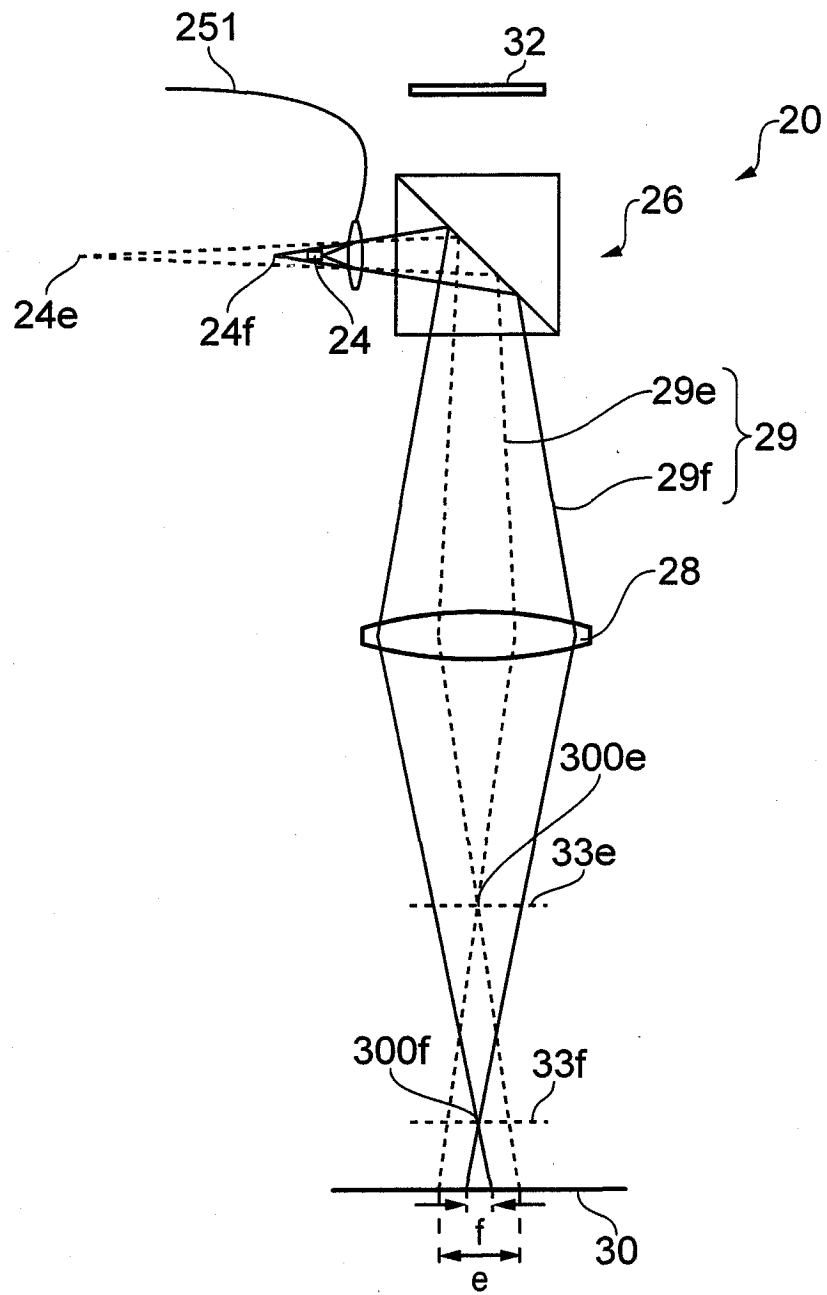


图 4c

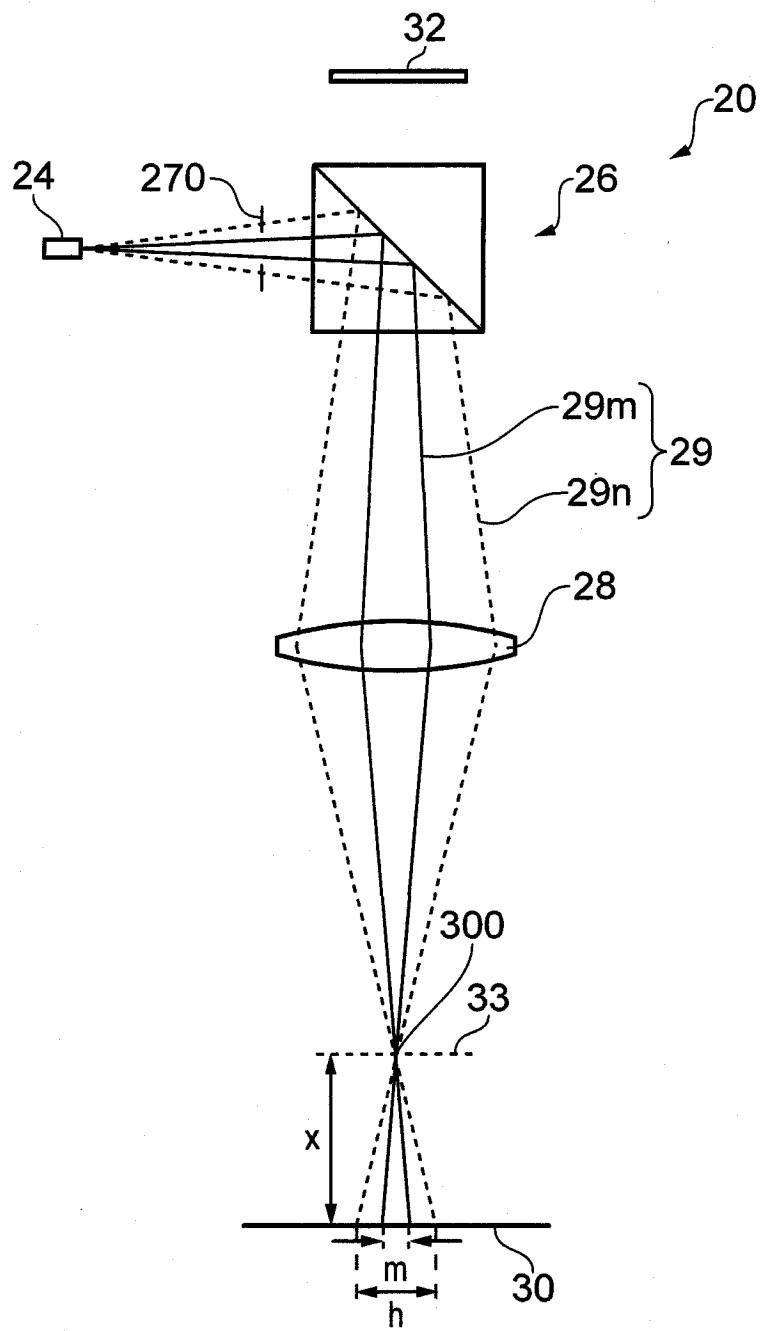


图 5

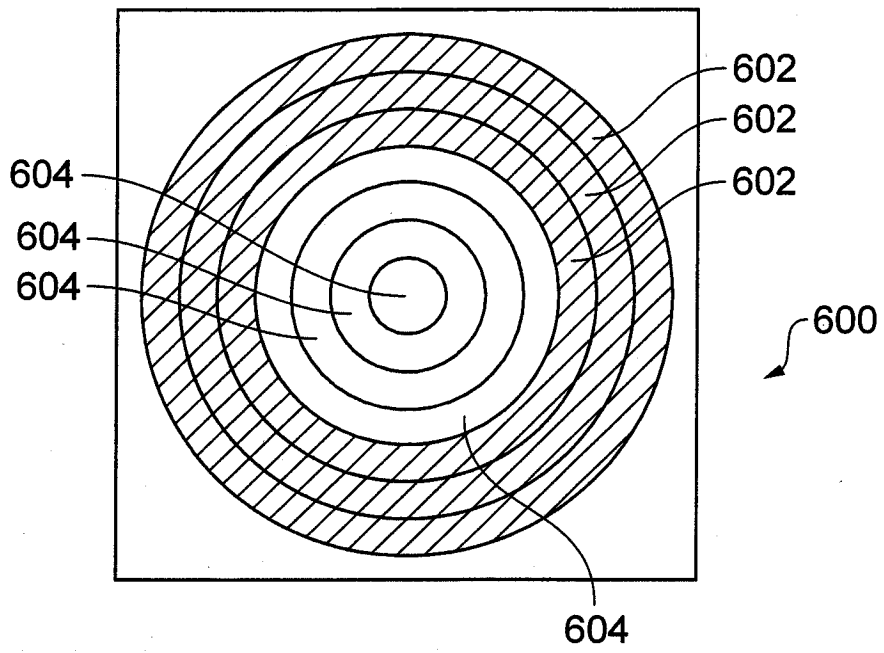


图 6a

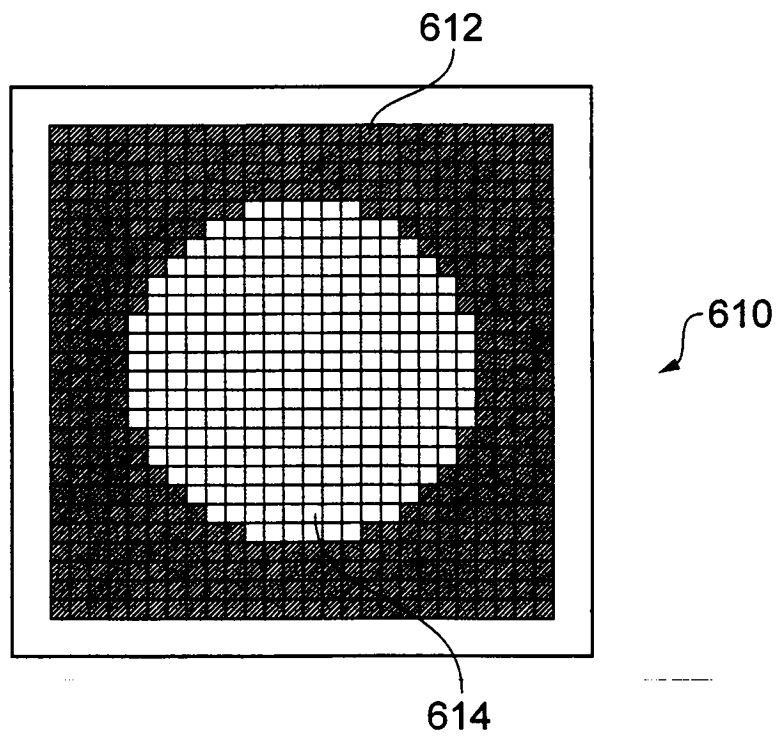


图 6b

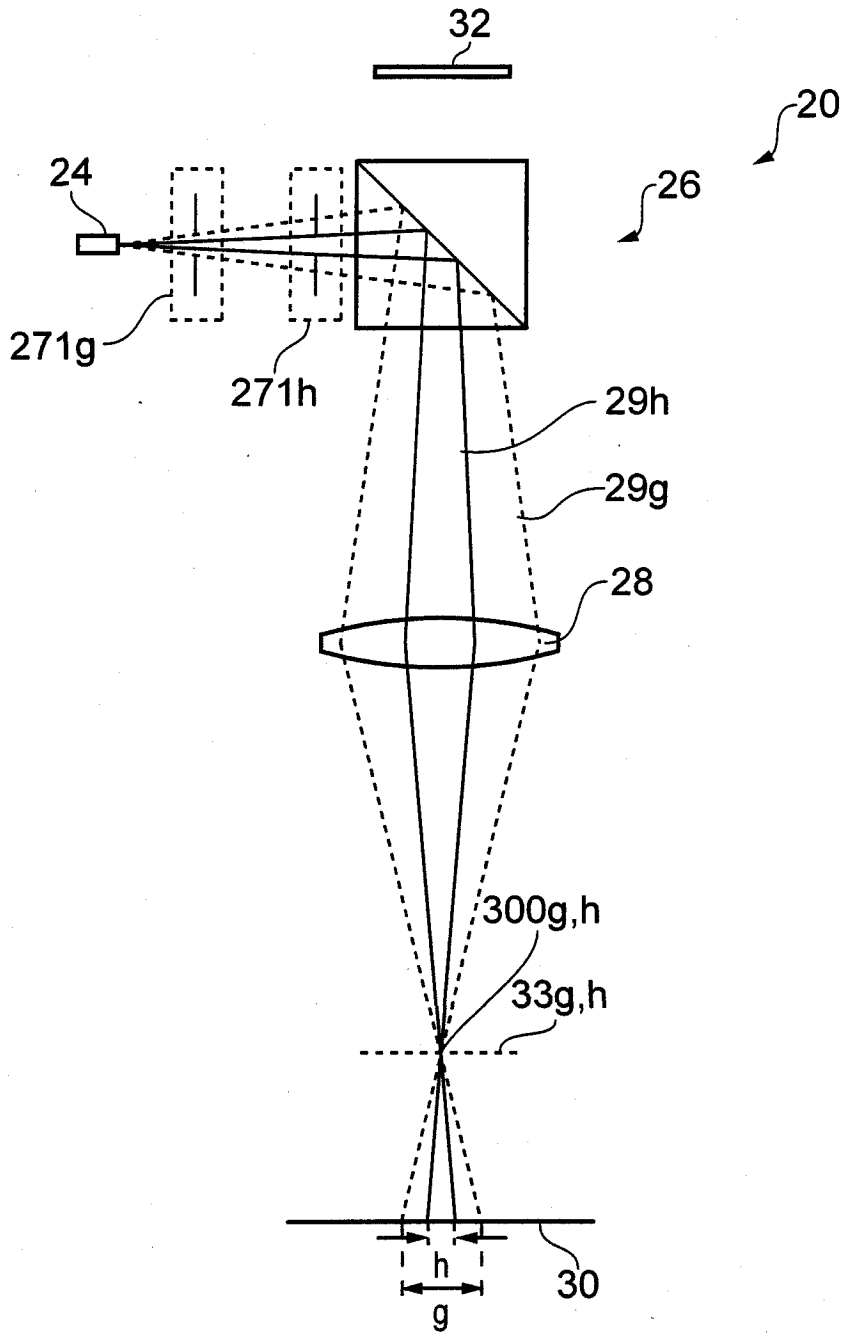


图 7



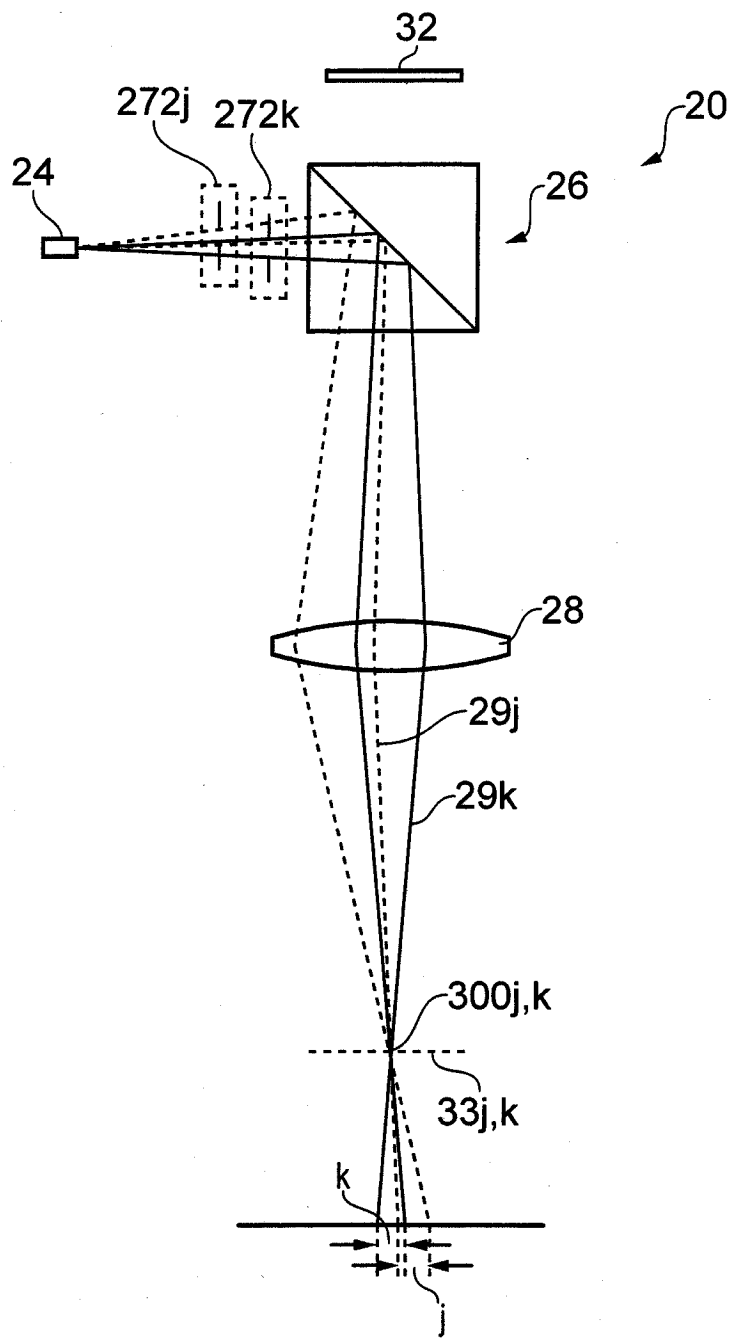


图 8

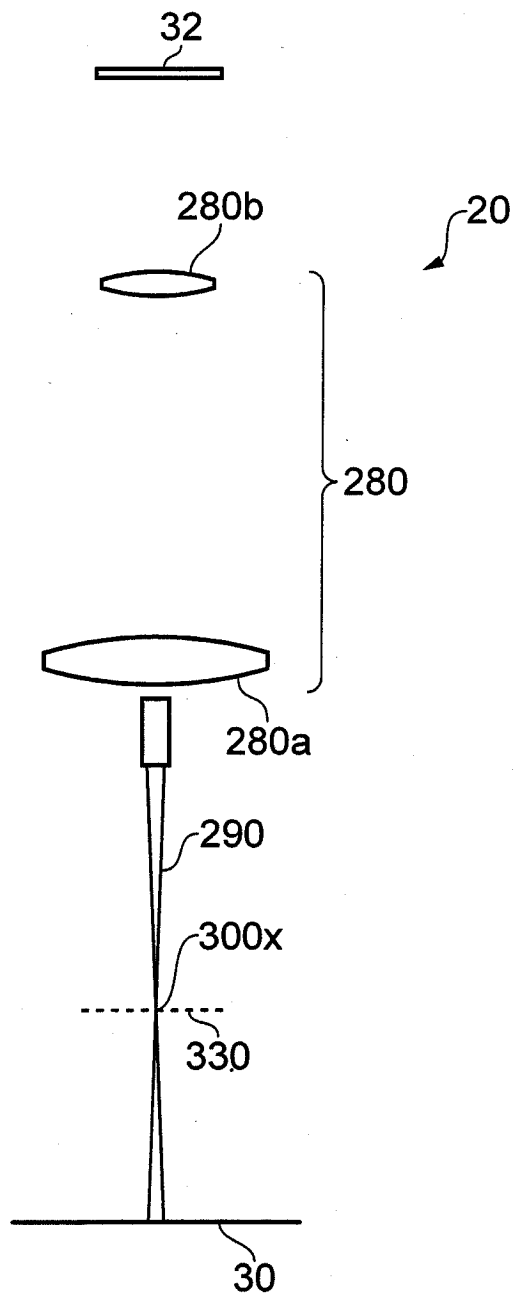


图 9a

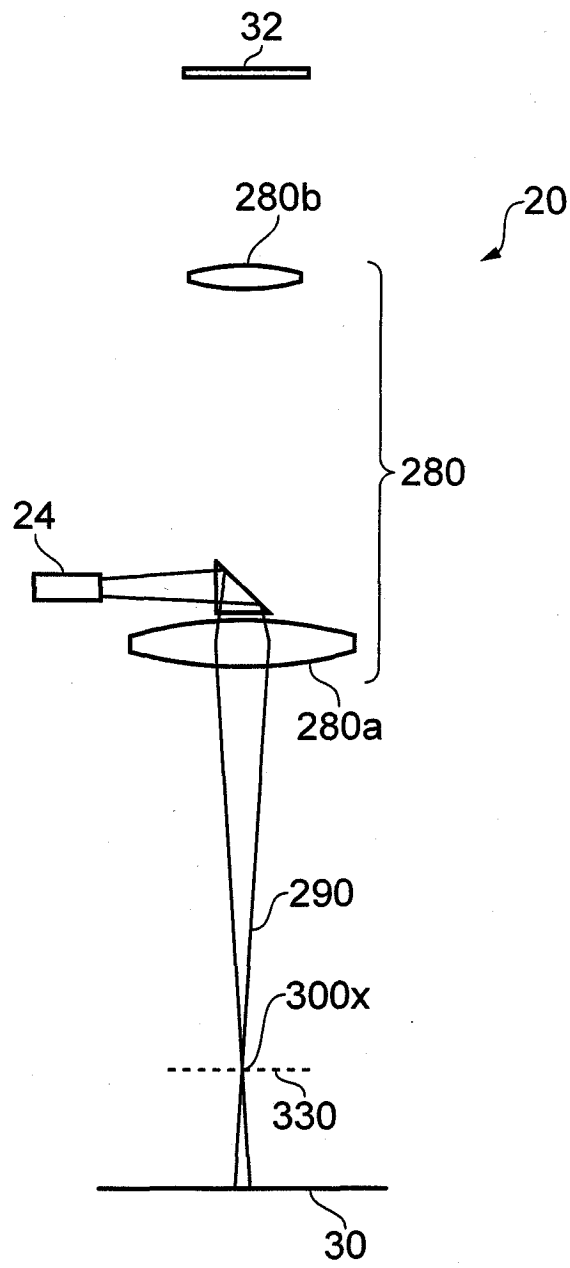


图 9b

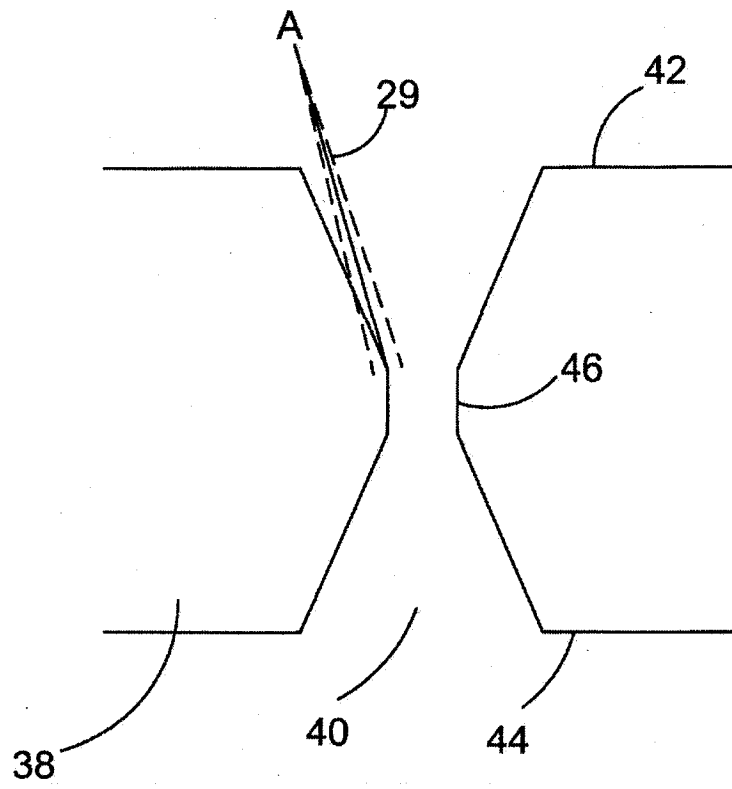


图 10

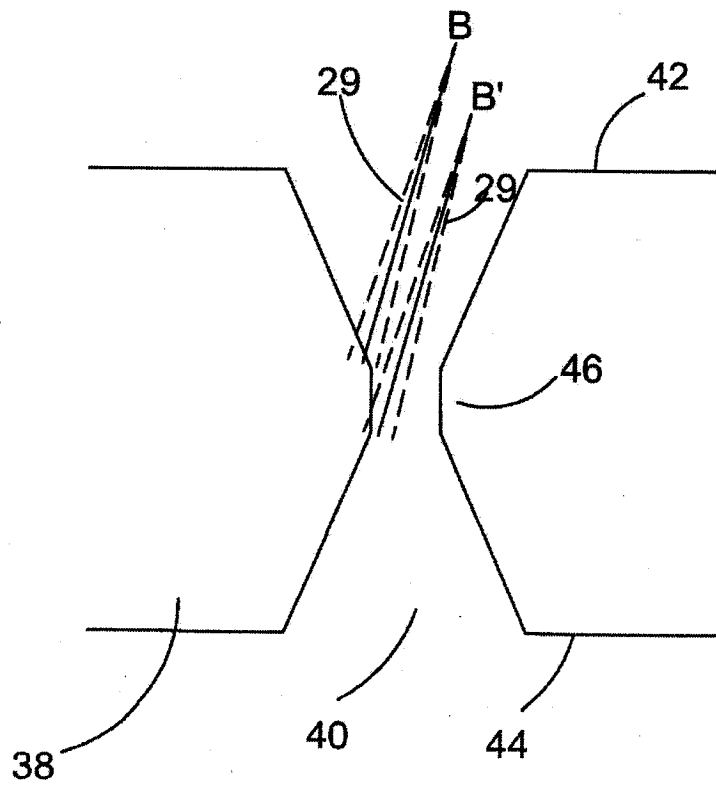


图 11

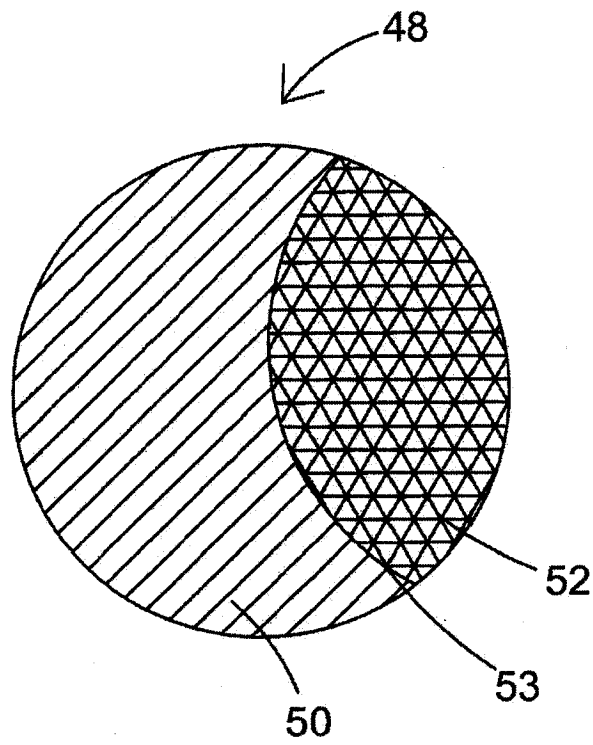


图 12

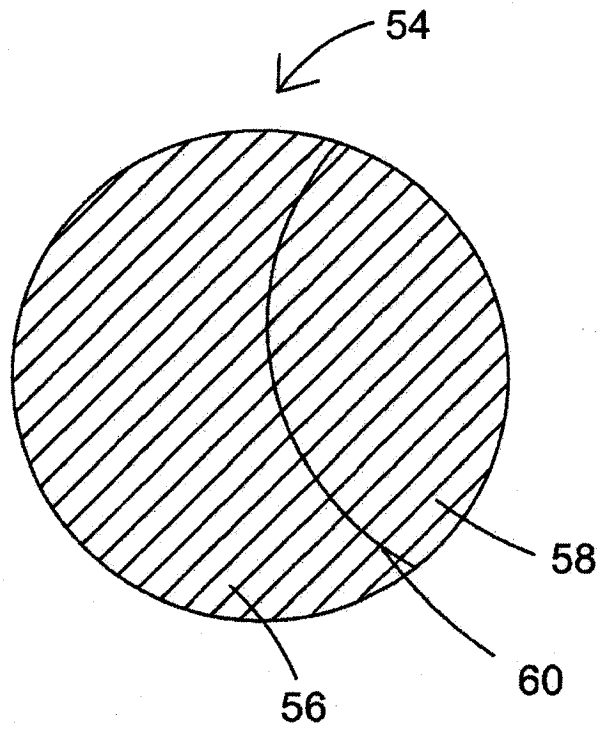


图 13

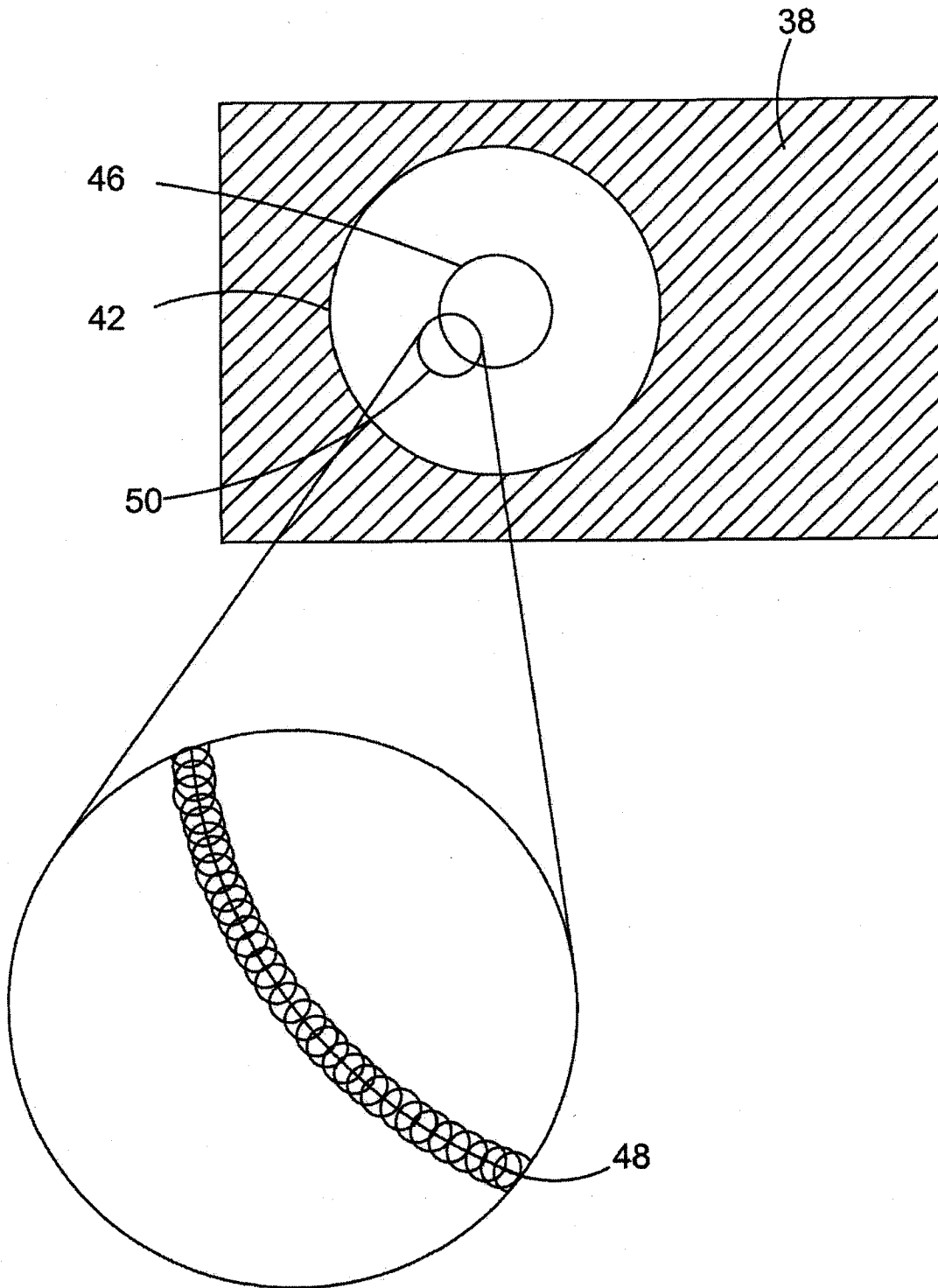


图 14

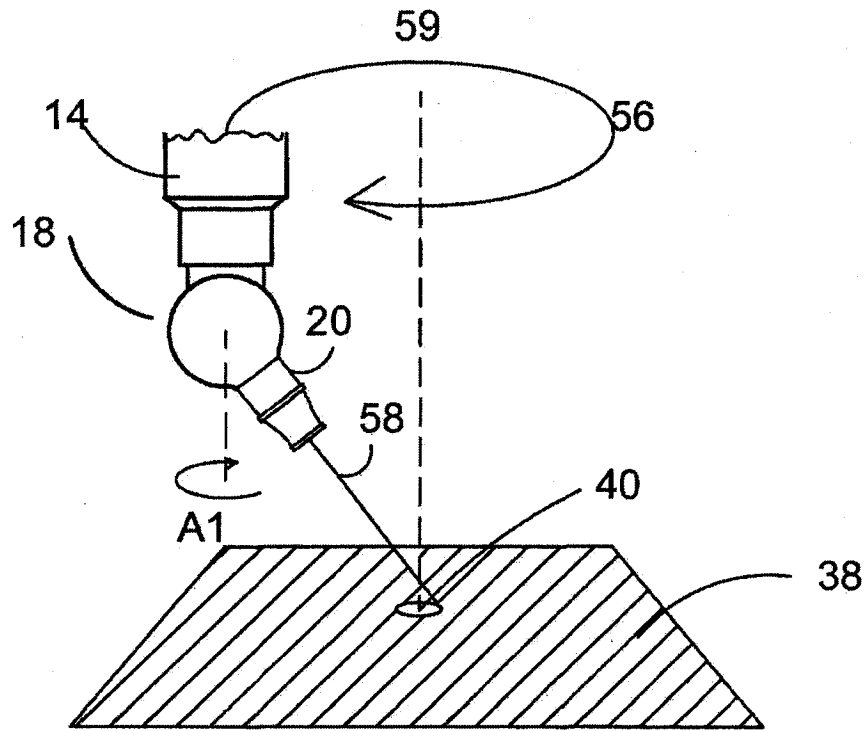


图 15A

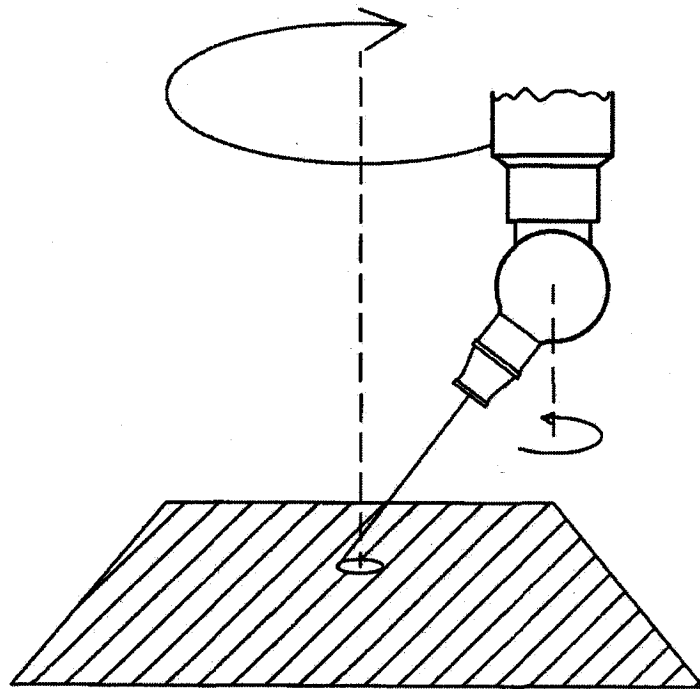


图 15B



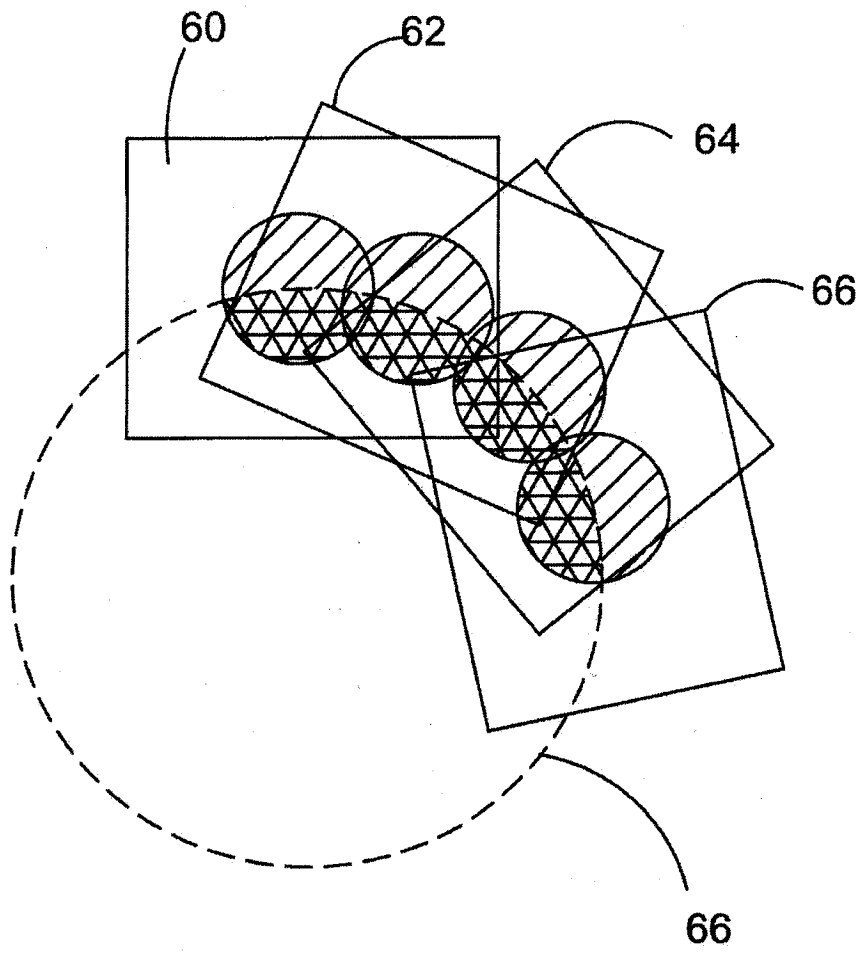


图 16