



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110914634 B

(45) 授权公告日 2022.02.18

(21) 申请号 201880045899.5

(22) 申请日 2018.06.06

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110914634 A

(43) 申请公布日 2020.03.24

(30) 优先权数据
15/614,687 2017.06.06 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.01.09

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2018/050617 2018.06.06

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/225068 EN 2018.12.13

(73) 专利权人 RD 辛纳基有限公司
地址 以色列耐斯茨奥纳市

(72) 发明人 多夫·弗曼

(74) 专利代理机构 上海翼胜专利商标事务所
(普通合伙) 31218

代理人 翟羽

(51) Int.Cl.

G01B 5/02 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

G01B 9/021 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01M 11/02 (2006.01)

G03H 1/04 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106164784 A, 2016.11.23

US 4478481 A, 1984.10.23

US 2008304120 A1, 2008.12.11

CN 1589422 A, 2005.03.02

CN 107615005 A, 2018.01.19

JP H04204032 A, 1992.07.24

US 5515183 A, 1996.05.07

审查员 路晓明

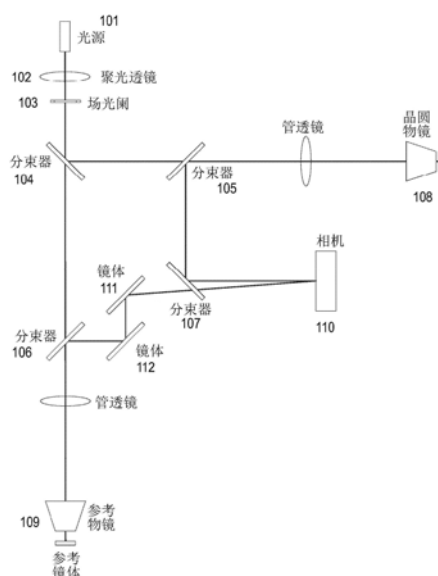
权利要求书1页 说明书16页 附图15页

(54) 发明名称

全息干涉度量的方法及系统

(57) 摘要

一种全息干涉度量仪,包括:至少一个成像装置,捕获一干涉图案,所述干涉图案由至少两个光束创建;以及至少一个光圈,位于所述至少两个光束中的至少一个光束的一光学路径中;其中所述至少一个光圈位于远离所述至少一个光束的一轴线,因而透射所述至少一个光束在一角度范围被收集的一子集。



1. 一种没有参考镜体的全息干涉度量仪,其特征在于:包括:
至少一个成像装置,捕获一干涉图案,所述干涉图案由至少两个光束创建;及
至少两个光圈,每个光圈沿着所述至少两个光束中的一个光束的一光学路径位于与所述至少两个光束中的相应一个光束的一光学轴线相距的不同距离处,从而透射具有不同有效波数的所述至少两个光束中的所述相应一个光束的不同收集角度范围;
其中通过在所述至少两个光束的所述光学轴线之间具有一角度,所述至少两个光束中的每个到达所述至少一个成像装置中,以在所述至少一个成像装置上创建所述干涉图案。
2. 根据权利要求1所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述全息干涉度量仪还包括:
至少一个分束器,将一原始光束分成所述至少两个光束。
3. 根据权利要求2所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述分束器将反射自一主体结构的一光束分成所述至少两个光束。
4. 根据权利要求3所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述全息干涉度量仪还包括单色相干的光源,所述单色相干的光源照射所述主体结构。
5. 根据权利要求3所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述主体结构被环境光照射。
6. 根据权利要求3所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述全息干涉度量仪还包括:
一透镜,位于沿着反射自所述主体结构的所述光束的一光学路径并生成一光圈平面;
其中所述分束器沿着所述原始光束的所述光学路径位于所述光圈平面之前方,因而将所述光圈平面分离。
7. 根据权利要求6所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述至少两个光圈位于所述分离的光圈平面。
8. 根据权利要求1所述的全息干涉度量仪,其特征在于:所述干涉图案被用于获得一主体结构的高度测量。
9. 一种设定一没有参考镜体的全息干涉度量仪的方法,其特征在于:包括:
定位至少一个成像装置,所述成像装置用于捕获一干涉图案,所述干涉图案由至少两个光束创建;及
定位至少两个光圈,每个光圈沿着所述至少两个光束中的一个光束的一光学路径位于与所述至少两个光束中的相应一个光束的一光学轴线相距的不同距离处,从而透射具有不同有效波数的所述至少两个光束中的所述相应一个光束的不同收集角度范围;
其中所述至少两个光束中的每个以一不同角度干涉所述至少一个成像装置。

全息干涉度量的方法及系统

[0001] 技术领域及背景技术

[0002] 在本发明的一些实施例中涉及全息成像,并且更具体地但非排它地涉及使用全息干涉度量(holographic interferometry)进行三维测量的方法及系统。

[0003] 全息成像记录从一物体(诸如集成电路(IC)半导体晶圆或平板显示器(FPD))发出的光的幅度及相位信息,可被用于在显微镜检查中以重建所述物体的3D轮廓,即在所述图像中的每个点的相对高度。

[0004] 一些方法使用在所述物体与参考图像之间的零角度,以及一相位扫描机制,所述相位扫描机制与在相同物体位置处的多个图像采集相结合,给出在所述相位与幅度信息之间进行分离的可能性。这些方法甚至可以使用具备一非常短的相干长度的照射。然而,对于所述物体需要在有限的时间内被横向扫描的应用诸如晶圆检查,这种方案通常太慢。

[0005] 为了使用全息干涉度量实现对所述物体的快速横向扫描,期望能够从单一图像提取相位信息。这可以通过在所述物体光束与所述参考光束之间引入一非零角度并且使用相干照射被完成。在所述图像中的空间频率取决于在所述物体成像光学轴线与所述参考成像光学轴线之间的角度。当所述物体具有例如一隆起的表面时,所述诸多干涉线偏移。通过分析所述诸多图像,可能提取所述诸多干涉线的所述相位改变,并由此推断在所述物体中的所述诸多特征的高度。

[0006] 为了能够从所述图像提取所述相位信息,所述诸多干涉线必须具备的一密度足够低以使所述相机像素化不会将它们平均化,但必须足够高以具有所述横向信息的一良好横向分辨率(此分辨率通常是诸多干涉线的一个周期)。

发明内容

[0007] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种全息干涉度量仪,包括:至少一个成像装置,捕获一干涉图案,所述干涉图案由至少两个光束创建;及至少一个光圈,位于所述至少两个光束中的至少一个光束的一光学路径中;其中所述至少一个光圈位于远离所述至少一个光束的一轴线,因而透射所述至少一个光束在一角度范围被收集的一子集。这分离所述诸多光束,所述诸多光束来自诸多不同主角度被收集的光。

[0008] 可选地,所述至少一个光圈包括至少两个光圈,每个光圈比所述至少两个光圈中的另一个位于不同地远离所述至少两个光束的一各自的一轴线,因而透射所述至少两个光束的所述各自的一大致不同的子集。

[0009] 更可选地,所述全息干涉度量仪还包括至少两个成像装置,每个成像装置捕获一干涉图案,所述干涉图案由穿过所述至少两个光圈中的一个的光创建。

[0010] 更可选地,所述全息干涉度量仪模拟来自单一波长光源的多个不同波长,所述全息干涉度量仪还包括:一单色相干的光源;及一光学设置,将来自所述光源的光分成一第一光束及一第二光束,所述第一光束照射一主体结构,所述第二光束照射一参考镜体;并且将所述第一光束及所述第二光束结合成单一结合光束。使用与单一波长光源不同的有效波长,因而消除对一昂贵的多波长光源的需求。

[0011] 更可选地,所述第一光束的一光学路径与所述第二光束的一光学路径在光学上相同。

[0012] 更可选地,所述全息干涉度量仪没有参考镜体,其中所述至少两个光圈中的每个位于所述至少两个光束中的一个的一光学路径中。

[0013] 可选地,所述全息干涉度量仪还包括:至少一个分束器,将一原始光束分成所述至少两个光束。

[0014] 更可选地,所述全息干涉度量仪没有参考镜体,其中所述分束器将被反射自一主体结构的一光束分成所述至少两个光束。

[0015] 更可选地,所述全息干涉度量仪还包括单色相干的光源,所述单色相干的光源照射所述主体结构。

[0016] 更可选地,所述主体结构被环境光照射。

[0017] 更可选地,所述主体结构是一漫反射物体。

[0018] 更可选地,所述全息干涉度量仪还包括一光谱过滤器。

[0019] 更可选地,所述至少一个分束器包括至少一个偏振分束器。

[0020] 更可选地,所述至少一个偏振分束器将所述原始光束分成所述至少两个光束,所述至少两个光束具有两个正交偏振。

[0021] 更可选地,所述全息干涉度量仪还包括一半波长波片。

[0022] 可选地,所述至少一个光圈的位置、尺寸及形状中的至少一个被动态地控制以创建多个不同干涉图案。

[0023] 可选地,所述全息干涉度量仪的一放大倍率被动态地控制以创建多个不同干涉图案。

[0024] 可选地,所述全息干涉度量仪的一焦点被动态地控制以创建多个不同干涉图案。

[0025] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种全息干涉度量仪,包括:至少一个分束器,将一原始光束分成至少两个光束;及至少一个成像装置,捕获一干涉图案,所述干涉图案由所述至少两个光束在来自一物体的反射后创建;其中所述至少两个光束在所述物体上具有不同的入射角度。

[0026] 可选地,所述全息干涉度量仪还包括:至少一个镜体,改变所述至少两个光束中的至少一个光束与所述原始光束的一原始光学轴线的距离,以创建所述不同的入射角度。

[0027] 可选地,所述至少一个分束器包括至少一个偏振分束器。

[0028] 可选地,所述至少一个成像装置包括至少两个成像装置,每个成像装置捕获一干涉图案,所述干涉图案由具有不同偏振角度的光创建。

[0029] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种设定一全息干涉度量仪的方法,包括:定位至少一个成像装置,所述成像装置捕获一干涉图案,所述干涉图案由至少两个光束创建;及定位至少一个光圈,所述光圈位于所述至少两个光束中的至少一个光束的一光学路径中;其中所述至少一个光圈位于远离所述至少一个光束的一轴线,因而透射所述至少一个光束在一角度范围被收集的一子集。

[0030] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种全息干涉度量仪,包括:至少一个单色相干的光源;一成像装置,捕获一干涉图案;及一光学设置,将来自所述光源的光分成:一第一光束,照射一主体结构并且被反射到所述成像装置中;及一第二光束,照射一参考镜

体并且被反射到所述成像装置中,以创建所述干涉图案;其中所述第一光束的一光学路径与所述第二光束的一光学路径在光学上相同。这确保的是在所述物体图像与所述参考图像之间的所述相位差本质上是由所述诸多物体特征及在所述诸多图像之间的所述计划角度确定。

[0031] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种从一全息干涉度量仪产生的一图像获得一主体结构的高度测量的方法,包括:从一全息干涉度量仪的一成像装置接收一干涉图案的一数字的图像,所述干涉图案是由一主体结构的一成像所创建;选择所述图像的一个二维截面;分析在所述二维截面中的所述干涉图案,以计算所述干涉图案的相位;及从所述相位估计所述主体结构的一个别部分的高度。这限制所述空间拖尾(spatial smearing),并且在计算上比诸多常用方法便宜。

[0032] 可选地,所述二维截面的尺寸小于所述全息干涉度量仪的一理论光斑尺寸的十倍。

[0033] 可选地,所述二维截面的尺寸小于所述图像的一尺寸的十分之一。

[0034] 可选地,所述干涉图案包括至少两个波长的多个干涉图像的总和。

[0035] 可选地,所述分析包括对于所述二维截面的傅立叶变换。

[0036] 可选地,所述干涉图案在所述二维截面内大致具有整数个周期。

[0037] 可选地,所述分析包括一幅度及所述相位的迭代计算。

[0038] 根据本发明的一些实施例,提供一种计算机可读介质,包括多个计算机可执行指令,所述多个计算机可执行指令适于执行所述方法。

[0039] 根据本发明的一些实施例的一个方面,提供一种用于从一全息干涉度量仪产生的一图像获得一主体结构的高度测量的软件程序产品,包括:一非暂时性计算机可读存储介质;多个第一程序指令,用于从一全息干涉度量仪的一成像装置接收一干涉图案的一数字的图像,所述干涉图案是由一主体结构的一成像所创建;多个第二程序指令,用于选择所述图像的一个二维截面;多个第三程序指令,用于分析在所述二维截面中的所述干涉图案,以计算所述干涉图案的相位;及多个第四程序指令,用于从所述相位估计所述主体结构的一个别部分的高度;其中所述多个第一程序指令、第二程序指令、第三程序指令及第四程序指令由至少一个计算机化处理器执行自所述非暂时性计算机可读存储介质。

[0040] 除非另有定义,否则在本文中被使用的所有技术的及/或科学的术语具有的含义与本发明所属领域的普通技术人员通常所理解的相同。尽管与本文描述的那些类似或等同的方法及材料可以用于本发明的实施例的实践或测试中,但是诸多示例性的方法及/或材料被描述如下。在冲突的情况下,所述专利说明书,包括诸多定义,将具支配性。另外,所述诸多材料、方法及实施例仅是说明性的,并非意图是必要限制的。

[0041] 本发明实施例的方法及/或系统的实现可以涉及手动地、自动地或其一组合进行执行或完成诸多被选择的任务。此外,根据本发明的方法及/或系统的实施例的实际仪器及设备,几个被选择的任务可以使用一操作系统通过硬件、通过软件、通过固件或通过它们的组合被实现。

[0042] 例如:根据本发明的诸多实施例的用于执行诸多被选择的任务的硬件可以被实现为一芯片或一电路。作为软件,根据本发明的诸多实施例的所述被选择的任务可以被实现为被一计算机执行的诸多软件指令,所述计算机使用任何合适的操作系统。在本发明的一

示例性实施例中,根据在本文中被描述的方法及/或系统的诸多示例性实施例的一个或多个任务由一数据处理器执行,例如用于执行诸多指令的一计算平台。可选地,所述数据处理器包括用于存储指令及/或数据的一易失性存储器及/或用于存储指令及/或数据的一非易失性存储器,例如一磁性硬盘及/或可移动介质。可选地,一网络连接被提供为佳。一显示器及/或一用户输入装置,诸如键盘或鼠标,可选地被提供为佳。

附图说明

[0043] 这里仅通过示例的方式,参考附图描述本发明的一些实施例。现在具体参考附图,要被强调的是,所示出的细节是作为示例并且出于对本发明的实施例的说明性讨论的目的。就此而言,结合附图进行的描述对于本领域技术人员而言显而易见的是本发明的实施例可以如何被实践。

[0044] 在附图中:

[0045] 图1是根据本发明的一些实施例的一示例性双光学路径全息成像设置的一示意图例;

[0046] 图2是根据本发明一些实施例的示意性表示一种从一全息干涉度量仪产生的一图像获得一主体结构的高度测量的方法的一流程图;

[0047] 图3是根据本发明的一些实施例的从被期望作为对所述主体结构的不同特征 z 高度的一响应的一图像的一示例性超级像素。

[0048] 图4是根据本发明的一些实施例的用于拍摄具有单一波长的诸多干涉图像的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例;

[0049] 图5是根据本发明的一些实施例的一光圈平面的一示意图例。

[0050] 图6是根据本发明的一些实施例的用于拍摄具备单一波长的诸多干涉图像的一全息干涉度量仪的一替代光学设置的一示意图例;

[0051] 图7是在光学路径长度差的光照和聚光的两个主光线角之间进行比较的一简化示例。

[0052] 图8是根据本发明的一些实施例的没有参考的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。

[0053] 图9是根据本发明的一些实施例的一光圈平面的一示意图例。

[0054] 图10是根据本发明的一些实施例的利用诸多分束器实现四个不同的有效波数的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。

[0055] 图11是根据本发明的一些实施例的用于使用环境光对一漫反射物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例;

[0056] 图12是根据本发明的一些实施例的用于使用偏振光对一漫反射物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例;

[0057] 图13是根据本发明的一些实施例的用于使用偏振光对一远距漫反射物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例;

[0058] 图14是根据本发明的一些实施例的用于对由具有不同角度的光束照射的一物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。

[0059] 图15是根据本发明的一些实施方式的图14的所述全息干涉度量仪的一光圈平面

的一示例性照射图案配置的一示意图例；

[0060] 图16是以图解说明根据本发明的一些实施例的两个光束之间的相位差的依存性以及所述两个反射光束强度的一模拟示例的图；

[0061] 图17是根据本发明的一些实施例的用于对由具有不同角度的偏振光束照射的一物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图。及

[0062] 图18是根据本发明的一些实施例的用于对由具有不同角度的偏振光束照射的一物体进行剖析的全息干涉度量仪的另一光学设置的示意图。

具体实施方式

[0063] 在一些实施例中，本发明涉及全息成像，并且更具体地但非排它地涉及使用全息干涉度量进行三维测量的方法及系统。

[0064] 根据本发明的一些实施例，提供一种全息干涉度量仪(holographic interferometer)，所述全息干涉度量仪对于物体光束及参考光束具有相同的光学路径，以使在视场上的诸多干涉线的均匀性最大化。这是通过建构一镜体的一参考图像被完成的，本质上相同的光学路径被用于建构所述物体图像。

[0065] 在许多光学设置中，在横越整个视场(field-of-view)获得均匀的干涉线密度可能是困难的，因为即使在光学器件受到衍射限制且所述物体聚焦(in focus)时，一图像点的相位(相对于例如在具备一平坦物体场的场的中心处的所述图像点)可能在横越整个场上移动时快速变化，尤其是远离所述场的中心(所述光学轴线)。通常，对于这些设置，所述参考图像不显示此相位表现，因为它具有与所述物体图像不同的一光学设置，因此在所述诸多图像之间的干涉会创建一图像，其中所述诸多干涉线的密度在横越整个场发生变化(即使对于在焦点(focus)处的一平面物体)，通常离所述视场中心越远，密度越高，并且当所述诸多干涉线变得比相机像素更密集时，甚至可能消失。通过确保在所述物体图像与所述参考图像之间的相位差本质上由所述诸多物体特征及在所述诸多图像之间的所述计划角度决定，所述双光学路径全息成像设置解决这一问题。

[0066] 根据本发明的一些实施例，提供一种从一全息干涉度量仪产生的一图像中获得一主体结构的高度测量的方法，所述方法通过使用小的像素块(诸多超级像素)分析所述图像，以查找所述相位并估计每一个的高度。

[0067] 用于在一干涉图案图像中查找每个点的相位的常见做法是：对整个图像(或它的很大一部分，譬如一感兴趣的区域)进行一傅立叶变换，在所述傅立叶空间中执行一些操作(例如移开原点，进行数字过滤)，然后将所述傅立叶变换逆进行而返回。第一个困难是在傅立叶空间中的操作倾向于在空间空间中拖尾所述信息，从而在相位测量中引入误差。第二个困难是，即使快速傅立叶变换(FFT)算法被使用，所述傅立叶变换(及它的逆运算)在计算上是昂贵的。使用诸多超级像素将所述空间拖尾限制为所述超级像素的尺寸，并且在计算上是便宜的。

[0068] 根据本发明的一些实施例，提供一种使用来自单一光源的诸多角度分离诸多光束的全息干涉度量仪。这是通过使用诸多光圈(aperture)将来自(从所述物体及/或参考镜体被反射的)所述原始光束中被收集的光的不同主角度到达的诸多光束分离而被完成的。每个光圈允许从不同角度范围到达的光通过，因此所述光圈平面的一不同部分被选择且被透

射。位于可选地由一分束器分离的诸多光束中的一个的一光学路径中的一个或诸多光圈被使用。所述诸多光圈中的每个可选地与其他光圈以不同的角度远离所述分离光束的所述轴线。所述光圈相对于所述光束的轴线的所述确切位置、形状及尺寸控制被用于所述路径的所述光束的被收集角度范围。通过所述诸多光圈平面这些不同部分被透射的光创建诸多角度分离光束。此想法可以被使用于不同的方式及不同的光学设置,以创建一干涉图案。例如:诸多角度分离光束可以被用于模拟诸多波长并创建诸多干涉图案,及/或可以被用于彼此干涉,以创建所述干涉图案。

[0069] 根据一些实施例,使用单一波长拍摄诸多干涉图像,这些图像中的每个包含与不同的主光线角度相应的相位信息。所述在一点的高度上的相位依存性取决于这些角度,因此所述诸多角度分离光束也可以被称为具有‘诸多有效波长’。因此,所述有效波长是通过选择被用于对相机的图像建构的所述被收集的光的角度被控制的。

[0070] 在许多情况下,一个干涉图像是不够的,因为高度的动态范围受到被用于所述成像的波长的限制。一个常见的解决方案是使用几个以不同波长拍摄的干涉图像。仔细选择所述诸多波长可以使一动态范围大于被用于所述成像的所述诸多波长(这被称为展开所述相位或建构一合成波长)。为了实现对于高度测量的一大动态范围,需要具备诸多被精确控制的波长的诸多可调谐激光源,并且对所述诸多波长进行的一些调整可以被使用以优化系统性能。因此,使用与单一波长光源不同的有效波长因而消除对于一昂贵的多波长光源的需求。

[0071] 根据一些实施例,所述全息干涉度量仪没有参考镜体,并且所述干涉是在基于从所述物体被收集的光的两个不同的主光线角的两个图像之间。可以使用单色相干的光源或一外部环境照射。

[0072] 根据一些实施例,一漫反射物体可以使用环境光被轮廓化(profiled)。从所述物体被反射的一些环境光在一特定方向上被反射并由一物镜(objective lens)被收集。根据一些实施例,一漫反射物体表面以两个不同的角度范围被照射,每个角度范围具备一不同的光的偏振,可选地正交。这增加所述诸多干涉线的对比度。

[0073] 根据本发明的一些实施例,提供一种全息干涉度量仪,其中所述物体的所述照射仅包含一些角度,因此不需要过滤角度范围。所述光源光束被分离,并且例如由一镜体控制一个或两个光束从诸多光学轴线(在所述光圈平面中)的位移。在所述诸多光束之间的路径差是由一棱镜补偿的。这样就可以控制所述Z动态范围以及在所述相机上的干涉线密度及角度。

[0074] 可选地,所述光束由一偏振分束器分离。这对于测量从所述物体被反射的光的振幅是有利的,例如当物体由一反射表面上的一透明层组成时。

[0075] 在详细解释本发明的至少一个实施例之前,应当理解的是,本发明的应用并非必然限于以下叙述中阐述及/或在附图及/或示例中以图解说明的部分及/或方法的构造细节及布置。本发明能够具有其他实施例,或者能够以各种方式被实践或执行。

[0076] 本发明可以是一系统、一方法及/或一计算机程序产品。所述计算机程序产品可以包括一计算机可读存储介质,其上具有用于致使一处理器执行本发明的诸多方面的诸多计算机可读程序指令。

[0077] 所述计算机可读存储介质可以是一有形装置,所述有形装置可以保留及存储供一

指令执行装置使用的诸多指令。所述计算机可读存储介质可以是例如但不限于一电子存储设备、一磁存储设备、一光存储设备、一电磁存储设备、一半导体存储设备或前述的任何合适的组合。所述计算机可读存储介质的更具体示例的一非详尽列表包括以下内容：一便携式计算机软盘、一硬盘、一随机存取存储器 (RAM)、一只读存储器 (ROM)、一可擦可编程只读存储器 (EPROM或闪存)、一静态随机存取存储器 (SRAM)、一便携式光盘只读存储器 (CD-ROM)、一数字多功能磁盘 (DVD)、一记忆棒、一软盘、一机械编码设备，例如打孔卡或在一凹槽中具有诸多指令被记录在其上的诸多凸起结构，以及上述内容的任何合适组合。如在本文被使用的，一计算机可读存储介质不应被理解为本身是瞬时信号，诸如无线电波或其他自由传播的电磁波、通过一波导传播的电磁波或其他传输介质 (譬如穿过一光纤电缆的光脉冲) 或通过一电线被传输的电信号。

[0078] 在本文被描述的计算机可读程序指令可以从一计算机可读存储介质被下载到各自的计算/处理装置，或者通过一网络例如互联网、一局域网、一广域网及一无线网络被下载到一外部计算机或外部存储装置。所述网络可以包括诸多铜传输电缆、诸多光传输纤维、诸多无线传输、诸多路由器、诸多防火墙、诸多交换机、诸多网关计算机及/或诸多边缘服务器。在每个计算/处理装置中的一网络适配器卡或网络接口从所述网络接收诸多计算机可读程序指令，并且转发所述计算机可读程序指令以存储在所述相应的计算/处理装置内的一计算机可读存储介质中。

[0079] 用于执行本发明的操作的计算机可读程序指令可以是汇编程序指令、指令集架构 (ISA) 指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数据或源代码或物体用一种或多种编程语言 (包括面向物体的编程语言，例如Smalltalk、C++或类似) 及常规过程编程语言 (例如“C”编程语言或类似编程语言) 的任意组合编写的代码。计算机可读程序指令可以完全在所述用户的计算机上、部分在所述用户的计算机上、作为一独立软件包、部分在所述用户的计算机上及部分在一远程计算机上或完全在所述远程计算机或服务器上执行。在后一种情况下，所述远程计算机可以通过任何类型的网络，包括一局域网 (LAN) 或一广域网 (WAN) 被连接到所述用户的计算机，或者可以对一外部计算机建立连接 (例如通过使用一因特网服务提供商的所述因特网)。在一些实施例中，电子电路包括例如可编程逻辑电路、现场可编程门阵列 (FPGA) 或可编程逻辑阵列 (PLA) 可以通过利用所述计算机可读程序指令的状态信息执行所述计算机可读程序指令以个性化所述电子电路，以便执行本发明的诸多方面。

[0080] 本发明的诸多方面参考根据本发明的诸多实施例的诸多方法、诸多装置 (诸多系统) 及诸多计算机程序产品的诸多流程图图例及/或诸多框图在本文中被描述。将被理解的是，所述诸多流程图图例及/或诸多框图的每个框以及在所述诸多流程图图例及/或诸多框图中的诸多框的诸多组合可以由诸多计算机可读程序指令实现。

[0081] 这些计算机可读程序指令可以被提供给一通用计算机、专用计算机或其他可编程数据处理装置的一处理器，以创建一机器，使得所述诸多指令经由所述计算机的所述处理器或创建用于实现在所述流程图及/或框图的框或诸多框中被指定的功能/动作的其他可编程数据处理装置来执行。这些计算机可读程序指令还可以被存储在一计算机可读存储介质中，所述计算机可读存储介质可以指导一计算机、一可编程数据处理装置及/或其他装置以一特定方式起作用，使得具有指令被存储在其中的计算机可读存储介质包括一制品，所

述制品包括诸多指令,所述指令实现在所述流程图及/或框图的框或诸多框中被指定的功能/动作的诸多方面。

[0082] 所述计算机可读程序指令也可以被加载到一计算机、其他可编程数据处理装置或其他装置上,以致使一系列的操作步骤在所述计算机、其他可编程装置或其他装置上被执行以产生一计算机被实现的过程,使得在所述计算机、其他可编程装置或其他装置上执行的诸多指令实现在所述流程图及/或框图的框或诸多框中被指定的功能/动作。

[0083] 在所述诸多附图中的所述流程图及诸多框图以图解说明根据本发明的各种实施例的诸多系统、诸多方法及诸多计算机程序产品的诸多可能实现的结构、功能及操作。就这一点而言,在所述流程图或诸多框图中的每个框可以表示诸多指令的一模块、片段或部分,其包括用于实现所述被指定的(诸多)逻辑功能的一个或诸多可执行的指令。在一些替代实施方案中,在所述框中被指出的所述诸多功能可以不按图中指出的顺序发生。例如:取决于所涉及的功能,实际上,连续示出的两个框大致可以同时被执行,或者所述诸多框有时可以用相反的顺序被执行。还应注意的是,所述诸多框图及/或流程图图例的每个框以及在所述诸多框图及/或流程图图例中的诸多框的诸多组合可以由基于特定目的硬件的专用系统来实现,所述基于特定目的硬件的专用系统执行所述诸多指定功能或动作或执行特殊用途的硬件及计算机指令的组合。

[0084] 现在参考附图,图1是根据本发明的一些实施例的一示例性双光学路径全息成像设置的一示意图例。一参考镜体的所述图像被建构成本质上与用于建构所述物体图像具备相同光学路径,所述两个光束的所述诸多光学路径在光学上是相同的。一单色相干的光源101及一聚光透镜102在一视场光阑(field stop)103上创建一照射场平面(illumination field plane)。诸多分束器104、105、106及107将在所述物体腿部(照射一主体结构108的一光束)与所述干涉仪的所述参考腿部(一照射一参考镜体109的一光束)之间的光分离,然后组合在一成像装置诸如一相机110上的所述被反射的图像。

[0085] 光源101可以是例如发光二极管(LED)、连续波(CW)激光器及/或脉冲激光器。所述主体结构可以是具有的诸多高度差足够小以用于干涉测量的任何类型的物体,诸如诸多集成电路(IC)半导体晶圆、诸多半导体、平板显示器(FPD)及/或诸多印刷电路板(PCB)。所述成像装置可以是一光传感器、胶卷、照相机及/或任何其他类型的光捕获装置。

[0086] 在所述物体光学轴线与所述参考光学轴线之间的一角度在相机110上创建一线干涉图案,由此在所述物体图像与所述参考图像之间的相对相位可以被推导。为了获得一干涉图案,所述照射的所述相干长度需要比在所述物体腿部与所述参考腿部之间的光学路径差更长。

[0087] 可选地,通过为每个波长指定一相机并使用诸多二向色(dichroic)分束器将每个波长图像发送到它被指定的相机,此方案可以轻易被扩展为使用多个单色(monochromatic)波长。

[0088] 可选地,通过用诸多二向色分束器的诸多组代替镜体111、112,每个组将一不同的角度给到每个波长的所述参考图像,以单一相机使用诸多波长的一方案也是可能的。

[0089] 现在参考图2,这是示意性表示根据本发明一些实施例的一种从一全息干涉度量仪产生的一图像获得一主体结构的高度测量的方法的一流程图。

[0090] 首先,如在201处所示,由一主体结构的一成像所创建的一干涉图案的一数字的图

像从一全息干涉度量仪的一成像装置被接收。

[0091] 所述参考平面可以被倾斜以便实现所述诸多干涉线的子像素分辨率。例如，一倾斜度被计算为： $\sin(\text{轴线角度}) = 1/(\text{超级像素的长度, 以像素为单位})$ ，获得一均匀的子采样的分布。

[0092] 然后，如在202处所示，所述图像的一个二维截面（也被称为‘超级像素’或分析视窗）被选择。所述超级像素是诸多像素的一群组，对其而言，所述垂直轴线信息被获得，诸如高度及/或厚度。所述超级像素的尺寸可以是例如约为理论光斑尺寸、小于理论光斑尺寸的十倍、小于图像的尺寸的十分之一及/或任何其他尺寸。

[0093] 对于使用单一相机的多波长光学设置，在所述超级像素中的诸多子像素的数量由从所述被组合的干涉图案可靠地提取所述诸多相位的能力决定。在所述主体结构上的诸多像素的尺寸取决于所述图像的光学放大倍率。超级像素尺寸（以像素数被衡量）被定义，以给出对于所有被使用的波长的个别相位。例如：在一维中排列的三个波长至少需要 $2 * (\text{诸多波长的数量}) + 1 = 7$ 个像素。由于所述光斑是对称的，因此所述超级像素在这种情况下可以被定义为 7×7 个像素。使用一个2D排列是可能的，在这种情况下，一个 5×5 超级像素可以容纳多达4个波长， 7×7 可以容纳多达6个波长，依此类推。使用较小的超级像素可以被使用以增加吞吐量，但是会降低相位精度（因为较少的像素被使用于计算所述诸多相位）。

[0094] 参考图3，这是根据本发明的一些实施例的来自被预期作为对所述主体结构的不同特征z高度的一响应的一图像的一示例性超级像素。由于所述诸多波长不干涉，因此在所述相机中的所述图像是所述三个波长中的每个的三个图像的简单总和，因为在此设置中的所述相机是单色的。

[0095] 可选地，对于多波长光学设置，可以通过设计所述诸多参考光束角度以在不同波长的所述诸多强加干涉图案之间进行分离，从而每个波长干涉图案在所述超级像素内部具有一不同的、本质为整数的周期。对于每个波长，所述参考反射平面109对晶圆使用一小的角度，这可以被选择，以便在所述超级像素中具有一完整数量的循环。第一个波长(λ_1)的所述周期数可以是一个，第二个波长的所述周期数可以是两个周期等。所述角度被选择，使得 $d \sin \theta_1 = \lambda_1$ ， $d \sin \theta_2 = \lambda_2$ 等，而d为所述超级像素的尺寸。这样，在所述超级像素中的所述诸多像素的所述强度的一简单傅立叶分析可以给出每个波长的所述相位，以及每个波长的所述调制的幅度。实现此的一光学方法可以通过与所述图像分离的不同光学器件从不同方位角度注入所述诸多参考。

[0096] 然后，如在203处所示，在所述截面中的所述干涉图案被分析以查找所述图案的所述相位，并估计所述主体结构的个别部分的高度。

[0097] 由x、y作为索引的一超级像素的n对m(n on m)个像素的光场的强度可以被表示为：

$$\begin{aligned}
I_{x,y} &= |E_{\text{Object}} + E_{\text{Reference}}|^2 = |Ae^{i\varphi} + Be^{i\theta_{x,y}}|^2 \\
&= \left(A\cos(\varphi) + B\cos(\theta_{x,y}) \right)^2 + \left(A\sin(\varphi) + B\sin(\theta_{x,y}) \right)^2 \\
[0098] \quad &= \left(A^2 + B^2 + 2AB \left(\cos(\theta_{x,y})\cos(\varphi) + \sin(\varphi)\sin(\theta_{x,y}) \right) \right) \\
&= A^2 + B^2 + 2AB\cos(\theta_{x,y} - \varphi),
\end{aligned}$$

[0099] 其中, $Ae^{i\varphi}$ 代表所述物体图像的所述振幅及相位, 并且 $Be^{i\theta_{x,y}}$ 代表所述参考图像的所述振幅及相位。假设所述物体图像的所述幅度及相位对所述超级像素是恒定的。对于所述尺寸为所述光斑或更小的一超级像素(super pixel), 及/或当所述物体在此区域处具有高度恒定的一平面时, 这是近乎真实的。对于所述参考光束的相位的所述x、y依存性源自所述诸多干涉线(即, 在物体与诸多参考图像之间的所述角度)。

[0100] 可选地, 当n为诸多干涉线空间波长倍数的一整数时, 从所述超级像素提取所述相位的所述计算非常简单(不需要FFT, 因为仅需要单一频率的相位)。

[0101] 例如, 当 $\theta_{x,y} = x * 2 * \frac{\pi}{n}$, $x = 0, 1, \dots, (n-1)$ 时, 所述相位 φ 通过使用

$e^{i\varphi} = (\sum_{x,y} e^{i\theta_{x,y}} \cdot I_{x,y}) / \left| \sum_{x,y} e^{ix*2*\frac{\pi}{n}} \cdot I_{x,y} \right|$ 被查找。所述 $\theta_{x,y}$ 的诸多值可以在一校准中被决定, 譬如其中所述物体具有一平坦表面, 所述平坦表面被定义为零高度。

[0102] 可选地, 当n不是所述诸多干涉线的空间波长的一整数倍数时, 下面的一迭代过程示例可以被用于提取在一超级像素上的所述诸多干涉线的所述相位及幅度。

[0103] 1. 使用校准以决定 $\theta_{x,y}$ 及 $B(\theta_{x,y})$ 可以被决定如上所述, B通过使用一非反射物体诸如一光束光阑)。

[0104] 2. 使用 $A^2 \approx (\sum_{x,y} (I_{x,y} - B^2)) / (nm)$ 评估A

[0105] 3. 求解在 $[A\cos(\varphi)]$ 及 $[A\sin(\varphi)]$ 中的所述 $n*m$ 线性超约束方程组:

$$[0106] \quad 2B\cos(\theta_{x,y})[A\cos(\varphi)] + 2B\sin(\theta_{x,y})[A\sin(\varphi)] - (I_{x,y} - A^2 - B^2) = 0$$

[0107] 使用所述系数矩阵的摩尔-彭罗斯(Moore-Penrose)伪逆(pseudoinverse)。

[0108] 4. 从解答中提取A及 φ 。

[0109] 5. 在必要时, 使用对A的新估计以重复步骤3, 然后重复步骤4。重复过程直到A及 φ 收敛。

[0110] 可选地, 此算法可以被扩展到在单一相机上记录诸多干涉图像的情况。在这些情况下, 每个干涉图像都有两个变量, 这对选择所述诸多图像干涉线的所述诸多(2D)空间频率以最小化所述逆矩阵的所述噪声放大倍率是有利的。

[0111] 现在参考图4, 这是根据本发明的一些实施例的用于拍摄具备单一波长的诸多干涉图像(在此示例中为两个)的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。这些图像中的每个包含相位信息, 所述相位信息相应于不同的主光线角度, 并且因此相应于一不同的角度分离光束(或有效波长), 从而消除对于使用诸多真实波长的需求, 因此消除对于一扩

展性多波长光源的需求。

[0112] 所述想法是对于不同的图像选择被收集的光(从所述物体被反射)的诸多不同的主角度。对一点的Z高度的相位依存性取决于这些角度,因此所述有效波长(关于Z的相位的依存性)是通过选择被用于在所述相机上的所述图像构造的被收集的光的所述角度而被控制的。

[0113] 可选地,诸多光圈偏移角度、位置、形状及/或尺寸中的一个或两个被动态地控制及/或改变,以便产生诸多图像,每个图像具有不同的有效波长。可选地,此设置可能仅包括一个相机,因此图像可以在不同的时间以一不同的有效波长被拍摄。

[0114] 可选地,所述光学系统的焦点及/或放大倍率被改变及/或动态地控制,以便产生诸多不同的图像。结合这些图像可能会增加所述高度轮廓或距离测量的所述动态范围。可选地,(诸多)光圈、焦点及/或放大倍率的所述变化由一计算机控制。

[0115] 在此示例中,所述参考及物体光学路径以如在图1中的示例相同的方式被联合,但非取代位于所述被成像的场平面处的一相机,而是一透镜401被放置,使得所述被成像的场平面位于所述透镜的所述焦平面(focal plane)处。透镜401以等于它的焦距(focal length)的一距离成像所述物镜的光圈平面。一光束分享器402被放置在所述物镜的所述成像光圈平面附近,并将所述光束分成两条路径。在每个路径中,一光圈403被放置。每个光圈403被斜向偏移(位于远离)自所述光束的所述轴线。光圈403相对于所述光束轴线的所述确切位置、形状及尺寸控制着被用于所述路径的所述光束的所述收集角度范围。仅使用供光圈403通过的所述收集角度范围,每个路径中的重新成像透镜404被用于对每个相机405上的所述物体进行重新成像。

[0116] 还参考图5,这是根据本发明的一些实施例的一光圈平面的一示意图例。圆501表示所述光束的所述物镜接受锥(objective acceptance cone)。圆502代表垂直于所述光圈的所述表面的一光锥(light cone),即一光圈不偏离所述光束的所述轴线,而圆503代表所述光束的一锥角度 θ ,即从所述光束的所述轴线被偏移的一光圈。

[0117] 还参考图6,这是根据本发明一些实施例的用于拍摄具备单一波长的诸多干涉图像的一全息干涉度量仪的一替代光学设置的一示意图例。透镜601(透镜D)以它的焦距(focal distance)被放置在由所述管透镜生成的所述共轭场平面之前方。透镜601将所述场平面移动到自身与它的焦点之间距离的一半,并在它的焦点处生成一光圈平面。一光束分享器(或一分束器)在所述光圈平面之前方分离所述光束,此处要用于每个相机的立体角度被选择。透镜602(透镜E)具有透镜601的一半焦距,并且被放置在所述光圈平面处于其焦点的位置,而所述场平面的距离是那个距离的两倍,因此透镜602将场平面重新成像在所述相机上(其位于一距离是其焦距的两倍处)。

[0118] 可选地,在图4及图6中被描述的所述诸多光学设置可以将单一相机改变为使用诸多波长,通过用诸多多色分束器的诸多组代替所述诸多镜体,如对于图1所描述的。

[0119] 现在参考图7,这是当一物体的所述反射面改变它的高度Z时的光照射及聚集的两个主光线的角度的光学路径差之间进行比较的一简化示例。

[0120] 所述第一个角度垂直于所述表面,所述第二个角度相对于法向(normal)为 θ 。为了便于说明,所述初始表面位置被聚焦,并且在所述初始状态下的两个角度的所述测量相位为零。

[0121] 对于第一个角度,所述相位变化为 $\varphi_1 = kL_1 = k * 2Z$,其中 k 是弧度/单位长度(radians/unit length)的波数(wave number)。对于第二个角度,所述相位变化是 $\varphi_2 = k(L_{2A} + L_{2B})$,其中 $L_{2A} = L_{2B} \cos 2\theta$ 且 $L_{2B} = Z / \cos \theta$,因此 $\varphi_2 = kZ(1 + \cos 2\theta) / \cos \theta = k * 2Z * \cos \theta$ 。在第二种情况下的相位变化与一法向角度(normal angle)情况下的相位变化相同,但具备一‘有效波数(effective wave number)’为 $k \cos \theta$ 。因此,当与所述法向(第一)角度相对应的有效波长为 λ 时,与所述第二入射角度相对应的有效波长为 $\lambda / \cos \theta$ 。

[0122] 可选地,所述光圈的位置及直径从一计算机被控制以授予有效波数的灵活性及/或校准。所述光圈可以包括一圆形孔及/或任何其他形状。

[0123] 可选地,诸多附加的分束器及/或光束分享器被添加以利用多于两个的干涉图像。这对于增加高度测量的动态范围是有用的。

[0124] 现在参考图8,这是根据本发明一些实施例的没有参考的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。在这种设置中,所述干涉是在被收集自所述物体的光的两个角度之间。一透镜801对所述光圈平面成像,光束分享器802将所述光束分离用于诸多光圈803。在诸多透镜804进行重新成像后,每个角度各不相同的两个光束干涉相机805。

[0125] 现在参考图9,这是根据本发明的一些实施例的一光圈平面的一示意图例。所述大的圆圈代表所述光束的所述物镜接收锥,而两个小的圆圈代表被用于所述诸多干涉图像的所述光束的不同角度的锥。

[0126] 在这种情况下,所述有效波数为 $k |\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)|$,其中 θ_1 及 θ_2 是在所述物体平面中相对于所述法向的一些有效角度,而 k 是单一波长波数。所述相应的有效波长是 $\lambda / |\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2)|$ 。

[0127] 准确地将在相机上的两个干涉图像对准,对减少所述组合图像的空间拖尾是有利的。

[0128] 可选地,所述附加的分束器及/或光束分享器被添加以产生诸多附加干涉图像,具备不同有效波数。现在参考图10,这是根据本发明的一些实施例的利用诸多分束器实现四个不同的有效波数的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。此方案可被使用于以4的一幂次增加高度测量的动态范围。

[0129] 可选地,所述物体照射可以在所示系统的外部。所述相干长度仍需要比在两个干涉图像之间的光学路径差更长,此外,在不同收集角度之间还需要相干。

[0130] 可选地,一光谱过滤器被添加到所述光学系统。光谱过滤器增加所述相干的长度,并减少所述诸多干涉线的拖尾。此过滤器的所述优化将取决于所述应用及所述外部照射。

[0131] 现在参考图11,这是根据本发明一些实施例的用于使用环境光对一漫反射物体进行剖析(profiling)的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。

[0132] 一漫反射物体反射所述光,使得入射在所述物体的所述表面上的一光线以许多角度而不是仅一个角度被散射。因此,从所述物体被反射的一些环境光沿一特定方向被反射并由物镜1101收集。透镜1102在分束器1103之后创建两个共轭光圈平面,所述分束器1103将所述光束分成两个分离的光束。所述诸多分离的光束中的每个被诸多光圈光阑1104中的一个过滤以选择一不同的立体角度。可选地,两个光束的光学路径相等。透镜1105及1106被

用于将所述共轭场平面中继到所述相机。所述诸多光束由分束器1107合并,并在一相机1108上以一定角度干涉。在所述两光束之间的所述光学路径差取决于所述物体与所述系统焦平面相距的距离,以及取决于在所述光学轴线与所述物体之间的波长及立体角度。通过分析在所述相机上的所述干涉图案的所述相位,对物体的距离可以被计算,并且所述物体可以被轮廓化。

[0133] 可选地,诸多校准可以被使用以校正诸多光学像差效应。校准的参数可包括例如焦平面位置及/或相机上每个视场位置的Z相位依存性。

[0134] 可选地,一光谱过滤器被使用以提高所述被收集到的光的相干性,使得在所述相机上的所述两个图像可以在诸多路径差的一较大范围内生成所述诸多干涉线。

[0135] 可选地,一个或诸多光学构件被改变及/或动态控制(例如以任何方式被移动、倾斜及/或改变)以控制所述系统的所述聚焦平面。当需要一较宽的光谱带宽(因此所述相干长度较短)或用于处理一较大的Z范围(其中所述路径差可能大于所述相干长度)时,这可能是有利的。可选地,所述诸多光学构件的所述诸多变化由一计算机控制。

[0136] 在某些情况下,当所述物体的表面发生漫反射时,所述诸多干涉线的所述对比度可能会降低及/或在所述表面高度与所述诸多干涉线相位之间的关系可能取决于所述表面的诸多散射特性。

[0137] 现在参考图12,这是根据本发明一些实施例的用于使用偏振光对一漫反射物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。

[0138] 所述物体表面以两个不同的角度范围被照射,每个角度范围具有不同的光的偏振。可选地,所述两个偏振是正交的。在所述设置的所述光收集部分中,所述反射的两个偏振是分离的,并且每个偏振都被光圈过滤,使得与一镜面反射(对于偏振而言)相应的所述角度范围被传达。因此,此设置可以处理镜面的表面、部分漫反射的表面或高漫反射的表面。

[0139] 透镜1201及1202在分束器1203进行偏振之后将所述光源成像到所述诸多共轭光圈平面。线性偏振器(polarizer)1204被定向与所述图的平面成45度角,以确保在诸多偏振之间的相干性。在每个光圈平面处,所述两个分离光束被光圈1205及1206中的每个过滤以选择一不同的立体角度。所述诸多光束通过将分束器1207进行偏振而被组合并且继续照射所述物体。收集时,所述两个偏振通过将分束器1208进行偏振而被分开。在所述诸多分离光束中的每个在一共轭光圈平面处被光圈1209及1210中的一个过滤以选择一不同的立体角度。所述诸多光束中的一个的所述偏振通过半波长($\lambda/2$)波片1211旋转,而另一个光束通过一窗口1212,因此所述两个光束在被分束器1213组合后对相机1214干涉。

[0140] 可选地,在所述光学设置的所述收集部分中的两个偏振路径的所述诸多角度范围是相同的。这在诸多弯曲表面上是有利的,所述诸多弯曲表面改变所述镜面反射光的所述角度。在扩散反射及在光学点扩展功能区域内部具有诸多大的高度差的诸多失焦表面,这也可能是有利的,因为即使所述成像表面失焦时,也可以确保两个干涉光束在一相机场点上的相同物体区域大致成像。在这种情况下,所述有效波长由所述光波长及在所述照射部分上的所述角度范围选择被决定。可选地,角度范围选择的任何其他布置可以被使用,这对于一特定应用是有利的。

[0141] 可选地,通过增加一个或多个波长来增加所述高度测量的所述动态范围。所述诸

多附加波长的干涉线可以在诸多分开的相机上被成像,或者在一个相机上被组合成两个或多个干涉图案。

[0142] 可选地,此设置与所述先前的设置方案被结合,以针对一特定应用优化所述系统设计。

[0143] 现在参考图13,这是根据本发明一些实施例的用于使用偏振光对一远程漫反射物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。所述照射对于所述两个偏振利用诸多不同的照射角度范围。可选地,在所述光学设置的所述光收集部分中的两个偏振路径的所述诸多角度范围是相同的。

[0144] 如上所述没有参考的光学方案是基于所述诸多角度范围的过滤。还可以设计类似的光学方案,其中替代过滤掉所述诸多不需要的角度,所述照射仅包含在所述第一表面所需的角度的。

[0145] 现在参考图14,这是根据本发明的一些实施例的用于对由具有诸多不同角度的光束照射的一物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。所述光源可以例如是使得来自一激光源的光通过的一光纤或光纤束。

[0146] 所述光学器件复制所述光源光束并且控制在诸多光束之间的所述位移,同时能够根据需要将在所述诸多光束之间的所述路径差基本保持为零。通过控制两个光束从光学轴线(在所述光圈平面中)的位移,可以控制Z动态范围以及在所述相机上的所述诸多干涉线的密度及角度。

[0147] 分束器1401将所述光分成两个光束,其中分束器1402将它们组合回来。镜体1403(沿箭头所示的轴线)被位移以改变一个光束与所述原始光学轴线的距离。这创建所述光束在所述物体上的一入射角度。一个光束相对于所述光学轴线的诸多不同位移转化为在所述物体上的诸多不同入射照射角度。棱镜1404的位移可选地补偿在所述诸多光束之间的所述路径长度差。

[0148] 现在参考图15,这是根据本发明的一些实施例的图14的所述全息干涉度量仪的一光圈平面的一示例性照射图案配置的一示意图例。

[0149] 所述诸多干涉线的相位 Φ 对Z的依存性由 $\phi = k * 2Z * (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$ 给出,其中k是所述角波数(angular wave number),并且 θ_1 及 θ_2 是相对于所述光学轴线的所述诸多照射角度。在所述相机上的所述诸多干涉线的密度由 $k |\sin \theta_1 - \sin \theta_2| / M$ 给出,其中M是所述光学放大倍数。

[0150] 对于某些应用,测量从所述物体被反射的光的所述诸多振幅可能是有利的。例如:当所述物体由一反射表面上的一透明层组成时,这可能是真实的。在这种情况下,所述透明层改变所述反射光的所述相位,因此可能难以分别测量所述反射表面的Z及/或所述透明层顶面的Z。

[0151] 现在参考图16,这是以图解说明根据本发明的一些实施例的在所述两个光束之间的相位差的依存性以及所述两个反射光束的强度的一模拟示例的图。

[0152] 测量所述反射光的所述诸多强度可以给出有关所述透明层的所述厚度的信息,并且可以被用于“校正(correct)”所述相位,从而所述透明层顶部的一校正的Z可以被计算。从所述被测量的“DC”及在所述相机上的诸多干涉线的调制(modulation)强度推导诸多光束的诸多强度是可能的,使用:

$$[0153] \quad A_H + A_L = \sqrt{I_{DC} + I_{\text{调制}}}$$

$$[0154] \quad A_H - A_L = \sqrt{I_{DC} - I_{\text{调制}}}$$

[0155] 其中H及L下标表示高的与低的振幅。在没有进一步知识的情况下,在所述诸多振幅与所述诸多照射角度之间的对应关系(即得知哪个振幅属于哪个角度)可能有歧义。

[0156] 这种歧义可以通过偏振被解决。现在参考图17,这是根据本发明的一些实施例的用于对被具有诸多不同角度的诸多偏振光束照射的一物体进行剖析的一全息干涉度量仪的一光学设置的一示意图例。来自一线性偏振光源的光穿过一 $\lambda/2$ 波片1701并且被一偏振分束器1702分离。在诸多角度改变之后,所述诸多光束由一偏振分束器1703组合。所述两个照射光束具有诸多不同的、可选的正交偏振。图17的所述全息干涉度量仪使用以诸多线性偏振为一示例,但是诸多其他偏振也可以被使用。从所述物体被反射的所述组合光束由分束器1706分离到两个相机1704及1705。所述线性偏振器1707及1708各自的轴线与所述诸多光束的诸多偏振方向成一不同的角度。通过对于所述两个相机使用两个不同的偏振器轴线角度,可以识别哪个振幅相应于哪个偏振(因此相应于哪个照射角度)。

[0157] 现在参考图18,这是根据本发明的一些实施例的用于对由具有诸多不同角度的诸多偏振光束照射的一物体进行剖析的一全息干涉度量仪的另一光学装置的一示意图例。在这种设置下,可以独立于所述诸多照射角度来控制所述诸多干涉线的密度,并且控制所述两个光束在所述相机上的所述相对入射角度。这可以通过一第二组偏振分束器、诸多棱镜及诸多镜体实现,所述第二组偏振分束器、诸多棱镜及诸多镜体位于所述光学设置的所述收集部分处,并且能够独立于所述诸多照射角度控制所述两个偏振的所述诸多收集角度。

[0158] 本发明的各种实施例的描述已经出于说明的目的被呈现,但是这些描述并非意图为详尽的或受限于被公开的诸多实施例。在不脱离所述被描述的诸多实施例的范围及精神的情况下,许多修改及变化对于本领域普通技术人员将是显而易见的。在本文中被使用的术语被选择以最佳地解释所述诸多实施例的所述诸多原理,在商场中被发现的技术的实际应用或技术上的改进,或者使本领域的其他普通技术人员能够理解在本文中被公开的所述诸多实施例。

[0159] 可以预期的是,在本申请到期的一专利有效期内,将开发出许多相关的干涉仪,并且所述术语干涉度量的范围旨在先验地包括所有此类新技术。

[0160] 所述诸多术语“包括(comprises)”、“包括(comprising)”、“包含(includes)”、“包含(including)”、“具有(having)”及它们的词性变化意指“包括但不限于(including but not limited to)”。此术语包括术语“由...组成(consisting of)”及“基本上由...组成(consisting essentially of)”。

[0161] 所述短语“基本上由...组成(consisting essentially of)”是指所述组合物或方法可以包括另外的成分及/或步骤,但前提是所述另外的成分及/或步骤没有实质上改变所要求保护的组合物或方法的基本及新颖的特征。

[0162] 如在本文中被使用的,单数形式“一个(a)”,“一种(an)”及“所述(the)”包括复数引用,除非上下文另外明确指出。例如:所述术语“一种化合物(a compound)”或“至少一种化合物(at least one compound)”可以包括多种化合物,包括其混合物。

[0163] 所述词语“示例性(exemplary)”在本文中用来表示“用作一示例、实例或图解说明(serving as an example, instance or illustration)”。被描述为“示范性(exemplary)”的任何实施例不必被解释为比其他实施例优选或有利及/或从其他实施例中排除特征的并入。

[0164] 所述词语“可选地(optionally)”在本文中用来表示“在一些实施例中提供而在其他实施例中不被提供(is provided in some embodiments and not provided in other embodiments)”。本发明的任何特定实施例可以包括诸多“可选的(optional)”特征,除非这些特征冲突。

[0165] 在整个申请中,本发明的各种实施例可以用范围格式被呈现。应当理解的是,对范围格式的描述仅是为了方便及简洁,而不应被解释为对本发明范围的不灵活的限制。据此,应该认为一范围的描述已经具体公开所有可能的子范围以及在该范围内的个别数值。例如:对一范围诸如从1到6的描述应该被视为已明确公开诸多子范围诸如从1到3、从1到4、从1到5、从2到4、从2到6、从3到6等,以及该范围内的单一数字,例如:1、2、3、4、5及6。无论所述范围的广度如何,这都适用。

[0166] 每当一数值范围在本文中被指示时,它意指包括在所述指示范围内的任何被引用的数字(分数或整数)。所述短语在一第一指示数字与一第二指示数字“之间的范围/范围(ranging/ranges between)”及“范围/范围从(ranging/ranges from)”一第一指示数字“到(to)”一第二指示数字在本文中可被互换使用,并且意指包括所述第一指示数字及第二指示数字以及它们之间的所有小数和整数。

[0167] 应当理解的是,为了清楚起见,在单独的实施例的上下文中被描述的本发明的某些特征也可以在单一实施例中以组合方式被提供。相反地,为了简洁起见,在单一实施例的上下文中被描述的本发明的各种特征,也可以单独地或以任何合适的子组合或在本发明的任何其他所述的实施例中合适地被提供。在各种实施例的上下文中被描述的某些特征不应被认为是那些实施例的必要特征,除非所述实施例没有那些要件就不起作用。

[0168] 尽管本发明已经结合其特定实施例被描述,但是显然,对于本领域技术人员而言,许多替代、修改及变化将是显而易见的。据此,旨在涵盖落入所附权利要求书的精神及广泛范围内的所有这样的替代、修改及变化。

[0169] 在此说明书中被提及的所有出版物、专利及专利申请都通过引用整体被并入本文,其程度如同每个单独的出版物、专利或专利申请被具体地及单独地指示通过引用并入本文的程度。此外,在此申请中对任何参考文献的引用或标识均不应解释为承认这样的参考文献可作为本发明的现有技术。在使用章节标题的程度上,不应将其解释为必然的限制。

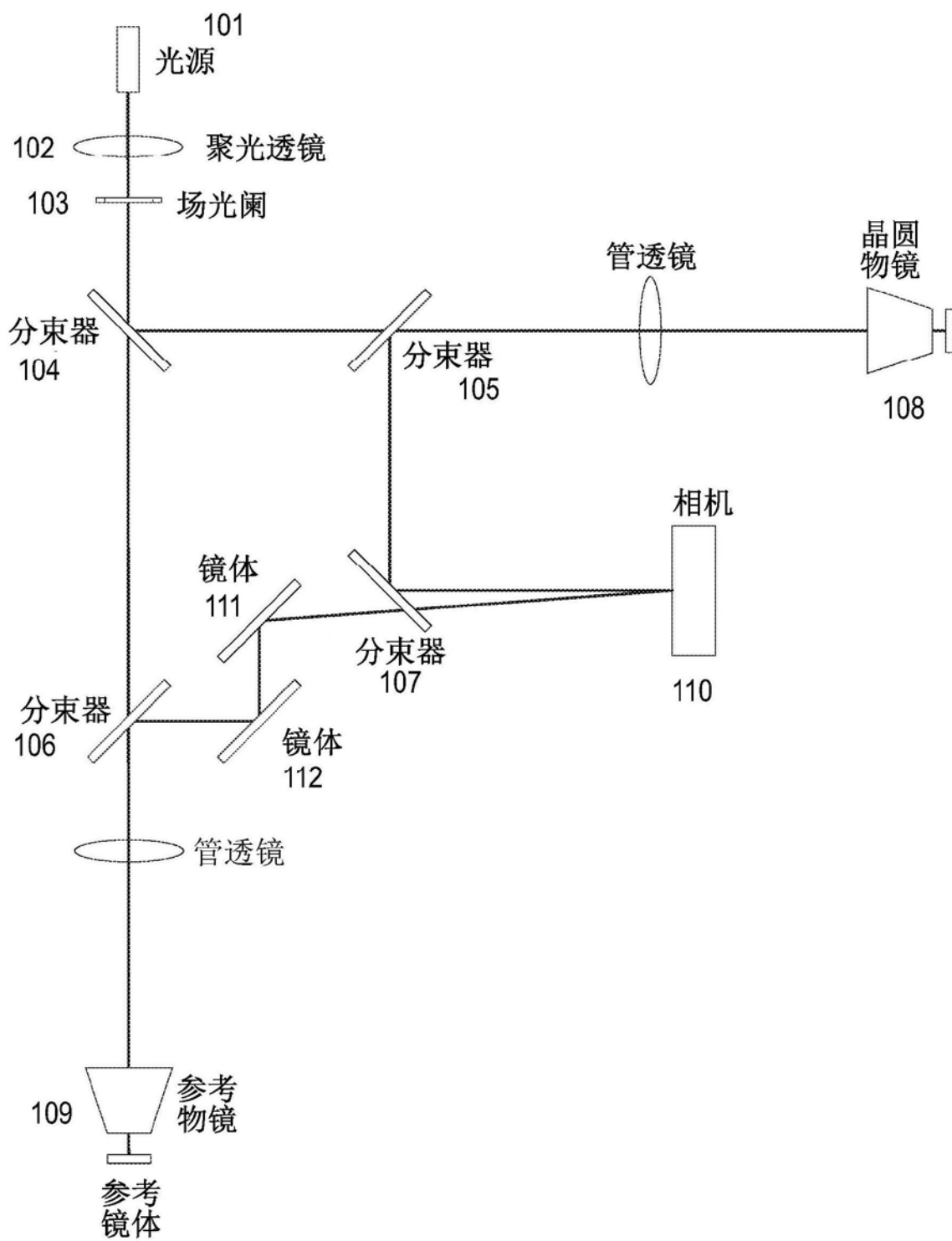


图1

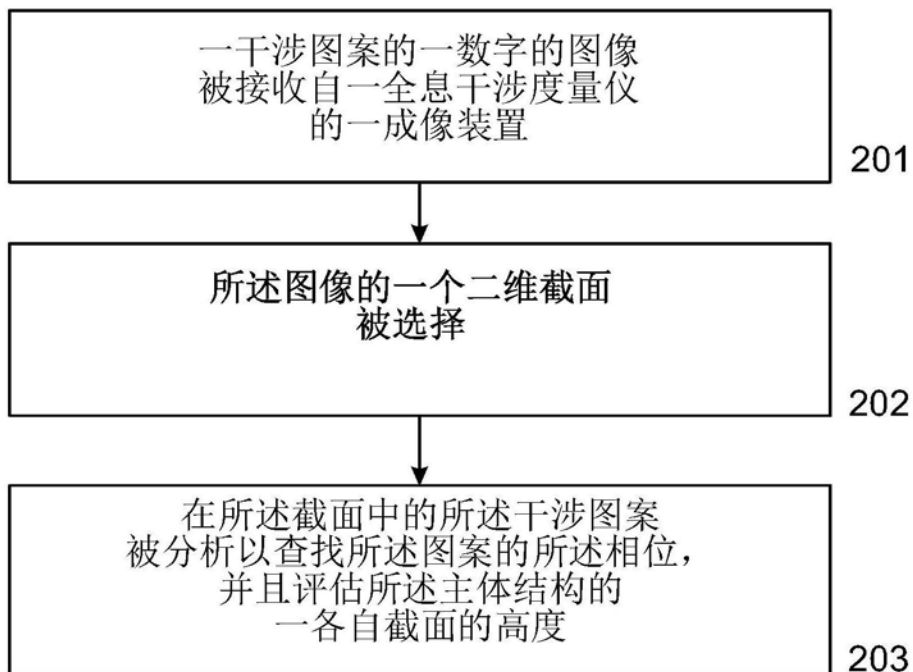


图2

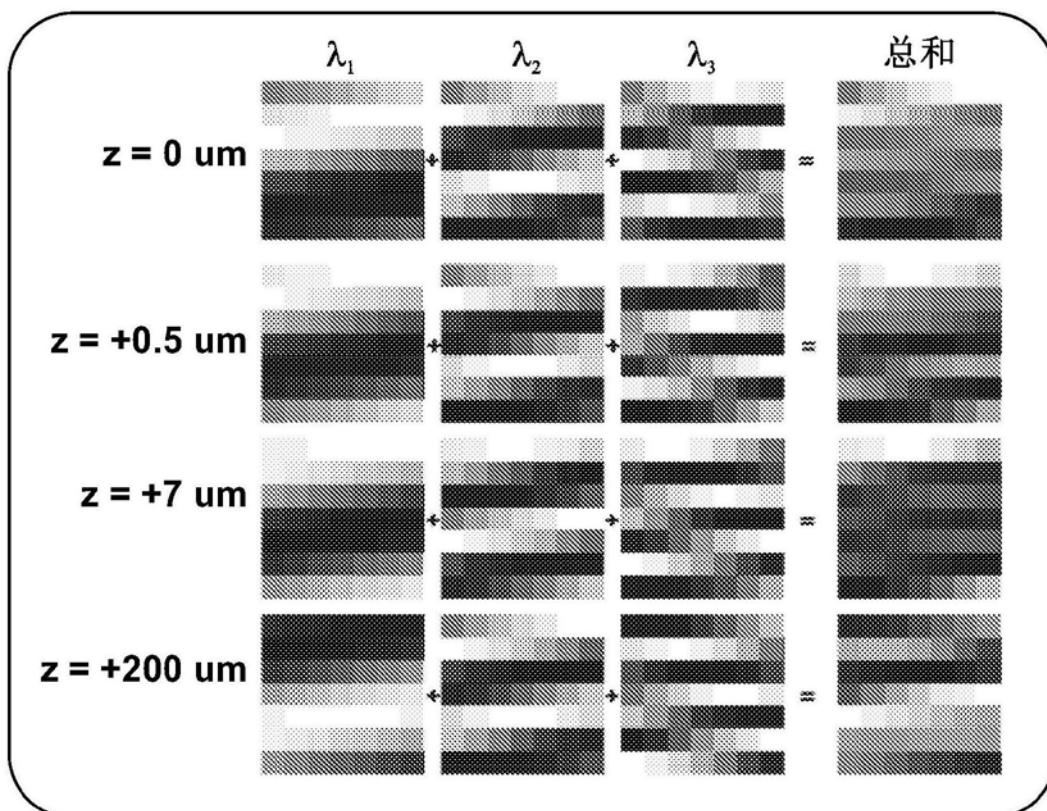
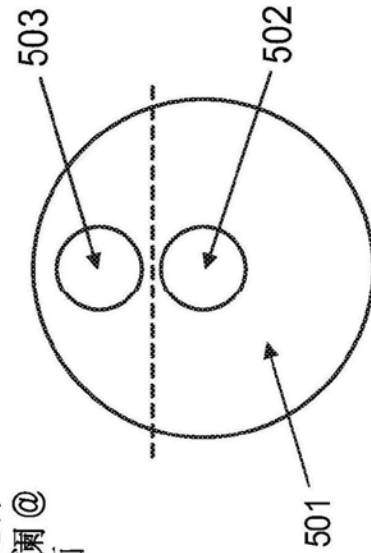
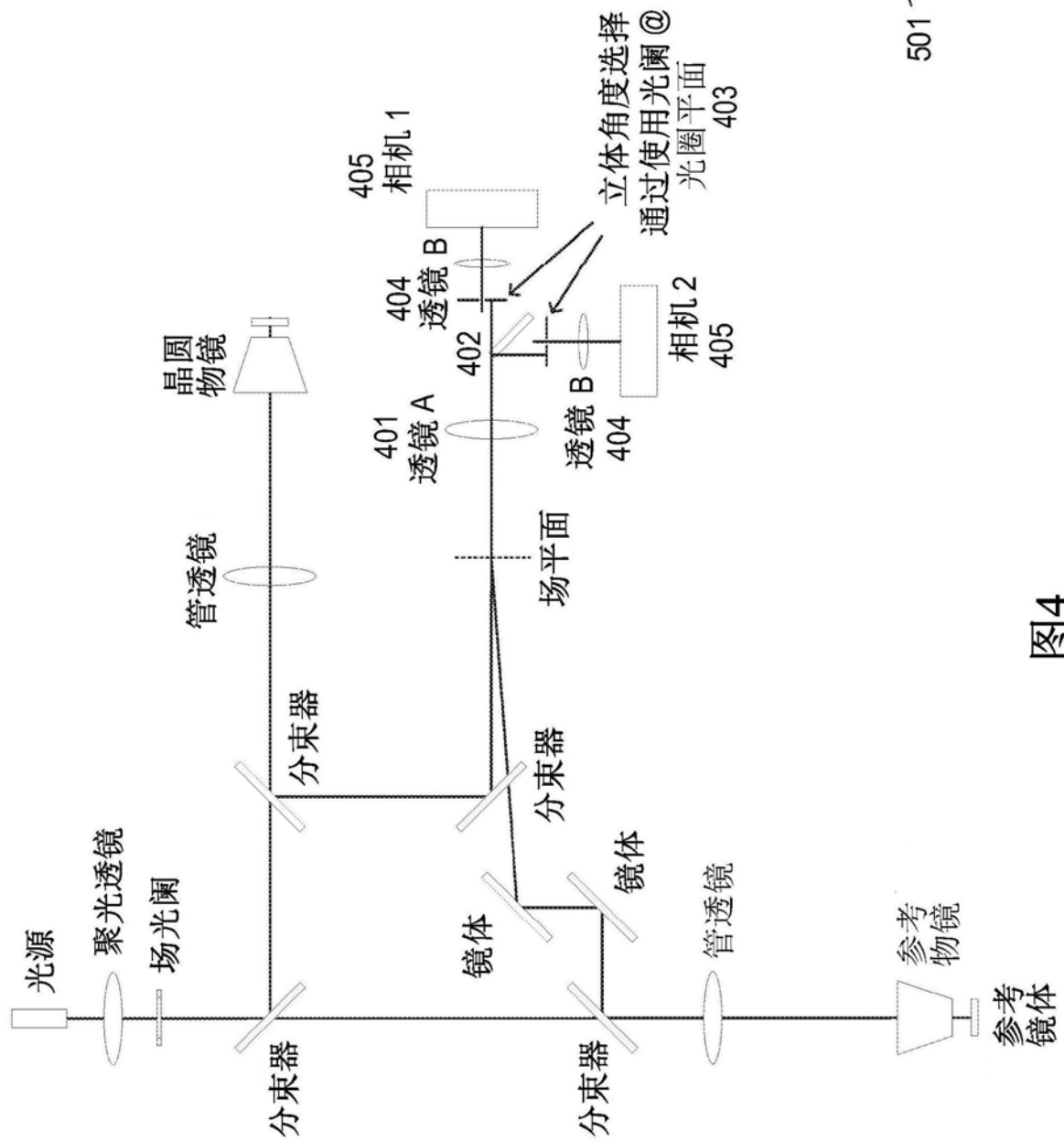


图3



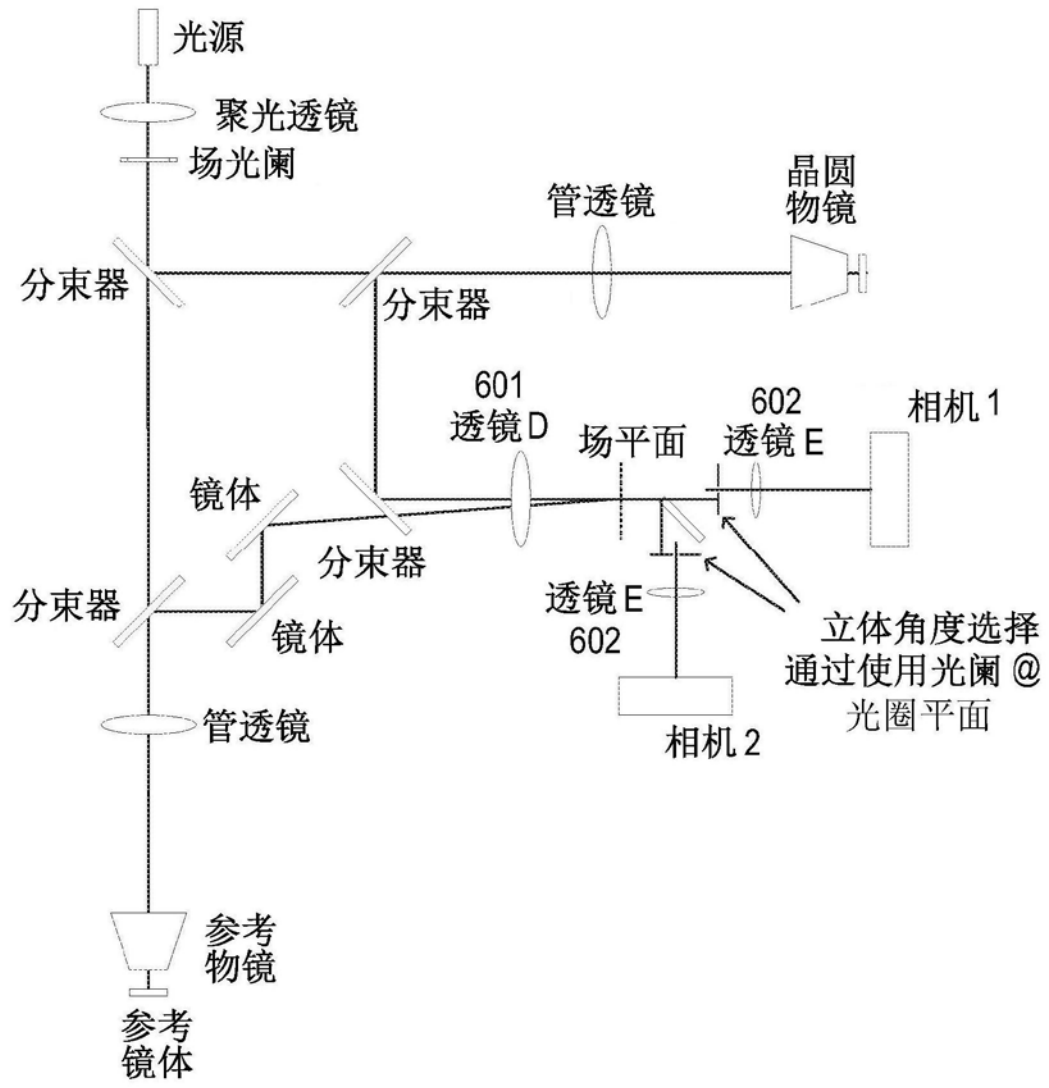


图6

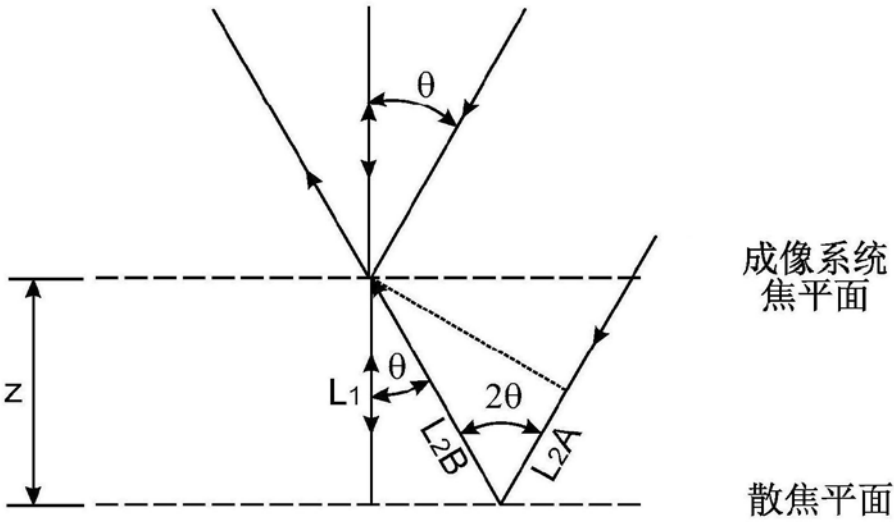


图7

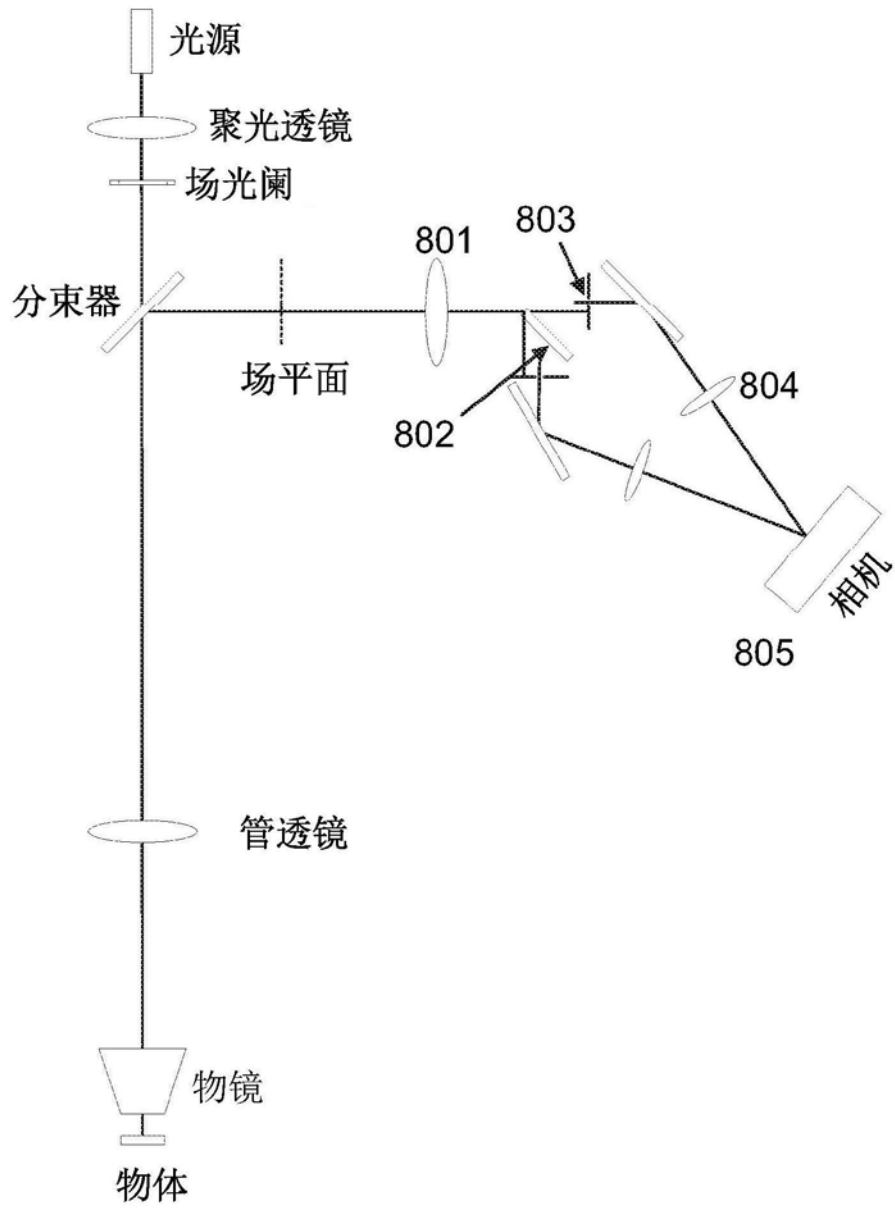


图8

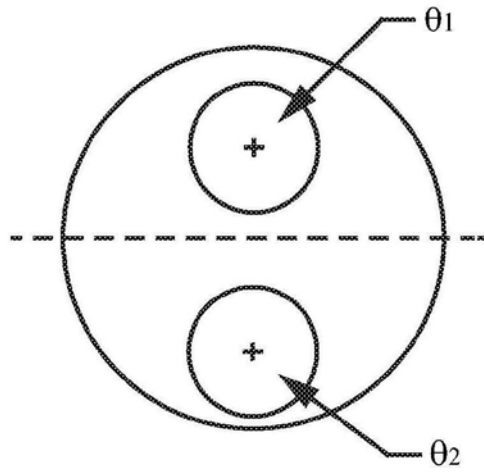


图9

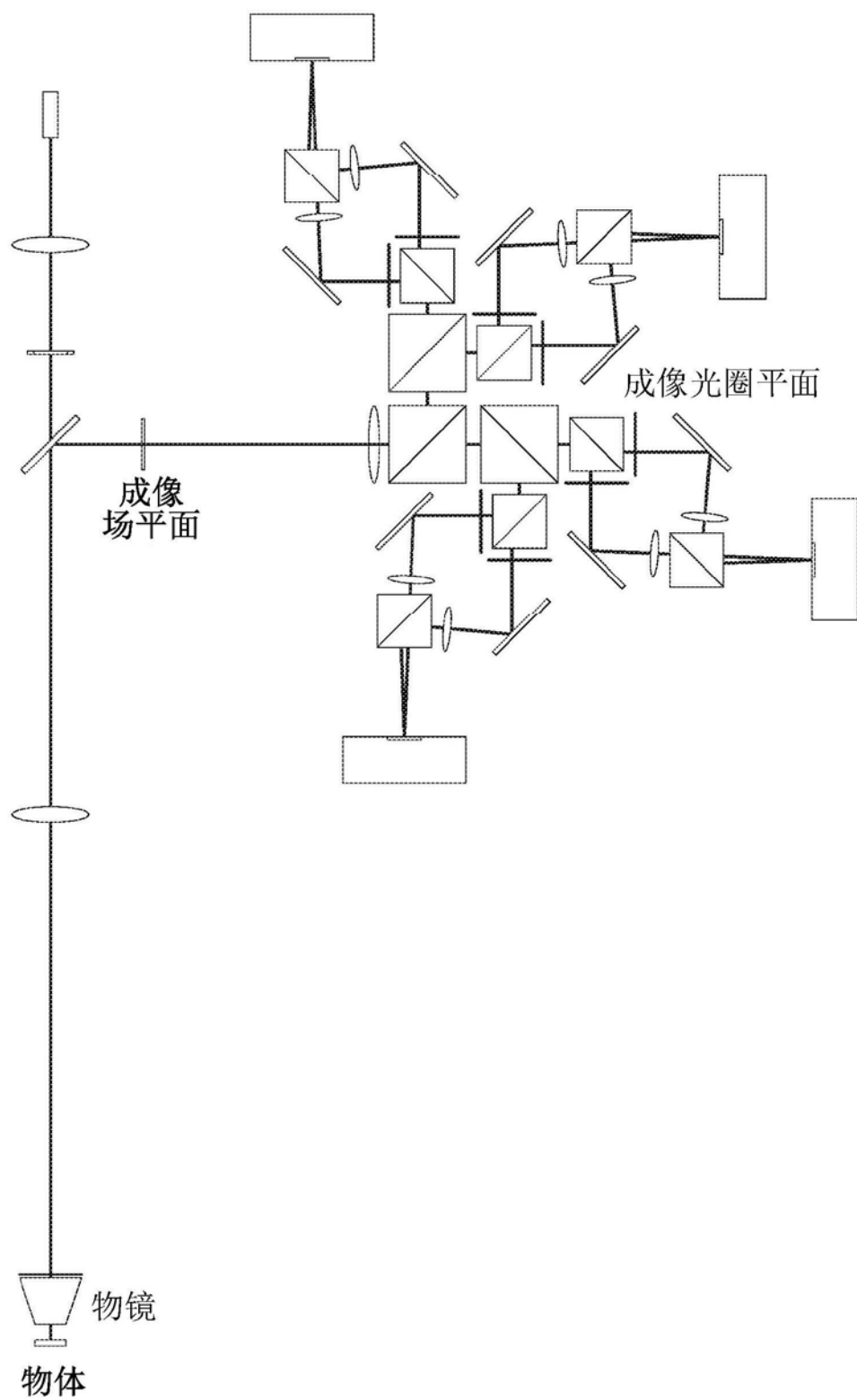


图10

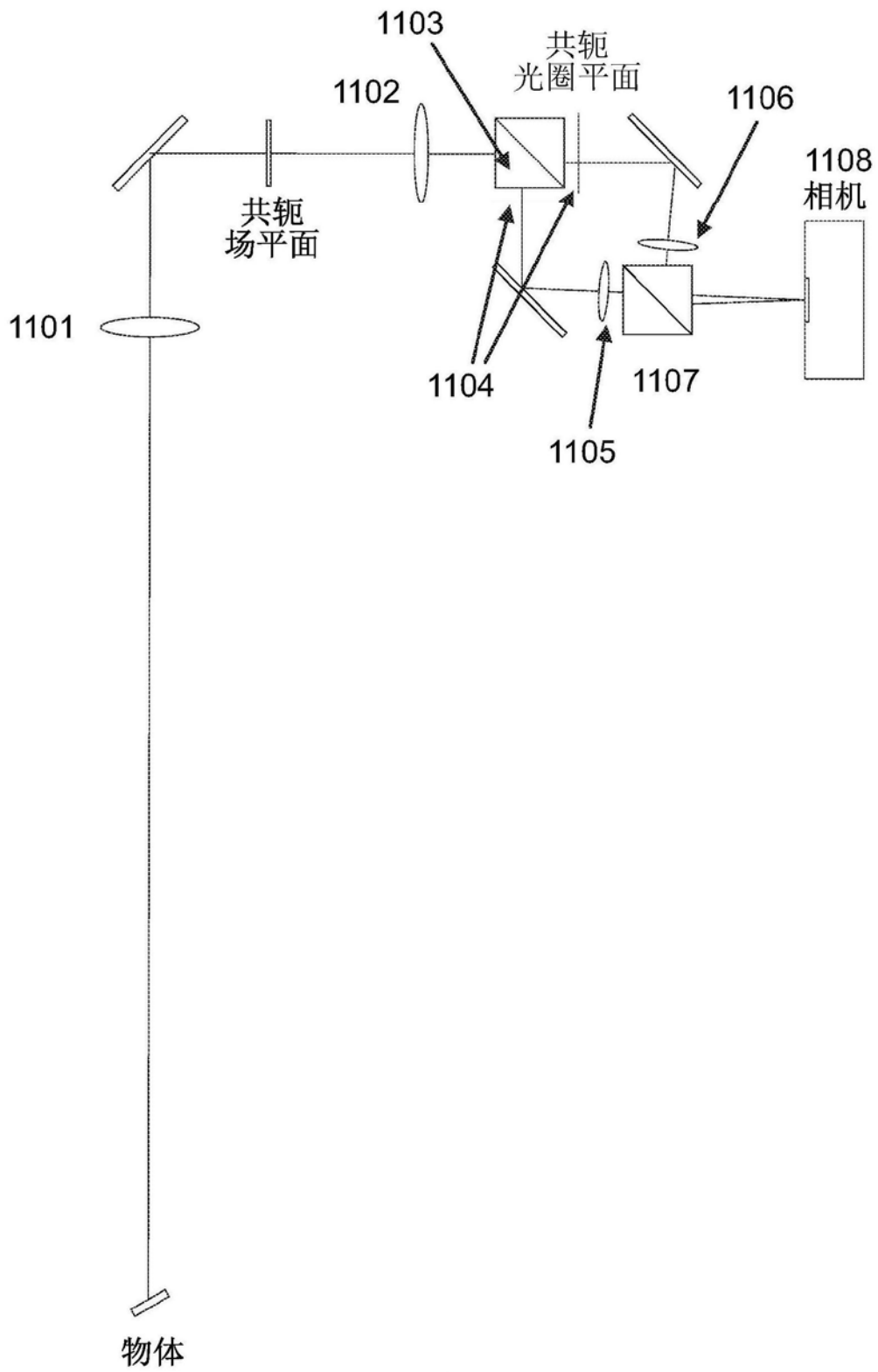


图11

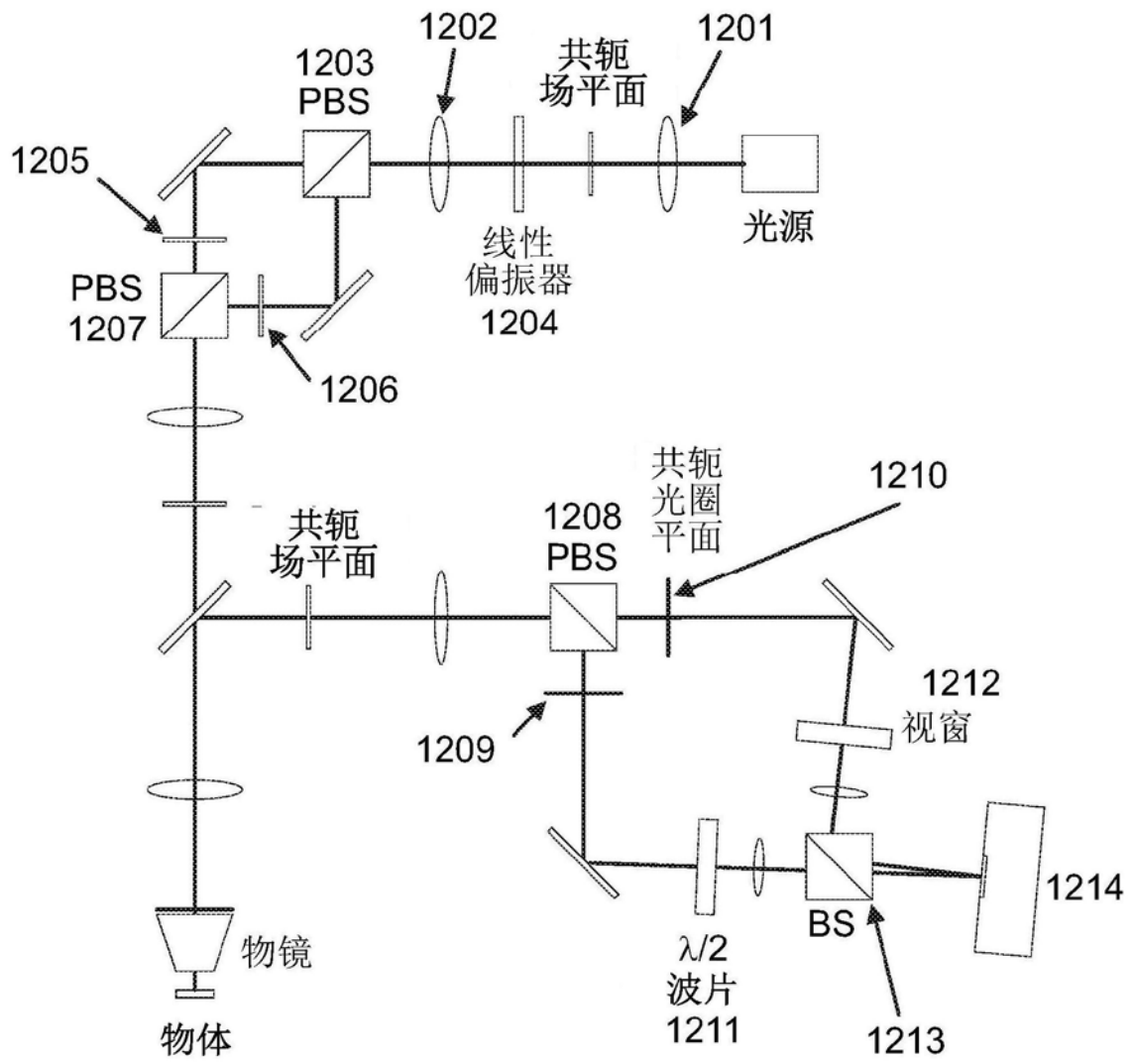


图12

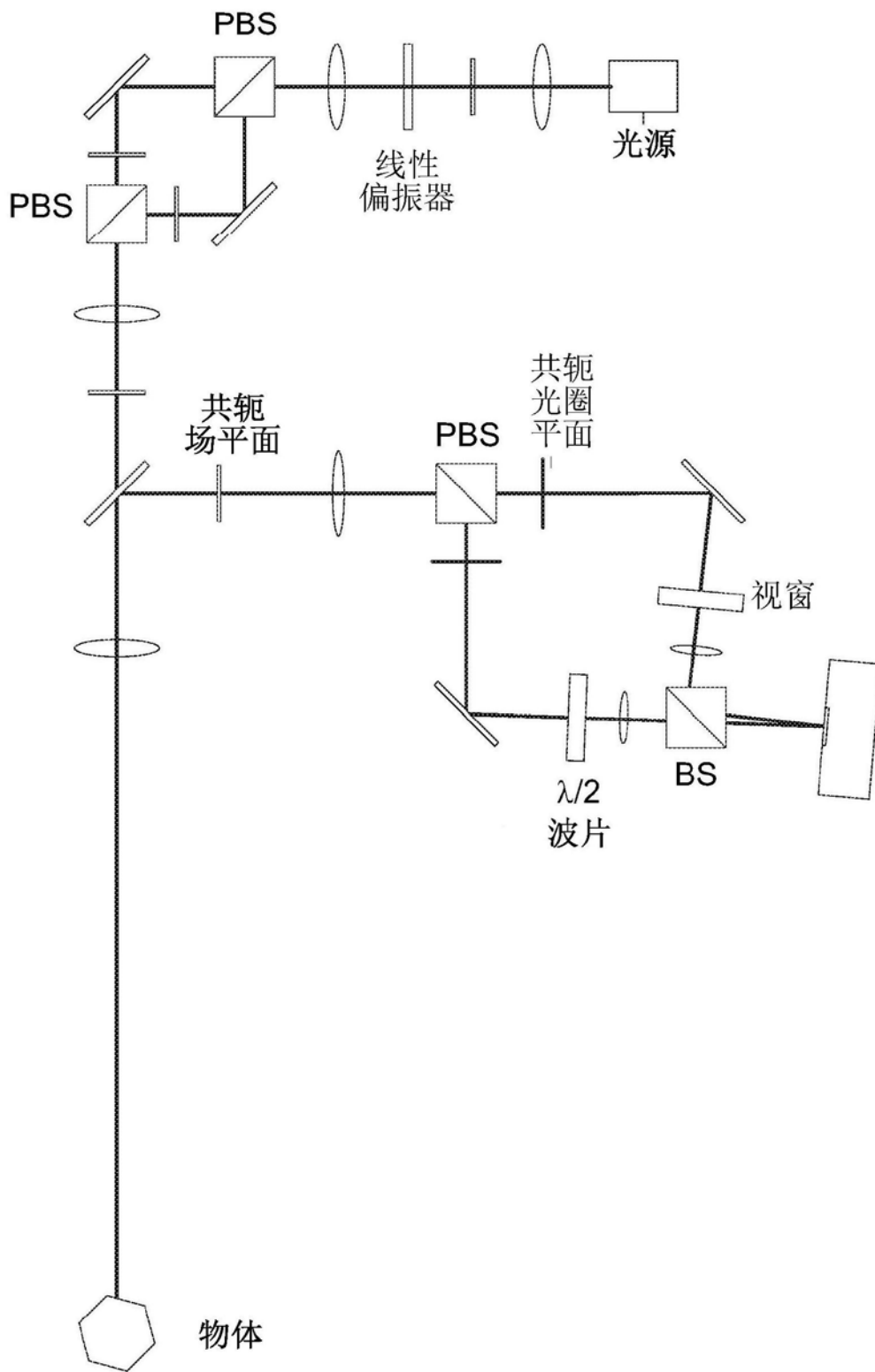


图13

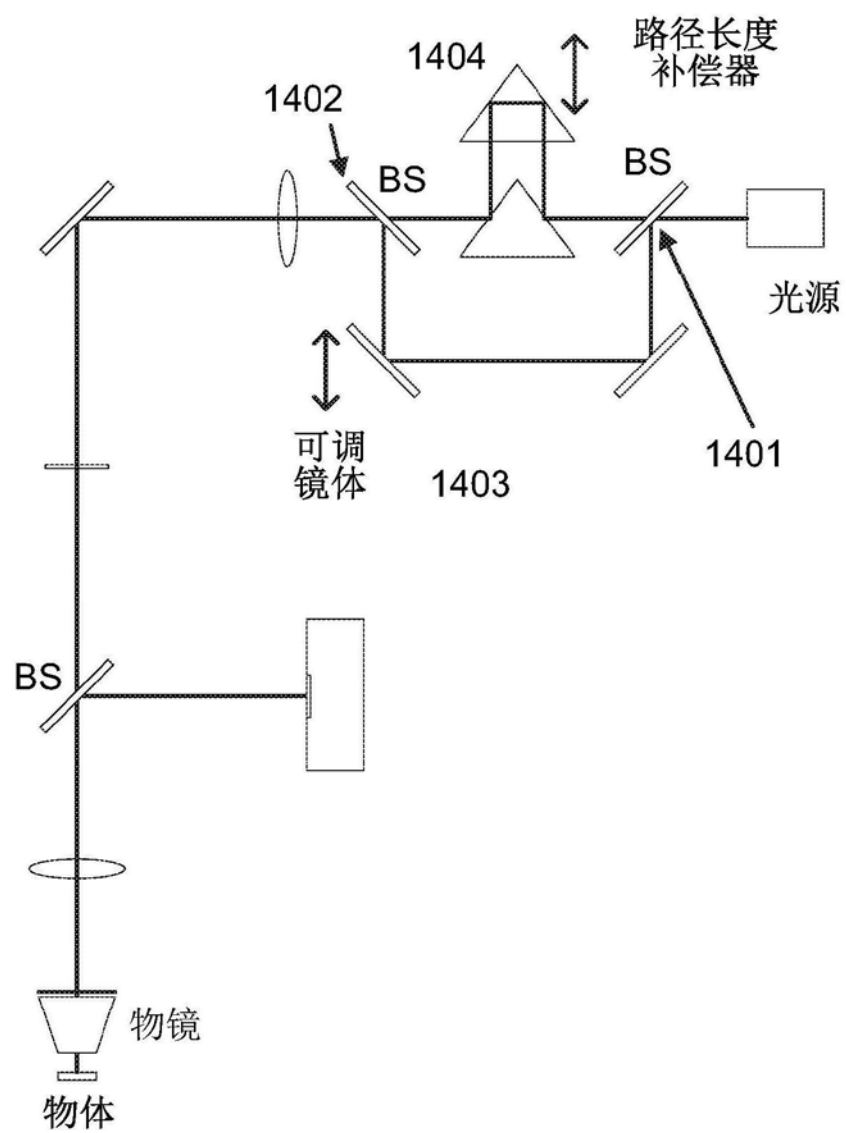


图14

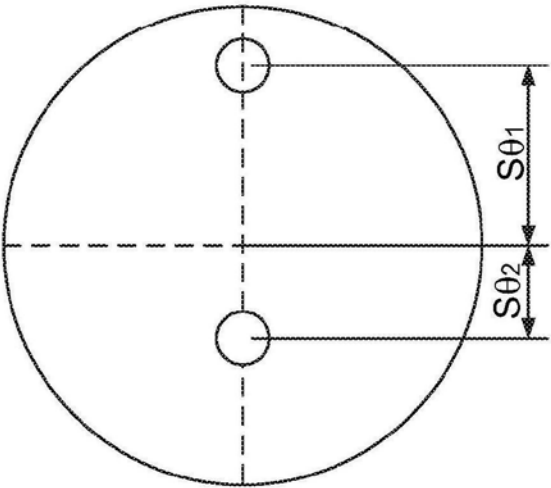


图15

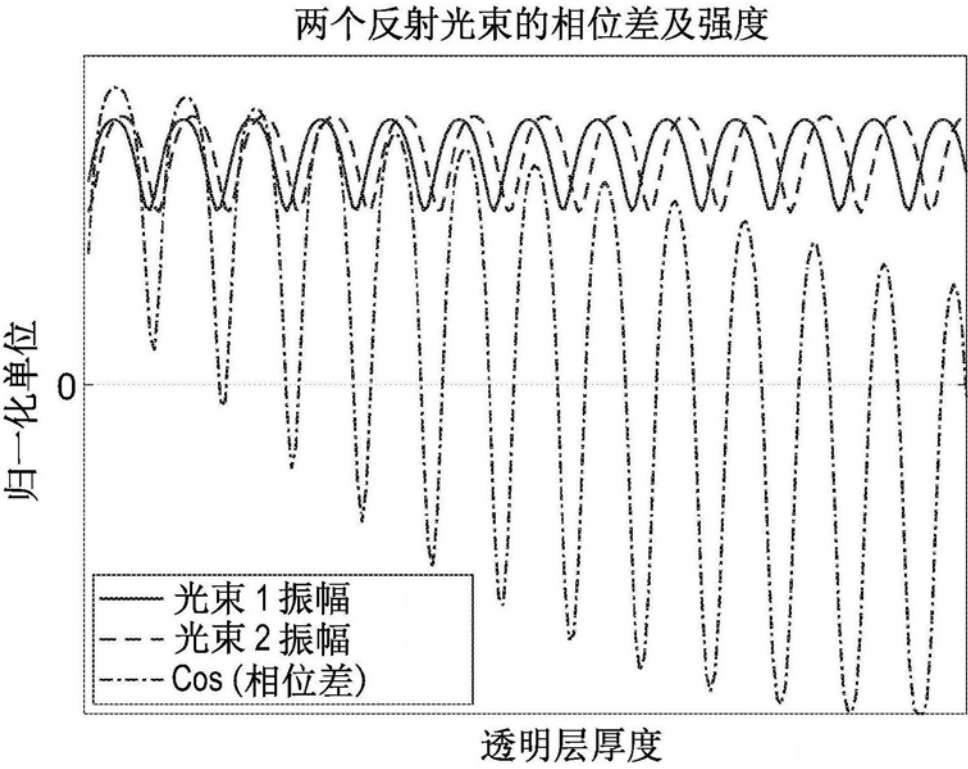


图16

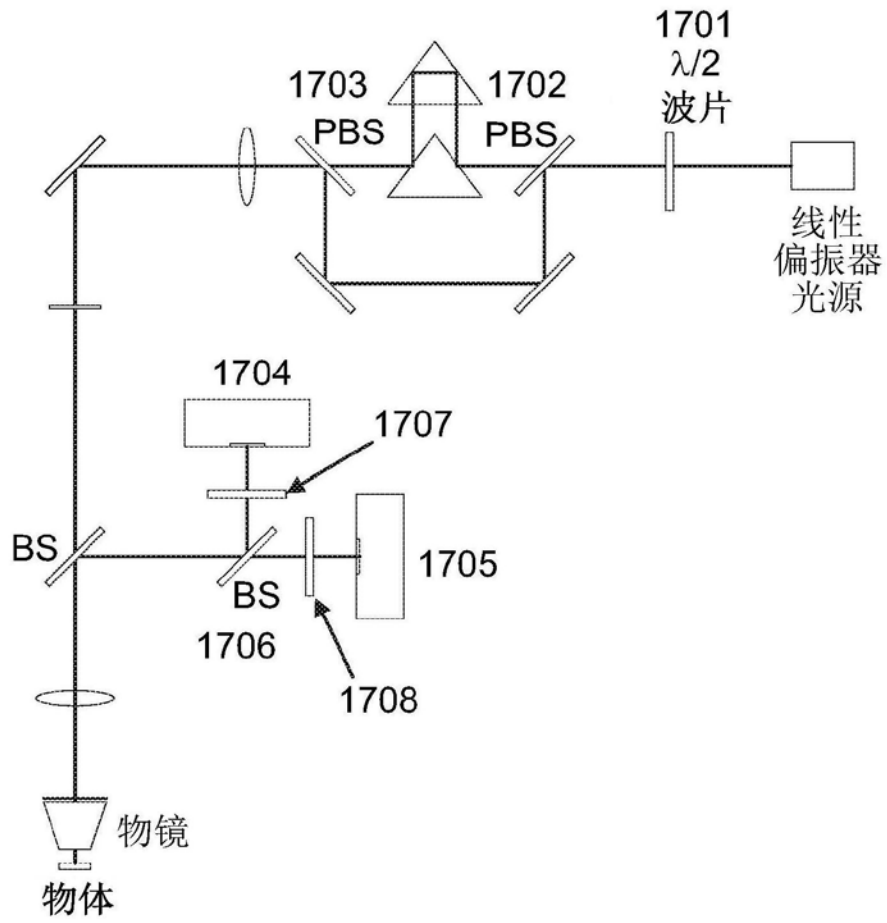


图17

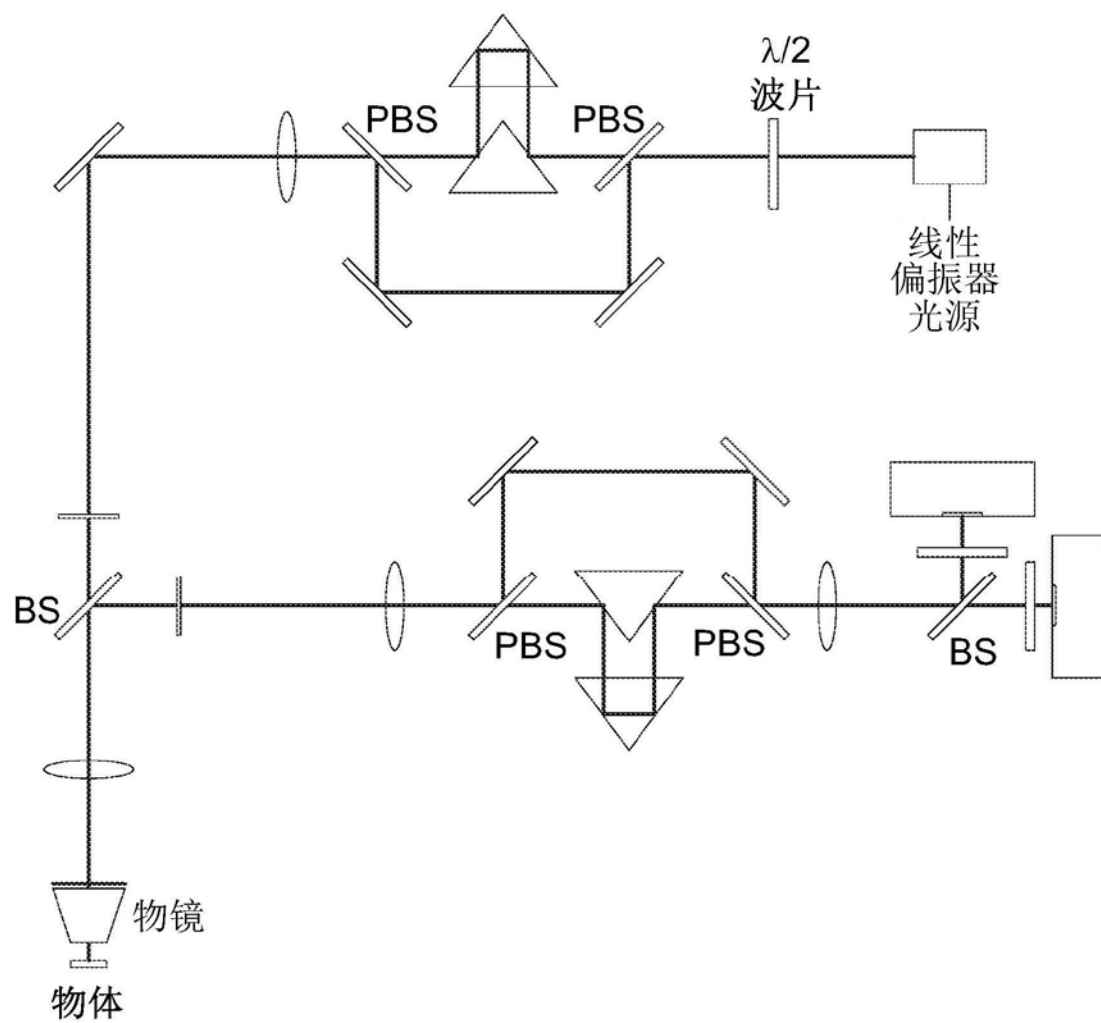


图18