(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 114502912 B
(45)授权公告日 2024.03.08

(21)申请号 202080069661.3
(22)申请日 2020.09.30
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114502912 A
(43)申请公布日 2022.05.13
(30)优先权数据
62/911,279 2019.10.06 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.04.01
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IL2020/051062 2020.09.30
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/070174 EN 2021.04.15
(73)专利权人 奥宝科技有限公司
地址 以色列雅夫内城
(72)发明人 R·欧隆 G·提德哈 I·拉茨科 H·戈兰
(74)专利代理机构 北京律盟知识产权代理有限责任公司 11287
专利代理师 刘媛媛
(51)Int.Cl.
G01B 11/00(2006.01)
G01B 11/25(2006.01)
G01B 9/02(2022.01)
G01B 9/08(2006.01)
G01N 21/88(2006.01)
(56)对比文件
US 2019128823 A1,2019.05.02
US 2008266547 A1,2008.10.30
JP 2015102485 A,2015.06.04
CN 102305601 A,2012.01.04
审查员 潘景良

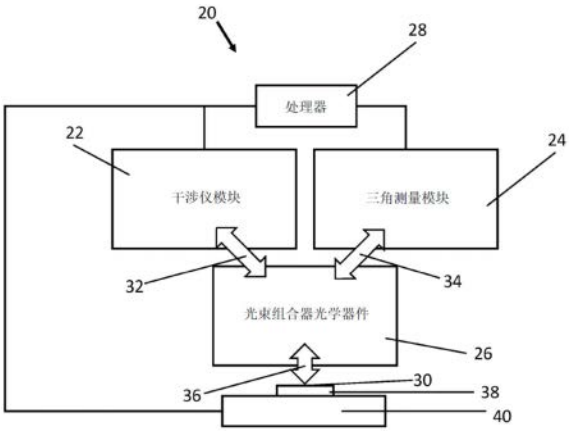
权利要求书4页 说明书12页 附图15页

(54)发明名称

混合式3D检验系统

(57)摘要

本发明公开一种光学检验设备,其包含经配置以将相干光束引导向受检验区域且产生所述区域的干涉条纹的第一图像的干涉仪模块。所述设备还包含经配置以将结构化光的图案投影到所述区域上的三角测量模块及经配置以捕捉干涉条纹的所述第一图像及从所述区域反射的所述图案的第二图像的至少一个图像传感器。光束组合器光学器件经配置以引导所述相干光束及所述投影图案射到所述区域上的相同位置。处理器经配置以处理所述第一图像及所述第二图像以产生所述区域的3D图。



CN 114502912 B

1.一种光学检验设备,其包括:

干涉仪模块,其经配置以将相干光束引导向受检验区域、接收从所述区域反射的所述光束及产生通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像;

三角测量模块,其包括经配置以将结构化光的图案投影到所述受检验区域上的投影仪;

至少一个图像传感器,其经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像;

光束组合器光学器件,其经配置以引导所述相干光束沿第一光轴以第一入射角射到所述受检验区域上的位置及引导所述投影图案沿第二光轴以不同于所述第一入射角的第二入射角射到所述位置;及

处理器,其经配置以处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一3D测量及第二3D测量且组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图,其中所述处理器经配置以通过测量所述第一图像中的所述干涉条纹相对于第一参考的第一位移来进行所述第一3D测量及通过测量所述第二图像中的所述结构化光的所述图案相对于第二参考的第二位移来进行所述第二3D测量。

2.根据权利要求1所述的设备,且其包括经配置以跨所述受检验区域平移所述第一光轴及所述第二光轴的扫描机构。

3.根据权利要求1所述的设备,其中所述第一3D测量以第一分辨率及第一模糊度范围为特征,而所述第二3D测量以比所述第一分辨率粗糙的第二分辨率及比所述第一模糊度范围大的第二模糊度范围为特征,且所述处理器经配置以组合所述第一3D测量与所述第二3D测量,使得所述3D图表示在所述第二模糊度范围内具有所述第一分辨率的所述区域。

4.根据权利要求1所述的设备,其中所述第一入射角垂直于所述受检验区域的表面,而所述第二入射角是倾斜的。

5.根据权利要求4所述的设备,且其包括经配置以将所述相干光束及所述投影图案引导到所述位置上的物镜,其中所述物镜的数值孔径包含服务所述干涉仪模块的中心部分及服务所述三角测量模块的外围部分。

6.根据权利要求4所述的设备,其中所述至少一个图像传感器包括经定位以捕捉所述第一图像的第一图像传感器及经定位以捕捉所述第二图像的第二图像传感器,且其中所述光束组合器光学器件进一步经配置以沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角将从所述受检验区域反射的所述图案引导向所述第二图像传感器。

7.根据权利要求1所述的设备,其中所述三角测量模块经配置以按不同相应角度引导来自所述受检验区域的两个光束以在所述至少一个图像传感器上形成所述图案的相应图像,且所述处理器经配置以一起处理所述相应图像以产生所述3D图。

8.根据权利要求7所述的设备,其中所述三角测量模块包括孔隙板,所述孔隙板经定位以拦截所述反射图案且含有以所述不同相应角度将所述两个光束引导向所述至少一个图像传感器的两个孔隙,且其进一步包括经配置以接收所述反射图案且将所述反射图案引导向所述至少一个图像传感器的物镜,其中所述三角测量模块使所述孔隙板成像到所述物镜的出射光瞳上且包括经配置以引导所述两个光束分别穿过所述两个孔隙的双楔。

9.根据权利要求1所述的设备,其中所述光束组合器光学器件包括多个光学棱镜,所述

多个光学棱镜经配置以反射所述相干光束及所述投影图案中的至少一者以按所述第一入射角及所述第二入射角将所述相干光束及所述投影图案引导向所述位置。

10.根据权利要求1所述的设备,其中所述干涉仪模块包括经配置以发射所述相干光的光源,且所述至少一个图像传感器经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像。

11.根据权利要求10所述的设备,其中所述至少一个图像传感器经配置以捕捉所述受检验区域的2D图像,其中所述处理器经配置以分割及分析所述2D图像以识别所述区域中的一或多个对象且在测量所述一或多个经识别对象的高度时应用所述第一3D测量及所述第二3D测量。

12.根据权利要求10所述的设备,其中所述至少一个图像传感器包括经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的所述第二图像两者的单个图像传感器。

13.根据权利要求12所述的设备,其进一步包括经配置以捕捉从所述受检验区域沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角反射的所述图案的第三图像的另一图像传感器,且其中所述处理器经配置以处理所述第三图像以对所述受检验区域进行进一步3D测量。

14.根据权利要求1所述的设备,其中所述干涉仪模块经配置以通过自参考数字全息术产生所述第一图像。

15.根据权利要求1所述的设备,其中所述干涉仪模块经配置以通过引导具有不同照明状况的两个所述相干光束射到所述受检验区域来产生所述第一图像,其中所述光束中的一者充当所述参考光束。

16.根据权利要求1所述的设备,其中所述干涉仪模块经配置以通过光学操控所述光束来从所述相干光束得到所述参考光束。

17.根据权利要求1所述的设备,其中所述三角测量模块包括经配置以变动所述投影图案的偏光状态以调整第二图像中的镜面及漫反射的相对强度的至少一个可旋转偏光器。

18.根据权利要求1所述的设备,其中所述干涉仪模块经配置以使用数字全息法来捕捉所述第一图像。

19.根据权利要求1所述的设备,其中所述三角测量模块经配置以使用扫描相移法SPSM来捕捉所述第二图像。

20.一种光学检验设备,其包括:

干涉仪模块,其经配置以引导相干光束沿第一光轴射到受检验区域、接收从所述区域反射的所述光束及产生通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像;

三角测量模块,其包括经配置以沿第二光轴投影结构化光的图案射到所述受检验区域的投影仪;

至少一个图像传感器,其经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像;

扫描机构,其经配置以跨所述受检验区域将所述第一光轴及所述第二光轴平移成相互对位;及

处理器,其经配置以驱动所述扫描机构以引起所述第一光轴及所述第二光轴连续射到所述受检验区域中的位置、处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一3D测量及第二3D测量及组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的

3D图,其中所述处理器经配置以通过测量所述第一图像中的所述干涉条纹相对于第一参考的第一位移来进行所述第一3D测量及通过测量所述第二图像中的所述结构化光的所述图案相对于第二参考的第二位移来进行所述第二3D测量。

21.一种用于光学检验的方法,其包括:

将相干光束引导向受检验区域,接收从所述区域反射的所述光束,且捕捉通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像;

将结构化光的图案投影到所述受检验区域上,且捕捉从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像;

定位光束组合器光学器件以引导所述相干光束沿第一光轴以第一入射角射到所述受检验区域上的位置及引导所述投影图案沿第二光轴以不同于所述第一入射角的第二入射角射到所述位置;

处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一3D测量及第二3D测量,其中处理所述第一图像包括测量所述第一图像中的所述干涉条纹相对于第一参考的第一位移,而处理所述第二图像包括测量所述第二图像中的所述结构化光的所述图案相对于第二参考的第二位移;及

组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

22.根据权利要求21所述的方法,其进一步包括跨所述受检验区域扫描所述第一光轴及所述第二光轴。

23.根据权利要求21所述的方法,其中所述第一3D测量以第一分辨率及第一模糊度范围为特征,而所述第二3D测量以比所述第一分辨率粗糙的第二分辨率及比所述第一模糊度范围大的第二模糊度范围为特征,且组合所述第一3D测量与所述第二3D测量包括产生所述3D图以表示在所述第二模糊度范围内具有所述第一分辨率的所述区域。

24.根据权利要求21所述的方法,其中所述第一入射角垂直于所述受检验区域的表面,而所述第二入射角是倾斜的。

25.根据权利要求24所述的方法,其中引导所述相干光束包括通过物镜的数值孔径的中心部分将所述光束聚焦到所述位置上,且投影所述图案包括通过所述物镜的所述数值孔径的外围部分将所述投影图案聚焦到所述位置上。

26.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第二图像包括以不同相应角度引导来自所述受检验区域的两个光束以形成所述图案的相应图像,且其中处理所述第一图像及所述第二图像包括一起处理所述相应图像以提取所述第二3D测量。

27.根据权利要求26所述的方法,其中引导所述两个光束包括定位两个孔隙以拦截所述反射图案及以所述不同相应角度将所述两个光束引导向至少一个图像传感器。

28.根据权利要求27所述的方法,其中引导所述两个光束包括:定位物镜以接收所述反射图案且将所述反射图案引导向所述至少一个图像传感器,其中使所述孔隙成像到所述物镜的出射光瞳上;及定位双楔以引导所述两个光束分别穿过所述两个孔隙。

29.根据权利要求24所述的方法,其中所述光束组合器光学器件进一步经配置以沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角将从所述受检验区域反射的所述图案引导向图像传感器,所述图像传感器捕捉所述第二图像。

30.根据权利要求21所述的方法,其中所述光束组合器光学器件包括多个光学棱镜,所

述多个光学棱镜经配置以反射所述相干光束及所述投影图案中的至少一者以按所述第一入射角及所述第二入射角将所述相干光束及所述投影图案引导向所述位置。

31.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉第一图像包括在干涉仪模块中的图像传感器上形成所述干涉条纹。

32.根据权利要求31所述的方法,其进一步包括使用所述图像传感器捕捉所述受检验区域的2D图像,且进一步包括分割及分析所述2D图像以识别所述区域中的一或多个对象,其中组合所述第一3D测量与所述第二3D测量包括在测量所述一或多个经识别对象的高度时应用所述第一3D测量及所述第二3D测量。

33.根据权利要求31所述的方法,其中所述图像传感器包括经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的所述第二图像两者的单个图像传感器。

34.根据权利要求33所述的方法,其进一步包括捕捉从所述受检验区域沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角反射的所述图案的第三图像及处理所述第三图像以对所述受检验区域进行进一步3D测量。

35.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第一图像包括通过自参考数字全息术产生所述第一图像。

36.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第一图像包括通过引导具有不同照明状况的两个所述相干光束射到所述受检验区域来产生所述第一图像,其中所述光束中的一者充当所述参考光束。

37.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第一图像包括通过光学操控所述光束来从所述相干光束得到所述参考光束。

38.根据权利要求33所述的方法,其中投影所述图案包括变动所述投影图案的偏光状态以调整第二图像中的镜面及漫反射的相对强度。

39.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第一图像包括将数字全息法应用于所述受检验区域。

40.根据权利要求21所述的方法,其中捕捉所述第二图像包括将扫描相移法SPSM应用于所述受检验区域。

41.一种用于光学检验的方法,其包括:

引导相干光束沿第一光轴射到受检验区域,接收从所述区域反射的所述光束,且捕捉通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像;

沿第二光轴投影结构化光的图案射到所述受检验区域且捕捉从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像;

跨所述受检验区域将所述第一光轴及所述第二光轴平移成相互对位以引起所述第一光轴及所述第二光轴连续射到所述受检验区域中的位置;

处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一3D测量及第二3D测量,其中处理所述第一图像包括测量所述第一图像中的所述干涉条纹相对于第一参考的第一位移,而处理所述第二图像包括测量所述第二图像中的所述结构化光的所述图案相对于第二参考的第二位移;及

组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

混合式3D检验系统

[0001] 相关申请案的交叉引用

[0002] 本申请案主张2019年10月6日申请的第62/911,279号美国临时专利申请案的优先权,所述申请案以引用的方式并入本文中。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及光学装置,且特定来说,本发明涉及检验及计量系统。

背景技术

[0004] 在例如印刷电路板、显示面板及集成电路的工件的生产工艺中,通常由经配置以测量电路板的特征的三维(3D)构形的检验系统检验工件。可使用适合光学系统实现各种测量方法。这些方法中的两者是三角测量法及干涉法。

[0005] 如本描述及权利要求书中所使用,术语“光学”、“光”及“照明”大体上是指任何及所有可见、红外及紫外辐射。

[0006] 一些三角测量法将光的图案(例如照明的平行线(条纹)的图案)投影到受检验区域上。通过观察从受检验区域镜面反射或漫反射的投影图案的二维(2D)图像,响应于区域的局部构形变动而看见图案的局部移位。此种方法的实例是相移法,其可使用静态投影条纹及跨区域扫描的条纹(扫描相移法(scanning phase-shift method;SPSM))实施。在SPSM中,投影条纹具有周期性强度图案。当使用正弦变化条纹时,投影条纹图案在横向于条纹的方向上以连续步长移位,其中典型步长大小是条纹周期的1/4。替代地,可使用其它周期性图案。例如,跨条纹梯形变动的条纹能够以每周期两个步长但以较低准确度提取高度信息。正弦条纹与跨条纹周期的多个步长的组合能够以0.5微米的准确度测量从局部条纹移位测量的区域的构形。

[0007] 三角测量法能够测量数十或数百微米的构形变动,具有明确测量结果,但其一般无法达到干涉法的分辨率,如下文将描述。

[0008] 干涉法使用相干光射到受检验区域,引导从受检验区域反射的光干涉照明的未受干扰部分(所谓的参考光束),且从干涉图案推断3D构形。干涉法可为静态或动态的。在静态法中,获得干涉图案且比较其与参考图案。静态干涉法的实例是第2017/0003650号美国公开专利申请案中所描述的数位全息法。在动态法中,动态改变从区域反射的光与参考光束之间的相对相位以导致多个干涉图案,且比较这些图案与固定参考时间的图案。干涉法能够实现低于50nm的垂直分辨率。然而,归因于形成相干照明的光波的循环重复,测量结果也以λ/2的周期(针对反射光)循环重复,其中λ表示照明的波长。因此,结果在所谓的模糊度范围Δh外是模糊的。针对单波长操作,$\Delta h=\lambda/2$。可通过采用具有不同波长λ_1及λ_2的两个激光来进一步拓宽干涉法的模糊度范围。在此情况中,模糊度范围将为$\Delta h=(\lambda_1\times\lambda_2)/(\lambda_2-\lambda_1)$。因此,可取决于波长而实现5μm到15μm之间的模糊度范围。

发明内容

[0009] 下文将描述的本发明的实施例提供用于检验的改进光学检验系统及方法。

[0010] 因此,根据本发明的实施例,提供一种光学检验设备,其包含干涉仪模块,所述干涉仪模块经配置以将相干光束引导向受检验区域、接收从所述区域反射的所述光束及产生通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像。所述设备进一步包含:三角测量模块,其包含经配置以将结构化光的图案投影到所述受检验区域上的投影仪;及至少一个图像传感器,其经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像。光束组合器光学器件经配置以引导所述相干光束沿第一光轴以第一入射角射到所述受检验区域上的位置且引导所述投影图案沿第二光轴以不同于所述第一入射角的第二入射角射到所述位置。处理器经配置以处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一三维(3D)测量及第二3D测量且组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

[0011] 在公开实施例中,所述设备包含经配置以跨所述受检验区域平移所述第一光轴及所述第二光轴的扫描机构。

[0012] 在实施例中,所述第一3D测量以第一分辨率及第一模糊度范围为特征,而所述第二3D测量以比所述第一分辨率粗糙的第二分辨率及比所述第一模糊度范围大的第二模糊度范围为特征,且所述处理器经配置以组合所述第一3D测量与所述第二3D测量,使得所述3D图在所述第二模糊度范围内以所述第一分辨率表示所述区域。

[0013] 在另一实施例中,所述第一入射角垂直于所述受检验区域的表面,而所述第二入射角是倾斜的。

[0014] 在另一实施例中,所述设备还包含经配置以将所述相干光束及所述投影图案两者引导到所述位置上的物镜,其中所述物镜的数值孔径包含服务所述干涉仪模块的中心部分及服务所述三角测量模块的外围部分。

[0015] 在又一实施例中,所述至少一个图像传感器包含经定位以捕捉所述第一图像的第一图像传感器及经定位以捕捉所述第二图像的第二图像传感器,且所述光束组合器光学器件进一步经配置以沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角将从所述受检验区域反射的所述图案引导向所述第二图像传感器。

[0016] 在公开实施例中,所述三角测量模块经配置以按不同相应角度引导来自所述受检验区域的两个光束以在所述至少一个图像传感器上形成所述图案的相应图像,且所述处理器经配置以一起处理所述相应图像以产生所述3D图。

[0017] 在另一实施例中,所述三角测量模块包含孔隙板,其经定位以拦截所述反射图案且含有以所述不同相应角度将所述两个光束引导向所述至少一个图像传感器的两个孔隙。

[0018] 在又一实施例中,所述设备包含经配置以接收所述反射图案且将所述反射图案引导向所述至少一个图像传感器的物镜,其中所述三角测量模块使所述孔隙板成像到所述物镜的出射光瞳上且包含经配置以引导所述两个光束分别穿过所述两个孔隙的双楔。

[0019] 在公开实施例中,所述光束组合器光学器件包含多个光学棱镜,其经配置以反射所述相干光束及所述投影图案中的至少一者以按所述第一入射角及所述第二入射角将所述相干光束及所述投影图案引导向所述位置。

[0020] 在又一实施例中,所述处理器经配置以通过测量所述第一图像中的所述干涉条纹

相对于第一参考的第一位移来进行所述第一3D测量及通过测量所述第二图像中的所述结构化光的所述图案相对于第二参考的第二位移来进行所述第二3D测量。

[0021] 在另一实施例中,所述干涉仪模块包含经配置以发射所述相干光的光源,且所述至少一个图像传感器经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像。

[0022] 在又一实施例中,所述至少一个图像传感器经配置以捕捉所述受检验区域的二维(2D)图像。另外或替代地,所述处理器经配置以分割及分析所述2D图像以识别所述区域中的一或多个对象且在测量所述一或多个经识别对象的高度时应用所述第一3D测量及所述第二3D测量。

[0023] 在另一实施例中,所述至少一个图像传感器包含经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的所述第二图像两者的单个图像传感器。

[0024] 在又一实施例中,所述设备包含经配置以捕捉从所述受检验区域沿对应于所述第二入射角的倾斜出射角反射的所述图案的第三图像的另一图像传感器,其中所述处理器经配置以处理所述第三图像以对所述受检验区域进行进一步3D测量。

[0025] 在公开实施例中,所述干涉仪模块经配置以通过自参考数字全息术(self-referenced digital holography)来产生所述第一图像。

[0026] 在另一实施例中,所述干涉仪模块经配置以通过引导具有不同照明状况的两个所述相干光束射到所述受检验区域来产生所述第一图像,其中所述光束中的一者充当所述参考光束。

[0027] 在又一实施例中,所述干涉仪模块经配置以通过光学操控所述光束来从所述相干光束得到所述参考光束。

[0028] 在公开实施例中,所述三角测量模块包含经配置以变动所述投影图案的偏光状态以调整所述第二图像中的镜面及漫反射的相对强度的至少一个可旋转偏光器。

[0029] 在另一实施例中,所述干涉仪模块经配置以使用数字全息法来捕捉所述第一图像。

[0030] 在又一实施例中,所述三角测量模块经配置以使用扫描相移法(SPSM)来捕捉所述第二图像。

[0031] 根据本发明的实施例,另外提供一种光学检验设备,其包含干涉仪模块,所述干涉仪模块经配置以引导相干光束沿第一光轴射到受检验区域、接收从所述区域反射的所述光束及产生通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像。三角测量模块包含经配置以沿第二光轴投影结构化光的图案射到所述受检验区域的投影仪。至少一个图像传感器经配置以捕捉所述干涉条纹的所述第一图像及从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像。扫描机构经配置以跨所述受检验区域将所述第一光轴及所述第二光轴平移成相互对位。处理器经配置以:驱动所述扫描机构以引起所述第一光轴及所述第二光轴连续射到所述受检验区域中的位置;处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一三维(3D)测量及第二3D测量;及组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

[0032] 根据本发明的实施例,还提供一种用于光学检验的方法,其包含:将相干光束引导向受检验区域;接收从所述区域反射的所述光束;及捕捉通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像。将结构化光的图案投影到所述受检验区域上,且捕捉从

所述受检验区域反射的所述图案的第二图像。定位光束组合器光学器件以引导所述相干光束沿第一光轴以第一入射角射到所述受检验区域上的位置且引导所述投影图案沿第二光轴以不同于所述第一入射角的第二入射角射到所述位置。处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一三维(3D)测量及第二3D测量,且组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

[0033] 根据本发明的实施例,进一步提供一种用于光学检验的方法,其包含:引导相干光束沿第一光轴射到受检验区域;接收从所述区域反射的所述光束;及捕捉通过组合所述反射光束与参考光束所产生的干涉条纹的第一图像。沿第二光轴投影结构化光的图案射到所述受检验区域,且捕捉从所述受检验区域反射的所述图案的第二图像。跨所述受检验区域将所述第一光轴及所述第二光轴平移成相互对位以引起所述第一光轴及所述第二光轴连续射到所述受检验区域中的位置。处理所述第一图像及所述第二图像以提取所述受检验区域的相应第一三维(3D)测量及第二3D测量。组合所述第一3D测量与所述第二3D测量以产生所述区域的3D图。

[0034] 将从结合附图的本发明的实施例的以下详细描述更完全理解本发明,在附图中:

附图说明

[0035] 图1是示意性说明根据本发明的实施例的光学检验设备的框图;

[0036] 图2a及2b是根据本发明的实施例的图1的设备中的干涉仪模块的示意性侧视图;

[0037] 图3是根据本发明的另一实施例的图1的设备中的干涉仪模块的示意性侧视图;

[0038] 图4是根据本发明的实施例的光学检验设备的示意性侧视图;

[0039] 图5是根据本发明的另一实施例的光学检验设备的示意性侧视图;

[0040] 图6是说明根据本发明的另一实施例的设备在映像受检验区域时的操作的图5的光学检验设备的示意性侧视图;

[0041] 图7是根据本发明的又一实施例的光学检验设备的示意性侧视图;

[0042] 图8a、8b及8c是说明根据本发明的又一实施例的设备的操作模式的光学检验设备的示意性侧视图;

[0043] 图9a、9b及9c是说明根据本发明的又一实施例的设备的操作模式的光学检验设备的示意性侧视图;

[0044] 图9d是根据本发明的实施例的用于图9a到c的设备中的孔隙板的示意性前视图;及

[0045] 图10是示意性说明根据本发明的实施例的用于3D映射的方法的流程图。

具体实施方式

[0046] 概述

[0047] 用于测量工件的3D构形的光学检验系统可组合两种不同互补方法。组合三角测量模块与干涉仪模块是有利的,因为由三角测量模块给出的绝对高度测量与由干涉仪模块给出的高测量准确度互补:由于三角测量模块的准确度好于干涉仪模块的模糊度范围,因此可利用来自三角测量模块的测量结果来打破干涉测量的模糊度以导致大范围内的准确及明确干涉测量。为将由两种方法中的每一者给出的3D测量组合成准确3D图,三角测量模块

及干涉测量模型两者检视工件上的相同区域是有利的,其中三角测量模块及干涉测量模型的相应视域彼此准确对位。

[0048] 本文中所描述的本发明的实施例通过提供光学检验设备来解决上述需求,光学检验设备并入具有互补测量结果的干涉仪模块及三角测量模块以在广泛高度范围内提供准确3D测量。设备进一步包括使两个模块的视域能够准确相互对位的光束组合器光学器件。

[0049] 在所公开实施例中,光学检验设备包括干涉仪模块、三角测量模块、光束组合光学器件及处理器。干涉仪模块发射相干光束且将其分成两个部分。一部分射到受检验区域,从其反射,且接着光学干涉另一部分以产生反映区域的构形的干涉图案。干涉图案由干涉仪模块的图像传感器记录。

[0050] 三角测量模块将结构化光的图案投影到受检验区域上。在所描绘的实例中,从倾斜方向投影图案,但漫反射表面也允许投影垂直于区域。三角测量模块进一步使用沿相对于投影方向成角度的方向定向的图像传感器来记录从区域反射的图案(包含镜面及/或漫反射)。结构化光的图案可经配置为一组平行等距光线。替代地,可使用例如二维周期性及非周期性图案的其它图案。

[0051] 光束组合器光学器件将干涉仪模块及三角测量模块两者的光轴引导向受检验区域上的共同位置以因此确保由两个模块看见的区域准确相互对位。干涉仪及三角测量模块可同时或循序地在每一关注位置处进行其测量。光束组合器光学器件划分用于射到及成像受检验区域的数值孔径(NA),其中NA的一部分专用于三角测量模块,且另一部分专用于干涉模块。针对具有粗糙(散射)表面的区域,干涉模块的NA也可用于使用漫反射光来使三角测量模块的条纹图案成像。

[0052] 处理器执行三个主要任务:

[0053] 1.其从干涉图像计算跨受检验区域的干涉相位图;

[0054] 2.其从三角测量数据计算跨区域的三角测量高度图;及

[0055] 3.其利用三角测量高度图来展开干涉相位图,从而获得具有跨区域的干涉测量的准确度的明确高度图。

[0056] 在一些实施例中,干涉仪模型中的图像传感器也使用仅射到受检验区域而不产生参考光束的光源来捕捉二维(2D)图像(明场图像)。处理器可分析此2D图像以识别用于后续检验的特征,例如焊料凸块、柱、通路或缺陷。在识别之后,可使用干涉仪及三角测量模块两者(或替代地,仅其中的一者)检验这些特征以产生特征的3D图。

[0057] 在又一实施例中,干涉仪及三角测量模块可用于捕捉投影到镜面及漫反射光的区域上的结构化照明图案的图像。镜面反射光由三角测量模块的图像传感器捕捉,如上文所描述。同时,一些漫反射光可辐射到干涉仪模块的NA空间中。干涉仪模块的图像传感器可捕捉此光的图像,且可以类似于镜面反射图案的方式分析所记录的结构化图案。

[0058] 系统描述

[0059] 图1是示意性说明根据本发明的实施例的光学检验设备20的框图。光学检验设备20包括干涉仪模块22、三角测量模块24、光束组合器光学器件26及耦合到干涉及三角测量模块的处理器28。设备20相邻于工件38的区域30或其它受检验样本定位。

[0060] 扫描机构(例如平移载台40)在设备20内平移工件38以跨工件扫描干涉仪模块22及三角测量模块24的视域。(在后续图中,为简单起见,已省略载台40。)替代地或另外,扫描

机构可使设备20的其它元件相对于工件移位。当执行测量时，载台40(或另一扫描机构)可使工件38相对于干涉仪模块22及三角测量模块24保持固定。替代地，干涉仪模块22及三角测量模块24可经配置以在运动中(即，在载台40移动工件38时)执行其测量。

[0061] 如下图中详细展示，光束组合器光学器件26引导干涉仪模块22及三角测量模块24的相应光轴相互对位地射到区域30中的位置。在一些实施例中，光束组合器光学器件经配置使得两个光轴精确入射于区域30中的相同位置处。在其它实施例中，光轴入射于区域30上的位置可彼此偏移(通常偏移小的已知距离)，且载台40的运动引起光轴在不同已知时间入射于区域30中的每一位置上。

[0062] 在替代实施例(图中未展示)中，设备20不包括光束组合器光学器件26，且干涉仪模块22及三角测量模块24的光轴沿单独路径入射于区域30上的不同位置处。入射位置之间的偏移是已知的且被准确控制。处理器28驱动载台40以在干涉仪模块22及三角测量模块24的相应视域(FOV)之间平移区域30，其中两个FOV之间准确对位。例如，处理器28驱动载台40定位区域30以在时刻T与干涉仪模块22的FOV重合，此时干涉模块捕捉干涉图像。接着，处理器28驱动载台40移动区域30以在时刻T+ΔT与三角测量模块24的FOV重合，此时三角测量模块捕捉结构化照明图案的图像。此操作模式使处理器能够组合由模块22及24进行的3D测量，即使缺少光束组合器光学器件。

[0063] 将在后续图中进一步详述干涉仪模块22、三角测量模块24及光束组合器光学器件26。

[0064] 处理器28包括可编程处理器，其经编程于软件及/或固件中以实施本文中所描述的功能。另外或替代地，处理器28的至少一些功能可由可硬接线或可编程的硬件逻辑电路实施。在任一情况中，处理器28具有用于从设备20的其它元件接收数据及指令及将数据及指令传输到设备20的其它元件的适合接口，如下文将描述。

[0065] 干涉仪模块22、三角测量模块24、光束组合器光学器件26及区域30之间的光学信号流动由箭头32、34及36示意性指示：箭头32指示干涉仪模块22与光束组合器光学器件26之间的光学信号双向流动，箭头34指示三角测量模块24与光束组合器光学器件26之间的光学信号双向流动，箭头36指示光束组合器光学器件26与区域30之间的光学信号双向流动。箭头36表示到及来自干涉仪模块22及三角测量模块24两者的光学信号。

[0066] 图2a及2b是根据本发明的实施例的两种不同操作模式中的干涉仪模块22的示意性侧视图。这些图展示干涉仪模块22的一个简化代表性配置。

[0067] 干涉仪模块22包括相干光源42、三个分束器44、46及48、反射镜50及第一图像传感器52。另外，模块22可包括第二光源，为简单起见，其从图省略。来自此源的射到区域30的照明由图2b中的箭头54指示。替代地，照明可通过分束器48引导，如虚线箭头55所指示。为简单起见，类似地省略其它光学组件，例如用于扩展及准直由源42发射的光的透镜及用于使区域30成像到传感器52上的透镜。

[0068] 相干光源42通常包括双波长连续波激光，但可替代地使用其它源，例如单波长激光、窄频气体放电源或脉冲激光(单波长或双波长)。如上文所描述，使用具有两个波长λ_1及λ_2的激光(或具有波长λ_1的激光及波长λ_2的另一激光)产生$\Delta h=(\lambda_1\times\lambda_2)/(\lambda_2-\lambda_1)$的扩展模糊度范围。源42也可经选通或脉动以使相干照明与在载台40上移动的工件38的可能运动同步及与通过三角测量模块24的测量同步。

[0069] 分束器44、46及48表示为立方体分束器。替代地,可使用其它种类的分束器,例如板分束器。反射镜50通常包括由金属涂层(例如铝)或电介质多层涂层涂覆的前表面反射镜。传感器52包括像素化相机,例如CCD(电荷耦合装置)或CMOS(互补金属氧化物半导体)相机。

[0070] 图2a说明干涉仪模块22的干涉功能。激光42发射相干光束60。分束器44将光束60分成主光束62及参考光束64。主光束62由分束器46反射以射到区域30上,主光束62从区域30朝向分束器46反射回以进一步穿过分束器46及分束器48而射到传感器52。参考光束64由分束器44反射且进一步由反射镜50及分束器48反射而射到传感器52,其中参考光束64与主光束62相干组合以产生区域30的一或多个干涉图像(取决于使用静态还是动态干涉术)。处理器28读取(若干)干涉图像,且计算区域30的干涉相位图。

[0071] 主光束62及参考光束64可分别共线或以非共线角射到传感器52。图2a展示呈非共线角的主光束62及参考光束64,其通过适当转动反射镜50来实施。当使用数字全息法时,此非共线角是有益的,如上述第2017/0003650号美国公开专利申请案中所描述。

[0072] 图2b说明在传感器52上产生区域30的2D(非干涉)图像时的干涉仪模块22的非干涉功能。在此操作模式中,可关断激光42,如由缺少光束60、62及64所展示。相反地,接通第二光源以射到区域30,如由箭头54或箭头55所指示。现由传感器52捕捉区域30的2D非干涉图像。处理器28分析此图像以识别用于后续3D映像的图像特征,例如焊料凸块、柱、通路或缺陷。

[0073] 在替代实施例中,可通过使用激光42发射相干光束60,但同时(例如)由适当定位快门(未展示)阻挡参考光束64来产生2D图像。

[0074] 图3是根据本发明的另一实施例的干涉仪模块75的示意性侧视图。此图以简化方式展示图1的干涉仪模块22的替代配置,其中使用自参考或共同路径数字全息法。在此方法中,分离从样本反射的部分光束(样本光束)充当参考光束。随后,以其传播方向之间的小角度重组两个光束以形成剪切干涉图案。替代地,可在本发明中使用本技术中已知的其它类型的剪切干涉仪。相同元件符号用于指示与图2a到2b中的对应项相同或类似的项。

[0075] 干涉仪模块75包括相干光源42、分束器66及68、反射镜70及72及第一图像传感器52。为简单起见,省略其它光学组件,例如用于扩展及准直由源42发射的光的透镜及用于使区域30成像到传感器52上的透镜。

[0076] 分束器66及68表示为立方体分束器。替代地,可使用其它种类的分束器,例如板分束器。反射镜70及72通常包括由金属涂层(例如铝)或电介质多层涂层涂覆的前表面反射镜。

[0077] 图3进一步说明干涉仪模块75的干涉功能。如同图2a,激光42发射相干光束60。分束器66引导光束60射到区域30,光束60从区域30朝向分束器66反射回以进一步穿过分束器66而到达分束器68,其中光束60被分成两个光束:参考光束76及主光束74。主光束74由反射镜70反射且由分束器68反射向传感器52。参考光束76由反射镜72以相对于其原始方向的小角度反射回,且接着由分束器68透射到传感器52,其中参考光束76与主光束74相干组合以产生区域30的一或多个干涉图像。处理器28读取(若干)干涉图像,且计算区域30的干涉相位图。

[0078] 替代地,可在射到区域30之前从样本光束分离参考光束。接着,两个光束用于以不

同照明状况((例如)例如偏光、区域30上的入射角或数值孔径(NA))射到区域30。在射到区域30之后,两个光束射到传感器52以产生区域的一或多个干涉图像。替代地,可通过光学操控(例如空间过滤额外光学组件(例如相位板)及/或将额外光学组件引入到其光学路径中)从样本光束得到参考光束。

[0079] 作为图2a及3中所说明的方案的替代,本技术中已知的任何其它适合种类的成像干涉仪可适用于本发明目的。

[0080] 第一实施例

[0081] 图4是根据本发明的实施例的光学检验设备80的示意图。如同设备20,设备80包括干涉仪模块82、三角测量模块84及光束组合光学器件86及处理器28。

[0082] 干涉仪模块82类似于图2a中所展示的干涉仪模块22,且沿第一光轴88发射及接收相干光束,其由光束组合光学器件86引导以射到区域30。

[0083] 三角测量模块84包括沿第二光轴92将结构化光的一或多个图案投影到区域30上的投影仪90。当使用SPSM(扫描相移法)时,投影仪90投影直线周期性条纹图案,其中条纹具有正弦变化强度,且其中连续条纹图案通常移位条纹周期的1/4。针对规格的剩余者,我们将参考此种四步SPSM,但可使用其它方法,例如静态相移、具有不同数目个步骤(最少三步)的SPSM或伪随机或随机二维或三维图案。

[0084] 投影仪90可包含可互换投影图案以能够变动测量的范围及准确度。另外,投影图案可由(例如)不同频率的若干子图案组成以实现大测量范围及高测量分辨率(准确度)两者。这些用于投影图案的方案也适用于后续图5、6、7、8a、8c、9a及9c中所说明的图案投影仪。

[0085] 三角测量模块84进一步包括第二图像传感器94,其通常包括例如CCD或CMOS相机的像素化相机。为简单起见,已省略用于将条纹图案投影到区域30上及使区域成像到传感器94上的光学组件。

[0086] 在此实例中,光束组合光学器件86包括复合棱镜96,其包括沿共同界面102接合的第一棱镜98及第二棱镜100。复合棱镜96包括三个输入/输出面:第一面104、第二面106及第三面108。棱镜98及100由透光材料(例如玻璃)制造。界面102包括在棱镜98与100之间透射及反射光束的光学涂层103,通常为电介质抑或混合式多层涂层,如下文将详述。输入/输出面104、106及108可涂覆有适合光学抗反射涂层。

[0087] 投影仪90的第二光轴92射到第一面104,其中第二光轴92折射而进入到第一棱镜98中。其经由界面102透射到第二棱镜100中。涂层103可经设计有波长及/或偏光选择性以透射从投影仪90沿第二光轴92传播的几乎所有光。替代地,涂层103可包括简单非选择性50/50分束器涂层。光轴92射到第二面106,由其透射,且随后射到区域30。第二光轴92现由区域30镜面反射,由第二面106透射到复合棱镜96中且进一步透射到界面102中,且随后通过第一面104离开而射到传感器94。传感器94捕捉区域30上的图案的图像。耦合到传感器的处理器28测量图像中的条纹图案相对于第二参考图像的位移,且从这些测量位移计算区域30的三角测量高度图。

[0088] 处理器28随后将干涉相位图及三角测量高度图组合成最终3D图以利用三角测量高度图的绝对高度测量来移除干涉相位图中的任何模糊度。下文将在图10中详述干涉相位图及三角测量高度图两者的计算及其组合。

[0089] 光束组合光学器件86分别与干涉模块82及三角测量模块84一起经配置使得相应光轴88及92射到区域30上的共同位置110。干涉模块82及三角测量模块84的视域可精确或至少足够紧密重合以确保干涉相位图与三角测量高度图的准确对位及组合。光束组合光学器件86也可利用NA空间中干涉模块82与三角测量模块84之间的固有划分。当干涉仪模块的光轴88以法向角射到区域30时,干涉仪模块表现最佳好,而三角测量模块在受检验区域处使用光轴92的非法向角。

[0090] 第二实施例

[0091] 图5是根据本发明的另一实施例的光学检验设备200的示意性侧视图。如同前述实施例,设备200包括干涉仪模块202、三角测量模块204及光束组合光学器件206及处理器28。

[0092] 除图5中明确展示物镜208(其为干涉仪模块202的一部分)之外,干涉仪模块202类似于图2a中的干涉仪模块22及图4中的干涉仪模块82。干涉仪模块202的剩余部分示意性展示为块203,且为简单起见,省略细节。物镜208使区域30成像到干涉仪模块202的传感器(图5中未展示,但类似于图2a及2b中的传感器52)上。干涉仪模块202具有光轴213,其沿光轴213发射及接收相干光束。如上文所描述,处理器28基于来自干涉仪模块202的图像计算区域30的干涉相位图。

[0093] 三角测量模块204以类似于图4中所展示的三角测量模块84的方式运行,且包括类似于图4中的投影仪90及传感器94的投影仪210及第二图像传感器212。三角测量模块204沿第二光轴214投影条纹图案,如下文将详述。

[0094] 光束组合光学器件206包括复合棱镜216,其包括第一棱镜218、第二棱镜220及第三棱镜222。棱镜218、220及222由透光材料(例如玻璃)制造。第一棱镜218及第三棱镜222沿第一共同界面224接合,且第二棱镜220及第三棱镜222沿第二共同界面226接合。界面224及226分别包括反射三角测量模块204的光束的光学涂层225及227,通常为电介质或混合式多层涂层,如下文将详述。替代地,如同涂层103,涂层225及227可包括简单非选择性50/50分束器涂层。棱镜218、220及222包括以下输入/输出面:棱镜218包括第一面230、第二面232及第三面234;棱镜220包括第四面236、第五面238及第六面240;棱镜222包括第七面250及第八面252。面230、234、236、240、250及252可由光学抗反射涂层涂覆。面232及238由反射涂层(混合式或电介质多层涂层)涂覆。替代地,面232及238可保持未涂覆,只要其通过全内反射(TIR)反射投影条纹图案,如下文将详述。

[0095] 干涉仪模块202沿垂直于区域30的光轴213发射相干光束以按由虚线215界限的光锥通过棱镜222的第七面250及第八面252射到区域。(为简单起见,已省略第三棱镜222中虚线215的折射。)此锥的数值孔径(NA)由NA＝sin(α)给出,其中α是线215中的一者与第一光轴213之间的角度217的范围。反射相干照明沿光轴213返回到干涉仪模块202。

[0096] 投影仪210沿光轴214投影条纹图案。光轴214通过第一面230进入到第一棱镜218中,从第二面232反射(通过从反射涂层反射或通过TIR),由第一共同界面224再次反射,且通过第三面234离开第一棱镜以射到区域30。第二光轴214从区域30镜面反射,通过第四面236进入第二棱镜220,由第二共同界面226反射,且接着(类似于从第二面232反射)从第五面238反射,且通过第六面240离开棱镜238。随后,第二光轴214射到图像传感器212,图像传感器212捕捉条纹图案的图像供处理器28处理,如上文所描述。

[0097] 如同前述实施例,光束组合光学器件206经设计使得第一光轴213及第二光轴214

分别射到区域30上的共同位置254。光束组合光学器件206中的棱镜218、220及222的结构确保干涉仪模块202与三角测量模块204的数值孔径(角域)之间的分离。

[0098] 在替代实施例(图中未展示)中,可从光束组合光学器件省略第三棱镜222,在所述情况中,共同界面224及226变成类似于面232及238的玻璃/空气界面。

[0099] 图6是说明根据本发明的另一实施例的在映像受检验区域256时使用设备的光学检验设备200(如上文所描述)的示意性侧视图。为简单起见,已从图6省略图5中所使用的大多数元件符号。

[0100] 在此实例中,区域256的表面镜面及漫反射。从区域256镜面反射的光由干涉仪模块202及三角测量模块204两者利用,如图5的背景中已描述。然而,射到区域256的条纹图案的一部分漫反射到物镜208的数值孔径中,如由箭头258所展示。此光进一步传送到干涉仪模块202中,如由箭头260所展示。

[0101] 由漫反射光传送的条纹图案由干涉仪模块202中的图像传感器捕捉。处理器28现利用由干涉仪模块202的图像传感器捕捉的图像来计算另一3D图,其类似于从由三角测量模块204中的图像传感器捕捉的图像计算的三角测量高度图。当区域256具有高度漫射表面时,使用此另一3D图是尤其有利的。

[0102] 第三实施例

[0103] 图7是根据本发明的又一实施例的光学检验设备280的示意性侧视图。除在三角测量模块204中将偏光器282及284分别添加到投影仪210及传感器212之外,设备280与图5到6的设备200相同。区域30可包括具有高镜面反射率的两个表面(例如金属表面)及具有低镜面反射率但可能较高漫反射率的表面(包括(例如)非金属材料)。通过调整偏光器282及284的旋转角,可平衡沿朝向图像传感器212的方向286传播的镜面反射光及漫反射光的相对强度,从而允许同时测量来自两种表面的条纹图案。

[0104] 第四实施例

[0105] 图8a、8b及8c是根据本发明的又一实施例的光学检验设备300的示意图。如同前述实施例,设备300包括干涉仪模块302、三角测量模块304及光束组合光学器件306及处理器28。在图8a到8c中,光束经展示为全光束,而非如同前述实施例那样使用模块的相应光轴。

[0106] 除明确展示透镜308(其为干涉仪模块的一部分)之外,干涉仪模块302类似于图2a中的干涉仪模块22及图4中的干涉仪模块82。干涉仪模块302的剩余部分示意性展示为块310。透镜308使区域30成像到干涉仪模块302中的图像传感器上。为简单起见,省略干涉仪模块的剩余组件。

[0107] 三角测量模块304包括在设计及操作上类似于图4中的投影仪90及传感器94的投影仪316及图像传感器318。三角测量模块304进一步包括透镜320及322,其功能将在下文详述。

[0108] 光束组合光学器件306包括高NA物镜324、板分束器326及两个反射镜328及330。替代地,分束器326可包括分束器立方体。分束器通常经涂覆以优先透射到及来自干涉仪模块302的光束,同时反射到及来自三角测量模块304的光束,例如基于偏光及/或波长选择性。

[0109] 参考图8b,干涉仪模块302发射由透镜308准直的相干光束314。光束314由板分束器326透射,且由物镜324以具有数值孔径NA_i的光锥聚焦到区域30中的位置312上。数值孔径NA_i由区域30的法线317与边缘射线319之间的角度315界定为$NA_i = \sin(\gamma)$,其中γ是角

度315的大小。光束314从位置312反射回干涉仪模块302。

[0110] 参考图8c,投影仪316以由透镜320准直的光束334投影条纹图案。光束334朝向区域30的传播由箭头336指示。光束334由反射镜328及板分束器326反射向物镜324。物镜324以角度340将光束334聚焦到位置312上。角度340的大小β由光束334在进入物镜324之前从物镜的光轴342的偏移d及物镜的焦距f确定。β现给出为β=arcsin(d/f)。如由箭头338所指示,光束334从位置312通过分束器326、反射镜330及透镜322返回到传感器318,传感器318捕捉条纹图案的图像。

[0111] 设备300的光学组件的尺寸、位置及光学参数经选择使得$NA_i<\sin(\beta)$。因此,干涉仪模块302的光束314及三角测量模块304的光束334在物镜324的NA空间(角域)及其在光束组合光学器件306内的路径中分离。

[0112] 第五实施例

[0113] 图9a、9b、9c及9d是根据本发明的另一实施例的光学检验设备500的示意图。图9a到c是设备的元件的侧视图,而图9d是用于设备中的孔隙板552的示意性前视图。如同前述实施例,设备500包括干涉仪模块502、三角测量模块504、光束组合光学器件506及处理器28。在图9a到9c中,光束展示为全光束(类似于图8a到8c),而非使用模块的相应光轴。

[0114] 干涉仪模块502类似于图8a中的干涉仪模块302,包括干涉仪块510及透镜508。

[0115] 三角测量模块504包括在设计及操作上类似于图4中的投影仪90及传感器94的投影仪516及图像传感器518。三角测量模块504进一步包括透镜520及522、双楔550、孔隙板552(具有图9d中进一步详述的孔隙572及574)、光学中继器554、反射镜556及板分束器558,其功能将在下文详述。

[0116] 光束组合光学器件506包括高NA物镜524及板分束器526。替代地,分束器526及558可包括分束器立方体。分束器526通常经涂覆以优先透射到及来自干涉仪模块502的光束,同时(例如)基于偏光及/或波长选择性反射到及来自三角测量模块504的光束。

[0117] 参考图9b,干涉仪模块502发射由透镜508准直的相干光束514。光束514由分束器526透射,且由物镜524聚焦到区域30中的位置512上。光束514从位置512反射回干涉仪模块502。

[0118] 参考图9c,投影仪516以光束534投影条纹图案,光束534由透镜520准直。光束534朝向区域30的传播由箭头536指示。光束534由分束器558及526反射向物镜524,物镜524将光束534聚焦到位置512上。如由箭头562所指示,光束534从位置512通过分束器526、分束器558(通过透射)、反射镜556、光学中继器554、孔隙板552的孔隙572及574、双楔550及透镜522而返回到传感器518,传感器518捕捉条纹图案的图像。在图中,返回光路径中仅展示透射穿过孔隙572及574的光束564及566。

[0119] 光学中继器554使孔隙板552的平面成像到物镜524的出射光瞳560上。因此,孔隙板552的孔隙572及574确定区域30正上方空间中的光束564及566的角范围。

[0120] 双楔550将穿过孔隙572及574的光束引导到成像器518上的两个不同位置上以在成像器上获得两个条纹图案图像。这些两个图像中的每一者与光束564及566的相应不同角度相关且在一起使用时实现更稳健测量及提高准确度。

[0121] 如图9d中所展示,孔隙板552包括不透光板570内的圆形孔隙572及574。在所描绘的实施例中,孔隙572及574在板570内对称定位,因此,光束564及566在区域30正上方的角

域中对称。替代地,孔隙板552可含有不同于图9d中所展示孔隙的形状及/或不同于图9d中所展示的孔隙的位置中的两个或更多个孔隙。

[0122] 用于3D测绘的方法

[0123] 图10是示意性说明根据本发明的实施例的用于计算干涉相位图及三角测量高度图及将其组合的方法的流程图600。

[0124] 在三角测量获取步骤602中,处理器28从三角测量模块24获取连续图像,其中连续图像由条纹图案的相位步长分离。在计算步骤606中,处理器28(例如)使用等

[0125] 式1来计算相位图$\emptyset(x,y)$:

[0126] $$\emptyset(x,y) = -atan\frac{\sum_{i=1}^{N} I_i(x,y)\cdot \sin(\delta_i)}{\sum_{i=1}^{N} I_i(x,y)\cdot \cos(\delta_i)}$$

[0127] 其中x及y是区域30中的空间坐标,N是相位步长的数目,δ_i是第i步长的相位。替代地,在其中使用两个或更多个不同图案的实施例中,如上文所解释,可相应地修改此公式用于更快及更准确计算。当记录两个图像图案(如图9c中所说明)时,处理器28可处理两个图案。这允许补偿横向图像移位,且因此可实现提高准确度及稳健性。

[0128] 在转换步骤608中,通过等式2将所计算的相位图$\emptyset(x,y)$转换为高度图ΔZ(x,y):

[0129] $$\Delta Z(x,y) = \frac{\emptyset(x,y)}{2\cdot\pi\cdot tan(\gamma)}\cdot\lambda_{fr}$$

[0130] 其中γ是所谓的三角测量角(入射到区域30上的条纹图案的光轴与反射条纹图案的光轴之间的角度),且λ_{fr}是投影条纹图案的周期。

[0131] 在干涉获取步骤612中,处理器28从干涉仪模块22获取图像。在FFT步骤614中,处理器28对所获取的图像执行快速傅里叶变换(FFT)分析。在屏蔽步骤616中,处理器28屏蔽所得FFT数据以仅包含相关频率(围绕预期条纹频率)且使用零来填充剩余数据。在IFFT步骤618中,处理器对来自步骤616的屏蔽结果执行逆FFT。在相位计算步骤620中,处理器28计算从IFFT步骤618所得的每一点的相位。在相位图步骤620中,从IFFT步骤618的结果计算干涉相位图。从相位图步骤620所得的相位图具有2π的范围内的相位值,即,其为模数(2π)相位图。在展开步骤622中,处理器28从模数(2π)相位图计算高度图,且添加或减去对应于模糊度范围的高度增量,直到每一点处的高度最接近所述点处的三角测量高度图。

[0132] 在3D图步骤624中,处理器28通过将展开相位转换为高度来计算区域30的最终3D图。为此,处理器使每一点(x,y)处的相位与λ/2π相乘,其中λ是干涉仪模块22的相干光束的波长。当采用两个波长λ_1及λ_2用于干涉测量时,使用波长$\Lambda = (\lambda_1\times\lambda_2)/(\lambda_2-\lambda_1)$将相位转换为高度。

[0133] 应了解,上述实施例仅以实例的方式引用,且本发明不受限于上文已特别展示及描述的内容。确切来说,本发明的范围包含上述各种特征的组合及子组合及所属领域的技术人员将在阅读以上描述之后想到且先前技术中未公开的本发明的变动及修改。

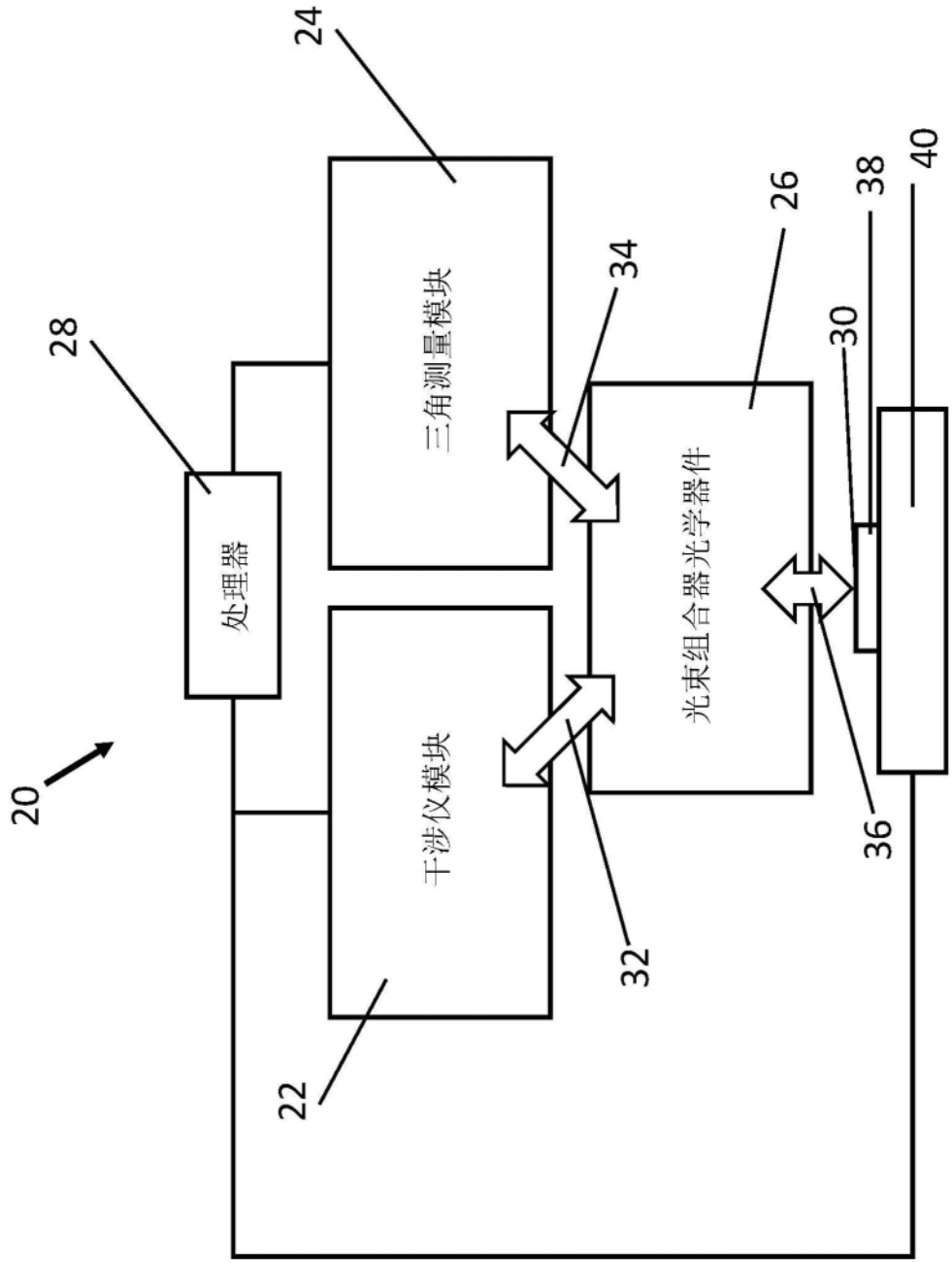


图1

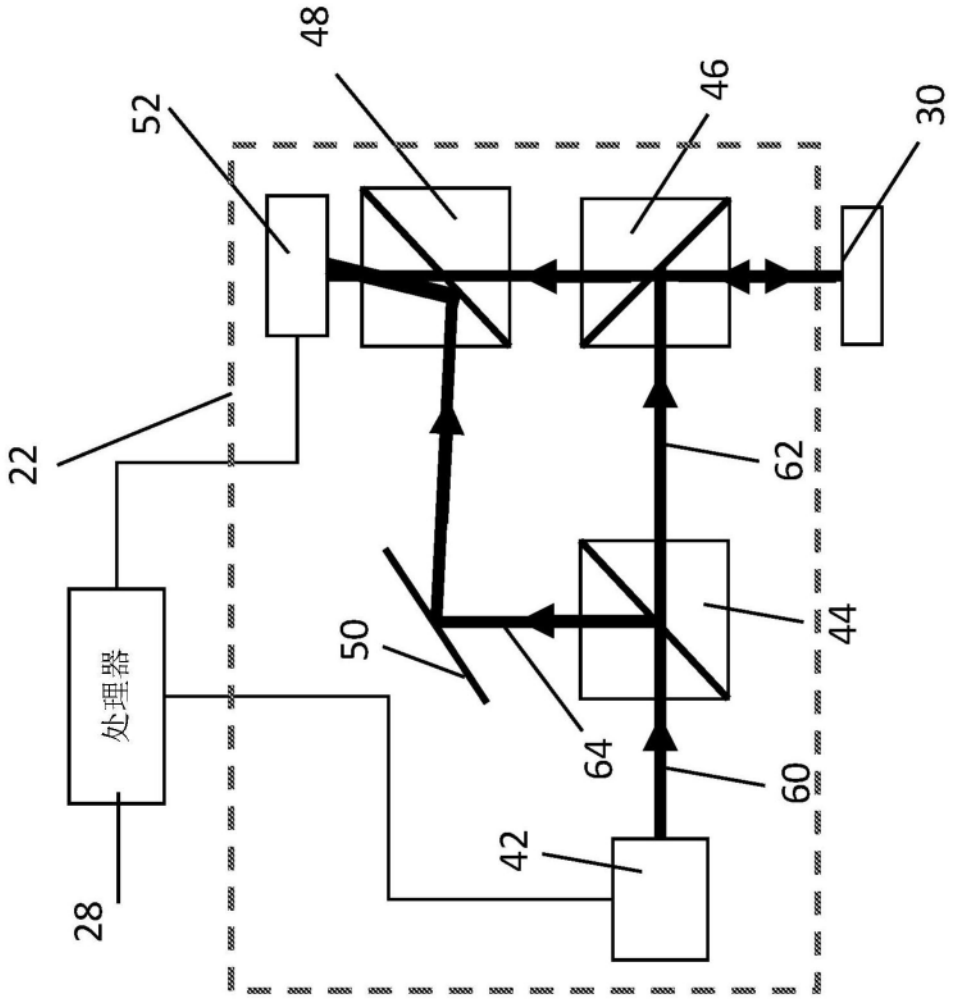


图2a

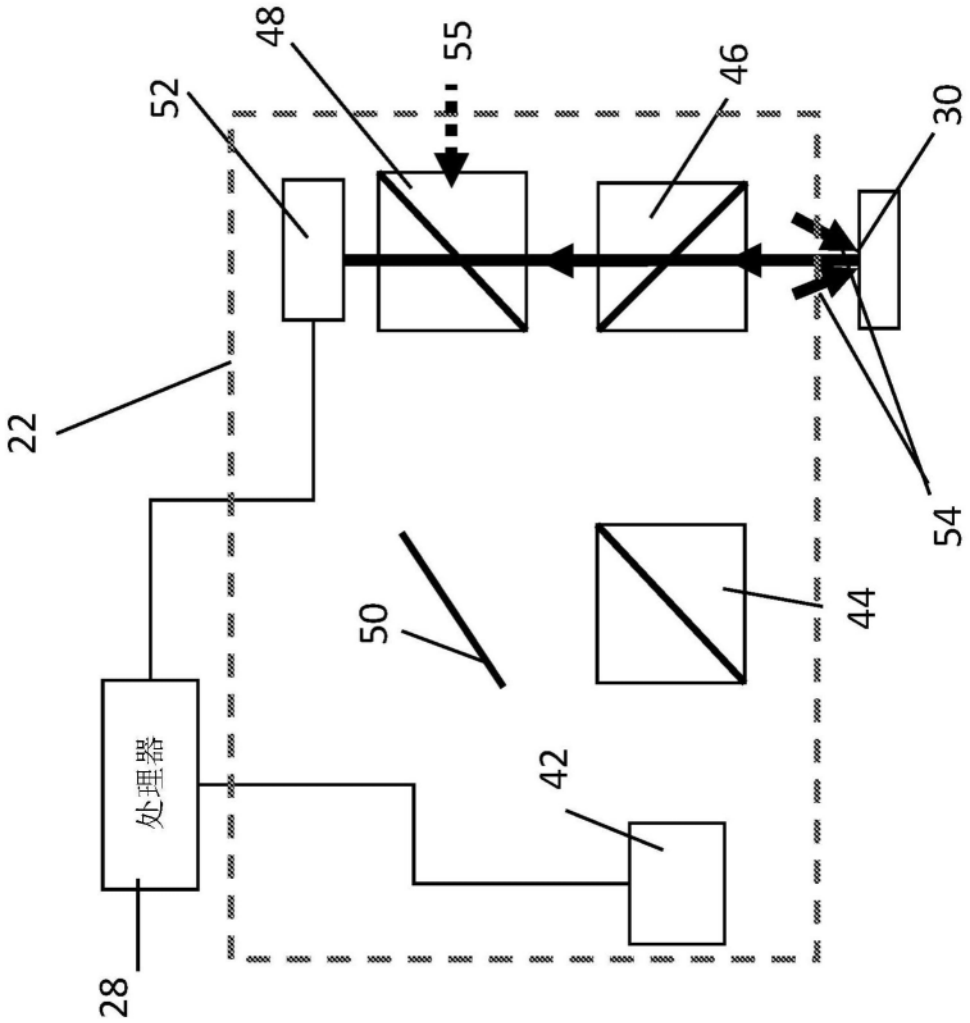


图2b

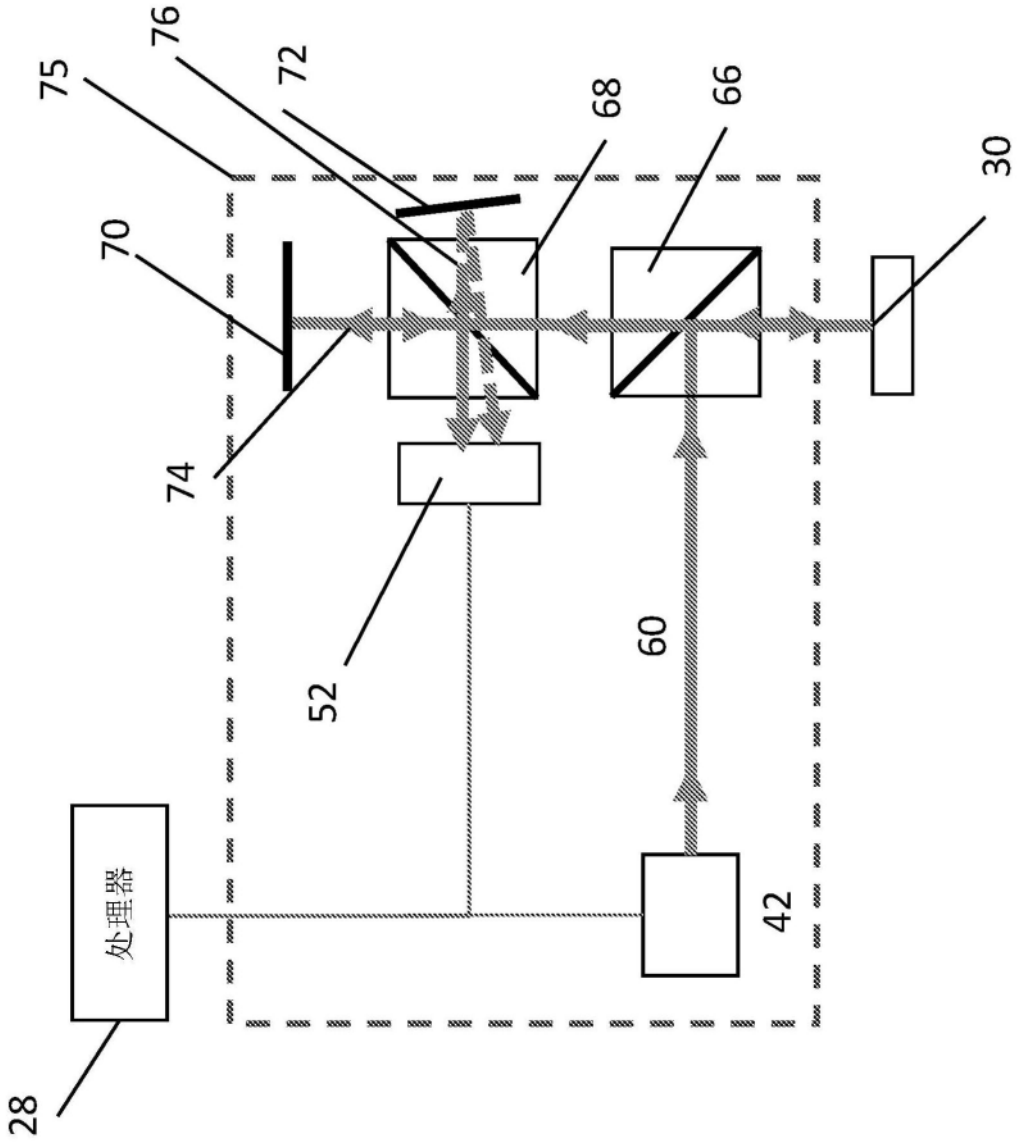


图3

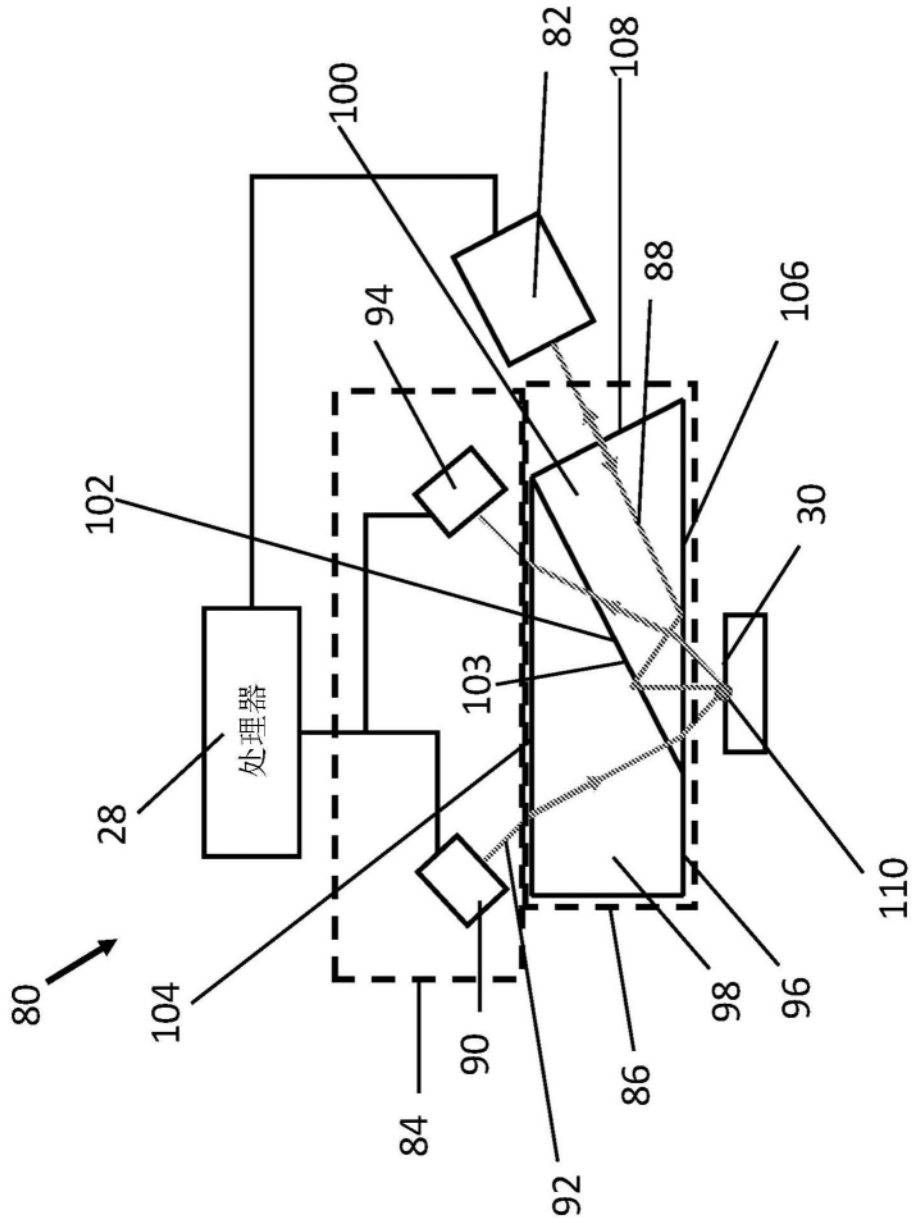


图4

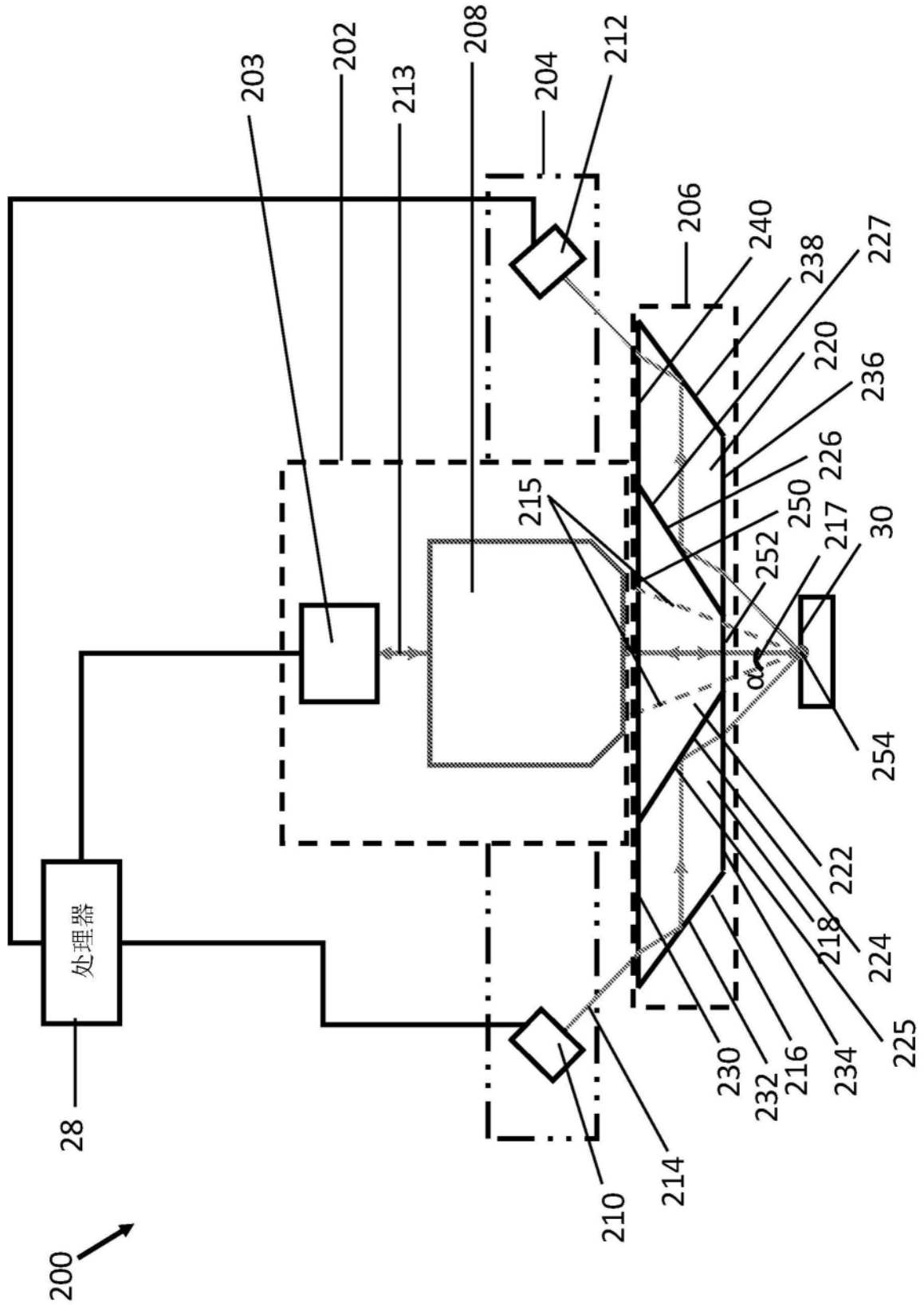

203
202
213
208
204
212
206
240
238
227
220
236
226
250
217
30
252
215
254
222
218
224
225
230
232
216
234
214
210
处理器
28
200

图5

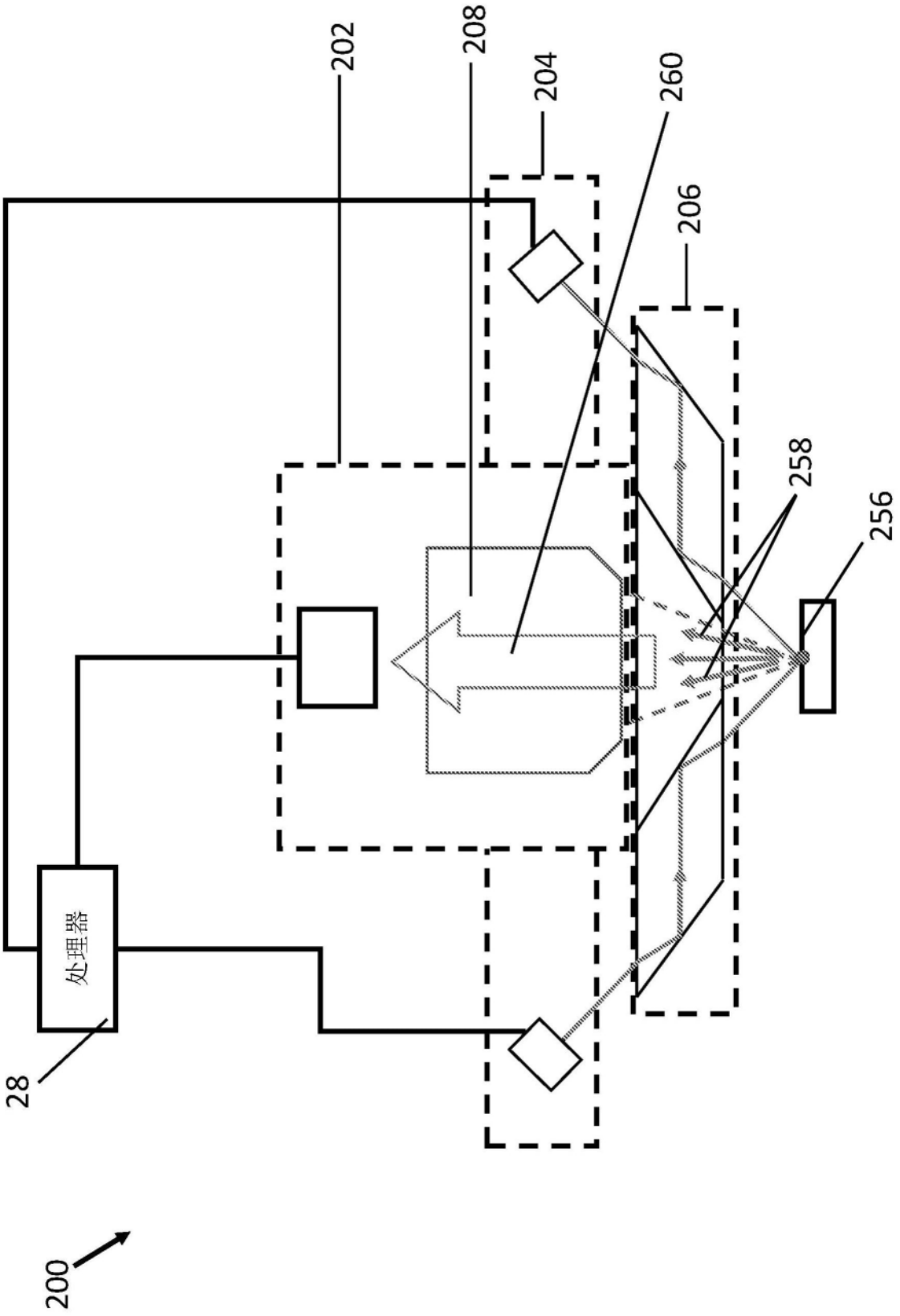


图6

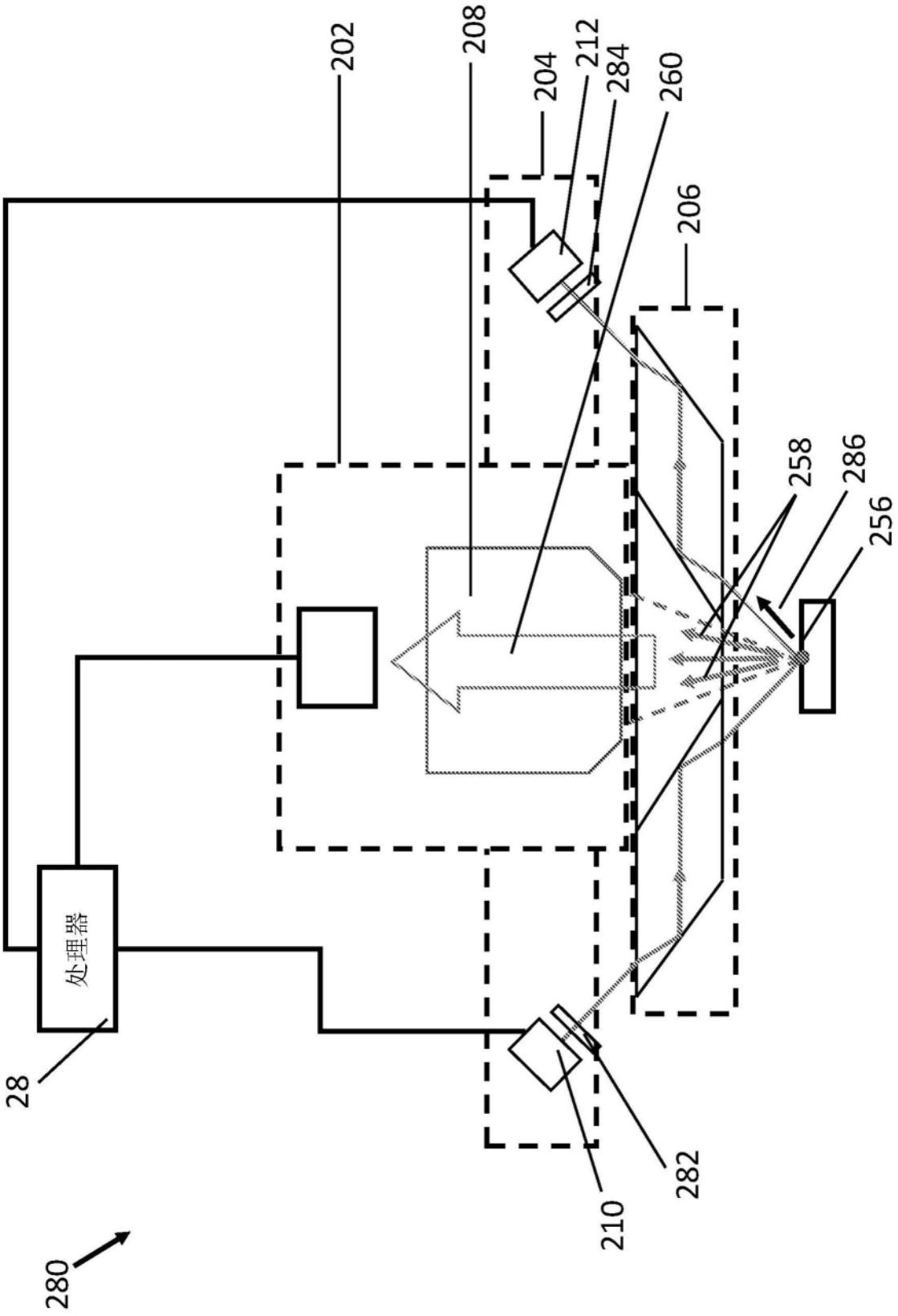


图7

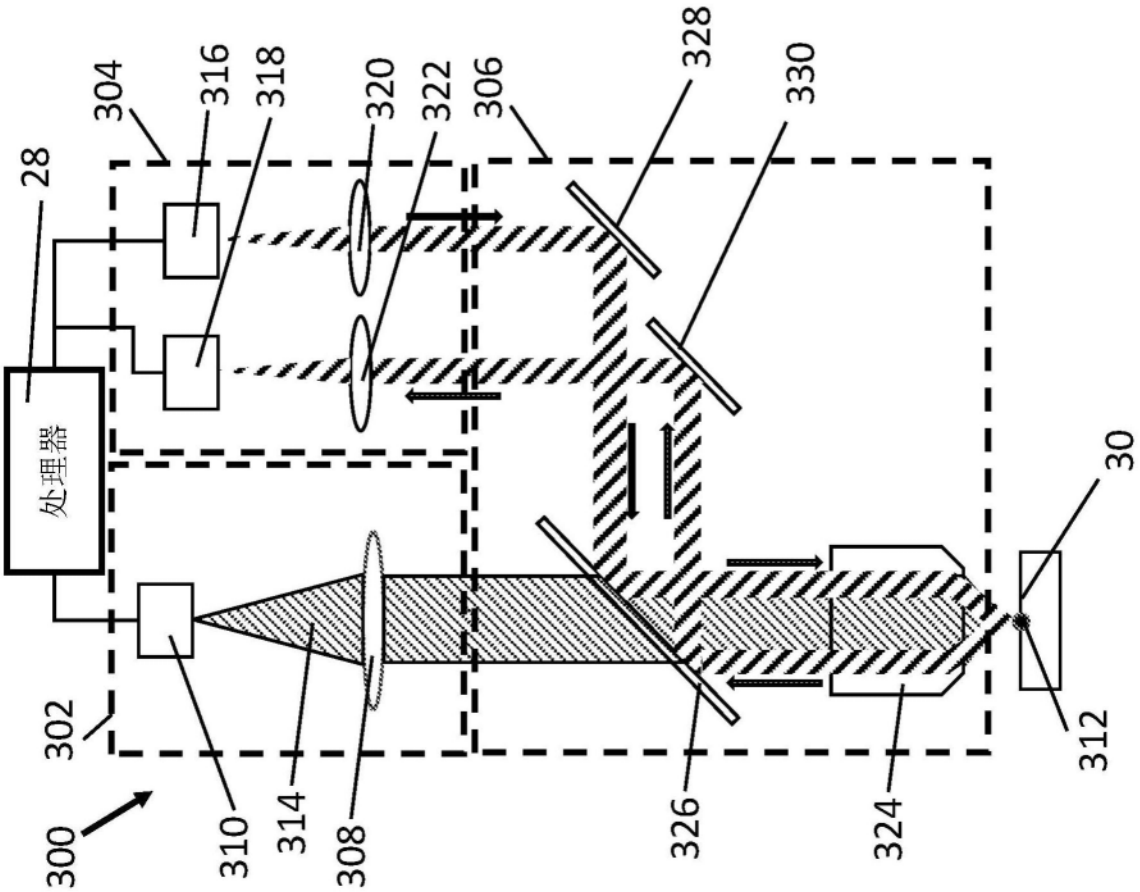

处理器
28
304
316
318
320
322
306
328
330
30
302
300
310
314
308
326
324
312

图8a

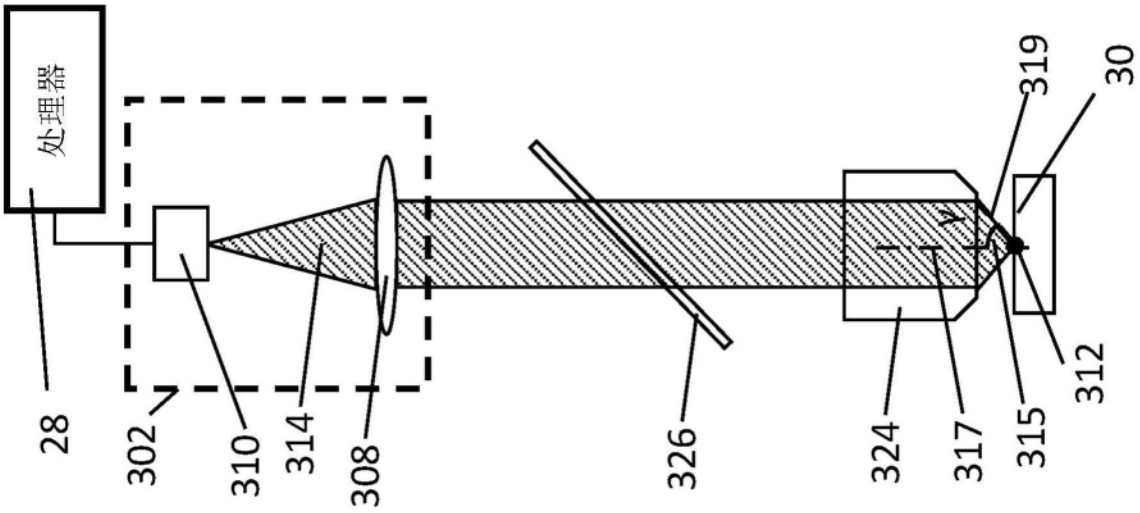

处理器
28
302
310
314
308
326
324
317
315
319
30
312

图8b

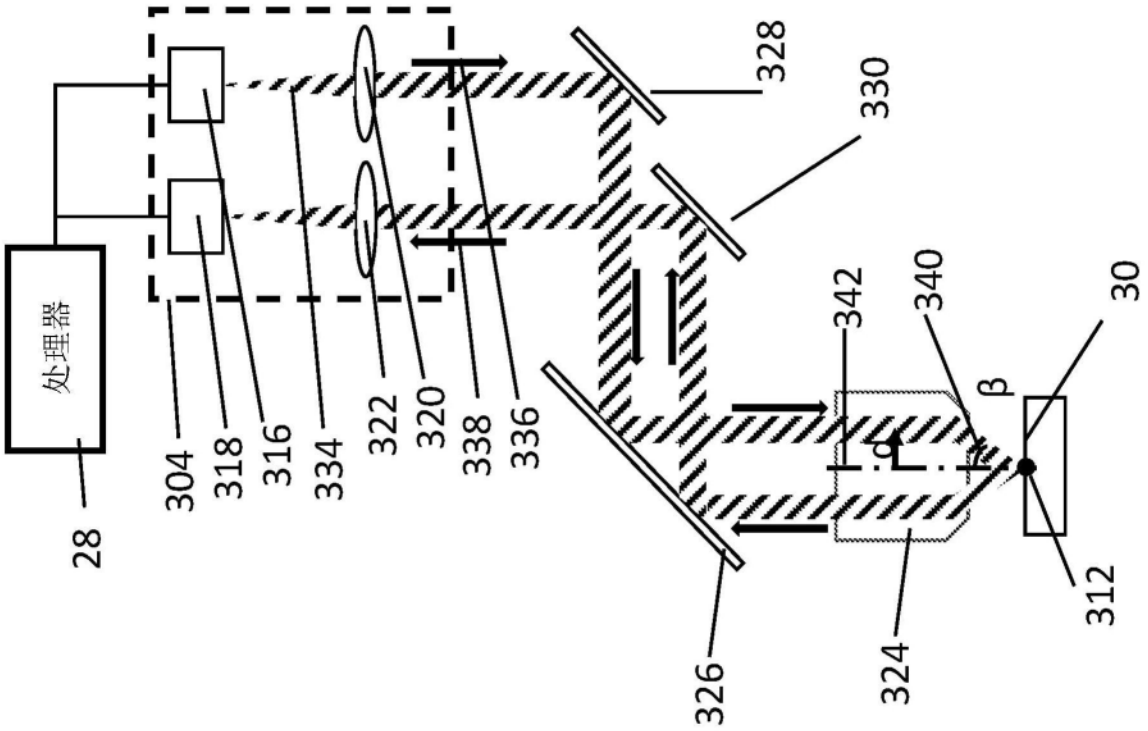

处理器
28
304
318
316
334
322
320
338
336
328
330
342
340
30
β
326
324
312

图8c

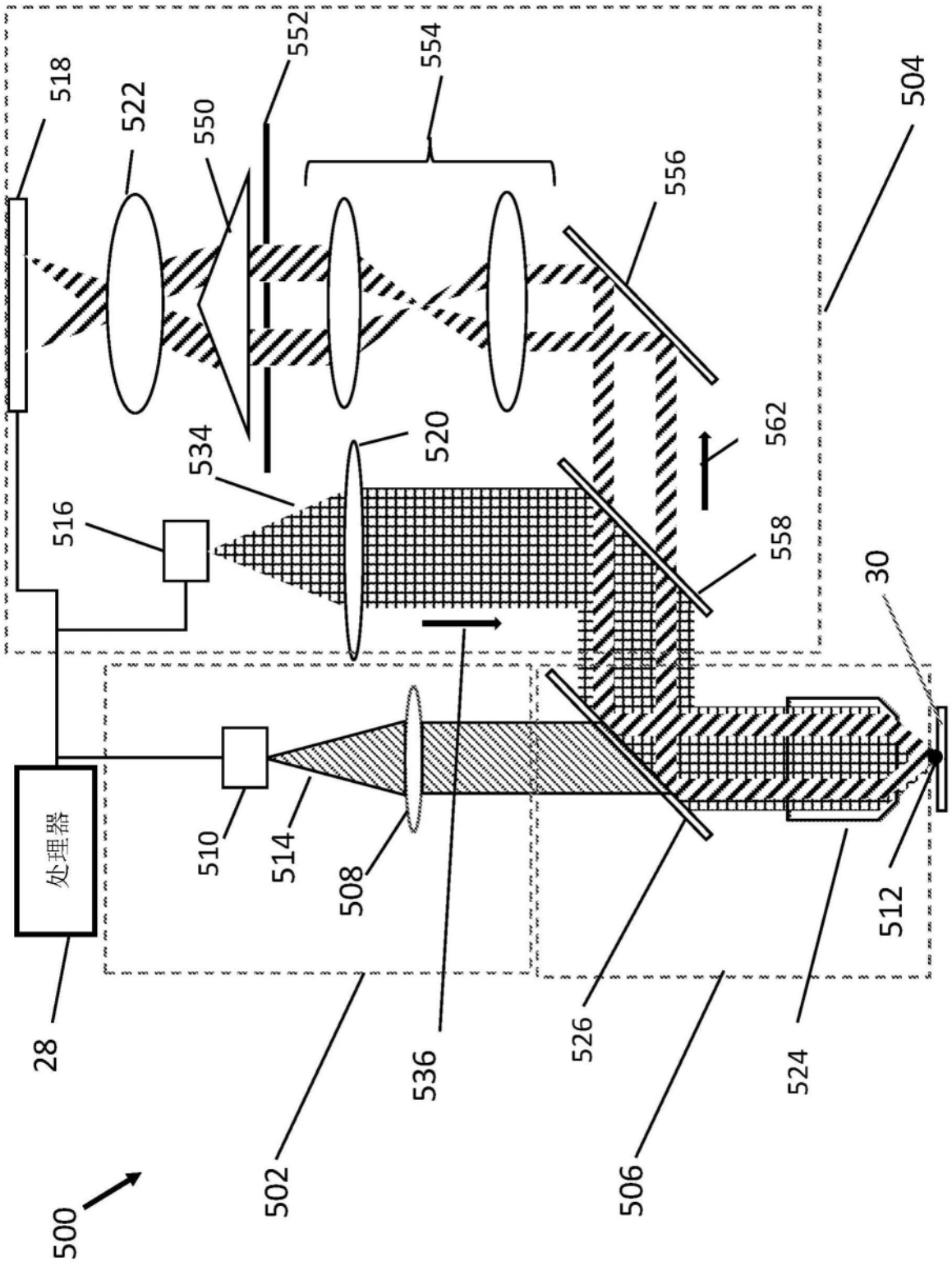

518
522
550
552
554
504
556
562
534
520
516
558
30
处理器
510
514
508
512
28
536
526
524
502
506
500

图9a

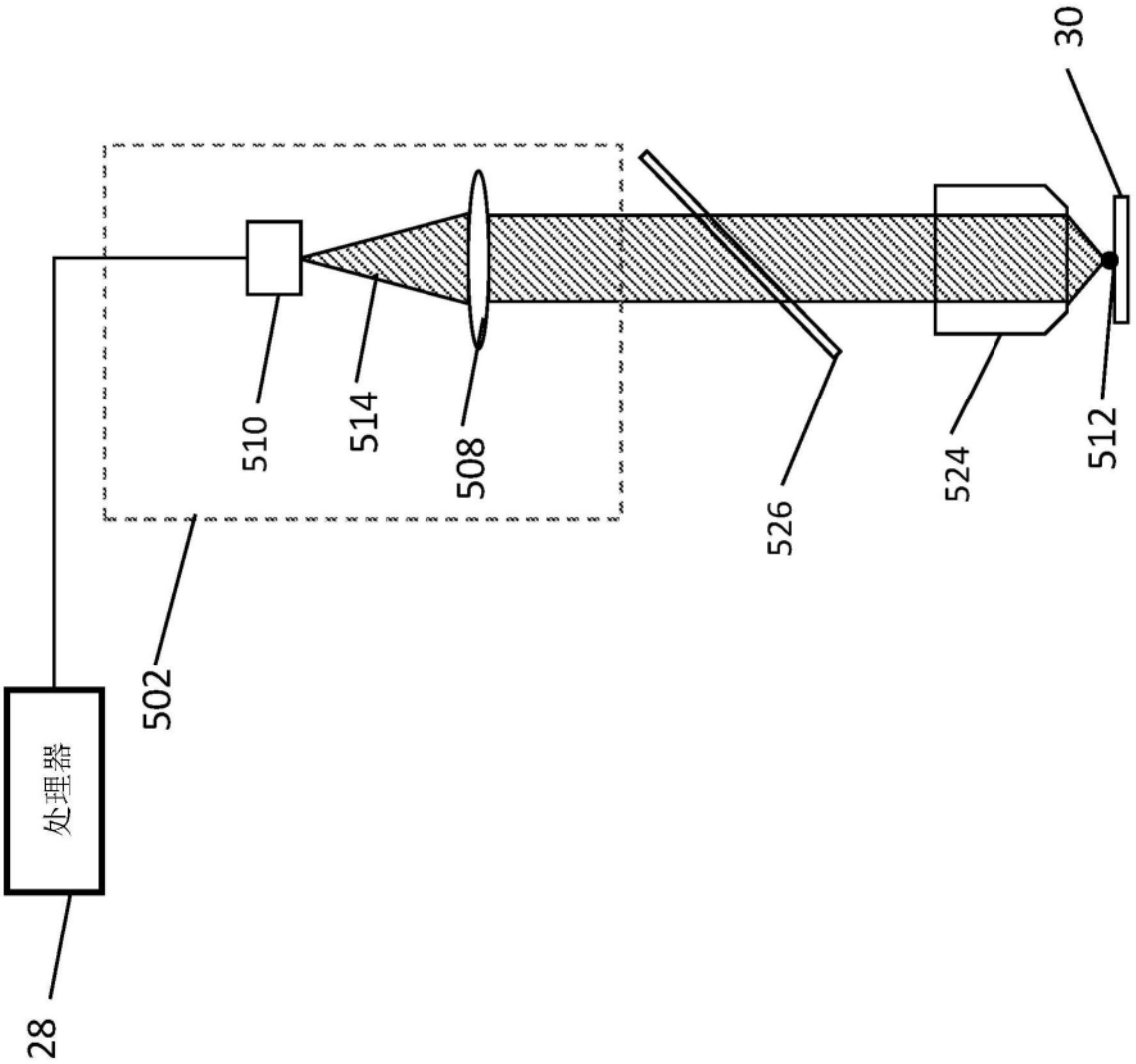


图9b

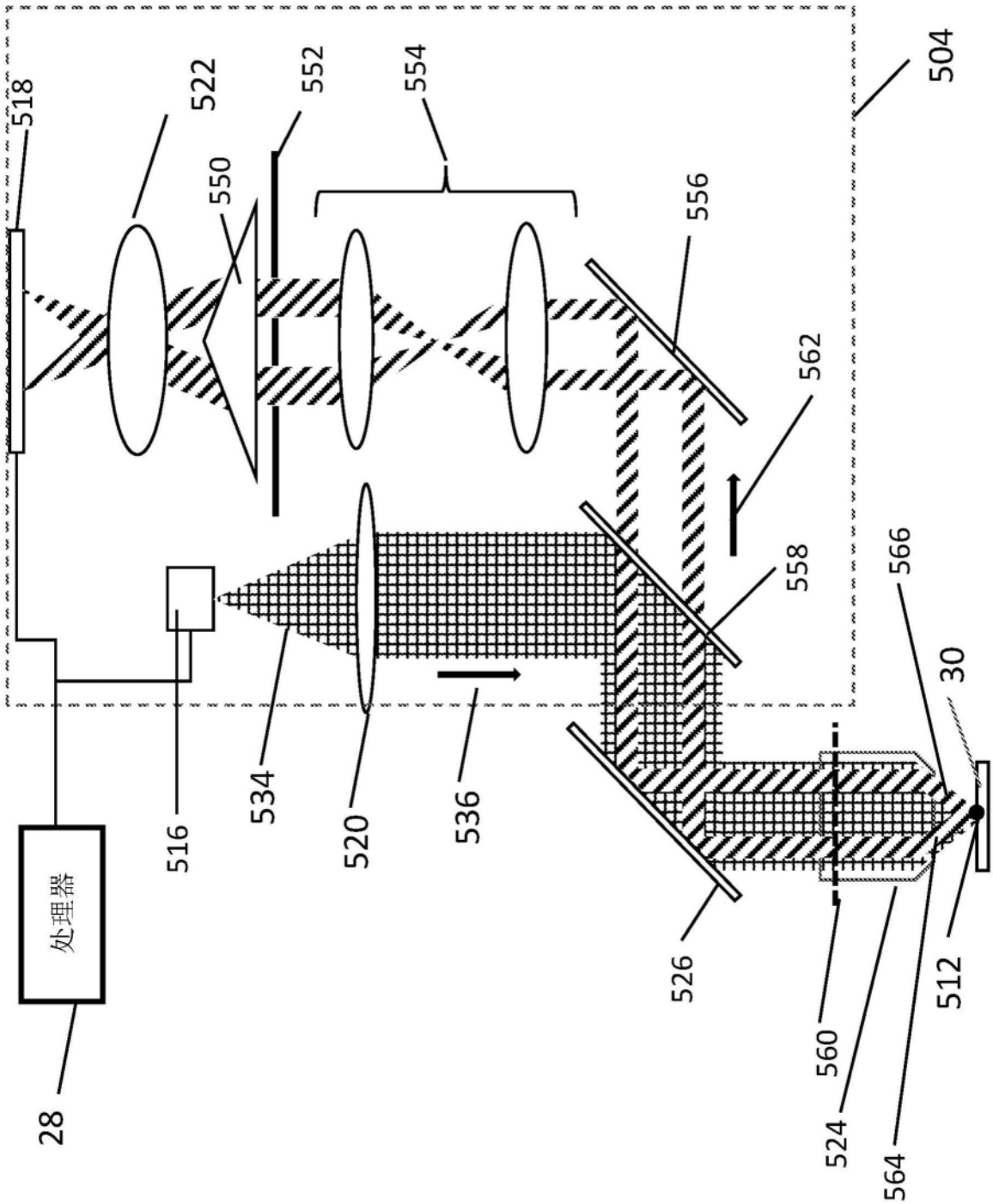

518
522
552
554
504
550
556
562
558
566
30
534
520
536
516
处理器
28
526
512
560
524
564

图9c

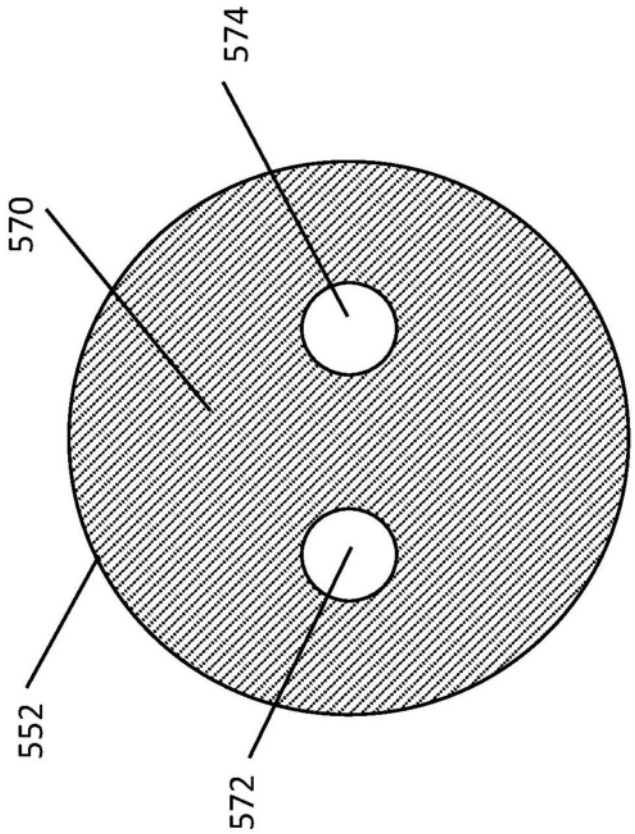


图9d

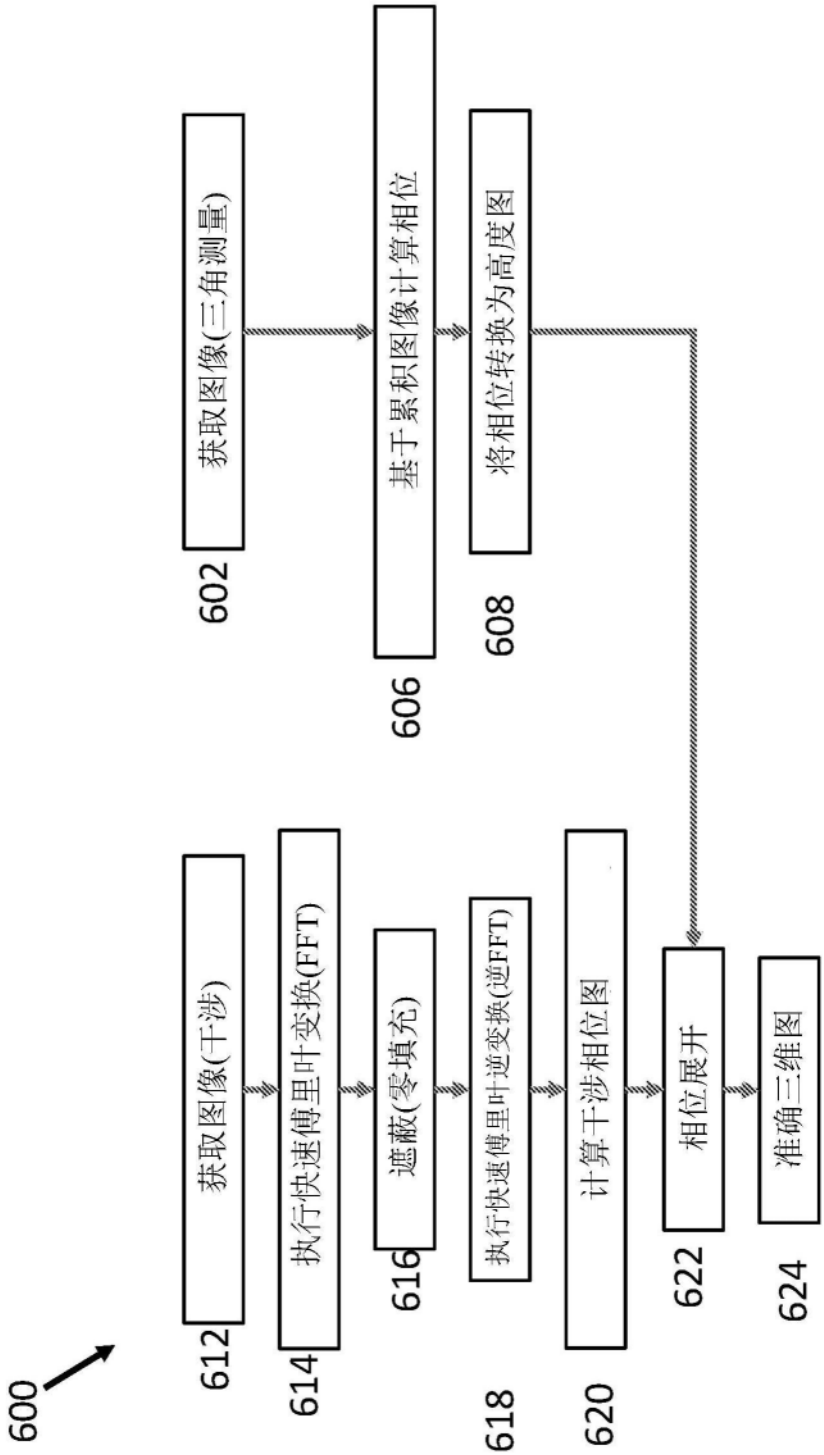

600
612
获取图像(干涉)
614
执行快速傅里叶变换(FFT)
616
遮蔽(零填充)
618
执行快速傅里叶逆变换(逆FFT)
620
计算干涉相位图
622
相位展开
624
准确三维图
602
获取图像(三角测量)
606
基于累积图像计算相位
608
将相位转换为高度图

图10