



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111566512 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 10

(21) 申请号 201880085629.7

(22) 申请日 2018.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111566512 A

(43) 申请公布日 2020.08.21

(30) 优先权数据
62/593,105 2017.11.30 US
16/203,422 2018.11.28 US
16/203,430 2018.11.28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.07.07

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/062994 2018.11.29

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/108752 EN 2019.06.06

(73) 专利权人 深瞳科技公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 马克·A·麦克德 裴军 廖冬一

(74) 专利代理机构 华进联合专利商标代理有限公司 44224

专利代理师 易皎鹤

(51) Int.Cl.
G01S 17/894 (2020.01)
G01S 7/484 (2006.01)
G01S 7/4865 (2020.01)

(56) 对比文件
US 4203652 A, 1980.05.20
US 2007181810 A1, 2007.08.09
WO 2017082177 A1, 2017.05.18

审查员 黄梓鑫

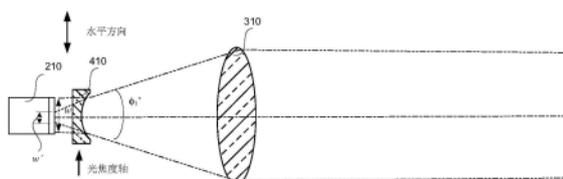
权利要求书3页 说明书12页 附图17页

(54) 发明名称

用于激光雷达系统中的改进的分辨率的光学设计和检测器设计

(57) 摘要

一种光学系统,包括:具有发射区的激光源,发射区具有在第一方向上的第一宽度以及具有在与第一方向正交的第二方向上的第一高度,第一宽度大于第一高度。光学系统还包括柱面透镜,其具有负光焦度并且位于激光源的前方。柱面透镜被定向成使得该柱面透镜的光焦度轴基本上沿着第一方向。柱面透镜被配置成将由激光源发射的激光束的发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的虚拟发射区,其中虚拟宽度小于第一宽度。光学系统还包括旋转对称透镜,其位于柱面透镜的下游,并且被配置成准直激光束并且将该激光束向远场导向。



1. 一种光学系统,包括:

第一激光源,所述第一激光源具有第一发射区,所述第一发射区具有在第一方向上的第一宽度以及具有在与所述第一方向正交的第二方向上的第一高度,所述第一宽度大于所述第一高度;

第一柱面透镜,所述第一柱面透镜具有负光焦度并且位于所述第一激光源的前方,所述第一柱面透镜被定向成使得所述第一柱面透镜的光焦度轴基本上沿着所述第一方向,所述第一柱面透镜被配置成将由所述第一激光源发射的第一激光束的第一发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的第一虚拟发射区,所述虚拟宽度小于所述第一宽度;

第二激光源,所述第二激光源布置在所述第一激光源附近,使得所述第一激光源和所述第二激光源形成激光阵列;

第二柱面透镜,所述第二柱面透镜具有负光焦度并且位于所述第二激光源的前方,并且被配置成将由所述第二激光源发射的第二激光束的第二发射区转换为第二虚拟发射区;以及

旋转对称透镜,所述旋转对称透镜位于所述第一柱面透镜和所述第二柱面透镜的下游,所述旋转对称透镜被布置成准直所述第一激光束和所述第二激光束并且将所述第一激光束和所述第二激光束向远场导向。

2. 根据权利要求1所述的光学系统,其特征在于,所述第一激光源包括固态激光源。

3. 根据权利要求2所述的光学系统,其特征在于,所述第一柱面透镜与所述第一激光源被集成在单个成套设备中。

4. 根据权利要求1所述的光学系统,其特征在于,所述第一激光源、所述第一柱面透镜和所述旋转对称透镜被用于激光雷达系统中。

5. 根据权利要求4所述的光学系统,其特征在于,所述第一激光源和所述第一柱面透镜被配置成在所述旋转对称透镜的焦平面中一致地平移,以便扫描所述第一激光束。

6. 一种用于三维成像的激光雷达系统,所述激光雷达系统包括:

第一激光源,所述第一激光源被配置成发射多个第一激光脉冲,所述第一激光源具有第一发射区,所述第一发射区具有在第一方向上的第一宽度以及具有在与所述第一方向正交的第二方向上的第一高度,所述第一宽度大于所述第一高度;

第一柱面透镜,所述第一柱面透镜具有负光焦度并且位于所述第一激光源的前方,所述第一柱面透镜被定向成使得所述第一柱面透镜的光焦度轴基本上沿着所述第一方向,所述第一柱面透镜被配置成将所述第一发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的第一虚拟发射区,所述虚拟宽度小于所述第一宽度;

第二激光源,所述第二激光源布置在所述第一激光源附近,使得所述第一激光源和所述第二激光源形成激光阵列,所述第二激光源被配置成发射多个第二激光脉冲;

第二柱面透镜,所述第二柱面透镜具有负光焦度并且位于所述第二激光源的前方,并且被配置成将所述第二激光源的第二发射区转换为第二虚拟发射区;

发射透镜,所述发射透镜位于所述第一柱面透镜和所述第二柱面透镜的下游,所述发射透镜是旋转对称的,并且被布置成准直所述多个第一激光脉冲和所述多个第二激光脉冲并且将所述多个第一激光脉冲和所述多个第二激光脉冲向一个或多个对象导向,所述一个或多个对象反射所述多个第一激光脉冲和所述多个第二激光脉冲,以产生多个返回激光脉

冲；

接收透镜,所述接收透镜是旋转对称的,并且被布置成接收所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲并且将所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲聚焦至所述接收透镜的焦平面处的返回束斑；

检测器,所述检测器具有位于所述接收透镜的所述焦平面处的检测表面,并且被布置成接收和检测所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲;以及

处理器,所述处理器耦合至所述激光阵列和所述检测器,所述处理器被配置成:

确定所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间;以及

基于所确定的所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间来构建所述一个或多个对象的三维图像。

7. 根据权利要求6所述的激光雷达系统,其特征在于,所述第一柱面透镜与所述第一激光光源被集成在单个成套设备中。

8. 根据权利要求6所述的激光雷达系统,其特征在于,

所述第一激光光源和所述第一柱面透镜被布置成在基本上垂直于所述激光雷达系统的光轴的至少一个方向上通过多个发射位置进行平移,在所述多个发射位置中的相应一个发射位置处发射所述多个第一激光脉冲中的每一个激光脉冲;以及

所述检测器被配置成在所述至少一个方向上在所述接收透镜的焦平面中通过多个检测位置进行平移,所述多个检测位置对应于所述多个发射位置,其中,所述激光光源和所述检测器彼此同步地平移。

9. 根据权利要求8所述的激光雷达系统,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器被配置成在两个方向上平移。

10. 根据权利要求9所述的激光雷达系统,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器被配置成以利萨如图案进行平移。

11. 根据权利要求6所述的激光雷达系统,其特征在于,所述发射透镜被配置成在基本上垂直于所述发射透镜的光轴的至少一个方向上相对于所述激光阵列进行平移,并且所述接收透镜被配置成在所述至少一个方向上相对于所述检测器进行平移,其中,所述发射透镜和所述接收透镜彼此同步地平移。

12. 根据权利要求11所述的激光雷达系统,其特征在于,所述发射透镜和所述接收透镜中的每一个在两个方向上平移。

13. 根据权利要求12所述的激光雷达系统,其特征在于,所述发射透镜和所述接收透镜中的每一个以利萨如图案进行平移。

14. 根据权利要求6所述的激光雷达系统,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器被配置成至少在基本上垂直于所述激光雷达系统的光轴的第一方向上进行同步地平移,并且所述发射透镜和所述接收透镜被配置成至少在基本上垂直于所述激光雷达系统的光轴的第二方向上进行同步地平移。

15. 根据权利要求6所述的激光雷达系统,其特征在于,所述检测器是检测器阵列。

16. 一种三维成像的方法,所述方法包括:

一致地平移第一激光光源和第一柱面透镜,所述第一激光光源具有发射区,所述发射区具有第一高度以及大于所述第一高度的第一宽度,所述第一柱面透镜具有负光焦度并且位于

所述第一光源的前方,所述第一柱面透镜被定向成使得所述第一柱面透镜的光焦度轴基本上在宽度方向上,其中,所述第一光源被平移至发射平面中的多个第一发射位置中的每一个发射位置;

利用所述第一光源发射多个第一激光脉冲,在所述多个第一发射位置中的相应的一个发射位置处发射所述多个第一激光脉冲中的每一个激光脉冲;

平移第二光源和第二柱面透镜,所述第二光源布置在所述第一光源附近,使得所述第一光源和所述第二光源形成激光阵列,所述第二柱面透镜具有负光焦度并且位于所述第二光源的前方,其中,所述第二光源被平移至所述发射平面中的多个第二发射位置中的每一个发射位置;

利用所述第二光源发射多个第二激光脉冲;

利用发射透镜来准直所述多个第一激光脉冲和所述多个第二激光脉冲并且将所述多个第一激光脉冲所述多个第二激光脉冲向一个或多个对象导向,所述一个或多个对象反射所述多个第一激光脉冲所述多个第二激光脉冲,以产生多个返回激光脉冲;

利用接收透镜来接收所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲并且将所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲聚焦至检测平面中的多个对应的检测位置,每一个对应的检测位置与相应的发射位置共轭;

将检测器平移至所述检测平面中的所述多个对应的检测位置中的每一个对应的检测位置;

利用所述检测器在多个对应的检测位置中的每一个相应的检测位置处检测所述多个返回激光脉冲中的每一个相应的返回激光脉冲;

利用处理器来确定所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间;以及

利用所述处理器基于所述多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的所述飞行时间来构建所述一个或多个对象的三维图像。

17. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述接收透镜和所述发射透镜包括相同的透镜。

18. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述第一柱面透镜被配置成将所述第一光源的所述发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的虚拟发射区,所述虚拟宽度小于所述发射区的所述第一宽度。

19. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器至少在基本上垂直于所述发射透镜的光轴的第一方向上平移。

20. 根据权利要求19所述的方法,其特征在于,还包括:至少在基本上垂直于所述发射透镜的所述光轴的第二方向上同步地平移所述发射透镜和所述接收透镜。

21. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器在两个维度上平移。

22. 根据权利要求21所述的方法,其特征在于,所述激光阵列和所述检测器被配置成以利萨如图案进行平移。

23. 根据权利要求16所述的方法,其特征在于,所述第一柱面透镜与所述第一光源被集成在单个成套设备中。

用于激光雷达系统中的改进的分辨率的光学设计和检测器设计

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本PCT申请要求于2017年11月30日提交的第62/593,105号的美国临时专利申请的利益,以及要求于2018年11月28日提交的名称为“利用柱面透镜的用于激光雷达系统中的改进的分辨率的光学设计(OPTICAL DESIGNS USING CYLINDRICAL LENSES FOR IMPROVED RESOLUTION IN LIDAR SYSTEMS)”的第16/203,422号美国专利申请的优先权,以及要求于2018年11月28日提交的名称为“用于激光雷达系统中的改进的分辨率的检测器设计(DETECTOR DESIGNS FOR IMPROVED RESOLUTION IN LIDAR SYSTEMS)”的第16/203,430号美国专利申请的优先权,这些申请的全部内容以引用的方式并入本文。

背景技术

[0003] 三维传感器可以应用到自动驾驶车辆、无人机、机器人、安保应用等领域中。扫描激光雷达(LIDAR)传感器可以以可承受的成本来实现适合于这些应用的良好角度分辨率。然而,需要具有更好的分辨率的激光雷达系统和方法。

发明内容

[0004] 根据一些实施例,一种光学系统,包括:激光源,其具有发射区,发射区具有在第一方向上的第一宽度以及具有在与第一方向正交的第二方向上的第一高度。第一宽度大于第一高度。光学系统还包括:柱面透镜,其具有负光焦度并且位于激光源的前方。柱面透镜被定向成使得该柱面透镜的光焦度轴基本上沿着第一方向。柱面透镜被配置成将由激光源发射的激光束的发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的虚拟发射区,其中虚拟宽度小于激光源的发射区的第一宽度。光学系统还包括:旋转对称透镜,其位于柱面透镜的下游。旋转对称透镜被配置成准直激光束并且将该激光束向远场导向。

[0005] 根据一些实施例,一种激光雷达系统,包括:激光源,其被配置成发射多个激光脉冲。激光源具有发射区,发射区具有在第一方向上的第一宽度以及具有在与第一方向正交的第二方向上的第一高度。第一宽度大于第一高度。激光雷达系统还包括:柱面透镜,其具有负光焦度并且位于激光源的前方。柱面透镜被定向成使得该柱面透镜的光焦度轴基本上沿着第一方向。柱面透镜被配置成将发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的虚拟发射区。其中虚拟宽度小于第一宽度。激光雷达系统还包括:发射透镜,其位于柱面透镜的下游。发射透镜是旋转对称的,并且被配置成准直多个激光脉冲并且将多个激光脉冲向一个或多个对象导向。一个或多个对象可以反射多个激光脉冲,以产生多个返回激光脉冲。激光雷达系统还包括:接收透镜。接收透镜是旋转对称的,并且被配置成接收多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲并且将多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲聚焦至接收透镜的焦平面处的返回束斑。激光雷达系统还包括:检测器。该检测器具有位于接收透镜的焦平面处的检测表面,并且被配置成接收并检测多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲。激光雷达系统还包括:处理器,其耦合至激光源和检测器。处理器被配置成:确定多个返回

激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间;以及基于所确定的多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0006] 根据一些实施例,一种三维成像的方法,包括:一致地平移激光源和柱面透镜。平移激光源至发射平面中的多个发射位置中的每一个发射位置。激光源具有发射区,发射区具有第一高度以及大于第一高度的第一宽度。柱面透镜具有负光焦度并且位于激光源的前方。定向柱面透镜,使得该柱面透镜的光焦度轴基本上在宽度方向上。该方法还包括:利用激光源发射多个激光脉冲。在多个发射位置中的相应的一个发射位置处发射多个激光脉冲中的每一个激光脉冲。该方法还包括:利用发射透镜来准直多个激光脉冲并且将多个激光脉冲向一个或多个对象导向。该一个或多个对象可以反射多个激光脉冲中的每一个激光脉冲,以产生多个返回激光脉冲。方法还包括:利用接收透镜来接收多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲并且将多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲聚焦至检测平面中的多个对应的检测位置。每一个对应的检测位置与相应的发射位置共轭。该方法还包括:将检测器平移至检测平面中的多个对应的检测位置中的每一个对应的检测位置;并且利用检测器在多个检测位置中的每一个相应的检测位置处检测多个返回激光脉冲中的每一个相应的返回激光脉冲。该方法还包括:利用处理器来确定多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间;以及利用处理器基于多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0007] 根据一些实施例,一种激光雷达系统,包括:激光源,其被配置成发射携带有电磁信号的激光束;以及发射透镜,其被配置成准直激光束并且将激光束向该激光束的视场内的一个或多个对象导向。一个或多个对象可以反射激光束,以产生返回激光束。激光雷达系统还包括:接收透镜,其被配置成接收返回激光束,并且将返回激光束聚焦至接收透镜的焦平面处的返回束斑;以及检测器。该检测器包括多个光传感器,多个光传感器在接收透镜的焦平面处被布置为阵列。每一个相应的光传感器具有相应的感测区,并且被配置成接收并检测与激光束的视场的相应分区对应的返回激光束的相应部分。激光雷达系统还包括:处理器,其耦合至激光源和检测器。处理器被配置成:确定在检测器的相应的光传感器处检测到的返回激光束中的每一个相应部分的相应的飞行时间;以及基于返回激光束中的每一个相应部分的相应的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0008] 根据一些实施例,一种三维成像的方法,包括:利用激光源发射激光脉冲;以及利用发射透镜准直激光脉冲并且将激光脉冲向该激光脉冲的视场内的一个或多个对象导向。一个或多个对象可以反射激光脉冲,以产生返回激光脉冲。方法还包括:利用接收透镜接收返回激光脉冲并且将返回激光脉冲聚焦至接收透镜的焦平面处的返回束斑。方法还包括:利用包括有多个光传感器的检测器检测在每一个相应的光传感器处接收的返回激光脉冲中的相应部分,其中,多个光传感器在接收透镜的焦平面处被布置成阵列。返回激光脉冲中的相应部分对应于激光脉冲的视场的相应分区。方法还包括:利用耦合至激光源和检测器的处理器来确定返回激光脉冲中的每一个相应部分的飞行时间;以及基于返回激光脉冲中的每一个相应部分的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0009] 根据一些实施例,一种激光雷达系统,包括:激光源,其被配置成发射携带有电磁信号的激光束;透镜,其被配置成准直激光束并且将激光束向该激光束的视场内的一个或多个对象导向。一个或多个对象可以反射激光束,以产生返回激光束。透镜还被配置成接收

返回激光束并且将返回激光束聚焦至透镜的焦平面处的返回束斑。激光雷达系统还包括检测器。检测器包括多个光传感器,多个光传感器在透镜的焦平面处被布置为阵列。每一个相应的光传感器具有相应的感测区,并且被配置成接收并检测与激光束的视场的相应分区对应的返回激光束的相应部分。激光雷达系统还包括处理器,其耦合至激光源和检测器。处理器被配置成:确定在检测器的相应的光传感器处检测到的返回激光束中的每一个相应部分的相应的飞行时间;以及基于返回激光束中的每一个相应部分的相应的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

附图说明

- [0010] 图1示意性地图示了根据本发明的一些实施例的用于三维成像的激光雷达传感器。
- [0011] 图2示意性地图示了在水平和垂直方向上的具有细长的发射区和不同发散角的激光源。
- [0012] 图3A和图3B示意性地图示了用于准直激光雷达系统中的激光束的光学系统。
- [0013] 图4A至图4B示意性地图示了根据本发明的一些实施例的用于准直激光雷达系统中的激光束的光学系统。
- [0014] 图5A至图5D示意性地图示了根据本发明的一些实施例的柱面透镜对远场束斑形状的影响。
- [0015] 图6A示意性地图示了根据本发明的一些实施例的可用于激光雷达系统的激光源和柱面透镜的示例性的配置。
- [0016] 图6B示意性地图示了根据本发明的一些实施例的激光源和柱面透镜的另一示例性的配置。
- [0017] 图7A图示了根据本发明的一些实施例的用于准直激光雷达系统中的激光束的光学系统的截面图。
- [0018] 图7B图示了根据本发明的一些实施例的用于准直包括有两个激光源的激光雷达系统中的激光束的光学系统的截面图。
- [0019] 图8图示了根据本发明的一些实施例的利用激光雷达系统进行三维成像的方法的简化流程图。
- [0020] 图9示意性地图示了根据本发明一些实施例的激光雷达系统。
- [0021] 图10A图示了根据本发明一些实施例的检测器配置。
- [0022] 图10B图示了包括有单个光传感器的检测器。
- [0023] 图11A至图11C示意性地图示了根据本发明的一些实施例的用于图9和图10中所图示的示例的激光脉冲的时序图。
- [0024] 图12A示出了根据本发明的一些实施例的检测器的平面示意图。
- [0025] 图12B示出了根据本发明的一些实施例的检测器的平面示意图。
- [0026] 图13示意性地图示了根据本发明的一些实施例的激光雷达系统。
- [0027] 图14示出了根据本发明的一些实施例的利用激光雷达系统进行三维成像的方法的简化流程图。

具体实施方式

[0028] 本发明总体上涉及用于三维成像的激光雷达系统和方法。更具体地,本发明涉及用于激光雷达系统中的改进的分辨率的光学及检测器的设计和方法。仅仅通过示例的方式,本发明的实施例提供了用于对具有非对称发射区和非对称发散角的激光源所发射的激光束进行投射的光学系统。该光学系统可以包括放置在激光源的前方并且具有负光焦度的柱面透镜(例如平凹的柱面透镜)。该柱面透镜可以被配置成将激光源的发射区转换为基本上对称且小于物理发射区的虚拟发射区。通过与旋转对称的投射透镜(例如球面透镜)相结合,可以实现与不使用柱面透镜相比更小的对称远场束斑(或返回束斑)。由于激光雷达系统的分辨率将取决于远场束斑的大小,因此光学系统可以改进激光雷达系统的分辨率。本发明的实施例还提供了包括有光传感器阵列的检测器。阵列中的每一个光传感器可以被配置成接收和检测返回激光束的一部分。与具有单个光传感器的检测器相比,具有这种检测器的激光雷达系统可以给予增强的分辨率。

[0029] 图1示意性地图示了根据本发明的一些实施例的用于三维成像的激光雷达传感器100。激光雷达传感器100包括发射透镜130和接收透镜140。激光雷达传感器100包括激光源110a,该激光源110a基本上设置在发射透镜130的后焦平面上。激光源110a可操作为从发射透镜130的后焦平面中的相应发射位置发射激光脉冲120。发射透镜130被配置成将激光脉冲120准直并且将其向位于激光雷达传感器100前方的对象150导向。对于给定的激光源110a的发射位置,已准直的激光脉冲120'以对应的角度向对象150导向。

[0030] 对象150可以反射激光脉冲120,从而产生向接收透镜140导向的返回激光脉冲122。接收透镜140被配置成将返回激光脉冲122聚焦到接收透镜140的焦平面中的对应的检测位置上。激光雷达传感器100还包括检测器160a,该检测器160a基本上被设置在接收透镜140的焦平面处。检测器160a被配置成在对应的检测位置处接收并检测返回激光脉冲122。检测器160a的对应的检测位置与激光源110a的相应发射位置共轭。

[0031] 激光脉冲120可以具有短持续时间,例如100ns的脉冲宽度。激光雷达传感器100还包括处理器190,该处理器190耦合至激光源110a和检测器160a。处理器190被配置成确定返回激光脉冲122的飞行时间(time of flight, TOF)。由于返回激光脉冲122以光速行进,激光雷达传感器100与对象150之间的距离可以基于所确定的飞行时间来确定。

[0032] 根据一些实施例,可以将发射透镜130和接收透镜140固定。激光源110a可以被光栅扫描到(raster scanned to)发射透镜130的后焦平面中的多个发射位置,并且被配置成在多个发射位置处发射多个激光脉冲。在相应发射位置处发射的每一个激光脉冲通过发射透镜130进行准直并且以相应角度向对象150导向,并入射在对象150的表面上的对应点处。因此,由于在发射透镜130的后焦平面中的一定区域内光栅扫描激光源110a,对象150上的对应的对象区域被扫描。检测器160a被光栅扫描到接收透镜140的焦平面中的多个对应的检测位置。检测器160a的扫描与激光源110a的扫描同步执行,使得检测器160a与激光源110a在任意给定时间总是彼此共轭的。

[0033] 通过确定在相应发射位置处发射的每一个激光脉冲的飞行时间,可以确定从激光雷达传感器100到对象150的表面上的每一个对应点的距离。在一些实施例中,处理器190可以与位置编码器耦合,该位置编码器在每一个发射位置处检测激光源110a的位置。基于该发射位置,可以确定已准直的激光脉冲120'的角度。基于到激光雷达传感器100的角度和距

离,可以确定对象150的表面上对应点的X-Y坐标。因此,基于从激光雷达传感器100到对象150的表面上各个点的已测量的距离,可以构建对象150的三维图像。在一些实施例中,三维图像可以被表示为点云,也即对象150的表面上点的X、Y、Z坐标的集合。

[0034] 在替代实施例中,可以将激光源110a和检测器160a固定。可以相对于激光源110a对发射透镜130进行扫描,可以同步于发射透镜130的扫描,相对于检测器160a对接收透镜140进行扫描。在一些其他的实施例中,可以至少在第一方向上对激光源110a和检测器160a进行扫描,同时可以至少在第二方向上对发射透镜130和接收透镜140进行扫描。例如,可以在水平方向上对激光源110a和检测器160a进行扫描,同时可以在垂直方向上对发射透镜130和接收透镜140进行扫描。在一些实施例中,在两个方向上对激光源110a和检测器160a进行扫描,同时也在两个方向上对发射透镜130和接收透镜140进行扫描。在一些实施例中,可以在两个方向上以利萨如图案(Lissajous pattern)扫描激光源110a和检测器160a,也可以在两个方向上以利萨如图案(Lissajous pattern)扫描发射透镜130和接收透镜140。

[0035] 在一些实施例中,激光源110a可以被配置成发射调频连续波(FMCW)激光束,并且处理器190可以被配置成通过解调该返回激光束来确定对象150与激光雷达传感器100之间的距离。

[0036] 在一些实施例中,发射透镜130和接收透镜140可以包括相同的透镜;也就是说,可以将单个透镜配置成将由激光源110a发射的激光脉冲120准直并且将其向对象150导向,而且将返回激光脉冲122聚焦到检测器160a上。

[0037] 在一些实施例中,测量返回激光脉冲的强度并且用于调整来自相同发射点的后续的激光脉冲的功率,以便避免检测器的饱和、提高眼安全性或者减少整体的功耗。通过改变激光脉冲的持续时间、施加到激光器的电压或电流,或者存储在用于为激光器供能的电容器中的电荷,可以改变激光脉冲的功率。在后面的情况中,通过改变充电时间、充电电压,或者到电容器的充电电流,可以改变存储在电容器中的电荷。在一些实施例中,强度也可以用于向图像添加其他维度。例如,图像可以包含X、Y和Z坐标,还可以包含反射率(或者亮度)。

[0038] 基于激光源110a的扫描范围以及发射透镜130的焦距,激光雷达传感器100的角视场(angular field of view, AFOV)可以被估算为:

$$[0039] \quad AFOV = 2 \tan^{-1}\left(\frac{h}{2f}\right),$$

[0040] 其中,h为沿着某个方向的激光源110a的扫描范围,f为发射透镜130的焦距。对于给定的扫描范围h,更短的焦距将产生更宽的AFOV。对于给定的焦距f,更大的扫描范围将产生更宽的AFOV。

[0041] 在一些实施例中,激光雷达传感器100可以包括多个激光源,该多个激光源在发射透镜130的后焦平面处被设置为阵列,使得可以在保持每一个单独的激光源的扫描范围相对小的同时实现更大的总AFOV。相应地,激光雷达传感器100可以包括多个检测器,该多个检测器在接收透镜140的焦平面处被设置为阵列,每一个检测器与相应的激光源共轭。例如,如图1所图示的,激光雷达传感器100可以包括第二激光源110b和第二检测器160b。在其他的实施例中,激光雷达传感器100可以包括四个激光源和四个检测器,或者八个激光源和八个检测器。在一个实施例中,激光雷达传感器100可以包括被布置为4×2阵列的八个激光源以及被布置为4×2阵列的八个检测器,使得激光雷达传感器100在水平方向上具有的

AFOV可以比其在垂直方向上的AFOV更宽。根据各个实施例,激光雷达传感器100的总AFOV范围可以从大约5度到大约15度,或者从大约15度到大约45度,或者从大约45度到大约90度,这取决于发射透镜的焦距、每一个激光源的扫描范围以及激光源的数量。

[0042] 激光源110a可以被配置成以紫外光、可见光、近红外光波长范围发射激光脉冲。每一种激光脉冲的能量可以为微焦耳量级,其对于KHz范围内的重复频率而言,通常被认为是人眼安全的。对于在大于约1500nm的波长下操作的激光源,由于眼睛不能聚焦在这些波长上,因此能级可以更高。检测器160a可以包括硅雪崩光电二极管、光电倍增管、PIN二极管或者其他半导体传感器。

[0043] 一些激光源,例如固态激光器,可能在近场和远场中具有不对称的发射区和不对称的束轮廓。图2示意性地图示了具有细长的发射区220的激光源210,例如半导体激光源。该发射区220可以在垂直方向上具有高度h,并且在水平方向上具有大于高度h的宽度w。例如,对于在激光雷达系统中使用的固态激光器,高度h可以为大约10 μm ,宽度w可以为大约200 μm 。尽管图2中所图示的发射区220具有矩形形状,但该发射区220可以具有设有圆角的矩形形状或椭圆形形状。

[0044] 由这种激光源发射的激光束在水平方向和垂直方向上也具有不同的发散角。如图2所图示的,水平发射扇区240(例如在切面中)可以对着角度 φ_1 (这里可以称其为角度发散度),垂直发射扇区230(例如在矢面中)可以对着大于角度 φ_1 的角度 φ_2 。例如,水平发射扇区240的角度发散度为大约10度,垂直发射扇区230的角度发散度为大约25度。换言之,光束在水平方向上具有较大的光源尺寸和较小的发散度,而在垂直方向上具有较小的光源尺寸和较大的发散度。由于激光束在垂直方向上发散得更快,因此可以将垂直方向称为快轴,将水平方向称为慢轴。

[0045] 如上所述的激光束的非对称的发射区和非对称的角度发散度将会使利用旋转对称透镜(例如球面透镜或非球面透镜)在水平方向和垂直方向上来准直激光束变得更具挑战性。图3A和3B示意性地图示了用于准直激光雷达系统中的激光束的光学系统。该光学系统包括位于激光源210前方的球面透镜310(例如该球面透镜310可以是图1所图示的发射透镜130)。图3A图示了水平发射扇区的光路;图3B图示了垂直发射扇区的光路。

[0046] 如图3B所图示的,如果激光源210的发射表面近似位于透镜310的后焦平面处,则垂直发射扇区中的光线可以基本上由透镜310准直;也就是说,在透镜310后的光线沿着光路可以彼此几乎平行。另一方面,如图3A所图示的,水平发射扇区中的光线在透镜310后可以沿光路会聚,因为对于准直水平发射扇区(该水平发射扇区具有比垂直发射扇区的发散角 φ_2 更小的发散角 φ_1),透镜310的光焦度可能过大。换言之,为了准直水平发射扇区,可能需要具有比透镜310的光焦度更小的透镜(因此其焦距更长)。

[0047] 由于如上所述的激光源的非对称的发射区和非对称的发散角,激光雷达系统中在检测器上的成像的返回束斑也可能是非对称的。例如,在图1所图示的激光雷达系统100中,受球面发射透镜130的影响,在对象150处的远场束斑可能是不对称的;因此,通过球面接收透镜140成像到检测器160a上的返回束斑也可能是不对称的。由于激光雷达系统的角度分辨率可能取决于返回束斑的大小,因此非对称的返回束斑将限制激光雷达系统的分辨率。

[0048] I. 用于改进的分辨率的光学设计

[0049] 根据本发明的一些实施例,具有负光焦度的柱面透镜可以与旋转对称发射透镜结

合使用,以在水平方向和垂直方向上实现相对均匀的角度分辨率。图4A和图4B示意性地图示了根据一些实施例的用于在激光雷达系统中投射激光束的光学系统。该光学系统包括位于激光源210前方的平凹柱面透镜410。该柱面透镜410的光焦度轴可以基本上沿着水平方向。也就是说,柱面透镜410在如图4A所图示的水平方向上可以具有非零光焦度,而在如图4B所图示的垂直方向上几乎没有光焦度。

[0050] 如图4A所图示,柱面透镜410可以被配置成将水平发射扇区的角度发散度从 φ_1 扩展至 φ_1' 。扩展的水平发射扇区可以看成是从虚拟发射区发射的,该虚拟发射区具有比实际宽度 w 小的虚拟宽度 w' 。在一些实施例中,柱面透镜410可以被配置成使得虚拟宽度 w' 基本上等于垂直发射扇区的高度 h 。

[0051] 如图4B所图示,由于柱面透镜410在垂直方向上没有光学光焦度,因此垂直发射扇区的角度发散度 φ_2 不受柱面透镜410的影响。在一些实施例中,水平发射扇区的扩展的角度发散度 φ_1' 可以基本上等于垂直发射扇区的角度发散度 φ_2 。因此,如图4A和图4B所图示,水平发射扇区和垂直发射扇区均可以由透镜310进行准直。

[0052] 尽管图4A和图4B示出了具有平凹形状的柱面透镜410的示例性实施例,也可以根据一些实施例使用其他类型的柱面透镜(例如,双凹柱面透镜或弯月柱面透镜)。

[0053] 图5A至图5D示意性地图示了柱面透镜410可能对远场束斑形状的影响。如图5A和图5C所图示,在没有柱面透镜410的情况下,由于非对称的发射区和非对称的发散角,远场束斑510会在水平方向上拉长。如图5B所图示,通过在激光源210与发射透镜310之间插入柱面透镜410,可以准直水平发射扇区中的光线以及垂直发射扇区中的光线(未图示)。因此,如图5D所图示远场束斑520可以在水平方向和垂直方向上基本上对称。

[0054] 通常,在激光器和球面准直透镜之间放置具有正光焦度的柱面透镜(例如,平凸柱面透镜),以使激光束呈圆形。例如,可以对具有正光焦度的柱面透镜进行定向,使得光焦度轴与垂直方向对准,以便减小垂直发射扇区的发散角。因此,与图4A和图4B所图示的配置相比,可能需要具有焦距增加的准直透镜来准直激光束。准直透镜的焦距越长,将导致激光雷达系统的物理尺寸越大,并因此可能增加激光雷达系统的制造成本。

[0055] 在扫描激光雷达系统中,使用具有负光焦度的柱面透镜将是特别有利的。例如,在图1所图示的扫描激光雷达系统中,固定发射透镜130和接收透镜140,而在发射透镜130和接收透镜140的焦平面上分别扫描激光源110a和110b以及检测器160a和160b。为了实现给定的角视场(FOV),扫描距离可以与发射透镜130的焦距成比例。因此,通过使用更短焦距的发射透镜130,可以缩短扫描距离并同时保持相同的FOV。

[0056] 图6A示意性地图示了可用于激光雷达系统的激光源610和柱面透镜640的示例性的配置。激光源610可以包括由透明罩630封装的激光器管芯620。根据一些实施例,柱面透镜640的焦距范围可以从大约-0.2mm(毫米)至大约-5mm。如图6A所图示,对于具有平凹形状的柱面透镜640,凹面的曲率半径的范围可以从大约-0.1mm至大约-2mm(例如,大约-0.5mm)。柱面透镜640可以被放置在距离激光器管芯620的发射表面大约0.2mm至大约5mm(例如,大约1mm)的距离 d 处。将柱面透镜640放置在靠近激光器管芯620的发射表面的附近可能是有利的,以便最小化柱面透镜的某些不期望的光学效应(例如,在水平方向和垂直方向上略微不同的最佳焦平面,可以将其称为像散(astigmatism))。柱面透镜640与激光器管芯620的发射表面之间的距离 d 可以与柱面透镜640的焦距相似但不完全相同,并且距离 d 可以取决

于柱面透镜640的厚度和柱面透镜640的形状(例如,柱面透镜640是平凹的还是双凹的)。

[0057] 图6B示意性地图示了根据一些实施例的激光源650和柱面透镜670的另一示例性的配置。在这里,将柱面透镜670直接模制到封装激光器管芯660的罩中。在一些实施例中,柱面透镜670的焦距范围可以从大约-0.1mm至大约-2mm。凹面的顶点(apex)与激光器管芯660的发射表面之间的距离 d' 的范围可以从大约0.1mm至大约2mm。距离 d' 可以与柱面透镜670的焦距相似但不完全相同。

[0058] 图7A图示了根据一些实施例的用于在激光雷达系统中投射激光束的光学系统的截面图。柱面透镜720被放置在激光源710(例如,激光二极管)的前方。球面发射透镜730位于柱面透镜720的前方。发射透镜730可以是包括若干透镜组件的组合透镜。在一些实施例中,发射透镜730可以具有范围从大约5mm至大约50mm(例如,大约16mm)的焦距。发射透镜730的直径(例如,孔径)的范围可以从大约5mm至大约100mm(例如,40mm)。

[0059] 在一些实施例中,激光雷达系统可以包括布置在阵列中的多个激光源,该多个激光源由单个球面发射透镜投射。在这种情况下,每一个激光源可以与它自己的柱面透镜配对。图7B图示了包括有两个激光源710a和710b的激光雷达系统的示例性的实施例。第一柱面透镜720a与第一激光源710a配对,第二柱面透镜720b与第二激光源710b配对。两个激光源710a和710b共享相同的球面发射透镜730。

[0060] 图8示出了根据本发明的一些实施例的使用激光雷达系统的三维成像方法800的简化流程图。

[0061] 方法800可以包括:在802,一致地平移激光源和柱面透镜。将激光源平移至发射平面中的多个发射位置中的每一个发射位置。激光源具有发射区,该发射区具有第一高度以及大于该第一高度的第一宽度。柱面透镜具有负光焦度并且位于激光源的前方。定向柱面透镜,使得该柱面透镜的光焦度轴基本上位于宽度方向上。柱面透镜可以被配置成将激光源的发射区转换为具有虚拟宽度和虚拟高度的虚拟发射区,其中虚拟宽度小于发射区的第一宽度。柱面透镜可以是平凹的柱面透镜或者双凹的柱面透镜。在一些实施例中,柱面透镜和激光源可以集成在单个成套设备中。

[0062] 方法800还可以包括:在804,利用激光源发射多个激光脉冲。在多个发射位置中的相应的一个位置处发射多个激光脉冲中的每一个激光脉冲。方法800还可以包括:在806,利用发射透镜准直多个激光脉冲并将其向一个或多个对象导向。该一个或多个对象可以反射多个激光脉冲中的每一个激光脉冲,以产生多个返回激光脉冲。

[0063] 方法800还可以包括:在808,利用接收透镜接收多个返回激光脉冲中的每一个并将其聚焦至检测平面中的多个对应的检测位置。每一个对应的检测位置与相应的发射位置共轭。在一些实施例中,接收透镜和传输透镜可以是相同的透镜;即,被配置成将多个激光脉冲准直并将其向一个或多个对象导向以及聚焦多个返回激光脉冲的相同的透镜。

[0064] 方法800还可以包括:在810,将检测器平移至检测平面中的多个对应的检测位置中的每一个检测位置;以及在812,利用检测器在多个检测位置中的每一个相应的检测位置处检测多个返回激光脉冲中的每一个相应的返回激光脉冲。

[0065] 方法800还可以包括:在814,利用处理器确定多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间;以及在816,利用处理器基于多个返回激光脉冲中的每一个返回激光脉冲的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0066] 在一些实施例中,在一个维度或两个维度上平移激光源和检测器中的每一个。在一些实施例中,可以在两个方向上以利萨如图案(Lissajous pattern)扫描激光源和检测器。在一些实施例中,在平移激光源和检测器时,发射透镜和接收透镜是固定的。

[0067] 在一些其他实施例中,方法800还可以包括:在基本上垂直于发射透镜的光轴的平面内相对于激光源平移发射透镜;以及同步于发射透镜的平移,在平面内相对于检测器平移接收透镜。在一些实施例中,在一个维度或两个维度上平移发射透镜和接收透镜中的每一个。在一些实施例中,可以在两个方向上以利萨如图案(Lissajous pattern)扫描发射透镜和接收透镜。

[0068] 应当理解的是,图8所图示的具体步骤提供了根据本发明的一些实施例的利用激光雷达系统来执行三维成像的特定方法。根据可替代的实施例,也可以执行步骤的其他顺序。例如,本发明的可替代的实施例可以以不同的顺序执行上述步骤。此外,图8中所图示的单独的步骤可以包括多重子步骤,这些子步骤可以以适合于该单独步骤的各种顺序来执行。另外,根据特定的应用,可以增加额外的步骤或者移除一些步骤。本领域普通技术人员可以意识到多种变化、修改和替换。

[0069] II. 用于改进的分辨率的检测器设计

[0070] 根据一些实施例,可以在检测器侧实施另一种改进激光雷达系统的分辨率的方式。如图5A和图5C所图示的,在不使用柱面透镜的情况下,远场束斑510将在水平方向上拉长。结果,在检测器上由接收透镜(例如,图1中所图示的接收透镜140)形成的远场束斑510的图像也将在水平方向上拉长。

[0071] 图9示意性地图示了根据一些实施例的激光雷达系统900。与图1所图示的激光雷达系统100类似,激光雷达系统900可以包括:激光源910以及用于将激光源910所发射的激光束准直的发射透镜930。一个或多个对象950a和950b可以反射已准直的激光束。激光雷达系统900还可以包括:用于聚焦返回激光束的接收透镜940,和位于接收透镜940的焦平面上的用于检测聚焦的返回激光束的检测器920。如上所述,由于发射的激光束的非对称轮廓,检测器920处的返回激光束的聚焦点将被拉长。图10示意性地图示了在接收透镜940的焦平面处成像的返回束斑1010,该返回束斑1010在水平方向上被拉长。

[0072] 根据一些实施例,检测器920可以包括光传感器阵列。例如,检测器920可以包括在水平方向上以一维阵列彼此邻接布置的两个光传感器922a和922b。如图9和图10所图示的,每一个光传感器922a或922b具有覆盖返回束斑1010中的一部分的感测区。因此,第一光传感器922a可以检测返回激光束的左半部分,第二光传感器922b可以检测返回激光束的右半部分。

[0073] 作为图示性的示例,图9图示出了激光束可以投射到两个对象950a和950b(例如,两个人)上,这两个对象定位于远场中的激光束的FOV 960内。远场中的激光点尺寸可以近似等于:激光源的发射区的尺寸乘以激光源到对象的距离再除以发射透镜930的焦距。从第一对象950a反射的返回激光束的第一部分(由实线图示的光线来表示)可以成像到返回束斑1010的左半边上;从第二对象950b反射的返回激光束的第二部分(由虚线图示的光线来表示)可以成像到返回束斑1010的右半边上。如图9和图10A所图示的,第一光传感器922a可以检测从第一对象950a反射的返回激光束的第一部分,第二光传感器922b可以检测从第二对象950b反射的返回激光束的第二部分。因此,激光雷达系统900可以能够分辨两个对象

950a和950b。应当理解的是,本领域技术人员将理解,在附图和说明书的上下文中,可以切换“垂直”方向和“水平”方向,或者可以任意地旋转方向。

[0074] 为了进行比较,图10B图示了检测器1020,该检测器1020包括具有包含整个返回回斑1010的感测区的单个光传感器1030。在这种配置中,激光雷达系统900将不能分辨两个对象950a和950b,因为检测器1020将检测到单个返回激光脉冲。因此,通过将两个光传感器922a和922b在水平方向上布置成阵列,如图9和图10A所图示,激光雷达系统900在水平方向上的分辨率将近似为具有单个光传感器1030的检测器1020的分辨率的两倍。

[0075] 根据一些实施例,对于单独的光传感器,检测器920可以具有各自的输出,从而可以独立地确定由每一个光传感器检测的返回激光脉冲中的每一部分的飞行时间。图11A至图11C示意性地图示了用于图9和图10中所图示的示例的激光脉冲的时序图。如图11A所图示的,可以在时间 t_1 的第一实例由激光源910发射激光脉冲1110。第一对象950a和第二对象950b可以反射该激光脉冲1110。如图11B所图示,在时间 t_2 的第二实例可以由第一光传感器922a检测从第一对象950a反射的返回激光脉冲中的第一部分。 t_1 与 t_2 之间流逝的时间可以确定为 Δt_1 。基于 Δt_1 可以确定激光雷达系统900与第一对象950a之间的距离 L_1 。类似地,如图11C所图示,在时间 t_3 的第三实例可以由第二光传感器922b检测从第二对象950b反射的返回激光脉冲中的第二部分。 t_1 与 t_3 之间流逝的时间可以确定为 Δt_2 。基于 Δt_2 可以确定激光雷达系统900与第二对象950b之间的距离 L_2 。因此,通过在检测器920中具有各自输出的两个光传感器922a和922b,激光雷达系统900可以能够分辨两个对象950a和950b的不同的距离 L_1 和 L_2 。

[0076] 图12A图示了根据一些实施例的检测器1210的示意性的平面图。该检测器1210可以包括光传感器的一维阵列,例如包括有光传感器1212a和1212b的 1×2 阵列。尽管图12A中图示了光传感器的 1×2 阵列,但检测器1210可以包括光传感器的 1×3 阵列、光传感器的 1×4 阵列等。例如,通过利用 1×3 阵列,可以实现在阵列方向上将分辨率提高近似三倍。

[0077] 图12B图示了根据一些实施例的检测器1220的示意性的平面图。该检测器1220可以包括二维阵列,例如包括有光传感器1222a至1222f的 2×3 阵列。因此,可以实现在一个方向上将分辨率提高近似两倍,在正交方向上将分辨率提高近似三倍。尽管图12B中图示了光传感器的 2×3 阵列,但根据各种实施例,检测器1220可以包括光传感器的 2×4 阵列、光传感器的 2×5 阵列或其他配置。

[0078] 在一些实施例中,光传感器阵列可以被配置成使得该阵列的总表面区与由接收透镜940形成的返回激光束的图像点的总表面区近似匹配。例如,如果图像点具有 1×2 的纵横比(aspect ratio),则检测器可以包括光传感器的 1×2 阵列或光传感器的 2×4 阵列(假设每一个光传感器的表面区为正方形)。可以有利地减小或最小化光传感器之间的无效空间,以避免检测效率的损失。

[0079] 根据各个实施例,光传感器可以包括光电二极管、光电晶体管、光电电阻器、光电倍增管、微通道板形检测器、电荷耦合器件(CCD)等。

[0080] 根据一些其他的实施例,可以使用双单元(bi-cell)或四单元(quad-cell)检测器。在这种情况下,检测器包括被设计成具有多重输出的单个检测器,该多重输出对应于光入射在检测器上的位置。

[0081] 上述的阵列检测器概念可以扩展到包括有多个激光源和多重检测器的激光雷达

系统。在这种情况下,每一个激光源可以与其自身的阵列检测器配对。例如,参见图1,第一激光源110a可以与第一检测器160a配对,第二激光源110b可以与第二检测器160b配对,其中第一检测器160a和第二检测器160b中的每一个包括光传感器阵列。

[0082] 根据一些实施例,阵列检测器可用于与准直光学系统相结合的激光雷达系统中,该准直光学系统包括柱面透镜(例如,如参考图4A和图4B、图6A和图6B和图7在上面讨论的),以进一步改进分辨率。

[0083] 图13示意性地图示了根据本发明一些实施例的激光雷达系统1300。激光雷达系统1300包括激光源1310和检测器1320。与具有如图1和图9所图示的各自的发射透镜和接收透镜不同,该激光雷达系统1300包括用于准直由激光源1310发射的激光束以及用于聚焦从一个或多个对象反射的返回激光束的单个透镜1330。激光雷达系统1300可以包括位于激光源1310与透镜1330之间的光束分束器1350。该光束分束器1350可以被配置成部分地传输由激光源1310发射的激光束,以及向检测器1320部分地反射返回激光束。

[0084] 在一些实施例中,激光雷达系统1300还可以包括位于激光源1310前方的可选的柱面透镜1340。该柱面透镜1340具有负光焦度,类似于图4A和图4B所图示的柱面透镜410。如上文结合图4A和图4B所述的,如图5D所图示,柱面透镜1340可以导致相对对称的远场束斑。

[0085] 在一些实施例中,检测器1320可以包括被布置成阵列的多个光传感器1322和1324,类似于图9、图10A、图12A和图12B中所图示的检测器920。如上文结合图9所述的,每一个光传感器1322或1324可以被配置成检测返回激光束的方面部分。与仅包括柱面透镜的激光雷达系统或仅包括阵列检测器的激光雷达系统相比,通过同时具有柱面透镜1340和阵列检测器1320,激光雷达系统1300可以实现更好的分辨率。

[0086] 图14图示了根据本发明的一些实施例的利用激光雷达系统进行三维成像的方法1400的简化流程图。

[0087] 方法1400可以包括:在1402,利用激光源发射激光脉冲;以及在1404,利用发射透镜准直激光脉冲并将其向激光脉冲的视场内的一个或多个对象导向。该一个或多个对象可以反射激光脉冲,以产生返回激光脉冲。

[0088] 方法1400还可以包括:在1406,利用接收透镜接收返回激光脉冲并且将其聚焦至接收透镜的焦平面处的返回束斑;以及在1408,利用包括有多个光传感器的检测器来检测在每一个相应的光传感器处接收的返回激光脉冲的相应部分,其中多个光传感器在接收透镜的焦平面处被布置成阵列。返回激光脉冲的相应部分对应于激光脉冲的视场的相应分区。

[0089] 方法1400还可以包括,在1410,利用耦合至激光源和检测器的处理器来确定返回激光脉冲中的每一个相应部分的飞行时间;以及在1412,利用处理器基于返回激光脉冲中的每一个相应部分的飞行时间来构建一个或多个对象的三维图像。

[0090] 在一些实施例中,检测器中的每一个相应的光传感器具有用于接收返回激光脉冲的相应部分的相应感测区。多个光传感器被布置成使得多个光传感器的总感测区与返回束斑基本上匹配。

[0091] 在一些实施例中,方法1400还可以包括:在基本上垂直于发射透镜的光轴的发射平面上通过多个发射位置平移激光源,以及在接收透镜的焦平面上通过多个检测位置平移检测器。多个检测位置中的每一个相应的检测位置对应于多个发射位置的相应的发射位

置。在一些实施例中,在一个维度或两个维度上平移激光源和检测器中的每一个。在一些实施例中,可以在两个方向上以利萨如图案扫描将激光源和检测器。在一些实施例中,在平移激光源和检测器时,发射透镜和接收透镜是固定的。

[0092] 在其他一些实施例中,方法1400还可以包括:在基本上垂直于发射透镜的光轴的平面上相对于激光源平移发射透镜;以及同步于发射透镜的平移,在平面上相对于检测器平移接收透镜。在一些实施例中,在一个维度或两个维度上平移发射透镜和接收透镜中的每一个。在一些实施例中,可以在两个方向上以利萨如图案扫描发射透镜和接收透镜。在一些实施例中,在平移发射透镜和接收透镜时,激光源和检测器也被彼此同步地平移。

[0093] 在一些其他的实施例中,方法1400还可以包括:在基本上垂直于发射透镜的光轴的第一方向上同步地平移激光源和检测器;以及在与第一方向正交且基本上垂直于发射透镜的光轴的第二方向上同步地平移发射透镜和接收透镜。本领域普通技术人员可以意识到多种变化、修改和替换。

[0094] 应当理解的是,图14所图示的具体步骤提供了根据本发明的一些实施例的利用激光雷达系统来执行三维成像的特定方法。根据可替代的实施例,也可以执行步骤的其他顺序。例如,本发明的可替代的实施例可以以不同的顺序执行上述步骤。此外,图14中所图示的单独的步骤可以包括多个子步骤,这些子步骤可以以适合于单独步骤的各种顺序来执行。另外,取决于特定的应用,可以增加额外的步骤或者移除一些步骤。本领域普通技术人员可以意识到多种变化、修改和替换。

[0095] 在不脱离本发明实施例的精神和范围的情况下,可以以任何合适的方式组合特定实施例的具体细节。然而,本发明的其他实施例可以针对与每一个单独方面相关的具体实施例,或这些单独方面的具体组合。

[0096] 除非另有相反的确切说明,术语“一个”、“所述”、“该”意指“一个或多个”。

[0097] 范围在此处可以表示为一个“大约”指定值和/或从一个“大约”指定值到另一“大约”指定值。在此处使用的术语“大约”意为大致上、在一定范围中、粗略地或在…周围。当术语“大约”与数值范围一起使用时,其通过扩展高于和低于所述数值的边界来修改该范围。通常,此处使用的术语“大约”将所述数值修改成高于和低于设定值的10%的变化幅度。当表示这种范围时,另一实施例包括来自一个特定值和/或到另一指定值。类似地,当通过使用先行词“大约”将值表示为近似值时,将理解的是该指定值形成另一实施例。将进一步理解的是,每一个范围中的端点包括在该范围中。

[0098] 为了说明和描述的目的,已提出了本发明的上述示例性的实施例的描述。并不旨在将本发明穷尽于或限制在所描述的精确形式中,并且鉴于上述教导可以进行许多修改和变化。选择并描述这些实施例仅是为了解释本发明的原理及其实际应用,从而使本领域的其他技术人员能够将本发明应用到各种实施例中,并进行适合预期的特定用途的各种修改。

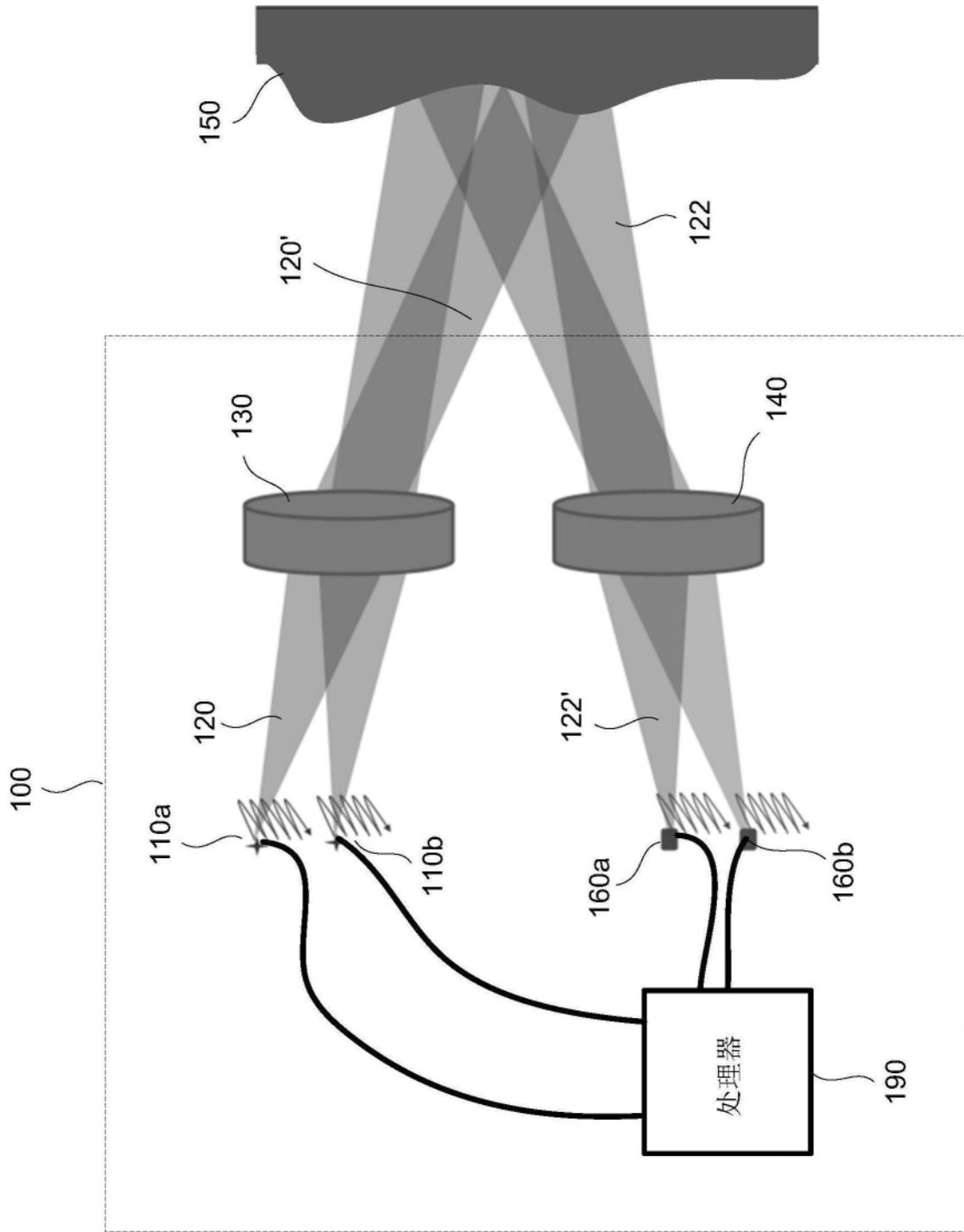


图1

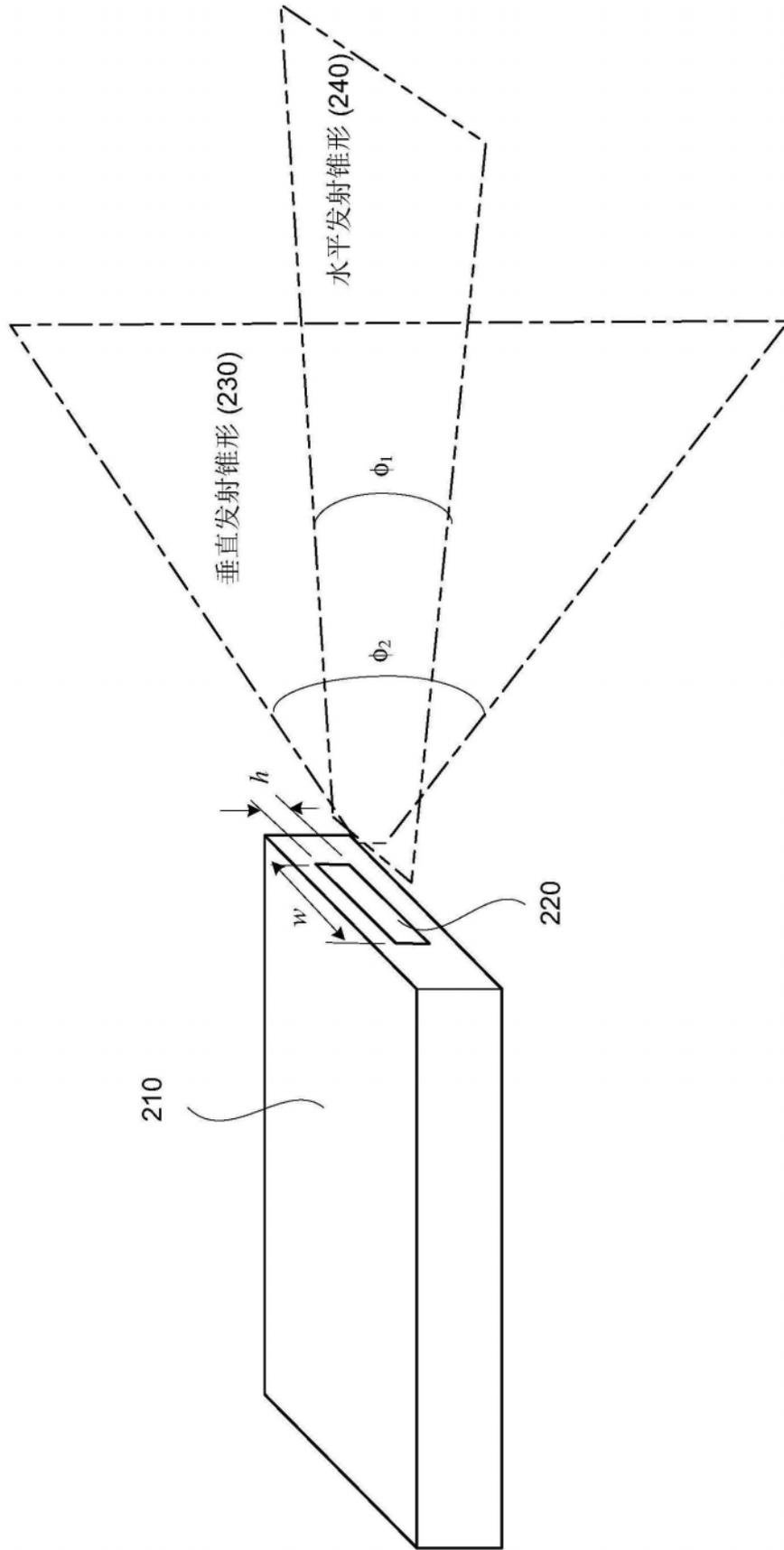


图2

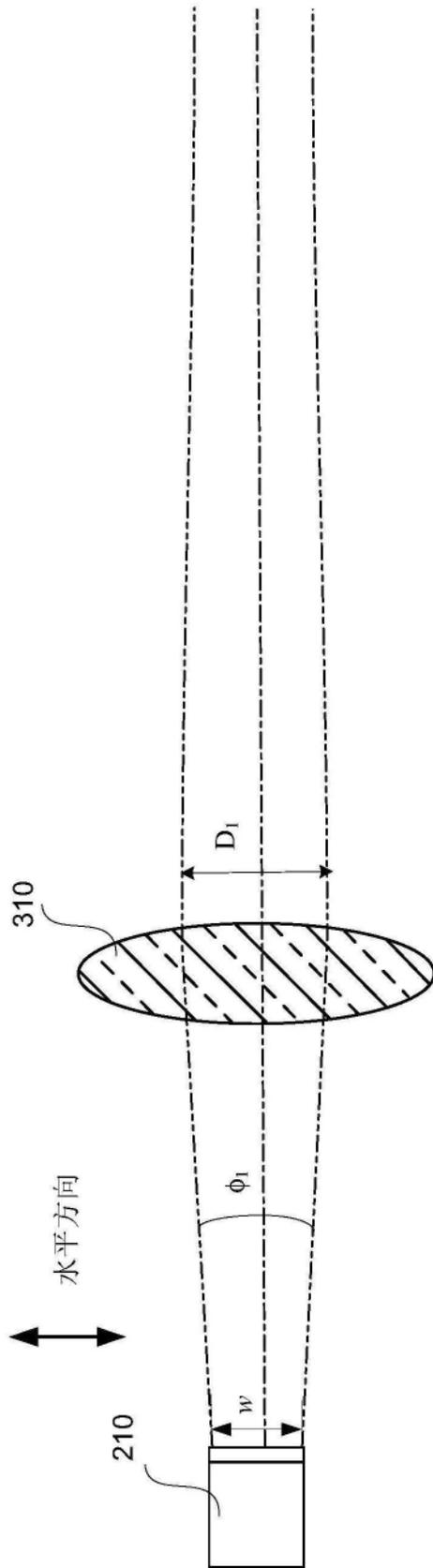


图3A

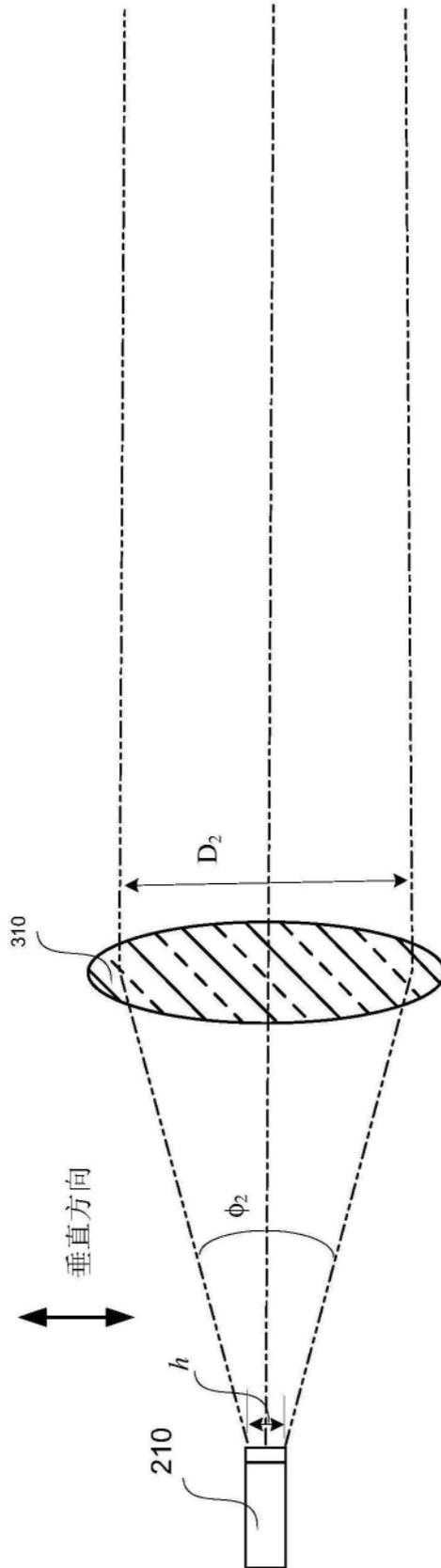


图3B

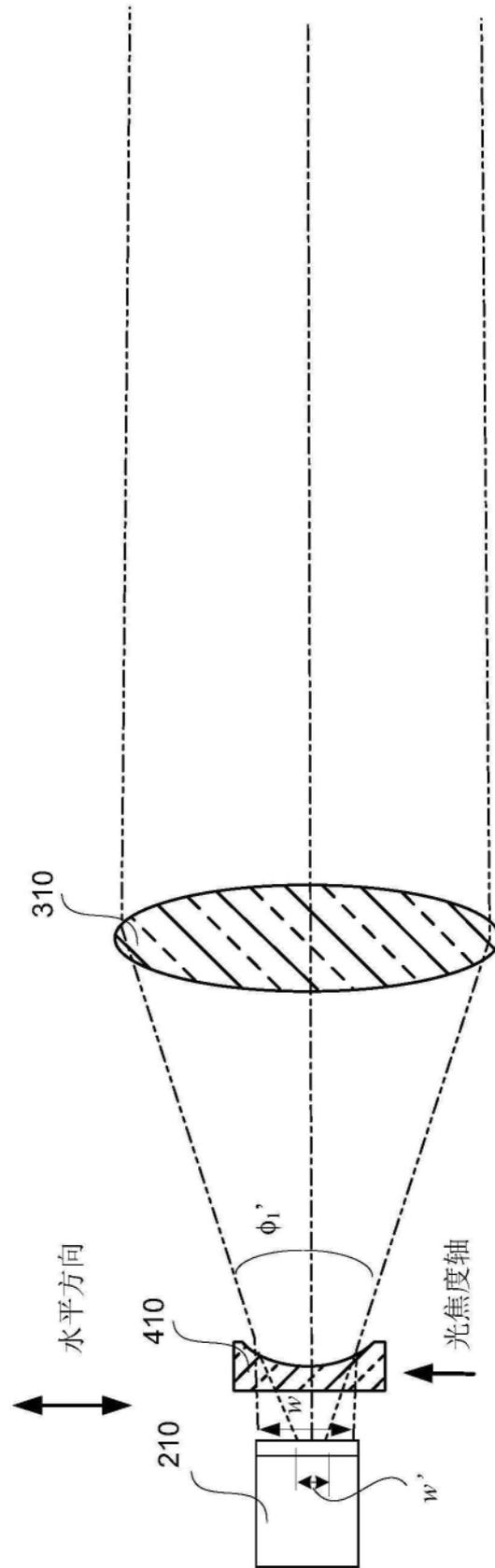


图4A

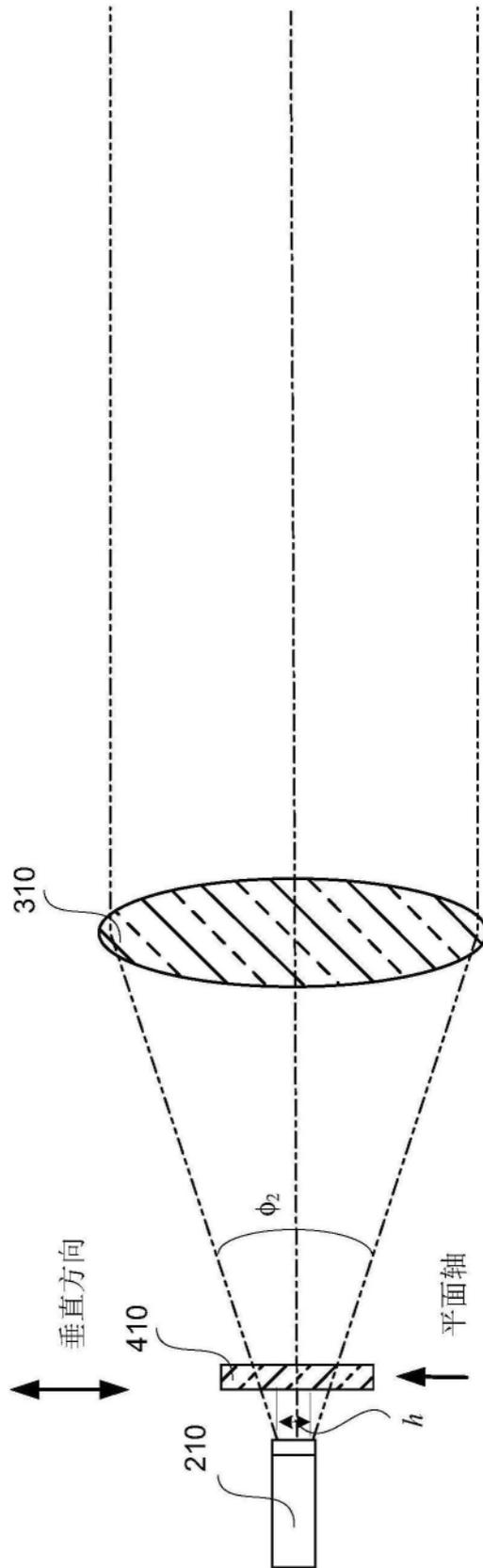


图4B

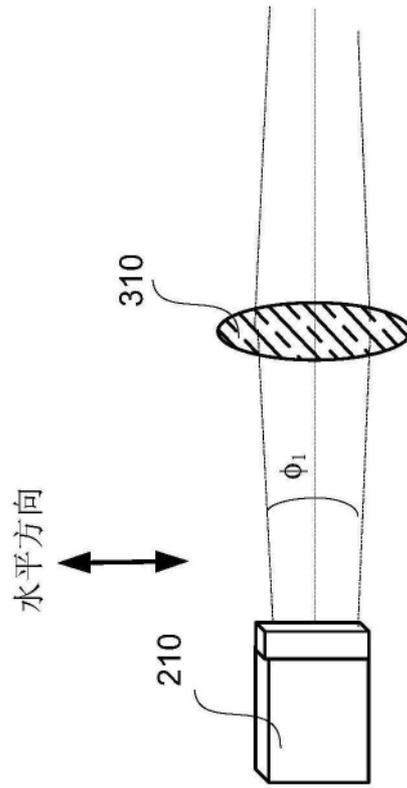


图5A

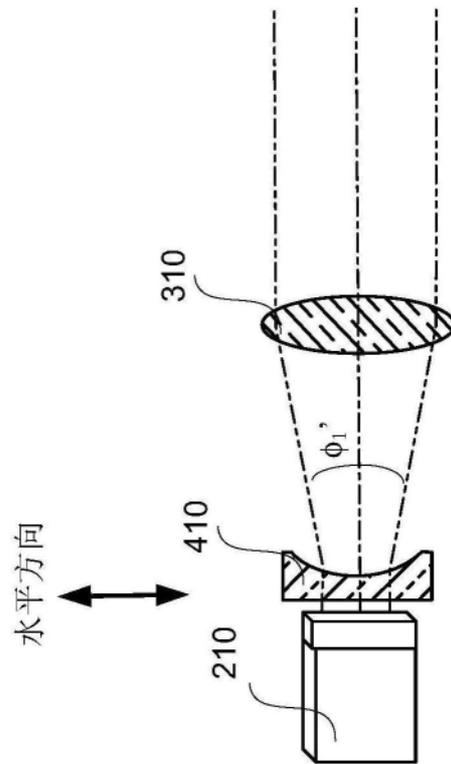


图5B

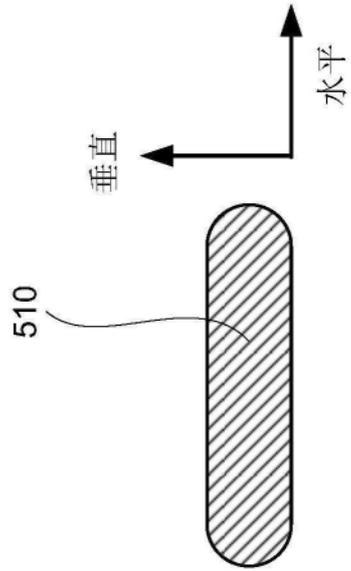


图5C

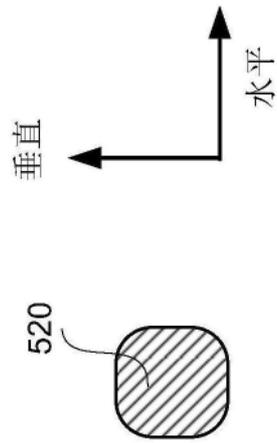


图5D

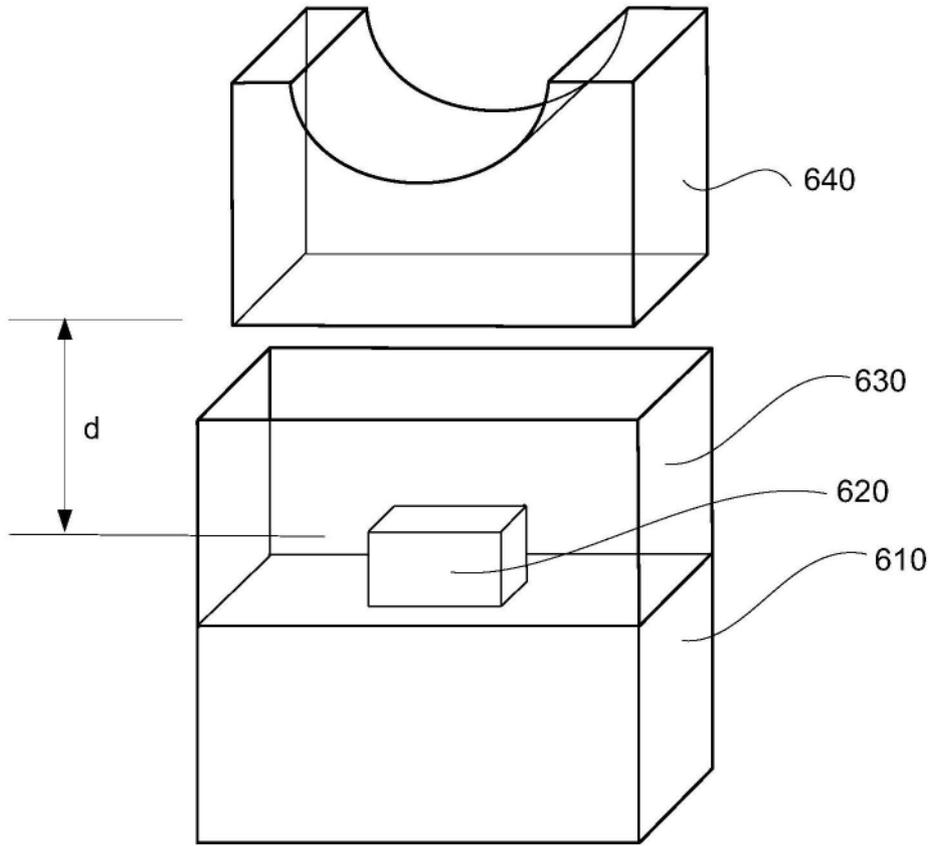


图6A

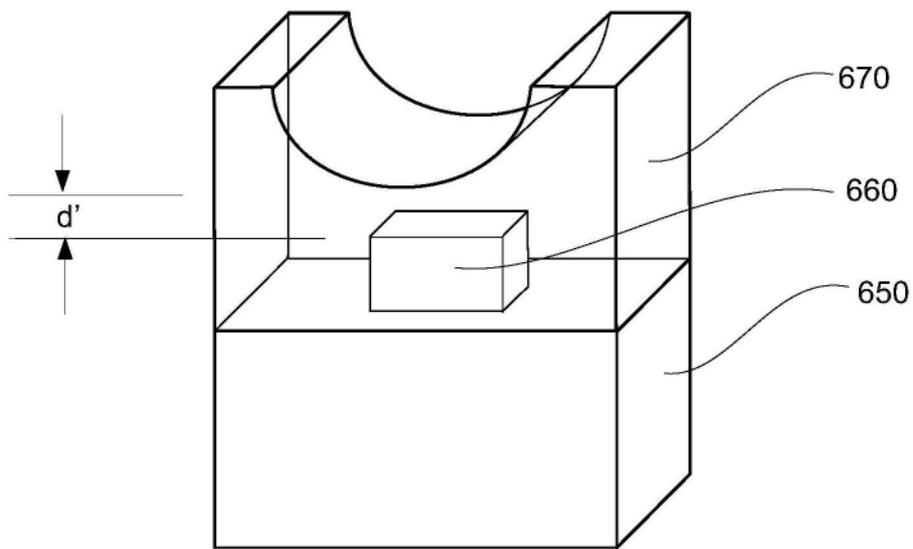


图6B

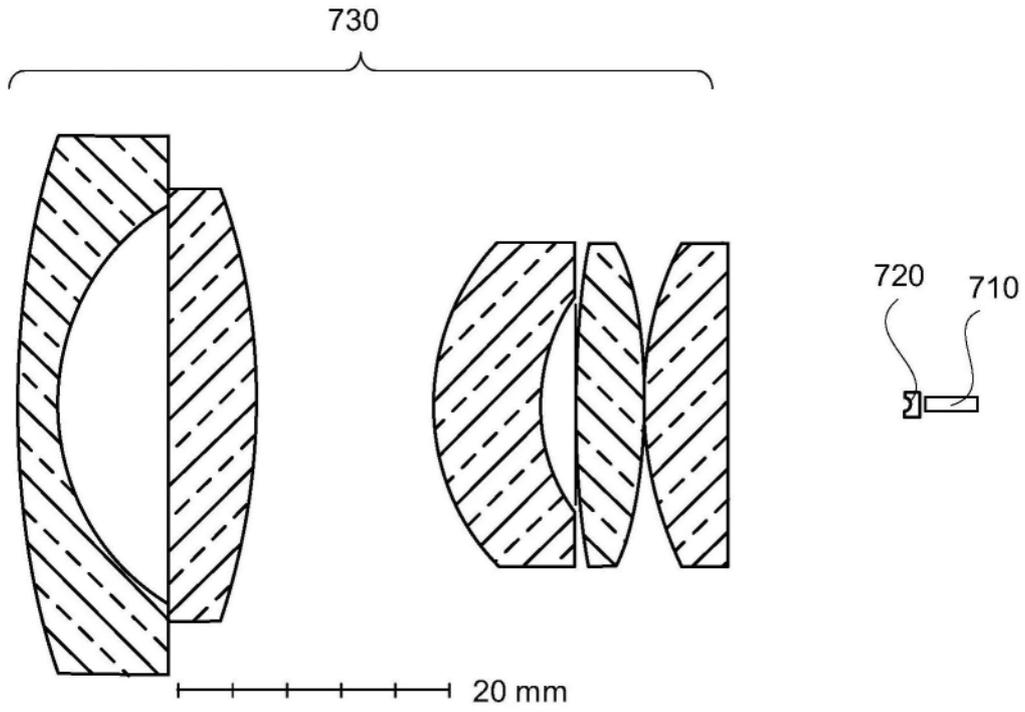


图7A

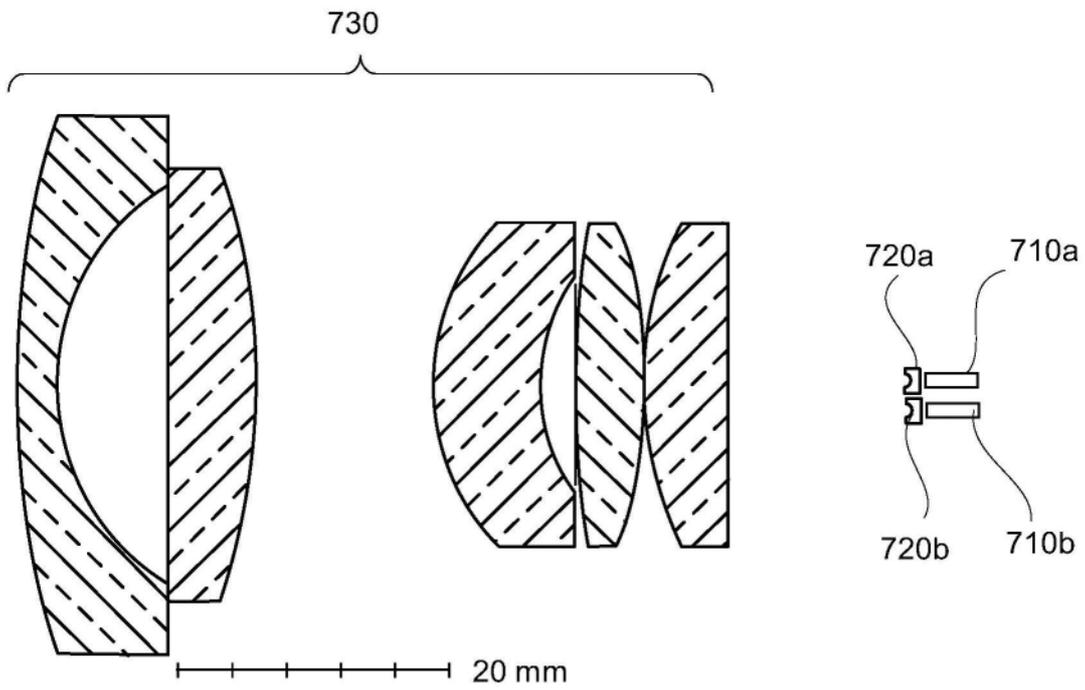


图7B

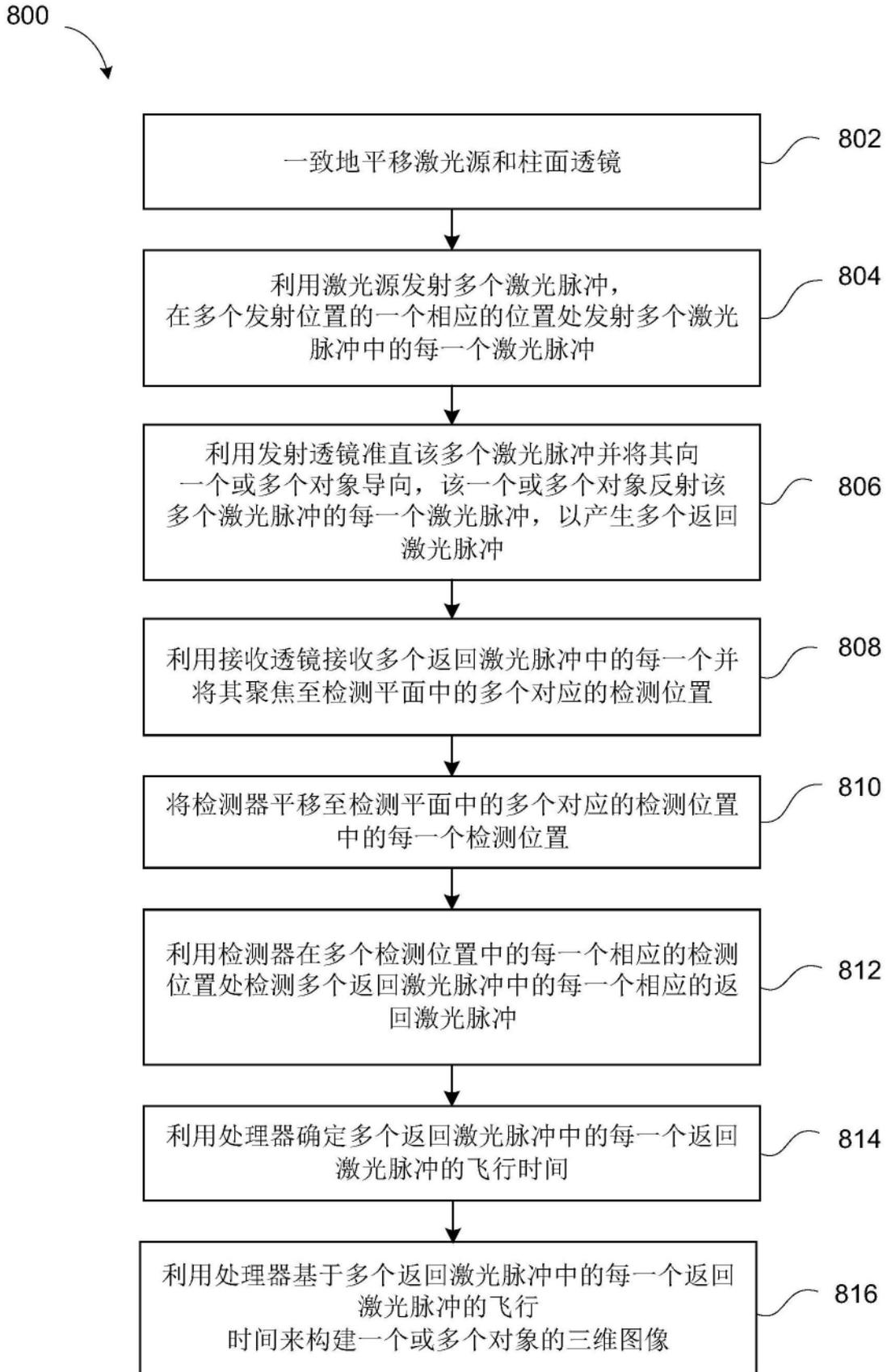


图8

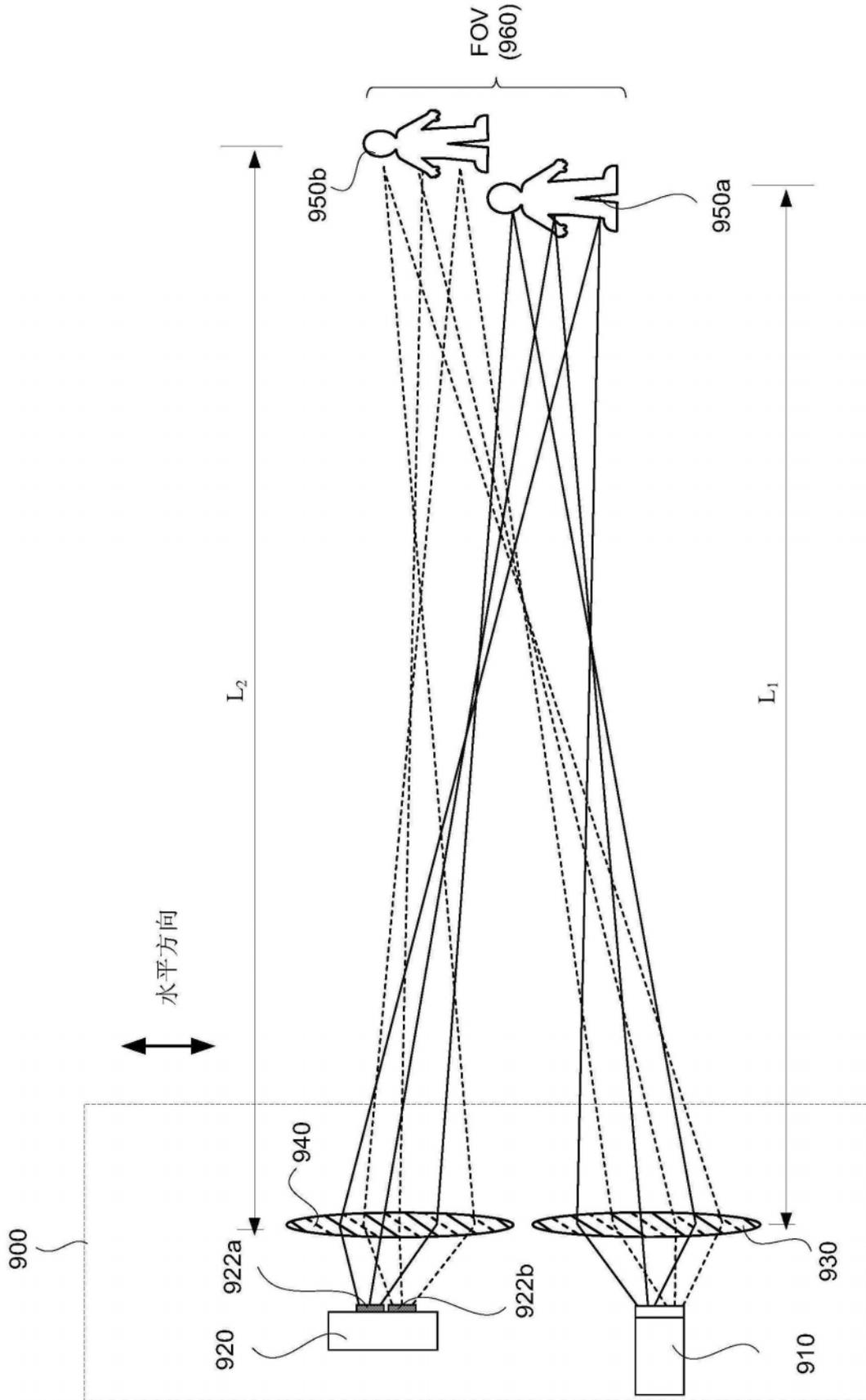


图9

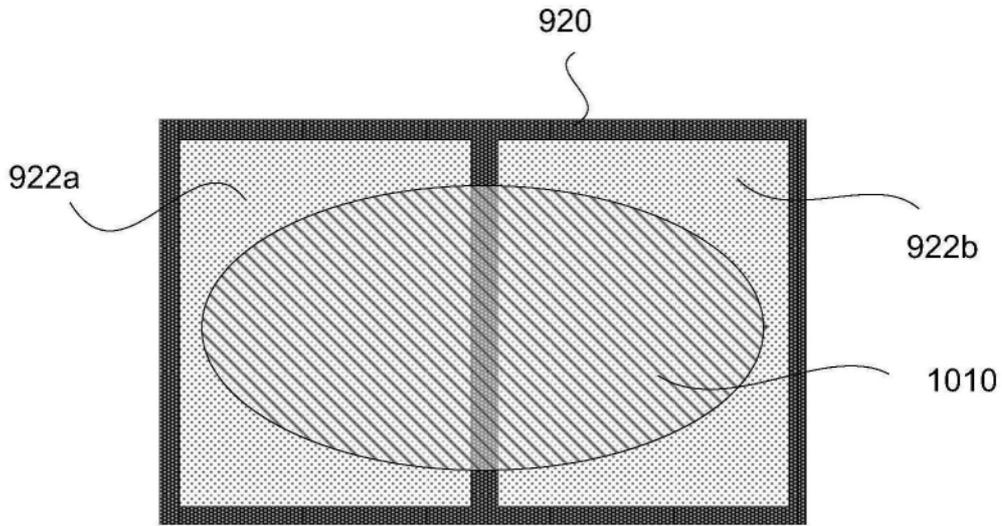


图10A

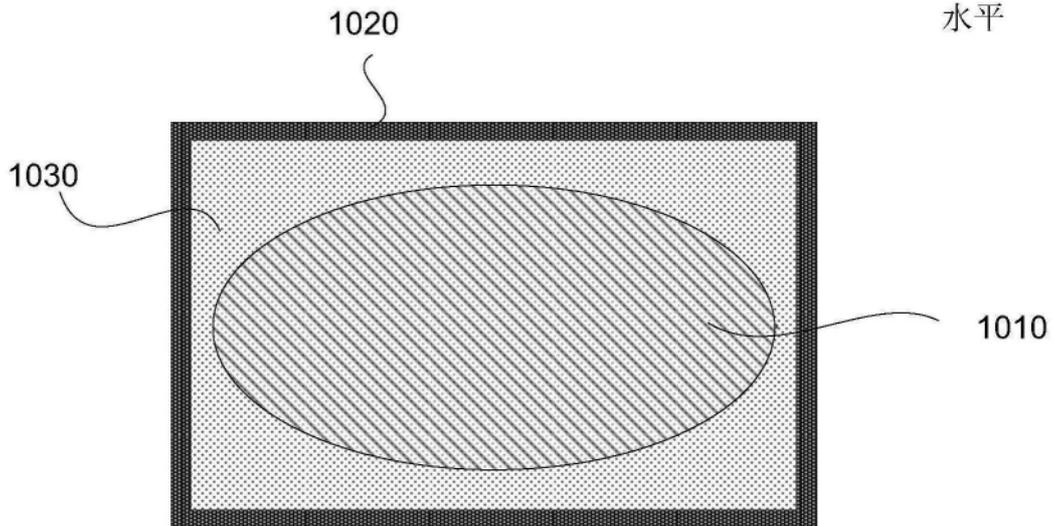
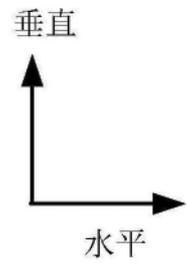


图10B

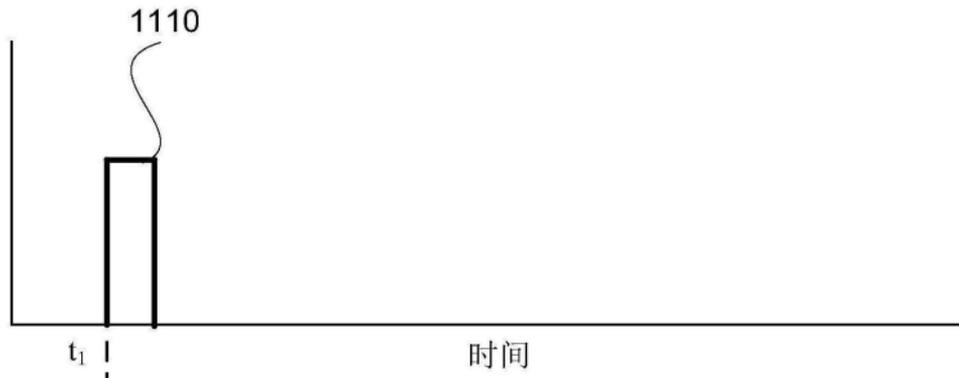


图11A

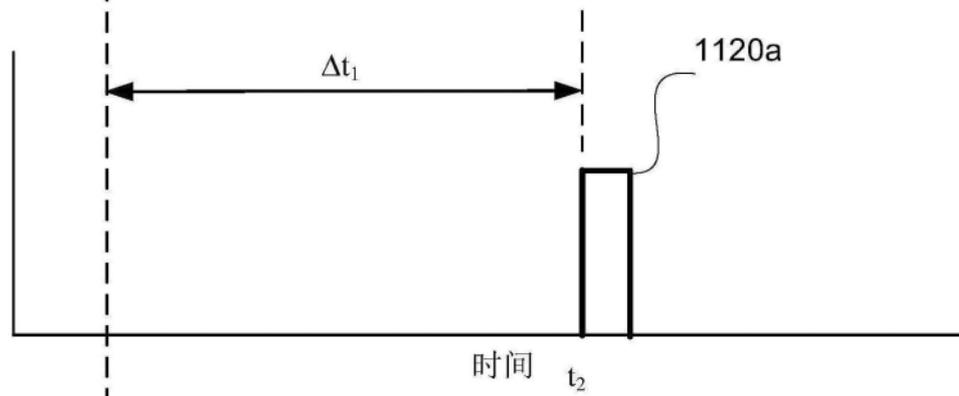


图11B

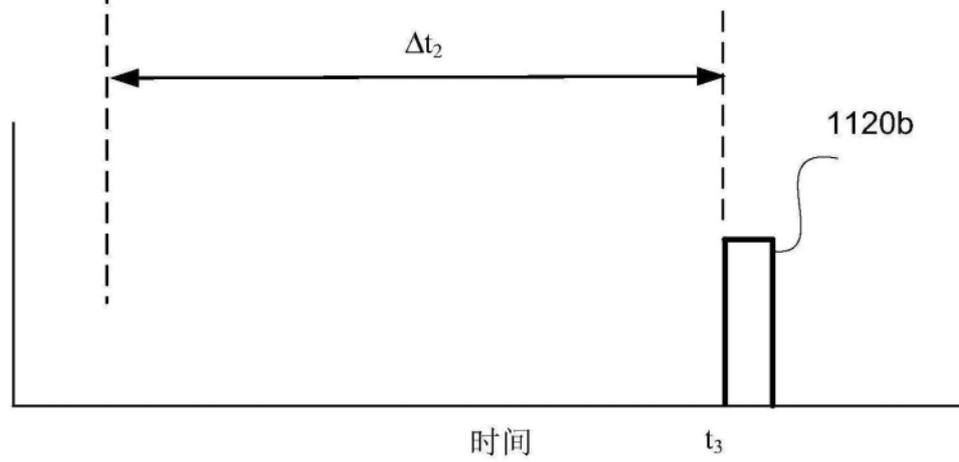


图11C

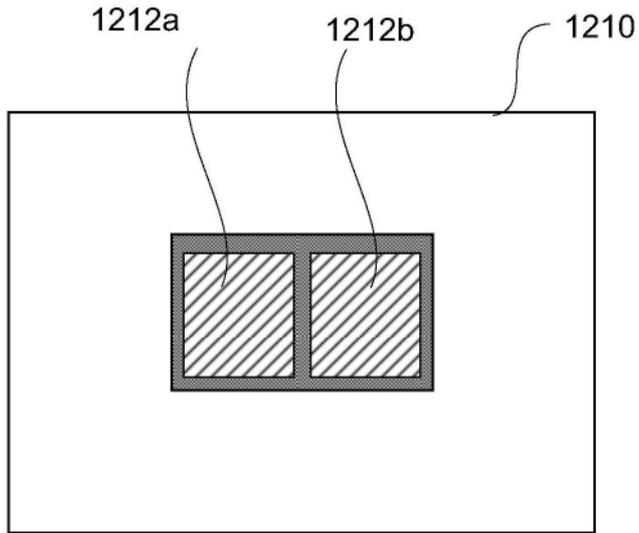


图12A

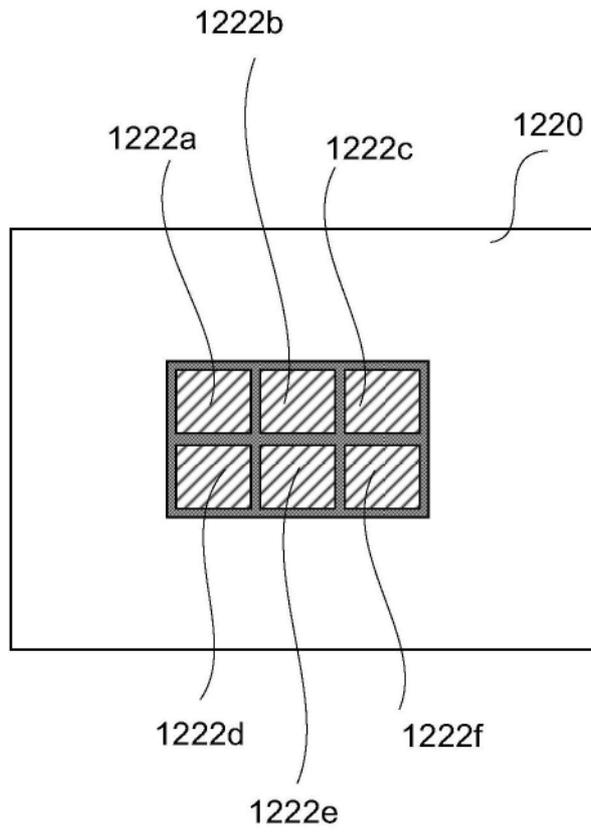


图12B

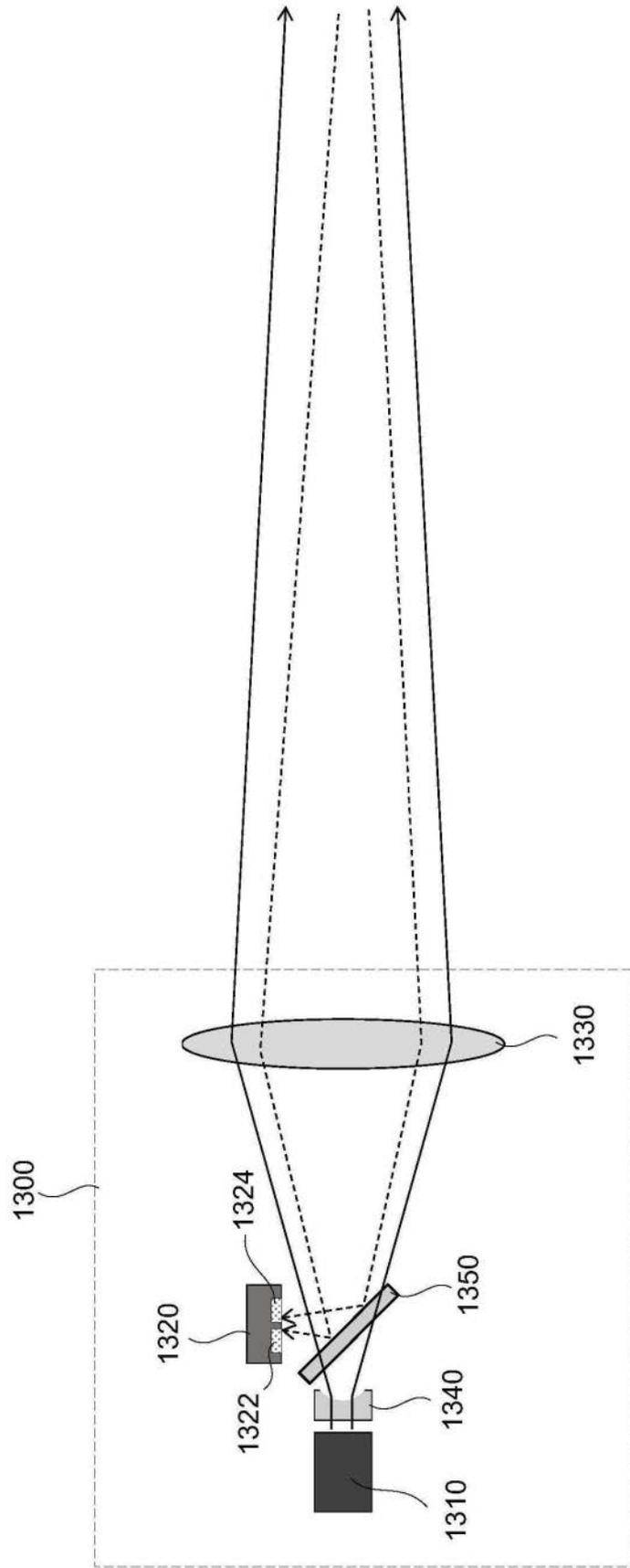


图13

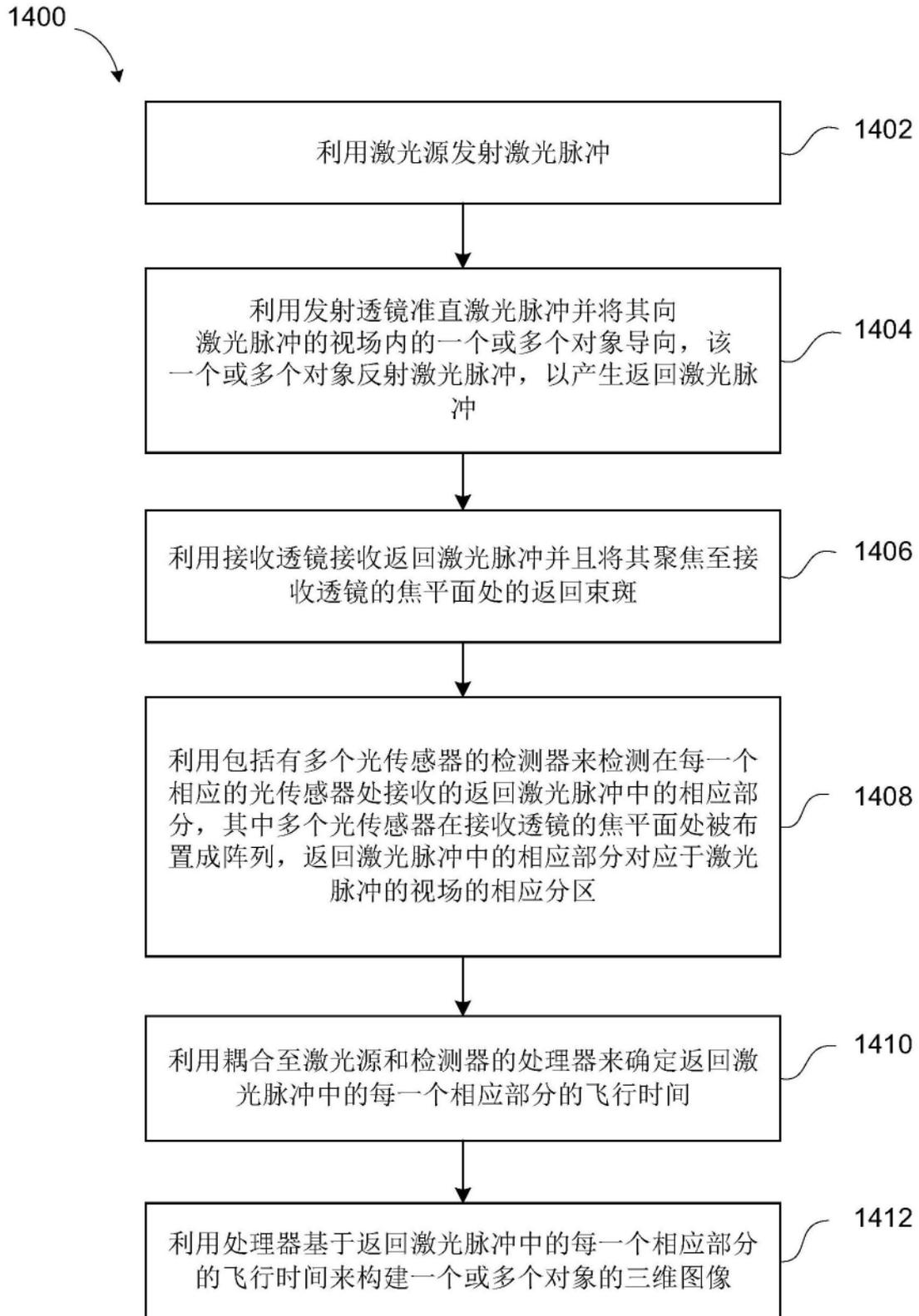


图14