



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112771406 A

(43) 申请公布日 2021.05.07

(21) 申请号 201980064254.0

(22) 申请日 2019.10.03

(30) 优先权数据

62/741,034 2018.10.04 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.03.29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2019/001075 2019.10.03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/070554 EN 2020.04.09

(71) 申请人 创新科技有限公司

地址 以色列, 罗什艾因

(72) 发明人 Y·阿尔珀恩 M·吉尔

(74) 专利代理机构 北京市铸成律师事务所

11313

代理人 王丹丹 王云红

(51) Int.Cl.

G01S 7/481 (2006.01)

G01S 17/931 (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

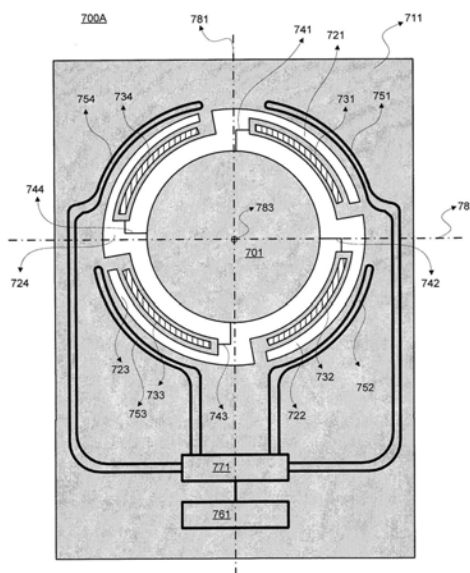
权利要求书3页 说明书44页 附图32页

(54) 发明名称

具有加热元件的电光系统

(57) 摘要

一种微机电系统 (MEMS) 反射镜组件可以包括框架和耦合到所述框架的MEMS反射镜。所述MEMS反射镜组件还可以包括至少一个压电致动器,所述压电致动器包括主体和压电元件。当经受电场时,所述压电元件可以被配置为使所述主体弯曲,由此使所述MEMS反射镜相对于所述框架的平面移动。所述MEMS反射镜组件还可以包括至少一个加热电阻器,所述加热电阻器被配置为当电流穿过所述至少一个加热电阻器时加热所述压电元件。



1. 一种微机电系统 (MEMS) 反射镜组件, 所述反射镜组件包括:
MEMS反射镜;
框架;
至少一个压电致动器, 其被配置为使所述MEMS反射镜相对于所述框架移动, 其中所述至少一个压电致动器包括主体和压电元件, 所述压电元件被配置为当经受电场时使所述主体弯曲, 由此移动所述MEMS反射镜; 以及
至少一个加热电阻器, 其被配置为当电流穿过所述至少一个加热电阻器时加热所述压电元件。
2. 根据权利要求1所述的反射镜组件, 其还包括控制器, 所述控制器被配置为响应于与所述压电元件的温度相关的信息使所述电流穿过所述至少一个加热电阻器。
3. 根据权利要求1或2所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在电光系统的晶片的金属层上实现。
4. 根据权利要求3所述的反射镜组件, 其中, 用于向所述压电元件施加所述电场的至少一个电极在所述金属层上实现。
5. 根据权利要求1或2所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在电光系统的晶片的硅基层的掺杂区域上实现。
6. 根据权利要求1或2所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在所述压电致动器中的至少一个上实现。
7. 根据权利要求1或2所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在所述框架上实现。
8. 根据权利要求1、2和7中任一项所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在所述框架的与所述压电致动器中的至少一个相邻的边缘上实现。
9. 根据权利要求1-8中任一项所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器在所述电光系统的与所述压电致动器中的至少一个相邻的不可移动部分上实现。
10. 根据权利要求1-9中任一项所述的反射镜组件, 其还包括:
传感器, 其被配置为检测所述电光系统的至少一个部件的温度; 以及
控制器, 其被配置为控制所述至少一个加热电阻器的激活。
11. 根据权利要求10所述的反射镜组件, 其中, 所述传感器是校准电阻器。
12. 根据权利要求2所述的反射镜组件, 其还包括处理器, 所述处理器被编程为响应于用于致动所述MEMS反射镜的电压生成指示所述温度的所述信息。
13. 根据权利要求1-12中任一项所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器具有1/4和5千欧之间的总电阻。
14. 根据权利要求1-13中任一项所述的反射镜组件, 其中, 所述至少一个加热电阻器发射范围在5和500毫瓦之间的热功率。
15. 根据权利要求1-14中任一项所述的反射镜组件, 其还包括多个加热电阻器, 并且其中所述加热电阻器中的至少一个发射范围在5和500毫瓦之间的热功率。
16. 根据权利要求1-15中任一项所述的反射镜组件, 其还包括控制器, 其中:
所述至少一个加热电阻器包括第一加热电阻器和第二加热电阻器; 并且
所述控制器被配置为基于接收到的与所述压电元件的所述温度相关的信息来控制第

一电流到所述第一加热电阻器的施加和第二电流到所述第二加热电阻器的施加,所述第一电流不同于所述第二电流。

17. 一种用于操作微机电系统 (MEMS) 反射镜组件的方法,所述方法包括:

向所述MEMS反射镜组件的压电致动器的压电元件施加电场,由此移动耦合到所述压电致动器的MEMS反射镜;以及

使电流穿过所述MEMS反射镜组件的至少一个加热电阻器以用于加热所述压电元件。

18. 根据权利要求17所述的方法,其还包括:基于来自所述MEMS反射镜组件的温度读数选择性地传递所述电流。

19. 根据权利要求17或18所述的方法,其还包括:当所述温度读数指示低于阈值温度的温度时选择性地传递所述电流。

20. 根据权利要求17-19中任一项所述的方法,其中:

所述至少一个加热电阻器包括第一加热电阻器和第二加热电阻器;并且

所述方法还包括:使第一电流穿过所述第一加热电阻器以及使第二电流穿过所述第二加热电阻器,所述第一电流不同于所述第二电流。

21. 根据权利要求17-20中任一项所述的方法,其中,所述加热包括:将所述压电元件加热到比所述MEMS反射镜组件的周围环境中的周围温度高至少5°C的温度。

22. 一种固态光电检测器,其包括:

集成电路,其包括至少一个光敏光电二极管,所述光敏光电二极管被配置为生成指示照射在所述光敏光电二极管上的光的输出信号;

至少一个加热电阻器,其被配置为当电流穿过所述至少一个加热电阻器时加热所述固态光电检测器;以及

电路,其用于将电流源的电流发送到所述至少一个加热电阻器。

23. 根据权利要求22所述的固态光电检测器,其还包括控制器,所述控制器被配置为响应于与所述固态光电检测器的温度相关的信息控制所述至少一个加热电阻器的激活。

24. 根据权利要求22-23中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述至少一个加热电阻器和所述固态光电检测器的电极在所述集成电路的相同金属层上实现。

25. 根据权利要求22-24中任一项所述的固态光电检测器,其还包括温度传感器,所述温度传感器在所述集成电路上实现。

26. 根据权利要求25所述的固态光电检测器,其中,所述温度传感器包括反馈电阻器、二极管或晶体管中的至少一者。

27. 根据权利要求21-23和25中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述至少一个加热电阻器在所述集成电路的硅基层的掺杂区域上实现。

28. 根据权利要求22-27中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述固态光电检测器包括多个传感器像素,所述传感器像素中的每一个被配置为检测来自FOV的不同部分的光。

29. 根据权利要求22-28中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述加热防止冰在所述固态光电检测器上的积聚。

30. 根据权利要求22-29中任一项所述的固态光电检测器,其还包括耦合到所述固态光电检测器的透明层,并且其中所述加热防止冰在所述透明层上的积聚。

31. 根据权利要求22-29中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述透明层包括多个

微透镜。

32. 根据权利要求22-31中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述透明层包括窗口。

33. 根据权利要求22-32中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述加热降低所述固态光电检测器的灵敏度。

34. 根据权利要求22-33中任一项所述的固态光电检测器,其中,所述至少一个加热电阻器发射范围在250和2000毫瓦之间的热功率。

35. 一种电光系统,所述电光系统包括:

权利要求22-34中任一项所述的固态光电检测器;

光学器件,其用于将来自所述电光系统的视场(FOV)的光引导到所述固态光电检测器;以及

电流源。

36. 根据权利要求35所述的电光,其中,所述电光系统是激光雷达系统,并且所述系统还包括处理器,所述处理器被编程为处理所述固态光电检测器的检测结果以用于确定距所述FOV中的至少一个物体的距离。

37. 一种用于操作电光系统的方法,所述方法包括:

使电流穿过所述电光系统的至少一个加热电阻器以用于加热光敏光电二极管,其中所述至少一个加热电阻器在上面实现所述光敏光电二极管的芯片上实现;以及

通过所述电光系统的所述光敏光电二极管检测来自所述电光系统的视场(FOV)的光。

38. 根据权利要求37所述的方法,其还包括:基于来自所述芯片的温度读数选择性地应用所述电流的传递。

39. 根据权利要求37或38所述的方法,其还包括:当所述温度读数指示低于阈值温度的温度时选择性地应用所述电流的传递。

40. 根据权利要求36-38中任一项所述的方法,其还包括:基于固态光电检测器的不同温度使不同电流穿过所述至少一个加热电阻器。

41. 根据权利要求36-39中任一项所述的方法,其中,所述加热包括:将所述固态光电检测器加热到比所述固态光电检测器的周围环境中的周围温度高至少5°C的温度。

具有加热元件的电光系统

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2018年10月4日提交的美国临时专利申请No.62/741,034的优先权,该专利申请全文以引用方式并入本文。

背景技术

I. 技术领域

[0003] 本公开总体上涉及用于扫描周围环境的技术,并且例如,涉及使用激光雷达(LIDAR)技术来检测周围环境中的物体的系统和方法。

II. 背景信息

[0005] 随着驾驶员辅助系统和自主车辆的出现,汽车需要配备有能够可靠地感测和解释其周围环境的系统,包括识别可能会影响车辆导航的障碍物、危险、物体和其他物理参数。为此,已经提出了多种不同的技术,包括单独或以冗余方式操作的雷达、激光雷达、基于相机的系统。

[0006] 驾驶员辅助系统和自主车辆的一个考虑因素是系统在不同条件下(包括雨、雾、黑暗、强光和雪)确定周围环境的能力。光检测和测距系统(激光雷达(LIDAR),也称为光雷达(LADAR))是可以在不同条件下很好地工作的技术的示例,该技术通过用光照亮物体并用传感器测量反射脉冲,来测量到物体的距离。激光是可以用在激光雷达系统中的光源的一个示例。与任何感测系统一样,为了使基于激光雷达的感测系统完全被汽车行业采用,系统应当提供可靠的数据,以使得能够检测远处的物体。但是,目前激光雷达系统的最大照明功率受到使激光雷达系统对眼睛安全的需要的限制(即,使得它们将不会损伤人眼,这种损伤会在投射的光发射在眼睛的角膜和晶状体中吸收时发生,而对视网膜造成热损伤。)

[0007] 本公开的系统和方法针对在遵守眼睛安全规定的同时改进激光雷达系统的性能。

发明内容

[0008] 与本公开一致的实施例提供用于从用户的环境自动捕获和处理图像,以及用于处理与从所述用户的所述环境捕获的图像相关的信息的系统和方法。

[0009] 在一个实施例中,公开了一种微机电系统(MEMS)反射镜组件。所述MEMS反射镜组件包括框架和耦合到所述框架的MEMS反射镜。所述MEMS反射镜组件还可以包括至少一个压电致动器,所述压电致动器包括主体和压电元件。当经受电场时,所述压电元件可以被配置为使所述主体弯曲,由此使所述MEMS反射镜相对于所述框架的平面移动。所述MEMS反射镜组件还可以包括至少一个加热电阻器,所述加热电阻器被配置为当电流穿过所述至少一个加热电阻器时加热所述压电元件。

[0010] 在一个实施例中,公开了一种用于操作微机电系统(MEMS)反射镜组件的方法。所述方法可以包括:向所述MEMS反射镜组件的压电致动器的压电元件施加电场以使所述压电致动器的主体弯曲。所述方法还可以包括:使电流穿过所述MEMS反射镜组件的至少一个加

热电阻器以用于加热所述压电元件。

[0011] 在一个实施例中,公开了一种固态光电检测器。所述固态光电检测器可以包括集成电路,所述集成电路包括至少一个光敏光电二极管,所述光敏光电二极管被配置为生成指示照射在所述光敏光电二极管上的光的输出信号。所述固态光电检测器还可以包括至少一个加热电阻器,所述加热电阻器被配置为当电流穿过所述至少一个加热电阻器时加热所述固态光电检测器。所述电光系统还可以包括电路,所述电路用于将电流源的电流发送到所述至少一个加热电阻器。

[0012] 在一个实施例中,公开了一种用于操作电光系统的方法。所述方法可以包括:使电流穿过所述电光系统的至少一个加热电阻器以用于加热光敏光电二极管。所述至少一个加热电阻器可以在上面实现所述光敏光电二极管的芯片上实现。所述方法还可以包括:通过所述电光系统的所述光敏光电二极管检测来自所述电光系统的视场(FOV)的光。

[0013] 与其他公开的实施例一致,非暂时性计算机可读存储介质可以存储程序指令,所述程序指令由至少一个处理器执行并执行本文描述的任何方法。

[0014] 前面的一般性描述和以下的详细描述仅仅是示例性和解释性的,并不是对权利要求的限制。

附图说明

[0015] 合并到本公开中并构成本公开的一部分的附图图示了各种公开的实施例。附图中:

[0016] 图1A是图示与所公开的实施例一致的示例性激光雷达系统的图。

[0017] 图1B是图示与所公开的实施例一致的、安装在车辆上的激光雷达系统的单个扫描周期的示例性输出的图像。

[0018] 图1C是图示从与所公开的实施例一致的激光雷达系统的输出而确定的点云模型的表示的另一个图像。

[0019] 图2A、图2B、图2C、图2D、图2E、图2F和图2G是图示根据本公开的一些实施例的投射单元的不同配置的图。

[0020] 图3A、图3B、图3C和图3D是图示根据本公开的一些实施例的扫描单元的不同配置的图。

[0021] 图4A、图4B、图4C、图4D和图4E是图示根据本公开的一些实施例的感测单元的不同配置的图。

[0022] 图5A包括图示对于视场的单个部分的单个帧时间中的发射模式的四个示例图。

[0023] 图5B包括图示对于整个视场的单个帧时间中的发射方案的三个示例图。

[0024] 图5C是图示对于整个视场的单个帧时间期间朝着投射的实际光发射和接收的反射的图。

[0025] 图6A、图6B和图6C是图示与本公开的一些实施例一致的第一示例实现方式的图。

[0026] 图6D是图示与本公开的一些实施例一致的第二示例实现方式的图。

[0027] 图7A和图7B是图示与本公开的一些实施例一致的示例性MEMS反射镜组件的图。

[0028] 图8是图示与本公开的一些实施例一致的示例性MEMS反射镜组件的图。

[0029] 图9是与本公开的一些实施例一致的用于操作MEMS反射镜组件的示例性处理的流

程图。

[0030] 图10A、图10B和图10C是图示与本公开的一些实施例一致的示例性电光系统的图。

[0031] 图11A和图11B是图示与本公开的一些实施例一致的示例性电光系统的图。

[0032] 图12是与本公开的一些实施例一致的用于操作电光系统的示例性处理的流程图。

具体实施方式

[0033] 以下详细描述参考附图。只要有可能，在附图和以下描述中使用相同的标号表示相同或相似的部分。尽管本文描述了若干说明性实施例，但修改、改编和其他实现方式是可能的。例如，可以对附图中所图示的部件进行替换、添加或修改，并且可以通过对所公开的方法的步骤进行替换、重新排序、移除或添加来修改本文描述的说明性方法。因而，以下详细描述不限于所公开的实施例和示例。相反，适当的范围由所附权利要求限定。

[0034] 术语定义

[0035] 所公开的实施例可以涉及光学系统。如本文所使用的，术语“光学系统”广泛地包括用于生成、检测和/或操纵光的任何系统。仅作为示例，光学系统可以包括一个或多个用于生成、检测和/或操纵光的光学部件。例如，光源、透镜、反射镜、棱镜、分束器、准直器、偏振光学器件、光学调制器、光学开关、光学放大器、光学检测器、光学传感器、光纤组件、半导体光学部件，尽管不是每个都是必需的，但每个都可以成为光学系统的一部分。除了一个或多个光学部件之外，光学系统还可以包括其他非光学部件，诸如电子部件、机械部件、化学反应部件和半导体部件。非光学部件可以与光学系统的光学部件合作。例如，光学系统可以包括至少一个用于分析检测到的光的处理器。

[0036] 与本公开一致，光学系统可以是激光雷达系统。如本文所使用的，术语“激光雷达系统”广泛地包括可以基于反射光来确定指示一对有形物体之间的距离的参数值的任何系统。在一个实施例中，激光雷达系统可以基于由激光雷达系统发射的光的反射来确定一对有形物体之间的距离。如本文所使用的，术语“确定距离”广泛地包括生成指示有形物体对之间的距离的输出。所确定的距离可以表示一对有形物体之间的物理维度。仅作为示例，所确定的距离可以包括激光雷达系统与激光雷达系统的视场中的另一个有形物体之间的飞行距离线。在另一个实施例中，激光雷达系统可以基于由激光雷达系统发射的光的反射来确定一对有形物体之间的相对速度。指示一对有形物体之间的距离的输出的示例包括：有形物体之间的标准长度单位的数量（例如，米数、英寸数、公里数、毫米数）、任何长度单位的数量（例如，激光雷达系统长度的数量）、距离与另一个长度之比（例如，与在激光雷达系统的视场中检测到的物体的长度之比）、时间量（例如，以标准单位、任何单位或比率给出的，例如，光在有形物体之间行进所花费的时间）、一个或多个位置（例如，使用协定的坐标系指定的、相对于已知位置指定的），等等。

[0037] 激光雷达系统可以基于反射光来确定一对有形物体之间的距离。在一个实施例中，激光雷达系统可以处理传感器的检测结果，该结果产生指示光信号的发射与由传感器检测到该光信号的时间之间的时间段的时间信息。该时间段有时被称为光信号的“飞行时间”。在一个示例中，光信号可以是短脉冲，其上升和/或下降时间可以在接收时被检测到。使用关于在相关介质（通常是空气）中光速的已知信息，可以处理关于光信号的飞行时间的信息，以提供光信号在发射和检测之间行进的距离。在另一个实施例中，激光雷达系统可以

基于频率相移(或多频率相移)来确定距离。具体而言,激光雷达系统可以处理指示光信号的一个或多个调制相移的信息(例如,通过求解一些联立方程以给出最终测量)。例如,可以用一个或多个恒定频率对所发射的光学信号进行调制。所发射的信号和检测到的反射之间的调制的至少一个相移可以指示光在发射和检测之间行进的距离。调制可以应用于连续波光信号、准连续波光信号或另一种类型的发射光信号。要注意的是,激光雷达系统可以使用附加信息以确定距离,例如,信号的投射位置、检测位置(尤其是如果彼此远离的话)之间的位置信息(例如,相对位置),等等。

[0038] 在一些实施例中,激光雷达系统可以被用于检测激光雷达系统的环境中的多个物体。术语“检测激光雷达系统的环境中的物体”广泛地包括生成指示朝着与激光雷达系统相关联的检测器反射光的物体的信息。如果激光雷达系统检测到多于一个物体,那么所生成的与不同物体有关的信息可以互连,例如小汽车在道路上行驶、鸟儿坐在树上、男人接触自行车、货车朝着建筑物移动。激光雷达系统在其中检测物体的环境的维度可以因实现方式而异。例如,激光雷达系统可以被用于检测其上安装有激光雷达系统的车辆的环境中的多个物体,直至100m(或200m、300m等等)的水平距离,并且直至10米(或25米、50米等等)的垂直距离。在另一个示例中,激光雷达系统可以被用于检测车辆的环境中或预定义水平范围(例如,25°、50°、100°、180°等等)内的多个物体,并且直至预定义的垂直高程(例如,±10°、±20°、+40°-20°、±90°或0°-90°)。

[0039] 如本文所使用的,术语“检测物体”可以广泛地指确定物体的存在(例如,物体可以相对于激光雷达系统和/或另一个参考位置存在于某个方向上,或者物体可以存在于某个空间体积中)。附加地或可替代地,术语“检测物体”可以指确定物体与另一个位置(例如,激光雷达系统的位置、地表上的位置或另一个物体的位置)之间的距离。附加地或可替代地,术语“检测物体”可以指识别物体(例如,对物体的类型进行分类,诸如小汽车、植物、树、道路;分辨具体的物体(例如,华盛顿纪念碑);确定车牌号;确定物体的成分(例如,固体、液体、透明、半透明);确定物体的运动学参数(例如,它是否在移动、它的速度、它的移动方向、物体的膨胀)。附加地或可替代地,术语“检测物体”可以指生成点云图,其中点云图的一个或多个点中的每个点与物体中的位置或其面(face)上的位置对应。在一个实施例中,与视场的点云图表示相关联的数据分辨率可以与视场的0.1°x0.1°或0.3°x0.3°相关联。

[0040] 与本公开一致,术语“物体”广泛地包括可以从其至少一部分反射光的物质的有限成分。例如,物体可以至少部分是固体的(例如,小汽车、树);至少部分是液体的(例如,道路上的水坑、雨水);至少部分是气态的(例如,烟雾、云);由多种独特颗粒组成(例如,沙尘暴、雾、喷雾);并且可以是一个或多个量值规模,诸如约1毫米(mm)、约5mm、约10mm、约50mm、约100mm、约500mm、约1米(m)、约5m、约10m、约50m、约100m,等等。还可以检测更小或更大的物体,以及那些示例之间的任何尺寸。要注意的是,出于各种原因,激光雷达系统可以检测物体的仅一部分。例如,在一些情况下,光可以仅从物体的一些侧面反射(例如,将仅检测与激光雷达系统相对的一侧);在其他情况下,光可以仅投射在物体的一部分上(例如,投射到道路或建筑物上的激光束);在其他情况下,物体可以被激光雷达系统和被检测物体之间的另一个物体部分地阻挡;在其他情况下,激光雷达的传感器可以仅检测从物体的一部分反射的光,例如,因为环境光或其他干扰与物体的一些部分的检测发生干扰。

[0041] 与本公开一致,激光雷达系统可以被配置为通过扫描激光雷达系统的环境来检测

物体。术语“扫描激光雷达系统的环境”广泛地包括照亮激光雷达系统的视场或视场的一部分。在一个示例中,扫描激光雷达系统的环境可以通过移动或枢转光偏转器以使光在不同方向上朝着视场的不同部分偏转来实现。在另一个示例中,扫描激光雷达系统的环境可以通过改变传感器相对于视场的定位(即,位置和/或朝向)来实现。在另一个示例中,扫描激光雷达系统的环境可以通过改变光源相对于视场的定位(即,位置和/或朝向)来实现。在又一个示例中,扫描激光雷达系统的环境可以通过改变至少一个光源和至少一个传感器的位置以相对于视场刚性地移动(即,至少一个传感器与至少一个光源的相对距离和朝向保持)来实现。

[0042] 如本文所使用的,术语“激光雷达系统的视场”可以广泛地包括激光雷达系统的、可以在其中检测物体的可观察环境的范围。要注意的是,激光雷达系统的视场(FOV)可以受到各种条件的影响,诸如但不限于:激光雷达系统的朝向(例如,是激光雷达系统的光轴的方向);激光雷达系统相对于环境的位置(例如,地面之上的距离以及相邻的地形和障碍物);激光雷达系统的操作参数(例如,发射功率、计算设置、定义的操作角度)等等。激光雷达系统的视场可以例如通过立体角来定义(例如,使用 ϕ 、 θ 角定义,其中 ϕ 和 θ 是例如相对于激光雷达系统和/或其FOV的对称轴而在垂直平面中定义的角度)。在一个示例中,视场也可以被定义在某个范围内(例如,直至200m)。

[0043] 类似地,术语“瞬时视场”可以广泛地包括激光雷达系统可以在任何给定时刻在其中检测物体的可观察环境的范围。例如,对于扫描激光雷达系统,瞬时视场比激光雷达系统的整个FOV窄,并且它可以在激光雷达系统的FOV内被移动,以便使得能够在激光雷达系统的FOV的其他部分中进行检测。瞬时视场在激光雷达系统的FOV内的移动可以通过移动激光雷达系统的(或在激光雷达系统的外部的)光偏转器来实现,以便在不同方向将光束偏转到激光雷达系统和/或从激光雷达系统偏转。在一个实施例中,激光雷达系统可以被配置为扫描激光雷达系统正在其中操作的环境中的场景。如本文所使用的,术语“场景”可以广泛地包括在激光雷达系统的视场内的、在其相对位置中且在其当前状态下、在激光雷达系统的操作持续时间内的一些或所有物体。例如,场景可以包括地面元素(例如,地表、道路、草地、人行道、路面标记)、天空、人造物体(例如,车辆、建筑物、标志)、植被、人、动物、光投射元素(例如,手电筒、太阳、其他激光雷达系统),等等。

[0044] 所公开的实施例可以涉及获得在生成重构三维模型时使用的信息。可以使用的重构三维模型的类型的示例包括点云模型和多边形网格(例如,三角形网格)。术语“点云”和“点云模型”在本领域中是众所周知的,并且应当被解释为包括在某种坐标系中空间定位的数据点(即,在由相应坐标系描述的空间中具有可识别的位置)的集合。术语“点云点”指空间中的点(可以是无量纲的,或微小的细胞空间,例如 1cm^3),并且其位置可以通过点云模型使用一组坐标(例如, (X,Y,Z) 、 (r,ϕ,θ))来描述。仅作为示例,点云模型可以存储用于其一些或所有点的附加信息(例如,对于从相机图像生成的点的颜色信息)。同样,任何其他类型的重构三维模型可以存储其一些或所有物体的附加信息。相似地,术语“多边形网格”和“三角形网格”在本领域中是众所周知的,并且应当被解释为包括限定一个或多个3D物体(诸如多面体物体)的形状的顶点、边和面的集合。这些面可以包括以下当中的一个或多个:三角形(三角形网格)、四边形或其他简单的凸多边形,因为这可以简化渲染。这些面还可以包括更一般的凹多边形或具有孔的多边形。多边形网格可以使用不同的技术来表示,诸如:

顶点-顶点网格、面-顶点网格、翼形边网格和渲染动态网格。多边形网格的不同部分(例如,顶点、面、边)或者直接地和/或相对于彼此地,在空间上位于某种坐标系中(即,在由相应坐标系描述的空间中具有可识别的位置)。重构三维模型的生成可以使用任何标准的、专用的和/或新颖的摄影测量技术来实现,其中许多技术在本领域中已知的。要注意的是,激光雷达系统可以生成其他类型的环境模型。

[0045] 与所公开的实施例一致,激光雷达系统可以包括至少一个投射单元,其具有被配置为投射光的光源。如本文所使用的,术语“光源”广泛地指被配置为发射光的任何设备。在一个实施例中,光源可以是激光器,诸如固态激光器、激光二极管、高功率激光器,或替代光源(诸如基于发光二极管(LED)的光源)。此外,如贯穿图所示,光源112可以以不同格式发射光,诸如光脉冲、连续波(CW)、准CW等等。例如,可以使用的一种类型的光源是垂直腔面发射激光器(VCSEL)。可以使用的另一种类型的光源是外腔二极管激光器(ECDL)。在一些示例中,光源可以包括被配置为发射波长在大约650nm和1150nm之间的光的激光二极管。可替代地,光源可以包括被配置为发射波长在大约800nm和大约1000nm之间、大约850nm和大约950nm之间或者大约1300nm和大约1600nm之间的光的激光二极管。除非另有说明,否则关于数值的术语“大约”被定义为相对于所称值有直至5%的变化。下面参考图2A-2C描述关于投射单元和至少一个光源的附加细节。

[0046] 与所公开的实施例一致,激光雷达系统可以包括至少一个扫描单元,该扫描单元具有至少一个光偏转器,该光偏转器被配置为偏转来自光源的光,以便扫描视场。术语“光偏转器”广泛地包括被配置为使光偏离其原始路径的任何机制或模块;例如,反射镜、棱镜、可控透镜、机械反射镜、机械扫描多边形、主动衍射(例如,可控LCD)、Risley棱镜、非机械电光束转向(诸如由Vscient制造)、偏振光栅(诸如由Boulder Non-Linear Systems提供)、光学相控阵(OPA),等等。在一个实施例中,光偏转器可以包括多个光学部件,诸如至少一个反射元件(例如,反射镜)、至少一个折射元件(例如,棱镜、透镜)等等。在一个示例中,光偏转器可以是可移动的,以使光偏离到不同的度数(例如,离散的度数,或者在连续的度数跨度内)。光偏转器可以可选地以不同方式可控(例如,偏转到度数 α 、将偏转角度改变 $\Delta\alpha$ 、将光偏转器的部件移动M毫米、改变偏转角度改变的速度)。此外,光偏转器可以可选地可操作为在单个平面(例如, θ 坐标)内改变偏转的角度。光偏转器可以可选地可操作为在两个非平行平面(例如, θ 和 ϕ 坐标)内改变偏转的角度。可替代地或附加地,光偏转器可以可选地可操作为在预定设置之间(例如,沿着预定义的扫描路线)或以其他方式改变偏转的角度。关于光偏转器在激光雷达系统中的使用,要注意的是,光偏转器可以在外传(outbound)方向(也称为发送方向或TX)上使用,以将来自光源的光偏转到视场的至少一部分。但是,光偏转器也可以在传入(inbound)方向(也称为接收方向或RX)上使用,以将来自视场的至少一部分的光偏转到一个或多个光传感器。下面参考图3A-3C描述关于扫描单元和至少一个光偏转器的附加细节。

[0047] 所公开的实施例可以涉及使光偏转器枢转,以便扫描视场。如本文所使用的,术语“枢转”广泛地包括物体(尤其是固体物体)围绕一个或多个旋转轴的旋转,同时基本维持旋转中心固定。在一个实施例中,光偏转器的枢转可以包括光偏转器围绕固定轴(例如,心轴(shaft))的旋转,但不一定如此。例如,在一些MEMS反射镜实现方式中,MEMS反射镜可以通过致动连接到反射镜的多个弯曲器(bender)而移动,该反射镜除了旋转之外还可以经历一

些空间平移。不过,这种反射镜可以被设计成围绕基本固定的轴旋转,因此与本公开内容一致,它被认为是枢转的。在其他实施例中,一些类型的光偏转器(例如,非机械电光束转向,OPA)不要求任何移动部件或内部移动以便改变偏转光的偏转角度。要注意的是,关于移动或枢转光偏转器的任何讨论在经过必要的改动后也适用于控制光偏转器,使得其改变光偏转器的偏转行为。例如,控制光偏转器可以引起从至少一个方向到达的光束的偏转角度的改变。

[0048] 所公开的实施例可以涉及接收与视场的、与光偏转器的单个瞬时位置对应的一部分相关联的反射。如本文所使用的,术语“光偏转器的瞬时位置”(也称为“光偏转器的状态”)广泛地指光偏转器的至少一个受控部件在瞬时时间点或在短的时间跨度内所位于的空间中的地点或位置。在一个实施例中,光偏转器的瞬时位置可以相对于参考系进行测量。参考系可以与激光雷达系统中的至少一个固定点有关。可替代地,例如,参考系可以与场景中的至少一个固定点有关。在一些实施例中,光偏转器的瞬时位置可以包括光偏转器的一个或多个部件(例如,反射镜、棱镜)的一些移动,通常是移动到相对于视场的扫描期间的最大变化度的有限度。例如,激光雷达系统的整个视场的扫描可以包括在 30° 的跨度上改变光的偏转,并且至少一个光偏转器的瞬时位置可以包括光偏转器在 0.05° 以内的角移位。在其他实施例中,术语“光偏转器的瞬时位置”可以指光的获取期间光偏转器的位置,该光被处理以提供用于由激光雷达系统生成的点云(或另一种类型的3D模型)的单个点的数据。在一些实施例中,光偏转器的瞬时位置可以与固定位置或朝向对应,其中,该偏转器在激光雷达视场的特定子区域的照明期间以该固定位置或朝向暂停一小段时间。在其他情况下,光偏转器的瞬时位置可以与沿着光偏转器的被扫描的位置/朝向范围的某个位置/朝向对应,该光偏转器通过该位置/朝向以作为激光雷达视场的连续或半连续扫描的一部分。在一些实施例中,光偏转器可以被移动,使得在激光雷达FOV的扫描周期期间,光偏转器位于多个不同的瞬时位置。换句话说,在扫描周期发生的时间段期间,偏转器可以被移动通过一系列不同的瞬时位置/朝向,并且偏转器可以在扫描周期期间的不同时间到达每个不同的瞬时位置/朝向。

[0049] 与所公开的实施例一致,激光雷达系统可以包括至少一个具有至少一个传感器的感测单元,该传感器被配置为检测来自视场中的物体的反射。术语“传感器”广泛地包括能够测量电磁波的特性(例如,功率、频率、相位、脉冲定时、脉冲持续时间)并生成与测得的特性相关的输出的任何设备、元件或系统。在一些实施例中,至少一个传感器可以包括由多个检测元件构成的多个检测器。至少一个传感器可以包括一种或多种类型的光传感器。要注意的是,至少一个传感器可以包括多个相同类型的传感器,这些传感器可以在其他特点(例如,灵敏度、尺寸)方面有所不同。也可以使用其他类型的传感器。可以出于不同的原因使用若干类型的传感器的组合,诸如为了改进范围跨度上(尤其是近的范围内的)检测;改进传感器的动态范围;改进传感器的时间响应;以及改进在变化的环境条件(例如,大气温度、雨水等等)下的检测。在一个实施例中,至少一个传感器包括SiPM(硅光电倍增器),它是由雪崩光电二极管(APD)、单光子雪崩二极管(SPAD)的阵列构建的固态单光子敏感设备,用作公共硅基板上的检测元件。在一个示例中,SPAD之间的典型距离可以在大约 $10\mu\text{m}$ 和大约 $50\mu\text{m}$ 之间,其中每个SPAD可以具有在大约 20ns 和大约 100ns 之间的恢复时间。也可以使用来自其他非硅材料的相似光电倍增管。虽然SiPM设备以数字/开关模式工作,但SiPM是模拟设备,

因为所有的微单元 (microcell) 可以被并行读取, 从而使得其能够生成由不同SPAD检测的、从单个光子到成千上万个光子的动态范围内的信号。要注意的是, 来自不同类型的传感器 (例如, SPAD、APD、SiPM、PIN二极管、光电检测器) 的输出可以组合在一起, 成为可以由激光雷达系统的处理器处理的单个输出。下面参考图4A-4C描述关于感测单元和至少一个传感器的附加细节。

[0050] 与所公开的实施例一致, 激光雷达系统可以包括被配置为执行不同功能的至少一个处理器或与之通信。至少一个处理器可以构成具有对一个或多个输入执行逻辑运算的电路的任何物理设备。例如, 至少一个处理器可以包括一个或多个集成电路 (IC), 包括专用集成电路 (ASIC)、微芯片、微控制器、微处理器、中央处理单元 (CPU) 的全部或部分、图形处理单元 (GPU)、数字信号处理器 (DSP)、现场可编程门阵列 (FPGA) 或者适于执行指令或执行逻辑运算的其他电路。由至少一个处理器执行的指令可以例如被预加载到与控制器集成的或嵌入在控制器中的存储器中, 或者可以存储在分离的存储器中。存储器可以包括随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、硬盘、光盘、磁介质、闪存, 其他永久、固定或易失性存储器, 或者能够存储指令的任何其他机制。在一些实施例中, 存储器被配置为存储代表关于激光雷达系统的环境中的物体的数据的信息。在一些实施例中, 至少一个处理器可以包括多于一个处理器。每个处理器可以具有相似的构造, 或者处理器可以具有彼此电连接或断开的不同构造。例如, 处理器可以是分离的电路或集成在单个电路中。当使用多于一个处理器时, 处理器可以被配置为独立地或协作地操作。处理器可以以电、磁、光学、声学、机械或通过允许它们交互的其他手段来耦合。下面参考图5A-5C描述处理单元和至少一个处理器的附加细节。

[0051] 系统概述

[0052] 图1A图示了激光雷达系统100, 其包括投射单元102、扫描单元104、感测单元106和处理单元108。激光雷达系统100可以是可安装在车辆110上的。与本公开的实施例一致, 投射单元102可以包括至少一个光源112, 扫描单元104可以包括至少一个光偏转器114, 感测单元106可以包括至少一个传感器116, 并且处理单元108可以包括至少一个处理器118。在一个实施例中, 至少一个处理器118可以被配置为协调至少一个光源112的操作与至少一个光偏转器114的移动, 以便扫描视场120。在扫描周期期间, 至少一个光偏转器114的每个瞬时位置可以与视场120的特定部分122相关联。此外, 激光雷达系统100可以包括至少一个可选的光学窗口124, 用于引导朝着视场120投射的光和/或接收从视场120中的物体反射的光。可选的光学窗口124可以用于不同的目的, 诸如投射光的准直和反射光的聚焦。在一个实施例中, 可选的光学窗口124可以是开口、平坦窗口、透镜或任何其他类型的光学窗口。

[0053] 与本公开一致, 激光雷达系统100可以用在自主或半自主道路车辆 (例如, 小汽车、公共汽车、货车、卡车和任何其他陆地车辆) 中。具有激光雷达系统100的自主道路车辆可以扫描他们的环境并且在没有人类输入的情况下驾驶到目的地车辆。类似地, 激光雷达系统100也可以用在自主/半自主飞行器 (例如, UAV、无人驾驶飞机、四轴飞行器和任何其他空中飞行器或设备) 中; 或自主或半自主水上船舶 (例如, 船、轮船、潜水艇或任何其他船只) 中。具有激光雷达系统100的自主飞行器和水运船可以扫描他们的环境并且自主地或使用远程操作员导航到目的地。根据一个实施例, 车辆110 (道路车辆、飞行器或水运船只) 可以使用激光雷达系统100来帮助检测和扫描车辆110正在其中操作的环境。

[0054] 应当注意,激光雷达系统100或其任何部件可以与本文公开的任何示例实施例和方法一起使用。此外,尽管激光雷达系统100的一些方面是相对于示例性的基于车辆的激光雷达平台来描述的,但激光雷达系统100、其任何部件或本文描述的任何处理可以适用于其他平台类型的激光雷达系统。

[0055] 在一些实施例中,激光雷达系统100可以包括用以扫描车辆110周围的环境的一个或多个扫描单元104。激光雷达系统100可以附连或安装到车辆110的任何部分。感测单元106可以接收来自车辆110的周围环境的反射,并将指示从视场120中的物体反射的光的反射信号传送到处理单元108。与本公开一致,扫描单元104可以安装到或并入到保险杠、挡泥板、侧板、扰流板、车顶、前灯组件、尾灯组件、后视镜组件、发动机罩、后备箱或车辆110的能够容纳激光雷达系统的至少一部分的任何其他合适的部分中。在一些情况下,激光雷达系统100可以捕获车辆110的环境的完整环绕视图。因此,激光雷达系统100可以具有360度水平视场。在一个示例中,如图1A中所示,激光雷达系统100可以包括安装在车辆110的车顶上的单个扫描单元104。可替代地,激光雷达系统100可以包括多个扫描单元(例如,两个、三个、四个或更多个扫描单元104),每个扫描单元都具有视场,使得总体水平视场被围绕车辆110的360度扫描所覆盖。本领域技术人员将认识到的是,激光雷达系统100可以包括以任何方式布置的任何数量的扫描单元104,取决于所采用的单元的数量,每个扫描单元具有80°至120°或更小的视场。而且,还可以通过在车辆110上安装多个激光雷达系统100来获得360度水平视场,每个激光雷达系统100具有单个扫描单元104。不过,要注意的是,一个或多个激光雷达系统100不必提供完整的360°视场,并且较窄的视场在一些情况下可以是有用的。例如,车辆110可以要求看向车辆前方的具有75°视场的第一激光雷达系统100,以及可能地要求向后看的具有相似FOV的第二激光雷达系统100(可选地具有较低的检测范围)。还要注意的,也可以实现不同的垂直视场角。

[0056] 图1B是示出与所公开的实施例一致的、来自安装在车辆110上的激光雷达系统100的单个扫描周期的示例性输出的图像。在这个示例中,扫描单元104并入到车辆110的右前灯组件中。图像中的每个灰点与从由感测单元106检测到的反射而确定的车辆110周围的环境中的位置对应。除了位置之外,每个灰点也可以与不同类型的信息相关联,例如,强度(例如,从那个位置返回多少光)、反射率、与其他点的接近度等等。在一个实施例中,激光雷达系统100可以根据视场的多个扫描周期的检测到的反射,生成多个点云数据条目,以使得能够例如确定车辆110周围的环境的点云模型。

[0057] 图1C是示出从激光雷达系统100的输出而确定的点云模型的表示的图像。与所公开的实施例一致,通过处理所生成的车辆110周围的环境的点云数据条目,可以从点云模型产生环绕视图图像。在一个实施例中,可以将点云模型提供给特征提取模块,该特征提取模块处理点云信息,以识别多个特征。每个特征可以包括关于点云和/或车辆110周围的环境中的物体(例如,小汽车、树、人和道路)的不同方面的数据。特征可以具有与点云模型相同的分辨率(即,具有相同数量的数据点,可选地布置成相似尺寸的2D阵列),或者可以具有不同的分辨率。特征可以存储在任何种类的数据结构中(例如,光栅、向量、2D阵列、1D阵列)。此外,虚拟特征(诸如车辆110的表示、边界线、或分离图像中的区域或物体的边界框(例如,如图1B中所描绘的),以及表示一个或多个识别出的物体的图标)可以覆盖在点云模型的表示上,以形成最终的环绕视图图像。例如,车辆110的符号可以覆盖在环绕视图图像的中心

上。

[0058] 投射单元

[0059] 图2A-2G描绘了投射单元102的各种配置及其在激光雷达系统100中的作用。具体而言,图2A是图示具有单个光源的投射单元102的示意图;图2B是图示具有瞄准公共光偏转器114的多个光源的多个投射单元102的示意图;图2C是图示具有主光源和辅助光源112的投射单元102的示意图;图2D是图示用在投射单元102的一些配置中的不对称偏转器的示意图;图2E是图示非扫描激光雷达系统的第一配置的示意图;图2F是图示非扫描激光雷达系统的第二配置的示意图;以及图2G是在外传方向扫描但在传入方向不扫描的激光雷达系统的示意图。本领域技术人员将认识到,投射单元102的所描绘的配置可以具有许多变化和修改。

[0060] 图2A图示了激光雷达系统100的收发分置 (bi-static) 配置的示例,其中投射单元102包括单个光源112。术语“收发分置配置”广泛地指这样的激光雷达系统配置,其中离开激光雷达系统的投射光和进入激光雷达系统的反射光穿过基本不同的光学路径。在一些实施例中,激光雷达系统100的收发分置配置可以包括通过使用完全不同的光学部件、通过使用平行但不完全分离的光学部件、或者通过对仅部分光学路径使用相同的光学部件(光学部件可以包括例如窗口、透镜、反射镜、分束器等等)来分离光学路径。在图2A所描绘的示例中,收发分置配置包括其中外传光和传入光穿过单个光学窗口124的配置,但是扫描单元104包括两个光偏转器,用于外传光的第一光偏转器114A和用于传入光的第二光偏转器114B(激光雷达系统中的传入光包括从场景中的物体反射的发射光,并且还可以包括从其他源到达的环境光)。在图2E和图2G所描绘的示例中,收发分置配置包括其中外传光穿过第一光学窗口124A以及传入光穿过第二光学窗口124B的配置。在上述所有示例配置中,传入和外传光学路径互不相同。

[0061] 在这个实施例中,激光雷达系统100的所有部件可以包含在单个壳体200内,或者可以在多个壳体之间划分。如图所示,投射单元102与包括被配置为发射光(投射光204)的激光二极管202A(或耦合在一起的一个或多个激光二极管)的单个光源112相关联。在一个非限制性示例中,由光源112投射的光可以为大约800nm和950nm之间的波长,具有在大约50mW和大约500mW之间的平均功率,具有在大约50W和大约200W之间的峰值功率,以及大约2ns和大约100ns之间的脉冲宽度。此外,光源112可以可选地与用于操纵由激光二极管202A发射的光的光学组件202B相关联(例如,以用于准直、聚焦等等)。要注意的是,可以使用其他类型的光源112,并且本公开不限于激光二极管。此外,光源112可以以不同的格式发射光,诸如光脉冲、频率调制、连续波(CW)、准CW或者与所采用的特定光源对应的任何其他形式。投射格式和其他参数可以基于诸如来自处理单元108的指令之类的不同的因素不时地被光源改变。投射光朝着外传偏转器114A被投射,该外传偏转器114A用作用于在视场120中引导投射光的转向元件。在这个示例中,扫描单元104还包括可枢转的返回偏转器114B,该返回偏转器114B将从视场120内的物体208反射回来的光子(反射光206)朝着传感器116引导。反射光被传感器116检测,并且关于物体的信息(例如,到物体212的距离)由处理单元108确定。

[0062] 在这个图中,激光雷达系统100连接到主机210。与本公开一致,术语“主机”指可以与激光雷达系统100接口的任何计算环境,它可以是车辆系统(例如,车辆110的部分)、测试

系统、安全性系统、监视系统、交通控制系统、城市建模系统、或者监视其周围环境的任何系统。这样的计算环境可以包括至少一个处理器和/或可以经由云连接到激光雷达系统100。在一些实施例中,主机210还可以包括到外部设备的接口,外部设备诸如被配置为测量主机210的不同特点(例如,加速度、方向盘偏转、反向驾驶等等)的相机和传感器。与本公开一致,激光雷达系统100可以固定到与主机210相关联的静止物体(例如,建筑物、三脚架)或固定到与主机210相关联的便携式系统(例如,便携式计算机、电影摄像机)。与本公开一致,激光雷达系统100可以连接到主机210,以向主机210提供激光雷达系统100的输出(例如,3D模型、反射率图像)。具体而言,主机210可以使用激光雷达系统100来帮助检测和扫描主机210的环境或任何其他环境。此外,主机210可以将激光雷达系统100的输出与其他感测系统(例如,相机、麦克风、雷达系统)的输出集成、同步或以其他方式一起使用。在一个示例中,激光雷达系统100可以由安全性系统使用。

[0063] 激光雷达系统100还可以包括互连子系统和部件的总线212(或其他通信机制),用于在激光雷达系统100内传送信息。可选地,总线212(或另一种通信机制)可以被用于互连激光雷达系统100与主机210。在图2A的示例中,处理单元108包括两个处理器118,以至少部分地基于从激光雷达系统100的内部反馈接收的信息,以协调的方式调整投射单元102、扫描单元104和感测单元106的操作。换句话说,处理单元108可以被配置为在闭环中动态地操作激光雷达系统100。闭环系统的特征在于具有来自至少一个元件的反馈和基于接收到的反馈更新一个或多个参数。而且,闭环系统可以接收反馈,并至少部分地基于该反馈更新其自己的操作。动态系统或元件是可以在操作期间被更新的系统或元件。

[0064] 根据一些实施例,扫描激光雷达系统100周围的环境可以包括用光脉冲照亮视场120。光脉冲可以具有以下参数,诸如:脉冲持续时间、脉冲角色散、波长、瞬时功率、距光源112不同距离处的光子密度、平均功率、脉冲功率强度、脉冲宽度、脉冲重复率、脉冲序列、脉冲占空比、波长、相位、偏振,等等。扫描激光雷达系统100周围的环境还可以包括检测和表征反射光的各方面。反射光的特点可以包括例如:飞行时间(即,从发射直到检测的时间)、瞬时功率(例如,功率特征)、整个返回脉冲的平均功率、以及返回脉冲时段的光子分布/信号。通过比较光脉冲的特点与对应反射的特点,可以估计物体212的距离以及有可能的物理特点(诸如反射强度)。通过以预定义的模式(例如,光栅、Lissajous或其他模式)在多个相邻部分122上重复这个处理,可以实现视场120的整个扫描。如下面更详细地讨论的,在一些情况下,激光雷达系统100可以在每个扫描周期将光引导到视场120中的仅一些部分122。这些部分可以彼此相邻,但不一定如此。

[0065] 在另一个实施例中,激光雷达系统100可以包括用于与主机210(例如,车辆控制器)通信的网络接口214。激光雷达系统100和主机210之间的通信由虚线箭头表示。在一个实施例中,网络接口214可以包括集成服务数字网(ISDN)卡、电缆调制解调器、卫星调制解调器、或提供与对应类型的电话线的数据通信连接的调制解调器。作为另一个示例,网络接口214可以包括局域网(LAN)卡,以提供与兼容LAN的数据通信连接。在另一个实施例中,网络接口214可以包括连接到射频接收器和发送器和/或光学(例如,红外)接收器和发送器的以太网端口。网络接口214的具体设计和实现方式取决于激光雷达系统100和主机210要在其上操作的(一个或多个)通信网络。例如,网络接口214可以被用于例如将激光雷达系统100的输出提供给外部系统,该输出诸如3D模型、激光雷达系统100的操作参数等等。在其他

实施例中,通信单元可以被用于例如从外部系统接收指令、接收关于被检查的环境的信息、从另一个传感器接收信息,等等。

[0066] 图2B图示了包括多个投射单元102的激光雷达系统100的收发合置配置的示例。术语“收发合置(monostatic)配置”广泛地指这样的激光雷达系统配置,其中从激光雷达系统离开的投射光和进入激光雷达系统的反射光穿过基本相似的光学路径。在一个示例中,外传光束和入射光束可以共享至少一个光学组件,外传光束和入射光束都穿过该光学组件。在另一个示例中,外传光辐射可以穿过光学窗口(未示出),并且传入光辐射可以穿过相同的光学窗口。收发合置配置可以包括这样一种配置,其中扫描单元104包括单个光偏转器114,该光偏转器114将投射光朝着视场120引导并将反射光朝着传感器116引导。如图所示,投射光204和反射光206都击中不对称偏转器216。术语“不对称偏转器”指具有两个侧面的、能够以与其偏转从一侧击中它的光束的方向不同的方向来偏转从第二侧击中它的光束的任何光学设备。在一个示例中,不对称偏转器不偏转投射光204,而是将反射光206朝着传感器116偏转。不对称偏转器的一个示例可以包括偏振分束器。在另一个示例中,不对称216可以包括仅允许光在一个方向上通过的光学隔离器。不对称偏转器216的图示在图2D中图示。与本公开一致,激光雷达系统100的收发合置配置可以包括不对称偏转器,以防止反射光击中光源112,并将所有反射光朝着传感器116引导,由此增加检测灵敏度。

[0067] 在图2B的实施例中,激光雷达系统100包括三个投射单元102,每个投射单元102具有瞄准公共光偏转器114的单个光源112。在一个实施例中,多个光源112(包括两个或更多个光源)可以投射具有基本相同波长的光,并且每个光源112一般与视场的不同区域(在图中表示为120A、120B和120C)相关联。这使得能够扫描比利用光源112可以实现的更宽的视场。在另一个实施例中,多个光源102可以投射具有不同波长的光,并且所有光源112可以被引导到视场120的相同部分(或重叠部分)。

[0068] 图2C图示了激光雷达系统100的示例,其中投射单元102包括主光源112A和辅助光源112B。主光源112A可以投射具有比对人眼敏感的更长波长的光,以便优化SNR和检测范围。例如,主光源112A可以投射波长在大约750nm和1100nm之间的光。相反,辅助光源112B可以投射具有人眼可见波长的光。例如,辅助光源112B可以投射波长在大约400nm和700nm之间的光。在一个实施例中,辅助光源112B可以沿着与由主光源112A投射的光基本相同的光学路径来投射光。两个光源可以是时间同步的并且可以一起或以交织模式投射光发射。交织模式意味着光源并非同时是激活的,这可以减轻相互干扰。本领域技术人员将容易地看到波长范围和激活时间表(schedule)的其他组合也可以实现。

[0069] 与一些实施例一致,辅助光源112B可以在它太靠近激光雷达光学输出端口时造成人眼眨眼。这可以确保眼睛安全机制,而该机制是用利用了近红外光谱的典型激光源不可行的。在另一个实施例中,辅助光源112B可以被用于服务点处的校准和可靠性,其方式与相对于车辆110在离地面一定高度处用特殊的反射器/模式进行的前灯校准有些相似。服务点处的操作员可以通过对有特征的目标(诸如距激光雷达系统100指定距离处的测试图案板)上的扫描图案的简单目视检查,来检查激光雷达的校准。此外,辅助光源112B可以提供用于激光雷达正为终端用户工作的操作置信度的手段。例如,系统可以被配置为允许人将手放在光偏转器114的前面,以测试其操作。

[0070] 辅助光源112B还可以具有不可见元件,该不可见元件在主光源112A发生故障的情

况下可以兼作备用系统。这个特征对于具有更高功能安全等级的故障安全设备是有用的。假定辅助光源112B可以是可见的,并且还由于成本和复杂性的原因,与主光源112A相比,辅助光源112B可以与更小的功率相关联。因此,在主光源112A发生故障的情况下,系统功能将回退到辅助光源112B的功能和能力集。尽管辅助光源112B的能力可能逊于主光源112A的能力,但可以以使车辆110能够安全地到达其目的地这样的方式来设计激光雷达系统100系统。

[0071] 图2D图示了可以是激光雷达系统100的一部分的不对称偏转器216。在图示的示例中,不对称偏转器216包括反射表面218(诸如反射镜)和单向偏转器220。尽管不一定如此,但不对称偏转器216可以可选地是收发配置的偏转器。不对称偏转器216可以用在激光雷达系统100的收发合置配置中,以便允许公共光学路径用于经由至少一个偏转器114发送和接收光,如图2B和图2C中所图示。但是,典型的不对称偏转器(诸如分束器)特征在于能量损失,尤其是在接收路径中,而该接收路径可能比发送路径对功率损耗更加敏感。

[0072] 如图2D中所描绘的,激光雷达系统100可以包括位于发送路径中的不对称偏转器216,其包括用于在发送光信号和接收光信号之间进行分离的单向偏转器220。可选地,单向偏转器220可以对发送光基本是透明的,并且对接收光基本是反射性的。发送光由投射单元102生成并且可以通过单向偏转器220行进到扫描单元104,该扫描单元104使其朝着光学出口偏转。接收光通过光学入口到达至少一个偏转元件114,该偏转元件114将反射信号偏转到远离光源并朝着感测单元106的分离路径中。可选地,不对称偏转器216可以与偏振光源112组合,该偏振光源112利用与单向偏转器220相同的偏振轴被线性地偏振。值得注意的是,外传光束的横截面远小于反射信号的横截面。因而,激光雷达系统100可以包括一个或多个光学部件(例如,透镜、准直器),用于将发射的偏振光束聚焦或以其他方式操纵到不对称偏转器216的维度。在一个实施例中,单向偏转器220可以是对偏振光束几乎透明的偏振分束器。

[0073] 与一些实施例一致,激光雷达系统100还可以包括用于修改发射光的偏振的光学器件222(例如,四分之一波片延迟器)。例如,光学器件222可以将发射光束的线性偏振修改为圆形偏振。从视场反射回到系统100的光将通过偏转器114回到光学器件222,其承受具有相对于发送光的倒置偏手性的圆形偏振。然后,光学器件222将接收到的倒置偏手性偏振光转换成与偏振分束器216的线性偏振不在同一个轴上的线性偏振。如上面所指出的,由于穿过到目标的距离的光束的光学色散,接收光斑块(light-patch)大于发送光斑块。

[0074] 接收光中的一些将照射在单向偏转器220上,该单向偏转器220将带有一些功率损耗地使光朝着传感器106反射。但是,接收光斑块的另一个部分将落在围绕单向偏转器220(例如,偏振分束器狭缝)的反射表面218上。反射表面218将基本零功率损耗地使光朝着感测单元106反射。单向偏转器220将反射由各种偏振轴和方向组成的、将最终到达检测器的光。可选地,感测单元106可以包括传感器116,该传感器116对激光偏振不可知,并且主要对某个波长范围内的照射光子的量是敏感的。

[0075] 要注意的是,当与其中具有通孔的简单反射镜相比,所提出的不对称偏转器216提供更优秀的性能。在具有孔的反射镜中,到达该孔的所有反射光都对于检测器是损失掉的。但是,在偏转器216中,单向偏转器220使这种光的大部分(例如,大约50%)朝着相应的传感器116偏转。在激光雷达系统中,从远程距离到达激光雷达的光子数量非常有限,并且因此

光子捕获率的改进是重要的。

[0076] 根据一些实施例,描述了用于分束和转向的设备。可以从具有第一偏振的光源发射偏振光束。可以引导发射光束穿过偏振分束器组件。该偏振分束器组件在第一侧包括单向狭缝并且在相对侧包括反射镜。该单向狭缝使偏振的发射光束能够朝着四分之一波片/波延迟器行进,这将发射信号从偏振信号变为线性信号(或反之亦然),以使得随后反射的光束不能行进通过该单向狭缝。

[0077] 图2E图示了没有扫描单元104的激光雷达系统100的收发分置配置的示例。为了在没有偏转器114的情况下照亮整个视场(或基本整个视场),投射单元102可以可选地包括光源的阵列(例如,112A-112F)。在一个实施例中,光源的阵列可以包括由处理器118控制的光源的线性阵列。例如,处理器118可以使光源的线性阵列向第一可选光学窗口124A顺序投射准直激光束。第一可选光学窗口124A可以包括扩散器透镜,用于扩散投射光并顺序形成宽的水平且窄的垂直光束。可选地,系统100的至少一个光源112中的一些或全部可以同时投射光。例如,处理器118可以使光源的阵列同时从多个不相邻的光源112投射光束。在所描绘的示例中,光源112A、光源112D和光源112F同时朝着第一可选光学窗口124A投射激光束,由此用三个窄的垂直光束照亮视场。来自第四光源112D的光束可以到达视场中的物体。从物体反射的光可以被第二光学窗口124B捕获,并且可以被重定向到传感器116。图2E所描绘的配置被认为是收发分置配置,因为投射光和反射光的光学路径基本不同。要注意的是,投射单元102还可以包括多个光源112,光源112以非线性配置布置,诸如二维阵列、六边形平铺或任何其他方式。

[0078] 图2F图示了没有扫描单元104的激光雷达系统100的收发合置配置的示例。类似于图2E所示的示例实施例,为了在没有偏转器114的情况下照亮整个视场,投射单元102可以包括光源阵列(例如,112A-112F)。但是,与图2E相反,激光雷达系统100的这种配置可以包括用于投射光和用于反射光两者的单个光学窗口124。使用不对称偏转器216,反射光可以被重定向到传感器116。图2E所描绘的配置被认为是收发合置配置,因为投射光和反射光的光学路径彼此基本相似。在投射光和反射光的光学路径的上下文中,术语“基本相似”意味着两条光学路径之间的重叠可以大于80%、大于85%、大于90%或大于95%。

[0079] 图2G图示了激光雷达系统100的收发分置配置的示例。这个图中的激光雷达系统100的配置类似于图2A所示的配置。例如,两种配置都包括用于在外传方向上将投射光导向视场的扫描单元104。但是,与图2A的实施例相反,在这种配置中,扫描单元104不在传入方向上重定向反射光。相反,反射光穿过第二光学窗口124B并进入传感器116。图2G所描绘的配置被认为是收发分置配置,因为投射光和反射光的光学路径彼此基本不同。在投射光和反射光的光学路径的上下文中,术语“基本不同”意味着两条光学路径之间的重叠可以小于10%、小于5%、小于1%或小于0.25%。

[0080] 扫描单元

[0081] 图3A-3D描绘了扫描单元104的各种配置及其在激光雷达系统100中的作用。具体而言,图3A是图示具有MEMS反射镜(例如,形状为方形)的扫描单元104的图,图3B是图示具有MEMS反射镜(例如,形状为圆形)的另一个扫描单元104的图,图3C是图示具有用于收发合置扫描激光雷达系统的反射器阵列的扫描单元104的图,并且图3D是图示机械地扫描激光雷达系统100周围的环境的示例激光雷达系统100的图。本领域技术人员将认识到的是,所

描绘的扫描单元104的配置仅仅是示例性的,并且在本公开的范围内可以具有许多变化和修改。

[0082] 图3A图示了具有单轴方形MEMS反射镜300的示例扫描单元104。在这个示例中,MEMS反射镜300用作至少一个偏转器114。如图所示,扫描单元104可以包括一个或多个致动器302(具体而言,302A和302B)。在一个实施例中,致动器302可以由半导体(例如,硅)制成,并且包括响应于由致动控制器施加的电信号而改变其维度的压电层(例如,PZT、锆钛酸铅、氮化铝)、半导体层和基(base)层。在一个实施例中,致动器302的物理特性可以确定致动器302在电流通过它时所经历的机械应力。当压电材料被激活时,它在致动器302上施加力并使其弯曲。在一个实施例中,当反射镜300在某个角位置偏转时,可以在激活状态下测量一个或多个致动器302的电阻率(R_{active}),并且与休眠状态下的电阻率(R_{rest})进行比较。包括 R_{active} 的反馈可以提供信息以确定与预期角度相比的实际反射镜偏转角度,并且如果需要,可以校正反射镜300偏转。 R_{rest} 和 R_{active} 之间的差可以通过反射镜驱动而关联到角偏转值中,该角偏转值可以用来闭合环路。这个实施例可以被用于动态跟踪实际反射镜位置,并且可以优化线性模式和谐振模式MEMS反射镜方案的响应、振幅、偏转效率和频率。这个实施例在下面参考图32-34更详细地描述。

[0083] 在扫描期间,电流(在图中表示为虚线)可以从触点304A流到触点304B(通过致动器302A、弹簧306A、反射镜300、弹簧306B和致动器302B)。半导体框架308中的隔离间隙(诸如隔离间隙310)可以使致动器302A和302B成为通过弹簧306和框架308电连接的两个分离的岛。电流流动或任何相关联的电参数(电压、电流频率、电容、相对介电常数等等)可以通过相关联的位置反馈来监视。在机械故障(其中一个部件受损)的情况下,流过该结构的电流将更改并改变其功能校准值。在极端情况下(例如,当弹簧断裂时),电流将由于电气链中的电路断开而借助于故障元件而完全停止。

[0084] 图3B图示了具有双轴圆形MEMS反射镜300的另一个示例扫描单元104。在这个示例中,MEMS反射镜300用作至少一个偏转器114。在一个实施例中,MEMS反射镜300可具有大约1mm和大约5mm之间的直径。如图所示,扫描单元104可以包括四个致动器302(302A、302B、302C和302D),每个致动器可以处于不同的长度。在图示的示例中,电流(在图中表示为虚线)从触点304A流到触点304D,但在其他情况下,电流可以从触点304A流到触点304B、从触点304A流到触点304C、从触点304B流到触点304C、从触点304B流到触点304D、或从触点304C流到触点304D。与一些实施例一致,双轴MEMS反射镜可以被配置为在水平方向和垂直方向上偏转光。例如,双轴MEMS反射镜的偏转角度在垂直方向上可以在大约 0° 和 30° 之间并且在水平方向上在大约 0° 和 50° 之间。本领域技术人员将认识到的是,所描绘的反射镜300的配置可以具有许多变化和修改。在一个示例中,至少偏转器114可以具有双轴方形反射镜或单轴圆形反射镜。圆形和方形反射镜的示例仅作为示例在图3A和图3B中示出。取决于系统规格,可以采用任何形状。在一个实施例中,致动器302可以作为至少偏转器114的组成部分被并入,使得移动MEMS反射镜300的动力直接朝着它施加。此外,MEMS反射镜300可以通过一个或多个刚性支撑元件连接到框架308。在另一个实施例中,至少偏转器114可以包括静电或电磁MEMS反射镜。

[0085] 如上所述,收发合置扫描激光雷达系统利用相同光学路径的至少一部分来用于发射投射光204并用于接收反射光206。外传路径中的光束可以被准直并聚焦成窄光束,而返

回路中的反射由于色散而扩散到更大的光斑块中。在一个实施例中,扫描单元104可以在返回路径中具有大的反射区域以及具有将反射(即,反射光206)重定向到传感器116的不对称偏转器216。在一个实施例中,扫描单元104可以包括具有大的反射区域以及对视场和帧速率性能具有可以忽略不计的影响的MEMS反射镜。下面参考图2D提供关于不对称偏转器216的附加细节。

[0086] 在一些实施例中(例如,如图3C中所例示的),扫描单元104可以包括具有小的光偏转器(例如,反射镜)的偏转器阵列(例如,反射器阵列)。在一个实施例中,将光偏转器114实现为一组同步工作的较小的个体光偏转器可以允许光偏转器114以高扫描速率以较大的偏转角度来执行。就有效区域而言,偏转器阵列可以基本上充当大的光偏转器(例如,大的反射镜)。可以使用共享转向组件配置来操作该偏转器阵列,其允许传感器116从由光源112并发照亮的视场120的基本相同部分收集反射光子。术语“并发”意味着两个被选功能在重合或重叠的时间段期间发生,无论是一个在另一个的持续时间内开始和结束,还是后一个在另一个完成之前开始。

[0087] 图3C图示了扫描单元104的示例,其中反射器阵列312具有小的反射镜。在这个实施例中,反射器阵列312用作至少一个偏转器114。反射器阵列312可以包括多个被配置为枢转(单独地或一起)并朝着视场120导引光脉冲的反射器单元314。例如,反射器阵列312可以从光源112投射的光的外传路径的一部分。具体而言,反射器阵列312可以将投射光204朝着视场120的一部分引导。反射器阵列312也可以是用于从位于视场120的被照亮部分内的物体的表面反射的光的返回路径的一部分。具体而言,反射器阵列312可以将反射光206朝着传感器116或朝着不对称偏转器216引导。在一个示例中,反射器阵列312的面积可以在大约75至大约150mm²之间,其中每个反射器单元314可以具有大约10μm的宽度并且支撑结构可以小于100μm。

[0088] 根据一些实施例,反射器阵列312可以包括可转向偏转器的一个或多个子组。电可转向偏转器的每个子组可以包括一个或多个偏转器单元(诸如反射器单元314)。例如,每个可转向偏转器单元314可以包括MEMS反射镜、反射表面组件和机电致动器中的至少一个。在一个实施例中,每个反射器单元314可以由个体处理器(未示出)单独地控制,使得它可以沿着一个或两个分离的轴中的每一个轴朝着具体角度倾斜。可替代地,反射器阵列312可以与公共控制器(例如,处理器118)相关联,该公共控制器被配置为同步地管理反射器单元314的移动,使得它们中的至少一部分将并发地枢转并指向大致相同的方向。

[0089] 此外,至少一个处理器118可以选择用于外传路径的至少一个反射器单元314(在下文中称为“TX反射镜”)和用于返回路径的一组反射器单元314(在下文中称为“RX反射镜”)。与本公开一致,增加TX反射镜的数量可以增加反射光子束扩散。附加地,减少RX反射镜的数量可以缩窄接收场并补偿环境光条件(诸如云、雨、雾、极热和其他环境条件)并改进信噪比。而且,如上面所指示的,发射的光束通常比反射光斑块窄,并且因此可以被偏转阵列的一小部分完全偏转。而且,能够阻挡从偏转阵列的用于发送的部分(例如,TX反射镜)反射的光到达传感器116,由此减少激光雷达系统100的内部反射对系统操作的影响。此外,至少一个处理器118可以使一个或多个反射器单元314枢转,以克服由于例如热和增益效应引起的机械损伤和漂移。在示例中,一个或多个反射器单元314可以与预期不同地移动(频率、速率、速度等等),并且它们的移动可以通过适当地电控制偏转器来补偿。

[0090] 图3D图示了机械扫描激光雷达系统100的环境的示例性激光雷达系统100。在这个示例中,激光雷达系统100可以包括用于围绕激光雷达系统100的轴来旋转壳体200的马达或其他机制。可替代地,马达(或其他机制)可以机械地旋转激光雷达系统100的、其上安装有一个或多个光源112和一个或多个传感器116的刚性结构,由此扫描环境。如上所述,投射单元102可以包括被配置为投射光发射的至少一个光源112。投射的光发射可以沿着外传路径朝着视场120行进。具体而言,当投射光204朝着可选的光学窗口124行进时,投射的光发射可以被偏转器114A反射通过出口孔314。反射的光发射可以沿着返回路径从物体208朝着感测单元106行进。例如,当反射光206朝着感测单元106行进时,反射光206可以被偏转器114B反射。本领域技术人员将认识到的是,具有用于同步地旋转一个或多个光源或一个或多个传感器的旋转机制的激光雷达系统可以使用这种同步旋转来代替使内部光偏转器转向(或作为补充)。

[0091] 在对视场120的扫描是机械式的实施例,投射的光发射可以被引导到出口孔314,该出口孔314是将投射单元102与激光雷达系统100的其他部分分离的壁316的一部分。在一些示例中,壁316可以由涂覆有反射材料的透明材料(例如,玻璃)形成,以形成偏转器114B。在这个示例中,出口孔314可以与壁316的未涂覆反射材料的部分对应。附加地或可替代地,出口孔314可以包括在壁316中的孔或切口。反射光206可以被偏转器114B反射并且朝着感测单元106的入口孔318被引导。在一些示例中,入口孔318可以包括过滤窗口,该过滤窗口被配置为允许某个波长范围内的波长进入感测单元106并衰减其他波长。来自视场120的物体208的反射可以被偏转器114B反射并击中传感器116。通过比较反射光206与投射光204的若干特性,可以确定物体208的至少一个方面。例如,通过比较由光源112发射投射光204的时间与传感器116接收反射光206的时间,可以确定物体208和激光雷达系统100之间的距离。在一些示例中,还可以确定物体208的其他方面(诸如形状、颜色、材料等等)。

[0092] 在一些示例中,激光雷达系统100(或其一部分,包括至少一个光源112和至少一个传感器116)可以围绕至少一个轴旋转,以确定激光雷达系统100的周围环境的三维地图。例如,激光雷达系统100可以围绕基本垂直的轴旋转(如由箭头320所图示),以便扫描视场120。虽然图3D图示了激光雷达系统100围绕轴顺时针旋转(如由箭头320所图示),但是附加地或可替代地,激光雷达系统100可以以逆时针方向旋转。在一些示例中,激光雷达系统100可以围绕垂直轴旋转360度。在其他示例中,激光雷达系统100可以沿着比激光雷达系统100的360度更小的区域来回旋转。例如,激光雷达系统100可以安装在围绕轴来回摆动而不做完整旋转的平台上。

[0093] 感测单元

[0094] 图4A-4E描绘了感测单元106的各种配置及其在激光雷达系统100中的作用。具体而言,图4A是图示具有检测器阵列的示例感测单元106的图,图4B是图示使用二维传感器的收发合置扫描的图,图4C是图示二维传感器116的示例的图,图4D是图示与传感器116相关联的透镜阵列的图,并且图4E包括图示透镜结构的三个图。本领域技术人员将认识到的是,所描绘的感测单元106的配置仅仅是示例性的,并且可以具有与本公开的原理一致的许多替代变体和修改。

[0095] 图4A图示了具有检测器阵列400的感测单元106的示例。在这个示例中,至少一个传感器116包括检测器阵列400。激光雷达系统100被配置为检测视场120中位于距激光雷达

系统100不同距离处(可以是几米或更多)的物体(例如,自行车208A和云208)。物体208可以是固体物体(例如,道路、树、小汽车、人)、液体物体(例如,雾、水、大气颗粒)、或另一种类型的物体(例如,灰尘或粉末状被照亮物体)。当从光源112发射的光子击中物体208时,它们或者反射、折射或者被吸收。通常,如图所示,从物体208反射的光子的仅一部分进入可选的光学窗口124。由于每个约15cm的距离变化导致1ns的行进时间差(因为光子以光速向物体208和从物体208行进),因此通过具有足够快响应的飞行时间传感器,击中不同物体的不同光子的行进时间之间的时间差可以是可检测的。

[0096] 传感器116包括多个检测元件402,用于检测从视场120反射回的光子脉冲的光子。检测元件可以全部被包括在检测器阵列400中,检测器阵列400可以具有矩形布置(例如,如图所示)或任何其他布置。检测元件402可以彼此并发或部分并发地操作。具体而言,每个检测元件402可以对于每个采样持续时间(例如,每1纳秒)发出检测信息。在一个示例中,检测器阵列400可以是SiPM(硅光电倍增器),其是公共硅基板上的由单光子雪崩二极管(SPAD,用作检测元件402)的阵列构建的固态单光子敏感设备。也可以使用来自其他非硅材料的相似光电倍增管。虽然SiPM设备以数字/开关模式工作,但SiPM是模拟设备,因为所有的微单元是被并行读取,从而使得能够生成由不同SPAD检测的从单个光子到成千上万个光子的动态范围内的信号。如上面所提到的,可以实现多于一种类型的传感器(例如,SiPM和APD)。有可能地,感测单元106可以包括集成到SiPM阵列中的至少一个APD和/或位于分离或公共硅基板上的SiPM旁边的至少一个APD检测器。

[0097] 在一个实施例中,检测元件402可以被分组为多个区域404。这些区域是传感器116内的几何位置或环境(例如,在检测器阵列400内),并且可以被成形为不同的形状(例如,如图所示的矩形、正方形、环等等,或任何其他形状)。尽管并非包括在区域404的几何范围内的所有个体检测器都必然属于那个区域,但在大多数情况下,它们将不属于覆盖传感器310的其他范围的其他区域404,除非在区域之间的接缝中期望一些重叠。如图4A中所图示,区域可以是非重叠区域404,但是可替代地,它们可以重叠。每个区域可以与和那个区域相关联的区域输出电路406相关联。区域输出电路406可以提供对应组的检测元件402的区域输出信号。例如,区域输出电路406可以是求和电路,但是可以采用将个体检测器的输出组合成单位输出(无论是标量、向量还是任何其他格式)的其他形式。可选地,每个区域404是单个SiPM,但不一定如此,并且区域可以是单个SiPM的子部分、若干SiPM的组、或甚至不同类型的检测器的组合。

[0098] 在图示的示例中,处理单元108位于(例如,车辆110内的)主机210(内部或外部)的分离的壳体200B处,并且感测单元106可以包括用于分析反射光的专用处理器408。可替代地,处理单元108可以被用于分析反射光206。要注意的是,激光雷达系统100可以以除图示的示例之外的其他方式实现多个壳体。例如,光偏转器114可以位于与投射单元102和/或感测模块106不同的壳体中。在一个实施例中,激光雷达系统100可以包括以不同方式彼此连接的多个壳体,诸如:电线连接、无线连接(例如,RF连接)、光纤电缆、以及上述的任何组合。

[0099] 在一个实施例中,分析反射光206可以包括基于不同区域的个体检测器的输出来确定反射光206的飞行时间。可选地,处理器408可以被配置为基于输出信号的多个区域来确定反射光206的飞行时间。除了飞行时间之外,处理单元108还可以分析反射光206,以确定整个返回脉冲上的平均功率,并且可以在返回脉冲时段上确定光子分布/信号(“脉冲形

状”)。在图示的示例中,任何检测元件402的输出可以不被直接发送到处理器408,而是在被传递到处理器408之前与区域404的其他检测器的信号组合(例如,求和)。但是,这仅仅是示例并且传感器116的电路可以经由其他路线(不经由区域输出电路406)将信息从检测元件402发送到处理器408。

[0100] 图4B是图示被配置为使用二维传感器116扫描激光雷达系统100的环境的激光雷达系统100的图。在图4B的示例中,传感器116是4X6检测器410(也称为“像素”)的矩阵。在一个实施例中,像素尺寸可以是大约 $1 \times 1\text{mm}$ 。传感器116在这样一种意义上是二维的,即,它在两个非平行轴(例如,正交轴,如图示的示例中例示的)中具有多于一组(例如,行、列)检测器410。传感器116中的检测器410的数量可以在不同的实现方式之间有所变化,例如,取决于期望的分辨率、信噪比(SNR)、期望的检测距离等等。例如,传感器116可以具有5和5000个像素之间的任何值。在另一个示例中(图中未示出),传感器116也可以是一维矩阵(例如,1X8像素)。

[0101] 要注意的是,每个检测器410可以包括多个检测元件402(诸如雪崩光电二极管(APD)、单光子雪崩二极管(SPAD)、雪崩光电二极管(APD)和单光子雪崩二极管(SPAD)的组合)或者包括测量从激光脉冲发送事件到接收事件的飞行时间以及接收光子的强度两者的检测元件。例如,每个检测器410可以包括20和5000个SPAD之间的任何值。每个检测器410中的检测元件402的输出可以被求和、求平均或以其他方式组合,以提供统一的像素输出。

[0102] 在图示的示例中,感测单元106可以包括二维传感器116(或多个二维传感器116),其视场小于激光雷达系统100的视场120。在这个讨论中,视场120(可以由激光雷达系统100不在任何方向上移动、旋转或滚动的情况下所扫描的整个视场)表示为“第一FOV 412”,而传感器116的较小FOV表示为“第二FOV 414”(可互换地称为“瞬时视场”)。取决于激光雷达系统100的具体用途,第二FOV 414相对于第一FOV 412的覆盖范围可以不同,并且可以例如在0.5%和50%之间。在一个示例中,第二FOV 414可以在垂直维度上伸长大约 0.05° 和 1° 之间。即使激光雷达系统100包括多于一个二维传感器116,传感器阵列的组合视场仍然可以小于第一FOV 412,例如,小至少5倍、至少10倍、至少20倍、或至少50倍。

[0103] 为了覆盖第一FOV 412,扫描单元106可以在不同时间将从环境的不同部分到达的光子引导到传感器116。在所图示的收发合置配置中,连同将投射光204朝着视场120引导并且当至少一个光偏转器114位于瞬时位置时,扫描单元106也可以将反射光206引导到传感器116。通常,在第一FOV 412的扫描期间的每个时刻,由激光雷达系统100发射的光束覆盖了该环境的、大于第二FOV 414的部分(在角开口中)并且包括了该环境的、由扫描单元104和传感器116从其收集光的部分。

[0104] 图4C是图示二维传感器116的示例的图。在这个实施例中,传感器116是8X5检测器410的矩阵,并且每个检测器410包括多个检测元件402。在一个示例中,检测器410A位于传感器116的第二行(表示为“R2”)和第三列(表示为“C3”)中,其包括4X3检测元件402的矩阵。在另一个示例中,位于传感器116的第四行(表示为“R4”)和第六列(表示为“C6”)中的检测器410B包括3X3检测元件402的矩阵。因而,每个检测器410中的检测元件402的数量可以是恒定的,或者可以是变化的,并且公共阵列中的不同检测器410可以具有不同数量的检测元件402。每个检测器410中的所有检测元件402的输出可以被求和、求平均或以其他方式组合,以提供单个像素输出值。要注意的是,尽管图4C的示例中的检测器410以矩形矩阵(直行

和直列)布置,但也可以使用其他布置,例如,圆形布置或蜂窝布置。

[0105] 根据一些实施例,来自每个检测器410的测量可以使得能够确定从光脉冲发射事件到接收事件的飞行时间和接收光子的强度。接收事件可以是光脉冲从物体208反射的结果。飞行时间可以是表示反射物体到可选的光学窗口124的距离的时间戳值。飞行时间值可以通过光子检测和计数方法(诸如时间相关单光子计数器(TCSPC))、用于光子检测的模拟方法(诸如信号积分和鉴定(经由模数转换器或普通(plain)比较器))或其他方法来实现。

[0106] 在一些实施例中并且参考图4B,在扫描周期期间,至少一个光偏转器114的每个瞬时位置可以与视场120的特定部分122相关联。传感器116的设计使得能够在来自视场120的单个部分的反射光与多个检测器410之间进行关联。因此,激光雷达系统的扫描分辨率可以由(每个扫描周期的)瞬时位置的数量乘以传感器116中检测器410的数量来表示。来自每个检测器410(即,每个像素)的信息表示从中构建三维空间中的捕获的视场的基本数据元素。这可以包括例如点云表示的基本元素,具有空间位置和相关联的反射强度值。在一个实施例中,由多个检测器410检测到的来自视场120的单个部分的反射可以从位于视场120的单个部分中的不同物体返回。例如,视场120的单个部分在远场处可以大于50x50cm,这可以容易地包括彼此部分覆盖的两个、三个或更多个物体。

[0107] 图4D是根据当前公开主题的示例的传感器116的一部分的横切图。传感器116的所示部分包括检测器阵列400的一部分,包括四个检测元件402(例如,四个SPAD、四个APD)。检测器阵列400可以是在互补金属氧化物半导体(CMOS)中实现的光电检测器传感器。每个检测元件402具有敏感区域,该敏感区域位于基板环境内。尽管不一定如此,但传感器116可以用在具有窄视场的收发合置激光雷达系统中(例如,因为扫描单元104在不同时间扫描视场的不同部分)。用于入射光束的窄视场(如果被实现的话)消除了离焦成像的问题。如图4D中所例示的,传感器116可以包括多个透镜422(例如,微透镜),每个透镜422可以将入射光朝着不同的检测元件402(例如,朝着检测元件402的活动区域)引导,这在离焦成像不是问题时会有用的。透镜422可以被用于增加检测器阵列400的光学填充因子和灵敏度,因为到达传感器116的大部分光可以朝着检测元件402的活动区域偏转。

[0108] 如图4D中所例示的,检测器阵列400可以包括通过各种方法(例如,植入)内置于硅基板中的若干层,从而产生敏感区域、与金属层的接触元件以及隔离元件(例如,浅沟槽植入STI、护环、光学沟槽等等)。敏感区域可以是CMOS检测器中的体积元件,其使得能够在向设备施加足够的电压偏置的情况下将入射光子光学转换成电流。在APD/SPAD的情况下,敏感区域将是将由光子吸收产生的电子拉向倍增区域的电场的组合,在该倍增区域中光子诱发的电子被放大,从而产生倍增电子的击穿雪崩。

[0109] 前侧被照亮的检测器(例如,如图4D中所示)具有与驻留在半导体(硅)顶部的金属层相同侧的输入光学端口。需要金属层来实现每个个体光电检测器元件(例如,阳极和阴极)与各种元件(诸如:偏置电压、淬灭/镇流器元件和公共阵列中的其他光电检测器)的电连接。光子通过其照射检测器敏感区域的光学端口由通过金属层的通道构成。要注意的是,从一些方向通过这个通道的光可以被一个或多个金属层(例如,金属层ML6,如图4D中最左边的检测器元件402所图示)阻挡。这种阻挡降低了检测器的总光学光吸收效率。

[0110] 图4E图示了根据当前公开主题的示例的三个检测元件402,每个检测元件具有相关联的透镜422。图4E中的表示为402(1)、402(2)和402(3)三个检测元件中的每一个图示了

可以与传感器116的检测元件402中的一个或多个相关联地实现的透镜配置。要注意的是,也可以实现这些透镜配置的组合。

[0111] 在关于检测元件402 (1) 图示的透镜配置中,相关联的透镜422的焦点可以位于半导体表面上方。可选地,检测元件的不同金属层中的开口可以具有与由相关联透镜422生成的聚焦光锥对准的不同尺寸。这样的结构可以改进作为整个设备的阵列400的信噪比和分辨率。大的金属层对于递送功率和接地屏蔽可以是重要的。这种方法例如可以对具有窄视场的收发合置激光雷达设计是有用的,其中入射光束由平行射线组成并且成像焦点对检测到的信号没有任何后果。

[0112] 在关于检测元件402 (2) 图示的透镜配置中,可以通过识别最佳点(sweet spot)来提高检测元件402的光子检测效率。具体而言,在CMOS中实现的光电检测器可以在敏感体积区域中具有最佳点,光子在该区域中产生雪崩效应的概率最高。因此,透镜422的焦点可以位于敏感体积区域内在最佳点位置处,如由检测元件402 (2) 所演示的。透镜形状和距焦点的距离可以考虑激光束沿着从透镜到埋在半导体材料中的敏感最佳点位置的路径所经过的所有元件的折射率。

[0113] 在关于图4E右侧的检测元件图示的透镜配置中,可以使用漫射器和反射元件来提高半导体材料中的光子吸收效率。具体而言,近IR波长要求显著长的硅材料路径,以便实现高概率的对行进穿过了的光子的吸收。在典型的透镜配置中,光子可以穿敏感区域并且可以不被吸收到可检测的电子中。对于用典型的铸造工艺制造的CMOS设备,提高了光子产生电子的概率的长的吸收路径使敏感区域的尺寸朝着不太实用的维度(例如,数十 μm)变化。图4E中最右侧的检测器元件演示了一种处理入射光子的技术。相关联的透镜422将入射光聚焦到漫射器元件424上。在一个实施例中,光传感器116还可以包括位于远离至少一些检测器的外表面的间隙中的漫射器。例如,漫射器424可以使光束侧向地(例如,尽可能垂直)朝着敏感区域和反射光学沟槽426转向。漫射器位于焦点处、焦点上方或焦点下方。在这个实施例中,入射光可以聚焦在漫射器元件所在的具体位置上。可选地,检测器元件422被设计成在光学上避免光子诱发的电子可能在其中丢失并降低有效检测效率的非活动区域。反射光学沟槽426(或其他形式的光学反射结构)使光子在敏感区域上来回反弹,从而增加检测的可能性。理想情况下,光子将被无限期地俘获在由敏感区域和反射沟槽组成的腔中,直到光子被吸收并产生电子/空穴对。

[0114] 与本公开一致,产生长的路径以使照射光子被吸收并有助于更高的检测概率。光学沟槽也可以在检测元件422中实现,用于减少在雪崩期间产生的寄生光子的串扰效应,所述寄生光子可能泄漏到其他检测器并导致误检测事件。根据一些实施例,可以优化光电检测器阵列,以便利用更高的接收信号产量(yield),这意味着同样多的接收信号被接收到,并且更少的信号对于信号的内部退化而损失掉。可以通过以下方式改进光电检测器阵列:
(a) 将焦点移动到半导体表面上方的位置处,可选地通过适当地在基板上方设计金属层;
(b) 通过使焦点转向至基板的最响应/敏感区域(或“最佳点”)以及(c) 在基板上方添加漫射器以将信号朝着“最佳点”转向、和/或向沟槽添加反射材料使得偏转的信号被反射回“最佳点”。

[0115] 尽管在一些透镜配置中,透镜422可以被放置成使得其焦点在对应检测元件402的中心上方,但要注意的是,不一定如此。在其他透镜配置中,基于相应检测元件402距检测阵

列400的中心的距离,透镜422的焦点相对于对应检测元件402的中心的中心的位置而移位。这在相对较大的检测阵列400中可以是有益的,其中更远离中心的检测器元件以越来越离轴的角度接收光。移动焦点的位置(例如,朝着检测阵列400的中心)允许对入射角进行校正。具体而言,移动焦点的位置(例如,朝着检测阵列400的中心)允许对入射角进行校正同时对于所有检测元件使用基本相同的透镜422,所述透镜422是相对于检测器的表面以相同的角度放置的。

[0116] 当使用仅覆盖视场的一小部分的相对小的传感器116时,将透镜422的阵列添加到检测元件402的阵列会是有用的,因为在这种情况下,来自场景的反射信号从基本相同的角度到达检测器阵列400,因此,容易将所有光聚焦到个体检测器上。还要注意的,在一个实施例中,透镜422可以用在激光雷达系统100中,以有利于增加整个阵列400的整体检测概率(防止光子在检测器/子检测器之间的死区中被“浪费”),以牺牲空间独特性为代价。这个实施例与诸如CMOS RGB相机之类的现有技术实现方式形成对比,现有技术实施例优先考虑空间独特性(即,不允许在检测元件A的方向上传播的光被透镜朝着检测元件B引导,即,“逸出”到阵列的另一个检测元件)。可选地,传感器116包括透镜422的阵列,每个透镜与对应的检测元件402相关,而透镜422中的至少一个将传播到第一检测元件402的光朝着第二检测元件402偏转(由此它可以增加整个阵列的整体检测概率)。

[0117] 具体而言,与本公开的一些实施例一致,光传感器116可以包括光检测器的阵列(例如,检测器阵列400),每个光检测器(例如,检测器410)被配置为当光穿过相应检测器的外表面时使电流流动。此外,光传感器116可以包括至少一个被配置为将光朝着光检测器阵列引导的微透镜,该至少一个微透镜具有焦点。光传感器116还可以包括插入在至少一个微透镜和光检测器阵列之间并且在其中具有间隙的至少一个导电材料层,以允许光从至少一个微透镜传递到阵列,该至少一层的尺寸被设计为在至少一个微透镜和该阵列之间维持空间,以使焦点(例如,该焦点可以是平面)位于该间隙中在与光检测器阵列的检测表面隔开的位置处。

[0118] 在相关实施例中,每个检测器可以包括多个单光子雪崩二极管(SPAD)或多个雪崩光电二极管(APD)。导电材料可以是多层金属收缩部,并且至少一个导电材料层可以电连接到阵列中的检测器。在一个示例中,至少一个导电材料层包括多个层。此外,间隙可以被成形为从至少一个微透镜朝着焦点会聚,并且从焦点的区域朝着阵列发散。在其他实施例中,光传感器116还可以包括与每个光电检测器相邻的至少一个反射器。在一个实施例中,多个微透镜可以布置在透镜阵列中,并且多个检测器可以布置在检测器阵列中。在另一个实施例中,多个微透镜可以包括单个透镜,该单个透镜被配置为将光投射到阵列中的多个检测器。

[0119] 通过非限制性示例参考图2E、图2F和图2G,要注意的是,系统100的一个或多个传感器116可以接收来自扫描偏转器114的光、或者在无扫描的情况下的直接来自FOV的光。即使来自整个FOV的光同时到达至少一个传感器116,在一些实现方式中,一个或多个传感器116可以在任何给定时间仅采样FOV的部分以用于检测输出。例如,如果投射单元102的照明在不同的时间照亮FOV的不同部分(无论是使用偏转器114和/或通过在不同的时间激活不同的光源112),光可以到达感测单元106的所有像素或传感器116,并且只有预期检测激光雷达照明的像素/传感器可以正主动收集用于检测输出的数据。这样,其余的像素/传感器

不会不必要地收集环境噪声。关于扫描——在外传方向上或在传入方向——要注意的是，可以实施基本不同的扫描尺度。例如，在一些实现方式中，扫描区域可以覆盖FOV的1‰或0.1‰，而在其他实现方式中，扫描区域可以覆盖FOV的10%或25%。当然，也可以实现FOV值的所有其他相对部分。

[0120] 处理单元

[0121] 图5A-5C描绘了根据本公开的一些实施例的处理单元108的不同功能。具体而言，图5A是图示针对视场的单个部分的单个帧时间中的发射模式的图，图5B是图示针对整个视场的单个帧时间中的发射方案的图，以及图5C是图示在单个扫描周期期间朝着视场投射的实际光发射的图。

[0122] 图5A图示了对于与至少一个光偏转器114的瞬时位置相关联的视场120的单个部分122在单个帧时间中的发射模式的四个示例。与本公开的实施例一致，处理单元108可以以使得光通量能够在对视场120进行扫描时变化的方式，控制至少一个光源112和光偏转器114(或协调至少一个光源112和至少一个光偏转器114的操作)。与其他实施例一致，处理单元108可以仅控制至少一个光源112，并且光偏转器114可以以固定的预定义模式移动或枢转。

[0123] 图5A中的图A-D描绘了随着时间推移朝着视场120的单个部分122发射的光的功率。在图A中，处理器118可以以使得在扫描视场120期间初始光发射是朝着视场120的部分122被投射的方式，控制光源112的操作。当投射单元102包括脉动光光源时，初始光发射可以包括一个或多个初始脉冲(也称为“导频(pilot)脉冲”)。处理单元108可以从传感器116接收关于与初始光发射相关联的反射的导频信息。在一个实施例中，导频信息可以基于一个或多个检测器(例如，一个或多个SPAD、一个或多个APD、一个或多个SiPM等等)的输出表示为单个信号，或者基于多个检测器的输出表示为多个信号。在一个示例中，导频信息可以包括模拟和/或数字信息。在另一个示例中，导频信息可以包括单个值和/或多个值(例如，对于片段的不同时间和/或部分)。

[0124] 基于关于与初始光发射相关联的反射的信息，处理单元108可以被配置为确定要朝着视场120的部分122投射的后续光发射的类型。对于视场120的特定部分确定的后续光发射可以在相同的扫描周期期间(即，在相同的帧中)或在后续的扫描周期中(即，在后续帧中)进行。

[0125] 在图B中，处理器118可以以使得在视场120的扫描期间，不同强度的光脉冲朝着视场120的单个部分122被投射的方式，控制光源112的操作。在一个实施例中，激光雷达系统100可以可操作为生成一种或多种不同类型的深度图，诸如以下类型中的任何一种或多种：点云模型、多边形网格、深度图像(保持图像或2D阵列的每个像素的深度信息)或场景的任何其他类型的3D模型。深度图的序列可以是时间序列，其中在不同的时间生成不同的深度图。可以在对应的后续帧时间的持续时间内，生成与扫描周期(可互换地称为“帧”)相关联的序列的每个深度图。在一个示例中，典型的帧时间可以持续少于一秒。在一些实施例中，激光雷达系统100可以具有固定的帧速率(例如，每秒10帧、每秒25帧、每秒50帧)，或者帧速率可以是动态的。在其他实施例中，不同帧的帧时间跨序列可以不相同。例如，激光雷达系统100可以实现10帧/秒的速率，其包括在100毫秒(平均值)中生成第一深度图，在92毫秒中生成第二帧，以及在142毫秒处生成第三帧，等等。

[0126] 在图C中,处理器118可以以使得在视场120的扫描期间,与不同持续时间相关联的光脉冲朝着视场120的单个部分122投射的方式,控制光源112的操作。在一个实施例中,激光雷达系统100可以可操作为在每个帧中生成不同数量的脉冲。脉冲的数量可以在0至32个脉冲(例如,1、5、12、28或更多个脉冲)之间变化,并且可以基于从先前发射导出的信息。光脉冲之间的时间可以取决于期望的检测范围,并且可以在500ns和5000ns之间。在一个示例中,处理单元108可以从传感器116接收关于与每个光脉冲相关联的反射的信息。基于该信息(或该信息的不存在),处理单元108可以确定是否需要附加光脉冲。要注意的是,图A-D中的处理时间和发射时间的持续时间不是按比例。具体而言,处理时间可以基本长于发射时间。在图D中,投射单元102可以包括连续波光源。在一个实施例中,初始光发射可以包括发射光的时间段,并且后续发射可以是初始发射的延续,或者可以存在不连续性。在一个实施例中,连续发射的强度可以随时间改变。

[0127] 与本公开的一些实施例一致,可以按照视场120的每个部分,确定发射模式。换句话说,处理器118可以控制光的发射,以允许区分视场120的不同部分的照明。在一个示例中,处理器118可以基于对来自相同扫描周期(例如,初始发射)的反射光的检测来确定视场120的单个部分122的发射模式,这使得激光雷达系统100极其动态。在另一个示例中,处理器118可以基于对来自先前扫描周期的反射光的检测来确定视场120的单个部分122的发射模式。后续发射的模式差异可以由于确定用于后续发射的光源参数的不同值而产生,所述参数诸如以下任何一个:

[0128] a. 后续发射的总能量。

[0129] b. 后续发射的能量廓线(profile)。

[0130] c. 每帧的光脉冲重复的数量。

[0131] d. 光调制特点,诸如持续时间、速率、峰值、平均功率和脉冲形状。

[0132] e. 后续发射的波特性,诸如偏振、波长等等。

[0133] 与本公开一致,后续发射的区分可以用于不同的用途。在一个示例中,能够在视场120的、安全性是一项考虑因素的部分中限制发射功率电平,而对于视场120的其他部分发射更高功率电平(从而改进信噪比和检测范围)。这与眼睛安全有关,但也可能与皮肤安全、光学系统的安全、敏感材料的安全等等有关。在另一个示例中,基于来自相同帧或前一帧的检测结果,能够将更多的能量朝着视场120的、能量将更加有用的部分(例如,感兴趣的区域、更远距离的目标、低反射目标等等)引导,而限制到视场120的其他部分的照明能量。要注意的是,处理单元108可以在单个扫描帧时间内多次处理来自单个瞬时视场的检测信号;例如,可以在每个脉冲发射之后或者在多个脉冲发射之后,确定后续的发射。

[0134] 图5B图示了用于视场120的单个帧时间中的发射方案的三个示例。与本公开的实施例一致,至少在处理单元108上可以使用所获得的信息,来动态地调节激光雷达系统100的操作模式和/或确定激光雷达系统100的具体部件的参数值。所获得的信息可以从对在视场120中捕获的数据进行处理而确定,或者从主机210接收(直接地或间接地)。处理单元108可以使用获得的信息来确定用于扫描视场120的不同部分的扫描方案。所获得的信息可以包括当前光条件、当前天气条件、主车辆的当前驾驶环境、主车辆的当前位置、主车辆的当前轨迹、围绕主车辆的道路的当前地形、或通过光反射可检测的任何其他条件或物体。在一些实施例中,所确定的扫描方案可以包括以下当中的至少一个:(a) 作为扫描周期的一部

分,将视场120内的部分指定为要被主动扫描,(b)投射单元102的投射计划,该计划定义视场120的不同部分处的光发射廓线;(c)扫描单元104的偏转计划,该计划定义例如偏转方向、频率,以及指定反射器阵列内的空闲元件;以及(d)感测单元106的检测计划,该计划定义检测器灵敏度或响应度模式。

[0135] 此外,处理单元108可以至少部分地通过获得视场120内的至少一个感兴趣区域和视场120内的至少一个不感兴趣区域的标识,来确定扫描方案。在一些实施例中,处理单元108可以至少部分地通过获得视场120内的至少一个高兴趣区域和视场120内的至少一个较低兴趣区域的标识,来确定扫描方案。例如,视场120内的至少一个感兴趣区域的标识可以如下确定:例如,从对在视场120中捕获的数据进行处理而确定,基于另一个传感器(例如,相机、GPS)的数据而确定,(直接地或间接地)从主机210接收,或上述的任何组合。在一些实施例中,至少一个感兴趣区域的标识可以包括:对视场120内对于监视重要的部分、区域、扇区、像素或物体的标识。可以被识别为感兴趣区域的区域的示例可以包括人行横道、移动的物体、人、附近车辆或者可以有助于车辆导航的任何其他环境条件或物体。可以被识别为不感兴趣(或较低兴趣)区域的区域的示例可以是静态(非移动)远处建筑物、天际线、地平线以及视场中的物体上方的区域。一旦获得视场120内的至少一个感兴趣区域的标识,处理单元108可以确定扫描方案或改变现有的扫描方案。为了进一步确定或改变光源参数(如上所述),处理单元108可以基于至少一个感兴趣区域的标识来分配检测器资源。在一个示例中,为了降低噪声,处理单元108可以激活预期是感兴趣区域处的检测器410,并且禁用预期是不感兴趣的区域处的检测器410。在另一个示例中,处理单元108可以改变检测器灵敏度,例如,增大用于反射功率低的长程检测的传感器灵敏度。

[0136] 图5B中的图A-C描绘了用于扫描视场120的不同扫描方案的示例。视场120中的每个方形表示与至少一个光偏转器114的瞬时位置相关联的不同部分122。图例500详细说明了由方形的填充图案表示的光通量的水平。图A描绘了第一扫描方案,其中所有部分具有相同的重要性/优先级并且为它们分配缺省光通量。第一扫描方案可以在启动阶段中使用或者与另一个扫描方案周期性地交织,以监视整个视场中非预期的/新的物体。在一个示例中,第一扫描方案中的光源参数可以被配置为以恒定的振幅生成光脉冲。图B描绘了第二扫描方案,其中视场120的一部分被分配有高光通量,而视场120的其余部分被分配有缺省光通量和低光通量。视场120的最不感兴趣的部分可以被分配有低光通量。图C描绘了第三扫描方案,其中在视场120中识别出紧凑的车辆和公共汽车(参见轮廓图)。在这种扫描方案中,可以以高功率跟踪车辆和公共汽车的边缘,并且车辆和公共汽车的中心质量可以被分配有较少的光通量(或没有光通量)。这种光通量分配使得能够在识别出的物体的边缘上集中更多的光学预算,而在其不太重要的中心上集中更少的光学预算。

[0137] 图5C图示了在单个扫描周期期间朝着视场120的光发射。在所描绘的示例中,视场120由8X9矩阵表示,其中72个单元格中的每一个对应于与至少一个光偏转器114的不同瞬时位置相关联的分离部分122。在这个示例性扫描周期中,每个部分包括一个或多个白点,白点表示朝着该部分投射的光脉冲的数量,并且一些部分包括黑点,黑点表示由传感器116检测到的来自该部分的反射光。如图所示,视场120被划分为三个区域:在视场120的右侧的区域I、在视场120的中间的区域II、以及在视场120的左侧的区域III。在这个示例性扫描周期中,区域I对于每个部分最初都被分配有单个光脉冲;先前被识别为感兴趣区域的区域II

对于每个部分最初被分配有三个光脉冲;并且区域III对于每个部分最初被分配有两个光脉冲。而且如图所示,扫描视场120揭示出四个物体208:近场中(例如,在5和50米之间)的两个自由形状物体,中场中(例如,在50和150米之间)的圆角方形物体、以及远场中(例如,在150和500米之间)的三角形物体。尽管图5C的讨论使用脉冲数量作为光通量分配的示例,但要注意的,对视场的不同部分的光通量分配也可以以其他方式实现,诸如:脉冲持续时间、脉冲角色散、波长、瞬时功率、距光源112不同距离处的光子密度、平均功率、脉冲功率强度、脉冲宽度、脉冲重复率、脉冲序列、脉冲占空比、波长、相位、偏振等等。在图5C中作为单个扫描周期的光发射的图示演示了激光雷达系统100的不同能力。在第一实施例中,处理器118被配置为使用两个光脉冲来检测第一距离处的第一物体(例如,圆角方形物体),并使用三个光脉冲来检测大于第一距离的第二距离处的第二物体(例如,三角形物体)。在第二实施例中,处理器118被配置为将更多光分配到视场的识别出感兴趣区域的部分。具体而言,在本示例中,区域II被识别为感兴趣区域,因而它被分配有三个光脉冲,而视场120的其余部分被分配有两个或更少的光脉冲。在第三实施例中,处理器118被配置为以这样一种方式控制光源112,使得仅向图5C中的部分B1、B2和C1投射单个光脉冲,虽然它们是每个部分最初被分配有两个光脉冲的区域III的一部分。这是因为处理单元108基于第一光脉冲检测到近场中的物体而发生。小于最大脉冲量的分配也可以是其他考虑因素的结果。例如,在至少一些区域中,在第一距离处的物体(例如,近场物体)的检测可以导致减少发射到视场120的这个部分的总光量。

[0138] 关于激光雷达系统100的不同部件及其相关联功能的附加细节和示例包括在申请人于2016年12月28日提交的美国专利申请No.15/391,916;申请人于2016年12月29日提交的美国专利申请No.15/393,749;申请人于2016年12月29日提交的美国专利申请No.15/393,285;以及申请人于2016年12月29日提交的美国专利申请No.15/393,593,这些申请全文以引用方式并入本文。

[0139] 示例实现方式:车辆

[0140] 图6A-6C图示了激光雷达系统100在车辆(例如,车辆110)中的实现方式。上面或下面描述的激光雷达系统100的任何方面可以合并到车辆110中,以提供范围感测车辆。具体而言,在这个示例中,激光雷达系统100在单个车辆中集成了多个扫描单元104以及潜在地多个投射单元102。在一个实施例中,车辆可以利用这样的激光雷达系统,来改进重叠区中及其之外的功率、范围和准确度、以及FOV的敏感部分(例如,车辆的向前移动方向)的冗余。如图6A中所示,车辆110可以包括用于控制视场120A的扫描的第一处理器118A、用于控制视场120B的扫描的第二处理器118、以及用于控制扫描两个视场的同步的第三处理器118C。在一个示例中,处理器118C可以是车辆控制器并且可以在第一处理器118A和第二处理器118之间具有共享接口。共享接口可以使得能够以中间处理级别交换数据以及使得组合视场的扫描能够同步,以便在时间和/或空间空间中形成重叠。在一个实施例中,使用共享接口交换的数据可以是:(a)与重叠视场中和/或其附近的像素相关联的接收信号的飞行时间;(b)激光转向位置状态;(c)视场中物体的检测状态。

[0141] 图6B图示了视场120A和视场120B之间的重叠区域600。在所描绘的示例中,重叠区域与来自视场120A的24个部分122和来自视场120B的24个部分122相关联。假定重叠区域是由处理器118A和118定义并知道的,那么每个处理器可以被设计为限制在重叠区域600中发

射的光量,以便符合跨越多个光源的眼睛安全限制,或者出于其他原因(诸如维持光学预算)。此外,处理器118A和118可以通过扫描单元104A和扫描单元104B之间的松散同步和/或通过控制激光器发送定时和/或检测电路使能定时,来避免由两个光源发射的光之间的干扰。

[0142] 图6C图示了视场120A和视场120B之间的重叠区域600如何可以被用于增加车辆110的检测距离。与本公开一致,将它们的标称光发射投射到重叠区中的两个或更多个光源112可以被充分利用,以增加有效检测范围。术语“检测范围”可以包括距离车辆110的近似距离,激光雷达系统100在该距离处可以清楚地检测物体。在一个实施例中,激光雷达系统100的最大检测范围是大约300米、大约400米或大约500米。例如,对于200米的检测范围,激光雷达系统100可以以超过95%、超过99%、超过99.5%的次数,检测距车辆110为200米(或更小)的物体。即使物体的反射率可能小于50%(例如,小于20%、小于10%、或小于5%)。此外,激光雷达系统100可以具有小于1%的误报率。在一个实施例中,可以利用来自在时间和空间空间中并置的两个光源投射的光来改进SNR,并因此增加位于重叠区域中的物体的服务范围和/或质量。处理器118C可以从视场120A和120B中的反射光中提取高层级信息。术语“提取信息”可以包括通过本领域普通技术人员已知的任何手段,在捕获的图像数据中识别与物体、个体、位置、事件等等相关联的信息的任何处理。此外,处理器118A和118可以共享高层级信息,诸如物体(道路分隔带、背景、行人、车辆等等)和运动向量,以使每个处理器能够提醒周边区域即将成为感兴趣区域。例如,可以确定视场120A中的移动物体将很快进入视场120B。

[0143] 示例实现方式:监视系统

[0144] 图6D图示了激光雷达系统100在监视系统中的实现方式。如上面所提到的,激光雷达系统100可以固定到静止物体650,该静止物体650可以包括用于旋转激光雷达系统100的壳体以获得更宽视场的马达或其他机制。可替代地,监视系统可以包括多个激光雷达单元。在图6D所描绘的示例中,监视系统可以使用单个可旋转激光雷达系统100,来获得表示视场120的3D数据并且处理3D数据以检测人652、车辆654、环境中的变化或任何其他形式的安全性重要数据。

[0145] 与本公开的一些实施例一致,可以分析3D数据,以监视零售业务过程。在一个实施例中,3D数据可以用在涉及物理安全性的零售业务过程(例如,检测:零售设施内的侵入、零售设施内或周围的故意破坏行为、对安全区域的未经授权接近、以及在停车场的小汽车周围的可疑行为)。在另一个实施例中,3D数据可以用于公共安全(例如,检测:人们在商店财产上滑倒和摔倒、商店地板上的危险液体溢出或阻塞、商店停车场中的攻击或绑架、消防通道的阻塞、以及在商店区域或商店外的拥挤)。在另一个实施例中,3D数据可以被用于业务智能数据搜集(例如,跟踪通过商店区域的人,以确定例如有多少人通过、他们在哪里停留、他们停留多久、他们的购物习惯与他们的购买习惯相比是什么样子)。

[0146] 与本公开的其他实施例一致,3D数据可以被分析并用于交通执法。具体而言,3D数据可以被用于识别行驶超过合法速度限制或某种其他道路合法要求的车辆。在一个示例中,激光雷达系统100可以被用于检测在红色交通信号灯显示时越过停车线或指定停靠位置的车辆。在另一个示例中,激光雷达系统100可以被用于识别在为公共交通预留的车道中行驶的车辆。在又一个示例中,激光雷达系统100可以被用于识别在红灯时禁止具体转弯的

交叉路口处转弯的车辆。

[0147] 具有内置加热电阻器的MEMS反射镜组件

[0148] 为了允许包括移动部件并且尤其是MEMS反射镜或其他大表面的微机电系统(MEMS)在较低温度下操作,下面描述了新颖的MEMS系统,其包括一个或多个内置加热电阻器。具有被配置为加热MEMS系统的一个或多个部件(例如,致动器)的一个或多个内置加热元件可以有助于维持MEMS系统在其中操作的最佳环境。

[0149] 尽管本公开提供可以是扫描激光雷达系统的一部分的MEMS系统的MEMS反射镜组件的示例,但应当注意,本公开的方面在它们的最广泛意义上不限于用于激光雷达系统的MEMS组件。而是,预期前述原理也可以应用于其他类型的电光系统(例如,相机、测距器、电子显微镜)。

[0150] 图3A-3D描绘了示例性MEMS扫描设备104。此外,尽管本公开描述了包括MEMS反射镜的MEMS系统,但还预期包括诸如活塞或阀之类的MEMS功能表面的其他类型的MEMS系统。例如,代替包括MEMS反射镜,MEMS系统可以包括被配置为枢转表面引导光的压电激活的部件(例如,活塞、阀)。作为示例,MEMS系统可以包括压电激活的枢转表面。

[0151] 在一些实施例中,示例性MEMS系统可以包括MEMS组件,该MEMS组件包括被配置为围绕至少一个轴移动的MEMS反射镜和被配置为使MEMS反射镜移动的至少一个致动器。MEMS反射镜组件还可以包括至少一个加热元件,该加热元件被配置用于当电流穿过加热元件时加热致动器的至少一部分。在一些实施例中,MEMS反射镜组件可以由单晶片裸片组成。在其他实施例中,MEMS反射镜组件可以由固定在一起的两个或更多个晶片裸片组成(例如,胶合在一起以形成密封隔室的玻璃晶片和硅晶片)。

[0152] 图7A、图7B和图8图示了根据本公开的一些实施例的示例性MEMS反射镜组件700A、700B和800。虽然在一些实例中单独地描述了MEMS反射镜组件700A、700B和800,但MEMS反射镜组件的一个或多个部件可以用在其他MEMS反射镜组件中。MEMS反射镜组件700A可以包括框架711,MEMS反射镜701,一个或多个致动器(例如,致动器721、722、723、724),一个或多个互连元件741、742、743、744,以及一个或多个加热元件(例如,加热电阻器751、752、753、754)。框架711可以在结构上支撑MEMS反射镜,同时允许MEMS反射镜701相对于框架711围绕一个或多个旋转轴枢转。MEMS反射镜701可以包括反射表面。MEMS反射镜701可以是可移动MEMS反射镜,原因在于MEMS反射镜701可以是可相对于框架711平移和/或可相对于框架711围绕一个或多个轴旋转。互连元件741、742、743和744可以连接到MEMS反射镜701并被配置为有利于MEMS反射镜701围绕至少一个旋转轴旋转。致动器721、722、723和724可以对互连元件741、742、743和744中的一个或多个施加机械力,从而使MEMS反射镜相对于框架进行平移或旋转移动。加热电阻器751、752、753和754可以被配置为加热致动器721、722、723和724中的一个或多个。尽管不一定如此,但MEMS反射镜组件700A可以实现相对于扫描单元104和/或光偏转器114(例如,相对于图3A和图3B)讨论的任何结构或功能。

[0153] 在一些实施例中,MEMS反射镜组件700A还可以包括控制器761、电源771和一个或多个传感器(未示出)。控制器761可以被配置为控制加热电阻器中的一个或多个的激活。例如,控制器761可以控制电流到加热电阻器751的施加,由此加热附近的致动器(例如,致动器721)。在一些实施例中,控制器761还可以被配置为控制一个或多个致动器的激活。电源771可以被配置为提供电功率以用于加热。在一些实施例中,电源771还可以向控制器761提

供功率。一个或多个传感器可以被配置为监视MEMS反射镜组件700A在其下操作的条件。例如, MEMS反射镜组件700A可以包括一个或多个温度传感器, 所述温度传感器被配置为监视MEMS反射镜组件700A的一个或多个部件的温度。传感器还可以被配置为将与其监视的(一个或多个)条件相关的信号和/或信息发送到控制器761。

[0154] 框架711可以包括MEMS反射镜可以附接到的任何支撑结构, 使得MEMS反射镜可以能够相对于框架旋转和/或平移。例如, 框架711可以包括晶片裸片的被用于制造可在结构上支撑MEMS反射镜的同时允许MEMS反射镜相对于框架围绕一个或多个旋转轴枢转的部分。

[0155] 在一些实施例中, 框架711可以与MEMS反射镜701的活动区域隔开(该MEMS反射镜701的任何部分可以从框架711的平面移动, 或相对于框架711以其他更多方式), 除了一个或多个致动器(例如, 致动器721、722、723和724)和/或互连元件(例如, 互连元件741、742、743、744)以外。框架711可以包括连续框架或由两个或更多个分离的部分组成的框架。例如, 框架可以由包括一个或多个硅层的晶片层组成, 所述一个或多个硅层可能地包括是MEMS反射镜的一部分的至少一个硅层。还可以使用除了硅以外的材料层。

[0156] MEMS反射镜701可以被配置为允许光从其原始路径衍射。MEMS反射镜701可以是可移动MEMS反射镜, 原因在于MEMS反射镜701可以是可相对于框架711平移和/或可相对于框架711围绕一个或多个轴旋转。例如, MEMS反射镜701可以是可围绕示例性轴781、782和/或783平移或旋转(去往图的平面), 如图7A所图示的。例如, MEMS反射镜701可以在框架711的平面内旋转。

[0157] 在一些实施例中, MEMS反射镜701可以包括MEMS结构, 该MEMS结构具有相对于晶片(或框架711)的平面旋转的可旋转部分。可替代地或附加地, MEMS反射镜701可以包括MEMS结构, 该MEMS结构具有相对于晶片(或框架711)的平面平移的可平移部分。在一些示例性实施例中, 可旋转部分(和/或可平移部分)可以包括反射涂层或表面以形成能够反射或偏转来自光源的光的MEMS反射镜。虽然MEMS反射镜701已经在图7A(和图7B)中被图示为具有圆形形状, 但预期MEMS反射镜701可以具有方形形状、多边形形状(例如, 八边形)、椭圆形形状、或适合与MEMS组件一起使用的任何其他几何形状。尽管本公开描述了MEMS反射镜和框架的示例, 但应当注意, 本公开的方面在它们的最广泛意义上不限于所公开的MEMS反射镜和/或框架的示例。

[0158] MEMS反射镜组件700A可以包括一个或多个致动器, 所述致动器被配置为使MEMS反射镜701围绕至少一个轴(例如, 轴781、782和/或783)枢转。致动器(例如, 致动器721、722、723、724)可以包括MEMS反射镜组件的可以能够使MEMS反射镜相对于框架平移和/或旋转移动的一个或多个可移动结构构件。所公开的致动器可以是MEMS反射镜组件的一体部分或者可以是与MEMS反射镜组件分离的和不同的。所公开的致动器可以直接地或间接地附接到所公开的MEMS反射镜。在一些实施例中, 反射镜组件700A的一个或多个致动器可以是2018年11月28日提交的标题为“LIDAR SYSTEMS AND METHODS”的国际申请No. PCT/IB2018/001467中所公开的致动器中的一个或多个, 该申请全文以引用方式并入本文。

[0159] 在一些实施例中, 致动器可以包括致动器主体(例如, 由硅制成)和压电元件。作为示例, 致动器721可以包括主体(其部分构件未示出)和压电元件731。类似地, 致动器722、723和724中的每一个可以包括主体和对应压电元件732、733或734。压电元件可以被配置为使主体弯曲并当活动区域经受电场时移动该活动区域。

[0160] 在一些实施例中, MEMS反射镜组件700A可以包括两种或更多种类型的致动器。不同类型的致动器允许活动区域在不同方向上移动。致动器721和722可以是不同类型的致动器。压电元件731可以被配置为使致动器721的主体弯曲并当MEMS反射镜701经受第一电场时在第一方向上移动该MEMS反射镜701, 并且压电元件732可以被配置为使致动器722的主体弯曲并当MEMS反射镜701经受第二电场时在第二方向上移动MEMS反射镜701。

[0161] MEMS反射镜组件700A还可以包括一个或多个互连元件(例如, 互连元件741、742、743、744), 一个或多个致动器经由所述互连元件连接到MEMS反射镜701。例如, 互连元件741可以在致动器721的一个或多个致动臂、与致动臂相关联的弹簧(未示出)和MEMS反射镜701之间提供电连接和/或机械连接。在一些示例性实施例中, 互连元件可以直接地附接到致动臂、弹簧和/或MEMS反射镜701中的一个或多个。可替代地或附加地, 互连元件可以包括多于一个连接器构件, 所述连接器构件可以彼此连接并且可以附接到致动臂、弹簧和/或MEMS反射镜701中的一个或多个。在一些实施例中, 互连元件741可以包括在2018年11月28日提交的标题为“LIDAR SYSTEMS AND METHODS”的国际申请No. PCT/IB2018/001467中所公开的一个或多个连接器, 该申请全文以引用方式并入本文。互连元件可以由硅、金属、或用在MEMS反射镜组件700A中的任何其他材料组成。互连元件可以被制成为存在于致动器、MEMS反射镜701或两者中的一个或多个晶片层的延续。

[0162] MEMS反射镜组件700A还包括一个或多个加热元件(例如, 加热电阻器751、752、753和754), 所述加热元件被配置为加热MEMS反射镜组件的一个或多个部件(或其部分)。例如, 加热元件可以是加热电阻器751, 该加热电阻器751被配置为当电流穿过加热电阻器751时加热致动器721的压电元件731。类似地, 加热电阻器752、753和754可以被配置为当电流穿过对应加热电阻器时分别加热压电元件732、733和734。

[0163] 在一些实施例中, 例如如图7A所图示, MEMS反射镜组件可以包括多个加热电阻器, 其中每个加热电阻器可以被配置为加热MEMS反射镜组件的一个部件。可替代地或附加地, MEMS反射镜组件可以包括用以加热一个部件的两个或更多个加热电阻器。例如, MEMS反射镜组件700A可以包括加热电阻器751和另一个加热电阻器(未示出)以加热压电元件731。控制器761可以控制加热电阻器以加热压电元件731, 如本公开别处描述的。例如, 控制器761可以在压电元件731的温度低于阈值时确定激活加热电阻器。控制器761还可以控制电源771经由电路使电流穿过加热电阻器中的每一个。加热电阻器可以在部件上(或靠近该部件)均匀地实现。可替代地, 加热电阻器可能不会在部件上(或靠近该部件)均匀地实现。例如, 第一加热电阻器可以靠近互连元件741(即, 致动器721与框架711的连接)实现, 并且第二加热电阻器751可以在致动器721的臂上(或靠近该臂)实现。在一些实施例中, 第一加热电阻器和第二加热电阻器可以是相同类型的或不同类型的。可替代地或附加地, 控制器761可以控制电源771向第一加热电阻器和第二加热电阻器供应相同电流或不同电流。

[0164] 在一些实施例中, 控制器761可以控制电源771向不同加热电阻器供应不同电流。例如, 电源771可以向加热电阻器751供应第一电流, 并向加热电阻器751供应不同于第一电流(例如, 较大或较小电流)的第二电流。

[0165] 在一些实施例中, MEMS反射镜组件可以包括被配置为加热两个或更多个部件的一个加热元件。作为示例, 如图7B所图示的, MEMS反射镜组件700B可以包括加热电阻器756, 该加热电阻器756被配置为当电流穿过加热电阻器756时加热致动器721、722、723和724(或压

电元件731、732、733和734)。在一些实施例中,加热电阻器751、752、753和/或754可以被配置为响应于指示部件的温度的信息来加热MEMS反射镜组件700A的一个或多个部件(例如,其致动器721和/或压电元件731)。例如,控制器761可以接收指示压电元件731的温度低于阈值的信息。控制器761还可以控制电源771向加热电阻器751供应电流以用于加热压电元件731。

[0166] 在一些实施例中,MEMS反射镜组件700A的加热电阻器可以是相同类型的。可替代地,MEMS反射镜组件700A可以包括两种或更多种不同类型的加热电阻器。例如,加热电阻器751可以具有来自加热电阻器752(或其他加热电阻器)的不同的总电阻、加热功率等等,或其组合。

[0167] 在一些实施例中,加热电阻器(例如,加热电阻器751、752、753、754和756中的一个)可以具有在1/4和5千欧范围内的总电阻。在一些实施例中,加热电阻器的总电阻可以局限在1/4至1欧姆、1-10欧姆、10-50欧姆、50-100欧姆、100-500欧姆、500-1000欧姆、1-2千欧和2-5千欧的子范围内。

[0168] 在一些实施例中,加热电阻器(例如,加热电阻器751、752、753、754和756)可以具有在5和5000毫瓦范围内的热功率。在一些实施例中,加热电阻器的热功率可以局限在5至10毫瓦、10-50毫瓦、50-100毫瓦和100-500毫瓦的子范围内。

[0169] 在一些实施例中,MEMS反射镜组件700A可以包括各种传感器(未示出),所述传感器被配置为监视MEMS反射镜组件700A在其下操作的条件。例如,MEMS反射镜组件700A可以包括一个或多个温度传感器,所述温度传感器被配置为监视MEMS反射镜组件700A的一个或多个部件的温度。例如,温度传感器(例如,电阻式温度传感器)可以被配置为测量致动器721(和/或压电元件731)的温度。可替代地或附加地,温度传感器可以被配置为监视MEMS反射镜组件700A的周围温度。

[0170] 传感器可以被配置为将与其监视的(一个或多个)条件相关的信号和/或信息发送到控制器761。例如,传感器可以将指示压电元件731的温度的信息发送到控制器761,该控制器761基于接收到的信息确定是否激活一个或多个加热电阻器来加热压电元件731。传感器对温度的测量(或监视)可以是连续的或间歇的。可替代地或附加地,传感器可以从控制器761接收控制信号以测量温度并将其获取的温度信息发送到控制器761。传感器可以例如通过测量变化温度对MEMS反射镜组件的一个或多个部件的操作的影响来直接地或间接地测量温度。作为示例,控制器761可以接收指示用于通过致动器721致动MEMS反射镜701的电压的信息并生成发送到传感器的控制信号。控制器761还可以使用来自其他传感器的数据来生成指示温度的数据。例如,关于移动MEMS反射镜所需的电压的信息可以与指示致动器所引起的移动程度的移动反馈数据一起使用来评估温度。在接收到控制信号之后,传感器可以测量致动器721(或压电元件731)的温度并将温度信息发送到控制器761。

[0171] 在一些实施例中,传感器可以被实现为MEMS反射镜组件700A的一部分。例如,传感器可以在MEMS反射镜组件700A的部件上(或靠近该组件)实现。作为示例,传感器可以在框架711,MEMS反射镜701,致动器721、722、723和724中的一个(或其压电元件)、控制器761等等或其组合上实现。在其他实施例中,传感器可以在MEMS反射镜组件700A外部实现(例如,MEMS反射镜组件700A的被配置为测量围绕MEMS反射镜组件700A的周围温度的温度传感器)。

[0172] 在一些实施例中, MEMS反射镜组件700A还可以包括控制器761和电源771。控制器761可以包括一个或多个处理器、微处理器等等, 或其组合。控制器761可以被配置为控制一个或多个加热电阻器751、752、753和754的激活。例如, 控制器761可以控制电源771向加热电阻器中的一个或多个供应电流。可替代地或附加地, 控制器761可以控制一个或多个致动器721、722、723和724的致动。例如, 控制器761可以控制施加到致动器的电场, 由此激活(或停止)致动器的致动。在一些实施例中, 控制器761可以在与致动器、加热电阻器和电源771中的至少一个相同的芯片上实现。在其他实施例中, 控制器761可以被实现为MEMS反射镜组件的外部部件(例如, 激光雷达系统的处理器118的一部分)。

[0173] 电源771可以被配置为向一个或多个加热电阻器供应电功率以用于加热。电源771可以是蓄电池、AC电源、DC电源、可充电电容器等等, 或其组合。在一些实施例中, 电源771可以包括是MEMS反射镜组件700A的一部分的电源(例如, 内部电源)。可替代地或附加地, 电源771可以包括MEMS反射镜组件700A外部的电源。

[0174] 在一些实施例中, 电源771可以电耦合到MEMS反射镜组件700A的各种部件(例如, 致动器、加热电阻器、控制器、各种传感器)。电源771可以在控制器761外部。可替代地, 电源771和控制器761可以被集成为信号单元。在一些实施例中, 控制器761和电源771可以电耦合到MEMS反射镜组件, 但在MEMS反射镜组件外部。例如, 控制器761(和/或电源771)可以在MEMS反射镜组件700A外部实现(例如, 作为包括MEMS反射镜组件的激光雷达系统的另一个部分)。

[0175] 在一些实施例中, 控制器761可以基于从MEMS反射镜组件(或其部件)读取的温度选择性地使电源771施加穿过加热电阻器的电流。例如, 控制器761可以被配置为基于从MEMS反射镜组件700A读取的温度(例如, 从压电元件731读取的温度)控制电源771选择性地向加热电阻器751(但不向加热电阻器752、753或754)供应电流。作为示例, 当温度读数低于阈值温度时, 控制器761可以选择性地使电源771供应穿过加热电阻器751的电流。

[0176] 在一些实施例中, MEMS反射镜组件700A的两个或更多个部件(例如, 框架711、MEMS反射镜701、致动器721、加热电阻器751中的一个或多个)可以在单个晶片上制造并且可共享公共层(例如, 公共硅层、公共锆钛酸铅(PZT)层)。例如, 加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个可以在MEMS反射镜组件700A的晶片的金属层上实现。可替代地或附加地, 加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个可以在MEMS反射镜组件700A的晶片的硅基层的掺杂区域上实现。硅基层可以由硅、多晶硅、掺杂(或部分掺杂)硅、掺杂(或部分掺杂)多晶硅、或诸如硅化物之类的任何其他硅基材料制成。作为另一个示例, 用于向压电元件施加电场的至少一个电极在MEMS反射镜组件700A的晶片的金属层上实现, 并且加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个可以在与用于压电致动的电极相同的金属层上实现。

[0177] MEMS反射镜组件700A还可以包括附加部件, 诸如控制器761、电源771、传感器(例如, 温度传感器)、光学部件、结构元件、套管等等。这种附加部件可以在与MEMS反射镜相同的晶片上、在另一个晶片上实现, 或者以其他方式与MEMS反射镜701的晶片集成。

[0178] 在一些实施例中, 一个或多个加热电阻器可以在MEMS反射镜组件的部件上实现。例如, 一个或多个加热电阻器可以在致动器上实现。可替代地或附加地, 一个或多个加热电阻器可以在框架上实现。作为示例, 一个或多个加热电阻器可以在框架的与致动器相邻的边缘上实现。

[0179] 在一些实施例中,一个或多个加热电阻器可以在MEMS反射镜组件的例如与致动器相邻的不可移动部分上实现。例如,MEMS反射镜组件可以包括一个或多个静止硅条,并且一个或多个加热电阻器可以在静止硅条中的至少一个上实现。

[0180] 图8图示了包括四个静止硅条的示例性MEMS反射镜组件800。类似于图7A所图示的MEMS反射镜组件700A,图8的示例性MEMS反射镜组件800可以包括MEMS反射镜802,框架804和致动器812A、814A、816A和818A。图8的MEMS反射镜组件800的致动器812A可以包括致动臂824和硅条825。硅条825相对于MEMS反射镜组件800可以是静止的和不可移动的。硅条825可以被定位成与致动臂824相邻,并且可以通过间隙828与致动臂824分离。致动臂824可以经由互连元件830连接到MEMS反射镜802。但是,硅条825可能不会机械或电连接到MEMS反射镜802。MEMS反射镜组件800的硅条825可以设置在致动臂824和MEMS反射镜802之间并且与致动臂824和MEMS反射镜802隔开。此外,当MEMS反射镜组件800的第二致动臂826未连接到MEMS反射镜802时,硅条825可以类似于该第二致动臂826。

[0181] 类似地,致动器814A、816A和818A各自可以分别包括一个致动臂834、844和854。同样如图8所图示的,致动器814A、816A和818A可以分别包括分别通过间隙838、848和858与相应致动臂834、844和854分离的硅条835、845和855。附加地,致动臂834、844和854可以分别经由互连元件840、850和860连接到MEMS反射镜802。当致动臂836、846和856未连接到MEMS反射镜802时,硅条835、845和855可以分别类似于致动臂836、846和856。在一些实施例中,硅条825、835、845和855中的一个或多个可以属于致动器和反射镜在上面实现的硅层。

[0182] 一个或多个加热电阻器(例如,加热电阻器862、864、866和868)可以在可以是静止的硅条825、835、845和855中的每一个上实现。加热电阻器可以被配置为当电流经过时加热对应致动器(和/或其压电元件)。

[0183] 图9是与所公开的实施例一致的示例性加热处理900的流程图。加热处理900的一个或多个步骤可以由控制器761(和/或本文描述的控制器的其他实施例,例如,激光雷达系统的处理器118)执行。尽管加热处理在本文中使用图7A所图示的MEMS反射镜组件700A的部件进行了描述,但其可适用于本公开中描述的其他示例性MEMS反射镜组件。

[0184] 在步骤901,可以接收温度信息。在一些实施例中,步骤901可以由控制器(例如,控制器761、处理器118)执行。例如,控制器761可以接收温度信息。在一些实施例中,控制器761可以从温度传感器接收指示MEMS反射镜组件700A的部件的信息。例如,靠近致动器721的传感器可以测量致动器721(或压电元件731)的温度并将指示温度的信息发送到控制器761。作为另一个示例,控制器761可以从MEMS反射镜组件700A外部的传感器接收指示MEMS反射镜组件700A的周围环境中的周围温度的信息。

[0185] 在一些实施例中,传感器可以连续地测量一个或多个部件(例如,一个或多个致动器或其压电元件)的温度并将信息连续地发送到控制器761。可替代地或附加地,传感器可以间歇地测量温度并将温度信息(如果可用)发送到控制器761。例如,传感器可以被配置为在预定时段内(其可以在0.1秒至10分钟的范围内)测量温度一次。在一些实施例中,该时段可局限在0.1至1秒、1至10秒、10至60秒和1至10分钟的子范围内。可替代地或附加地,传感器可以被配置为按需测量温度。例如,传感器可以从控制器761接收控制信号。作为响应,传感器可以(连续地或间歇地)测量温度并将温度信息发送到控制器761。在一些实施例中,传感器可以继续测量温度,直到接收到停止测量的第二控制信号。

[0186] 在步骤903,可以确定是否激活(或停止)一个或多个加热元件。在一些实施例中,步骤903可以由控制器(例如,控制器761、处理器118)执行。例如,控制器761可以被配置为基于接收到的温度信息确定是否激活(或停止)加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个来加热MEMS反射镜组件700A的一个或多个部件。例如,控制器761可以确定压电元件731的温度是否低于激活阈值,该激活阈值可以是(一个或多个)部件在其下最佳地操作的温度范围的下限。如果压电元件731的温度低于激活阈值,那么控制器761可以确定激活加热电阻器751来加热压电元件731。另一方面,如果控制器761确定压电元件731的温度等于或超出激活阈值,那么控制器761可以确定无需加热电阻器751的激活(即不采取措施)。作为另一个示例,控制器761可以从第一传感器接收指示第一部件的温度的信息,并且从第二传感器接收指示第二部件的温度的信息。作为示例,控制器761可以从第一传感器接收MEMS反射镜701的温度的信息,并且从第二传感器接收指示致动器721的温度的信息。控制器761还可以确定MEMS反射镜701的温度高于第一激活阈值,而压电元件732的温度低于第二激活阈值(其可以与第一阈值相同或不同)。控制器761还可以确定激活加热电阻器752,而不激活靠近MEMS反射镜701(图7A未示出)的加热电阻器。作为另外的示例,控制器761可以确定部件的温度中的一个低于与特定部件(其可以与所述部件相同或不同)对应的激活阈值,并且确定激活加热电阻器751、752、753和754中的一些或全部。

[0187] 在一些实施例中,激活温度阈值可以与电光系统(或MEMS反射镜组件)操作的露点相关。露点指以下可以根据压力和湿度而变化的大气温度,低于该大气温度水滴开始凝结并且可能会形成露水。例如,控制器761可以接收(或基于诸如压力、湿度之类的各种因素确定)电光系统(或MEMS反射镜组件)操作的露点。控制器761可以将露点设定为激活阈值。可替代地,控制器761可以将低于或高于露点的某一摄氏度设定为激活阈值。作为示例,控制器761可以将低于(或高于)露点3℃设定为激活阈值。

[0188] 在一些实施例中,激活温度阈值可以与MEMS反射镜组件的操作条件相关。例如,控制器761可以被配置为将激活温度设定得足够高,以使MEMS反射镜组件(和/或电光系统)的温度维持在操作范围内。作为示例,激活温度可以由控制器761设定为以下温度,在该温度下反射镜的移动程度被限制、操作电压过高、一个或多个压电元件受损或以异常方式表现等等或其组合。可替代地或附加地,控制器761可以从MEMS反射镜组件的一个或多个部件接收指示(一个或多个)部件由于低温而在亚最佳条件下的误差信号。控制器761可以激活一个或多个加热电阻器,如本公开中别处描述的。

[0189] 控制器761还可以被配置为在满足停止条件时停止加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个。例如,控制器761可以基于接收到的温度信息停止加热电阻器751。例如,控制器761可以从传感器接收指示在加热电阻器751被激活以用于加热压电元件731(如本公开中别处描述的)之后压电元件731的温度的信息。控制器761可以确定压电元件731的温度等于或超出停止阈值。控制器761可以确定停止加热电阻器751。部件的停止阈值可以等于或高于其激活阈值。在一些实施例中,停止阈值可以与MEMS反射镜组件的周围温度(例如,比周围温度高5、10或15℃)相关。可替代地或附加地,控制器761可以在预定加热时段(例如,1、5或10分钟)之后停止加热电阻器。在一些实施例中,停止阈值可以与电光系统(或MEMS反射镜组件)操作的露点相关。例如,控制器761可以接收(或基于诸如压力、湿度之类的各种因素确定)电光系统(或MEMS反射镜组件)操作的露点。控制器761可以将高于露点的

某一摄氏度设定为停止阈值。作为示例,控制器761可以将高于露点5-20℃之间的任何数设定为停止阈值。

[0190] 在一些实施例中,控制器761可以控制加热电阻器的激活,直到满足停止条件。例如,控制器761可以激活加热电阻器751来加热压电元件731,并且加热电阻器751可以被配置为在激活时加热压电元件731。控制器761可以从传感器接收指示在加热之后压电元件731的温度的信息。控制器761可以确定压电元件731的温度比MEMS反射镜组件的周围环境中的周围温度高温度差(例如,5或10℃)。控制器761接着可以停止加热电阻器751。温度差可以在1-30℃的范围内。在一些实施例中,时间差可局限在1至5℃、5至10℃、10至20℃和20至30℃的子范围内。在一些实施例中,用于停止加热电阻器的条件可以与在加热之后达到停止温度阈值、达到用于通过加热电阻器进行加热的时间段等等或其组合相关。

[0191] 在一些实施例中,控制器761可以基于部件的温度和参考温度确定激活(和/或停止)加热电阻器来加热部件。参考温度可以是另一个部件的温度。例如,控制器761可以从第一传感器接收指示压电元件731的温度的信息,并且从第二传感器接收指示MEMS反射镜701的温度(其用于参考温度)的信息。控制器761可以基于压电元件731的温度和参考温度之间的比较确定激活(和/或停止)加热电阻器751来加热压电元件731。作为示例,如果压电元件731的温度比参考温度低5℃,那么控制器761可以确定激活加热电阻器751。

[0192] 在步骤905,可以激活(或停止)一个或多个加热元件。在一些实施例中,步骤905可以由控制器(例如,控制器761、处理器118)执行。例如,控制器761可以被配置为激活(或停止)其确定激活(或停止)的加热元件(例如,加热电阻器751、752、753和754中的一个或多个)。例如,控制器761可以被配置为引起电流到加热电阻器的施加。作为示例,控制器761可以控制电源771(通过例如将控制信号发送到电源771)来向加热电阻器供应电流,该加热电阻器可以当电流经过时加热一个或多个部件。

[0193] 在一些实施例中,控制器761可以基于加热电阻器将加热的(一个或多个)部件的温度使向加热电阻器施加电流。例如,控制器761可以当压电元件731处于第一温度时控制电源771来向加热电阻器751施加第一电流并且当压电元件731处于低于第一温度的第二温度时向加热电阻器751供应大于第一电流的第二电流。

[0194] 在一些实施例中,控制器761可以基于加热电阻器加热的部件的温度之间的差使不同电流被施加到不同电阻器。例如,控制器761可以确定激活加热电阻器751和752。控制器761可以控制电源771向加热电阻器751供应第一电流并向加热电阻器752供应第二电流,该第二电流可以不同于(例如,大于或小于)第一电流。可替代地或附加地,控制器761可以基于加热电阻器的类型使不同电流被施加到不同加热电阻器。

[0195] 电源771可以以各种方式(在控制器761的指导下或独自)向一个或多个加热电阻器供应电流。例如,电源771可以向加热电阻器供应脉冲电流。可替代地或附加地,电源771可以向加热电阻器连续地供应电流。可替代地或附加地,电源771可以向加热电阻器间歇地供应电流。例如,电源771可以继续向加热电阻器供应电流持续第一时间段,停止供应持续第二时间段,然后恢复供应持续第三时间段,等等。用于供应和中止供应的时间段可以相同或不同。

[0196] 电源771可以向两个或更多个加热电阻器供应电流,这可以使加热电阻器在控制器761的指导下或独自耗散相同热量(或具有相同加热功率)。加热电阻器的热耗散(加热功

率)的量可以与穿过加热电阻器的电流和加热电阻器的电压的乘积成比例。例如,电源771可以向加热电阻器751和752供应电流,这会使加热电阻器751和752耗散相同热量。作为示例,穿过加热电阻器的电流可以具有相同电流,并且加热电阻器的电压是相同的。可替代地,电源771可以向两个或更多个加热电阻器供应电流,这可以使加热电阻器耗散不同热量。例如,电源771可以向加热电阻器751供应第一电流。电源771还可以向加热电阻器752供应第二电流,该第二电流可以不同于第一电流。作为示例,第二电流可以具有比第一电流更大(或更小)的电流。可替代地或附加地,电源771可以使加热电阻器751的电压不同于加热电阻器752的电压。

[0197] 具有用于其固态光电检测器的加热机制的电光系统

[0198] 为了维持电光系统在其中操作的最佳环境,可能期望包括内置于系统中以使系统的一个或多个部件的温度保持在操作范围内的一个或多个加热元件。下面描述了新颖的固态光电检测器,其可以包括集成电路。固态光电检测器可以是电光系统的一部分,该电光系统可以是激光雷达系统(例如,激光雷达系统100)的一部分。还预期前述原理也可以应用于其他类型的电光系统(例如,相机、测距器、电子显微镜)。电光系统还可以包括用于将来自电光系统的视场(FOV)的光引导到固态光电检测器的光学器件。在一些实施例中,电光系统还可以包括用于向固态光电检测器的一个或多个部件(例如,一个或多个加热电阻器)供应电流的电流源。

[0199] 集成电路可以包括一个或多个光敏光电二极管,所述光敏光电二极管被配置为生成指示照射在(一个或多个)光敏光电二极管上的光的输出信号。集成电路还可以包括一个或多个加热元件(例如,加热电阻器),所述加热元件被配置为加热固态光电检测器的一个或多个部件。集成电路还可以包括用于将电流发送到(一个或多个)加热元件的电路。

[0200] 图10A、图10B和图10C图示了根据本发明所公开的主题的示例的示例性固态光电检测器。虽然在一些实例中单独地描述了固态光电检测器1000A、1000B和1000C(以及图11A和图11B所图示的固态光电检测器1100A和1100B),但一个固态光电检测器的一个或多个部件可以用在本文描述的其他固态光电检测器中。

[0201] 如图10A所图示,固态光电检测器1000A可以包括集成电路1001A(其可以包括光敏光电二极管1011)、加热元件(例如,加热电阻器1021)以及用于将来自电源(也被称为电流源)的电流发送到加热元件的电路等等。光敏光电二极管1011可以被配置为感测光并生成指示照射在光敏光电二极管上的光的输出信号。加热电阻器1021可以被配置为加热固态光电检测器(或其一个或多个部件)。例如,加热电阻器1021可以被配置为当电流穿过加热电阻器1021时加热光敏光电二极管1011。

[0202] 集成电路还可以包括传感器,该传感器被配置为监视固态光电检测器(或其一个或多个部件)的温度。图10B图示了包括集成电路1001B的示例性固态光电检测器1000B,该集成电路1001B可以包括被配置为监视固态光电检测器和/或光敏光电二极管1012的温度的传感器1032。集成电路1001B还可以包括加热电阻器1022,该加热电阻器1022基于固态光电检测器和/或光敏光电二极管1012的监视温度来加热光敏光电二极管1012。

[0203] 集成电路还可以包括:控制器,该控制器被配置为控制一个或多个加热元件的激活;和电源,该电源被配置为经由电路向加热元件供应电流。图10C图示了包括集成电路1001C的示例性固态光电检测器1000C,该集成电路1001C可以包括控制器1043,电源(未示

出), 传感器1033, 光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018以及加热电阻器1023。传感器1033可以被配置为监视固态光电检测器(和/或其一个或多个部件)的温度。控制器1043可以被配置为基于固态光电检测器和/或一个或多个部件(例如, 光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个)的监视温度来控制加热电阻器1023的激活。例如, 控制器1043可以从传感器1033接收指示光敏光电二极管1013的温度的信息。控制器1043还可以确定温度低于阈值。控制器1043还可以被配置为控制电源向加热电阻器1023供应电流, 由此加热光敏光电二极管1013(和/或一个或多个其他部件)。

[0204] 光敏光电二极管可以被配置为检测来自电光系统的FOV中的物体的反射。光敏光电二极管还可以基于照射在光敏光电二极管上的光(例如, 强度、定时等等, 或其组合)生成输出信号。电光系统可以包括一个或多个光敏光电二极管, 其中每个光敏光电二极管可以包括一个或多个检测器。检测器(例如, 光敏光电二极管1011的检测器, 光敏光电二极管1012的一个或多个检测器, 一个或多个光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018)可以是光敏二极管传感器, 诸如雪崩光电检测器(APD)、单光子雪崩检测器(SPAD)、硅光电倍增器检测器(SiPM)、PIN光电二极管。

[0205] 在一些实施例中, 固态光电检测器可以包括光敏光电二极管, 该光敏光电二极管包括检测器。例如, 如图10A所图示的, 电光系统1000A可以包括光敏光电二极管1011, 该光敏光电二极管1011包括被配置为检测电光系统的FOV中的光的检测器。在一些实施例中, 电光系统可以包括光敏光电二极管, 该光敏光电二极管包括多个检测器。例如, 光敏光电二极管可以包括一行或一列检测器。作为另一个示例, 如图10B所图示的, 固态光电检测器(即固态光电检测器1000B)可以包括光敏光电二极管1012, 该光敏光电二极管1012包括 4×8 检测器的矩阵(也被称为“像素”或“检测单元”)。在一些实施例中, 像素中的每一个可以被配置为检测来自FOV的一部分的光。像素的尺寸可以变化。例如, 像素尺寸可以是大约 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ 或 $1 \times 1 \text{mm}^2$ 。光敏光电二极管1012还可以包括一个或多个输出, 其中每个输出可以与光敏光电二极管1012的不同部分(像素)对应。光敏光电二极管1012可以在这样一种意义上是二维的, 即, 它在两个非平行轴中具有多于一组(例如, 行、列)检测器。光敏光电二极管1012中的检测器的数量可以在不同的实现方式之间有所变化(例如, 取决于期望的分辨率、信噪比(SNR)、期望的检测距离)。例如, 光敏光电二极管1012可以具有5和5000个像素之间的任何值。还可以实现更低或更高像素计数(例如, 以兆像素为单位)。

[0206] 光敏光电二极管的检测器可以是相同类型或者包括不同类型。可替代地或附加地, 相同类型的检测器可以具有不同特点(例如, 灵敏度、尺寸)。可以出于不同的原因使用不同类型的检测器的组合, 诸如为了改进范围跨度上(例如, 近的范围内的)检测, 改进检测器的动态范围, 改进检测器的时间响应, 和/或改进在变化的环境条件(例如, 大气温度、雨水等等)下的检测。

[0207] 在一些实施例中, 电光系统可以包括多个光敏光电二极管, 其中每个光敏光电二极管可以包括一个或多个检测器。例如, 如图10C所图示的, 电光系统1000C可以包括光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018。光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的每一个可以包括多个检测器。在一些实施例中, 固态光电检测器还可以包括与光敏光电二极管(和/或检测器)相关联的读出电路。

[0208] 固态光电二极管可以包括一个或多个加热元件(例如, 图10A、图10B和图10C分别

所图示的加热电阻器1021、1022和1023)。加热电阻器可以被配置为加热固态光电检测器的一个或多个部件(例如,光敏光电二极管、透明层、控制器等等,或其组合)。例如,如图10A所图示的,加热电阻器1021可以被配置为加热光敏光电二极管1011。可替代地或附加地,固态光电检测器可以包括两个或更多个加热电阻器以加热一个部件。例如,固态光电检测器1000A可以包括加热电阻器1021和另一个加热电阻器(未示出)以加热光敏光电二极管1011。可替代地或附加地,固态光电检测器可以包括加热电阻器,该加热电阻器被配置为加热两个或更多个光敏光电二极管。例如,如图10C所图示的,固态光电检测器1000C可以包括加热电阻器1023,该加热电阻器1023可以被配置为加热光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018。加热电阻器可以在部件上或靠近该部件实现。例如,加热电阻器可以靠近光敏光电二极管以及在上面实现光敏光电二极管的基板上实现。在一些实施例中,一个或多个加热电阻器可以在集成电路的多晶硅或金属层上实现。

[0209] 在一些实施例中,固态光电检测器可以包括控制器,该控制器被配置为控制一个或多个加热电阻器加热一个或多个部件。例如,如图10C所图示的,固态光电检测器1000C可以包括集成电路1001C,该集成电路1001C可以包括被配置为控制加热电阻器1023的激活的控制器1043。控制器1043可以控制加热电阻器1023加热光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的至少一个。作为示例,控制器1043可以在光敏光电二极管的温度低于阈值时确定激活加热电阻器1023。控制器1043还可以控制电源(未示出)使电流穿过加热电阻器。

[0210] 在一些实施例中,固态光电检测器可以包括被配置为加热一个部件的两个或更多个加热电阻器。加热电阻器可以在部件上(或靠近该部件)均匀地实现。可替代地,加热电阻器可能不会在部件上(或靠近该部件)均匀地实现。在一些实施例中,加热电阻器可以是相同类型的或不同类型的。可替代地或附加地,控制器可以控制电源向加热电阻器供应相同电流或不同电流。

[0211] 在一些实施例中,控制器可以控制电源向不同加热电阻器供应不同电流。例如,电源可以向第一加热电阻器供应第一电流,并向第二加热电阻器供应不同于第一电流(例如,较大或较小电流)的第二电流。

[0212] 在一些实施例中,固态光电检测器可以包括被配置为加热两个或更多个部件的一个加热元件。作为示例,如图10C所图示的,固态光电检测器1000C可以包括加热电阻器1023,该加热电阻器1023被配置为当电流穿过加热电阻器1023时加热光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018。

[0213] 在一些实施例中,加热元件可以被配置为响应于指示固态光电检测器(和/或其一个或多个部件)的温度的信息来加热固态光电检测器(和/或其一个或多个部件)。作为示例,控制器1043可以接收指示光敏光电二极管1013的温度低于阈值的信息。控制器1043还可以控制电源向加热电阻器1023供应电流以用于加热光敏光电二极管1013。

[0214] 在一些实施例中,加热电阻器可以是相同类型的。可替代地,电光系统可以包括两种或更多种不同类型的加热电阻器。例如,加热电阻器可以具有来自另一个加热电阻器(或其他加热电阻器)的不同的总电阻、加热功率等等,或其组合。

[0215] 在一些实施例中,加热电阻器(例如,加热电阻器1021、1022和/或1023)可以具有在1/4和5千欧范围内的总电阻。在一些实施例中,加热电阻器的总电阻可以局限在1/4至1

欧姆、1-10欧姆、10-50欧姆、50-100欧姆、100-500欧姆、500-1000欧姆、1-2千欧和2-5千欧的子范围内。

[0216] 在一些实施例中,加热电阻器(例如,加热电阻器751、752、753、754和756)可以具有在5和5000毫瓦范围内的热功率。在一些实施例中,加热电阻器的热功率可以局限在5至10毫瓦、10-50毫瓦、50-100毫瓦、100-500毫瓦、500-1000毫瓦、1000-1500毫瓦、1500-2500毫瓦和2500-5000毫瓦的子范围内。

[0217] 在一些实施例中,固态光电检测器可以包括各种传感器(未示出),所述传感器被配置为监视固态光电检测器在其下操作的条件。例如,固态光电检测器的集成电路可以包括一个或多个温度传感器,所述温度传感器被配置为监视固态光电检测器(和/或其一个或多个部件)的温度。例如,温度传感器(例如,电阻式温度传感器)可以被配置为测量固态光电检测器或其光敏光电二极管的温度。可替代地或附加地,温度传感器可以被配置为监视固态光电检测器(或包括固态光电检测器的电光系统)的周围温度。传感器可以包括反馈电阻器、二极管、晶体管等等中的至少一个或其组合。传感器可以例如通过测量变化温度对固态光电检测器的一个或多个部件的操作的影响来直接地或间接地测量温度。

[0218] 传感器可以被配置为将与其监视的(一个或多个)条件相关的信号和/或信息发送到固态光电检测器的控制器。例如,传感器可以将指示光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个的温度的信息发送到控制器1043,该控制器1043可以基于接收到的信息确定是否激活一个或多个加热电阻器来加热光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个。传感器对温度的测量(或监视)可以是连续的或间歇的。可替代地或附加地,传感器可以从控制器1043接收控制信号以测量温度并将其获取的温度信息发送到控制器1043。作为示例,控制器1043可以接收指示一个或多个光敏光电二极管的操作状态的信息并生成发送到传感器的控制信号。在接收到控制信号之后,传感器可以测量光敏光电二极管的温度并将温度信息发送到控制器1043。

[0219] 在一些实施例中,传感器可以被实现为固态光电检测器的一部分。例如,传感器可以在集成电路上的固态光电检测器的部件上(或靠近该部件)实现。作为示例,传感器可以在上面实现光敏光电二极管的基板上或控制器1043上实现。作为另一个示例,传感器可以靠近透明层(例如,图1A所图示的窗口124、图11A所图示的窗口1131、图11B所图示的微透镜1152、图4D所图示的微透镜422)实现。在其他实施例中,传感器可以在固态光电检测器或电光系统外部实现(例如,电光系统外部的被配置为测量围绕电光系统的周围温度的温度传感器)。

[0220] 在一些实施例中,固态光电检测器还可以包括控制器(例如,控制器1043)和电源。控制器1043可以包括一个或多个处理器、微处理器等等,或其组合。控制器1043可以被配置为控制一个或多个加热电阻器的激活。例如,控制器1043可以控制电源(未示出)向加热电阻器中的一个或多个供应电流。

[0221] 电源可以被配置为向一个或多个加热电阻器供应电功率以用于加热。电源可以是蓄电池、AC电源、DC电源、可充电电容器等等,或其组合。在一些实施例中,电源可以包括是固态光电检测器或电光系统的一部分的电源(例如,内部电源)。可替代地或附加地,电源可以包括固态光电检测器或电光系统外部的电源。

[0222] 在一些实施例中,电源可以电耦合到固态光电检测器的各种部件(例如,光敏光电

二极管、加热电阻器、控制器、各种传感器)。电源可以在控制器1043外部。可替代地,电源和控制器1043可以被集成为信号单元。在一些实施例中,控制器1043和电源可以电耦合到电光系统,但在电光系统外部。例如,控制器1043(和/或电源)可以在电光系统外部实现(例如,作为包括电光系统的激光雷达系统的另一个部分)。

[0223] 在一些实施例中,控制器1043可以基于从固态光电检测器(或其部件)读取的温度选择性地使电源施加穿过加热电阻器的电流。例如,控制器1043可以被配置为基于从固态光电检测器1000C读取的温度(例如,从光敏光电二极管1013读取的温度)控制电源选择性地向加热电阻器1023(但如果有的话则向(一个或多个)其他加热电阻器)供应电流。作为示例,当温度读数低于阈值温度时,控制器1043可以选择性地使电源供应穿过加热电阻器1023的电流。

[0224] 在一些实施例中,电光系统是激光雷达系统,该电光系统还可以包括处理器,该处理器被编程为处理(一个或多个)光敏光电二极管的检测结果以用于确定距FOV中的至少一个物体的距离。也可以预期其他类型的电光系统(例如,相机、电子显微镜)。

[0225] 在一些实施例中,固态光电检测器还可以包括连接到固态光电检测器的透明层,并且固态光电检测器可以包括被配置为减少或防止冰(或霜)在透明层上积聚的加热电阻器。透明层可以是例如窗口、楔子、微透镜阵列、棱镜、棱镜阵列、光学滤波器等等,或其组合。透明层可以是透明的、部分透明的或半透明的。

[0226] 图11A图示了包括光敏光电二极管1111以及加热电阻器1121和1122的示例性固态光电检测器1100A。光敏光电二极管1111可以与如本公开中别处描述的光敏光电二极管相似。加热电阻器1121和1122可以类似于如本公开中别处描述的加热电阻器。固态光电检测器1100A还可以包括连接到光敏光电二极管1111的窗口1131。冰或霜(例如,冰1141)可以在某些条件下(例如,在存在湿度或蒸气时包括电光系统的激光雷达系统的外部)和/或内部可以低于冰点)积聚在窗口1131上。冰或霜可以形成光学块(或滤波器)和/或改变窗口1131的光学特点(例如,改变透镜的光学功率)。为了减少或防止冰的积聚,加热电阻器1122(和/或加热电阻器1121)可以被配置为加热窗口1131(和/或光敏光电二极管1111)。加热处理可以与本公开中别处描述(例如,根据处理1200)的加热处理相似。

[0227] 图11B图示了包括光敏光电二极管1111以及加热电阻器1121和1124的示例性固态光电检测器1100B。光敏光电二极管1111可以与如本公开中别处描述的光敏光电二极管相似。加热电阻器1123和1124可以类似于如本公开中别处描述的加热电阻器。固态光电检测器1100B还可以包括连接到光敏光电二极管1112的微透镜1152的阵列。冰或霜(例如,冰1142)可以在某些条件下(例如,在存在湿度或蒸气时包括固态光电检测器的激光雷达系统的外部)和/或内部可以低于冰点)积聚在微透镜1152(或其一个或多个微透镜)上。冰或霜可以形成光学块(或滤波器)和/或改变微透镜1152的光学特点(例如,改变透镜的光学功率)。为了减少或防止冰的积聚,加热电阻器1124(和/或加热电阻器1123)可以被配置为加热微透镜1152(和/或光敏光电二极管1112)。加热处理可以与本公开中别处描述(例如,根据处理1200)的加热处理相似。

[0228] 在一些实施例中,固态光电检测器的两个或更多个部件(例如,光敏光电二极管、加热电阻器、控制器、电源中的一个或多个)可以在单个芯片(或电路)上制造。例如,加热电阻器1023以及光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个(和用于

将电流发送到加热电阻器1023的电路)可以在集成电路上实现。可替代地或附加地,加热电阻器和光敏光电二极管的电极可以在集成电路的相同金属层上实现。可替代地或附加地,加热电阻器可以在集成电路的硅基层的掺杂区域上实现。在一些实施例中,加热电阻器和光敏光电二极管即使在相同金属层上实现(例如,在相同金属应用处理中)也可以彼此机械和/或电隔离。在其他实施例中,加热电阻器和光敏光电二极管可以被机械和/或电连接。

[0229] 固态光电检测器还可以包括附加部件,诸如控制器、电源、传感器(例如,温度传感器)、光学部件、结构元件、透明层等等。附加部件中的一个可以在与加热电阻器和/或光敏光电二极管相同的芯片上实现,在另一芯片上实现,或以其他方式集成。

[0230] 在一些实施例中,一个或多个加热电阻器可以在靠近固态光电检测器的部件的位置实现。作为示例,一个或多个加热电阻器可以靠近光敏光电二极管实现。

[0231] 图12是与所公开的实施例一致的示例性加热处理1200的流程图。加热处理1200的一个或多个步骤可以由固态光电检测器的控制器或固态光电检测器外部的控制器(例如,处理器118)执行。尽管加热处理在本文中使用图10C所图示的固态光电检测器1000C的部件进行了描述,但其可适用于本公开中描述的其他示例性固态光电检测器。

[0232] 在步骤1201,可以接收温度信息。步骤1201可以由固态光电检测器的控制器和/或处理器118执行。例如,控制器1043可以接收温度信息。在一些实施例中,控制器1043可以从温度传感器接收指示固态光电检测器1000C(或其一个或多个部件,诸如一个或多个光敏光电二极管、透明层等等,或其组合)的信息。例如,靠近光敏光电二极管1013的传感器可以测量光敏光电二极管1013的温度并将指示温度的信息发送到控制器1043。作为另一个示例,控制器1043可以从固态光电检测器1000C外部的传感器接收指示固态光电检测器1000C的周围环境中的周围温度的信息。

[0233] 在一些实施例中,传感器可以连续地测量固态光电检测器(或其一个或多个部件,诸如一个或多个光敏光电二极管、透明层等等,或其组合)的温度并将信息连续地发送到控制器1043。可替代地或附加地,传感器可以间歇地测量温度并将温度信息(如果可用)发送到控制器1043。例如,传感器可以被配置为在预定时段内(其可以在0.1秒至10分钟的范围)内测量温度一次。在一些实施例中,该时段可局限在0.1至1秒、1至10秒、10至60秒和1至10分钟的子范围内。可替代地或附加地,传感器可以被配置为按需测量温度。例如,传感器可以从控制器1043接收控制信号。作为响应,传感器可以(连续地或间歇地)测量温度并将温度信息发送到控制器1043。在一些实施例中,传感器可以继续测量温度,直到接收到停止测量的第二控制信号。

[0234] 在步骤1203,可以确定是否激活(或停止)加热电阻器中的一个或多个。步骤1203可以由固态光电检测器的控制器和/或处理器118执行。例如,控制器1043可以被配置为基于接收到的温度信息来确定是否激活(或停止)加热电阻器中的一个或多个(包括例如加热电阻器1023)加热固态光电检测器或者固态光电检测器的一个或多个部件(例如,集成电路、一个或多个光敏光电二极管、传感器、控制器、透明层等等,或其组合)。例如,控制器1043可以确定光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个的温度是否低于激活阈值,该激活阈值可以是(一个或多个)部件在其下最佳地操作的温度范围的下限。如果光敏光电二极管1013、1014、1015、1016、1017和1018中的一个或多个的温度低于激活阈值,那么控制器1043可以确定激活加热电阻器1023来加热(一个或多个)光敏光电二

极管。另一方面,如果控制器1043确定光敏光电二极管的温度等于或超出激活阈值,那么控制器1043可以确定无需加热电阻器1023的激活(即不采取措施)。作为另一个示例,控制器1043可以从第一传感器接收指示第一部件的温度的信息,并且从第二传感器接收指示第二部件的温度的信息。作为示例,控制器1043可以从第一传感器接收光敏光电二极管1013的温度的信息,并且从第二传感器接收指示光敏光电二极管1014的温度的信息。控制器1043还可以确定光敏光电二极管1013的温度高于第一激活阈值,而光敏光电二极管1014的温度低于第二激活阈值(其可以与第一阈值相同或不同)。控制器1043还可以确定激活靠近光敏光电二极管1014的加热电阻器1014,而不激活靠近光敏光电二极管1013(图10A未示出)的加热电阻器。作为另外的示例,控制器1043可以确定部件的温度中的一个低于与特定部件(其可以与所述部件相同或不同)对应的激活阈值,并且确定激活一些或全部加热电阻器。

[0235] 在一些实施例中,激活温度阈值可以与电光系统(或固态光电二极管)操作的露点相关。例如,控制器1043可以接收(或基于诸如压力、湿度之类的各种因素确定)电光系统(或固态光电二极管)操作的露点。控制器1043可以将露点设定为激活阈值。可替代地,控制器1043可以将低于或高于露点的某一摄氏度设定为激活阈值。作为示例,控制器761可以将低于(或高于)露点3℃设定为激活阈值。

[0236] 在一些实施例中,控制器1043可以被配置为基于来自上面实现光敏光电二极管的芯片的温度来确定激活加热电阻器。例如,控制器1043可以被配置为从上面实现光敏光电二极管的芯片接收温度读数并确定温度低于阈值。控制器1043可以被配置为确定选择性地激活加热电阻器以加热光敏光电二极管。

[0237] 控制器1043还可以被配置为在满足停止条件时停止一个或多个加热电阻器。例如,控制器1043可以基于接收到的温度信息停止加热电阻器。作为示例,控制器1043可以从传感器接收指示在加热电阻器1023被激活以用于加热光敏光电二极管1013(如本公开中别处描述的)之后光敏光电二极管1013的温度的信息。控制器1043可以确定光敏光电二极管1013的温度等于或超出停止阈值。控制器1043可以确定停止加热电阻器1023。部件的停止阈值可以等于或高于其激活阈值。在一些实施例中,停止阈值可以与固态光电检测器的周围温度(例如,比周围温度高5、10或15℃)相关。可替代地或附加地,控制器1043可以在预定加热时段(例如,1、5或10分钟)之后停止加热电阻器。

[0238] 在一些实施例中,控制器1043可以控制加热电阻器的激活,直到满足停止条件。例如,控制器1043可以激活加热电阻器1023来加热光敏光电二极管1013,并且加热电阻器1023可以被配置为在激活时加热光敏光电二极管1013。控制器1043可以从传感器接收指示在加热之后光敏光电二极管1013的温度的信息。控制器1043可以确定光敏光电二极管1013的温度比固态光电检测器(或其光敏光电二极管)的周围环境中的周围温度高温度差(例如,5或10℃)。控制器1043接着可以停止加热电阻器1023。温度差可以在1-30℃的范围内。在一些实施例中,时间差可局限在1至5℃、5至10℃、10至20℃或20至30℃的子范围内。在一些实施例中,用于停止加热电阻器的条件可以与在加热之后达到停止温度阈值、达到用于通过加热电阻器进行加热的时段等等或其组合相关。

[0239] 在一些实施例中,停止阈值可以与电光系统(或固态光电二极管)操作的露点相关。例如,控制器1043可以接收(或基于诸如压力、湿度之类的各种因素确定)电光系统(或固态光电二极管)操作的露点。控制器1043可以将高于露点的某一摄氏度设定为停止阈值。

作为示例,控制器1043可以将高于露点5-20℃之间的任何数设定为停止阈值。

[0240] 在一些实施例中,控制器1043可以基于部件的温度和参考温度确定激活(和/或停止)加热电阻器来加热部件。参考温度可以是另一个部件的温度。例如,控制器1043可以从第一传感器接收指示光敏光电二极管1013的温度的信息,并且从第二传感器接收指示光敏光电二极管1014的温度(其用于参考温度)的信息。控制器1043可以基于光敏光电二极管1013的温度和参考温度之间的比较确定激活(和/或停止)加热电阻器1023来加热光敏光电二极管1013。作为示例,如果光敏光电二极管1013的温度比参考温度低5℃,那么控制器1043可以确定激活加热电阻器1023。

[0241] 在步骤1205,可以激活(或停止)一个或多个加热元件。步骤1205可以由固态光电检测器的控制器或固态光电检测器外部的控制器执行。例如,控制器1043可以被配置为激活(或停止)其确定激活(或停止)的加热元件。例如,控制器1043可以被配置为使经由电路向加热电阻器施加电流。作为示例,控制器1043可以控制电源(通过例如将控制信号发送到电源)来经由电路向加热电阻器供应电流,该加热电阻器可以当电流穿过时加热一个或多个部件。在一些实施例中,加热可以减少或防止光敏光电二极管和/或固态光电检测器的透明层上的冰积聚。

[0242] 在一些实施例中,假定光敏光电二极管在较低温度下可以更好地操作(例如,具有较低噪音),加热光敏光电二极管可能会影响光敏光电二极管的性能。例如,加热光敏光电二极管可以降低电源的灵敏度。当加热可能会不利地影响光敏光电二极管的性能时,控制器1043可以停止加热光敏光电二极管的加热电阻器。例如,在光敏光电二极管已经被加热之后或正被加热时,控制器1043可以接收与光敏光电二极管的性能相关的信息。控制器1043可以基于接收到的信息确定是否停止加热电阻器。如果确定加热已经不利地影响到光敏光电二极管的性能时,那么控制器1043也可以停止加热电阻器。作为另一个示例,在光敏光电二极管已经被加热之后或正被加热时,控制器1043可以接收与光敏光电二极管的温度相关的信息。控制器1043可以确定温度等于或超出停止阈值。控制器1043还可以确定停止加热电阻器,使得光敏光电二极管可以在最佳温度下操作,由此维持从FOV到光敏光电二极管的路径的光学透明度或效率。

[0243] 在一些实施例中,控制器1043可以被配置为使加热电阻器将光敏光电二极管加热到比固态光电检测器(或光敏光电二极管)的周围环境中的周围温度高至少某一摄氏度的温度。例如,控制器1043可以被配置为使加热电阻器将光敏光电二极管加热到比固态光电检测器(或光敏光电二极管)的周围环境中的周围温度高至少5至20℃之间的任何数的温度。

[0244] 在一些实施例中,控制器1043可以基于加热电阻器将加热的(一个或多个)部件的温度使向加热电阻器施加电流。例如,控制器1043可以当光敏光电二极管1013处于第一温度时控制电源来向加热电阻器1023施加第一电流并且当光敏光电二极管1013处于低于第一温度的第二温度时向加热电阻器1023供应大于第一电流的第二电流。

[0245] 在一些实施例中,控制器1043可以基于加热电阻器加热的部件的温度之间的差使不同电流被施加到不同电阻器。例如,控制器1043可以确定激活第一加热电阻器和第二加热电阻器。控制器1043可以控制电源向第一加热电阻器供应第一电流并向第二加热电阻器供应第二电流,该第二电流可以不同于(例如,大于或小于)第一电流。可替代地或附加地,

控制器1043可以基于加热电阻器的类型使不同电流被施加到不同加热电阻器。

[0246] 电源可以以各种方式(在控制器1043的指导下或独自)向一个或多个加热电阻器供应电流。例如,电源可以向加热电阻器供应脉冲电流。可替代地或附加地,电源可以向加热电阻器连续地供应电流。可替代地或附加地,电源可以向加热电阻器间歇地供应电流。例如,电源可以继续向加热电阻器供应电流持续第一时间段,停止供应持续第二时间段,然后恢复供应持续第三时间段,等等。用于供应和中止供应的时间段可以相同或不同。

[0247] 电源可以向两个或更多个加热电阻器供应电流,这可以使加热电阻器在控制器1043的指导下或独自耗散相同热量(或具有相同加热功率)。加热电阻器的热耗散(加热功率)的量可以与穿过加热电阻器的电流和加热电阻器的电压的乘积成比例。例如,电源可以向第一加热电阻器和第二加热电阻器供应电流,这会使加热电阻器耗散相同热量。作为示例,穿过加热电阻器的电流可以具有相同电流,并且加热电阻器的电压是相同的。可替代地,电源可以向两个或更多个加热电阻器供应电流,这可以使加热电阻器耗散不同热量。例如,电源可以向第一加热电阻器供应第一电流。电源还可以向第二加热电阻器供应第二电流,该第二电流可以不同于第一电流。作为示例,第二电流可以具有比第一电流更大(或更小)的电流。可替代地或附加地,电源可以使第一加热电阻器的电压不同于第二加热电阻器的电压。

[0248] 在一些实施例中,电光系统可以被配置为通过光敏光电二极管检测来自电光系统的FOV的光(在由一个或多个加热电阻器进行加热之后和/或之前)。例如,加热光敏光电二极管(或透明层)的至少一个实例可以在光的检测之前。在一些实施例在和,检测可以被连续地执行(例如,以用于扫描固态光电检测器的FOV),而加热是在满足加热条件时(例如,在温度下降到低于阈值温度时)被执行。

[0249] 出于说明的目的给出了前述描述。它并非详尽的,并且不限于所公开的精确形式或实施例。考虑到所公开的实施例的说明书和实践,修改和适应对于本领域技术人员来说是显而易见的。附加地,虽然所公开的实施例的各方面被描述为存储在存储器中,但是本领域技术人员将认识到的是,这些方面也可以存储在其他类型的计算机可读介质上,诸如辅助存储设备,例如硬盘或CD ROM,或其他形式的RAM或ROM、USB介质、DVD、蓝光或其他光驱介质。

[0250] 基于书面描述和所公开的方法的计算机程序在有经验的开发者的技能范围内。各种程序或程序模块可以使用本领域技术人员已知的任何技术来创建,或者可以结合现有软件来设计。例如,程序部分或程序模块可以在.Net框架、.Net紧凑框架(以及相关语言,诸如Visual Basic、C等等)、Java、C++、Objective-C、HTML、HTML/AJAX组合、XML或包含Java小程序的HTML中设计或借助于它们来设计。

[0251] 而且,尽管本文已经描述了说明性实施例,但是具有等同元件、修改、省略、组合(例如,跨各种实施例的各方面)、适应和/或更改的任何和所有实施例的范围将被本领域技术人员基于本公开而理解。权利要求书中的限制应当基于权利要求书中采用的语言广泛地解释,并且不限于本说明书中或在申请的审查期间描述的示例。这些示例应当被解释为非排除性的。此外,可以以任何方式修改所公开的方法的步骤,包括通过对步骤重新排序和/或插入或删除步骤。因此,意图是说明书和实施例仅被认为是说明性的,真正的范围和精神由以下权利要求书及其等同物的全部范围指示。

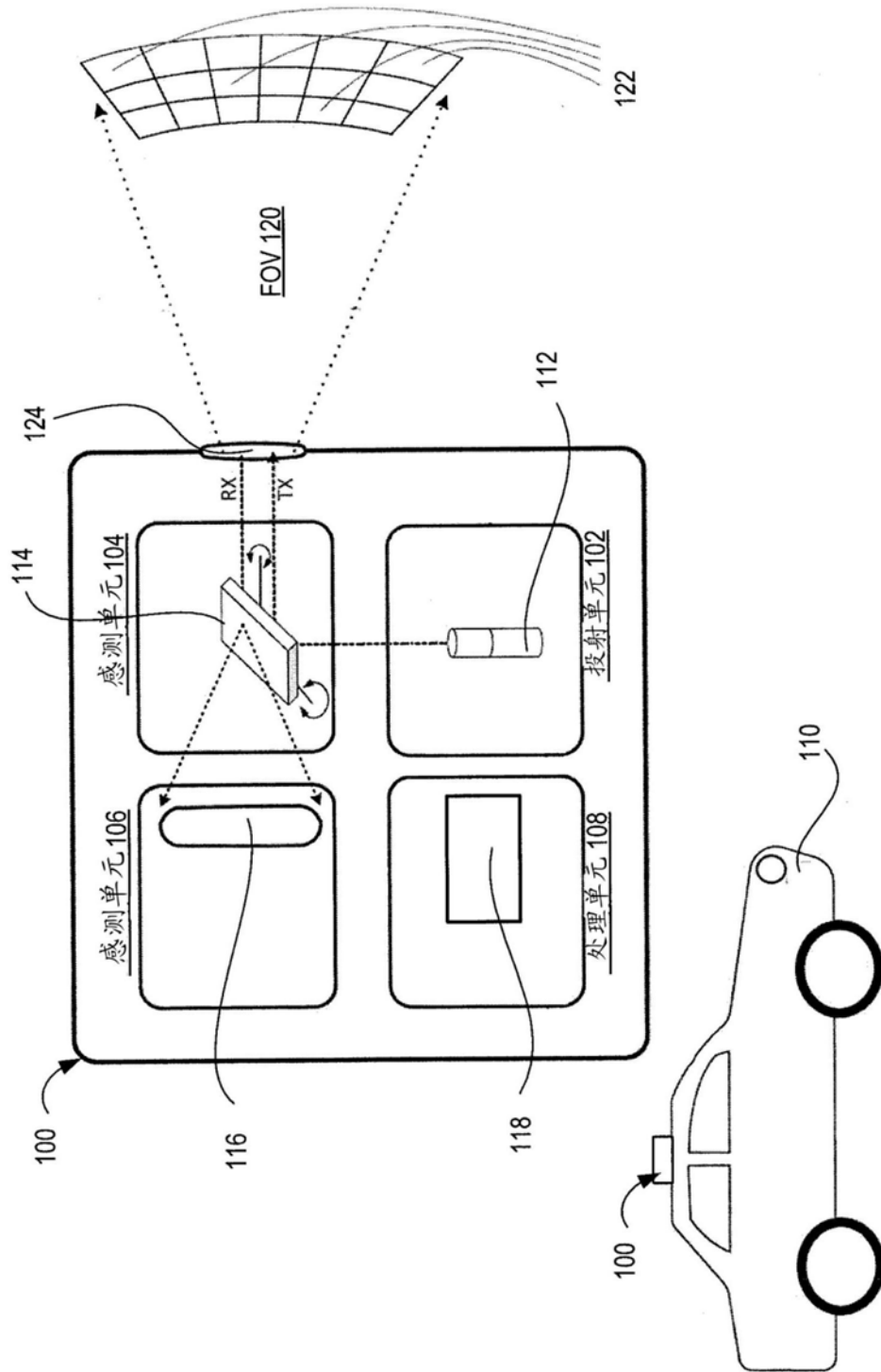


图1A

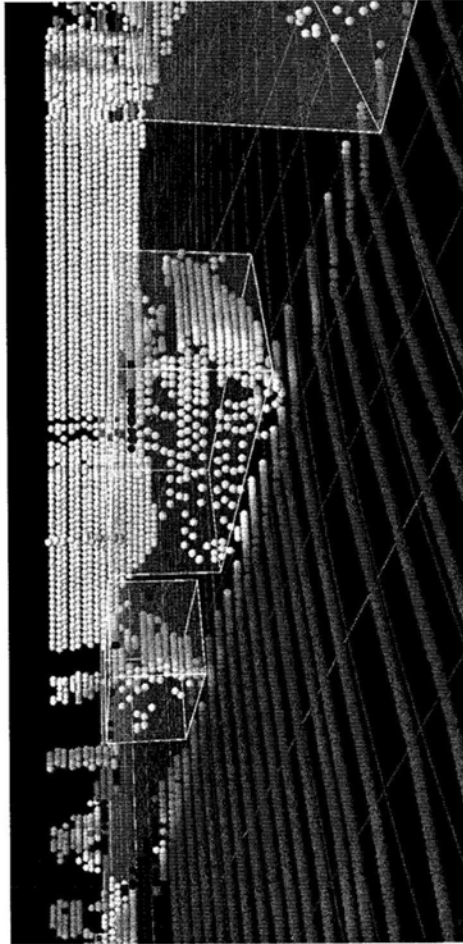


图1B

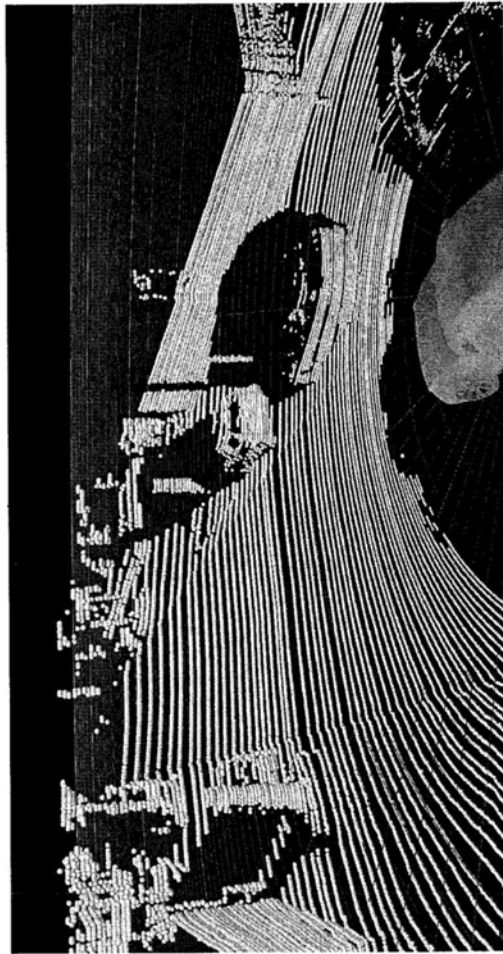


图1C

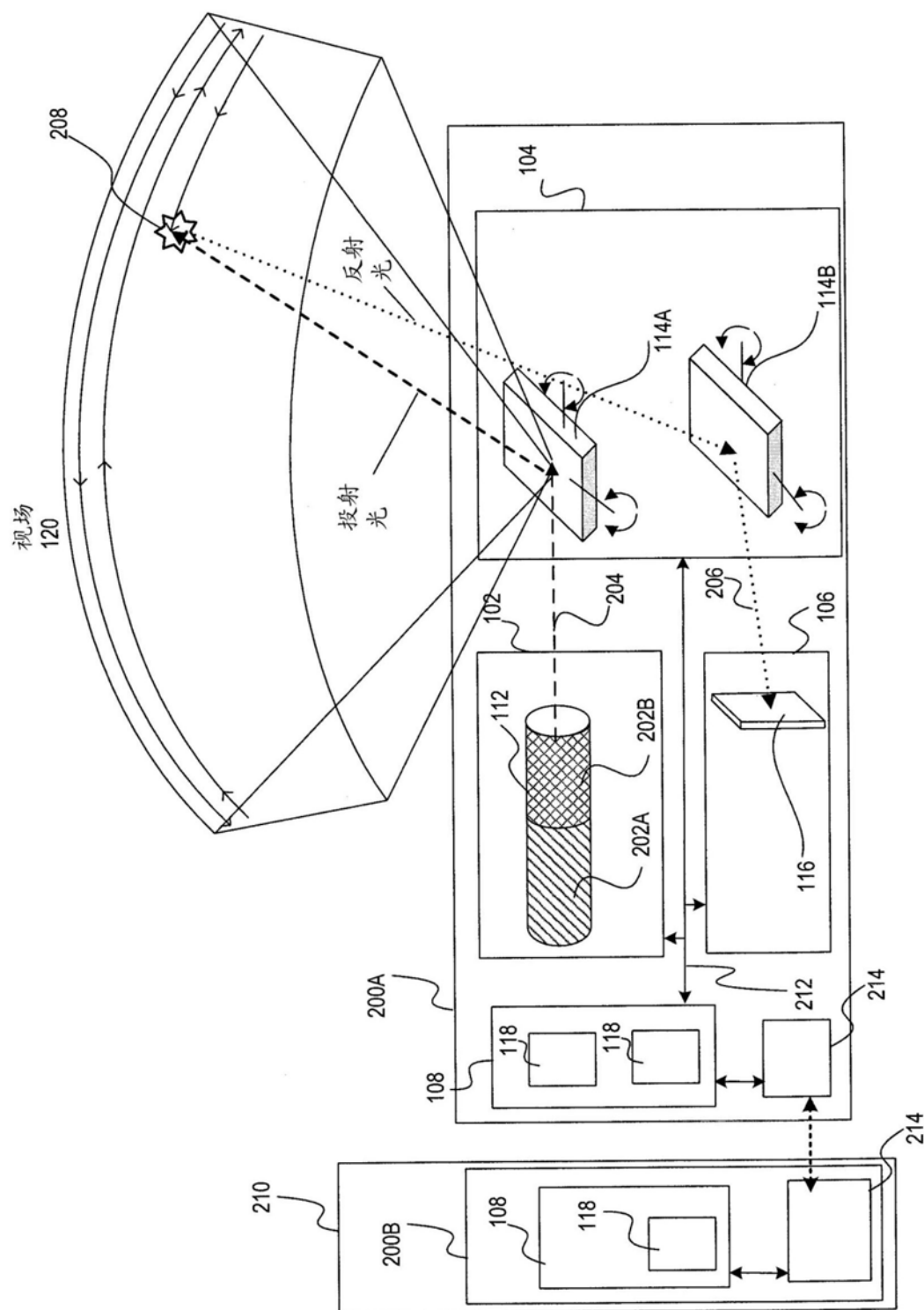


图2A

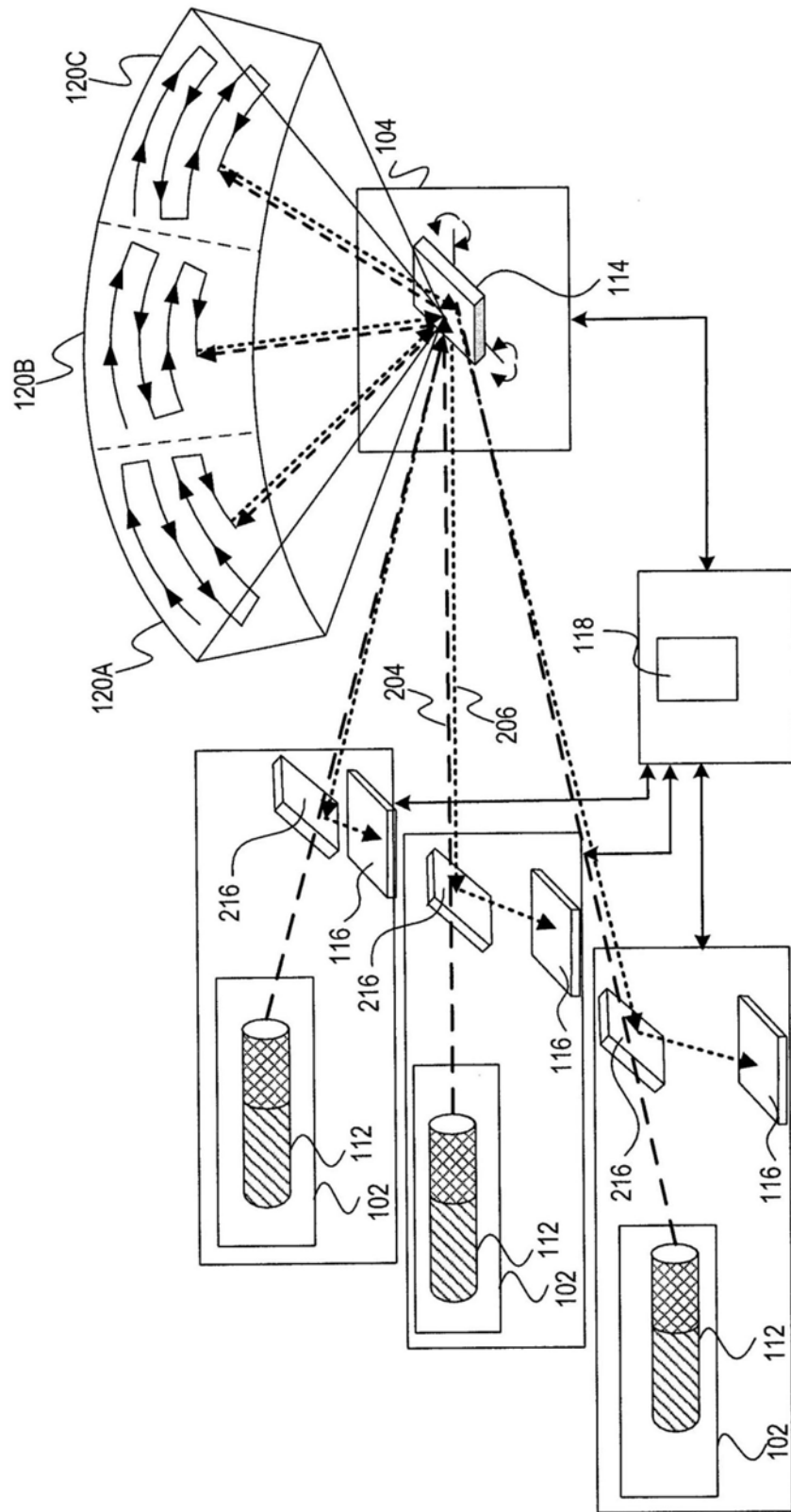


图2B

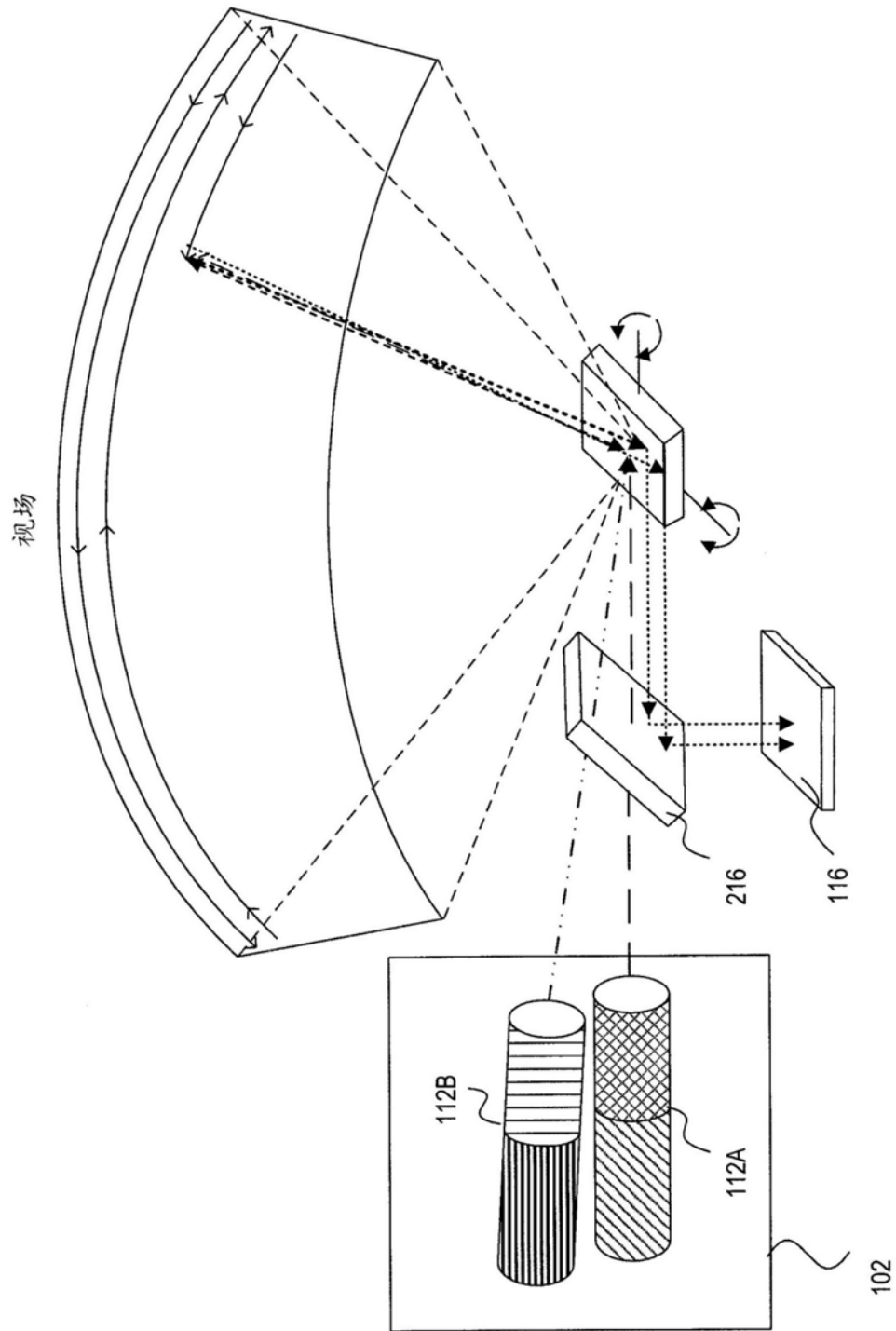


图2C

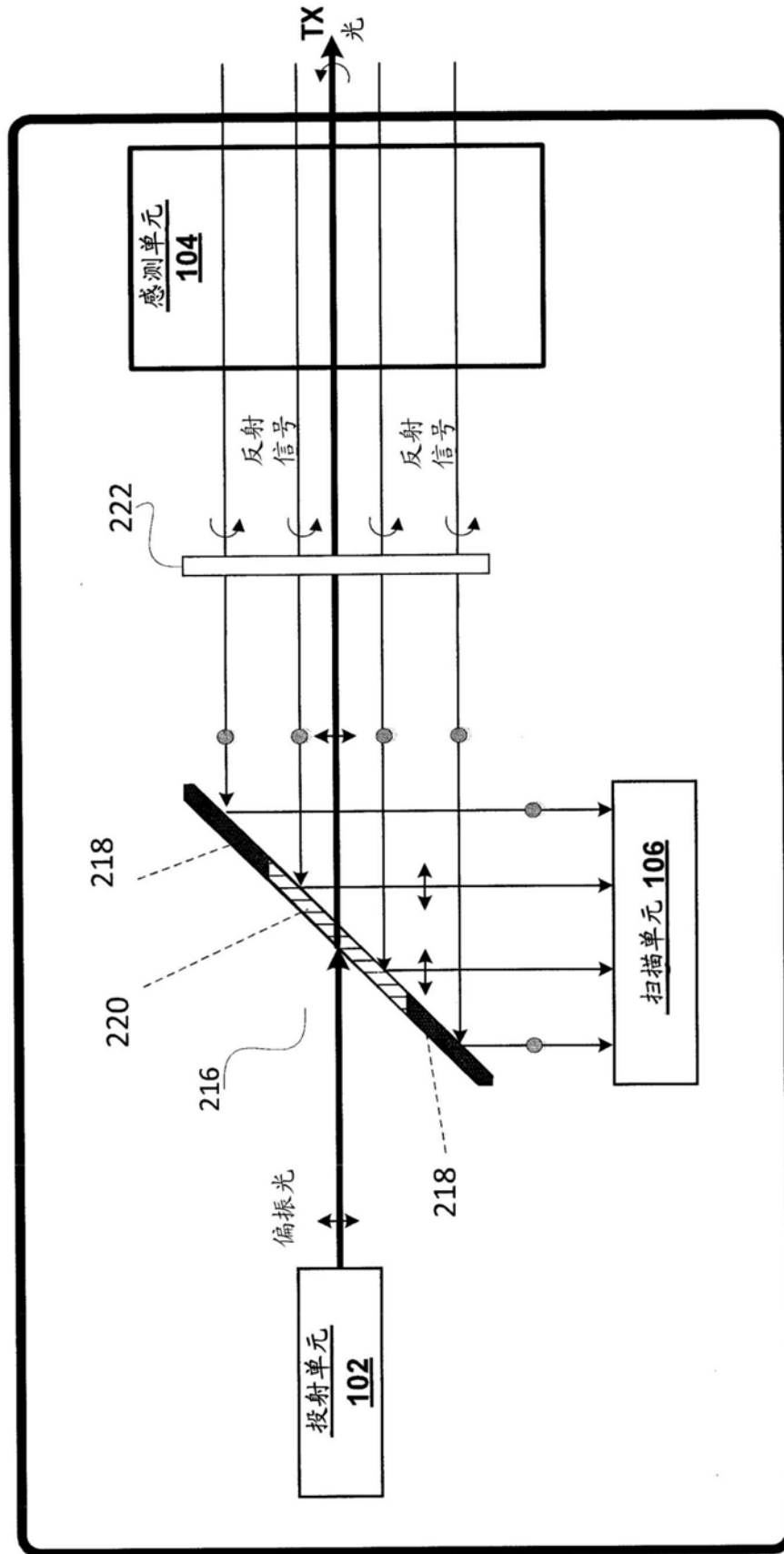


图2D

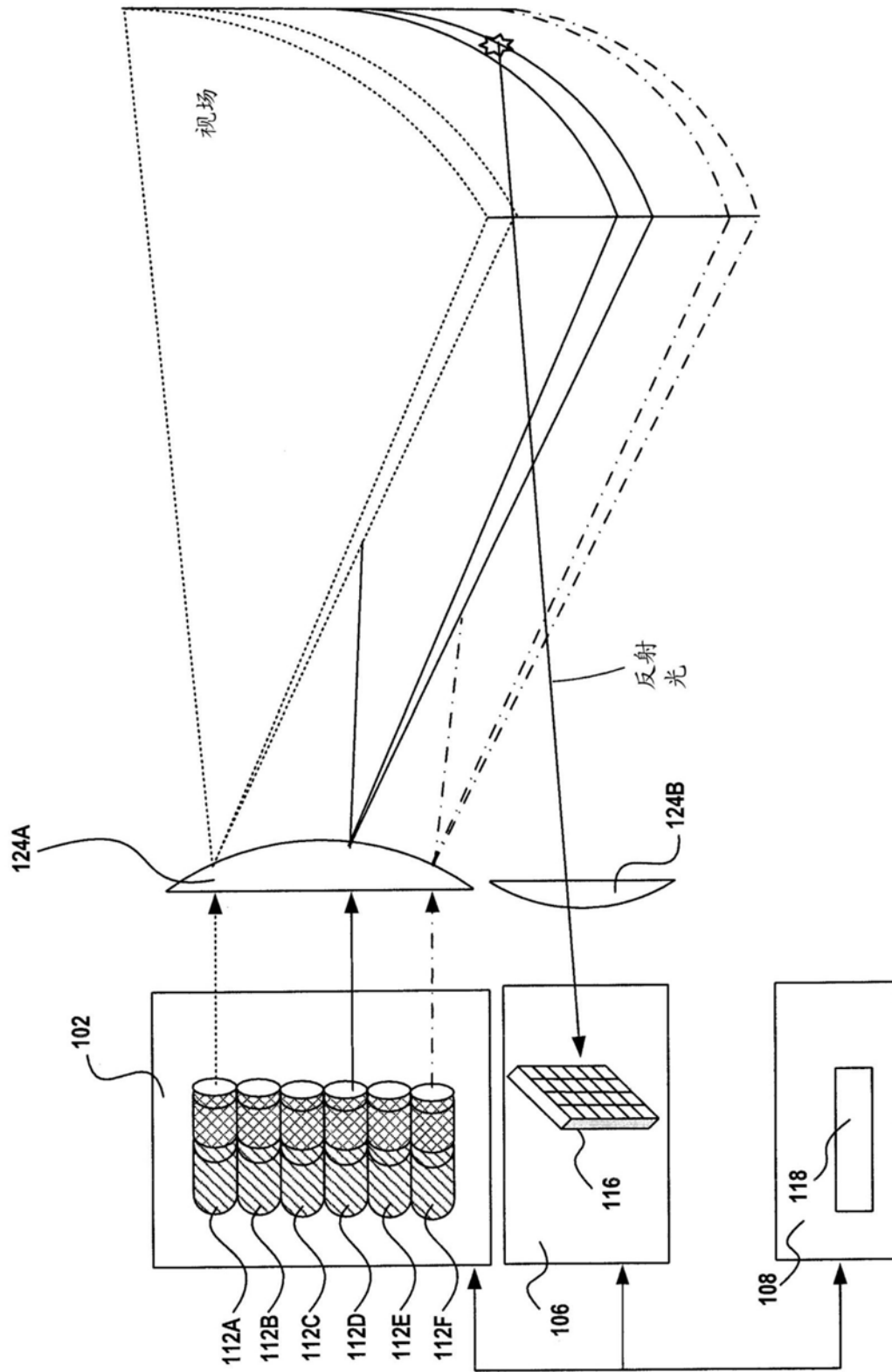


图2E

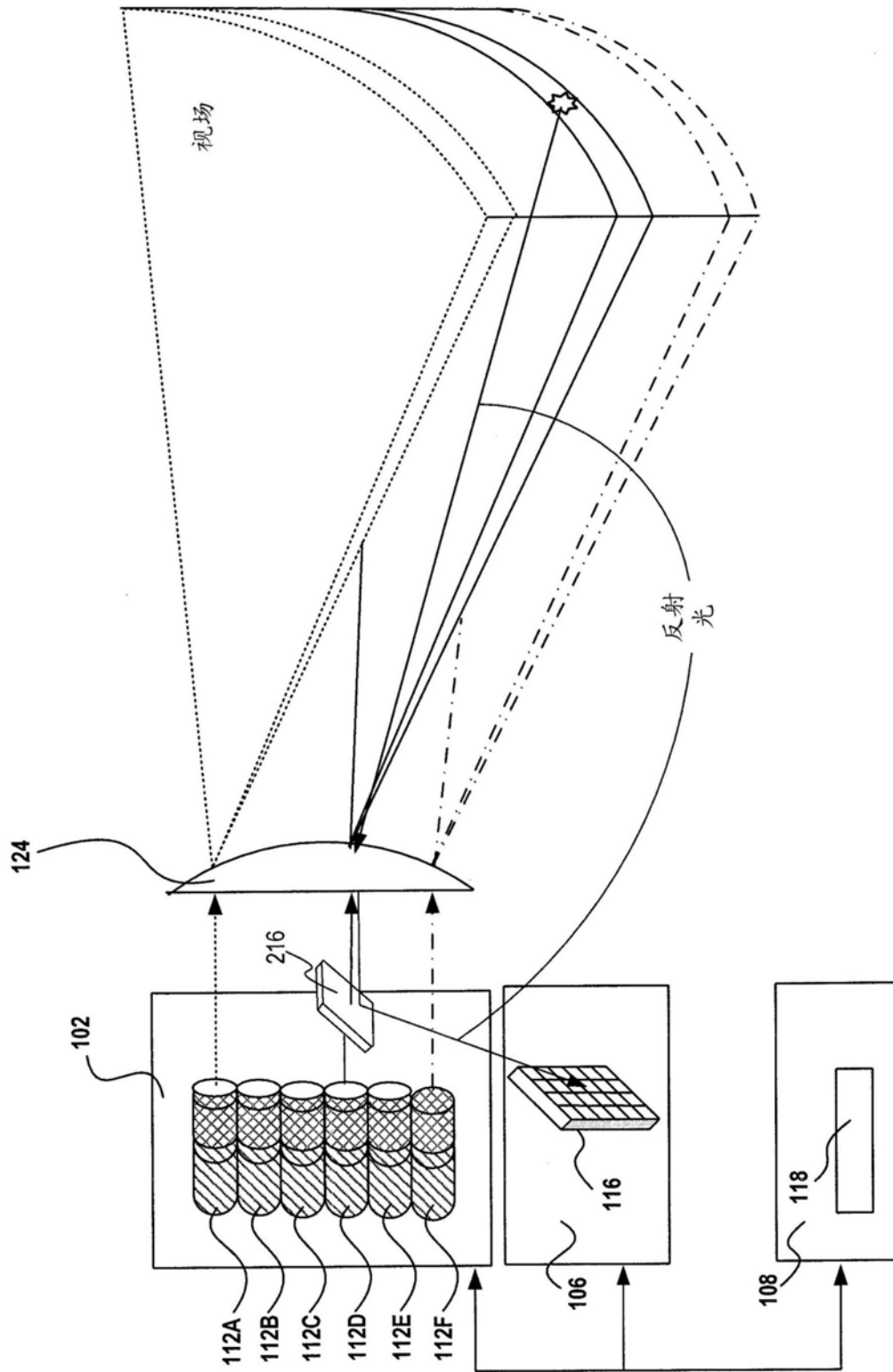


图2F

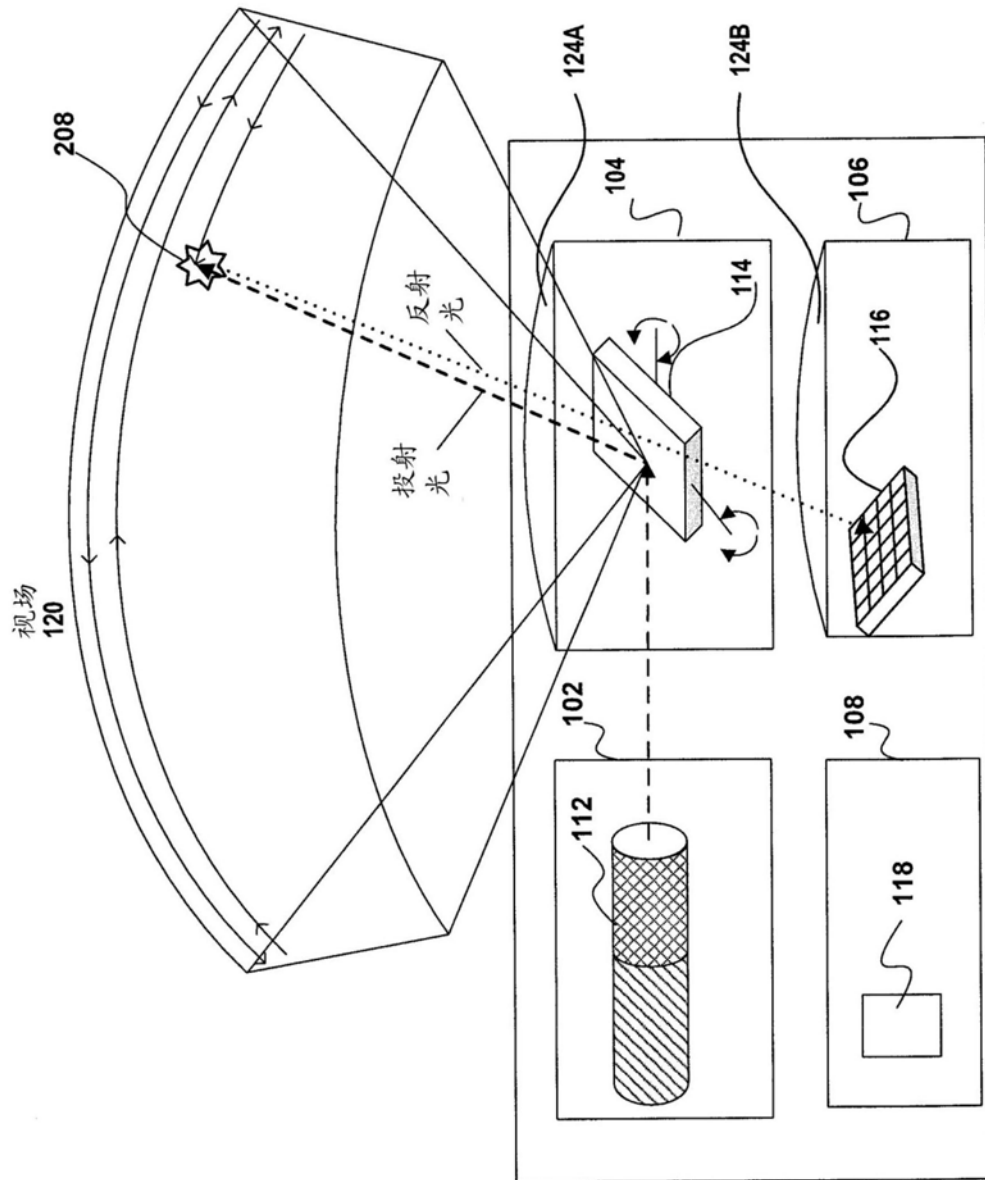


图2G

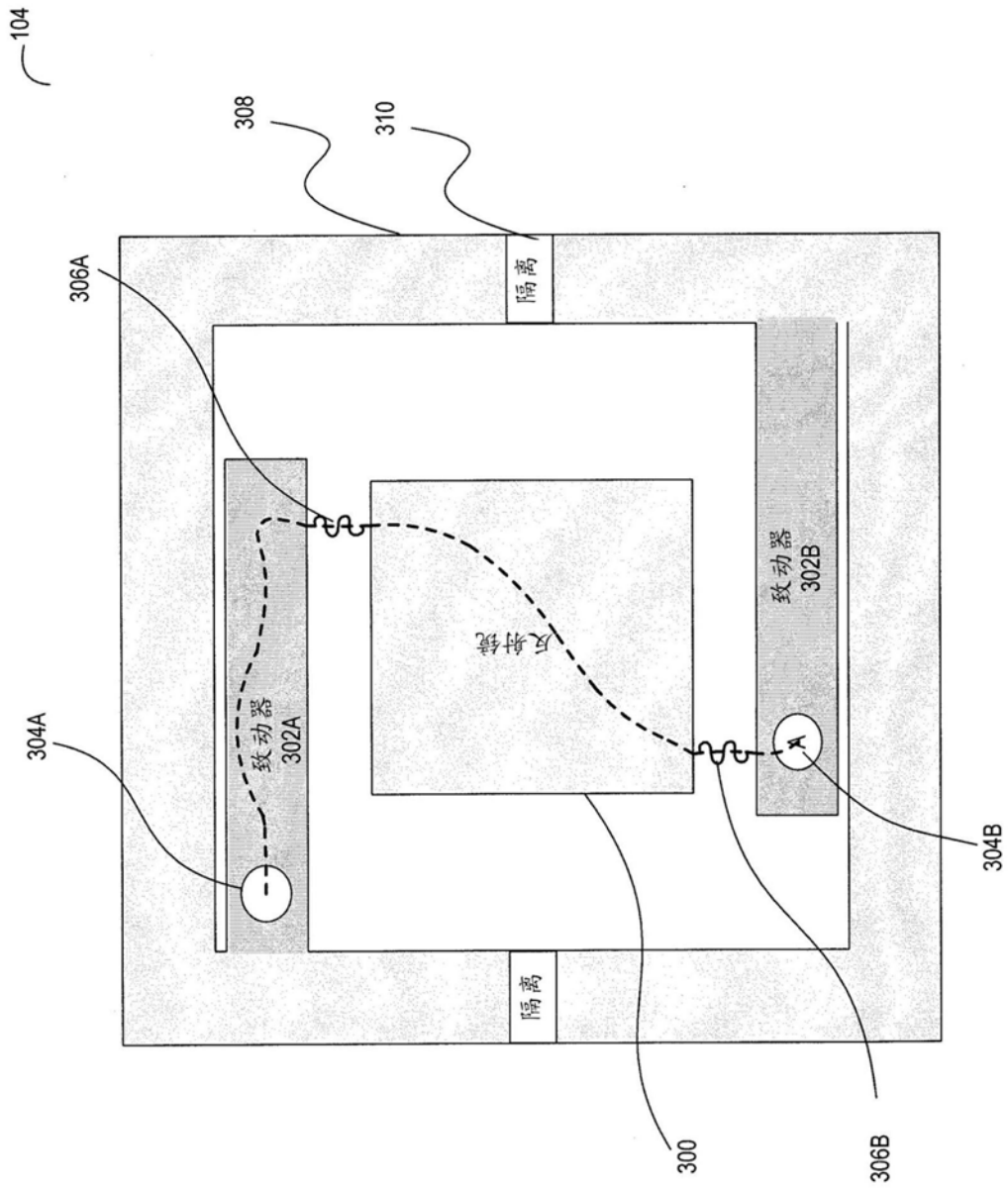


图3A

104

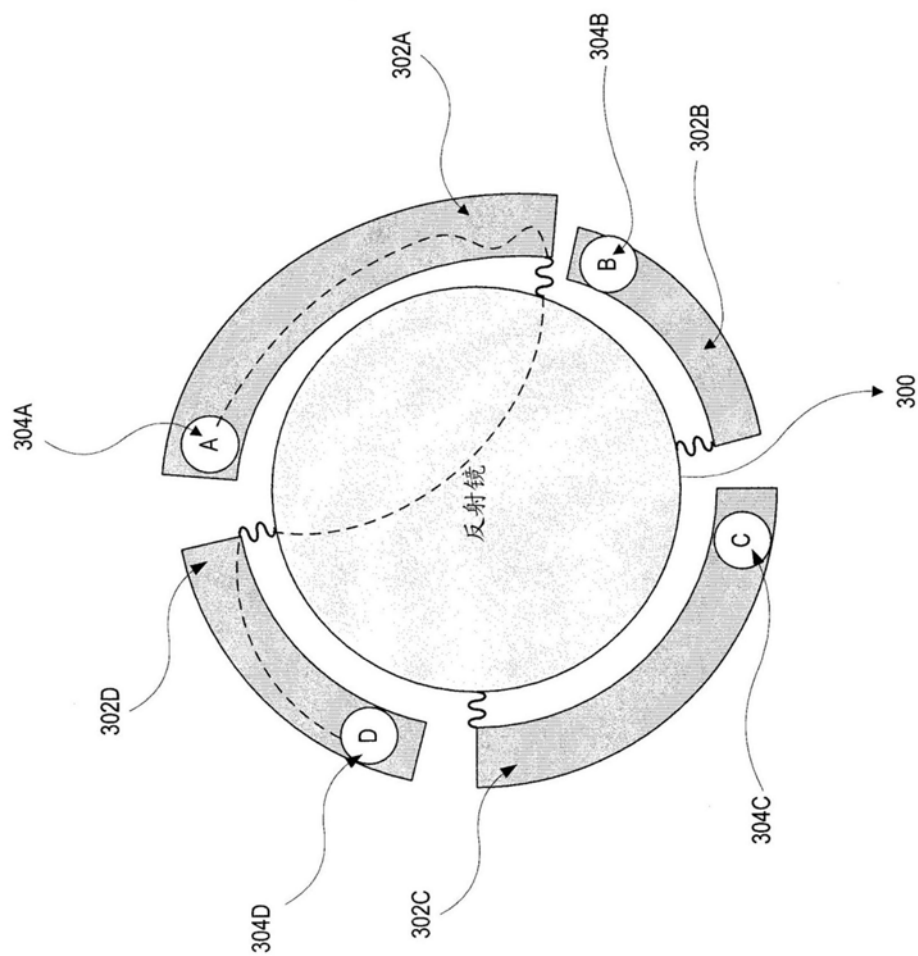


图3B

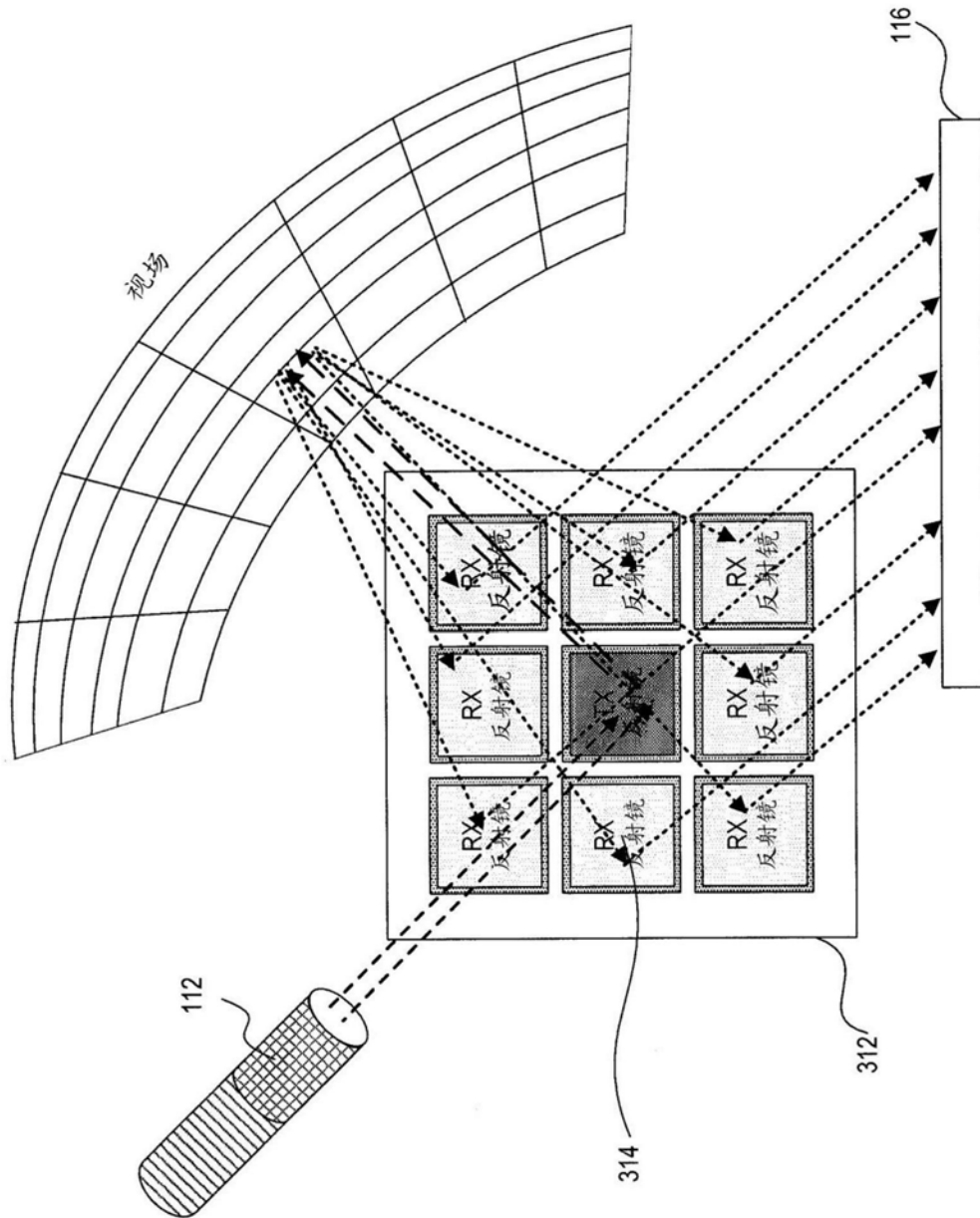


图3C

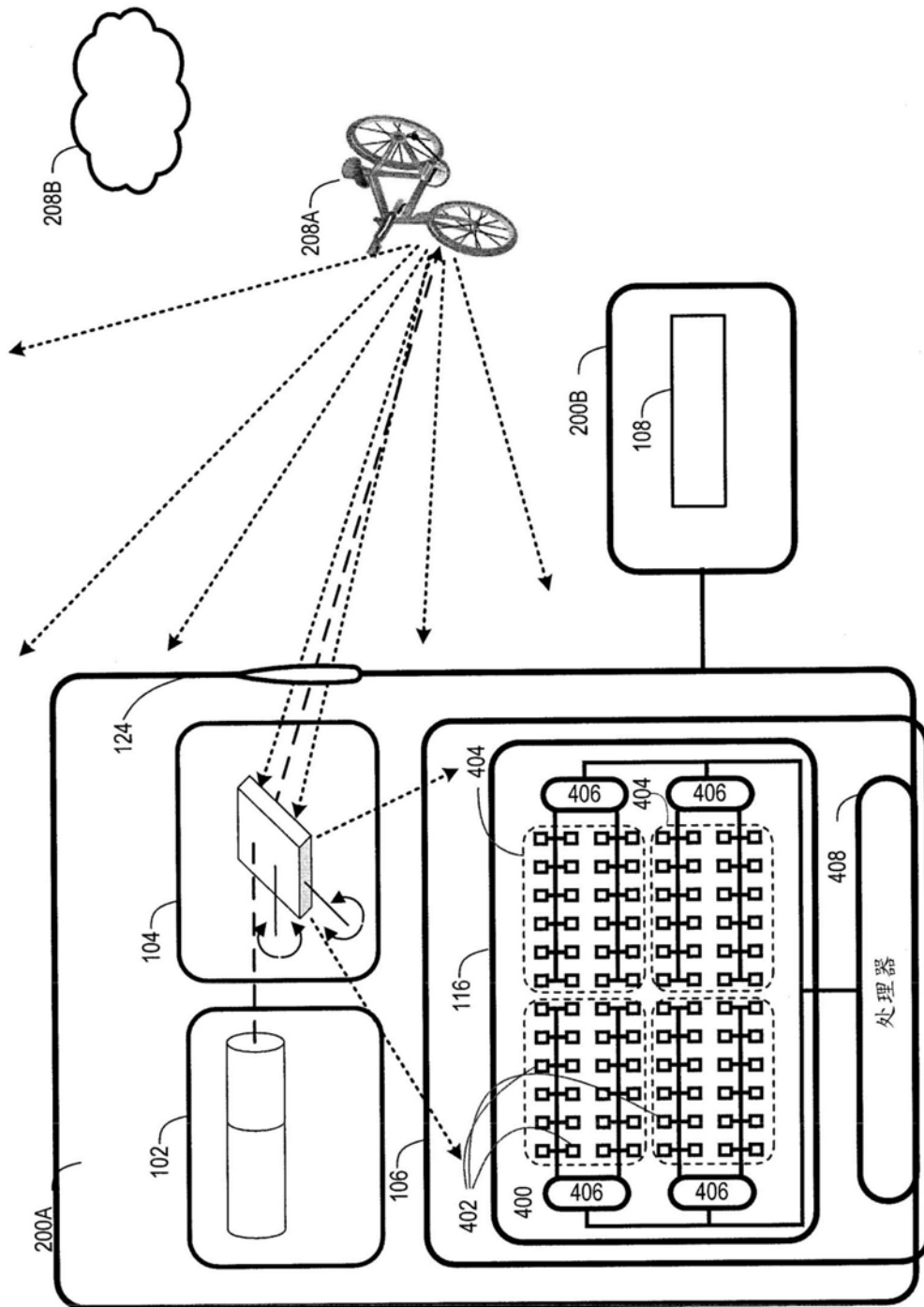


图4A

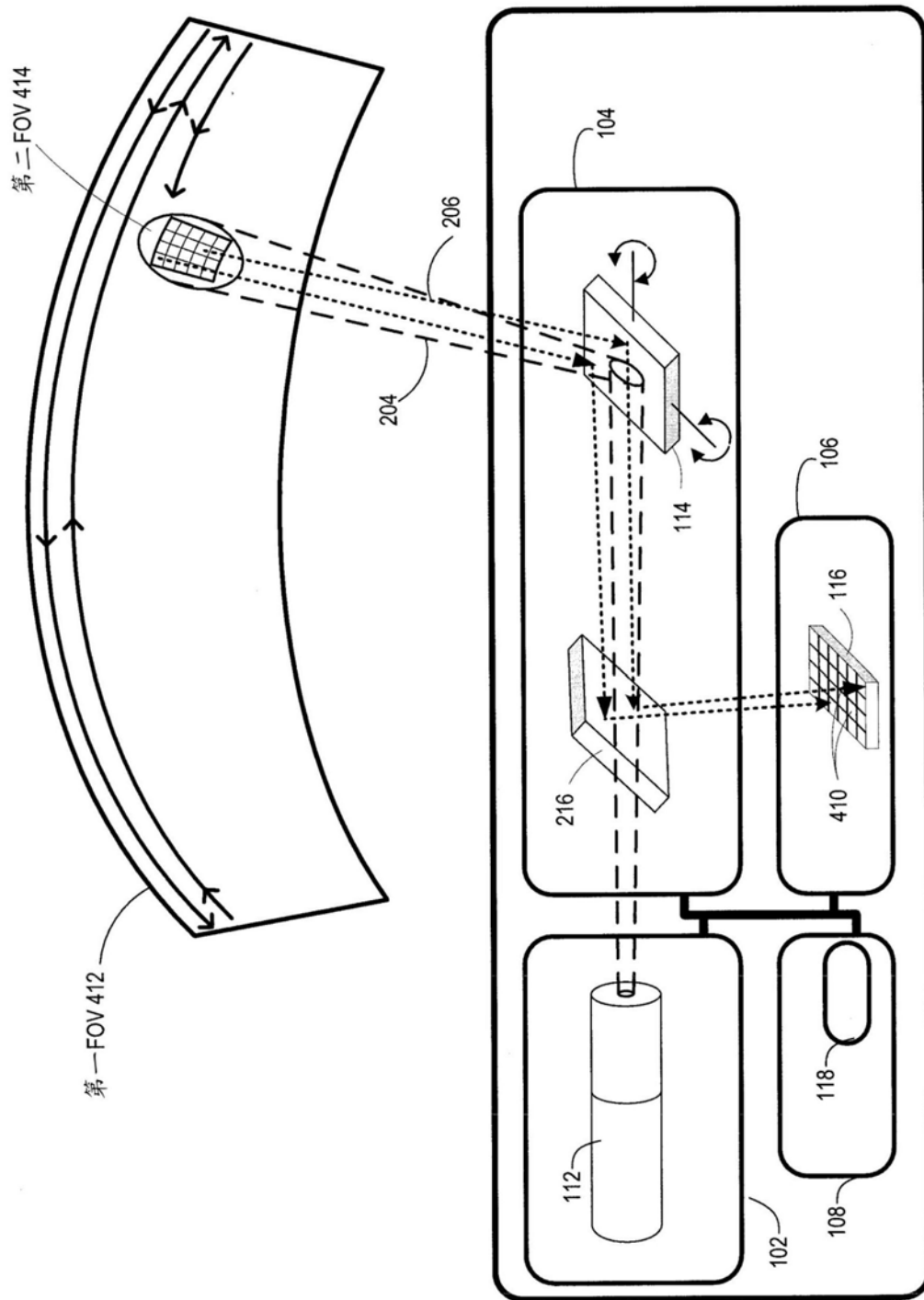


图4B

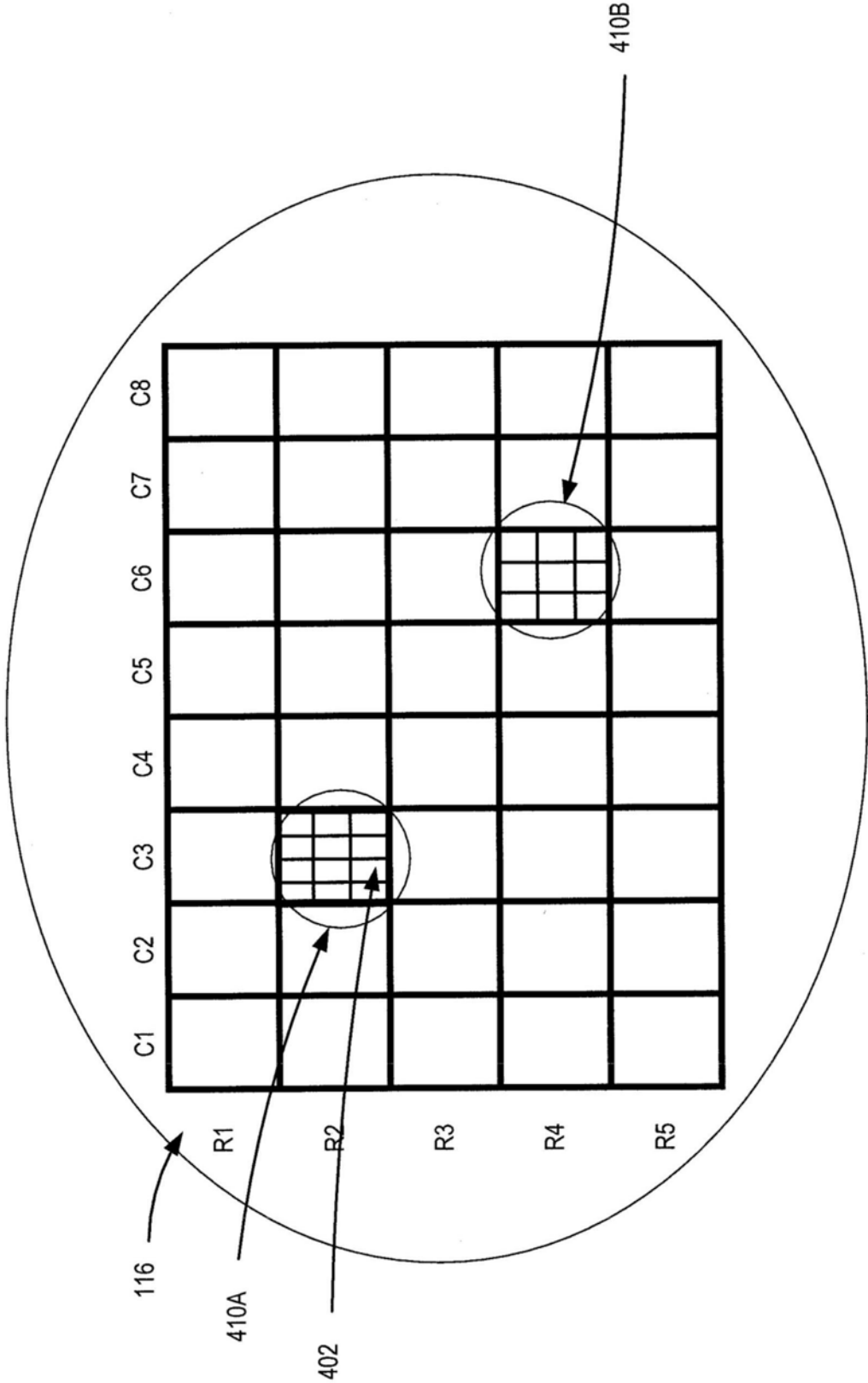


图4C

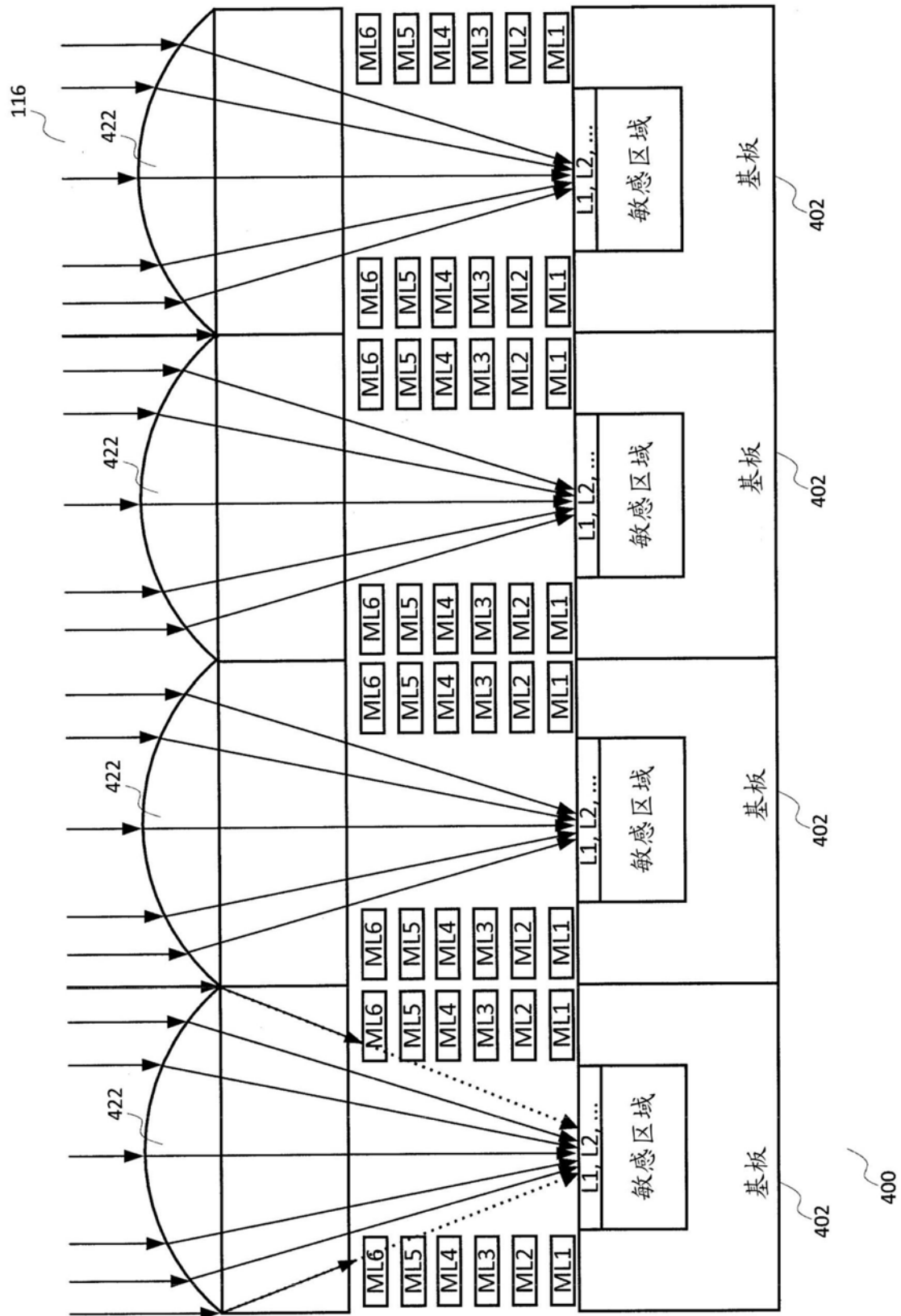


图4D

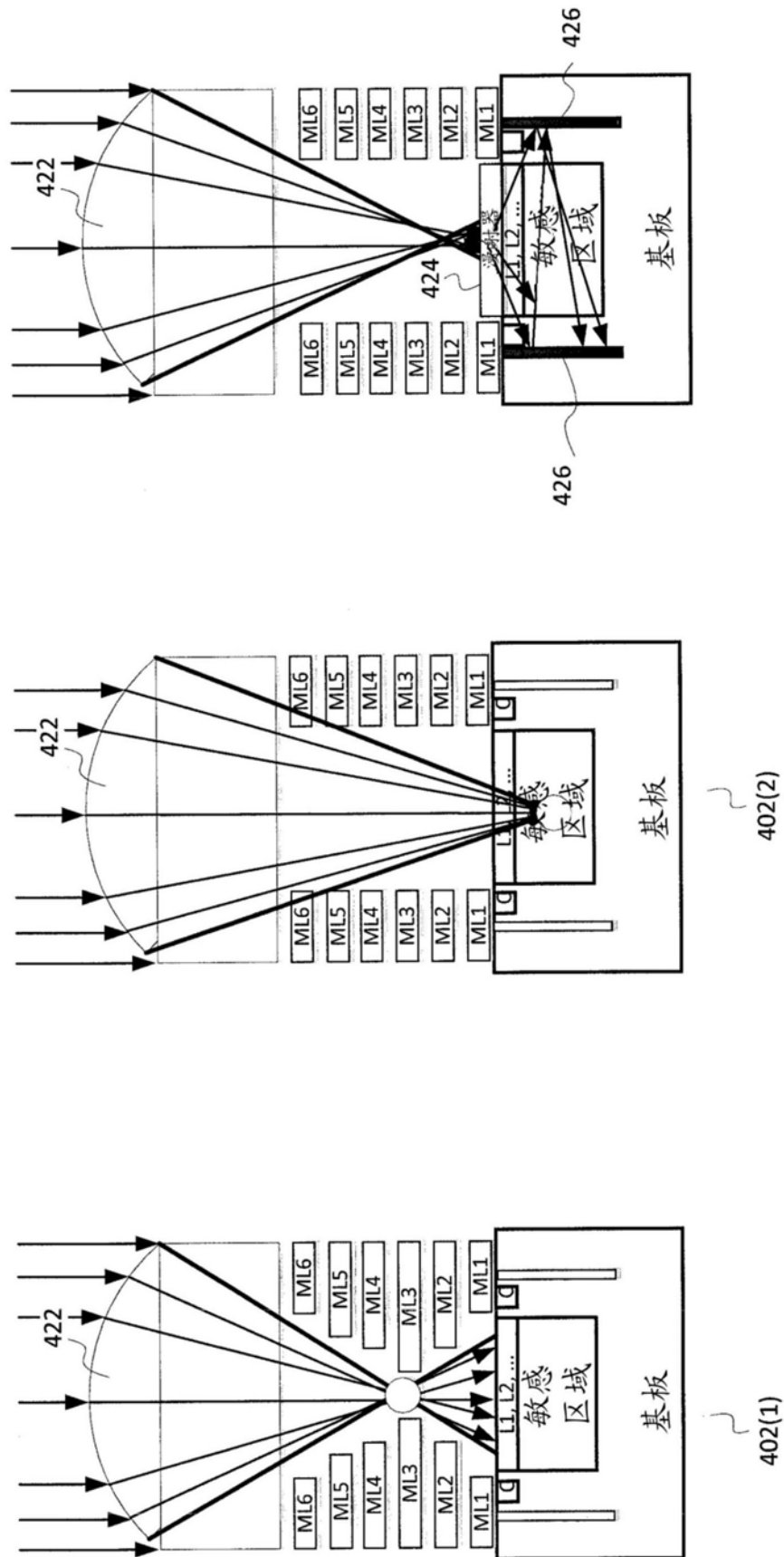


图4E

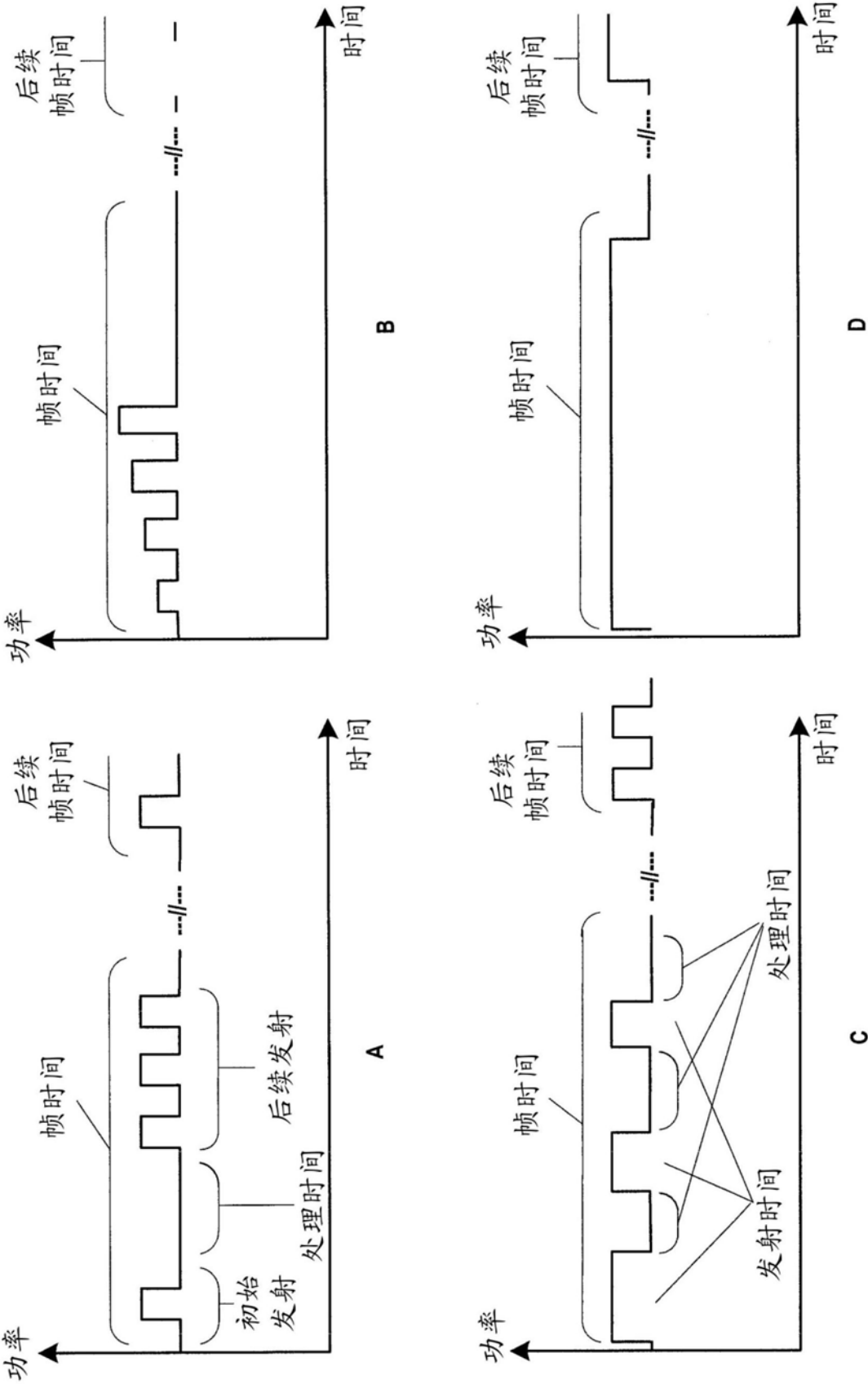


图5A

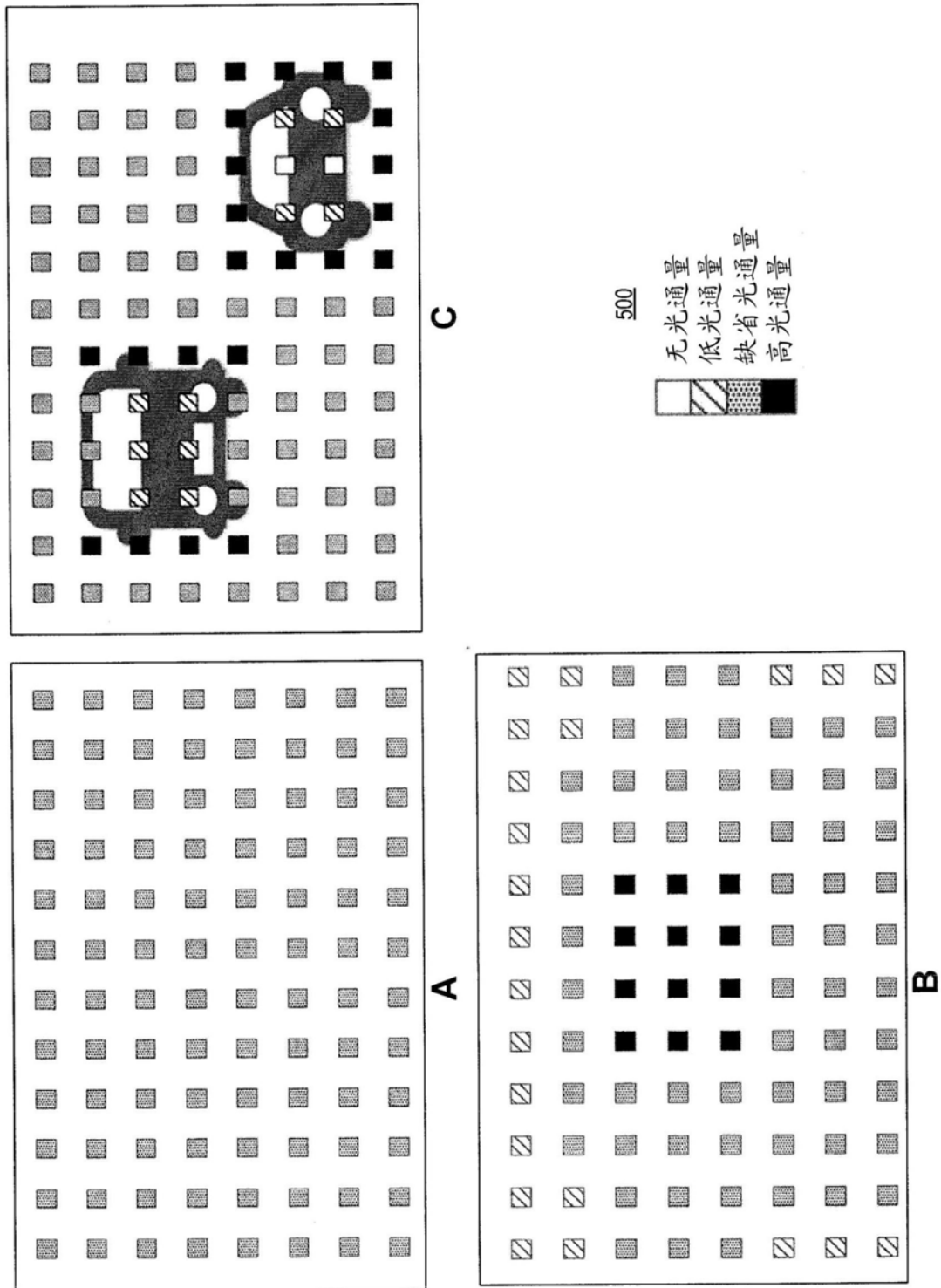
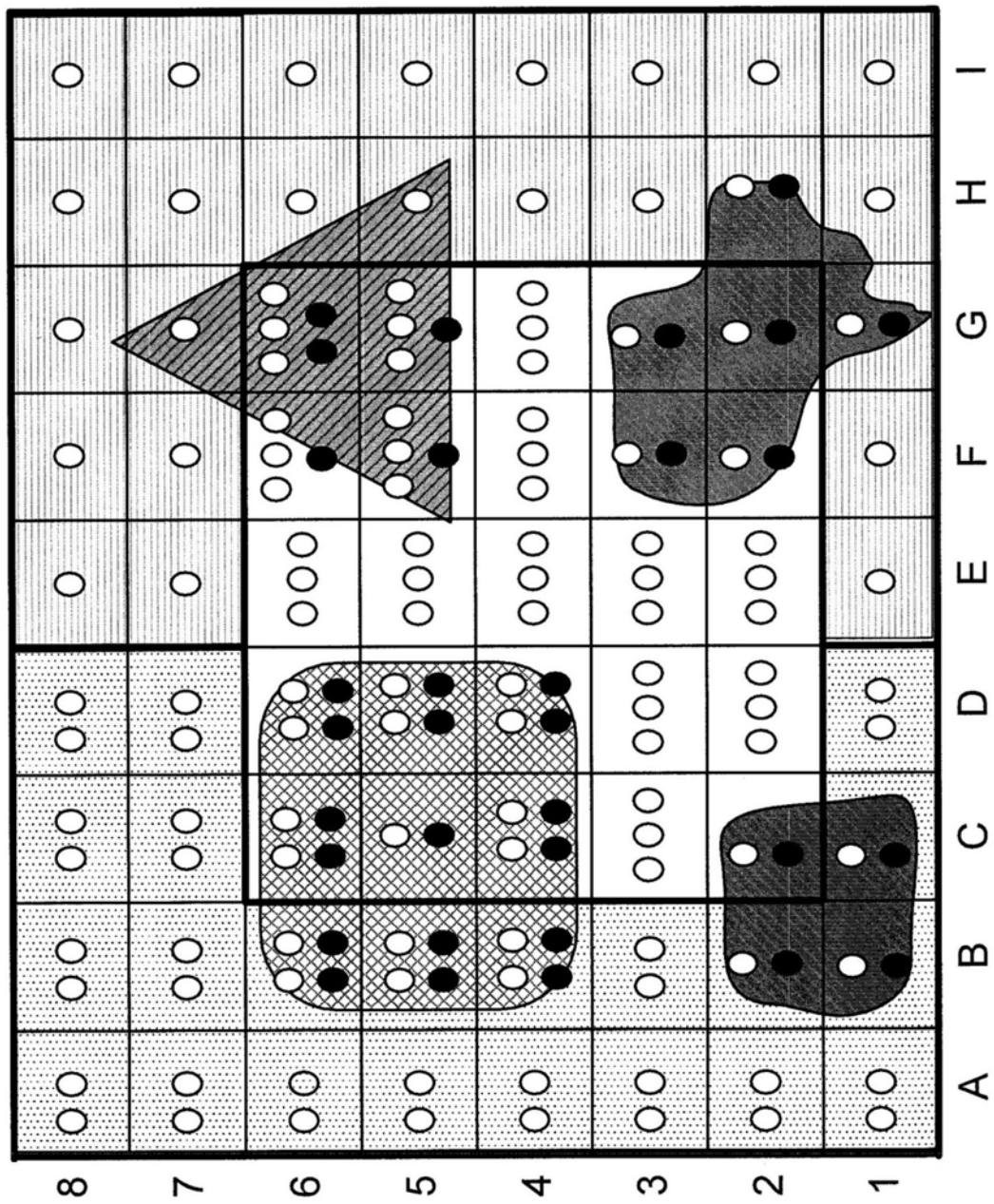


图5B



说明

区域 I
区域 II
区域 III

近场物体
中场物体
远场物体

○ 投射光
● 反射光

图5C

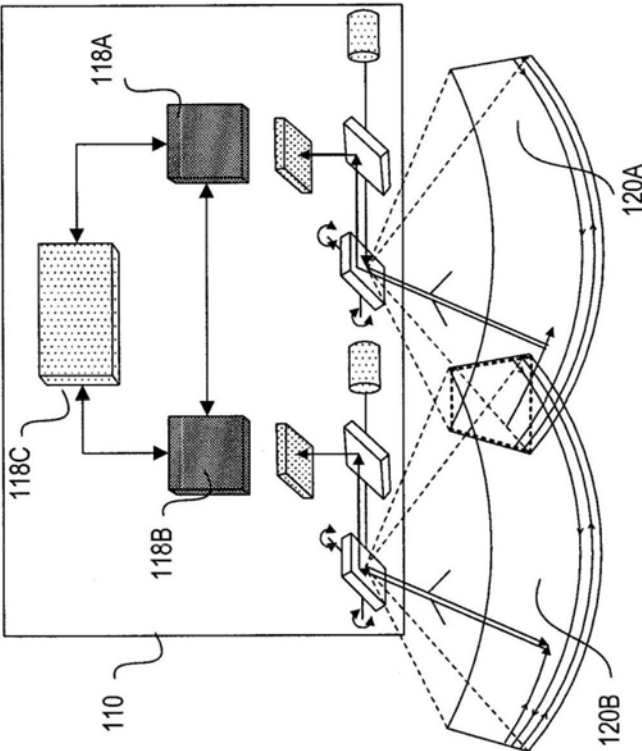


图6A

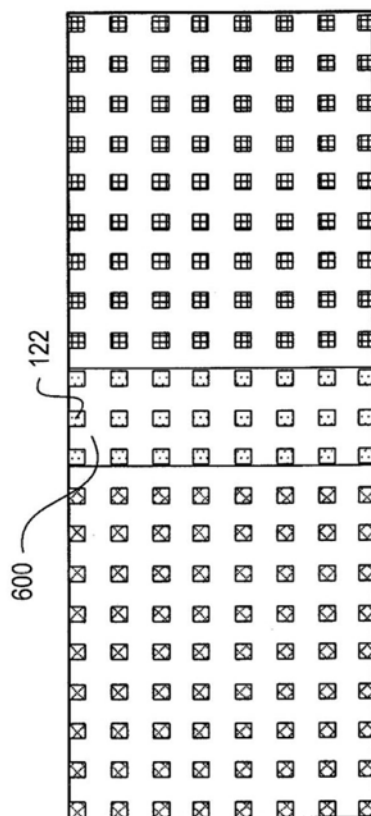


图6B

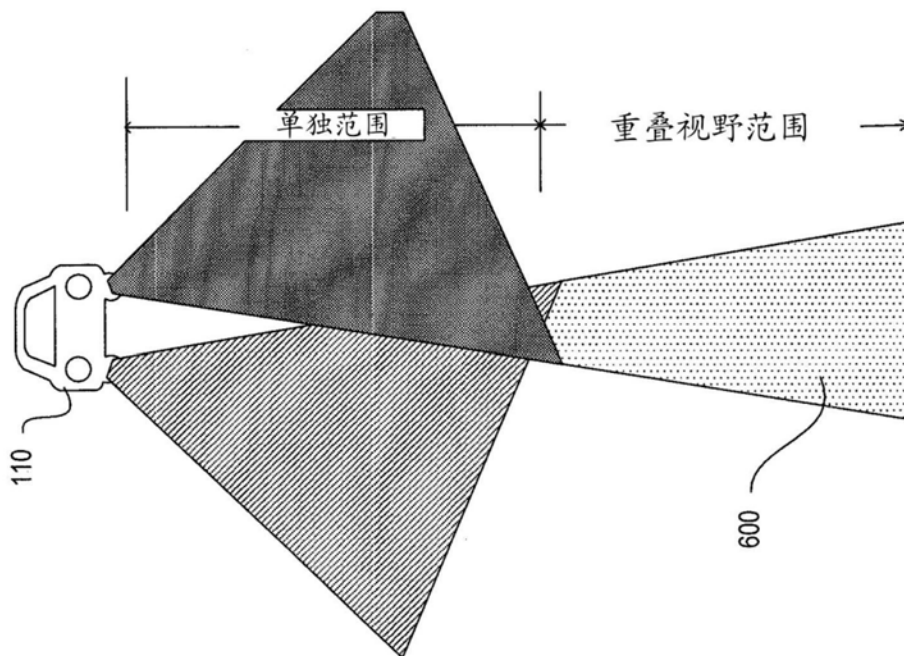


图6C

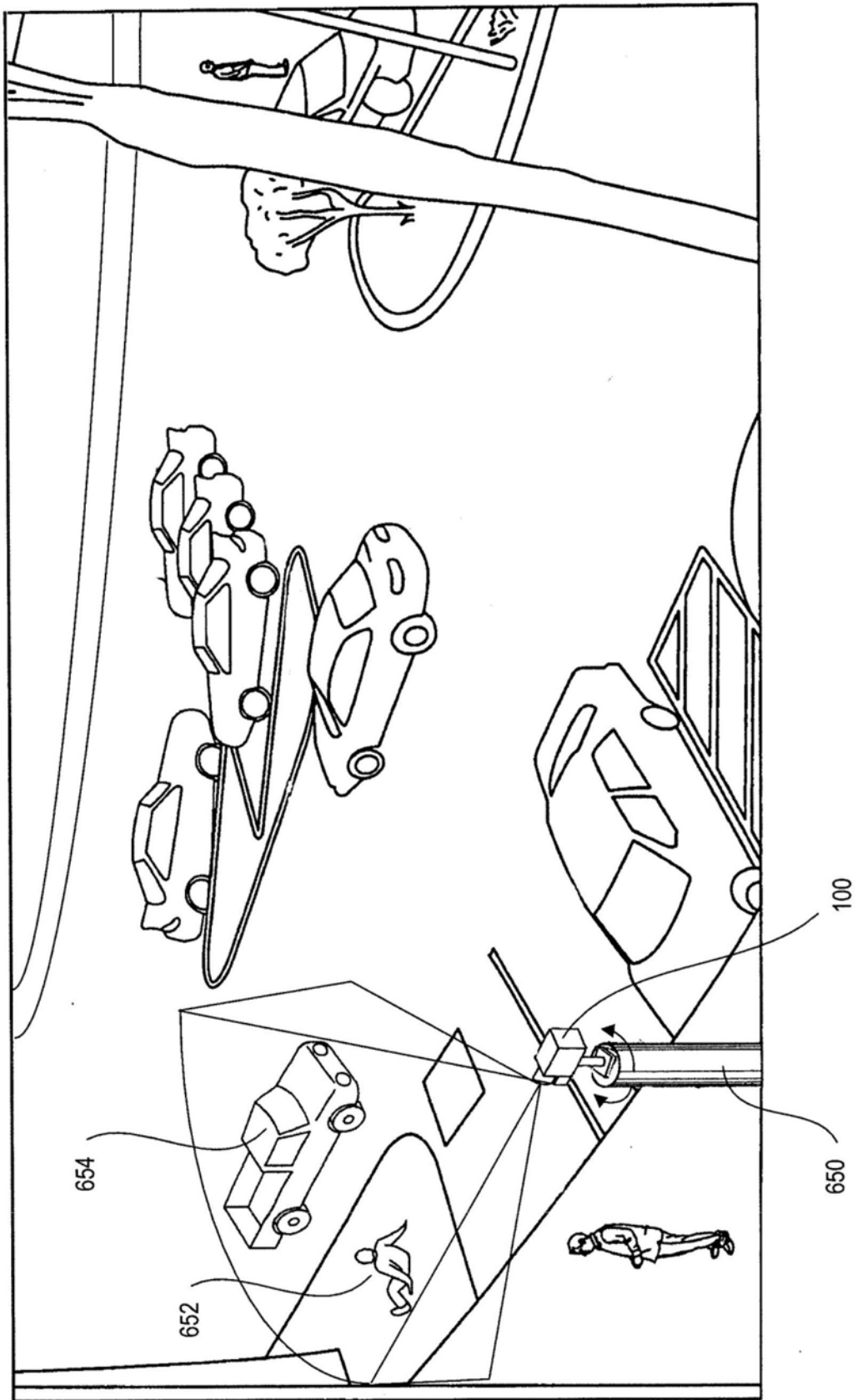


图6D

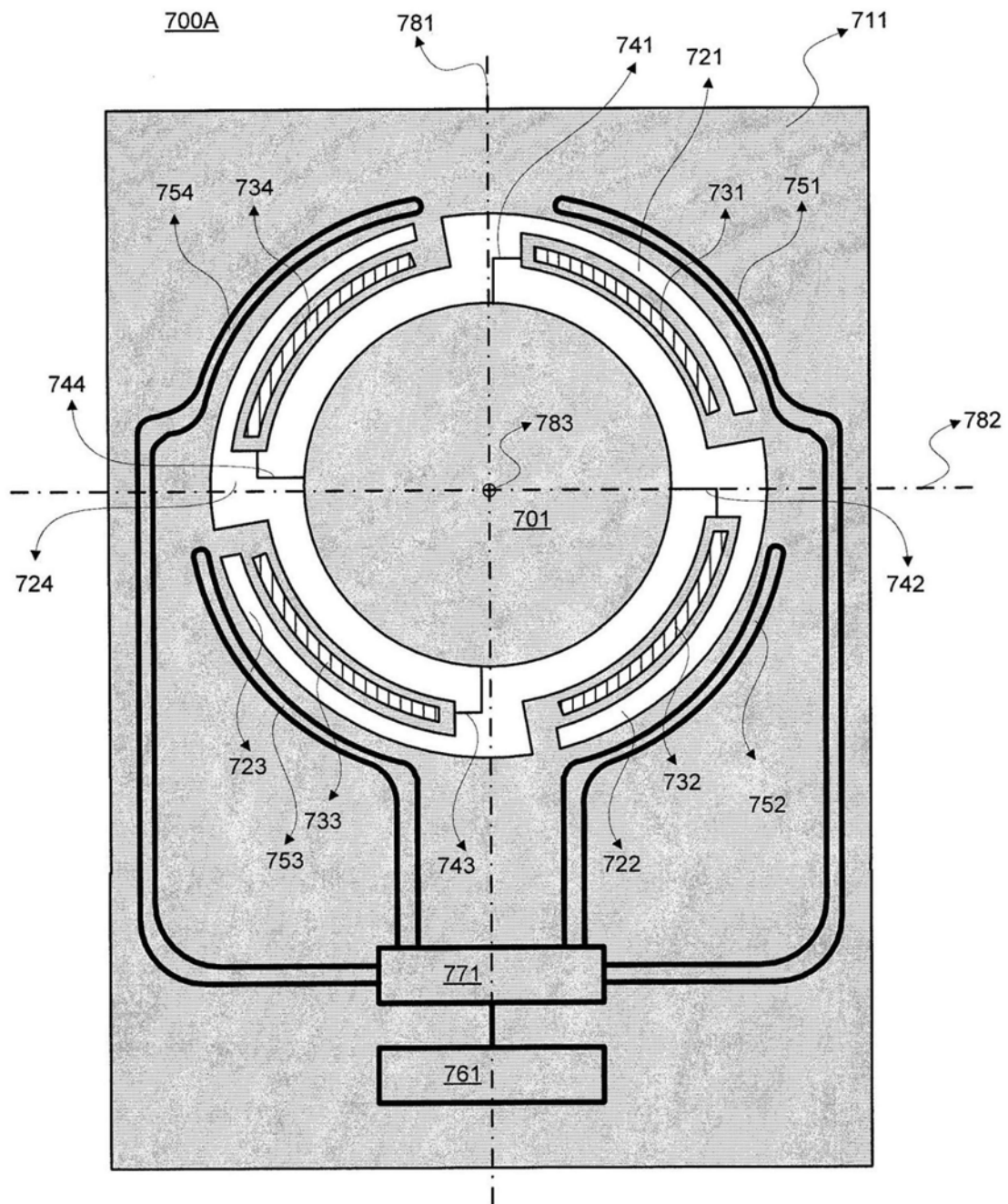


图7A

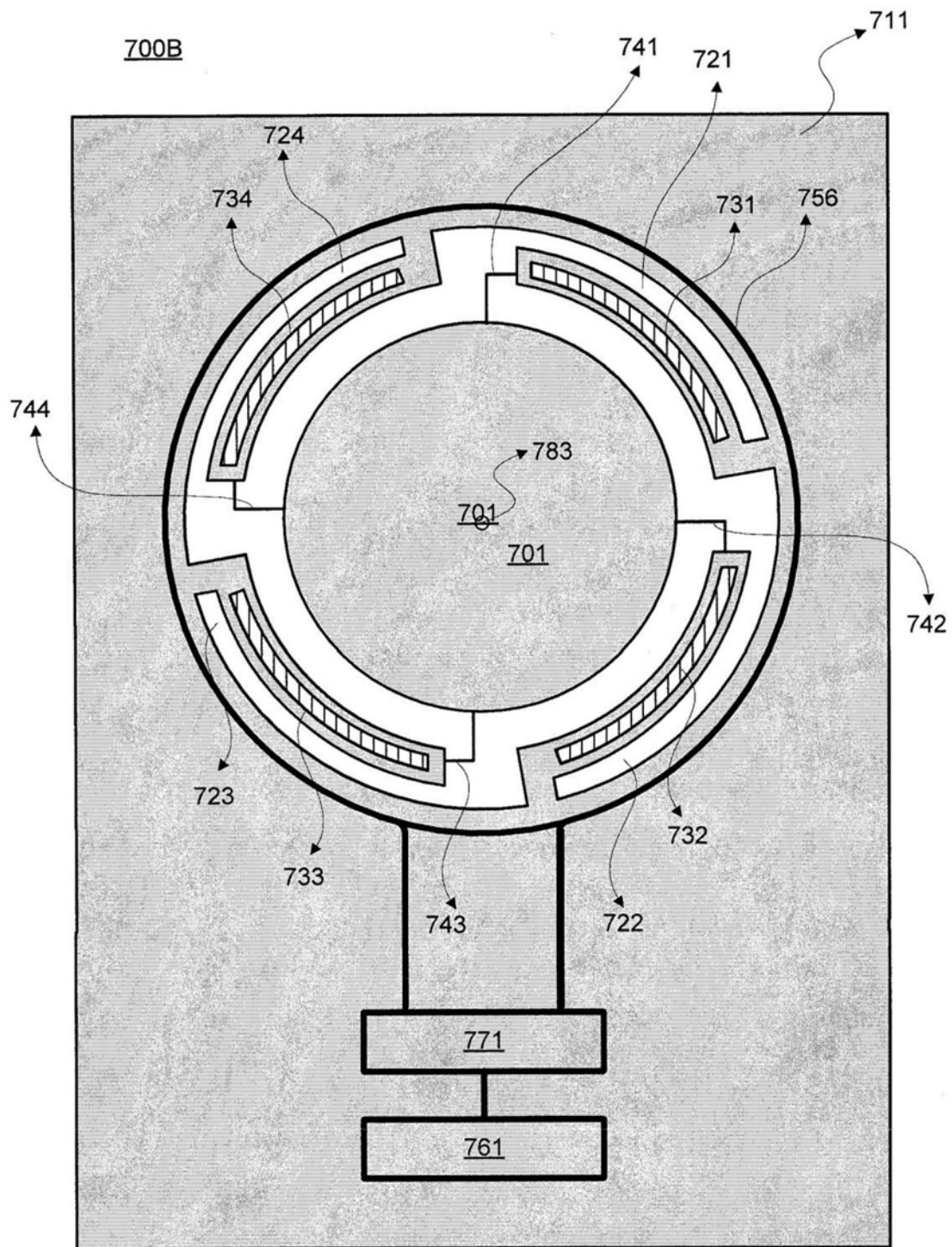


图7B

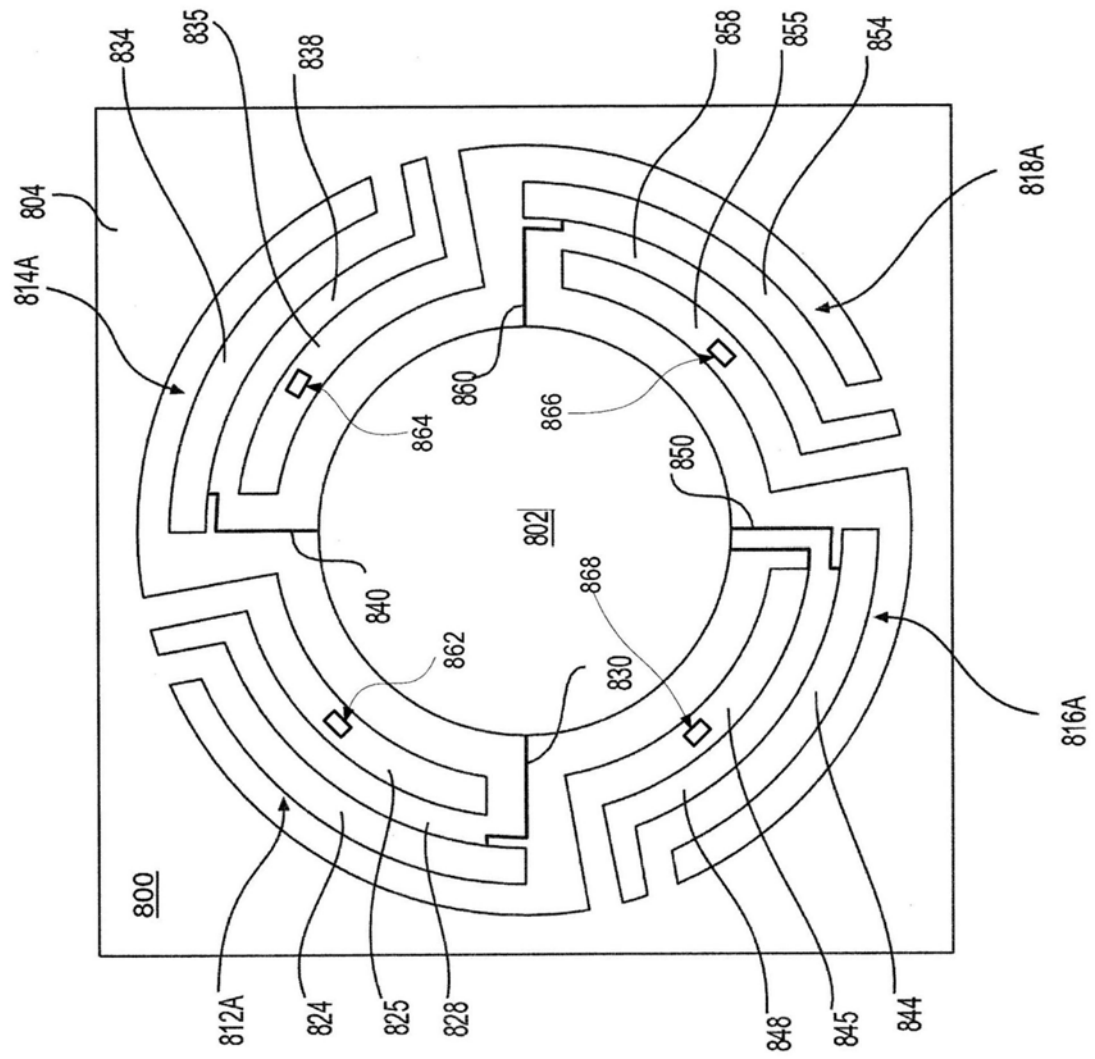


图8

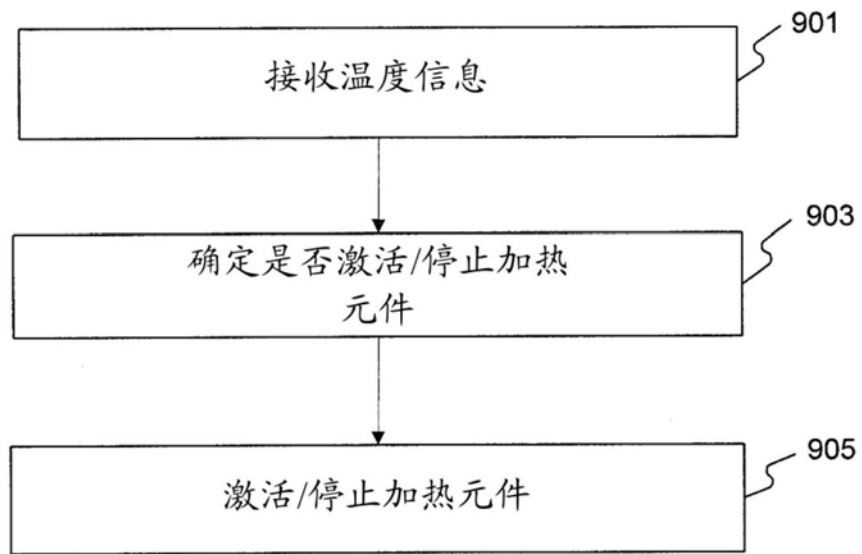
900

图9

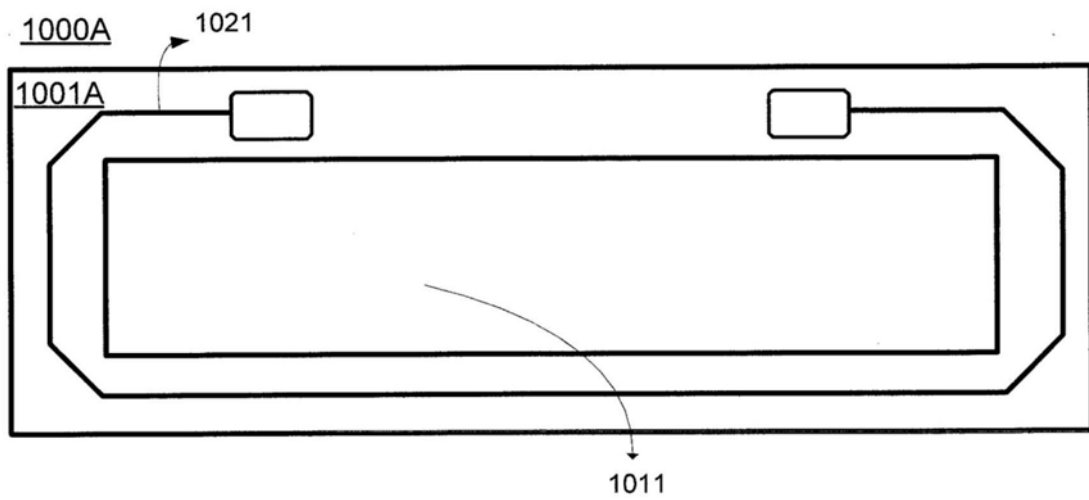


图10A

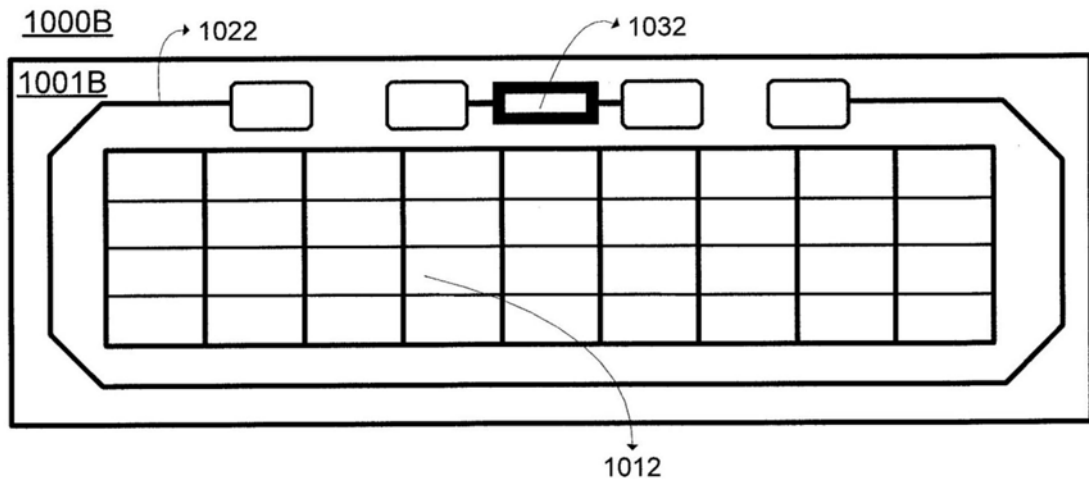


图10B

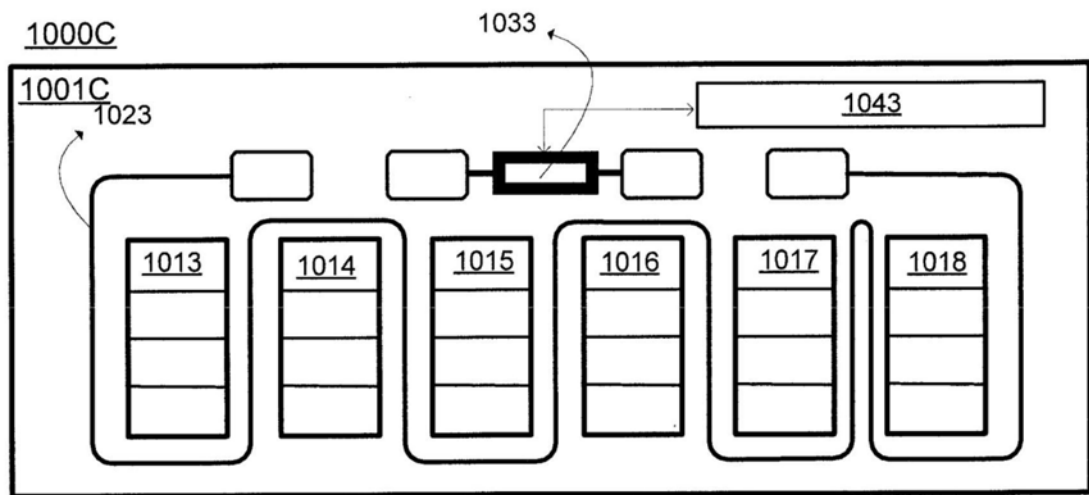


图10C

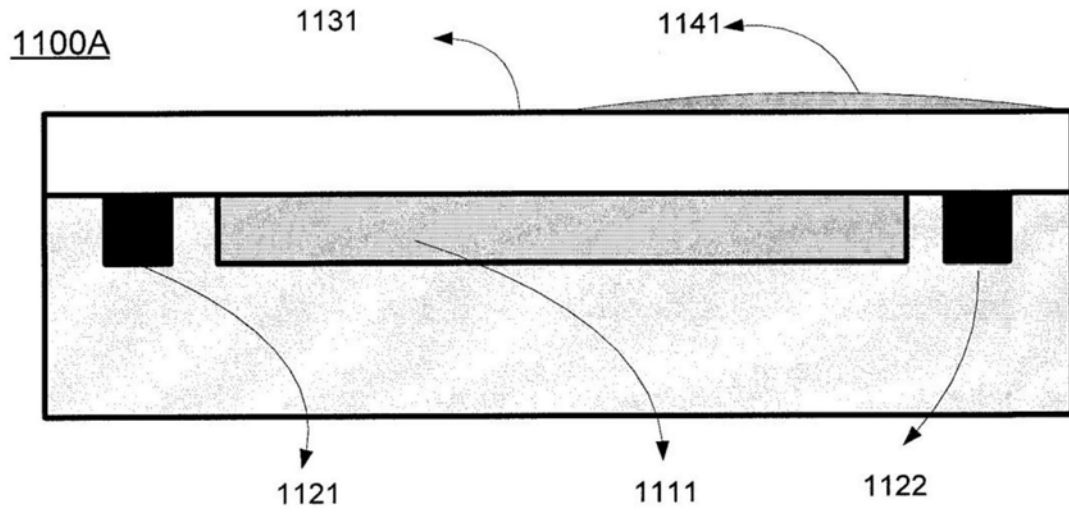


图11A

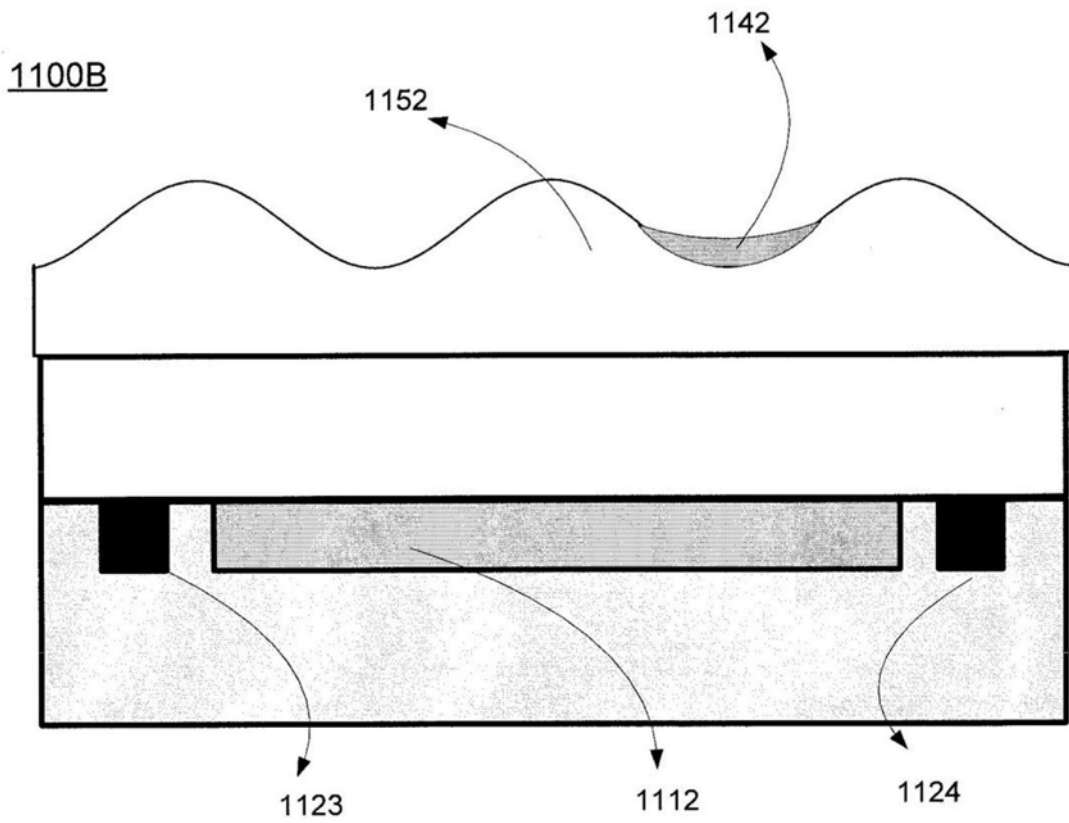


图11B

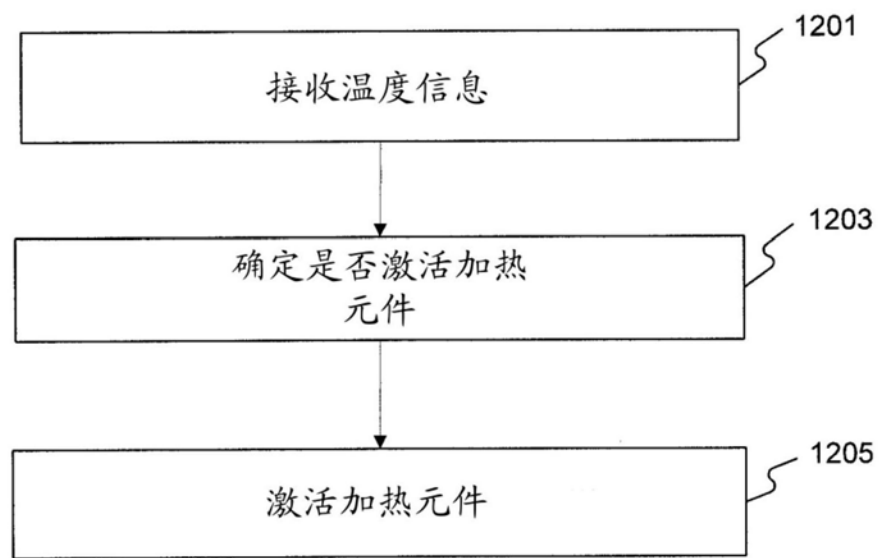
1200

图12