



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111273256 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 29

(21) 申请号 202010078057.9

M·舒

(22) 申请日 2018.05.14

(74) 专利代理机构 北京市汉坤律师事务所

11602

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111273256 A

代理人 魏小微 吴丽丽

(43) 申请公布日 2020.06.12

(51) Int.Cl.

(30) 优先权数据

G01S 7/481 (2006.01)

62/506,437 2017.05.15 US

G01S 17/14 (2020.01)

62/506,445 2017.05.15 US

审查员 刘玫

62/506,449 2017.05.15 US

62/515,291 2017.06.05 US

(62) 分案原申请数据

201880045266.4 2018.05.14

(73) 专利权人 奥斯特公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 A·帕卡拉 M·弗里赫特 E·扬

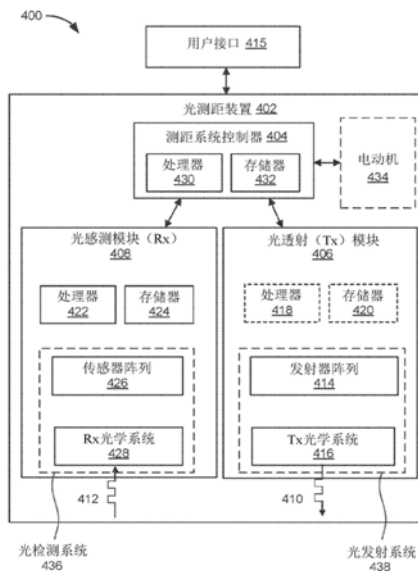
权利要求书3页 说明书41页 附图44页

(54) 发明名称

亮度增强的光学成像发射机

(57) 摘要

实施例描述了包括一个或多个微光学部件的光学成像器。一些成像器可以是无源成像器，其包括用于从场接收环境光的光检测系统。一些成像器可以是有源成像器，除了所述光检测系统之外，还包括光发射系统。所述光发射系统可以被配置成将光发射到场内，使得发射的光从场内物体的表面反射并被所述光检测系统接收。在一些实施例中，所述光检测系统和/或所述光发射系统包括用于改善操作性能的微光学部件。



1. 一种用于执行距离测量的光学系统,所述光学系统包括:
本体发射机光学器件;
照明源,所述照明源包括多个光发射器,所述多个光发射器对准以将离散光束通过所述本体发射机光学器件投射到所述光学系统前方的场内;以及
微光学发射机信道阵列,所述微光学发射机信道阵列设置在所述照明源和所述本体发射机光学器件之间,所述微光学发射机信道阵列包括多个微光学发射机信道,每个微光学发射机信道包括与所述多个光发射器中的相应光发射器间隔开的微光学透镜,所述微光学透镜被配置成从所述相应光发射器接收光锥,并在所述相应光发射器和所述本体发射机光学器件之间的且与所述相应光发射器相偏离的位置处产生所述相应光发射器的光斑图像;
其中所述相应光发射器的所述光斑图像的尺寸小于所述相应光发射器的尺寸。
2. 根据权利要求1所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述本体发射机光学器件包括一个或多个被配置成图像空间远心透镜的透镜,其中从所述照明源通过所述微光学发射机信道阵列输出的所述离散光束彼此平行。
3. 根据权利要求2所述的用于执行距离测量的光学系统,其还包括光感测模块,所述光感测模块被配置成检测从所述照明源发射并从所述场内的物体的表面反射的光子。
4. 根据权利要求3所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光感测模块包括:
本体接收机光学器件;
孔径层,所述孔径层包括多个孔径;
透镜层,所述透镜层包括多个透镜;以及
光电传感器层,所述光电传感器层包括多个光电传感器,其中所述孔径层、所述透镜层和所述光电传感器层被布置成形成多个微光学接收机信道,所述多个微光学接收机信道中的每个微光学接收机信道包括来自所述多个孔径的孔径、来自所述多个透镜的透镜和来自所述多个光电传感器的光电传感器,并且被配置成将从所述本体接收机光学器件入射的光传送到所述微光学接收机信道的所述光电传感器。
5. 根据权利要求4所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述照明源被配置成根据在距所述光学系统的一距离范围内,在尺寸和几何形状方面与所述微光学接收机信道的视场匹配的照明图案,选择性地将所述离散光束投射通过所述本体发射机光学器件。
6. 根据权利要求1所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光斑图像为真实的光斑图像,并且其中每个微光学发射机信道的所述微光学透镜被配置成从所述相应光发射器接收光锥,并在所述微光学透镜和所述本体发射机光学器件之间的一点处产生所述相应光发射器的所述真实的光斑图像。
7. 根据权利要求6所述的用于执行距离测量的光学系统,其中每个微光学发射机信道的所述微光学透镜包括在面向所述相应光发射器的一侧具有光焦度的第一光学表面和在背对所述相应光发射器的另一侧具有光焦度的第二光学表面,并且其中所述相应光发射器的所述真实的光斑图像形成在所述第二光学表面和所述本体发射机光学器件之间的一点处。
8. 根据权利要求7所述的用于执行距离测量的光学系统,其中来自所述相应光发射器的所述光锥的发散度小于来自所述微光学透镜的所述第二光学表面的光锥的发散度,以产生所述相应光发射器的所述真实的光斑图像。

9. 根据权利要求7所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述微光学透镜与所述照明源分离,以在所述微光学透镜和所述照明源之间限定开放空间。

10. 根据权利要求6所述的用于执行距离测量的光学系统,其中每个微光学发射机信道的所述微光学透镜包括在背对所述相应光发射器的一侧具有光焦度的光学表面,并且其中所述相应光发射器的所述真实的光斑图像形成在所述光学表面和所述本体发射机光学器件之间的一点处。

11. 根据权利要求10所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光学表面包括位于衬底上的多个凸透镜,所述衬底具有其上设置有所述光学表面的第一表面和与所述第一表面相对的第二表面,所述第二表面直接附接到所述照明源的表面。

12. 根据权利要求1所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光斑图像为虚拟的光斑图像,并且其中每个微光学发射机信道的所述微光学透镜被配置成从所述相应光发射器接收光锥,并产生所述相应光发射器的所述虚拟的光斑图像。

13. 根据权利要求12所述的用于执行距离测量的光学系统,其中每个微光学发射机信道的所述微光学透镜包括在背对所述相应光发射器的一侧具有光焦度的光学表面,并且其中所述相应光发射器的所述虚拟的光斑图像形成在所述相应光发射器和所述光学表面之间的一点处。

14. 根据权利要求13所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光学表面包括形成在衬底上的多个凹形表面,所述衬底具有其上设置有所述光学表面的第一表面和与所述第一表面相对的第二表面,所述第二表面直接附接到所述照明源的表面。

15. 根据权利要求1所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述本体发射机光学器件包括多个孔径光阑,所述多个孔径光阑被配置成减少由所述光学系统发射的杂散光。

16. 一种用于执行距离测量的光学系统,所述光学系统包括:

光发射系统,所述光发射系统包括:

本体发射机光学器件;

照明源,所述照明源包括多个光发射器,所述多个光发射器对准以将离散光束通过所述本体发射机光学器件投射到所述光学系统前方的场内;以及

微光学发射机信道阵列,所述微光学发射机信道阵列设置在所述照明源和所述本体发射机光学器件之间,所述微光学发射机信道阵列包括多个微光学发射机信道,每个微光学发射机信道包括与所述多个光发射器中的相应光发射器间隔开的微光学透镜,所述微光学透镜被配置成从所述相应光发射器接收光锥,并在所述相应光发射器和所述本体发射机光学器件之间的且与所述相应光发射器相偏离的位置处产生所述相应光发射器的光斑图像,其中所述相应光发射器的所述光斑图像的尺寸小于所述相应光发射器的尺寸;和

光检测系统,所述光检测系统包括:

本体接收机光学器件,所述本体接收机光学器件被配置成从所述场接收所述离散光束;和

光学组件,所述光学组件具有多个微光学接收机信道,所述多个微光学接收机信道在所述场内限定多个离散的、不重叠的视场,所述光学组件包括:

孔径层,所述孔径层具有沿着所述本体接收机光学器件的焦平面布置的多个离散孔径;

光电传感器阵列,所述光电传感器阵列设置在所述孔径层后面;以及
多个透镜,所述多个透镜位于所述孔径层和所述光电传感器阵列之间。

17. 根据权利要求16所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述本体发射机光学器件包括一个或多个被配置成图像空间远心透镜的透镜,其中从所述照明源通过所述微光学发射机信道阵列输出的所述离散光束彼此平行。

18. 一种用于执行距离测量的光学系统,所述光学系统包括:

固定的壳体,所述壳体具有光学透明窗口;和

光测距装置,所述光测距装置设置在所述壳体内,所述光测距装置包括耦合到平台的光学发射机,所述光学发射机包括:

本体发射机光学器件;

照明源,所述照明源包括多个光发射器,所述多个光发射器对准以将离散光束通过所述本体发射机光学器件投射到所述光学系统前方的场内;以及

微光学发射机信道阵列,所述微光学发射机信道阵列设置在所述照明源和所述本体发射机光学器件之间,所述微光学发射机信道阵列包括多个微光学发射机信道,每个微光学发射机信道包括与所述多个光发射器中的相应光发射器间隔开的微光学透镜,所述微光学透镜被配置成从所述相应光发射器接收光锥,并在所述相应光发射器和所述本体发射机光学器件之间的且与所述相应光发射器相偏离的位置处产生所述相应光发射器的光斑图像,其中所述相应光发射器的所述光斑图像的尺寸小于所述相应光发射器的尺寸。

19. 根据权利要求18所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述光测距装置是旋转光测距装置,其还包括:

电动机,所述电动机设置在所述壳体内,并能够被操作配置为使包括所述平台和所述光学发射机的所述光测距装置在所述壳体内旋转;

系统控制器,所述系统控制器设置在所述壳体内,所述系统控制器被配置成控制所述电动机并开始和停止所述光测距装置的光检测操作。

20. 根据权利要求18所述的用于执行距离测量的光学系统,其中所述本体发射机光学器件包括一个或多个被配置成图像空间远心透镜的透镜,其中从所述照明源通过所述微光学发射机信道阵列输出的所述离散光束彼此平行。

亮度增强的光学成像发射机

[0001] 本申请是申请日为2018年5月14日、申请号为2018800452664、发明名称为“亮度增强的光学成像发射机”的发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求2017年5月15日提交的美国临时专利申请第62/506,449号、2017年5月15日提交的美国临时专利申请第62/506,437号、2017年5月15日提交的美国临时专利申请第62/506,445号和2017年6月5日提交的美国临时专利申请第62/515,291号的优先权,其全部内容通过引用并入本文,并用于所有目的。

背景技术

[0004] 成像器检测光,并基于该检测到的光创建场景的数字图像。图像包含固定数量的像素行和列,其中每个像素映射到场景中的不同视场。电子成像器通常利用光电检测器将光转换成电信号。每个光电检测器位于焦平面上的不同位置,通常对应于图像中的单个像素或像素的分量。电子成像器通常可被分为两种类型之一:无源照射成像器或有源照射成像器。无源照射成像器收集环境光,例如由场景中的物体反射的太阳光,而有源照射成像器照射场景并收集由有源照射成像器系统本身产生的反射光。

[0005] 窄带成像器收集有限波长范围内的光。这与传统摄像机(camera)不同,传统摄像机检测遍及整个可见光谱或三个不同的宽RGB色带中的光,每个色带可以是100纳米或更宽。由于其所依赖的滤光器的特性,窄带成像器比传统摄像机更难开发。滤光器用于防止电磁波谱的一部分到达光电检测器。大多数窄带滤光器依靠薄膜干涉效应来选择性地透射或反射光(这种滤光器常被称为介质镜或布拉格镜)。窄带滤光器的光谱透射率取决于形成滤光器的组成层的数量、厚度、顺序和折射率。滤光器的光谱透射率还取决于光在窄带滤光器上的入射角。

[0006] 当前的窄带成像器或者视场较小,或者过滤小于约50纳米的波段的能力有限。滤光器对入射光的角度很敏感,因此很难获得窄范围的波长。例如,滤光器可以接受波长为940-945纳米的垂直光和波长为930-935纳米的稍微倾斜的光。由于传统摄像机中的大多数光电检测器具有大范围的入射光角度,只在其前面放置滤光器并不会真正实现窄带滤光。缩窄入射到光电检测器上的光的角度通常需要使用焦距较长的透镜,这就缩窄了摄像机的视场。

[0007] 宽视场成像器难以生成均匀清晰的视觉图像,也难以遍及场景进行均匀测量。例如,与场景末端的像素相比,图像中心的像素可能显得更亮或者代表不同波长的光。对一些应用来说,宽视场是理想的,因其提供更好的情境感知。例如,旨在检测交通工具周围行人的基于摄像机的汽车安全系统可能需要在交通工具周围360度的视场中进行监控。需要少量宽视场传感器即可完成许多窄视场传感器才能完成的工作(即,生成完整360度视场的图像),从而降低系统成本。

[0008] 窄带成像器有许多应用,包括地理测绘、天文学和LIDAR(光检测和测距)。窄带成像器可以检测特征光波长,例如由含有叶绿素的植物或恒星内部的元素产生的波长。窄带

成像器可用于,例如,确定植被健康或发现油藏。光学接收机系统,诸如LIDAR,可用于物体检测和测距。LIDAR系统通过用光照射目标或风景,使用来自激光器的脉冲,测量光子到达目标或风景并在反射到窄带成像器后返回所需的时间,来测量到目标或风景中物体的距离。其他LIDAR技术,诸如光解调、相干LIDAR和距离选通LIDAR,也依赖光子的传输和反射,尽管它们可能不直接测量激光脉冲的飞行时间。对于许多LIDAR应用而言,其有益于发射机(transmitter)和接收机的物理尺寸小而紧凑,同时成本相对较低。对于必须远距离精确感测物体的应用而言,其有益于增加或最大化发射机发射并反射回接收机的光子数量,同时将激光能量发射保持在规定的安全限制内。

[0009] 微光学系统是包括小型化光学部件的系统,所述光学部件的尺寸通常在几微米到一毫米之间。彼此相邻排列的微光学接收机易受串扰影响。由光学表面的粗糙、透明介质的缺陷、背反射等引起的杂散光可以在接收机信道内或接收机信道外部的各种特征处生成。当多个接收机信道彼此相邻排列时,一个接收机信道中的该杂散光可能被另一个信道中的光电传感器吸收,从而污染光子固有的定时、相位或其他信息。最小化串扰在有源照射系统中尤为重要。从附近的后向反射器(例如,车牌照)反射的光可能比从远处的黑暗朗伯表面(例如,黑色棉布制品)反射的光强几千或几百万倍。因此,如果未将串扰最小化,来自后向反射器的杂散光光子可能大大多于从附近光电传感器的其他表面反射的光子。这可能导致LIDAR系统无法检测到占据后向反射器所占据视场附近视场的暗物体。

发明内容

[0010] 本公开的实施例提供一种光学成像器系统,所述光学成像器系统利用微光学接收机信道阵列实现宽视场、窄带成像,所述微光学接收机信道阵列最小化串扰并实现遍及接收机信道阵列均匀的紧密光谱选择性。根据本公开的一些光学成像器系统可以包括光透射模块,所述光透射模块提供增强的光斑照射(spot illumination),使得返回到光感测模块的光的功率水平增加,同时提高测量图像的空间分辨率。

[0011] 在一些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括本体发射机光学器件(bulk transmitter optic)、照射源和设置在照射源和本体发射机光学器件之间的微光学信道阵列。照射源包括多个光发射器(emitter),这些光发射器对齐以将离散光束通过本体发射机光学器件投射到光学系统前方的场中。微光学信道阵列限定多个微光学信道,其中每个微光学信道包括与多个光发射器中的一个光发射器间隔开的微光学透镜,所述微光学透镜被配置成从光发射器接收光锥,并在发射器和本体发射机光学器件之间的位置离开发射器的焦点处产生发射器的尺寸减小的光斑图像。每个信道的微光学透镜可以被配置成从光发射器接收光锥,并在微光学透镜和本体发射机光学器件之间的焦点处产生发射器的尺寸减小的真实光斑图像。来自光发射器的光锥的发散度可以小于来自微光学透镜的第二光学表面的光锥的发散度,用于产生尺寸减小的真实光斑图像。

[0012] 在一些附加实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括光发射系统和光检测系统。光发射系统包括本体发射机光学器件、照射源、以及设置在照射源和本体发射机光学器件之间的微光学信道阵列,所述照射源包括多个光发射器,这些光发射器对齐以将离散光束通过本体发射机光学器件投射到光学系统前方的场中。微光学信道阵列限定多个微光学信道,其中每个微光学信道包括与多个光发射器中的一个光发射器间隔开的微光学透

镜,所述微光学透镜被配置成从光发射器接收光锥,并在发射器和本体发射机光学器件之间的位置离开发射器的焦点处产生发射器的尺寸减小的光斑图像。光检测系统包括被配置成从场接收离散光束的本体接收机光学器件、以及具有多个微光学接收机信道的光学组件,所述多个微光学接收机信道在场内限定多个离散的、不重叠的视场。光学组件包括:孔径层,所述孔径层具有沿着本体接收机光学器件的焦平面布置的多个离散孔径;布置在孔径层后面的光电传感器阵列;以及位于孔径层和光电传感器阵列之间的多个透镜。

[0013] 在某些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括具有光学透明窗的固定壳体和设置在壳体内的光测距装置。光测距装置包括耦合到平台的光学发射机。光学发射机包括本体发射机光学器件、照射源、以及设置在照射源和本体发射机光学器件之间的微光学信道阵列。照射源包括多个光发射器,这些光发射器对齐以将离散光束通过本体发射机光学器件投射到光学系统前方的场中。微光学信道阵列可以设置在照射源和本体发射机光学器件之间,并且微光学信道阵列可以限定多个微光学信道,其中每个微光学信道可以包括与来自多个光发射器的一个光发射器间隔开的微光学透镜,微光学透镜被配置成从光发射器接收光锥,并在发射器和本体发射机光学器件之间的位置离开发射器的焦点处产生发射器的尺寸减小的光斑图像。

[0014] 在一些实施例中,一种光学系统包括被配置成接收源自光学系统外部的场的光线的本体接收机光学器件、以及具有多个微光学接收机信道的光学组件,所述多个微光学接收机信道在场内限定多个离散的、不重叠的视场。光学组件包括孔径层,所述孔径层具有沿着本体接收机光学器件的焦平面布置的多个离散孔径;设置在孔径层后面的光电传感器阵列;以及非均匀滤光器层,所述非均匀滤光器层被配置成允许不同的微光学信道测量不同的波长范围。非均匀滤光器可以包括渐变滤光器,所述渐变滤光器在一个维度上逐渐增加厚度,或者在一个方向上以步进方式增加厚度,使得每个信道具有恒定的滤光器层厚度,但是不同的微光学信道的厚度不同。

[0015] 在一些附加实施例中,一种光学系统包括本体接收机光学器件,所述本体接收机光学器件被配置成从光学系统外部的场接收光;孔径层,所述孔径层设置在所述本体光学器件后面并包括位于本体光学器件的焦平面处的多个孔径;透镜层,所述透镜层包括多个具有焦距的准直透镜,所述透镜层设置在孔径层后面并与孔径层相隔所述焦距;非均匀滤光器层,所述非均匀滤光器层位于透镜层后面;以及光电传感器层,所述光电传感器层包括多个光电传感器。孔径层、透镜层、非均匀滤光器层和光电传感器层被布置成形成多个微光学信道,所述多个微光学信道在场中限定多个离散的、不重叠的视场,多个微光学信道中的每个微光学信道包括来自多个孔径的孔径、来自多个透镜的透镜、来自滤光器层的滤光器、以及来自多个光电传感器的光电传感器,并且被配置成将从本体接收机光学器件入射的光传送到微光学信道的光电传感器。非均匀滤光器层被配置成允许不同的微光学信道测量不同的波长范围。

[0016] 在某些实施例中,一种光学系统包括:本体接收机光学器件,所述本体接收机光学器件被配置成接收源自光学系统外部的场的光线;以及光学组件,所述光学组件具有多个微光学接收机信道,所述多个微光学接收机信道在场中限定多个离散的、不重叠的视场。光学组件包括:单片(monolithic)ASIC,所述单片ASIC包括处理器、存储器、以及在所述ASIC中制造的多个光电传感器;孔径层,所述孔径层具有沿着本体接收机光学器件的焦平面布

置的多个离散孔径,光电传感器阵列设置在孔径层后面;位于孔径层和光电传感器阵列之间的多个透镜;以及非均匀滤光器层,所述非均匀滤光器层遍及其结构具有不同的中心波长,以允许至少两个不同的微光学接收机信道测量不同波长范围的光,其中孔径层、多个透镜和非均匀滤光器层形成在ASIC上,使得它们形成ASIC的单片结构的一部分。

[0017] 在一些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括固定壳体,所述固定壳体具有光学透明窗;旋转光测距装置,所述旋转光测距装置设置在壳体内;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使包括平台、光学发射机和光学接收机的光测距装置在壳体内旋转;以及设置在壳体内的系统控制器,所述系统控制器被配置成控制电动机并开始和停止光测距装置的光检测操作。光测距装置包括平台、耦合到平台的光学发射机、以及耦合到平台的光学接收机。光学发射机包括本体发射机光学器件和多个发射机信道,每个发射机信道包括光发射器,所述光发射器被配置成产生窄带光并通过本体发射机光学器件将其发射到光学系统外部的场中。光学接收机包括:本体接收机光学器件和多个微光学接收机信道,每个微光学信道包括与本体接收机光学器件的焦平面一致的孔径;沿着来自本体接收机光学器件的光路定位并与孔径轴向对准的滤光器;以及响应穿过孔径和滤光器的入射光子的光电传感器。

[0018] 在一些附加实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括:固定壳体,所述固定壳体具有基座、顶部、以及设置在基座和顶部之间的光学透明窗;旋转光测距装置,所述旋转光测距装置设置在壳体内并与光学透明窗对准;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使包括平台、光学发射机和光学接收机的光测距装置在壳体内旋转;以及设置在壳体内的系统控制器,所述系统控制器被配置成控制电动机并开始和停止光测距装置的光检测操作。光测距装置包括平台、耦合到平台的光学发射机和耦合到平台的光学接收机。光学发射机包括图像空间远心本体发射机光学器件和多个发射机信道,每个信道包括光发射器,所述光发射器被配置成产生窄带光并将其通过本体发射机光学器件传输到光学系统外部的场中。光学接收机包括图像空间远心本体接收机光学器件和多个微光学接收机信道,每个微光学信道包括与本体接收机光学器件的焦平面一致的孔径、孔径后面的准直透镜、准直透镜后面的滤光器以及响应穿过孔径进入准直透镜并穿过滤光器的入射光子的光电传感器。

[0019] 在某些实施例中,用于执行距离测量的光学系统包括:固定壳体,所述固定壳体具有基部、顶部、以及设置在基部和顶部之间的光学透明窗;光测距装置,所述光测距装置设置在壳体内并与光学透明窗对准;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使光测距装置在壳体内旋转;以及设置在壳体内的系统控制器,所述系统控制器被配置成控制电动机并开始和停止光测距装置的光检测操作。光测距装置包括平台、多个排列成阵列的垂直腔面发射激光器(VCSEL)和耦合到平台的光学接收机。多个垂直腔面发射激光器中的每个垂直腔面发射激光器被配置成产生离散的光脉冲并将其传输到光学系统外部的场中。光学接收机包括:本体接收机光学器件;多个光电传感器,每个光电传感器包括响应入射光子的多个单光子雪崩二极管(SPAD);以及设置在本体接收机光学器件和多个光电传感器之间的滤光器,所述滤光器被配置成允许光带穿过滤光器到达多个光电传感器,同时阻止光带外的光到达多个光电传感器。

[0020] 在一些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括:可旋转平台;光学发射

机,所述光学发射机耦合到可旋转平台,并包括本体发射机光学器件和多个发射机信道;光学接收机,所述光学接收机耦合到可旋转平台,并包括本体接收机光学器件和多个微光学接收机信道;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使平台、光学发射机和光学接收机旋转;系统控制器,所述系统控制器安装到光学系统的固定部件;以及光学通信链路,所述光学通信链路在操作上耦合在系统控制器和光学接收机之间,以使系统控制器能够与光学接收机通信。每个发射机信道包括光发射器,所述光发射器被配置成产生窄带光,并将其通过本体发射机光学器件传输到光学系统外部的场中。每个微光学信道包括与本体接收机光学器件的焦平面一致的孔径;沿着来自本体接收机光学器件的光路定位并与孔径轴向对准的滤光器;以及响应穿过孔径并穿过滤光器的入射光子的光电传感器。光学通信链路可以在光学系统的固定部件和可旋转平台之间延伸,以将系统控制器与光学接收机在操作上耦合。光学接收机还可以包括位于孔径后面并直接耦合到滤光器的准直透镜,滤光器位于准直透镜后面。

[0021] 在一些附加实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括:可旋转平台;光学发射机,所述光学发射机耦合到可旋转平台,并包括图像空间远心本体发射机光学器件和多个发射机信道;光学接收机,所述光学接收机耦合到可旋转平台,并包括图像空间远心本体接收机光学器件和多个微光学接收机信道;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使平台、光学发射机和光学接收机旋转;系统控制器,所述系统控制器安装到光学系统的固定部件;以及光学通信链路,所述光学通信链路在操作上耦合在系统控制器和光学接收机之间以使系统控制器能够与光学接收机通信。每个发射机信道包括光发射器,所述光发射器被配置成产生窄带光,并将其通过本体发射机光学器件传输到光学系统外部的场中。每个微光学信道包括与本体接收机光学器件的焦平面一致的孔径、孔径后面的准直透镜、准直透镜后面的滤光器以及响应穿过孔径进入准直透镜并穿过滤光器的入射光子的光电传感器。

[0022] 在某些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括:可旋转平台;多个垂直腔面发射激光器 (VCSEL),所述多个垂直腔面发射激光器排列成阵列并耦合到可旋转平台;光学接收机,所述光学接收机耦合到可旋转平台;电动机,所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使平台、多个垂直腔面发射激光器和光学接收机旋转;系统控制器,所述系统控制器安装到光学系统的固定部件;以及光学通信链路,所述光学通信链路在操作上耦合在系统控制器和光学接收机之间以使系统控制器能够与光学接收机通信。多个垂直腔面发射激光器中的每个垂直腔面发射激光器被配置成产生离散的光脉冲并将其传输到光学系统外部的场中。光学接收机包括本体接收机光学器件和多个光电传感器,每个光电传感器包括响应入射光子的多个单光子雪崩二极管 (SPAD)。

[0023] 在一些实施例中,一种用于执行距离测量的光学系统包括:本体接收机光学器件;孔径层,所述孔径层包括多个孔径;第一透镜层,所述第一透镜层包括第一多个透镜;滤光器层,所述滤光器层被配置成在光穿过本体接收机光学器件后接收光,并使辐射带通过,同时阻挡带外的辐射;光电传感器层,所述光电传感器层包括多个光电传感器,每个光电传感器包括被配置成检测光子的多个光电检测器;以及第二多个透镜,所述第二多个透镜被配置成将在光电传感器处接收的入射光子聚焦在多个光电检测器上。光学系统包括多个接收机信道,多个接收机信道中的每个接收机信道包括来自所述多个孔径的孔径、来自所述多

个第一透镜的透镜、来自滤光器层的滤光器以及来自所述多个光电传感器的光电传感器，每个信道的孔径为其相应的信道限定离散的、不重叠的视场。对于多个接收机信道中的每个接收机信道，在用于该信道的光电传感器中的第二多个透镜和多个光电检测器之间可以存在一对一的对应关系，其中第二多个透镜中的每个透镜可以被配置成将光子聚焦在第二多个透镜中的其对应的透镜上。

[0024] 在一些附加实施例中，一种用于执行距离测量的光学系统包括光发射系统和光检测系统。光发射系统包括本体发射机光学器件和照射源。照射源包括多个光发射器，这些光发射器对齐以将离散光束通过本体发射机光学器件投射到光学系统前方的场中。光检测系统包括：本体接收机光学器件；孔径层，所述孔径层包括多个孔径；第一透镜层，所述第一透镜层包括第一多个透镜；滤光器层，所述滤光器层被配置成在光穿过本体接收机光学器件后接收光，并使辐射带通过，同时阻挡带外的辐射；以及光电传感器层，所述光电传感器层包括多个光电传感器。每个光电传感器包括被配置成检测光子的多个光电检测器，以及被配置成将在光电传感器处接收的入射光子聚焦在多个光电检测器上的第二多个透镜。光学系统包括多个接收机信道，多个接收机信道中的每个接收机信道包括来自多个孔径的孔径、来自多个第一透镜中的透镜、来自滤光器层的滤光器以及来自多个光电传感器的光电传感器，每个信道的孔径为其相应的信道限定离散的、不重叠的视场。

[0025] 在某些实施例中，一种用于执行距离测量的光学系统包括：固定壳体，所述固定壳体具有光学透明窗；光测距装置，所述光测距装置设置在壳体内并与光学透明窗对准；电动机，所述电动机设置在壳体内并在操作上耦合以使包括平台、光学发射机和光学接收机的光测距装置在壳体内旋转；以及系统控制器，所述系统控制器设置在壳体内。系统控制器被配置成控制电动机，并开始和停止光测距装置的光检测操作。光测距装置包括平台、耦合到平台的光学发射机、耦合到平台的光学接收机。光学发射机包括本体发射机光学器件和多个发射机信道，每个发射机信道包括光发射器，所述光发射器被配置成产生窄带光并通过本体发射机光学器件将其发射到光学系统外部的场中。光学接收机包括本体接收机光学器件；孔径层，所述孔径层包括多个孔径；第一透镜层，所述第一透镜层包括第一多个透镜；滤光器层，所述滤光器层被配置成在光穿过本体接收机光学器件后接收光，并使辐射带通过，同时阻挡带外的辐射；以及光电传感器层，所述光电传感器层包括多个光电传感器。每个光电传感器包括被配置成检测光子的多个光电检测器，以及被配置成将在光电检测器处接收的入射光子聚焦在多个光电检测器上的第二多个透镜。光学系统包括多个接收机信道，多个接收机信道中的每个接收机信道包括来自多个孔径的孔径、来自多个第一透镜的透镜、来自滤光器层的滤光器以及来自多个光电传感器的光电传感器，每个信道的孔径为其相应的信道限定离散的、不重叠的视场。

[0026] 参考以下详细描述和附图，可以更好地理解本公开的实施例的性质和优点。

附图说明

[0027] 图1是根据本公开的一些实施例的示例性无源光学成像器系统的框图。

[0028] 图2是根据本公开的一些实施例的用于无源光学成像器系统的示例性光检测系统的简化图。

[0029] 图3A和3B是根据本公开的一些实施例的具有渐变滤光器层的微光学接收机层的

不同实施例的简化图的透视图。

[0030] 图4是根据本公开的一些实施例的旋转激光雷达系统的框图。

[0031] 图5A-5B是根据本公开的一些实施例的固态激光雷达系统的示例性实施方式的简单图示。

[0032] 图6A-6B是根据本公开的一些实施例的扫描激光雷达系统的示例性实施方式的简单图示。

[0033] 图7是示出根据本公开的一些实施例的采用360扫描架构的激光雷达系统的实施例的示例性透视图。

[0034] 图8是根据本公开的一些实施例的光测距系统的光透射和检测操作的说明性示例。

[0035] 图9是示出根据本公开实施例的在光学测量系统中使用编码脉冲的方法的流程图。

[0036] 图10是示出根据本公开的一些实施例的示例性有源光学成像器系统的详细视图的简化图,所述示例性有源光学成像器系统具有宽视场并且能够窄带成像。

[0037] 图11-14是根据本公开的一些实施例的各种示例性增强光发射系统的简化截面图。

[0038] 图15A-15C是根据本公开的一些实施例的示例性有源成像器系统的简化图的截面图,所述示例性有源成像器系统具有像散校正光学结构的不同实施方式。

[0039] 图16A是信道之间没有串扰的光检测系统1600的一部分的简化截面图。

[0040] 图16B是信道之间存在串扰的光检测系统1601的一部分的简化截面图示意图。

[0041] 图17是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机信道结构的简化截面图示意图。

[0042] 图18A-18D是根据本公开的一些实施例的接收机信道的各种孔径层的简化截面图示意图。

[0043] 图19A-19D是根据本公开的一些实施例的用于接收机信道的孔径层和光学透镜层之间的各种间隔结构的简化截面图示意图。

[0044] 图20A-20G是根据本公开的一些实施例的用于接收机信道的各种滤光器层的简化截面图示意图。

[0045] 图21A-21K是根据本公开的一些实施例的用于接收机信道的具有扩散器的各种光电传感器层的简化截面图示意图。

[0046] 图22A-22I是根据本公开的一些实施例的用于接收机信道的各种半球形接收机结构的简化截面图示意图。

[0047] 图23A-23E是根据本公开的一些实施例的用于接收机信道的各种底部微透镜层的简化截面图示意图。

[0048] 图24和25是根据本公开的一些实施例的示例性接收机信道的简化截面图示意图。

[0049] 图26-30是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列的简化俯视图示意图。

具体实施方式

[0050] 本公开的一些实施例涉及光学成像器系统,所述光学成像器系统可以从场内的环境光和/或光学发射机发射的场内物体反射的光生成图像。例如,在一些实施例中,光学成像器系统可以是无源系统,其不主动照亮场景或给定区域,而是检测场景或区域中的环境光,所述环境光由场景或区域中的一个或多个物体反射。无源光学成像器系统可以包括用于接收场内环境光的光感测模块。光感测模块可以是收集成像信息的宽视场窄带光学成像系统(WFNBI)。光感测模块可以包括一个或多个本体接收机光学器件、微光学接收机系统和用于操作光感测模块的系统控制器。根据本公开的一些实施例,微光学接收机系统可以包括一个或多个微光学接收机层和一个或多个光电传感器,每个光电传感器可以包括一个或多个可以测量接收光的光电检测器。

[0051] 本文定义的本体成像光学器件可以是一个或多个光学表面,可能包括多个透镜元件,其具有大于1毫米的通光孔径(clear aperture),并且定位成接收从微光学发射机/接收机层投射的光或将接收的光聚焦在微光学发射机/接收机层上。投射从光学发射器(诸如微光学发射机层)接收的光的本体成像光学器件在本文中有时被称为本体发射机光学器件或输出本体成像光学器件。将从场接收的光聚焦到光学检测器上的本体光学层,诸如微光学接收机层,在本文中有时被称为本体接收机光学器件或输入本体成像光学器件。输入图像空间远心本体成像光学器件允许系统在宽视场(FOV)内均匀测量窄带光。微光学接收机层可以包括微光学接收机信道的一维或二维阵列,其中每个微光学接收机信道具有多个部件,包括孔径、准直微透镜、滤光器和光电传感器中的一个或多个。在一些情况下,微光学接收机信道结构具有柱状布置,其具有外壳,该外壳具有吸收性和/或反射性侧壁和/或聚焦漏斗。微光学接收机信道最大化通过其孔径的入射光线的收集,准直光以使其垂直于滤光器,并且最小化由于来自相邻孔径的输入的混合而造成的与相邻微光学接收机信道的串扰,这将在下面详细讨论。在各种情况下,根据本公开的本体成像光学器件修改整个发射器或光电传感器阵列的光或其他辐射。微光学结构可以包含为该阵列的一部分,并且可以针对该阵列中的不同发射器和/或光电传感器以不同的方式修改光。在一些实施例中,对于每个单独的阵列元件(光电传感器和/或发射器),存在一个或多个微光学元件。

[0052] 在一些实施例中,光学成像器系统可以是有源系统,其可以将光发射到场内,然后在发射的光自场内的物体表面反射后检测发射的光。有源光学成像器系统除了光感测模块之外还可以包括光透射模块,并且被配置成光测距装置。光透射模块可以包括由单个发射器的阵列构成的发射机层,其中每个发射器可以与光感测模块中对应的微光学接收机信道配对,或者它可以是均匀地遍及场景传播光的均匀照射器,而在单个发射器和接收机信道之间没有特定的配对。在一些情况下,光透射模块可以包括微光学发射机信道阵列,以增强从发射器阵列输出的光。在操作期间,发射器阵列输出的光(例如,激光脉冲)穿过微光学发射机信道阵列,并进入具有大数值孔径的本体发射机光学器件,以更好地捕获来自微光学发射机信道阵列的光。然后,光离开本体发射机光学器件,并照射在远处的场的多个光斑。微光学发射机信道阵列可以提高从本体发射机光学器件发出的光束的亮度,以提供增强的光斑照射,同时提高被测图像的空间分辨率,如本文将进一步详细讨论的。

[0053] 根据本公开的一些实施例,成像器系统是宽视场窄带光学系统。因此,成像器可以捕获图像并检测跨至少10度的视场的光。在某些实施例中,成像器可以捕获图像并检测跨

至少20度的视场的光,在一些实施例,成像器可以捕获图像并检测跨至少30度的视场的光。此外,成像器可以检测波长约为10纳米或更小的光。在一些特定实施例中,光感测模块可以检测波长约为5纳米或更小的光。在一些实施例中,成像器系统可以捕获并检测跨大约32度的视场的、波长小于5纳米的光。视场可以是垂直或水平方向,或两者之间的任何其他角度。

[0054] 为了更好地理解根据本公开实施例的无源和有源光学成像器系统的功能和配置,这里将详细讨论每个系统。

[0055] I. 无源光学成像器系统

[0056] 无源光学成像器系统接收环境光以生成图像。图1是根据本公开的一些实施例的示例性无源光学成像器系统100的框图。无源光学成像器系统100包括无源光捕获装置102,用于捕获场内存在的光。无源光捕获装置102可以包括系统控制器104和光感测模块106。成像数据可以由无源光捕获装置102通过接收无源光学成像器系统100所处的场内存在的光来生成。与从系统100内的发射机发射的光相反,接收的光可以是自然存在于场内的光,即环境光。

[0057] 光感测模块106可以包括传感器阵列108,其可以是例如一维或二维光电传感器阵列。每个光电传感器(也称为“传感器”,或者有时被本领域技术人员称为“像素”)可以包括光电检测器的集合,例如,单光子雪崩二极管等,或者传感器可以是单光子检测器(例如,APD)。光感测模块106包括光学感测系统110,当其与传感器阵列108在一起时,可以形成光检测系统112。在一些实施例中,光学感测系统110可以包括本体接收机光学器件114和光学部件116,诸如孔径层、准直透镜层和滤光器,它们可以与传感器阵列108组合以形成微光学接收机信道阵列,其中每个微光学接收机信道测量对应于系统100所处的周围场的不同视场中的图像像素的光。下面结合图17-30详细讨论根据本公开的微光学接收机信道的各种实施例的其他细节。

[0058] 在一些实施例中,光感测模块106的传感器阵列108被制造为单个衬底上的单片装置的一部分(使用例如CMOS技术),所述单个衬底包括光电传感器阵列、处理器118和存储器120,用于对来自阵列中各个光电传感器(或光电传感器组)的测量光进行信号处理。包括传感器阵列108、处理器118和存储器120的单片结构可以被制造为专用ASIC。在一些实施例中,光学部件116也可以是包括传感器阵列108、处理器118和存储器120的单片结构的一部分。在这种情况下,光学部件116可以在ASIC上形成,例如,用环氧树脂结合(不可逆地),使得它成为单片结构的一部分,这将在下面进一步讨论。如上所述,处理器118(例如,数字信号处理器(DSP)、微控制器、现场可编程门阵列(FPGA)等)和存储器120(例如,SRAM)可以执行信号处理。作为信号处理的示例,对于每个光电传感器或光电传感器组,光感测模块106的存储器120可以随着时间累积检测到的光子,并且这些检测到的光子可以用于重建场的图像。

[0059] 在一些实施例中,来自处理器118的输出被发送到系统控制器104用于进一步处理,例如,数据可以由系统控制器104的一个或多个编码器编码,然后作为数据包发送到用户接口115。系统控制器104可以用多种方式实现,包括例如通过使用诸如现场可编程门阵列的可编程逻辑装置,作为ASIC或ASIC的一部分,使用具有存储器124的处理器122,以及上述方式的组合。系统控制器104可以与固定基部控制器协作或者独立于基部控制器操作(通过预编程指令),以通过发送包括开始和停止光检测以及调整光电检测器参数的命令来控制

制光感测模块106。在一些实施例中,系统控制器104具有一个或多个有线接口或连接器,用于与光感测模块106交换数据。在其他实施例中,系统控制器104通过诸如光学通信链路的无线互连与光感测模块106通信。

[0060] 无源光学成像器系统100可以与用户接口115交互,用户接口可以是使用户能够与计算机系统交互的任何合适的用户接口,例如显示器、触摸屏、键盘、鼠标和/或跟踪板(tracK pad),用于与包含CPU和存储器的膝上型电脑、平板电脑和/或手持装置计算机系统交互。用户接口115可以位于安装有无源光学成像器系统100的物体的本地,但是也可以是远程操作的系统。例如,去往/来自无源光学成像器系统100的命令和数据可以通过蜂窝网络(LTE等)、个域网(蓝牙、Zigbee等)、局域网(WiFi、IR等)或者诸如因特网的广域网来路由。

[0061] 硬件和软件的用户接口115可以将来自装置的成像器数据呈现给用户,但是也可以允许用户用一个或多个命令来控制无源光学成像器系统100。示例命令可以包括激活或去激活成像器系统、指定光电检测器曝光水平、偏置、采样持续时间和其他操作参数(例如,发射脉冲模式和信号处理)、指定光发射器参数(诸如亮度)的命令。此外,命令可以允许用户选择用于显示结果的方法。用户接口可以显示成像器系统结果,其可以包括例如单帧快照图像、不断更新的视频图像和/或对于一些或所有像素的其他光测量的显示。

[0062] 如本文所述,光学感测系统110的一个或多个部件可以是具有传感器阵列108、处理器118和存储器120的单片结构的一部分。例如,光学部件116的孔径层、准直透镜层和滤光器层可以堆叠在半导体衬底上并用环氧树脂结合到半导体衬底上,半导体衬底上具有在切割(dicing)之前或之后以晶片级制造的多个ASIC。例如,滤光器层可以是薄晶片,所述薄晶片抵靠光电传感器层放置,然后结合到光电传感器层,以结合滤光器层和光电传感器层,从而使光学层形成单片结构的一部分;准直透镜层可以注射成型在滤光器层上;并且,孔径层可以通过在透明基板上层叠不透明基板或者通过用不透明膜涂覆透明基板来形成。或者,可以制造和切割光电传感器层,并且可以制造和切割滤光器层、准直透镜层和孔径层。然后,每个切割的光电传感器层和光学层可以结合在一起以形成单片结构,其中每个单片结构包括光电传感器层、滤光器层、准直透镜层和孔径层。通过这些层结合到ASIC,ASIC和结合的层可以形成单片结构。然后可以将晶片切割成器件,其中每个器件可以与相应的本体接收机光学器件114配对,以形成光感测模块106。在其他实施例中,光感测模块106的一个或多个部件可以在单片结构的外部。例如,孔径层可以被实现为具有针孔的独立金属板。这里参照图2讨论根据本公开实施例的光学感测系统和传感器阵列的更详细视图。

[0063] 图2是根据本公开的一些实施例的示例性光检测系统200的简化图。光检测系统200可以代表以上参照图1讨论的光检测系统112。光检测系统200可以包括光学感测系统和传感器阵列。光学感测系统可以包括本体接收机光学器件、孔径层、准直透镜层以及滤光器层;并且传感器阵列可以包括光电传感器阵列,其中每个光电传感器可以包括一个或多个用于测量光的光电检测器。根据一些实施例,这些部件一起操作以从场接收光。例如,光检测系统200可以包括本体接收机光学器件202和微光学接收机(Rx)层204。在操作期间,光线206从多个方向进入本体接收机光学器件202,并被本体接收机光学器件202聚焦以形成光锥208。微光学接收机层204被定位成使得孔径210与本体接收机光学器件202的焦平面一致。在一些实施例中,微光学接收机层204可以是微光学接收机信道212的一维或二维阵列,

其中每个微光学接收机信道212由相应的孔径210、准直透镜214和光电传感器216形成,这些孔径、准直透镜和光电传感器在光流动的方向上沿着相同的轴而定位,例如从左向右水平定位,如图2所示。此外,每个微光学接收机信道212可以按各种方式配置以减轻来自光电传感器之间的杂散光的干扰,这将在本文中进一步讨论。在操作期间,每个微光学接收机信道212测量不同像素(即,场内的位置)的光信息。

[0064] 在本地接收机光学器件202的焦点处,光线206聚焦并穿过孔径层211中的孔径210,并进入相应的准直透镜214。每个准直透镜214准直接收到的光,使得光线都以大致相同的角度,例如彼此平行,进入滤光器。本地接收机光学器件202的孔径和焦距决定了在孔径210处聚焦的相应光线的锥角。准直透镜214的孔径大小和焦距决定了允许光线能够准直的程度,而这决定了在滤光器218中可以实现多窄的带通。在光检测系统200的操作期间,孔径210可以起到各种功能。例如,孔径210可以(1)约束像素视场,使得尽管光电传感器平面处的间距很大,但仍具有紧密的空间选择性,(2)在准直透镜的焦平面处提供小的点状光源,以在光线通过滤光器之前实现光线的紧密准直,其中更好的准直导致能够通过滤光器的更紧密的带,以及(3)阻挡杂散光。

[0065] 滤光器218阻挡不必要的光波长。基于干扰的滤光器在性能上往往表现出强的角度依赖性。例如,在零度入射角中心波长(CWL)为900纳米的1纳米宽的带通滤光器在十五度入射角可能具有898纳米的CWL。成像系统通常使用几十纳米宽的滤光器来适应这种效果,因此CWL的偏移比带通宽度小得多。然而,微光学层204的使用允许所有光线以大致相同的入射角进入滤光器218,从而最小化CWL偏移,并允许使用非常紧密的滤光器(例如,小于10纳米宽)。光电传感器216响应入射光子产生电流或电压。在一些实施例中,滤光器218在整个微光学接收机信道212阵列上都是均匀的,使得该阵列中的每个单独的微光学接收机信道212接收相同波长范围的光。

[0066] 在一些实施例中,光电传感器216位于准直透镜214的相对侧,使得光线206先穿过准直透镜214和滤光器218,然后暴露在光电传感器216上。每个光电传感器216可以是多个光电检测器,诸如多个单光子雪崩检测器(SPAD)的微型阵列。可以在单个单片芯片上制造SPAD的微型阵列的阵列,从而简化制造。在一些替代实施例中,每个光电传感器216可以是单个光电检测器,例如标准光电二极管、雪崩光电二极管、谐振腔光电二极管或另一种类型的光电检测器。

[0067] 在一些其他实施例中,滤光器218是不均匀的。例如,渐变滤光器允许不同的微光学信道测量不同范围的波长。换句话说,渐变滤光器允许微光学信道阵列中的不同微光学信道具有不同的中心波长(CWL)。渐变滤光器通常在一个或两个维度上逐渐改变允许波长的范围。然而,渐变滤光器也可以包括允许波长的范围在一个或两个维度上快速变化(例如,逐步变化)的滤光器。信道的不同CWL可以通过各种方式创建。例如,滤光器的厚度可以改变,或者折射率可以改变。折射率可以通过改变滤光器层来改变,例如通过改变其化学组成,例如通过改变使其具有不均匀的掺杂浓度。结果,每个信道(或信道的行/列)的滤光器层可以具有不同的掺杂浓度,从而导致每个信道(或信道的行/列)具有不同的CWL,而厚度没有改变。用渐变滤光器旋转微光学信道的一维阵列允许系统测量每个光电传感器的不同波长的光。扫描渐变滤光器沿着扫描方向变化的微光学信道的二维阵列允许无源光学成像系统测量空间中每个位置的多个波长的光,但这么做需要使用光电传感器中的多个光电

检测器。这种使用渐变滤光器的光学系统要求光电传感器采样的同步,以便对具有相同视场的相同光电传感器进行不同的波长测量。区分许多不同波长的成像系统有时被称为高光谱成像器。高光谱成像器通常要求感兴趣波长的光都聚焦在大致相同的平面上。这可以通过使用被设计用来限制色差影响的消色差、复色差、超色差或类似的透镜来实现。

[0068] 高光谱成像器从遍及电磁波谱的多个波长段收集信息。波长段的绝对或相对强度可以提供关于化学浓度的信息。例如,某些作物的叶绿素含量可以仅用几个波长段来估计。类似的技术可以用来发现有价值的矿物质或识别毒素。光谱信息也可以用来帮助对行人、汽车和车用环境中类似遇到的其他物体进行分类。

[0069] 渐变中性密度滤光器的透射率遍及该滤光器在空间上变化,但在任何给定位置,透射率在很大程度上与波长无关(例如,对红光和蓝光的透射率相同)。在扫描成像系统中,渐变中性密度滤光器可用于以不同的衰减程度对空间中的相同点成像,从而实现复合测量,其具有比非渐变滤光器更高的动态范围。参照图3A和3B,可以更好地理解具有渐变滤光器的微光学接收机层。

[0070] 图3A和3B是根据本公开的一些实施例的具有渐变滤光器层的微光学接收机层的不同实施例的简化图的透视图。具体而言,图3A是具有渐变滤光器层302的微光学接收机层300的简化图的透视图,而图3B是具有渐变滤光器层312的微光学接收机层301的简化图的透视图。如图3A和3B所示,微光学接收机层300和301各自包括四个微光学接收机信道304、306、308和310,其以 2×2 阵列的形式二维排列。尽管图3A和3B示出了仅具有 2×2 阵列的实施例,但是本领域技术人员理解,这些实施例不是限制性的,其他实施例可以被配置成具有任意数量的微光学接收机信道。应当理解,在这些图中,滤光器层302和312的厚度以及周围层的厚度(未按比例绘制)应当被解释为干扰滤光器中折射材料层的厚度。随着这些厚度变化,干扰滤光器的特性(例如,通带CWL)也会变化。这些实施例可以用在高光谱无源光学成像器系统中。

[0071] 如图3A和3B所示,渐变滤光器层302在跨多列微光学接收机信道的一个维度上具有逐渐增加的厚度,渐变滤光器层312在一个维度上具有逐步增加的厚度,每个微光学接收机信道具有恒定的厚度。微光学接收机信道304和308具有相同的滤光器厚度,并检测相同波长的光。微光学接收机信道306和310具有相同的滤光器厚度,并检测相同波长的光。微光学接收机信道304和308可以具有与微光学接收机信道306和310不同的滤光器厚度,从而检测不同波长的光。在第一时间间隔期间,微光学接收机信道304和308分别测量两个像素的第一波长光的强度。在一些实施例中,高光谱无源光学成像器系统移动或转动微光学接收机层,使得在第二时间间隔期间,微光学接收机信道306和310分别测量相同两个像素的第二波长光的强度。在其他实施例中,根据本公开的高光谱无源光学成像器系统可以包括固定微光学接收机层,并扫描移动目标。

[0072] II. 有源光学成像器系统

[0073] 如本文所述,光学成像器系统也可以配置成有源光学成像器系统。有源光学成像器系统可以不同于无源光学成像器系统,因为有源光学成像器系统将其自己的光发射到场内,并在发射的光从场内物体的表面反射后检测发射的光。在一些实施例中,有源光学成像器系统可以用作激光雷达装置,在所述激光雷达装置中,发射的光和接收的反射光可以相关联,以确定到反射发射的光的物体的距离。参照图4可以更好地理解有源光学成像器系

统。

[0074] 图4示出了根据本公开的一些实施例的激光雷达系统400的框图。激光雷达系统400可以包括光测距装置402和用户接口415。光测距装置402可以包括测距系统控制器404、光透射(Tx)模块406和光感测(Rx)模块408。测距数据可以由光测距装置402通过将一或多个光脉冲410从光透射模块406传输到光测距装置402周围的视场中的物体来生成。然后,透射光的反射部分412在一段延迟时间后被光感测模块408检测到。基于延迟时间,可以确定到反射表面的距离。也可以采用其他测距方法,例如连续波、多普勒等。

[0075] Tx模块406包括发射器阵列414和Tx光学系统416,所述发射器阵列可以是发射器的一维或二维阵列,所述Tx光学系统可以与发射器阵列414一起形成光发射系统438。Tx光学系统416可以包括在图像空间远心的本体发射机光学器件。在一些实施例中,Tx光学系统416可以进一步包括一个或多个微光学结构,所述微光学结构增加从本体发射机光学器件发出的光束的亮度(如这里参考图11-14所讨论的)和/或用于光束整形、光束调控等。发射器阵列414或各个发射器可以是激光源。Tx模块406还可以包括任意的处理器418和存储器420,尽管在一些实施例中,这些计算资源可以并入测距系统控制器404。在一些实施例中,可以使用脉冲编码技术,例如巴克(Barker)码等。在这种情况下,存储器420可以存储指示何时应该传输光的脉冲代码。在一些实施例中,脉冲代码被存储为存储在存储器中的整数序列。

[0076] 光感测模块408在构造上可以基本上类似于本文参考图1讨论的光感测模块106。因此,处理器422、存储器424、传感器阵列426和Rx光学系统428(当与传感器阵列426一起时可以形成光检测系统436)的细节可以参考图1,并且为了简洁起见,这里仅讨论那些部件的差异。对于激光雷达系统400,传感器阵列426的每个光电传感器(例如,SPAD的集合)可以对应于发射器阵列414的特定发射器,例如,作为光感测模块408和Tx模块406的几何配置的结果。例如,在一些实施例中,发射器阵列414可以沿着本体发射机光学器件的焦平面布置,使得从本体发射机光学器件投射到系统前方的场中的每个照射束在与系统的超过初始阈值距离的任何距离处基本上与对应接收机信道的视场具有相同的尺寸和几何形状。

[0077] 在一些实施例中,处理器418可以对来自阵列中各个光子检测器(或检测器组)的原始直方图执行信号处理。作为信号处理的例子,对于每个光子检测器或光子检测器组,存储器424(例如,SRAM)可以在连续的时间元(time bin)上累积检测到的光子的计数,并且这些时间元合在一起可以用于重建反射光脉冲的时间序列(即,光子的计数关于时间的关系)。聚集光子计数的该时间序列在这里被称为强度直方图(或者直接称为直方图)。处理器418可以实现匹配滤光器和峰值检测处理,以便及时识别返回信号。此外,处理器418可以完成某些信号处理技术(例如,通过处理器422),例如多轮廓匹配滤光,以帮助恢复光子时间序列,所述光子时间序列不太容易受到可能由于SPAD饱和和猝灭而发生的脉冲形状失真的影响。在一些实施例中,这种滤光的全部或部分可以由处理器458执行,处理器可以体现在FPGA中。

[0078] 在一些实施例中,从处理器418输出的光子时间序列被发送到测距系统控制器404用于进一步处理,例如,数据可以由测距系统控制器404的一个或多个编码器编码,然后作为数据包发送到用户接口415。测距系统控制器404可以用多种方式实现,包括例如通过使用可编程逻辑器件诸如FPGA,作为ASIC或ASIC的一部分,使用具有存储器432的处理器430,

以及上述方式的组合。测距系统控制器404可以与固定基部控制器协作或者独立于基部控制器操作(通过预编程指令),以通过发送包括开始和停止光检测以及调整光电检测器参数的命令来控制光感测模块408。类似地,测距系统控制器404可以通过发送命令或中继来自基部控制器的命令来控制光透射模块406,这些命令包括开始和停止发光控制以及可以调节其他光发射器参数(例如,脉冲代码)的控制。在一些实施例中,测距系统控制器404具有一个或多个有线接口或连接器,用于与光感测模块408和光透射模块406交换数据。在其他实施例中,测距系统控制器404通过诸如光学通信链路的无线互连与光感测模块408和光透射模块406通信。

[0079] 光测距装置402可用于固定和扫描架构。电动机434是激光雷达系统400中的任选部件,其可用于转动系统部件,例如Tx模块406和Rx模块408,作为扫描激光雷达架构的一部分。系统控制器404可以控制电动机434,并且可以根据需要开始旋转、停止旋转和改变旋转速度,以实现扫描激光雷达系统。下面参照图5A和5B讨论示例性固定激光雷达装置,同时参照图6A、6B和7进一步讨论示例性扫描激光雷达装置。

[0080] 激光雷达系统400可以与用户接口415的一个或多个例示交互。不同的例示可以变化,并且可以包括但不限于具有监视器、键盘、鼠标、CPU和存储器的计算机系统;汽车或其他交通工具中的触摸屏;具有触摸屏的手持装置;或任何其他合适的用户接口。用户接口415可以位于安装有激光雷达系统400的物体的本地,但是也可以是远程操作的系统。例如,去往/来自激光雷达系统400的命令和数据可以通过蜂窝网络(LTE等)、个域网(蓝牙、Zigbee等)、局域网(WiFi、IR等)或者诸如因特网的广域网来路由。

[0081] 硬件和软件的用户接口415可以将来自装置的激光雷达数据呈现给用户或交通工具控制单元(未示出),但是也可以允许用户用一个或多个命令来控制激光雷达系统400。示例命令可以包括激活或去激活激光雷达系统、指定光电检测器曝光水平、偏置、采样持续时间和其他操作参数(例如,发射脉冲模式和信号处理)、指定光发射器参数(例如,亮度)的命令。此外,命令可以允许用户选择用于显示结果的方法。用户接口可以显示激光雷达系统结果,所述结果可以包括例如单帧快照图像、不断更新的视频图像和/或对于一些或所有像素的其他光测量的显示。在一些实施例中,用户接口415可以跟踪物体离交通工具的距离(接近度),并且可向驾驶员预先地(potentially)提供提示或者提供此类跟踪信息以用于分析驾驶员表现。

[0082] 在一些实施例中,例如在激光雷达系统400用于交通工具导航的情况下,用户接口415可以是交通工具控制单元的一部分,所述交通工具控制单元通过诸如上述有线或无线网络之一的网络从光测距装置402和/或用户接口415接收输出或者与光测距装置402和/或用户接口415通信。交通工具控制单元可以基于接收到的激光雷达数据修改与交通工具控制相关联的一个或多个参数。例如,在完全自主的交通工具中,激光雷达系统400可以提供交通工具周围环境的实时3D图像,以结合GPS和其他数据辅助导航。在其他情况下,激光雷达系统400可以用作高级驾驶员辅助系统(ADAS)的一部分,或者用作安全系统的一部分,其例如可以向任意数量的不同系统提供3D图像数据,例如自适应巡航控制、自动停车、驾驶员睡意监控、盲点监控、防撞系统等。当用户接口415被实现为交通工具控制单元的一部分时,可以向驾驶员提供提示或者可以跟踪物体的接近度跟踪情况。

[0083] A. 固态架构

[0084] 根据本公开的一些实施例,激光雷达系统可以被配置成具有固定架构的固态激光雷达系统。这种激光雷达系统不转动,因此不需要单独的电动机(例如,图4中的电动机434)来转动传感器和发射机模块。示例的固态激光雷达系统如图5A和5B所示。

[0085] 图5A和5B是固态激光雷达系统的示例性实施方式的简单图示。具体地,图5A示出了根据本公开的一些实施例的实施方式500,其中固态激光雷达系统502a-d被实现在诸如汽车的道路交通工具505的外部区域;图5B示出了根据本公开的一些实施例的实施方式501,其中固态激光雷达系统504a-b被实现在道路交通工具505的顶部。在每个实施方式中,可以选择激光雷达系统的数量、激光雷达系统的放置以及每个激光雷达系统的视场,以获得交通工具周围环境的360度视场的大部分(如果不是全部的话)。这里选择激光雷达系统的汽车实施方式仅仅是为了说明,并且本文描述的传感器可以用于其他类型的交通工具,例如船、飞机、火车等,以及使用3D深度图像的各种其他应用,例如医学成像、移动电话、增强现实、测地学、地理信息学、考古学、地理学、地质学、地貌学、地震学、林业、大气物理学、激光制导、机载激光条带测绘(ALSM)和激光测高。

[0086] 参照图5A,固态激光雷达系统502a-d可以安装在交通工具的外部区域,靠近前挡泥板和后挡泥板。激光雷达系统502a-d可以各自定位在交通工具505的相应角落处,使得它们定位在交通工具505的最外侧角落附近。这样,激光雷达系统502a-d可以更好地测量交通工具505与区域506a-d处场内物体的距离。每个固态激光雷达系统可以面向不同的方向(单元之间可能有部分重叠和/或不重叠的视场),以便捕获比每个单元自身能够捕获的更大的复合视场。场景内的物体可以反射从激光雷达Tx模块508发射的光脉冲510的部分。然后光脉冲510的一个或多个反射部分512传播回激光雷达系统502a,并且可以被Rx模块509接收。Rx模块509可以被设置在与Tx模块508相同的壳体中。

[0087] 虽然图5A示出了安装在交通工具四个角落的四个固态激光雷达系统,但是实施例不限于这种配置。其他实施例可以具有安装在交通工具其他区域的更少或更多的固态激光雷达系统。例如,激光雷达系统可以安装在交通工具505的顶部,如图5B所示。在这样的实施例中,激光雷达系统可以具有更高的优势地位来更好地观察交通工具505周围的区域506a-d。

[0088] B. 扫描架构

[0089] 在一些实施例中,根据本公开的激光雷达系统可以采用扫描架构,其中激光雷达系统在小于360度的角度之间振荡。例如,图5B的实施方式501中的激光雷达系统504a-b可以各自采用扫描架构来扫描交通工具505前方和/或后方的整个场景,例如,在视场506a和506b之间的区域514中以及在视场506c和506d之间的区域516中。位于扫描激光雷达系统中的一个或多个光源(未示出,但是可以是用于发射任何适合激光雷达系统的波长谱(例如红外、近红外、紫外、可见光,例如绿色激光波长谱等)中的辐射的各种不同的合适的源,所述辐射包括但不限于激光)的输出光束可以作为光脉冲输出并被扫描,例如在小于360度的角度之间转动,以照亮交通工具周围的场景。在一些实施例中,由旋转箭头514和516表示的扫描可以通过机械手段来实现,例如,通过将光发射器安装到旋转柱或平台上,或者通过使用诸如检流计的其他机械手段来实现。也可以采用基于芯片的光束调控技术,例如通过使用微芯片,所述微芯片采用一个或多个基于MEMS的反射器,例如诸如数字微镜(DMD)器件、数字光处理(DLP)器件等。在一些实施例中,扫描可以通过非机械手段来实现,例如通过使用

电信号来调控一个或多个光学相控阵。

[0090] 其他实施例可以实现对交通工具周围的整个360度环境进行扫描的扫描架构。这种扫描激光雷达系统可以沿顺时针或逆时针方向重复连续转动360度,因此可以利用单独的电动机,例如图4中的电动机434,来旋转传感器和发射机模块。示例性旋转激光雷达系统在图6A和6B中示出。

[0091] 图6A是根据本公开的一些实施例的示例性扫描激光雷达系统600的简化图的自顶向下视图,所述激光雷达系统600被实现用于交通工具605,例如汽车,并且能够连续360度扫描。位于激光雷达系统600中的一个或多个光源(例如,红外或近红外脉冲IR激光器,未示出)的输出光束可以被扫描,例如转动,以照亮交通工具周围的连续场景620。在一些实施例中,由旋转箭头615表示的扫描可以通过本文参考图5B讨论的任何合适的机械手段来实现,例如通过将光发射器安装到旋转柱或平台,或者任何其他机械手段,诸如通过使用检流计或基于芯片的调控技术。在操作期间,交通工具605周围任何方向上并在激光雷达系统600的视野内的物体可以反射从激光雷达系统600中的透射模块608发射的光脉冲611的部分。然后,光脉冲611的一个或多个反射部分617返回激光雷达系统600,并且可以被其感测模块609检测到。在一些情况下,感测模块609可以设置在与透射模块608相同的壳体中。

[0092] 虽然图6A示出了安装在交通工具605顶部的固态激光雷达系统,但是实施例不限于这种配置。其他实施例可以具有安装在交通工具其他区域的固态激光雷达系统。例如,激光雷达系统可以安装在交通工具的角落,如图6B所示。图6B示出了根据本公开的一些实施例的实施方式601,其中固态激光雷达系统604a-d被实现在诸如汽车的道路交通工具的外部区域。在这一实施方式中,每个激光雷达系统604a-d可以是旋转激光雷达系统,其可以测量整个360度周围的距离。然而,由于这些测量值中的至少一些将相对于交通工具605被测量,所以这些测量值可以被忽略。因此,每个激光雷达系统605a-d只能利用来自360度扫描的测量值的子集,例如,只能利用不捕获交通工具605的覆盖了区域619a-d的角度。

[0093] 图7是根据本公开的一些实施例的采用360度扫描架构的激光雷达系统700的简化示例性透视图。在一些实施例中,激光雷达系统700可以包括光测距装置701,所述光测距装置沿顺时针或逆时针方向旋转,以观察交通工具周围的周围场。系统700可以包括固定壳体702、光学透明窗704和固定盖706,用于为激光雷达系统700的内部部件提供保护。窗口704可以完全围绕固定壳体702的外围延伸,固定壳体可以被配置成具有圆柱形状。系统700的内部部件可以包括光测距装置701,其可以包括旋转平台708和安装在旋转平台708上的感测和传输模块710。在一些实施例中,光测距装置701与窗口704对准,使得模块710定位成通过窗口704发射和接收光,并且该发射的光不发射到固定壳体702或固定盖706上。例如,在对准的位置,光测距装置701的水平中心与窗口704的水平中心一致。感测和传输模块710可以是例如光感测模块408和光透射模块406,并且可以任选地包括散热器(未示出)以冷却微光学层。激光雷达系统700还可以包括位于固定壳体702内的系统控制器712(例如,控制器404)和电动机714(例如,电动机434)。电动机714转动平台708,从而以旋转方式转动传感和传输模块710,例如,以顺时针或逆时针方向连续转动360度。系统控制器712可以使用光学通信链路716与感测和传输模块710通信。光学通信链路716允许感测和传输模块710通过光学通信链路716与固定系统控制器712通信,并且没有机械磨损,其中固定系统控制器机械耦合到固定壳体702并且不与平台708一起转动。在一些实施例中,系统控制器712可以控

制电动机并开始和停止激光雷达系统700的光检测操作。系统控制器712可以包括以平行关系布置的两个或多个堆叠的平面电路板,这在题为《紧凑的激光雷达系统 (Compact Lidar System)》的共同拥有和同时提交的专利申请中进行了更详细的讨论(该专利申请的代理案号为103033-P010US1-1073278),其全部内容通过引用并入本文,并用于所有目的。

[0094] III. 有源成像器系统的操作

[0095] 图8是根据一些实施例的用于光测距系统的光透射和检测操作的说明性示例。图8示出了收集系统周围的体积或场景的三维距离数据的光测距系统800(例如,固态或和/或扫描系统)。图8是突出显示发射器和传感器之间关系的理想化图,因此未示出其他部件。

[0096] 光测距系统800包括光发射器阵列810和光传感器阵列820。光发射器阵列810包括光发射器的阵列,例如垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 阵列等,诸如发射器812和发射器816。光传感器阵列820包括光电传感器阵列,例如传感器822和826。光电传感器可以是像素化的光传感器,其为每个光电传感器采用一组分立的光电检测器,诸如单光子雪崩二极管 (SPAD) 等。然而,各种实施例可以部署其他类型的光子传感器。

[0097] 每个发射器可以稍微偏离其相邻发射器,并且可以被配置成将光脉冲从其相邻发射器传输到不同的视场,从而照亮仅与该发射器相关联的相应视场。例如,发射器812将照射光束814(由一个或多个光脉冲形成)发射到圆形视场832中(为了清楚起见,放大了圆形视场的尺寸)。同样,发射器816将照射光束818(也称为发射器信道)发射到圆形视场834中。虽然为了避免复杂化,图8中未示出,但是每个发射器将对应的照射光束发射到其对应的视场中,导致视场的2D阵列被照射(在该示例中为21个不同的视场)。

[0098] 由发射器照射的每个视场可以被认为是由测距数据产生的对应3D图像中的像素或光斑。每个发射器信道对于每个发射器可以是不同的,并且不与其他发射器信道重叠,即,在发射器组和不重叠的视场组之间存在一对一的映射。因此,在图8的实例中,系统可以采样3D空间中的21个不同点。更密集的点采样可以通过更密集的发射器阵列或者通过扫描发射器光束随时间的角度位置来实现,使得一个发射器可以对空间中的几个点进行采样。如上所述,扫描可以通过旋转整个发射器/传感器组件来完成。

[0099] 每个传感器可以稍微偏离与其相邻的传感器,并且如上所述的发射器一样,每个传感器可以看到传感器前面场景的不同视场。此外,每个传感器的视场与相应发射器信道的视场基本一致,例如与其重叠并且与其大小相同。

[0100] 在图8中,相对于到视场中物体的距离,对应的发射器-接收机信道之间的距离被放大。实际上,到视场中物体的距离远大于对应的发射器-接收机信道之间的距离,因此从发射器到物体的光路近似平行于从物体到传感器的反射光路(即,它几乎是“反向反射的”)。因此,在系统800前面有一定的距离范围,在该范围上,各个传感器和发射器的视场重叠。

[0101] 因为发射器的视场与其相应的传感器的视场重叠,所以每个接收机信道理想地可以检测源自其相应发射器信道的反射照射光束,并且理想地没有串扰,即检测不到来自其他照射光束的反射光。因此,每个光电传感器可以对应于相应的光源。例如,发射器812将照射光束814发射到圆形视场832中,并且一些照射光束从物体830反射。理想地,反射光束824仅被传感器822检测到。因此,发射器812和传感器822共享相同的视场,例如视场832,并形成发射器-传感器对。同样,发射器816和传感器826形成发射器-传感器对,共享视场834。虽

然发射器-传感器对在图8中示出为在其相应阵列中处于相同的相对位置,但是根据系统中使用的光学器件的设计,任何发射器都可以与任何传感器配对。

[0102] 在测距期间,来自分布在激光雷达系统周围体积四周的不同视场的反射光被各种传感器收集并处理,得到每个相应视场中任何物体的测距信息。如上所述,可以使用飞行时间技术,其中光发射器发射精确定时的脉冲,并且脉冲的反射在经过一段时间后由相应的传感器检测到。然后,使用发射和检测之间经过的时间以及已知的光速来计算到反射表面的距离。在一些实施例中,传感器可以获得附加信息,以确定反射表面除距离之外的其他属性。例如,脉冲的多普勒频移可以由传感器测量,并用于计算传感器和反射表面之间的相对速度。脉冲强度可用于估计目标反射率,脉冲形状可用于确定目标是硬材料还是漫射材料。

[0103] 在一些实施例中,激光雷达系统可以由发射器和接收机信道的相对较大的2D阵列构成,并且作为固态激光雷达工作,即,它可以获得距离数据帧,而不需要扫描发射器和/或传感器的方位。在其他实施例中,发射器和传感器可以被扫描,例如绕轴转动,以确保发射器和传感器组的视场对周围体积的整个360度区域(或360度区域的有用部分)进行采样。然后,可以将例如在某个预定时间段从扫描系统收集的距离数据(range data)后处理成一个或多个数据帧,接着,可以将一个或多个数据帧进一步处理成一个或多个深度图像或3D点云。深度图像和/或3D点云可以被进一步处理成地图切片,用于3D绘图和导航应用。

[0104] 根据一些实施例,光测距系统(也称为编码脉冲光接收机系统)可以传输多个光脉冲。在一些实施例中,每个编码脉冲具有由光强形成的嵌入正值脉冲码。该系统可以通过创建在不同时间元检测到的反射光的强度直方图来确定存在背景光时,光脉冲的时间位置和/或幅度。对于每个时间元,系统向强度直方图添加一个加权值,该值取决于检测到的光的强度。加权值可以是正的或负的,并且具有可变的幅度。

[0105] 通过选择不同的正值脉冲码的组合并应用不同的权重,该系统可以检测适用于标准数字信号处理算法的正值和负值码。这一方法提供了高信噪比,同时保持了反射光脉冲的测量时间位置的低不确定性。

[0106] 图9是示出根据本公开实施例的在光学测量系统中使用编码脉冲的方法900的流程图。光学测量系统可以是光测距系统。方法900可以使用多个编码脉冲来检测来自目标的反射脉冲的时间位置。在实时三维应用中,方法900可以持续检测到周围环境中物体的距离。方法900可以由本文描述的任何光学测量系统来实现。

[0107] 在910,编码脉冲光学系统(CPOS)执行初始化。例如,CPOS可以响应开始、停止和更改参数的用户接口命令。CPOS可以初始化光学发射机,以指示参数,例如脉冲码、光焦度水平和各种时间间隔(例如,检测间隔、检测间隔之间的暂停间隔和总测量时间间隔)。CPOS可以初始化光感测模块以指示诸如脉冲时间间隔和光采样间隔的参数。CPOS还可以清除直方图值。

[0108] 在920,作为光学测量的一部分,从光源(例如,激光器)传输脉冲序列。脉冲序列可以作为用于测量而传输的N个脉冲序列的一部分进行传输。N个脉冲序列可以从物体反射,从而允许对物体进行测距。N个脉冲序列中的每一个可以包括来自光源(例如,VCSEL)的一个或多个脉冲,并且对应于由开始信号触发的不同时间间隔。

[0109] 在一些实施例中,CPOS可以等待指定的时间,以允许先前的脉冲序列(编码脉冲传输)消散。然后,CPOS可以传输测量的N个脉冲序列中的下一个脉冲序列,其中N个脉冲序列

形成代码。一旦测量完成,例如,N个脉冲序列中的最后一个已经消散(例如,在任何反射预期的预定时间之后),CPOS然后可以使用适当的脉冲码开始第一/下一编码脉冲传输。N可以是大于1的整数,例如2、3、4、5或更大。

[0110] 在930,例如,响应于触发脉冲序列传输的开始信号,可以开始光学检测。因此,CPOS可以在开始编码脉冲传输的同时开始光检测。作为光学检测的一部分,脉冲序列可以由光学测量系统的光电传感器(例如,对应于像素)检测,从而在多个时间点生成数据值。在一些实施例中,光电传感器是光电检测器(例如,SPAD)的集合。数据值可以是各种形式的,例如,在一个时间点(例如,在直方图的时间元内)触发的多个SPAD的计数。作为其他实例,数据值可以是来自跟随模拟光电传感器(例如,APD)的ADC的数字化值。两个实例都可以对应于强度。总共可以检测到N个脉冲序列。此外,该过程可以针对光学测量装置的每个光电传感器分别执行。

[0111] 在940,在对应于脉冲序列的时间间隔内的时间点处,将权重分配给数据值,从而获得加权的值。可以为N个脉冲序列中的每一个分配权重。不同脉冲序列的一些这样的权重可以与其他脉冲序列相同。在一些实施例中,N个脉冲序列中的至少两个被分配不同的权重,并且具有不同的脉冲模式。两个脉冲序列可以具有一些相似性(例如,脉冲的部分可以重叠),但是至少有一些时候一个脉冲序列是开(ON),而另一个脉冲序列是关(OFF)。这种不同的脉冲模式可以具有相似的形状,但是具有不同的延迟,例如,{1,0,1,1,0}具有与{0,1,0,1,1}类似的非零值形状,但是由于第二信号相对于第一信号的延迟可以实现的偏移,它们是不同的脉冲模式。

[0112] 因此,CPOS可以检测光,并为每个光采样间隔创建数字化强度值。对于每个光采样间隔,CPOS可以对数字化强度值应用脉冲权重,并将结果添加到强度直方图的适当时间元。

[0113] 在950,CPOS测试它是否发送了需要数量的编码脉冲。如果CPOS已经发送了需要数量的编码脉冲,则继续进行至框960,否则回到框920。

[0114] 在960,确定对应于多个时间元中的加权值的直方图。如上所述,在特定时间元处的直方图计数值可以通过在多个时间间隔上累积特定时间元内的时间点处的加权值来确定。

[0115] 在970,用直方图来检测对应于N个脉冲序列的信号。例如,CPOS可以确定直方图是否具有与匹配码(滤光器)匹配的值序列。CPOS可以报告是否找到匹配码和匹配的幅度。匹配可以允许检测相对于来自其他光源的噪声或干扰的期望信号。

[0116] 例如,滤光器可以包括一组应用于直方图时间元窗口的值。滤光器可以在直方图上滑动,以计算具有对应于轮廓滤光器相对于直方图的不同滑动位置的计数值的滤光直方图。滤光直方图的每个计数值可以对应于轮廓滤光器和直方图在特定滑动位置的重叠。可以识别滤光直方图的计数值的最大值,从而允许检测,例如,当最大值高于阈值时。计数器最大值的特定滑动位置可以对应于接收时间,其可以用于测距。

[0117] 在一些实施例中,例如,当光学测量系统被配置成执行测距时,信号可以是由从物体反射的N个脉冲序列引起的反射信号。在其他实施例中,信号可以是通信信号,例如,当光源在一个位置而光电传感器在不同的位置时。这种配置可以用于通信目的。例如,微波发射塔可以向接收塔传输数据。所传输的数据可以包括编码脉冲,这可以有助于减少数据接收中可能由来自其他源的噪声或干扰引起的误差。接收塔可以识别脉冲序列并通过选择两个

脉冲序列之间的任意时间作为第一时间元的开始时间来创建直方图。然后可以应用匹配滤光器(例如,通过在直方图上滑动);如果找到足够匹配,则可以检测通信信号。可以通过从滤光直方图获得的最大值来测量足够的匹配。作为另一个实施例,系统可以按用于检测通信信号的类似方式,检测来自另一个CPOS的干扰信号。如果测量到干扰,一些实施方式可以改变传输的代码,例如,如果干扰代码类似于当前使用的代码。

[0118] 在980,可以确定到物体的距离。例如,可以确定与关于开始信号的N个脉冲序列对应的接收时间。可以使用接收时间来确定到物体的距离。接收时间可能与脉冲序列的传输时间有偏差,但是这样的偏差可以考虑在内。因此,CPOS可以报告检测到它的时间。距离可以对应于接收时间和开始信号的开始时间之间的往返时间,因此所述距离可以用时间表示。

[0119] 检测到的信号可用于测距以外的其他目的。例如,检测信号的质量可以用来测量物体的反射率。例如,如果检测到的信号具有高强度,那么系统可以确定物体具有高反射率。上面讨论了通信和干扰测量的实施方式。为了检测来自另一光源的干扰,检测到的信号将是来自通过干扰光源传输的另一组脉冲序列。

[0120] 作为概括,实施例可以传输具有N+1个唯一权重的N+1个唯一代码,以生成N维向量空间直方图。例如,面元(bin)不是保存有符号数,而是通过发送至少两个唯一代码:一个正代码和一个负代码,面元可以保存一维向量(例如,等同于有符号数)。为了存储二维向量(例如,在极坐标或笛卡儿坐标中),系统可以传输至少三个唯一代码,这些代码可以用三个不同的极角加权并求和为单个二维向量。当进行矢量求和时,N维矢量(用全部保存在单个“面元”中的N个单独的数字定义)将需要N+1个不同的代码,每个代码以不同的角度(换句话说,其权重的分量与所有其他权重正交)加权。通过增加维度,可以使用更先进的编码技术,如在射频通信中使用的正交相位编码或码分多址(CDMA)。在这种情况下可以使用N维匹配滤光器。

[0121] 当激光雷达系统在其运行期间实施方法900时,激光雷达系统可以连续测量到场内物体的距离。因此,一旦确定了到物体的距离,方法900可以循环回到框920,以开始另一系列操作:发射脉冲序列,检测发射的脉冲序列以确定直方图,从而确定到场内物体的距离。可能需要通过方法900持续测量距离,因为激光雷达系统可能需要持续测量到场内物体的距离,诸如当激光雷达系统用于导航目的并且激光雷达系统在场内移动时。

[0122] 在一些实施例中,在框980确定到物体的距离之后,方法900可以在框990确定CPOS是否已经接收到退出命令。如果已经接收到退出命令,则方法900可以在框999停止测量距离,否则方法900可以通过循环回到框920来继续测量到物体的距离。

[0123] 如上所述,方法900可用于减少信道间的干扰。例如,方法900可以作为多个光学测量的一部分针对多个光源和光电传感器的信道进行重复。多个光学测量可以在时间上重叠,例如,基本上同时执行。因此,每个信道可以同时执行测量。为了减少干扰,代码可以针对至少某些信道而不同。例如,多个信道中的至少两个信道的N个脉冲序列的脉冲模式可以不同,从而导致不同信道的不同直方图模式。另外或替代地,分配给多个信道中至少两个信道的N个脉冲序列的权重可以不同,从而导致针对不同信道的不同直方图模式。

[0124] IV. 有源成像器系统的构造

[0125] 图10是示出根据本公开的一些实施例的示例性有源光学成像器系统1000的详细

视图的简化图,所述系统具有宽视场并能够窄带成像。有源光学成像器系统1000可以采用如本文前面所述的固态或扫描架构。在一些实施例中,有源光学成像器系统1000可以包括光检测系统1001和光发射系统1002(这不同于无源光学成像器系统)。光发射系统1002利用窄带光线1004提供系统1000所在的场的至少一部分的主动照射(active illumination)。光检测系统1001检测从光发射系统1002发射的、被场内的物体反射为反射光线1006之后的窄带光。光检测系统1001可以基本上类似于本文参考图2讨论的光检测系统200。因此,本体接收机光学器件1008、光锥1010、微光学接收机层1014中的微光学接收机信道1012、以及光电检测器1016的细节可以在此参考图2,为了简洁起见在此不再讨论。

[0126] 在一些实施例中,光发射系统1002包括本体发射机光学器件1018和由光发射器1022的一维或二维阵列形成的光发射层1020。每个光发射器1022可以被配置成产生窄带光的离散光束。在一些实施例中,光发射层1020被配置成根据照射图案选择性地将离散光束投射通过本体发射机光学器件1018,所述照射图案在尺寸和几何形状上遍及距光发射系统1002的距离范围与微光学接收机信道阵列1014中的接收机信道的视场相匹配。光发射器1022可以是任何合适的发光器件,诸如集成在一个或多个单片芯片上的垂直腔面发射激光器(VCSEL),或者任何其他类型的激光二极管。光发射器1022可以产生窄带光锥1024,这些光锥被导向本体发射机光学器件1018,本体发射机光学器件可以准直光锥1024,然后将准直的光作为发射光线1004输出到场内远处的目标。在一些实施例中,本体发射机光学器件1018是图像空间远心的。

[0127] 在附加和替代实施例中,来自光锥1024的光线1004先被微光学发射机层(未示出)聚焦在空间的中间平面上,然后被本体发射机光学器件1018导向远处的目标,以增强从光发射系统1002发射的光的亮度和强度。在这样的实施例中,光发射系统1002和光检测系统1001被配置成使得每个微光学发射机信道(未示出)与对应的微光学接收机信道1012配对,并且它们的视场中心被对准成在距传感器一定距离处重叠,或者它们的主光线被使得平行。在另外的附加和替代实施例中,由光发射系统1002发射的远场光束具有与每个微光学接收机信道1012的远场视场相似的尺寸和发散角。下面将详细讨论具有用于增强输出光的亮度和强度的微光学发射机层的光发射系统1002的细节。

[0128] 从图10中平行光线1004和1006的图示中可以明显看出,每个微光学接收机信道1012具有超出阈值距离的不重叠视场。如图10所示,每个微光学接收机信道1012包括来自多个孔径的孔径、来自多个透镜的透镜以及来自多个光电检测器的光电检测器,其中每个信道的孔径为信道中的像素限定离散的视场,所述视场在其他微光学接收机信道的视场内超出阈值距离外不重叠。这样,每个微光学接收机信道接收对应于场内不被微光学接收机信道层1014中的任何其他微光学接收机信道测量到的离散位置的反射光。

[0129] A. 增强有源成像器系统中发射机的亮度和强度

[0130] 本公开的实施例涉及这样的激光雷达传感器:其除了其他用途之外,还可以用于自主交通工具中的障碍物检测和规避。一些具体实施例涉及这样的激光雷达传感器:其包含这样的设计特征,即使得制造所述传感器的成本足够低且可靠性足够高,并且实现足够小的占地面积以用于大众市场的汽车、卡车和其他交通工具。例如,一些实施例包括一组垂直腔面发射激光器(VCSEL)作为向场内发射辐射的照射源,并且包括单光子雪崩二极管(SPAD)检测器阵列作为一组检测从场内的表面反射回来的辐射的光电传感器(检测器)。使

用VCSEL作为发射器,SPAD作为检测器,可以同时进行多个测量(即可以同时激发VCSEL),还可以在单个芯片上使用标准CMOS工艺分别制造所述一组发射器和所述一组光电传感器,这大大简化了制造和组装过程。

[0131] 在某些实施例中使用VCSEL和SPAD面临一定挑战,然而,本公开的各种实施例克服了这些挑战。例如,VCSEL比现有激光雷达架构中使用的典型激光器功率低得多,而SPAD比现有激光雷达架构中使用的典型检测器效率低得多。为了解决这些挑战以及同时激发多个发射器所带来的挑战,本公开的某些实施例包括各种光学部件(例如,透镜、滤光器和孔径层),这些光学部件可以与多个SPAD阵列协同工作,每个阵列对应于不同的像素(例如,在场内的位置),如本文所述。例如,如本文参考图2所讨论的,光检测系统200可以包括微光学接收机层204,用于增强由光电传感器216(例如,SPAD)检测的光。

[0132] 因为VCSEL不如现有激光雷达架构中的典型激光器强大,所以在一些实施例中,光发射系统1002可以被配置成提高成像器系统1000执行光测距功能的能力。也就是说,可以提高光发射系统1002发射的光的质量,以提高光测距精度和效率。用于光测距和成像目的的透射光的质量可以根据亮度和强度来定义。从本体发射机光学器件1018发射的光线1004的亮度和强度可以通过修改和/或实现一个或多个光学发射机层来增强,这将在本文中进一步讨论。

[0133] 透射光的亮度可以通过每立体角的光焦度(以瓦特为单位)来定义。因此,输出具有紧密准直(即,低发散)的光的光源产生高亮度的光。相反,输出高发散光的光源产生低亮度的光。光的强度可以用单位面积的光焦度来定义,也就是说,如果以一定功率发射的光在小面积内密集,那么它的强度较高。因此,即使两个光源都输出具有低发散度的光,以紧凑密集光线输出光的光源之强度将比以没那么密集光线输出光的光源之强度要高。如这里将理解的,在本公开的实施例中用于激光雷达系统的发射机部件可以配置有微光学部件,与没有微光学部件的类似发射机相比,微光学部件使得发射机能够输出具有增强的亮度和强度的光。

[0134] 图11是根据本公开的一些实施例的第一示例性增强光发射系统1100的简化截面图。光发射系统1100可以包括具有光发射器1104的光发射器阵列1102,光发射器例如可以包括但不限于用于发射光1113的任何发光二极管、激光二极管、VCSEL等。VCSEL是一种从顶面垂直发射激光束的半导体激光二极管。注意,图11所示的线性阵列可以是任何几何形式的发射器阵列,包括但不限于圆形、矩形、线性或任何其他几何形状。

[0135] 增强型光发射系统1100可以包括通过开放空间1118与光发射器阵列1102分开的微光学发射机信道阵列1106。每个微光学发射机信道1108与对应的接收机信道(例如,图10中的接收机信道1012)配对,并且它们的视场中心被对准成在距光学成像器系统一定距离处重叠。微光学发射机信道阵列1106可以由夹在位于面向光发射器阵列1102的一侧的第一光学表面1120和位于背对光发射器阵列1102的相对侧的第二光学表面1121之间的衬底1119形成。第一光学表面1120和第二光学表面1121都可以被配置成凸形微光学透镜阵列,其中第一光学表面1120的每个凸透镜被配置成与第二光学表面1121的相应凸透镜光学对准,使得透射通过第一光学表面1120的光可以随后透射通过第二光学表面1121。如图11所示,来自第一光学表面1120和第二光学表面1121的对应凸透镜可以背向彼此。在某些实施例中,第一光学表面1120的凸透镜具有第一光焦度,第二光学表面1121的凸透镜具有不同于

第一光焦度的第二光焦度。例如,第二光焦度可以大于第一光焦度,使得第二光焦度的焦距比第一光焦度的焦距短。衬底1119可以由在光发射器1104的波长范围内可透射的任何合适的材料形成,诸如硅、二氧化硅、硼硅酸盐玻璃、聚合物等。第一光学表面1120和第二光学表面1121可以由压印在衬底1119的相应相对表面上的透明聚合物形成。

[0136] 在一些实施例中,微光学发射机信道阵列1106可以由微光学发射机信道1108的单片阵列形成。每个微光学发射机信道1108可以包括来自第一光学表面1120的第一凸透镜、来自第二光学表面1121的对应第二凸透镜以及位于这两个凸透镜之间的衬底1119的对应部分。每个微光学发射机信道1108可以对应于相应的光发射器1104,使得从光发射器1104输出的光在操作期间先穿过第一凸透镜,穿过衬底1119的对应区域,然后穿过第二凸透镜。

[0137] 一旦光从第二光学表面1121的第二凸透镜发射出,所述光就形成微型光斑图像1110,所述图像是对应光发射器1104的真实图像,但是是对应光发射器1104的尺寸缩小的图像。在一些实施例中,微型光斑图像1110位于微光学发射机信道阵列1106和本体发射机光学器件1114之间。例如,微型光斑图像1110可以形成在孔径层1109的相应孔径内。每个孔径可以是反射层或不透明层上的针孔,其中发射的光聚焦以形成微型光斑图像1110。从那里继续远离光发射器和微光学信道,光形成光锥1112,通向本体发射机光学器件1114。

[0138] 根据本公开的一些实施例,发射光1113的发散度可以小于光锥1112的发散度。发散度的这种差异可以由微光学发射机信道1108产生,特别是由第二光学表面1121的光焦度产生。因为从微光学发射机信道1108出来的光的发散度大于从光发射器1104发射的光1113的发散度,所以微型光斑图像1110可以是光发射器1104的真实图像,但是比光发射器1104的尺寸小很多,并且具有与发射光1113相同数量的光子。然后,在形成真实光斑图像之后形成的最终光锥1112在穿过本体发射机光学器件1114之后作为每个光发射器1104的离散光束被投射到场内。从光发射系统1100发出的最终光线是具有小横截面积(小于光发射器1104的表面积)的高度准直的光束,从而得到光发射系统1100,其能够输出具有增强亮度和强度的光。

[0139] 请注意,本体发射机光学器件1114可以包括单个透镜或透镜组(其中两个或多个透镜一起形成本体发射机光学器件1114)。在本体发射机光学器件1114中使用多个透镜可以增加数值孔径(numerical aperture)、减小RMS光斑尺寸、使像平面变平、提高远心度,或者以其他方式提高本体发射机光学器件1114的性能。还要注意,对于一些实施例,光锥1112可以重叠形成光锥重叠区域1116。

[0140] 为了更好地理解微光学发射机信道阵列1106的操作和有效性,讨论了光发射系统1100的操作的更详细解释。对于利用由VCSEL发射器形成的光发射器阵列的增强光发射系统1100,发射器的示例性初始半径可以是12.5 μm ,其中光以 10° 半角锥入射。这种发射器通常每平方微米有源区输出50 μW 。来自每个发射器1104的发散光锥被接收到微光学发射机信道1108中,然后会聚光锥由同一微光学信道输出,以产生具有例如 20° 的半角的会聚光锥。因此,对于一些实施例,发射器1104产生的锥角小于对应的微光学发射机信道1108产生的锥角。然后,微光学发射机信道1108发出的会聚光锥产生发射器的微型光斑图像1110。对于根据图11的实施例,微型光斑图像1110是真实图像,其尺寸小于对应的光发射器1104的尺寸。请注意,来自给定发射器的所有光线可能不会全部聚焦到任意小的光斑上。微型光斑图像尺寸通常由“光学不变量”控制:

$$[0141] \quad \Theta_{s*r_s} \geq \Theta_{e*r_e}$$

[0142] 其中 Θ_s 是聚焦光斑的边缘光线半角, r_s 是聚焦光斑的半径, Θ_e 是原始发射器的边缘光线半角, r_e 是原始发射器的半径。因此,在本例中,可以形成的最小微型光斑图像半径(同时仍然捕获来自发射器的所有光线)是:

$$[0143] \quad 10/20 * 12.5 \mu\text{m} = 6.25 \mu\text{m}$$

[0144] 请注意,这个较小的光斑面积将是原始发射器面积的四分之一,因此每平方微米光斑面积的功率密度为200uW。每个微光学发射机信道1108通常具有一个或多个光学表面,其特征可以例如但不限于包括50um的焦距和80um的透镜直径。对于一些实施例,光发射器1104和对应的微光学发射机信道1108之间的距离可以是例如但不限于150um。如图11所示,发射器阵列1102和微光学发射机信道阵列1106之间的开放空间1118可以是例如但不限于气隙,例如由通常用于制造MEMS器件的方法产生的气隙。发射器阵列1102和微光学发射机信道阵列1106之间的距离例如可以是150um。

[0145] 本体发射机光学器件1114位于微光学器件和发射层的前面,使得本体成像光学器件的焦平面与微型光斑图像1110一致。本体发射机光学器件1114接受发散光锥1112并输出准直光束。它的数值孔径可以至少足够大,以捕获发散射线锥中的全部角度范围,因此,例如但不限于,在该示例中,数值孔径(NA) = 0.34。此外,本体发射机光学器件1114可以是图像空间远心的,因为离开微光学层的光锥1112可以都是平行的(而不是其中心轴朝向本体光学器件的中心)。在一个实施例中,光可以近似准直地离开本体发射机光学器件1114。注意,光束准直的质量与焦平面处的“发射物体”(微型光斑图像1110)的尺寸有关。由于这种“发射物体”的尺寸已经通过使用微光学堆叠而减小,所以获得了比直接简单地成像发射物体更好的准直角度。

[0146] 尽管图11示出了增强的光发射系统,其具有由夹在第一和第二光学表面之间的衬底形成的微光学信道阵列,并且通过开放空间远离光发射器阵列一定距离地定位,以提高光发射系统输出的光的亮度和强度,但是实施例不限于这种配置。相反,其他实施例可能不一定实现开放空间或两个光学表面,如本文参考图12进一步讨论的。

[0147] 图12是根据本公开的一些实施例的第二示例性增强光发射系统1200的简化截面图。类似于第一示例性增强光发射系统1100,第二示例性增强光发射系统1200可以包括本体成像光学器件1214和光发射器阵列1202。然而,与第一示例性光发射系统1100不同,第二示例性光发射系统1200可以包括直接位于光发射器阵列1202的发射表面上的微光学发射机信道阵列1206(而不是被开放空间/气隙分开),如图12所示的那样。

[0148] 在这样的实施例中,微光学发射机信道阵列1206可以由衬底1219和光学表面1220形成。光学表面1220可以位于衬底1219的第一表面1230上。衬底1219的第二表面1231可以位于第一表面1230的对面,并且抵靠光发射器阵列1202定位,使得从发射器1204发射的光可以在穿过光学表面1220之前先穿过衬底1219。光学表面1220可以被配置成凸透镜阵列,其中光学表面1220的每个凸透镜被配置成与相应的光发射器1204光学对准,使得由相应的光发射器1204输出的光可以透射通过光学表面1220的相应凸透镜。如图12所示,来自光学表面1220的凸透镜可以背对它们相应的光发射器1204,使得它们的焦点定位成远离光发射器1204。在某些实施例中,光学表面1220的凸透镜具有适于将发射的光会聚成真实微型光斑图像1210的光焦度,所述图像1210是对应光发射器1204的真实图像,但是同图11中的第

二光学表面1121的凸透镜一样,是对应光发射器1204的尺寸减小的图像。光学表面1120使得发射的光在投射通过本体成像光学器件1214之前能够发散到光锥1212中。衬底1219和光学表面1220可以由与本文参考图11讨论的衬底1119和光学表面1120与1121相似的材料形成。在一些实施例中,光锥1212可以重叠形成光锥重叠区域1216。

[0149] 这里的实施例也可以实现不包括凸透镜并且不产生光发射器的真实图像的微光学信道阵列。而一些实施例可以实现凹形表面以生成光发射器的虚拟图像,如这里参考图13进一步讨论的。

[0150] 图13是根据本公开的一些实施例的第三示例性增强光发射系统1300的简化截面图。类似于第一示例性增强光发射系统1100和第二示例性增强光发射系统1200,第三示例性增强光发射系统1300可以包括本体成像光学器件1314和光发射器阵列1302。然而,与第一示例性强光发射系统1100和第二示例性光发射系统1200不同,第三示例性光发射系统1300可以包括微光学发射机信道阵列1306,其包括凹形表面阵列而不是凸透镜阵列,如图13所示。

[0151] 在这样的实施例中,微光学发射机信道阵列1306可以由衬底1319和光学表面1320形成。光学表面1320可以是衬底1319的第一表面1330,其朝向本体成像光学器件1314并远离光发射器1304定位。衬底1319的第二表面1331可以位于第一表面1330的对面,并且抵靠光发射器阵列1302定位,使得从发射器1304发射的光可以先穿过衬底1319,再穿过光学表面1320。光学表面1320可以各自被配置成凹形表面阵列,其中光学表面1320的每个凹形表面被配置成与相应的光发射器1304光学对准,使得由相应的光发射器1304输出的光可以透射通过光学表面1320的相应凹形表面。在某些实施例中,光学表面1320的凹形表面具有适于形成虚拟微型光斑图像1310的光焦度(所述虚拟微型光斑图像是对应光发射器1304的虚拟图像,但是是对应光发射器1304的尺寸减小的图像),并且进一步使得发射的光在投射通过本体成像光学器件1314之前发散到光锥1312中。在一些实施例中,虚拟微型光斑图像1310形成在衬底1319内,如图13所示。在一些实施例中,光锥1312可以重叠形成光锥重叠区域1316。衬底1319可以由与本文参考图11讨论的衬底1119相似的材料形成。

[0152] 请注意,对于图11、12和13中每一个所描述的实施例,微光学信道的透镜配置在有多少表面具有光焦度以及这些表面的形状方面是不同的。图11所示的第一实施例受益于在衬底的相对侧上使用两个光焦度表面的能力,这使得每个表面更浅、呈球形而不是非球形或者更容易制造。该实施例包括间隔结构(未示出),以保持微光学信道阵列1106和光发射器阵列1102之间的偏移。这种间隔结构的一个例子是硅晶片,其具有通过深度反应离子蚀刻形成的通道。图12所示的第二实施例受益于在附接到光发射器阵列的衬底上仅具有一个光焦度表面。这种类型的配置简化了制造,同时还实现了增强的亮度和强度。图13所示的第三实施例也具有图12所示实施例的优点,但是具有由凹形表面而不是凸透镜形成的单个光学表面;在微观尺度上,凹形特征通常更容易制造。

[0153] 在一些实施例中,用于光发射系统的本体成像光学器件可以包括一个或多个孔径光阑,以减少系统发射的杂散光。例如,图14是根据本公开的一些实施例的、配置有具有孔径光阑的本体光学器件的示例性增强光发射系统1400的简化截面图示图。图14基本上类似于图1,但增加了用于本体发射机光学器件1414的孔径光阑变体1403、1405和1406。图14所示的孔径光阑可用于图11至13中的任何一个。在图14中,孔径光阑1403、1405和1407可以具

有圆形或椭圆形开口,用于光穿过,尽管在不脱离本公开的精神和范围的情况下可以使用任何开口形状。

[0154] 在一些实施例中,孔径光阑1403可以位于本体发射机光学器件1414的背对光发射器阵列1402和微光学发射机信道阵列1406的一侧。在一些附加和替代实施例中,孔径光阑1405可以位于本体发射机光学器件1414的面向光发射器阵列1402和微光学发射机信道阵列1406的一侧。在又一些附加和替代实施例中(其中本体接收机光学器件114包括一起工作的多个透镜),孔径光阑1407可以由放置在形成本体发射机光学器件1414的多个透镜内的一个或多个孔径光阑形成。

[0155] 孔径光阑1403、1405和1407的各种配置和位置可以决定光发射系统中每个孔径光阑的工作方式。例如,如果所有光锥1412在孔径光阑1407的位置附近被压缩成基本重叠,那么孔径光阑1407的尺寸将能够控制发射的准直光束的初始直径和阻挡光发射器1404发射的边缘光线。拒绝某些光线角度可以有效地缩小从本体光学器件发出的光的光谱,因为许多类型的激光器发出的光的波长随角度而变化。或者,孔径光阑的最佳位置可能出现在1402或1403,这取决于本体发射机光学器件1414的设计。可以同时使用多个孔径光阑,例如,在一个本体发射机光学器件1414中的1402、1403和1404全部,从而减少光发射系统1400发射的杂散光。

[0156] B. 像散的光学校正

[0157] 如本文参考图7所述,光检测系统和光发射系统可以封装在相同的保护结构内,例如图7中的固定壳体702、光学透明窗704和固定盖706。在一些实施例中,从光发射系统发射的光从透明窗704射出,并且由光检测系统检测的光可以先进入透明窗704。透明窗704的曲率可能会引起一些光学像差,例如像散。因为透明窗可以具有柱形结构并且被很好地控制,所以它可以用一个或多个附加的光学结构来校正。在一些实施例中,光发射和/或检测系统可以配置有校正光学结构,以补偿由透明窗引起的像散,如本文进一步讨论的。

[0158] 图15A-15C是根据本公开的一些实施例的具有像散校正光学结构的不同实施方式的示例性有源成像器系统的简化图的截面图。具体而言,图15A是具有作为本体成像光学器件的一部分的校正光学结构的有源成像器系统1500的简化截面图示意图,图15B是具有作为微光学接收机信道阵列的一部分的校正光学结构的有源成像器系统1501的简化截面图,图15C是具有作为微光学发射机信道阵列的一部分的校正光学结构的有源成像器系统1502的简化截面图示意图。有源成像器系统1500、1501和1502各自包括光检测系统1504和光发射系统1506。有源成像器系统1500、1501和1502的部件基本上类似于图10中的有源光学成像器系统1000,只是增加了校正光学结构。因此,为了简洁起见,不讨论与有源光学成像器系统1000相同的部件。

[0159] 如图15A所示,有源成像器系统1500可以容纳在包含透明窗1508的外壳内。透明窗1508至少对发射器1510工作的光波长透明。当光线1511通过透明窗1508离开外壳时,透明窗1508的弯曲形状可以在从光发射系统1506发射的光线1511中诱发光学像差,例如像散。然后,光线1512在从视场内的物体反射后通过透明窗1508返回到外壳中,这可能会对接收到的光线造成额外的光学像差。为了校正这些光学像差,光检测系统1504可以包括校正本体成像光学器件1514,其被特别设计成补偿由透明窗1508引起的预期像散。例如,除了本体接收机光学器件1518之外,校正本体成像光学器件1514可以包括校正透镜1516。校正透镜

1516可以是能够消除由透明窗1508造成的像散的任何合适的透镜,例如柱面透镜。在一些实施例中,校正透镜1516可以位于透明窗1508和本体接收机光学器件1518之间,或者在一些其他实施例中,位于本体接收机光学器件1518和微光学接收机信道阵列1505之间。类似地,校正本体光学器件可以包括在光发射系统1506的本体发射机光学器件中。

[0160] 在一些实施例中,校正光学器件可以实现为微光学接收机信道阵列,而不是将校正光学器件结合到本体成像光学器件中。例如,参考图15B,光检测系统1504可以包括在孔径1522前面的校正透镜阵列1520,例如在孔径1522的与光电传感器1526所处位置相反的一侧。这样,光锥1524可以先通过相应的校正透镜传播再投射到光电传感器1526上,以补偿由透明窗1508造成的像散。在一些实施例中,校正透镜阵列1520由柱面透镜阵列形成,柱面透镜阵列可以消除由透明窗1508造成的像散。校正透镜阵列1520的每个校正透镜可以定位成与相应的孔径1522对准,使得校正透镜阵列1520可以消除由透明窗1508对每个光电传感器1526接收的光造成的像散。

[0161] 虽然图15A和15B示出了可以修改激光雷达系统的光检测系统部分以校正由透明窗1508造成的像散的方式,但是实施例不限于这种配置,并且校正光学器件也可以在光发射系统中实现。例如,参考图15C,有源成像器系统1502可以包括孔径层1530前面的校正透镜阵列1528,例如,在孔径层1530的与光发射器1510所处位置相反的一侧。这样,从光发射器1510发射的光可以先通过相应的校正透镜1528传播再发射到本体发射机光学器件1534上。在这种情况下,预期到当光从光发射系统1506中发射时由透明窗1508造成的像散,相应的校正透镜1528可以在发射光中诱发校正度数的像散,以补偿当光从光发射系统1506中发射时由透明窗1508造成的像散。在一些实施例中,校正透镜阵列1528由双锥形透镜阵列形成,所述双锥形透镜阵列可能诱发由透明窗1508造成的相等但相反度数的像散。因此,由校正透镜层1528引起的像散的量可以由透明窗1508造成的像散的度数来抵消,从而在有源成像器系统1502的操作期间有效地实现很少至没有净像散。校正透镜阵列1528的每个校正透镜可以定位成与相应的孔径1532对准,使得校正透镜阵列1528可以引起校正度数的像散,以消除由透明窗1508对每个光电传感器1526接收的光造成的像散。在一些实施例中,可能不需要校正透镜阵列1528。相反,光学表面1536可以是双锥形透镜阵列,而不是柱面透镜阵列。透镜的双锥结构可能引起一定量的像散,以抵消由透明窗1508造成的像散度数。在这些实施例中,校正透镜阵列1528可以不在光发射系统1506中实现。此外,在一些实施例中,代替(或结合)校正微光学透镜阵列,校正本体柱面透镜可以用本体接收机光学器件1534来实现(类似于图15A所示的用于光检测系统1504的实施例)。因此,光发射系统1506可以在其本体接收机光学器件1534的前面包括校正本体成像光学器件,以消除由透明窗1508造成的像散。

[0162] V. 减轻接收机信道串扰

[0163] 如基于本文公开的内容可以理解的,微光学接收机中的信道彼此非常靠近,通常彼此相距几微米。各信道之间的这种小间距可能会引发问题。例如,通过本体成像光学器件传播的光有时会导致杂散光渗入相邻信道,从而导致场内每个像素的反射光读数不准确。理想情况下,如图16A所示,任何信道都不应接收到杂散光。

[0164] 图16A是光检测系统1600的一部分的简化截面图,其中信道之间没有串扰。在操作期间,垂直光线1602和主光线1604进入本体成像光学器件1606并产生光锥1608。光线1602

和1604进入孔径层1610的孔径,并进入准直透镜1611。准直透镜1611接受有限范围的入射光角度。例如,准直透镜1611可以接受相对于垂线成+25与-25度之间的入射角的光线。图16A示出入射角在+25与-25度之间的光锥1608。主光线1604是穿过孔径中心的光线。在这个实例中,主光线1604在准直透镜1611上具有0度的入射角。

[0165] 图16B是信道之间存在串扰的光检测系统1601的一部分的简化截面图。在这种情况下,在操作期间,倾斜光线1612和主光线1614进入本体接收机光学器件1616,然后进入准直透镜1621。在这一实例中,准直透镜1621属于对应于远离图像中心的光电传感器的微光学信道。在这一实例中,主光线1614具有-12度的入射角,聚焦光锥具有+12度与-35度之间的入射角。准直透镜1621阻挡一些光线,因其只接受入射角在+25与-25度之间的光。此外,准直透镜接收锥之外的光线可以传播到其他光学表面并成为杂散光。因此,非远心本体成像光学器件向光电检测器传送的信号光子将明显更少,同时有可能用偏离的光线1622污染其他信道。另一方面,远心本体成像光学器件将产生入射角大约在+25与-25度之间的光锥和准直透镜上入射角大约为0度的主光线,而不管倾斜光线1612和主光线1614的角度如何。当激光器是远心的(它们的主光线都是平行的)时,远心本体成像光学器件对发射机具有类似的益处,如同VCSEL或侧面发射二极管激光棒的情况。

[0166] 在一些实施例中,光感测模块的光检测系统使用输入图像空间远心本体成像光学器件。在一些其他实施例中,例如在成本或较大的视场比性能更重要的情况下,光检测系统可以使用更标准的输入本体成像光学器件,例如双凸透镜。对于图像空间远心透镜的任何给定输入场,产生的主光线平行于光轴,并且图像侧光线锥都跨越近似相同的一组角度。这允许光检测系统中远离光轴的微光学信道实现与同轴微光学信道相似的性能。光检测系统不需要完美的图像空间远心来这样工作,但是越接近完美的远心越好。对于只能接受+/-25度光的微光学接收机光学层透镜,优选的是输入本体成像光学器件为焦平面上的每个点产生角度不大于25度的图像侧光线。

[0167] 在某些实施例中,具有宽视场和窄带成像的特定光检测系统可以具有输入图像空间远心本体成像光学器件,其数值孔径等于0.34,焦距为20mm。类似地,一些其他实施例可以具有1nm宽的带通滤光器,从而使其能够检测非常特定波长的光。光检测系统能够支持大于30度的视场。

[0168] 根据本公开的一些实施例,微光学接收机信道阵列的每个信道的设计可以被具体配置成具有使杂散光对相应光电检测器的侵入最小化的特征,从而减少或消除由杂散光的出现造成的任何有害影响。图17是示例性微光学接收机信道结构1700的简化截面图,在本文的讨论中也称为微光学接收机信道。接收机信道1700可以代表微光学接收机信道232和1032等,分别在图2和10中示出,并且用于接受包含宽范围波长的输入光锥,将以工作波长为中心的那些波长的窄带之外的所有波长过滤掉,并且允许光电传感器1771仅检测或基本上仅检测前述窄带波长内的光子。根据本公开的一些实施例,诸如接收机信道1700的微光学接收机信道结构可以包括以下层:

[0169] • 输入孔径层1740,包括光学透明孔径1744和光学不透明光阑区域1746,其被配置成当放置在成像光学器件诸如本体接收机光学器件202或1008(分别在图2和10中示出,图17中未示出)的焦平面时限定窄视场。孔径层1740被配置成接收输入边缘射线1733。术语“光学透明”在这里指的是允许大部分或全部光通过。这里的光是指近紫外、可见和近红外

范围(例如300nm至5000nm)的光谱。光学不透明在这里指的是允许很少乃至不允许光通过,还吸收或反射光。孔径层1740可以包括通过光学不透明光阑区域彼此隔开的光学透明孔径。孔径和光阑区域可以构建在单个单片(诸如光学透明的衬底)上。孔径层1740可以可选地包括一维或二维孔径阵列1744。

[0170] • 光学透镜层1750,包括特征在于焦距的准直透镜1751,从孔径1744和光阑区域1746的平面偏移焦距,与孔径1744轴向对准,并且被配置成准直通过孔径的光子,使得它们近似平行于准直透镜1751的轴(其与接收机信道1700的光轴对准)行进。光学透镜层1750可以可选地包括孔径、光学不透明区域和管结构,以减少串扰。

[0171] • 滤光器层1760,包括滤光器1761(通常是布拉格反射器型滤光器),邻近准直透镜1751并与孔径1744相对。滤光器层1760可以被配置成使特定工作波长和通带处的正常入射光子通过。滤光器层1760可以包含任意数量的滤光器1761。滤光器层1760可以可选地包括孔径、光学不透明区域和管结构,以减少串扰。

[0172] • 光电传感器层1770,包括邻近滤光器层1760的光电传感器1771,并被配置成检测入射到光电传感器1771上的光子。光电传感器1771在这里指的是能够检测光子的单个光电检测器,例如雪崩光电二极管、单光子雪崩检测器(SPAD)、共振腔光电二极管(RCP)等,或者若干光电检测器,诸如SPAD阵列,其共同协作以充当单个光电传感器,与单个大的光子检测区域相比,通常具有更高的动态范围、更低的暗计数率或其他有益的特性。每个光电检测器可以是能够感测光子(即,光)的有源区。光电传感器层1770是指由光电检测器制成的层,并且包含可选结构以提高检测效率并减少与相邻接收机结构的串扰。光电传感器层1770可以可选地包括漫射器、会聚透镜、孔径、光学不透明管间隔结构、光学不透明锥形间隔结构等。

[0173] 杂散光可能由光学表面的粗糙、透明介质中的缺陷、背反射等造成,并且可能在接收机信道1700内或接收机信道1700外部的许多特征处产生。杂散光可以被引导:沿着不平行于准直透镜1751的光轴的路径,穿过滤光器区域1761;在孔径1744和准直透镜1751之间反射;以及通常采取可能包含许多反射和折射的任何其他路径或轨迹。如果多个接收机信道彼此相邻地排列,一个接收机信道中的杂散光可能被另一个信道中的光电传感器吸收,从而污染光子固有的定时、相位或其他信息。因此,接收机信道1700可以具有几个结构来减少接收机信道之间的串扰。

[0174] 如本文将进一步理解的,微光学信道层结构的每一层都可以被设计成特定的方式来减轻杂散光的有害影响。下面将进一步详细讨论每层的各种不同设计。

[0175] A. 孔径层

[0176] 在具有孔径层1740的实施例中,如图17所示,光学透明孔径1744和光学不透明光阑区域1746可以由单个单片形成,诸如具有针孔的金属箔,或者由沉积的不透明或反射材料的单个层形成,所述不透明或反射材料具有蚀刻穿过其中的孔径。

[0177] 图18A是不同的实施例1800的简化截面图的图示,其中孔径层1840具有两个孔径1844。光学透明孔径1844和对应的光学不透明光阑区域1846都支撑在光学透明衬底1845上。底部孔径1844可以更小,并且位于本体光学器件的焦平面处。孔径层1840之后可以是光学透明的间隔结构1856,其位于接收机信道中的孔径1844和准直透镜1851之间。光学透明间隔结构1856形成直径与准直透镜1851基本相似或更大的管。

[0178] 图18B是孔径层1840的不同实施例1801的简化截面图的图示。光学透明孔径1844和光学不透明光阑区域1846支撑在光学透明衬底1845上。孔径层1840之后且位于孔径1844和准直透镜1851之间的光学透明间隔结构1856形成直径与准直透镜1851基本相似或更大的管。

[0179] 图18C是孔径层1840的实施例1802的简化截面图的图示,孔径层1840由支撑在光学透明衬底1845上的多个光学不透明光阑区域1846组成。这些层(光阑区域1846)遵循边缘光线(未示出,但类似于图17中的光线1733)的轮廓,以减少进入接收机信道的杂散光。孔径层1840下方的光学透明间隔结构1856形成直径与准直透镜1851基本相似或更大的管。

[0180] 图18D是孔径层1840的实施例1803的简化截面图的图示,孔径层1840具有支撑在多个光学透明衬底1845上的多个光学不透明光阑层1846。孔径层1840遵循边缘光线(未示出,但类似于图17中的光线1733)的轮廓,以减少进入接收机信道的杂散光。孔径层1840下方的光学透明间隔结构1856形成直径与准直透镜1851基本相似或更大的管。

[0181] 在本公开的一些其他实施例中,图18A-18D所示的间隔结构1856可以是光学不透明的。在这种情况下,光学不透明间隔结构可以通过蚀刻硅或玻璃晶片来形成,并且可以涂覆有光学不透明材料(例如,黑铬)。此外,在这种情况下,间隔结构将防止间隔区域中的任何光传播到接收机信道之外。

[0182] B. 孔径层和光学透镜层之间的间隔结构

[0183] 图19A是本公开的实施例1900的简化截面图的图示,在孔径层和透镜层之间具有光学不透明的间隔结构。图19A描绘了位于接收机信道中的孔径1944和准直透镜1951之间的光学不透明间隔结构1956。光学不透明间隔结构1956形成直径与准直透镜1951基本相似或更大的管,并防止任何光在孔径1944和准直透镜1951之间的区域中传播到接收机信道之外。光学不透明间隔结构1956可以通过蚀刻硅或玻璃晶片来形成,并且可以涂覆有光学不透明材料(例如,黑铬)。可选地,光学不透明间隔结构1956可以是由模制聚合物或任何其他合适的方法制造的固体不透明结构。图19A示出了孔径层,其在顶部具有光学透明衬底1945,接着是光学不透明光阑区域1946和孔径1944,然后是光学不透明间隔结构1956。

[0184] 图19B是本公开的实施例1901的简化截面图的图示,在孔径层和透镜层之间具有光学不透明结构。图1901描绘了位于孔径1944和准直透镜1951之间的光学不透明间隔结构1956。光学不透明间隔结构1956形成直径与准直透镜1951基本相似或更大的管,并防止任何光在孔径1944和准直透镜1951之间的区域中传播到接收机信道之外。图19B示出了支撑在光学透明衬底1945上的多个光学不透明光阑区域1946。

[0185] 图19C是孔径层1940的实施例1902的简化截面图的图示,其中孔径1944是锥形对准的,并且其中锥形结构是涂覆在光学透明材料上的光学不透明层。

[0186] 图19D是孔径层1940的实施例1903的简化截面图,其中孔径1944是锥形对齐的,锥形结构是由光学不透明材料形成的固体结构。如图19C和19D所示,光学透明孔径1944和光学不透明光阑区域1946结合成单片层,所述单片层具有与接收机信道的光轴对准的锥形腔,并且被配置成符合边缘射线的形状(未示出,但类似于图17中的光线1733)。

[0187] C. 滤光器层

[0188] 图20A是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2000的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括支撑在光学透明衬底2065上的单个滤光器

2061。滤光器层2060可以放置在光学透明衬底2065的顶部或光学透明衬底2065的下方。滤光器2061可以是带通滤光器,其阻挡限定波长组(例如,945至950nm)之外的入射光。然而,在一些其他实施例中,滤光器2061可以是边通滤光器或任何其他合适类型的滤光器,其选择性地允许波长范围内的光通过。

[0189] 图20B是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2001的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括两个滤光器2061,所述两个滤光器2061夹在光学透明衬底2065之间并由其支撑。滤光器层2060可以在任意数量的衬底2065上包含任意数量的滤光器2061。如图20B所示的滤光器2061中的一个可以是带通滤光器,并且可以位于光学透明衬底2065的顶部或正下方,所述光学透明衬底阻挡限定波长组(例如,900-945nm与950-995nm)的所有入射光。放置在光学衬底2065相对侧的另一个滤光器2061可以是宽光谱阻挡滤光器(除了被带通滤光器覆盖的区域之外),例如覆盖200-915nm与980-1600nm。带通滤光器和阻挡滤光器被设计成使得在两个滤光器之间的过渡区域没有泄漏。然而,滤光器可以是两个边通滤光器,设计成作为带通滤光器或任何其他类型的滤光器来协同地工作。

[0190] 在本公开的一些其他实施例中,带通滤光器和宽光谱阻挡滤光器被合并成单个滤光器2061,并且被放置在光学透明衬底2065的顶部或底部。

[0191] 1. 带孔径的滤光器层

[0192] 图20C是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2002的简化截面图的图示。滤光器层2060可以在顶部具有附加孔径2049,在滤光器层2060的底部具有附加孔径2054,同时具有对应的光学不透明光阑区域2063和2055。孔径2049限定希望通过滤光器2061进入滤光器层2060的最大光柱,并且光阑区域2063吸收或反射孔径2049的直径之外的任何入射杂散光。孔径2054限定希望通过滤光器层2060的最大光柱,并且光阑区域2055吸收或反射孔径2054的直径之外的任何入射杂散光。滤光器2061可以支撑在光学透明衬底2065上。

[0193] 在本公开的一些实施例中,滤光器层2060可以具有放置在滤光器层2060顶部的单个孔径2049。在本公开的一些附加和替代实施例中,滤光器层2060可以具有放置在滤光器层2060底部的单个孔径2054。

[0194] 图20D是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2003的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括多个光学透明衬底2065,以及在其间交替排列的多个光学不透明孔径层。图20D示出了位于滤光器2061顶部并由光学透明衬底2065支撑的附加孔径2049和对应的光学不透明光阑区域2063。孔径2049可以限定希望通过滤光器2061进入滤光器层2060的最大光柱,并且光阑区域2063吸收或反射孔径2049的直径之外的任何入射杂散光。图20D示出了位于滤光器层2060和光电传感器层(未示出,但是类似于图17中的光电传感器层1770)之间的附加孔径2054和对应的光学不透明光阑区域2055。孔径2054可以限定希望从滤光器层2060向光电传感器传递的最大光柱,并且光阑区域2055可以吸收或反射孔径2054的直径之外的任何入射杂散光。总的来说,这些交错的层防止一个滤光器层2060中的杂散光传播到多接收机信道系统中相邻接收机信道的滤光器区域中。

[0195] 2. 具有管结构的滤光器层

[0196] 图20E是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2004的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括滤光器2061和光学透明衬底2065,并且被光学

不透明的管结构2111包围,这防止一个滤光器层2060中的杂散光传播到多接收机信道系统中相邻接收机信道的滤光器区域。管结构2111可以由多种材料形成,包括但不限于硅、金属、聚合物或玻璃。

[0197] 图20F是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2005的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括滤光器2061和光学透明衬底2065,并且被光学不透明的管结构2111包围,这防止一个滤光器层2060中的杂散光传播到多接收机信道系统中相邻接收机信道的滤光器区域。管结构2111可以由多种材料形成,包括但不限于硅、金属、聚合物或玻璃。如图20F所示,管结构2111可以仅部分穿过滤光器层2060。这种类型的结构可以通过在滤光器衬底2065的每一侧进行深各向异性蚀刻,然后选择性地沉积金属或聚合物来形成。

[0198] 图20G是根据本公开的一些实施例的接收机信道的滤光器层2060的实施例2006的简化截面图的图示。滤光器层2060可以包括支撑在光学透明衬底2065上并被光学不透明管结构2111包围的两个滤光器2061,这防止一个滤光器层2060中的杂散光传播到多接收机信道系统中相邻接收机信道的滤光器区域。然而,滤光器区域可以在滤光器层2060内的任意数量的衬底2065上包含任意数量的滤光器2061。图20G示出了位于滤光器2061顶部并由光学透明衬底2065支撑的附加孔径2049和对应的光学不透明光阑区域2063。孔径2049可以限定希望进入滤光器层2060的最大光柱,并且光阑区域2063可以吸收或反射孔径2049的直径之外的任何入射杂散光。

[0199] 图20G中滤光器层2060的实施例2006可以具有附加孔径2054,对应的光学不透明光阑区域2055可以位于滤光器层2060和光电传感器层(未示出,但是类似于图17中的光电传感器层1770)之间。孔径2054可以限定希望从滤光器层2060向光电传感器传递的最大光柱,并且光阑区域2055可以吸收或反射孔径2054的直径之外的任何入射杂散光。管结构2111可以由多种材料形成,包括但不限于硅、金属、聚合物或玻璃。

[0200] D. 光电传感器层

[0201] 基于本文可以理解,各种不同的光电传感器层设计可以在微光学接收机信道中实现。

[0202] 1. 具有漫射器的光电传感器层

[0203] 图21A是根据本公开的一些实施例的接收机信道2132的实施例2100的简化截面图的图示,所述接收机信道2132包含位于滤光器2161和光电传感器2173之间的光电传感器层2170中的可选漫射器2181。漫射器2181可以被配置成使从准直透镜2151输出并过滤光器区域2160的准直光子遍及对应光电传感器2173的整个宽度传播。光电传感器2173的几何形状可以是非正方形或非圆形的(例如,短且宽),以便将光电传感器2173的感测区域延伸,使其宽度或高度大于接收机信道2132中的其他部件的宽度或高度。

[0204] 漫射器2181被配置成将光线漫射遍及光电传感器2173的区域,使得光电传感器2173能够遍及其整个宽度和高度检测入射光子,从而增加接收机信道2132的动态范围,即使出于实际考虑,接收机信道2132的总体高度必须受到限制。具体而言,在该实施例中,接收机信道2132可以包括展现更大光电检测器2171(即,对入射光子敏感的区域)的加宽的光电传感器和布置在光电传感器2173上的漫射器2181,所述漫射器将通过滤光器2161的光遍及光电传感器2173的整个区域散布(spread),从而产生更大的动态范围。

[0205] 在一些实施例中,光电传感器2173包括单光子雪崩二极管检测器2171(以下称为“SPAD”)的阵列。接收机信道的高度和宽度(通常由准直透镜2151的直径限定)仅可以容纳相对少量的(例如,两个)垂直堆叠的SPAD。光电传感器2173因此可以定义大于1:1的纵横比,并且漫射器2181可以根据光电传感器2173的几何形状来散布通过滤光器区域2160的光线,以便使每个光电传感器容纳更大的感测面积。通过使每个光电传感器包含更多的SPAD,光电传感器的动态范围可以增加,因为不太可能出现所有SPAD同时无法检测光子的情况(即“失效”)。

[0206] 在一些其他实施例中,光电传感器2173包括光电检测器2171的阵列。接收机信道的高度和宽度(通常由准直透镜2151的直径定义)可以仅容纳相对少量(例如,两个)垂直堆叠的光电二极管。光电传感器2173因此可以定义大于1:1的纵横比,并且漫射器2181可以根据光电传感器2173的几何形状来散布通过滤光器区域2160的光线,以便使每个光电传感器容纳更大的感测面积。通过使每个光电传感器包含更多的光电二极管,光电传感器的动态范围可以增加,因为不可能所有光电二极管同时饱和。

[0207] 接收机信道2132可以附加地或替代地包括插入在滤光器区域2160和漫射器2181之间或滤光器区域2160和光电传感器2173之间的孔径层,其中孔径2144与对应的准直透镜2151对准。在这一变型中,孔径2144可以吸收或反射通过滤光器或由光电传感器反射的偏离光线,以进一步降低接收机信道之间的串扰,从而进一步增加系统的信噪比(SNR)。

[0208] 2. 具有会聚透镜组的光电传感器层

[0209] 图21B是根据本公开的一些实施例的接收机信道2132的实施例2101的简化截面图的图示。实施例2100的光电传感器层2170可以包括光电传感器2173,所述光电传感器由一组离散光电检测器2171(例如,SPAD)和包围这一组光电检测器的一组无源区域2172(例如,集成逻辑电路)形成,其中每个光电检测器被配置成检测入射光子。光电传感器层2170还可以包括插入在滤光器区域2160和具有光电检测器2171的光电传感器2173之间的会聚透镜组2191,会聚透镜组2191针对光电传感器2173内的每个离散光电检测器2171包括一个会聚透镜2191,其中会聚透镜组2191的每个透镜被配置成将通过滤光器区域2160的入射光子聚焦到对应的离散光电检测器2171上。每个会聚透镜可以呈现共同的焦距,并且会聚透镜组2191可以在光电传感器2173上方偏移这一共同的焦距(或者基本上类似于这一共同焦距的距离),并且每个会聚透镜可以将入射光会聚到光电传感器2173中的对应光电检测器2171上,所述入射光在光学透镜层2150中被准直并且通过滤光器区域2160。

[0210] 在一些实施例中,不仅有折射元件或者作为折射元件的替代物,插入在滤光器区域2160和具有光电检测器2171的光电传感器2173之间的会聚透镜组2191使用衍射元件。

[0211] 3. 具有会聚透镜组和附加孔径的光电传感器层

[0212] 图21C是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2102的简化截面图的图示。光电传感器层2170可以包括会聚透镜组2191和一组孔径2157,其中每个孔径2157与对应的会聚透镜2191对准。在这一变型中,每个孔径2157可以吸收或反射通过滤光器或由光电传感器反射的偏离光线,以进一步降低接收机信道之间的串扰,从而进一步提高系统的信噪比。孔径组2157和对应的光学不透明光阑区域2159构建在光学透明衬底2158上。

[0213] 图21D是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2103的简化截面

图的图示。光电传感器层2170可以包括会聚透镜组2191和孔径组2157,其中每个孔径2157与对应的会聚透镜2191对准。孔径2157和对应的光学不透明光阑区域2159构建在光学透明衬底2158上。在这一变型中,孔径2157不会一直通到光电检测器2171。

[0214] 图21E是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2104的简化截面图的图示。限定所需最大光锥的另外一组孔径2157和对应的光学不透明光阑区域2159可以位于透镜组2191和光电检测器2171之间。孔径组2157和对应的不透明光阑区域2159为透镜组2191中的每个透镜限定光锥,并且用于吸收或反射沿着不被期望光锥包围的路径传播的任何杂散光。孔径可以使用标准半导体工艺制造。

[0215] 4. 具有会聚透镜组和该透镜组与光电传感器之间的间隔结构的光电传感器层

[0216] 图21F是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2105的简化截面图的图示。这里,光学不透明间隔结构2163位于透镜组2191和在接收机信道2132中具有光电检测器2171的光电传感器2173之间。光学不透明间隔结构2163形成直径与准直透镜(例如,图17所示的准直透镜1751)基本相似或更大的管,并防止任何光在透镜组2191和光电传感器2173之间的区域中传播到接收机信道2132之外。光学不透明间隔结构2163可以由光学不透明的块状介质(例如,硅或聚合物)制成。

[0217] 图21G是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2106的简化截面图的图示。这里,光学不透明间隔结构2163位于透镜组2191和光电传感器2173之间,并且由光学透明衬底上的光学不透明涂层(例如,玻璃上的黑色铬)制成。光学不透明间隔结构2163形成直径与准直透镜2151基本相似或更大的管,并防止任何光在透镜组2191和光电检测器2171之间的区域中传播到接收机信道2132之外。

[0218] 5. 滤光器层和光电传感器层之间的光电传感器层间隔结构

[0219] 图21H是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2107的简化截面图的图示。光学不透明间隔结构2163可以位于滤光器层(例如,上述滤光器层中的任一个)和光电传感器层2170之间。光学不透明间隔结构2163形成直径与准直透镜(例如,图17中的准直透镜1751)基本相似或更大的管,并防止任何光在滤光器层和光电传感器层2170之间的区域中传播到接收机信道(例如,图17中的信道1700)之外。光学不透明间隔结构2163可以通过蚀刻硅或玻璃晶片来形成,并且可以涂覆有光学不透明材料(例如,黑铬)。可选地,光学不透明间隔结构2163可以由模制聚合物制成。在该实施例中,透镜组2191直接结合到光电传感器2173。类似于其在先前实施例中的功能,透镜组2191用于将光聚焦到光电传感器2173的光电检测器2171上,而不是无源区域上。在晶片制造过程中,这些透镜可以直接集成在包含光电传感器2173的ASIC的顶部,便于生产。

[0220] 6. 具有锥形间隔结构的光电传感器层

[0221] 图21I是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2170的实施例2108的简化截面图的图示。在该实施例中,光电传感器层2170包括一组锥形光学不透明间隔结构2164,其位于透镜组(未示出,但是例如图21F和21G中的透镜组2191)和光电传感器2173之间。一组锥形光学不透明间隔结构2164可以形成渐窄的管,每个渐窄的管具有与透镜组中的各透镜基本相似的入口直径,并且每个渐窄的管具有与光电传感器2173的各光电检测器2171基本相似的出口直径。一组锥形光学不透明间隔结构2164防止任何光在透镜组和光电传感器2173之间的区域中传播到接收机信道之外,并且还将光导向光电传感器2173的光电检测器

2171。这一组锥形光学不透明间隔结构2164可以通过蚀刻硅或玻璃晶片来形成,并且可以涂覆有光学不透明材料(例如,黑铬)。或者,一组锥形光学不透明间隔结构2164可以由模制聚合物制成。

[0222] 图21J是根据本公开的一些实施例的光电传感器层2173的实施例2109的简化截面图的图示。在该实施例中,光电传感器层2173包括一组锥形光学不透明间隔结构2164,其位于透镜组(未示出,但是例如图21F和21G中的透镜组2191)和光电检测器2171之间。这一组锥形光学不透明间隔结构2164的内壁涂有反射材料(例如,铬),以进一步增强该结构作为光导管的能力。这一组锥形光学不透明间隔结构2164形成渐窄的管,每个渐窄的管具有与透镜组中的各透镜基本相似的入口直径,并且每个锥形管具有与光电传感器2173的各光电检测器2171基本相似的出口直径。这一组锥形光学不透明间隔结构2164防止任何光在透镜组和光电传感器2171之间的区域中传播到接收机信道之外,并且还将光导向光电传感器2173的光电检测器2171。

[0223] 7. 具有共振光腔二极管的光电传感器层

[0224] 图21K是根据本公开的一些实施例的包括光电传感器层2170的实施例2110的接收机信道2132的简化截面图的图示。在该实施例中,光电传感器层2170配置有围绕光敏二极管的谐振腔,以提高光子检测效率。每个光电传感器2173包括一个或多个共振光腔二极管。每个光电传感器2173包括一个或多个光电二极管2174(光电检测器),以及面向该区域(谐振腔)顶部和底部的高反射(例如,部分反射)表面。通常,非谐振腔二极管的光电检测器可能具有相对较低的量子效率。为了提高光电检测器检测到的光子的百分比,使用共振光腔二极管2174,其包括:位于光电检测器下方并面向光电检测器的第一反射面2175;以及位于光电检测器上方并面向光电检测器的第二部分反射面2176,其也允许光进入腔,如图21K所示。因此,当光子穿过共振光腔二极管2174的光电检测器并且未被其检测到时,围绕共振光腔二极管2174的光电检测器的第一反射面2175将光子反射回腔的顶部反射面2176并且再次穿过光电检测器,从而可以在光子再次通过光电检测器时检测光子。然而,如果光电检测器在第二次碰撞时未能检测到光子,则重复反射过程,即,第二反射面将光子反射回光电检测器,这又可以在光子与光电检测器第三次碰撞时检测到光子。这一过程可以重复,直到光电传感器的光电检测器检测到光子或者光子逃逸或被腔吸收。共振光腔二极管2174因此可以实现相对高的光子检测率(即接近100%)。注意,在前面的描述中使用了光的粒子解释,但是对于谐振腔光电二极管的完整描述,将波干涉效应考虑在内是重要的。还要注意,共振光腔二极管2174的有源区可以由标准光电二极管、雪崩光电二极管、SPAD或任何其他光电传感器构成。

[0225] 图21K进一步示出了一个或多个谐振腔光电二极管(或“RCP”)2174可以与孔径2144、准直透镜2151、滤光器区域2160以及前述漫射器、会聚透镜组或串扰减轻结构的任一组合相结合,以形成接收机信道2132的变型。典型的RCP将具有与滤光器区域2160相似的波长灵敏度,并且可以被设计成对与滤光器区域2160相似的一组波长的光敏感。然而,由于制造或其他限制,RCP的工作光谱的中心波长可能具有更多的零件间可变性,因此需要更宽的工作波长带,以便每个光电传感器能够检测系统的工作波长的光子。或者,可能根本不可能可靠地制造具有与滤光器通带一样窄的工作波段的RCP。例如,滤光器区域2160可能具有窄至0.1nm的通带,而RCP可能具有10nm的工作频带。滤光器区域2160位于RCP 2174的顶部的

情况下,组合的滤光器和RCP系统具有基本类似于滤光器区域2160的有效工作波长带。此外,当感测到如图21K所示作为准直透镜2151的结果而提供的准直光时,相对于聚焦光,RCP性能得到改善。这样,采用孔径2144、准直透镜2151、滤光器区域2160和RCP 2174的系统可以实现高光子检测效率和窄波长选择性,以最大化接收机信道2132内的信噪比。

[0226] E. 半球接收机结构

[0227] 图22A是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2200的简化截面图的图示。实施例2200的接收机信道2232可以包括支撑在光学不透明材料上的凸形半球。在该实施例中,孔径层2240与涂覆在凸形半球2267上的滤光器2261结合,半球2267的中心位于或靠近入射光(边缘射线2233)的焦点。半球2267的中心也对应于或几乎对应于孔径2244的中心。在一些实施例中,半球2267可以在孔径2244下方,如图22A所示。所述实施例的优点在于,对于聚焦足够好的光锥,任何射线2233将垂直于滤光器表面而穿过滤光器2261,以消除由于滤光器2261上的光(例如,光线2233)的入射角的变化而引起的中心波长(CWL)偏移,从而允许使用非常窄的(例如,850至852nm)带通滤光器。

[0228] 这在图22B中进一步示出,其是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2201的简化截面图的图示。与图22A中的实施例2200不同,图22B中的实施例2201可以被配置成使得半球2267位于孔径2244上方,以实现类似的功能,但占地没有那么紧凑了。如图22B所示,滤光器2261上的入射角相对于穿过半球2267中心的边缘射线2233(和图22B中未明确示出的所有其他射线)是垂直的。注意,虽然在图22B或22C中未示出,但是光线在离开半球结构时会折射,因为它们不垂直于平面出射面。类似地,在图22A中,当光线进入半球形结构的平坦侧时,会有一些量的折射。

[0229] 如图22A至22B所示,接收机信道2232包括光学不透明光阑区域2246和具有光电检测器2271的光电传感器层2270之间的侧壁2263,以减少串扰。侧壁2263可以由光学不透明材料制成或者由光学透明材料制成。此外,侧壁2263也可以涂覆有反射或吸收材料。

[0230] 图22C示出了凸形半球表面的特写视图,其为图22A和22B的凸形半球2267的简化截面图的图示。凸形半球2267可以涂覆有滤光器2261,并且定位在自支撑、光学不透明的光阑区域2246上,诸如金属、硅、聚合物等。在微光学信道的凸形半球表面用于高光谱成像器的一些实施例中,滤光器2261可以被配置成不均匀的。例如,滤光器2261可以是渐变滤光器,其在不同微光学信道具有厚度不同的不同滤光器层的一个方向(例如,厚度方向)上逐渐或以步进方式增加。这允许不同的微光学信道测量不同的波长范围,如本文参考图3A和3B所讨论的。

[0231] 图22D是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2202的简化截面图的图示。实施例2202的接收机信道2232可以包括支撑在刚性光学透明层上的凸形半球2267。在该实施例中,孔径层2240与滤光器2261结合并涂覆在凸形半球2267上,其中半球2267的中心位于或靠近入射光(射线2233)的焦点。半球2267的中心也对应于或几乎对应于孔径2244的中心。如图22D所示,半球2267可以在孔径层2240下方。在一些其他实施例中,半球2267可以在孔径层2240之上,如图22E所示。

[0232] 图22E是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2203的简化截面图的图示。与图22D中的实施例2202不同,图22E中的实施例2215可以被配置成使得半球2267位于孔径2244上方,以实现与实施例2202相似的功能,但其占地更紧凑。

[0233] 图22D和22E示出凸形半球2267涂覆有滤光器2261并压印在支撑在刚性光学透明层2245(例如,玻璃、聚合物)并具有孔径2244的孔径层2240、以及对应的光学不透明光阑区域2246上。如图22D和22E所示,接收机信道2232包括光学透明层2245和具有光电检测器2271的光电传感器层2270之间的侧壁2263,以减少串扰。侧壁2263可以由光学不透明材料制成或者由光学透明材料制成。此外,侧壁2263也可以涂覆有反射或吸收材料。注意,虽然在图22D和22E中未示出,但是可能存在进入和离开刚性光学透明层2245的光线2233的折射。

[0234] 图22F是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2204的简化截面图的图示。实施例2204可以包括由光学透明材料(例如,玻璃、聚合物)制成的带有涂层滤光器2261的凹形半球2267。自支撑孔径层2240可以悬于凹形半球2267上方,并且可以用光学不透明刚性材料(例如,金属膜)穿孔或蚀刻以形成光学不透明光阑区域2246。如图22F所示,半球2267可以位于孔径层2240下方。孔径2244的中心可以位于或靠近入射光(光线2233)的焦点。另外,半球2267的中心可以位于或靠近入射光(光线2233)的焦点。如图22F所示,接收机信道2232包括在光学透明层2245和具有光电检测器2271的光电传感器层2270之间的侧壁2263,以减少串扰。侧壁2263可以由光学不透明材料制成或者由光学透明材料制成。此外,侧壁2263也可以涂覆有反射或吸收材料。

[0235] 图22G是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2205的简化截面图的图示。与图22F中的实施例2204不同,图22G中的实施例2205可以被配置成使得半球2267位于孔径2244上方,以实现与实施例2204类似的功能,但是实施例2204可以具有更紧凑的占地。

[0236] 图22H是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2206的简化截面图的图示。实施例2206的接收机信道2232可以包括由刚性光学透明层2245支撑的凹形半球2267和孔径层2240。在一些实施例中,凹形半球2267可以在孔径层2240下方,如图22H所示。凹形半球2267可以由光学透明材料(例如,玻璃、聚合物)制成,并带有涂层滤光器2261。具有光学透明孔径2244和对应的光学不透明光阑区域2244的孔径层2240由孔径层2240的顶侧和底侧上的光学透明层2245支撑。孔径2244的中心位于或靠近入射光(光线2233)的焦点。另外,凹形半球2267的中心位于或靠近入射光(光线2233)的焦点。如图22H所示,接收机信道2232包括在光学透明层2245和具有光电检测器2271的光电传感器层2270之间的侧壁2263,以减少串扰。侧壁2263可以由光学不透明材料制成或者由光学透明材料制成。此外,侧壁2263也可以涂覆有反射或吸收材料。

[0237] 图22I是根据本公开的一些实施例的接收机信道2232的实施例2207的简化截面图的图示。与图22H中的实施例2206不同,图22I中的实施例2207可以被配置成使得半球2267位于孔径2244上方,以实现与实施例2206类似的功能。

[0238] F. 底部微透镜层

[0239] 图23A是根据本公开的一些实施例的接收机信道2332的实施例2300的简化截面图的图示。实施例2300的接收机信道2332可以包括底部微透镜层(BMLL),其由一个或多个微透镜2391组成,所述微透镜被配置成将发散光线引导到光电传感器的有源部分。BMLL执行光线角度校正,以将不同角度的光引导到均匀间隔的光电传感器中。光线角度校正可以通过控制透镜中心和光电传感器中心之间的横向偏移、倾斜透镜或调整透镜的形状来实现。

在图23B中可以看到对这一操作更好的说明。

[0240] 图23B是根据本公开的一些实施例的在由BMLL进行光线角度校正期间光传播的特写视图的简化截面图的图示。如图所示,微光学器件的间距或者不是恒定的,或者不等于透镜2391的间距,以便将发散光线(2333)导向光电传感器层中光电检测器2371的有源部分。再参考图23A,每个微透镜2391可以被定位成对应于相应的光电检测器2371。

[0241] 图23C是根据本公开的一些实施例的接收机信道2332的实施例2301的简化截面图的图示。实施例2301的接收机信道2332可以包括单个微透镜2391,而不是如图23A所示的多个微透镜。单个微透镜2391可以定位在单个光电检测器2371上方并居中。微透镜2391可以被配置成将光引导到单个光电检测器2371。

[0242] 图23D和23E分别是根据本公开的一些实施例的接收机信道2332的实施例2302和2303的简化截面图的图示。实施例2302的接收机信道2332可以包括位于光学透明层2345下侧的BMLL,所述光学透明层2345支撑孔径层2340和涂覆有滤光器2361的半球2367。如图23D所示,BMLL可以由多个透镜2393形成,用于将发散光引导到多个光电检测器2371。如图23E所示,BMLL可以由单个微透镜2391形成,用于将发散光引导到光电检测器2371。

[0243] 图23D和23E中的实施例2302和2303各自包括支撑在刚性光学透明层2345上的凸形半球2367。在这些示图中,孔径层2340与涂覆在半球2367上的滤光器2361结合,其中半球2367的中心位于或靠近入射光(边缘射线2333)的焦点。半球2367的中心也可以对应于或几乎对应于孔径2344的中心。凸形半球2367可以涂覆有滤光器2361,并压印在支撑在刚性光学透明层2345(例如,由玻璃、聚合物形成的层)上的孔径层2340和对应的光学不透明光阑区域2346上。如图23D和23E所示,接收机信道2332包括光学透明层2345和光电传感器层2370之间的侧壁2363,以减少串扰。侧壁2363可以由光学不透明材料制成或者由光学透明材料制成。此外,侧壁2363也可以涂覆有反射或吸收材料。

[0244] G. 附加示例性接收机信道

[0245] 应当理解,接收机信道是微光学级的结构,例如上述微光学接收机信道,其可以由多个层形成,包括以下中的一个或多个:孔径层、孔径层下面的光学透镜层、孔径和光学透镜层下面的滤光器层、以及所有其他层下面的光电传感器层。每个这样的层可以按各种方式配置,以减轻串扰,即,将杂散光暴露给相邻的接收机信道,如本文参考图17-23E所讨论的。上面参照图17、22A-22I和23A-23E讨论了接收机信道的各种实例。图24和25示出了根据本公开的接收机信道的另外两个实例。本公开的实施例不限于本文描述的特定接收机信道。相反,基于本公开,本领域技术人员将理解,在其他实施例中,根据本公开的接收机信道可以包括,除了其他选项之外,如上结合图18A-18D或19A-19D中任一个所述的孔径层、如上结合图20A-20G中任一个所述的滤光器层和/或如上结合图21A-21K中任一个所述的光电传感器层。

[0246] 图24是根据本公开的一些实施例的接收机信道2400的示例性实施例的简化截面图的图示。接收机信道2400可以包括由第一和第二孔径2444构成的孔径层2440,每个孔径形成在相应的光学不透明层2446a和2446b中。在一些实施例中,第一和/或第二孔径2444可以由层2446a和2446b内的开口限定的空隙空间形成,而在一些其他实施例中,第一和/或第二孔径2444可以由光学透明材料形成。第一光学不透明层2446a和第二光学不透明层2446b可以由夹在第一光学不透明层2446a和第二光学不透明层2446b之间的光学透明衬底2445

支撑。

[0247] 接收机信道2400还可以包括设置在孔径层2440下方的光学透镜层2450。光学透镜层2450可以包括准直透镜2451和光学不透明间隔结构2456。准直透镜2451可以通过光学不透明间隔结构2456与孔径层2440隔开。在一些实施例中,光学不透明间隔结构2456形成具有围绕准直透镜2451并向孔径层2440延伸的圆周的管。光学不透明间隔结构2456可以由光学反射或吸收材料形成,其防止任何光在孔径层2440和准直透镜2451之间的区域中传播到接收机信道2400之外。

[0248] 除了孔径层2440和光学透镜层2450之外,接收机信道2400还可以包括位于光学透镜层2450正下方的滤光器层2460。滤光器层2460可以包括两个滤光器2461,两个滤光器2461夹住在结构上支撑滤光器2461的光学透明衬底2465。滤光器层2460可以在任一数量的衬底2065上包含任一数量和类型的滤光器2461。例如,滤光器2461中的一个可以是带通滤光器,位于光学透明衬底2465的顶部或正下方,所述光学透明衬底2465阻挡限定的一组波长(例如,900-945nm与950-995nm)的所有入射光。放置在光学透明衬底2465的相对侧上的另一个滤光器2461可以是不同的滤光器,诸如宽光谱阻挡滤光器(带通滤光器覆盖的区域除外),例如覆盖200-915nm和980-1600nm。带通滤光器和阻挡滤光器被设计成在两个滤光器之间的过渡区域没有泄漏。然而,滤光器可以是两个边通滤光器,其设计成作为带通滤光器或任何其他类型的滤光器来协同工作。

[0249] 紧接在滤光器层2460下方的可以是光电传感器层2470。在一些实施例中,实施例2400的光电传感器层2470可以包括位于会聚透镜组2491和光电传感器2473之间的光学不透明间隔结构2463。光电传感器2473可以由一组分立的光电检测器2471(例如,SPAD)形成,这一组分立的光电检测器以交替排列的方式定位在一组无源区域2172(例如,集成逻辑)之间,其中每个分立的光电检测器被配置成检测入射光子。会聚透镜组2491可以插入在滤光器层2460和具有光电检测器2471的光电传感器2473之间,针对光电传感器2173内的每个离散光电检测器2471包括一个会聚透镜2491,其中会聚透镜组2491的每个透镜被配置成将通过滤光器层2460的入射光子聚焦到对应的离散光电检测器2471上。每个会聚透镜可以呈现共同的焦距,并且会聚透镜组2491可以在光电传感器的感测平面上方偏移这一共同的焦距(或者基本上类似于这一共同焦距的距离),并且每个会聚透镜可以将入射光会聚到光电传感器2473中的一个对应的光电检测器2471上,所述入射光在光学透镜层2450中被准直并且通过滤光器层2460。光学不透明间隔结构2463形成直径与准直透镜2451基本相似或更大的管,并防止任何光在透镜组2491和光电传感器2473之间的区域中传播到接收机信道2400之外。光学不透明间隔结构2163可以由光学不透明的块状介质(例如,硅或聚合物)制成。

[0250] 图25示出了接收机信道的另一示例性实施例。图25是根据本公开的一些实施例的示例性接收机信道2500的简化截面图。接收机信道2500可以包括孔径层2540、设置在孔径层2540下方的光学透镜层2550以及孔径层2540和光学透镜层2550下方的滤光器层2560。孔径层2540、光学透镜层2550和滤光器层2560可以具有与图24中对应的部件相同的构造和功能。

[0251] 接收机信道2500还可以包括位于滤光器层2560正下方的光电传感器层2570。在一些实施例中,实施例2400的光电传感器层2570可以包括光学不透明间隔结构2563、会聚透镜组2591和光电传感器2573。与图24中接收机信道2400的会聚透镜组2491不同,接收机信

道2500的会聚透镜组2591可以直接位于光电传感器2573的顶面上,而不是直接位于滤光器层2560的底面上。此外,光学不透明间隔结构2563可以由涂覆在光学透明层(例如,硅或玻璃衬底)上的光学不透明材料(例如,黑铬)形成,而不是固体光学不透明结构,例如图24中接收机信道2400的光学不透明间隔结构2463。透镜组2591用于将光聚焦到光电传感器2573的光电检测器2571上,而不是无源区域2572上。

[0252] 通过实施根据实施例2400和2500中任一实施例的接收机信道,可以防止偏离的光暴露在相邻的接收机信道上,从而提高每个光电传感器捕获光子用于成像的能力的准确性。

[0253] VI. 微光学接收机信道阵列变型

[0254] 根据本公开的一些实施例,微光学接收机信道可以被组织成阵列。根据设计,阵列可以具有各种尺寸。例如,微光学接收机信道的阵列可以排列成 $M \times N$ 阵列,其中 M 和 N 等于或大于1。因此,微光学接收机信道可以是一维和二维阵列,如本文将参考图26-30进一步讨论的,其示出了微光学接收机信道阵列的不同实施例,其中每个点代表一个微光学接收机信道。如上所述,每个接收机信道可以包括彼此堆叠的多个层。因此,可以理解的是,当排列成阵列时,每个微光学接收机信道是单片层的一部分,所述单片层由在 $M \times N$ 排列中多次再现的单个元件构成,例如, $M \times N$ 孔径层阵列、 $M \times N$ 微透镜层阵列、以及 $M \times N$ 光电传感器层阵列。当结合在一起时,这些阵列层产生单片多信道微光学接收机阵列。

[0255] 图26是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列2600的简化图示。微光学接收机阵列2600被配置成线性($M \times 1$)阵列,特别是 16×1 阵列。这一布局可以实现高分辨率(例如 16×1024),因为所述实施方式适合于一维扫描阵列。例如,对于500微米的接收机信道间距,图示的布局可以在尺寸大约为500微米 \times 8000微米的芯片中实现。

[0256] 图27是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列2700的简化图示。微光学接收机阵列2700被配置成矩形($M \times N$)阵列,特别是 16×32 阵列。因此,对于500微米的接收机信道间距,图示的布局可以在8000微米 \times 12000微米的芯片中实现。

[0257] 图28是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列2800的简化图示。微光学接收机阵列2800被配置成一个 $M \times N$ 交错阵列。在这一图示中,接收机信道2832以 16×4 交错阵列布置。这一布局可以实现高分辨率(例如 64×1024),因为所述实施方式适于扫描。对于500微米的接收机信道间距,图28所示的布局可以在尺寸大约为2000微米 \times 8375微米的芯片中实现。

[0258] 图29是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列2900的简化图示。微光学接收机阵列2900被配置成翘曲线性($M \times 1$)阵列。在该实施例中,接收机信道2932之间的间隔是不均匀的。中心附近的接收机信道(如2932-01所示)彼此靠近放置(例如,间隔400微米),而外部信道(如2932-02所示)间隔更远(例如,间隔大于400微米),或者反过来。这一布局的优点是能够允许校正透镜的畸变曲线(即,接收机信道视场之间的角度在物体空间中均匀间隔)。图29中所示的布置可用于实现高分辨率(例如 16×1024),因为所述实施方式适于扫描。对于500微米的平均接收机信道间距,图示的布局可以在尺寸大约为500微米 \times 8000微米的芯片中实现。

[0259] 在一些实施例中,接收机信道可以被配置成 $M \times N$ 扭曲阵列(其中 $N \geq 1$)。在这样的实施例中,中心的接收机信道在 x 和 y 方向上比外部接收机信道彼此放置得更远。这校正了

另一种可能的透镜畸变形式。

[0260] 图29是根据本公开的一些实施例的示例性微光学接收机阵列2900的简化图示。微光学接收机阵列2900以任意模式配置。这一布局的优点是能够适应透镜畸变,进行调整以补偿任何时间或路线变化,并且还匹配来自照射源的任意模式。

[0261] 尽管已经针对特定实施例描述了本公开,但是应当理解,本公开旨在覆盖以下权利要求范围内的所有修改和等同。

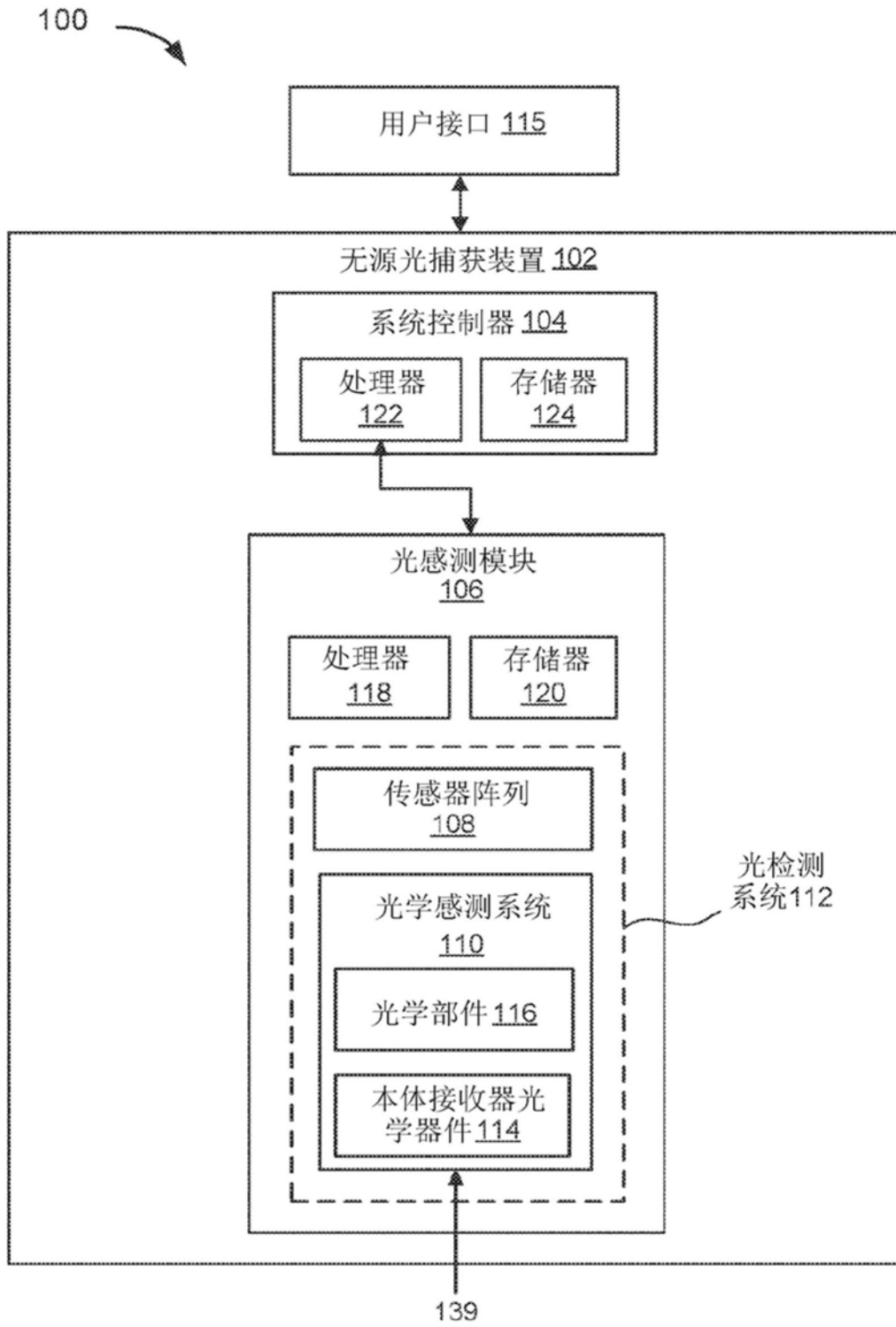


图1

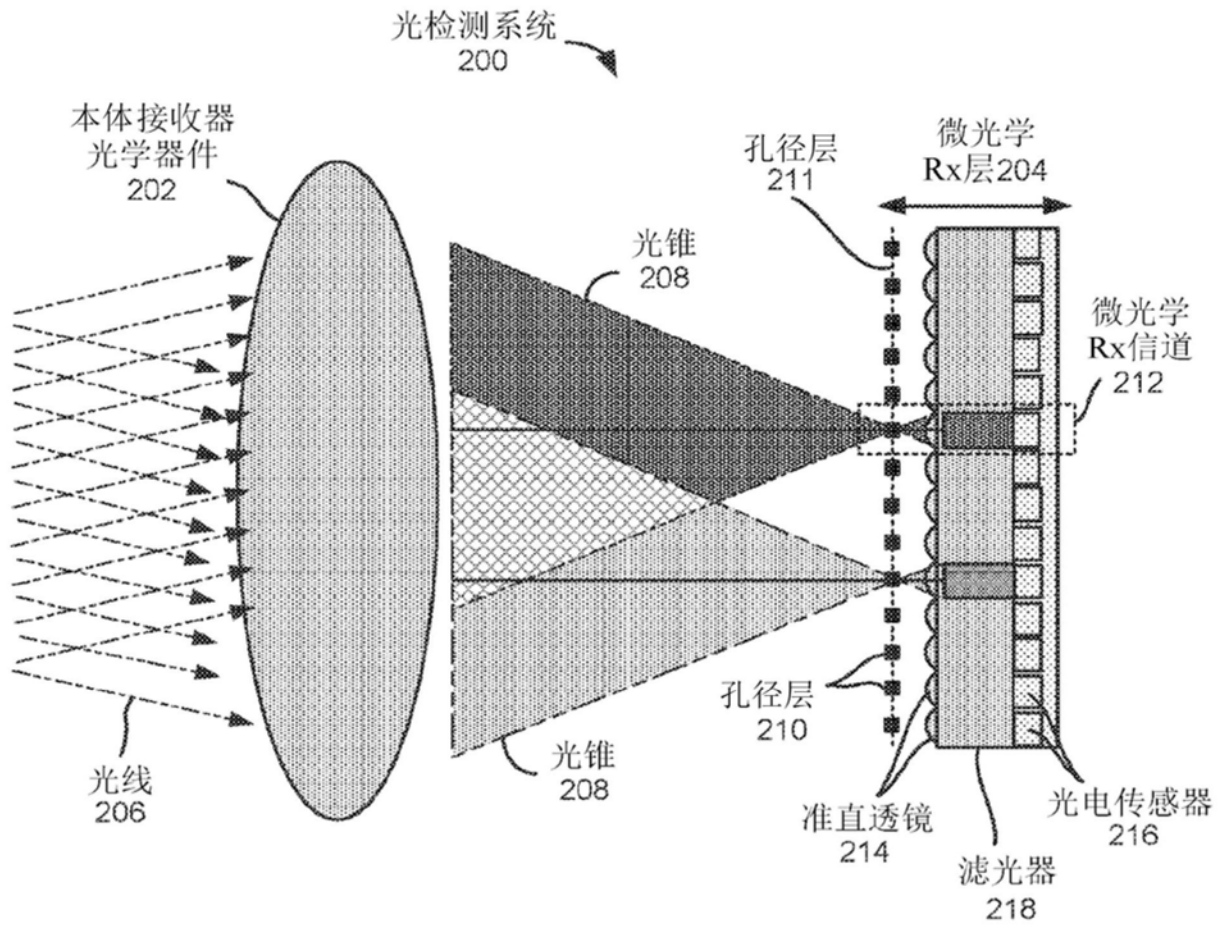


图2

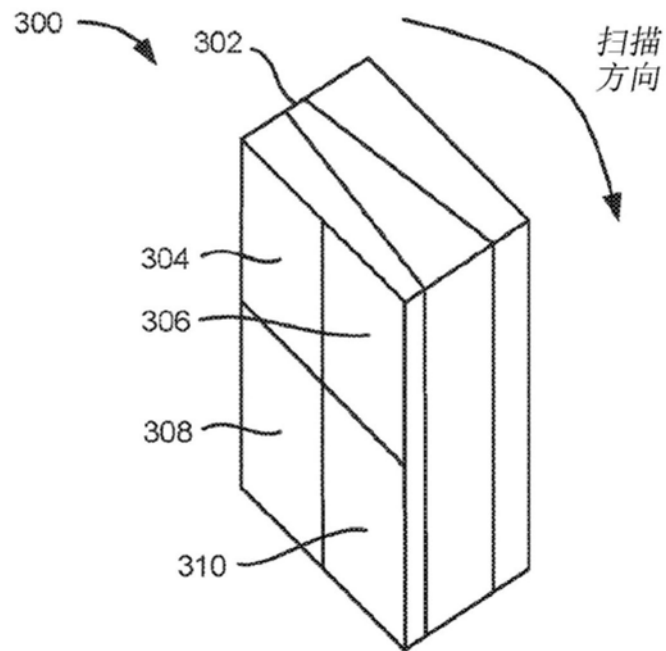


图3A

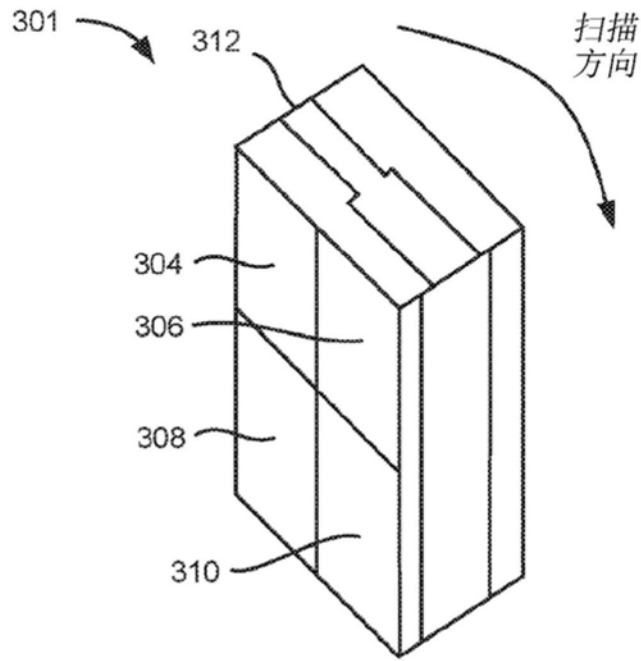


图3B

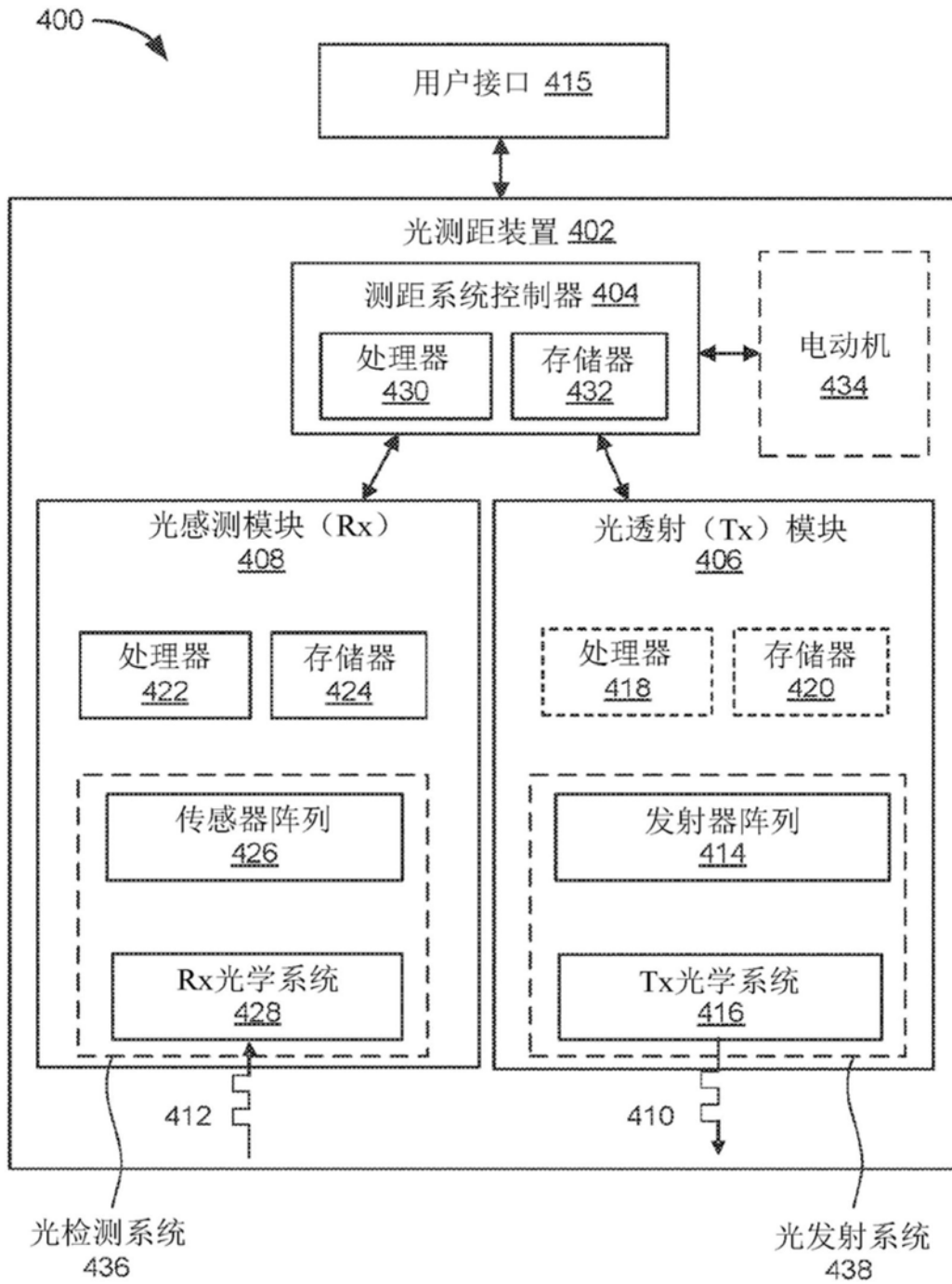


图4

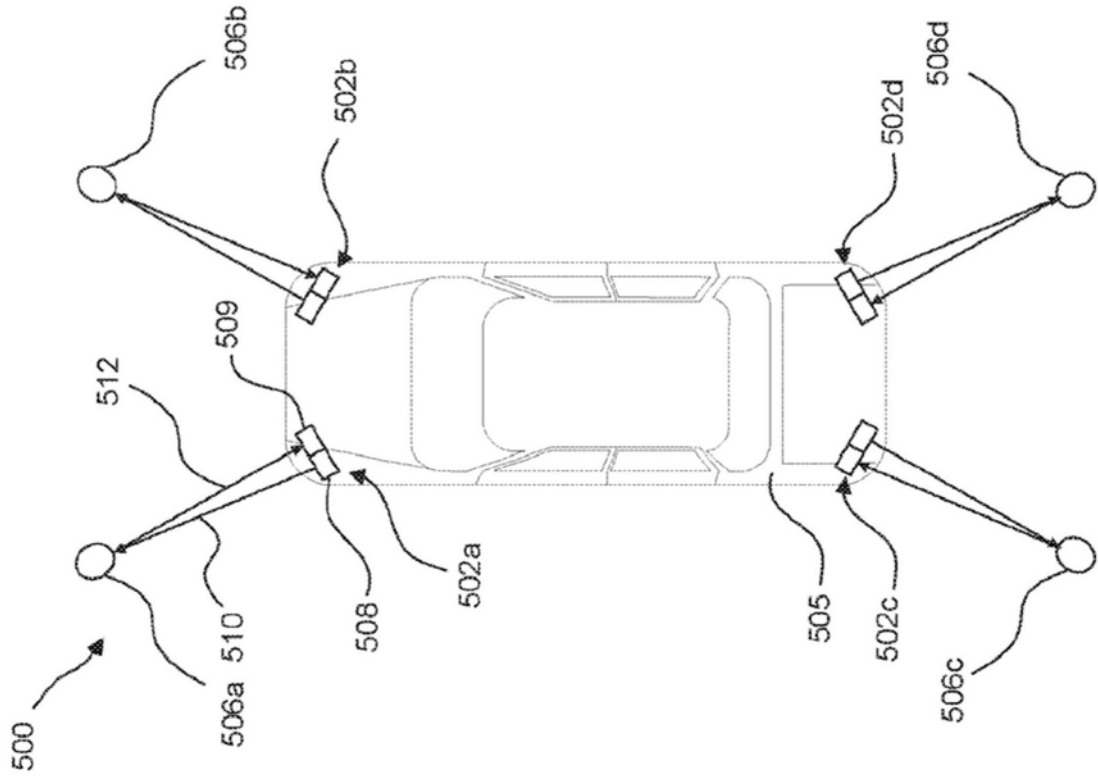


图5A

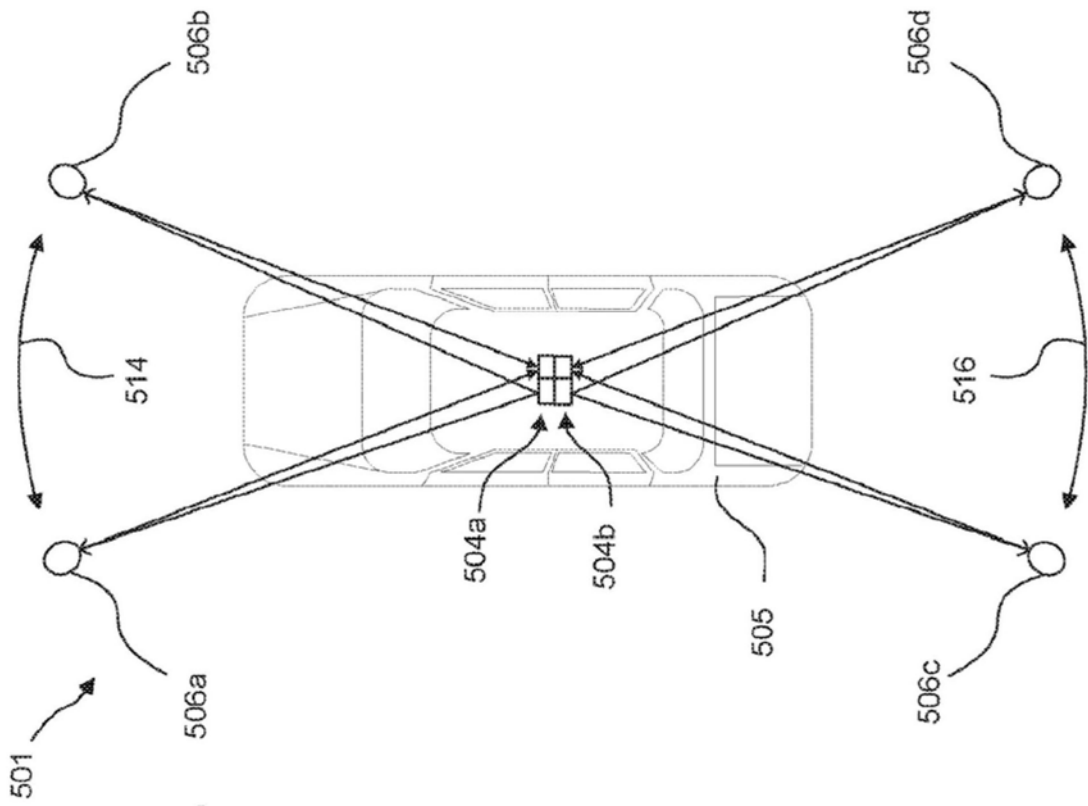


图5B

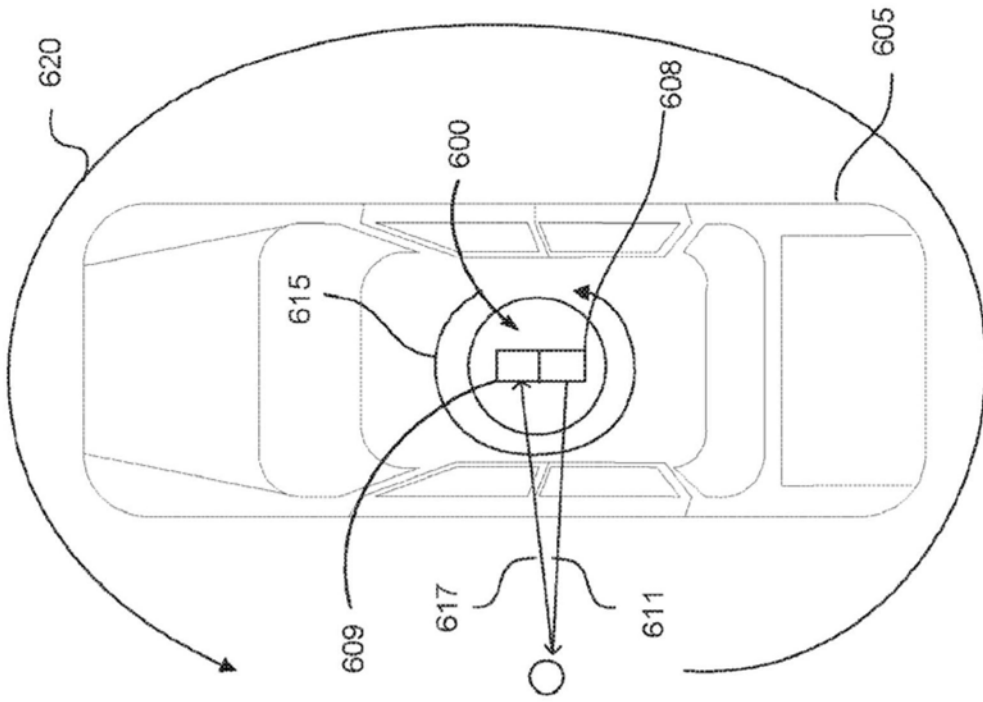


图6A

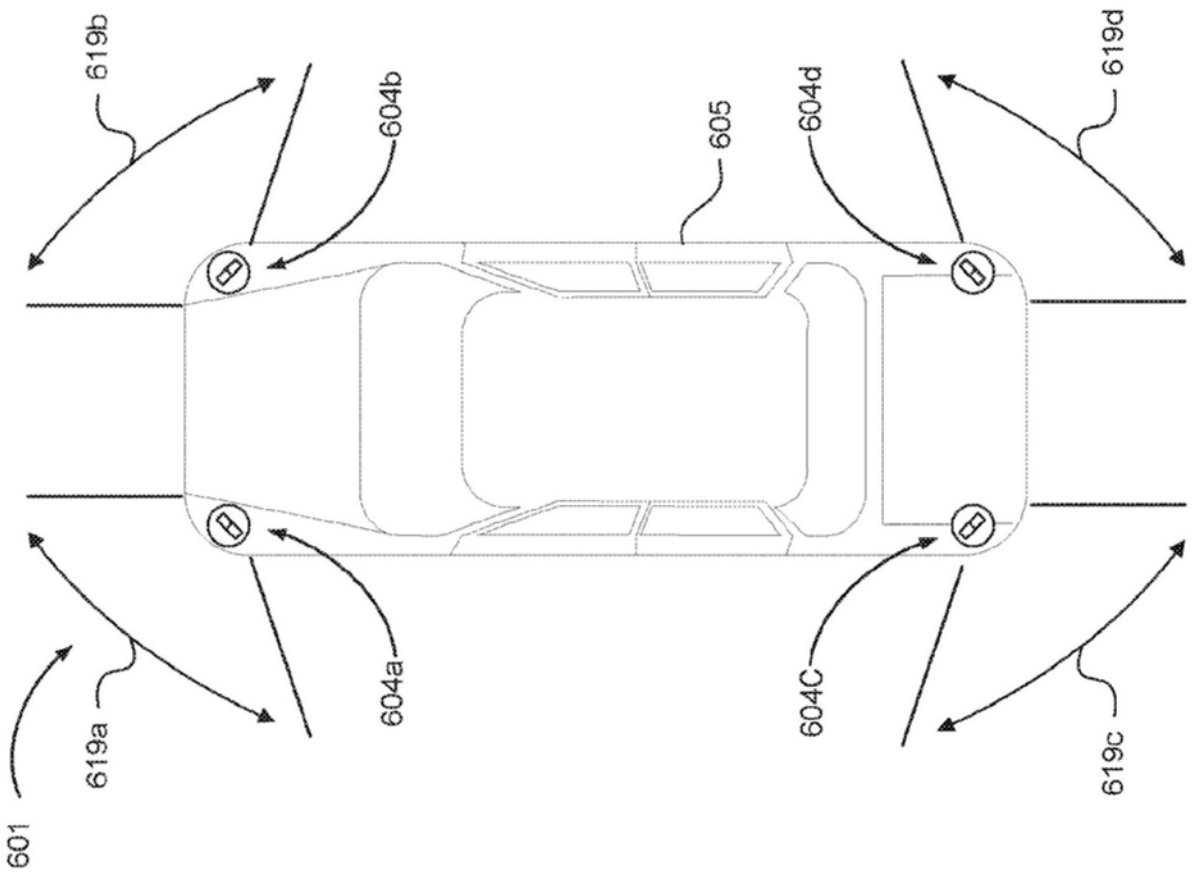


图6B

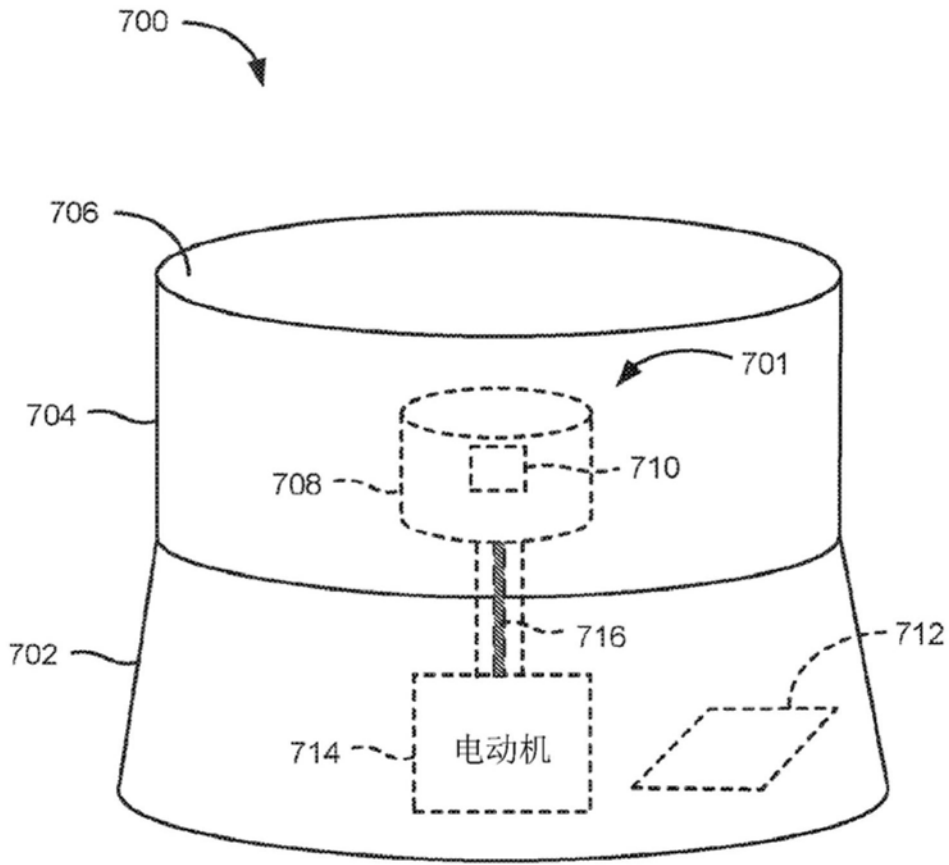


图7

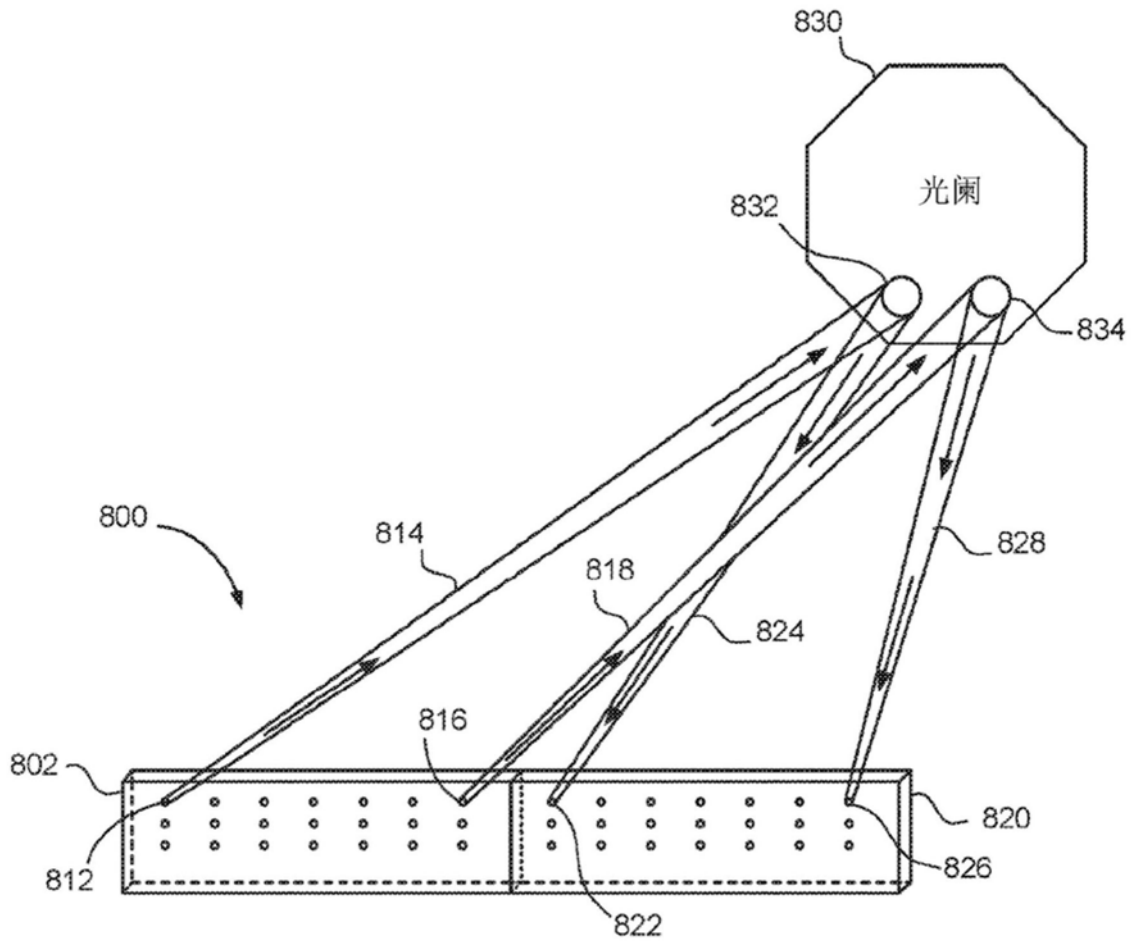


图8

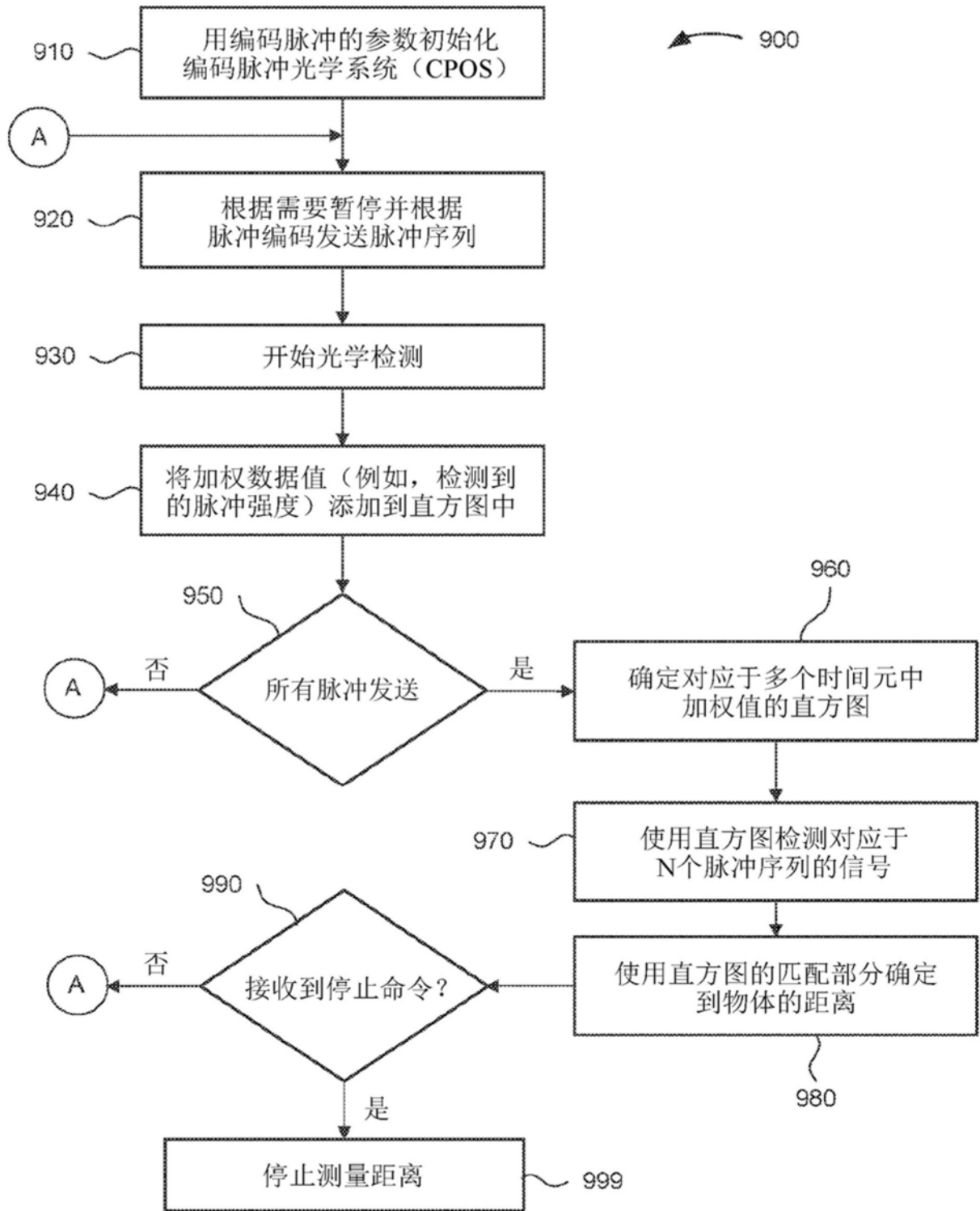


图9

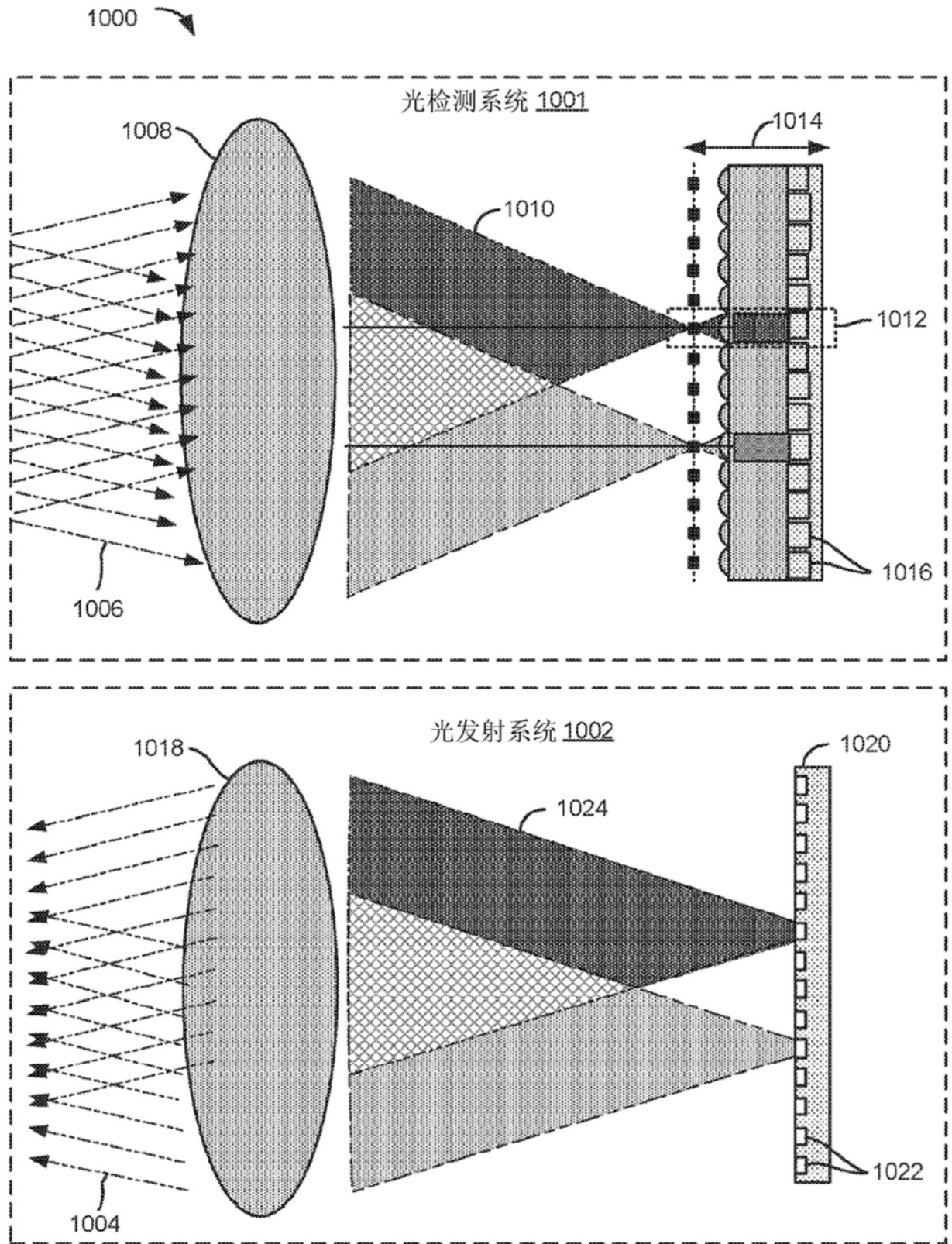


图10

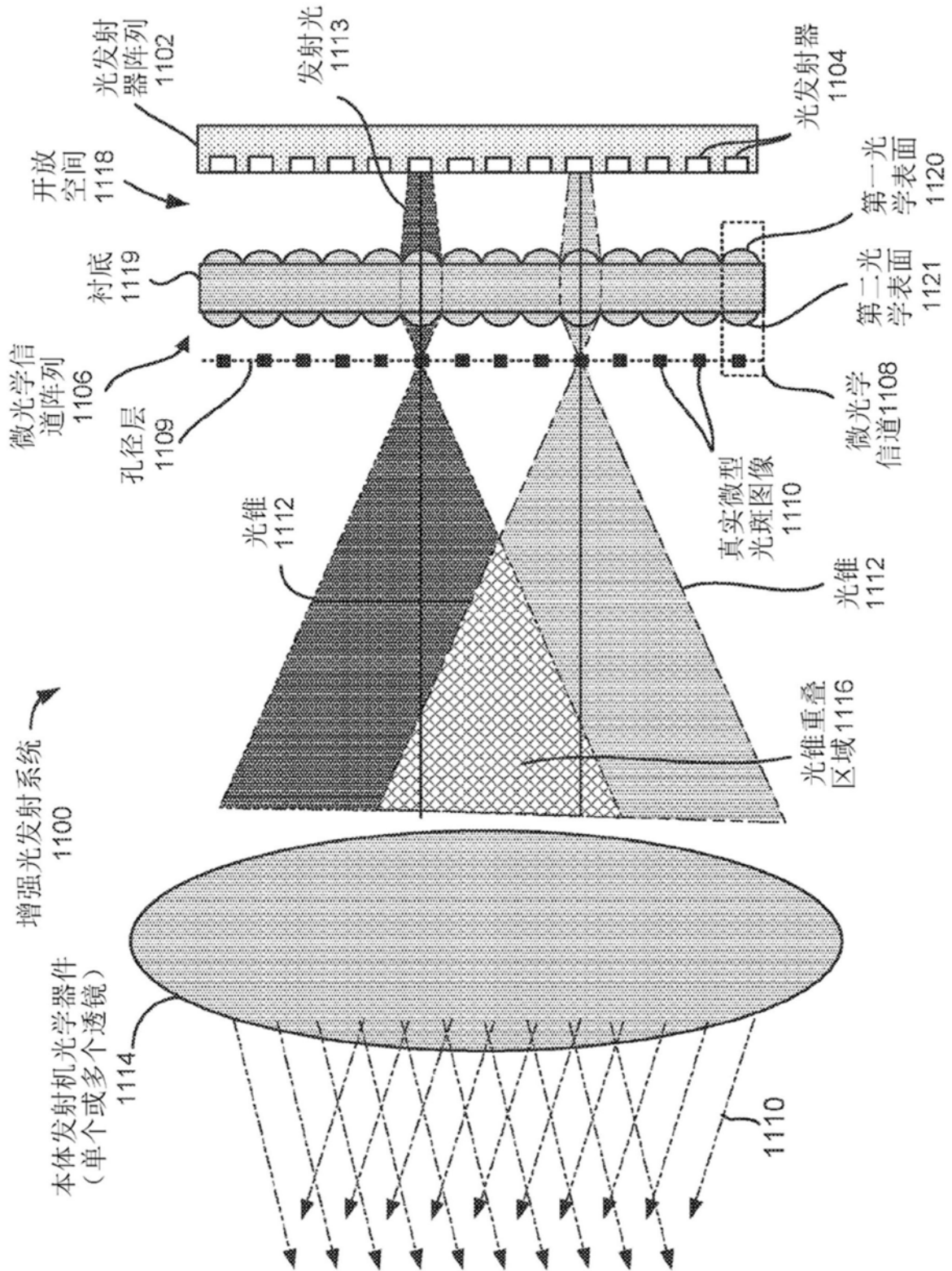


图11

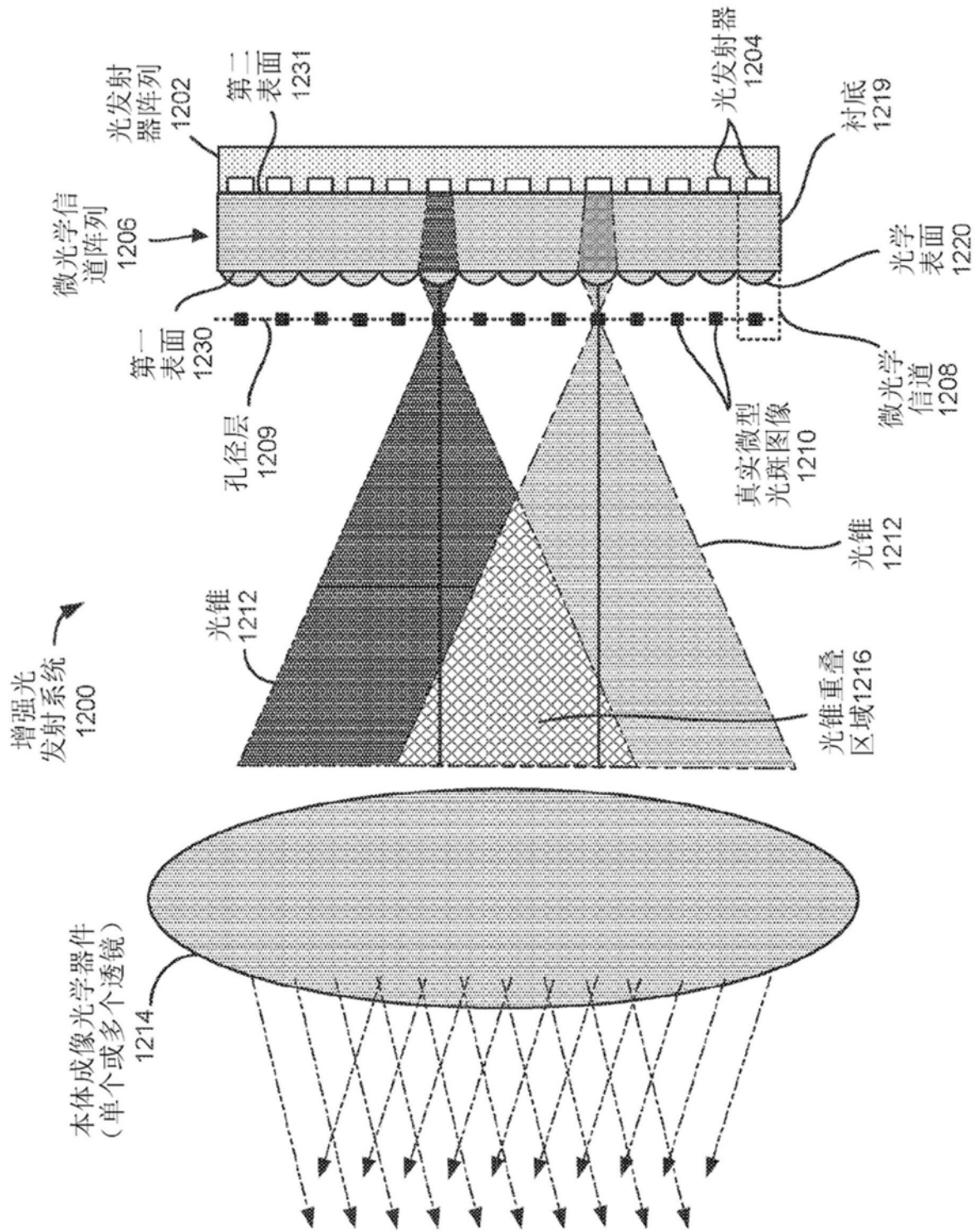


图12

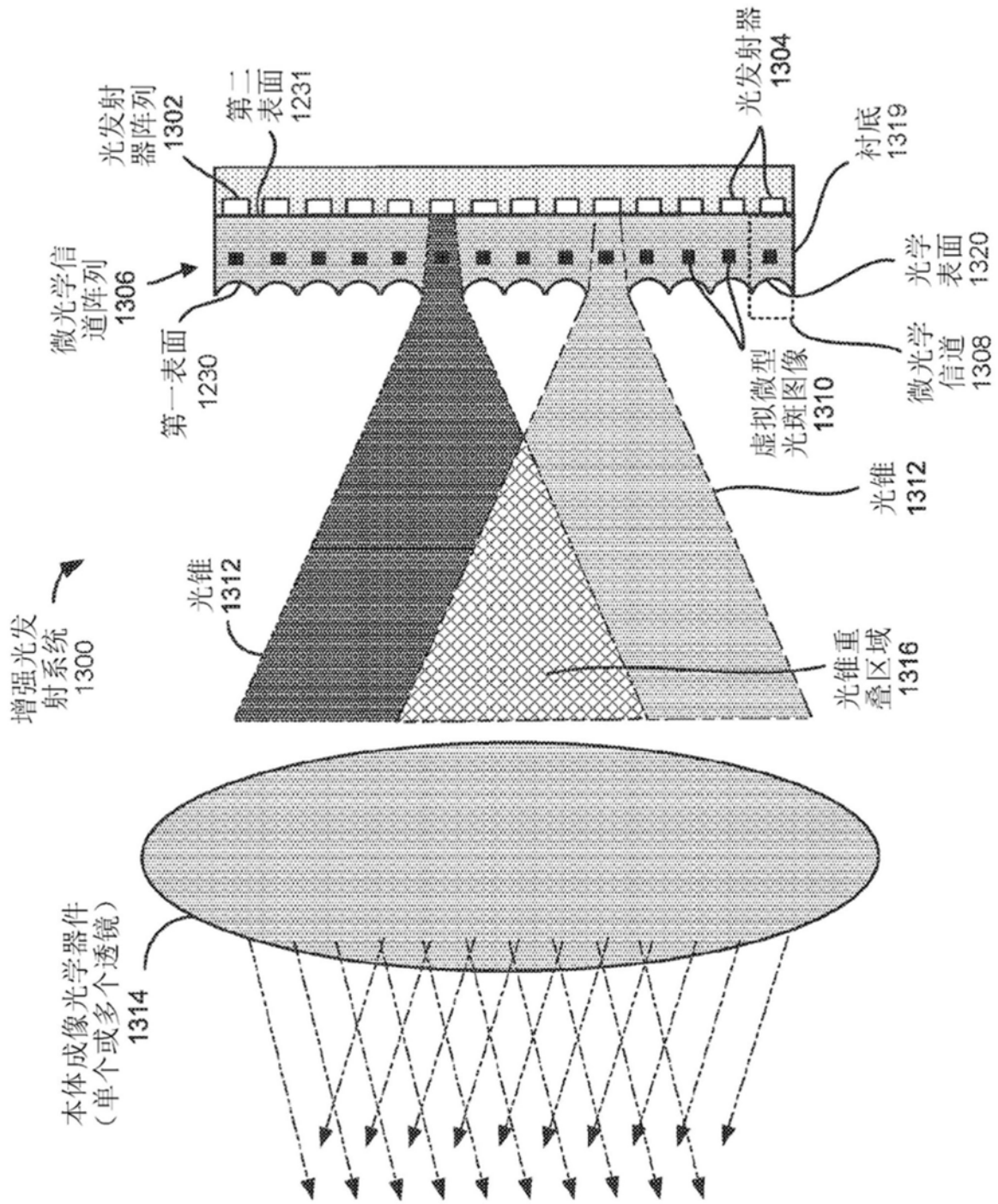


图13

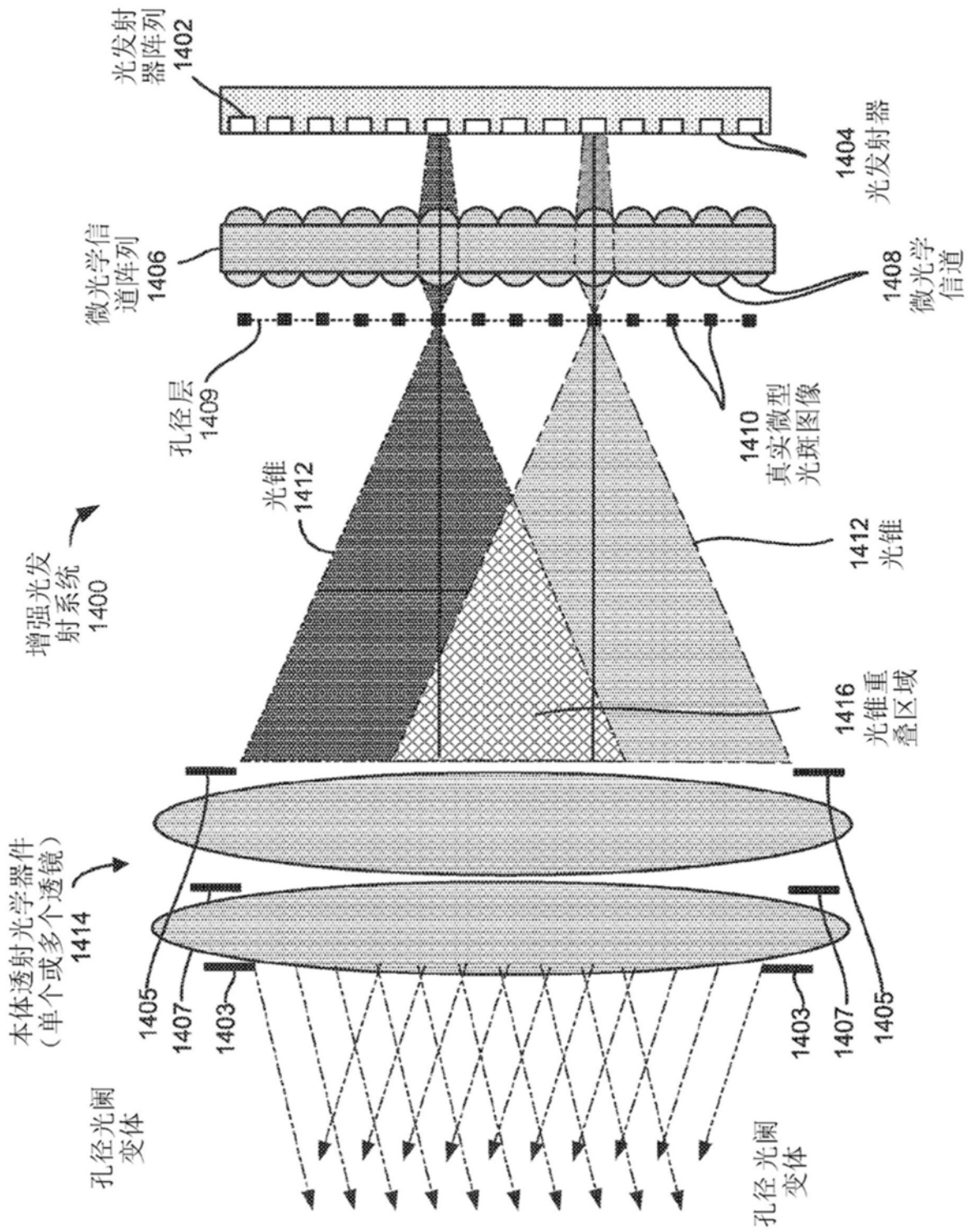


图14

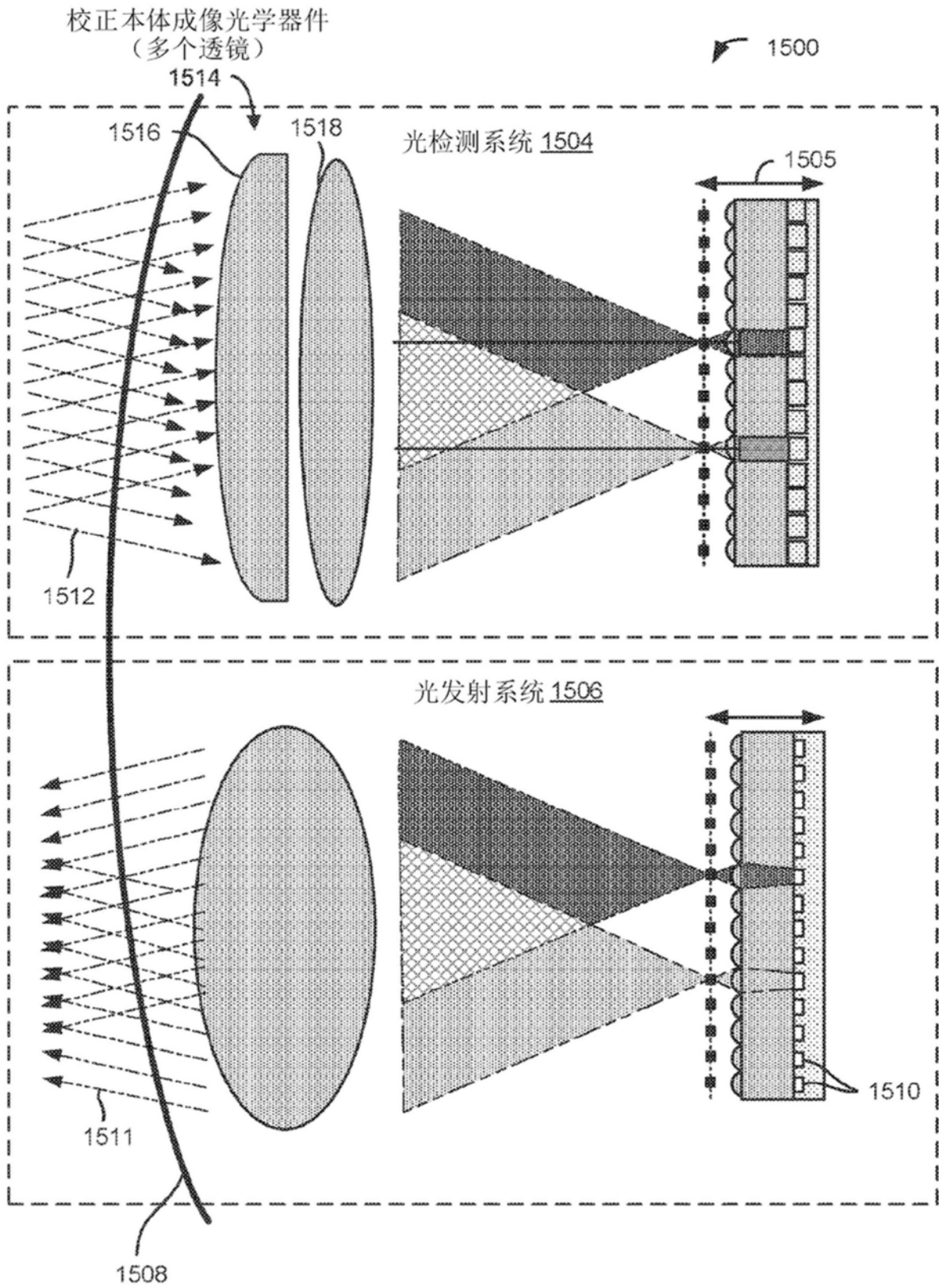


图15A

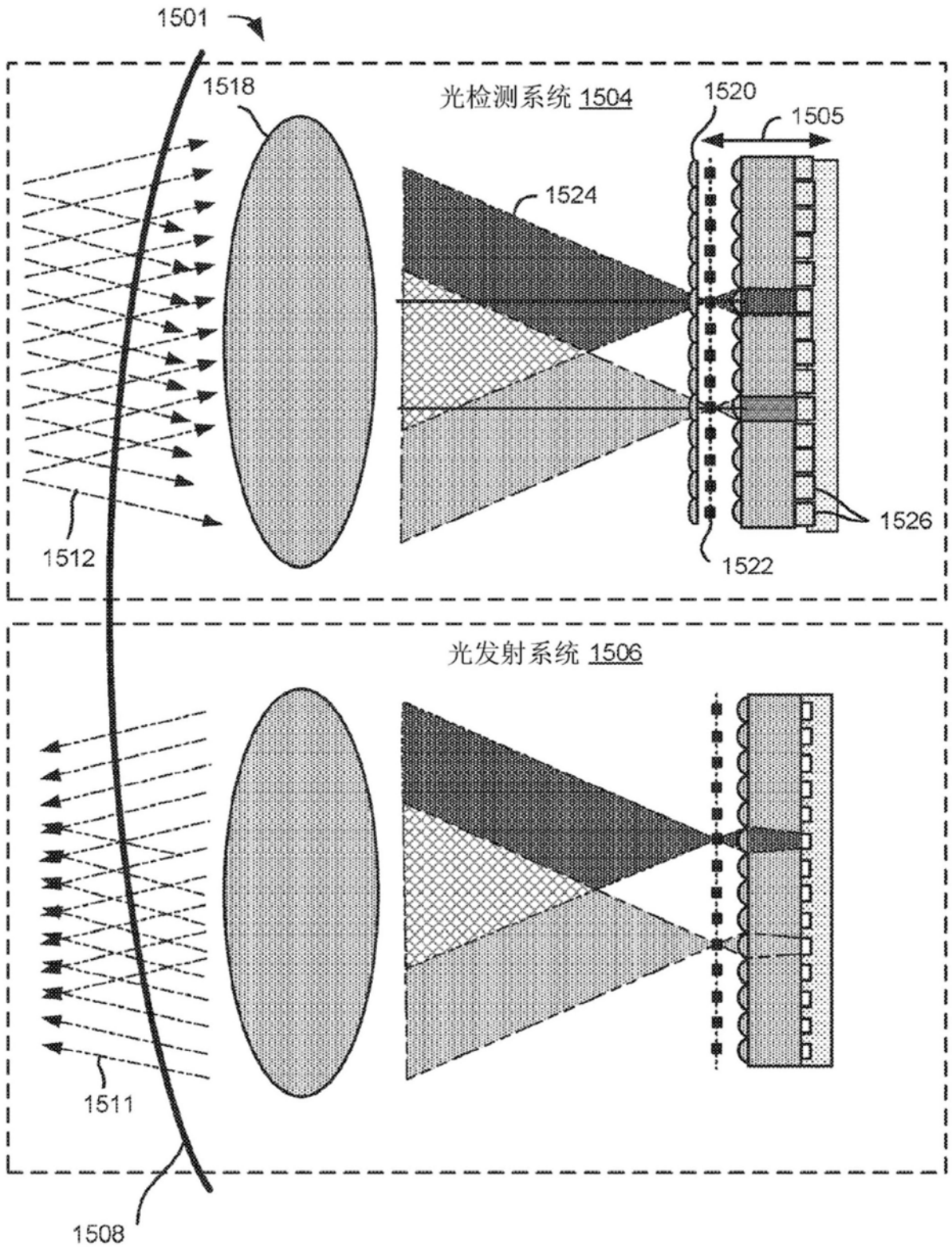


图15B

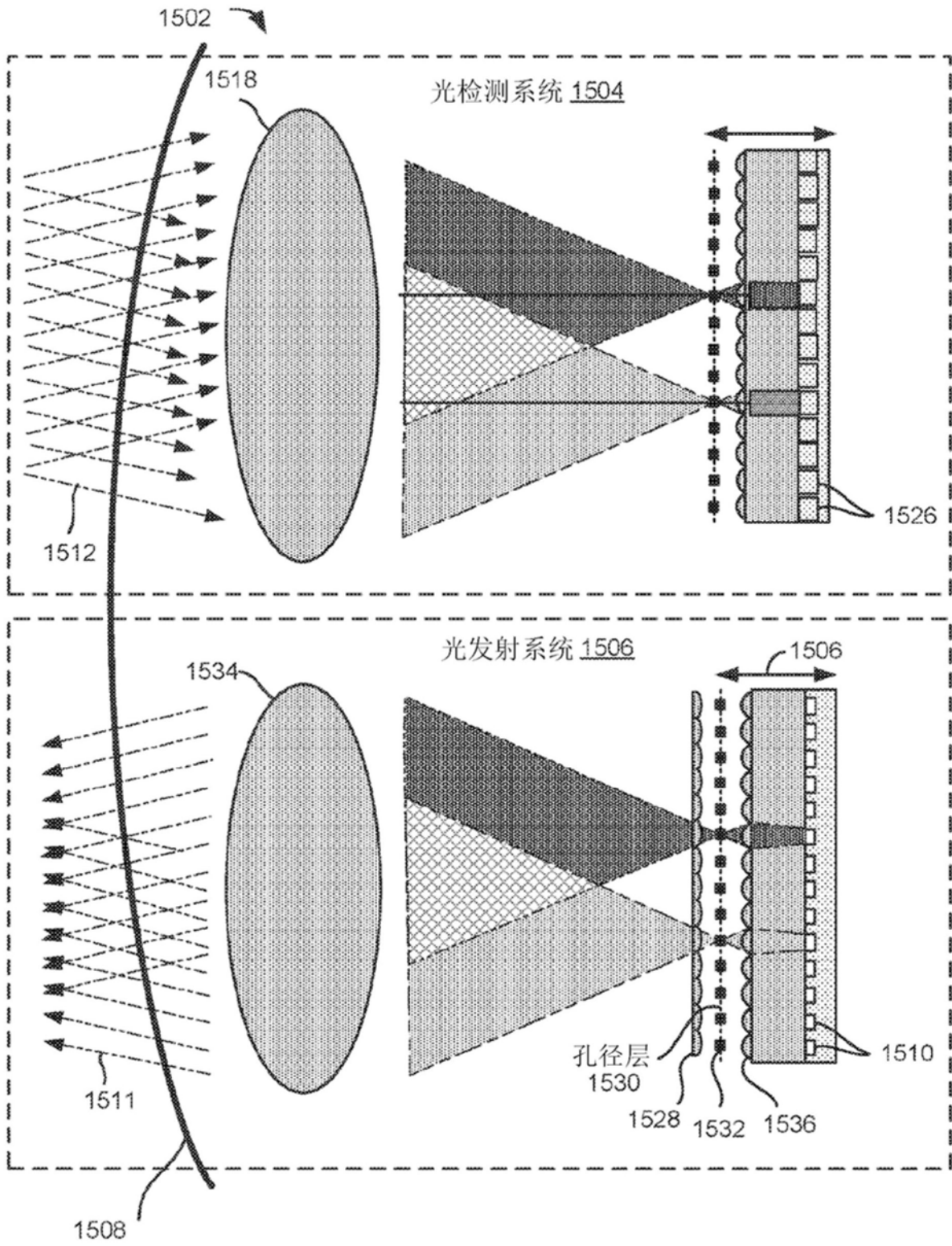


图15C

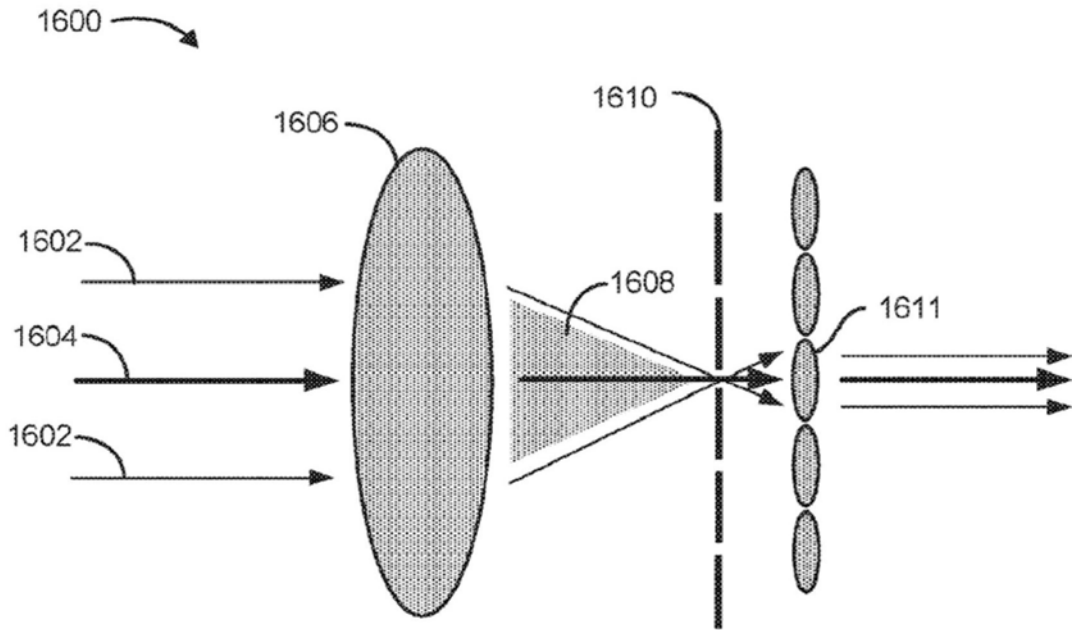


图16A

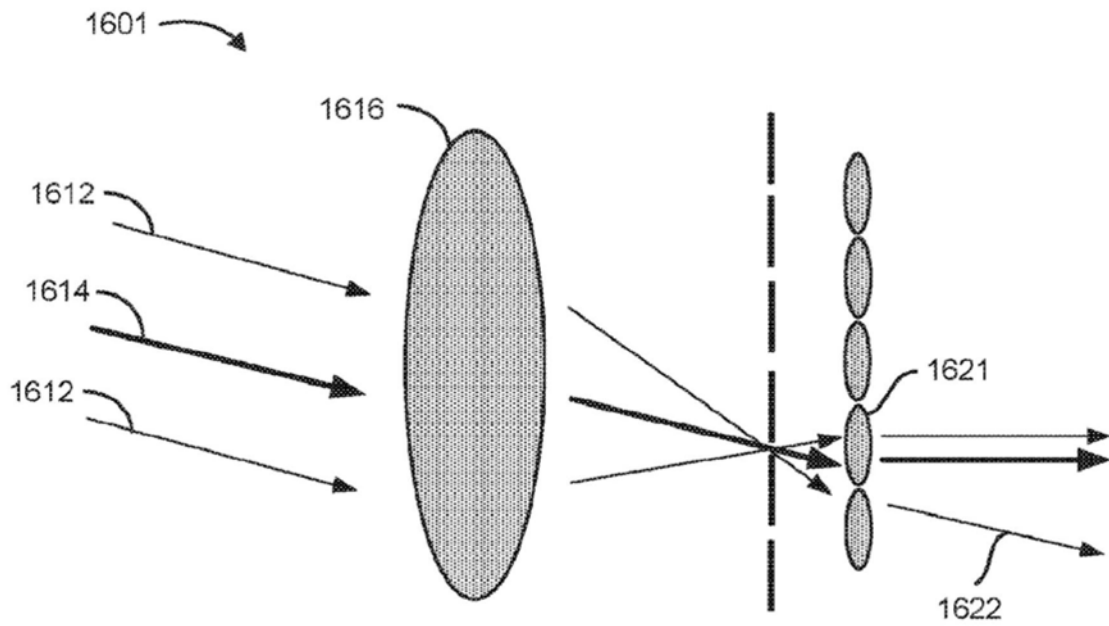


图16B

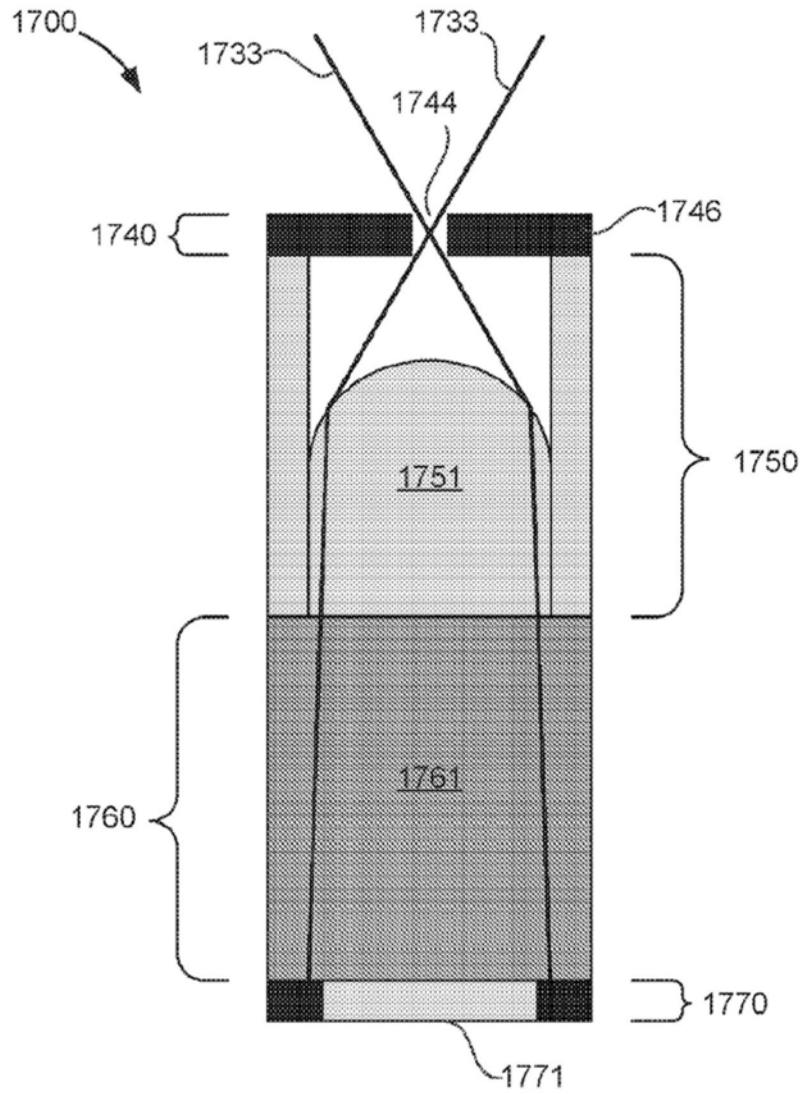


图17

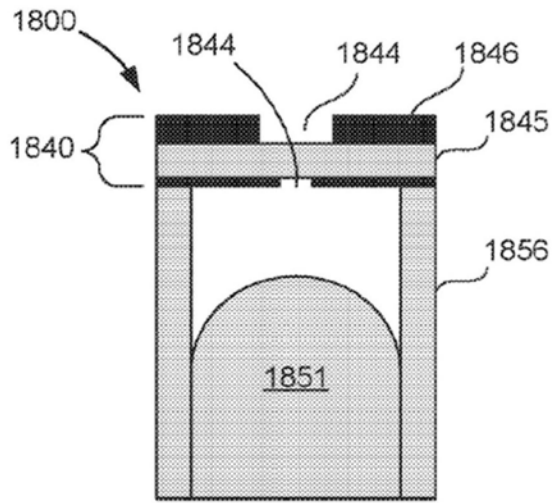


图18A

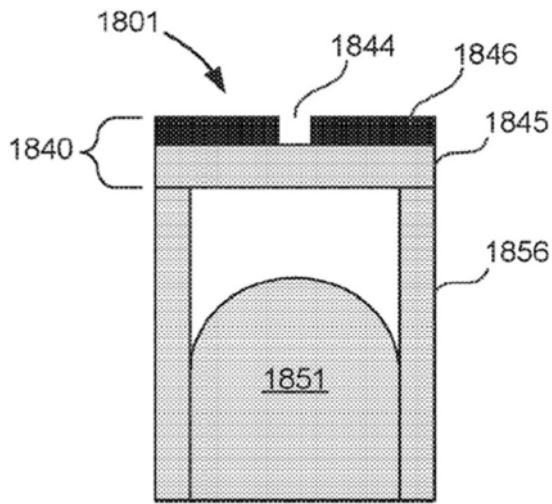


图18B

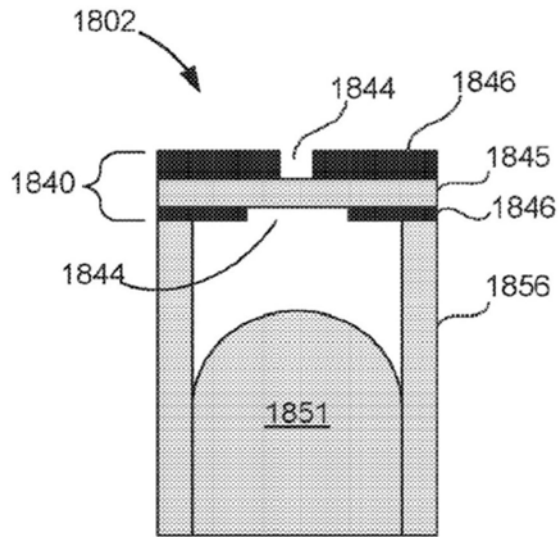


图18C

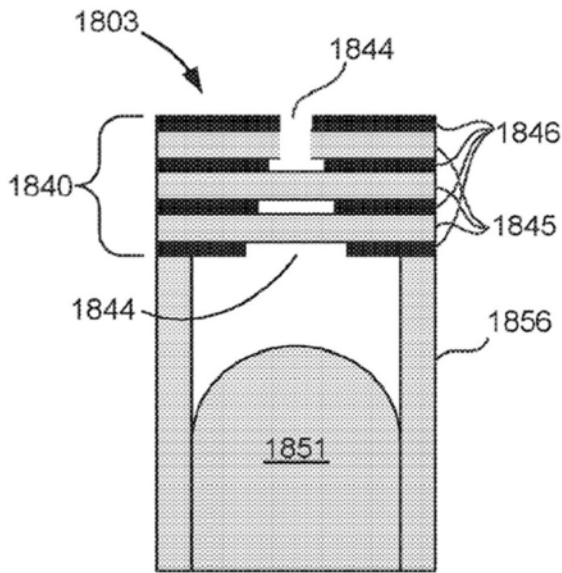


图18D

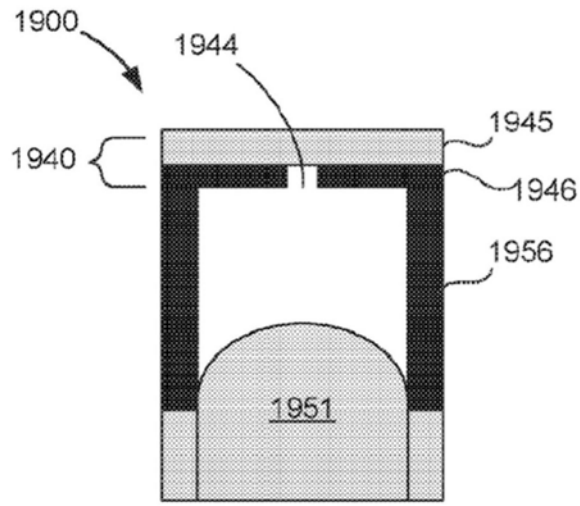


图19A

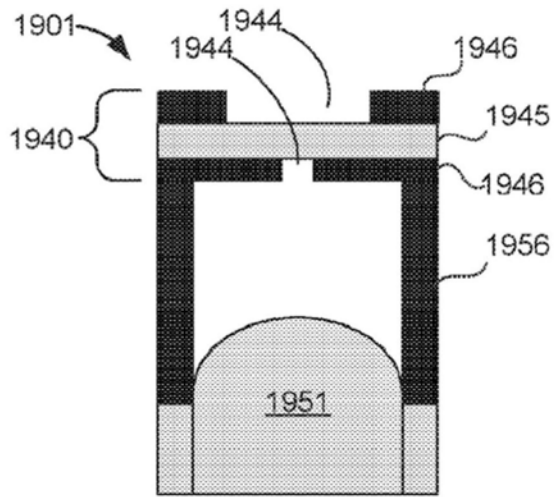


图19B

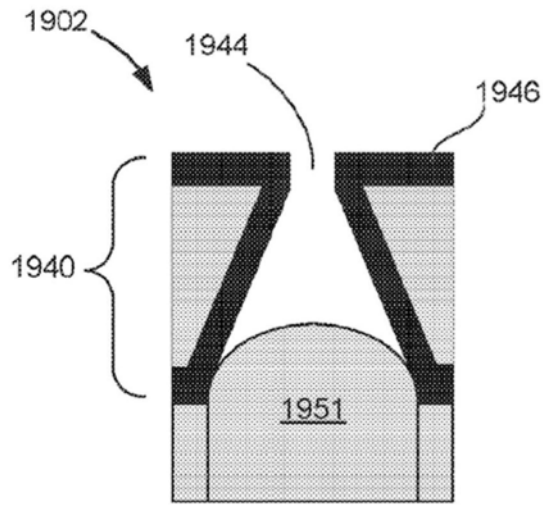


图19C

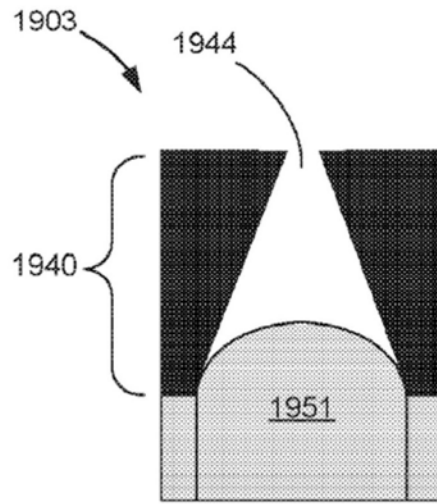


图19D

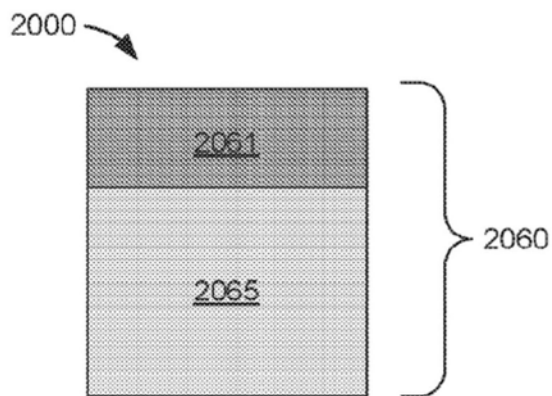


图20A

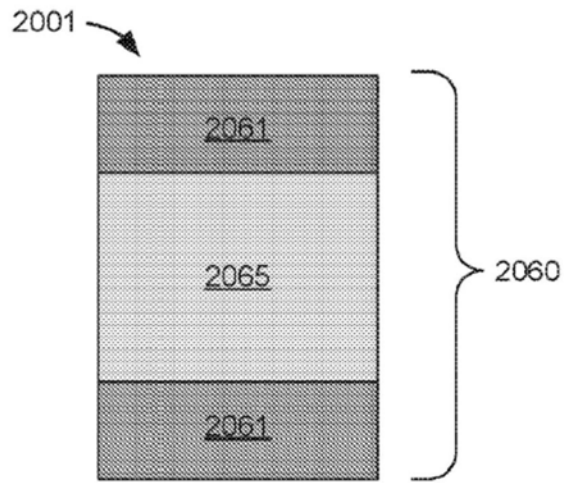


图20B

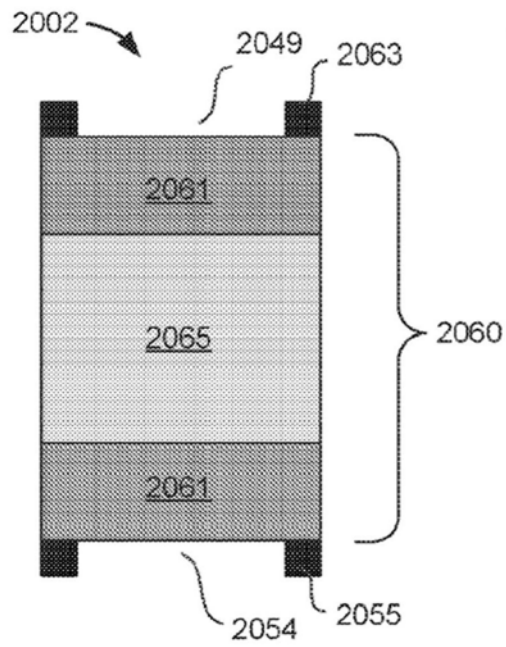


图20C

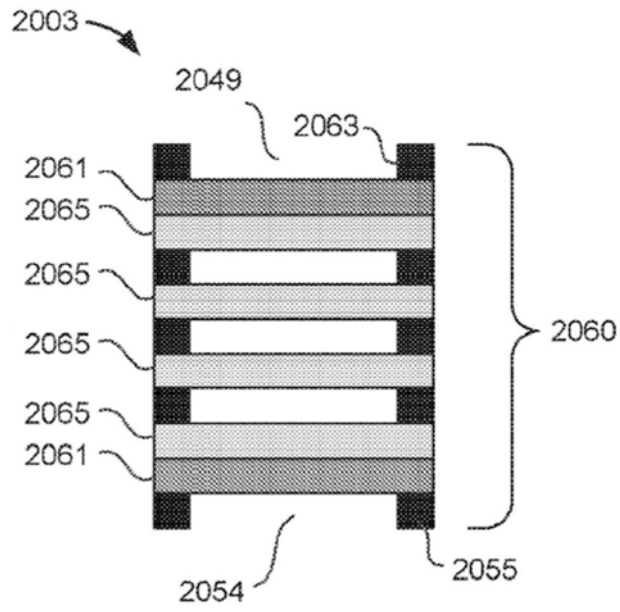


图20D

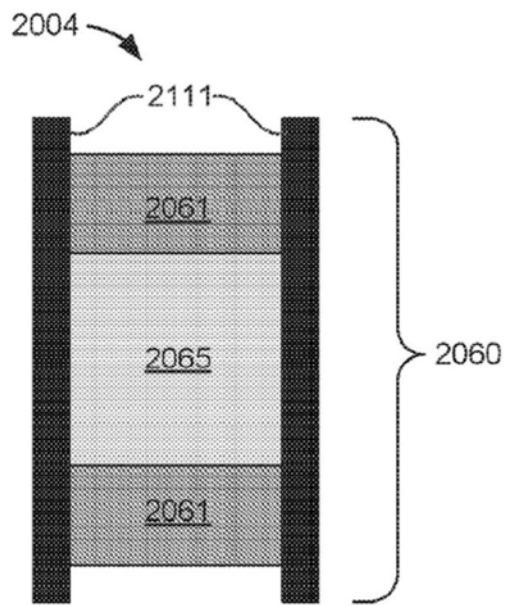


图20E

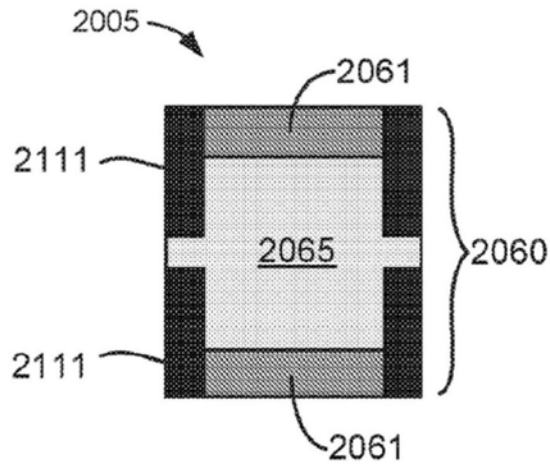


图20F

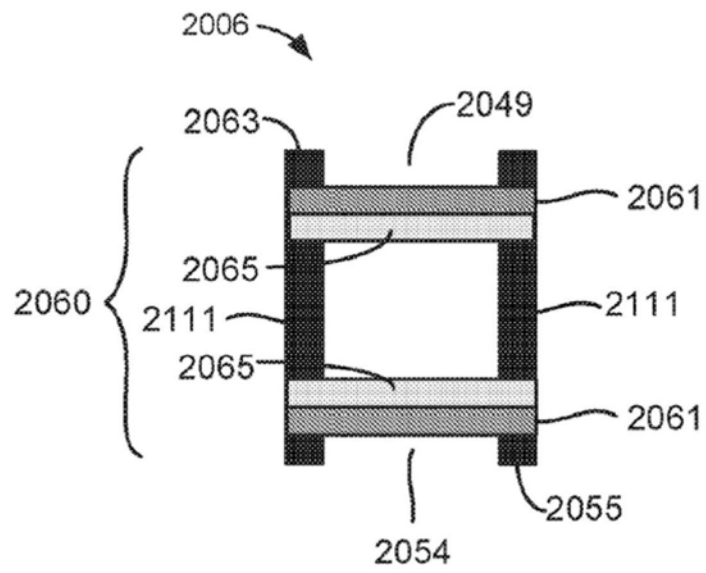


图20G

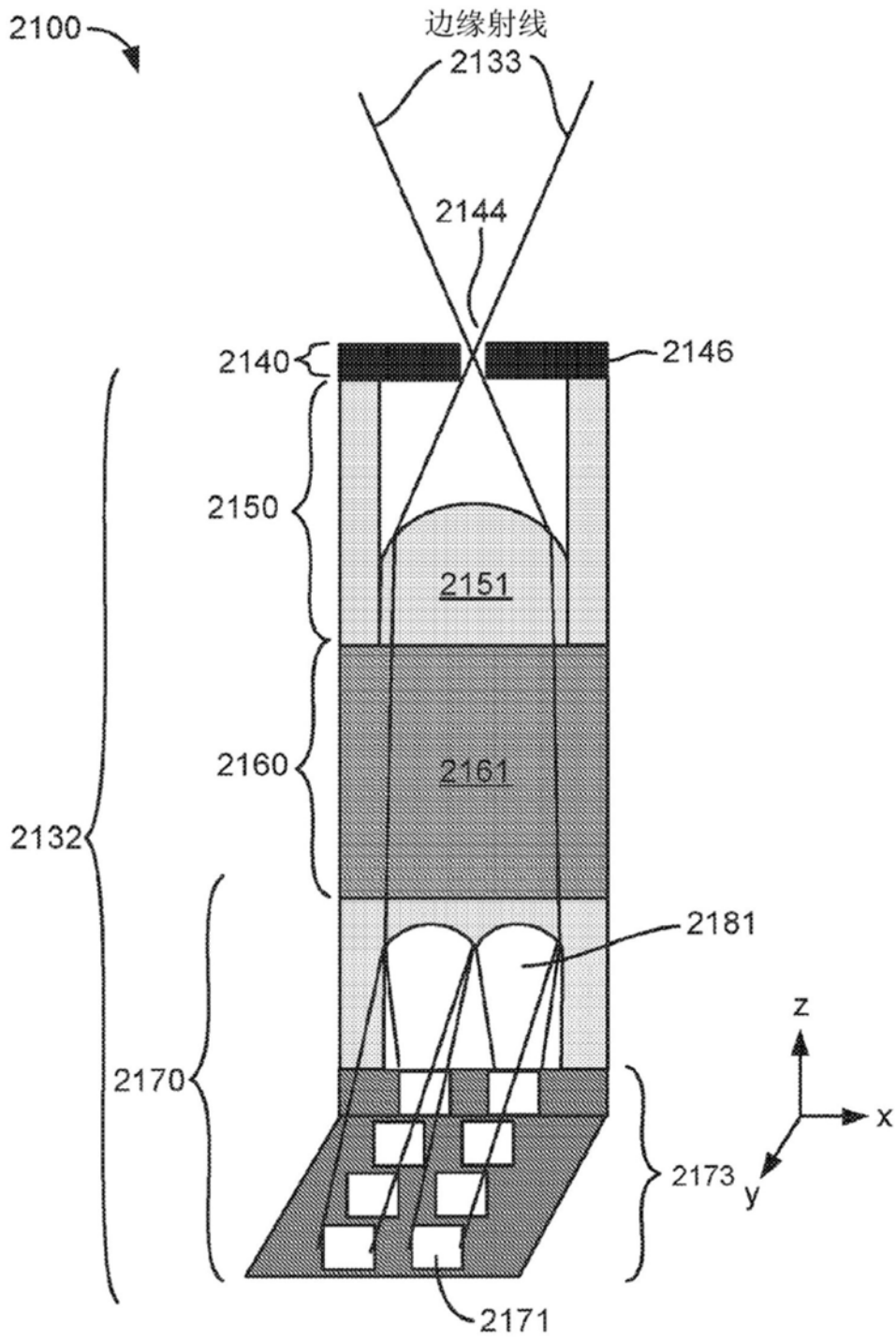


图21A

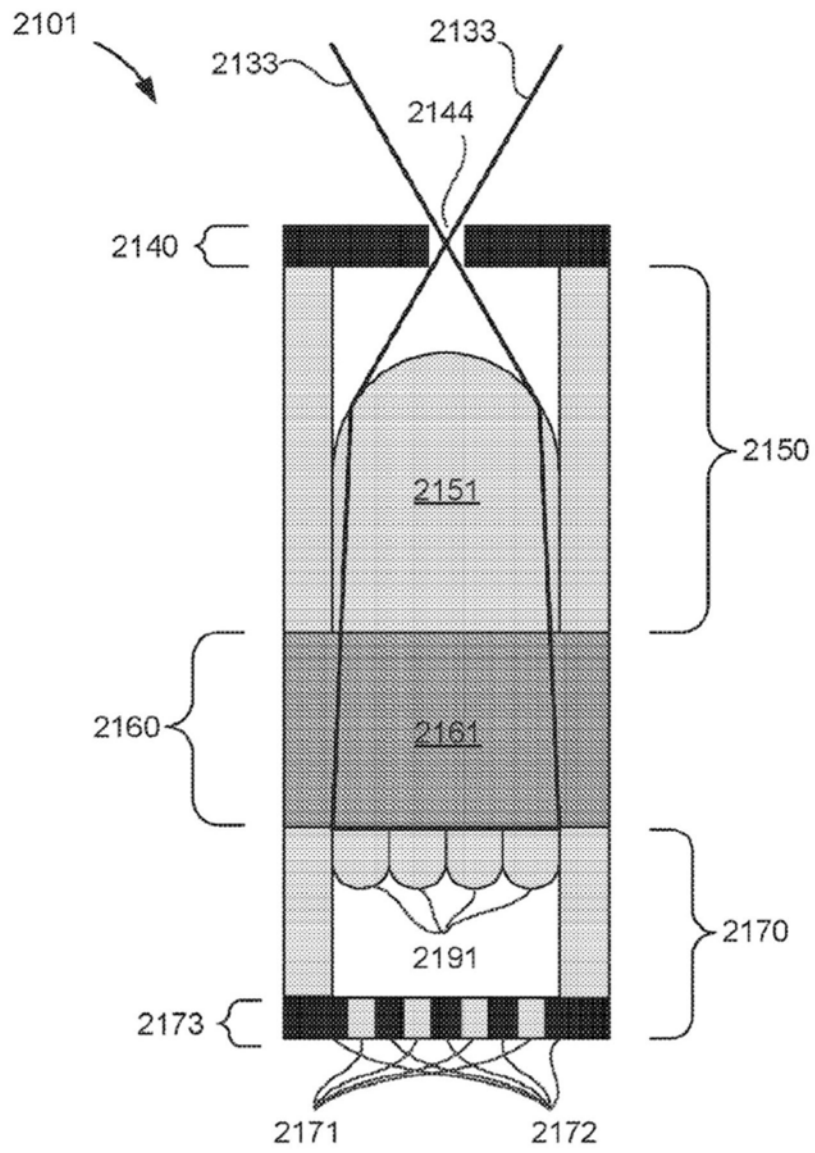


图21B

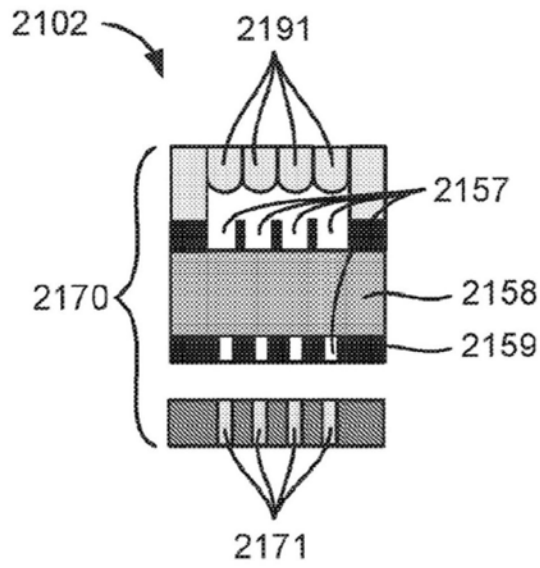


图21C

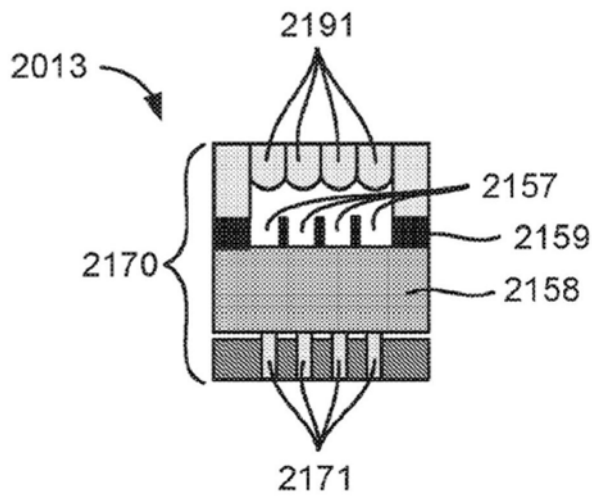


图21D

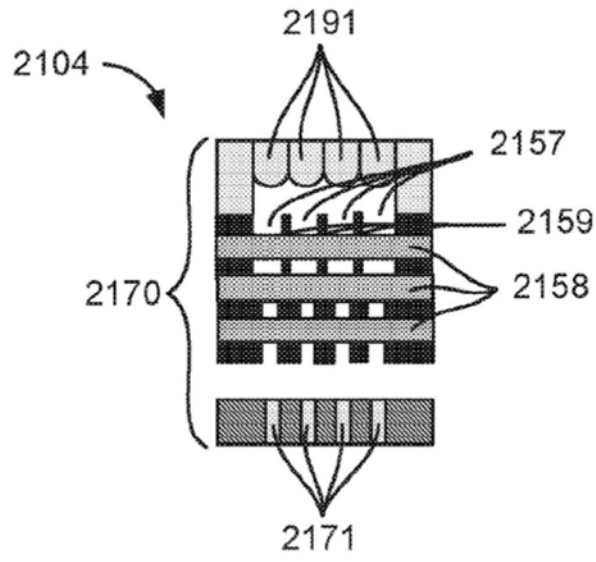


图21E

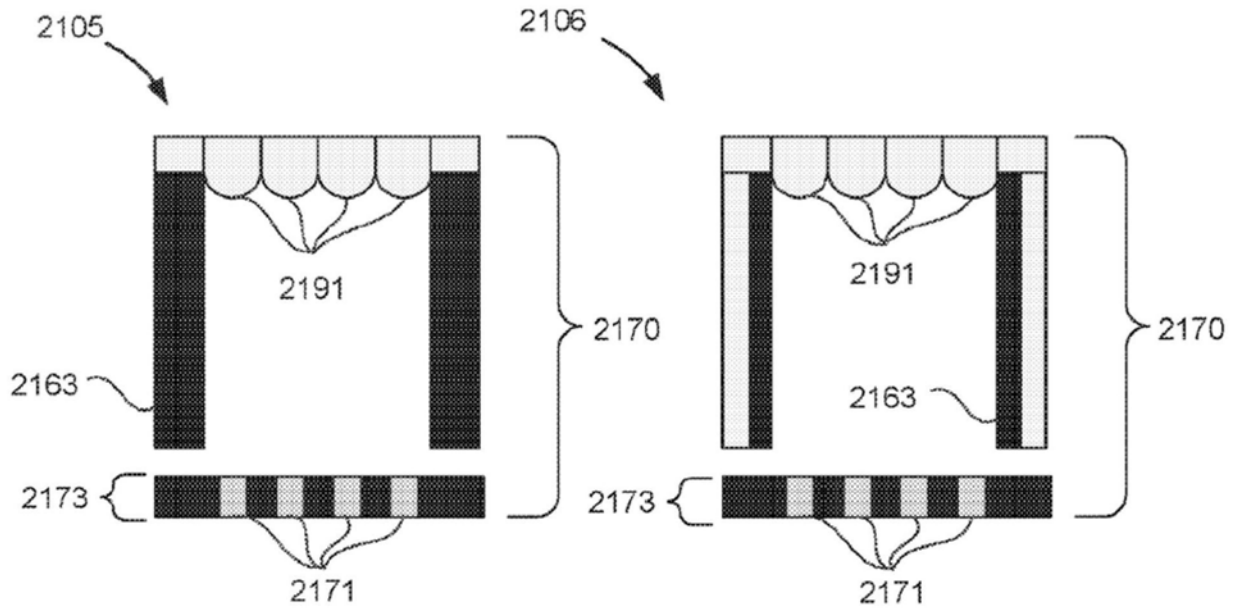


图21F

图21G

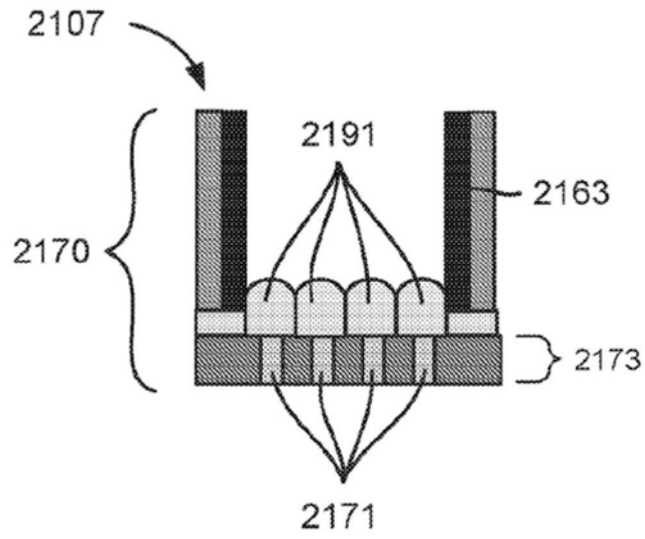


图21H

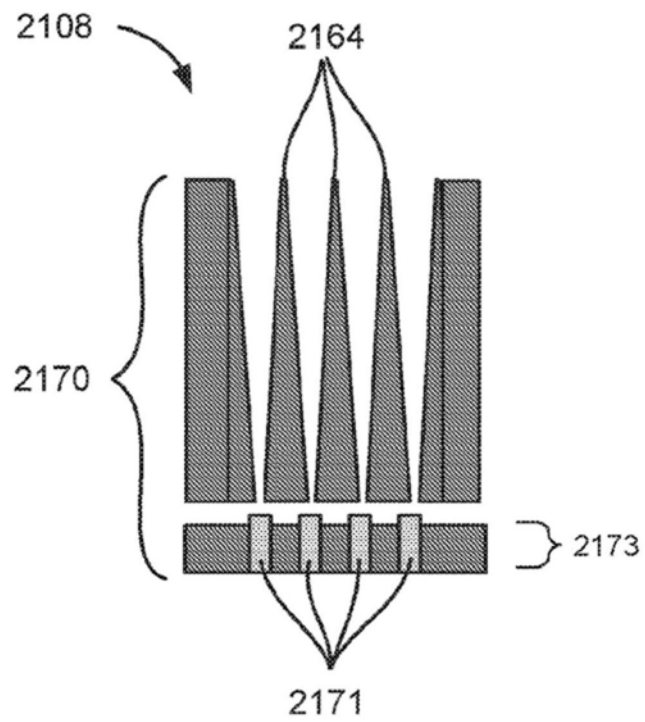


图21I

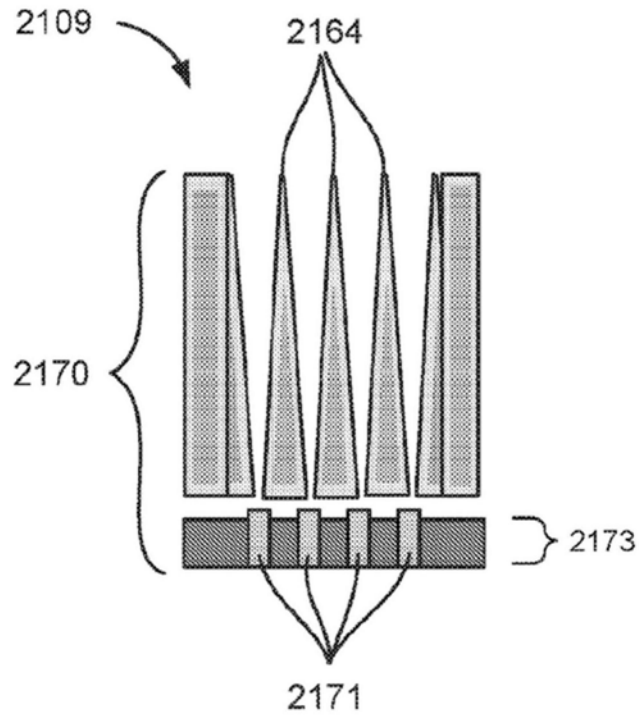


图21J

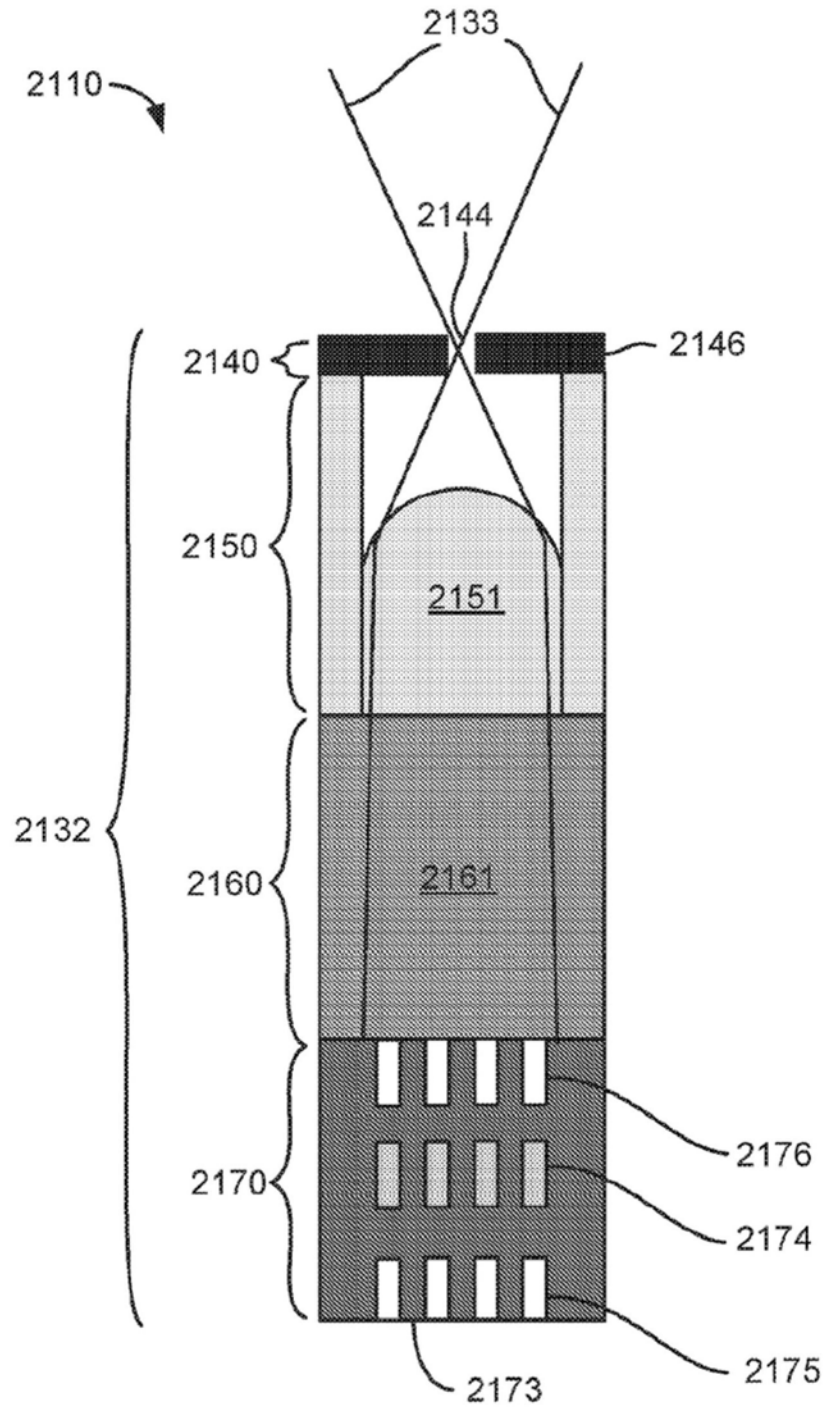


图21K

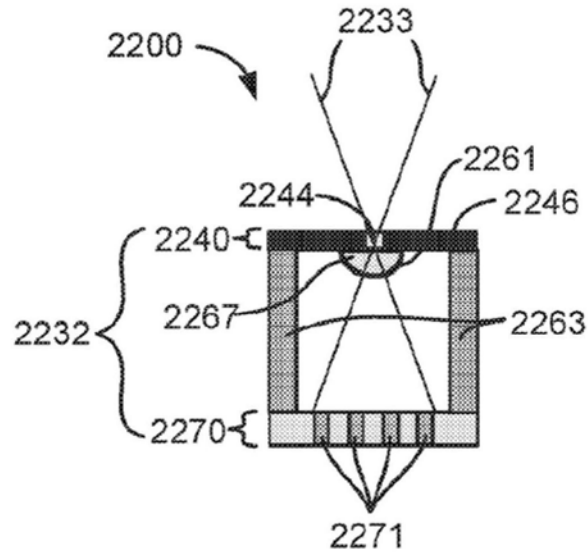


图22A

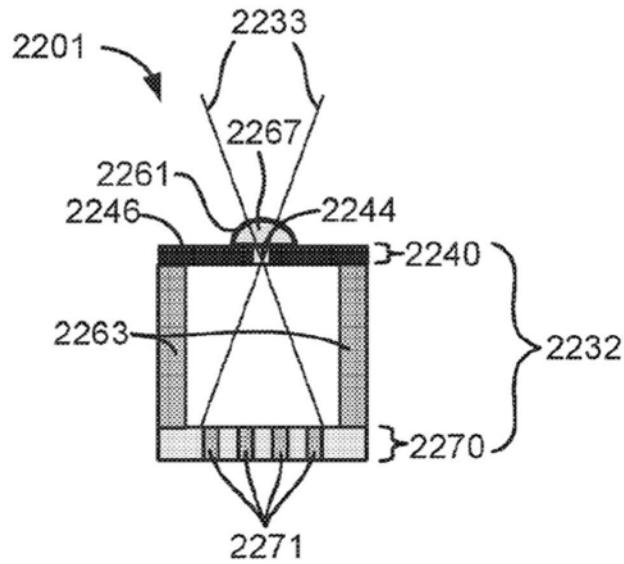


图22B

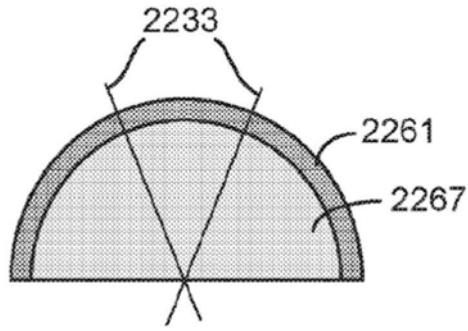


图22C

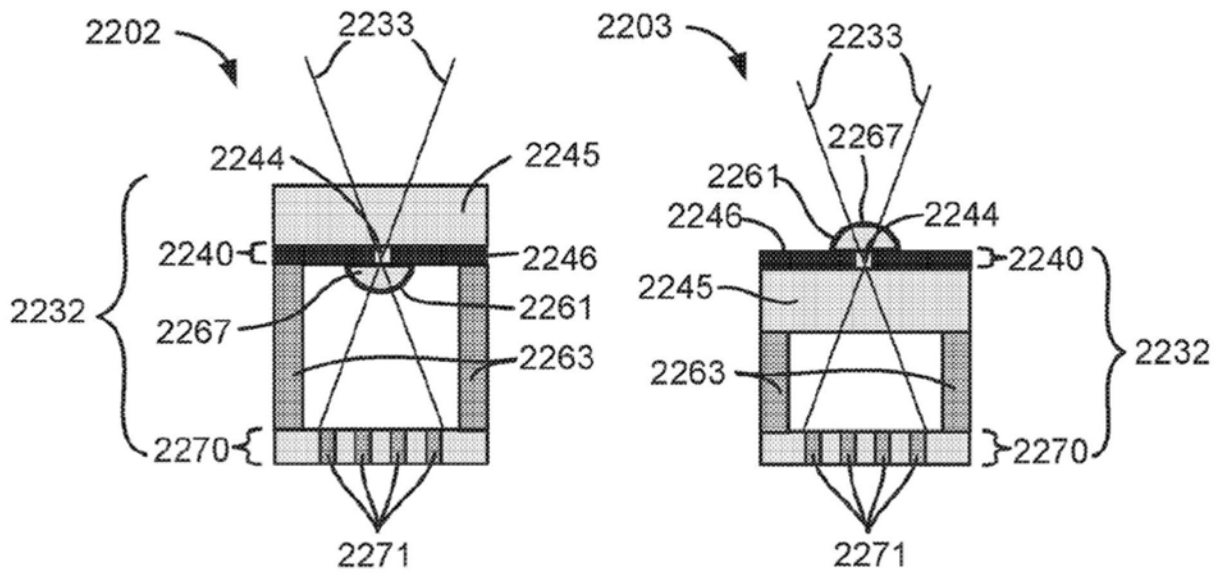


图22D

图22E

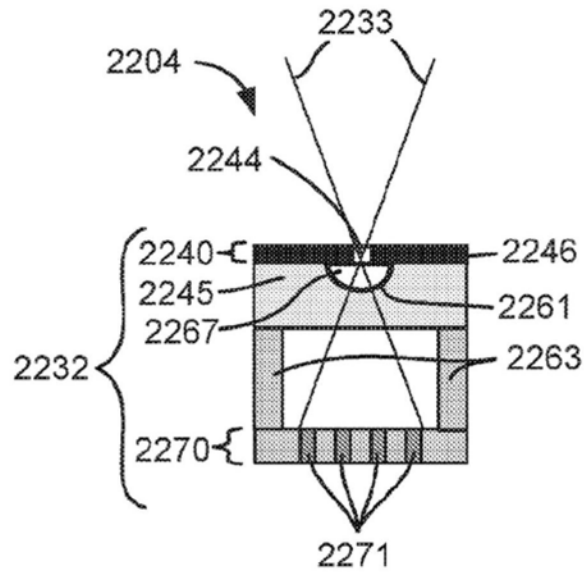


图22F

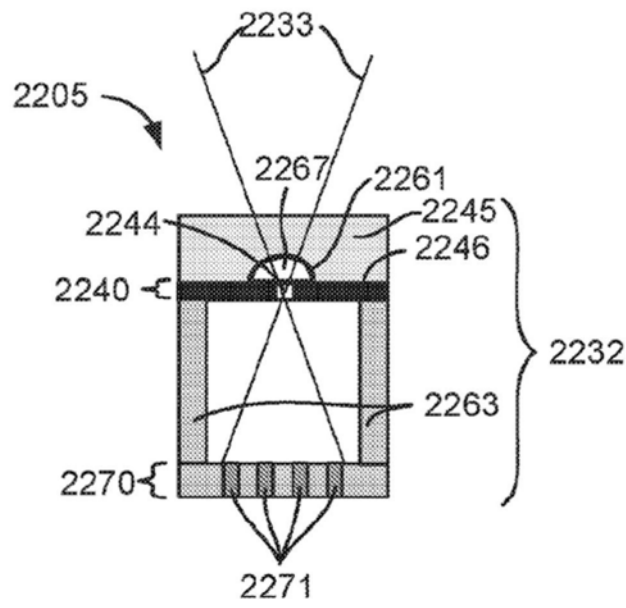


图22G

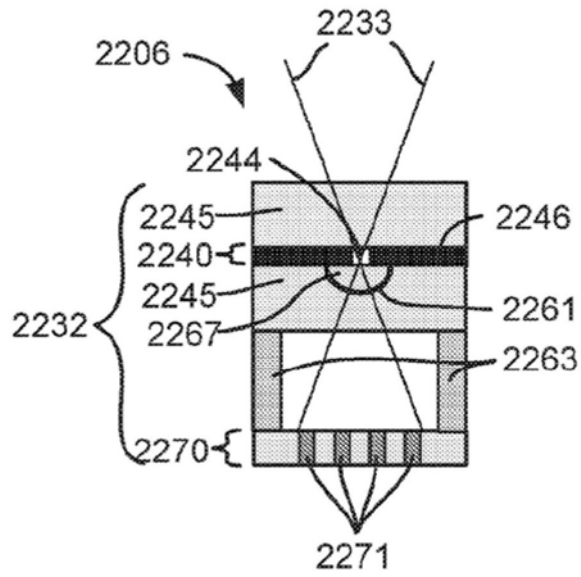


图22H

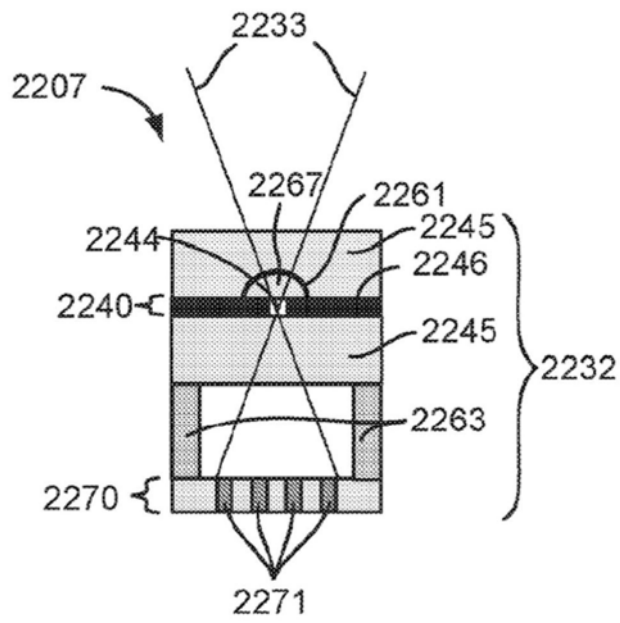


图22I

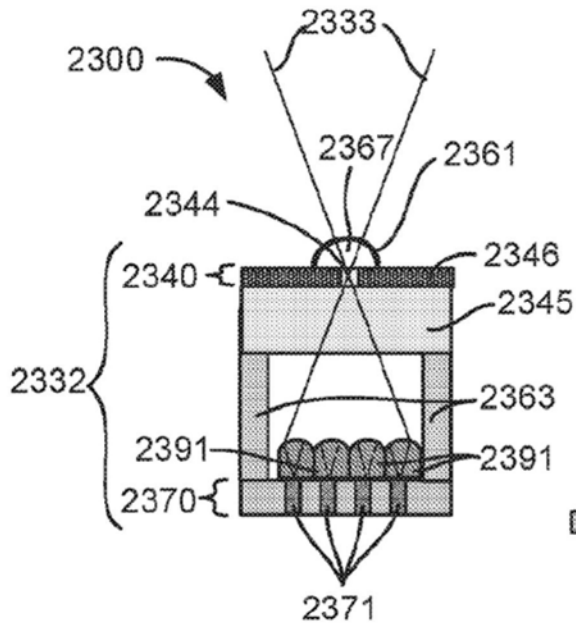


图23A

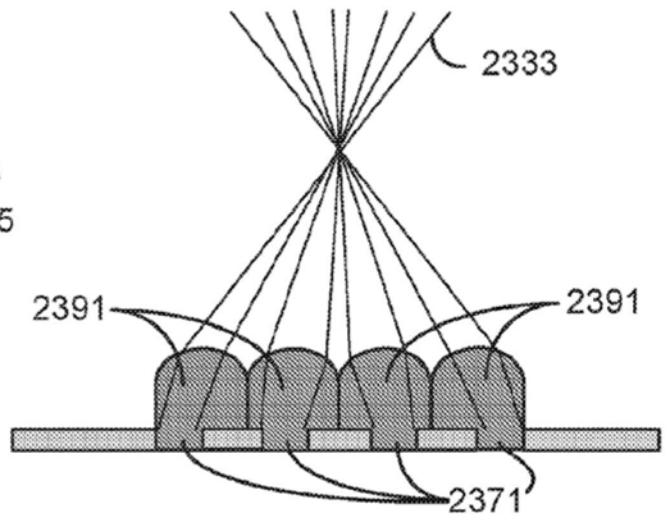


图23B

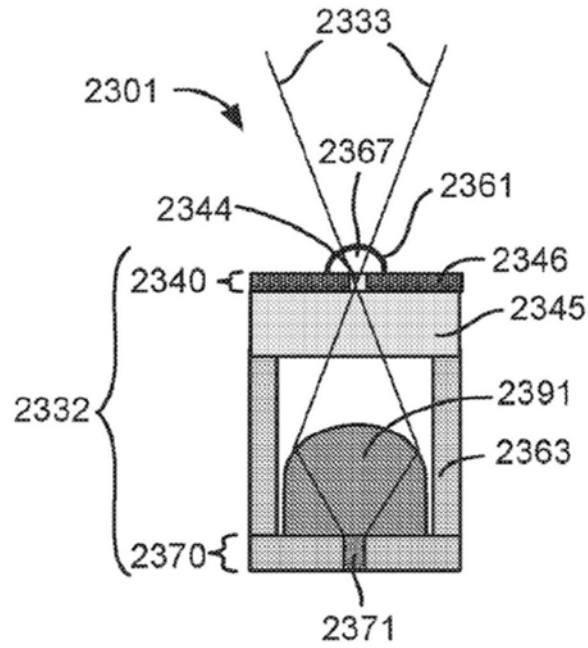


图23C

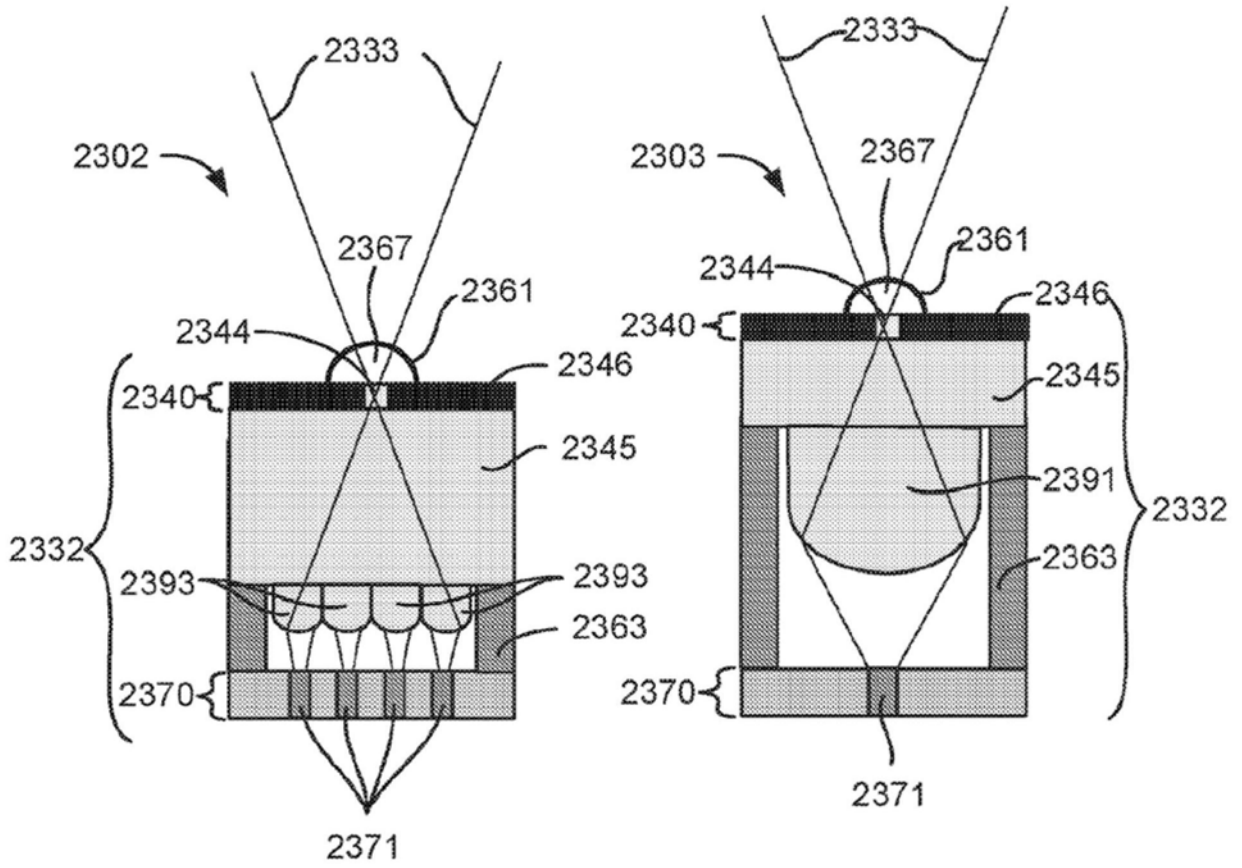


图23D

图23E

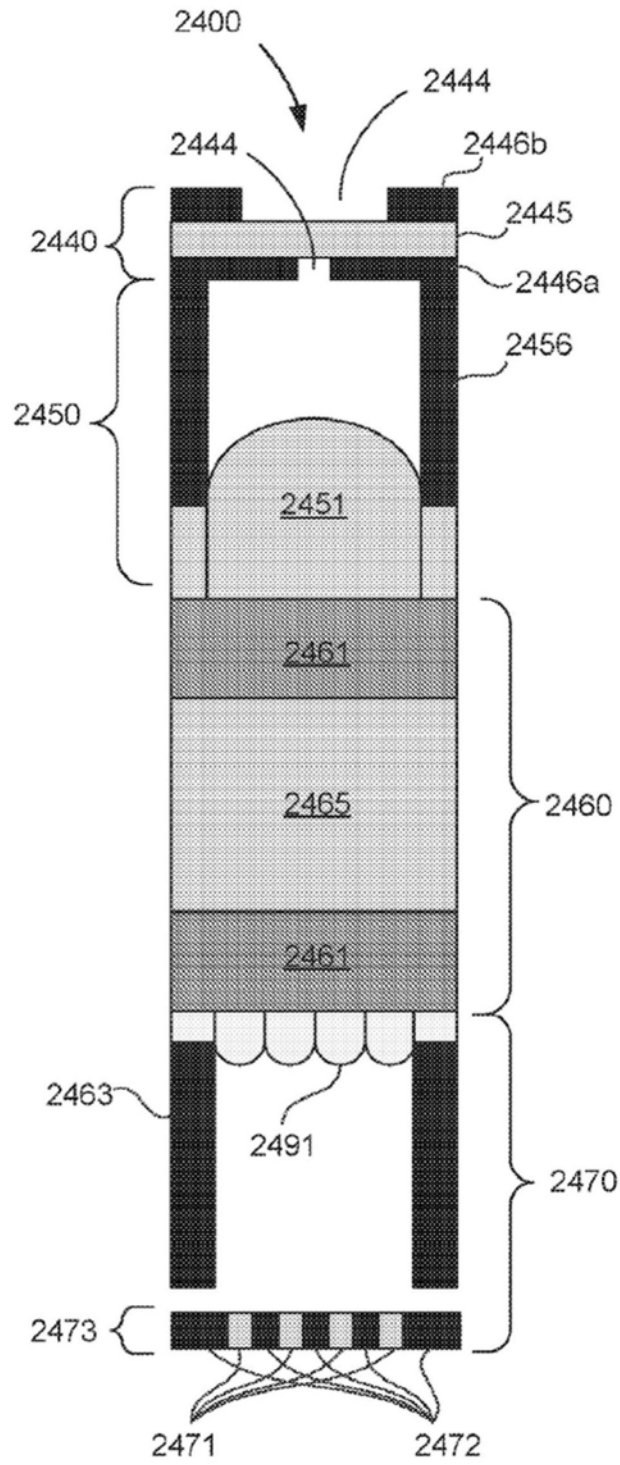


图24

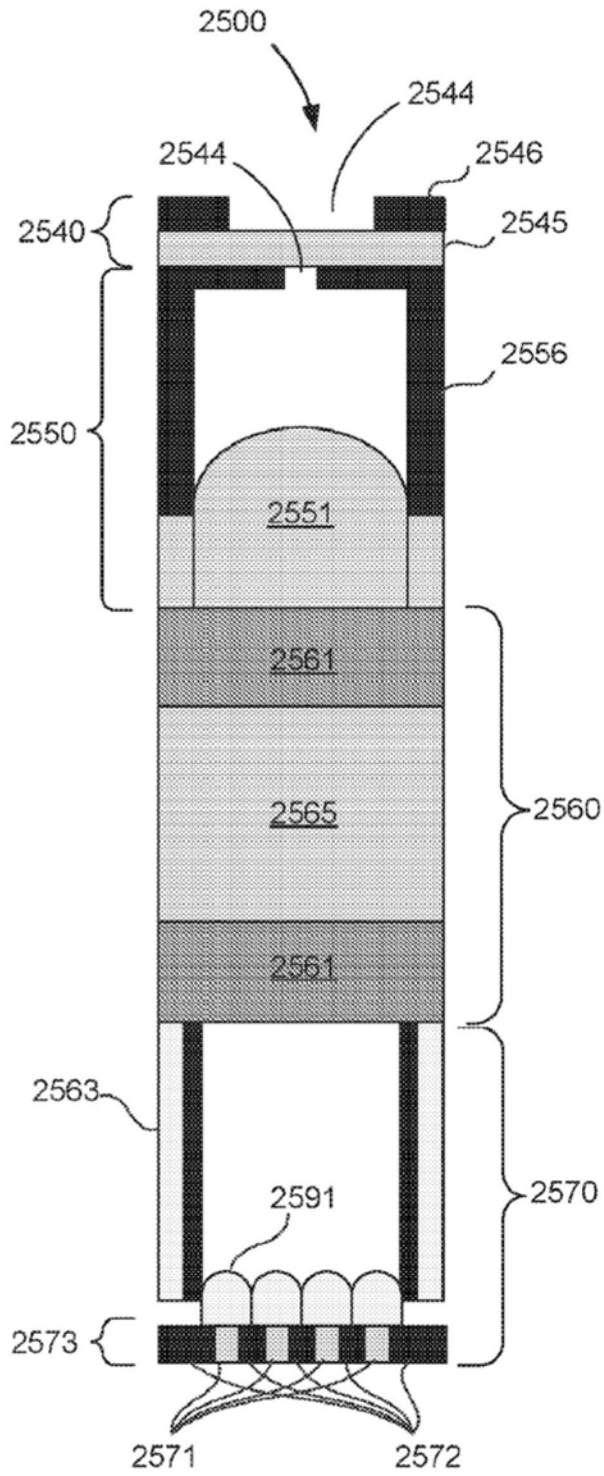


图25

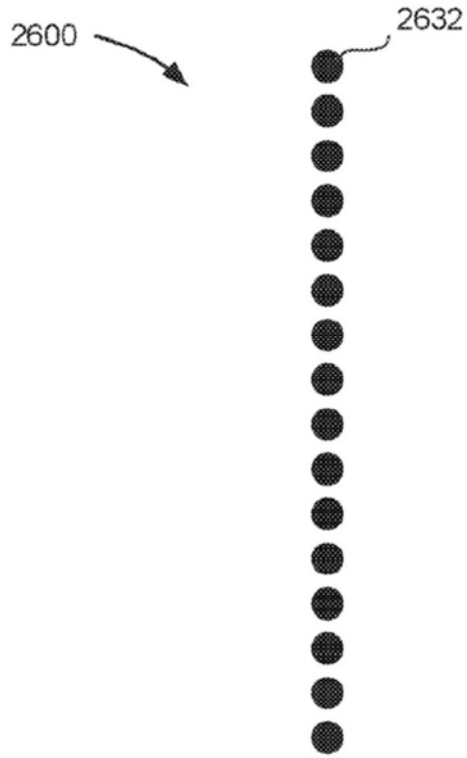


图26

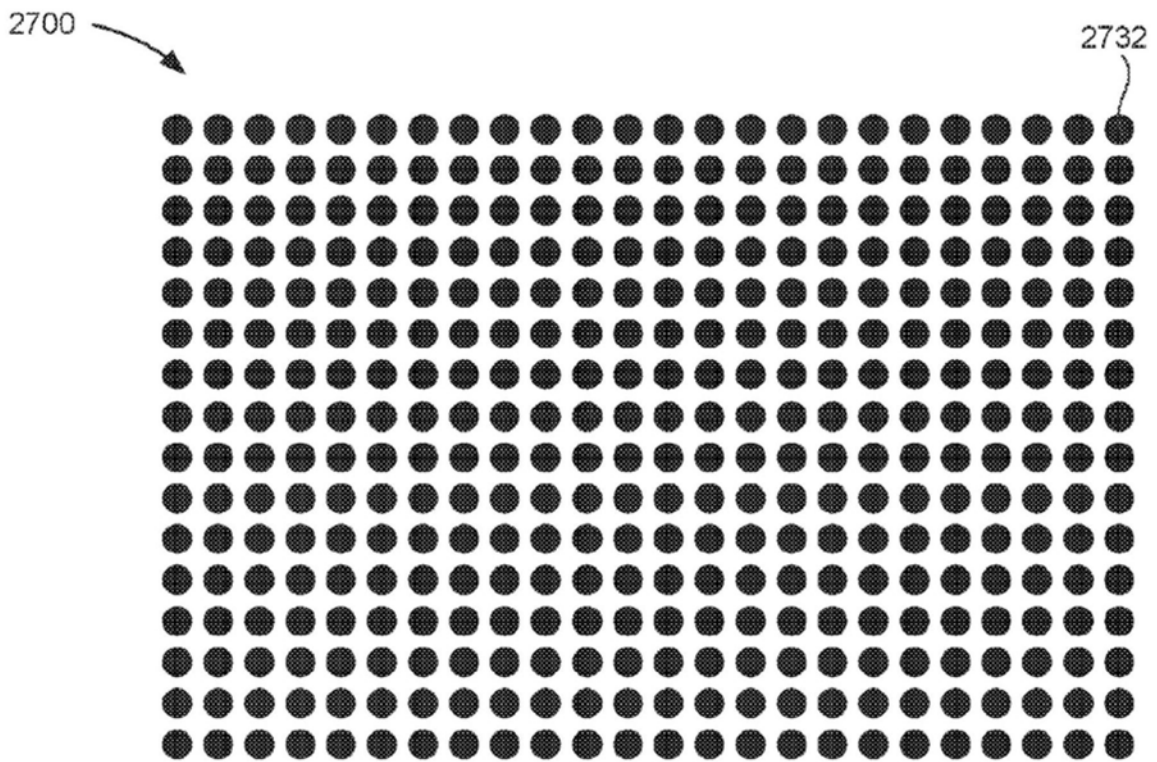


图27

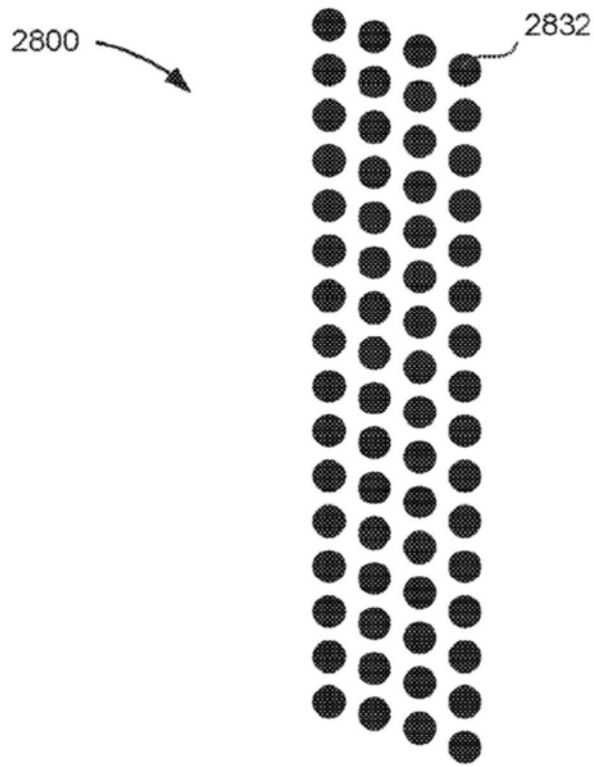


图28

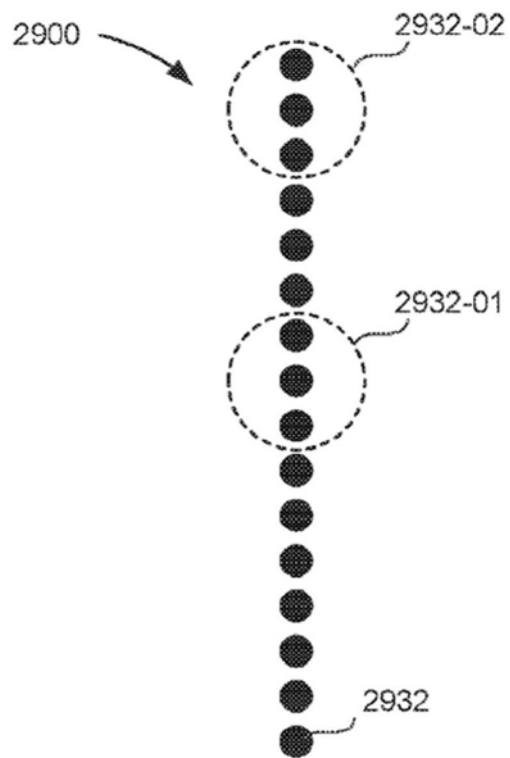


图29

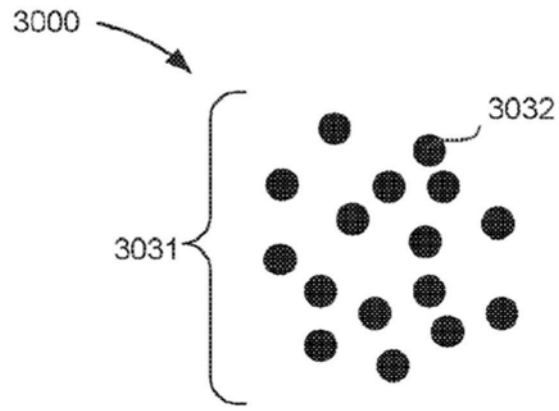


图30