



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110199204 A

(43)申请公布日 2019.09.03

(21)申请号 201780084116.X

(22)申请日 2017.03.29

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.07.19

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/CN2017/078611 2017.03.29

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02018/176274 EN 2018.10.04

(71)申请人 深圳市大疆创新科技有限公司  
地址 518057 广东省深圳市南山区高新区  
南区粤兴一道9号香港科大深圳产学研  
研大楼6楼

(72)发明人 洪小平 黄淮 谢捷斌

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 鄢功军

(51)Int.Cl.  
G01S 17/06(2006.01)

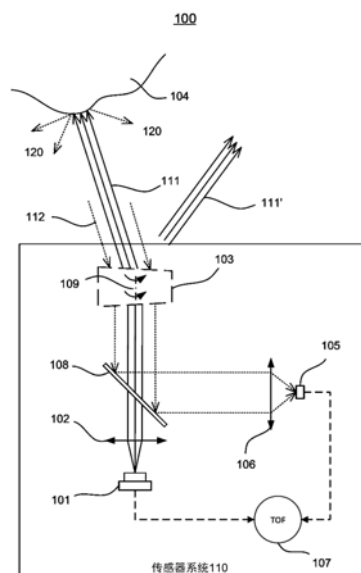
权利要求书2页 说明书18页 附图26页

(54)发明名称

具有小形状因子的激光雷达传感器系统

(57)摘要

一种传感器系统(110)可以包括产生准直的光脉冲的光源(101)和多个光学元件。多个光学元件中的每个光学元件被配置为绕基本上共同的轴线(109)独立地旋转,并且多个光学元件用于将光脉冲全体地引导到传感器系统(110)的视场角中的一个或多个对象(104)。此外,传感器系统(110)可以包括探测器(105),该探测器被配置为经由多个光学元件接收从传感器系统(110)的视场角中的一个或多个对象(104)反射回来的光脉冲的光子能量的至少一部分,并将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。



1. 一种传感器系统,包括:  
光源,其被配置为产生准直的光脉冲;  
多个光学元件,其中,所述多个光学元件中的每个光学元件被配置为绕基本上共同的轴线独立地旋转,并且其中,所述多个光学元件用于将准直的光脉冲全体地引导到所述传感器系统的视场角中的一个或多个对象;以及  
探测器,其被配置为  
经由所述多个光学元件接收从所述传感器系统的视场角中的一个或多个对象反射回来的所述光脉冲的光子能量的至少一部分;以及  
将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。
2. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,所述多个光学元件中的至少一个光学元件是棱镜、光栅、反射镜或光学相控阵列。
3. 根据权利要求2所述的传感器系统,其中,所述多个光学元件被配置为通过旋转将所述光脉冲引导到至少两个不同的方向。
4. 根据权利要求3所述的传感器系统,其中,所述多个光学元件中的至少两个光学元件被配置为以不同的角速度旋转。
5. 根据权利要求3所述的传感器系统,其中,所述多个光学元件中的至少两个光学元件被配置为从不同的初始位置开始旋转。
6. 根据权利要求1所述的传感器系统,还包括:  
分束器,其布置在所述光源和所述多个光学元件之间,其中,所述分束器被配置为将所述光脉冲朝向所述多个光学元件引导;并且将从所述一个或多个对象反射回来的所述光脉冲的光子能量朝向所述探测器引导。
7. 根据权利要求6所述的传感器系统,还包括:  
遮挡管,其被配置为延伸穿过所述分束器上的光通道,以防止所述光源的散射光干扰所述探测器。
8. 根据权利要求6所述的传感器系统,其中,所述多个光学元件中的至少一个光学元件被倾斜,以减少来自所述光源的入射光反射到所述探测器中。
9. 根据权利要求1所述的传感器系统,还包括:  
发射结构,其布置在所述探测器和所述多个光学元件之间,其中,所述发射结构包括反射镜,所述反射镜被配置为将由所述光源产生的光脉冲朝向所述多个光学元件引导。
10. 根据权利要求9所述的传感器系统,其中,所述发射结构被配置为具有与所述光脉冲的光束轮廓匹配的窄轮廓。
11. 根据权利要求9所述的传感器系统,其中,所述发射结构被布置成偏离中心,以减少对从所述一个或多个对象反射回来的返回光脉冲的阻挡。
12. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,每个所述光学元件都涂覆有减少反射的涂层。
13. 根据权利要求1所述的传感器系统,还包括与所述光脉冲的波长匹配的带通滤波器。
14. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,用于所述探测器的接收装置被配置为具有与所述光脉冲的光束轮廓匹配的轮廓。

15. 根据权利要求1所述的传感器系统,还包括空间滤波器,所述空间滤波器防止散射或反射的光到达所述探测器,其中,所述空间滤波器包括与所述光脉冲的光束轮廓匹配的至少一个针孔或狭缝。

16. 根据权利要求14所述的传感器系统,还包括场光阑孔径,所述场光阑孔径布置在所述探测器的前方。

17. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,以至少与阳光强度相当的瞬时强度发射所述光脉冲。

18. 根据权利要求1所述的传感器系统,其中,所述传感器系统被封装在具有发射窗口的壳体中。

19. 一种用于感测视场角中的一个或多个对象的方法,包括:

产生准直的光脉冲;

将所述光脉冲朝向多个光学元件引导,每个光学元件能够绕基本上共同的轴线独立地旋转,其中,操作所述多个光学元件以将所述光脉冲全体地引导到所述视场角中的一个或多个对象;

经由所述多个光学元件接收从所述视场角中的一个或多个对象反射回来的光的光子能量的至少一部分;以及

将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。

20. 一种传感器系统,包括:

光源,其被配置为产生准直的光脉冲;

一对棱镜,其中,每个所述棱镜被配置为绕基本上共同的轴线独立地旋转,并且其中,所述一对棱镜用于将所述光脉冲全体地引导到所述传感器系统的视场角中一个或多个对象;以及

探测器,其被配置为:

经由所述一对棱镜接收从所述传感器系统的视场角中的一个或多个对象反射回来的所述光脉冲的光子能量的至少一部分;以及

将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。

## 具有小形状因子的激光雷达传感器系统

### 技术领域

[0001] 所公开的实施例总体上涉及光学感测,更具体地但非排他性地涉及光学扫描和测距。

### 背景技术

[0002] 传感器对于例如通过可移动的或静止的对象执行各种类型的操作而言是重要的。特别地,诸如机器人、有人驾驶载具和无人驾驶载具的可移动对象可以利用不同的传感器来在复杂的环境中进行导航。例如,可移动对象需要知道周围的情况,以便在未知环境中执行路径规划以及障碍物检测和躲避。这是本发明的实施例意图涉及的一般领域。

### 发明内容

[0003] 本文描述的是提供用于执行光学检测和测距的技术方案的系统和方法。一种传感器系统可以包括产生准直的光脉冲的光源和多个光学元件。多个光学元件中的每个光学元件被配置为绕基本上共同的轴线独立地旋转,并且多个光学元件用于将光脉冲全体地引导到传感器系统的视场角中的一个或多个对象。此外,传感器系统可以包括探测器,该探测器被配置为经由多个光学元件接收从传感器系统的视场角中的一个或多个对象反射回来的光脉冲的光子能量的至少一部分,并将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。

### 附图说明

[0004] 图1示出了根据本发明的各种实施例的示例性激光雷达(LIDAR)感测系统的示意图。

[0005] 图2示出了根据本发明的各种实施例的使用Risley棱镜对的示例性LIDAR传感器系统的示意图。

[0006] 图3示出了根据本发明的各种实施例的使用Risley棱镜对的示例性折射模型。

[0007] 图4示出了根据本发明的各种实施例的LIDAR传感器系统中的旋转棱镜的示例性图示。

[0008] 图5示出了根据本发明的各种实施例的使用分束器的示例性LIDAR传感器系统的配置。

[0009] 图6示出了根据本发明的各种实施例的替代性示例性LIDAR感测方案。

[0010] 图7示出了根据本发明的各种实施例的替代性LIDAR传感器系统的示例性图示。

[0011] 图8示出了根据本发明的各种实施例的具有不同发光配置的LIDAR传感器系统的示例性图示。

[0012] 图9示出了根据本发明的各种实施例的优化LIDAR传感器系统中的发光结构的示例性图示。

[0013] 图10示出了根据本发明的各种实施例的防止示例性LIDAR传感器系统中的光污染的示意图。

- [0014] 图11示出了根据本发明的各种实施例的创建具有窄通带的带通滤波器的示意图。
- [0015] 图12示出了根据本发明的各种实施例的示例性LIDAR系统中的空间滤波的示意图。
- [0016] 图13示出了根据本发明的各种实施例的使用替代性方法来在示例性LIDAR传感器系统中提供空间滤波的示意图。
- [0017] 图14示出了根据本发明的各种实施例的在示例性LIDAR传感器系统中使用场光阑孔径(FSA)的示意图。
- [0018] 图15示出了根据本发明的各种实施例的可以减少不期望的背向反射的LIDAR传感器系统的示例性配置。
- [0019] 图16示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统进行感测的流程图。
- [0020] 图17示出了根据本发明的各种实施例的控制LIDAR传感器系统的示例性图示。
- [0021] 图18示出了根据本发明的各种实施例的用于旋转Risley棱镜对的偏差模型的示例性图示。
- [0022] 图19示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统的不同扫描模式的示例性图示。
- [0023] 图20示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统的均匀扫描图案的示例性图示。
- [0024] 图21示出了根据本发明的各种实施例的控制LIDAR传感器系统的光束控制的示例性图示。
- [0025] 图22示出了根据本发明的各种实施例的替代性LIDAR传感器系统的示例性图示。
- [0026] 图23示出了根据本发明的各种实施例的将LIDAR传感器系统安装在各种可移动平台上的示例性图示。
- [0027] 图24示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统执行三维扫描的示例性图示。
- [0028] 图25示出了根据本发明的各种实施例的组合多个LIDAR传感器系统的示例性图示。
- [0029] 图26示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统进行扫描的流程图。

### 具体实施方式

[0030] 在附图中以示例性而非限制性的方式示出了本发明,其中,相同的附图标记表示相似的元件。应当注意,在本发明中对“一”或“一个”或“一些”实施例的引用不一定是指同一个实施例,并且这样的引用意味着至少一个实施例。

[0031] 在以下对本发明的描述中,使用光检测和测距(LIDAR)传感器系统作为传感器系统的示例。对于本领域的技术人员而言将明显的是,可以使用其他类型的传感器系统而没有限制。

[0032] 根据各种实施例,可以提供用于执行光学检测和测距的技术方案。一种传感器系统可以包括产生准直的光脉冲的光源和多个光学元件。多个光学元件中的每个光学元件被

配置为绕基本上共同的轴线独立地旋转,并且多个光学元件用于将光脉冲全体地引导到传感器系统的视场角中的一个或多个对象。此外,该传感器系统可以包括探测器,该探测器被配置为经由多个光学元件接收从传感器系统的视场角中的一个或多个对象反射回来的光脉冲的光子能量的至少一部分,并将接收到的光子能量转换成至少一个电信号。

[0033] 根据各种实施例,可以提供用于执行光学检测和测距的技术方案。一种传感器系统可以包括:光源,其用于在不同的时间点产生一系列光脉冲;以及多个光学元件,其中,多个光学元件中的每个光学元件被配置为绕基本上共同的轴线独立地旋转。此外,该传感器系统可以包括:控制器,该控制器用于控制多个光学元件中的每个光学元件的相应旋转,以便将一系列光脉冲全体地引导到传感器系统的视场角中的不同方向;以及探测器,其被配置为检测视场角中的多个目标点,其中,基于接收到从视场角中的一个或多个对象反射回来的一系列光脉冲中的光脉冲的光子能量的至少一部分来检测每个目标点。

[0034] 图1示出了根据本发明的各种实施例的示例性LIDAR感测系统的示意图100。如图1所示,传感器系统110可以用于在传感器系统100的视场角内检测传感器系统110与对象104之间的距离。例如,传感器系统110可以是LIDAR传感器系统,它可以基于测量光在传感器系统110与对象104之间行进的时间(即,飞行时间(TOF))来检测对象104的距离。

[0035] 根据各种实施例,可以使用不同的方案来实现LIDAR传感器系统。例如,LIDAR传感器系统可以基于单置式(monostatic)(即,共轴或同轴)方案,在这种情况下,出射光束111和返回光束112可以共享光路的至少一部分。替代性地,LIDAR传感器系统可以基于不同的方案(诸如分置式(即,双轴)方案),在这种情况下,出射光束111和返回光束112可以被配置为沿不同的光路行进。

[0036] 如图1所示,传感器系统110可以包括光源101,该光源可以产生激光束。例如,激光束可以是单个激光脉冲或一系列激光脉冲。此外,所产生的激光束可以被准直。如本领域的技术人员所知,准直的光是指具有平行射线的光,该平行射线在光传播时基本上不会扩散。

[0037] 根据各种实施例,准直器可以用于准直由点源产生的光。例如,透镜102可以用于准直由光源101产生的光。替代性地,诸如球面镜和/或抛物面镜的反射镜可以用于准直由点源产生的光。例如,代替使用透镜102,可以在光源101的后方放置反射镜(未示出),以便以基本上平行的方式朝向发射方向反射光线。

[0038] 如图1所示,准直的光可以朝向光束操纵/扫描装置103被引导,这可能引起入射光的偏差。根据各种实施例,光束操纵/扫描装置103可以操纵激光扫描传感器系统110周围的环境。例如,光束操纵装置103可以包括各种光学元件,诸如棱镜、反射镜、光栅、光学相控阵(例如液晶控制的光栅)或它们的任何组合。而且,这些不同的光学元件中的每个光学元件均可以绕基本上共同的轴线109(在下文中称为公共轴线,而没有不适当的限制)旋转,以便操纵光朝向不同的方向。即,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以相同或略微不同。例如,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以在0.01度、0.1度、1度、2度、5度或更多的范围内。

[0039] 使用如图1所示的单置式控制方案,一旦出射光束111碰到对象104,光的背向反射部分以完全相反的方向朝向LIDAR传感器系统110返回,并且最终可以由探测器105的接收装置收集。因此,使用单置式控制方案,LIDAR传感器系统100具有下述优点:传输(或出射)视场(FOV)(或视场角)总是与接收FOV(或视场角)对准。因此,即使在距离LIDAR传感器系统

110的近距离处,LIDAR传感器系统110也几乎不具有盲区。

[0040] 根据各种实施例,可以使用不同的机制来实现单置式系统。例如,分束器108可以布置在光源101(连同透镜102)与光束操纵/扫描装置103之间。替代性地,如图6所示,可以使用不同的共同对准方法来配置LIDAR传感器系统。

[0041] 如图1所示,准直的光可以穿过分束器108并照射在光束操纵/扫描装置103上。随后,可以控制光束操纵/扫描装置103以操纵光朝向不同的方向,诸如方向111和111'。此外,分束器108可以被配置为将到达分束器108的返回光束朝向探测器105重新定向。例如,分束器108可以包括具有开口的反射镜。分束器108的开口可以允许来自光源101的准直的光通过(朝向光束操纵/扫描装置103),而分束器108的反射镜部分可以将返回光束112朝向接收透镜106反射,该接收透镜可以将返回的光束收集并聚焦在探测器105上。

[0042] 根据本发明的各种实施例,探测器105可以接收返回的光并将该光转换成电信号。例如,探测器105可以利用接收装置,诸如雪崩光电二极管(APD),它是高度敏感的半导体电子装置。APD可以通过利用光电流效应将光转换为电。

[0043] 根据本发明的各种实施例,测量电路(诸如飞行时间(TOF)单元107)可以用于测量TOF以便检测到对象104的距离。例如,TOF单元107可以基于公式 $t=2D/c$ 来计算距TOF的距离,其中,D是传感器系统与对象之间的距离,c是光速,并且t是光从传感器系统到对象再回到传感器系统的往返旅程所花费的时间。因此,传感器系统110可以基于光源101产生光脉冲111和探测器105接收返回光束112之间的时间差来测量到对象104的距离。

[0044] 在各种实施例中,激光二极管可以在纳秒(ns)水平产生光发射。例如,光源101可以产生持续时间接近10ns的激光脉冲,并且探测器105可以检测达相似的持续时间的返回信号。此外,接收过程可以例如通过检测所测量的电脉冲的上升边缘来确定脉冲接收时间。这里,检测可以利用多阶段放大过程。因此,传感器系统110可以使用脉冲接收时间信息和脉冲发射信息来计算飞行时间信息以便确定距离。

[0045] 图2示出了根据本发明的各种实施例的使用Risley棱镜对的示例性LIDAR传感器系统的示意图。如图2所示,LIDAR传感器系统200可以使用Risley棱镜对,其可以包括两个棱镜211-212,以用于光操纵/扫描(即,在如图1所示的方案中用作光束扫描/操纵装置103)。例如,两个棱镜211-212可以以平行方式彼此相邻放置。在各种实施例中,棱镜211-212可以具有圆形横截面,并且棱镜211-212的中心轴线可以彼此重合或者以小角度重合。在各种实施例中,马达(和/或其他动力/控制单元)可以使棱镜211-212绕公共轴线209(例如中心轴线)旋转。即,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以相同或略微不同。例如,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以在0.01度、0.1度、1度、2度、5度或更多的范围内。

[0046] 在各种实施例中,两个棱镜的旋转频率、几何形状和取向可以不同,使得两个棱镜之间的相对角度可以随时间改变。因此,当激光束通过棱镜对211-212时,出射光束的方向可以相应地改变。

[0047] 使用单置式方案,一旦出射光束111碰到对象104,光的背向反射部分在相反方向上朝向LIDAR传感器系统110返回,并且最终可以由探测器105的接收装置收集。由于时间尺度差异(即,光速比棱镜的旋转速度快得多),所以在测量时间(或TOF)期间由棱镜的旋转引起的角度变化可以忽略不计。而且,使用单置式方案,LIDAR传感器系统100具有下述优点:

传输FOV总是与接收FOV对准。因此,即使在近距离处,LIDAR传感器系统100也几乎不具有盲区。

[0048] 根据本发明的各种实施例,探测器105可以接收返回的光并将该光转换成电信号。而且,测量电路诸如飞行时间(TOF)单元107可以用于测量TOF,以便检测到对象104的距离。因此,传感器系统110可以基于光源101产生光脉冲111和探测器105接收返回光束112之间的时间差来测量到对象104的距离。

[0049] 根据本发明的各种实施例,控制器208可以用于控制激光束的操纵。例如,控制器208可以控制每个棱镜211或212独立地绕旋转轴线209的相应旋转(例如,角位置和/或速度)。在一些情况下,每个棱镜可以由单独的控制器的控制。另外,LIDAR传感器系统200可以实时获得每个棱镜211或212的角位置,以便计算出射光束的精确方向。可以在棱镜211和212的旋转期间重复这样的过程,并且可以获得关于LIDAR传感器系统200的视场角的信息。

[0050] 图3示出了根据本发明的各种实施例的用于使用Risley棱镜对的示例性折射模型300。

[0051] 如图3(a)所示,光线301(具有单位矢量 $\vec{l}$ )可以传输通过具有折射率 $n_2$ 的第一介质到具有折射率 $n_1$ 的第二介质中。根据Snell定律,表示折射后的光线302的单位矢量 $\vec{v}$ 可以被表示为

$$[0052] \quad \vec{v} = r\vec{l} + (rc - \sqrt{1 - r^2(1 - c^2)})\vec{n}$$

[0053] 其中, $r = n_1/n_2$ ,  $c = -\vec{n} \cdot \vec{l}$ ,并且 $\vec{n}$ 表示用于分隔两种介质的平面的法线方向310的单位矢量。

[0054] 因此,由于折射率的差异(即,棱镜可以具有与空气不同的折射率),当光束穿过棱镜时,在各种空气-基质界面处可能发生折射。

[0055] 在如图3(b)所示的示例中,光束 $\vec{l}_1$  311可以以垂直角度从空气入射在第一表面处的第一棱镜上。由于光束 $\vec{l}_1$ 垂直于第一表面,因此不会发生折射(即,在第一棱镜中传输的光束 $\vec{l}_2$ 与入射光束 $\vec{l}_1$ 相同)。(在其他示例中,如果入射角不正常,则可能在第一表面处发生折射)

[0056] 此外,当光束 $\vec{l}_2$ 从第一棱镜射出时,可能在第二表面处发生折射,因为光束 $\vec{l}_2$ 和表面法线方向具有非垂直角度。假设第一棱镜的折射率是 $n$ ,则可以如下述公式中那样确定折射后的光束的单位矢量 $\vec{v}_2$ 。

$$[0057] \quad \vec{v}_2 = r\vec{l} + (rc - \sqrt{1 - r^2(1 - c^2)})\vec{n} = n \cdot \vec{l}_2 + (-n \cdot \vec{l}_2 \cdot \vec{n}_2 - \sqrt{1 - n^2(1 - (n \cdot \vec{l}_2 \cdot \vec{n}_2)^2)})\vec{n}_2$$

[0058] 此外,当光束 $\vec{v}_2$ 入射到第二棱镜中时,在第三表面(具有表面法向矢量 $\vec{n}_3$ )处发生折射。假设两个棱镜具有相同的折射率 $n$ ,可以基于折射定律计算折射后的光束 $\vec{v}_3$ 。



$$[0059] \quad \vec{v}_3 = \frac{1}{n} \cdot \vec{v}_2 + \left( -\frac{\vec{v}_2 \cdot \vec{n}_3}{n} - \sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \left( 1 - \left( \frac{\vec{v}_2 \cdot \vec{n}_3}{n} \right)^2 \right)} \right) \vec{n}_3$$

[0060] 然后,当光束 $\vec{v}_3$ 通过第四表面(具有表面法向矢量 $\vec{n}_4$ )时,可以如下述公式中那样计算出射光束。

$$[0061] \quad \vec{v}_4 = n \cdot \vec{v}_3 + (-n \cdot \vec{v}_3 \cdot \vec{n}_4 - \sqrt{1 - n^2(1 - (\vec{v}_3 \cdot \vec{n}_4)^2)}) \vec{n}_4$$

[0062] 因此,折射后的光311'的最终指向方向可以具有与原始入射方向311的偏差角。这里,可以使用下述公式来计算出射光束 $\vec{v}_4$ 和入射光束 $\vec{l}_1$ 之间的偏差角 $\theta$ 。

$$[0063] \quad \theta = \arccos\left(\frac{\vec{l}_1 \cdot \vec{v}_4}{|\vec{l}_1| |\vec{v}_4|}\right)$$

[0064] 如上式所示,可以基于四个棱镜表面的法向矢量 $\vec{n}_1$ 、 $\vec{n}_2$ 、 $\vec{n}_3$ 和 $\vec{n}_4$ 来确定角度 $\theta$ 的值。此外,如图3(c)所示,随着棱镜旋转,出射角311'相应地改变。

[0065] 返回参照图1,当出射光束111碰到对象104时,被反射或散射的光可以在大角度120上扩散,并且仅一小部分能量可以朝向传感器系统110被反射回来。例如,可以使用Lambertian散射模型(或其他相似的漫射模型)来描述背向反射,并且由探测器105接收到的反射能量(I)可以与接收器的直径(d)的平方成正比并且与距离(D)的平方成反比,即 $I \sim (d/D)^2$ 。因此,用于长距离测距的接收光的强度可以非常小。

[0066] 此外,为了提高用于检测远处对象的接收信号电平,需要更大的光学孔径,因为测量信号与接收器的直径d的平方成比例。因此,优选地是,可以在保持相对大的光学孔径大小的同时最小化系统形状因子。

[0067] 根据本发明的各种实施例,可以使用各种机制来驱动棱镜的旋转。例如,空心马达可以用于致动每个棱镜的旋转。因此,传感器系统可以使棱镜大小最大化以用于收集背向反射的光信号,并且由于来自这些棱镜的最小负载而实现高扫描速度。替代性地,通过齿轮或皮带的传动可以用于致动每个棱镜的旋转,这可以实现相似的效果。

[0068] 图4示出了根据本发明的各种实施例的LIDAR传感器系统400中的旋转棱镜的示例性图示。如图4(a)所示,Risley棱镜对可以包括多个棱镜411和412,多个棱镜中的每个棱镜分别嵌入空心马达413或414中。

[0069] 根据本发明的各种实施例,空心马达中的每个空心马达均可以要么是内转子马达,要么是外转子马达。例如,空心马达413和414均可以是内转子马达或外转子马达。替代性地,空心马达413和414可以是不同类型的,即,一个内转子马达和一个外转子马达。

[0070] 在如图4(a)所示的示例中,空心马达413和414均可以是内转子马达。空心马达413或414中的每个空心马达均可以包括定子,该定子经由轴承支撑件布置在转子外部。例如,棱镜411可以嵌入在空心马达413中,并且棱镜412可以嵌入在空心马达414中。因此,空心马达413可以致动棱镜411绕公共轴线209旋转,并且空心马达414可以独立地致动棱镜412绕公共轴线209旋转。

[0071] 另外,由于棱镜411和412的楔形(或者成角度的)形状,每个棱镜的旋转可能是不

稳定的,因为相对于旋转轴线的质量分布是不平衡的。如图4所示,可以在棱镜411和412(例如外侧夹环)上分别添加小质量415和416,以便平衡相对于旋转轴线的质量分布。因此,LIDAR传感器系统可以改进旋转棱镜的稳定性,并且还可以降低噪声并增加旋转棱镜的使用寿命。

[0072] 根据本发明的各种实施例,可以使用各种机制来获取每个棱镜的精确角度(或角位置)。每个棱镜的角度(或角位置)可以被限定在每个棱镜的旋转平面中,该旋转平面可以是与公共旋转轴线209垂直的平面。例如,LIDAR传感器系统可以使用霍尔传感器、光学编码器和其他相似的传感器来精确地测量每个棱镜的角度(或角位置),以实现高指向准确度。

[0073] 如图4(b)所示,可以通过棱镜的折射率和倾斜角来实现出射光束401以及返回光束402的偏差角。因此,假设材料的折射率相同,则该倾斜角越大,扫描角(或FOV)可以越大。

[0074] 另一方面,可以使用具有大折射率的材料来制造棱镜,以便实现LIDAR传感器系统的大视场角。例如,可以使用聚碳酸酯,一种具有折射率( $n=1.567@900\text{nm}$ )的塑料材料。替代性地,可以使用具有更高折射率( $n\sim 1.8$ )的玻璃。例如,使用具有两个相同旋转棱镜的Risley棱镜对的示例,当每个旋转棱镜具有17度(或23度)的倾斜角时,用于这种LIDAR传感器系统的FOV可以是大约 $\pm 20^\circ$ (或 $\pm 30^\circ$ )。另外,可以使用其他材料,诸如液体填充的棱镜,其可以具有甚至更高的折射率。替代性地,可以使用各种衍射或反射光学装置(诸如透射光栅、反射光栅和反射镜等)来代替棱镜,只要这种装置能够以相似的方式转移光束即可。

[0075] 图5示出了根据本发明的各种实施例的使用分束器的示例性LIDAR传感器系统的配置。如图5所示,LIDAR传感器系统500可以利用Risley棱镜对,其包括一对棱镜511和512。此外,每个棱镜511和512中的每个棱镜均可以分别嵌入在空心马达513和514中,并且每个棱镜均可以绕公共轴线(未示出)独立地旋转。

[0076] 使用单置式方案,传输光学器件和接收光学器件可以沿着相同的光路对准。例如,光源501可以产生可以被准直的激光束。另外,分束器503可以被配置为允许准直的光朝向一对棱镜511和512通过以进行光操纵。而且,分束器503可以被配置为将返回光束朝向接收单元502重新定向,该接收单元可以包括探测器和用于收集返回光的一个或多个透镜。因此,单置式配置可以为具有有限形状因子(或大小)的LIDAR传感器系统提供大的光学孔径。此外,使用单置式配置,LIDAR传感器系统可以收集足够的光信号以确保良好的信噪比,这对小形状因子LIDAR传感器系统很重要。

[0077] 根据本发明的各种实施例,Risley棱镜具有各种优点,诸如紧凑性、对振动的相对不敏感性、高扫描速度和低惯性矩。此外,Risley棱镜对中的每个单独的棱镜均可以配置有独立的旋转轴线。如图5所示,LIDAR传感器系统具有长度(L)、宽度(W)和高度(H)的尺寸(或形状因子)。此外,可以被估计为具有直径d的圆的光学孔径区域占据横截面的大部分( $L\times W$ )。因此,LIDAR传感器系统可以具有大的形状因子效率,其可以被定义为光学孔径大小与LIDAR系统形状因子的比率。

[0078] 图6示出了根据本发明的各种实施例的替代性示例性LIDAR感测方案600。如图6所示,传感器系统610可以用于在传感器系统610的视场角内检测传感器系统610与对象604之间的距离。例如,传感器系统610可以是LIDAR传感器系统,其可以基于测量光在传感器系统610与对象604之间行进的时间(即,飞行时间(TOF))来检测传感器系统610与对象604之间的距离。

[0079] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统可以基于单置式方案,在这种情况下,出射光束611和返回光束612可以共享光路的至少一部分(即,在共轴或同轴系统中)。

[0080] 如图6所示,传感器系统610可以包括光源601,该光源可以产生激光束,诸如单个激光脉冲或一系列激光脉冲。另外,可以可选地对所产生的激光束进行准直(例如,使用透镜602)。光源601(包括准直透镜602)可以布置在探测器605与光束操纵/扫描装置603之间。

[0081] 如图6所示,准直的光可以朝向光束操纵/扫描装置603被引导。随后,光束操纵/扫描装置603可以操纵光到不同的方向,例如,方向611和611'。

[0082] 根据各种实施例,可以使用各种类型的光学元件来操纵激光以扫描传感器系统周围的环境。例如,光束操纵/扫描装置603可以包括各种光学元件,诸如棱镜、反射镜、光栅、光学相控阵或它们的任何组合。而且,这些不同的光学元件中的每个光学元件均可以绕基本上共同的轴线(下文中称为公共轴线而没有不适当的限制)旋转,以便操纵光朝向不同的方向。即,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以相同或略微不同。例如,不同的光学元件的旋转轴线之间的角度可以在0.01度、0.1度、1度、2度、5度或更多的范围内。

[0083] 在一个示例中,光束操纵/扫描装置603可以是Risley棱镜对,其包括两个棱镜(每个棱镜具有与空气不同的折射率)。光束可以在不同的空气-基底界面处折射。当一对棱镜绕公共轴线(未示出)旋转时,最终指向方向611或611'与原始入射方向之间的偏差角可以变化。这种变化的偏差可以用于通过旋转棱镜来扫描传感器系统周围的环境。

[0084] 如图6所示,使用单置式方案,一旦出射光束611碰到对象604,返回光束(即,光的背向反射部分)以相反方向朝向传感器系统610返回,并且可以由探测器605收集。另外,接收透镜606可以用于收集返回的光并将返回的光聚焦到探测器605。由于探测器605布置成面向光束操纵/扫描装置603,光从该方向返回,因此不需要附加的光学装置,诸如图1所示的分束器。

[0085] 根据各种实施例,可以使用不同的配置来布置接收透镜606,该接收透镜可以收集返回的光束并将该返回的光束朝向探测器605聚焦。例如,如图6所示,接收透镜606可以布置在光源601与探测器605之间。替代性地,接收透镜606可以布置在透镜602的旁边或前面。

[0086] 替代性地,代替将光源直接布置在孔径中,具有反射镜的发射结构可以定位在探测器605与光束操纵/扫描装置603之间。此外,传感器系统610可以优化光源或发射结构的大小,以便阻挡较少的返回光束。

[0087] 根据本发明的各种实施例,探测器605可以接收返回的光并将该光转换成电信号。例如,探测器605可以利用接收装置,诸如雪崩光电二极管(APD)。APD是高灵敏度的半导体电子装置,其可以利用光电流效应将光转换为电信号。

[0088] 根据本发明的各种实施例,测量电路(诸如飞行时间(TOF)单元607)可以用于测量到对象604的距离。例如,TOF单元607可以基于光在传感器系统与对象之间行进的时间来计算TOF。因此,传感器系统可以测量对象604的距离。

[0089] 图7示出了根据本发明的各种实施例的替代性LIDAR传感器系统的示例性图示。如图7(a)所示,LIDAR传感器系统700可以利用一对棱镜711和712(例如Risley棱镜对),一对棱镜中的每个棱镜可以分别嵌入在空心马达713或714中。此外,每个棱镜711或712均可以绕公共轴线(未示出)独立地旋转。

[0090] 根据本发明的各种实施例,Risley棱镜具有各种优点,诸如紧凑性、对振动的相对

不敏感性和低惯性矩。此外,Risley棱镜对中的每个单独的棱镜可以配置有独立的旋转轴线。

[0091] 使用单置式方案,传输光学系统和接收光学系统可以沿着相同的光路对准。例如,发射结构720可以布置在接收透镜705与棱镜712之间。发射结构720可以包括反射镜,该反射镜可以安装或集成在发射结构720的一端(例如,远端)上。此外,传感器系统710可以优化发射结构的大小,以便阻挡更少的返回光束。

[0092] 如图7(a)所示,布置在LIDAR传感器系统的一侧(例如,在发射结构720的另一端,诸如近端)的光源701可以产生被准直的激光束。反射镜702可以将准直的光朝向棱镜711和712反射,该棱镜711和712又操纵光朝向出射方向。然后,接收透镜705可以收集返回光束并将其朝向探测器706引导。

[0093] 在如图7所示的示例中,LIDAR传感器系统具有D和H的尺寸(或形状因子),并且光学孔径区域可以被估计为具有直径d的圆。光学孔径占据系统横截面的大部分。因此,LIDAR传感器系统可以具有大的形状因子效率,其可以被表示为光学孔径大小/LIDAR系统形状因子。

[0094] 如图7所示,LIDAR传感器系统可以使用几乎整个棱镜区域来收集背向反射的光信号。由于棱镜区域构成系统形状因子的很大一部分,因此可以在保持大光学孔径的同时最小化LIDAR传感器系统的形状因子。LIDAR传感器系统700可以通过利用大光学孔径来提高用于检测远处对象的信号电平。因此,可以实现轻量、小形状因子的LIDAR传感器系统。使用这种单置式配置,具有小形状因子的LIDAR传感器系统可以实现大的可用光学孔径并且可以收集足够的光信号以确保良好的信噪比,这对于检测周围环境中的对象而言是重要的。

[0095] 图8示出了根据本发明的各种实施例的具有不同发光配置的LIDAR传感器系统的示例性图示。如图8(a)所示,要么安装在发射结构720的一部分上、要么集成为发射结构的一部分的反射镜801可以将光源产生的光朝向发射方向反射。由于发射结构720定位在孔径内,所以发射结构720可能阻挡孔径区域的可以原本用于接收返回光束的一部分。

[0096] 如图8(a)所示,反射镜801可以定位在孔径的中心。相应地,发射结构720可以延伸到孔径的中心,这可能阻挡光学孔径中的实质区域。另一方面,如图8(b)所示,反射镜802可以定位成偏离中心,到反射光在出射方向上不碰到任何东西的程度。因此,发射结构721可以阻挡较小的孔径区域。

[0097] 图9示出了根据本发明的各种实施例的优化LIDAR传感器系统中的发光结构的示例性图示。如图9(a)所示,由于激光二极管的内部结构,激光束轮廓901可以具有矩形或椭圆形形状(即,具有长轴902和短轴903)。

[0098] 根据本发明的各种实施例,发射结构904可以被配置为可以利用激光束轮廓901的几何形状,以便阻挡用于接收系统的更少的光。

[0099] 如图9(b)所示,发射结构904可以被配置成矩形块形状。发射结构904的朝向返回光束912面向的矩形成形的表面可以被配置为具有与激光束轮廓901的短轴903匹配的宽度。此外,发射结构904可以被配置为具有与激光束轮廓901的长轴902匹配的尺寸。因此,发射结构904上的反射镜905可以朝向发射方向911反射激光束的完整轮廓。

[0100] 如图9(b)所示,光源(未示出)可以产生被准直的具有光束轮廓901的激光束910。准直的光910可以在被反射镜905朝向发射方向(即,出射光束911)反射之前传播通过发射

结构904。随后,返回光束912可以与出射光束911共享光路的至少一部分,并最终由接收单元920(其可以包括透镜和探测器)收集。由于发射结构的横截面与输出激光束轮廓紧密匹配,所以发射结构使出射光束最大化,同时最小化返回光束的不必要的阻挡。

[0101] 根据本发明的各种实施例,使用单置式方案,LIDAR传感器系统可以具有下述优点:在没有盲区的情况下更容易地对准光源和接收器。此外,单置式系统可以最小化整个系统形状因子,同时优化光学孔径以获得出色的信噪比。单置式系统可以具有大视场(FOV),可以为单对激光发射器和探测器实现高扫描速度和良好分辨率。因此,单置式系统可以具有良好的性能,同时具有低成本和小尺寸。另外,单置式系统允许动态可调节的指向能力并支持不同的扫描模式。

[0102] 根据本发明的各种实施例,可以单独地或共同地使用不同的方法来防止由各种类型的杂散光引起的光污染(诸如不期望的背向反射)。

[0103] 图10示出了根据本发明的各种实施例的防止示例性LIDAR传感器系统中的光污染的示意图。如图10所示,LIDAR传感器系统1000可以抑制各种类型的杂散光。

[0104] 光污染可能由各种类型的杂散光引起,诸如反射光和/或散射光。在如图5和图7所示的示例中,LIDAR透射光可能污染(或干扰)探测器接收返回光束。这种污染(或干扰)可能导致识别近距离回波的麻烦(即 $T=0$ 问题)。而且,由于所发射的光信号在传播路径(诸如沿着光路的玻璃盖、光学元件和侧壁)上的散射和反射,所以可以通过探测器1005收集一部分透射的激光。

[0105] 光污染(或干扰)的光强度可能相当高,这可能导致电路系统饱和(例如在高放大率情况下)。光污染(或干扰)可能导致放大器失效一段时间(例如,对于15m的范围,~100ns)。结果,LIDAR传感器系统可能无法紧密接近地检测周围环境中的对象。另外,光污染(或干扰)可能导致难以识别接收光的电信号的上升边缘,这在确定光脉冲接收时间(~10ns)时可能是麻烦的。另外,光污染可能随机地引起错误信号,这可能阻止检测真实光学信号并因此防止检测TOF。而且,可能存在电信号干扰(因为电磁波由于光源发射开口与探测器之间的紧密接近而易于出现干扰)。

[0106] 根据本发明的各种实施例,可以使用各种方法来抑制LIDAR传感器系统中的散射光和反射光,以便解决 $T=0$ 问题。

[0107] 例如,可以稍微倾斜LIDAR传感器系统中的各种光学元件以避免直接反射,激光沿着光路传输通过上述各种光学元件。如图10所示,棱镜1011可以配置有角度1021,并且棱镜1012可以配置有角度1022。因此,当棱镜1007和1008例如绕公共轴线1009旋转时,光脉冲1010的从各种反射表面反射回来的一部分例如光束1016、1018和1023可以避免碰到探测器1005。在各种实施例中,不同的棱镜1011和1012可以配置有相同的倾斜角。替代性地,不同的棱镜1011和1012可以配置有不同的倾斜角以实现相似的或更好的结果。

[0108] 而且,封闭窗口1013可以配置有角度1023,使得直接反射光1018可以直接避开探测器。

[0109] 此外,可以将抗反射涂层施加到LIDAR传感器系统中的各种光学元件的表面上,以减少直接反射和散射光。如图10所示,棱镜1011和1012的各种表面可以施加有涂层1008。而且,涂层1008可以施加在封闭壳体1015的发射窗口1013的两个表面上。

[0110] 另外,为了进一步减少污染(或干扰),可以使用以激光波长为中心的带通滤波器

来抑制带外光。如图11所示,可以施加多层涂层以形成具有窄通带的带通滤波器1100。在如图11(a)所示的示例中,第一层涂层1101可以仅允许具有相对长波长的光通过,并且第二层涂层1102可以仅允许具有相对短波长的光通过。总的来说,可以实现具有窄通带1110的带通滤波器。替代性地,在如图11(b)所示的示例中,第一层涂层1111可以允许具有相对宽波长带的光通过,第二层涂层1112可以允许以多个窄波长带的光通过。总的来说,可以实现具有窄通带1110的带通滤波器。还可以应用可选层1120以进一步修改窄通带1110。

[0111] 此外,其他光学装置诸如标准具或Fabry Perot干涉仪(FPI)可以施加在棱镜1011和1012的表面上(例如,与各种类型的涂层一起)。例如,FPI可以要么是独立的FPI,要么是固定的FPI。独立的FPI可以进行电控,使得峰值波长可以相应地变化,这有利于跟踪激光波长的变化并连续阻挡所有其他干扰。另一方面,固定FPI可以利用涂在表面上的薄膜。薄膜可以包括由间隔物隔开的两个高反射涂层。

[0112] 返回参考图10,可以使用不同的方法来减少散射光。例如,可以在光学部件的支撑结构或侧壁的内表面上施加氧化或深色涂料1007,以减少散射的杂散光。

[0113] 根据本发明的各种实施例,可以使用特定的光学结构或装置来进一步抑制杂散光。如图10所示,LIDAR传感器系统1000可以使用遮挡管1006,诸如黑化的薄激光束管,以延伸分束器1003上的激光通道开口(例如反射镜上的开口)。遮挡管1006可以延伸穿过激光通道开口以显著减少杂散光,这可能潜在地干扰探测器1005处的返回光束的接收。

[0114] 因此,LIDAR传感器系统1000可以将实际回波与散射或背向反射的传输光束分开并解决 $T=0$ 问题。

[0115] 另外,其他类型的污染(或干扰)诸如阳光可以在LIDAR传感器系统1000中存在。直射阳光或散射阳光可以进入探测器1005的接收器中,并导致接收器饱和或触发错误信号。例如,照射在目标对象的后方的壁或其他表面上的太阳可以朝向LIDAR传感器系统反射。反射的阳光可能比从对象反射回来的激光更强烈,这可能导致测量误差。

[0116] 根据本发明的各种实施例,可以单独地或共同地使用各种方法来防止阳光的污染(或干扰)。例如,光学隔离(例如,包围各种光学组件和探测器1005的壳体1015)可以用于减少由阳光引起的污染(或干扰)。另外,LIDAR传感器系统可以使用光学滤波器,其仅允许具有特定波长范围(例如激光波长 $\pm 10\text{nm}$ )的光通过(例如,如图11所示)。因此,光学滤波器允许返回光束通过,同时减少阳光的影响。

[0117] 另一种方法是增加激光功率。此外,LIDAR传感器系统可以使用非常小的瞬时视场(IFOV)或使用脉冲光输出,其可以增加瞬时功率,使得返回光束的强度可以与阳光的强度相当或比阳光的强度高。

[0118] 根据本发明的各种实施例,用于探测器1005的接收装置可以配置有与激光束轮廓(即发射和接收IFOV)匹配的轮廓,以用于抑制杂散光。例如,可以基于激光束轮廓(和对应的光学配置)例如使用公式 $I/f_1=L/f_2$ 来确定用于探测器1005的轮廓,其中 $I$ 表示接收装置的尺寸, $L$ 表示激光束的轮廓, $f_1$ 是透镜1004的焦距,并且 $f_2$ 是透镜1002的焦距。因此,可以抑制除返回光束之外的光信号。

[0119] 根据本发明的各种实施例,可以沿着返回光束的光路布置各种类型的光学装置诸如空间滤波装置和/或场光阑孔径装置,以抑制各种杂散光。例如,空间滤波和场光阑孔径可以用于抑制散射的阳光。此外,LIDAR传感器系统可以采用可以利用阳光检测动态调整

APD增益的电路。

[0120] 图12示出了根据本发明的各种实施例的示例性LIDAR系统中的空间滤波的示意图。如图12(a)所示,空间滤波装置1210可以布置在接收透镜106与探测器105之间。空间滤波装置1210可以包括具有开口1220的屏幕1210。为了抑制杂散光,开口1220可以布置在接收透镜106的焦点处。因此,只有从LIDAR传感器系统的视场角中的对象反射回来以“右”方向朝向接收透镜106行进的返回光束可以通过该开口,而其他随机方向上的散射光可以被阻挡。同样地,也可以阻挡散射的阳光。

[0121] 如图12(b)所示,空间过滤装置1210上的开口可以要么是小针孔1221(例如,呈圆形形状),要么是狭缝1222(例如,呈矩形形状)。例如,空间滤波器1210上的开口1220的形状可以被配置为匹配激光束轮廓。根据各种实施例,由于大多数半导体激光发射器(或二极管)的内部结构,激光束轮廓可以呈矩形或椭圆形形状。在针孔的情况下,圆形形状1221与激光束轮廓没有很好地匹配。因此,更多的杂散光可能穿过开口并到达接收装置。另一方面,当使用矩形形状的狭缝时,可以显著减少穿过开口的杂散光的量。因此,在如图12(b)所示的示例中,优选地将开口1220配置为矩形狭缝1222,或者与激光束轮廓匹配的其他合适的形状。

[0122] 图13示出了根据本发明的各种实施例的在示例性LIDAR传感器系统中使用用于提供空间滤波的替代性方法的示意图。

[0123] 如图13(a)所示,空间滤波装置1320和附加透镜1322可以布置在接收透镜106与探测器1305之间。透镜1322可以用于聚焦过滤后的光,该过滤后的光通过空间滤波装置1320到探测器的接收装置1305上。因此,探测器1305可以能够使用具有大体上更小的接收区域的接收装置1205。

[0124] 同样如图13(b)所示,空间滤波装置1330可以布置在接收透镜106与棱镜211和212之间。因此,空间滤波机制可以应用于阻挡出射光束和返回光束两者中的不期望的光,从而提高效率。

[0125] 图14示出了根据本发明的各种实施例的在示例性LIDAR传感器系统中使用场光阑孔径(FSA)的示意图。如图14所示,一系列场光阑孔径1411至1413可以放置在探测器105的前面,并且碰到这些结构的杂散光可以被反射回来。因此,可以减少对探测器105的干扰。

[0126] 图15示出了根据本发明的各种实施例的可以减少不期望的背向反射的LIDAR传感器系统的示例性配置。如图15所示,LIDAR传感器系统1500可以利用一对棱镜1511和1512,该一对棱镜中的每个棱镜可以分别嵌入在空心马达1513或1514中。此外,每个棱镜可以绕公共轴线1507独立地旋转,该公共轴线相对于光轴1506倾斜(以一角度),以减少发射光到探测器1505的接收装置中的直接反射。

[0127] 此外,光源1501可以产生可以使用一个或多个透镜1502准直的激光束。另外,分束器1503可以配置有遮挡管1515以允许准直的光通过并朝向一对棱镜1511和1512被引导以进行光操纵。另一方面,分束器1503可以将返回光束朝向接收单元重新定向,该接收单元可以包括探测器1505和用于收集返回光的一个或多个透镜1504。另外,各种光学部件可以封装在壳体1515中以确保光学隔离,这可以有益于减少探测器1505的光污染(或干扰)。

[0128] 图16示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统进行感测的流程图。如图16所示,在步骤1601中,LIDAR传感器系统可以产生准直的光。在步骤1602中,LIDAR

传感器系统可以将光朝向多个光学元件引导,每个光学元件可以独立地绕公共轴线旋转,其中多个光学元件用于将光脉冲全体地引导到传感器系统的视场角中的一个或多个对象。在步骤1603中,LIDAR传感器系统可以经由多个光学元件接收从视场角中的一个或多个对象反射回来的光的光子能量的至少一部分。此外,在步骤1604中,LIDAR传感器系统可以将所接收的光子能量转换为至少一个电信号。

[0129] 图17示出了根据本发明的各种实施例的控制LIDAR传感器系统的示例性图示。如图17所示(也如上面的各种示例性图示中所示),LIDAR传感器系统1710可以包括光源1701、扫描装置1702和接收装置1703。光源1701可以产生可以被准直的激光束,诸如单个激光脉冲或一系列激光脉冲。扫描装置1702可以操纵准直的光以用于检测周围环境中的对象。然后,可以将周围环境从视场角1730中的一个或多个对象反射回的光的一部分引导到接收装置1703(例如,探测器)。

[0130] 此外,控制器诸如LIDAR传感器系统控制器1720可以用于控制LIDAR传感器系统1710的操作。例如,激光脉冲触发器1711可以用于控制激光脉冲的产生。扫描仪1712可以用于控制扫描装置,测量单元1713可以用于处理所接收的信号并测量在视场角1730中到一个或多个对象1721-1723的距离。

[0131] 根据各种实施例,激光脉冲触发器1711可以用于控制光源1701以产生一系列光脉冲以用于扫描环境。可以以不同方式触发激光脉冲。例如,可以以特定时间间隔触发激光脉冲。例如,可以预先配置或预先确定时间间隔。替代性地,可以在飞行中动态地触发光脉冲(例如,通过首先感测指向方向然后确定是否激发脉冲)。

[0132] 根据各种实施例,扫描仪1712可以控制扫描装置1702以操纵光脉冲朝向不同方向,以便扫描LIDAR传感器系统1710的周围环境。例如,扫描装置1702可以是Risley棱镜对,其包括两个棱镜,每个棱镜均具有与空气不同的折射率。光脉冲可以在不同的空气-基质界面处被折射。因此,每个光脉冲的最终指向方向可以具有与原始入射角的偏差。当两个棱镜旋转时,该偏差可以用于扫描传感器系统周围的环境。

[0133] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统1710可以采用测量单元1713诸如TOF单元,以用于通过测量激光在检测到的对象与光源1701/接收装置1703之间行进所花费的时间来确定到视场角1730中的一个或多个对象1721-1723的距离。

[0134] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统1710可以基于扫描周围环境来获取点云1731。例如,点云中的每个点可以对应于出射信号(即,光脉冲)的传输以及从视场角1730中的对象1721、1722或1723反射回来的目标信号的接收。

[0135] 根据各种实施例,可以在坐标系内获取点云中的每个目标点。例如,LIDAR传感器系统可以基于每个所述光学元件的瞬时角位置确定在一时间点处的出射信号的角度。此外,LIDAR传感器系统可以基于传输出射信号和接收目标信号之间的TOF来确定与目标点相关联的距离。因此,可以基于每个所述光学元件的瞬时角位置和与目标点相关联的距离来确定坐标系中的每个目标点的坐标或空间位置。

[0136] 在各种实施例中,由于可能的复杂几何形状,可以针对每个对象1721、1722或1723检测多个目标点。因此,通过获取点云中的大量目标点,LIDAR传感器系统1710可以揭示有关周围环境的详细信息。

[0137] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统1710可以被配置为满足各种约束。例如,为了



满足为眼睛安全而规定的约束,LIDAR传感器系统1710可以被配置为调节瞬时激光脉冲能量强度和/或激光重复率,以用于控制特定时间段期间的能量的最大量。而且,LIDAR传感器系统1710可以产生具有不同宽度或能级的激光脉冲。

[0138] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统1710可以基于不同策略或扫描模式触发激光发射。例如,LIDAR传感器系统1710可以以粗扫描模式、精扫描模式或固定点扫描模式操作。

[0139] 在粗扫描模式中,LIDAR传感器系统1710可以通过激发更强大但更不频繁的激光脉冲来获取稀疏点云,以在远距离处并以高精度检测各个目标点。因此,该系统可以例如通过相应地随机化空间中的扫描方向来获得关于周围环境的大图。

[0140] 在精扫描模式中,LIDAR传感器系统1710可以通过更频繁地(即,以更高的激光发射率)激发激光脉冲来获取更多可以揭示关于场景的更详细信息的目标点。这里,每个脉冲均可以被配置为不太强大,以满足眼睛安全约束。

[0141] 另外,如果感兴趣的是周围环境中的特定角度或方向,则LIDAR传感器系统1710可以执行固定点扫描。例如,例如在原始扫描和/或精细扫描之后,在检测到过马路的人之后,周围环境中的特定方向可能变得有趣。LIDAR传感器系统可以旋转棱镜以操纵激光脉冲朝向特定方向,并在该特定方向上(和周围)激发一系列激光脉冲。在这种情况下,由于激光器被操纵用于扫描小区域,因此可以使用相对更多的激光脉冲来检测特定方向上的对象。激光能量可以足够高,以确保测量的准确性和范围。由于扫描较小的区域,可以使用相对更多的重复来获得具有更好噪声系数的平均信号。因此,即使激光重复率可能受到眼睛安全的限制,LIDAR传感器系统1710也可以实现比一般扫描更好的信噪比。

[0142] 图18示出了根据本发明的各种实施例的用于旋转Risley棱镜对的偏差模型的示例性图示。如图18(a)所示,对于单个棱镜,假设棱镜具有均匀的折射率,则一旦棱镜旋转360度,折射光束就可以扫描整个圆1810。当棱镜旋转时,激光束的瞬时偏差可以使用与矢量1801相关联的点1802来表示,该矢量的方向表示由棱镜的旋转引起的旋转平面中的偏离光束的角度,并且该矢量的幅度表示偏离角度。

[0143] 此外,两个棱镜可以沿着光路以平行的方式(或堆叠)布置。因此,可以使用最终点来表示由两个棱镜的旋转引起的偏离光束的最终指向方向,该最终点是通过将第一棱镜矢量和第二棱镜矢量相加在一起而获得的。根据Snell定律,第二矢量的长度可以相对于相对角度略微变化,但是矢量长度可以使用近轴近似(其适用于小角度)被视为常数。

[0144] 如图18(b)所示,当两个棱镜以相同的方式取向(即,第一棱镜矢量1811和第二棱镜矢量1812朝向相同的方向对齐)时,可以到达外圆1820上的点1813,其表示最大偏差。另一方面,点1823表示当两个棱镜不以相同的方式取向(即第一棱镜矢量1821和第二棱镜矢量1822在不同的方向上)时可以到达的偏差。因此,在当两个棱镜相同的情况下,LIDAR传感器系统可以使用某一矢量配置(即,适当地定向两个棱镜)到达外圆1820内的任何点。

[0145] 根据本发明的各种实施例,当一对棱镜旋转时,被操纵的光束可以绕旋转轴线行进。在如图2所示的示例中,控制器208可以用于控制每个单独棱镜的旋转。棱镜中的每个棱镜独立地旋转以共同地将光束操纵到可以由棱镜的瞬时位置和(进入的)光束的入射角确定的方向。因此,被操纵的光束可以用于扫描视场角内的周围环境。根据每个单独棱镜的相应旋转,使用近轴近似,最终光束角度的数学表达式可被表示为

$$[0146] \quad \vec{P} = \vec{A} + \vec{B}$$

[0147] 其中,  $\vec{A}$ 和 $\vec{B}$ 是由两个棱镜分别定义的两个矢量。

[0148] 因此,在笛卡尔坐标系中,最终的光束角度是

$$[0149] \quad A_x = A \cos(\omega_A t + \varphi_A)$$

$$[0150] \quad A_y = A \sin(\omega_A t + \varphi_A)$$

$$[0151] \quad B_x = B \cos(\omega_B t + \varphi_B)$$

$$[0152] \quad B_y = B \sin(\omega_B t + \varphi_B)$$

[0153] 其中,A和B是幅度(对于一对相同的棱镜而言,幅度可以是相同的), $\omega$ 是旋转角速度,并且 $\varphi$ 分别是每个棱镜的初始角度。

[0154] 根据各种实施例,取决于每个单独棱镜的相应旋转,诸如两个棱镜之间的相对旋转速度,可以以不同的模式执行扫描。图19示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统的不同扫描模式的示例性图示。通过控制两个棱镜的旋转,LIDAR传感器系统可以实现不同的扫描模式,其可以被表征为Lissajous图。

[0155] 如图19(a)所示,当两个角速度之间的差异较小时(即,当相对速度较小时),可以实现螺旋形扫描图案(即,光脉冲在整个视场角中扩散,这有利于扫描)。另一方面,如图19(b)所示,当差异很大时(或当两个棱镜在不同方向上旋转时),可以实现花形扫描图案(即,光脉冲朝向视场角的中心更密集,这有利于测距)。

[0156] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统可以动态地调整两个棱镜的角位置或速度以满足各种扫描需求。例如,动态控制方法可以用于实现不同的点云模式。

[0157] 使用如图3所示的示例,当两个棱镜以恒定的角速度旋转时,激光脉冲可以朝向中心更密集。在一些实施例中,当棱镜接近相反方向时(即,当该光束接近中心时),LIDAR传感器系统可以增加马达之间的角速度差,以便在不同的扫描区域中均匀地分布激光脉冲。

[0158] 根据各种实施例,可以动态地调整发射频率,以便实现对环境的均匀扫描。例如,在每个棱镜的偏差角恒定并且旋转速度恒定的情况下,发射频率可以被配置为与 $\sin(\varphi_1 - \varphi_2)$ 成比例,其中, $\varphi_1$ 和 $\varphi_2$ 是每个棱镜的相应瞬时角度,并且 $\varphi_1 - \varphi_2$ 是任何给定时间点处的角度差。例如,当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ 时,两个棱镜具有相同的取向。另一方面,当 $\varphi_1 - \varphi_2 = 180^\circ$ 时,两个棱镜具有相反的取向。

[0159] 因此,LIDAR传感器系统可以利用视场角在不同方向处实现相似或均匀的扫描速度,以便获得均匀扫描(或分布)的点云。图20示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统的均匀扫描图案的示例性图示。

[0160] 根据各种实施例,LIDAR系统可以动态地调整每个棱镜的角位置,以操纵激光束到特定的感兴趣区域(ROI)。使用这种方法,LIDAR系统可以通过准确地控制两个棱镜的角位置来实现定向光束扫描,使得LIDAR传感器系统可以精确地将激光束指向特定方向以测量该角度处的对象的距离。而且,LIDAR系统可以通过控制两个棱镜角位置来实现对象跟踪,使得LIDAR传感器系统可以跟踪某一移动对象(例如,使用反馈控制回路)。

[0161] 图21示出了根据本发明的各种实施例的控制LIDAR传感器系统的光束操纵的示例性图示。如图21所示,与偏差矢量 $\vec{I}$  2101相关联的点2113表示期望的方位角 $\alpha$  2102。因此,

LIDAR传感器系统2100可以将两个棱镜旋转到可以分别使光束偏离成 $\vec{P}_1$  2111和 $\vec{P}_2$  2112的角位置。因此,可以基于 $\vec{l}$ 的幅度以及 $\vec{P}_1$  2111的幅度和 $\vec{P}_2$  2112的幅度来获得角度 $\beta$ 2103,并且两个棱镜的角度(或取向)可以分别被确定为 $\alpha+\beta$ 和 $\alpha-\beta$ 。

[0162] 随着 $\vec{l}$ 改变,即当期望的指向方向改变时(在幅度或角度或两者方面),可以根据所计算的 $\beta$ 重新配置LIDAR传感器系统,以便针对该改变进行调整。而且,LIDAR传感器系统可以直接改变角度 $\alpha$ 以跟随方位角变化。例如,假设棱镜是相同的并且使用近轴近似(即 $\vec{P}_1$  2111和 $\vec{P}_2$  2112具有相同的幅度或 $P = |\vec{P}_1| = |\vec{P}_2|$ ),则角度 $\beta$ 2103可以被计算为

$$\beta = \arccos\left(\frac{|\vec{l}|}{2P}\right)$$

而且,可以交换两个棱镜的角度,并且最终的指向矢量 $\vec{l}$  2101将保持相同。

[0163] 根据各种实施例,可以使用各种方法来实现三维扫描。在各种实施例中,两个棱镜可以不相同。例如,一个棱镜可以比另一个棱镜具有更大的倾斜角。另外,可以用透射光栅来代替棱镜,以获得相同或相似的效果。而且,旋转棱镜可以与其他扫描方法组合。

[0164] 图22示出了根据本发明的各种实施例的替代性LIDAR传感器系统的示例性图示。如图22(a)所示,光源产生的光可以首先通过棱镜,该棱镜可以将光引导到扫描镜。然后,扫描镜可以重新定向光以检测周围环境。相似地,如图22(b)所示,由光源产生的光可以首先通过扫描镜,该扫描镜用于将光反射到棱镜,该棱镜又可以操纵光到不同的方向。

[0165] 对于以上示例,由于反射,LIDAR系统可以将光操纵到与原始发射方向基本上不同的出射方向。而且,在任一示例中,棱镜和反射镜均可以是可旋转的。因此,传感器系统可以调节并朝向环境中的不同方向操纵光。

[0166] 另外,如图22(c)所示,LIDAR传感器系统可以利用多个棱镜,多个棱镜中的每个棱镜均可以被单独控制以绕公共轴线独立地旋转。因此,LIDAR传感器系统可以在扫描周围环境时具有更多控制。

[0167] 根据各种实施例,即使LIDAR传感器系统的FOV可能受限(即,具有窄视场角),LIDAR传感器系统也可扫描周围环境中的大区域。

[0168] 根据各种实施例,LIDAR传感器系统可以与各种类型的传感器一起使用。例如,LIDAR传感器系统可以与惯性测量单元(IMU)/陀螺仪/GPS一起用于通过利用各种数据融合算法诸如扩展卡尔曼滤波器(EKF)算法来映射周围环境。此外,LIDAR传感器系统可以被四处移动,以用于改进对周围环境的检测。而且,LIDAR传感器系统可以通过获取更多的信息(例如,通过在一段时间内累积信息)来改进对周围环境的检测。

[0169] 图23示出了根据本发明的各种实施例的将LIDAR传感器系统安装在各种可移动平台上的示例性图示。

[0170] 如图23(a)所示,具有一个或多个旋转棱镜(例如,Risley棱镜或其他光学元件)的LIDAR传感器系统可以安装在安装平台(诸如可以引起平移移动的移动载具)上。例如,安装平台可以知道其自身的位置和移动。而且,安装平台可以知道每个棱镜或每个光学元件

的位置和定向(即角位置)。

[0171] 相似地,如图22(b)所示,具有一个或多个旋转棱镜的LIDAR传感器系统可以安装在旋转基部上。例如,安装平台可以知道其自身的位置和移动。而且,安装平台可以知道每个棱镜或光学元件的位置和取向(即,角位置)。

[0172] 因此,LIDAR传感器系统可以以平移或旋转方式扫描周围环境中的移动区域。

[0173] 图24示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统来执行三维扫描的示例性图示。如图24(a)所示,LIDAR传感器系统可以由双轴云台承载。同样如图24(b)所示,单轴云台可以用于携带LIDAR传感器系统。替代性地,可以使用其他类型的云台而没有限制。

[0174] 结合LIDAR传感器系统中的光学元件(诸如Risley棱镜)的旋转移动和由云台引起的旋转移动,如图24(a)或图24(b)所示的传感器系统可以用于将LIDAR传感器系统的FOV(或视场角)引导到三维空间中的随机方向。

[0175] 根据各种实施例,可以使用其他方法来获得大FOV(或视场角)。图25示出了根据本发明的各种实施例的组合多个LIDAR传感器系统的示例性图示。如图25所示,可以组合LIDAR传感器系统的多个单元,每个单元面向不同的方向以实现更大的组合FOV。而且,LIDAR传感器系统的多个单元可以布置在基部/载具的不同位置,以实现相同或相似的效果。另外,LIDAR传感器系统的多个单元可以布置成具有重叠的FOV,以在特定角度范围内提供更多的点密度。

[0176] 图26示出了根据本发明的各种实施例的使用LIDAR传感器系统进行扫描的流程图。如图26所示,在步骤2601中,LIDAR传感器系统可以。在步骤2602中,LIDAR传感器系统可以。在步骤2603中,LIDAR传感器系统可以控制每个所述光学元件的相应旋转,以将一系列光脉冲全体地引导到视场角中的不同方向。此外,在步骤2604中,LIDAR传感器系统可以获取多个目标点,其中基于接收到从视场角中的一个或多个对象反射回来的所述光脉冲的光子能量的至少一部分来检测每个目标点。

[0177] 可以在硬件、软件、固件或它们的组合中,使用硬件、软件、固件或它们的组合或者在硬件、软件、固件或它们的组合的帮助下执行本发明的许多特征。因此,可以使用处理系统(例如,包括一个或多个处理器)来实现本发明的特征。示例性处理器可以包括但不限于一个或多个通用微处理器(例如,单核或多核处理器)、专用集成电路、专用指令集处理器、图形处理单元、物理处理单元、数字信号处理单元、协处理器、网络处理单元、音频处理单元、加密处理单元等。

[0178] 可以在计算机程序产品中、使用计算机程序产品、在计算机程序产品的帮助下实现本发明的特征,该计算机程序产品是在其上/其中存储有指令的存储介质或计算机可读介质,该指令可以用于对处理系统进行编程以执行本文呈现的特征中的任何特征。存储介质可以包括但不限于任何类型的磁盘,包括软盘、光盘、DVD、CD-ROM、微驱动器和磁光盘、ROM、RAM、EPROM、EEPROM、DRAM、VRAM、闪存装置、磁卡或光卡、纳米系统(包括分子记忆IC)、或适用于存储指令和/或数据的任何类型的介质或装置。

[0179] 存储在机器可读介质中的任一个机器可读介质上,本发明的特征可以结合在软件和/或固件中,以用于控制处理系统的硬件,并使处理系统能够利用本发明的结果与其他机制交互。这样的软件或固件可以包括但不限于应用代码、设备驱动、操作系统和执行环境/

容器。

[0180] 还可以使用硬件部件诸如专用集成电路 (ASIC) 和现场可编程门阵列 (FPGA) 装置以硬件实现本发明的特征。实现硬件状态机以便执行本文描述的功能对于相关领域的技术人员来说将是明显的。

[0181] 另外,本发明可以使用一个或多个传统的通用或专用数字计算机、计算装置、机器或微处理器方便地实现,包括一个或多个处理器、存储器和/或根据本发明的教导编程的计算机可读存储介质。基于本发明的教导,熟练的程序员可以容易地准备适当的软件编码,这对于软件领域的技术人员来说是明显的。

[0182] 虽然以上已经描述了本发明的各种实施例,但是应当理解,它们是作为示例而非限制来呈现的。对于相关领域的技术人员来说明显的是,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以在形式和细节上进行各种改变。

[0183] 以上已经借助于示出特定功能及其关系的性能的功能构建块描述了本发明。为了便于描述,这些功能构建块的边界通常在本文中被任意定义。可以定义替代边界,只要适当地执行指定的功能及其关系即可。因此,任何这样的替代边界均在本发明的范围和精神内。

[0184] 已经出于说明和描述的目的提供了本发明的前述描述。其并非旨在穷举或将本发明限制于所公开的精确形式。本发明的广度和范围不应受上述示例性实施例中的任何示例性实施例的限制。许多修改和变化对于本领域的技术人员来说是明显的。修改和变化包括所公开特征的任何相关组合。选择和描述实施例是为了最好地解释本发明的原理及其实际应用,从而使得本领域其他技术人员能够理解本发明的各种实施例以及适合于预期的特定用途的各种修改。本发明的范围旨在由随附的权利要求及其等同物限定。

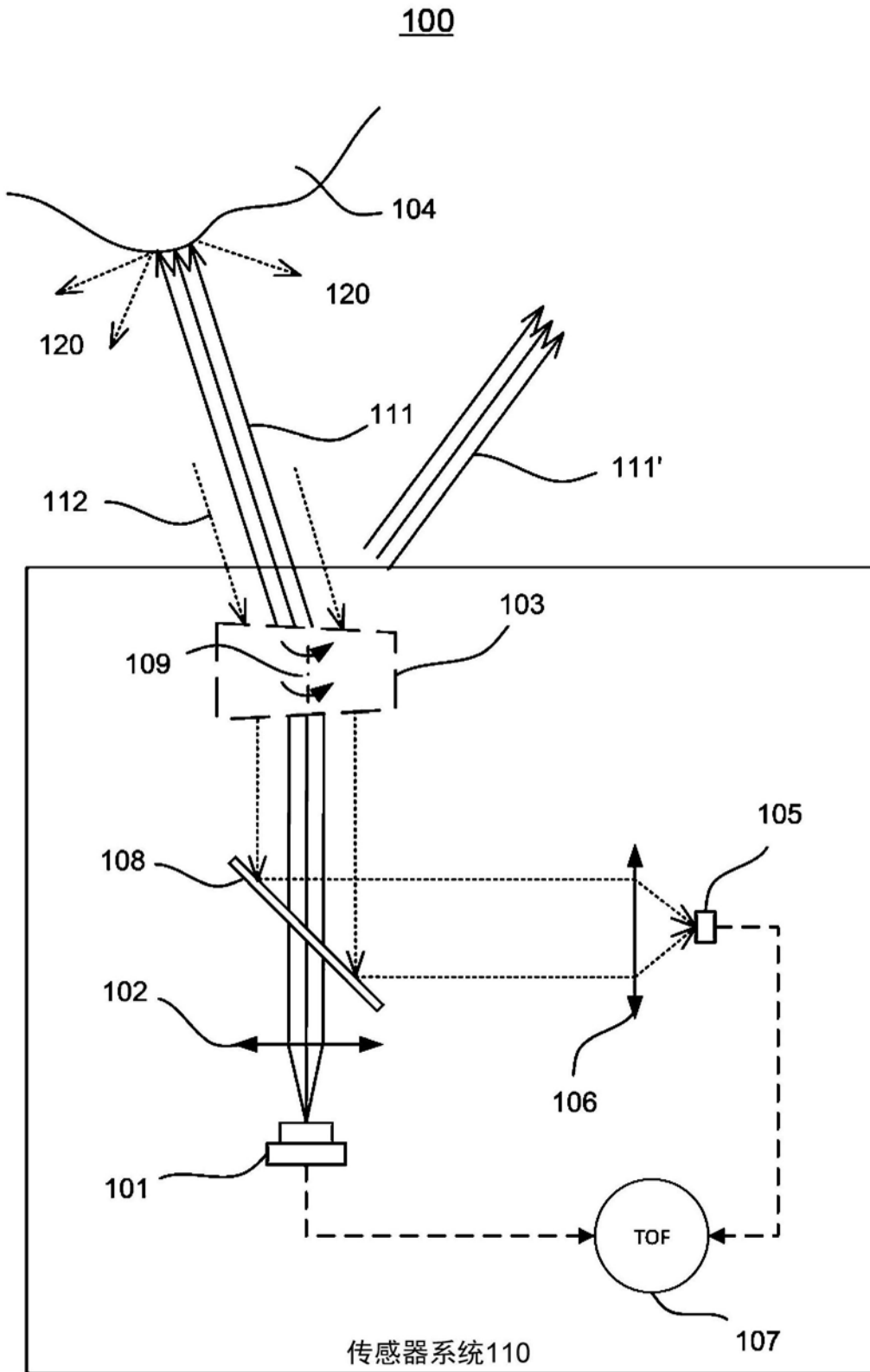


图1



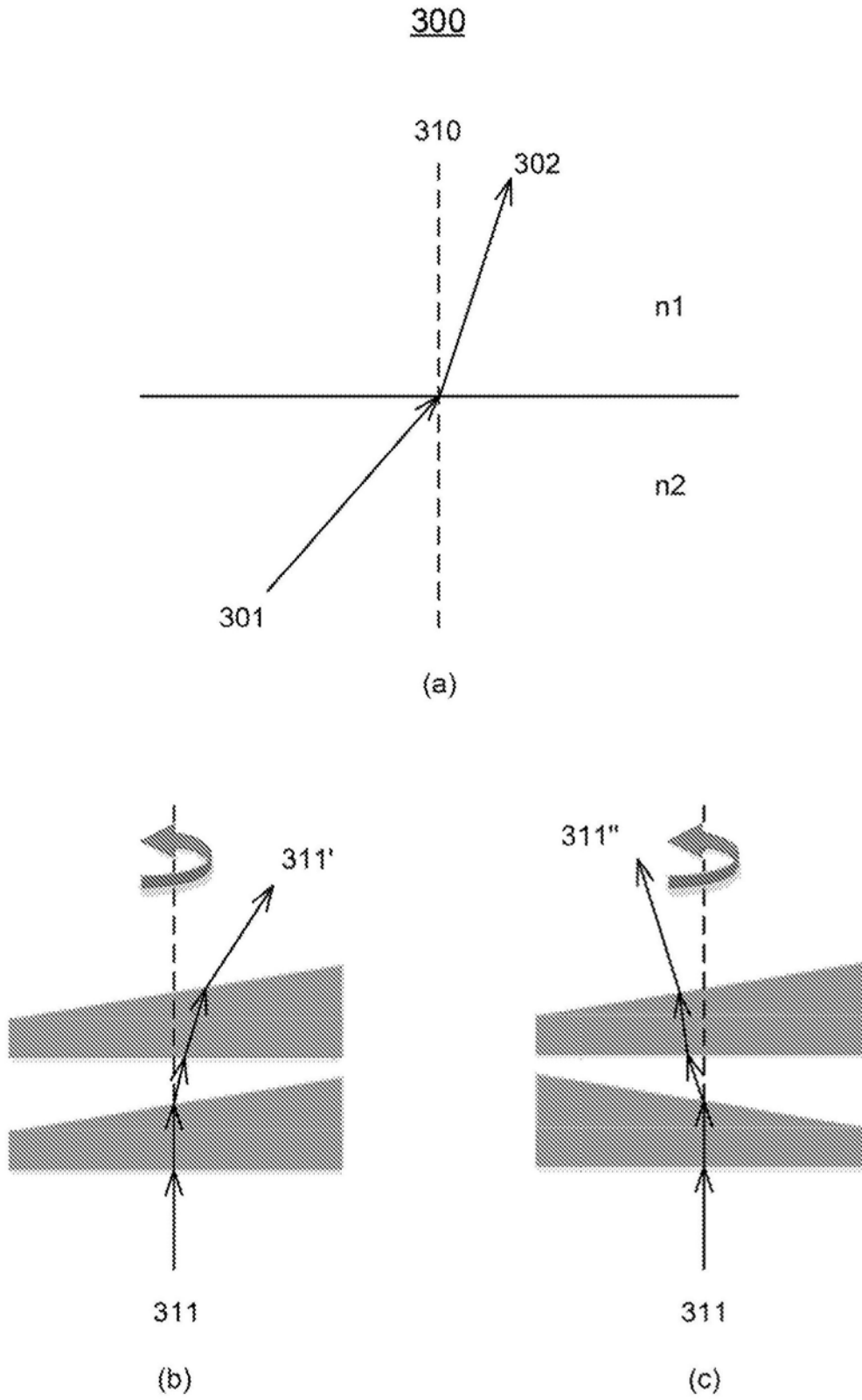


图3



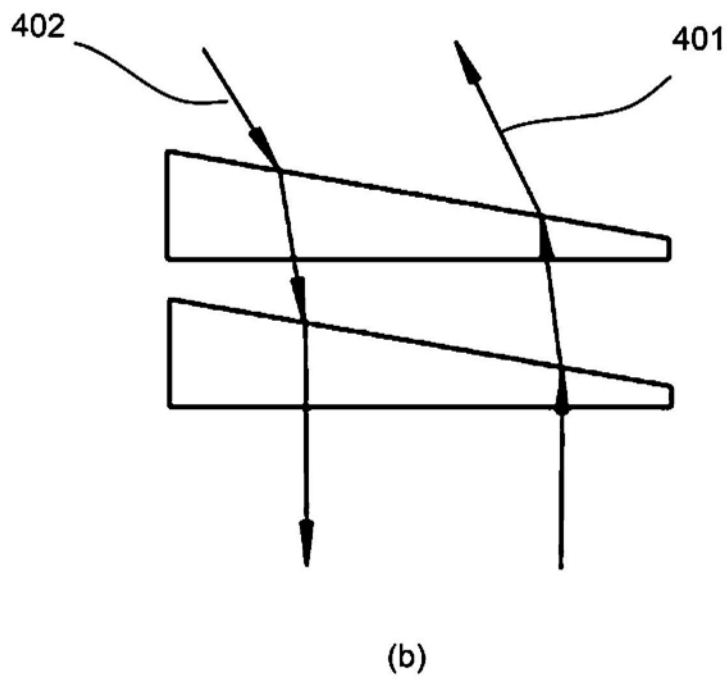
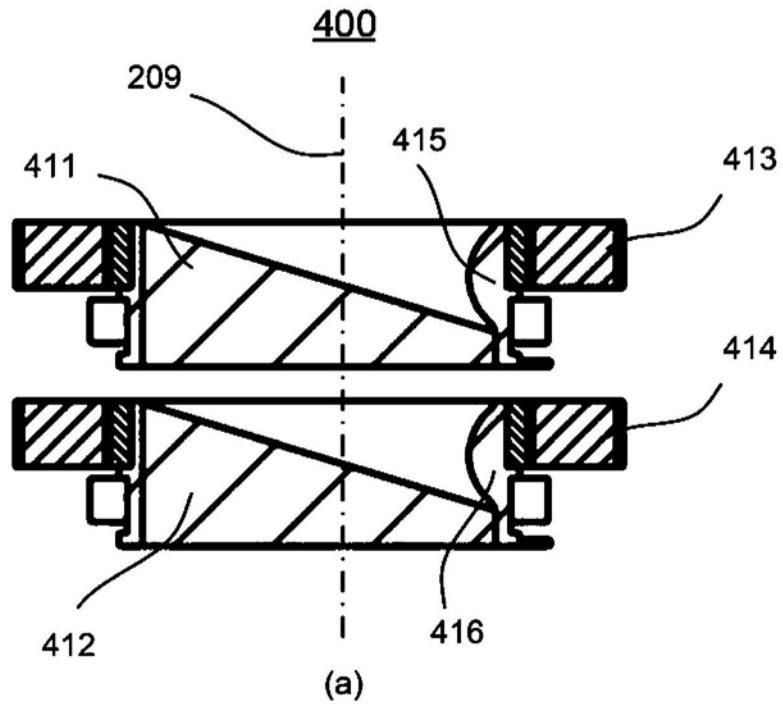


图4

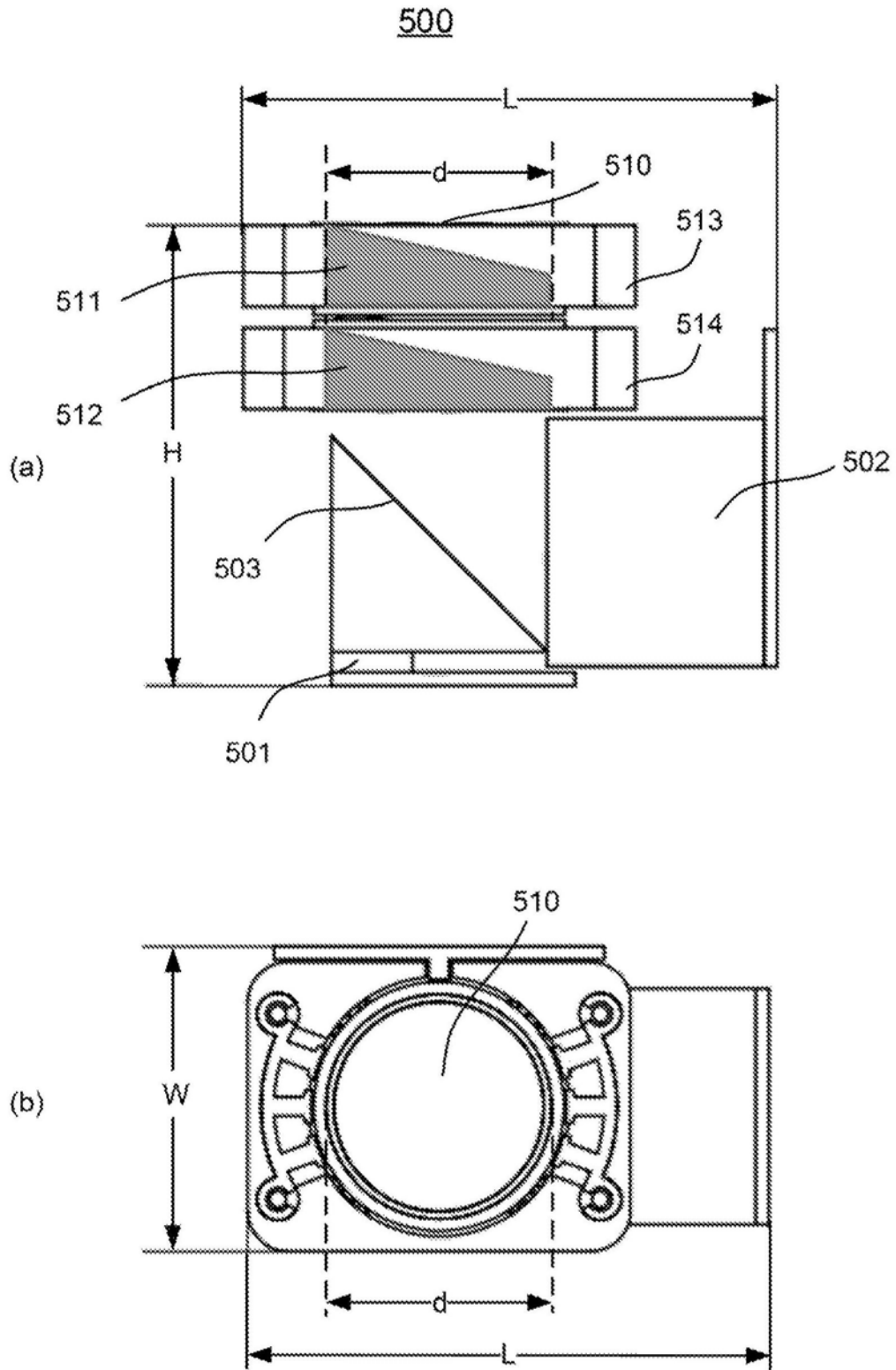


图5

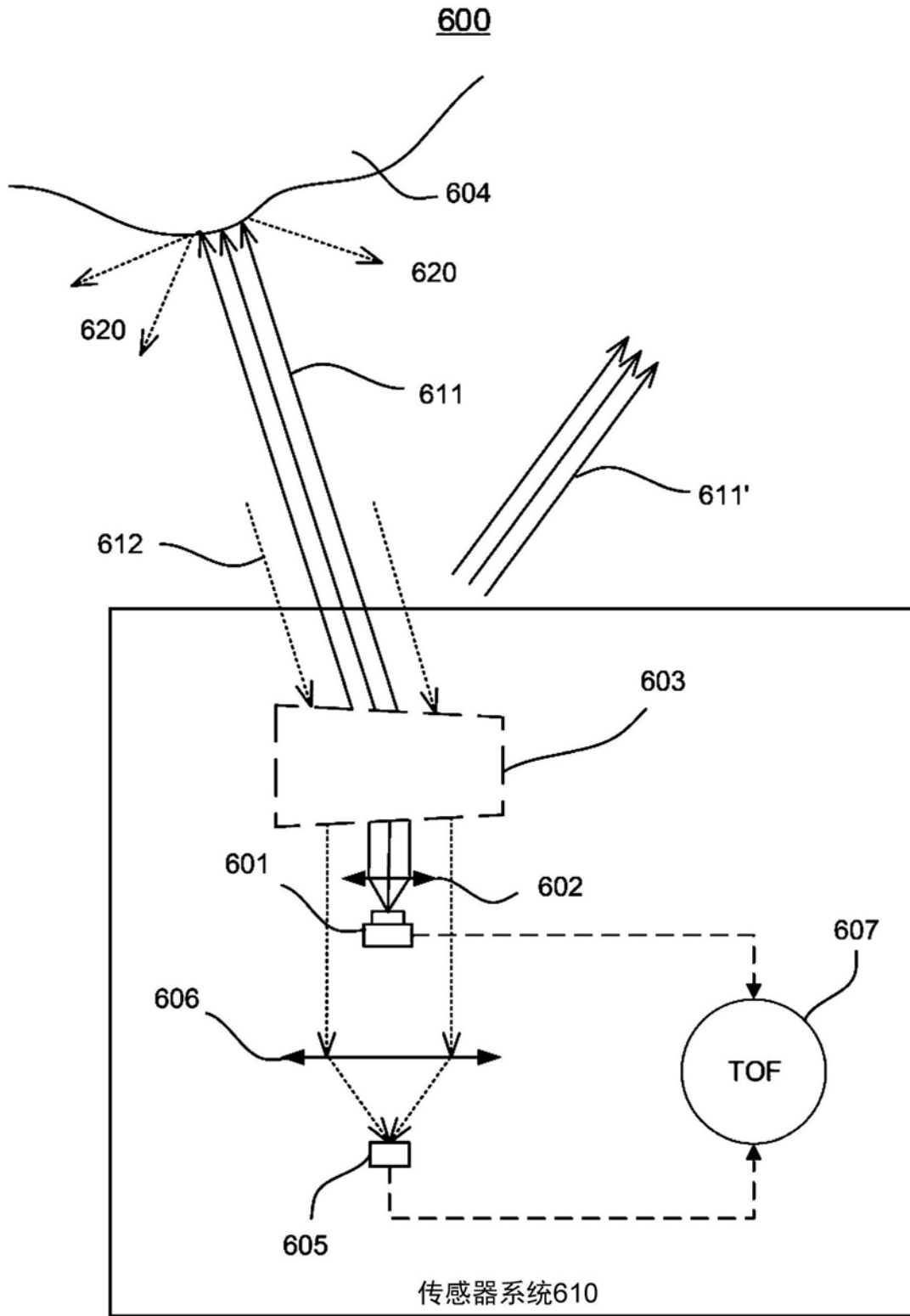


图6

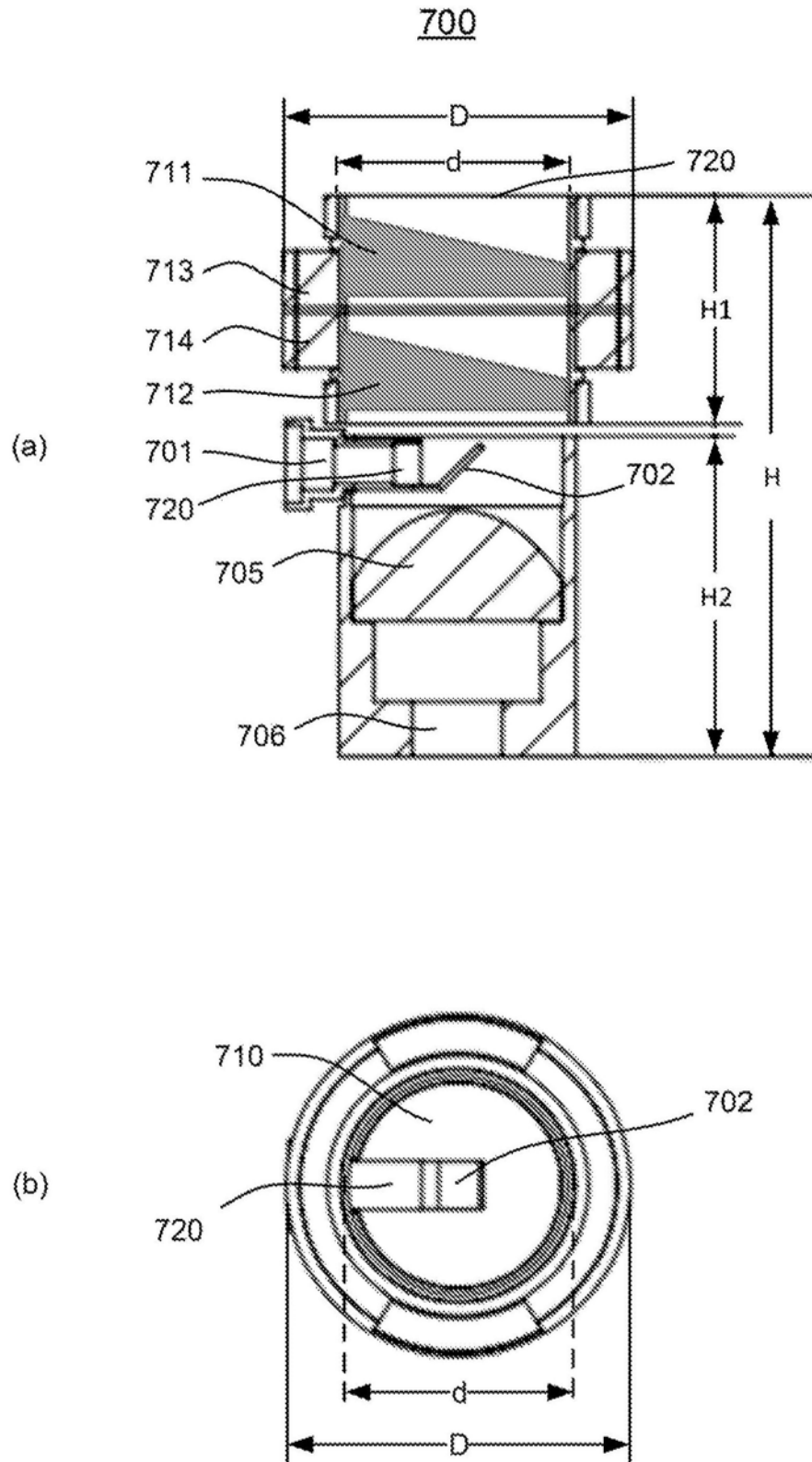


图7

800

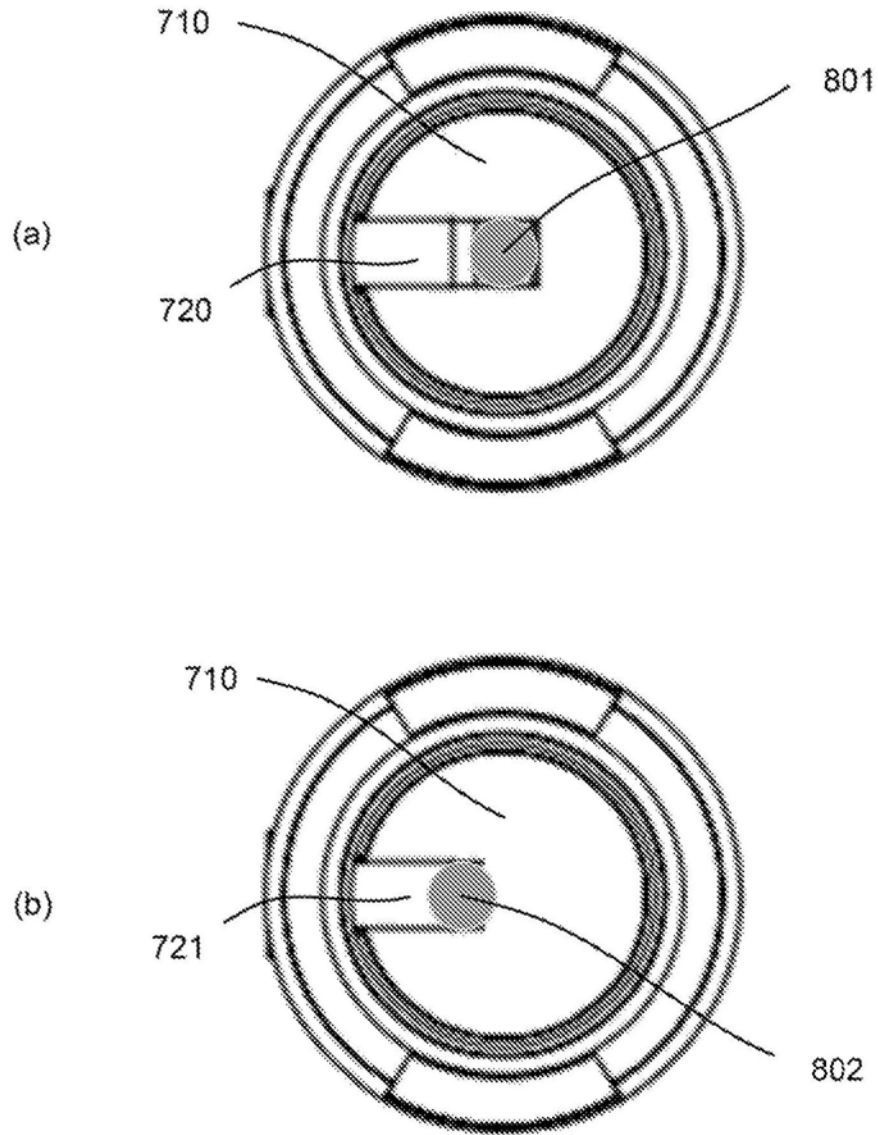


图8

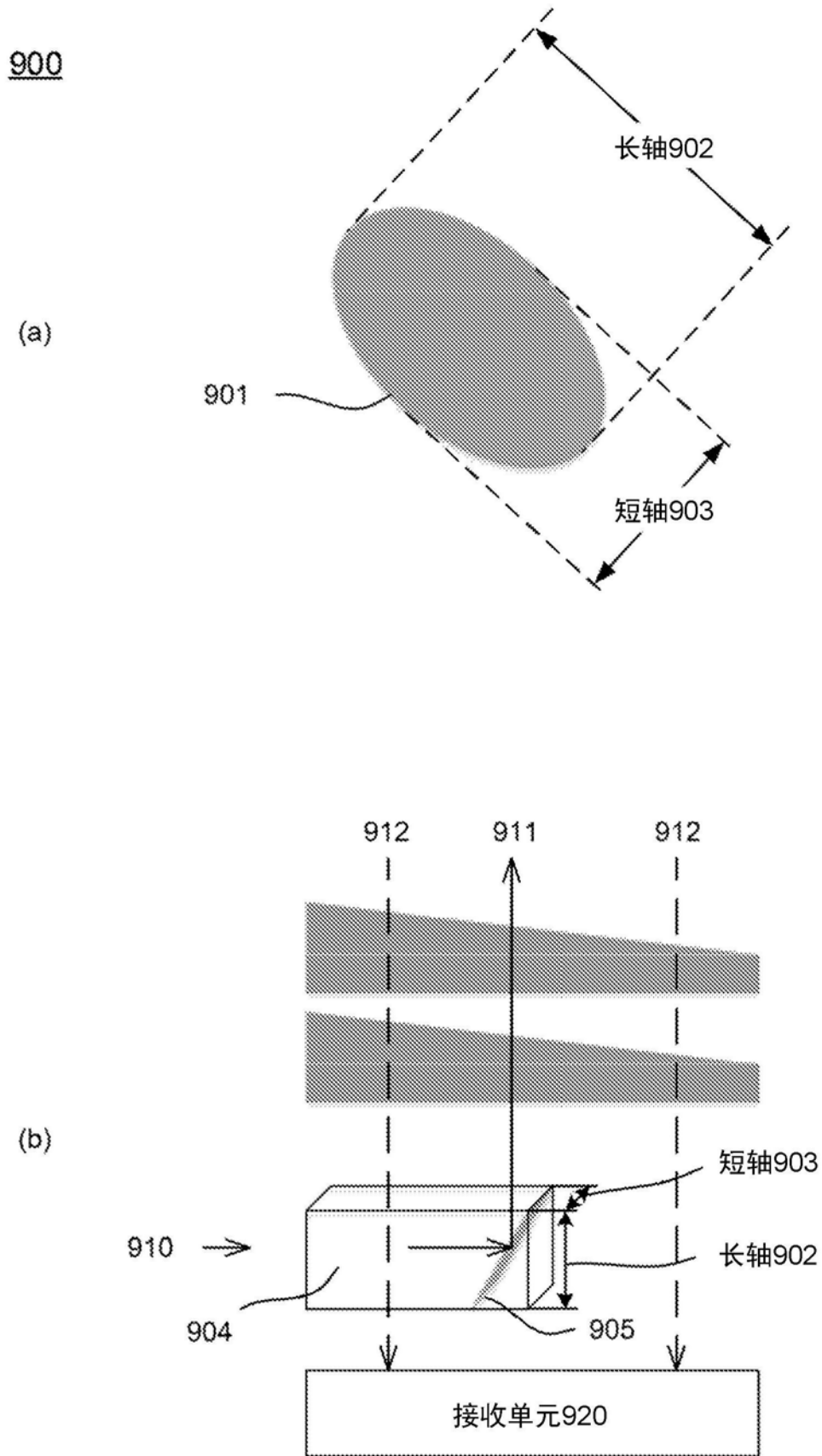


图9

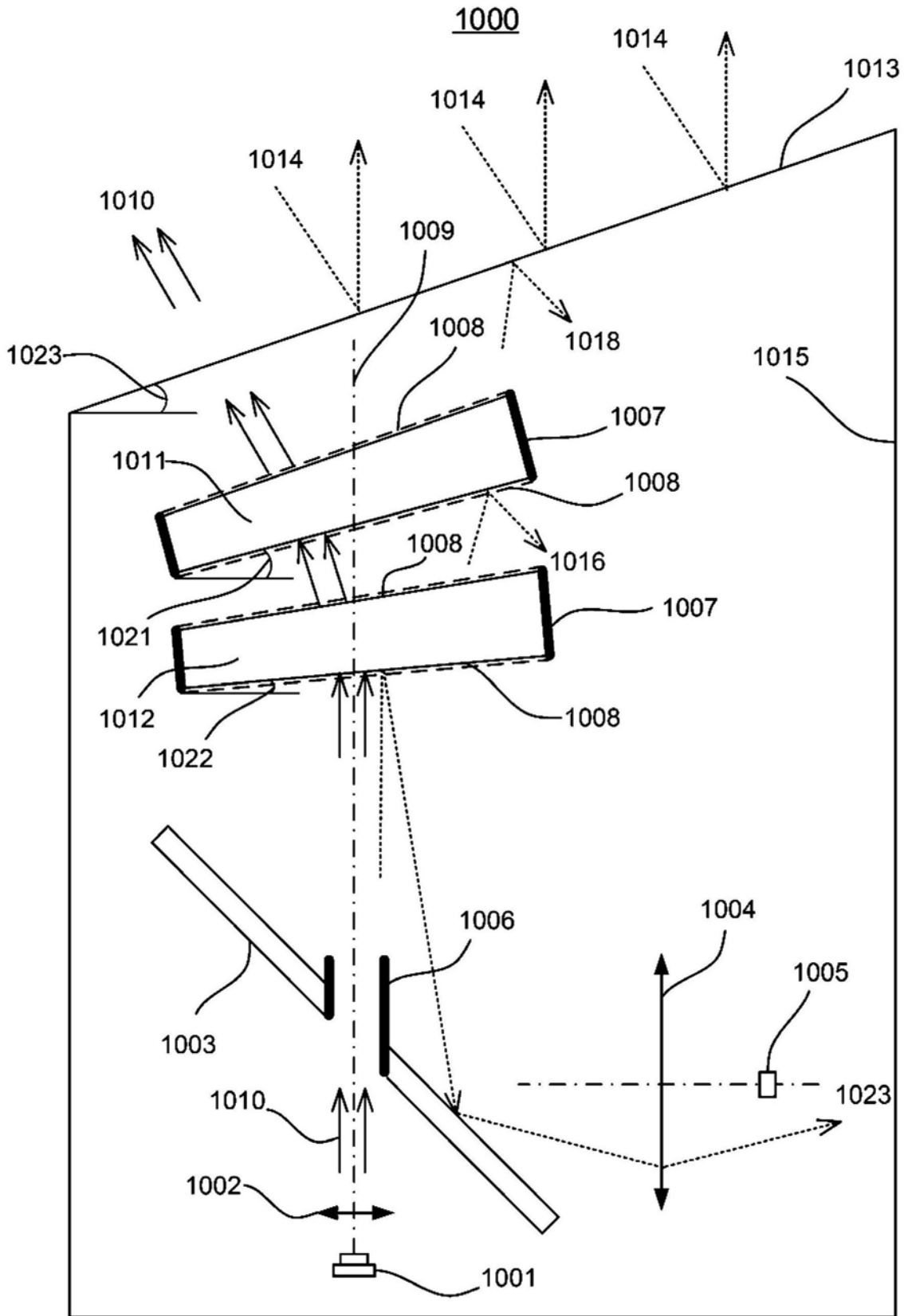


图10

**1100**

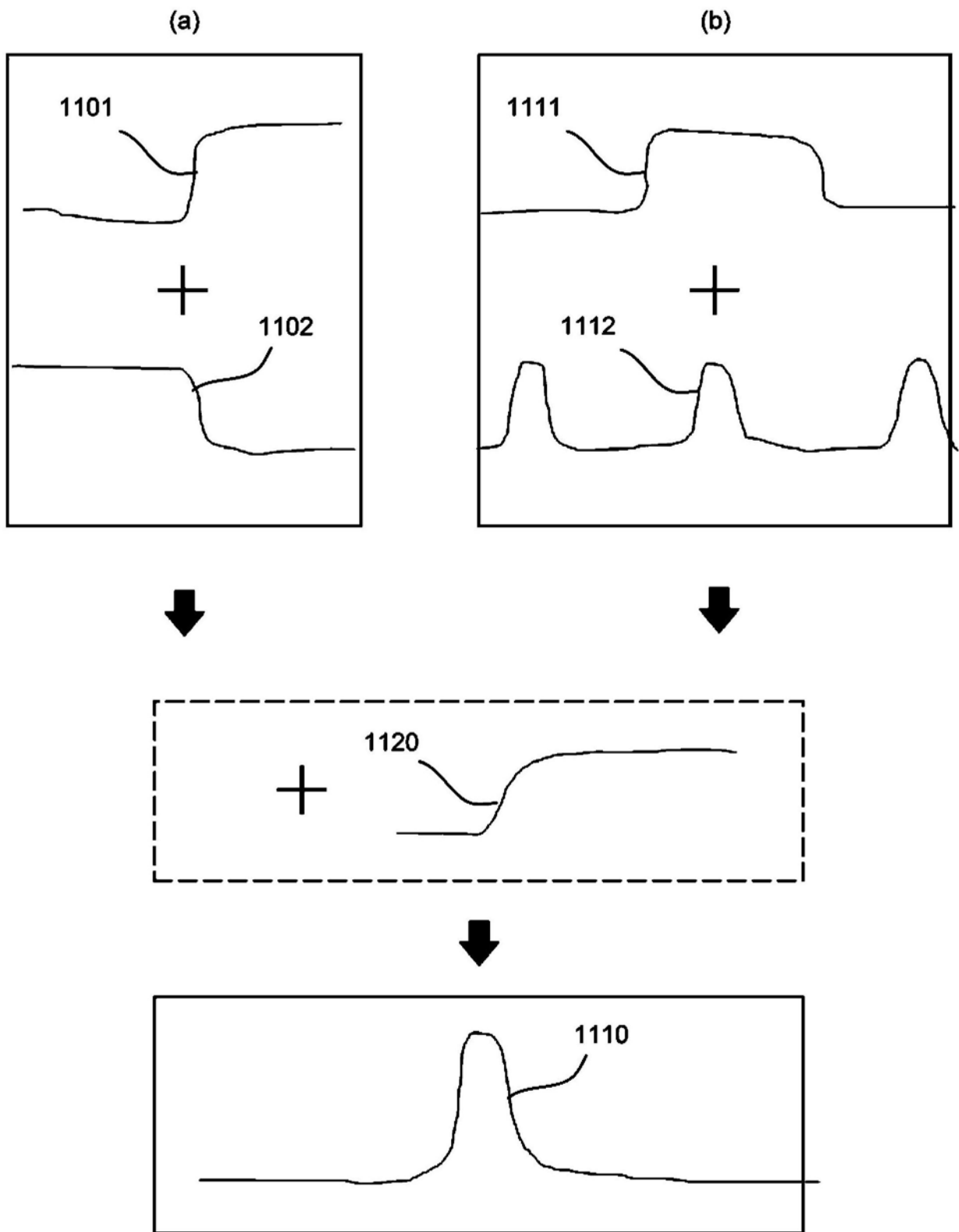


图11



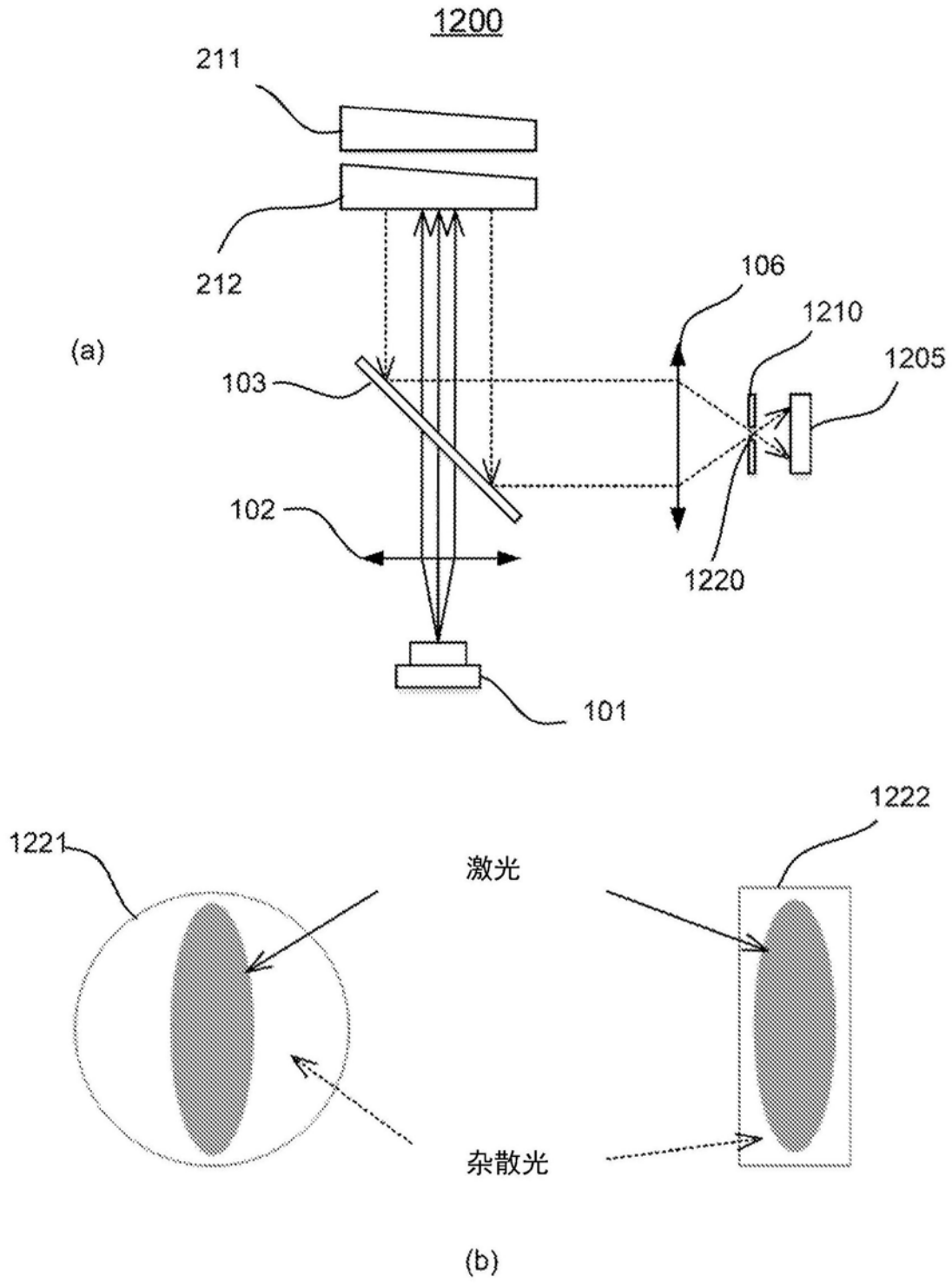


图12

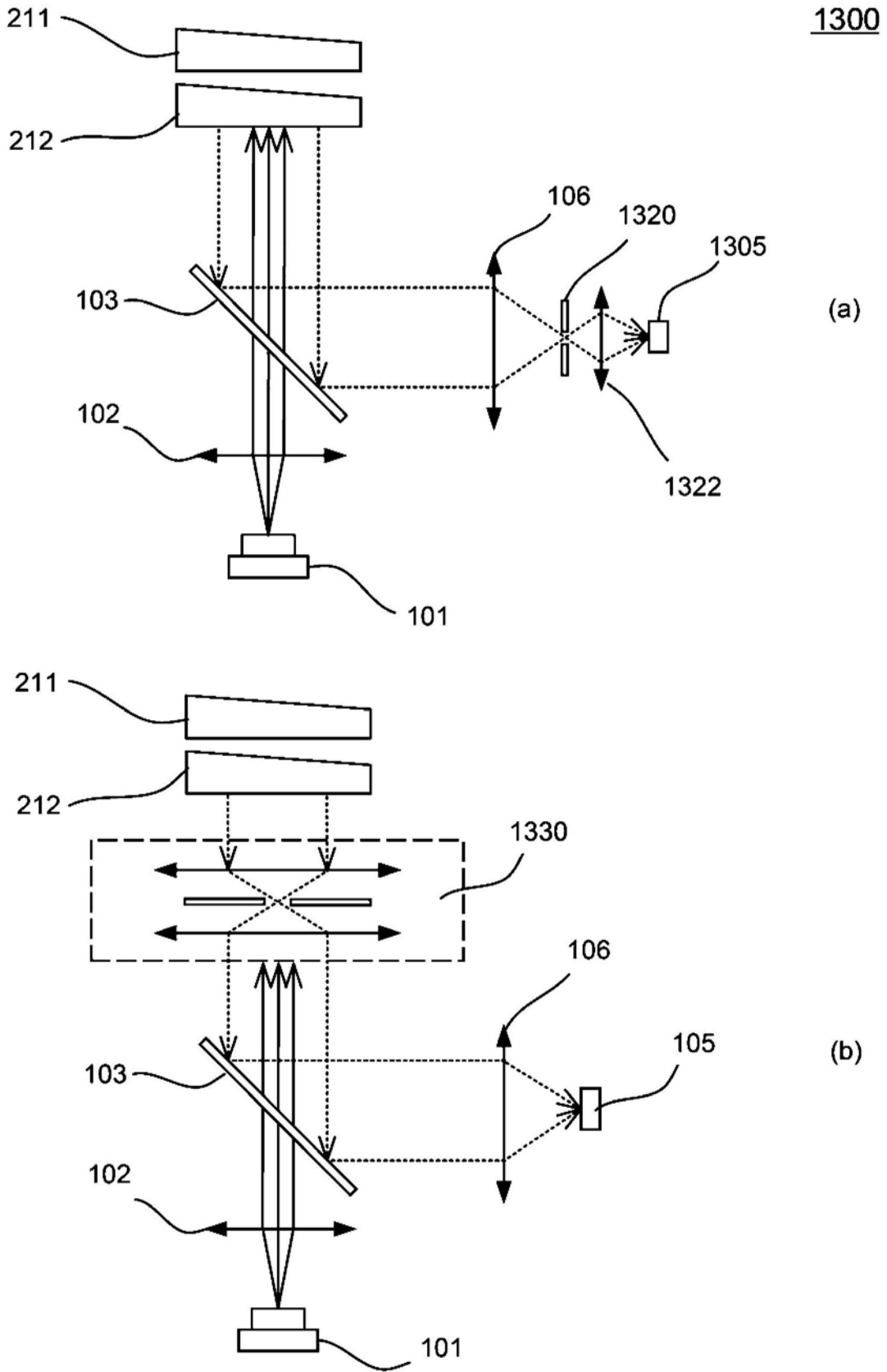


图13

1400

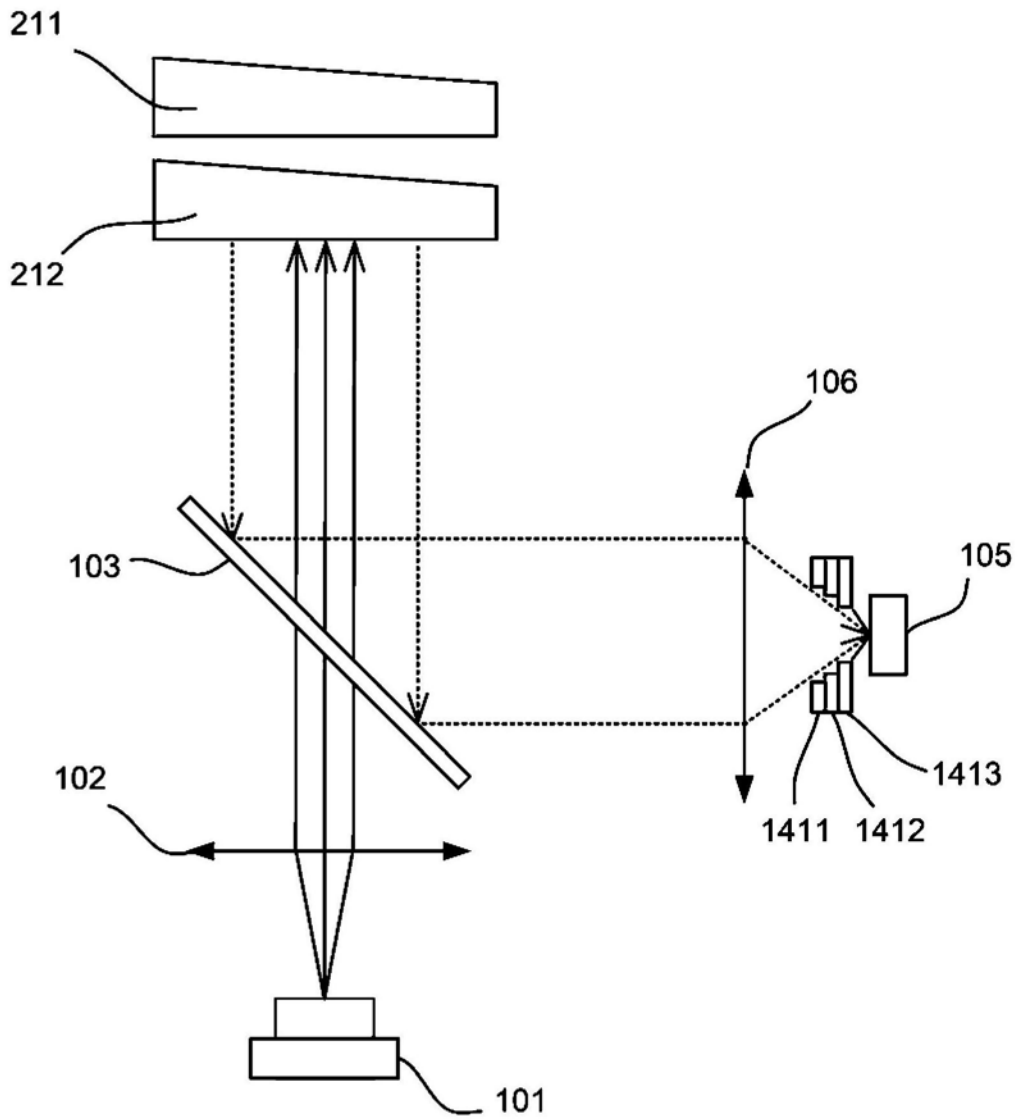


图14

1500

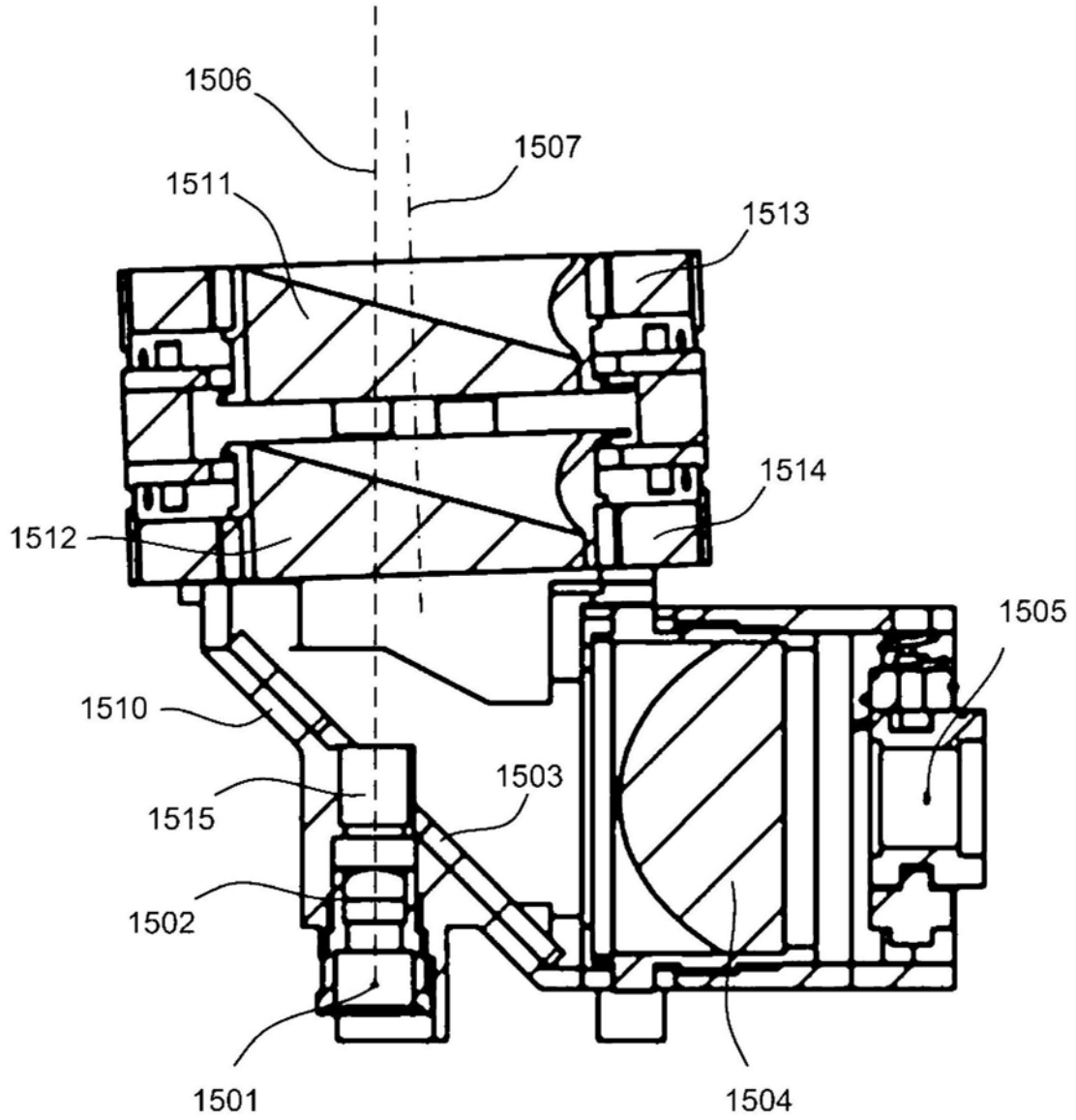


图15

1600

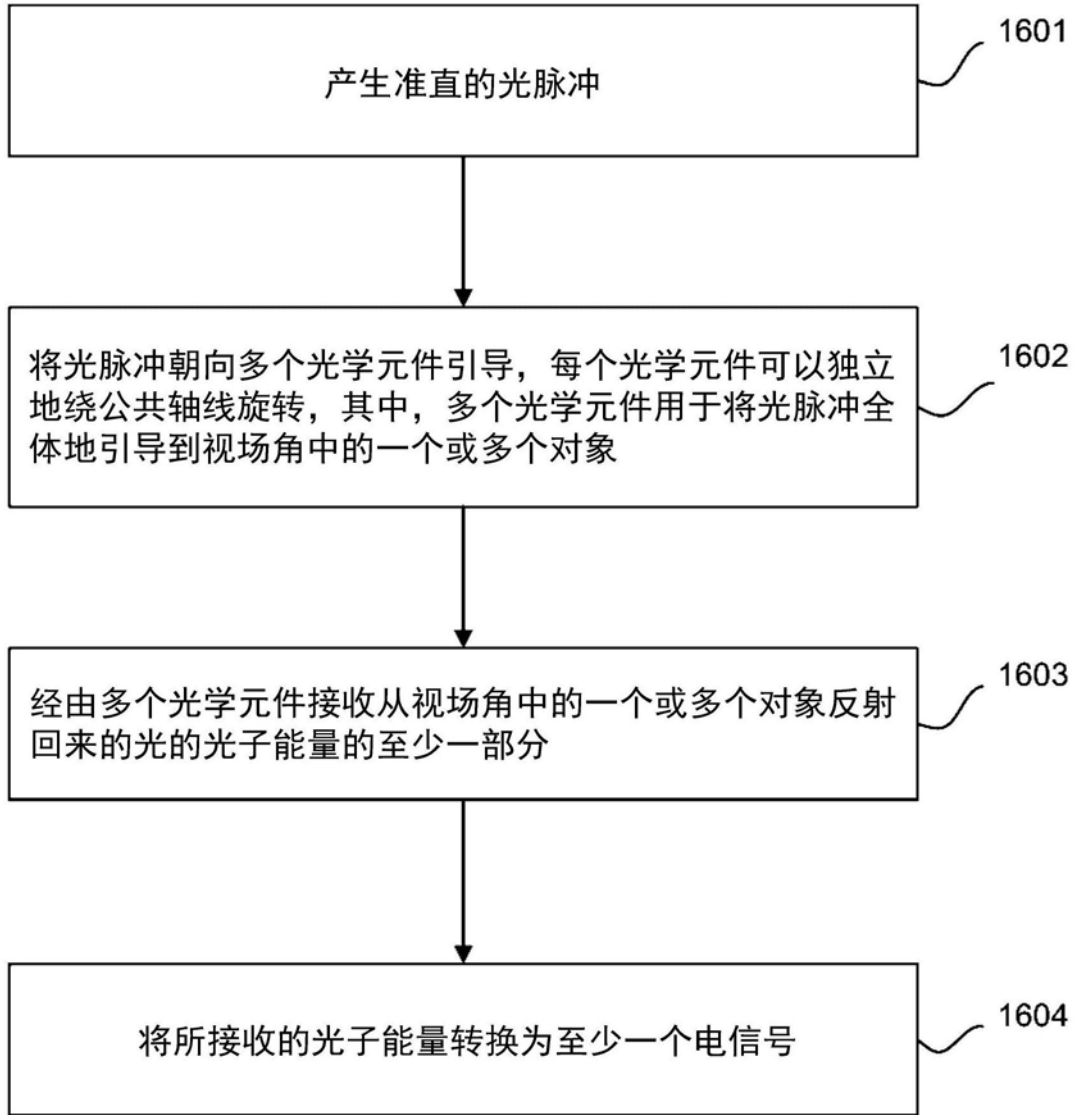


图16

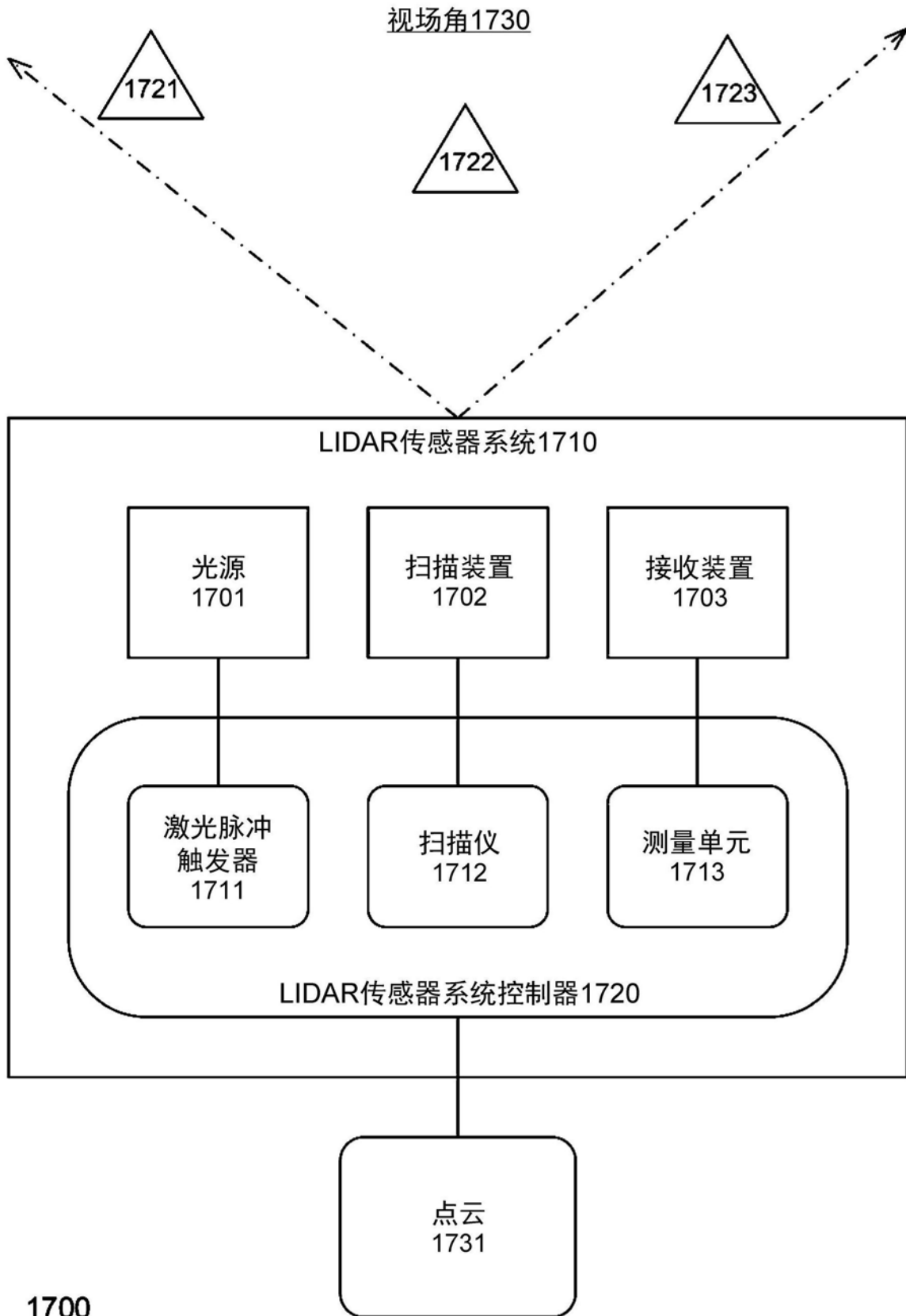


图17

**1800**

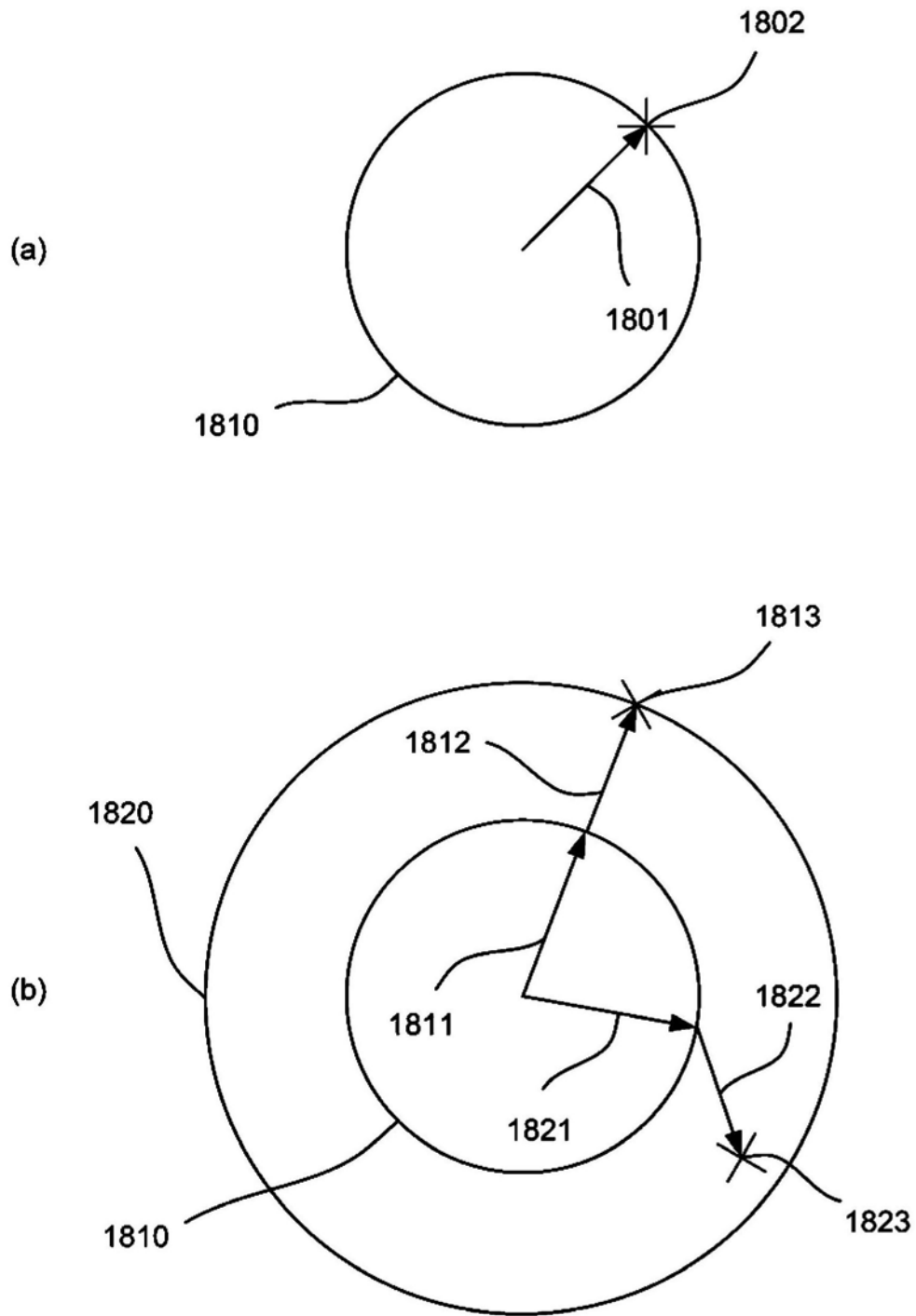
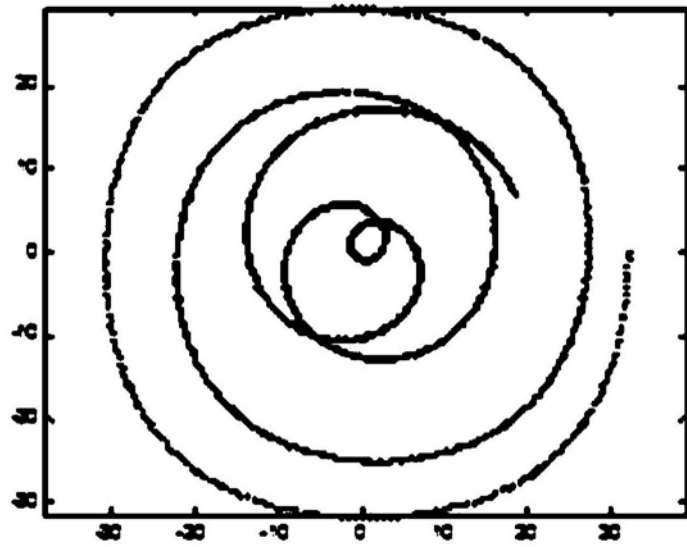
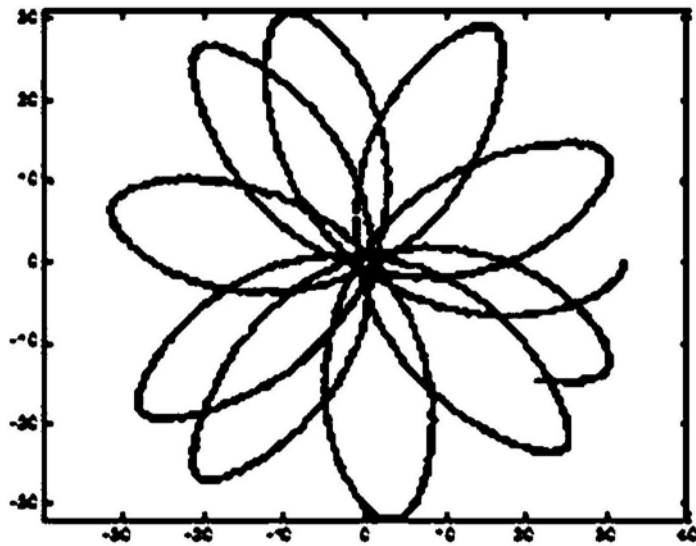


图18

1900



(a)



(b)

图19



2000

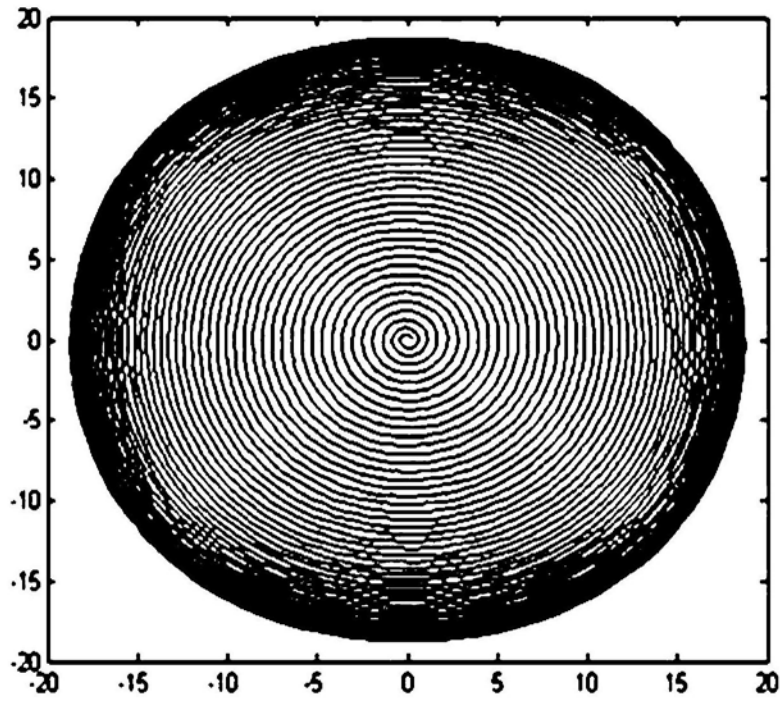


图20

**2100**

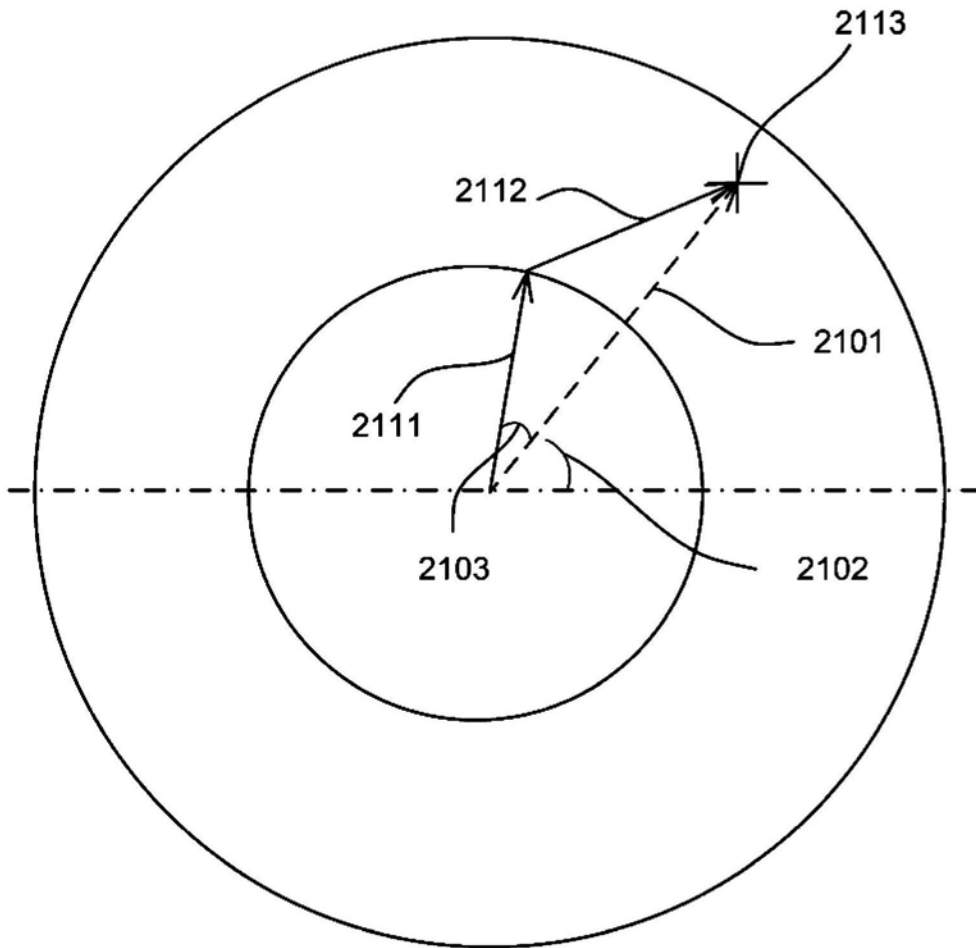


图21

2200

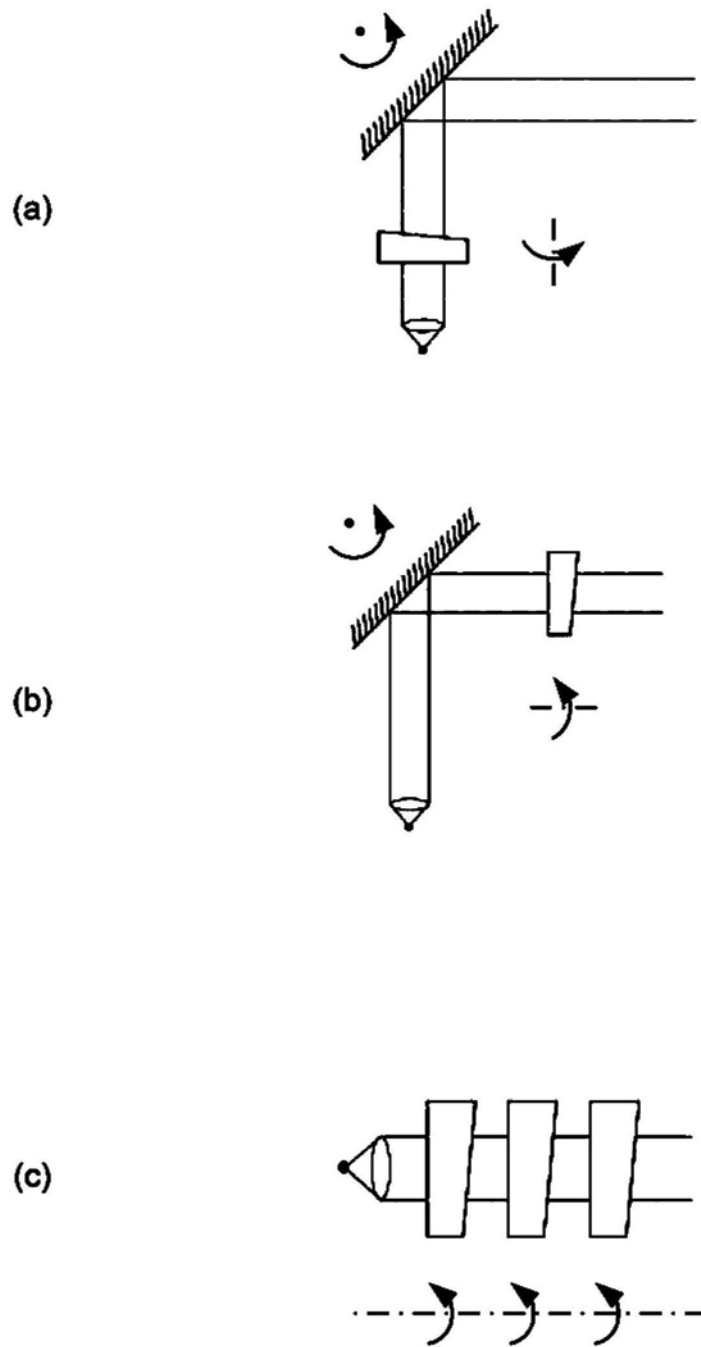


图22

2300

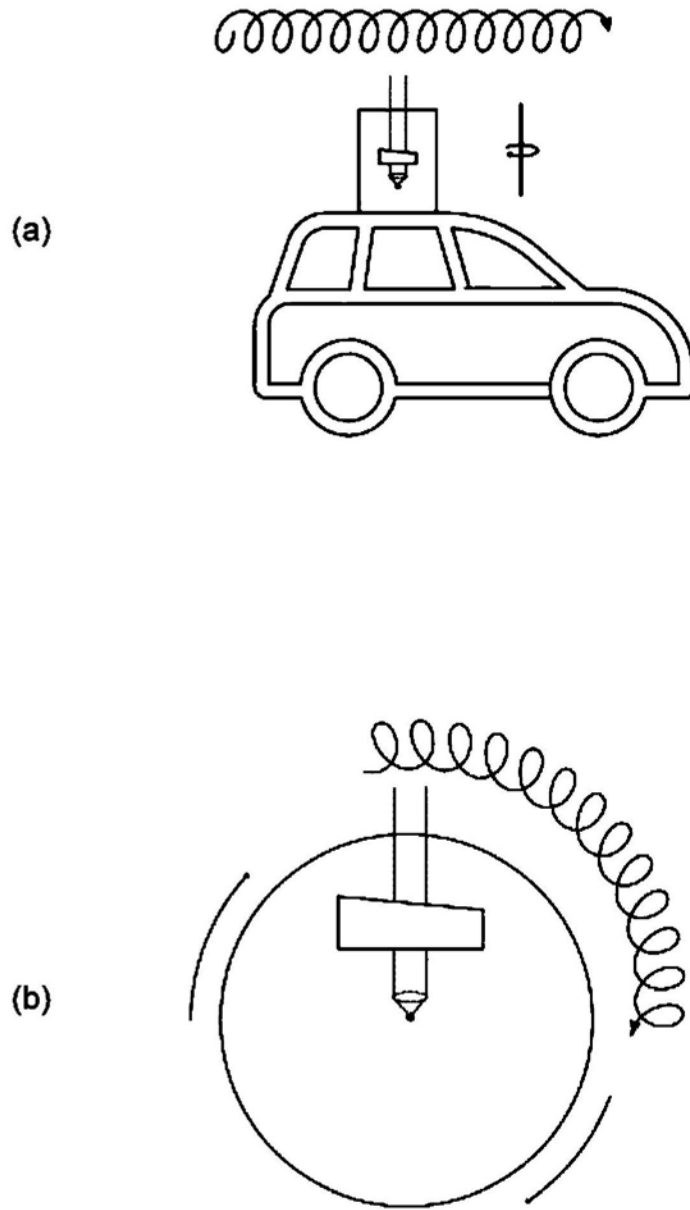


图23

**2400**

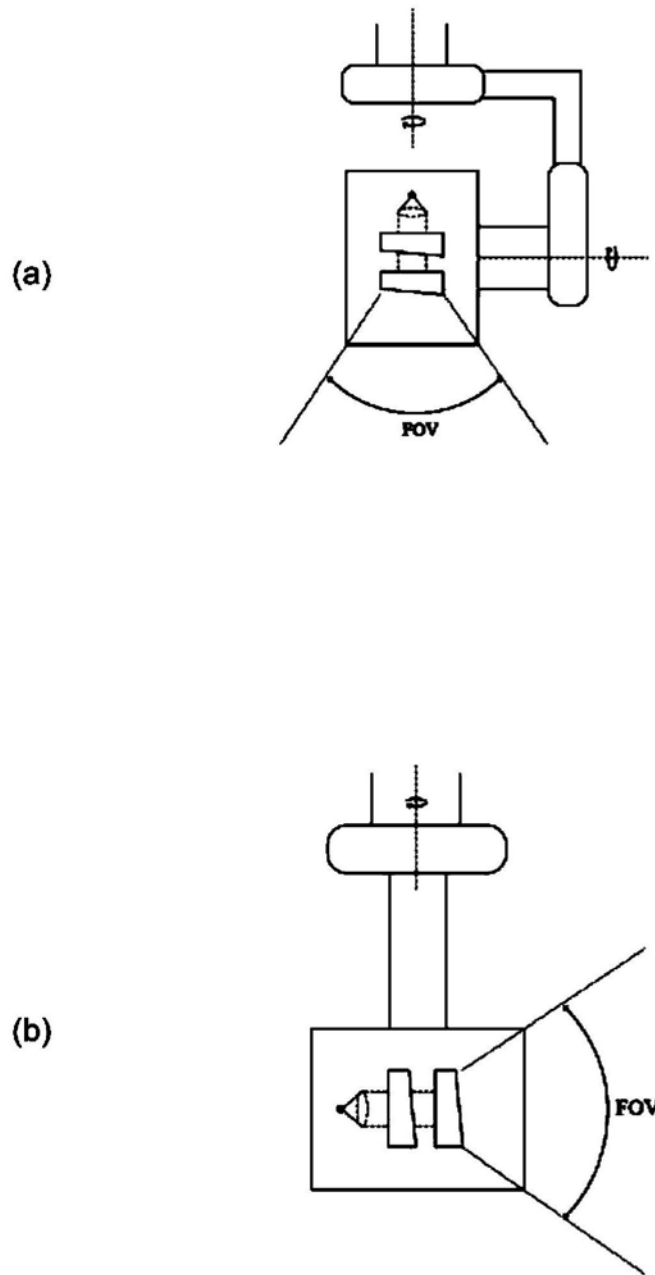


图24

2500

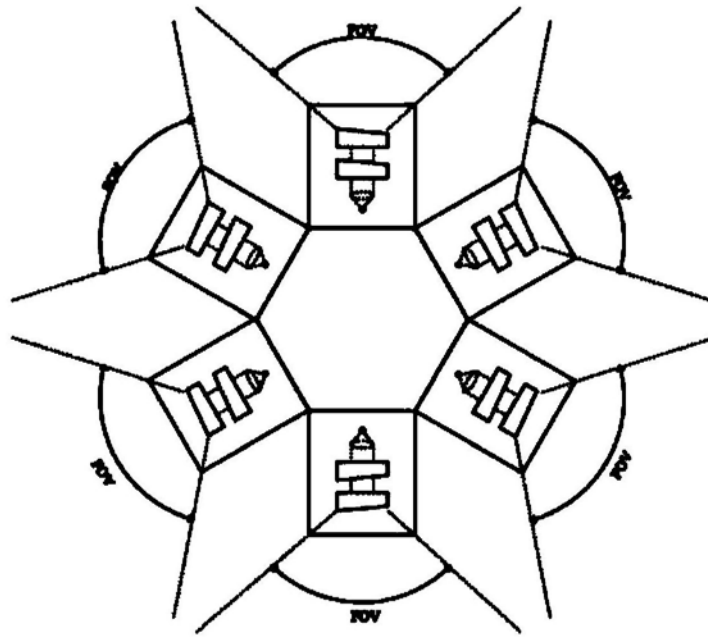


图25

2600

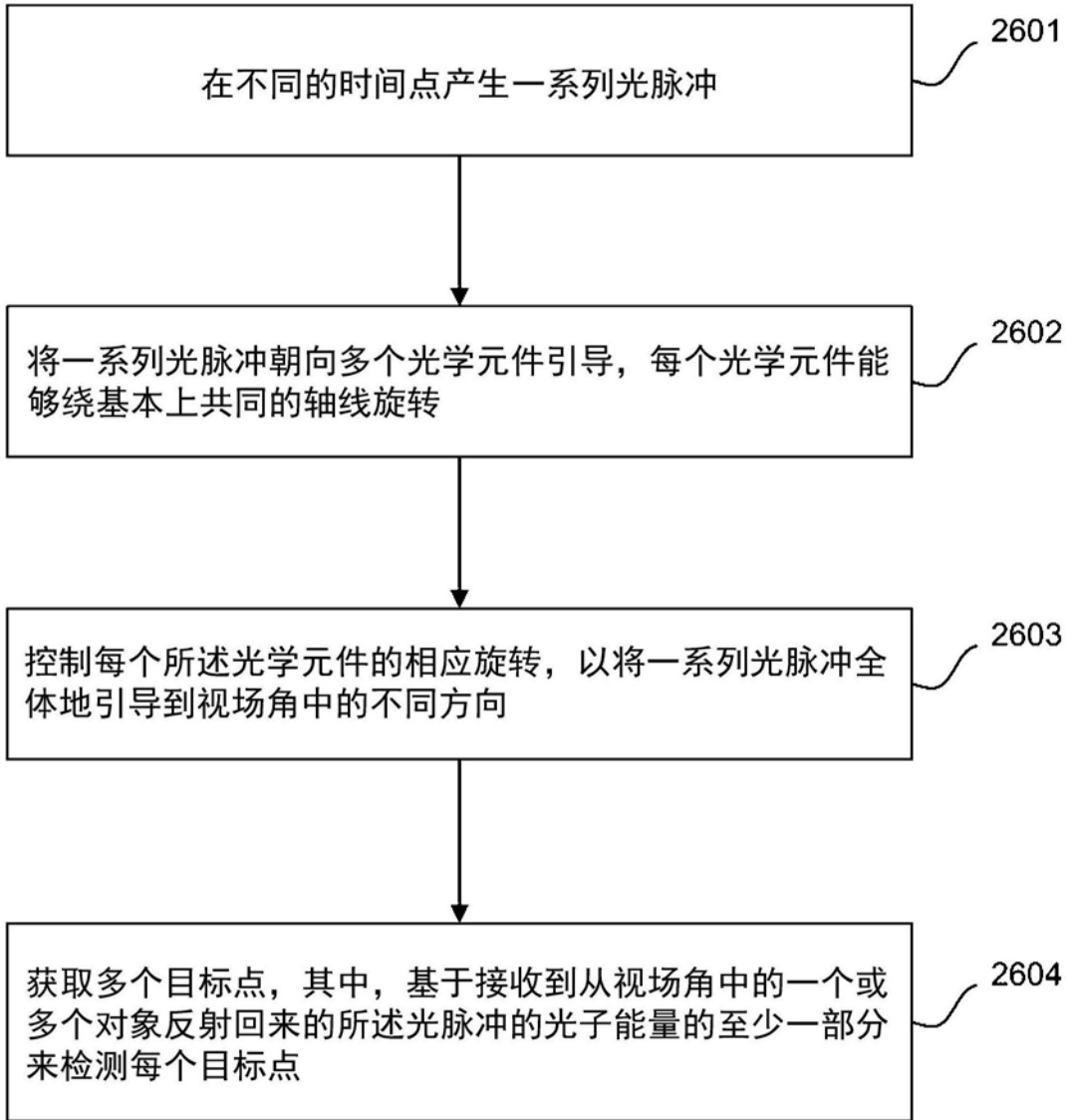


图26