



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 111465871 B

(45) 授权公告日 2024. 10. 11

(21) 申请号 201880080106.3
(22) 申请日 2018.12.17
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111465871 A
(43) 申请公布日 2020.07.28
(30) 优先权数据
17207878.4 2017.12.15 EP
18165804.8 2018.04.04 EP
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.06.11
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2018/085353 2018.12.17
(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/115839 EN 2019.06.20

(73) 专利权人 齐诺马蒂赛股份有限公司
地址 比利时鲁汶
(72) 发明人 F·格恩斯 D·范德克 R·派森
J·范登波什
(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公
司 31100
专利代理师 钱盛赞 陈斌
(51) Int.Cl.
G01S 17/10 (2020.01)
G01S 7/4861 (2020.01)
G01S 7/487 (2006.01)
(56) 对比文件
EP 3159711 A1, 2017.04.26
US 2006192938 A1, 2006.08.31
审查员 赵雅琴

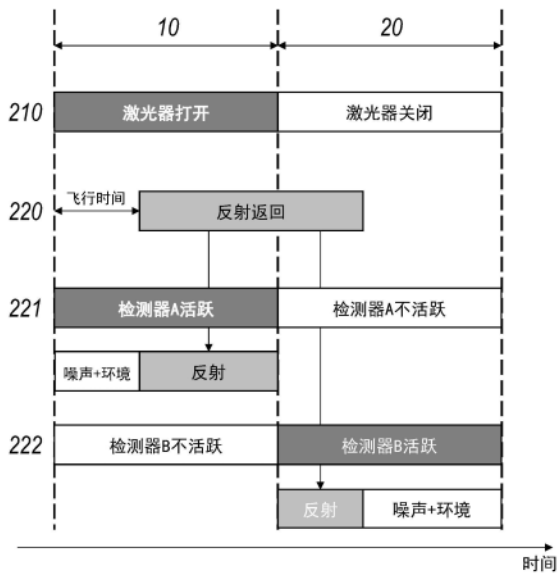
权利要求书2页 说明书21页 附图16页

(54) 发明名称

用于确定到对象的距离的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种用于确定到对象的距离的系统,其包括:固态光源;包括多个图像元件的检测器;以及处理装置,该处理装置被配置成根据由图像元件响应于所述检测到的光而生成的曝光值来计算到所述对象的所述距离;其中所述图像元件通过累积表示在第一时间窗期间的反射光的第一电荷量以及表示在第二预定时间窗期间的反射光的第二电荷量来生成曝光值;其中每个图像元件包括两个电荷存储阱,所述检测在所述两个电荷存储阱处发生;并且其中该系统使所述预定时间窗与在此期间所述图像元件在与所述检测不同的功能中被使用的时间窗交织和/或所述图像元件包括至少一个附加电荷存储阱,以执行与对所述第一光量的所述检测和对所述第二光量的所述检测不同的所述功能。



1. 一种用于确定到对象的距离的系统(200), 包括:

- 半导体光源(210), 所述半导体光源(210)被布置成用于以周期性地重复的脉冲序列将激光的离散光斑图案朝所述对象投影;

- 包括多个CMOS图像元件的检测器(220), 所述检测器(220)被配置成用于与所述脉冲序列同步地检测表示如由所述对象反射的所述离散光斑图案的光, 所述检测器(220)设置有窄带滤波器; 以及

- 处理装置(240), 所述处理装置(240)被配置成根据由所述图像元件响应于所述检测到的光而生成的曝光值来计算到所述对象的所述距离;

其中所述图像元件(220)被配置成通过针对所述序列中的所有脉冲累积表示在第一预定时间窗(10)期间由所述对象反射的第一光量的第一电荷量以及表示在第二预定时间窗(20)期间由所述对象反射的第二光量的第二电荷量来生成所述曝光值, 所述第二预定时间窗(20)在所述第一预定时间窗(10)之后出现;

其中所述多个图像元件中的每一者包括至少两个电荷存储阱(221、222), 并且其中对所述第一光量的所述检测和对所述第二光量的所述检测在所述至少两个电荷存储阱(221、222)中的相应电荷存储阱处发生;

被用于对所述第一光量的所述检测的第一电荷存储阱(221)具有比被用于对所述第二光量的所述检测的第二电荷存储阱(222)更大的电荷存储容量; 并且

其中所述多个图像元件中的每一者包括至少一个附加电荷存储阱(223), 所述至少一个附加电荷存储阱(223)被配置成执行获取背景光值的功能, 所述至少一个附加电荷存储阱(223)具有比所述至少两个电荷存储阱(221、222)的电荷存储容量更小的电荷存储容量, 如果所述至少一个附加电荷存储阱用于获取具有场景的附加照明的2D图像或用于捕捉来自射程之外的高反射对象的反射, 则其尺寸被设定为与所述第一电荷存储阱或所述第二电荷存储阱类似的存储容量。

2. 根据权利要求1所述的系统, 其特征在于, 所述系统被进一步配置成针对至少两个连贯脉冲序列执行投影和检测, 所述序列中的每一者以与所述第一预定时间窗和所述第二预定时间窗不同的历时来操作。

3. 根据权利要求1-2中任一项所述的系统, 其特征在于, 所述第一预定时间窗和所述第二预定时间窗具有基本上相等的历时且紧接地出现。

4. 根据权利要求1-2中任一项所述的系统, 其特征在于, 所述系统被进一步配置成使所述第一和第二预定时间窗与在此期间所述多个图像元件被用于所述获取背景光值的时间窗交织。

5. 一种包括根据前述权利要求中任一项所述的系统(200)的车辆, 所述系统被布置成能操作地覆盖包围所述车辆的区域的至少一部分。

6. 一种相机, 所述相机包括根据权利要求1至4中任一项所述的系统(200), 其中所述系统(200)被适配成基于从所述系统获得的信息来将3D信息添加到相机图像, 从而使得能够创建3D图像。

7. 一种用于确定到对象的距离的方法, 所述方法包括:

- 使用半导体光源(210)来以周期性地重复的脉冲序列将激光的离散光斑图案朝所述对象投影(110);

-使用包括多个CMOS图像元件的检测器(220)来与所述脉冲序列同步地检测(120;130)表示如由所述对象反射的所述离散光斑图案的光,所述检测器(220)设置有窄带滤波器;以及

-根据由所述图像元件响应于所述检测到的光而生成的曝光值来计算(140)到所述对象的所述距离;

其中所述图像元件(220)通过针对所述序列中的所有脉冲累积表示在第一预定时间窗(10)期间由所述对象反射的第一光量的第一电荷量以及表示在第二预定时间窗(20)期间由所述对象反射的第二光量的第二电荷量来生成所述曝光值,所述第二预定时间窗(20)在所述第一预定时间窗(10)之后出现;

其中所述多个图像元件中的每一者包括至少两个电荷存储阱,并且其中对所述第一光量的所述检测和对所述第二光量的所述检测在所述至少两个电荷存储阱中的相应电荷存储阱处发生;

其中被用于对所述第一光量的所述检测的第一电荷存储阱(221)具有比被用于对所述第二光量的所述检测的第二电荷存储阱(222)更大的电荷存储容量;

并且其中所述多个图像元件中的每一者包括至少一个附加电荷存储阱(223),所述至少一个附加电荷存储阱(223)被配置成执行获取背景光值的功能,所述至少一个附加电荷存储阱(223)具有比所述至少两个电荷存储阱(221、222)的电荷存储容量更小的电荷存储容量,如果所述至少一个附加电荷存储阱用于获取具有场景的附加照明的2D图像或用于捕捉来自射程之外的高反射对象的反射,则其尺寸被设定为与所述第一电荷存储阱或所述第二电荷存储阱类似的存储容量。

8.根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述第一预定时间窗和所述第二预定时间窗具有基本上相等的历时且紧接地出现。

9.根据权利要求7-8中任一项所述的方法,其特征在于,所述投影(110)、所述检测(120;130)、和所述计算(140)被周期性地重复。

10.根据权利要求7-8中任一项所述的方法,其特征在于,所述第一和第二预定时间窗与在此期间所述多个图像元件被用于所述获取背景光值的时间帧交织。

11.一种包括被配置成促使处理器执行根据权利要求7-10中任一项所述的方法的代码装置的计算机可读介质。

用于确定到对象的距离的系统和方法

发明领域

[0001] 本发明涉及用于确定到对象的距离的系统的领域,尤其涉及基于要用于场景或其一部分(诸如车辆的周围环境)的表征的有源照明的基于飞行时间的感测系统。

背景技术

[0002] 在遥感技术的领域中,主要在制作周围环境的被用于许多控制和导航应用(诸如但不限于汽车和工业环境、游戏应用和测绘应用)的高分辨率地图的用途中,已知使用基于飞行时间的感测来确定对象距传感器的距离。基于飞行时间的技术包括对经RF调制的源、射程选通成像器、或直接飞行时间(DToF)成像器的使用。对于经RF调制的源和射程选通成像器的使用,有必要用经调制或脉冲源来照明整个感兴趣的场景。直接飞行时间系统(诸如大多数LIDAR(激光雷达))用脉冲束对感兴趣的区域进行机械扫描,其反射用脉冲检测器来感测。

[0003] 为了能够使所发射的经RF调制的信号与检测到的经反射信号相关,所发射的信号必须满足许多约束。实践中,这些约束结果使经RF调制的系统在车辆系统中的使用高度地不切实际:对惯常的安全限制内的和常规车辆的功率预算内的信号强度而言,可达到的检测射程非常有限。

[0004] 如在大多数LIDAR系统中使用的直接TOF(DToF)成像器包括强大的脉冲激光器(以纳秒脉冲状态操作)、用于从1D点测量获取3D地图的机械扫描系统,以及脉冲检测器。目前可从包括加利福尼亚州摩根希尔的Velodyne Lidar在内的供应商处购得该类型的系统。作为最先进的系统的示例,Velodyne HDL-64E在每秒5至15转的机械旋转结构中使用64个高功率激光器和64个检测器(雪崩二极管)。这些DToF LIDAR系统所要求的光功率太高以致于无法用其功率在低五到六个量级的范围中的半导体激光器来获得。另外,将机械旋转元件用于扫描目的限制了该类型系统的小型化、可靠性和成本降低的前景。

[0005] 以Trilumina的名义的美国专利申请公开no.2015/0063387公开了一种VCSEL,其以具有20ns的脉冲宽度的脉冲来递送50mW的总能量。商业上可购得的Optek OPV310 VCSEL在具有10ns历时的脉冲中递送60mW的总能量,并且其可通过外推法来被估算出具有100mW的最大光输出功率。该值仅在非常严格的操作条件(这意味着最优占空比和短脉冲宽度,以避免由于热问题而导致的不稳定)下被实现。Trilumina的公开和Optek系统两者都阐明,连续波VCSEL系统由于与VCSEL设计存在内在联系的热约束而正在达到其就光峰值功率输出而言的物理极限。在这些脉冲能级处,并且在使用当前在DToF应用中所使用的ns脉冲的情况下,可以预计被200m的距离处的对象有效反射的绝对光子数目如此之少,以至于其使得借助于惯常半导体传感器(诸如CMOS或CCD或SPAD阵列)的检测失败。因而,将VCSEL功率输出增加5或6个量级(这是扩展已知DToF系统的射程所必需的)从物理上是不可能的。

[0006] 即使是理论上对捕捉少量返回光子足够地敏感的雪崩二极管(AD或SPAD)的使用也不能被有效地部署在已知的LIDAR系统架构中。SPAD阵列的固态实现必须被串行地读出。需要大量的SPAD才能达到期望的准确度。固态实现的串行读出约束限制了系统的带宽,从

而使其不适用于期望的准确度。对于诸如Velodyne系统的准确度(0.02m至0.04m,与距离无关)的准确度而言,所必需的读出数据速率超出了当今IC实现的情形中的实际可实现的带宽。对于120m处的操作,500x500像素的SPAD阵列是必需的,其在基于IC的实现中必须被连串地读出。为了达到与前述Velodyne系统相同的精度,将需要每毫秒1000个脉冲,并因此需要每毫秒1000帧,转换成读出速率为每秒250千兆像素。在当前SPAD IC技术的上下文中,这被认为在技术上是不可行的。

[0007] Neil E.Newman等人于2013年在Journal of Undergraduate Research in Physics(物理学本科研究杂志)上发表的文章“High Peak Power VCSELs in Short Range LIDAR Applications(短射程LIDAR应用中的高峰值功率VCSEL)”(<http://www.jurp.org/2013/12017EXR.pdf>)

[0008] 描述了一种基于VCSEL的LIDAR应用。该文章阐明,所描述的原型系统的最大输出功率不足以在大于0.75米的射程处用宽视野LIDAR。利用相对聚焦的束(在1m距离处光斑大小为0.02m),作者能够对直到1m的距离处的目标对象进行测距。

[0009] 以上示例清楚地指出,由现有的半导体激光器发射的光功率不能满足对汽车应用(例如,对于直到200m的射程)中具有实际用途的已知的LIDAR系统中的操作而言必需的功率要求。

[0010] 以Avago Technologies General IP(新加坡)私人有限公司的名义的美国专利no.7,544,945公开了使用多个激光器以提供更紧凑且成本有效的LIDAR功能性的基于车辆的LIDAR系统和方法。激光器阵列中的每个激光器可被顺序地激活,使得相对于激光器阵列安装的对应该光学元件在基本不同的方向上产生相应的询问束。来自这些束的光被车辆环境中的对象反射,并且被检测以向车辆驾驶员和/或乘客提供关于该对象的信息。该专利提供了一种固态投影仪,其中各个个体激光器被连贯地激活,以便代替已知DToF LIDAR系统中的已知机械扫描。

[0011] 一种用于车辆的不使用飞行时间检测的高准确度中射程环绕感测系统从以本申请人的名义的国际专利申请公开W0 2015/004213 A1中已知。在该公开中,对象的定位基于脉冲辐射光斑的投影以及对检测到的光斑关于预定参考光斑位置的位移的分析。更具体而言,所引用的公开的系统使用三角测量。然而,可被达成的准确度与三角测量基相关,这限制了可被达成的进一步小型化。

[0012] 美国专利申请公开no.US2012/0038903 A1公开了用于自适应地控制场景的照明的方法和系统。具体而言,场景被照明,并且从该场景反射的光被检测到。关于与场景内的不同区域相对应的、由多个像素检测器的不同像素接收的光强度的水平的信息、和/或关于至场景内的区域的射程的信息被接收。该信息接着被用作反馈信号,以控制场景内的照明水平。更具体而言,可响应于反馈信号来为场景的不同区域提供不同的照明水平。US2012/0038903 A1没有公开图像元件被配置成通过累积表示在第一预定时间窗期间由对象反射的第一光量的第一电荷量和表示在第二预定时间窗期间由对象反射的第二光量的第二电荷量来生成曝光值,第二预定时间窗在第一预定时间窗之后出现。

[0013] 欧洲专利申请公开no.EP 2 322 953 A1公开了一种能够放大距离测量范围而不降低距离分辨率的距离图像传感器。辐射源提供第一至第五脉冲串,其作为时间轴上按顺序布置的第一至第五帧中的辐射脉冲来被照射到对象。在每一个帧中,在从每个帧的起始

点起预定时间的点处规定成像时间,并且各脉冲分别从第一至第五帧的起始点起被移位彼此不同的移位量。像素阵列使用五个帧中的每个帧中的成像窗口A和B来生成元素图像信号,该元素图像信号中的每一个元素图像信号具有处于彼此不同的距离范围中的对象的距离信息。处理单元通过组合元素图像信号来生成图像信号。由于五个飞行时间测量被使用,因此辐射脉冲的宽度不必被增加以获得处于宽距离范围中的对象的距离信息,并且距离分辨率没有被降低。EP 2 322953A1所提出的解决方案包括测量电荷,这些电荷表示在两个连贯时间窗中接收到的单个脉冲的反射的相应部分。一旦单个经反射脉冲已在时间窗A和B中被接收到,电荷便被转移到对应的浮动半导体区域,以供转换成“像素图像信号”。

[0014] 欧洲专利申请公开no.EP 2 290 402 A1公开了一种射程图像传感器,其设置在具有由多个二维布置的单元组成的成像区域的半导体基板上,由此基于从这些单元输出的电荷数量来获得射程图像。这些单元中的一个单元设置有其中电荷响应于入射光而被生成的电荷生成区域(转移电极外部的区域)、在空间上被分开布置以从电荷生成区域收集电荷的至少两个半导体区域、以及转移电极,其被安装在半导体区域的每个外缘处,被给予相位不同的电荷转移信号,并且围绕半导体区域。EP 2290 402A1不旨在对激光光斑图案有效。此外,EP 2 290 402 A1所提出的解决方案没有公开使用周期性重复的脉冲序列。

[0015] Shoji Kawahito等人在IEEE传感器期刊上发表的文章“A CMOS Time-of-Flight Range Image Sensor With Gates-on-Field-Oxide Structure(一种具有场氧化层上的栅结构的CMOS飞行时间射程图像传感器)”(IEEE传感器期刊,第7卷,第12期,第1578-1586页)公开了一种使用场氧化层上的单层栅结构进行光电转换和电荷转移的CMOS飞行时间(TOS)射程图像传感器。这种结构允许在标准CMOS工艺中实现具有 $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ 像素的密集TOF射程成像阵列。只有用来创建对高速电荷转移而言必需的n型掩埋层的附加工艺步骤被添加到制造过程中。该传感器基于由来自有源照明光源的背反射的红外光脉冲引起的光电荷的取决于时延的调制来操作。为了减少背景光的影响,小占空比光脉冲被使用并且电荷耗尽结构被包括在像素中。所制造的TOF传感器芯片以每秒30帧测量2.35cm的射程分辨率,对以每秒3帧且100ns的脉宽的0.74cm有所改进。

[0016] Shoji Kawahito的美国专利申请公开no.US2007/158770 A1公开了一种测距图像传感器,该测距图像传感器基于与标准CMOS制造规程相比具有减少的制造过程的光反射时间的测量。氧化膜被形成在硅基板上,并且两个用于电荷转移的光栅电极被设置在该氧化膜上。浮动扩散层被用来将电荷转换为电子势,这是传统上从电荷耦合器件(CCD)的遗留技术继承的机制。额外的晶体管被提供用于复位,并且扩散层用于提供给定复位电压。

[0017] US2007/158770 A1中所公开的像素的缺点在于,其使用非标准技术并且像素设计不允许在不牺牲像素的有效表面积的情况下添加附加的阱。对于在具有需要大工作范围的超低功率激光器的传感器系统中的使用而言,这是次优的。所使用的工艺在标准CMOS工艺中通常是不可用的,这降低了该概念的适用性以及其以可承受的成本来被大量生产的能力。

[0018] 基于这种设计的传感器的射程在近端也受到投影光的强反射所致的像素饱和的限制。

[0019] 当像素被用在针对汽车应用的传感器中时(如根据本发明的像素的目的那样),像素在感测短射程反射或高反射对象(诸如交通标志、车牌等)时的饱和度尤其成问题,因为

高级驾驶员辅助系统 (ADAS) 和自动驾驶汽车在短射程处需要高准确度。此外,在此应用领域中,对于短射程准确度的要求,绝对不牺牲较长射程处的准确度、在明亮环境光条件下操作的能力、以及紧凑性的要求(要求使用固态半导体组件)。

[0020] 美国专利申请公开no.US2013/0148102 A1旨在解决由场景中的多次反射引起的错误测量,这归因于当今最先进的飞行时间 (TOF) 射程相机中所有像素的平行照明和采集。US2013/0148102 A1建议通过应用两种空间上不同的照明方案来补偿融合所获得结果的多路径,通常一种方案是达成最高可能横向分辨率,而第二种方案是使所发射的光结构化,并且通过这么做降低了横向分辨率,但限制了多次反射的影响。然而,US2013/0148102 A1中所描述的系统是具有全局照明的基于连续模式飞行时间的传感器,并且该文献中解决的问题是全局照明所固有的。全局照明方案的缺点在于,当以射程选通模式操作时,它们无法实现半导体LIDAR的性能要求。

[0021] 存在对在复杂的车辆环绕感测应用(诸如ADAS(自动驾驶辅助系统)应用和自动驾驶应用)中获得极小型化和/或更长射程的持续需求,并且该需求具有合理的成本和紧凑的、半导体集成的形状因子,使用易于大规模生产的技术。

发明内容

[0022] 本发明的各实施例的目的是为基于位移的车辆环绕感测系统提供进一步小型化的和更长射程的替代方案。此外,本发明的各实施例的目的是为已知的LIDAR系统提供全固态替代方案,尤其是其中半导体部件易于大规模生产的一种替代方案。

[0023] 根据本发明的一方面,提供了一种用于确定到对象的距离的系统,该系统包括:固态光源,其被布置成用于以脉冲序列朝对象投影激光的离散光斑图案;包括多个图像元件的检测器,该检测器被配置成用于与所述脉冲序列同步地检测表示由对象反射的离散光斑图案的光;以及处理装置,其被配置成响应于所述检测到的光而根据由所述图像元件生成的曝光值来计算到对象的距离;其中,这些图像元件被配置成通过针对所述序列中的每个脉冲累积表示在第一预定时间窗期间由所述对象反射的第一光量的第一电荷量和表示在第二预定时间窗期间由所述对象反射的第二光量的第二电荷量来生成所述曝光值,所述第二预定时间窗在所述第一预定时间窗之后出现;其中该多个图像元件中的每一者包括至少两个电荷存储阱,并且对第一光量的检测和对第二光量的所述检测在所述至少两个电荷存储阱中的相应电荷存储阱处发生;并且其中该多个图像元件中的每一者包括被配置成执行与对第一光量的检测和对第二光量的检测不同的功能的至少一个附加电荷存储阱,所述至少一个附加电荷存储阱具有小于所述至少两个电荷存储阱的电荷存储容量的电荷存储容量。

[0024] 固态半导体光源优选地是半导体光源。检测器的图像元件(像素)优选地是CMOS图像元件。检测器优选地设置有窄带滤波器。

[0025] 术语“电荷存储阱”指定设置在半导体基板中的储存由入射在像素上的光子的转换生成的电荷的存储,例如,电容器。

[0026] 本发明依赖于与基于直接飞行时间的测距系统相同的物理原理,即光行进给定距离总是耗费一定的时间量的事实。然而,本发明使用射程选通来确定已被发射且随后由目标对象反射的光脉冲所行进的距离。

[0027] 汽车级传感器要求小、便宜且稳健的构造,以及准确且可靠的操作。相应地,期望用固态技术来构造此类传感器,同时避免任何移动部件,这对于大规模生产化而言在半导体技术中是优选的。典型的所需准确度和可靠性级别可被量化为直到200m的工作范围、每秒至少1百万次测量的分辨率、以及在室外环境光条件下正常操作的能力,该室外环境光条件可超过垂直的500W/m²的光功率密度,同时符合适用的眼安全标准。

[0028] 虽然固态半导体技术的使用意味着相对低功率的激光器(这可导致可用光功率中10⁶的差异(与传统ToF LIDAR系统中所使用的激光器相比)),但发明人发现,通过明智地添加数个附加特征,源自固态投影仪的低功耗预算的挑战可被解决。

[0029] 本发明尤其基于发明人的如下见解:通过明智地组合射程选通、至少部分同时的光斑图案投影(基于一种新颖的照明方案)和低功率半导体光源,实质上小型化的、全固态且高能效的距离检测方法可被获得,其具有迄今难到达的射程。如本文中所使用的术语“图案”是指被同时投影的光斑的空间分布。为了确定所检测到的光斑反射在三维空间中的位置,有必要将从测距步骤获得的距离信息与来自每个束(其被预校准以固定其余两个空间坐标)的角信息进行组合。可通过标识其中反射被检测到的像素来将包括像素阵列和适当布置的光学器件的相机用来提供附加的角信息。

[0030] 本发明的各实施例基于发明人如下的进一步见解:为了能够在期望的射程处使用由LIDAR系统中的固态半导体光源生成的光斑图案,需要一种规避光功率限制的方式。发明人发现,通过延长脉冲历时并且通过对至少两个半导体传感器阱内的多个VCSEL生成的光脉冲的经反射能量进行积分,继以对经积分电荷的单次读出,可获得与目前可能的固态实现相比工作范围显著更大的固态LIDAR系统。在下文中,术语“存储”将被用来指定其中电荷响应于光子的检测而被累积的阱。

[0031] 本发明的优点在于,固态光源(投影仪)和固态传感器(尤其是包括像素阵列的CMOS传感器,其与适当滤波器和光学器件相组合以形成成像器)可被集成在相同半导体基板上。固态光源可包括VCSEL阵列或具有被适配成产生期望的图案的光栅的激光器。

[0032] 此外,通过评估在两个连贯时间窗中检测到的经反射光能量,并对这两个连贯窗中的总累积电荷进行归一化,可在距离计算算法中充分计及研究对象的变化的反射率和环境光贡献的影响。

[0033] 在图像元件中,表示入射光的电荷可在阱级别处或在像素级别处被累积。阱级别处的电荷累积的优点在于,读出噪声被最小化,从而导致更好的信噪比。

[0034] 脉冲序列的传输和检测可被周期性地重复。

[0035] 本发明进一步基于发明人的如下见解:在基于射程选通的成像系统中,具有双阱像素(不排除附加阱的存在)是有利的,其中电荷存储阱之一具有比其他电荷存储阱大得多的电荷容量。术语“阱”可指定通过适当技术在半导体电路中产生的单个电容(电子容量),或者联合充当单个存储单元的多个互连电容(例如被布置为级联)。该类型的像素在如下情况下尤其有用:其中像素被部署的境况的物理性导致要存储在不同阱中的电荷量中的可预测的非对称性,如基于飞行时间的测量系统的情形,其要求高准确度和大距离范围,从而导致大的光子跨度。

[0036] 发明人进一步具有如下见解:还可通过使用每个图像元件中提供的至少一个附加电荷存储阱来执行不同功能。

[0037] 第三阱可被提供以执行各种功能,条件是其是根据将其他阱的操作的定时纳入考虑的定时方案来操作的。在其中第一阱和第二阱执行基本射程选通的距离感测系统中,第三阱的功能可包括接收响应于从长射程高反射对象(诸如交通标志或牌照、在其中第一阱和第二阱活跃的时隙之外)到达的光子而生成的附加电荷,产生场景的规则二维图像(在其中投影光的反射到达的时隙之外,任选地与用于照明可包括具有扩散器的VCSEL阵列的场景的广角闪光灯同步),或提供允许背景光减去的背景光水平的读取(通过从在第一阱和第二阱中累积的电荷水平减去在其中投影光的反射到达的时隙之外在第三阱中累积的电荷量)。

[0038] 第三电荷存储阱可具有比第一电荷存储阱和第二电荷存储阱显著更小的电荷存储容量,尤其是在其仅用于捕捉背景光的情况下,因为到达像素阵列的背景光将通常已被优选地被设置在距离感测系统中的减环境光滤波器(尤其是窄带滤波器)强烈地衰减。如果第三电荷存储阱旨在用于获取具有场景的附加照明(例如,借助于闪光灯)的2D图像或用于捕捉来自射程之外的高反射对象的反射,则其尺寸可被设定为与第一或第二电荷存储阱类似的存储容量。

[0039] 在根据本发明的系统的一实施例中,所述功能包括获取二维图像。

[0040] 在不被用于射程选通的时间窗期间获取的2D图像或由图像元件的附加阱获取的2D图像可例如与从射程选通帧中所获得的曝光值导出的距离信息相组合,以便产生3D图像。

[0041] 在根据本发明的系统的一实施例中,所述功能包括获取背景光值。

[0042] 可以从在射程选通帧中所获得的曝光值中减去在不被用于射程选通的时间窗期间获取的背景光值或由图像元件的附加阱获取的背景光值,以便改善所计算出的距离的准确度。

[0043] 在根据本发明的系统的一实施例中,所述功能包括针对所述序列中的所有脉冲累积表示在第三预定时间窗期间的第三光量的第三电荷量。

[0044] 该实施例的优点在于,反射在第二预定时间窗之后到达,例如来自坐落于第一预定时间窗和第二预定时间窗所覆盖的范围之外的高反射对象的反射可以被捕捉。对应的电荷可被用来计算射程之外的对象的距离。

[0045] 在根据本发明的系统的一实施例中,被用于检测第一光量的第一电荷存储阱具有大于被用于检测第二光量的第二电荷存储阱的电荷存储容量。

[0046] 发明人已经发现,为了获得有用的工作范围(在最低可检测光水平和发生饱和和所处的光水平之间),第二阱的尺寸可被设定为小于第一阱,因为第二阱将接收到的经反射光量总是很小:要么反射对象遥远且信号因该距离而被强烈地减小,要么反射对象在附近且大部分反射在第一时间窗期间到达。

[0047] 在一实施例中,根据本发明的系统被进一步配置成针对至少两个连贯脉冲序列执行投影和检测,序列中的每一者以与第一预定时间窗和第二预定时间窗不同的历时来操作。

[0048] 该实施例依赖于对期望总射程的多个子射程的多个连贯测量。每个测量包括在相应第一时间窗(在此期间第一电荷存储阱被激活)继以相应第二时间窗(在此期间第二电荷存储阱被激活)及任选地继以用于执行不同功能的相应附加时间窗中所发出的脉冲序列。

脉冲序列及其相关联的时间窗因而定义了测量帧,其测量射程由脉冲宽度来确定。通过使用从一个测量帧到下一测量帧不同的脉冲宽度(以及因而,与第一时间窗和第二时间窗不同的历时),可感测不同子射程。帧的图案可被设计,其组合以覆盖整个期望的目标射程。

[0049] 在根据本发明的系统的一实施例中,第一预定时间窗和第二预定时间窗具有基本上相等的历时且紧接地出现。

[0050] 该实施例的优点在于,可通过对从周围像素平均的经累积的环境光执行减法来容易地抵消距离计算公式中的环境光的贡献。

[0051] 在一实施例中,根据本发明的系统被配置成使第一和第二预定时间窗与在此期间所述多个图像元件在不同于对第一光量的检测和对第二光量的检测的所述功能中被使用的时间窗交织。

[0052] 就本发明的像素解决了短射程饱和问题而言,其移除了对扩展短端处的工作范围的其他变通方法的需要。

[0053] 由于要感测的总射程通常被拆分成可由具有对应地选择的脉冲宽度的各个个体帧跨越的若干个子射程,因此在单个帧中执行的测量的跨度的增加导致覆盖整个期望射程所需的帧数中的减小。以这种方式释放的时间可被用来执行不同功能;即,通常包括第一预定时间窗和第二预定时间窗的帧可利用用于执行不同功能的一个或多个附加时间窗来扩展(然而,为了确保射程选通功能的恰适操作,在第一预定时间窗和第二预定时间窗之间不应插入附加时间窗)。系统可因而具有由第一时间窗(激光打开,第一电荷存储阱打开)、第二时间窗(激光关闭,第二电荷存储阱打开)、第三时间窗(不同功能或空闲时间)、和第四时间窗(不同功能或空闲时间)(所有时间窗的历时相同)导致的例如25%的占空比(投影仪“打开”时间)。紧接在第一时间窗和第二时间窗之后出现的第三时间窗的潜在用途是冲掉可由高反射性的射程外对象的反射生成的任何电荷,以避免其不利地影响下一个投影脉冲的反射的测量;为此可提供专用冲洗门。

[0054] 需要注意,这些或其他交织的(非测距的)时间帧也可被用来执行独立于至少一个附加电荷存储阱(即,第三和任何后续的电存储阱)的前述功能的功能。

[0055] 占空比的降低还有助于减少由系统发出的光功率的平均量,这改善了系统的眼安全特性。确定由系统发出的光功率的平均量的其他元素包括所发出的每脉冲功率、每序列发射的脉冲数、以及序列的重复率。

[0056] 根据本发明的一方面,提供了一种车辆,包括:如上面所描述的被布置成可操作地覆盖所述车辆周围区域的至少一部分的系统。

[0057] 根据本发明的系统在具有ADAS或自动驾驶控制单元(诸如但不限于ECU(电子控制单元))的车辆中是尤其有利的。该车辆可进一步包括车辆控制单元,该车辆控制单元被适配成用于从系统接收测量信息以及将该信息用于ADAS控制或自动驾驶决策。车辆周围区域的该部分可包括车辆前方、旁边或后方的路面。相应地,该系统可提供汽车前方地面的道路轮廓信息以用于主动悬架或半主动悬架,以及检测和跟踪车辆周围的对象以进行辅助驾驶、ADAS和自动驾驶。

[0058] 根据本发明的一方面,提供了一种相机,该相机包括如上面所描述的系统,其中该系统被适配成基于从该系统获得的信息将3D信息添加至相机图像,从而使创建3D图像成为可能。

[0059] 相机被适配成以已知方式获取2D图像。为此,相机要么可包括专用传感器(像素阵列),要么其可使用根据本发明的射程选通系统的传感器。如果射程选通系统的传感器被使用,则这可按各种方式来完成:例如,在与发生射程选通所处的时间点不同的时间点处(例如,在单独的帧中,任选地通过使用闪光灯来照明场景,或在相同的帧中,但在不同的时间窗中);在与射程选通相同的时间处,但排除其中投影的离散光斑的反射被接收的像素。出于获取2D图像的目的,射程选通传感器可设置有除了被用于射程选通的两个阱之外的第三阱。

[0060] 根据本发明的一方面,提供了一种用于确定到对象的距离的方法,该方法包括:使用固态光源来以脉冲序列朝对象投影激光的离散光斑图案;使用包括多个图像元件的检测器来与所述脉冲序列同步地检测表示由对象反射的所述离散光斑图案的光;以及根据由所述图像元件响应于所述检测到的光而生成的曝光值来计算到对象的距离;其中这些图像元件通过针对所述序列中的每个脉冲累积表示在第一预定时间窗期间由所述对象反射的第一光量的第一电荷量和表示在第二预定时间窗期间由所述对象反射的第二光量的第二电荷量来生成曝光值,所述第二预定时间窗在所述第一预定时间窗之后出现;其中该多个图像元件中的每一者包括至少两个电荷存储阱,以及其中对第一光量的检测和对第二光量的检测在该至少两个电荷存储阱中的相应电荷存储阱处发生;并且其中所述多个图像元件中的每一者包括被配置成执行与对所述第一光量的所述检测和对所述第二光量的所述检测不同的功能的至少一个附加电荷存储阱,所述至少一个附加电荷存储阱具有小于所述至少两个电荷存储阱的电荷存储容量的电荷存储容量。

[0061] 在根据本发明的方法的一实施例中,所述功能包括获取二维图像。

[0062] 在根据本发明的方法的一实施例中,所述功能包括获取背景光值。

[0063] 在根据本发明的方法的一实施例中,所述功能包括针对所述序列中的所有脉冲累积表示在第三预定时间窗期间的第三光量的第三电荷量。

[0064] 在根据本发明的方法的一实施例中,第一预定时间窗和第二预定时间窗具有基本上相等的历时且紧接地出现。

[0065] 在根据本发明的方法的一实施例中,多个图像元件中的每个图像元件包括至少两个电荷存储阱,并且其中对第一光量的检测和对第二光量的检测发生在该至少两个电荷存储阱中的相应电荷存储阱处。

[0066] 在根据本发明的方法的一实施例中,投影、检测和计算被周期性地重复。

[0067] 在根据本发明的方法的一实施例中,第一和第二预定时间窗与在此期间该多个图像元件在不同对所述第一光量的所述检测和对所述第二光量的所述检测的所述功能中被使用的时间帧交织。

[0068] 根据本发明的一方面,提供了一种包括被配置成促使处理器执行以上所描述的方法的代码装置的计算机程序产品。

[0069] 根据本发明的相机、车辆、方法、和计算机程序产品的实施例的技术效果和优点对应于根据本发明的系统的对应实施例的那些技术效果和优点(仅需加以必要的修改)。

附图说明

[0070] 现在将参考附图更详细地描述本发明的这些和其他方面及优点,其中:

- [0071] 图1表示根据本发明的方法的一实施例的流程图；
- [0072] 图2示意性地表示根据本发明的系统的一实施例；
- [0073] 图3a-3c表示本发明的各实施例中的光投影和检测的时序图,以解说射程选通中所涉及的两个阱的操作。
- [0074] 图4a-4f表示本发明的各实施例中的光投影和检测的时序图,以解说附加阱的操作。
- [0075] 图4g示意性地解说了如何将图3c的序列中的各个个体帧分解成具有不同定时参数的序列,每个序列覆盖目标射程的一部分；
- [0076] 图5提供了如通过对数色调映射(顶部)和多线性色调映射(底部)获得的因变于入射光功率的示例性像素输出的示图；
- [0077] 图6提供了如通过高动态范围多输出像素获得的因变于入射光功率的示例性像素输出的示图；
- [0078] 图7示意性地表示供在本发明的各实施例中使用的像素。
- [0079] 图8示意性地解说了供在本发明的各实施例中使用的具有三个电荷阱(仓)的像素架构的一实施例,每个电荷阱(仓)具有单独的转移栅；
- [0080] 图9示意性地表示供在本发明的各实施例中使用的像素,示出了获得阱的非对称性的第一方式。
- [0081] 图10示意性地表示供在本发明的各实施例中使用的像素,示出了获得阱的非对称性的第二方式。
- [0082] 图11示意性地解说了供在本发明的各实施例中使用的第一示例性光学布置；
- [0083] 图12示意性地解说了供在本发明的各实施例中使用的第二示例性光学布置；
- [0084] 图13示意性地解说了供在本发明的各实施例中使用的第三示例性光学布置；
- [0085] 图14示意性地解说了第四示例性光学布置；
- [0086] 图15示意性地解说了被设计成补偿图11-14的光学布置的非平面焦平面的弯曲的检测器基板；以及
- [0087] 图16示意性地解说了在源头处使用不同波长来补偿窄带通滤波器处的不相等入射角。

具体实施方式

[0088] 用于汽车应用,尤其是高级驾驶员辅助(ADAS)和自动驾驶汽车中的距离测量的理想系统是能够可靠地检测直到200米的对象的高度紧凑的、可大规模生产的、低成本的固态LIDAR。最优大小和成本降低只有在传感器为“真正固态”的情况下才能被达成,这不仅是因为其缺少移动部件,而且各组件可通过半导体技术来大规模生产(摩尔定律)。存在必须进行调和以便达成上述目标的两个竞争性要求:光输出功率必须超过照明最远距离处的对象的环境光的功率(具有至多达 $500\text{W}/\text{m}^2$ 的功率),但同时其必须保持低于由严格(1/M级)眼安全规范施加的最大功率。

[0089] 根据本发明的系统通过使用大激光器阵列以提供带有场景的平行光斑图案照明的LIDAR来调和此种明显冲突的要求。为此目的使用VCSEL阵列是有利的,因为它们具有良好的波束质量(M^2 因子),以使得波束可聚焦于非常小的离散光斑(以超过强日光),并且它

们可通过半导体技术来大规模生产。

[0090] 至今,基于半导体的光源(诸如VCSEL阵列)尚未在具有平行照明的LIDAR系统中被使用,这是因为每个个体VCSEL上的极低的光功率(具有10mW的量级)。为了达到足够精度所需的0.1 μ J的能量,距离测量必须扩展至0.1 μ J/10mW=10 μ sec。

[0091] 在本发明中所使用的射程选通方法(间接飞行时间方法)中,脉冲历时必须具有光到达对象并返回所耗费的时间的量级(考虑到200m的目标射程,则往返行程合计为400m),这具有1 μ s的量级。因而,为了获得足够的精度,必须在至少10个、且优选地至多达100个(或更多个,以提高精度)相继脉冲上累积信号。然而,如此之多的各个个体测量的累积(每个测量仅产生几个电子)往往会使期望的信号淹没在读出噪声中。发明人通过开发低噪声CMOS检测器克服了这一挑战,其中信号的累积是在电容器上完成的并且仅在累积之后被读出。

[0092] 所得的100 μ s的总测量历时仍远远低于检测移动对象所需的时间分辨率。

[0093] 将0.1 μ J的用于个体测量的最小光脉冲能量与1mJ的1/M级眼安全规范(在1秒上被平均)相组合所得出的结论是:眼安全规范将距离测量的数目(假设直到200m的距离,以及在30°x 30°的角范围中)限制为每秒1百万次测量。

[0094] 以本申请人的名义的国际专利申请公开W0 2015/004213 A1中所公开的类型的环境感测系统具有观察广阔的场景而仅以数个离散且明确定义的光斑(尤其是预定义的光斑图案)来同时或部分同时地照明该场景的优点。通过使用具有出色捆绑质量和非常窄的输出频谱的VCSEL激光器,可获得具有有限输出功率量的检测射程,即使是在日光存在的情况下。在W0 2015/004213 A1的系统中执行的实际测距依赖于位移检测(尤其是三角测量),其被认为是在鉴于功率预算的情况下必需的长(准平稳)脉冲历时的上下文中实际可用的唯一方法。至今,利用紧凑的、基于半导体的基于飞行时间的系统尚无法达成相同的功率/性能特性。

[0095] 本发明通过从根本上改变基于飞行时间的系统的操作方式来克服该限制。本发明通过增加各个个体脉冲的历时和通过产生虚拟的“复合脉冲”(其包括大量个体脉冲的序列)来增加针对每次飞行时间测量所发射的光能量的总量(并因而增加可用于每次飞行时间测量的检测器处的检测的光子数)。经扩展脉冲的这种集束允许发明人利用低功率VCSEL获得用于期望的工作范围的光能量(光子)的所需量。优选地,VCSEL激光器具有出色捆绑质量和非常窄的输出频谱,以便获得具有有限输出功率量的长检测射程,即使是在日光存在的情况下。优选地,VCSEL激光器是热稳定的,以确保一致的工作特性。

[0096] 在预先存在的LIDAR系统的个体脉冲可具有1ns的历时的情况下,根据本发明的系统受益于显著地更长的脉冲历时,以部分地补偿半导体激光器(诸如VCSEL)的相对低的功率水平;在本发明的各实施例中,序列内的各个个体脉冲可具有示例性的1 μ s的历时(这是一个在此处被选择以保持本描述清楚和简单的可能的值;更一般而言,在本发明的各实施例中,脉冲历时可例如是500ns或更多,优选地750ns或更多,最优选地900ns或更多)。在根据本发明的示例性系统中,序列可包括1000个脉冲周期,因而合计为1ms的历时。给定光将需要大约0.66 μ s以行进至100m的距离处的目标并返回至检测器的事实,可使用此历时的复合脉冲来在该数量级的距离处进行测距;本领域技术人员将能够根据所选择的脉冲宽度和期望射程来调整所需脉冲周期数。序列的检测优选地包括与基于VCSEL的光源同步地检测各个个体脉冲,并且在读出之前针对整个序列在像素级别处累积响应于入射光子而生成

的电荷。术语“曝光值”在下文中被用来指定表示在序列上积分的电荷(并因而表示在像素处接收到的光的量)的值。序列发射和检测可被周期性地重复。

[0097] 本发明通过使用射程选通来操作。射程选通成像器对所发射的脉冲的反射的检测到的功率进行积分达脉冲的历时。脉冲发射窗和经反射脉冲的到达之间的时间交叠量取决于光脉冲的返回时间,并因而取决于脉冲所行进的距离。因而,经积分的功率与脉冲所行进的距离相关。本发明使用如应用于上文中所描述的脉冲序列的射程选通的原理。在下面的描述中,在图像元件的级别处对序列的各个个体脉冲进行积分以获得整个序列的测量被隐式地理解。

[0098] CMOS传感器中的图像元件(像素)优选地基于钉扎(pinned)二极管和转移栅技术,以确保读出之际所累积的光电荷的完全转移,以便使准确度最大化,并符合深微米CMOS制造技术,易于在标准CMOS代工厂中进行大规模生产。

[0099] 图1表示根据本发明的方法的一实施例的流程图。在不失一般性的情况下,参考射程选通算法来描述测距方法。在第一时间窗10中,该方法包括将来自包括固态光源210的光源的激光的光斑图案(例如,光斑的规则或不规则空间图案)投影110到场景的目标区域中的任何对象上。空间图案被以脉冲序列重复地投影。

[0100] 如以上所指示的,固态光源可包括VCSEL阵列或具有被适配成产生期望的图案的光栅的激光器。为了使系统以最优方式操作,即使在长射程处和高环境光水平下(例如,在日光中),供在本发明的各实施例中使用的VCSEL优选地被布置成发射每单位区域每光斑的最大光功率。因而,具有良好波束质量(低M2因子)的激光器是优选的。更优选地,激光器应具有最小波长张开;尤其低的波长张开可利用单模激光器来达成。因而,可随必要的空间和时间准确度来可再现地生成基本等同物。

[0101] 在其中脉冲被发射的相同时间窗期间或在基本上交叠的时间窗中,表示如由感兴趣的对象反射的光斑图案的第一光量在检测器处被检测到120,该检测器优选地被布置为尽可能地靠近光源。光斑图案的投影110与其反射的第一检测120之间的同步性或近似同步性在流程图中由这些步骤的并排布置来解说。在随后的第二预定时间窗20中,表示经反射的光斑的第二光量在检测器处被检测到130。在该第二窗20期间,固态光源是不活跃的。到对象的距离可接着根据第一经反射光量和第二经反射光量来计算140。

[0102] 第一预定时间窗10和第二预定时间窗20优选地是具有基本上相等的历时的紧接的窗,以通过从检测到的量中的一个量减去另一个量来促成噪声和环境光抵消。下面将结合图3来更详细地描述示例性定时方案。

[0103] 检测器包括多个图像元件,即其由具有适当光学器件的图像元件阵列组成,该光学器件被布置成将场景的图像(包括所照明的光斑)投影到图像元件上。如本文中所使用的术语“图像元件”可指代像素的个体光敏区域或阱,或指代整个像素(其可包括多个阱,参见下文)。对于每个给定投影光斑,第一光量的检测120和第二光量的检测130发生在多个图像元件中的同一个图像元件处或同一组图像元件处。

[0104] 在不失一般性的情况下,图像元件中的每个图像元件可以是包括至少两个电荷存储阱221、222的像素,使得第一光量的检测120和第二光量的检测130可发生在相同像素或像素组的相应电荷存储阱221、222处。

[0105] 图2示意性地表示根据本发明的系统的关于感兴趣场景中的对象99的一实施例。

系统200包括用于将光斑序列的图案投影到对象99上的固态光源210,该光斑序列可周期性地重复。检测器220被布置在光源附近并且被配置成检测由对象反射的光。

[0106] 从对象99弹回的光束如虚线的箭头所例示,从光源210行进到对象99并返回检测器220。应当注意,该表示严格来说是示意性的,并且不意图指示任何实际的相对距离或角度。

[0107] 同步装置230(其可包括常规时钟电路或振荡器)被配置成操作固态光源210以便在第一预定时间窗10期间将光斑图案投影到对象上,以及基本上同时地操作检测器220以便检测表示由对象99反射的(诸)光斑的第一光量。该同步装置230进一步操作检测器220以在相应的后续第二预定时间窗20期间检测表示由对象99反射的光斑的第二光量。适当处理装置240被配置成根据第一经反射光量和第二经反射光量来计算到对象的距离。

[0108] 图3表示用于本发明的各实施例中的光投影和检测的时序图。为了清楚起见,仅解说了图1中周期性重复的脉冲序列的单个脉冲,该单个脉冲包括第一时间窗10和第二时间窗20。

[0109] 如可在图3a中看到的,在第一时间窗10期间,固态光源210处于其将光斑图案发射到场景上的“打开”状态。在第二时间窗20期间,固态光源210处于其“关闭”状态。

[0110] 检测器220处的反射光的到达相对于投影的开始延迟了与所行进的距离成比例的时间量(自由空间中大约 3.3ns/m)。归因于该延迟,只有反射光的一部分将在检测器220的第一阱221处被检测到,该第一阱221仅在第一时间窗10期间被激活。因而,在该第一阱的激活时段(第一时间窗10)期间在第一阱中所累积的电荷包括仅表示噪声和经反射脉冲到达之前入射在像素上的环境光的部分、以及表示噪声、环境光和经反射脉冲的前沿的部分。

[0111] 经反射脉冲的后面部分将在检测器220的第二阱222处被检测到,该第二阱222仅在第二时间窗20期间被激活,该第二时间窗20优选地紧跟在第一时间窗10之后。因而,在该第二阱的激活时段(第二时间窗20)期间在第二阱中所累积的电荷包括表示噪声、环境光和经反射脉冲的后沿的部分、以及仅表示噪声和经反射脉冲到达之前入射在像素上的环境光的部分。

[0112] 反射对象99和系统200之间的距离越大,将在第一阱221中检测到的脉冲的比例就越小,而将在第二阱222中检测到的脉冲的比例越大。

[0113] 如果经反射脉冲的前沿在第一阱221的关闭之后(即,在第一时间窗10的结束之后)到达,则可在第二阱222中检测到的经反射脉冲的比例将随着飞行时间延迟的增加再次减小。

[0114] 在图3b中针对对象99的相异距离示出了相应阱221、222的每一者中的电荷A、B的所得量。为了简化表示,示图中未考虑光根据平方反比定律而随距离衰减的效应。显然,对于至多达第一时间窗10和第二时间窗20的组合历时的飞行时间延迟,飞行时间延迟可原则上从A和B的值中被不带歧义地导出:

[0115] -对于至多达第一时间窗10的历时的飞行时间延迟,B与对象99的距离成比例。为了容易地达成对绝对距离的确定,经归一化的值 $B/(B+A)$ 可被使用,从而移除所检测的对象的非完美反射率和平方反比定律的任何影响。

[0116] -对于超过第一时间窗10的历时的飞行时间延迟,A仅包括日光和噪声贡献(未解说),而 $C-B$ (在针对平方反比定律进行校正之后)基本上与对象99的距离成比例,其中C是偏

移值。

[0117] 尽管图3a和图3b解说了本发明的关于时间窗10中所发射的单个脉冲的原理,但是应当理解,所解说的脉冲是如以上所定义的脉冲序列的一部分。图3c示意性地解说了这样的序列的示例性定时特性。如所解说的,照明方案40包括各个个体脉冲10的序列30的重复发射。各个个体脉冲10的宽度由最大工作范围来确定。整个序列可以以例如60Hz的频率来被重复。

[0118] 发明人已经发现,在诸如本文中所描述的系统,由短距离处的对象所作的光反射更可能引起像素饱和,因为这样的反射的衰减将比源自较远距离的对象的反射少得多(归因于光通过距离衰减的平方反比定律)。由于某些应用(诸如汽车应用)需要直至相对长的距离的准确系统操作,因此必须在最近的操作距离和最远的操作距离之间覆盖大的光子跨度。伴随这些约束,短射程处的像素饱和是非常现实的风险,尤其是在第一阱(其接收短射程处的大部分反射)处。发明人已经发现,对于给定的总像素空间,可通过使用非对称阱布置来减轻饱和问题,其中第一阱所表示的光子容量增加,而第二阱所表示的光子容量减小。如果增加和减小被平衡,则可在无附加像素表面成本的情况下获得动态范围的增加。

[0119] 像素可进一步包括允许像素在充电模式和放电模式之间切换的电路系统。在充电模式中,入射在所述像素上的光致使第一电荷存储阱或第二电荷存储阱(根据照明方案的当前阶段)增加电荷的存储量。在放电模式中,优选地在充电模式之后被激活达相等的时间量,入射在所述像素上的光致使所述第一电荷存储阱或所述第二电荷存储阱减小电荷的存储量。该切换方案允许从电荷存储阱移除与背景光相对应的电荷量。

[0120] 本发明的各实施例可采用相关双采样来针对与阱的容量相关的热噪声(也称为“kTC噪声”)校正样本。为此,像素的电子器件可被设计为执行复位电压($V_{\text{复位}}$)和信号电压($V_{\text{信号}}$)之间的差分测量,例如通过在帧的开始处测量 $V_{\text{复位}}$ 并在帧的结尾处测量 $V_{\text{信号}}$ 。作为电子(像素内)实现的替代方案,还可通过在处理器中数字地减去读出信号($V_{\text{信号}} - V_{\text{复位}}$)来实现相关双采样。

[0121] 为了增加到达像素结构中的光敏元件(尤其是二极管)的光量,本发明的各实施例可使用背侧照明;在该情形中,像素电路系统在光敏层的后面,因而减少了入射光子读取光敏元件所必须遍历的层数。

[0122] 根据本发明的测距系统可根据W0 2015/004213 A1与基于三角测量的系统集成在一起。如果以小型化为目标,则基于三角测量的系统最终将在其投影仪和检测器之间具有相对小的距离,因而使其具有减少的工作范围。然而,正是在短射程处才使组合呈现出其益处,因为基于三角测量的系统可覆盖基于飞行时间的系统无法充分准确地工作所处的距离。

[0123] 整个测距过程可被迭代地重复,以便随时间监视到所检测的一个或多个对象的距离。因而,该方法的结果可被用在连续不断地需要关于到被检测的对象的距离的信息的过程中,诸如对象检测和跟踪、辅助驾驶、高级驾驶员辅助系统、具有主动悬架的车辆、或自动驾驶车辆。迭代重复的射程选通序列在图4a的时序图中被示意性地表示,其中每个帧对应于投影仪(P)的脉冲序列(脉冲的定时由小写字母‘p’指示),其与成像器(I)的激活同步(第一阱中的电荷的累积由小写字母‘a’指示,而第二阱中的电荷的累积由小写字母‘b’指示)。在不失一般性的前提下,仅解说了两个连贯帧。

[0124] 图4b表示经修改的定时方案,其包含用于每个投影脉冲的两个附加时隙。当无投影光的反射被接收到时,这些附加时隙被用来以与入射在像素上的光的强度成比例的速率对相应阱进行放电。由于在没有脉冲的情况下接收到的光表示背景光(相对于接收到脉冲反射的时间点只有微小的时间偏移),因此对于每个投影仪脉冲,该方案从第一阱和第二阱中所累积的电荷中有效地移除背景光分量。

[0125] 为了实现上面提到的放电阶段,像素可包括用于存储电荷的电容器,该电容器通过适当转移栅耦合至光电二极管。该累积阶段接着包括将电荷转移到电容器的第一侧,并且该减小包括将电荷转移到电容器的第二侧。

[0126] 根据本发明的系统优选地包括附加的阱和转移栅。

[0127] 图4c表示经修改的定时方案,其包含用于每个投影脉冲的一个附加时隙。该附加时隙被用来在第三阱中累积光电荷(第三阱中的电荷的累积由小写字母‘c’指示)。由于第三阱中所接收到的光是在没有脉冲的情况下到达的,因此其表示背景光(相对于接收到脉冲反射的时间点只有微小的时间偏移)。第三阱中所累积的电荷可因此从第一阱和第二阱中的电荷中被减去,以从后者电荷中有效地移除背景光分量。

[0128] 图4d表示图4c的定时方案的变体,其中第三阱在相同数目的投影仪脉冲完成之后的数个时隙期间被激活。由于第三阱中所接收到的光是在没有脉冲的情况下到达的,因此其表示背景光(相对于接收到脉冲反射的时间点只有略微较大的时间偏移)。第三阱中所累积的电荷可因此从第一阱和第二阱中的电荷中被减去,以从后者电荷中有效地移除背景光分量。

[0129] 图4e表示图4c的定时方案的又一变体,其中第一阱在单独的帧中被激活,在这之前是其中投影仪以及第一和第二阱为了射程选通而活跃的帧的完成。由于第一阱中所接收到的光是在没有脉冲的情况下到达的,因此其表示背景光(相对于接收到脉冲反射的时间点又只有略微较大的时间偏移)。在该单独的帧中在第一阱中所累积的电荷可因此从第一阱和第二阱中的电荷中被减去,以从后者电荷中有效地移除背景光分量。

[0130] 大的期望工作范围(在200m的量级)和高的期望准确度(在最远点处正确地检测到仅仅1000个光子)的组合导致在可在一个帧中在一个阱中被接收到的光子的最大数目、以及可在一个帧中在一个阱中被接收到的最低数目之间的巨大跨度。

[0131] 图4f表示经修改的定时方案,其与图4a的方案的不同之处在于,单个时隙的历时会从一个时隙到下一个时隙而变化。以此方式,针对不同帧的检测阈值和饱和点将在不同距离处发生,并且从数个连贯帧获得的信息可被组合以获得针对附近对象和远处对象两者的准确距离测量。

[0132] 图4g示意性地解说了图3c的序列中的各个个体帧(其由于 N_{\max} (在不使像素饱和的情况下可被存储的最大电子数)和 N_{\min} (准确读出所需的最小像素数)所施加的约束而无法覆盖距离的整个目标射程 $[z_{\min}, z_{\max}]$)能够如何被分解成具有不同定时参数的序列,每个序列覆盖目标射程的一部分 $[z_{\min}(i), z_{\max}(i)]$,其可以在针对光子数的相同约束内被更容易地覆盖。

[0133] 参考上面引入且在图4g中所使用的符号,诸子射程的对应电子量 $n_{\min}(i)$ 和 $n_{\max}(i)$ 被定义为:

[0134] -最大可允许电子数(对于全像素容量(其在不存在附加容量的情形中对应于全阱

容量),使用“FPC”):

[0135] $n_{\max} = N_{\min} \times \left(\frac{z(i)}{z(i+1)} \right) \leq \text{FPC}$, 其中 $z(0) = z_{\max}$

[0136] -最小所需准确度水平: $n_{\min} = N_{\min}$

[0137] - $z_{\max}(i) = z_{\min}(i-1)$

[0138] 附加地,脉冲特性可被确定为如下:

[0139] -脉宽 $\tau(i) = \frac{z_{\max}(i)}{c}$

[0140] -总“打开”时间与 $\frac{N_{\max}}{N_{\min}}$ 成比例地被减少,以遵守由全像素容量和准确度水平施加的限制。

[0141] 可通过以下非限制性数值示例来进一步阐明上述原理。

[0142] 在150m的距离处具有10%反射率的朗伯反射表面必须提供1000个电子以获得1.6%的准确度。在相同距离处,100%反射表面将生成10000个电子。利用200000个电子的全阱容量,提出以下多帧解决方案:

[0143]

	子射程	脉冲宽度:	总“打开”时间
帧1	150m-33m	1 μ s	1ms
帧2	7.4m-33m	22ns	50 μ s
帧3	1.65m-7.4m	4.9ns	2.5 μ s
帧4	0.37m-1.65m	1.1ns	0.125 μ s

[0144] 应当注意,出于稳健性原因,在诸子射程中提供交叠可能是有利的。

[0145] 为了确保相同的3D分辨率,使用更快速的相机可能是有利的:例如,以180Hz工作且具有3帧交织的相机给出了与利用单帧操作的60Hz相同的数据速度。

[0146] 取决于其中使用根据本发明的系统的模式,占空比将变化。可容易地看出,当一些帧被用于捕捉射程之外的反射或获取2D图像时,较小比例的时间可用于实际测距。使用根据本发明的三阱或四阱像素的优点在于,若干个功能可被同时执行,因而增加了射程选通功能的占空比。

[0147] 泛光(blooming)是一种当像素中的电荷超过该特定像素的饱和水平时(如在短射程反射或来自高反射性表面(诸如交通标志或牌照)的反射的情形中)发生的现象。因此,电荷开始溢出并在毗邻像素中造成麻烦。这在相邻像素中创建了不准确的数据。

[0148] 优选地,根据本发明的系统的像素设置有防泛光电子器件,其可尤其包括前述第三阱或甚至第四阱,以在过量电荷使相关阱饱和并溢出到毗邻像素的阱之前先将其排出。具体而言,当来自相邻光斑的信息被用于消除背景光时,具有对背景光的准确估算(其是与相邻像素独立(且不带污染)地被获得的)有着很大的重要性。同样,当不接收光斑反射的像素被用来同时生成规则2D图像时,与接收光斑反射的像素毗邻的像素不受来自所毗邻像素的电荷溢出的影响是高度期望的。

[0149] 如上面描述的防泛光布置也可有助于增加系统在近端处的射程。在短距离处,接收经反射光斑的主要部分的像素易于饱和。通过应用防泛光布置,避免了电荷从此类饱和像素溢出到相邻像素。因此,相邻像素可继续正常工作。由于被经反射光斑照明的区域通常将覆盖不止单单一个像素,因此可预期相邻像素中的一些接收经反射光斑的一部分,该部

分足够小以便避免饱和,但可用于执行射程选通。

[0150] 为了使所描述的系统的所有元件最优地操作,该系统必须是热稳定的。热稳定性尤其避免了光学元件的不期望的波长偏移(热漂移),其原本将损害光学滤波器和光学链中其他元件的恰适运作。根据本发明的系统的各实施例通过其设计、或通过借助于具有PID型控制器的温度控制回路的主动调节来达成热稳定性。

[0151] W0 2015/004213 A1公开了各种技术以最小化在检测间隔期间到达像素的环境光的量,因而改进了图案化激光光斑的检测的准确度。尽管这些技术没有在LIDAR系统的上下文中被公开,但是本发明的发明人已经发现,若干此类技术在与本发明的各实施例相组合时产生了极佳的结果。这对于在检测器处使用窄带通滤波器以及使用适当光学布置以确保反射光几乎垂直入射在滤波器上尤其如此。这些布置的细节如它们在W0 2015/004213 A1中显现的那样通过援引而被并入本文。进一步的特征和细节在下文中被提供。

[0152] 尽管从W0 2015/004213 A1已知的各种技术可被应用于本发明的各实施例以最小化在检测间隔期间到达像素的环境光的量,但是一定量的环境光无法被避免。在多像素系统中,像素中仅一些像素将被经反射光斑照明,而其他像素将仅被残余环境光照明。后一组像素的信号电平可被用来估算环境光对感兴趣的像素中的信号的贡献,并相应地减去该贡献。附加地或替代地,可在像素级别处从所检测到的信号中减去背景光或环境光。这需要两次曝光,一次是在激光脉冲的到达期间,而另一次是在没有脉冲的情况下。

[0153] 在一些实施例中,检测器可以是高动态范围检测器,即具有至少90dB,优选地至少120dB的动态范围的检测器。高动态范围传感器(即,能够获取大量光子而不饱和,同时场景的最暗部分中维持强度水平的充足辨别的传感器)的存在是使用这样的传感器的优点;其虑及具有十分长的射程且仍保持能够在短距离(其中反射光相对强烈)处检测对象而不会经历饱和的传感器。发明人已经发现,使用真正的高动态范围传感器比使用应用色调映射的传感器更加有利。在色调映射中,传感器线性范围朝更高分辨率被压缩。在文献中,记载了若干种压缩方法,诸如对数压缩或多线性压缩(参见图5)。然而,这种非线性压缩需要在对所捕捉的场景执行逻辑或算术运算以提取地势(relief)信息之前对信号进行重新线性化。因此,根据本发明的解决方案提高了检测准确度而没有增加计算要求。一些实施例的进一步优点是使用如图6所呈现的全线性高动态范围传感器。能够提供期望的动态范围特性的像素架构和光学检测器在美国专利申请公开no.US2014/353472 A1中被公开,尤其是第65-73和88段,出于允许本领域技术人员能够实践本发明的该方面的目的,其内容通过援引而被并入。

[0154] 本发明的各实施例使用高动态范围像素。这可通过电荷存储库的颇大的全阱容量或通过限制每像素的电子噪声的设计或通过使用在电荷转移时不添加噪声的CCD栅来获得,或者通过具有大检测量子效率(DQE)的设计(例如,对于前照明而言在50%的射程中,或者在背照明(也称为背变薄(back thinning))的情形中90%)来获得,或者通过所列改进的任何组合来获得。此外,可通过向其正面处的覆盖中的像素添加溢出容量来进一步扩大动态范围(该实现需要背变薄)。优选地,像素设计实现如上面描述的防泛光机制。

[0155] 图7表示要在CMOS技术中使用的所设想像素的可能的双阱或双仓实现。入射信号分布在两个电荷存储上。每个存储库具有由与激光源的脉冲同步的外部脉冲控制的单独的转移栅。

[0156] 在图8中示意性地呈现了根据本发明的包括防泛光电路系统的示例性非对称三阱像素。电荷存储阱221、222、223(SN A、SN B、SN C)借助于转移栅(TG A、TG B、TG C)连接至光活化区域(PH),这些转移栅被控制以使这两个电荷存储阱的激活状态与投影脉冲的传输相同步,如上面所描述。光活化区域(PH)优选地被实现为钉扎光电二极管,其虑及在光活化区域中生成的电荷经由转移栅的完全耗尽。

[0157] 如果三个电荷存储阱的容量被表示为C1(第一经反射光量→SN A)、C2(第二经反射光量→SN B)和C3(背景光→SN C),则设定尺寸优选为如下: $C1 > C2 > C3$ 。

[0158] C2优选地小于或等于C1的 $\frac{2}{3}$,并且更优选地小于或等于C1的50%。

[0159] C3优选地小于或等于C2的90%,更优选地小于或等于C2的70%,并且最优选地小于或等于C2的50%。

[0160] 发明人已进一步发现,为了获得有用的工作范围(在最低可检测光水平和发生饱和所处的光水平之间),C2的尺寸可被设定为小于C1,因为第二阱将接收到的经反射光量总是很小:要么反射对象遥远且信号因该距离而被强烈地减小(尽管归因于该距离,大部分反射光在第二时间窗期间到达SN B),要么反射对象在附近且大部分反射在第一时间窗期间到达SN A。

[0161] 当被用于背景减去时,C3的尺寸可被设定为三个阱中最小的,因为背景光会被窄带滤波器强烈地减小(优选地利用光学器件或其他手段来使入射光相对于滤波器几乎垂直,如下文更详细地描述的)。窄带可具有至多达20nm,优选地至多达10nm,并且更优选地至多达5nm的示例性通带带宽。

[0162] 转移栅优选地被放置在光活化区域(尤其是钉扎光电二极管)的一个边缘上,以便对于每个阱收集都取得相同的延迟量,而不管光落在像素内部的位置。

[0163] 在优选配置中,数据由光电二极管元件(更具体地为钉扎光电二极管)来捕捉,并且数据通过转移栅来被立即存储在MOSFET(充当高密度电容器)的顶板上,MOSFET的底板以接地为参考。以此方式,数据被保存在电压域中。可通过查看转移栅TG A和存储节点SN A的操作来参考图8对此进行理解:光电二极管将光子转换成电子,充当TG A的晶体管被打开,随后电子被存储在SN A处,这直接增加了读出侧处的电压。

[0164] 该配置基于发明人的如下见解:通过在电压域中工作,实施方式可被致使更为紧凑,并允许灵敏度和传感器分辨率之间的更好权衡。

[0165] 本文中所公开的优选配置因而与本领域中已知的配置显著不同,本领域中已知的配置将光电门用作光电感测元件,并将MOSFET沟道用作存储元件以在电荷域中累积信息。这些已知配置具有两个陷阱:首先,栅和晶体管的所需数目变得很大,并且这限制了传感器的分辨率。其次,电荷域中的信息累积提出了从一个节点至另一节点、或从一个节点至读出放大器的电荷转移问题;如果转移不完整,则存储节点中所剩余的任何数据将创建在下一帧中显现的鬼影(ghost)图像。该问题的已知解决方案(使用钉扎晶体管、经埋入MOSFET)使飞行时间传感器的制造局限于非常特定的制造过程。

[0166] 本文中所公开的配置的优点在于,其允许使用CMOS技术生产高分辨率的飞行时间传感器,从而将CMOS处理的优点带入此应用领域(包括深亚微米数字处理和片上定序(on-chip sequencing))。

[0167] 图9示意性地表示根据本发明的像素的一实施例,其示出了获得阱的非对称性的

第一方式。如图9所示,在半导体制造过程期间,第一阱221(A信号侧的耗尽区)已被制造得大于第二阱222(B信号侧的耗尽区)。

[0168] 图10示意性地表示根据本发明的像素的一实施例,其示出了获得阱的非对称性的第二方式。在该情形中,半导体阱221、222两者都具有等同大小,但附加电容器被设置在A信号侧以增加第一阱221的有效容量。

[0169] 在根据本发明的系统中,测距节点221(SN A)、222(SN B)的读出优选地是单步读出。读出晶体管优选地直接连接至存储容量(感测节点),并且可被并行地读出。与两步读出相比,这种布置导致更高的速度和更低的噪声或寄生电容;另外,填充因子被改善,这归因于可从半导体激光投影仪获得的测距光子的低数目而很重要。

[0170] 第三感测节点223(SN C)及其相关联的转移栅(TG C)可被用在防泛光布置中。当感测节点221、222充满(饱和)时,防泛光栅(TG C)可被用来引开溢流(flooding)电子,以免污染周围像素,这些周围像素可被用来执行如上面描述的其他功能(例如,射程选通、用于背景减去的背景光感测、三角测量……)。附加地,在打开感测节点B之前,防泛光栅(TG C)可被用来引开尚未扩散至感测节点A的电子,如现在将更详细地解释的。

[0171] 本发明的各实施例的目的是减少电子朝感测节点扩散的等待时间。过多的等待时间可致使残余电子在SN A和SN B的记录之间留在光电二极管上(即,没有完全扩散);相应地,当转移栅A(TG A)被关闭时,来自感测节点A(SN A, 221)的其余电子可扩散至感测节点B(SN B, 222),并污染第二信号。本发明的各实施例通过提供具有历时 T_p 的冲刷脉冲来减少或避免这种影响,以通过激活防泛光栅(TG C)来驱动残余电子越过防泛光栅。当防泛光栅(TG C)被通电(通过施加电压)时,这些其余电子被拉走。在脉冲 T_p 之后,通过激活转移栅B(TG B)来打开感测节点B(SN B),以记录经反射信号的第二部分。 T_p 的尺寸根据半导体材料的扩散特性和测距信号的脉冲历时来被设定。必须在避免读取B的污染和错过过多测距公式所需的有用反射光子之间寻求一种最优化。优选地, T_p 在10ns至200ns之间。

[0172] 图11-13解说了可在本发明的各实施例中使用的相机,其中光辐射源发射单色光,并且至少一个检测器配备有对应的窄带通滤波器和光学器件,该光学器件被布置成以便于修改入射到所述窄带通滤波器上的入射角,以将所述入射角限制到所述窄带通滤波器的主表面的法线周围的预定的范围中,所述光学器件包括图像空间远心透镜。术语“相机”在本文中被用作传感器和相关联的光学器件(透镜、透镜阵列、滤波器)的组合。具体而言,在图12中,光学器件进一步包括迷你透镜或微透镜阵列,该微透镜或微透镜阵列被布置在图像空间远心透镜和该至少一个检测器之间,以使得迷你透镜阵列的各个个体迷你透镜将入射光聚焦在该至少一个检测器的各个个体像素的相应光敏区域上。这种每像素一个迷你透镜(或每像素一个微透镜)布置的优点在于,可通过将所有入射光光学地引导至像素的光敏部分来减少由于底层传感器的填充因子引起的损耗。

[0173] 这些示例全部都导致辐射行进基本上相等的长度通过滤波器介质,或者换言之入射的辐射与滤波器表面基本上正交,即其被限于滤波器表面的法线周围的预定的范围内的入射角,因而允许在窄带宽内进行准确地滤波,以例如过滤日光、阳光,并且以便使这些光斑超过日光。

[0174] 入射角的校正在本发明的各实施例中是尤其重要的,在这些实施例中车辆周围的整个空间是利用有限数目的传感器(例如8个传感器)来监视的,使得入射射线可在例如1x

1rad的立体角上扩展。

[0175] 图11示意性地解说了该类型的第一光学布置。其包括在图像空间远心配置中具有近似相同的焦距 f 的第一透镜1030和第二透镜1040。这意味着所有主射线(穿过孔径光阑中心的射线)均与像平面成法向。 0.16 的示例性数值孔径对应于 9.3° 的锥角(半锥角)。被布置在透镜系统1030-1040与传感器102之间的窄带通滤波器1060上的最大入射角因而将为 9.3° 。

[0176] 如图12中所解说的,优选的设计包括在图像空间远心配置(该配置任选地也是对象空间远心的)中具有近似相同的焦距 f 的两个透镜1130、1140的串联、迷你透镜阵列的平面堆叠1150、光谱滤波器1160和CMOS检测器102。由于第一透镜1130的中心 O 在第二透镜1140的焦点上,所以与 O 交叉的每条射线将在平行于光轴的方向上被第二透镜1140折射。现在考虑与第一透镜1130的焦距相比位于非常大的距离处的特定激光光斑 S_{1110} 。因而,由第一透镜1130所致的该光斑1110的图像是位于该透镜的焦平面附近(因而恰好在第二透镜1140的中间平面中)的点 P 。从光斑 S_{1110} 发射并被第一透镜1130捕捉的光射线形成了朝第二透镜1140中的点 P 会聚的光锥。该光锥的中央轴与点 O 交叉且被折射成平行于光轴,并因而垂直于光谱滤波器1160,以便达成最优光谱灵敏度。因此,第二透镜1140充当用于入射光束的角度的校正透镜。还可通过使用第二透镜1140后面的小凸迷你透镜1150以使得点 P 位于迷你透镜1150的焦点上,来将锥的其他射线弯曲成与光轴平行的一捆射线。以此方式,光斑 S_{1110} 的所有成像射线都在几乎垂直于光谱滤波器的方向上被弯曲。现在,这可以分别在CMOS检测器的每个像素前面通过使用定位在每个像素前面的迷你透镜的阵列来完成。在该配置中,迷你透镜具有图像远心功能。主要优点在于,可扩大第一透镜1030的光瞳,或者可在通过迷你透镜1150中的局部校正光学器件补偿球面像差中的增加的情况下消除孔径。以此方式,传感器组装件的灵敏度可被改善。第二迷你透镜阵列(图12中未示出)可被添加在光谱滤波器1160和CMOS像素102之间,以将平行射线聚焦回像素的光电二极管,以便最大化填充因子。

[0177] 对于第一和第二透镜1130、1140,可使用商业上可购得的透镜。技术人员将领会,还可使用通常在其他智能电话相机或具有可比较质量的网络摄像头中使用的透镜。前述iSight相机具有 $6 \times 3\text{mm}$ CMOS传感器,其具有8百万像素、 $1.5\mu\text{m}$ 像素大小、 $f/2.2$ 的非常大的孔径、 $f=7\text{mm}$ 左右的物镜焦距、以及 3.2mm 左右的光瞳直径。视角具有 $1\text{rad} \times 1\text{rad}$ 的量级。如果假设相机的分辨率大致是像素大小(1.5微米),则可(根据阿贝定律)得出结论:可针对由孔径选择的视角的所有射线来校正透镜的像差。

[0178] 图13解说了图12的布置的针对在单个光刻过程中进行制造而优化的变体。第一透镜1230类似于先前实施例的第一透镜1130,但角度校正第二透镜1140被具有相同焦距 f 的菲涅耳透镜1240取代且迷你透镜阵列1150被菲涅耳透镜阵列1250取代。优点在于,它们是完全平坦的,并且可通过纳米电子技术(具有离散相区)来生产。第二迷你透镜阵列1270可被添加在光谱滤波器1260和CMOS像素102之间,以将平行射线聚焦回像素的光电二极管,以便最大化填充因子。因而,该相机本质上是标准相机(如iSight),但其中CMOS传感器被专门设计的多层传感器(其中所有组件是在同一光刻过程内在一个集成块中生产的)取代。该多层传感器在大规模生产中是便宜的、紧凑的、稳健的且其不需要被对准。这五个层1240、1250、1260、1270、102中的每一者都具有其自己的功能以满足本发明所施加的要求。

[0179] 由于直径 d 的透镜所生成的锥的最小角度具有 λ/d 的量级(其中 λ 是光的波长),所以对于迷你透镜直径 $d=8.5\mu\text{m}$ 和 $\lambda=850\text{nm}$,最小锥角是 $1/10$ 弧度。利用高质量光谱干涉滤波器,这对应于约 3nm 的光谱窗。

[0180] 图14解说了替换光学布置,该替换光学布置包括穹顶1310(例如,弯曲的玻璃板)以及设置在其内侧(如图所例示)或外侧(未例示出)上的窄带通滤波器1320。将滤波器1320设置在穹顶1310的内侧上的优点在于,穹顶1310保护滤波器1320免受外部作用力。穹顶1310和滤波器1320光学地协作以确保入射光沿着基本上与穹顶表面成法向的方向穿过滤波器1320。鱼眼光学器件1330被设置在穹顶滤波器组装件和传感器102之间,该传感器102可以是CMOS或CCD传感器或SPAD阵列。鱼眼光学器件1330被布置成将已穿过穹顶滤波器组装件的光引导朝向传感器的敏感区。

[0181] 任选地,其他鱼眼光学器件被设置在投影仪处。在特定实施例中,以 $1 \times n$ 或 $m \times n$ 的配置安装多个VCSEL,由此可在高度上 $m \times 1\text{rad}$ 且宽度上 $n \times 1\text{rad}$ 的空间角上实现激光束的出射角。

[0182] 在本发明的一些实施例中,通过在检测器处施加步进的或者可变的衰减过滤,光斑的强度可在整个深度范围上基本保持恒定。替代地或者附加地,还可以提供非对称透镜光瞳,该非对称透镜光瞳用于使较接近检测器的各光斑的强度变弱,而较远离于检测器的各光斑的强度则以完整的强度被接收。以此方式,检测器的削波被避免,并且平均强度可变得对所有光斑基本上相同。

[0183] 在一些实施例中,辐射源可以是VCSEL,其可被拆分到不同区域中,由此针对这些不同区域控制激光器打开时间。光斑的图像可因而被控制为具有恒定强度,例如A/D范围的 $2/3$ 。替代地,驱动电压可在光斑的阵列上根据高度来驱动,以再次获得恒定强度。这样的控制可被称为饱和避免伺服回路。阵列内的不同VCSEL可针对强度来被个体地控制,从而在被同时投影的情况下变化图案中各个个体VCSEL的强度。

[0184] 在本发明的一些其他实施例中,可以在窄带宽滤波器的前面使用微棱镜矩阵,以使得辐射入射在滤波器上的 $+9^\circ$ 和 -9° 之间的入射角内。这允许获得窄带宽滤波。棱镜矩阵可例如通过塑料模制来制成。

[0185] 在图11-14的布置中,光学器件的特性将导致非平面的焦平面。为了补偿该影响,可将检测器的图像元件布置在具有遵循光学器件的焦平面的曲率的基板上。作为结果,经反射和滤波的光斑将聚焦,而不管它们到达检测器的位置如何。可通过使用柔性芯片技术、或通过经由组合不同地定向的瓦片而组成基板来获得检测器的基板的期望曲率。该解决方案在图15中被示意性地解说,其示出了远心光学器件1330,继以窄带通滤波器1360、以及弯曲的像素层102,像素层102的曲率被适配成遵循远心光学器件1330的焦平面的形状。

[0186] 当按使得确保遵循不同路径的光射线全都以相同(垂直)角度穿过窄带通滤波器的方式布置光学器件不可能(或不合宜)时,具有带不同入射角的不同滤波器特性的问题可在源头处被解决。具体而言,VCSEL阵列可被配置成使得不同光斑各自具有不同波长。可通过使用瓦片式激光阵列、或通过提供用于调制VCSEL阵列中各个个体VCSEL的波长的装置来获得此配置。在图16中示意性地解说了该解决方案,其示出了被布置在光学器件1430和传感器阵列102之前的窄带通滤波器1460。为清楚起见并且在不损失一般性的情况下,已在图中指出了各自具有不同波长(λ_1, λ_2)的两种不同入射角。光源的不同波长(λ_1, λ_2)被选择以

对应于窄带通滤波器在其各自的入射角下的通带的最大值。

[0187] 在本发明的一些实施例中,通过在检测器处施加步进的或者可变的衰减过滤,光斑的强度可在整个深度范围上基本保持恒定。替代地或者附加地,还可以提供非对称透镜光瞳,该非对称透镜光瞳用于使较接近检测器的各光斑的强度变弱,而较远离于检测器的各光斑的强度则以完整的强度被接收。以此方式,检测器的削波被避免,并且平均强度可变得对所有光斑基本上相同。

[0188] 在一些实施例中,辐射源可以是VCSEL阵列,其可被拆分到不同区域中,由此针对这些不同区域控制激光器打开时间。在一些实施例中,辐射源可以是VCSEL阵列,由此激光器打开时间在单独激光器水平处被控制。光斑的图像可因而被控制为具有恒定强度,例如A/D范围的2/3。替代地,驱动电压可在光斑的阵列上根据高度来驱动,以再次获得恒定强度。这样的控制可被称为饱和避免伺服回路。阵列内的不同VCSEL可针对强度来被成组地或个体地控制,从而在被同时投影的情况下变化图案中各个个体VCSEL的强度。

[0189] 在本发明的一些其他实施例中,可以在窄带宽滤波器的前面使用微棱镜矩阵,以使得辐射入射在滤波器上的 $+9^\circ$ 和 -9° 之间的入射角内。这允许获得窄带宽滤波。棱镜矩阵可例如通过塑料模制来制成。

[0190] 在本发明的各实施例中,例如在设想主动悬架车辆应用的情况下,有利地,光斑图案的投影指向下方,即指向道路。

[0191] 根据本发明的系统可包括以上所描述的方法的步骤在专用硬件(例如,ASIC)、可配置硬件(例如,FPGA)、可编程组件(例如,具有适当软件的DSP或通用处理器)、或其任何组合中的实施方式。(诸)相同组件还可包括其他功能。本发明还涉及一种计算机程序产品,该计算机程序产品包括实现上面描述的方法的步骤的代码装置,该产品可被提供在诸如光学、磁、或固态载体等计算机可读介质上。

[0192] 本发明还涉及包括上面描述的系统的车辆。

[0193] 本发明的各实施例可有利地在各种各样的应用中使用,包括但不限于汽车应用、工业应用、游戏应用等,并且这可在室内和室外、短射程或长射程处使用。在一些应用中,可组合(例如,菊式链接)根据本发明的各实施例的不同传感器以产生全景覆盖,优选地覆盖在整个圆上(360° 视场)。

[0194] 尽管以上已经参考单独的系统和方法实施例描述了本发明,但是这样做仅是为了阐明目的。本领域技术人员将领会,仅仅结合系统或方法来描述的特征也可以分别应用于方法或系统,其具有相同的技术效果和优点。此外,本发明的范围不限于这些实施例,而是由所附权利要求限定。

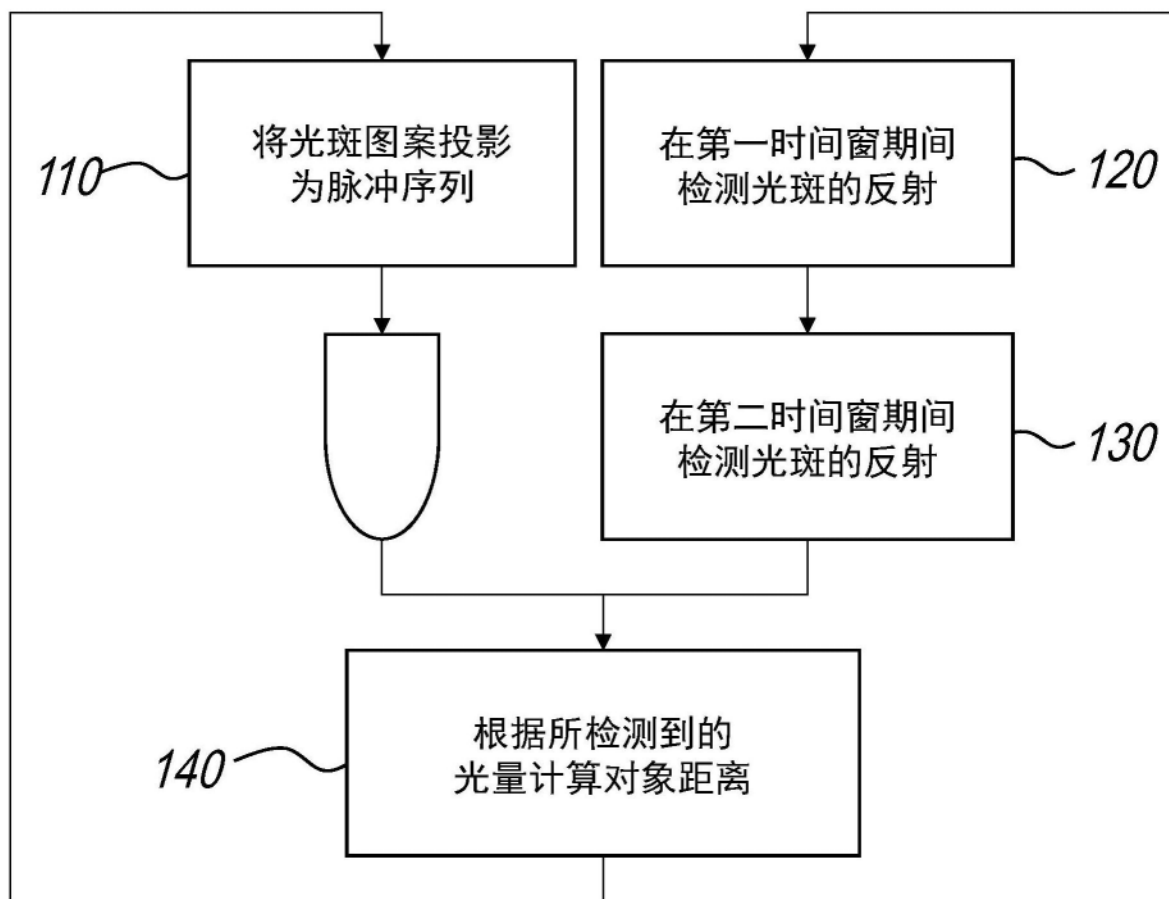


图1

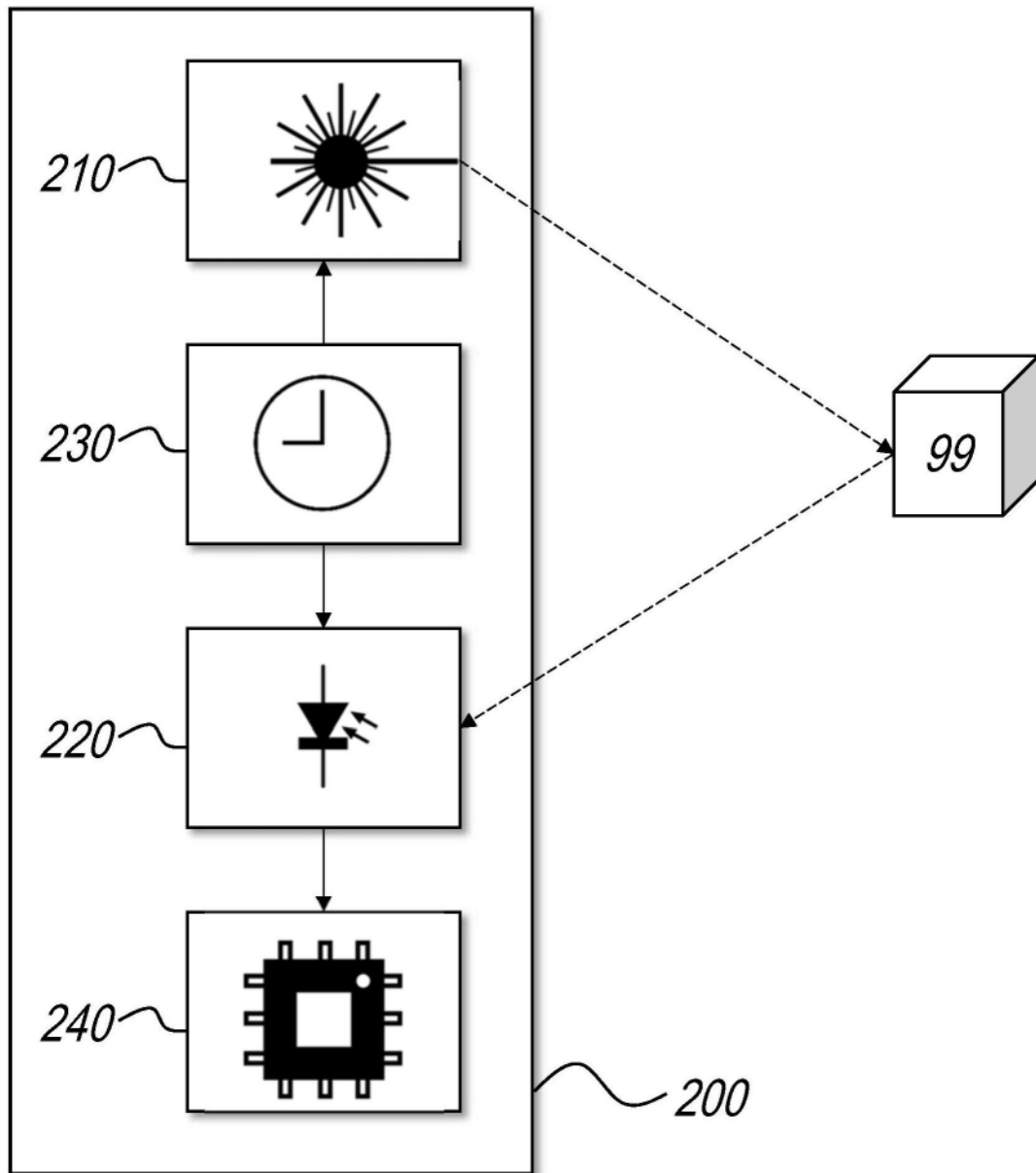


图2

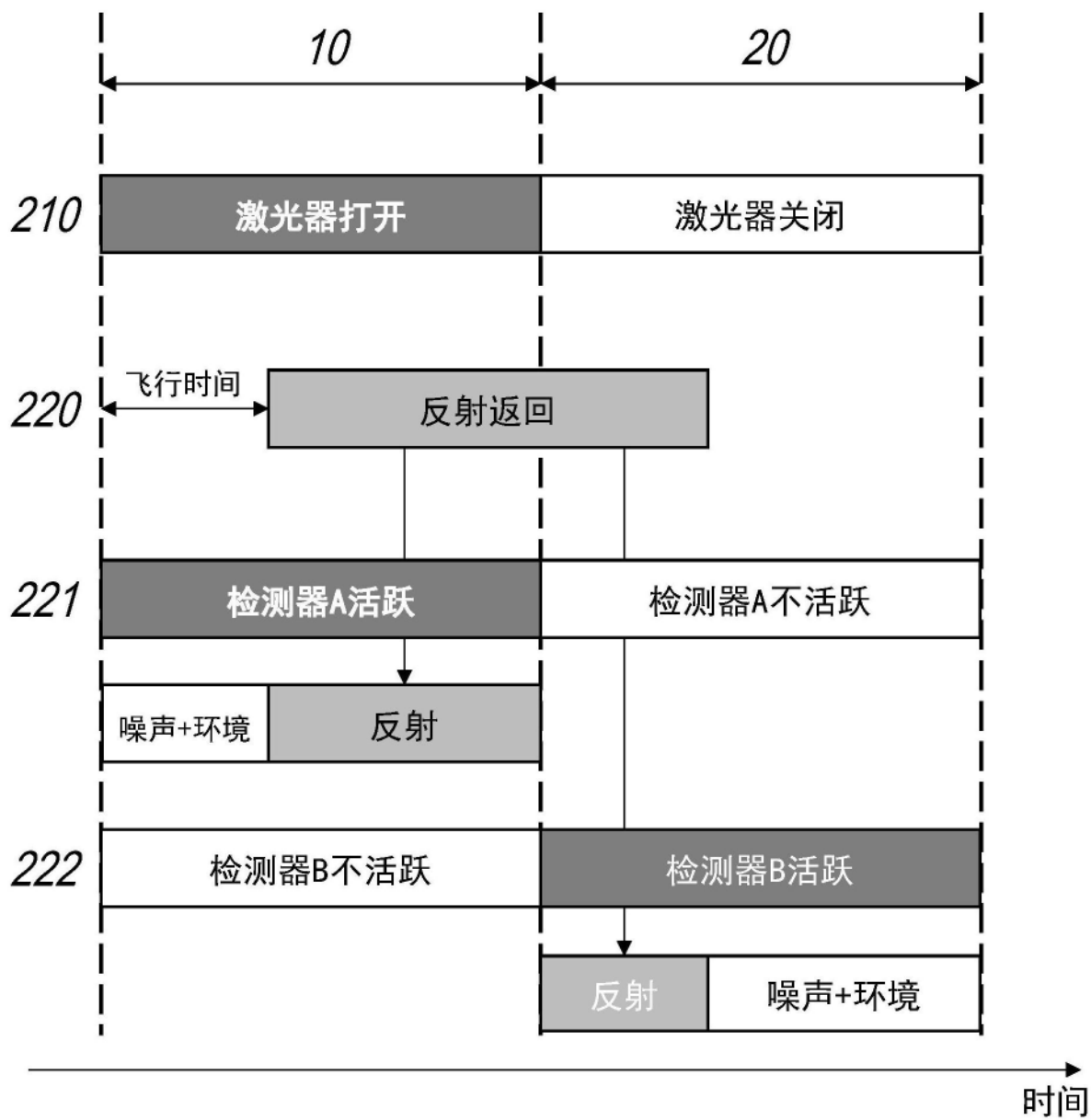


图3a

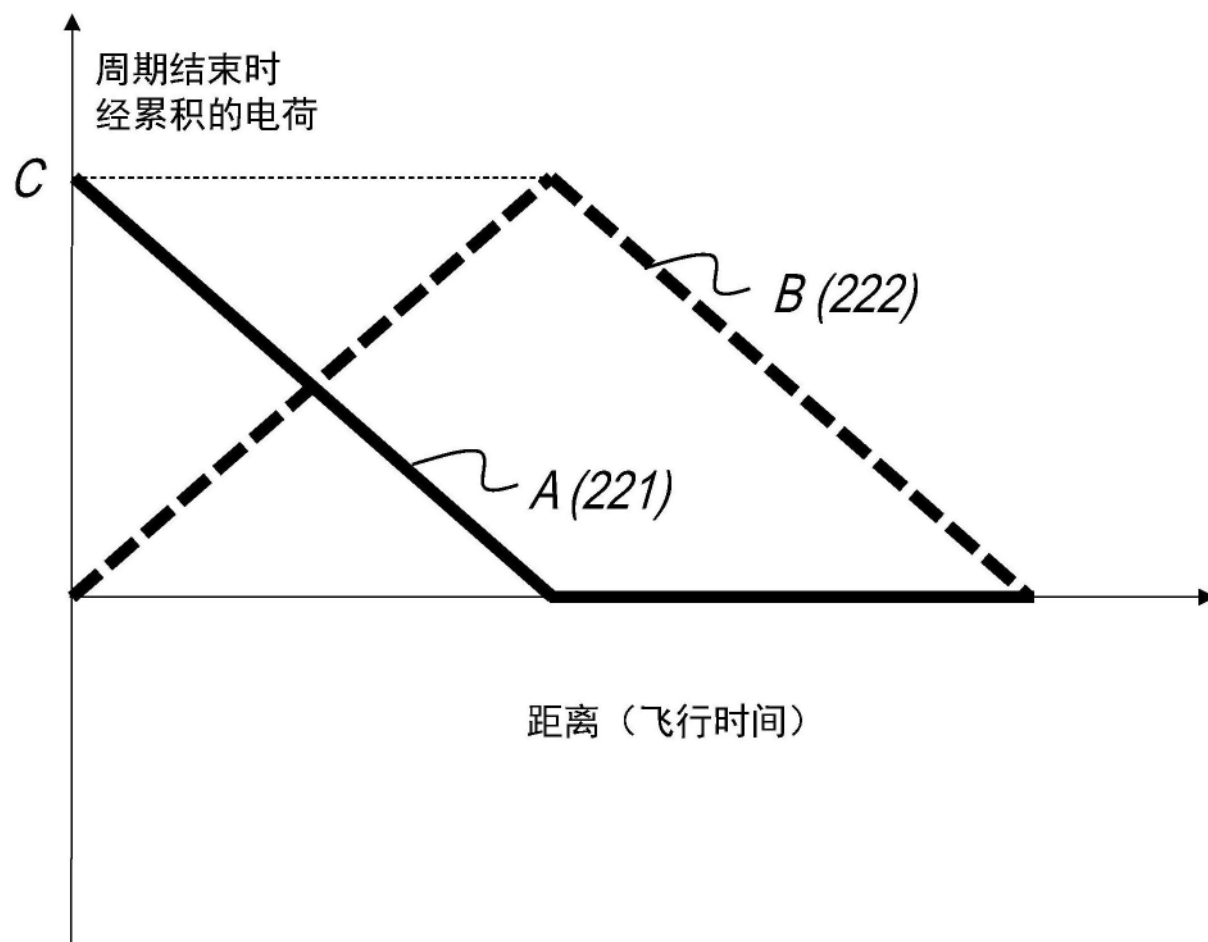


图3b

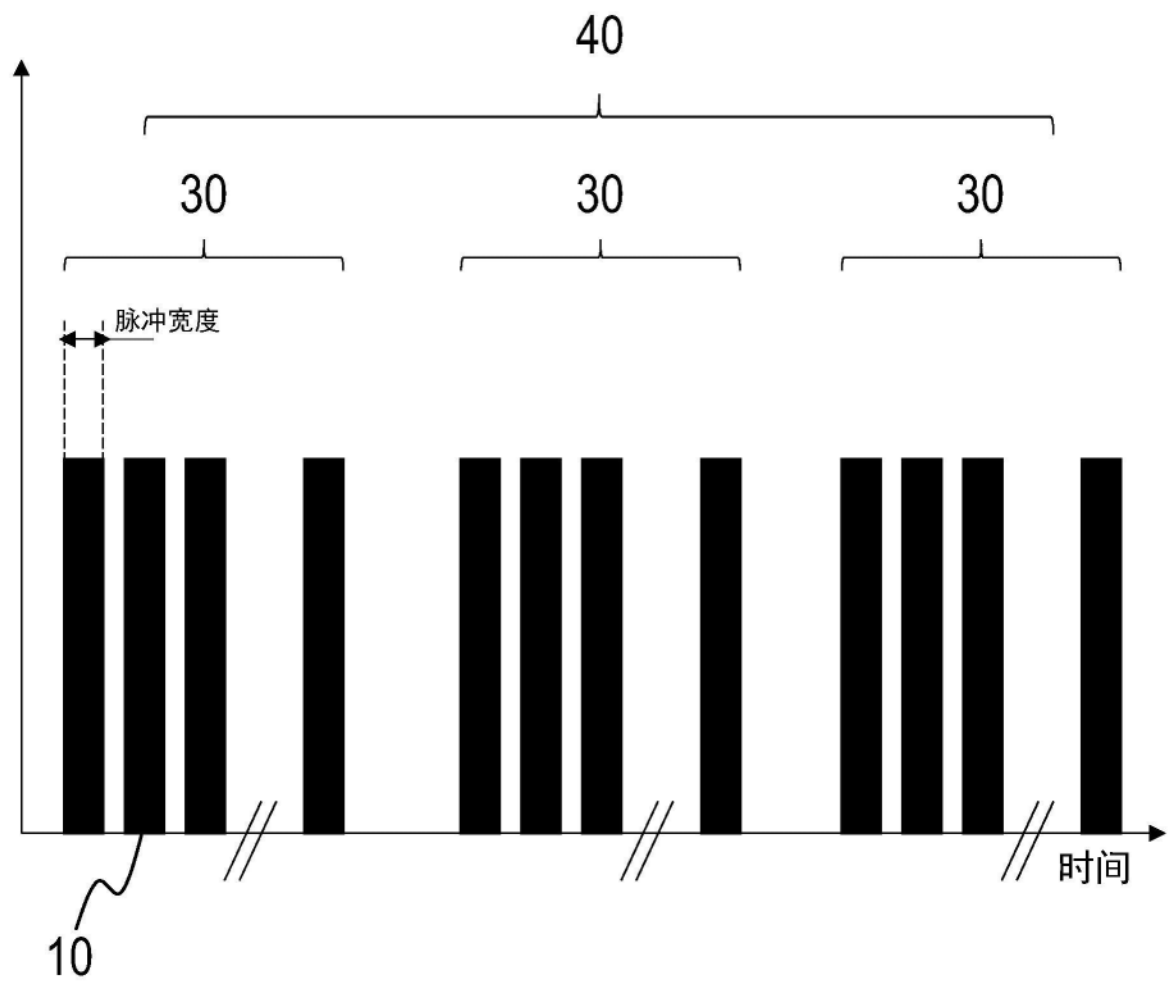


图3c

		帧1										帧2									
P		P	P	P	P							P	P	P	P						
I	A	A	A	A	A							A	A	A	A						
	B	B	B	B	B							B	B	B	B						

图4a

		帧1										帧2									
P		P			P							P			P						
I	A	A		A-	A		A-					A		A-	A		A-				
	B		B		B-		B		B-			B		B-	B		B-				

图4b

		帧1										帧2									
P		P			P			P				P			P			P			
I	A	A			A			A				A			A			A			
	B		B			B			B			B			B			B			
	C			C			C			C			C			C			C		

图4c

		帧1										帧2									
P		P		P	P							P		P	P						
I	A	A		A	A							A		A	A						
	B		B		B		B					B		B	B						
	C							C	C	C							C	C	C		

图4d

		帧1										帧2									
P		P		P	P	P															
I	A	A		A	A	A						A	A	A	A	A	A				
	B		B		B	B	B														

图4e

		帧1 , τ_1										帧2 , τ_2									
P		P		P		P						P		P		P		P			
I	A	A		A		A						A		A		A		A			
	B		B		B		B						B		B		B		B		

图4f

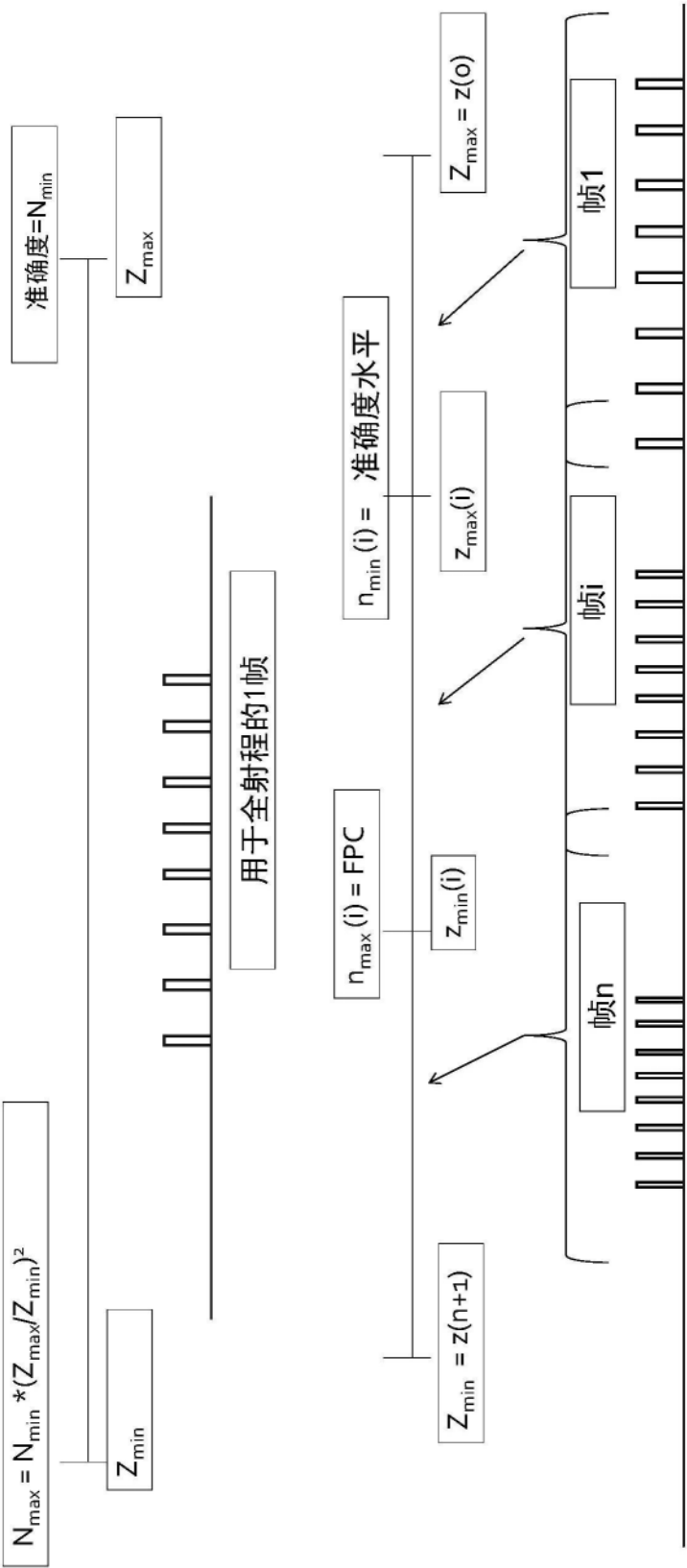


图4g

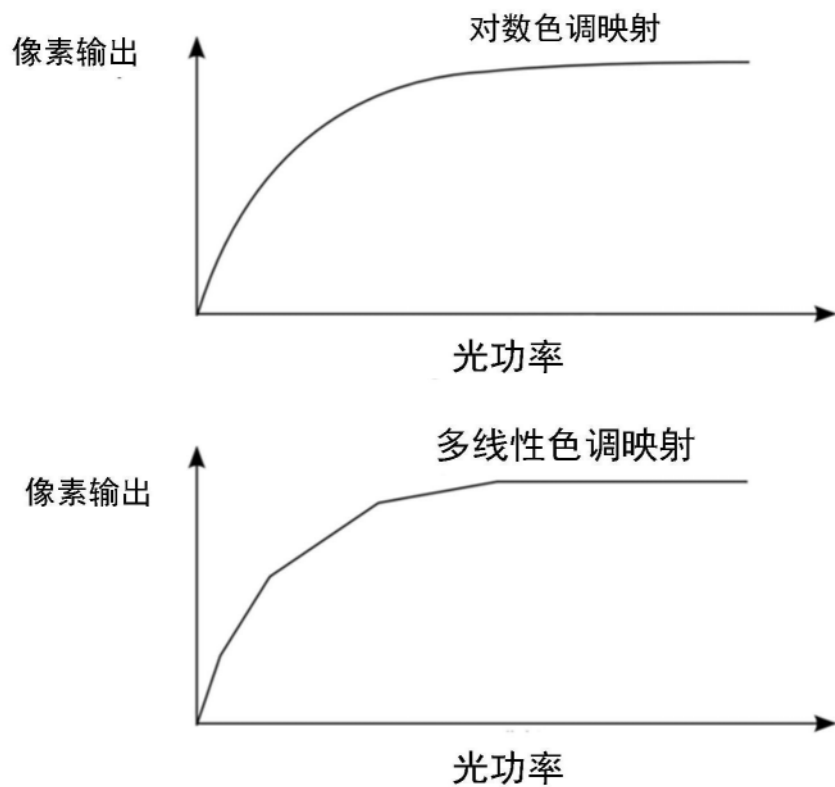


图5

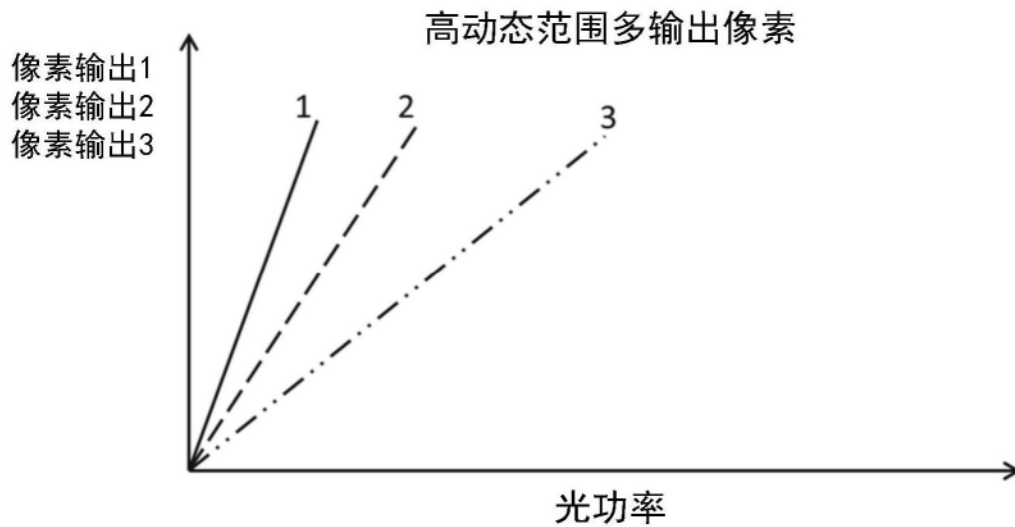


图6

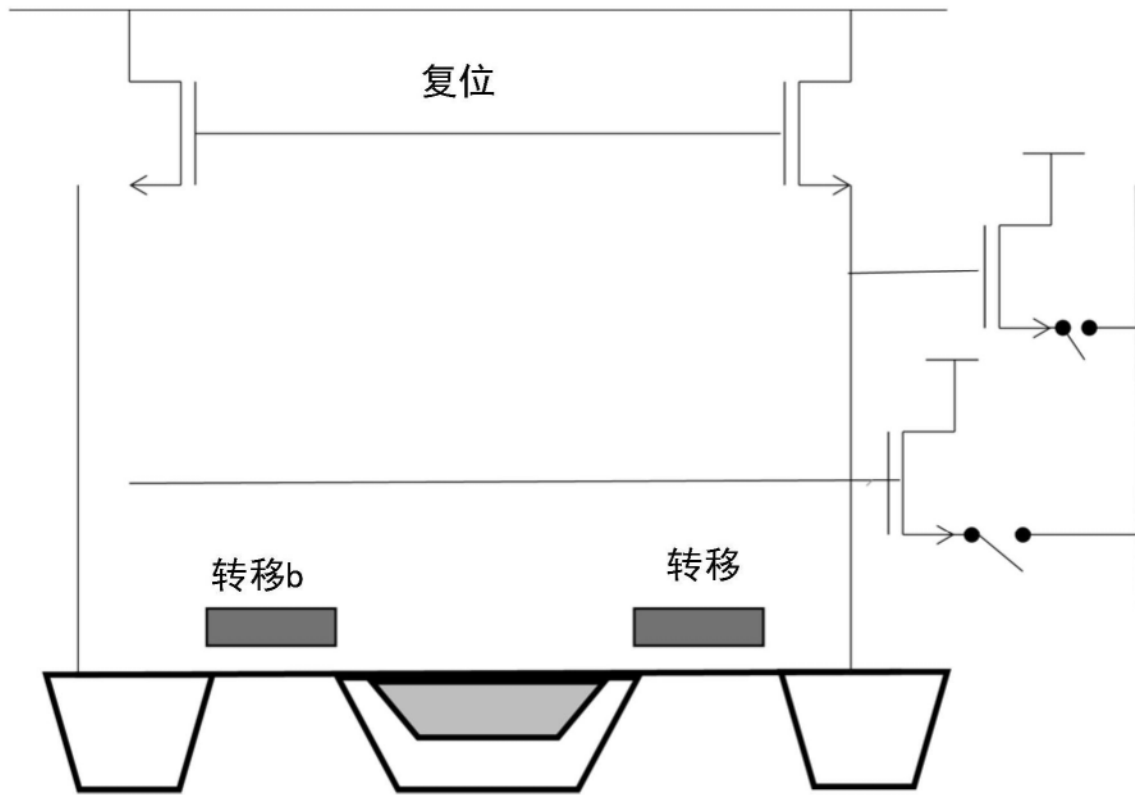


图7

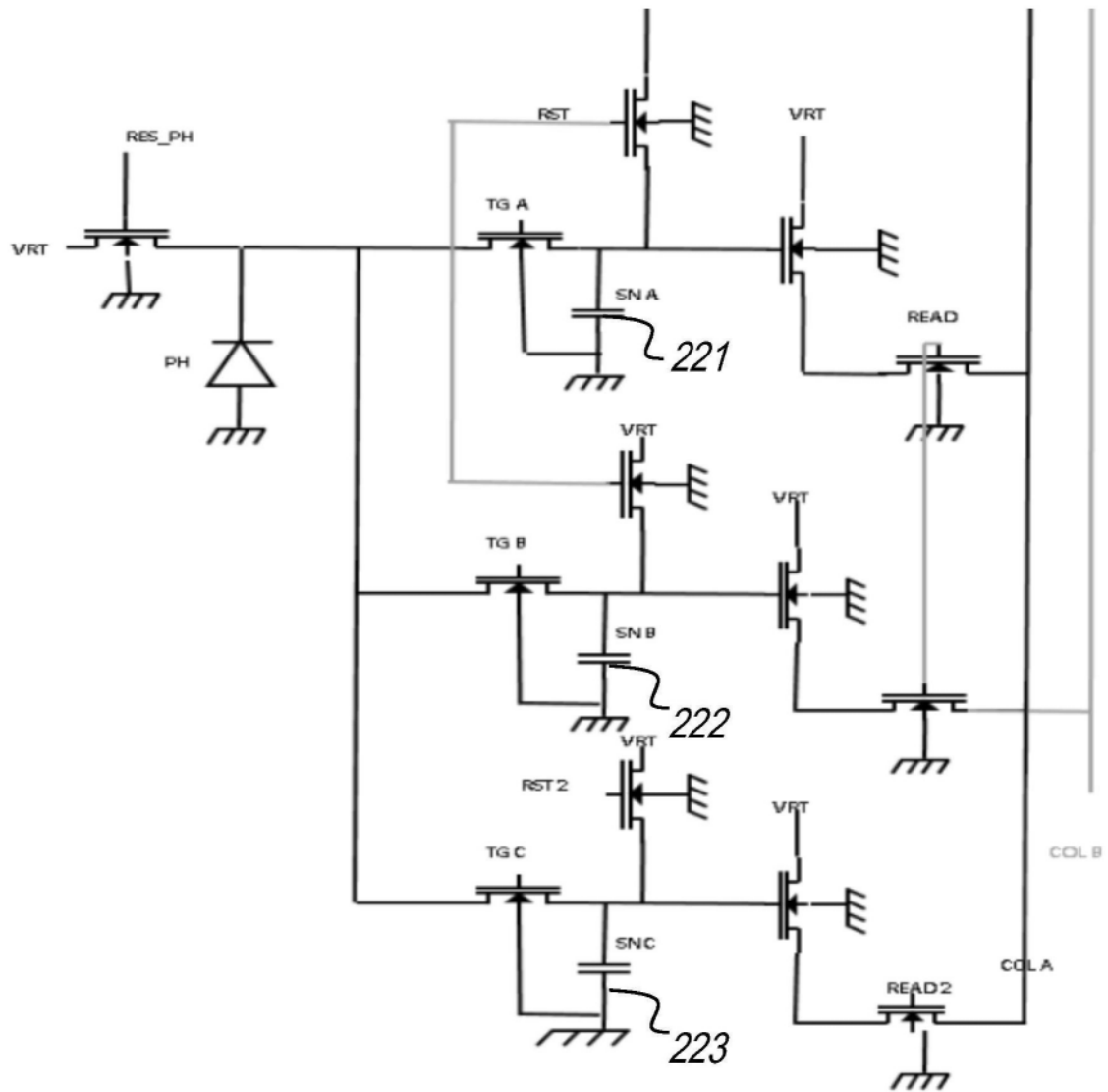


图8

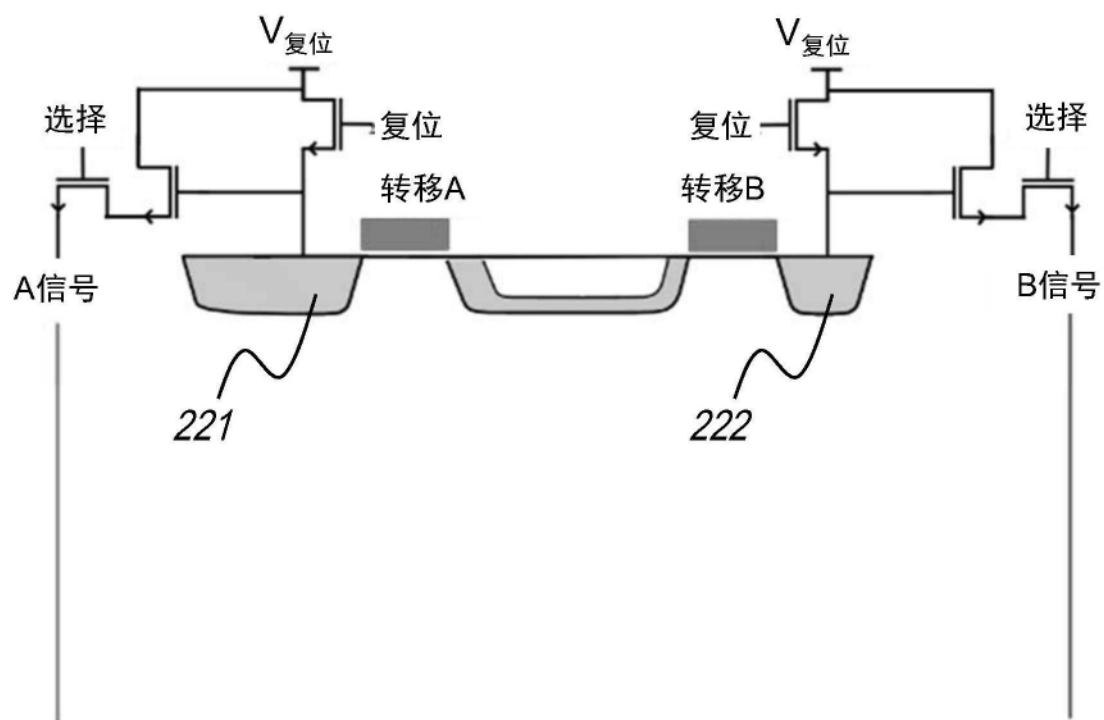


图9

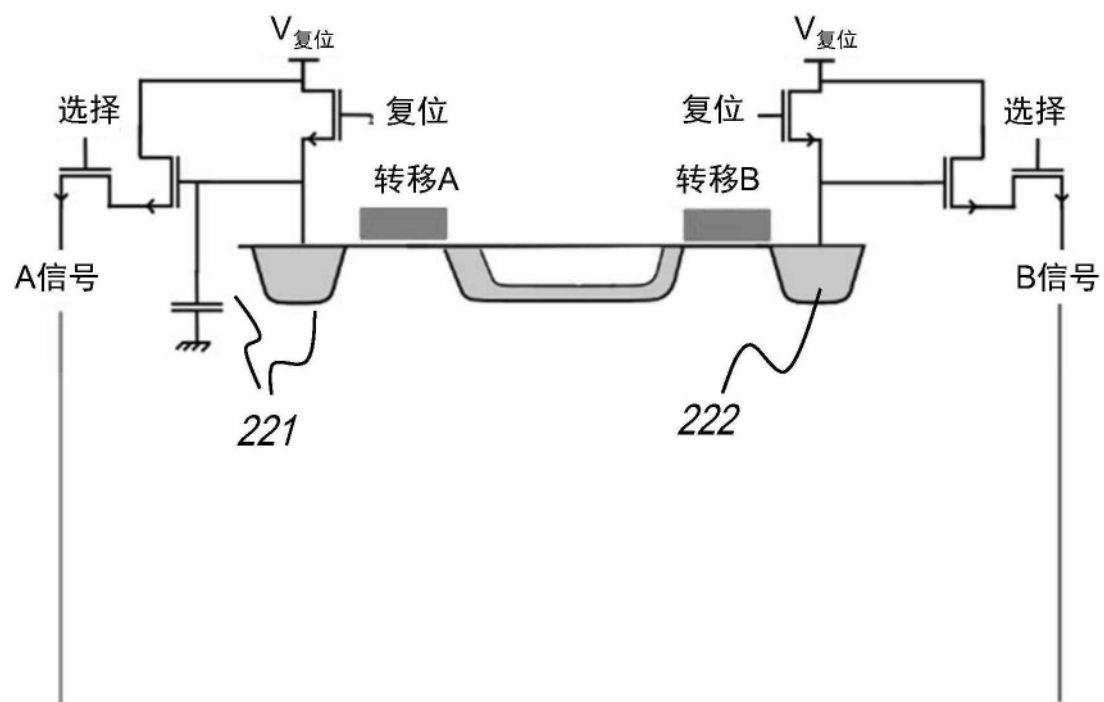


图10

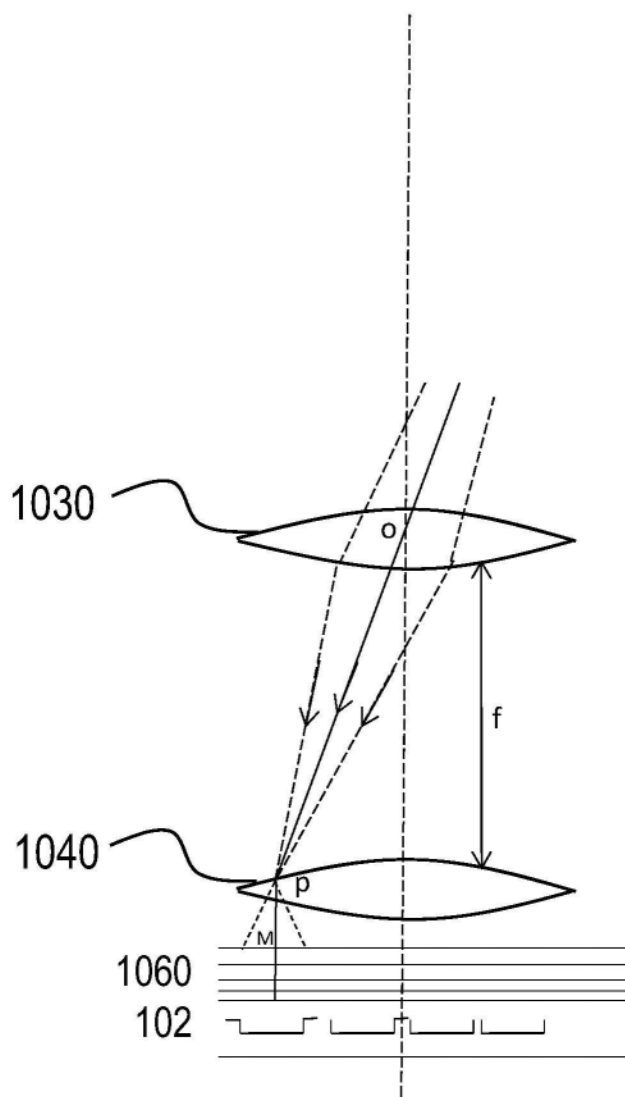


图11

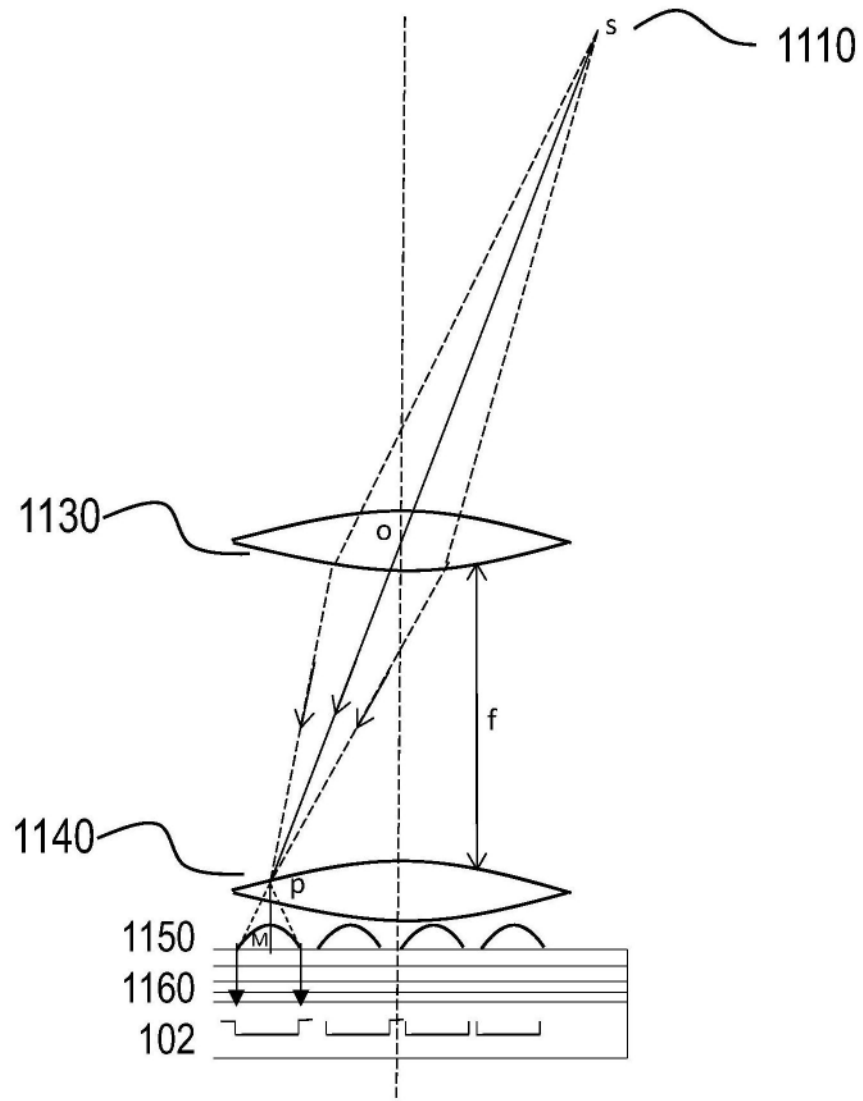


图12

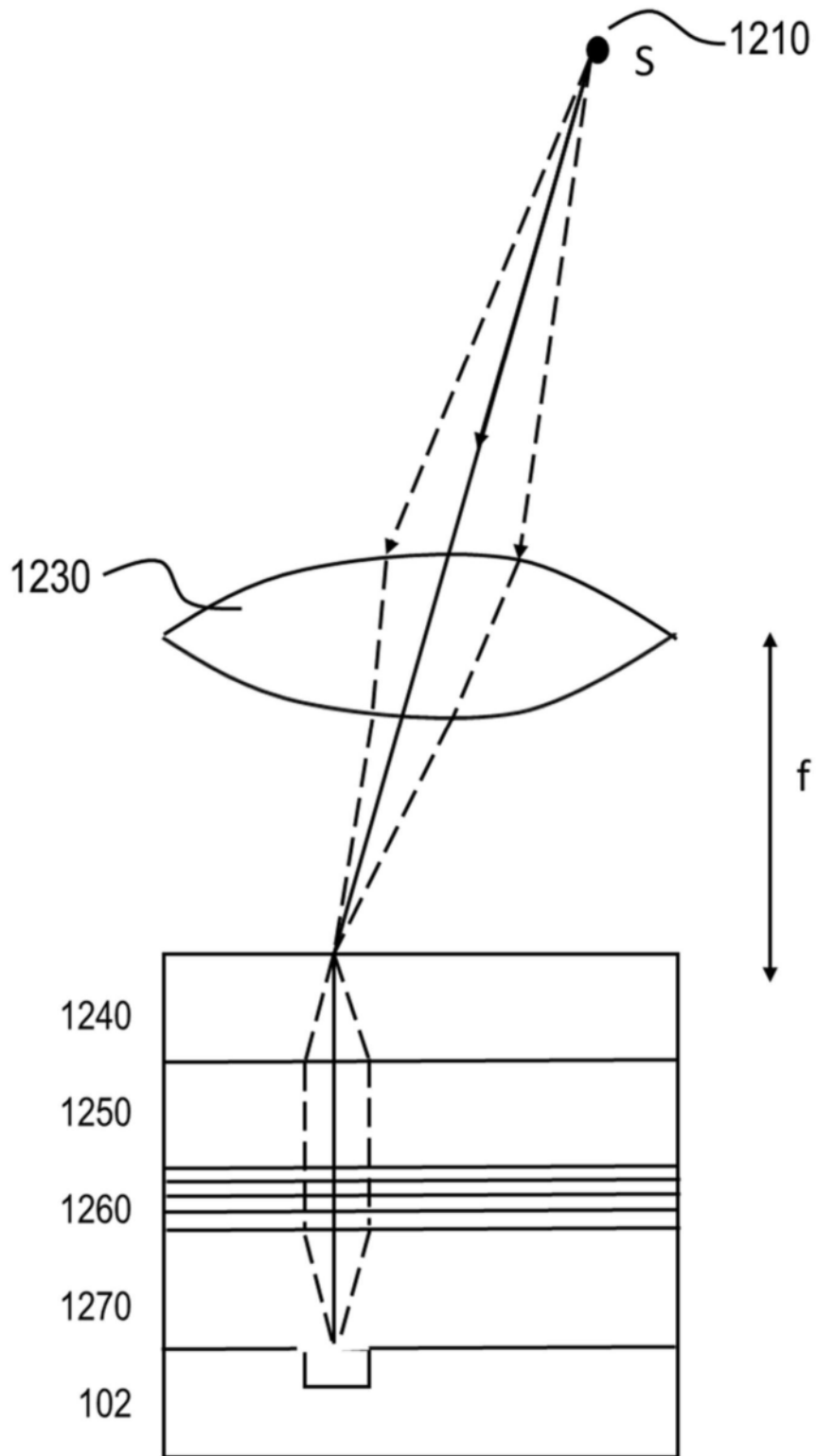


图13

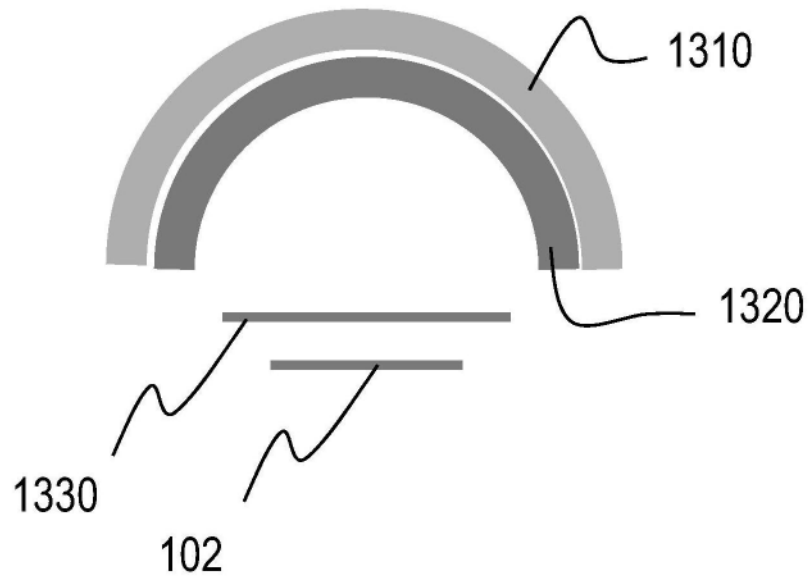


图14

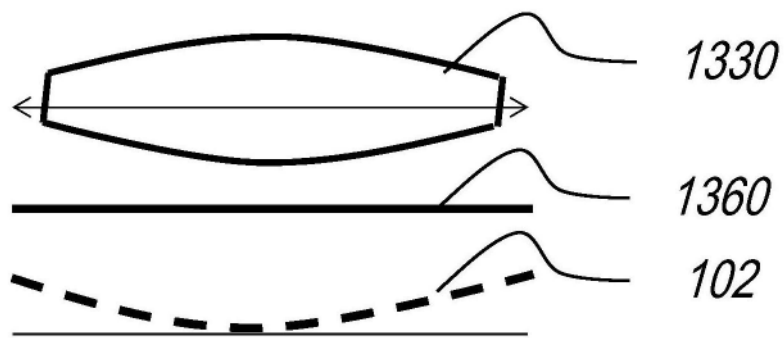


图15

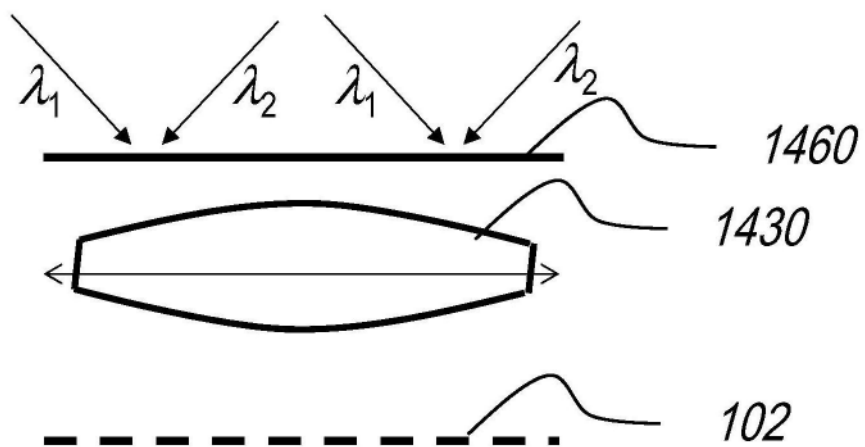


图16