



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106463565 B

(45)授权公告日 2018.06.01

(21)申请号 201480072487.2

(22)申请日 2014.11.21

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106463565 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(30)优先权数据
61/907,951 2013.11.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.07.06

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2014/066901 2014.11.21

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/077614 EN 2015.05.28

(73)专利权人 优步技术公司
地址 美国加利福尼亚州

(72)发明人 布伦特·S·施瓦茨
詹姆斯·A·哈斯利姆
尼古拉斯·M·伊图拉兰
迈克尔·D·卡拉索夫

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 王英

(51)Int.Cl.
H01L 31/107(2006.01)

(56)对比文件
CN 101273282 A, 2008.09.24,
US 2009/0016392 A1, 2009.01.15,
US 5054911 A, 1991.10.08,
CN 101273282 A, 2008.09.24,

审查员 贾翠乐

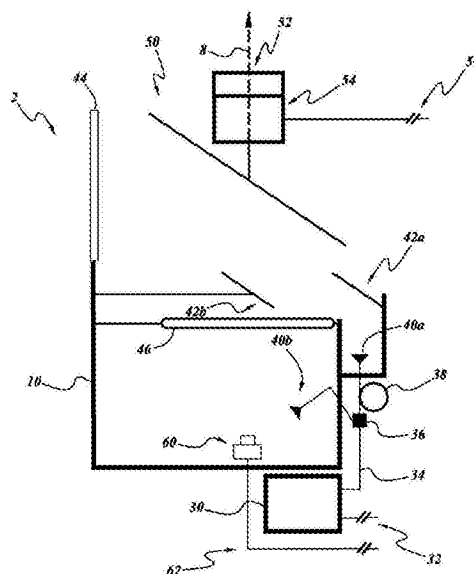
权利要求书3页 说明书19页 附图11页

(54)发明名称

激光雷达扫描仪校准

(57)摘要

激光雷达(LiDAR)可以包括激光器、雪崩光电二极管、分路器和处理器。激光器可以被配置成发射窄电磁脉冲。雪崩光电二极管可以被配置成接收一个或更多个电磁脉冲并且响应于所述脉冲输出响应信号,雪崩光电二极管还可以被放置成接收由激光器引起并且由LiDAR传感器外部的对象反射的至少一个反射脉冲。雪崩光电二极管还可以被施加有影响响应信号的偏置电压。分路器可以被放置成接收窄电磁脉冲并且将该窄电磁脉冲分成朝向LiDAR传感器外部的对象引导的至少一个外部脉冲以及朝向光电二极管引导的至少一个校准脉冲。另外,处理器可以被配置成调节偏置电压。



1. 一种激光雷达传感器,包括:

激光器,被配置成发射窄电磁脉冲;

雪崩光电二极管,被配置成接收一个或更多个电磁脉冲并且响应于所述脉冲输出响应信号,所述雪崩光电二极管被放置成接收由激光器引起并且由所述激光雷达传感器外部的对象反射的至少一个反射脉冲,所述雪崩光电二极管被施加有影响所述响应信号的偏置电压;

分路器,被放置成接收所述窄电磁脉冲并且将所述窄电磁脉冲分成朝向所述激光雷达传感器外部的所述对象引导的至少一个外部脉冲以及朝向所述雪崩光电二极管引导的至少一个校准脉冲,朝向所述光电二极管引导的所述校准脉冲在由所述对象反射的所述脉冲之前被所述雪崩光电二极管接收;以及

处理器,被配置成接收来自所述雪崩光电二极管的响应信号,所述处理器还被配置成根据由所述校准脉冲引起的响应信号来调节所述偏置电压,以对所述雪崩光电二极管的温度变化进行补偿。

2. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述处理器被配置成响应于由所述校准脉冲引起的响应信号来实时地调节所述偏置电压。

3. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述雪崩光电二极管的温度不是直接测量的。

4. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述处理器被配置成调节所述偏置电压,以使得所述雪崩光电二极管响应于给定的检测脉冲的增益保持基本上恒定。

5. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述处理器被配置成将所述偏置电压调节成具有低于所述雪崩光电二极管的击穿电压的恒定偏移。

6. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,还包括所述雪崩光电二极管的阳极与较低的电势之间的电阻器、以及所述雪崩光电二极管的所述阳极与所述较低的电势之间的第二二极管,所述第二二极管的阳极连接至所述雪崩光电二极管的阳极,并且所述电阻器与所述第二二极管并联连接。

7. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,包括下述装置,所述装置用于调节来自所述雪崩光电二极管的响应信号,以使得所述响应信号基本上以线性的方式响应于弱脉冲并且基本上以对数的方式响应于强脉冲。

8. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述处理器还被配置成测量所述反射脉冲的强度。

9. 根据权利要求1所述的激光雷达传感器,其中,所述处理器被配置成在接收所述反射脉冲之前根据所述响应信号来调节所述偏置电压。

10. 一种用于测量反射电磁脉冲的方法,包括:

发射电磁脉冲;

将所发射的电磁脉冲分成至少一个外部脉冲和至少一个校准脉冲;

朝向雪崩光电二极管引导所述校准脉冲;

朝向要测量的对象引导所述外部脉冲,从而引起反射脉冲;

对所述雪崩光电二极管施加初始偏置电压;

在所述雪崩光电二极管处于所述初始偏置电压下时使用所述雪崩光电二极管接收所

述校准脉冲；

测量来自所述雪崩光电二极管的由所述校准脉冲引起的响应；

使用所测量的由所述校准脉冲引起的所述响应向所述雪崩光电二极管施加期望偏置电压，以针对所述雪崩光电二极管的温度变化进行调节；

使用所述雪崩光电二极管接收所述反射脉冲；以及

测量来自所述雪崩光电二极管的由所述反射脉冲引起的响应。

11. 根据权利要求10所述的方法，还包括估计所述反射脉冲的强度的步骤。

12. 根据权利要求10所述的方法，其中，所述方法连续重复地进行，以使得施加所述期望偏置电压，来对所述雪崩光电二极管的温度变化实时地进行补偿。

13. 根据权利要求10所述的方法，其中，不直接对所述雪崩光电二极管的温度进行测量来补偿所述雪崩光电二极管的温度变化。

14. 根据权利要求10所述的方法，还包括基于所测量的来自所述雪崩光电二极管的由所述校准脉冲引起的所述响应来估计期望偏置电压。

15. 根据权利要求10所述的方法，还包括基于所测量的来自所述雪崩光电二极管的由所述校准脉冲引起的所述响应来估计所述雪崩光电二极管的温度。

16. 根据权利要求15所述的方法，其中，在不测量所述雪崩光电二极管的温度的情况下完成所述估计步骤。

17. 根据权利要求10所述的方法，还包括调节来自所述雪崩光电二极管的由所述反射脉冲引起的所述响应，以使得所述响应的强度基本以线性的方式响应于弱脉冲并且基本以对数的方式响应于强脉冲。

18. 根据权利要求10所述的方法，还包括：

对所述校准脉冲进行分路，以产生至少一个第二校准脉冲；

使所述第二校准脉冲延迟；

朝向所述雪崩光电二极管引导所述第二校准脉冲；

在接收所述校准脉冲之后并且在接收所述反射脉冲之前，使用所述雪崩光电二极管接收所述第二校准脉冲；以及

测量来自所述雪崩光电二极管的由所述第二校准脉冲引起的响应，

其中，使用所测量的由所述校准脉冲引起的所述响应对所述雪崩光电二极管施加期望偏置电压的步骤还包括使用所测量的所述第二校准脉冲的响应。

19. 根据权利要求10所述的方法，其中，使用所测量的由所述校准脉冲引起的所述响应向所述雪崩光电二极管施加优选偏置电压的步骤包括调节所述偏置电压，以使得所述雪崩光电二极管响应于给定检测脉冲的增益保持基本上恒定。

20. 根据权利要求10所述的方法，其中，使用所测量的由所述校准脉冲引起的所述响应向所述雪崩光电二极管施加优选偏置电压的步骤包括调节所述偏置电压，以使得所述偏置电压与所述雪崩光电二极管的击穿电压之间的偏移保持基本上恒定。

21. 根据权利要求10所述的方法，其中，在所述雪崩光电二极管处于所述期望偏置电压下时接收所述反射脉冲。

22. 一种激光雷达传感器，包括：

激光器，被配置成发射窄电磁脉冲；

雪崩光电二极管,被配置成接收一个或多个电磁脉冲并且响应于所述脉冲输出响应信号,所述雪崩光电二极管被放置成接收由所述激光器引起并且由所述激光雷达传感器外部的对象反射的至少一个反射脉冲,所述雪崩光电二极管具有影响所述响应信号的偏置电压;

分路器,被放置成接收所述窄电磁脉冲并且将所述窄电磁脉冲分成朝向所述激光雷达传感器外部的所述对象引导的至少一个外部脉冲以及朝向所述雪崩光电二极管引导的至少一个校准脉冲,朝向所述光电二极管引导的所述校准脉冲在由所述对象反射的所述脉冲之前被所述雪崩光电二极管接收;以及

用于调节所述偏置电压以在不测量温度的情况下对温度变化进行补偿的装置。

23. 根据权利要求22所述的激光雷达传感器,还包括下述装置,所述装置用于调节来自所述雪崩光电二极管的由所述反射脉冲引起的所述响应,以使得所述响应的强度基本上以线性的方式响应于弱脉冲并且基本上以对数的方式响应于强脉冲。

激光雷达扫描仪校准

技术领域

[0001] 本申请涉及计量学领域,并且具体涉及激光雷达(LiDAR,光距离和范围)传感器以及相关装置。

背景技术

[0002] 许多工业包括测量、建筑、娱乐(受电影和视频游戏影响产生的角色)、建造、法医和地理应用对于用于在不接触环境中的对象的情况下测量这些对象的距离和反射率值的处理都有很大兴趣。历史上,使用照相测量技术来获得准确的距离和反射测量值,但是从立体图像提取信息的处理既耗时又昂贵。在过去的几十年中,光探测和测距(LiDAR)技术的进步已经使得从业者能够扫描大的区域表面并同时采集数十亿计的数据点,每个数据点在本地(相对)坐标系统内具有精确的纬度、经度和高度(x,y,z)值。数十亿计的数据点的集合称为点云数据集。从业者随后从点云中提取对象并且然后创建三维模型。然后,在许多应用中使用那些模型。例如,在地理信息系统(GIS)工业中,从业者将全球定位系统(GPS)数据频繁地综合至点云中以使其“地理参考”到全局坐标系。地理参考点云中的每个数据点在地球表面上具有绝对的x,y和z位置。

发明内容

[0003] LiDAR——特别是基于飞行时间(time-of-flight)的LiDAR——是发射短激光脉冲(例如,约1纳秒至10纳秒的脉宽)并检测反射光并且同时测量发射脉冲与反射脉冲之间的时间的距离范围测量技术。从激光脉冲被发射的时间直到其反射回LiDAR仪器的激光脉冲飞行时间对应于LiDAR传感器与目标表面之间的距离。

[0004] 由漫射(非反光)表面反射的光的分数是该表面的反射率。在给定至目标的测量距离的情况下,可以根据由LiDAR传感器接收到的反射光与发射光之比来计算目标表面的反射率的估计。

[0005] 可以使用旋转镜来扫描由激光器发射的光的方向,从而实现穿过角的范围的测量。因此,可以在角的范围上测量距各种对象的距离。

[0006] 可以使用时间至数字转换器(“TDC”)或时间测量单元(“TMU”)来在两个电事件(例如,脉冲沿)之间进行精确的时间测量,并且以数字电子格式报告该时间。在一些实施方式中,TDC芯片可以实现10皮秒(picosecond)的时间测量精度。TDC可以用于测量激光脉冲的飞行时间以用于LiDAR距离测量。考虑到光速,约10皮秒的时间测量精度将对应于约1.5毫米的距离测量精度。已经发布了用于描述用低成本现场可编程门阵列芯片来实现TDC设计的白皮书(white paper)。而专用TDC芯片可以花费超过200美元,现场可编程门阵列芯片可以花费少于40美元。由Claudio Favi和Edoardo Charbon于2009年2月22日至24日在FPGA'09发布的A 17ps Time-to-Digital Converter Implemented in 65nm FPGA Technology中给出了可以在一些实施方式中使用的TDC芯片的一些示例,并且其通过引用并入本文中。

[0007] 在一些实施方式中,LiDAR传感器可以包括激光器、定向传感器、窗口、电磁脉冲接

收传感器和处理器。激光器可以被配置成发射短且窄的电磁脉冲。另外,定向传感器可以被配置成测量由激光器发射的短且窄的电磁脉冲的方向。发射的短且窄的电磁脉冲可以通过窗口。然后,脉冲至少被窗口和LiDAR传感器外部的对象反射,从而产生至少两个反射脉冲。电磁脉冲接收传感器可以被配置成测量从激光器发射的短且窄的电磁脉冲产生的两个反射脉冲。处理器可以被配置成从传感器接收指示对象相对于LiDAR传感器的位置的信息。另外,处理器可以被配置成测量由窗口反射的脉冲的强度。

[0008] 在另一实施方式中,提供了一种考虑LiDAR传感器上的不清洁或损坏的窗口的方法。电磁脉冲可以被发送通过窗口,并且可以接收来自窗口的由所述脉冲引起的反射。然后,可以测量该反射脉冲的强度。类似地,发射脉冲可以被外部对象反射。还可以接收所述对象反射脉冲并且测量所述对象反射脉冲的接收时间,以指示距外部对象的距离。

[0009] 在另一实施方式中,LiDAR传感器可以包括激光器、定向传感器、电磁脉冲接收传感器和处理器。激光器可以被配置成发射短且窄的电磁脉冲。另外,定向传感器可以被配置成测量由激光器发射的短且窄的电磁脉冲的方向。然后,脉冲可以被LiDAR传感器外部的对象反射,以产生反射脉冲。电磁脉冲接收传感器可以被配置成测量该反射脉冲。然后,处理器可以被配置成根据脉冲的峰值强度的估计时间来确定反射脉冲的接收时间。峰值的估计时间可以是当反射脉冲的强度的时间导数下降到低于阈值比率时。该接收时间可以指示距对象的距离。

[0010] 在另一实施方式中,提供了一种用于操作LiDAR传感器的方法。可以发射电磁脉冲以引起反射电磁脉冲。可以接收反射脉冲并且可以生成指示脉冲强度的时间导数或斜率的信号。指示时间导数或斜率的信号可以与参考斜率进行比较,并且当指示时间导数或斜率的信号通过参考斜率时可以输出峰值检测信号。可以测量峰值检测信号的时间,以指示来自对象的反射电磁脉冲的接收相对于例如发射初始脉冲的时间的时间。另外,反射电磁脉冲的接收时间可以指示距对象的距离。

[0011] 光电探测器

[0012] LiDAR传感器通常使用某种形式的光器件来收集从目标表面反射的光并且将该光聚焦在光电探测器接收器上以转换成电信号。雪崩光电二极管常常是光电探测器的好的选择,这是因为雪崩光电二极管以高增益或倍增因子将入射光子转换成电流。该高增益使得能够检测暗目标表面和/或远的目标表面。在操作雪崩光电二极管时,在雪崩光电二极管上施加反向电压或反向偏置,以使得阴极相对于阳极保持为正。该施加的偏置使得入射光子触发碰撞电离,这是这些装置中的增益机制。

[0013] 雪崩光电二极管的增益与所施加的偏置具有密切的关系,并且该关系受雪崩光电二极管的温度影响。雪崩光电二极管可以操作在多种模式下。在施加中等的反向偏置的情况下,雪崩光电二极管操作在线性模式下并且通过装置的电流与入射光子的速率基本呈线性。在所施加的较高的偏置下,雪崩光电二极管操作在盖革(Geiger)模式下并且通过装置的电流响应于单个光子快速地增大,而不需要另外的光子。这些模式之间的转换可以是平滑的,但是雪崩光电二极管制造商将在不存在入射光子时通过装置的电流超过某一固定值时电压称为击穿电压。击穿电压可以用作对线性模式的上限的客观描述。在线性模式操作中,有益的是可以施加低于击穿电压的固定的小余量(例如,小于3伏)的偏置电压,以实现高增益,但是还工作在击穿电压以下,在击穿电压处,输出电流不管入射光如何而开始快速

地增大。然而,雪崩光电二极管的增益可以如其随击穿电压变化那样随着装置的温度而变化。因此,温度的变化可以引起增益的不期望的变化。

[0014] 对LiDAR传感器而言有利的是,使其(一个或多个)雪崩光电二极管以恒定增益操作。例如,LiDAR传感器可以使用由雪崩光电二极管提供的电脉冲的幅值来推断与对象的目标表面有关的信息,该信息主要是关于表面的反射率。在处理之后,可以使用该幅值来帮助区分具有不同的反射率的目标对象。例如,可以基于其反射率来将车道标记和交通标志与其他对象区分开。增益的变化可以使得难以确定对象的真实的反射率,这是因为所得到的信号幅值将会是缺乏一致性的。另外,如果增益由于温度增大而下降的过多,则可能根本无法检测到在长距离处或具有小反射率的对象。最后,如果增益显著地增大,甚至接近或超过击穿电压的增益,则来自雪崩光电二极管的寄生噪声电流可能引起假的检测事件。

[0015] 在一些实施方式中,可以通过提供固定的偏置电压并且使雪崩光电二极管保持恒定的温度来使得雪崩光电二极管以恒定增益进行操作。然而,这可能对传感器增加成本和复杂性。另外,在极端的环境温度下或者当由装置自身产生的热难以控制时,这样的实现可能难以进行。在其他实施方式中,可以测量雪崩光电二极管的温度并且调节所施加的偏置电压,以补偿温度引起的增益变化。该方法需要获知雪崩光电二极管的增益与温度的关系。如果该关系随着传感器的寿命而变化,则该方法的效用可能会减弱。该方法还需要对雪崩光电二极管的温度进行良好的测量,但是温度感测装置例如热敏电阻器或热电偶可能难以放置在光电二极管上或者与光电二极管足够接近。优选的是在不依赖测量雪崩光电二极管的温度的情况下控制其温度变化的雪崩光电二极管的增益。

[0016] 在本文中所描述的实施方式中,LiDAR传感器可选地可以直接确定雪崩光电二极管的增益与其偏置电压的关系并且使得雪崩光电二极管的增益保持恒定。这可以在不测量雪崩二极管的温度并且不中止LiDAR传感器的范围测量的情况下来完成。

[0017] 在一些实施方式中,LiDAR传感器可以包括激光器、探测器子系统、分光器、用于将激光作为基本平行的光线投射至外部目标并且将从外部目标反射的光线聚焦在探测器上的光器件以及处理器。激光器可以被配置或控制成发射短光脉冲作为光线。分光器可以被配置成接收来自激光器的光脉冲并且将其分成多个脉冲,朝向传感器外部的目标向外引导激光的至少一个外部脉冲并且直接朝向探测器引导至少一个校准脉冲。来自分光器的用于外部脉冲的输出可以被布置在光器件之后,以使得其朝向外目标投射的光线可以由光器件保持基本平行。来自分路器的用于校准脉冲的输出可以被引导朝向雪崩光电二极管并且被布置成足够接近雪崩光电二极管,以使得可以忽略光器件因素例如聚焦或对准。探测器子系统可以包括雪崩光电二极管以及可以被配置成提供偏置电压和放大来自雪崩光电二极管的信号的支持电子电路。处理器可以被配置成接收来自探测器子系统的信号,测量从激光脉冲发射至反射脉冲接收的时间,将该经过的飞行时间转换成目标距离,以及测量所接收的脉冲信号的强度。另外,处理器可以被配置成根据所测量的校正脉冲的强度来调节偏置电压,以在不测量雪崩光电二极管的温度的情况下对雪崩光电二极管的温度变化进行补偿。

[0018] 本文中所提及的测量来自雪崩光电二极管的脉冲的强度可以应用于如下任何电子技术:用于响应于光脉冲来确定或估计通过光电二极管的电流脉冲的幅值或幅值的积分的电子技术。该脉冲可以采用能够与雪崩光电二极管的静态电流状态区分的任何时变电流

信号的形式,静态电流包括在未接收激光脉冲的情况下存在的任何DC电流和噪声电流。这样的电子技术可以包括将通过雪崩光电二极管的电流转换成电压信号以便于处理和测量。根据这样的脉冲强度测量值进行计算并且使用这些计算来控制施加至雪崩光电二极管的偏置电压可以包括使用各种类型的处理器和接口电路比如其数字接口连接至嵌入式处理器、微控制器、DSP、FPGA或CPLD的模数转换器。可选地,一些实施方式可以包括提供电压信号的峰值保持的接口电路,该电压信号随后可以被具有至其数字接口的类似连接的模数转换器采样。

[0019] 根据另一特征,分光器可以被配置成使得可以在由最近的外部目标反射的脉冲之前由雪崩光电二极管接收朝向雪崩光电二极管引导的校准脉冲。

[0020] 根据另一特征,分光器可以被配置成接收来自激光器的光脉冲并且将其分成三个光脉冲。在本文中称为第一校准脉冲的一个这样的脉冲可以沿最小延迟路径被引导朝向雪崩光电二极管。称为第二校准脉冲的第二脉冲可以以另外的延迟被引导朝向雪崩光电二极管。称为外部脉冲的第三脉冲可以在更长的延迟之后被向外引导朝向外部目标。这些延迟可以被配置成允许在随后的脉冲到达之前测量每个脉冲的强度。

[0021] 根据另一特征,分光器可以可选地包括自由空间光器件例如一个或多个分束器。采用这样的分束器的情况下,由于自由空间路径长度的差异,校准脉冲将自然会在目标反射脉冲之前到达雪崩光电二极管。可以在分束器之后通过使用镜来对例如外部脉冲的路径增加另外的延迟,以延长其光束路径。

[0022] 根据另一特征,激光脉冲可以可选地在光纤内被引导。分光器可以包括一个或多个光纤耦合器。分光器的延迟功能可以通过使光脉冲通过各种长度的光纤来实现。在电信工业以及本文中,光纤耦合器也称为光纤分光器,这是因为其提供两个互补的功能。

[0023] 在另一实施方式中,LiDAR可以包括激光器、雪崩光电二极管、分路器和处理器。激光器可以被配置成发射窄电磁脉冲。雪崩光电二极管可以被配置成接收一个或多个电磁脉冲并且响应于所述脉冲输出响应信号。光电二极管还可以被放置成接收由激光器产生并且由LiDAR传感器外部的对象反射的至少一个反射脉冲。雪崩光电二极管还可以被施加有影响响应信号的偏置电压。分路器可以被放置成接收窄电磁脉冲并且将其分成朝向LiDAR传感器外部的对象引导的至少一个外部脉冲以及朝向光电二极管引导的至少一个校准脉冲。朝向光电二极管引导的校准脉冲可以在由对象反射的脉冲之前被光电二极管接收。处理器可以被配置成接收来自光电二极管的响应信号。另外,处理器可以被配置成根据由校准脉冲引起的响应信号来调节偏置电压,以补偿光电二极管的温度变化。

[0024] 在另一实施方式中,提供了一种用于测量反射电磁脉冲的方法。电磁脉冲可以被发射并且至少被划分成外部脉冲和校准脉冲。校准脉冲可以被朝向雪崩光电二极管引导,并且外部脉冲可以被朝向要测量的对象引导(引起来自对象的反射脉冲)。可以对光电二极管施加初始偏置电压,并且光电二极管可以在处于初始偏置电压下时接收校准脉冲。来自光电二极管的由校准脉冲引起的响应可以被测量并且用于对光电二极管施加期望偏置电压,以针对光电二极管的温度变化进行调节。光电二极管还可以接收反射脉冲并且由其引起的响应可以被测量。

[0025] 在另一实施方式中,LiDAR传感器可以包括激光器、雪崩光电二极管和分路器。激光器可以被配置成发射窄电磁脉冲。雪崩光电二极管可以被配置成接收一个或多个电磁

脉冲并且响应于所述脉冲输出响应信号。另外,光电二极管可以被放置成接收由激光器引起并且由LiDAR传感器外部的对象反射的至少一个反射脉冲。雪崩光电二极管还可以具有影响响应信号的偏置电压。分路器可以被放置成接收窄电磁脉冲并且将其分成朝向LiDAR传感器外部的对象引导的至少一个外部脉冲以及朝向光电二极管引导的至少一个校准脉冲。朝向光电二极管引导的校准脉冲可以在由对象反射的脉冲之前被光电二极管接收。LiDAR传感器还可以包括用于调节偏置电压以在不测量温度的情况下考虑温度变化的装置。

附图说明

[0026] 以下参照优选实施方式的附图描述了本文中所公开的发明的这些及其他特征、方面和优点,优选实施方式意在例示本发明并且不意在限制本发明。另外,在附图中,使用相同的附图标记来指示所示实施方式的相同的部件。以下是对附图中的每个附图的简要描述。

[0027] 图1图示了实施方式位置感测装置。

[0028] 图2图示了可以与位置感测装置一起使用的实施方式LiDAR传感器。

[0029] 图3图示了具有发射脉冲的图2中的LiDAR传感器。

[0030] 图4图示了具有第一反射脉冲的图3中的LiDAR传感器。

[0031] 图5图示了具有扩展的发射脉冲的图2中的LiDAR传感器。

[0032] 图6图示了具有第二反射脉冲的图2中的LiDAR传感器。

[0033] 图7图示了与图2中的LiDAR传感器关联的实施方式电子器件。

[0034] 图8图示了用于记录脉冲的时间和峰值强度的实施方式方法。

[0035] 图9图示了用于向用户警告不清洁或损坏的窗口的实施方式方法。

[0036] 图10图示了包括将发射的激光脉冲分成一个校准脉冲和一个外部脉冲的分光器的实施方式LiDAR传感器。

[0037] 图11图示了包括将发射的激光脉冲分路成两个校准脉冲和一个外部脉冲的分光器的实施方式LiDAR传感器。

[0038] 图12图示了包括用于LiDAR传感器中的雪崩光电二极管的电路图。

具体实施方式

[0039] 图1图示了实施方式位置感测装置1。在被图示为有围墙的房间内的任意环境内示出位置感测装置。然而,应当理解,可以在其他环境例如工地、矿井、实验室或其他室内和室外环境中使用位置感测装置1。位置感测装置1可以被配置成测量至少一个点,或者进一步测量环境的一部分例如房间内的对象6的至少一个空间图。例如,在房间的场景下,由位置感测装置1测量的对象6可以为房间的一个或更多个墙壁。在一些实施方式中,位置感测装置1可以测量单独的且离散的点的特定集合,而在另外的实施方式中,位置感测装置1可以测量连续范围的点,如以下进一步描述。可以使用(以下进一步描述的)短且窄的电磁脉冲20例如光脉冲来进行测量。例如,脉冲20可以是紫外与远红外之间的电磁能量。另外,脉冲可以具有10纳米与1毫米之间的波长。然而,应当理解,可以使用其他机制例如沿电磁光谱的其他脉冲以及其他形式的定向能量。脉冲20可以被对象6反射以形成对象反射脉冲22,该

对象反射脉冲22可以由传感器2使用以根据反射脉冲22的相对于初始脉冲20的时间的到达时间来确定对象6的位置。

[0040] 如进一步所示,位置感测装置1可以包括安装在基座4上的传感器2。基座4被描述为三脚架。在许多实施方式中,期望使用基本稳定的基座4,这是因为定位装置1在操作期间的移动可以对由位置感测装置1提供的测量增加误差。在其他实施方式中,传感器2可以安装在其他对象例如交通工具(例如,汽车、飞机、自行车)、人携带的对象(例如,头盔、背包或手柄)等上。另外,应当理解,传感器2可以与基座4或其他底座单独的使用。例如,传感器2的一些实施方式可以包括平底,使得其可以直接被放置在地面、桌子或其他表面上。传感器2的其他实施方式可以被配置成直接由用户握持。

[0041] 如上所述,传感器2可以被配置成测量连续范围的点。在一些实施方式中,这可以最佳地被描述为相对于传感器2的角范围。例如,在一些实施方式中,传感器2可以具有可旋转元件,以使其可以顺序地在角度的范围上进行测量。在一些实施方式中,该角度范围可以由绕单个主旋转轴8的旋转限定。如图1所示,该旋转轴8可以与基座4基本上垂直和对准。传感器2可以被配置成绕该旋转轴8旋转,从而沿角范围测量距一个或多个对象6的距离。在另外的实施方式中,传感器2还可以在垂直于旋转轴8的平面外部竖直旋转的角范围中进行测量。在传感器2可以沿在两个方向的角范围进行测量的实施方式中,传感器2潜在地能够基本上测量其环境中的所有对象6,基本上在每个角的组合处进行测量。然而,应当理解,能够由传感器2测量的角范围可以受可以产生盲点的传感器自身的特定部件的限制。然而,在这样的实施方式中,基本上所有的环境仍然可以由传感器2来测量。

[0042] 图2图示了被配置成测量位置的传感器2的实施方式。传感器2被图示为包括可以容纳传感器的各种部件的壳体10。例如,光纤激光器30可以安装至壳体10的例如底部位置处。光纤激光器30可以被配置成发射激光束,但是也可以使用各种其他形式的能量(如上所述)。激光束可以从光纤激光器30发射为基本上短且离散的能量脉冲。可以由电力和通信线缆32来提供光纤激光器30的功率。该线缆可以另外地提供与光纤激光器30的通信,从而可以控制由光纤激光器30发射的脉冲的定时和形式。注意,可使用其他类型的激光器而不是光纤激光器。例如,也可以使用二极管激光器或q开关激光器,并且可以将其发射的电磁能量耦合至光纤中。

[0043] 在一些实施方式中,来自光纤激光器30的发射脉冲可以直接被引出传感器2,并且朝向所测量的对象6被引导至外部环境中。然而,在其他实施方式中,可以期望在传感器2中对发射脉冲重定向和/或使其变形,以实现传感器2中的部件的封装和功能的更大的灵活性。例如,在所描述的实施方式中,来自光纤激光器30的发射脉冲在输出传感器2之前被重定向和分割。

[0044] 参照图2,在一些实施方式中,从激光器30发射的光脉冲可以耦合至光纤光缆34中。激光器可以是各种类型的激光器例如其中光纤内发生放大并且其输出自然地在光纤中传输的光纤激光器或者光学上耦合至光纤光缆的固态激光器例如激光二极管。

[0045] 如图2所示,激光器30将发射脉冲输出至对发射脉冲重定向的光纤光缆34。然后,发射脉冲可以进入光纤分光器36。光纤分光器36可以将发射脉冲分离成分别具有发射脉冲的可控部分的强度的多个单独的脉冲。在本实施方式中,脉冲可以被分成两个单独的脉冲并且可以引入延迟路径38例如光纤光缆延迟环路以确保外部脉冲在由脉冲接收传感器60

可以接收到校准脉冲之前不离开传感器2。脉冲接收传感器60可以被配置成在接收到校准脉冲24时产生信号。例如,在一些实施方式中,脉冲接收传感器60可以为光电变换器例如图7所示的雪崩光电二极管(“APD”)。另外,在一些实施方式中,可以例如使用跨阻放大器来放大来自脉冲接收传感器60的输出。然而,应当理解,可以使用其他脉冲接收传感器60例如光电倍增管或其他类型的光电二极管。可以如以下进一步描述的那样处理来自脉冲接收传感器60的输出。

[0046] 如图3所示,来自光纤激光器30的发射脉冲的一个部分可以为校准脉冲24。校准脉冲24可以从光纤分光器36被引导至雪崩光电二极管60。在一些实施方式中,校准脉冲可以例如使用透镜40B比如使光束准直的准直透镜另外地朝向雪崩光电二极管60聚集。

[0047] 在一些实施方式中,光纤分光器36可以被配置成使得校准脉冲24比输出脉冲20小得多。例如,在一些实施方式中,校准脉冲24可以为发射脉冲的大约1%,并且输出脉冲20可以为发射脉冲的大约99%。这样比率的分路器通常为可用的光纤部件。在其他实施方式中,校准脉冲24可以更小例如不大于激光脉冲的0.01%。校准脉冲24可以在非常接近雪崩光电二极管60处发射并且其仅需要从雪崩光电二极管60激励中等强度的信号,并且因此,校准脉冲的强度可以基本上较小。

[0048] 在一些实施方式中,在光纤分光器之后,可以在校准脉冲的路径中放置光滤波器,以进一步减小校准脉冲的强度。该滤波器可以用于防止测量脉冲强度的电路的饱和。因此,如果光纤分光器没有充分地减小校准脉冲强度以防止饱和,则还可以使用滤波器来进一步减小校准脉冲的强度。

[0049] 如图3中进一步所示,来自光纤激光器30的发射脉冲的第二部分可以为输出脉冲20。输出脉冲20可以根据期望使用用于重定向、重新变形和延迟外部脉冲的一个或更多个元件从光纤分光器36被引导至外部环境。例如,在所描述的实施方式中,输出脉冲20可以首先经过光纤光缆延迟环路38。光纤光缆延迟环路38可以包括形成脉冲20要经过的延长路径的光缆的缠绕长度。这可以有利地延长输出脉冲20的行进时间。该延长的行进时间可以有利地提供校准脉冲24和窗口反射脉冲26与对象反射脉冲22之间的延迟(以下进一步描述)。该脉冲之间的延长时间可以允许在接收到窗口反射脉冲或对象反射脉冲之前检测和测量校准脉冲。在一些实施方式中,可以进一步延长延迟的长度以允许在接收到目标反射脉冲22之前改变施加到雪崩光电二极管的偏置电压。

[0050] 在光纤光缆延迟环路38之后,输出脉冲20可以经过被配置成将输出脉冲准直成窄光束的主准直透镜40A。然后,从准直透镜40A开始,输出脉冲可以被一系列镜重定向。如所示出的,输出脉冲20初始可以被竖直地被引导,直到其从第一固定镜42A被反射为止。固定镜42A可以朝向第二固定镜42B水平地重定向输出脉冲20。然后,第二固定镜42B可以朝向旋转镜50向后竖直地重定向输出脉冲20。

[0051] 旋转镜50可以被配置成朝向外窗口44重定向输出脉冲20。然后,输出脉冲20可以前进通过窗口44到达外部环境并且被反射,如以下进一步被描述。旋转镜可以连接至被配置成使镜50绕主旋转轴8旋转的镜电机54。然后,旋转镜50可以使得输出脉冲20绕主旋转轴8旋转。有利地,外部窗口44可以基本上为圆形,以使得输出脉冲20可以随着旋转镜50以不同的角度重定向输出脉冲而通过窗口。如所示出的,输出脉冲20可以关于相对于感测装置1的水平面被重定向。因此,输出脉冲20可以允许由传感器2沿绕位置感测装置1的360度

弧进行测量。在另外的实施方式中,旋转镜50可以被配置成绕副轴旋转,使得输出脉冲20能够相对于感测装置1被竖直地引导,使得传感器2能够对基本上所有的方向进行测量。

[0052] 旋转镜50可以另外地包括角度传感器例如编码器52。角度传感器52可以(例如,通过测量电机54的位置)测量旋转镜50的角位置。该角位置可以由角度传感器52输出,以指示由输出脉冲20提供的测量值的角位置,如以下进一步讨论。可以沿镜电机和通信线缆56提供来自传感器52的输出。线缆可以例如从处理器70对镜电机54另外地提供功率和控制。

[0053] 如以下将进一步描述的,图4和图6中图示了由输出脉冲20引起的反射脉冲22、26。反射脉冲22、26可以返回通过窗口44或者从窗口44朝向旋转镜50。然后,旋转镜50可以朝向脉冲接收传感器60向下重定向反射脉冲22、26。在一些实施方式中,旋转镜50可以基本上大于第二固定镜42B。另外,如所示的,固定镜42B可以被定位在旋转镜50与脉冲接收传感器60之间。应当理解,脉冲20、22、26的宽度在其飞行时间期间可以逐渐扩展,以使得反射脉冲22、26可以宽于输出脉冲20。在所描述的实施方式中,反射脉冲22、26可以足够宽,以使得足够比例的反射脉冲不会被较窄的第二固定镜42B遮挡。光学透镜46可以被布置在旋转镜50与脉冲接收传感器60之间,以朝向传感器聚焦较宽的反射脉冲22、26。然后,传感器可以沿线缆62响应于这些反射脉冲22、26(或校准脉冲24)来输出信号。

[0054] 现在参照图2至图9来描述测量位置的处理。如图2所描述以及上述进一步描述的,光纤激光器30可以响应于通过相关的电力和通信线缆32提供的指令来发射脉冲。在一些实施方式中,电力和通信线缆32可以通信地链接至处理器比如图7中示意性图示的处理器70。处理器70可以被配置成控制光纤激光器30以控制发射脉冲的时间和性质。

[0055] 在一些实施方式中,处理器70可以是通用计算机上的一个或多个电部件,其可以(例如,使用有线连接或无线连接)操作地连接至位置感测装置1。在其他实施方式中,处理器70可以为设置在位置感测装置上(例如传感器壳体10内的传感器2上)的一个或多个电部件。另外,在一些实施方式中,处理器70可以包括一个或多个印刷电路板上一个或多个电部件。应当理解,处理器70可以被配置成提供除了本文中明确描述的功能之外的额外功能。

[0056] 如图2所示以及以上所讨论的,发射脉冲可以被光纤分光器36分成两个单独的脉冲:校准脉冲24和输出脉冲20。校准脉冲24可以基本上直接被发送至雪崩光电二极管60。因此,校准脉冲24可以首先到达雪崩光电二极管60,提供指示脉冲从光纤激光器30初始被发射的时间的参考时间。LiDAR传感器的飞行时间测量值可以是该校准脉冲24的接收与对象反射脉冲22的接收之间的经过时间。

[0057] 在另外的实施方式中,可以由光纤分光器36生成两个校准脉冲,每个脉冲可以用于指示脉冲从光纤激光器初始被发射的时间。事实上,两个校准脉冲从光纤激光器脉冲发射起可以具有固定的延迟并且可以对两个校准脉冲被检测到的时间进行平均,以减少飞行时间测量中的抖动或不确定性。

[0058] 如以上另外所讨论的,在一些实施方式中,光纤分光器36可以被配置成使得校准脉冲24比输出脉冲20小得多。例如,在一些实施方式中,校准脉冲24可以为发射脉冲的大约1%,并且输出脉冲20可以为发射脉冲的大约99%。在其他实施方式中,可以使得校准脉冲24仅大约如发射脉冲的被脉冲接收传感器60和关联的部件可靠地检测到所需的比例那样大,如本文中所讨论。

[0059] 如图7所示,脉冲接收传感器60可以在接收到校准脉冲24时输出信号100。在一些实施方式中,来自传感器60的信号100可以为模拟电信号,比如来自光电二极管的输出。然而,在其他实施方式中,信号可以采取其他形式比如数字信号。该校准脉冲24的接收可以表示为如图8所图示的框200。

[0060] 来自脉冲接收传感器60的信号100可以由微分器72接收。微分器72可以是被配置成输出来自脉冲接收传感器60的信号100的时间导数的模拟微分电路。该信号100可以具有可以指示所接收的校准脉冲24的强度的强度(例如,幅值、电压等)。因此,微分器72的输出可以指示校准脉冲24的强度的时间导数。指示校准脉冲24的强度的时间导数(或斜率)的信号的产生可以表示为如图8所图示的框202。

[0061] 微分器72的输出可以是例如本文中所描述的其他信号的斜率信号102,其可以是模拟信号、数字信号、电信号等。斜率信号102可以由比较器74接收。比较器74可以是比较器电路例如模拟比较器电路。在一些实施方式中,比较器74可以被配置成当输入(例如,斜率信号102)下降至参考强度(对应于参考斜率)以下时输出高强度信号。如以上所讨论,斜率信号102的强度可以指示校准脉冲24的强度的时间导数。因此,比较器74可以在校准脉冲24的强度的时间导数下降至特定值比如参考强度(对应于参考斜率)以下时输出高强度信号。

[0062] 在一些实施方式中,比较器74可以被设置成当校准脉冲24的强度的时间导数指示已经达到校准脉冲24的峰值强度或最大强度时输出高强度信号。例如,比较器74可以指示时间导数何时达到约零,这指示可能的峰值。在其他实施方式中,比较器74可以指示时间导数何时稍微下降至零以下,这防止信号中的一些噪声指示当强度实际上仍然上升时的假峰值。是否已经满足这些条件(例如,如果已经满足参考强度)的分析可以表示为如图8中所图示的框204。如果未满足参考强度,则可以由微分器72继续输出斜率并且由比较器74进行处理。

[0063] 因此,微分器72与比较器74的组合可以组合成形成能够输出指示校准脉冲24的最大强度或峰值强度的时间的信号的元件(例如,全部为模拟电路)。该最大强度或峰值强度的时间可以限定脉冲的到达时间。在其他实施方式中,可以使用可替选的元件来识别脉冲的到达时间。例如,在一些实施方式中,处理单元可以测量脉冲的整个波形并且通过对脉冲的全部波形形式进行分析来计算特定时间(例如,峰值时间)。然而,这些元件比其他实施方式中所使用的那些元件可能更昂贵。作为另一替选方式,可以通过测量脉冲的强度何时经过特定阈值来识别脉冲的到达时间。如果在脉冲期间达到阈值,则脉冲将会初始升高经过阈值并且然后下降再次经过阈值。然后,可以将峰值时间计算为经过阈值的两次时间之间的时间。然而,这些元件可能丢失未到达阈值的低强度脉冲。应当理解,这些分析方法中的任何方法可以与其他电部件一起使用。例如,在一些实施方式中,通用计算机可以以类似的方式计算斜率并且将其与参考强度进行比较。

[0064] 然后,校准脉冲24的时间和峰值强度可以如以下描述的那样被记录并且表示在图8的框206中。指示校准脉冲24的到达时间的输出信号可以是第一峰值检测信号106A。在一些实施方式中,第一峰值检测信号106A可以直接被发送至被配置成记录校准脉冲24的到达时间的电子定时模块。然而,在所描述的实施方式中,可以间接提供到达时间。如图7所示,第一峰值检测信号106A可以被提供至第一信号D型触发器(“DFF”)76A。图7另外指示第一峰值检测信号106A还可以提供至第二DFF 76B和第三DFF 76C。然而,处理器70可以被配置成

使得第一峰值检测信号106A不激活第二DFF 76B和第三DFF 76C,如以下进一步描述的。

[0065] 第一DFF 76A可以另外接收第一脉冲使能信号104。第一脉冲使能信号104可以用作至第一DFF 76A的D输入并且第一峰值检测信号106A可以用作时钟输入。第一脉冲使能信号104可以从被配置成在期望的时间使能第一DFF 76A的子级处理器80比如现场可编程门阵列(“FPGA”)提供。例如,在一些实施方式中,第一DFF 76A将仅在光纤激光器30(还可以由子级处理器80经由光纤激光器的电力和通信线缆32控制,连接未在图7中示出)发射时被使能。因此,如果与来自光纤激光器30的发射脉冲在定时上不一致,则由传感器2接收的外生脉冲可以被忽略。

[0066] 因此,当第一DFF 76A使用其D输入处的第一脉冲使能信号104(例如,由子级处理器80)使能时,第一峰值检测信号106A在时钟输入处的接收可以使得第一DFF 76A连续输出第一脉冲检测信号108A。注意,该第一脉冲检测信号108A在第一峰值检测信号106A已经消散之后可以继续保持。第一脉冲检测信号108A可以由时间数字转换器(“TDC”)78接收。在一些实施方式中,TDC 78可以被配置成以高精度记录时间(例如,以亚纳秒分辨率、以约1皮秒至10皮秒的分辨率或者以亚皮秒的分辨率)。另外,在一些实施方式中,TDC可以使用第一脉冲检测信号108A作为开始信号,开始时钟的定时。如以下进一步描述的,TDC 78可以随后接收指示其他脉冲的到达时间的信号,并且测量其相对于开始信号的时间的到达时间。因此,在所描述的实施方式中,TDC 78可以用作相对时钟,记录每个脉冲相对于校准脉冲24的时间的时间,如由第一脉冲检测信号108A所表示的。然而,在其他实施方式中,可以使用绝对时钟系统,其中,可以将校准脉冲24的时间记录为绝对时间,并且将其与其他脉冲的绝对时间进行比较。另外,在一些实施方式中,不使用校准脉冲并且光纤激光器30的发射时间(例如,如由光纤激光器被子级处理器80命令发射的时间所表示的)可以用作与校准脉冲24类似的参考时间。

[0067] 第一脉冲检测信号108A可以另外在第二DFF 76B的D输入处接收,从而使能DFF 76B。现在,第二DFF 76B可以测量图4中所图示的窗口反射脉冲26的时间。如图4所示,窗口反射脉冲26可以在外部窗口44处产生。窗口44可以不完全透明,使得不是所有的输出脉冲20直接前进通过窗口。输出脉冲20的一部分可以被窗口44吸收,并且输出脉冲的另一部分可以被窗口反射回以作为窗口反射脉冲26。

[0068] 注意,窗口反射脉冲26的强度可以随着窗口44的质量和状况来变化。例如,不清洁、刮擦、有凹痕或劣化的窗口44通常具有较高强度的反射脉冲26。窗口44的这样的劣化还可以减小对象反射脉冲22的强度,对象反射脉冲22从输出脉冲(例如,由于窗口的劣化减小)产生并且在其返回至传感器2时经过窗口(再次减小强度)。因此,如以下进一步描述的,窗口反射脉冲26的强度可以用于校准对象反射脉冲22的强度的测量值并且还向用户指示窗口44的状况。

[0069] 窗口反射脉冲26可以从旋转镜50反射并且经过光学透镜46以到达脉冲接收传感器60,如以上所描述以及图4中图示的。然后,可以以与校准脉冲24的到达时间类似的方式表示镜反射脉冲26的到达时间,如以上所述。因此,第二峰值检测信号106B可以由比较器74输出。类似第一峰值检测信号106A,第二峰值检测信号106B可以由DFF 76中的每个DFF 76接收。然而,第一DFF 76A可能已经被激活,并且因此可以基本上不受第二峰值检测信号106B影响。另外,第三DFF 76C可以在其D输入处被禁用,并且因此可以不受第二峰值检测信

号106B的影响。然而,第二DFF 76B可以由第一脉冲检测信号108A在其D输入处使能。因此,在第二DFF 76B的时钟输入处接收第二峰值检测信号106B可以使得第二DFF连续地输出第二脉冲检测信号108B。

[0070] 第二脉冲检测信号108B可以由TDC 78接收。然后,TDC 78可以输出或记录第二脉冲检测信号108B的时间。例如,时间可以为相对时间,这是因为由第一脉冲检测信号108A提供开始信号,如上所述。可替代地,时间可以是绝对时间,如上所述。

[0071] 第二脉冲检测信号108B可以在第三DFF 76C的D输入处被另外地接收,因此使能DFF 76C。第三DFF 76C现在可以用于测量对象反射脉冲22的时间,如图5和图6所图示。如图5所示以及以上所讨论的,输出脉冲20的大部分可以前进通过窗口44到达对象6。对象6可以具有使得对象反射脉冲22通过窗口44返回至传感器2的反射率,如图6所示。然后,对象反射脉冲22可以到达脉冲接收传感器60并且以与上述关于校准脉冲24和窗口反射脉冲26类似的方式产生第三峰值检测信号106C。

[0072] 第三峰值检测信号106C可以由DFF 76中的每个DFF接收。然而,第一DFF 76A和第二DFF 76B可以基本上不受影响,这是因为他们已经被激活。第三DFF 76C可以由第二脉冲检测信号108B使能。因此,第三峰值检测信号106C可以使得第三DFF 76C输出第三脉冲检测信号108C。第三脉冲检测信号108C可以由TDC 78接收,TDC 78可以以与上述关于第二脉冲检测信号108B类似的方式记录或输出时间(例如,相对于第一脉冲检测信号108A,或者绝对时间)。在一些实施方式中,第三脉冲检测信号108C的接收可以使得TDC输出其数据并且重置。

[0073] 由TDC 78输出的数据可以指示传感器2与对象6之间的距离。例如,脉冲20、22、24、26可以以已知的速度(例如,光速)行进。因此,脉冲到达对象并且反射回所花费的时间(例如,由输出脉冲20和对象反射脉冲22所花费的时间)可以与传感器2和对象6之间的距离成比例。接收到校准脉冲24的时间可以提供输出脉冲20的近似参考开始时间,其至少除以光纤光缆延迟环路38的长度除以光纤光缆延迟环路中的光速的固定时间偏移。在一些实施方式中,该时间比当光纤激光器30被命令发射脉冲(在一些实施方式中,还可以被记录)的时间更可靠。传感器2(例如,处理器70)可以进一步被校准以考虑由校准脉冲24的时间(与对象反射脉冲22的时间相比)提示的距离与距对象6的实际距离之间的任何偏移。类似的操作可以使用窗口反射脉冲26的时间来校准传感器2,窗口反射脉冲26应当在校准脉冲24之后以一致的时间接收。

[0074] 在另外的实施方式中,可以以相似的方式添加另外的DFF,以提供用于更多的信号。例如,在一些实施方式中,例如在以下关于图10和图11所描述的实施方式中,可以使用另外的校准脉冲24。每个DFF可以用信号通知不同的脉冲的到达,以使得添加另外的DFF可以提供另外的脉冲的接收。另外,至TDC的输入可以变化。例如,在一些实施方式中,可以不测量窗口反射脉冲26的接收时间,这是因为该时间应当为基本上恒定的。另外,在一些实施方式中,TDC可以被配置成测量两个对象反射脉冲22的接收时间。因此,传感器2可以检测输出脉冲20何时到达对象6的边缘,并且因此产生来自所述对象边缘以及其之后的另外的对象的反射。因此,可以使用一个输出脉冲20测量两个距离。另外,DFF可以用信号通知每个脉冲的到达,以用于测量其幅值或峰值强度(如以下进一步描述的),即使每个脉冲到达的时间没有被TDC测量。

[0075] 有利地,子级处理器80比如FPGA可以提供另外的功能。例如,如所示的,子级处理器80可以接收脉冲检测信号108中的每个脉冲检测信号。在一些实施方式中,子级处理器80可以在接收到脉冲检测信号108中的每个脉冲检测信号时接收来自TDC 78的时间数据112。在其他实施方式中,子级处理器80可以被配置成仅在接收到第三脉冲检测信号108C时接收来自TDC 78的时间数据112。在另外的实施方式中,子级处理器80可以被配置成在接收到第三脉冲检测信号108C时请求来自TDC 78的时间数据112。另外,在一些实施方式中,子级处理器80可以在接收到第三脉冲检测信号108C时使用TDC控制信号114来重置TDC 78。另外,子级处理器80可以将脉冲检测重置信号110提供给DFE 76中的每个DFE,以将DFE重置成去激活状态,以使其可以接收新的脉冲集合。例如,可以在旋转镜50被镜电机54旋转至新的角度之后从光纤激光器30提供发射脉冲。

[0076] 如以上所示的,子级处理器80可以经由电力和通信线缆32另外地通信地连接至光纤激光器30。因此,子级处理器80可以控制光纤激光器30何时发射脉冲。在一些实施方式中,子级处理器80可以在使得光纤激光器30发射脉冲时使能第一DFE 76A。

[0077] 另外,子级处理器80可以通信地连接至一个或更多个峰值测量元件比如峰值测量电路。峰值测量元件可以通信地连接至脉冲接收传感器60,以接收来自传感器的指示所接收的脉冲的强度的信号。当接收到信号时,峰值测量元件可以存储表示信号的峰值强度的数据。这样的峰值强度数据可以用于各种目的。例如,对象反射脉冲22的峰值强度可以指示对象6的反射属性比如对象6的材料、平滑度、形状等。特别地,对象反射脉冲22的峰值强度与校准脉冲24的峰值强度之比可以被校准以提供对对象6的表面反射率的估计。

[0078] 另外,可以使用窗口反射脉冲26来校正和改进该反射率估计。如以上所讨论,窗口44的瑕疵可以减小由脉冲接收传感器60接收时的对象反射脉冲22的强度。可以通过测量窗口反射脉冲26的强度来至少部分地测量窗口44上的这些瑕疵的程度。然后,可以使用窗口反射脉冲26的强度来校准所测量的对象反射脉冲的强度(以及所估计的对象6的反射率)。例如,在一些实施方式中,如由对象反射脉冲22的强度测量的所估计的对象6的反射率可以根据窗口反射脉冲26的强度而成比例增大。

[0079] 另外,如以上所讨论,窗口反射脉冲26的强度可以指示窗口44的状况。如果窗口44变得过度不清洁或被损坏,则传感器2的准确度和可靠性减小。在一些实施方式中,当接收到窗口反射脉冲26(图9中的框250)时,可以确定该脉冲的峰值强度(图9中的框252)。可以将峰值强度与阈值水平或强度进行比较(图9中的框254)。当窗口反射脉冲26的强度达到阈值水平时,传感器2可以向用户提供警告(图9中的框256)。该警告可以具有各种形式比如视觉显示(LED灯、监视器上的文本消息等)、可听声音或通过将输出数据标记为可能不准确。然后,该警告可以潜在地促进用户检查窗口44并且可能清洁或替换窗口。

[0080] 应该理解,校准脉冲24的强度可以提供诊断信息。例如,如果校准脉冲24的强度下降至阈值水平以下,则这可以指示一个或更多个内部部件比如激光器30、光缆34、光纤分光器36、雪崩光电二极管60或脉冲强度测量电路出现问题。因此,处理器可以被配置成监视校准脉冲24的强度并且在检测到错误状况时进行指示。

[0081] 如以上所示,子级处理器80可以通信地连接至一个或更多个峰值测量元件。在一些实施方式中,可以提供两个或更多个峰值测量元件。第一峰值测量元件可以首先被子级处理器80使能,以接收第一脉冲(例如,校准脉冲24)并且存储其峰值强度。在接收到第一脉

冲检测信号(例如,第一脉冲检测信号108A)时,子级处理器80可以从第一峰值测量元件读取峰值测量强度并且使能第二峰值测量元件。然后,第二峰值测量元件可以接收并存储第二脉冲(例如,窗口反射脉冲26)的峰值强度。子级处理器80可以从第二峰值测量元件以类似的方式读取峰值测量强度并且在接收到第二脉冲检测信号(例如,第二脉冲检测信号108B)时重置并使能第一峰值测量元件。在接收到第三脉冲检测信号时,可以使用类似的处理来获得第三脉冲(例如,对象反射脉冲22)的强度。

[0082] 使用如以上所描述的替选方法中的两个峰值测量元件可以有利地使得单个触发事件既能够读取来自一个峰值测量元件的数据还能够重置/使能另一峰值测量元件。在一些实施方式中,使用单个峰值测量元件可能需要更复杂的控制方法。另外,在一些实施方式中,可以在每个脉冲之间的非常短的时间的情况下接收脉冲。因此,可能难以足够快速地重置和读取单个峰值测量元件,以确保其及时准备好接收随后的脉冲。在另外的实施方式中,对于峰值测量元件中的任意峰值测量元件在必须测量下一个脉冲之前进行重置/使能而言,脉冲可能到达过快。因此,在一些实施方式中,可以针对给定输出脉冲20要接收的每个预期的脉冲提供峰值测量元件。在另外的实施方式中,可能需要为多于一个的输出脉冲20提供足够的峰值测量元件。

[0083] 另外,如上所述,子级处理器80可以通过镜电机和通信线缆56通信地连接至镜电机54和角度传感器52。然后,子级处理器80可以接收指示旋转镜50的角度的数据并且使用电机54来控制所述角度。因此,如上所述,子级处理器80可以使得旋转镜50旋转通过角度的范围。另外,子级处理器80可以根据脉冲22、24、26的定时估计的距离与所测量的角度进行组合来限定所测量的对象6相对于传感器2的相对位置。

[0084] 处理器70还可以(例如,通过有线连接或无线连接)与外部计算装置通信。在一些实施方式中,处理器70然后可以被配置成将所测量的数据输出至外部计算装置。在一些实施方式中,输出数据可以为所接收的原始数据(例如,每个脉冲的时间和强度以及旋转镜的对应角度)。在其他的实施方式中,输出数据可以为处理数据例如所估计的位置以及对象6在各个角度处的反射率。在另外的实施方式中,处理器70可以从外部计算装置接收可以可选地用于控制传感器2的操作指令。

[0085] 图10至图12图示了其中校准脉冲(例如,校准脉冲24)可以用于校准脉冲接收传感器60的灵敏度的另外的LiDAR传感器实施方式。如以上所讨论的,在一些实施方式中,脉冲接收传感器60可以包括光电二极管比如雪崩光电二极管。注意,来自光电二极管的信号幅值或强度可以取决于由光电二极管接收的电磁脉冲的幅值或强度。另外,来自雪崩光电二极管的信号强度可以具有显著的非线性响应特性。更具体地,来自光电二极管的响应的强度可以最终按指数规律增长,特别是在达到击穿电平时。然而,非常低的强度的脉冲可以低于光电二极管检测所需的阈值。

[0086] 对于LiDAR传感器,期望阈值水平足够低,以使得LiDAR传感器可以检测低强度反射脉冲22。例如,较暗的对象6可以反射较低强度的脉冲。另外,远离传感器2的对象6可以反射在其到达传感器2之前过度地分散的脉冲,使得传感器2处的脉冲的强度较低。另外,在朦胧的状况下,也可以减少反射脉冲的强度。

[0087] 然而,还期望阈值水平足够高以防止假的读数。例如,如果环境光线足够强,则传感器2可以在实际上不存在对象6时检测到反射光。理想的脉冲强度的阈值水平是足够低以

检测相对弱的脉冲,同时不会过高以得到假的读数。

[0088] 来自光电二极管60的信号强度还可以用于测量所接收的脉冲的强度。较强的强度反射脉冲22会引起来自光电二极管的较强的信号。因此,可以根据信号的强度来估计脉冲的强度。

[0089] 然而,来自雪崩光电二极管的响应可以对温度敏感。例如,随着温度上升,光电二极管的灵敏性降低,使得输出电流下降至给定脉冲强度以下。这有效地使得光电二极管的阈值强度水平增大。因此,可以期望补偿光电二极管60的温度变化,使得阈值水平(以及光电二极管通常的响应)保持基本上恒定。在一些实施方式中,可以沿与光电二极管的极性相反的方向施加偏置电压。该偏置电压影响需要多强的脉冲来达到光电二极管60的击穿点(例如,阈值水平)。类似地,偏置电压还可以影响响应的强度。因此,温度波动可以影响光电二极管60的响应,并且这些变化可以通过调节偏置电压来进行补偿。

[0090] 针对这样的温度变化进行调节的一个方法是测量光电二极管60的温度并且根据所测量的温度来调节偏置电压。然而,温度读数可以包括温度传感器本征的误差。另外,可能难以直接测量光电二极管60的温度。因此,可能需要测量与光电二极管60相邻的对象的温度而非光电二极管60自身的温度,这引入额外的误差。另外,针对给定温度估计正确的偏置电压也会增加误差,特别是光电二极管可能会随时间劣化。

[0091] 因此,可以优选的是使用不同于光电二极管60的温度的测量值来调节偏置电压。例如,可以优选的是,在已知偏置电压和脉冲强度的情况下测量来自雪崩光电二极管60的响应。如果在不同的温度下这些变量与来自光电二极管60的响应之间的关系是已知的,则可以根据已知的变量来推断温度。然后,可以使用温度来估计理想的偏置电压。可替代地,在一些实施方式中,可以在不明确确定温度的情况下估计理想的偏置电压。然后,所估计的理想的偏置电压可以用于明确地确定期望的偏置电压或者用作对先前的偏置电压的所期望的调节。通常,所期望的偏置电压与所估计的理想的偏置电压将会相同,虽然一些情形下所期望的偏置电压与所估计的理想的偏置电压可以不同。

[0092] 图10中图示了LiDAR传感器的可以测量来自雪崩光电二极管的响应以估计理想的偏置电压的实施方式元件。应该理解,可以可选地添加这些元件或者将这些元件与上述例如图2至图6的实施方式进行组合。如所示出的,激光器30可以连接至可以引导至光纤分光器例如上述光纤分光器36的光缆34。如以上所讨论的,光纤分光器36可以朝向要测量的对象6引导输出脉冲20,并且朝向雪崩光电二极管60引导校准脉冲24。虽然校准脉冲24被描述为提供如上所述的定时功能以及此处所描述的偏置电压测量,其他实施方式也可能是不同的。例如,在一些实施方式中,可以针对这两个目的使用单独的校准脉冲,这是因为激光器的初始脉冲可以进一步被分割,或者激光器可以发射多个脉冲。

[0093] 当校准脉冲24到达雪崩光电二极管60时,由光电二极管生成取决于校准脉冲、初始偏置电压和光电二极管的温度的第一响应信号。然后,该信号可以被引导朝向以下进一步描述的模拟或数字处理器,模拟或数字处理器可以估计偏置电压的理想变化。该变化可以使得在接收到反射脉冲20之前使偏置电压成为估计的理想偏置电压。注意,由于估计处理中的误差或者接收校准脉冲24与接收反射脉冲20之间的温度或其他状况的另外的变化,在接收到反射脉冲20的时刻处的“真实的”理想偏置电压可能与估计的理想偏置电压不同。另外,在一些实施方式中,虽然可以在一个校准脉冲反射脉冲周期内调节偏置电压,但是在

其他实施方式中,可以在响应于校准脉冲24调节偏置电压之前接收多个反射脉冲20。在一些特定实施方式中,在正常操作状况期间,装置可以将所施加的偏置电压保持在距理想偏置电压的特定范围内。在一些实施方式中,所施加的偏置电压可以在理想偏置电压的约50mV内。在另外的实施方式中,所施加的偏置电压可以在理想偏置电压的约25mV内。在又一些另外的实施方式中,所施加的偏置电压可以在理想偏置电压的约10mV内。

[0094] 图10和图11图示了基于光纤耦合器或分路器的分光器的实施方式。在一些优选实施方式中,光纤分光器36是熔融拉锥型光纤耦合器。然而,在其他实施方式中,分路器36可以是其他类型的分路器比如平面光波电路(PLC)分路器或光纤耦合自由空间分路器。

[0095] 图10图示了用于根据从激光器发射的光脉冲生成一个校准脉冲和外部脉冲的实施方式LiDAR传感器。校准脉冲沿朝向雪崩光电二极管60的短路径被引导,并且外部脉冲在朝向目标对象6被引导之前由光纤环38延迟。

[0096] 图11示出了与图10中的类似的可以测量来自雪崩光电二极管的响应以估计理想的偏置电压的LiDAR传感器的另一组实施方式元件。再次,应该理解,可以可选地添加这些元件或者将这些元件与上述实施方式进行组合。与图10不同的是,图11中图示的实施方式可以包括两个另外的光纤光缆分路器36a、36b。校准脉冲24可以由第二分路器36b分割成两个校准脉冲。然后,一个分割的校准脉冲可以由光缆直接引导至第二光缆分路器36b。第二校准脉冲可以例如由光纤光缆延迟环路38b延迟。注意,第二光纤光缆分路器36b可以用于将两个校准脉冲组合在可以在不同的时间输出至雪崩光电二极管60的单个光缆上。在其他实施方式中,多个光缆可以对准光电二极管60,使得可以可选地去除第二光纤光缆分路器36b。

[0097] 因此,雪崩光电二极管60可以在不同的时间接收两个校准脉冲。这允许两个单独且不同的光电二极管响应的测量。另外,应该理解,分路器36a、36b可以是对称的或非对称的。在非对称的实施方式中,校准脉冲中之一可以比另一个明显更大,以使得雪崩光电二极管60对每个脉冲提供具有可区分的强度的响应。通过光电二极管60提供多个响应强度可以允许更准确的测量光电二极管温度和/或理想的偏置电压。另外,通过光电二极管60的改变的响应强度可以有助于校准传感器2中的以下进一步描述的其他元件。

[0098] 图12图示了供LiDAR传感器使用的包括雪崩光电二极管的实施方式电路图。应该理解,可以可选地添加这些元件或者将这些元件与上述实施方式组合。如所示的,可以对光电二极管60的阴极施加偏置电压(V_{bias})以反向偏置光电二极管并且增大光电二极管的增益。可以测量光电二极管60的阳极以提供可以测量为电压、电流等的信号(V_{signal})。应该理解,来自光电二极管60的信号可以与上述以及图7中图示的信号100相似。

[0099] 光电二极管的阳极还可以连接至可以影响来自光电二极管60的测量信号的另外的电路。如所示的,光电二极管60的阳极可以并联地连接至下游电阻器(R)和下游二极管(D)。该另外的电路可以将光电二极管的阴极与较低的电势比如地电势分隔开。对于低信号强度而言,二极管(D)可以具有相当高的电阻器值。因此,来自光电二极管的基本所有的电流可以经过电阻器(R),电阻器(R)提供电压与电流之间的基本线性的响应。该线性响应在低信号强度下期望进行高精度测量时是有利的。

[0100] 当来自光电二极管60的信号变得更强时,与电阻器(R)相比,二极管可以以相对低的电阻器值流过电流。这可以使得来自光电二极管60的信号电压相对于电流增大得慢得

多,在达到雪崩光电二极管的击穿电压时电流可以急剧地增大。因此,针对来自光电二极管60的较强的信号而言,可以输出基本上对数形式的响应,从而使测量结果提高大的数量级。

[0101] 另外,如上所讨论,可以提供不同的强度下的多个校准脉冲24。这些不同的强度的脉冲可以引起来自光电二极管60的不同的强度输出,这可以导致至二极管(D)和电阻器(R)的不同的强度输入。在一些实施方式中,在光电二极管处所接收的脉冲强度(发光度)与输出电流之比相对于脉冲的强度可以基本上恒定。因此,如果脉冲的相对强度也是恒定的,则来自光电二极管60的输出的相对强度也应当是基本恒定的。因此,来自下游二极管(D)和电阻器(R)的两个响应可以提供针对这些元件的校准信息,这是因为他们可以响应于温度或其他变量而变化。

[0102] 应该理解,对于图12图示的实施方式而言,可以存在另外的变化。例如,在一些实施方式中,可以期望提供例如与二极管(D)串联以及与电阻器(R)并联的另外的电阻器。另外,可以包括另外的输出和输入。

[0103] 在使用时,校准脉冲24(和/或其他校准脉冲)可以用于设置对应于雪崩光电二极管60的理想增益的估计的理想偏置电压。雪崩光电二极管在特定偏置电压处的增益可以被确定为雪崩光电二极管在该偏置电压处在给定的入射光量下的输出电流除以雪崩光电二极管在相同的入射光下但是与单位增益对应的偏置电压处的输出电流的比率。当所施加的偏置电压足以运走光生电荷载流子,但是不足以使负电荷载流子加速至装置内引起碰撞电离的点时发生单位增益。单位增益对应于光电二极管的光生电流保持恒定或在偏置电压具有小的变化的情况下光生电流接近恒定的非零偏置电压或者电压范围。在其他非零电压下,雪崩光电二极管的光生电流将随所施加的偏置以非线性的关系变化。

[0104] 可以测量雪崩光电二极管在各种偏置电压下响应于校准脉冲的输出强度,并且可以在LiDAR传感器处于基本恒定的温度的情况下测量雪崩光电二极管的击穿电压。假定使得测量基本上快于雪崩光电二极管和脉冲强度测量电路的热时间常数,则可以认为温度是基本恒定的。使用这些测量中的一个或两个,可以针对其在LiDAR传感器中的操作指定最佳增益设置。与指定的增益对应的偏置电压可以与击穿电压具有固定的偏移。温度的变化通常引起这两个电压的大致相同的偏移,所以最佳增益设置可以等效地被指定为击穿电压以下的偏移。例如在制造时或者在出售或使用之前可以进行一次该最佳增益的指定,并且将其存储在LiDAR传感器中以供随后的操作期间进行参考。可替代地,可以例如在LiDAR传感器的(例如在现场或就地)操作期间更频繁地确定最佳增益。用于选择最佳增益的基础可以是例如在对固定目标对象的范围测量中最小化随机变化。一个这样的固定目标可以是LiDAR传感器外部的具有均匀反射率且相对于传感器稳固地放置的平坦表面。可替代地,分路器可以被配置成生成在时间上分离的两个校准脉冲,并且第二校准脉冲可以用作与第一校准脉冲具有固定的时间偏移量的这样的固定目标。用于选择最佳增益的另一基础可以是在不允许静态电流或电流噪声超过阈值的情况下增益最大。用于保持雪崩光电二极管的恒定增益的优选方式可以取决于激光器和脉冲强度测量电路相对于LiDAR传感器中的预期的温度变化的稳定性。

[0105] 在接收校准脉冲24之前,雪崩光电二极管60可以被设置成接收低于或高于预期的理想偏置电压的偏置电压。设置较低的初始偏置电压可以潜在地有助于防止光电二极管60对校准脉冲24的可能例如在对数响应区域中不能准确地测量的强信号响应。另外,如以上

所讨论,在一些实施方式中,可以接收具有潜在在不同的脉冲强度的多个校准脉冲24。在另外的实施方式中,可以在一个或更多个第一校准脉冲之后将偏置电压调节成所估计的理想偏置电压,并且然后在一个或更多个第二校准脉冲之后再次调节成更精确地估计的理想偏置电压。

[0106] 如果激光器可以提供足够稳定的输出,使得每个发射脉冲具有基本相同的峰值输出强度,并且脉冲强度测量电路保持恒定的增益,则校准脉冲的测量强度可以用于使雪崩光电二极管的增益保持恒定。基于为了使光电二极管响应于校准脉冲的输出强度保持恒定所需要的,单个校准脉冲强度测量可以足以指示偏置电压所需要的增大或减小以及所需要的变化的近似幅值。即使没有所需要的校正的准确幅值,也可以使用校准脉冲强度的连续的测量以及偏置电压校正的应用来朝向指定增益重复地调节雪崩光电二极管。

[0107] 如果激光输出随时间变化,使得在短时间量级上接近发射脉冲之间的时间,则脉冲强度基本上变化,但是在跨许多激光脉冲的长时间量级上,平均发射脉冲强度基本上不变化,可以将校准脉冲的强度的许多测量值平均在一起,并且可以使用该平均脉冲强度使雪崩光电二极管的增益基本保持恒定。在这种情况下,平均校准脉冲强度可以指示偏置电压的期望增大或减小以及所需要的变化的近似幅值。再次,可以使用对校准脉冲强度的连续测量以及偏置电压校正的应用来朝向指定增益重复地调节雪崩光电二极管。

[0108] 如果激光器的输出在发射脉冲之间变化,但是其平均发射脉冲强度基本恒定,而随后的脉冲强度测量电路受如由温度的变化引起的增益漂移的影响,则可以使用不同的方法来保持雪崩光电二极管的增益。可以在比测量电路可能受温度的变化的不利影响的更短的时间内进行在不同的偏置电压下重复的对校正脉冲的一系列测量。因此,可以使用多个校准脉冲测量值来确定在单位增益下对校准脉冲的响应的强度。然后,可以逐步调节偏置电压,以使得对校准脉冲的响应强度变成单位增益强度的指定增益倍。这可以实现雪崩光电二极管在指定增益下的操作。

[0109] 如果激光器输出在长时间量级和短时间量级上均变化,则分路器可以被配置成向雪崩光电二极管提供通过足够的延迟而在时间上分离的两种校准脉冲,以进行对每个脉冲的不同的脉冲强度测量。在接收到第一校准脉冲之后并且在接收到第二校准脉冲之前,可以改变施加至雪崩光电二极管的偏置电压。这两个校准偏置电压之间的电压偏移可以保持恒定。可以获得来自光电二极管的在不同的偏置电压下的针对这两个校准脉冲强度的输出的比值。只要两个校准偏置电压中的每个校准偏置电压与对应于指定增益的偏置电压保持固定的偏移,则这两个校准偏置电压的比值将保持恒定。由于雪崩光电二极管的增益与偏置电压具有非线性关系,所以如果校准偏置电压(例如,由于温度的变化)改变其与针对指定增益的偏置电压的偏移,则该比值将会不同。由于雪崩光电二极管将会操作在线性模式下,则该比值将不取决于发射激光脉冲的绝对强度。该比值也不受脉冲强度测量电路的线性增益的变化的影响,这是因为该增益通过获得强度测量的比值而被抵消。可以选择校准偏置电压之间具有足够的偏移量的校准偏置电压,以产生对增益变化的良好的灵敏度。还可以有利的是,将第二校准偏置电压设置成LiDAR传感器的范围测量的当前操作偏置电压,使得第二校准脉冲与从最近的目标表面反射的脉冲之间所需要的延迟不需要另外地适应被施加给雪崩光电二极管的偏置电压的其他变化。当指定最佳增益时测量的比值可以存储且用作参考值。随后测量的比参考值更接近于单位值的比值指示校准偏置电压相对于生成

指定增益的偏置电压已经负向移动并且应当增大操作偏置电压。随后测量的比如参考值更远离单位值的比值指示校准偏置电压相对于生成指定增益的偏置电压已经正向移动并且应当减小操作偏置电压。连续的测量和校正可以驱动操作偏置电压以匹配当指定最佳增益时所测量的比值并且实现雪崩光电二极管在指定增益处的操作。

[0110] 可以有利的,使用非对称光纤分光器来配置分光器,以生成具有不同的光脉冲强度的两个校准脉冲。这可以用于减小在光电二极管处于两个不同的偏置电压下时来自光电二极管的由两个校准脉冲引起的信号强度的差异。例如,如果在两个不同的偏置电压的情况下使用对称分路器,则两个校准脉冲可以生成来自光电二极管的极其不同(例如,10倍至100倍不同)从而难以比较的信号响应。可替代地,非对称分路器可以使得较强的校准脉冲与较小的偏置电压组合,并且较弱的校准脉冲与较大的偏置电压组合。因此,可以选择非对称分路器,以使得来自光电二极管的从两个校准脉冲得到的信号输出基本相似(例如,在标准操作下具有不大于10倍、5倍或2倍的不同)。与在两个校准脉冲使得光电二极管输出跨多个量级的输出信号强度的情况相比,这可以允许对校准脉冲强度进行更准确的测量。

[0111] 在接收对象反射脉冲22之前,可以由雪崩光电二极管60接收校准脉冲24。在一些实施方式中,接收最后的校准脉冲24与对象反射脉冲22之间的时间可以为大约10纳秒、至少10纳秒、大约100纳秒或小于100纳秒。接收所述脉冲之间的时间可以使得光电二极管60以及其他电路和处理元件在接收下一个脉冲之前终止且重置。可以选择由光纤光缆延迟环路38延迟的长度,以确保有足够的时间来终止和重置相关部件。在一些实施方式中,在该时间期间,可以减小或完全去除偏置电压,以便于雪崩光电二极管60的终止。

[0112] 类似地,可以在多个校准脉冲24之间设置时间间隙。例如,在一些实施方式中,接收校准脉冲之间的时间可以为约10纳秒、至少10纳秒、约100纳秒或小于100纳秒。再次,在该时间期间,可以可选地减小或断开偏置电压,以便于雪崩光电二极管60的终止,并且可以选择光纤光缆延迟环路38b的长度,以确保足够的时间。对于许多实施方式而言,LiDAR传感器的测量周期可以具有约1微秒和约10微秒之间的时间段。用于常见的LiDAR传感器内部的附带的变热和冷却的热时间常数常常大于1秒。因此,与控制雪崩光电二极管的增益有关的连续的测量和校正——其被进行为测量周期的一部分——将会例如以基本上快于雪崩光电二极管的温度在正常操作条件下波动的速率的速率基本上实时发生。

[0113] 当光电二极管60已经接收一个或更多个校准脉冲24时,可以将偏置电压设置成最终的理想偏置电压。如以上所讨论的,在一些实施方式中,理想的偏置电压可以被选择成使得雪崩光电二极管60的由具有在传感器2的操作范围内的给定强度或光强度的检测脉冲引起的电流增益保持基本恒定。更具体地,在一些实施方式中,可以调节偏置电压,以使得在传感器2的操作范围内雪崩光电二极管的偏置电压与击穿电压(或在单位增益下的偏置电压)之间的偏移保持恒定。在另外的实施方式中,调节偏置电压,以考虑引起雪崩光电二极管60的电流增益的变化的温度变化。

[0114] 可以由处理器接收所得到的来自光电二极管60的信号。然后,处理器可以可选地使用该信号的强度来估计光电二极管60的温度,并且使用该温度来估计理想偏置电压。可选地,在一些实施方式中,如上所讨论的,不需要直接估计温度,而是可以根据校准信号直接估计理想偏置电压(或电压的理想变化)。然后,处理器可以相应地调节至光电二极管的偏置电压。因此,可以例如以基本上快于雪崩光电二极管在正常操作条件下波动的速率的

速率来基本上实时地调节偏置电压。另外,在一些实施方式中,如上所讨论的,处理器还可以终止光电二极管和其他元件。

[0115] 如上所讨论的,在一个或多个校准脉冲24之后,可以对雪崩光电二极管60施加估计的理想偏置电压。然后,光电二极管60可以接收来自外部对象6的反射脉冲22。然后,光电二极管60可以输出可以由相同或不同的处理器接收并且用于估计反射脉冲的强度的信号。然后,反射脉冲的强度与距对象6的估计距离(如上所述)组合可以用于估计对象6的反射率。该反射率可以提供关于对象6的信息比如其颜色、材料、表面纹理等。

[0116] 在一些实施方式中,可以优选的是,在一般使用之前测量光电二极管60的特定特性以及其对各种脉冲强度的响应。例如,LiDAR传感器可以朝向具有已知反射率的一个或多个对象生成脉冲,以测量来自校准脉冲24的响应的强度与来自反射脉冲22的响应的强度之间的关系。这样的先前的测量可以考虑个体的光电二极管60、分路器36、36a、36b、激光器30等之间的变化。

[0117] 除非具体指出或者在如所使用的上下文中将理解的,本文中所使用的条件语言例如“可以(can)”、“可以(could)”、“可以(might)”、“可以(may)”、“例如(e.g.)”通常意在表达特定实施方式包括而其他实施方式不包括特定特征、元件和/或状态。因此,这样的条件语言通常不意在暗示一个或多个实施方式以任何方式需要这些特征、元件和/或状态,或者一个或多个实施方式一定包括用于在或不在作者输入或者提示的情况下用于确定是否包括或执行这些特征、元件和/或状态的逻辑。

[0118] 虽然以上详细描述已经示出、描述和指出了应用于各种实施方式的新颖特征,但是可以理解,可以在不背离本公开内容的精神的情况下做出对包括所示的传感器部件、逻辑块、模块和处理的表面接触感测系统的形式和细节的各种省略、替换和变化。如可以识别的,本文中描述的系统的特定实施方式可以在不提供本文中所提及的所有的特征和益处的形式内实施,这是因为一些特征可以与其他特征单独地使用或实践。另外,结合一个实施方式所描述的特征可以结合至所公开的实施方式中的另一实施方式中,即使本文中没有明确讨论,并且具有特征的组合的修改装置仍然落入本发明的范围内。

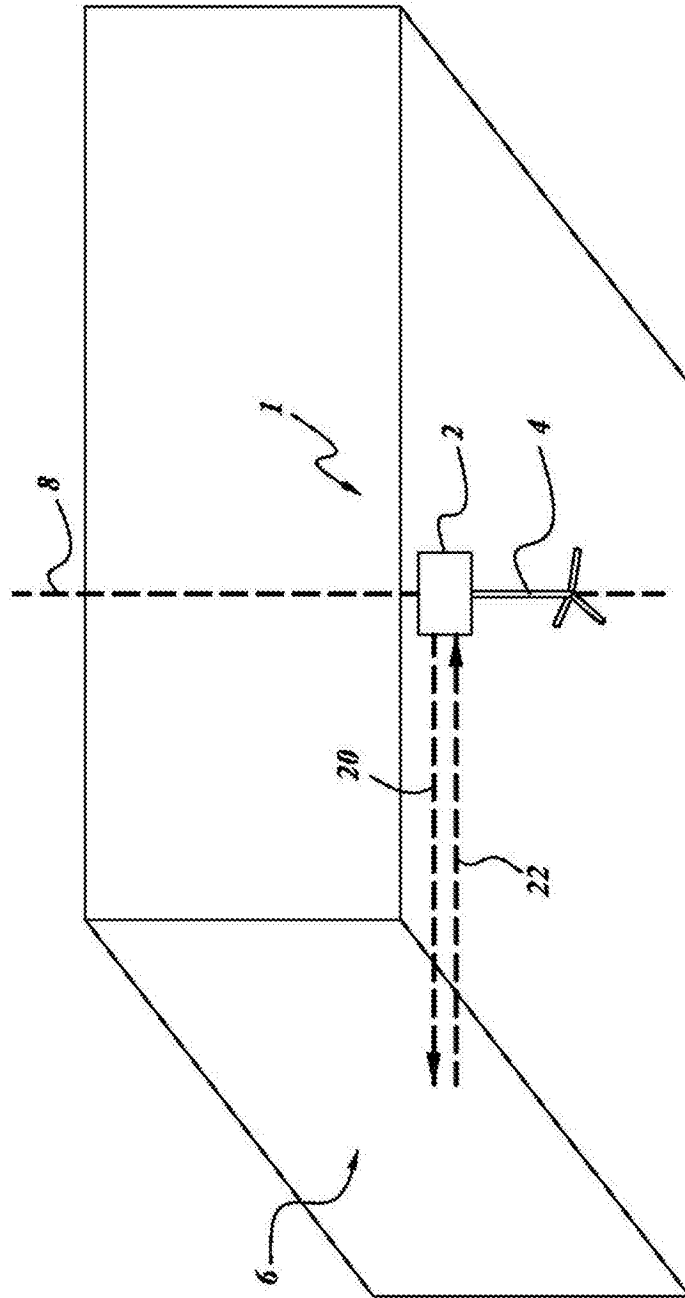


图1

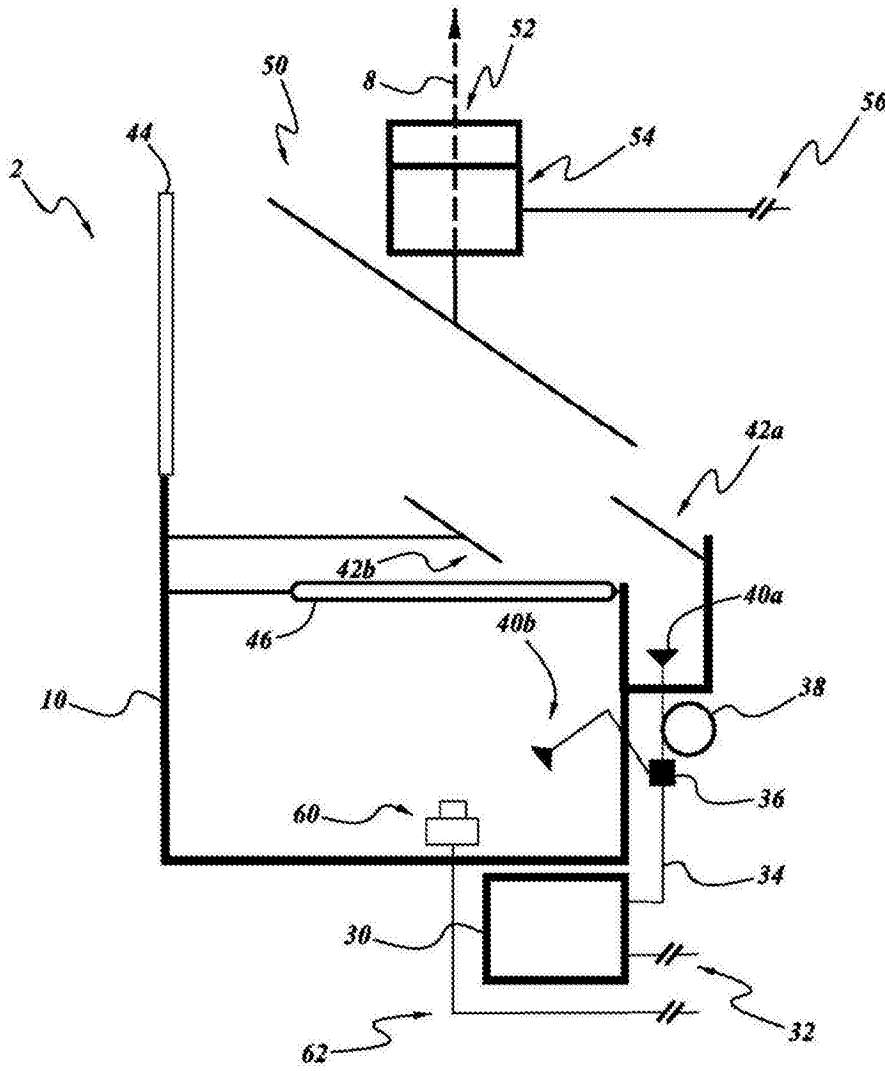


图2

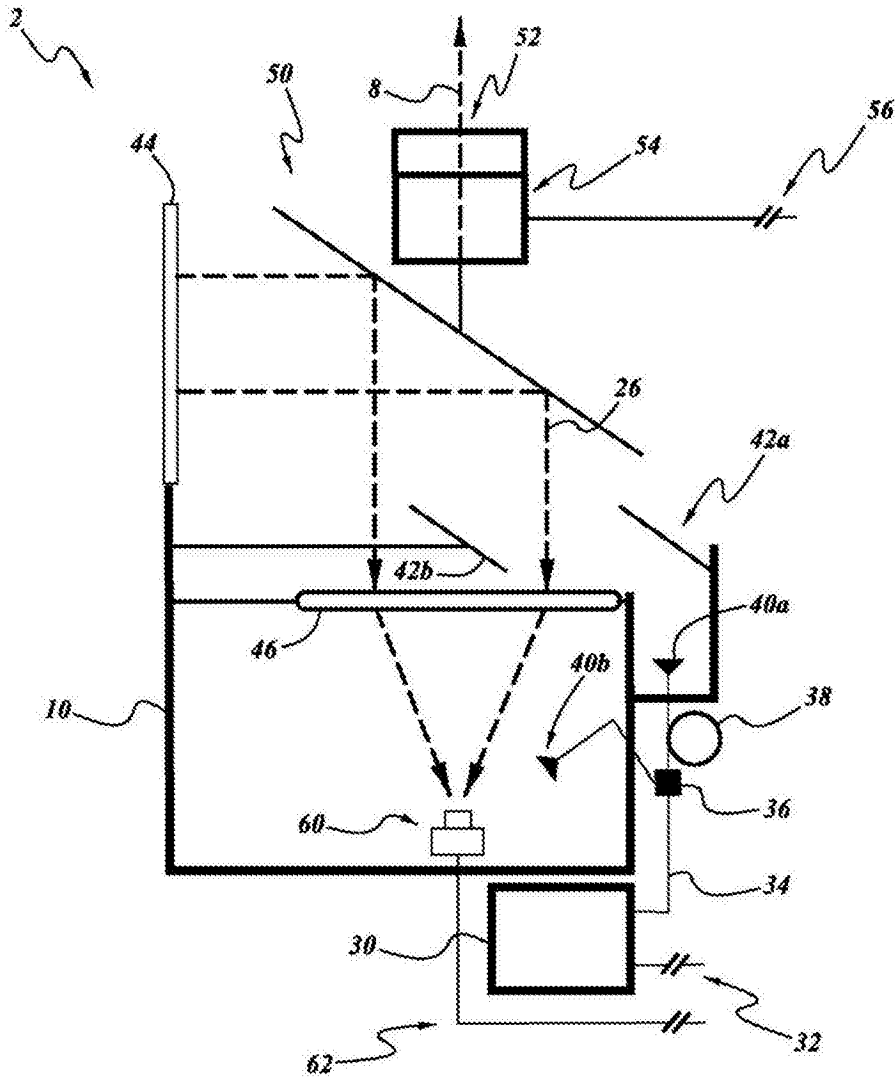


图4

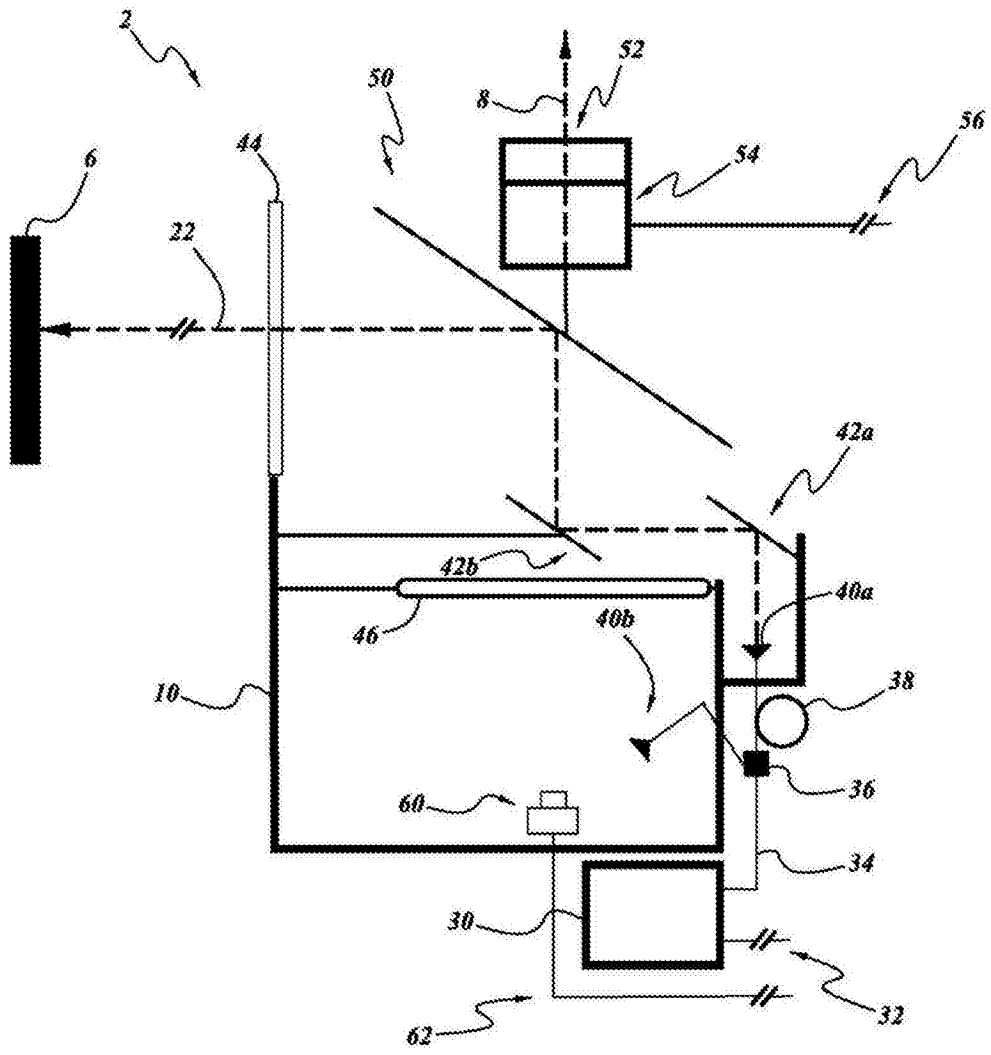


图5

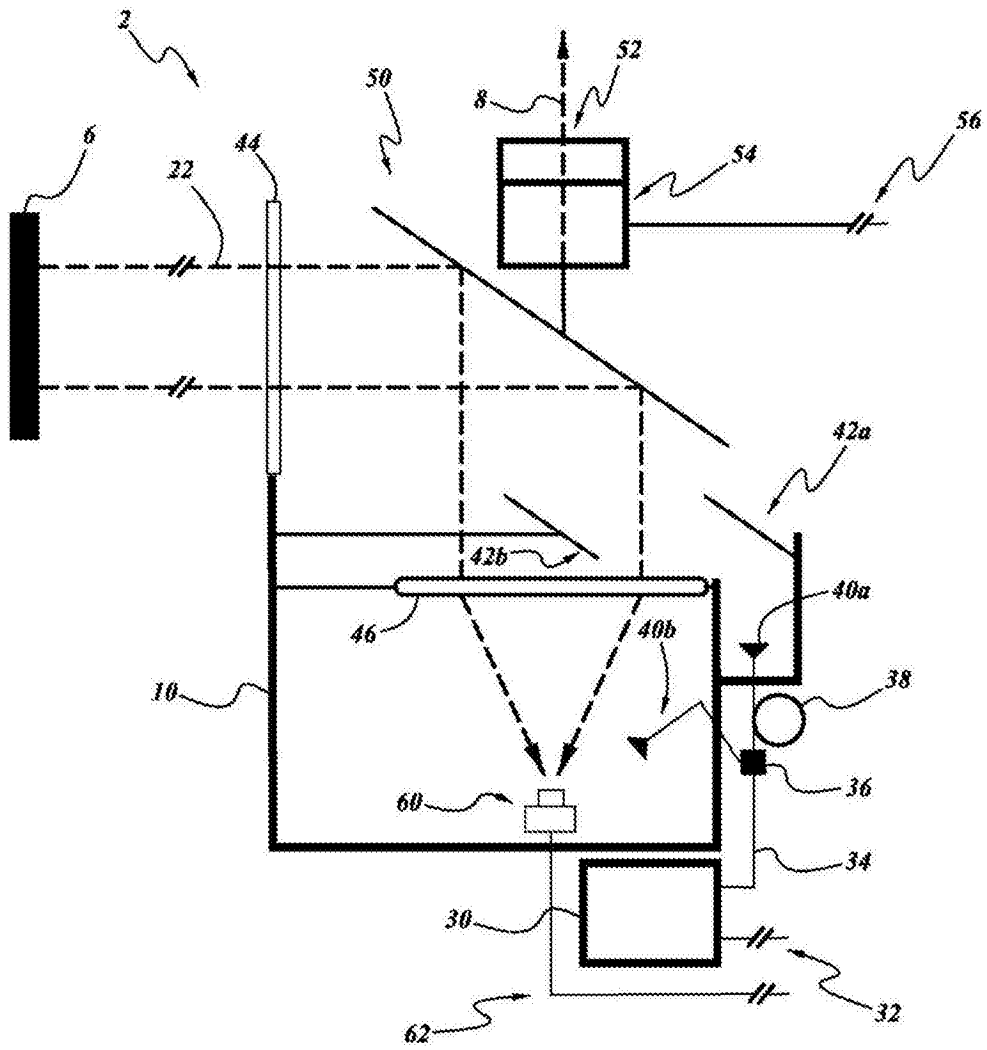


图6

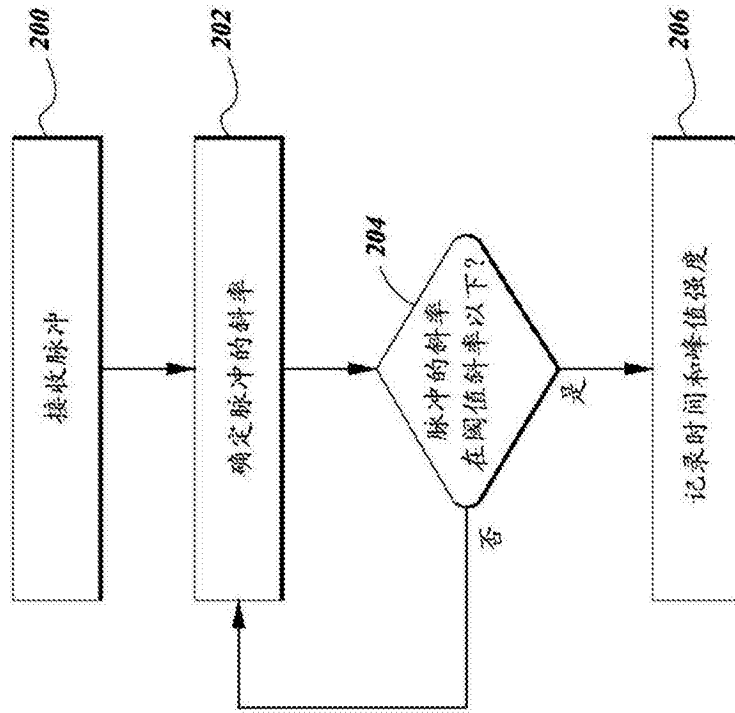


图8

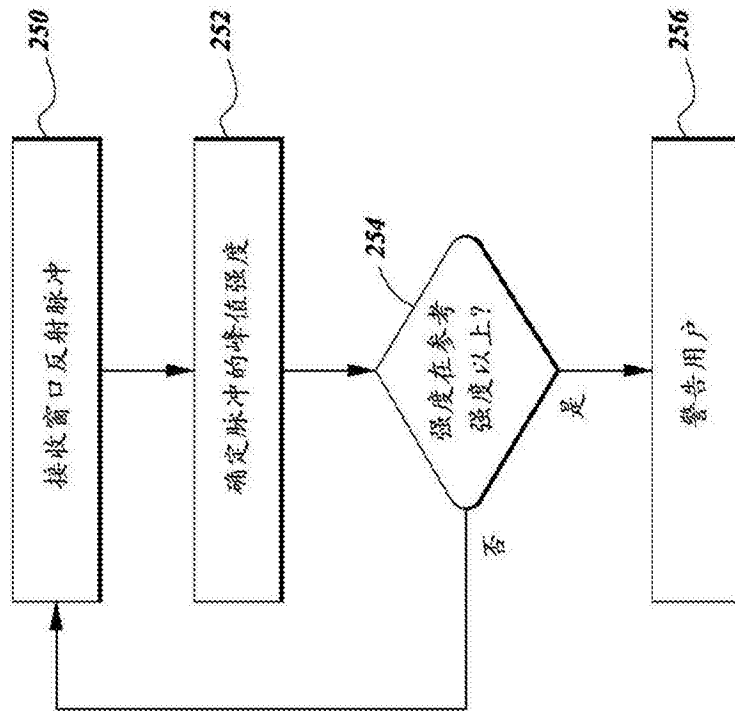


图9

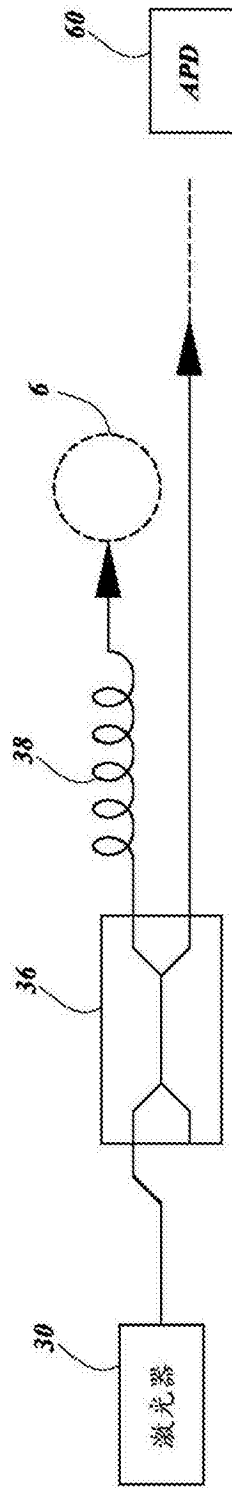


图10

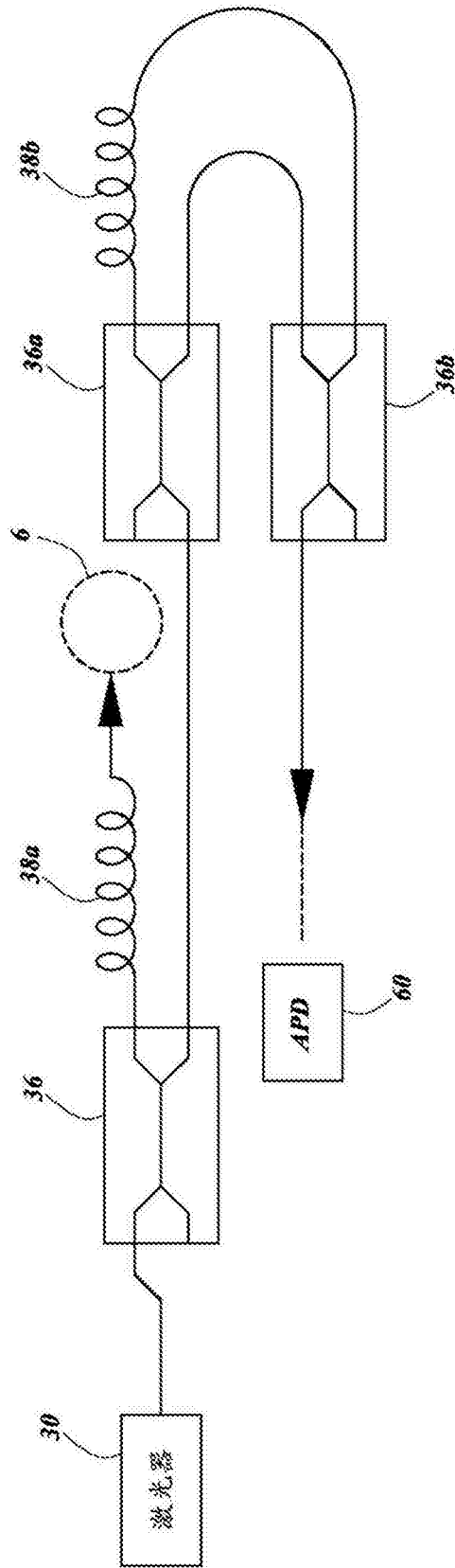


图11

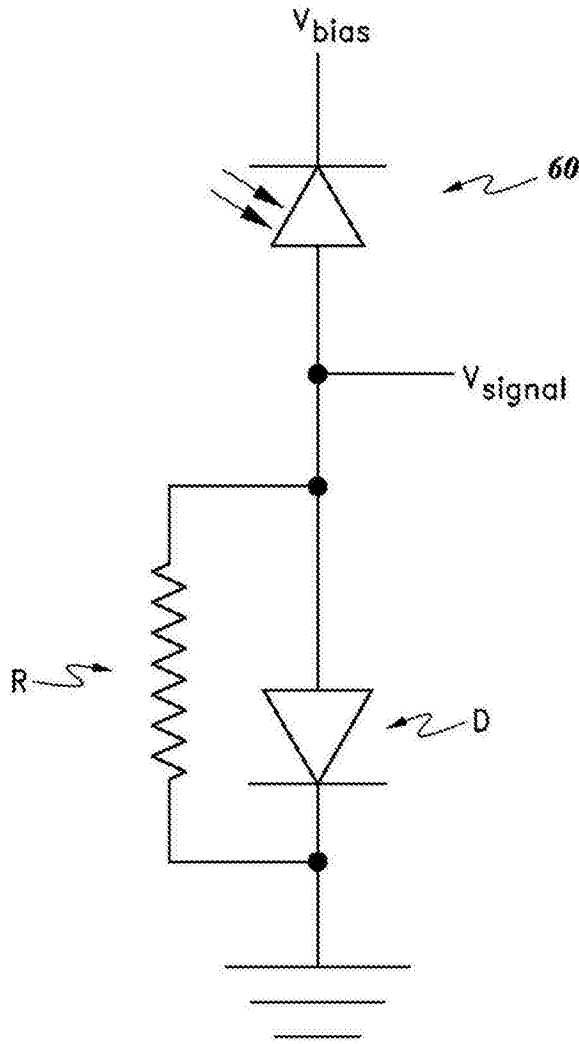


图12