(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 117916563 A
(43)申请公布日 2024.04.19

(21)申请号 202280060751.5

(22)申请日 2022.09.13

(30)优先权数据
BE2021/5744 2021.09.21 BE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.03.07

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2022/058609 2022.09.13

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/047245 EN 2023.03.30

(71)申请人 体素传感器有限责任公司
地址 比利时

(72)发明人 W·万德藤佩尔 J·W·佩特斯 A·B·米奥德兹基 C·穆拉德

(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所有限公司 11038
专利代理师 张丹

(51)Int.Cl.
G01J 1/44(2006.01)
H01L 31/02(2006.01)

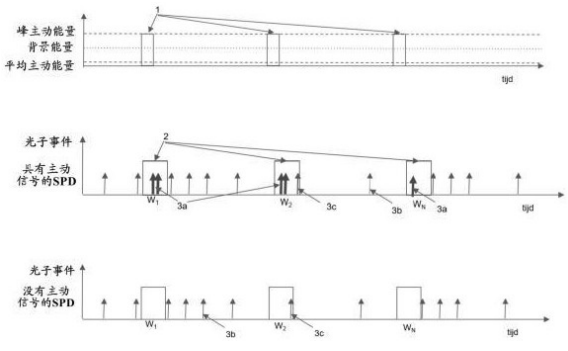
权利要求书2页 说明书11页 附图15页

(54)发明名称

SPD阵列中的持久性过滤

(57)摘要

本发明涉及用于用SPD阵列进行高速成像的系统、检测器元件和方法,以及用于SPD阵列的校准例程。



CN 117916563 A

1.一种用于基于包括多个单光子检测器SPD(5)、优选地单光子雪崩检测器SPAD(5)的阵列的高速成像的方法,包括以下步骤:

c.在SPD(5)上捕获光子,其中SPD(5)生成检测信号C_ov并将其提供给评估电路,其中检测信号在SPD(5)对待检测的电磁辐射的观察发生时描述肯定观察状态,并且在SPD(5)未观察到待检测的电磁辐射时描述否定观察状态;

d.由评估电路对每个SPD(5)评估SPD(5)的检测信号,其中每个SPD的检测信号必须满足持久性条件以生成SPD(5)的确认信号;

其特征在于

对于至少一个、并且优选地每个SPD(5),持久性条件要求在过去N个观察窗口(2)中的至少M个、优选地连续的观察窗口(2)中的SPD(5)的肯定观察状态,观察窗口优选地具有周期T,其中M大于1且至多等于N。

2.根据前述权利要求1所述的用于高速成像的方法,包括基于包括时间上分离的光脉冲的预定义的照明模式用一个或多个扫描光源照亮场景的步骤,

其中观察窗口(2)中的每个观察窗口(2)在时间上与光脉冲之一相关联,并且检测信号示出SPD(5)的观察发生或没发生作为与观察窗口(2)相关联的光脉冲的结果。

3.根据前述权利要求2所述的用于高速成像的方法,其中观察窗口的开始时间与相关联的光脉冲的开始时间基本重合,其中基本重合意味着观察窗口(2)的开始时间位于光脉冲的开始时间之后0ns和至多1.0ns之间,优选地0ns和至多0.5ns之间,并且更优选地0ns和至多0.1ns之间。

4.根据前述权利要求2或3所述的用于高速成像的方法,其中观察窗口(2)的结束时间位于相关联的光脉冲的结束时间之后0.0ns和25.0ns之间,优选地0.05ns和15.0ns之间,更优选地在相关联的光脉冲的结束时间之后0.1ns和10.0ns之间。

5.根据前述权利要求1所述的用于高速成像的方法,包括用一个或多个扫描光源照亮场景的步骤,其中光源基本上连续地照亮场景。

6.根据前述权利要求1至5中的任一项所述的用于高速成像的方法,其中M和/或N是可调整的,并且优选地对于每个SPD(5)可调整。

7.根据前述权利要求1至6中的任一项所述的用于高速成像的方法,其中如果满足重合条件,那么生成满足持久性条件的第一SPD的确认信号,其中重合条件要求对于观察窗口由至少一个其它SPD满足持久性条件,其中所述至少一个其它SPD与满足持久性条件的第一SPD相邻。

8.根据前述权利要求1至6中的任一项所述的用于高速成像的方法,其中如果满足重合条件和持久性条件,那么生成第一SPD的确认信号,其中评估电路被配置用于在施加重合条件之后并且仅针对满足重合条件的SPD(5)施加持久性条件,其中重合条件包括至少一个其它SPD(5)在从第一SPD(5)接收到具有肯定观察状态的检测信号起的特定时间间隔内接收倒具有肯定观察状态的检测信号,其中所述至少一个其它SPD(5)与施加了重合条件的第一SPD(5)相邻。

9.根据前述权利要求7或8中的任一项所述的用于高速成像的方法,其中阵列中的SPD(5)被定位在基本上矩形的矩阵中,其中SPD(5)与另一个SPD(5)相邻,其中所述SPD(5)具有矩阵位置i,j,其中i是矩阵中的行并且j是矩阵中的列,并且所述另一个SPD(5)具有矩阵位

置i,j±1以及可选地i±1,j或i±1,j±1。

10.根据前述权利要求1至9所述的方法,其中在成像之前执行校准例程,该校准例程包括以下步骤:

a.在校准时间段内由每个SPD(5)的评估电路在校准时间段内的至少两个、优选地至少三个校准窗口中监视SPD(5)的检测信号,所述校准窗口在时间上彼此分离,并且其中在校准时间段期间,SPD(5)不被所述一个或几个光源主动照亮;

b.基于SPD的观察在其中发生的校准窗口的数量对SPD(5)进行分类。

11.根据前述权利要求10所述的方法,其中SPD(5)被分类为至少两个、优选地至少三个分类,其中施加与SPD(5)的分类相关联的持久性条件以生成SPD(5)的确认信号。

12.一种用于检测电磁辐射的检测器元件(6),包括:

a.单光子检测器SPD(5),优选地单光子雪崩检测器SPAD(5),被配置为生成信号C_ov,该信号C_ov描述对于连续观察窗口(2)由SPD(5)对待检测的电磁辐射的观察发生或未发生的状态;

b.存储器元件(7),其记住至少N个先前观察窗口(2)结束时SPD(5)的状态,N是等于或大于1的自然数;

c.逻辑电路(4),被配置为如果当前观察窗口(2)结束时并且来自N个先前观察窗口(2)中的至少M个先前观察窗口(2)的SPD的信号指示SPD(5)的观察,那么生成确认信号,M是等于或大于1且至多等于N的自然数。

13.一种用于高速成像的传感器系统,包括

a.根据权利要求12所述的检测器元件(6)的矩阵/阵列;

b.用于读取矩阵/阵列中的检测器元件(6)的电路(4)。

14.一种用于高速成像的传感器系统,包括

a.检测器元件(6)的矩阵/阵列,其中检测器元件(6)包括单光子检测器SPD(5),优选地单光子雪崩检测器SPAD(5),

SPD(5)被配置为生成信号C_ov,该信号C_ov描述对于连续观察窗口(2)由SPD(5)对待检测的电磁辐射(光子)的观察发生或未发生的状态;

b.逻辑电路(4),用于读取矩阵/阵列中的检测器元件(6)的信号C_ov,所述逻辑电路(4)设置有一个或多个存储器元件(7);

其中所述一个或多个存储器元件(7)被配置为对于每个SPD(5)记住在至少N个先前观察窗口(2)结束时SPD(5)的状态,N是等于或大于1的自然数;

其中逻辑电路(4)被配置为如果在SPD(5)的当前观察窗口(2)结束时和N个先前观察窗口(2)中的至少M个先前观察窗口(2)结束时SPD(5)的信号指示SPD(5)的观察,那么生成SPD(5)的确认信号,其中M是等于或大于1且至多等于N的自然数。

15.根据前述权利要求13或14所述的传感器系统,其中传感器系统被配置为执行根据前述权利要求1至11中的任一项所述的方法。SPD阵列中的持久性过滤。

SPD阵列中的持久性过滤

技术领域

[0001] 本发明涉及用于基于单光子检测器(SPD)的高速成像的改进方法和系统,其中从结果中滤除假阳性。

背景技术

[0002] 在现有技术中,在扫描主动成像中,光束(通常是激光)在要捕获的区域上移动,并且经由多个图像传感器在每个时间点记录射束撞击的位置。通过处理来自不同视点(传感器)的位置差异,可以经由三角测量确定到被照亮的目标的有效距离。这种测量捕获体素。可以执行这个过程的速度(体素速率)一方面受到光束扫描发生的速度的限制,但另一方面也(最强烈地)受到传感器检测反射光束所需的处理时间的限制,该处理时间尤其是与背景辐射(环境光)和一般热噪声相关。通过专门解决这第二个问题,可以显著加速成像。

[0003] 因此,现有技术中的高速成像系统必须应对多个要求和问题。第一个是检测入射光子的准确性。对空间分辨率的要求越来越高,导致传感器阵列具有越来越多分离的检测器(像素)。这意味着需要增加计算能力来读取所有所述检测器并将输出信号处理成图像。因为分离的像素总是(必须)变得更小,所以光敏度也必须增加,因为它们捕获光子的空间窗口有限。此外,还必须能够达到一定的处理速度。为了实现每秒数千万甚至数亿个体素的体素速率,必须在最多10ns的时间跨度内捕获每个体素。因此,传感器还必须适合于以有限的光子预算(即,入射在传感器上的足以进行检测的检测到的光子)操作,诸如例如10个光子。由于用于处理的时间跨度有限,因此只可以捕获有限数量的光子。

[0004] 为此,常常考虑非常灵敏的检测器,诸如SPD或SPAD(单光子-雪崩-检测器)。

[0005] 但是,所述检测器具有固有的缺点,即,增加的光敏度也会由于环境光和热噪声两者而造成不希望的激发。检测器级别的这种激发本身难以与由系统故意发射来扫描场景的反射光的入射所产生的“真实”检测区分开来。

[0006] 目前,不存在能够在所提出的特点(诸如光子预算)下达到期望的检测速度并且同时确保检测到最少数量的假阳性的传感器体系架构系统或方法。

[0007] 本发明的目的是找到对上面提到的问题中的至少若干问题的解决方案。

发明内容

[0008] 本发明涉及根据权利要求1所述的改进的高速成像方法。

[0009] 在现有的SPD(特别是SPAD)阵列由于尤其是热噪声和环境光而必须应对非常大量的假阳性的情况下,本发明的目的是滤除所述随机误检测信号。在现有系统中,撞击在SPD或SPAD上的每个光子都生成检测信号,因为所述组件经过专门设计以便能够在低光子密度的情况下也记录它们的入射,这有益于速度和分辨率。更小的SPD/SPAD表面允许每个表面有更多的SPD/SPAD,因此允许更高的分辨率,但因此也降低了光子入射的风险,使得组件的灵敏度必须更高,从而更快地触发它们。因此,假阳性在大多数系统中是不可避免的,并且本发明的目的是识别所述假阳性并将其从结果中滤除掉,并且仅确认“真实”光子入射(来

自系统的光源对物体或场景的主动照明)。

[0010] 优选的实施例在随后的权利要求中描述。

[0011] 在第二方面,本发明涉及用于高速成像的检测器元件和传感器系统,优选地适合于执行根据第一方面的方法,如权利要求12、13和14中所指定的。

附图说明

[0012] 图1A-1C和2A-2C示出了照明模式的时间推移(time lapse)(图1A和2A)、在具有主动照明信号的情况下对光子入射的检测(图1B和2B)以及在没有主动照明信号的情况下对光子入射的检测(图1C和2C)。

[0013] 图3示出了根据本发明的实施例的施加第一持久性条件的电路。

[0014] 图4示出了根据本发明的实施例的施加第二持久性条件的电路。

[0015] 图5示出了根据本发明的实施例的施加第三持久性条件的电路。

[0016] 图6示出了根据本发明的实施例的施加第三持久性条件的电路,该电路与校准电路耦合。

[0017] 图7示出了根据本发明的实施例的施加第三持久性条件的电路,该电路与校准电路和本地重合电路耦合。

[0018] 图8A示出了根据本发明的实施例的第一校准电路。

[0019] 图8B示出了根据本发明的实施例的施加持久性条件的电路,该电路与根据图8A的校准电路耦合。

[0020] 图9A示出了根据本发明的实施例的第二校准电路。

[0021] 图9B示出了根据本发明的实施例的施加持久性条件的电路,该电路与根据图9A的校准电路和图8A的校准电路耦合。

具体实施方式

[0022] 除非另外定义,否则本发明的描述中使用的所有术语,包括技术和科学术语,具有本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义。为了更好地评估本发明的描述,对以下术语进行明确解释。

[0023] 除非上下文另有明确说明,否则“一”、“一个”和“该”在本文档中指单数和复数两者。例如,“一个片段”表示一个或多于一个片段。

[0024] 当本文档中将“近似”或“约”用于可测量的量、参数、持续时间或时刻等时,所引用的值的与所引用的值相比+/-20%或更小、优选地+/-10%或更小、更优选地+/-5%或更小,还更优选地+/-1%或更小,甚至更优选地+/-0.1%或更小的变化意味着这种变化适用于所描述的发明的程度。但是,应当理解的是,使用术语“近似”或“约”的量的值本身是具体公开的。

[0025] 术语“包括”、“组成”、“由...组成”、“设置有”、“含有”、“包含”、“持有”是同义词并且是包含性或开放性术语,指示后面跟着的内容的存在,但不排除现有技术已知或描述的其它组件、特点、元件、构件、步骤的存在。

[0026] 术语“像素”在此是指光敏单元或检测器,优选地是SPD或SPAD的形式。通常,所述像素以类似矩阵的阵列设置。

[0027] 术语“宏像素”在此是指包括几个像素或检测器的虚拟像素,其通常形成连续的集群。所述宏像素可以与时空条件的特定集合相关联,并且在尺寸、形式和其它参数方面根据情形而变化。宏像素可以彼此部分重叠,并且具有共同的像素或检测器。优选地,宏像素具有正方形或矩形形式,但也可以是近似圆形或椭圆形、三角形、十字形或星形、或具有其它形式。宏像素包括至少2个检测器(例如,2×1或1×2矩阵形式),并且更优选地至少4个检测器(例如,2×2)。

[0028] 由端点引用的数值区间包括端点之间的所有整数、分数和/或实数,包括所述端点。

[0029] 在第一方面,本发明涉及一种基于包括多个单光子检测器(SPD)、优选地单光子雪崩检测器(SPAD)的阵列的高速成像方法,包括以下步骤:

[0030] a.捕获SPD上的光子,其中SPD生成检测信号C_ov并将其提供给评估电路,其中检测信号在SPD对要检测的电磁辐射的观察发生时描述肯定观察状态,并且在SPD未观察到的情况下描述否定观察状态;

[0031] b.由评估电路对于每个SPD评估该SPD的检测信号,其中每个SPD的检测信号必须满足持久性条件以生成待检测电磁辐射的SPD的确认信号;

[0032] 用于至少一个、并且优选地每个SPD的持久性条件要求在过去的N个观察窗口中的至少M个、优选地连续的观察窗口中SPD的肯定观察状态,观察窗口优选地具有周期T,其中M大于1并且至多等于N。

[0033] 通过查看过去N个观察窗口中的观察状态,能够验证肯定观察状态是否持久,从而通过较早的测量结果得到确认。以这种方式,由热噪声等造成的假阳性就可以从结果中滤除。只有当过去的N个观察窗口中一定数量或一定百分比的观察窗口也示出肯定观察状态时,才基于确认信号来确认检测。所述评估可以在每个像素或SPD/SPAD本地进行,或者集中进行,其中在评估组件或电路中针对所有SPD/SPAD(或其一部分)进行评估。

[0034] 必须理解的是,N个观察窗口中的M个(连续或不连续的)观察窗口的持久性条件也可以以替代方式应用,尤其是用过去N个观察窗口的百分比M/N(同样,具有或不具有所述M个是连续的条件,于是其中M通常等于N)。

[0035] 不言而喻,可以根据期望应用更具体的持久性条件(例如,过去N个中至少M个具有肯定观察状态,并且其中至少P个连续的肯定观察状态;最大Q个连续的非肯定观察状态;至少2个、3个、...具有P个连续的肯定观察状态的集群;等等)。其组合和变化显然也属于本发明。

[0036] 上面提到的方法允许一致地检测“主动”辐射,因为通常所述辐射在特定时间段内广泛地撞击在特定区中,并且因此满足持久性条件,这与热噪声和其它不想要的检测不同。

[0037] 在第一优选实施例中,该方法包括基于预定义的照明模式用使用一个或几个光源(激光、LED等)的扫描光源来照亮场景(必须形成其图像:物体、环境等)。所述照明模式包括时间上分离的光脉冲(具有或不具有恒定的长度和/或间隔)。

[0038] 施加持久性条件所基于的观察窗口在时间上与光脉冲之一相关联,并且检测信号示出SPD的观察发生或未发生(肯定观察状态或非肯定)。

[0039] 将观察窗口与光脉冲在时间上相关联是对观察窗口进行定时使得(就开始和/或结束时间而言)它们很大程度上重叠,使得在观察窗口中观察到的辐射可以以非常高的概

率与光脉冲链接(因此不与热噪声或其它噪声信号链接)。

[0040] 申请人指出,需要找到平衡,即,照明模式中的光脉冲的数量(以及脉冲长度和脉冲之间的时间)以及系统可以工作的期望速度。更多脉冲/更长脉冲/更长间隔意味着从每个离散位置评估SPD上的信号花费更长的时间。为此,N通常设置在2和10之间,优选地在2和7之间,更优选地在2和5之间,诸如2、3、4或5。

[0041] 在优选实施例中,观察窗口被设置为很大程度上与它们与之相关联的光脉冲重叠(即,很大程度上覆盖光脉冲的时间周期,但不一定限于此),其中开始时间基本重合(并且其中观察窗口的开始时间最早与光脉冲的开始时间同时)。基本重合意味着观察窗口的开始时间位于光脉冲的开始时间之后0.0ns和1.0ns之间,优选地至多0.5ns,并且甚至更优选地至多0.1ns或甚至0.05ns。

[0042] 因此,确保(实际上)在观察窗口期间撞击的所有辐射都来自源于光脉冲的时间段的事件。考虑到飞行时间,开始时间允许一些变动(play)。

[0043] 在优选实施例中,检测器设置有猝灭电路。更优选地,这是无源猝灭电路。可替代地,这是有源猝灭电路。

[0044] 在优选实施例中,观察窗口被设置为结束时间在相关联的光脉冲的结束时间之后0.0ns和25.0ns之间,优选地在0.05ns和15.0ns之间,更优选地在相关联的光脉冲的结束时间之后0.1ns和10.0ns之间。如上面所解释的,考虑到飞行时间,这种定时确保来自光脉冲的时间段期间的事件的辐射在观察窗口中被捕获。

[0045] 通过同时应用上面提到的开始和结束时间的限制,尽可能多地减少不是由光脉冲造成并在观察窗口期间被捕获的光子的数量。

[0046] 在第二替代优选实施例中,该方法包括用一个或多个扫描光源照亮场景的步骤,其中光源基本上连续地照亮场景。这意味着光源连续地并以基本恒定的强度照亮。在这种情况下,可以更任意地选择观察窗口,并且如果相关的话甚至是连续的。

[0047] 光源被用于发射主动且受控的光信号,并因此照亮将形成其图像的场景/物体。SPD捕获反射的光子并基于检测信号将所述入射登记到另外的组件,从而形成被照亮的场景/物体的图像。

[0048] 因此,该方法包括用(一个或多个)光源照亮场景或物体,其中光源以离散或准离散步骤进行照明,并且对于被照亮的每个离散或准离散位置,在到达下一个离散位置之前短暂地继续照明。事实上,本文中的术语“离散位置”是指光源的离散朝向,其归结为被照亮的某个离散位置。照明期间所遵循的离散位置的“路线”可以是随机化的,但通常遵循扫描模式,逐行或逐列。但是,需要注意的是,本发明无论如何不以任何方式在这方面受到限制。“准离散”在此是指光源继续改变其朝向的情况,但是其速度使得在(2个或更多个)连续观察窗口的情况下被照亮的区的覆盖距离非常有限,并且可以被视为相同的离散区。因此,下文中的“离散”需要被解释为包括准离散。

[0049] 优选地,M和/或N是可调整的,并且甚至更优选地甚至对于每个SPD都是可调整的。在某些实施例中,它们可以被动态地设置,使得系统在检测到SPD的许多或少量噪声检测(不满足持久性条件的检测信号)时自动地调整它们。因此,对于统计上观察到很少噪声的SPD,可以放宽持久性条件,而对于统计上观察到更多噪声的SPD,可以收紧持久性条件,从而能够更快且更准确地操作。

[0050] 因此,使M和/或N可单独调整能够被用于使某些SPD更敏感或更不敏感,诸如例如在没有主动光的情况下检测到具有检测信号的许多检测窗口时,这可以指向“泄漏像素”。如有必要,它们甚至可以完全关断。

[0051] 在优选实施例中,M和/或N基于校准例程自动适配。

[0052] 在优选实施例中,持久性条件与满足重合条件组合。这建立在这样的假设之上:在由SPD进行观察的情况下,光子在某个SPD上的入射不是单一的,而是涉及空间聚类的一束光子的入射。基于此,施加重合条件,这在SPD的肯定观察状态或确认信号周围的特定时间段内核实相邻SPD的观察状态或确认信号。

[0053] 重合条件可以在持久性条件之前或之后施加,并且取决于电路以一种或另一种方式更高效。

[0054] 以这种方式,对于满足持久性条件的第一SPD,可以后续施加重合条件,并且只有在满足之后才生成确认信号。优选地,重合条件意味着至少一个相邻SPD(与第一SPD相邻)也满足持久性条件。显然,这可以缩窄到相邻的SPD中的至少2、3、4个等必须满足持久性条件。

[0055] 术语“相邻的SPD”主要是指直接相邻的SPD。SPD通常以行和列的矩形阵列提供,这意味着相邻的SPD位于同一行中且位于相邻列中,或者位于同一列中且位于相邻行中。但是,该术语可以简单地扩展为包括例如对角相邻的SPD(相邻行和相邻列),或者甚至还要更宽,使得“相对的邻居”也包括在本文中。

[0056] 重合条件可以以多种方式和可变条件施加。因此,可以适配满足持久性条件的相邻SPD的数量(1、2、3、4、5、6、7、8、9或更多),但是也可以适配“相邻”的定义。因此,在优选实施例中,相邻可以被解释为“直接相邻”,但是“对角相邻的”SPD也可以被接受(在与第一SPD直接相邻的另一个维度中与第一直接相邻SPD直接相邻),并且这也可以被定义为位于原始SPD的预定义间隔内(因此也允许相对的邻居)。同样,这可以根据情形而变化,并且系统甚至可以动态地适配这一点(例如,经由校准例程)。

[0057] 通过首先施加持久性条件,应用第一次过滤,之后只需将重合条件应用于根据持久性条件确认的剩余检测。这个序列确保计算上最具挑战性的条件(重合条件,因为它需要考虑多个相邻SPD的信号)需应用于较少数量的信号。

[0058] 第一种方法意味着与位置为(i,j)的第一SPD相邻的SPD被简单地定义为具有坐标(i,j±1)或(i±1,j)。为了添加对角相邻的SPD,也接受坐标为(i±1,j±1)的SPD。

[0059] 如果期望,那么“相邻SPD”的范围也可以通过坐标为(i±2,j±1)、(i±1,j±2)、(i±1,j±2)、(i±2,j)、(i,j±2)的SPD来扩展,同样可能由(i±2,j±2)补充。

[0060] 不言而喻,进一步的扩展属于可能性,并且隐含地被认为是本发明的一部分。

[0061] 因此,基于相邻SPD的定义的重合条件也可以被适配,其中每个SPD被赋予基于阵列中相对于第一SPD的“距离”的权重。仅当满足持久性条件的SPD达到一定权重时,才认为第一SPD满足重合条件。

[0062] 相反,首先可以对SPD施加重合条件(如上所述,但是对于每个观察窗口基于所述观察窗口中的肯定观察状态而不是满足持久性条件),并且仅对于满足重合条件的SPD,随后检查是否满足持久性条件。

[0063] 在第二方面,本发明涉及一种检测器元件,包括:单光子检测器(SPD),优选地单光

子雪崩检测器(SPAD),被配置为生成信号C_ov,该信号C_ov描述对于连续的观察窗口SPD对要检测的电磁辐射(光子)的观察发生或未发生的状态;存储器元件,其记住至少N个先前观察窗口结束时SPD的状态,N是等于或大于1的自然数;逻辑电路,被配置为如果在当前观察窗口和N个先前观察窗口中的至少M个先前观察窗口结束时SPD的信号指示SPD的观察,那么生成确认信号,M是等于或大于1且至多等于N的自然数。

[0064] 在这种情况下,能够使检测器元件将持久性条件单独施加到它们自己的观察,并且仅在满足条件时才生成确认信号并将其递送到中央处理单元。在文本和附图中进一步讨论其可能实施例的示例。

[0065] 可替代地,以集中方式执行持久性条件以保持检测器元件更简单。

[0066] 在优选实施例中,连续光脉冲间隔开至少0.5ns,优选地至少1.0ns,甚至更优选地至少2.5ns,并且最优选地至少5.0ns。

[0067] 在优选实施例中,连续光脉冲间隔开至多1000ns,优选地至多500ns,甚至更优选地至多100ns,并且最优选地至多50ns。

[0068] 最优选的是将上面提到的最小值和最大值组合到对应的范围。

[0069] 在优选实施例中,预定义的照明模式的光脉冲的长度和相关联的观察窗口的长度具有位于1.0和2.0之间的比率,优选地在1.0和1.5之间并且最优选地在1.0和1.25之间。以这种方式,保证在观察窗口中捕获尽可能多的由光脉冲引起的信号,而不会使观察窗口不必要的长(不会使得该方法更慢)。

[0070] 在优选实施例中,过去N个窗口的观察状态由SPAD上或中央处理单元上的存储器元件保存(其对阵列的几个或甚至全部SPAD施加持久性条件),其中“过时的”观察状态(多于N个窗口之前)被较新的观察状态覆盖。此类存储器元件可以包括触发器、DRAM(动态RAM)、SRAM(静态RAM)、模拟存储器元件或其它组件。

[0071] 通过将所述观察状态链接到合适的逻辑电路(例如,经修改的与端口),可以以简单的方式确保实现信号的期望处理并且仅在满足持久性条件后才确认。

[0072] 在逻辑电路(和存储器元件)之前,优选地设置缓冲器元件以将SPAD的操作和信号的处理彼此隔离。

[0073] 在某些实施例中,例如如果N仅等于2,那么可以提供所谓的延迟电路,该延迟电路包括来自先前观察窗口的信号并将其与当前观察窗口的信号一起馈送到诸如简单的与端口之类的逻辑电路。由于观察窗口通常以固定的时间间隔到来,因此这种电路可以以简单的方式执行,而不需要许多附加的组件。此外,持久性条件可以本地应用于SPAD本身,使得仅向进一步的处理单元提供(非)确认信号。

[0074] 在附图中为此示出多个可能的电路,其可能与进一步的调整和改进组合。

[0075] 在第三方面,本发明涉及一种用于高速成像的传感器系统,其包括根据本发明的第二方面的检测器元件的矩阵/阵列;以及用于读取矩阵/阵列中的检测器元件的电路。通过为检测器元件提供它们自己的评估电路,可以以简单的方式分散计算负载的一部分,并且仅将确认信号传送到中央读取电路。

[0076] 可替代地,本发明在其第三方面涉及一种用于高速成像的传感器系统,包括:

[0077] a.检测器元件的矩阵/阵列,其中检测器元件包括单光子检测器(SPD),优选地单光子雪崩检测器(SPAD),该SPD被配置为生成信号C_ov,该信号C_ov描述对于连续的观察窗

口SPD对要检测的电磁辐射(光子)的观察发生或未发生的状态;

[0078] b.逻辑电路,用于读取矩阵/阵列中的检测器元件的信号C_ov,

[0079] 上面提到的逻辑电路设置有一个或多个存储器元件;

[0080] 一个或多个存储器元件据此被配置为对于每个SPD记住在至少N个先前观察窗口结束时SPD的状态,N是等于或大于1的自然数。逻辑电路被配置为如果当前观察窗口以及该SPD的N个先前观察窗口中的至少M个先前观察窗口结束时的SPD的信号指示该SPD的观察,那么生成SPD的确认信号,其中M是等于或大于1且至多等于N的自然数。以这种方式,检测器元件保持简单(并且因此更紧凑、更便宜、更稳健)并且计算负载集中承担。

[0081] 在优选实施例中,传感器系统被配置用于执行根据本发明的第一方面的方法。

[0082] 另一方面,本发明涉及一种用于校准包括阵列的成像系统的方法,该阵列包括多个单光子检测器(SPD),优选地单光子雪崩检测器(SPAD)。该方法涉及在校准时间段内至少两个、优选地至少三个校准窗口中通过评估电路(或者具有一个评估电路或者每个SPD、每组SPD或者对于整个系统具有一个评估电路)在校准时间段内监测观察状态/检测信号。优选地,校准窗口在时间上彼此分离,并且在SPD的阵列未被主动照亮(即,有意利用由系统控制的光源)的时段期间运行。

[0083] 校准窗口的数量可以设置得更高,从而允许更彻底和可靠的分类,例如5、6、7、8、10或更多个校准窗口。校准窗口可以是连续的或彼此分离的。

[0084] 基于其中检测到SPD的观察的校准窗口的数量,SPD然后被分开分类为多个类别。分类的数量或分类的方式可以根据情况设置。因此可以选择两个类(可靠-不可靠),或多于两个类。

[0085] 该分类指示SPD对噪声等的敏感程度,并且可以被用于处理进一步的检测信号以用于成像。更具体而言,可以按照根据先前方面(在此之前)的本发明来应用校准方法,并且可以基于其分类来适配对SPD的信号的进一步处理,并且更具体而言,可以基于上面提到的分类对于SPD适配持久性条件,诸如收紧或放松所述条件(M更高或更低,或者甚至完全停用持久性条件,或M=1),和/或停用其中检测到的误差太大的某些SPD(例如,检测信号在统计上过于频繁地指示肯定观察状态的尖叫者)。

[0086] 在第一实施例中,SPD可以拆分成两个分类:高优先级(HP)和低优先级(LP),以指示可靠性。HP SPD被认为比LP SPD更可靠,并且可以在更宽松的持久性条件和/或重合条件下操作。在非限制性示例中,LP SPD在至少T%的校准窗口中具有肯定观察状态,其中T优选地是至少50%,甚至更优选地是至少66%或甚至75%。

[0087] 此外,还可以根据你的选择提供进一步的分类(中优先级或MP;高中优先级,HMP;低中优先级LMP等),所有这些都与在成像期间的单独处理方式相关联(更严格或更宽松的持久性条件),该单独处理方式与用于SPD的校准窗口中检测到的肯定观察状态的百分比的特定范围相关联。

[0088] 条件的适配可以有很大的变化,诸如每次校准水平降低(从HP降低到LP),M就简单地递增一,但它也可以是针对每个类别变化的不同适配。

[0089] 属于特定分类的适配的持久性和/或重合条件是预设的,并且评估电路被配置为适当地执行它们。

[0090] 在优选实施例中,过去N个校准窗口的观察状态由SPAD上或中央处理单元上的存

储器元件保存(其对阵列的几个或甚至全部SPAD施加持久性条件),其中“过时的”观察状态(多于N个窗口之前)被较新的观察状态覆盖。此类存储器元件可以包括触发器、DRAM(动态RAM)、SRAM(静态RAM)、模拟存储器元件或其它组件。

[0091] 通过将所述观察状态链接到合适的逻辑电路(例如,经修改的与端口),可以以简单的方式确保SPD根据期望被分类。

[0092] 在某些实施例中,例如如果N仅等于2,那么可以提供所谓的延迟电路,该延迟电路包括来自先前观察窗口的信号并将其与当前观察窗口的信号一起馈送到诸如简单的与端口之类的逻辑电路。由于观察窗口通常以固定的时间间隔来到,因此这种电路可以以简单的方式执行,而不需要许多附加的组件。此外,校准可以本地应用于SPAD本身。

[0093] 在附图中为此示出了多个可能的电路,可能与进一步的调整和改进组合。

[0094] 可以通过多种实施方式保存先前观察窗口的每个像素中的状态信息,例如但不限于通过使用触发器,以及诸如SRAM和/或DRAM元件之类的存储器元件,或者可以节省负载的简单的可能的寄生电容器。

[0095] 下面借助于非限制性示例来描述本发明,这些示例说明了本发明,并且这些示例不旨在或不能被解释为限制本发明的范围。

[0096] 示例

[0097] 图1A-1C示出了用于本发明的可能实施例的发射的和接收的信号。

[0098] 图1A示出了特定SPD上光源照明的时间推移,其中脉冲照明模式由具有固定长度和周期的方波(1)维持,其中在每个周期期间,场景由光源主动照亮达一时间并且不被光源主动照亮达一时间。

[0099] 图1B示出了检测到的SPD的事件,其中每个事件(3a、3b、3c)都示出了SPD上的光子入射。所述事件的一部分是环境光、随机噪声或误差信号的结果(3b、3c),并且事件的一部分来自由光源发射的光子(3a)。原则上,统计上第一组具有随机分布,并且第二组将处于光源发射光的时间段内。

[0100] 观察窗口(2;W_1,W_2,W_N)在图1B中也可见,在这种情况下同样具有固定长度和固定周期,其中登记SPD的观察状态(在观察窗口期间光子入射的可能检测)。通过用主动信号进行照明,很有可能在(落在照明方波中的)观察窗口中检测到一个或多个事件。

[0101] 图1C最后示出了在没有作为光源照明的结果的事件的情况下的检测到的事件(3b、3c),同样指示了观察窗口。

[0102] 从图1C可以清楚地看出,在一些观察窗口中,由于检测到的事件的随机分布,事件(3c)仍然会发生,并且于是可能会被不正确地视为SPD上入射光子的检测。但是,通过施加持久性条件,例如必须在两个连续观察窗口(或者甚至三个、或三个中的两个等,取决于施加的持久性条件)中观察到肯定观察状态(即,在观察窗口中检测到的事件),则确保在成像中所述随机事件不再被评估为“真实”检测。图1C确实只示出了一个观察窗口具有肯定观察状态。

[0103] 但是,考虑到在图1B中,在两个连续(甚至在所有)观察窗口中观察到肯定观察状态,并且满足持久化条件,由于用主动信号照明而产生的“真实事件”(3a)确实被确认。

[0104] 图2A-2C示出了相同的曲线图,不同之处在于,如图2A中可见,光不是脉动的,而是连续的。图2B在此仅示出在观察窗中的由照明引起的事件。

[0105] 图3示出了根据本发明的用于SPD检测器元件的可能电路,其中为此目的还经由电路(4)在持久性条件之后施加(可选的)重合条件。在此施加两个连续的观察窗口必须示出肯定观察状态的持久性条件。

[0106] 光子检测器(5),SPD或SPAD,跨相对于地的电压V_{BE}与电阻器串联连接。如果光子入射在检测器上,那么这会导致检测器中的击穿,并导致跨电阻器的电流(或者换句话说,检测器与电阻器之间的点处电压的改变)。所述带有电阻器的电路被称为"无源猝灭"。不言而喻,其它"猝灭"电路(诸如"有源猝灭"电路)也是适用的。

[0107] 随后,提供脉冲检测器,其将测得的电压转换成离散信号(其中1指示肯定观察状态,或因此指示在观察窗口期间的光子入射的检测;并且0指示否定观察状态,或因此指示其非检测状态)。

[0108] 指示观察窗口的观察状态的信号点击_T_{n-1}实际上随后根据观察窗口的周期经由触发器(FF)被设置有延迟(通过用观察窗口的上升沿对FF进行时钟计时),并且随后经由与(AND)端口与指示属于观察窗口的观察状态的"新"当前信号点击_T_n组合。如果两个观察状态都为肯定。因此,与端口在其输出处递送1确认信号,该信号然后可以被用于信号的进一步处理,诸如例如与来自相邻检测器元件(6)的信号组合。

[0109] 应该理解的是,基于图3,通过提供进一步的触发器组件或存储器元件,可以简单地包括甚至更多的观察状态,然后经由逻辑电路施加期望的持久性条件。

[0110] 图4示出了进一步的适配,其中第一触发器(FF1)使用SPD(5)的检测信号为第一触发器(FF1)时钟计时,使得当这种情况发生在观察窗口期间(并且所述信号因此生成1)时,FF1也时钟计时1。如果没有观察窗口(信号=0),那么0也作为第二触发器(FF2)的输入被时钟计时,其中观察窗口的下降沿(非观察窗口)这次充当时钟触发,使得当来自之后的观察窗口的观察状态("点击_Tn")作为来自第一触发器的数据输出Q到来,之前的观察窗口的观察状态("点击_Tn-1")在第二触发器中,然后上述观察状态用随后的与端口组合。

[0111] 通过添加其他的使用延迟的触发器,可以施加其他的条件,诸如三个连续的肯定观察状态。

[0112] 这之后又可以是施加重合条件的一个或多个电路(4)。

[0113] 图5示出了一个电路,其中过去的N个观察状态保存在N个存储器元件(7)中。用于确定观察状态的电路将SPD(5)的信号引至触发器(FF)的时钟,其中观察窗口的信号作为触发器(FF)的数据输入(D),使得当SPD检测到观察窗口中的光子入射时生成数据输出(Q)1,并且当SPD没有检测到时生成0。

[0114] 来自触发器的信号被保存在连续的存储器元件中,其中它们作为存储装置循环运行。存储器元件将保存在其中的信号提供给逻辑电路,该逻辑电路根据它们的设置施加持久性条件。本领域技术人员可以利用简单的组件对电路中的条件进行简单的转换,并且在此不再进一步讨论。对于图5,为了方便起见,提供N输入与端口,使得持久性条件要求必须在过去的N个观察窗口中的N个中检测到光子入射以生成确认信号(然后例如进一步供给处理单元,该处理单元可能施加重合条件)。

[0115] 图6示出了一种电路,其中图5的电路被补充有根据本描述中讨论的例程操作的校准电路(9)。在这种情况下,基于校准例程的结果和校准条件,将高优先级(HP)或低优先级(LP)指派给SPD(5),其结果是,在HP的情况下,观察状态不受任何进一步的持久性条件的影

响,并立即导致确认信号。对于LP分类,应用更严格的持久性条件,在这种情况下,再次是在过去N个观察窗口中的N个肯定观察状态之后才生成确认信号。如果检测到问题(例如,饱和的SPD),那么也可以通过校准例程关闭SPD,例如经由开关(8)。

[0116] 在图7中,在将确认信号转发到进一步的处理单元之前,在本地对确认信号施加重合条件。对于重合条件的精确制定,参考PCT/IB2021/054688、BE2020/5975和BE2021/5521等。在此来自图6的持久性电路的确认信号在被转发到合适的总线之前由重合电路(10)处理。

[0117] 图8A示出了经由校准电路(9a)对SPD(5)施加第一可能校准条件的电路的可能应用,即,在过去的N个校准窗口上不存在光子入射。传入的“点击”信号指示光子入射的可能检测(检测信号),该信号随后经由反相器与指示校准例程是否正在运行的信号一起被发送到或端口。如果同时存在光子入射(1作为检测信号)并且校准例程正在运行(并且因此在所述校准窗口中不满足校准条件),那么所述组合仅导致0。或(OR)端口的输出与触发器(FF)的反相Q输出一起被递送到与非(NAND)端口。与非端口的输出进入触发器的数据输入D,该触发器基于每个校准窗口的开始被时钟计时。只要没有光子入射发生,递送到数据输入的信号就保持为0,反相Q输出(QN)生成1,该值和下一个校准窗口的“新”信号经由与非端口环回到数据输入,因此只要没有光子入射,就会生成1(因为然后“点击”为0,并被反转,在1被递送到或端口的情况下,因此将1递送到与非端口)。

[0118] 只要校准例程继续运行(并且ZeroBG_EnableN=1),触发器(FF)就保持重复这个循环。一旦检测到一个光子入射,触发器就生成0作为反相输出,该输出经由反相与非(inverted NAND)端口始终生成1,从而再次保持循环反相输出0。

[0119] 结果所得的信号ZeroBG随后被用于将来自持久性例程的信号分类为满足校准条件或不满足校准条件,因此可以经由图8B的电路中的端口用作HP或LP输出。

[0120] 图9A示出了除了图8A的校准电路之外还提供另一个第二校准电路(9b)的可能性,其进一步扩展了SPD(5)的可能分类。在图8A的校准电路(9a)试图确定哪些SPD对背景辐射(或热噪声等)不敏感(或不太敏感)的情况下,第二校准电路旨在确定是否存在饱和的SPD,换句话说饱和的SPD将总是指示检测。

[0121] SPD的信号(“点击”)反向地并且与校准例程的信号一起被递送到与端口。如果这个校准例程正在运行(noSAT_Enable=1),并且检测到光子入射或光子事件(“点击”=1),那么这从与端口生成0,如果没有事件,那么生成1。

[0122] 来自与端口的信号与触发器(FF)的循环数据输出Q一起输入到或端口。于是,来自或端口的结果是触发器的数据输入,其中校准窗口的时钟信号作为时钟信号。

[0123] 如果没有事件(信号1到或端口),那么这自动生成到数据输入的1,并因此生成到数据输出Q的1。然后,为1所述数据输出Q并返回到或端口(自动再次为1),从而到数据输入,从而再次为1,继续像这样循环。这意味着,如果在所述第二校准例程期间存在(至少一个)其中没有事件发生的校准窗口,那么校准电路将递送1,这意味着SPD未饱和。

[0124] 如果每个校准窗口中都发生事件(点击=1),那么或端口将总是从SPD接收0(在与端口之后),随后继续循环,除非之前有1信号到触发器(FF)的数据输出Q。在连续事件的情况下,所述第二校准电路的输出将因此生成0,这指示SPD饱和。因此,在noSAT为0(饱和)的情况下,ZeroBG将始终将0作为信号,因为事件始终可见。

[0125] 结果所得的信号noSAT随后被用于将来自持久性例程的信号分类为满足或不满足第二校准条件,并且因此在图9B的电路中,与图8A的第一校准电路和随后的信号ZeroBG一起,对SPD进行分类并调整结果的处理。

[0126] 因此,所呈现的noSAT为0的电路(饱和SPD)(因此ZeroBG也为0)将总是导致来自SPD的信号被拒绝,即使它满足持久性条件。

[0127] 另一方面,在非饱和SPD(noSAT＝1)的情况下,ZeroBG确定SPD是作为高优先级还是低优先级处理。

[0128] 最后,noSAT为0(饱和SPD)也将经由附加电路(8)关闭SPD。

[0129] 假设本发明不限于上述实施例,并且可以对所描述的示例添加多种修改或改变,而无需重新评价所添加的权利要求。

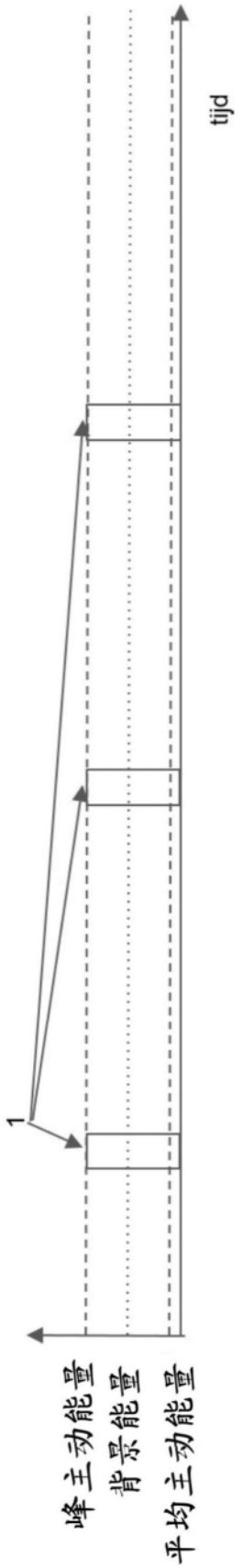


图1A

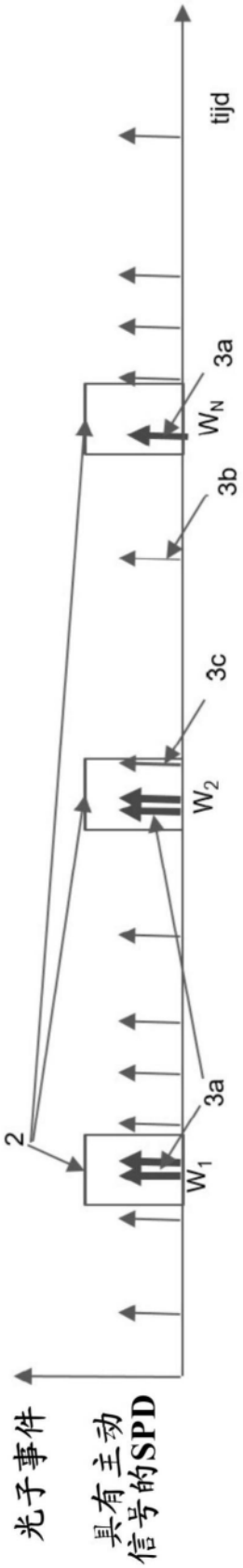


图1B

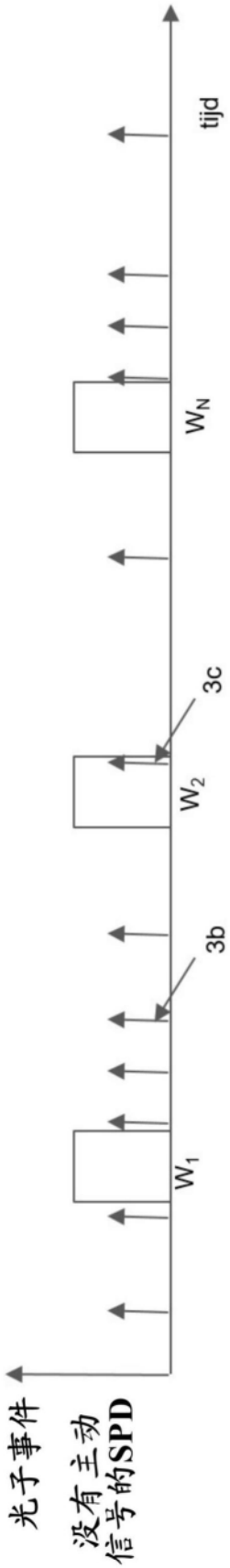


图1C

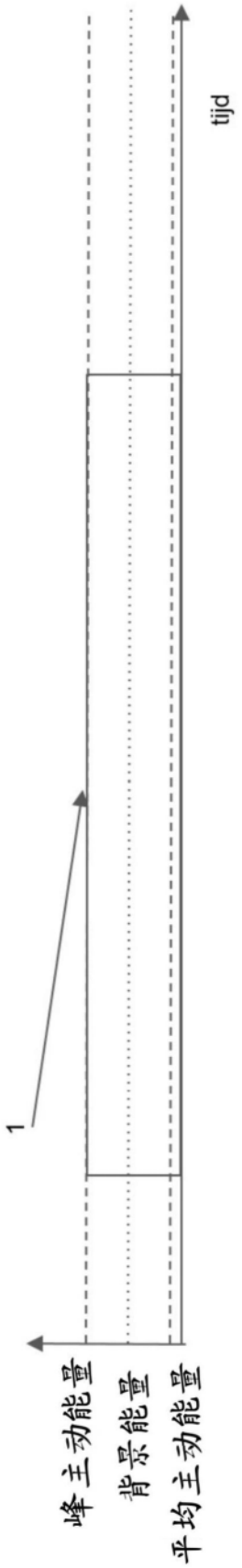


图2A

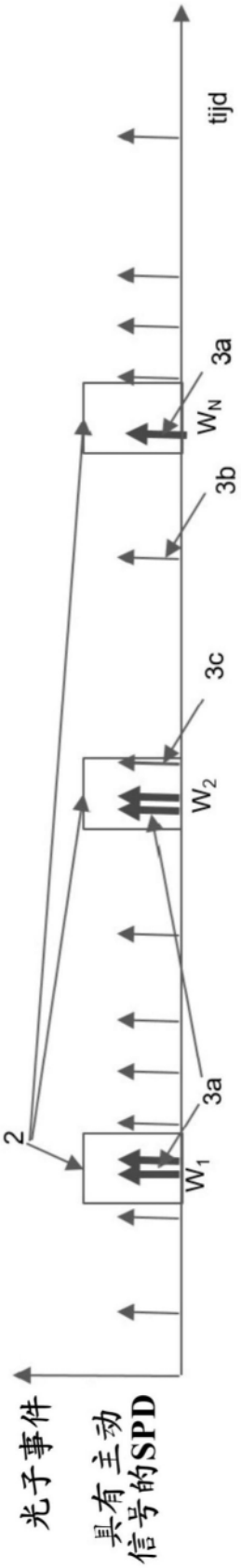


图2B

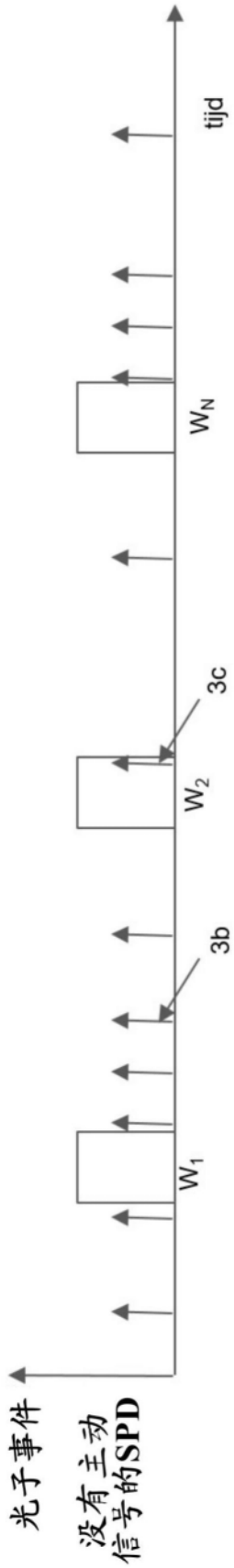


图2C

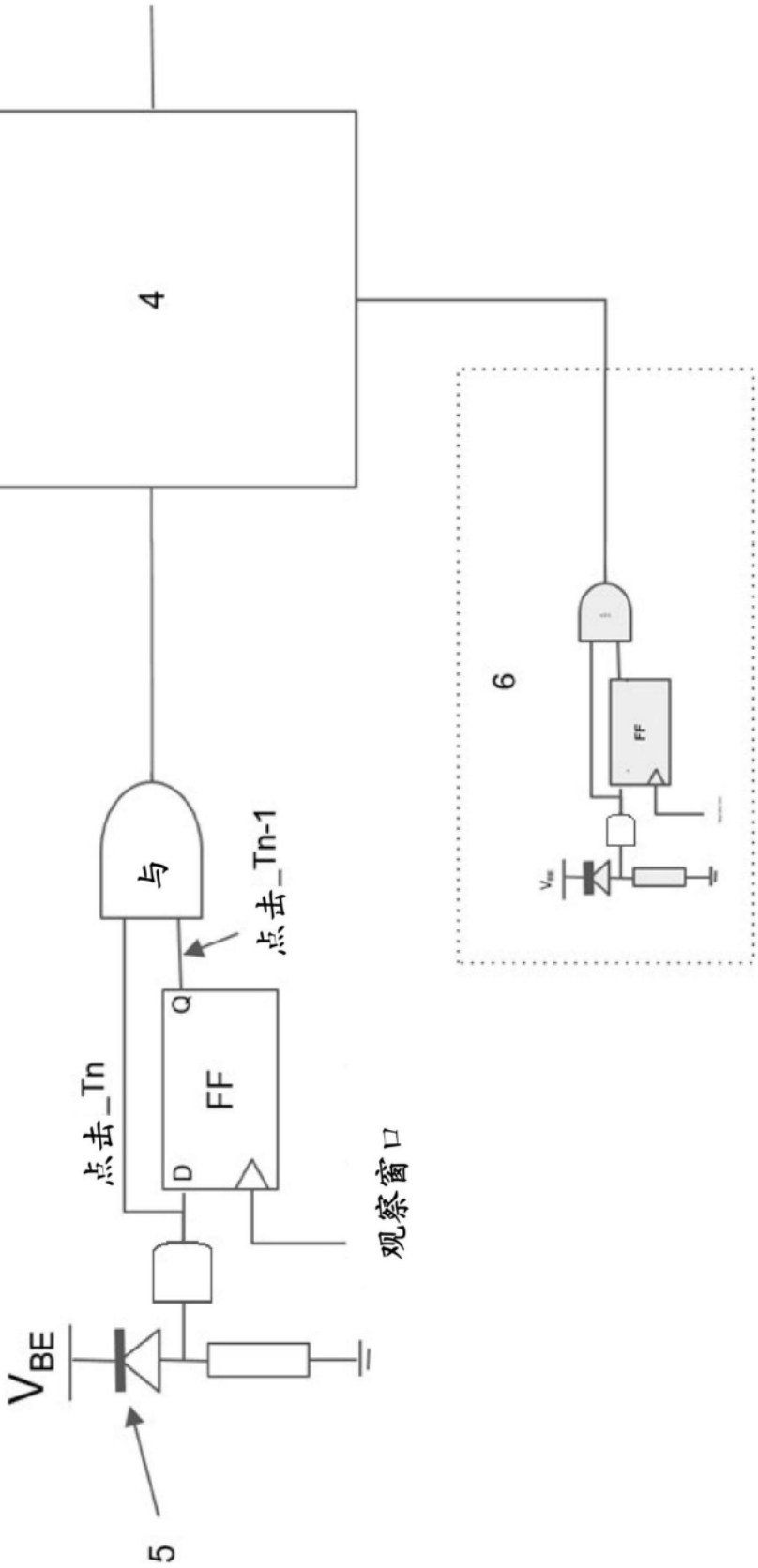


图3

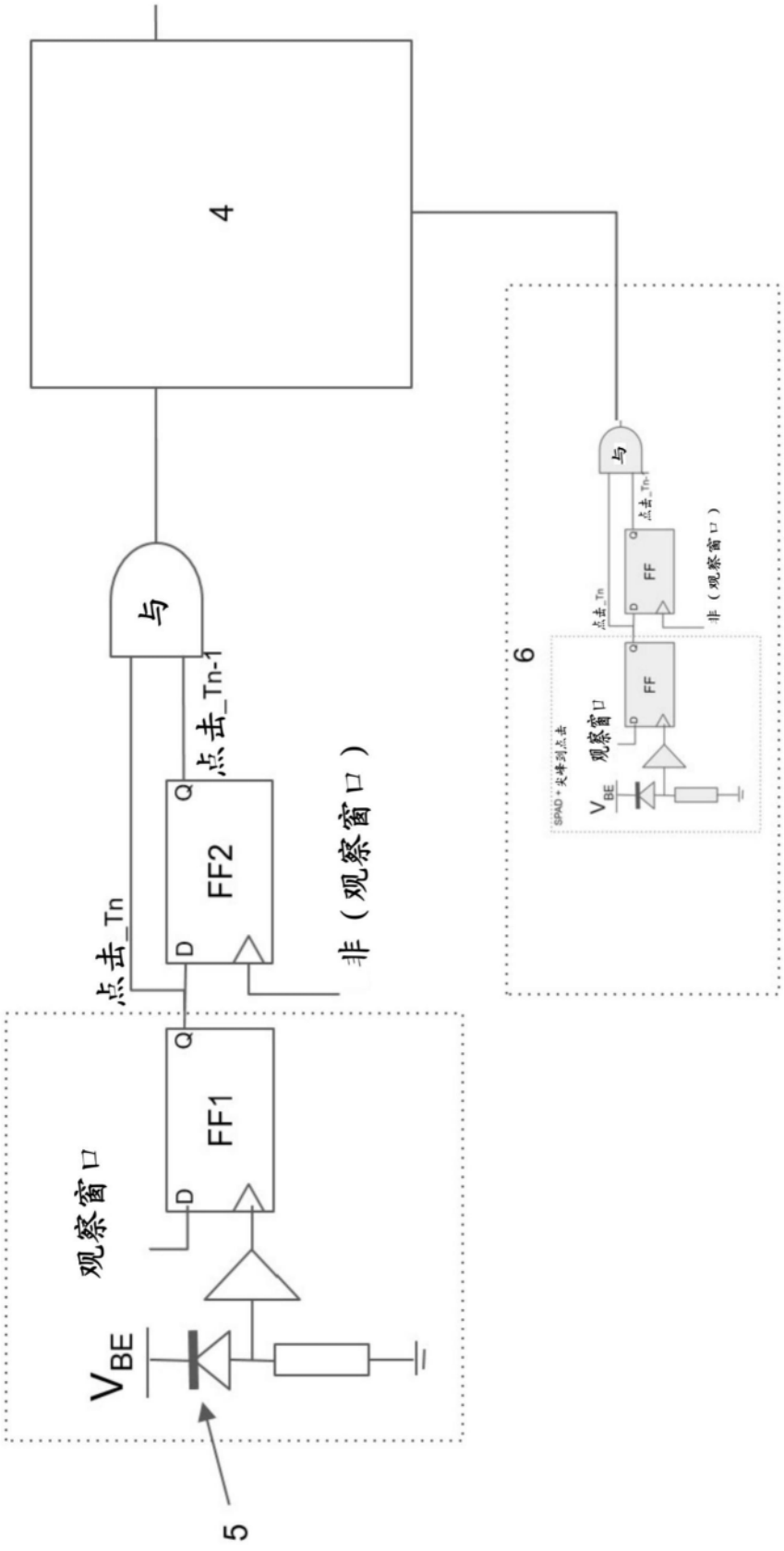


图4

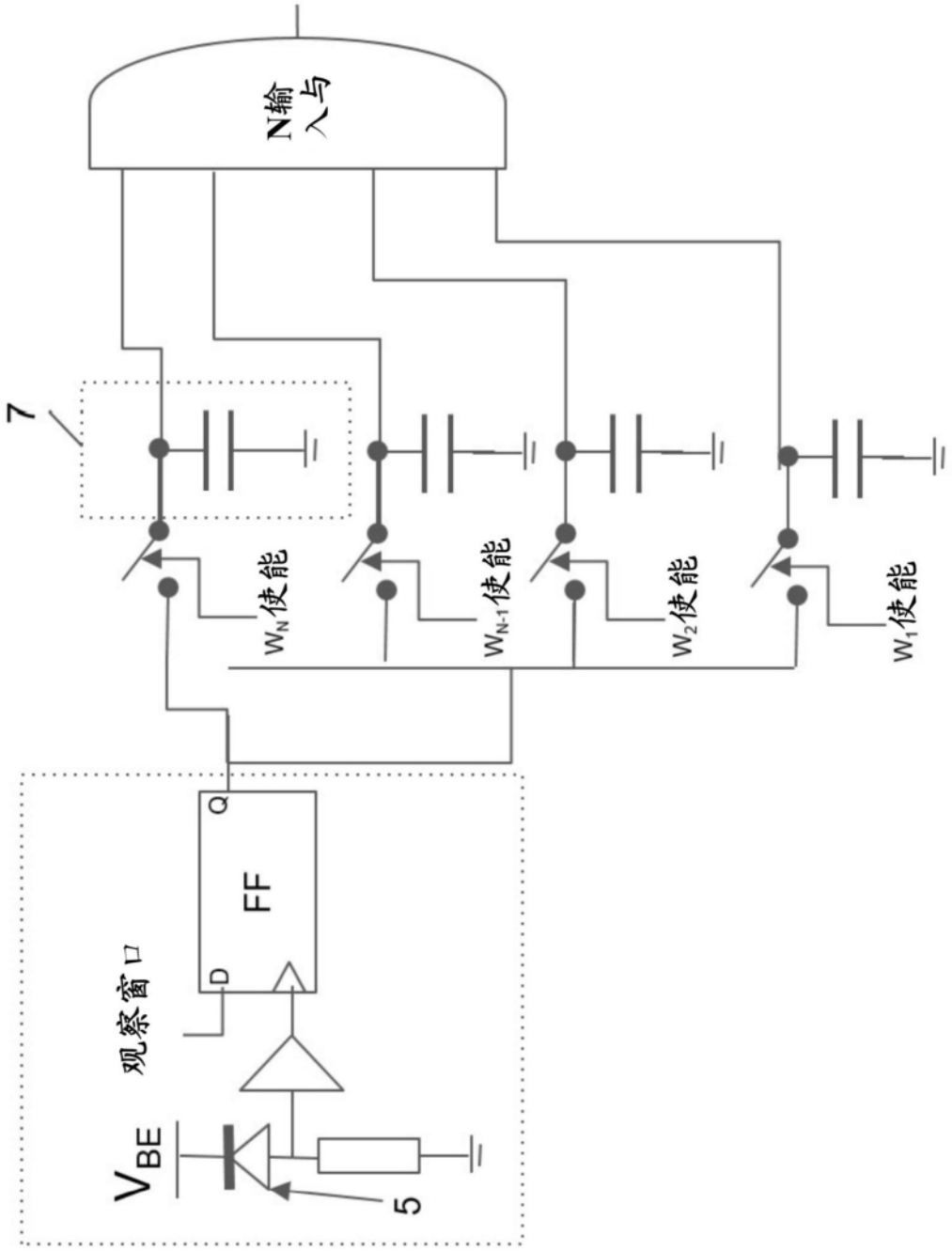


图5

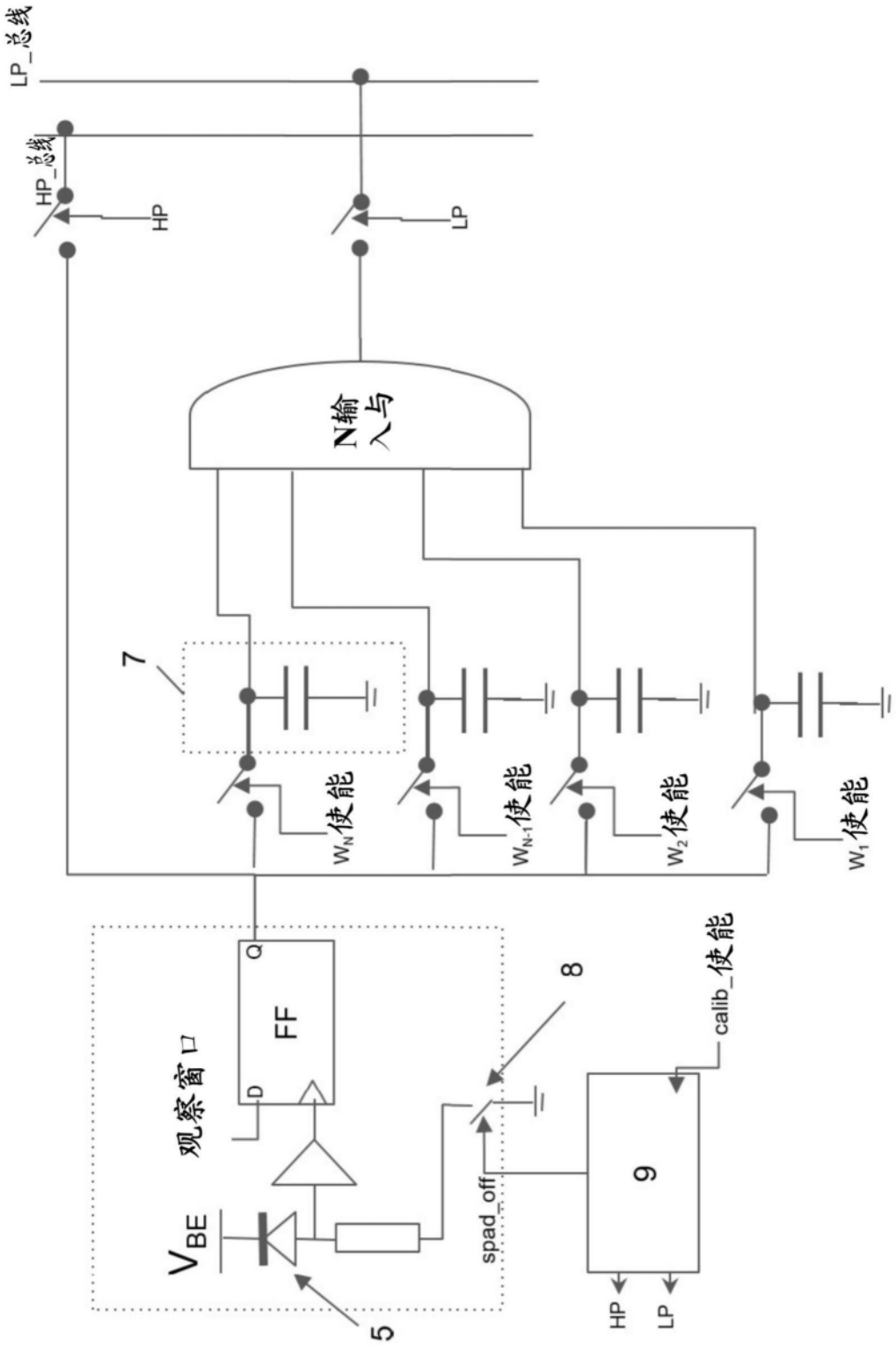

LP_总线
HP_总线
HP
LP
N输入与
7
W_N使能
W_{N-1}使能
W_2使能
W_1使能
Q
FF
D
观察窗口
8
calib_使能
V_{BE}
spad_off
9
HP
LP
5

图6

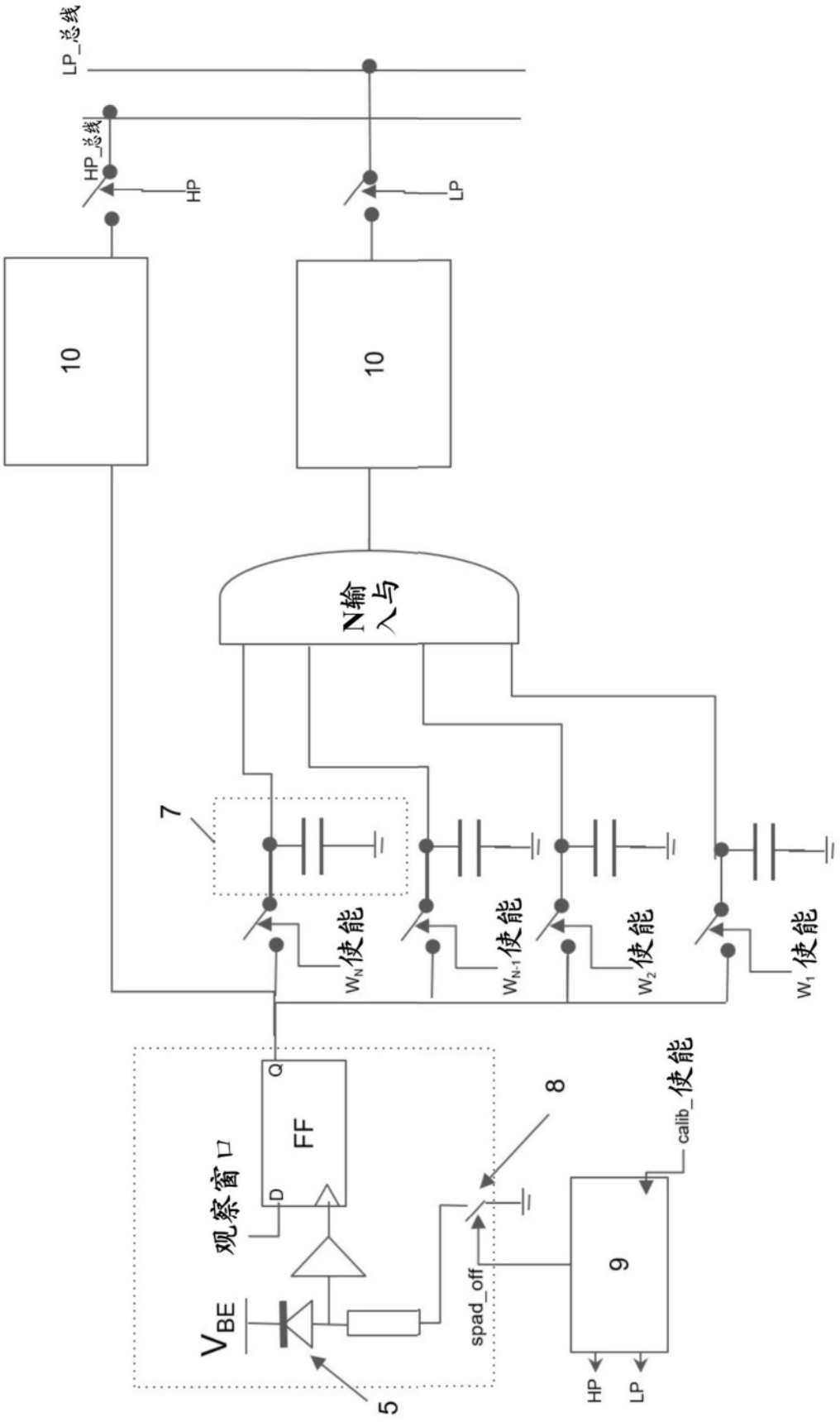

LP_总线
HP_总线
HP
LP
10
10
N输入与
7
W_N使能
W_{N-1}使能
W_2使能
W_1使能
FF
Q
D
观察窗口
V_{BE}
5
8
spad_off
9
calib_使能
HP
LP

图7

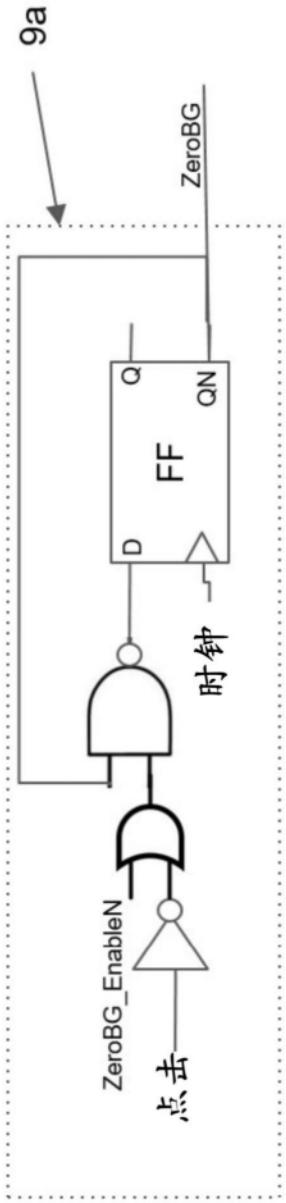


图8A

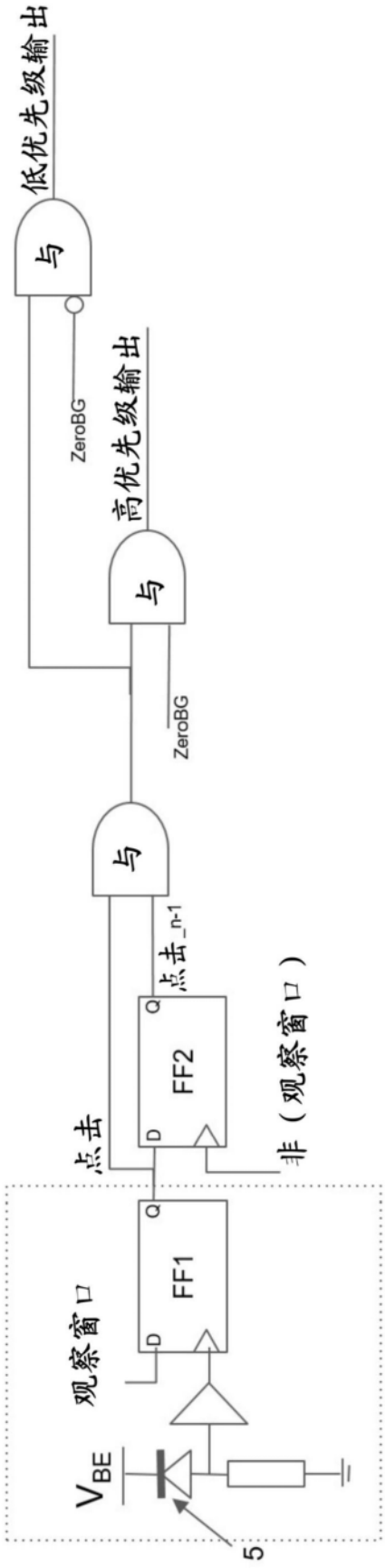

低优先级输出
与
ZeroBG
高优先级输出
与
ZeroBG
与
点击_n-1
FF2
D
Q
非（观察窗口）
点击
FF1
D
Q
观察窗口
VBE
5

图8B

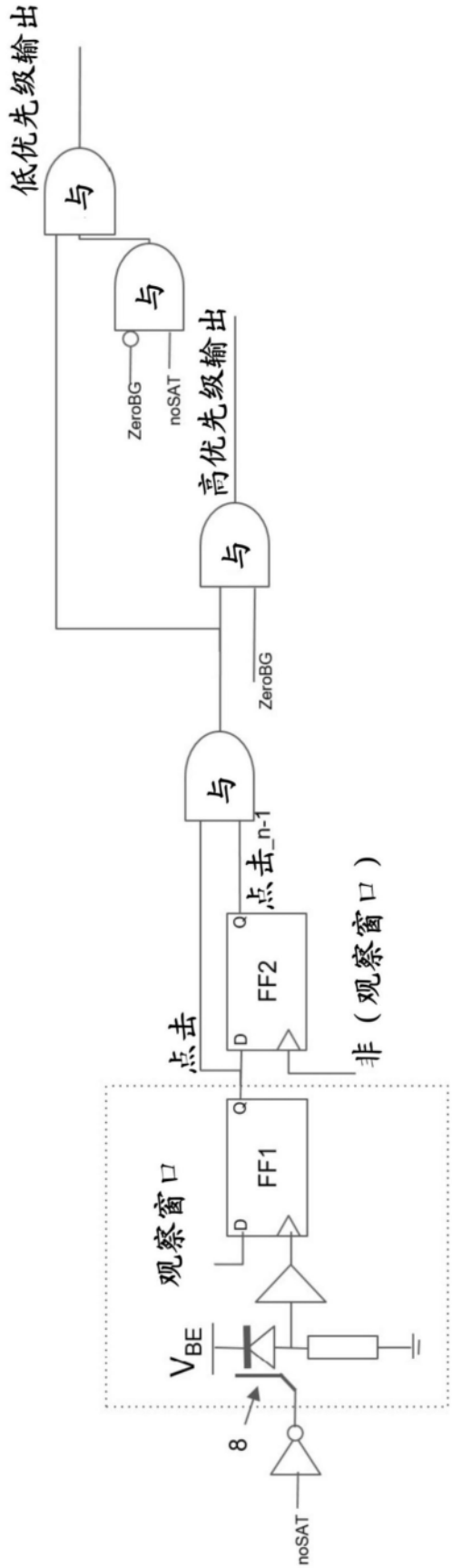

低优先级输出
与
与
ZeroBG
noSAT
高优先级输出
与
ZeroBG
与
点击_n-1
FF2
D
Q
非（观察窗口）
点击
观察窗口
FF1
D
Q
VBE
8
noSAT

图9

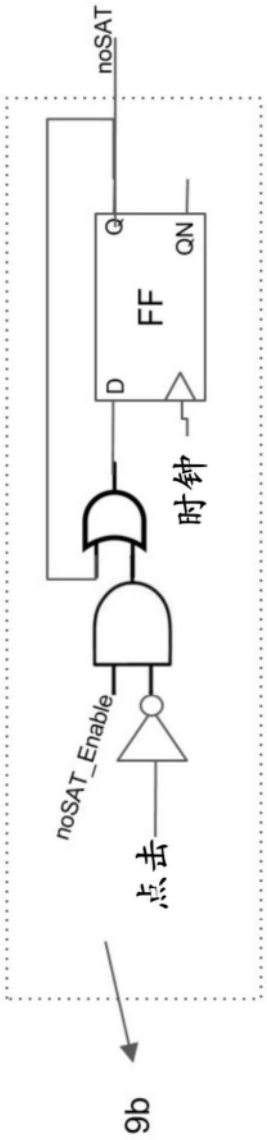


图9A