(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103356219 B
(45)授权公告日 2017.06.06

(21)申请号 201210551889.3

(22)申请日 2012.12.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103356219 A

(43)申请公布日 2013.10.23

(30)优先权数据
10-2012-0030654 2012.03.26 KR

(73)专利权人 三星电子株式会社
地址 韩国京畿道
专利权人 西江大学校 产学协力团

(72)发明人 金暎 朴宰彻 尹大健 李采勋 范镇旭 金京勋 李浚安

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 刘虹

(51)Int.Cl.
A61B 6/03(2006.01)

审查员 洪虹

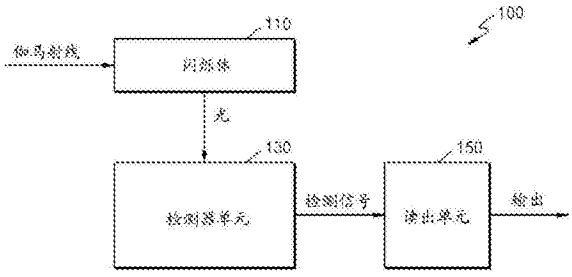
权利要求书2页 说明书12页 附图13页

(54)发明名称

数字光电倍增器检测器元件

(57)摘要

本发明提供了一种用于断层扫描的光电倍增器检测器元件，该光电倍增器检测器元件包括：检测器单元，接收具有一定范围的波长的光以生成数字化的检测信号；读出单元，被配置为生成与由检测器单元生成的检测信号相对应的输出信号，并且将该输出信号发送到外部电路，其中，在接收到检测信号之后，读出单元马上将输出信号发送到外部电路。



CN 103356219 B

1.一种用于断层扫描的光电倍增器检测器元件，该光电倍增器检测器元件包括：

检测器单元，接收具有一定范围的波长的光以便生成数字化的检测信号，该检测器单元包括被动抑制单元，该被动抑制单元包括电容器；

读出单元，被配置为生成与由检测器单元生成的检测信号相对应的输出信号，并且将该输出信号发送到外部电路，

其中，在接收到检测信号之后，读出单元马上将输出信号发送到外部电路。

2.如权利要求1所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述读出单元不将检测信号存储在光电倍增器检测器元件中。

3.如权利要求1所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述光电倍增器检测器元件中所包括的光电倍增器包括硅器件。

4.如权利要求1所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述检测器单元包括：

光电二极管，其响应于所述具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；以及

主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，

其中，主动复位单元增加光电二极管的端子之间的电压差。

5.如权利要求4所述的光电倍增器检测器元件，其中，被动抑制单元连接到光电二极管的阴极并且当电流在光电二极管中流动时降低光电二极管的端子之间的电压差。

6.如权利要求5所述的光电倍增器检测器元件，其中施加到电容器的电压被控制。

7.如权利要求1所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述检测信号响应于接收所述具有一定范围的波长的光而经历从第一电压电平到第二电压电平的转换，而且当停止接收所述具有一定范围的波长的光时经历从第二电压电平到第一电压电平的转换。

8.如权利要求1所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述光电倍增器检测器元件被连接到闪烁体，该闪烁体接收辐射以生成所述具有一定范围的波长的光。

9.如权利要求8所述的光电倍增器检测器元件，其中，所述检测器单元接收由闪烁体生成的具有一定范围的波长的光，其中，所述具有一定范围的波长的光是具有400nm至450nm的波长的可见光。

10.一种用于断层扫描的辐射检测系统，该辐射检测系统包括光电倍增器检测器元件和累加器，

其中，光电倍增器检测器元件包括：

检测器单元，接收具有一定范围的波长的光以生成数字化的检测信号；

读出单元，被配置为生成与由检测器单元生成的检测信号相对应的输出信号，并且将该输出信号发送到累加器，

其中该检测器单元包括被动抑制单元，该被动抑制单元包括电容器，

其中，在检测器单元生成该检测信号之后，读出单元马上将输出信号发送到累加器，

其中，累加器被放置在光电倍增器检测器元件外部，并且基于由读出单元接收到的输出信号来测量辐射量。

11.如权利要求10所述的辐射检测系统，其中，所述读出单元不将该输出信号存储在光电倍增器检测器元件中。

12.如权利要求10所述的辐射检测系统，其中，所述光电倍增器检测器元件中所包括的光电倍增器包括硅器件。

13.如权利要求10所述的辐射检测系统，其中，所述累加器包括电流镜电路。

14.如权利要求13所述的辐射检测系统，其中，所述累加器包括多个电流镜，基于输出信号来导通或截止多个电流镜中的每一个的晶体管以生成多个数字信号，并且将多个数字信号发送到计数单元，其中，该计数单元基于该多个数字信号来测量辐射量。

15.如权利要求13所述的辐射检测系统，其中，所述电流镜的输出端子处的晶体管被连接到电阻器，并且基于该电阻器两端之间所施加的电压的强度来测量辐射量。

16.如权利要求10所述的辐射检测系统，其中，所述检测器单元包括：

光电二极管，其响应于所述具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；以及

主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，

其中，主动复位单元增加光电二极管的端子之间的电压差。

17.如权利要求16所述的辐射检测系统，其中，该被动抑制单元连接到光电二极管的阴极并且当电流在光电二极管中流动时降低光电二极管的端子之间的电压差。

18.如权利要求17所述的辐射检测系统，其中电容器的电压受光电倍增器检测器元件的环境变化的控制。

19.如权利要求10所述的辐射检测系统，其中，所述光电倍增器检测器元件被连接到闪烁体，闪烁体接收辐射以生成所述具有一定范围的波长的光。

20.如权利要求19所述的辐射检测系统，其中，所述检测器单元接收由闪烁体生成的所述具有一定范围的波长的光，其中，所述具有一定范围的波长的光是具有400nm至450nm的波长的可见光。

21.一种用于断层扫描的光电倍增器检测器元件中包括的检测器件，该检测器件包括：

光电二极管，其响应于具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；

主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，

主动复位单元被配置为增加在光电二极管的阴极和阳极之间的电压差；以及

被动抑制单元，该被动抑制单元连接到光电二极管的阴极，该被动抑制单元包括电容器。

22.如权利要求21所述的检测器件，该被动抑制单元当电流在光电二极管中流动时降低光电二极管的阴极和阳极之间的电压差。

23.如权利要求22所述的检测器件，其中电容器的电压受光电倍增器检测器元件的环境变化的控制。

24.如权利要求21所述的检测器件，其中，所述检测器件响应于所述具有一定范围的波长的光而生成数字化的检测信号，而且不将该检测信号存储在光电倍增器检测器元件中。

25.如权利要求24所述的检测器件，其中，所述检测信号响应于接收所述具有一定范围的波长的光而经历从第一电压电平到第二电压电平的转换，而且当停止接收所述具有一定范围的波长的光时经历从第二电压电平到第一电压电平的转换。

26.如权利要求21所述的检测器件，其中，所述具有一定范围的波长的光是具有400nm至450nm的波长的可见光。

数字光电倍增器检测器元件

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2012年3月26日向韩国知识产权局提交的第10-2012-0030654号韩国专利申请的权益，其公开通过引用整体结合于此。

技术领域

[0003] 本公开涉及光电倍增器检测器元件(photomultiplier detector cell)，更具体地，涉及使用数字信号的光电倍增器检测器元件。

背景技术

[0004] 对人体的内部成像的方法包括正电子发射断层扫描(positron emission tomography,PET)、磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)、X射线计算机断层扫描(X-ray computed tomography,CT)等。PET是核医学诊断方法之一，通过核医学诊断方法，通过使用放射性示踪物质检测发射的正电子来获得人体的生理和病理图像。利用PET的诊断方法是这样进行的，放射性的同位素，例如F-18-FDG(葡萄糖的类似物)，被引入到人体内部，并在一定时间段(例如，几十分钟)之后检测作为身体内部的癌细胞吸收该放射性同位素的结果而被发射的辐射，从而获得癌的位置信息。用于检测作为身体内部的癌细胞吸收放射性同位素的结果而被发射的辐射的检测器被称为硅光电倍增器检测器或伽马射线检测器。此外，用于检测辐射或伽马射线的装置可以在用于单光子发射计算机断层扫描(single photon emission computed tomography,SPECT)或计算机断层扫描的辐射检测器中使用，并且可以在各种应用如天文学和空间科学中使用。

发明内容

[0005] 本发明提供光电倍增器检测器元件，其在恒定表面区域中以相对高的密度收集图像材料。

[0006] 其他方面将在随后的描述中部分地阐明，而且所述其他方面部分地将从描述而显而易见，或者所述其他方面可以通过实践所提供的实施例来学习。

[0007] 根据本发明的一个方面，一种用于断层扫描的光电倍增器检测器元件包括：检测器单元，接收具有一定范围的波长的光以生成数字化的检测信号；读出单元，被配置为生成与由检测器单元生成的检测信号相对应的输出信号，并且将该输出信号发送到外部电路，其中，在接收到检测信号之后，读出单元马上将输出信号发送到外部电路。

[0008] 读出单元可以不将检测信号存储在光电倍增器检测器元件中。

[0009] 光电倍增器检测器元件中所包括的光电倍增器可以包括硅器件。

[0010] 检测器单元还可以包括：光电二极管，其响应于所述具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；以及主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，其中，主动复位单元增加光电二极管的端子之间的电压差。

[0011] 检测器单元还可以包括被动抑制单元，被动抑制单元连接到光电二极管的阴极并

且当电流在光电二极管中流动时降低光电二极管的端子之间的电压差。

[0012] 被动抑制单元可以包括电容器，其中施加到电容器的电压被控制。

[0013] 检测信号可以响应于接收所述具有一定范围的波长的光而经历从第一电压电平到第二电压电平的转换，而且当停止接收所述具有一定范围的波长的光时经历从第二电压电平到第一电压电平的转换。

[0014] 光电倍增器检测器元件可以被连接到闪烁体，该闪烁体接收辐射以生成所述具有一定范围的波长的光。

[0015] 检测器单元可以接收由闪烁体生成的所述具有一定范围的波长的光，其中，所述具有一定范围的波长的光是具有约400nm至约450nm的波长的可见光。

[0016] 根据本发明的另一个方面，一种用于断层扫描的辐射检测系统包括光电倍增器检测器元件和累加器，其中，光电倍增器检测器元件包括：检测器单元，接收具有一定范围的波长的光以生成数字化的检测信号；读出单元，被配置为生成与由检测器单元生成的检测信号相对应的输出信号，并且将该输出信号发送到累加器，其中，在检测单元生成该检测信号之后，读出单元马上将输出信号发送到累加器，其中，累加器被放置在光电倍增器检测器元件外部，并且基于由读出单元接收到的输出信号来测量辐射量。

[0017] 读出单元可以不将输出信号存储在光电倍增器检测器元件中。

[0018] 光电倍增器检测器元件中所包括的光电倍增器可以包括硅器件。

[0019] 累加器可以包括电流镜电路。

[0020] 累加器可以包括多个电流镜，基于该输出信号来导通或截止多个电流镜中的每一个的晶体管以生成多个数字信号，并且将该多个数字信号发送到计数单元，其中，该计数单元基于该多个数字信号来测量辐射量。

[0021] 电流镜的输出端子处的晶体管可以被连接到电阻器，并且基于该电阻器两端之间所施加的电压的强度来测量辐射量。

[0022] 检测器单元可以包括：光电二极管，其响应于所述具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；以及主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，其中，主动复位单元增加光电二极管的端子之间的电压差。

[0023] 检测器单元还可以包括被动抑制单元，被动抑制单元连接到光电二极管的阴极并且当电流在光电二极管中流动时降低光电二极管的端子之间的电压差。

[0024] 被动抑制单元可以包括电容器，其中电容器的电压受光电倍增器检测器元件的环境变化的控制。

[0025] 光电倍增器检测器元件可以被连接到闪烁体，该闪烁体接收辐射以生成所述具有一定范围的波长的光。

[0026] 检测器单元可以接收由闪烁体生成的所述具有一定范围的波长的光，其中，所述具有一定范围的波长的光是具有约400nm至约450nm的波长的可见光。

[0027] 根据本发明的另一个方面，提供了一种用于断层扫描的光电倍增器检测器元件中包括的检测器件，该检测器件包括：光电二极管，其响应于具有一定范围的波长的光而生成要流动的电流；以及主动复位单元，其连接到光电二极管的阴极，其中，主动复位单元增加光电二极管的端子之间的电压差。

[0028] 检测器件还可以包括被动抑制单元，其连接到光电二极管的阴极，并且当电流在

光电二极管中流动时降低光电二极管的端子之间的电压差。

[0029] 被动抑制单元可以包括电容器，其中电容器的电压受光电倍增器检测器元件的环境变化的控制。

[0030] 检测器件可以响应于所述具有一定范围的波长的光而生成数字化的检测信号，而且可以不将检测信号存储在光电倍增器检测器元件中。

[0031] 检测信号可以响应于接收所述具有一定范围的波长的光而经历从第一电压电平到第二电压电平的转换，而且当停止接收所述具有一定范围的波长的光时经历从第二电压电平到第一电压电平的转换。

[0032] 所述具有一定范围的波长的光可以是具有约400nm至约450nm的波长的可见光。

附图说明

[0033] 从结合附图的实施例的以下描述，这些和/或其他方面将变得明显并且更容易理解，在附图中：

[0034] 图1是示出根据本发明的实施例的辐射测量设备的示意图；

[0035] 图2是根据本发明的实施例的辐射检测模块的示意性剖面图；

[0036] 图3是示出根据本发明的实施例的用于断层扫描的光电倍增器中所包括的检测器元件(detector cell)的示图；

[0037] 图4是示出根据本发明的实施例的检测器单元(detector unit)的元件的示图；

[0038] 图5A是示出根据本发明的另一个实施例的检测器单元的元件的示图；

[0039] 图5B是根据本发明的实施例的光电二极管的特征曲线，其被示出以解释控制图5A的检测器单元的被动抑制单元的方法；

[0040] 图6A是示出根据本发明的实施例的检测器单元的元件的示图；

[0041] 图6B是根据本发明的实施例的检测器单元的电路图；

[0042] 图6C是根据本发明的实施例的、根据时间示出图6B的检测器单元的光电二极管的两个端子之间的电压的时序图；

[0043] 图7是示出根据本发明的实施例的辐射检测系统的示图，该辐射检测系统包括累加器(accumulator)和具有用于断层扫描的光电倍增器检测器元件的元件阵列；

[0044] 图8是示出根据本发明的另一个实施例的辐射检测系统示图，该辐射检测系统包括累加器和具有用于断层扫描的光电倍增器检测器元件的元件阵列；

[0045] 图9是示出根据本发明的实施例的、计数单元中所包括的子计数器的示图；

[0046] 图10A至图10C是根据本发明的实施例的、分别根据在数据线中流动的电流示出数据和信号的时序图；

[0047] 图11是示出根据本发明的另一个实施例的辐射检测系统的示图，该辐射检测系统包括累加器和具有用于断层扫描的光电倍增器检测器元件的元件阵列；以及

[0048] 图12A至图12C是根据本发明的实施例的、分别根据在数据线中流动的电流示出输出信号和计数电压的时序图。

具体实施方式

[0049] 现在将详细介绍实施例，这些实施例的示例在附图中示出，贯穿附图，相同的参考

标记指代相同的元素。在这点上，这些实施例可以具有不同的形式，并且不应被解释为受限于这里所阐明的描述。因此，下面通过参照附图描述的实施例仅仅用于解释本说明书的一些方面。

[0050] 下文中，将参照附图描述本发明的示范性实施例。

[0051] 提供这些实施例以向本领域普通技术人员更加完整地解释本公开。本发明可以以很多不同形式实施，并且不应解释为受限于这里所阐明的实施例。更确切地说，提供这些示例实施例是为了使得本公开将全面且完整，并且将本发明的范围完全传达给本领域普通技术人员。

[0052] 这里使用的术语仅仅是为了描述特定实施例，并非意图限制示范性实施例。如这里所使用的，单数形式意图也包括复数形式，除非上下文明确给出相反指示。还要理解，当在本说明书中使用词语“包括(comprises)”和/或“包括(comprising)”时，表明存在所描述的特征、整体、步骤、操作、组件、元件和/或它们的组合，但不排除存在或附加一个或多个其他特征、整体、步骤、操作、组件、元件和/或它们的组合。如这里所使用的，术语“和/或”包括相关列出项的一个或多个的任意和所有组合。

[0053] 将会理解，尽管这里可能使用术语“第一、第二等”来描述各种元件、组件、区域、层和/或部分，但是，这些元件、组件、区域、层和/或部分不应该被这些术语限制。这些术语只用于区分一个元件、组件、区域、层或部分与另一个元件、组件、区域、层或部分。因此，在不脱离示范性实施例的教导的情况下，以下讨论的第一元件、组件、区域或部分也可以被称为第二元件、组件、区域或部分。

[0054] 下文中，将参照示意性附图描述本发明的示范性实施例。在附图中，可能会出现由于例如制造技术和/或容差而造成的这些图示的形状的变化。因此，本发明构思的实施例不应当被解释为限于这里所示的区域的特定形状，而是包括例如由于制造而导致的形状上的偏差。

[0055] 图1是示出根据本发明的实施例的辐射测量设备1的示意图。

[0056] 如图1所示，辐射测量设备1可以包括多个辐射测量模块2、成像处理单元3和成像区4。

[0057] 成像区4(用于容纳目标的区域)是被提供用于测量目标的图像的区域。为了支撑目标，成像区4可以包括支撑物(support)5。辐射测量模块2可以接收来自目标的辐射并将该辐射转换成检测信号。每个辐射测量模块2都可以包括多个辐射检测模块20(参照图2)。这个特征将在下面更详细地描述。成像处理单元3可以基于由辐射测量模块2所生成的检测信号来产生目标的图像。

[0058] 图2是根据本发明的实施例的辐射检测模块20的示意性剖面图。

[0059] 如图2所示，辐射检测模块20可以包括闪烁体(scintillator)21、光导管22、像素单元10、11、12、13、14、15和16、以及半导体芯片24。

[0060] 闪烁体21可以接收辐射(例如，伽马射线)以生成光子。光导管22可以被设置在闪烁体21和半导体芯片24之间，并将由闪烁体21产生的光子输送给半导体芯片24。在这方面，输送到半导体芯片24的光子的入射方向并非旨在限制本发明的范围。例如，光子可以从闪烁体21的上部入射，或者通过半导体芯片24的下部入射。在这种情况下，半导体芯片24可以由使光子能够从其中穿过的材料制成。

[0061] 半导体芯片24可以包括以阵列形式排列的多个像素单元(pixel element)10、11、12、13、14、15和16，以便半导体芯片24接收通过光导管22输送的光子并产生与该光子相对应的电信号。像素单元10、11、12、13、14、15和16中的每一个都可以包括多个图3中所示的检测器元件(detector cell)100。例如，当每个像素单元包括16个检测器元件100而且像素单元以7×7的阵列配置布置在半导体芯片24中时，半导体芯片24可以包括784(7×7×16)个检测器元件100。检测器元件100一般可以表示为微元件(microcell)。如果每个微元件(例如，检测器元件100)包括两个光电二极管，则半导体芯片24可以包括1568(7×7×16×2)个光电二极管。

[0062] 图3是示出根据本发明的实施例的用于断层扫描的光电倍增器中所包括的检测器元件100的示图。

[0063] 如图3所示，用于断层扫描的光电倍增器的检测器元件100可以包括闪烁体110、检测器单元130和读出单元150。

[0064] 光电倍增器由包括至少500个微元件的像素单元组成，每一个微元件都具有约20微米的大小。每个微元件独立地检测和放大光子。当光子进入每个微元件以生成电子-空穴对时，由于SiPM内部的电场而在微元件中发生放大，从而生成并输出具有一定大小的信号。在这种情况下，SiPM的输出信号可以是通过对所有微元件的信号求和所获得的信号。

[0065] 闪烁体110接收辐射以生成光子。也就是说，引入患者或对象中的放射性同位素(例如，F-18-FDG)经历放射性衰变事件。放射性衰变事件涉及正电子的生成。通过放射性衰变事件生成的正电子与周围的电子相互作用，从而导致电子-正电子湮灭事件。电子-正电子湮灭事件产生能量为511千电子伏(keV)的两个方向相反的辐射束。辐射束以光速传播。当这些辐射束与闪烁体110碰撞时，光(或光子)被发射。在这种情况下，从闪烁体110发射的光可以是可见光。具体来说，从闪烁体110发射的光可以是具有约400nm至约450nm的波长的可见光。在这方面，闪烁体110可以由硅酸镥(lutetium oxyorthosilicate,LSO)、硅酸钇镥(lutetium yttrium oxyorthosilicate,LYSO)、混合镥硅酸盐(mixed lutetium silicate,MLS)、硅酸钆镥(lutetium gadolinium oxyorthosilicate,LGSO)、溴化镧(lanthanum bromide,LABR)或它们的组合物制成。然而，闪烁体110的材料不限于此，而且也可以使用其他闪烁体材料。检测器单元130接收从闪烁体110发射的光子，以生成检测信号。检测信号可以是数字化电信号。例如，当检测器单元130没有接收光时，检测信号可以具有第一数字值，并且当检测器单元130接收光时，检测信号可以具有第二数字值时。检测器单元130可以包括光电二极管。光电二极管接收光以生成电信号。电信号是模拟信号，该模拟信号在经历被动抑制(passive quenching)和主动抑制(active quenching)和主动复位过程之后可以被转换为数字信号。

[0066] 图4是示出根据本发明的实施例的检测器单元130的元件的示图。

[0067] 参照图4，检测器单元130包括光电二极管133、被动抑制单元131和主动抑制单元135。

[0068] 光电二极管133可以基于从闪烁体110发射的光子来生成电流。检测器单元130可以包括多个光电二极管133，并且每个光电二极管133可以被包括在多个检测器元件中的每一个中。例如，光电二极管133可以是雪崩(avalanche)光电二极管。被施加的电源电压VDD可以稍低于光电二极管133的工作电压(例如，当雪崩光电二极管被用作光电二极管133时

的击穿电压)。在这种情况下,当光电二极管133接收光子时,其工作电压变为等于或低于电源电压VDD。因此,电流在光电二极管133中流动。

[0069] 在电流在光电二极管133中流动的状态下,被动抑制单元131在它的两个端子之间生成电压差。例如,被动抑制单元131可以包括电阻器或等效电路。由被动抑制单元131所生成的电压降减小了施加到光电二极管133的电压。例如,当被动抑制单元131是电阻器的等效电路时,在光电二极管133中流动的电流的强度越高,在被动抑制单元131中发生的电压降越高。因此,随着在光电二极管133中流过的电流的强度的增加,施加到光电二极管133的电压的强度减小。这归因于恒定的电源电压VDD。结果,在光电二极管133中流动的电流的强度增加,而且在某个时刻低于光电二极管133的工作电压的电压被施加到光电二极管133。因此,在光电二极管133接收光子时生成的电流的流动被被动抑制单元131阻止。

[0070] 主动抑制单元135缩短由被动抑制单元131执行的、再次阻止电流流动所花费的时间。也就是说,如果被动抑制单元131将光电二极管133的两个端子之间的电压保持为光电二极管133的工作电压,则主动抑制单元135缩短光电二极管133的两个端子之间的电压从电源电压VDD改变为光电二极管133的工作电压所花费的时间缩短。结果,可以缩短光电二极管133的恢复时间,并且可以增加检测器单元130的分辨率(resolution)。

[0071] 检测器单元130按如下方式操作。光电二极管133基于由闪烁体110产生的光子来产生电流。在这方面,被动抑制单元131将光电二极管133的两个端子之间的电压设置为光电二极管133的操作电压电平,而且主动抑制单元135缩短改变光电二极管133的电压所花费的时间。

[0072] 再次参照图3,读出单元150接收检测信号以生成输出信号OUT。根据实施例,输出信号OUT不存储在缓冲器中或单独的存储器中,而是与检测信号相对应地被生成。输出信号OUT被发送到光电倍增器的检测器元件100的外部电路。该外部电路可以包括图8中所示的累加器(accumulator)。

[0073] 在下文中,将描述根据本发明的实施例的光电倍增器中所包括的检测器元件100的操作。已经被引入到患者或对象中的放射性同位素通过放射性衰变事件生成伽马射线。闪烁体110接收该伽马射线并发射光子。检测器单元130接收从闪烁体110发射的光子以生成检测信号。读出单元150接收由检测器单元130生成的检测信号,从而以外部电路能够接收的信号格式的形式生成输出信号OUT,而不单独存储或计数该检测信号。输出信号OUT被发送到外部电路。

[0074] 因此,根据本发明的实施例的光电倍增器不在检测器元件100(或微元件)中存储检测信号,而是在接收检测信号之后马上生成输出信号OUT,该输出信号OUT然后被发送到外部电路。因此,不需要用于内部存储器或缓冲器的空间,芯片的尺寸可以被减小,并且可以实现集成。光电倍增器可以增加填充因子(fill factor)。填充因子表示检测部分与检测器元件的面积比率。例如,填充因子可以增加至65%或更大。

[0075] 此外,检测器元件100的能量分辨率不依赖于内部存储器或缓冲器的容量,而是依赖于外部电路的存储器的容量,并因此可以获得具有高能量分辨率的检测器元件。具体来说,该光电倍增器可以具有表示10%或更小的能量分辨率的半峰值全宽(full width at half maximum,FWHM)。

[0076] 此外,能量动态范围可以通过将检测器元件100(或微元件)的数目乘以用于存储

由检测器元件100生成的检测信号的存储器的容量来获得。检测器元件100的能量分辨率不依赖于内部存储器的容量，而是依赖于外部存储器的容量。内部存储器的容量受检测器元件100的尺寸的限制，而外部存储器的容量可以相对较大。因此，能量动态范围与外部存储器的容量成比例地增加。

[0077] 图5A是示出根据本发明的另一个实施例的检测器单元130a的元件的示图。

[0078] 参照图5A，检测器单元130a包括光电二极管133a、被动抑制单元131a和主动抑制单元135a，其中被动抑制单元131a包括电容器CAP(电容器或等效电路)。被动抑制单元131a的电容器CAP(电容器或等效电路)中存储的电压可以根据温度、过程以及其他因素(例如，环境变化)进行控制。因此，虽然光电二极管133a的工作电压根据温度、过程以及其他因素(环境变化)而变化，但是抑制操作可以被执行。

[0079] 图5B是根据本发明的实施例的光电二极管的特征曲线，其被示出以解释控制图5A的检测器单元130的被动抑制单元131a的方法。

[0080] 参照图5B，光电二极管133的两个端子之间所施加的电压可以根据温度、过程以及其他因素(环境变化)而变化。例如，如果光电二极管133的工作电压被表示为Vb，则光电二极管133的两个端子之间所施加的电压可以根据温度、过程以及其他因素(环境变化)而增加到Vb+a。在这种情况下，少量电流在光电二极管133中流动，因此，检测器单元130a的电路可能无法操作。因此，施加到电容器CAP的电压增加，以使得光电二极管133的两个端子之间所施加的电压被设置为Vb，从而检测器单元130a的电路可以正常操作。此外，光电二极管133的两个端子之间所施加的电压可以根据温度、过程以及其他因素(环境变化)而降低到Vb-a。在这种情况下，过大的电流在光电二极管133中流过，因此，检测器单元130a的电路可以由于过电流而发生故障。因此，施加到电容元件CAP的电压被降低，以使得光电二极管133的两个端子之间所施加的电压被控制为等于Vb，从而检测器单元130a的电路可以正常操作。

[0081] 图6A是示出根据本发明的实施例的检测器单元130b的元件的示图。

[0082] 参照图6A，检测器单元130b包括光电二极管133b、被动抑制单元131b、主动抑制单元135b和主动复位单元137。

[0083] 如果光电二极管133b停止接收光子，则光电二极管133b的两个端子之间的电压被恢复到电源电压VDD。在这方面，主动复位单元137缩短将光电二极管133b的两个端子之间的电压恢复到电源电压VDD所花费的时间。因此，当随后的光子被接收时，这使得能够进行光子检测。也就是说，如果恢复时间延长，则首先接收到的光子难以与随后接收到的光子区分开，因此，这可以被视为光子的一次接收，从而导致低能量分辨率。因此，检测器单元130b包括主动复位单元137，从而缩短恢复时间并提高能量分辨率。

[0084] 图6B是根据本发明的实施例的检测器单元130b的电路图。

[0085] 参照图6B，主动抑制单元135b可以包括开关晶体管SW2。主动复位单元137可以包括开关晶体管SW1。被动抑制单元133b可以包括电容器CAP_1。

[0086] 图6C是根据本发明的实施例的、根据时间示出图6B的检测器单元130b的光电二极管的两个端子之间的电压的时序图。

[0087] 参照图6B和图6C，当光电二极管在时间t1接收光子时，电流在节点A中流动，而且光电二极管的两个端子之间的电压降低。也就是说，节点A的电压降低，从而逻辑低(LOW)被

施加到节点A。换句话说，被动抑制发生。因此，开关SW3被导通从而将电源电压VDD施加到节点B，以使得节点B进入逻辑高状态，而且开关晶体管SW2和开关SW4处于导通(ON)状态。因此，在从t2到t3的时间段，节点A的电压迅速降低。也就是说，主动抑制发生。开关SW4被导通从而节点C的电压降低，并且因此，节点C进入低状态。因此，开关晶体管SW1被导通。因此，在从t3到t4的时间段节点A的电压保持稳定。由于节点C进入低状态，因此节点D的电压进入高状态。在这方面，由于节点C进入低状态，因此节点D进入高状态所花费的时间的可以通过开关SW6和电容器CAP_2来控制。因此，节点C进入低状态，并且在一定时间段之后，开关SW5被导通，从而节点B的电压进入低状态。结果，开关晶体管SW2被截止，而且在从t4到t5的时间段节点A的电压恢复到电压VDD。也就是说，主动复位发生。

[0088] 图7是示出根据本发明的实施例的辐射检测系统400的示图，辐射检测系统400包括累加器300和元件阵列(cell array)200，元件阵列200包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106。在这方面，元件阵列200可以被包括在辐射检测模块或像素单元中，也可以指示多个检测器元件。

[0089] 参照图7，辐射检测系统400包括元件阵列200和累加器300。元件阵列200包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106。光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106中的每一个都具有与图3中所示的光电倍增器检测器元件100类似的结构。因此，光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106中的每一个都可以包括闪烁体、检测器单元以及读出单元。在图7中，为了方便说明，只示出了元件阵列200中包括的6个检测器元件，但是检测器元件的数目不限于此，并且并非意图限制本发明的范围。此外，为了方便说明，在图7中示出3个检测器元件被连接到单一的数据线，但是连接到单一的数据线的检测器元件的数目不限于此，并且并非意图限制本发明的范围。另外，为了方便说明，在图7中示出2条数据线，但是仅出于说明目的提供该数目的数据线，并且并非意图限制本发明的范围。

[0090] 光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106中的每一个都接收检测信号，以分别生成采用累加器300能够接收的信号格式的形式的输出信号OUT1、OUT2、OUT3、OUT4、OUT5和OUT6，而不单独存储或计数该检测信号。输出信号OUT1、OUT2、OUT3、OUT4、OUT5和OUT6分别接通或断开开关电路TR1、TR2、TR3、TR4、TR5和TR6。当开关电路TR1、TR2、TR3、TR4、TR5和TR6被分别接通或断开时，在第一数据线DATA line1和第二数据线DATA line2中流动的电流量发生变化。在数据线中流动的电流被传递到累加器300。累加器300接收在数据线中流动的电流以计数或存储检测到的辐射(例如，伽马射线)的量。

[0091] 因此，在元件阵列200中不需要用于内部存储器或缓冲器的空间，芯片的尺寸可以减小，并且可以获得集成。此外，光电倍增器检测器元件101、102、103、104、105和106中的每一个的能量分辨率不依赖于内部存储器或缓冲器的容量，而是依赖于可以具有相对较高容量的累加器300的存储器的容量，因此，可以执行高分辨率检测。

[0092] 图8是示出根据本发明的另一个实施例的辐射检测系统400a，辐射检测系统400a包括累加器300a和元件阵列200a，元件阵列200a包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101a、102a、103a、104a、105a和106a。

[0093] 参照图8，辐射检测系统400a包括元件阵列200a和累加器300a。元件阵列200a包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101a、102a、103a、104a、105a和106a。元件阵列200a

具有与图7的元件阵列200类似的结构。与上述相对于图7的元件阵列200的描述类似，在这个实施例中，元件阵列200a的检测器元件的数目、被连接到单一数据线的检测器元件的数目和数据线的数目仅出于说明目的而提供，并且不旨在限制本发明的范围。

[0094] 累加器300a包括计数单元310a。计数单元310a对接收到辐射的检测器元件的数目进行计数。计数单元310a生成计数信号，该计数信号指示已计数的检测器元件的数目。计数单元310a可以包括多个子计数器(参见图9)。每个子计数器可以对接收到辐射并连接到单一数据线的检测器元件的数目进行计数。计数单元310a可以组合由多个子计数器生成的子计数器信号，以生成计数信号。

[0095] 参照图8，累加器300a通过第一数据线DATA line1和第二数据线DATAline2从元件阵列200a接收电流。开关TR1、TR2和TR3被从光电倍增器检测器元件101a、102a和103a输出的输出信号OUT1、OUT2和OUT3接通或断开。当开关TR1、TR2和TR3被接通时，电流根据检测到辐射(例如，伽马射线)的检测器元件的数目在第一数据线DATA line1中流动。

[0096] 例如，如果仅在光电倍增器检测器元件101a中检测到辐射，而在光电倍增器检测器元件102a和103a中未检测到辐射，则只有开关TR1被接通，从而电流I在第一数据线DATA line1中流动。如果电流I在第一数据线DATAline1中流动，则电流I也可以通过电流镜流入累加器300a的开关TR_x、TR_y和TR_z。在这种情况下，第一数据D1可以进入高状态，而第二数据D2和第三数据D3可以进入低状态。

[0097] 可替换地，如果在光电倍增器检测器元件101a和102a中检测到辐射，而在光电倍增器检测器元件103a中未检测到辐射，则开关TR1和TR2被接通，从而电流2I(即，电流I的两倍的电流)在第一数据线DATA line1中流动。如果电流2I在第一数据线DATA line1中流动，则电流4I(即，电流I的四倍的电流)可以通过电流镜流入累加器300a的开关TR_x、TR_y和TR_z。在这种情况下，第一数据D1和第二数据D2可以进入高状态，而第三数据D3可以进入低状态。

[0098] 可替换地，如果在三个光电倍增器检测器元件101a、102a和103a中都检测到辐射，则电流3I(即，电流I的3倍的电流)在第一数据线DATA line1中流动。在这种情况下，第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3可以进入高状态。

[0099] 图9是示出根据本发明的实施例的、图8的计数单元310a中所包括的子计数器311a的示图。子计数器311a接收第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3，以便将它们作为子计数信号输出。具体地，子计数器311a接收第一数据D1和第二数据D2并对它们执行XOR(异或)运算。对作为该XOR运算的结果而获得的值和第三数据D3执行XOR运算，以便生成信号XOR-OUT。信号XOR-OUT被输入到计数电路。该计数电路接收XOR-OUT信号，以将其作为子计数信号输出。通过对不同于子计数信号1的子计数信号执行逻辑运算，可以生成计数信号。

[0100] 图10A至图10C是根据本发明的实施例的、根据在第一数据线DATAline1中流动的电流分别示出第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3以及信号XOR-OUT的时序图。具体地，图10A示出当第一数据D1在高状态而且第二数据D2和第三数据D3在低状态时第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3以及信号XOR-OUT的时序图。图10B示出当第一数据D1和第二数据D2在高状态而且第三数据D3在低状态时第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3以及信号XOR-OUT的时序图。图10C示出当第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3在高状态时第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3以及信号XOR-OUT的时序图。

[0101] 参照图8、图7和图10A，如果电流I在第一数据线DATA line1中流动，则第一数据D1可以进入高状态而第二数据D2和第三数据D3可以进入低状态。因此，信号XOR-OUT与图10A所示的信号XOR-OUT相同。计数电路可以对信号XOR-OUT的上升沿或下降沿进行计数。因此，子计数信号1可以是表示1的信号。

[0102] 参照图8、图7和图10B，如果电流2I在第一数据线DATA line1中流动，则第一数据D1和第二数据D2可以进入高状态而第三数据D3可以进入低状态。因此，信号XOR-OUT与图10B所示的信号XOR-OUT相同。计数电路可以对信号XOR-OUT的上升沿或下降沿进行计数。因此，子计数信号1可以是表示2的信号。

[0103] 参照图8、图7和图10C，如果电流3I在第一数据线DATA line1中流动，则第一数据D1、第二数据D2第三数据D3可以进入高状态。因此，信号XOR-OUT与图10C所示的信号XOR-OUT相同。计数电路可以对信号XOR-OUT的上升沿或下降沿进行计数。因此，子计数信号1可以是表示3的信号。

[0104] 在下文中，将描述图8的辐射检测系统400a的操作。在元件阵列200a中所包括的光电倍增器检测器元件101a、102a、103a、104a、105a和106a中存在检测到辐射的检测器单元和没有检测到辐射的检测器单元。检测到辐射的检测器单元的数目可以与辐射密度成比例地增加。检测辐射的检测器单元通过输出信号OUT1、OUT2、OUT3、OUT4、OUT5和OUT6来输出是否检测到辐射。输出信号OUT1、OUT2、OUT3、OUT4、OUT5和OUT6接通或断开开关电路TR1、TR2、TR3、TR4、TR5和TR6。处于接通(ON)状态的开关使得电流能够通过第一数据线DATA line1和第二数据线DATA line2流动。此时，第一数据D1、第二数据D2和第三数据D3可以被接通或断开，以便被输入到计数单元310a。第二数据线DATA line2的情况与第一数据线DATA line1的情况类似。计数单元310a基于第一数据D1至第六数据D6来执行计算以便获得计数信号，其指示已计数的检测器元件的数目，然后计数单元310a输出该计数信号。因此，连续入射或几乎同时入射的光子可以通过这些过程进行检测。

[0105] 图11是示出根据本发明的另一个实施例的辐射检测系统400b的示图，辐射检测系统400b包括累加器300b和元件阵列200b，元件阵列200b包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101b、102b、103b、104b、105b和106b。

[0106] 参照图11，辐射检测系统400b包括元件阵列200b和累加器300b。元件阵列200b包括用于断层扫描的光电倍增器检测器元件101b、102b、103b、104b、105b和106b。元件阵列200b具有与图7的元件阵列200类似的结构。与上述相对于图7的元件阵列200的描述类似，在这个实施例中，元件阵列200b的检测器元件的数目、被连接到单一数据线的检测器元件的数目和数据线的数目仅出于说明目的而提供，并且不旨在限制本发明的范围。

[0107] 累加器300b包括计数单元310b。计数单元310b对接收到辐射的检测器单元的数目进行计数。计数单元310b生成计数信号，该计数信号指示已计数的检测器元件的数目。计数单元310b可以包括多个子计数器。每个子计数器可以对被连接到单一数据线且接收到辐射的检测器单元的数目进行计数。计数单元310b可以通过组合由多个子计数器生成的子计数器信号来生成计数信号。

[0108] 累加器300b通过第一数据线DATA line1和第二数据线DATA line2从元件阵列200b接收电流。开关TR1、TR2和TR3分别被分别从光电倍增器检测器元件101a、102a和103a输出的输出信号OUT1、OUT2和OUT3接通或断开。当开关TR1、TR2和TR3被接通时，与数据线相

对应的电流根据检测到辐射(例如,伽马射线)的检测器元件的数目流动。例如,如果仅在光电倍增器检测器元件101b中检测到辐射,而在光电倍增器检测器元件102b和103b中未检测到辐射,则只有开关TR1被接通,从而电流I在第一数据线DATA line1中流动。例如,如果在光电倍增器检测器元件101b和102b中检测到辐射,而在光电倍增器检测器元件103b中未检测到辐射,则开关TR1和TR2被接通,从而电流2I在第一数据线DATA line1中流动。类似地,如果在光电倍增器检测器元件101b、102b和103b中检测到辐射,则电流3I(即,电流I的3倍的电流)在第一数据线DATA line1中流动。

[0109] 累加器300b包括计数单元310b。如果电流I在第一数据线DATA line1中流动,则电流I也在与电流镜相对的开关Tr_i中流动。因此,V_count1表示通过将电阻R乘以电流I获得的值。也就是说,V_count1=R×I。类似地,如果电流2I在第一数据线DATA line1中流动,则电流4I在与电流镜相对的开关Tr_i中流动。因此,V_count1表示通过将电阻R乘以电流2I获得的值。也就是说,V_count1=R×2I。类似地,如果电流3I在第一数据线DATA line1中流动,则电流5I在开关Tr_i中流动。因此,V_count1表示通过将电阻R乘以电流3I获得的值。也就是说,V_count1=R×3I。换句话说,如果检测到辐射的检测器元件的数目是1,则V_count1=R×I,如果检测到辐射的检测器元件的数目是2,则V_count1=R×2I,而且如果检测到辐射的检测器元件的数目是3,则V_count1=R×3I。因此,计数单元310b可以根据电压的强度来检测辐射的密度。因此,计数单元310b生成计数信号。

[0110] 图12A至图12C是根据本发明的实施例的、根据在第一数据线DATAline1中流动的电流分别示出输出信号OUT1、OUT2和OUT3以及计数电压V_count的时序图。具体地,图12A示出当开关TR1接通而开关TR2和开关TR3断开时输出信号OUT1、OUT2和OUT3以计数电压V_count的时序图。图12B示出当开关TR1和开关TR2接通而开关TR3断开时输出信号OUT1、OUT2和OUT3以及计数电压V_count的时序图。图12C示出当开关TR1、开关TR2和开关TR3接通时输出信号OUT1、OUT2和OUT3以及计数电压V_count的时序图。

[0111] 参照图11和图12A,图12A的时序图示出在光电倍增器检测器元件101b中检测到辐射而在光电倍增器检测器元件102b和103b中未检测到辐射的情况。开关TR1被输出信号OUT1接通,开关TR2被输出信号OUT2接通,而开关TR3被输出信号OUT3接通。从而,电流I在第一数据线DATA line1中流动,而且电流I也在开关TR_i中流动。因此,计数电压V_count1可以被表示为R×I。因此,计数单元310b可以通过使用上升沿的数目或者最大电压的强度来测量辐射的密度。

[0112] 参照图11和图12B,图12B的时序图示出在光电倍增器检测器元件101b和102b中检测到辐射而在光电倍增器检测器元件103b中未检测到辐射的情况。开关TR1被输出信号OUT1接通,开关TR2被输出信号OUT2接通,而开关TR3被输出信号OUT3断开。因此,电流2I在第一数据线DATA line1中流动,而且电流2I也在开关TR_i中流动。因此,计数电压V_count1可以被表示为R×2I。在这方面,由于辐射并未在光电倍增器检测器元件101b和102b中被同时检测到,因此它们之间可能存在时间差。由于这样的时间差,计数电压V_count1可以步进式(stepwise)增加。因此,计数单元310b可以对上升沿的数目进行计数并且通过使用最大电压的强度来测量辐射的密度。

[0113] 参照图11和图12C,图12C的时序图示出在光电倍增器检测器元件101b、102b和103b中检测到辐射的情况。开关TR1被输出信号OUT1接通,开关TR2被输出信号OUT2接通,而

且开关TR3被输出信号OUT3被接通。因此，电流3I在第一数据线DATA line1中流动，而且电流3I也在开关TR_i中流动。因此，计数电压V_count1可以被表示为R×3I。在这方面，如在图12B的情况下，由于辐射并未在光电倍增器检测器元件101b和102b中被同时检测到，因此它们之间可能存在时间差。由于这样的时间差，计数电压V_count1可以步进式增加。因此，计数单元310b可以对上升沿的数目进行计数并且通过使用最大电压的强度来测量辐射的密度。

[0114] 在下文中，将描述图11的辐射检测系统400b的操作。该操作与图8的辐射检测系统400a的操作类似。第一数据线DATA line1根据检测到辐射的检测器元件的数目来改变计数电压V_count1。具体来说，如果检测到辐射的检测器元件的数目是1，则V_count1=R×I，如果检测到辐射的检测器元件的数目是2，则V_count1＝R×2I，而且如果检测到辐射的检测器元件的数目是3，则V_count1=R×3I。计数单元310b基于指示被计数的检测器元件的数目的计数电压V_count1的强度来执行计算以便获得计数信号并输出该计数信号。因此，连续入射或几乎同时入射的光子可以通过这些过程进行检测。

[0115] 应当理解，附图中的元件的形状仅用于说明目的，以便清楚地解释本发明构思。即，除了附图中的形状以外的许多不同的形状也是可能的。贯穿附图，相同的参考标号表示相同的构成元件。

[0116] 应当理解，这里描述的示范性实施例应该被视为仅仅为了描述，而不是限制。对每个实施例内的特征或方面的描述通常应该被视为可用于其它实施例中的其他类似的特征或方面。

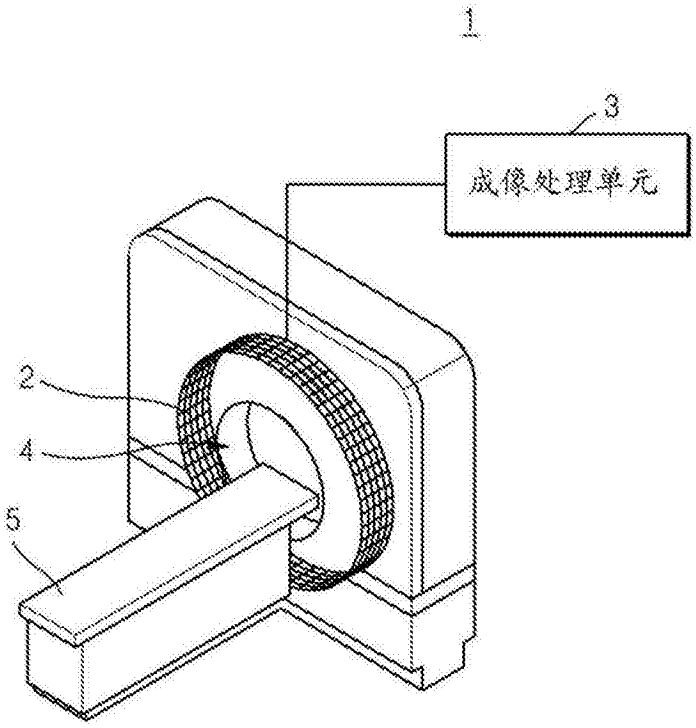


图1

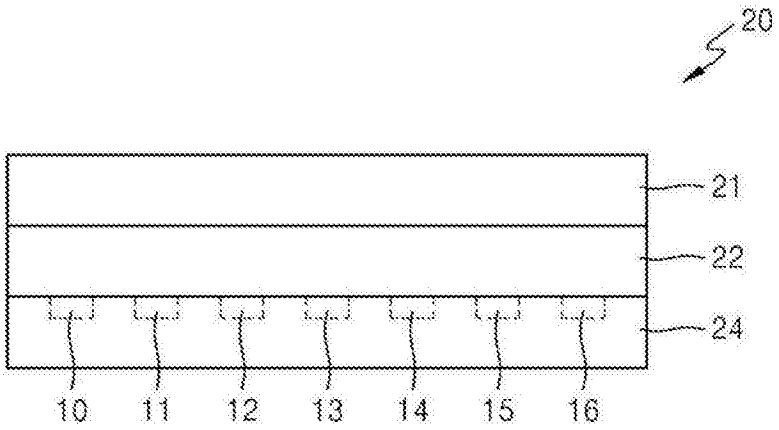


图2

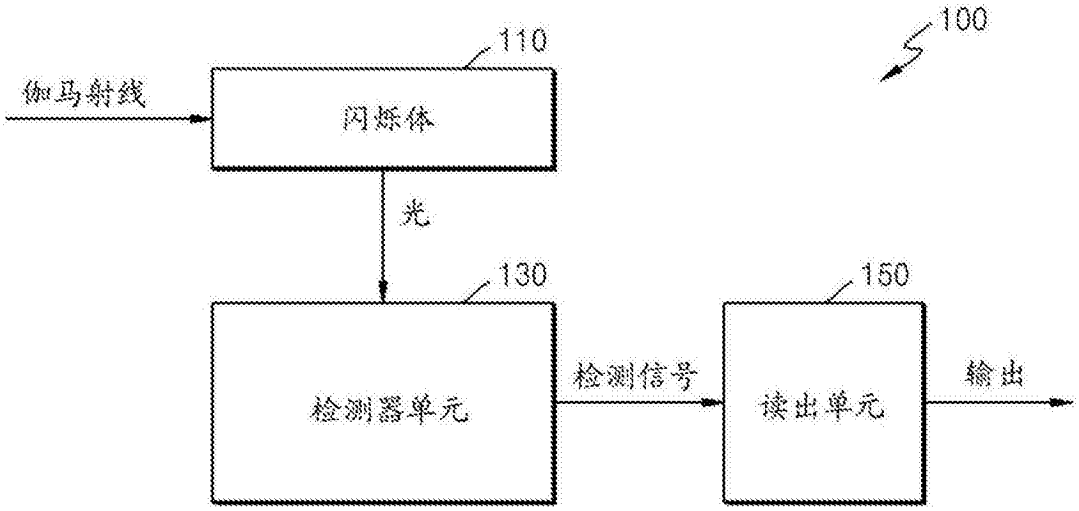

100
110
伽马射线
闪烁体
光
130
150
检测器单元
检测信号
读出单元
输出

图3

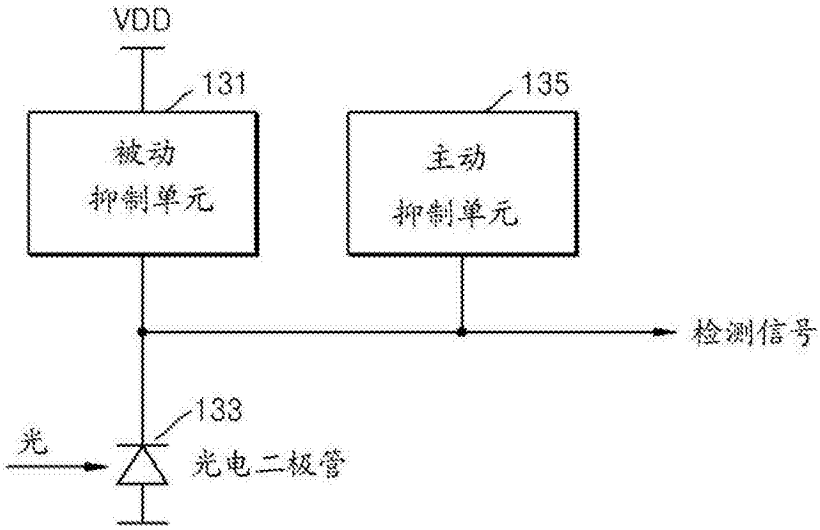

VDD
131
135
被动
抑制单元
主动
抑制单元
检测信号
133
光
光电二极管

图4

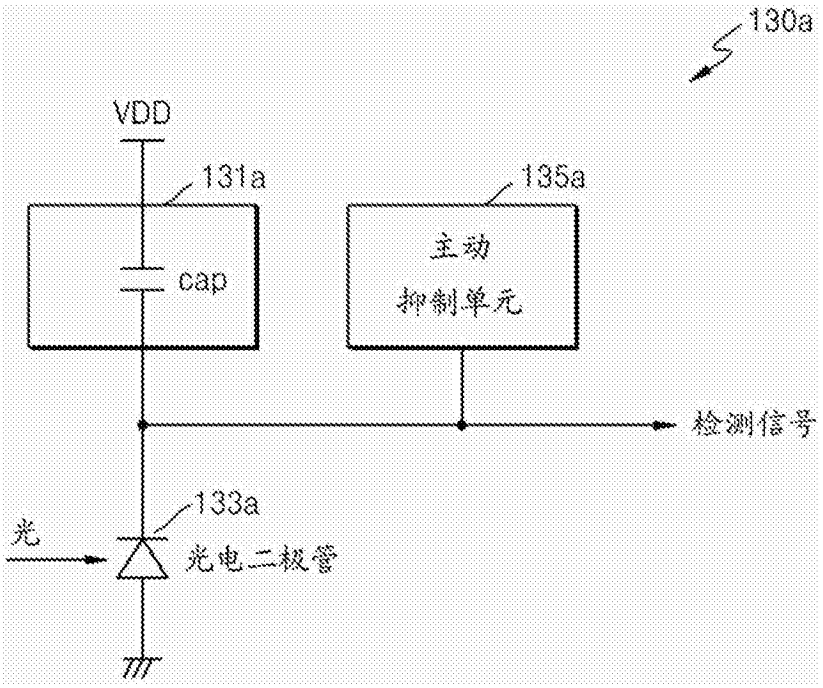


图5A

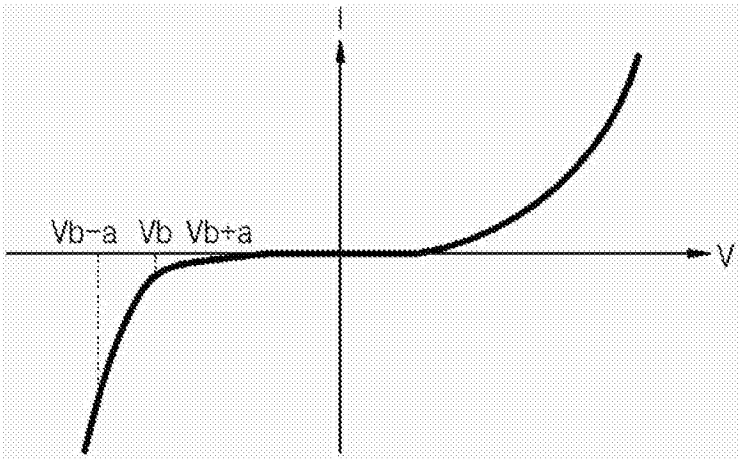


图5B

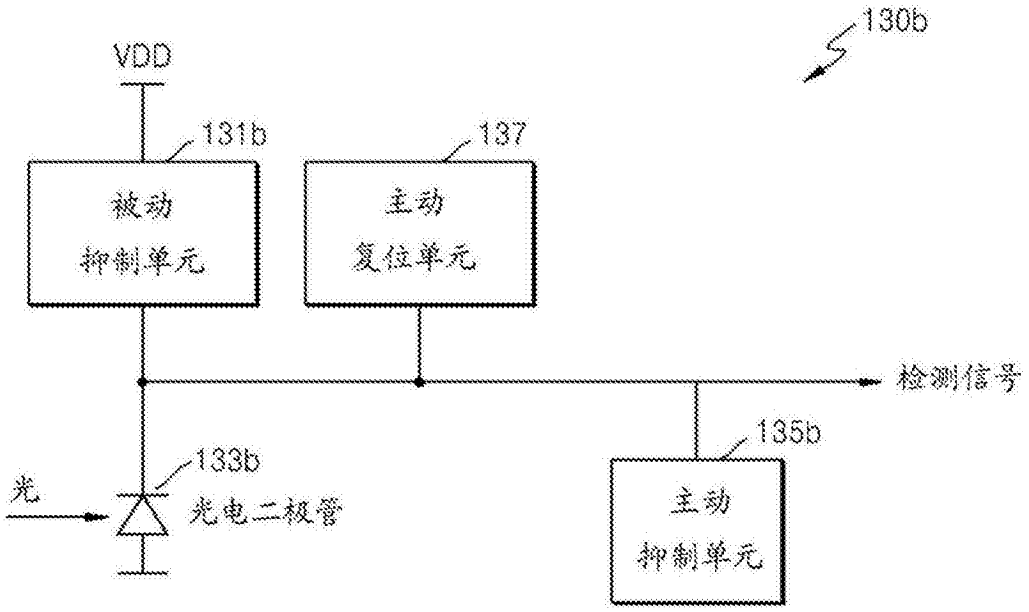

130b
VDD
131b
137
被动
抑制单元
主动
复位单元
检测信号
135b
133b
光
光电二极管
主动
抑制单元

图6A

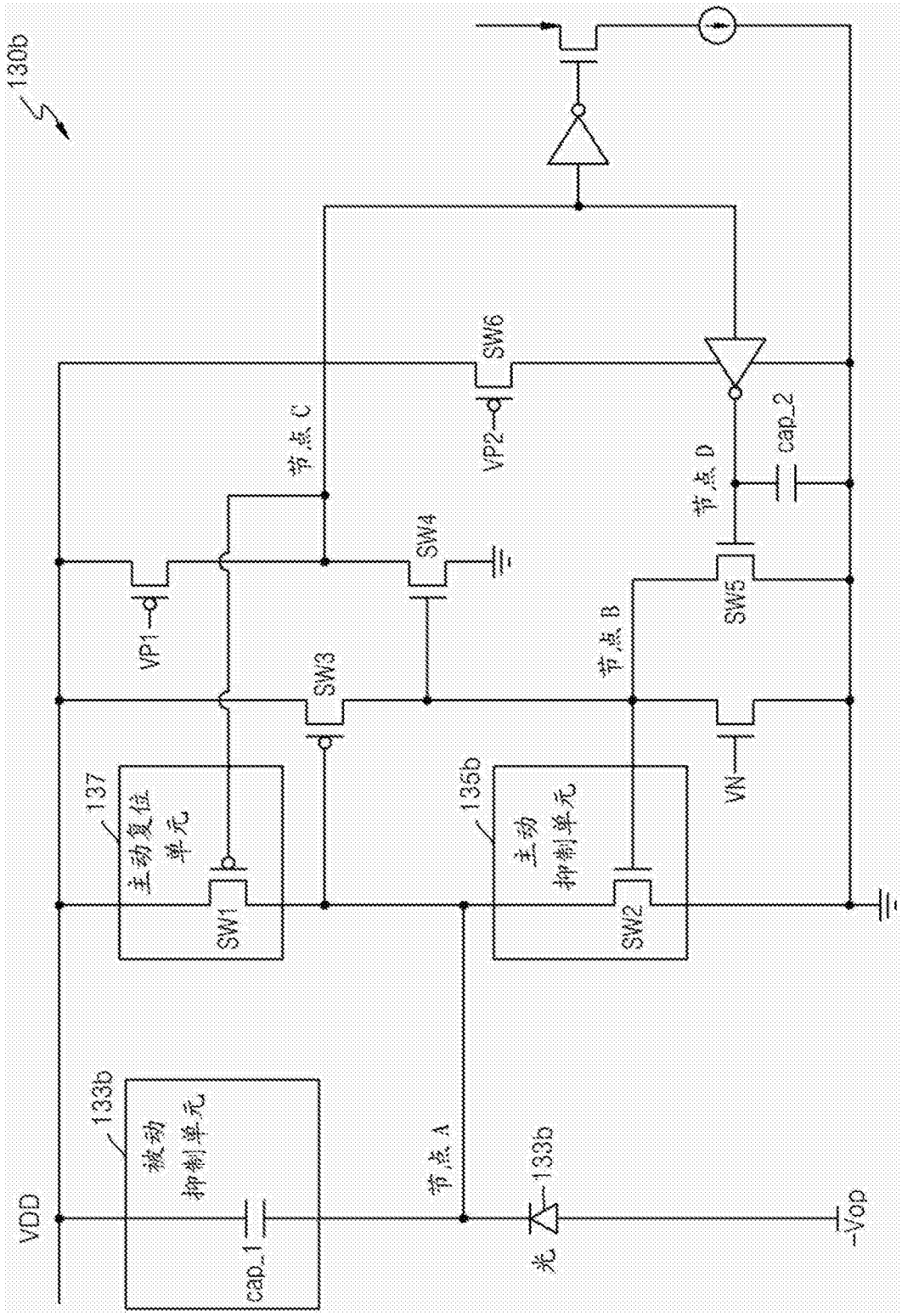

130b
SW6
VP2
节点 C
节点 D
cap_2
SW4
VP1
SW5
节点 B
SW3
VN
137
主动复位
单元
135b
主动
抑制单元
SW1
SW2
133b
被动
抑制单元
cap_1
节点 A
133b
光
VDD
-Vop

图6B

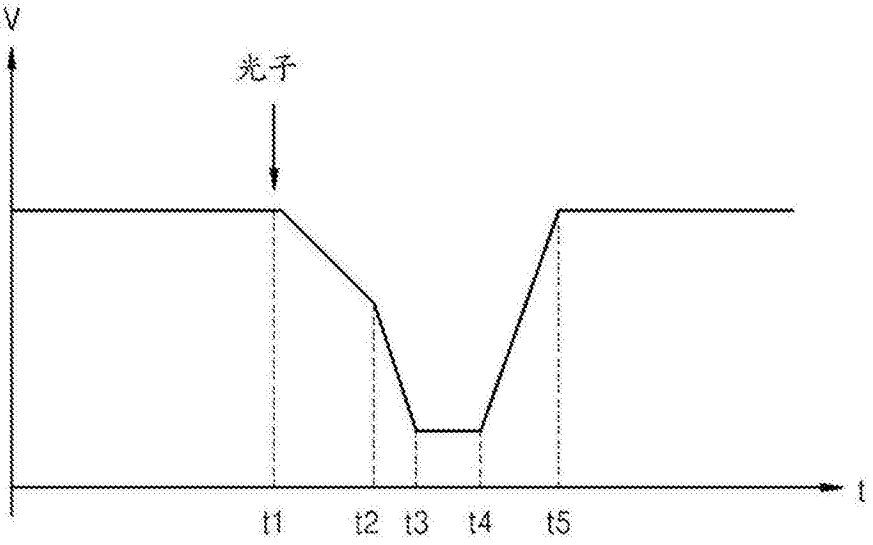


图6C

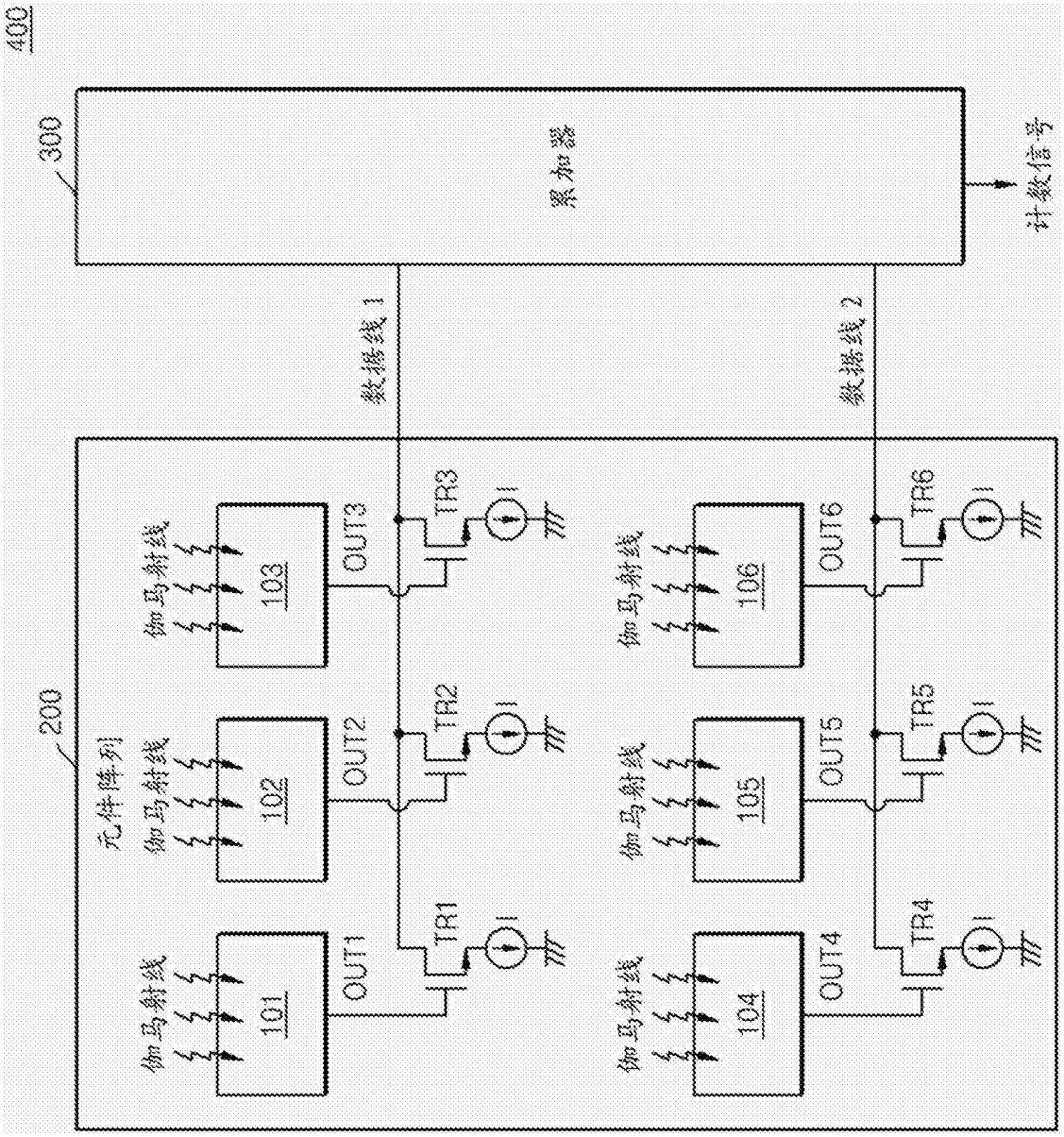

400
300
累加器
计数信号
数据线 1
数据线 2
200
元件阵列
伽马射线
101
102
103
104
105
106
OUT1
OUT2
OUT3
OUT4
OUT5
OUT6
TR1
TR2
TR3
TR4
TR5
TR6
I

图7

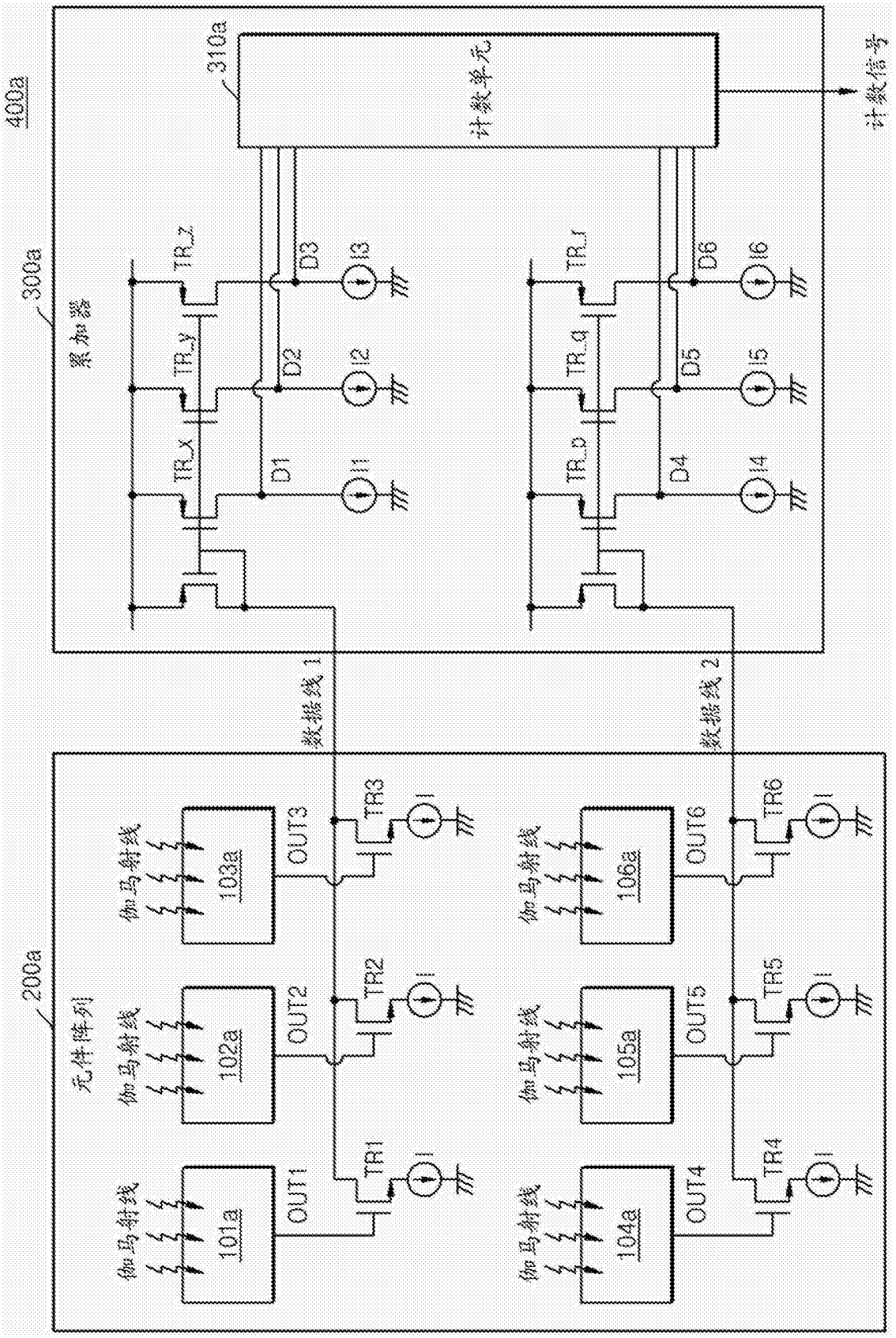

400a
300a
累加器
310a
计数单元
计数信号
TR_z
TR_y
TR_x
TR_f
TR_g
TR_p
D1
D2
D3
D4
D5
D6
I1
I2
I3
I4
I5
I6
数据线 1
数据线 2
200a
元件阵列
伽马射线
101a
102a
103a
104a
105a
106a
OUT1
OUT2
OUT3
OUT4
OUT5
OUT6
TR1
TR2
TR3
TR4
TR5
TR6
I

图8

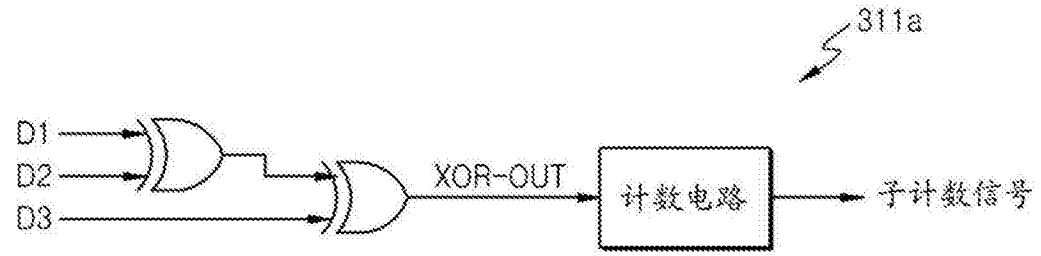


图9

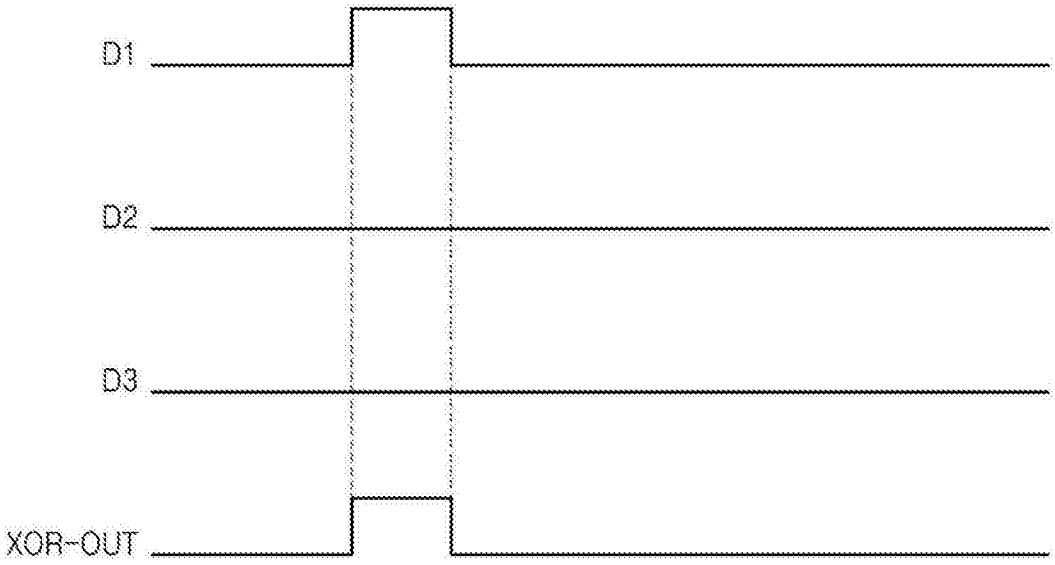


图10A

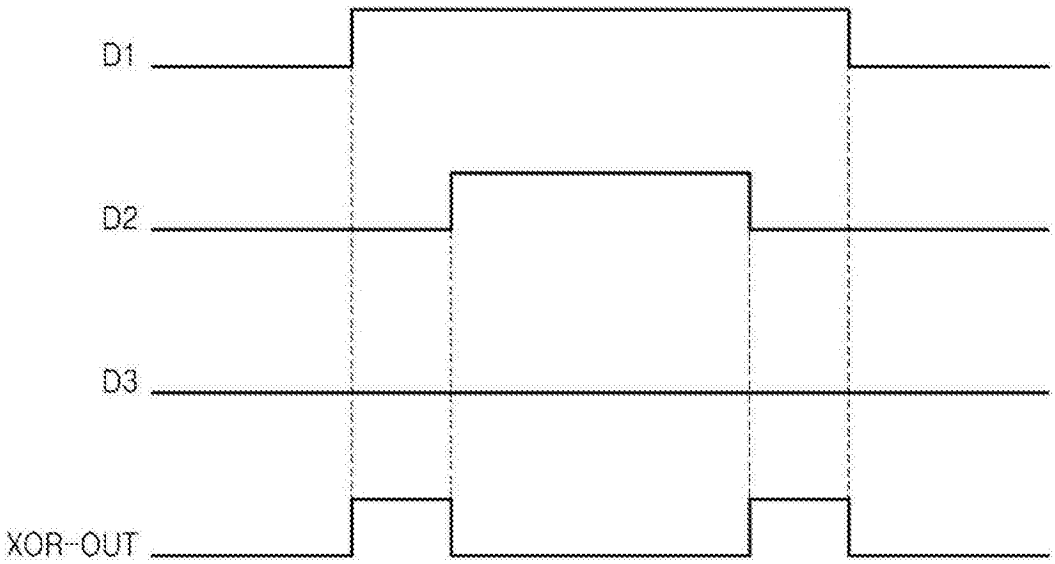


图10B

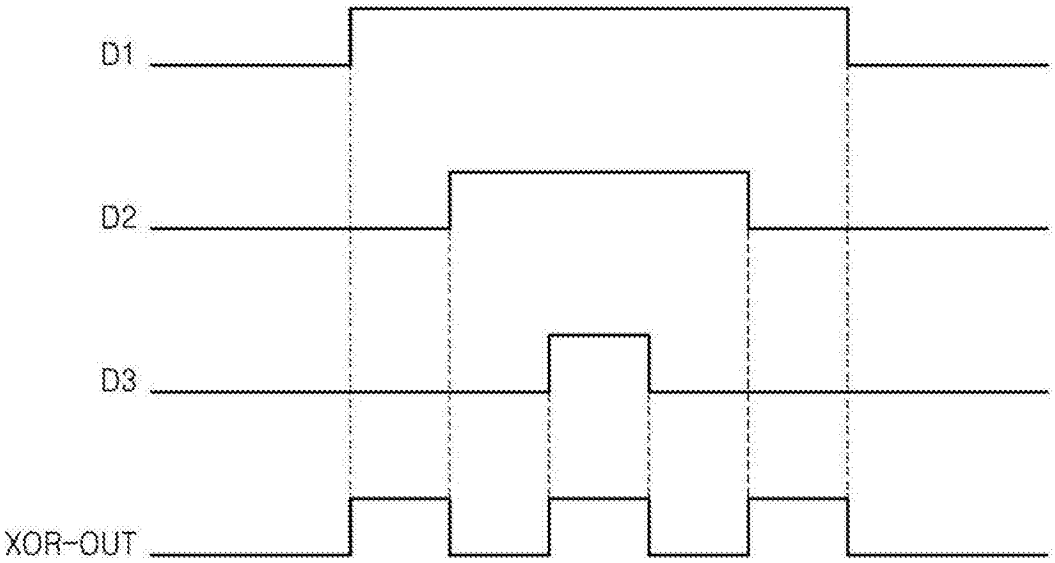


图10C

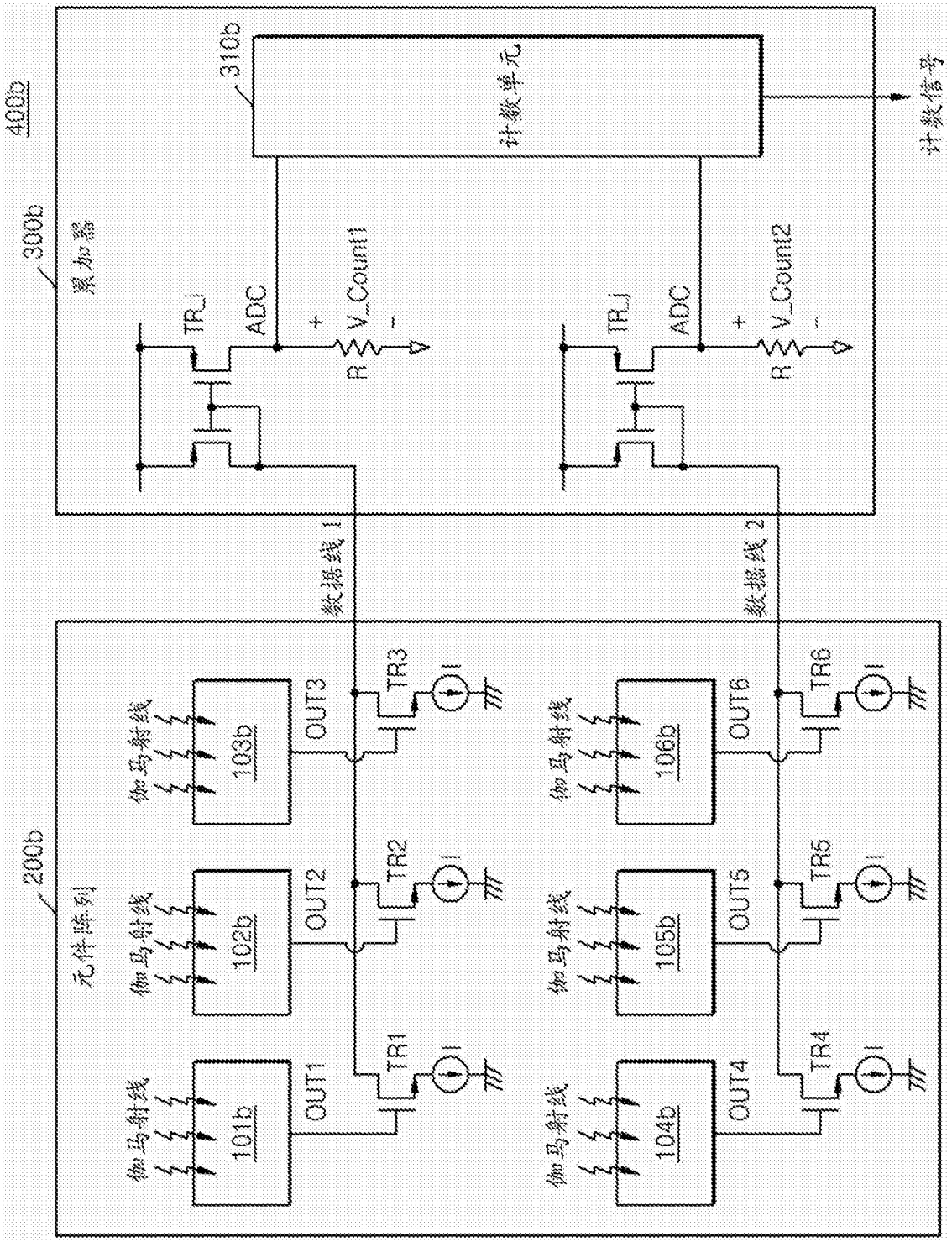

400b
300b
累加器
310b
计数单元
计数信号
TR_i
ADC
V_Count1
R
TR_j
ADC
V_Count2
R
数据线 1
数据线 2
200b
元件阵列
伽马射线
101b
102b
103b
104b
105b
106b
OUT1
OUT2
OUT3
OUT4
OUT5
OUT6
TR1
TR2
TR3
TR4
TR5
TR6
I

图11

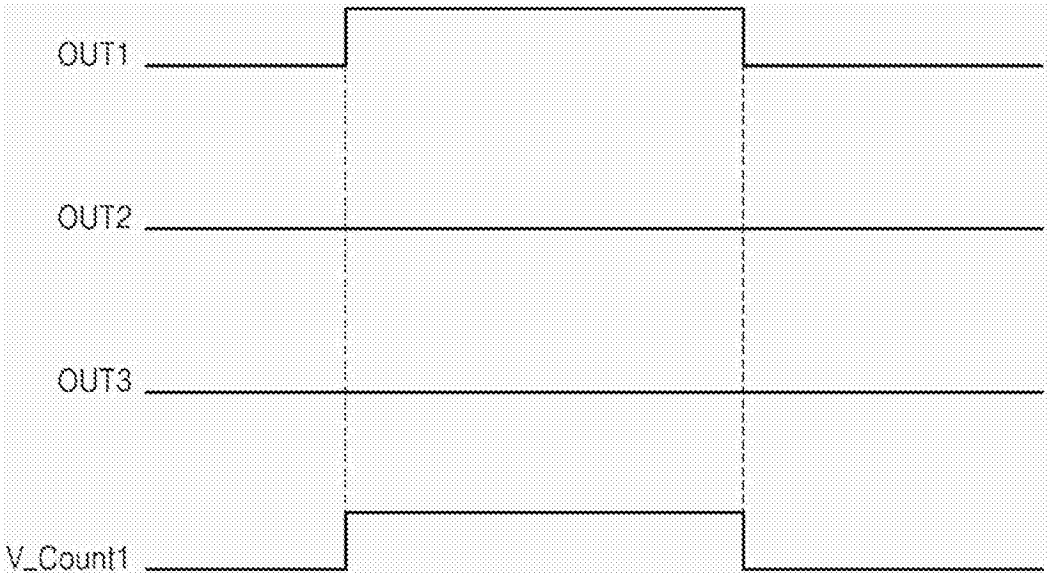


图12A

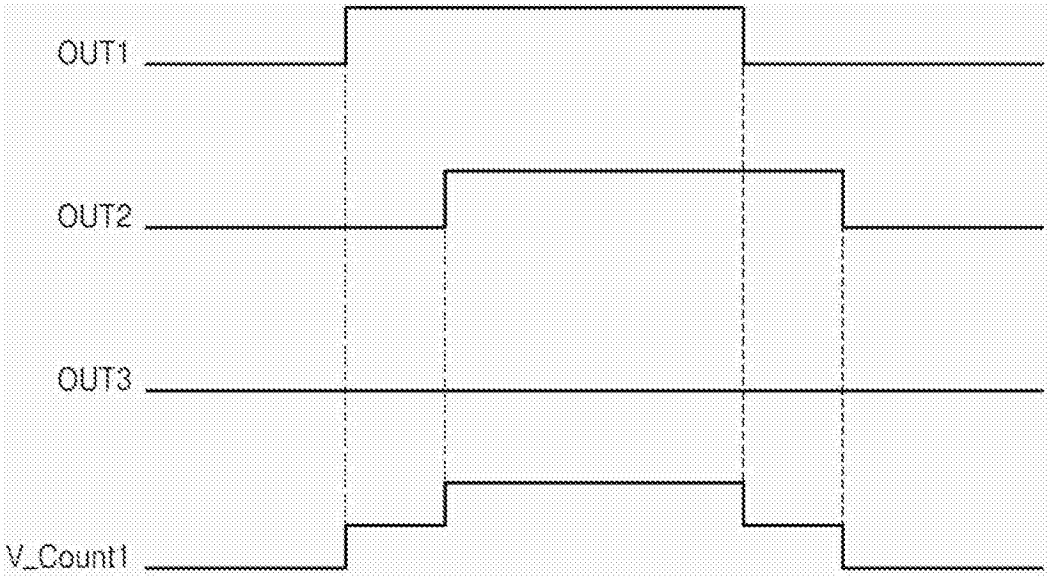


图12B

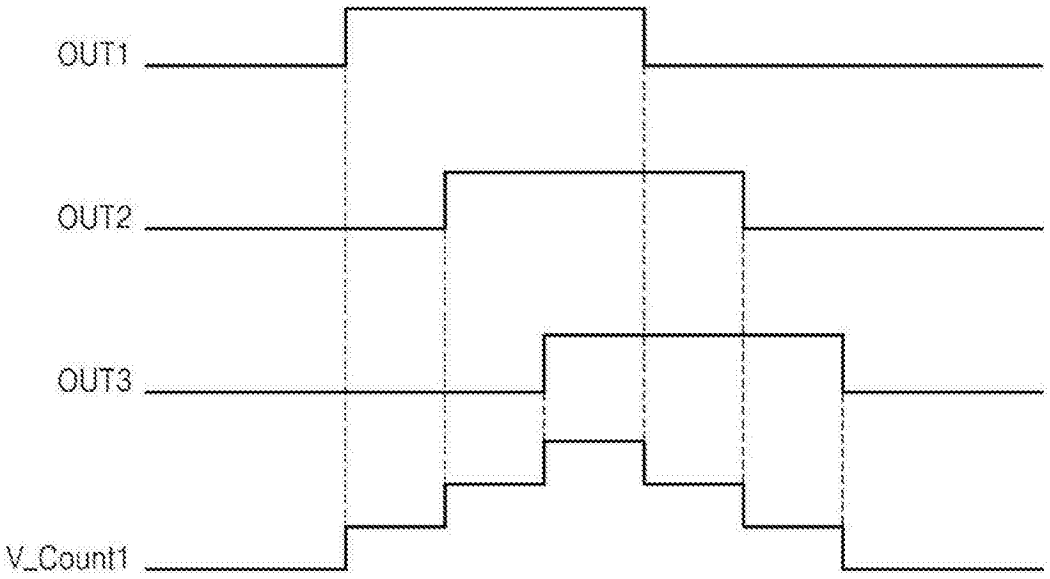


图12C