



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109477903 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 04

(21) 申请号 201780036746.X

(22) 申请日 2017.06.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109477903 A

(43) 申请公布日 2019.03.15

(30) 优先权数据
16174692.0 2016.06.16 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.12.13

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2017/064838 2017.06.16

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/216378 EN 2017.12.21

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 R·斯特德曼布克 E·勒斯尔

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

专利代理师 王英 刘炳胜

(51) Int.Cl.
G01T 1/17 (2006.01)

(56) 对比文件
WO 2008146230 A2, 2008.12.04
US 2010051818 A1, 2010.03.04
CN 101680954 A, 2010.03.24

审查员 牛牧川

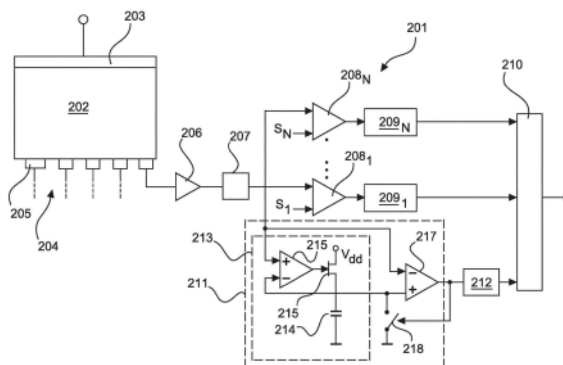
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

光谱辐射探测器中的改进的光子计数

(57) 摘要

本发明涉及一种用于记录入射光子的辐射探测器,包括:(i)探测电路(202、206、207),其被配置为响应于入射光子而提供电输出信号,所述输出信号包括具有指示由所述入射光子在所述辐射探测器中沉积的能量的幅值的脉冲,以及(ii)能量估计电路(208₁、...、208_N; 209₁、...、209_N),其被配置为探测输出信号大于对应于能量值的至少一个阈值,以便确定入射光子的能量。所述辐射探测器还包括记录电路(211),其被配置为独立于输出信号与至少一个阈值的比较来探测入射光子。此外,本发明涉及一种用于使用辐射探测器来探测光子的方法。



1. 一种用于记录入射光子的辐射探测器(1),包括:

-探测电路,其被配置为响应于入射光子而提供电输出信号,所述输出信号是电压信号,所述电压信号包括具有指示由所述入射光子在所述辐射探测器中沉积的能量的幅值的脉冲,

-能量估计电路(208₁、...、208_N;209₁、...、209_N),其被配置为探测所述输出信号大于对应于能量值的至少一个阈值,以便确定入射光子的能量,以及

-记录电路(211),其独立于所述输出信号与所述至少一个阈值的比较来探测入射光子,

其中,所述记录电路(211)包括最大值探测器,所述最大值探测器被配置为对所述输出信号的局部最大值进行探测和/或计数,

所述最大值探测器包括峰值保持器电路(213),所述峰值保持器电路包括电容器(214),当所述信号的电压增加时,所述电容器基本上被充电到所述输出信号的值,并且当所述输出信号的所述值减小时,所述电容器保持其电荷,并且

所述最大值探测器包括比较器电路(217),所述比较器电路被配置为当所述输出信号的所述值落在跨所述电容器(214)的电压之下时探测所述输出信号的局部最大值。

2. 根据权利要求1所述的辐射探测器(4),其中,当所述输出信号的所述值落在跨所述电容器(214)的电压之下时,所述电容器(214)放电。

3. 根据权利要求1所述的辐射探测器(1),其中,所述探测电路包括:

-转换元件(202),其响应于光子入射到所述转换元件(202)上而产生脉冲状电流信号,

-积分放大器(206),其被耦合到所述转换元件(202)并且响应于所述脉冲状电流信号而产生阶梯状信号部分,以及

-整形电路(207),其被配置为处理所述阶梯状信号部分以生成所述输出信号。

4. 根据权利要求3所述的辐射探测器(1),其中,所述记录电路还被配置为对由所述积分放大器(206)产生的信号的阶梯状部分作为入射光子进行探测和/或计数。

5. 根据权利要求1所述的辐射探测器(1),其被配置为关于多个预定光子能量范围中的每个来输出入射光子的数量和/或速率,所述光子能量范围是基于所述至少一个阈值来定义的。

6. 根据权利要求5所述的辐射探测器(1),其被配置为额外地输出在所述记录电路(211)中探测到的光子的数量和/或速率。

7. 根据权利要求5所述的辐射探测器(1),其被配置为基于所述记录电路(211)中的光子的探测来关于所述多个预定光子能量范围中的每个来确定入射光子的所述数量和/或速率。

8. 根据权利要求7所述的辐射探测器(1),其被配置为:在所述输出信号大于对应于的所述能量范围的下限的阈值时,基于在所述记录电路(211)中探测到的光子的数量来确定关于一个预定能量范围的入射光子的所述数量和/或速率。

9. 根据权利要求1所述的辐射探测器,其被配置为在探测到局部最大值时将探测到的局部最大值分配给涉及所述输出信号所穿过的最高阈值的能量范围,并且基于对所述局部最大值的所述探测来探测具有所述范围中的能量的光子。

10. 一种用于使用根据权利要求1所述的辐射探测器(1)来探测光子的方法,所述方法

包括：

-接收探测电路的电输出信号，所述输出信号是电压信号，所述电压信号包括具有指示由入射光子在所述辐射探测器中沉积的能量的幅值的脉冲，

-探测所述输出信号大于对应于能量值的至少一个阈值，以便确定入射光子的能量，

-在记录电路(211)中独立于所述输出信号与所述至少一个阈值的比较而额外地对入射光子进行探测和/或计数，

其中，所述记录电路(211)的最大值探测器对所述输出信号的局部最大值进行探测和/或计数，并且

其中，所述最大值探测器包括峰值保持器电路(213)和比较器电路(217)，所述峰值保持器电路包括电容器(214)，当所述信号的电压增加时，所述电容器基本上被充电到所述输出信号的值，并且当所述输出信号的所述值减小时，所述电容器保持其电荷，

当所述输出信号的所述值落在跨所述电容器(214)的电压之下时，所述比较器电路(217)探测所述输出信号的局部最大值。

光谱辐射探测器中的改进的光子计数

技术领域

[0001] 本发明总体涉及光谱辐射探测器。更具体地,本发明涉及用于探测入射光子的辐射探测器和使用该辐射探测器探测光子的方法。

背景技术

[0002] 所谓的光谱或光子计数X射线探测器允许单独地探测入射的X射线光子并且根据预定的能量箱(对应于特定能量范围)来确定它们的能量。为此目的,探测器包括直接转换材料,其在每次光子进入材料时产生脉冲式电流信号,其中电流脉冲对应于指示光子能量的电荷量。相继到达光子的电流信号在探测器的读出电子器件中被处理,以产生包括脉冲序列的输出信号,其中每个事件(例如入射光子)对应于具有特定宽度和与入射光子的能量成比例的幅度的脉冲。

[0003] 可以探测输出信号内的脉冲,并且可以将它们的幅值与阈值进行比较,以便对入射光子进行计数并确定针对这些光子的能量箱。为此,电路可以与每个能量箱相关联,其包括计数器,当输出信号超过对应于相应能量箱的下界的阈值时,所述计数器增量。基于计数器输出,可以确定每个能量箱的入射光子的速率。可以将该速率信息提供给重建单元,所述重建单元基于该信息来生成X射线图像。

[0004] 在上述输出信号的评估中,当相继的光子的脉冲在输出信号中交叠时发生问题,使得信号不落到脉冲之间的预定阈值中的一个或多个之下。这也称为堆积。在堆积的情况下,不能将脉冲彼此区分并且被计为一个单脉冲。这导致生成的图像中的计数丢失和相应的伪影。

[0005] 这种伪影损害了光谱X射线图像的质量,其是基于分别针对能量箱确定的个体光子速率而生成的。此外,光子计数探测器可用于在特定应用中独立于所确定的能量信息来生成传统的X射线图像。可以基于针对所有能量箱确定的总光子速率来生成这样的图像(对应于在输出信号中产生高于最低阈值(即对应于最低能量箱和下界的阈值)的脉冲的光子的速率)。这些图像也会受到丢失计数的影响。

[0006] W02008/146230A2公开了一种光子计数X射线探测器,其包括放大器/整形器电路,其基于由探测器元件产生的信号来产生脉冲的队列。在一个或多个光子计数器中评估脉冲序列,所述光子计数器基于脉冲高度来对指示特定能量箱内的光子的脉冲进行计数。此外,局部最大值探测器探测脉冲队列中的局部最大值并产生指示在探测器元件中接收的光子总数的计数值。在该计数值的基础上,调整针对能量仓确定的计数,特别是为了解决脉冲堆积。

[0007] W02008/146218A2涉及一种光子计数X射线探测器,其具有响应于入射光子而产生脉冲的慢速整形器,其用于相对于限定能量箱的阈值来进行能量辨别。此外,所述探测器包括快速整形器,其在缩短的积分区间期间产生针对相对于最低能量阈值的能量辨别的脉冲。快速整形器中生成的信号在比较器中被处理,该比较器输出包括每次来自快速整形器的信号的脉冲幅度增加并越过其阈值时的上升沿和每次该信号减小并越过其阈值时的下

降沿的信号。比较器的输出信号被馈送到脉冲抑制器,该脉冲抑制器产生门控信号,所述门控信号用于在脉冲抑制器确定堆积脉冲的情况下将与能量仓相关联的脉冲的计数的计数器进行门控关闭。

发明内容

[0008] 本发明的一个目的是通过探测输出信号中的局部最大值并且允许对这样的局部最大值的容易的探测来改进光子计数辐射探测器,使得丢失计数的数量得以减少。

[0009] 在一个方面中,本发明提出一种用于记录入射光子的辐射探测器,包括:(i)探测电路,其被配置为响应于入射光子而提供电输出信号,所述输出信号是电压信号,所述电压信号包括具有指示由所述入射光子在所述辐射探测器中沉积的能量的幅值的脉冲,(ii)能量估计电路,其被配置为探测大于对应于能量值的至少一个阈值的输出信号,以便确定入射光子的能量。辐射探测器还包括记录电路,其被配置为独立于输出信号与至少一个阈值的比较来探测入射光子。所述记录电路包括最大值探测器,所述最大值探测器被配置为对所述输出信号的局部最大值进行探测和/或计数。所述最大值检测器包括峰值检测器电路,所述峰值检测器电路包括电容器,当信号电压增加时,所述电容器基本上充电到输出信号的值,并且当输出信号的值减小时,所述电容器保持其电荷,并且所述最大值检测器包括:比较器电路,其被配置为当输出信号的值低于跨电容器的电压时检测输出信号的局部最大值。

[0010] 当输出信号在发生局部最大值之后减小时,出现输出信号的值落到跨电容器的电压的情况。因此,比较器可以通过探测这种情况来探测输出信号的局部最大值。

[0011] 由于辐射探测器被配置为独立于与基于其确定光子能量的所述至少一个阈值的比较来探测入射光子,因此可以在没有基于该比较的光子探测的缺点的情况下探测入射光子。这允许减少丢失计数的数量。通过探测所述输出信号的局部最大值(而不是超过阈值),特别可以当这些脉冲交叠使得输出信号不落在脉冲之间的特定值之下时,区分输出信号的脉冲。因此,可以分别探测在输出信号中产生这样的脉冲的入射光子。特别地,每个局部最大值被探测和/或计数为入射光子。

[0012] 一个实施例包括当输出信号的值低于跨电容器的电压时电容器放电。这意味着在发生输出信号的局部最大值之后电容器放电或“复位”。在放电之后,可以如上所述再次对电容器充电,以便允许探测输出信号的下一个局部最大值。

[0013] 在一个实施例中,所述探测电路包括:(i)转换元件,其响应于光子入射到所述转换元件上而产生脉冲状电流信号,(ii)积分放大器,其被耦合到所述转换元件并且响应于所述脉冲状电流信号而产生阶梯状信号部分,以及(iii)整形电路,其被配置为处理所述阶梯状信号部分以生成上述输出信号。所述记录电路可以基于所述整形器电路的输出信号并且任选地还基于所述放大器的输出信号来探测入射光子。

[0014] 当所述记录电路还基于所述积分放大器的所述输出信号探测入射光子时,所述记录电路可以还被配置为对由积分放大器产生的信号的阶梯状部分作为入射光子进行探测和/或计数。在该实现方式中,除了上述输出信号之外还使用积分放大器的输出信号,以便探测入射光子。通常,积分放大器的输出信号允许更快地探测入射光子。但是,它受噪声的影响更大。

[0015] 在一个实施例中,所述辐射探测器被配置为关于多个预定光子能量范围中的每个输出入射光子的数量和/或速率,光子能量范围是基于所述至少一个阈值来定义的。在相关实施例中,所述辐射探测器被配置为额外地输出在记录电路中探测到的光子数量和/或速率。

[0016] 在另一相关实施例中,所述辐射探测器被配置为基于所述记录电路中的光子的探测来确定关于多个预定光子能量范围中的每个的入射光子的数量和/或速率。特别地,辐射探测器可以被配置为:在输出信号大于对应于的能量范围的下限的阈值时,基于在记录电路中探测到的光子数量来确定关于一个预定能量范围的入射光子的数量和/或速率。

[0017] 在另一实施例中,所述辐射探测器被配置为将在探测到的局部最大值时输出信号所穿过的最高阈值有关的能量范围分配给探测到局部最大值,并且基于局部最大值的探测来探测具有所述范围中的能量的光子。对于每个阈值和每个相关联的能量范围,相关联的比较器可以检查输出信号是否超过阈值。因此,可以将局部最大值分配给与比较器相关联的最高能量范围,所述比较器在局部最大值出现时输出具有大于零的值的信号。

[0018] 在另一个方面中,本发明提出了一种使用如权利要求1所述的辐射探测器来探测光子的方法。所述方法包括:(i)接收探测电路的电输出信号,所述输出信号包括具有指示由入射光子在辐射探测器中沉积的能量的幅值的脉冲,(ii)探测大于对应于能量值的至少一个阈值的输出信号以便确定入射光子的能量,并且(iii)在记录电路中独立于所述输出信号与所述至少一个阈值的比较而额外地对入射光子进行探测和/或计数,其中,所述记录电路中的最大值探测器对所述输出信号的局部最大值进行探测和/或计数。所述最大值探测器包括峰值探测器电路和比较器电路,所述峰值探测器电路包括电容器,当所述信号的所述电压增加时,所述电容器基本上被充电到所述输出信号的值,并且当所述输出信号的所述值减小时,所述电容器保持其电荷。所述比较器电路当输出信号的值下降到低于跨电容器的电压时探测到所述输出信号的局部最大值。

[0019] 应该理解,如权利要求1所述的辐射探测器和如权利要求10所述的访求具有相似和/或相同的优选实施例,特别是,如从属权利要求中所定义的。

[0020] 应该理解,本发明的优选实施例也可以是从属权利要求或以上实施例与各自的独立权利要求的任何组合。

[0021] 本发明的这些和其他方面将根据下文描述的实施例变得显而易见,并且将参考下文描述的实施例得到阐述。

附图说明

[0022] 在以下附图中:

[0023] 图1示意性和示例性地示出了包括根据本发明的辐射探测器的计算机断层摄影成像设备,

[0024] 图2示意性和示例性地示出了辐射探测器的探测器元件,并且

[0025] 图3a-3c示意性和示例性地示出了辐射探测器的探测器元件的操作的模拟结果。

具体实施方式

[0026] 图1示意性和示例性地图示了光谱或光子计数辐射探测器1,其能够探测各个入射

的X射线光子并根据预定的能量范围或分箱来确定它们的能量。在图示的实施例中,辐射探测器1包括在计算机断层摄影(CT)成像设备2中,用于生成对象的三维图像,用于医学或其他目的。然而,辐射探测器1可以类似地用于除CT成像之外的其他应用中。

[0027] 除了将在下面进一步详细解释的X射线探测器1之外,CT成像设备2还包括辐射源3,例如X射线管,其产生穿过辐射源3与辐射探测器1之间的包括待成像的对象的检查区域5的X射线束4。穿过检查区域的X射线辐射由辐射探测器1收集。辐射探测器1和辐射源3可以安装在可旋转机架6上的相对位置处,所述可旋转机架6可以围绕位于检查区域5内的对象旋转。此外,对象和机架6可以在机架6的轴向(z方向)上相对于彼此移动。因此,当机架6围绕对象旋转时,可以获得不同的角度投影,其中每个投影对应于辐射源3和辐射探测器1相对于待成像对象的一个角度位置,并且通过在z方向上相对对象和机架6对于彼此移动,可以对对象的不同切片进行成像。

[0028] 辐射探测器1被耦合到重建单元7,重建单元7基于由辐射探测器1收集的测量数据来重建三维CT图像,并且其可以被配置为包括一个或多个处理器单元的计算机设备以运行由重建单元7执行的例程的计算机程序。由辐射探测器1提供的测量数据是对象的投影,并且可以以本领域技术人员已知的方式来从这些投影重建图像。

[0029] 使用关于由辐射探测器1探测到的光子的能量的信息,重建单元7能够生成光谱CT图像。这样做,重建单元7可以针对每个能量箱生成子图像。可以单独地进一步处理或评估这些子图像,或者重建单元7可以组合子图像以形成组合图像,例如基于子图像的能量相关的加权。另外,重建单元7可以被配置为生成不包括从光子能量导出的信息的传统CT图像。对于利用CT设备2执行的每次CT扫描,重建单元7可以生成一幅或多幅光谱CT图像、常规CT图像、或光谱和常规图像两者,特别是取决于对(一幅或多幅)CT图像的预期的进一步评估。

[0030] 如上所述,辐射探测器1适于探测单个入射的X射线光子并允许根据多个预定义的能量箱来确定它们的能量。在这方面,入射到辐射探测器1中的光子产生电荷载流子(电子和空穴)的电荷云,其漂移到探测器电极,其中电荷的量取决于入射的X射线光子的能量。所产生的电荷由辐射探测器1的读出电子器件收集,所述电子器件继而生成电信号(例如电压信号),其幅值与撞击的X射线光子的能量成比例。在此信号的基础上,读出电子器件能够确定光子能量。另外,读出电子器件被配置为确定入射光子的速率,如下文所述。

[0031] 更具体地,辐射探测器1可以包括多个探测器元件201,其通常也被称为瓦片并且优选地被置为可以是平坦的或凹入的阵列。因此,探测器元件201以基本上彼此垂直布置的行和列的形式布置。如图2中示意性和示例性地描绘的,每个探测器元件201包括用于将X射线转换成电信号的转换器元件202,以及耦合到转换器元件202的读出电子器件。例如,读出电子器件可以以连接到转换器元件202的阳极侧的CMOS ASIC结构来实现。

[0032] 转换器元件202被提供于阴极接触组件203和阳极接触组件204之间,并且由半导体材料制成。合适的半导体材料包括例如碲化镉(CdTe),碲化镉锌(CdZnTe),锡化碲镉(CdTeSe),CdZnTeSe,碲化锰镉(CdMnTe),硅(Si),砷化镓(GaAs),钙钛矿和碘化汞(HgI)。在操作中,阴极接触组件203通常保持在比阳极接触组件204低的电位(即,相对于阳极接触组件204将负偏压施加到阴极接触组件203),从而在转换器元件202内的阴极接触组件203与阳极接触组件204之间产生电场。X射线光子可以通过阴极接触组件203进入转换器元件202

[0033] 转换器元件202可以被配置为基本上立方体的块,并且其横向尺寸可以比其厚度

大得多。阴极接触组件203和阳极接触组件204可以连接到转换器元件202的大的顶侧和底侧,使得电场沿着转换器元件202的较小厚度方向延伸。此外,阴极接触组件203可以被配置为连续阴极电极,其可以由施加到转换器元件202上的薄金属化膜形成。

[0034] 不同的是,阳极接触组件204可包括像素化阳极电极205,即分开的阳极电极205,它们彼此以一定距离布置并且通常也称为阳极像素。在一个实施例中,这些阳极像素205也在转换元件202的表面上以基本上彼此垂直的行和列布置。阳极电极或像素205收集由入射在转换器元件202上的光子产生的电荷,并且每个阳极像素连接到读出电子器件,所述读出电子器件收集所得到的电流并确定随后提供给重建单元7的测量数据。

[0035] 当X射线光子进入转换器元件202时,它激发半导体材料,从而产生电荷载流子(电子和空穴)。负电荷载流子在转换器元件202中的电场的影下漂移到阳极电极205中的一个,并且产生由读出电子器件收集的脉冲状电信号。

[0036] 对于每个阳极电极205,读出电子器件可以包括放大器206,例如电荷敏感放大器,其在每个脉冲(即每个入射的X射线光子)上对输入电流积分并产生相应的阶梯状输出电压,其中台阶的高度对应于积分电荷,并且因此对应于沉积在转换器元件202中的光子能量。优选地,在所谓的脉冲整形器电路207中对放大器输出信号进行滤波,以产生电压信号,其中由放大器206产生的每个台阶对应于具有一定宽度并且逐渐舍入的最大的脉冲,其幅值与台阶的高度(即由入射的X射线光子产生的电荷云的积分电荷)成比例,并且因此与入射光子的能量成比例。为此目的,脉冲整形电路207特别设定脉冲的持续时间。因此,脉冲整形器电路207限制了放大器206的阶梯状输出信号的衰减时间,其对应于具有非常长的衰减时间的脉冲。另外,脉冲整形器电路207增加阶梯状放大器输出信号的上升时间。

[0037] 此外,读出电子器件包括两个或更多个比较器 $208_1, \dots, 208_N$,其中每个比较器 $208_1, \dots, 208_N$ 将整形器电路207的输出信号与相关的预定阈值 S_i 进行比较($i=1, \dots, N$)并且(仅)在整形电路207的输出超过阈值 S_i 时产生大于零的输出信号。这些比较器 $208_1, \dots, 208_N$ 的阈值 S_i 表示上述能量箱的边界。可以将它们选择这使得整形器电路207的输出信号中的脉冲(其对应于具有在对应于某个能量箱的范围内的能量的光子)具有在对应于能量箱的上边界和下边界的阈值之间的幅值。阈值 S_i 的对应配置可以在X射线设备2的校准过程的范围内提供,其可以用本领域技术人员已知的方式执行。

[0038] 传统上,每个比较器 $208_1, \dots, 208_N$ 的输出可以连接到相关的计数器 $209_1, \dots, 209_N$,用于对在比较器 $208_1, \dots, 208_N$ 中记录的光子数进行计数。为此,每个计数器 $209_1, \dots, 209_N$ 可以对相关联的比较器 $208_1, \dots, 208_N$ 的输出信号的上升沿进行计数。基于所计数的光子数,读出的电子器件可以确定每个能量箱的光子记录率(即,每单位时间间隔的光子记录数)。

[0039] 根据该配置,每个探测到的光子产生关于与其能量相对应的能量箱和关于更低能量箱的计数。因此,可以基于能量箱的光子记录率之间的差异来确定某个能量箱内探测到的光子的速率。特别地,最高能量箱的光子速率对应于具有在该能量箱中的能量的记录光子的数量。具有更低能量箱中的能量的记录光子的数量可以基于具有下一更高箱中的能量的光子数量与相应能量箱的计数之间的差异来确定。

[0040] 以这种方式,可以确定每个能量箱的探测到的入射光子的速率。该确定可以在读出的电子设备中进行,并且所确定的速率信息可以经由读出的电子设备的处理电路210提

供给重建单元7。作为替代方案,可以将每个能量箱的光子记录率提供给重建单元7,并且重建单元7可以确定每个能量箱的光子速率,如上所述。

[0041] 基于每个能量箱的光子速率,重建单元7可以针对与能量箱对应的每个能量范围重建位于检查区域5中的对象的光谱图像。这些图像对应于上述子图像,其可以单独地进一步评估或者可以被组合以形成单幅X射线图像。此外,重建单元7还可以基于数量和/或速率信息来生成传统图像。为此目的,可以确定总体光子速率,其对应于针对所有能量箱的光子速率之和,并且基于该总体光子速率生成图像。

[0042] 具有上述读出电子器件的辐射探测器1可以可靠地确定较低的入射光子速率。然而,在较高的入射光子速率的情况下,光子可能不被计数或与错误的能量箱相关联。这会影 响光谱和传统的CT图像生成。

[0043] 这种丢失或错误分类计数的一个原因是,当整形器电路207的输出信号从低于阈值的值到高于阈值的值穿过分配给相关比较器 208_1 、...、 208_N 的阈值时,各个光子仅由计数器 209_1 、...、 209_N 中的每个记录。因此,计数器 209_1 、...、 209_N 中的光子的记录(具有正确的能量)要求整形器电路207的输出信号下降到零或至少低于对应于相继的入射光子的两个脉冲之间的最低阈值。即使转换元件202、放大器206和整形器207可以分辨相继的光子(即,如果整形器207的输出信号包括对应于光子的不同峰值),对于更高光子速率可能不是这种情况,因为在整形器207的输出信号中的脉冲可以重叠,使得信号不低于脉冲之间的(一个或多个)相关阈值。

[0044] 为了解决这个问题,辐射探测器1包括记录电路211,用于独立于其能量和与比较器 208_1 、...、 208_N 相关的上述阈值来记录入射光子。在一个实施例中,记录电路提供输出信号,所述输出信号包括在记录电路211探测入射光子的时间的脉冲。优选地,这些脉冲相对较窄,以避免在高光子速率的情况下交叠脉冲。另一方面,脉冲足够宽以在记录电路211的输出信号的后续处理中可靠地探测。

[0045] 在这方面,可以借助于计数器212对记录电路211的输出信号的脉冲进行计数,以便确定入射光子的总数或速率。在这种情况下,除了通过计数器 209_1 、...、 209_N 确定的能量箱的速率信息之外,可以由辐射探测器1将总体速率信息输出并提供给重建单元7。在一个实施例中,仅使用相加的总体速率信息,重建单元7可以生成传统的CT图像。可以基于如上所述的传统方式确定的能量箱的速率信息来生成光谱CT图像。

[0046] 在另一实施例中,读出电子器件可以基于由记录电路211提供的输出信号来确定能量箱的光子速率。特别地,读出电子器件可以将记录电路211的输出信号的每个脉冲分配给一个或多个能量箱,并且可以基于分配给能量箱的脉冲数来确定能量箱的光子速率。在这样做时,读出电子器件可以将记录电路211的输出信号的脉冲分配给与比较器 208_1 、...、 208_N 相关联的最高能量箱,所述比较器 208_1 、...、 208_N 在脉冲发生时输出具有大于零的值的信号。从上面的描述中可以明显看出,该能量箱对应于基于整形器电路207的输出信号确定的光子能量。可以基于在处理电路210中实现的相应算法在读出电子设备的处理电路210中确定关联。当针对记录电路211的输出信号的每个脉冲(即,对于每个记录的光子)进行关联时,读出的电子器件可以确定每个能量箱的入射光子的数量以及针对每个能量箱的相应光子速率。对于该确定可以省去计数器 209_1 、...、 209_N 。

[0047] 所确定的针对能量箱的速率信息可以被提供给重建单元7,使得重建单元7可以基

于该信息来生成光谱CT图像。另外,辐射探测器1可以提供可以使用计数器212确定的总体速率信息,如上所述。基于总体速率信息,重建单元7可以生成传统图像。同样地,重建单元7可以基于各个能量箱的速率信息来确定总体速率信息,以便确定传统图像。在这种情况下,在一种实现方式中,辐射探测器1可以不提供总体速率信息作为输出信号。

[0048] 使用基于由记录电路211和计数器212提供的信号确定的速率信息,可以探测光子事件的速率,这可以由转换元件202、放大器206和整形电路207分辨。然而,入射光子速率可能超过转换元件202、放大器206和整形器电路207的分辨率。特别地,在短时间间隔内到达的两个或更多个光子可以产生对应于光子的总能量的单个脉冲,使得不可能关于这种光子区分不同脉冲峰值。在这种情况下,基于由记录电路211和计数器212提供的信号确定的光子速率不对应于更高的入射光子的真实速率。此外,在这种情况下,光子能量不能直接从比较器 208_1 、...、 208_N 的输出端得到,因为光子产生的单个脉冲的幅度对应于比光子能量更高的能量。

[0049] 为了能够在这种情况下生成准确的传统和/或光谱图像,可以通过辐射探测器1的读出电子器件或者重建单元基于描述辐射探测器1对入射(高)光子通量的响应的模型的来估计入射光子的真实速率。使用这样的探测器模型,可以估计真实的总体光子速率,以便基于该估计来生成传统的X射线图像和/或可以估计每个能量箱的真实光子速率,以便生成光谱图像。为了估计能量箱的真实光子速率,基于比较器 208_1 、...、 208_N 的输出信号来估计光子的能量。除了使用相应扩展的探测器模型来估计真实光子速率之外,还进行该估计,其还考虑了整形器电路207的输出信号的幅度值。

[0050] 为了确定真实的光子速率,所应用的模型可以特别描述记录电路211和计数器212对入射光子通量的响应。由于记录电路独立于其能量记录入射光子,因此该响应是入射通量的单调函数。这允许使用具有相对低复杂度的模型。可以使用的一个示例性模型在E.Roessl等人的文章“On the analogy between pulse-pile up in energy sensitive, photon counting detector and level-crossing of shot noise”,Proc.SPIE 9783, Medical Imaging 2016:Physics of Medical Imaging,97831H(2016年3月25日);doi:10.1117/12.2216909中描述。该文章公开了一种响应于入射光子通量的探测器信号的水平交叉的模型。当考虑成形器电路207的输出信号的时间导数作为相关探测器信号时并且当考虑零值的向下交叉时,所述模型可以应用于记录电路211对入射光子通量的响应,因为记录电路211有效地记录该时间导数的向下过零点。

[0051] 使用这样的模型,可以使用基于由记录电路211和计数器212提供的信号确定的速率信息来估计真实的入射光子速率,用于整个光子速率和/或各个能量箱的光子速率,如上所述。此外,可以估计光子的真实能量。为此目的,可以考虑比较器 208_1 、...、 208_N 的输出信号,并且可以扩展模型以描述这些输出信号与要确定的光子能量之间的关系。

[0052] 在一个实施例中,记录电路211被配置为最大值探测器,其被配置为探测整形器电路207的输出信号的局部最大值,并且每个探测到的局部最大值被视为光子事件。为了进一步评估如上所述的最大值的探测,最大值探测器可以提供输出信号,所述输出信号可以包括在每次出现整形器电路207的输出信号的局部最大值时的窄脉冲。

[0053] 在图2中示意性和示例性地示出的该实施例的一个实施方式中,记录电路211可以包括峰值保持器电路213,其接收整形器电路207的输出信号。峰值保持器电路213包括电容

器214,当整形器电路207的电压增加时,所述电容器214被充电到整形器电路207的输出信号的值,并且当整形器电路207的输出容器214保持其电荷一定量的时间。从以下描述中将变得显而易见,在记录电路211中不评估跨电容器的电压的实际值。这特别意味着电容器214的电阻和由此产生的电荷泄漏基本上是无紧要的。因此,电容器214可以具有小电容,例如在几毫微微法拉的范围内。这样的电容器214可以快速充电和放电,使得电容器电压紧密地跟随整形器电路207的输出信号的值。

[0054] 为了给电容器214充电,可以将整形器电路207的输出信号馈送到运算放大器215的非反相输入端,并且可以通过运算放大器的输出端和另一个部件来对电容器充电。电容器电压可以进一步提供给运算放大器215的反相输入端,以便建立闭环。在这样的配置中,运算放大器215试图控制其输出,使得输入处的电压之间的差值,即整形电路7的输出信号的值和电容器电压变为零。选择另一个分量,使得当整形器电路207的输出信号的值大于电容器电压时运算放大器215的输出信号实现电容器214的充电并且在整形器电路207的输出信号的值小于电容器电压的情况下运算放大器215的输出信号不改变电容器电压。

[0055] 在图2所示的实施方式中,所述另外的部件是晶体管216,特别是结栅场效应晶体管(JFET),电容器214经由所述晶体管连接到电压源(V_{dd})。运算放大器的输出连接到晶体管216的栅极触点,并且晶体管被配置为使得运算放大器215的输出信号在其输入处具有正电压差的情况下(即,在整形器电路207的输出信号大于电容器电压的情况下)控制晶体管216处于导通状态,使得电容器214被充电,并且运算放大器215的输出信号在晶体管216的输入端存在负电压差的情况下切断晶体管216(使得它不导通)。

[0056] 在进一步可能的实施方式中,可以以不同的方式配置所述另外的部件。例如,所述另外的组件可以是二极管,并且运算放大器215的输出可以经由二极管连接到电容器214。因此,在输入端具有正电压差的情况下,电容器214可以经由运算放大器214的输出而被充电,并且二极管可以在运算放大器214输入端的负电压差的情况下防止电容器214的放电。

[0057] 另外,所述实施例的记录电路211包括比较器217,其将整形器电路207的输出信号的值与跨电容器214的电压进行比较。当电容器电压小于整形器电路207的输出信号的值时,所述比较器217可以输出零信号。当电容器电压大于整形器电路207的输出信号的值时(即,当在发生局部最大值之后电压输出信号开始减小时),比较器217输出大于零的信号。

[0058] 比较器217的输出信号还控制开关218,开关218可以使电容器214短路。如果比较器217的输出信号大于零则控制开关218使其闭合(即导通),否则它是开路的(即不导通)。因此,当比较器217的输出信号变得大于零时,即当探测到整形器电路207的输出信号的局部最大值时,电容器214被放电或“复位”。于是,电容器214可以再次充电,直到整形器电路207的输出信号的下一个局部最大值出现。此外,比较器217的输出信号再次变为零(由于放电电容器214)。

[0059] 因此,比较器217在每次出现整形器电路207的输出信号的局部最大值时输出脉冲。

[0060] 在图中在图3a-3c中,示意性和示例性地示出了在前述实施例中包括记录电路211的读出电子器件的操作的模拟结果。

[0061] 图3a图示了具有100keV能量的61个入射光子的序列,其中每个光子事件通过脉冲示出(一个脉冲以数字301提供)。此外,图3a示出了响应于入射光子而产生的整形器电路

207的输出信号302。从图3a中可以看出,整形电路207的输出信号包括具有特定宽度的脉冲,其中每个脉冲对应于一个入射光子或多个入射光子,这些光子在转换元件202、积分放大器206和整形器电路207中无法分辨(由于所谓的堆积效应),因此被记录为具有更高能量的单个事件。此外,信号302中的一些脉冲重叠,使得信号302在这些脉冲之间不会降至零。

[0062] 图3b图示了比较器 208_1 、...、 208_N 中的一个的输出信号303,其将信号302的电压与对应于25keV的光子能量的阈值S进行比较。从图3b中可以看出,当信号302没有低于对应于这种光子的脉冲之间的阈值时,信号303不允许区分光子。结果,可以探测13个光子事件,并且不可能探测到可以由转换元件202、积分放大器206和整形器电路207解析的所有光子事件(即,产生局部最大值的信号302的)。

[0063] 图3c图示了记录电路211的输出信号304,其探测信号302的局部最大值。从图3c中可以看出,可以探测可以在转换元件202、积分放大器206和整形电路207中分辨的所有光子。对于图3a中所示的光子序列,这意味着可以探测26个光子事件。因此,可以基于记录电路211的输出信号304而不是基于比较器 208_1 、...、 208_N 的输出信号303来探测明显更多的光子。为了估计入射光子的真实数量(图3中所示的示例中的61个),可以使用如上所述的探测器模型。

[0064] 在另一实施例中,记录电路211不处理整形器电路207的输出信号,以便确定入射光子的数量。而是,记录电路211处理电荷敏感放大器206的输出信号。如上所述,所述信号包括每个光子事件的步骤(其中,阶梯的高度表示光子能量)。为了评估该信号以探测光子事件,记录电路211可以被配置为探测电荷感应放大器206的输出信号中的这些阶梯并且在探测到这样的阶梯的情况下输出窄脉冲(如上述实施例中那样)。为此,所述实施例的记录电路211可以包括电容器,其电压跟随积分放大器206的输出信号的值具有一个小延迟。包括比较器的电路可以将电容器电压与积分放大器206的输出信号的值进行比较,以便探测阶梯并且可以产生相应的输出信号。

[0065] 由于积分放大器206的输出信号与整形电路207的输出信号相比受处理延迟的影响较小,因此积分放大器的输出信号的评估允许更精确(即更快)地探测光子进入辐射探测器1的时间。然而,积分放大器206的输出信号通常更受噪声的影响,因此在评估积分放大器206的输出信号时会增加误探测。

[0066] 本领域技术人员通过研究附图、公开内容以及权利要求书,在实践请求保护的本发明时能够理解并且实现对所公开的实施例的其他变型。

[0067] 在权利要求中,“包括”一词不排除其他元件或步骤,并且词语“一”或“一个”不排除多个。

[0068] 计算机程序可以存储/分布在适合的介质上,例如与其他硬件一起被提供或作为其他硬件的部分被提供的光学存储介质或固态介质,但是计算机程序也可以以其他形式分布,例如经由因特网或其他的有线或无线的电信系统分布。

[0069] 权利要求书中的任何附图标记不应被解释为对范围的限制。

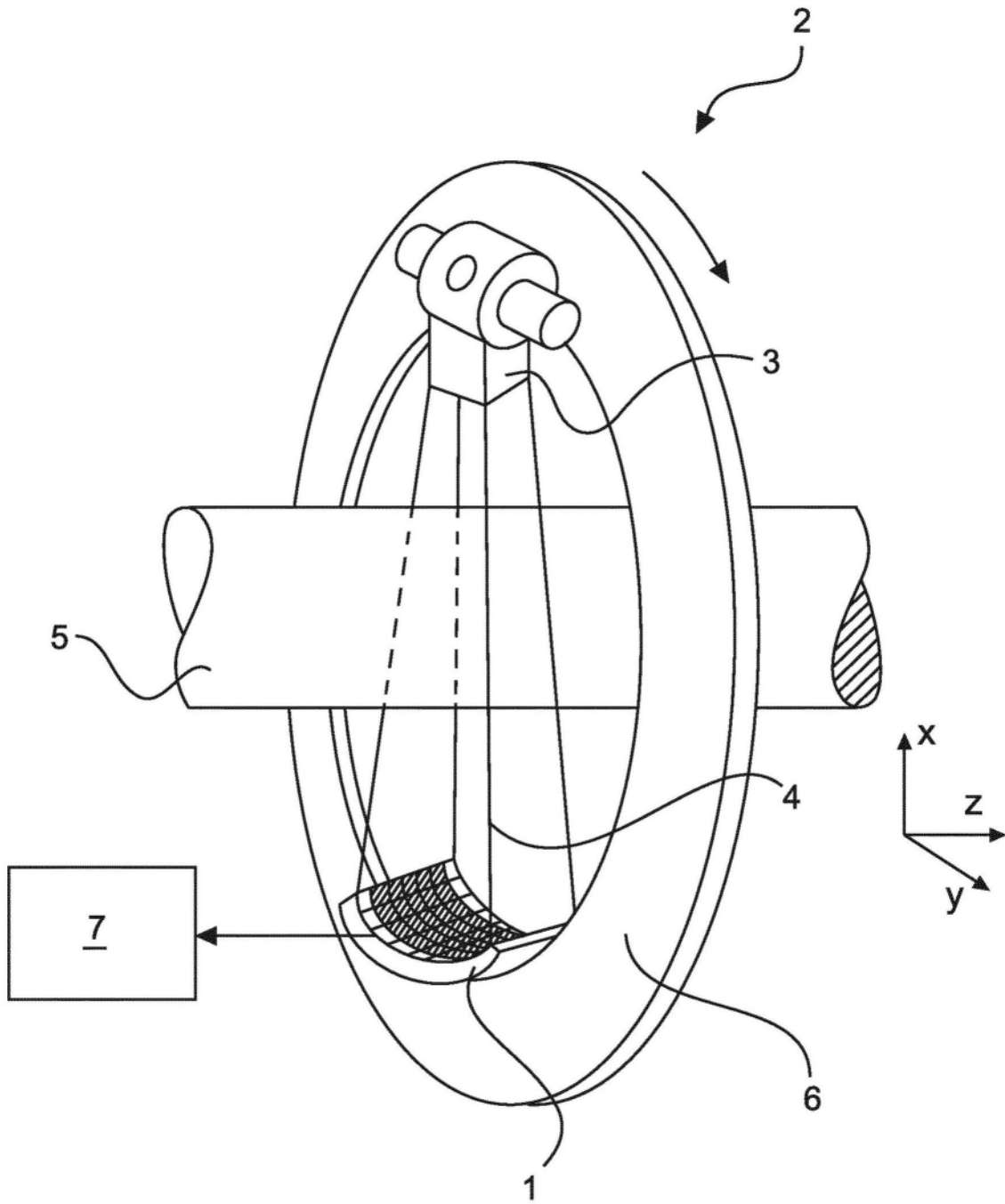


图1

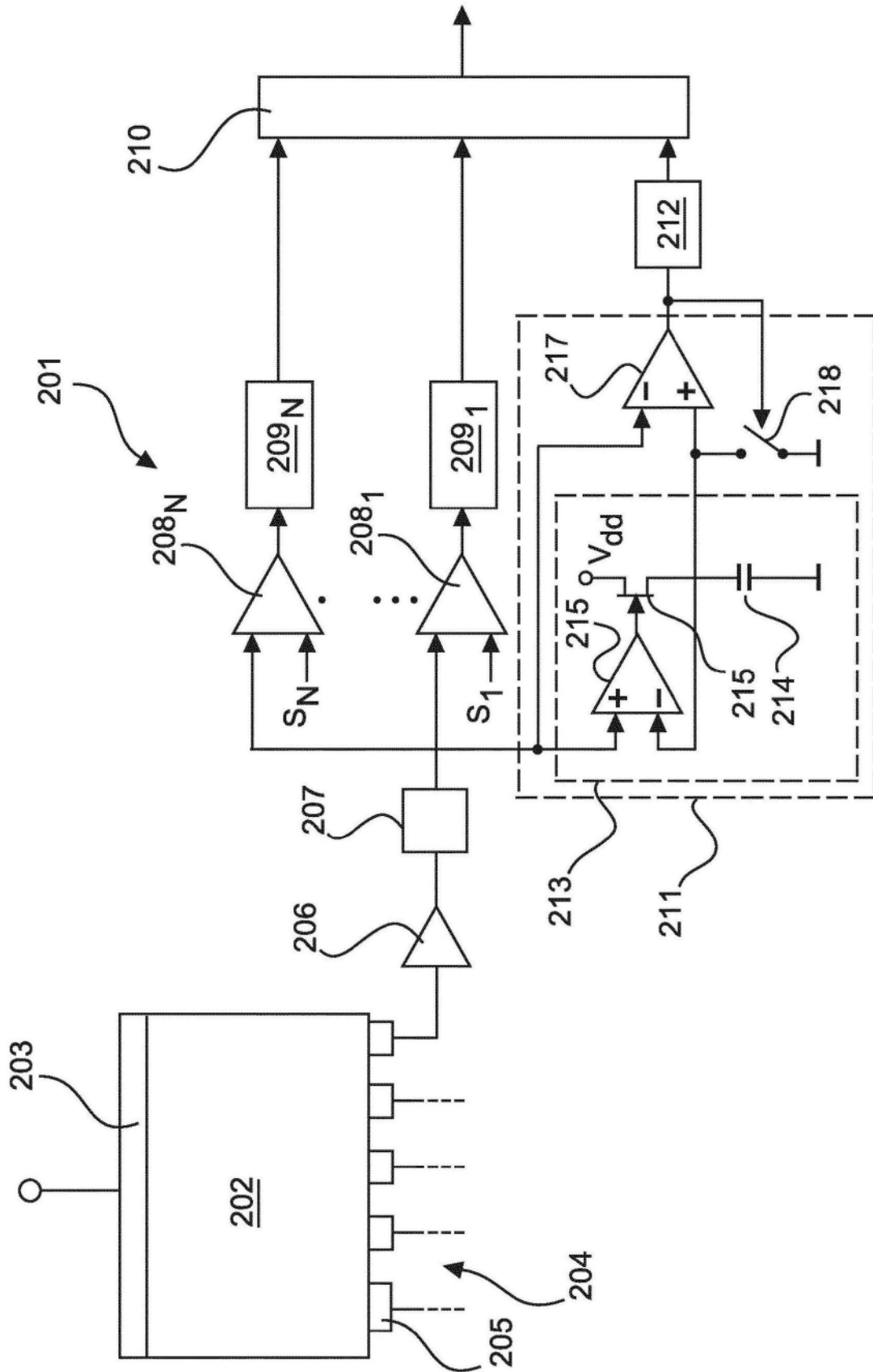


图2

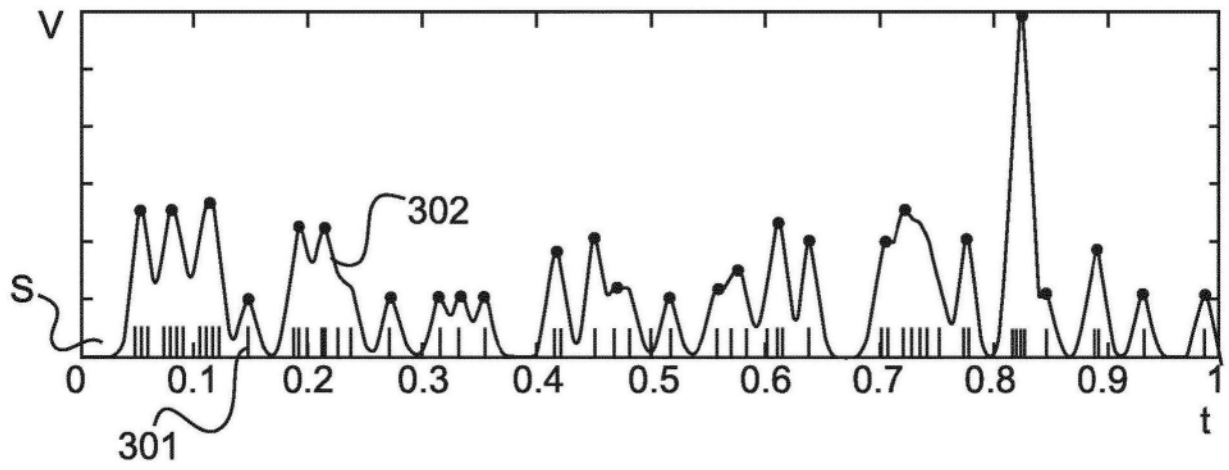


图3a



图3b

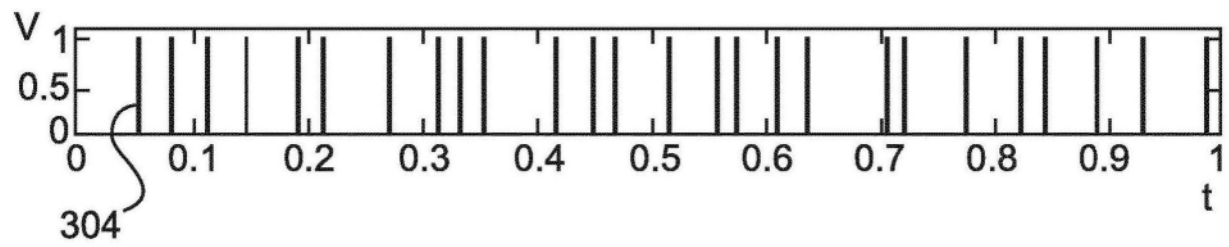


图3c