



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106461797 B

(45)授权公告日 2020.01.10

(21)申请号 201580025491.8

(22)申请日 2015.05.18

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106461797 A

(43)申请公布日 2017.02.22

(30)优先权数据
1454417 2014.05.16 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.11.16

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/FR2015/051293 2015.05.18

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/173530 FR 2015.11.19

(73)专利权人 A·伊尔蒂斯
地址 法国特鲁瓦

(72)发明人 A·伊尔蒂斯 H·斯努西

(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 赵志刚 赵蓉民

(51)Int.Cl.
G01T 1/20(2006.01)
G01T 1/164(2006.01)

(56)对比文件
CN 103733609 A,2014.04.16,
CN 102449503 A,2012.05.09,
CN 103181769 A,2013.07.03,
CN 102449504 A,2012.05.09,
FR 2948379 A1,2011.01.28,
US 7405406 B1,2008.07.29,
CA 2740456 A1,2012.11.16,

审查员 卑晓峰

权利要求书2页 说明书8页 附图2页

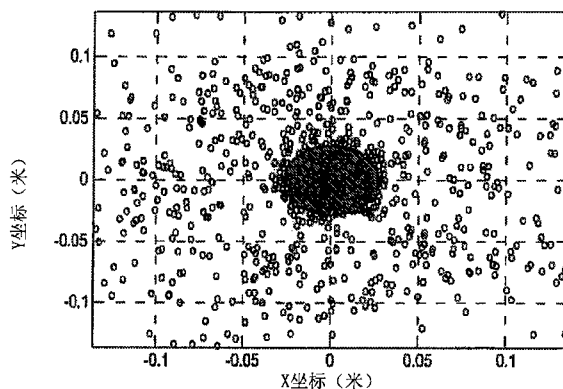
(54)发明名称

用于提高伽马射线闪烁探测器的能量分辨率的方法、相关联系统、部件和应用

(57)摘要

本发明涉及一种用于在闪烁事件过程中提高伽马射线探测器的能量分辨率的方法,该伽马射线探测器包括单片闪烁器和分段式光电探测器,其特征在于以下步骤:-检测第一光子到达所述光电探测器的时间;-在传递时间(Te)的2与6倍之间的时间段T内对检测到的第一未散射光子的数量和位置进行计数;-确定由一组第一未散射光子限定的圆盘的直径和位置;-从所述检测到的第一未散射光子的位置确定闪烁事件的位置(X,Y);-在大于该闪烁器的衰减时间(T)的时间段Td内,对在所述圆盘内部的检测到的这些第一未散射光子的数量进行计数;-定义伽马光子的能量,所述能量与在该圆盘内计数的未散射光子的数量成比例。本发明还涉及相关联的检测系统、微电子部件和被处理用于PET应用的闪烁器晶体、以及根据本发明的检测系统在PET和SPECT

成像器中的使用。



CN 106461797 B

1. 一种用于在闪烁事件过程中提高伽马辐射探测器的能量分辨率的方法,该伽马辐射探测器包括单片闪烁器(2)和分段式光电探测器(3),该方法特征在于以下步骤:

-检测第一光子到达所述光电探测器(3)的每一分段的时间;

-通过对在包括传递时间(T_c)的2倍与6倍之间的所谓“积分时间”的时间段 T_i 内检测到的光子的数量进行计数,确定第一组的检测到的第一未散射光子,并确定所述第一组的所述检测到的第一未散射光子的定位;

-确定圆盘的直径和位置,所述第一组的检测到的第一未散射光子设置在该圆盘内部;

-从所述第一组的检测到的第一未散射光子的所述定位确定闪烁事件的位置(X, Y);

-在大于所述闪烁器的衰减时间(τ)的所谓“计数时间”的时间段 T_d 期间,通过对设置在所述圆盘内部的在所述第一组的检测到的第一未散射光子内的光子的数量进行计数,确定第二组的第一未散射光子;

-定义伽马光子的能量,所述能量与在所述圆盘内部计数的所述第二组的第一未散射光子内的光子的数量成比例。

2. 根据权利要求1所述的用于提高探测器的能量分辨率的方法,其中,在等于所述闪烁器的衰减时间(τ)的2倍到3倍的时间段内,对所述圆盘内部的所述第二组的第一未散射光子进行计数,从而减小对每个伽马光子的能量测量的不确定性。

3. 根据前述权利要求之一所述的用于提高探测器的能量分辨率的方法,其中,根据所述第二组的第一未散射光子的所述圆盘的直径估计相互作用的位置 Z ,所述位置 Z 是所述相互作用的深度。

4. 一种用于检测伽马辐射以便执行根据权利要求1至3之一所述的方法的系统,包括闪烁晶体(2),该闪烁晶体具有被抛光并通过光学密封件(4)耦合至分段式光电探测器(3)的入口面(1)和出口面(5),由微电子部件对所述光电探测器进行读取,其特征在于,该系统能够在传递时间(T_c)的2倍至6倍的时间段内测量第一光子的到达时间,测量所述第一光子的数量并确定其定位,确定圆盘的直径和位置,一组未散射光子设置在该圆盘内部,所述圆盘的最大直径与所述闪烁晶体的厚度成比例,并且在于,它能够针对每个像素在所述闪烁器的衰减时间(τ)的2倍到3倍的时间段内对检测到的光子的数量进行计数,从而以大于给定能量的该闪烁晶体的理论分辨率的二倍的精度测量单个伽马光子的能量。

5. 根据权利要求4所述的用于检测伽马辐射的系统,其特征在于,微电子读取部件被整合至数字Si-PM类型的光电探测器(3)中,或者是ASIC类型的单独部件的形式。

6. 根据权利要求4或5之一所述的用于检测伽马辐射的系统,其中,所述闪烁晶体(2)具有板、圆柱或条形式的几何形状。

7. 根据权利要求4所述的用于检测伽马辐射的系统,其中,对于大于100KeV的能量辐射,所述闪烁晶体(2)是镧卤化物或硅酸镨。

8. 根据权利要求4所述的用于检测伽马辐射的系统,其中,当有待检测的光子具有大于1MeV能量时,所述闪烁晶体(2)是任何类型。

9. 根据权利要求4所述的用于检测伽马辐射的系统,其中,所述闪烁晶体(2)在所述入口面(1)和所述出口面(5)上耦合至分段式光电探测器(3),从而提高测量能量分辨率的精确度。

10. 一种用于读取根据权利要求4至9之一所述的用于检测伽马辐射的系统的光电探测

器(2)的组合ASIC类型的微电子部件,其特征在于,它包括:模拟件和数字件,所述模拟件能够以100ps量级的时间精度测量事件,所述部件能够测量第一光子的到达时间,在等效于传递时间(T_c)的2倍到6倍的所谓积分时间的时段 T_i 内对针对像素检测的光子的数量进行计数,以及在该闪烁器的衰减时间(τ)的2倍到3倍量级的时段 T_d 内对所检测到的光子的数量进行积分。

11. 用于读取根据权利要求4至9之一所述的用于检测伽马辐射的系统的光电探测器(2)的组合ASIC类型的所述微电子部件,其特征在于,当在所述积分时间 T_i 期间已经撞击了该探测器的像素的光子负荷超过预定义阈值时,所述微电子部件能够发送时间信号。

12. 使用根据权利要求4至9之一所述的用于检测伽马辐射的系统来提高SPECT或PET类型的伽马成像器中的闪烁器的能量分辨率。

用于提高伽马射线闪烁探测器的能量分辨率的方法、相关联系统、部件和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及通过闪烁方法对伽马射线源的能量进行测量。更具体地,本发明涉及一种用于基于闪烁器提高伽马射线探测器的能量分辨率的方法。本发明还涉及其采取对辐射能量的测量的闪烁探测器的当前应用的集合,如,医学成像、伽马光谱、核物理学。

[0002] 目前,与闪烁晶体联系的大部分应用探索测量入射伽马射线的能量,为了组成入射辐射的光谱并在其中检测特征发射(例如,通过中子激活进行分析),或者为了验证所检测到的辐射是我们正在寻找的信号而不是背景噪声(核成像:PET、SPECT.....)。对于所有这些应用,伽马入射光子的能量的精确知识是探测器性能的最要点之一。

背景技术

[0003] 在目前技术中,为了测量伽马光子的能量,测量在相互作用过程中发射的可见光子的数量。实际上,入射伽马光子的能量与通过闪烁发射的可见光子的数量之间存在关系,该闪烁适用于每一种闪烁晶体。根据所选择的晶体的类型,这种关系或多或少是线性的。就能量分辨率而言的最佳闪烁器目前是镧卤化物,镧卤化物的线性度对于能量 $>100\text{KeV}$ 较强。能量的测量精确度随着所收集的光子数量以及因此随着入射光子的能量而增长。

[0004] 但目前对于给定能量辐射,若干物理影响(相互作用的深度、堆叠、根据几何形状的不同量子收集.....)导致有效检测到的光子数量的波动较强。因此,应该积累伽马光子的若干检测事件,并创建统计数据。用目前的光谱仪测量单个光子的能量不是非常精确。

[0005] 在目前和已知的配置中,根据应用能够具有各种几何形状(板、条、圆柱)的闪烁晶体具有出口面,在该出口面上收集闪烁所发射的光子。在一个时间段内通过光电探测器(光电倍增管、Si-PMT.....)检测这些光子,这取决于闪烁器的发射特性。通常,所发射的光子在等于至少衰减时间 τ (闪烁器的光发射的减少时间段)的2到3倍的时间段内被积分。

[0006] 当前的方案提出了若干问题:首先,得到对光子的美好计数统计数据,在相当长时间内每个事件所发射的辐射必须被积分。如果在这个时间段产生了另一相互作用,该信号被扰动。由于堆叠效果,这降低了测量能量的精确度。

[0007] 第二个问题包括根据晶体的几何形状的所收集的光子的数量。实际上,在晶体的界面上反射期间,一些光子丢失了。有效收集的光子的数量还根据晶体中的相互作用深度而变化。就能量分辨率而言的优化结果通常是针对圆柱测量的。针对板(SPECT)或像素(PET)获得的能量分辨率相对于这个优化结果被降低至通常 $1/1.5$ 至 $1/2$ 或更小。

[0008] 除此之外,尤其由于相互作用深度的问题,这种类型的探测器不是特别精确地测量相互作用的时间。

[0009] 由于这些限制,未检测到个体伽马分子的能量。积分了大量的个体事件,并且绘出了示出事件数量作为其能量的函数的图。特征伽马射线(即,511 KeV)作为峰值出现在此图上,其宽度限定了探测器的能量分辨率。

[0010] 因此,本发明的目的是提出以下技术方案:

- [0011] --通过将其带到接近其理论最大值的值,以提高能量分辨率,该理论最大值由所发射的光子/光子能量的比例数给定
- [0012] -获得能量分辨率的值,该值不依赖于探测器的几何形状
- [0013] -减少堆叠的问题,大部分事件能够单独地测量
- [0014] -以少于闪烁器的理论能量分辨率的二倍的不确定性产生对每个个体事件的能量的估计
- [0015] -高度精确地确定相互作用的瞬间
- [0016] -能够通过电子装置的改变适配现有晶体。
- [0017] 而且,本发明还描述了两种用于改善时间成像器操作的装置,比如申请 PCT/FR 2013/052672中所描述的。

发明内容

[0018] 本发明的目的是提出一种用于在闪烁事件过程中提高伽马辐射探测器的能量分辨率的方法,该伽马辐射探测器包括单片闪烁器和分段式光电探测器,其特征在于以下步骤:

- [0019] -检测第一光子到达所述光电探测器的时间;
- [0020] -在传递时间 (T_c) 的2与6倍之间的所谓“积分时间”的时间段 T_i 内,对检测到的第一未散射光子的数量进行计数,并确定其定位;
- [0021] -确定圆盘的直径和位置,一组未散射光子的集合设置在该圆盘内部;
- [0022] -从所述检测到的第一未散射光子的定位确定闪烁事件的位置 (X, Y);
- [0023] -在大于该闪烁器的衰减时间 (τ) 的所谓“计数时间”段 T_d 内,对设置在所述圆盘内部的未散射光子的数量进行计数;
- [0024] -定义伽马光子的能量,所述能量与在该圆盘内计数的未散射光子的数量成比例。
- [0025] 优选地,在等于所述闪烁器的衰减时间的约2到3倍的时间段内对该圆盘内的这些光子进行计数,从而相对于常规方法减小测量每个伽马光子期间的不确定性。
- [0026] 传递时间 (T_c) 指光在闪烁器中的特征传播时间,对于具有折射率 n 和厚度 H 的闪烁器。 $T_c = H / (c/n)$ 。衰减时间 τ 被定义为闪烁器的时间的减少或衰退。如果 N_0 是这个闪烁器所发射的光子的总数,在瞬间 t 所发射的光子的数量遵守定律 $N = N_0 \exp(-t/\tau)$ 。
- [0027] 具体地,根据未散射光子的圆盘的直径估计相互作用的位置 Z ,所述位置 Z 是所述相互作用的深度。
- [0028] “最接近的瞬间”指衰减时间 (τ) 与纳秒之间两个伽马光子碰撞之间的短暂间隙。
- [0029] 本发明还涉及一种用于检测伽马辐射以便执行上述方法的系统,包括闪烁晶体,该闪烁晶体具有被抛光并通过具有小于1.5的折射率的光学密封件耦合至分段式光电探测器阵列的入口面和出口面,所述光电探测器由微电子部件读取,其特征在于,该系统能够在传递时间 (T_c) 的约2到6倍的时间段内测量第一光子的到达时间,测量所述第一光子的数量并确定其定位,确定圆盘的直径和位置,一组未散射光子设置在该圆盘内部,所述圆盘的最大直径与所述闪烁晶体的厚度成比例,并且在于,它能够针对每个像素在所述闪烁器的衰减时间 (τ) 的约2到3倍的时间段内对检测到的光子进行计数,从而以大于给定能量的该闪烁晶体的理论分辨率的二倍的精度测量单个伽马光子的能量。

[0030] 光子的到达时间和在时间段 T_i 内的计数用于确定未散射光子的位置。在时间段 T_d 内积分用于测量光子的能量。

[0031] 根据本发明,该微电子读取部件被整合至数字Si-PM类型的光电探测器中或者在模拟Si-PM的情况下是ASIC类型的单独部件的形式。

[0032] 同样,闪烁晶体具有板、圆柱或条形式的几何形状。

[0033] 进一步,对于大于100KeV的能量辐射,闪烁晶体是镧卤化物或硅酸镨。

[0034] 另外,当有待检测的光子具有大于1MeV的能量时,闪烁晶体是任何类型。

[0035] 有利的是,闪烁晶体在该入口面上和该出口面上耦合至分段式光电探测器阵列,从而提高测量能量分辨率的精确度。

[0036] 本发明进一步涉及一种用于读取上述系统的光电探测器的组合ASIC类型的微电子部件。所述部件包括:模拟件,其能够以大约100ps量级的时间精度测量事件,以及数字件。此部件能够测量第一光子的到达时间,在等效于传递时间(T_c)的2到6倍的所谓积分时间的时段 T_i 内对针对像素检测的光子数量进行计数,以及在约该闪烁器的衰减时间(τ)的2到3倍量级的时段 T_d 内对所检测到的光子的数量进行积分。

[0037] 有利地是,当在积分时间 T_i 期间已经撞击了该探测器的像素的光子负荷超过预定义阈值时,此部件还可以能够发送时间信号。

[0038] 本发明进一步涉及一种用于测量PET应用中的光分布的具有多个侧面和一个入口面的单片板形式的闪烁晶体;首先,通过折射率阶跃(indexstep)对所述侧面和该入口面进行处理以避免反射,然后,用黑色吸收剂覆盖,从而抵消所述表面上的反射。

[0039] 本发明进一步涉及一种用于在511KeV测量闪烁事件的光分布的具有多个侧面和一个入口面的单片板形式的闪烁晶体;用折射率树脂 $n > 1.7$ 覆盖所述侧面和该入口面;所述树脂装载有吸收剂粒子,以便抵消所述表面上的反射。

[0040] 本发明还涉及使用上述检测系统来提高SPECT或PET类型的伽马成像器中的闪烁器的能量分辨率。

附图说明

[0041] 参照附图,在阅读以下说明书时,本发明的进一步特征、细节和优点将浮现,附图展示了:

[0042] 图1示出了在闪烁晶体中经历光电效应的伽马光子的原理;

[0043] 图2A针对在闪烁事件伴随 $Z = 5\text{mm}$ 发生的情况下511KeV的辐射并针对积分时间 $T_i = 700\text{ps}$ 示出了Si-PMT所检测到的光子的绘图;以及

[0044] 图2B针对积分时间 $T_i = 2900\text{ps}$ 示出了同一事件。

具体实施方式

[0045] 参照图1,探测器包括以下元件:1)晶体的入口面或粗糙且散射的上面: $Z = 0$;2)闪烁晶体($\text{LaBr}_3:\text{Ce}$);3)分段式光电探测器;4)光学密封件5)晶体的经抛光出口面。(针对这些示例, $Z = 30$)见图1。

[0046] 图1示出了这三种类型的发射光子,具体地:a)未散射光子;b)在出口面上被发射的光子;c)在入口面上散射的光子。

[0047] 本发明从其空间和时间分布的区别在于,从相互作用的点沿直线移动的未散射光子以及已经经历过至少一次散射的光子,如同一申请人通过国际申请号PCT/FR 2013/052672所指示的。然而,关于未散射的光子数量的信息用于测量相互作用的能量并且不用于空间或时间测量。只考虑了未散射的光子用于测量相互作用的能量。

[0048] 未散射光子呈圆锥体分布,其顶点是相互作用的点(X, Y, Z, T),并且其孔径角是在出口面5上的全反射的角度。

[0049] 为此,使用了具有折射率 n_c 的晶体2,其出口面5被抛光并通过具有折射率 n_g 的光学密封件4耦合至分段式光电探测器3(优选地是耦合至快速读取电子装置(优选地是组合ASIC类型)的Si-PMT)。这些电子装置的输出数据是时间信息(第一UV光子在每个像素上的到达时间),如果有必要的话,在小于2ns的给定时间 T_i 内在每个像素上的光子数量的积分,以及在大于50ns的(长)时间段内在每个像素上检测到的光子数量的积分。

[0050] 对于每个事件,所检测到的第一光子的时间信息和分布估计包含所有未散射光子的圆盘的位置和直径,如国际申请号PCT/FR 2013/052672所指示的。在下文中,在一个时间段内对仅在这个区(在圆盘中)检测到的光子的数量进行计数从而产生许多充足的事件,该时间段取决于闪烁器的发射特性,一般是衰减时间 τ 的2到3倍。

[0051] 对于相互作用(X,Y,Z,T),如下完成根据本发明的方法的计算:首先检测第一光子(x_1, y_1, t_1),并且精确地测量其到达(触发)时间。然后,在等于传递时间(T_c)的2到6倍的时间段 T_i 内,对之后的 n 个光子的坐标(x_n, y_n, t_n)进行计数。最佳积分时间段稍微取决于闪烁器的几何形状(板、圆柱.....)。针对给定几何形状,能够通过模拟找到这个最佳时间。根据国际申请号PCT/FR 2013/052672的教导,从这 n 个第一光子的位置,估计所检测到的未散射光子的光斑直径和相互作用的位置X、Y。这个光斑(或圆盘)的直径允许估计闪烁晶体2内的相互作用位置Z,并因此精确地估计相互作用的瞬间T。然后,在更长得多的时间段(理想地,闪光器的衰减时间的二到三倍(例如,对于LaBr3大于50ns))内在未散射光子的这个光斑(或圆盘)上检测到的光子数量进行计数。此处的目的是获得相互作用所发射的未散射光子的50%以上。所述未散射光子的数量与伽马光子的能量成比例,并且独立于闪烁晶体的几何形状;它几乎不受堆叠的影响,并因此允许以比根据现有技术所获得的更小的误差计算伽马光子的能量。

[0052] 在目前的光电探测器中,光子的检测受制于阈值影响。如果目的是排斥探测器的背景噪音(暗计数),有必要检测1.5到2个光电子。因为积分时间 T_i 短暂,一般少于2ns,在 T_i 期间有待检测的光子数量对于外围像素能够小于阈值。未散射光子的斜剖面(angular sector)中相互作用所发射的光子数量是恒定的。光子/像素的密度取决于圆盘的直径。圆盘的最大直径取决于晶体的厚度。因此,我们能够通过改变晶体的厚度来影响光子/像素的密度。因而,探测器将被分段越精细,使用较薄的晶体越有利。

[0053] 同样,积分时间 T_i (小于2ns)相对于最佳当前电子装置的可能性是短暂的,寻找允许更长时间对光子进行计数的装置是有利的。积分时间由结束时间给定,即,在未散射光子的圆盘外部检测到的光子数量经过某个阈值(例如90%)结束时的时间。经过这个阈值本质上取决于晶体的入口面1上、或位于离边缘小于晶体厚度的像素的侧面上散射的光子数量。考虑到对于时间成像器,只有未散射的光子能够用于测量X、Y、Z、T、E,除去所有其他光子能够是有利的。

[0054] 做到这一点的已知方式可以是将侧面和入口面1涂黑,从而吸收所有离开晶体的光子。然而,考虑到涂料的折射率(一般为1.5)小于晶体1.8到1.9的折射率,光子的大部分通过折射率阶跃被反射并扰乱信号。因此,执行本发明的更有利方法是找到具有与闪烁器的折射率接近的黑色产品,或者通过任何已知手段对晶体2的侧面和入口面1进行抗反射处理并在这种抗反射处理上施加暗吸收物沉积。

[0055] 另一种得到这个结果的方式能够是在那些不用于检测晶体2的面上沉积载有吸收剂粒子的高“n”折射率树脂(n大于1.5),优选地n大于1.7。

[0056] 这种处理具有以下优点:急剧地减少在未散射光子的光圆锥体外部检测到的光子的数量增加了下述时间:在该时间内,能够对第一光子进行计数从而定义圆的位置。

[0057] 这种系统基本上还限制了边缘效应并因此开拓整个探测器进行成像。

[0058] 能够通过干涉层、光子晶体或通过纳米构造获得的渐进式折射率适配来进行这种抗反射处理,比如2014年3月13日提交的欧洲申请号14305365.0题为“用于优化闪烁晶体中的光子收集的结构化以及相关技术方案(Structuring for optimizing the collection of photons in scintillating crystals and associated technological solutions)”中所披露的。

[0059] 从可以正确地识别未散射光子的光斑的形式时的时刻以及当由 T_c 的值校正积分时间段 T_i 时的时刻,根据本发明的计算方法独立于晶体的几何形状。 T_i 的最佳值在效果上取决于 T_c 和晶体的几何形状。结果是,闪烁晶体能够具有板、圆柱、条等形式的不同几何形状。

[0060] 如果考虑闪烁器的理论分辨率 E_{th} ,联系单个事件的所有光子的收集,根据本发明的系统以大于闪烁器的理论分辨率的二倍的精度测量事件的能量。

[0061] 同样,能够在传递时间(T_c)的二到六倍内在闪烁器已经发射了足够光子(10到100)的任何情况下执行这种类型的信号处理,从而使得能够定位未散射光子的位置。这暗示了,对于 $LaBr_3$ 类型的非常快速且明亮的闪烁器,该方法可以作用于具有约50KeV的伽马射线能量。对于较慢且不那么明亮的闪烁器,如BGO和NAI(T_i),该方法在有待检测的光子具有大于1MeV能量时变得可用。

[0062] 在第二伽马光子在第一次撞击之后1000皮秒以上以及在第一相互作用(堆叠)的计数时间段 T_i 期间撞击闪烁器的情况下,如果未散射光子的圆盘不被组合在探测器的平面内,可以独立地对这两个事件进行计数,并且因此可以正确地测量这两个事件的能量。如果这两个圆盘被组合,对检测到的光子的空间-时间分布进行分析可以确定该事件不正确并且可以排斥该事件。

[0063] 在伽马光子在被吸收之前经历康普顿偏差的情况下,将考虑以下两种情况:

[0064] • 康普顿 γ 光子保持在同一光圆锥体中(偏差小于 θ_c)。这种情况是最新的。在此情况下,相互作用所发射的未散射光子将全部留在同一光圆锥体中,但其分布能够不对称呈现,即包括在散射圆盘中的密集圆盘。在这种情况下,通过对最大光圆锥体中的光子数量进行计数来完成测量能量,就像不存在康普顿效应。

[0065] • 康普顿 γ 光子离开光圆锥体。结果是在时间上同步的单独事件(两个圆),与堆叠的情况相反。根据电子部件的质量,两个选项是可能的,包括:

[0066] o排斥无效事件;

[0067] 在积分时间之后验证 ($T_i \times \text{光斑光子数量}_1 + \text{光斑光子数量}_2 = \text{所考虑的能量允许的光子数量}$)。在这种情况下,事件的正确位置保持在最大的圆内。这样,能够通过将这2个圆(或光斑或圆盘)中的光子计数相加来获得事件的能量。

[0068] 将例如Si-PMT类型的光电复用器和ASIC类型的快速组合微电子部件添加至现有的闪烁晶体改善其性能。在晶体的值相对于完整探测器的值是可考虑的时,这重新使用晶体。

[0069] 图2A和图2B对应于具有散射型入口面1的厚度30mm的LaBr₃:Ce板的情况下蒙特卡罗(Monte-Carlo)类型的数字仿真。(T_c=200ps)。

[0070] 更精确地,图2A和图2B示出了以相互作用深度Z=5mm并与初始相互作用之后的不同时间发生在(x,y,z,t)的相互作用的情况下511KeV辐射的测量。

[0071] 示例1:让它是厚度30mm的单晶体板LaBr₃。入口面1是散射型的并覆盖有反射性白色薄膜。示出位置Z=0。较低面5是抛光的。示出了位置Z=30;并且通过具有折射率n_g=1.4的光学密封件,分段式光电探测器3(例如 Si-PMT)被黏合在较低面5上。信息由快速组合ASIC类型的微电子部件(未示出)读取。下文的数据已经(通过仿真)适配了相关闪烁器的几何形状和尺寸。这种微电子部件ASIC测量第一光子到达每个像素的时间,然后例如在第一光子被检测(t₁)与t₁+700ps之间的700ps内对光子的数量进行计数。然后,初始事件之后的700ps内,在这个立体角下恢复闪烁器所发射的光子的50%以上的时间段内,或在LaBr₃的情况下约60ns,它仅对已经被激活的像素上的光子数量进行积分。

[0072] 在已经发生于X、Y、Z、T处的纯光电相互作用的情况下测量511KeV 的辐射。图2A和图2B所体现的图像对应于不同传递时间T_c的Z=5mm。圆代表未散射光子的圆锥体的界限。

[0073] 在这种配置下圆的最佳界定是针对T_c=700ps获得的。(图2A)。检测到约100光子,包括圆内的95%。这以下述毫米精确度确定了圆的坐标和半径。

$$\hat{X}_0 - X_0^* \quad \hat{Y}_0 - Y_0^* \quad \hat{Z}_0 - Z_0^* \quad \hat{T}_0 - T_0^*$$

Z=5 mm	0.0042	0.01	2.8	10.3
Z=10 mm	0.0031	0.03	4	35.07
Z=15 mm	0.017	0.002	6.3	52.47
Z=20 mm	0.0142	0.02	9.3	64.72
Z=25 mm	0.0009	0.01	12	75.95

[0074] 一旦确定了圆盘的位置和直径,在60ns的时间段内对仅圆盘内部的光子的数量进行计数。结果约7000光子,这给出了关于能量分辨率的良好数据统计。与借助于板状探测器(Spect)的传统方法的5%到6%相对照,遵循这种方法,对于LaBr₃获得了这种配置下少于3%的能量分辨率。每个所检测到的光子的能量估计的精度也更高,这提高了探测器的能量控制(gating)效率。

[0075] 根据本发明的系统能够适用于不同能量的伽马射线(从50KeV到几 MeV),并适用于不同的闪烁晶体几何图形(圆柱、板、条、像素.....)。在这些不同情形下,积分时间T_i将

不同,这样使得 $T_i =$ 传递时间(T_c)的2到6倍。传递时间 T_c 是光在具有折射率 n 和厚度 H 的闪烁器中的特征传播时间。 $T_c = H / (c/n)$ 。

[0077] 本发明利用了下述事实:存在适用于SPECT应用的非常快速的闪烁器以及用于对其进行读取的非常快速的电子装置(例如Si-PMT和ASIC类型的专用微电子电路),参见作者帕尼R(Pani,R.)、维多里尼F(Vittorini,F.)、佩莱格里尼R(Pellegrini,R.)、本纳蒂P(Bennati,P.)、辛提(Cinti,M.N.)、马蒂奥利(Mattioli,M.)、和诺塔里斯蒂凡尼(De Notaristefani,F)所著、2008年10月在期刊“能源科学研讨会会议记录2008.NSS'08.IEEE(pp.1763-1771)(Nuclear Science Symposium Conference Record,2008.NSS'08.IEEE(pp.1763-1771))”公开的标题为“基于LaBr₃(Ce)连续晶体的高空间和能量分辨率伽马成像(High spatial and energy resolution gamma imaging based on LaBr₃(Ce) continuous crystals)”的文章。此文章示出了LaBr₃:Ce作为伽马射线成像器的十分有前途的特性。具体地,当LaBr₃:Ce晶体与PMT耦合时,得到了极好的能量分辨率值(在140KeV处是6%并且在662KeV处~3%)。

[0078] 一般地,第一光子因此填充一球体,该球体的直径随着时间以速度 $v = c/n$ 增大。这个球体在探测器的平面上的图像是圆,该圆的直径增大达到边界角度 θ 。这些UV光子在材料(其中,介质的折射率 $n = 1.9$)中以光速 (c/n) 传播,然后在直接光子与散射光子之间造成差别。

[0079] 在LaBr₃类型闪烁器(其到光峰的上升时间接近800ps)中,通过在包括第一触发的光斑(圆盘)的某个圆盘(例如,其直径是光斑直径二倍的光盘)上、在大于闪烁器的上升时间(到光峰的上升时间)(对于LaBr₃ 800ps)的给定时间内对检测到的未散射光子进行计数,提高了就能量而言的检测分辨率。

[0080] 一般而言,在单片式平面探测器中,能量分辨率相对于理论最优值降低。能量分辨率的确与针对给定的能量事件检测到的光子数量相联系。在平面探测器中,所检测到的大部分光子曾经经历了来自其发射点的多次散射。在这个散射过程中,丢失了不同百分比的光子。本发明通过只对来自光圆锥体的未散射光子进行计数提供了一种重要方案,找出了闪烁器的光子/能量关系的特定比例数。这样,用LaBr₃:Ce可以获得3%量级的能量分辨率。

[0081] 本发明进一步涉及一种用于读取(比如上文所描述的)检测系统的光电探测器的组合ASIC类型的微电子部件。所述组合型微电子部件包括用于测量快速事件的模拟件和用于测量第一光子的到达时间的数字件(触发器),从而针对每个像素对所检测到的光子数量进行计数。所述部件还在闪烁器的衰减时间的2到3倍内对所检测到的光子的数量进行积分。

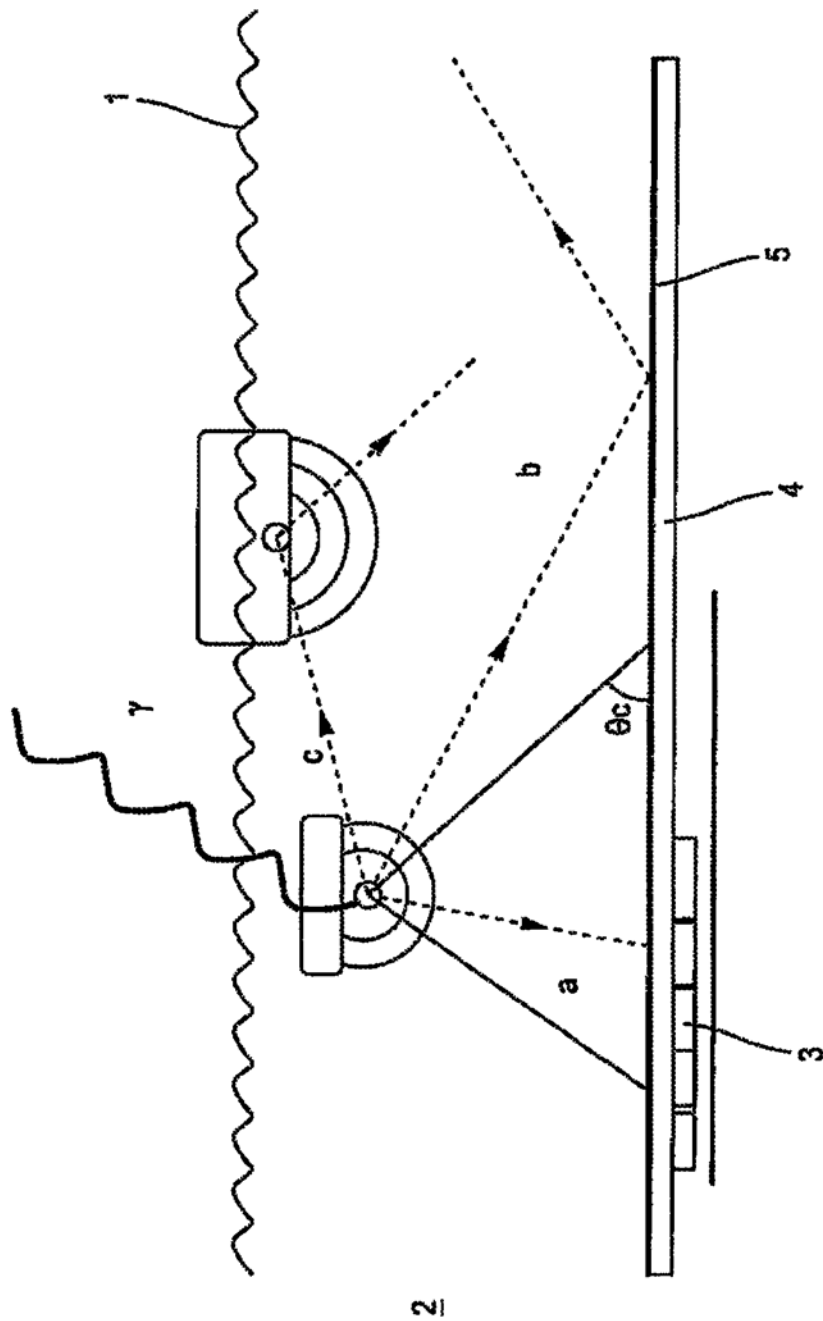
[0082] 还有利的是,重新组成未散射光子的圆盘的图像,从而获知在积分时间内已经撞击了探测器3的每个分段的光子数量的估计。这能够通过所有纳秒中对负荷信号进行数字化来严格地完成,虽然这需要大量的计算功率。针对探测器3的每个分段,具有较简单电子装置的替代性方法是获得指示第一光子到达这个分段上的瞬间的触发(T_r)。仅考虑了触发 $T_r - T_r0 < n * T_c$ (其中,通过建模确定 n)来确定未散射光子的圆。因此,检测到超过圆的光子的概率小于预定义阈值(例如,对于30mm厚度的LaBr₃板 $T_c = 200ps$ 。对于处于95%的阈值, $N = 3.5$)。

[0083] 根据本发明的系统能够用于SPEC或PET类型的伽马成像器以提高闪烁器的能量分

分辨率。

[0084] 根据本发明的系统还能够用于构造成像器光谱仪,如康普顿 (Compton) 摄像头。

[0085] 在不背离发明范围的情况下可以设想许多种组合;本领域技术人员将根据将实践的经济、人类工程、尺寸或其他约束选择一种或另一种。



2

图1

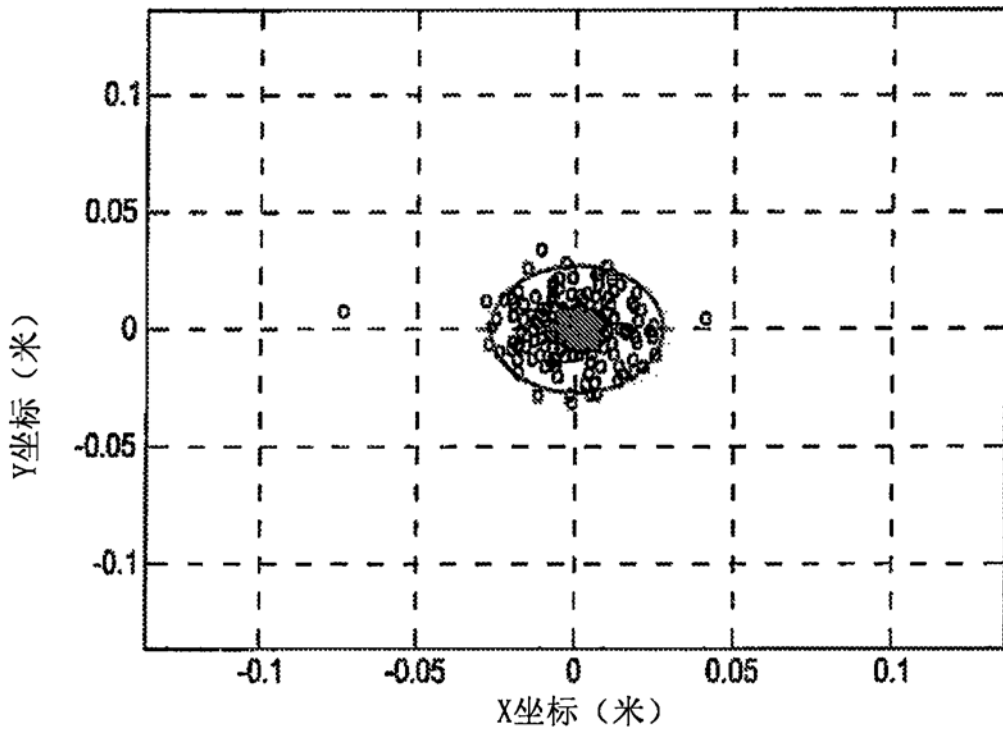


图2A

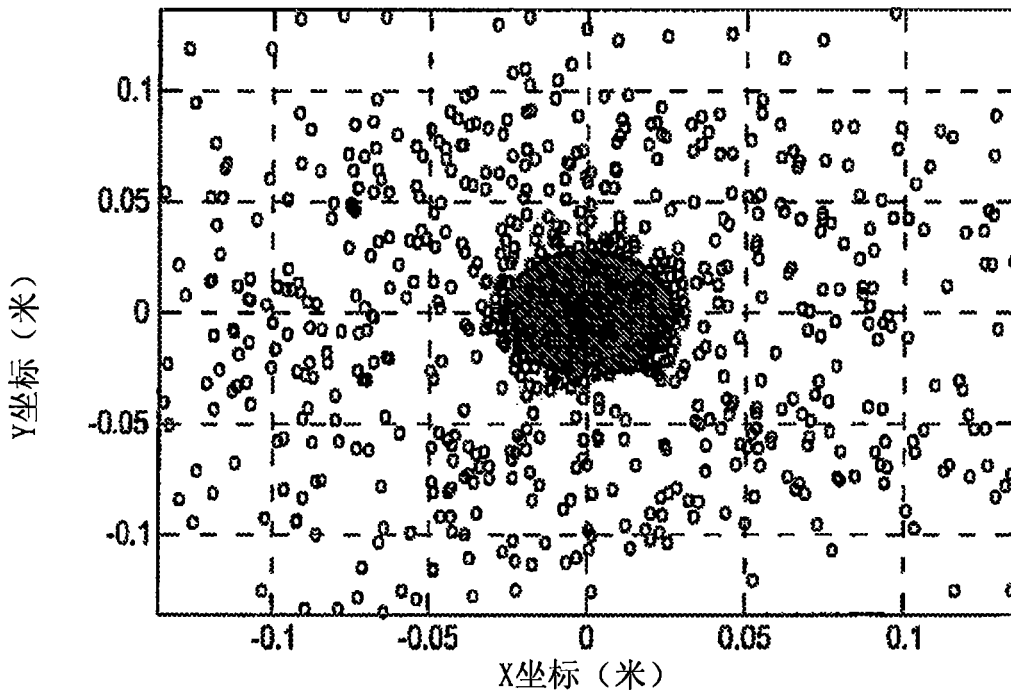


图2B