



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102655813 A

(43) 申请公布日 2012. 09. 05

(21) 申请号 201080056301. 6

(22) 申请日 2010. 10. 27

(30) 优先权数据

61/255, 407 2009. 10. 27 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 06. 12

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/054307 2010. 10. 27

(87) PCT申请的公布数据

W02011/056660 EN 2011. 05. 12

(71) 申请人 华盛顿大学商业中心

地址 美国华盛顿

(72) 发明人 T·K·勒维尔恩 W·C·J·亨特

R·S·米瑶卡 L·麦克多纳德

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 蒋世迅

(51) Int. Cl.

A61B 6/12(2006. 01)

G01T 1/24(2006. 01)

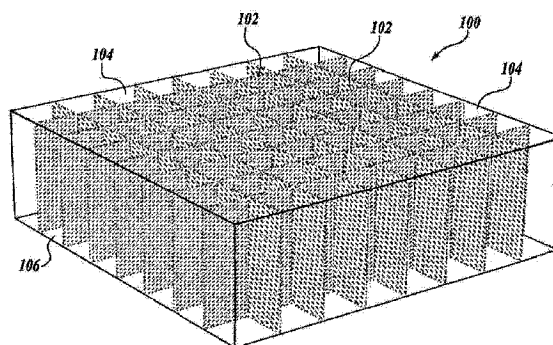
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于辐射检测器晶体的光学干涉图案形成

(57) 摘要

用于辐射检测器晶体的光学界面图案形成。一种辐射检测器被公开，它包含闪烁晶体和多个光电探测器，这些光电探测器被定位以检测闪烁晶体内产生的低能闪烁光子。该闪烁晶体使用表面下激光雕刻处理，以在晶体内产生点状缺陷，用于改变闪烁光子的路径。在一个实施例中，这些缺陷在单块晶体内定义多条边界，以划分单独检测器单元。在另一个实施例中，这些缺陷定义沿纵向改变的交互作用深度边界，以改变被晶体的相邻部分分享的光的量。在另一个实施例中，这些缺陷被均等地分布，以降低来自闪烁事件的光的侧向扩展。这些不同方面中的两个或多个方面，可以被组合在单个闪烁晶体中。此外或另外，类似的 SSLE 缺陷可以在辐射检测器的其他光引导单元中产生。



1. 一种闪烁晶体型辐射检测器,包括:

由闪烁材料形成的透明闪烁器块,该闪烁材料被配置成在释放大量低能光子的闪烁事件中与高能光子交互作用;和

多个光电探测器,被定位以便接收至少一些来自闪烁事件的低能光子,并产生对应的输出信号;

计算机系统,被配置成从该多个光电探测器接收输出信号,并计算闪烁器块内闪烁事件的位置;

其中该闪烁器块包含用表面下激光雕刻在闪烁器块内建立的多个内部缺陷,且其中该多个内部缺陷被配置成改变闪烁器块内大量低能光子中的至少一些的路径。

2. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该闪烁材料包括掺铊碘化钠、锗酸铋、氧化原硅酸镱、原硅酸钆和掺铈原硅酸镱之一。

3. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该多个光电探测器,包括选自光电倍增管、雪崩光电二极管和硅光电倍增器的部件。

4. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该透明闪烁器块包括单块晶体,且其中该多个内部缺陷定义多个反射壁,这些反射壁定义把该单块晶体分割成闪烁器单元的矩形阵列的边界。

5. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该透明闪烁器块包括单块晶体,而该多个光电探测器被布置在该晶体的第一面,且其中该多个内部缺陷被均匀地遍及该晶体分布。

6. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该多个内部缺陷被均匀地遍及闪烁器块分布。

7. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该闪烁器块包括至少一个交互作用深度晶体单元,该交互作用深度晶体单元包括第一部分和第二部分,该第一部分有该多个光电探测器之一在该晶体单元的第一端,该第二部分有该多个光电探测器的不同的之一在该晶体单元的第一端,且其中该多个内部缺陷被沿横向平面布置,该横向平面划分该第一部分与该第二部分。

8. 权利要求 7 的辐射检测器,其中该多个内部缺陷定义有一定形状的阻挡层。

9. 权利要求 8 的辐射检测器,其中该有一定形状的阻挡层是三角形。

10. 权利要求 7 的辐射检测器,其中该多个内部缺陷在该晶体单元的第一端附近被更密地间隔开,而在远离该晶体单元的第一端被更稀地间隔开。

11. 权利要求 1 的辐射检测器,其中该多个光电探测器包括被布置在闪烁器块第一侧上的第一光电探测器阵列,以及被布置在闪烁器块第一侧的相对侧上的第二光电探测器阵列。

12. 权利要求 1 的辐射检测器,还包括透明光波导,被布置在闪烁器块和该多个光电探测器的至少一些之间。

13. 一种用于辐射检测器的闪烁器,包括有多个表面下激光雕刻缺陷的单块闪烁材料块,这些缺陷被配置成与该闪烁器内出现的闪烁事件中产生的可见波长光子交互作用。

14. 权利要求 13 的闪烁器,其中该多个表面下激光雕刻的缺陷,定义内部光学阻挡层的栅格,该内部光学阻挡层的栅格延伸通过闪烁器的厚度。

15. 权利要求 14 的闪烁器,其中该内部光学阻挡层的栅格,定义闪烁器单元的规则阵列。

16. 权利要求 15 的闪烁器,其中该多个表面下激光雕刻的缺陷,还定义闪烁器单元阵列中每一闪烁器单元的交互作用深度光学边界,其中该交互作用深度光学边界沿平面部分地延伸通过闪烁器单元。

17. 权利要求 15 的闪烁器,其中该多个表面下激光雕刻的缺陷,还包括闪烁器单元阵列中每一闪烁器单元的交互作用深度光学边界,其中该交互作用深度光学边界沿平面部分地延伸通过闪烁器单元,且其中该交互作用深度光学边界,在缺陷密度方面沿边界的长度改变。

18. 权利要求 15 的闪烁器,其中该多个表面下激光雕刻的缺陷,被遍及单块闪烁材料块分布。

19. 权利要求 18 的闪烁器,其中该多个表面下激光雕刻的缺陷,被遍及单块闪烁材料块均匀地分布。

用于辐射检测器晶体的光学干涉图案形成

[0001] 交叉参考相关申请

[0002] 本申请要求 2009 年 10 月 27 日提交的美国临时申请 No. 61/255,047 的权益, 本文全文引用该申请, 供参考。

[0003] 政府特许权利声明

[0004] 本发明是按照 National Institutes of Health, National Institutes of Biomedical Imaging and Bioengineering 给予的 EB002117 以政府支持完成的。政府在本发明中有一定权利。

背景技术

[0005] 闪烁晶体辐射检测系统依赖于诸如伽马射线的高能光子, 与闪烁材料在 Compton 散射或光电交互作用中的交互作用。闪烁事件产生大量低能光子, 该低能光子更容易用光电探测器, 诸如光电倍增管、硅光电倍增器之类检测。

[0006] 示例性闪烁晶体包含 NaI (TI) (掺铊碘化钠)、BGO (锗酸铋)、LSO (氧化原硅酸镱)、GSO (原硅酸钆)、LYSO (掺铈原硅酸镱)、LuAP (镱铝钙钛矿)、LGSO (Lu_{0.4}Gd_{1.6}SiO₅: 22.0mol%Ce)、LaBr₃ (溴化镧) 之类。例如, 当 BGO 与高能辐射, 诸如伽马射线或 x 射线交互作用时, 它发射有 480nm 的峰值波长的绿色荧光。BGO 在高能物理、核物理、空间物理、核医学、地质勘测和其他工业中有广泛范围的应用。LYSO 晶体有高光输出和密度、快速衰减时间、优良的能量分辨率和适度价格的优点。这些性质使 LYSO 成为核物理和核医学中检测应用的范围的良好候选, 这些应用要求改进的定时和能量分辨率。

[0007] 在用于正电子发射断层摄影法 (PET) 的典型的闪烁晶体中, 例如, 有标称能量 511keV 的入射伽马光子在闪烁晶体中交互作用, 以便在非常短闪光或闪烁事件中产生数万低能 (如, 可见波长) 光子 (~1eV)。晶体中产生的闪烁光子的数量, 与由该光子存储的能量成比例。

[0008] 低能闪烁光子然后被用光电探测器检测, 该光电探测器通常在闪烁晶体的一侧, 或者相对的两侧被放置成阵列。典型的光电探测器包含光电倍增管 (PMT)、雪崩光电二极管 (APD)、Si-PIN 光电二极管、硅漂移光电二极管和硅光电倍增器 (SiPM)。该辐射检测器被配置成通过检测闪烁事件中产生的低能光子以识别高能光子交互作用, 并确定闪烁事件在闪烁晶体中的位置 (最好是, 在三空间维度中)、闪烁事件的时间、以及该事件的总能量。

[0009] 正电子发射断层摄影法 (PET)

[0010] 虽然按照本发明的辐射检测器预期在诸多不同领域中有应用, 范围从宇宙成像到放射性材料的检测, 但在医疗成像领域中的特殊应用将被相当详细描述, 以帮助读者理解本发明在下面的描述。

[0011] 正电子发射断层摄影法 (PET) 是医疗成像模态, 它利用放射性衰减的优点测量生物组织内部的新陈代谢活动。PET 成像系统包括如在图 1 示意所示的三种主要部件, 施予被扫描的受治疗者的放射性示踪剂、可操作地检测放射性示踪剂位置的扫描器 (非直接地, 如下面的讨论)、以及 X 线断层像处理系统。

[0012] 第一步是产生和施予放射性示踪剂 90, 该示踪剂包括放射性同位素和新陈代谢活性分子。该示踪剂 90 被注射进待扫描的身体 91。在示踪剂 90 集中在某些组织中的容许时间之后, 身体 91 被适当定位在扫描器 92 内。用于 PET 检查的示踪剂的放射性衰减事件, 是正电子发射。被发射的正电子在身体组织中飞行短的距离, 直到它与电子交互作用。该正电子 - 电子交互作用是产生两个 511KeV 反平行光子的湮灭事件。扫描器 92 适合从该湮灭事件同时地检测该对光子。

[0013] 扫描器 92, 即 PET 系统的第二部件, 包含检测该 511KeV 光子的传感器环和处理该传感器产生的信号的前端电子装置。如在上面的讨论的, 闪烁器 93 把该 511KeV 高能光子转换为许多低能光子, 通常是可见光光子。光电探测器 (如, PMT、SiPM 或 ADP) 94 检测这些可见光光子并产生对应的电脉冲。该脉冲被前端电子装置处理, 以确定脉冲的参数或特征 (如, 能量、定时)。前端电子装置例如可以包含一个或多个低通滤波器 96、模数转换器 97 和现场可编程门阵列 98。传感器通常包括闪烁器 93 和光电探测器 94。

[0014] 数据被从前端电子装置发送到主计算机 95, 该主计算机 95 执行 X 线断层像重构, 以便把数据转变为 3-D 像。

[0015] 511keV 的光子有实质量的能量并将穿过许多材料, 包含身体组织。虽然这样通常允许该光子飞过并射出身体, 但高能光子难以检测。光子检测是闪烁器 93 的任务。闪烁器 93 吸收或以其他方式与高能光子交互作用, 并发射相对大量的低能光子, 通常是可见光光子。闪烁器 93 能够由各种不同材料制成, 包含塑料、有机和无机晶体、以及有机液体。每种类型闪烁器有不同密度、折射率、定时特征和最大发射的波长。为方便起见, 在目前应用中, 闪烁器将有时称为“晶体”, 虽然其他合适的闪烁器材料也被考虑。为了目前应用的目的, “闪烁器晶体”被定义为涵盖任何合适的闪烁材料。

[0016] 一般说来, 闪烁器的密度决定该材料如何很好地使高能光子停止。闪烁器晶体的折射率和发射的光的波长影响光有多容易能够被从该晶体收集。发射的光的波长还必须与使该光转变为电脉冲的装置 (如, PMT) 匹配, 以便优化效率。闪烁器定时特征决定它使可见光达到它的最大输出 (上升时间) 有多长时间和它走向衰减 (衰减时间) 有多长时间。上升和衰减时间是重要的, 因为这两个时间之和越长, 检测器能够在给定周期中处理的事件数量就越少, 从而为获得相同数量计数的扫描越长。还有, 定时特征越长, 两个事件重叠 (堆积) 的可能性越大, 这样会导致损失数据。

[0017] 被附着于闪烁器 93 的是把可见光光子从闪烁器 93 转换为电脉冲的电子装置。PMT 是真空管, 有光电阴极、倍增器电极、以及有高增益以允许非常低强度的光被检测的阳极。APD 是 PMT 的半导体型式, 但有显著更低的增益特征。SiPM 包括按 Geiger 模式操作的半导体光电二极管阵列, 所以当光子交互作用并产生载流子时, 短的电脉冲被产生。在示例性的 SiPM 中, 该光电二极管阵列包括每 mm^2 约 103 个二极管。所有二极管被连接到共同的硅基片, 所以阵列的输出是所有二极管的输出之和。因而该输出的范围能够从一个光电二极管闪光的最小值到所有光电二极管闪光的最大值。这一点给出这些装置的线性输出, 即便它们由数字装置构成。

[0018] 在常用的 PET 检测器中, 闪烁器 93 包括离散的晶体, 该晶体被安排在两维平面阵列中, 其后被安排成环, 如图 1 所示。用于检测闪烁光的闪光的光电探测器 94, 通常被定位在每一单独晶体的后表面邻近。来自光电探测器的信号被分析, 用于估计闪烁事件的 x-y

位置、估计交互作用的深度(即, z 位置)、确定交互作用的时间、和估计在闪烁器中存储的总能量。然而, 为获得非常高的分辨率而给出需要的小晶体横截面, 离散的晶体设计通常是昂贵的、有低的敛集率(packing fraction)、降低的光收集、以及是劳动密集型建造的。

[0019] 本发明人已经研究和发展出用于 PET 扫描仪的新和先进的检测器。例如, cMiCE: a high resolution animal PET using continuous LSO with a statistics based positioning scheme, J. Joung, R. S. Miyaoka, T. K. Lewellen, Nuclear Instruments & Methods in Physics Research A489 (2002) 584-598 (Elsevier), 本文全文引用该文献, 供参考, 该文献讨论的是用于小动物的连续的缩小晶体单元(cMiCE)的检测器。亦见美国专利申请公布 No. 2010/0044571, 本文也全文引用该申请, 供参考。

[0020] 在另一个例子中, New Directions for dMiCE - Depth-of-Interaction Detector Design for PET Scanners, T. K. Lewellen 等人, IEEE Nucl Sci Symp Conf Rec (2007); 5: 3798-3802, 本文全文引用该文献, 供参考, 该文献讨论的是根据在一对晶体或四联体(quadlet)晶体之间光共享的新颖交互作用深度(depth-of-interaction(DOI))检测器的设计。亦见 PCT 申请公布 No. W02010/048363, 本文也全文引用该申请, 供参考。

发明内容

[0021] 本发明内容被提供以便按简化形式介绍概念的选择, 这些概念在下面的具体实施方式中进一步被描述。本发明内容不企图识别被要求保护的主题的关键特性, 也不企图在确定被要求保护的主题的范围中有帮助。

[0022] 被公开的辐射检测器, 有透明闪烁器块, 被用表面下激光雕刻修改以在该块内产生多个内部缺陷。这些内部缺陷被精密地配置, 以改变低能闪烁光子的路径。多个光电探测器, 被配置成检测来自该块中出现的闪烁事件的闪烁光子, 并产生输出信号。计算机系统被配置成从该光电探测器接收该输出信号, 以便计算闪烁事件的位置。

[0023] 在辐射检测器的一个实施例中, 闪烁器块由掺铊碘化钠、锗酸铋、氧化原硅酸镱、原硅酸钆或掺铈镱形成。

[0024] 在辐射检测器的一个实施例中, 该多个光电探测器是光电倍增管、雪崩光电二极管、或硅光电倍增器。

[0025] 在辐射检测器的一个实施例中, 该闪烁器块是单块晶体, 而该内部缺陷定义多个反射壁, 这些反射壁定义把该单块晶体分割为闪烁器单元的矩形阵列的边界。

[0026] 在辐射检测器的一个实施例中, 该闪烁器块是单块晶体, 有光电探测器阵列被布置在该晶体的第一面, 且这些内部缺陷还均匀地遍及晶体分布。

[0027] 在辐射检测器的一个实施例中, 该闪烁器块定义交互作用深度检测器, 该交互作用深度检测器包括第一部分和第二部分, 该第一部分有光电探测器在该晶体单元的第一端, 该第二部分有第二光电探测器在该晶体单元的第一端, 且该多个内部缺陷沿横向平面布置, 该横向平面划分该交互作用深度检测器的第一部分与第二部分。这些内部缺陷可以定义三角形阻挡层和 / 或可以在密度方面沿纵向变化。

[0028] 在辐射检测器的一个实施例中, 透明光波导被布置在闪烁器块和多个光电探测器之间。

[0029] 用于辐射检测器的闪烁器被公开, 包括有多个表面下激光雕刻缺陷的单块闪烁材

料块,这些缺陷被配置成与该闪烁器内出现的闪烁事件中产生的可见波长光子交互作用。

[0030] 在闪烁器的一个实施例中,该多个表面下激光雕刻的缺陷,定义内部光学阻挡层的栅格,该光学阻挡层的栅格通过闪烁器的厚度延伸,把闪烁器分为矩形闪烁器单元的规则阵列。

[0031] 在闪烁器的一个实施例中,该多个表面下激光雕刻的缺陷,定义每一闪烁器单元的交互作用深度光学边界,该交互作用深度光学边界沿平面部分地延伸通过闪烁器单元,其中该交互作用深度光学边界是三角形。

附图说明

[0032] 前述本发明的各方面和许多伴随的优点,当结合附图通过参考下面详细的描述时,将随着该各方面和许多伴随的优点变得更好理解而变得更容易明白,附图中:

[0033] 图 1 是表明 PET 扫描器系统的环境视图;

[0034] 图 2 是单块闪烁块透视图,该单块闪烁块被多个表面下激光雕刻的壁或阻挡层分割为八乘八单元的阵列,这些壁或阻挡层定义反射式内部表面;

[0035] 图 3 是来自图 2 所示单块闪烁块的晶体单元的透视图,并图解地画出闪烁事件;

[0036] 图 4 是有内部反射壁或特性的交互作用深度单块晶体对的透视图,该内部反射壁或特性由表面下激光雕刻形成;

[0037] 图 5 是交互作用深度单块晶体对的透视图,其中的内部反射特性通过表面下激光雕刻以分级的密度被形成;和

[0038] 图 6 是有连续的单块闪烁晶体的闪烁检测器透视图,该单块闪烁晶体有分布的点状缺陷遍及该晶体的体积,这些点状缺陷是通过表面下激光雕刻形成的。

具体实施方式

[0039] 我们提出一种新颖的用于表面下激光雕刻(SSLE)的应用,其中 SSLE 被用于在光学单元,诸如闪烁晶体的内部区中产生点状缺陷。这些缺陷被配置成控制光学装置内低能光子的传输。例如,且如在下面更详细讨论的,由 SSLE 产生的点缺陷的阵列,能够在光学单元,诸如闪烁器、光波导或透镜中起反射式光学边界或界面的作用。由 SSLE 处理过程确定的点缺陷的图案及密度和单独的点缺陷的特征,能够被用于控制光学单元中光的传送和/或分布。此外,点缺陷图案的这些性质,能够作为位置函数而变化,使光传送在界面上是不稳定的。另外或此外,通过体积引入的点缺陷分布,能够被用于降低闪烁光子的闪光的侧向扩展。由 SSLE 在光学单元中产生的缺陷可以被产生,以提供光子的高效率反射,这样使该光可以用相对低的光子损耗(吸收),被再引进光学单元。

[0040] 表面下激光雕刻,是用被聚焦的激光在光学透明材料(如,玻璃、晶体或塑料)内,建立或产生二维或三维图案的处理过程。材料的透明度使激光的衰减和畸变最小。脉冲激光束的侧向位置,通常由成对的协同的反射镜或直角棱镜(例如见美国专利 No. 7, 371, 596, 本文全文引用该申请,供参考)控制。在 SSLE 中,焦点的深度可以由致动的聚焦单元控制。脉冲激光在焦点光斑上的能量注入,引起快速的局部加热、熔化、和/或应力,导致相对小的或点状的缺陷,例如微小的裂纹。点状缺陷上的材料性质,诸如掺杂物扩散、氧化、结晶化、颗粒边界、破裂如此等等,可以与周围的大块材料不同。

[0041] 利用 SSLE 建立的缺陷的小心生成和布局,这些缺陷可以在空间上被约束,即使是在易碎的闪烁晶体中。例如,如果缺陷的大小与到边界或另一个缺陷的距离相比是小的,那么应力引起的破裂将不会传播远至被加热体积之外。该缺陷大小取决于焦点光斑的大小、能量注入和扩散的速率、以及激光波长。如此,SSLE 已经被用于在光学透明材料中产生像,以使用作纪念品或赠品。SSLE 的一般处理过程公开在美国专利 No. 5, 206, 496 中,本文全文引用该申请,供参考。亦见美国专利 Nos. 6, 969, 820 ;6426480 和 4, 843, 207。

[0042] 有使用 SSLE 定义的内部光学边界的单块闪烁器块

[0043] 在图 2 所示第一实施例中,闪烁器块 100 由单块闪烁材料块,例如 LYSO 晶体形成,测定为 49.6mm×49.6mm×15mm。光学阻挡层的 102 栅格遍及块 100 被形成,每一阻挡层作为用 SSLE 蚀刻的缺陷的平面阵列形成。如图 2 所示,在该实施例中,光学阻挡层 102 垂直于块 100 的上和下表面,并被配置成定义 64 个透明晶体单元 104 的规则阵列。每一被定义的晶体闪烁器单元 104 是大约 3.1mm×3.1mm×15mm。

[0044] 因此,闪烁器块 100 定义闪烁器单元 104 的正方形 8×8 阵列,其间有 SSLE 产生的光学阻挡层 102 定义的基本上反射式边界。此外,块 100 的外周边壁 106 通常配有反射阻挡层,它可以例如由激光雕刻块 100 的表面形成,或由反射材料的常用涂敷形成。虽然在该示范性实施例中出示正方形 8×8 阵列,但应当理解,其他阵列大小可以替代使用,例如包含 16×16 阵列、8×16 阵列、非正方形阵列等等。此外,虽然均匀矩形闪烁器单元 104 被出示,但容易明白,利用 SSLE 是直截了当的,且本发明考虑到,在某些情况下,定义在阵列中有不同大小和 / 或有不同形状的闪烁器单元,例如包含梯形单元,可以是有利的。

[0045] 有利的是,闪烁器块 100 包括单个整体块,而不是单独单元的普通组装。因为在该块 100 内定义的阻挡层 102,晶体单元 104 基本上作为分开的闪烁器块起作用。图 3 示出块 100 的局部部分,包含单独晶体单元 104。伽马射线 80 进入晶体单元 104 并通过或者 Compton 散射或者光电交互作用的交互作用,产生闪烁光子 82 的全向闪光。一些光子将被引向晶体单元 104 的上表面 105U 或下表面 105L,以便被光电探测器(未画出)检测。大多数有更侧向轨道的光子将从光学边界 102 反射一次或更多次,并最终从上表面 105U 或下表面 105L 射出晶体单元 104。可以预料,一些光子可以传输通过光学边界 102 中的间隙并从光学边界 102 反射进相邻晶体单元 104 中,以便被相邻的光电探测器检测。在这样的情形中,来自多个相邻光电探测器的信号可以被共同地分析,以计算特定闪烁事件的位置、定时、和能量。

[0046] 被公开的闪烁器块 100 的结构,提供优于现有技术的若干优点。例如,只有单块闪烁材料(如,LYSO)必须制作,以产生多个晶体单元 104,大大降低与制作和组装大量分开的块关联的时间和费用。此外,没有附加的光阻挡或光反射材料必须在分开的块之间被提供并被组装。

[0047] 该公开的结构,还消除现有技术结构中被布置在单独块之间的反射材料所建立的死区,该死区不产生闪烁光子。例如,在现有技术由多个单独块组装形成的在其间有反射材料的闪烁器块中,反射材料不是闪烁材料,如果例如伽马射线与反射材料交互作用,将不产生光的闪光(闪烁光子)。与反射材料交互作用的伽马射线将因此不被检测。随着辐射检测器的设计趋向于更小的单独闪烁器块大小(为了增加像分辨率),由反射材料定义的死区将变得更显著。然而,在上面定义的块 100 中,整个块是 LYSO,并当与伽马射线 80 的 Compton

或光电交互作用出现时,将由此产生光的闪光。

[0048] 交互作用深度检测器设计

[0049] 在上面引用的 New Directions for dMiCE - Depth-of-Interaction Detector Design for PET Scanners 中,交互作用深度闪烁检测器被公开,其中,一对闪烁晶体被并排地排列,而成一定形状的反射器被提供以覆盖两个闪烁晶晶体之间的界面的一部分。该反射器例如可以是三角形的。如在引用的文献中的详细讨论,成对的晶体有透明区在其间,并将因此“共享”任一晶体中闪烁事件产生的光的一部分。光电探测器被提供在两个晶体的至少一端,且对两个晶体检测的光的量能够被分析。通过比较来自两个晶体的检测的信号,估计的交互作用深度(闪烁事件的纵向位置)能够被计算。在这种交互作用深度检测器的现有技术实施例中,该两个晶体和反射器是分开地被形成的,且该三个部件用黏合剂组装。

[0050] 图 4 示出示例性交互作用深度检测器 110,按照本发明构成,并包括单块晶体 111。在该实施例中,单块晶体 111 用 SSLE 处理以定义内部边界 112,该内部边界包括一般沿横向平面的被间隔开的点状缺陷的阵列。一对光电探测器 116 相邻该晶体 111 的底表面 115 被提供。该内部边界 112 一般是三角形,跨越晶体在底表面 115 上的宽度延伸,并随着它向上延伸到晶体 111 的顶部几乎一直变细。虽然三角形边界 112 被示出,但有一部分只在横向平面的一部分延伸的其他形状可以替代使用,且被考虑。

[0051] 应当理解,公开的配置比类似的现有技术用两个分开晶体组装的交互作用深度晶体对,更易于构造。因此,该结构分享上面讨论的优点。这种类型的交互作用深度单块晶体的另外优点,在于晶体沿三角形边界 112 定义的平面的非阻挡部分,不包含两个分开晶体之间的接合或界面。因此,本结构将改进晶体 111 两侧之间的光共享。

[0052] 图 5 示出有单块晶体 121 的示例性交互作用深度成对晶体检测器 120 的另一个实施例。晶体 121 用 SSLE 处理以定义反射式内部边界 122。在该实施例中,内部边界 122 以它的整个长度跨越晶体 121 的宽度延伸,而不是有变细形状。然而,定义该反射边界 122 的点状缺陷的密度沿纵向变化。在一个具体实施例中,缺陷的密度从边界 122 的基底连续地下降,使在晶体表面 125 接近光电探测器 116 处的缺陷密度变得大得多。因此,晶体 121 两部分(该两部分在内部边界 122 两侧)之间共享的光的量,沿晶体 121 的长度变化。检测器 120 中出现的闪烁事件的深度,因而可以通过比较来自两个光电探测器 116 的信号响应被估计。

[0053] 然而,应当预料到,缺陷的浓度可以按更复杂的方式变化,例如,在沿晶体长度的中点有最低缺陷密度。同样应当从本公开明白,缺陷的密度可以按所成形状的内部边界变化,如在图 4 中所示。

[0054] 没有离散阻挡层的连续晶体

[0055] 在本发明的另一个实施例中,被形成的闪烁晶体没有定义分开的晶体单元的反射阻挡层。如在上面引用的 cMiCE:a high resolution animal PET using continuous LSO with a statistics based positioning scheme,以及美国专利申请公布 No. 2010/0044571 中的讨论,连续的缩小晶体单元(cMiCE)检测器,可以作为单个闪烁器材料板(如,LYSO)被形成,而来自连续晶体表面上的光电探测器阵列的信号,可以被分析,以估计晶体内闪烁事件的三维位置。

[0056] 例如,一些本发明的发明人已经发展连续的缩小晶体单元检测器,由

50mm×50mm×8mm 的 LYSO 板构成,与 64 信道、多阳极、平板光电倍增管耦合。基于统计学的定位算法,分析来自光电倍增管信道阵列的光响应函数,以便计算晶体内闪烁事件的三维位置。

[0057] 按照本发明的连续晶体光电探测器 130 的图解侧视图,被示出在图 6 中。在该实施例中,单块闪烁晶体 131 如图所示,有一对光电传感器入口窗或光波导 138,设在晶体 131 的相对侧,以及被布置在每一光波导 138 上的光电探测器 136 的二维阵列。闪烁晶体 131 被配置成有多个点状缺陷 132,这些点状缺陷由 SSLE 产生被遍及晶体 131 分布。在该当前的优选实施例中,缺陷 132 大致均匀地遍及晶体分布,虽然已经考虑到,有非均匀分布的缺陷可能有优点。例如,边界问题可以通过在闪烁晶体 131 的侧向边界附近提供更密的缺陷分布,如,用于降低没有遇到光电探测器 136 之一而逃逸的光子数而被缓解。

[0058] 虽然在该实施例中,分开的光电探测器 136 被布置在晶体 131 的两个相对表面,但应当考虑到,本发明可以换种方式以不同光电探测器配置实现。例如,光电探测器 136 的阵列可以只被提供在晶体 131 的入口表面(或相对入口表面的表面)上,相对表面被弄粗糙或另外被配置成反射光子。在另一个例子中,光电探测器可以被提供在晶体 131 的侧面上以便从离开晶体 131 周边逃逸的光子捕获信息。

[0059] 图 6 还图解地示出,进入晶体 131 并产生闪烁事件(在 81)的伽马射线 80,该闪烁事件产生大量一般沿所有方向均匀分布的可见波长闪烁光子 84。如图所示,许多闪烁光子 84 将在射出晶体 131 之前在闪烁晶体 131 中从缺陷 132 反射。晶体 131 有大于它的厚度的侧向尺寸,从而平均说来,闪烁光子 84 在它们沿侧向飞行通过晶体 131 时,可以遇到更多缺陷 132。光的侧向扩展将由此被遍及晶体 131 分布的缺陷优先衰减。

[0060] 分布的缺陷 132 将趋向使被光电传感器 136 从闪烁光子 84 检测的信号变尖锐,如与图上面与检测器 130 关联的曲线图所示。在该曲线图中,曲线 70 图解地示出闪烁事件 81 的光分布概率密度函数(PDF)与没有缺陷 132 的类似检测器中产生的光分布 PDF 72 的定量比较。应当被理解,从晶体中分布的缺陷得到的更尖锐的 PDF 70,将增加计算的闪烁事件位置 81 的三维估计的精确度。

[0061] 同样应当被理解,虽然图 6 所示点状缺陷被布置在闪烁晶体 131 中,但闪烁检测器中的其他光学单元,可以用 SSLE 与点状缺陷类似地提供,以获得闪烁光需要的控制。例如,光波导 138 可以被制作成有缺陷分布的,以利于引导闪烁光。在闪烁检测器的另一个实施例中,光波导和 / 或光纤被用于连接闪烁晶体与光电探测器。应当考虑到,这样的光学光波导可以类似地被配备缺陷,以便控制和 / 或引导闪烁光。

[0062] 上面在附图中描述和出示的例子,说明若干实施例,用于控制从闪烁材料的光输出,以利于和改进从闪烁事件产生的光的检测。如在上面的讨论,本方法和装置提供的优点是,改进的性能、降低的生产成本和简化的生产。

[0063] 此外,虽然本发明的不同方面被公开在分开的实施例中,应当认识到,这些新颖的方面可以被组合在单个设备中。例如,应当认识到,SSLE 可以被用于构造单块晶体,它有光学阻挡层,诸如图 2 所示的阻挡层 102,以及有部分阻挡层,诸如图 4 所示边界 112,这样使该晶体定义交互作用深度晶体部分的阵列。另外或此外,该晶体部分可以被配备有光滑分布的多个内部缺陷,诸如图 6 所示的缺陷 132。

[0064] 虽然说明性的实施例已经被出示和描述,但应当认识到,各种不偏离本发明的精

神和范围的变化能够在其中作出。

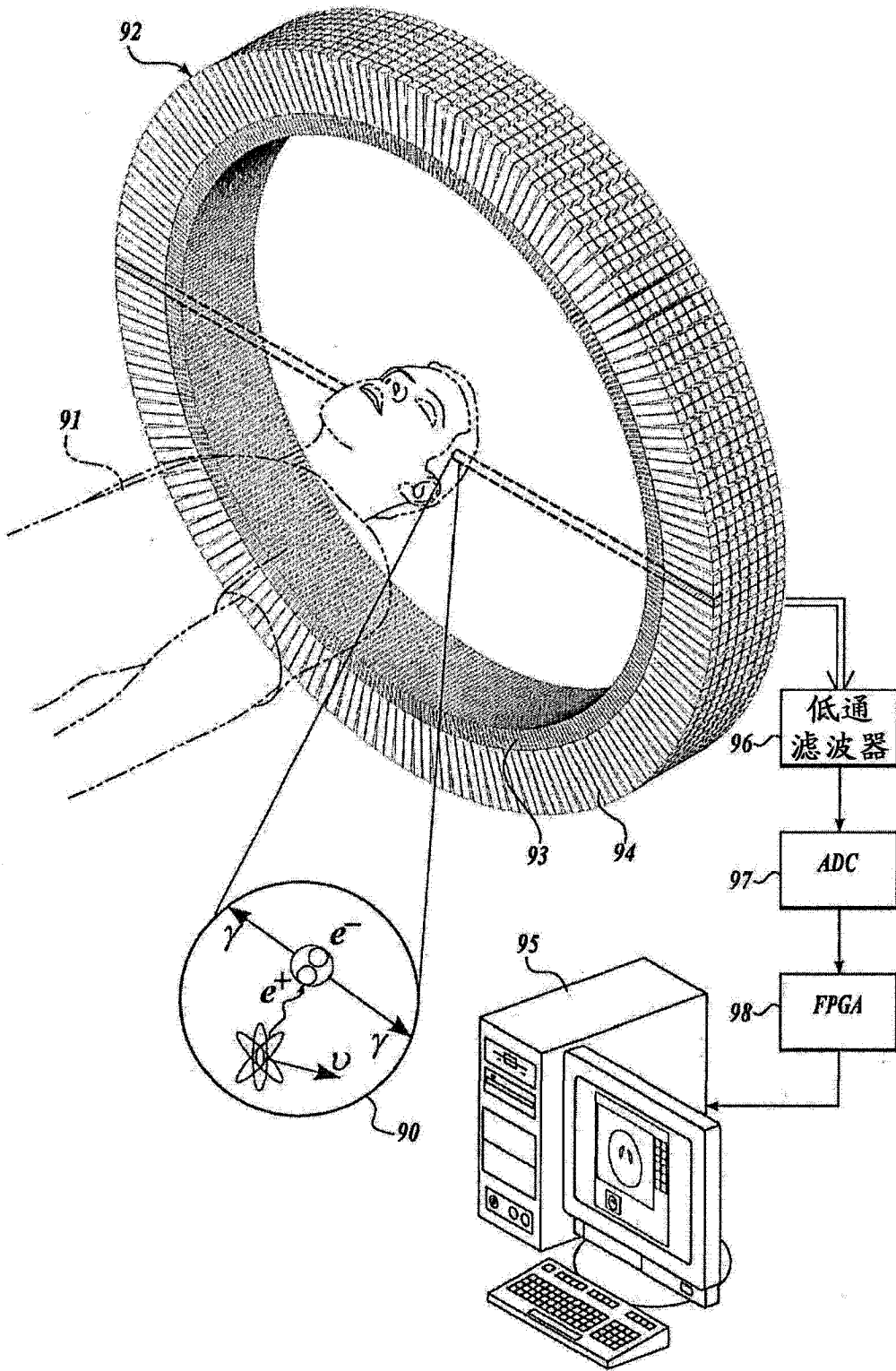


图 1(现有技术)

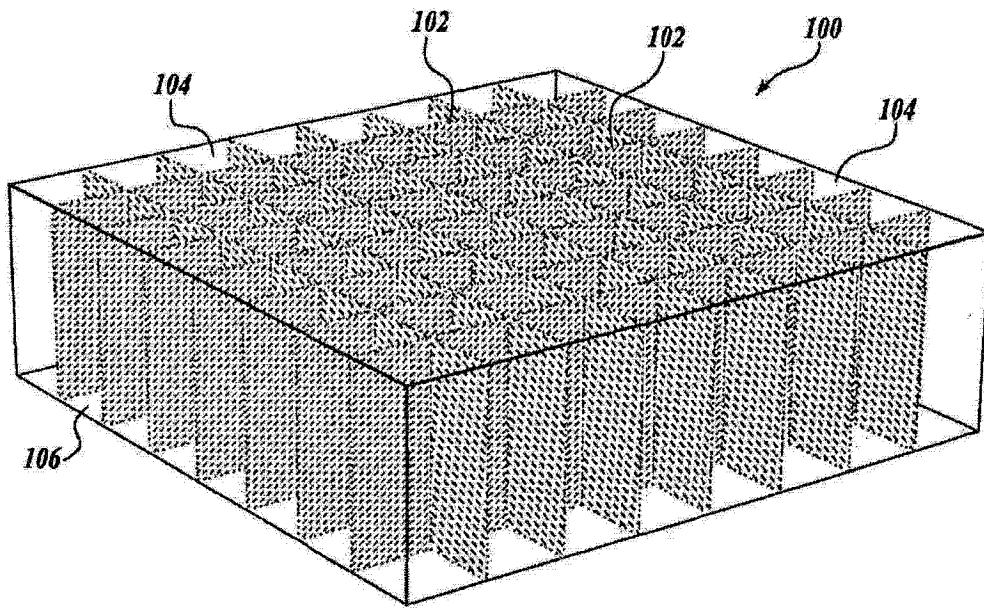


图 2

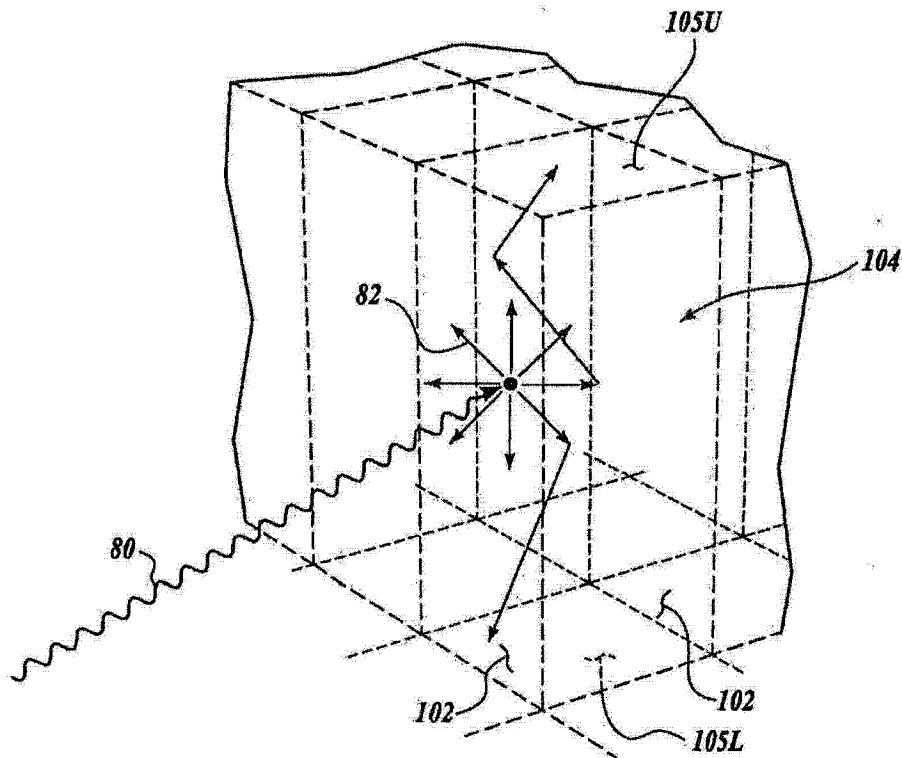


图 3

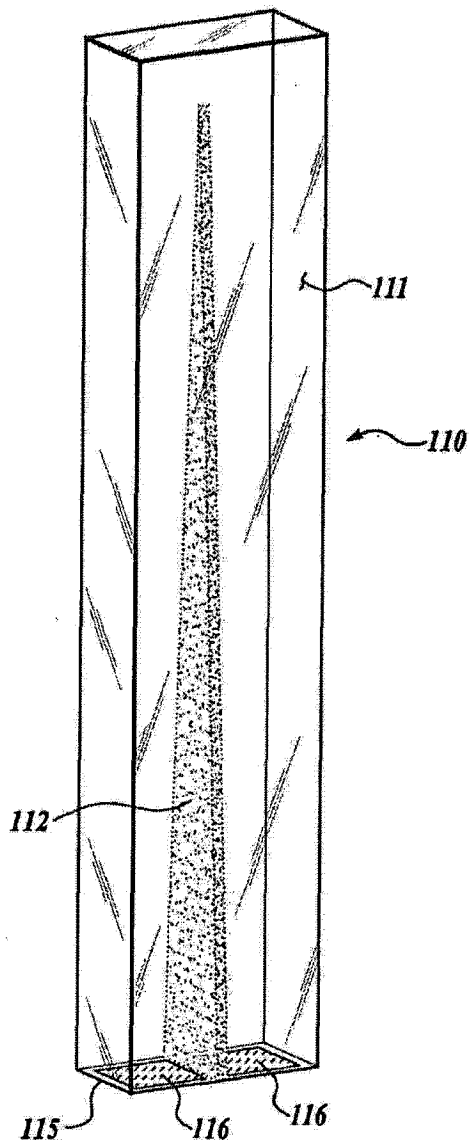


图 4

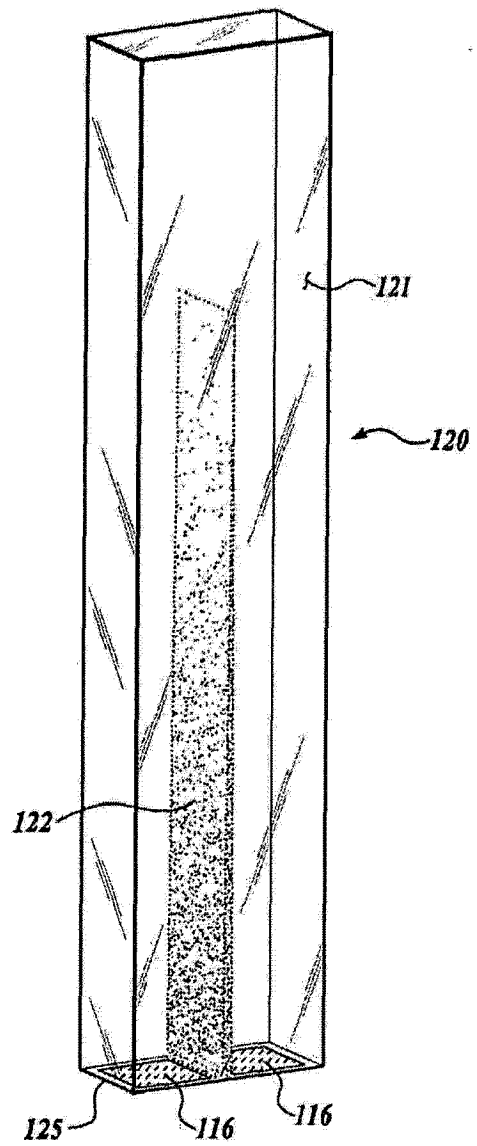


图 5

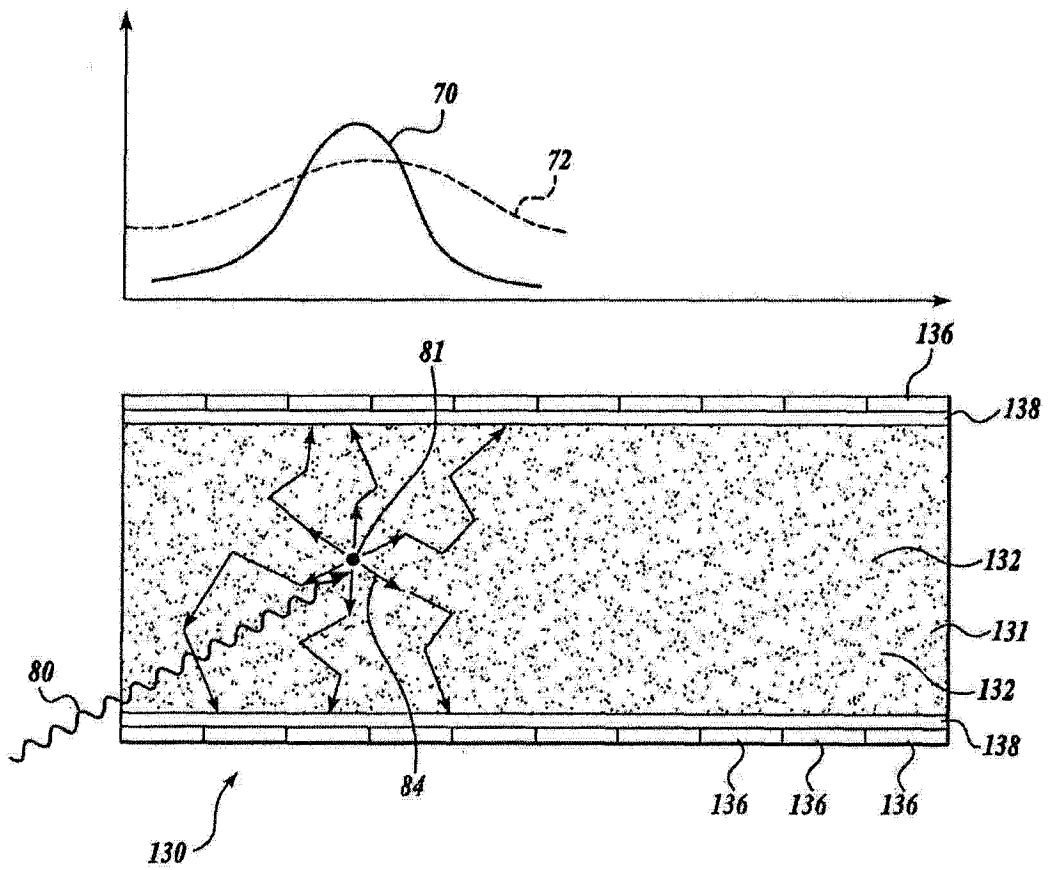


图 6