



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102597805 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 18

(21) 申请号 201080050946. 9

G01N 23/04 (2006. 01)

(22) 申请日 2010. 11. 11

(30) 优先权数据

61/260, 689 2009. 11. 12 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 05. 10

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2010/056376 2010. 11. 11

(87) PCT申请的公布数据

W02011/060166 EN 2011. 05. 19

(71) 申请人 圣戈本陶瓷及塑料股份有限公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 P·R·蒙格

(74) 专利代理机构 北京泛华伟业知识产权代理

有限公司 11280

代理人 徐舒

(51) Int. Cl.

G01T 1/20 (2006. 01)

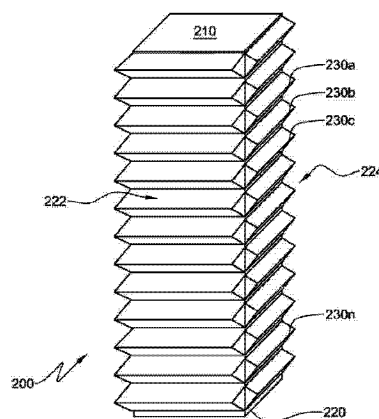
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 10 页

(54) 发明名称

闪烁像素的设计以及工作方法

(57) 摘要

在此说明了多种闪烁像素, 它们可以包括在这些像素的外表面内形成的一系列的脊。这些脊可以是竖直或水平取向的并且可以导致更快的闪烁体以及展示了光散开方面的减少的闪烁体。



1. 一种闪烁像素,包括:  
一个闪烁体元件,具有至少一个侧面,一个高能量末端以及一个相反的发光末端;并且其中该闪烁体元件的至少一个侧面是实质上平行于光传播轴线并且限定了多个脊,这些脊各自具有至少  $1\mu\text{m}$  的高度。
2. 如权利要求 1 所述的闪烁像素,其中这些脊相对于该像素的光传播轴线是实质上纵向的。
3. 如权利要求 1 所述的闪烁像素,其中这些脊相对于该像素的光传播轴线是实质上水平的。
4. 如权利要求 1 所述的闪烁像素,其中这些脊具有大于  $10\mu\text{m}$  的高度。
5. 如权利要求 1 所述的闪烁像素,其中该像素包括四个侧面并且各个侧面包括多个脊。
6. 如权利要求 1-5 中任一项所述的闪烁像素,其中这些脊具有至少  $10\mu\text{m}$  的高度。
7. 如权利要求 1-5 中任一项所述的闪烁像素,其中这些脊是彼此平行的。
8. 如权利要求 1-5 中任一项所述的闪烁像素,其中该闪烁体元件包括一种选自晶体、陶瓷以及聚合物中的闪烁材料。
9. 一种闪烁阵列,包括多个如权利要求 1 至 5 中任一项所述的像素。
10. 一种成像装置,包括如权利要求 1 至 5 中任一项所述的闪烁像素。
11. 一种闪烁像素,包括:  
一个具有传播轴线的闪烁体元件;以及  
一个与该闪烁体元件相邻的实质上透明的膜,该实质上透明的膜具有背向远离该闪烁体元件的一个外表面,其中该实质上透明的膜的外表面包括多个部分,这些部分具有不平行于该闪烁体元件的传播轴线的表面。
12. 如权利要求 11 所述的闪烁像素,其中该膜是一种微棱柱膜。
13. 如权利要求 11 所述的闪烁像素,其中该膜被一个漫反射体包围。
14. 如权利要求 13 所述的闪烁像素,包括在该膜与该漫反射体之间的一系列的间隙。
15. 如权利要求 11 所述的闪烁像素,其中该膜是一种刚性膜、任选地用一种具有大于 1.0 的折光率的透明材料被连接到该闪烁元件上。
16. 如权利要求 15 所述的闪烁像素,包括在该刚性膜与该漫反射体之间的一系列的间隙。
17. 一种制造闪烁像素的方法,该方法包括:  
在一个闪烁体元件的一个侧面上形成一系列的脊,该侧面是实质上平行于该闪烁体元件的光传播轴线;并且  
将一种实质上反射性的材料附着到该闪烁体元件的这个侧面上。
18. 如权利要求 17 所述的方法,其中这些脊具有至少  $10\mu\text{m}$  的高度。
19. 如权利要求 17 所述的方法,其中形成包括将这些脊机加工到该闪烁体之中。
20. 如权利要求 17 所述的方法,其中形成包括将这些脊模制到该闪烁体之中。
21. 如权利要求 17-20 中任一项所述的方法,其中该闪烁体包括一种晶体、陶瓷或聚合物。
22. 如权利要求 17-20 中任一项所述的方法,包括将多个闪烁像素连接成一个阵列。

23. 如权利要求 17-20 中任一项所述的方法,包括将该闪烁像素安装到一个设备中。

24. 一种用于制造闪烁像素的方法,该方法包括将一个实质上透明的膜与一个闪烁体元件相关联来定位该膜,使得该膜的外表面的大部分与该闪烁体的相邻表面是不平行的。

25. 如权利要求 24 所述的方法,其中该实质上透明的膜被一个漫反射体包围。

26. 如权利要求 24 所述的方法,其中该实质上透明的膜的外表面包括多个脊,并且该实质上透明的膜的内表面是光滑的并且平行于穿过该闪烁体的光传播轴线。

27. 一种成像装置,包括:

一个高能发射源;

一个用于探测光的光探测器;以及

一个闪烁像素,该闪烁像素包括一个闪烁体元件,该元件具有至少一个不平坦的侧面,该侧面包括一系列的脊,其中每个脊具有至少  $10\ \mu\text{m}$  的高度。

28. 一种成像装置,包括:

一个高能发射源;

一个用于探测光的光探测器;以及

一个闪烁像素,该闪烁像素包括一个闪烁体元件以及包围了该闪烁体元件的至少一部分的一个实质上透明的膜,其中该膜的外表面包括多个脊并且每个脊具有至少  $10\ \mu\text{m}$  的高度。

29. 如权利要求 27 或 28 所述的成像装置,包括与该闪烁像素相关联的一种反射体材料,其中在该闪烁体内形成的可探测光子遵循一个路径,该路径相比使用一个相同材料的、具有多个平坦侧面的闪烁体将会发生的路径被改变。

30. 如权利要求 27 或 28 所述的成像装置,其中该装置是一种粒子成像器、正电子发射断层(PET)扫描仪、伽玛射线照相机、或计算机断层(CT)扫描仪。

31. 一种用于集中闪烁装置的可探测光发射的方法,该方法包括:

提供一个闪烁体元件,该闪烁体元件包括在该闪烁体元件的一个表面上的一系列的脊,其中这些脊垂直于光传播轴线;

使用一种高能发射来激发该闪烁体元件以形成可探测光的一个或多个光子;并且

使用一种光探测器来探测该可探测光。

32. 一种用于集中闪烁装置的可探测光发射的方法,该方法包括:

提供一个闪烁体元件,该闪烁体元件包括一个包围了该元件的至少一部分的实质上透明的膜,其中该膜包括多个在该闪烁体元件之外的表面,这些表面与该光传播轴线不平行;

使用一种高能发射来激发该闪烁体元件以形成可探测光的一个或多个光子;并且

使用一种光探测器来探测该可探测光。

## 闪烁像素的设计以及工作方法

### [0001] 相关申请

[0002] 本申请要求于 2009 年 11 月 12 日提交的美国临时专利申请序列号 61/260,689 的权益。将该申请的披露内容通过引用全部结合在此。

### 技术领域

[0003] 本披露内容涉及闪烁体并且具体地涉及在成像装置中使用的闪烁像素。

### 背景技术

[0004] 闪烁探测器典型地用来探测不容易通过常规的光探测器来探测的高能量发射,例如高能光子、电子或  $\alpha$  粒子。一种闪烁体或闪烁像素吸收高能量的发射并且将这种能量转化成一种光脉冲。用一种光电探测器,例如光电二极管、电荷耦合探测器 (CCD) 或光电倍增管可以将光转化为电子(即,一种电子流)。闪烁探测器可以用在不同的行业以及应用中,包括医学(例如,产生内脏器官的图像)、地球物理学(例如,测量地球的放射性)、检查(例如,无破坏性、无创伤性的试验)、研究(例如,测量光子和粒子的能量)、以及保健物理学(例如,监测环境中的辐射,因为它影响着人类)。

[0005] 许多扫描仪器都包括含有闪烁晶体(像素)的像素化阵列的闪烁探测器。阵列可以由能够以多个行和列安排的许多闪烁像素组成。单个的像素典型地是立方形状的并且可以彼此平行地定位并且可以使用一种粘合剂(例如一种环氧物)将其保持在位。一种闪烁像素典型地被定位为使其传播轴线与高能源并且与该光探测器对齐。该阵列可以置于一个成像装置中,这样使得该阵列的一个末端(高能量末端)接收激发能并且其相反末端(发光末端)将产生的可见光传送到一个光探测器上。将该阵列的从高能量末端至发光末端的深度典型地称为 x-射线深度。离开该发射出口端的光可能与在一个特定像素中的特定闪烁事件相关,并且这个光可以用来构造影响该阵列的高能量末端的一种激发能模式。

### 发明内容

[0006] 在一个方面,提供了一种闪烁像素,该闪烁像素包括一个闪烁体元件,该元件具有至少一个侧面、一个高能量末端以及一个相反的发光末端,并且其中该闪烁体元件的至少一个侧面实质上平行于光传播轴线并且限定了多个脊,这些脊各自具有至少  $1\mu\text{m}$  的高度。

[0007] 在另一个方面,提供了一种闪烁像素,该闪烁像素包括一个具有传播轴线的闪烁体元件、以及一个与该闪烁体元件相邻的实质上透明的膜,该实质上透明的膜具有背向远离该闪烁体元件的一个外表面,其中该实质上透明的膜的外表面包括多个部分,这些部分具有不平行于该闪烁体元件的传播轴线的表面。

[0008] 在另一个方面,提供了一种用于制造闪烁像素的方法,该方法包括在一个反射体元件的一个侧面上形成一系列的脊,该侧面是实质上平行于该反射体元件的光传播轴线并且将一种实质上反射性的材料附着到该闪烁体元件的侧面上。

[0009] 在另一个方面,提供了一种用于制造闪烁像素的方法,该方法包括将一个实质上

透明的膜与一个闪烁体元件相关联来定位该膜,使得该膜的外表面的大部分与该闪烁体的相邻表面不平行。

[0010] 在另一个方面,提供了一种成像装置,该成像装置包括一个高能发射源、一个用于探测光的光探测器以及一个闪烁像素,该闪烁像素包括一个闪烁体元件,该元件具有至少一个不平的侧面,该侧面包括一系列的脊,其中每个脊具有至少  $10\ \mu\text{m}$  的高度。

[0011] 在另一个方面,提供了一种成像装置,该成像装置包括一个高能发射源、一个用于探测光的光探测器以及一个闪烁像素,该闪烁像素包括一个闪烁体元件以及包围了该闪烁体元件的至少一部分的一个实质上透明的膜,其中该膜的外表面包括多个脊并且每个脊具有至少  $10\ \mu\text{m}$  的高度。

[0012] 在另一个方面,提供了一种用于集中一个闪烁装置的可探测的光发射的方法,该方法包括:提供一种闪烁体元件,该闪烁体元件包括在该闪烁体元件的一个表面上的一系列的脊,其中这些脊垂直于光传播轴线;用一种高能发射来激发该闪烁体元件以形成可探测光的一个或多个光子;并且使用一个光探测器来探测该可探测光。

[0013] 在另一个方面,提供了一种用于集中一个闪烁装置的可探测的光发射的方法,该方法包括:提供一种闪烁体元件,该闪烁体元件包围了该元件的至少一部分的括一个实质上透明的膜,其中该膜包括多个在该反射体元件之外的表面,这些表面不平行于光传播轴线;用一种高能发射来激发该闪烁体元件以形成可探测光的一个或多个光子;并且使用一个光探测器来探测该可探测光。

[0014] 本申请的主题在某些情况下可以涉及相互关联的多种产品、对于一个特定问题的多种替代方案、和 / 或单一的系统或物品的多种不同用途。

#### 附图说明

[0015] 图 1 提供了一个闪烁体元件的平面视图;

[0016] 图 2 提供了包括多个水平的棱柱形状的脊的一个闪烁体元件的实施方案的平面视图;

[0017] 图 3 提供了包括多个竖直取向的棱柱形状的脊的一个闪烁体元件的实施方案的平面视图;

[0018] 图 4 提供了包括一系列棱柱形状的脊的一个闪烁像素的实施方案的放大的截面视图;

[0019] 图 5A 和图 5B 提供了一个闪烁像素内的光子路径的顶部以及侧面的示意图;

[0020] 图 6A 和图 6B 分别提供了顶部以及侧面的示意图,示出了包括多个竖直取向的棱柱形状的脊的一个闪烁像素实施方案内的光子路径;

[0021] 图 7A 和 7B 提供了侧视图,示出了光子穿过光滑的带壁的闪烁像素(7A)以及穿过包括多个竖直取向的脊的闪烁像素实施方案的路径;

[0022] 图 8A 和 8B 提供了网格,这些网格代表了与在像素中包括水平取向的脊的实施方案(8A)相关联以及在具有光滑的平坦侧面的实施方案(8B)中时,接触到光探测器的光的百分比;

[0023] 图 9 提供了一种近轴的成像系统的一个实施方案的示意图;

[0024] 图 10 提供了包括一个连接到像素面上的微棱柱膜的一个闪烁像素实施方案的平

面视图。

[0025] 图 11 是图 10 示出的实施方案的一部分的放大的截面视图。

### 具体实施方式

[0026] 闪烁探测器总体上是用来探测相对高能量的光子、电子或  $\alpha$  粒子,其中高能量为 1KeV 或更高,包括  $\gamma$  射线、 $\alpha$ -粒子和  $B^-$  粒子。可以了解的是,这些光子、电子或  $\alpha$  粒子不可以不容易通过常规的光探测器所探测,这些探测器可能例如对于 200nm 或更大(包括 200nm 到 800nm)波长的光子是敏感的。一种闪烁体或闪烁晶体(陶瓷的或塑料的)吸收激发的波或粒子并且将这些波或粒子的能量转化成一种光脉冲。术语“闪烁体”在此是指一种响应于高能量的光子、电子或  $\alpha$  粒子而发射光(“闪烁光”)的材料,其中高能量为 1KeV 或更高(“激发能”)。用一种光电探测器,例如光电二极管、电荷耦合探测器(CCD)或光电倍增管,可以将光转化为电子(即,一种电子流)。如在此所使用的,术语“高能量表面”或“高能量末端”表示一个闪烁体或像素的表面,高能量的光子、电子或  $\alpha$  粒子典型地首先通过该表面而进入。一种“闪烁体元件”是在其中发生闪烁事件的材料并且典型地是晶体、陶瓷、或塑料(聚合物)闪烁体。“可探测光”是一个闪烁体的、能够被一个光探测器探测到的光输出。可探测光典型地具有在 200nm 至 800nm 范围内的以及更高的波长。“光探测器”将从闪烁晶体发出的可探测光转化成一种电信号。术语“光耦合的”是指至少一个耦合的元件被适配为将光直接地或间接地传递给另一个耦合的元件。已知的闪烁体包括多种材料,例如陶瓷、晶体以及聚合物闪烁体。“闪烁晶体”是一种主要由无机晶体制成的闪烁体。“闪烁像素”是本领域的普通技术人员已知的并且包括各自与一个或多个光探测器相关联的单独的闪烁体。一个闪烁体像素可以包括一个闪烁体元件以及包围该闪烁体元件的至少一部分的一个透明膜和 / 或一种反射性材料。光探测器是本领域普通技术人员已知的并且包括例如电荷耦合器件(CCD)以及光电倍增管(PMT),例如位置灵敏型光电倍增管(PSPMT)。可以对来自每个像素的可探测光进行独立的探测。例如,单个 PSPMT 可以与一个阵列中的单个像素的输出相关联。这些像素可以是相互分离的并且可以通过一个共同的基片来连接。多个闪烁像素可以联系在一起而形成“闪烁阵列”。

[0027] 闪烁探测器可以用于不同的行业和应用中,包括:医疗(例如,用于产生内部器官的相片)、地球物理学(例如,用于测量地球的放射性)、检查(例如非破坏性、无创伤性的试验)、研究(例如,用来测量光子和粒子的能量)、以及保健物理学(例如,探测环境中的波或粒子探测,因为它影响着人类)。医疗设备可以包括正电子发射断层(PET)扫描仪、伽玛射线照相机、计算机断层(CT)扫描仪以及放射性免疫测定应用。地球物理学设备可以包括测井探测器。检查设备可以包括辐射探测器(如热中子活化分析探测器)、行李扫描仪、厚度计、液面计、安全和货单校验装置(有源的和无源的装置)、光谱装置(放射性同位素鉴定装置、有源的和无源的装置)、以及总数计数器(有源的和无源的)。研究设备可以包括光谱仪和热量计。保健物理应用可以包括洗衣房监测和区域监测。

[0028] 如图 1 中所示,一个闪烁像素可以是实质上立方体形状的并且可以在六个侧面上包括光滑的、抛光的表面。在工作中,激发能 126 在高能量末端 110 处进入该像素并且该能量在该像素内的一点处被转化成可探测光。至少一些可探测光 128 从表面 120 离开并且可以撞击一个光电倍增管,例如 PSPMT。该可探测光可以不直接离开该像素并且可以在离开该

像素之前从例如壁 122 和 124 反射多次。因此,由于可探测光可以在闪烁时刻与离开发光表面 120 的时刻之间行进的路径的差异,可探测光能以不同的角度并且在不同的时刻离开该闪烁像素。

[0029] 如在此使用的,传播轴线是指与光从一个闪烁体的高能量末端到该闪烁体的发光表面行进所遵循的平均路径是平行的轴线。该传播轴线经常平行于该反射体的纵向轴线。可探测光典型地并不以一个与该传播轴线对齐的单一的固定的角度离开闪烁体。而是,光能以多个角度离开该闪烁体,使得该光大致地形成了一个锥形,该锥形在光从闪烁体的发光表面离开时向外散开。结果,可探测光的通量随着距该闪烁像素的距离的增加而减小,并且该可探测光的强度在该光探测器的表面处传播越过了一个更大的区域,这导致了空间分辨率的减小。

[0030] 如在此描述的,一个闪烁像素可以被构造为与可探测光的光子相互作用,使得光子的通路相比其正常的路径被改变了。这种路径改变可以导致例如更快的闪烁体以及与更窄的锥形的可探测光来碰撞相关的光探测器。这些改进可以通过改变闪烁像素的结构而不是改变闪烁体的组成而实现。一个闪烁像素可以包括该闪烁元件周围的区域,其中相邻材料之间的界面与传播轴线不平行。例如,一个像素可以在该像素的纵向侧面(而非激发末端或发光末端)上包括多个脊,例如棱柱形的脊。这些脊可以在这些脊之间的空间内形成间隙。通过改变光子在同闪烁体的侧面与相邻的反射性材料之间的界面进行相互作用时所采取的角度,脊、以及其相关联的间隙可以改变一个可探测光子的路径。例如,脊可以导致折射的改变,这总体上缩短了光子从闪烁点到光探测器的通路长度。模拟结果显示,通过使在可探测光离开该闪烁体之后发生的光散开的量变窄,在一个闪烁像素的外表面上的多个水平安排的棱柱形状的脊可以改进该图象的强度。例如,光子的平均出射角可以被减小超过 5 度、超过 10 度或超过 12 度。模拟结果还证实,竖直取向的棱柱脊导致了更短的光通路以及上升时间跳动的减小。这种棱柱形状的脊可以安排为使得多个脊是彼此平行的。这些脊可以相对于像素的传播轴线是例如水平(垂直)或竖直(平行)的。这些脊可以是与该像素一体的(例如模制的或机加工的)或者可以是一种单独的材料,该材料被附接到该像素的外表面上或以其他方式与其相关联。这种材料可以是与制造该像素的材料相同或不同的并且不需要是一种闪烁体材料。例如,该像素的侧面可以用一种微棱柱膜(例如 Vikuiti™ TRAF)覆盖或部分地覆盖。在这种情况下,该闪烁体元件的侧表面本身可以是光滑的但是该微棱柱膜的脊可以提供与在这些脊与闪烁体元件本身是一体时候所实现的那些相类似的改变光的效果。如在此使用的,“膜”是一种包括表面、或层在内的、被置于该闪烁体元件之外的材料,当与一个被光滑表面的反射体所包围的光滑表面的闪烁体元件相比时,该膜可以改变离开该闪烁体元件的可探测光子的折光率。折光率的改变可以该膜与周围的反射性材料之间的一个间隙、或一系列间隙的结果。在该膜与该闪烁体元件之间也可以存在一个间隙或一系列间隙。该闪烁元件和该膜可以通过用一种具有大于 1.0 的折光率的材料(例如粘合剂)来填充这个或这些间隙而进行光耦合。该膜可以是薄的或厚的并且可以具有在该膜的一个或多个表面上形成的特征(例如,褶皱或脊)。例如,一个膜可以在它的位于闪烁体元件之外的表面上包括多个特征但是可以在面向该闪烁体元件的表面上是光滑的。

[0031] 一个闪烁体像素可以被一种漫反射体或镜反射体所包围或部分地包围。漫反射体的例子包括例如 PTFE 以及聚酯膜。如果该闪烁元件包括一体的脊,则该反射体可以是平面

的。例如,如果该闪烁元件的侧面包括一系列的等边棱柱形状的脊(在每个拐角处是  $60^\circ$ ) 并且如果这些脊垂直于该光传播轴线,则平行于该光传播轴线的一种相邻的反射性材料将与该一体的棱柱形状的脊的每个暴露表面形成一个  $60^\circ$  的角度。在其他具有平坦的、光滑侧面的闪烁体的实施方案中,这种包围材料本身可以包括这些脊,例如具有一种透明的微棱柱膜。在仍然其他实施方案中,该闪烁体以及该包围的透明膜均可以包括多个脊或者是不平坦的。这可以导致折射率的改变,这种改变在某些情况下导致光子在穿过一种包围的反射性材料之前进行反射。在许多实施方案中,该闪烁体元件的外表面的至少一部分与包围它的反射体的至少一部分是不平行的。在某些情况下,该闪烁体的外表面的任何部分均不平行于包围它的反射体、或与其在同一平面内。这与已知的闪烁像素不同,在已知的闪烁像素中,反射性材料直接与该反射体元件相邻并且该反射体材料的表面平行于该闪烁体元件的表面。

[0032] 在此说明的实施方案可以适用于多种闪烁体,包括由晶体、陶瓷以及塑料构成的那些。适当的晶体以及陶瓷可以包括以下这些中的一种或多种:例如碘化铯( $\text{CsI}$ )、铊掺杂的碘化铯( $\text{CsI}(\text{Tl})$ )、锗酸铋( $\text{BGO}$ )、铊掺杂的碘化钠( $\text{NaI}(\text{Tl})$ )、氟化钡( $\text{BaF}_2$ )、铈掺杂的氟化钙( $\text{CaF}_2(\text{Eu})$ )、钨酸镉( $\text{CdWO}_4$ )、钨酸铅( $\text{PbWO}_4$ )、钨酸锌( $\text{ZnWO}_4$ )、氧正硅酸镧( $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$ )、溴化镧( $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ )、碘化镧( $\text{LuI}_3$ )、铈掺杂的氯化镧( $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ )、铈掺杂的镧氧化钪硅酸盐( $\text{LuYSiO}_5(\text{Ce})$  (LYSO))、银掺杂的硫化锌( $\text{ZnS}(\text{Ag})$ )、钇铝石榴石( $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}(\text{Ce})$ )、铽掺杂的硫氧化钆( $\text{GOS}(\text{Tb})$ )、铈掺杂的氧化镧( $\text{Lu}_2\text{O}_3(\text{Eu})$ )、或铈掺杂的氯化铯铷钪冰晶石  $\text{Cs}_2\text{LiYCl}_6(\text{Ce})$  (CLYC)。晶体可以是多晶或单晶性质的。有机闪烁体的例子可以包括聚乙烯基甲苯(PVT)(在该PVT中存在有机氟石)以及其他聚合物材料。

[0033] 可以应用提供了更短的光通路的某些实施方案,特别是应用于快速闪烁体,例如像溴化镧、LYSO以及快速塑料闪烁体。这些像素的入射面可以具有任何适当的形状,包括正方形、圆形或多边形。这些像素可以包括任何数目的侧面并且可以是立方体形状的并且在  $x$ 、 $y$  和  $z$  ( $x$ -射线深度) 维度上的尺寸与该像素或像素阵列所用于的装置的要求相匹配。

[0034] 图 2 提供了一个像素的示意性图解,该像素包括一个闪烁像素的表面上的一系列水平安排的平行的棱柱形状的脊 230a-230n。为清楚起见,这些脊被显示为相对于该像素而言远大于典型地所应用的。一个脊从谷至峰可以具有例如  $35\ \mu\text{m}$  的高度。尽管可以优选的是这些脊包括平坦的表面,但有一些实施方案中这些脊可以是弯曲的或不平坦的。例如,在截面上,这些脊可以呈现为一系列的“波纹”而不是一系列的三角形。波形的脊的高度还可以通过从沟到峰进行测量来确定。单一的闪烁像素可以包括数百或数千个平行的脊,其频率为例如每  $\text{cm}$  的像素 200 个脊。脊可以在该像素的各个表面如所示的独立地形成或者可以围绕该像素的周长连续地延伸。脊可以彼此规则地或不规则地间隔开的。在某些实施方案中,脊可以彼此相隔一个固定的距离,例如像 50、80 或 100 微米。在其他实施方案中,脊之间的距离可以在该闪烁体的一部分上或在该闪烁体的全部范围上改变。在一个实施方案中,一个脊在一个像素中被形成一种连续的螺纹,该螺纹的路径围绕该像素从一端到另一端连续地蜿蜒。这个实施方案仍然被认为是具有“一系列的脊”。如果使用一种透明膜来提供脊,则在该膜中形成的脊的尺寸可以与在该闪烁体元件上可以形成的那些类似。

[0035] 在激发能穿过高能表面 210 进入该闪烁体 200 之后,它要么完全穿过该闪烁体要么在该像素内产生一个闪烁事件。该闪烁事件导致形成了可探测光,该可探测光在随机的



方向上从该闪烁点开始。并非竖直指向的光可以撞击该像素的带脊的表面之一,从而引起了光子行经一个被改变的通路。该光子可以被一个相邻的反射性表面所反射、并且能以一个与传播轴线更紧密地对齐的角度离开该闪烁像素的发光表面。不一定所有的像素都以这种方式被影响。由于改变的通路的结果,光发射的平均散开可以在其离开该像素时变窄。

[0036] 图 3 提供了一个闪烁像素的示意性图解,其中棱柱形状的脊被竖直安排在该像素的四个纵向表面的外部。这意味着这些脊实质上平行于该像素的传播轴线。如在图 2 中,图中脊的尺寸相对于该闪烁像素本身被扩大了。这些脊可以覆盖该像素的所有侧面并且可以从该闪烁像素的一端延伸到另一端。然而在其他实施方案中,这些脊可以仅在该像素表面的一部分上延伸。

[0037] 图 4 提供了一个闪烁像素的实施方案的一个边缘部分的放大的截面图解,包括棱柱形状的脊 430a、430b、430c、430d、等等。箭头 460 指示了闪烁体元件 400 的传播轴线。每个暴露的脊表面,例如表面 440 和 442,都可以是平面的或实质上平面的。每个脊峰(例如,450b 和 450c)优选地形成一个顶端,该顶端是尖的并且是边界清晰的,然而,在实践中,这些脊可以至少部分地是圆化的,例如是由于材料的限制以及制造技术的方便。脊的高度  $z'$  被定义为在两个脊之间从谷到假想的、连接两个相邻的脊峰的距离,如所示的。该脊的宽度可以被定义为两个相邻的脊峰之间的距离  $y'$ 。每个脊的形状还可以由脊峰角度  $\theta$  限定。随着棱柱形状的脊变得更尖更陡,  $\theta$  减小。类似地,随着  $z'$  与  $y'$  之比变得更大,则  $\theta$  减小并且脊的陡度增加。 $\theta$  和  $z'$  和  $y'$  的值可以变化,取决于例如像素的组成、像素尺寸、光探测器类型、光探测器尺寸、以及使用该闪烁像素的设备的类型以及几何形状。在某些实施方案中,脊峰角度  $\theta$  的大小是在从 30 至 150 度、30 至 90 度或 40 至 80 度的范围内。在一个实施方案中,棱柱形成了在每个拐角上具有 60 度的角度的一个等边三角形。在许多实施方案中,脊峰角度  $\theta$  在一个像素上的相邻的脊之间是恒定的。然而在其他实施方案中,该脊峰角度可以沿着该闪烁像素的长度(或宽度)在多个脊之间变化。脊高度  $z'$  可以是大于 1 $\mu\text{m}$ 、大于 10 $\mu\text{m}$ 、大于 100 $\mu\text{m}$  或大于 1mm。例如,脊高度  $z'$  的范围可以是 1-10 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ -100 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ -1000 $\mu\text{m}$  或更大。在模拟评估中,已经发现了当竖直或水平地定向时,在等边三角形构型中,LaBr<sub>3</sub> 像素中的 70  $\mu\text{m}$  的脊高度  $z'$  提供了良好的结果。脊宽度  $y'$  可以具有与脊高度  $z'$  相似的或相同的尺寸。因此,在某些实施方案中,脊宽度  $y'$  可以是例如 1-10 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ -100 $\mu\text{m}$ 、1 $\mu\text{m}$ -1000 $\mu\text{m}$  或更大。单一的闪烁体元件可以具有大于 100、大于 1000 或大于 10,000 个脊并且这些脊以每 cm 像素长度大于 10 个、大于 100 个或大于 1000 个脊存在。

[0038] 图 5A 和 5B 分别提供了顶视图和侧视图,展示了一个可探测光子如何行进穿过一个闪烁像素,该像素具有平坦的抛光的侧面 522、524、526 和 528 以及包围这些抛光的侧面的漫反射体 550。一种高能发射与该闪烁体在闪烁点 512 处相互作用而产生一个闪烁事件以及可探测光的一个或多个光子。光子从闪烁点 512 在任意方向上被发射并且一个这样的光子的通路展示为通路 514,包括 514a、514b 以及 514c。图 5A 中提供的顶视图展示了该光子在该抛光的电极 500 内部从壁到壁被反弹时的横向路径。在图 5B 中示出的示意图中展示了同一光子的竖直运动,并且在所示的情况下,在撞击到该探测器之前,光子的通路与该闪烁像素的壁相互作用了至少 8 次,从而导致了发出的光子的检测的延迟。

[0039] 图 6A 和 6B 分别提供了闪烁像素 600 的顶视图和侧视图,该像素包括纵向的棱柱形状的脊 630a、630b、630c...630n。为清楚起见,这些脊在图 6B 的侧视图中没有示出。高

能发射在点 612 处与该闪烁体像素相互作用而产生一个闪烁事件之后,光子在任一方向上被发射并且可探测光的一个光子的通路被展示为通路 614(614a 至 614b,等等)。如在图 6A 的顶视图以及图 6B 的侧视图中可见,当该光子与棱柱形状的脊 630d 以及漫反射体 650 相互作用时,该光子的路径被改变,使得该光子更直接地向该闪烁体晶体的检测末端行进。与该闪烁像素的侧壁 622、624、626 和 628 相互作用的次数从约 8 次(图 5A 和 5B)显著地减少到约 4 次。其结果是,该光子更快地离开该闪烁体,从而导致了更快的闪烁体以及减小的上升时间跳动。当然,并非每个光子都经过了这个相同的路径,但是平均而言,当使用棱柱形状的脊时,一个光子将会遇到更少的与侧壁的相互作用并且更快地从该闪烁体离开。当在从改进的符合定时(coincidence timing)中获益的应用中使用,例如在 PET 扫描仪、聚焦(columnated)放射线照相术中,并且当与飞行时间算法相关联时,这些更快的构型可能是特别有利的。

[0040] 图 7A 和 7B 提供了可探测光子穿过具有光滑的抛光侧面 728 的一个像素 700 的路径(7A)以及具有侧表面 738 的像素一个 702 (包括纵向棱柱形状的脊)(7B)的示意性图解。为了清晰,并未示出棱柱形状的脊。每个闪烁像素都被一个漫反射体(未示出)、例如聚四氟乙烯(PTFE),所包围。在图 7A 和 7B 每一个中的路径在同一位置 712 处开始,在那里发生了闪烁事件。然而,在图 7B 中的总路径长度 716 显著短于图 7A 中,从而导致了闪烁事件的更快检测。这可以改进成像点之间的定时并且增加符合定时。位置 742a、742b 和 742c 代表了在其中该光子通过一个棱柱形状的脊离开并且与该漫反射体相互作用从而导致了轨道角度变化的区域,这与图 7A 中使用光滑的抛光的侧面以及一个实质上平坦的漫反射体所实现的显著不同。

[0041] 一个闪烁事件之后,与没有这些脊的相同像素相比,可探测光可以在更短的时间跨度内从一个闪烁像素中发射出。例如,计算机模拟显示,在  $\text{LaBr}_3$  的  $4x\ 4x\ 30\text{mm}$  像素内包含多个纵向取向的脊可以减小可探测光的平均发射通路长度并且因此减少探测时间,减少了约 10%。当使用纵向的棱柱形状的脊时,还降低了 LYSO 中的通路长度。数据在下表 1 中提供、并且表明了在该闪烁像素的侧面上包含纵向取向的棱柱形状的脊可以提供更快的闪烁体,从而对应地在多种应用(例如伽玛射线照相机以及相关的粒子成像器)中导致了定时的改进、以及例如减小的上升时间跳动和更好的中子符合。更快的闪烁体像素可以通过减小符合分辨时间而改进飞行时间正电子发射扫描仪(PET 扫描仪)的图象品质、可以通过减小闪烁脉冲的快速成分的分散而改进脉冲形状鉴别(PSD)探测器中的伽玛中子识别。

[0042] 表 1 还提供了有关离开该像素的可探测光中子的平均出射角的数据。使用 DETECT2000 光学模拟软件完成了模拟。(C. Moisan 等人,DETECT2000-用于模型化闪烁体的光学特性的程序(A Program for Modeling Optical Properties of Scintillators),魁北克市拉瓦尔大学电气与计算机工程学院,2000)这种模拟模型化了具有尺寸  $4x\ 4x\ 30\text{mm}^3$  的像素。一个  $4x\ 4\text{mm}^2$  的面是光学出口。其他的五个面布置有 PTFE 反射体的层。在每个像素中模拟了 100,000 个光子。每个光子在该像素体积内随机地产生并且初始时给予一个随机的方向。仅那些离开该像素的光子作为数据被包括在表 1 中。这些结果表明,具有一系列水平取向的等边棱柱(具有的尺寸为  $80\ \mu\text{m}$  间距与  $69\ \mu\text{m}$  脊高度)的一个  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  闪烁像素可以将光子的平均出射角从  $51.3^\circ$  变窄到  $38.6^\circ$ 。这种出射角减小的作用在图 8A 和 8B 中示出。在这些图的每一个之中示出的网格代表一个 64 阳极 PSPMT (Hamamatsu H8500)。

模拟中的像素使用  $1\ \mu\text{m}$  厚度的硅油与 PSPMT 窗口进行光耦合。该 PSPMT 窗口为 2mm 厚,其中该窗口的光阴极表面与该像素的相反。该网格中每个较小的正方形代表 PSPMT 上的单一阳极。图 8A 示出了的  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  像素的模型化的结果,该像素的尺寸为  $4 \times 4 \times 30\text{mm}$  并且包括沿着该像素的每个侧面的连续的水平棱柱形状的脊。图 8B 示出了一个像素的模型化的结果,该像素与图 8A 中示出的相同,除了它缺少水平的脊并且具有标准的光滑的抛光的侧面。这两种像素均被一个漫反射体(PTFE)包围。与每个阳极相关的数目代表来自该像素的总的光输出落在该具体阳极上的百分比。值得注意的是,当与图 8B 相比时,来自该像素的更大百分比的发射光被集中在图 8A 的 PSPMT 的中心。从图 8A 的像素中发射的大于 95% 的光被集中在 4 个阳极空间的中心,而没有(或量值可忽略的)光碰撞到围绕该 PSPMT 的周边的 28 个阳极位置。这种光集中以及光散开的减少可以导致若干优点,包括提供更精确的像素定位以用于更大的空间分辨率。这通过增加撞击这些用于定位的阳极的光的量而加强,同时对于对定位该像素没有用的阳极光而言损失更小。

几何	闪烁体材料	平均光子通路长度 (ns)	平均出射角 $^\circ$
[0043] 抛光的 平坦的	$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ( $n_i = 1.92$ )	2.0	51.3
水平的棱柱	$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$	3.0	38.6
[0044] 竖直的棱柱	$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$	1.8	49.7
抛光的 平坦的	LYSO ( $n_i = 1.79$ )	1.8	49.0
水平的棱柱	LYSO	2.9	37.6
竖直的棱柱	LYSO	1.7	48.6

[0045] 表 1

[0046] 如在图 9 中示意性地展示的,水平分布的棱柱形状的脊(例如棱锥)在用于近轴成像系统时可以提供特定的优点。闪烁体阵列 910 可以包括以  $10 \times 10$  的网格安排的闪烁体像素的阵列,其中它们的高能量末端是在高能源的方向上。如所示的,透镜 960 具有 2 英寸(5.08 厘米)的直径并且与阵列 910 相距 1 米而放置。探测器 970,在这种情况下是一个 CCD 照相机,可以是一个快速成像装置,该装置与透镜 960 结合而形成了一个近轴成像系统 900。光锥形 912 展示了当组成阵列 910 的像素具有连续的、平坦的、抛光的侧面时所发生光的散开。相比之下,光锥形 912' 展示了当这些闪烁像素包括在这些像素的侧面上以水平模式安排的棱柱形状的脊时所实现的更窄的锥形。当与没有这些脊的像素相比时,这种更窄的光锥形导致透镜 960 收集到多了 2.5 倍的光。

[0047] 图 10 提供了一个包括带脊的微棱柱膜 820 的闪烁像素 800 的一个实施方案的平面视图。图 11 是图 10 示出的实施方案的一部分的放大的截面视图并且包括了反射性材料

840。箭头 830 指示了穿过该闪烁体的传播轴线。膜 820 可以是一种薄的平坦材料,由一个片材形成或在其他实施方案中可以是一种更厚材料的表面。如所示的,膜 820 包括多个有角度的棱锥部分 822、824 和 826 并且可以通过粘合剂层 850 而附着到闪烁体元件 810 上。粘合剂层 850 可以具有大于 1.0 的折光率。膜 820 对于可探测光可以是透明的(大于 90% 的入射光透射率)、或实质上透明的(大于 50% 的入射光透射率)。在一个实施方案中,用于膜 820 的材料是 Vikuiti™ TRAF。闪烁体元件 810 可以具有任何适当的组成并且典型地具有光滑的平坦的侧面,这些侧面没有脊(但在某些实施方案中,该闪烁体元件与该膜均可以包括脊)。如许多其他实施方案一样,像素 800 (包括膜 820)的侧面可以被一种漫反射或镜反射的材料 840 (例如 PTFE)包围。该反射性材料可以与膜 820 是一体的或分离的。如所示的,膜 820 处于一种棱锥结构,其中脊峰离开该闪烁体元件的表面延伸并且脊谷朝向该闪烁体元件的表面延伸。与在其他实施方案中展示的脊一样,图 10 中的脊相对于该闪烁体元件被大大地放大。这些可以具有大于 1 μm、大于 10 μm、大于 100 μm 或大于 1mm 的高度(从谷到峰)。当可探测光的光子离开该闪烁元件时,它可以通过在膜 820 与间隙 842 (在该膜与反射性材料之间存在)之间存在的折光率的变化而被反射。在某些情况下,该光子能以一个与不存在膜 820 时所达到的不相同的角度被反射回到该闪烁体元件中。这个反射角可以被扩大,从而导致该光子的任何后来的相互作用与在被光滑的平坦反射性材料所包围的一种标准的光滑的抛光的闪烁体中所发生的相比更靠近该探测器。例如,参见图 6B 中展示的路径。所得到的发出的可探测光的散开可以减小,同时增大光在一个相关联的光探测器的中央部分中的集中。如果替代地这些脊是竖直定位的并且垂直于在图 10 中示出的那些而形成,则平均的光子离开该闪烁体的时间可以减小。以此方式,可以使用具有光滑壁的闪烁体元件产生更快的闪烁体。

[0048] 尽管已经在此说明并展示了本发明的几个实施方案,本领域的普通技术人员将容易设想多种其他手段和 / 或结构以用于实施这些功能、和 / 或得到这些结果和 / 或在此说明的优点中的一个或多个,并且此类变体和 / 或变更中的每个都应视为是在本发明的范围之内。更概括地说,本领域的普通技术人员将容易理解,在此说明的所有参数、尺寸、材料、以及构形都意味着是示例性的,并且实际的参数、尺寸、材料、和 / 或构形将取决于使用本发明的传授内容的这个或这些特定的应用。本领域的普通技术人员将仅使用常规实验就可以认识到、或能够确定在此说明的本发明的特定实施方案的许多等效物。因此,应理解的是,以上实施方案仅作为实例给出的,并且在所附权利要求及其等效物的范围之内,本发明可以按照除在此确切说明的以及提出权利要求的之外的其他方式进行实施。本发明是针对在此说明的每一个单独的特征、系统、物品、材料、套件、和 / 或方法。此外,假如此类特征、系统、物品、材料、套件、和 / 或方法不是互相矛盾的,则两个或更多个此类特征、系统、物品、材料、套件、和 / 或方法的任意组合被包括在本发明的范围之内。

[0049] 如在此限定和使用的定义应当被理解为高于所限定术语的词典定义、通过引用而结合的文献中的定义、和 / 或一般含义。

[0050] 除非清楚指明相反的情况,否则如此处在本说明书和权利要求中使用的不定冠词“一个”和“一种”(a 和 an)应当理解是指“至少一个(一种)”。

[0051] 如在本说明书和权利要求中所使用的短语“和 / 或”应该理解为是指如此结合的这些要素的“二者之一或二者兼备”,即在一些情况下是结合地出现而在其他情况下是分离

地出现的多个要素。除非清楚指明相反的情况,否则除了通过“和 / 或”字句确切指定的要素之外,其他要素可以任选地存在,无论与那些确切指定的要素是相关还是无关。

[0052] 在本申请中所引用或提及的所有参考文件、专利和专利申请以及公开物都通过引用将它们的全文结合在此。

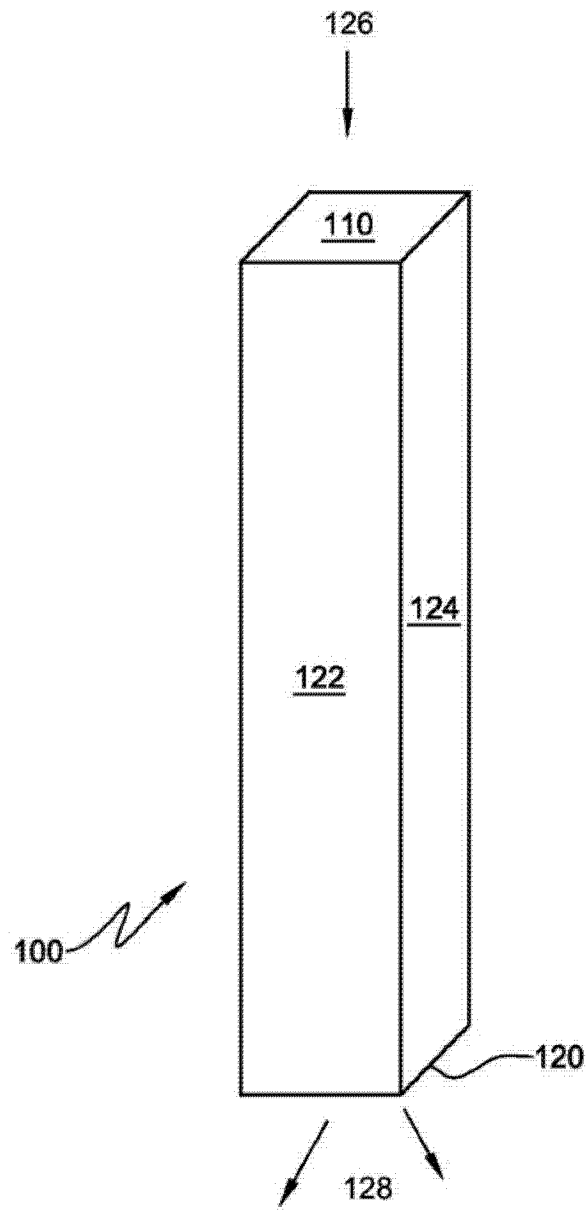


图 1

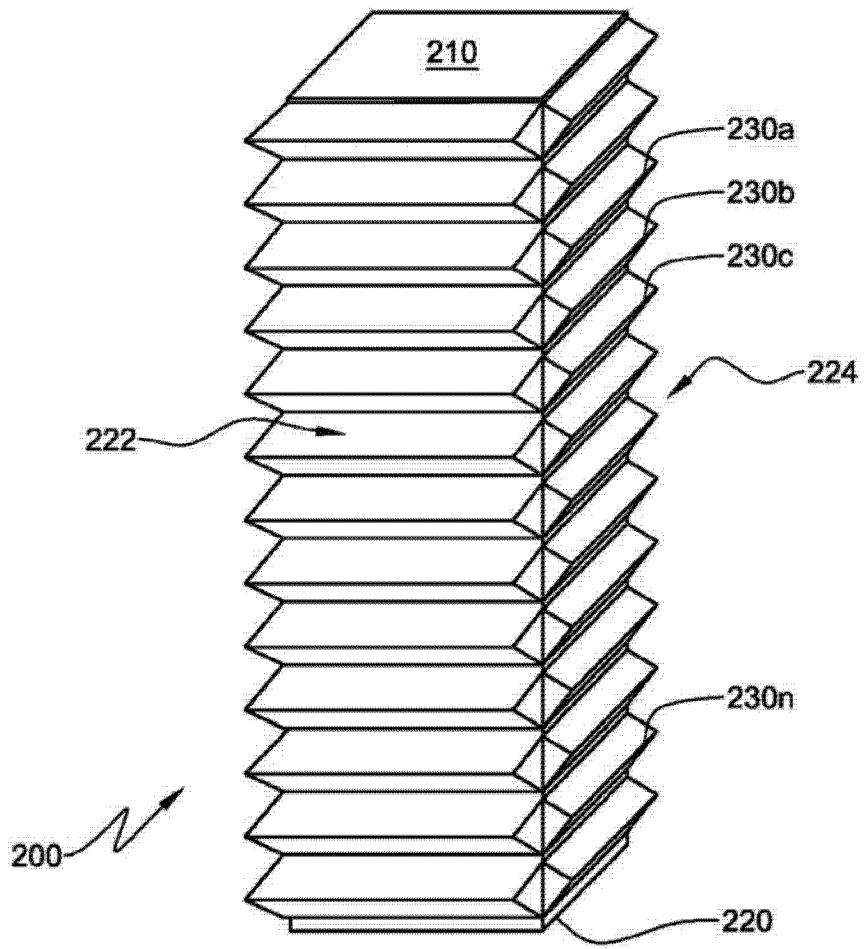


图 2

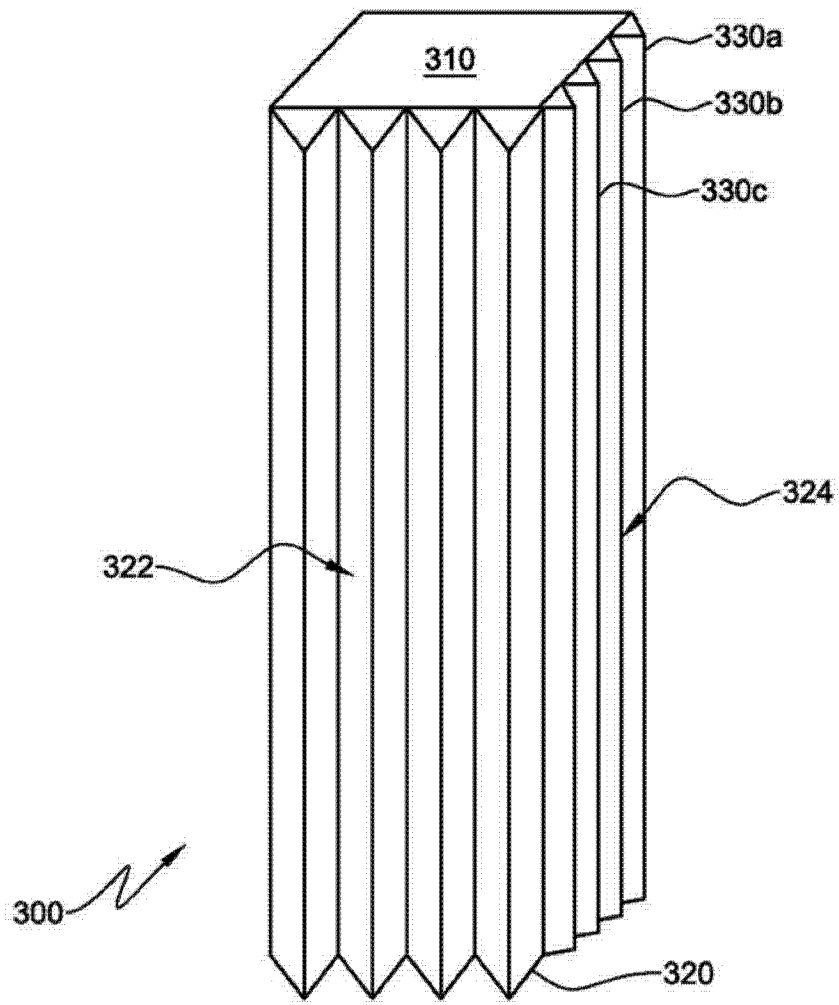


图 3



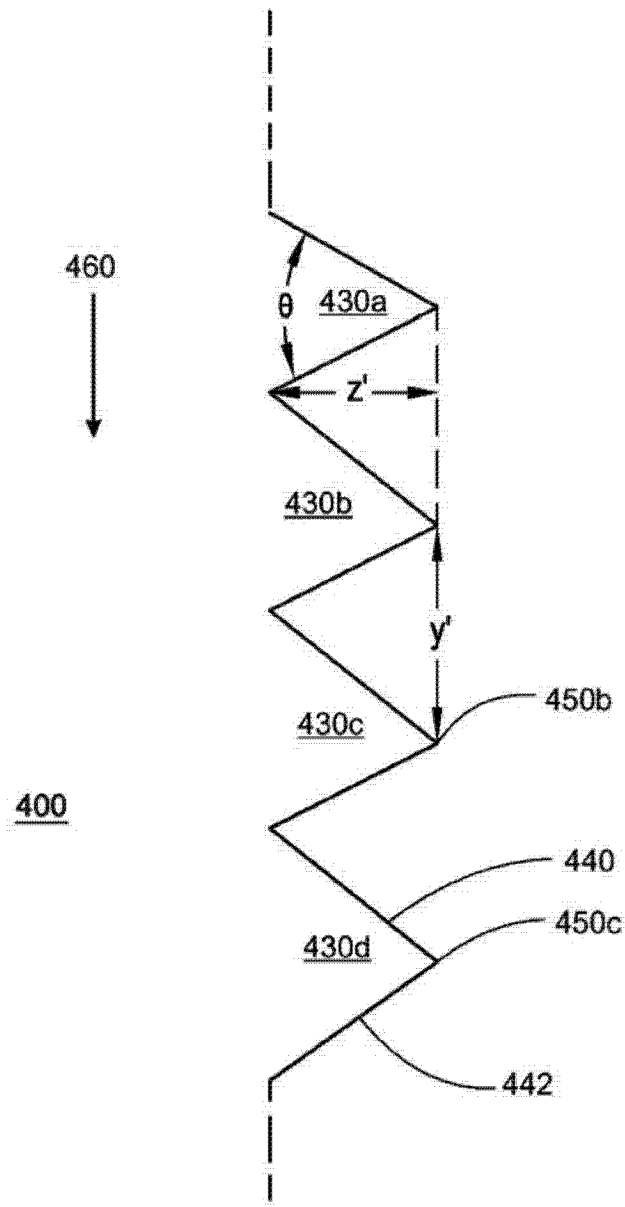


图 4

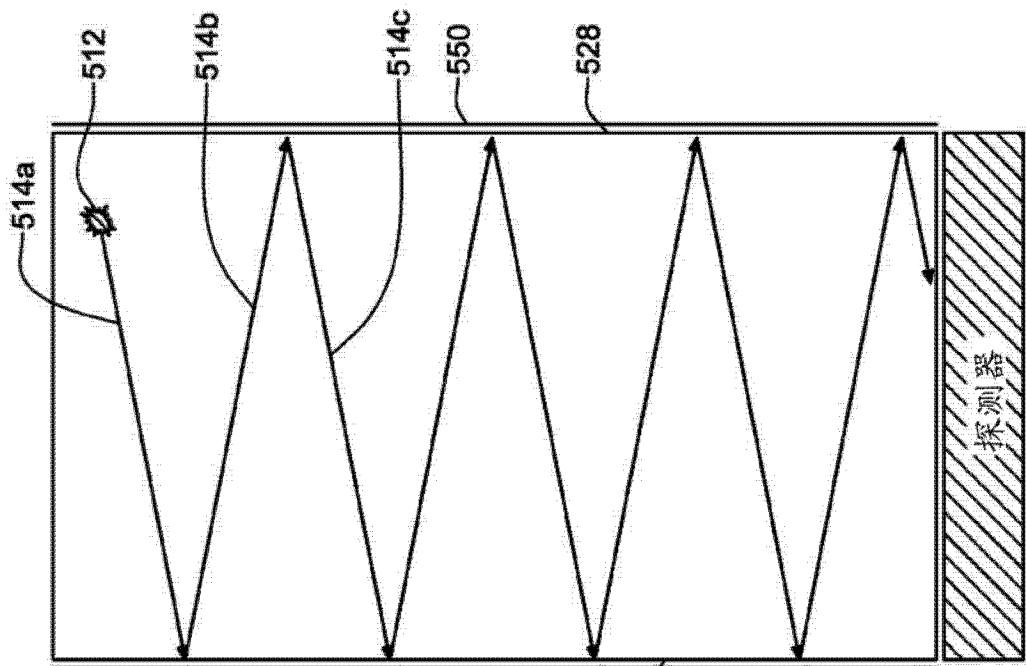


图 5B

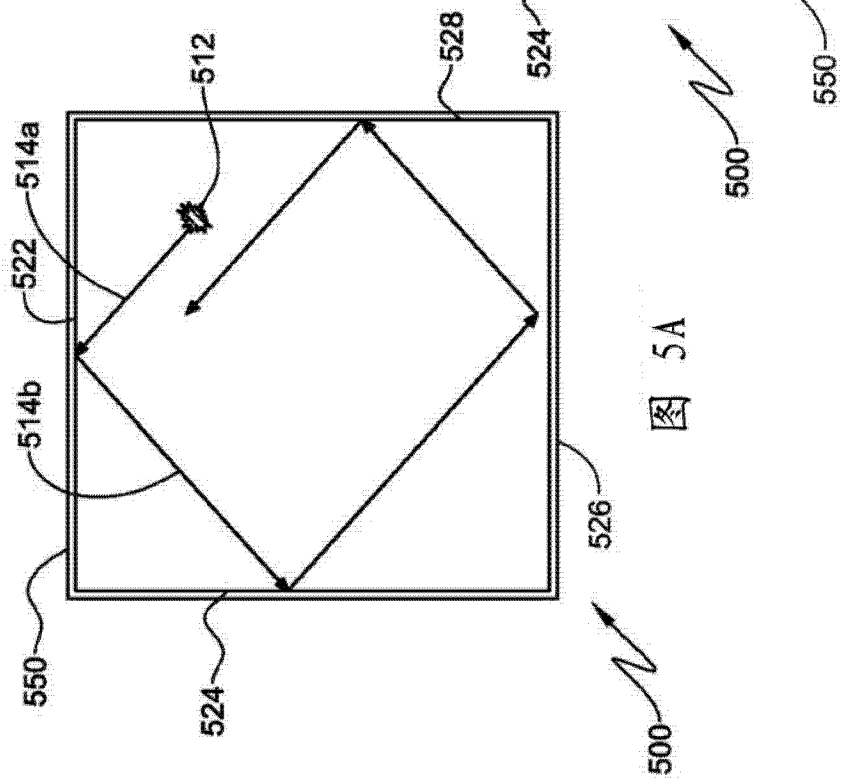


图 5A

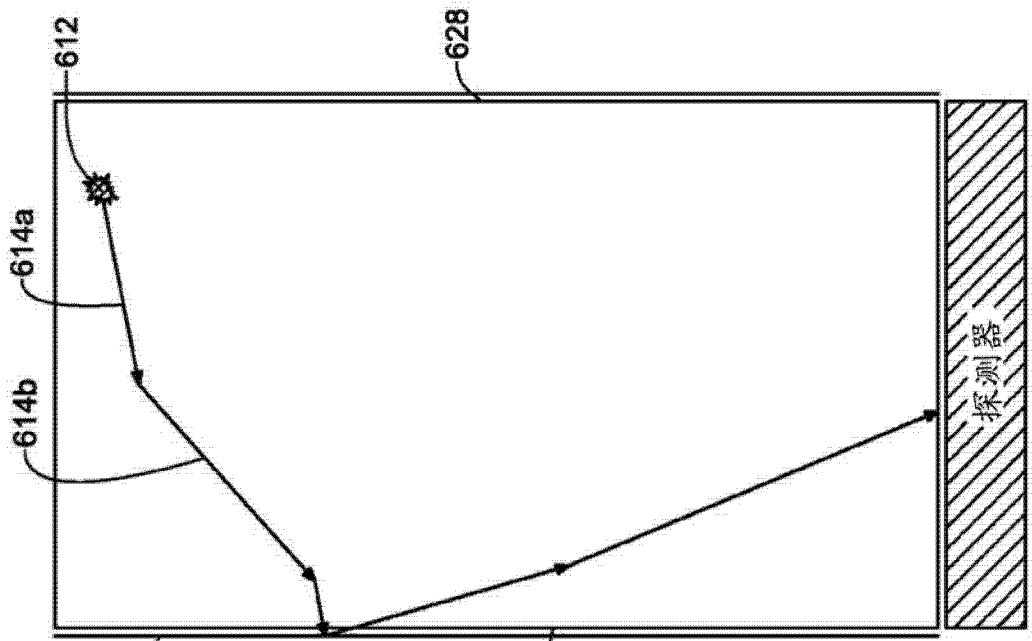


图 6B

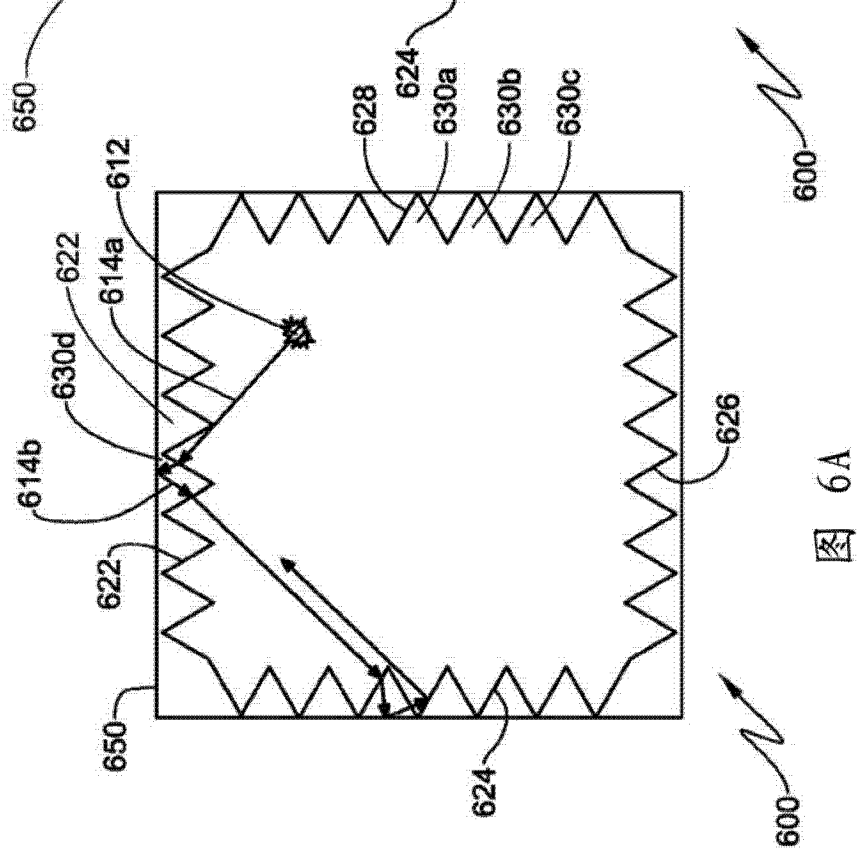


图 6A

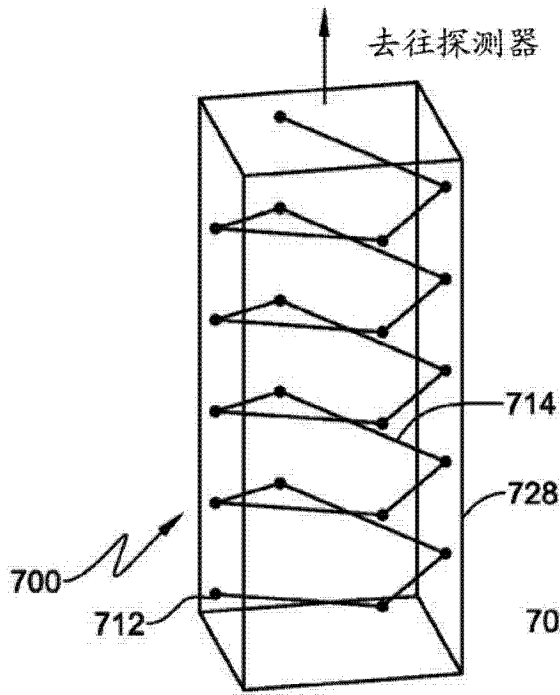


图 7A

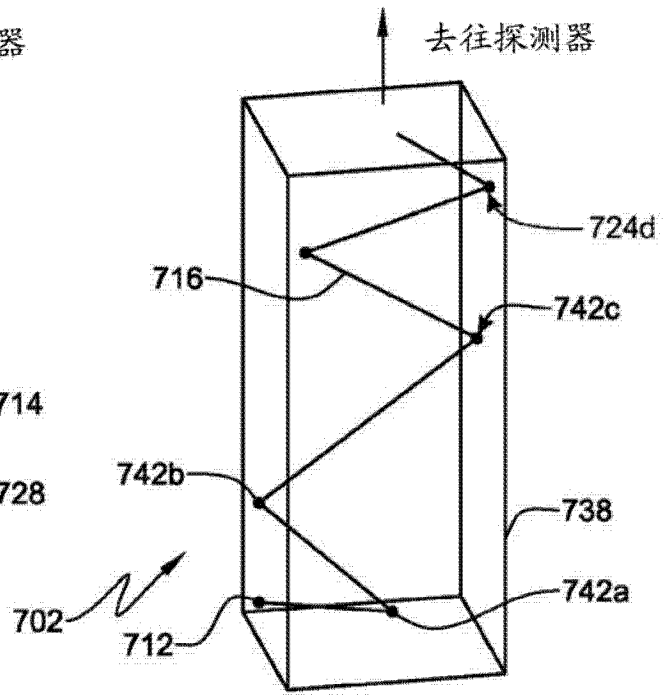


图 7B

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.1	0	0	0
0	0	0.1	0.5	0.4	0.1	0	0
0	0	0.5	23.9	23.8	0.5	0.1	0
0	0	0.5	23.7	23.4	0.5	0	0
0	0	0.1	0.5	0.5	0.1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

图 8A

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1
0.1	0.2	0.6	1.3	1.4	0.7	0.3	0.1
0.1	0.4	1.2	19.5	19.8	1.2	0.4	0.1
0.1	0.4	1.3	19.8	19.9	1.3	0.4	0.1
0.1	0.3	0.7	1.2	1.3	0.6	0.2	0.1
0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

图 8B

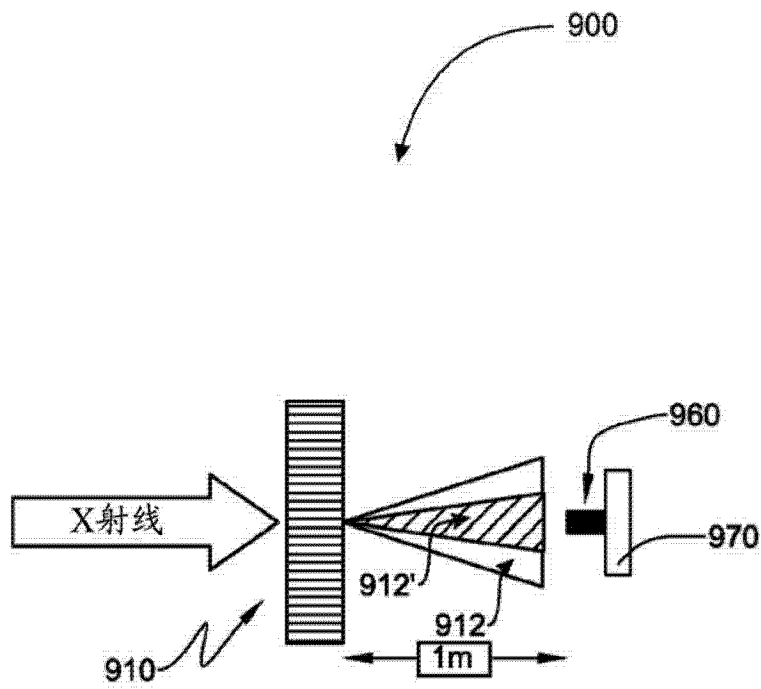


图 9

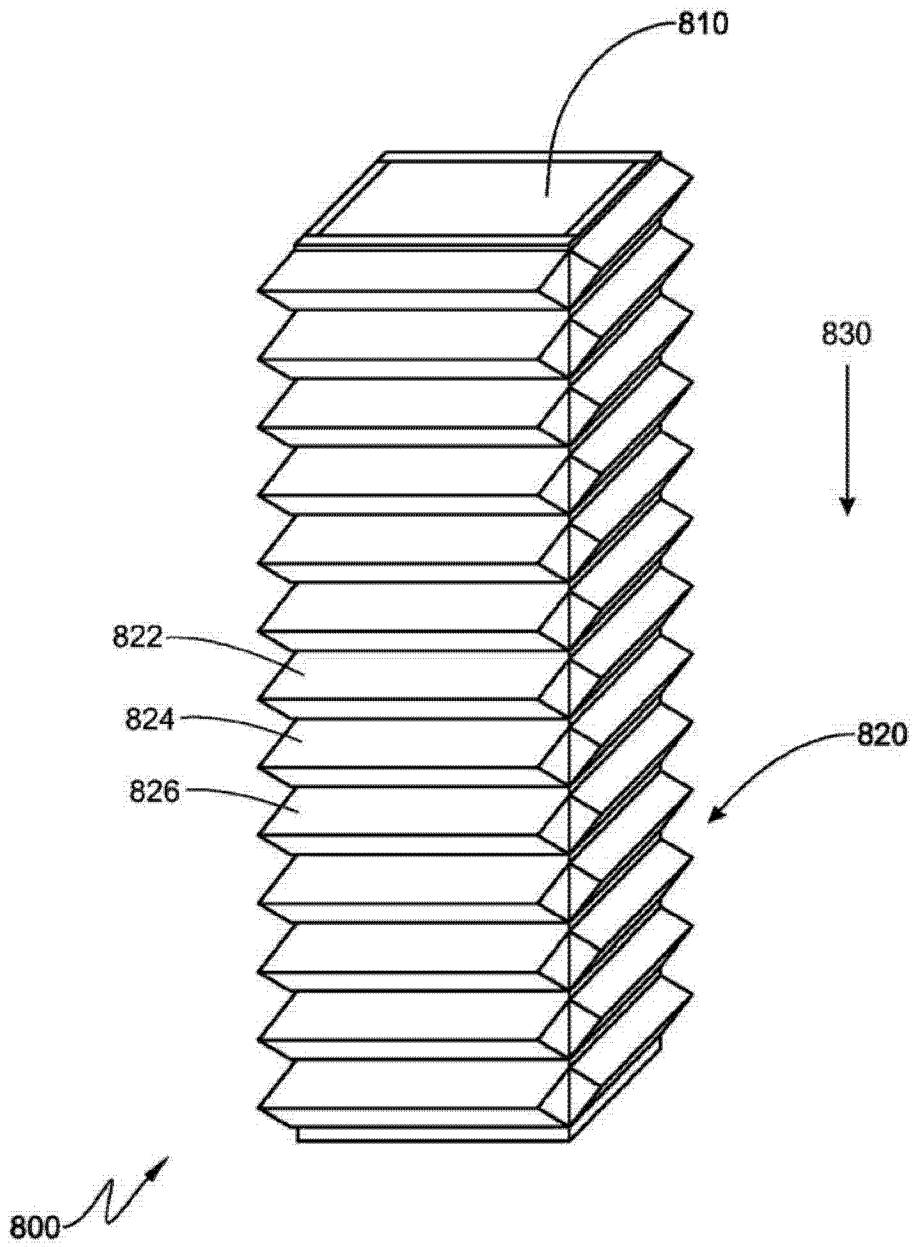


图 10

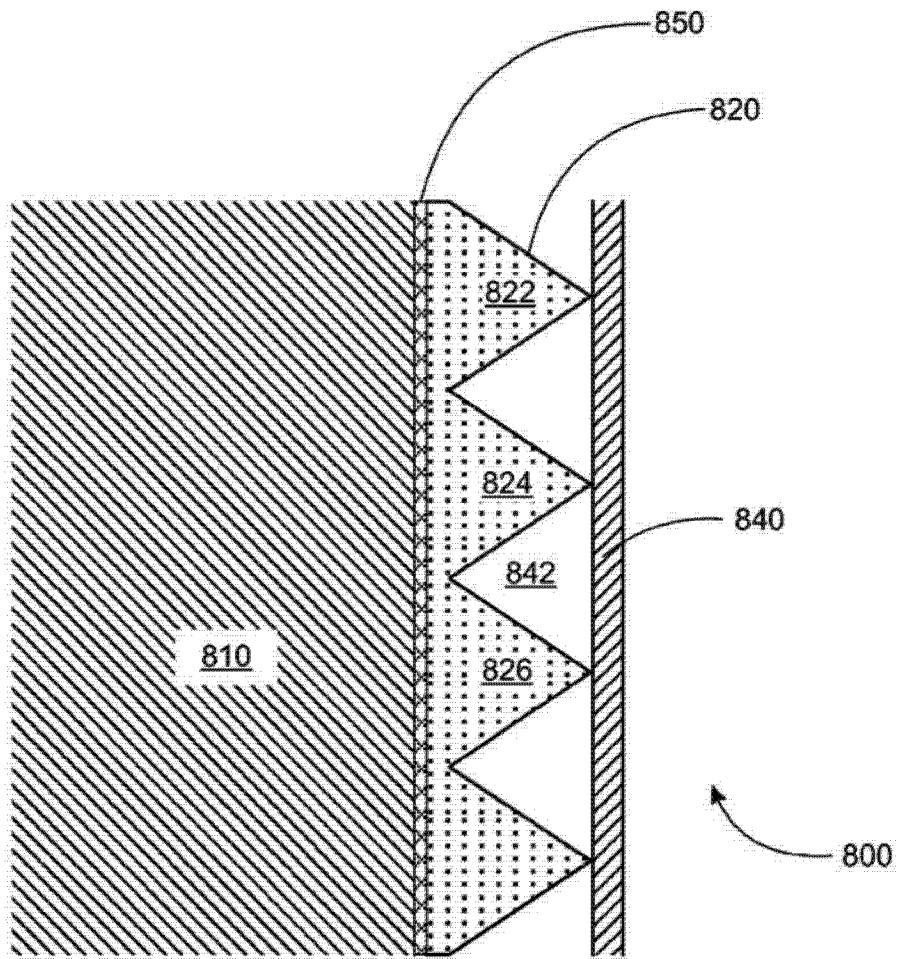


图 11