



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1993632 B

(45) 授权公告日 2011.12.21

(21) 申请号 200480039967.5

(22) 申请日 2004.11.22

(30) 优先权数据

60/523,765 2003.11.20 US

10/993,012 2004.11.19 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.07.06

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2004/039355 2004.11.22

(87) PCT申请的公布数据

W02005/052634 EN 2005.06.09

(73) 专利权人 杰克·E·朱尼

地址 美国密执安州

(72) 发明人 杰克·E·朱尼

(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 秦晨

(51) Int. Cl.

G01T 1/20 (2006.01)

(56) 对比文件

US 5453623 A, 1995.09.26, 全文.

US 6563121 B1, 2003.05.13, 全文.

US 6362479 B1, 2002.03.26, 全文.

EP 0131660 A1, 1985.01.23, 全文.

US 4750972, 1988.06.14, 全文.

审查员 王健

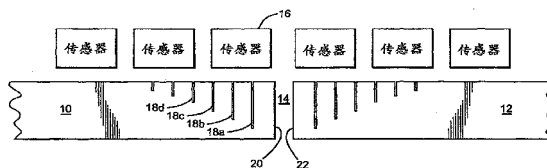
权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 8 页

(54) 发明名称

晶体边缘效应的处理

(57) 摘要

用在辐射成像设备中的闪烁器,有发光面,辐射接收面,在发光面和辐射接收面之间延伸的周界,周界包括边缘,边缘有边缘厚度。闪烁器响应辐射接收面上的辐射入射从发光面发射闪烁光。闪烁器有一个或多个在闪烁器紧邻边缘的外围区域内形成的光导。这些光导可以提高包含闪烁器辐射成像设备的定位精确度。



1. 一种辐射探测器,包括:闪烁器和多个光传感器,
该闪烁器有发光面、辐射接收面、和在发光面与辐射接收面之间延伸的周界,周界包括边缘,边缘有边缘厚度;
闪烁器响应入射到辐射接收面上的辐射从发光面发出闪烁光;
闪烁器有紧邻边缘的外围区域;
光传感器接收闪烁光,每个光传感器具有传感器直径;
该外围区域是在离开边缘一个与传感器直径相等的距离内的区域;
闪烁器包括只在外围区域中形成的光导;
光导用于在部分闪烁光从发光面发出之前使该部分闪烁光转向,其中,光导是凹槽;
由此提高辐射探测器的定位精确度。
2. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,所述凹槽填充有填充材料。
3. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,闪烁器具有不形成光导的非外围区域,非外围区域比外围区域大。
4. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,其中所述凹槽是在发光面或辐射接收面中形成的凹槽。
5. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,其中光导提供闪烁器内闪烁光的内反射。
6. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,其中光导与边缘平行。
7. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,进一步包含多个间隔分开的光导,所述多个间隔分开的光导只在外围区域中形成。
8. 如权利要求 5 所述的辐射探测器,其中每个光导的深度与光导到边缘的距离负相关。
9. 如权利要求 1 所述的辐射探测器,其中闪烁器是长方形厚片,该厚片有厚片长、厚片宽、和与边缘厚度相等的厚片厚度,厚片长和厚片宽都比厚片厚度大。
10. 一种闪烁器,包括:
闪烁材料体,该闪烁材料体有发光面、辐射接收面、和在发光面与辐射接收面之间延伸的周界,周界包括边缘,边缘有边缘厚度;
闪烁材料体响应入射到辐射接收面上的辐射从发光面发出闪烁光;
闪烁材料体为厚片形式,辐射接收面与发光面平行并同延,
该厚片有厚片宽和厚片厚度,厚片厚度与边缘厚度相等,厚片宽比边缘厚度大;
闪烁材料体有紧邻边缘的外围区域和不紧邻边缘的非外围区域,所述非外围区域覆盖大部分闪烁器;
闪烁材料体包含一个或多个只在外围区域中形成的光导;并且
光导起在部分闪烁光从发光面发出之前使该部分闪烁光转向的作用。
11. 如权利要求 10 所述的闪烁器,其中多个光导由外围区域内的多个凹槽提供,每个凹槽的深度与凹槽到边缘的距离负相关。
12. 如权利要求 10 所述的闪烁器,其中多个光导由外围区域内的多个凹槽提供,每个所述凹槽从发光面和辐射接收面中的一个面延伸到闪烁器中。
13. 如权利要求 10 所述的闪烁器,其中多个光导由外围区域内的多个凹槽提供,每个所述凹槽与发光面和辐射接收面中的一个面垂直。

14. 如权利要求 12 所述的闪烁器,其中所述凹槽与边缘平行。
15. 如权利要求 12 所述的闪烁器,其中每个所述凹槽有凹槽深度,凹槽深度与凹槽到边缘的距离负相关。
16. 如权利要求 10 所述的闪烁器,其中外围区域处于离开边缘为 8 倍的边缘厚度的范围内。
17. 如权利要求 10 所述的闪烁器,其中边缘厚度在 0.635cm 至 0.9525cm 范围内。
18. 如权利要求 12 所述的闪烁器,其中最深的凹槽比边缘厚度的一半小,或者与所述边缘厚度的一半相等。

晶体边缘效应的处理

[0001] 相关申请的参考

[0002] 本申请享有 2003 年 11 月 20 日申请的美国临时专利申请 No. 60/523,765 的优先权,该申请的全部内容以参考的方式并入此处。

技术领域

[0003] 本发明涉及与减少或消除例如闪烁器这样的光学元件的边缘效应的改善的设备和方法。

背景技术

[0004] 闪烁材料或闪烁器响应入射辐射产生光,入射辐射通常是伽玛射线或 x 射线这样的致电离辐射。这种材料可以是诸如掺有铊杂质的碘化钠 NaI(Tl) 这样的晶体,或诸如塑料这样的非晶体材料。

[0005] 使用闪烁器的辐射探测器包括伽玛照相机, x 射线探测器和其它辐射成像或传感设备。闪烁器通常有辐射接收面,诸如伽玛射线这样的辐射入射到这个面上。闪烁器有发光面和外边缘,光响应入射辐射从发光面发出。例如,盘形闪烁器可以有圆柱边缘表面。诸如玻璃这样的关光学窗口通常被粘结到闪烁器的发光表面。诸如光电倍增管这样的光传感器的阵列接收从闪烁器的发光面发出的闪烁光,通过窗口传送到探测器。有时在窗口和光传感器之间插入塑料“光导”。

[0006] 光在闪烁器内作为脉冲产生(也称为闪烁事件)。闪烁器内生成的光脉冲的位置被用在成像应用中,例如 SPECT(单光子发射计算机断层扫描)和 PET(正电子发射断层成像)成像。这种应用通常称为闪烁成像。

[0007] 闪烁成像中的问题是来自闪烁器边缘的反射会降低成像数据的测量位置精度,尤其是在闪烁事件在闪烁器边缘附近发生的情况下。来自发生在边缘附近的闪烁事件的光会从该边缘反射,导致精确确定该事件位置的能力严重下降。事实上,外围区域周围可能存在与闪烁器或窗口的边缘紧邻的死区,有意义的位置数据不能从这个区域收集。这个死区或“边缘效应”减少了闪烁器的有效可用部分。另外,探测器外围这个不可用区域的存在阻止了探测器在许多医学应用中的最佳定位,例如胸和脑闪烁扫描法。探测器浪费部分导致的探测器体积的增加可以使得在例如心脏闪烁扫描法和多种形式的 SPECT 这样的应用中难以将探测器的位置充分接近病人。

[0008] 在一些探测器设计中,需要有一个以上的相互紧邻的闪烁器元件。在这种情形中,元件之间的接合处(junction)倾向于充当反射边缘,其引起对接合处每一侧上有影响的边缘的不可用死区。

[0009] 这一问题在本领域内被广泛认识。例如,授权给 Schreiner 等人的美国专利申请公开 No. 2003/0034455 中描述了解决此问题的早先尝试,其中建议将闪烁器分割成许多三角形片断。但是,加到设备成本中的这种分割难以制造,如果闪烁器从空气中吸收水分,这会引起问题。例如,众所周知,应保护碘化钠远离大气水分。

[0010] 授权给 Pergale 等人的美国专利 No. 4, 284, 891 中描述了另一个尝试的解决方案, 其中建议在光学窗口外围附近提供散射光反射镜。但是, 它难以提供真正的散射光反射镜, 因为晶体边缘和很多材料的反射特性会随着时间和环境条件改变。另外, 实践中已经发现这种散射边缘处理对解决问题没有提供令人满意的改进。

[0011] 因此, 需要一种改进的闪烁器和辐射探测器, 可以减少或消除不需要的边缘反射效应。

发明内容

[0012] 本发明提供的方法和设备用于在诸如闪烁器这样的光学元件中减小边缘效应, 例如由边缘效应产生的定位精度的降低。例如, 可以在闪烁器或光学窗口的周边区域靠近边缘提供一个或多个光导。

[0013] 依照本发明示例的辐射探测器包括闪烁器, 该闪烁器具有发光面, 辐射接收面和发光面与辐射接收面之间延伸的周界, 周界包括边缘。闪烁器响应辐射接收面上的辐射入射从发光面发出闪烁光。一个或多个光导在紧贴边缘的外围内排列, 光导在其从发光表面发出之前改变部分闪烁光的方向。闪烁探测器可以进一步包含许多从闪烁器接收闪烁光的光传感器。

[0014] 在外围区域内提供的光导可以提高辐射探测器的定位精确度。可以有多个间隔分开的光导只排列在外围区域内。光导可以包括凹槽, 在凹槽到边缘的距离增加时凹槽的凹槽深度减小。

[0015] 闪烁器的发光面可以有非外围区域, 例如中央区域, 在中央区域内没有光导。根据应用, 非外围区域可以较大, 有时明显大于外围区域。

[0016] 外围区域是边缘某一距离内的区域。该距离可以是边缘厚度的诸如少于 10 倍这样的倍数, 例如在边缘的边缘厚度的 8 倍之内。该距离也可以大约是光传感器的直径。

[0017] 光导可以是排列在闪烁器发射面和 / 或辐射接收面的凹槽。在另一个示例中, 可以在闪烁器和探测器之间或多个探测器之间提供光导。光导可以包含凹槽, 反射膜, 界面或两个不同折射率区域之间的边界, 或在闪烁器内提供光的内反射或折射的其它结构。光导可以与边缘基本平行。

[0018] 改善的辐射探测器的另一示例包含闪烁器, 与闪烁器的发光面进行光通信的探测器阵列, 闪烁器和光探测器阵列之间的窗口, 闪烁器和 / 或窗口有一个或多个排列在其表面的凹槽。这些凹槽可以只排列在闪烁器和 / 或窗口的外围区域内。

[0019] 在下面讨论的示例中, 术语“晶体”通常用于方便地表示闪烁材料。但是, 这里讨论的所有示例同样应用于非晶体闪烁器。描述的方法和设备也可以适合于在其它光学元件中的应用, 这对光学领域的技术人员是显然的。

附图说明

[0020] 图 1 示出一对晶体的侧视图, 其中每个晶体有多个分别在邻近晶体边缘的外围区域切割的凹槽;

[0021] 图 2 示出晶体的侧视图, 其中示出了在临近晶体边缘的外围区域内切割的晶体发光表面的凹槽;

- [0022] 图 3 是一对晶体的侧视图,其中每个晶体有在辐射接收面外围区域切割的凹槽;
- [0023] 图 4A 和 4B 示出晶体的俯视图;
- [0024] 图 5 示出晶体的侧视图,该晶体既有窗口又有光学传输元件,后者有在下表面切割的凹槽;
- [0025] 图 6 是辐射探测器的侧视图,该探测器包含在窗口下表面切割的凹槽的窗口和晶体;
- [0026] 图 7 是辐射探测器的侧视图,该探测器既有窗口又有光学传输元件,两者都有凹槽;
- [0027] 图 8 是辐射探测器的侧视图,该探测器的晶体和窗口都有凹槽;
- [0028] 图 9 是在晶体和窗口中有凹槽的辐射探测器的侧视图,其中凹槽没有对齐;
- [0029] 图 10 示出在晶体和窗口的上表面和下表面都有凹槽的辐射探测器;
- [0030] 图 11 示出辐射探测器,其中窗口 / 光导管上表面的形状可以将光引至多个传感器,窗口外围区域内也有凹槽;
- [0031] 图 12 示出外围区域中有凹槽的弯曲晶体;
- [0032] 图 13 示出有环形凹槽的环形晶体;
- [0033] 图 14 示出包含计算机和显示器的辐射探测器结构;和
- [0034] 图 15 示出有两个晶体和金属外壳的辐射探测器。

具体实施方式

[0035] 在下面讨论的示例中,术语“晶体”通常方便地用于表示闪烁材料。但是,这里讨论的示例同样应用于非晶体闪烁器。而且,在下面讨论的示例中,由在晶体一个或多个表面(或相关窗口)上切割的凹槽提供光导。如下面更加详细地讨论的那样,也可以使用光导的其它形式,例如,反射膜。

[0036] 图 1 示出部分第一晶体 10,部分第二晶体 12,两个晶体之间的晶体间隙 14,多个传感器如传感器 16,每个晶体发光面中象凹槽 18a-18d 这样的多个凹槽,第一晶体边缘 20,和第二晶体边缘 22。

[0037] 如图所示,晶体 10 的下表面是辐射接收面,而晶体的上表面是发光面。各图说明都遵循这个惯例(只为方便起见)。

[0038] 发光面和辐射接收面通常可以是平行或同延的,通过周界互连,周界确定边缘。晶体可以是立方体的形式,有长,宽,和厚度,厚度是边缘厚度。厚度可以基本上比晶体的长和/或宽小。

[0039] 传感器可以在位置上与所示的那些有所不同。例如,传感器可以横跨在两个晶体之间。传感器可以排成一线或二维阵列,或其它结构。也可以使用扫描成像的方法。

[0040] 图 2 示出晶体 10 的另一个视图。28 处的星号表示通过辐射与晶体相互作用产生的闪烁光(闪烁事件)脉冲。为方便起见,术语“闪烁光”会经常缩写为“光”。以 L 标记的锯齿形箭头表示从晶体出来的光的可能路径。为方便起见,没有示出全部凹槽。

[0041] 从闪烁事件(形成光脉冲)发出的光不会沿晶体 10 内的各个方向传播。但是,箭头示出凹槽 18a 和晶体边缘 20 协同工作以提供光导向效应,由此,光从晶体边缘和从凹槽的内表面反射,使其采取保持与边缘紧邻的路径,并在凹槽和晶体边缘之间的一部分发光

表面内从发光表面发出。因此,凹槽 18a 和晶体边缘 20 提供部分光学约束,或波导效应。

[0042] 图 3 示出第一晶体 40,第二晶体 42,分隔间隙 44,每个晶体的辐射接收面中象凹槽 46 这样的凹槽,和多个诸如传感器 48 这样的传感器。传感器与每个晶体的上表面或发光面进行光学通信。此图说明可以在晶体的辐射接收面提供凹槽,以及或者代替在发光面提供凹槽。

[0043] 图 4A 示出晶体的俯视图,示出了长方形发光面,有表面(例如发光面)50,和象 56 和 58 这样的多个在晶体外围区域紧邻边缘的凹槽。边缘以长方形示出,包括侧边 52 和 54。凹槽可以深度相同,或者,在其它示例中,最靠近边缘的凹槽(凹槽 58)的凹槽深度最大,距离边缘最远的凹槽(凹槽 56)的凹槽深度最小。凹槽的深度可以与到边缘的距离相关,例如如下更详细地讨论的那样,与距离成反比。

[0044] 晶体也可以有长方形横截面,使其有立方体形式。如图 4A 所示,晶体的直角边缘区域可以优选地标识为侧面或边缘。可以在晶体和/或窗口的一个或多个面形成类似的凹槽样式。

[0045] 图 4B 示出另一个示例的俯视图,其中表面 59 中形成的凹槽在拐角处形成网纹交叉样式。其它细节可以与上面讨论的图 4A 的情况相同。

[0046] 图 5 示出辐射探测器的侧视图,该探测器包括辐射侧光学传输元件 60,晶体 62,窗口 64,光学匹配介质 66,多个诸如传感器 68 这样的传感器,多个诸如 70 和 72 这样的凹槽。在本例中,凹槽在光学传输元件 60 的上侧形成,与晶体 62 的辐射接收面紧邻。

[0047] 在与图 5 中图解的相似的另一个示例中,辐射探测器包含晶体和上下光学传输元件或窗口层,它们由晶体的发光面支撑。凹槽可以在晶体的发光面形成。

[0048] 图 6 表示辐射探测器的侧视图,包含晶体 80,窗口 82,多个诸如传感器 48 这样的传感器,多个诸如凹槽 86 和 88 这样的凹槽。在本例中,凹槽在窗口的下表面形成,即紧邻晶体的发光面的窗口侧。应该记住,通常都是透明物的晶体和窗口可以看作是单个光学元件,即,它们一起构成发射光的连续介质。因此,窗口中凹槽的布置以与凹槽在晶体本身中一样的方式减少了边缘效应,尽管程度较小。应该理解,光反射同时从晶体的边缘和窗口的边缘发生。除晶体本身中的边缘反射效应以外从窗口边缘的反射进一步降低空间精确度。现有的辐射探测器可以通过用在紧邻晶体的窗口面内有多个凹槽的窗口代替现有窗口的简单工艺改进。在另一示例中,凹槽可以在窗口距离晶体最远的上表面形成。

[0049] 图 7 示出辐射探测器,该探测器包含辐射侧窗口或光学传输元件 100,晶体 102,窗口 104,传感器 106,紧邻晶体的辐射接收面的辐射侧窗口中的诸如 108 和 110 这样的凹槽,和紧邻晶体发光面的窗口的下表面中的诸如 112 和 114 这样的凹槽。

[0050] 在与图 7 中图解的相似的另一示例中,辐射探测器包含晶体,下窗口,和上窗口。在本例中,凹槽提供在晶体中和将光从晶体传输到传感器的一个或两个窗口层内。

[0051] 图 8 图解了辐射探测器,该辐射探测器包含晶体 120,窗口 122,传感器 124,和提供在窗口下表面中的诸如 128 这样的凹槽。象 126 这样的凹槽提供在晶体上表面中。在本例中,晶体中的凹槽和窗口中的凹槽基本对齐。

[0052] 图 9 示出辐射探测器,该辐射探测器包含晶体 140,窗口 142,传感器 144,晶体上表面中的诸如 146 这样的凹槽,和窗口下表面中的诸如 148 这样的凹槽。在本例中,晶体中的凹槽和窗口中的凹槽完全没有对齐。

[0053] 图 10 示出辐射探测器,该辐射探测器包含晶体 160,窗口 162,传感器 164,晶体下表面中的诸如 166 这样的凹槽,晶体上表面中的诸如 168 这样的凹槽,窗口下表面中的诸如 170 这样的凹槽,和窗口的上表面中的诸如 172 这样的凹槽。

[0054] 图 11 示出辐射探测器,该辐射探测器包含晶体 180,窗口 182,传感器 184,有上表面形貌 186 的窗口,经设计将光导向传感器的光敏感区域。示出了提供在窗口的下表面中的诸如 188 这样的凹槽,但是可替换地或另外地,凹槽可以在晶体的任何一个表面或窗口的上表面。

[0055] 在窗口的上表面中提供了一系列三角形凹口 190 使其防止光漏入传感器之间或之内的死区,否则将探测不到。可替换地,结构 182 可以由两个元件组成,紧邻晶体的窗口和插入在窗口和光传感器之间的“光导管”。如下面进一步讨论的那样,可以使用其它表面形貌。

[0056] 图 12 是示出外围区域内有紧邻晶体一个边缘的凹槽 202 的弯曲(弓形)晶体 200。在本例中,凹槽基本呈放射状地从晶体的下表面延伸向其内部。

[0057] 图 13 是环形晶体 220 的俯视图,有环形边缘 222,和紧邻边缘的外围区域内的凹槽 224 和 226。

[0058] 图 14 示出辐射探测器,该辐射探测器包含辐射源 240,晶体 242,窗口 244,光传感器阵列 246,计算机 248,显示器 250,数据端口(例如,数据输入设备)252,和分析电路 254。运行在计算机 248 上的计算机程序可以用来提取光传感器阵列提供的位置信息。可以提供算法以提供边缘修正,深度修正和其它本领域中熟知的修正。分析电路可以包含噪音抑制电路,等等,可以与计算机集成为单独设备。辐射源可以是诊断中的哺乳动物。

[0059] 图 15 示出辐射探测器的侧视横截面图,该辐射探测器包含外壳 260,第一晶体 262,基本与第一晶体邻近的第二晶体 264,和窗口 266。外壳 260 可以是铝这样的金属,可以给晶体提供保护使其免于大气水分或其它降解源。探测器阵列 270 包含多个诸如 272 这样的光传感器和相关定位电路。诸如 268 这样的凹槽在每个晶体的外围区域内示出以减少来自于反射的边缘效应,并改进窗口上提供的传感器阵列 272 提供的定位数据的精确度。

[0060] 在另外的示例中,可以提供两个与晶体对齐的窗口,并在接近末端部的窗口中提供凹槽。

[0061] 光导(凹槽)

[0062] 术语“光导”可以用于表示可以提供在晶体内以提供光的内部转向的任何结构。光导可以是凹槽(例如在晶体表面切削),术语“凹槽”为方便起见在其它处用来表示光导。术语凹槽包含狭槽,切口等结构。

[0063] 凹槽可以充气,或充以象液体,塑料,玻璃,反射膜(例如塑料或金属膜),多层反射膜,纤维,球状体(例如,构成光子带隙反射镜),干涉测量结构,惰性气体,真空(如果闪烁器在密封外壳中),或其它材料这样的填充材料。

[0064] 光导可以与紧邻边缘区域基本平行,和/或与其构成的表面或附近表面基本垂直。多个间隔分离的光导可以在外围区域内构成。每个光导的深度或其它长度可以与光导到边缘的距离(在光导与边缘的最近区域之间测量的距离)负相关。光导可以不完全延伸到晶体或窗口的所有表面,而是替换为放置在晶体或窗口容积内部。

[0065] 在其它示例中,可以提供光导跨过表面的全部范围,而不是只在外围区域。至于外

围光导,光导的深度(或类似长度)可以与到最近边缘的距离负相关(离边缘越远深度越小,可以是线性或非线性关系)。在一个示例中,外围光导的深度与到最近边缘的距离负相关,表面中间区域中的光导可以有相同的深度。在另一示例中,在跨过整个表面上光导的深度与到边缘的距离负相关。

[0066] 光导可以在光导与另一个光导或边缘之间提供闪烁光的部分光学约束。光学约束可以提高使用闪烁器的辐射探测器的定位精确度。

[0067] 如果闪烁器有具有均匀横截面、具有第一末端和第二端部的延长结构,那么可以在紧邻一个或两个端部的外围区域中形成光导。

[0068] 邻近边缘的光导的数目可以在1-20(包括)的范围内,例如在1-10(包括)的范围内,例如一个,两个,三个,四个,五个,六个,七个,八个,九个,或十个。实例闪烁器由5-7个凹槽制成,可以观察到这些凹槽提高了定位精确度,并明显地减小晶体边缘附近的边缘效应死区。

[0069] 凹槽间距可以是规则的(等间距),或非均匀间隔。凹槽深度的渐变性可以与到边缘的距离成正比或不成正比,或者,所有凹槽深度可以相同。

[0070] 优选地,边缘附近的光导分成等级。外围区域内相同深度的凹槽或光导可以对一些应用有益,但它们常常在最里面的凹槽内形成边缘效应区,即,最里面凹槽的作用类似于边缘。但是只穿过晶体中途延伸的凹槽确实产生比整个边缘小的边缘效应,因此,多少有用途。

[0071] 但是,优选实施例是逐渐分级的凹槽,或从边缘向内移动时变得越来越浅的凹槽。由于“波导”一侧的凹槽比其它的深,它们比其它的更多地将光传播限制在一个方向。这形成渐变效应而不是锐利边缘,这样消除了所有或更多的死区。这是由于渐变深度结构的“单向”传播方面的原因。这可以参照本发明的一个最简单结构最容易地解释,其中只在晶体的发光侧提供凹槽或光导。光可以越过底部“波导”的约束传播。在底部离开波导的光既可以向着边缘传播,也可以远离边缘传播。由于朝向边缘的开放路径(光导底部与晶体底表面之间的空间)比远离边缘的开放光径小,光更可能远离边缘传播。这将发射的光“推”离边缘。达到光传感器的光强是歪斜的,而不是钟形曲线,具有远离边缘的更宽传播。这种将光发射剖面“推”离边缘的情况对于到达离边缘更远的下一波导底部的光也会发生。这包括沿波导传播的光加上从邻近波导传播到该点的光。这引起发射剖面倾斜得更加远离边缘。但是,随着离边缘越来越远地观察波导,这种倾斜效应变得越来越小。这是因为向着和远离边缘的相对开口成比例地变得越来越均等。对于最里面的波导,光子向右行进的几率与其向左行进的几乎一样大。因此,发射的光被推离边缘效应死区,但是离边缘移动越远它被推离的程度变得越来越小。这引起边缘效应被模糊掉并扩散到广阔的区域。

[0072] 除以上所述之外,光凹槽的分辨率提高效率提高了分辨率,还减小了整个外围区域上“涂抹”边缘反射的分辨率降低效应。

[0073] 成像设备的定位精确度可以通过提供间隔更密集的凹槽得到提高。凹槽间距可以是,例如,传感器直径的分数,例如在传感器直径的0.01-1倍范围内,例如在传感器直径的0.05-0.5倍范围内。凹槽间距也可以是边缘厚度的分数,例如在边缘厚度的0.01-0.5倍范围内。

[0074] 如果这些凹槽的凹槽深度不同,例如,凹槽深度与到边缘的距离负相关,在一些示

例中,凹槽可以是大约 1mm,最深凹槽大约与边缘厚度的一半相等。在一些示例中,凹槽可以是弯曲的。

[0075] 外围区域

[0076] 在美国专利 No. 6, 563, 121 中, Schreiner 等人描述了带有排列在相同维度的规则阵列中的小隔间的闪烁片。但是, 远离边缘, 可以从来自传感器阵列的一个或多个传感器读数精确地确定定位数据。事实上, 例如通过在局部晶体体积中的降低, 在闪烁器表面中央区域内提供凹槽会降低性能, 增加闪烁器的成本和复杂性。

[0077] 因此, 例如, 改进的闪烁器、诸如凹槽这样的光导优选只在外围区域内提供。

[0078] 可以根据传感器宽度限定外围区域, 因为辐射探测器包括多个传感器。传感器宽度可以是, 例如, 传感器的外径, 或传感器的平均间隔距离。外围区域可以限定为紧邻闪烁器边缘的区域, 且到边缘的距离至多与传感器宽度大约相等。可替换地, 外围区域可以限定为紧邻闪烁器边缘的区域, 且到边缘的距离至多与传感器宽度的一半大约相等。如果传感器是光电倍增管, 传感器宽度可以称作管的宽度。

[0079] 外围区域也可以根据表面的整个尺寸的分数的限定。例如, 晶体或窗口的外围区域可以是紧邻边缘的区域, 且至多是从中心到该边缘的距离的某一分数。该分数可以是, 例如, 5%, 10%, 15%, 或 20%。

[0080] 外围区域也可以限定为紧邻边缘的区域, 且到边缘的距离至多是厚片厚度的 6-8 倍。可替换地, 该区域可以更小, 例如是该厚度的 3-4 倍。外围区域可以限定为紧邻边缘的区域, 且到边缘的距离至多与该厚度大约相等。在一个示例中, 晶体厚度为 0.635cm 到 0.9525cm, 光电管直径为 5.08cm-7.62cm, 外围区域是 2.54cm-3.81cm。

[0081] 在一个示例中, 辐射探测器可以包括立方体厚片形式的闪烁器, 该厚片有厚片长, 厚片宽, 和厚片厚度 (等于边缘厚度), 厚片长和厚片宽都基本上比厚片厚度大。在一些示例中, 外围区域可以是厚片的外区域, 到边缘的距离大约与边缘厚度相等或大约在 3-8 倍范围内。

[0082] 光导的制造

[0083] 光导 (例如凹槽) 可以通过多种机械, 化学, 光学, 超声波, 或其它方法形成。例如, 可以用锯在晶体的一个或多个表面中切割凹槽。凹槽也可以用高压流体射流形成。众所周知, 普通的晶体材料碘化钠可以溶解在水中。在这种情形中, 可以使用非水流体, 例如油, 超临界二氧化碳, 或其它流体。也可以用水, 喷射切割之后表面迅速干燥。像二氧化碳或氮这样的高压气体喷射也可以用来在表面中提供凹槽。

[0084] 可以用激光来融化或在晶体表面中切割或提供凹槽。对于激光切割, 使用与在晶体内通过辐射产生的光不同波长是有利的, 因为晶体对该波长大概基本上是可透过的; 例如, 如果闪烁光在可见区域中, 可以使用 x 射线, UV 或 IR 波长。晶体可以包含添加剂以吸收预定波长范围内的激光辐射以辅助晶体加工。

[0085] 内含物, 气泡, 缺陷也可以用来提供晶体内光的转向。例如, 聚焦在晶体块内的激光可以用来蒸发部分晶体以提供气泡。这些缺陷可以以规则阵列或图案提供以提供需要的光导效应。

[0086] 可以将气泡注入形成晶体的熔化介质。晶体可以包含基本有不同折射率的其它材料以提供折射光导。光导, 例如凹槽, 也可以通过成型 (例如在晶体生长过程中, 例如塑料

或熔融材料的模制,) 冲压, 钻孔, 其它机械工艺, 化学蚀刻, 离子轰击, 电子束原子束, 光刻工艺等形成。

[0087] 晶体几何结构

[0088] 晶体可以是立方体形状, 带有发光面, 相反的辐射接收面, 和长方形边缘 (包括第一和第二相对端, 第一和第二相对侧面)。任何一对相反端可以替换地指定为侧面, 反之亦然。

[0089] 晶体有定义为发光面和相反的辐射接收面之间的距离的晶体厚度。两个面可以平行, 提供均匀的厚度。

[0090] 发光面在第一和第二端部之间和第一和第二侧面之间扩展。同样, 辐射接收面 (与发光面相对) 可以基本上与发光面平行, 也在第一和第二端部之间扩展。

[0091] 在另一示例中, 晶体可以是弯曲的 (弓形), 例如, 或者最初在弯曲或弓形的外形中形成 (晶体形成之后弯曲), 或者经过加热或其它软化处理之后弯曲。弯曲处理可以在晶体加热过程中发生。弯曲可以在一个平面内, 或者可以在三维空间内以提供例如球形截面。

[0092] 形成的凹槽可以与发光面或辐射接收面基本上垂直。凹槽可以与它们紧邻的边缘部分平行, 例如与第一或第二端部平行。

[0093] 凹槽可以等间距间隔, 或以不规则间距提供。晶体内凹槽的深度可以与凹槽到最近端部的距离相关, 该深度限定为凹槽切割于其中的面与凹槽的远端之间的距离。例如, 该相关可以是线性、指数、二次方、或其它数学形式。

[0094] 因此, 改进的辐射探测器包括有厚片外形的闪烁器, 基本平行的发光面和辐射接收面, 厚片有厚片宽和厚片厚度, 厚片厚度等于边缘厚度, 厚片宽度基本上比边缘厚度大, 闪烁器有外围区域, 外围区域与边缘紧邻, 闪烁器包含一个或多个只在外围区域中形成的光导。在外围区域中形成多个凹槽, 这些凹槽充当光导, 每个凹槽的深度与凹槽到边缘的距离负相关 (例如成反比)。

[0095] 晶体和窗口厚度可以大约相同。晶体厚度和窗口厚度可以有与图中所示的不同的相对厚度。典型的晶体 (或边缘) 厚度可以在 0.3175cm-7.62cm 范围内, 例如在 0.635cm-1.27cm 范围内, 例如在 0.635cm-0.9525cm 范围内。在一些示例中, 最深的凹槽可以比边缘厚度的一半小或与之相等。

[0096] 特别是用于 PET 工作的一些晶体, 可以明显更厚, 例如其厚度比宽度大。本发明也可以与这些更厚的晶体一起使用。

[0097] 闪烁材料

[0098] 闪烁材料可以包括卤化物 (例如碘化钠, 碘化铯), 氧化物 (例如锗酸铋 (BGO), 钨酸镱, 正硅酸钆 (GSO), 掺铈正硅酸钇 (YSO), 掺铈正硅酸镨 (LSO), 等等), 其它无机材料 (例如, 无机晶体), 有机晶体, 其它有机材料, 和其它材料。闪烁材料可以包含其它催化剂和主体材料, 其中催化剂是被扩散或经过处理的。催化剂可以是过渡金属, 例如稀土金属。闪烁材料可以是晶体或非晶体的。非晶体闪烁材料可以包含例如聚合物, 玻璃, 和响应入射辐射提供光的其它材料。

[0099] 在本说明书中, 提供了关于晶体的示例, 其中术语晶体用来表示闪烁材料, 例如闪烁晶体。但是, 这里描述的方法和设备可以与任何闪烁材料一起使用, 例如晶体或非晶体闪烁器, 也可以与其它响应非离子化辐射产生光的材料一起使用, 例如荧光材料, 或其它边缘

反射是个问题的光学元件。

[0100] 窗口

[0101] 窗口一般包含基本上透过闪烁光的材料。例如,窗口可以与晶体的发光面接近、紧邻或与之接合。窗口可以给晶体提供保护使之免于降解,例如使之免于刮擦,潮湿,破裂,等等。

[0102] 可以用基本透过闪烁光的任何材料构成窗口。例如,玻璃,聚合物(诸如丙烯酸聚合物,例如 PMMA),透明氧化物,或其它材料。

[0103] 窗口上表面的形貌可以包括三角形凹口、金字塔、截平金字塔、截平圆锥形状这样的圆锥截面的圆锥体、透镜、显微透镜阵列、菲涅尔透镜模式、或其它可以用来将光导向传感器的敏感区域的表面特征。同样,窗口可以是厚片型,有与提供光导的上表面进行光通信的单独层。在核医疗领域,这个单独层经常称为“光导管”。

[0104] 窗口厚度可以在 0.254cm-0.9525cm 范围内,尽管这不是限制。如果例如外围区域内窗口的表面形貌将光导向传感器,凹槽可以以这种特征形成。凹槽可以与上表面的平均平面垂直,可以大约与紧邻边缘平行,或以其它方式提供。

[0105] 可以在窗口材料中提供光导(凹槽),以减少由来自窗口边缘的反射产生的边缘效应。窗口中的凹槽可以加到或代替晶体中凹槽。

[0106] 类似的几何形状可以用于之前描述的晶体示例,反之亦然。晶体中的凹槽可以与窗口中的凹槽组合。

[0107] 窗口可以突出于晶体边缘之上,这可以减小由晶体产生的边缘效应,窗口中凹槽的增加可以进一步减小由窗口边缘反射产生的边缘效应。

[0108] 在窗口中提供凹槽可以有利地增加成像设备的定位精确度。这一改进可能不如在晶体中形成凹槽那么大。但是,即使不可能代替成像设备的晶体,也可以通过用有凹槽窗口代替无凹槽窗口来提高设备的定位精确度。

[0109] 外壳

[0110] 如果使用碘化钠这样的对潮气敏感的闪烁器晶体,有必要用外壳保护晶体免于大气水分的影响。也可以提供外壳以增加坚固性,将多个晶体保持在一起,或达到其它目标。外壳优选地基本不削弱入射辐射,但不需要对闪烁光透明。外壳材料实例包括铝、其它金属、塑料等等。

[0111] 反射镜

[0112] 为了防止光从晶体的辐射接收面逸出并因此不能被探测器阵列探测到,可以提供反射镜。例如,可以通过铝外壳的内反射表面提供反射镜。也可以提供诸如单独金属膜或光子带隙层这样的反射膜。例如,可以将反射金属膜蒸镀到晶体的辐射接收面上。也可以使用干涉反光镜和漫反射镜。漫反射镜包括聚合物膜(例如,聚四氟乙烯,多孔聚四氟乙烯,聚乙烯,等等),诸如全白晶体层这样的无机材料,掺无机材料的聚合物,等等。

[0113] 也可以在晶体和/或窗口边缘提供反射镜。晶体边缘通常会反射闪烁光。但是,可以提供另外的反射镜。

[0114] 通常,凹槽间距会比闪烁光波长大得多,以致不提供光子带隙(PBG)效应或其它干涉效应。但是,如果需要,可以在晶体边缘或辐射接收面提供PBG区域或其它反射膜。这可以作为提供的任何凹槽或其它光导的附加物。

[0115] 可以在例如传感器的孔径周围提供吸收器降低来自任何表面的不必要的杂散反射。

[0116] 传感器和电路

[0117] 可以使用的传感器包括光电倍增管 (PMT), 诸如雪崩光电二极管这样的固态传感器, 或其它感光设备。可以在线性或二维阵列中提供传感器。闪烁事件的定位信息可以从传感器信号确定。

[0118] 在晶体中切割凹槽之后, 可能会有由于晶体局部体积减少引起的灵敏度减弱, 需要衰减修正。也可以提供线性修正以修正图象的任何扭曲或空间失真。

[0119] 可以提供放大器以提高传感器阵列的信噪比。入射辐射有锁定放大器可以使用的相位信息, 闪烁光从中穿过的光调制器, 或类似事物以减少信号噪声。分析电路可以包括计算机, 修正边缘效应等的算法, 噪音降低电路, 等等。

[0120] 可以在元件之间提供液体, 凝胶体, 油脂, 聚合物等等这样的光耦合材料以减小折射率中断产生的散射。例如, 可以在传感器与窗口 (或晶体, 如果没有使用窗口) 之间提供光耦合材料以减少光损失。

[0121] 应用

[0122] 应用包括伽玛射线照相机, 和其它辐射探测器和成像设备, 例如核医疗设备。应用包括正电子发射断层成像, 单光子发射计算机断层成像, 组合 PET/SPECT, x 射线成像, UV 成像, 宇宙射线探测, 和其它成像和探测应用。

[0123] 与穿过整个发光面的均匀凹槽相比, 改善的辐射探测效率有利于所有应有, 尤其是灵敏度有问题的那些 (例如组合 PET/SPECT 设备)。

[0124] 这里描述的方法和设备也可以适用于其它应用, 例如减小其它材料中的边缘效应, 例如透镜, 荧光材料, 发光材料, 光导材料 (例如光导), 等等。下面更详细地描述其它示例。

[0125] 从光学元件一般消除边缘效应

[0126] 这里描述的方法通常可以用来除光学元件中的边缘效应。例如, 可以在透镜的一个或两个表面的外围给透镜提供一个或多个凹槽。也可以在角膜植片, 眼镜片, 和其它透镜和 / 或透镜阵列的外围边缘周围提供凹槽 (该术语通常用来表示任何光导)。例如, 在眼镜应用中, 可以用框架元件部分或全部覆盖一个或多个凹槽。

[0127] 可以在激光材料的发光面的外围区域给激光材料提供一个或多个凹槽。这可以用来减少从激光材料产生的散射光。

[0128] 也可以在其它光学元件和系统的外围区域提供凹槽, 例如沿波导的外围区域, 或其它集成光学系统的元件。例如, 它们可以帮助减小波导内的边缘效应。

[0129] 因此, 改善的辐射探测器的示例包括闪烁器, 该闪烁器有发光面, 辐射接收面, 发光面和辐射接收面之间的外围, 该外围区域包含具有边缘厚度的边缘。闪烁器响应辐射接收面上的辐射入射从发光表面发射闪烁光。闪烁器有紧邻边缘的外围区域, 闪烁器包括一个或多个只排列在外围区域内的光导。这与光导均匀排列跨过闪烁器表面的其它设计相反。外围区域可以是在到边缘距离大约在 3-8 倍边缘厚度距离内的区域, 或者, 如果使用传感器阵列, 该区域为到边缘距离大约与传感器间距或传感器直径相等或在传感器直径 (或传感器间距) 一半内的区域。外围区域的面积可以小于不紧邻边缘的非外围区域 (例如中

央区域)的面积。光导在闪烁从发光面出现之前,提供闪烁器内闪烁光的内反射或转向。

[0130] 如果辐射探测器包括闪烁器、窗口、和传感器阵列,每个传感器通过窗口与闪烁器的发光面进行光通信,光传感器有光传感器直径,闪烁器或窗口可以提供在一个或多个在一个或两个面上形成的凹槽,这些凹槽排列在到其边缘的距离比光传感器直径小的距离内。

[0131] 本发明不局限于以上说明的示例。示例并不是想作为发明范畴的限制。这里描述的方法,设备,组成等是示范性的,不是想作为发明范畴的限制。本领域的技术人员会想到其中的改变和其它应用。本发明的范畴通过权利要求的范畴限定。说明书中的副标题只是为了方便起见。示例、替换物等应该在整个说明中查找。

[0132] 本说明中提及的专利或公开以参考的方式相同程度地并入此处,如同每个公开特定并分别以参考的方式并入此处。特别是,2003年11月20日申请的美国临时专利申请 No. 60/523,765,全文并入此处。关于成像系统的另外信息可以在申请人的已颁发的美国专利 6,525,320,6,525,321 和 6,504,157 和公开申请 2003/0136912 中找到,其内容以参考的方式并入此处。

图 1

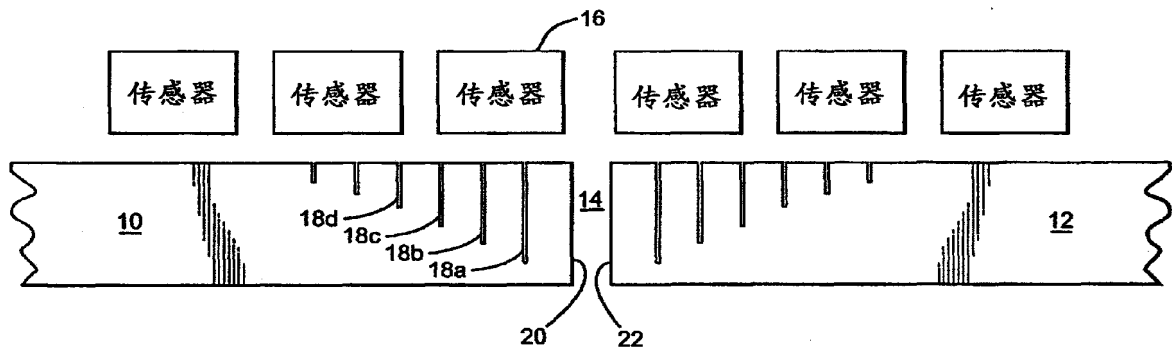


图 2

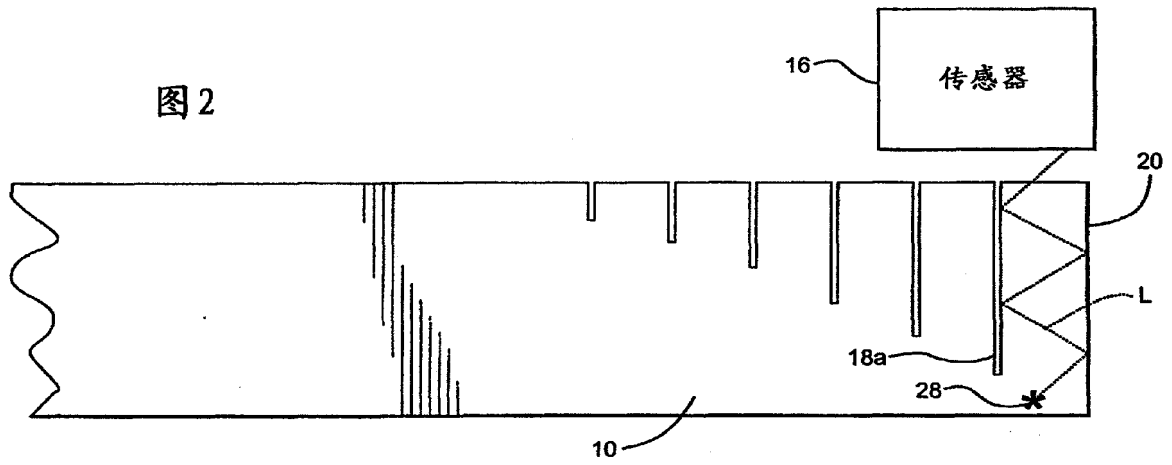


图 3

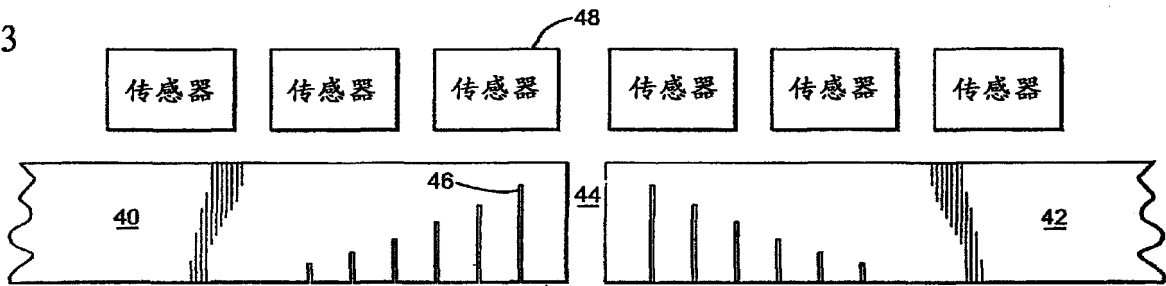


图 4A

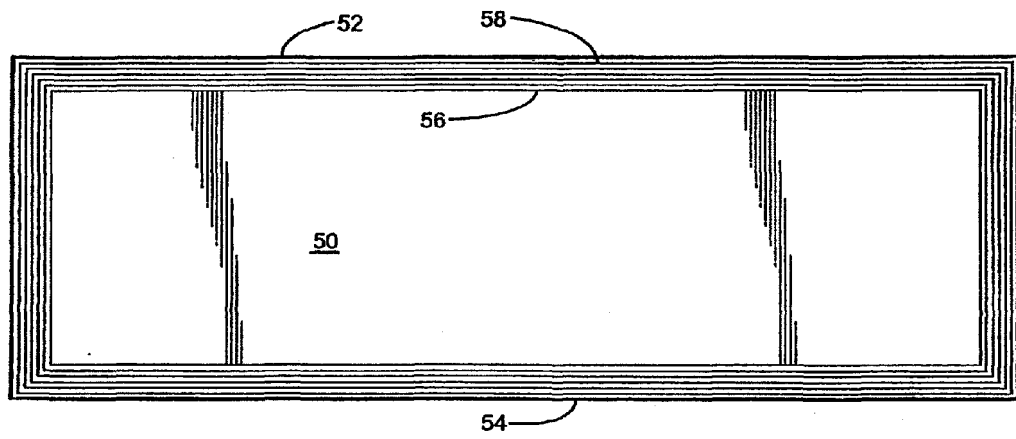


图 4B

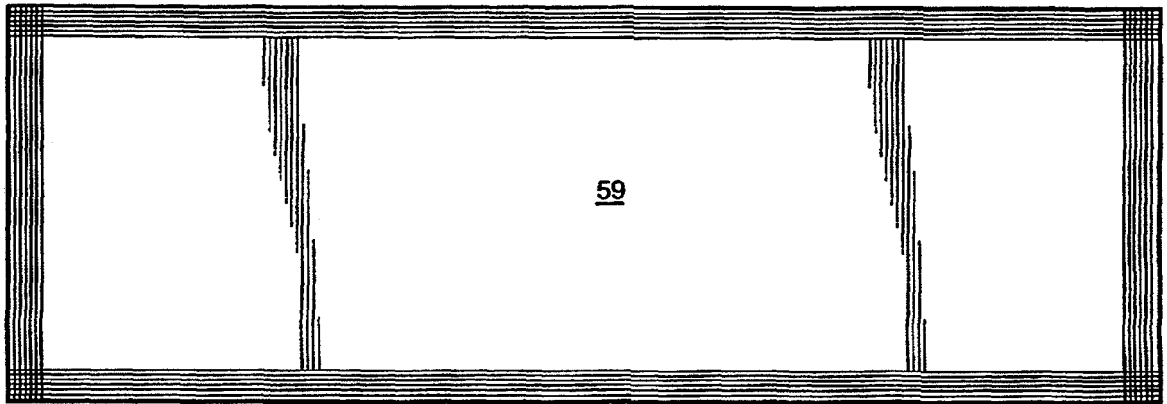


图 5

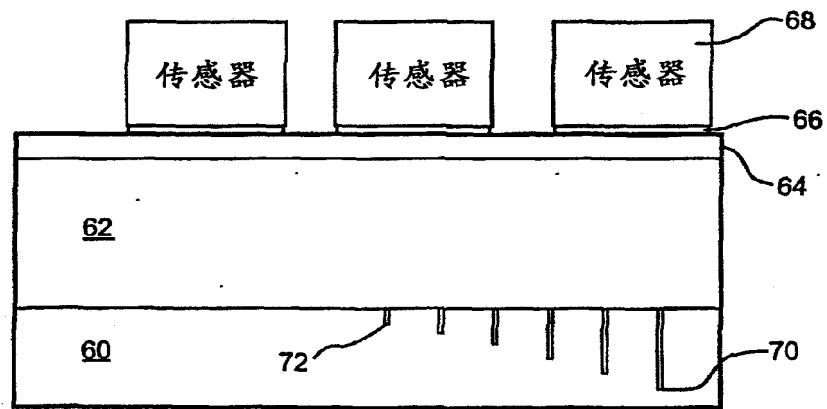


图6

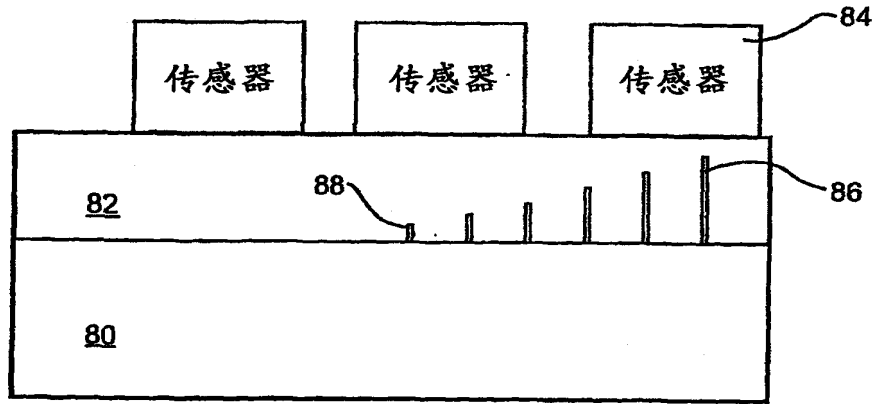


图 7

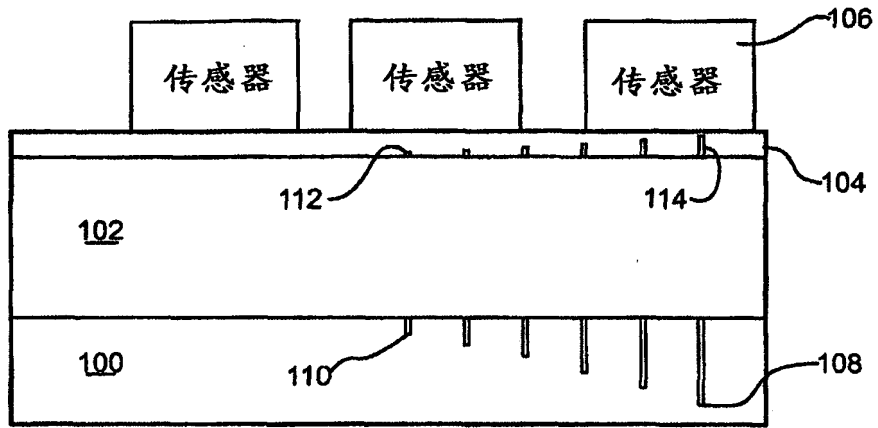


图 8

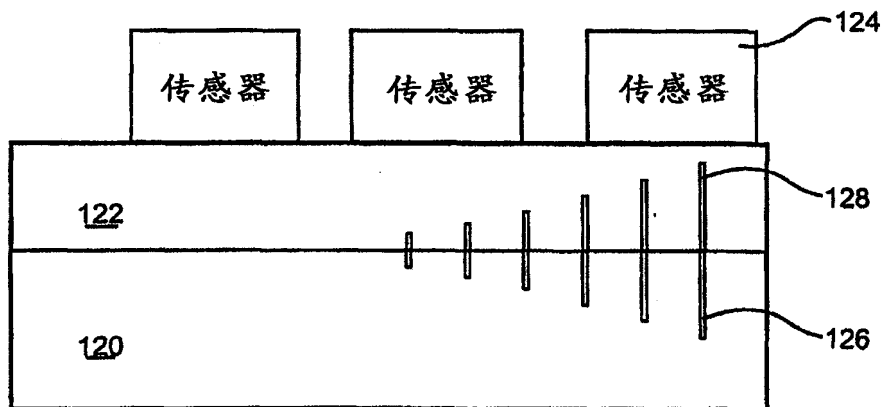


图9

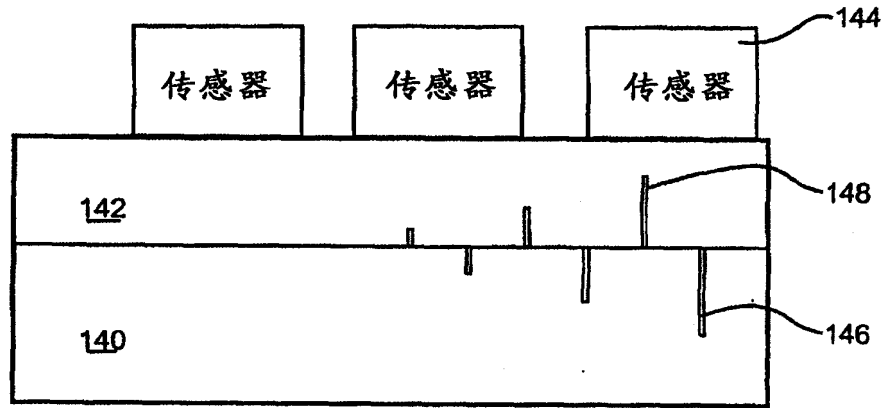


图10

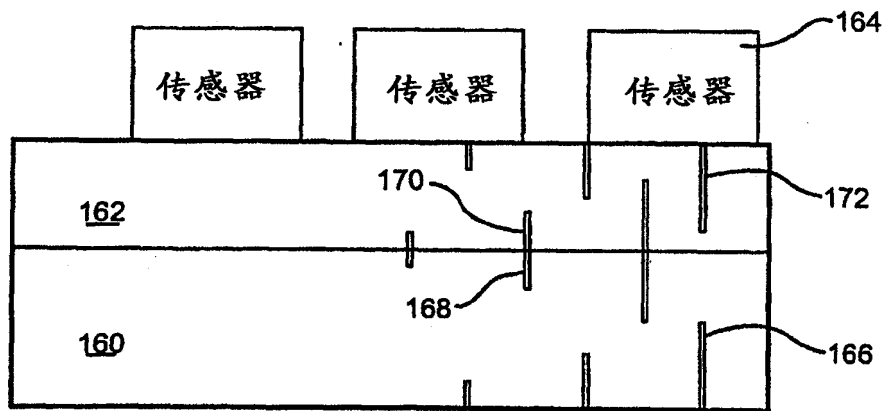


图 11

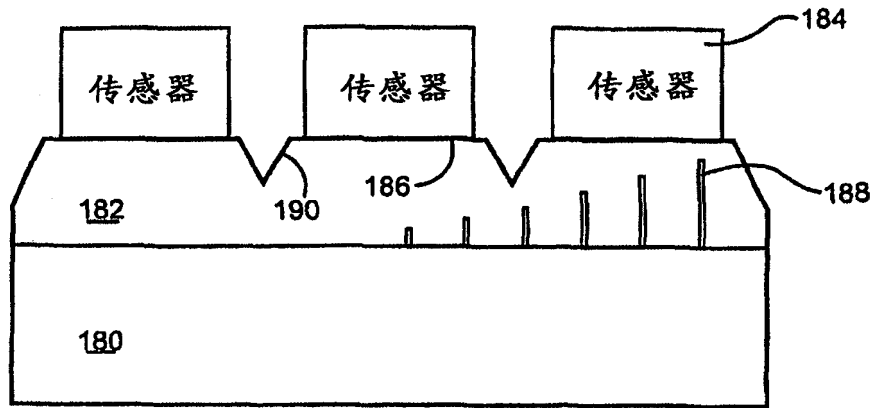


图 12

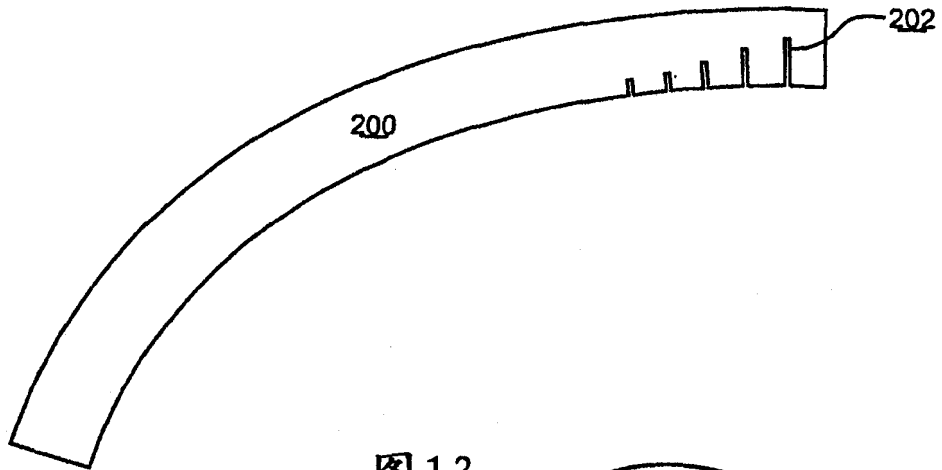


图 13

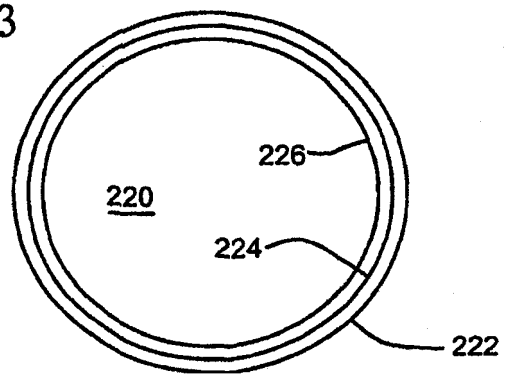


图 14

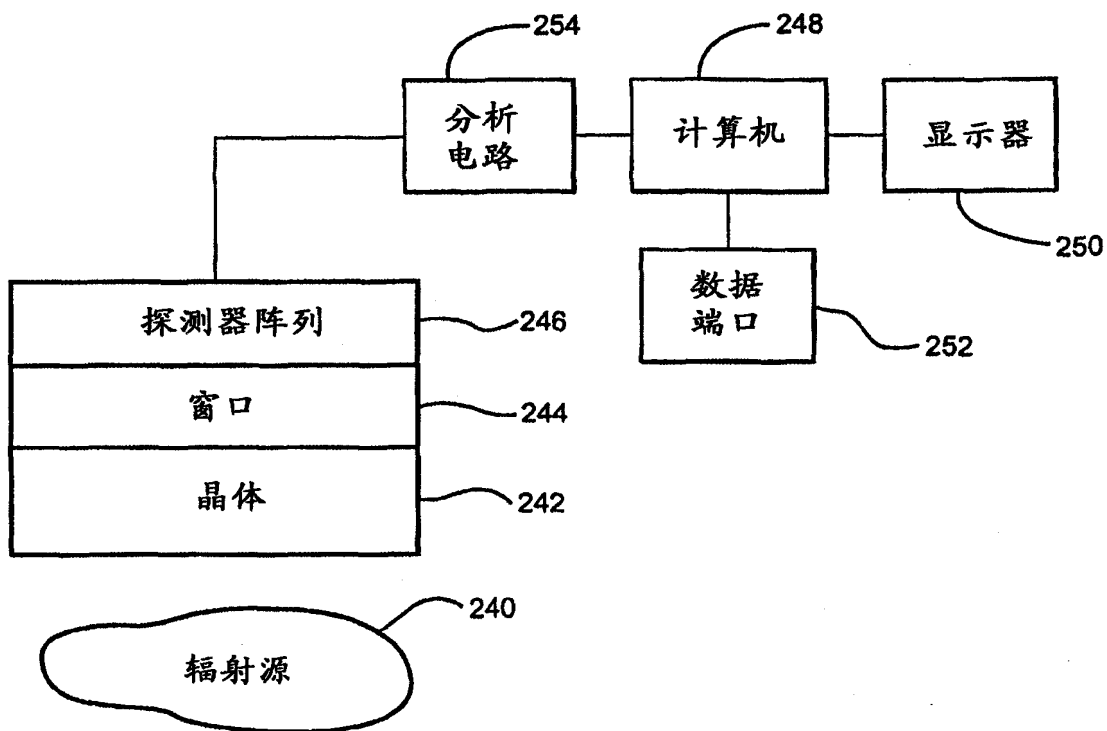


图 15

