



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106663489 B

(45)授权公告日 2020.03.27

(21)申请号 201580031208.2

(22)申请日 2015.05.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106663489 A

(43)申请公布日 2017.05.10

(30)优先权数据
2014901905 2014.05.22 AU

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2016.12.09

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/AU2015/000302 2015.05.22

(87)PCT国际申请的公布数据
W02015/176115 EN 2015.11.26

(73)专利权人 澳大利亚核科学和技术组织
地址 澳大利亚新南威尔士

(72)发明人 D·博德曼 A·萨布特 A·弗林
D·普罗科波维奇

(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.
G21K 5/10(2006.01)
G21K 1/12(2006.01)
G01N 23/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 101971102 A, 2011.02.09,
CN 101581888 A, 2009.11.18,
US 5038370 A, 1991.08.06,
CN 101080650 A, 2007.11.28,

审查员 黄小东

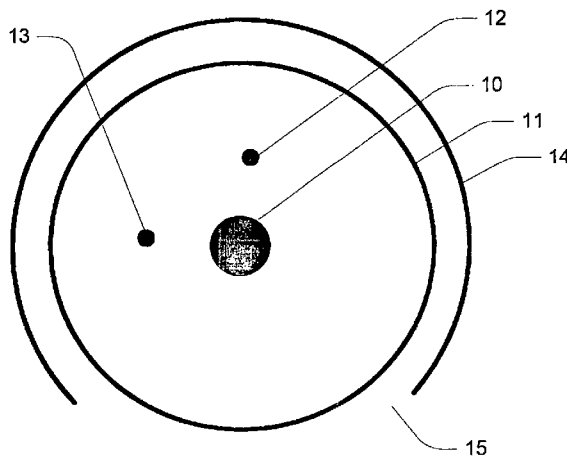
权利要求书3页 说明书7页 附图9页

(54)发明名称

伽马射线成像

(57)摘要

本申请提供用于伽马射线的编码掩模设备。所述设备使用嵌套式掩模,所述嵌套式掩模中的至少一个相对于另一个旋转。



1. 一种用于压缩传感进入的辐射的掩模设备,其包括:

两个或更多个编码掩模,每个所述掩模具有由调制所述进入的辐射的强度的材料形成的主体;

其中,所述掩模中的每个掩模具有多个掩模孔径区,所述多个掩模孔径区允许相对于所述编码掩模的其他部分的所述辐射的更高的透射,相对透射足以允许重构所述压缩传感测量;

其中所述编码掩模中的至少两个被配置为相对于彼此旋转。

2. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:所述掩模设备具有两个编码掩模。

3. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

(i) 所述掩模是半球形的,并且所述掩模设备具有 2π 的视场;或

(ii) 所述掩模是球形的,并且所述掩模设备具有约 4π 的视场。

4. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中所述掩模是圆柱形的。

5. 根据权利要求4所述的掩模设备,其中:所述掩模提供 360° 的水平视场。

6. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述掩模中的每个掩模具有顶部和底部,并且所述掩模设备进一步包括覆盖所述掩模的所述顶部和底部的辐射屏蔽物。

7. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述掩模是半球形的、球体段或球体。

8. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述掩模中的每个掩模的所述多个掩模孔径区在数量上等于2的幂次方。

9. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述掩模中的每个掩模由以下项中的一个或更多个形成:钨、铅、金、钛、钪及其合金。

10. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:所述掩模中的每个掩模由以下材料形成:

(i) 调制进入的伽马射线辐射的材料;或

(ii) 调制进入的光学、红外线、THz或其他波长的电磁辐射的材料;或

(iii) 调制进入的中子辐射的材料;或

(iv) 调制进入的伽马射线辐射和中子两者的材料。

11. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述掩模中的每个掩模由调制进入的伽马射线辐射和中子两者的材料形成;并且

所述掩模孔径区中的一些是用于伽马射线的调制区,而所述掩模孔径区中的一些是用于中子的调制区。

12. 根据权利要求1所述的掩模设备,其中:

所述多个掩模是同心的。

13. 根据权利要求1所述的掩模设备,进一步包括辐射屏蔽物,其环绕所述掩模;其中:

所述辐射屏蔽物具有开口,所述开口限制位于所述掩模内的辐射传感器的视场。

14. 根据权利要求13所述的掩模设备,其中:所述掩模中的每个掩模具有顶部和底部,并且所述掩模设备进一步包括覆盖所述掩模的所述顶部和底部的另外的辐射屏蔽物。

15. 一种辐射检测方法,包括:

利用辐射传感器和掩模设备进行来自一个或更多个辐射源的辐射的压缩传感测量,所

述掩模设备包括：

一个或多个编码掩模，其具有由调制进入的辐射的强度的材料构成的主体部分，所述一个或多个掩模中的每个掩模具有多个掩模孔径区，所述多个掩模孔径区允许相对于所述主体部分的所述辐射的更高的透射，所述更高的透射足以允许重构压缩传感测量；

其中所述编码掩模中的一个或多个被配置为旋转；并且

在所述掩模设备包括多于一个的编码掩模的情况下，所述编码掩模中的至少两个被配置为相对于彼此旋转；

其中来自所述一个或多个辐射源的所述进入的辐射在由至少一个所述 辐射传感器检测到之前通过所述一个或多个编码掩模。

16. 根据权利要求15所述的辐射检测方法，其中所述一个或多个掩模中的每个掩模是椭圆形、圆锥形、立方体、弧形、圆柱形、半球形、球体段或球体。

17. 一种用于核退役、去污、环境监测、医学成像、天文学或安全应用的方法，其包括如权利要求15所述的辐射检测方法。

18. 一种压缩传感辐射成像器，包括：

位于掩模设备内的至少一个辐射传感器，所述掩模设备包括：

一个或多个编码掩模，其具有由调制进入的辐射的强度的材料构成的主体部分，所述一个或多个掩模中的每个掩模具有多个掩模孔径区，其允许相对于所述主体部分的所述辐射的更高的透射，所述更高的透射足以允许重构压缩传感测量；

其中所述编码掩模中的一个或多个被配置为旋转；并且

在所述掩模设备包括多于一个的编码掩模的情况下，所述编码掩模中的至少两个被配置为相对于彼此旋转；其中，所述成像器被配置为进行来自一个或多个辐射源的辐射的压缩传感测量并根据所述压缩传感测量生成辐射图像数据。

19. 根据权利要求18所述的辐射成像器，其中：所述至少一个辐射传感器包括：

i) 至少一个伽马射线辐射传感器，使得所述辐射成像器构成伽马射线辐射成像器；或

ii) 至少一个中子传感器，使得所述辐射成像器构成中子辐射成像器；或

iii) 至少一个双模态传感器，其感测伽马射线和中子二者。

20. 根据权利要求18所述的辐射成像器，其中：所述成像器被配置为覆盖所述辐射图像数据和对应于公共视场的光学图像或红外图像。

21. 根据权利要求18所述的辐射成像器，其中所述设备包括所述编码掩模中的两个或多个编码掩模，其中所述两个或多个编码掩模是嵌套的。

22. 根据权利要求18所述的压缩传感辐射成像器，其中所述一个或多个掩模中的每个掩模是椭圆形、圆锥形、立方体、弧形、圆柱形、半球形、球体段或球体。

23. 一种用于压缩传感进入的辐射的掩模设备，其包括：

一个或多个编码掩模，其具有由调制所述进入的辐射的强度的材料构成的主体部分，

其中所述一个或多个掩模中的每个掩模具有多个掩模孔径区，所述多个掩模孔径区允许相对于所述主体部分的所述辐射的更高的透射，所述更高的透射足以允许重构压缩传感测量；

其中所述编码掩模中的一个或多个被配置为旋转；并且

在所述掩模设备包括多于一个的编码掩模的情况下,所述编码掩模中的至少两个被配置为相对于彼此旋转;

其中所述一个或更多个编码掩模中的至少一个是椭圆形、圆锥形、立方形、弧形、圆柱形、半球形、球体段或球体。

伽马射线成像

技术领域

[0001] 本发明涉及辐射检测,且更具体地说,涉及一种使用单个检测器和编码掩模的压缩传感伽马射线或中子成像装置。

背景技术

[0002] 伽马射线成像是能够提供伽马射线放射性核素的位置和标识的重要辐射检测能力。伽马射线成像能够用于许多应用中,包括但不限于:退役、去污、环境监测(即,现场勘测、矿山测量)、医学成像(SPECT)、天文学和国家安全应用(即,非法放射性物质和核材料的搜索)。

[0003] 传统的伽马射线成像技术依赖于将图像聚焦在非常昂贵的检测器阵列上或跨越图像平面缓慢地光栅扫描单个检测器。像素化检测器阵列的代价或光栅扫描系统的慢速通常具有抑制性。与易于聚焦的光学光子不同,伽马射线光子的高穿透性使其非常难聚焦。使用像素化检测器阵列的伽马射线成像系统通常使用单针孔、多针孔或平面编码孔径光学器件。这些系统用于在检测器阵列上形成图像或编码图像。针孔和编码孔径光学器件已在天文学和医学应用中使用了数十年。这些类型的成像系统的视场在水平或垂直方向上大约为 30° 至 40° 。

[0004] 首先由默茨(Mertz)在1967年引入的旋转调制准直器(RMC)通常使用具有在掩模的整个长度上延伸的平行缝的两个掩模。当掩模旋转时,前掩模的投影相对于源显现为围绕后掩模轨道运动。掩模的旋转在检测器处产生取决于源的数目、源强度、位置和大小的调制计数图案。RMC具有多个缺点,包含:单个RMC难以成像扩展源、单个RMC具有小的视场,当使用单个RMC时,无法区分旋转中心轴上的源。参看B.R.科沃西(B.R.Kowash)2008年的博士论文,“A Rotating Modulation Imager for the Orphan Source Search Problem(用于失控源搜索问题的旋转调制成像器)”。

[0005] 待成像在多个伽马射线成像应用中的场景本质上稀疏,并且通常需要检测一个或更多个点源。对于将取样成 16×16 图像的单个点源的简单情况,并且假设背景为零,将提供1个非零像素和255个零像素。代替进行N次(在这种情况下256次)测量(大多数测量将为零),直观地说,更明智的策略应能够以远少于N次的测量确定非零像素的位置。最近已通过开发称为压缩传感的新信号处理理论来证实此直觉。压缩传感实现图像形成的新方法。压缩传感方法能够产生具有一部分测量的图像(当与传统成像技术相比时)并且使得能够实现低成本(单个检测器)系统选择。最近已针对光学、红外线和THz波长开发基于压缩传感的单像素成像系统。参看R.G.巴拉尼克(R.G.Baraniuk)等人的2012年的美国专利8,199,244B2,“Method and Apparatus for Compressive Imaging Device(用于压缩成像装置的方法和装置)”。

[0006] 例如,已知太赫兹成像系统使用与一系列随机掩模组合的单像素检测器来实现高速图像获取。W.L.陈(W.L.Chan)等人的“A Single-Pixel Terahertz Imaging System Based on Compressed Sensing(基于压缩传感的单像素太赫兹成像系统)”,《应用物理学

学报 (Applied Physics Letters) 》,第93卷,2008年。这些单像素成像系统都使用某种透镜来聚焦图像并且随后使用随机压缩测量来对图像平面进行取样。然而,当对场景平面进行取样,而不是形成图像且随后取样时,应能够执行压缩测量。黄 (Huang) 等人已采用此方法并且描述不需要透镜的单像素光学成像系统。他们使用孔径组合件 (assembly) 来随机地对场景进行取样,并且在任何阶段形成“传统”图像。G. 黄 (G.Huang) 等人2013年的“Lensless Imaging by Compressive Sensing (通过压缩传感的无透镜成像)”。

[0007] 本发明通过设计围绕压缩传感原理的系统而克服现有伽马射线成像方法的缺点。

发明内容

[0008] 本发明的目标是提供一种与现有伽马射线成像技术相比进行较少测量的伽马射线成像装置。能够产生具有少于图像中的像素数目的测量的场景的图像。

[0009] 本发明的另一目标是提供一种与现有基于孔径的伽马射线成像技术相比具有较大视场的伽马射线成像装置。

[0010] 本发明的目标是提供一种能够随机地对伽马射线的场景进行取样的掩模设备。场景的这些随机投影能够用于重构图像。

[0011] 因此,提供一种包括由一个或更多个旋转掩模环绕的单个检测器的成像设备。

[0012] 在优选实施例中,掩模是圆柱形、半球形或球体段,或球体。

附图说明

[0013] 为了更佳地理解本发明,现在参考以下附图,其中:

[0014] 图1是单个检测器、掩模和270°屏蔽物的示意图。

[0015] 图2是图1的单个检测器、掩模和屏蔽物的示意图,其示出额外的顶部和底部屏蔽物。

[0016] 图3是单个检测器和两个嵌套式旋转圆柱形掩模的示意图。

[0017] 图4是示出孔径的对准和逐渐变细的单个检测器和两个同心掩模的示意图。

[0018] 图5是将移动槽示为孔径系统的两个同心掩模的示意图。

[0019] 图6是具有结合到衬底的浮动元件的掩模的示意图。

[0020] 图7是公共平面上方的单个检测器和两个同心半球形掩模的示意图。

[0021] 图8和9是嵌套式球形掩模的示意图。

[0022] 图10是说明本发明的操作方法的流程图。

[0023] 图11是具有单独的伽马射线和中子阻挡元件的编码掩模的示意图。

具体实施方式

[0024] 成像器布局和传感

[0025] 如图1和2中所示,单个伽马射线检测器10位于环绕或包围检测器10的掩模11的中心处。检测器位于(一个或更多个)掩模的中心,优选地检测器占据掩模11的中心或旋转轴线。可以使用圆柱形或球形掩模11。尽管能够使用非中心的检测器位置,但是这将具有略微不同的视场。能够使用多于一个检测器12、13,并且这些额外的检测器能够处于不同位置。使用多个检测器能够减少成像时间。

[0026] 任选的圆柱形或其它辐射屏蔽物14可以具有弧形开口15,用于将视场限制到由开口15限定的圆弧。掩模11可以通过步进电动机驱动的转台19或直接齿轮传动式步进电动机20或以其它方式转位或旋转,以适合采用的编码掩模或光学方法。通过使用步进电动机20、传动装置21和具有(例如)用于根据收集和处理的的数据产生图像的显示和打印能力的控制计算机22,掩模的数据收集和协调运动/旋转能够自动化。掩模的运动可以处于离散步骤中或处于连续运动中。

[0027] 如图2中所示,当使用圆柱形掩模11时,顶部和底部通常需要用屏蔽物16、17覆盖,使得仅到达检测器的辐射穿过不以其他方式屏蔽的掩模11的开孔18。

[0028] 压缩传感伽马射线成像器可以与任何伽马射线敏感传感器10、12、13结合使用。可以使用基于以下材料的典型伽马射线检测器系统:碘化钠(NaI)、碘化铯(CsI)、锗酸铋(BGO)、碲化镉(CdTe)、碲锌镉(CZT)、高纯锗(HPGe)、碘化铯(SrI_2)和CLYC。确定每个测量光子的能量的光谱检测器能够用于标识正在成像的放射性核素。仅记录总计数的非光谱检测器将提供关于辐射热点的一般信息。例如剂量率测量计的其它辐射检测设备可以用作传感器并且在这种情况下将映射视场中的剂量。

[0029] 优选实施例使用测量检测到的每个伽马射线光子的能量的光谱检测器。来自任何特定能量舱或能量舱范围的光子计数值能够用作从一组测量观察到的数据。假设存在放射性核素,则针对感兴趣的给定峰值区(如,60keV的 ^{241}Am 线)的观察到的光子计数数据的重构将提供 ^{241}Am 的位置。对于感兴趣的额外区的观察到的光子数据的重构能够提供额外放射性核素的位置。

[0030] 压缩传感中子成像器可以与任何(一个或更多个)中子敏感传感器10、12、13结合使用。

[0031] 双模态传感器10、12、13(包含但不限于CLYC)可以用于测量伽马射线和中子两者的调制。

[0032] 应理解,本发明的教导可以通过使用合适的掩模和检测器而应用于任何波长(或任何粒子)的辐射。

[0033] 掩模和掩模孔径

[0034] 掩模图案开口或孔径优选地以行和列布置。可以(例如)随机地产生掩模图案开口18的位置。例如,在 16×16 可能的孔径掩模中,存在总共256个编号孔径。随机数产生器用于随机地选择在1与256之间的孔径数128。这128个数目随后设定为开孔。剩余128个位置(根据原始256个数目)设定为零(闭合)。这提供50%打开的掩模图案。对于其中掩模列转位或旋转的旋转掩模,可以针对每一行而不是整个掩模进行开孔/闭合孔的随机选择。这将确保每一掩模行50%(例如)打开,并且将防止行具有太多或太少开孔的情况,这会对图像重构产生影响。

[0035] 系统的几何形状将限定空间分辨率。孔径大小应优选地等于或大于检测器尺寸。例如,系统可以具有 $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ 尺寸的孔径18,并且检测器的截面面积也应为 $0.5\text{cm} \times 0.5\text{cm}$ 或更少。检测器离掩模越远,则空间分辨率越高。

[0036] 可以使用尺寸大于孔径尺寸的检测器,然而,对于这种情况,在相邻孔径的视场之间将存在增加的重叠。能够通过掩模的响应函数去卷积而消除此重叠(这是空间分辨率的降级/模糊)。

[0037] 优选的孔径截面形状是正方形。孔径的优选数目是2的幂次方(即,64、128、256、512、1024),尽管这并不是必须的。优选地,在掩模孔径之间存在最小间隔或不存在间隔。

[0038] 掩模的厚度将取决于应用。对于高能光子(例如,来自⁶⁰Co的1.3MeV光子)的成像,铅的2cm总掩模厚度将减弱约72%的1.3MeV光子。

[0039] 掩模材料由能够充分调制进入辐射的强度的基体材料制成。对于高能伽马射线,材料将通常具有高原子序数(Z)和高密度,这将吸收(减弱)伽马射线辐射。典型的材料可以包含但不限于,钨、铅、金、钛、钨以及其合金或复合物(即,3D打印——将钨粉与环氧树脂混合)。对于低能伽马射线光子,低至中等Z材料(例如,钢)足以调制光子强度。在优选实施例中,掩模材料将减弱光子,以便调制光子强度。如果其它实施例显示对光子强度的明显调制,则其它实施例可以使用其它相互作用机制,例如,康普顿散射。

[0040] 对于中子辐射的成像,掩模主体将需要调制中子强度,并且因此掩模材料将需要高中子相互作用截面。中子掩模基体材料可以包含但不限于:钨、钨、钨、硼掺杂材料、富氢材料以及其组合。

[0041] 可以从将实现伽马射线和中子两者的调制的材料设计掩模。单个材料(例如,钨)可以适合于调制伽马射线和中子两者的强度。多种材料(例如,钨和钨的组合)的使用可以适合于调制伽马射线和中子两者的强度。伽马射线掩模的开孔可以由不影响伽马射线强度的调制的一些富氢材料组成。这些富氢孔径随后将表示闭合孔或中子掩模的调制区。延伸开来,这些掩模材料可以用于调制任何EM波长(即,光学、红外线、THz等)或任何粒子(即,光子、质子等)的强度。

[0042] 如图11中所示,编码掩模能够单独地调制伽马射线和中子,也就是说,一些掩模区仅用于阻挡伽马射线并且一些掩模区仅用于阻挡中子。在图11的实例中,掩模区(用实心黑表示)的一个子集91由仅调制伽马射线的材料制成。掩模区(用白色表示)的另一子集92仅调制中子而不调制伽马射线。此类型的掩模可以根据由本说明书公开或提出的技术和材料、形状或配置中的任一者制造。

[0043] 掩模可以是单个或多个以及嵌套式、矩形、圆形、弧形、半球形或球形。编码掩模传感所需的连续测量将需要通过用新掩模替代当前掩模或使用(一个或更多个)掩模的某一旋转形式获得的新掩模图案。平坦的掩模形状将具有受限视场,因为其仅在前向方向上查看,其中视场角度由检测器和掩模几何形状确定。

[0044] 弧形、圆柱形或球形掩模的优点是可以具有较大视场(FOV)。当前可商购的针孔/编码孔径伽马射线相机具有大约30°与40°之间的水平和垂直FOV。竖直的圆柱形掩模实施例将具有360°的水平FOV,半球形掩模实施例将具有2πFOV,并且球形掩模实施例将具有接近4πFOV。其它实施例可以包含但不限于:椭圆形、圆锥形、立方体或六边形掩模。

[0045] 在单个圆柱形掩模实施例的情况下,掩模旋转一个列将构成观察用于新测量的所需FOV的新掩模图案。对于单个圆柱形掩模实施例,辐射屏蔽物能够用于限制FOV,并且因此具有用于实现更多测量的较大数目的列(查看图2)。单个圆柱形掩模方法的不足之处是需要更多列来执行更多测量,这会增加圆柱体的直径以及整个系统的物理大小。

[0046] 如图3中所示,利用掩模内的嵌套式掩模的方法(或双掩模或多掩模方法)(其中每个掩模主体35、36能够移动或独立地由计算机22转位)实现远多于两个掩模图案的可能组合的数目的测量。在优选实施例中,双掩模方法将由圆柱体内的圆柱体构成(参看图3)。每

个掩模以针对图2中的单个掩模提出的方式围绕传感轴或成像轴独立地旋转,检测器可以沿着所述传感轴或所述成像轴定位。较大数目的掩模图案(以及因此较大数目的测量)将允许可以成像 360° FOV的更紧凑系统(在一个圆柱体中的较少总列数)。也能够对双半球形和球形掩模设计进行类似争论。对于双掩模方法,掩模的组合开口部分可以约为50%,但是在掩模旋转时,其将发生变化。一个掩模可以在另一掩模转位单个列之前以完整周期的旋转角转位,由此产生多个虚拟掩模,所述虚拟掩模数为列数的平方。在其它实施例中,掩模在交替或非交替布置中逆时针旋转一个列。在产生下一掩模之前,每个虚拟掩模用于辐射测量。每个掩模仅需要在一个方向上旋转。

[0047] 掩模孔径的截面或投影形状可以包含但不限于:正方形、矩形、圆形、三角形和六边形。在掩模孔径之间可以存在或可以不存在间隔。在单个掩模系统的优选实施例中,掩模孔径形状是正方形。

[0048] 如图4中所示,对于双掩模实施例,内掩模30和外掩模31的尺寸和定向可以不同,使得所述掩模逐渐变细32(但是关于其边缘对准),以相对于检测器33针对内掩模和外掩模两者产生相同FOV。这些孔径34的3维形状可以包含但不限于梯形棱柱和圆锥形。

[0049] 如图5所示,开孔可以通过呈螺旋线41形式的连续打开结构或一个掩模上的一些其它结构与另一掩模上的另一形状(例如,垂直缝43)的重叠而形成。掩模42、44相对于彼此的旋转产生编码孔径。

[0050] 掩模图案在设计上可以是随机的、伪随机的、非随机的或确定性的。掩模图案将通常需要符合压缩传感起作用的限定条件。呈矩阵形式的掩模图案的表示将用于重构过程中。用于重构中的传感矩阵可以是可以提供更快计算时间的循环矩阵或托普利兹(Toeplitz)矩阵。在优选实施例中,产生伪随机掩模图案,其中每个掩模元件具有为1(打开-100%透射)或0(闭合-0%透射)的相等概率。闭合掩模元件的透射百分率应为小于100%的某一值,例如,优选地0%,但是50%的透射将仍足以有效地调制强度以重构图像。透射百分率与高能量伽马射线的增加的穿透本质有关。例如,由10mm铅组成的闭合掩模元件可以具有60keV伽马射线光子的0%透射,但是其对于1332keV伽马射线光子的透射百分率可以约为53%。将存在开孔和闭合孔的透射百分率太接近而无法调制足以重构图像的光子强度的点。例如,开孔和闭合孔的分别100%和90%的透射百分率对于光子强度的充分调制而言可能太接近。在给定能量的掩模内可能存在两个以上透射水平,例如,三个透射水平可以是33%、66%和100%。其它透射水平可以是25%、50%、75%和100%或0.16%、4%和100%。在后一实例中,两个较低透射状态的接近度将有效致使三个透射水平与两个水平类似,从而可能提供更快重构时间、更高质量重构和较少测量。透射水平可以涵盖在0%与100%之间的两个或更多水平。传感矩阵值可以是特定伽马射线能量的衰减值。不同衰减值以及因此不同传感矩阵可以用于不同伽马射线能量下的重构。

[0051] 如图6中所示,可以产生任何形状的掩模的掩模图案,使得掩模结构是自立式的。例如,具有浮动或未附接“闭合”元件50的阵列的掩模图案固定、粘附或附接到非掩模衬底51。因此,辐射不透明的掩模元件50无需附接到彼此,除了通过衬底51附接之外。可替代地,可以选择不具有浮动或未附接“闭合”元件50的掩模图案,所述掩模图案将不需要衬底51,但将需要附接到共同结构的外部闭合元件50。

[0052] 如图7-9中所示,(一个或更多个)掩模可以为半球形、球形或球体的一部分,例如,

在任何给定割平面上方的帽盖或任选地两个平面之间的段。图7示出呈球形帽形状的两个嵌套式同心掩模,内帽61和外帽62,两者为具有均处于公共平面中的边缘(或最低行)的半球。一个或两个掩模61、62旋转到数据取样位置,其中当取样或获取数据时,两个掩模的列63、64和行对齐或对准。两者具有相同数目的列和行。每一行占据两个平行平面之间的球体区。在一个实例中,内部半球形掩模61在一个方向上转位一个列并且外部掩模62在相反方向上转位或旋转由单个列限定的角度,与图3一致。当与一个掩模静止且另一掩模移动相比时,两个掩模同时移动提供更大可变性,其中掩模元件打开或闭合。此布置允许在平面上方的整个空间(包含边缘65、66)的单个检测器编码掩模成像。

[0053] 图8和9说明两个掩模或任选地为球形且同心的两对嵌套式掩模71、72的使用。以此方式,(一个或更多个)中心检测器周围的所有空间能够被成像。每个球形掩模或掩模配对71、72可以由2个半球形掩模或掩模配对形成,如图7所示。布置中的每个掩模将具有其自身驱动系统,包括由系统的计算机22驱动的转台或步进电动机(参看图2)。

[0054] 掩模几何设计

[0055] 掩模设计将由讨论中的放射成像应用的要求指定。系统的几何形状将影响系统性能,例如,空间分辨率、FOV和敏感性。重要的几何参数包含:检测器尺寸、检测器到掩模距离、孔径尺寸(即,厚度、长度和宽度)、掩模到源距离、间隔厚度、掩模孔径数以及与检测器和两个相邻掩模孔径的中心对向的角。例如,较小掩模孔径将提供更高空间分辨率。

[0056] 重构算法

[0057] 存在已用于压缩传感的大量重构算法。例如,存在梯度投影法、迭代收缩/阈值法和匹配追踪法。参看R.M.威利特(R.M.Willett)、R.F.玛西亚(R.F.Marcia)和J.M.尼克尔斯(J.M.Nichols)的“Compressed Sensing for Practical Optical Imaging Systems:a Tutorial(用于实际光学成像系统的压缩传感:教程)”,《光学工程(Optical Engineering)》第50(7)卷,2011年7月。这些方法中的任一者或一些其它合适方法能够用于重构压缩传感测量。ANSTO压缩传感实施方式使用梯度投影稀疏重构(GPSR)算法。参看M.A.菲格雷多(M.A.Figueiredo)、R.D.诺瓦克(R.D.Nowak)、S.J.赖特(S.J.Wright)的“Gradient Projection for Sparse Reconstruction:Application to Compressed Sensing and Other Inverse Problems(梯度投影稀疏重构:对压缩传感和其它逆问题的应用)”,《信号处理选题期刊(Journal of Selected Topics in Signal Processing)》,2007年12月。

[0058] 图像融合

[0059] 在压缩传感测量之后产生的伽马射线图像可以用对准到同一视场的光学图像覆盖。中子图像可以用光学图像覆盖。用光学图像覆盖的辐射图像将有助于用户可视化辐射源的位置。辐射图像可以用任何其它波长(即,红外线)处的图像覆盖。

[0060] 方法

[0061] 如图10中所示,源发射辐射80。所述辐射80穿过如先前所公开的(一个或更多个)掩模81。系统的计算机22使检测器10操作或从操作的检测器82进行读取。检测器随后将测量值83传输到计算机22。计算机存储和使用所述值和(一个或更多个)掩模的定位以编译将重构成图像的数据。计算机随后使控制(一个或更多个)掩模的(一个或更多个)电动机旋转或转位到下一测量位置。实际上,在重复过程时,辐射随后穿过(一个或更多个)新的掩模定

向81。

[0062] 尽管已参考具体实例描述本发明,但是本领域技术人员应理解,本发明可以用多种其它形式体现。

[0063] 如本文中使用时,除非另外指明,否则用于描述共同对象的序数形容词“第一”、“第二”、“第三”等的使用仅表示提及类似对象的不同情况,但不旨在暗示这样描述的对象必须以给定顺序,即,时间、空间、等级或任何其它方式。整个说明书中对“一个实施例”或“实施例”或“实例”的参考意味着结合实施例描述的特定特性、结构或特征包含在本发明的至少一个实施例中。因此,整个说明书中不同地方出现的短语“在一个实施例中”或“在实例中”未必都指代相同实施例或实例,但可以都指代相同实施例或实例。此外,如本领域技术人员从本发明中将认识到,特定特性、结构或特征可以任何合适的方式组合在一个或更多个实施例中。

[0064] 类似地,应理解,在本发明的示例性实施例的以上描述中,本发明的各种特性有时被组合在单个实施例、附图或其描述中,以简化本发明并辅助理解各个发明方面的一个或更多个。然而,公开的此方法不应被解释为意在,所主张发明要求比在每个权利要求中明确陈述的更多的特征。相反,如所附权利要求书所反映,本发明的各方面在于小于单个前述公开的实施例的所有特征。随附的任何权利要求书在此被明确并入到具体实施方式中,其中每个权利要求其本身就是本发明的独立实施例。

[0065] 除非另外具体规定,否则从以下论述显而易见的是,应理解,在整个说明书中,利用例如“处理”、“计算”、“运算”、“确定”等的术语的论述是指微处理器、控制器或计算系统或控制和/或变换数据的类似电子计算或信号处理装置的动作和/过程。

[0066] 此外,本领域技术人员应理解,尽管本文描述的一些实施例包含一些包含在其它实施例中的其它特性,但是不同实施例的特性的组合意味着在本发明的范围内,并且形成不同实施例。例如,在随附权利要求中,所主张的实施例中的任一者能够通过任何组合使用。

[0067] 因此,尽管已描述了本发明的优选实施例,但是本领域技术人员将认识到,在不脱离本发明的精神的情况下可以作出其它和另外修改,并且旨在声明所有此类改变和修改落入本发明的范围内。

[0068] 尽管已参考构造的具体细节公开本发明,但是这些应理解为通过实例的方式提供并且不限制本发明的范围或精神。

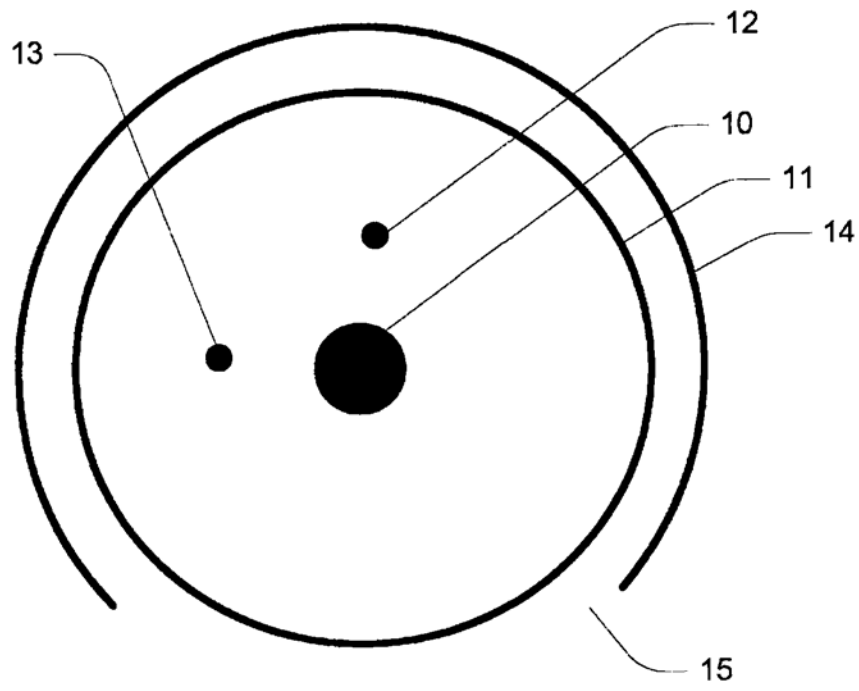


图1

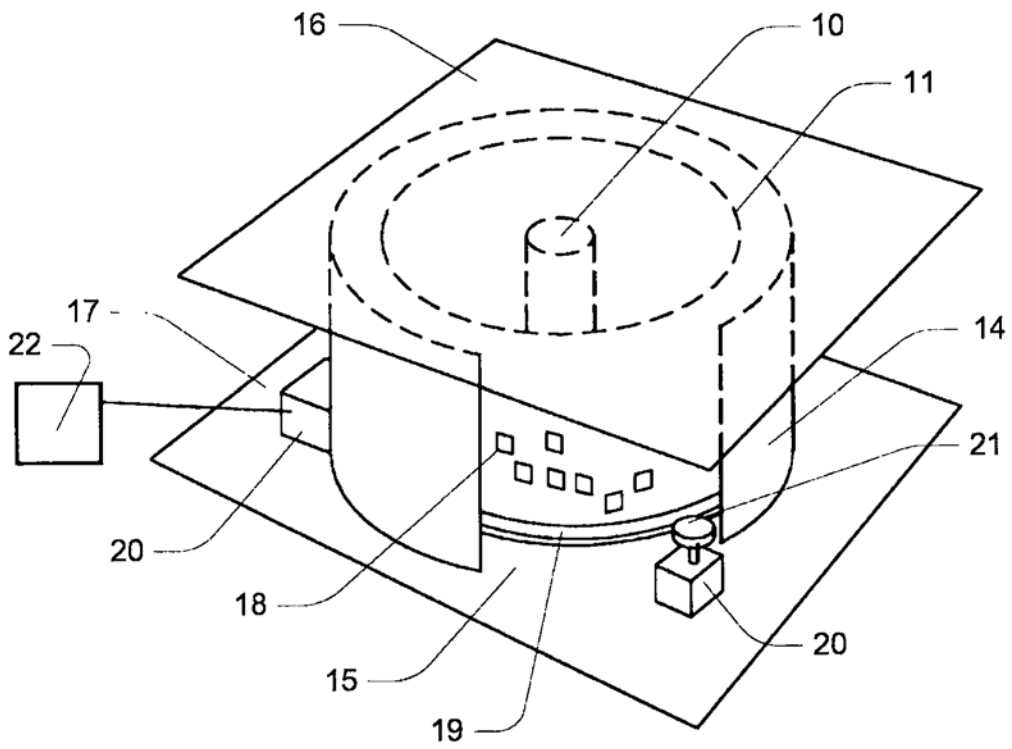


图2

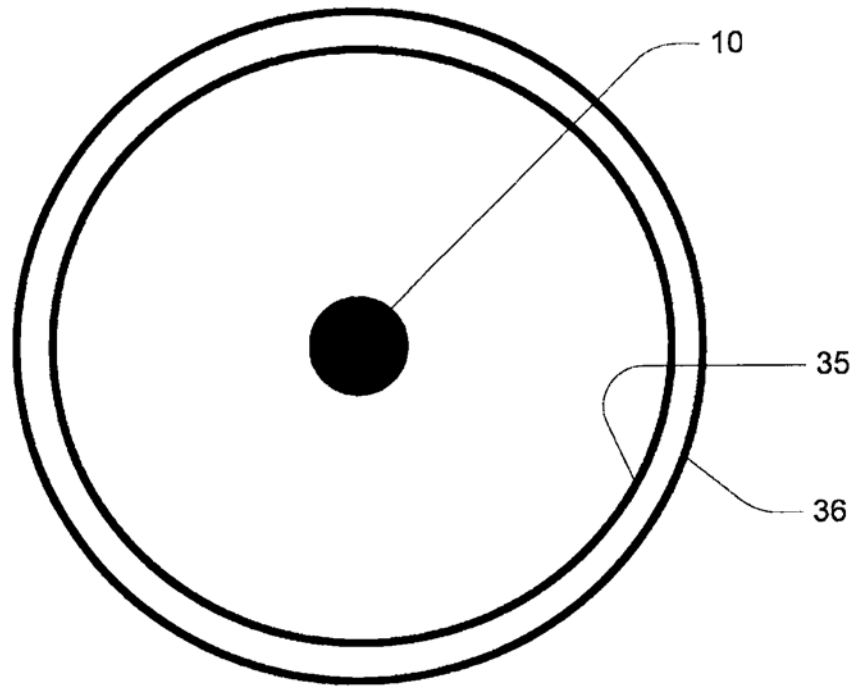


图3

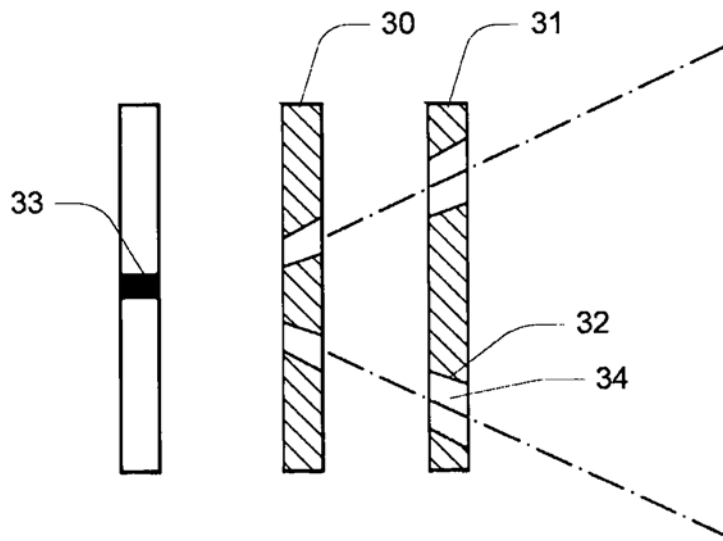


图4

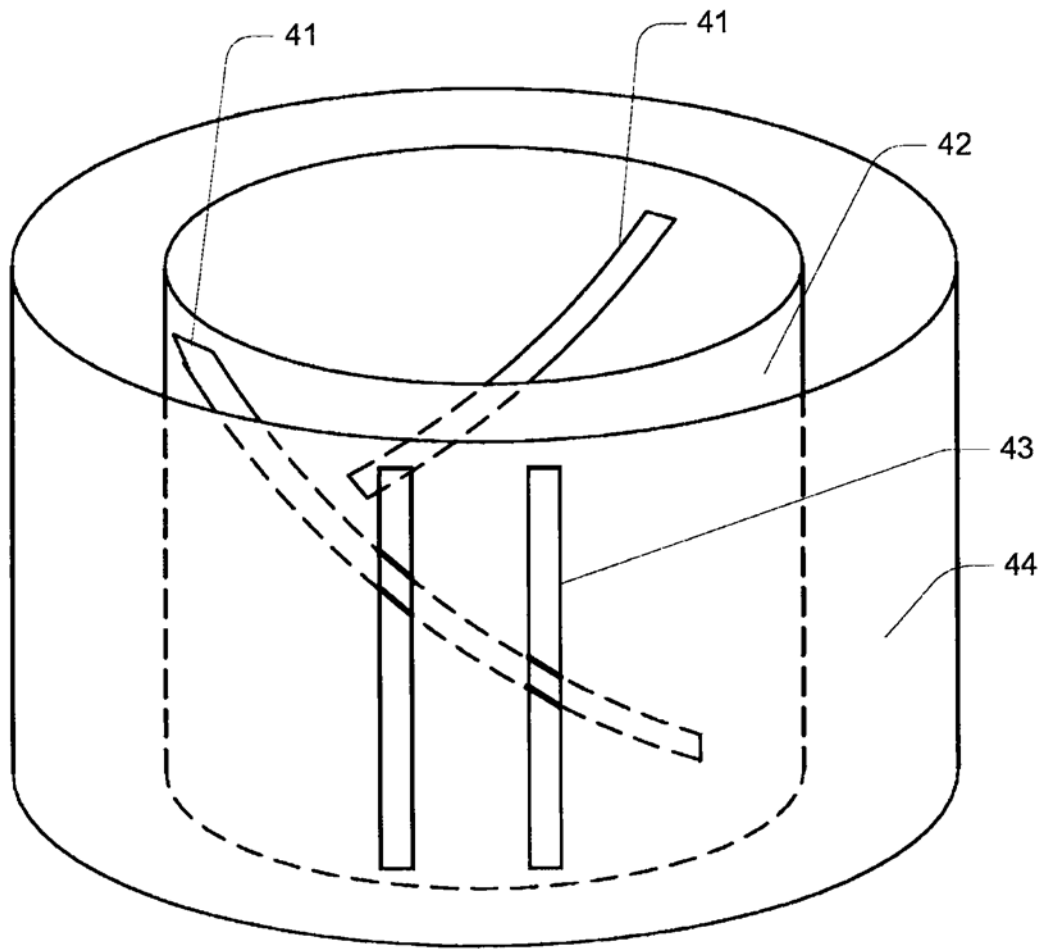


图5

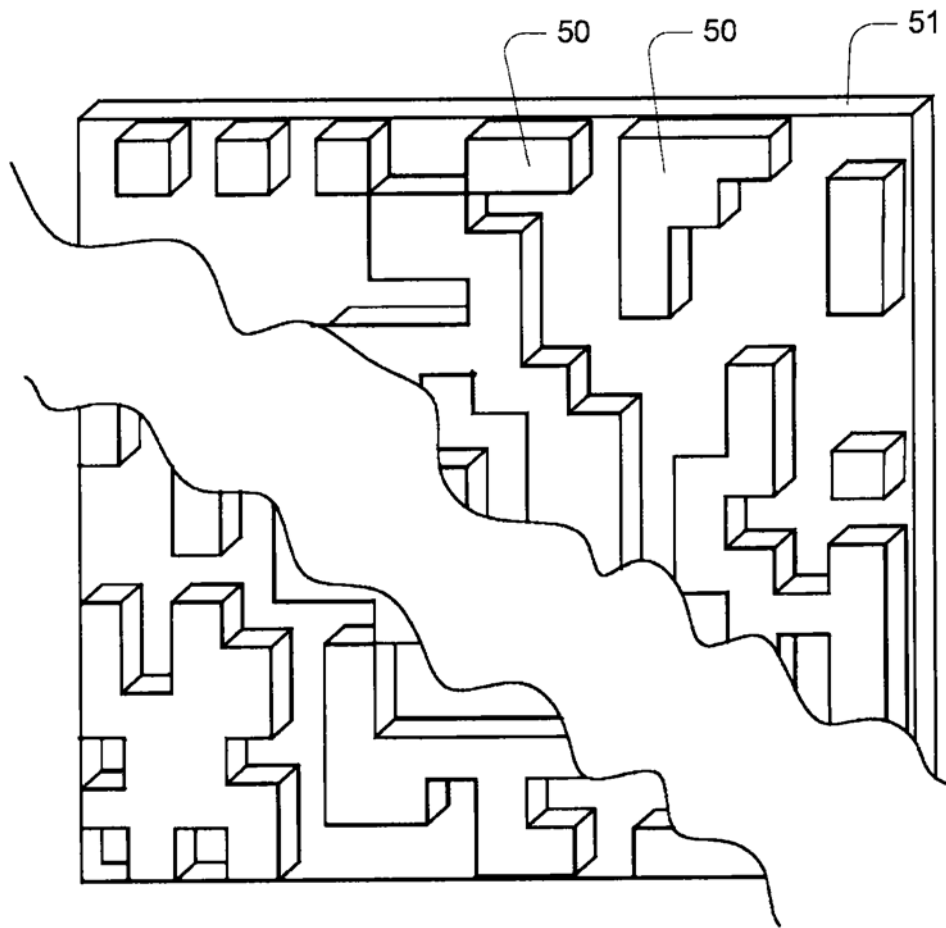


图6

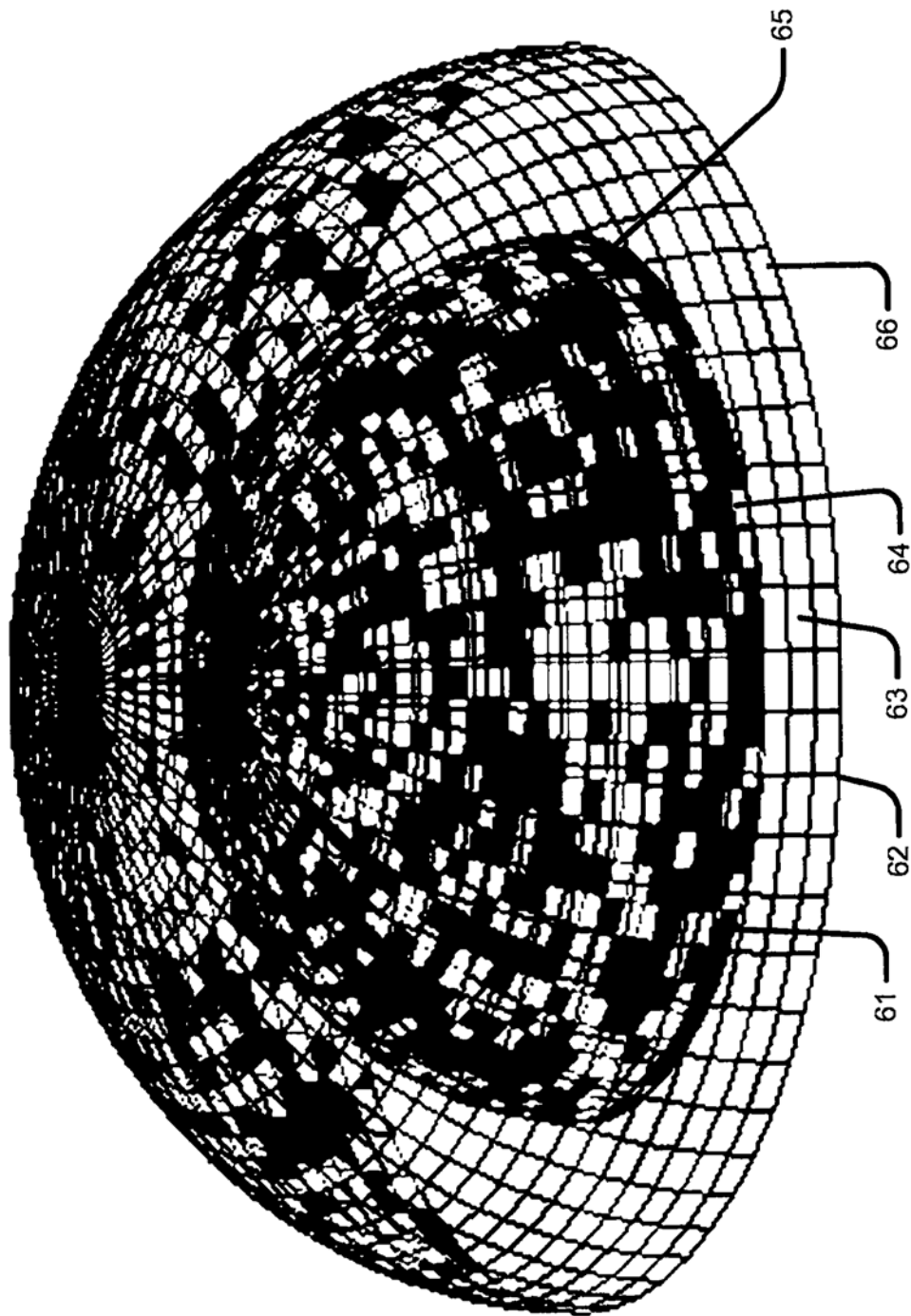


图7

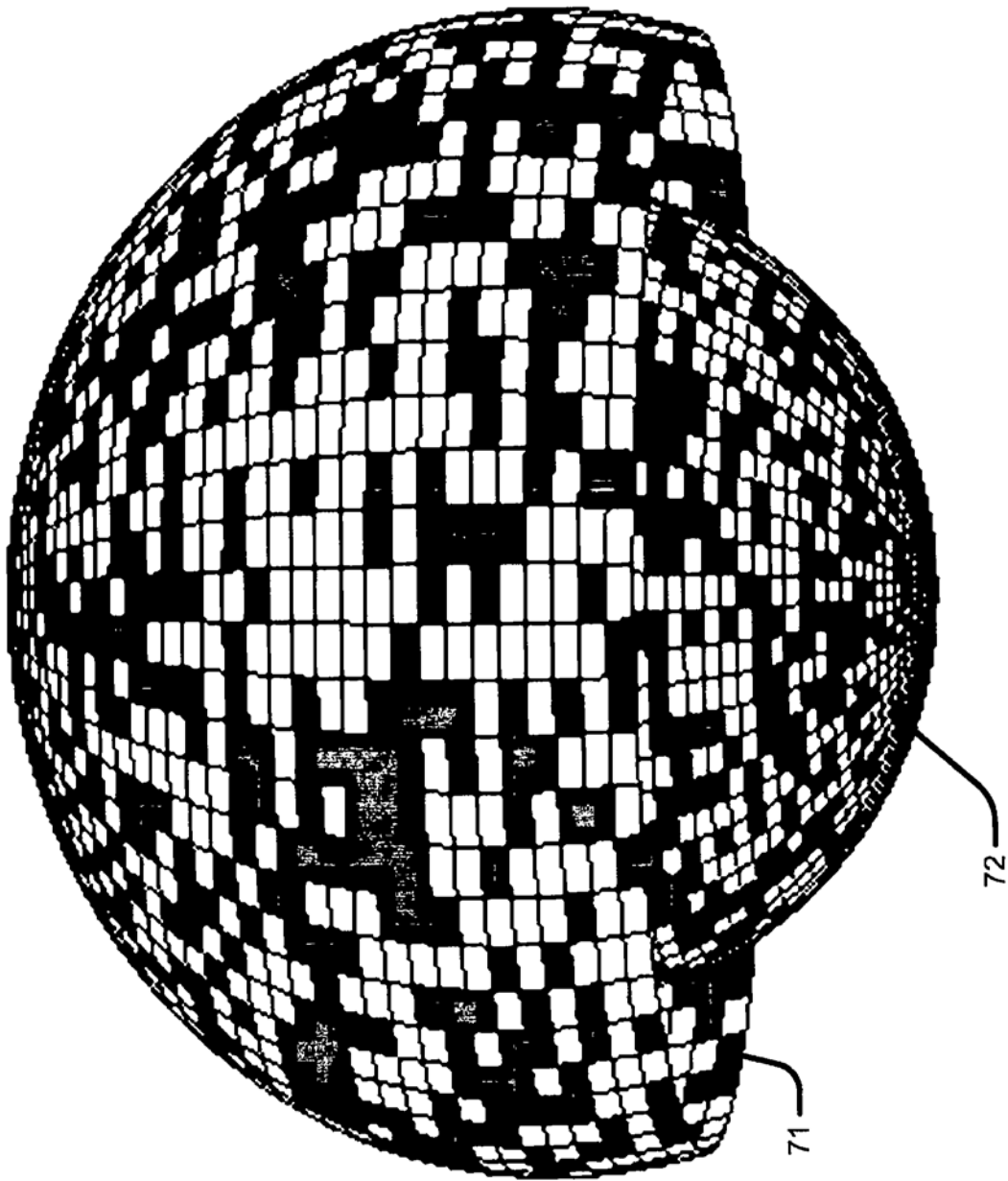


图8

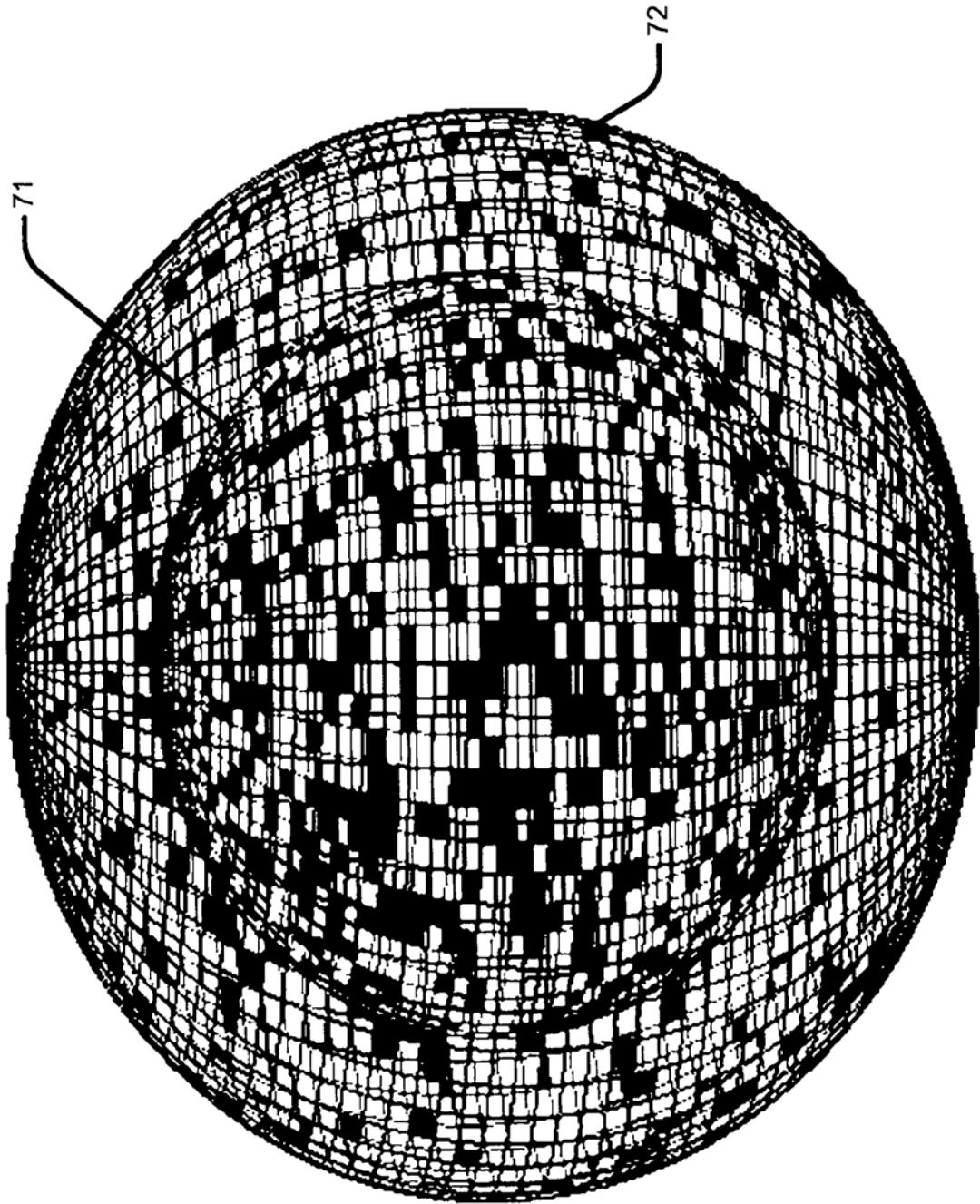


图9

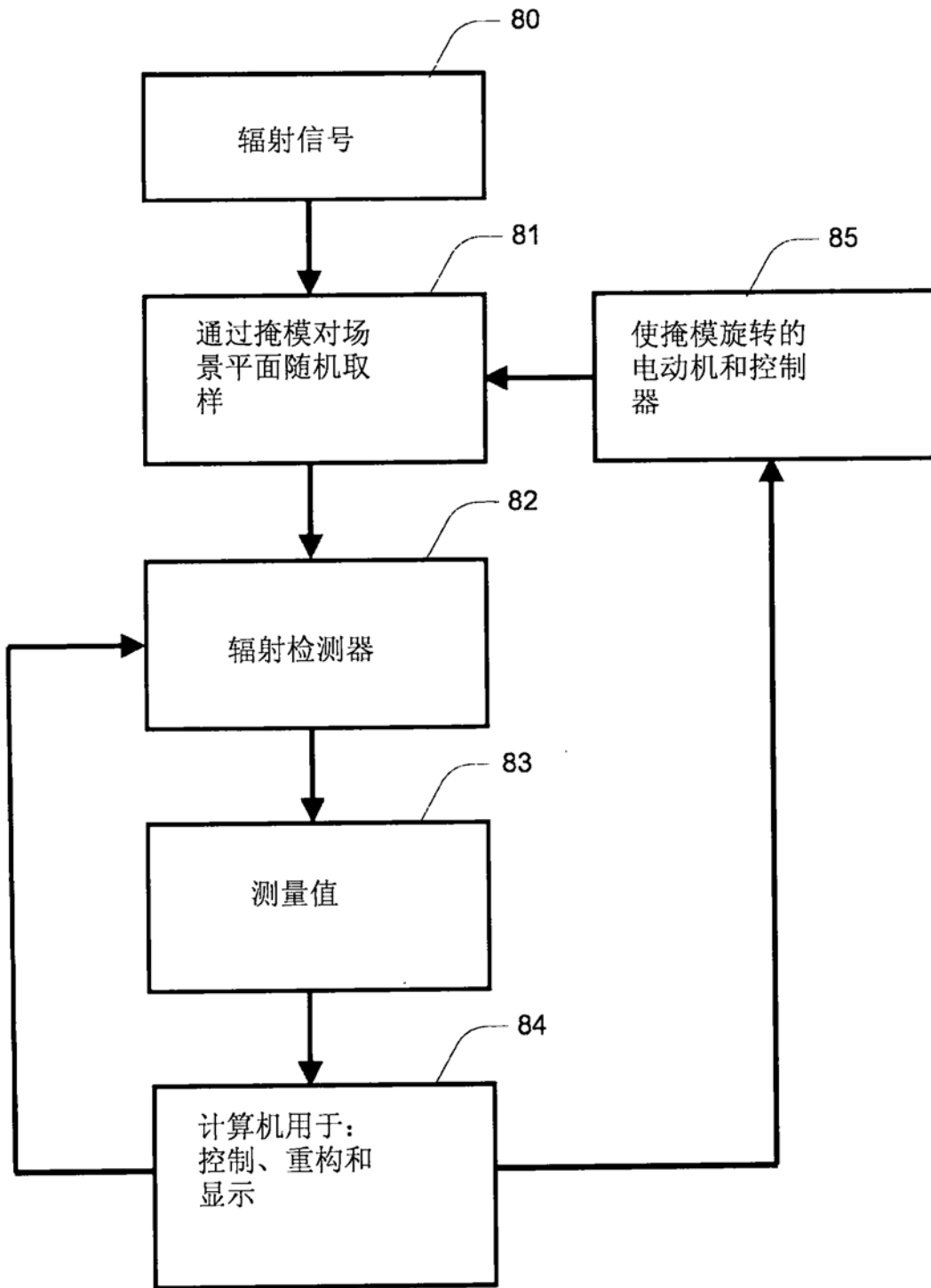


图10

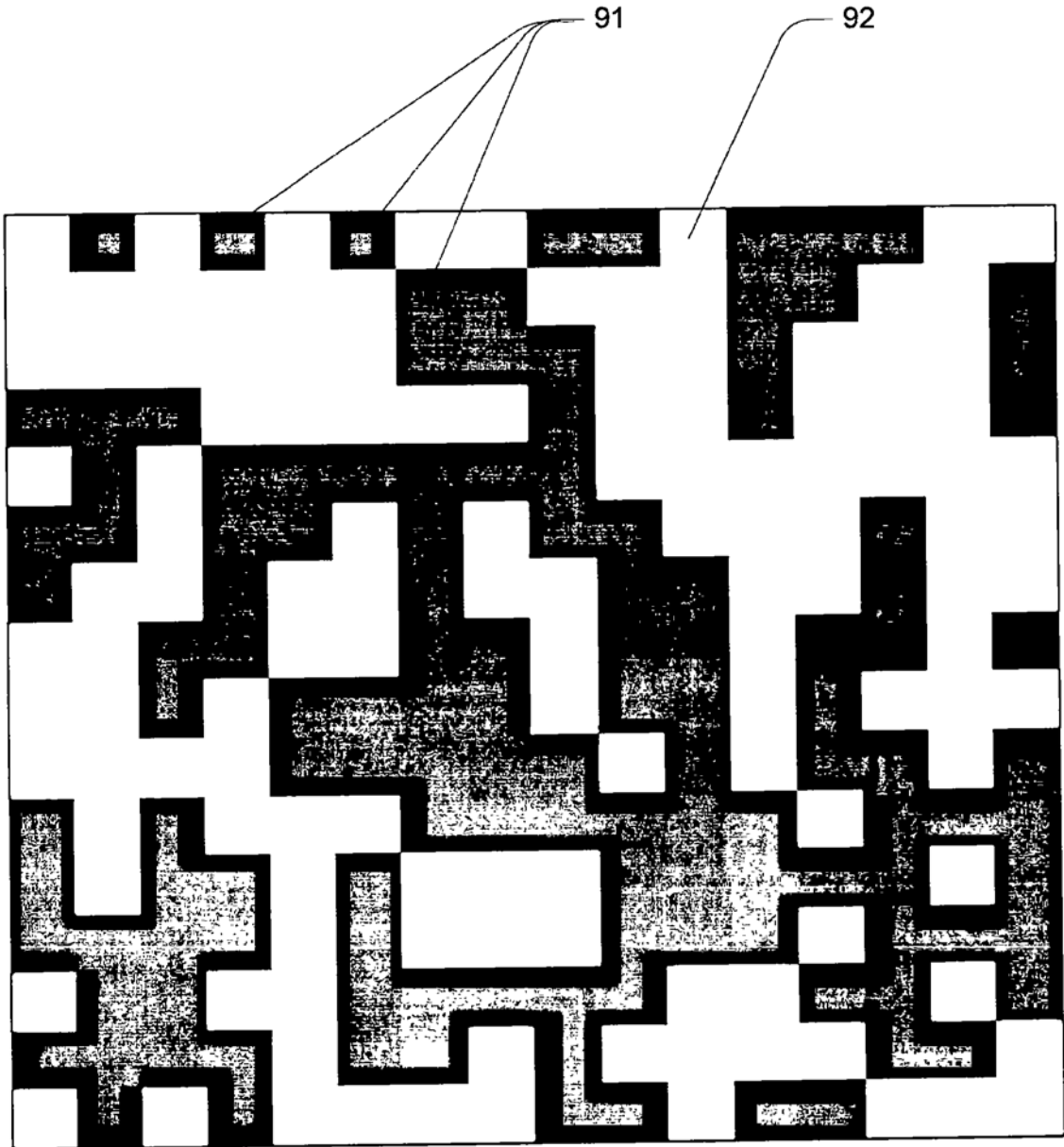


图11