



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101688908 B

(45) 授权公告日 2014. 02. 12

(21) 申请号 200880010979. 3

(22) 申请日 2008. 01. 16

(30) 优先权数据

60/910, 032 2007. 04. 04 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2009. 09. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2008/050151 2008. 01. 16

(87) PCT国际申请的公布数据

W02008/122899 EN 2008. 10. 16

(73) 专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 J·A·奥弗韦格 V·舒尔茨

T·J·佐尔夫 G·D·德梅斯泰

M·A·莫里希

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 赵腾飞 王英

(51) Int. Cl.

G01R 33/385(2006. 01)

G01R 33/421(2006. 01)

G01R 33/48(2006. 01)

G01R 33/3875(2006. 01)

A61B 5/055(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5696449 A, 1997. 12. 09,

US 5696449 A, 1997. 12. 09,

US 6591127 B1, 2003. 07. 08,

US 5773976 A, 1998. 06. 30,

WO 2005088330 A1, 2005. 09. 22,

US 20040239327 A1, 2004. 12. 02,

Nicholas R. Shaw等.“Genetic Algorithms for MRI Magnet Design”. 《IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY》. 2002, 第12卷(第1期), 1-4.

William B Handler等.Simulation of scattering and attenuation of 511 keV photons in a combined PET/field-cycled MRI system. 《PHYSICS IN MEDICINE AND BIOLOGY》. 2006, 第51卷(第10期), 2479-2491.

审查员 张博

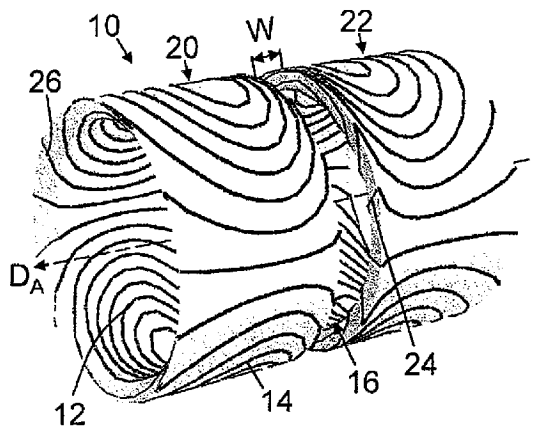
权利要求书4页 说明书11页 附图11页

(54) 发明名称

分离式梯度线圈及使用该梯度线圈的PET/MRI混合系统

(57) 摘要

整体为圆柱形的一组线圈绕组(10、30、80)包括初级线圈绕组(12、32、82)和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组(14、34、84),并且还包括不存在线圈绕组的、具有至少10厘米的轴向尺寸(W)且跨越至少180°角度区间的弧形或环形中心空隙(16、36、86)。置于中心空隙的每个边缘处的连接导体(24、44、94)电连接选定的初级和次级线圈绕组。在扫描设置中,主磁体(62、64)被置于整体为圆柱形的一组线圈绕组的外部。在混合扫描设置中,由正电子发射断层摄影(PET)探测器(66)组成的圆环被置于整体为圆柱形的该组线圈绕组的中心空隙中。



CN 101688908 B

1. 一种磁场梯度线圈,包括:

整体为圆柱形的一组线圈绕组(10、30、80),其定义了轴向方向(D_A)并且包括初级线圈绕组(12、32、82)和在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组(14、34、84),整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不存在线圈绕组的弧形或环形中心空隙(16、36、86),所述中心空隙具有至少10厘米的轴向尺寸(W)并跨越至少 180° 角度区间,整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体(24、44、94);

整体为圆柱形的该组线圈绕组响应于整体为圆柱形的该组线圈绕组的通电,在感兴趣区域(R 、 R')中的轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度(G_y 、 G_y'),所述感兴趣区域是由整体为圆柱形的该组线圈绕组所包围的。

2. 根据权利要求1所述的磁场梯度线圈,其中,所述中心空隙是将整体为圆柱形的该组线圈绕组(10、30)的两个子集(20、22、40、42)分隔开的环形空隙(16、36),其中每个子集都包括:初级线圈绕组(12、32)、在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组(14、34)、以及在邻近所述环形中心空隙的边缘处且电连接该子集的选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体(24、44)。

3. 根据权利要求2所述的磁场梯度线圈,还包括:

分隔开的整体为圆柱形的介电形成器(50、52),其分别支撑整体为圆柱形的该组线圈绕组的所述两个被分隔开的子集(40、42);以及

支撑(54、54'),其跨越所述中心空隙以便基本上刚性地连接所述两个被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器。

4. 根据权利要求3所述的磁场梯度线圈,还包括:

第二级匀场装置,包括:

第一和第二组匀场线圈(200、202),其位于所述被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器(50、52)之上或之内;以及

第三组匀场线圈(204),其位于所述支撑(54')之上或之内。

5. 根据权利要求1所述的磁场梯度线圈,还包括:

第二级匀场装置(204、210),其位于比屏蔽线圈绕组(34)大的径向位置处。

6. 根据权利要求1所述的磁场梯度线圈,其中,所述中心空隙(86)跨越至少 180° 但小于 360° 的角度区间,在未被所述中心空隙跨越的互补角度区间(θ_c)上布置有线圈绕组。

7. 根据权利要求6所述的磁场梯度线圈,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(80)的初级线圈绕组(82)在未被所述中心空隙(86)跨越的该互补角度区间(θ_c)上位于相对较小的径向位置处,而在被所述中心空隙跨越的该角度区间上位于相对较大的径向位置处。

8. 根据权利要求6所述的磁场梯度线圈,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(80)的初级线圈绕组(82)在未被所述中心空隙(86)跨越的该互补角度区间(θ_c)上位于非恒定的较小的径向位置处,以形成近似平面状的表面(S_c)。

9. 根据权利要求6所述的磁场梯度线圈,还包括:

射频线圈,其包括位于所述互补角度区间(θ_c)区域中的轴向定向的导体(114)。

10. 根据权利要求1所述的磁场梯度线圈,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(30)的初级线圈绕组(32)在选定的角度区间(θ_T)上形成近似平面状的表面(S_T)。

11. 根据权利要求 10 所述的磁场梯度线圈,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(30)叠加所述横向磁场梯度(G_y'),其中所述横向磁场梯度(G_y')方向垂直于所述轴向定向的静态磁场且在相对于由所述初级线圈绕组(32)在所述选定的角度区间(θ_T)上形成的所述近似平面状的表面(S_T)约 45° 的角度处。

12. 根据权利要求 1 所述的磁场梯度线圈,其中,所述中心空隙(16、36、86)具有大约 20 厘米或更大的轴向尺寸(W)。

13. 一种磁共振扫描器,包括:

整体为圆柱形的一组线圈绕组(10、30、80),其定义了轴向方向(D_A)并且包括初级线圈绕组(12、32、82)和在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组(14、34、84),整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不存在线圈绕组的弧形或环形中心空隙(16、36、86),所述中心空隙具有至少 10 厘米的轴向尺寸(W)并跨越至少 180° 角度区间,整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体(24、44、94);以及

主磁体(62、64),其位于整体为圆柱形的该组线圈绕组外部,并且在由整体为圆柱形的该组线圈绕组所围绕的感兴趣区域(R、R')中产生轴向定向的静态磁场,整体为圆柱形的该组线圈绕组在所述感兴趣区域中的所述轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度(G_y 、 G_y')。

14. 根据权利要求 13 所述的磁共振扫描器,还包括:

射频线圈(110),其包括位于整体为圆柱形的该组线圈绕组(80)的所述中心空隙(86)中的轴向定向的导体(112),位于所述中心空隙中的所述轴向定向的导体在轴向方向上与所述中心空隙具有相同长度。

15. 根据权利要求 14 所述的磁共振扫描器,其中,所述中心空隙(86)跨越至少 180° 但小于 360° 的角度区间,在未被所述中心空隙跨越的互补角度区间(θ_C)上布置有线圈绕组,所述射频线圈(110)还包括位于所述互补角度区间内且在轴向上比所述中心空隙长的轴向定向的导体(114)。

16. 根据权利要求 13 所述的磁共振扫描器,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(30、80)的初级线圈绕组(32、82)在未被所述中心空隙(36、86)跨越的角度区间(θ_T 、 θ_C)上位于非恒定的径向位置处,以便与近似平面状的对象支撑表面(S_T 、 S_C)相一致。

17. 根据权利要求 16 所述的磁共振扫描器,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(30、80)叠加所述横向磁场梯度(G_y'),其中所述横向磁场梯度(G_y')方向垂直于所述轴向定向的静态磁场且在相对于所述近似平面状的对象支撑表面(S_T 、 S_C)约 45° 的角度处。

18. 根据权利要求 13 所述的磁共振扫描器,其中,所述中心空隙是将整体为圆柱形的该组线圈绕组(10、30)的两个子集(20、22、40、42)分隔开的环形空隙(16、36),其中每个子集都包括:初级线圈绕组(12、32)、在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组(14、34)、以及在所述中心空隙的边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体(24、44)。

19. 根据权利要求 18 所述的磁共振扫描器,还包括:

由正电子发射断层摄影(PET)探测器(66)组成的圆环,其位于整体为圆柱形的该组线圈绕组(10、30)的所述环形中心空隙(16、36)中。

20. 根据权利要求 19 所述的磁共振扫描器,其中,所述环形中心空隙(16、36)具有至少约 15 厘米的轴向尺寸(W)。

21. 根据权利要求 19 所述的磁共振扫描器,还包括:

被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器(50、52),其分别支撑整体为圆柱形的该组线圈绕组的所述两个被分隔开的子集(40、42);以及

支撑(54、54'),其跨越所述中心空隙以便基本上刚性地连接所述两个被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器;

其中,所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环与由所述被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器和所述支撑所形成的刚性单元振动隔离。

22. 根据权利要求 21 所述的磁共振扫描器,还包括:

安装部件(68),其穿过在所述支撑(54、54')中的开口或凹槽(56)以便以独立于由所述被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器(50、52)和所述支撑所形成的所述刚性单元的方式支撑所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环。

23. 根据权利要求 21 所述的磁共振扫描器,还包括:

压电致动器(150),其位于所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环与由所述被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器(50、52)和所述支撑(54、54')所形成的所述刚性单元之间,所述压电致动器支撑所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环,同时将所述由正电子发射断层摄影探测器组成的圆环与由所述被分隔开的整体为圆柱形的介电形成器和所述支撑所形成的所述刚性单元振动隔离。

24. 根据权利要求 19 所述的磁共振扫描器,还包括:

第二级匀场线圈(200、202、204、210);以及

匀场装置控制器(220),其被配置成对所述第二级匀场线圈进行通电,以便对由所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环引入的磁场非均匀性进行匀场。

25. 根据权利要求 24 所述的磁共振扫描器,其中,所述匀场装置控制器(220)被配置成:当所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环操作时,施加用于校准所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环的操作状态的匀场电流至所述第二级匀场线圈(200、202、204、210),而当所述由正电子发射断层摄影探测器组成的圆环未操作时,施加用于校准所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环的非操作状态的匀场电流至所述第二级匀场线圈。

26. 根据权利要求 24 所述的磁共振扫描器,其中,所述第二级匀场线圈(200、202、204、210)包括三维匀场线圈(200、202、204),其具有部分地放置于至少两个有着不同半径的不同圆柱形段的每一个上的绕组。

27. 一种磁共振扫描器,包括:

由正电子发射断层摄影(PET)探测器(66)组成的圆环;

整体为圆柱形的一组线圈绕组(10、30),其包括初级线圈绕组(12、32)和在比所述初级线圈绕组大的半径处的屏蔽线圈绕组(14、34),整体为圆柱形的该组线圈绕组具有用于容纳所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环的环形中心空隙(16、36),整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述环形中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体(24、44);以及

主磁体(62、64),其位于整体为圆柱形的该组线圈绕组外部,并且在由整体为圆柱形的该组线圈绕组所围绕的感兴趣区域(R、R')中产生轴向定向的静态磁场,整体为圆柱形的该组线圈绕组在所述感兴趣区域中的所述轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度(G_y 、 G_y')。

28. 根据权利要求 27 所述的磁共振扫描器,还包括:

安装部件(68),其与所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环连接以便以独立于整体为圆柱形的该组线圈绕组(10、30)的方式支撑所述由正电子发射断层摄影探测器组成的圆环。

29. 根据权利要求 27 所述的磁共振扫描器,还包括:

压电致动器(150);以及

加速度传感器(152),其与所述压电致动器协作以振动隔离所述由正电子发射断层摄影探测器(66)组成的圆环。

30. 根据权利要求 27 所述的磁共振扫描器,其中,整体为圆柱形的该组线圈绕组(10、30)的所述环形中心空隙(16、36)具有至少约 15 厘米的轴向尺寸(W)。

分离式梯度线圈及使用该梯度线圈的 PET/MRI 混合系统

技术领域

[0001] 下文涉及成像技术。下文找到混合磁共振扫描和正电子发射断层摄影 (PET) 系统的例证性应用, 并且具体参考这些应用加以描述。下文找到使用或不使用用于 PET 成像的集成辐射探测器的磁共振扫描系统的更一般的应用。

背景技术

[0002] 一些已有的磁共振扫描器包括一般为圆柱形的一组主磁场绕组, 其在位于被主磁场绕组形成的圆柱体内的至少一个检查区域中产生主磁场 (B_0)。一般为圆柱形的梯度线圈组件被同轴地置于主磁场绕组内以有选择地在主磁场上叠加磁场梯度。一个或多个射频线圈被置于梯度线圈组件内。这些射频线圈能够采用各种形式, 其复杂程度从单环表面线圈到复杂的鸟笼型线圈。在一些实施例中, 提供了全身鸟笼型线圈, 该线圈是被同轴地置于梯度线圈组件内部的圆柱形线圈。梯度线圈组件和射频线圈组件都是被以不同径向位置放置的全身圆柱形结构并且它们本身占据很大的圆柱孔空间。

[0003] Heid 等人在 6, 930, 482 号美国专利中公开了一种梯度线圈, 其具有被其上没有绕组通过的中心空隙分开的两个分开的半部分。短的共径射频线圈被置于该中心空隙中, 以便于梯度线圈和射频线圈具有大概相同的半径, 因此使得宝贵的孔空间被更加有效地使用。但是, 梯度线圈组件的效率随着中心空隙的宽度的增加而降低。对于超过约 10 厘米的中心空隙, 效率下降得很大。较小的可获得空隙相应地提供了较短的射频线圈棒或棍, 这减小了射频线圈的视场。

[0004] 还对既包括磁共振又包括正电子发射断层摄影 (PET) 能力的多模或混合扫描器感兴趣。例如, Fiedler 等人在 W02006/111869 中公开了多种混合成像系统。在那份参考文献中公开的一些混合系统实施例中, 固态 PET 探测器元件被置于全身鸟笼型线圈的棍之间以有效地使用可用的圆柱形孔空间。Heid 等人的具有中心空隙的梯度线圈组件也可以被作为有希望在混合成像系统中使用的候选。但是, 使用 Heid 等人的梯度线圈组件可获得的较小的中心空隙可能太小, 以至于不能容纳 PET 探测器元件的实际组件。这个已经很小的空隙的可用部分会由于在线圈和 PET 探测器之间需要用来容忍线圈的半部分在洛仑兹力影响下的机械运动的间隔空隙而被进一步减小。

[0005] 下文提供了新的和经过改进的设备和方法以克服上述问题或其他问题。

发明内容

[0006] 根据一个方面, 公开了一种磁场梯度线圈, 包括: 整体为圆柱形的一组线圈绕组, 其定义了轴向方向并且包括初级线圈绕组和在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组, 整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不在线圈绕组的弧形或环形中心空隙, 所述中心空隙具有至少 10 厘米的轴向尺寸并跨越至少 180° 角度区间, 整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体; 整体为圆柱形的该组线圈绕组响应于整体为圆柱形的该组线圈绕

组的通电,在感兴趣区域中的轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度,所述感兴趣区域是由整体为圆柱形的该组线圈绕组所包围的。

[0007] 根据另一方面,公开了一种磁共振扫描器,包括:整体为圆柱形的一组线圈绕组,其定义了轴向方向并且包括初级线圈绕组和在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组,整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不存在线圈绕组的弧形或环形中心空隙,所述中心空隙具有至少 10 厘米的轴向尺寸并跨越至少 180° 角度区间,整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体;以及主磁体,其位于整体为圆柱形的该组线圈绕组外部,并且在由整体为圆柱形的该组线圈绕组所围绕的感兴趣区域中产生轴向定向的静态磁场,整体为圆柱形的该组线圈绕组在所述感兴趣区域中的所述轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度。

[0008] 根据另一方面,公开了一种磁共振扫描器,包括:由正电子发射断层摄影(PET)探测器组成的圆环;整体为圆柱形的一组线圈绕组,其包括初级线圈绕组和在比所述初级线圈绕组大的半径处的屏蔽线圈绕组,整体为圆柱形的该组线圈绕组具有用于容纳所述由 PET 探测器组成的圆环的环形中心空隙,整体为圆柱形的该组线圈绕组还包括被置于所述中心空隙的每个边缘处且电连接选定的初级线圈绕组和屏蔽线圈绕组的连接导体;以及主磁体,其位于整体为圆柱形的该组线圈绕组外部,并且在由整体为圆柱形的该组线圈绕组所围绕的感兴趣区域中产生轴向定向的静态磁场,整体为圆柱形的该组线圈绕组在所述感兴趣区域中的所述轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度。

[0009] 根据另一方面,公开了一种磁场梯度线圈,包括:整体为圆柱形的一组线圈绕组,其包括初级线圈绕组和在比所述初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组;以及第二级匀场装置,其包括第二级匀场绕组,所述第二级匀场绕组的至少一部分位于比所述屏蔽线圈绕组大的径向位置处。

[0010] 根据另一方面,公开了一种混合扫描器,包括:磁共振扫描器:正电子发射断层摄影(PET)探测器,其位于靠近所述磁共振扫描器的等角点处;以及有源匀场系统,其包括匀场线圈和被配置成控制所述匀场线圈以补偿由所述 PET 探测器引入的磁场非均匀性的匀场装置控制器。在一些实施例中,所述匀场装置控制器被配置成控制所述匀场线圈,以便在所述 PET 探测器操作时施加第一校正,而在所述 PET 探测器未操作时施加不同于所述第一校正的第二校正。

[0011] 一个优点在于,提供了一种带有弧形或环形空隙的磁场梯度线圈,该空隙具有比此前可达到的更大的宽度。

[0012] 另一优点在于,提供了一种具有宽度足够容纳 PET 探测器阵列的中心空隙的磁场梯度线圈。

[0013] 另一优点在于,提供了一种具有与非对称射频线圈一致的弧形空隙的磁场梯度线圈。

[0014] 另一优点在于,提供了一种具有改进的对于 PET 探测器的振动隔离的混合磁共振/PET 扫描器。

附图说明

[0015] 通过阅读和理解下面的详细描述,本领域普通技术人员将理解本发明的更进一步优点。

[0016] 图 1 和 2 各自图解地示出第一例证性横向磁场梯度线圈的透视图和端视图。

[0017] 图 3 和 4 各自图解地示出第二例证性横向磁场梯度线圈的透视图和端视图。

[0018] 图 5 图解地示出包括强化支撑(stiffening brace)的第二例证性横向磁场梯度线圈的介电形成器。

[0019] 图 6 图解地示出了一种磁共振扫描器,其具有第二例证性横向磁场梯度线圈以及置于第二例证性横向磁场梯度线圈的中心空隙中的由正电子发射断层摄影(PET)探测器组成的环形阵列。

[0020] 图 7 图解地示出第三例证性横向磁场梯度线圈的透视图。

[0021] 图 8 图解地示出第三例证性横向磁场梯度线圈的介电形成器和射频线圈的环形导体。

[0022] 图 9 图解地示出图 6 的由 PET 探测器组成的环形阵列的第一实施例的一部分的剖面图。

[0023] 图 10 图解地示出图 6 的由 PET 探测器组成的环形阵列的第二实施例的一部分的剖面图。

[0024] 图 11 和 12 在 $1/2$ 方位角范围上,即在 $\phi = -90^\circ$ 到 $\phi = 90^\circ$ 的方位角值之间,图示出选定的 Golay 线圈型的匀场线圈样式,其中方位角尺寸被展开以提供 2-D 示图。

[0025] 图 13 图示的是图 6 的混合 PET/ 磁共振扫描器的梯度线圈组件的侧视图,表示的是在分离式梯度线圈外部上且在跨越梯度线圈的两个部分的机械支撑上的二级匀场线圈的适当配置。

[0026] 图 14 图示的是混合 PET/ 磁共振扫描器的梯度线圈组件的侧视图,表示的是在还用作匀场和梯度线圈的结构性强化的外鞘圆柱状形成器上的二级匀场线圈的适当配置。

具体实施方式

[0027] 参考图 1 和 2,磁场梯度线圈包括一组整体为圆柱形的线圈绕组 10,其定义了轴向方向 D_A (由图 1 中的虚线箭头指示)并包括初级线圈绕组 12 和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组 14。整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 具有不在线圈绕组的弧形或环形中心空隙 16。该弧形或环形中心空隙跨越至少 180° 的角度区间。在图 1 和 2 示出的实施例中,中心空隙 16 是一个跨越了全部 360° 以便将整体为圆柱形的该组线圈绕组分隔为两个子集 20、22 的环形空隙,其中每个子集都包括初级线圈绕组和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组。

[0028] 整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 进一步包括置于中心空隙 16 的每个边缘处、用于电连接选定的初级和次级线圈绕组的连接导体 24。整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 在由整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 围绕的感兴趣区域 R(由图 2 中的打点的边界线图解示出,并在中心空隙 16 上轴向居中)中轴向定向的静态磁场上叠加横向磁场梯度 G_y (由图 2 中箭头图解示出)。该横向磁场梯度 G_y 响应于整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 的通电而被产生。图 1 和 2 的实施例进一步包括置于线圈绕组 10 远离中心空隙 16 侧的端部处的连接导体 26。连接导体 26 也电连接选定的初级和次级线圈绕组,该选定的绕组与由连接导

体 24 连接的、在中心空隙 16 附近的选定的绕组可能相同或者可能不同。此外,一些初级绕组或次级绕组可以是不由任何连接导体 24、26 连接的孤立绕组。连接导体 26 提供相对较大并且更均匀的视场,如在此被全部引用作为参考的 Shvartsman 等人在美国公布申请 2006/0033496A1 中公开的那样。

[0029] 连接导体 24 在紧邻中心空隙 16 处实现了非零电流密度,其能够补偿在中心空隙 16 中的任何可磁操作的电流密度的缺失。这里已经认识到相比其他可能情况,这种补偿使得中心空隙 16 能够被做得更大,同时仍然保持可接受的线圈效率和磁场质量。中心空隙 16 具有至少 10 厘米的轴向尺寸 W,并且更优选地至少 15 厘米,并且在一些实施例中至少约 20 厘米。这么大的中心空隙具有各种有用的应用,诸如为射频线圈的横向棒或棍提供空间,容纳第二级成像模态的组件,等等。

[0030] 中心空隙 16 中不存在线圈绕组,这意味着在中心空隙 16 中没有放置可磁操作的导体。应当理解的是,一个或多个电流供给导体(未示出)可选地横跨中心空隙 16,例如以串联方式电连接导体的两个子集。如果包括这种电流供给导体,那么这种电流供给导体就不是可磁操作的导体,因为对由整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 产生的磁场而言,它们未被设计为用有价值的方式来作贡献,并且不会以有价值的方式作贡献。

[0031] 图 1 和 2 示出的整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 被配置为使得初级和屏蔽线圈绕组 12、14 的“指纹(fingerprint)”在纵向上对齐。这产生出沿着纵向方向的横向磁场梯度 G_y ,该纵向方向相应于典型的磁共振扫描器的传统“y”坐标。在典型设置中,提供了相对于所述的整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 旋转了 90° 的一组相应的绕组,以选择性地产生沿着垂直于“y”方向的“x”方向的磁场梯度。应当注意的是,整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 是可旋转的,以便于所述磁场梯度能够如所示那样与“y”方向,或者与前述“x”方向,或者与垂直于轴向方向的任何其他方向对齐。所述沿着“y”方向,或者如这里所述的沿着“x”方向对齐的情况是方便的,因为它符合有时被用于磁共振成像的传统的笛卡尔 x-y-z 坐标;但是,整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 能够具有任何定向。

[0032] 整体为圆柱形的该组线圈绕组 10 的精确配置被设计用以至少在感兴趣区域 R 中提供好的磁场梯度均匀性。这种设计适宜地使用流函数方法实施,例如像在 Peeren, "Stream Function Approach for Determining Optimal Surface Currents", Journal of Computational Physics vol.191pages 305-21(2003) 以及在 "Stream Function Approach for Determining Optimal Surface Currents". Doctoral Thesis of Gerardus N. Peeren (Eindhoven University of Technology 2003) 中描述的那样,这两个文献在此引用其全部作为参考。流函数方法确定由流函数表示的、提供特定磁场分布的连续的电流密度分布,并随后将获得的流函数离散化以获得线圈绕组分布。

[0033] 参考图 3 和 4,第二磁场梯度线圈实施例与图 1 和 2 的实施例类似,并且包括整体为圆柱形的一组线圈绕组 30,整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 定义了轴向方向 D_A 并包括初级线圈绕组 32 和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组 34。整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不存在线圈绕组的弧形或环形中心空隙 36。该弧形或环形中心空隙跨越至少 180° 的角度区间。在图 3 和 4 示出的实施例中,中心空隙 36 是一个跨越全部 360° 以便将整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的两个子集 40、42 分隔开的环形空隙,每个子集都包括初级线圈绕组和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组。整体为

圆柱形的该组线圈绕组 30 包括置于中心空隙 36 的每个边缘处、用于电连接选定的初级和次级线圈绕组的连接导体 44。图 3 和 4 的实施例进一步包括置于线圈绕组 30 远离中心空隙 36 侧的端部处的连接导体 46。连接导体 46 也电连接选定的初级和次级线圈绕组,该选定的绕组与由连接导体 44 连接的、在中心空隙 36 附近的选定的绕组可能相同或者可能不同。此外,一些初级绕组或次级绕组可以是不由任何连接导体 44、46 连接的孤立绕组。

[0034] 整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的初级线圈绕组 32 在一个选定的角度区间 θ_T 内被设置于非恒定的较小的径向位置处,以形成近似平面状的表面 S_T 。虽然表面 S_T 近似是平面状的,但它可以有一些如图 3 所示的突起或弯曲。效果是在该选定的角度区间 θ_T 内的初级线圈被向上移动以更加靠近对象。对于脊柱成像,例如,当对象躺在居于该选定的角度区间 θ_T 内的初级线圈之上的整体为平面状的对象支撑上时,初级线圈在该选定的角度区间 θ_T 内这种更近的定位提高了与脊柱的射频耦合。

[0035] 图 3 和 4 的整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 被配置为,使初级和屏蔽线圈绕组 32、34 的“指纹”被旋转偏离纵向方向约 45° 。由此产生的横向磁场梯度 G_y' 在相对于纵向方向约 45° 角的方向上。使用流函数方法设计这些绕组,以使横向磁场梯度 G_y' 至少在感兴趣区域 R' 中是基本均匀的。使用这种所述梯度磁场 45° 旋转的方法,横向梯度线圈被设计成具有尺寸 W 为 20 厘米的环形中心空隙 36。

[0036] 参考图 5,整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的两个子集 40、42 适宜地分别由两个以大约间隙尺寸 W 间隔开的介电形成器 50、52 支撑,或者分别在两个以大约间隙尺寸 W 间隔开的介电形成器 50、52 内。梯度线圈组件 30 的两个子集 40、42 和它们各自的承载体 50、52 易于被由在整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的运行期间所产生的大量洛仑兹力以机械方式倾斜。为了抵消这种倾斜,强化支撑 54 可选地跨越环形中心空隙 36 以便充分刚性地连接两个被间隔开的整体为圆柱形的介电形成器 50、52。在图 5 的实施例中,支撑 54 是弧形的并且跨越约 180° 。在其他实施例中,采用了完整的环形支撑。在将要被描述的实施例中,设想将诸如射频线圈、正电子发射断层摄影 (PET) 探测器阵列等等这样的元件置于中心空隙 36 中。在一些这样的实施例中,可选的支撑 54 可以包括开口 56,开口 56 提供了用于安装为这种组件提供独立支撑的安装部件的通道。

[0037] 参考图 6,例如,介电形成器 50、52 被置于磁共振扫描器 60 中,该磁共振扫描器 60 包括位于低温室 64 内的主磁体绕组 62,其形成了用于在感兴趣区域 R' 中产生轴向定向的静态 B_0 磁场的主磁体。由正电子发射断层摄影 (PET) 探测器 66 组成的圆环被置于整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的环形中心空隙 36 中,即,被置于在支撑线圈绕组 30 的介电形成器 50、52 之间的空隙中。支撑 54' 在这个实施例中是一个环形支撑,其位于介电形成器 50、52 外部并且在由 PET 探测器 66 组成的圆环外部。被独立支撑的安装部件 68 穿过支撑 54' 中的开口 56 和磁体室 64 中的开口 69,以独立于用以支撑整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 (未在图 6 中示出) 的介电形成器 50、52 来支撑 PET 探测器 66 的圆环。这种独立支撑是有利的,因为洛仑兹力在操作期间导致梯度线圈移动并加速,而这种运动如果被传送到 PET 探测器 66,就将导致使用 PET 探测器 66 获得的 PET 图像质量下降。在一些实施例中,介电形成器 50、52 和支撑 54' 形成了与 PET 探测器 66 的圆环和安装部件 68 振动隔离的刚性单元。在一种适当的方法中,刚性单元 50、52、54' 被安装到磁体室 64 上,磁体室 64 进而被安装到屋子地板上。安装部件 68 被独立地安装到屋子的地板、墙壁和天花板。这提供了期望

的振动隔离,因为屋子的地板足够重来吸收由整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 产生的刚性单元 50、52、54' 的振动,以使这些振动不被传送到安装部件 68。

[0038] 安装部件 68 所连接的外部支撑(未示出)可以是完全围绕磁共振扫描器 60 的子框架、在容纳扫描器 60 的屋子的墙壁上的一组硬质点,等等。为了使安装部件 68 能够穿过磁体室 64 并同时使室 64 能够保持真空以及保证低温池的完整性,安装部件 68 适宜地穿过被形成为管状穿透区域的开口 69,该管状穿透区域的端部被密封以保持真空和氦的完整性。可选地,射频屏蔽(未在图 6 中示出)能够延伸进入开口 69 以提供 RF 隔离。能够为与由 PET 探测器 66 组成的圆环的电气连接或其他性质的连接提供额外的通道开口。因为通道开口相对较小,所以它们能够散布于主磁体绕组 62 之间以使主磁体的磁性设计基本上不受影响。

[0039] 整体为圆柱形的该组线圈绕组 10、30 具有完整的环形空隙 16、36,其能够有利地容纳诸如图 6 中示出的由 PET 探测器 66 组成的环形阵列这样的环形组件。相比不太完整的 PET 探测器阵列,例如跨度小于完整 360° 的弧形阵列,所述完整的由 PET 探测器 66 组成的环形阵列提供了更好的图像分辨率和图像质量。但是,能够通过采用不延伸到全部 360° 的弧形空隙实现较好的磁场梯度均匀性和线圈效率。

[0040] 参考图 7,第三磁场梯度线圈实施例类似于图 3 和 4 的第二梯度线圈实施例,并且包括整体为圆柱形的一组线圈绕组 80,其定义了轴向方向 D_A 并包括初级线圈绕组 82 和在比该初级线圈绕组大的径向位置处的屏蔽线圈绕组 84。整体为圆柱形的该组线圈绕组具有不存在线圈绕组的弧形或环形中心空隙 86。该弧形或环形中心空隙跨越至少 180° 角度区间。在图 7 示出的实施例中,中心空隙 86 是跨越大于 180° 但小于 360° 的角度区间且轴向尺寸为 W 的弧形空隙,在未被中心空隙 86 跨越的互补角度区间 θ_c 上设置有线圈绕组。整体为圆柱形的该组线圈绕组 80 包括置于中心空隙 86 的每个边缘处、用于电连接选定的初级和次级线圈绕组的连接导体 94。图 7 的实施例进一步包括置于线圈绕组 80 远离中心空隙 86 侧的端部的连接导体 96。连接导体 96 也电连接选定的初级和次级线圈绕组,该选定的绕组与由连接导体 94 连接的、在中心空隙 86 附近的选定的绕组可能相同或者可能不同。此外,一些初级绕组或次级绕组可以是不由任何连接导体 94、96 连接的孤立绕组。

[0041] 整体为圆柱形的该组线圈绕组 80 的初级线圈绕组 82 在互补角度区间 θ_c 内被设置于非恒定的较小径向位置处以形成近似平面状的表面 S_c 。虽然表面 S_c 近似是平面状的,但它可以有的一些如图 7 所示的突起或弯曲。效果是在该选定的角度区间 θ_c 内的初级线圈被向上移动以更加靠近检测对象。对于脊柱成像,例如,当检测对象躺在居于该互补角度区间 θ_c 内的初级线圈之上的整体为平面状的对象支撑(未示出)上时,初级线圈在该互补角度区间 θ_c 内的这种更近的定位提高了与脊柱的射频耦合。弧形空隙 86 对脊柱成像是有利的,因为其并不会延伸到脊柱下方——相反,对于其中对象在脊柱成像期间仰卧的典型的脊柱成像情况而言,初级和屏蔽线圈绕组 82、84 的梯度线圈绕组在脊柱下方是连续的。在图 7 中,支撑线圈绕组 82、84 的介电形成器 100 以线框形式示出。

[0042] 根据图 7 的设计所配置的线圈的初级计算已经显示出,对于在上部区域中的 20 厘米的梯度空隙宽度 W 和 72 厘米大小的梯度孔而言,在 10mT/m 处能够实现小于 4.4J 的存储能量。在这种线圈设计中,磁场梯度的零级别相对于周围圆柱形 (B_0) 磁体的机械 z -轴或等角点在纵向上偏离约 10-15 厘米。这种偏移在此被认为是对梯度线圈的效率的提高。相

反,如果磁场梯度的零级别与圆柱形 (B_0) 磁体的机械 z-轴或等角点精确地对齐,那么就有相对较多的绕组被包括在线圈的上部而在该互补角度区间 θ_c 内会包含较少的绕组,但是总体上将包括更多的安匝数并且存储的能量更高。这些考虑也可以应用到其中中心空隙 36 是环形的整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的设计中。

[0043] 所述的弧形空隙 86 具有恒定尺寸 W (除了没有空隙的互补角度区间 θ_c 以外)。但是,可以设想使得空隙的宽度随着角度位置而变化以均衡磁场梯度线圈的磁场梯度性能 (通过采用较小的空隙而提高) 和射频线圈的 RF 性能 (通过采用较大的空隙且同时使用轴向上较长的上部导体而提高)。

[0044] 继续参考图 7 并进一步参考图 8,弧形空隙 86 的进一步优势是它与被设计用于脊柱成像的射频线圈 110 相称。在图 8 中,示出了介电形成器 100 和射频线圈 110 的轴向定向的导体。为了节约孔空间,上部的轴向定向的导体 112 被置于弧形中心空隙 86 中并且基本上在轴向上与弧形中心空隙 86 的轴向尺寸 W 同延。这种设置通过将线圈绕组 82、84 和上部的轴向定向的导体 112 放置在大约相同的径向位置处,有效地使用了可用的孔空间。此外,上部的轴向定向的导体 112 被放置为相对远离脊柱处,即,相对远离脊柱成像的感兴趣区域。另一方面,下部的轴向定向的导体 114 被置于互补角度区间 θ_c 的区域内,在此区域中初级线圈绕组 82 被提升以与整体为平面状的主体支撑 (未示出) 相称。在这个区域中,下部的轴向定向的导体 114 被置于初级线圈绕组 82 的上方并且基本上比中心空隙 86 的轴向尺寸 W 更长。该更长的下部轴向定向导体 114 有利地提供了临近的感兴趣脊柱区域的更大且更均匀的视场。在一些预期的实施例中,射频线圈 110 的下部的轴向定向的导体 114 被配置成能够实现 SENSE 的接收阵列。为了这个目的,可选地,能够将下部的轴向定向的导体 114 沿着轴向方向进行分段。这种配置适宜地使用多点激励来操作,例如通过功率分配器或使用多个功率放大器来操作。

[0045] 反回来参考图 6 并进一步参考图 9,进一步描述了由 PET 探测器 66 组成的圆环的适宜的实施例。图 9 示出了被置于整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的中心空隙 36 中、并介于圆柱形磁体室 64 的内表面和可选的鸟笼式射频线圈的射频屏蔽 116 之间的 PET 探测器 66 的一部分的剖面图 (在图 9 的图解剖面图中可以看到棍 118)。至少在 PET 探测器 66 的区域中,射频线圈组件 118 是由薄的不带有电容器的铜条制成以减小伽玛粒子的散射。例如,厚度比 RF 皮肤深度大 5 或 6 倍 (例如,在 3 特斯拉扫描器中的 ^1H 磁共振的约 6 微米) 的铜条是适宜的。射频屏蔽 116 类似地由对伽玛粒子而言基本上是透明的薄的导电箔或网制成。

[0046] PET 探测器 66 包括由光电探测器 122 的阵列观察的闪烁器 120 的阵列。在一些实施例中,光电探测器 122 是硅光电倍增管 (SiPM's)。一些适宜的 SiPM 设备描述于 Frach 等人的 W02006/111883A2 以及 Fiedler 等人的 W02006/111869A2 中,二者均被全部引用于此作为参考。光电探测器 122 与时域转换 (TDC)/模拟-数字转换 (ADC) 电子设备 124 电连接,电子器件 124 将辐射探测事件转换成数字数据,该数字数据包括与所探测的粒子能量相对应的数字化的强度信息和用于指示探测时间的数字时间戳。在一些实施例中, SiPM 探测器 122 和 TDC/ADC 电子设备 124 以单片电路的形式集成到公共的硅基片上。在一些其他实施例中,TDC 和 / 或 ADC 的一些或全部处理被置于远离扫描器。在另一些其他预期的实施例中,被置于空隙 36 中的 PET 探测器的圆环仅包括闪烁器 120 和耦合的光纤,光纤传输

扫描器的闪烁光到远程放置的光电探测器及相关的远程放置的 TDC/ADC 电子设备的光纤。

[0047] 辐射探测硬件 120、122、124 被置于光屏蔽 130(由实线指示)中以防止光子的寄生检测,并且被置于诸如射频屏蔽的电隔离容器 132(由虚线指示)的内部以抑制射频干扰。电隔离容器 132 提供宽带 RF 屏蔽,而射频屏蔽 116 是在磁共振频率处提供 RF 屏蔽并允许脉冲式磁场梯度基本上不受 RF 屏蔽影响的低通滤波器。电源和通信布线 134 适宜地围绕射频屏蔽 116 的外部以将这些线缆保持在高 RF 场之外。

[0048] 为了抑制 PET 探测器 66 与磁场梯度的相互作用,用于巩固整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的刚体支撑 54' 还形成了厚的铜屏蔽 54'。这一屏蔽 54' 以机械方式连接磁体室 64,并且包括进入整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的中心空隙 36 内的延伸部分 140 以提高 PET 探测器 66 对所产生的磁场梯度的屏蔽。厚的铜屏蔽 54' 或者在 PET 探测器 66 前面的左侧敞开以防止对伽玛粒子的阻碍,或者包括对于伽玛粒子而言是充分可穿透的薄的前部 142。各种屏蔽组件能够被按各种方式进行组合——例如,在一些实施例中设想将梯度屏蔽的薄的前部 142 和电隔离容器 132 整合在一起。此外,可选地省略选定的屏蔽组件(可能会以磁共振和 PET 组件之间的较高的相互作用为代价)。如此前参考图 6 所提到的,安装部件 68 通过磁体室 64 中的开口 69 以及屏蔽和机械支撑组件 54' 中的开口 56 来独立地支撑 PET 探测器 66。

[0049] 参考图 10,在一个可替换实施例中,通过使用置于由 PET 探测器 66 组成的圆环与整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 的支撑(例如,介电形成器 50、52 和刚性支撑 54')之间的补偿式压电致动器 150 来实现对 PET 探测器 66 的振动隔离,以便在将 PET 探测器 66 与整体为圆柱形的该组线圈绕组 30 之间进行振动隔离的同时支撑 PET 探测器 66。压电致动器 150 可操作地耦合有加速度传感器 152,诸如基于 MEMS 的加速度计,并且被配置在反馈回路中以调节压电致动器 150 从而最小化由加速度传感器 152 所指示的 PET 探测器 66 的加速度。在一些实施例中,压电致动器 150 和加速度传感器 152 被以单片方式集成为单独单元,例如形成到硅基片之内或之上。因为加速度级别很大但偏移在几个毫米或更小数量级,所以预期中心空隙 36 和 PET 探测器 66 的边缘之间的公差小到几个微米。在一些实施例中,设想在由支撑 54' 和中心空隙 36 的壁形成的包围中包括开口,以提供流体流通来防止快速加速期间的空气压缩。附加地或可替换地,能够使用更大的公差来提供空气缓冲。压电致动器 150 的阵列优选地提供沿着三个自由平移度(例如,沿着笛卡尔系统的三个正交坐标)和三个自由旋转度的加速度抑制。有利地,通过使用压电致动器 150 或者振动隔离,可以省略独立安装部件 68 和在刚性支撑 54' 与磁体室 64 中的相应的开口 56、69。

[0050] 图 6 的扫描器适宜地操作为混合扫描器。因为由 PET 探测器 66 组成的环形阵列被置于整体为圆柱形的磁场梯度绕组 30 的中心空隙 36 中,因此 PET 成像的视场 (FOV) 基本上居中位于与磁共振成像的 FOV 的相同位置处,尽管预期到在轴向方向和 / 或垂直于轴向的方向上存在某种程度的 PET/MR FOV 偏移。相比磁共振成像的 FOV 的尺寸,PET 成像的 FOV 能够更大、更小或相同。在一些方法中,磁共振和 PET 成像是连续进行的,或者 PET 和磁共振成像周期是在时间上交错的。在其他实施例中,设想同时执行 PET 成像和磁共振成像。

[0051] 在所述实施例中,由 PET 探测器 66 组成的圆环有利地对数据收集提供全部 360° 角度覆盖。本领域已知的是,小于全部 360° 的覆盖容易导致图像伪影,其是由于探测器的

角度覆盖缺失引起的响应线丢失而产生的。但是,设想的是使用跨越至少 180° 角度区间但小于全部 360° 的 PET 探测器的弧形设置。例如,这种 PET 探测器的弧形设置可以被插入到整体为圆柱形的该组线圈绕组 80 的弧形空隙 86 中。丢失的响应线能够通过经由沿着响应线的飞行时间定位而获得的附加信息来补偿。PET 探测器的其他配置也是可设想到的,诸如用于选择性地提供至少 180° 角度覆盖的 PET 探测器的多个间断角度跨度。

[0052] 在一些实施例中,可以设想的是包括针对静态 (B_0) 磁场上的负载效应而对磁场梯度进行校正的匀场线圈。尽管第一级磁场匀场是有利的,但是第二级匀场装置为 (B_0) 磁场提供了更多的匀场控制。在混合实施例中,由 PET 探测器 66 组成的圆环会产生进一步的磁场不均匀性,这种磁场不均匀性同样可以使用第二级有源线圈匀场装置进行校正。

[0053] 参考图 11 和 12,一些第二级匀场线圈包括通过扫描器中心的多个部分(即,匀场线圈与图 11 和 12 中由 $z = 0$ 表示的轴平面相交)。图 11 和 12 在 $1/2$ 方位角范围上,即在 $\Phi = -90^\circ$ 到 $\Phi = 90^\circ$ 的方位角值之间,标绘出选定的 Golay 线圈型的匀场线圈样式,其中方位角尺寸被展开以提供 2-D 绘图。例如,图 11 标绘的是 zx 第二级匀场线圈组 ZX 和 Z^2 第二级匀场线圈组 Z2 的 Golay 线圈型的匀场装置。ZY 第二级匀场线圈组 ZY 也被以虚线示出,并且其除了在方向角 (Φ) 方向旋转 90° 之外,与 ZX 第二级匀场装置 ZX 相同。图 12 标绘了 Z^2 第二级匀场线圈组 Z2 和 (X^2-Y^2) 第二级匀场线圈组 X2-Y2。应当注意的是, (X^2-Y^2) 和 Z^2 第二级匀场装置在 $Z = 0$ 处具有中心空隙;因此,只要该中心空隙足够小,那么这些匀场线圈就可能被安装到图 6 中的介电形成器部分 50、52 上。但是, ZX 和 ZY 第二级匀场装置不具有中心空隙并且位于 $z = 0$ 的平面的中心并与之相交。因此, ZX 和 ZY 第二级匀场装置不能被安装到介电形成器部分 50、52 上。

[0054] 图 13 标绘出图 6 的混合 PET/ 磁共振扫描器的梯度线圈组件的侧视图,示出第二级匀场线圈的一种适宜的配置。在这个实施例中,第二级匀场线圈在初级和屏蔽梯度线圈绕组 32、34 之间被划分成分别置于两个介电形成器部分 50、52 之上或之中的第一和第二装置 200、202。这种配置类似于已有的磁共振扫描器的第二级匀场线圈的配置,在该已有的磁共振扫描器中第二级匀场线圈被置于初级和屏蔽梯度线圈绕组之间。为了跨越中心空隙,第二级匀场线圈绕组的中心第三装置 204 被置于机械支撑 54' 上,机械支撑 54' 为介电形成器部分 50、52 提供支撑并在存在由梯度绕组的激励引起的洛仑兹力的情况下保持介电形成器部分 50、52 的间隔和相对定位。匀场装置 200、202、204 能够类似于用于第二级梯度的 Golay 线圈型的匀场装置。中心装置 204 的匀场线圈导体适宜地被局部扰动或布线以避免机械支撑 54' 中提供安装部件 68(如图 6 所示)通路的开口 56。附加地或可替换地,开口 56 可以被放置为使得能够避开第三匀场线圈组 204 的匀场导体。在图 13 中描述的实施例中的匀场装置具有某些位于初级和屏蔽梯度线圈绕组 32、34 之间的匀场线圈;可替换地,匀场绕组的多个部分可以被置于屏蔽梯度线圈绕组 34 的外部。

[0055] 支撑 54' 与介电形成器部分 50、52 交叠以提供支撑 54' 到形成器部分 50、52 的牢固连接。在一些实施例中,该重叠和中心空隙的轴向尺寸 W 使得 ZX 和 ZY 第二级匀场绕组能够被全部置于中心装置 204 中,并且 Z^2 和 (X^2-Y^2) 第二级匀场绕组能够被全部置于第一和第二装置 200、202 中。在这种情况下,第一和第二装置 200、202 以及第三装置 204 有利地可单独操作。另一方面,在一些实施例中,支撑 54' 与介电形成器部分 50、52 的交叠可能非常小,或者中心空隙的轴向尺寸 W 可能太大,从而能够实现对匀场线圈组的方便的分离。

在这后一种情况下,跳线导体(未示出)电连接第一和第二装置 200、202 以及第三装置 204 的绕组,以便例如将部分地位于三个匀场装置 200、202、204 的每一个上的 ZX 匀场线圈的多个部分进行互连。一方面,第一和第二装置 200、202 与第三装置 204 之间在径向位置上的差异相对较小(例如,在数量级上等于屏蔽梯度绕组层 34 的厚度与支撑 54' 的厚度的组合),并且因此电跳线能够被制作的相对较短。匀场装置 200、202、204 是三维匀场装置,并且能够使用如已经引用并在此作为参考并入的 Peeren 参考文献中描述的流函数方法来设计。

[0056] 作为另一种方法(未在此示出),设想设计具有中心空隙的第二级匀场装置线圈(即,没有绕组延伸进入中心空隙的轴向尺寸 W 内),并且使用流函数方法设计线圈以提供期望的第二级磁匀场。如果中心空隙的轴向尺寸 W 足够小,那么预期这种方法甚至对 ZX 和 ZY 匀场线圈都是可行的。通过形成 ZX 或 ZY 匀场线圈以包括在两个分开的径向表面上的绕组并且使这些绕组通过与用于梯度绕组的连接器 44 相类似的连接器在中心空隙的边缘处连接,能够使在中心空隙边缘处的 ZX 或 ZY 均场电流变为非零,因此在流线设计优化中提供灵活性以补偿中心空隙中缺失的绕组。

[0057] 图 14 标绘出图 6 的混合 PET/ 磁共振扫描器的梯度线圈组件的侧视图,修改在于两个介电形成器部分 50、52 被单个圆柱形介电形成器 50" 所替代,该圆柱形介电形成器 50" 支撑初级和屏蔽梯度线圈绕组 32、34 并具有容纳 PET 探测器 66 的圆环的中心圆环缺口或凹槽。在这个配置中,支撑 54' 能够被全部省略。可替换地,如果容纳 PET 探测器 66 的中心环形缺口或凹槽使得介电形成器 50" 机械上太脆弱,那么可以将强化外部圆柱形支撑 54" 设置包围介电形成器 50"。第二级匀场装置绕组 210 能够被放置在介电形成器 50" 的外表面上或者可选地在强化外部圆柱形支撑 54" 的外表面上。在这个实施例中,可以使用标准的 Golay 型第二级匀场绕组,可选地在容纳支撑 PET 探测器环 66 的开口 56 邻近带有一些重排序或变形的绕组。

[0058] 继续参考图 13 和 14,匀场装置控制器 220 把电流施加到匀场装置中选定的第二级匀场以产生期望的第二级匀场。匀场装置 200、202、204、210 能够通过匀场装置控制器 220 进行配置和励磁,以便于在磁共振采集脉冲序列期间用静态样式或者动态地校正对象装载的非均匀性。另外,匀场装置 200、202、204、210 能够通过匀场装置控制器 220 进行配置和励磁,以便于校正由 PET 探测器 66 的圆环引入的非均匀性。后者造成的非均匀性可以取决于 PET 探测器的操作状态。由于 PET 探测器中存在会对于静态磁场具有弱效应或者剩余效应的导电组件,因此未操作的 PET 探测器预期会引入一些磁场非均匀性。在 PET 采集期间,操作中的 PET 探测器被电偏置并且电流流入 PET 探测器及相关电路。这些可操作方案能够引入附加的磁场非均匀性。因此,在一些实施例中,匀场装置控制器 220 施加分别用于校准 PET 探测器环 66 的操作状态和非操作状态的匀场电流,并且在同时进行的 MR/PET 或者仅仅是 MR 成像期间分别使用合适的匀场电流校准。

[0059] 进一步地,可以分别为 PET 探测器环 66 的操作状态和非操作状态选择不同的校准检查容积。例如,如果 PET 系统具有比磁共振扫描器小的视场,那么对于同时进行的 MR/PET 操作的匀场校准可以对磁场进行均匀以使之在具有与相对较小的 PET 检查区域相匹配的尺寸的较小检查区域中变得均匀。通过校准较小的 PET 检查容积的匀场,可以预期达到改进的磁场均匀性,尽管仅仅是在 PET 检查区域中。这种空间限制对于同时进行的 PET/MR 成像而言是可接受的,因为在这种情况下一般仅仅对即由 PET 又由 MR 成像的区域感兴趣。

另一方面,在仅仅是MR操作的期间,对仅仅是MR的匀场校准有利的是使得整个较大的磁共振检查容积均匀。

[0060] 所述的匀场装置 200、202、204、210 被配置成与其中中心空隙是彻底地将梯度绕组划分成两个独立部分的环形空隙的分离式梯度线圈相一致。但是,所述的匀场装置适于与诸如图 7 中示出的、其中心空隙是弧形而非完整环形空隙的线圈一起使用。

[0061] 已经参照优选实施例描述了本发明。其他人基于对前面的详细描述的阅读和理解,可以做出修改或改变。期望的是本发明在它们落入所附权利要求或其等价物的范围之内被解释成包括所有这种修改和改变。

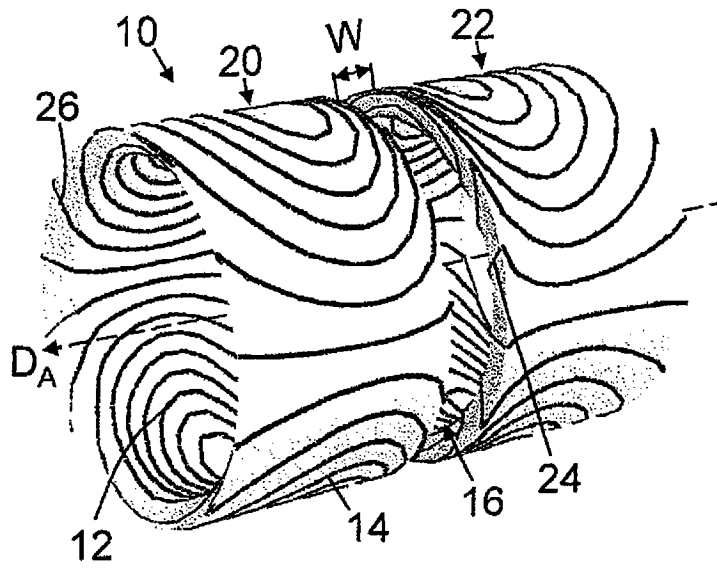


图 1

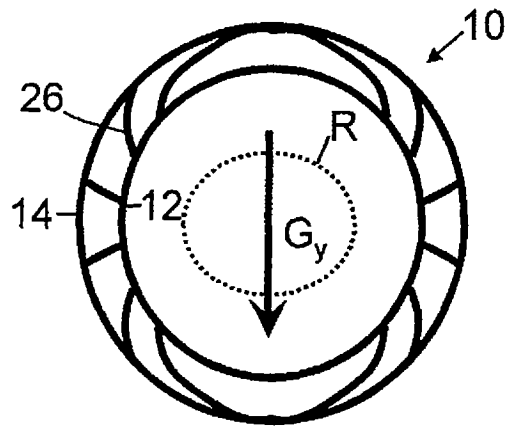


图 2

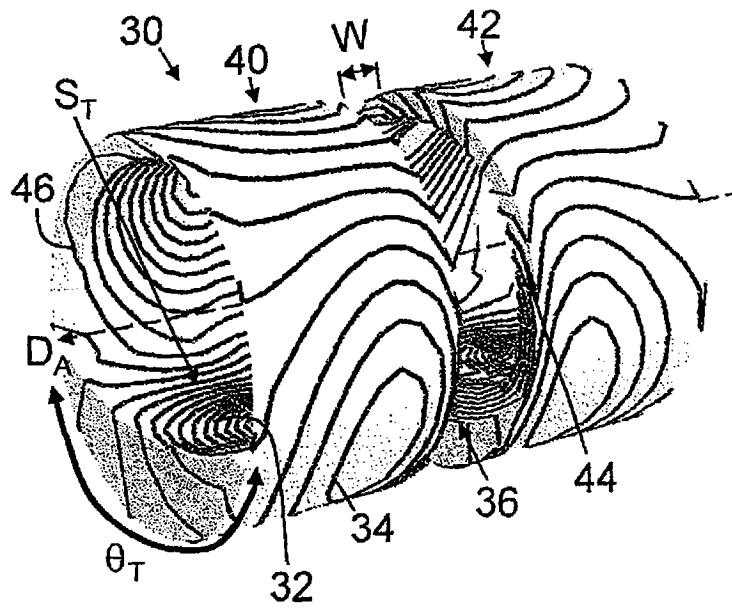


图 3

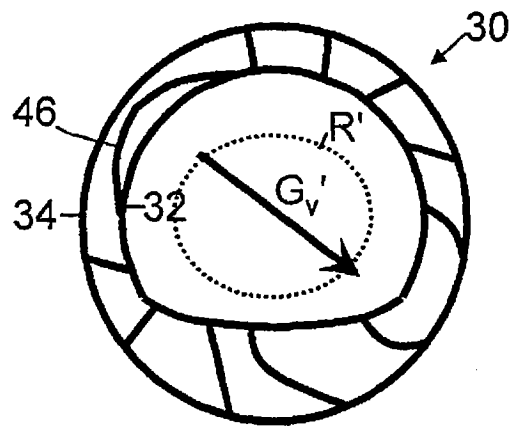


图 4

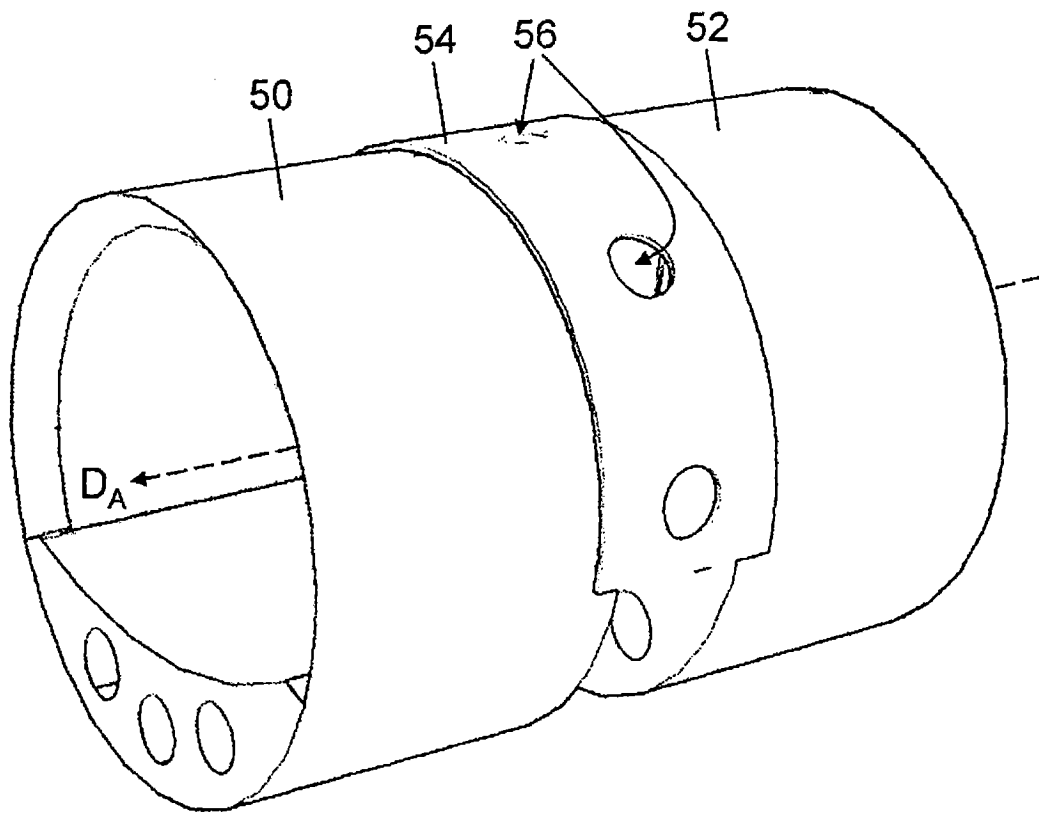


图 5

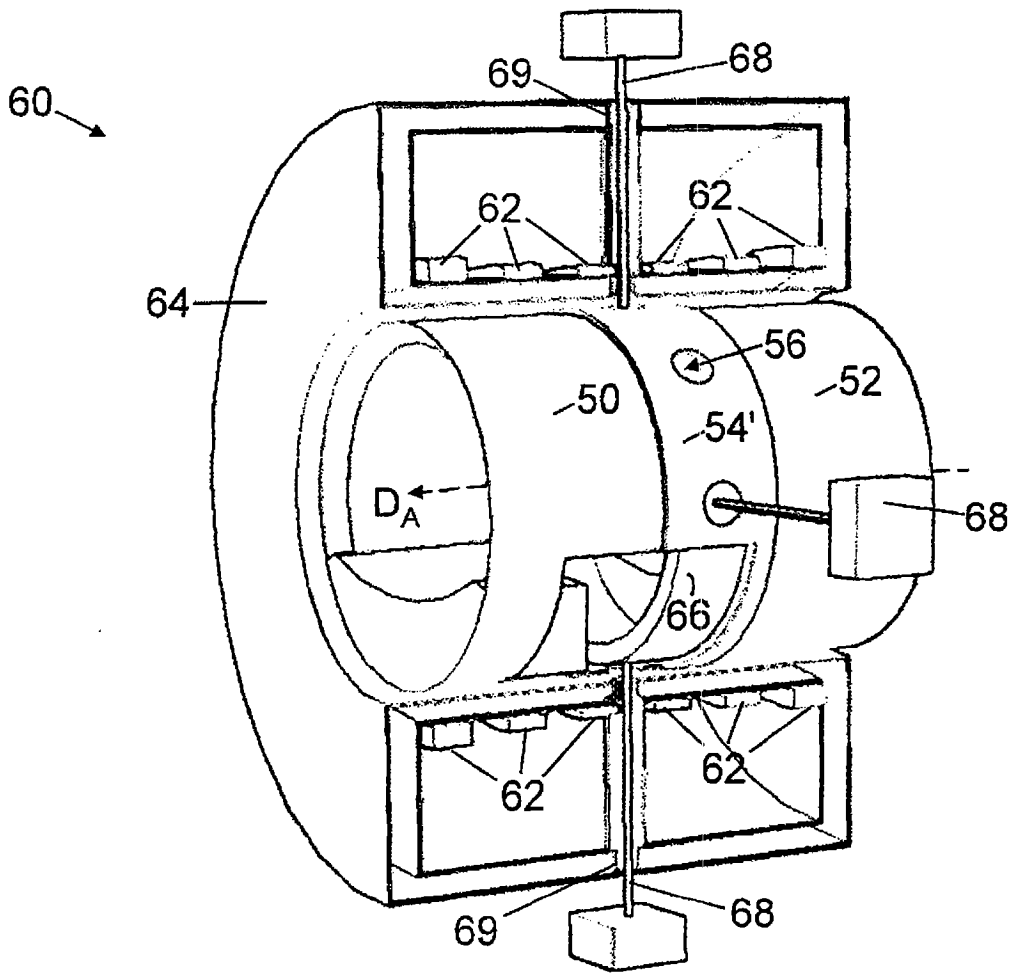


图 6

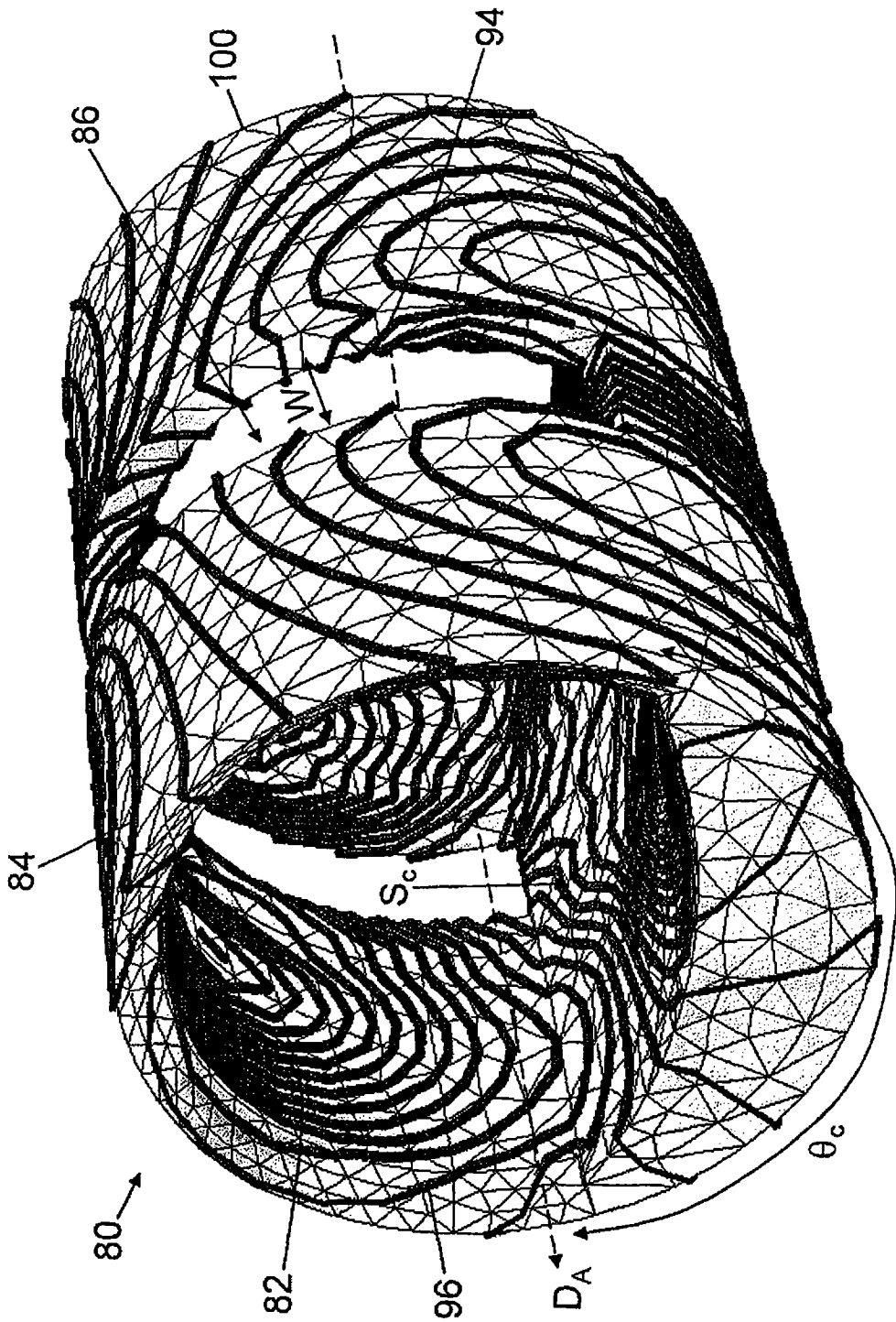


图 7

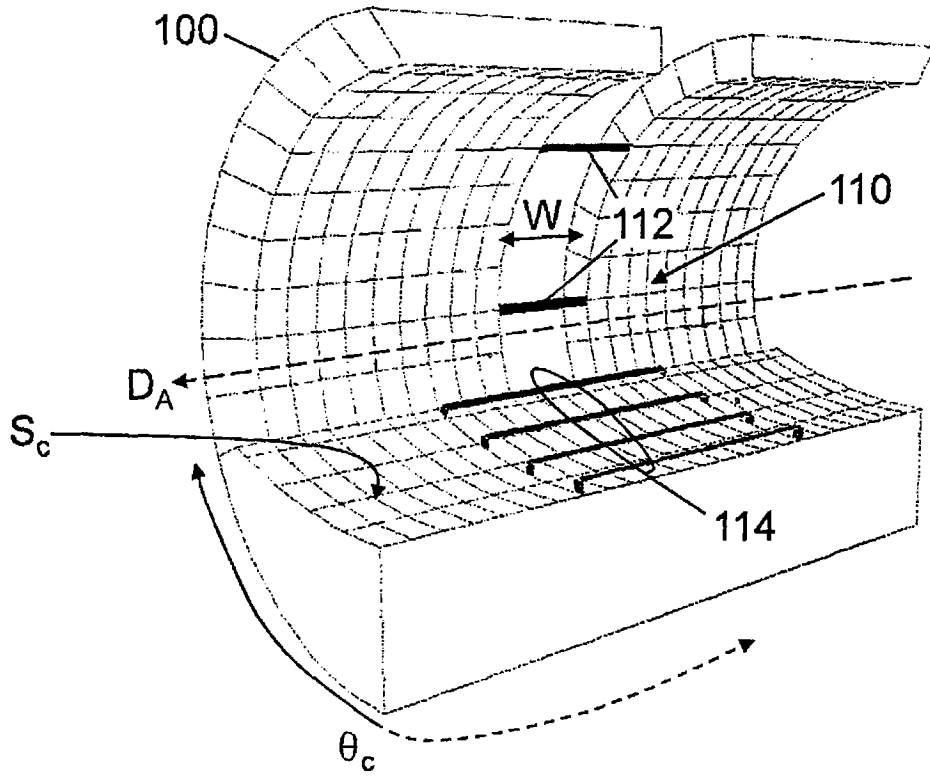


图 8

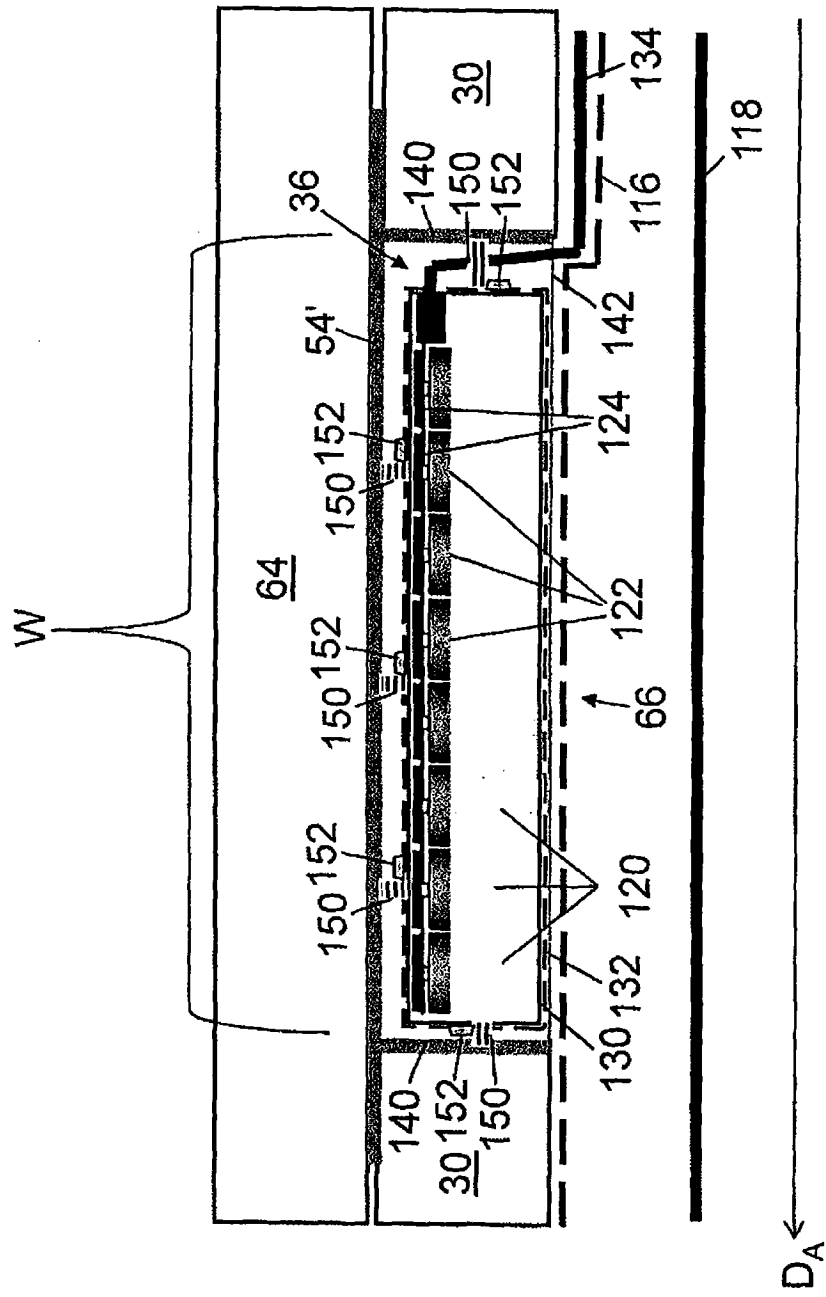


图 10

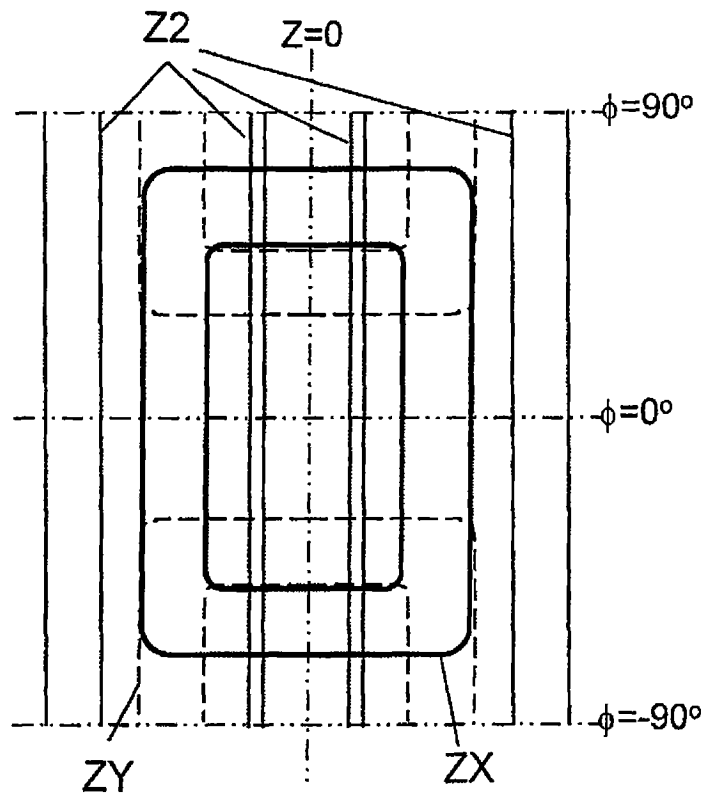


图 11

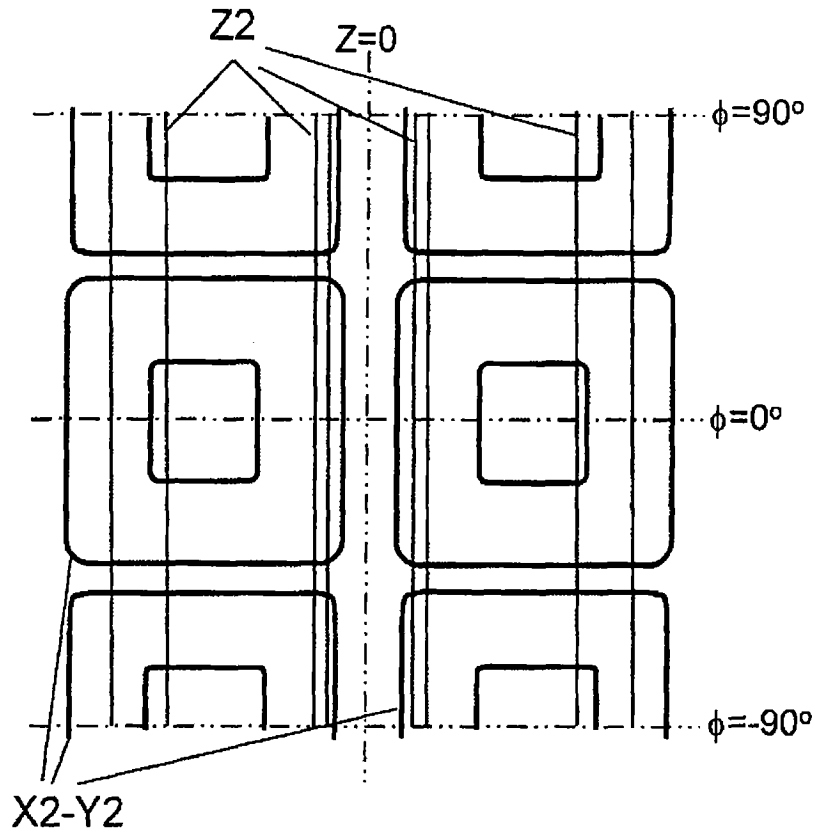


图 12

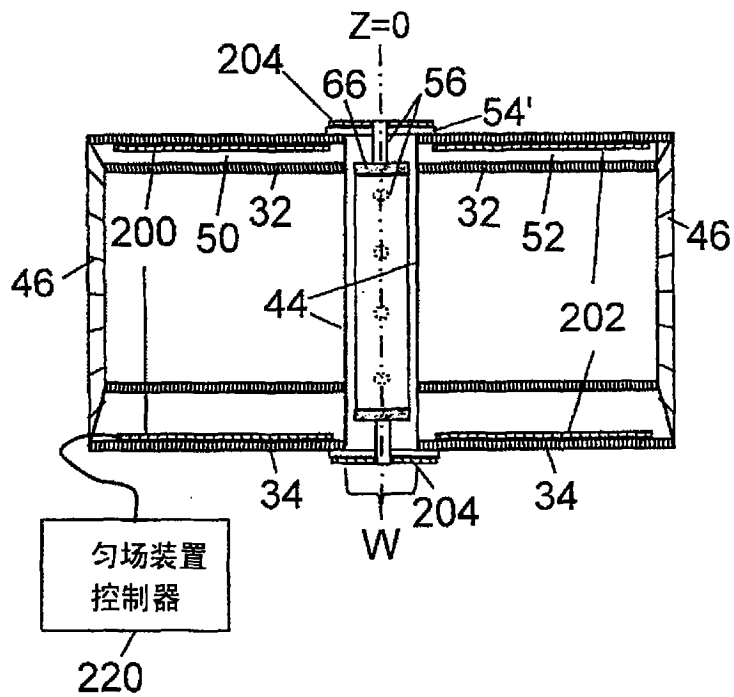


图 13

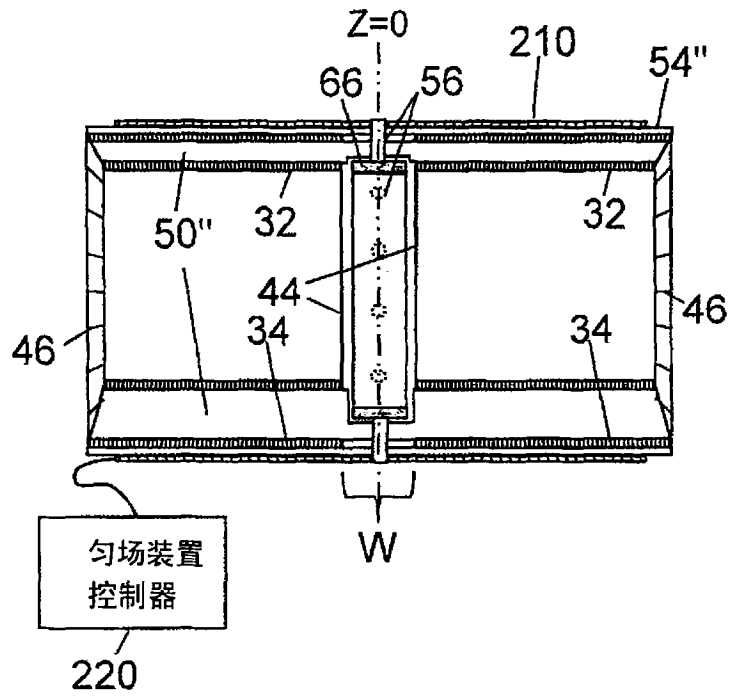


图 14