



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101295011 B

(45) 授权公告日 2014. 03. 26

(21) 申请号 200810093514. 0

(22) 申请日 2008. 04. 23

(30) 优先权数据

11/738786 2007. 04. 23 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 Y·利沃夫斯基

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 张雪梅 陈景峻

(51) Int. Cl.

G01R 33/385(2006. 01)

审查员 张博

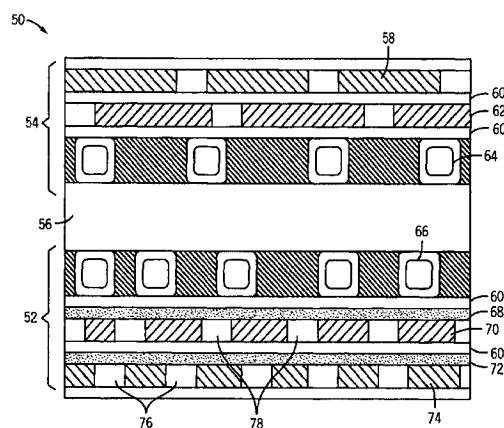
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

用于梯度线圈直接冷却的系统与设备

(57) 摘要

本发明涉及一种用于梯度线圈直接冷却的系统与设备。一种用于冷却磁共振成像(MRI)系统的梯度线圈组件(50)的系统,包括梯度线圈(70,74),该梯度线圈(70,74)具有第一表面,该第一表面包含多个导体和多个匝间通道(78,76)。每一个匝间通道(78,76)位于该多个导体的多匝之间。该系统还包括施加至梯度线圈(70,74)第一表面的密封层(68,72),以密封匝间通道(78,76)。匝间通道(78,76)被配置成传送冷却流体。



1. 一种用于冷却磁共振成像 MRI 系统的梯度线圈组件 (50) 的系统,该系统包括:
具有第一表面的梯度线圈 (70,74),该第一表面包含多个导体和多个匝间通道 (78,76),每一个匝间通道 (78,76) 位于该多个导体的多匝之间;以及
施加于所述梯度线圈 (70,74) 的第一表面的密封层 (68,72),用于密封匝间通道 (78,76);
其中匝间通道 (78,76) 与冷却流体直接接触并且被配置成传送冷却流体。
2. 根据权利要求 1 所述的系统,其中梯度线圈 (70) 是横向的 Y 梯度线圈。
3. 根据权利要求 1 所述的系统,其中梯度线圈 (74) 是横向的 X 梯度线圈。
4. 根据权利要求 1 所述的系统,其中梯度线圈 (66) 是 Z 梯度线圈。
5. 根据权利要求 1 所述的系统,其中梯度线圈组件 (50) 包括内梯度线圈组件 (52) 和外梯度线圈组件 (54),并且该内梯度线圈组件 (52) 包含所述梯度线圈 (70,74) 和用于密封传送冷却流体的匝间通道的所述密封层 (68,72)。
6. 根据权利要求 1 所述的系统,其中所述梯度线圈 (70,74) 包括按照图案切割的铜板,使得在所述梯度线圈 (70,74) 的单独的导体之间产生多个匝间通道 (78,76)。
7. 根据权利要求 1 所述的系统,其中密封层 (68,72) 是由玻璃环氧树脂制成的。
8. 根据权利要求 1 所述的系统,其中密封层 (68,72) 的至少一部分由梯度线圈组件 (50) 中的相邻梯度线圈的背衬板形成。
9. 根据权利要求 5 所述的系统,其中内梯度线圈组件 (52) 还包括:
具有第一表面的第二梯度线圈,该第二梯度线圈的第一表面包含多个导体和多个匝间通道 (78,76),所述第二梯度线圈的第一表面的每一个匝间通道位于所述第二梯度线圈的第一表面的多个导体的多匝之间;
施加于所述第二梯度线圈的第一表面的第二密封层,用于密封所述第二梯度线圈的第一表面的匝间通道 (78,76);以及
其中所述第二梯度线圈的第一表面的匝间通道 (78,76) 与第二冷却流体直接接触并且被配置成传送第二冷却流体。
10. 一种用于冷却磁共振成像 MRI 系统的梯度线圈组件 (50) 中的梯度线圈 (70,74) 的设备,所述梯度线圈 (70,74) 具有第一表面,该第一表面包括多个导体和在该多个导体的多匝之间的多个匝间通道 (78,76),该设备包括:
位于所述梯度线圈 (70,74) 的第一表面的所述多个匝间通道 (78,76) 中的至少一个冷却管 (82,84),所述至少一个冷却管 (82,84) 被配置成传送冷却流体。
11. 根据权利要求 10 所述的设备,其中梯度线圈 (70) 是横向的 Y 梯度线圈。
12. 根据权利要求 10 所述的设备,其中梯度线圈 (74) 是横向的 X 梯度线圈。
13. 根据权利要求 10 所述的设备,其中梯度线圈 (66) 是 Z 梯度线圈。
14. 根据权利要求 10 所述的设备,其中使用环氧树脂将该至少一个冷却管 (82,84) 结合到匝间通道 (78,76)。
15. 根据权利要求 10 所述的设备,其中所述梯度线圈 (70,74) 包括按照图案蚀刻的铜板,使得在所述梯度线圈 (70,74) 的单独的导体之间产生多个匝间通道 (78,76)。
16. 根据权利要求 10 所述的设备,其中该至少一个冷却管 (82,84) 是薄壁冷却管。
17. 根据权利要求 10 所述的设备,其中梯度线圈组件 (50) 包括具有第一表面的第二梯

度线圈,该第二梯度线圈的第一表面包含多个导体和在所述第二梯度线圈的第一表面的多个导体的多匝之间的多个匝间通道 (78,76),该设备还包括位于所述第二梯度线圈的第一表面的所述多个匝间通道 (78,76) 中的至少一个第二冷却管。

用于梯度线圈直接冷却的系统与设备

技术领域

[0001] 本发明主要涉及磁共振成像 (MRI) 系统,特别地涉及用于 MRI 系统中一个或多个梯度线圈的直接冷却的系统和设备。

背景技术

[0002] 磁共振成像 (MRI) 是一种医学成像形式 (modality),可以产生人体内部的图像,而无需使用 X 射线或其它电离辐射。MRI 使用强磁体产生强大、均匀的静态磁场 (也就是“主磁场”)。当人体或人体的一部分放置于主磁场中时,与组织水或脂肪中的氢核子关联的核自旋发生极化。这意味着与这些自旋关联的磁矩优先地变成沿主磁场方向排列,导致沿那个轴 (通常是“z 轴”) 的小的净组织磁化。MRI 系统还包含称为梯度线圈的部件,用于在向它们施加电流时产生较小幅度的空间变化的磁场。典型地,梯度线圈设计成产生沿 z 轴排列的、幅度随着沿 x、y 或 z 轴之一的位置而线性变化的磁场分量。梯度线圈的作用是沿单一轴在磁场强度上产生一个小斜面,伴随地,也在核自旋的共振频率上产生一个小斜面。使用三个具有正交轴的梯度线圈,通过在人体的每个位置产生特征共振频率对 MR 信号进行“空间编码”。射频 (RF) 线圈用于在氢核子的共振频率处或附近产生 RF 能量脉冲。RF 线圈用于以受控的方式为核自旋系统增加能量。之后随着核自旋松弛回到其静止能量状态,它们以 RF 信号的形式释放能量。MRI 系统检测到此信号并使用计算机和已知的重建算法将其转化为图像。

[0003] 在患者扫描过程中,产生磁场梯度的梯度线圈组件的一个 (或多个) 梯度线圈消散掉大量的热。可以提供冷却系统或设备来消除由梯度线圈产生的热。梯度线圈可达到的最大性能可能受到所使用的冷却系统除热能力的限制。在现代高功率 MRI 成像序列下,除去梯度线圈产生的更大量的热变得越来越困难。此外,对梯度线圈内部的温度上升和导致的扫描期间患者膛 (bore) 中温度上升的限制,可能导致对迅速增长 (aggressive) 的成像序列的占空比 (duty cycle) 的限制。

[0004] MRI 系统中使用的梯度线圈组件可以是被屏蔽的梯度线圈组件,其由内梯度线圈组件和外梯度线圈组件组成,它们通过诸如环氧树脂之类的材料结合在一起。典型地,内梯度线圈组件包括 X、Y 和 Z 梯度线圈对或组的内 (或主) 线圈,外梯度线圈组件包括 X、Y 和 Z 梯度线圈对或组的相应的外 (或屏蔽) 线圈。Z 梯度线圈一般是圆柱形的,一个导体螺旋形盘绕环绕在该圆柱表面 (或心轴)。横向 X 和 Y 梯度线圈一般由具有绝缘背衬层的铜面板形成。在铜层中可以切出线匝图案 (例如,指纹图案),在相邻的匝之间留下匝间的间隔 (或缝隙)。

[0005] 一种现有冷却系统包括使用位于内梯度线圈组件外的主 Z 梯度线圈的中空导体。然后将冷却流体通过中空的 Z 导体来除去梯度线圈组件产生的热。但是这样的冷却装置不能够直接冷却内梯度线圈组件的横向 X 梯度线圈和 Y 梯度线圈。典型地,横向 X 梯度线圈和 Y 梯度线圈产生的热必须通过内梯度线圈组件的梯度线圈之间的绝缘层转移到中空的 Z 梯度线圈。所以,热转移可能会受到绝缘层材料 (例如,玻璃环氧树脂 (glass-epoxy))

的热阻的限制。

[0006] 为了提供附加冷却,可以在比如内梯度线圈组件的内直径上提供一个或多个专用冷却通道。提供附加冷却的另一选择是将中空导体用于内梯度线圈组件的横向 X 梯度线圈。然而,附加的专用冷却通道或附加的中空内梯度线圈增加了梯度线圈组件的径向空间,并且还将主 X、Y 和 Z 梯度线圈移动到了更大半径的位置处。这可能会导致梯度线圈组件的梯度强度减弱。

[0007] 因此,需要一种无需附加径向空间而允许除热并控制梯度线圈内部温度上升的梯度线圈冷却系统。

发明内容

[0008] 根据实施例,一种用于冷却磁共振成像 (MRI) 系统的梯度线圈组件的系统包括具有包含多个导体和多个匝间通道的第一表面的梯度线圈,每个匝间通道位于该多个导体的多匝之间,并且施加密封层于梯度线圈的第一表面以密封匝间通道,其中匝间通道被配置成传送冷却流体。

[0009] 根据另一个实施例,一种用于冷却磁共振成像 (MRI) 系统的梯度线圈组件中的梯度线圈的设备包括位于梯度线圈的匝间通道中的至少一个冷却管,该至少一个冷却管被配置成传送冷却流体;其中梯度线圈具有带有多个导体和多个匝间通道的第一表面,匝间通道位于该多个导体的多匝之间。

附图说明

[0010] 通过以下的详细说明,结合附图可以更好地理解本发明,其中同样的参考数字表示同样的部件,其中:

[0011] 图 1 是根据实施例的示范性磁体组件的示意性横截面侧视图。

[0012] 图 2 是根据实施例的示范性 MR 梯度线圈组组件的用通过中心纵轴的平面截取的剖面图。

[0013] 图 3 是根据实施例的包括冷却系统的被屏蔽的梯度线圈组件层叠的横截面示意图。

[0014] 图 4 是根据可选实施例的包括冷却系统的被屏蔽的梯度线圈组件层叠的横截面示意图。

[0015] 图 5 是根据实施例的梯度线圈冷却系统的示范性入口和出口歧管位置的透视示意图。

具体实施方式

[0016] 图 1 是根据实施例的示范性磁体组件的示意性横截面侧视图。磁体组件 10 是环形圆柱体,可以用在用于获取 MR 图像的磁共振成像 (MRI) 系统中。除其它元件之外,磁体组件 10 包括超导磁体 12、梯度线圈组件 14 和射频线圈 16。为了清楚起见,图 1 中略去了各种其它元件,例如电磁线圈、低温保持器元件、支撑物、悬吊构件、末端盖子、支架等等。圆柱形的患者容积 (volume) 或空间 18 由患者腔管 20 围绕。RF 线圈 16 安装在患者腔管 20 的外表面上,并安装在梯度线圈组件 14 的内部。梯度线圈组件 14 以空间间隔的同轴关系

围绕射频线圈 16 布置,并且梯度线圈组件 14 环绕在射频线圈 16 周围。梯度线圈组件 14 安装在磁体 12 内,四周由磁体 12 环绕。

[0017] 患者或成像对象(未示出)可以在病床或支架(未示出)上沿着中心轴 22 被插入磁体组件 10 中。中心轴 22 沿着磁体组件 10 的管轴对准,平行于磁体 12 所产生的主磁场 B_0 的方向。正如在 MR 成像技术中广为人知的那样,射频线圈 16 可用于将射频磁场脉冲(或多个脉冲)施加至患者或对象,并且用于接收从该对象返回的 MR 信息。梯度线圈组件 14 产生时变梯度磁脉冲,该梯度磁脉冲用于以已知的方式对成像容积 18 中的点进行空间编码。

[0018] 超导磁体 12 可以包括例如几个径向对准并且纵向间隔开的超导线圈(未示出),每个线圈可以携带大的相同电流。超导线圈设计成在患者容积 18 中产生高度均匀的磁场 B_0 。在低温环境中将超导磁体 12 密封在低温封装(envelope)24 内,低温封装 24 设计成将超导线圈的温度维持在适当的临界温度以下,这样线圈就处于零电阻的超导状态。低温封装 24 可包括,例如,氦气容器和热屏蔽,用于以已知的方式容纳并冷却磁铁绕组。超导磁体 12 和低温封装 24 由磁体容器(magnet vessel)28 封住,磁体容器 28 例如低温保持器容器。磁体容器 28 维持真空并防止热量转移到低温封装 24 和超导磁体 12。暖腔 26 由磁体组件 10 的内圆柱表面限定。

[0019] 梯度线圈组件 14 可以是自屏蔽的梯度线圈组件。图 2 是根据实施例的被屏蔽的 MR 梯度线圈组件的、用通过中心纵轴的平面截取的剖面图。梯度线圈组件 14 包括关于公共轴 34 以同心的布置而放置的圆柱形内梯度线圈组件或绕组 30 和圆柱形外梯度线圈组件或绕组 32。内梯度线圈组件 30 包括 X、Y 与 Z 梯度线圈的内线圈,外梯度线圈组件 32 包括 X、Y 与 Z 梯度线圈的相应外线圈。梯度线圈组件 14 可以插入 MRI 系统的主磁体(例如图 1 中所示的磁体 12)的腔中,使得轴 34 与主磁体的腔轴对准。可以通过将电流通过线圈来激活梯度线圈组件 14 的线圈,以在腔中产生如 MR 成像中所要求的梯度场。

[0020] 内梯度线圈组件 30 和外梯度线圈组件 32 之间的容积 36 可用结合材料填充,例如环氧树脂,黏弹性的树脂,聚亚安酯等。可选地,使用带有诸如玻璃珠、硅石、氧化铝之类的装填材料的环氧树脂作为结合材料。内梯度线圈组件 30 和外梯度线圈组件 32 可以在各自的末端与末端环 38 和 40 相接合。提供末端环 38 和 40 来使内梯度线圈组件 30 和外梯度线圈组件 32 保持为径向空间隔开的同轴关系。可以使用支架、螺丝钉等紧固装置(未示出)将末端环 38 和 40 固定在内梯度线圈组件 30 和外梯度线圈组件 32 上。当容积 36 中的环氧树脂(或其它结合材料)在固化(cure)或建立期间,末端环 38 和 40 使内梯度线圈组件和外梯度线圈组件 30 与 32 保持为所要求的空间隔开的同轴关系。在环氧树脂已经固化之后,一般就将末端环 38 和 40 移走。应理解的是,可以使用并非关于图 1 和图 2 的上述圆柱形组件的磁体和梯度拓扑结构。例如,裂开(split-open)的 MRI 系统中的平坦的梯度几何结构也可以利用下面所描述的本发明的实施例。

[0021] 可以提供一种冷却系统或设备来除去圆柱形梯度线圈组件 14 的梯度线圈所产生的热,或者除去上述的用于其它梯度线圈拓扑中的梯度线圈所产生的热。图 3 是根据实施例的包括冷却系统的被屏蔽的梯度线圈组件的横截面示意图。应该理解,图 3 中所示的堆叠中的梯度线圈的次序是示范性的,这里描述的冷却系统可以与其它的梯度线圈次序一起使用。在图 3 中,梯度线圈组件 50 包括内梯度线圈组件 52 和外梯度线圈组件 54。使用结

合材料 56, 例如环氧树脂, 将内梯度线圈组件 52 和外梯度线圈组件 54 结合起来。优选的是将梯度线圈组件 50 配置成在相应的主梯度线圈与屏蔽梯度线圈之间提供最大的径向分离。外梯度线圈组件 54 包含 Y 梯度屏蔽线圈 58、X 梯度屏蔽线圈 62 和 Z 梯度屏蔽线圈 64。各种屏蔽线圈彼此间由绝缘层 60 分隔开, 绝缘层 60 的材料可以是例如玻璃环氧树脂。在一个实施例中, Z 梯度屏蔽线圈 64 可以是配置成传送诸如水、乙烯或丙烯 - 乙二醇混合剂之类的冷却剂的中空导体。可选地, Z 梯度线圈 64 可由铜板构成。

[0022] 内梯度线圈组件 52 包括 Z 梯度主线圈 66、Y 梯度主线圈 70 和 X 梯度主线圈 74。各种主线圈彼此间由绝缘层 60 分隔开, 绝缘层 60 可以是诸如玻璃环氧树脂之类的材料。Y 梯度主线圈 70 包括按照图案或痕迹 (例如, “指纹” 或 “拇指纹” 图案) 切割 (或蚀刻) 的铜片或铜板。结果, 在 Y 梯度主线圈 70 的单独的导体 (或匝) 之间产生可以用作冷却通道的多个凹槽或匝间空间 78。X 梯度主线圈 74 也包括可以按照图案或痕迹 (例如, “指纹” 或 “拇指纹” 图案) 切割 (或蚀刻) 的铜片或铜板。在 X 梯度主线圈 74 的单独的导体 (或匝) 之间产生可以用作冷却通道的多个凹槽或匝间空间 76。在一个实施例中, Z 梯度主线圈 66 可以是配置成传送冷却剂 (或冷却流体) 的中空导体。可选地, Z 梯度主线圈 66 可由具有切割图案的、包含可用作冷却通道的匝间凹槽的铜片或铜板构成。

[0023] Y 梯度主线圈 70 的匝间凹槽 78 和 X 梯度主线圈 74 的匝间凹槽 76 可用于给内梯度线圈组件 52 提供冷却。特别地, 横向 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈 70、74 的匝间凹槽 78 和 76 可用做提供横向 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈的直接冷却的冷却通道。通过使用匝间凹槽 78、76 作为冷却通道, 可以保持小的梯度线圈组件径向尺寸保持很, 并且可以保持梯度线圈的较低的径向位置。如图 3 所示, 匝间凹槽 78 和 76 可以被密封用以传送诸如水、乙烯或丙烯 - 乙二醇混合剂等冷却剂 (或冷却流体), 冷却剂消除掉横向梯度线圈产生的热。因此, 匝间凹槽 76、78 与冷却流体直接接触。

[0024] 可以提供密封层 68 以密封 Y 梯度主线圈 70 的匝间凹槽 78, 并且可以提供密封层 72 以密封 X 梯度主线圈 74 的匝间凹槽 76。可以使用不同的方法创建密封层 68 和 72。在一个实施例中, 在制造梯度线圈组件 50 的过程中, 可以将玻璃环氧片 (例如, B 阶环氧玻璃预浸料坯) 置于面板线圈 (例如, X 梯度主线圈 74 和 / 或 Y 梯度主线圈 70) 之上, 并在真空压力注入 (VPI) 工艺应用例如绝缘层 60 之前将其固化。可选地, 可以这样制造密封层 68、72: 使用熔化温度高于梯度线圈组件 50 在固化过程中遭受的最大温度的固态物质 (例如, 锡 - 铅、塑料等) 预填充匝间凹槽 78、76。填充物质防止梯度线圈组件 50 中注入的环氧树脂填满凹槽 78、76。一旦固化过程完成, 环氧树脂层将形成于填充物质与铜板表面之上。梯度线圈组件 50 可以被加热到填充匝间通道的物质的熔化温度以上。那么填充物质就融化掉并从冷却通道中排出。在另一个实施例中, 密封层可以由相邻梯度线圈的背衬板或基片 (例如, 用于支撑梯度线圈的铜片或铜板) 构成。例如, X 梯度主线圈 74 的密封层可以由 Y 梯度主线圈 70 的背衬板或基片构成。

[0025] 如上所述, 密封的匝间凹槽 78、76 然后可用于传送冷却流体来分别冷却横向主梯度线圈 70 和 74。尽管图 3 中所示的冷却系统实施于 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈 70 和 74 中, 在另一个实施例中, 冷却系统可以实施于由铜板构成的 Z 梯度主线圈 66 中, 其构成方式与上述的 Y 与 X 梯度主线圈相似。

[0026] 在另一个实施例中, 冷却管可以用在匝间凹槽中, 如图 4 所示。如上所述, Y 梯度主

线圈 70 的匝间凹槽 78 和 X 梯度主线圈 74 的匝间凹槽 76 可用于直接冷却内梯度线圈组件 52 的横向 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈 70、74。在图 4 所示的实施例中,可在 Y 梯度主线圈 70 的匝间凹槽 78 中提供冷却管 82。优选地,冷却管 82 是不导电的薄壁冷却管(例如,由 B 阶玻璃环氧制成)。冷却管 82 可以被压入匝间凹槽 78,并使用环氧树脂结合到匝间凹槽 78。诸如水、乙烯或丙烯乙二醇混合剂之类的冷却流体可通过冷却管 82 传送,并用于除去横向 Y 梯度主线圈 70 所产生的热。在 X 梯度主线圈 74 的匝间凹槽 76 中也可提供冷却管 84。如上所述,优选地,冷却管 84 是不导电的薄壁冷却管。冷却管 84 可以被压入匝间凹槽 76,并使用环氧树脂结合到匝间凹槽。然后就可通过冷却管 84 传送冷却流体,冷却流体用于除去横向 X 梯度主线圈 74 所产生的热。尽管图 4 中所示的冷却系统实施于 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈 70、74 中,在另一个实施例中,冷却系统可以实施于由铜板构成的 Z 梯度主线圈 66 中,其构成方式与上述的 Y 梯度主线圈与 X 梯度主线圈相似。

[0027] 图 3 中所示的匝间凹槽 78、76 和图 4 中所示的冷却管 82、84,可以通过例如冷却剂馈送线路和返回线路(未示出)耦合到远处的热交换器/冷却器(未示出)。远处的热交换器/冷却器可用于引导冷却剂至匝间凹槽 78、76(见图 3)或冷却管 82、84(见图 4),以围绕横向梯度主线圈 70、74 循环。当冷却剂经过匝间凹槽 78、76 或冷却管 82、84 被抽吸,冷却剂吸收梯度主线圈的热,并将热传送到远处的热交换器/冷却器。那么热量就可以由热交换器/冷却器排入大气。到匝间凹槽或冷却管的入口歧管与出口歧管的数目可以改变,以提供所需的流速、传热系数和容许的压降。图 5 是根据实施例的梯度线圈冷却系统的示范性入口和出口歧管位置的透视示意图。例如,入口歧管位置 140 和出口歧管位置 142 可以位于 X 梯度主线圈 146 的每个四分之一面板内,在相应的 Y 梯度线圈面板之间的间隙中处于 90° 和 180° 。可选地,入口歧管与出口歧管可定位于 Z 梯度线圈到 X、Y 梯度线圈的匝之间或穿过 Z 梯度线圈到 X、Y 梯度线圈的匝。可以采取对通道长度选择和/或匝间间距的调整,以在不同的匝间冷却通道之间提供更均匀的流分布。

[0028] 在各种实施例中,冷却系统可以实施于一个或多个主梯度线圈面板中。在其它实施例中,冷却系统可以实施于屏蔽外梯度线圈组件的一个或多个面板梯度线圈中。

[0029] 此书面描述举例说明了本发明的实施例,包括最佳模式,并使本领域的技术人员都可以实施并使用本发明。可获得专利的范围在权利要求中限定,也可以包括本领域的技术人员能想到的其它例子。如果其它例子的结构部件与权利要求的字面语言并无不同,或者包含与权利要求的字面语言并无实质不同的等效结构部件,那么这些其他例子也包含在权利要求之内。可以根据可选实施例来改变或重排任何过程或方法步骤的次序和顺序。

[0030] 可以不背离其实质而进行许多其它的改变或修改。根据随附的权利要求书,这些或其他改变的范围将变得显而易见。

[0031] 部件列表——明细表 No. 214038MG

[0032] 图 1

[0033]

10	磁体组件
12	超导磁体

14	梯度线圈组件
16	射频线圈
18	患者容积或空间
20	患者膻管
22	中心轴
24	低温封装
26	暖膻
28	磁体容器 / 低温保持器容器

[0034] 图 2

[0035]

14	梯度线圈组件
30	内梯度线圈组件或绕组
32	外梯度线圈组件或绕组
34	轴
36	内、外梯度线圈组件之间的容积或空间
38	终端环
40	终端环

[0036] 图 3

[0037]

50	梯度线圈组件
52	内梯度线圈组件
54	外梯度线圈组件
56	结合材料
58	Y 梯度屏蔽线圈
60	绝缘层

62	X 梯度屏蔽线圈
64	Z 梯度屏蔽线圈
66	Z 梯度主线圈
68	密封层
70	Y 梯度主线圈
72	密封层
74	X 梯度主线圈
76	凹槽或匝间空间
78	凹槽或匝间空间

[0038] 图 4
[0039]

50	梯度线圈组件
52	内梯度线圈组件
54	外梯度线圈组件
56	结合材料
58	Y 梯度屏蔽线圈
60	绝缘层
62	X 梯度屏蔽线圈
64	Z 梯度屏蔽线圈
66	Z 梯度主线圈
70	Y 梯度主线圈
74	X 梯度主线圈
76	凹槽或匝间空间
78	凹槽或匝间空间

82	一个(或多个)冷却管
84	一个(或多个)冷却管

[0040] 图 5

[0041]

140	入口歧管位置
142	出口歧管位置
146	X 梯度主线圈

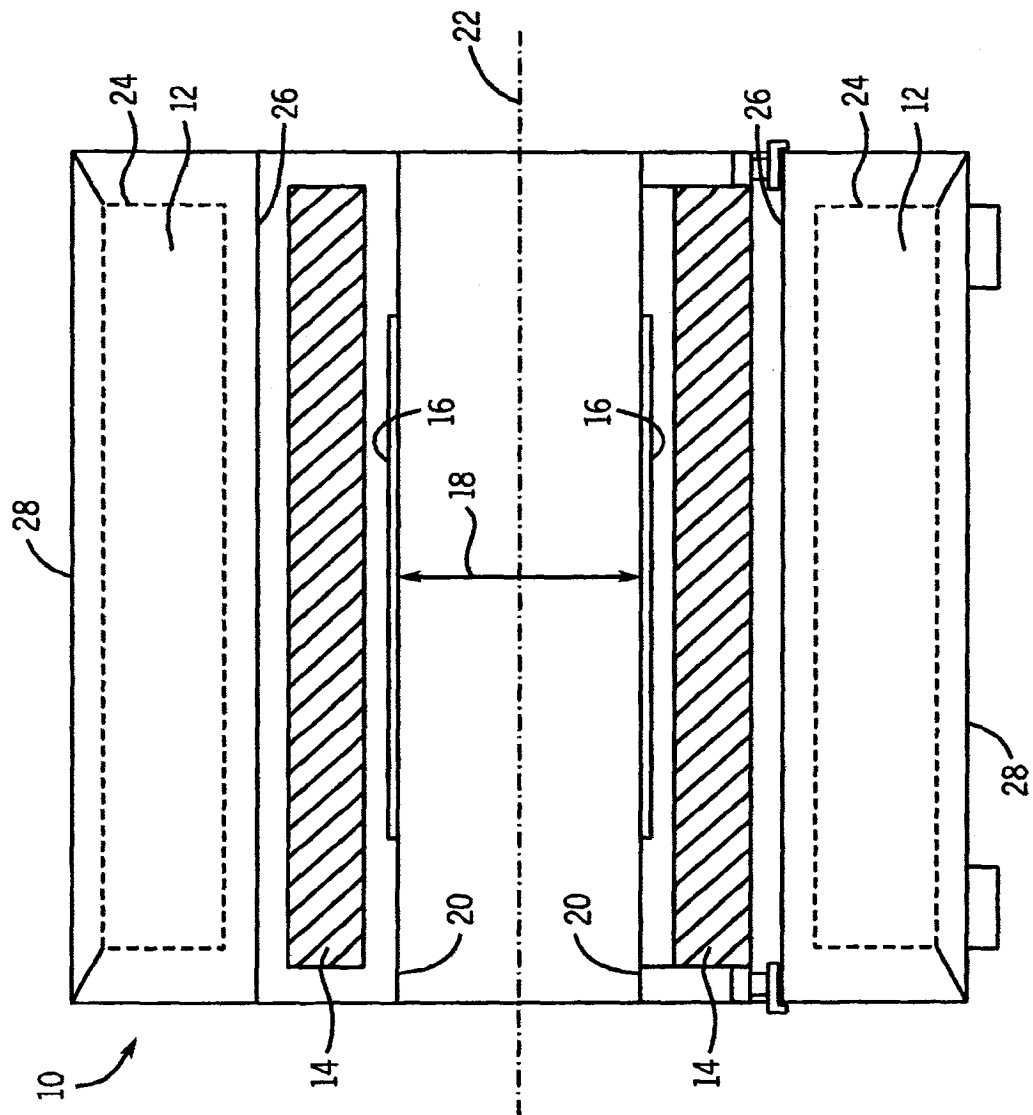


图 1

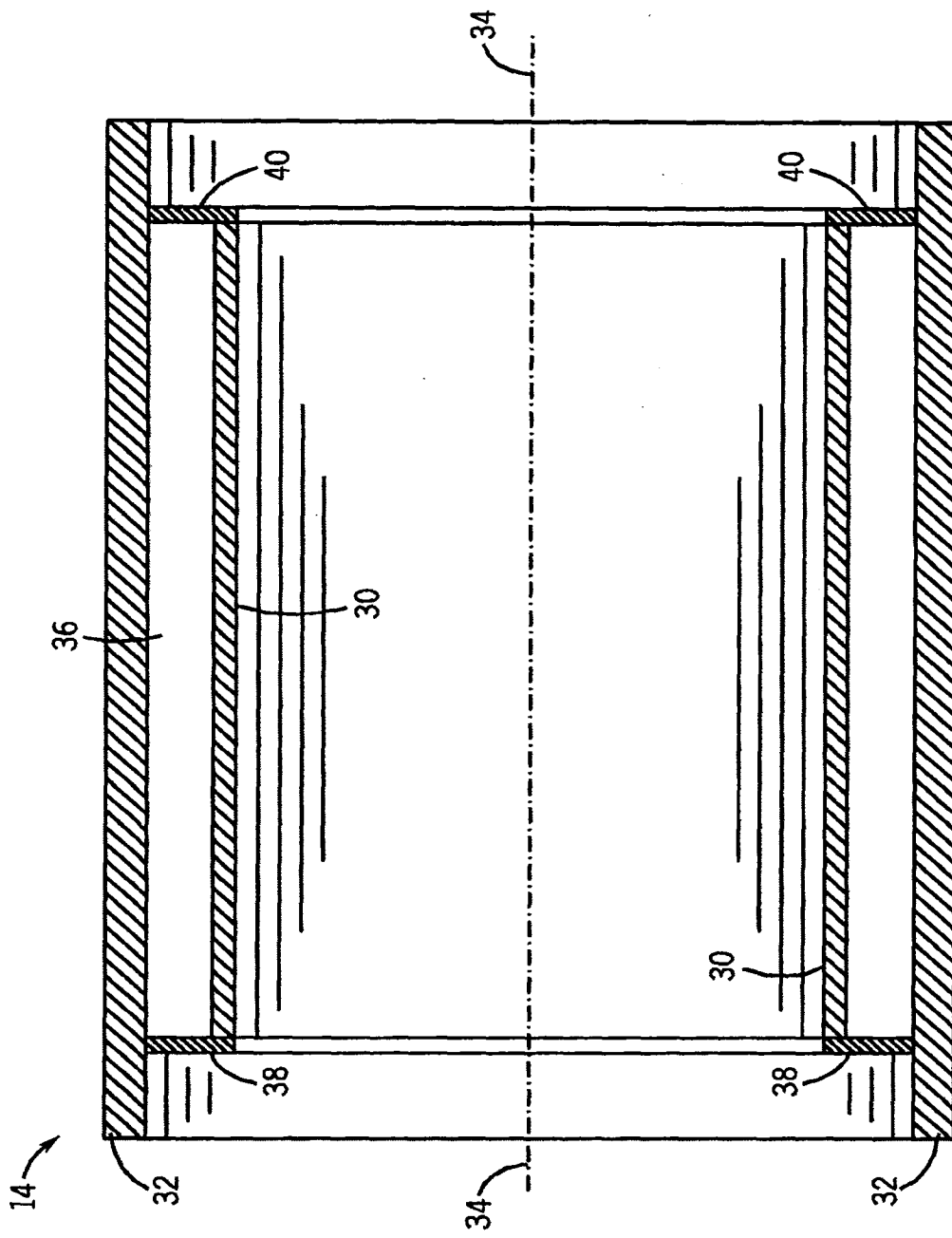


图 2

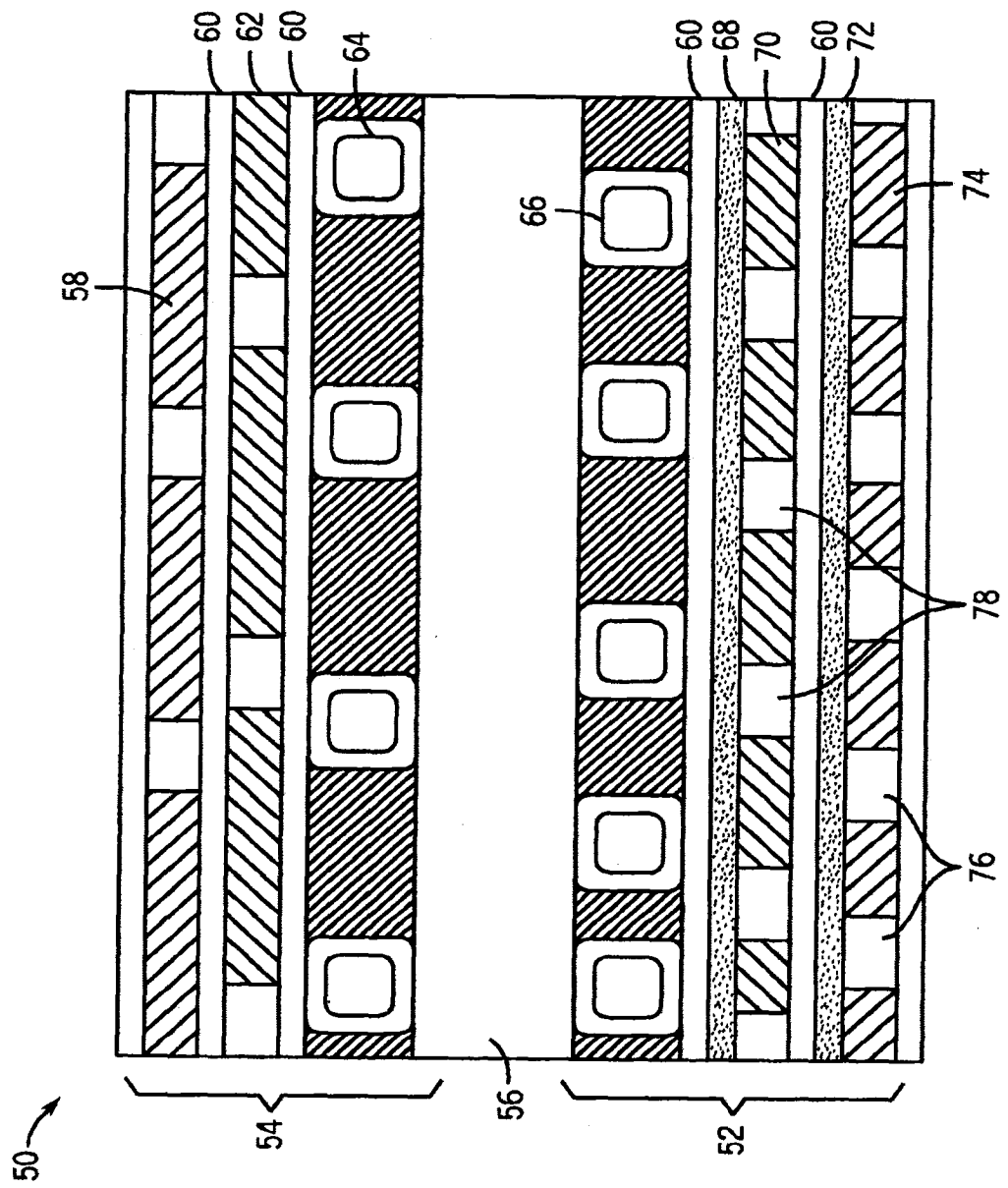


图 3

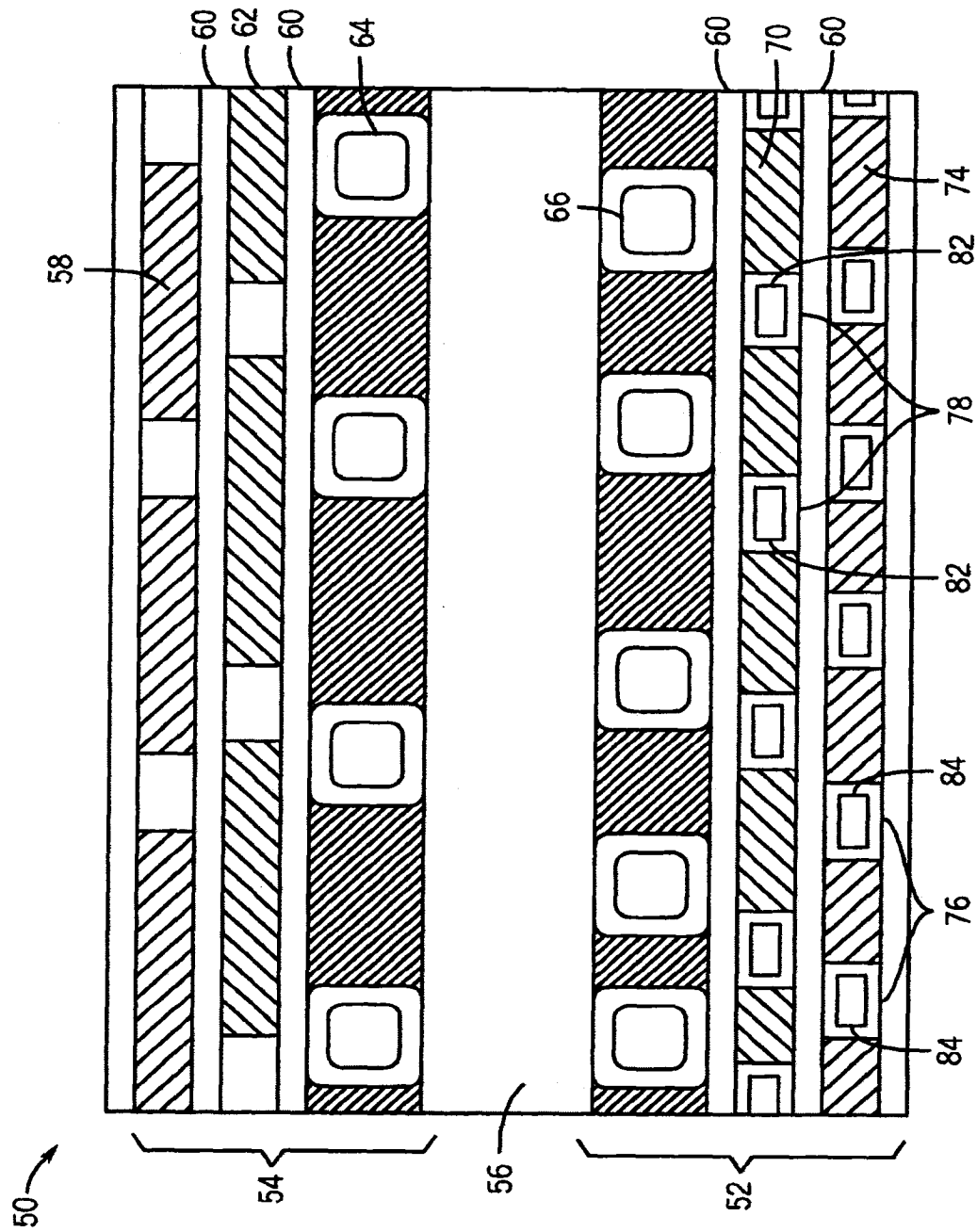


图 4

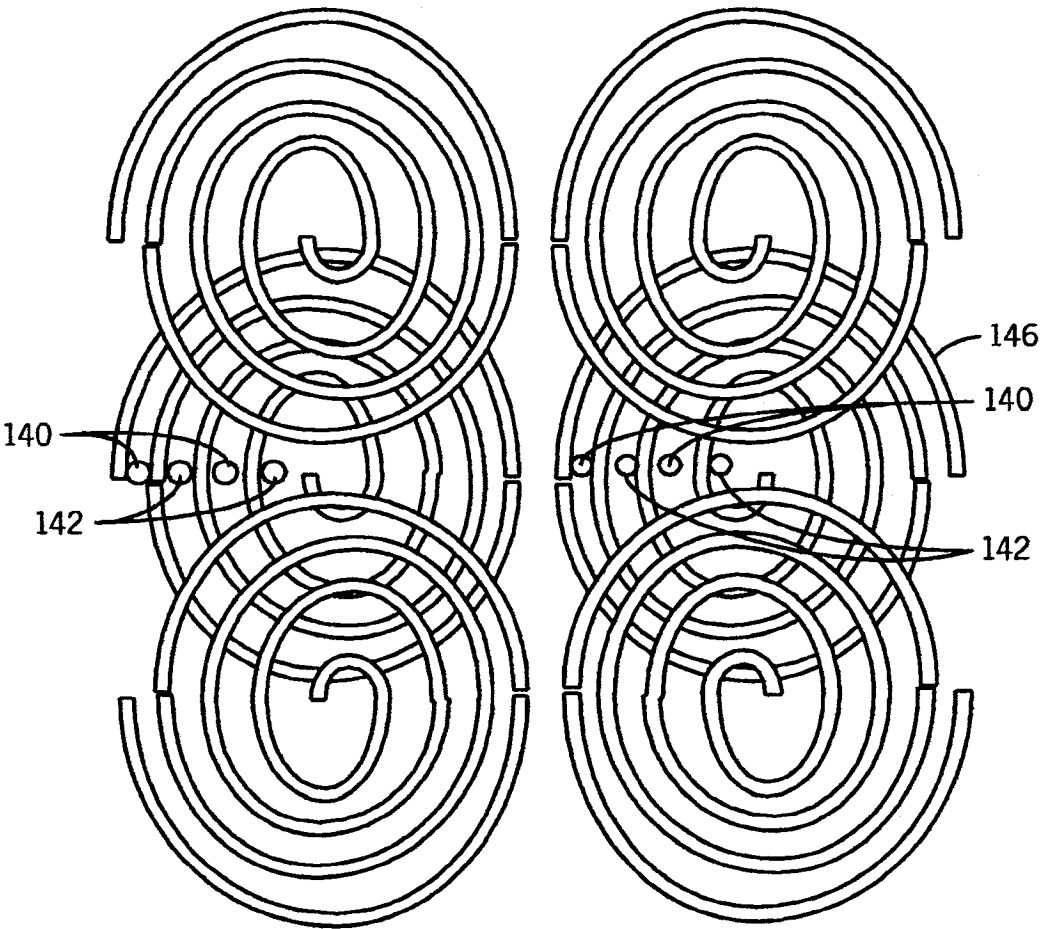


图 5