(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 112083365 B
(45)授权公告日 2023.06.27

(21)申请号 202010767527.2
(22)申请日 2015.09.04
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112083365 A
(43)申请公布日 2020.12.15
(30)优先权数据
62/046,814 2014.09.05 US
62/110,049 2015.01.30 US
62/111,320 2015.02.03 US
62/174,666 2015.06.12 US
(62)分案原申请数据
201580054097.7 2015.09.04
(73)专利权人 海珀菲纳股份有限公司
地址 美国康涅狄格州
(72)发明人 乔纳森·M·罗思伯格
马修·斯科特·罗森
格雷戈里·L·哈尔瓦特
威廉姆·J·米莱斯基
托德·雷亚里克
迈克尔·斯蒂芬·普尔
基思·G·菲费
(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事务所(普通合伙) 11277
专利代理师 刘新宇
(51)Int.Cl.
G01R 33/381(2006.01)
G01R 33/385(2006.01)
G01R 33/48(2006.01)
G01R 33/565(2006.01)
(56)对比文件
CN 101158714 A,2008.04.09
CN 103913712 A,2014.07.09
CN 102652027 A,2012.08.29
CN 101088020 A,2007.12.12
CN 102667517 A,2012.09.12
倪志鹏等.短腔、自屏蔽磁共振成像超导磁体系统的混合优化设计方法.《物理学报》.2013,(第02期),
审查员 姜浩

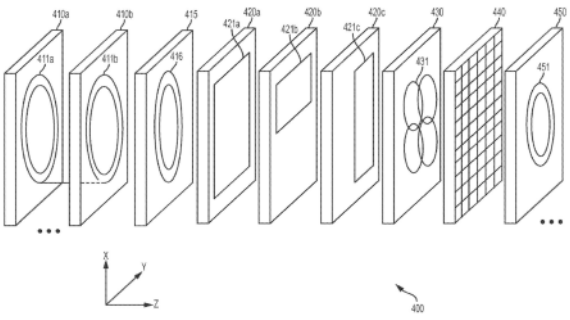
权利要求书3页 说明书40页 附图34页

(54)发明名称

低场磁共振成像方法和设备

(57)摘要

提供了一种层压板及其制造方法以及低场磁共振成像系统。所述层压板包括:多个层压层,多个层压层中的每一个包括:至少一个非导电层;和至少一个导电层,至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像(MRI)的磁性部件的至少一部分,所述多个层压层包括:至少一个第一层压层;至少一个第二层压层;至少一个第三层压层;以及在多个层压层之间的多个电连接,多个电连接包括穿过层压板的多个层压层设置的通孔。



CN 112083365 B

1.一种层压板,包括:

多个层压层,所述多个层压层中的每一个包括:至少一个非导电层;和至少一个导电层,所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像的磁性部件的至少一部分,所述多个层压层包括:

至少一个第一层压层,在所述至少一个第一层压层上图案化有x梯度线圈,所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在x方向上的空间编码;

至少一个第二层压层,在所述至少一个第二层压层上图案化有y梯度线圈,所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在y方向上的空间编码;

至少一个第三层压层,在所述至少一个第三层压层上图案化有z梯度线圈,所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在z方向上的空间编码;以及

在所述多个层压层之间的多个电连接,所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

2.根据权利要求1所述的层压板,其中,所述层压板不包括仅穿过所述多个层压层的子集设置的过孔。

3.根据权利要求1所述的层压板,其中,所述多个层压层包括顶部层压层、底部层压层和多个中间层压层,并且其中,所述多个电连接包括穿过所述顶部层压层、所述底部层压层和所述多个中间层压层中的每一个设置的通孔。

4.根据权利要求1所述的层压板,还包括至少一个第四层压层,在所述至少一个第四层压层上图案化有B_0线圈的至少一部分,所述B_0线圈被配置成有助于适用于低场磁共振成像的B_0磁场。

5.根据权利要求1所述的层压板,其中,所述通孔中的至少一个是电镀通孔。

6.根据权利要求1所述的层压板,其中,所述通孔中的至少一个是管脚过孔。

7.根据权利要求1所述的层压板,其中,选择所述通孔中的至少一个的位置,以使对B_0磁场的均匀度的影响最小化以及/或者使所述x梯度线圈、所述y梯度线圈和/或所述z梯度线圈在通电时的一个或更多个电特性最优化。

8.一种低场磁共振成像系统,包括:

B_0磁体,所述B_0磁体被配置成生成磁场以有助于用于所述磁共振成像系统的B_0磁场;

包括多个层压层的至少一个层压板,所述多个层压层中的每一个包括:至少一个非导电层;和至少一个导电层,所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像的磁性部件的至少一部分,所述多个层压层包括:

至少一个第一层压层,在所述至少一个第一层压层上图案化有x梯度线圈,所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在x方向上的空间编码;

至少一个第二层压层,在所述至少一个第二层压层上图案化有y梯度线圈,所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在y方向上的空间编码;

至少一个第三层压层，在所述至少一个第三层压层上图案化有z梯度线圈，所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在z方向上的空间编码；以及

在所述多个层压层之间的多个电连接，所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

9.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，其中，所述层压板不包括仅穿过所述多个层压层的子集设置的过孔。

10.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，其中，所述多个层压层包括顶部层压层、底部层压层和多个中间层压层，并且其中，所述多个电连接包括穿过所述顶部层压层、所述底部层压层和所述多个中间层压层中的每一个设置的通孔。

11.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，还包括至少一个第四层压层，在所述至少一个第四层压层上图案化有B_0线圈的至少一部分，所述B_0线圈被配置成有助于所述B_0磁场。

12.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，其中，所述通孔中的至少一个是电镀通孔。

13.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，其中，所述通孔中的至少一个是管脚过孔。

14.根据权利要求8所述的低场磁共振成像系统，其中，选择所述通孔中的至少一个的位置，以使对所述B_0磁场的均匀度的影响最小化以及/或者使所述x梯度线圈、所述y梯度线圈和/或所述z梯度线圈在通电时的一个或更多个电特性最优化。

15.一种制造层压板的方法，所述层压板包括多个层压层，所述多个层压层中的每一个包括：至少一个非导电层；和至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像的磁性部件的至少一部分，所述方法包括：

在至少一个第一层压层上图案化x梯度线圈，所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在x方向上的空间编码；

在至少一个第二层压层上图案化y梯度线圈，所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在y方向上的空间编码；

在至少一个第三层压层上图案化z梯度线圈，所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振信号在z方向上的空间编码；以及

在所述多个层压层之间形成多个电连接，所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

16.根据权利要求15所述的方法，还包括在至少一个第四层压层上图案化B_0线圈的至少一部分，所述B_0线圈被配置成有助于适用于低场磁共振成像系统的B_0磁场。

17.根据权利要求15所述的方法，其中，形成所述多个电连接包括：钻通所述多个层压层以形成多个通孔；以及电镀所述多个通孔以形成多个电镀通孔。

18.根据权利要求15所述的方法，其中，形成所述多个电连接包括：钻通所述多个层压层以形成多个通孔；以及将管脚插入所述多个通孔中以形成多个管脚过孔。

19.根据权利要求15所述的方法，还包括选择所述通孔中的至少一个的位置，以使对B_0磁场的均匀度的影响最小化以及/或者使所述x梯度线圈、所述y梯度线圈和/或所述z梯度

线圈在通电时的一个或更多个电特性最优化。

低场磁共振成像方法和设备

[0001] 本发明申请是申请日为2015年9月4日，并于2017年4月5日进入中国国家阶段的发明名称为“低场磁共振成像方法和设备”的第201580054097.7号发明专利申请的分案申请。

背景技术

[0002] 磁共振成像(MRI)为许多应用提供了重要的成像模态，并且广泛用于临床和研究环境中以产生人体内部的图像。作为一般性，MRI基于检测磁共振(MR)信号，磁共振(MR)信号是响应于由施加的电磁场导致的状态变化而由原子发射的电磁波。例如，核磁共振(NMR)技术包括：在正被成像的对象中的原子(例如人体组织中的原子)的核自旋的重新排列或弛豫时，检测从激发的原子的核发射的MR信号。检测的MR信号可以被处理以产生图像，这在医学应用的背景下允许对身体内的内部结构和/或生物过程进行调查以用于诊断、治疗和/或研究目的。

[0003] MRI由于在没有其他模态的安全性考虑(例如不需要使受试者暴露于电离辐射例如x射线或将放射性物质引入身体)的情况下产生具有相对高分辨率和对比度的非侵入性图像的能力而为生物成像提供了吸引人的成像模态。另外，MRI特别好地适合于提供软组织对比，其可以用于对其他成像模态不能令人满意地成像的主题进行成像。此外，MR技术能够捕获关于其他模态不能获取的结构和/或生物过程的信息。然而，常规MRI技术存在许多缺点，对于给定的成像应用，缺点可以包括设备的相对高的成本、有限的可用性(例如获得对临床MRI扫描仪的访问的难度和费用)、图像采集过程的长度等。

[0004] 临床MRI的趋势是增加MRI扫描仪的磁场强度，以改善扫描时间、图像分辨率和图像对比度中的一个或更多个，这反而抬高了MRI成像的成本。绝大多数安装的MRI扫描仪使用至少1.5或3特斯拉(T)进行操作，这指的是扫描仪的主磁场B_0的磁场强度。临床MRI扫描仪的粗略成本估计为大约每特斯拉一百万美元，其甚至不考虑操作这样的MRI扫描仪所涉及的实质性操作成本、服务成本和维护成本。

[0005] 另外，常规高场MRI系统通常需要大的超导磁体和相关联的电子器件，以生成对象(例如患者)在其中成像的强均匀静磁场(B_0)。超导磁体还需要低温设备来保持导体处于超导状态。这样的系统的尺寸是相当大的，其中，典型的MRI设备包括用于磁性部件、电子器件、热管理系统和控制台区域的多个房间，包括用于隔离MRI系统的磁性部件的特殊屏蔽室。MRI系统的尺寸和费用通常限制它们对诸如医院和学术研究中心的设施的使用，这些设施具有足够的空间和资源来购买和维护它们。高场MRI系统的高成本和大量空间需求导致MRI扫描仪的可用性有限。因此，常常存在以下临床状况：MRI扫描将是有益的，但是由于上述限制以及如下面进一步详细讨论的而不切实际或不可行。

发明内容

[0006] 发明人已经认识到，可以利用层压技术来生产其中制造有一个或更多个磁性部件或其一部分的层压板。这样的层压板可以单独使用，与一个或更多个另外的层压板结合使用和/或与其他磁性部件组合使用，以便于提供用于磁共振成像(MRI)的(一个或多个)磁

场。一些实施方式包括层压板，该层压板包括至少一个层压层，所述至少一个层压层包括至少一个非导电层和至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成B_0线圈的至少一部分，该B_0线圈被配置成有助于适用于低场MRI的B_0场。

[0007] 一些实施方式包括：混合磁性部件，其包括至少一个B_0线圈，所述至少一个B_0线圈由缠绕导体形成并且被配置成有助于适用于低场磁共振成像的B_0场；以及至少一个层压板，所述至少一个层压板包括多个层压层，所述多个层压层具有在其上被图案化的至少一个B_0线圈或其一部分和/或至少一个梯度线圈或其一部分。

[0008] 一些实施方式包括用于制造低场磁共振成像系统的层压板的方法，该方法包括：提供至少一个非导电层；提供至少一个导电层；将至少一个非导电层和至少一个导电层进行附接以形成至少一个层压层；以及对至少一个导电层进行图案化以形成B_0线圈的至少一部分，该B_0线圈被配置成有助于适于用于低场磁共振成像(MRI)的B_0场。

[0009] 一些实施方式包括低场磁共振成像(MRI)系统，该系统包括：第一层压板，其上形成有至少一个第一磁性部件；第二层压板，其上形成有至少一个第二磁性部件；以及至少一个电源，被配置成提供电力以操作至少一个第一磁性部件和至少一个第二磁性部件，其中，至少一个第一磁性部件和至少一个第二磁性部件在操作时生成适合于低场MRI的至少一个磁场。

[0010] 根据本申请的一个方面，提供了一种层压板，包括：多个层压层，所述多个层压层中的每一个包括：至少一个非导电层；和至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像(MRI)的磁性部件的至少一部分，所述多个层压层包括：至少一个第一层压层，在所述至少一个第一层压层上图案化有x梯度线圈，所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在x方向上的空间编码；至少一个第二层压层，在所述至少一个第二层压层上图案化有y梯度线圈，所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的MR信号在y方向上的空间编码；至少一个第三层压层，在所述至少一个第三层压层上图案化有z梯度线圈，所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在z方向上的空间编码；以及在所述多个层压层之间的多个电连接，所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

[0011] 根据本申请的另一方面，提供了一种一种低场磁共振成像系统，包括：B_0磁体，所述B_0磁体被配置成生成磁场以有助于用于所述磁共振成像系统的B_0磁场；包括多个层压层的至少一个层压板，所述多个层压层中的每一个包括：至少一个非导电层；和至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像(MRI)的磁性部件的至少一部分，所述多个层压层包括：至少一个第一层压层，在所述至少一个第一层压层上图案化有x梯度线圈，所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在x方向上的空间编码；至少一个第二层压层，在所述至少一个第二层压层上图案化有y梯度线圈，所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的MR信号在y方向上的空间编码；至少一个第三层压层，在所述至少一个第三层压层上图案化有z梯度线圈，所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在z方向上的空间编码；以及在所述多个层压层之间的多个电连接，所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

[0012] 根据本申请的另一方面，提供了一种一种制造层压板的方法，所述层压板包括多个层压层，所述多个层压层中的每一个包括：至少一个非导电层；和至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成用于低场磁共振成像(MRI)的磁性部件的至少一部分，所述方法包括：在至少一个第一层压层上图案化x梯度线圈，所述x梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在x方向上的空间编码；在至少一个第二层压层上图案化y梯度线圈，所述y梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的MR信号在y方向上的空间编码；在至少一个第三层压层上图案化z梯度线圈，所述z梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号在z方向上的空间编码；以及在所述多个层压层之间形成多个电连接，所述多个电连接包括穿过所述层压板的所述多个层压层设置的通孔。

附图说明

[0013] 将参照以下附图来描述所公开的技术的各个方面和实施方式。应当理解，附图不一定按比例来绘制。

[0014] 图1是使用双平面磁体配置的低场MRI系统的示意图；

[0015] 图2A至图2C是根据一些实施方式的用于生产层压板的单层和多层层压技术的示意图；

[0016] 图3A示出了使用铜作为在其上被图案化的导电迹线(conductive trace)的材料的层压层的示例部分；

[0017] 图3B示出了使用铝作为在其上被图案化的导电迹线的材料的层压层的示例部分；

[0018] 图4示出了根据一些实施方式的形成在多层层压板的层上的低场MRI系统的示例磁性部件的分解图；

[0019] 图5示出了根据一些实施方式的集成B_0磁体的层压板的示例性层；

[0020] 图6A和图6B示出了根据一些实施方式的用于在层压板的层压层上图案化多个线圈的示例性技术；

[0021] 图7A至图7C示出了根据一些实施方式的形成在多层层压板的至少一个层上的B_0线圈的螺旋设计；

[0022] 图8A至图8C示出了根据一些实施方式的形成在多层层压板的至少一个层上的B_0线圈的圆形设计；

[0023] 图9A至图9C分别示出了根据一些实施方式的x梯度、y梯度线圈和z梯度线圈的示例性配置；

[0024] 图10示出了根据一些实施方式的集成B_0磁体和梯度线圈的层压板的示例性层；

[0025] 图11A和图11B示出了根据一些实施方式的可以使用本文中所讨论的层压技术制造的示例性线圈；

[0026] 图12示出了根据一些实施方式的使用本文中所描述的技术形成的层压板的基于螺线管的线圈配置；

[0027] 图13示出了根据一些实施方式的低场MRI系统的示例性部件的框图；

[0028] 图14A至图14D示出了根据一些实施方式的B_0磁体的混合设计；

[0029] 图15A至图15C示出了根据一些实施方式的使用本文中所描述的技术形成的层压

板的示例性配置；

[0030] 图16是根据一些实施方式的低场MRI系统的部件的示意性框图；

[0031] 图17示出了根据一些实施方式的热管理部件；

[0032] 图18是与一些实施方式一起使用的RF信号链的框图；

[0033] 图19A和图19B示出了根据一些实施方式的使用层压板的低场MRI系统的坐置系统配置；

[0034] 图20A至图20C示出了根据一些实施方式的使用层压板的低场MRI系统的倾斜系统配置；

[0035] 图21A至图21G示出了根据一些实施方式的使用层压板的低场MRI系统的便携式可变形系统配置；以及

[0036] 图22A至图22C示出了根据一些实施方式的合并低场MRI磁性部件的示例性头盔。

具体实施方式

[0037] MRI扫描仪市场绝大多数由高场系统主导，并且专门用于医疗或临床MRI应用。如上所述，医学成像的一般趋势是产生具有越来越大的磁场强度的MRI扫描仪，其中，绝大多数临床MRI扫描仪在1.5T或3T下操作，而在研究环境中使用7T和9T的较高的磁场强度。如本文所使用的，“高场”通常指的是目前在临床环境中使用的MRI系统，并且更具体地指的是在处于或高于1.5T的主磁场(即B_0场)下操作的MRI系统，但在0.5T与1.5T之间操作的临床系统通常也被认为是“高场”。相比之下，“低场”通常指的是在小于或等于约0.2T的B_0场下操作的MRI系统。

[0038] 与低场系统相比，高场MRI系统的吸引力包括分辨率改进和/或扫描次数减少，从而促进对于临床和医学MRI应用的越来越高的场强度的推动。然而，如上所述，增加MRI系统的磁场强度产生越来越昂贵和复杂的MRI扫描仪，因此限制了可用性并且阻止它们用作通用和/或通常可用的成像解决方案。如上所述，对高场MRI的高成本的促进因素是昂贵的超导导线和将导线保持在超导状态所需要的低温冷却系统。例如，用于高场MRI系统的B_0磁体经常使用超导线，其本身不仅昂贵，而且需要昂贵和复杂的低温设备来维持超导状态。

[0039] 在用于非成像研究目的和狭窄且特定的对比度增强的成像应用的有限背景中探索低场MRI，但是常规上认为低场MRI不适合于产生临床上有用的图像。例如，分辨率、对比度和/或图像采集时间通常不被认为适合于临床目的，例如但不限于组织分化、血流或灌注成像、扩散加权(DW)或扩散张量(DT)成像、功能MRI(fMRI)等。

[0040] 发明人已经开发了用于生产质量改进的便携式和/或低成本低场MRI系统的技术，其可以改善MRI技术在医院和研究设施处的大型MRI设备之外的各种环境中的大规模可部署性。发明人的贡献的一些方面源自他们的认识：有助于高场和低场MRI两者的成本和复杂度的重要因素是产生能够用于成像应用的MR信号所需要的磁性部件。

[0041] 简言之，MRI包括将要成像的对象(例如患者的全身或一部分)置于静态的均匀磁场B_0中，以在B_0场的方向上与原子的原子自旋对准。对于高场MRI系统，通常需要由超导导线的线圈制成的超导磁体以在高场MRI中采用的磁场强度下实现B_0的均匀度。不仅超导磁体本身是昂贵的，而且它们通常在操作期间需要低温冷却，从而增加了高场MRI扫描仪的成本和复杂度。除了B_0磁性部件之外，还提供梯度线圈以对来自对象的MR信号进行空间编码，并

且提供发射线圈和接收线圈以生成与磁场B_0的磁场强度相关的频率的磁场B_1，以引起原子自旋以改变取向并且在原子自旋与磁场B_0重新对准时分别检测从对象发射的MR信号。在高的磁场强度和相关联的高频下，这些磁性部件也相对复杂和昂贵。

[0042] (一个或多个)发明人已经认识到，低场MRI系统不需要昂贵的超导磁体和/或相关联的低温冷却系统，并且磁场强度减小可以便于降低系统中的其他磁性部件的复杂度和/或成本。为此，如下面进一步详细讨论的，一些实施方式涉及基本上具有较不复杂和昂贵的磁性部件的低场MRI系统。然而，产生这样的磁性部件并且制造适合于使用用于这样做的常规技术来执行低场MRI而比高场MRI明显更不复杂和昂贵的系统仍然可能存在增加复杂度和费用的技术挑战。例如，使用常规技术构造B_0磁体通常需要根据精确的设计规格围绕框架缠绕大量的高等级铜线以产生能够在期望的磁场强度下产生令人满意的均匀度的磁场的线圈，该过程相对耗时、昂贵、易受生产偏差的影响，并且通常不能很好地扩展。如下面进一步详细讨论的，B_0磁体的对准和与其他磁性部件的对准会产生另外的问题。

[0043] (一个或多个)发明人已经认识到，在一些方面与在生产印刷电路板中使用的那些类似的层压技术可以用于制造低场MRI扫描仪的一个或更多个磁性部件(或一个或更多个磁性部件的一部分)。根据一些实施方式，用于低场MRI的一个或更多个磁性部件(或一个或更多个磁场部件的一部分)被设置为包括一个或更多个非导电层和一个或更多个导电层的层压板，一个或更多个导电层被图案化以形成一个或更多个磁性部件或一个或更多个磁场部件的一部分的部分。术语“层压制品”在本文中是指多个叠置的层，通常包括至少一个或更多个非导电层和一个或更多个导电层。除非另有说明，否则术语“层压制品”对所使用的材料类型是通用的，并且指示将多个层固定在一起，但是没有指定用于生产这些层的任何特定材料类型或材料布置。术语“面板”通常描述由多个层压层的层压产生的结构，并且可以是任何形状或尺寸，并且可以包括任何数量的层。

[0044] 根据一些实施方式，如下面进一步详细讨论的，一个或更多个B_0线圈、一个或更多个梯度线圈、一个或更多个发射/接收线圈和/或一个或更多个垫片线圈或其任何期望的部分或组合可以被制造在单个层压板上，或者分布在多个层压板之间。利用层压技术可以促进用于生产低场MRI磁性部件的成本有效的、可扩展的、灵活的、可重复的和/或可定制的方法。此外，发明人已经认识到，使用层压技术能够实现的精度允许设计和制造使用用于制造或生产MRI系统的磁性部件的常规技术不可能的几何形状、配置和布置。

[0045] 以下是对与用于低场磁共振应用(包括低场MRI)的方法和设备相关的各种概念以及用于低场磁共振应用(包括低场MRI)的方法和设备的实施方式的更详细的描述。应当理解，本文中所描述的各个方面可以以许多方式中的任何方式来实现。仅出于说明的目的，本文提供了特定实现的示例。另外，以下实施方式中描述的各个方面可以单独使用或以任何组合使用，并且不限于本文中明确描述的组合。

[0046] 如上所述，(一个或多个)发明人已经开发了解决与高场MRI系统相关联的一个或更多个问题的低场MRI系统。例如，可以在不使用超导磁体并且因此不使用相关联的低温冷却设备的情况下实现示例性低场MRI系统，从而显著降低所得到的MRI系统的成本、复杂度和尺寸。为了产生具有适合于高场MRI的磁场强度和磁场均匀度的B_0场，使用由超导材料形成的螺线管线圈，其中，所生成的B_0场在通过螺线管的中心的轴线的方向上。因此，对患者进行成像需要将患者置于螺线管线圈内部。虽然螺线管线圈特别适合于在高的磁场强度下

生成均匀场，但是这种几何形状不仅增加了设备的尺寸，而且需要将要成像的患者置于圆柱形孔中。因此，这种几何形状可能不适合患有幽闭恐惧症的患者，并且可能不能容纳大的患者。因此，产生用于高场MRI的合适的B_0磁体通常所需要的螺线管线圈几何形状还具有阻止高场MRI成为实用且可用的通用成像器的限制。

[0047] 发明人已经认识到，低场MRI的特性允许不适合于高场MRI的交替(alternate)线圈几何形状被用于生成适合于低场MRI的B_0场。图1示意性地示出了根据一些实施方式的低场MRI系统100的一部分，其包括可以用来生成适合于低场MRI成像的B_0场的双平面磁体几何形状。该双平面磁体包括两个外部线圈110a和110b以及两个内部线圈112a和112b。当对线圈施加适当的电流时，沿箭头所指示的方向生成磁场，以产生在线圈之间具有视场的B_0场，当被适当地设计和构造时，可以适用于低场MRI。

[0048] 应当理解，图1所示的双平面几何形状由于难以获得用于高场MRI的具有足够均匀度的B_0场而通常不适合于高场MRI。图1所示的双平面B_0磁体提供了通常开放的几何形状，从而便于可能拒绝使用常规高场螺线管线圈几何形状进行成像的患有幽闭恐惧症的患者使用。此外，由于其开放设计，并且在一些情况下，由于在低的磁场强度和均匀度下可能通常更大的视场，双平面设计可以便于更大的患者使用。

[0049] 然而，尽管图1所示的双平面B_0磁体提供了比高场MRI可能的情况更不复杂且成本更低的B_0磁体，但是线圈110a、110b、112a和112b的生产通常是相对耗时和灵敏的过程，其通常包括围绕支承框架重复缠绕铜线以根据给定线圈组的特定设计产生多个匝。为了产生用于低场MRI的合适的B_0场，通常使用总体高质量的导体(例如具有高等级绝缘的粗铜线)来支持生成期望的B_0场所需要的相对大的电流。必须注意确保导体的每个匝被精确地并且适当地对准以生成具有期望的均匀度的B_0场。如图1所示，双平面磁体中的外部线圈的示例性直径可以是220cm，其中，典型的匝数为大约50匝或更多，从而需要大量的导体材料(例如用于双平面磁体的每一侧的大于一千米的总体高等级的导线)，其必须在多个匝上精确地对准地缠绕。

[0050] 另外，一对中的每个线圈(例如线圈110a、110b和线圈112a、112b)应当被制造成与该对中的其对应的线圈基本上相同，以避免一旦线圈被通电所得到的B_0场的均匀度劣化。此外，双平面磁体的每一侧上的线圈(例如线圈110a、112a和线圈110b、112b)也必须仔细地定位和对准，以降低所得到的B_0场中的不均匀度。因此，使用常规构造技术制造和安装这样的线圈以产生用于低场MRI的足够均匀的B_0场趋于相对昂贵、时间密集且容易出错。

[0051] 如上所述，(一个或多个)发明人已经认识到，代替上述常规制造技术(或与其相结合)，可以使用层压技术来制造用于低场MRI的B_0磁体或其一部分。特别地，发明人已经认识到并理解，B_0磁性部件的低场特性允许使用先前不能用于生产用于MRI的B_0磁体的技术来制造B_0磁性部件或其一部分。例如，除了其他原因之外，发明人已经认识到，低场MRI的较低功率需求和/或减少的热输出允许使用在高场背景下不可用的层压技术来生产磁性部件。

[0052] 根据一些实施方式，层压板包括至少一个导电层，所述至少一个导电层被图案化以形成一个或更多个B_0线圈或者一个或更多个B_0线圈的一部分，所述一个或更多个B_0线圈或者一个或更多个B_0线圈的一部分能够产生或有助于适合于低场MRI的B_0磁场。如本文中所使用的，B_0线圈在本文中是指提供或有助于B_0磁场的任何线圈，并且可以包括一个或更多个主线圈B_0或其一部分、一个或更多个垫片线圈或其一部分、一个或更多个校正线圈或其一

部分等。

[0053] 层压板可以包括多个同心线圈以形成图1所示的一对双平面B_0线圈的一“侧”。第二层压板可以类似地被构造成合并用于双平面设计中的视场的另一“侧”的B_0线圈。以这种方式,可以使用层压板技术来构造用于生成用于低场MRI系统的B_0场的磁性部件。

[0054] 如下面进一步详细讨论的,使用层压技术来制造一个或更多个B_0线圈(或其一部分)可以解决在制造用于低场MRI的B_0磁体中的上述缺点中的一个或更多个。例如,B_0场均匀度对相应线圈的参数中的相对小的变化非常敏感。特别地,线圈绕组中的小变化、各种线圈的位置和对准等导致所产生的B_0场的场不均匀度。因此,可能难以生产能够生成具有适合于在通常可重复和低成本工艺中执行低场MRI的场均匀度的B_0场的B_0磁体。特别地,再次生产这样的B_0磁体可能是困难的,因为常规制造技术本身不适合可重复的可靠生产,因此不能很好地扩展,从而限制了以时间和/或成本有效的方式生产大量令人满意的B_0磁体的能力。如下面进一步详细讨论的,层压技术能够比使用常规技术可行的更准确和精确地生产磁性部件,从而促进用于生产磁性部件的灵活的可重复的且高度可扩展的技术。

[0055] 图1还示意性地示出了一对平面梯度线圈组120a、120b以生成磁场,以便于对所示的低场MRI系统的部分进行相位和频率编码。如上所述,MRI系统通过使用梯度线圈以已知方式系统地改变B_0场来对所接收的MR信号进行编码,以将所接收的MR信号的空间位置编码为频率或相位的函数。例如,梯度线圈可以被配置成作为沿着特定方向的空间位置的线性函数而改变频率或相位,但是也可以通过使用非线性梯度线圈来提供更复杂的空间编码分布。例如,第一梯度线圈可以被配置成在第一(X)方向上选择性地改变B_0场以在该方向上执行频率编码,第二梯度线圈可以被配置成在基本上正交于第一方向的第二(Y)方向上选择性地改变B_0场以执行相位编码,并且第三梯度线圈可以被配置成在基本上正交于第一方向和第二方向的第三(Z)方向上选择性地改变B_0场以使得能够对容积成像应用进行切片选择。

[0056] 梯度线圈被设计成与特定B_0磁性部件(例如如图1所示的一个或更多个B_0线圈)一起操作,并且为了令人满意地操作,通常需要相对精确的制造以及随后与B_0磁性部件的对准。发明人已经认识到,使用层压技术来制造一个或更多个梯度线圈(或其一部分)可以促进制造低场MRI系统的磁性部件的更简单的更加成本有效的方法。

[0057] 根据一些实施方式,层压板包括被图案化以形成一个或更多个梯度线圈或者一个或更多个梯度线圈的一部分的至少一个导电层,所述至少一个导电层当在低场MRI设备中操作时能够产生或有助于适合于提供对所检测的MR信号的空间编码的磁场。例如,层压板可以包括一个或更多个导电层,所述一个或更多个导电层被图案化以形成一个或更多个X梯度线圈(或其一部分)、一个或更多个Y梯度线圈(或其一部分)和/或一个或更多个Z梯度线圈(或其一部分)。形成一个或更多个梯度线圈(或其一部分)的层压板可以与相应的B_0磁性部件分离,或者可以形成在同一层压板的一个或更多个层中。关于后者,一个或更多个梯度线圈可以由与一个或更多个B_0线圈(或其一部分)共用(但是电隔离)的导电层形成,或者可以形成在与一个或更多个B_0线圈(或其一部分)分离的一个或更多个导电层中。在层压板中将一个或更多个梯度线圈(或其一部分)与一个或更多个B_0线圈(或其一部分)集成可以促进用于低场MRI的设计和制造磁性部件的更简单更灵活的方法,其进一步方面在下面讨论。

[0058] 如上所述，MRI系统分别使用发射线圈和接收线圈(通常称为射频(RF)线圈)来激发和检测所发射的MR信号。发射/接收线圈的配置随着实现而变化，并且可以包括用于发射和接收两者的单个线圈、用于发射和接收的单独线圈、用于发射和/或接收的多个线圈或者任何组合以实现单通道或并行MRI系统。因此，发射/接收磁性部件通常被称为Tx/Rx或Tx/Rx线圈以通常指代MRI系统的发射和接收部件的各种配置。

[0059] 发明人已经认识到，层压技术还可以用于制造低场MRI系统中的一个或更多个发射/接收线圈。根据一些实施方式，层压板包括被图案化以形成一个或更多个发射和/或接收线圈或者一个或更多个发射和/或接收线圈的一部分的至少一个导电层，所述至少一个导电层被配置成当与磁性部件结合地操作时通过产生B_1激励场(发射)和/或接收所发射的MR信号(接收)来激发MR响应，所述磁性部件被配置成产生用于对所接收的MR信号进行空间编码的B_0场和/或相应的梯度场。如下面进一步详细讨论的，这样的层压板可以分别合并用于执行单通道或并行MRI的单个发射和/或接收线圈(或其一部分)或者多个发射和/或接收线圈(或其一部分)，并且可以形成在单独的层压板中或集成在包含一个或更多个B_0线圈(或其一部分)和/或一个或更多个梯度线圈(或其一部分)的层压板中。

[0060] 低场MRI系统还可以包括另外的磁性部件如一个或更多个垫片线圈，所述一个或更多个垫片线圈被布置成生成下述支持系统的磁场：所述磁场可以例如增加B_0场的强度和/或均匀度、抵消例如通过梯度线圈的操作产生的有害场效应、正被成像的对象的负载效应，或以其他方式支持低场MRI系统的磁性部件。当垫片线圈被操作以有助于MRI系统的B_0场(例如有助于场强度和/或改善均匀度)时，垫片线圈用作系统的B_0线圈，并且应当被这样理解。在一些实现中，如下面进一步详细讨论的，一个或更多个垫片线圈可以独立于系统的其他B_0线圈而进行操作。

[0061] 此外，低场MRI系统还可以包括被布置成抑制环境中和/或部件之间的不期望的电磁辐射的(一个或多个)屏蔽部件。(一个或多个)发明人已经认识到，如下面进一步详细讨论的，可以利用层压技术通过在分离的(一个或多个)层压板中形成这样的部件或将这些部件集成在包含低场MRI系统的其他磁性部件(或其一部分)中的任何一个或组合的层压板中来制造这样的部件，例如一个或更多个垫片线圈(或其一部分)和/或一个或更多个屏蔽部件。

[0062] 如上所述，用于生产包含低场MRI系统的一个或更多个磁性部件的面板、片或“板”的层压技术大体上可以类似于常规用于制造印刷电路板(PCB)和某些有限印刷电子器件的技术，尽管在比例、功率和热需求等方面不同。这样的层压技术通常包括形成材料的非导电层和导电层，并且对(一个或多个)导电和/或非导电层进行图案化(例如通过选择性地去除和/或添加材料)以产生期望的导电图案或“电路”。这样的技术常规用于生产单层和多层PCB，例如以在安装在PCB的表面上的分立部件之间提供电互连，并且在有限范围内也被用于生产某些电子部件。

[0063] 如上所述，由于高场MRI系统的高的磁场强度、显著的功率需求、复杂的低温冷却系统等，层压技术在高场背景下不存在可行的解决方案，并且之前没有预期用于生产用于MRI的磁性部件。然而，(一个或多个)发明人已经认识到，在低场背景下，层压技术可以用于制造低场MRI系统的一个或更多个磁性部件，其示例在下面进一步详细讨论。

[0064] 同样如上所述，使用常规技术(例如一个或更多个缠绕线圈)生产B_0磁体可能是耗

时的过程，并且可能易受由于制造偏差等导致的对准误差和/或不均匀度的影响。然而，发明人已经认识到，用于生产磁性部件的这样的常规技术可以有利地与本文中所描述的层压技术结合使用。例如，使用常规技术制造的一个或更多个B_0线圈可以补充有使用层压技术制造的一个或更多个B_0线圈。下面进一步详细讨论“混合”磁体的一些示例。

[0065] 图2A示意性地示出了包括单个非导电层210和形成在非导电层上的单个导电层212的层压板200。非导电层210(在本文中也称为基片)可以由任何合适的材料形成。例如，基片210可以由用来形成非导电层且便于生产层压板的合适的型芯材料、复合材料、粘合剂和/或层压板中的任何一种或组合形成，包括但不限于FR4、陶瓷、塑料、玻璃、聚酰亚胺、环氧树脂、预浸渍复合纤维(预浸材料(pre-preg))、多功能环氧树脂层压板如92ML或具有合适特性的任何其他(一种或多种)材料或其组合。基片210可以是单层或由多层非导电材料构成，其每个层可以由相同或不同的非导电材料制成。对基片分层允许利用不同材料的有益特性对基片进行构造。基板210可以被构造成具有适合于给定设计的长度、宽度和厚度的任何期望的尺寸。

[0066] 同样，导电层212可以由任何合适的导电材料形成。例如，导电层212可以是薄膜铜或厚膜铜或其他合适的导电材料、厚的或极厚的导电层(例如“极厚铜”)、导电板或能够通过任何合适的技术或工艺(例如通过浸涂、电镀、印刷、模制、粘合、真空浸渍、压制、干粘合或任何其他合适的(一种或多种)技术)形成为非导电基片210上的层压板的任何其他类型的导电层。根据一些实施方式，如下面进一步详细讨论的，铝可以用作导体以利用相关联的成本和重量减少。

[0067] 为了产生期望“电路”，(一个或多个)导电层212可以被图案化以使用各种减成法、加成法和/或半加成法中的任何一种或组合来形成用于低场MRI设备的一个或更多个磁性部件的期望部分的电导体。减成法使用例如各种光刻工艺中的任一种(包括但不限于化学蚀刻、光刻蚀等)从导电层选择性地去除导电材料(例如铜)，留下期望的导电图案，提供期望的导电电路或电路的一部分。通过提供具有期望图案(通常被称为掩模)的光阻材料并将导电层引入相应的蚀刻剂以在未用光阻材料处理的位置中去除导电材料来执行这样的工艺。另一减成法包括研磨除去导电层的不需要的部分，留下期望的导电图案。本文中所述的减成法和/或任何其他合适的方法可以单独使用或以任何组合使用以制造期望的导电图案。

[0068] 加成法可以包括在基片上电镀期望的导电图案或使用导电油墨“印刷”图案。例如，电镀可以包括使掩蔽在期望图案中的光敏膜曝光。然后，可以将经曝光的图案引入化学浴中，以允许图案能够进行金属离子结合，然后使用与在化学浴中敏化的图案结合的导体(例如用铜)进行电镀，以形成期望的导电图案。与减成法技术相比，加成法的优点在于形成期望的导电图案需要更少的导电材料。其他工艺结合减成法和加成法技术两者以形成期望的导电图案。

[0069] 根据一些实施方式，使用层压技术制造的一个或更多个磁性部件可能需要以相对较大的厚度来制造导电层，通常称为“厚铜”(例如5oz/ft^{2}至19oz/ft^2)或“极厚铜”(例如20oz/ft^{2}至200oz/ft^2)，但不管导体材料如何选择，该技术仍然适用。用于对厚铜或极厚铜进行图案化的合适技术的示例包括但不限于氯化铜蚀刻、氯化铁蚀刻、机械研磨、等离子体蚀刻、激光蚀刻、电火花加工(EDM)、电镀等中的任一种或组合。应当理解，可以使用本文中

所描述的任何单个技术或技术的组合，或者可以使用适合于在非导电基片上对导电层进行图案化和/或用于生产层压板的任何其他技术，因为在层压板中形成低场MRI系统的一个或更多个磁性部件(或其一部分)的方面不限于用于这样做的任何特定技术或技术的组合。

[0070] 图2B示意性地示出了包括多个非导电层210和形成在非导电层之间的多个导电层212的层压板205。如下面更详细描述的，导电层212之间的连接可以通过在被称为“过孔”的中间非导电层中形成填充有导电材料的孔(例如电镀通孔)来实现。虽然在图2B中仅明确示出了两个非导电层和两个导电层，但如省略号所指示的，可以根据期望的设计使用任何数目的非导电层和导电层来实现层压板，其一些示例在下面进一步详细描述。

[0071] 此外，应当理解，可以为每个非导电层提供多个导电层，例如，非导电层具有层压到两侧的导电层。图2C示出了通过将两个层压层附接在一起而形成的多层面板，每个层压层具有非导电层210，导电层层压到相应非导电层的两侧。多层层压板可以使用一个或更多个粘合剂层214来附接。(一个或多个)粘合剂层214可以是诸如预浸材料、干粘合剂、环氧树脂的任何合适的粘合剂或材料的组合，和/或当被激活时(例如通过热和/或压力)以任何其他合适的层或层的组合将多层层压板结合在一起。应当理解，使用层压技术中的任何一种或组合的导电和非导电分层、粘合剂等的任何配置可以用于生产期望的层压板。

[0072] 如上所述，可以使用在层压板中通过适当层形成的过孔的期望布置来电连接层压板的层。图3A示出了示例性层压层的一部分的横截面，在该示例性层压层上，通过在非导电材料325上对铜导体350进行图案化并使用层之间的过孔连接来形成导电迹线。铜导体350可以被图案化为任何期望的几何形状并且被配置成形成对应于低场MRI系统的一个或更多个磁性部件(或其一部分)和/或任何支持电子器件、控制电子器件等的期望电路。不同层上的铜导体可以使用过孔如电镀通孔355电连接。电镀通孔可以通过穿过层压板的一个或更多个层钻孔并使用合适的电镀技术形成，从而形成通过非导电材料连接不同层上的电导体的导电路径。应当理解，过孔可以穿过整个层压板形成，或者可以穿过层压板的层的子集形成，包括连接相邻层或多个相邻层。层压板的层压层可以包含被布置成连接至层压板的不同层的多个过孔。例如，具有多个部件或多个部件的一部分的层可以彼此电隔离并且独立地连接至在其他层上图案化的导体(视情况而定)。在层压板的层上图案化的导体可以以任何期望的方式连接，并且一个或更多个层可以根本不包括过孔，并且因此保持与层压板的其他层电隔离。

[0073] 发明人已经认识到，尽管铜具有使其成为电导体的有吸引力的选择的特性，但是也可以使用铝作为替选或者与其他导体如铜结合地在层压板的层上图案化一个或更多个磁性部件(或其一部分)。根据一些实施方式，铝重量更轻，并且比铜便宜，因此便于制造重量更轻的成本降低的层压板的能力。图3B示出了使用铝导体370在其上形成导电图案的层压层的一部分的横截面。铝导体370可以使用与本文中所描述的相同的层压技术形成。铝与铜相比具有较低的导电性，使得铝导体370通常需要形成为厚度比铜导体350的厚度更大以获得相同的导电性(例如可能需要使用80密耳的铝层来代替50密耳的铜层以实现类似性能)。

[0074] 图3B还示出了使用压入管脚在层压板的层之间设置过孔的另一种方法。具体地，铝管脚过孔377可以通过在层压板的层之间钻出的孔插入。应当理解，管脚过孔可以用于连接相邻层或多个相邻层，包括提供穿过整个层压板的管脚过孔。类似地，管脚过孔可以以期

望的任何数目和配置用于电连接在给定层压板的各个层上图案化的导体。虽然图3B中示出的是管脚过孔377与铝导体结合使用，但应当理解，可以使用管脚过孔并且由任何合适的导体形成管脚过孔。还应当理解，可以使用导体的组合来制造层压板，使得使用第一导体(例如铜)形成一个或更多个部件或其一部分并且使用第二导体(例如铝)形成一个或更多个部件或其一部分。此外，虽然在图3A和图3B中示出了铜和铝，但任何合适的导体可以用于图案化低场MRI系统的期望的磁性部件和/或电子部件，因为本文中所描述的技术不限于使用任何特定导体或导体的组合。

[0075] 应当理解，层压技术是相对准确和精确的，其中，某些工艺能够在密耳、微米或甚至亚微米级产生准确度和精度。因此，使用层压技术来制造一个或更多个磁性部件(或其一部分)可以大大降低或消除在使用常规技术时涉及的制造、对准和安装磁性部件的复杂度和难度。因此，使用减成法、加成法和/或半加成法中的任何合适的一个或组合，(一个或多个)导电层212可以被图案化以形成低场MRI系统的一个或更多个磁性部件(例如B_0磁性部件的一个或更多个线圈或其期望部分、一个或更多个梯度线圈、一个或更多个发射/接收线圈、一个或更多个垫片线圈、一个或更多个屏蔽层等)以提供生产用于MRI的磁性部件的更简单、更灵活、可靠和可扩展的模式，其一些具体示例在图4中示出。如下面进一步详细讨论的，多个低场MRI部件可以集成在单个面板上或分布在多个面板之间以便于根据期望配置来制造部件。

[0076] 图4示出了根据一些实施方式的与低场MRI系统一起使用的示例性多层层压板400的示意图。应当理解，层压板400被同样描绘为示出可以通过层压技术制造的部件的一些示例。然而，应当理解，层压板不需要包括图4所示的所有部件，并且可以根据需要省略所示的部件中的任何一个或更多个。亦即，层压板可以包括图4所示的示例性层中的任何一个或组合，以在层压板中形成部件(或其一部分)中的任何一个或组合。另外，层压板可以包括图4中未示出的其他层(例如用于热管理的一个或更多个层、一个或更多个互连层、具有控制电子器件或其他电子部件的一个或更多个层等)。

[0077] 所示的部件(或任何期望的子集)可以形成在一个或多个层中，并且单独的部件可以形成在与其他部件共用的层上，或者形成在独立于其他部件的单独的层上。为了简化多层板(以及层的几乎无限组合及其配置)的图示，图4所示的磁性部件示意性地示出，并不限制磁性部件的几何形状或者可以在其上制造它们的层的数目。因此，图4所示的以及本文中所描述的示例性层应当被理解为表示由至少一个非导电层和至少一个导电层组成的单个层压层或者每个层由一个或更多个非导电层和一个或更多个导电层组成的多个这样的层压层。因此，除非另有说明，层是指一个或更多个层压层。

[0078] 还应当理解，图4中示出可以在板400内制造的各种部件的图示用于一般地表示相应的部件，并且不旨在描绘任何特定的几何形状或配置。可以根据任何期望的几何形状和配置来图案化图4所示的部件，因为本文中所描述的用于将一个或更多个磁性部件集成在层压板内的技术不限于与任何特定的几何形状、配置或布置一起使用。可以使用的合适几何形状的一些示例在下面进一步详细讨论而不加以限制。

[0079] 如图所示，示例性层压板400包括多个B_0层(410a、410b)，所述多个B_0层上形成有一个或更多个B_0线圈(411a、411b)。B_0线圈被配置成当对(一个或多个)线圈施加适当的电流时生成用于低场MRI系统的B_0场的至少一部分。在一些实施方式中，每个B_0层包括在导电层上

图案化的一匝或多匝导电迹线以生成期望的B_0场的一部分。如图所示，在层410a上图案化有线圈411a，线圈411a可以根据任何期望的几何形状被图案化。例如，线圈411a可以根据具有一匝或多匝导电迹线的大致圆形几何形状被图案化。线圈411a可以电连接至在层410b上图案化的线圈411b(例如通过层之间的过孔)，线圈411b也可以是任何期望的几何形状(例如具有一匝或多匝导体的大致圆形线圈)。

[0080] 应当理解，其上形成有B_0线圈的任何合适数目的层(例如1、10、20、50或更多层等)可以插入在层410a与层410b之间并且电连接至层410a和层410b，每个层上形成有一个或更多个相应线圈，当用适当的电流进行通电时，提供被配置用于低场MRI的B_0场的至少一部分。应当理解，每个层可以具有单个线圈或多个线圈，并且每个线圈可以被图案化为在其上形成任何数目的匝从而实现期望的线圈设计的磁特性和/或电特性。

[0081] 发明人已经认识到并理解，使用层压技术来设计和制造MRI部件使得能够制造具有任何几何形状和配置的B_0线圈，实际上允许任何几何形状、配置和/或布置的线圈设计，这使用用于制造低场MRI系统的B_0线圈的常规技术是不可行或不可能的。根据一些实施方式，其上形成有一个或更多个线圈或其一部分的至少一些B_0层可以使用与其他层不同的线圈几何形状被图案化以实现期望的B_0场。如下面进一步详细讨论的，一些B_0层可以在其上形成有一个或更多个线圈，其可以被独立地控制以针对不同的应用和环境来对B_0场进行调谐，或者调节B_0场以校准或以其他方式实现具有期望强度和/或均匀度的B_0场。

[0082] 特定线圈几何形状或线圈几何形状的组合以及层压板内的线圈的布置和分布的选择可以至少部分地取决于要与低场MRI应用一起使用所生成的期望B_0场。此外，具有相同或不同B_0线圈设计的一个或更多个层压层可以通过连接多个层上的导电迹线的一个或更多个过孔连接。在一些实施方式中，可以选择过孔的位置以使它们对合成B_0场的均匀度的影响最小化和/或通常使通电线圈的一个或更多个电特性最优化。下面更详细地描述可以用于至少部分地形成用于低场MRI的B_0磁体的B_0线圈设计的非限制性示例。

[0083] 由于层压技术能够以如此高的准确度和精度对电导体进行图案化，因此，可以根据特定B_0磁体的设计规范可靠地且高保真地以层压板形式制造B_0磁体(或其任何部分)，以实现具有期望强度和均匀度的B_0场。此外，在层压板的多个层上分布形成B_0磁体(或其一部分)的一个或更多个B_0线圈的能力允许使B_0磁体的参数最优化，以便以使用用于制造B_0磁体的常规技术不可能的方式来生成期望的B_0场。模拟可以用于在多个几何形状、配置和/或布置之中进行选择(例如有助于B_0场的每个层上的电导体的位置、几何形状或其他特性通常可以被优化)，以产生期望的B_0场。然后，可以使用合适的层压技术来准确地且精确地制造所得到的设计。

[0084] 根据一些实施方式，一个或更多个层压层可以包括(一个或多个)无源磁性部件如使用磁性材料被图案化的一个或更多个层，以便于以降低的功率需求生成期望的B_0场，或者在不使用磁性材料的情况下使用与所需要的相同的功率需求产生较高的B_0场。例如，层压板400可以包括使用铁或其他磁性材料被案化的一个或更多个层压层415，所述一个或更多个层压层415被布置成形成有助于由一个或更多个B_0线圈生成的磁场的磁性部件416以实现期望的B_0场。由于这样的磁性材料在不需要电源提供电流以产生磁场的情况下产生或定制磁场，因此，可以以降低的功率需求来产生期望的B_0场。此外，由于磁性材料可以用于在没有相应的功率需求增加的情况下产生较高的B_0场，因此，磁性材料可以促进具有较高B_0

场的低场MRI系统的构造，该B_0场可能超过0.2T(例如在0.2T与0.5T之间)。

[0085] 形成在一个或更多个层415上的(一个或多个)磁性部件416可以包括具有相对高的磁导率(μ)的任何一种材料或材料的组合，以辅助产生或定制具有期望的磁场强度和/或均匀度的B_0场。(一个或多个)磁性部件416可以由设置为片的一个或更多个图案化层形成，或以其他方式制造并合并在一个或更多个层压层内，以产生期望的磁场。如上所述，使用无源磁性部件可以降低产生给定B_0场所需要的功率需求。亦即，由于期望的B_0的一部分可以无源产生(例如不需要电源来操作部件)，因此可以减少有源磁性部件(例如一个或更多个期望的B_0线圈)上的负荷。因此，一个或更多个B_0线圈可以以减小的电流进行操作，以与(一个或多个)磁性部件16结合地产生具有期望的磁场强度和/或均匀度的B_0场。降低有源磁性部件的功率需求简化了驱动磁性部件的电力电子器件的成本和复杂度，从而引起层压板的热输出相应减少，并且还可以减轻对有源磁性部件在生成具有期望的强度和/或均匀度的B_0场方面的约束。

[0086] 如上所述，层压板还可以包括被图案化以形成一个或更多个梯度线圈或一个或更多个梯度线圈的一部分的至少一个导电层，所述至少一个导电层当在低场MRI系统中操作时能够产生或有助于适合于提供对所检测的MR信号的空间编码的磁场。在图4所示的示例中，层压板400包括其上形成有梯度线圈(421a、421b、421c)的多个层压层(420a、420b、420c)。(一个或多个)层420a包括被图案化以形成Z梯度线圈421a的全部或一部分的导电迹线，(一个或多个)层420b包括被图案化以形成Y梯度线圈421b的全部或一部分的导电迹线，并且(一个或多个)层420c包括被图案化以形成X梯度线圈421c的全部或一部分的导电迹线。如上所述，图4中对梯度线圈421a、421b和421c的描绘意在一般地表示使用任何数目和配置的层来提供一个或更多个期望的梯度线圈的任何合适的几何形状的梯度线圈。

[0087] 作为其中梯度线圈至少部分地形成在层压板(例如层压板400)中的一个非限制性示例，例如通过被图案化为格栅的一个或更多个导体(例如类似于在图1中示意性地示出的几何形状)，Z梯度线圈可以使用大致圆形的几何形状至少部分地形成在一个或更多个层中，并且X梯度线圈和Y梯度线圈可以使用大致矩形的几何形状至少部分地形成在一个或更多个层中。用于梯度线圈的导体可以根据需要以任何组合跨一个或多个层分布，以产生如下梯度线圈：所述梯度线圈与低场MRI系统的其他磁性部件集成或不集成，并且与其他磁性部件共用层和/或被图案化在层压板的单独层上。

[0088] 在具有B_0线圈和用于其上的梯度线圈的层压板的一些实施方式中，层压板的至少一个层可以包括B_0线圈(或其一部分)和梯度线圈(或其一部分)两者，其可以被选择性地控制以提供用于低场成像应用的期望的磁场特性。在一些实施方式中，层压板的层上的相同导电迹线的至少一部分可以取决于线圈如何操作而用作B_0线圈或梯度线圈。根据一些实施方式，梯度线圈可以分布在多个层上，并且根据一些实施方式，多个梯度线圈(或其一部分)可以形成在单个层(例如X梯度线圈、Y梯度线圈和/或Z梯度线圈中的一个或更多个)中，因为本文中所描述的技术不限于在一个层压板或多个层压板的多个层上分布磁性部件的任何特定方式。应当理解，使用层压技术制造的一个或更多个梯度线圈可以与使用层压技术制造的一个或更多个其他磁性部件结合使用(例如通过将一个或更多个梯度线圈集成在共用的或单独的层压板中)，或者可以与作为低场MRI系统的一部分的使用常规技术制造的一个或更多个其他磁性部件结合使用。

[0089] 同样如上所述,层压板还可以包括被图案化以形成一个或更多个发射和/或接收线圈或者一个或更多个发射和/或接收线圈的一部分的至少一个导电层,所述至少一个导电层被配置成当与线圈结合地操作时通过产生B_1激励场(发射)和/或接收所发射的MR信号(接收)来激发MR响应,所述线圈被配置成产生B_0场和相应的梯度场。这样的层压板可以合并用于执行单通道或并行MRI的单个发射和/或接收线圈(或其一部分)或者多个发射和/或接收线圈(或其一部分)。在图4所示的示例中,层压板400包括其上形成有发射/接收线圈431的全部或一部分的(一个或多个)层430。

[0090] 可以使用任何合适的几何形状来图案化发射/接收线圈或发射/接收线圈组。例如,在一些实施方式中,螺旋形导体可以在一个或更多个层中图案化以形成一个或更多个发射/接收线圈(或其一部分)。根据一些实施方式,可以使用大致矩形的几何形状以使用层压技术来制造一个或更多个发射和/或接收线圈。根据其中不同线圈用于发射和接收的一些实施方式,发射线圈和接收线圈可以使用不同的相应几何形状形成在一个或更多个层中。在一些实施方式中,多个层和/或多个层压板可以用于共同形成用于低场MRI系统的发射/接收线圈和/或发射/接收线圈组。应当理解,使用层压技术制造的一个或更多个发射/接收线圈可以与使用层压技术制造的一个或更多个其他磁性部件结合使用(例如通过将一个或更多个其他磁性部件集成在共用的或单独的层压板中),或者可以与作为低场MRI系统的一部分的使用常规技术制造的一个或更多个其他磁性部件结合使用。

[0091] 层压板还可以包括被图案化以形成一个或更多个电磁屏蔽件的至少一个导电层,所述至少一个导电层被布置成阻止来自环境的和/或从MRI系统的部件生成的电磁能量干扰由MRI磁性部件生成的磁场和/或用于以其他方式屏蔽设备免受电磁干扰。在图4所示的示例中,层压板400包括用于提供电磁屏蔽的(一个或多个)层440。虽然仅示出了单个屏蔽层,但是应当理解,任何合适数目的屏蔽层可以用于任何不同数目的位置,并且形成一个或更多个屏蔽件的图案化的(一个或多个)导电层可以形成在单独的层中或者形成在其上形成其他部件的层上(例如在一个或更多个层压层的未使用部分上电隔离地进行图案化,在上述未使用部分上形成其他磁性部件或其他磁性部分的一部分)。尽管(一个或多个)屏蔽层440可以通过对层压板400的一个或更多个层中的导体网格进行图案化来形成,但是应当理解,可以使用任何合适的导体图案来提供屏蔽以形成任何期望的几何形状,该几何形状可以基于提供相应屏蔽的位置和/或采用特定屏蔽来抑制或消除的电磁干扰的特性来选择。

[0092] 电磁屏蔽可以被配置成提供有源屏蔽或无源屏蔽,并且实施方式不限于这一方面。在一些实施方式中,形成在层压板的多个层上的屏蔽使用一个或更多个过孔而被连接。因此,用于低场MRI系统的至少一些屏蔽可以被集成到在其中制造一个或更多个磁性部件的一个或更多个层压板中,或者被集成在一个或更多个单独的层上或其上形成有另一磁性部件(或其一部分)的一个或更多个层上。电磁屏蔽可以包括磁场、电场或两者的静态或动态屏蔽。

[0093] 被布置成便于产生期望磁场的垫片线圈也可以被图案化在层压板的一个或更多个层上。根据一些实施方式,层压板可以包括被图案化以形成一个或更多个垫片线圈或者一个或更多个垫片线圈的一部分的至少一个导电层,所述至少一个导电层被布置成产生或有助于(一个或多个)磁场并且适于改善由一个或更多个B_0线圈生成的B_0场的均匀度,或者

以其他方式改善给定视场内的B_0场和/或抵消负面地影响B_0场的其他磁场。在图4所示的示例中，层压板400包括其上形成有一个或更多个垫片线圈452(或其一部分)的(一个或多个)层450。对于包括具有至少一个B_0线圈和至少一个垫片线圈的层压板的实施方式，至少一个垫片线圈可以由与至少一个B_0线圈(或其一部分)共用(但是电隔离)的导电层形成，或者可以形成在与至少一个B_0线圈(或其一部分)分离的一个或更多个导电层中。与所讨论的其他磁性部件一样，使用层压技术制造的垫片线圈可以与使用层压技术制造的其他部件一起使用(例如通过将垫片线圈集成在共用的或单独的层压板中)或与作为低场MRI系统的一部分的使用常规技术制造的其他部件一起使用。

[0094] 如上所述，多个低场MRI部件(或其一部分)可以形成在层压板的单个层(即单个层压层)上。亦即，多个磁性部件或多个磁性部件的一部分可以被图案化在单个层压层的同一导电层上。例如，单个层压层的导电层可以被图案化以形成一个或更多个B_0线圈(形成或有助于完整的B_0磁体)和一个或更多个梯度线圈或者一个或更多个梯度线圈的一部分。

[0095] 作为另一示例，层压板的单个层压层可以被图案化以形成梯度线圈的全部或一部分以及发射/接收线圈的全部或一部分。梯度线圈和发射/接收线圈(或其一部分)可以共用形成在层压层上的至少一些导电元件，或者梯度线圈和发射/接收线圈(或其一部分)可以分离地形成在同一层压层上(例如彼此电隔离)。作为又一示例，层压板的单个层压层可以被图案化以形成一个或更多个B_0线圈的全部或一部分以及一个或更多个垫片线圈的全部或一部分以用于调谐用于低场MRI系统的B_0场的均匀度。(一个或多个)垫片线圈和(一个或多个)B_0线圈(或其一部分)可以共用形成在层压层上的至少一些导电元件，或者(一个或多个)垫片线圈和(一个或多个)B_0线圈(或其一部分)可以分离地形成在同一层压层上(即彼此电隔离)。应当理解，根据特定设计，可以根据需要在一个或更多个共用的层压层中类似地制造部件(或其一部分)的任何组合，因为这些方面在这点上不受限制。

[0096] 发明人已经认识到并理解，根据一些实施方式，形成在层压板上的一些导体可以被配置成执行典型地为由单独的MRI部件执行的功能的多个功能。通过重新利用相同的导体以执行不同的功能和/或通过在多个部件或多个部件的一部分之间共用层压板的层压层，可以减少与制造层压板相关联的尺寸和成本。

[0097] 应当理解，图4所示的层压板400的层压层的次序仅被提供用于说明，并且可以使用层的任何合适的排序。亦即，当多个磁性部件(或其一部分)被集成到层压板中时，可以使用层压层的任何排序来实现集成磁性部件的期望顺序。在一些实施方式中，可以至少部分地基于用于优化一个或更多个系统和/或成像参数的设计考虑来选择在其上形成的层和部件的配置，上述设计考虑包括但不限于电力消耗、梯度线性、B_0场均匀度、梯度强度、RF强度、热考虑等。例如，在一些实施方式中，包括一个或更多个B_0线圈的全部或一部分的一个或更多个层可以位于层压板的(一个或多个)最内层以降低低场MRI系统的电力消耗。在一些实施方式中，层压板的一个或更多个外层可以被图案化以提供电磁屏蔽。因此，在这点上，可以使用层压板的层的任何排序，因为本文中所描述的技术不限于与任何特定配置一起使用。

[0098] 如上所述，虽然层压板400被示为具有在其中制造的B_0线圈、梯度线圈、发射/接收线圈、垫片线圈和电磁屏蔽的全部或一部分以示出可以使用层压技术制造的示例性部件，但是层压板可以包括部件或其期望部分的任何一个或组合。在一些实施方式中，至少一些

示例性部件与(一个或多个)层压板分开设置(例如使用用于那些部件的常规制造技术)。例如,一些实施方式包括在其上形成有一个或更多个B_0线圈的(一个或多个)层压板,其中,低场MRI系统的其他部件与(一个或多个)层压板分开设置。其他实施方式包括在其上形成有一个或更多个梯度线圈的层压板,其中,低场MRI系统的其他部件与层压板分开设置。例如,在这样的实施方式中,可以使用常规技术(例如如上面结合图1中的双平面B_0线圈架构所描述的)来制造用于低场MRI系统的主磁场B_0,并且发射/接收线圈可以由放置在要被成像的对象周围或附近的基于头盔和/或基于表面的线圈来提供。在其他实施方式中,层压板可以在其上形成有一个或更多个B_0线圈和一个或更多个梯度线圈(或其一部分),其中,低场MRI系统的其他部件与(一个或多个)层压板分开生产。

[0099] 因此,应当理解,根据本文中所描述的技术制造的层压板可以包括任何合适数目的层,在其上形成低场MRI部件(或其一部分)的任何一个或组合,并且(一个或多个)这样的层压板可以与任何数目的(一个或多个)其他层压板或者使用其他技术生产的其他部件的任何一个或组合结合使用,因为这些方面在这点上不受限制。根据一些实施方式,可以使用混合方法,其中,一个或更多个磁性部件被实现为具有使用层压技术制造的部分和使用常规技术制造的部分。

[0100] 如上所述,可以通过以任何数目的不同配置将(一个或多个)磁性部件的一部分分布在层压板的多个层上来部分地或完全地制造磁性部件。图5示出了根据一些实施方式的其中制造有B_0线圈的多层层压板500。图5示出了B_0线圈的部分如何分布在层压板的多个层上以在通电时产生有助于适合于执行低场MRI的B_0场的磁场的一些示例。如下面进一步详细讨论的,虽然示例层示意性地示出了在其中制造的B_0线圈的部分,但是每个层可以(但不必)包括其他部件,上述其他部件包括其他磁性部件(例如一个或更多个梯度线圈、发射/接收线圈、垫片线圈等)。

[0101] 示例性层压板5包括十四个层压层,相应地通过对相应导电层进行图案化来将B_0磁体的部分分布在上述十四个层压层上。在图5中,设置在示例层上的导电图案由大致圆形的线圈示出,其宽度以代表性方式表示形成相应线圈的匝数。线圈用实线和虚线表示以指示:当通电时,通过用实线表示的线圈的电流沿与通过用虚线表示的线圈的电流相反的方向流动(例如顺时针对逆时针,或反之亦然)。示例层压板500包括在其上制造的线圈510A、510B、510C、510D、510E、510E、510F和510G,并且这些线圈仅通过示例以下面描述的方式分布。

[0102] 图5中的示例性层1-14中的每一个上分别制造有包括多匝例如二十匝导电迹线的线圈510A。亦即,如所描绘的层所示,十四个层中的每一个可以被图案化以形成具有二十匝导电迹线的相应外部线圈。每个线圈510A可以使用层之间的一个或更多个过孔(例如电镀通孔、管脚或其他合适的导电过孔)连接至后续层中的线圈510A。可替选地,外部线圈510A中的一个或更多个可以与其他线圈510A电隔离,并且可以例如被配置成独立通电(例如线圈510A中的一个或更多个可以用作垫片线圈)。前六个层中的每一个(例如图5所示的层1-6)由相对于集成B_0线圈的外部线圈510A组成,但是另外可以在其上制造其他部件(包括其他磁性部件)。

[0103] 层7-14中的每一个还在其上制造如由虚线表示的相应线圈510B,线圈510B可以在操作时沿与线圈510A相反的方向传导电流。在示例层压板500中,每个线圈510B包括少于形

成在相应层上的线圈510A中的匝数的匝数。如由用于表示线圈510B的逐渐减小的线宽度所指示的，形成相应线圈的导电迹线的匝数也可以在其上分布有线圈的层上减少(或以其他方式变化)。例如，层7和层8中的线圈510B可以均包括11匝导电迹线，在相应层9-11中制造的线圈510B可以形成有10匝，在层12中制造的线圈510B可以形成有9匝，并且在相应层13和14中制造的线圈510B可以形成为8匝。应当理解，匝配置是示例性的，并且匝数和匝数如何变化(或保持恒定)在任何方面都不受限制。

[0104] 层7-14中的每一个还在其上制造如由表示线圈的实线所表示的相应线圈510C，线圈510C可以在操作时沿与线圈510A相同的方向传导电流。在示例层压板500中，每个线圈510C包括少于形成在相应层中的线圈510B的匝数的匝数，该数量可以在线圈510C被图案化在其上的层压层中变化或保持不变。例如，在相应层7-10中制造的线圈510C可以形成有6匝，在层11中制造的线圈510C可以形成有5匝，并且在相应层12-14中制造的线圈510C可以形成有4匝。然而，该布置仅是示例性的，并且匝数以及它们如何变化(或保持恒定)不受该示例布置的限制。

[0105] 层7-11中的每一个还在其上制造相应线圈510D和相应线圈510E，层7-9中的每一个在其上制造相应线圈510F，并且层7和层9中的每一个在其上制造相应线圈510G和相应线圈510H。在图5所示的示例中，连续的线圈在操作时交替它们传导电流的方向，并且每个连续的线圈包括小于前一线圈的多匝导体。然而，该配置仅是示例性的，并且可以根据需要选择电流传导的方向、每个线圈中的匝数以及层压板的每个层上的线圈数以产生或有助于用于低场MRI的B_0场。

[0106] 如结合线圈510A所讨论的，形成图5所示的示例性线圈的导体可以使用层之间的导电过孔与内层连接在一起(如下面进一步详细讨论的)和/或与中间层连接在一起。此外，图5所示的一个或更多个线圈可以被隔离地图案化并且能够被独立通电。以这种方式，这样的线圈可以用作垫片线圈，其可以根据需要进行操作以在给定环境中或在给定负荷条件下(例如在低场MRI系统的校准期间)改善所得到的B_0场的均匀度。

[0107] 如上所述，设置在同一层压层中的线圈可以被配置成使得在操作时，电流在不同的相应线圈中沿不同方向流动。例如，在给定层压层上被图案化的一个或更多个线圈可以沿与在同一层压层中被图案化的一个或更多个其他线圈相反的方向传导电流。图6A示出了B_0线圈在其上被图案化的层压板的示例性层605(例如层605可以类似于图5所示的层12)。层605包括线圈610A、610B和610C，每个线圈具有多匝导电迹线(例如分别为20匝、10匝和5匝)。图6B示出了放大了图6A所指示的区域645以示出关于在层605上被图案化的导电迹线或轨迹的进一步细节。

[0108] 如图6B所示，线圈610A、610B和610C由图案化的单个导电迹线615形成，使得当向导电迹线615提供电流时，电流相对于线圈610A、610B和610C以交替的逆时针和顺时针方向传导。特别地，线圈610A沿逆时针方向传导电流，线圈610B沿顺时针方向传导电流，并且线圈610C沿逆时针方向传导电流。应当理解，导电迹线615可以被图案化以实现关于电流传导的方向的任何期望的配置。例如，其上制造有多个线圈的层可以被图案化，使得电流通过每个线圈沿相同方向传导，或者电流传导的方向可以通过一个或更多个期望线圈改变，因为本文中所描述的技术不限于与导体或电流流动方向的任何特定配置一起使用。

[0109] 图6A和图6B还示出了示例性过孔，其中，过孔675在图6B中标记。这些过孔将在一

个层压层上被图案化的导电迹线与在一个或更多个其他层压层上被图案化的导电迹线连接(例如如上述图3A和图3B所示的示例性过孔所示)。可以设置过孔以连接相邻层压层中的导电迹线和/或可以通过多个层设置过孔以连接在任何数目的期望层压层上被图案化的导电迹线。因此,在层压板的不同层上被图案化的导电迹线可以以任何方式连接以产生用于在层压板内制造的磁性部件(或其他电子部件)的期望电路。

[0110] 虽然上面结合图5和图6所示的示例性线圈为大致圆形并且具有基本上均匀的同心匝,但是可以使用其他几何形状和配置,因为本文中所描述的技术不限于与任何特定几何形状或配置一起使用。例如,图7和图8示意性地示出了可以使用本文中所描述的层压技术实现的B_0线圈设计的非限制性示例。与使用常规生产技术(其通常包括围绕刚性支承结构缠绕正方形或圆形导体)可以实际实现的用于低场MRI系统的B_0线圈设计不同,可以借助于层压工艺的灵活性和精度来实现其他设计。例如,一般而言,根据任何期望的尺寸并且根据任何期望的几何形状,可以对用于使用层压技术形成的B_0线圈的导电迹线进行制造和图案化。因此,可以制造导电路径,其具有相对尺寸(这使用常规导线导体通常是不可行的),并且如果可以的话可以根据几何形状被图案化(这使用常规制造技术是不可行的)。因此,不仅对于B_0磁体,而且对于其他磁性部件(例如梯度线圈、发射/接收线圈、垫片线圈等)也一样,层压技术可以利于制造更好的线圈设计。

[0111] 此外,由于层压技术允许线圈分布在多个(以及在一些设计中相对许多)层中,因此,可以选择每个给定层中的线圈的部分的尺寸、位置、几何形状等以总体使所得到的磁场最优化。例如,发明人已经开发了模拟以改变每个层上的导电图案的一个或更多个参数从而确定关于影响所得到的磁场的每个层上的导电图案的导体尺寸、位置、几何形状、匝数和/或任何其他(一个或多个)参数中的任何一个或组合的通常最优解决方案。不同的MRI应用可以具有不同的最优解决方案,使得层压技术可以用于设计和实现针对特定MRI应用定制的低场MRI系统。

[0112] 图7A至图7C示出了包括多匝的螺旋形B_0线圈设计,其可以例如被图案化在层压板的单个层上或分布在多个层压层上并使用适当放置的过孔来连接。图7A示出了在一个或更多个层压层上被图案化的导电材料的相对宽的螺旋迹线。图7B示出了螺旋形B_0线圈设计,其中,导电路径的宽度比图7B所示的导电路径更窄但匝数较多。图7C示出了螺旋的匝的密度不均匀的螺旋形B_0线圈设计(即当螺旋形几何结构向内移动时,螺旋形几何结构变得更紧密)。与给定的圆形线圈设计相比,使用一个或更多个可变密度螺旋形B_0线圈可以减少产生具有期望强度的B_0场所需要的电力的量。使用常规绕线技术来制造这样的螺旋密度可变的B_0线圈通常是不切实际或不可行的。应当理解,其他基于螺旋形的B_0线圈设计也是可以的,并且本文中所示出的几何形状和配置仅仅是可能的线圈设计的示例。

[0113] 图8A至图8C示出了包括多匝的同心环B_0线圈设计,其可以被图案化在层压板的单个层压层上或使用适当放置的过孔分布在多个层压层上。图8A示出了形成在一个或更多个层压层上并且相对于导体的匝具有均匀密度的导体材料的多个连接的圆形迹线。图8B示出了B_0线圈设计,其中,与图8A的设计相比,形成在层压层上的B_0线圈的匝数和匝密度都增加,同时保持均匀的匝密度。图8C示出了具有不均匀的匝密度的同心线圈的B_0线圈设计。应当理解,其他基于圆形的B_0线圈设计例如上面结合图5、图6和图10所描述的示例性B_0线圈配置也是可以的,并且实施方式不限于这一点。

[0114] 如结合图4所讨论的，层压技术可以用于部分地或全部地和/或单独地或与一个或更多个其他磁性部件组合地产生集成在层压板内的梯度线圈。梯度线圈可以根据适合于特定实现的任何期望的几何形状被图案化。图9A至图9C示出了根据一些实施方式的示例性x梯度线圈、y梯度线圈和z梯度线圈。例如，图9A示出可以被图案化在单个层压层上或分布在层压板的多个层压层上的x梯度线圈920A的示例。X梯度线圈920A例如可以被配置成执行频率编码。类似地，y梯度线圈920B可以被图案化在单个或多个层压层上，并且例如被配置成提供相位编码，并且z梯度线圈920C可以被图案化在一个或更多个层压层上并且例如被配置成提供图像切片的定位。然而，梯度线圈可以被布置和配置成执行任何合适的空间编码。应当理解，图9A至图9C所示的图案仅是示例性的，并且任何配置或几何形状可以用于实现用于低场MRI的梯度线圈，因为本文中所描述的技术不限于用于实现梯度线圈的任何特定设计或配置。

[0115] 图10示出了其中梯度线圈被制造在与至少部分地形成B_0磁体的线圈相同的层中的至少一些上的示例。特别地，图10示出了层压板的六个层压层，其中，x梯度线圈1020A、y梯度线圈1020B和z梯度线圈1020C被图案化在与B_0磁体的部分相同的层(例如其上具有图案化的一个或更多个B_0线圈或其一部分的层)中。对于B_0磁体，线圈1010A可以类似于图5所示的线圈510A。发明人已经认识到，在这样的B_0线圈的中心的层压层的区域可以用于图案化为一个或更多个梯度线圈或其一部分。例如，x梯度线圈1020A可以被图案化在层1000A和层1000B上，y梯度线圈1020B可以被图案化在层1000C和层1000D上，并且z梯度线圈1020C可以连同被图案化在层压板的相应层上的B_0线圈1020A一起被图案化在层1000E和层1000F上。应当理解，梯度线圈可以以其他方式(包括梯度线圈整体或部分地被图案化在层压板的至少一些单独的层压层上)与用于低场MRI B_0磁体的B_0线圈一起集成在同一层压板中，因为在层压板中集成多个磁性部件不限于这样做的任何特定方式。通过在磁性部件之间共用层，可以减少层数，从而降低制造层压板的成本。

[0116] 同样如上面结合图4所讨论的，可以将一个或更多个垫片线圈连同低场MRI系统的一个或更多个其他磁性部件一起制造在层压板内。图11A和图11B示出了如下示例垫片线圈：所述示例垫片线圈可以被图案化在层压板的一个或更多个层上以产生磁场，从而有助于或辅助提供具有期望的强度和均匀度的B_0场。作为一个非限制性示例，垫片线圈1150A可以被图案化在一个或更多个层压层中，以在通电时产生相应的磁场。线圈1150A可以被配置成例如通过将线圈1150A与设置在同一层压板或同一层压层内的其他有源部件电隔离使得线圈1150A可以被单独供电来独立通电。图11B所示的线圈1150B示出了用于提供集成在层压板内的垫片线圈的不同示例性几何形状。类似于垫片线圈1150A，垫片线圈1150B可以被配置成独立操作。

[0117] 应当理解，垫片线圈可以以任何方式和配置来提供以有助便于产生具有期望的强度和均匀度的B_0场的磁场。例如，线圈1150A和/或线圈1150B可以被图案化在单个层上或分布在多个层上，并且每个线圈可以单独地被图案化在层上或者可以与一个或更多个其他部件或其一部分共用一个或更多个层。此外，具有任何期望的几何形状的任何数目的垫片线圈可以被制造在层压板内，因为这些方面在这点上不受限制。根据一些实施方式，一个或更多个垫片线圈被制造在与低场MRI系统的其他磁性部件分开的层压板内。根据一些实施方式，垫片线圈可以以不同的几何形状和/或位置来提供，使得响应于系统正在其中被操作的

给定环境，可以选择性地激活垫片线圈的不同组合。动态选择垫片线圈的组合以进行操作的能力可以便于产生能够以可运输式或可载运式的方式部署的低场MRI系统。如上所述，有助于B_0场(例如改善均匀度)的垫片线圈在操作时为B_0线圈，因为它们实际上确实有助于MRI系统的B_0场。

[0118] 根据一些实施方式，利用一个或更多个无源垫片来产生磁场，从而有助于具有期望的强度和均匀度的B_0场。如上面结合图3所讨论的，在不需要电源来产生磁场的情况下，可以使用磁性材料来产生磁场。因此，可以提供使用磁性材料来图案化的一个或更多个层作为无源垫片以辅助产生期望的B_0场。与本文中所描述的其他部件一样，无源垫片可以以任何数目、布置和几何形状来提供，并且可以被图案化在单个或多个层上(单独或在与一个或更多个其他部件共用的层上)，因为关于提供无源垫片的方面不限于任何特定的配置、几何形状或布置。可以使用由具有任何期望的几何形状的磁性材料组成的单独的垫片元件来提供无源垫片。这样的垫片元件可以通过在期望的位置处将元件固定到面板(例如使用粘合剂或通过其他附接手段)而合并到层压板中，和/或这样的垫片元件可以在期望的位置处与层压板分开布置，因为这些方面不限于将一个或更多个无源垫片合并到低场MRI系统中的任何特定方式。

[0119] 如前所述，层压技术可以用于以任何数目的不同组合和配置来生产磁性部件。例如，发明人进一步认识到并理解，层压板技术还可以用于根据螺线管B_0线圈设计来实现低场MRI系统，其中，所生成的B_0场沿着穿过螺线管线圈中心的轴而定向，这是经常用于实现高场MRI系统的设计。特别地，根据一些实施方式，一个或更多个基于螺线管的线圈可以形成在下述多个连接的层压板上：所述多个连接的层压板被布置成创建要成像的对象位于其中的通过一个或更多个基于螺线管的线圈的中心的视场。

[0120] 图12示出了根据一些实施方式的包括在其上制造有磁性部件的多个层压板的磁性设备1200，上述磁性部件包括用于低场MRI的螺线管B_0磁体。如图所示，磁体设备1200包括要成像的对象可以置于其中的形成八边形管的八个连接的层压板。螺线管磁体包括通过连接在每个层压板上被图案化的多个导电段形成的B_0线圈1210。层压板可以以任何合适的方式进行连接以确保形成在相邻层压板上的导电段之间的稳定连接(例如一个或更多个导电粘合剂、能够咬合在一起或以其他方式附接的部分、或任何其他合适的连接器可以用于在相邻层压板之间进行适当的电连接或机械连接)。当被连接并且以合适的电流通电时，被图案化在层压板上的导电段形成螺线管B_0线圈1210，其沿磁性设备1200的纵向(Z)方向生成B_0场。应当理解，B_0线圈1210的绕组示意性地示出如何可以通过多个层压板实现螺线管线圈。

[0121] 在图12的示例中，磁性设备1200还包括：形成在相对的层压板上并且被配置成在x方向上生成梯度磁场的x梯度线圈1220a、1220b；以及形成在相对的层压板上且被配置成在y方向上生成梯度磁场的y梯度线圈1230a、1230b。此外，磁性设备1200还包括z梯度线圈1240a、1240b，所述z梯度线圈1240a、1240b具有类似于B_0线圈1210的螺线管几何形状，但是形成在磁性设备1200的端部处并且被配置成例如使得能够在z方向上进行切片选择。梯度线圈的几何形状和配置是示例性的，并且可以使用导体的其他图案来生成梯度场，因为这些方面在这点上不受限制。

[0122] 应当理解，图12所示的层压板表示具有任何期望数量的层的层压板。亦即，每个层

压板可以包括单个层，或者每个层压板可以包括多个层，其中多个层中的每一个在其上形成有一个或更多个低场MRI部件的全部或一部分，因为期望的磁性部件可以根据任何期望的配置来制造。例如，B_0线圈1210不仅可以通过如图12所示的连接多个层压板上的导电段来形成，而且还可以通过连接形成在每个层压板的多个层中的导电段来形成。

[0123] 由于本文中所描述的用于制造低场MRI系统的部件的层压技术是高度可配置的，因此，可以根据期望的设计使用任何期望的导电段的几何形状和/或尺寸来提供磁性设备，并且图12所示的配置和布置仅被提供用于示出根据一些实施方式的示例。例如，层压板可以形成为任何尺寸和形状并且连接在一起以创建期望的几何形状。因此，可以生产符合身体的期望部分并且在其上具有图案化的磁性部件和/或电子部件的任何一个或组合的层压板系统。根据一些实施方式，结合图12描述的技术可以用于构造用于对期望的解剖结构进行成像的基于层压板的系统，其中，可以在具有围绕形成的并被配置成容纳期望解剖结构的几何形状的一系列连接的层压板上制造磁性部件的任何期望的组合。如下面结合图22A至图22C进一步详细讨论的，例如，可以构造一系列连接的层压板以对头进行成像。

[0124] 如前所述，可以以多种方式利用层压技术来生产低场MRI系统的一个或更多个磁性部件。图13中示出了利用使用本文中所描述的层压技术生产的层压板的示例性低场MRI系统。特别地，图13示意性地示出了利用其上制造有低场MRI系统的一个或更多个磁性部件的层压板1310a、1310b的低场MRI系统1300的部件。应当理解，图13所示的磁性部件的双平面布置类似于图1所示的双平面布置，但具有使用层压技术通过层压板1310a、1310b提供的一个或更多个磁性部件，而并非使用常规技术生产的磁性部件。例如，使用常规技术生产的一个或更多个磁性部件，例如图1中的B_0线圈110a、110b和/或梯度线圈120a、120b已经被层压板1310a、1310b中的集成的磁性部件代替。

[0125] 在图13所示的示例性系统中，层压板1310a可以集成一个或更多个B_0线圈和/或一个或更多个梯度线圈，以形成双平面线圈布置的一“侧”，并且层压板1310b可以类似地集成一个或更多个B_0线圈和/或一个或更多个的梯度线圈，以形成双平面布置的另一“侧”。因此，可以使用层压技术来生产如下双平面B_0磁体：所述双平面B_0磁体在操作时在适合于执行低场MRI的面板之间生成B_0场。用于对所发射的MR信号进行空间编码的梯度线圈也可以使用层压技术而被集成在层压板1310a、1310b内。根据前述讨论应当理解，可以在层压板1310a、1310b内制造的其他磁性部件和/或电子部件包括但不限于一个或更多个发射/接收线圈、一个或更多个垫片线圈、屏蔽、电力电子器件、散热部件等。

[0126] 如上所述，以层压板形式提供集成的磁性部件可以避免常规制造技术的一个或更多个缺点，包括但不限于相对困难和灵敏的线圈绕组和对准、磁性部件的后生产对准、便携性、对后生产配置和校准的限制等。此外，以层压板形式提供集成的一个或更多个磁性部件还可以提供可以简化低场MRI系统的设计、制造和安装的灵活性、可靠性和/或可扩展性优点。使用层压技术的集成的磁性部件可以提供另外的益处，包括但不限于关于几何形状和配置的设计灵活性、针对特定应用定制磁性部件的能力、降低的成本、增强的便携性和/或低场MRI系统的紧凑性。

[0127] 根据前述讨论应当理解，层压板(例如层压板1310a、1310b)可以集成B_0线圈、梯度线圈、发射/接收线圈、垫片线圈和电磁屏蔽中的任一个或组合，并且不限于与磁性部件(或其一部分)的任何特定的一个或组合一起使用。可以使用任何其他可用技术来提供未集成

的任何一个或更多个磁性部件(例如可以使用用于生产相应磁性部件的常规技术来提供一个或更多个磁性部件)。

[0128] 根据一些实施方式,可以使用混合技术来生产磁性部件,其中,磁性部件的一部分以层压板形式制造,并且磁性部件的另一部分使用不同的技术制造。例如,图14A示出根据一些实施方式的B_0线圈的混合设计。该混合设计包括线圈1405和其中集成有线圈1410A、1410B和1410C的层压板1410。线圈1405可以是如上面结合图1所讨论的缠绕线圈,或者可以是一个或更多个堆叠的金属板,线圈1405在通电时产生有助于适合于低场MRI的B_0场的磁场。由缠绕导体形成的线圈是指通过使用例如导线缠绕导体以形成电磁体而产生的线圈,并且与使用层压技术生产的线圈对比,其使用导体代替图案以形成线圈。类似地,被图案化在层压板1410的层上的线圈1410A、1410B和1410C在通电时产生有助于适合于低场MRI的B_0场的磁场。图14A所示的示例混合设计可以表示本文中所描述的任何几何形状的双平面设计或部件或面的一侧。因此,B_0磁体可以使用层压技术和非层压技术来构造以产生适合于执行低场MRI的期望B_0场。

[0129] 应当理解,层压板1410被示意性地示出为表示具有分布在任何数目的层压层上的任何数目的线圈的任何期望的层压板。例如,层压板1410可以包括一个或更多个B_0线圈(例如B_0校正线圈或B_0垫片线圈)、一个或更多个梯度线圈和/或一个或更多个Tx/Rx线圈,因为这些方面在这点上不受限制。还应当理解,层压板1410不需要如图14A所示的那样相对于线圈1405来设计尺寸,并且可以具有任何尺寸并以任何方式相对于线圈1405来定位,因为图14A所示的混合设计仅是层压板可以如何与使用非层压技术形成的一个或更多个线圈(例如缠绕铜线圈、铜板线圈等)结合使用以生成期望的B_0场、期望的梯度场和/或期望的RF场的示例。

[0130] 图14B示出了根据一些实施方式的混合磁体的一部分。混合磁体1400'包括线圈1405',线圈1405'被配置成产生有助于具有期望的磁场强度和/或均匀度的B_0场的磁场。线圈1405'可以是由使用适合于特定设计和/或期望的磁场强度、电感、电阻、功率需求等的匝数(例如大约10匝、50匝、100匝、150匝、200匝、250匝、500匝或更多匝)提供的导体(例如缠绕的铜导体、铜板等)形成的线圈。线圈1405'可以被构造成任何期望的尺寸。例如,示例性线圈1405'的内直径可以为从10英寸到50英寸的范围,并且外直径为从15英寸到80英寸的范围。应当理解,这些范围仅用于说明,并且线圈1405'可以被构造为大于或小于上述提供的示例性范围。线圈1405'可以使用带状线、圆形线,方形线或任何其他合适的导体缠绕,并且可以是任何合适的尺度。导体可以是铜、铝或任何合适的材料,因为这些方面在这点上不受限制。

[0131] 混合磁体1400'还包括具有多个层压层的层压板1410',所述多个层压层具有分别在其上被图案化的一个或更多个磁性部件。例如,根据一些实施方式,层压板1410'包括多个层,每个层具有在其上被图案化的B_0线圈(例如补充线圈、校正线圈或垫片线圈)或其一部分,所述B_0线圈或其一部分可以在一些情况下选择性地操作以有助相应磁场从而实现具有期望的强度和/或均匀度的B_0场。另外地或可替选地,层压板1410'可以包括多个层,每个层具有在其上被图案化以在x、y和/或z方向上产生梯度磁场的梯度线圈或其一部分。根据一些实施方式,层压板1410'包括分别被图案化为X梯度线圈、Y梯度线圈和Z梯度线圈以在三维空间中提供梯度场的一个或更多个层。层压板1410'还可以包括被图案化在一个或更

多个层上的其他磁性部件(例如一个或更多个射频线圈),因为这些方面在这点上不受限制。

[0132] 应当理解,层压板1410'可以包括使用本文中所描述的任何技术或使用任何其他合适的技术在其上制造的磁性部件和/或电子部件中的任何一个或组合。例如,层压板1410'可以包括图4、图5、图9A至图9C、图10以及图11A至图11B所示的并在所附说明书中描述的磁性部件的任何类型和组合。层压板1410'还可以包括其他部件,例如电子部件、屏蔽、无源元件等。

[0133] 层压板1410'可以具有任何合适的几何形状和尺寸。特别地,示例性正方形层压板的尺寸可以为从8"×8"到50"×50"的范围。例如,示例性层压板的尺寸可以为约16"×16"、22"×22"或用于给定设计的任何其他合适的尺寸。示例性非正方形面板可以类似地设计尺寸。层压板1410'可以制造有任何数目的层(例如大约10层、20层、30层、50层或更多层),在其上可以完全或部分地图案化为任何期望的磁性部件。图案化层可以由铜、铝或厚度适于其上制造的(一个或多个)磁性部件并且考虑到期望的操作特性的其他合适的材料形成。例如,可以使用厚铜(例如5盎司、6盎司、7盎司、8盎司、10盎司等)来图案化一个或更多个磁性部件和/或可以使用极厚铜(例如20盎司、25盎司、30盎司、50盎司等)来图案化一个或更多个磁性部件。然而,可以使用其他厚度的导电材料,因为这些方面在这点上不受限制。层压板1410'的总厚度将至少部分地取决于所使用的层数,示例性厚度范围为从0.1英寸到几英寸。

[0134] 混合磁体1400'可以是单侧磁体或者可以是双平面磁体的一侧。在后一种情况下,混合磁体的另一侧可以类似地包括线圈1405'和/或具有在其上被图案化的一个或更多个磁性部件的层压板1410'。在一些实施方式中,双平面磁体的另一侧可以不包括层压板。在这点上,双平面线圈的相应侧可以在构造上相同或可以不同(例如可以包括相同或不同的部件或数目的部件)。因此,双平面线圈可以是对称或不对称的,因为这些方面在这点上不受限制。混合磁体可以被设计成产生任何期望的磁场强度。例如,混合磁体可以被配置成产生大约5mT、10mT、20mT、50mT、100mT、200mT或更大的磁场强度。

[0135] 图14C示出了根据一些实施方式的混合磁体。混合磁体1400"包括:线圈1405A,其可以与关于图14B中的混合磁体1400'所描述的线圈1405'相似或相同;以及层压板1410",其可以与关于图14B中的混合磁体1400'所描述的层压板1410'相似或相同。另外,混合磁体1400"包括线圈1405B,线圈1405B也可以与线圈1405'相似或相同。因此,混合磁体1400'包括有助于磁场的两个线圈1405A和1405B,以便于产生具有期望的强度和/或均匀度的B_0场。如图14C所示,热管理部件1430也被设置在线圈1405A与线圈1405B之间,以在操作期间从线圈和层压板1410"去除热。热管理部件1430的各种细节在同时提交的申请中进行描述。

[0136] 图14D示出了在部件已经被彼此固定、附接或以其他方式连接之后的混合磁体1400"。如图所示,热管理部件1430夹在线圈1405A、线圈1405B与层压板1410"之间并与其热接触,以在操作期间从这些部件吸走热。例如,冷却剂(例如冷却液体或气体)可以经由入口1470A和出口1470B循环通过热部件1430,以从磁性部件吸收热并将热传递出去。如上所述,混合磁体1400"可以是单侧磁体或者可以是双平面磁体的一侧。下面更详细地描述在双平面构造中使用混合磁体1400"的一些实施方式。表1示出了根据一些实施方式的双平面磁体的示例性构造。

[0137]

示例性混合磁体	
磁场强度	20 mT
电流	30.1 Amps
总功耗	~2.4 kW
电感	251 mH
缠绕线圈（4）	
导体	1” x 0.016”带状线
匝数	155
内直径	25.610”
外直径	31.5”
厚度	0.1”至 8”
绝缘材料	聚酯薄膜
印刷电路板	
导体	每层 6 oz 铜厚（0.00084”）
垫片线圈	20 层
梯度线圈	6 层
绝缘材料	Arlon 92ML 和 FR4 电介质型芯和填充层
尺寸	16” x 16”
总厚度	~0.380”

[0138] 表1

[0139] 应当理解，表1中列出的构造细节仅是示例性的，并且仅被提供用于说明的目的。混合磁体可以以许多其他方式来构造以满足MRI系统的给定应用的设计约束。还应当理解，线圈和/或层压板的布置和几何形状不限于所绘制的那些。此外，使用常规制造技术实现的磁性部件和使用层压板技术实现的磁性部件不限于本文中所讨论的组合，因为可以使用混合技术以任何组合生产低场MRI系统的磁性部件。

[0140] 发明人进一步认识到，以任何期望的布置或组合将磁性部件合并到层压板中的能力允许实现许多不同的几何形状(例如不同的形状和/或尺寸)，以便于开发针对特定MRI应用定制的低场MRI设备。此外，发明人已经认识到，使用层压板生产磁性部件可以便于制造相对低成本的和/或可载运的或以其他方式的便携式低场MRI系统。此外，如下面进一步详

细讨论的，以面板形式生产磁性部件允许制造可折叠和/或可变形的MRI磁性部件，这有利于便携性/可载运性以及构造特定于特定MRI应用的MRI磁性部件的能力或者便于对身体的特定部分进行成像的能力。因此，使用如本文中所描述的层压板生产MRI磁性部件(或其一部分)具有从根本上改变MRI可以如何在医疗或临床环境中使用以及革命性地产生具有深远影响的MRI行业的能力，大大扩展了可以利用MRI的环境和情况。

[0141] 可以以各种几何形状来生产和布置层压板以便于构造期望的低场MRI系统。例如，图13示出了以大致双平面布置进行布置的层压板。在一些实施方式中，层压板被布置成不同的几何形状，例如以产生被配置用于特定类型的成像和/或对特定的感兴趣的解剖结构进行成像的低场磁性部件。图15A至图15C示出了根据一些实施方式的示例性几何形状。在图15A至图15C中，示意性地示出了层压板，并且应当理解，所示的层压板一般地表示具有任何期望数目的层的层压板，其具有以任何期望的布置形成在其上的磁性部件的期望的任何一个或组合。图15A示出了示例性层压板几何形状1500A，其包括被布置成便于头部的低场MRI的四个连接的层压板。层压板被大致布置和连接成容纳头部，使得头部的期望部分在所得到的B_0场的视场内。层压板可以以任何合适的方式彼此连接、附接或固定，包括但不限于通过粘合剂、通过一个或更多个连接器、通过一个或更多个铰链和/或通过其任何组合或者任何其他合适的方法。

[0142] 在几何形状1500A中，所示的一个或更多个层压板以本文中所讨论的各种组合中的任一种集成低场MRI系统的磁性部件。例如，在一种实现中，层压板1510A和1520A中的每一个可以包括其上形成有用于生成低场MRI系统的B_0场的B_0线圈的全部或一部分的至少一个层。在这样的实现中，一对面板1510A、1520A可以以在先前关于图13描述的双平面几何形状来布置。并且尺寸设计成提供容纳头部的视场。层压板1530A和1540A可以包括低场MRI系统的一个或更多个其他部件(例如一个或更多个梯度线圈、发射接收线圈、垫片线圈等)，或者它们本身可以包括B_0线圈的全部或一部分，以有助于生成期望的B_0场。添加另外的B_0线圈可以允许在不减损B_0场的强度或均匀度的情况下放松对每个B_0线圈的功率需求。可替选地，面板1530A和1540A中的一个或两个可以不包括任何低场MRI磁性部件，但是可以被制造成包括支持电子器件，例如，电力电子器件或控制电子器件可以包括热管理部件、屏蔽和/或可以被提供用于结构支承。

[0143] 应当理解，图15A所示的几何形状是示例性的，并且其他布置也是可以的。例如，面板的尺寸可以被设计成容纳头部，使得被扫描的人面对侧面板(例如面板1510A或1520A)中的一个。可替选地，可以包括连接至面板1510A、1520A和1530A中的至少一个的另一面板以完全地或部分地封闭要成像的对象(例如患者的头部)。这样的几何形状提供了与面板1540直接相对的另外的层压板，其可以用于在其上形成一个或更多个低场MRI部件。在一些实施方式中，层压板中的至少一个可以包括或具有：安装在其上的视觉显示器，其使得正被成像的人能够观看视觉图像(例如图片或视频)。任何合适的视觉显示器包括但不限于液晶显示器可以用于此目的。

[0144] 图15A所示的一般配置还可以与包括发射/接收线圈的头盔(例如具有形成在头盔上或头盔内的大致呈螺旋形线圈的各种形式的配合头盔中的任一种)结合使用，以根据期望的采集顺序提供B_1场并且响应地检测所发射的MR信号。形成低场MRI系统的磁性部件(例如B_0磁体、梯度线圈等)的层压板可以被构造成容纳头盔，使得头盔的佩戴者可以位于当

(一个或多个)层压板被操作时所生成的B_0场的视场内。可替选地,具有用于生成B_0场和相应梯度场的磁性部件的(一个或多个)层压板可以与具有发射/接收线圈的头盔(例如用适当的发射/接收线圈缠绕的头盔)集成在一起,以形成用于低场MRI的单个通常集成的头部扫描仪的磁性部件。

[0145] 图15B示出了尺寸设计成例如容纳其他解剖结构的面板的另一示例性布置。如图所示,层压板1510B、1520B、1530B和1540B被布置成形成端部开放的矩形管。可以选择相对尺寸以允许人将全部或一部分末端或附肢(例如手、脚、臂、腿等)放置在所生成的磁场的视场内。应当理解,磁性部件可以使用本文中所讨论的配置中的任何一种或组合以层压板形式来制造。此外,图15B中的层压板的尺寸可以被设计为容纳任何期望的解剖结构(或其他对象),包括增加面板的尺寸和相对尺寸以容纳正被成像的人的躯干或整个身体。还应当理解,如下面进一步详细讨论的,制造有一个或更多个磁性部件的层压板可以以其他配置和几何形状来布置,以至少部分地产生期望的用于一般目的的低场MRI系统或被配置用于对特定对象或解剖结构进行成像和/或便于特定成像应用的系统。

[0146] 图15C示出了根据一些实施方式的平面配置。特别地,图15C所示的平面几何形状1500C可以通过单个层压板1510C实现,在单个层压板1510C上形成有用于产生适合于放置在层压板1510C附近的对象的低场成像的B_0场的一个或更多个磁性部件。平面几何形状1500C便于例如在正被成像的对象不能便利地放置在多个面板之内或之间和/或多个面板几何形状不方便或不必要的情况下执行低场MRI,或者期望进一步降低成本的解决方案。层压板1510C的尺寸可以被适当地设计成产生可以保持靠近正被成像的对象(例如在期望进行低场MRI的解剖结构的特定部分附近)的一般手持式装置。可替选地,层压板1510C的尺寸可以被设计成使得患者站立或坐在层压板附近以执行低场MRI。应当理解,可以以任何期望的尺寸和/或形状来生产层压板1510C,以产生用于特定成像应用(例如定制用于对特定解剖结构或解剖结构的一部分进行成像)的平面几何形状装置,因为这些方面在这点上不受限制。

[0147] 本文中所描述的技术可以用于产生用于低场磁共振系统的磁性部件,所述磁性部件被配置成生成给定磁场强度的B_0场(例如磁场强度小于或等于约0.2T、小于或等于约0.1T、小于或等于约50mT、小于或等于约20mT、小于或等于约10mT等)。在一些实施方式中(例如包括铁磁性增强以增加磁场强度的实施方式),低场MRI系统的B_0场可能会超过0.2T。

[0148] 如上所述,发明人已经认识到,可以使用层压技术来产生用于低场MRI系统的磁性部件。为了描述另外的方面,结合示例性低场MRI系统提供进一步的细节。简言之,再次参照图13,低场MRI系统1300还示出了与磁性设备结合操作以便于低场MRI的多个其他部件。特别地,示例性低场MRI系统1300还包括控制台1330,控制台1330可以包括被编程以生成用于使用低场MRI系统1300采集数据的MRI脉冲序列的一个或更多个处理器,和/或控制台1330可以被配置成执行任何其他合适的操作。在一些实施方式中,控制台1330可以被配置成接收由一个或更多个接收线圈(如下面进一步详细讨论的,一个或更多个接收线圈可以集成在层压板1310a、1310b内,或者以不同方式提供,例如通过用户佩戴的头盔提供)检测到的MR数据,并且将所接收的MR数据提供给工作站1360以用于处理数据(例如重建一个或更多个MRI图像)。低场MRI系统1300还包括电力管理系统1340,电力管理系统1340包括向MRI系统的一个或更多个部件提供操作电力的电子器件。例如,如下面更详细地讨论的,电力管理

系统1340可以包括一个或更多个电源、梯度功率放大器、发射线圈放大器和/或提供合适的操作电力以对系统的部件进行激励和操作所需要的任何其他合适的电力电子器件(例如对集成在层压板1310a、1310b内的磁性部件提供适当电流所需要的电源)。

[0149] 此外,低场MRI系统1300还可以包括热管理系统1350,热管理系统1350被配置成便于将由MRI系统的一个或更多个部件生成的热能转移远离这些部件。在一些实施方式中,热管理系统1350可以包括与层压板1310a、1310b集成的部件。例如,层压板1310a、1310b可以包括被配置成例如使用各种散热器等中的任一种散热的一个或更多个层压层。在层压层的制造中使用的粘合剂可以被选择为具有热吸收和/或耗散特性,以辅助管理由磁性部件生成的热。热管理系统1350可以包括但不限于用于执行基于水冷却或基于空气冷却的热管理部件,所述热管理部件可以与生成热的MRI部件集成在一起或者被布置成与其紧密靠近,所述生成热的MRI部件包括但不限于B_0线圈、梯度线圈和/或发射/接收线圈。热管理系统1350的部件可以包括任何合适的传热介质包括但不限于空气和水,以将热从低场MRI系统的部件传递出去。

[0150] 图16通过提供低场MRI系统1300的示例性部件的更多细节示出了根据一些实施方式的详述图13所示的系统图的示意性框图。系统1300包括MR控制台1330,MR控制台1330具有用于向电力管理系统1340发送指令和从电力管理系统1340接收信息的控制电子器件。MR控制台1330被配置成接收一个或更多个脉冲序列1610或被编程以实现一个或更多个脉冲序列1610,一个或更多个脉冲序列1610用于确定发送给电力管理系统1340的指令从而以期望的顺序操作线圈。MR控制台1330还与被编程为基于所接收的MR数据执行数据采集和/或图像重建的工作站1360交互。控制台1330可以向工作站1360提供关于一个或更多个脉冲序列1610的信息以便于数据采集和/或图像重建过程。用户可以经由用户接口1612与控制台1330交互。可以使用任何合适的用户接口,并且实施方式在这点上不受限制。

[0151] 电力管理系统1340包括用于向低场MRI系统1300的磁性部件1310提供操作电力的电子器件以及用于对从磁性部件1310接收的MR信号进行放大的电子器件。电力管理系统1340中的部件的阴影表示该部件是否具有通常较低功率需求(淡阴影)或通常较高功率需求(浓阴影)。如图所示,电力管理系统1340包括对由一个或更多个RF接收线圈(例如RF Rx线圈1640)检测到的MR信号进行放大的射频(RF)接收(Rx)前置放大器。电力管理系统1340还包括被配置成向一个或更多个RF发射线圈(例如RF Tx线圈1640)提供功率放大的RF功率放大器1622。

[0152] 如图所示,电力管理系统1340还包括被配置成驱动一个或更多个梯度线圈1642的梯度功率放大器1624。如上所述,MRI系统通常包括被布置成在三个基本正交的方向(X,Y,Z)上提供MR梯度的三组梯度线圈。因此,在使用三组梯度线圈1642的实施方式中,梯度功率放大器1624可以包括三个梯度功率放大器,每个梯度功率放大器驱动梯度线圈组中的相应一组。可以使用任何合适的梯度功率放大器1624。在一些实施方式中,梯度功率放大器1624可以是单极脉冲梯度放大器,然而,可以使用任何合适的梯度功率放大器。电力管理系统1340还包括被配置成驱动一个或更多个B_0线圈(例如B_0磁体1650)以产生用于低场MRI系统的主磁场的磁体电源1626。在一些实施方式中,磁体电源1626是单极连续波(CW)电源,然而,可以使用任何合适的电源。电力管理系统1340还可以包括被布置成独立地操作垫片线圈1644的垫片放大器1628。

[0153] 低场MRI系统1300还可以包括置于电力管理系统1340与磁性部件1310之间的多个接口部件，所述多个接口部件包括发射/接收(Tx/Rx)开关1630和馈通滤波器1632和1634，并且可以是任何合适的设计和/或类型。任何合适的部件可以用于这些接口部件，并且实施方式在这点上不受限制。

[0154] 如图所示，磁性部件1310包括RF Tx/Rx线圈1640、梯度线圈1642和B_0磁体1650。如上所述，这些磁性部件中的一个或更多个可以使用本文中所描述的层压技术形成在层压板的一个或更多个层上。虽然未示出，但磁性部件1310可以与被配置成减少来自不利地影响MRI系统的操作的电磁干扰的电磁屏蔽合并在一起。如上所述，可以使用任何合适的屏蔽，包括但不限于使用层压板的一个或更多个屏蔽层。

[0155] 低场MRI系统1300还可以包括被配置成为系统的部件提供冷却的热管理系统1350。如上所述，在一些实施方式中，热管理系统1350的至少一部分可以与形成在一个或更多个层压板的一个或更多个层上的一个或更多个磁性部件1310集成在一起。热管理系统1350可以包括任何合适的部件，包括但不限于，气体冷却(例如空气冷却)系统、液体冷却(例如水冷却)系统、一个或更多个风扇、热粘合剂或用于制造层压板或系统1300的其他部件的其他物质等。如图所示，热管理系统1350被配置成管理梯度线圈1642、B_0磁体1650、梯度功率放大器1624和磁体电源1626的热冷却。在一些实施方式中，这些部件中的一个或更多个可以具有与该部件集成在一起的热管理系统1350的至少一部分。此外，热管理系统1350可以被配置成为除了图16所示的部件之外的部件提供热管理功能，因为热管理系统1350可以被配置成根据需要提供热管理。

[0156] 图17示出了根据一些实施方式的热管理部件。热管理部件1700可以适于例如通过耗散由示例性层压板1310a、1310b生成的热将热传递出去并远离低场MRI系统的部件。热管理部件1700包括被配置成螺旋形状并固定到螺旋形铝冷板1720的铜管或管子1710。根据一些实施方式，热管理部件1700被设计成定位成热耦接至一个或更多个层压板以在操作期间将热从一个或更多个层压板传递出去。根据一些实施方式，铜管1710被配置成在任一端1710A或1710B处连接到水源并且经由另一端对水进行沉积。穿过铜管1710的水(或任何其他流体)从与其热耦接的一个或更多个部件吸收热并将其带走以在其他地方沉积。

[0157] (一个或多个)发明人已经认识到，铜管1710的螺旋形状减轻或消除了涡电流，涡电流常常使常规热管理部件从系统去除热的能力劣化。由于其螺旋形状，热管理部件1700可以特别适合于从包括时变磁场(例如在MRI系统的磁性部件中存在的那些磁场)的部件去除热。然而，热管理部件1700可以与其他类型的部件结合使用，因为螺旋形几何形状不限于与任何特定部件一起使用。

[0158] 应当理解，热管理部件1700也不限于与水一起使用，而是可以与能够吸收和传输热的任何流体(包括液体或气体状态的流体)结合使用。然而，利用水的能力可以便于部署具有热管理部件的通常便携式或“可载运式”低场MRI系统，该热管理部件可以连接到并利用可用水源(例如许多冷水连接(hook-up)不仅在整个医疗设施可用，而且在小诊所、移动设施和其他地方同样可用)。然而，热管理部件1700也可以利用其他冷却流体如液氮、固态二氧化碳的释气、冷冻和压缩空气等，因为这些方面在这点上不受限制。

[0159] 图18示出了根据一些实施方式可以使用的RF信号链的更详细的框图，该RF信号链包括MR控制台1330、RF Rx低噪声放大器(LNA)1620、RF功率放大器1622、Tx/Rx开关1630以

及RF Tx/Rx线圈1640。在图18的顶部所示的第一路径中，来自控制台的控制指令被发送至功率放大器1622。在一些实施方式中，功率放大器1622可以被配置成具有至少两瓦的功率输出。功率放大器1622的输出被发送至低通滤波器1812。低通滤波器1812可以具有任何期望的截止频率(例如3MHz)以实现期望的滤波。当Tx/Rx开关被设置成发射(Tx)位置时，滤波后的功率输出被提供给Tx线圈1640以产生RF激励。

[0160] 在接收操作期间，Tx/Rx开关1630切换至接收(Rx)位置，并且由Rx线圈1640检测到的RF信号被提供给低噪声放大器(LNA)1820，低噪声放大器1820在由带通滤波器1822滤波之前对信号进行放大。可以使用任何合适的带通滤波器1822。在由带通滤波器1822滤波之后，经滤波的RF信号由驱动器1824进一步放大，接着由滤波器1826进行附加的带通滤波。带通滤波器1826的输出被提供给控制台以进行进一步处理，所述处理包括但不限于向工作站1360发送经放大和滤波的RF信号以进行数据处理和图像重建。在一些情况下，滤波器1822和1826可以是低通滤波器、高通滤波器，或者包括一系列滤波器如低通滤波器、高通滤波器和陷波滤波器或其任何组合。应当理解，图18示出并且在上面进行讨论的RF信号链仅是可以与实施方式一起使用的RF信号链的一种实现，并且在这点上，本文中所描述的技术不限于与任何特定RF信号链或任何特定实现一起使用。

[0161] 如上所述，发明人已经认识到，低场MRI的特性便于实现实际上可以部署在任何设施中的实质上较小的设备，并且还允许开发便携式或可载运式低场MRI系统，一些实施方式这将在下面进一步详细讨论。由于这样的系统可以在不同的时间在不同的环境中操作，因此，可能有利的是，提供MRI系统的一个或更多个部件的“现场”和/或动态校准以在MRI系统正在操作的环境中对用于特定成像应用的一个或更多个磁场进行调整或优化。

[0162] MRI系统的B_0场的校准可以至少部分地通过使用下述垫片线圈来实现：所述垫片线圈可以被调节以影响由主磁场线圈产生的B_0场的均匀度。在包括垫片线圈的一些实施方式中，可以以类似的方式通过选择性地激活垫片线圈以改善B_0场的均匀度来执行B_0场的校准。根据一些实施方式，使用一个或更多个传感器来确定系统特性(例如磁场的均匀度、系统的稳定性)和/或环境噪声的特性，并且来自传感器的信息可以被提供给控制台，控制台进而可以通过调整磁性部件的操作参数来对磁场进行调谐。

[0163] 发明人已经认识到并理解，通过使用根据本文中所描述的层压技术制造的磁性部件来促进动态校准的方面。在一些实施方式中，一个或更多个磁性部件的全部或一部分可以是单独可控的以允许在MRI系统的操作之前或期间对磁场进行调谐。例如，层压板的一个或更多个层可以具有在其上被图案化的可以单独地和独立地控制的多个垫片线圈。多个垫片线圈可以在位置和几何形状上分布成使得多个垫片线圈可以被选择性地操作以有助于B_0场，从而实现针对MRI系统正在操作的特定环境和负载条件的期望的磁场强度和均匀度。例如，在给定环境中，可以对由B_0磁体的操作产生的B_0场进行评估，并且选择性地操作多个垫片线圈以有助使得给定环境中产生合适的B_0场。根据一些实施方式，通过自动化过程来执行对B_0场的测量和随后的对适当垫片线圈的选择，所述自动化过程被编程以识别垫片线圈的通常最优组合从而在给定环境中和/或在给定负载条件下产生具有期望的强度和均匀度的B_0场。

[0164] 低场MRI系统的其他方面也可以被调谐以解决特定环境的特性。例如，在低场MRI中，AM频率广播频带(例如大约1000kHz的频带)可以为发射/接收线圈提供干扰源。为了解

决这个噪声源,可以针对活动性对感兴趣的特定频带进行评估,并且对系统的磁性部件进行调谐以操作成使得尽可能避免检测到的干扰。例如,B_0场的磁场强度可以适当地增加或减小,使得发射/接收线圈在令人满意地没有干扰的频带中操作。亦即,该系统可以被配置成检测噪声并对MRI系统的一个或更多个磁性部件进行调谐或配置以产生减小环境噪声的影响的期望磁场。例如,该系统可以被配置成对适合于系统操作的感兴趣频带中的电磁频谱进行扫描以定位电磁噪声或干扰最小的频谱的一部分,并且对该系统进行调谐以在频谱的这部分中的频率下操作。

[0165] 根据一些实施方式,可以通过提供辅助接收通道以检测环境射频干扰(RFI)来执行噪声消除。例如,一个或更多个接收线圈可以位于B_0场的视场附近而不是外部,以对RFI进行采样,而不检测由正被成像的对象发射的MR信号。可以从被定位成检测所发射的MR信号的一个或更多个接收线圈接收的信号中减去由一个或更多个辅助接收线圈采样的RFI。这样的布置具有动态处理和抑制RFI的能力,以便于提供通常可运输式和/或可载运式低场MRI系统,其有可能取决于低场MRI系统在其中操作的环境而经受不同的和/或变化的RFI水平。

[0166] 一些实施方式可以被配置成通过使得控制台能够调整MRI序列用于生成具有期望的质量和分辨率的图像的方式来提供MRI系统的动态配置。常规MRI控制台通常通过使用户选择预编程的MRI脉冲序列来操作,然后该脉冲序列被用于采集被处理以重建一个或更多个图像的MR数据。医生然后可以解释所得到的一个或更多个图像。发明人已经认识到并理解,使用预编程的MRI脉冲序列来操作MRI系统在产生期望质量的图像时可能不是有效的。因此,在一些实施方式中,用户可以指定要获取的图像的类型,并且控制台可以负责决定初始成像参数,可选地,在扫描进行时更新参数以基于分析所接收的MR数据来提供期望类型的图像。基于计算反馈来动态调整成像参数便于开发“按钮”MRI系统,其中,用户可以选择期望的图像或应用,并且MRI系统可以决定用于采集期望图像的一组成像参数,这组成像参数可以基于在采集期间获得的MR数据而被动态地优化。

[0167] 根据一些实施方式,低场MRI系统可以包括场传感器,其被布置成结合由低场MRI系统产生的磁场和/或环境中的磁场来获得局部磁场测量结果。这些磁场测量结果可以用于动态调整低场MRI系统的各种属性、特性和/或参数,以提高系统的性能。例如,空间分布的场传感器的网络可以被布置在空间中的已知位置处,以允许实时表征由低场MRI系统产生的磁场。传感器网络能够测量低场MRI系统的局部磁场以提供便于对系统进行任何数目的调整或修改的信息,将在下面进一步详细描述其中的一些示例。可以使用能够测量感兴趣的磁场的任何类型的传感器。由于与使用磁场测量结果有关的概念不限于提供传感器的类型、数目或方法,所以这样的传感器可以被集成在一个或更多个层压板内,或者可以单独来提供。

[0168] 根据一些实施方式,由传感器网络提供的测量结果提供便于建立适当的垫衬(shimming)以提供具有期望的强度和均匀度的B_0场的信息。如上所述,任何期望数目的任何几何形状和布置的垫片线圈可以单独地或与其他磁性部件组合地集成在层压板中,使得垫片线圈的不同组合可以被选择性地操作和/或以期望的功率水平操作。因此,当低场MRI系统在特定环境中操作时,来自场传感器网络的测量结果可以用于表征由例如B_0磁体和/或梯度线圈产生的磁场,以确定应当选择垫片线圈的什么组合进行操作和/或以什么功率

水平操作所选择的垫片线圈以影响磁场，使得低场MRI系统以期望的强度和均匀度产生B_0场。这种能力便于通常便携式系统、可运输式系统和/或可载运式系统的部署，因为可以针对使用该系统的给定位置对B_0场进行校准。

[0169] 根据一些实施方式，来自场传感器网络的测量结果可以用于在系统的操作期间执行动态垫衬。例如，传感器网络可以测量在操作期间由低场MRI系统产生的磁场以提供以下信息，该信息可以用于动态调整(例如连同操作该系统实时地、近似实时地或以其他方式)一个或更多个垫片线圈和/或操作不同组合的垫片线圈(例如通过操作一个或更多个另外的垫片线圈或停止一个或更多个垫片线圈的操作)，使得由低场MRI系统产生的磁场具有或更接近于具有期望的或预期的特性(例如以期望的或更接近于期望的磁场强度和均匀度产生所得到的B_0场)。来自场传感器网络的测量结果也可以用于通知操作者磁场质量(例如B_0场、梯度场等)不能满足期望的标准或度量。例如，如果正产生的B_0场不能满足关于磁场强度和/或均匀度的某些需求，则应当警告操作者。

[0170] 根据一些实施方式，来自传感器网络的测量结果可以用于指导和/或校正从操作低场MRI扫描器获得的MR数据的重建和/或处理。具体地，由传感器网络获得的实际空间-时间磁场模式可以用作当根据所获取的MR数据重建图像时的知识。因此，即使在存在以其他方式对于获取数据和/或产生图像不令人满意的场不均匀度的情况下，也可以重建合适的图像。因此，使用场传感器数据来辅助图像重建的技术便于在一些情形中获得改进的图像，并且允许在磁场强度和/或均匀度退化的环境和/或情形中执行低场MRI。

[0171] 根据一些实施方式，场传感器网络可以用于测量和量化系统性能(例如涡电流、系统延迟、定时等)和/或可以用于便于基于所测量的局部磁场等进行梯度波形设计。应当理解，从场传感器网络获得的测量结果可以以任何其他方式来使用，以便于执行低场MRI，因为这些方面在这点上不受限制。在通常便携式系统、可运输式系统或可运载式系统中，部署MRI系统的环境可能通常是未知的，未屏蔽的并且通常不受控制。因此，表征由给定特定环境(磁性和其他)中的低场MRI系统产生的磁场的能力促进在宽范围的环境和情形中部署这样的系统的能力，从而允许系统对于给定环境被优化。

[0172] 如上所述，低场MRI便于MRI系统的设计和开发，这在例如相对低成本、减小的占地面积的高场MRI和/或通常便携式或可运输式MRI系统的情况下通常是不可行的。图19至图22示出了根据一些实施方式的用于低场MRI的系统配置的非限制性示例。图19A示出了系统1900，其被配置成使得坐着的患者定位成使得患者身体的相关部分位于B_0磁体的视场内。低场MRI系统1900表示开放的双平面构造，其中一对层压板1910A和1910B通过被配置成将层压板保持在适当位置的支承结构1950A和1950B而被安装到大致呈U形的框架1940。

[0173] U形框架1940还包括可调节座椅1935以便于将不同身材的患者恰当地定位在层压板的视场内和/或定位患者以用于对患者身体的期望部分进行成像。另外地或可替选地，层压板可以是可调节的以便于使患者相对于层压板适当定位。例如，支承结构1950A和1950B可以升高到U形框架1940的臂中和降低到U形框架1940的臂外。在一些实施方式中，层压板可以连接至铰接式臂和/或铰接臂使得能够将面板固定到更紧凑的位置，从而提高系统的便携性。例如，其上安装有层压板的臂可以在运输期间向下折叠，并且在MRI系统的操作期间向上延伸(如图所示)。此外，框架1940的基部可以包括使得要具有轮的结构能够从一个位置到另一位置的轮或可拆卸脚轮(未示出)。

[0174] 形成在层压板1910A和1910B上的磁性部件可以经由一个或更多个电缆连接至电力电子器件1920。如图所示，电力电子器件1910可以设置在手推车或其他可运输结构上以便于低场MRI系统的便携性。将电力电子器件与系统的磁性部件分离可以减少由电力电子器件生成的噪声对用于对患者进行成像的磁场的影响。可以在框架1940的基部处提供用于电力电子器件的连接(以及例如用于控制台、工作站、显示器等的任何其他所需要的连接)，其中适当的连接组通过框架1940的臂连接至支承结构1950A和1950B以操作集成在层压板1910A和1910B内的磁性部件。图19B示出了系统1900，其示出了患者1985坐在双平面磁体1915A和1915B的视场内，系统1900包括图19A所示的层压板和外部覆盖件或壳体，外部覆盖件或壳体还可以包括其他部件如内部屏蔽、电连接件、电力电子器件和控制电子器件等，并且通常可以为层压板提供环境保护措施。

[0175] 图20A示出了具有倾斜配置的系统2000，其中，形成在层压板2010A和2010B上的磁性部件布置在框架内，该框架包括可调整地定向成一定角度的座椅部分2035以容纳患者而将其置于层压板之间的倾斜位置。系统的倾斜部分可以是可调节的以便于患者在层压板之间的期望定位，使得患者的期望部分位于磁体的视场内。另外地或可替选地，层压板可以在外壳2015内是可调节的以提供将磁性部件相对于患者定位的另外的灵活性。形成在层压板2010A和2010B上的磁性部件可以经由一个或更多个适当的电缆连接至电力电子器件2020，电力电子器件2020可以安装在机架上或者与另一合适的可运输结构一起被容纳，以便于MRI系统的便携性。图20B和图20C示出了不同视角以及患者的不同倾斜位置的倾斜MRI系统2000。

[0176] 图21A和图21B示出了根据一些实施方式的便携式或可载运式低场MRI系统2100。系统2100可以包括磁性部件和功率部件以及一起布置在单个通常可运输和可变形的结构上的可能的其他部件(例如热管理部件、控制台等)。系统2100可以被设计成具有至少两种配置；一种配置适于运输和存储，而另一种配置适于操作。图21A示出了当被固定用于运输和/或存储时的系统2100，而图21B示出了当变换为用于操作时的系统2100。系统2100包括部分2190A，当将系统从其运输配置变换为其操作配置时，如由图21B中所示的箭头指示的，部分2190A可以滑动到部分2190B中并从部分2190B中回缩。部分2190A可以容纳电力电子器件2140、控制台2130(其可以包括诸如图21A和图21B所示的触摸面板显示器的接口装置)和热管理部件2150。部分2190A还可以包括用于根据需要操作系统2100的其他部件。

[0177] 部分2190B包括低场MRI系统2100的磁性部件，包括层压板2110A和2110B，磁性部件在层压板2110A和2110B上集成到本文中所讨论的任何组合中。当变换为适于操作系统以执行MRI的配置时(如图21B所示)，部分2190A和2190B的支承表面提供患者可以躺在其上的表面。可以提供可滑动表面2165以便于将患者滑动到位，使得要成像的患者的一部分位于提供相应低场MRI磁体的层压板的视场内。系统2100提供低场MRI系统的便携式紧凑配置，这便于在其常规上不可用的情况下(例如在急诊室中)访问MRI成像。

[0178] 图21C示出了根据一些实施方式的利用双平面混合磁体的可折叠式低场MRI系统2280的示例。在图21C中，可折叠式系统处于折叠配置，便于在不使用时运输该系统或存储该系统。可折叠式系统2280包括：可滑动床2284，其被配置成支承患者并且允许患者在壳体2286A与2286B之间沿箭头2281的方向滑入和滑出成像区域。如下面结合可折叠式系统2280的若干视图进一步详细讨论的，壳体2286A和2286B容纳用于可折叠式系统2280的磁性部

件。根据一些实施方式，磁性部件可以使用专门的层压技术、专门的传统技术或使用两者的组合(例如使用本文中所描述的混合技术)来生产、制造和布置。

[0179] 图21D示出了在要成像的患者被置于壳体2286A与2286B之间之前的延伸的并且患者位于可滑动床2284上的可折叠式系统2280。图21E示出了壳体2286A和2286B的分解图。根据一些实施方式，壳体2286A和2286B中的每一个容纳耦接至热管理部件的混合磁体以将热从磁性部件带走。具体地，位于成像区域的相对侧的壳体2286A和2286B中的每一个包括B_0线圈2205a和2205b、层压板2210(2210b以面朝上的布置在壳体2286B内可见)以及设置在B_0线圈之间的热管理部件2230。容纳在2286A和2286B中的磁性部件可以基本上相同以形成对称的双平面混合磁体，或者容纳在2286A和2286B中的磁性部件可以是不同的以形成不对称的双平面混合磁体，因为这些方面不限于与混合磁体的任何特定设计或构造一起使用。

[0180] 图21F示出了根据一些实施方式的可折叠式低场MRI系统的一部分的特写视图，并且更具体地，示出了用于容纳和固定用于低场MRI系统的双平面磁体的磁体组件2250的视图。磁体组件2250包括上壳体2286A和下壳体2268B以对形成双平面混合磁体的上磁体和下磁体进行定位和对准。壳体2286A和2286B使用多个柱或杆2290来连接，柱或杆2290提供容纳在上壳体和下壳体中的磁性部件之间的分离以提供可以将对象置于其中的成像区域。容纳在上壳体2286A中的上磁体2200a包括一对B_0线圈和包括多个磁性部件(例如一个或更多个梯度线圈和/或一个或更多个B_0校正线圈(仅上部B_0线圈2205a可见))的层压板。热管理部件2230被设置成与磁性部件热接触。热管理部件2230包括：冷却部分，适于将热从与其耦接的磁性部件带走；以及安装部分2232，其从磁性部件向外延伸以使得磁体能够使用螺栓或任何其他合适类型的紧固件固定到上壳体2286A。

[0181] 图21G示出了图21F所示的磁体组件2250的分解图。在图21G中，上磁体2200a和下磁体2200b两者都用指示将磁体安装到它们相应的壳体2286A和2286B中的方向的箭头示出。上磁体2200a和下磁体2200b可以使用本文中所描述的任何技术或使用其他合适的技术来构造，并且可以形成对称或不对称的双平面磁体。在图21G所示的实施方式中，每个磁体包括一对缠绕的B_0线圈2205a和2205b以及具有在其上被图案化的至少一个梯度线圈和至少一个B_0线圈(例如校正线圈或垫片线圈)的层压板2210。磁体2200a和2200b上所示的安装部分2232被布置和配置成在组装磁性组件时用螺栓2202固定到相应壳体(参见壳体2286A，其中，安装部分2233可见)的安装部分2233。应当理解，图21A至图21G所示的低场MRI系统仅是可以使用本文中所描述的技术的系统的示例，因此，可以使用基于层压的技术和/或混合技术为任何类型的系统提供磁性部件，因为这些方面在这点上不受限制。

[0182] 图22A至图22C示出了被配置成执行脑扫描的低场MRI的头盔。头盔可以包括以围绕头盔表面的螺线管几何形状的B_0磁体以在通过头部的轴向方向(即从头部的顶部到底部，或从头部的底部到顶部)上产生B_0场。头盔还可以具有合并在其中的梯度系统，该梯度系统具有一个或更多个梯度线圈和来自激励和检测的Rx/Tx线圈阵列。在图22A所示的实施方式中，头盔2500具有布置用于通常完全清除患者面部的磁性部件，因此是三种配置中最开放的。在图22B所示的实施方式中，头盔2500'包括被布置成使得提供局部遮挡面部的一个或更多个磁性部件(例如可能需要在该区域中设置多通道RF线圈元件或单通道RF线圈元件和/或B_0绕组以满足特定设计需求)。在图22C所示的实施方式中，头盔2500"包括被布置成使得开口保持在患者的眼睛周围以使幽闭效应最小化的磁性部件，但是一个或更多个磁

性部件容纳在患者口部区域上的前部中的头盔2500”内。

[0183] 根据一些实施方式，图22A至22C所示的头盔的磁性部件是使用层压技术制造的。例如，可以经由连接在一起且以围绕头盔内的头部的几何形状布置的一系列层压板来提供执行MRI所需要的磁性部件(例如B_0线圈、梯度线圈、Tx/Rx线圈等)。根据一些实施方式，头盔至少部分地使用用于跨过多个层压板提供磁性部件的技术(例如如结合图12所描述的)来构造，以形成围绕头部的三维几何形状。多个层压板可以具有在其上被图案化的B_0线圈、梯度线圈和Tx/Rx线圈以形成用于头部成像的集成MRI头盔。应当理解，用于在多个连接的层压板上制造磁性部件的技术可以用于形成其他几何形状从而提供用于对解剖结构的其他部分进行成像的集成MRI系统，因为本文中所描述的技术在这点上不受限制。

[0184] 由此描述了本公开内容中阐述的技术的若干方面和实施方式，应当理解，本领域技术人员将容易想到各种改变、修改和改进。这样的改变、修改和改进旨在在本文描述的技术的精神和范围内。例如，本领域普通技术人员将容易地想到用于执行功能以及/或者获得结果和/或本文描述的一个或更多个优点的各种其他装置和/或结构，并且每个这样的变型和/或修改被认为在本文描述的实施方式的范围内。本领域技术人员将认识到或使用仅常规实验能够确定本文描述的具体实施方式的许多等同方案。因此，应当理解，前述实施方式仅以示例的方式给出，并且在所附权利要求及其等同方案的范围内，本发明实施方式可以以不同于具体描述的方式实施。此外，如果这样的特征、系统、制品、材料、装备和/或方法不相互矛盾，则本文描述的两种或更多种特征、系统、制品、材料、装备和/或方法的任何组合被包括在本公开内容的范围内。

[0185] 可以以许多方式中的任一种来实现上述实施方式。本公开内容的涉及过程或方法的执行的一个或更多个方面和实施方式可以利用可由装置(例如计算机，处理器或其他设备)执行以执行或控制过程或方法的执行的程序指令。在这方面，各种发明构思可以体现为编码有一个或更多个程序的计算机可读存储介质(或多个计算机可读存储介质)(例如计算机存储器、一个或更多个软盘、致密盘、光盘、磁带、闪存、现场可编程门阵列或其他半导体装置中的电路配置、或其他有形计算机存储介质)，所述一个或更多个程序当在一个或更多个计算机或其他处理器上执行时执行实现上述各种实施方式中的一个或更多个实施方式的方法。计算机可读介质可以是便携式的，使得存储在其上的程序可以加载到一个或更多个不同的计算机或其他处理器上，以实现上述方面中的各种方面。在一些实施方式中，计算机可读介质可以是非暂态介质。

[0186] 本文中在一般意义上使用术语“程序”或“软件”以指代如上所述的可以用于对计算机或其他处理器进行编程以实现各种方面的任何类型的计算机代码或计算机可执行指令集。另外，应当理解，根据一个方面，在被执行时执行本公开内容的方法的一个或更多个计算机程序不需要驻留在单个计算机或处理器上，而是可以以模块化方式分布在多个不同的计算机或处理器之间以实现本公开内容的各个方面。

[0187] 计算机可执行指令可以是由一个或更多个计算机或其他装置执行的许多形式，例如程序模块。通常，程序模块包括执行特定任务或实现特定抽象数据类型的例程、程序、对象、部件、数据结构等。通常，在各种实施方式中，可以根据需要组合或分布程序模块的功能。

[0188] 此外，数据结构可以以任何合适的形式存储在计算机可读介质中。为了简化说明，

数据结构可以被示为具有通过数据结构中的位置相关的字段。同样可以通过为计算机可读介质中具有传达字段之间的关系的位置的字段分配存储器来实现这样的关系。然而，可以使用任何合适的机制(包括通过使用指针、标签或在数据元素之间建立关系的其他机制)来建立数据结构的字段中的信息之间的关系。

[0189] 当在软件中实现时，软件代码可以在任何合适的处理器或处理器集合上执行，无论是设置在单个计算机中还是分布在多个计算机之间。

[0190] 此外，应当理解，作为非限制性示例，计算机可以以多种形式中的任何一种如机架安装式计算机、台式计算机、膝上型计算机或平板计算机来实现。另外，计算机可以嵌入在通常不被认为是计算机但具有适当处理能力的装置中，包括个人数字助理(PDA)、智能电话或任何其他合适的便携式或固定电子装置。

[0191] 此外，计算机可以具有一个或更多个输入和输出装置。这些装置除了其他方面尤其可以用于呈现用户界面。可以用于提供用户接口的输出装置的示例包括：用于视觉呈现输出的打印机或显示屏幕、以及用于可听地呈现输出的扬声器或其他声音生成装置。可以用于用户接口的输入装置的示例包括键盘和定点装置，如鼠标、触摸板和数字化平板电脑。作为另一示例，计算机可以通过语音识别或以其他可听格式接收输入信息。

[0192] 这样的计算机可以通过任何合适形式的一个或更多个网络(包括局域网或广域网(如企业网络)以及智能网(IN)或因特网)互连。这样的网络可以基于任何合适的技术，并且可以根据任何合适的协议进行操作，并且可以包括无线网络、有线网络或光纤网络。

[0193] 此外，如所描述的，一些方面可以体现为一个或更多个方法。作为方法的一部分执行的动作可以以任何合适的方式排序。因此，可以构造以与所示的顺序不同的顺序执行动作的实施方式，其可以包括同时执行一些动作，即使在说明性实施方式中示出为顺序动作。

[0194] 如本文定义和使用的所有定义应当被理解为控制字典定义、通过引用并入的文献中的定义和/或所定义术语的普通含义。

[0195] 除非清楚地相反指示，本文在说明书和权利要求书中使用的不定冠词“一”和“一个”应当被理解为表示“至少一个”。

[0196] 如本文在说明书和权利要求书中使用的短语“和/或”应当被理解为是指这样结合的元件中的“任一个或两个”，即在一些情况下结合地存在并且在其他情况下分离地存在的元件。用“和/或”列出的多个元件应当以相同的方式解释，即，如此结合的元件中的“一个或更多个”。除了由“和/或”子句具体标识的元件之外，可以可选地存在其他元件，无论与具体标识的那些元件相关还是不相关。因此，作为非限制性示例，当结合开放式语言如“包括”使用时，对“A和/或B”的引用在一个实施方式中可以指仅A(可选地包括除B之外的元件)；在另一个实施方式中指仅B(可选地包括除A之外的元件)；在另一个实施方式中指A和B(可选地包括其他元件)等。

[0197] 如本文在说明书和权利要求书中所使用的，关于一个或更多个元件的列表的短语“至少一个”应当被理解为表示选自元件列表中的任何一个或更多个元件中的至少一个元件，但不一定包括在元件列表中具体列出的每个元件中的至少一个，并且不排除元件列表中的元件的任何组合。该定义还允许元件可以可选地存在，而不是短语“至少一个”所指的元件列表中具体标识的元件，无论与具体标识的那些元件相关或不相关。因此，作为非限制性示例，“A和B中的至少一个”(或等效地，“A或B中的至少一个”或等效地“A和/或B中的至少

一个”)可以在一个实施方式中指:至少一个、可选地包括多于一个、A、不存在B(并且可选地包括除B之外的元素);在另一个实施方式中指:至少一个、可选地包括多于一个、B、不存在A(并且可选地包括除A之外的元件);在又一个实施方式中指:至少一个、可选地包括多于一个、A以及至少一个、可选地包括多于一个、B(并且可选地包括其他元件)等。

[0198] 此外,本文使用的措辞和术语是出于描述的目的,并且不应被认为是限制性的。本文中使用的“包括”、“包含”或“具有”、“含有”、“涉及”及其变型意味着包括其后列出的项及其等同物以及另外的项目。

[0199] 在权利要求中以及在上述说明书中,所有过渡短语如“包括”、“包括”、“携带”、“具有”、“包含”、“涉及”、“保持”、“由……组成”等应被理解为开放式的,即意味着包括但不限于。仅过渡性短语“由.....组成”和“基本上由.....组成”分别是封闭或半封闭的过渡短语。

[0200] 本技术还可以如下配置:

[0201] 项1.一种层压板,包括:

[0202] 至少一个层压层,其包括至少一个非导电层和被图案化以形成B_0线圈的至少一部分的至少一个导电层,所述B_0线圈被配置成有助于适用于低场磁共振成像(MRI)的B_0场。

[0203] 项2.根据项1所述的层压板,其中,所述至少一个层压层包括:多个层压层,其上形成有至少一个B_0线圈,所述至少一个B_0线圈被配置成生成所述B_0场的一部分。

[0204] 项3.根据项2所述的层压板,其中,所述多个层压层中的每一个上形成有至少一个B_0线圈。

[0205] 项4.根据项3所述的层压板,还包括:一个或更多个过孔,其电连接形成在所述多个层中的每一个上的至少一个B_0线圈。

[0206] 项5.根据项4所述的层压板,其中,所述一个或更多个过孔被布置成减少对所述B_0场的寄生效应。

[0207] 项6.根据项3所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈使用与至少一个其他B_0线圈不同的几何形状被图案化。

[0208] 项7.根据项3所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈中的每一个包括多匝导体。

[0209] 项8.根据项7所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈在操作时沿与至少一个其他B_0线圈相反的方向传导电流。

[0210] 项9.根据项7所述的层压板,其中,所述多个层压层中的至少一个上形成有多个B_0线圈。

[0211] 项10.根据项9所述的层压板,其中,所述多个B_0线圈中的至少一个B_0线圈在操作时沿与在所述多个层压层中的相应层上被图案化的多个B_0线圈中的至少一个其他B_0线圈相反的方向传导电流。

[0212] 项11.根据项7所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈的多匝导体以圆形几何形状被图案化。

[0213] 项12.根据项11所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈的多匝导体以均匀密度匝数同心地被图案化。

[0214] 项13.根据项11所述的层压板,其中,所述至少一个B_0线圈的多匝导体以不均匀密

度匝数同心地被图案化。

[0215] 项14.根据项7所述的层压板，其中，所述至少一个B_0线圈的多匝导体以螺旋形几何形状被图案化。

[0216] 项15.根据项14所述的层压板，其中，所述螺旋形配置包括具有均匀密度匝数的螺旋形配置。

[0217] 项16.根据项14所述的层压板，其中，所述螺旋形配置包括具有不均匀密度匝数的螺旋形配置。

[0218] 项17.根据项1所述的层压板，其中，所述至少一个层压层上被图案化有一个或更多个梯度线圈，所述一个或更多个梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号的空间编码。

[0219] 项18.根据项17所述的层压板，其中，所述一个或更多个梯度线圈包括至少一个x梯度线圈、至少一个y梯度线圈和至少一个z梯度线圈以分别提供在x、y和z方向上的空间编码。

[0220] 项19.根据项17所述的层压板，其中，至少一个梯度线圈至少部分地被图案化在图案化有至少一个B_0线圈的至少一个层压层上。

[0221] 项20.根据项17所述的层压板，其中，至少一个梯度线圈至少部分地被图案化在未图案化有B_0线圈的层压层上。

[0222] 项21.根据项1或17所述的层压板，其中，至少一个层压层上被图案化有一个或更多个发射线圈，所述一个或更多个发射线圈被配置成：在操作时，通过产生用于低场MRI系统的B_1激励场，在被成像的对象中激发磁共振(MR)响应。

[0223] 项22.根据项21所述的层压板，其中，至少一个层压层上被图案化有一个或更多个接收线圈，所述一个或更多个接收线圈被配置成在操作时检测所发射的MR信号。

[0224] 项23.根据项1所述的层压板，其中，至少一个层压层上被图案化有一个或更多个垫片线圈，所述一个或更多个垫片线圈被配置成在操作时有助于所述B_0场以影响所述B_0场的均匀度。

[0225] 项24.根据项23所述的层压板，其中，至少一个B_0线圈提供至少一个垫片线圈，所述至少一个垫片线圈能够独立于至少一个其他B_0线圈进行操作。

[0226] 项25.根据项23所述的层压板，其中，所述层压板附属有至少一个无源垫片，所述至少一个无源垫片被配置成有助于所述B_0场以影响所述B_0场的强度和/或均匀度。

[0227] 项26.根据项23所述的层压板，其中，所述至少一个层压层上被图案化有至少一个无源垫片，所述至少一个无源垫片被配置成有助于所述B_0场以影响所述B_0场的强度和/或均匀度。

[0228] 项27.根据项1所述的层压板，其中，所述至少一个层压层上被图案化有至少一个无源磁性元件，所述至少一个无源磁性元件被配置成有助于所述B_0场以影响所述B_0场的强度和/或均匀度。

[0229] 项28.根据项1所述的层压板，其中，所述至少一个层压层上形成有电磁屏蔽。

[0230] 项29.根据项28所述的层压板，其中，所述电磁屏蔽包括形成在至少一个层压层上的导电网格。

[0231] 项30.根据项1所述的层压板，其中，至少一个导电层包括铜。

[0232] 项31.根据项30所述的层压板,其中,至少一个导电层包括厚铜。

[0233] 项32.根据项30所述的层压板,其中,至少一个导电层包括极厚铜。

[0234] 项33.根据项1所述的层压板,其中,至少一个导电层包括铝。

[0235] 项34.一种混合磁性部件,包括:

[0236] 至少一个B_0线圈,其由缠绕导体形成并且被配置成有助于适用于低场磁共振成像的B_0场;以及

[0237] 至少一个层压板,其包括:多个层压层,其上被图案化有至少一个B_0线圈或所述至少一个B_0线圈的一部分和/或至少一个梯度线圈或所述至少一个梯度线圈的一部分。

[0238] 项35.根据项34所述的混合磁体,其中,所述至少一个层压板包括:多个层,其上被图案化有至少一个B_0线圈和至少一个梯度线圈。

[0239] 项36.根据项35所述的混合磁体,其中,所述至少一个层压板包括x梯度线圈、y梯度线圈和z梯度线圈。

[0240] 项37.根据项34所述的混合磁体,其中,由所述缠绕导体形成的至少一个B_0线圈包括多个B_0线圈,每个B_0线圈由相应的缠绕导体形成,并且其中,所述至少一个层压板包括多个层压板。

[0241] 项38.根据项37所述的混合磁体,其中,由相应的缠绕导体形成的多个B_0线圈和所述多个层压板被布置成形成双平面磁体。

[0242] 项39.根据项34所述的混合磁体,其中,所述混合磁体在操作时产生约0.2T或更小的磁场。

[0243] 项40.根据项39所述的混合磁体,其中,所述混合磁体在操作时产生约0.1T或更小的磁场。

[0244] 项41.根据项40所述的混合磁体,其中,所述混合磁体在操作时产生约0.05T或更小的磁场。

[0245] 项42.根据项41所述的混合磁体,其中,所述混合磁体在操作时产生约20mT或更小的磁场。

[0246] 项43.一种用于制造低场磁共振成像系统的层压板的方法,所述方法包括:

[0247] 提供至少一个非导电层;

[0248] 提供至少一个导电层;

[0249] 将所述至少一个非导电层和所述至少一个导电层附接以形成至少一个层压层;以及

[0250] 对所述至少一个导电层进行图案化以形成B_0线圈的至少一部分,所述B_0线圈被配置成有助于适用于低场磁共振成像(MRI)的B_0场。

[0251] 项44.根据项43所述的方法,还包括对所述至少一个导电层进行图案化以形成至少一个梯度线圈,所述至少一个梯度线圈被配置成在操作时生成或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号的空间编码。

[0252] 项45.根据项43或44所述的方法,还包括对所述至少一个导电层进行图案化以形成至少一个发射线圈,所述至少一个发射线圈被配置成在操作时激发对象中的磁共振(MR)响应。

[0253] 项46.根据项43至45中任一项所述的方法,还包括对所述至少一个导电层进行图

案化以形成至少一个接收线圈，所述至少一个接收线圈被配置成在操作时检测所发射的MR信号。

[0254] 项47.根据项43至46中任一项所述的方法，还包括对所述至少一个导电层进行图案化以形成至少一个垫片线圈，所述至少一个垫片线圈被配置成在操作时产生或有助于所述低场MRI系统的B_0场以影响所述B_0场的均匀度。

[0255] 项48.一种低场磁共振成像(MRI)系统，包括：

[0256] 第一层压板，其上形成有至少一个第一磁性部件；

[0257] 第二层压板，其上形成有至少一个第二磁性部件；以及

[0258] 至少一个电源，其被配置成提供电力以操作所述至少一个第一磁性部件和所述至少一个第二磁性部件，其中，所述至少一个第一磁性部件和所述至少一个第二磁性部件在操作时生成适合于低场MRI的至少一个磁场。

[0259] 项49.根据项40所述的低场MRI系统，其中，所述第一层压板和所述第二层压板被布置成双平面配置。

[0260] 项50.根据项40所述的低场MRI系统，其中，所述至少一个第一磁性部件和所述至少一个第二磁性部件包括：至少一个B_0线圈，其被配置成生成适用于低场MRI的B_0场。

[0261] 项51.根据项42所述的低场MRI系统，其中，所述至少一个第一磁性部件和/或所述至少一个第二磁性部件包括：至少一个梯度线圈，其被配置成在操作时产生或有助于磁场以提供所发射的磁共振(MR)信号的空间编码以利于低场MRI。

[0262] 项52.根据项42所述的低场MRI系统，其中，所述至少一个第一磁性部件和/或所述至少一个第二磁性部件包括：至少一个垫片线圈，其被配置成产生或有助于所述低场MRI系统的B_0场以影响所述B_0场的均匀度。

[0263] 项53.根据项40所述的低场MRI系统，还包括：可运输式壳体，其被配置成容纳所述至少一个电源并且支承所述第一层压板和所述第二层压板，所述壳体能够被运输至期望的位置。

[0264] 项54.根据项45所述的低场MRI系统，还包括：轮，其耦接至所述壳体以允许将所述壳体推动至期望的位置。

[0265] 项55.根据项45所述的低场MRI系统，还包括至少一个可变形部件。

[0266] 项56.根据项47所述的低场MRI系统，其中，所述可变形部分包括至少一个滑动部件。

[0267] 项57.根据项47所述的低场MRI系统，其中，所述可变形部分包括至少一个关节式臂部件。

[0268] 项58.根据项40所述的低场MRI系统，还包括：

[0269] 框架，其支承所述第一层压板和所述第二层压板；以及

[0270] 可调节座椅，其将患者定位在所述第一层压板与所述第二层压板之间。

[0271] 项59.根据项40所述的低场MRI系统，其中，所述第一层压板和所述第二层压板被生产成具有一定尺寸并且相对于彼此布置，以利于对特定解剖结构进行低场MRI。

[0272] 项60.根据项51所述的低场MRI系统，其中，所述第一层压板和所述第二层压板被生产成具有一定尺寸并且相对于彼此布置，以利于对头部进行低场MRI。

[0273] 项61.根据项40所述的低场MRI系统，还包括：至少一个第三层压板，其上形成有至

少一个第三磁性部件，其中，在所述第一层压板、所述第二层压板和所述至少一个第三层压板上被图案化有螺线管线圈部分，使得当所述第一层压板、所述第二层压板和所述至少一个第三层压板耦接在一起时，所述螺线管线圈部分形成被配置成产生适用于低场MRI的B_0场的B_0螺线管线圈。

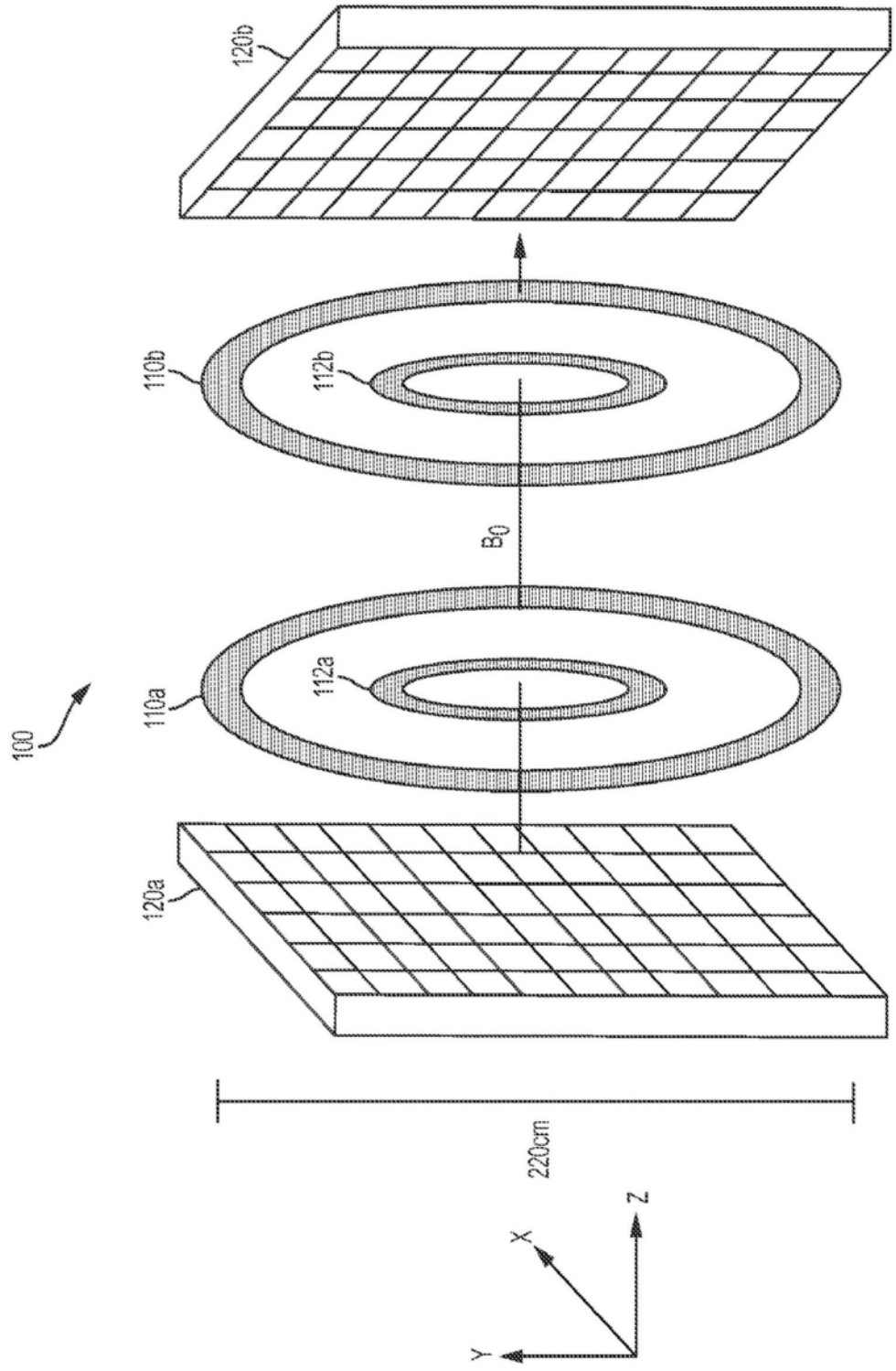


图1

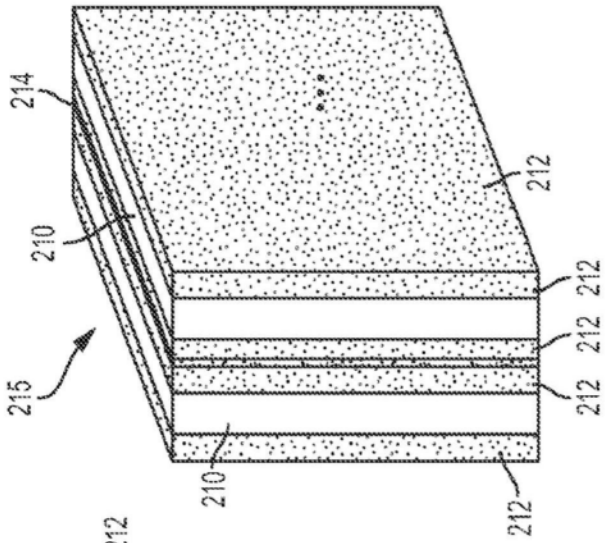

214
210
215
212
212
212
212
212
210
212

图2C

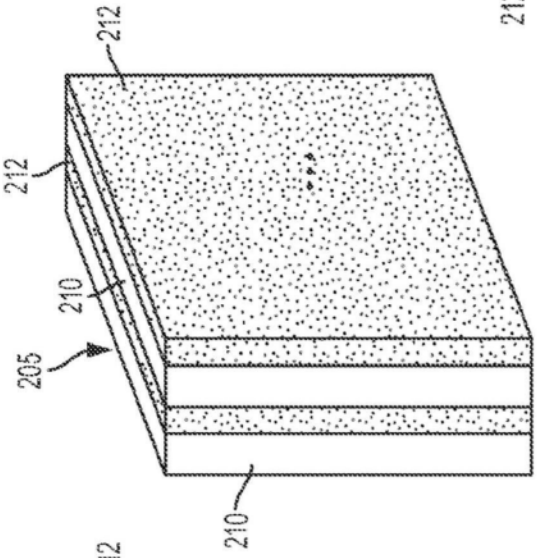

212
212
210
205
210

图2B

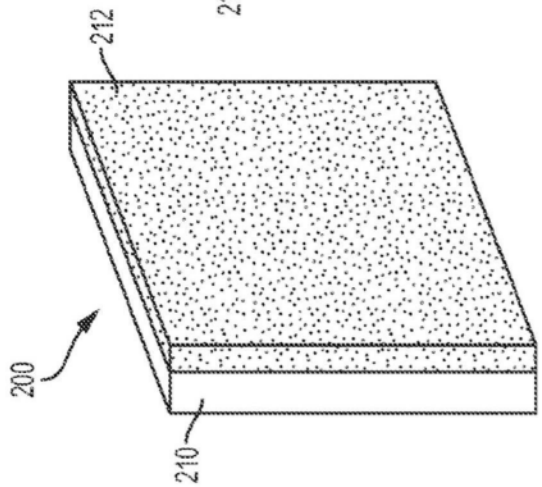

212
200
210

图2A

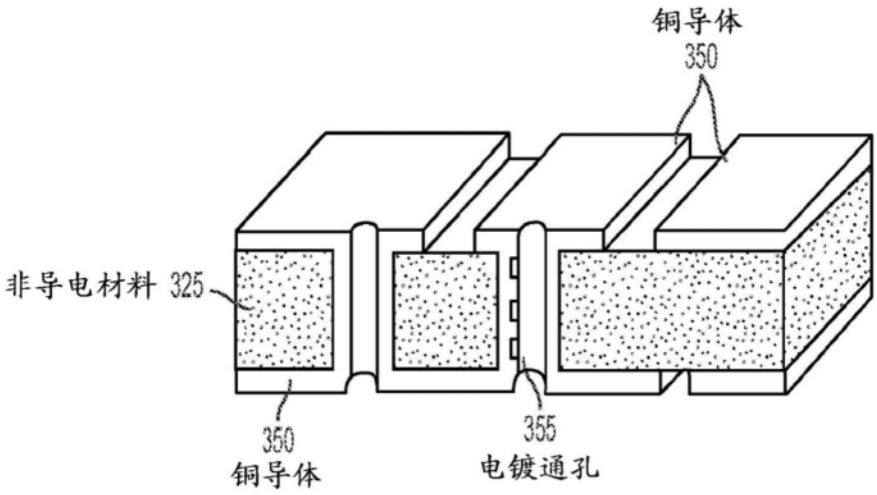

铜导体
350
非导电材料 325
350
铜导体
355
电镀通孔

图3A

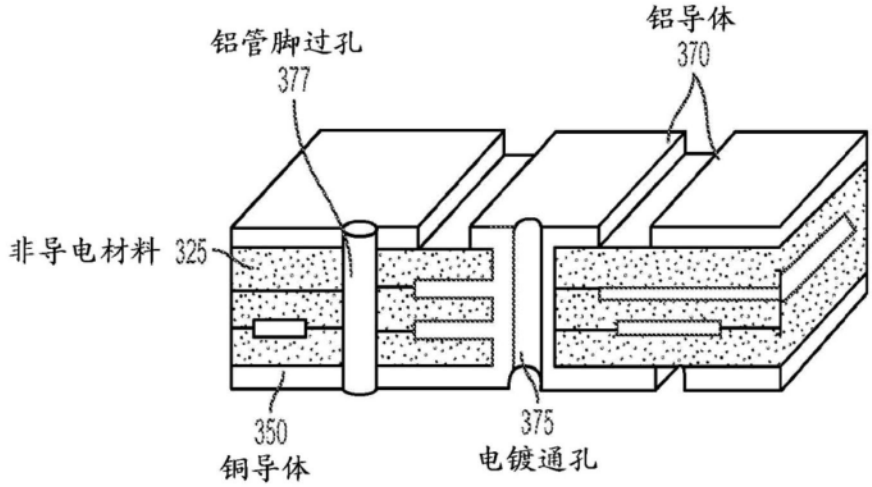

铝管脚过孔
377
铝导体
370
非导电材料 325
350
铜导体
375
电镀通孔

图3B

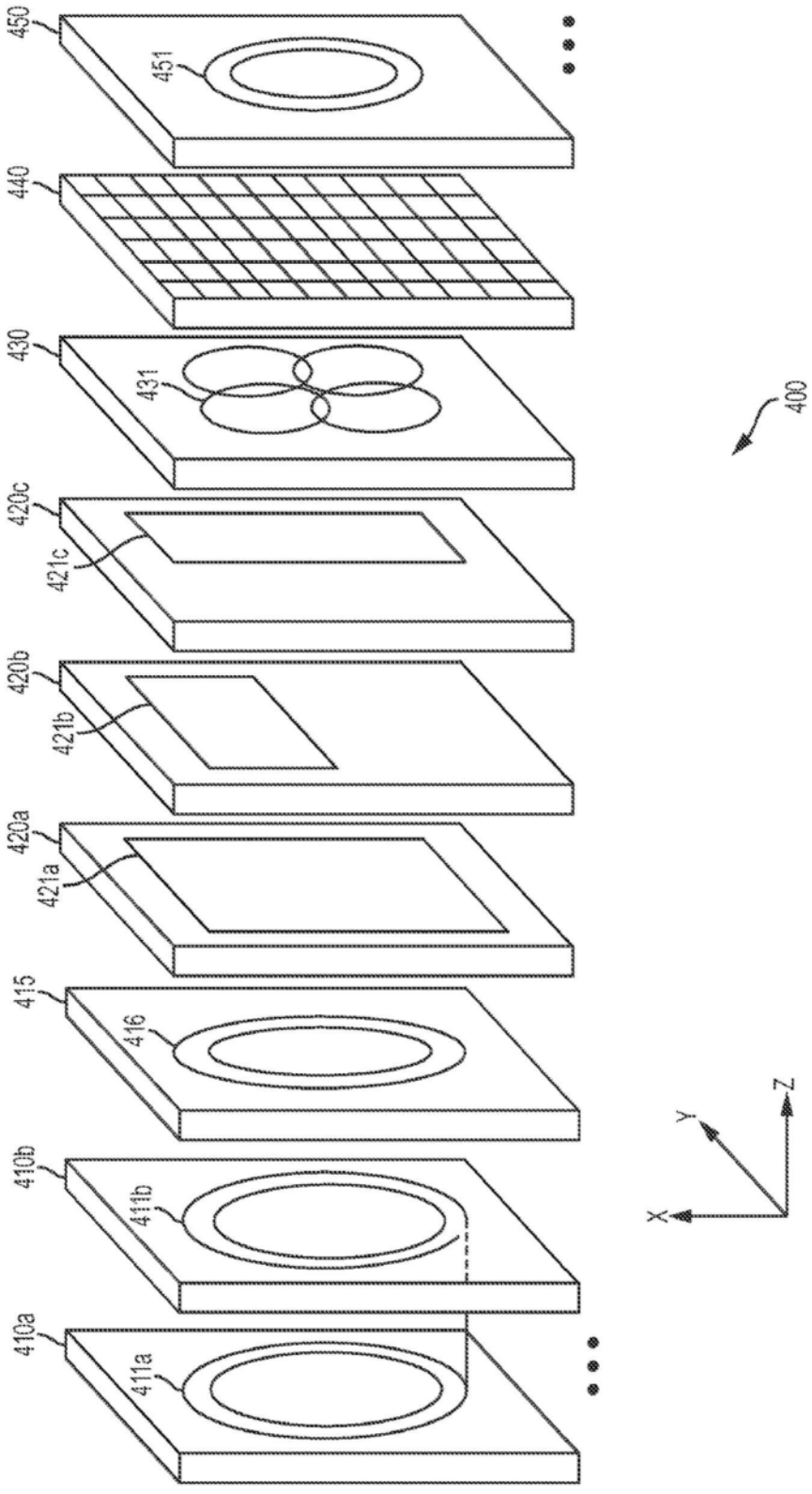

450
451
440
430
431
420c
421c
420b
421b
420a
421a
415
416
410b
411b
410a
411a
400
Y
Z
X

图4

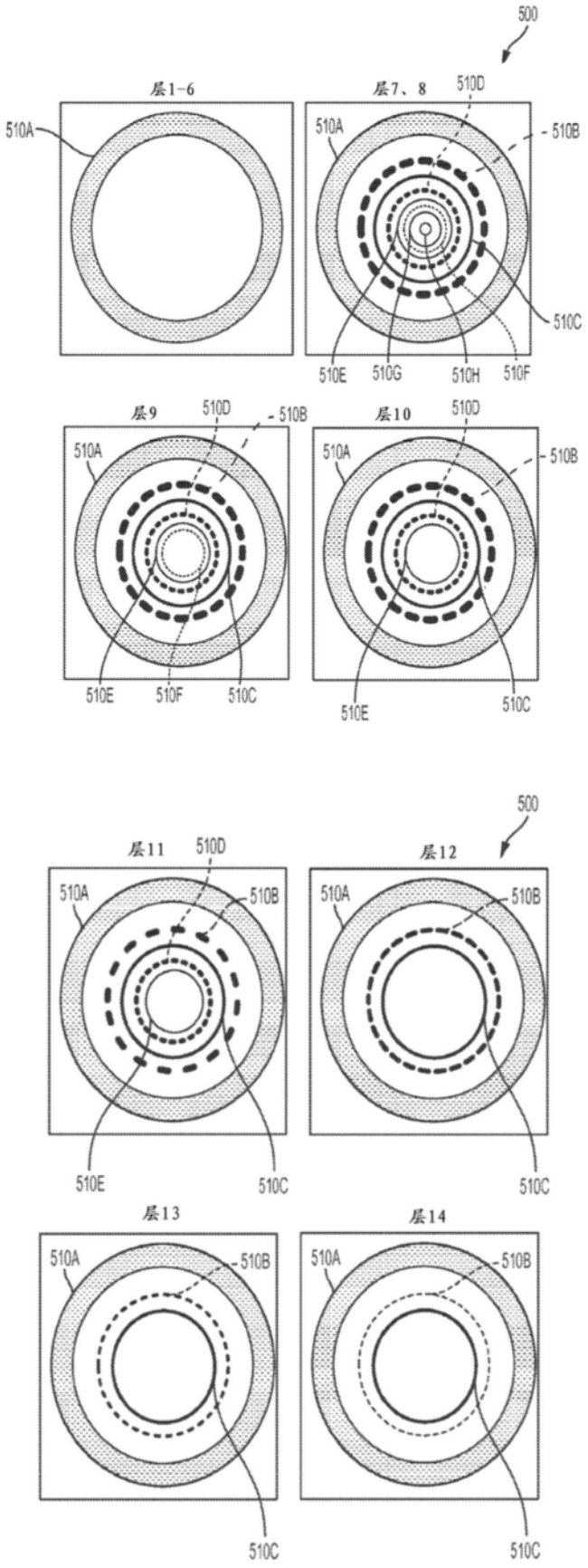

500
层1-6
510A
层7、8
510D
510A
510B
510C
510E
510G
510H
510F
层9
510D
510B
510A
510E
510F
510C
层10
510D
510A
510B
510E
510C
500
层11
510D
510A
510B
510E
510C
层12
510A
510B
510C
层13
510A
510B
510C
层14
510A
510B
510C

图5

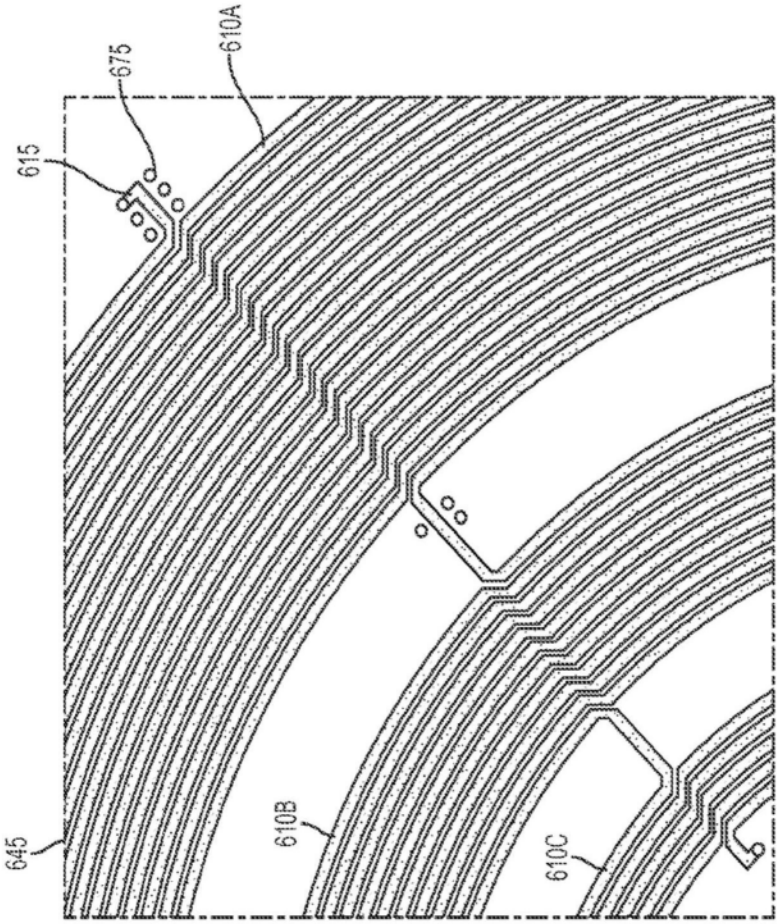


图6B

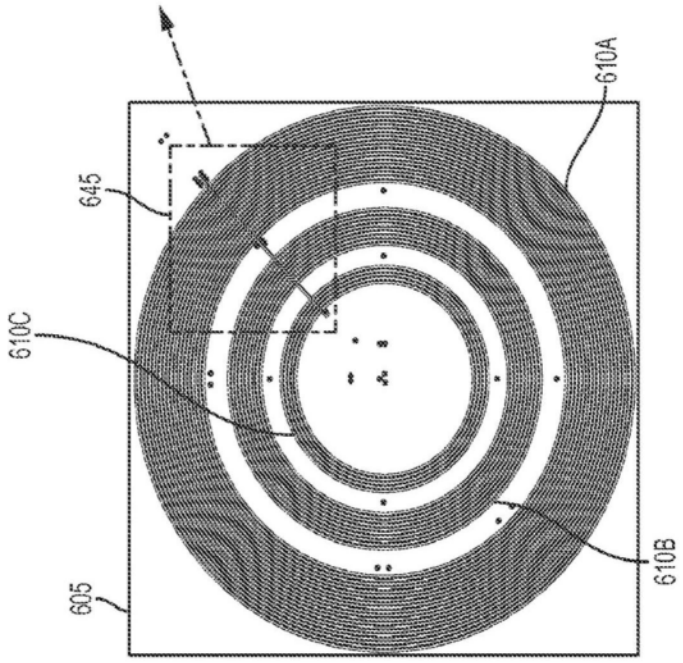


图6A

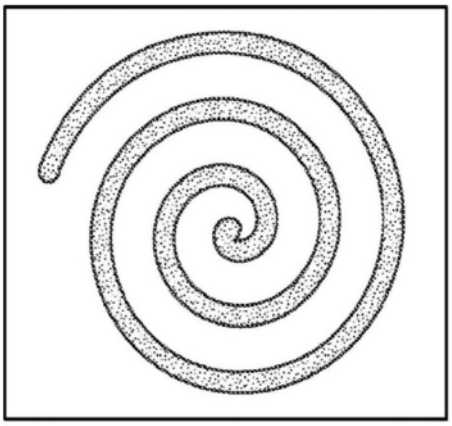


图7A

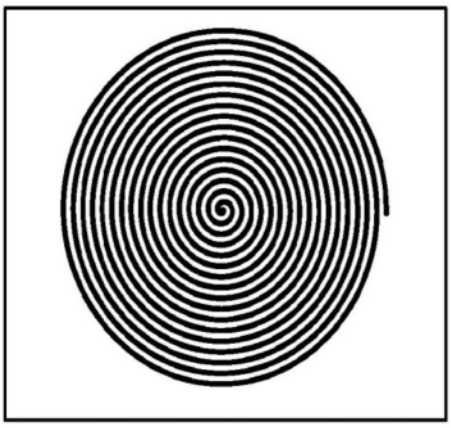


图7B

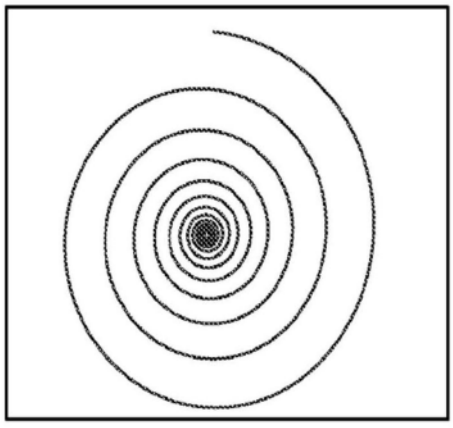


图7C

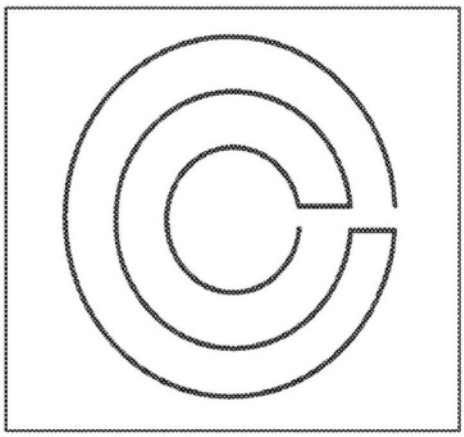


图8A

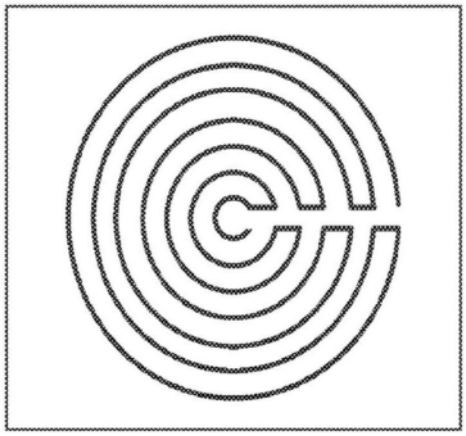


图8B

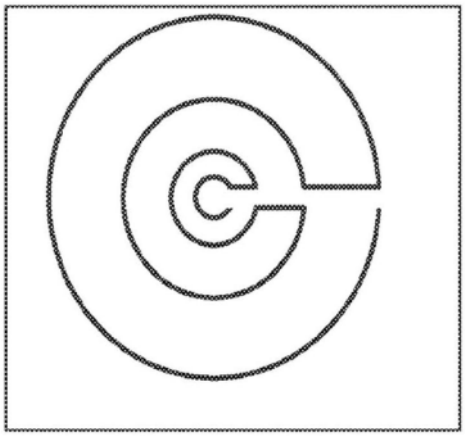


图8C

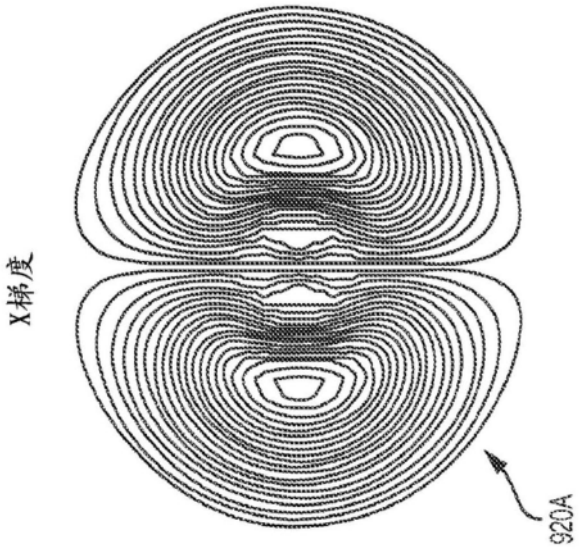


图9A

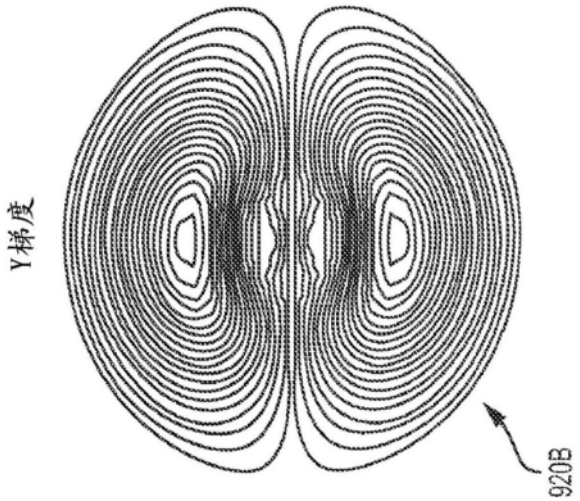


图9B

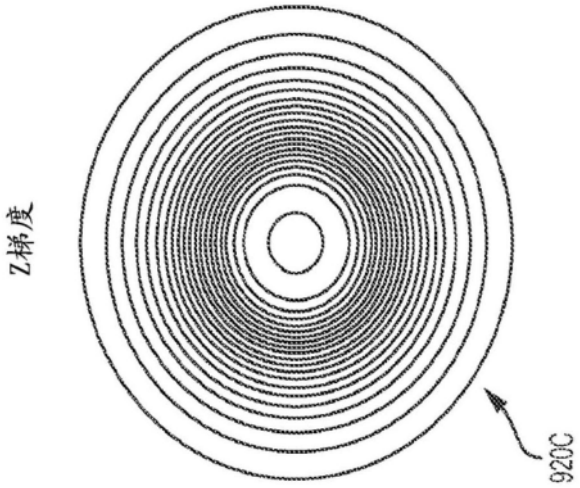


图9C

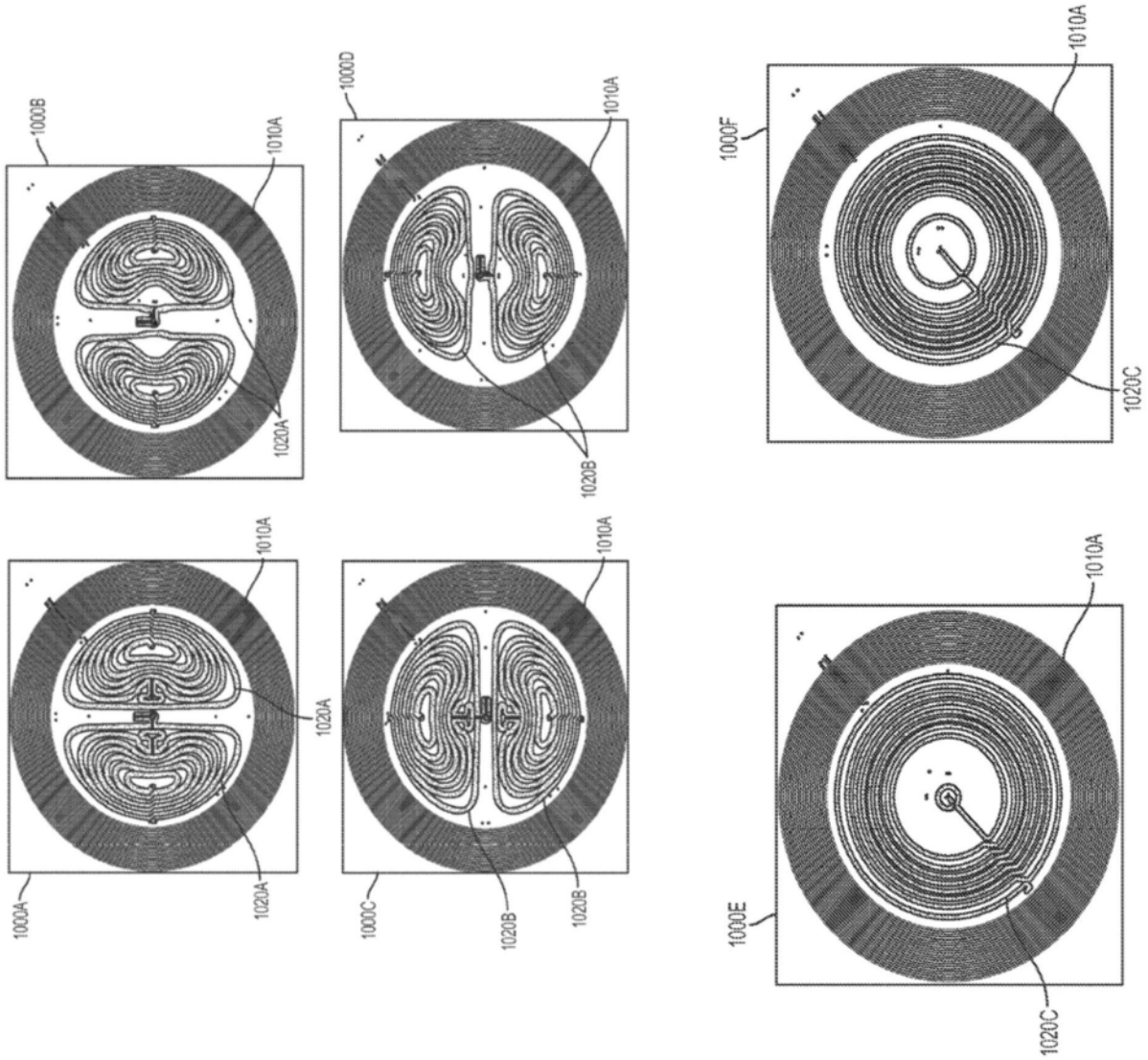

1000B
1010A
1020A
1000D
1010A
1020B
1000F
1010A
1020C
1000A
1010A
1020A
1000C
1010A
1020B
1020B
1000E
1010A
1020C

图10

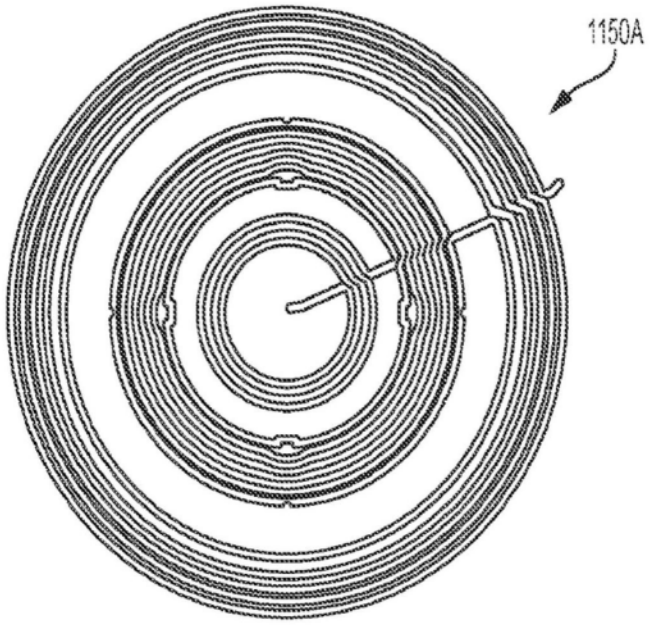


图11A

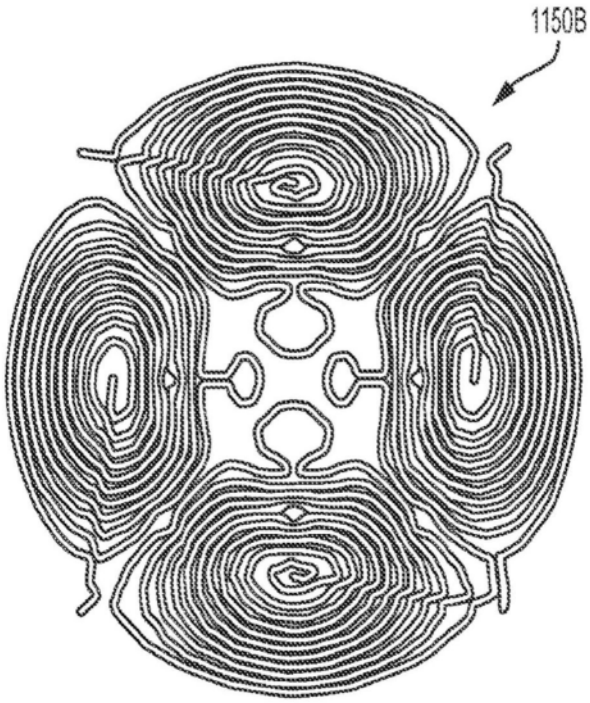


图11B

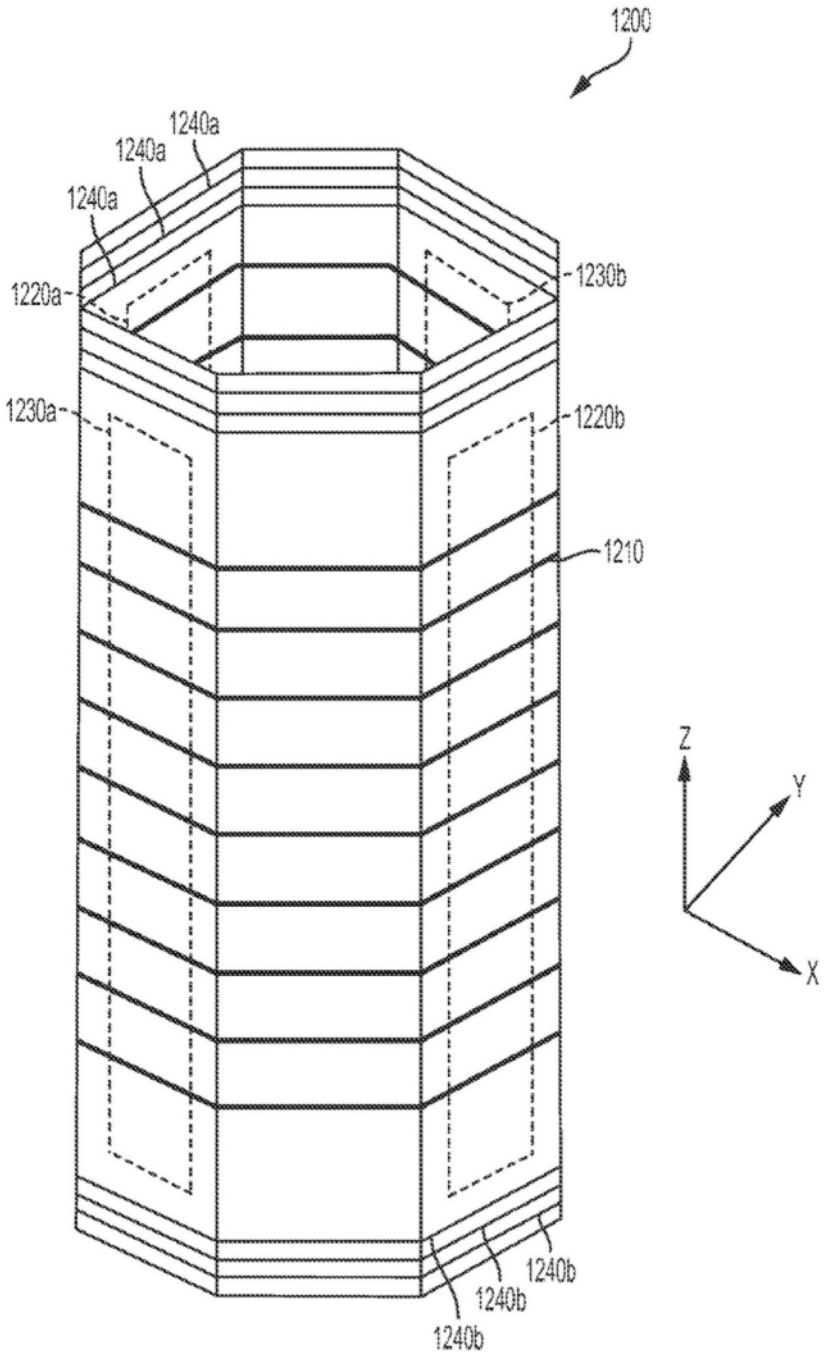

1200
1240a
1240a
1240a
1220a
1230b
1230a
1220b
1210
Z
Y
X
1240b
1240b
1240b

图12

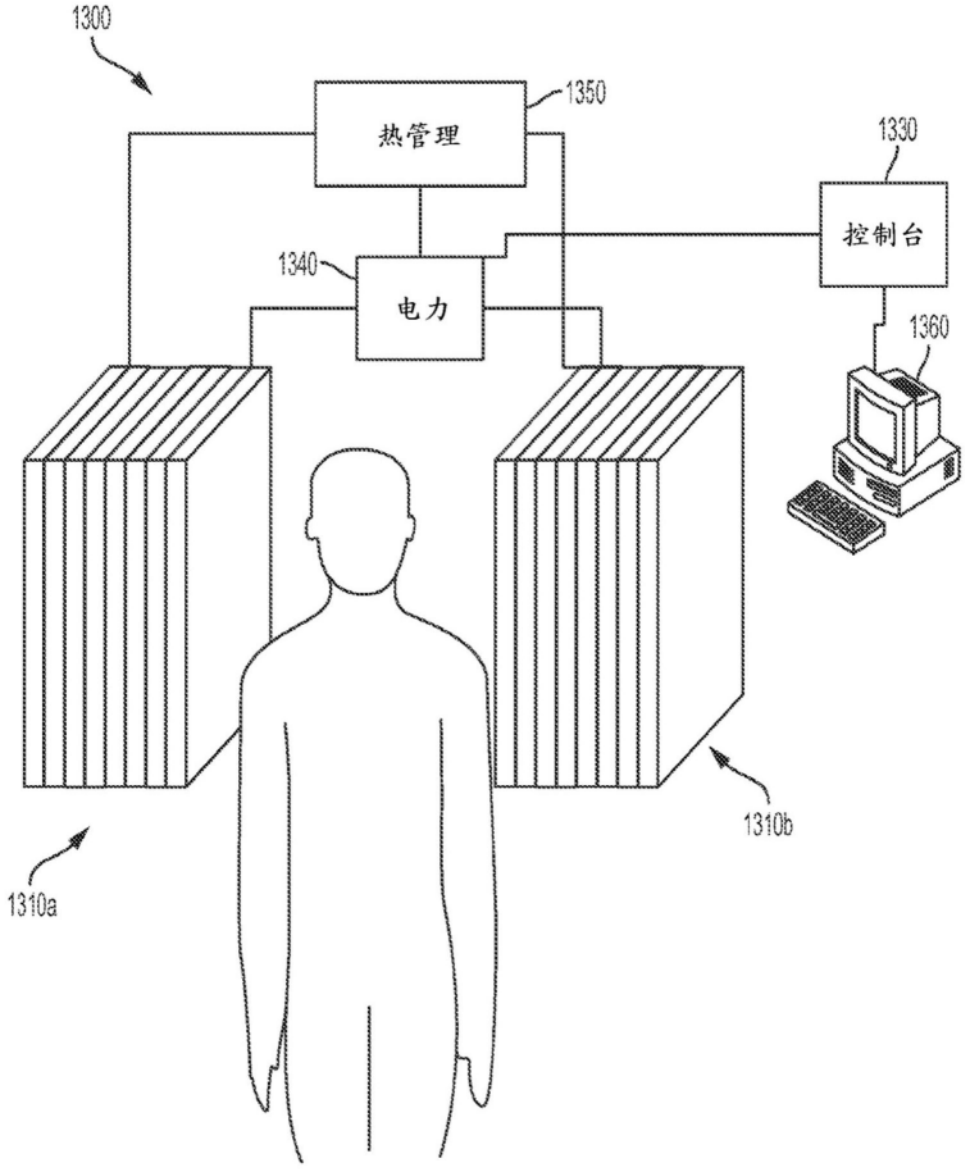


图13

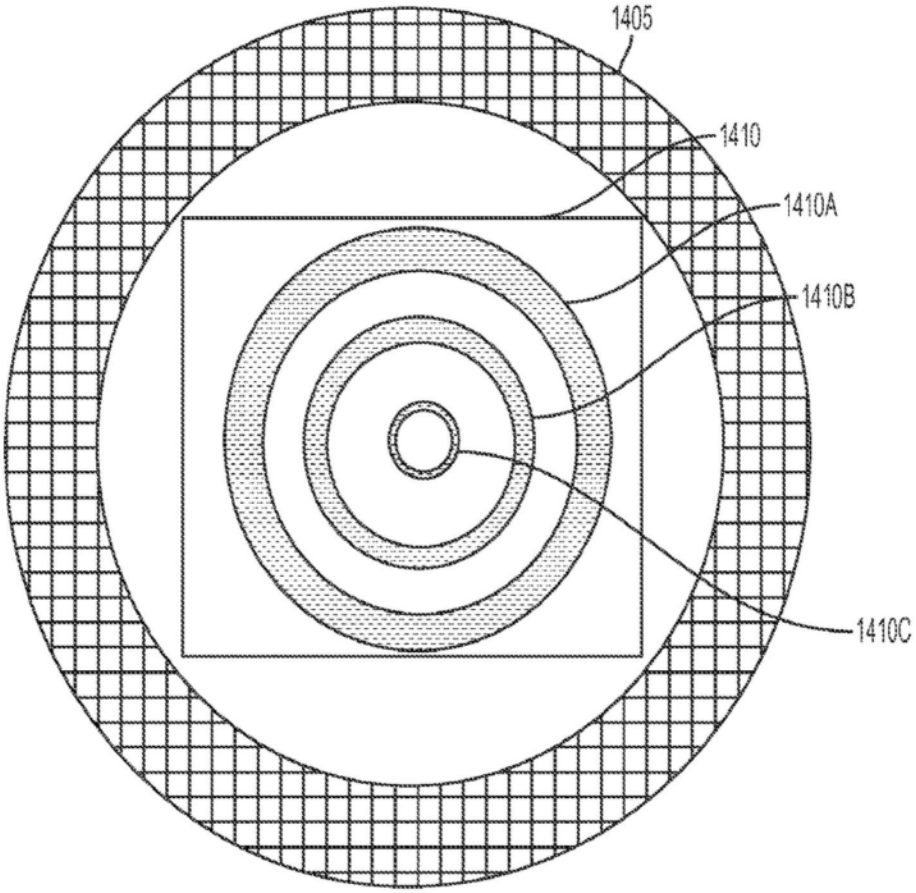


图14A

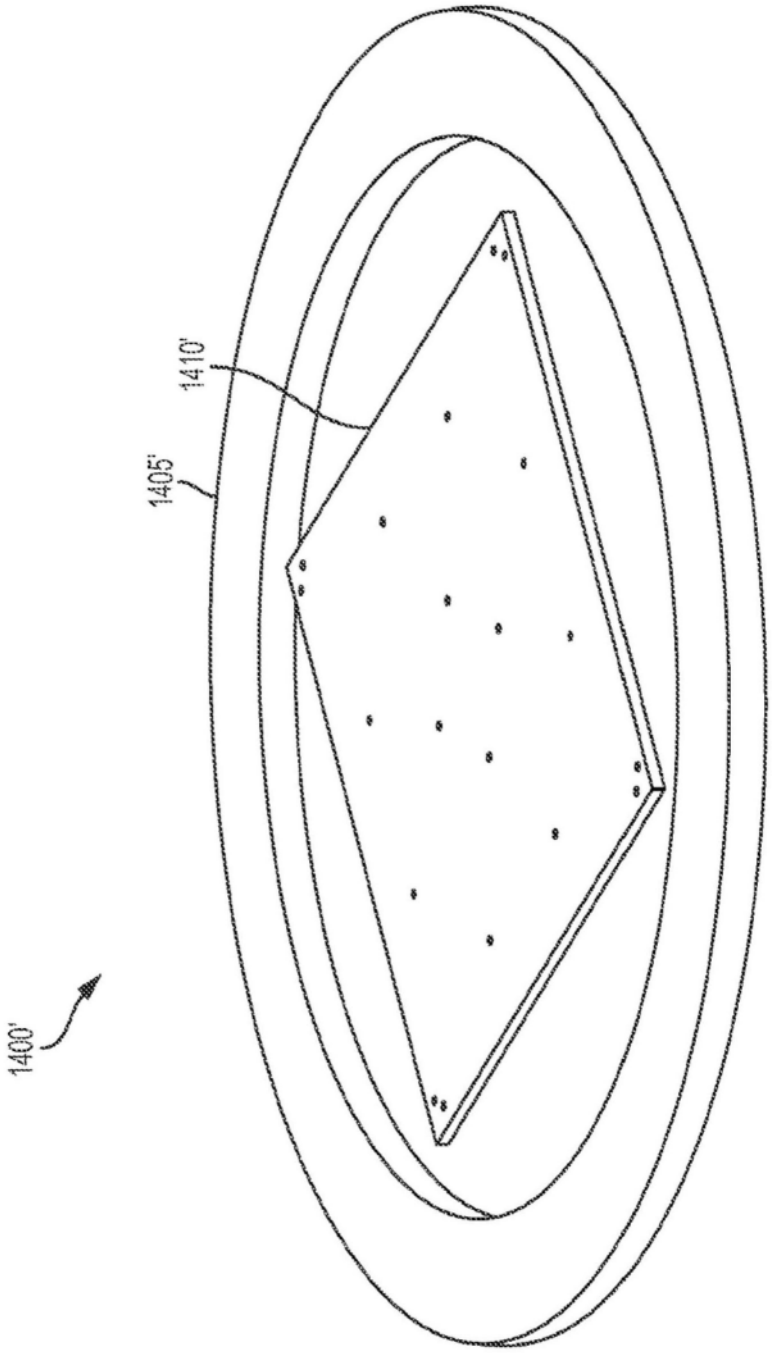


图14B

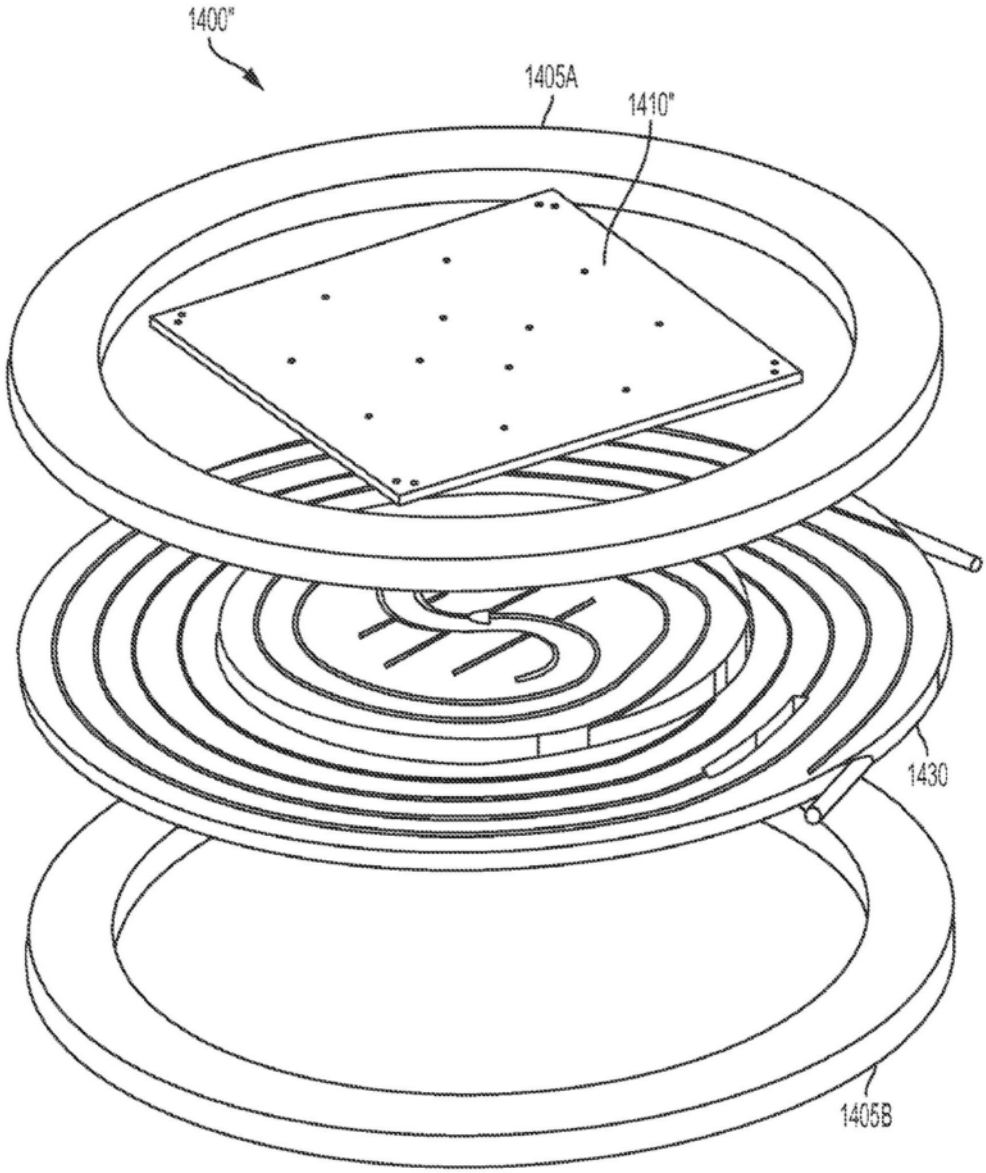


图14C

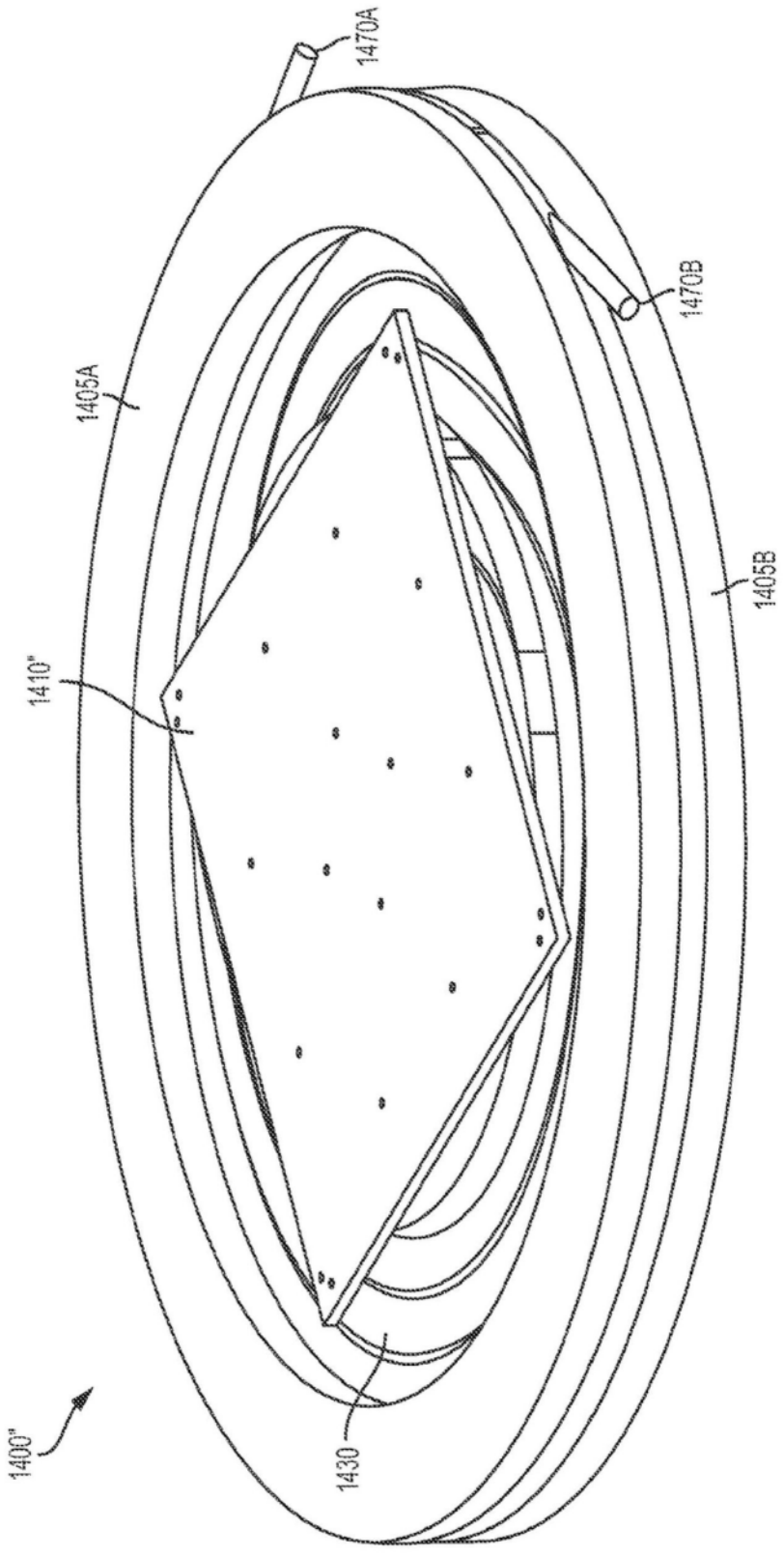


图14D

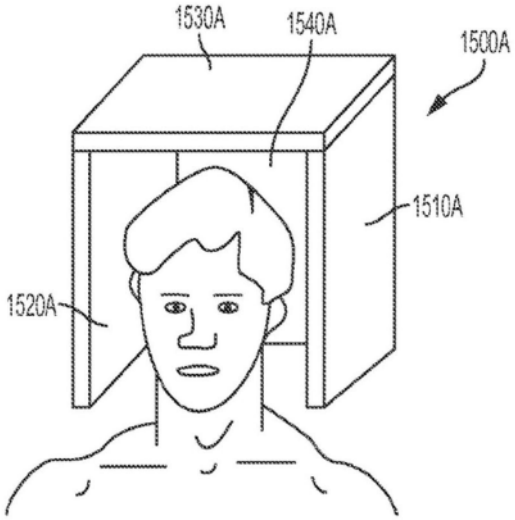

1530A
1540A
1500A
1510A
1520A

图15A

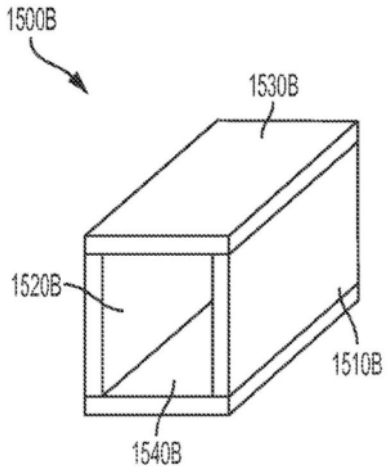

1500B
1530B
1520B
1510B
1540B

图15B

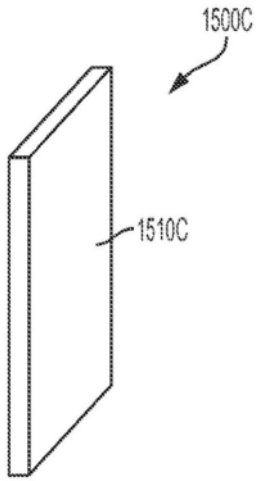


图15C

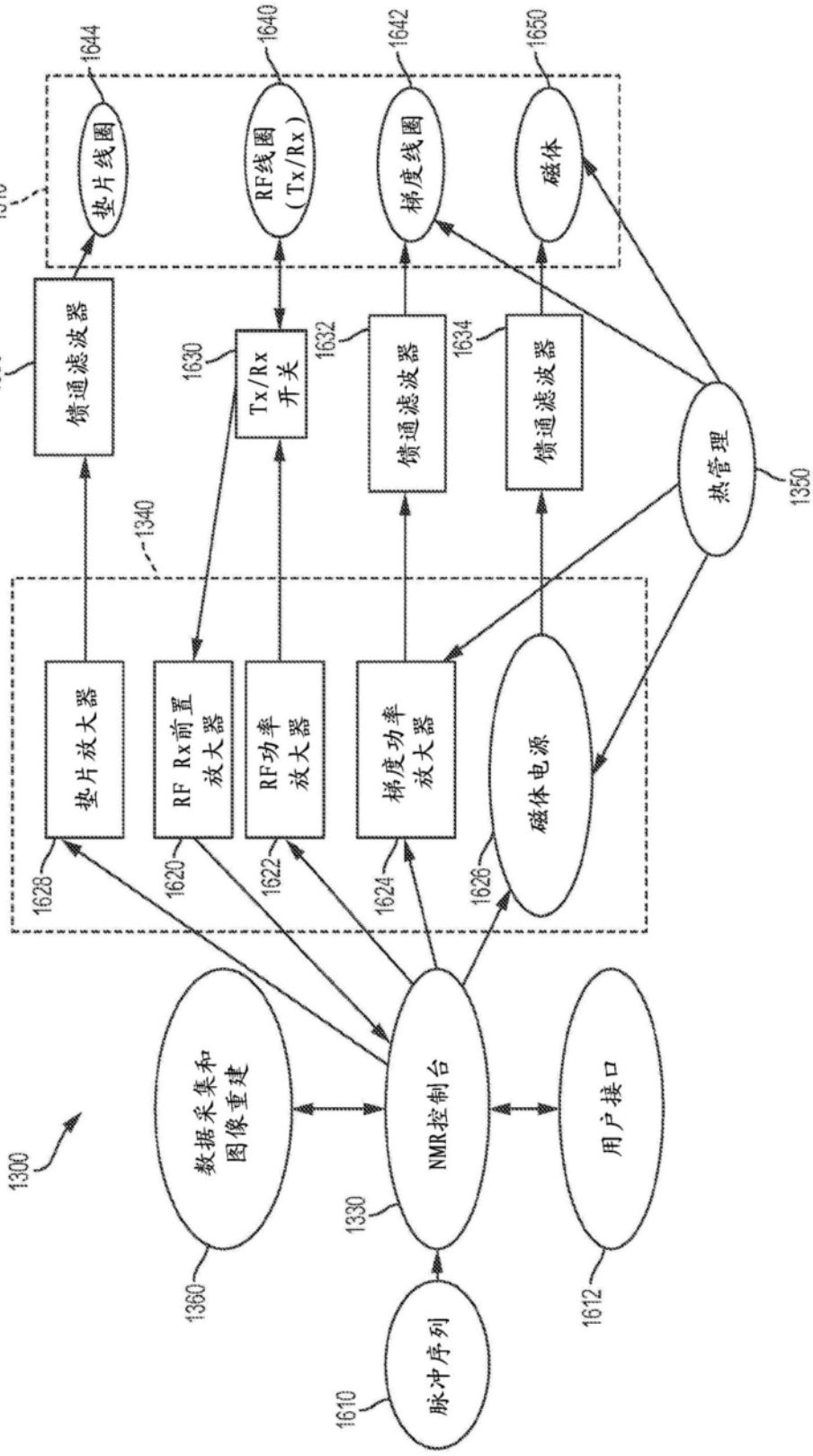

1644
1640
1642
1650
垫片线圈
RF线圈
(Tx/Rx)
梯度线圈
磁体
1310
馈通滤波器
Tx/Rx
开关
馈通滤波器
馈通滤波器
热管理
1636
1630
1632
1634
1350
1340
垫片放大器
RF Rx前置
放大器
RF功率
放大器
梯度功率
放大器
磁体电源
1628
1620
1622
1624
1626
数据采集和
图像重建
NMR控制台
用户接口
1300
1330
1360
1612
脉冲序列
1610

图16

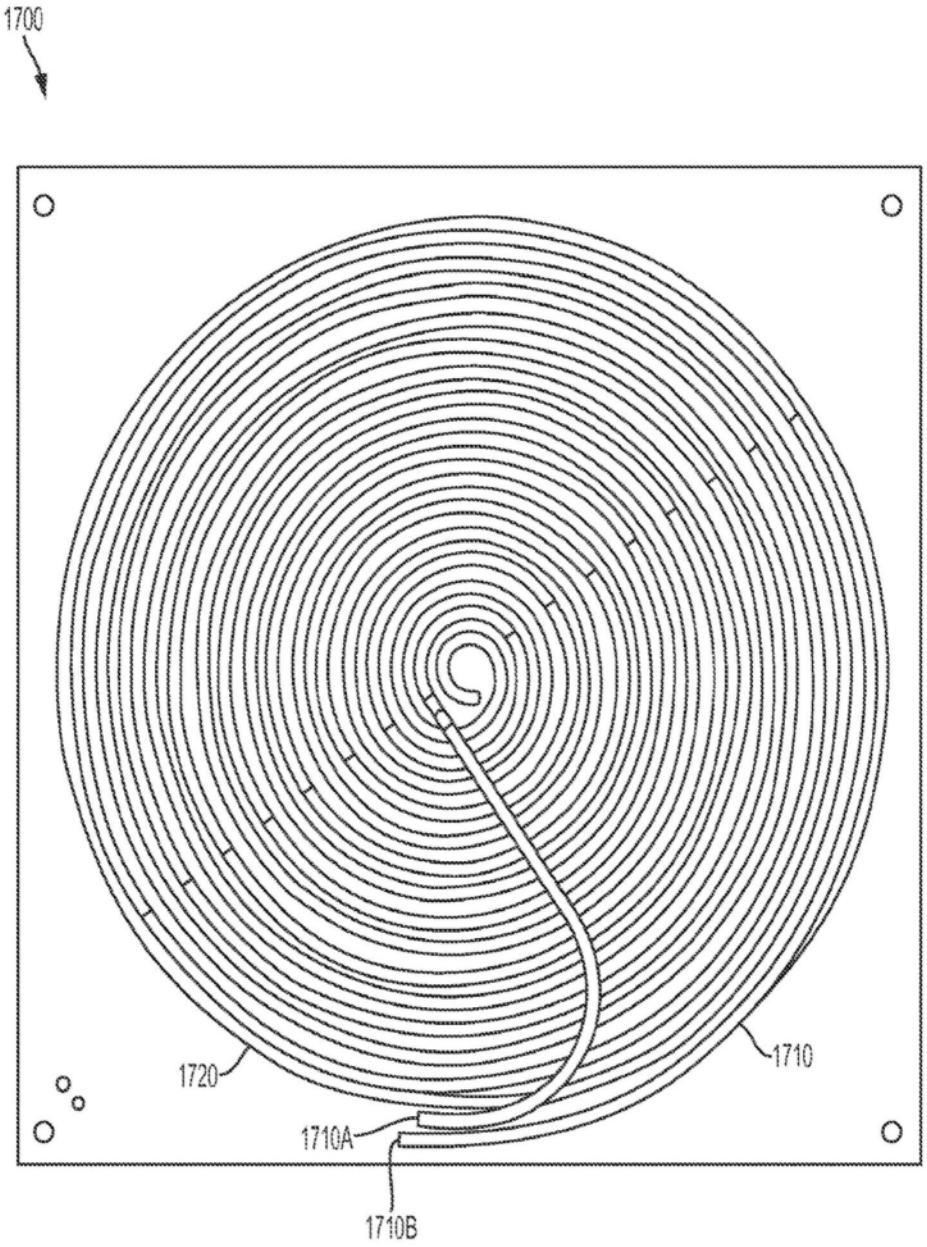


图17

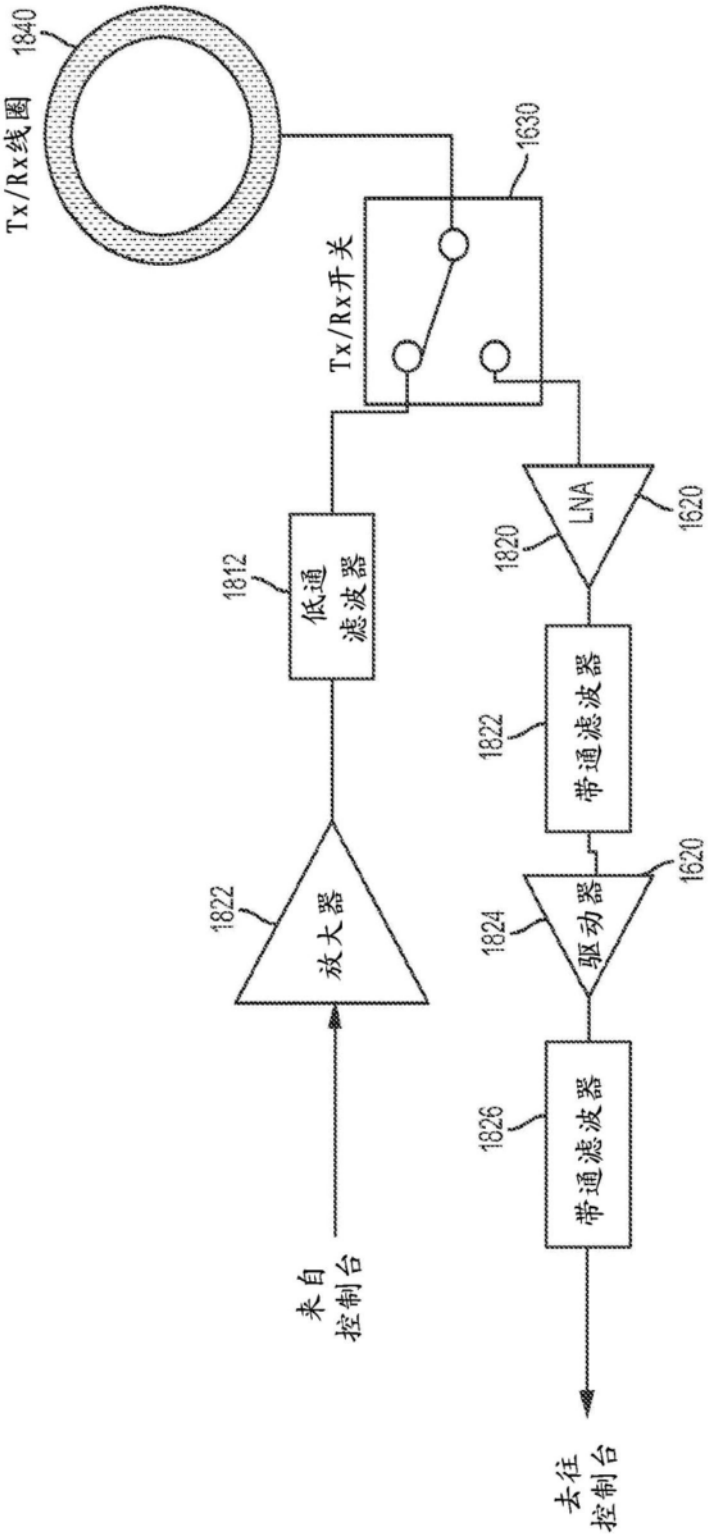

1840
Tx/Rx线圈
1630
Tx/Rx开关
1812
低通
滤波器
1822
放大器
来自
控制台
1820
LNA
1620
1822
带通滤波器
1824
驱动器
1620
1826
带通滤波器
去往
控制台

图18

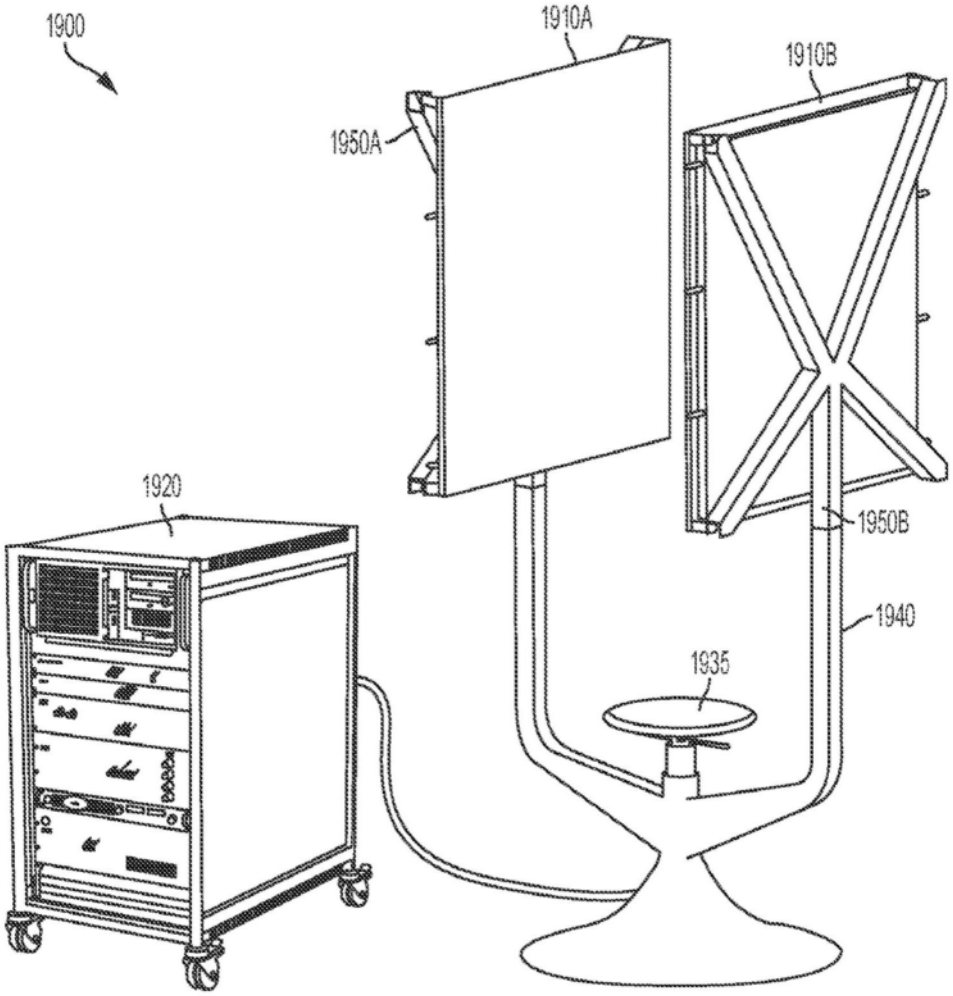


图19A

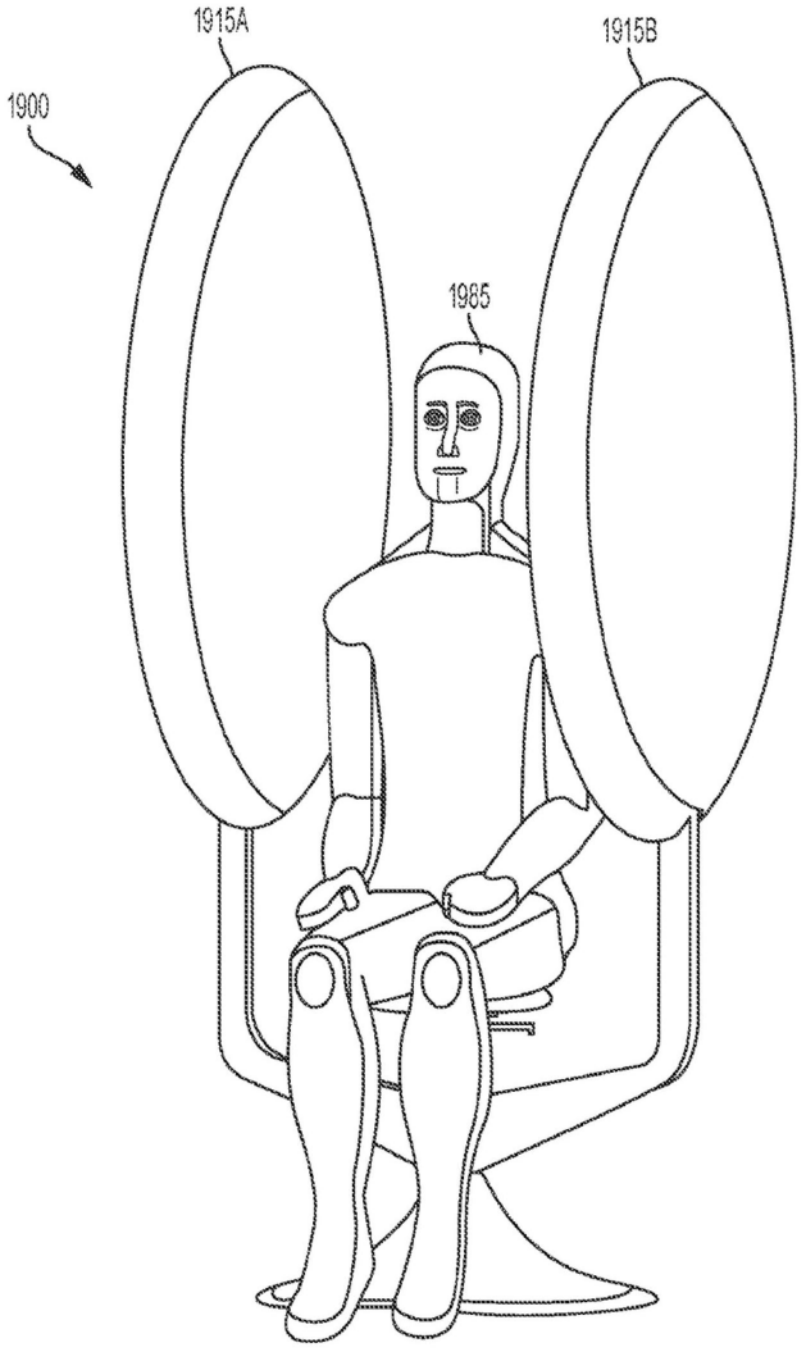


图19B

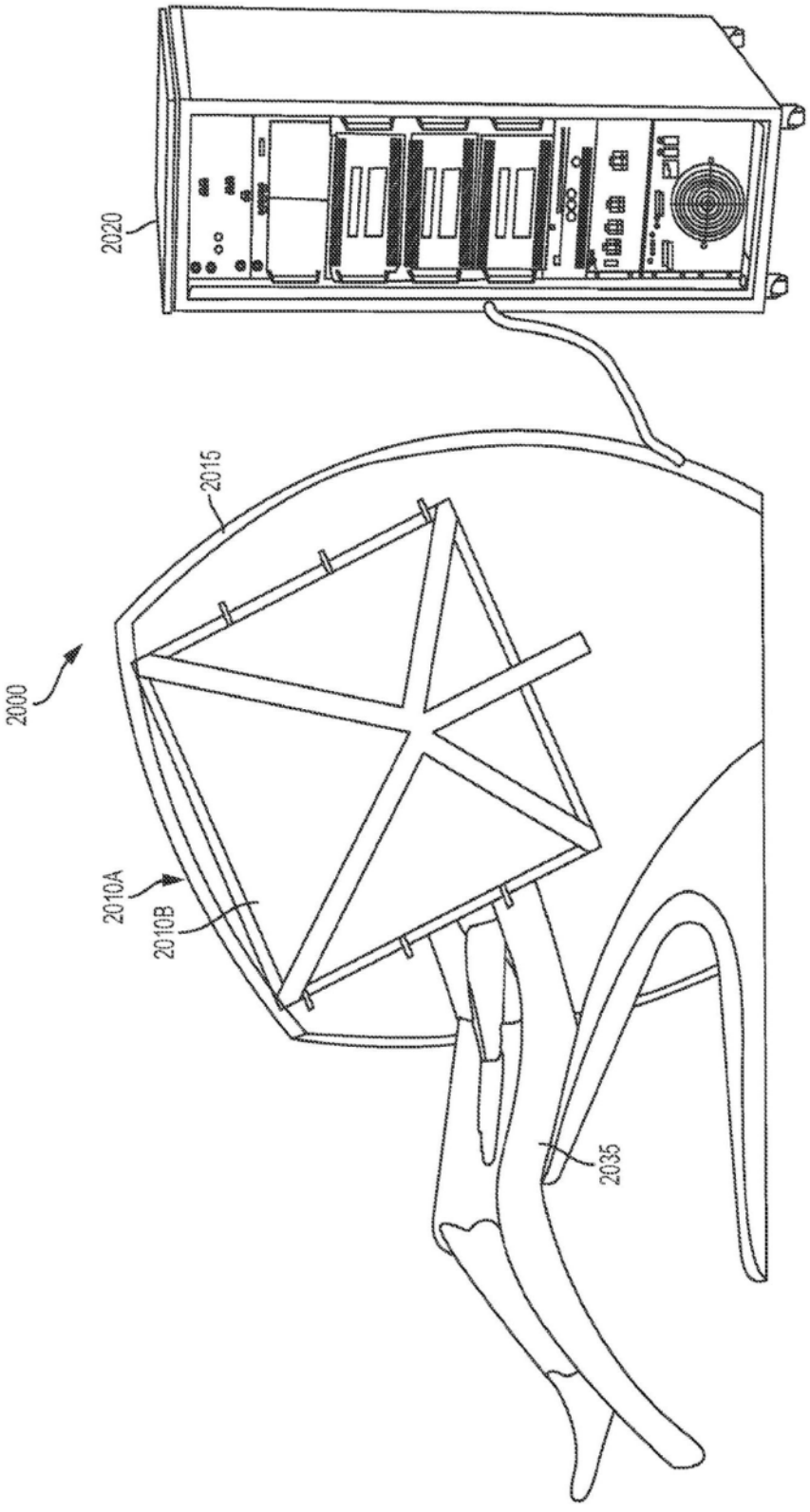


图20A

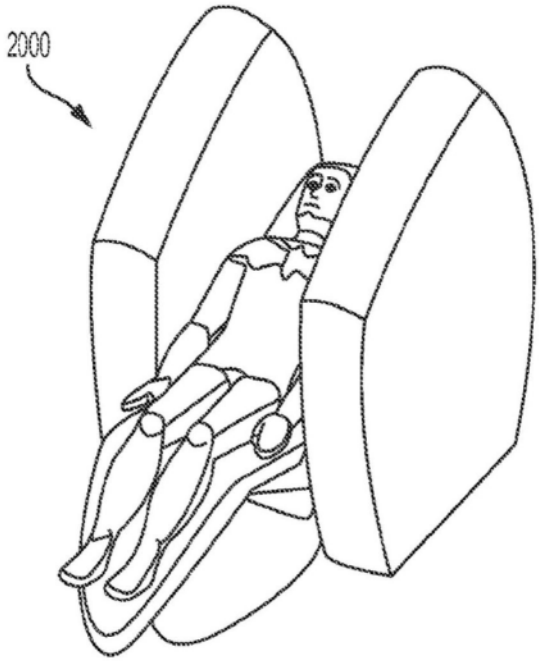


图20B

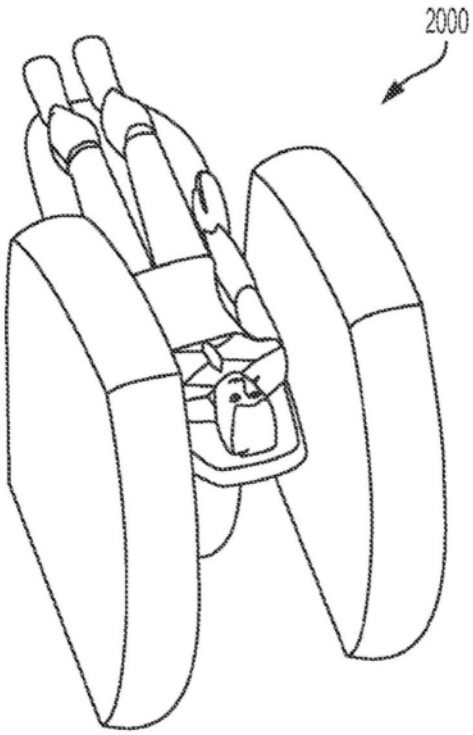


图20C

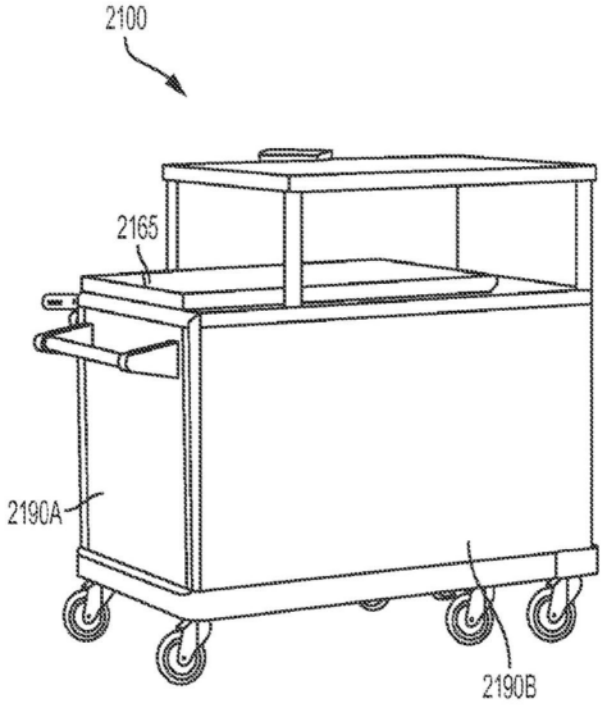

2100
2165
2190A
2190B

图21A

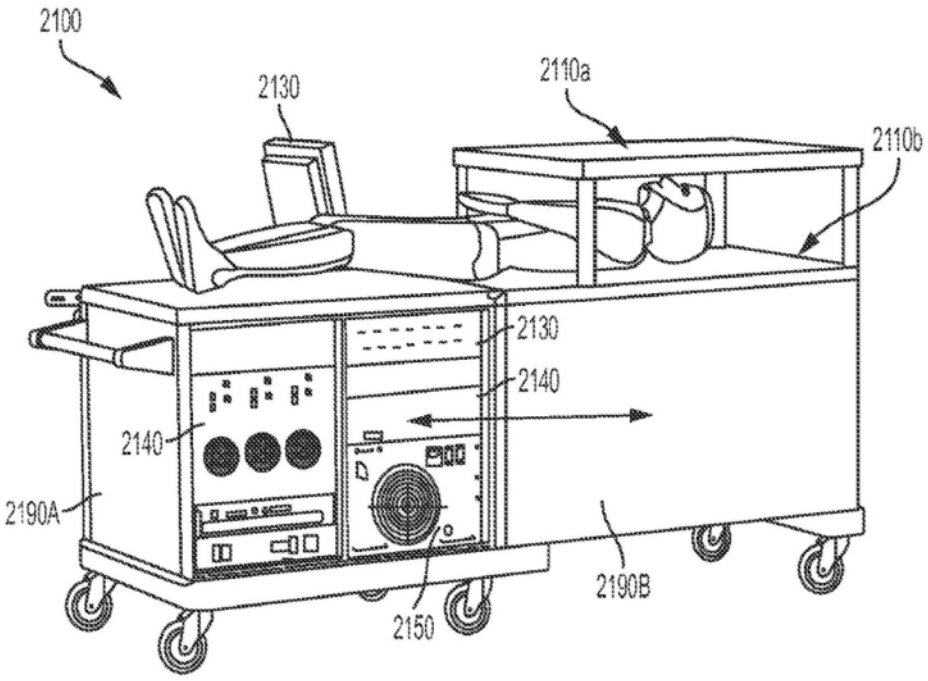

2100
2130
2110a
2110b
2130
2140
2140
2190A
2190B
2150

图21B

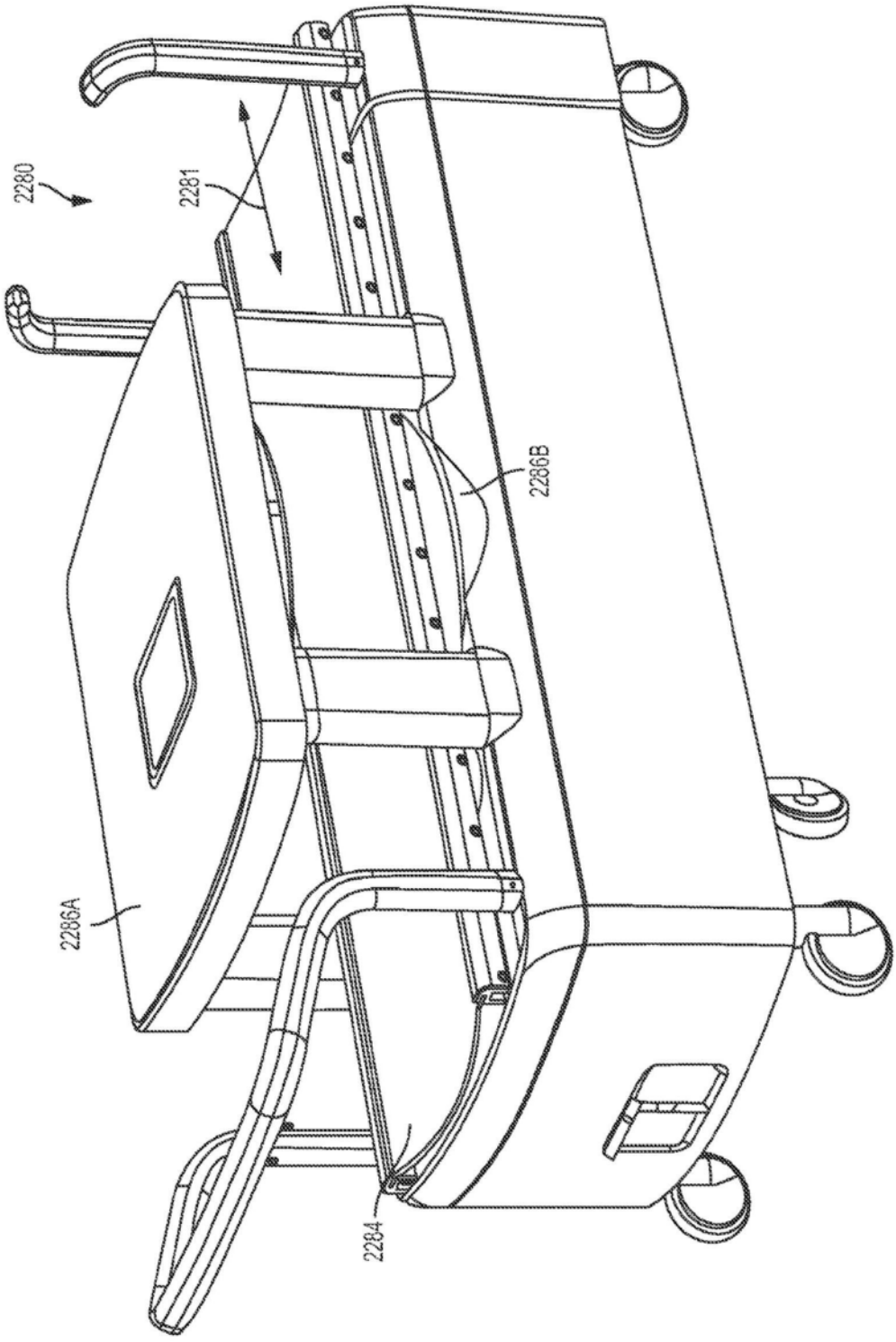


图21C

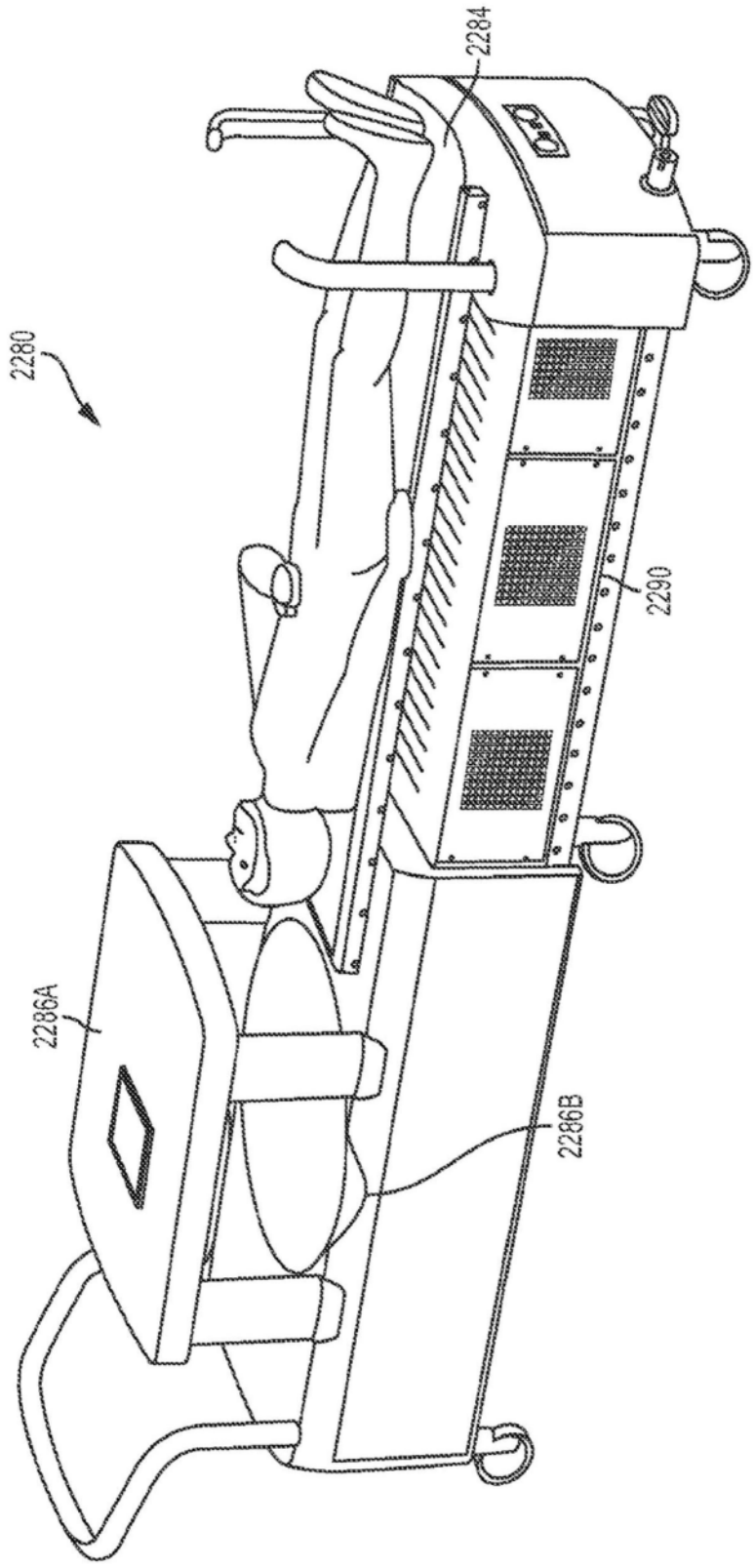


图21D

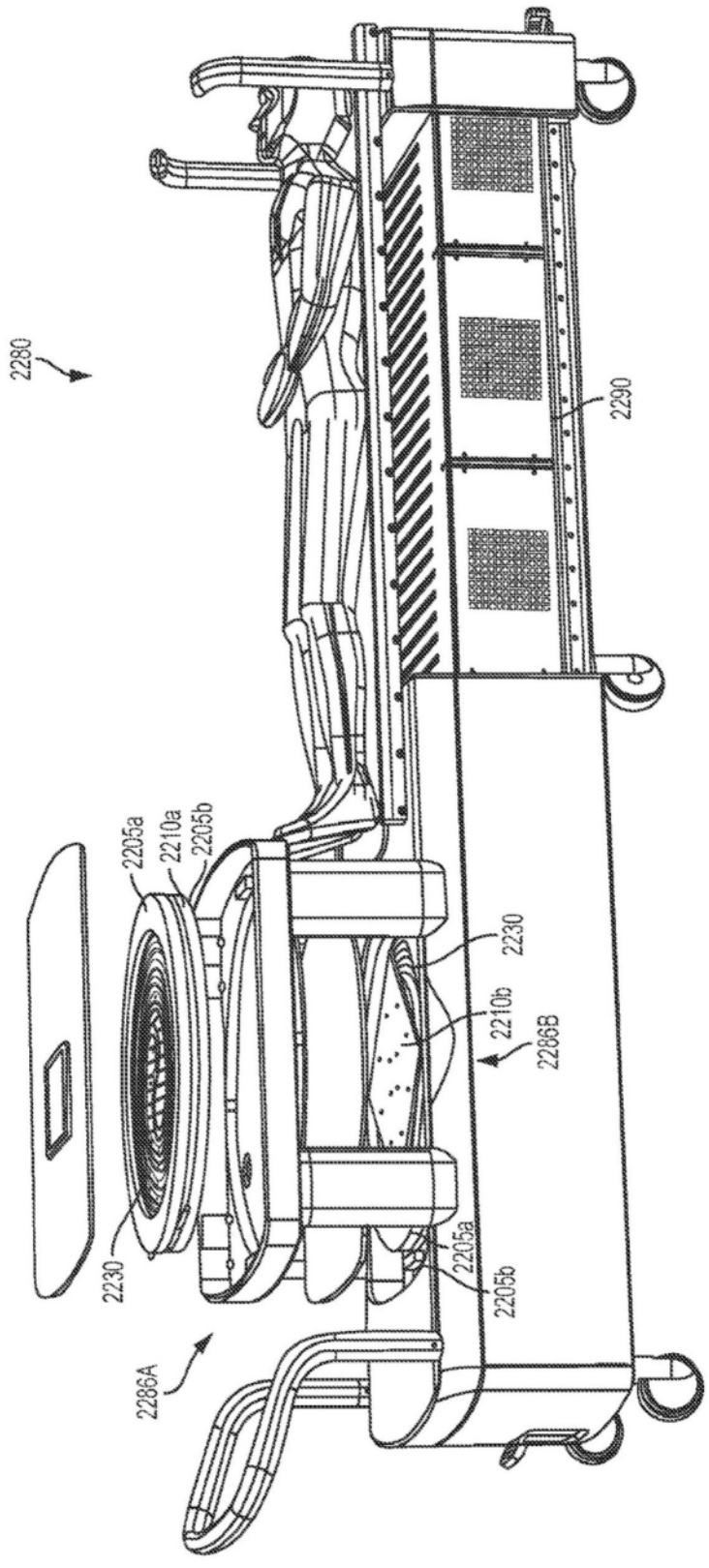

2280
2290
2205a
2210a
2205b
2230
2210b
2286B
2230
2205a
2205b
2286A

图21E

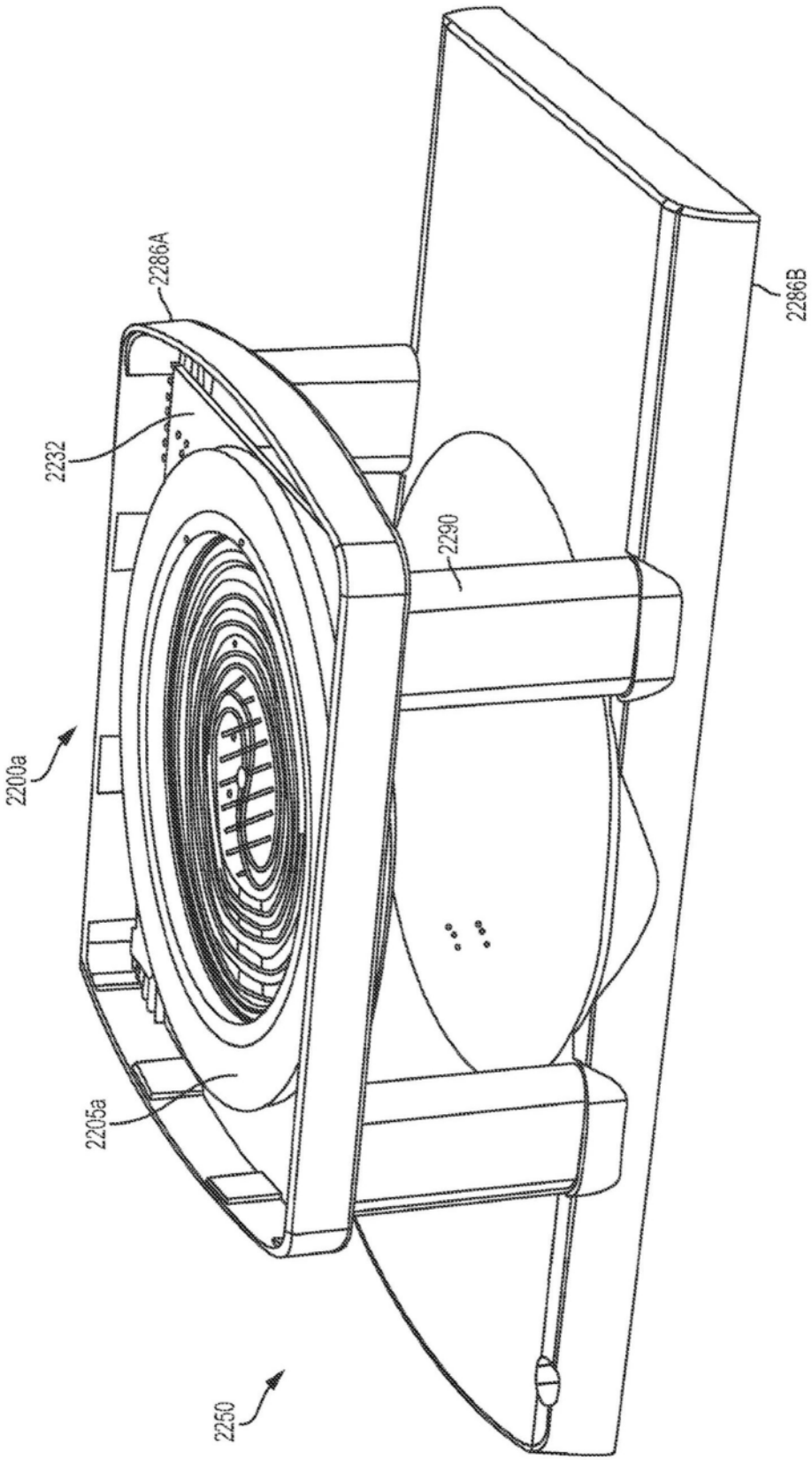


图21F

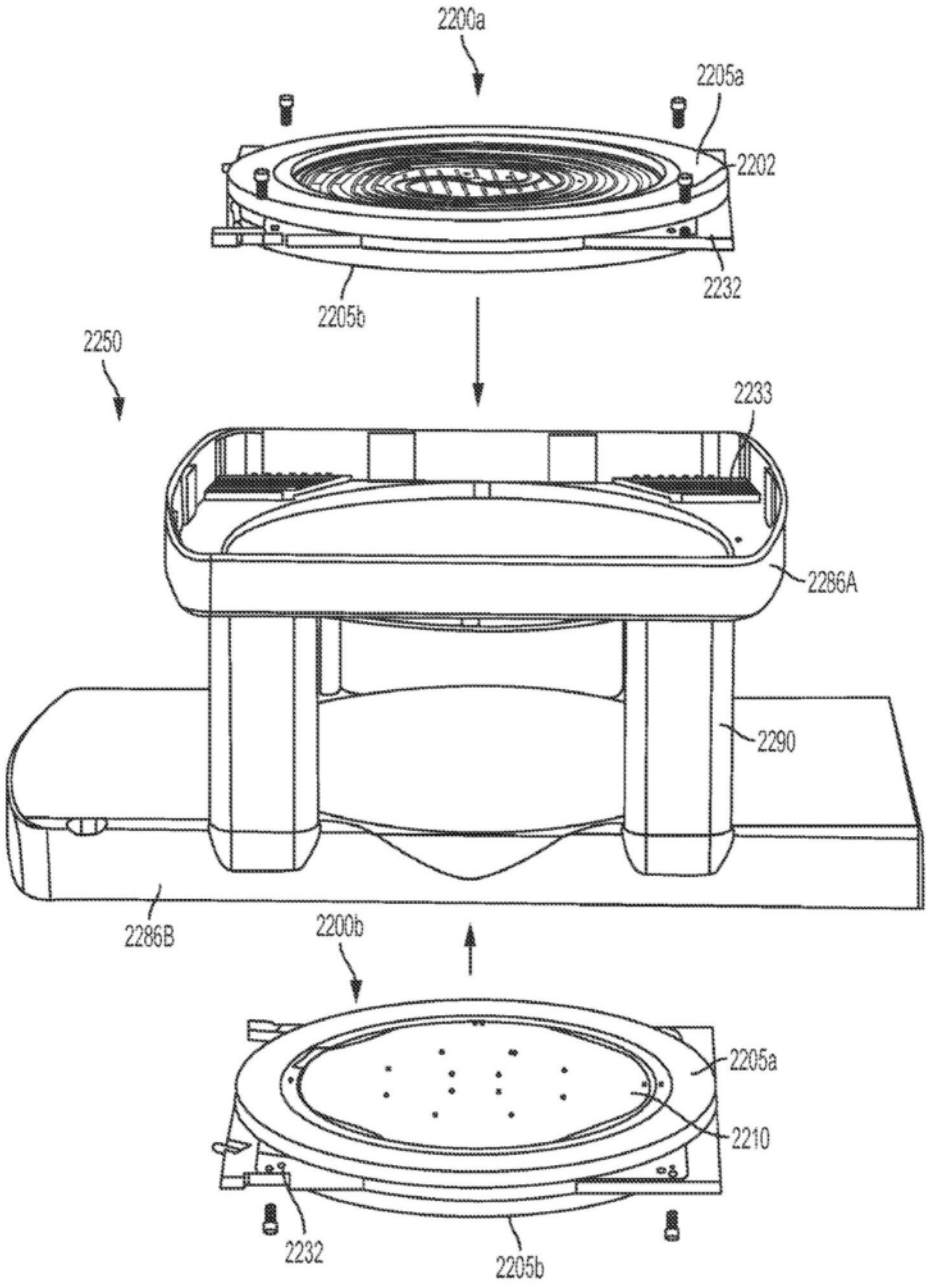

2200a
2205a
2202
2232
2205b
2250
2233
2286A
2290
2286B
2200b
2205a
2210
2232
2205b

图21G

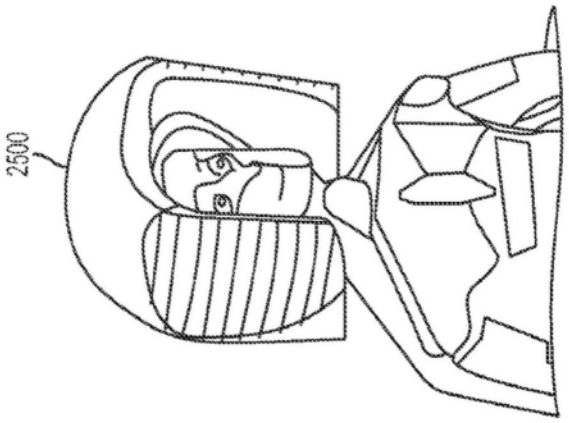


图22A

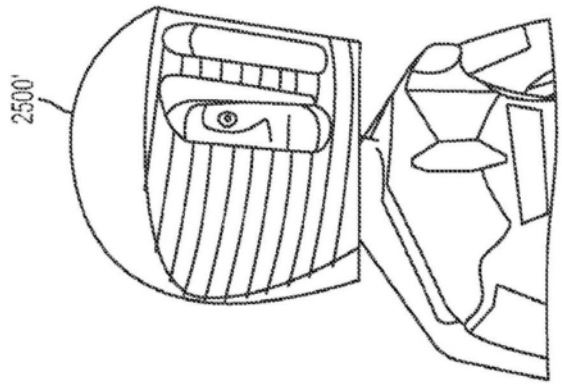


图22B

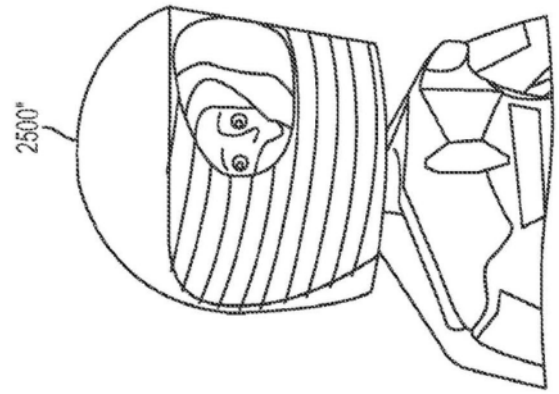


图22C