



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1619720 B

(45) 授权公告日 2010.12.08

(21) 申请号 200410095767.3

(22) 申请日 2004.11.19

(30) 优先权数据

10/718439 2003.11.19 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 X·黄 P·S·汤普森 D·T·瑞安

G·A·莱曼 T·J·哈文斯

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 杨凯 张志醒

(51) Int. Cl.

H01F 6/04 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

G01R 33/20 (2006.01)

(56) 对比文件

EP 0681189 A, 1995.11.08, 全文.

JP 特开平 4-197059 A, 1992.07.16, 全文.

EP 0898130 A, 1999.02.24, 全文.

JP 特开平 8-250324 A, 1996.09.27, 全文.

US 5412363 A, 1995.05.02, 全文.

审查员 王南野

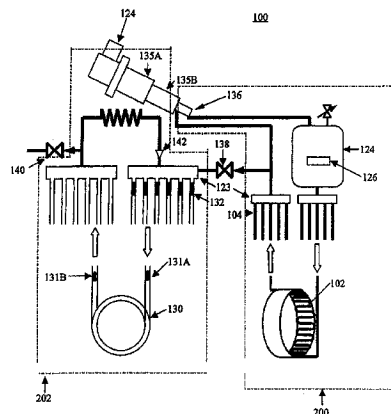
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

超导磁体的低涡流致冷剂回路

(57) 摘要

一种用于超导磁体 (302) 的低涡流致冷剂回路 (100), 它包括用导电材料制成的至少一个第一冷却线圈 (102) 和至少一个包括在第一冷却线圈 (102) 中的电绝缘体 (104)。电绝缘体 (104) 设置成阻止由第一冷却线圈 (102) 和涡流感应场源之间的电感耦合引起的感应涡流环路。



1. 一种用于超导磁体的低涡流致冷剂回路 (100), 包括:

至少第一冷却线圈 (102), 所述第一冷却线圈 (102) 包括导电材料, 并包括至少一个电绝缘体 (104), 即制造所述第一冷却线圈 (102) 时所述第一冷却线圈 (102) 的一部分用一种非导电材料制成,

其中, 所述电绝缘体 (104) 设置成阻止由所述第一冷却线圈 (102) 与涡流感应场源的电感耦合在所述致冷剂回路 (100) 中引起的感应涡流环路。

2. 如权利要求 1 所述的致冷剂回路 (100), 还包括:

第二冷却线圈 (118), 所述第二冷却线圈 (118) 包括导电材料, 并包括至少第二电绝缘体 (120), 即制造所述第二冷却线圈 (118) 时所述第二冷却线圈 (118) 的一部分用一种非导电材料制成,

其中, 所述第二电绝缘体 (120) 设置成抑制由所述第二冷却线圈 (118) 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场, 以及

其中, 所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 均具有基本上半圆的部分 (110), 并且所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 彼此相关地设置, 以便形成基本上圆形的冷却带 (122)。

3. 如权利要求 2 所述的致冷剂回路 (100), 还包括:

多个冷却带 (122) 和多支管 (123), 其中, 所述多支管 (123) 适合在所述多个冷却带 (122) 之间分配致冷剂。

4. 一种冷却超导磁体 (302) 的方法, 包括:

提供至少与第一冷却线圈 (102) 热接触的超导磁体 (302), 所述第一冷却线圈 (102) 包括导电材料, 并包括至少一个电绝缘体 (104), 即制造所述第一冷却线圈 (102) 时所述第一冷却线圈 (102) 的一部分用一种非导电材料制成, 其中所述电绝缘体 (104) 设置成阻止由所述第一冷却线圈 (102) 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应涡流环路; 以及

使致冷剂通过所述第一冷却线圈 (102)。

5. 如权利要求 4 所述的方法, 还包括:

提供与所述超导磁体 (302) 热接触的第二冷却线圈 (118), 所述第二冷却线圈 (118) 包括导电材料, 并包括至少第二电绝缘体 (120), 即制造所述第二冷却线圈 (118) 时所述第二冷却线圈 (118) 的一部分用一种非导电材料制成,

其中, 所述第二电绝缘体 (120) 设置成抑制由所述第二冷却线圈 (118) 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场, 以及

其中, 所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 均具有基本上半圆的部分 (110), 并且所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 彼此相关地设置, 以便形成基本上圆形的冷却带 (122)。

6. 如权利要求 5 所述的方法, 其中, 使所述致冷剂通过包括将位于所述冷却带上方的致冷剂储存器 (124) 中的致冷剂馈入所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118), 以及其中, 所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 具有顶部 (108) 和底部 (106), 且所述致冷剂馈入底部 (106) 并从顶部 (108) 退出。

7. 如权利要求 5 所述的方法, 其中, 所述第一冷却线圈 (102) 和所述第二冷却线圈 (118) 具有形成蛇形线形状的多个弯道 (112)。

8. 一种磁共振成像系统 (300), 包括:

超导磁体 (302); 以及

低涡流致冷剂回路 (100), 所述低涡流致冷剂回路 (100) 至少具有与所述超导磁体 (302) 热接触的第一冷却线圈 (102),

其中, 所述第一冷却线圈 (102) 包括导电材料, 并包括至少一个电绝缘体 (104), 即制造所述第一冷却线圈 (102) 时所述第一冷却线圈 (102) 的一部分用一种非导电材料制成, 以及

其中, 所述电绝缘体 (104) 设置成阻止由所述第一冷却线圈 (102) 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场。

9. 如权利要求 8 所述的磁共振成像系统 (300), 其中, 所述低涡流致冷剂回路 (100) 至少具有包括导电材料的第二冷却线圈 (108), 并包括至少第二电绝缘体 (120), 即制造所述第二冷却线圈 (118) 时所述第二冷却线圈 (118) 的一部分用一种非导电材料制成, 以及其中, 所述第二电绝缘体 (120) 设置成抑制由所述第一冷却线圈 (102) 及所述第二冷却线圈 (118) 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场。

超导磁体的低涡流致冷剂回路

技术领域

[0001] 本发明一般涉及超导磁体的冷却方法和装置,具体地说,涉及冷却用于磁共振成像(MRI)系统的磁体。

背景技术

[0002] 有各种各样的使用超导磁体的磁成像系统。成像系统的一个实例就是磁共振成像(MRI)系统。MRI系统用来使患者身体的一部分成像。

[0003] 超导MRI系统通常利用一个通常具有多个线圈的超导磁体。在磁体内部提供成像容积。将人体或材料置于成像容积内,检测图像或信号,然后所述图像或信号由处理器(例如计算机)处理。

[0004] 大部分现有的超导MRI磁体由铌钛材料制成,利用致冷器冷却到4.2K的温度。典型的超导磁体致冷器包括液氦容器、一个或两个隔热屏以及真空容器。隔热屏阻止环境大气对液氦容器的辐射。使来自这种辐射的热负载与向致冷器提供冷却的冷冻机(例如低温冷却器)平衡。

[0005] 但是,除了来自环境大气的热量之外,还有其它的热源。例如,当致冷器组件暴露在磁场中,例如来自MRI梯度线圈的边缘磁场时,就会产生涡流。这些涡流产生焦耳热,增加了制冷器需去除的热负载。而且,这些涡流在图像容积中产生的磁场对系统的成像质量有负面的影响。解决此问题的现有方法包括降低超导线圈和致冷组件区域内的AC场强。但这通常导致对系统性能的不利影响。

发明内容

[0006] 按照本发明的一个优选方面,提供一种用于超导磁体的低涡流致冷剂回路,它包括:至少一个包括电导材料的第一冷却线圈;以及至少一个包括在所述第一冷却线圈中的电绝缘体,电绝缘体设置成抑制由于第一冷却线圈和涡流感应场源之间的电感耦合而在致冷剂回路中的感应的涡流环路。

[0007] 按照本发明的一个优选方面,提供一种冷却超导磁体的方法,该方法包括提供至少与第一冷却线圈热接触的超导磁体,所述第一冷却线圈包括至少一个电绝缘体,所述电绝缘体设置成抑制由于第一冷却线圈和涡流感应场源之间的电感耦合而感应的涡流环路并且使致冷剂通过第一冷却线圈。

[0008] 按照本发明的一个优选方面,提供一种MRI系统,它包括超导磁体和低涡流致冷剂回路,所述低涡流致冷剂回路至少具有与超导磁体热接触的第一冷却线圈。

[0009] 按照本发明的一个优选方面,提供一种形成冷却带的方法,所述方法包括:提供第一冷却线圈和第二冷却线圈,所述第一和第二冷却线圈具有基本上半圆的部分;以及把所述第一和第二冷却线圈固定到柔性支架上,使得所述第一和第二冷却线圈形成基本上圆形的形状。

附图说明

[0010] 图 1 为低涡流致冷剂回路的示意图,示出本发明的若干实施例。

[0011] 图 2A 为按照本发明实施例的冷却带示意图。

[0012] 图 2B 为按照本发明另一实施例的冷却带示意图。

[0013] 图 3A 为按照本发明另一实施例的冷却带截面图。

[0014] 图 3B 为按照本发明另一实施例的冷却带截面图。

[0015] 图 4A 为按照本发明实施例形成冷却带的方法的示意图。

[0016] 图 4B 为图 4A 的冷却带的详细视图。

[0017] 图 4C 为图 4A 的冷却带的另一详细视图。

[0018] 图 5 示出按照本发明实施例的 MRI 的示意图。

[0019] 零件表

[0020] 100 低涡流致冷剂回路

[0021] 102 第一冷却线圈

[0022] 104 第一电绝缘体

[0023] 106 输入部分

[0024] 108 输出部分

[0025] 110 半圆部分

[0026] 112 弯道

[0027] 114 填充片

[0028] 116 柔性支架

[0029] 118 第二冷却线圈

[0030] 120 第二电绝缘体

[0031] 122 冷却带

[0032] 123 多支管

[0033] 124 液态致冷剂储存器

[0034] 126 致冷剂储存器中的加热器

[0035] 128 隔热屏

[0036] 130 隔热屏冷却线圈

[0037] 131A 隔热屏冷却线圈的输入部分

[0038] 131B 隔热屏冷却线圈的输出部分

[0039] 132 隔热屏冷却线圈电绝缘体

[0040] 134 低温冷却器

[0041] 135A 低温冷却器的第一级

[0042] 135B 低温冷却器的第二级

[0043] 136 冷凝器

[0044] 138 第一压力安全阀

[0045] 140 第二压力安全阀

[0046] 142 单向阀

[0047] 200 线圈冷却支回路

- [0048] 202 隔热屏支回路
- [0049] 300MRI 系统
- [0050] 302 超导磁体
- [0051] 304 孔
- [0052] 306 梯度线圈
- [0053] 308RF 线圈
- [0054] 310RF 屏蔽
- [0055] 312MRI 机壳

具体实施方式

[0056] 本发明已经实现可以减少从超导磁体系统（例如 MRI 系统）的涡流环路产生的热量而不降低超导线圈和冷却器组件区域中的 AC 场强。可以通过利用低涡流致冷剂回路冷却超导磁体来实现这一点。具体地说，其作法是：提供一些冷却线圈，所述冷却线圈具有包括在其中的至少一个电绝缘体，以便抑制由所述冷却线圈和涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场。

[0057] 图 1 示出本发明低涡流致冷剂回路 100 的实施例的几个方面。在本发明的优选实施例中，低涡流致冷剂回路 100 包括至少一个冷却线圈 102。通常，冷却线圈由不锈钢或铜制成，以便于构建适合在致冷剂温度下工作的密封回路。但具有合适的导热率的任何材料都可使用。

[0058] 通常，用作密封冷却管的材料也是导电的。由于这些材料导电，所以由于冷却线圈 102 和各种电磁场源（例如磁场源和 AC 场源）的电感耦合的缘故，可能在冷却线圈 102 中感应涡流。为抑制这些感应的涡流环路，至少将一个电绝缘体 104 包括在冷却线圈 102 中。就是说，制造冷却线圈 102 时冷却线圈 102 的一部分用一种非导电材料制作。例如，冷却线圈 102 的一部分用陶瓷管制造。通过使用陶瓷管，冷却线圈 102 中的电流通路被中断，阻止了感应涡流的产生。

[0059] 在图 2B 的本发明一个实施例中，冷却线圈 102 具有输入部分 106、输出部分 108 和半圆部分 110。通常，液态致冷剂通过冷却线圈 102 底部的输入部分 106 引入冷却线圈 102，随着热量被冷却线圈 102 吸收，部分液态致冷剂蒸发。致冷剂蒸汽和任何剩余的液态致冷剂通过冷却线圈 102 上部的输出部分 108 逸出冷却线圈 102。

[0060] 在一个优选实施例中，半圆形部分 110 用来冷却 MRI 300 的超导磁体（图 5）。但是，半圆形部分也可设计来冷却其它应用中的超导磁体，例如磁分离器、电机或发电机等。

[0061] 图 2A 示出另一实施例的冷却线圈 102。在此实施例中，冷却线圈 102 包括多个弯道 112，形成垂直于半圆形部分 110 的弧线的蛇形线。此实施例的冷却线圈 102 可对轴向长度较长的线圈提供冷却，而同时又保持线圈内部的导热通路较短，从而使热量能从这种线圈中去除而线圈末端不会有不可接受的温度升高。

[0062] 图 4A-4C 示出基于图 2A 所示实施例的附加特征。最好，冷却线圈 102 中的弯道 112 是成角度的，使得这样冷却管 102 内液态致冷剂中的气泡在重力作用下向上流动（图 4C）。通常，弯道 112 的角度 ρ 大于 0 度。但是，只要角度至少为 0 度，即，不是负数，气泡就不会陷在冷却线圈 102 中。这样，冷却线圈 102 就不会被蒸汽阻塞。

[0063] 或者,在冷却线圈 102 中的弯道 112 之间可以包括一些填充片 114。最好,填充片的高度大致等于冷却线圈 102 的厚度。通常,填充片用聚合材料制成,最好是酚醛聚合物。而且,在一个优选实施例中,冷却线圈 102 的直径小于 7mm。更好的是,冷却线圈 102 的直径大于 3mm,小于 7mm。

[0064] 当按照上述实施例制造低涡流冷却器线圈 100 时,首先将冷却线圈 102 做成半圆形并固定到支架 116 上,带有或不带有填充片 114 均可。或者,将冷却线圈 102 和填充片固定到柔性支架 116 上,再弯曲成半圆形。然后使具有填充片 114 和冷却线圈 102 的支架 116 与超导线圈热接触。

[0065] 本发明以前的实施例涉及使用单个冷却线圈 102。在另一个优选实施例中(示于图 4A),在附加第二冷却线圈 118 的情况下形成冷却带 122,第二冷却线圈 118 至少具有包括在其中的第二电绝缘体 120。和第一冷却线圈 102 一样,第二电绝缘体 120 设置成抑制由第二冷却线圈 118 与涡流感应场源的电感耦合引起的感应磁场。而且,第一和第二冷却线圈 102 和 118 都具有基本上半圆形的部分 110。最好,把第一和第二冷却线圈 102 和 118 设置成彼此相对,以便形成具有基本上为圆形的冷却带 122。

[0066] 可以将冷却带 122 包裹在超导线圈 302 的周围,以便对超导线圈 302 的整个外围提供冷却(图 3)。而且,如果超导线圈的轴向长度较长,可以提供多个冷却带 122。如果提供多个冷却带 122,那么,也可以提供多支管 123(图 1)以便在多个冷却带 122 之间分配致冷剂。

[0067] 在图 3B 所示的本发明又一实施例中,在多个冷却带 122 中至少有一部分是组合在超导线圈 302 的绕组内。这种实施例可以用在粗的超导线圈 302 中,不然超导线圈 302 中就会有过热点。而且,这种实施例可以和前一个实施例相组合。亦即,多个冷却带 122 可以包括在超导线圈 302 的绕组内以及沿超导线圈 302 的轴向上。

[0068] 在本发明的优选实施例中,低涡流致冷剂回路 100 包括液态致冷剂储存器 124,其中的液体可流到冷却带 122 的第一和第二冷却线圈 102、118(图 1)。最好,液态致冷剂储存器 124 位于第一和第二冷却线圈 102、118 之上,其中液体可流到位于第一和第二冷却线圈 102、118 底部的输入部分 106。在这种结构的情况下,液态致冷剂通过冷却带 122 向上流动。这种配置有助于液态致冷剂所形成的任何蒸汽通过冷却带 122 的流动,因而阻止冷却带 122 中形成蒸汽阻塞。

[0069] 在另一优选实施例中,低涡流致冷剂回路 100 包括至少一个隔热屏 128。隔热屏 128 阻止环境大气对超导磁性装置(例如 MRI)中超导磁体的辐射。最好,隔热屏 128 包括至少一个围绕在隔热屏 128 周围的隔热屏冷却线圈 130。将某一温度的致冷剂通过输入部分 131A 引入隔热屏冷却线圈 130,并在消除隔热屏 128 的热量后以较高温度通过输出部分 131B 输出。最好,和冷却带 122 中的冷却线圈 102、118 一样,隔热屏冷却线圈 130 包括至少一个电绝缘体 132,以便抑制由隔热屏冷却线圈和涡流感应场源之间的电感耦合引起的感应磁场。

[0070] 在另一实施例中,隔热屏 128 周围可以有多个隔热屏冷却线圈 130。如果配有多个隔热屏冷却线圈 130,也可配有多支管 123,以便在多个隔热屏冷却线圈 130 之间分配致冷剂。

[0071] 最好,低涡流致冷剂回路 100 包括低温冷却器 134 以及以热力方式与低温冷却器

134 连接的冷凝器 136。更好的是,冷却线圈 102、118 上部的输出部分液体连接到冷凝器 136。在此实施例中,可以将汽化的致冷剂导入冷凝器 136 中,液化,然后送到液体致冷剂储存器 124 中再次使用。

[0072] 在本发明的另一实施例中,低温冷却器 134 具有两级 135A、135B。在此实施例中,冷凝器 136A 以热力方式连接到低温冷却器 134 的第二级 135B,而隔热屏冷却线圈 130 以热力方式连接到低温冷却器 134 的第一级 135A。而且,在此实施例中,低涡流致冷剂回路 100 可以描述为包括两个支回路(线圈冷却支回路 200 和隔热屏支回路 202)。线圈冷却支回路 200 包括液态致冷剂储存器 124、冷却带 122 和冷凝器 136。隔热屏支回路 202 包括隔热屏冷却线圈 130、低温冷却器 134 的第一级 135A。

[0073] 在本实施例的优选方面,线圈冷却支回路 200 和隔热屏支回路 202 可以用第一压力安全阀 138 连接。如果线圈冷却支回路 200 中的压力超过预置压力,来自线圈冷却支回路 200 的致冷剂蒸汽可以释放到隔热屏支回路 202 中。这样,预置压力使低温冷却器的第二级 135B 的冷却容量与来自冷却带 122 的热负载平衡。

[0074] 或者,可以包括第二压力安全阀 140,以便将隔热屏支回路 202 排放到大气。如果隔热屏支回路 202 中的压力超过预置压力,那么,隔热屏支回路 202 中的致冷剂蒸汽就可排放到大气,以降低隔热屏支回路 202 中的压力,从而降低低涡流致冷剂回路 100 中的压力。最好,在工作时低涡流致冷剂回路 100 中的压力总是高于大气压力。这样,大气压力就不会由于空气从低涡流致冷剂回路 100 的外部进入的缘故而阻碍低涡流致冷剂回路 100 的工作。

[0075] 此外,可以在低温冷却器的第一级 135A 和隔热屏冷却线圈的馈入部分之间包括单向阀 142。单向阀 142 对隔热屏支回路 202 中蒸汽压力提供附加的控制。亦即,在冷却过程中和在冷却系统因停电或冷却系统中的机械故障而失效时,单向阀可确保冷的致冷剂向下流到隔热屏冷却线圈 130 中并从隔热屏 128 中去除热量。

[0076] 为了对低涡流致冷剂回路 100 中的压力提供更进一步的控制,在本发明的另一实施例中,将加热器 126 置于致冷剂储存器 124 内。只要致冷剂储存器 124 内的压力降低到预置压力以下,加热器 126 就接通。这样,可以使低温冷却器 134 的冷却容量与来自冷却带 122 的热负载平衡。

[0077] 图 5 示出包括低涡流致冷剂回路 100 的 MRI 系统 300。MRI 系统 300 包括设置在机壳 312 中的若干超导磁体 302、隔热屏 128、梯度线圈 306、RF 线圈 308 以及 RF 屏蔽 310。机壳 312 包括患者用的中心孔 304。在此实施例中,冷却带 122 位于超导磁体 302 的线圈的外表面上。而且,隔热屏线圈 130 位于两个隔热屏 128 的外表面上。

[0078] 在此实施例中,冷却带 122 可以包括如图 2B 所示的具有简单半圆形状的冷却线圈 102、118,或如图 2A 所示的蛇形线弯道 112。而且,和要求机壳 312 中有致冷剂容器的先有技术的 MRI 系统不同,本发明的 MRI 系统 300 不需要内部致冷剂容器。在按照本发明的 MRI 系统中,液态致冷剂储存器 124 可以位于机壳 312 之外,通过管道进行连接(未示出)。

[0079] 而且,如果停电或冷却系统中有机械故障,液态致冷剂储存器 124 中致冷剂的潜热可以用来提供 ride through(从冷却机件失效到因温度升高到超过超导材料的临界温度而失去超导性的时限)。在 ridethrough 期间,低涡流致冷剂回路 100 中的压力升高,两个压力安全阀 138 和 140 都开启。从冷却带 122 蒸发出来的致冷剂流入隔热屏支回路,经过

隔热屏冷却线圈 130,排到大气。最好,如果低温冷却器 124 失效,那么液态致冷剂储存器 124 中的致冷剂为 ride through 提供至少 4 小时的潜在冷却。更好的是,液态致冷剂储存器 124 中的致冷剂为 ride through 提供至少 12 小时的潜在冷却。

[0080] 此处提出的优选实施例是为了说明。但所述说明不应被认为是对本发明范围的限制。所以,本专业技术人员可以想到各种修改、改编和替代方案而不背离要求保护的发明概念的范围。

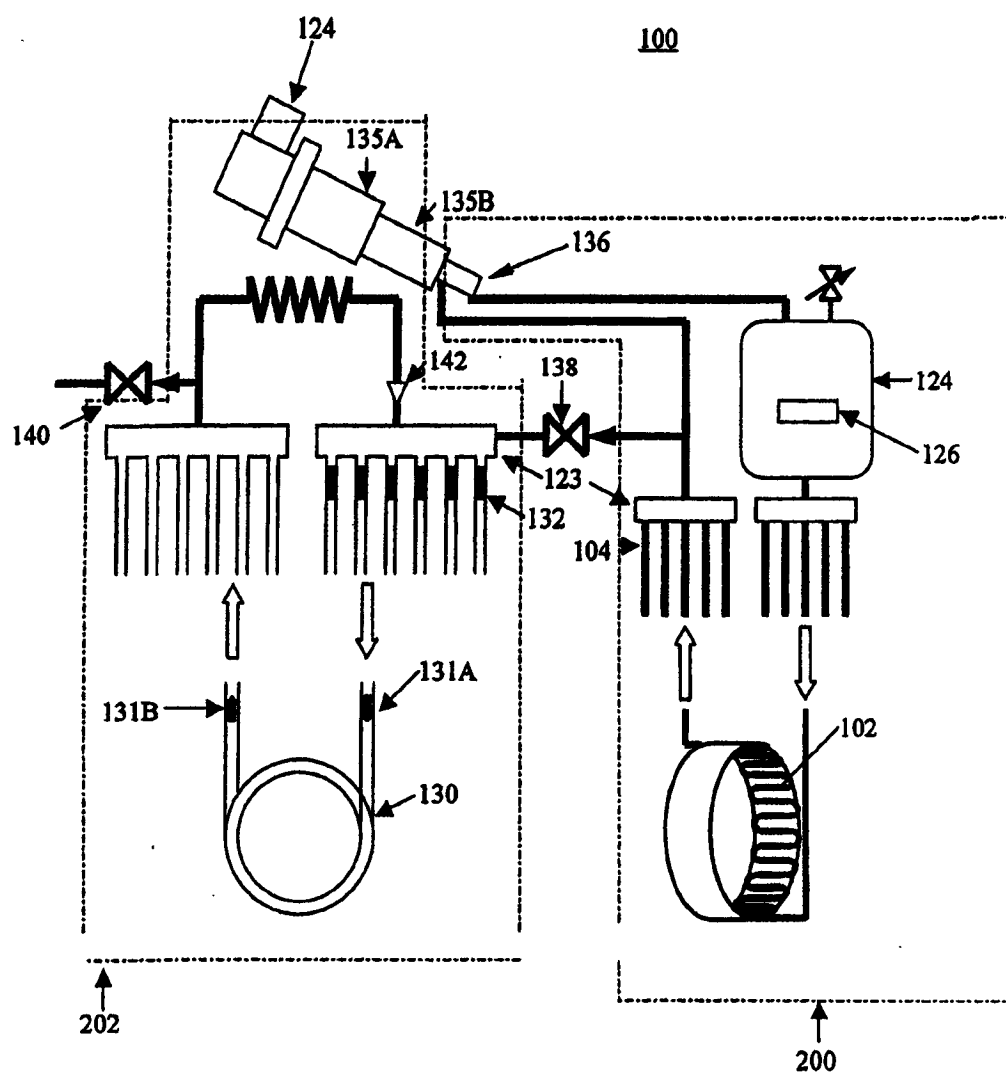


图 1

图 2A

图 2B

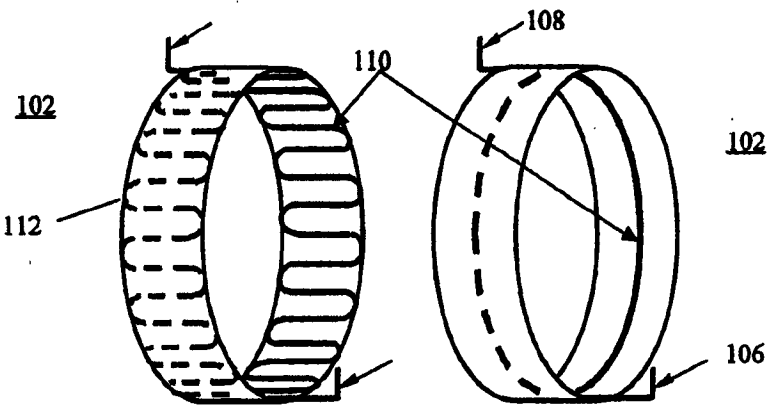


图 3A

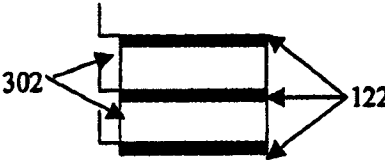
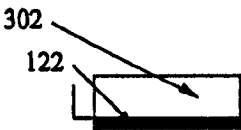


图 3B

图 4A

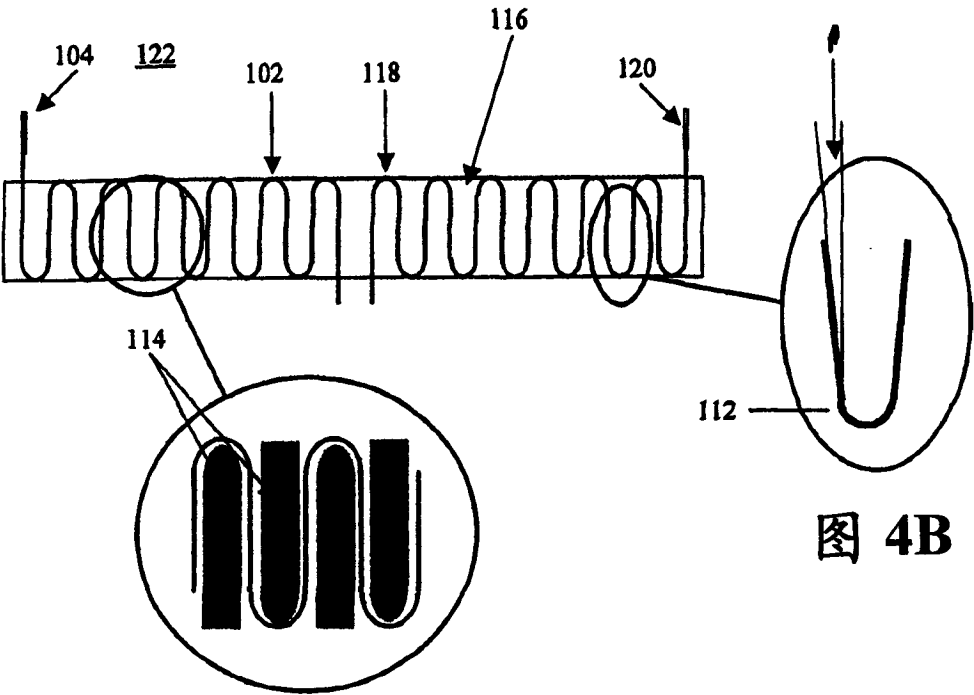


图 4B

图 4C

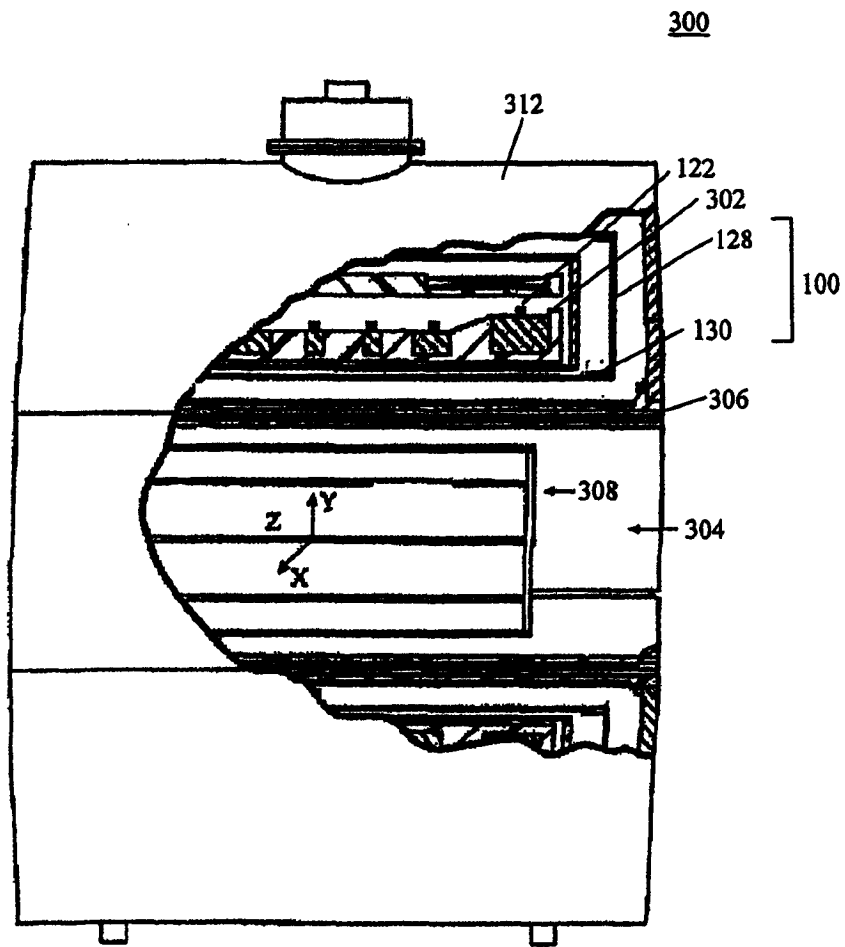


图 5