



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102986294 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 20

(21) 申请号 201180034259. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 06. 24

H05B 6/54 (2006. 01)

(30) 优先权数据

12/835, 331 2010. 07. 13 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 01. 11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/041755 2011. 06. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02012/009131 EN 2012. 01. 19

(71) 申请人 哈里公司

地址 美国佛罗里达

(72) 发明人 F·E·帕斯切

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 袁珩

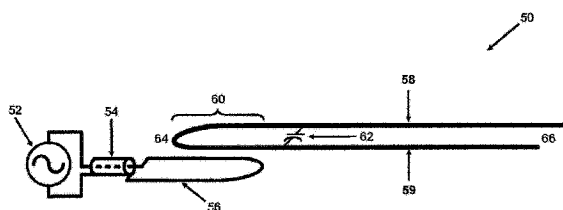
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 3 页

(54) 发明名称

射频加热叉

(57) 摘要

用于加热目标的设备包括具有两个基本上平行的叉齿的射频加热叉,基本上平行的叉齿在射频加热叉的环端电连接,并且该基本上平行的叉齿在射频加热叉的开口端分开,还包括馈电耦合器连接,该馈电耦合器连接跨射频加热叉的基本上平行的叉齿连接电源。跨射频加热叉的基本上平行的叉齿施加电源导致在射频加热叉的环端附近进行感应加热,而在射频调节叉的开口端附近进行电介质加热。可以相对于加热叉定位目标,以选择最有效的加热方法。加热叉可以在低频时提供近场以便确保深的热穿透。



1. 一种用于使用射频加热叉对目标进行加热的方法,所述射频加热叉包括在所述射频加热叉的环端电连接的两个基本上平行的叉齿,所述基本上平行的叉齿在所述射频加热叉的开口端分开,以及包括跨所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿连接电源的馈电耦合器连接,所述方法包括:

- 相对于射频加热叉定位目标;以及
- 通过使用所述馈电耦合器连接跨所述射频加热叉施加电源,对所述目标进行加热。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,定位所述目标还包括在所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿之间定位所述目标。

3. 如权利要求 1 所述的方法,其中,定位所述目标还包括在所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿上或之间定位所述目标,并且还包括:使用感应加热对所述射频加热叉的所述环端之间的所述目标进行加热,以及使用电介质加热对所述射频加热叉的所述开口端处的所述目标进行加热。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述馈电耦合器连接在所述射频加热叉的所述环端附近感应地连接到所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿。

5. 如权利要求 1 所述的方法,还包括:使用跨所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿放置的电容器,来调节所述射频加热叉的频率。

6. 一种用于对目标进行射频加热的设备,所述设备包括:

- 射频加热叉,所述射频加热叉具有在所述射频加热叉的环端电连接的两个基本上平行的叉齿,所述基本上平行的叉齿在所述射频加热叉的开口端分开;以及
- 馈电耦合器连接,所述馈电耦合器连接跨所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿连接电源。

7. 如权利要求 6 所述的设备,其中,所述馈电耦合器连接在所述射频加热叉的所述环端附近感应地连接到所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿。

8. 如权利要求 7 所述的设备,其中,所述感应馈电耦合器连接包括平衡-不平衡变换器。

9. 如权利要求 6 所述的设备,还包括在所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿之间连接的电容器。

射频加热叉

[0001] 本发明涉及射频(“RF”)加热。具体而言,本发明涉及用于加热传导性变化的物质的有利的并且有效的设备和方法。

[0002] RF 加热可以用于各种应用中。例如,可以使用 RF 能量来加热油井岩芯样本。然而,这些岩芯样本,在传导性方面可能会显著地不同,因此,不同地对各种类型的加热作出响应。对于具有低传导性的样本,电介质加热是有效的并且是优选的。带有更高的传导性的样本最好通过感应加热来进行加热。医用透热疗法,或使用热量来摧毁异常或不希望有的细胞是可以使用 RF 加热的另一种应用。

[0003] RF 加热是适于许多材料的通用的过程,因为可以使用不同的 RF 能量。可以有由 RF 加热施加器引入的电场 E、磁场 H,和 / 或电流 I。诸如直导线偶极之类的线性施加器通过电流 I 的散度而在 E 场附近凸显出强辐射。诸如金属环之类的圆形施加器通过电流 I 的旋度凸显出强辐射 H 场。混合型施加器形式可以包括螺旋和螺线以产生强的 E 和 H 场。不绝缘的 RF 加热施加器可以充当电极以在介质中引入电流 I。

[0004] 平行线性导体在给予 P. S. Carter 的标题为“天线”的美国专利 2, 283, 914 中形成天线。现在为人们所熟知的折叠偶极天线,该天线使用细线路中的相同方向的电流和电压相加作用来使驱动阻抗达到较高的值。然而,折叠偶极天线不包括下列各方面:反平行的电流流动(相反的电流方向或感应)、在一端以开口端子操作、到单独的馈电结构的感应耦合,或电容器加载。折叠偶极天线对于以大约 1/2 的波长以及大于 1/2 波长的大小的操作是有用的。

[0005] 给予 A. G. Kandoian 的标题为“天线”的美国专利 2, 507, 528 描述了在传导板中的槽的相反边上流动的反平行的(相等但是相反的方向)电流。从垂直朝向的槽实现水平极化。

[0006] RF 加热可以通过近场或远场来操作。近场是在 RF 加热施加器附近循环的强的反应性能量。远场可以包括在离施加器有一段距离处的无线电波。近场和远场两者对于 RF 加热都是有用的,许多折衷也是可以的。例如,当施加器尺寸小时,近场可能对低频更有用,并且对于传导材料更有用。对于在一定的距离内的加热以及对于加热低传导性材料,远场是优选的。

[0007] 当前射频加热叉对于加热各种目标是有用的,因为由射频加热叉所产生的热包括感应加热和电介质加热。可以简单地通过相对于射频加热叉来定位目标来选择特定类型的加热。

[0008] 当前射频加热叉包括一种用于使用射频加热叉对目标进行加热的方法,所述射频加热叉包括两个基本上平行的叉齿,所述基本上平行的叉齿在所述射频加热叉的环端电连接,并且所述基本上平行的叉齿在所述射频加热叉的开口端分开,还包括馈电耦合器连接,馈电耦合器连接跨所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿连接电源,所述方法包括:相对于射频加热叉定位目标;以及,通过使用馈电耦合器连接在射频加热叉上施加电源来对目标进行加热。

[0009] 定位所述目标还可以进一步包括相对地将目标定位在射频加热叉的基本上平行

的叉齿之间。定位所述目标还可以进一步包括相对地将目标定位在射频加热叉的基本上平行的叉齿上或其之间,并且在射频加热叉的环端附近,其中对目标的加热主要是由于感应加热。作为替代地,定位所述目标还可包括在所述射频加热叉的所述基本上平行的叉齿上或其之间相对定位所述目标,并且在射频加热叉的开口端附近,其中,对目标的加热主要是由于电介质加热。

[0010] 馈电耦合器连接可以在射频加热叉的环端附近感应地连接到射频加热叉的基本上平行的叉齿。作为替代地,馈电耦合器连接可以在射频加热叉的环端附近电连接到射频加热叉的基本上平行的叉齿。感应馈电耦合器连接可以包括平衡-不平衡变换器(Balun)。此外,还可以使用跨射频加热叉的基本上平行的叉齿放置的电容器,来调节射频加热叉的频率。

[0011] 本射频加热叉包括用于对目标进行射频加热的设备,该设备包括:射频加热叉,该射频加热叉具有两个基本上平行的叉齿,该基本上平行的叉齿在射频加热叉的环端电连接,并且该基本上平行的叉齿在射频加热叉的开口端分开,还包括馈电耦合器连接,该馈电耦合器连接跨射频加热叉的基本上平行的叉齿连接电源。跨射频加热叉的基本上平行的叉齿施加电源导致在射频加热叉的环端附近进行感应加热,而在射频加热叉的开口端附近进行电介质加热。

[0012] 馈电耦合器连接可以在射频加热叉的环端附近感应地连接到射频加热叉的基本上平行的叉齿。感应馈电耦合器连接可以包括平衡-不平衡变换器。作为替代地,馈电耦合器连接可以在射频加热叉的环端附近电连接到射频加热叉的基本上平行的叉齿。还可以在射频加热叉的基本上平行的叉齿之间连接电容器。

[0013] 本发明的其他方面对那些精通本技术的普通人员是显而易见的。

[0014] 图 1 描绘了使用无线连接的本射频加热叉。

[0015] 图 2 描绘了使用硬连线连接的本射频加热叉。

[0016] 图 3 描绘了带有目标的射频加热叉的加热模式。

[0017] 现在将更全面地描述本发明的主题,示出了本发明的一个或多个实施例。然而,本发明可以许多不同的形式来实施,不应该被理解为仅限于此处所阐述的实施例。相反,这些实施例是具有通过权利要求书的语言所指出的完整范围的本发明的示例。

[0018] 在图 1 中,射频加热叉 50 包括叉齿 58 和 59,并包括无线感应馈电耦合器连接。同轴馈电 54 在一端连接到 AC 电源 52,并在另一端连接到供电环 56。加热叉 50 的供电环 56 和环端 64 彼此靠近并重叠,这产生了将能量从供电环 56 传输到加热叉 50 的变压器效应。可以对于五十欧姆驱动电阻或根据需要,来调整感应馈电耦合器。加热叉 50 的供电环 56 和环端 64 之间的重叠量和距离可以变化,这又会改变电阻和热。叉齿 58 和 59 通过环端 64 电连接。可以在加热叉 50 外面或上方设置绝缘,这对于内部医用透热疗应用是所希望的。

[0019] 加热叉 50 可以可任选地配备有用于调节目的的电容器 62。加热叉 50 自然地以波长的大致四分之一的频率操作。可选的电容器 62 可以将此频率降低到,例如,波长的二十分之一或三十分之一。可以在加热叉 50 上方使用诸如金属盒之类的 RF 屏蔽(未示出)来控制辐射。供电环 56 有利地充当隔离变压器或平衡-不平衡变换器(Balun),该隔离变压器或平衡-不平衡变换器充当用于同轴馈电 54 的表面上的杂散电流抑制的共模扼流圈。虽然未示出,但是加热叉 50 可以浸入或以其他方式被定位在要 RF 加热的目标介质内部。

[0020] 加热叉 50 的的长度 L 优选地是操作频率的波长的四分之一,虽然可以根据需要使 L 缩短,增加或增大电容器 62 的电容。因而通过加热叉轻松地产生高电压和高电流,因为通过波长的四分之一,例如 90 电角度,双曲正切函数渐近地趋近于零和无穷。

[0021] 现在转向图 2,射频加热叉 100 包括叉齿 108 和 109,并且包括硬连线馈电耦合器连接。同轴馈电 104 在一端连接到 AC 电源((未示出),并在另一端在加热叉 100 的环端 110 附近以馈电耦合器连接 106 连接到加热叉 100。叉齿 108 和 109 通过环端 110 电连接。当在加热叉 100 上施加电源时,在加热叉 100 的环端 110 附近形成强磁场 114。相反,在加热叉 100 的开口端 112 附近形成强电场 116。当向图 1 中的加热叉 50 施加电源时,类似地形成这些场(未示出)。

[0022] 两个不同的场提供两种不同的加热质量。在加热叉 100 的环端 110 附近形成的强磁场 114 提供感应加热,这对于加热传导物质是极好的。另一方面,在加热叉 100 的开口端 112 附近形成的强电场 116 对于加热传导差一些的,或者甚至非传导物质是极好的。通过相对于加热叉 100 定位目标 118,取决于目标 118 的传导性,可以使用加热的最有利的形式。例如,可以使具有高传导性的目标 118 位置更靠近加热叉 100 的环端 110。另一方面,甚至可以在加热叉 100 的开口端的附近加热包括蒸馏水的目标,因为该区域具有强电场。如果目标 100 被定位在加热叉 100 的叉齿 108 和 109 之间,则可以实现更均匀的加热。

[0023] 当在适当的频率范围内操作时,当前射频加热叉具有低电压驻波比(“VSWR”)。例如,在一个实施例中,当以大致 27MHz 的频率操作射频加热叉时,VSWR 趋近于 1:1。

[0024] 加热叉叉齿 58、59、108 和 109 的截面不必是圆柱形,对于特定的应用,其他形状也是可以的。例如,如果用于内部医用透热疗法,叉齿可以具有 C 形截面,以促进用于相对于靶细胞定位加热叉的组织穿透。

[0025] 加热叉 50 和 100 是传导结构,通常由金属构成,具有差模电流分布,在每一叉齿上带有相同电流幅值,在每一叉齿上电流在相反的方向流动。例如,当 AC 电源波形是正弦曲线时,沿着图 1 的加热叉 50 的电流分布也是正弦曲线,以便在环端 68 产生最大幅值,而在开口端 68 产生最小值。跨叉齿 58 的电压电势在环端 64 为最小值,在开口端 66 为最大值。叉齿之间的电压 E 与沿着叉齿线路的电流 I 的比是由下列公式给出的阻抗 Z:

$$[0026] \quad Z_L = \gamma L$$

[0027] 其中:

[0028] Z_L = 沿着叉齿的长度的阻抗

[0029] γ = 沿着叉的复传播常数 gamma (包括衰减常数 α 和相位传播常数 β)

[0030] L = 加热叉的从环端 64 到开口端 66 的总长

[0031] 继续参考图 1 的工作原理,供电环 56 以旋度传输电流 I,产生磁场 B(未示出)。加热叉 50 的环端 64 重叠供电环 56 的磁场 B,导致互感电流 I 流入加热叉 50。如此,供电环 56 和环端 64 在区域 60 基本上形成变压器的“绕组”。使供电环 56 靠近环端 64 提供对 AC 电源 52 的较大的负载电阻,而移动供电环 56 远离环端 64 为 AC 电源 52 提供较小的负载电阻。随着使供电环 56 靠近环端 64,加热叉 50 的共振的频率略微变小。

[0032] 现在考虑由加热叉 50 和 100 所生成的电场。虽然在形式上是有骨架的,但是,加热叉结构涉及线性槽式天线,并且加热叉 50 和 100 还生成三个反应性近场、三个中场,以及两个辐射远场(E 和 H)。当前射频加热叉主要使用近场加热。在没有加热负载的情况下,可

以按如下方式来描述该近场：

$$[0033] \quad H_z = -jE_0/2\pi\eta [(e^{-jkr_1}/r_1) + (e^{-jkr_2}/r_2)]$$

$$[0034] \quad H_\rho = -jE_0/2\pi\eta [(z-\lambda/4)/\rho] (e^{-jkr_1}/r_1) + (z-\lambda/4)/\rho (e^{-jkr_2}/r_2)]$$

[0035]

$$E_\phi = -jE_0/2\pi [(e^{-jkr_1}) + (e^{-jkr_2})]$$

[0036] 其中：

[0037] ρ, Φ, z 是其中槽与 Z 轴重合的柱面坐标系的坐标

[0038] r_1 和 r_2 是从加热叉到观察点的距离

[0039] $\eta =$ 空闲空间的阻抗 $=120\pi$

[0040] E= 以每米伏数为单位的电场强度

[0041] H= 以安培每米为单位的磁场强度

[0042] 在加热过程中,在加热叉 50 和 100 的平面的侧向存在强近 E 场。近 H 场在加热叉 50 和 100 的平面的侧向方向强,在叉齿 58 和 59 或 108 和 109 两者之间也强。

[0043] 目标 118 的放置(参见图 2)会相对于自由空间操作过程中存在的那些显著修改近场相位和等幅线,涉及目标 118 的近场恒值线的推导可以通过数值电磁法来最佳实现。图 3 是通过加热叉 100 加热的目标 118 的以瓦/公斤为单位的热量的具体吸收比的轮廓切面等值线图,叉齿 108 和 109 在目标 118 的任一侧。图 3 的图是通过矩分析方法获得的。所呈现的不对称性是由于网格化粒度造成的,将不会在对称的实际实施例中存在。可以理解,来自天线叉导体中的每一个的圆形的磁性近场在相位方面相长地相加,因为加热效应在目标中心是非零。在下面的表 1 中列出了与图 3 相关联的示例性操作参数：

[0044] 表 1

[0045]

应用	近场 RF 加热
加热叉 RF 馈电	供电环
目标材料	富阿萨巴斯卡油砂, 15% 沥青
目标大小	10.2cm 直径柱体, 0.91 米长
目标介电常数	5 法拉 / 米
目标传导性	0.0017mhos / 米
目标水含量	1.1%
频率	6.78MHz
供电环长度	1.05 米
供电环宽度	15.2cm (与加热叉相同)

供电环与加热叉的间隔	0.190m, 中心到中心
发射器功率	1 千瓦 RMS
VSWR	低于 2.0 到 1
加热叉长度	3.1 米
叉导体之间的间隔	15.2cm
叉导体直径	2.28cm
电容器位置	与环端相距 1.33 米
电容器电容	317pf
目标中的 SAR 率	5-10 瓦特 / 千克
目标中的 H 场幅值	0.1to0.4 安培 / 米
目标中的 E 场幅值	~8 千伏特 / 米

[0046] 当前射频加热叉已经过测试, 并被发现对于诸如介电管中的阿萨巴斯卡油砂之类的石油矿石的加热有效。参考图 2, 在大规模应用中, 加热叉叉齿 108 和 109 可以包括空心金属管, 以准许吸出诸如碳氢化合物矿石或重油之类的射频加热的材料, 例如, 加热叉叉齿 108 和 109 可以由实心壁或带孔眼的壁井管道构成。

[0047] 现在将参考图 1 和 2 来讨论对当前射频加热叉的频率和电气负载管理。优选地, 加热叉 100 在用于阻抗匹配的共振和对 AC 电源 102 的低 VSWR 时操作。用于这样的操作的两种方法涉及可变频率和固定频率操作。在可变频率方法中, 在加热过程中, AC 电源 102 的频率会变化, 以跟踪目标 118 的介电常数变化。这可以, 例如, 利用控制系统或通过将 AC 电源配置为功率振荡器以加热叉 100 作为振荡器储能电路来做到。类似于供电环 56 (参见图 1) 的第二环可以用作驱动振荡器的初始器。

[0048] 在固定的频率方法中, AC 电源 52 可以通过晶体控制, 以及可变以使来自加热叉 50 的共振的频率恒定的电容器 62 的值, 保持频率恒定。如果希望避免屏蔽多余 RF 辐射的需求, 则固定频率方法是优选的。例如, 固定频率方法可以通过使用 RF 加热频率分配来避免屏蔽的需求。在美国, 这可以在工业、科学和医学 (ISM) 频带, 例如, 在 6.78Mhz、13.56Mhz, 及其他频率。

[0049] 优选地, 将 RF 加热叉 50 的叉齿 58 与叉齿 59, 并将 RF 加热叉 100 的叉齿 108 与叉齿 109 分隔开大约 3 个或更多叉齿直径, 以避免叉齿之间的导体邻近效应损耗。导体邻近效应是可以对间距小的导体发生的增大损耗阻抗的不均匀电流分布。Litz 导体可以对于本发明在本发明的低频实施例 (比方说, 低于大约 1MHz) 中 useful。RF 加热叉 50 和 100 可以在真空或诸如六氟化硫 (SF_6) 之类的介电气氛中操作, 以控制以非常高的功率级别从开口端 66 和 112 的电晕放电。当不绝缘并与导电的目标介质 118 接触时, 加热叉 50 和 100 直

接向目标介质施加电流。开口端 66 和 112 可以充当电极,如果这样配置的话。

[0050] 目标 118 可以包括加热圆盘(puck)、介电管,或者甚至正在接受治疗的病人。本发明的方法是将 RF 加热感受器放置在 RF 加热目标中,以便提高加热速度,或用于有选择地对目标的特定区域进行加热。RF 加热感受器是优选地在存在 RF 能量的情况下加热的材料,诸如,例如,石墨、钛酸盐、铁氧体粉末,或者甚至盐水。

[0051] 本 RF 加热叉还可以对生成远场很有用,并且当不使用 RF 加热目标时作为天线。辐射的远电场的取向与加热叉朝向相反,例如,水平朝向的加热叉产生垂直极化波。因此,本 RF 加热叉对近场和远场加热都有用,对于通信也有用。

[0052] 当前 RF 加热叉作为用于 RF 加热的工具具有多种应用,诸如食品和材料处理、成份分离和改质烃矿石、热封和焊接,以及医用透热疗法。本 RF 加热叉可以在用于足够的穿透的低频下操作,通过用于受控制的辐射的近场来操作,从而提供对能量类型 E、H、I 的选择。

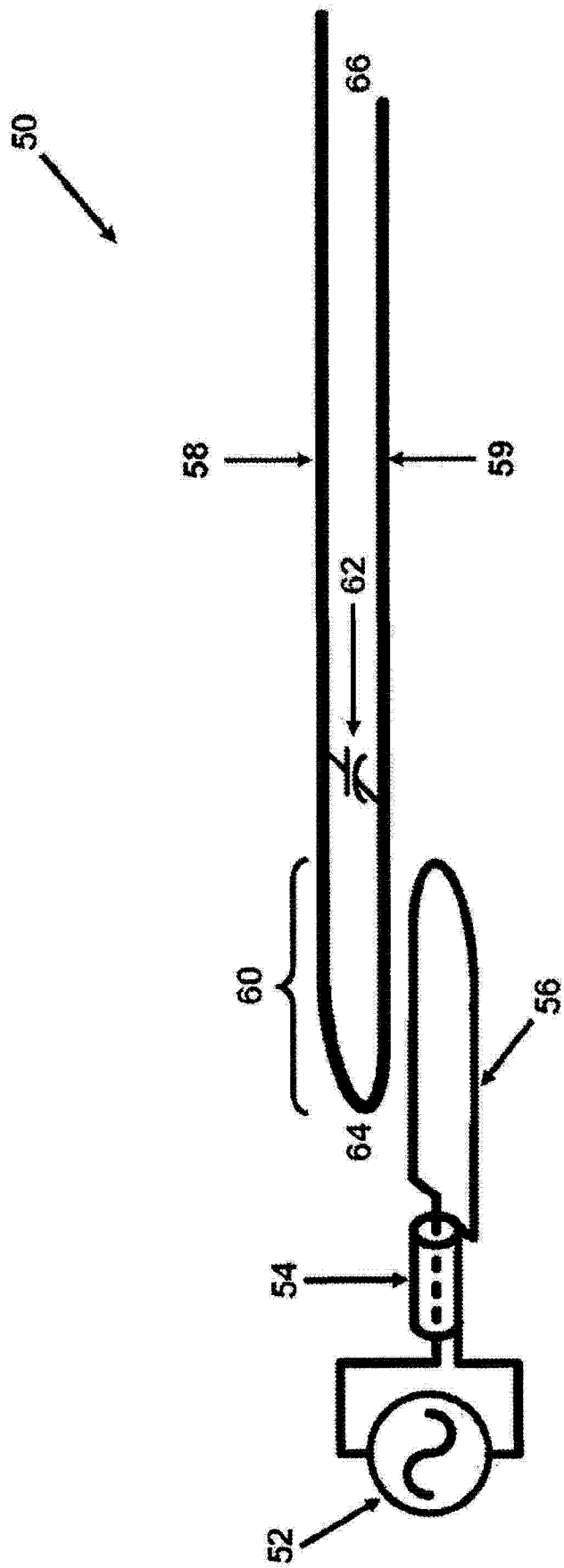


图 1

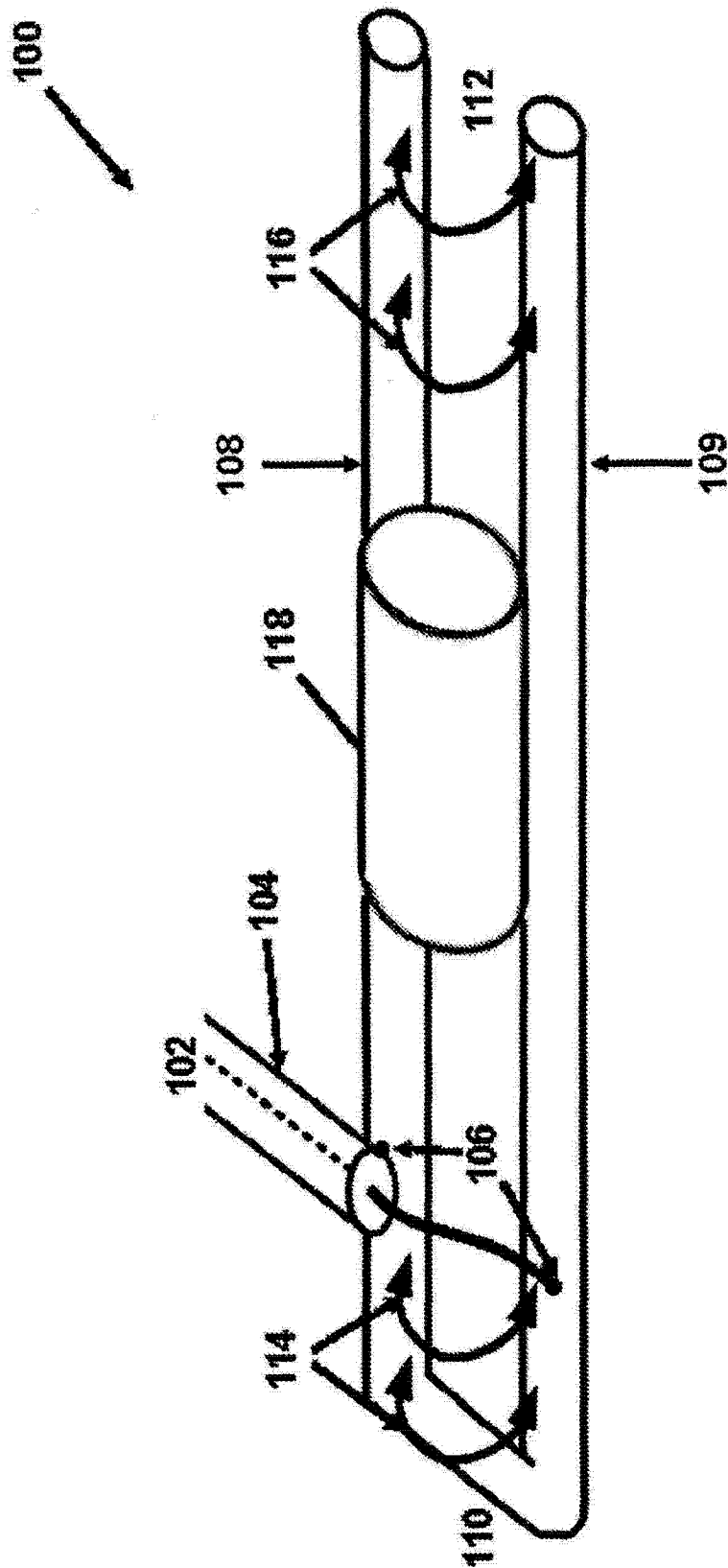


图 2

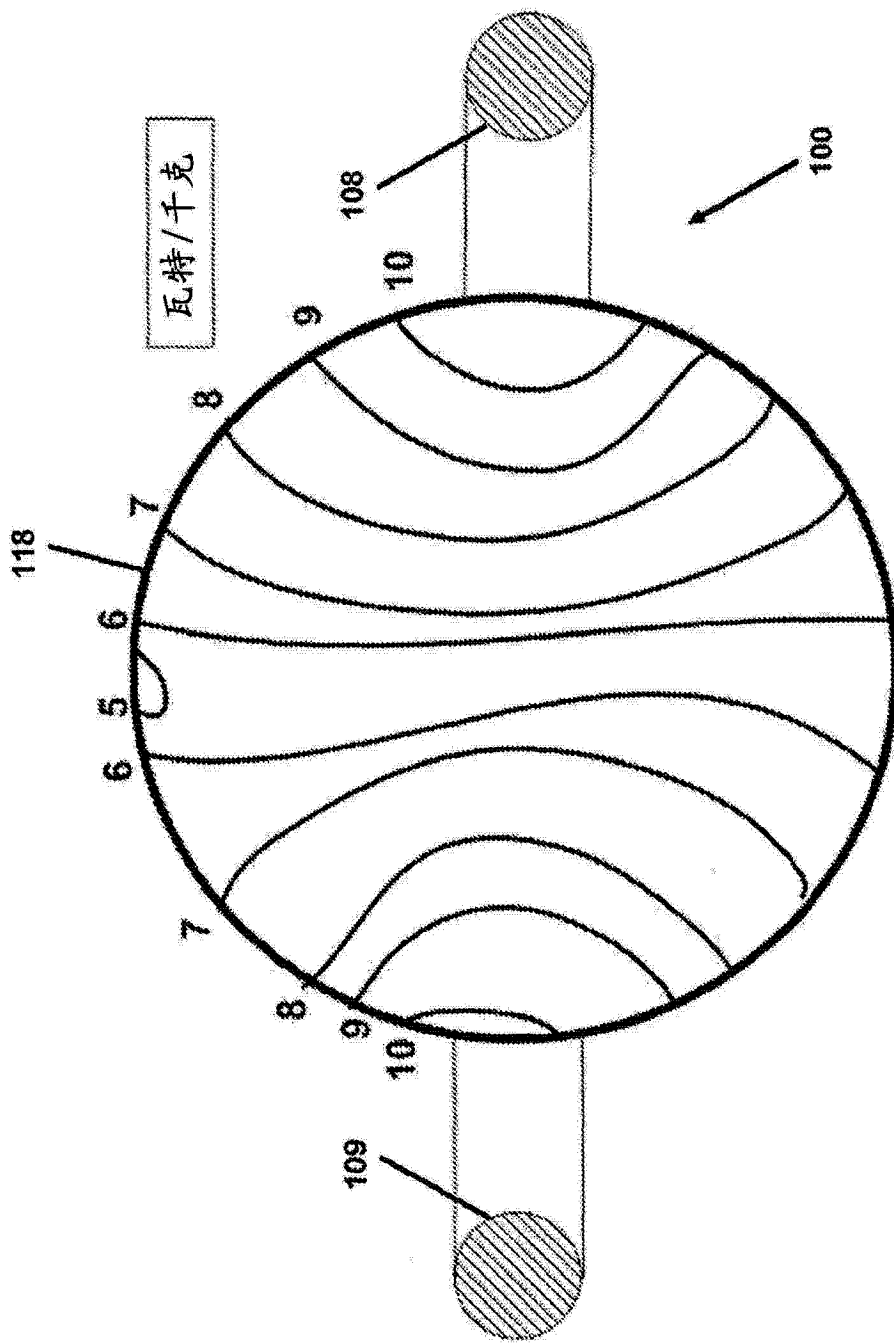


图 3