



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 105576368 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201510685306.X

(51) Int.CI.

(22) 申请日 2015.10.20

H01Q 1/42 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H01Q 3/20 (2006.01)

申请公布号 CN 105576368 A

审查员 王英

(43) 申请公布日 2016.05.11

(30) 优先权数据

14/518,083 2014.10.20 US

(73) 专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺斯州

(72) 发明人 罗纳德·O·拉文

迈克尔·M·洛尔

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限

责任公司 11240

代理人 梁丽超 刘瑞贤

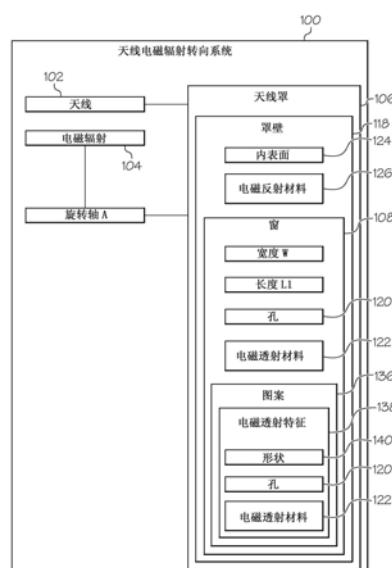
权利要求书2页 说明书13页 附图25页

(54) 发明名称

天线电磁辐射转向系统

(57) 摘要

一种天线电磁辐射转向系统，可包括用于发出电磁辐射的天线，和设置邻近于天线并且至少部分地包围天线的天线罩，天线罩包括将来自天线的电磁辐射传递至天线罩之外的窗，其中，基于窗相对于天线的位置定向电磁辐射。



1. 一种天线电磁辐射转向系统,包括:

天线(102),用于发射电磁辐射;以及

天线罩(106),设置为邻近于所述天线并且至少部分地包围所述天线,所述天线罩包括将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外的窗(108),

其中,基于所述窗相对于所述天线的位置定向所述电磁辐射,

其中,所述天线罩包括至少两个部分(128a、128b),每个部分包括将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外的窗,并且其中,基于所述部分的所述窗相对于所述天线的位置定向所述电磁辐射,

其中,所述每个部分独立地绕旋转轴(X)可旋转。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述窗包括以下中的至少一个:

所述天线罩中的孔(120);

形成在所述天线罩中的电磁透射材料(122);以及

电磁透射特征(138)的图案(136)。

3. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述电磁透射特征包括二维几何形状(140),其中,所述二维几何形状选自狭槽、加号、环形、卵形、矩形、三角形、尖拱、十字、鸡脚和X中的一个。

4. 根据权利要求2所述的系统,其中,所述电磁透射特征各自包括所述天线罩中的孔或者形成在所述天线罩中的电磁透射材料(122)中的一个。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述天线罩是对具有第一频率的所述电磁辐射电磁透射的,并且所述窗是对具有第二频率的所述电磁辐射电磁透射的。

6. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述窗具有宽度(W),并且其中,所述窗的所述宽度与所述电磁辐射的频率成比例。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述窗的所述宽度在所述频率下的波长的1/8与1/2之间。

8. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述天线罩具有长度(L2),并且所述天线具有长度(L3),其中,所述天线罩的长度比所述天线的长度长百分之十。

9. 根据权利要求8所述的系统,其中,所述窗具有长度(L1),并且其中,所述窗的长度与所述天线罩的长度相等。

10. 一种用于控制从全向天线发射的电磁辐射的方向的方法,所述方法包括:

将所述天线(102)封入(202)包括窗(108)的天线罩(106)内,所述窗用以将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外,所述窗包括形成在所述天线罩中的孔(120)、形成在所述天线罩中的电磁透射材料(122)和形成在所述天线罩中的电磁透射特征(138)的图案(136)中的至少一个;

将被导向远离所述窗的电磁辐射朝向所述窗反射(204)回以增加穿过所述窗的所述电磁辐射的增益;并且

使所述天线罩绕旋转轴(X)旋转(206)以相对于所述天线定位所述窗从而定向所述电磁辐射,

其中,所述天线罩包括至少两个部分(128a、128b),每个部分包括将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外的窗,并且其中,基于所述部分的所述窗相对于所述天

线的位置定向所述电磁辐射，

其中，所述每个部分独立地绕所述旋转轴(X)可旋转。

天线电磁辐射转向系统

技术领域

[0001] 本公开内容总体上涉及天线罩，更具体地，涉及具有对预定频带内的无线电波透射的窗的可移动天线罩。

背景技术

[0002] 交通工具(诸如飞机、海上交通工具、陆上交通工具和航天器)通常使用长波长的全向天线以用于远程通信。因为这些全向天线具有低增益，所以由于无线电波的无差别的辐射图案，使得可以容易地检测和/或拦截通过这些天线传输的无线电波(例如，无线电信号)。因此，高定向天线增益对于远程通信是期望的。

[0003] 可以使用各种技术(诸如利用相控阵天线、采用碟型天线或者喇叭天线、或者利用大孔定向天线)实现高增益天线方向性。然而，使用传统的阵列、碟型、或者孔技术难以实现更长波长的定向天线。

[0004] 通常使用相控阵中的天线元件的电子加权或者通过机械转向天线(例如，使用万向架)实现天线波束转向，以在期望方位和仰角提供无线电波束。然而，这种大孔天线和相关联的电子设备和/或机械万向架头的使用由于尺寸和/或重量而在宇航飞行器(例如，飞机)上使用。

[0005] 另外，因为天线包括暴露于外界条件时可能损坏的精密组件，所以天线常常容纳在天线罩中，该天线罩防止物理物质(诸如碎片、降雨、流动空气等)与天线组件直接物理接触。因而，天线罩对潜在的损害物质起物理屏障的作用，同时依然允许至以及自受保护的天线的电磁辐射(尤其是无线电波)的传播。由于天线和电子组件的气动阻力和环境敏感性，使得天线罩对于飞机尤其重要。

[0006] 因此，本领域技术人员继续在高增益定向天线和天线罩领域投入研究和开发精力。

发明内容

[0007] 在一个实施方式中，公开的天线电磁辐射转向系统可包括：用于发射电磁辐射的天线；和设置为邻近于天线并且至少部分地包围天线的天线罩，天线罩包括将来自天线的电磁辐射传递至天线罩之外的窗，其中，基于窗相对于天线的位置定向电磁辐射。

[0008] 在另一实施方式中，用于至少部分地包围发射电磁辐射的天线的公开的天线罩可包括将来自天线的电磁辐射传递至天线罩之外的窗；以及使天线罩绕至少一个旋转轴旋转的天线罩驱动机构。

[0009] 在又一个实施方式中，用于控制从全向天线发射的电磁辐射的方向的公开的方法可包括步骤：(1)将天线装入天线罩内，天线罩包括窗以将来自天线的电磁辐射传递至天线罩之外，窗包括形成在天线罩中的孔、形成在天线罩中的电磁透射材料、和形成在天线罩中的电磁透射特征的图案中的至少一个；(2)将被导向远离窗的电磁辐射朝向窗反射回以增加穿过窗的电磁辐射的增益；并且(3)绕至少一个旋转轴旋转天线罩以相对于天线定位窗

从而定向电磁辐射。

[0010] 从下列详细描述、附图以及所附权利要求中，公开的系统和方法的其他实施方式将变得显而易见。

附图说明

- [0011] 图1是公开的天线电磁辐射转向系统的一个实施方式的示意性框图；
- [0012] 图2是图1的公开的天线电磁辐射转向系统的一个实施方式的示意性截面图；
- [0013] 图3是图2的天线电磁辐射转向系统在第一位置处的示意性平面图；
- [0014] 图4是图2的天线电磁辐射转向系统在第二位置处的示意性平面图；
- [0015] 图5是图2的天线电磁辐射转向系统的另一示意性平面图；
- [0016] 图6是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0017] 图7是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0018] 图8是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0019] 图9是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0020] 图10是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0021] 图11是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0022] 图12是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0023] 图13是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0024] 图14是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0025] 图15是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0026] 图16是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0027] 图17是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0028] 图18是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立视图；
- [0029] 图19A至图19K是图1的电磁透射特征的二维形状的示意图；
- [0030] 图20是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；
- [0031] 图21是图20的天线电磁辐射转向系统的回波损耗相对于频率的图解说明；
- [0032] 图22是根据图20的天线电磁辐射转向系统的一个实现方式的方位角极性辐射图案的图解说明；
- [0033] 图23是根据图20的天线电磁辐射转向系统的一个实现的仰角极性辐射图案的图解说明；
- [0034] 图24是根据图20的天线电磁辐射转向系统的另一实现的方位角极性辐射图案的图解说明；
- [0035] 图25是根据图20的天线电磁辐射转向系统的另一实现的仰角极性辐射图案的图解说明；
- [0036] 图26是根据图20的天线电磁辐射转向系统的另一实现的方位角极性辐射图案的图解说明；
- [0037] 图27是根据图20的天线电磁辐射转向系统的另一实现的仰角极性辐射图案的图解说明；
- [0038] 图28是图1的天线电磁辐射转向系统的另一实施方式的示意性立体图；

- [0039] 图29是图28的天线电磁辐射转向系统的回波损耗相对于频率的图解说明；
- [0040] 图30是根据图28的天线电磁辐射转向系统的一个实现的方位角极性辐射图案的图解说明；
- [0041] 图31是根据图28的天线电磁辐射转向系统的一个实现的仰角极性辐射图案的图解说明；
- [0042] 图32是根据图28的天线电磁辐射转向系统的另一实现的方位角极性辐射图案的图解说明；
- [0043] 图33是根据图28的天线电磁辐射转向系统的另一实现的仰角极性辐射图案的图解说明；并且
- [0044] 图34是公开的用于控制从全向天线发射的电磁辐射的方向的方法的一个实施方式的流程图。

具体实施方式

[0045] 以下详细描述参考示出了本公开内容的特定实施方式的附图。具有不同结构和操作的其他实施方式并不脱离本公开内容的范围。在不同的附图中，相同的参考标号可以指代相同的元件或组件。

[0046] 参考图1和图2，公开的天线电磁辐射转向系统（通常表示100）的一个实施方式可包括天线102和天线罩106。天线102可以发射电磁辐射104（本文中通常还称作无线电波、多个无线电波、或者无线电波束）。作为一个示例，电磁辐射104可包括电磁频谱的任何部分。作为另一示例，电磁辐射104可包括跨近似3Hz至近似3000GHz（或者3THz）的电磁频谱部分内的电磁辐射。作为另一示例，电磁辐射104可包括跨近似3Hz至近似300GHz的电磁频谱部分内的电磁辐射。作为另一示例，电磁辐射104可包括跨近似3Hz至近似300MHz的电磁频谱部分内的电磁辐射。作为又一示例，电磁辐射104可包括跨近似3Hz至近似300kHz的电磁频谱部分内的电磁辐射。

[0047] 如本文中使用的，普通技术人员将理解，公开的频率可以关于公开的限制变化近似百分之十至百分之十五。例如，近似3000GHz可以在近似2550GHz与2700GHz之间。

[0048] 天线102可以是发射（箭头A）、接收（箭头B）、或者发射和接收（箭头A和B）电磁辐射104的任何装置或系统，如在图2中示出的。作为一个一般的、非限制性示例，天线102可以是无线电天线。作为另一个一般的、非限制性示例，天线102可以是微波天线。作为一个一般的、非限制性示例，天线102可以是雷达天线。作为一个具体的、非限制性示例，天线102可以是全向天线。作为另一个具体的、非限制性示例，天线102可以是偶极天线。作为另一个具体的、非限制性示例，天线102可以是半波偶极天线（例如，同轴天线）。作为另一个具体的、非限制性示例，天线102可以是偶极天线阵列（例如，直排天线阵列）。作为又一个具体的、非限制性示例，天线102可以是单极天线。其他类型的天线是预期的，并且不限于此。

[0049] 天线罩106可以设置邻近于天线102并且至少部分地包围天线102。例如，如在图2中最最好示出的，天线罩106可以限定封闭的、内部体积110并且天线102可以容纳在天线罩106的封闭的、内部体积110内。作为非限制性示例，内部体积110的形状可以是圆柱形、球体、半球体、锥形、或者金字塔形。天线罩106可以保护天线102免受于诸如雨、雨夹雪、雪、尘垢、风、闪电等的环境条件。天线罩106可以被配置为提高天线增益（例如，成形聚集的、狭窄

的无线电波束宽度)；防止在不需要的方向发射电磁辐射104；并且将发射的电磁辐射104转向在选择的方向上(例如，对成形的无线电波束的方向执行强制性)。

[0050] 在一个示例构造中，天线罩106可以由金属材料构造。作为一个示例，天线罩106可以是固体金属天线罩。作为另一示例，天线罩106可包括至少百分之九十的金属。在另一示例构造中，天线罩106可以由电介质材料构造(例如，电介质天线罩)。在又一个示例性构造中，天线罩106可以由金属材料和电介质材料构造(例如，金属电介质天线罩)。天线罩106可以由其他类型的材料或者包括(而不限于)陶瓷材料(例如，陶瓷天线罩)的材料的组合构造。

[0051] 本公开内容认识到，在高速、全天候的应用(例如，在飞机应用)中克服传统的电介质或者陶瓷天线罩的机械和电气限制的金属天线罩尤其是有利的。例如，金属天线罩可以提供关于应对(例如，由雨、冰雹、灰尘、闪电等所引起)的环境应力的更大的总体机械强度、增强的抵抗以及改进的静电放电性能的潜在性。

[0052] 天线罩106可以相对于天线102是可移动的。在一个示例实现中，天线罩106可以以规则的旋转相对于天线102移动。在另一示例实现中，天线罩106可以以不规则的旋转相对于天线102移动。在另一示例实现中，天线罩106可以以规则的振动相对于天线102移动。在另一示例实现中，天线罩106可以以不规则的振动相对于天线102移动。

[0053] 作为一个示例，天线102可以是固定的，而天线罩106可以是绕旋转轴X相对于天线102可旋转的。作为一个具体的、非限制性示例，天线罩106可以绕旋转轴X相对于天线102旋转至少45度。作为另一具体的、非限制性示例，天线罩106可以绕旋转轴X相对于天线102旋转至少90度。作为另一具体的、非限制性示例，天线罩106可以绕旋转轴X相对于天线102旋转至少180度。作为另一具体的、非限制性示例，天线罩106可以绕旋转轴X相对于天线102旋转至少270度。作为又一个具体的、非限制性示例，天线罩106可以绕旋转轴X相对于天线102旋转至少360度。

[0054] 虽然旋转轴X在图2中被示出为基本上是垂直轴，但是旋转轴X也可以是基本上水平轴或者设置在相对于水平轴或者垂直轴的任何非角度的其他轴。例如，旋转轴X可以穿过天线102(例如，基本上与其同轴)，如在图2中最好示出的。

[0055] 在一个示例实施方式中，天线罩驱动机构116可以可操作地耦接至天线罩106，以用于使天线罩106相对于固定的天线102移动(例如，绕旋转轴X旋转)。作为一个示例，天线罩驱动机构116可包括将天线罩106的部分旋转或者全部旋转划分为许多相等的阶段(steps)，以控制从天线罩106辐射的电磁辐射104的方位角的步进电机。作为另一示例，天线罩驱动机构116可包括万向架以控制从天线罩106辐射的电磁辐射104的仰角(例如，姿态)。作为又一示例，天线罩驱动机构116可包括电机和万向架以控制从天线罩106辐射的电磁辐射104的方位角和仰角。

[0056] 在一个示例实施方式中，天线罩106可包括窗108。窗108可以是电磁透射的。窗108可以允许通过天线102发射的电磁辐射104(例如，通过窗108)从天线102传递至天线罩106的外面。可以基于窗108相对于天线102的位置定向电磁辐射104。例如，如在图2中最好示出的，可以在穿过窗108的方向(指向箭头112)上定向从天线罩106辐射的电磁辐射104并且从天线罩106辐射的电磁辐射104可以局限于该方向。窗108相对于天线102的位置可以是基于天线罩106相对于天线102的旋转位置。

[0057] 窗108可以形成(例如,制作)在天线罩106的罩壁118中。在一个示例实施方式中,窗108可以是形成在天线罩106的罩壁118中的孔120(例如,没有材料)。在另一示例性实施方式中,窗108可以由形成在天线罩106的罩壁118中的电磁透射材料122(例如,电介质材料或者电磁透射屏)形成。

[0058] 在一个示例实现中,窗108可以是对具有任何工作波长的电磁辐射104是电磁透射的。例如,露天窗108(例如,孔120)可以允许具有任何波长的电磁辐射104穿过窗108。在另一示例实现中,窗108可以是对具有预定波长的电磁辐射104是电磁透射的。例如,可以选择形成窗108的电磁透射材料122以允许仅具有预定波长(例如,期望工作频带)的电磁辐射104穿过窗108,并且防止不具有预定波长(例如,非工作频带)的电磁辐射104穿过窗108。

[0059] 天线罩106的罩壁118可以是电磁反射的。例如,至少天线罩106的罩壁118的内表面124可以是电磁反射的。作为一个示例,天线罩106的罩壁118可以由电磁反射材料126形成。作为另一示例,天线罩106的罩壁118的内表面124可以由电磁反射材料126形成、由电磁反射材料126覆盖、或者涂有电磁反射材料126。

[0060] 在一个示例实现中,罩壁118(或者至少罩壁118的内表面124)可以是对具有任何工作波长的电磁辐射104是电磁反射的。例如,罩壁的内表面124可以反射具有任何波长的电磁辐射。在另一示例实现中,罩壁118(或者至少罩壁118的内表面124)可以是对具有预定波长的电磁辐射104是电磁反射的。例如,可以选择电磁反射材料126以仅反射具有期望穿过窗108的预定波长(例如,期望的工作频带)的电磁辐射104并且吸收没有预定波长(例如,非工作频带)的电磁辐射104。

[0061] 参考图2至图4,在天线罩106(例如,金属天线罩)中建立窗108通过针对穿过窗108的部分,限制从天线罩106辐射的电磁辐射104,可影响封入天线罩106内的天线102发射的电磁辐射104的方向性。因此,天线罩106的移动(例如,天线罩106的旋转)可改变窗108相对于天线102的位置(例如,使窗108相对于天线102移动),这会导致基于窗108的位置将通过天线102发射的电磁辐射104定向在预定方向上(例如,无线电波束转向能力),如在图3和图4中最好示出的。

[0062] 参考图2和图5,天线罩106的(例如,天线罩106的罩壁118的)电磁反射内表面124可以反射全向电磁辐射104的、在罩壁118的方向上辐射向窗108的方向上的部分。例如,电磁辐射104a的部分可以在基本上与窗108的位置对齐并且穿过窗108的位置的方向上从天线102辐射。电磁辐射104b、104c、104d、104e等的部分可以在其他方向上从天线102辐射并且在窗108的位置的方向上并穿过窗108的位置反射回。因此,这种电磁反射可以增加穿过窗108的电磁辐射104和/或使穿过窗108的电磁辐射104聚焦(例如,将电磁辐射104集中在一个方向上),这可以导致增益增加(例如,通过使无线电波聚集可以实现更高的天线增益)。

[0063] 使天线罩106绕旋转轴X相对于天线102旋转可以使窗108绕旋转轴X相对于天线102旋转,因此实质上是使电磁辐射104的方向绕旋转轴X旋转。

[0064] 如在图2中最好示出的,天线罩106和相关联的天线102可以装配在支撑结构114上或者固定至支撑结构114。作为一个示例,支撑结构114可以是交通工具,交通工具可以是陆地交通工具(例如,飞机、小船/船舶或者陆上交通工具)或者太空交通工具(例如,航天器或者卫星)。作为另一示例,支撑结构114可以是地面、建筑物或者其他结构等。

[0065] 如在图2至图5中最好示出的,在一个一般的、非限制性示例性实施方式中,天线102可以是全向、竖直定向的偶极天线(例如,电磁辐射104在垂直于天线102的平面中的各个方向上从天线102辐射)。

[0066] 参考图6至图13,天线罩106可包括各种尺寸和几何形状。天线罩106的尺寸和/或形状可以取决于天线102的尺寸、形状、和/或类型。通常,天线罩106的尺寸和/或形状可以足够完全包围天线102。

[0067] 在一个非限制性示例中,并且如在图6和图7中示出的,天线罩106可包括圆柱形状。旋转轴X可以在中心穿过圆柱形状的天线罩106延伸并且与天线102同轴,使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例,并且如在图6中示出的,旋转轴X可以是基本上垂直,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。作为另一示例,并且如在图7中示出的,旋转轴X可以是基本上水平轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的仰角(例如,姿态)。

[0068] 在另一非限制性示例中,并且如在图8和图9中示出的,天线罩106可包括球形形状。旋转轴X可以在中心穿过球形状的天线罩106延伸并且与天线102同轴,使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例,并且如在图8中示出的,旋转轴X可以是基本上垂直轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。作为另一示例,并且如在图9中示出的,旋转轴X可以是基本上水平轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的仰角(例如,姿态)。

[0069] 在另一非限制性示例中,并且如在图10中示出的,天线罩106可包括立方形状(例如,正方形立方体或者矩形立方体)。旋转轴X可以在中心穿过立方形状的天线罩106延伸并且与天线102(在图10中不可见)同轴,使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例,并且如在图10中示出的,旋转轴X可以是基本上垂直轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。作为另一示例(未示出),旋转轴X可以是基本上水平轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的仰角(例如,姿态)。

[0070] 在另一非限制性示例中,并且如在图11中示出的,天线罩106可包括半球形状(例如,半球形)。旋转轴X可以在中心穿过半球形状的天线罩106延伸,并且与天线102同轴,使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例,旋转轴X可以是基本上垂直轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。

[0071] 在另一非限制性示例中,并且如在图12中示出的,天线罩106可包括圆锥形状。旋转轴X可以在中心穿过圆锥形状的天线罩106延伸并且与天线102同轴,使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例,旋转轴X可以是基本上垂直轴,使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。

[0072] 在又一非限制性示例中,并且如在图13中示出的,天线罩106可包括金字塔形状。

旋转轴X可以在中心穿过金字塔形状的天线罩106延伸，并且与天线102(在图12中不可见)同轴，使得天线罩106和因此窗108可以绕旋转轴X相对于天线102旋转。作为一个示例，旋转轴X可以是基本上垂直轴，使得天线罩106的旋转可以将窗108定位为在方向上控制(例如，转向)具有增强增益的电磁辐射104的方位角。

[0073] 通常参考图6至图13，并且尤其是图6，可以根据由封入天线罩106内的天线102发射的电磁辐射104的预定(例如，期望)工作频率，制作窗108的尺寸。窗108可包括宽度W和长度L1。

[0074] 在一个示例实现中，窗108可以从天线罩106的第一端132附近(例如，在或接近)延伸至天线罩106的第二端134附近(例如，从顶到底或者从一侧至另一侧)。在一个示例构造中，并且如在图6中最好示出的，窗108的长度L1可以基本上等于天线罩106的长度L2。

[0075] 窗108的宽度W可以取决于通过天线102在预定工作频率发射的电磁辐射104的波长(例如，与其成比例)。作为一个示例，窗108的宽度W与电磁辐射104的波长(或者频率)(例如，电磁辐射104的工作波长或者频率)的比率可基于预定比率。在一个示例实现中，在预定工作频率，窗108的宽度W可以近似在电磁辐射104的1/8波长和电磁辐射104的1/2波长之间。在另一示例实现中，在预定工作频率，窗108的宽度W可以近似为电磁辐射104的1/8波长。在另一示例实现中，窗108的宽度W可以近似为预定工作频率下的电磁辐射104的1/6波长。在另一示例实现中，窗108的宽度W可以近似为预定工作频率下的电磁辐射104的1/4波长。在又一示例实现中，窗108的宽度W可以近似为预定工作频率下的电磁辐射104的1/2波长。

[0076] 本领域中的技术人员将认识到，上述的和在图6至图13中示出的天线罩形状和上述窗尺寸仅是天线罩106的各种几何形状和窗108的宽度W的示例。还考虑其他形状和尺寸。天线罩106的具体尺寸和/或形状和/或窗108的尺寸可以取决于使用的天线102的尺寸和/或类型和/或期望用于电磁辐射104的工作频率。

[0077] 本领域中的技术人员还将认识到，天线罩106的形状、窗108的尺寸、和/或天线罩106内使用的天线102的类型会是重要因素，以实现电磁辐射104穿过窗108的最佳聚集(例如，最佳的无线电波束聚集)。作为一个示例，窗108过小(例如，窗108具有无效小宽度W)可能导致从天线102发射的电磁辐射104的阻抗降低接近零。作为另一示例，窗108过大(例如，窗108具有无效大宽度W)可能减小电磁辐射104的增益(例如，增加无线电波束的宽度)。

[0078] 作为一个示例，可以利用计算模型和/或参数分析，来基于电磁辐射104的工作波长和/或频率确定天线罩106的尺寸和/或形状和/或窗108的尺寸。公开的天线电磁辐射转向系统100的整体结构(例如，天线罩106、窗108、和天线102)可以通过任何因素放大或缩小，以改变电磁辐射104的工作频率。

[0079] 在图6至图13中示出的任何示例中，天线罩106可包括许多角反射器(未示出)，角反射器放置在天线罩106的内部体积110内并且放置为紧邻天线102以进一步将电磁辐射104(例如，无线电波束)定向和/或聚集(例如，成形)在穿过窗108的方向上。

[0080] 参考图14至图17，在一个示例实施方式中，天线罩106可包括独立可移动部(例如，图14至图17中单独标识为部128a和部128b的两个或多个独立可移动部)和窗(例如，图14至图17中单独标识为窗130a和窗130b的两个或多个窗)。作为一个示例，窗130a、窗130b可以形成在天线罩106的各个部128a、部128b中(例如，可以形成在天线罩106的限定部128a、部

128b的罩壁118中)。

[0081] 限定天线罩106的部128a、128b的罩壁118的内表面124可以是电磁反射的,如上所述并且在图2至图5中示出的。例如,部128a、128b的内表面124可以由电磁反射材料126形成或者由电磁反射材料126覆盖。窗130a、130b可以与上述并且在图2至图5中示出的窗108基本上相同。例如,窗130a、130b可以是电磁透射的。作为一个示例,每个窗130a、130b可以是孔120(例如,在天线罩106的罩壁118中没有形成材料)。作为另一示例,每个窗130a、130b可以是形成在天线罩106的罩壁118中的电磁透射材料122。作为又一示例,窗130a可以是孔120并且窗130b可以是电磁透射材料122。

[0082] 各个部(例如,部128a、部128b)可以独立地绕旋转轴X相对于封入天线罩106内的天线102可旋转。作为一个示例,并且如在图15和图17中示出的,部128a和部128b可以独立地绕基本上垂直的旋转轴X旋转,使得各个部128a、128b可以将相应的窗130a、130b定位以在方向上控制(例如,转向)具有增强的增益的电磁辐射104同时在不同方位角(例如,生成多个无线电波束)。作为另一示例,并且如在图16和图18中示出的,部128a和部128b可以独立地绕基本上水平的旋转轴X旋转。使得各个部128a、128b可以将相应的窗130a、130b定位以在方向上控制(例如,转向)具有增强增益的电磁辐射104同时在不同仰角(例如,姿态)(例如,生成多个无线电波束)。

[0083] 尽管在图14至图17中仅举例说明圆柱形状的天线罩和球形状的天线罩,本领域中的技术人员将认识到,具有任何几何形状的天线罩106可包括部128a、128b和窗130a、130b。

[0084] 本领域中的技术人员将认识到,与窗130a、130b同轴对齐时或者天线罩106包括较大的、单个窗108时相比,形成在天线罩106中的窗130a、130b越多(例如,独立地可旋转部越多),可以实现穿过各个窗130a、130b的电磁辐射104具有更低的增强增益(例如,每个无线电波束具有更低的增益)。

[0085] 参考图18,在一个示例实施方式中,窗108可以由形成在天线罩106中(例如,在天线罩106的罩壁118中)的电磁透射图案136限定。图案136可包括多个电磁透射特征138(例如,特征138阵列)。特征138可以延伸窗108的长度L1和宽度W。在一个示例构造中,限定图案136的特征138可以是彼此等间隔的。在另一示例构造中,限定图案136的特征138可以不是彼此等间隔的。在另一示例构造中,限定图案136的特征138可以沿着水平轴和/或垂直轴中的至少一个彼此同轴对齐。在又一示例构造中,限定图案136的特征138可以沿着水平轴和/或垂直轴中的至少一个偏移(例如,交错)。

[0086] 每个特征138可以形成(例如,制作)在天线罩106(例如,天线罩106的罩壁118)中。在一个示例实施方式中,每个特征138可以是天线罩106中(例如,天线罩106的罩壁118中)的孔120(例如,没有材料)。在另一示例实施方式中,各个特征138可以由形成在天线罩106中(例如,天线罩106的罩壁118中)的电磁透射材料122(例如,电介质材料或者电磁透射屏)形成。

[0087] 在一个示例实现中,特征138的图案136可以是对具有任何工作波长的电磁辐射104电磁透射的。例如,露天窗特征138(例如,每个特征形成孔120)可以允许具有任何波长的电磁辐射104穿过特征138(例如,特征138的图案136限定电磁透射窗108)。在另一示例实现中,特征138可以是对具有预定波长的电磁辐射104电磁透射的。例如,可以选择形成特征138的电磁透射材料122以允许仅具有预定波长(例如,期望工作频带)的电磁辐射104穿过

特征138(例如,特征138的图案136限定电磁透射窗108),并且防止没有预定波长(例如,非工作频带)的电磁辐射104穿过特征138。

[0088] 参考图19A至图19K,每个特征138可包括二维形状140(例如,二维几何形状)。在一个具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括狭槽形状,如在图19A中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括加号形状,如在图19B中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括圆形形状,如在图19C中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括如在图19D中示出的卵形形状。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括矩形形状(例如,正方形或者矩形),如在图19E中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括三角形形状,如在图19F中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括尖拱形状(例如,具有至少一个圆锥形端),如在图19G中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括十字形状,如在图19H中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括鸡脚形状,如在图19I中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括X形状,如在图19J中示出的。在另一具体的、非限制性示例构造中,特征138的形状140可包括任何其他多边形形状(例如,六边形),如在图19K中示出的。以这种方式,形状140(例如,二维几何形状)可以选自狭槽、加号、环形、卵形、矩形、三角形、尖拱、十字、鸡脚、X或者多边形中的一个。还考虑限定图案的特征138的其他形状140。

[0089] 在另一示例性实施方式中,由电磁透射特征138的图案136形成的窗108可以根据天线罩106的期望频率选择,采用Munk频率选择二维几何形状。

[0090] 在另一示例实施方式中,系统100可以配置为接收具有(例如,第一)频率F1的电磁辐射104并且发射具有(例如,第二)频率F2的电磁辐射104。因此,系统100可以是应答器系统。在这样的示例实施方式中,天线102可以在任何方向上接收具有频率F1的电磁辐射104,但是在取决于窗108相对于天线102的位置的选择方向上发射具有频率F2的电磁辐射104。

[0091] 在一个示例构造中,天线102可以是设计成能在频率F1和频率F2上工作的多频带天线。作为一个具体的、非限制性示例,天线102可以是多频带树轮天线。在一个示例实现中,天线102可以定期发射具有频率F2的电磁辐射104并连续接收具有频率F1的电磁辐射104。

[0092] 天线罩106(例如,天线罩106的罩壁118)可以由频率选择材料构造,频率选择材料对具有频率F1的电磁辐射104电磁透射(例如,由电磁透射材料122形成)但是对具有频率F2的电磁辐射104电磁不透射或者电磁反射(例如,由电磁反射材料126形成或者由电磁反射材料126覆盖)。

[0093] 因此,天线罩106中的窗108可以通过以基本上与上文描述相似的方式,针对穿过窗108的部分限制从天线罩106辐射的具有频率F2的电磁辐射104,而影响通过封入天线罩106内的天线102发射的具有频率F2的电磁辐射104的方向性。来自任何方向的具有频率F1的电磁辐射104可以穿过天线罩106并且由天线102接收。

[0094] 在另一示例实施方式中,系统100可以被配置为发射具有不同频率(例如,频率F2和频率F3)的电磁辐射104。在一个示例构造中,具有多个窗的天线罩106(例如,如在图14至图17中最好示出的窗130a和窗130b)可以被配置为基于窗130a、130b相对于天线102的位置

(例如,基于天线罩106的部128a、128b的旋转位置)在不同方向上发射具有不同频率的电磁辐射104。在一个示例构造中,窗130a可以由对具有频率F2的电磁辐射104电磁透射的频率选择材料形成,并且窗130b可以由对具有频率F3的电磁辐射104电磁透射的频率选择材料形成。

[0095] 形成天线罩106和/或窗130a、130b的频率选择材料还可以用作雷击贴片。作为一个示例构造,天线罩106(例如,天线罩106的罩壁118)可以构造为具有外表面和内表面的分层结构(未示出)。例如,分层结构的外部结构层可以放置紧邻外表面,分层结构的内部结构层可以放置紧邻内表面,并且分层结构的芯层可以放置在外部结构层与内部结构层之间。外部结构层和内部结构层可以形成天线罩106的物理结构,而芯层可以包含法拉第筒层和/或人造电介质层。本领域中的技术人员将理解,可以对分层结构的一般构造(外部结构层—芯层—内部结构层)做出变化。

[0096] 作为一个示例,人造电介质层可以使用用于形成具有有效电容的人造电介质的任何可利用的技术形成。本领域中的技术人员将理解,人造电介质层的有效电容可以是参数,该参数在研究与开发阶段期间可以修改以将天线罩106调谐至特定频带(例如,频率F1)。

[0097] 作为一个示例,法拉第筒层可以由抗闪电的法拉第筒材料形成,使得法拉第筒层具有有效电感。本领域中的技术人员将理解,法拉第筒层的有效电感可以是参数,该参数在研究与开发阶段期间可以选择(例如,通过适当的材料选择或者设计)以将天线罩106调谐至特定频带。连续的直流路径中的任何导电材料的网络可以适当地形成法拉第筒材料。当法拉第筒材料由高导电材料(例如,铜、银或者铝)形成,并且法拉第筒材料的基本重量和截面厚度是足够大时,法拉第筒材料可以变得抗闪电,从而使材料适用于天线罩106的法拉第筒层。抗闪电法拉第筒材料可以允许闪电诱导(或者EMP诱导)电流沿着材料流动而没有明显地烧毁材料,尤其在远离闪电连接地点的地点处。

[0098] 实施例1:圆柱形天线罩

[0099] 参考图20,公开的系统100的一个具体的、非限制性示例可包括封入圆柱形天线罩106内的、在基本上垂直方位上的标准的半波长偶极天线102。如本文中使用的,“半波”是指偶极天线的长度基本上等于在工作频率从天线102发射的电磁辐射(例如,无线电波)的半波长。天线102可以基本上放置在圆柱形天线罩106的中心。

[0100] 天线102的长度L3(例如,垂直高度)可被设为(例如,可以等于)在预定(例如,期望)工作频率的电磁辐射104的半波长。在该具体的、非限制性示例中,天线102的长度L3可以近似3.9英寸并且(例如,系统100的)工作频率可以近似1515MHz(或者1.5GHz)。

[0101] 圆柱形天线罩106的长度L2(例如,垂直高度)可以大于天线102的长度L3近似百分之十。在该具体的、非限制性示例中,圆柱形天线罩106的长度L2可以近似4.3英寸。

[0102] 作为一个示例性构造,圆柱形天线罩106的直径D可以大于1波长。作为另一示例性构造,圆柱形天线罩106的直径D可以大于3波长。作为又一示例性构造,圆柱形天线罩106的直径D可以大于10波长。在该具体的、非限制性示例中,圆柱形天线罩106的直径D可以近似6.6英寸并且圆柱形天线罩106的周长可以近似18英寸。

[0103] 窗108的宽度W可以与通过天线102发射的电磁辐射104的波长成比例。在该具体的、非限制性示例中,窗108的宽度W可以是1/6波长。

[0104] 如本文中使用的,本领域的普通技术人员将理解,示出了公开的系统100的示例性

构造的公开的近似尺寸(例如,窗的长度L1、窗的宽度W、天线罩的长度L2、天线102的长度L3、和/或天线罩的直径D)可以在制造公差内变化。

[0105] 如本文中使用的,普通技术人员将理解,示出了公开的系统100的示例性实现的公开的近似工作频率可以变化近似百分之十至百分之十五。例如,近似1515GHz可以在近似1280GHz与1360GHz之间。

[0106] 图21示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的回波损耗相对于频率的模拟图。系统100可以具有在近似1600MHz至2150MHz(或者1.6GHz至2.1GHz)的范围内的辐射有用的反射系数。

[0107] 图22示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的一个模拟方位角极性辐射图案。图23示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的一个模拟仰角极性辐射图案。系统100的工作频率近似1000MHz(或者1GHz)。系统100具有近似10dB前后增益比(例如,定向天线的前和后之间的功率增益比)。

[0108] 图24示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟方位角极性辐射图案。图25示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟仰角极性辐射图案。系统100的工作频率近似1500MHz(或者1.5GHz)。系统100具有近似10dB的前后增益比。

[0109] 图26示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟方位角极性辐射图案。图27示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟仰角极性辐射图案。系统100的工作频率近似2000MHz(或者2GHz)。系统100具有近似15dB的前后增益比。

[0110] 实施例2:圆锥形天线罩

[0111] 参考图28,公开的系统100的另一具体的、非限制性示例可包括封入圆锥形天线罩106内的、在基本上垂直方位上的标准的半波长偶极天线102。天线102可以基本上放置在圆锥形天线罩106的中心。

[0112] 天线102的长度L3(例如,垂直高度)可被设为(例如,可以等于)在预定(例如,期望)工作频率的电磁辐射104的半波长。在该具体的、非限制性示例中,天线102的长度L3可以近似3.9英寸并且工作频率可以近似1515MHz(或者1.5GHz)。

[0113] 圆锥形天线罩106的长度L2(例如,垂直高度)可以大于天线102的长度L3近似百分之十。在该具体的、非限制性示例中,圆锥形天线罩106的长度L2可以近似4.3英寸。

[0114] 作为一个示例性构造,圆锥形天线罩106的(例如,底部的)直径可以大于1波长。作为另一示例性构造,圆锥形天线罩106的直径可以大于3波长。作为又一示例性构造,圆锥形天线罩106的直径可以大于10波长。在该具体的、非限制性示例中,圆锥形天线罩106的直径可以近似6.6英寸并且圆柱形天线罩106的周长可以近似18英寸。

[0115] 窗108的(例如,底部的)宽度W可以与通过天线102发射的电磁辐射104的波长成比例。在该具体的、非限制性示例中,窗108的宽度W可以是1/8波长。例如,窗108可以形成圆锥形天线罩106的(例如,天线罩106的罩壁118的)近似45度扇形。

[0116] 图29示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的回波损耗相对于频率的模拟图。系统100可以具有对近似1650MHz至1850MHz(或者1.6GHz至1.8GHz)的范围内的辐射有用的反射系数。

[0117] 图30示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的一个模拟方位角极性辐射图案。图31示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的一个模拟仰角极性辐射图案。系统

100的工作频率近似1500MHz(或者1.5GHz)。系统100具有近似12dB的前后增益比。

[0118] 图32示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟方位角极性辐射图案。图33示出在该具体的、非限制性示例中的系统100的另一模拟仰角极性辐射图案。系统100的工作频率近似2000MHz(或者2GHz)。系统100具有近似10dB的前后增益比。

[0119] 参考图34,公开的方法的一个实施方式,通常表示200,用于控制从天线发射的电磁辐射(例如,无线电波)的方向可以开始于将天线封入天线罩内。天线罩可包括将电磁辐射从天线传递至天线罩之外的窗。窗可包括形成在天线罩中的孔(例如,没有材料)、形成在天线罩中的电磁透射材料、和/或形成在天线罩中的电磁透射特征(例如,各自具有二维形状的孔和/或电磁透射材料)的图案中失误至少一个,如在框202示出。

[0120] 如在框204示出的,被导向远离窗的电磁辐射可以通过天线罩(例如,天线罩的电磁反射内表面)朝向窗反射回来以增加穿过窗的电磁辐射的增益。

[0121] 如在框206示出的,天线罩可以绕至少一个旋转轴旋转以相对于天线将窗定位以定向电磁辐射。

[0122] 此外,本公开内容包括根据下列项的实施方式:

[0123] 项1.一种天线电磁辐射转向系统包括:天线,用于发射电磁辐射;和天线罩,设置邻近于所述天线并且至少部分地包围所述天线,所述天线罩包括将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外的窗,其中,基于所述窗相对于所述天线的位置定向所述电磁辐射。

[0124] 项2.根据项1所述的系统,其中,所述天线罩绕至少一个旋转轴可旋转。

[0125] 项3.根据项1所述的系统,其中,所述窗包括所述天线罩中的孔。

[0126] 项4.根据项1所述的系统,其中,所述窗包括形成在所述天线罩中的电磁透射材料。

[0127] 项5.根据项1所述的系统,其中,所述窗包括电磁透射特征的图案。

[0128] 项6.根据项5所述的系统,其中,所述电磁透射特征包括二维几何形状。

[0129] 项7.根据项6所述的系统,其中,所述二维几何形状选自狭槽、加号、环形、卵形、矩形、三角形、尖拱、十字、鸡脚、X和多边形中的一个。

[0130] 项8.根据项5所述的系统,其中,所述电磁透射特征各自包括所述天线罩中的孔或者形成在所述天线罩中的电磁透射材料中的一个。

[0131] 项9.根据项1所述的系统,其中,所述天线罩是对具有第一频率的所述电磁辐射电磁透射,并且所述窗是对具有第二频率的所述电磁辐射是非电磁透射的。

[0132] 项10.根据项1所述的系统,其中,所述窗包括宽度,并且其中,所述窗的所述宽度与所述电磁辐射的频率成比例。

[0133] 项11.根据项10所述的系统,其中,所述窗的所述宽度在所述频率下的波长的1/8与1/2之间。

[0134] 项12.根据项1所述的系统,其中,所述天线罩包括长度并且所述天线包括长度,其中,所述天线罩的长度大于所述天线的长度百分之十。

[0135] 项13.根据项12所述的系统,其中,所述窗包括长度,并且其中,所述窗的长度与所述天线罩的长度近似相等。

[0136] 项14.根据项1所述的系统,其中,所述天线罩包括至少两个部,每个部包括将来自

所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外的窗，并且其中，基于所述部的所述窗相对于所述天线的位置定向所述电磁辐射。

[0137] 项15.根据项14所述的系统，其中，所述每个部独立地绕旋转轴可旋转。

[0138] 项16.一种用于至少部分地包围发射电磁辐射的天线的天线罩，所述天线罩包括：窗，将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩的外面；和天线罩驱动机构，使所述天线罩绕至少一个旋转轴旋转。

[0139] 项17.根据项16所述的天线罩，其中，所述窗包括形成在所述天线罩中的孔、形成在所述天线罩中的电磁透射材料、和形成在所述天线罩中的电磁透射特征的图案中的至少一个。

[0140] 项18.根据项16所述的天线罩，其中，所述窗包括宽度，并且其中，所述窗的所述宽度在所述电磁辐射的工作频率下的波长的1/8与1/2之间。

[0141] 项19.根据项16所述的天线罩，其中，所述天线罩包括足够包围所述天线的、限定内部体积的形状，并且其中，所述内部体积的所述形状选自圆柱、球体、半球体、锥形、和金字塔形中的一个。

[0142] 项20.一种用于控制从全向天线发射的电磁辐射的方向的方法，所述方法包括：将所述天线封入包括窗的天线罩内，所述窗用以将来自所述天线的所述电磁辐射传递至所述天线罩之外，所述窗包括形成在所述天线罩中的孔、形成在所述天线罩中的电磁透射材料、和形成在所述天线罩中的电磁透射特征的图案中的至少一个；将被导向远离所述窗的电磁辐射朝向所述窗反射回，以增加所述电磁辐射穿过所述窗的增益；并且绕至少一个旋转轴旋转所述天线罩以相对于所述天线定位所述窗从而定向所述电磁辐射。

[0143] 因此，公开的系统和方法可包括全向天线，全向天线封入具有电磁透射窗的天线罩内以允许天线基于窗相对于天线的位置在预定方向上辐射电磁辐射。具有电磁透射窗的天线罩可以提高封入天线罩内的天线的增益。因此，公开的系统和方法可以将非定向天线转换为定向天线。

[0144] 尽管已经示出并且描述了公开的系统和方法的各种实施方式，然而，本领域技术人员在阅读说明书之后可做出变形。本申请包括这样的变形并且仅受权利要求的范围的限制。

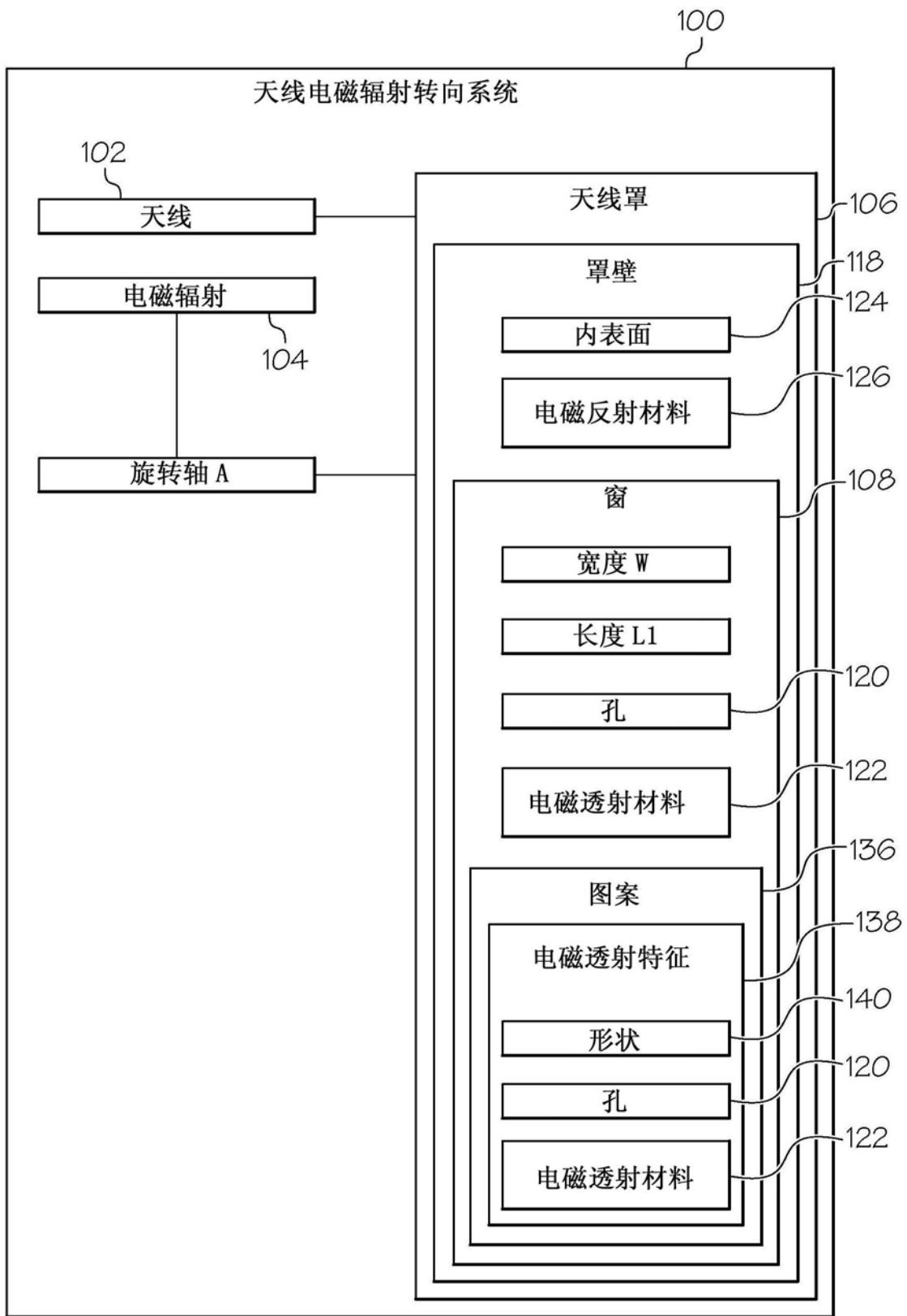


图1

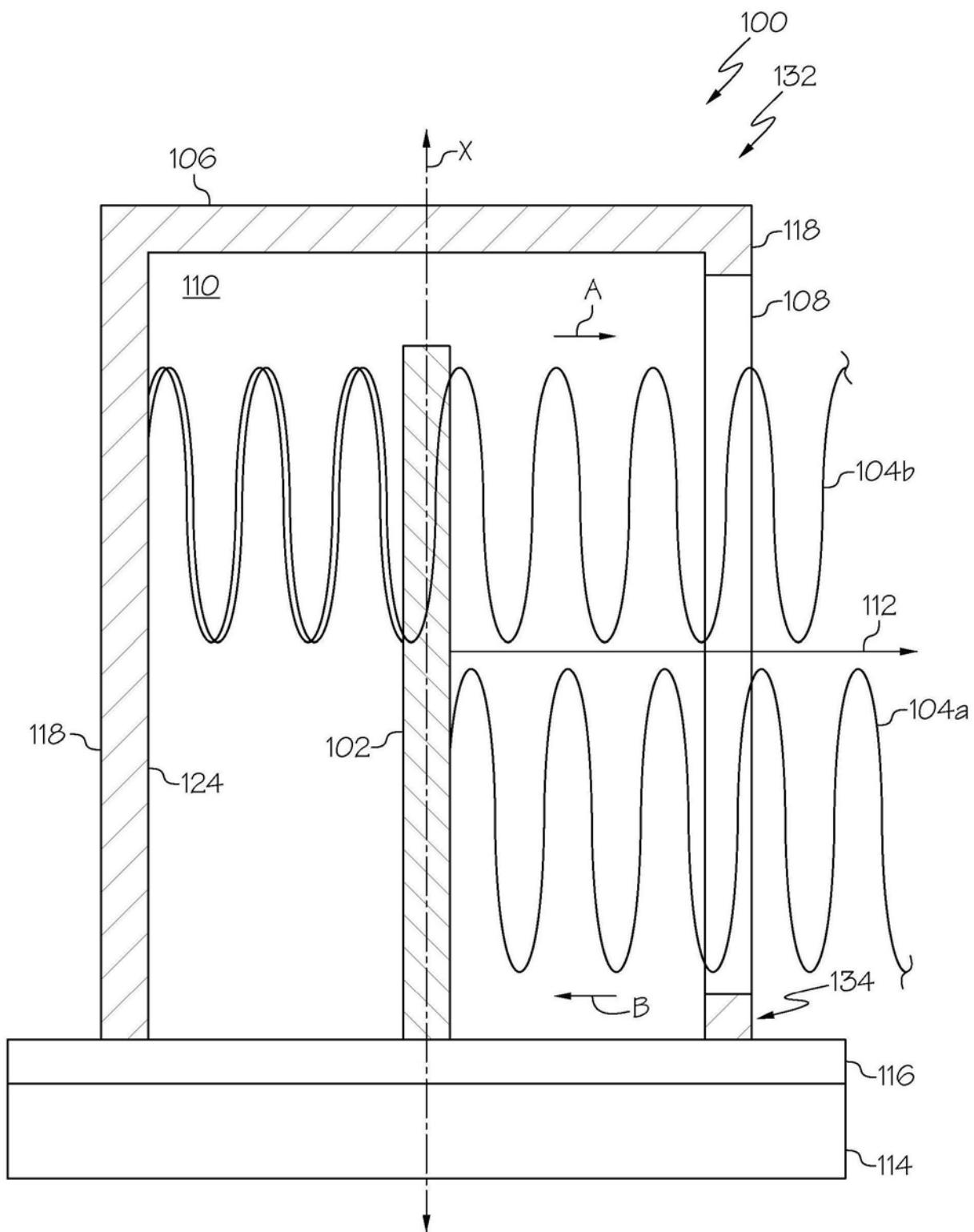


图2

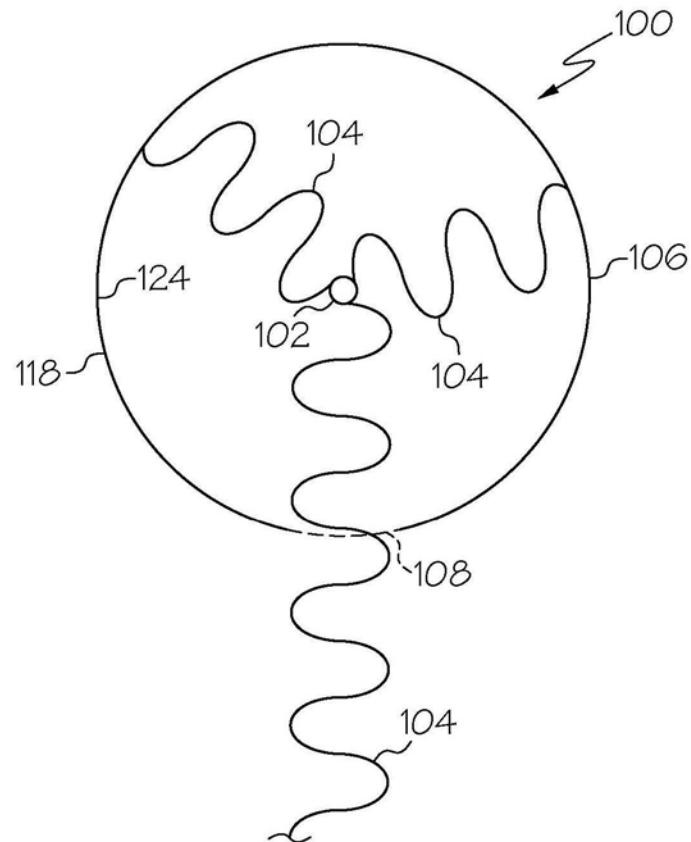


图3

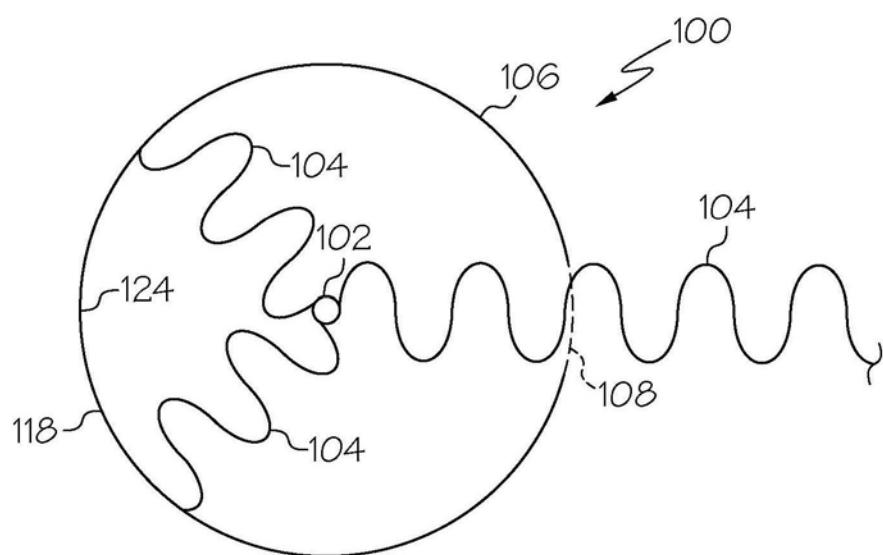


图4

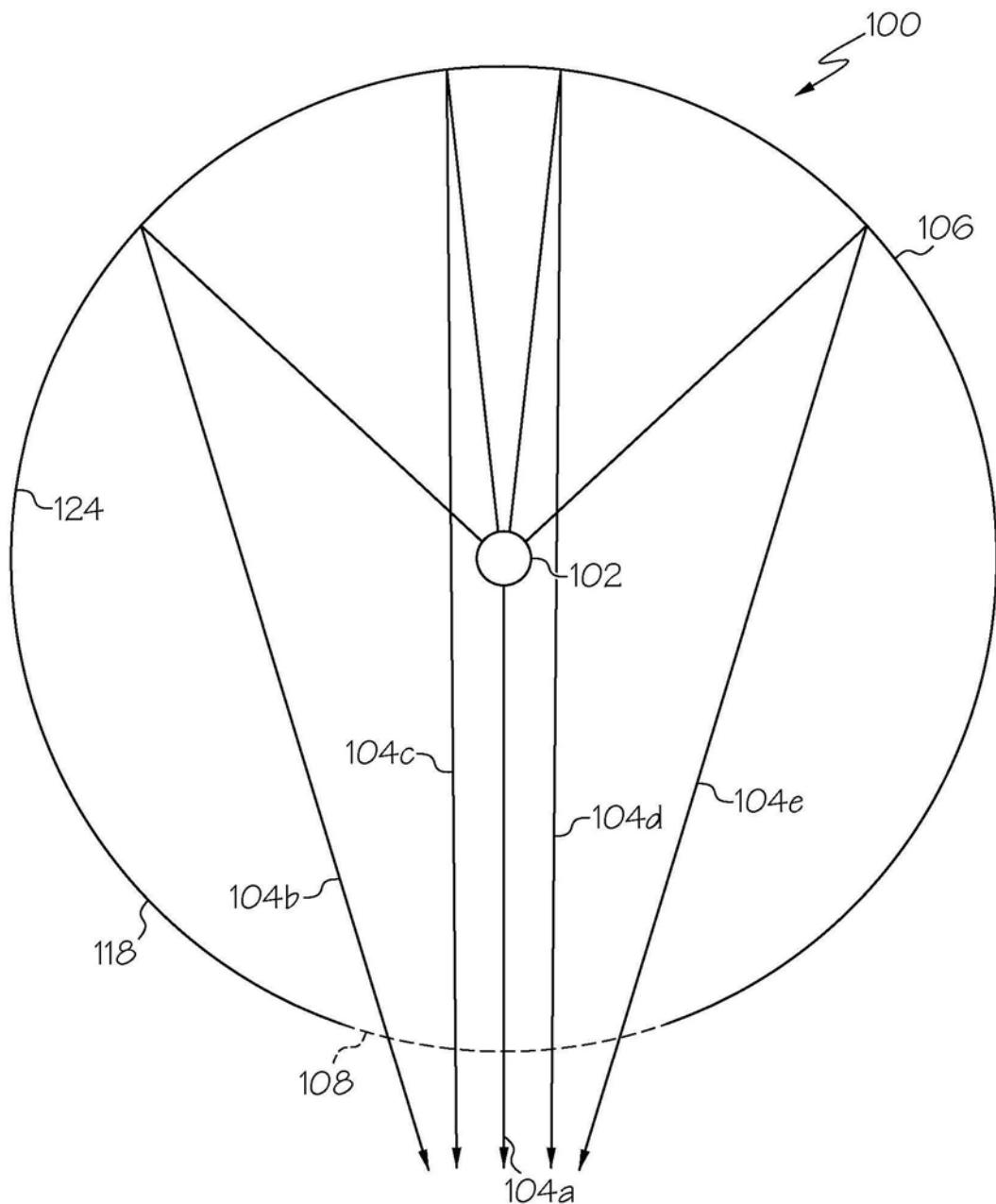


图5

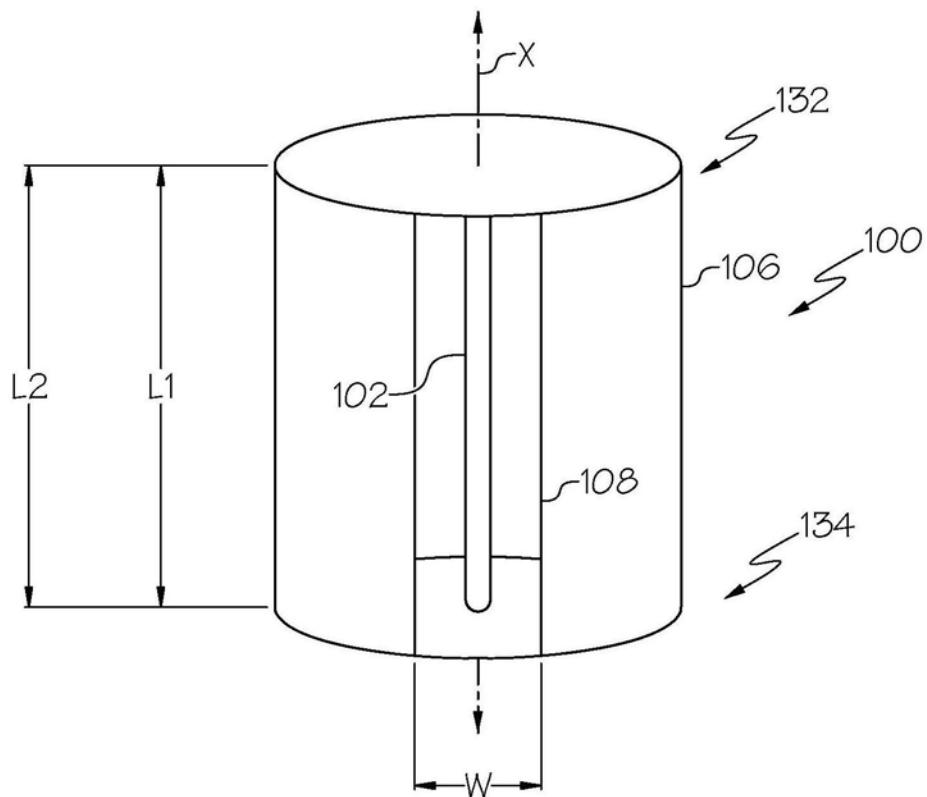


图6

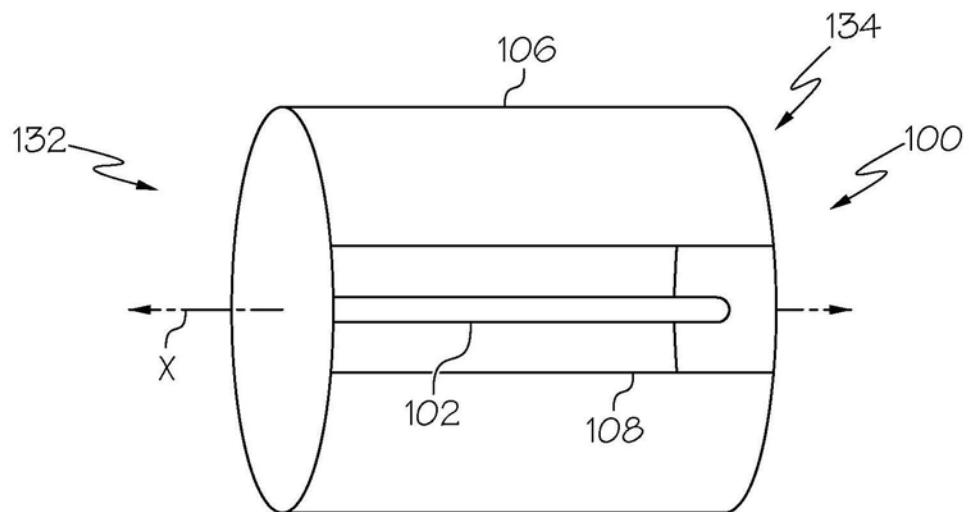


图7

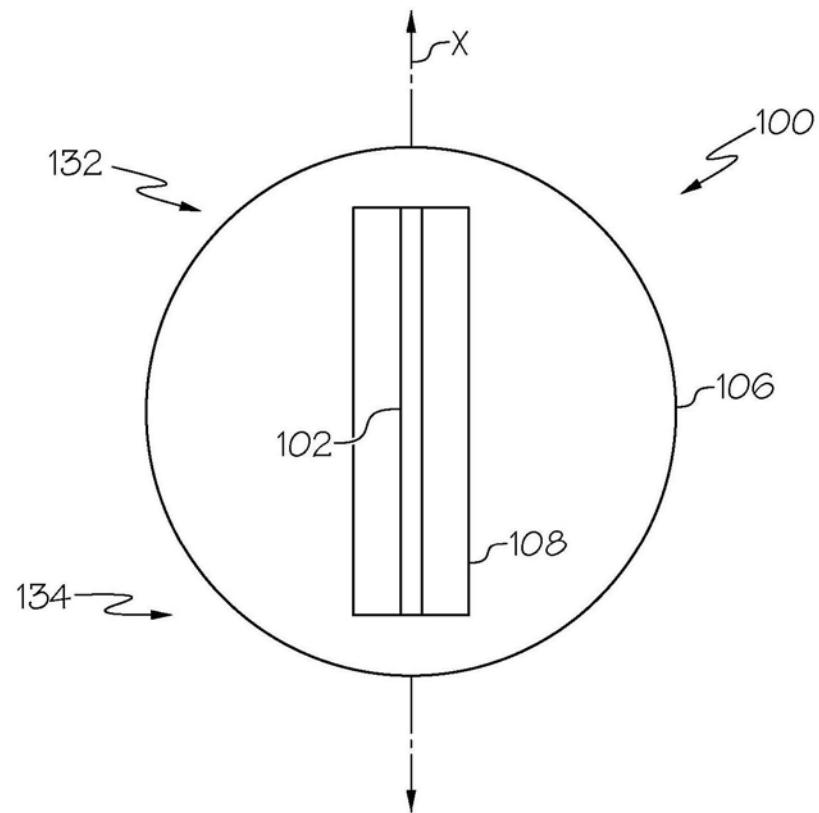


图8

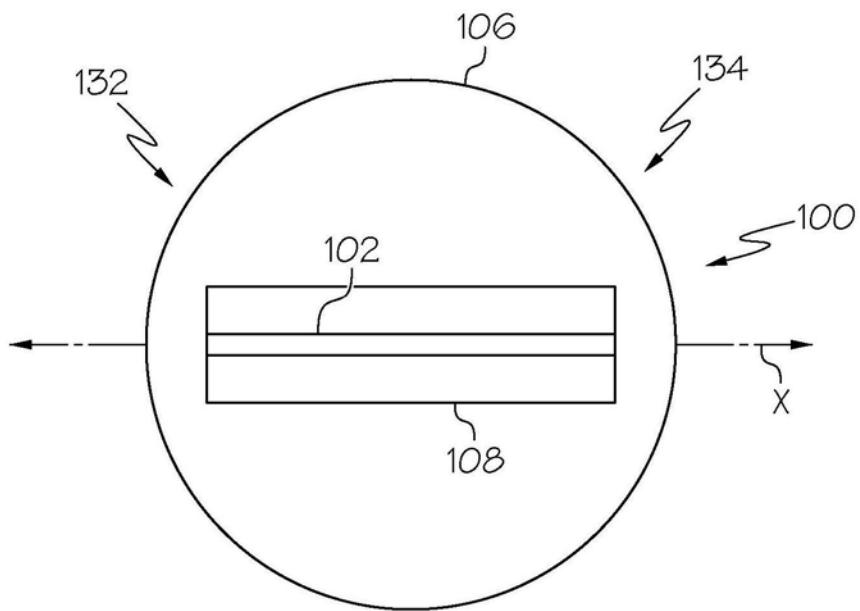


图9

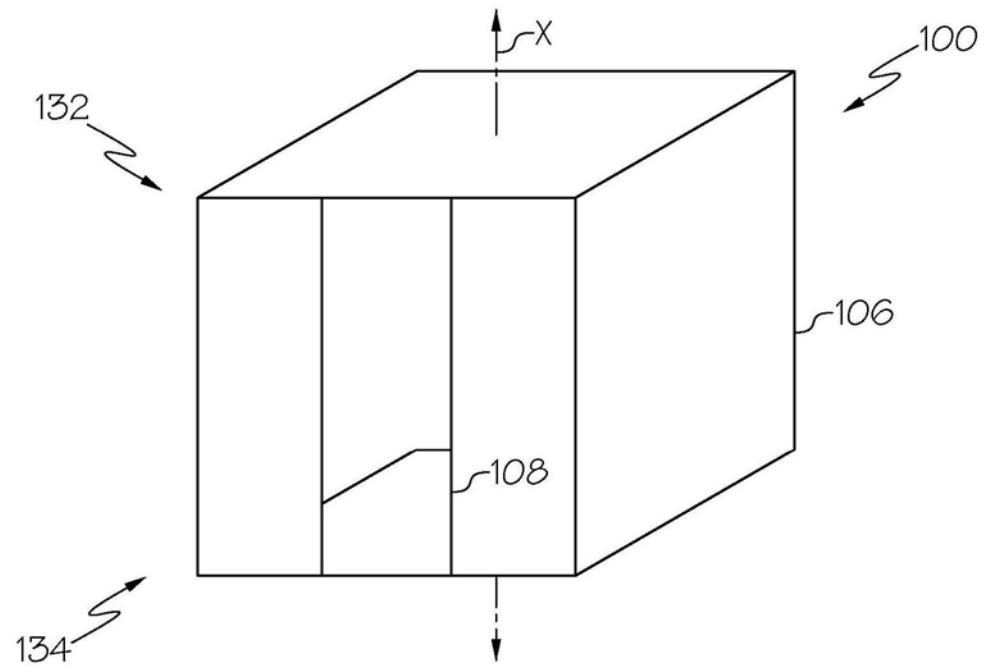


图10

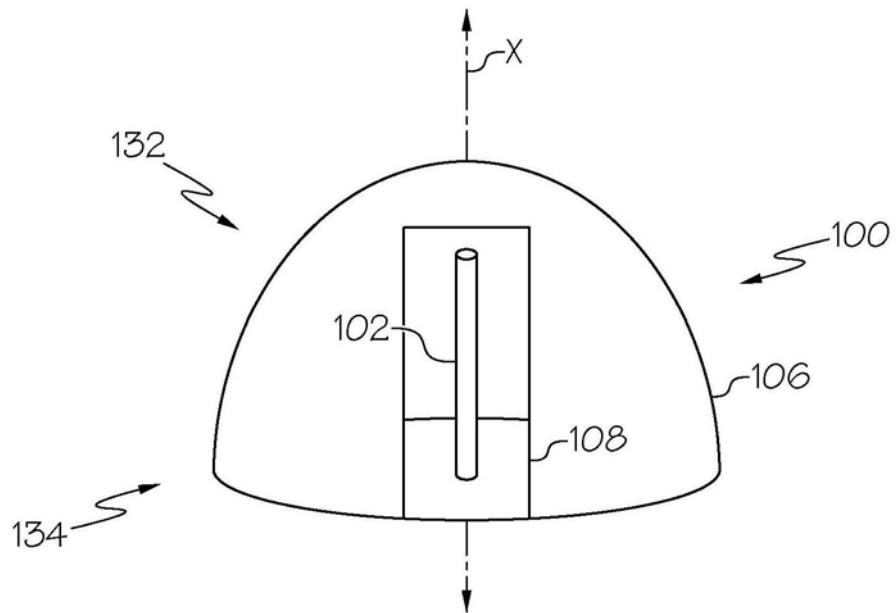


图11

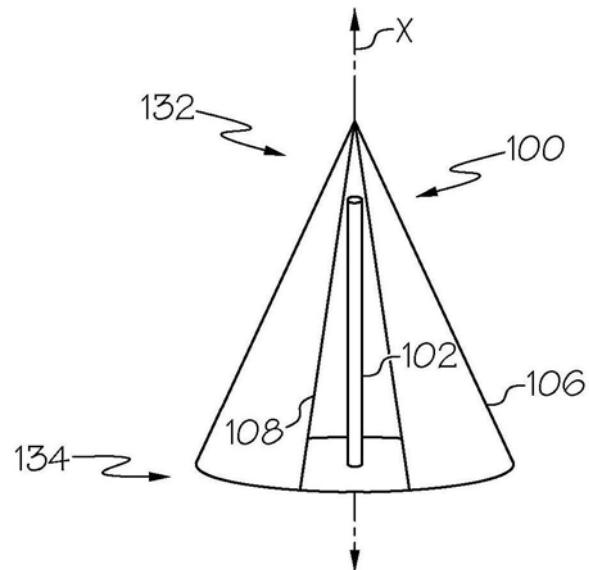


图12

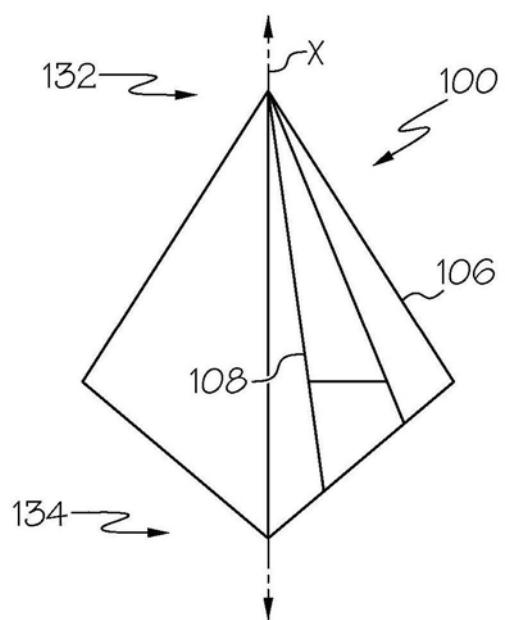


图13

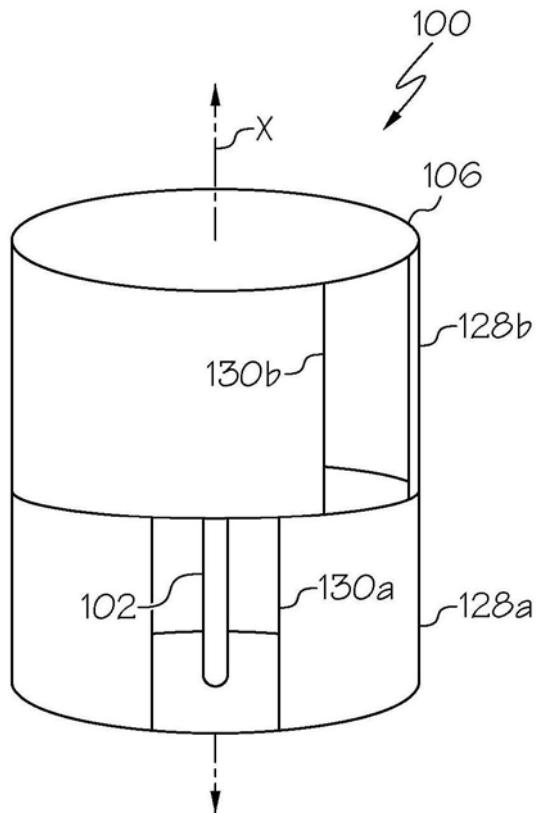


图14

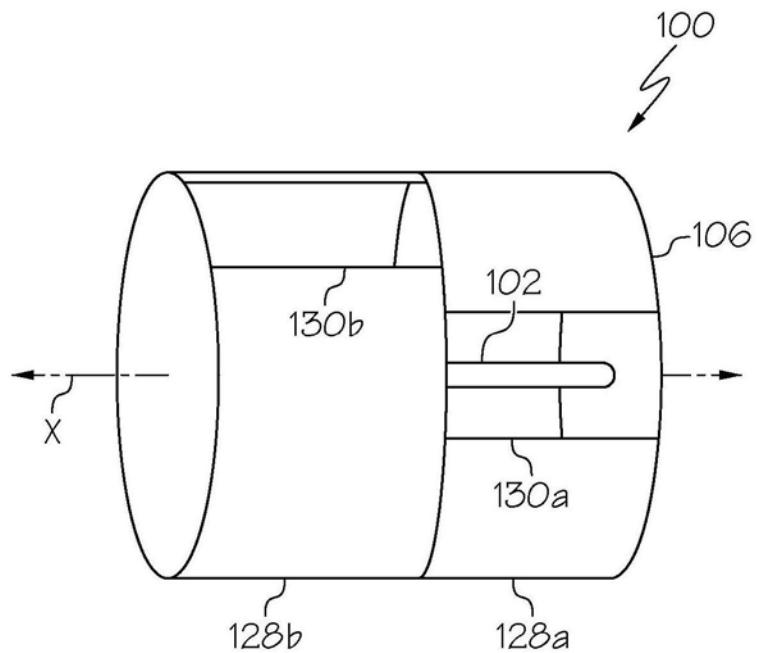


图15

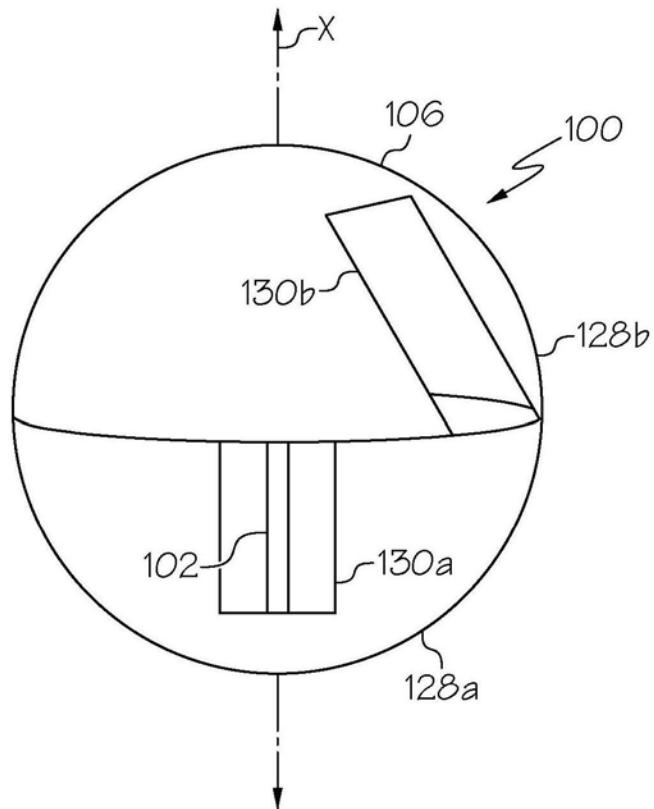


图16

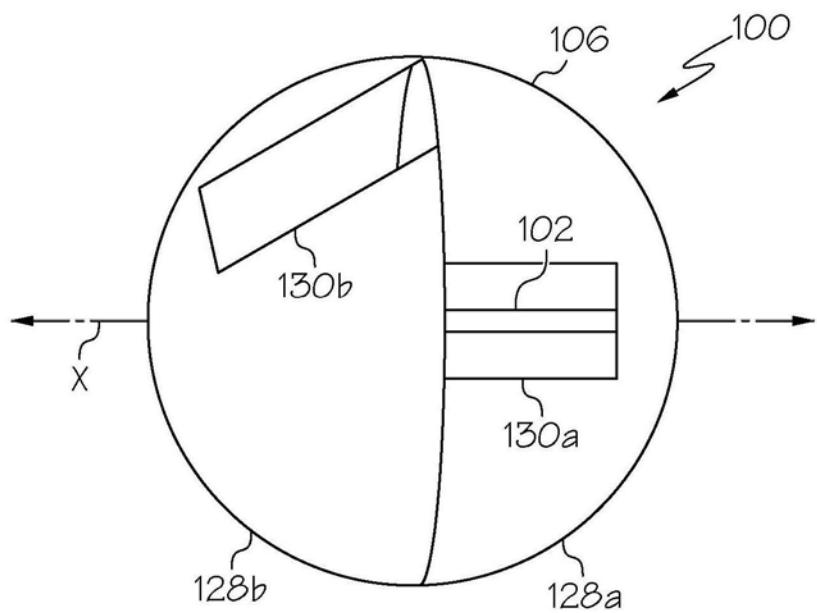


图17

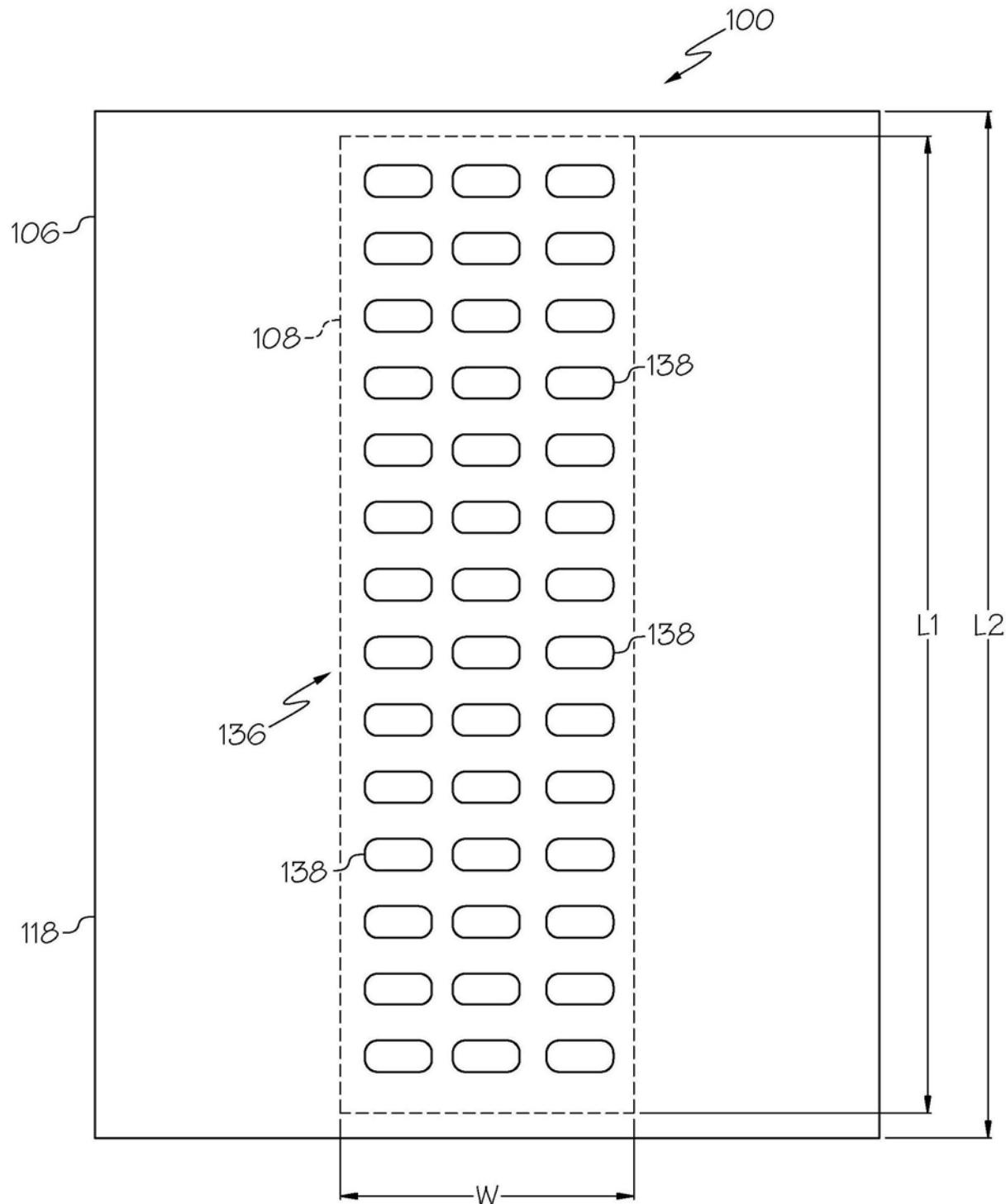


图18

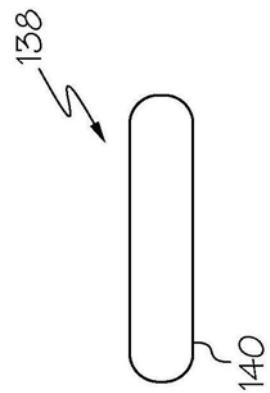


图19A

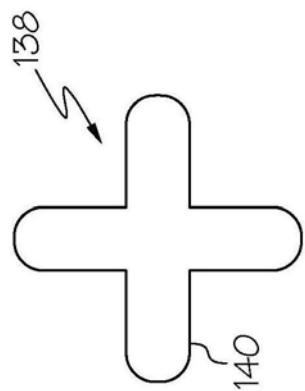


图19B

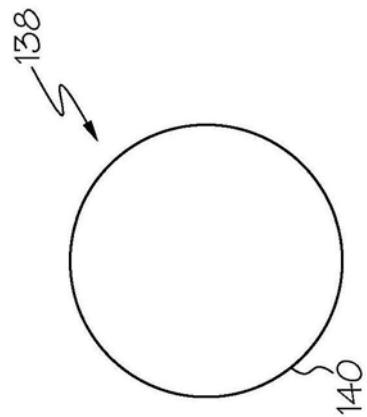


图19C

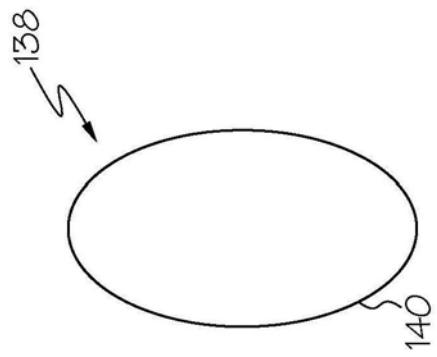


图19D

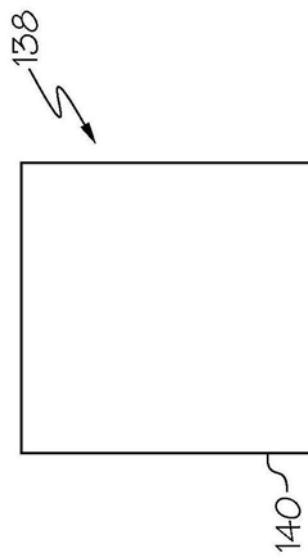


图19E

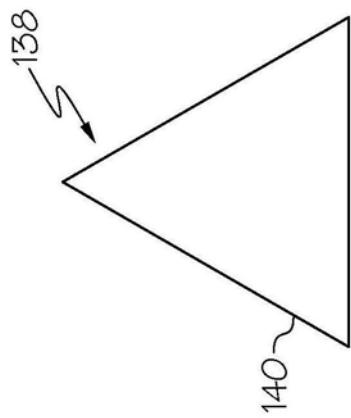


图19F

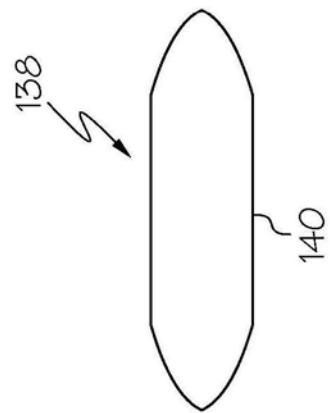


图19G

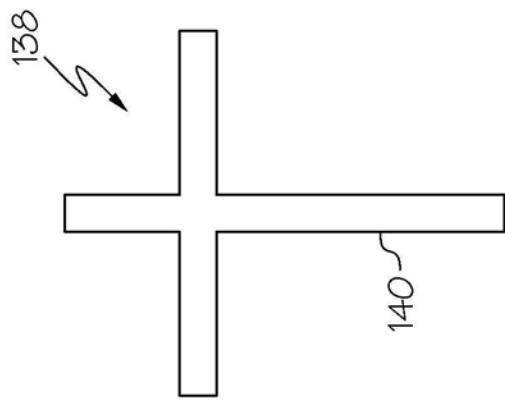


图19H

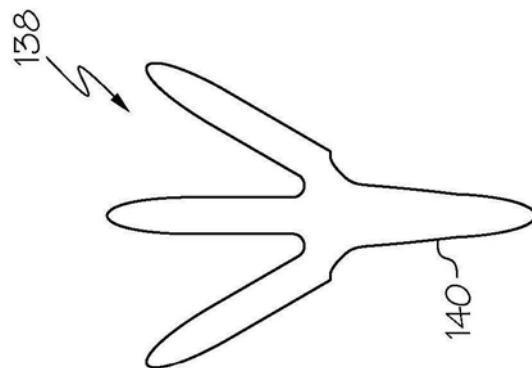


图19I

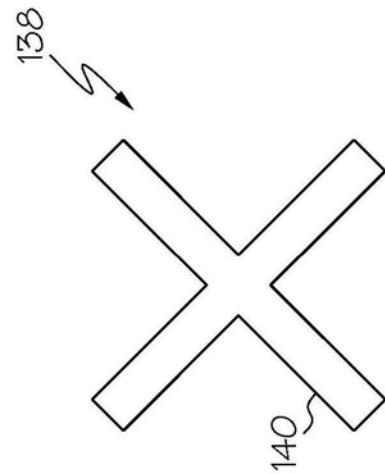


图19J

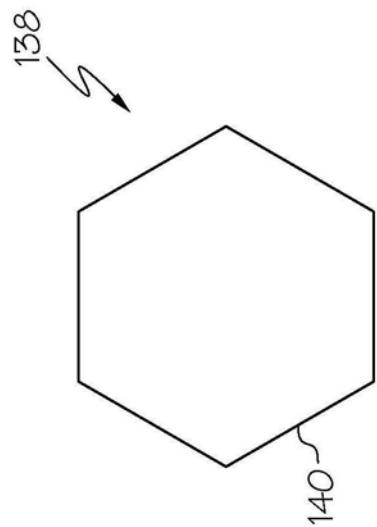


图19K

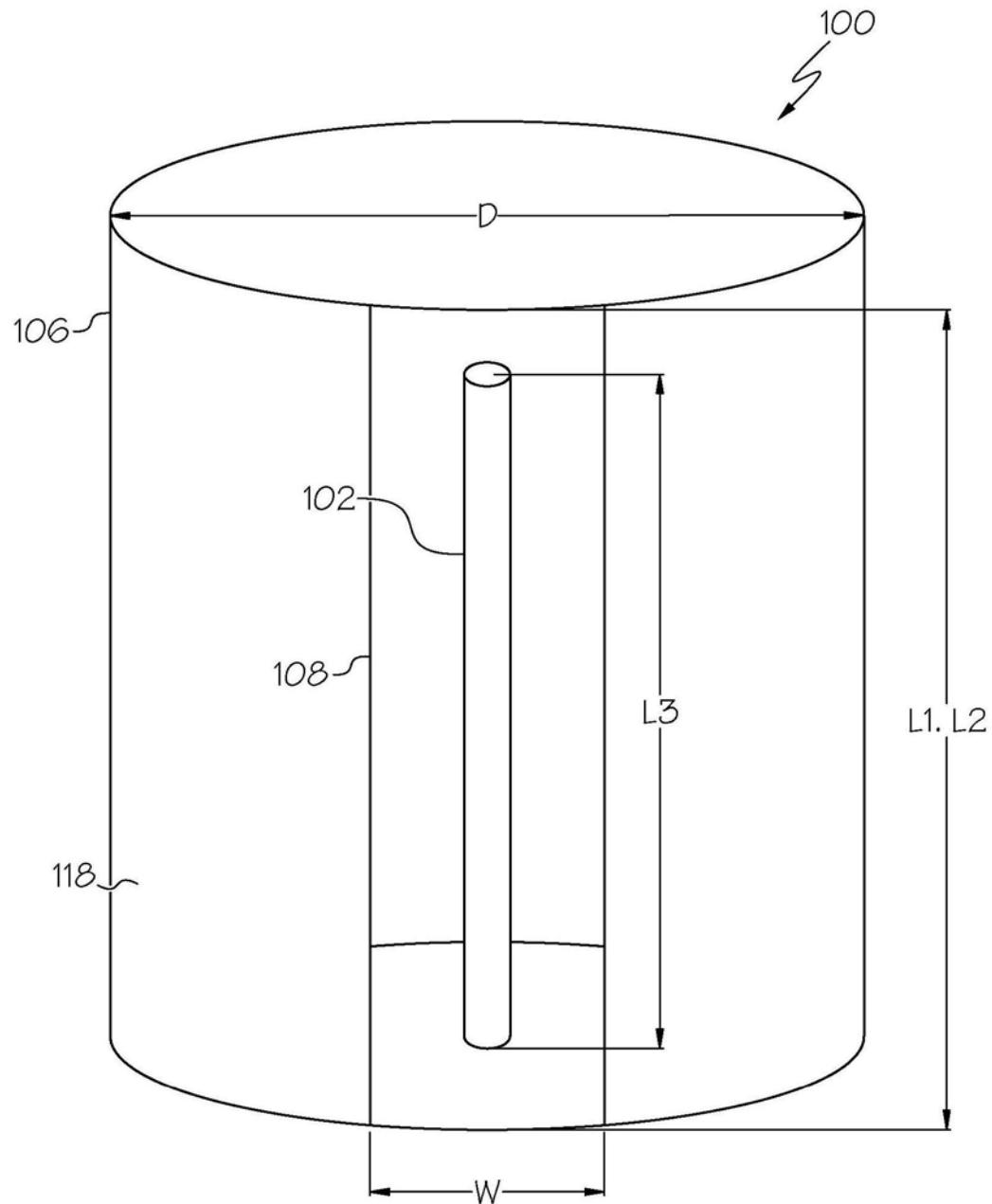


图20

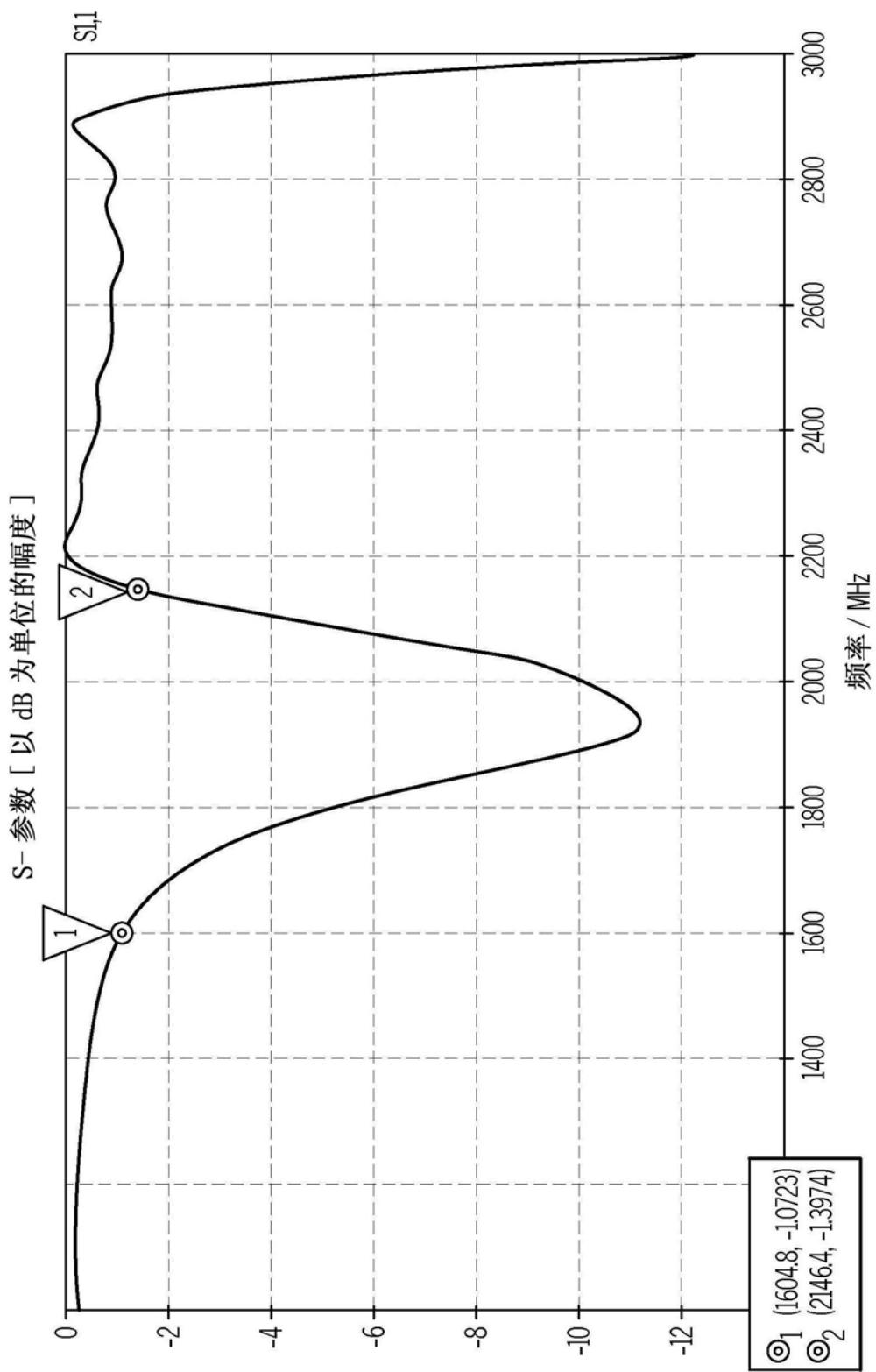


图21

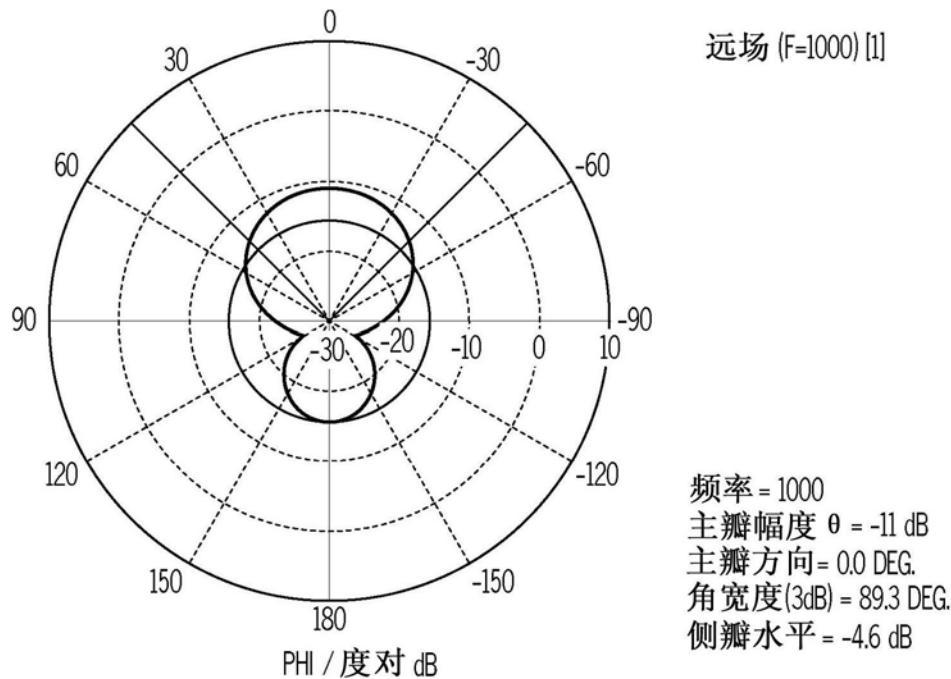
远场实现的增益 θ ($\theta - 90$)

图22

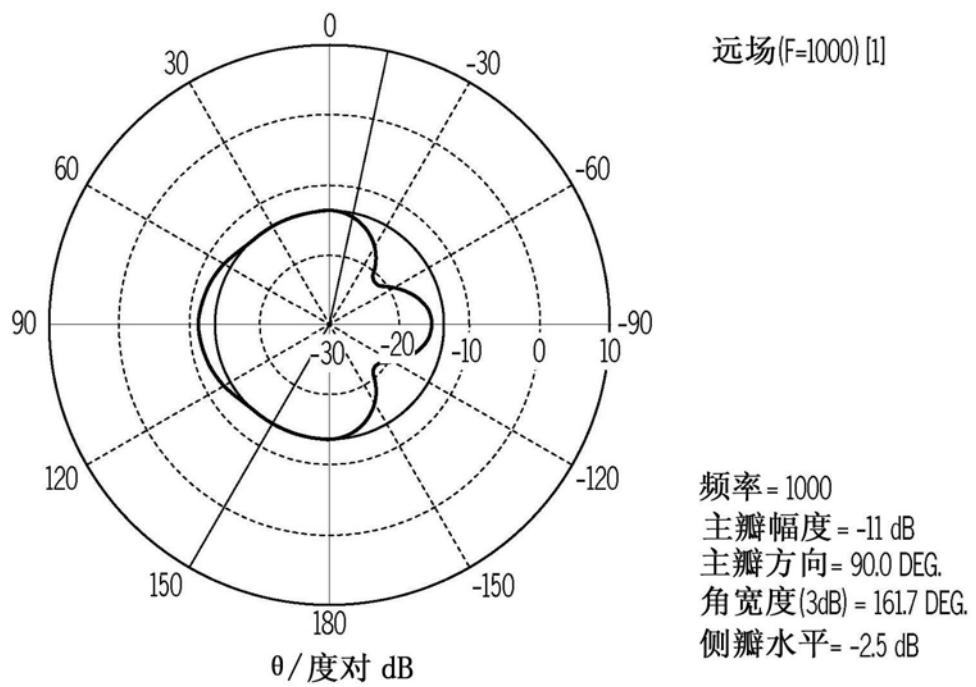
远场实现的增益 θ ($\text{PHI}-0$)

图23

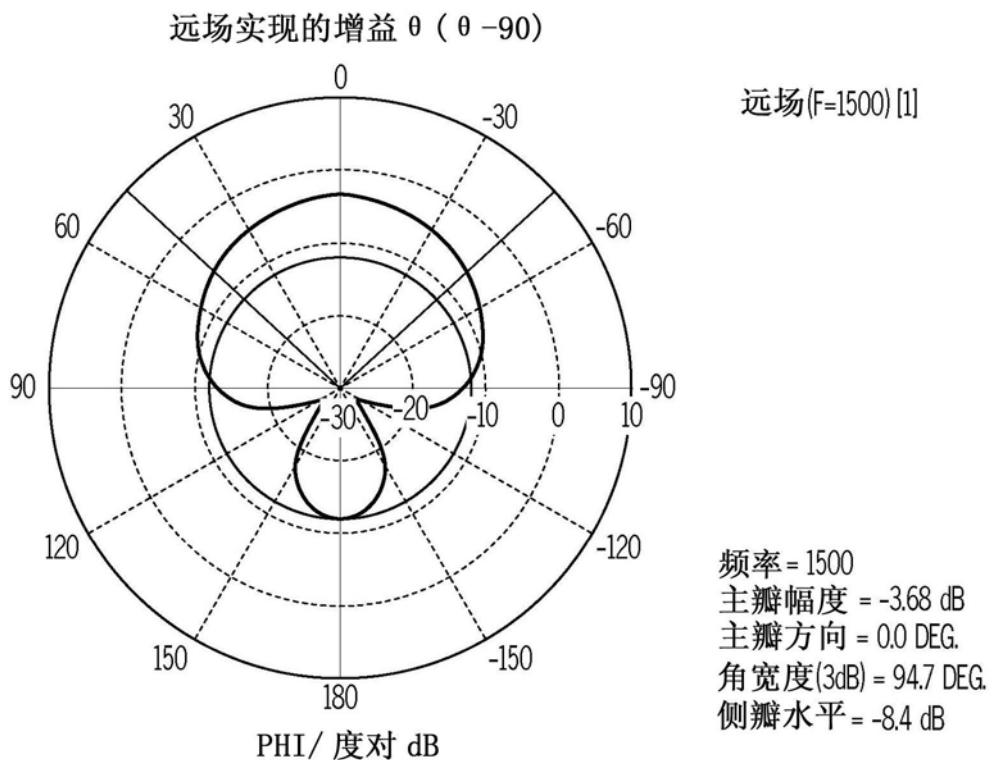


图24

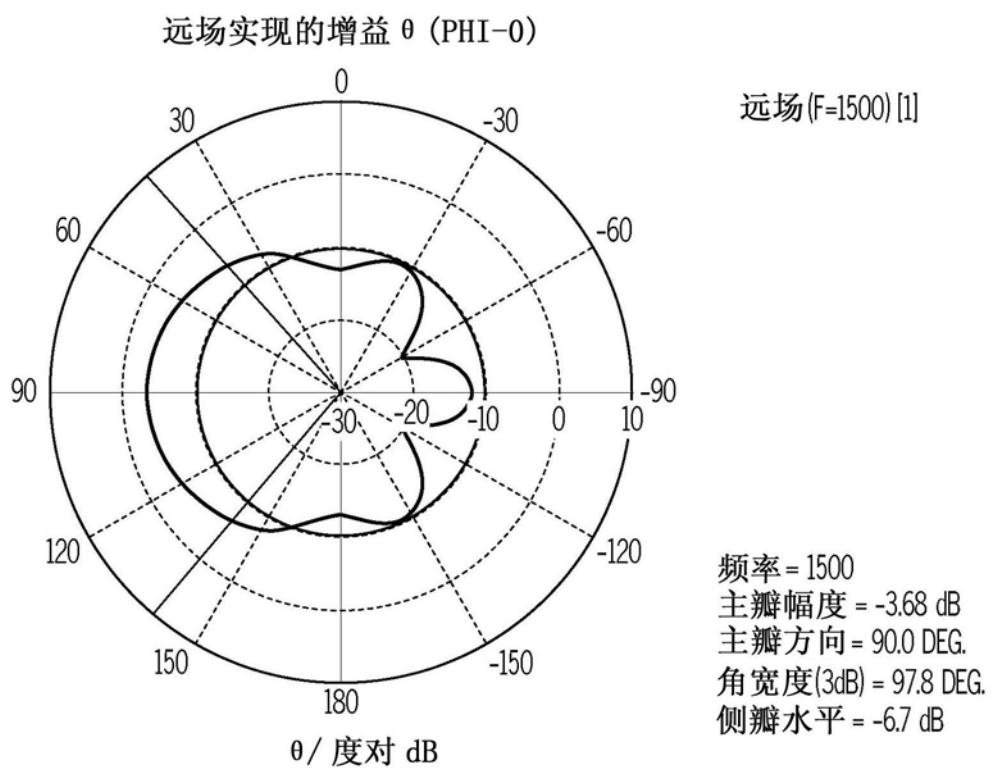


图25

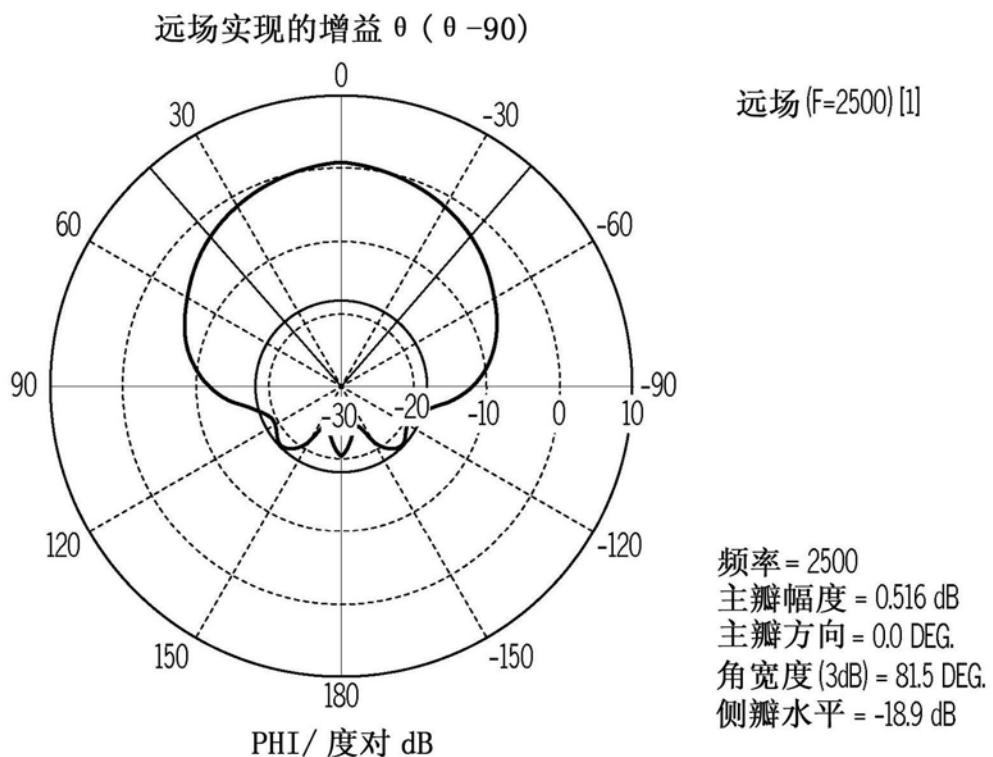


图26

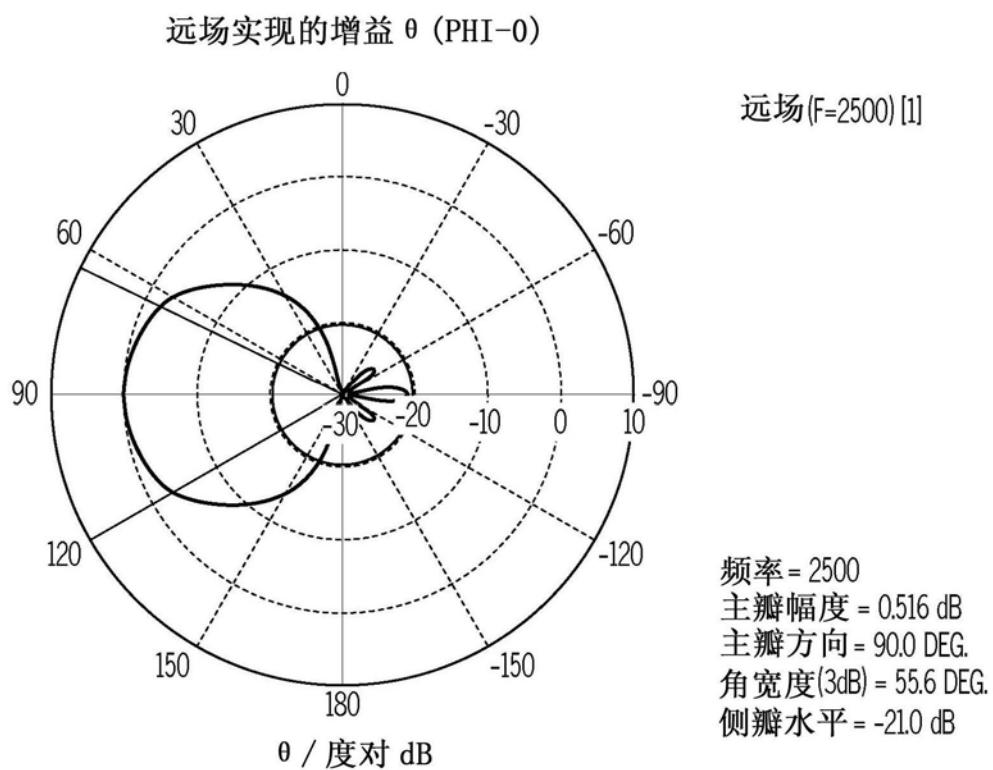


图27

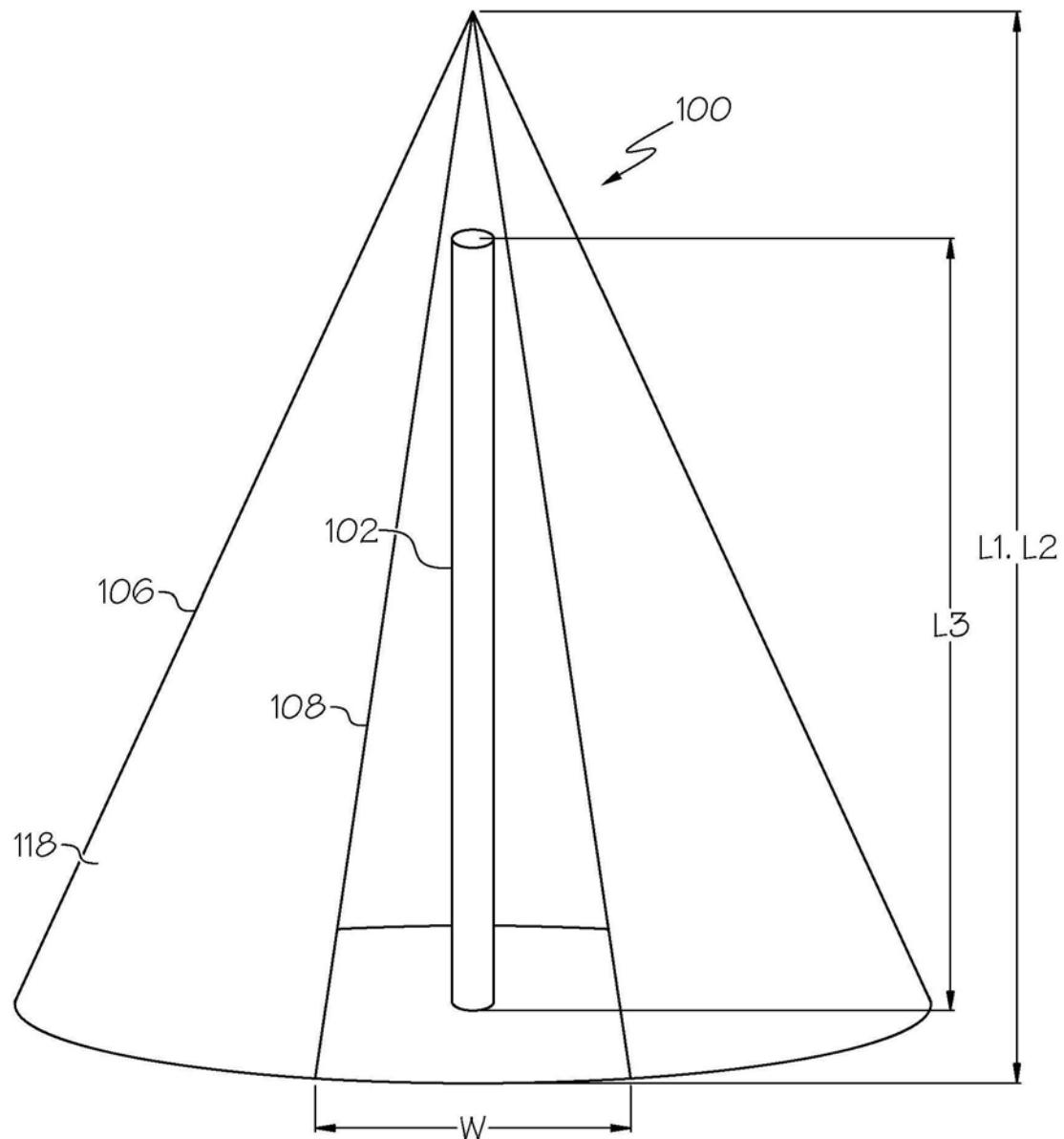


图28

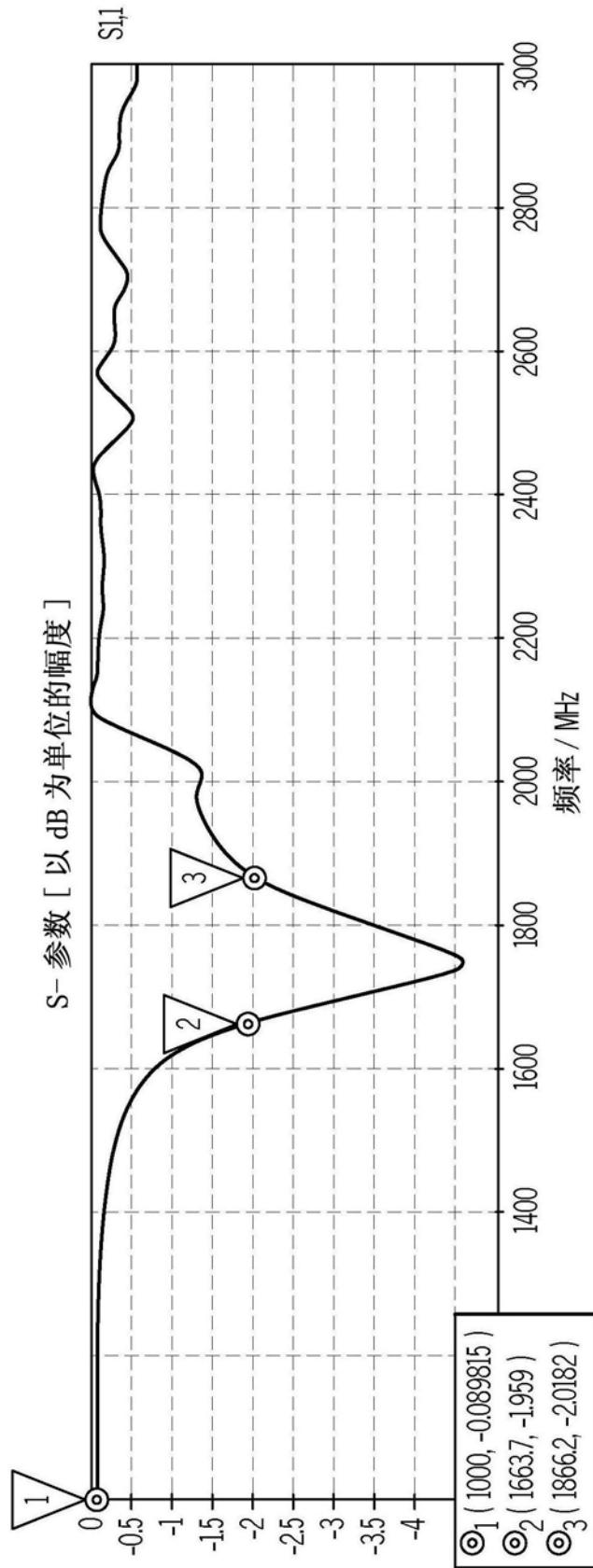


图29

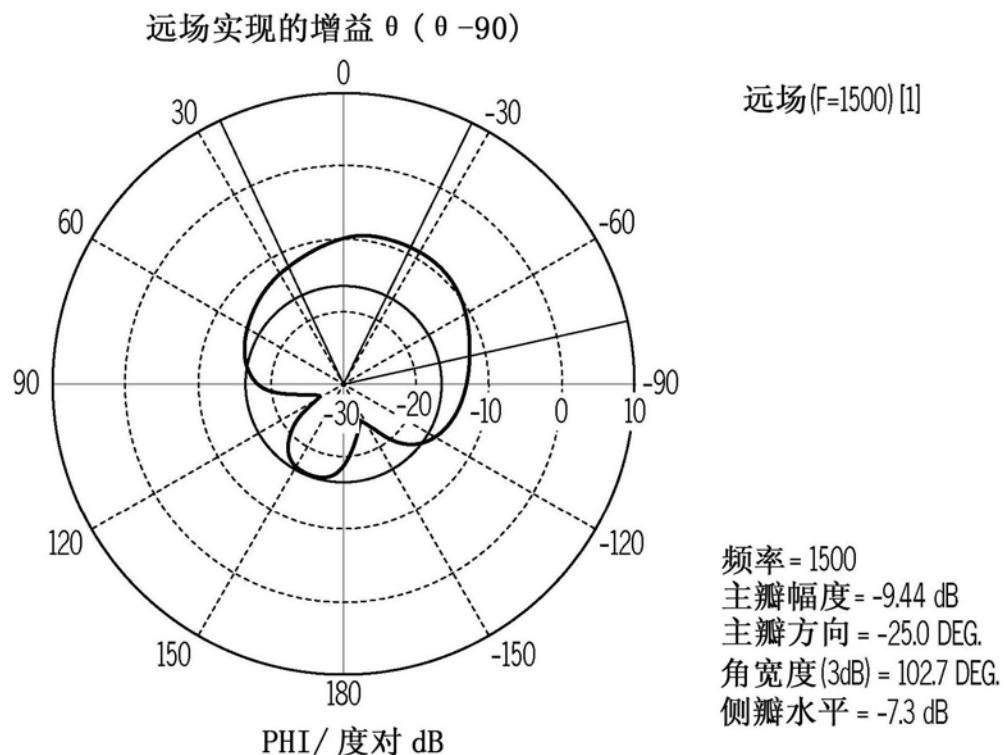


图30

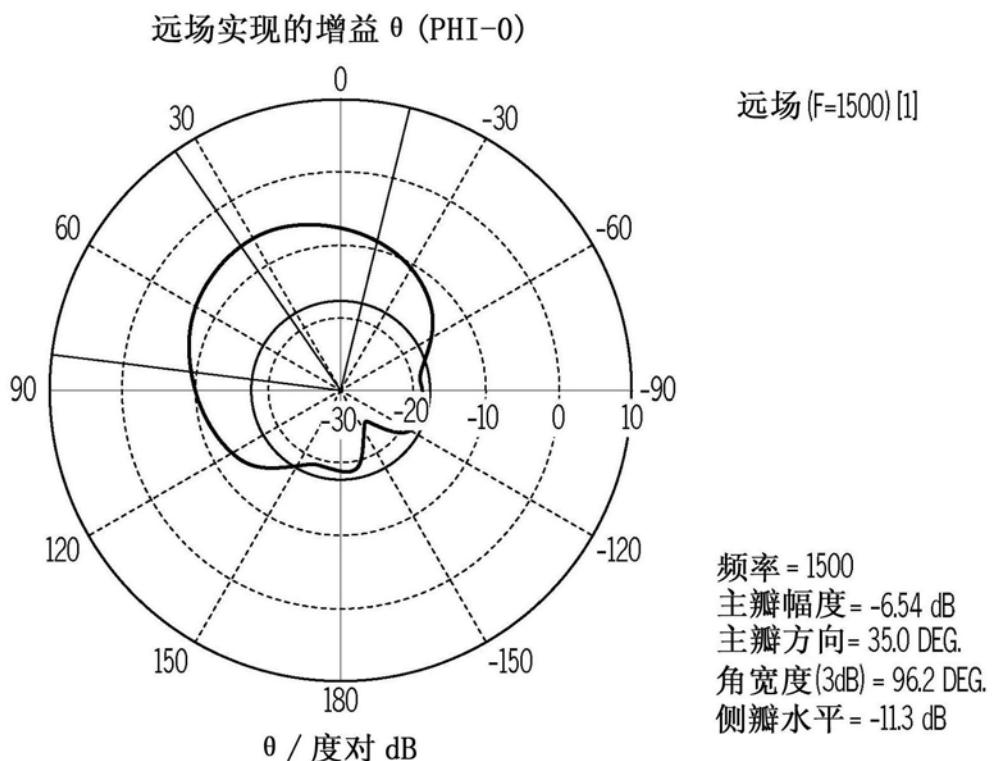


图31

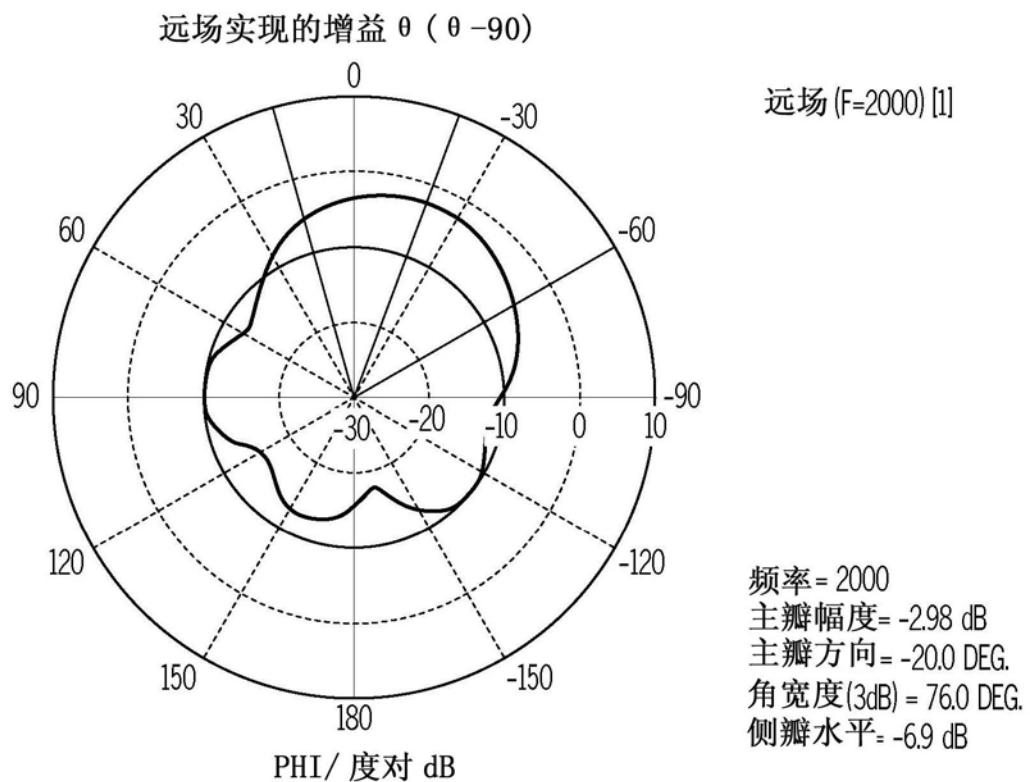


图32

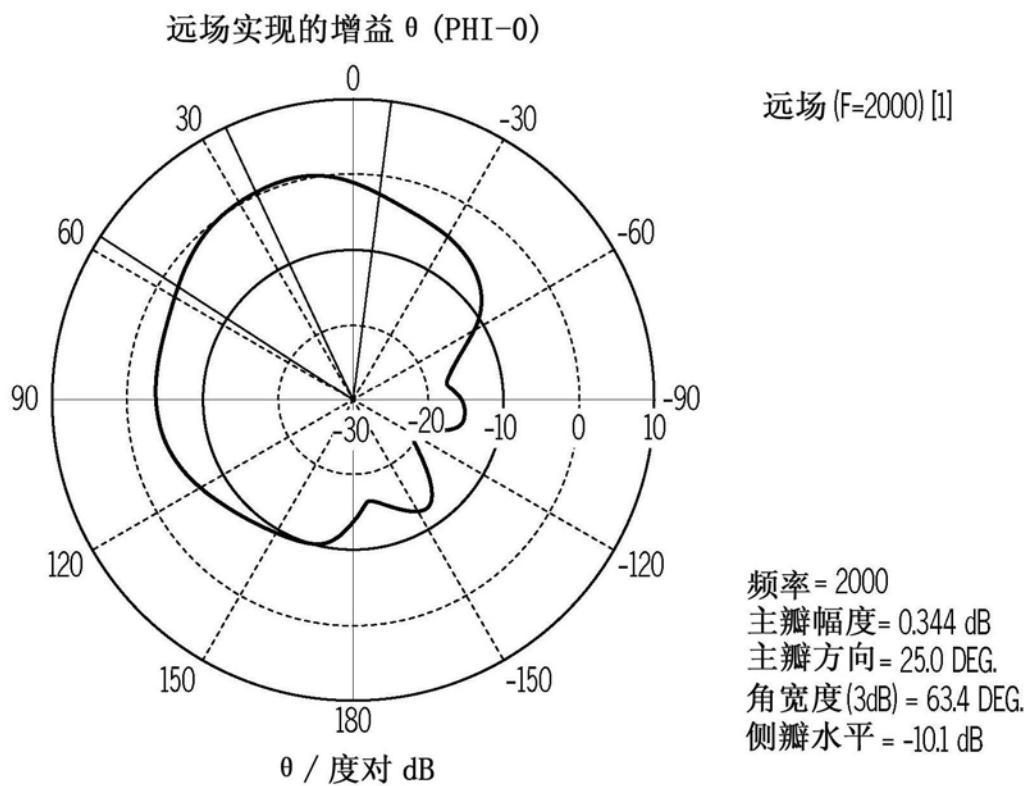


图33

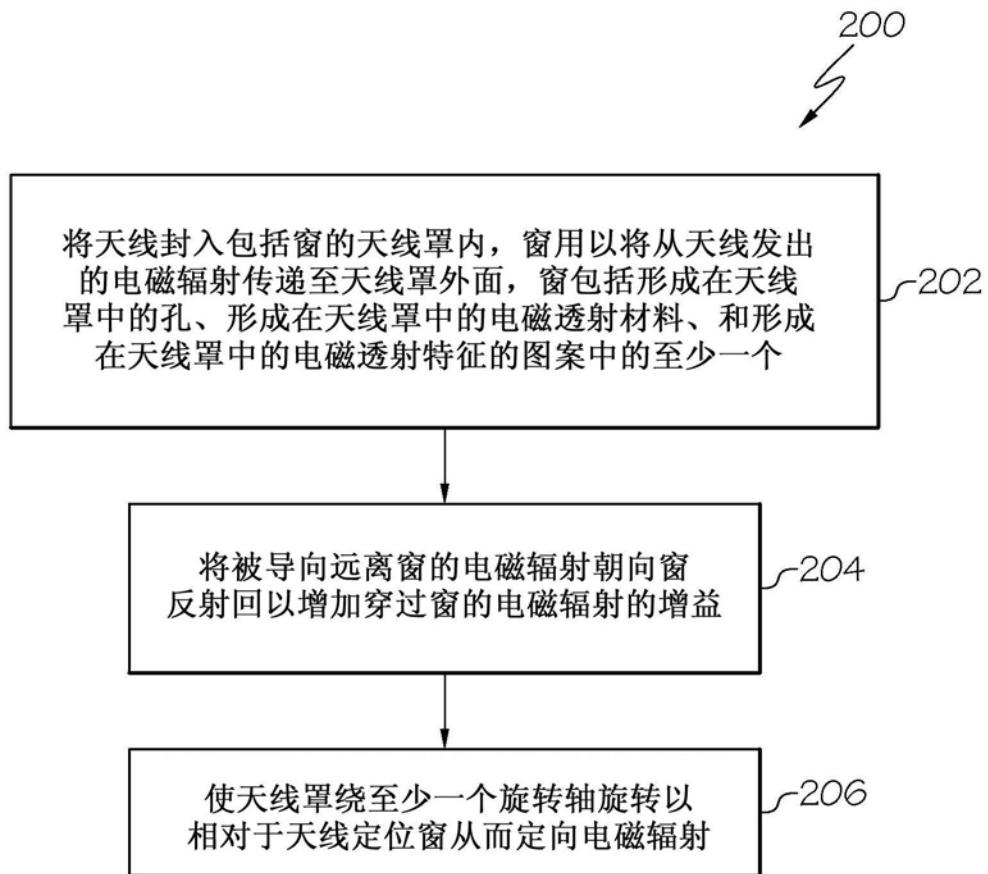


图34