



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108292805 B

(45)授权公告日 2020.06.05

(21)申请号 201680063449.X

卡尔·施普伦托尔

(22)申请日 2016.10.27

肖恩·P·威廉斯

(65)同一申请的已公布的文献号

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

申请公布号 CN 108292805 A

代理人 高岩 杨林森

(43)申请公布日 2018.07.17

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

H01Q 9/04(2006.01)

62/247,459 2015.10.28 US

H01Q 21/06(2006.01)

62/258,029 2015.11.20 US

62/362,210 2016.07.14 US

15/334,669 2016.10.26 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.04.27

(56)对比文件

US 2014327591 A1,2014.11.06,

(86)PCT国际申请的申请数据

Yu-Feng Ruan.etc."Antenna Effects

PCT/US2016/059068 2016.10.27

Consideration for Space-Time Coding UWB-Impulse".《2006 International Conference on wireless Communications,Networking and Mobile Computing》.2007,

(87)PCT国际申请的公布数据

Yong-Xin Guo.etc.“Wide-Band Stacked Double Annular-Ring Dielectric”.《IEEE

W02017/075186 EN 2017.05.04

TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND

(73)专利权人 罗杰斯公司

PROPAGATION》.2005,第53卷(第10期),

地址 美国亚利桑那州

审查员 李娣

(72)发明人 克里斯季·潘采

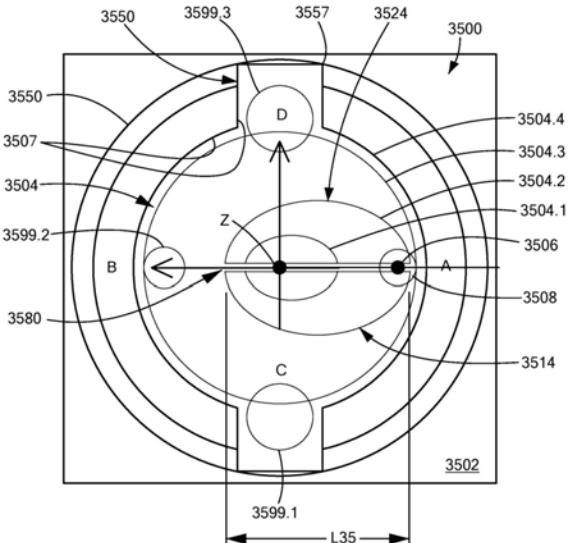
权利要求书2页 说明书37页 附图57页

(54)发明名称

介质谐振器天线

(57)摘要

一种介质谐振器天线(DRA)，包括：导电接地结构；多个介电材料体，所述多个介电材料体被布置在接地结构上并且包括N个体，所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i)，N是等于或大于3的整数，i是从1到N的整数，其中，体V(1)形成最内第一体，其中，连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体，其中，体V(N)至少部分地内嵌所有的体V(1)至体V(N-1)；其中，体V(N)的介电材料的一部分将体V(1)至体V(N-1)的至少一部分叉开；以及信号馈源，该信号馈源电磁耦合至所述多个介电材料体中的一个或更多个。



1. 一种介质谐振器天线DRA,包括:

导电接地结构;

多个介电材料体,所述多个介电材料体被布置在所述接地结构上并且包括N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V<sub>i</sub>,N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V<sub>1</sub>形成最内第一体,其中,连续的体V<sub>i+1</sub>形成布置在体V<sub>i</sub>上并且至少部分地内嵌体V<sub>i</sub>的分层壳体,其中,体V<sub>N</sub>至少部分地内嵌所有的体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>;

其中,所述体V<sub>N</sub>的介电材料的一部分在垂直于所述接地结构的平面中将体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>的至少一部分分叉开;以及

信号馈源,所述信号馈源电磁耦合至所述多个介电材料体中的一个或更多个。

2. 根据权利要求1所述的DRA,其中,将体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>分叉开的所述体V<sub>N</sub>的介电材料的一部分将所有体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>的整个横截面分叉开。

3. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述信号馈源与所述接地结构非电接触地布置在所述接地结构的开口内,并且所述信号馈源被布置在所述多个介电材料体中所述信号馈源被电磁耦合至的一个介电材料体内。

4. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述信号馈源电磁耦合至体V<sub>2</sub>。

5. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,将体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>分叉开的所述体V<sub>N</sub>的一部分形成所述体V<sub>1</sub>至所述体V<sub>N-1</sub>的作为彼此的镜像的第一子体和第二子体。

6. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,将体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>分叉开的所述体V<sub>N</sub>的一部分被布置在垂直于所述接地结构、穿过所述信号馈源并且包含所述多个介电材料体中的每一个的中心垂直z轴的平面中。

7. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,将体V<sub>1</sub>至体V<sub>N-1</sub>分叉开的所述体V<sub>N</sub>的一部分用所述体V<sub>N</sub>的介电材料将所述体V<sub>1</sub>至所述体V<sub>N-1</sub>分割开。

8. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述多个介电材料体中的直接相邻体具有不同的介电常数值,所述介电常数值的范围从体V<sub>1</sub>处的第一相对最小值到体V<sub>2</sub>至体V<sub>N-1</sub>中之一处的相对最大值并且在体V<sub>N</sub>处回到第二相对最小值。

9. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述多个介电材料体中的直接相邻体具有不同的介电常数值,所述介电常数值的范围从体V<sub>1</sub>处的第一相对最小值到V<sub>[N+1]/2</sub>处的相对最大值并且在V<sub>N</sub>处回到第二相对最小值,其中,N是奇整数。

10. 根据权利要求1或2所述的DRA,还包括导电围栏,所述导电围栏被布置成围绕所述多个介电材料体并且与所述接地结构电接触并形成所述接地结构的一部分。

11. 根据权利要求10所述的DRA,其中,所述导电围栏的高度不超过所述多个介电材料体的高度。

12. 根据权利要求10所述的DRA,其中:

所述围栏具有提供至少一个对准特征的不均匀形状;以及

所述多个介电材料体具有互补形状,所述互补形状与所述围栏的不均匀形状和所述至少一个对准特征互补,以使得所述围栏和所述多个介电材料体经由所述至少一个对准特征而相对于彼此具有限定的对准。

13. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述导电接地结构包括一个或更多个开口。

14. 根据权利要求1或2所述的DRA,其中,所述多个介电材料体中的相邻介电材料体相

对于彼此具有不同的介电常数。

15. 根据权利要求1或2所述的DRA, 其中,N大于3。

## 介质谐振器天线

### 背景技术

[0001] 本公开内容一般地涉及介质谐振器天线(DRA),特别地涉及多层介质谐振器天线,并且更特别地涉及用于微波和毫米波应用的宽带多层介质谐振器天线。

[0002] 现有的谐振器和阵列采用贴片天线,虽然这样的天线可适用于其预期目的,但它们也具有缺点,例如有限的带宽、有限的效率以及因此有限的增益。已经用于提高带宽的技术通常导致昂贵且复杂的多层和多贴片设计,并且实现大于25%的带宽仍具有挑战性。此外,多层设计增加了单位单元的固有损耗,因此降低了天线增益。此外,贴片和多贴片天线阵列因采用金属和介电基板的复杂组合使得它们难以使用当今可用的较新的制造技术例如三维(3D)打印(也称为增材制造)进行生产。

[0003] 因此,虽然现有的DRA可适用于其预期目的,但是利用可以克服上述缺陷的DRA结构将会推进DRA的技术。

[0004] 以下公开可以被视为有用的背景技术:(1) GUO Y-X等人:“Wide-Band Stacked Double Annular-Ring Dielectric Resonator Antenna at the End-Fire Mode Operation” IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE SERVICE CENTER, 美国,新泽西州,皮斯卡塔韦,第53卷,第10期,2005年10月1日(2005-10-01),3394-3397页,XP011139999,ISSN:0018-926X,DOI:10.1109/TAP.2005.856381;(2) YU-FENG RUAN等人:“Antenna Effects Consideration for Space-Time Coding UWB-Impulse Radio System in IEEE 802.15Multipath Channel”, WIRELESS COMMUNICATIONS, NETWORKING AND MOBILE COMPUTING, 2006.WICOM 2006. INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PI, 2006年9月1日,1-4页,XP031074282,ISBN:978-1-4244-0517-6; (3) US 2014/327591 A1 (KOKKINOS TITOS[DE}) 2014年11月6日。

### 发明内容

[0005] 实施方式包括一种介质谐振器天线(DRA),介质谐振器天线(DRA)具有:导电接地结构;多个介电材料体,所述多个介电材料体布置在接地结构上并且包括N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内第一体,其中,连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分地内嵌所有的体V(1)至体V(N-1),其中,介电材料体V(N)的一部分将体V(1)至体V(N-1)的至少一部分分叉开;以及信号馈源,其电磁耦合至多个介电材料体中的一个或更多个。

[0006] 实施方式包括一种介质谐振器天线(DRA),该介质谐振器天线具有:导电接地结构;多个介电材料体,所述多个介电材料体布置在接地结构上并且具有N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内第一体,其中,连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分地内嵌所有体V(1)至V(N-1);以及信号馈源,其被布置和构造成电磁耦合至多个介电材料体中的一个或更多个。

[0007] 实施方式包括介质谐振器天线,该介质谐振器天线具有:多个介电材料体,所述多个介电材料体包括N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内体,其中,连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分地内嵌所有的体V(1)至V(N-1);其中,DRA在经由电信号被激励时被配置成产生占据与单元素同伦群对应的拓扑空间的远场3D辐射图案,该单元素同伦群由各自可收缩于3D辐射图案内的单个点处的闭环路径族来限定。

[0008] 实施方式包括介质谐振器天线,该介质谐振器天线具有:多个介电材料体,所述多个介电材料体包括N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内体,其中,连续体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分内嵌所有的体V(1)至体V(N-1);其中,DRA在经由电信号被激励时被配置成产生占据与双元素同伦群对应的拓扑空间的远场3D辐射图案,该双元素同伦群由可收缩于单个点处的闭环路径族以及由不可收缩于单个点处的闭环路径族来限定。

[0009] 实施方式包括介质谐振器天线,介质谐振器天线具有:多个介电材料体,所述多个介电材料体包括N个体,所述N个体被布置以形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内体,其中,连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分内嵌所有的体V(1)至体V(N-1);其中:多个介电材料体中的每个分层体具有介电常数 $\epsilon(i)$ ,其中,每个相应层的介电常数和体符合以下关系: $\epsilon(i+1)*V(i+1) \approx \epsilon(i)*V(i)$ ;不过 $\epsilon(1)*V(1)$ 除外,其中, $\epsilon(1) \approx$ 空气的介电常数。如本文所使用的,数学运算符 $\approx$ 表示近似等于。

[0010] 实施方式包括介质谐振器天线,该介质谐振器天线具有:多个介电材料体,所述多个介电材料体包括N个体,所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i),N是等于或大于3的整数,i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内体,其中,连续体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分内嵌所有的体V(1)至体V(N-1);其中:多个介电材料体中的每个分层体具有介电常数 $\epsilon(i)$ ,其中,每个相应层的介电常数和体符合以下关系: $\epsilon(i)*V(i) \approx C(f)$ ;然而 $\epsilon(1)*V(1)$ 以外;其中,C(f)是给定频率处的常数;其中, $\epsilon(1) \approx$ 空气的介电常数。

[0011] 实施方式包括DRA阵列,DRA阵列具有根据前述DRA描述中任一项的布置成 $x \times y$ 阵列图案的多个DRA,其中x和y是整数。

[0012] 实施方式包括一种根据前述DRA描述中任一项的用于制造DRA元件或DRA元件阵列的方法,该方法包括:模制多个介电材料体中的至少一个质材料体或者所有介电材料体。

[0013] 实施方式包括一种根据前述DRA描述中任一项的用于制造DRA或DRA阵列的方法,该方法包括:以预定图案形成包括介电组合物的多个熔合层,以提供多个介电材料体。

[0014] 实施方式包括一种根据前述DRA描述中任一项的用于制造DRA或DRA阵列的方法,该方法包括:由具有第一介电常数的第一介电材料形成多个介电材料体中的第一体;以及将介电组合物施加到第一体的表面以提供多个介电材料体中的具有第二介电常数的第二介电材料的第二体。

[0015] 根据结合附图所做的以下详细描述,上述特征和优点以及其他特征和优点是明显

的。

## 附图说明

- [0016] 参照示例性的非限制性附图,其中,相同元件在附图中用相同的附图标记来表示;
- [0017] 图1A描绘了根据实施方式的DRA的侧视框图;
- [0018] 图1B描绘了与图1A的DRA相关联的场辐射图案;
- [0019] 图1C描绘了与图1A的DRA相关联的回波损耗曲线图;
- [0020] 图2A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0021] 图2B描绘了与图2A的DRA相关联的场辐射图案;
- [0022] 图2C描绘了与图2A的DRA相关联的回波损耗曲线图;
- [0023] 图2D描绘了图2B的场辐射图案在垂直平面中的增益;
- [0024] 图3A至图3G描绘了将图1A中描绘的DRA修改成图2A中描绘的DRA的逐步概念性修改;
- [0025] 图4A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0026] 图4B描绘了图4A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0027] 图5A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0028] 图5B描绘了图5A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0029] 图6A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0030] 图6B描绘了图6A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0031] 图7A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0032] 图7B描绘了图7A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0033] 图8A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0034] 图8B描绘了与图8A的DRA相关联的场辐射图案;
- [0035] 图8C描绘了与图8A的DRA相关联的回波损耗曲线图;
- [0036] 图9A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0037] 图9B描绘了图9A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0038] 图10A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图;
- [0039] 图10B描绘了图10A的DRA的覆盖区俯视框图;
- [0040] 图10C描绘了与图10A的DRA相关联的场辐射图案;
- [0041] 图10D描绘了图10C的场辐射图案在垂直平面中的增益;
- [0042] 图10E描绘了与图10A的DRA相关联的回波损耗曲线图;
- [0043] 图10F描绘了根据实施方式的与图10A的DRA类似但被调谐到不同的工作频率范围的DRA相关联的回波损耗曲线图;
- [0044] 图11A以框图描绘了根据实施方式的采用DRA的 $2 \times 2$ 阵列的透视图;
- [0045] 图11B描绘了与图11A的阵列相关联的场辐射图案;
- [0046] 图12A描绘了根据实施方式的多个介电材料分层体的艺术呈现的侧视框图,其示出分层体重电路径和电路径长度;
- [0047] 图12B描绘了示出窄带响应的解耦谐振;
- [0048] 图12C描绘了根据实施方式的示出宽带响应的耦合谐振;

- [0049] 图13A描绘了根据实施方式的另一DRA的侧视框图；
- [0050] 图13B描绘了图13A的DRA的覆盖区俯视框图；
- [0051] 图13C描绘了图13A的DRA的中心部分的放大视图；
- [0052] 图13D描绘了与图13A的DRA相关联的场辐射图案；
- [0053] 图13E描绘了图13D的场辐射图案在垂直平面中的增益；
- [0054] 图13F描绘了与图13A的DRA相关联的回波损耗曲线图；
- [0055] 图14A描绘了与图13A中描绘的DRA类似但具有不同尺寸的围栏的DRA的侧视框图；
- [0056] 图14B描绘了图14A的DRA在垂直平面中的增益；
- [0057] 图15A示出了与图13A和图14A中描绘的那些类似但具有不同尺寸的围栏的另一DRA的侧视框图；
- [0058] 图15B描绘了图15A的DRA在垂直平面中的增益；
- [0059] 图16描绘了示例DRA的模型的侧视框图，其示出近场中的辐射模式基本几何路径和电路径；
- [0060] 图17描绘了示例圆柱形或矩形DRA的模型的侧视框图，其示出相关联的辐射模式几何路径和电路径；
- [0061] 图18描绘了示例半球形DRA的模型的侧视框图，其示出相关联的辐射模式几何路径和电路径；
- [0062] 图19描绘了与图18的DRA类似但是具有两种介电材料示例半球形DRA的模型的侧视框图，并且示出了相关联的辐射模式几何路径和电路径；
- [0063] 图20描绘了与图19的DRA类似但是具有椭圆体形状中心区域的示例半球形DRA的模型的侧视框图，并且示出相关联的辐射模式几何路径和电路径；
- [0064] 图21A、图21B和图21C描绘了纯TE辐射模式、纯TM辐射模式以及TE辐射模式和TM辐射模式的组合的远场能量分布的拓扑结构和同伦群的艺术呈现；
- [0065] 图22A、图22B和图22C分别描绘了图21A、图21B和21C的但是叠加有曲线族的同伦群；
- [0066] 图23A描绘了图17的但是具有接地结构和接地围栏的DRA；
- [0067] 图23B描绘了图20的但是具有接地结构和接地围栏的DRA；
- [0068] 图24A描绘了接地结构上的堆叠圆柱形DRA的模型；
- [0069] 图24B描绘了在接地结构上的三层侧向移位半球形DRA的模型；
- [0070] 图25描绘了针对图24A和24B的模型所得TE辐射模式和TM辐射模式以及它们各自的增益和视轴；
- [0071] 图26A和26B描绘了针对图24A和24B的模型的所产生的辐射图案；
- [0072] 图27A和27B描绘了图24B的模型在具有和不具有围栏的情况下所产生的回波损耗和增益；
- [0073] 图28描绘了针对图24A的但是具有围栏的模型的所得回波损耗和增益；
- [0074] 图29描绘了根据实施方式的具有辅助材料体V(A)的替换DRA；
- [0075] 图30A和图30B描绘了根据实施方式的具有对准特征的替换DRA；
- [0076] 图31描绘了根据实施方式的具有另外的TM模抑制特征的替换DRA；
- [0077] 图32、图32A、图33、图33A、图34和图34A描绘了根据实施方式的经缩放的DRA；以及

[0078] 图35至图38示出了根据实施方式的替选DRA。

### 具体实施方式

[0079] 本文公开的实施方式包括用于构建宽带介质谐振器天线(DRA)阵列的不同布置，其中，该不同布置采用具有不同厚度、不同介电常数或者具有不同厚度和不同介电常数二者的共同的介电层结构。多层介质谐振器天线的特定形状取决于针对每层所选的介电常数。例如，每个多层次壳体可以是圆柱形、椭圆形、卵形、圆顶形或半球形，或者可以是适于本文所公开的目的的任何其他形状。可以通过改变不同分层壳体上的介电常数——从核心处的第一相对最小值、至核心与外层之间的相对最大值并且返回至外层处的第二相对最小值——来实现宽带宽(例如大于50%)。可以通过采用移位式壳体构造或通过对分层壳体采用不对称结构来实现平衡增益。经由信号馈源(其可以是具有垂直导线延伸的同轴电缆，以实现非常宽的带宽)、或者通过根据DRA的对称性而具有不同长度和形状的导电环路、或者经由微带、波导或表面集成波导来馈送每个DRA。可以使用诸如压缩或注入模制、3D材料沉积工艺如3D打印、或适于本文所公开的目的的任何其他制造工艺的方法来制造本文所公开的DRA的结构。

[0080] 本文所公开的DRA的若干实施方式适于在期望宽带和高增益的微波和毫米波应用中使用以取代微波和毫米波应用中的贴片天线阵列、适于在10GHz至20GHz雷达应用中使用、或适于在回程应用以及77GHz辐射器和阵列中使用。将参照本文提供的若干附图来描述不同的实施方式。然而，根据本文的公开内容将理解，存在于一个实施方式中但不存在于另一实施方式的特征可以用在另一实施方式中，例如下面将详细讨论的围栏。

[0081] 通常，本文描述的是DRA族，其中每个族成员包括布置在导电接地结构上的多个介电材料体。多个体中的每个体V(i)被布置为分层壳体，其中*i*=1至N，*i*和N是整数，并且N指定总的体数，该分层壳体被布置在先前的体上并且至少部分地内嵌先前的体，其中，V(1)是最内层/体，V(N)是最外层/体。在实施方式中，内嵌下面的体的分层壳体例如分层壳体V(*i*>1)至V(N)中的一个或更多个分层壳体例如完全100%地内嵌下面的体。然而，在另一实施方式中，内嵌下面的体的分层壳体V(*i*>1)至V(N)中的一个或更多个分层壳体可以有目的地仅至少部分地内嵌下面的体。在本文描述的其中分层壳体是完全100%地内嵌下面的体的那些实施方式中，应理解，这样的内嵌还包括由于制造或工艺变化、有意地或因其他方面的原因、或者甚至由于包括一个或更多个有目的的空隙或孔洞而可能存在于上面的介电层中的微小空隙。因此，术语完全100%被最佳地理解为表示基本上完全100%。尽管本文描述的实施方式将N描述为奇数，但是预期到本发明的范围不限于此，也就是说，预期到N可以是偶数。如本文所描述和描绘的，N等于或大于3。多个介电材料体中的直接相邻(即，紧密接触)的介电材料体的介电常数( $\epsilon_i$ )在一个层与下一层之间不同，并且在一系列体内，范围从*i*=1处的第一相对最小值、到在*i*=2至*i*=(N-1)处的相对最大值、并且在*i*=N处回到第二相对最小值。在实施方式中，第一相对最小值等于第二相对最小值。在另一实施方式中，第一相对最小值不同于第二相对最小值。在另一实施方式中，第一相对最小值小于第二相对最小值。例如，在具有五个层N=5非限制性实施方式中，多个介电材料体*i*=1至5的介电常数可以如下： $\epsilon_1=2$ 、 $\epsilon_2=9$ 、 $\epsilon_3=13$ 、 $\epsilon_4=9$ 及 $\epsilon_5=2$ 。然而，将理解，本发明的实施方式不限于这些确切的介电常数值，并且包括适于本文公开的目的的任何介电常数。DRA的激励由电磁耦合至

多个介电材料体中的一个或更多个的信号馈源例如铜导线、同轴电缆、微带、波导、表面集成波导或导电墨来提供。在直接嵌入DRA中的信号馈源中，信号馈源经由接地结构中的开口与接地结构非电接触地穿过接地结构，进入多个介电材料体中的一个介电材料体。如本文所使用的，所提及的介电材料包括空气，其在标准大气压(1个大气压)和温度(20摄氏度)下具有近似为1的相对介电常数( $\epsilon_r$ )。因此，作为非限制性示例，本文所公开的多个介电材料体中的一个或更多个可以是空气，例如体V(1)或体V(N)。

[0082] 在下面更详细地讨论的形成超宽带鞭状天线的DRA的实施方式中，馈线电磁耦合至最内层V(1)。在下面也将更详细地讨论的形成宽带上半空间天线的DRA的实施方式中，馈线电磁耦合至除最内层之外的层，例如但不限于V(2)。

[0083] 可以采用分层体的其他变型(例如2D形状的覆盖区、3D形状的体，给定多个体中的一个体相对于另一个体对称或不对称以及在分层壳体的最外体周围的材料的存在与否)来进一步调整增益或带宽，以实现期望的结果。现在将参照本文提供的若干附图来描述作为与上述一般化描述一致的DRA族的一部分的若干实施方式。此处首先参照图1至图34，其本身可能并未描绘所附权利要求中的所有特征，但是在本文中被呈现用于完整地理解所要求保护的发明。

[0084] 图1A描绘了根据实施方式的鞭型DRA 100的侧视图，该鞭型DRA 100具有导电接地结构102以及布置在接地结构102上的多个介电材料体104，所述介电材料体104包括N个体，所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i)，N是等于或大于3的整数，i是从1到N的整数，其中，体V(1)形成最内体104.1，其中，连续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且内嵌体V(i)的分层壳体104.2、104.3、104.4，并且其中，体V(N)形成内嵌所有的体V(1)至V(N-1)的外体104.5。从图1A的实施方式中可以看出，N=5。然而，将理解，本发明的范围不限于N=5。在实施方式中，层的数量N例如可以在100的数量级，1,000的数量级或10,000的数量级。

[0085] 如本文所使用的，术语接地结构在本领域中称为接地平面。然而，将理解，接地平面在事实上可以是平面形状，但其也可以是非平面形状。因此，术语接地结构旨在包含平面和非平面的电接地。

[0086] 多个介电材料体104中的直接相邻的体具有不同的介电常数值，所述介电常数值的范围从体V(1)处的相对最小值到体V(2)至V(N-1)中之一处的相对最大值并且在体V(N)处回到相对最小值。下面进一步讨论特定介电常数值。

[0087] 在实施方式中，多个介电材料体104的中直接相邻的体具有不同的介电常数值，所述介电常数值的范围从体V(1)处的相对最小值到V((N+1)/2)处的相对最大值并且在V(N)处回到相对最小值，其中N是奇整数。

[0088] 在图1A的实施方式中，信号馈源106与接地结构102非电接触地被布置在接地结构102的开口108内，其中，信号馈源106被完全布置在多个介电材料体中的一个介电材料体内并与其电磁耦合。在图1A的实施方式中，信号馈源106被完全布置在第一介电材料体V(1)104.1内并与其电磁耦合。在实施方式中，多个介电材料体中的每个体104.1至104.5具有中心纵轴105，其与信号馈源106的纵轴107(也参见例如图1B中所描绘的z轴)平行并且相对于纵轴107被居中布置，信号馈源的纵轴107垂直于接地结构102。如本文所使用的，短语垂直于接地结构旨在表达其中接地结构可以被视为具有电等效平面接地结构并且信号馈源垂直于电等效平面接地结构而设置的结构布置。

[0089] 图1A中描绘的DRA 100产生如图1B所示的宽带全向圆形线性偏振辐射图案110, 其具有如图1C所示的带宽和3dB增益。如本文所使用, 术语“dB”是指国际公认的术语“dBi-相对于各向同性辐射器的分贝”。在图1A所描绘的分析性建模实施方式中,DRA 100的多个介电材料体104具有8mm的高度, 并且是具有圆形截面的圆柱形形状。然而, 将理解, 可以采用其他尺寸和截面形状, 以在仍属于本文所公开的本发明的范围内的同时实现期望的辐射图案, 例如具有不同高度或椭圆形截面的DRA。

[0090] 图2A描绘了根据实施方式的多层介质谐振器天线200的侧视图, 该多层介质谐振器天线200具有导电接地结构202以及布置在接地结构202上的多个介电材料体204, 所述多个介电材料体204包括N个体, 所述N个体被布置成形成连续且顺序的分层体V(i), N是等于或大于3的整数, i是从1到N的整数, 其中, 体V(1)形成最内体204.1, 其中, 后续的体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且内嵌体V(i)的分层壳体204.2、204.3、204.4, 并且其中, 体V(N)形成内嵌所有的体V(1)至V(N-1)的外体204.5。在图2A的实施方式中可以看出, N=5。然而, 将理解, 如前所述, 本发明的范围不限于N=5。

[0091] 多个介电材料体204中的直接相邻体具有不同的介电常数值, 所述介电常数值的范围从体V(1)处的相对最小值到体V(2)到V(N-1)中之一处的相对最大值并且在体V(N)处回到相对最小值。下面进一步讨论示例介电常数值。

[0092] 信号馈源206与接地结构202非电接触地布置在接地结构202的开口208内, 其中, 信号馈源206被完全布置在多个介电材料体中的除了第一介电材料体V(1)204.1之外的一个介电材料体内并且与其电磁耦合。在图2A的实施方式中, 信号馈源206被完全布置在第二介电材料体V(2)204.2内并且与其电磁耦合。

[0093] 根据实施方式, 如图2A和下面进一步讨论的图4A中所描绘的, DRA包括相对于彼此居中布置的多个介电材料体204, 也就是说, 多个介电材料体204中的每个体具有彼此共存并且垂直于接地结构202的中心纵轴205。

[0094] 根据另一实施方式, 如下面亦进一步讨论的图5A所描绘的, DRA包括相对于彼此沿相同的侧向方向被居中移位的多个介电材料体。

[0095] 图2A中描绘的DRA 200如图2B和图2D中所示以几乎为7dB的增益产生宽带全向上半空间线性偏振辐射图案210, 辐射图案210如图2C所示, 在-10dB处具有约50%的带宽并且在-20db处具有约25%的带宽。通过比较图1A和图2A以及图1B和图2B可以看出, 使用具有不同激励位置的不同介电材料的相似布置的分层壳体产生基本上不同的辐射图案。现在将参照图3A至图3G讨论导致这样的差异的结构特征及对其的改变。

[0096] 图3A描绘了如图1A中所描绘的DRA 100, 图3G描绘了如图2A中所描绘的DRA 200。图3B至图3F描绘了可以采取的将DRA 100修改为DRA 200的概念性步骤, 其中, DRA 100、DRA 200两者均具有五个介电材料分层壳体, 所述介电材料分层壳体具有上述介电常数 $\epsilon_1=2$ 、 $\epsilon_2=9$ 、 $\epsilon_3=13$ 、 $\epsilon_4=9$ 和 $\epsilon_5=2$ 。例如, 在图3B中, 经修改的DRA 300.1具有在结构上与DRA 100的发射器部112类似的发射器部302.1, 但是具有相对于DRA 100的波导部114被修改的波导部304.1。通过如图3B所描绘的那样来修改波导部304.1, 场线306.1相对于DRA 100中的场线而弯曲, 这修改了辐射图案模式以产生混合对称和混合偏振。在图3C中, 波导部分304.2被进一步修改以使场线进一步弯曲以产生进一步的混合对称、混合图案模式和混合线性圆偏振。在图3C的实施方式中, 波导部304.2的弯曲产生了孔洞306(例如空气), 并且产生了呈现

为具有其中嵌入有孔洞306的九个介电材料分层壳体的结构。如图3D所描绘的,通过完成波导部304.3的半环路以使其现在耦合至接地结构308,产生辐射图案的线性偏振。在图3D的实施方式中,孔洞306现在被九个介电材料分层壳体完全封闭。在图3E中,中心孔306(描绘于图3D中)和四个内部介电材料层(描绘于图3D中)被去除,这产生具有五个介电材料分层壳体的DRA 300.4,所述介电材料分层壳体同样具有上述介电常数 $\epsilon_1=2, \epsilon_2=9, \epsilon_3=13, \epsilon_4=9$ 和 $\epsilon_5=2$ 。然而,与DRA 100相比,DRA 300.4具有不再相对于介电材料分层壳体被居中布置的信号馈源310。图3E的实施方式以线性偏振产生增强的带宽,但是辐射模式不对称。如图3F所描绘的,通过将信号馈源310放置在第二壳体V(2)中,产生改善的辐射图案的对称性和更好的匹配。图3G描绘了修改介电材料分层壳体的比例以产生DRA 200的结构的最终转换步骤,其产生了如图2B所描绘的具有宽带全向上半空间线性偏振辐射图案的多层介质谐振器天线设计。

[0097] 从前述可以看出,对于给定DRA,改变介电材料分层壳体的布置以及信号馈源在分层壳体内的放置可以产生基本上不同的定制辐射图案。现在将参照图4至图12描述落入本发明的范围内的DRA的其他实施方式。

[0098] 图4A和4B描绘了与DRA 200相似但具有三个而不是五个介电材料分层壳体的DRA 400。类似于DRA 200,DRA 400具有接地结构402,在接地结构402上布置有多个介电材料体404。在图4A、图4B所描绘的非限制性实施方式中,第一体V(1) 404.1具有介电常数 $\epsilon_1=2.1$ ,第二体V(2) 404.2具有介电常数 $\epsilon_2=9$ ,并且第三体V(3) 404.3具有介电常数 $\epsilon_3=13$ 。类似于图2A的实施方式,图4A的实施方式具有完全布置在第二体V(2) 404.2内的信号馈源406。同样类似于图2A的实施方式,图4A的实施方式具有相对于彼此被居中布置的多个介电材料体404,其中,每个体的相应中心纵轴405彼此共存并且垂直于接地结构402而定向。如图4B中所描绘的,多个介电材料体404具有椭圆形截面形状,这是非限制性的(如本文公开的其他实施方式并非具有椭圆形截面形状),而是仅旨在说明使用不同的形状来实现不同的辐射图案。在图4A和图4B所描绘的分析性建模的实施方式中,DRA 400的多个介电材料体404具有5.4mm的高度和沿椭圆的纵轴为7.2mm的外尺寸。

[0099] 图5A和5B描绘了DRA 500,其与DRA 400相似,但是其中多个介电材料体504(分层壳体504.1、504.2、504.3)中的每个体具有相对于彼此平行且在中心上沿相同的侧向方向侧向移位的中心纵轴505.1、505.2、505.3,并且每个体耦合至接地结构502,其中,信号馈源506被布置在第二体V(2) 504.2内,并且其中,每个中心纵轴505.1至505.3垂直于接地结构502。通过对壳体进行移位,可以实现关于z轴的更平衡的增益。通过平衡增益,预期到单个DRA的增益可以在辐射图案近场球形对称的情况下接近8dB。

[0100] 图6A和图6B描绘了DRA 600,其与DRA 400相似,但是其中多个介电材料体604(分层壳体604.1、604.2、604.3)被嵌入容器616(例如具有在1和3之间的介电常数的介电材料)内,并且其中,多个介电材料体604中的每个体具有相对于彼此平行并且被居中布置的中心纵轴605,并且多个介电材料体604在中心上相对于容器616的中心纵轴617沿侧向方向移位,且耦合至接地结构602,其中信号馈源606被布置在第二体V(2) 604.2内。容器616的中心纵轴617被布置成垂直于接地结构602并且平行于多个介电材料体604中的每个体的中心纵轴605。多个介电材料体相对于彼此被居中布置并且在中心上相对于容器沿侧向方向移位的布置是实现期望的平衡增益的另一方式。在图6A和图6B中所描绘的分析性建模实施方式

中,DRA 600的多个介电材料体604具有沿椭圆的纵轴的为8mm的外尺寸,并且容器616具有16mm的覆盖区直径。

[0101] 参照图6A和图6B,值得注意的是,在实施方式中,多个介电材料体604在其中限定具有第一方向的第一几何路径并且在其中限定具有第二方向的第二几何路径,第一方向从信号馈源606向多个介电材料体604的径向相对侧延伸,第二方向与第一几何路径的第一方向正交,由于多个介电材料体604的椭圆体形状,第二几何路径具有小于第一几何路径的有效介电常数的有效介电常数。通过将沿第二几何路径的有效介电常数调整成小于沿第一几何路径的有效介电常数,E场线的主路径将沿偏好的第一几何路径(沿椭球体的长轴的方向从信号馈源朝向径向相对侧),所得DRA 600将沿第一几何路径提供偏好的TE模式辐射,并且将沿不偏好的第二几何路径(沿椭球体的短轴方向与第一几何路径正交)提供对不期望的TE模式辐射的抑制,用于E场线的非期望第二几何路径将在与主第一几何路径正交的方向上。并且,根据本文所公开的所有内容,将理解,上文所述的将沿第二几何路径的有效介电常数调整成小于沿第一几何路径的有效介电常数与所采用的信号馈源的类型无关。

[0102] 实际上,本文中关于DRA 100、DRA 200、DRA 400和DRA 500讨论的分层介电材料体也可以嵌入在相应的容器116、216、416和516内,并且可以出于本文所公开的目的而以本文所公开的方式相对于所关联的容器被侧向移位或居中布置。任何以及全部这样的组合被认为在本文公开的发明的范围内。

[0103] 根据前述将理解,容器116或在本文中参照其他附图所公开的任何其他列举的容器在一些情况下可以是最外体V (N),其中术语容器和术语最外体V (N)在本文中用于更具体地描述本文所公开的多种介电材料体之间的几何关系。

[0104] 在图7A和图7B中描绘了实现期望平衡增益的另一方式,图7A和图7B描绘了DRA 700,DRA 700包括布置在接地结构702上的容器716,容器716由具有在1和3之间的介电常数的固化树脂组成,其中,多个介电材料体704(分层壳体704.1、704.2、704.3)被嵌入容器716内并且信号馈源706被布置在第二体V (2) 704.2内,其中,多个介电材料体704中的每个体具有相对于彼此被居中布置并且相对于容器716的纵轴717被居中布置的中心纵轴705,并且其中,多个介电材料体704的外体V (3) 704.3具有如由成角度顶部718和平坦顶部720所表示的不对称形状,该不对称形状用于对所发射辐射图案再成形,以产生期望的平衡增益。容器716的中心纵轴717被布置成垂直于接地结构702并且平行于多个介电材料体704中的每个体的中心纵轴705。虽然仅外部体V (3) 704.3被描绘成具有不对称的形状,但是将理解,其他层也可以形成有不对称形状。然而,申请人通过分析性建模发现,仅在外层V (N) 中形成不对称形状足以改变辐射图案而实现期望的平衡增益。

[0105] 在图8A中描绘了图1A中所描绘的鞭型DRA的变型,图8A描绘了DRA 800,其中,多个介电材料体804(分层壳体804.1、804.2、804.3)中的每个体和嵌入的信号馈源806形成拱,并且被嵌入具有1与3之间的介电常数的容器816中,并且其中,多个介电材料体804中的每个拱形体使其两个端部803、805布置在接地结构802上。多个介电材料体804和嵌入的信号馈源806弯曲以形成拱,提供了具有例如与8mm相比的较短高度例如6mm的DRA。这样的布置可用于耦合至磁场并且提供如图8B所描绘的辐射图案的良好对称性和良好增益,但是如图8C所描绘的,在-10dB处具有约14%的窄带宽。

[0106] 在9A和9B中描绘了根据实施方式的DRA的另一变型。这里,DRA 900被配置成使得

多个介电材料体904中的每个体具有半球形形状并且被统一嵌入半球形形状的容器916中，容器916被布置在接地结构902上并且由具有在1和3之间例如2.1的介电常数的固化树脂组成。在DRA 900的实施方式中，信号馈源906被布置在第一介电材料体V(1) 904.1内并且与其电磁耦合，信号馈源906在第一介电材料体V(1) 904.1内成拱形并且相对于第一体V(1)的天顶轴905偏心地进入第一体V(1) 904.1。在图9A、9B所描绘的DRA 900的实施方式中，存在三个介电材料分层壳体904。在实施方式中，第一体V(1) 904.1具有介电常数 $\epsilon_1=2.1$ ，第二体V(2) 904.2具有介电常数 $\epsilon_2=9$ ，并且第三体V(3) 904.3具有介电常数 $\epsilon_3=13$ 。容器916的相对低的介电常数用于在DRA 900的外层上提供上面提到的相对最小介电常数。如图9A、图9B所示，多个介电材料体904中的每个体具有相对于彼此被居中布置的天顶轴905，并且多个介电材料体在中心上相对于容器916的天顶轴917沿侧向方向移位，这同样提供用于平衡增益。在图9A、图9B所描绘的分析性建模实施方式中，DRA 900的多个介电材料体904具有8.5mm的覆盖区直径，并且容器916具有15mm的覆盖区直径。

[0107] 由于图8A和图9A的实施方式的成拱形的信号馈源806和信号馈源906，每个相应的DRA 800、DRA 900耦合至磁场，而不是与不具有成拱形的信号馈源的实施方式的电场。

[0108] 现在参照图10A-10F，其描绘了根据实施方式的DRA的另一版本。图10A和图10B描绘了DRA 1000，与上面讨论的实施方式类似，DRA 1000具有多个介电材料体1004并且信号馈源1006被布置在第二体V(2) 1004.2中，但是其中，多个介电材料体1004中的每个体具有相对于其各自的纵轴(参见例如与体V(1) 1004.1相关联的轴1005.1)纵长地定向的细长圆顶形状，并且还包括围绕多个介电材料体1004被周向布置的导电围栏1050(在本文中也被称为以及在本领域中被识别为导电电磁反射器，其在本文中可以简称为围栏或反射器)，其中，围栏1050与接地结构1002电连接并且形成接地结构1002的一部分。在实施方式中，DRA 1000具有五个介电材料层1004，所述介电材料层具有相应的介电常数 $\epsilon_1=2$ ， $\epsilon_2=9$ ， $\epsilon_3=13$ ， $\epsilon_4=15$ 和 $\epsilon_5=3$ 。在DRA 1000的实施方式中，第一体V(1) 1004.1相对于围栏1050的周界的中心被居中布置，并且所有其他体V(2)至V(5) 1004.2至1004.5沿相同方向(在图10A、图10B的视图中向左)侧向移位。根据实施方式，不同介电常数的介电材料的分层壳体的组合、加上圆顶形状、加上侧向移位并且加上围栏产生10GHz谐振的高增益多层介质谐振器天线，其具有如图10C所描绘的期望辐射图案、如图10D所描绘的7.3dB的已实现增益以及如图10E所描绘的期望回波损耗。在图10A和图10B所描绘的分析性建模实施方式中，围栏1050具有2.5cm的平面视图最大直径，并且最外体V(5)具有8mm的高度。在实施方式中，围栏/反射器1050的高度等于或大于多个介电材料体1004的总高度的0.2倍且等于或小于多个介电材料体1004的总高度的3倍、或者等于或小于多个介电材料体1004的总高度的0.8倍。

[0109] 如图10A所示，围栏1050具有以相对于接地结构1002成角度 $\alpha$ 、相对于z轴向外倾斜的侧壁，其用于在围栏1050的内边界内抑制信号谐振。在实施方式中，角度 $\alpha$ 等于或大于90度且等于或小于135度。然而，将理解，为了相同或类似的最终结果，可以采用围栏1050的侧壁的其他形状，例如从接地结构1002向上向外弯曲的抛物面侧壁。此外，围栏1050可以是实心围栏、穿孔围栏、网状围栏、间隔开的柱式围栏、通孔、导电墨围栏或适用于本文公开的目的的任何其他导电围栏结构。如图10A所示，围栏1050的高度为信号馈源1006的高度的约1.5倍，然而，取决于期望的辐射图案，围栏1050的高度可以更高或更低。在实施方式中，围栏1050的高度等于或大于信号馈源1006的高度且等于或小于信号馈源1006的高度的1.5

倍。在单位单元或单位/单个DRA的情况下,围栏的高度和角度与所采用的材料的介电常数(在本文中也称为Dk)一起限定天线纵横比。取决于期望的尺寸、带宽和增益规格,可以提供具有不同纵横比的天线。例如,可预期,相对高的围栏与所限定的围栏角度相结合会在相对宽的频率带宽上提供相对高的增益。可考虑围栏高度和围栏角度的其他组合,以提供其他有利的天线性能特性,鉴于本文所提供的所公开材料的教导可容易地对其进行分析性建模。

[0110] 在DRA 1000的实施方式中,例如参见图10C和图10D,通过在平面接地结构1002上采用分层体1004的移位壳体来实现平衡增益。可预期到,其他几何形状将提供相似的结果,例如被较小移位的与如虚线1003所描绘的非平面接地结构耦合的分层体1004,其将用于使场线(来自被较小移位的壳体)弯曲成关于z轴更为对称。本文描绘的实施方式的任何以及所有这样的变型被视为在本文公开的发明的范围内。

[0111] 图10F描绘了与DRA 1000相似但是被调谐用于1700MHz至2700MHz操作的DRA的回波损耗响应。

[0112] 关于以不同频率操作的不同DRA的高度,被配置成以约10GHz操作的DRA可以具有约5mm至8mm的高度,而配置成以约2GHz操作的DRA可以具有约25mm至35mm的高度。在实施方式中,在图10A中描绘的分析性模型具有约20mm的围栏底径,以产生图10C中描绘的辐射图案。

[0113] 现在参照图11A,其描绘了根据实施方式的采用与DRA 600相似的四个DRA 1100.1、1100.2、1100.3、1100.4(统称为DRA 1100)的示例2x2阵列1099,其沿图中11B描绘的辐射图案的z轴产生14.4dB的增益。在实施方式中,图11A中描绘的分析性模型具有约60mm×60mm的整体x尺寸和y尺寸,以产生图中11B中描绘的辐射图案。更具体地,每个DRA 1100具有被嵌入容器(例如介电材料具有在1和3之间的介电常数)内的多个介电材料体,并且其中,类似于以上参考DRA 600的描述,多个介电材料体相对于彼此居中布置并且在中心上相对于容器沿侧向方向移位。如上面结合DRA 1000所讨论的,每个DRA 1100具有围绕每个相应DRA 1100的导电围栏1150。图11A中描绘的分析性建模实施方式产生图11B所描绘的辐射图案,可以看出该辐射图案在z=0处或在约z=0处具有不对称的副瓣1160。这些不对称的副瓣1160归因于分析性模型具有围绕每个圆柱形DRA 1100(经由容器的圆柱形几何形状)的矩形围栏1150,并且预期到,可以通过采用相对于圆柱形DRA 1100具有更均匀对称性的围栏几何形状来实现副瓣1160的减少和所实现的增益的提高(图11B中为14.4dB)。

[0114] 根据前述,将理解,可以构造出具有包括本文描述的任何DRA或其与本文公开的实施方式一致的任何变型的任何数量的x×y阵列组件的其他阵列。例如,图11A中描绘的2x2阵列1099可以被扩展成具有多于128×128或更多的阵列元素、整体x尺寸和y尺寸大于约1英尺x1英尺(30.5cm x 30.5cm)或更大的阵列。任何阵列1099的总高度可以等于或大于1mm且等于或小于30mm。虽然本文所描绘的x、y阵列1099已经被描述成x等于y,但是将理解,也可预期到具有x不等于y的阵列结构并且该阵列结构被认为在本文所公开发明的范围内。因此,图11A是以非限制性方式而被呈现,以表示本文公开的具有与本文公开的目的一致的任何数量的x和y阵列元素的任何DRA元件的阵列1099。作为其他的示例,申请人已经分析性建模了本文公开的具有32cm×32cm的整体x尺寸和y尺寸的128×128的DRA阵列,其产生了约50dB的聚焦定向性增益。任何以及所有这样的组合被视为在本文所公开发明的范围内。

[0115] 现在参照图12A,图12A描绘了布置在导电接地结构1202上的多个介电材料体1204的示例性实施方式的艺术绘制,该实施方式与本文公开的介电材料体的其他实施方式类似。参照图12A,可以借助于被布置成彼此直接紧密接触的体中的相邻体来说明在多个介电材料体中的各个介电材料体之间的谐振耦合。例如,图12A的实施方式具有四个介电材料体V(1)至V(4)1204.1、1204.2、1204.3和1204.4。每个体内的虚线表示信号路径并且限定谐振。给定路径的电长度“主导性地”限定谐振频率。每个谐振频率均可以通过调整层厚度来精细调整。可以通过将限定 $\lambda/2$ 的基本谐振的相对靠近的电长度( $\sim d*\sqrt{\epsilon}$ )耦合来实现如本文所公开的多谐振系统。如本文所使用,数学运算符 $\sim$ 意指近似。可以通过从相对最低介电常数材料(相对较大的壳体厚度)到相对最高介电常数的材料(相对最小的壳体厚度)的强耦合电路径来实现如本文所公开的宽带响应。图12B和12C描绘了当解耦谐振被耦合时的带宽变化。本文公开的实施方式以下方式而基于耦合谐振的这一原理来操作:采用彼此直接紧密接触的多个介电材料体作为分层壳体,以在相关联DRA中产生用于微波和毫米波应用中的宽带性能的强耦合电路径。

[0116] 现在参照图13A-13F,其描绘了根据实施方式的DRA的另一版本。图13A至图13C描绘了DRA 1300或DRA 1300的一部分(图13C中),DRA 1300具有介电材料体的分层壳体1304和布置在接地结构1302下方的微带信号馈源(微带)1306,其中在微带1306和接地结构1302之间布置有介电基板1360。在图13A至图13C的实施方式中,多个介电材料体1304中的每个体具有半球形形状,其中,导电围栏1350围绕多个介电材料体1304被周向地布置,其中,围栏1350与接地结构1302电连接并且形成接地结构1302的一部分并且具有如上所述的与围栏1050结合的构造。在实施方式中,DRA 1300具有五个介电材料层1304,所述介电材料层具有相应的介电常数 $\epsilon_1=2$ 、 $\epsilon_2=9$ 、 $\epsilon_3=13$ 、 $\epsilon_4=14$ 和 $\epsilon_5=2$ 。然而,本发明的范围不限于五层,并且可以包括任何数量的层。在DRA 1300的实施方式中,多个介电材料体1304的五个体V(1)至V(5)1304.1-1304.5中的每一个相对于围栏1350的周界的中心居中布置。接地结构1302具有形成在其中的槽孔1362,其中,微带1306和槽孔1362的纵向尺寸如图13B的平面图所示被布置成彼此正交。在实施方式中,槽孔具有10毫米(mm)的长度和0.6mm的宽度,但取决于期望的性能特性可以具有不同的尺寸。在实施方式中,微带1306具有50欧姆的阻抗,并且基板1360具有0.1mm的厚度。DRA 1300在本文中也被称为孔耦合微带介质谐振器天线。在实施方式中,如本文所公开的,不同介电常数的介电材料分层壳体的组合、加上半球形形状、加上围栏产生图13D中描绘的辐射图案、如图13E中描绘的约7.3dB的实现的增益、如图13F所描绘的大于30%的带宽。预期到,通过针对不同的层选择不同的介电常数和厚度,带宽可以大得多。在实施方式中,接地结构1302具有多于一个的槽孔1362,其可以用于微带信号馈源1306并且可以用于将多个介电材料体1304与围栏1350对准。在一些实施方式中,可以利用波导例如表面集成波导来替换微带。

[0117] 图14A和图15A分别描绘了与DRA1300具有相似的结构的DRA 1400和DRA 1500,两者都具有微带信号馈源,但是相互比较并且与图13A的围栏1350比较而分别具有不同尺寸的围栏1450和围栏1550。三个DRA 1300、DRA 1400和DRA 1500之间的共同特征是均相同的多个介电材料体1304。在图14A描绘的实施方式中,围栏1450具有25.4mm的平面视图最大直径和4mm的高度,从而使得DRA 1400具有如图14B所描绘的5.5dB的实现增益。在图15A所描绘的实施方式中,围栏1550具有30mm的平面视图最大直径和6mm的高度,从而使得DRA 1500

具有如图15B所描绘的9.5dB的实现增益。通过将DRA 1300、DRA 1400和DRA 1500的相似构造(其中每个DRA具有相同的多个介电材料体但具有不同围栏尺寸)进行比较,将理解,可以通过调整围栏的尺寸来改变和调谐所实现的增益(和辐射图案),以产生期望的性能特性。可预期,带宽可以随增益增加而减小,如本文所述通过改变围栏几何形状而使增益增加。

[0118] 现在参照图16至图28,其用于说明DRA中的横向电场(TE)模式电路径与横向磁场(TM)模式几何路径之间的相互影响,以及DRA对称性在整体天线性能中所起的作用。

[0119] DRA具有根据TE模式和TM模式被分类和理解的辐射模式。替选地,可以根据基本TE-磁偶极子和TM-电偶极子来表示和分类辐射模式。非辐射模式可以用成对的偶极子来表示,而辐射模式可以用不成对的偶极子来表示。在各种模式中,基本辐射TE<sub>01</sub>和TM<sub>01</sub>模式对DRA整体性能起重要作用。天线带宽包括:阻抗(匹配)带宽,其在-10dB匹配下限定;以及辐射带宽,其可能相当不同并且通过针对期望模式考虑3dB增益带宽来限定。通常辐射带宽是匹配带宽的一部分。DRA层的对称性通过偏好或不偏好基本正交辐射TE模式和TM模式而在总体天线性能中起作用。

[0120] 基于对称辅助电路径的简化计算可以提供对预期DRA性能的深入了解。TE模式和TM模式由几何上不同的路径所偏好,该路径经由谐振器形状和对称性来增强或抑制,并且具有拓扑上非常不同的辐射图案。几何路径与电路径之间的差异越大,则TE辐射模式和TM辐射模式在频率上隔开越远,并且其优选方向上的增益的区别越显著。相反,几何路径之间的接近隐含频率的接近,并且使天线方向性较小并且降低TE和TM二者的辐射性能。

[0121] 圆柱形和矩形分层DRA倾向于使TE几何路径和电路径与TM几何路径和电路径之间接近,从而使得频率接近且得到可具有良好的匹配带宽但是在任一模式下都不能良好地辐射的DRA。通过使用半球形分层DRA设计,几何路径的区别变得更加显著,这隐含频率间隔开以及较少的TE和TM相互作用。辐射图案也变得在拓扑上区别更为显著,并且相关联的增益也较高,从而产生可能具有较小匹配带宽但具有改善的辐射带宽和增益的天线。

[0122] 本文公开的DRA设计的实施方式具有改善的TE模式辐射性能,而垂直路径(与TM模式相关)通过嵌入的低介电常数(Dk)材料或填充空气的椭球体而被基本上或全部抑制。以下更详细讨论的简化计算还为TE辐射带宽提供了约60%的上限。这个上限表明TE频率和TM频率之间可以实现的最大间隔。在本文提供的简化计算中,假定 $\epsilon_r=9$ 的最高相对介电常数。然而,可预期到,通过转向较高的Dk材料,辐射带宽将进一步改善。在实施方式中,腔的存在由于对TM模式产生较多影响(通过对称性考虑),会倾向于减小TE和TM频率距离。下面更详细讨论的半经验公式近似地预测了TE和TM增益与频率间隔或路径/对称因子 $\alpha$ 的关系。

[0123] 关于辐射图案,辐射不成对磁偶极子(TE模式)产生端射辐射图案,而辐射不成对电偶极子(TM模式)产生垂射辐射图案。

[0124] 现在参照图16,其描绘了布置在导电接地结构1602上的示例半球形DRA 1600的模型,以说明近场中的几何基本路径和电基本路径。中心垂直箭头1604表示TM辐射模式(电偶极子),其产生磁场1606和基本场路径1604(中心路径)以及靠近半球形DRA 1600的外区域的基本场路径1608,并且拱形箭头1610表示TE辐射模式(磁偶极子)及相关联的靠近半球形DRA 1600的外区域的基本场路径。可以通过以下方式来实现实施方式的优点:抑制TM模式并且放大TE模式,以使得可实现频率间隔并且因此将沿优选方向(端射)的增益区分开并增加辐射带宽。

[0125] 现在参照图17,其描绘了具有高度“a”和直径“2a”的示例圆柱形/矩形DRA 1700的模型。TE模式场线由附图标记1702、1704和1706(路径1)描绘,并且TM模式场线由附图标记1708、1710和1712(路径2)描绘。认识到,电路径限定 $\lambda/2$ 处的谐振(半波长谐振),出于本文所公开的目的,针对TE模式半波长谐振(路径1)和TM模式半波长谐振(路径2)的等式可以通过以下等式来限定( $\equiv$ ):

[0126] TE 半波长谐振  $\equiv 2a\sqrt{\epsilon_r} + \pi a\sqrt{\epsilon_{Air}}$ ; 以及 等式 1

[0127] TM 半波长谐振  $\equiv 3a\sqrt{\epsilon_r}$ . 等式 2

[0128] 假定对于DRA 1700而言 $\epsilon_r=9$ (以上针对简化而合理的计算所讨论的),会为等式1和等式2的两个路径提供了以下结果:

[0129] 路径1: $6a+\pi a = (6+\pi)a \approx \lambda_{TE}/2$ ; 以及 等式3

[0130] 路径2: $9a \approx \lambda_{TM}/2$ . 等式4

[0131] 取路径1与路径2之比产生以下结果:

[0132] 路径1/路径2 =  $(6+\pi)a/9a \approx 1.01$ . 等式5

[0133] 因此,圆柱形/矩形类型的DRA的TE模式和TM模式的电路径几乎相同,从而导致TE谐振和TM谐振彼此接近,使得如果TE模式谐振在10GHz,则TM模式谐振将非常接近10GHz。最终的结果是,这样的圆柱形/矩形DRA具有彼此挪用能量并产生不良增益的TE谐振和TM谐振。

[0134] 现在参照图18,其描绘了具有整体高度“R”和基底直径“2R”的示例半球形DRA 1800的模型。TE模式场线由附图标记1802(路径1)描绘,而TM模式场线由附图标记1804和1806(路径2)描绘。与上述类似地,出于本文所公开的目的,针对TE模式半波长谐振(路径1)和TM模式半波长谐振(路径2)的等式可以通过以下等式来限定:

[0135] TE 半波长谐振  $\equiv \pi R\sqrt{\epsilon_r}$ ; 以及 等式 6

[0136] TM 半波长谐振  $\equiv (R+\pi R/2)\sqrt{\epsilon_r}$ . 等式 7

[0137] 再假定对于DRA 1800而言 $\epsilon_r=9$ (以上针对简化而合理的计算所讨论的),针对等式6和等式7的两个路径提供了以下结果:

[0138] 路径1: $3\pi R \approx \lambda_{TE}/2$ ; 以及 等式8

[0139] 路径2: $3((2+\pi)/2)R \approx \lambda_{TM}/2$ . 等式9

[0140] 取路径1与路径2之比产生以下结果:

[0141] 路径1/路径2 =  $\pi R / ((2+\pi)/2)R \approx 1.22$ . 等式10

[0142] 在图18的实施方式中,如果TE谐振在10GHz处,则TM谐振将在近似12.2GHz处,这与图17的实施方式相比是的较好间隔,但仍有改进余地。

[0143] 现在参照图19,图19描绘了示例半球形DRA 1900的模型,其与图18的实施方式相似具有整体高度“R”和基底直径“2R”,但具有由空气或由低Dk材料形成的中心区域1902。TE模式场线由附图标记1904(路径1)描绘,并且TM模式场线由附图标记1906、1908和1910(路径2)描绘。与上述类似,出于本文所公开的目的,针对TE模式半波长谐振(路径1)和TM模式半波长谐振(路径2)的等式可以通过以下等式来限定:

[0144] TE 半波长谐振  $\equiv \pi R\sqrt{\epsilon_r}$ ; 以及 等式 11

[0145] TM 半波长谐振  $\equiv \left(\frac{\pi}{2}\right) \sqrt{\epsilon_{\text{Air}}} + \left(\frac{\pi}{2}\right) \sqrt{\epsilon_r} + \pi R / 2\sqrt{\epsilon_r}$ . 等式 12

[0146] 再假定对于DRA 1900而言 $\epsilon_r=9$ (以上针对简化而合理的计算所讨论的),针对等式11和等式12的两个路径提供了以下结果:

[0147] 路径1: $3\pi R \approx \lambda_{\text{TE}}/2$ ;以及 等式13

[0148] 路径2: $(1/2+3/2+(3/2)\pi)R \approx \lambda_{\text{TM}}/2$ . 等式14

[0149] 取路径1与路径2之比产生以下结果:

[0150] 路径1/路径2= $3\pi R / (((4+3\pi)/2)R) \approx 1.4$ . 等式15

[0151] 在图19的实施方式中,如果TE谐振在10GHz处,则TM谐振将在近似14GHz处,这与图17和图18的实施方式相比是较好的间隔,但仍有改进余地。

[0152] 现在参照图20,其描绘了示例半球形DRA 2000的模型,其与图18和图19的实施方式相似具有整体高度“R”和基底直径“2R”,但具有不仅由空气或由低Dk材料形成而且还形成为具有垂直定向(轴向定向)的椭圆体形状的中心区域2002。尽管在图20中(或者其他的一些后续附图中)未具体示出信号馈源,但是根据本文公开的所有内容将理解,在图20的实施方式下以本文公开的方式来采用信号馈源,以出于本文所公开的目的对DRA 2000进行电磁激励。TE模式场线由附图标记2004(路径1)描绘,TM模式场线由附图标记2006和2008(路径2)描绘。与上述类似,出于本文所公开的目的,针对TE模式半波长谐振(路径1)和TM模式半波长谐振(路径2)的等式可以通过以下等式来限定:

[0153] TE 半波长谐振  $\equiv \pi R \sqrt{\epsilon_r}$ ; 以及 等式 16

[0154] TM 半波长谐振  $\equiv R \sqrt{\epsilon_{\text{Air}}} + \pi R / 2\sqrt{\epsilon_r}$ . 等式 17

[0155] 再假定对于DRA 2000而言 $\epsilon_r=9$ (以上针对简化而合理的计算所讨论的),针对等式16和等式17的两个路径提供了以下结果:

[0156] 路径1: $3\pi R \approx \lambda_{\text{TE}}/2$ ;以及 等式18

[0157] 路径2: $(1+(3/2)\pi)R \approx \lambda_{\text{TM}}/2$ . 等式19

[0158] 取路径1与路径2之比产生以下结果:

[0159] 路径1/路径2= $3\pi R / (((2+3\pi)/2)R) \approx 1.65$  等式20

[0160] 在图20的实施方式中,如果TE谐振在10GHz处,则TM谐振将在近似16.5GHz处,这与图17、图18和图19的实施方式相比是非常好的间隔。

[0161] 从图17至图20的前述示例实施方式可以看出,在通过利用具有以下中心内部区域的半球形椭圆体分层DRA来基本上或完全抑制TM模式的中心路径时,能够实现大幅改善的频率间隔,该中心内部区域不仅由空气或低Dk材料形成,而且还被形成为具有垂直定向(轴向定向)的椭圆体形状或者具有适于本文所公开的目的的轴对称的用于有效地抑制该区域中的TM模式路径的任何其他形状。

[0162] 尽管图19和图20的实施方式描绘了具有与外区域不同且低于外区域的介电常数的内部区域1902、2002的两个分层DRA 1900、DRA 2000(本文中也通过附图标记1900、2000来指代),但是将理解,这仅仅是出于说明目的并且用于呈现简化的计算,并且本文公开的本发明的范围不是仅针对两层,而是包括与本文公开的公开内容和目的一致的等于或大于三层的任何数量的层。

[0163] TE和TM模式的频率接近度限定了远场区域中能量分布的拓扑性质。其直接的实际含义是在相对宽的角度上的“平滑”增益。相反，“不平稳的”天线增益会极大地影响数据传输的质量。可以通过被限定在天线能量所分布的空间内的闭合曲线来在拓扑上表征固有天线方向性性质和增益。TE辐射模式和TM辐射模式具有非常不同的拓扑结构，其可以通过同伦群来表示。纯TE模式可以通过一种类型的曲线来表示，通常与高增益相关联，并且可以是非常具有方向性的模式。纯TM模式可以用两种类型的曲线表示，并且通常不像TE模式那样具有方向性。远场能量分布的混合对称隐含TE模式和TM模式之间的相互作用，可以通过多于两种类型的曲线来表示，并且通常与低增益相关联。

[0164] 图21A和图21B分别描绘了针对纯TE辐射模式2110和纯TM辐射模式2120的远场3D增益截面和同伦群的艺术呈现。尽管被描绘为平坦的2D呈现，但是远场辐射图案是3D的。因此，2110和2120的相关联同伦群更正确地对应于3D中的闭环。更明确地，2110表示类球体形状的辐射图案和相关联的同伦群，而2120表示类环形形状的辐射图案和相关联的同伦群。可以看出，图21A和图21B的两种拓扑结构具有指示TE模式和TM模式具有隔开较远的频率的基本上不同的辐射图案。图21C描绘了将2110和2120的远场3D辐射图案的截面和同伦群进行组合以产生2130的辐射图案和同伦群的艺术呈现，这导致TE模式和TM模式处于紧密的频率接近度，并且天线比纯TE模式或纯TM模式天线的方向性更低。

[0165] 基本TE模式和基本TM模式的3D辐射图案包含可以通过同伦群进行分类的不同的拓扑空间。同伦群被限定在闭环族上。最简单的同伦群是由可收缩于一个点处的环的族组成的群，其仅具有一个元素，即单位元素。图22A和图22B分别描绘了闭环族的同伦群2110和2120的艺术呈现，且另外具有与每个群相关联的曲线族的艺术呈现。在图22A中，所有闭环均属于一个族。在纯TE辐射模式中，所有曲线2210可收缩(可缩拢、可缩合)在天线辐射能量分布内的单个点(由内椭圆和中心点表示)处，这是TE辐射模式的典型远场结构。在拓扑上，它们可以用仅具有一个元素即单位元素的同伦群来表示，所述同伦群也称为单元素同伦群。实际上，这意味着天线相关的增益和方向性可以被“改动”成非常高。在图22B中，描绘了两个曲线族，第一族2220和第二族2230，第一族2220具有类似于曲线2210的单点可收缩性，第二族2230不可收缩在单个点处，因为如图22B中所描绘的单个点2231不包含在天线辐射的能量分布内。这两类曲线产生具有以下两个元素的相关联的同伦群：单位元素(能够收缩在一个点处的曲线)；以及具有不能收缩在一个点处的曲线的其他的非平凡元素。实际上，这意味着，存在固有的困难，其不允许我们以我们想要的任何形状对天线增益和方向性进行“改动”。图22B描绘的能量分布是TM辐射模式的远场结构的典型。这里，相关联的增益也可以较高，但不像TE模式中那样高。

[0166] 图22C描绘了对同伦群2110和2120进行组合以产生同伦群2130的艺术呈现，其类似于图21C中描绘的同伦群但其上叠加有曲线族2210、2220、2230。图22C中描绘的另外的曲线族2240和2250是同伦群2120的垂侧辐射图案与同伦群2110的端射辐射图案之间相互作用的结果。结果是可以由具有许多元素(曲线的类)的同伦群表示的3D图案或拓扑空间。同伦群2130的混合对称性和许多元素与模式TE和TM模式的紧密频率接近度相关联。可以通过限定远场同伦群结构的可收缩曲线族在拓扑上描述远场辐射图案，其中，曲线族的数量(n)限定了相应同伦群的类别。对于例如由同伦群2110描绘的纯TE辐射模式，n等于1。对于例如由同伦群2120描绘的纯TM辐射模式，n等于2。对于例如由同伦群2130描绘的混合对称TE-TM

辐射模式, n大于2。如通过将同伦群2110、2120和2130相互比较可以看出, 随着类别数量n(曲线的族)增加, 天线变得方向性更低(更多场消除)。关于类别数量n, 天线的平均增益可以通过下式来近似:

[0167] 平均增益 $\approx 1/(n^\delta)$ ; 等式21

[0168] 其中, n限定类别数, 并且 $\delta>2$ , 其中,  $\delta$ 的实际值取决于天线结构和尺寸。

[0169] 基于本文公开的对称性考虑, 可以将TE模式增益和TM模式增益的经验公式限定为:

[0170] 增益 $_{TE,TM}\equiv 6dB-[5(0.6-\alpha)]dB$ ; 等式22

[0171] 其中,  $\alpha\equiv(f_{TM}-f_{TE})/f_{TE}$ ; 等式23

[0172] 并且其中,  $f_{TE}$ 是TE辐射模式的频率,  $f_{TM}$ 是TM辐射模式的频率。在上面的等式中,  $\alpha$ 是频差百分比, 其表示针对TE辐射模式和TM辐射模式分别激发的电路路径之间的差异、取决于辐射结构的对称性并且满足以下关系:

[0173]  $0=\alpha=0.6$  等式24

[0174] 如参考图20和上文对其的相关描述所述, 变量 $\alpha$ 还将辐射带宽的上限限定为60%, 特别地等式20示出更接近65%。

[0175] 认识到等式22是经验导出的公式, 应注意的是, 值“6dB”与天线的接地结构的尺寸相关并由其确定, 值“0.6”与上文讨论的60%的最大带宽相关, 并且值“5”用于在 $\alpha=0$ 时强制产生3dB增益。如通过等式22可以看出, 在 $\alpha=0$ 处, 天线增益在所有方向上近似为3dB, TE频率、TM频率重合, 并且无任何辐射方向是主导性的。在 $\alpha=0.6$ 处, TE频率和TM频率隔开较远并且二者分别具有高增益。

[0176] 使用等式21和22, 可将TE模式增益和TM模式增益的替选经验公式限定为:

[0177] 增益 $_{TE,TM}\equiv 6dB-[5(0.6-0.6/n^\delta)]dB=6dB-[3(1-1/n^\delta)]dB$ . 等式25

[0178] 如上所述, 在等式25中,  $n=1$ 表示纯TE辐射模式,  $n=2$ 表示纯TM辐射模式, 并且 $n>2$ 表示TE、TM混合辐射模式。

[0179] 再参照图19和相关等式, 针对两个同心半球层的特殊情况的更一般公式可以得出如下:

[0180] TE 半波长谐振 (路径 1)  $\equiv \pi R \sqrt{\epsilon_1}$ ; 以及 等式 26

TM 半波长谐振 (路径 2)  $\equiv$

[0181]  $\beta R \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) R \sqrt{\epsilon_1} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_1}$ . 等式 27

[0182] 其中:

[0183] R在上文被限定;

[0184]  $\epsilon_1$ 表示外层的高Dk材料;

[0185]  $\epsilon_2$ 表示内层的低Dk材料; 以及

[0186]  $\beta$ 是参数, 其中,  $0=\beta=1$ .

[0187]  $\beta=0$ 的情况表示与图18相似的实心半球, 并且 $\beta=1$ 的情况表示与图19相似的半球形分层DRA。

[0188] 路径1与路径2之比产生以下结果:

路径1/ 路径2 =

$$[0189] \quad \frac{\pi R \sqrt{\epsilon_1}}{[\beta R \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) R \sqrt{\epsilon_1} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_1}]} = \text{等式 28}$$

$$\frac{\pi \sqrt{\epsilon_1}}{[\beta \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) \sqrt{\epsilon_1} + \pi / 2 \sqrt{\epsilon_1}]} \text{。} \quad \text{等式 29}$$

[0190] 从等式29可以看出,针对该特殊情况,(路径1/路径2)的比率与DRA的半径R无关。

[0191] 对于 $\beta=0$ 的情况;

$$[0192] \quad \text{路径 1/路径 2} = \left[ \frac{2\pi}{2+\pi} \right]. \quad \text{等式 30}$$

[0193] 对于 $\beta = \frac{1}{2}$ 的情况;

$$[0194] \quad \text{路径 1/路径 2} = \left[ \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_1}}{\sqrt{\epsilon_2} + (\pi+1)\sqrt{\epsilon_1}} \right]. \quad \text{等式 31}$$

[0195] 对于 $\beta=1$ 的情况(公开的实施方式类型);

$$[0196] \quad \text{路径 1/路径 2} = \left[ \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_1}}{2\sqrt{\epsilon_2} + \pi\sqrt{\epsilon_1}} \right]. \quad \text{等式 32}$$

[0197] 关于两个介电材料同心半球层的该特殊情况的TE和TM模式的频率间隔,也可以就路径而言将频率间隔百分比写成:

$$\frac{f_{TM} - f_{TE}}{f_{TE}} = \frac{\Delta f}{f_{TE}} = \text{等式 33}$$

$$[0198] \quad \frac{\frac{c}{\lambda_{TM}} - \frac{c}{\lambda_{TE}}}{\frac{c}{\lambda_{TE}}} = \frac{\frac{1}{\lambda_{TM}} - \frac{1}{\lambda_{TE}}}{\frac{1}{\lambda_{TE}}} = \text{等式 34}$$

$$\frac{\frac{\lambda_{TE} - \lambda_{TM}}{\lambda_{TM}\lambda_{TE}}}{\frac{1}{\lambda_{TE}}} = \frac{\lambda_{TE} - \lambda_{TM}}{\lambda_{TM}} = \text{等式 35}$$

(路径 1 - 路径 2) /路径 2 =

等式 36

$$\frac{\pi R \sqrt{\varepsilon_1} - (\beta R \sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2} \sqrt{\varepsilon_1})}{\beta R \sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2} \sqrt{\varepsilon_1}} =$$

等式 37

$$\frac{\pi R \sqrt{\varepsilon_1} - \beta R \sqrt{\varepsilon_2} - (1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1} - \frac{\pi R}{2} \sqrt{\varepsilon_1}}{\beta R \sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2} \sqrt{\varepsilon_1}} =$$

等式 38

[0199]  $\frac{\pi R \sqrt{\varepsilon_1} - 2\beta R \sqrt{\varepsilon_2} - 2(1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1}}{2\beta R \sqrt{\varepsilon_2} + 2(1-\beta) R \sqrt{\varepsilon_1} + \pi R \sqrt{\varepsilon_1}} =$

等式 39

$$\frac{[\pi - 2(1-\beta)] \sqrt{\varepsilon_1} - 2\beta \sqrt{\varepsilon_2}}{[\pi + 2(1-\beta)] \sqrt{\varepsilon_1} + 2\beta \sqrt{\varepsilon_2}} =$$

等式 40

$$= \begin{cases} 22 \% \text{ 对于 } \beta = 0, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 \\ 40 \% \text{ 对于 } \beta = \frac{1}{2}, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 \\ 65 \% \text{ 对于 } \beta = 1, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 \\ (\beta = 1, \text{ 所公开的实施方式类型}) \end{cases}$$

等式 41

[0200] 对于具有本文公开的结构的实施方式, 将针对 $\beta=1$ 的等式41与等式20比较示出了TE模式和TM模式的65%频率间隔的一致性。

[0201] 现在参照图23A和图23B, 其分别比较了针对图17和图20中描绘的实施方式的TE模式场线和TM模式场线, 图17和图20与图13A、图14A和图15A所描绘的相似, 但是具有围栏接地结构。在图23A中, DRA 1700 (参见例如图17) 位于导电接地结构2310上, 其中, 导电侧围栏2320电连接到接地结构2310并且围绕DRA 1700。如图23A所描绘, 围栏2320的存在和接近使得TE模式场线和TM模式场线变形, 并且还可以引入对DRA 1700的性能产生负面影响的其他路径和辐射模式。除了TE模式场线1702、1704和1706 (例如也参见图17) 之外, 围栏2320引入TE模式场线2330和2340。并且, 除TM模式场线1708、1710和1712 (例如也参见图17) 之外, 围栏2320引入TM模式场线2350和2360。相比之下, 参见图23B, 其中, DRA 2000 (例如参见图20) 位于导电接地结构2370上, 其中, 导电侧围栏2380电连接到接地结构2370并且围绕DRA 2000, 但是可以看到, 围栏2380的存在和接近不会使TE模式场线2004和TM模式场线2006、2008 (例如也参见图20) 变形或者并未引入其他路径。在具有接地结构2370和围栏2380的DRA 2000的情况下, TE辐射模式变成DRA腔辐射模式, 腔2390是围栏2380内的区域, 其中, 腔2390可以极大地改善辐射图案和DRA增益, 特别是在腔2390的对称性与DRA 2000的对称性紧密匹配的情况下尤其如此。

[0202] 现在参照图24A和图24B。图24A描绘了堆叠圆柱形DRA 2402的模型2400, DRA 2402

位于接地结构2404上,具有偏移馈线2406。如图24A所示,描绘了三个介电层2408.1、2408.2、2408.3,其具有相应的介电常数 $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$ 、相应的损耗正切值 $\tan(\delta\epsilon_1)$ 、 $\tan(\delta\epsilon_2)$ 、 $\tan(\delta\epsilon_3)$ 以及相应的高度尺寸H1、H2、H3。还在图24A中示出堆叠DRA 2402的直径,接地结构2404的尺寸以及馈线2406的相关尺寸。24B描绘了根据实施方式的三层半球形DRA 2452的模型2450。类似于图24A,DRA 2452位于接地结构2454上且具有偏移馈线2456。三个介电层2458.1、2458.2、2458.3相对于彼此被轴向偏移(侧向移位),其与图10A中所示的DRA 1004相似但是仅具有三个层,而不是如图10A中所示的五个层。介电层2458.1、2458.2、2458.3、接地结构2454和馈线2456的其他材料和结构特性类似于或至少在模型上相当于参照图24A的模型2400所示的介电层、接地结构、馈线的材料和结构特性。

[0203] 在图25中描绘了针对模型2400和模型2450两者的所产生的TE辐射模式和TM辐射模式,并且在图26A和图26B中描绘了针对模型2400和模型2450的相关联的辐射图案。图25示出了与具有DRA 2402且产生仅约3.1dB的增益的混合对称模型2400(如由标记m8标识并且在所示出的表格中标注的)相比,具有DRA 2452的模型2450在TE辐射模式和TM辐射模式之间具有较好的频率间隔以及约7.2dB的增益(如由标记m5标识并且在所示出的表格中标注的)。图26A(x平面分布)和图26B(y平面分布)示出,具有DRA 2452的模型2450的方向性显著高于(如分别由标记m1和m2所标识并且在示出的表格中标注的大约6.5倍至3倍于)具有DRA2402的模型2400。

[0204] 图27A和图27B通过具有DRA 2452的模型2450在如图24B所描绘不具有围栏形成的腔的情况下以及在如图23B所描绘的具有围栏形成的腔2390的情况下描绘了本文所公开的实施方式的S(1,1)回波损耗和增益。图27A和27B(与图27A相比,在峰值处具有较高的分辨率)示出:具有DRA 2452的模型2450的增益在存在围栏2380的情况下提高至约10.1倍至7.2倍(分别由标记m8和m5所标识并且在图27B的示出的表格中标注的)。

[0205] 相比之下,图28描绘了在具有如图23A所描绘的围栏形成的腔2365的情况下如图24中描绘的具有DRA 2402的模型2400的S(1,1)回波损耗和增益。图28示出:在围栏2320的存在的情况下具有DRA 2402的模型2400的所得增益具有多个辐射模式2901、2902、2903、2904(参照图23A最佳地看到),从而导致场不完美性得以增强。

[0206] 鉴于前述内容特别是参照结合其他附图和相关描述的图16至图28,本文提供的本公开内容的实施方式包括具有多个介电材料体的介质谐振器天线,其中,多个体中的每个体是半球形或圆顶形。在实施方式中,多个介电材料体中的每个体相对于彼此在轴向上居中。在另外的实施方式中,多个介电材料体中的每个体在中心上相对于彼此沿相同的侧向方向移位。在实施方式中,第一体V(1)具有垂直定向的椭圆体形状。在实施方式中,第一体V(1)的垂直定向的椭圆体形状相对于多个体的中心z轴被轴向取向。在实施方式中,第一体V(1)具有等于空气的介电常数的介电常数。在实施方式中,在多个介电材料体的周缘处的周缘几何路径(例如参见图20中的2008)具有支持周缘几何路径中的TM辐射模式的介电常数,并且在多个介电材料体内的中心几何路径(例如参见图20中的2006)具有抑制中心几何路径中的TM辐射模式的介电常数。在实施方式中,中心几何路径中的TM辐射模式被完全抑制。在实施方式中,多个介电材料体具有由TE半波长谐振限定的第一路径长度的第一电路路径,并且具有由TM半波长谐振限定的第二路径长度的第二几何路径,第一路径长度与第二路径长度之比等于或大于1.6。虽然上文特别参照图16至图28描述的前述实施方式已经被个别

地描述,但是将理解,其他实施方式包括本文描述的与本文的公开内容一致的特征的任何以及所有组合。

[0207] 现在参照图29,其描绘了DRA 2900,DRA 2900与图20(不存在围栏/反射器)和图23B(具有围栏/反射器)中所描绘的DRA 2000相似具有圆顶形顶部但是具有示出的信号馈源2906。DRA 2900具有多个介电材料体2904,所述多个介电材料体2904包括第一体2904.1、第二体2904.2和第三体2904.3,每个体具有圆顶形顶部。然而,将理解,DRA 2900可以具有适于本文公开的目的的任何数量的介电材料体。在实施方式中,DRA 2900具有围绕多个介电材料体2904的导电围栏2950,导电围栏2950与接地结构2902电连接并形成接地结构2902的一部分。DRA 2900还包括布置在多个介电材料体2904内的辅助材料体V(A) 2960,体V(A) 2960被布置成与信号馈源2906径向相对并且被嵌入或至少部分地嵌入多个介电材料体2904中信号馈源2906被布置在其中或者与其信号通信的同一体V(i) 2904.2中,体V(A) 2960与其所嵌入的体V(i) 2904.2相比具有较小体,体V(A) 2960具有与其所嵌入的体V(i) 2904.2的介电常数不同的介电常数。体V(A) 2960结合DRA 2900的其他特征用于影响远场辐射图案,使得所得远场辐射图案及相关联的增益以对称的方式成形。在图29描绘的实施方式中,体V(i)是第二体V(2) 2904.2。在实施方式中,体V(A) 2960完全100%地被嵌入其所嵌入的体V(2) 2904.2中。在实施方式中,体V(A) 2960被布置在接地结构2902上。在实施方式中,体V(A) 2960具有等于或大于多个介电材料体2904的高度的十分之一且等于或小于多个介电材料体2904的高度的三分之一的高度。在实施方式中,体V(A) 2960具有圆柱形,圆顶形或弯曲结构的形状,但也可以是适于本文公开的目的的任何形状。在实施方式中,体V(A) 2960是金属结构。在另一实施方式中,体V(A) 2960是空气。为了影响远场辐射图案的对称性,体V(A) 2960具有大于其所嵌入的体V(i)的介电常数的介电常数,体V(i)在图29中是体V(2)。

[0208] 现在参照30A和图30B,其描绘了DRA 3000,DRA 3000与图13A中描绘的DRA 1300相似具有多个介电材料体3004以及与接地结构3002电连接并形成接地结构3002的一部分的导电围栏3050,但是具有替选地成形且布置的体3004.1、3004.2、3004.3和3004.4,并且围栏3050具有提供至少一个对准特征3070的不均匀的内部形状3057,所述对准特征3070在图30A和30B中被描绘成具有两个对准特征3070.1和3070.2。如所描绘的,多个介电材料体3004或者在实施方式中的外体3004.4具有其与围栏3050的不均匀内部形状3057和至少一个对准特征3070互补的互补外部形状3007,使得围栏3050和多个介电材料体3004经由至少一个对准特征3070和互补形状3007、3057而相对于彼此具有限定且固定的对准。通过在围栏3050和多个介电材料体3004之间提供互补的对准特征,DRA 3000的阵列将会彼此更好地对准,从而使得远场辐射图案的对称性和增益得以改善。在实施方式中,DRA 3000具有垂直突出部(结构特征)3099.1、3099.2、3099.3,该垂直突出部作为接地结构3002的一部分并从接地结构3002升起进入外层3004.3、3004.4中的一个或更多个中,用于机械稳定性。

[0209] 现在参照图31,其描绘了DRA 3100,DRA 3100与图29中所示的DRA 2900相似但是例如不具有诸如图29中所描绘的体V(A) 2960的辅助介电材料体V(A)。DRA 3100被描绘成具有包括第一体3104.1、第二体3104.2和第三体3104.3的多个介电材料体3104。如所描绘的,第一体V(1) 3104.1具有下部3109.1和上部3109.2,其中,下部3109.1具有比上部3109.2的截面3109.4宽的截面3109.3。与本文描绘和描述的其他DRA相似,第一体V(1) 3104.1的上部3109.2具有垂直取向的至少部分椭圆体形状,并且下部3109.1具有锥形形状,该锥形形状

在下部3109.1和上部3109.2之间的分界线处从至少部分椭圆体形状由窄至宽地转变到接地结构3102。在实施方式中,锥形形状或漏斗形状的高度等于或大于体V(1)3104.1的高度的十分之一且等于或小于体V(1)3104.1的高度的二分之一。尽管在本文中提及锥形或漏斗形下部3109.1,但是将理解,下部3109.1可以具有适于本文公开的目的的任何形状,只要其具有比上部3109.2宽的截面即可。在实施方式中,导电围栏3150围绕多个介电材料体3104并且与接地结构3102电连接并且形成接地结构3102的一部分。已经发现,通过将第一体V(1)3104.1的下部3109.1成形为比上部3109.2宽,第一体V(1)3104.1进一步抑制了第一体V(1)3104.1的中心几何路径中的寄生TM辐射模式的源而不影响DRA 3100的TE模式路径。

[0210] 现在参照图32至图34,其共同用于说明本文公开的DRA的族的优点。通过将DRA部件的尺寸按比例缩小,相关联的天线谐振的中心频率以相同缩放因子按比例增大。为了提供这样的缩放的示例,类似于与图30A和图30B中描绘的DRA 3000的DRA被分析性建模。图32、图32A、图33、图33A、图34和图34A分别以正视图(俯视图)和平面图(仰视图)二者描绘了DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400并且描绘了回波损耗S(1,1)的曲线图,该曲线图显示所得10dB带宽百分比。可以看出,每个DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400具有相同的整体结构(这将参照在图32中所描绘的的DRA 3200进行描述)但是具有不同的尺寸(这将参照图32、图33和图34统一进行讨论)。

[0211] 如图32所描绘,DRA 3200具有多个介电材料体3204,其中,第一体V(1)3204.1被嵌入第二体V(2)3204.2和第三体V(3)3204.3内,并且第三体V(3)3204.3嵌入有体V(1)3204.1和体V(2)3204.2。图32的正视图描绘了多个介电材料体3204中的每个体具有圆顶形顶部。图32的平面图描绘了每个体V(1)3204.1和V(2)3204.2具有椭圆形截面,其中,体V(2)3204.2相对于体V(1)3204.1被侧向移位。图32的平面图还描绘了体V(3)3204.3具有圆形截面,其中,体V(1)3204.1、体V(2)3204.2和体V(3)3204.3均不共享相同的中心z轴。多个介电材料体3204被布置在接地结构3202上,并且被导电围栏3250包围,导电围栏3250与接地结构3202电连接并且形成接地结构3202的一部分。正视图描绘了围栏3250具有成角度的侧壁,并且平面图描绘了围栏3250具有模仿体V(3)3204.3的圆形截面的圆形周边。信号馈源3206穿过接地结构3202中的电隔离通孔3208并且朝向第二体V(2)3204.2的侧边缘而被嵌入第二体V(2)3204.2内。在关于图32描绘和建模的实施方式中,DRA 3200具有从接地结构3202的底部到多个介电材料3204的顶部的15mm的整体高度,并且被布置在具有20mm×20mm的x尺寸和y尺寸的平面图覆盖区的接地结构3202上,其中,多个介电材料体3204和围栏3250占据20mm×20mm覆盖区的大部分。图33和34所描绘的DRA 3300和DRA 3400分别具有与图32中所描绘的DRA 3200相同的分析性建模构造,只是具有不同的缩放尺寸。因此,分别对图33和34中描绘的DRA 3300和DRA 3400的实施方式进行详细(重复)描述对于本文公开的主题的完全理解而言是不必要的。

[0212] 在参照图33描绘和建模的实施方式中,DRA 3300具有从接地结构的底部到多个介电材料的顶部为2.5mm的整体高度,并且被布置在具有3.36mm×3.36mm的x尺寸和y尺寸的平面图覆盖区的接地结构上,其表示与DRA 3200相比DRA 3300的尺寸减小至1/6。

[0213] 在参照图34描绘和建模的实施方式中,DRA 3400具有从接地结构的底部到多个介电材料的顶部为1.67mm的总高度,并且被布置在具有2.24mm×2.24mm的x尺寸和y尺寸的平面图覆盖区的接地结构上,其表示与DRA 3200相比DRA 3400的尺寸缩小至9/1。

[0214] 通过比较在图32A、图33A和图34A中针对三个经缩放的DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400描绘的回波损耗S(1,1)的三个曲线图可以看出,DRA 3200的中心频率为10GHz,DRA 3300的中心频率为60GHz(相对应DRA 3200,整体尺寸减小至1/6而中心频率增大至6倍),而DRA 3400的中心频率为90GHz(相对于DRA 3200,整体尺寸减小至1/9而中心频率增大至9倍)。根据前述将理解,对本文公开的DRA的尺寸的按比例缩小将产生经缩放的DRA的中心频率谐振以相同的比例因子按比例增大的有利结果,反之亦然。

[0215] 通过比较图32A、图33A和图34A中针对三个经缩放的DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400描绘的回波损耗S(1,1)的三个曲线图可以看出,根据以下公式限定的无量纲10dB百分比带宽对于所有三个DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400是一致的并且在这种情况下为 $44\% : 2(f_1-f_2) / (f_1+f_2)$ ,其中 $f_1$ 限定相关联10dB回波损耗的下端频率,并且 $f_2$ 限定相关联10dB回波损耗的上端频率,这表明在本文公开的DRA的无量纲百分比带宽为尺寸不变量。

[0216] 通过进一步比较图32A、图33A和图34A中针对三个经缩放的DRA 3200、DRA 3300和DRA 3400描绘的回波损耗S(1,1)的三个曲线图,DRA回波损耗的总体分布曲线也是基本上尺寸不变的,这提供了可以基于具有初始中心频率的基于缩放天线预测任何缩放天线的天线性能,因为经按比例放大或缩小的天线将具有与初始缩放天线相同或基本相同的电磁性能。申请人预期到,这种有利的结果对于本文公开的具有等于或大于95%的效率的基本无损DRA是成立的。

[0217] 现在参照图35至图38,其描绘了与上文所述的DRA结构的替选DRA结构。图35描绘了与图30描绘的DRA 3000相似的DRA 3500的平面图,图36描绘了与图29中描绘的DRA 2900相似但是不具有辅助体V(A) 2960的DRA 3600的平面图,其中DRA 3500、DRA 3600二者均具有现在将描述的其他差异。

[0218] 每个DRA 3500、DRA 3600具有设置在接地结构3502、3602上的多个介电材料体3504、3604,多个介电材料体3504、3604具有N个体(N是等于或大于3的整数),所述N个体被布置以形成连续且顺序的分层体V(i),i是从1到N的整数,其中,体V(1)形成最内第一体,其中,后续体V(i+1)形成布置在体V(i)上并且至少部分地内嵌体V(i)的分层壳体,其中,体V(N)至少部分地内嵌所有的体V(1)至体V(N-1)。在图35和图36中描绘的实施方式中,N等于3,其分别提供第一体3504.1、3604.1、第二体3504.2、3604.2和第三体3504.3、3604.3,每个体具有圆顶形顶部(参照图29和图30中描绘的正视图最佳地看出)。导电围栏3550、3650围绕多个介电材料体3504、3604并且与接地结构3502、3602电连接并形成接地结构3502、3602的一部分。信号馈源3506、3606电磁耦合到多个介电材料体3504、3604中的一个或更多个,并且在该实例中特别电磁耦合到第二体V(2) 3504.2、3604.2。信号馈源3506、3606与接地结构3502、3602非电接触地布置在接地结构3502、3602的开口3508、3608内,并且被布置在多个介电材料体3504、3604中的信号馈源3506、3606被电磁耦合至并且在该实例中被嵌入其内的一个介电材料体体内。

[0219] 与本文中所公开的其他DRA一样,实施方式包括以下布置:多个介电材料体3504、3604的直接相邻体具有不同介电常数值,其范围从体V(1)处的第一相对最小值到V(2)至V(N-1)中之一处的相对最大值并且在体V(N)处回到第二相对最小值,其中N>3(例如参见DRA 3500,其具有内嵌第三体3504.3的第四体3504.4)。替选地,多个介电材料体3504、3604的直接相邻体具有不同的介电常数值,其范围从体V(1)处的第一相对最小值到V((N+1)/2)处的

相对最大值并且在V(N)处回到第二相对最小值,其中N是奇整数。在实施方式中,第一相对最小值等于第二相对最小值。在N=3的示例实施方式(例如图36中所描绘的DRA 3600)中,第一体V(1)具有比第二体V(2)低的介电常数,并且第二体V(2)具有比第三体V(3)高的介电常数。适于本文公开的目的的示例介电常数值包括本文先前描述的任何值或适于本文公开的目的的任何其他值。

[0220] 如参照图35和图36的两个平面图可以看出,每个相应的第三体V(3) 3504.3、3604.3具有圆形截面,DRA 3500的第一体V(1) 3504.1和第二体V(2) 3504.2具有相对于彼此并相对于第三体V(3) 3504.3的中心被侧向移位的椭圆形截面,DRA 3600的第一体V(1) 3604.1具有圆形截面,并且DRA 3600的第二体V(2) 3604.2具有截断圆形截面,该截断圆形截面具有小于其总体长度L36的总体宽度W36。

[0221] 分别与DRA 3000和DRA 2900相比,DRA 3500和DRA 3600之间的显著差异在于内体V(1) 3504.1、3604.1和V(2) 3504.2、3604.2的介电材料中存在狭槽。更具体地说,取向成容纳z轴并被布置成与信号馈源3506、3606在一条线中的中心平整狭槽3580、3680贯穿内体的相对较高介电材料(特别是相对于体V(2))引入相对较低介电材料的平整体。除了上述截面轮廓和上述显著差异外,DRA 3500和DRA 3600的其他结构特征基本相同。

[0222] 通过比较图35和图36的平面图可以看出,DRA 3500、3600二者都具有被介电材料体V(3) 3504.3、3604.3的一部分完全分叉开的内部体V(1) 3504.1、3604.1和V(2) 3504.2、3604.2。如所描绘的那样,中心平整狭槽3580、3680以相应的长度L35、L36延伸穿过相应的第一体V(1) 3504.1、3604.1和第二体V(2) 3504.2、3604.2的整个截面。被分叉开的内体V(1) 3504.1、3604.1和V(2) 3504.2、3604.2形成作为彼此互成镜像的相应第一子体3514、3614和第二子体3524、3624。在更一般的意义上,实施方式包括DRA,其中将体V(1) 至体V(N-1) 分叉开的体V(N)的一部分形成体V(1) 至体V(N-1) 的作为彼此的镜像的第一子体和第二子体。在实施方式中,将体V(1) 至体V(N-1) 分叉开的体(N)的一部分以穿过信号馈源3506、3606并且包含多个介电材料体3504、3604中的每一个的中心垂直z轴的方式被布置,这用于提供第一子体和第二子体的上述镜像对称性。

[0223] 预期到,以所公开的方式贯穿内部体引入相对低介电材料的狭槽的(即,用包含z轴且穿过信号馈源的相对较低介电材料的平整体将相对高介电材料的内部体(一个或更多个)分叉开)的结果,将使与沿AB几何路径的有效介电常数相比,沿CD几何路径的有效介电常数减小。

[0224] 通过将沿CD几何路径的有效介电常数调整为小于沿AB几何路径的有效介电常数——E场线的主路径将沿偏好的AB路径,所得DRA将提供沿AB路径的偏好的TE模式辐射并且将提供对沿不偏好的CD路径的不期望的寄生TE模式辐射的抑制而不影响基本TE模式,用于E场线的非期望次要CD路径将沿与偏好的主AB路径正交的方向。

[0225] 图36还描绘了DRA 3600,DRA 3600的第二体V(2) 3604.2具有截断圆形截面,所述截断圆形截面具有宽度W36和长度L36,其中W36<L36,并且DRA 3600的第一体V(1) 3604.1具有基本上嵌入第二体V(2) 内的圆形截面,但是被布置成与宽度W36相切。结果,由于CD路径中相对于AB路径具有更少量的更高介电常数材料,沿CD几何路径的有效介电常数相对于AB几何路径进一步减小,这进一步增强了对沿不偏好的CD路径的非期望寄生TE模式辐射的抑制而不影响沿有偏好的AB几何路径的基本TE模式辐射。

[0226] 由于CD路径可以支持不同的谐振模式,所以可以将它们分成两组:1)“不期望的”TE模式;以及2)其他寄生谐振模式。通过经由沿AB路径方向引入狭槽使AB路径和CD路径之间形成明显的对比,可预期到,可以沿AB路径方向“引导”TE模式的全部或大量的能量,其限定了期望TE模式中的非常精确的辐射偏振。狭槽不旨在切断沿AB路径方向的任何E场线。此外,狭槽趋于抑制可能被CD路径支持的任何其他“真实”寄生谐振模式。这里利用“真实”寄生谐振,意指具有与TE不同的场配置的任何其他模式。值得注意的是,寄生谐振模式的初步去除经由之前描述的居中布置的圆顶形空气体来实现,其用于抑制不期望的TM模式(参见例如图20和上文的相关描述)。虽然狭槽和/或其他CD路径修改可能仅对TM模式具有次要的(二阶)效应,但是所述狭槽旨在进一步去除其他不期望的谐振效应或其他不期望的谐振模式。

[0227] 图35的DRA 3500中描绘的另外的特征是:围栏3550具有提供至少一个对准特征3570的不均匀内部形状3557;多个介电材料体3504或者在实施方式中的外部体3504.4具有互补外部形状3507,所述互补外部形状3507与围栏3550的非均匀内部形状3557和至少一个对准特征3570互补,使得围栏3550和多个介电材料体3504具有经由至少一个对准特征3570和互补形状3507、3557而相对于彼此具有限定和固定的对准。通过向DRA 3500提供围栏3550与多个介电材料体3504之间的互补对准特征,DRA 3500的阵列将更好地彼此对准,从而产生远场辐射图案的改善的对称性和增益。DRA 3500中描绘的另外的特征是垂直突出部3599.1、3599.2、3599.3,该垂直突出部从接地结构3502升起进入外层3504.3、3504.4中的一个或更多个,或者替选地从一个或更多个外层3504.3、3504.4的材料向下延伸进入接地结构的孔中,以获得机械稳定性。尽管仅在图35的DRA 3500中描绘了这样的附加特征,但是将理解,本文公开的任何DRA可以具有类似的这样的附加特征。任何以及所有这样的组合在本文中被预期到并被视为在本文所公开发明的范围内。

[0228] 现在参照图37和图38,其分别描绘了DRA 3700和DRA 3800,DRA 3700和DRA 3800相对于图36中描绘的DRA 3600在狭槽形成上具有变化。在图37和图38二者中,DRA 3700和DRA 3800具有与图36中描绘的多个介电材料体3604相似但具有显著差异的多个介电材料体3704、3804的相似布置。在图37所描绘的DRA 3700中,体V(3) 3704.3材料的中心平整狭槽3780仅部分地延伸穿过下面的体V(2) 3704.2和V(1) 3704.1,如由体V(2) 3704.2的接近信号馈源3706的残余材料3790所证明的。并且,在图38描绘的DRA 3800中,将下面的体V(1) 3804.1和V(2) 3804.2材料完全分段的体V(3) 3804.3材料的平行平整狭槽3881和平整狭槽3882位于中心平整狭槽3880的两侧。结果,由于CD路径中相对于AB路径具有较少量的较高介电常数材料,沿CD几何路径的有效介电常数相对于AB几何路径进一步减小,这进一步增强了对沿不偏好的CD路径的不期望的寄生TE模式辐射和其他“真实寄生”谐振模式的抑制,而不影响沿偏好的AB几何路径的基本TE模式辐射。值得注意的是,有时沿CD路径的TE模式线可能是期望的,因为它们增加了另一偏振度。然而,在这里,目的在于抑制它们并且更准确地将沿CD路径的TE模式线称为“不期望的”而非“寄生”。

[0229] 根据前述将理解,本文公开的实施方式包括以下内容:DRA 3500,其中,体V(N) 3504.3的介电材料的一部分3580将体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2的至少一部分分叉开;DRA 3600,其中,将体V(1) 3604.1到体V(N-1) 3604.2分叉开的体V(N) 3604.3的介电材料的一部分3680以长度L36将所有体V(1) 3604.1至体V(N-1) 3604.2的整个截面分叉开;DRA

3500, 其中, 信号馈源3506与接地结构3502非电接触地被布置在接地结构3502的开口3508内, 并且被布置在多个介电材料体3504中的导电信号馈源3506电磁耦合至的一个介电材料体内; DRA 3500, 其中, 信号馈源3506电磁耦合至体V(2) 3504.2; DRA 3500, 其中, 将体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2分叉开的体V(N) 3504.3的一部分形成体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2的第一子体3514和第二子体3524, 第一子体3514和第二子体3524是彼此的镜像; DRA 3500, 其中, 将体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2分叉开的体V(N) 3504.3的一部分以穿过信号馈源3506并且包含多个介电材料体3504中的每一个的中心垂直z轴的方式被布置; DRA 3500, 其中, 将体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2分叉开的体V(N) 3504.3的一部分以体V(N) 3504.3的介电材料将体V(1) 3504.1至体V(N-1) 3504.2分割开; DRA 3500, 其中, 多个介电材料体3504的直接相邻体具有不同的介电常数值, 所述介电常数值的范围从体V(1) 3504.1处的第一相对最小值到体V(2) 3504.2至V(N-1) 3504.3中之一处的相对最大值并且在体V(N) 3504.4处回到第二相对最小值, 其中N>3; DRA 3500, 其中, 多个介电材料体3504的直接相邻体具有不同的介电常数值, 所述介电常数值的范围从体V(1) 3504.1处的第一相对最小值到V((N+1)/2) 3504.2处的相对最大值并且在V(N) 3504.3处回到第二相对最小值, 其中N是奇整数; DRA 3500, 其中, 第一相对最小值等于第二相对最小值; DRA 3500, 还具有围绕多个介电材料体3504布置并且与接地结构3502电连接并形成接地结构3502的一部分的导电围栏3550; DRA 3500, 其中, 导电围栏3550具有不超过多个介电材料体3504的高度; DRA 3500, 其中, 围栏3550具有提供至少一个对准特征3570的不均匀内部形状3557; DRA 3500, 其中, 多个介电材料体3504或在实施方式中的外部体3504.4具有互补外部形状3507, 互补外部形状3507与围栏3550的不均匀内部形状3557和至少一个对准特征3570互补, 使得围栏3550和多个介电材料体3504经由至少一个对准特征3570和互补形状3507、3557而相对于彼此具有限定且固定的对准; DRA 3500, 在围栏3550与多个介电材料体3504之间具有互补对准特征, 其提供具有彼此更好地对准的DRA 3500的阵列, 从而产生远场辐射图案的改善的对称性和增益; DRA 3500具有垂直突出部3599.1、3599.2、3599.3, 其从接地结构3502上升进入外层3504.3、3504.4中的一个或更多个以获得机械稳定性; 以及DRA, 其中, 导电接地结构3502包括一个或更多个开口3508。

[0230] 用于介电体或壳体(下文中方便起见称为体)的介电材料被选择成提供期望的电性质和机械性质。介电材料通常包含热塑性或热固性聚合物基质和含有介电填料的填料组合物。基于介电体的体积, 每个介电层可以包含30体百分比(vol%)至100vol%的聚合物基质, 以及0vol%至70vol%的填料组合物, 具体为30vol%至99vol%的聚合物基质以及1vol%至70vol%的填料组合物, 更具体为50vol%至95vol%的聚合物基质以及5vol%至50vol%的填料组合物。选择聚合物基质和填料以提供介电体, 该介电体具有与本文公开的目的的一致的介电常数和10千兆赫兹(GHz)下小于0.006特别地小于或等于0.0035的耗散因子。可以通过IPC-TM-650X-带条线方法或通过分裂谐振器方法来测量耗散因子。

[0231] 每个介电体包括低极性、低介电常数和低损耗聚合物。聚合物可以包括1,2聚丁二烯(PBD)、聚异戊二烯、聚丁二烯聚异戊二烯共聚物、聚醚酰亚胺(PEI)、含氟聚合物如聚四氟乙烯(PTFE)、聚酰亚胺、聚醚醚酮(PEEK)、聚酰胺酰亚胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚萘二甲酸乙二醇酯、聚对苯二甲酸环己酯、聚苯醚、基于烯丙基化聚亚苯基醚的聚合物或者包括前述至少之一的组合。也可以使用低极性聚合物与高极性聚合物的组合, 非限制性

示例包括环氧树脂和聚(苯醚)、环氧树脂和聚(醚酰亚胺)、氰酸酯和聚(苯醚)以及1,2聚丁二烯和聚乙烯。

[0232] 含氟聚合物包括：氟化共聚物，例如PTFE和聚氯三氟乙烯(PCTFE)；以及氟化共聚物，例如四氟乙烯或三氟氯乙烯与单体的共聚物，该单体例如为六氟丙烯或全氟烷基乙烯基醚、偏二氟乙烯、氟乙烯、乙烯或包含前述至少之一的组合。含氟聚合物可以包括这些含氟聚合物中不同的至少一者的组合。

[0233] 聚合物基质可以包括热固性聚丁二烯或聚异戊二烯。如本文所使用的，术语“热固性聚丁二烯或聚异戊二烯”包括均聚物和共聚物，所述均聚物和共聚物包括衍生自丁二烯、异戊二烯或其组合的单元。衍生自其他可共聚单体的单元也可以例如以接枝形式存在于聚合物中。示例性可共聚单体包括但不限于：乙烯基芳族单体，例如取代和未取代的单乙烯基芳族单体如苯乙烯、3甲基苯乙烯、3,5二乙基苯乙烯、4-n正丙基苯乙烯、 $\alpha$ 甲基苯乙烯、 $\alpha$ 甲基乙烯基甲苯、对羟基苯乙烯、对甲氧基苯乙烯、 $\alpha$ 氯苯乙烯、 $\alpha$ 溴苯乙烯、二氯苯乙烯、二溴苯乙烯、四氯苯乙烯等；以及取代和未取代的二乙烯基芳族单体如二乙烯基苯、二乙烯基甲苯等。还可以使用包括前述可共聚单体中的至少之一的组合。示例性热固性聚丁二烯或聚异戊二烯包括但不限于丁二烯均聚物、异戊二烯均聚物、丁二烯乙烯基芳族共聚物如丁二烯苯乙烯、异戊二烯-乙烯基芳族共聚物如异戊二烯苯乙烯共聚物等。

[0234] 热固性聚丁二烯或聚异戊二烯也可以被改性。例如，聚合物可以是羟基封端的、甲基丙烯酸酯封端的、羧酸酯封端的等。可以使用后反应的聚合物，例如丁二烯或异戊二烯聚合物的环氧树脂改性、顺丁烯二酸酐改性或氨基甲酸乙酯改性的聚合物。聚合物也可以例如通过二乙烯基芳族化合物如二乙烯基苯来交联，例如使聚丁二烯苯乙烯与二乙烯基苯交联。示例性材料被依其制造商例如日本东京的Nippon Soda Co. 和宾夕法尼亚州埃克斯顿的Cray Valley Hydrocarbon Specialty Chemicals公司而广泛地分类为“聚丁二烯”。也可以使用组合，例如，聚丁二烯均聚物和聚(丁二烯异戊二烯)共聚物的组合。包括间同聚丁二烯的组合也可以是有用的。

[0235] 热固性聚丁二烯或聚异戊二烯在室温下可以是液体或固体。液体聚合物可具有大于或等于5,000g/mol的数均分子量(Mn)。液体聚合物可以具有小于5,000g/mol，特别地1,000g/mol至3,000g/mol的Mn。具有至少90wt%的1,2加成的热固性聚丁二烯或聚异戊二烯，由于大量可用于交联的侧基乙烯基组而在固化时可以展现出较大的交联密度。

[0236] 基于总聚合物基质组合物，聚丁二烯或聚异戊二烯在聚合物组合物中可以存在相对于总聚合物基质组合物高达100wt%特别地为高达75wt%的量，更特别地为10wt%至70wt%，甚至更特别地为20wt%至60wt%或70wt%的量。

[0237] 其他可以与热固性聚丁二烯或聚异戊二烯共固化的聚合物可以被添加用于特定性质或加工改性。例如，为了提高介电材料的介电强度和机械性能随时间的稳定性，可以在该系统中使用较低分子量的乙烯丙烯弹性体。本文所用的乙烯丙烯弹性体是共聚物、三元共聚物或主要包括乙烯和丙烯的其他聚合物。乙烯丙烯弹性体可进一步分类为EPM共聚物(即乙烯和丙烯单体的共聚物)或EPDM三元共聚物(即乙烯、丙烯和二烯单体的三元共聚物)。特别地，乙烯丙烯二烯三元共聚物橡胶具有饱和主链，其中，主链外可存在不饱和键用于轻易地进行交联。可以使用液体乙烯丙烯二烯三元共聚物橡胶，其中二烯是双环戊二烯。

[0238] 乙烯丙烯橡胶的分子量可以小于10,000g/mol粘均分子量(Mv)。乙烯丙烯橡胶可

以包括：具有7,200g/mol M<sub>v</sub>的乙烯丙烯橡胶，其可以从路易斯安那州巴吞鲁日的商标名称为TRILENE<sup>TM</sup> CP80的Lion Copolymer公司获得；具有7,000g/mol M<sub>v</sub>的液体乙烯丙烯二聚环戊二烯三元共聚物橡胶，其可以从商标名称为TRILENE<sup>TM</sup> 65的Lion Copolymer公司获得；以及具有7,500g/mol M<sub>v</sub>的液态乙烯丙烯亚乙基降冰片烯三元共聚物，其可以从商标名称为TRILENE<sup>TM</sup> 67的Lion Copolymer公司获得。

[0239] 可以使乙烯丙烯橡胶存量有效保持介电材料的性质特别是介电强度和机械性质随时间的稳定。典型地，这样的量高达相对于聚合物基质组合物的总重量的20wt%，特别地为4wt%至20wt%，更特别地为6wt%至12wt%。

[0240] 另一种类型的可共固化聚合物是含聚丁二烯或聚异戊二烯的不饱和弹性体。该组分可以主要为1,3加成丁二烯或异戊二烯与烯属不饱和单体的无规或嵌段共聚物，例如乙烯基芳族化合物如苯乙烯或α甲基苯乙烯，丙烯酸酯或甲基丙烯酸酯如甲基丙烯酸甲酯或丙烯腈。弹性体可以是固体热塑性弹性体，其包括线性或接枝型嵌段共聚物，该线性或接枝型嵌段共聚物具有可衍生自单乙烯基芳族单体如苯乙烯或α甲基苯乙烯的热塑性嵌段和聚异戊二烯嵌段或聚丁二烯。这种类型的嵌段共聚物包括：苯乙烯丁二烯苯乙烯三嵌段共聚物，例如，可以从来自德克萨斯州休斯敦的商标名称为VECTOR 8508M<sup>TM</sup>的Dexco Polymers公司、从来自美国德克萨斯州休斯敦的商标名称为SOL-T-6302<sup>TM</sup>的Enichem Elastomers公司获得的那些，以及可以从商标名称为CALPRENE<sup>TM</sup> 401的Dinasol Elastomers公司获得的那些；以及苯乙烯丁二烯二嵌段共聚物以及含有苯乙烯和丁二烯的混合三嵌段和二嵌段共聚物，例如可以从商标名称为KRATON D1118的Kraton Polymers公司（德克萨斯州休斯敦）获得的那些。KRATON D1118是含苯乙烯和丁二烯的混合二嵌段/三嵌段共聚物，其含有33wt%的苯乙烯。

[0241] 可选的含聚丁二烯或聚异戊二烯的弹性体可进一步包括与上述类似的第二嵌段共聚物，不同之处在于聚丁二烯或聚异戊二烯嵌段被氢化，从而形成聚乙烯嵌段（在聚丁二烯的情况下）或乙烯丙烯共聚物嵌段（在聚异戊二烯的情况下）。当与上述共聚物一起使用时，可以生产具有更高韧性的材料。这种类型的示例性第二嵌段共聚物是KRATON GX1855（可以从Kraton Polymers公司购得，其被认为是高苯乙烯、1,2丁二烯苯乙烯嵌段共聚物和苯乙烯（乙烯丙烯）苯乙烯的嵌段共聚物的组合。

[0242] 含聚丁二烯或聚异戊二烯的不饱和弹性体组分可以在聚合物基质组合物中存在相对于聚合物基质组合物的总重量为2wt%至60wt%的量，特别地为5wt%至50wt%的量，更特别地为10wt%至40wt%或50wt%的量。

[0243] 可被加入用于特定性质或加工改性的其他可共固化聚合物包括但不限于：乙烯的均聚物或共聚物，例如聚乙烯和环氧乙烷共聚物；天然橡胶；降冰片烯聚合物如聚二环戊二烯；氢化苯乙烯异戊二烯苯乙烯共聚物和丁二烯丙烯腈共聚物；不饱和聚酯等。在聚合物基质组合物中，这些共聚物的含量通常小于总聚合物的50wt%。

[0244] 还可以加入自由基固化单体用于特定性能或加工改性，以例如增加固化后系统的交联密度。可以是合适交联剂的示例性单体包括例如二烯键式、三烯键式或更高烯键式不饱和单体，例如二乙烯基苯、氰尿酸三烯丙酯、邻苯二甲酸二烯丙酯和多官能丙烯酸酯单体（例如可以从美国宾夕法尼亚州牛顿广场的Sartomer获得的SARTOMER<sup>TM</sup>聚合物）或其组合，其全部均是在市面上可购得的。基于聚合物基质组合物中总聚合物的总重量，交联剂在使

用时可以在聚合物基质组合物中存在高达20wt%的量,特别地为1wt%至15wt%的量。

[0245] 可以将固化剂加入到聚合物基质组合物中,以加速具有烯属反应性位点的多烯的固化反应。固化剂可以包括有机过氧化物,例如过氧化二枯基、过苯甲酸叔丁酯、2,5二甲基2,5二(叔丁基过氧)己烷、 $\alpha,\alpha$ 二双(叔丁基过氧)二异丙基苯、2,5二甲基2,5二(叔丁基过氧)己炔3或包括前述至少一种的组合。可以使用碳-碳引发剂,例如2,3二甲基2,3二苯基丁烷。固化剂或引发剂可以单独使用或组合使用。基于聚合物基质组合物中聚合物的总重量,固化剂的量可以为1.5wt%至10wt%。

[0246] 在一些实施方式中,聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物是羧基官能化的。可以使用在分子中具有(i)碳-碳双键或碳-碳三键以及(ii)至少一个羧基二者的多官能化合物来实现官能化,所述羧基包括羧酸,羧酸酐,羧酰胺,羧酯或羧酰卤。具体的羧基是羧酸或羧酯。可提供羧酸官能团的多官能化合物的示例包括马来酸、马来酸酐、富马酸和柠檬酸。特别地,可在热固性组合物中使用与马来酸酐加合的聚丁二烯。合适的马来化聚丁二烯聚合物可例如从Cray Valley以商标名称RICON 130MA8、RICON 130MA13、RICON 130MA20、RICON 131MA5、RICON 131MA10、RICON 131MA17、RICON 131MA20和RICON156MA17购得。合适的马来化聚丁二烯苯乙烯共聚物可以例如从Sartomer以商品名RICON 184MA6购得。RICON 184MA6是与苯乙烯含量为17wt%至27wt%且Mn为9,900g/mol的马来酸酐加合的丁二烯苯乙烯共聚物。

[0247] 聚合物基质组合物中的各种聚合物(例如聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物或其他聚合物)的相对量可以取决于所使用的特定导电金属接地板层,电路材料的期望性质以及类似考虑因素。例如,使用聚(亚芳基醚)可以向导电金属部件,例如诸如信号馈源、接地组件或反射器组件的铜或铝组件提供增强的结合强度。例如,使用聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物可以在这些聚合物被羧基官能化时提高复合材料的耐高温性。使用弹性体嵌段共聚物可起到使聚合物基质材料的组分相容的作用。取决于特定应用的期望性质,可以在不进行过度实验的情况下确定每种组分的适当量。

[0248] 至少一个介电体还可以包括粒子介电填料,其被选择以调整介电常数、耗散因子、热膨胀系数和介电体的其他性质。介电填料可以包括例如二氧化钛(金红石和锐钛矿)、钛酸钡、钛酸锶、二氧化硅(包括熔合无定形二氧化硅)、刚玉、硅灰石、Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>、固体玻璃球、合成玻璃或陶瓷空心球、石英、氮化硼、氮化铝、碳化硅、氧化铍、氧化铝、三水合氧化铝,氧化镁、云母、滑石、纳米粘土、氢氧化镁或包含前述至少一种的组合。可以使用单个辅助填料或辅助填料的组合来提供期望的性能平衡。

[0249] 可选地,可以用例如有机官能烷氧基硅烷偶联剂的含硅涂层对填料进行表面处理。可以使用锆酸酯或钛酸酯偶联剂。这种偶联剂可以改善填料在聚合物基质中的分散并降低成品DRA的吸水性。基于填料的重量,填料组分可以包括5vol%至50vol%的微球体以及70vol%至30vol%的熔合无定形二氧化硅作为次级填料。

[0250] 可选地,每个介电体还可以包含用于使体耐燃的阻燃剂。这些阻燃剂可以是卤化或非卤化的。基于介电体的体积,阻燃剂可以在介电体中存在0vol%至30vol%的量。

[0251] 在实施方式中,阻燃剂是无机的并且以粒子形式存在。示例性无机阻燃剂是具有体平均粒径为例如1nm至500nm,优选地为1nm至200nm或5nm至200nm或10nm至200nm的金属水合物;可选地,体平均粒径为500nm至15μm,例如1μm至5μm。金属水合物是诸如Mg、Ca、Al、

Fe、Zn、Ba、Cu、Ni或包含前述中的至少一种的组合的金属的水合物。特别优选Mg、Al或Ca的水合物，例如氢氧化铝、氢氧化镁、氢氧化钙、氢氧化铁、氢氧化锌、氢氧化铜和氢氧化镍；以及铝酸钙、二水合石膏、硼酸锌和偏硼酸钡的水合物。可以使用这些水合物的复合材料，例如含有Mg和Ca、Al、Fe、Zn、Ba、Cu和Ni中的一者或更多者的水合物。优选的复合金属水合物具有式 $MgMx \cdot (OH)_y$ ，其中M为Ca、Al、Fe、Zn、Ba、Cu或Ni，x为0.1至10，y为2至32。阻燃剂粒子可以被涂覆或以其他方式处理，以改善分散性和其他性能。

[0252] 替选地或除了无机阻燃剂之外，可以使用有机阻燃剂。无机阻燃剂的示例包括三聚氰胺氰尿酸酯、细粒三聚氰胺多磷酸酯、各种其他含磷化合物（如芳族次膦酸酯、二次膦酸酯、膦酸酯和磷酸盐）、某些聚倍半硅氧烷、硅氧烷和卤化化合物如六氯内亚甲基四氢邻苯二甲酸（HET酸）、四溴邻苯二甲酸和二溴新戊二醇。阻燃剂（例如含溴阻燃剂）可以存在20phr（每100份树脂中的份数）至60phr，特别地为30phr至45phr的量。溴化阻燃剂的示例包括Saytex BT93W（亚乙基双四溴邻苯二甲酰亚胺）、Saytex 120（十四溴二苯氧基苯）和Saytex 102（十溴二苯醚）。阻燃剂可以与增效剂组合使用，例如卤化阻燃剂可以与增效剂例如三氧化锑组合使用，并且含磷阻燃剂可以与含氮化合物例如三聚氰胺组合使用。

[0253] 每个介电材料体由包含聚合物基质组合物和填料组合物的介电组合物形成。可以通过将介电组合物直接浇铸到接地结构层上来形成每个体，或者可以产生可以被沉积到接地结构层上的介电体。产生每个介电体的方法可以基于所选择的聚合物。例如，在聚合物包括含氟聚合物如PTFE的情况下，聚合物可与第一载液混合。该组合可以包括聚合物粒子在第一载液中的分散体，例如第一载液中聚合物的液滴或聚合物的单体或低聚物前体的乳剂，或聚合物在第一载液中的溶液。如果聚合物是液体，则不需要第一载液。

[0254] 如果存在第一载液，则第一载液的选择可以基于特定的聚合物和要将聚合物引入介电体的形式。如果期望作为溶液来引入聚合物，则选择特定聚合物的溶剂作为载液，例如N甲基吡咯烷酮（NMP）将是用于聚酰亚胺溶液的合适的载液。如果期望将聚合物作为分散体引入，则载液可以包括不可溶于其中的液体，例如水可以是用于PTFE粒子分散体的合适的载液，并且是用于聚酰胺酸乳剂或丁二烯单体乳剂的合适的载液。

[0255] 可选地，介电填料组分可以分散在第二载液中，或与第一载液混合（或在不使用第一载液的情况下与液体聚合物混合）。第二载液可以是相同的液体或者可以是与第一载液不同且与第一载液可混溶的液体。例如，如果第一载液是水，则第二载液可以包含水或酒精。第二载液可以包括水。

[0256] 填料分散体可以包括表面活性剂，该表面活性剂的量的有效对第二载液的表面张力进行改性，以使第二载液能够润湿硼硅酸盐微球体。示例性表面活性剂化合物包括离子表面活性剂和非离子表面活性剂。已经发现TRITON X-100<sup>TM</sup>是用于水性填料分散体的示例性表面活性剂。填料分散体可以包括10vol%至70vol%的填料和0.1vol%至10vol%的表面活性剂，其余部分包含第二载液。

[0257] 可以将聚合物与第一载液以及第二载液中的填料分散体组合，以组合形成浇铸混合物。在实施方式中，浇铸混合物包括10vol%至60vol%的经组合的聚合物和填料、以及40vol%至90vol%的经组合的第一载液和第二载液。如下所述，可以将浇铸混合物中聚合物和填料组分的相对量选择成在最终组合物中提供期望的量。

[0258] 可以通过添加基于粘度调节剂（该粘度调节剂基于其在特定载液或载液组合中的

相容性而选择)来调节浇铸混合物的粘度,以延缓空心球填料从介电复合材料的分离即沉降或浮离并提供具有与常规制造设备兼容的粘度的介电复合材料。适用于水性浇铸混合物的示例性粘度调节剂包括例如聚丙烯酸化合物、植物胶和基于纤维素的化合物。合适的粘度调节剂的具体示例包括聚丙烯酸、甲基纤维素、聚环氧乙烷、瓜尔胶、槐豆胶、羧甲基纤维素钠、海藻酸钠和黄蓍胶。可以逐应用地进一步提高经粘度调节的浇铸混合物的粘度,即超过最小粘度,以使介电复合材料适应所选制造技术。在实施方式中,经粘度调节的浇铸混合物可表现出10厘泊(cp)至100,000厘泊的粘度,特别地为在室温下所测量的100cp和10,000cp。

[0259] 替选地,如果载液的粘度足以提供在关注时间段期间不分离的浇铸混合物,则可以省略粘度调节剂。特别地,在极小粒子(例如等效球径小于0.1μm的粒子)的情况下,则不需要使用粘度调节剂。

[0260] 可以将经粘度调节的浇铸混合物层浇铸到接地结构层上,或者可以浸涂该浇铸混合物然后使之成形。例如,可以通过浸涂、流涂、逆辊涂布、辊式刮刀涂布、板式刮刀涂布、计量棒涂布等来实现浇铸。

[0261] 可以例如通过蒸发或通过热分解从浇铸体中去除载液和加工助剂,即表面活性剂和粘度调节剂,以巩固聚合物的介电体和包括微球体的填料。

[0262] 可以进一步对聚合物基质材料和填料组分的体进行加热,以对体的物理性质进行改性,以例如烧结热塑性塑料或固化或后固化热固性组合物。

[0263] 在另一方法中,可以通过糊料挤出和压延工艺来制造PTFE复合介电体。

[0264] 在又一实施方式中,介电体可以被浇铸然后被部分固化(“B阶”)。这种B阶段体随后可以被存储和使用。

[0265] 可以将粘附层布置在导电接地层和介电层之间。粘合层可以包括:聚(亚芳基醚);以及羧基官能化聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物,其包括丁二烯,异戊二烯或丁二烯和异戊二烯单元,以及0wt%至小于或等于50wt%的共固化单体单元;其中粘合剂层的组成与介电体的组成不同。粘合剂层可以每平方米2克至15克的量存在。聚(亚芳基醚)可以包括羧基官能化聚(亚芳基醚)。聚(亚芳基醚)可以是聚(亚芳基醚)与环状酸酐的反应产物或聚(亚芳基醚)与马来酸酐的反应产物。羧基官能化聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物可以是羧基官能化丁二烯苯乙烯共聚物。羧基官能化聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物可以是聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物与环状酸酐的反应产物。羧基官能化聚丁二烯或聚异戊二烯聚合物可以是马来酸化聚丁二烯苯乙烯或马来化聚异戊二烯苯乙烯共聚物。

[0266] 在实施方式中,适于热固性材料如聚丁二烯或聚异戊二烯的多步骤工艺可以包括在150°C至200°C的温度下进行的过氧化物固化步骤,然后部分固化(B阶)的叠层可以在惰性气氛下经受高能量电子束照射固化(E束固化)或高温固化步骤。使用两阶段固化可以对所产生的复合材料赋予异常高的交联度。第二阶段中使用的温度可以是250°C至300°C,或聚合物的分解温度。该高温固化可以在烘箱中进行,但也可以在压机中进行,即作为初始制造和固化步骤的延续。特定的制造温度和压力将取决于特定的粘合剂组合物和介电组合物,并且本领域普通技术人员可以容易地确定该温度和压力而无需过多的实验。

[0267] 可以将结合层布置在任两个或更多个介电层之间,以粘合这些层。结合层基于期望的性质来选择,并且可以是例如用于结合两个介电层的低熔点热塑性聚合物或其他组合

物。在实施方式中,结合层包括介电填料以调整其介电常数。例如,可以调节结合层的介电常数,以改善或以其他方式修改DRA的带宽。

[0268] 在一些实施方式中,通过模制介电组合物以形成介电材料从而来形成DRA、阵列或其部件,特别是介电体中的至少一个。在一些实施方式中,所有的体都被模制。在其他实施方式中,除了初始体V(i)以外的所有体都被模制。在又一些实施方式中,仅最外体V(N)被模制。可以使用模制和其他制造方法的组合,例如3D打印或喷墨打印。

[0269] 模制允许(可选地)与作为嵌入特征或表面特征的另一DRA部件一起快速且有效地制造介电体。例如,可以将金属、陶瓷或其他插入件放置在模具中以提供作为嵌入特征或表面特征的DRA的部件,例如信号馈源、接地部件或反射器组件。替选地,可以将嵌入特征3D打印或喷墨打印到体上,然后进一步模制;或者可以将表面特征3D打印或喷墨打印到DRA的最外表面上。也可以将至少一个体直接模制到接地结构上或者模制到包括具有在1和3之间的介电常数的材料的容器中。

[0270] 模具可以具有包括模制或机械加工陶瓷的模具插入件,以提供封装或最外壳体V(N)。使用陶瓷插入件可以产生较低的损耗,从而产生较高的效率;由于模制氧化铝的低直接材料成本而使成本降低;易于制造且可控制(约束)聚合物的热膨胀。它还可以提供平衡热膨胀系数(CTE),使整体结构与铜或铝的CTE匹配。

[0271] 可以用不同的模具模制每个体,然后对体进行组装。例如,可以在第一模具中模制第一体,在第二模具中模制第二体,然后对体进行组装。在实施方式中,第一体与第二体不同。独立的制造使得能够在形状或成分方面容易地定制每个体。例如,介电材料的聚合物、添加剂的类型或添加剂的量可以变化。可以施加粘合剂层,以将一个体的表面结合到另一体的表面。

[0272] 在其他实施方式中,可以将第二体模制到第一模制体内或第一模制体上。可以使用后烘烤或层压循环来去除体之间的任何空气。每个体也可以包括不同类型或量的添加剂。在使用热塑性聚合物的情况下,第一体和第二体可以包括具有不同熔合温度或不同玻璃转化温度的聚合物。在使用热固性组合物的情况下,第一体可以在模制第二体之前被部分或完全固化。

[0273] 也可以将热固性组合物用作一个体(例如第一体)并且将热塑性组合物用作另一体(例如第二体)。在这些实施方式中的任一实施方式中,可以改变填料以调整每个体的介电常数或热膨胀系数(CTE)。例如,可以补偿每个体的CTE或介电,使得谐振频率随温度变化而保持恒定。在实施方式中,内体可以包括填充有二氧化硅和微球体(微球)的组合的低介电常数(<3.5)材料,从而实现具有与外体匹配的CTE性质的期望的介电常数。

[0274] 在一些实施方式中,模制是对包括热塑性聚合物或热固性组合物以及任何其他介电材料组分的可注入组合物进行注入模制以提供至少一个介电材料体。每个体可以被分别地进行注入模制,然后被组装,或者第二体可以被模制到第一体中或模制到第一体上。例如,该方法可以包括:在具有外模腔和内模腔的第一模具中对第一体进行反应注入模制;移除内模腔并将其替换成第二内模腔,该第二内模腔限定第二体的内尺寸;以及将第二体注入模制在第一体中。在实施方式中,第一体是最外壳体V(N)。替选地,该方法可以包括:在具有外模腔和内模腔的第一模具中对第一体注入模制;移除外模腔并将其替换成第二外模腔,该第二外模腔限定第二体的外尺寸;以及将第二体注入模制到第一体上。在实施方式

中,第一体是最内体V(1)。

[0275] 可以通过首先将陶瓷填料和硅烷组合以形成填料组合物,然后将填料组合物与热塑性聚合物或热固性组合物混合来制备可注入组合物。对于热塑性聚合物,可以在与陶瓷填料和硅烷中的一者或两者混合之前、之后或期间对聚合物进行熔化。然后,可以在模具中注入模制可注入组合物。所使用的熔化温度,注入温度和模具温度取决于热塑性聚合物的熔化和玻璃转化温度,并且可以是例如150°C至350°C或200°C至300°C。模制可以在65千帕(kPa)至350kPa的压力下发生。

[0276] 在一些实施方式中,可以通过对热固性组合物进行反应注入模制来制备介电体。反应注入模制特别适于使用第一模制体来模制第二模制体,因为交联可以显著改变第一模制体的熔化特性。反应注入模制可以包括:混合至少两个流以形成热固性组合物,并且将热固性组合物注入到模具中,其中第一流包含催化剂并且第二流可选地包含活化剂。第一流和第二流或第三流中的一者或两者可以包括单体或可固化组合物。第一流和第二流或第三流中的一者或两者可以包括介电填料和添加剂中的一者或两者。介电填料和添加剂中的一者或两者可以在注入热固性组合物之前被添加到模具中。

[0277] 例如,制备体的方法可以包括:混合第一流和第二流,第一流包括催化剂和第一单体或可固化组合物,第二流包括可选活化剂和第二单体或可固化组合物。第一单体和第二单体或可固化组合物可以相同或不同。第一流和第二流中的一者或两者可以包括介电填料。介电填料可以被添加作为第三流,第三流例如还包括第三单体。可以在注入第一流和第二流之前使介电填料处于模具中。引入流中的一者或更多者可以在惰性气体例如氮气或氩气下发生。

[0278] 混合可以在注射模制机的头部空间中、或在流线混合器中、或者在注入模具期间进行。混合可以在大于或等于0摄氏度(°C)至200°C,特别地在15°C至130°C或0°C至45°C,更特别地在23°C至45°C的温度下进行。

[0279] 模具可以保持在大于或等于0°C至250°C,特别地在23°C至200°C或45°C至250°C,更特别地在30°C至130°C或50°C至70°C的温度处。填充模具可能需要0.25分钟到0.5分钟,在此期间模具温度会下降。在模具被填充之后,热固性组合物的温度可以例如从0°C至45°C的第一温度增加至45°C至250°C的第二温度。模制可以发生在65千帕(kPa)至350kPa的压力下。模制可以发生达小于或等于5分钟,特别地小于或等于2分钟,更特别地为2秒至30秒。聚合完成后,可以在模具温度下或降低的模具温度下去除基板。例如,释放温度T<sub>r</sub>可以比模制温度T<sub>m</sub>(T<sub>r</sub><T<sub>m</sub>-10°C)低10°C或以上。

[0280] 体在从模具中被移除后,其可以被后固化。后固化可以在100°C至150°C,特别是在140°C至200°C的温度下发生长达大于或等于5分钟。

[0281] 在另外的实施方式中,可以通过压缩模制形成介电体以形成介电材料体或具有嵌入特征或表面特征的介电材料体。每个体可以单独压缩模制,然后被组装,或者第二体可以被压缩模制到第一体中或被压缩模制到第一体上。例如,该方法可以包括:将第一体压缩模制在具有外模腔和内模腔的第一模具中;移除内模腔并将其替换成第二内模腔,该第二内模腔限定第二体的内尺寸;并且将第二体压缩模制在第一体中。在一些实施方式中,第一体是最外壳体V(N)。替选地,该方法可以包括:将第一体压缩模制在具有外模腔和内模腔的第一模具中;移除外模腔并将其替换成第二外模腔,该第二外模腔限定第二体的外尺寸;并且

将第二体压缩模制到第一体上。在该实施方式中，第一体可以是最内体V(1)。

[0282] 压缩模制可与热塑性材料或热固性材料一起使用。用于压缩模制热塑性材料的条件例如模具温度取决于热塑性聚合物的熔化温度和玻璃转化温度，并且可以是例如150°C至350°C或200至300°C。模制可以发生在65千帕(kPa)至350kPa的压力下。模制可以发生小于或等于5分钟，特别地小于或等于2分钟，更特别地为2秒至30秒。热固性材料可以在B阶化之前被压缩模制以产生B型材料或完全固化的材料；或者其可以在其已经进行B阶化之后被压缩模制，并且在模具中或者在模制之后被完全固化。

[0283] 在又一些实施方式中，可以通过以预定图案形成多个层并且熔合这些层来形成，即通过3D打印来形成介电体。如本文所使用的，3D打印与喷墨打印的区别在于形成多个熔合层(3D打印)而非单个层(喷墨打印)。层的总数可以例如从10层至100,000层、或从20层至50,000层、或从层30至20,000层而变化。预定图案中的多个层被熔合以提供制品。如本文所用的，“熔合”是指通过任何3D打印工艺已经形成和结合的层。可以使用在3D打印期间有效整合、结合或固结多个层的任何方法。在一些实施方式中，熔合发生在每个层的形成期间。在一些实施方式中，熔合发生在随后的层被形成时，或者发生在所有层被形成之后。如本领域已知的，可以根据期望制品的三维数字表示来确定预定图案。

[0284] 3D打印允许(可选地)与作为嵌入特征或表面特征的另一DRA部件一起来快速且有效地制造介电体。例如，可以在打印期间放置金属、陶瓷或其他插入件，以提供作为嵌入特征或表面特征的DRA的部件，例如信号馈源、接地部件或反射器部件。替选地，可以将嵌入特征3D打印或喷墨打印到体上，然后再进一步进行打印；或者可以将表面特征3D打印或喷墨打印到DRA的最外表面上。还可以将至少一个体直接3D打印到接地结构上，或者3D打印到包括具有1和3之间的介电常数的材料的容器中。

[0285] 可以将第一体与第二体分开地形成，并且组装第一体和第二体，可选地利用布置在其间的粘合剂层来进行组装。替选地或另外地，可以将第二体打印在第一体上。因此，该方法可以包括：形成第一多个层以提供第一体；以及在第一体的外表面上形成第二多个层以在第一体上提供第二体。第一体是最内体V(1)。替选地，该方法可以包括：形成第一多个层以提供第一体；以及在第一体的内表面上形成第二多个层，以提供第二体。在实施方式中，第一体是最外体V(N)。

[0286] 可以使用多种3D打印方法，例如熔合沉积建模(FDM)、选择性激光烧结(SLS)、选择性激光熔化(SLM)、电子束熔化(EBM)、大面积增材制造(BAAM)、ARBURG无塑性成形技术、层压物体制造(LOM)、泵浦沉积(也称为受控糊剂挤出，例如在：<http://nscrpt.com/micro-dispensing>处所述)或其他3D打印方法。3D打印可用于制造原型或作为生产工艺。在一些实施方式中，体或DRA仅通过3D打印或喷墨打印来制造，使得形成介电体或DRA的方法不含挤出、模制或层压过程。

[0287] 材料挤出技术对热塑性材料特别有用，并且可以用于提供复杂的特征。材料挤出技术包括诸如FDM、泵浦沉积和熔丝制作以及ASTM F2792-12a中所述的其他技术等技术。在熔合材料挤出技术中，可以通过将热塑性材料加热到可以沉积以形成层的可流动状态来制造制品。该层可以在xy轴上具有预定的形状并且在z轴上具有预定的厚度。可流动材料可以如上所述沉积为路面，或通过模具沉积以提供特定的轮廓。该层在其被沉积时冷却并且固化。随后的熔化热塑性材料层熔合到先前被沉积的层上，并在温度下降时固化。多个后续层

的挤出构建了期望的形状。具体地,可以根据制品的三维数字表示、通过将可流动材料作为一个或更多个路面沉积在xy平面中的基板上以形成层,来形成制品。然后,使分配器(例如喷嘴)相对于基板的位置沿z轴(垂直于xy平面)被递增,然后根据数字表示重复该过程来形成制品。分配的材料因此也被称为“建模材料”以及“建造材料”。

[0288] 在一些实施方式中,层从两个或更多个喷嘴被挤出,每个喷嘴挤出不同的组合物。如果使用多个喷嘴,则该方法可以比使用单个喷嘴的方法更快地生产出产品对象,并且使得能够在使用不同聚合物或聚合物混合物、不同颜色或纹理等方面增加灵活性。因此,在实施方式中,可以在使用两个喷嘴的沉积期间改变单个层的组成或性质,或者可以改变两个相邻层的组成或性质。例如,一个层可以具有高介电填料体百分比,随后的层可以具有中介电填料体,并且在该层之后的层可以具有低介电填料体百分比。

[0289] 材料挤出技术还可以用于热固性组合物的沉积。例如,可以将至少两个流混合并沉积,以形成层。第一流可以包括催化剂,第二流可以可选地包含活化剂。第一流和第二流或第三流中的一者或两者可以包括单体或可固化组合物(例如树脂)。第一流和第二流或第三流中的一者或两者可以包括介电填料和添加剂中的一者或两者。介电填料和添加剂中的一者或两者可以在注入热固性组合物之前添加到模具中。

[0290] 例如,制备体的方法可以包括:混合第一流与第二流,第一流包括催化剂和第一单体或可固化组合物,第二流包括可选活化剂和第二单体或可固化组合物。第一单体和第二单体或可固化组合物可以相同或不同。第一流和第二流中的一者或两者可以包括介电填料。介电填料可以作为第三流被添加,第三流例如还包括第三单体。流中的一者或更多者的沉积可以在惰性气体例如氮气或氩气下发生。混合可以在沉积之前发生、在流线混合器中发生、或在沉积期间发生。完全或部分固化(聚合或交联)可以在层的沉积之前、层的沉积期间或层的沉积之后开始。在实施方式中,部分固化在层的沉积之前或期间开始,并且完全固化在沉积层之后或在提供体的多个层的沉积之后开始。

[0291] 在一些实施方式中,可选地可以使用如本领域已知的支承材料来形成支承结构。在这些实施方式中,可以在制造制品期间选择性地分配构建材料和支承材料,以提供制品和支承结构。支承材料可以以支承结构的形式存在,例如支架,其可在层化工艺完成到期望的程度时被机械地移除或冲走。

[0292] 也可以使用诸如选择性激光烧结(SLS)、选择性激光熔化(SLM)、电子束熔化(EBM)、及对粘合剂或溶剂进行粉末床喷射的立体光刻技术以根据预定图案形成连续层。立体光刻技术对于热固性组合物特别有用,因为可以通过使每一层聚合或交联而进行逐层堆积。

[0293] 在用于制造介质谐振器天线或阵列或其部件的又一方法中,可以通过将介电组合物施加到第一体的表面来形成第二体。施加可以通过涂布、浇注或喷涂,例如通过浸涂、旋涂、喷涂、刷涂、辊涂或包含前述至少一者的组合而进行。在一些实施方式中,在基板上形成多个第一体,施加掩模,并且施加介电组合物以形成第二体。当第一体是最内体V(1)并且基板是接地结构或直接用于制造天线阵列的其他基板时,该技术可能是有用的。

[0294] 如上所述,介电组合物可以包括热塑性聚合物或热固性组合物。热塑性材料可以被熔化或溶解在合适的溶剂中。热固性组合物可以是液体热固性组合物,或溶解于溶剂中。在施加介电组合物之后可以通过加热、空气干燥或其他技术去除溶剂。可以在施加之后使

热固性组合物在B阶段完全聚合或固化以形成第二体。聚合或固化可以在施加介电组合物期间开始。

[0295] 选择介电组合物的组分以提供期望的性质,例如介电常数。通常,第一介电材料和第二介电材料的介电常数不同。

[0296] 在一些实施方式中,第一体是最内体V(1),其中,包括所有后续体的一个或更多个体如上所述被施加。例如,最内体V(1)之后的所有体均可以通过以将向第一体施加介电组合物开始顺序地将介电组合物施加到相应体V(i)的下面一个体上来形成。在其他实施方式中,多个体中的仅一个体以这种方式被施加。例如,第一体可以是体V(N-1),第二体可以是最外体V(N)。

[0297] 虽然本文提供的若干附图描绘了某些尺寸,但是将理解,所述尺寸仅被提供用于针对相关联的分析性建模实施方式进行非限制性说明目的,适于本文公开的目的的其他尺寸也被预期。

[0298] 作为对本文公开的示例性实施方式的非限制性参考的其他示例,本文提供的一些附图描绘了具有平坦顶部的多个介电材料体,其具有居中布置的信号馈源或轴向偏移的信号馈源,并且其中,多个介电材料体的z轴截面是椭圆形,而其他附图描绘了具有半球形或圆顶形顶部的多个介电材料体,其中信号馈源不具有特定位置,并且其中,多个介电材料体的z轴截面在形状上为圆形或椭圆形,同时其他附图描绘了围绕DRA(理解为本文公开的任何DRA)的围栏/反射器,同时其他附图描绘了一般意义上的多个介电材料体,参见例如图20。根据前述所有内容,将理解到,来自一个附图或一组附图中描绘的实施方式的某些特征(例如介电材料体/层的数量、多个介电材料体的外部形状、信号馈源的位置、多个介电材料体的截面形状或围栏/反射器的存在与否)可以用于未具体描绘这些特征的其他附图或附图组中所描绘实施方式,这是因为本文公开的特征的组合的数量是详尽的并且不必向本领域技术人员提供图示以理解,这些组合在本文被清楚且简洁地公开而不需要具体说明替换实施方式的全矩阵中的所有这些特征。任何以及所有这样的组合在本文中被预期并被认为是在所附权利要求书中所提出的要求保护的发明范围内。

[0299] 虽然本文已经公开了与DRA或DRA阵列有关的特征的某些组合,但是将理解,这些特定的组合仅用于说明的目的,并且这些特征中的任何特征或仅一些特征的任何组合可以明确地或等同地被单独地采用或与本文公开的任何其他特征结合地被采用、以任何组合被采用、以及根据实施方式被全部采用。任何以及所有这样的组合都在本文中被预期并且被认为在本文所公开的本发明范围内。例如,本文所公开的多个介电材料体不具有如本文所公开的接地结构、信号馈源和/或围栏的情况下可以用作电子滤波器或谐振器。这样的滤波器或谐振器构造或能够用于本文所公开的多个介电材料体的任何其他装置被预期并被认为在本文所公开的发明范围内。

[0300] 鉴于前述情况,本文公开的一些实施方式可以包括以下优点中的一个或更多个:适于微波和毫米波应用中的宽带和高增益阵列的多层介电设计;适于利用3D打印制造工艺的多层介电设计;具有可以高于95%的效率的超高效多层设计;可以在整个微波和毫米频率范围内取代传统贴片天线的多层设计;单个单元(单个DRA)的增益可以高达8dB甚至更高;可以实现50%或更大带宽的DRA;能够根据多个层中使用的材料的介电常数而设计优化谐振器形状;以及能够使用不同的技术来平衡单个单元的增益,包括对接地结构进行修改。

[0301] 尽管本文已经关于特定DRA讨论了某些尺寸值和介电常数值,但是将理解,这些值仅用于说明目的,并且可以采用适用于本文公开的目的的任何这样的值,而不偏离本文所公开的发明范围。

[0302] 本文公开的所有范围包括端点,并且端点可以彼此独立地组合。“组合物”包括共混物、混合物、合金、反应产物等。术语“第一”、“第二”等不表示任何顺序、数量或重要性,而是仅用于区分一个元件和另一个元件。术语“一(a)”、“一个(an)”和“该(the)”不表示数量的限制,并且应当被解释为涵盖单数形式和复数形式,除非本文另有指示或者根据上下文明显矛盾。“或”意指“或”,除非另有明确说明。

[0303] 虽然本文已经描述了与天线有关的特征的某些组合,但是将理解,这些特定的组合仅用于说明的目的,并且这些特征中的任何特征的任何组合可以明确地或等同地被单独地采用或与本文所公开的任何其他特征相结合地被采用、以任何组合被采用、以及根据实施方式被全部采用。任何以及所有这样的组合都在本文中被预期并且被认为在本公开内容的范围内。

[0304] 虽然已经参照示例性实施方式描述了本发明,但是本领域技术人员将理解,在不脱离本公开内容的范围的情况下可以进行各种改变并且可以用等效形式替换所述实施方式的要素。另外,可以做出许多修改以使特定情况或材料适应于教导,而不背离其基本范围。因此,意图是本发明不限于将所公开的特定实施方式作为所构想出的实施本发明的最佳或唯一方式,而是本发明将包括落入所附权利要求的范围内的所有实施方式。另外,在附图和说明书中,已经公开了示例性实施方式,并且尽管可能已经使用了特定的术语和/或尺寸,但是除非另外说明,否则它们仅用于一般的、示例性的和/或描述性含义,而并非出于限制的目的。

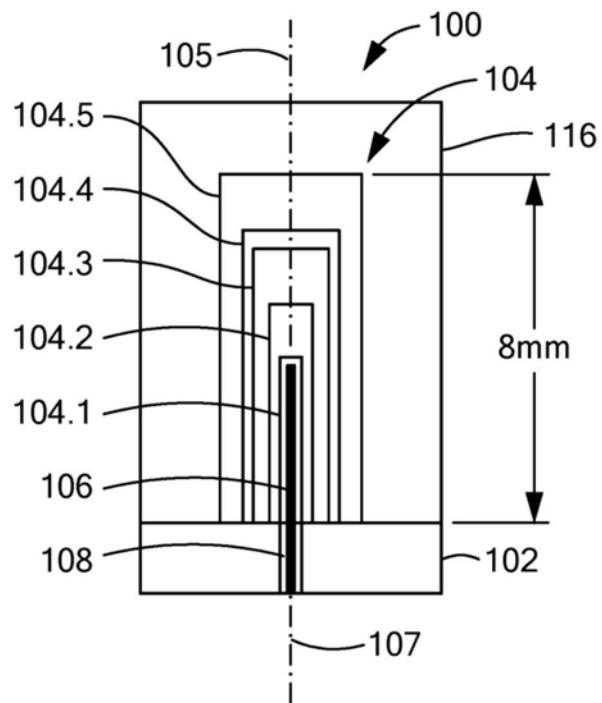


图1A

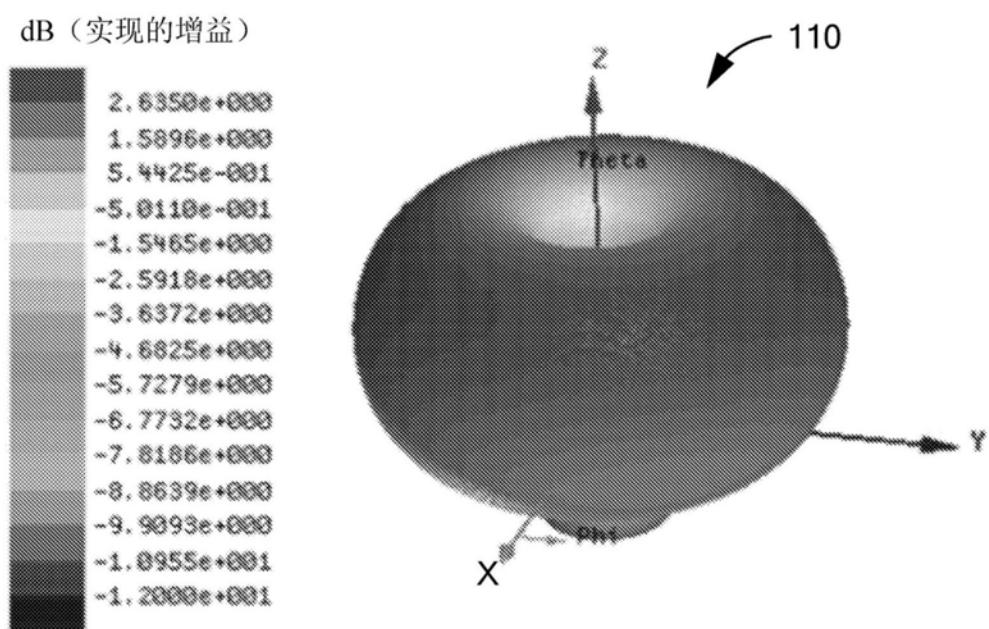


图1B

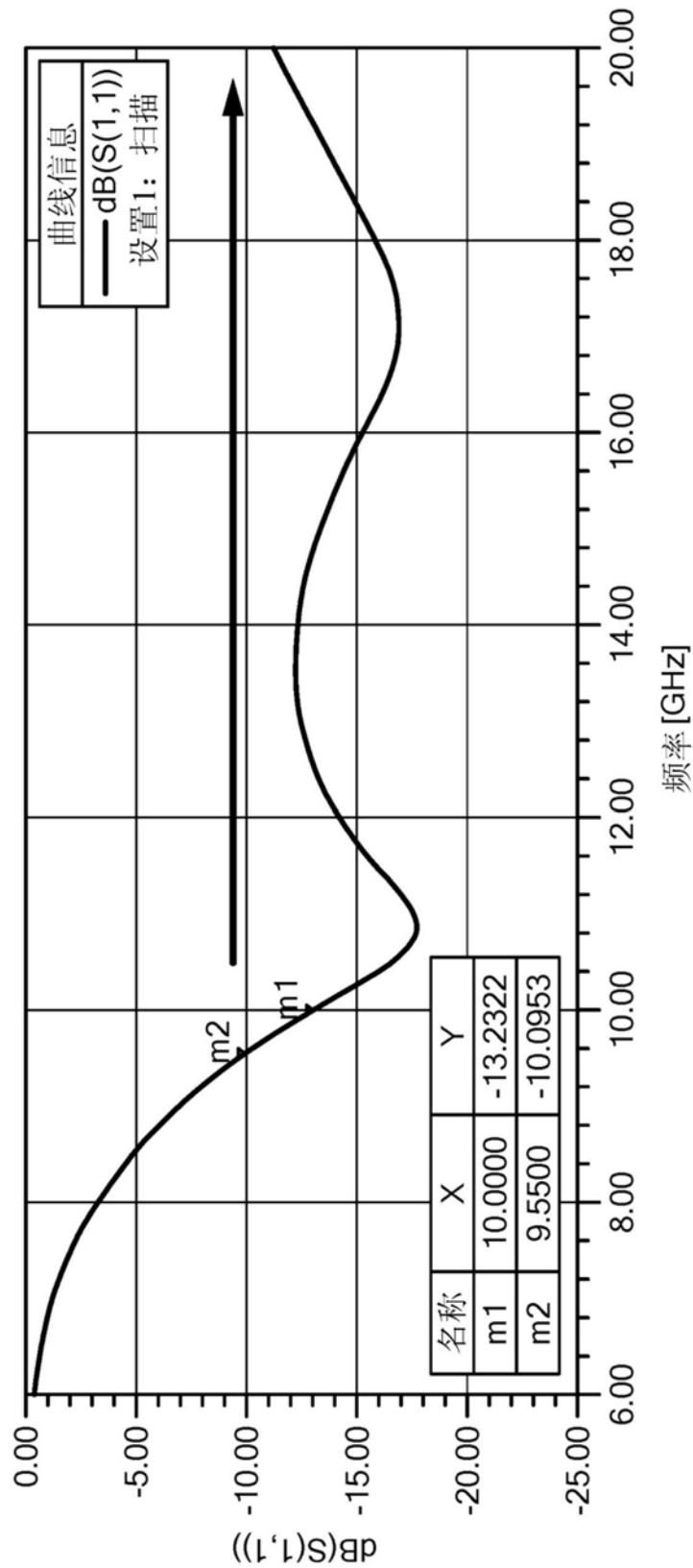


图1C

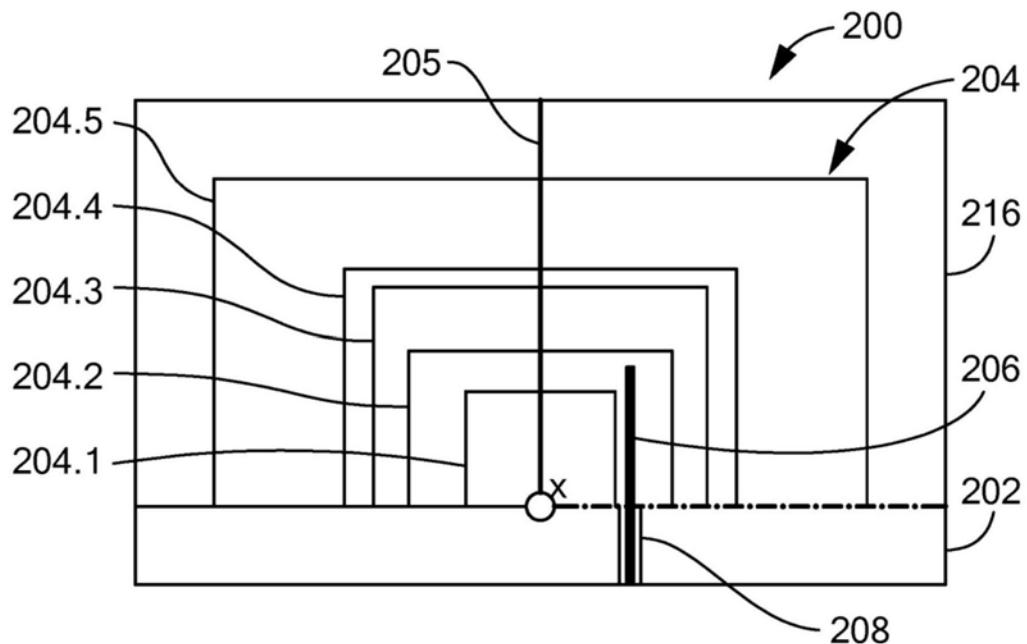


图2A

dB (实现的增益)

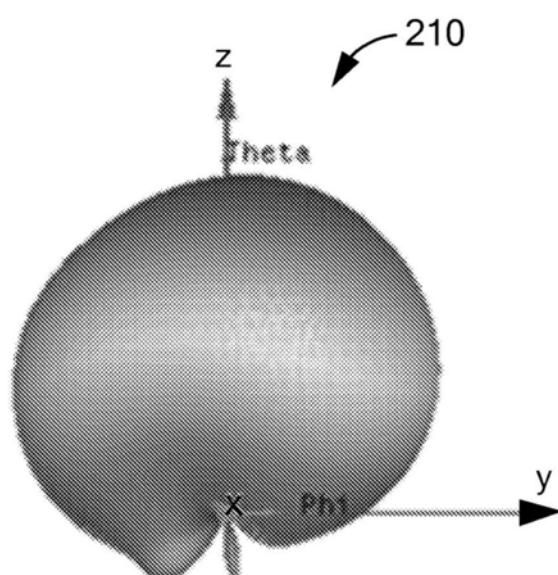


图2B

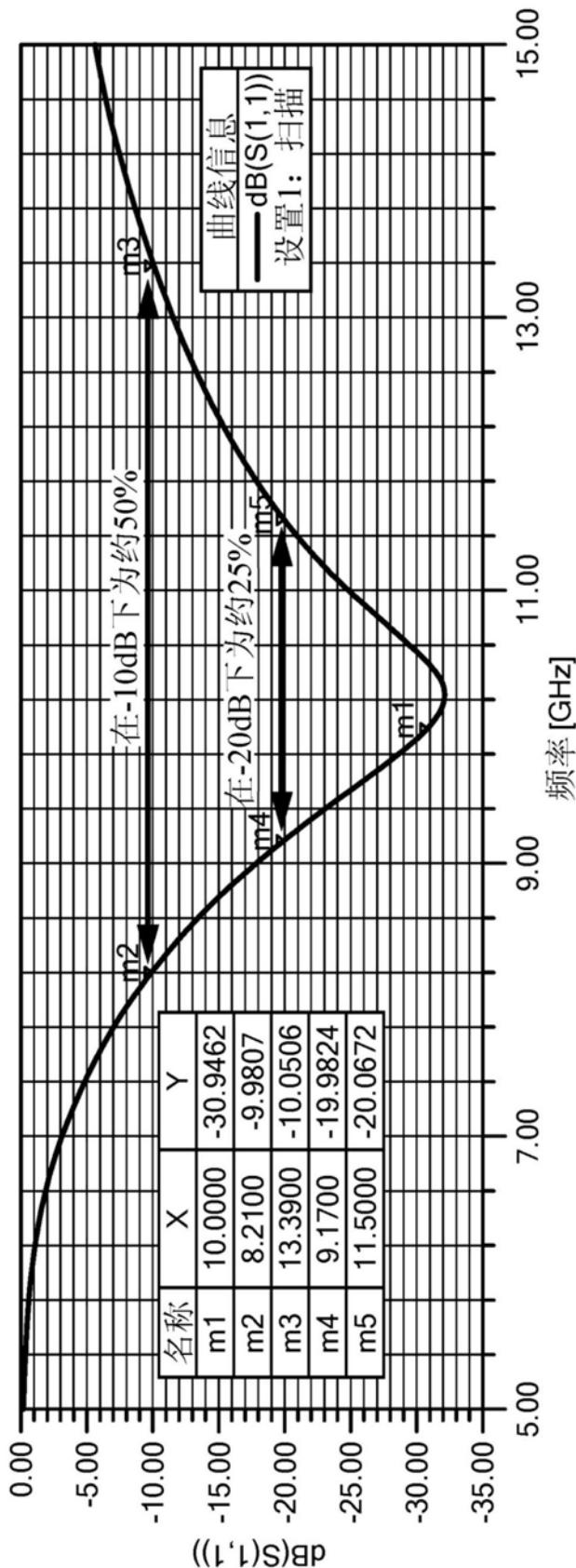


图2C

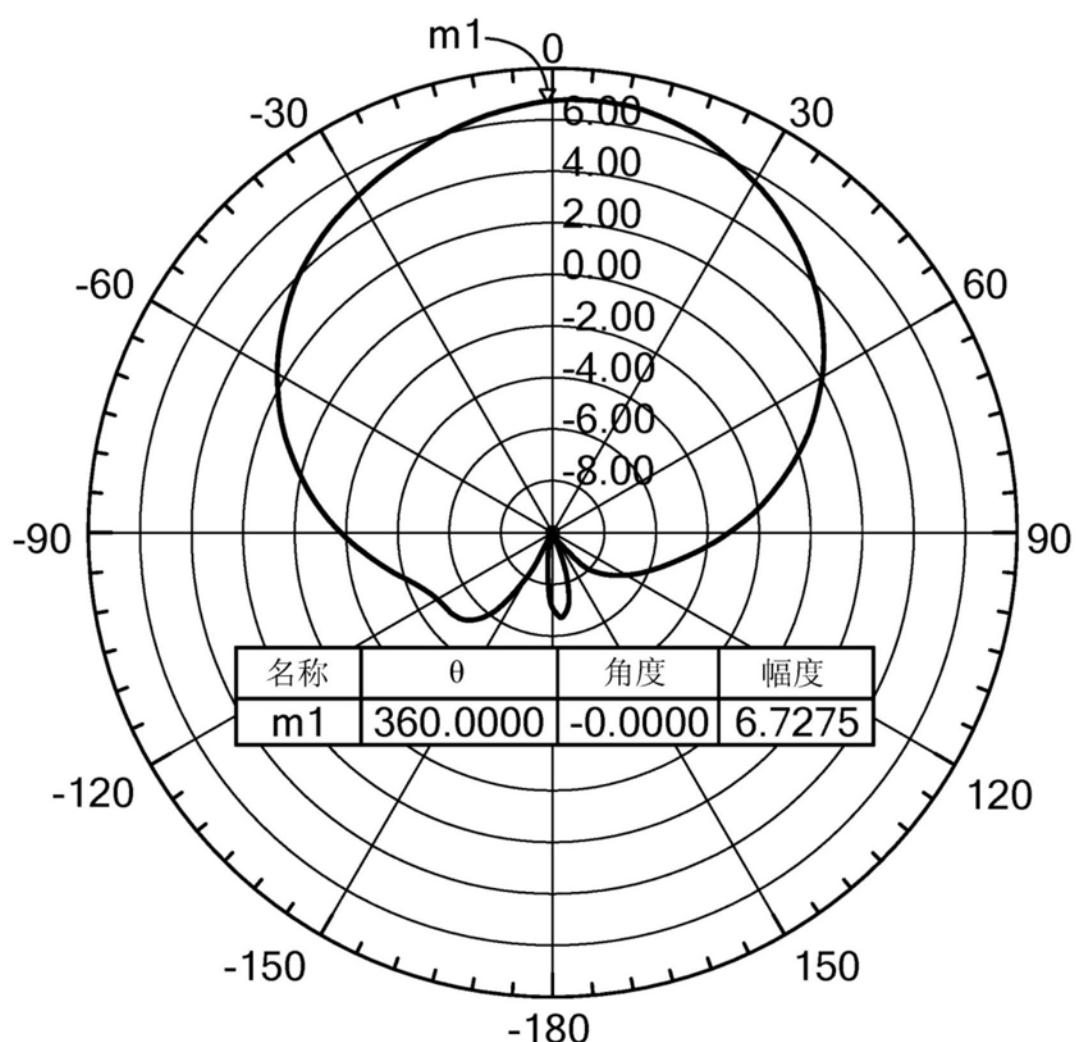


图2D

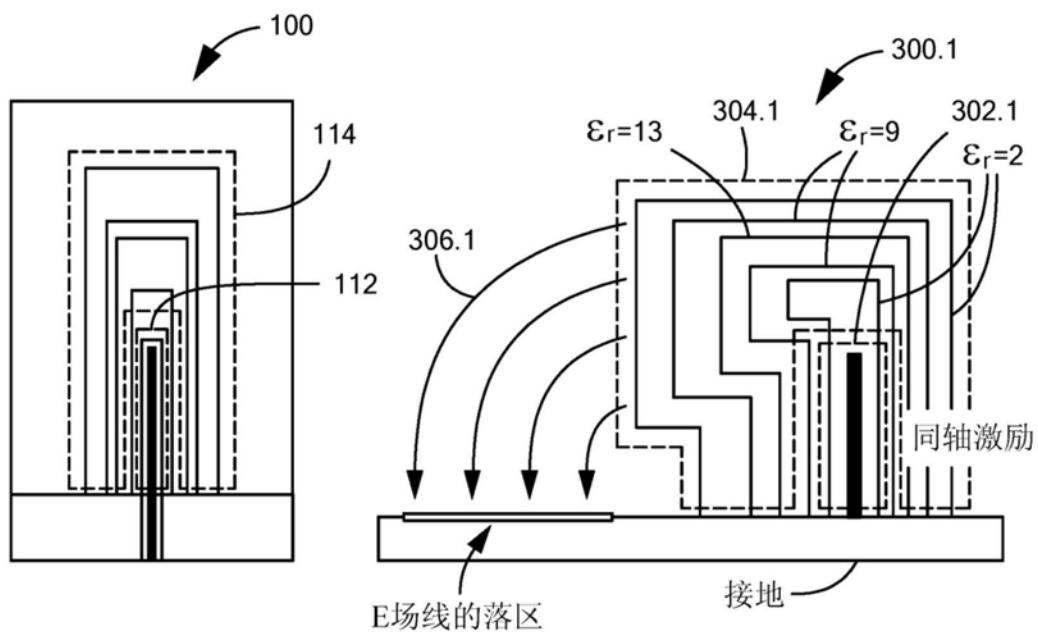


图3A

图3B

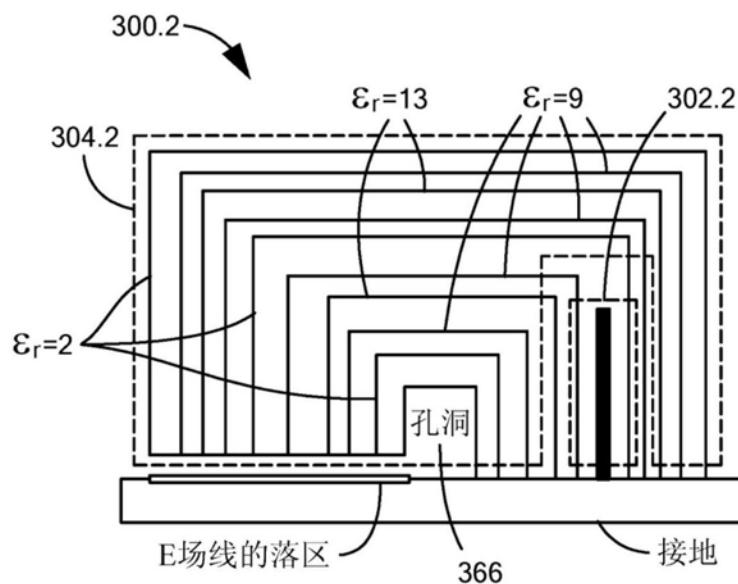


图3C

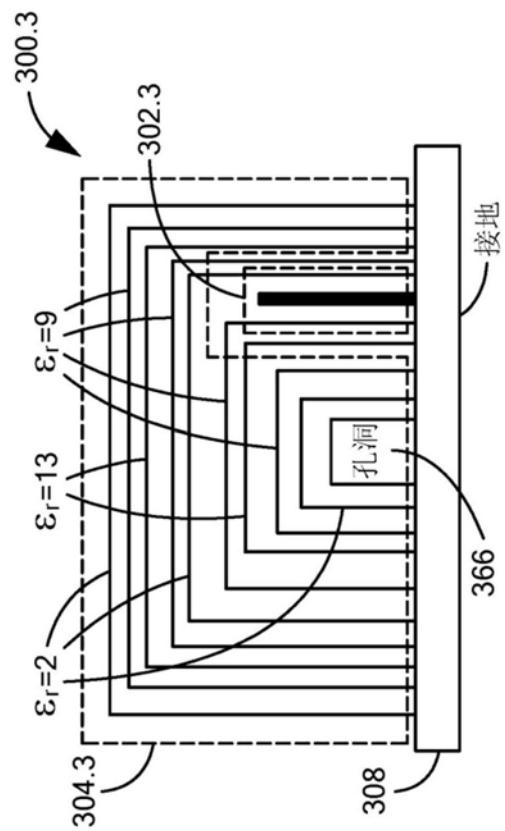


图3D

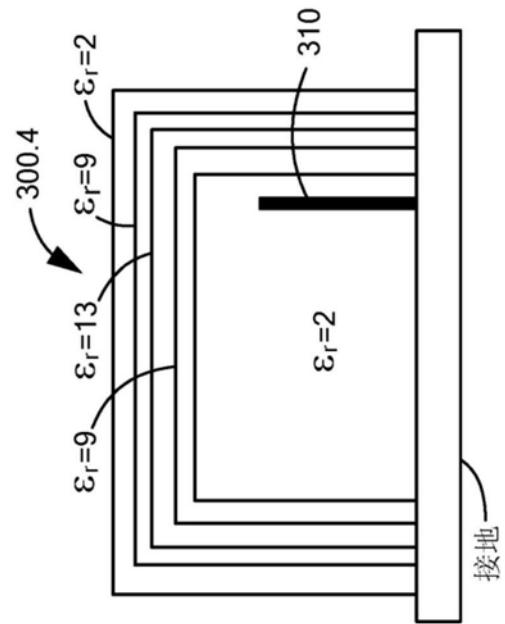


图3E

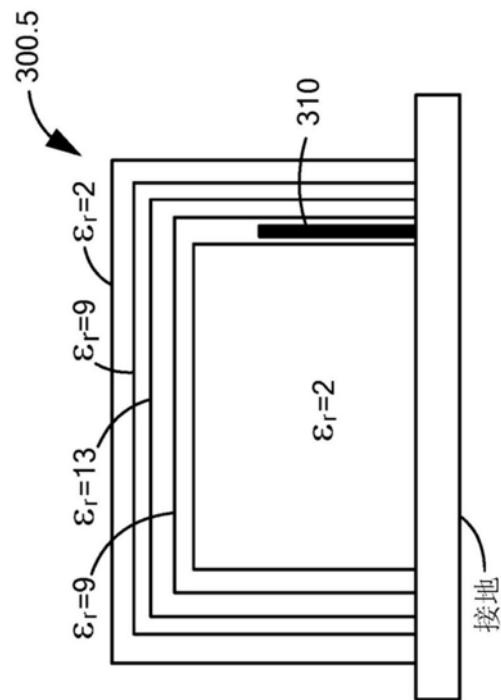


图3F

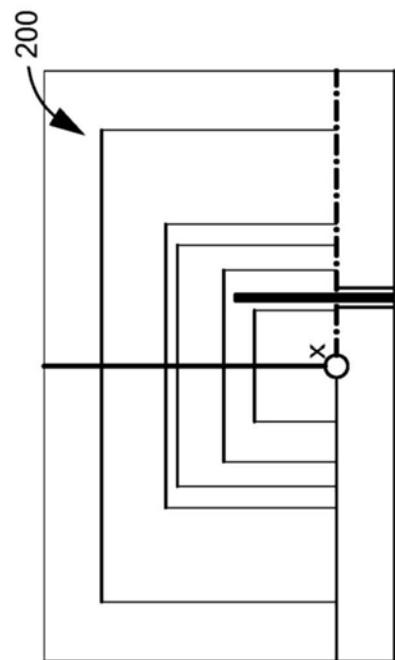


图3G

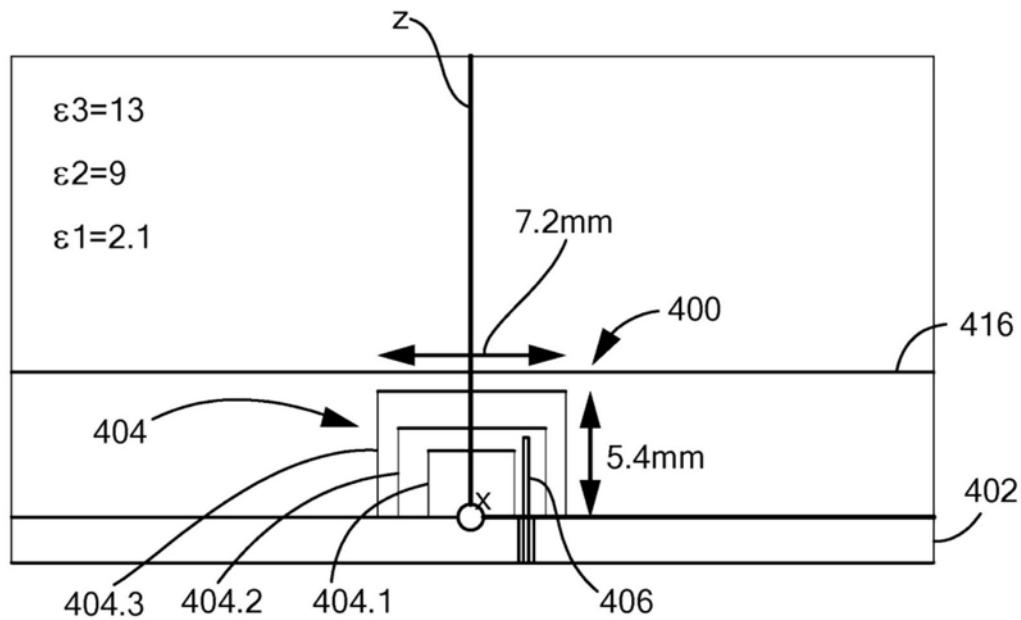


图4A

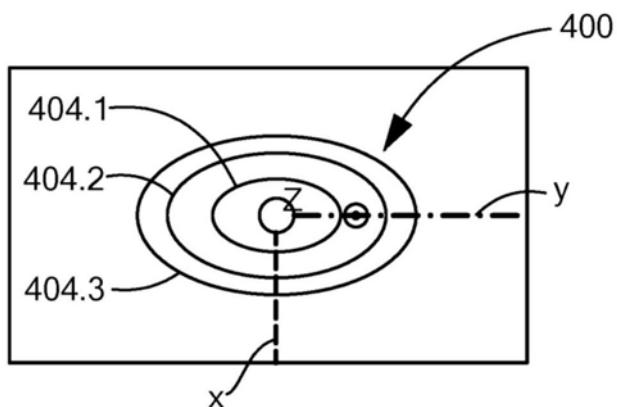


图4B

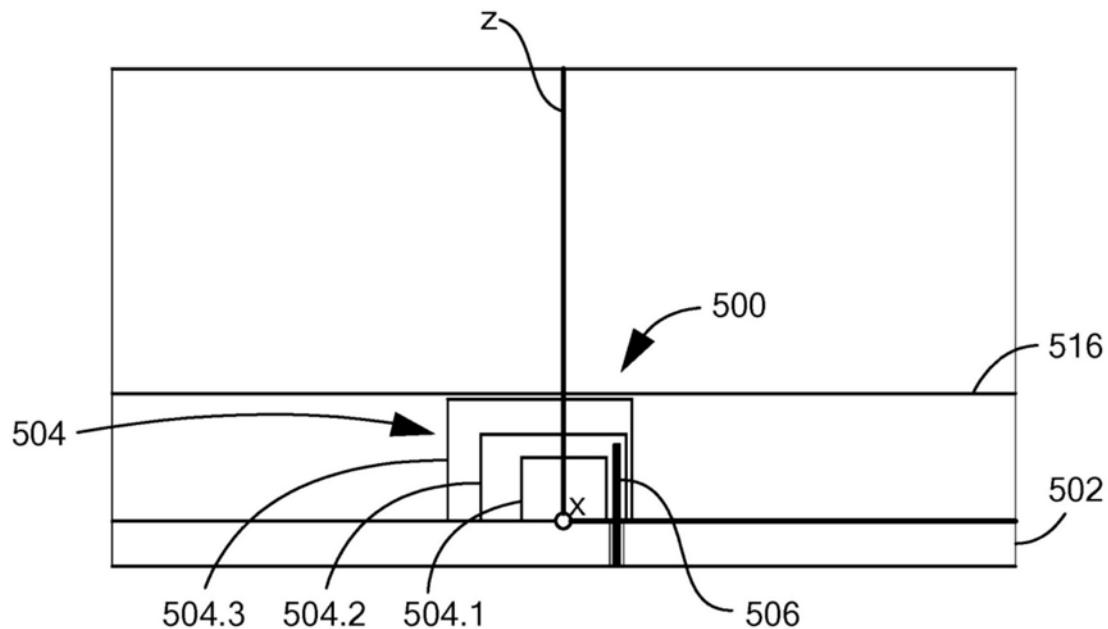


图5A

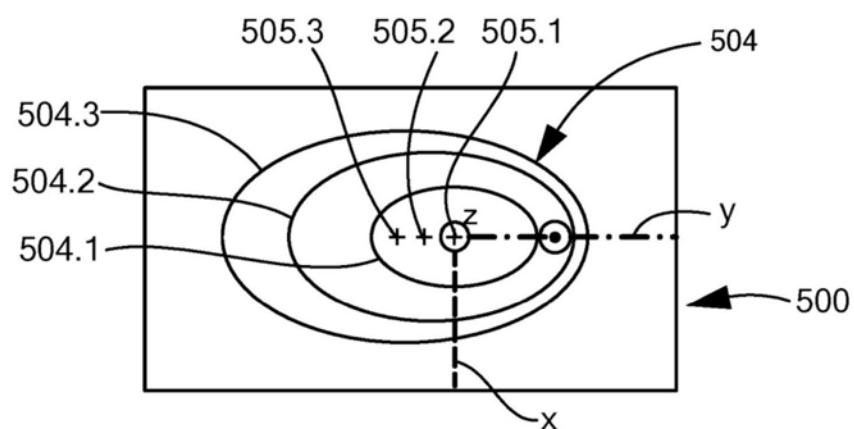


图5B

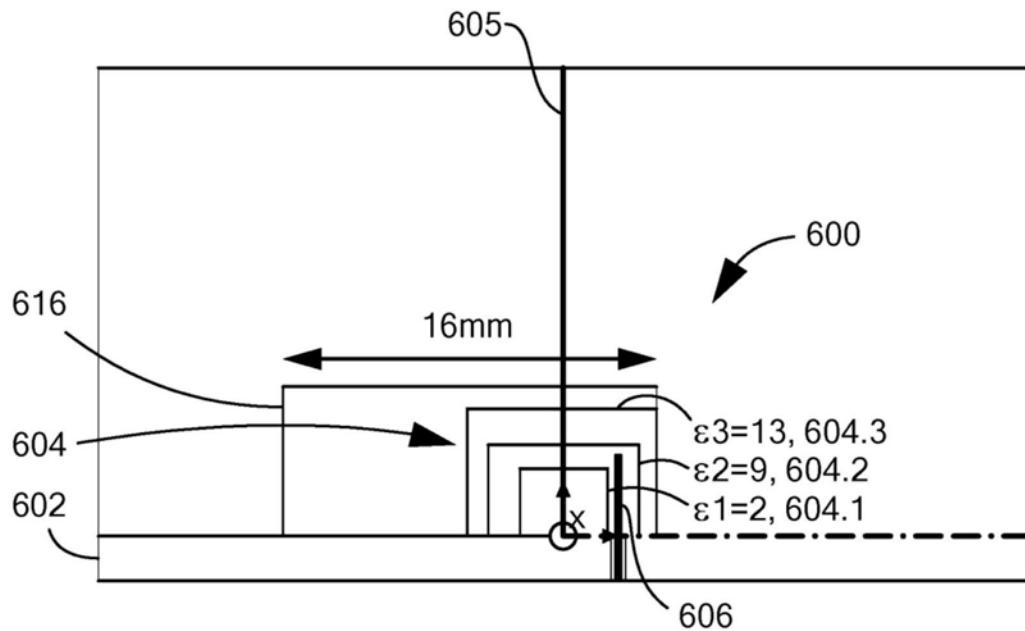


图6A

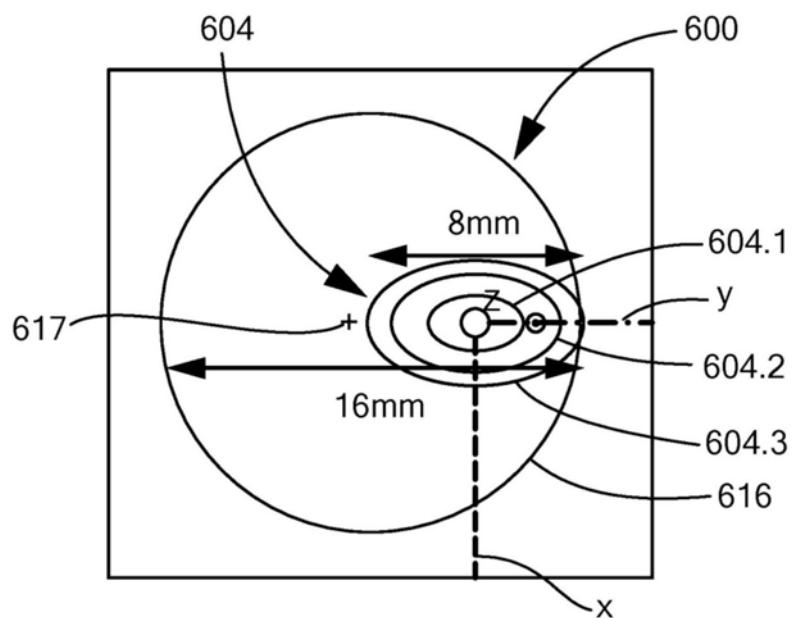


图6B

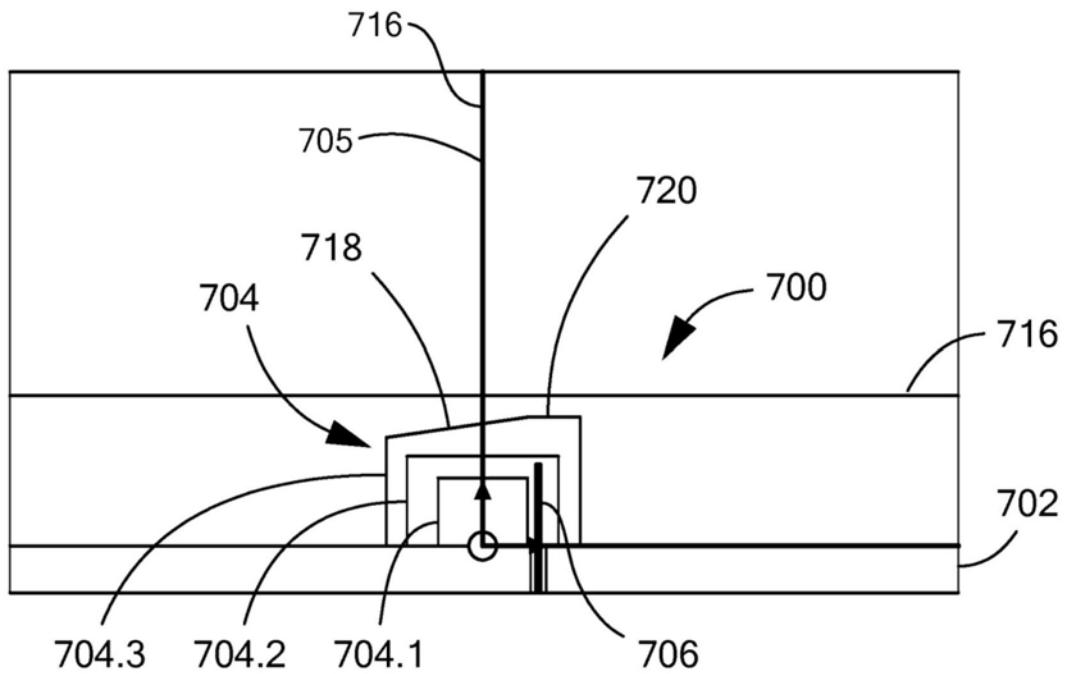


图7A

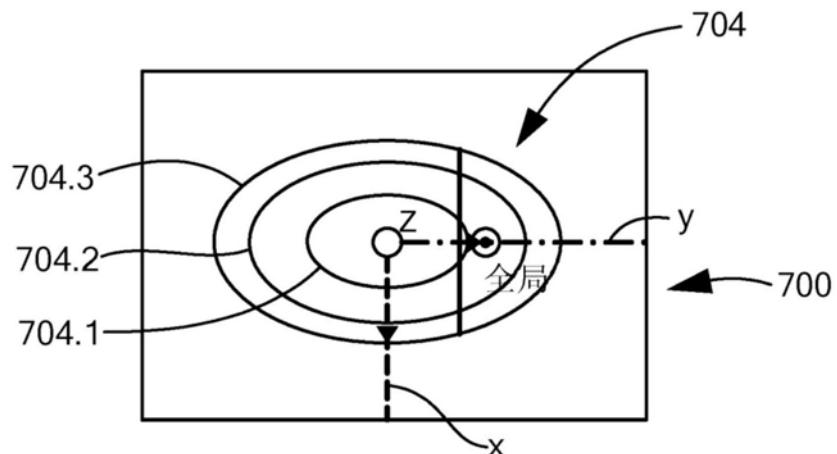


图7B

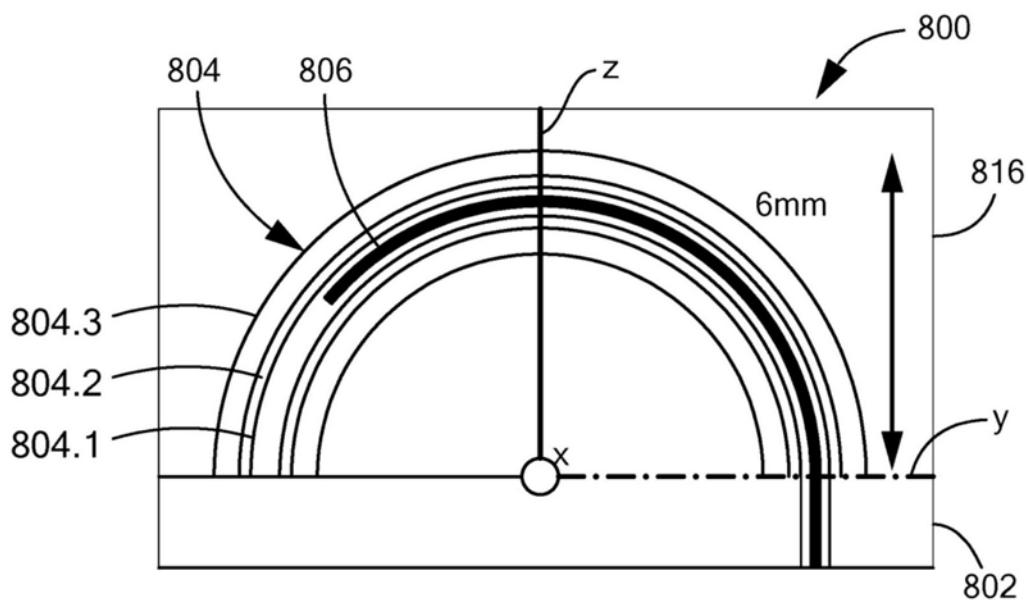


图8A

dB (实现的增益)

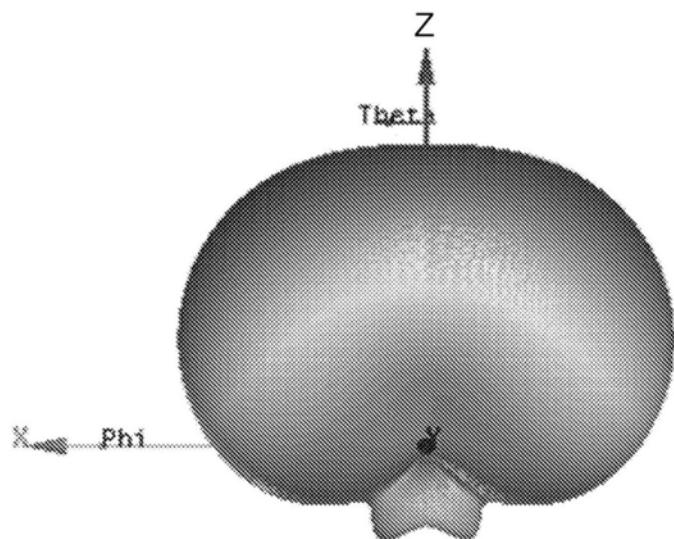


图8B

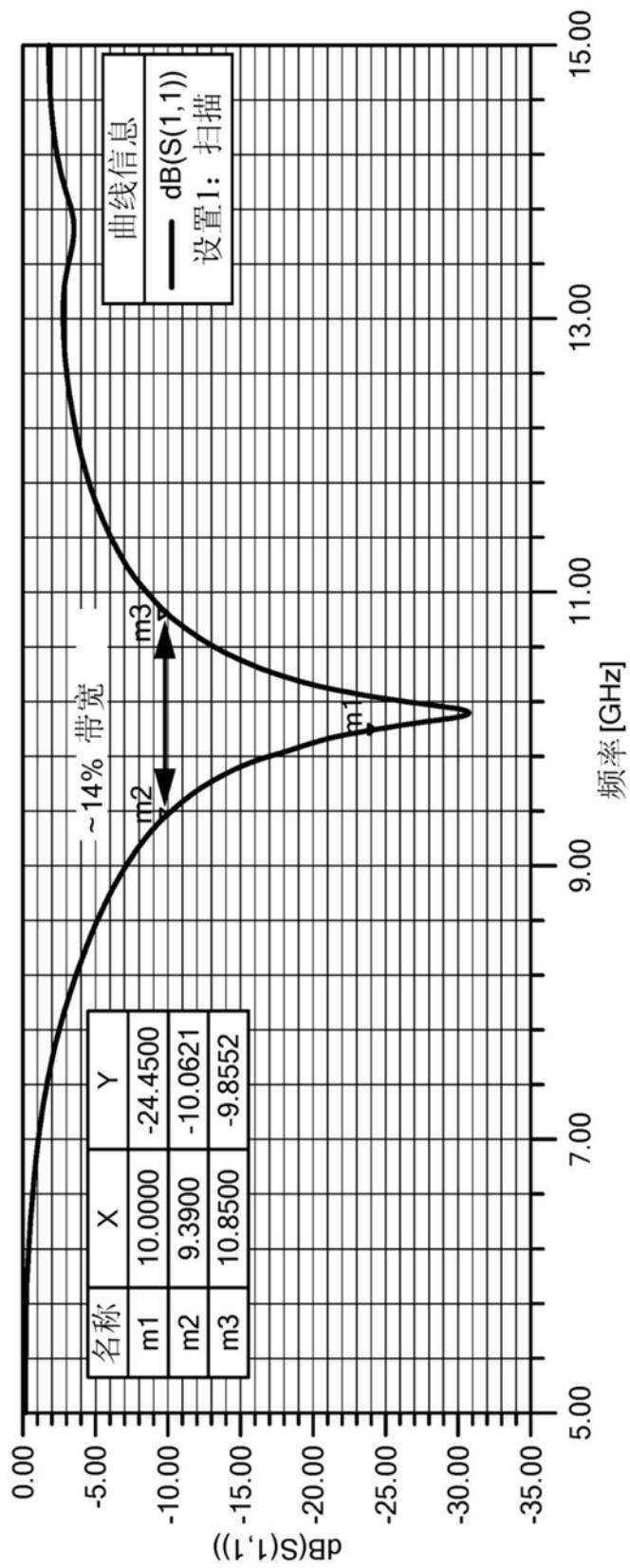


图8C

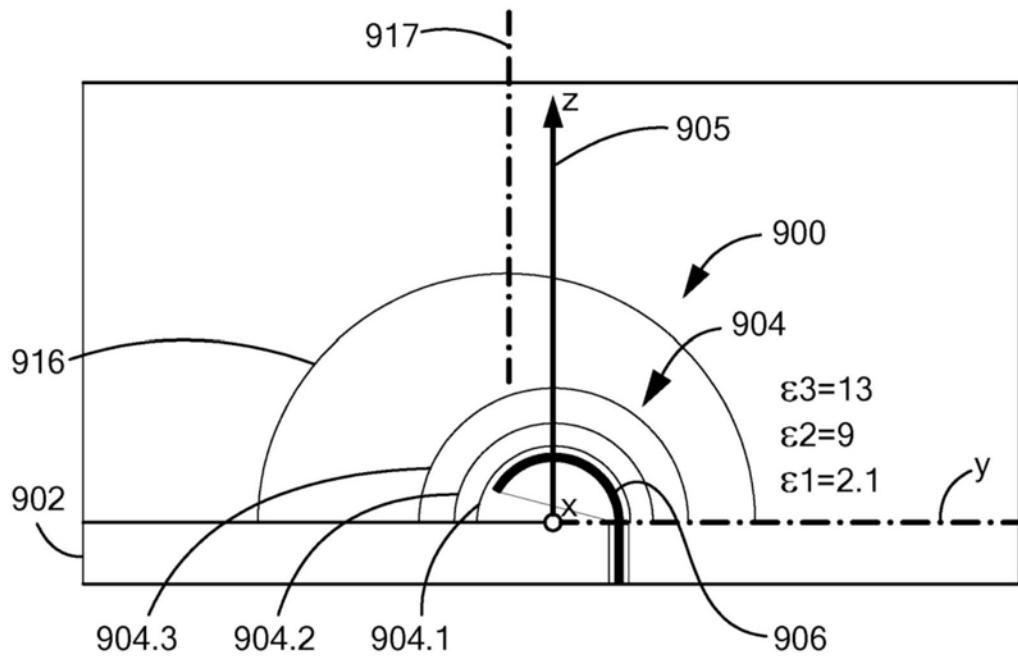


图9A

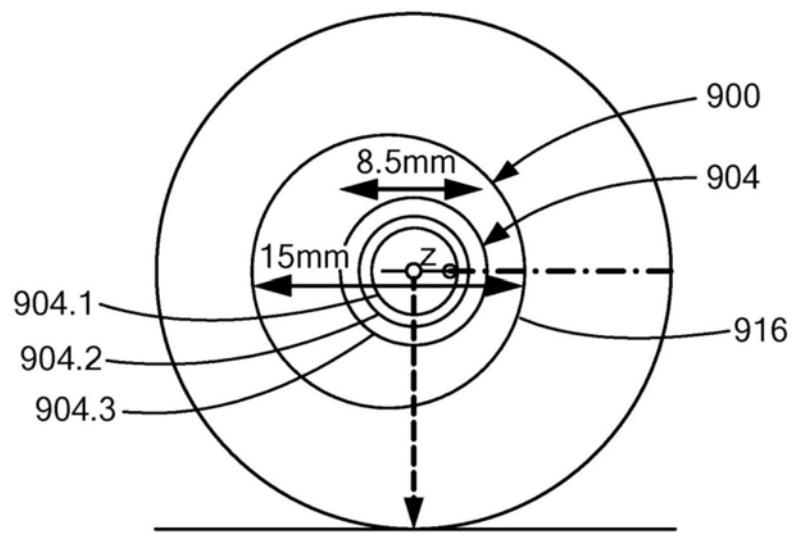


图9B

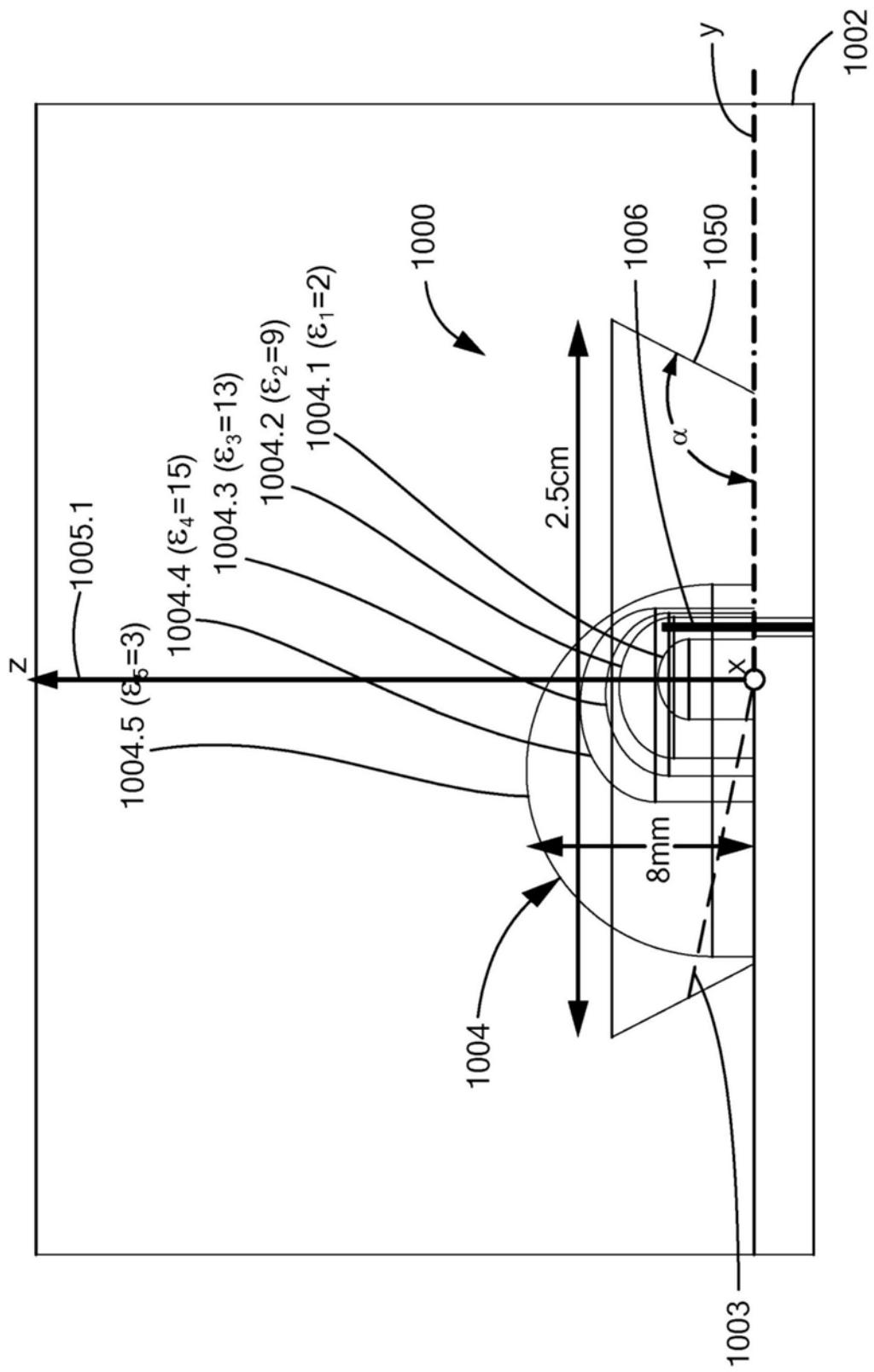


图10A

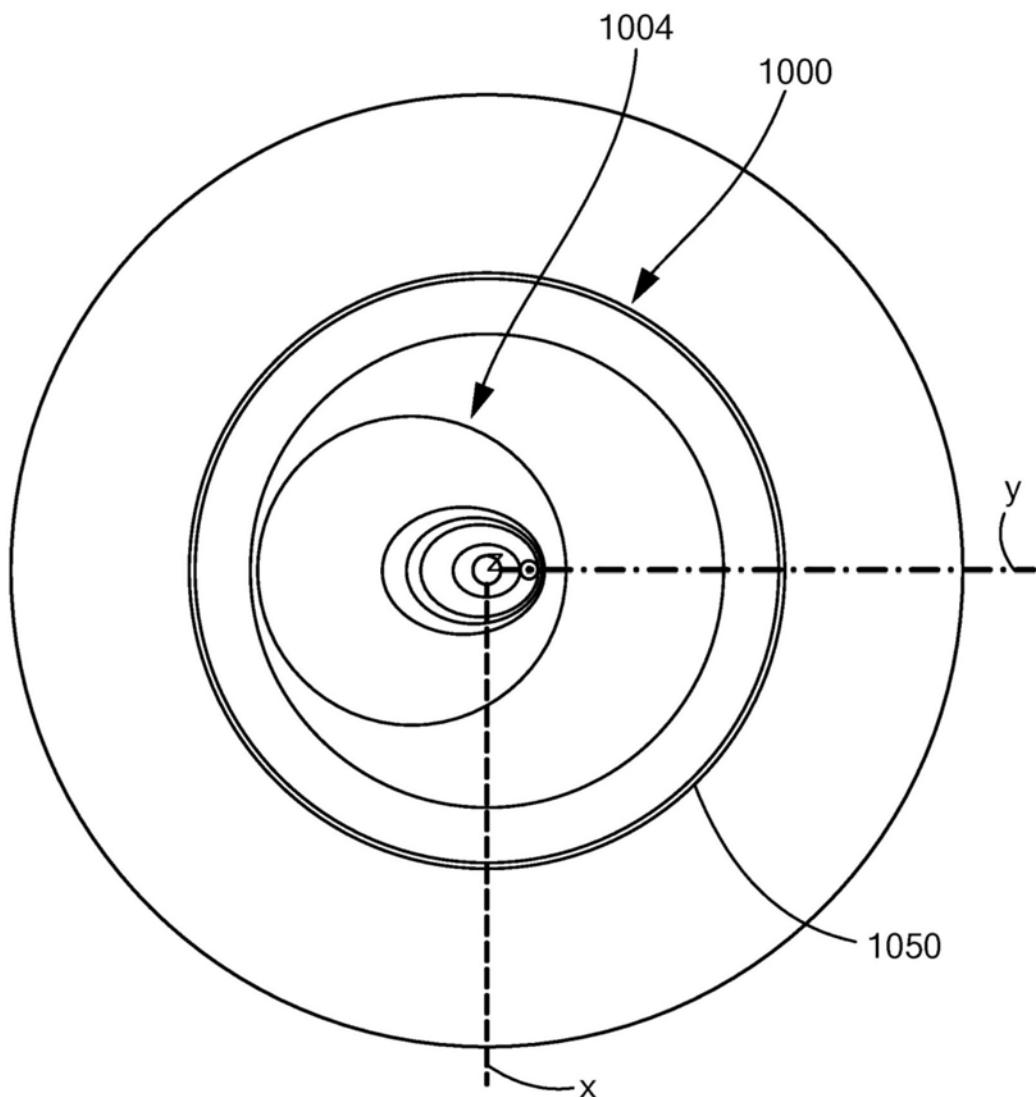


图10B

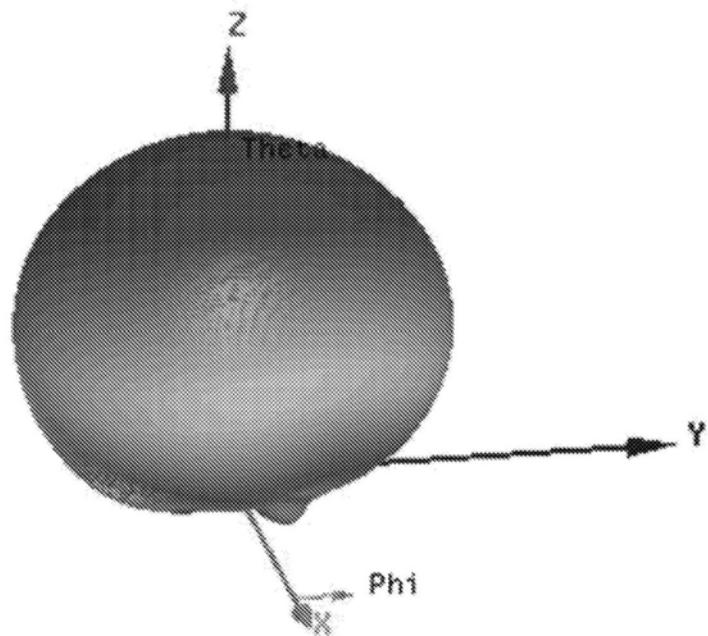


图10C

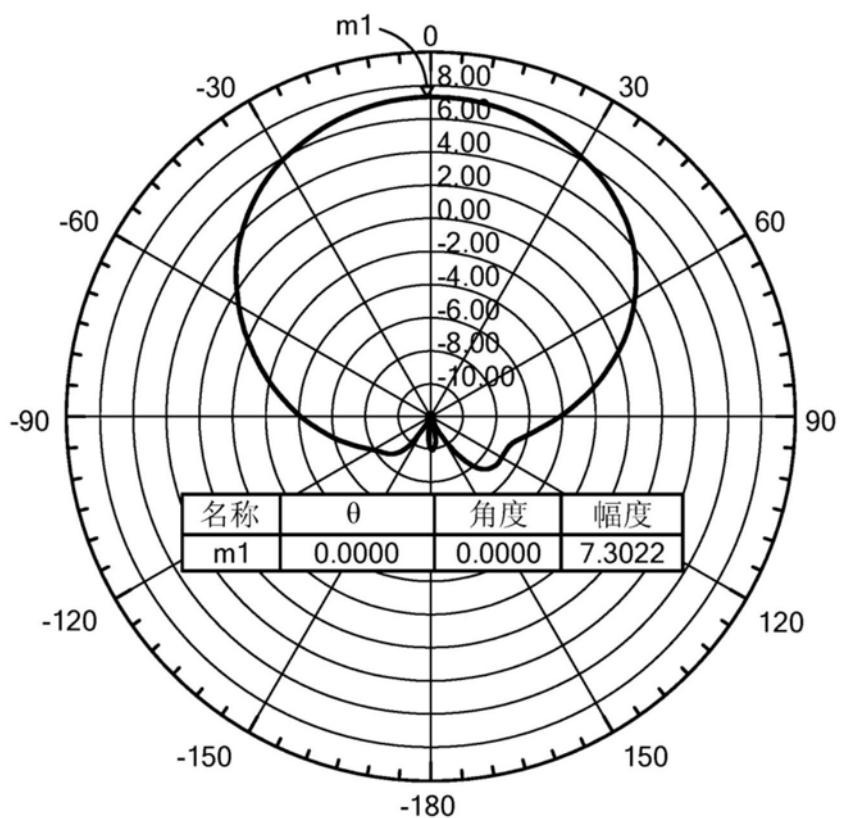


图10D

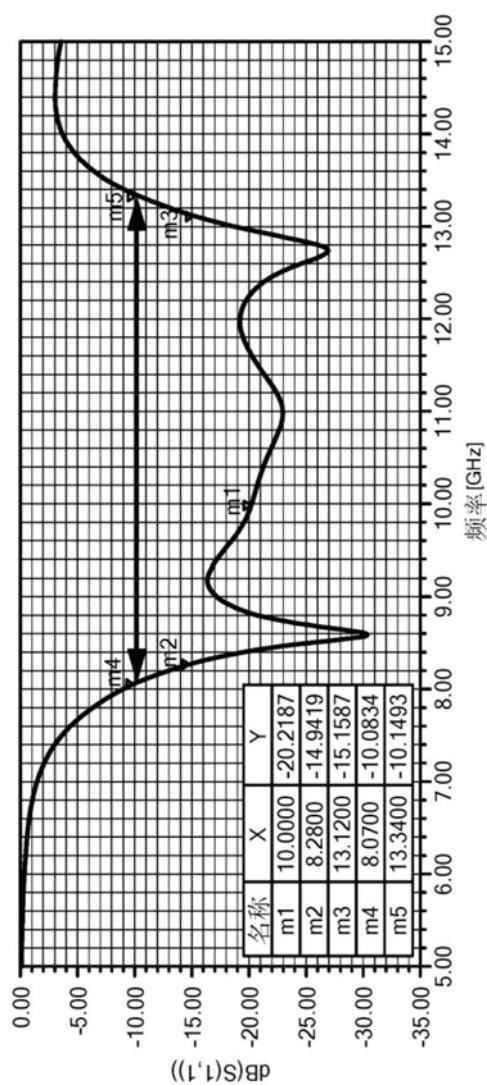


图10E

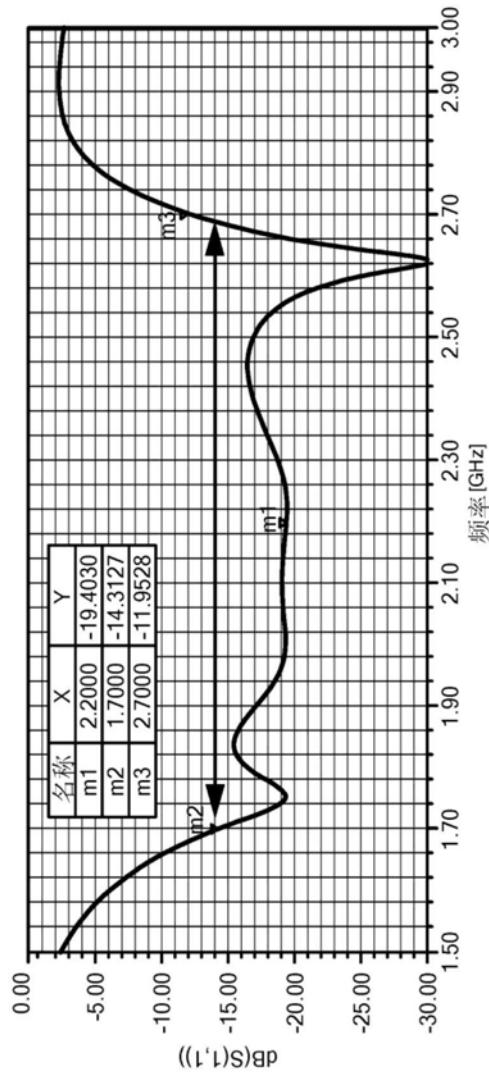


图10F

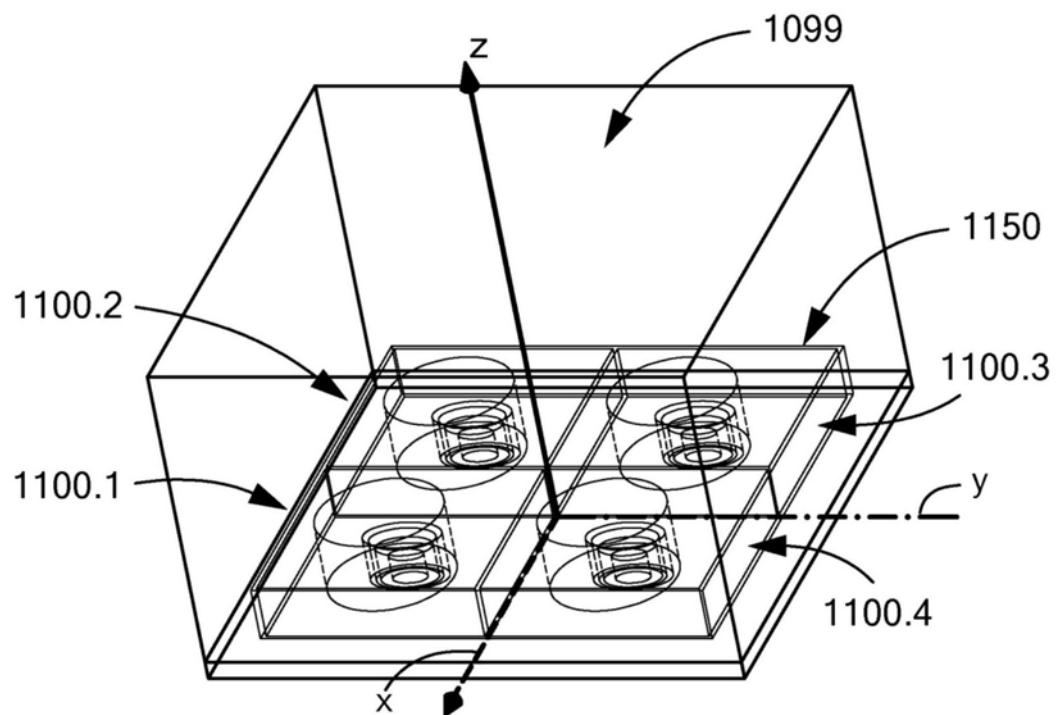


图11A

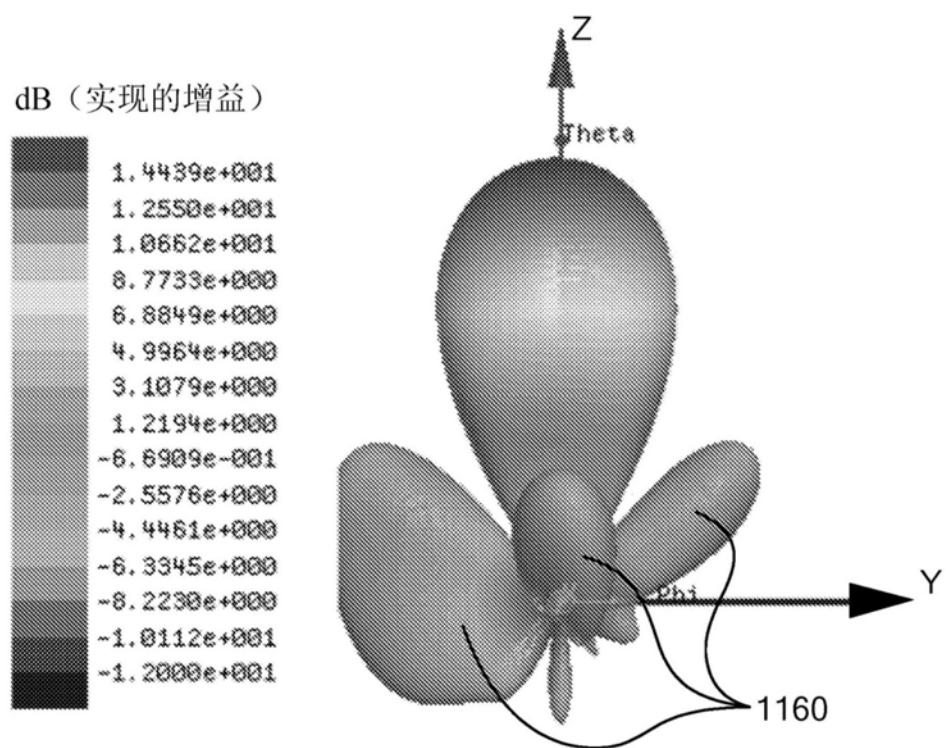


图11B

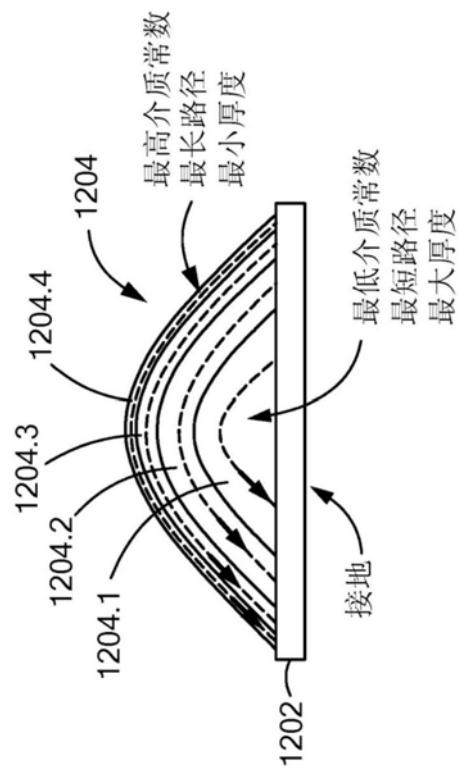


图12A

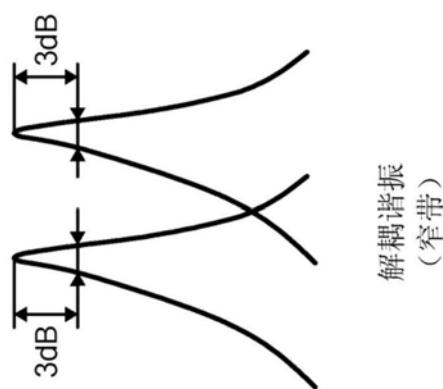


图12B

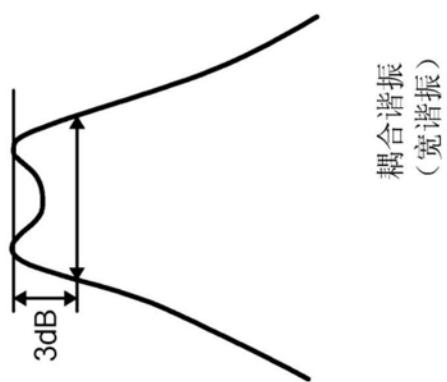


图12C

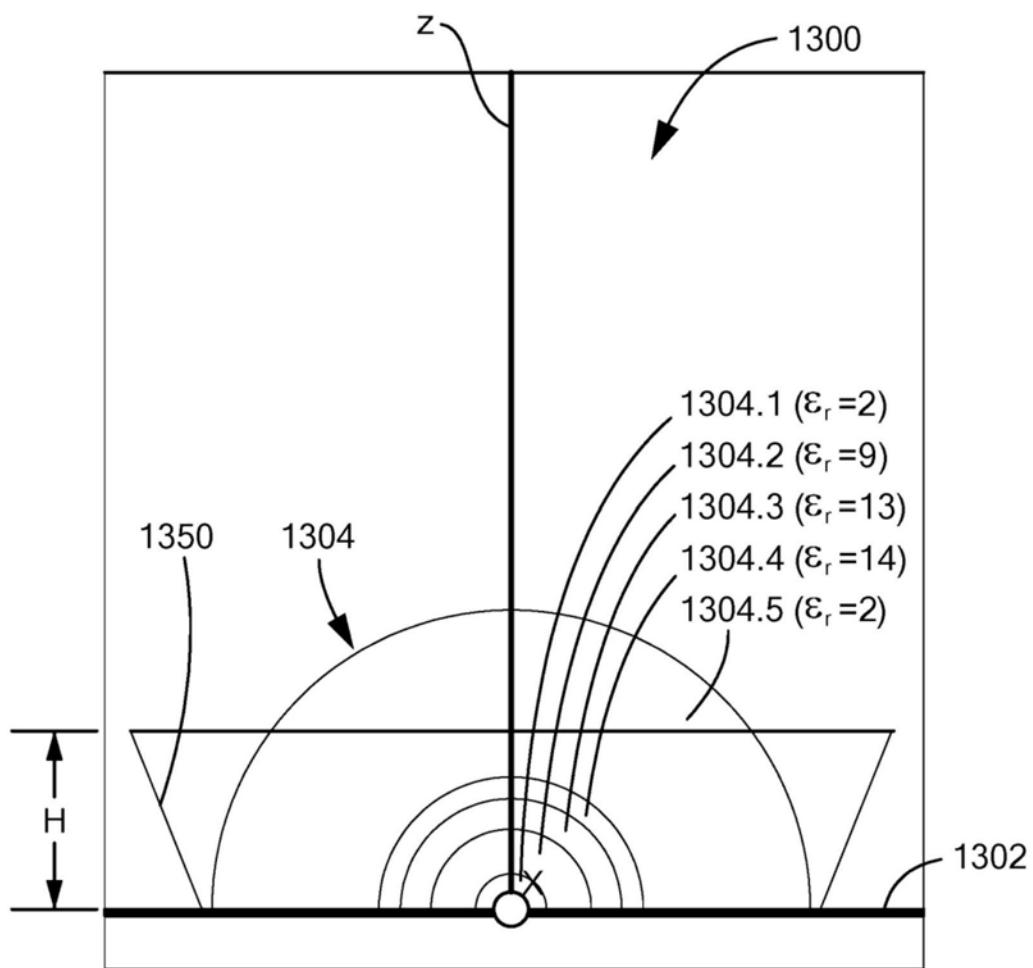


图13A

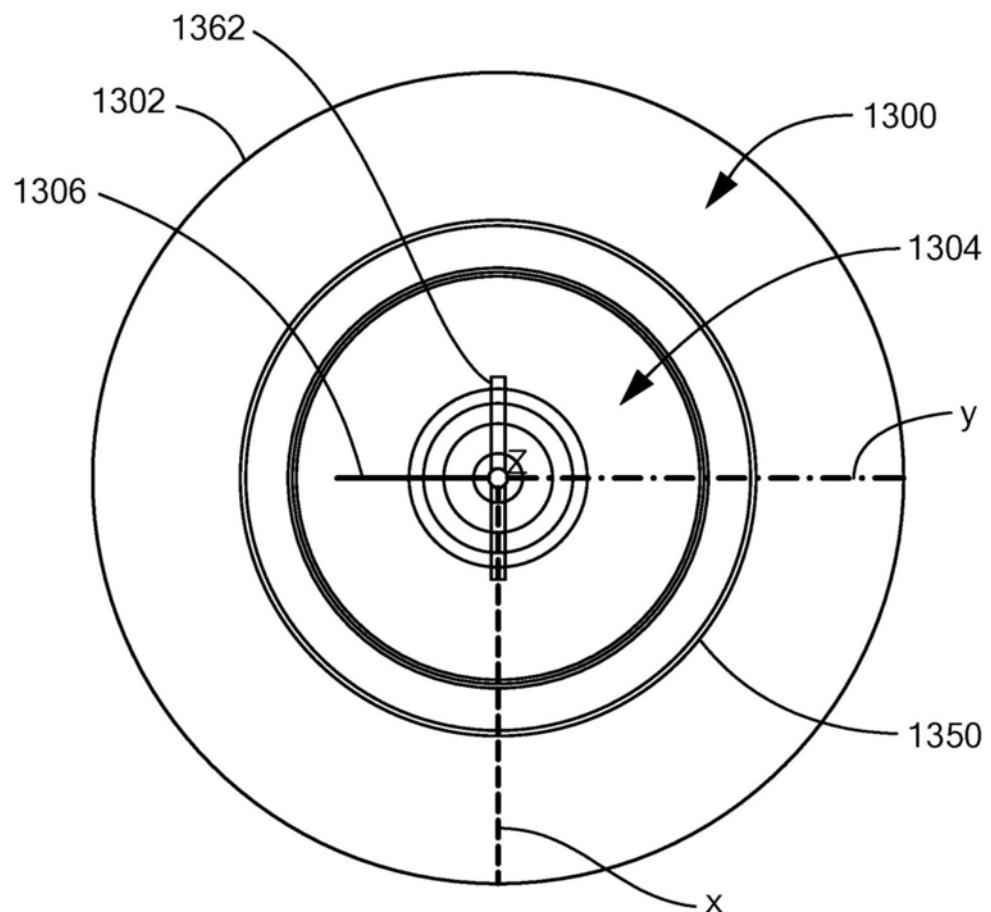


图13B

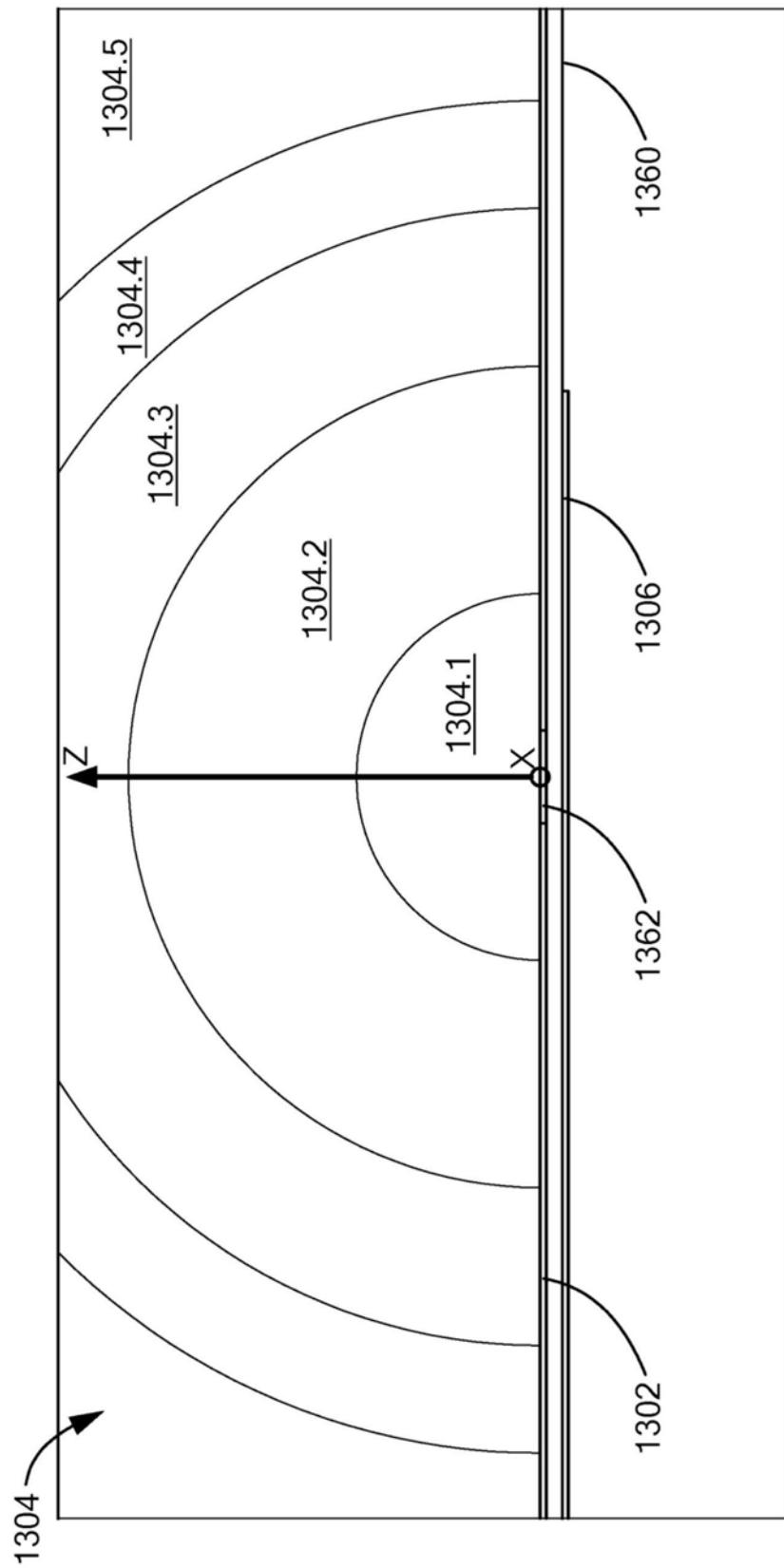


图13C

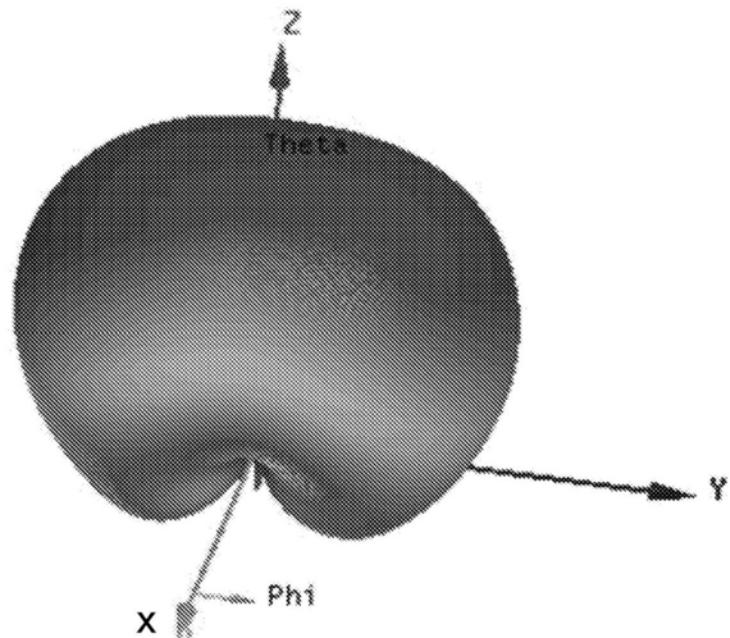


图13D

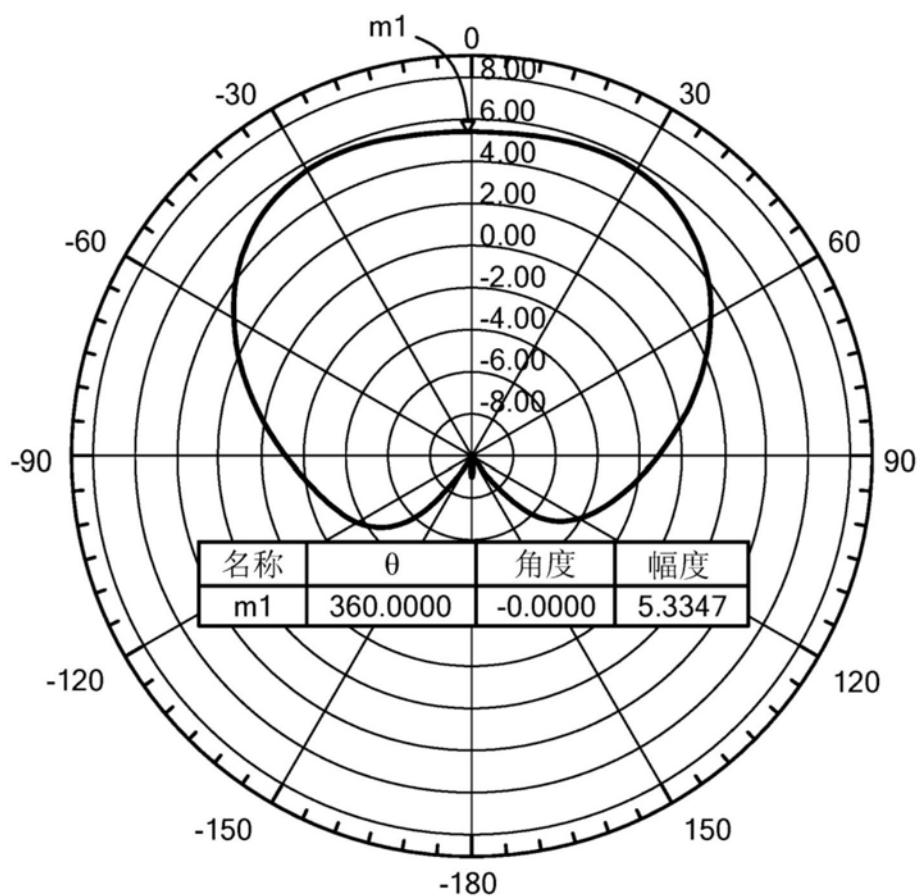


图13E

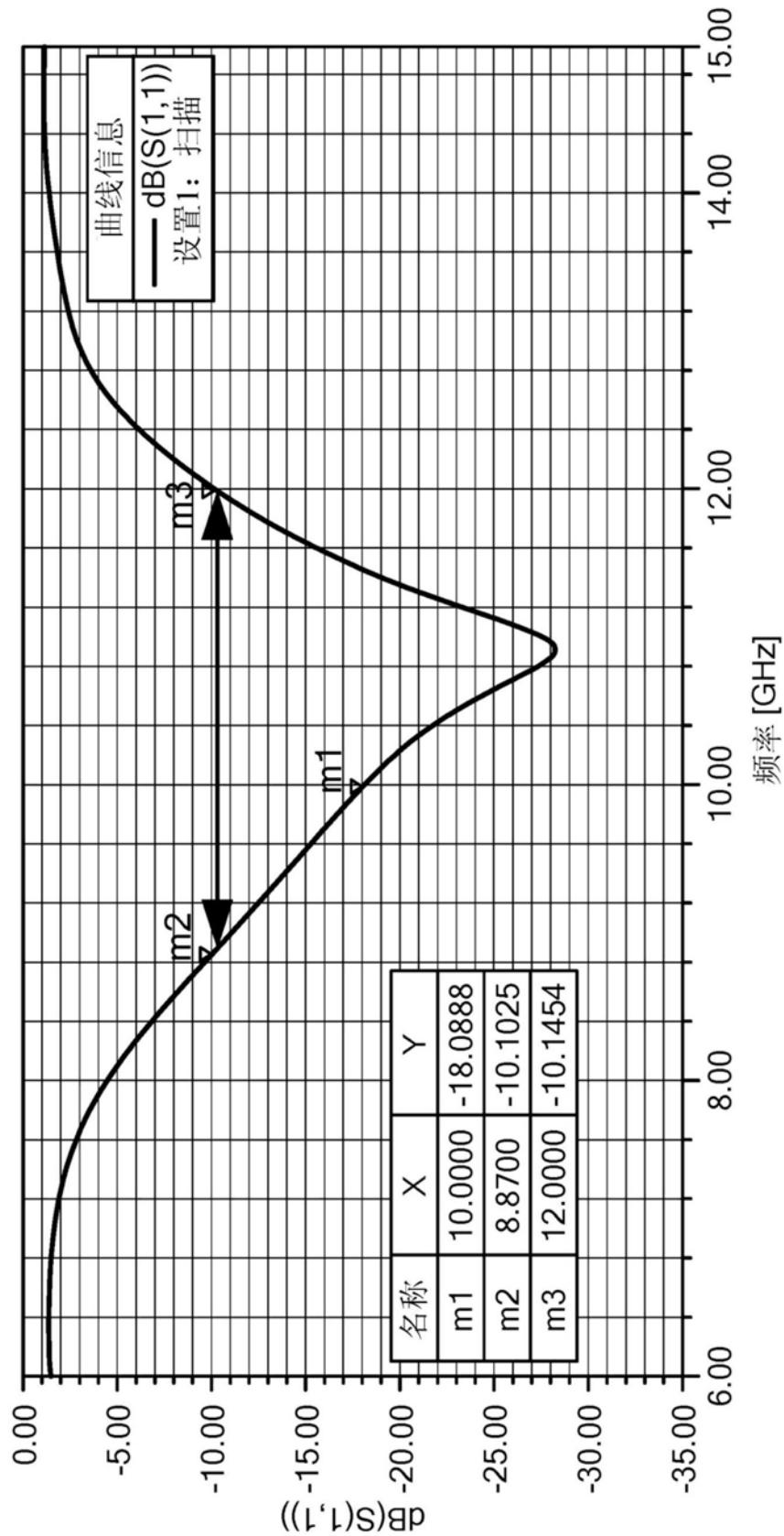


图13F

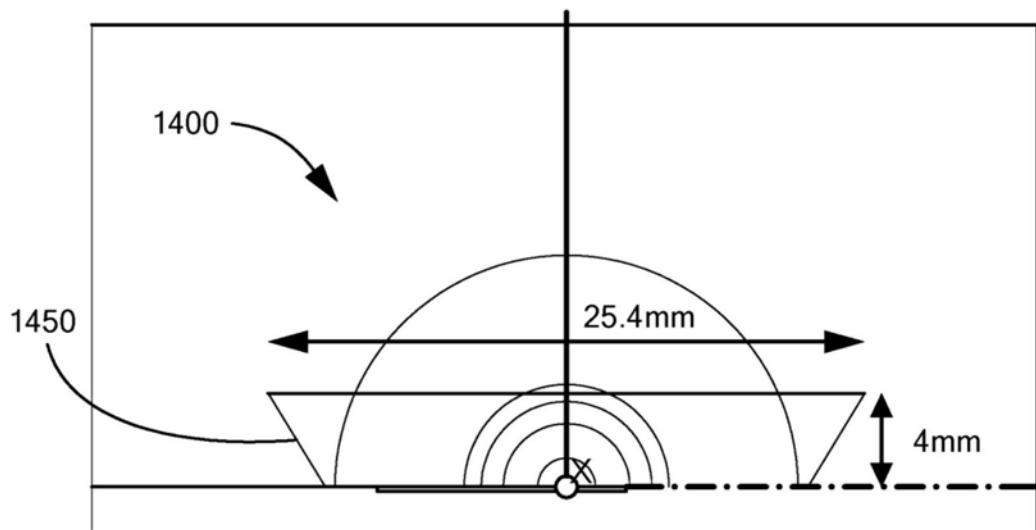


图14A

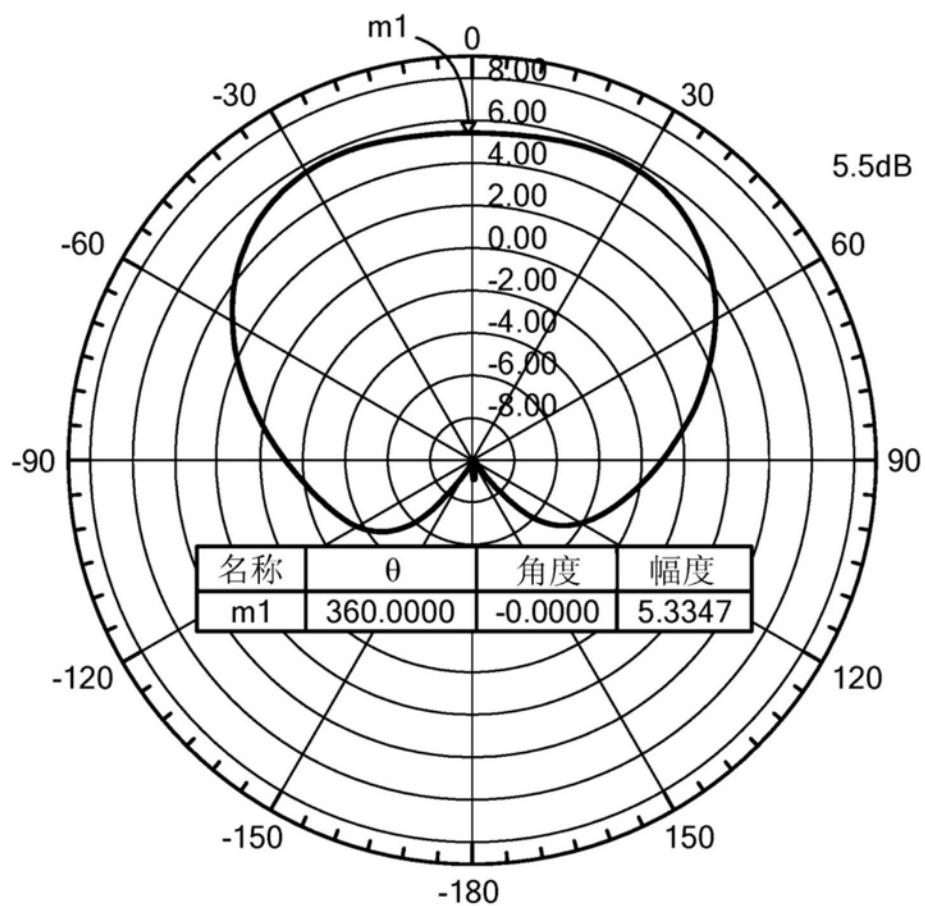


图14B

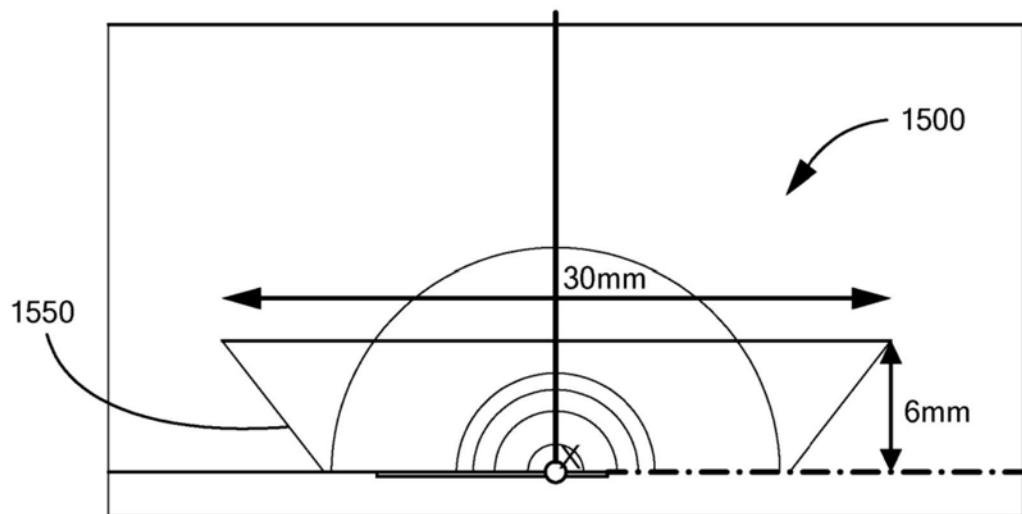


图15A

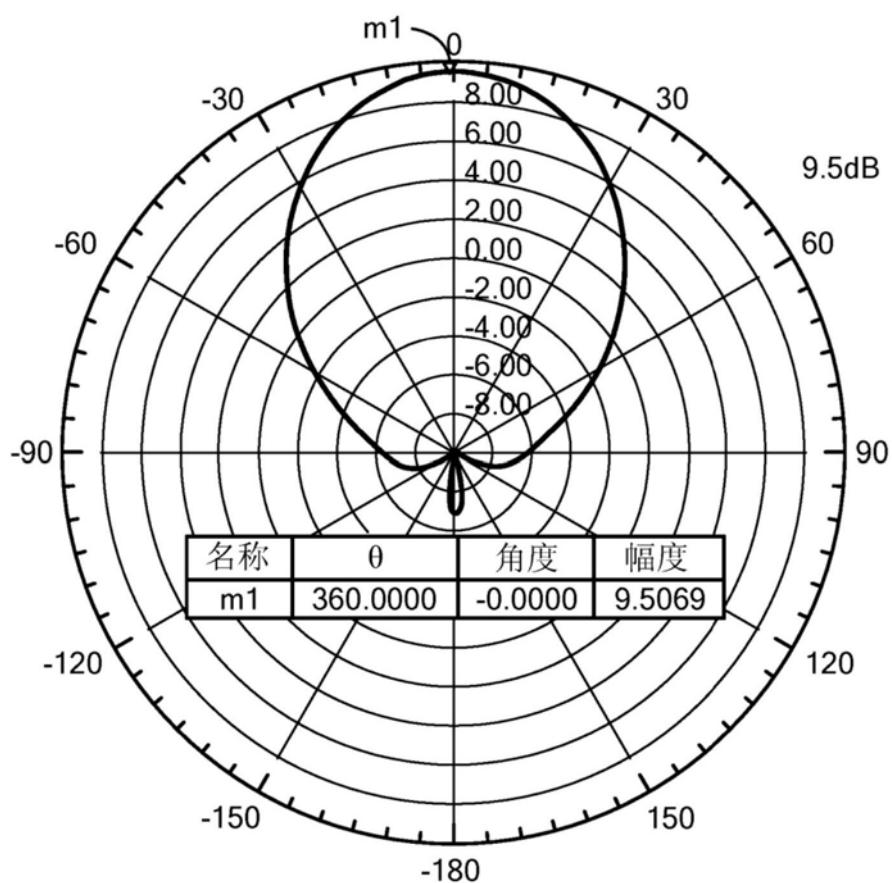


图15B

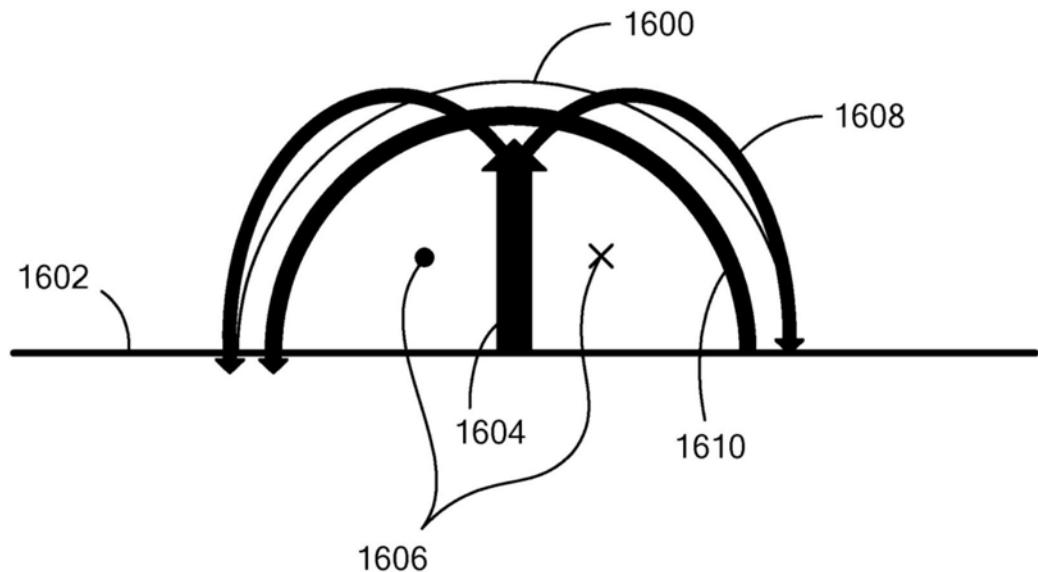


图16

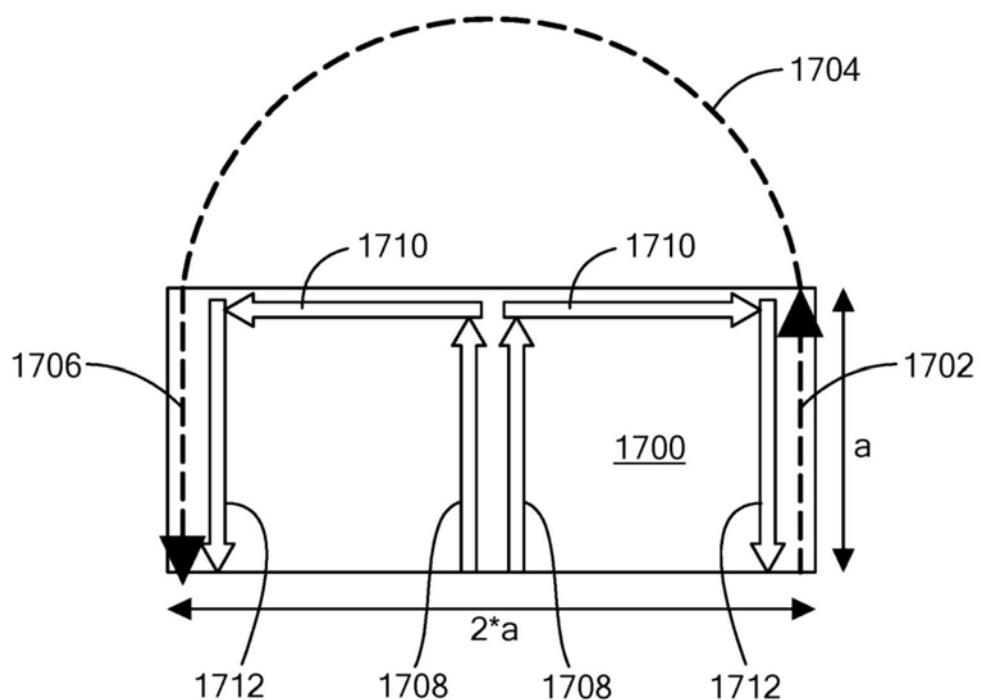


图17

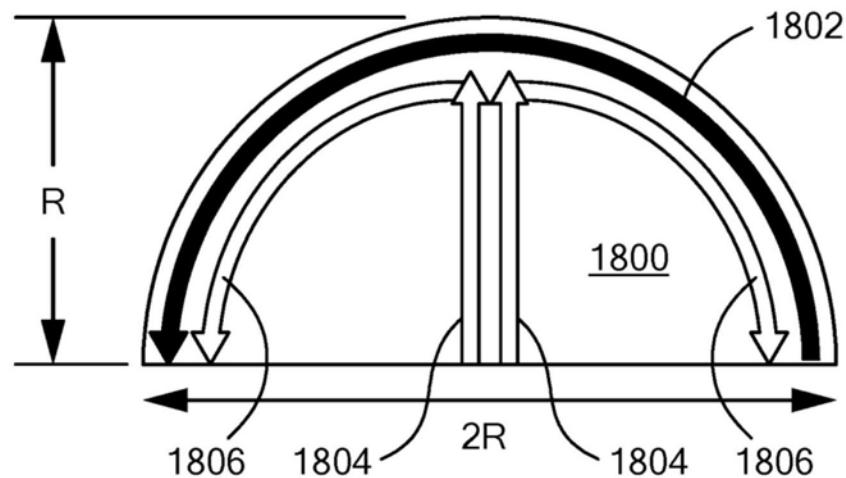


图18

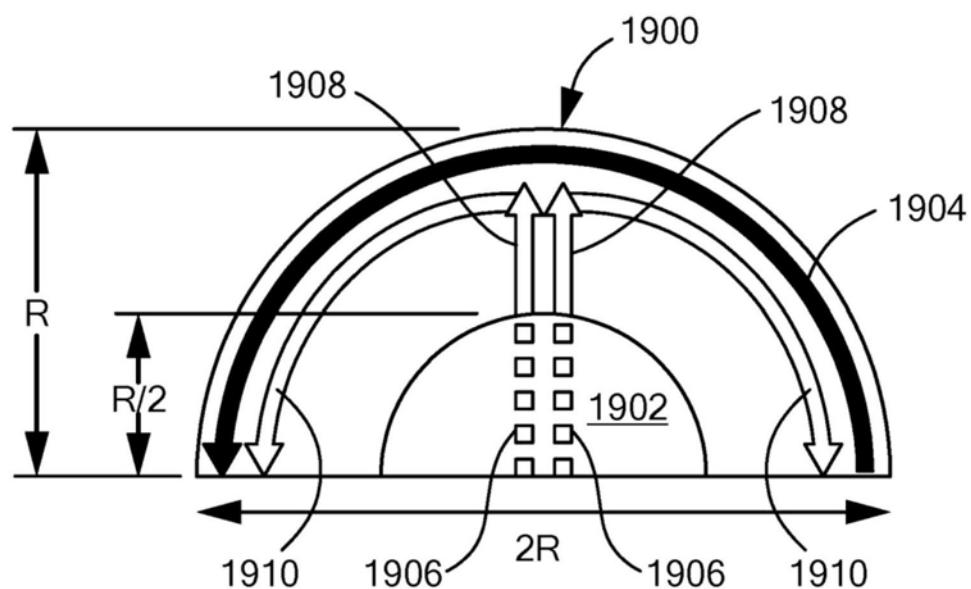


图19

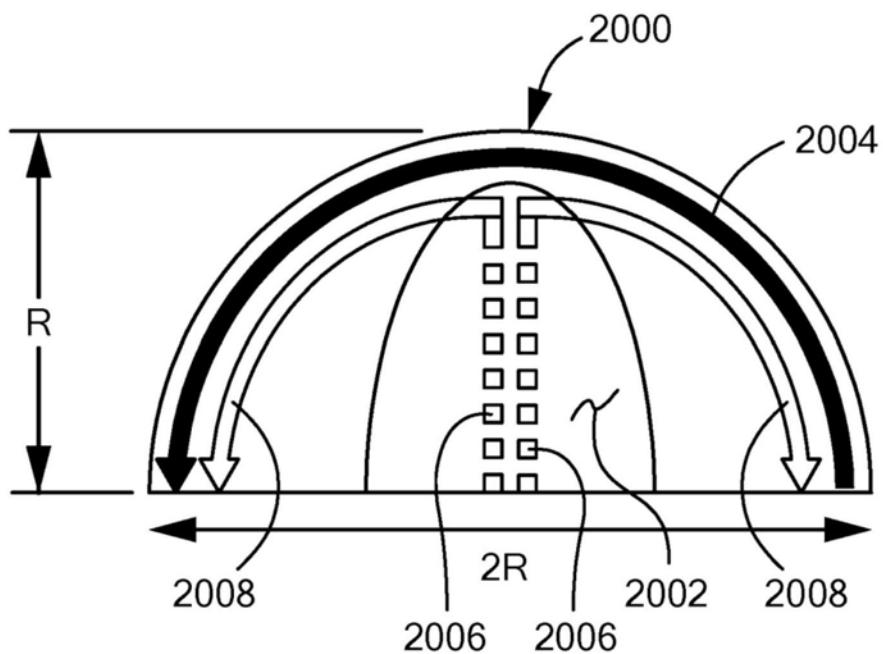


图20

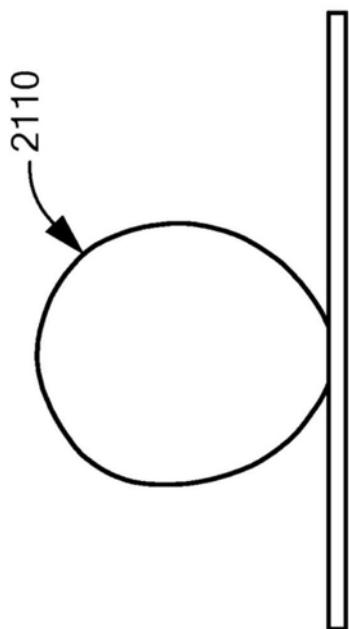


图21A

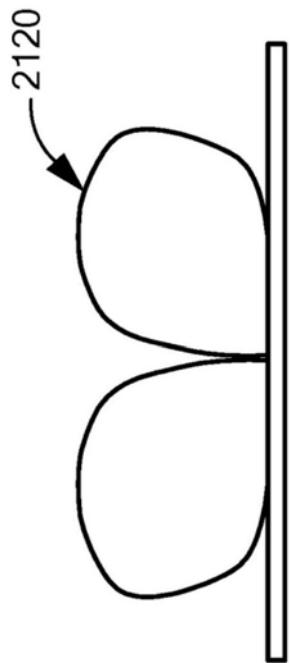


图21B

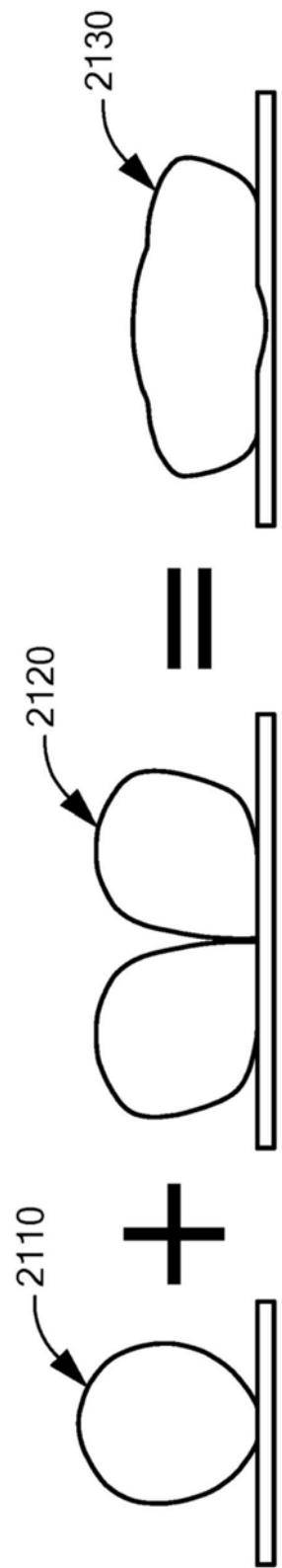


图21C



图22A

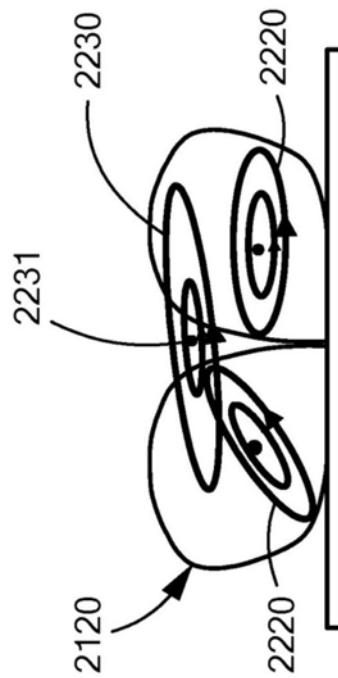


图22B

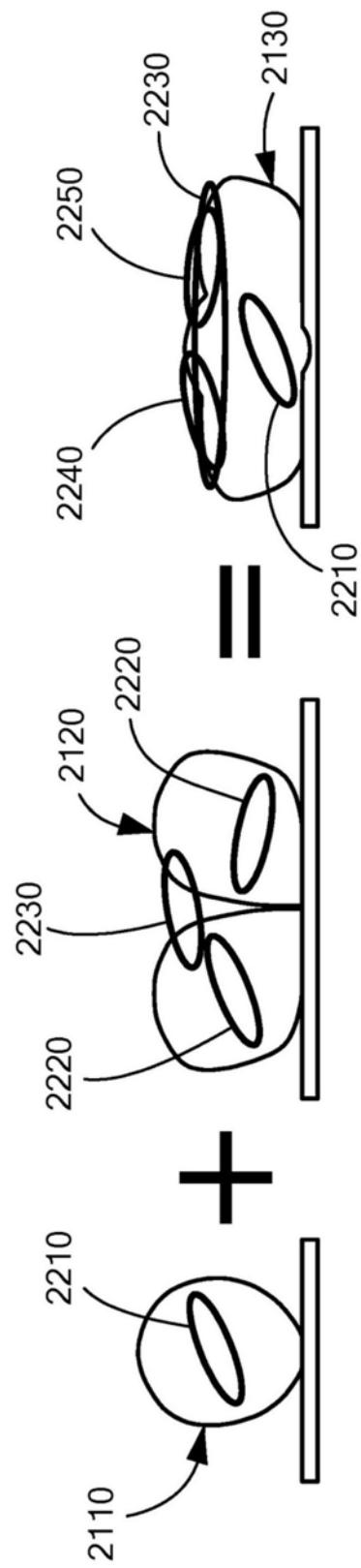


图22C

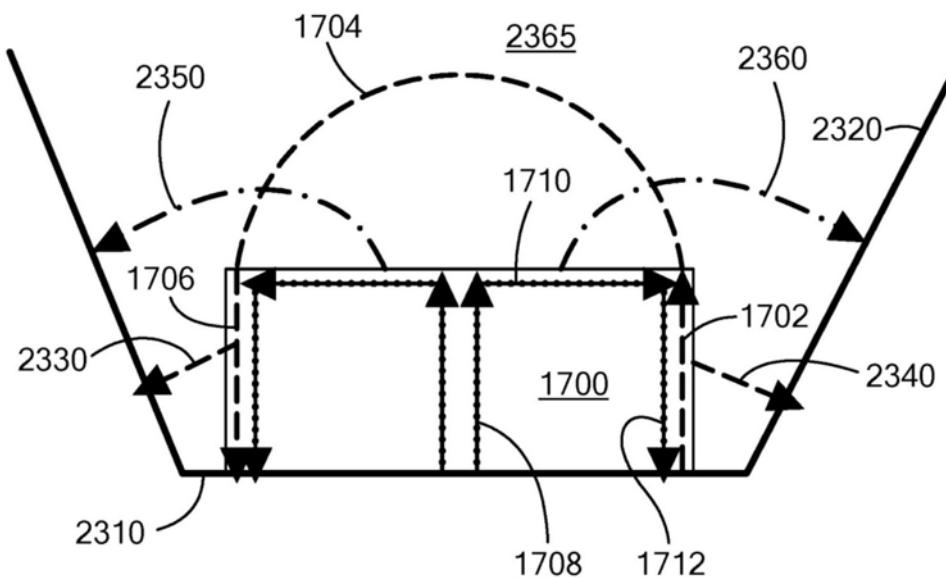


图23A

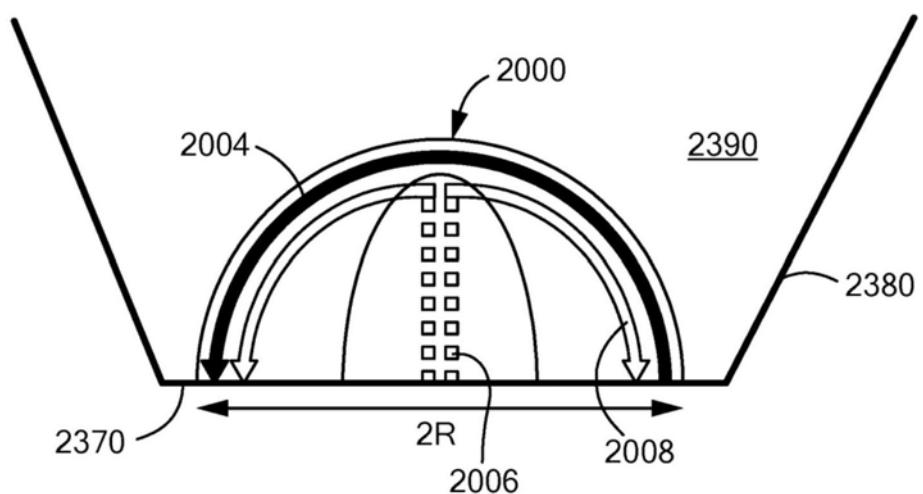


图23B

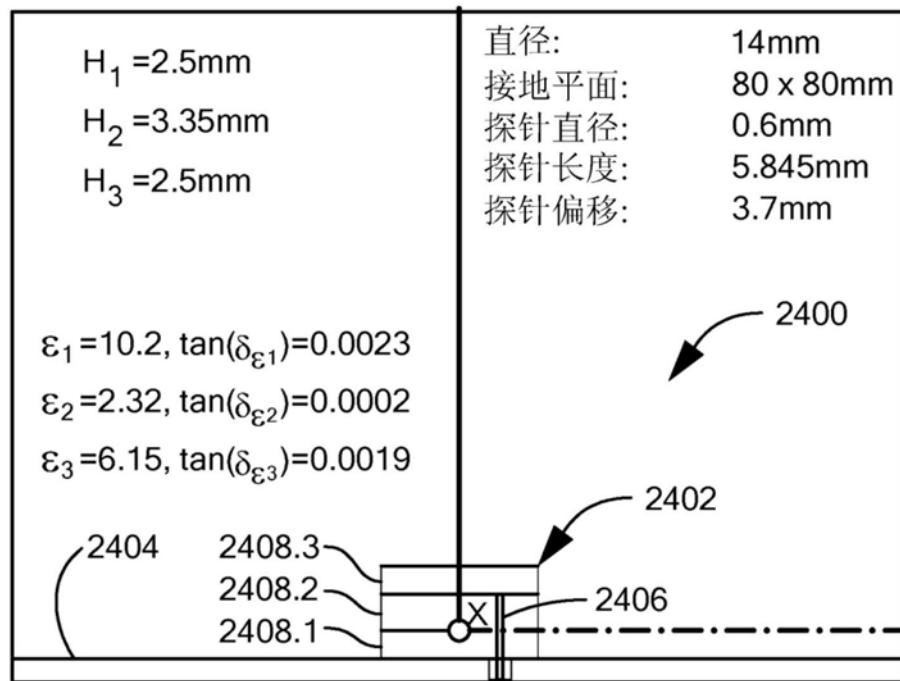


图24A

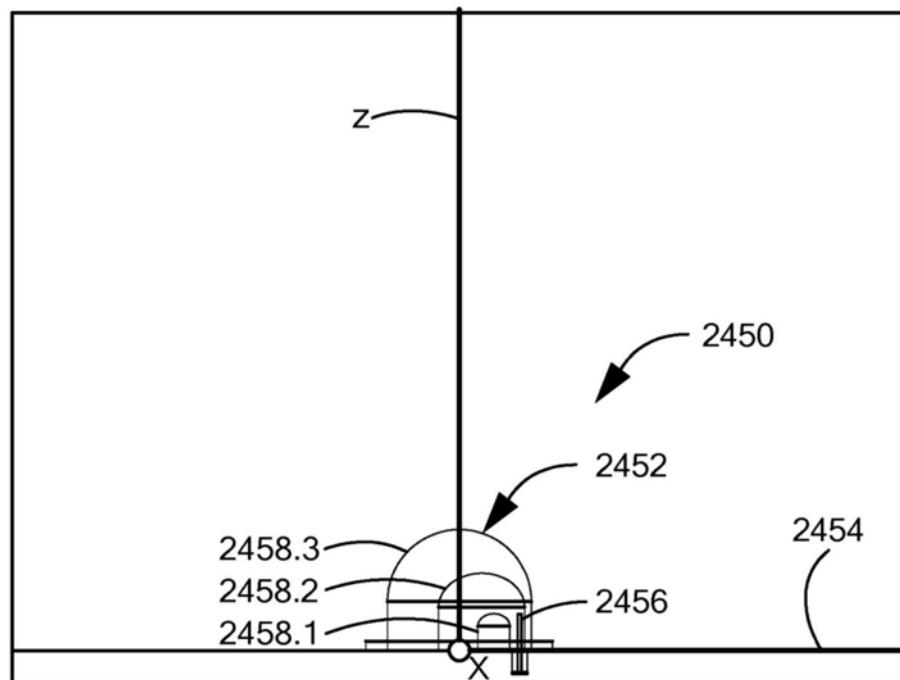


图24B

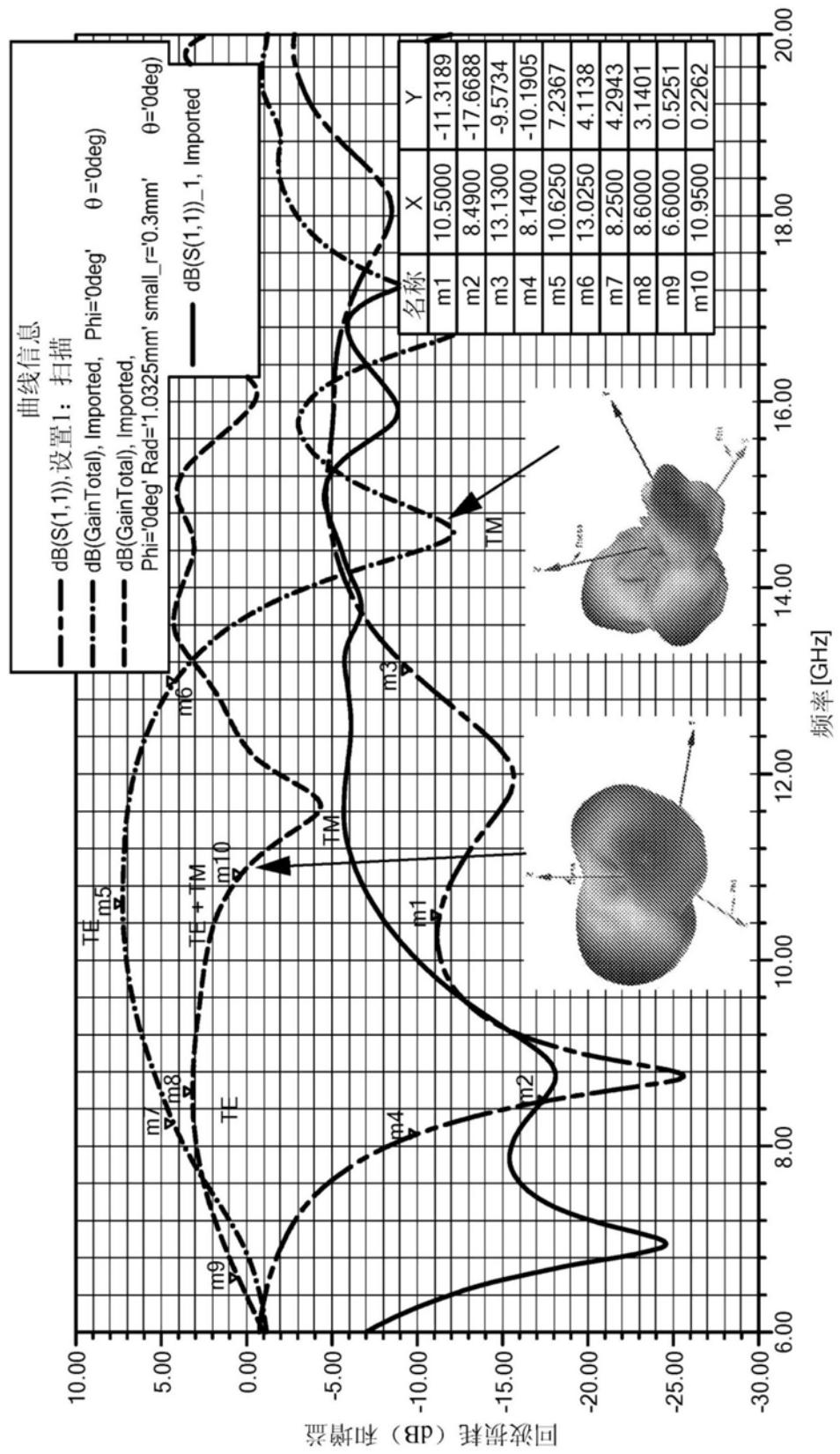


图25

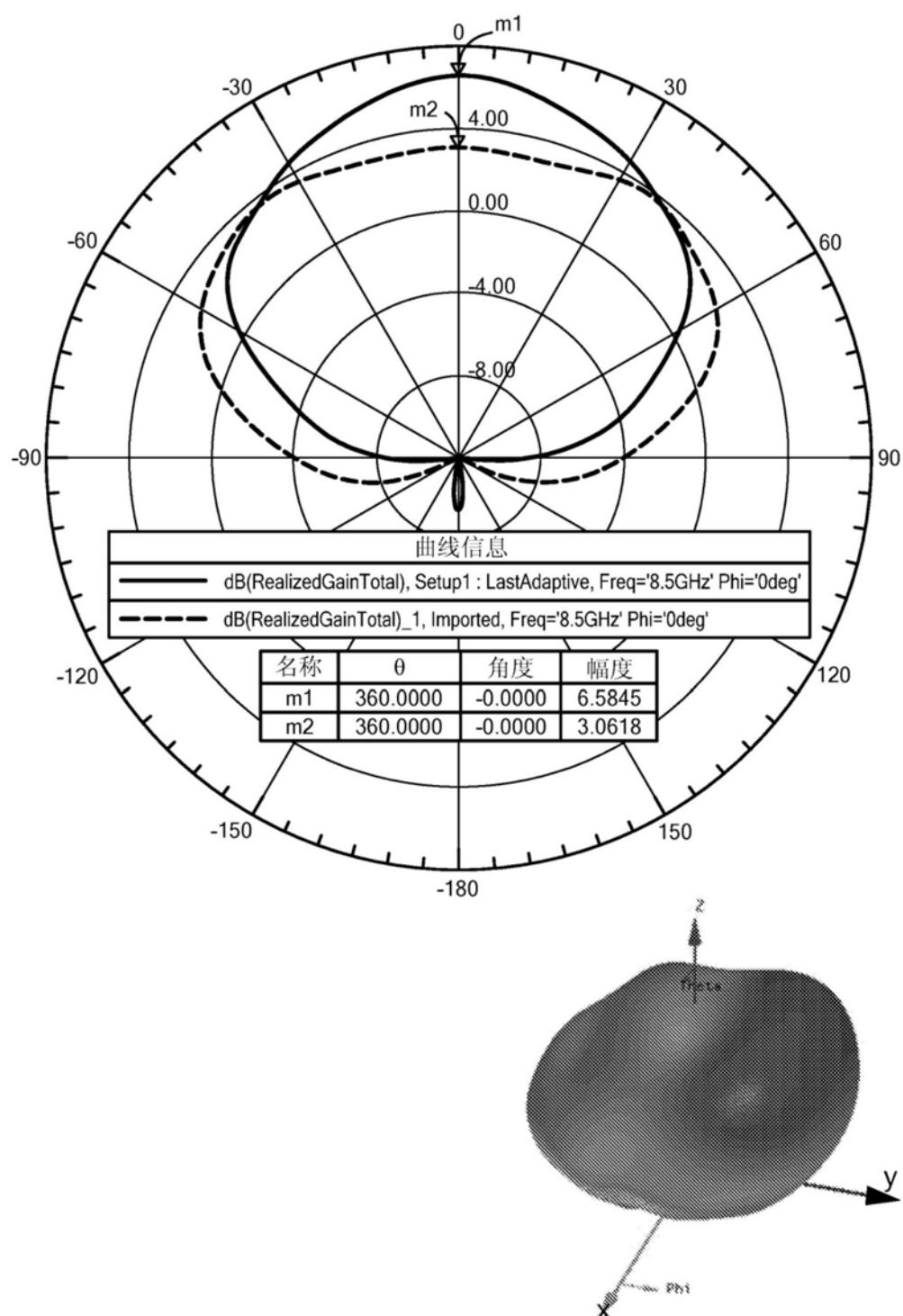


图26A

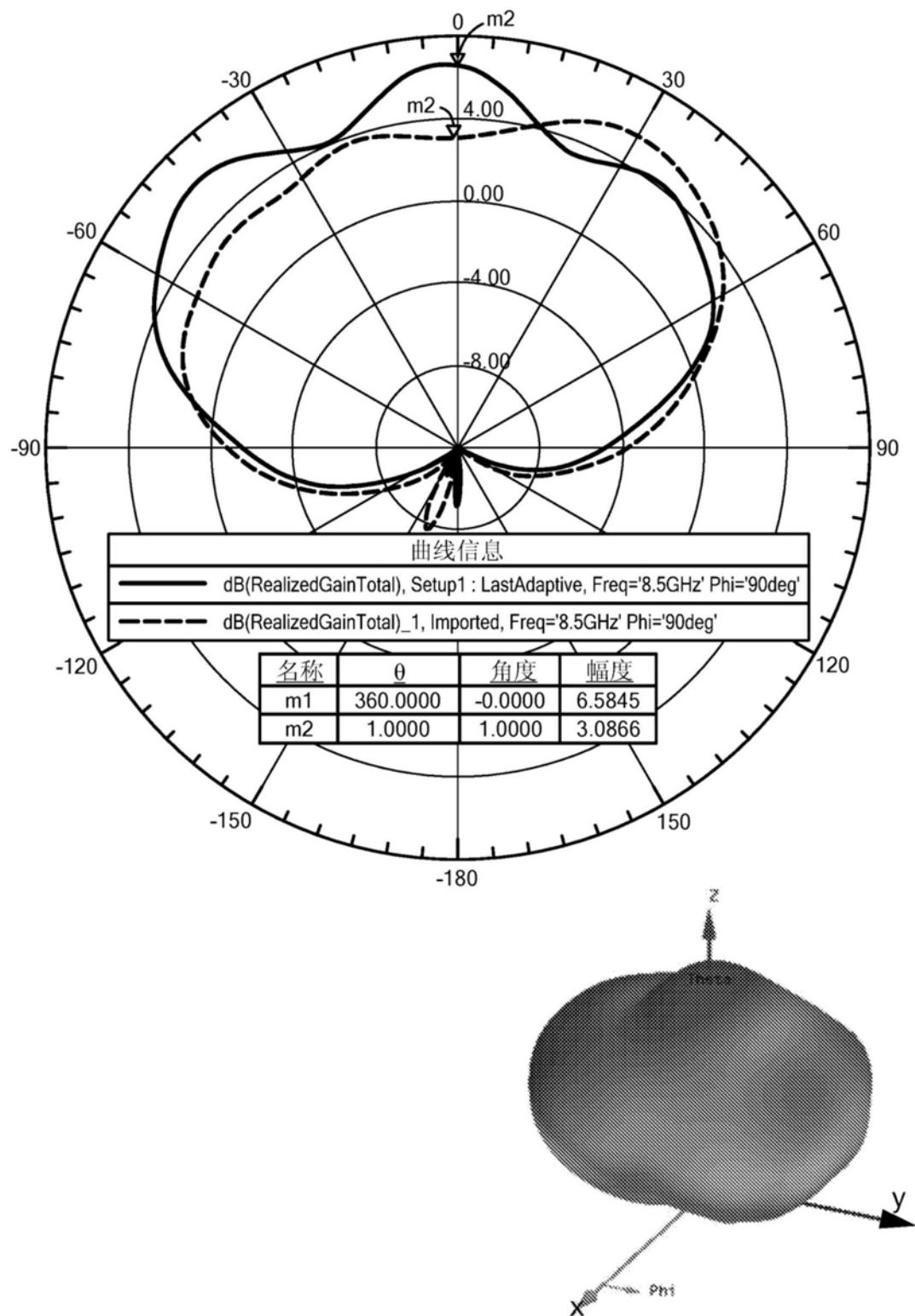


图26B

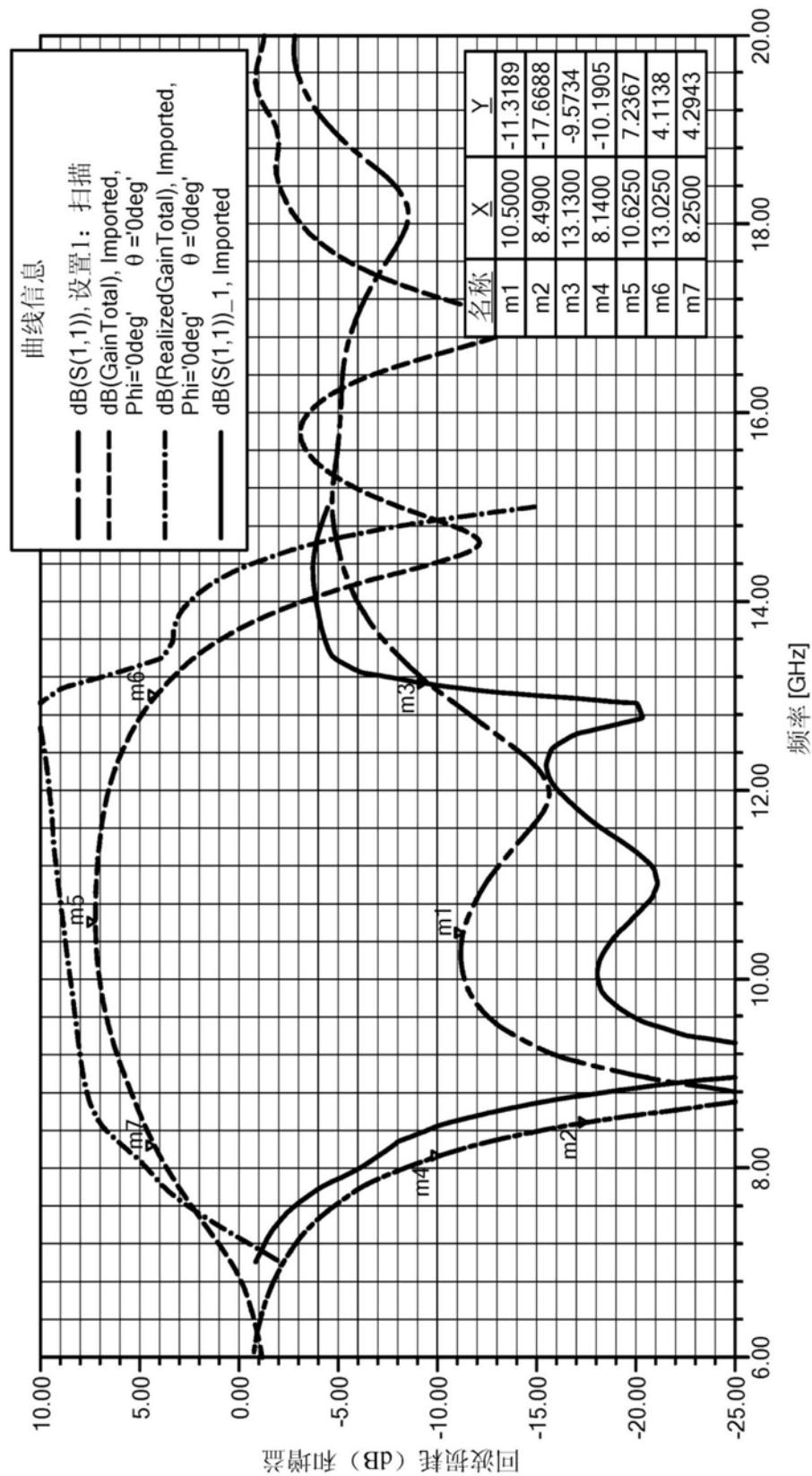


图27A

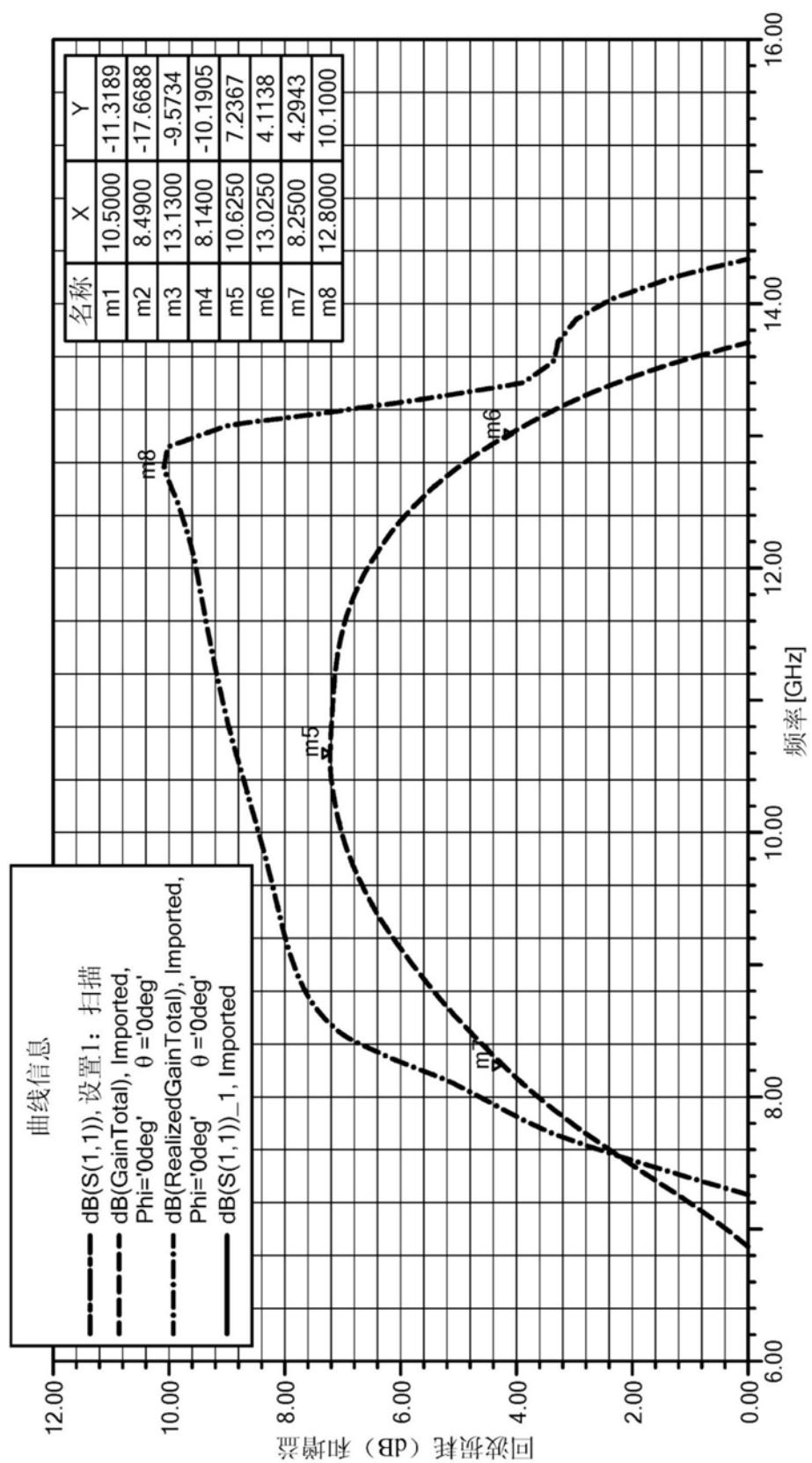


图27B

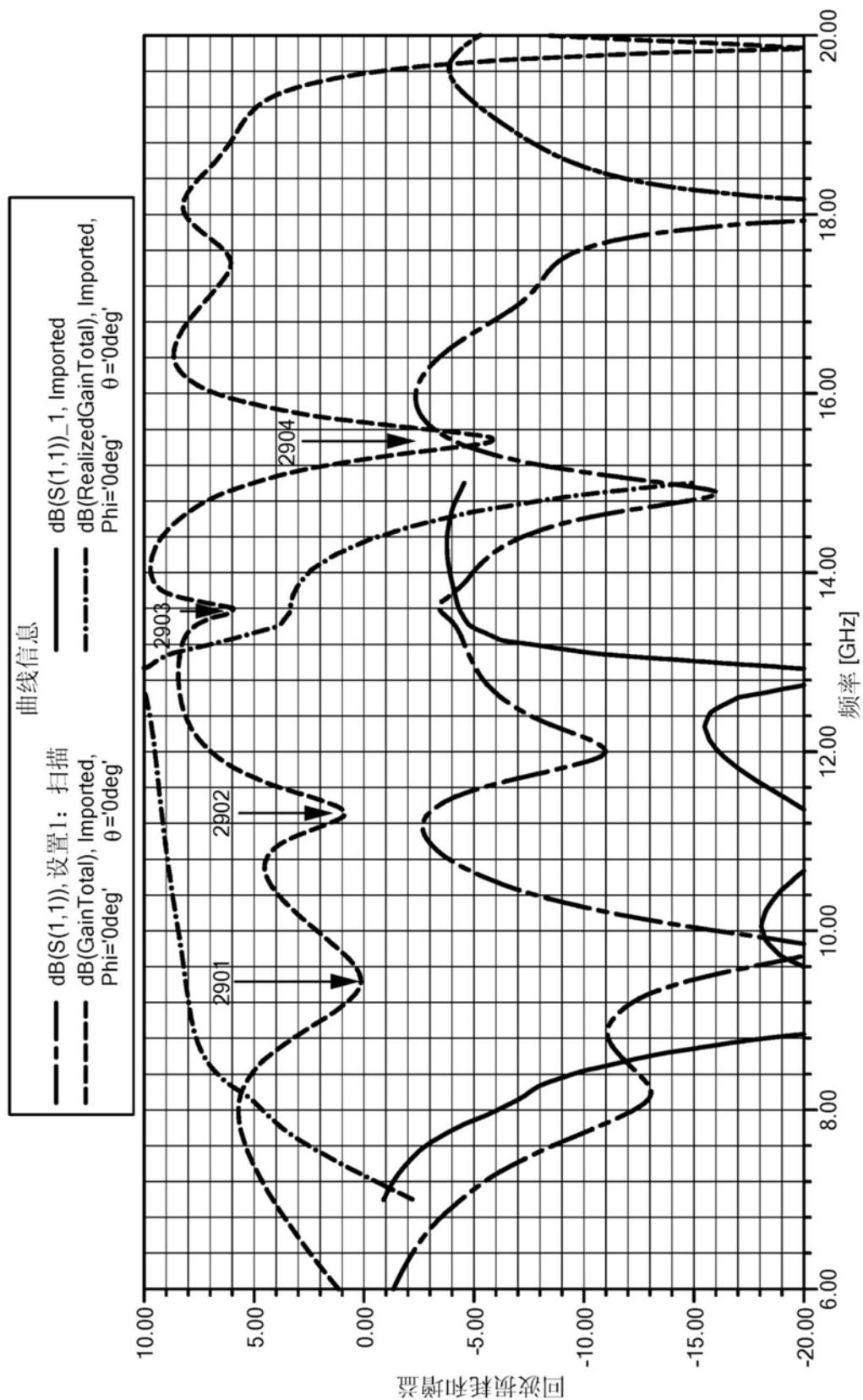


图28

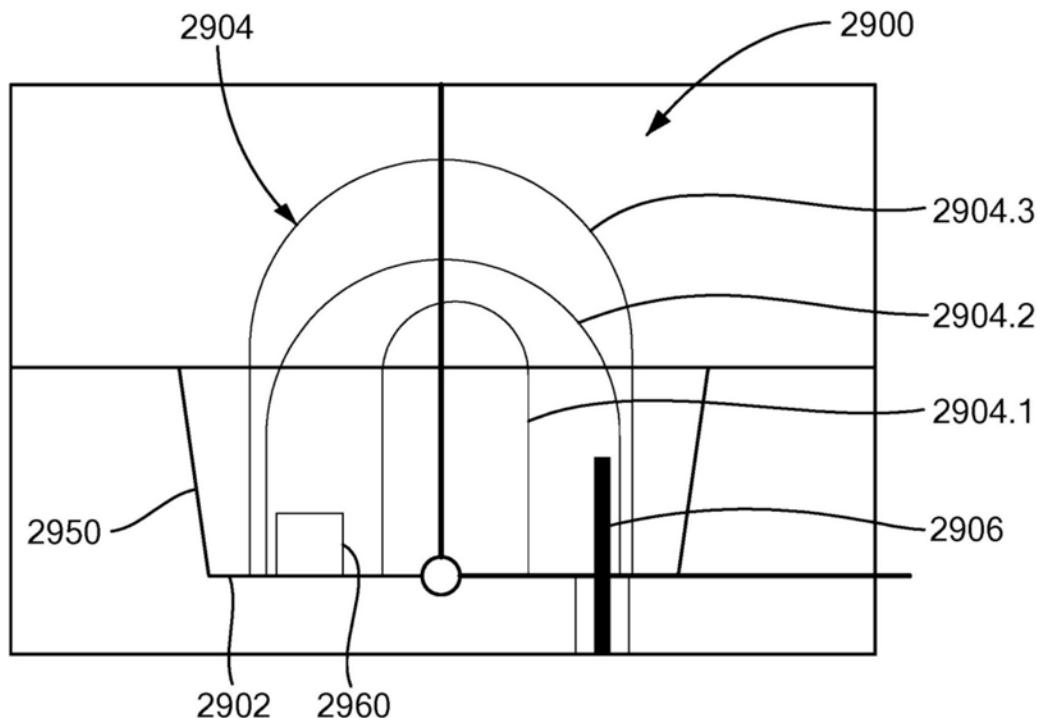


图29

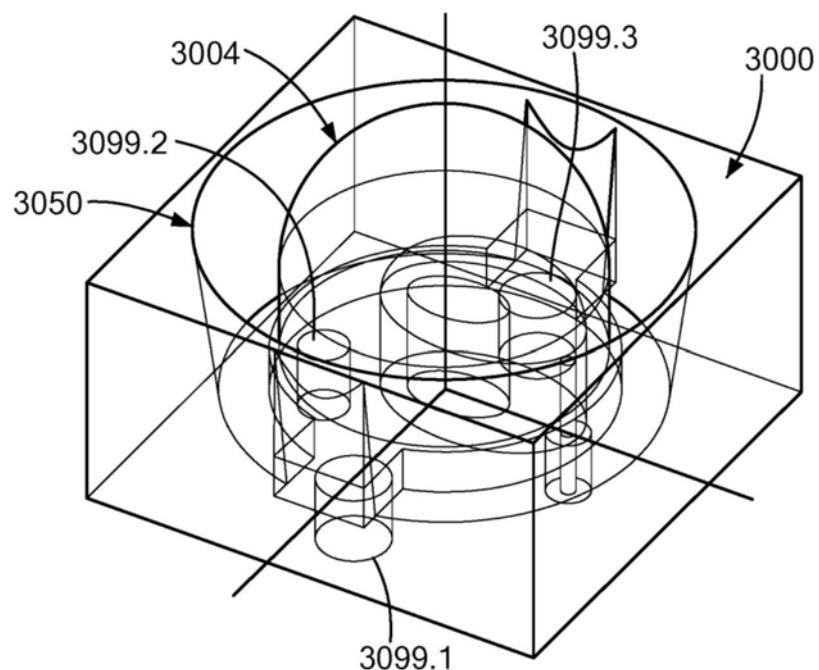


图30A

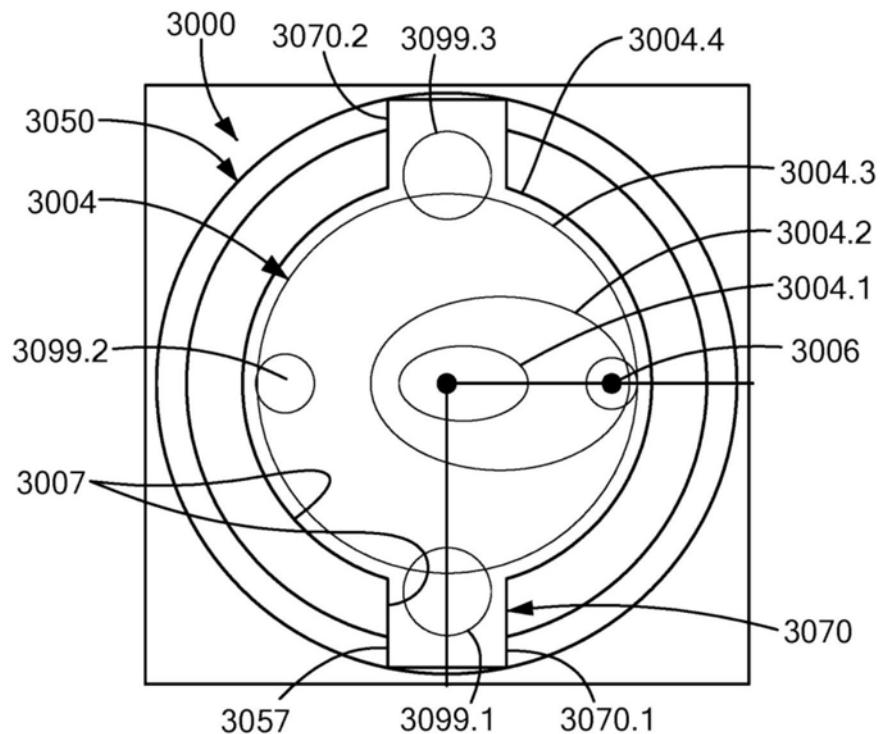


图30B

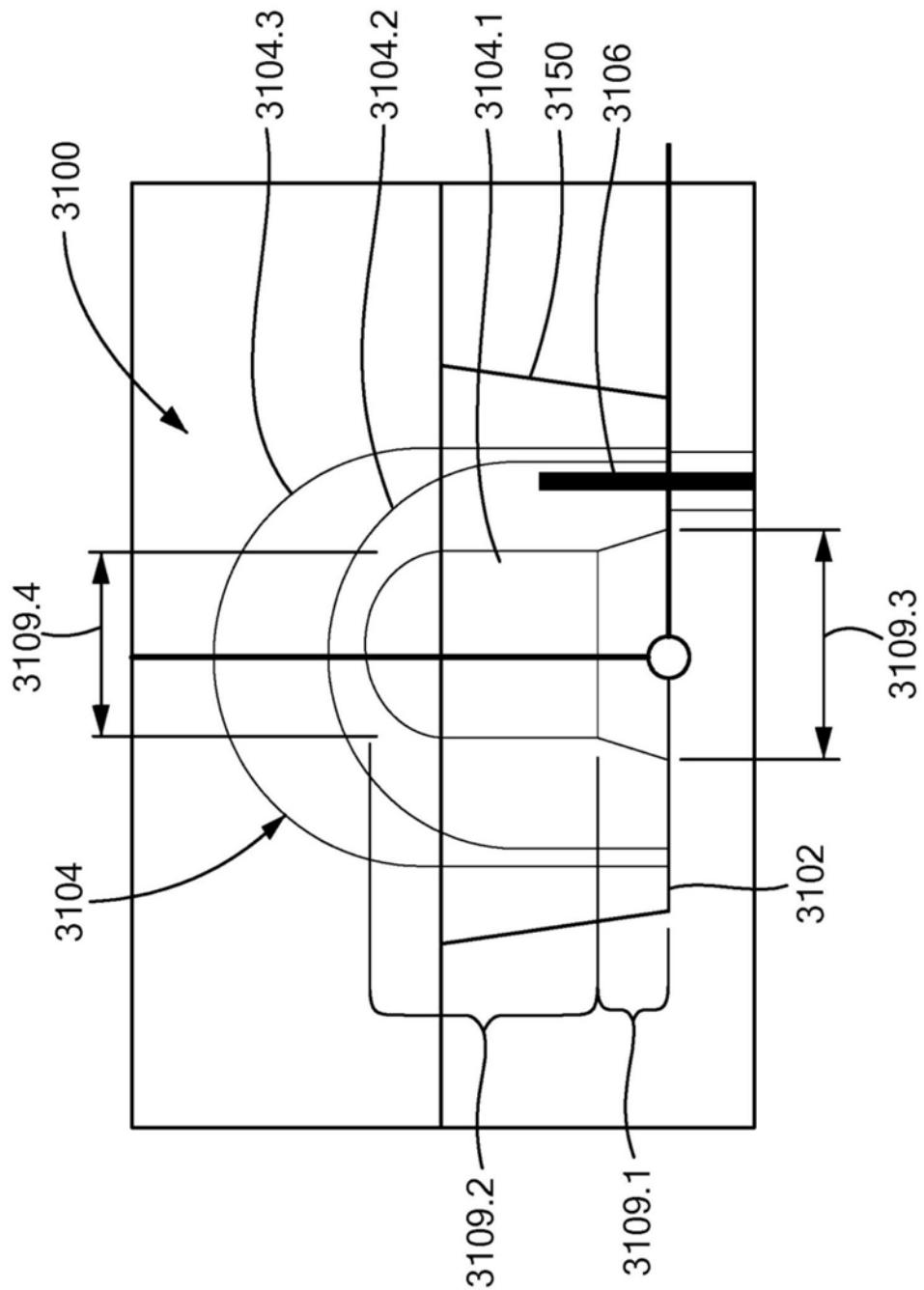


图31

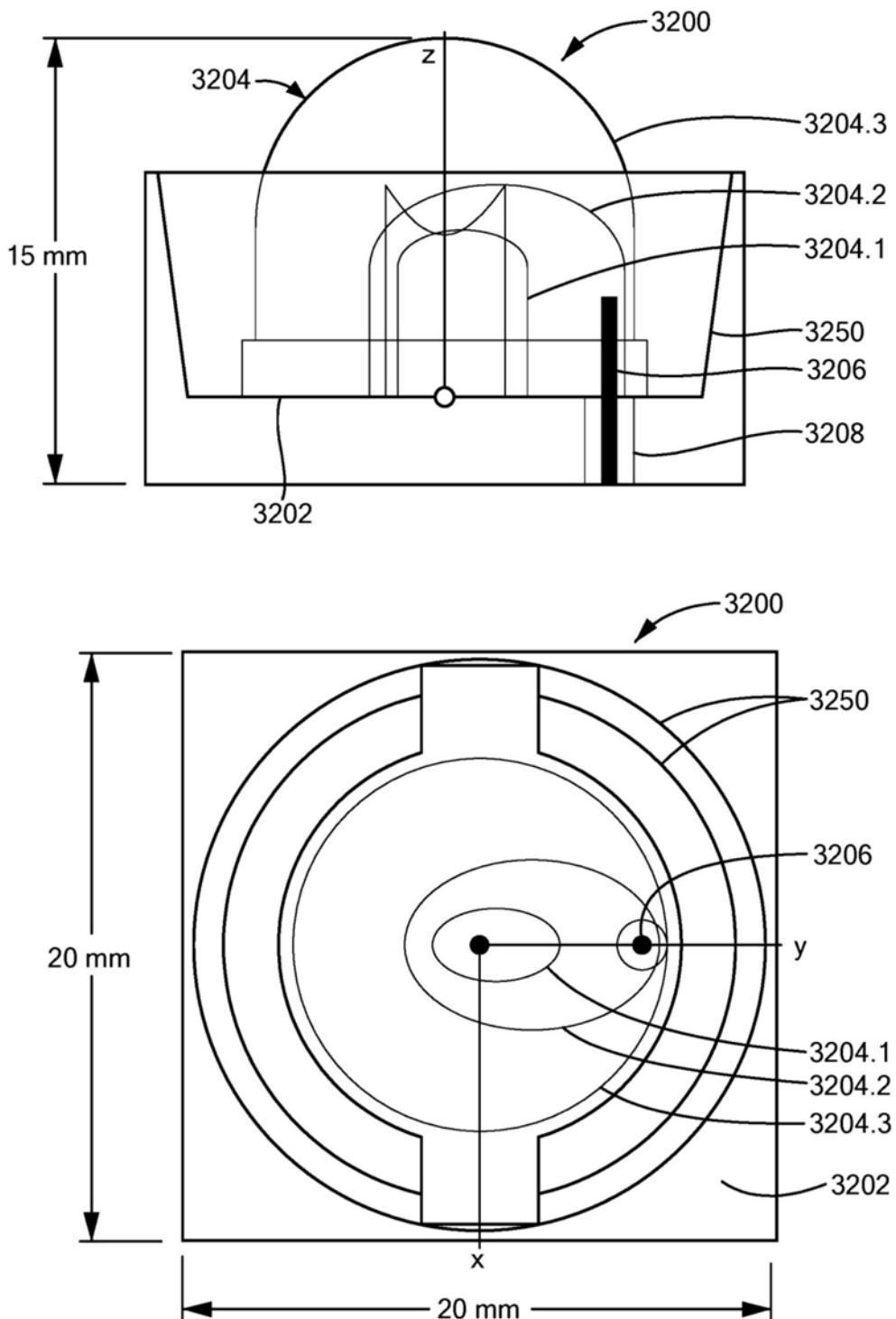


图32

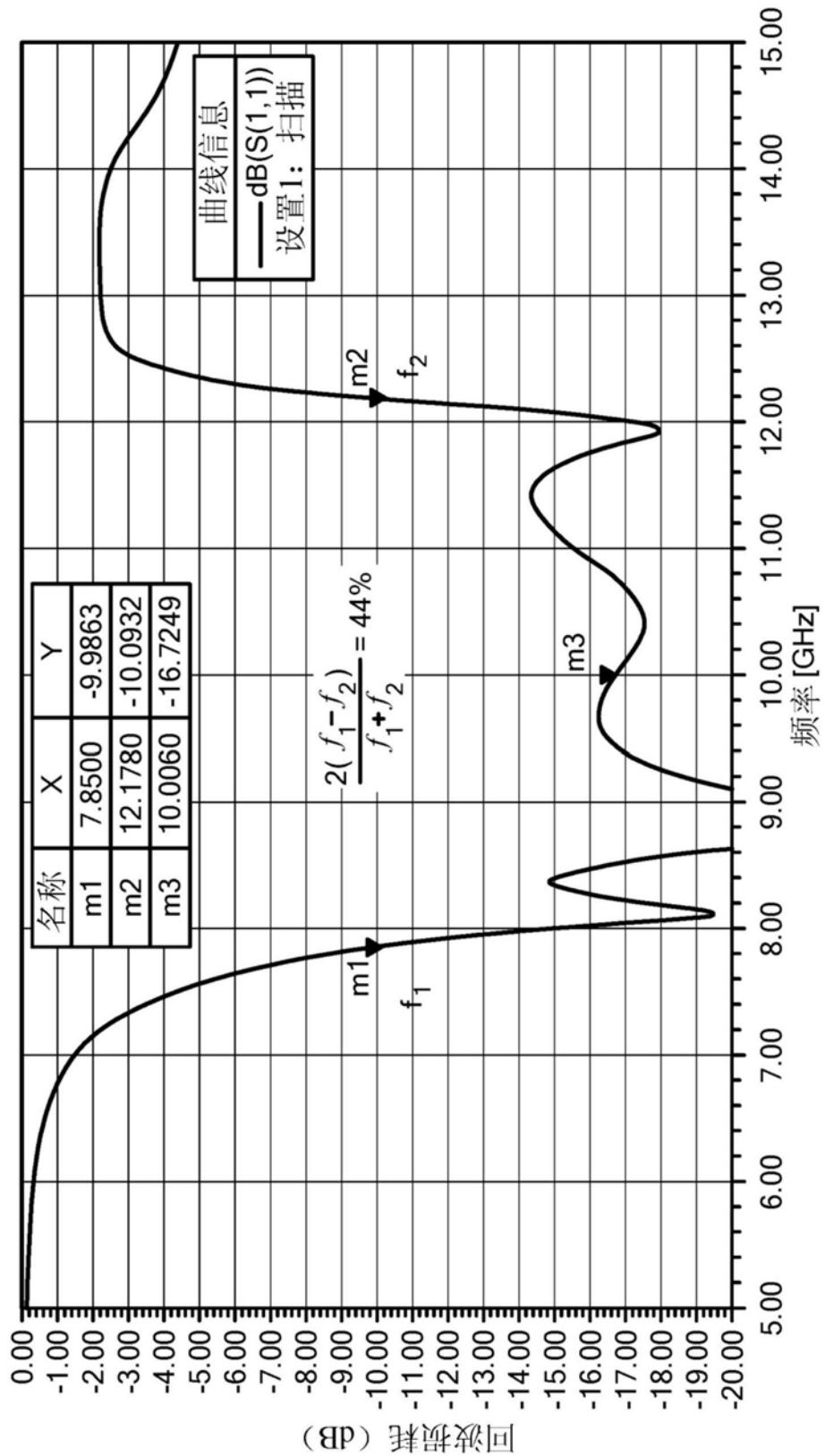


图32A

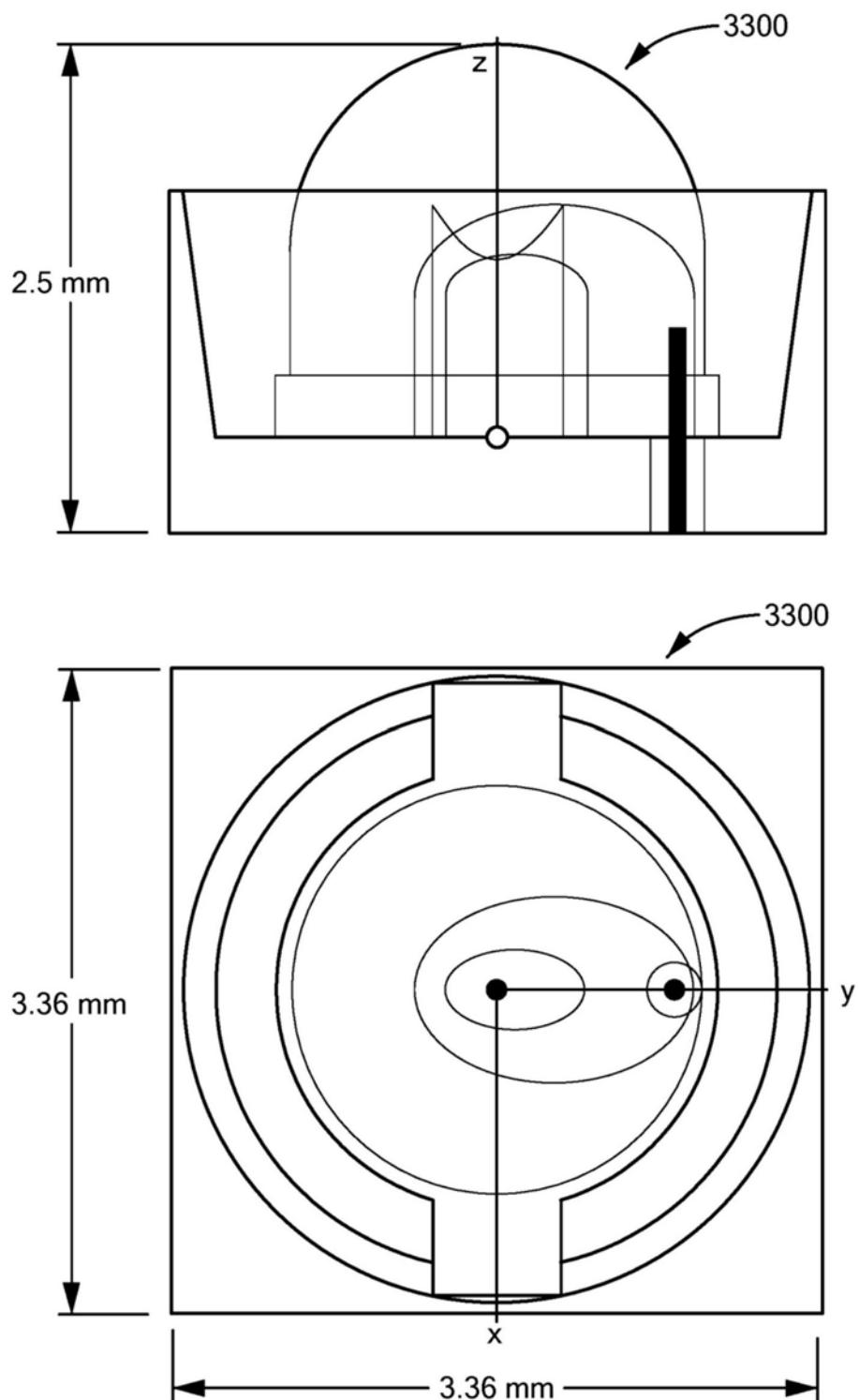


图33

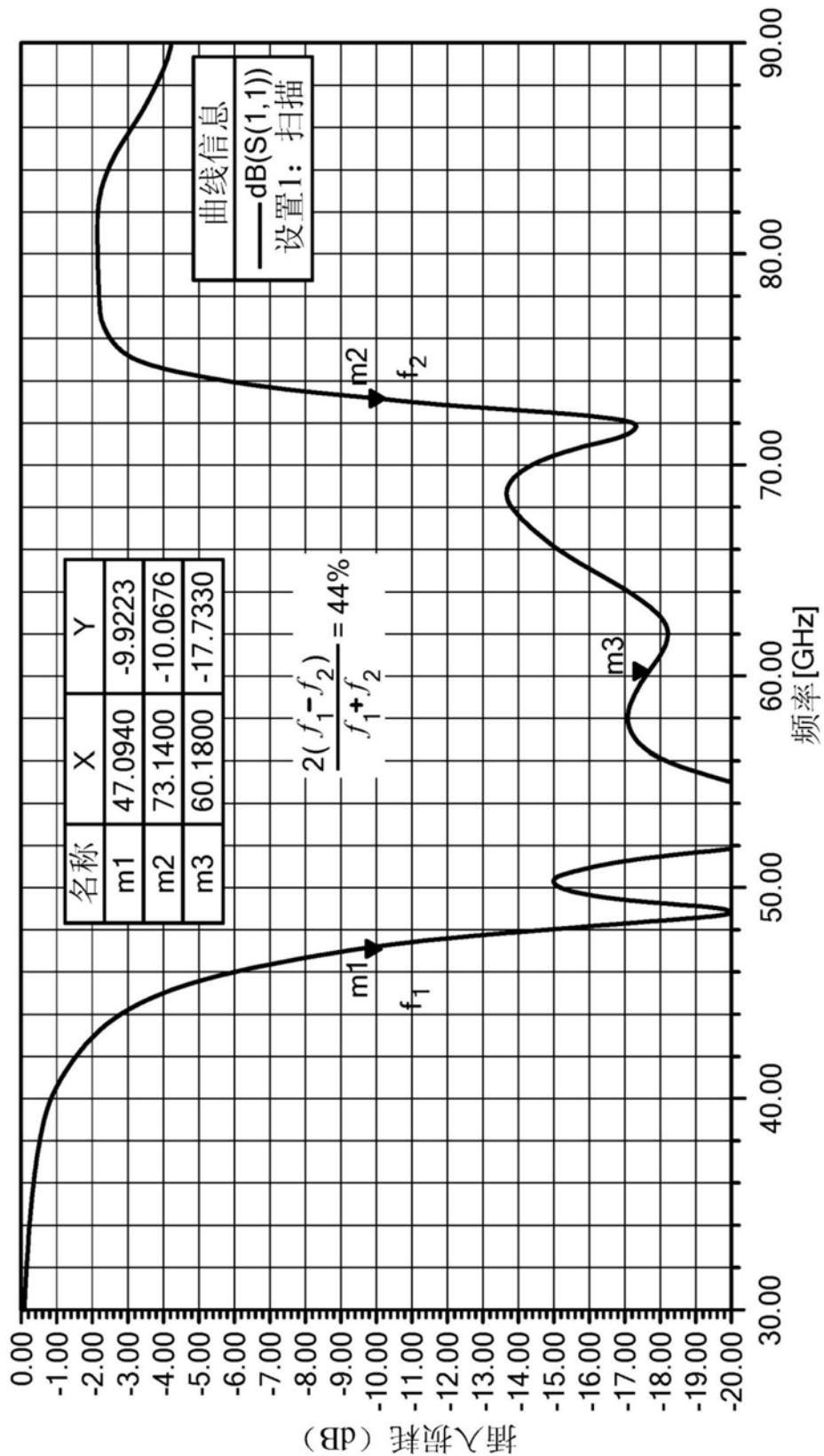


图33A

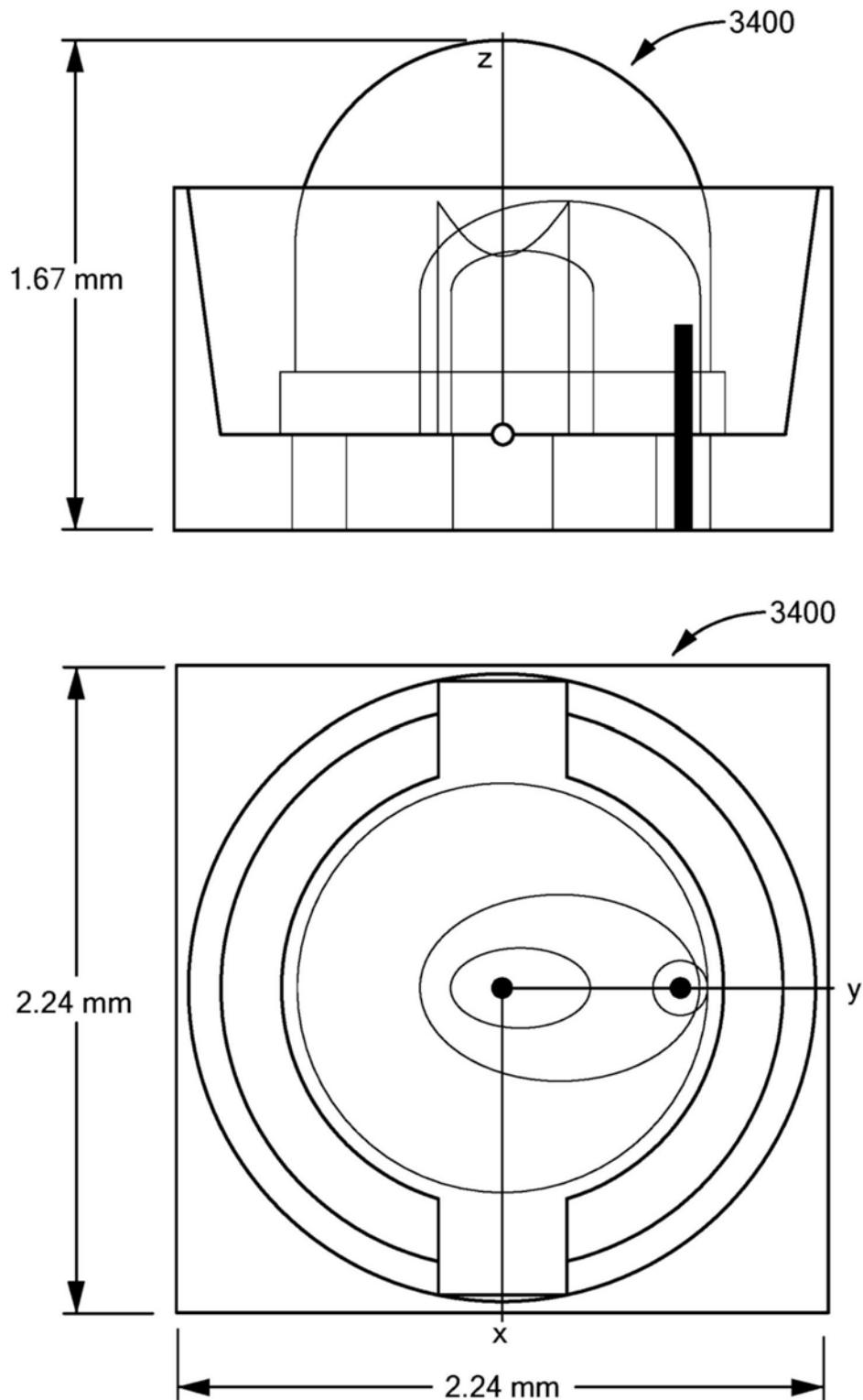


图34

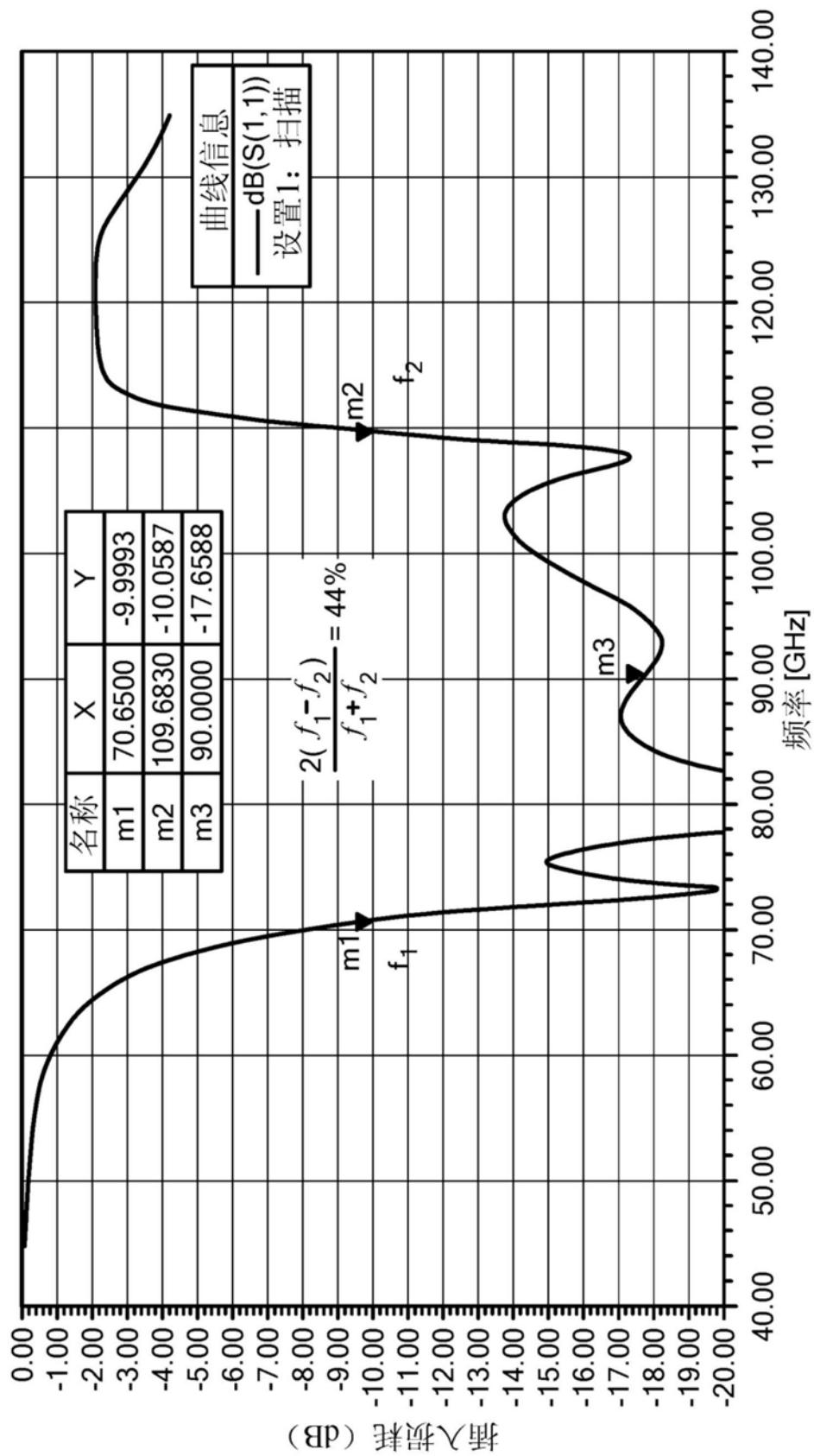


图34A

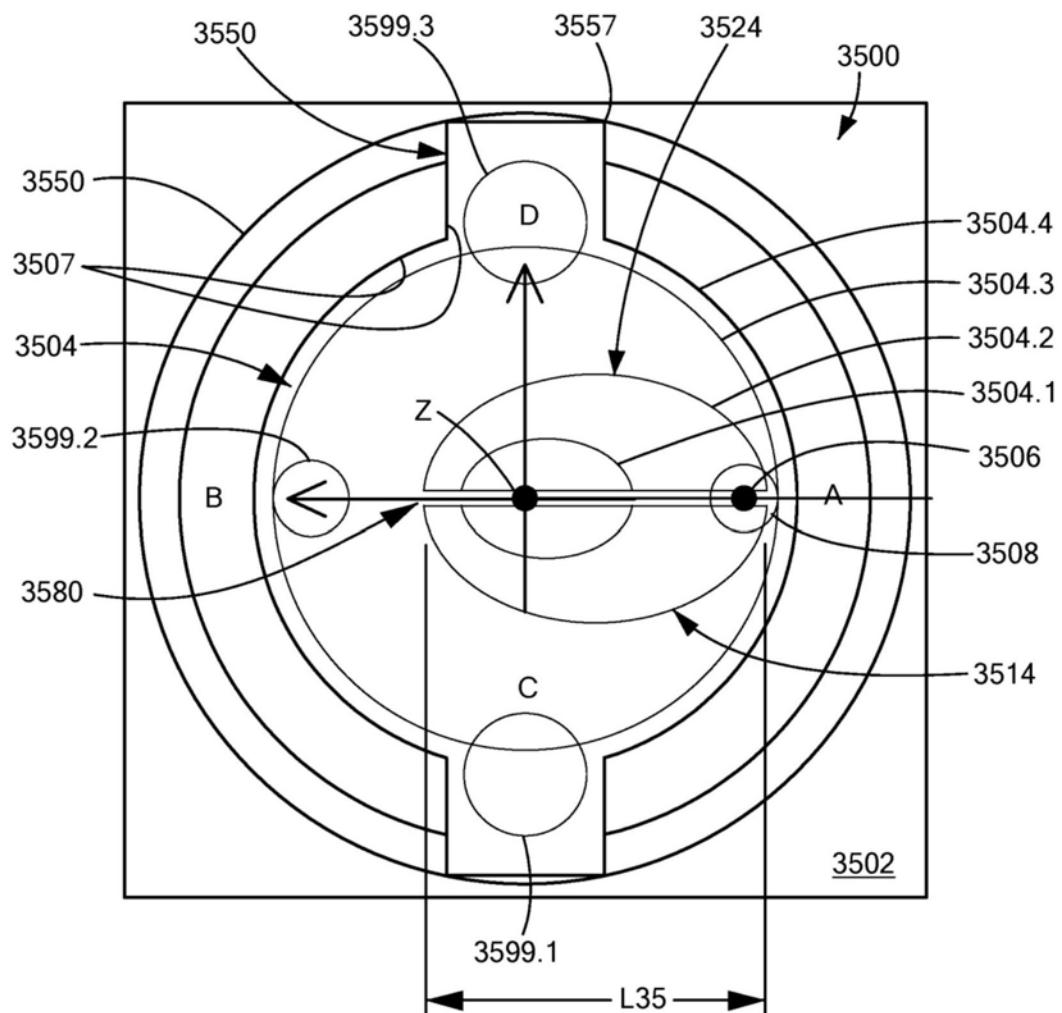


图35

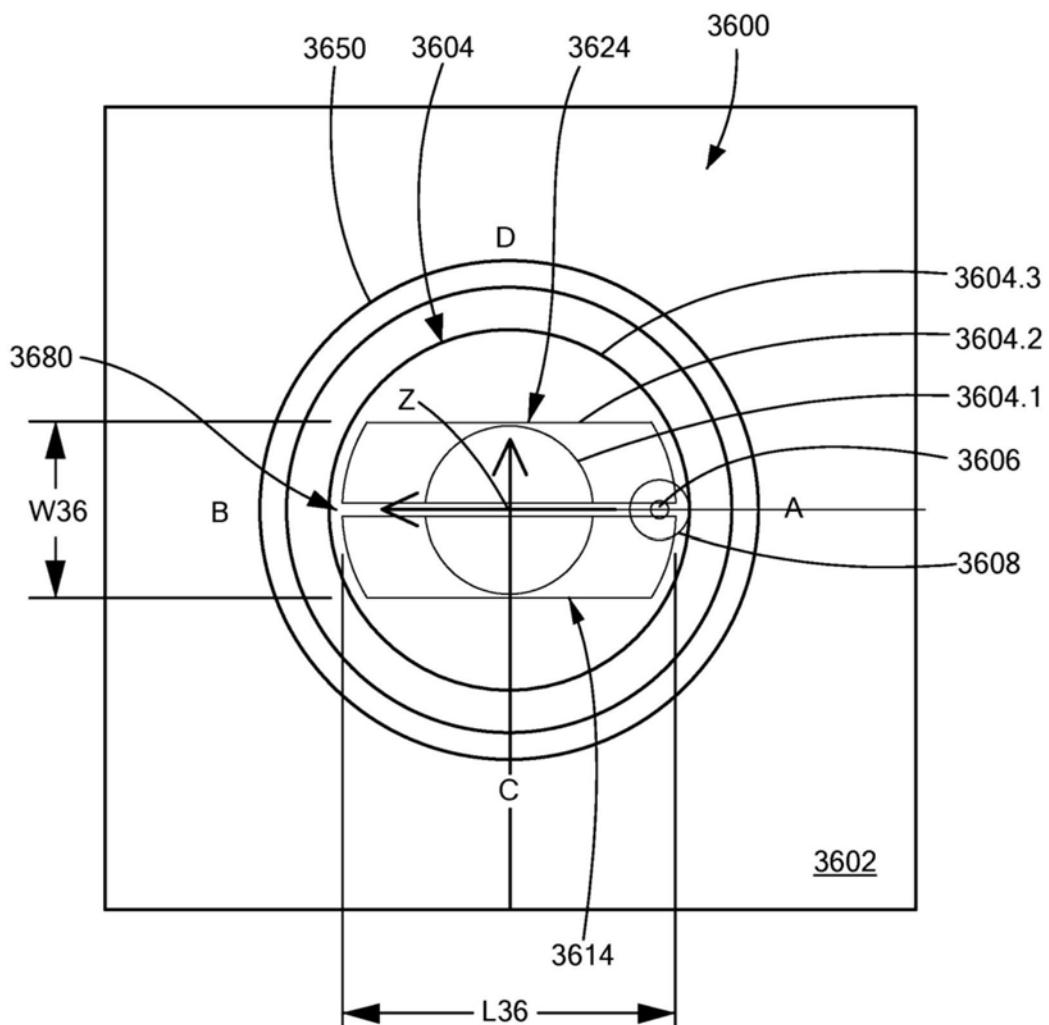


图36

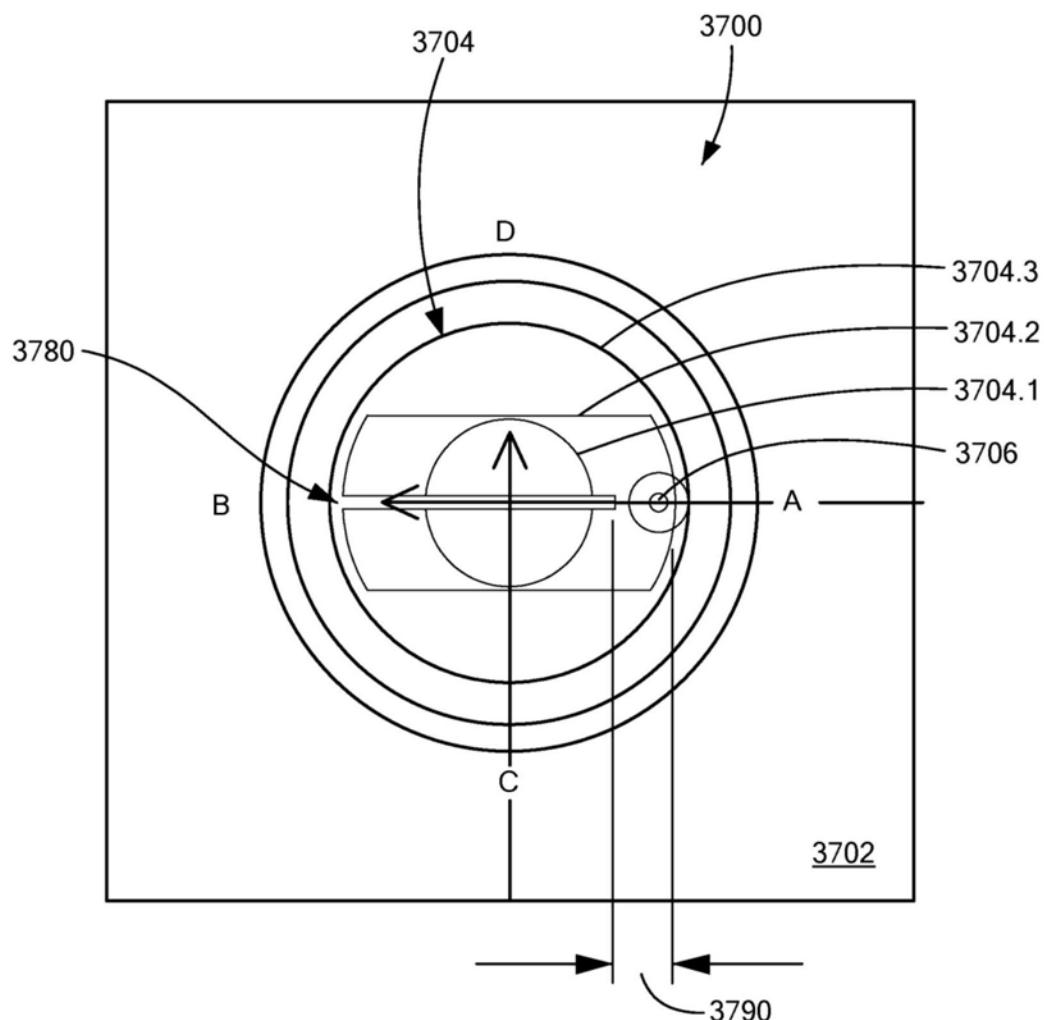


图37

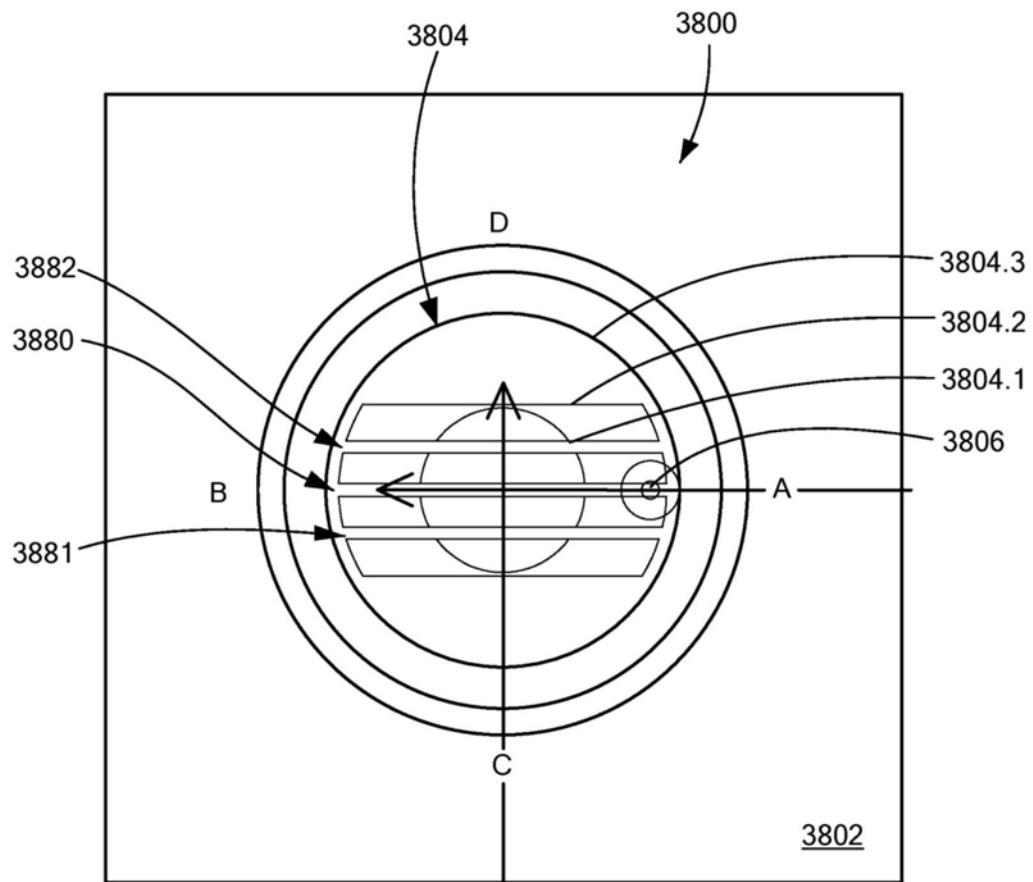


图38