



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113113765 A

(43) 申请公布日 2021.07.13

(21) 申请号 202110345422.2

H01Q 7/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.03.31

(71) 申请人 中国电波传播研究所(中国电子科技集团公司第二十二研究所)

地址 266107 山东省青岛市城阳区仙山东路36号

申请人 西安电子科技大学

(72) 发明人 张照 张鹏飞 许鑫 葛薇 王成浩 朱今祥

(74) 专利代理机构 青岛博雅知识产权代理事务所(普通合伙) 37317

代理人 封代臣

(51) Int.Cl.

H01Q 1/36 (2006.01)

H01Q 1/38 (2006.01)

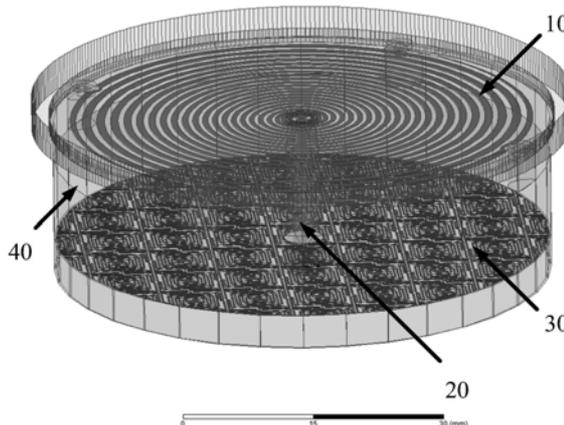
权利要求书2页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

一种超宽带混合螺旋天线

(57) 摘要

本发明公开了一种超宽带混合螺旋天线,包括一个双臂混合螺旋天线、一个锥削渐变同轴巴伦、一层混合吸波材料和一个金属背腔,所述双臂混合螺旋天线包括一层介质基板和安装在介质基板上的两个混合螺旋天线单元,两个混合螺旋天线单元具有相同的结构和尺寸,一个混合螺旋天线单元可以视作由另一个混合螺旋天线单元旋转180°复制而成,双臂混合螺旋天线的螺旋辐射体位于金属背腔的口面。本发明所公开的超宽带混合螺旋天线,采用准等角螺旋天线与准阿基米德螺旋天线相混合的方式,既可以通过提高内圈准等角螺旋天线的占空比以保持其优良的高频特性,又可以调节外圈准阿基米德螺旋天线的占空比和线宽以保持其优良的低频特性,解决了螺旋天线的带宽受占空比影响的问题。



1. 一种超宽带混合螺旋天线,其特征在于:包括一个双臂混合螺旋天线、一个锥削渐变同轴巴伦、一层混合吸波材料和一个金属背腔,所述双臂混合螺旋天线包括一层介质基板 and 安装在介质基板上的两个混合螺旋天线单元,两个混合螺旋天线单元具有相同的结构和尺寸,一个混合螺旋天线单元可以视作由另一个混合螺旋天线单元旋转 180° 复制而成,双臂混合螺旋天线的螺旋辐射体位于金属背腔的口面;所述混合吸波材料加载于金属背腔的底部和双臂混合螺旋天线之间,所述锥削渐变同轴巴伦竖直放在金属背腔内部并穿过混合吸波材料与双臂混合螺旋天线垂直,锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元相连。

2. 根据权利要求1所述的超宽带混合螺旋天线,其特征在于:混合螺旋天线单元的内圈采用数圈占空比可变的准等角螺旋天线,外圈采用数圈占空比可变的准阿基米德螺旋天线,内圈和外圈平滑连接。

3. 根据权利要求2所述的超宽带混合螺旋天线,其特征在于:同一混合螺旋天线单元中,准等角螺旋天线对应的两条线根据如下公式形成:

$$r = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$r' = R(\theta) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$R(\theta) = R_{\text{in}} + (R_{\text{out}} - R_{\text{in}}) \times \theta / \theta_{\max}$$

其中, r_{\min} 是最小半径, α_c 是螺旋指数增长率, θ 为旋转过的角度, $\theta_{\max} = m \times 2 \times \pi$, m 为圈数, R_{in} 、 R_{out} 分别决定了起点和终点的占空比, $R(\theta)$ 为旋转过 θ 角度时对应的半径,螺旋对应的两条线外围端点为:

$$r_1 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

$$r_1' = R \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

终点占空比为:

$$FT_1 = (1 - R_{\text{out}}) \times e^{\alpha_c \pi} / (e^{\alpha_c \pi} - 1)$$

终点线宽为:

$$W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

准阿基米德螺旋天线的一臂对应的两条线由如下曲线方程确定:

$$r = r_0 + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

$$r' = (r_0 - W(1 + k_2 (\theta / \theta_{\max})^{n_2})) + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

其中, W 控制起始线宽, α_a 控制起始单圈增幅和占空比, k_1 控制单圈增幅总体变化, k_2 控制占空比总体变化, n_1 、 n_2 控制变化的速度;

m 圈准等角螺旋天线和准阿基米德螺旋天线连接处的起始半径 r_0 、螺线宽度 W_1 和占空比 FT_1 这三个参数的平滑过渡通过下列关系实现:

$$r_0 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$\alpha_a = W_1 / (r_0 \times FT_1 \times \pi)。$$

4. 根据权利要求1所述的超宽带混合螺旋天线,其特征在于:所述混合吸波材料由上层的海绵吸波材料和下层的高阻抗表面组合而成,海绵吸波材料为10mm厚的碳粉加载海绵吸

波材料,高阻抗表面由介质板、介质板一侧的周期金属贴片和介质板另一侧的金属底板组成,金属贴片通过金属通孔与地板相连。

5.根据权利要求1所述的超宽带混合螺旋天线,其特征在于:锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元的馈电点相连。

一种超宽带混合螺旋天线

技术领域

[0001] 本发明属于天线技术领域,特别涉及该领域中的一种超宽带混合螺旋天线。

背景技术

[0002] 螺旋天线是一种性能较优异的宽频带天线,广泛用于超宽带通信、电子战、宽带频谱监测、宽带被动制导等军用和民用领域。螺旋天线作为非频变天线之一,由于其稳定的宽带特性受到人们的重视。螺旋天线有等角螺旋天线、阿基米德螺旋天线和Sinuous螺旋等类型。对于圆极化宽带天线而言,Sinuous螺旋由于需要由四臂构成,需要宽带功分网络和双巴伦设计,其复杂度和难度远大于等角螺旋天线和阿基米德螺旋天线。目前广泛采用的是等角螺旋天线、阿基米德螺旋天线以及两者的混合螺旋天线。

[0003] 传统等角螺旋天线和阿基米德螺旋天线都具有恒定的占空比。由两者构成的混合螺旋天线由于需要在连接处平滑过渡,因此也要求有相同的占空比。为了获得较好的低频特性,位于外围的螺旋通常采用1:1的占空比,即在螺臂上填充空白等分,但是在螺线的最内侧,由于空间有限,1:1的占空比会使辐射臂变得非常细窄,一方面损耗增大,另一方面对天线的加工精度要求极高。所以为了在一定加工精度上实现高频段的优良特性,需要提高占空比以增加辐射臂的宽度,但这会导致天线在低频段的特性恶化。

[0004] 考虑到实际载体的设计要求,通常天线需要被设计为单向辐射。常用的螺旋天线单向辐射设计方法为背腔加载。理论上,对于单一频点,若背腔底部距离辐射天线四分之一波长,则可以使反射波和直射波同相叠加提高增益。进一步还可以基于同相反射带隙来使天线辐射臂紧贴背腔实现单向辐射。但上述方法要求天线与背腔底部距离保持四分之一波长,并不适合超宽带天线。而目前基于谐振机理构建的同相反射带隙也由于反射带隙过窄、单元尺寸过大,无法在全频段形成较好的反射效果,无法实现超宽带设计。另一种折中的方法就是采用吸波材料填充背腔来吸收背向辐射,形成单向辐射。但传统的碳粉掺杂海棉类吸波材料由于需要较厚的尺寸来覆盖低频段,使得天线腔体深度较大,此外为了更好的覆盖低频段往往还需要和铁基类吸波材料组合使用,从而使该类天线剖面大、重量大、成本高。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题就是提供一种超宽带混合螺旋天线,在解决常规螺旋天线整体尺寸大、重量大、造价高问题的同时,还能保障天线的超宽带特性。

[0006] 本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种超宽带混合螺旋天线,其改进之处在于:包括一个双臂混合螺旋天线、一个锥削渐变同轴巴伦、一层混合吸波材料和一个金属背腔,所述双臂混合螺旋天线包括一层介质基板和安装在介质基板上的两个混合螺旋天线单元,两个混合螺旋天线单元具有相同的结构和尺寸,一个混合螺旋天线单元可以视作由另一个混合螺旋天线单元旋转180°复制而成,双臂混合螺旋天线的螺旋辐射体位于金属背腔的口面;所述混合吸波材料加载于金属

背腔的底部和双臂混合螺旋天线之间,所述锥削渐变同轴巴伦竖直放在金属背腔内部并穿过混合吸波材料与双臂混合螺旋天线垂直,锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元相连。

[0008] 进一步的,混合螺旋天线单元的内圈采用数圈占空比可变的准等角螺旋天线,外圈采用数圈占空比可变的准阿基米德螺旋天线,内圈和外圈平滑连接。

[0009] 进一步的,同一混合螺旋天线单元中,准等角螺旋天线对应的两条线根据如下公式形成:

$$[0010] \quad r = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$[0011] \quad r' = R(\theta) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$[0012] \quad R(\theta) = R_{\text{in}} + (R_{\text{out}} - R_{\text{in}}) \times \theta / \theta_{\max}$$

[0013] 其中, r_{\min} 是最小半径, α_c 是螺旋指数增长率, θ 为旋转过的角度, $\theta_{\max} = m \times 2 \times \pi$, m 为圈数, R_{in} 、 R_{out} 分别决定了起点和终点的占空比, $R(\theta)$ 为旋转过 θ 角度时对应的半径,螺臂对应的两条线外围端点为:

$$[0014] \quad r_1 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

$$[0015] \quad r_1' = R \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

[0016] 终点占空比为:

$$[0017] \quad FT_1 = (1 - R_{\text{out}}) \times e^{\alpha_c \pi} / (e^{\alpha_c \pi} - 1)$$

[0018] 终点线宽为:

$$[0019] \quad W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

[0020] 准阿基米德螺旋天线的一臂对应的两条线由如下曲线方程确定:

$$[0021] \quad r = r_0 + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

$$[0022] \quad r' = (r_0 - W(1 + k_2 (\theta / \theta_{\max})^{n_2})) + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

[0023] 其中, W 控制起始线宽, α_a 控制起始单圈增幅和占空比, k_1 控制单圈增幅总体变化, k_2 控制占空比总体变化, n_1 、 n_2 控制变化的速度;

[0024] m 圈准等角螺旋天线和准阿基米德螺旋天线连接处的起始半径 r_0 、螺线宽度 W_1 和占空比 FT_1 这三个参数的平滑过渡通过下列关系实现:

$$[0025] \quad r_0 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$[0026] \quad W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$[0027] \quad \alpha_a = W_1 / (r_0 \times FT_1 \times \pi)。$$

[0028] 进一步的,所述混合吸波材料由上层的海绵吸波材料和下层的高阻抗表面组合而成,海绵吸波材料为10mm厚的碳粉加载海绵吸波材料,高阻抗表面由介质板、介质板一侧的周期金属贴片和介质板另一侧的金属底板组成,金属贴片通过金属通孔与地板相连。

[0029] 进一步的,锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元的馈电点相连。

[0030] 本发明的有益效果是:

[0031] 本发明所公开的超宽带混合螺旋天线,采用准等角螺旋天线与准阿基米德螺旋天

线相混合的方式,既可以通过提高内圈准等角螺旋天线的占空比以保持其优良的高频特性,又可以调节外圈准阿基米德螺旋天线的占空比和线宽以保持其优良的低频特性,解决了螺旋天线的带宽受占空比影响的问题。实现了综合准阿基米德螺旋天线和准等角螺旋天线的优势、兼顾高低频特性,同时也使得宽带螺旋天线更易于加工实现。

[0032] 本发明所公开的超宽带混合螺旋天线,混合吸波材料基于高阻抗表面和碳粉加载海绵吸波材料,利用反射和吸收两种机理实现9个倍频的超宽带吸收。用于背腔天线后减小了腔体深度。具有低剖面、超宽带的优势。在混合吸波材料的下层放置一层高阻抗表面可以起到两方面的作用:(1)电磁波在高阻抗表面中的局部谐振可以使场在局部振荡,从而使混合吸波材料可以更好的吸收,产生谐振性吸收峰值。(2)电磁波在高阻抗表面的反射相位不同于在金属表面的反相反射,从而使经过背腔底部反射回背腔口面的电磁波相位发生变化,若能将此相位调整到与前向辐射同相叠加的范围,则有利于天线的辐射特性。另外由于高阻抗表面位于混合吸波材料和基片之中,更易于其单元小型化设计。

附图说明

- [0033] 图1是本发明实施例1所公开天线的结构示意图;
- [0034] 图2是本发明实施例1所公开天线中双臂混合螺旋天线螺旋辐射体的俯视示意图;
- [0035] 图3是本发明实施例1所公开天线中混合吸波材料的结构示意图;
- [0036] 图4是本发明实施例1所公开天线中混合吸波材料的计算结果示意图;
- [0037] 图5是本发明实施例1所公开天线加载了巴伦和混合吸波材料背腔后的结构示意图;
- [0038] 图6是本发明实施例1所公开天线输入端口的轴比仿真结果图;
- [0039] 图7是本发明实施例1所公开天线的S11仿真结果图;
- [0040] 图8是本发明实施例1所公开天线的增益仿真结果图。

具体实施方式

[0041] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图和实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0042] 实施例1,如图1,2,5所示,本实施例公开了一种超宽带混合螺旋天线,包括一个双臂混合螺旋天线10、一个锥削渐变同轴巴伦20、一层混合吸波材料30和一个金属背腔40,所述双臂混合螺旋天线包括一层介质基板和安装在介质基板上的两个混合螺旋天线单元,两个混合螺旋天线单元具有相同的结构和尺寸,基于互补原理,一个混合螺旋天线单元11可以视作由另一个混合螺旋天线单元12按角度绕原点旋转 180° 复制而成,双臂混合螺旋天线的螺旋辐射体位于金属背腔的口面;所述混合吸波材料加载于金属背腔的底部和双臂混合螺旋天线之间,所述锥削渐变同轴巴伦(基于渐变结构实现宽带匹配和平衡变换)竖直放在金属背腔内部并穿过混合吸波材料与双臂混合螺旋天线垂直,锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元(辐射臂)相连。具体的说,锥削渐变同轴巴伦的内芯和外皮分别与双臂混合螺旋天线的两个混合螺旋天线单元的馈电点相连。

[0043] 自天线辐射面到背腔底部的背腔深度仅27mm。相较传统的螺旋天线,具有很好的低剖面优势。此外末端加载电阻的方式也有效减小了天线口径大小,天线直径仅为65mm,实现了低剖面小型化的目标。

[0044] 混合螺旋天线单元的内圈采用数圈占空比可变的准等角螺旋天线,外圈采用数圈占空比可变的准阿基米德螺旋天线,内圈和外圈平滑连接。

[0045] 同一混合螺旋天线单元中,准等角螺旋天线对应的两条线根据如下公式形成:

$$[0046] \quad r = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$[0047] \quad r' = R(\theta) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta)$$

$$[0048] \quad R(\theta) = R_{\text{in}} + (R_{\text{out}} - R_{\text{in}}) \times \theta / \theta_{\max}$$

[0049] 其中, r_{\min} 是最小半径, α_c 是螺旋指数增长率, θ 为旋转过的角度, $\theta_{\max} = m \times 2 \times \pi$, m 为圈数, R_{in} 、 R_{out} 分别决定了起点和终点的占空比, $R(\theta)$ 为旋转过 θ 角度时对应的半径,此时,螺线的占空比自内向外保持变化,并受直接控制。

[0050] 螺臂对应的两条线外围端点为:

$$[0051] \quad r_1 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

$$[0052] \quad r_1' = R \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

[0053] 终点占空比为:

$$[0054] \quad FT_1 = (1 - R_{\text{out}}) \times e^{\alpha_c \pi} / (e^{\alpha_c \pi} - 1)$$

[0055] 终点线宽为:

$$[0056] \quad W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times \theta_{\max})$$

[0057] 准阿基米德螺旋天线的一臂对应的两条线由如下曲线方程确定:

$$[0058] \quad r = r_0 + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

$$[0059] \quad r' = (r_0 - W(1 + k_2 (\theta / \theta_{\max})^{n_2})) + \alpha_a (1 + k_1 (\theta / \theta_{\max})^{n_1}) \theta$$

[0060] 其中, W 控制起始线宽, α_a 控制起始单圈增幅和占空比, k_1 控制单圈增幅总体变化, k_2 控制占空比总体变化, n_1 、 n_2 控制变化的速度。

[0061] 在具体实施过程中, m 圈准等角螺旋天线和准阿基米德螺旋天线连接处的起始半径 r_0 、螺线宽度 W_1 和占空比 FT_1 这三个参数的平滑过渡通过下列关系实现:

$$[0062] \quad r_0 = r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$[0063] \quad W_1 = (1 - R) \times r_{\min} \times \exp(\alpha_c \times 2\pi m)$$

$$[0064] \quad \alpha_a = W_1 / (r_0 \times FT_1 \times \pi)$$

[0065] 使得整个螺线上的占空比和线宽都可以灵活调节,且平滑过渡。

[0066] 如图2所示,介质基片取厚度0.762mm、半径29mm的RogersRT/Duroid5880, $r_{\min} = 1.2\text{mm}$, $\alpha_c = 0.086$,等角螺旋圈数4圈。 $R_{\text{in}} = 0.803$, $R_{\text{out}} = 0.842$,天线外围截断半径27mm。 $k_1 = 0.3$, $k_2 = 1$, $n_1 = n_2 = 2$,终端加载电阻150欧姆。

[0067] 如图3所示,所述混合吸波材料由上层的海绵吸波材料和下层的高阻抗表面(HIS, high-impedance surface)组合而成,实现超宽带吸波。海绵吸波材料为10mm厚的碳粉加载海绵吸波材料,高阻抗表面HIS由介质板、介质板一侧的周期金属贴片和介质板另一侧的金属底板组成,金属贴片通过金属通孔与地板相连。金属贴片单元之间的缝隙形成电容 C ,金属通孔连接的回路形成电感 L ,从而形成并联LC谐振电路,再起谐振频率附近表面波不能在

其表面传播,其他形式的波也不能传播。由于阻带特性是HIS结构自身的谐振特性产生的,因此其单元尺寸不需要为带隙中心频率对应波导波长的二分之一,而可以远远小于一个波长。同时这种结构具有同相反射的特性。

[0068] 图4给出了UC_HIS构成的混合吸波材料的计算结果示意图(巴伦末端分叉的模型),可以看到HIS的加入使2.35-3.4GHz,5-11.8GHz,14.4-18GHz的三个频带上吸收率均大于10dB,大大增强了吸波材料的吸收率,拓宽了吸收带宽。另一方面,从反射的相位来看:在2-2.8GHz,3.4-5.9GHz,7.5-8.4GHz,11.8-16.7GHz的四个频带上,反射相位均处于 -90° 到 90° 的同相反射带上。这样吸收和反射带隙就可以共同覆盖2-18GHz的宽带范围。将其用于填充天线的腔体则可以使反射电磁波要么被吸收要么可以和前向辐射同相叠加。

[0069] 在单向辐射螺旋天线设计中,为了使天线的后向辐射得到更好的吸收,需要将位于腔体中的吸波材料放置在距离天线螺旋辐射体一定距离的位置,而反射波能否与前向波叠加取决于后向辐射场返回天线口面时的相位。

[0070] 本发明天线由混合螺旋辐射臂和同轴巴伦产生双极化超宽带辐射,并利用背腔内的HIT与海绵混合吸波材料抑制背向辐射,实现单向辐射。其优势在于低剖面、超宽带,可用于多种平台。

[0071] 下面对天线性能进行分析。首先分析该天线的轴比和S参数。图6为天线输入端口的轴比仿真结果图,图7为天线的S11仿真结果图,从图中可以看出,仿真的驻波比2~18GHz频段的轴比均在3dB以下,S11均在-15dB以下,说明巴伦与天线实现了良好的匹配,且由仿真结果可以看出天线表现出较好的圆极化特性。图8给出了天线的增益仿真结果图,可以看出天线在整个频段内辐射场特性稳定。

[0072] 综上所述,本发明所公开的天线工作特性良好,与原有的海绵和铁氧类组合吸波材料相比,厚度从30mm降低到11mm左右;因此本发明所公开的天线具有非常大的应用价值和潜力。

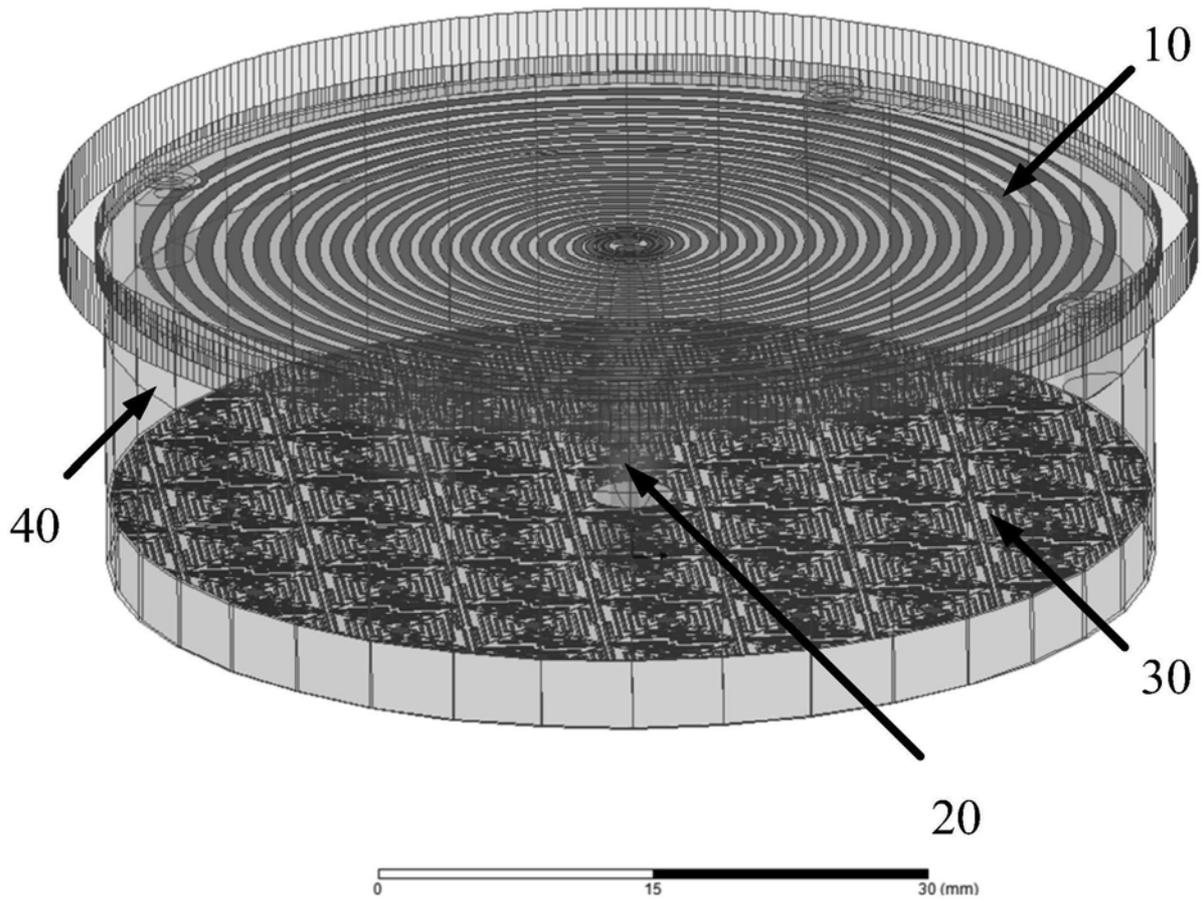


图1

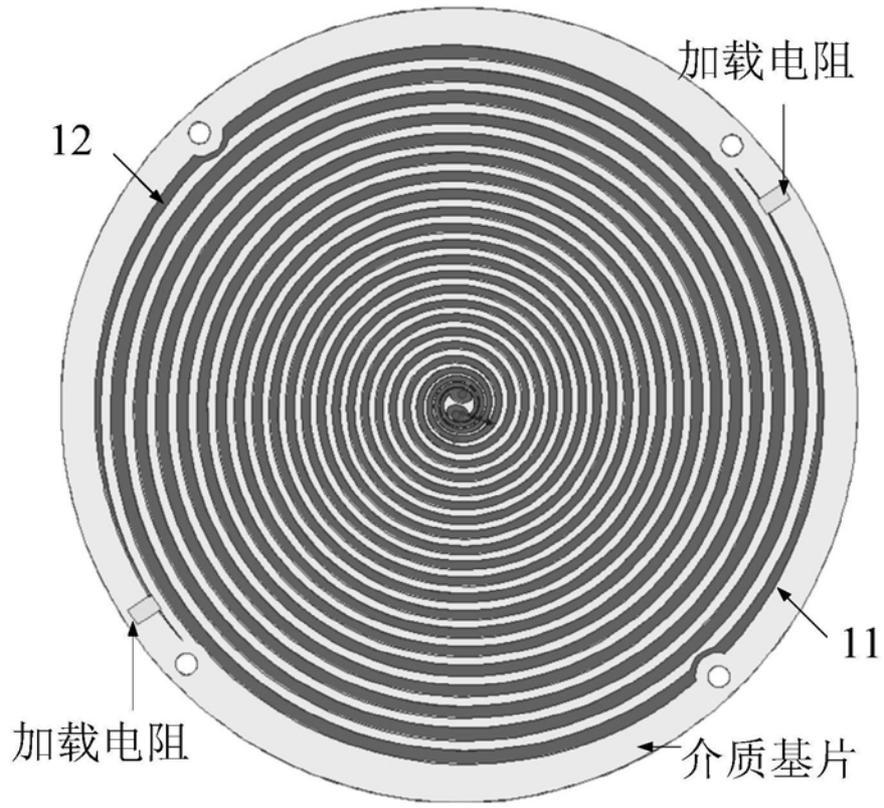


图2

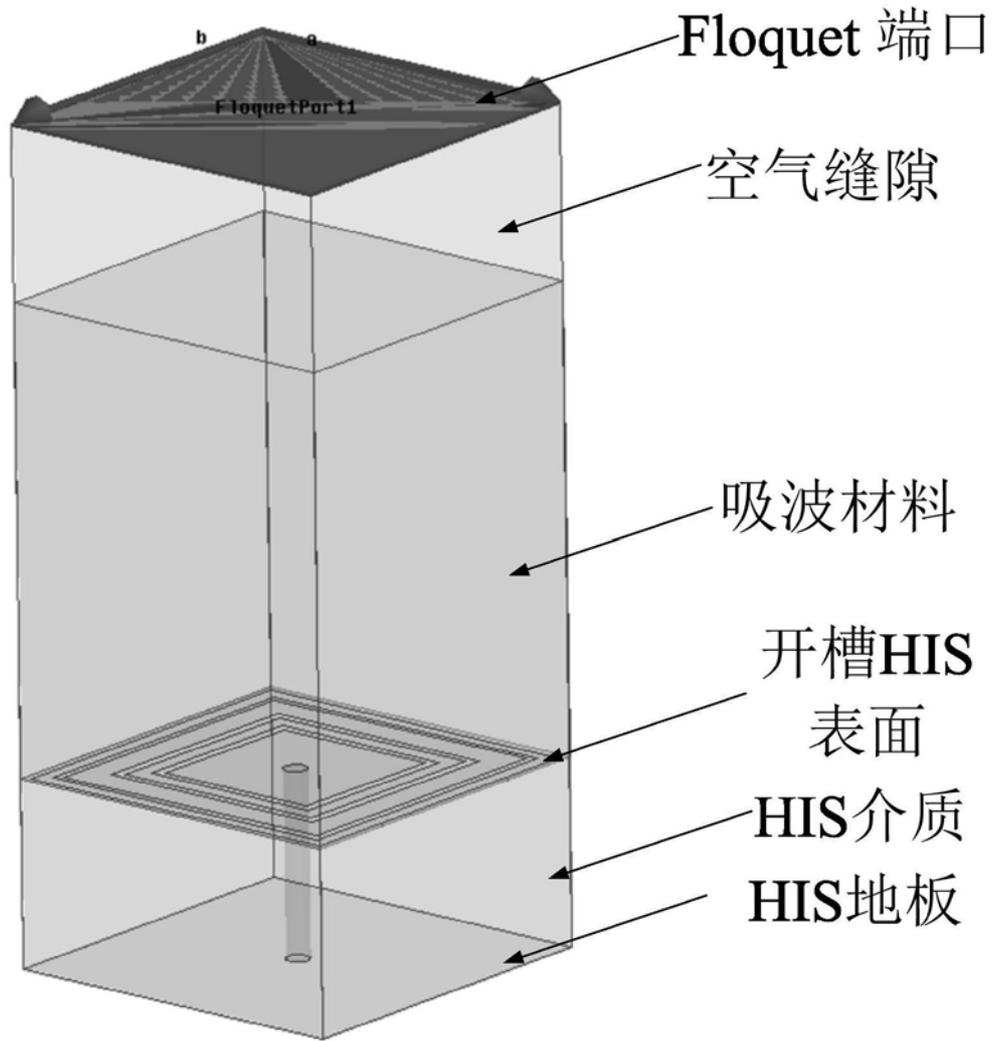


图3

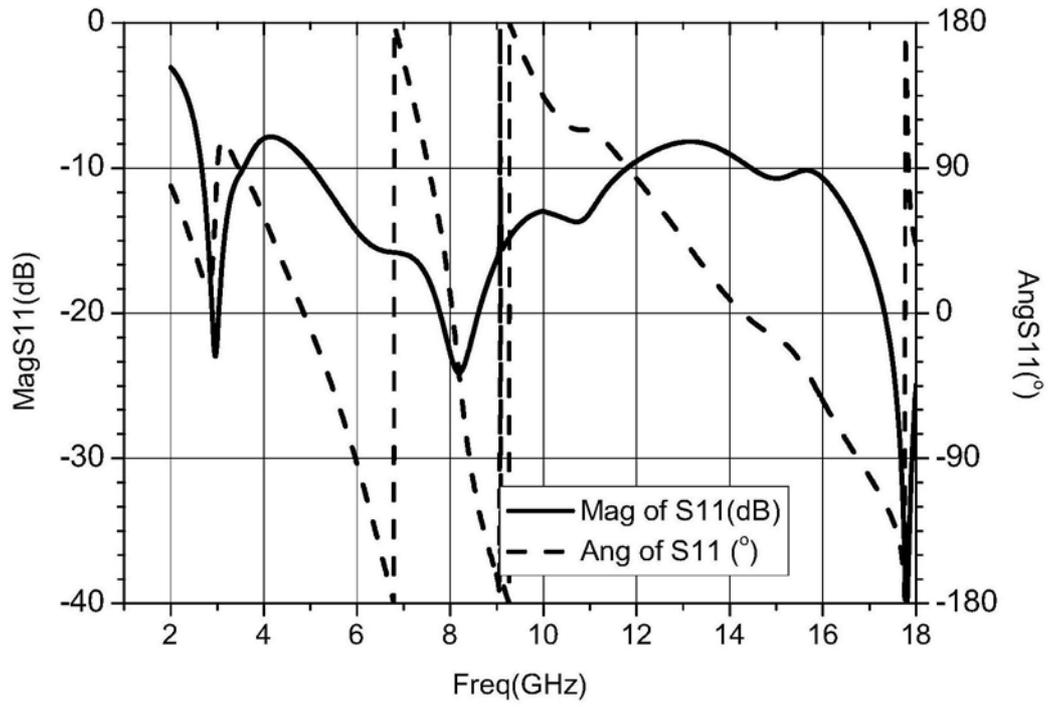


图4

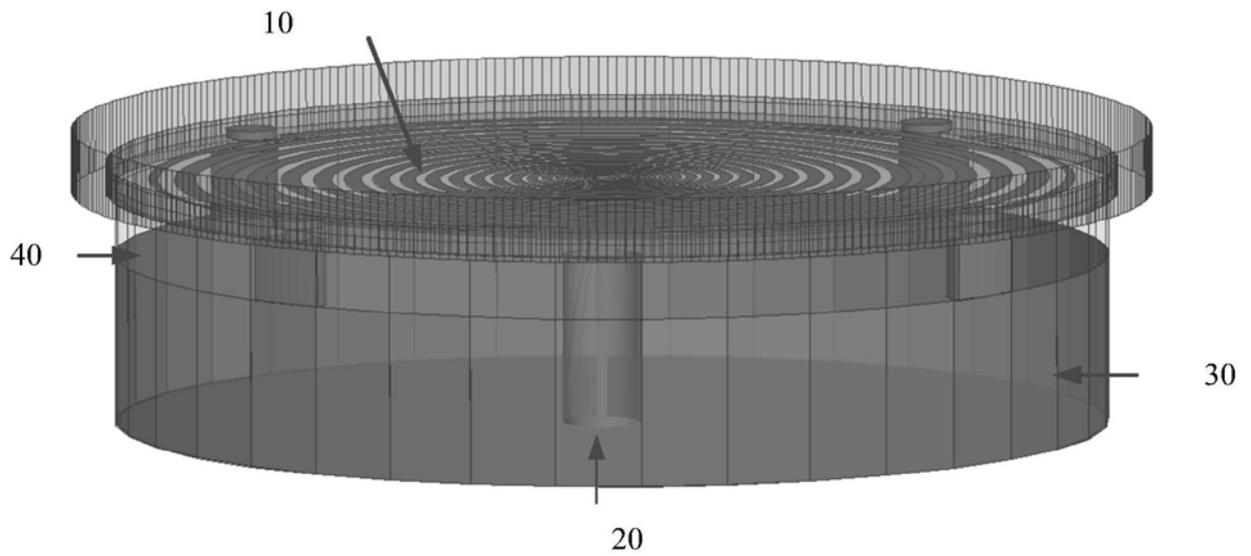


图5

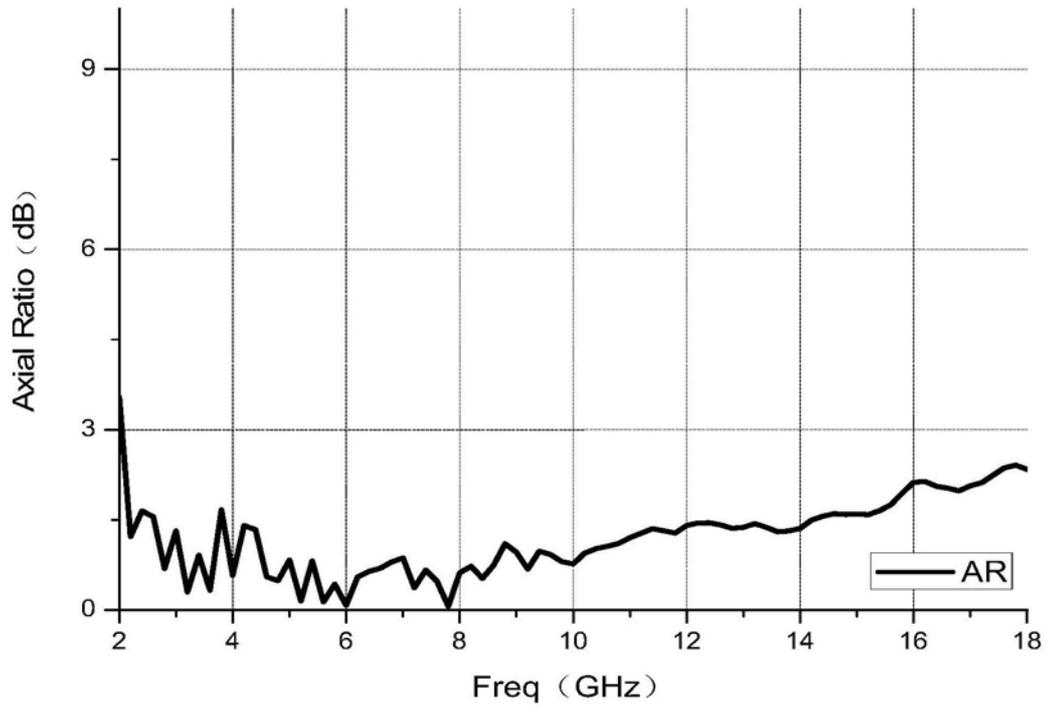


图6

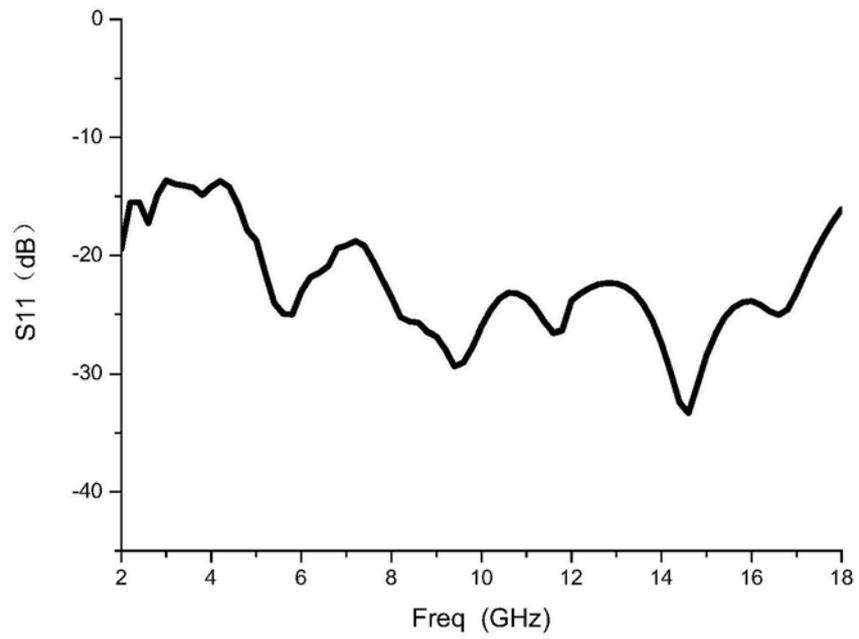


图7

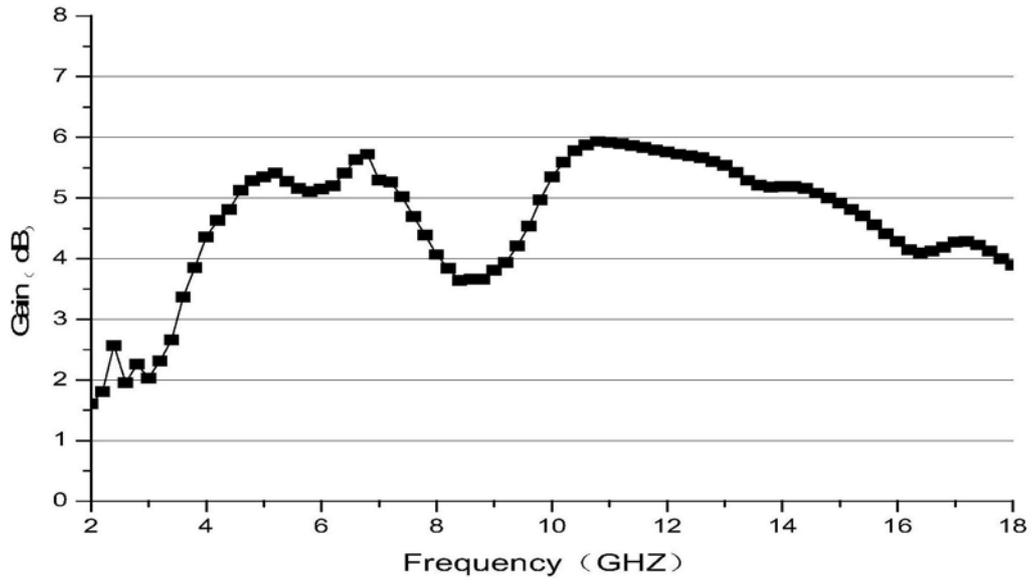


图8