



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 117042425 B

(45) 授权公告日 2024. 08. 09

(21) 申请号 202310801678.9

(22) 申请日 2023.07.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 117042425 A

(43) 申请公布日 2023.11.10

(73) 专利权人 成都飞机工业(集团)有限责任公
司

地址 610092 四川省成都市青羊区黄田坝
纬一路88号

(72) 发明人 王东俊 闫丽萍 张袁 黄鑫
高鹏 关悦 李彦铠

(74) 专利代理机构 成都天嘉知识产权代理有限
公司 51211

专利代理师 程余

(51) Int. Cl.

H05K 9/00 (2006.01)

H01Q 17/00 (2006.01)

H01Q 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 104103877 A, 2014.10.15

CN 106796175 A, 2017.05.31

审查员 李冰

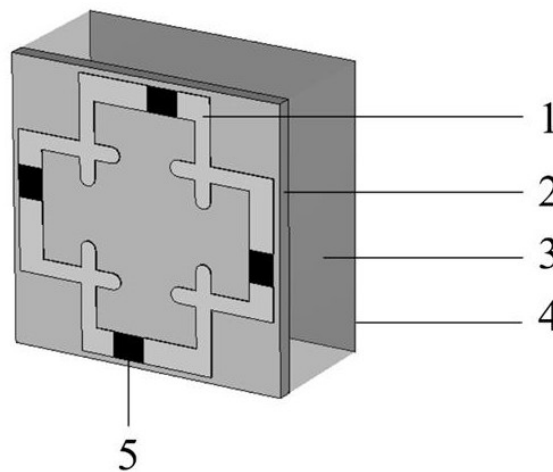
权利要求书1页 说明书8页 附图12页

(54) 发明名称

一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构

(57) 摘要

本发明公开了一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构,属于电磁屏蔽技术领域,包括集总电阻FSS损耗层,集总电阻FSS损耗层为单层结构,其中的FSS单元结构为四个金属导带宽度非均匀的U形结构开口朝内交叠而成的环状单谐振结构,环状单谐振结构的内顶点处形成L形枝节;集总电阻FSS损耗层上的贴片电阻加载在环状单谐振结构上偏离单元中心对称轴线的位置。本发明使用含4个集总电阻、单谐振结构的单层二维FSS损耗层,通过引入单元结构顶点枝节加载、非均匀环形导带宽度、偏心贴片电阻加载等设计技术,获得吸波体在宽频段的阻抗补偿,在不增加厚度的情况下实现了带宽扩展。



1. 一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,包括依次设置的集总电阻频率选择表面损耗层、介质衬底层(2)、空气间隔层(3)和金属反射板(4),其特征在于,所述集总电阻频率选择表面损耗层包括频率选择表面单元结构和贴片电阻(14),所述频率选择表面单元结构为由四个金属导带宽度非均匀的U形结构开口朝内交叠而成的环状单谐振结构(11),所述环状单谐振结构(11)的内顶点处交叠形成L形枝节(12),L形枝节(12)的两个分支构成V形枝节,或弯曲构成U形枝节;L形枝节(12)的两个分支夹角为 90° ;贴片电阻(14)加载在环状单谐振结构(11)的非单元中心对称轴线位置。

2. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述集总电阻(5)频率选择表面损耗层图案为中心旋转对称结构。

3. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述环状单谐振结构(11)内顶点处形成的L形枝节(12)终端为圆顶、椭圆顶或弧形顶。

4. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述环状单谐振结构(11)的材料为金属材料。

5. 如权利要求4所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述环状单谐振结构(11)的材料为铜。

6. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述环状单谐振结构(11)印制于介质衬底层(2)上。

7. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述贴片电阻(14)通过表面贴装或者人工焊接的方式固定在金属导带上。

8. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述空气间隔层(3)采用聚甲基丙烯酸酯亚胺泡沫。

9. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述金属反射板(4)置于空气间隔层背面,其材料为金、银、铜或铝。

10. 如权利要求1所述的一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽层,其特征在于,所述介质衬底层(2)材料为Rogers RT5880材料、FR-4材料或F4B材料。

一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构

技术领域

[0001] 本发明涉及电磁屏蔽技术领域,具体涉及一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构。

背景技术

[0002] 随着电子对抗技术和高功率微波武器的不断发展,现代战争呈现从通信电子战向电磁频谱战发展的特点。各种制式发射机产生的主动或无意电磁辐射对电子系统造成电磁干扰,使得这些电子系统的性能降级甚至失效,导致延迟武器系统部署,危及任务与作战人员。因此,迫切需要保护装备及其电子设备和关键任务系统免受电磁干扰(EMI)和电磁探测的威胁。电磁屏蔽技术是一种常用保护电子设备免受电磁干扰和电磁探测的有效防护手段。

[0003] 电磁波入射到电磁屏蔽结构/层表面时,会产生反射和透射。屏蔽结构/层的电磁屏蔽性能由反射损耗(包括前分界面上的首次反射损耗和屏蔽结构内部多次反射损耗)和吸收损耗共同构成。金属外壳、电磁屏蔽用涂层、基于反射型超表面的电磁屏蔽结构等都主要基于反射损耗原理对被屏蔽系统进行保护。例如中国电子科技集团公司第三十三研究所申请的发明专利《一种全碳系电磁屏蔽涂料及其制备方法》(申请公布号:CN115746686A),采用导电炭黑、多壁碳纳米管和二维片状碳材料不同配比,制成一种全碳系电磁屏蔽涂料,厚度为150 μ m时,在450MHz~40GHz频段内屏蔽效能达到50dB以上,且随频率增加屏蔽效能逐渐升高,说明该电磁屏蔽涂料主要基于反射电磁波实现电磁屏蔽。秦皇岛波盾公司申请的中国专利《一种宽频电磁屏蔽窗》(申请公布号:CN218183855U),该电磁屏蔽窗基于周期结构进行设计,其最大厚度为333微米,屏蔽带宽可达到10 k-40 GHz,也是通过反射电磁波实现电磁屏蔽。

[0004] 然而,对处于封闭舱室(如机舱、船舱及方舱等)中的电子设备,屏蔽层反射的电磁波将对其他电子设备造成干扰;或再次被反射回来,极易在封闭舱室中产生谐振或者混响效应,从而使舱室中某些空间位置场强增强,对处于该位置的电子设备带来更严重的电磁干扰。吸波型电磁屏蔽技术为该技术难题提供了良好的解决方案,但如何设计宽带、极化不敏感且电磁波入射角度稳定的轻质薄型吸波体是吸波型电磁屏蔽技术的关键。

[0005] 常用的电磁吸波材料包括基于电介质损耗的吸波材料、基于磁介质损耗的吸波材料和电路模拟吸波体。基于介质损耗的吸波材料由于电磁特性参数随频率变化大,很难实现宽频段。基于磁介质损耗的吸波材料因高磁导率可有效降低整体厚度,但该类材料多使用羟基铁或铁氧体,导致吸波材料重。例如《一种磁性宽频带电磁吸波超材料》(授权公告号CN 111546719 B)的厚度为4.036 mm,使用软磁材料羟基铁、FeCo合金或铁氧体进行FSS吸波结构设计,在2-18GHz范围内进行测试获得90%吸波带宽8GHz。因其使用羟基铁等材料,相对于非磁性超材料吸波体,重量相对偏重。在电路模拟吸波体中,频率选择表面(FSS)吸波体相比于传统的Salisbury屏和Jaumann屏,工作频带宽且厚度相对薄,已被广泛应用于工程领域。因此本发明采用非磁性材料进行轻薄型FSS吸波体设计。

[0006] 理想的吸波结构应具有全频段覆盖、全角度覆盖以及轻薄的特点,但实际工程应用中很难同时满足这些要求。通常吸波结构以宽带、极化及高角度稳定性和轻薄作为主要指标,但同时实现这三个指标十分困难。Rozanov的研究指出非磁性材料吸波体在给定频段存在一个理论极限厚度,即 Rozanov极限厚度。这意味着,在给定频段和吸波率条件下,吸波体的最小厚度不会低于该极限厚度。因此设计宽带、极化和角度稳定的轻薄FSS吸波体具有非常大的技术挑战性。

[0007] 频率选择表面吸波体分为电阻膜FSS吸波体和集总电阻FSS吸波体两大类。电阻膜FSS在制造时存在难以控制方阻精度等问题,使得加工后的FSS吸波体性能与设计仿真结果存在差异;且为了实现宽带吸波,该类吸波体通常使用多层FSS结构(导致厚度增加),或多个谐振结构复合而成的FSS单元结构,导致加工难度提升,因该类FSS结构主要采用丝网印刷技术、磁溅射与激光刻蚀技术等,使得FSS结构图案尺寸严重受限于加工精度。集总电阻FSS吸波体采用印制电路板(Printed Circuit Board, PCB)技术制备金属FSS单元结构,将具有设定阻值的贴片电阻焊接在金属FSS结构的优选位置上,可对各结构参数进行准确控制。电磁波照射到集总电阻FSS吸波体时,在FSS层感应电流,流过集总电阻产生损耗。因此,对于宽带集总电阻FSS吸波体,需要整个带宽范围内都能在FSS结构上产生感应电流、且电流最大值流过集总电阻。现有集总电阻FSS吸波体或采用多层FSS损耗层结构扩展带宽,或在单层FSS结构上的不同位置焊接4个以上的贴片电阻,使不同频段电流最大值均能流过电阻,以此来扩展带宽。这两种思路无疑都增加了每个单元上的贴片电阻个数,从而提高了FSS吸波结构的加工和运维成本,降低可靠性。例如南京航空航天大学申请的中国专利《一种宽带吸波频率选择表面》,(申请公布号:CN209843961U)中公开了一种宽带吸波频率选择表面吸波体,该吸波体的有耗FSS层采用各加载4个电阻的一大一小两个方环在同一层进行嵌套,在3.9-18.1 GHz(相对带宽129.1%)频带内实现了对电磁波90%的吸收。其厚度为6.75 mm(是最低频率对应波长的0.088倍),但该吸波体每个单元内加载了8个集总电阻。

发明内容

[0008] 本发明旨在解决现有技术中吸波型频率选择表面存在的上述问题,提出一种结构轻薄、工作频带宽、FSS单元结构简单、使用集总电阻数量少的吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构。

[0009] 为了实现上述发明目的,本发明的技术方案如下:

[0010] 一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构,包括依次设置的集总电阻FSS损耗层、介质衬底层、空气间隔层和金属反射板,所述集总电阻FSS损耗层包括FSS单元结构和贴片电阻,所述FSS单元结构为由四个金属导带宽度非均匀的U形结构开口朝内交叠而成的环状单谐振结构,所述环状单谐振结构的内顶点处交叠形成L形枝节;贴片电阻加载在环状单谐振结构的非单元中心对称轴线位置。

[0011] 在某一实施例中,所述集总电阻FSS损耗层图案为中心旋转对称结构。

[0012] 在某一实施例中,L形枝节的两个分支构成V形枝节,或弯曲构成U形枝节。

[0013] 在某一实施例中,L形枝节的两个分支夹角为 90° 。

[0014] 在某一实施例中,所述环状单谐振结构内顶点处形成的L形枝节终端为圆顶、椭圆顶或弧形顶。

[0015] 在某一实施例中,所述环状单谐振结构的材料为铜或其他金属材料。

[0016] 在某一实施例中,所述环状单谐振结构通过PCB技术印制于介质衬底层上。

[0017] 在某一实施例中,所述贴片电阻通过表面贴装技术或者人工焊接的方式固定在金属导带上。

[0018] 在某一实施例中,所述空气间隔层采用聚甲基丙烯酸酯亚胺泡沫。

[0019] 在某一实施例中,进一步的,所述金属反射板为良导体金属材料。

[0020] 在某一实施例中,进一步的,所述介质衬底层材料为Rogers RT5880材料、FR-4材料或F4B材料。

[0021] 综上所述,本发明具有以下优点:

[0022] 1、本发明是一种结构轻薄、工作频带宽、FSS单元结构简单、使用集总电阻数量少的FSS吸波结构,突破了传统FSS单元结构设计方法,提出单元结构顶点处圆顶枝节加载、非均匀环形导带宽度、偏心贴片电阻加载等设计技术,以改善不同频段的吸波体阻抗,使得吸波体阻抗在宽频段范围内与自由空间阻抗匹配良好,在不增加厚度的情况下扩展了带宽,90%电磁吸波带宽可达6 - 26.77 GHz,覆盖整个XC波段至K波段频段;

[0023] 2、本发明所设计的吸波型电磁屏蔽结构相对于反射型电磁屏蔽结构在实现电磁屏蔽的同时吸收电磁波,不会在密闭舱室中产生二次和多次反射,形成谐振或混响效果,避免了电子设备所在密闭舱室中的电磁环境场水平增强、电磁干扰恶化现象;

[0024] 3、本发明所设计的用于电磁屏蔽的FSS吸波结构,在仅使用一层FSS损耗层、采用单个谐振结构且每个单元仅使用4个贴片电阻的情况下,整个吸波体呈现出宽带、轻薄且电阻用量少、低成本、结构简单易加工的特点,其总体性能优于现有单层甚至多层FSS或多谐振结构复合FSS吸波体的性能;

[0025] 5、本发明中,FSS吸波结构为中心旋转对称结构,故具有良好的极化稳定性。环状单谐振结构的金属导带宽度采用不均匀设计,改善了中频段的电抗以及高频段的电阻,使得中频和高频的阻抗更加趋近于自由空间阻抗,实现阻抗匹配。环状单谐振结构内顶点处的L形枝节进一步改善了中高频段的阻抗,将谐振点往高频移动。在L形枝节的末端采用圆角设计,提高了吸波体在中频电抗和高频电阻。这些独特设计使得吸波体在中高频能够与自由空间达到更好的阻抗匹配,从而产生更好的吸收效果;

[0026] 6、本发明中,环状单谐振结构中贴片电阻偏离中心对称轴的设计使得电阻向高频段电流分布密集的拐角处靠近,使得吸波体在整个频段范围内的感应电流较强处都流过贴片电阻,且在宽频段内调节吸波结构阻抗,使得与自由空间阻抗更加匹配,达到更好的吸收效果;

[0027] 7、本发明所设计的吸波体整体性能(包括:带宽、厚度、FSS层数、每单元的电阻个数、极化和角度稳定性)优于现有的单层FSS吸波体性能,可比拟甚至优于多层FSS、或多谐振结构复合FSS吸波体性能;

[0028] 8、与现有的反射型电磁屏蔽材料相比,本发明能够吸收电磁波,在屏蔽电磁辐射的同时避免电磁波反射形成谐振或者混响效应。

附图说明

[0029] 图1、图2为本发明提供了一种宽带薄型单层集总电阻FSS吸波体的整体结构示意图

图；

[0030] 图3为集总电阻FSS损耗层的结构示意图；

[0031] 图4为垂直入射情况下,本发明在TE、TM两种电磁波极化方式下的反射系数曲线；

[0032] 图5为垂直入射情况下,本发明在TE、TM两种电磁波极化方式下的吸收率曲线；

[0033] 图6为TE极化下,本发明在不同入射角度下的吸收率曲线；

[0034] 图7为TM极化下,本发明在不同入射角度下的吸收率曲线；

[0035] 图8为本发明有无内顶点加载圆角L形枝节在TE极化情况下的反射系数曲线对比；

[0036] 图9为本发明在有无内顶点加载圆角L形枝节在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比；

[0037] 图10为本发明在电阻中心位置偏移中心对称轴变量 d 分别取0 mm、0.3 mm、0.6 mm时,TE极化情况下的反射系数曲线对比；

[0038] 图11为环状单谐振结构宽度非均匀与宽度均匀在TE极化情况下的反射系数曲线对比；

[0039] 图12为环状单谐振结构宽度非均匀与宽度均匀在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比；

[0040] 图13为环状单谐振结构内顶点处L形枝节末端为圆角和直角时在TE极化情况下的反射系数曲线对比；

[0041] 图14为环状单谐振结构内顶点处L形枝节末端为圆角和直角时在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比；

[0042] 图中：

[0043] 1、集总电阻FSS损耗层；2、介质衬底层；3、空气间隔层；4、金属反射板；5、集总电阻；11、环状单谐振结构；12、L形枝节；13、圆角；14、贴片电阻。

具体实施方式

[0044] 为了更清楚地说明本发明,下面结合优选实施例和附图对本发明做进一步的说明。本领域技术人员应当理解,下面所具体描述的内容是说明性的而非限制性的,不应以此限制本发明的保护范围。本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的属于“第一”、“第二”等是用于区别不同的对象,而不是用于描述特定顺序。此外,术语“包括”和“具有”以及它们任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元,而是可选地还包括没有列出的步骤或单元,或可选地还包括对于这些过程、方法或设备固有的其他步骤或单元。

[0045] 本发明提供了一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构,是一种仅使用4个集总电阻的非磁性材料单谐振结构的FSS宽带薄型吸波结构,它可以用于电磁屏蔽领域,特别是电子设备密集的密闭空间(如机舱、船舱、车载装备方舱等)中的电磁干扰抑制,避免干扰电磁波被反射后在舱室中产生谐振或混响效应,提高空间中的电磁场水平导致干扰增强。还可以用于降低雷达散射截面,提高隐身性能。

[0046] 具体的,如图1所示,一种吸波型频率选择表面电磁屏蔽结构包括：

[0047] 从上至下依次设置的集总电阻FSS损耗层1、介质衬底层2、空气间隔层3和金属反射板4。其中,集总电阻FSS损耗层1为中心对称结构,对入射电磁波可呈现良好的极化稳定

性。

[0048] 集总电阻FSS损耗层1为周期性正方形结构,包括FSS单元结构和贴片电阻14,其中,FSS单元结构为四个金属导带宽度非均匀的U形结构开口朝内交叠而成的环状单谐振结构11。集总电阻FSS损耗层1的贴片电阻14加载在环状单谐振结构11的非单元中心对称轴线位置上,使得宽频段范围内吸波结构阻抗与自由空间阻抗更加匹配,反射系数均低于-10dB(对应90%吸波率),且电流较大值均流过贴片电阻。如图10为本发明在电阻中心位置偏移中心对称轴变量d分别取0 mm、0.3 mm、0.6 mm时,TE极化情况下的反射系数曲线对比。由图10可以得到,当电阻中心偏移中心对称轴变量d逐渐由0 mm增大至0.6 mm过程中,所提出的吸波结构高频21.0-24.7 GHz内反射系数逐渐减小至-10 dB以下,中频10.8-18.5GHz内反射系数有所增大,但总体仍在-10 dB以下。

[0049] 本实施例中,如图2所示,集总电阻FSS损耗层1的环状单谐振结构11在内顶点处形成L形枝节12,该L形枝节12的两个分支夹角为 90° ,L形枝节12终端形状为圆顶。

[0050] 说明书附图8为本发明有无内顶点加载圆角L形枝节在TE极化情况下的反射系数曲线对比;说明书附图9为本发明在有无内顶点加载圆角L形枝节在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比。由图8可以得到,当内顶点加载圆角L形枝节后,所提出吸波结构的反射系数在7.2 - 26.8 GHz范围内的反射系数都降至-10 dB以下。由图9中有无内顶点加载圆角L形枝节的归一化阻抗曲线对比可知,该环状单谐振结构内顶点处加载圆角L形枝节的设计进一步改善了中高频段7 - 26.8GHz的阻抗,将谐振点往高频移动,使得吸波体在高频能够与自由空间达到更好的阻抗匹配,从而产生更好的吸波效果。

[0051] 在使用4个集总电阻、单层FSS损耗层和单谐振结构的前提下,采用传统FSS单元结构的FSS吸波体难以实现宽频带吸收,故本发明突破传统FSS单元结构设计方法,提出单元结构顶点处圆顶枝节加载、非均匀环形导带宽度、偏心贴片电阻加载等设计技术,以改善不同频段的吸波体阻抗,使得吸波体阻抗在宽频带范围内与自由空间阻抗匹配良好,在不增加厚度的情况下扩展了带宽。

[0052] 本实施例中,集总电阻FSS损耗层图案为中心旋转对称结构,故具有良好的极化稳定性。其中,环状单谐振结构的金属导带宽度采用不均匀设计,改善了中频段的电抗以及高频段的电阻,使得中频和高频的阻抗更加趋近于自由空间阻抗,实现阻抗匹配。环状单谐振结构内顶点处的L形枝节进一步改善了中高频段的阻抗,将谐振点往高频移动。这些独特设计使得吸波体在中高频能够与自由空间达到更好的阻抗匹配,从而产生更好的吸收效果。

[0053] 环状单谐振结构中贴片电阻偏离中心对称轴的设计使得电阻向高频段电流分布密集的拐角处靠近,使得吸波体在整个频段范围内的感应电流较强处都流过贴片电阻,且在宽频段内调节吸波结构阻抗,使得与自由空间阻抗更加匹配,达到更好的吸收效果。

[0054] 图11为环状单谐振结构宽度非均匀与宽度均匀在TE极化情况下的反射系数曲线对比示意图;附图12展示了环状单谐振结构宽度非均匀与宽度均匀在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比。

[0055] 由图11可以得到,当环状单谐振结构宽度由均匀变为非均匀时,所提出吸波结构的反射系数在中高频13.6 - 26.2 GHz部分得到有效改善,降低至-10 dB以下。从图12中的归一化阻抗曲线对比可知,环状单谐振结构宽度非均匀设计改善了中频段8.2 - 21.4 GHz范围内的电抗以及14.8 - 26.9 GHz频率范围内的电阻,使得中频和高频的阻抗更加趋近

于自由空间阻抗,实现阻抗匹配。

[0056] 由此可见,本发明的这些独特设计使得所提吸波结构仅使用4个集总电阻和单谐振结构的单层FSS损耗层,就可实现宽带、极化和角度稳定的轻薄型FSS吸波结构。

[0057] 本实施例中,由四个U形结构交叠而成的环状单谐振FSS金属结构为铜或其他金属材料,将其通过PCB技术印制于介质衬底层上。

[0058] FSS上加载的集总电阻5为高频贴片电阻,将其通过表面贴装技术(Surface Mounted Technology, SMT)或者人工焊接的方式固定在金属FSS的指定位置。

[0059] 本实施例中,介质衬底层材料为Rogers RT5880材料,可以采用其他介质基板材料代替,包括FR-4材料、F4B材料等,FSS损耗层中的金属FSS结构印制在该介质衬底层上。

[0060] 本实施例中,空气间隔层3用于将集总电阻FSS损耗层和金属反射板隔离开,该间隔可提供恰当的电磁波相位补偿,使得FSS损耗层位于电磁波的电场最大值或其附近以产生电磁损耗。合理调整空气间隔层的厚度,还可以有效调整整体吸波体结构的输入阻抗,使得吸波体实现更宽的吸收带宽。

[0061] 本实施例中,金属反射板4为置于空气间隔层背面的铜、铝、金、银等良导体金属材料,金属反射板用于反射电磁波,防止其透过吸波材料,并确保反射电磁波被FSS损耗层吸收。

[0062] 实施例2

[0063] 本实施例提供了一种吸波性频率选择表面电磁屏蔽结构,与实施例1不同的是,本实施例中,集总电阻FSS损耗层1的环状单谐振结构11在内顶点处形成的枝节也可可为其他角度,例如构成V形,或弯曲构成U形等其他形状枝节,以满足不同工作频段需求。

[0064] 实施例3

[0065] 本实施例提供了一种吸波性频率选择表面电磁屏蔽结构,在实施例1的基础上,进一步的,如图2所示,集总电阻FSS损耗层的环状单谐振结构内顶点处的L形枝节终端也可用椭圆顶、弧形顶等结构代替,以改善相应频段的阻抗。在L形枝节的末端采用圆角13设计,提高了吸波体在中频电抗和低频电阻。

[0066] 如说明书附图13所示,展示了环状单谐振结构内顶点处L形枝节末端为圆角和直角时在TE极化情况下的反射系数曲线对比。说明书附图14展示了环状单谐振结构内顶点处L形枝节末端为圆角和直角时在TE极化情况下的归一化阻抗曲线对比。由图13可以得到,加载L形枝节的圆角设计能够改善高频的反射系数,使得吸波结构的反射系数在21.7 - 24.5 GHz内的高频范围内降至-10 dB以下。由图14中L形枝节末端为圆角和直角的归一化阻抗曲线对比可知,吸波结构整体阻抗在21.7 - 24.5 GHz的高频范围内更接近自由空间阻抗,从而产生更好的吸波效果。

[0067] 实施例4

[0068] 本实施例提供了一种吸波性频率选择表面电磁屏蔽结构,在实施例1的基础上,本实施例中的空气间隔层3采用介电常数为1.06左右的聚甲基丙烯酸酯亚胺(PMI)泡沫或可用其他具有接近介电常数的塑料泡沫代替。

[0069] 实施例5

[0070] 本实施例提供了一种吸波性频率选择表面电磁屏蔽结构,与实施例1不同的是,金属反射板4采用铜箔、铝箔等金属箔粘贴于PMI泡沫或其他具有接近介电常数的塑料泡沫远

离集总电阻FSS损耗层的面实现。

[0071] 实施例6

[0072] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式。

[0073] 本实施例提供了一种基于单层集总电阻FSS的宽带吸波结构,如图1所示,依次为集总电阻FSS损耗层、介质衬底层、空气间隔层、金属反射板,在FSS损耗层上焊接有4个集总电阻。

[0074] 参照说明书附图3,其中集总电阻FSS损耗层的详细结构参数如下表所示:

参数	值 (mm)	参数	值 (mm)
介质衬底层厚度	0.508	b	8.6
空气间隔层厚度	3.8	w_a	0.5
金属反射板厚度	0.035	w_b	0.8
0603 电阻阻值	240 Ω	l	0.6
p	9	w_l	0.5
a	2.1	r_l	0.25
d	0.6	s	1

[0075] 其中,参数 p 表示集总电阻FSS损耗层所在的介质衬底层边长;参数 b 表示倒置单个金属导带宽度非均匀的U形结构外侧边的长度;参数 w_a 、 w_b 分别表示非均匀环形导带宽度,其中 w_a 为金属导带宽度非均匀的U形结构中较窄部分宽度, w_b 为金属导带宽度非均匀的U形结构中较宽部分宽度;参数 d 表示集总电阻中心轴线到单元中心对称轴线的距离; r_l 表示圆顶枝节加载的形状参数,在本实施例中为圆顶枝节加载的半径。参数 s 表示集总电阻的宽度。

[0077] 在该结构参数下,本发明90%电磁吸波带宽可达6 - 26.77 GHz,如图4、图5所示,能够覆盖整个XC波段至K波段频段,厚度薄,总厚度仅为Rozanov理论极限厚度的1.1倍,并且对入射波极化方式不敏感,宽频带角度稳定性好,如图6、图7所示,对TE极化电磁波,本发明在入射角30°内85%吸收带宽为5.64 - 22.84 GHz;对TM极化电磁波,本发明在入射角30°内90%吸波带宽达到7.27-18.95 GHz。

[0078] 本发明所提出的FSS吸波体可附在电子设备/装备外壳,也可附在密闭空间腔壁上,用于吸收空间干扰电磁波,实现电子设备的电磁屏蔽。

[0079] 本发明所设计的吸波型电磁屏蔽结构相对于反射型电磁屏蔽结构在实现电磁屏蔽的同时吸收电磁波,不会在密闭舱室中产生二次和多次反射,形成谐振或混响效果,避免了电子设备所在密闭舱室中的电磁环境场水平增强、电磁干扰恶化现象。

[0080] 本发明所设计的用于电磁屏蔽的FSS吸波结构相对于现有的集总电阻FSS吸波结构,在仅使用一层FSS损耗层、采用单个谐振结构且每个单元仅使用4个贴片电阻的情况下,整个吸波体呈现出宽带、轻薄且电阻用量少、低成本、结构简单易加工的特点,其总体性能优于现有单层甚至多层FSS或多谐振结构复合FSS吸波体的性能。

[0081] 虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了详细地描述,但不应理解为对本专

利的保护范围的限定。在权利要求书所描述的范围内,本领域技术人员不经创造性劳动即可做出的各种修改和变形仍属本专利的保护范围。

[0082] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明做任何形式上的限制,凡是依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化,均落入本发明的保护范围之内。

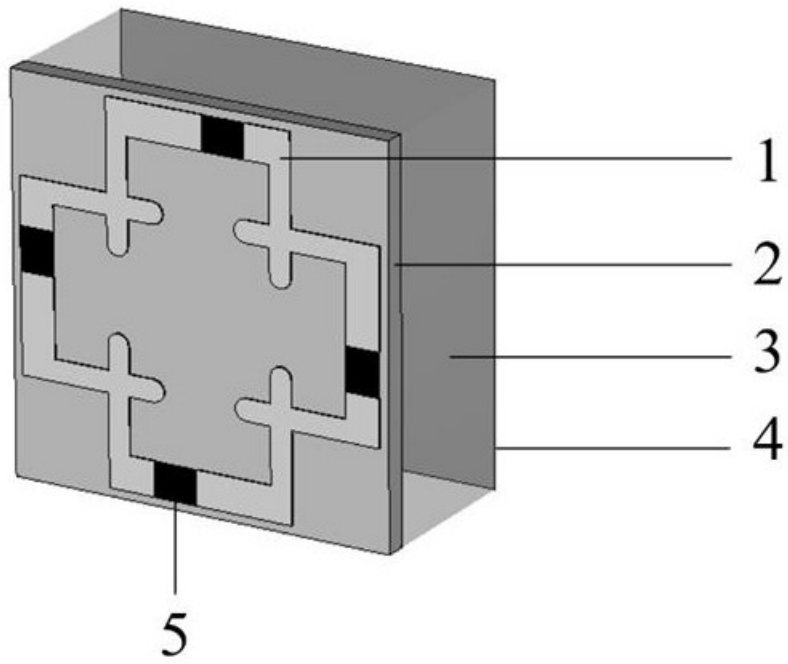


图1

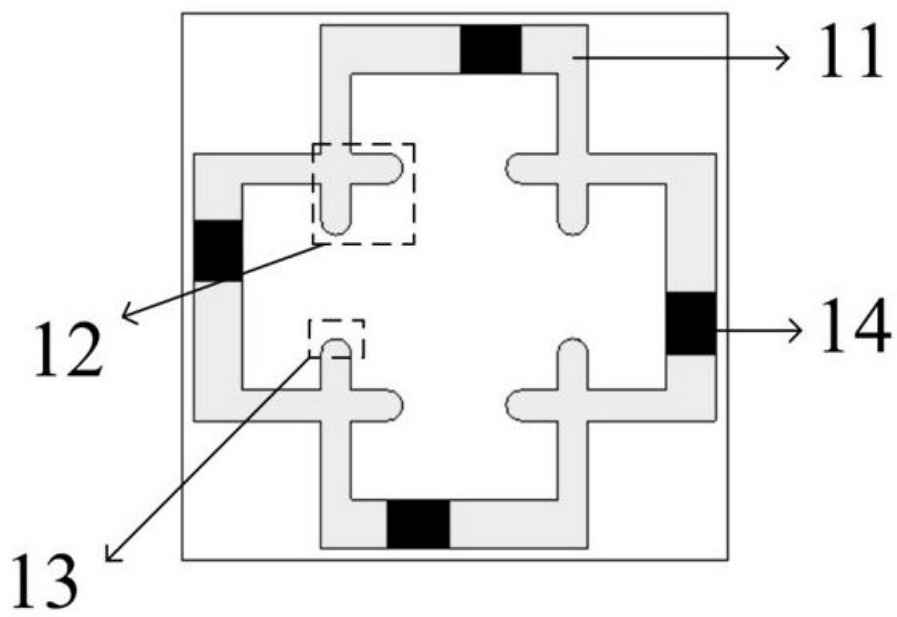


图2

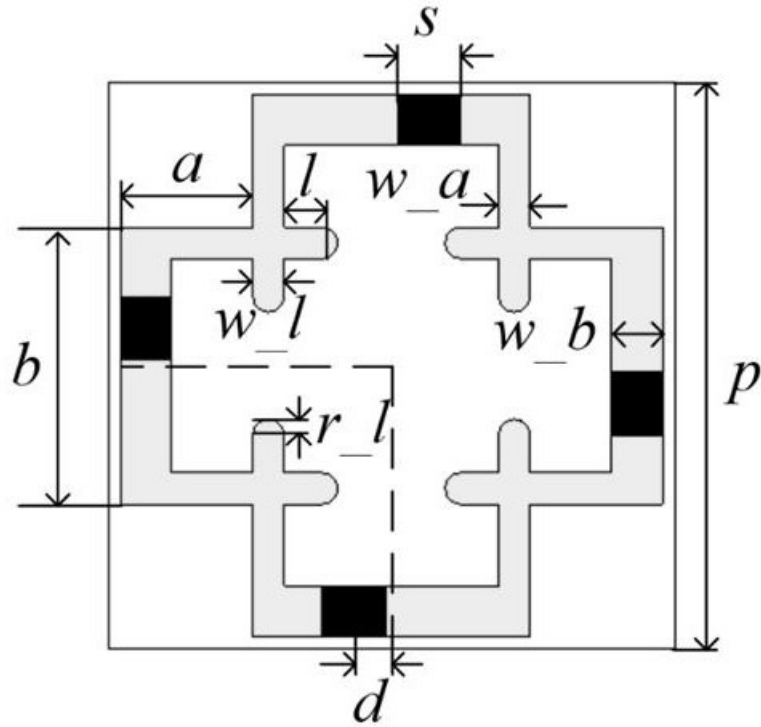


图3

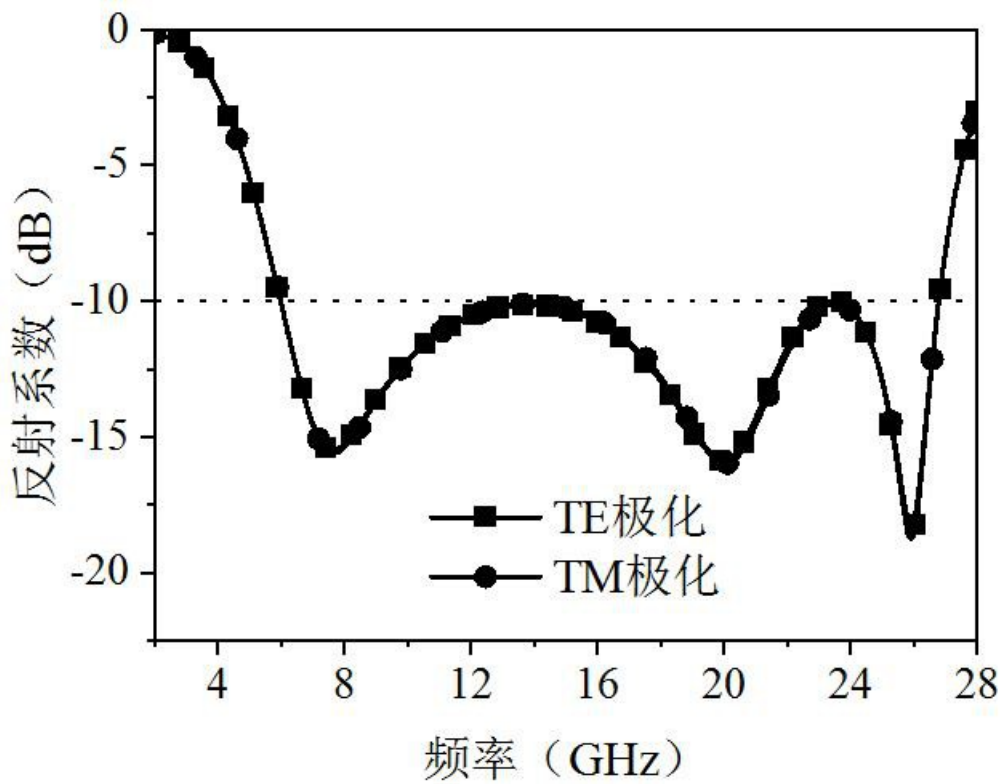


图4

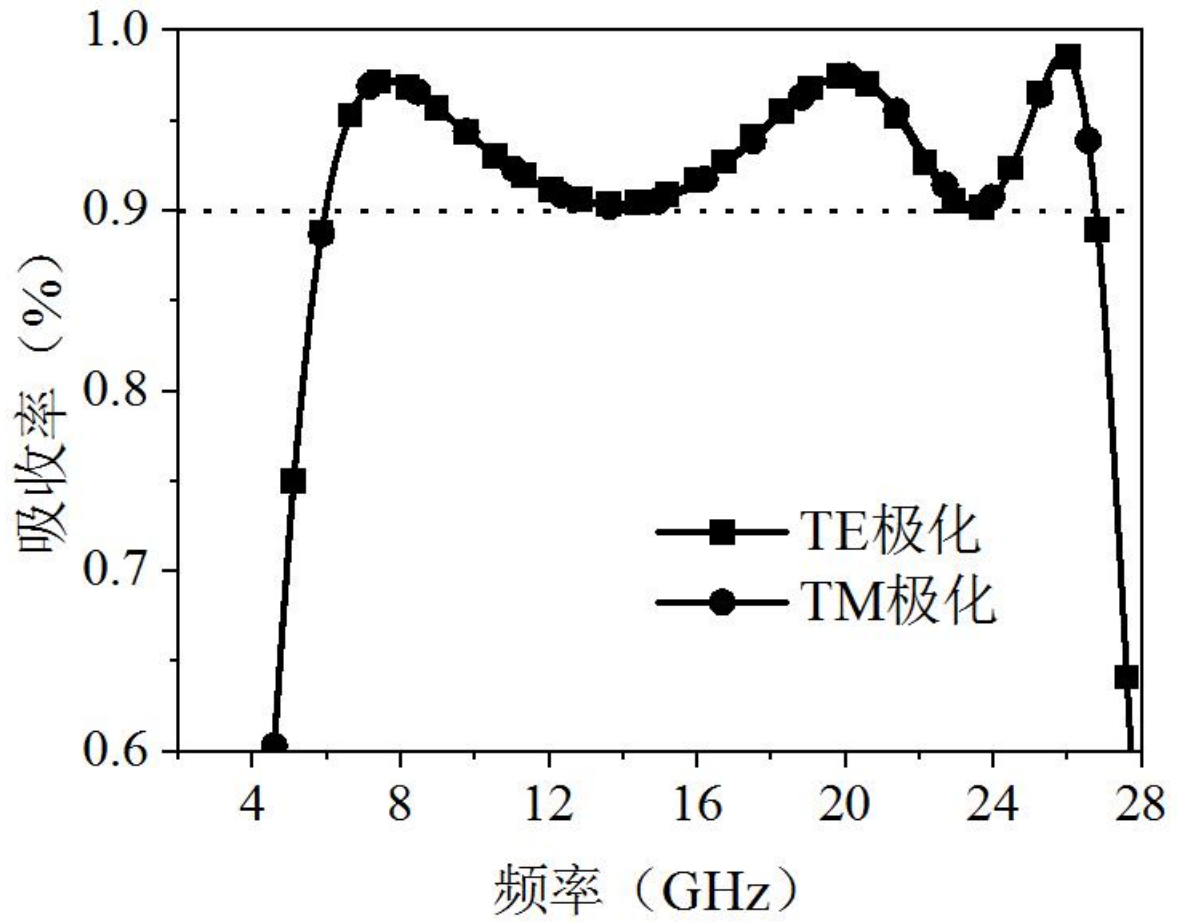


图5

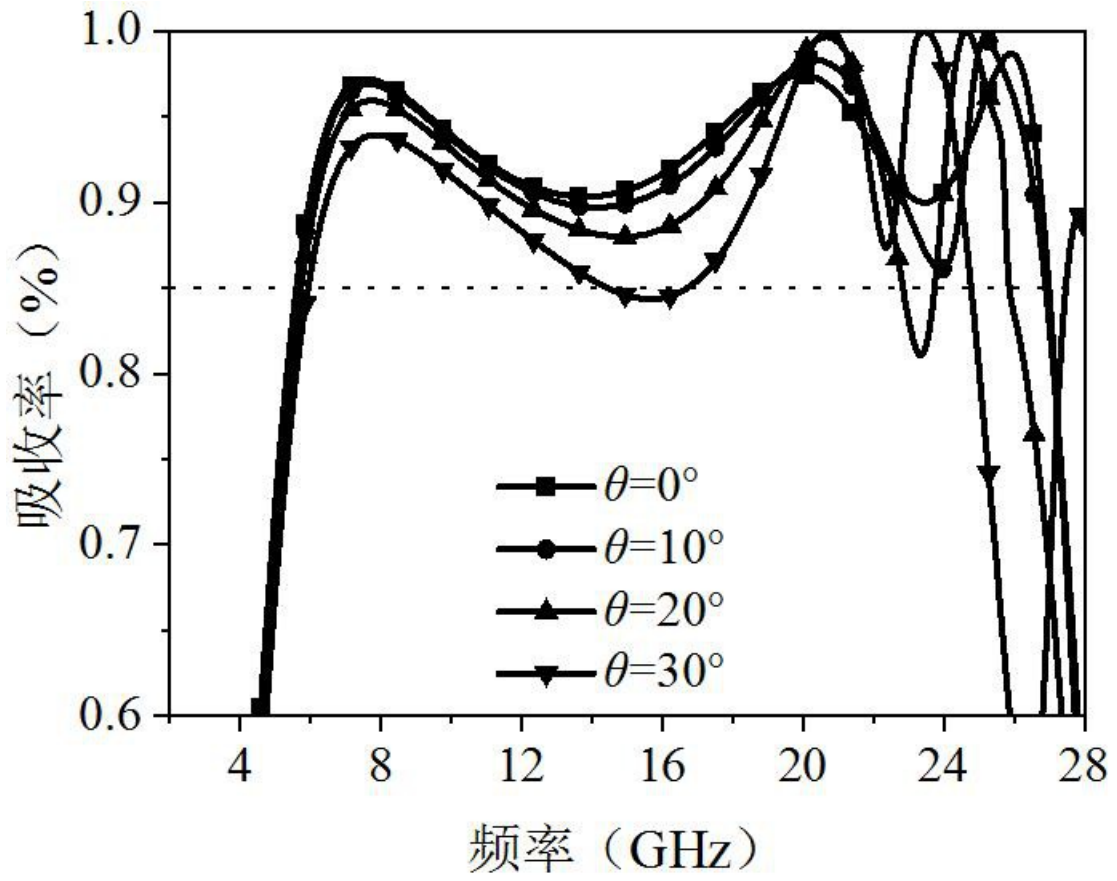


图6

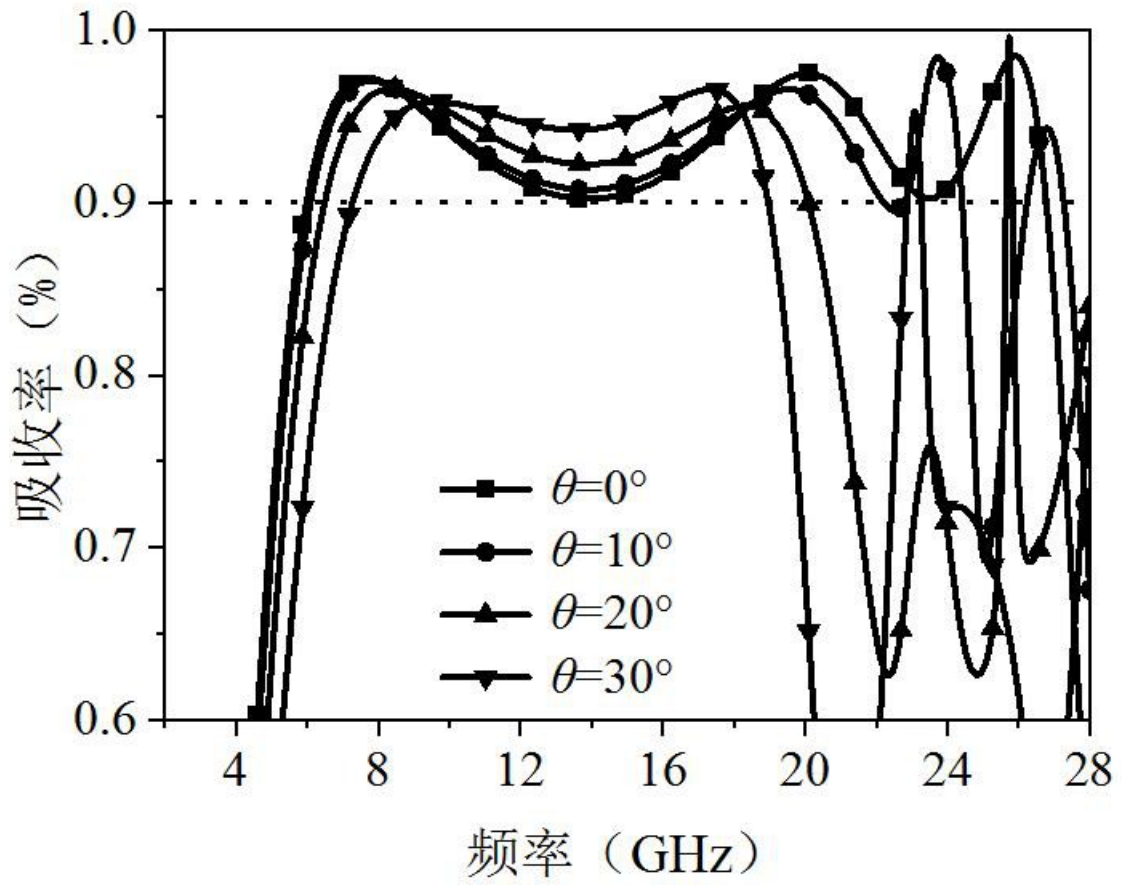


图7

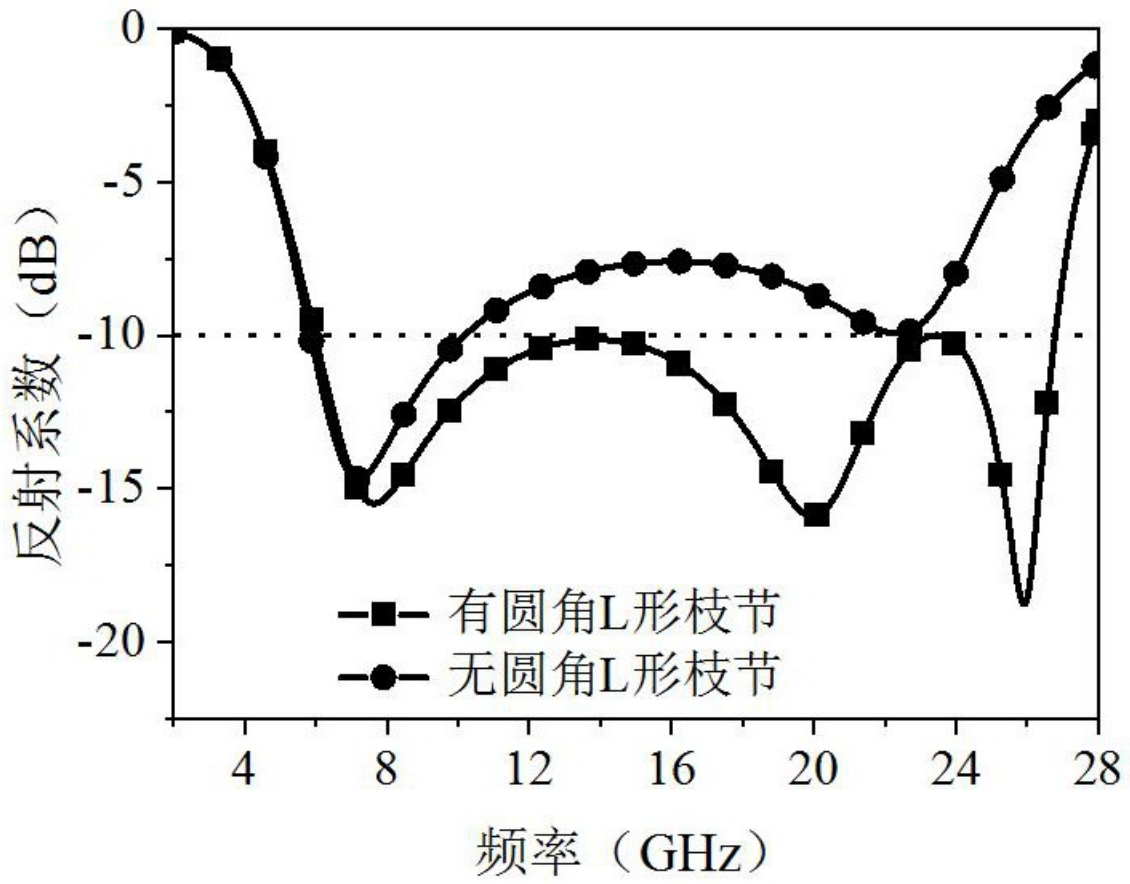


图8

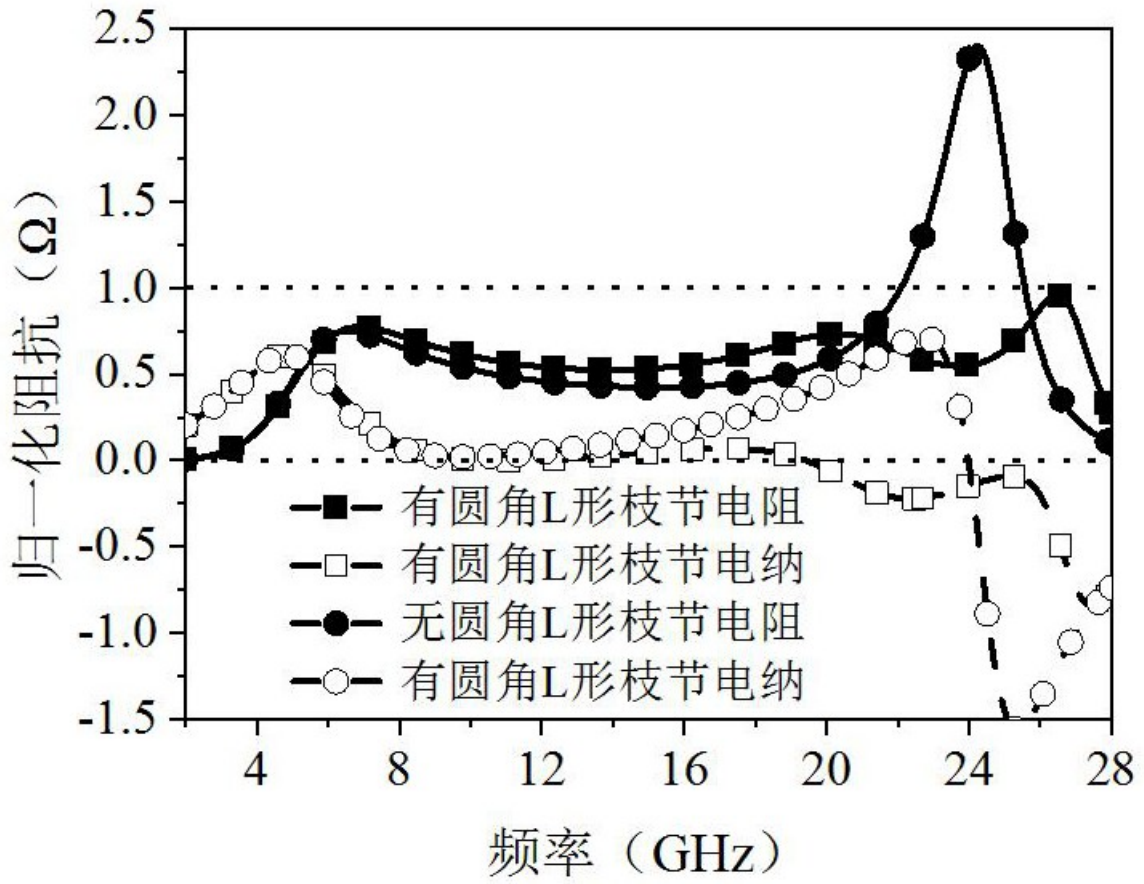


图9

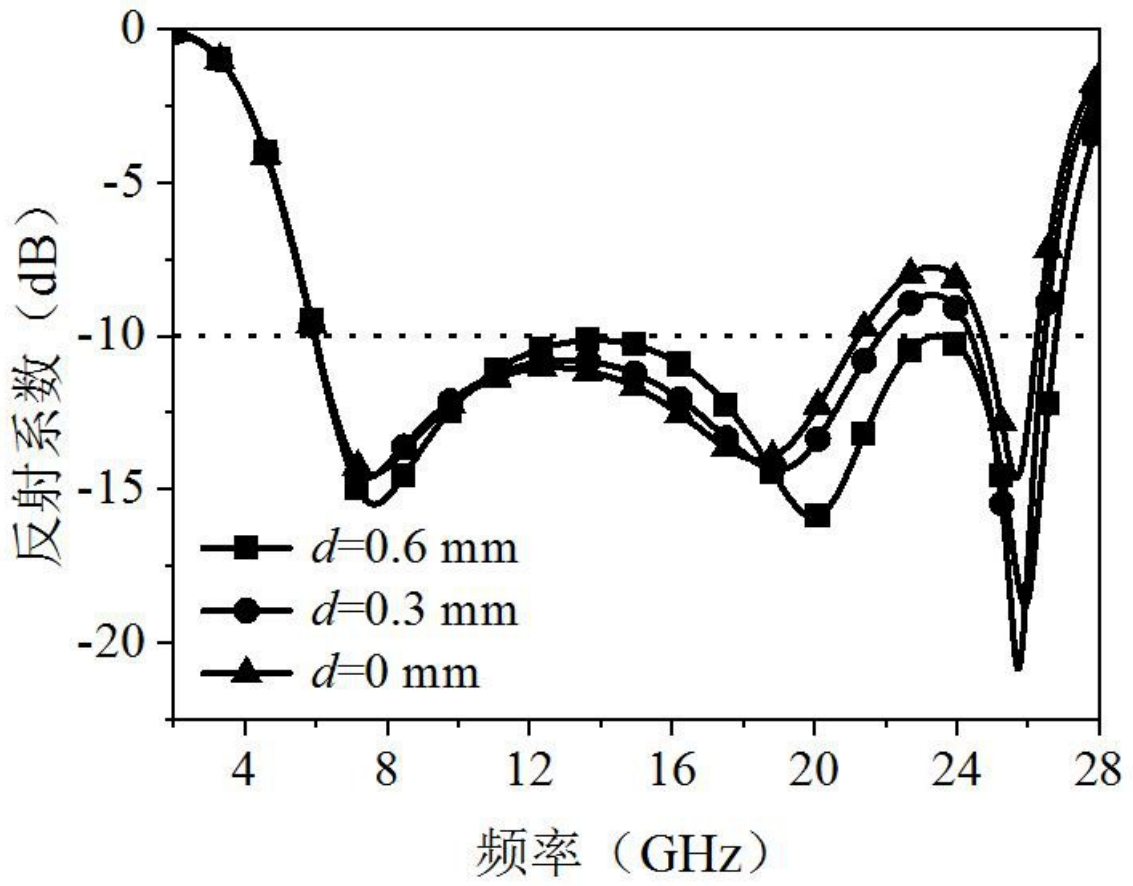


图10

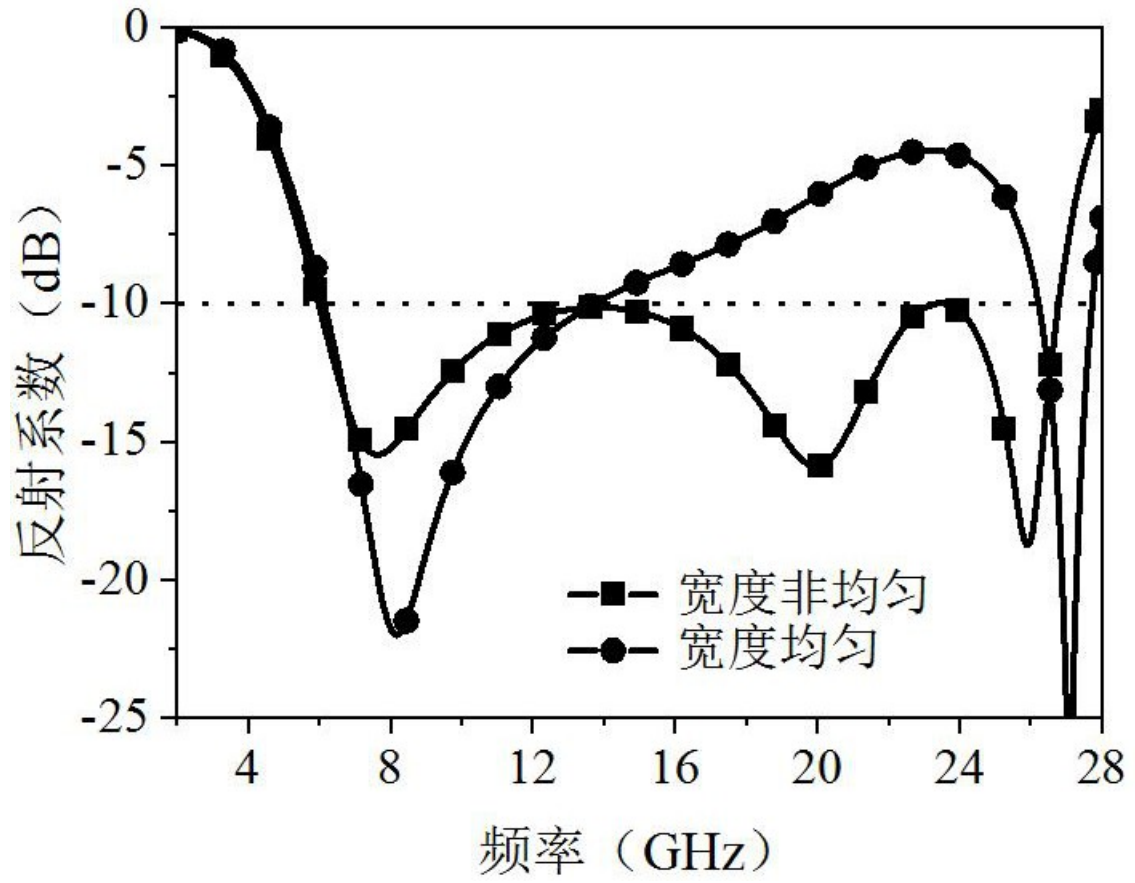


图11

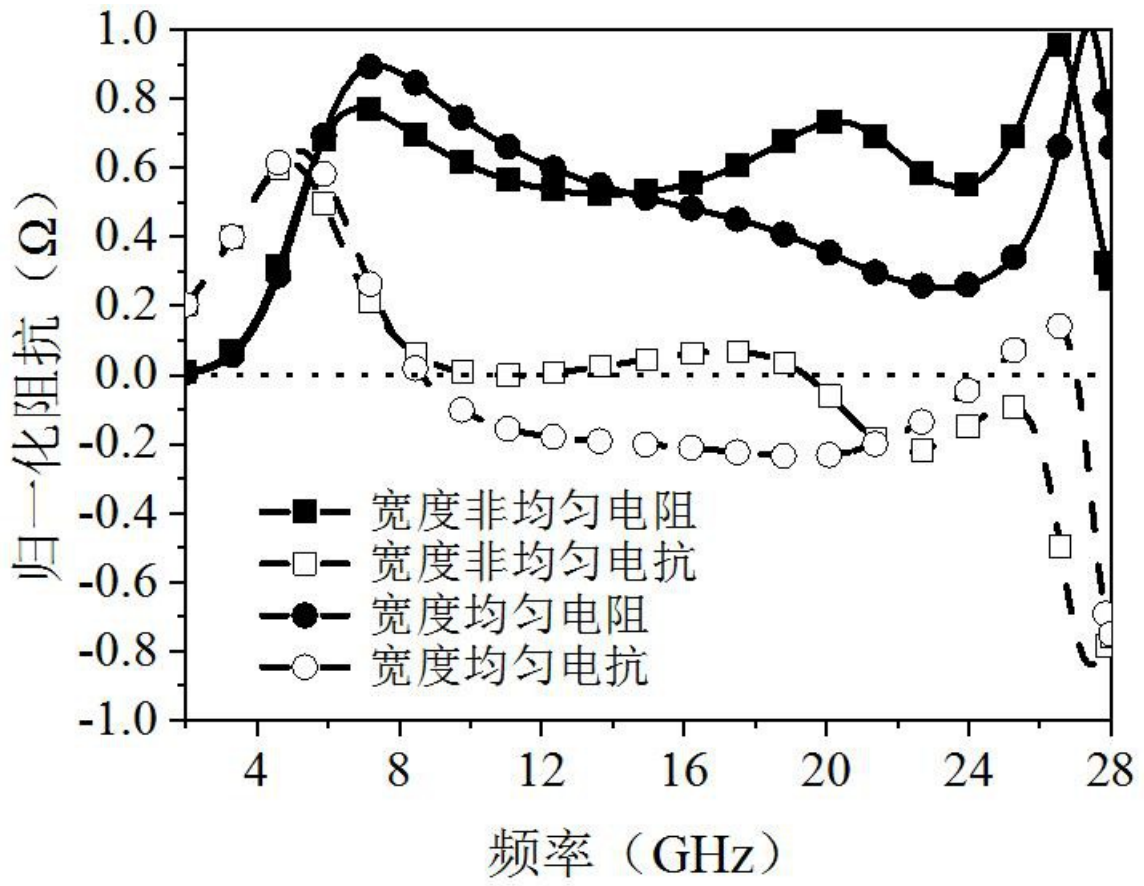


图12

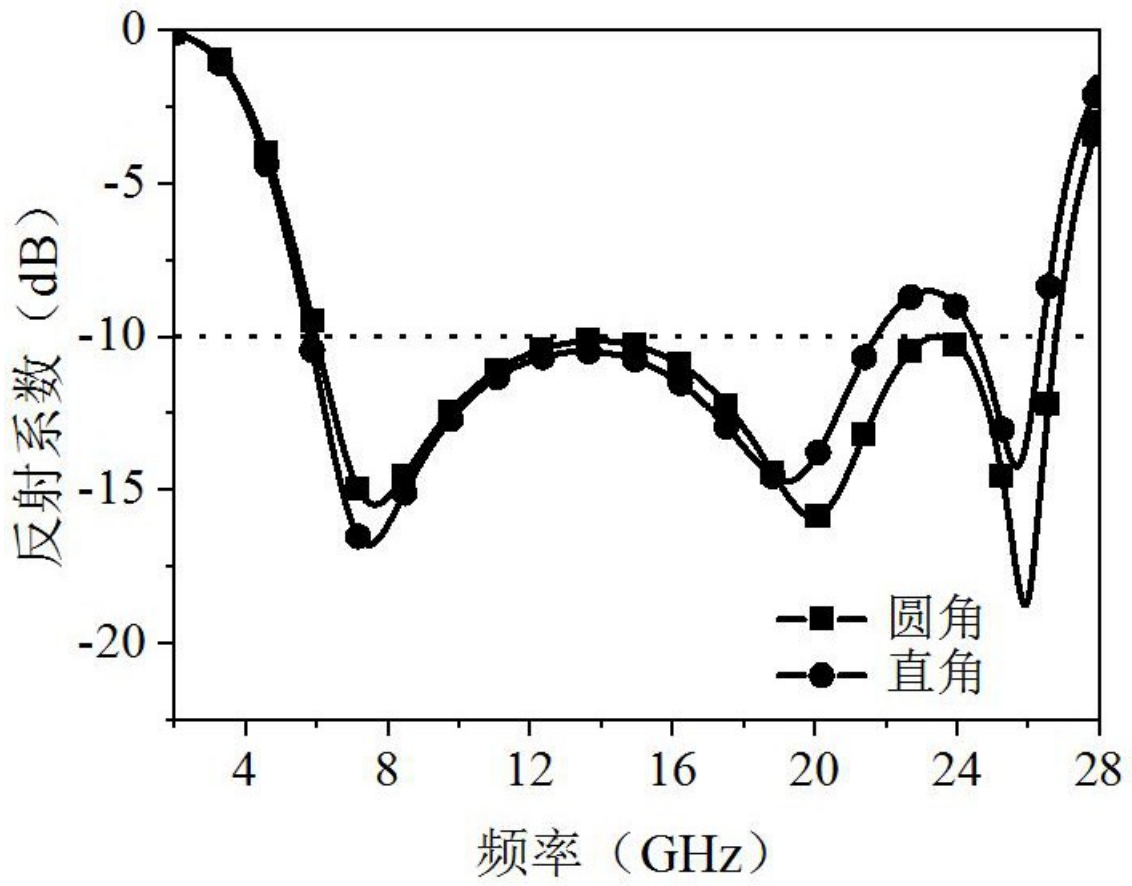


图13

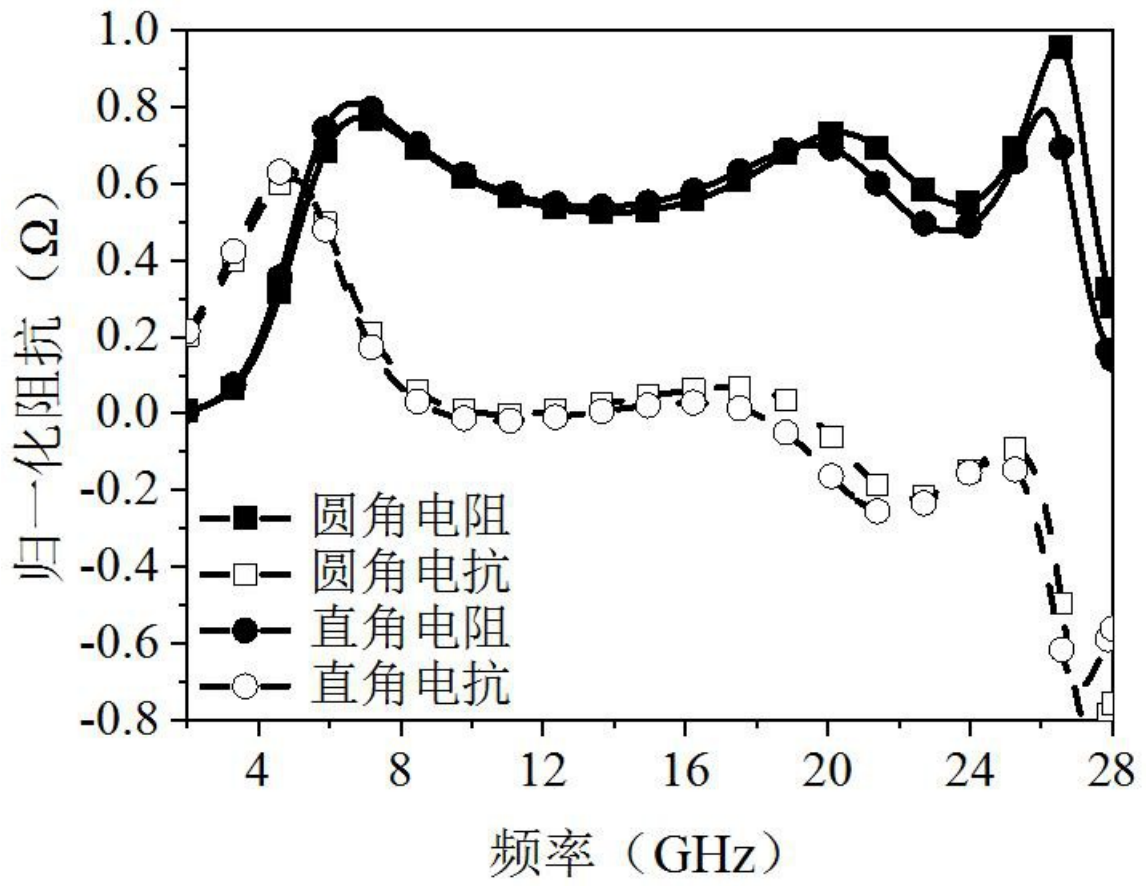


图14