



(10) 授权公告号 CN 112909570 B

(45) 授权公告日 2022. 06. 28

(21) 申请号 202110164786.0

H01Q 17/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.02.06

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 106972278 A, 2017.07.21

申请公布号 CN 112909570 A

CN 110829012 A, 2020.02.21

(43) 申请公布日 2021.06.04

CN 110635249 A, 2019.12.31

(73) 专利权人 中北大学

CN 110729532 A, 2020.01.24

地址 030051 山西省太原市尖草坪区学院路3号

JP H084147 A, 1996.01.09

专利权人 山西中北新材料科技有限公司

US 2017062923 A1, 2017.03.02

(72) 发明人 刘亚青 韩冠宇 樊益泽 苏晓岗
赵贵哲

US 2014132440 A1, 2014.05.15

(74) 专利代理机构 太原科卫专利事务所(普通合伙) 14100

刘晓春等. “基于2.5 维小型化设计的UHF频段高性能超材料吸波体”.《南京航空航天大学学报》.2019,

专利代理师 朱源 杨文艳

Arun Kumar Saha等. “Design and evaluation of microwave absorber metamaterial approach”.《SoutheastCon 2017》.2017,

(51) Int.Cl.

审查员 何丹丹

H01Q 15/00 (2006.01)

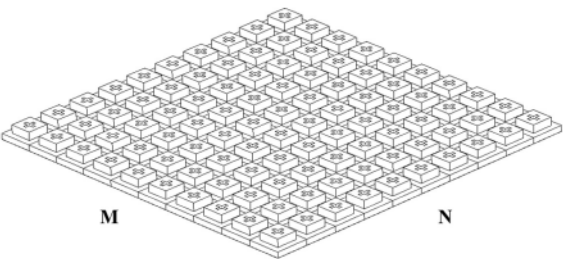
权利要求书1页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料

(57) 摘要

本发明属于电磁功能材料技术领域,具体涉及一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料;所述三维宽频吸波超材料为三维超材料单元的阵列,且每行至少包括两个三维超材料单元,每列也至少包括两个三维超材料单元;三维超材料单元包括自上而下依次设置的上层介质板、下层介质板和金属底板,下层介质板的内部正中央嵌装有高磁损耗材料板,且二者下表面紧贴于金属底板上表面;上层介质板内部正中央嵌装有导体芯,且二者下表面紧贴于下层介质板上表面。通过在全介质超材料中引入导体芯,并在不同部位使用损耗能力不同的材料,使制备得到的吸波超材料同时具备传统超材料和阶梯型全介质超材料的损耗机理,在扩展有效吸收带宽的同时可以减少高损耗材料的使用。



1. 一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,超材料为十字对称结构;所述三维宽频吸波超材料为三维超材料单元的阵列,且每行至少包括两个三维超材料单元,每列也至少包括两个三维超材料单元;所述三维超材料单元包括自上而下依次设置的上层介质板(4)、下层介质板(3)和金属底板(1),所述下层介质板(3)的内部正中央嵌装有高磁损耗材料板(2),且二者下表面紧贴于金属底板(1)上表面;所述上层介质板(4)内部正中央嵌装有导体芯(5),且二者下表面紧贴于下层介质板(3)上表面;所有金属底板(1)拼接在一起,且所有下层介质板(3)均分别位于同一水平面;

上下层介质板均为正四棱柱状,其中下层介质板(3)的边长 a_1 为5-25 mm,高度 h_1 为1-5.5 mm,上层介质板(4)的边长 a_2 为5-25 mm,高度 h_2 为1-5.5 mm,且 $a_1 > a_2$,上下层介质板的介电常数均为4-8;

所述导体芯(5)为正十字棱柱状,所述正十字棱柱为截面呈十字形的正棱柱,其长度 b_1 为1-5.5 mm,宽度 b_2 为1-5.5 mm,高度 h_4 为1-5.5 mm,且 $b_1 > b_2$, $a_2 > b_1$, $h_2 \geq h_4$;所述导体芯(5)的材质为金属材料或碳材料。

2. 根据权利要求1所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,所述金属材料为铜、铝或银;所述碳材料为石墨或炭黑。

3. 根据权利要求1所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,所述高磁损耗材料板(2)为正四棱柱状,其边长 b_3 为5-25 mm,厚度 h_3 为1-5.5 mm,且 $a_1 > b_3$, $h_1 > h_3$,所述高磁损耗材料板(2)的介电常数为12-13,磁导率为1-3。

4. 根据权利要求1或3所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,上下层介质板以及高磁损耗材料板(2)的材质均为树脂基吸波复合材料。

5. 根据权利要求4所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,所述树脂基吸波复合材料由树脂基体、固化剂及填充的吸波剂组成。

6. 根据权利要求5所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,所述树脂基体为环氧树脂,所用固化剂为胺类或酸酐类固化剂,填充的吸波剂为碳材料、磁性材料或二者复合而成的多元粒子。

7. 根据权利要求6所述的一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,其特征在于,所述碳材料为石墨烯或碳纳米管;所述磁性材料为四氧化三铁、羰基铁或 α -Fe。

一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料

技术领域

[0001] 本发明属于电磁功能材料技术领域,具体涉及一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,可用于宽频微波吸收。

背景技术

[0002] 传统超材料吸波体主要通过超材料金属结构的电磁谐振来吸波,在电磁波入射到超材料结构表面上时,电场使得表层金属阵列发挥电谐振器的作用,同时磁场使得表层金属阵列与底层金属基板发挥磁谐振器的作用。通过调节金属阵列的单元形状以及结构参数,可以使得超材料吸波体在谐振频率处与自由空间的阻抗达到匹配,以使入射电磁波的反射最小,如专利CN201110061836.9中以金属丝与半导体片构成的超材料吸波体。但是,此类传统超材料吸波体的阻抗仅能在谐振频率附近极窄范围内与自由空间达到匹配,因此吸波带宽很窄,难以满足实际应用。

[0003] 阶梯型全介质超材料主要利用多重 $\lambda/4$ 谐振达到相位相消的目的,利用边角衍射与单元间的耦合效应集中电磁波,从而实现良好的阻抗匹配,进而利用损耗介质进行吸收,如专利CN201610989091.5提出的台阶型全介质超材料。此类超材料虽然较易实现宽频带吸收,但是对介质材料本身的损耗能力要求较高,不利于工业化推广和应用。

发明内容

[0004] 本发明克服现有技术的不足,提供一种基于多种吸收机制对电磁波进行吸收的超材料,通过在阶梯型全介质超材料中引入导体芯,并在不同部位使用损耗能力不同的材料,使制备得到的吸波超材料同时具备传统超材料和阶梯型全介质超材料的损耗机理,在扩展有效吸收带宽的同时仅在局部使用高损耗材料,能够有效降低成本,有利于工业化推广和应用。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案为:

[0006] 一种集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料,所述三维宽频吸波超材料为三维超材料单元的阵列,且每行至少包括两个三维超材料单元,每列也至少包括两个三维超材料单元;所述三维超材料单元包括自上而下依次设置的上层介质板、下层介质板和金属底板,所述下层介质板的内部正中央嵌装有高磁损耗材料板,且二者下表面紧贴于金属底板上表面;所述上层介质板内部正中央嵌装有导体芯,且二者下表面紧贴于下层介质板上表面;所有金属底板拼接在一起,且所有下层介质板均分别位于同一水平面。

[0007] 进一步的,所述上下层介质板为正四棱柱状,其中下层介质板3的边长 a_1 为5-25 mm,高度 h_1 为1-5.5 mm,上层介质板4的边长 a_2 为5-25 mm,高度 h_2 为1-5.5 mm,且 $a_1 > a_2$,上下层介质板介电常数均为4-8。

[0008] 进一步的,所述导体芯5为正十字棱柱状,所述正十字棱柱为截面呈十字形的正棱柱,其长度 b_1 为1-5.5 mm,宽度 b_2 为1-5.5 mm,高度 h_4 为1-5.5 mm,且 $b_1 > b_2$, $a_2 > b_1$, $h_2 \geq h_4$;所述导体芯5的材质为金属材料或碳材料。

[0009] 优选的,所述金属材料为铜、铝或银;所述碳材料为石墨或炭黑。

[0010] 进一步的,所述高磁损耗材料板2为正四棱柱状,其边长 b_3 为5-25 mm,厚度 h_3 为1-5.5 mm,且 $a_1 > b_3$, $h_1 > h_3$,所述高磁损耗材料板2的介电常数为12-13,磁导率为1-3。

[0011] 进一步的,所述上下层介质板以及高磁损耗材料板2材质均为树脂基吸波复合材料。

[0012] 进一步的,所述树脂基吸波复合材料由树脂基体、固化剂及填充的吸波剂组成。

[0013] 进一步的,所述树脂基体为环氧树脂,所用固化剂为胺类或酸酐类固化剂,填充的吸波剂为碳材料、磁性材料或二者复合而成的多元粒子。

[0014] 优选的,所述碳材料为石墨烯或碳纳米管;所述磁性材料为四氧化三铁、羰基铁或 α -Fe。

[0015] 与现有技术相比本发明具有以下有益效果:

[0016] 1) 本发明由于在周期性损耗介质中引入了导体芯,因此同时具有传统超材料电谐振、磁谐振以及阶梯型全介质超材料 $\lambda/4$ 谐振、边缘衍射等多种吸收机制,填充的导体芯还有利于在单元间形成电容器,强化单元之间的耦合作用,提升阻抗匹配效果。因此,有效吸收带宽高达13.57 GHz。

[0017] (2) 本发明由于在导体芯与底层金属基板之间产生磁谐振并集中磁场的部位填充了高磁损耗材料,因此能够将磁场能量进行精准的吸收,可以减少高磁损耗材料的用量,有效降低成本,有利于工业化推广和应用。

[0018] (3) 本发明由于优良的对称结构,因此具有一定的极化不敏感性以及TM极化下良好的大角度入射稳定性,在TM极化方式下,0-60°入射角范围内,可保持有效吸收带宽13.57 GHz的宽频吸收。

[0019] 本发明由于具有阶梯型全介质超材料的结构特征并引入了导体芯,能够以多种吸收机制对入射电磁波进行集中并针对性地损耗,因此仅在局部使用高磁损耗材料的同时实现在4.43-18 GHz范围内的宽频有效吸收,并具有一定的极化不敏感以及入射角度稳定性;此外,还具有成本较低、有利于工业化推广和应用等方面的优势。

附图说明

[0020] 图1是本发明的集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料的整体结构示意图。

[0021] 图2是本发明的集多种吸收机制于一体的三维宽频吸波超材料的单元结构示意图。

[0022] 图3是图2的透视图。

[0023] 图4是图2的俯视图。

[0024] 图5是图2的侧视剖面图。

[0025] 图6是本发明在0°入射角下,TE极化方式时的反射损耗仿真结果图。

[0026] 图7是本发明在0°入射角下,TM极化方式时的反射损耗仿真结果图。

[0027] 图8是本发明在0-60°入射角下,TM极化方式时的反射损耗仿真结果图。

[0028] 图中标记如下:

[0029] 1-金属底板,2-高磁损耗材料板,3-下层介质板,4-上层介质板,5-导体芯。

具体实施方式

[0030] 以下结合具体实施例对本发明作进一步说明。

实施例

[0031] 如图1所示,本实施例由 $M \times N$ 个具有多种吸收机制的三维超材料单元周期性排列而成,其中, $M \geq 2, N \geq 2, M, N$ 为正整数。

[0032] 如图2和图3所示,每个三维超材料单元包括金属底板1、高磁损耗材料板2、下层介质板3、上层介质板4和导体芯5。

[0033] 所述高磁损耗材料板2嵌装于下层介质板3正中央,两者下表面紧贴于厚度为0.035 mm的金属底板1的上表面;导体芯5嵌装于上层介质板4正中央,两者下表面紧贴于下层介质板3上表面正中央。

[0034] 如图4和图5所示,所述下层介质板3的形状为正四棱柱,其边长 a_1 为15 mm、高度 h_1 为2.5 mm,相对介电常数为4-8。

[0035] 如图5所示,所述高磁损耗材料板2的形状为正四棱柱,其底面与下层介质板3底面齐平并嵌装于下层介质板3中央。其边长 b_3 为13.2 mm、高度 h_3 为0.9mm,其介电常数为12-13、磁导率为1-3。

[0036] 所述上层介质板4的形状为正四棱柱,其边长 a_2 为9.5mm、高度 h_2 为3.5 mm,相对介电常数为4-8。

[0037] 如图4所示,所述导体芯5上表面与上层介质板4上表面齐平并嵌装于上层介质板4中央。其形状为正十字棱柱,长度 b_1 为5 mm、宽度 b_2 为1.5 mm、高度 h_4 为3.5mm。

[0038] 本实例中上述所有金属采用但不限于铝。

[0039] 本实例中集多种吸收机制于一体的三维超材料的具体吸波原理如下:

[0040] 电磁波入射到本实例中的超材料时,由下层介质板3和上层介质板4所构成的阶梯结构可在不同厚度处产生不同频率的 $\lambda/4$ 谐振,使得电磁波产生相干相消;其多边角的结构可以产生边缘衍射效应,改变入射电磁波的传播方向,使其更容易进入到损耗介质内部,并且传播更长的路径。不同单元间上层介质板4以及导体芯5的侧面在电磁场的作用下会累积正负电荷,能够等效为一系列电容器,将电场能量集中于单元间,由损耗介质进行损耗。

[0041] 上层介质板4内嵌的导体芯5在电场作用下可以产生电谐振,在金属周围集中电场并由损耗介质进行吸收;其下表面与金属底板1在磁场作用下可以产生磁谐振,将磁场集中于两者之间,由下层介质板3内嵌的高磁损耗材料板2进行损耗。

[0042] 以下结合仿真实验,对本发明的技术效果作进一步说明:

[0043] 1、仿真软件:

[0044] 商业仿真软件CST microwave studio 2018

[0045] 2、仿真内容与结果:

[0046] 仿真1,利用仿真软件对本实施例集多种吸收机制于一体的三维超材料在2-18 GHz频率范围内且TE极化入射波垂直入射,即入射角等于 0° 时的反射损耗进行仿真计算,结果如图6所示。

[0047] 从图6可以看出,在TE极化方式且入射角等于 0° 时,本实例中的集多种吸收机制于一体的三维超材料的最小反射损耗为-17.67 dB,反射损耗小于-10 dB的有效吸收频段从

4.43 GHz至18 GHz。

[0048] 仿真2,利用仿真软件对本实施例集多种吸收机制于一体的三维超材料在2-18 GHz频率范围内且TM极化入射波垂直入射,即入射角等于 0° 时的反射损耗进行仿真计算,结果如图7所示。

[0049] 从图7可以看出,在TM极化方式且入射角等于 0° 时,本实例中的集多种吸收机制于一体的三维超材料的最小反射损耗为-17.95 dB,反射损耗小于-10 dB的吸收频段从4.43 GHz 至18 GHz。这与TE极化方式下的结果一致,表明本发明具有极化不敏感特性。

[0050] 仿真3,利用仿真软件对本实施例集多种吸收机制于一体的三维超材料在2-18 GHz频率范围内且TM极化入射波,即 0° - 60° 入射角范围内的反射损耗进行仿真计算,结果如图8所示。

[0051] 从图8可以看出,在TM极化方式时,反射损耗小于-10dB的有效吸收频段范围基本保持不变,且随着入射角的增大,反射损耗值逐渐减小,入射角为 60° 时达到的最小反射损耗为-25.23 dB。这表明本发明在TM极化方式下, 0 - 60° 入射角范围内具有入射角稳定性。

[0052] 以上描述和实施例,仅为本发明的优选实例,不构成对本发明的任何限制,显然对于本领域的专业人员来说,在了解了本发明内容和设计原理后,都可能在基于本发明的原理和结构的情况下,进行形式上和细节上的各种修正和改变,但是这些基于本发明思想的修正和改变仍在本发明的权利要求的保护范围之内。

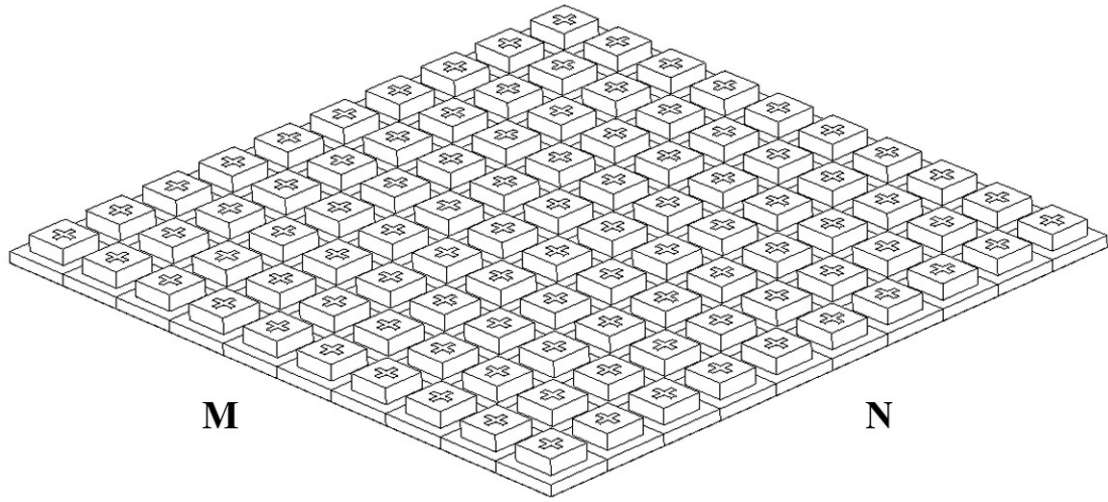


图1

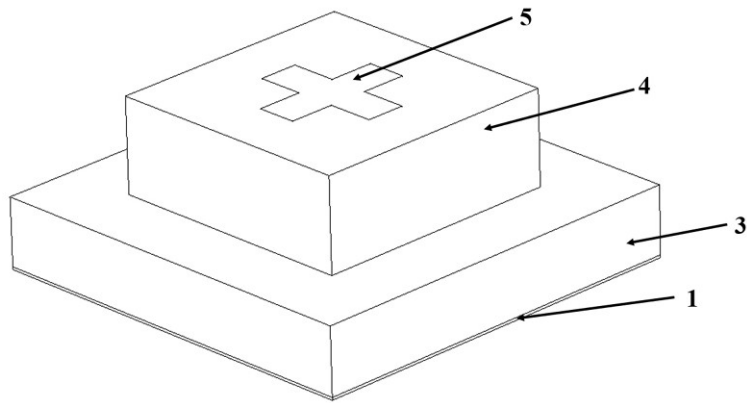


图2

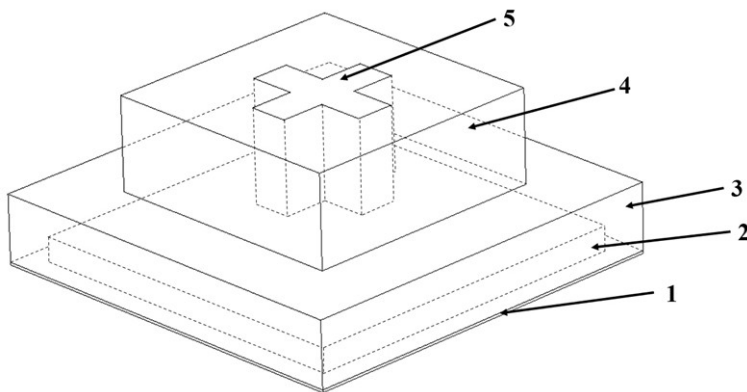


图3

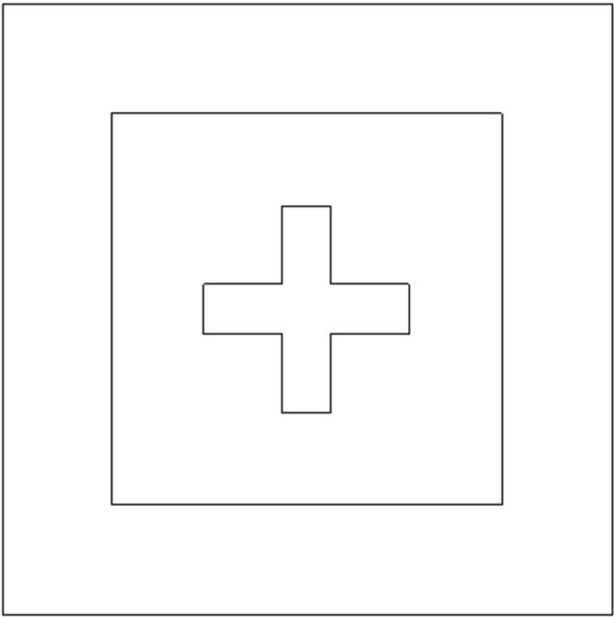


图4

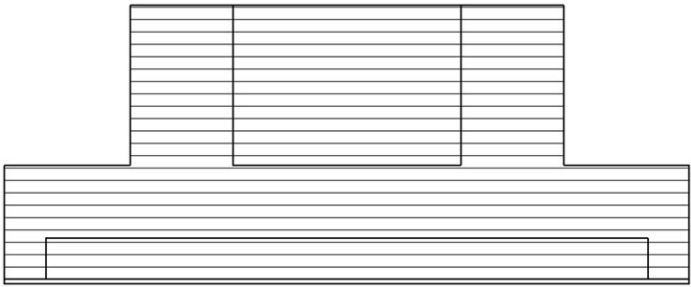


图5

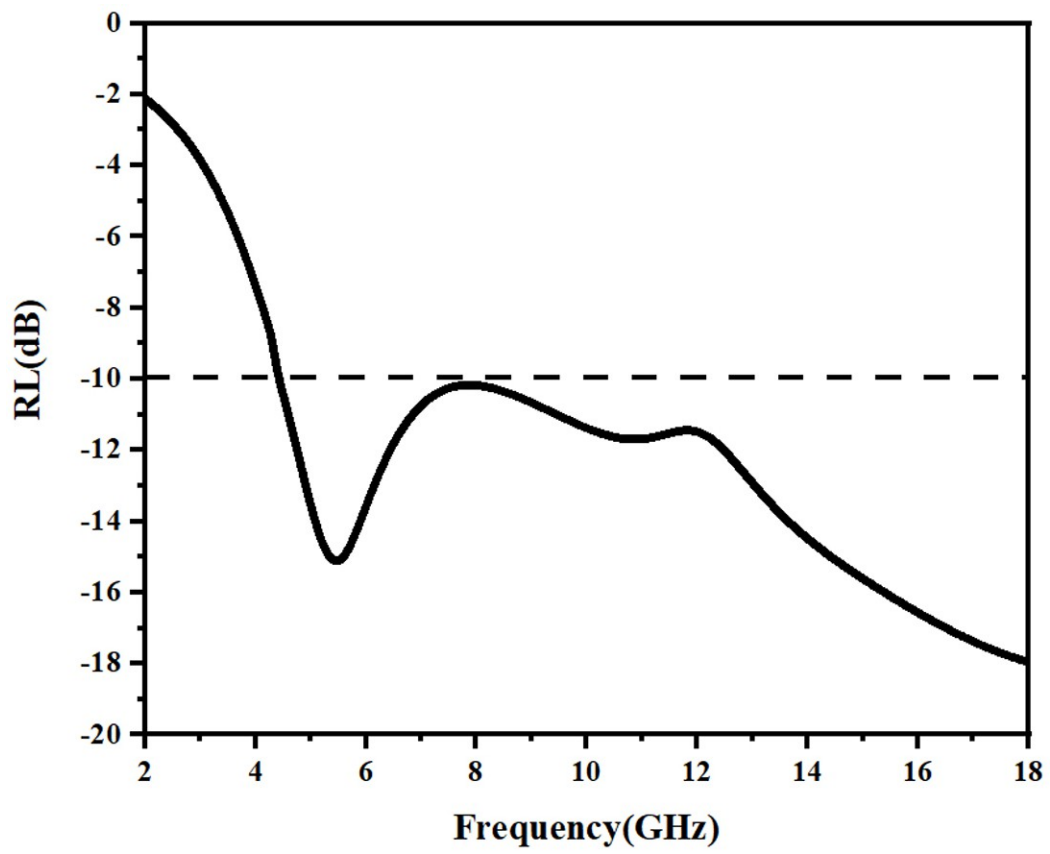


图6

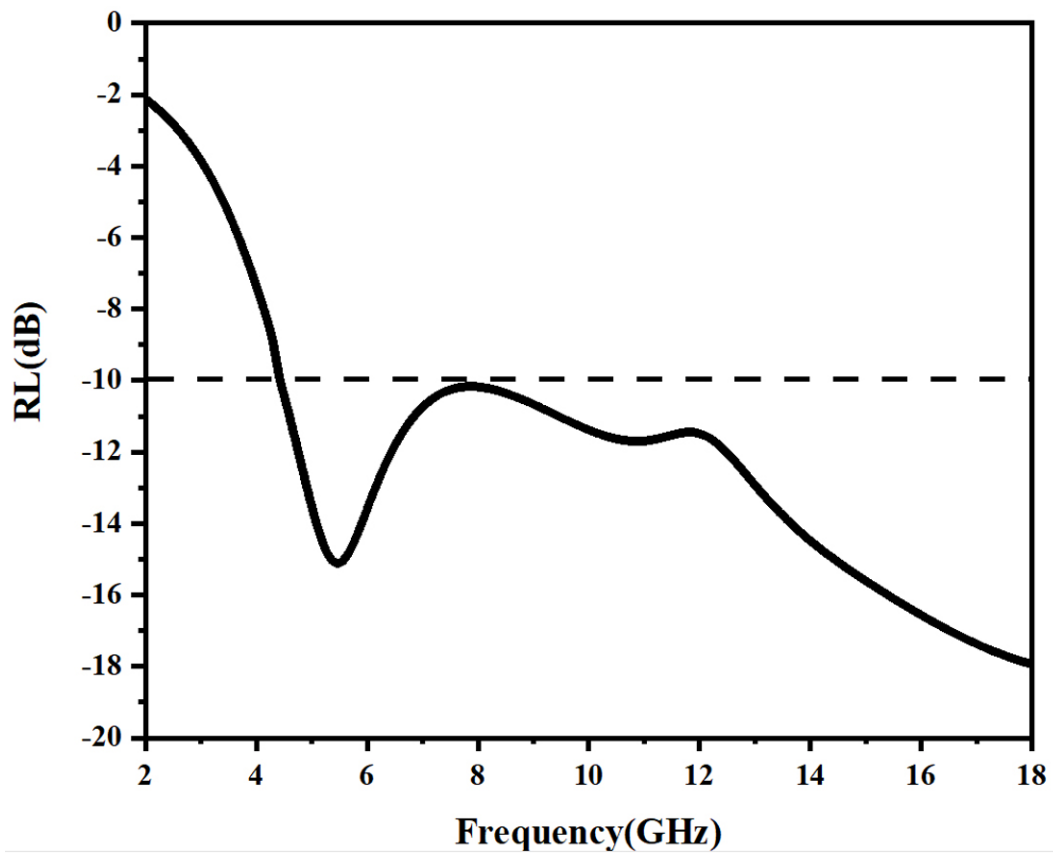


图7

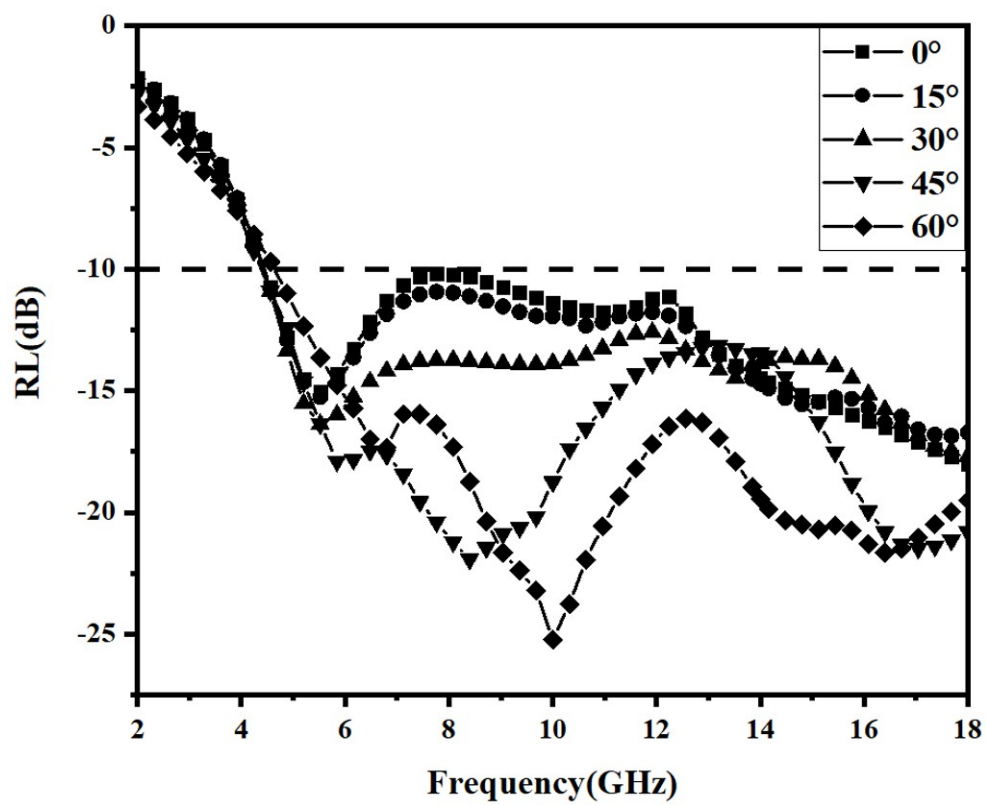


图8