



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115693170 A

(43) 申请公布日 2023. 02. 03

(21) 申请号 202110833886.8

(22) 申请日 2021.07.23

(71) 申请人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72) 发明人 冯一军 陈克 郑依琳 王汉阳 侯猛

(74) 专利代理机构 北京汇思诚业知识产权代理有限公司 11444

专利代理师 焦志刚

(51) Int. Cl.

H01Q 15/14 (2006.01)

H01Q 17/00 (2006.01)

H01Q 1/48 (2006.01)

H01F 7/00 (2006.01)

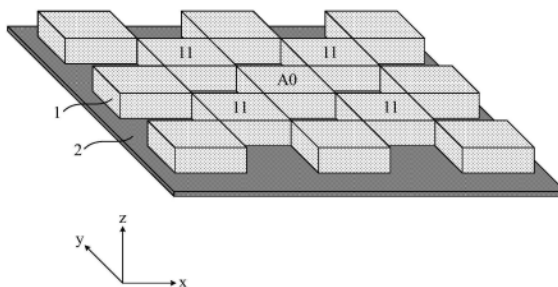
权利要求书2页 说明书9页 附图19页

(54) 发明名称

人工磁导体和电子设备

(57) 摘要

本申请实施例提供一种人工磁导体和电子设备,涉及电磁波技术领域,制作工艺简单,成本较低。人工磁导体包括:层叠设置的电介质层和金属背板;电介质层包括多个重复单元,任意重复单元具有相同的结构,每个重复单元包括第一介质块和第二介质块,任意相邻的两个重复单元中的第二介质块相互连接为一体。



1. 一种人工磁导体,其特征在于,包括:  
层叠设置的电介质层和金属背板;  
所述电介质层包括多个重复单元,任意所述重复单元具有相同的结构,每个所述重复单元包括第一介质块和第二介质块,任意相邻的两个所述重复单元中的所述第二介质块相互连接为一体。
2. 根据权利要求1所述的人工磁导体,其特征在于,  
每个所述重复单元包括所述第一介质块和多个所述第二介质块;  
在同一个所述重复单元中,所述多个第二介质块围绕所述第一介质块;  
在任意相邻的两个所述重复单元中,其中一个重复单元中的至少一个第二介质块与其中另一个重复单元中的至少一个第二介质块连接为一体。
3. 根据权利要求2所述的人工磁导体,其特征在于,  
每个所述重复单元包括一个所述第一介质块和四个所述第二介质块,每个所述重复单元中的四个第二介质块分别为第一子介质块、第二子介质块、第三子介质块和第四子介质块;  
所述多个重复单元呈矩阵式排布;  
任意四个相邻的所述重复单元分别为第一重复单元、第二重复单元、第三重复单元和第四重复单元,在任意四个相邻的所述重复单元中,所述第一重复单元的第一子介质块、所述第二重复单元的第二子介质块、所述第三重复单元的第三子介质块和所述第四重复单元的第四子介质块连接为一体,形成组合介质块。
4. 根据权利要求3所述的人工磁导体,其特征在于,  
所述第一介质块在所述金属背板上的正投影为第一正方形,所述第二介质块在所述金属背板上的正投影为第二正方形,所述第一正方形的边长不等于所述第二正方形的边长;  
所述组合介质块在所述金属背板上的正投影为第三正方形。
5. 根据权利要求4所述的人工磁导体,其特征在于,  
在每个所述重复单元中,所述第一正方形分别与每个所述第二正方形角对角且连接为一体;  
所述第一正方形的边长等于所述第三正方形的边长。
6. 根据权利要求5所述的人工磁导体,其特征在于,  
所述第一正方形的边长为 $a$ , $2.9\text{mm} < a < 3.1\text{mm}$ ;  
所述第一介质块的厚度和所述第二介质块的厚度为 $h$ , $1.1\text{mm} < h < 1.3\text{mm}$ 。
7. 根据权利要求4所述的人工磁导体,其特征在于,  
在每个所述重复单元中,所述第一正方形分别与每个所述第二正方形角对角且间隔设置;  
所述第一正方形的边长大于或等于所述第三正方形的边长;  
所述第一介质块的厚度大于或等于所述第二介质块的厚度。
8. 根据权利要求7所述的人工磁导体,其特征在于,  
所述第一正方形的边长为 $a$ , $1.5\text{mm} < a < 3.5\text{mm}$ ;  
所述第二正方形的边长为 $b$ , $1.3\text{mm} < b < 1.7\text{mm}$ ;  
所述第一介质块的厚度为 $h_1$ , $1.1\text{mm} < h_1 < 1.3\text{mm}$ ;

所述第二介质块的厚度为 $h_2$ ,  $0.5\text{mm} < h_1 < 0.7\text{mm}$ 。

9. 根据权利要求3所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一介质块为圆柱体, 所述第一介质块在所述金属背板上的正投影为第一圆形;

所述组合介质块为圆柱体, 所述组合介质块在所述金属背板上的正投影为第二圆形。

10. 根据权利要求9所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一圆形的直径和所述第二圆形的直径为 $c$ ,  $3.9\text{mm} < c < 4.1\text{mm}$ ;

所述第一介质块的厚度和所述第二介质块的厚度为 $h_0$ ,  $1\text{mm} < h < 1.2\text{mm}$ 。

11. 根据权利要求9所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一圆形的直径和所述第二圆形的直径为 $c$ ,  $3.1\text{mm} < c < 4.5\text{mm}$ ;

所述第一介质块的厚度为 $h_1$ ,  $1\text{mm} < h_1 < 1.2\text{mm}$ ;

所述第二介质块的厚度为 $h_2$ ,  $0.4\text{mm} < h_2 < 0.9\text{mm}$ 。

12. 根据权利要求3所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一介质块为正六棱柱体, 所述第一介质块在所述金属背板上的正投影为第一正六边形;

所述组合介质块为正六棱柱体, 所述组合介质块在所述金属背板上的正投影为第二正六边形。

13. 根据权利要求12所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一正六边形的边长和所述第二正六边形的边长为 $d$ ,  $2.2\text{mm} < d < 2.4\text{mm}$ ;

所述第一介质块的厚度和所述第二介质块的厚度为 $h$ ,  $1\text{mm} < h < 1.2\text{mm}$ 。

14. 根据权利要求12所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一正六边形的边长和所述第二正六边形的边长为 $d$ ,  $1.8\text{mm} < d < 2.4\text{mm}$ ;

所述第一介质块的厚度为 $h_1$ ,  $1\text{mm} < h_1 < 1.2\text{mm}$ ;

所述第二介质块的厚度为 $h_2$ ,  $0.4\text{mm} < h_2 < 0.8\text{mm}$ 。

15. 根据权利要求1至14中任意一项所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述金属背板的厚度为 $h_0$ ,  $0.016\text{mm} < h_0 < 0.02\text{mm}$ 。

16. 根据权利要求1至14中任意一项所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述第一介质块和所述第二介质块的介电常数为 $p$ ,  $9 < p < 11$ 。

17. 根据权利要求1至14中任意一项所述的人工磁导体, 其特征在于,

每个所述重复单元在所述金属背板上的正投影为中心对称结构。

18. 根据权利要求1至14中任意一项所述的人工磁导体, 其特征在于,

所述电介质层贴附于所述金属背板表面。

19. 一种电子设备, 其特征在于, 包括如权利要求1至18中任意一项所述的人工磁导体。

## 人工磁导体和电子设备

### 技术领域

[0001] 本申请涉及电磁波技术领域,特别涉及一种人工磁导体和电子设备。

### 背景技术

[0002] 随着新型人工电磁材料的发展,人工磁导体(Artificial Magnetic Conductors, AMC)结构的研究及其应用逐渐成为电磁波领域,例如微波毫米波领域的研究热点。人工磁导体又称为高阻抗表面,具有对入射波同相位反射的特点。由于其独特的电磁特性,人工磁导体在天线、能量传输、军事方面具有很大的应用价值。例如在天线设计中,用人工磁导体替代天线的金属地板,可以在提高天线增益的同时降低天线剖面。

[0003] 传统的人工磁导体是通过在金属表面刻画一些图案实现在某些频率的零相位反射,进而应用到天线、吸波体等结构中,常用的金属为铜,然而,对金属进行加工形成人工磁导体的工艺复杂,成本较高。

### 发明内容

[0004] 一种人工磁导体和电子设备,制作工艺简单,成本较低。

[0005] 第一方面,提供一种人工磁导体,包括:层叠设置的电介质层和金属背板;电介质层包括多个重复单元,任意重复单元具有相同的结构,每个重复单元包括第一介质块和第二介质块,任意相邻的两个重复单元中的第二介质块相互连接为一体。

[0006] 在一种可能的实施方式中,每个重复单元包括第一介质块和多个第二介质块;在同一个重复单元中,多个第二介质块围绕第一介质块;在任意相邻的两个重复单元中,其中一个重复单元中的至少一个第二介质块与其中另一个重复单元中的至少一个第二介质块连接为一体。

[0007] 在一种可能的实施方式中,每个重复单元包括一个第一介质块和四个第二介质块,每个重复单元中的四个第二介质块分别为第一子介质块、第二子介质块、第三子介质块和第四子介质块;多个重复单元呈矩阵式排布;任意四个相邻的重复单元分别为第一重复单元、第二重复单元、第三重复单元和第四重复单元,在任意四个相邻的重复单元中,第一重复单元的第一子介质块、第二重复单元的第二子介质块、第三重复单元的第三子介质块和第四重复单元的第四子介质块连接为一体,形成组合介质块。

[0008] 在一种可能的实施方式中,第一介质块在金属背板上的正投影为第一正方形,第二介质块在金属背板上的正投影为第二正方形,第一正方形的边长不等于第二正方形的边长;组合介质块在金属背板上的正投影为第三正方形。

[0009] 在一种可能的实施方式中,在每个重复单元中,第一正方形分别与每个第二正方形角对角且连接为一体;第一正方形的边长等于第三正方形的边长。

[0010] 在一种可能的实施方式中,第一正方形的边长为 $a$ , $2.9\text{mm} < a < 3.1\text{mm}$ ;第一介质块的厚度和第二介质块的厚度为 $h$ , $1.1\text{mm} < h < 1.3\text{mm}$ 。

[0011] 在一种可能的实施方式中,在每个重复单元中,第一正方形分别与每个第二正方形

形角对角且间隔设置；第一正方形的边长大于或等于第三正方形的边长；第一介质块的厚度大于或等于第二介质块的厚度。

[0012] 在一种可能的实施方式中，第一正方形的边长为 $a$ ， $1.5\text{mm} < a < 3.5\text{mm}$ ；第二正方形的边长为 $b$ ， $1.3\text{mm} < b < 1.7\text{mm}$ ；第一介质块的厚度为 $h_1$ ， $1.1\text{mm} < h_1 < 1.3\text{mm}$ ；第二介质块的厚度为 $h_2$ ， $0.5\text{mm} < h_2 < 0.7\text{mm}$ 。

[0013] 在一种可能的实施方式中，第一介质块为圆柱体，第一介质块在金属背板上的正投影为第一圆形；组合介质块为圆柱体，组合介质块在金属背板上的正投影为第二圆形。

[0014] 在一种可能的实施方式中，第一圆形的直径和第二圆形的直径为 $c$ ， $3.9\text{mm} < c < 4.1\text{mm}$ ；第一介质块的厚度和第二介质块的厚度为 $h$ ， $1\text{mm} < h < 1.2\text{mm}$ 。

[0015] 在一种可能的实施方式中，第一圆形的直径和第二圆形的直径为 $c$ ， $3.1\text{mm} < c < 4.5\text{mm}$ ；第一介质块的厚度为 $h_1$ ， $1\text{mm} < h_1 < 1.2\text{mm}$ ；第二介质块的厚度为 $h_2$ ， $0.4\text{mm} < h_2 < 0.9\text{mm}$ 。

[0016] 在一种可能的实施方式中，第一介质块为正六棱柱体，第一介质块在金属背板上的正投影为第一正六边形；组合介质块为正六棱柱体，组合介质块在金属背板上的正投影为第二正六边形。

[0017] 在一种可能的实施方式中，第一正六边形的边长和第二正六边形的边长为 $d$ ， $2.2\text{mm} < d < 2.4\text{mm}$ ；第一介质块的厚度和第二介质块的厚度为 $h$ ， $1\text{mm} < h < 1.2\text{mm}$ 。

[0018] 在一种可能的实施方式中，第一正六边形的边长和第二正六边形的边长为 $d$ ， $1.8\text{mm} < d < 2.4\text{mm}$ ；第一介质块的厚度为 $h_1$ ， $1\text{mm} < h_1 < 1.2\text{mm}$ ；第二介质块的厚度为 $h_2$ ， $0.4\text{mm} < h_2 < 0.8\text{mm}$ 。

[0019] 在一种可能的实施方式中，金属背板的厚度为 $h_0$ ， $0.016\text{mm} < h_0 < 0.02\text{mm}$ 。

[0020] 在一种可能的实施方式中，第一介质块和第二介质块的介电常数为 $p$ ， $9 < p < 11$ 。

[0021] 在一种可能的实施方式中，每个重复单元在金属背板上的正投影为中心对称结构。

[0022] 在一种可能的实施方式中，电介质层贴附于金属背板表面。

[0023] 第二方面，提供一种电子设备，包括上述的人工磁导体。

[0024] 本申请实施例中的人工磁导体和电子设备，人工磁导体包括层叠的电介质层和金属背板，其中电介质层包括由介质块形成的重复单元，可以在当电磁波照射到人工磁导体时，产生电磁谐振，实现入射电磁波零相位反射，由于电介质材料为非金属的材料，因此，电介质层的制作工艺简单，可以使用例如塑料等材料制成，例如可以直接使用3D打印机打印得到电介质层，成本较低。

## 附图说明

[0025] 图1为本申请实施例中一种人工磁导体对应一个重复单元的结构俯视图；

[0026] 图2为图1中结构的仰视图；

[0027] 图3为图1中结构的侧视图；

[0028] 图4为图1中结构的立体示意图；

[0029] 图5为图1中人工磁导体对应多个重复单元的结构俯视图；

[0030] 图6为5中结构的立体示意图；

- [0031] 图7为图1至图6中人工磁导体的反射电磁波幅度曲线以及反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0032] 图8为本申请实施例中另一种人工磁导体对应一个重复单元的结构俯视图；
- [0033] 图9为图8中结构的侧视图；
- [0034] 图10为图8中人工磁导体对应多个重复单元的结构俯视图；
- [0035] 图11为图8至图10对应的人工磁导体在四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0036] 图12为图8至图10对应的人工磁导体在另外四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0037] 图13为本申请实施例中另一种人工磁导体对应一个重复单元的结构俯视图；
- [0038] 图14为图13中结构的一种侧视图；
- [0039] 图15为图13中人工磁导体对应多个重复单元的结构俯视图；
- [0040] 图16为图13中人工磁导体对应多个重复单元的一种结构的立体示意图；
- [0041] 图17为图13至图16中人工磁导体的反射电磁波幅度曲线以及反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0042] 图18为图13中结构的另一种侧视图；
- [0043] 图19为图13中人工磁导体对应多个重复单元的另一种结构的立体示意图；
- [0044] 图20为图18和图19对应的人工磁导体在四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0045] 图21为图18和图19对应的人工磁导体在另外四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0046] 图22为本申请实施例中另一种人工磁导体对应一个重复单元的结构俯视图；
- [0047] 图23为图22中结构的一种侧视图；
- [0048] 图24为图22中人工磁导体对应多个重复单元的一种结构的俯视图；
- [0049] 图25为图22中人工磁导体对应多个重复单元的一种结构的立体示意图；
- [0050] 图26为图22至图25中人工磁导体的反射电磁波幅度曲线以及反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0051] 图27为图22中结构的另一种侧视图；
- [0052] 图28为图22中人工磁导体对应多个重复单元的另一种结构的立体示意图；
- [0053] 图29为图22、图24、图27和图28所对应的人工磁导体在四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图；
- [0054] 图30为图22、图24、图27和图28所对应的人工磁导体在另四种不同结构设计下的一种反射电磁波相位曲线的仿真示意图。

### 具体实施方式

[0055] 本申请的实施方式部分使用的术语仅用于对本申请的具体实施例进行解释，而非旨在限定本申请。

[0056] 如图1至图6所示，本申请实施例提供一种人工磁导体，包括：层叠设置的电介质层1和金属背板2；电介质层1包括多个重复单元10，任意重复单元10具有相同的结构，每个重

复单元10包括第一介质块11和第二介质块12,任意相邻的两个重复单元10中的第二介质块12相互连接为一体。

[0057] 具体地,在本申请实施例中,浅色填充的结构为电介质层1,深色填充的结构为金属背板2。电介质是一种可被电极化的绝缘体,一般认为电阻率超过 $10\text{欧}\cdot\text{厘米}$ 的物质为电介质。本申请实施例对于第一介质块11和第二介质块12的具体结构不做限定,只要基于第一介质块11和第二介质块12所组成的重复单元10具有相同的结构即可,电介质层1包括多个重复单元10,即电介质层1由周期排布的介质块结构形成。其中,金属背板2作为反射板,当电磁波照射到人工磁导体的表面时,人工磁导体可以在各个介质块内部以及相邻介质块的边缘产生电磁谐振,例如在两个频段分别产生不同的谐振模式,进而产生两个不同的零相位反射频段。人工磁导体工作频率主要由第一介质块11和第二介质块12的尺寸参数决定,重复单元10的具体数量可以根据具体应用场景选择。

[0058] 本申请实施例中的人工磁导体,包括层叠的电介质层和金属背板,其中电介质层包括由介质块形成的重复单元,可以在当电磁波照射到人工磁导体时,产生电磁谐振,实现入射电磁波零相位反射,由于电介质材料为非金属的材料,因此,电介质层的制作工艺简单,可以使用例如塑料等材料制成,例如可以直接使用3D打印机打印得到电介质层,成本较低。

[0059] 在一种可能的实施方式中,如图1至图6所示,每个重复单元10包括第一介质块11和多个第二介质块12;在同一个重复单元10中,多个第二介质块12围绕第一介质块11;在任意相邻的两个重复单元10中,其中一个重复单元10中的至少一个第二介质块12与其中另一个重复单元10中的至少一个第二介质块12连接为一体。

[0060] 在一种可能的实施方式中,如图1至图6所示,每个重复单元10包括一个第一介质块11和四个第二介质块12,每个重复单元10中的四个第二介质块12分别为第一子介质块A1、第二子介质块A2、第三子介质块A3和第四子介质块A4;多个重复单元10呈矩阵式排布;任意四个相邻的重复单元10分别为第一重复单元101、第二重复单元102、第三重复单元103和第四重复单元104,在任意四个相邻的重复单元10中,第一重复单元101的第一子介质块A1、第二重复单元102的第二子介质块A2、第三重复单元103的第三子介质块A3和第四重复单元104的第四子介质块A4连接为一体,形成组合介质块A0,也就是说,电介质层1包括周期排布的第一介质块11和组合介质块A0两种介质块类型,第一介质块11和组合介质块A0的结构可以相同或不同,第一介质块11和组合介质块A0之间可以连在一起也可以间隔设置。

[0061] 在一种可能的实施方式中,如图1至图6所示,第一介质块11在金属背板2上的正投影为第一正方形F1,第二介质块12在金属背板2上的正投影为第二正方形F2,第一正方形F1的边长 $a$ 不等于第二正方形F2的边长 $b$ ;组合介质块A0在金属背板2上的正投影为第三正方形F3。即第一介质块11和第二介质块12均为六面体,其中由四个六面体的第二介质块12所组成的组合介质块A0也为六面体。

[0062] 在一种可能的实施方式中,如图1至图6所示,在每个重复单元10中,第一正方形F1分别与每个第二正方形F2角对角且连接为一体;第一正方形F1的边长 $a$ 等于第三正方形F3的边长 $d$ 。

[0063] 在一种可能的实施方式中,如图1至图6所示,第一正方形F1的边长为 $a$ , $2.9\text{mm}<a<3.1\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度和第二介质块12的厚度为 $h$ , $1.1\text{mm}<h<1.3\text{mm}$ ,需要说明的

是,在本申请实施例中,厚度是指垂直于金属背板2的方向,即图中的z轴方向。

[0064] 具体地,如图1至图6所示,例如, $a=3\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,各介质块以及金属背板2均为正方形, $h=1.2\text{mm}$ ,电介质层1的介电常数为10,金属背板2的厚度为 $0.018\text{mm}$ 。当电磁波照射到人工磁导体结构表面,各个介质块内部以及相邻介质块的边缘均产生电磁谐振,分别在两个频段实现入射电磁波零相位反射。人工磁导体工作频率主要由第一介质块11和第二介质块12的尺寸参数决定。如图8所示,基于该人工磁导体仿真得到的反射电磁波幅度曲线(实线)以及反射电磁波相位曲线(虚线),在频率为 $26.8\text{GHz}$ 和 $38.5\text{GHz}$ 处存在零相位反射频点。零相位反射工作频段(反射相位 $-90^\circ\sim 90^\circ$ )分别为 $20.78\text{GHz}\sim 30.27\text{GHz}$ 、 $36.73\text{GHz}\sim 40.06\text{GHz}$ ,对应毫米波频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )和毫米波频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ ),可以看出,本申请实施例中的人工磁导体在5G通信的毫米波频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )和毫米波频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )同时具有较宽的零相位反射频段。人工磁导体中电介质层1的厚度较薄,为 $1.2\text{mm}$ ,相比于毫米波频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的工作频率为 $0.107\lambda$ , $\lambda$ 为波长;人工磁导体的双频工作频带相对带宽较宽,分别为 $35.4\%$ 和 $9.1\%$ ;人工磁导体的结构简单,可以通过改变电介质层的结构参数设计工作频段,其中具有图案的电介质层可以通过较为简单的工艺制作,例如3D打印。

[0065] 在一种可能的实施方式中,如图8、图9和图10所示,在每个重复单元10中,第一正方形F1分别与每个第二正方形F2角对角且间隔设置;第一正方形F1的边长 $a$ 大于或等于第三正方形F3的边长 $d$ ;第一介质块11的厚度 $h_1$ 大于或等于第二介质块12的厚度 $h_2$ 。

[0066] 在一种可能的实施方式中,如图8、图9和图10所示,第一正方形F1的边长为 $a$ , $1.5\text{mm}<a<3.5\text{mm}$ ;第二正方形F2的边长为 $b$ , $1.3\text{mm}<b<1.7\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度为 $h_1$ , $1.1\text{mm}<h_1<1.3\text{mm}$ ;第二介质块12的厚度为 $h_2$ , $0.5\text{mm}<h_2<0.7\text{mm}$ 。

[0067] 具体地,如图8、图9和图10所示,例如,第一介质块11的厚度 $h_1$ 为 $1.2\text{mm}$ ,第二介质块12的厚度 $h_2$ 为 $0.6\text{mm}$ ,第一介质块11和第二介质块12在x方向上的距离 $L$ 为 $0.25\text{mm}$ 。如图11所示,在人工磁导体的设计过程中,同时改变第一正方形F1的边长 $a$ 以及第二正方形F2的边长 $b$ ,使 $a$ 和 $b$ 呈负相关调节,可以实现对频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的独立调谐,即独立调节频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射频点,频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的零相位反射点基本不变,图11中不同曲线表示 $a$ 和 $b$ 的不同取值组合对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S1表示 $a=2.8\text{mm}$ , $b=1.6\text{mm}$ ,频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $28.8\text{GHz}$ ,S2表示 $a=3\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $27.9\text{GHz}$ ,S3表示 $a=3.2\text{mm}$ , $b=1.4\text{mm}$ ,频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $27.1\text{GHz}$ ,S4表示 $a=3.4\text{mm}$ , $b=1.1\text{mm}$ ,频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $26.4\text{GHz}$ 。也就是说,在 $a$ 增大,且 $b$ 减小时,频段I的零相位反射频点会逐渐降低。如图12所示,在人工磁导体的设计过程中,保持 $a$ 和 $b$ 中的一者,改变另一者,可以实现对频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的独立调谐,即独立调节频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的零相位反射点,频段I( $24.24\text{GHz}\sim 29.5\text{GHz}$ )的零相位反射点基本不变,图12中不同曲线表示 $a$ 和 $b$ 的不同取值组合下所对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S5表示 $a=1.6\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $35.6\text{GHz}$ ,S6表示 $a=1.8\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $34.3\text{GHz}$ ,S7表示 $a=2\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,频段II( $37.5\text{GHz}\sim 43\text{GHz}$ )的零相位反射频点为 $33\text{GHz}$ ,S8表示 $a=2.2\text{mm}$ , $b=1.5\text{mm}$ ,频段II



(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为31.8GHz。也就是说,在a增大,且b保持不变,则频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点会逐渐降低;类似地,如果a保持不变,且b增大,则同样频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点会逐渐降低;反之,如果a和b中的一者保持不变,另外一者减小,则频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点会逐渐升高。基于上述特点,可以通过对介质块的尺寸灵活调节人工磁导体的双频特性。

[0068] 在一种可能的实施方式中,如图13至图16所示,第一介质块11为圆柱体,第一介质块11在金属背板2上的正投影为第一圆形E1,第二介质块12在金属背板2上的正投影为扇形,即第二介质块12为四分之一圆柱体;四个相邻的第二介质块12组成一个组合介质块A0,即组合介质块A0为圆柱体,组合介质块A0在金属背板2上的正投影为第二圆形E2。

[0069] 在一种可能的实施方式中,如图13至图16所示,第一圆形E1的直径和第二圆形E2的直径为c,  $3.9\text{mm} < c < 4.1\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度和第二介质块12的厚度为h,  $1\text{mm} < h < 1.2\text{mm}$ 。

[0070] 具体地,如图13至图16所示,例如,电介质层1的介电常数为10,第一介质块11和组合介质块A0均为直径为4mm、厚度为1.1mm的完整圆柱,金属背板2的厚度为0.018mm,当电磁波照射到人工磁导体结构表面,各个介质块内部以及相邻介质块的边缘均产生电磁谐振,分别在两个频段实现入射电磁波零相位反射。人工磁导体的工作频率主要由第一介质块11和第二介质块12的尺寸参数决定。如图17所示,基于该人工磁导体仿真得到的反射电磁波幅度曲线(实线)以及反射电磁波相位曲线(虚线),在频率为26.86GHz和39.55GHz处存在零相位反射频点。零相位反射工作频段(反射相位 $-90^\circ \sim 90^\circ$ )分别为21.74GHz~29.48GHz、36.82GHz~41.28GHz,对应毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)和毫米波频段II(37.5GHz~43GHz),可以看出,本申请实施例中的人工磁导体在5G通信的毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)和毫米波频段II(37.5GHz~43GHz)同时具有较宽的零相位反射频段。人工磁导体中电介质层1的厚度较薄,为1.1mm,相比于毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)的工作频率为 $0.098\lambda$ , $\lambda$ 为波长;人工磁导体的双频工作频带相对带宽较宽,分别为28.8%和11.3%;人工磁导体的结构简单,可以通过改变电介质层的结构参数设计工作频段,其中具有图案的电介质层可以通过较为简单的工艺制作,例如3D打印。

[0071] 在一种可能的实施方式中,如图13、图15、图18和图19所示,第一圆形E1的直径和第二圆形E2的直径为c,  $3.1\text{mm} < c < 4.5\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度为h1,  $1\text{mm} < h1 < 1.2\text{mm}$ ;第二介质块12的厚度为h2,  $0.4\text{mm} < h2 < 0.9\text{mm}$ 。

[0072] 具体地,如图13、图15、图18、图19以及图20所示,在人工磁导体的设计过程中,改变第一介质块11和组合介质块A0的尺寸,可以实现对频段I(24.24GHz~29.5GHz)的独立调谐,图20中不同曲线表示第一介质块11和组合介质块A0在不同取值的尺寸参数组合下所对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S9表示 $h1 = 1.1\text{mm}$ ,  $h2 = 0.5\text{mm}$ ,  $c = 4.4\text{mm}$ , 频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为26.21GHz;S10表示 $h1 = 1.1\text{mm}$ ,  $h2 = 0.6\text{mm}$ ,  $c = 4\text{mm}$ , 频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为27.12GHz;S11表示 $h1 = 1.1\text{mm}$ ,  $h2 = 0.65\text{mm}$ ,  $c = 3.6\text{mm}$ , 频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为28.25GHz;S12表示 $h1 = 1.1\text{mm}$ ,  $h2 = 0.7\text{mm}$ ,  $c = 3.2\text{mm}$ , 频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为29.71GHz。如图21所示,类似地,通过另外的方式改变第一介质块11和组合介质块A0的尺寸,可以实现对频段II(37.5GHz~43GHz)的独立调谐,图21中不同曲线表示第一介质块11

和组合介质块A0在不同取值的尺寸参数组合下所对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S13表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.8\text{mm}$ , $c=4\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为32.38GHz;S14表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.7\text{mm}$ , $c=4\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为34.93GHz;S15表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.6\text{mm}$ , $c=4\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为37.68GHz;S16表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.5\text{mm}$ , $c=4\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为39.6GHz。可见,可以通过对介质块的尺寸灵活调节人工磁导体的双频特性。

[0073] 在一种可能的实施方式中,如图22至图25所示,第一介质块11为正六棱柱体,第一介质块11在金属背板2上的正投影为第一正六边形G1,第二介质块12为四分之一的正六棱柱体;相邻的四个第二介质块12组成组合介质块A0,组合介质块A0为正六棱柱体,组合介质块A0在金属背板2上的正投影为第二正六边形G2。

[0074] 在一种可能的实施方式中,如图22至图25所示,第一正六边形G1的边长和第二正六边形G2的边长为 $d$ , $2.2\text{mm}<d<2.4\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度和第二介质块12的厚度为 $h$ , $1\text{mm}<h<1.2\text{mm}$ 。

[0075] 具体地,如图22至图25所示,例如,电介质层1的介电常数为10, $d=2.3\text{mm}$ , $h=1.1\text{mm}$ ,金属背板2的厚度为 $0.018\text{mm}$ 。当电磁波照射到人工磁导体结构表面,可分别在两个频段实现入射电磁波零相位反射。如图26所示,基于该人工磁导体仿真得到的反射电磁波幅度曲线(实线)以及反射电磁波相位曲线(虚线),在27.43GHz和39.43GHz处存在零相位反射频点。零相位反射工作频段(反射相位 $-90^\circ\sim 90^\circ$ )分别为23.68GHz~30.11GHz、37.36GHz~41.02GHz,对应毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)和毫米波频段II(37.5GHz~43GHz)。可以看出,本申请实施例中的人工磁导体在5G通信的毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)和毫米波频段II(37.5GHz~43GHz)同时具有较宽的零相位反射频段。人工磁导体中电介质层1的厚度较薄,为 $1.1\text{mm}$ ,相比于毫米波频段I(24.24GHz~29.5GHz)的工作频率为 $0.101\lambda$ , $\lambda$ 为波长;人工磁导体的双频工作频带相对带宽较宽,分别为23.44%和9.28%;人工磁导体的结构简单,可以通过改变电介质层的结构参数设计工作频段,其中具有图案的电介质层可以通过较为简单的工艺制作,例如3D打印。

[0076] 在一种可能的实施方式中,如图22、图24、图27和图28所示,第一正六边形G1的边长和第二正六边形G2的边长为 $d$ , $1.8\text{mm}<d<2.4\text{mm}$ ;第一介质块11的厚度为 $h_1$ , $1\text{mm}<h_1<1.2\text{mm}$ ;第二介质块12的厚度为 $h_2$ , $0.4\text{mm}<h_2<0.8\text{mm}$ 。

[0077] 具体地,如图22、图24、图27、图28和图29所示,在人工磁导体的设计过程中,改变第一介质块11和组合介质块A0的尺寸,可以实现对频段I(24.24GHz~29.5GHz)的独立调谐,图29中不同曲线表示第一介质块11和组合介质块A0在不同取值的尺寸参数组合下所对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S17表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.5\text{mm}$ , $d=2.5\text{mm}$ ,频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为25.97GHz;S18表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.6\text{mm}$ , $d=2.3\text{mm}$ ,频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为26.72GHz;S19表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.65\text{mm}$ , $d=2.1\text{mm}$ ,频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为27.64GHz;S20表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.7\text{mm}$ , $d=1.9\text{mm}$ ,频段I(24.24GHz~29.5GHz)的零相位反射频点为28.76GHz。如图30所示,类似地,通过另外的方式改变第一介质块11和组合介质块A0的尺寸,可以实现对频段II(37.5GHz~43GHz)的独立调谐,图30中不同曲线表示第一介质块11

和组合介质块A0在不同取值的尺寸参数组合下所对应的反射电磁波相位曲线,其中,曲线S21表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.8\text{mm}$ , $d=2.3\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为31.94GHz;S22表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.7\text{mm}$ , $d=2.3\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为34.45GHz;S23表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.6\text{mm}$ , $d=2.3\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为37.05GHz;S24表示 $h_1=1.1\text{mm}$ , $h_2=0.5\text{mm}$ , $d=2.3\text{mm}$ ,频段II(37.5GHz~43GHz)的零相位反射频点为38.6GHz。可见,可以通过对介质块的尺寸灵活调节人工磁导体的双频特性。

[0078] 在一种可能的实施方式中,在上述任意实施例的基础上,金属背板2的厚度为 $h_0$ , $0.016\text{mm}<h_0<0.02\text{mm}$ ,例如 $h_0=0.018\text{mm}$ 。

[0079] 在一种可能的实施方式中,在上述任意实施例的基础上,第一介质块11和第二介质块12的介电常数为 $p$ , $9<p<11$ ,例如 $p=10$ 。

[0080] 在一种可能的实施方式中,在上述任意实施例的基础上,每个重复单元10在金属背板2上的正投影为中心对称结构,在该结构下,人工磁导体具有极化不敏感的特性。

[0081] 在一种可能的实施方式中,在上述任意实施例的基础上,电介质层1贴附于金属背板2表面,即电介质层1与金属背板2之间没有间隙,在其他可能的实施方式中,电介质层1和金属背板2之间也可以具有一定间隙。

[0082] 需要说明的是,本申请实施例对于第一介质块11和组合介质块A0的结构不做限定,以上各实施例仅以六面体、圆柱体和正六棱柱体三种结构为例进行了说明;本申请实施例对于人工磁导体的工作频段不做限定,以上各实施例仅以人工磁导体可以分别在两个频段实现入射电磁波零相位反射为例进行说明,在其他可能的实施方式中,人工磁导体例如可以在三个或更多频段实现入射电磁波零相位反射。

[0083] 本申请实施例还提供一种电子设备,包括上述任意实施例中的人工磁导体。人工磁导体的具体结构和原理与上述实施例相同,在此不在赘述。电子设备可能为手机、路由器、平板电脑、个人计算机(personal computer,PC)、个人数字助理(personal digital assistant,PDA)、智能手表、上网本、可穿戴电子设备、增强现实技术(augmented reality,AR)设备、虚拟现实(virtual reality,VR)设备、车载设备、无人机设备、智能汽车、智能音响、机器人、智能眼镜等等。

[0084] 本申请实施例中的人工磁导体可以应用于电子设备的天线中,作为天线的地板使用,通过人工磁导体的零相位反射特性降低天线的高度。人工磁导体具体可以应用于毫米波天线或其他频段天线。除了天线器件的应用场景,人工磁导体还可以应用于吸波体等与电磁波相关的器件中。

[0085] 本申请实施例中,“至少一个”是指一个或者多个,“多个”是指两个或两个以上。“和/或”,描述关联对象的关联关系,表示可以存在三种关系,例如,A和/或B,可以表示单独存在A、同时存在A和B、单独存在B的情况。其中A,B可以是单数或者复数。字符“/”一般表示前后关联对象是一种“或”的关系。“以下至少一项”及其类似表达,是指的这些项中的任意组合,包括单项或复数项的任意组合。例如,a,b和c中的至少一项可以表示:a,b,c,a-b,a-c,b-c,或a-b-c,其中a,b,c可以是单个,也可以是多个。

[0086] 以上仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、

等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

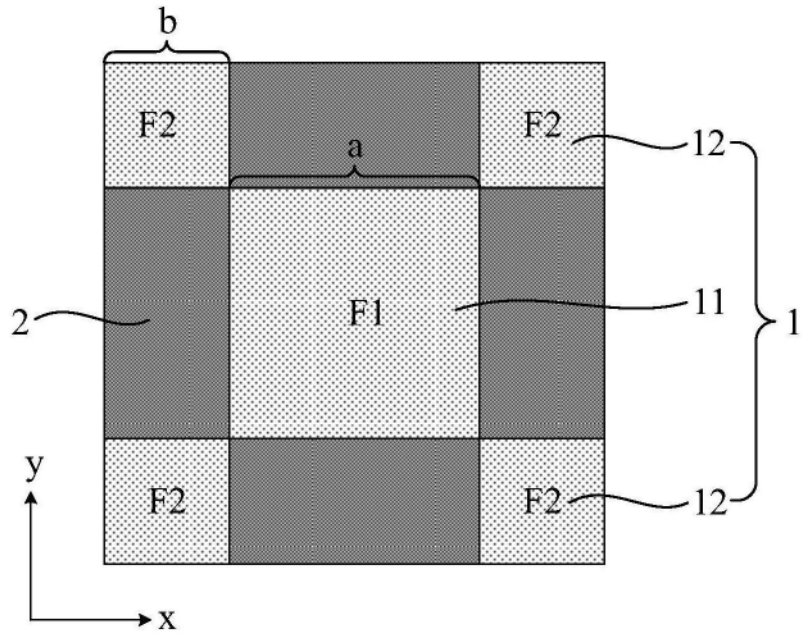


图1

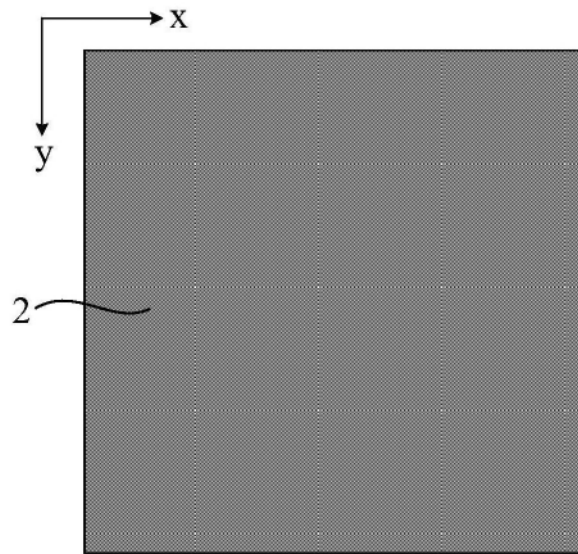


图2

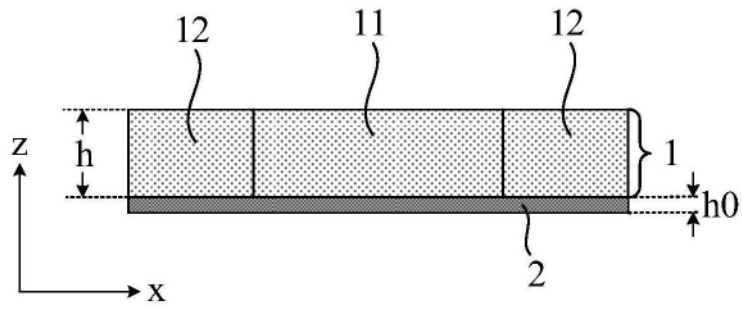


图3

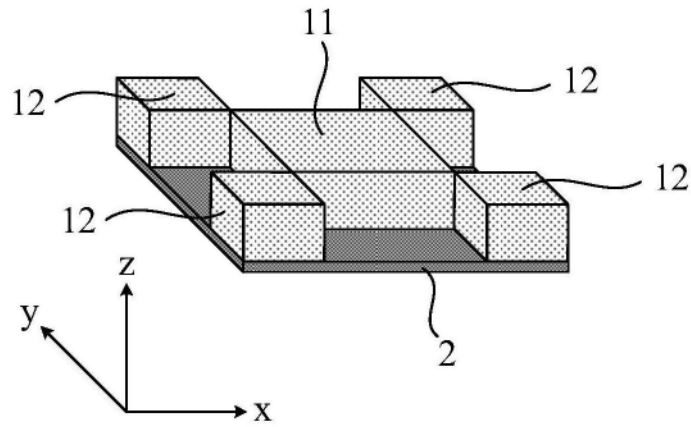


图4

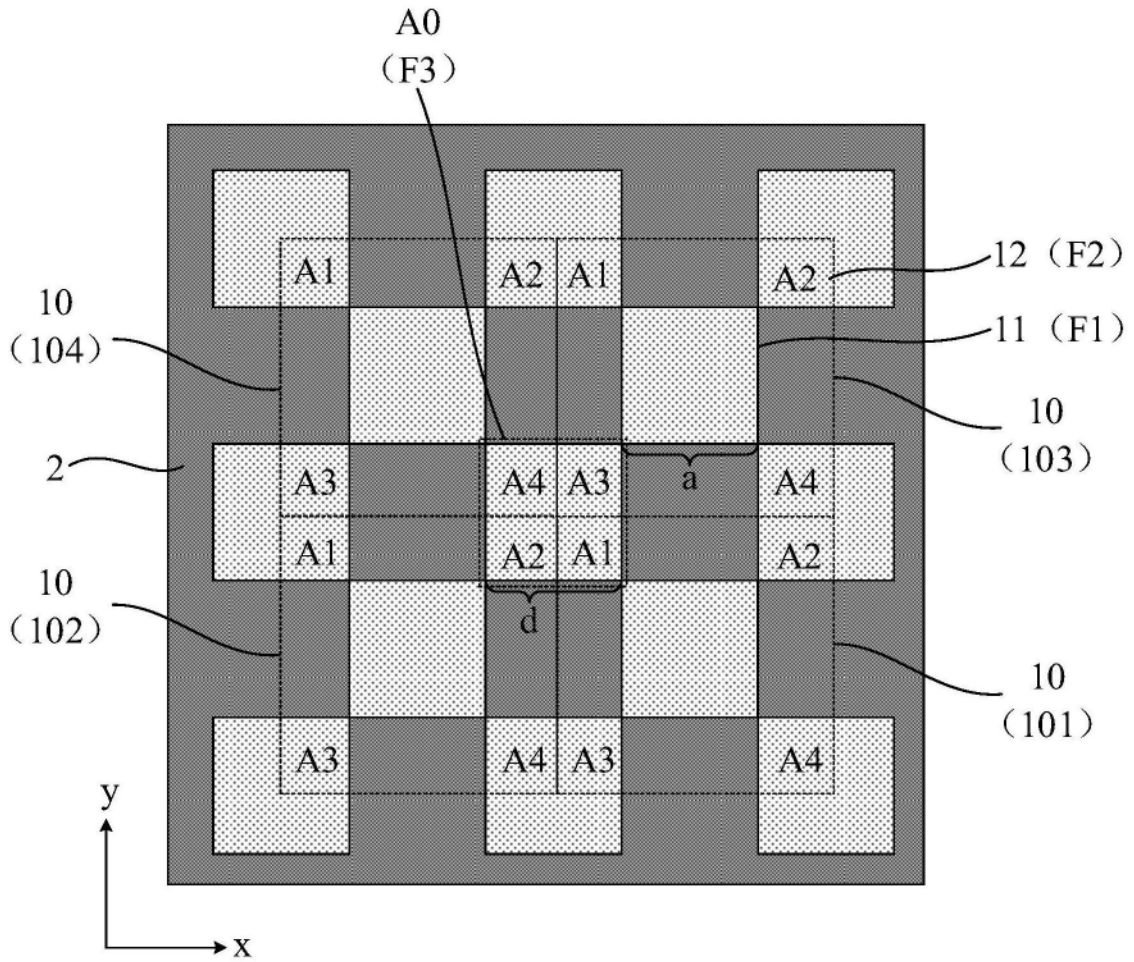


图5

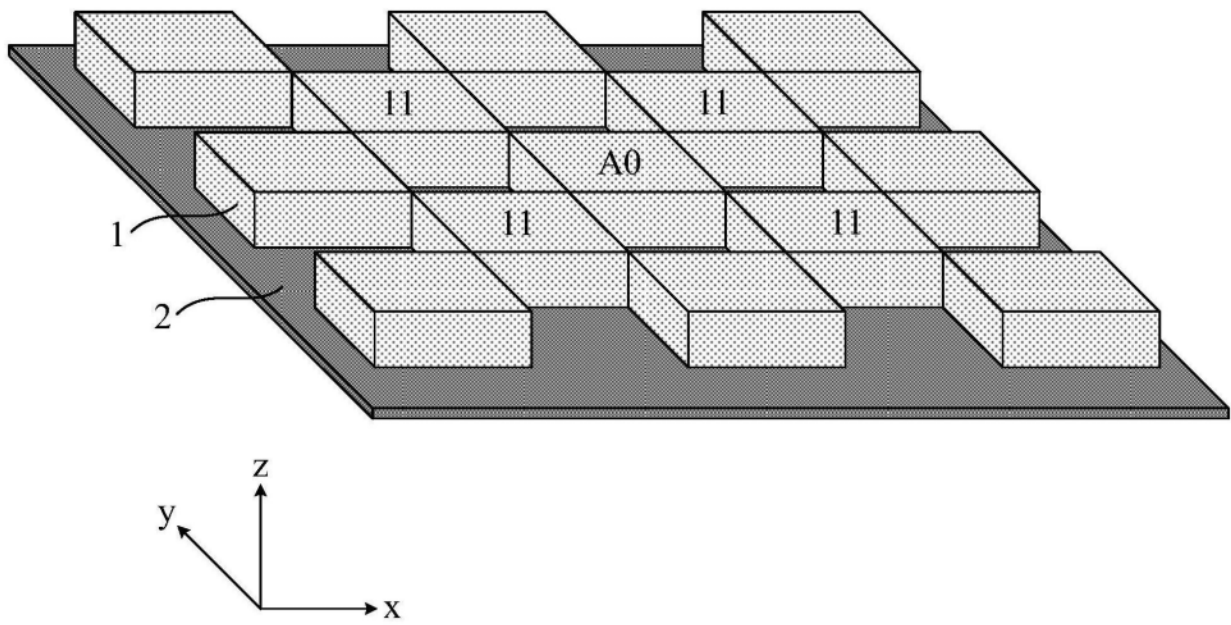


图6

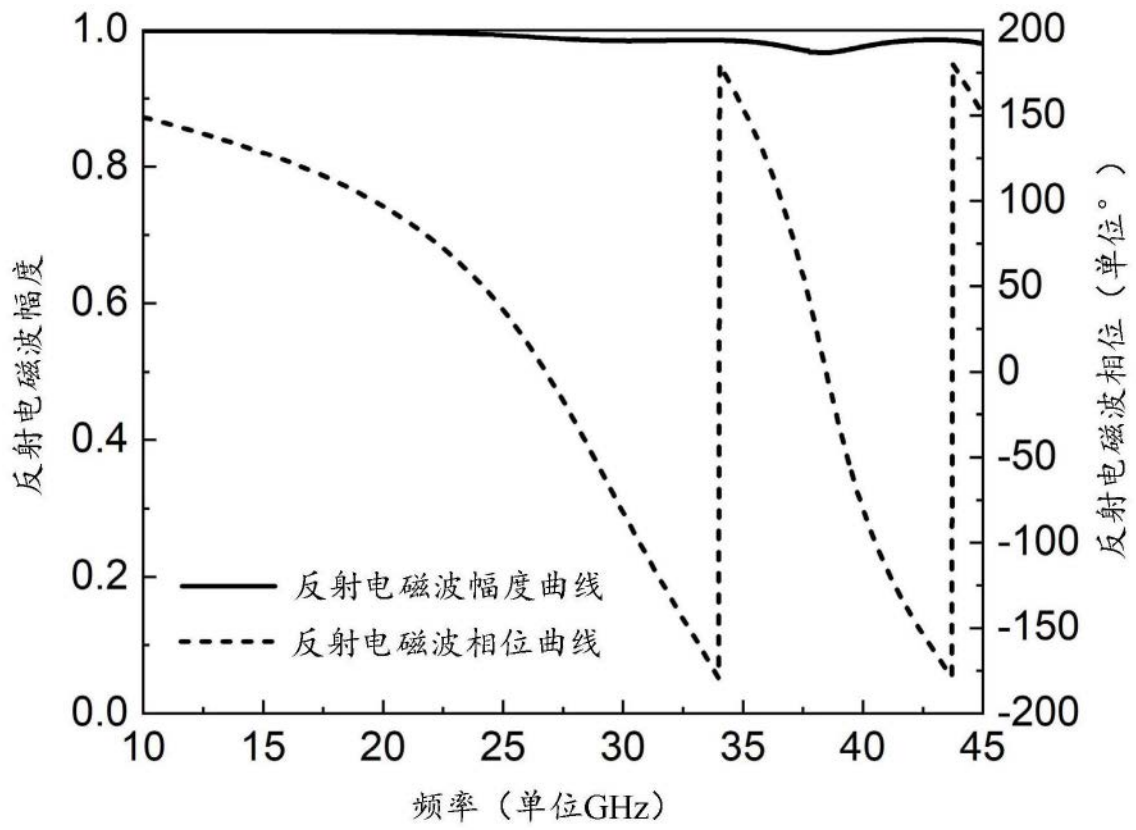


图7



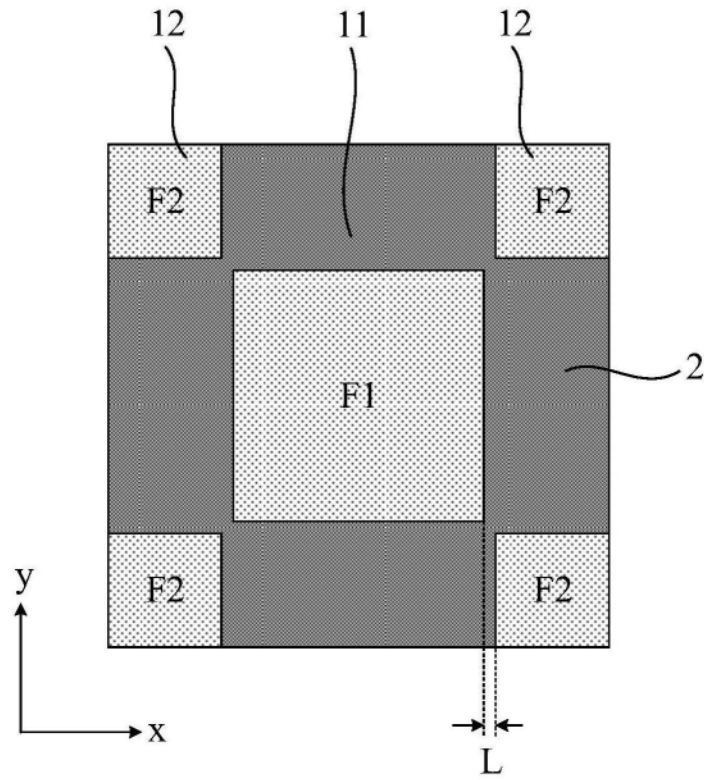


图8

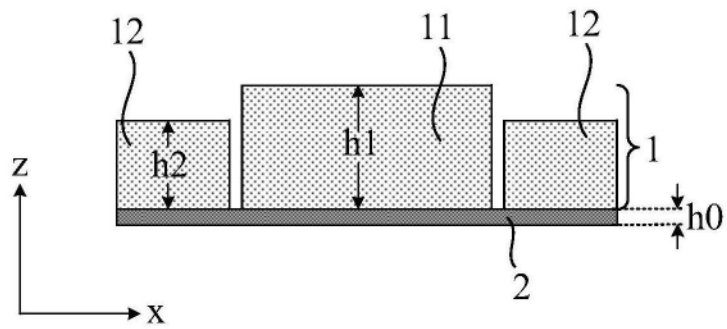


图9

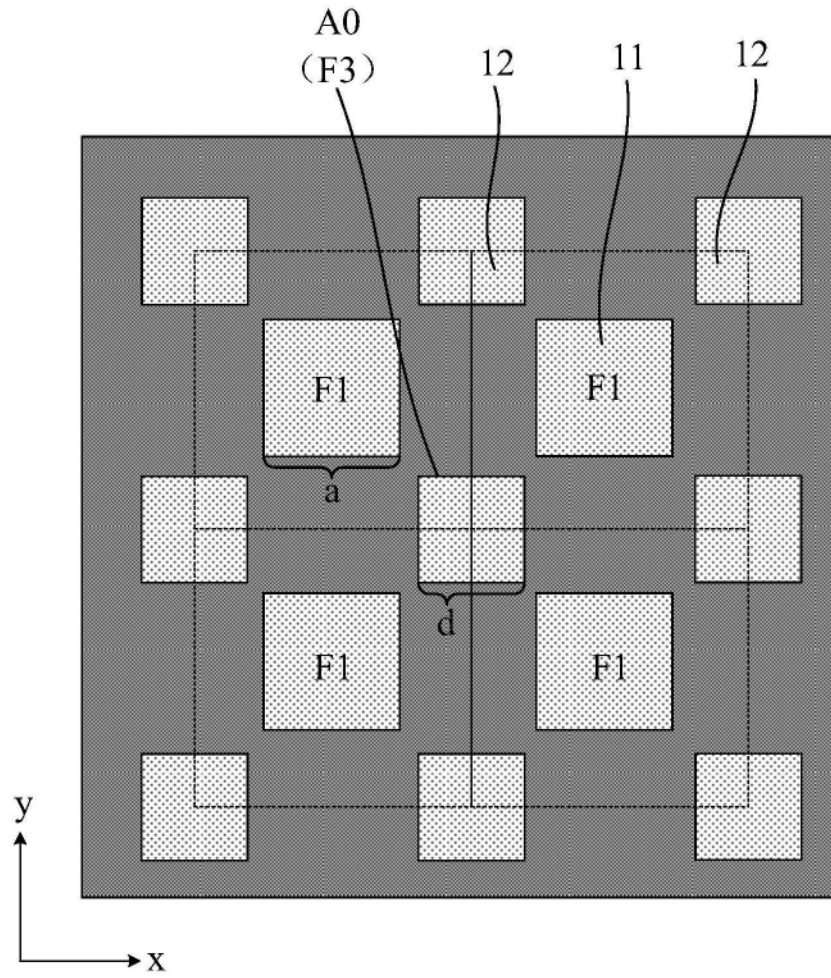


图10

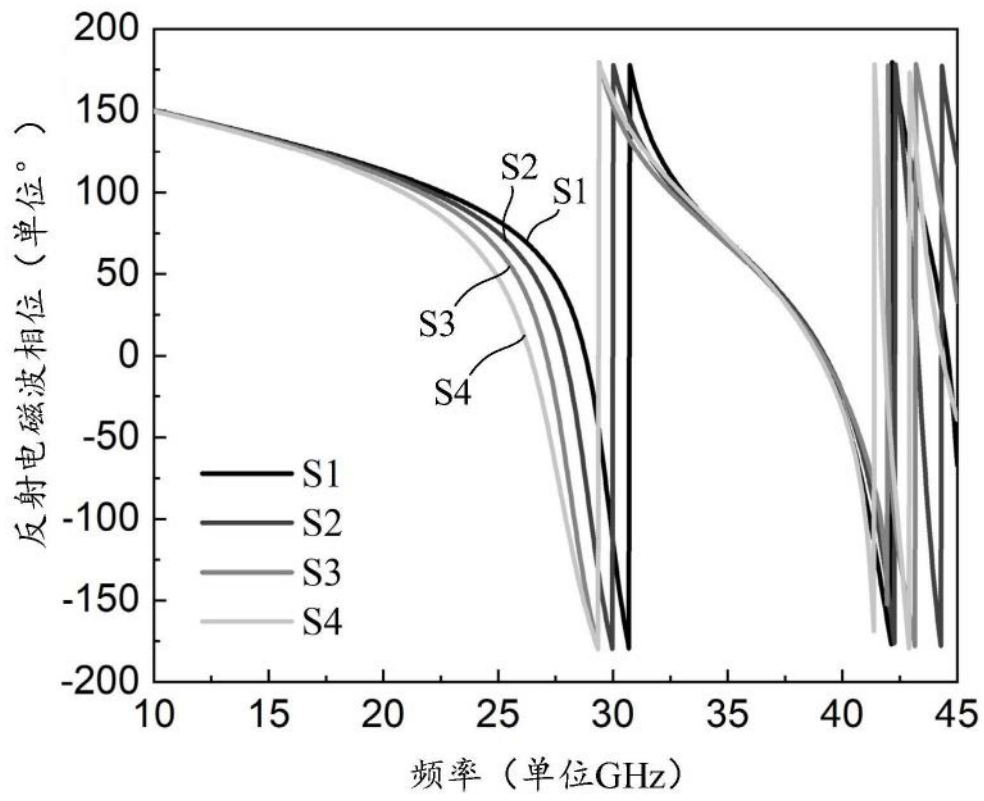


图11

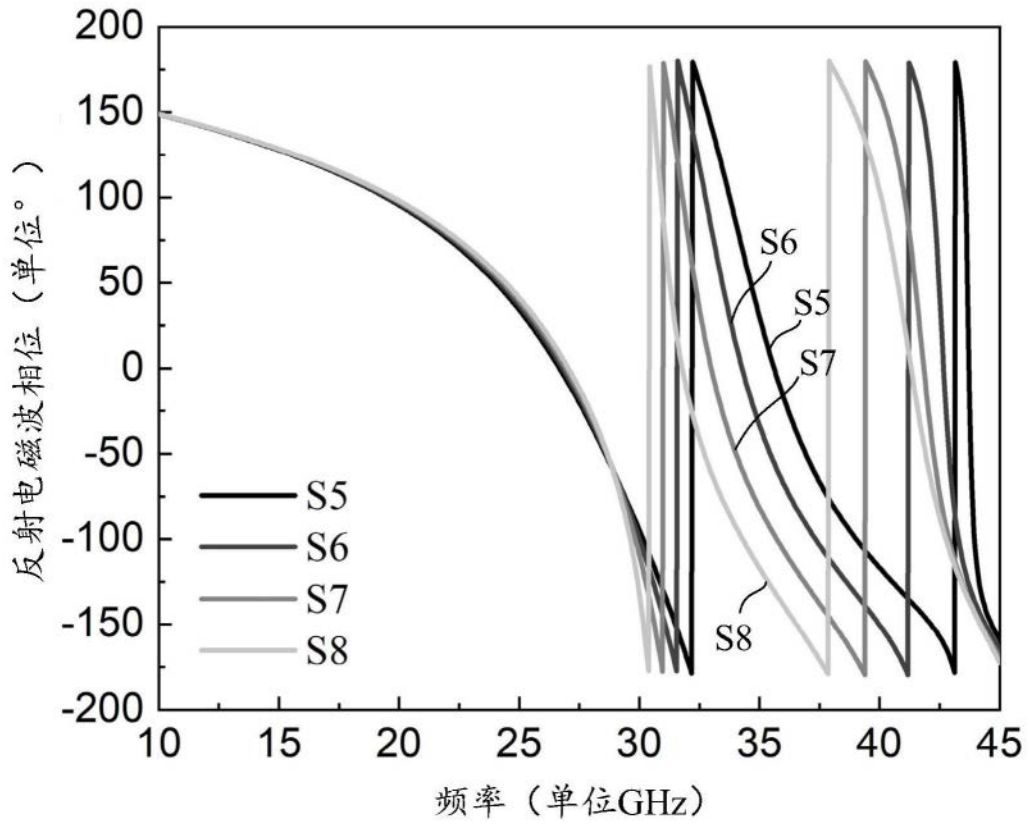


图12

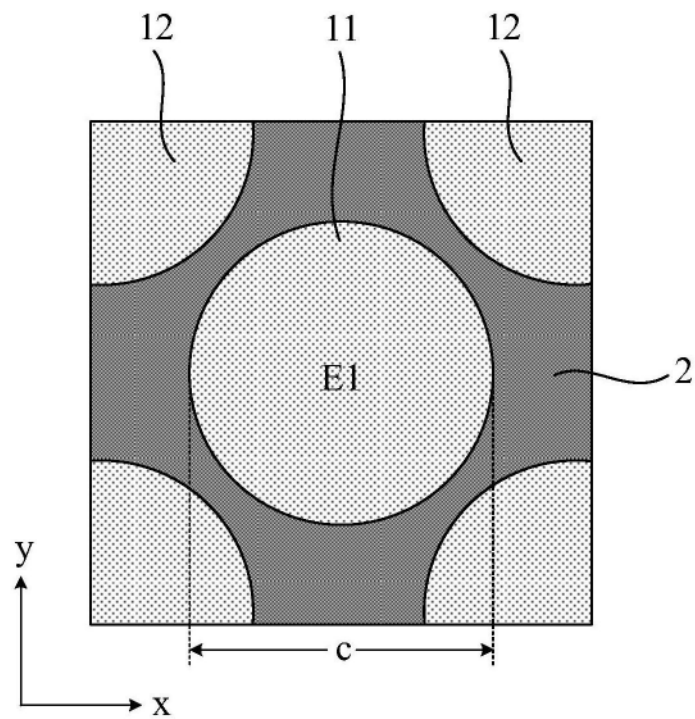


图13





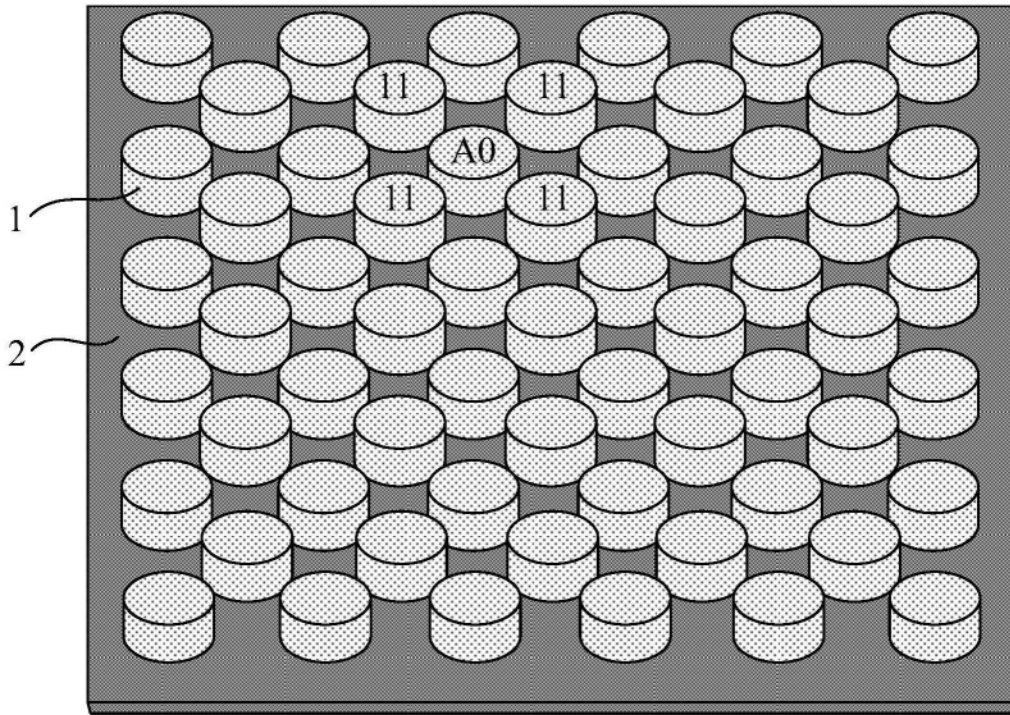


图16

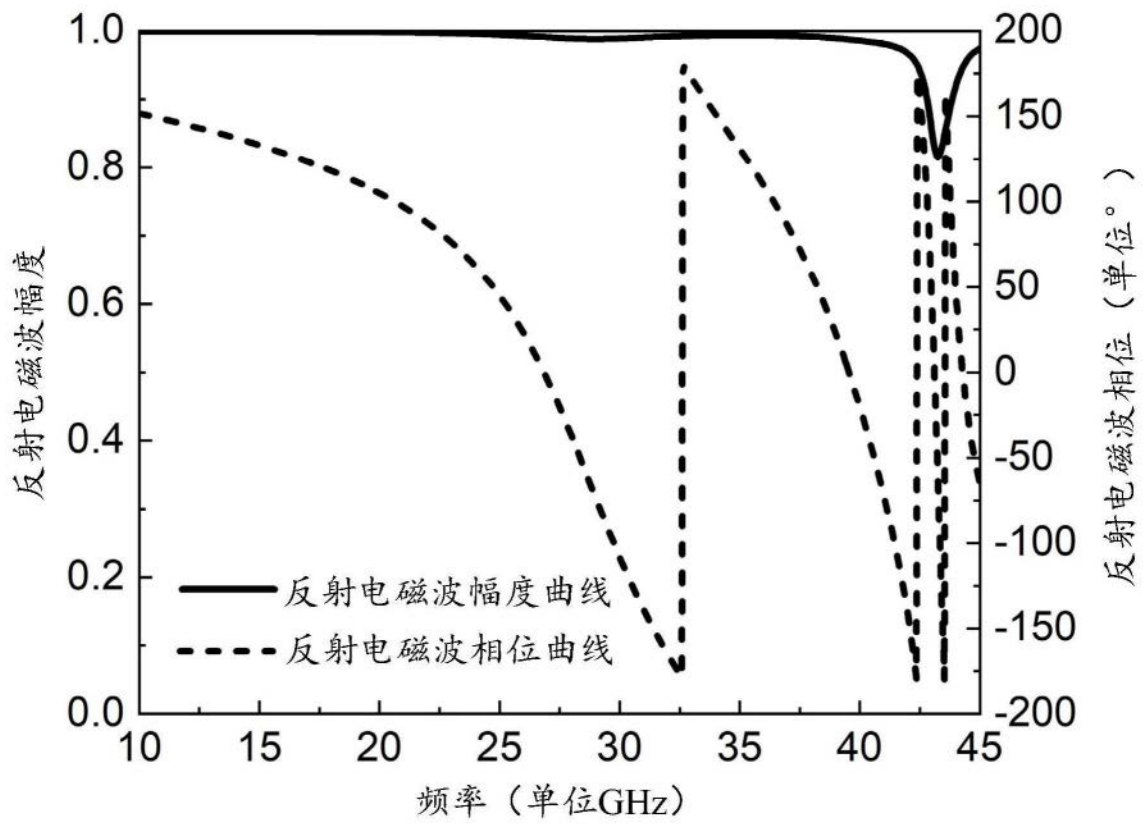


图17

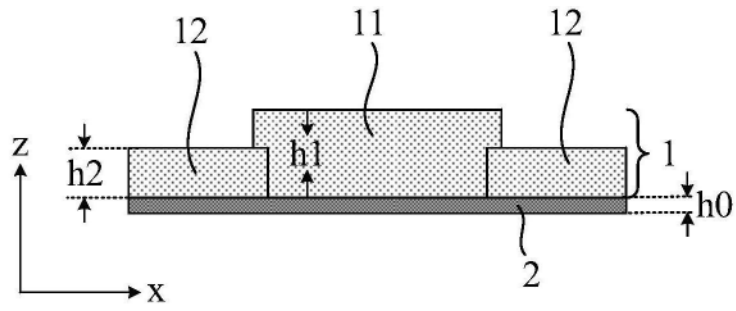


图18

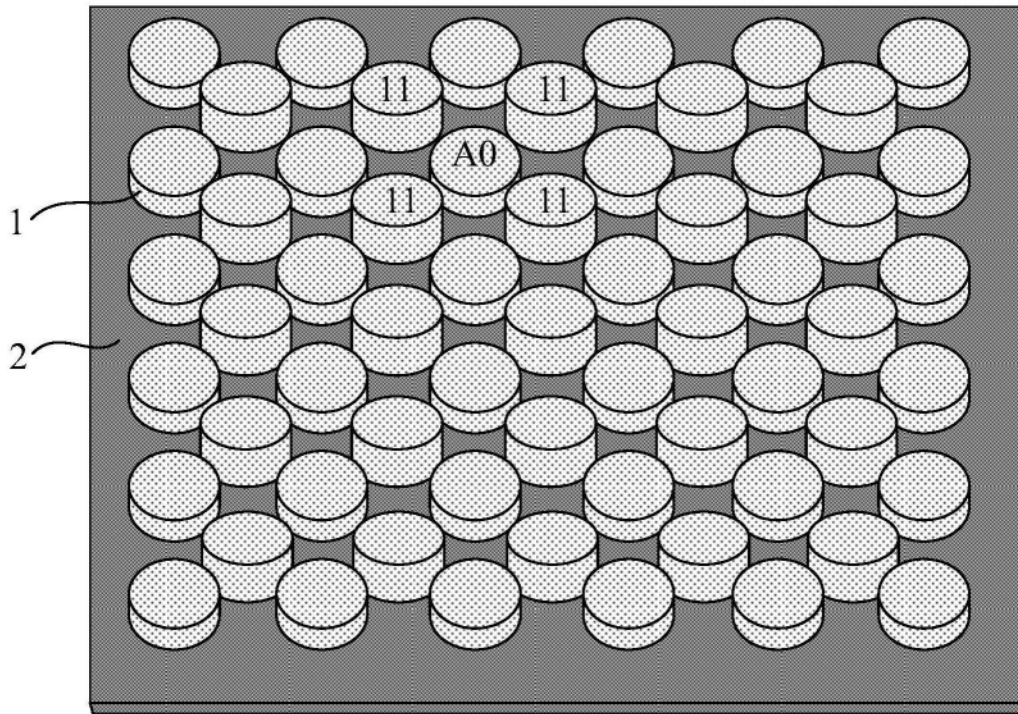


图19

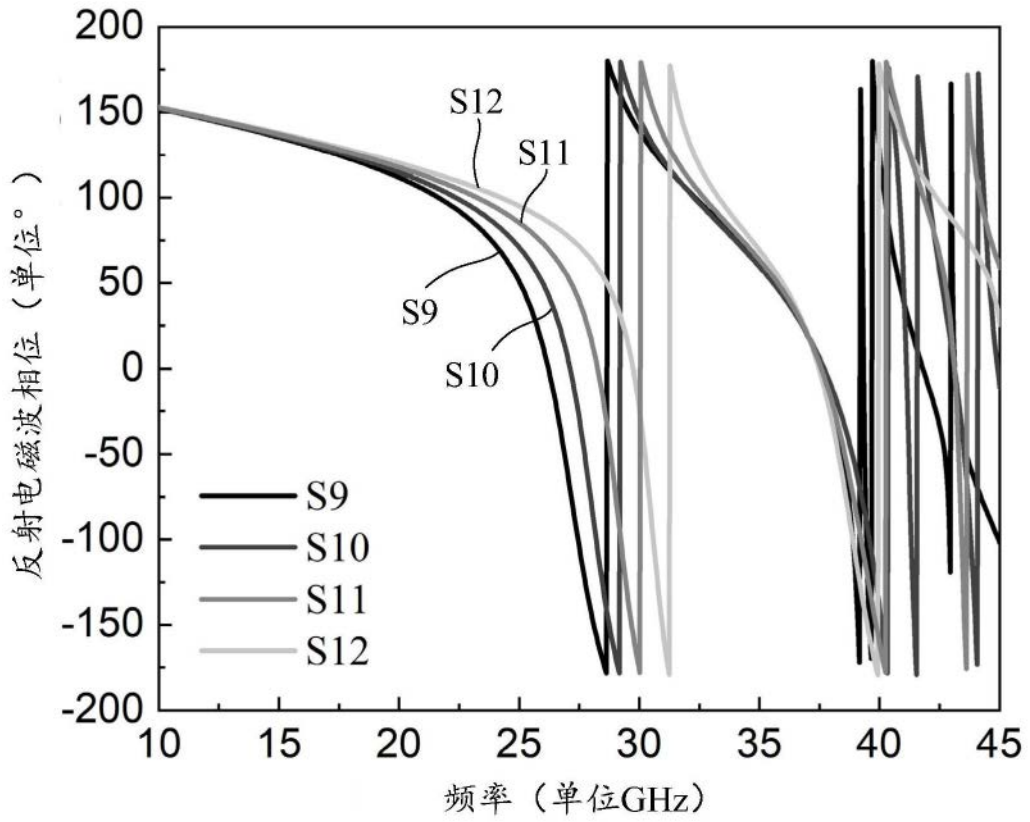


图20

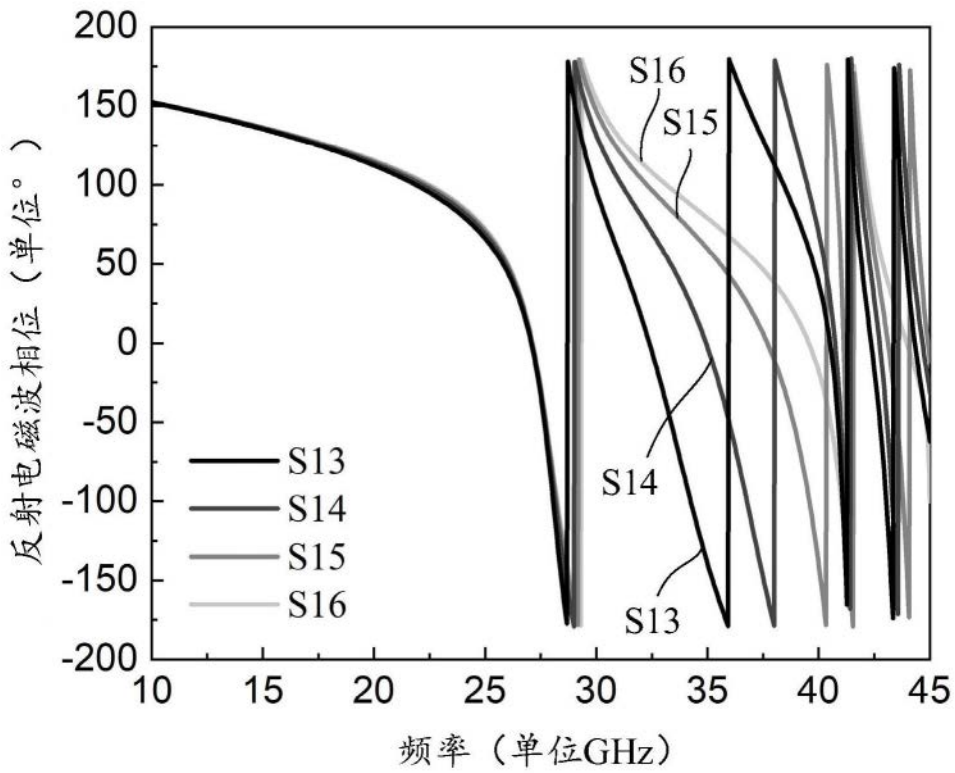


图21



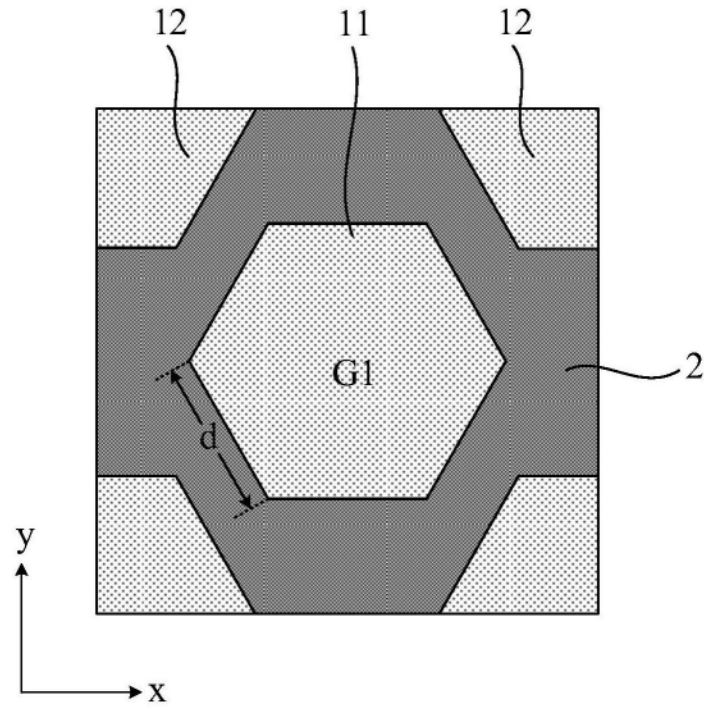


图22

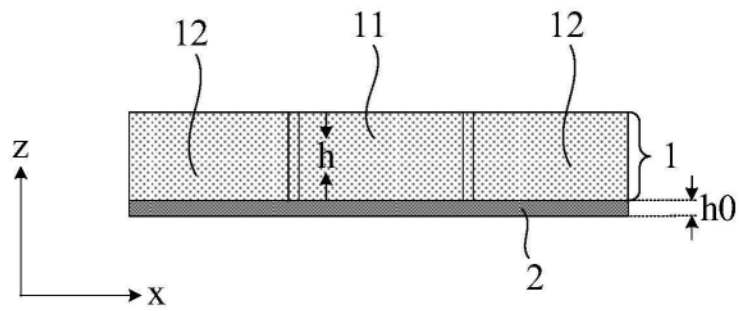


图23

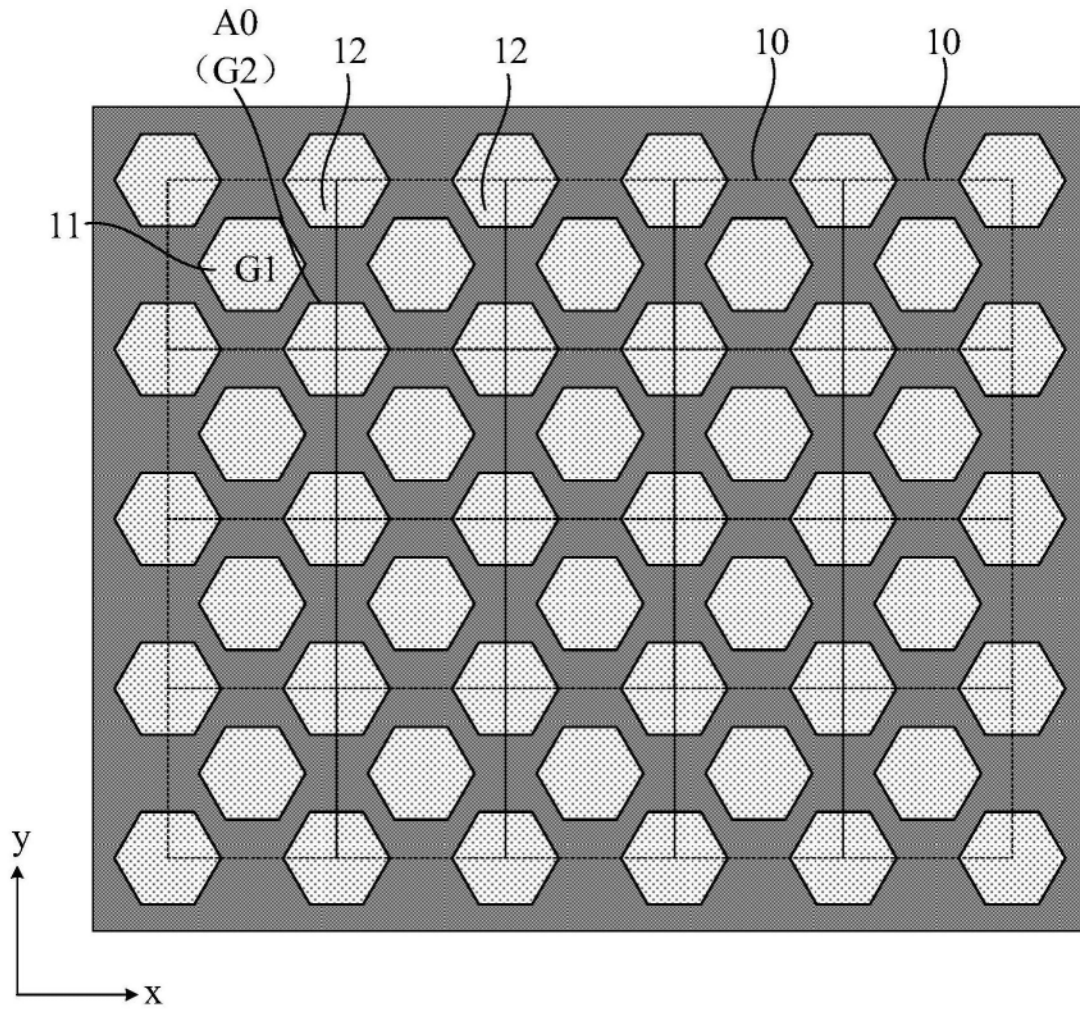


图24

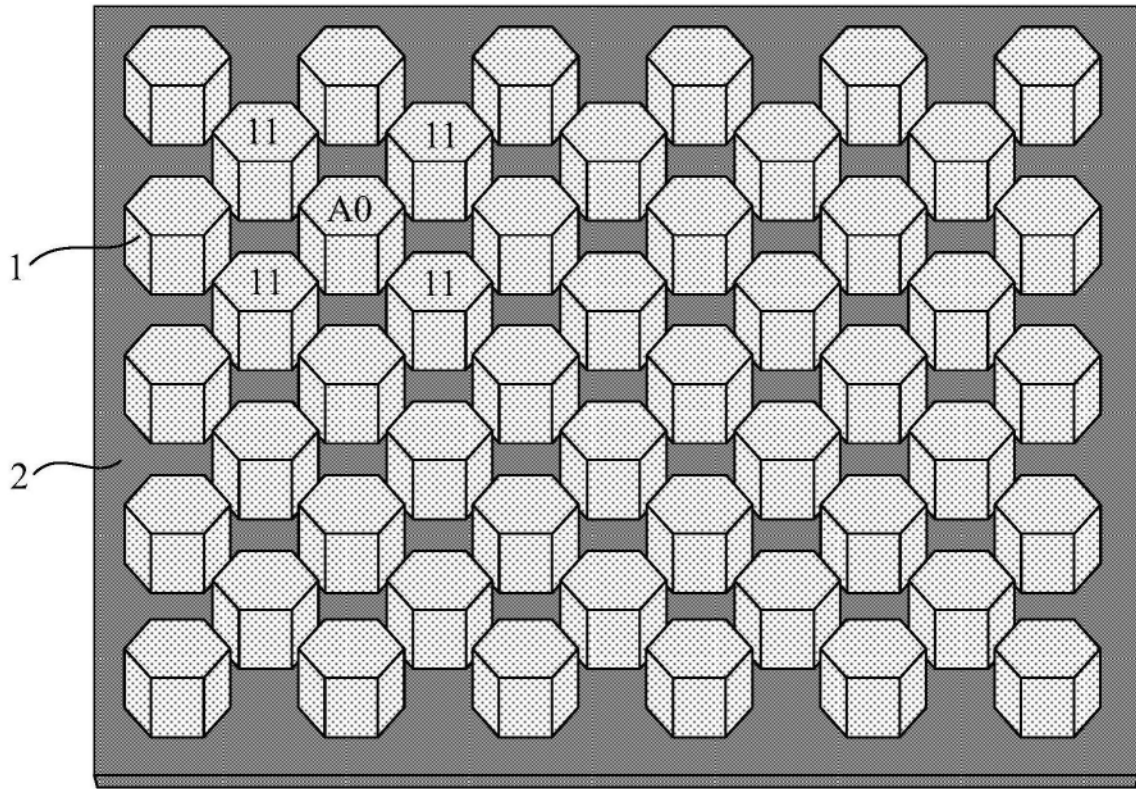


图25

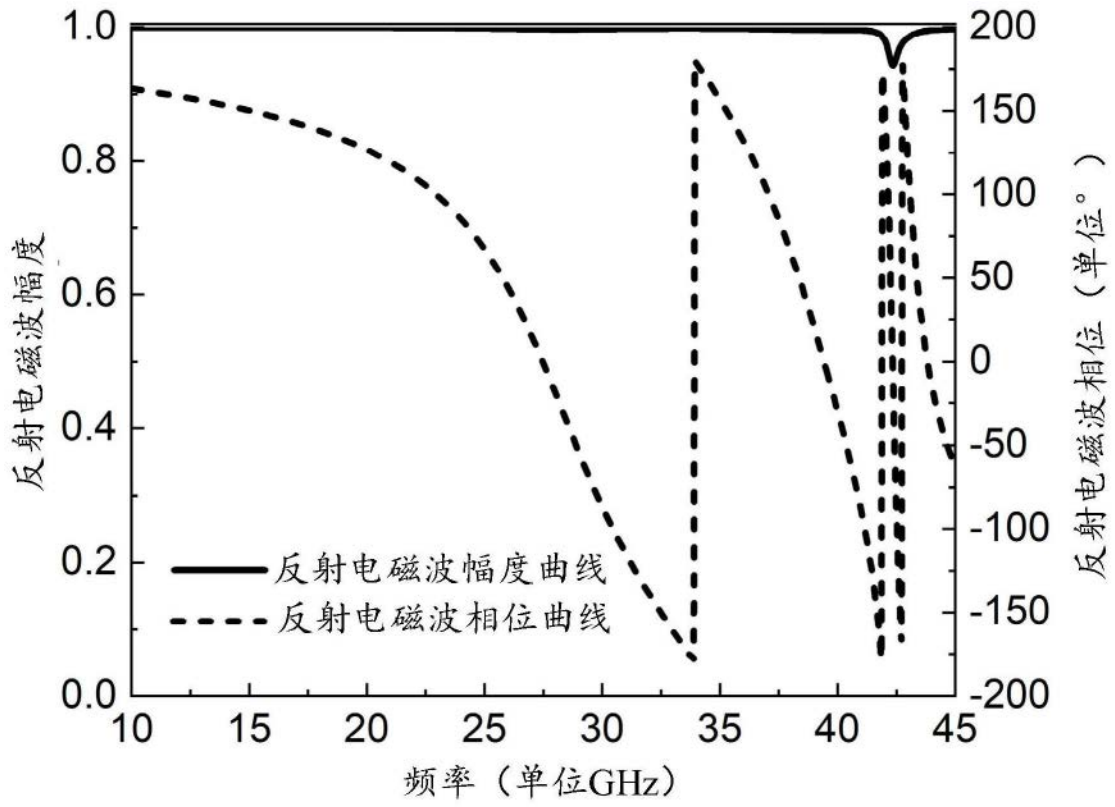


图26

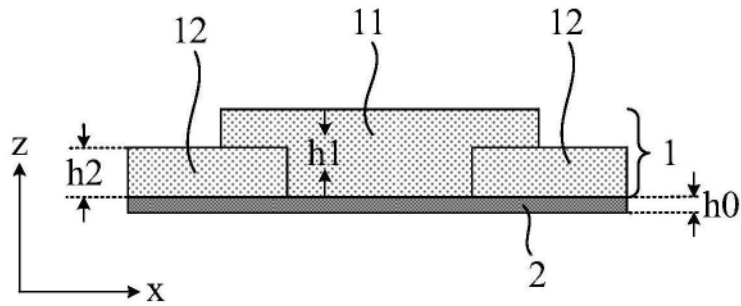


图27

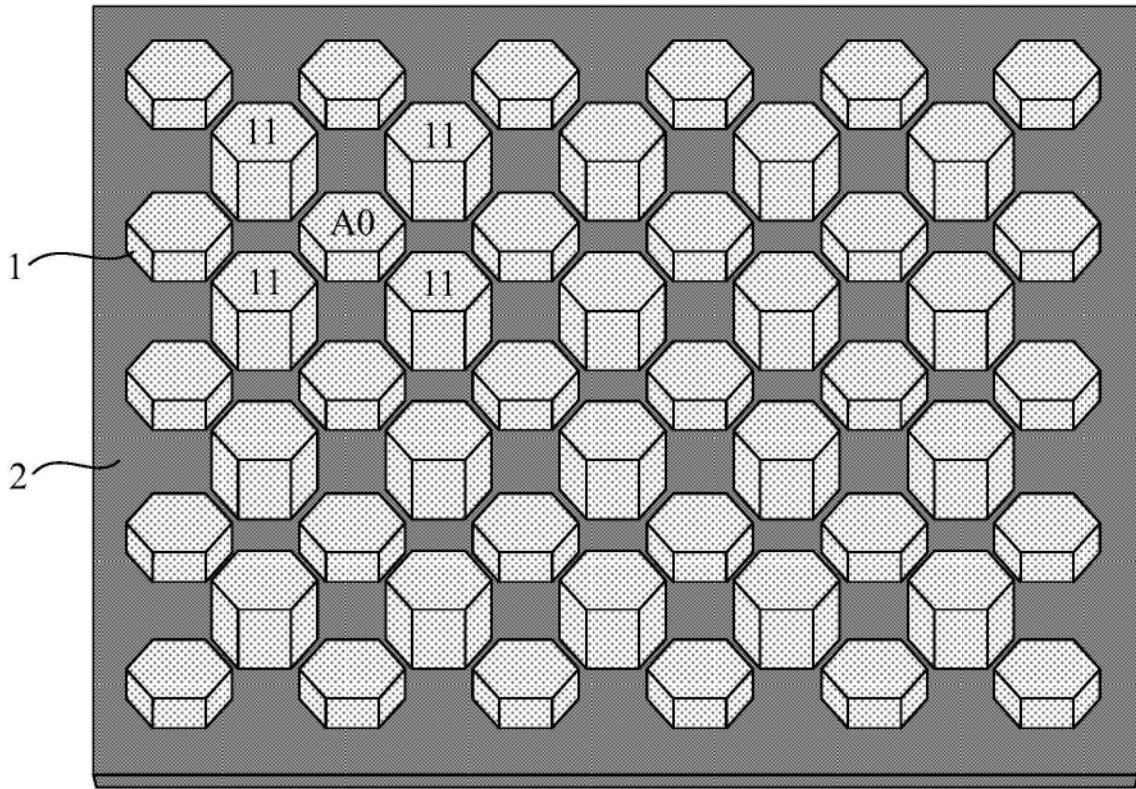


图28

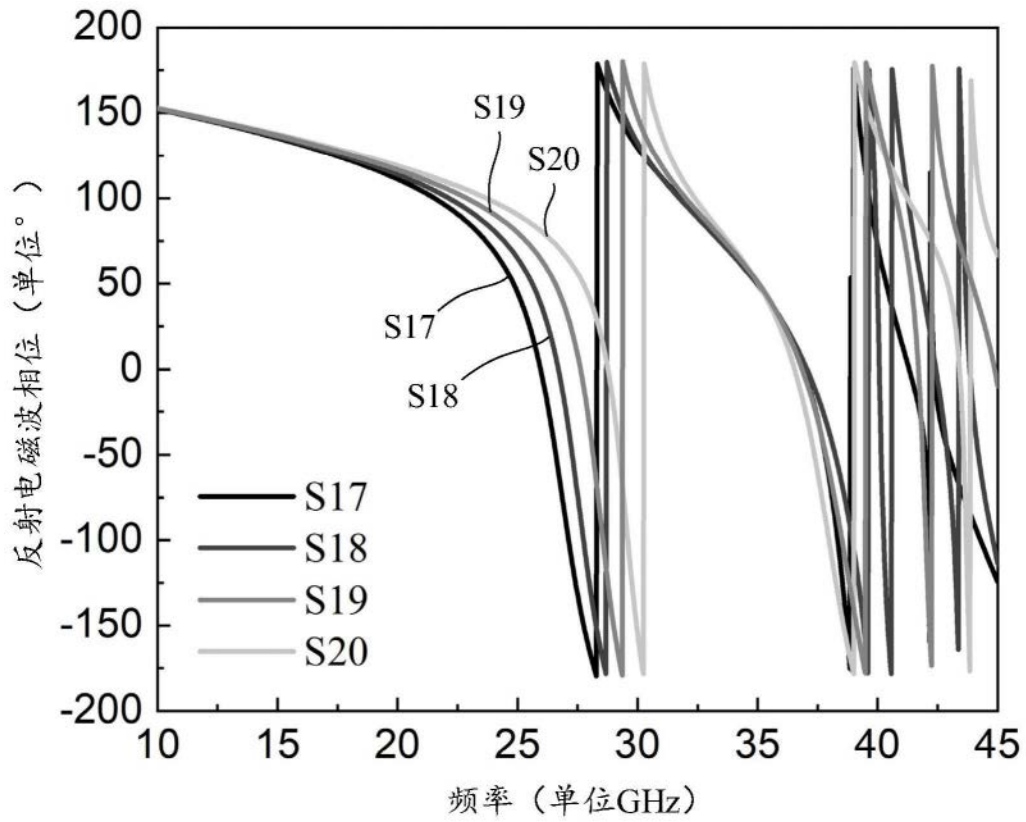


图29

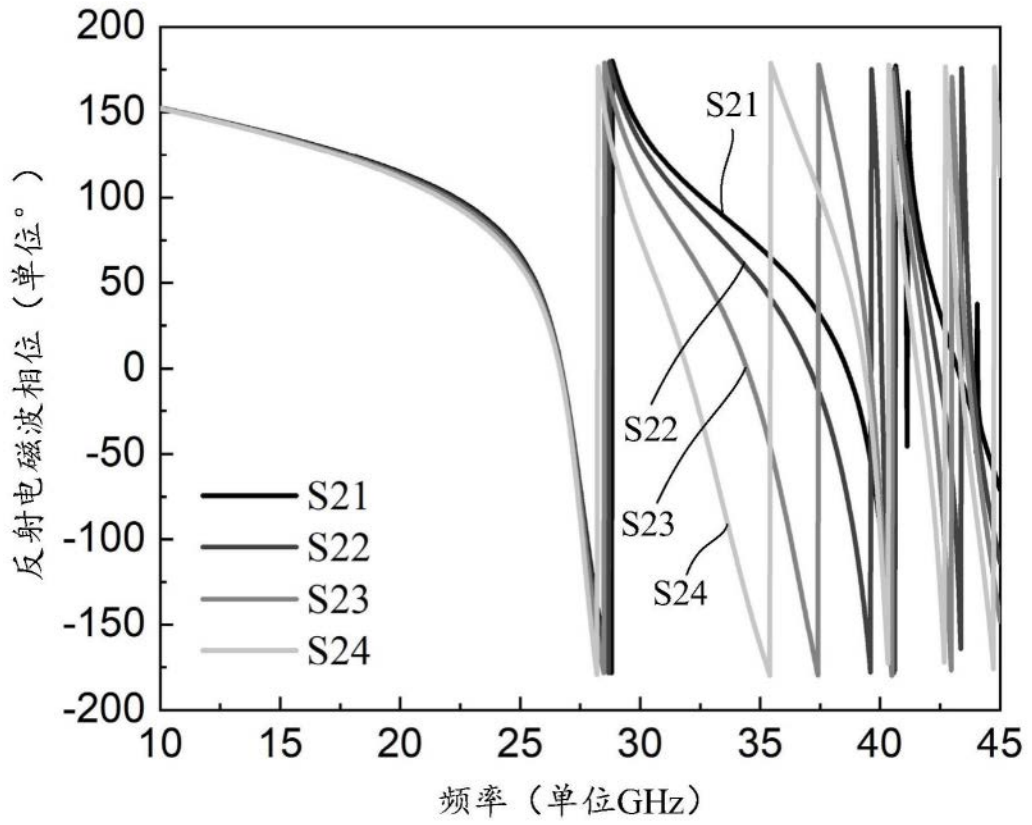


图30