



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109193167 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(21)申请号 201811034563.7

(22)申请日 2018.09.06

(71)申请人 西安电子科技大学

地址 710071 陕西省西安市雁塔区太白南路2号

申请人 西安中电科西电科大雷达技术协同创新研究院有限公司

(72)发明人 洪涛 王梦丹 彭可 姜文 刘英 龚书喜

(74)专利代理机构 陕西电子工业专利中心  
61205

代理人 王品华

(51) Int. Cl.

H01Q 15/00(2006.01)

H01Q 15/24(2006.01)

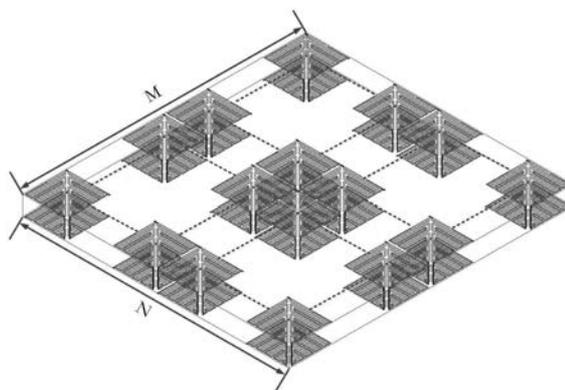
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

低频数比小型化的频率选择表面

(57)摘要

本发明提出一种低频数比小型化的频率选择表面,主要解决现有双频带频率选择表面存在低频段两谐振频点距离较远和单元电尺寸大的技术问题。其包括介质板(2)、印制在介质板上表面的金属贴片(1)和下表面的金属贴片(3)、金属通孔(4)和连接相邻单元的金属连接线(5),每个金属贴片均由布设在介质板表面的四条金属条带组成,前两条形成TE极化的两个谐振点,后两条形成TM极化的两个谐振点,上、下金属贴片同一极化的四条金属条带通过金属通孔连接,以延长电流路径。本发明实现了在具备低频数比特性的同时,还具有良好的小型化效果,且对于不同的极化和角度均能保持稳定的性能,可应用于通信系统的天线副反射面和小型通信设备。



1. 一种低频数比小型化的频率选择表面,包括 $M \times N$ 个周期排列的频率选择表面单元, $M \geq 5, N \geq 5$ ,其特征在于:每个频率选择表面单元包含介质板(2)、上金属贴片(1)、下金属贴片(3)、金属通孔(4)和连接相邻单元的金属连接线(5);

所述上金属贴片(1)和下金属贴片(3)分别印制在介质板(2)的上、下表面,每个金属贴片均由排布在介质板(2)表面的四条金属条带组成;

所述上金属贴片(1)由第一上金属条带(11)、第二上金属条带(12)、第三上金属条带(13)和第四上金属条带(14)排布在介质板(2)的上表面组成,且第一上金属条带(11)与第二上金属条带(12)相互嵌套,形成单元上表面的右上三角区域;第三上金属条带(13)与第四上金属条带(14)相互嵌套,形成单元上表面的左下三角区域,该右上三角区域与左下三角区域关于谐振单元的斜对角线呈对称排布;

所述下金属贴片(3)由第一下金属条带(31)、第二下金属条带(32)、第三下金属条带(33)和第四下金属条带(34)排布在介质板(2)的下表面组成,其金属条带排布方式与金属贴片(1)相同;

所述连接上下金属贴片的金属通孔(4)设为两个,即通过第一金属通孔(41)连接单元右上三角区域的四条金属条带(11,12,31,32),形成TE极化的两个谐振频点,通过第二金属通孔(42)连接单元左下三角区域的四条金属条带(13,14,33,34),形成TM极化的两个谐振频点。

2. 根据权利要求1所述的低频数比小型化的频率选择表面,其特征在于:金属条带的具体排布方式为:

上金属贴片的第一上金属条带(11)以单元上表面右上顶点为起点,下金属贴片的第一下金属条带(31)以单元下表面右上顶点为起点,在单元的右上三角区域内进行“蛇”形曲折排布,且两条金属条带通过第一金属通孔(41)进行连接,形成TE极化下的低谐振频点;

上金属贴片的第二上金属条带(12)以单元上表面左上顶点为起点,下金属贴片的第二下金属条带(32)以单元下表面左上顶点为起点,在单元的右上三角区域内进行“蛇”形曲折排布,且两条金属条带通过第一金属通孔(41)进行连接,形成TE极化下的高谐振频点;

第一上金属条带(11)与第一下金属条带(31)的总长度为 $L_1$ ,第二上金属条带(12)与第二下金属条带(32)的总长度为 $L_2$ , $L_1$ 和 $L_2$ 数值相近但不相等,以形成TE极化下两个距离相近的高低谐振频点,实现低频数比;

单元左下三角区域金属条带(13,33,14,34)与单元右上三角区域金属条带(11,31,12,32)关于单元的斜对角线呈对称分布,其长度与金属条带(11,31,12,32)完全相同,且第三上金属条带与第三下金属条带(13,33),以及第四上金属条带与第四下金属条带(14,34)都通过第二金属通孔(42)进行连接,以形成TM极化下两个距离相近的高低谐振频点。

3. 根据权利要求1所述的低频数比小型化的频率选择表面,其特征在于:

所有金属条带(11,12,13,14,31,32,33,34)的宽度 $w_1$ 均为 $0.1\text{mm} \sim 0.5\text{mm}$ ;

两个金属通孔(41)、(42)的直径 $d$ 均为 $0.2\text{mm} \sim 0.4\text{mm}$ 。

4. 根据权利要求1所述的低频数比小型化的频率选择表面,其特征在于:

所述连接相邻单元的金属连接线(5)设为六条,即第一连接线(51)、第二连接线(52)、第三连接线(53)、第四连接线(54)、第五连接线(55)和第六连接线(56),并按极化方式对其进行分组,即将TE极化下的三条连接线(51,52,53)分为第一组,将TM极化下的三条连接线

(54,55,56)分为第二组。

5.根据权利要求4所述的低频数比小型化的频率选择表面,其特征在于:

所述第一连接线(51)连接本单元与左相邻单元;

所述第二连接线(52)连接本单元与右相邻单元;

所述第三连接线(53)连接下金属贴片的第一下金属条带(31)与第二下金属条带(32);

所述第四连接线(54)连接上金属贴片的第一上金属条带(13)和第二上金属条带(14);

所述第五连接线(55)连接本单元及下相邻单元;

所述第六连接线(56)连接本单元及上相邻单元;

所有连接线的宽度 $w_2$ 与金属条的宽度 $w_1$ 相同。

6.根据权利要求1所述的低频数比小型化的频率选择表面,其特征在于:所述介质板(2),采用正方形板材,其边长 $p=6\text{mm}\sim 9\text{mm}$ ,高度 $h=0.17\text{mm}\sim 3.5\text{mm}$ ,介电常数为 $2.2\sim 4.4$ 。

## 低频数比小型化的频率选择表面

### 技术领域

[0001] 本发明属于电磁场及微波技术领域,具体是一种低频数比小型化的频率选择表面,可用于通信系统的天线副反射面和小型通信设备。

### 背景技术

[0002] 频率选择表面是一种二维的周期阵列结构,由大量的无源谐振单元组成,在本质上表现为空间滤波器,在单元的谐振频率附近,与电磁波相互作用呈现出全反射或全透射特性,这种特性被称为频率选择特性。频率选择表面一般被分为两大类,一种是金属贴片,另一种是与之互补的缝隙结构,通常贴片型频率选择表面具有带阻滤波特性,而缝隙型频率选择表面具有带通滤波特性,频率选择表面本身不吸收能量,它的响应特性随频率而变化。由于特殊结构所造成的这种特性,使得频率选择表面得以广泛的应用在各个方面,比如:天线罩、天线副反射面、吸波材料、极化器等。

[0003] 随着现代无线通信和电子设备的快速发展,频谱资源变得十分紧张,因此双频带或多频带的频率选择表面应运而生。因其具有两个或多个工作频段,所以可以用于设计通信系统的天线副反射面,通过反射或透射从馈源发出的不同频率的电磁波,达到天线多频复用的目的,进而提高天线的使用效率,在解决频谱资源紧张问题的同时,提高通信设备的抗干扰能力。且传统的频率选择表面由于谐振单元点尺寸较大,在想要达到理想的无限大平面效果时,由于有限空间的限制则不能包含足够多数量的无源谐振单元,同时大的电尺寸导致电磁波斜入射时在相邻单元间产生大的相位差。使频率选择表面的角度稳定性变差。而小型化可以有效的解决这些问题,使单元的谐振频率远离栅瓣和介质表面波,改善频率响应效果。双频小型化的频率选择表面可以广泛的应用在小型通信设备中,有效的拓宽了频率选择表面的应用范围。

[0004] 双频带频率选择表面在应用中往往需要工作在两个靠的很近的频带,以高谐振点对低谐振点的比值称频数比,通常将这种频率选择表面称做低频数比频率选择表面。低频数比在高频段的实现是比较容易的,但对于低频段,往往在保证大角度入射稳定性的前提下,要想再保证同时实现低的频数比且较高小型化程度是有一定难度的。如2017年,在IEEE Microwave and Wireless Components Letters期刊的第27卷第3期上发表的一篇名为《An Angularly Stable Dual-Band FSS With Closely Spaced Resonances Using Miniaturized Unit Cell》的论文,公开了一种双频带频率选择表面,该双频带频率选择表面是通过在介质板的上表面印制曲折形的金属条带,形成了频数比为1.29的谐振单元结构。但这种结构小型化程度仅为0.065个谐振波长,并没有实现同时保证低频数比和高小型化程度的特性。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于克服上述现有技术存在的缺点,提出一种低频数比小型化的频率选择表面,以使双频带频率选择表面同时实现低频数比和小型化程度高的特性。

[0006] 为实现上述目的,本发明这种低频数比小型化的频率选择表面,包括 $M \times N$ 个周期排列的频率选择表面单元, $M \geq 5, N \geq 5$ ,其特征在于:每个频率选择表面单元包含介质板、上金属贴片、下金属贴片、金属通孔和连接相邻单元的金属连接线;

[0007] 所述上金属贴片和下金属贴片分别印制在介质板的上、下表面,每个金属贴片均由排布在介质板表面的四条金属条带组成;

[0008] 所述上金属贴片由第一上金属条带、第二上金属条带、第三上金属条带和第四上金属条带排布在介质板的上表面组成,且第一上金属条带与第二上金属条带相互嵌套,形成单元结构的右上三角区域;第三上金属条带与第四上金属条带相互嵌套,形成单元结构的左下三角区域,该右上三角区域与左下三角区域关于谐振单元的斜对角线呈对称排布;

[0009] 所述下金属贴片由第一下金属条带、第二下金属条带、第三下金属条带和第四下金属条带排布在介质板的下表面组成,其金属条带排布方式与上金属贴片相同;

[0010] 所述连接上下金属贴片的金属通孔设为两个,即通过第一金属通孔连接单元右上三角区域的四条金属条带,形成TE极化的两个谐振频点,通过第二金属通孔连接单元左下三角区域的四条金属条带,形成另一个TM极化的两个谐振频点。

[0011] 作为优选,金属条带的排布方式为:

[0012] 上金属贴片的第一上金属条带以单元上表面右上顶点为起点,下金属贴片的第一下金属条带以单元下表面右上顶点为起点,在单元上表面的右上三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,且两条金属条带通过第一金属通孔进行连接,形成TE极化下的低谐振频点;

[0013] 上金属贴片的第二上金属条带以单元上表面左上顶点为起点,下金属贴片的第二下金属条带以单元下表面左上顶点为起点,在单元上表面的右上三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,且两条金属条带通过第一金属通孔进行连接,形成TE极化下的高谐振频点;

[0014] 第一上金属条带与第一下金属条带的总长度为 $L_1$ ,第二上金属条带与第二下金属条带的总长度为 $L_2$ , $L_1$ 和 $L_2$ 数值相近但不相等,以形成TE极化下两个距离相近的高低谐振频点,实现低频数比;

[0015] 单元左下三角区域金属条带与单元右上三角区域金属条带关于单元的斜对角线呈对称分布,其长度与单元右上三角区域金属条带完全相同,且第三上金属条带与第三下金属条带,以及第四上金属条带与第四下金属条带都通过第二金属通孔进行连接,以形成TM极化下两个距离相近的高低谐振频点。

[0016] 本发明与现有技术相比,具有如下优点:

[0017] 1. 本发明由于采用三维立体结构,不局限于仅在单层内排布条带,实现了电流路径的延长,即利用金属通孔连接介质2上、下表面完全相同的金属弯折条带,使原本的电流路径实现了双倍延长;同时由于采用曲折并相互嵌套的金属条带,在增加单元等效电容的同时,也延长了电流路径,从而增加了单元的有效电感,降低了频率选择表面的谐振频率,减小了单元尺寸,提高了频率选择表面单元在低频段的小型化程度。

[0018] 2. 本发明采用相同的曲折条带结构分别形成频率选择表面的两个谐振频点,即由第一金属通孔连接的第一上金属条带与第一下金属条带的整体形成低频点,由第二金属通孔连接的第三上金属条带与第三下金属条带的整体形成高频点,且两对金属条带的总长度相近,使得两个谐振频点距离相近,从而实现了频率选择表面的低频数比。

[0019] 3. 本发明采用布局在单元右上三角区域的金属条带来控制一个方向的极化,布局

在单元左下三角区域的金属条带来控制另一个方向的极化,从而得到双极化的频率选择表面。

### 附图说明

- [0020] 图1为本发明的整体结构示意图;
- [0021] 图2为本发明中无源谐振单元的结构示意图;
- [0022] 图3为本发明中无源谐振单元的结构标记示意图;
- [0023] 图4为本发明中上金属贴片TE极化金属条带的排布方式示意图;
- [0024] 图5为本发明实施例1在 $0\sim 60^\circ$ 入射角照射下,分别对TE和TM极化的反射系数图;

### 具体实施方式

[0025] 下面结合附图和具体实施例,对本发明作进一步详细描述。

[0026] 参照图1,本发明的低频数比小型化频率选择表面,包括 $M\times N$ 个周期排列的频率选择表面单元,本实例取 $M=10,N=10$ ,每个频率选择表面单元的结构如图2所示。

[0027] 参照图2,频率选择表面单元包含介质板2、上金属贴片1、下金属贴片3、金属通孔4和连接相邻单元的金属连接线5;上金属贴片1和下金属贴片3分别印制在介质板2的上表面和下表面,每个金属贴片均由排布在介质板2表面的四条金属条带组成;该介质板2采用边长 $p=6\text{mm}\sim 9\text{mm}$ ,高度 $h=0.17\text{mm}\sim 3.5\text{mm}$ ,介电常数 $\epsilon=2.2\sim 4.4$ 的正方形板材,本实例取但不限于 $p=8.2\text{mm},h=0.17\text{mm},\epsilon=4.4$ 。

[0028] 参照图3和图4,所述上金属贴片1由第一上金属条带11、第二上金属条带12、第三上金属条带13和第四上金属条带14排布在介质板2的上表面组成;下金属贴片3由第一下金属条带31、第二下金属条带32、第三下金属条带33和第四下金属条带34排布在介质板2的下表面组成;所述金属通孔4设为两个,即第一金属通孔41和第二金属通孔42;所述金属条带的排布方式如下:

[0029] 上金属贴片1的第一上金属条带11以单元上表面右上顶点为起点,第二上金属条带12以单元上表面左上顶点为起点,这两条金属条带11和12相互曲折嵌套,在单元上表面的右上三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,形成单元上表面结构的右上三角区域;第三上金属条带13以单元上表面左下顶点为起点,第四上金属条带14以单元上表面左上顶点为起点,这两条金属条带13和14相互曲折嵌套,在单元上表面的左下三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,形成单元上表面结构的左下三角区域;该右上三角区域与左下三角区域关于谐振单元的斜对角线呈对称排布,相互曲折嵌套的结构不仅增大了单元的等效电容,也增大了单元的等效电感,提高了小型化程度。

[0030] 下金属贴片3的金属条带排布方式与金属贴片1相同,即第一下金属条带31以单元下表面右上顶点为起点,第二下金属条带32以单元下表面左上顶点为起点,这两条金属条带31和32相互曲折嵌套,在单元下表面的右上三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,形成单元下表面结构的右上三角区域;第三下金属条带33以单元下表面左下顶点为起点,第四下金属条带34以单元下表面左上顶点为起点,这两条金属条带33和34相互曲折嵌套,在单元下表面的左下三角形区域内进行“蛇”形曲折排布,形成单元下表面结构的左下三角区域。

[0031] 在单元上表面和下表面的右上三角区域,第一上金属条带11和第一下金属条带31

通过第一金属通孔41进行连接,形成TE极化下的低谐振频点;第二上金属条带12和第二下金属条带32通过第一金属通孔41进行连接,形成TE极化下的高谐振频点;第一上金属条带11与第一下金属条带31的总长度为 $L_1$ ,第二上金属条带12与第二下金属条带32的总长度为 $L_2$ , $L_1$ 和 $L_2$ 数值相近但不相等,以形成TE极化下两个距离相近的高低谐振频点,实现低频数比;由于金属条带要铺满介质板的整个上表面和下表面,所以当介质板的尺寸增大或减小时,所有金属条带的长度也将随着介质板的变化而延长或缩短。

[0032] 在单元上表面和下表面的左下三角区域,第三上金属条带13和第三下金属条带33通过第二金属通孔42进行连接,形成TM极化下的低谐振频点;第四上金属条带14和第四下金属条带34通过第二金属通孔42进行连接,形成TM极化下的高谐振频点;第三上金属条带13与第三下金属条带33的总长度为 $L_3$ ,第四上金属条带14与第四下金属条带34的总长度为 $L_4$ , $L_3$ 和 $L_4$ 数值相近但不相等,以形成TM极化下两个距离相近的高低谐振频点;这里利用金属通孔连接单元上和下表面的金属曲折条带,延长了电流路径,增大了单元的等效电感,提高了小型化程度。

[0033] 所述连接相邻单元的金属连接线5设为六条,并按极化方式对其进行分组,即将TE极化时的三条连接线51、52、53分为第一组,将TM极化时的三条连接线54、55、56分为第二组;其中第一连接线51连接本单元与左相邻单元,第二连接线52连接本单元与右相邻单元,第三连接线53连接下金属贴片的第一下金属条带31与第二下金属条带32,第四连接线54连接上金属贴片的第一上金属条带13和第二上金属条带14,第五连接线55连接本单元及下相邻单元,第六连接线56连接本单元及上相邻单元。

[0034] 所有金属条带11、12、13、14、31、32、33、34的宽度 $w_1$ 均为 $0.1\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ ,两个金属通孔41、42的直径 $d$ 均为 $0.2\text{mm}\sim 0.4\text{mm}$ ,本实例取但不限于 $w_1=0.2\text{mm}$ , $d=0.2\text{mm}$ ,所有连接线的宽度 $w_2$ 与金属条的宽度 $w_1$ 相同。

[0035] 以下结合仿真试验,对本发明的技术效果作进一步说明:

[0036] 1、仿真条件和内容:

[0037] 利用商业仿真软件HFSS\_17.0对本实施例在 $0\sim 60^\circ$ 角域内,TE、TM极化波照射下的反射系数进行仿真计算,结果如图5所示,其中:

[0038] 图5(a)为本实施例在 $0\sim 60^\circ$ 角域内TE极化波照射下的反射系数图,

[0039] 图5(b)为本实施例在 $0\sim 60^\circ$ 角域内TM极化波照射下的反射系数图。

[0040] 2、仿真结果分析:

[0041] 从图5(a)可以看出,在TE极化波照射情况下,本实施例中的频率选择表面在 $0^\circ$ 入射角照射下的两个谐振频点为 $f_1=1.42\text{GHz}$ 和 $f_2=1.75\text{GHz}$ ;该频率选择表面于 $0\sim 60^\circ$ 的入射角范围内频偏不超过 $0.2\text{GHz}$ ,插损小于 $-1\text{dB}$ 。

[0042] 从图5(b)可以看出,在TM极化波照射情况下,本实施例中的频率选择表面在 $0^\circ$ 入射角照射下的两个谐振频点为 $f_3=1.42\text{GHz}$ 和 $f_4=1.75\text{GHz}$ ;该频率选择表面于 $0\sim 60^\circ$ 的入射角范围内频偏不超过 $0.3\text{GHz}$ ,插损小于 $-1\text{dB}$ ,和图5(a)所示传输性能基本一致。

[0043] 以上仿真结果说明,该双频带频率选择表面在低频段的频数比为 $f_2/f_1=1.23$ ,实现了低频数比的特性;在 $0\sim 60^\circ$ 的入射角范围内频点基本无偏移,具有良好的角度稳定性;该谐振单元在介质板的介电常数为2.2时,其电尺寸大小为0.038个谐振波长,具有良好的小型化效果;同时对于不同的极化方式,均能保持稳定的性能,具有良好的极化稳定性。

[0044] 以上描述仅是本发明的实施例,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原理后,都可能在不背离本发明原理、的情况下,进行形式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。

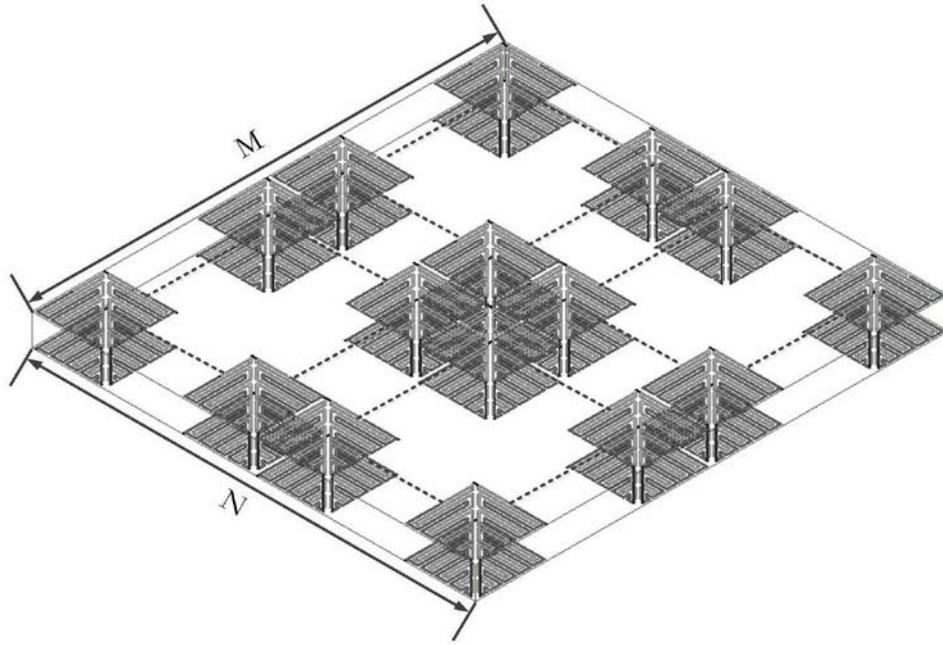


图1

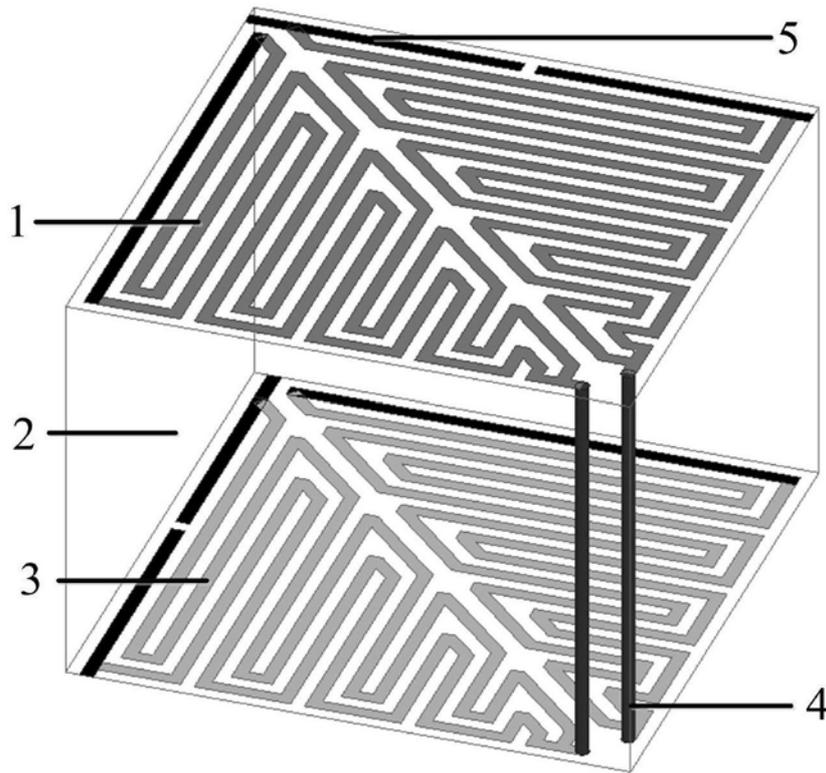


图2

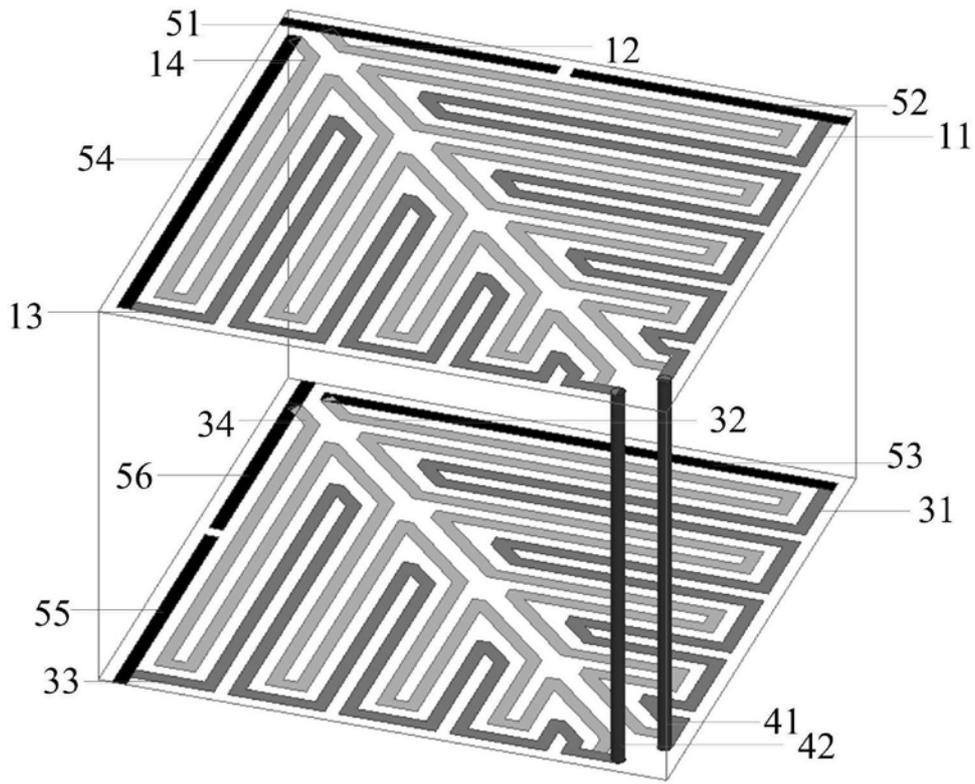


图3

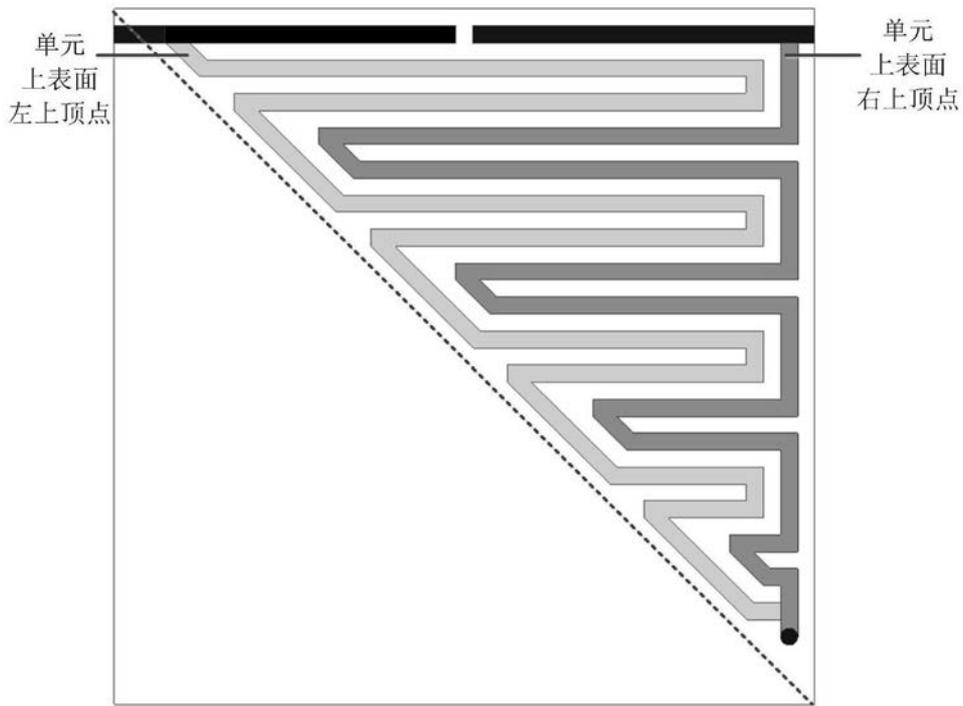
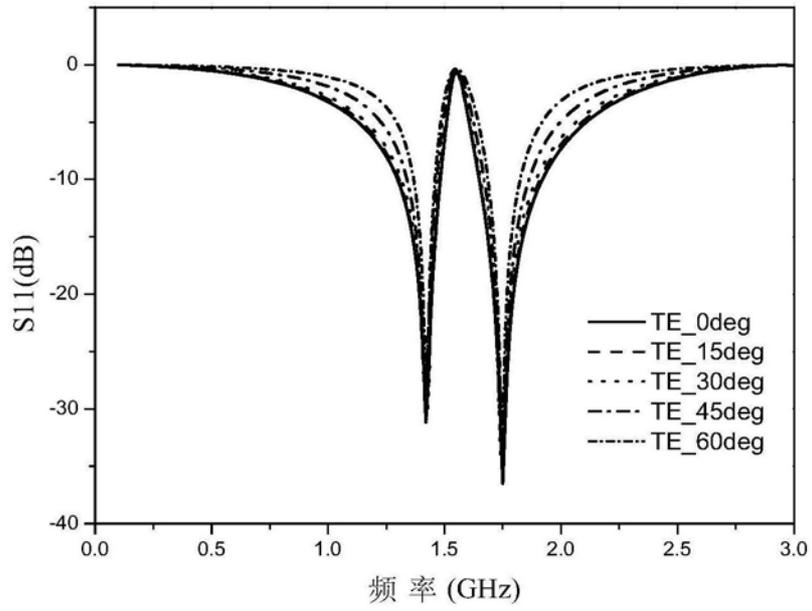
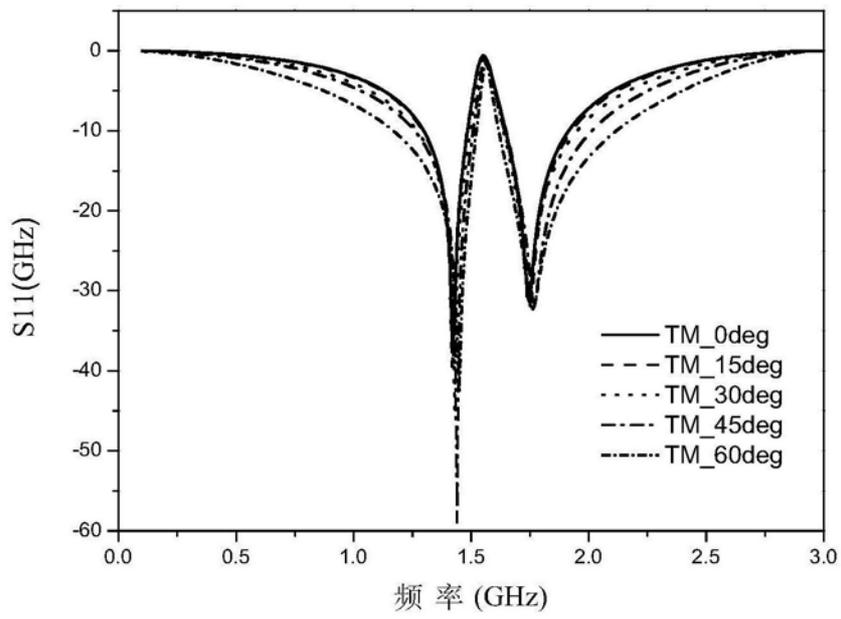


图4



(a)



(b)

图5