



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113922095 B

(45) 授权公告日 2022. 11. 29

(21) 申请号 202111098385.6

(22) 申请日 2021.09.18

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113922095 A

(43) 申请公布日 2022.01.11

(73) 专利权人 浙江大学
地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 朱恩泽 陈瑞龙 尹文言

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公司 33200

专利代理师 万尾甜 韩介梅

(51) Int. Cl.

H01Q 15/00 (2006.01)

H01Q 17/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 105493168 A, 2016.04.13

EP 1219984 A2, 2002.07.03

US 2017168327 A1, 2017.06.15

审查员 范巧音

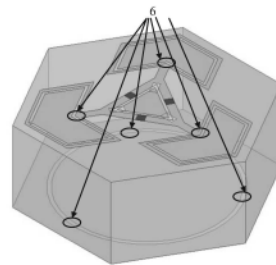
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

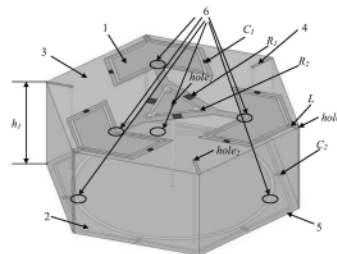
一种可调型吸透一体化共形频率选择表面

(57) 摘要

本发明公开了一种可调型吸透一体化共形频率选择表面,包括介质基板,若干频率选择表面单元周期性排布于介质基板表面,其中所述频率选择表面单元包括:选择性吸波层和选择性透波层分设于介质基板两侧表面,且在所述选择性吸波层、选择性透波层中均设置有可调PIN二极管;直流偏置电路,设于介质基板上用于调控可调PIN二极管;所述频率选择表面单元与介质基板共形。本发明的频率选择表面具有可调、可共形、角度和极化稳定、紧凑设计、宽带吸收和宽带透波等优点。其可通过设计的偏置电路调整PIN二极管通/断状态,使结构在中频透波、低频/高频吸波的性能与感兴趣的频段全部吸收的性能之间切换;其具有较好的角度稳定性和极化稳定性,可共形于圆柱面等多种共形结构上。



(a)



(b)

1. 一种可调型吸透一体化共形频率选择表面,其特征在于,包括:

介质基板,若干频率选择表面单元周期性排布于介质基板表面,其中所述频率选择表面单元采用正六边形结构,所述频率选择表面单元包括:

选择性吸波层,设置在介质基板一侧表面;所述的选择性吸波层包括:均匀分布的三个谐振环、一个三角环形贴片、一个三角形贴片及六个吸波电阻;所述的谐振环采用箭形谐振环,由箭形环形贴片及箭形贴片组成,箭形贴片置于箭形环形贴片的环内,且二者形成缝隙,三角环形贴片三个角各通过一微带线与一谐振环相连,三角形贴片置于三角环形贴片的环内,且二者形成缝隙;三个谐振环上各设有一个可调PIN二极管,六个吸波电阻中三个分别设置于三角环形贴片三条边上,且对应位置处三角环形贴片被裁去,另外三个分别设置于上述缝隙中;

选择性透波层,设置在介质基板另一侧表面;且在所述选择性吸波层、选择性透波层中均设置有可调PIN二极管;所述的选择性透波层包括金属贴片和三个可调PIN二极管,所述金属贴片覆盖介质基板一侧表面,其上开有环状缝隙,三个可调PIN二极管均匀分布于所述缝隙上;

直流偏置电路,设于介质基板上,用于调控可调PIN二极管;

所述频率选择表面单元与介质基板共形。

2. 根据权利要求1所述的可调型吸透一体化共形频率选择表面,其特征在于,所述的直流偏置电路包括:三个1/3圆形贴片、三个条形贴片、一个贴片缝隙、三类连通孔、十二个隔直电容及三个扼流电感;

三个1/3圆形贴片、三个条形贴片与选择性吸波层同侧,三个1/3圆形贴片均匀设于频率选择表面单元正六边形结构的三个角处,三个条形贴片均匀设于另三个角处;所述贴片缝隙位于选择性透波层侧,是在所述环状缝隙外侧开设的一正六边形缝隙;所述十二个隔直电容中六个均匀设置于所述贴片缝隙的六条边上,另外六个均匀分布于三个谐振环上;每个1/3圆形贴片各通过一个扼流电感与一个谐振环相连;

所述三类连通孔均开在介质基板上,其中:第一类为一个,设于介质基板中心处,用于供金属将选择性吸波层中的三角形贴片与选择性透波层中的金属贴片相连;第二类共三个,设于介质基板靠近边缘处,用于供金属将每个条形贴片的一端与选择性透波层中的金属贴片相连;第三类共三个,设于1/3圆形贴片对应位置处,与相邻的两个频率选择表面单元公用,用于供金属将每个1/3圆形贴片与选择性透波层中的金属贴片相连。

3. 根据权利要求1或2所述的可调型吸透一体化共形频率选择表面,其特征在于,所述的频率选择表面可通过直流偏置电路调控可调PIN二极管,以控制所述表面实现中频透波且低频/高频吸波或者实现对于感兴趣频段全部吸收。

一种可调型吸透一体化共形频率选择表面

技术领域

[0001] 本发明涉及天线微波技术领域,具体地,涉及一种可调型吸透一体化共形频率选择表面,该表面可实现中频透波和低频/高频吸波,或者实现对感兴趣频段全部吸收。

背景技术

[0002] 频率选择表面(FSS)作为一种由介质基板上周期性排布的金属贴片单元或孔径单元组成的一维或二维周期结构,在谐振点处能够对入射电磁波表现出透射或者强反射的频率选择特性,其特性影响雷达通信的性能。

[0003] 现有技术,中国发明专利《具有高频宽带吸波和低频透波的吸透一体化频率选择表面》(公开号:CN112821081A)公开了一种具有高频宽带吸波和低频透波的吸透一体化频率选择表面,包括顶层吸收层、中间谐振层和底层谐振层,顶层吸收层与中间谐振层之间设有第一介质基板,中间层与底层谐振层之间设有第二介质基板,每层包括多个金属贴片单元,顶层吸波层的每个单元由电阻性耶路撒冷十字结构组成;中间谐振层的每个单元由方环型金属条带、圆型金属片、方型金属条带组成,方形金属条带通过旋转对称与圆型金属片分别相连,圆型金属片呈轴对称分布;底层谐振层的每个单元由圆型金属片和方型金属条组合而成,圆型金属片和方型金属条各自分别成呈轴对称分布;顶层吸收层和第一介质基板连接;中间谐振层、第二介质基板和底层谐振层连接。

[0004] 但是,随着通信技术的发展,频率选择表面提出了有源可调、可共形等要求,现有技术尚不能满足要求。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种可调型吸透一体化共形频率选择表面。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用的技术方案如下:

[0007] 一种可调型吸透一体化共形频率选择表面,包括:介质基板,若干频率选择表面单元周期性排布于介质基板表面,所述频率选择表面单元包括:

[0008] 选择性吸波层,设置在介质基板一侧表面;

[0009] 选择性透波层,设置在介质基板另一侧表面;且在所述选择性吸波层、选择性透波层中均设置有可调PIN二极管;

[0010] 直流偏置电路,设于介质基板上,用于调控可调PIN二极管;

[0011] 所述频率选择表面单元与介质基板共形。

[0012] 优选的,所述选择性吸波层还包括微带金属贴片和吸波电阻,微带金属贴片为中心对称图形,包含有谐振环,且谐振环与吸波电阻串联。所述选择性透波层还包括具有镂空缝隙的金属贴片,所述镂空缝隙的形状尺寸用于控制透波频率。

[0013] 优选的,所述频率选择表面单元采用正六边形结构。

[0014] 所述的选择性吸波层包括:

[0015] 均匀分布的三个谐振环、一个三角环形贴片、一个三角形贴片及六个吸波电阻；三角环形贴片三个角各通过一微带线与一谐振环相连，三角形贴片置于三角环形贴片的环内，且二者形成缝隙；三个谐振环上各设有一个可调PIN二极管，六个吸波电阻中三个分别设置于三角环形贴片三条边上，且对应位置处三角环形贴片被裁去，另外三个分别设置于上述缝隙中。

[0016] 所述的选择性透波层包括金属贴片和三个可调PIN二极管，所述金属贴片覆盖介质基板一侧表面，其上开有环状缝隙，三个可调PIN二极管均匀分布于所述缝隙上。

[0017] 所述的直流偏置电路包括：三个1/3圆形贴片、三个条形贴片、一个贴片缝隙、三类连通孔、十二个隔直电容及三个扼流电感；

[0018] 三个1/3圆形贴片、三个条形贴片与选择性吸波层同侧，三个1/3圆形贴片均匀设于频率选择表面单元正六边形结构的三个角处，三个条形贴片均匀设于另三个角处；所述贴片缝隙位于选择性透波层侧，是在所述环状缝隙外侧开设的一正六边形缝隙；所述十二个隔直电容中六个均匀设置于所述贴片缝隙的六条边上，另外六个均匀分布于三个谐振环上；每个1/3圆形贴片各通过一个扼流电感与一个谐振环相连；

[0019] 所述三类连通孔均开在介质基板上，其中：第一类为一个，设于介质基板中心处，用于供金属将选择性吸波层中的三角形贴片与选择性透波层中的金属贴片相连；第二类共三个，设于介质基板靠近边缘处，用于供金属将每个条形贴片的一端与选择性透波层中的金属贴片相连；第三类共三个，设于1/3圆形贴片对应位置处，与相邻的两个频率选择表面单元公用，用于供金属将每个1/3圆形贴片与选择性透波层中的金属贴片相连。

[0020] 更为优选的，所述的谐振环采用箭形谐振环。

[0021] 与现有技术相比，本发明具有如下的有益效果：本发明的吸透一体化频率选择表面具有可调、可共形、角度和极化稳定、紧凑设计、宽带吸收和宽带透波等优点。其可通过设计的偏置电路调整PIN二极管通/断状态，使结构在中频透波、低频/高频吸波的性能与感兴趣的频段全部吸收的性能之间切换；其具有较好的角度稳定性和极化稳定性，可共形于圆柱面等多种共形结构上；如本发明实例中的频率选择表面设计的工作频率为1-10GHz，透波频率为5.3-6.5GHz。

附图说明

[0022] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述，本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显。

[0023] 图1为本发明提供的可调型吸透一体化共形频率选择表面的单元结构图，其中图1(a)为未加入直流偏置的频率选择表面单元原型，图1(b)为加入直流偏置的频率选择表面单元结构；

[0024] 图2为本发明提供的可调型吸透一体化共形频率选择表面的单元平面结构图，其中图2(a)为单元上层平面结构，图2(b)为单元底层平面结构；

[0025] 图3为本发明提供的未加入直流偏置的频率选择表面单元的端口的传输/反射系数与能量吸收率曲线，其中图3(a)和(b)为不同极化下PIN管分别在断开/导通情况下的传输和反射系数，图3(c)和(d)为不同极化下PIN管分别在断开/导通情况下的能量吸收率，图3(e)和(f)为PIN管断开情况下结构分别在TE/TM波入射下的角度稳定性分析；

[0026] 图4为本发明提供的加入直流偏置设计的频率选择表面单元的第一端口和第二端口的传输/反射系数与能量吸收率曲线,其中图4(a)和(b)为不同极化下PIN管分别在断开/导通情况下的传输和反射系数,图4(c)和(d)为不同极化下PIN管分别在断开/导通情况下的能量吸收率,图4(e)和(f)为PIN管断开情况下结构分别在TE/TM波入射下的角度稳定性分析;

[0027] 图5为本发明提供的可调型吸透一体化共形频率选择表面整体结构(图5(a))与传输/反射系数,其中图5(b)为圆柱共形半径为150mm时的传输/反射系数,图5(c)为圆柱共形半径为200mm时的传输/反射系数。

[0028] 图中:

[0029]	选择性吸波层 1 选择性透波层 2 介质基板 3 直流正压偏置加载点 4 直流接地加载点 5 PIN 二极管 6 微波发射端口 7 微波接收端口 8	共形频率选择表面单元 9 共形频率选择表面介质 10 吸波电阻 $R1$ 、 $R2$ 隔直电容 $C1$ 、 $C2$ 扼流电感 L 第一类连通孔 $hole1$ 第二类连通孔 $hole2$ 第三类连通孔 $hole3$
--------	---	---

具体实施方式

[0030] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0031] 如图5(a)所示,本发明提供可调型吸透一体化共形频率选择表面的一种具体结构示意图,其可实现中频透波和低频/高频吸波,可用于1-10GHz无线通信频段,也可优化设计,覆盖其他特定的频段。

[0032] 在图示实例中,所述频率选择表面包括:共形频率选择表面单元9以及共形频率选择表面介质基板10;频率选择表面单元呈周期性排布于介质基板表面,其中为使频率选择表面设计更加紧凑,并提高其稳定性,频率选择表面单元采用正六边形结构。具体结构如图1、2所示。

[0033] 频率选择表面包括介质基板3、上表面的选择性吸波层1、下表面的选择性透波层、与直流偏置电路;在所述选择性吸波层、选择性透波层中均设置有可调PIN二极管,直流偏置电路包括直流正压偏置加载点4和直流接地加载点5,用于调控可调PIN二极管。

[0034] 所述选择性吸波层结构中心对称,所述选择性吸波层由微带金属贴片、吸波电阻和可调PIN二极管构成,其中:

[0035] 微带金属贴片包括三个箭形谐振环、一个三角环形贴片、一个三角形贴片,三个箭

形谐振环两两互呈 120° 放置；三角环形贴片位于选择性吸波层中央，且三个角与三个箭形谐振环分别通过微带线相连；所述三角形贴片设置在所述三角环形贴片的环内，且二者形成缝隙。吸波电阻共六个，其中三个吸波电阻放置在所述三角环形贴片的三条边的中央，且所述三角形贴片对应位置被裁剪去掉；另外三个放置在所述三角形贴片和所述三角环形贴片的间隙上，并呈 120° 角度关系；所述可调PIN二极管包含三个，分别位于所述三个箭形谐振环的间隙上。

[0036] 所述选择性透波层由微带金属贴片和可调PIN二极管构成，其中：所述微带金属贴片形状为正六边形裁剪掉一个圆环缝隙。所述可调PIN二极管包含三个，位于所述圆环缝隙上，并呈 120° 角度分布。

[0037] 在上述实例中，为实现频率选择性，在选择性吸波层上通过箭形的谐振环实现LC谐振回路，并通过三角环形贴片两两相连；在选择性透波层上通过环形缝隙控制透波频率。

[0038] 为实现吸收性，在选择性吸波层，在三角环形贴片三条边的中心点截断并加入吸波电阻R1；为提高高频段的吸波效率，在三角环形贴片的中央再加入三角形贴片，并在三角形贴片顶角位置与三角形环形贴片之间加载吸波电阻R2。

[0039] 为实现可调性，在图1(a)、(b)中6所示位置加载PIN二极管。

[0040] 为实现在紧凑设计中确保PIN二极管两边的电压差，确保其能导通，设置直流偏置电路，且在介质基板上开有三类连通孔：一个第一类hole1、三个第二类hole2、三个第三类hole3，通过金属及第一类连通孔hole1将吸波层中三角形贴片与透波层贴片相连；直流偏置电路与选择性吸波层、选择性透波层、介质基板共形，额外包括金属贴片、贴片缝隙、隔直电容和扼流电感；其中金属贴片包括：三个 $1/3$ 圆形贴片，三个 $1/3$ 圆形贴片位于所述选择性吸波层离所述三个箭形谐振环相对较近的三个顶角，每个 $1/3$ 圆形贴片通过金属及第三类连通孔hole3与透波层贴片相连；三个条形贴片，三个条形贴片位于所述选择性吸波层边缘，各条形贴片通过金属及第二类连通孔hole2与透波层贴片相连。贴片缝隙形状为正六边形环，位于所述选择性透波层，所述贴片缝隙比所述圆环缝隙直径略大。隔直电容有十二个，其中六个所述隔直电容C1位于所述选择性吸波层，位于所述箭形谐振环两臂中央；另外六个所述隔直电容C2位于所述选择性透波层均布于所述贴片缝隙之间。扼流电感(L)有三个，位于所述选择性吸波层，三个扼流电感分别架在所述三个 $1/3$ 圆形贴片和所述三个箭形谐振环之间。

[0041] 具体地，结合图2，上述天线阵列单元结构尺寸可以如下： d 为频率选择表面单元的边长尺寸； d_2 为三角环形贴片外边长尺寸； d_3 为三角形贴片边长； h_1 为介质基板的厚度； L_1 和 L_2 分别为箭形谐振环的长与宽； L_3 为直流偏置中所述长方形贴片的长度； gap_1 为箭形谐振环距所述频率选择表面单元边缘的距离； gap_2 、 gap_4 、 gap_5 分别为箭形谐振环的缝隙宽度； gap_3 为选择性透波层中圆环缝隙的宽度； gap_6 为直流偏置电路中贴片缝隙外径距离频率选择表面单元边缘的距离； gap_d 为直流偏置电路中所述贴片缝隙内径距离频率选择表面单元顶点的距离； w_1 为箭形谐振环中连接线的宽度； w_2 为微带线(三角环形贴片边长)的宽度； w_d 为所述箭形谐振环两臂的宽度； s_1 为选择性透波层中所述圆环缝隙外径的半径，具体尺寸如下：

[0042] $d=9\text{mm}$ ， $d_2=3.6\text{mm}$ ， $d_3=2\text{mm}$ ， $h_1=6.5\text{mm}$ ， $L_1=6.8\text{mm}$ ， $L_2=3.6\text{mm}$ ， $L_3=1.9\text{mm}$ ， $gap_1=0.45\text{mm}$ ， $gap_2=0.2\text{mm}$ ， $gap_3=0.3\text{mm}$ ， $gap_4=0.2\text{mm}$ ， $gap_5=0.2\text{mm}$ ， $gap_6=0.43\text{mm}$ ， $gap_d=$

0.7mm, $w_1=0.2\text{mm}$, $w_2=0.6\text{mm}$, $w_d=0.3\text{mm}$, $s_1=6.9\text{mm}$ 。

[0043] 在本实施例中,两种吸波电阻的值 $R_1=R_2=360\ \Omega$;两种隔直电容的值为 $C_1=C_2=3.2\text{pF}$,谐振频率为6GHz;扼流电感的值为 $L=27\text{nH}$,谐振频率为2.9GHz;开关PIN二极管导通时可视为 $3.2\ \Omega$ 的小电阻,断开时等效为最大等效电容为0.025pF的电容。

[0044] 在本实施例中,介质基板采用厚度为6.5mm的F4B,介电常数2.2,损耗角正切0.001。

[0045] 未加入直流偏置的频率选择表面单元的端口的传输/反射系数与能量吸收率曲线如图3所示。由图可知,在PIN管断开情况下,传输系数在-1dB以上的通带频率大概在5.3-6.5GHz左右,反射系数在2.8-9GHz一直处于较低水平。具体地,频率在6GHz附近具有较低的能量吸收率,频率在3-5GHz左右和7.8-9GHz的能量吸收率在80%左右;而在其他频带能量吸收率也维持在较高水平,反射系数一般小于-10dB。如图3(e)、(f)所示,该单元结构具有在0-40°良好的角度稳定性,其透波带的中心频点基本不发生改变,其频带仅有较小的改变。在PIN管导通情况下,结构的传输系数和反射系数都维持在较低的水平,尤其是在原来通带处,其能量吸收率在80%以上。

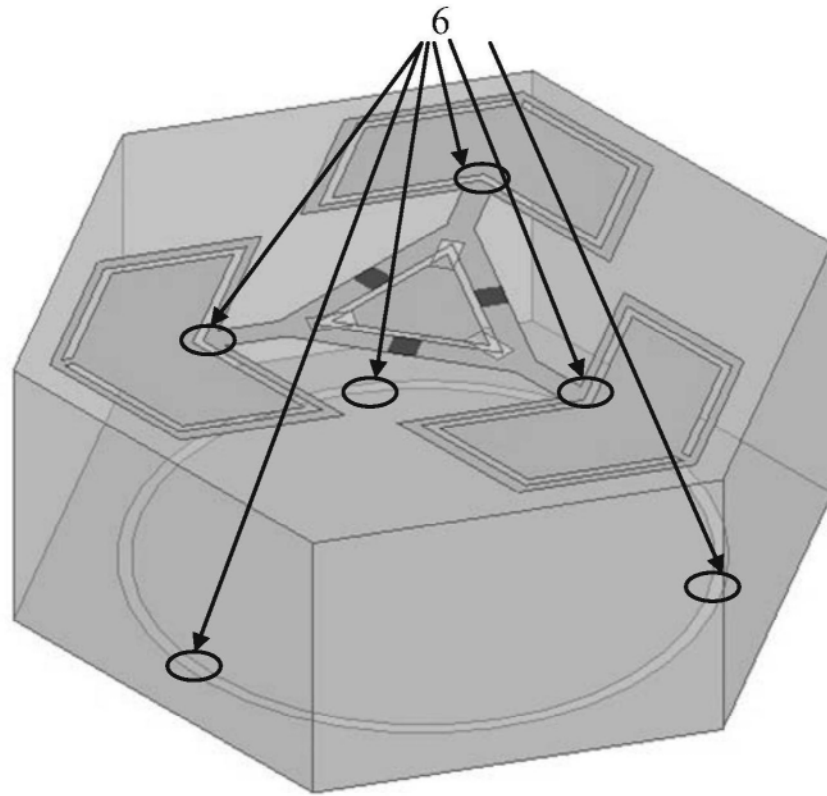
[0046] 加入直流偏置的频率选择表面单元的端口的传输/反射系数与能量吸收率曲线如图4所示。结果与图3未加入直流偏置进行对比,无论是TE还是TM波入射,无论是PIN二极管导通还是断开,其传输/反射系数与能量吸收率曲线除了计算时产生的毛刺外,都基本保持不变。与很多现有的工作相比,实现了良好极化稳定性和性能稳定性。同时,该结构给出了PIN二极管断开情况下不同极化波入射的角度稳定性分析如图4(e)、(f)所示,结果与图3(e)、(f),展示了较好的稳定性:仅在TE波入射下入射角为40°时,透波带的传输系数出现了少于1dB的衰减。

[0047] 在图5(a)中给出了中频透波和低频/高频吸波的可调型吸透一体化共形频率选择表面的整体结构,其 12×12 个单元构成(可以调整单元数量以适应不同情况下的需求)。结构通过弯曲,弯曲成半径为R的圆柱面部分,实现共形。当然也可以通过其他方式进行共形,例如与正六面形适应度较好的球形等其他结构;频率选择表面的共形的稳定性通过频率选择单元的角度稳定性保证,因此不同的共形形状属于本发明的保护范围。图中7为微波发射端口,8为微波接收端口。

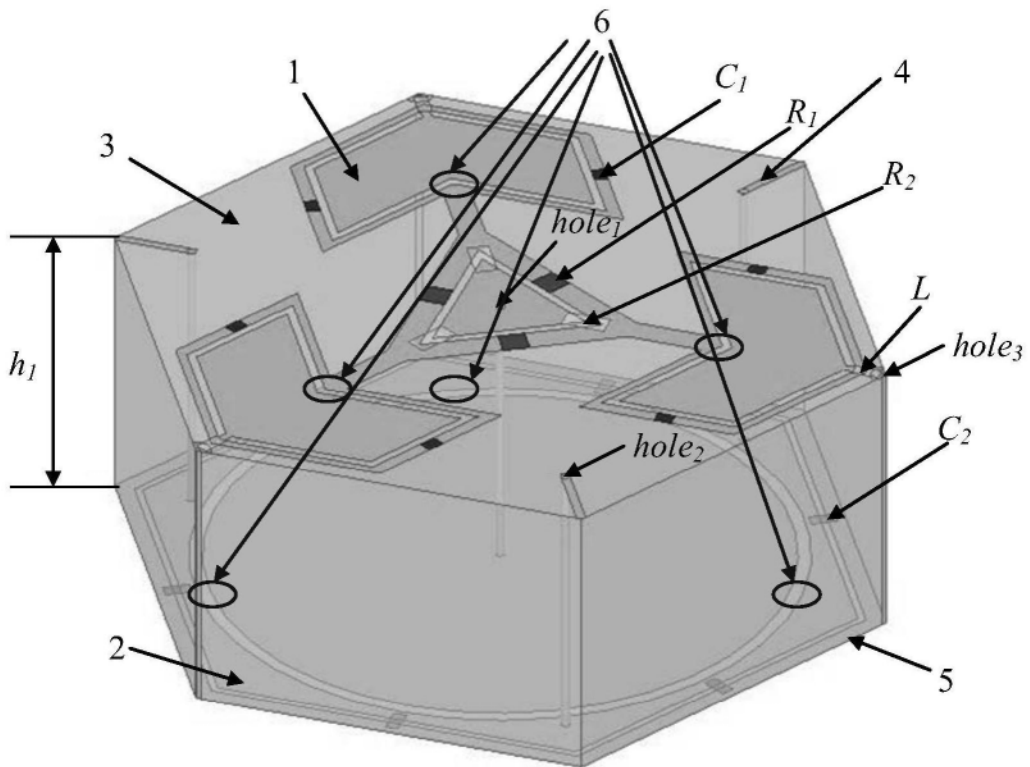
[0048] 图5(b)和(c)分别给出了R分别为150mm和200mm时共形频率选择表面两种不同模式的传播/反射系数,能够发现其具有和单元仿真时相近的性能,说明了其共形的可行性。

[0049] 在本申请的描述中,需要理解的是,术语指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本申请和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本申请的限制。

[0050] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变化或修改,这并不影响本发明的实质内容。在不冲突的情况下,本申请的实施例和实施例中的特征可以任意相互组合。

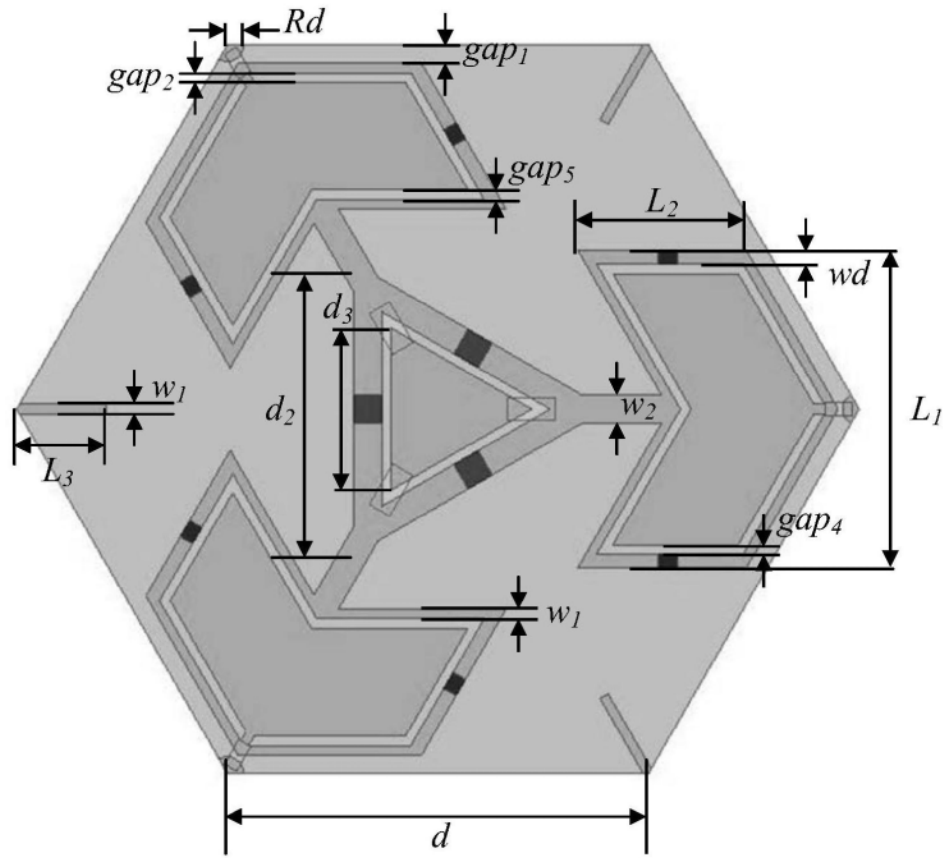


(a)

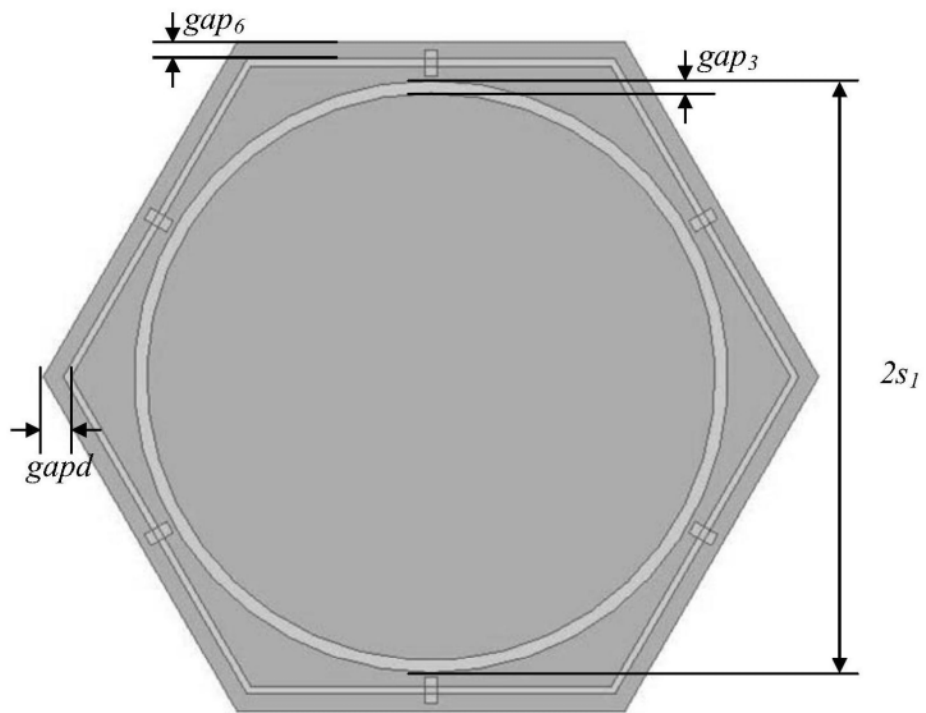


(b)

图1



(a)



(b)

图2

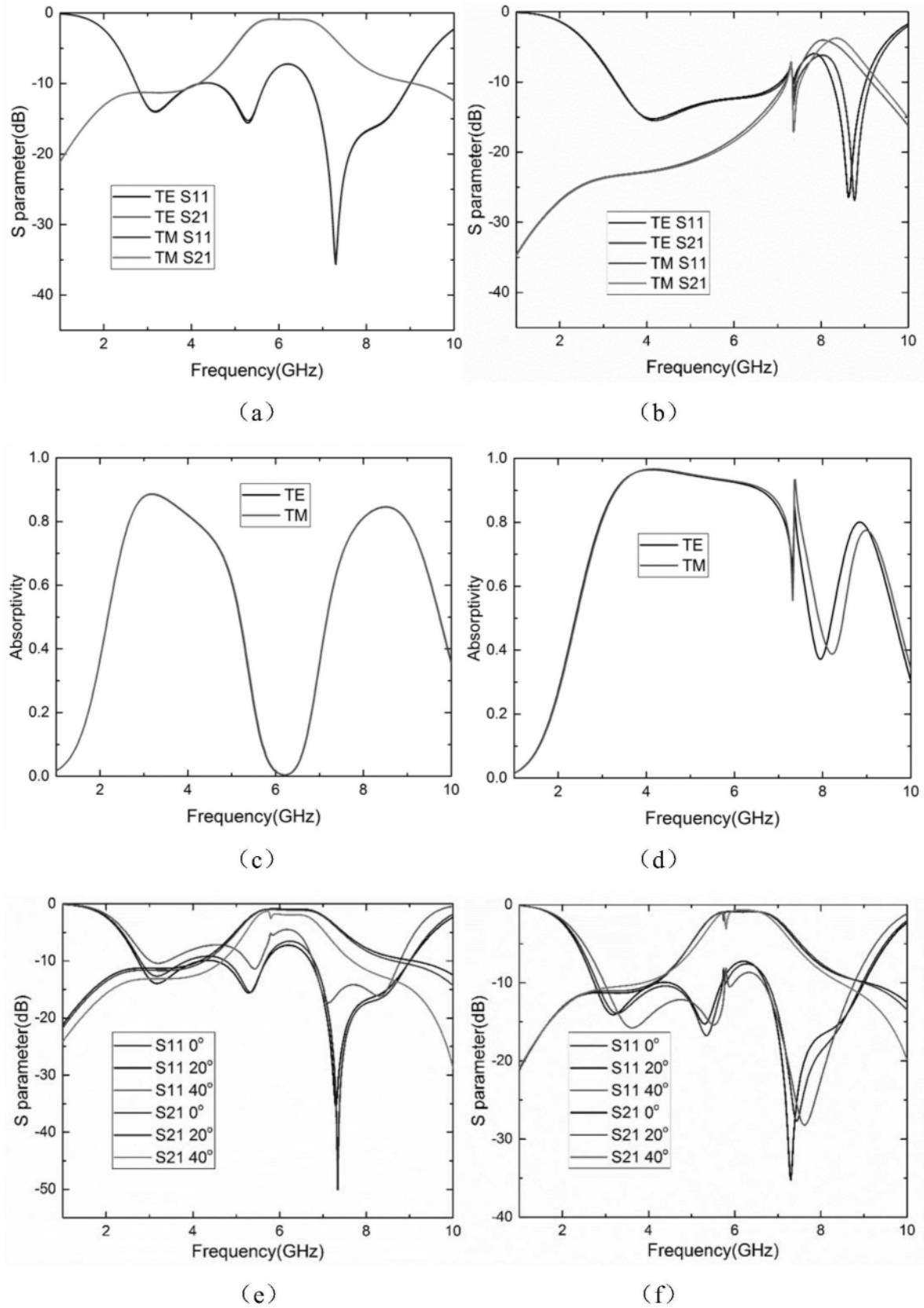


图3

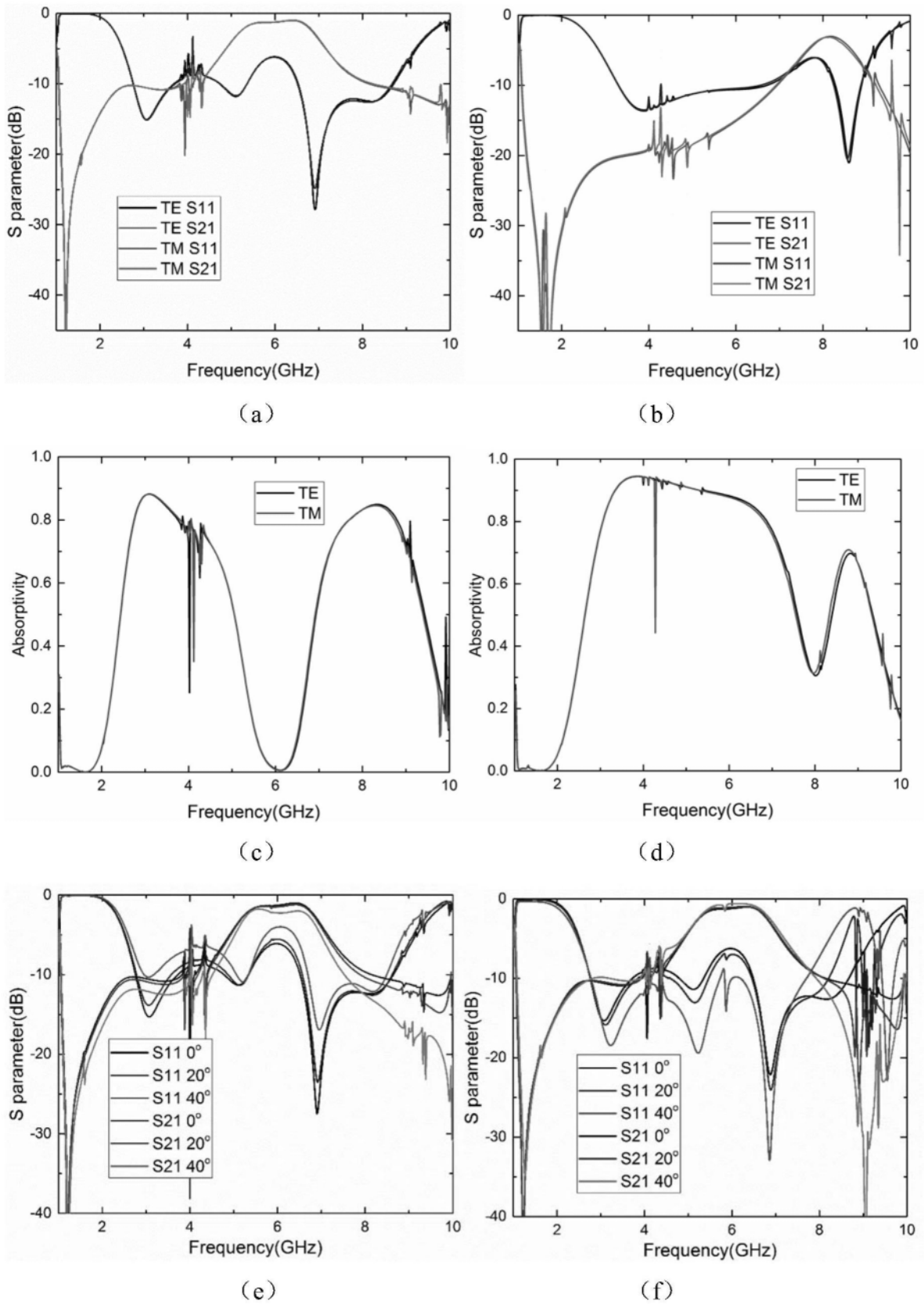
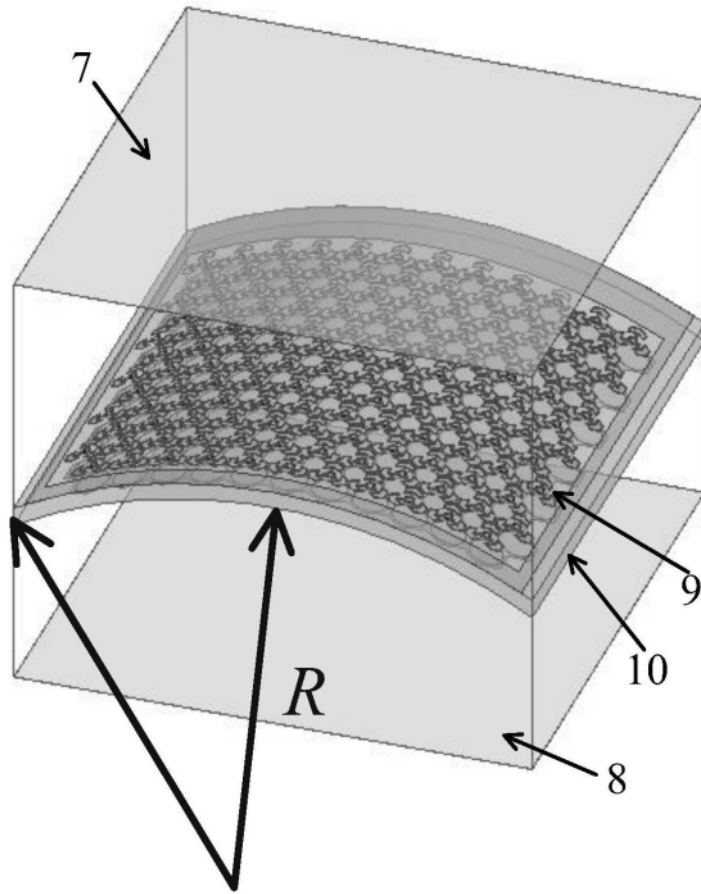
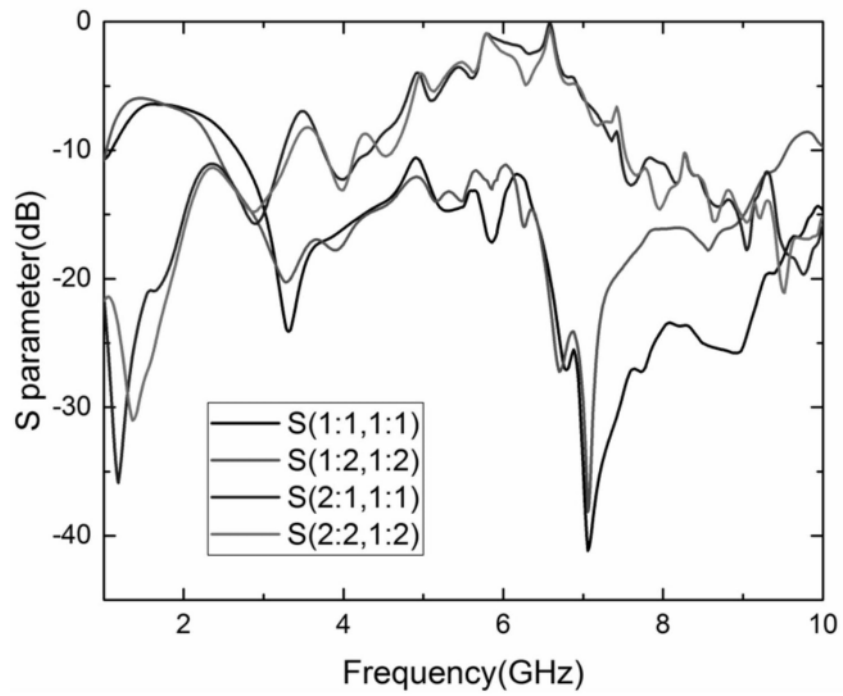


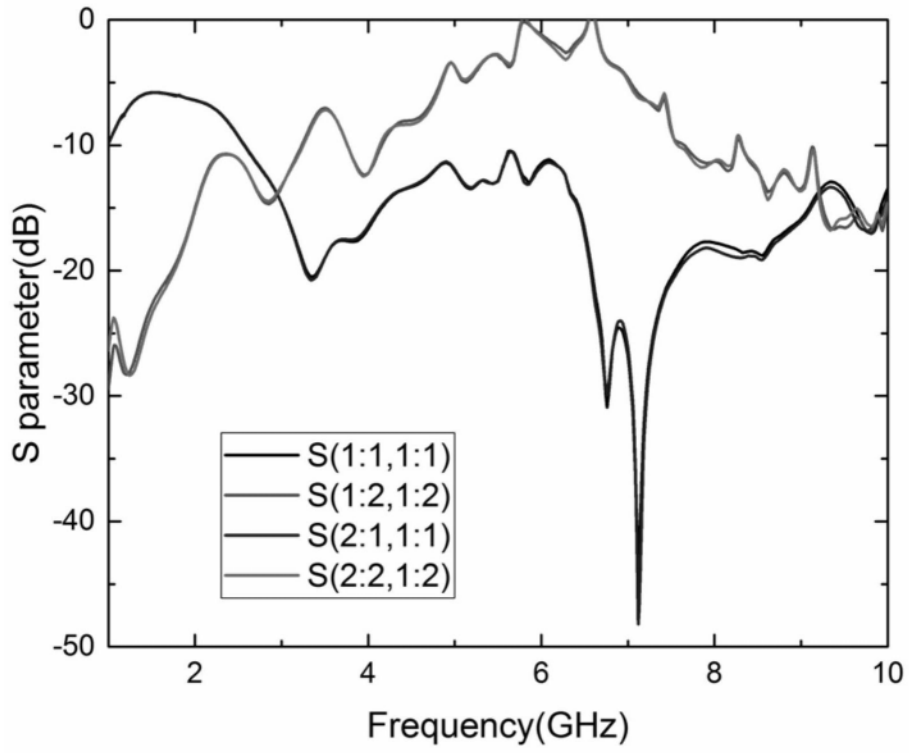
图4



(a)



(b)



(c)

图5