



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113488767 B

(45) 授权公告日 2022.01.18

(21) 申请号 202111038615.X

CN 106953168 A, 2017.07.14

(22) 申请日 2021.09.06

CN 109494488 A, 2019.03.19

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113488767 A

Yixue Gu et al..High Gain Wideband Planar Aperture Antenna Array for 5G Millimeter-Wave Applications.《2021 IEEE 4th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)》.2021,第710-713页.

(43) 申请公布日 2021.10.08

Jiajia Guo et al..Planar Aperture Antenna With High Gain and High Aperture Efficiency for 60-GHz Applications.《IEEE Transactions on Antennas and Propagation》.2017,第6262-6273页.

(73) 专利权人 华南理工大学  
地址 510640 广东省广州市天河区五山路381号

Jiangfeng Zhu et al..mm-Wave\_High\_Gain\_Cavity-Backed\_Aperture-Coupled\_Patch\_Antenna\_Array.《IEEE access》.2018,第44050-44058页.

(72) 发明人 廖绍伟 古奕雪 薛泉 车文荃

Fengchao Ren et al..Polarization-Adjustable Planar Array Antenna With SIW-Fed High-Order-Mode Microstrip Patch.《IEEE Transactions on Antennas and Propagation》.2017,第6167-6172页.

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍 江裕强

审查员 张露

(51) Int.Cl.

H01Q 1/38 (2006.01)

H01Q 1/48 (2006.01)

H01Q 21/06 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图10页

(56) 对比文件

CN 103825089 A, 2014.05.28

CN 107196049 A, 2017.09.22

CN 109037930 A, 2018.12.18

CN 110518351 A, 2019.11.29

US 2018205134 A1, 2018.07.19

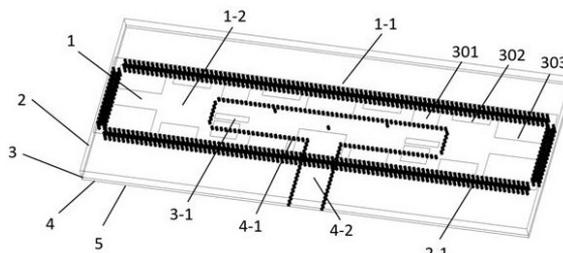
(54) 发明名称

一种毫米波高增益平面口径天线及天线阵列

合到第一辐射结构,电磁能量沿着十字型金属贴片向最上层金属贴片两边传输和辐射,在第一腔体与十字型金属贴片之间产生同相的电场。本发明可以纠正口径电场、使得电场分布更加均匀,提高增益。

(57) 摘要

本发明公开了一种毫米波高增益平面口径天线及天线阵列。所述天线从上至下包括最上层金属贴片、第一介质板、中间层金属地、第二介质板和底层金属地;其中,最上层金属贴片包括十字型金属贴片和金属带;第一介质板中设有多个穿过第一介质板的第一金属化过孔;金属带和第一金属化过孔构成第一腔体,第一腔体和十字型金属贴片构成第一辐射结构;第二介质板中设置一路分二路的功分器;电磁能量在第二介质板的一路分二路的功分器传输,通过中间层金属地耦



CN 113488767 B

1. 一种毫米波高增益平面口径天线阵列,其特征在于,毫米波高增益平面口径天线从上至下包括最上层金属贴片(1)、第一介质板(2)、中间层金属地(3)、第二介质板(4)和底层金属地(5);

其中,第二介质板(4)中设置一路分二路的功分器(4-2),第二介质板(4)、中间层金属地(3)和底层金属地(5)构成第一馈电结构;第二介质板(4)中,设置有多个第二金属化过孔(4-1),第二金属化过孔(4-1)围成整体为三个基片集成波导(SIW)组成的‘T’形状的一路分二路的功分器(4-2);三个基片集成波导(SIW)包括一个纵向的基片集成波导(SIW)和两个横向的基片集成波导(SIW),一路分二路的功分器(4-2)关于第二介质板(4)中心左右方向对称;

电磁能量在第二介质板(4)的一路分二路的功分器(4-2)传输,先从中心沿着一路纵向的基片集成波导(SIW)馈入,再从中间分成2路横向的基片集成波导(SIW)传输到左右两边的中心,通过中间层金属地(3)的缝隙(3-1)电磁能量耦合到第一介质板(2)和最上层金属贴片(1);

中间层金属地(3)中开有两个缝隙(3-1),通过缝隙(3-1)将电磁能量耦合到第一介质板(2),在第一介质板(2)中产生周期性的反相和同相交替的电场;缝隙(3-1)的长度为传输的电磁能量的工作频率的中心频率的半个波长;将中间层金属地(3)的长边延伸方向定义为左右方向,宽边延伸方向定义为前后方向,中间层金属地(3)关于中心线左右对称;两个缝隙(3-1)位于前后方向的中心,关于中间层金属地(3)的中心左右方向对称;左右两个缝隙(3-1)的中心点分别与中间层金属地(3)左、右边缘的距离为中间层金属地(3)长边的1/4,左右两个缝隙(3-1)的中心点之间的间距为中间层金属地(3)长边的1/2;

电磁能量在第二介质板(4)的一路分二路的功分器(4-2)传输,通过中间层金属地(3)的缝隙(3-1)耦合到第一介质板(2),电磁能量沿着十字型金属贴片(1-2)传输和辐射;

第一介质板(2)的厚度约1/4介质波长;

其中,最上层金属贴片(1)包括十字型金属贴片(1-2)、3种尺寸的矩形槽和金属带(1-1);

金属带(1-1)包围十字型金属贴片(1-2),第一介质板(2)中设有多个穿过第一介质板(2)的第一金属化过孔(2-1),第一金属化过孔(2-1)设置有2排,位于金属带(1-1)的下方并沿着金属带(1-1)遍布一周,内圈第一排紧贴金属带(1-1)内侧边缘露出一部分,外圈第二排紧贴金属带(1-1)内外侧边缘;金属带(1-1)和第一金属化过孔(2-1)构成第一腔体,可以汇聚电磁场和提高增益;

最上层金属贴片(1)的十字型金属贴片由大的规则的矩形贴片挖去若干个长度由小到大的第一矩形槽(301)、第二矩形槽(302)、第三矩形槽(303),矩形槽内只保留同相的电场,在电场反相的位置通过十字型金属贴片(1-2)屏蔽;最上层金属贴片(1)从左至右依次分布有一对位于左侧的第三矩形槽(303)、一对位于左侧的第二矩形槽(302)、一对位于左侧的第一矩形槽(301)、一对位于中部左侧的第二矩形槽(302)、一对位于中部的共用的第三矩形槽(303)、一对位于中部右侧的第二矩形槽(302)、一对位于右侧的第一矩形槽(301)、一对位于右侧的第二矩形槽(302)、一对位于右侧的第三矩形槽(303),其中每个缝隙(3-1)位于一对第一矩形槽(301)的中间;

所述一种毫米波高增益平面口径天线阵列从上至下包括最上层金属贴片层(11)、第一

介质板层(12)、中间层金属地层(13)、第二介质板层(14)和底层金属地层(15)；

第二腔体包括第一介质板层(12)中的第一金属化过孔(2-1)和最上层金属贴片层(11)中的金属带(1-1)；第二辐射结构包括第二腔体和最上层金属贴片层(11)中的十字型金属贴片(1-2)和矩形槽；

第二介质板层(14)中设置SIW功分器(14-1)，中间层金属地层(13)、第二介质板层(14)和底层金属地层(15)构成第二馈电结构；

电磁能量在SIW功分器(14-1)中传输，通过中间层金属地层(13)耦合到第二辐射结构，电磁能量沿着十字型金属贴片(1-2)由最上层金属贴片层(11)传输和辐射，在第二腔体与十字型金属贴片(1-2)之间矩形槽产生同相的电场和可调节控制的电场幅度分布，实现高增益；

最上层金属贴片层(11)由8个最上层金属贴片(1)以2\*4阵列排列组合得到；第一介质板层(12)由8个第一介质板(2)以2\*4阵列排列组合得到；中间层金属地层(13)由8个中间层金属地(3)以2\*4阵列排列组合得到；底层金属地层(15)由8个底层金属地(5)以2\*4阵列排列组合得到；

第二介质板层(14)中，设置有8个一路分二路的功分器(4-2)，8个一路分二路的功分器(4-2)分别关于对应的第二介质板(4)中心左右方向对称，8个一路分二路的功分器(4-2)多个第二金属化过孔(4-1)连接，构成一分十六的SIW功分器(14-1)；整个SIW功分器(14-1)结构以第二介质板层(14)中心为基点向后偏移距离 $f_x$ 。

## 一种毫米波高增益平面口径天线及天线阵列

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电子通信技术的天线领域,提供一种毫米波高增益平面口径天线及天线阵列。

### 背景技术

[0002] 当下高增益天线主要采用贴片天线阵列、波导缝隙天线阵列和栅格天线等形式来实现。

[0003] (1)背腔贴片天线阵列:传统的贴片阵列天线Q值高、带宽较窄,采用背腔的贴片天线可以改善带宽和提高增益。文章(Y. Li and K. M. Luk, “A low-cost high gain substrate integrated waveguide fed patch antenna array for 60-GHz applications,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 62, no. 11, pp. 5531-5538, Nov. 2014.)提出了一种基片集成波导(SIW)馈电的贴片天线阵列,采用具有宽带T形结和宽带高增益背腔式贴片天线的单层SIW馈电网络,可同时实现高增益和宽带性能,采用有多层PCB结构,最后堆叠固定,实现了 $4 \times 4$ 单元仿真和测量阻抗带宽27.5%和22.6%以及19.6 dBi的增益。但是,背腔贴片天线阵列的缺点是采用6层PCB结构,层数较多、结构较复杂、不易于封装集成。

[0004] (2)波导缝隙阵列:传统的缝隙阵列由波导或衬底集成波导(SIW)串联馈电,带宽有限,文章(S. Liao, P. Chen, P. Wu, K. M. Shum, and Q. Xue, “Substrate-integrated waveguide-based 60-GHz resonant slotted waveguide arrays with wide impedance bandwidth and high gain,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 63, no. 7, pp. 2922-2931, Jul. 2015.)使用了不同谐振频率的缝隙,并且通过沿SIW不等间距开缝隙,产生不同谐振频率的谐振缝隙,并且使不同谐振槽的激励电压的方差最小化,设计缝隙的尺寸和位置来提高阵列的阻抗带宽和增益。 $4 \times 4$ 、 $8 \times 4$ 和 $8 \times 8$ 单元的阵列,阻抗带宽分别为20.8%、22.4%及18.8%,峰值增益分别为18.3、19.9和22.8 dBi。但是,波导缝隙天线阵列的缺点是旁瓣较高,且谐振缝隙设置的优化算法比较繁琐和复杂,不适合普通应用。

[0005] (3)栅格天线阵列:作为谐振天线,当峰值增益随阵列规模增加时,增益带宽是有限的。文章(B. Zhang, D. Titz, F. Ferrero, C. Luxey, and Y. P. Zhang, “Integration of quadruple linearly-polarized microstrip grid array antennas for 60-GHz antenna-in-package applications,” IEEE Trans. Compon., Packag., Manuf. Technol., vol. 3, no. 8, pp. 1293-1300, Aug. 2013.)提出了一种带有子栅格阵列和多个馈电点的栅格阵列天线改善带宽,当相邻的子栅格阵列正交排列并且四个馈源以顺时针或逆时针 $90^\circ$ 相增量被激励时,水平和垂直电场分量可以合并为右旋或左旋圆极化无线电波以实现圆极化的栅格天线。 $4$ 个单元的栅格阵列天线-10db阻抗带宽为18.7%,峰值增益为17.7 dBi。但是,栅格天线的缺点是馈电网络较为复杂,且效率不高。

## 发明内容

[0006] 为了克服现有技术存在的上述不足,本发明提供一种毫米波高增益平面口径天线及天线阵列。

[0007] 本发明的目的至少通过如下技术方案之一实现。

[0008] 一种毫米波高增益平面口径天线,从上至下包括最上层金属贴片、第一介质板、中间层金属地、第二介质板和底层金属地;

[0009] 其中,最上层金属贴片包括十字型金属贴片和金属带,金属带包围十字型金属贴片;第一介质板中设有若干穿过第一介质板的第一金属化过孔;金属带和第一金属化过孔构成第一腔体,第一腔体和十字型金属贴片构成第一辐射结构,形成辐射的物理口径;

[0010] 第二介质板中设置一路分二路的功分器,第二介质板、中间层金属地和底层金属地构成第一馈电结构;

[0011] 电磁能量在第二介质板的一路分二路的功分器传输,通过中间层金属地耦合到第一辐射结构,电磁能量沿着十字型金属贴片向最上层金属贴片两边传输和辐射,在第一腔体与十字型金属贴片之间产生同相的电场,实现高增益。

[0012] 进一步地,中间层金属地中开有两个缝隙,通过缝隙将电磁能量耦合到第一介质板,在第一介质板中产生周期性的反相和同相交替的电场;缝隙的长度为传输的电磁能量的工作频率的中心频率的半个波长;

[0013] 将中间层金属地的长边延伸方向定义为左右方向,宽边延伸方向定义为前后方向,中间层金属地关于中心线左右对称;两个缝隙位于前后方向的中心,关于中间层金属地的中心左右方向对称;左右两个缝隙的中心点分别与中间层金属地左、右边缘的距离为中间层金属地长边的1/4,左右两个缝隙的中心点之间的间距为中间层金属地长边的1/2。

[0014] 进一步地,第一介质板中,第一金属化过孔位于金属带的下方并沿着金属带遍布一周,第一腔体可以汇聚电磁场、提高增益。

[0015] 进一步地,最上层金属贴片上设置有若干个不同大小的矩形槽,矩形槽内只保留同相的电场,在电场反相的位置通过十字型金属贴片屏蔽。

[0016] 进一步地,第二介质板中,设置有多个第二金属化过孔,第二金属化过孔围成整体为‘T’形状的一路分二路的功分器,包括三个横截面是矩形状的基片集成波导(SIW);一路分二路的功分器关于第二介质板中心左右方向对称;三个基片集成波导(SIW)包括一个纵向的基片集成波导(SIW)和两个横向的基片集成波导(SIW);电磁能量从中心沿着一路纵向的基片集成波导(SIW)馈入,再从中间分成2路横向的基片集成波导(SIW)传输到左右两边,最后传输到功分器左右两边时通过中间层金属地的缝隙向上耦合到第一介质板。

[0017] 进一步地,2路横向的基片集成波导(SIW)不关于缝隙前后方向对称。

[0018] 进一步地,第一介质板、中间层金属地、第二介质板和底层金属地均为长方形且三者的长边长度和宽边长度分别相等。

[0019] 一种基于所述毫米波高增益平面口径天线的天线阵列,从上至下包括最上层金属贴片层、第一介质板层、中间层金属地层、第二介质板层和底层金属地层;

[0020] 第二腔体包括第一介质板层中的第一金属化过孔和最上层金属贴片层中的金属带;第二辐射结构包括第二腔体和最上层金属贴片层中的十字型金属贴片;

[0021] 第二介质板层中设置SIW功分器,中间层金属地层、第二介质板层和底层金属地层

构成第二馈电结构；

[0022] 电磁能量在SIW功分器中传输,通过中间层金属地层耦合到第二辐射结构,电磁能量沿着十字型金属贴片向最上层金属贴片层两边传输和辐射,在第二腔体与十字型金属贴片之间产生同相的电场,实现高增益。

[0023] 进一步地,最上层金属层由n个最上层金属贴片排列组合得到;第一介质板层由n个第一介质板排列组合得到;中间层金属地层由n个中间层金属地排列组合得到;底层金属地层由n个底层金属地排列组合得到。

[0024] 进一步地,第二介质板层中,第二介质板层中,设置有n个一路分二路的功分器,n个一路分二路的功分器分别关于对应的第二介质板中心左右方向对称,n个一路分二路的功分器多个第二金属化过孔连接,构成SIW功分器。

[0025] 相比与现有技术,本发明的优点在于:

[0026] 首先,在现有的研究方案中,本发明的剖面低和增益存在明显的优势。传统的高增益口径类天线例如喇叭天线、透镜天线等,通常剖面非常高、体积也比较庞大,剖面通常超过 $1\lambda_0$  ( $\lambda_0$ 为工作频率对应的波长),而本发明是平面结构的口径天线,相比传统的口径类天线,优点是剖面低,剖面仅 $0.18\lambda_0$ 。一般来说,剖面低的平面结构易于集成封装,例如贴片天线属于剖面低的平面结构,传统贴片天线一个单元的增益是6dBi,带宽也仅为2-3%。而在本发明中,在低剖面的平面结构下,天线结构易于封装集成的优点,单元和阵列都可以覆盖超过10%带宽,单元实现19dBi增益,4\*2单元的阵列即可实现26.7dBi增益。采用金属贴片加腔体的结构,一方面可以通过贴片与腔体之间的槽的满足对应高频到低频的不同尺寸的规律引入谐振点展宽带宽,另一方面还可以纠正口径电场、使得电场分布更加均匀,提高增益。

## 附图说明

[0027] 图1为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线整体三维结构示意图;

[0028] 图2为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线电场分布示意图;

[0029] 图3为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线整体结构示意图;

[0030] 图4a和图4b分别为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线俯视图和侧视图;

[0031] 图5a和图5b分别为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线的各层的拆分参数图;

[0032] 图6为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线阵列整体结构示意图;

[0033] 图7a、图7b、图7c、图7d和图7e为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线阵列各层的拆分图;

[0034] 图8为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线的S参数示意图;

[0035] 图9为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线增益图;

[0036] 图10a和图10b分别为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线E面和H面的方向图;

[0037] 图11为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线阵列S参数图;

[0038] 图12为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线阵列增益图;

[0039] 图13a和图13b分别为本发明实施例中一种毫米波高增益平面口径天线阵列E面和H面的方向图。

### 具体实施方式

[0040] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合附图并举实施例,对本发明的具体实施进行详细说明。

[0041] 实施例:

[0042] 本实施例中,一种毫米波高增益平面口径天线,采用多层电路板工艺设计的工作于26.5-29.5GHz的高增益平面口径天线作为例子,如图1所示,从上至下包括最上层金属贴片1、第一介质板2、中间层金属地3、第二介质板4和底层金属地5;

[0043] 其中,如图2所示,最上层金属贴片1包括十字型金属贴片1-2和金属带1-1,金属带1-1包围十字型金属贴片1-2;第一介质板2中设有若干穿过第一介质板2的第一金属化过孔2-1;金属带1-1和第一金属化过孔2-1构成第一腔体,第一腔体和十字型金属贴片1-2构成第一辐射结构,形成辐射的物理口径;

[0044] 第二介质板4中设置一路分二路的功分器4-2,第二介质板4、中间层金属地3和底层金属地5构成第一馈电结构;

[0045] 电磁能量在第二介质板4的一路分二路的功分器4-2传输,通过中间层金属地3耦合到第一辐射结构,电磁能量沿着十字型金属贴片1-2向最上层金属贴片1两边传输和辐射,在第一腔体与十字型金属贴片1-2之间产生同相的电场,实现高增益。

[0046] 如图3所示,中间层金属地3中开有两个缝隙3-1,通过缝隙3-1将电磁能量耦合到第一介质板2,在第一介质板2中产生周期性的反相和同相交替的电场;缝隙3-1的长度为传输的电磁能量的工作频率的中心频率的半个波长;

[0047] 将中间层金属地3的长边延伸方向定义为左右方向,宽边延伸方向定义为前后方向,中间层金属地3关于中心线左右对称;两个缝隙3-1位于前后方向的中心,关于中间层金属地3的中心左右方向对称;左右两个缝隙3-1的中心点分别与中间层金属地3左、右边缘的距离为中间层金属地3长边的1/4,左右两个缝隙3-1的中心点之间的间距为中间层金属地3长边的1/2;本实施例中,缝隙3-1的长度为 $s_y=4.42\text{mm}$ ,宽度为 $s_x=0.875\text{mm}$ 。

[0048] 本实施例中,整个第一腔体长边的长度为 $c_y=58.58\text{mm}$ ,宽边的长度为 $11.71\text{mm}$ ,金属带1-1的宽度为 $1.025\text{mm}$ ,第一介质板2中,第一金属化过孔2-1设置有2排,位于金属带1-1的下方并沿着金属带1-1遍布一周,本实施例中,第一金属化过孔2-1的高度为 $1.524\text{mm}$ ,直径为 $d=0.4\text{mm}$ ,间距为 $d_s=0.6\text{mm}$ ,第一腔体可以汇聚电磁场、提高增益。

[0049] 本实施例中,第一介质板2采用罗杰斯4003材料,第一介质板2厚度为 $1.524\text{mm}$ ,约1/4介质波长。

[0050] 如图2所示,最上层金属贴片1上设置有若干个不同大小的矩形槽,矩形槽内只保留同相的电场,在电场反相的位置通过十字型金属贴片1-2屏蔽。

[0051] 本实施例中,最上层金属贴片1分为左右两边,左右两边分别以对应的缝隙3-1为中心左右对称设置矩形槽,以缝隙3-1为中心向两边分布一共3种尺寸,包括第一矩形槽301、第二矩形槽302和第三矩形槽303;第一矩形槽301、第二矩形槽302和第三矩形槽303的长度分别对应传输的电磁能量的工作频率的高频、中频和低频的半波长;

[0052] 高频对应的第一矩形槽301位于金属带1-1与最上层金属贴片1之间,从中间到两边分布的矩形槽为第一矩形槽301、第二矩形槽302和第三矩形槽303,第一矩形槽301离边缘金属带1-1的距离为0.735mm,中频和低频对应的第二矩形槽302和第三矩形槽303分别紧靠金属带1-1下方边缘,第三矩形槽303距离缝隙3-1的位置为0.735mm,长度为 $my_3=3.410\text{mm}$ ,宽度为 $mx_3=2.389\text{mm}$ ;第二矩形槽302距离缝隙3-1的位置为 $py_2=18.476\text{mm}$ ,长度为 $my_2=4.974\text{mm}$ ,宽度为 $mx_2=1.798\text{mm}$ ;第一矩形槽301距离3-1的位置为 $py_1=25.133\text{mm}$ ,长度为 $my_1=6.264\text{mm}$ ,宽度为 $mx_1=3.581\text{mm}$ 。

[0053] 如图4a和图4b所示,第二介质板4中,设置有多个第二金属化过孔4-1,第二金属化过孔4-1围成整体为‘T’型状的一路分二路的功分器4-2,包括三个横截面是矩形状的基片集成波导(SIW);一路分二路的功分器4-2关于第二介质板4中心左右方向对称;三个基片集成波导(SIW)包括一个纵向的基片集成波导(SIW)和两个横向的基片集成波导(SIW);本实施例中,第二金属化过孔4-1的直径为 $d=0.4\text{mm}$ ,间距为 $ds=0.6\text{mm}$ ,围成的矩形宽度为4mm,电磁能量从中心沿着一路纵向的基片集成波导(SIW)馈入,再从中间分成2路横向的基片集成波导(SIW)传输到左右两边,最后传输到功分器4-2左右两边时通过中间层金属地3的缝隙3-1向上耦合到第一介质板2;

[0054] 2路横向的基片集成波导(SIW)不关于缝隙3-1前后方向对称。

[0055] 本实施例中,功分器4-2左右两边横向的基片集成波导(SIW)的末端距离对应的缝隙3-1边缘的距离为0.531mm,2路的横向的基片集成波导(SIW)关于该方向上的缝隙3-1前后方向对称,再整体‘T’型向后偏移距离 $fx=0.476\text{mm}$ ,其中距离缝隙3-1前后距离 $zx=1.679\text{mm}$ ,左右距离 $zy=2.935\text{mm}$ 的第二金属化过孔4-1可以调节匹配。

[0056] 本实施例中,第二介质板4采用罗杰斯3003材料,第二介质板4的厚度为0.508mm。

[0057] 第一介质板2、中间层金属地3、第二介质板4和底层金属地5均为长方形且三者的长边长度和宽边长度分别相等,本实施例中,三者的长边长度为 $gy=59.08\text{mm}$ ,宽边的长度为 $gx=23.7\text{mm}$ 。

[0058] 实施例2:

[0059] 一种基于所述毫米波高增益平面口径天线的天线阵列,如图5a、图5b、图6所示,从上至下包括最上层金属贴片层11、第一介质板层12、中间层金属地层13、第二介质板层14和底层金属地层15;

[0060] 第二腔体包括第一介质板层12中的第一金属化过孔2-1和最上层金属贴片层11中的金属带1-1;第二辐射结构包括第二腔体和最上层金属贴片层11中的十字型金属贴片1-2;

[0061] 第二介质板层14中设置SIW功分器14-1,中间层金属地层13、第二介质板层14和底层金属地层15构成第二馈电结构;

[0062] 电磁能量在SIW功分器14-1中传输,通过中间层金属地层13耦合到第二辐射结构,电磁能量沿着十字型金属贴片1-2向最上层金属贴片层11两边传输和辐射,在第二腔体与十字型金属贴片1-2之间产生同相的电场,实现高增益。

[0063] 本实施例中,第一介质板层12、中间层金属地层13、第二介质板层14和底层金属地层15均为长方形且三者的长边长度和宽边长度分别相等,三者的长边长度为 $Gy_2=118.16\text{mm}$ ,宽边的长度为 $Gy_2=70.86\text{mm}$ 。

[0064] 本实施例中,如图7a所示,最上层金属层11由8个最上层金属贴片1排列组合得到;如图7b所示,第一介质板层12由8个第一介质板2排列组合得到;如图7c所示,中间层金属地层13由8个中间层金属地3排列组合得到;如图7e所示,底层金属地层15由8个底层金属地5排列组合得到。

[0065] 本实施例中,如图7d所示,第二介质板层14中,第二介质板层14中,设置有8个一路分二路的功分器4-2,8个一路分二路的功分器4-2分别关于对应的第二介质板4中心左右方向对称,8个一路分二路的功分器4-2多个第二金属化过孔4-1连接,构成一分十六的SIW功分器14-1;

[0066] 其中,单个单元需要一路分二路的功分器4-2,阵列里包含8个单元,则阵列的功分器需要一路分成16路。整个SIW功分器14-1关于中心前后方向对称,整体向后偏移距离 $f_x=0.476\text{mm}$ 。如图所示,图中的虚线箭头所示表示能量传输的路线,仅以馈电端口到其中一个单元为例,能量从中心线水平出端口100馈入,到达整体的中心101处前后方向分成2路,实现从端口一分二功分器;从中心101处向前传输到整体宽边的1/4处和长边的中心处102再左右水平方向分成2路传输,实现从端口到一分四功分器;从整体宽边的1/4处和长边的中心处102继续向右传输到达整体的宽边的1/4处和长边的1/4处103再前后方向分成2路传输,实现从端口到一分八功分器;从整体的宽边的1/4处和长边的1/4处103继续向前传输到达其中一个单元的中心、整体前后宽边的1/8和宽边的1/4处104,在左右方向分成2路传输到末端耦合到缝隙3-1,实现从端口到一分十六功分器。

[0067] 首先天线阵列的一分十六的SIW功分器14-1中,前后方向每2个单元的功分器4-2先关于前后方向对称连接,即正立的‘T’和倒立的‘T’中纵向的基片集成波导(SIW)连接,整体一分十六的SIW功分器14-1中的基片集成波导(SIW)在整个一分十六传输过程中宽度是保持一致。

[0068] 图8至图12、图13a、图13b给出了天线的仿真性能。可以看到,本实施例中,毫米波高增益平面口径天线能覆盖26.2-29.5GHz的频段范围,约11.7%的相对带宽,阵列覆盖25.9-29.6GHz,约13.3%相对带宽。图9和图12是天线增益图,其中图9可以看到毫米波高增益平面口径天线峰值增益为19dBi@28.25GHz,体现了毫米波平面口径天线高增益的优点。其中图12可以看到,毫米波高增益平面口径天线阵列峰值增益为26.7dBi@28.25GHz,频带上下限分别对应的增益为25dBi@26.25GHz,25.1dBi@29.5GHz。频段内变化趋势较为缓慢,仅变化1.6dBi,体现了平面口径天线阵列高增益的优点,并且在整个工作频带内增益平稳的优点。图10a和图10b分别给出了毫米波高增益平面口径天线在27GHz、28GHz、29GHz三个频点上的E/H面方向图。可以看到,天线具有在E面和H面的方向图保持对称和辐射稳定的特点。图13a和图13b分别给出了毫米波高增益平面口径天线阵列在27GHz、28GHz、29GHz三个频点上的E/H面方向图。可以看到,天线阵列具有在E面和H面的方向图保持对称和辐射稳定的特点。

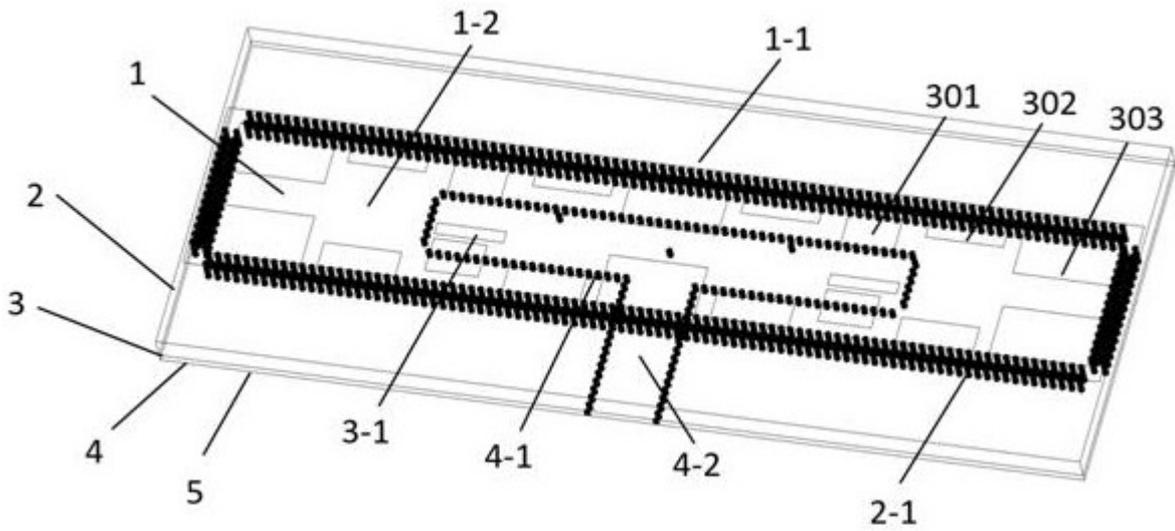


图1

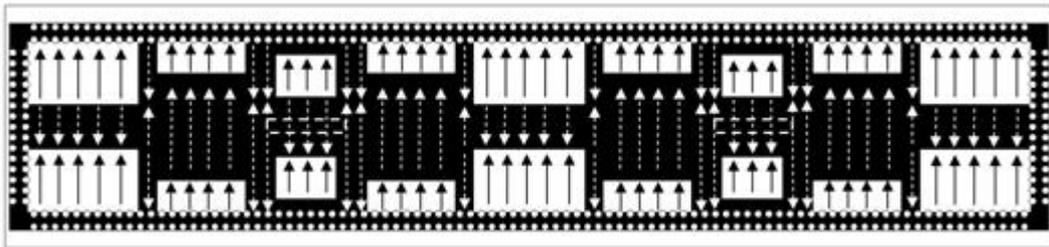


图2

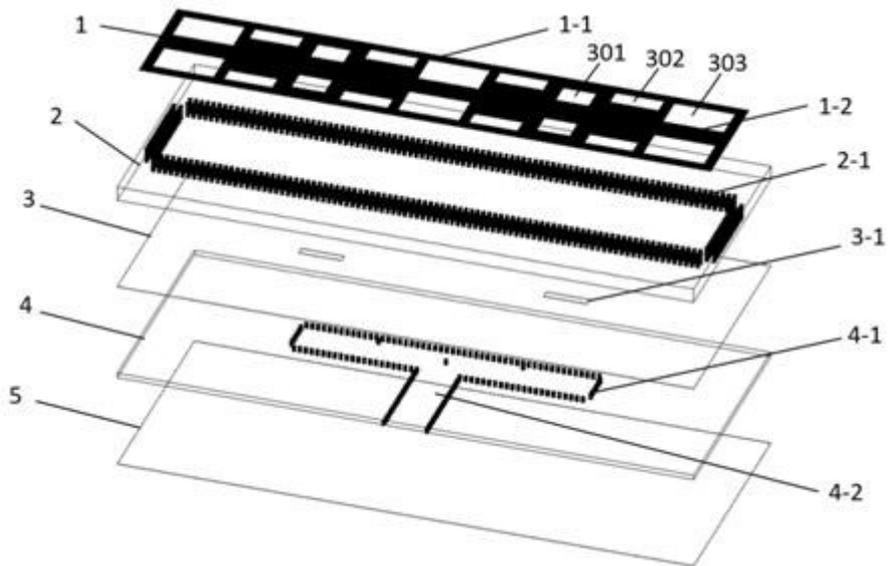


图3

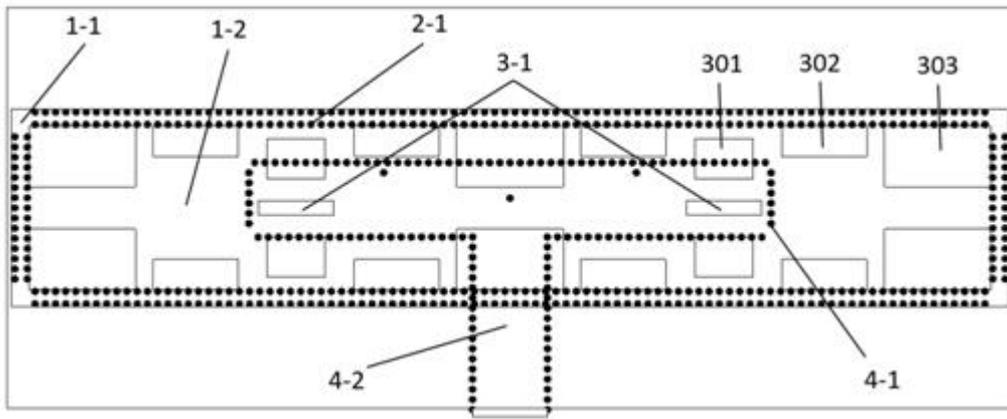


图4a

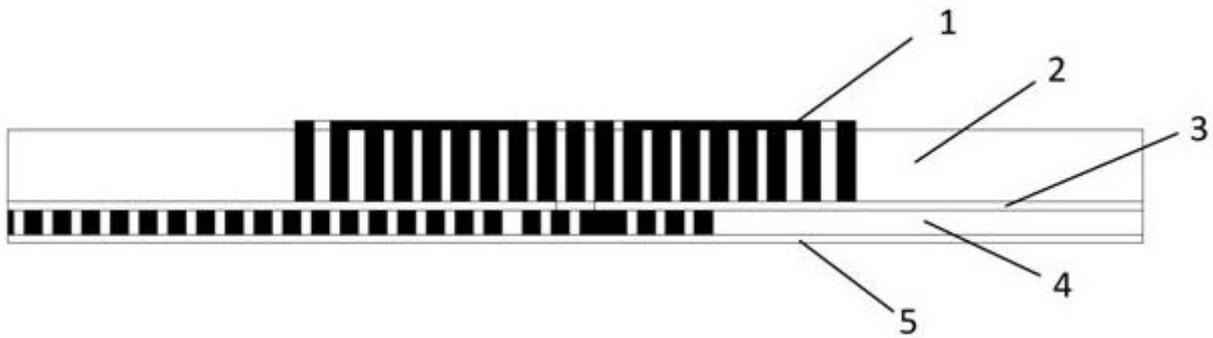


图4b

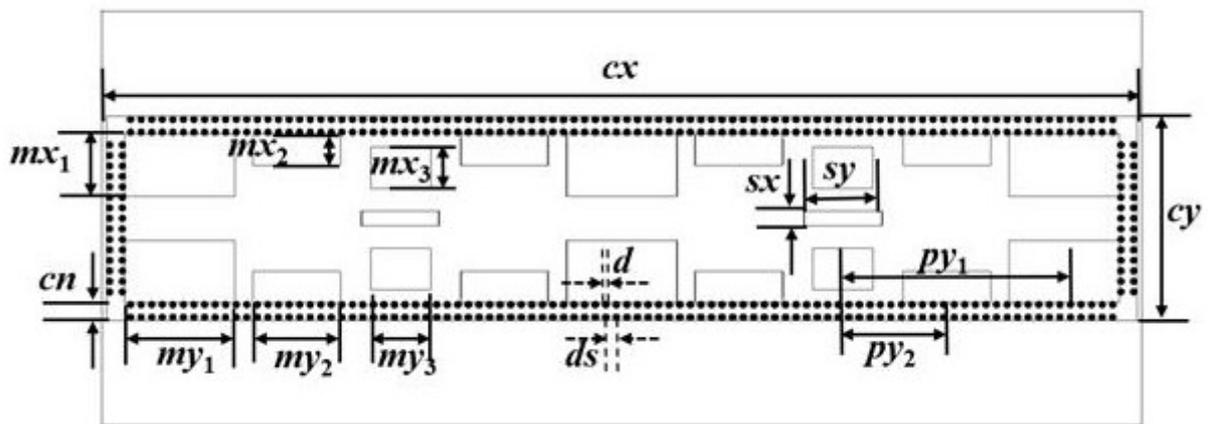


图5a

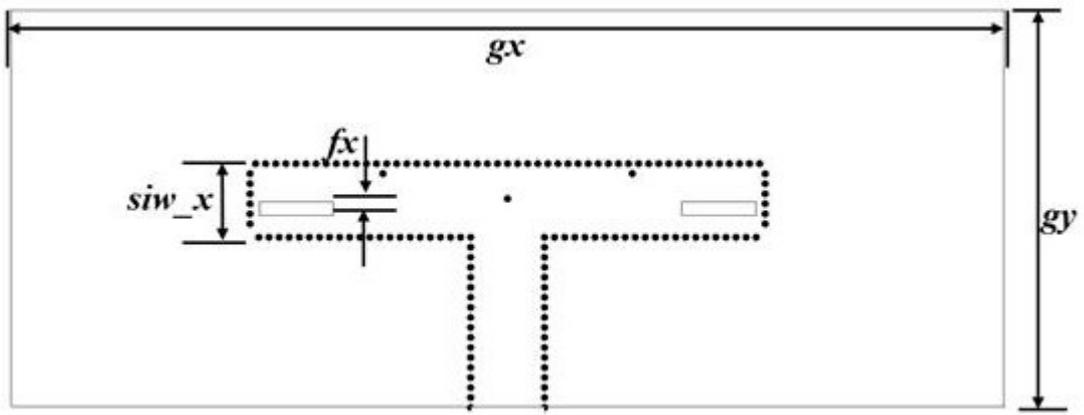


图5b

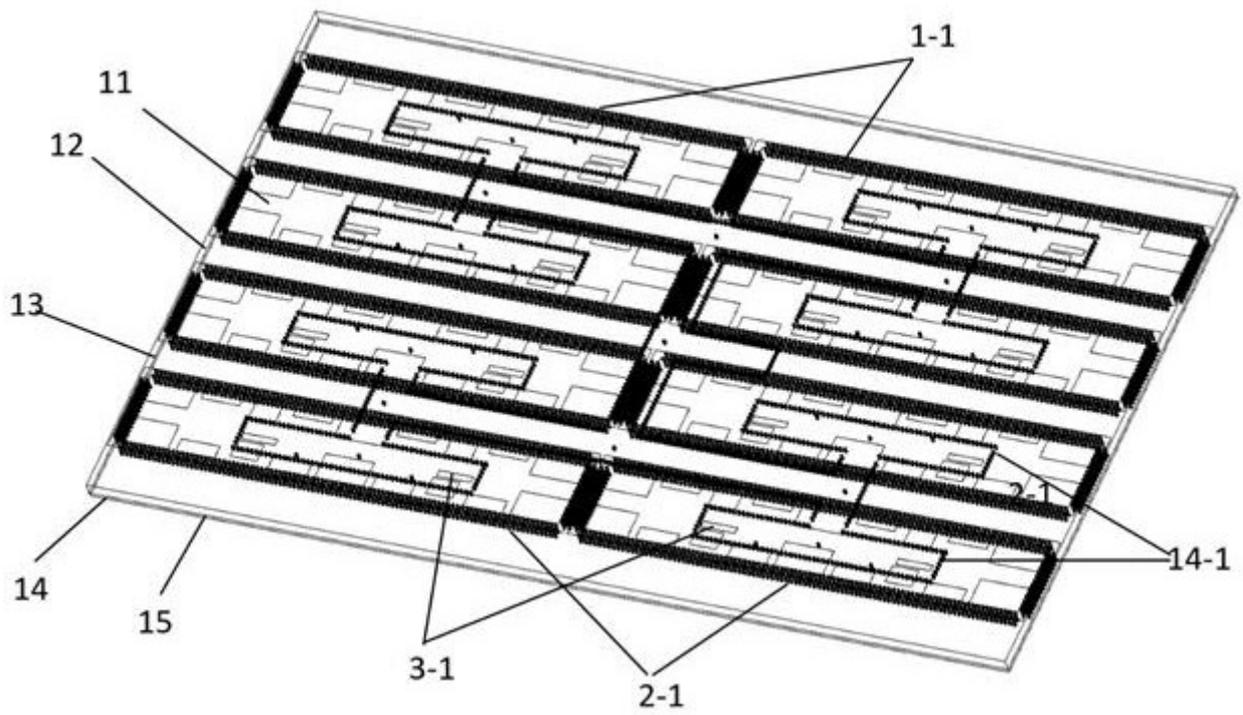


图6

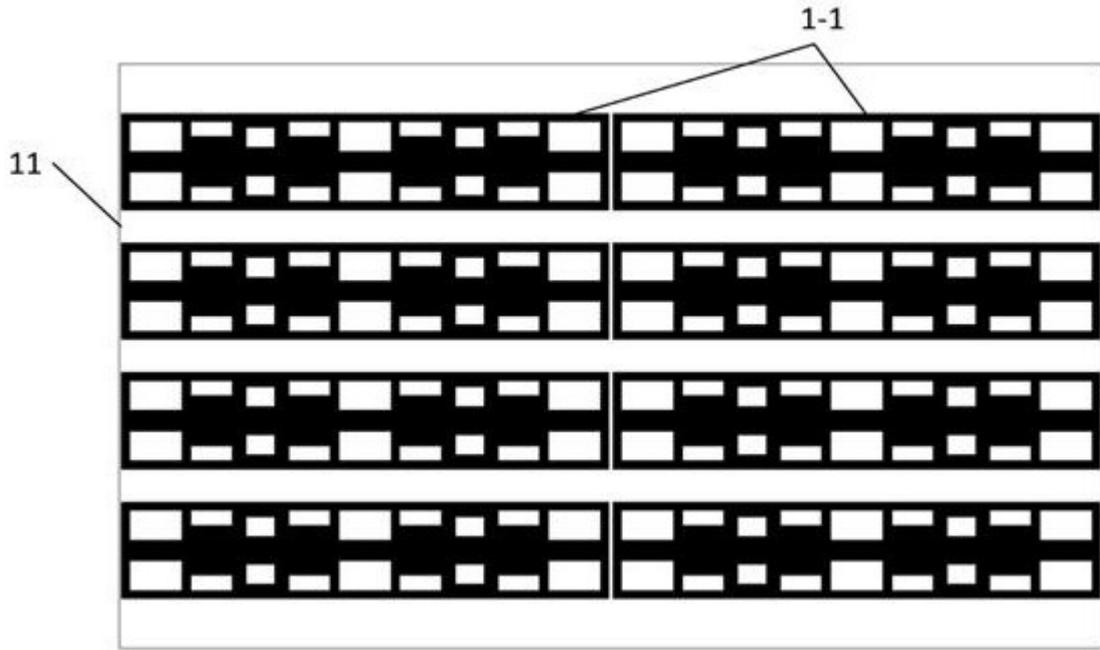


图7a

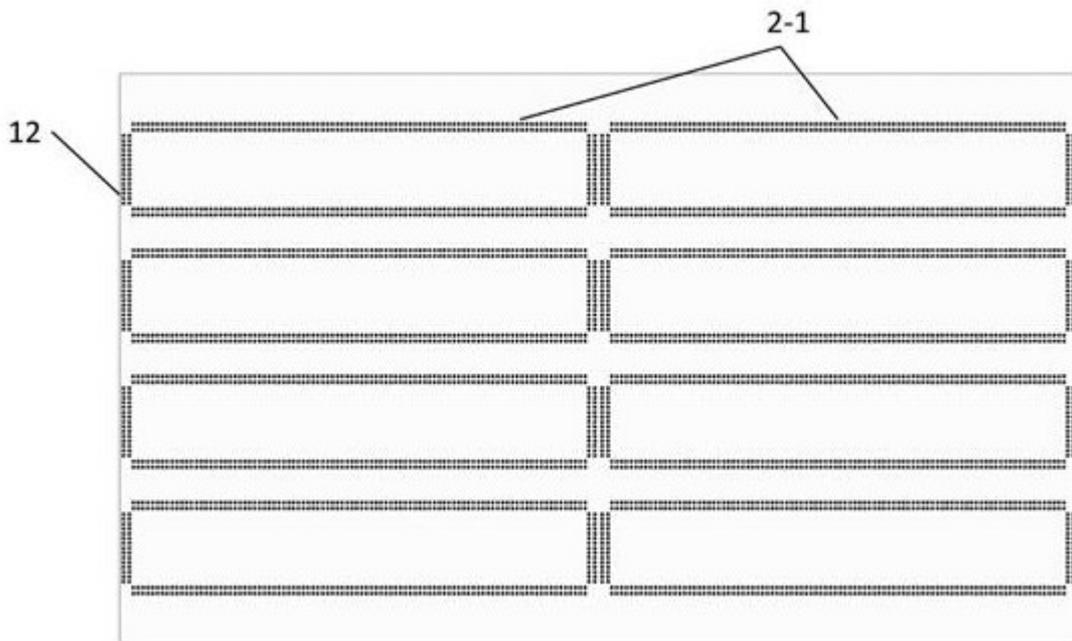


图7b

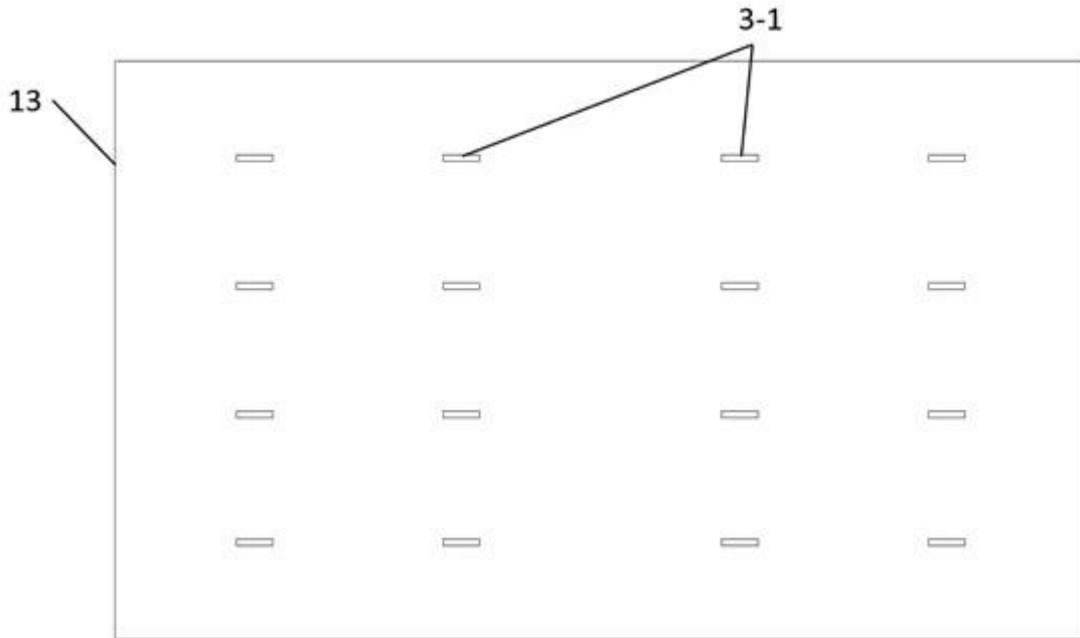


图7c

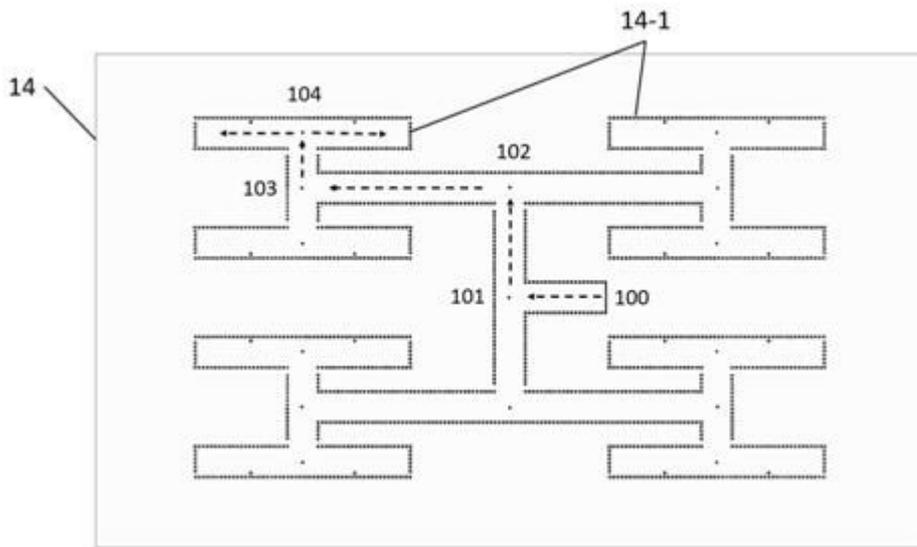


图7d

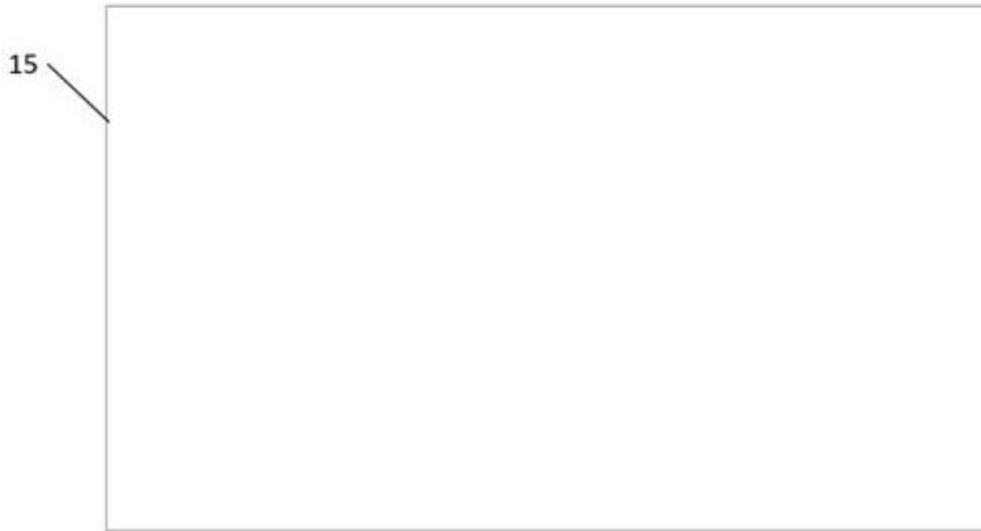


图7e

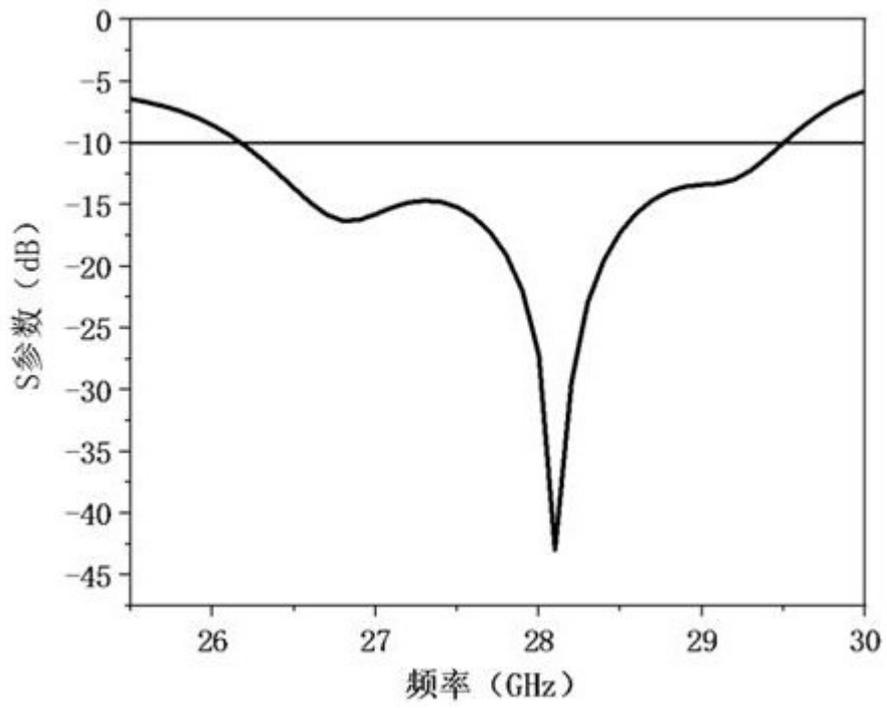


图8

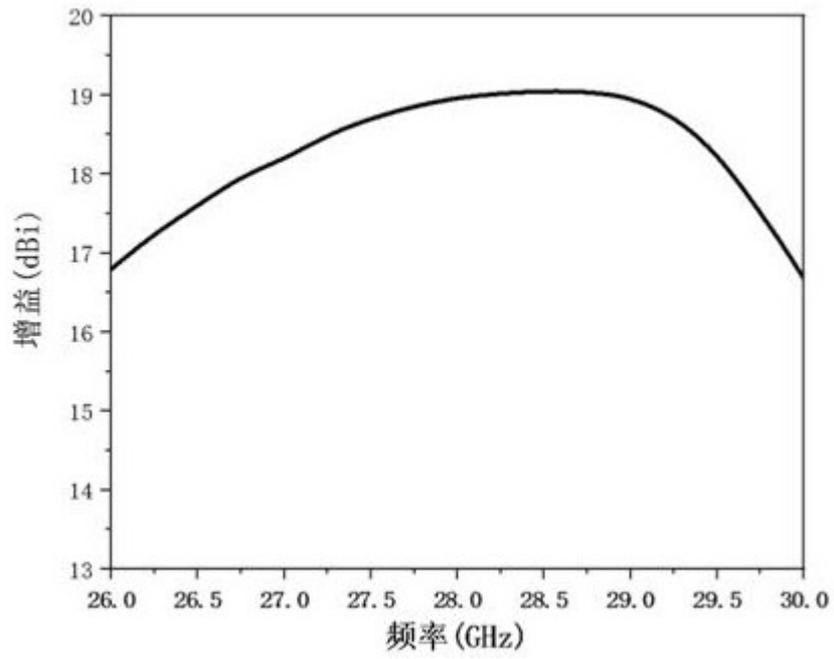


图9

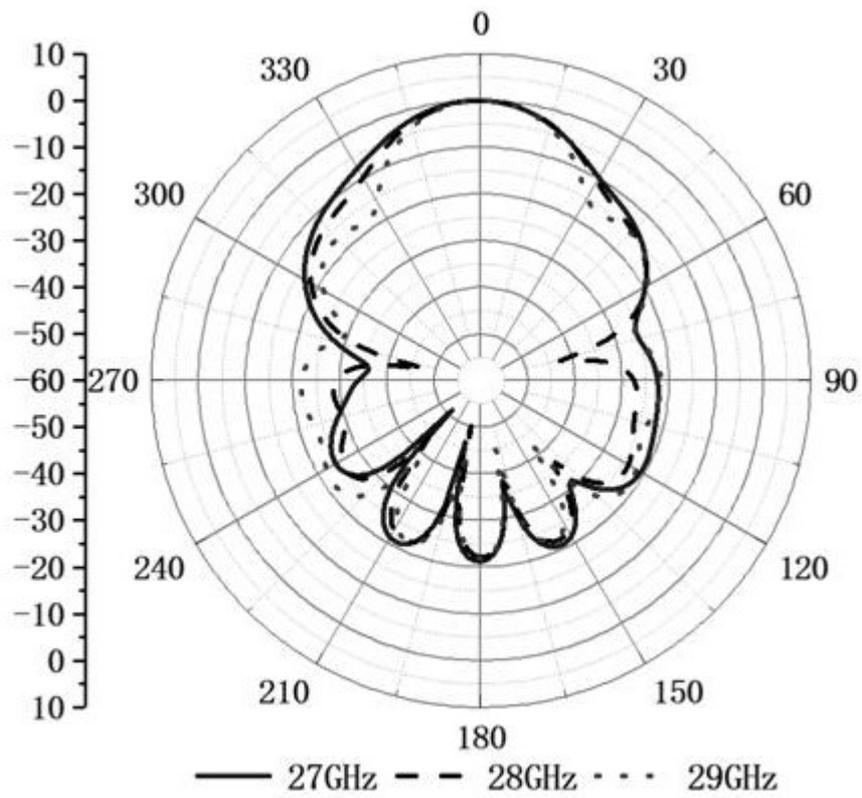


图10a

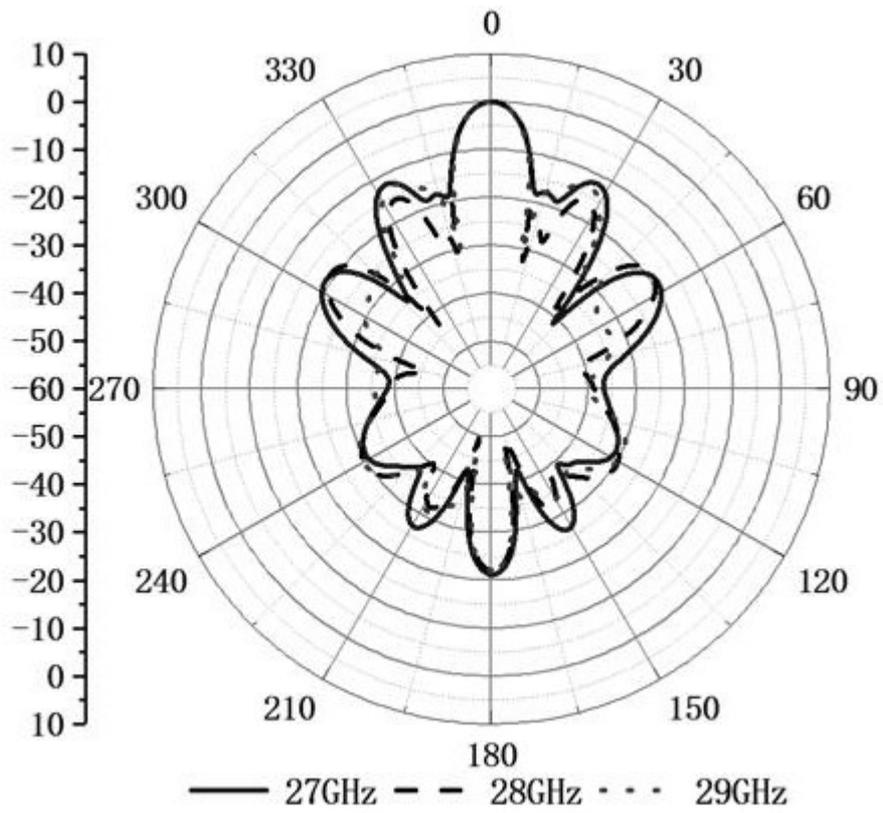


图10b

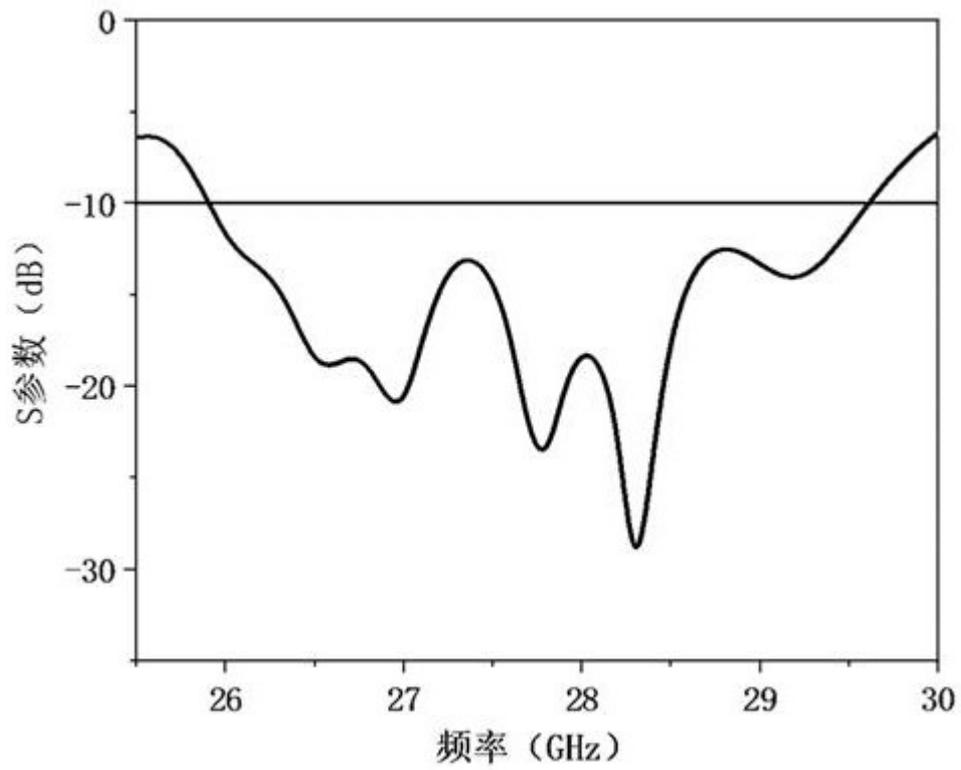


图11

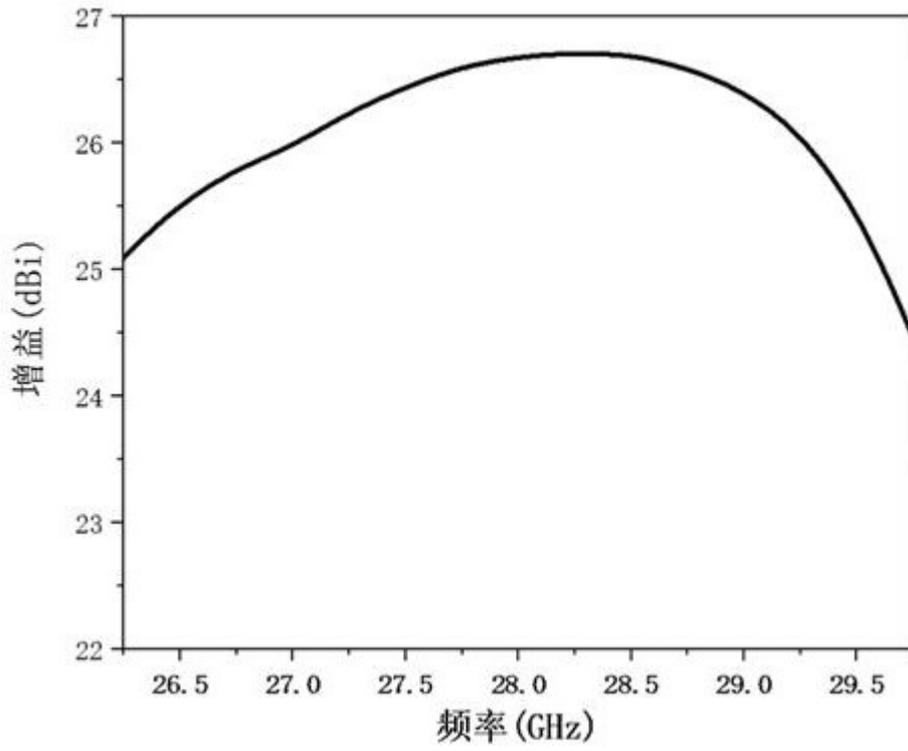


图12

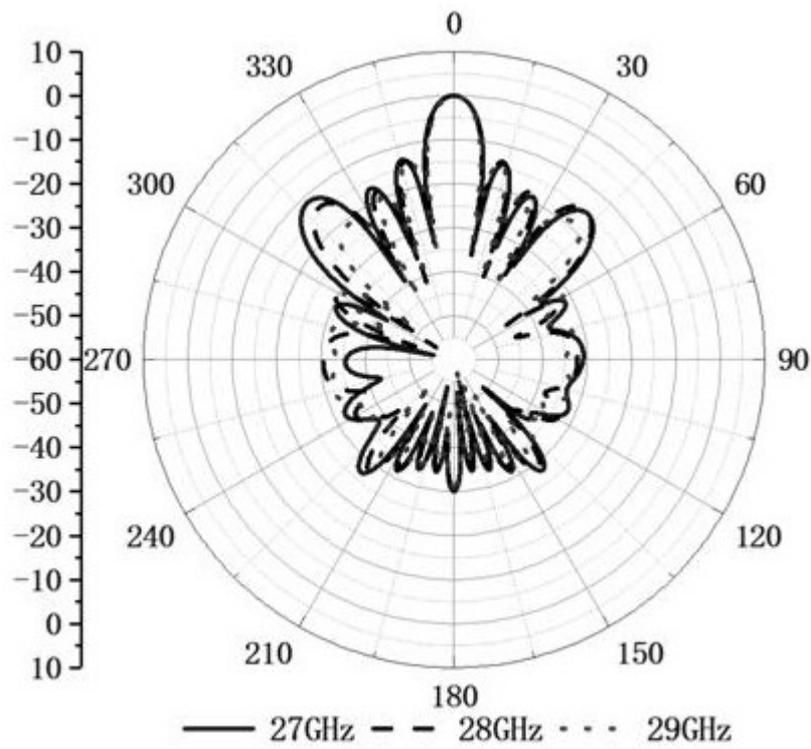


图13a

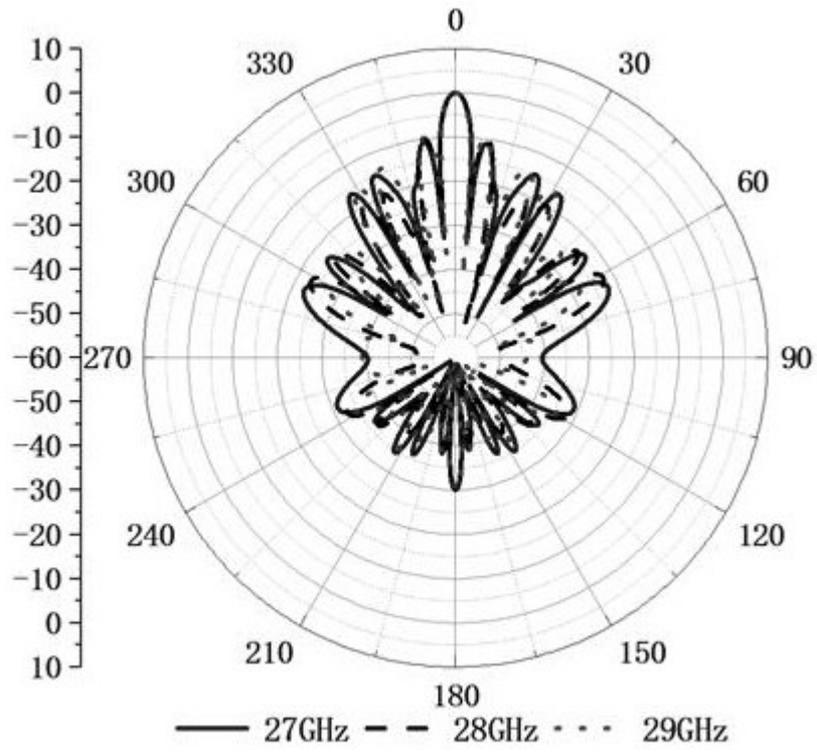


图13b