



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112038760 B

(45) 授权公告日 2021.11.19

(21) 申请号 202010132860.6

H01Q 1/50 (2006.01)

(22) 申请日 2020.02.29

H01Q 15/00 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112038760 A

(56) 对比文件

CN 109888480 A, 2019.06.14

CN 102769198 A, 2012.11.07

CN 108808264 A, 2018.11.13

WO 2006098587 A1, 2006.09.21

CN 110034406 A, 2019.07.19

CN 107317108 A, 2017.11.03

(43) 申请公布日 2020.12.04

(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

审查员 马玉芳

(72) 发明人 车文荃 陈东旭 杨琬琛 薛泉

(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

(51) Int. Cl.

H01Q 1/38 (2006.01)

H01Q 1/48 (2006.01)

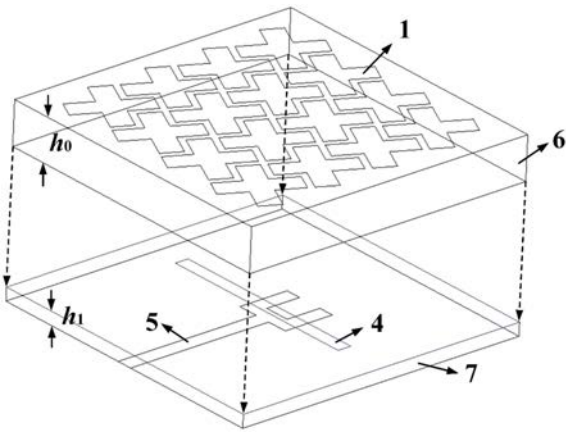
权利要求书1页 说明书7页 附图6页

(54) 发明名称

一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线

(57) 摘要

本发明公开了一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线。所述天线包括采用双层叠放方式放置的上层介质基板和下层介质基板；上层介质基板上表面印制有交互嵌入式超表面辐射结构，下表面印制有开有耦合缝隙的金属地板；下层介质基板上表面与金属地板贴合，下表面印制有馈电网络；能量由馈电网络输入，经金属地板上的耦合缝隙耦合到交互嵌入式超表面辐射结构将能量定向地向上辐射，从而实现具有宽带、平稳高增益、低剖面的特性的小型化超表面天线。本发明在实现小型化的同时，也展宽了带宽；此外，缝隙的多样性选择，在保证了一定周期性的同时，也提高了设计自由度。本发明天线结构简单，加工容易，成本和重量都相对较小，可以大规模生产。



1. 一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,其特征在于,包括上层介质基板(6)和下层介质基板(7),其中,上层介质基板(6)和下层介质基板(7)采用双层叠放方式放置;

上层介质基板(6)上表面印制有交互嵌入式超表面辐射结构(1),下表面印制有开有耦合缝隙(4)的金属地板(3);下层介质基板(7)上表面与金属地板(3)贴合,下表面印制有馈电网络(5);

能量由馈电网络(5)输入,经金属地板(3)上的耦合缝隙(4)耦合到交互嵌入式超表面辐射结构(1),交互嵌入式超表面辐射结构(1)将能量定向地向上辐射,从而实现具有宽带、平稳高增益、低剖面特性的小型化超表面天线;所述交互嵌入式超表面辐射结构(1)通过在金属贴片上沿着x轴蚀刻若干条辐射缝隙(8)和沿着y轴蚀刻若干条非辐射缝隙(9)实现;交互嵌入式超表面辐射结构(1)可分割成若干个独立的交互嵌入式超表面单元(2);所述辐射缝隙(8)采用锯齿状缝隙,实现沿着x轴方向的小型化;非辐射缝隙(9)采用锯齿状缝隙,实现沿着y轴方向的小型化。

2. 根据权利要求1所述的一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,其特征在于,

锯齿状缝隙可以拓展到多个维度,当在一维方向上开锯齿状缝隙时,实现超表面的一维小型化;当在二维方向上同时开锯齿状缝隙时,实现超表面的二维小型化;

所述锯齿状缝隙的形状包括矩形锯齿状缝隙、三角形锯齿状缝隙、斜三角锯齿状缝隙;通过在金属贴片上蚀刻若干条锯齿状缝隙,实现交互嵌入式超表面辐射结构(1);这种交互嵌入式超表面辐射结构(1)用于引入适当的交指电容,在实现小型化的同时,也保持了宽带的特性。

3. 根据权利要求1所述的一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,其特征在于,所述交互嵌入式超表面单元(2)由金属贴片构成,为交互嵌入式结构,并呈周期性排列;其中,交互嵌入式超表面单元(2)的金属贴片的形状取决于辐射缝隙(8)和非辐射缝隙(9)的形状:

当采用矩形锯齿状辐射缝隙(8)和矩形非辐射缝隙(9)时,形成矩形支节的交互嵌入式超表面单元(2);

当采用三角形锯齿状辐射缝隙(8)和矩形非辐射缝隙(9)时,形成三角支节的交互嵌入式超表面单元(2);

当采用三角形锯齿状辐射缝隙(8)和三角形锯齿状非辐射缝隙(9)时,形成十字形的交互嵌入式超表面单元(2)。

4. 根据权利要求1所述的一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,其特征在于,所述金属地板(3)中心开有耦合缝隙(4),选取耦合缝隙(4)的激励方式,用于耦合所述交互嵌入式超表面辐射结构(1),使其将能量进行辐射;所述耦合缝隙(4)的形状包括矩形、阶梯状矩形、梯形。

5. 根据权利要求1所述的一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,其特征在于,所述馈电网络(5)由微带金属片组成,用于耦合所述金属地板(3)上的耦合缝隙(4)进行馈电,从而进一步使得交互嵌入式超表面辐射结构(1)将能量进行辐射;所述微带金属片的形状包括Y型、矩形、阶梯状矩形。

一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线

技术领域

[0001] 本发明涉及超表面天线领域,具体涉及一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线。

背景技术

[0002] 随着现代无线通信系统的发展,对宽带天线的需求日益增加。微带贴片天线由于其剖面低、重量轻、成本低,易于与印刷电路兼容等优点而受到广泛关注。但是,传统的微带贴片天线阻抗带宽较窄、增益较低,虽然目前有许多技术可以克服这一缺点,比如利用电容探针馈电、L探针馈电、孔径耦合、U/E开槽贴片和堆叠贴片等,但通常需要介电常数较低的厚介质基板,难以实现低剖面(D.Chen,W.Yang,W.Che and Q.Xue,“Broadband stable-gain multiresonance antenna using nonperiodic square-ring metasurface,”IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,vol.18,no.8,pp.1537-1541, Aug.2019.)。

[0003] 近年来倍受关注的超表面天线,采用周期性的贴片单元,可以在实现低剖面的同时获得较宽的带宽和较好的辐射性能。W.Liu等人提出了口径耦合的超表面天线,在剖面仅为 $0.06\lambda_0$ 时,阻抗带宽达到28%(W.Liu,Z.N.Chen and X.Qing,“Metamaterial-based low-profile broadband aperture-coupled grid-slotted patch antenna,”IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.63,no.7,pp.3325-3329,July 2015.W.Liu,Z.N.Chen and X.Qing,“Metamaterial-based low-profile broadband aperture-coupled grid-slotted patch antenna,”IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.63,no.7,pp.3325-3329,July 2015.F.H.Lin and Z.N.Chen,“Low-profile wideband metasurface antennas using characteristic mode analysis,”IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.65,no.4,pp.1706-1713, April 2017.)。与传统的微带贴片天线相比,超表面天线在增益和带宽等性能方面具有明显的优势,但其整体尺寸通常较大($\sim 1.1\lambda_0$),这就导致超表面天线在阵列设计和集成上存在一定的困难。目前来说,实现超表面天线的小型化方法一般有以下几种:采用双层/多层结构、减小单元间的缝隙、使用高介电常数的介质板(W.E.I.Liu,Z.N.Chen,X.Qing,J.Shi and F.H.Lin,“Miniaturized wideband metasurface antennas,”IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.65,no.12,pp.7345-7349,Dec.2017.)、加载谐振结构(C.Zhao and C.Wang,“Characteristic mode design of wide band circularly polarized patch antenna consisting of H-shaped unit cells,”IEEE Access,vol.6, pp.25292-25299,2018.)、增加电流路径(Y.Juan,W.Yang and W.Che,“Miniaturized low-profile circularly polarized metasurface antenna using capacitive loading,”IEEE Transactions on Antennas and Propagation,vol.67,no.5,pp.3527-3532,May 2019.)等,但这些方法通常存在剖面高、带宽窄、尺寸减小有限等问题。因此,如何在设计出结构紧凑的超表面天线的同时保持高性能是亟待解决的问题。

发明内容

[0004] 为了克服现有技术存在的缺点与不足,本发明提供一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,通过在金属贴片上蚀刻锯齿状缝隙,实现结构紧凑且宽带的交互嵌入式超表面辐射结构。本发明能在较低的剖面下实现具有宽带、平稳高增益、小型化特性的超表面天线。

[0005] 本发明的目的至少通过如下技术方案之一实现。

[0006] 一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,包括上层介质基板和下层介质基板,其中,上层介质基板和下层介质基板采用双层叠放方式放置;

[0007] 上层介质基板上表面印制有交互嵌入式超表面辐射结构,下表面印制有开有耦合缝隙的金属地板;下层介质基板上表面与金属地板贴合,下表面印制有馈电网络;

[0008] 能量由馈电网络输入,经金属地板上的耦合缝隙耦合到交互嵌入式超表面辐射结构,交互嵌入式超表面辐射结构将能量定向地向上辐射,从而实现具有宽带、平稳高增益、低剖面的特性的小型化超表面天线。

[0009] 进一步地,所述交互嵌入式超表面辐射结构通过在金属贴片上沿着x轴蚀刻若干条辐射缝隙和沿着y轴蚀刻若干条非辐射缝隙实现;交互嵌入式超表面辐射结构可分割成若干个独立的交互嵌入式超表面单元。

[0010] 进一步地,当所述辐射缝隙采用锯齿状缝隙时,实现沿着x轴方向的小型化;当非辐射缝隙采用锯齿状缝隙时,实现沿着y轴方向的小型化;

[0011] 锯齿状缝隙可以拓展到多个维度,当在一维方向上开锯齿状缝隙时,实现超表面的一维小型化,当在二维方向上同时开锯齿状缝隙时,实现超表面的二维小型化;

[0012] 所述锯齿状缝隙的形状包括但不限于矩形锯齿状缝隙、三角形锯齿状缝隙、斜三角锯齿状缝隙;通过在金属贴片上蚀刻若干条锯齿状缝隙,实现交互嵌入式超表面辐射结构;这种交互嵌入式超表面辐射结构用于引入适当的交指电容,在实现小型化的同时,也保持了宽带的特性。

[0013] 进一步地,所述交互嵌入式超表面单元由金属贴片构成,为交互嵌入式结构,并呈周期性排列;其中,交互嵌入式超表面单元的金属贴片的形状取决于辐射缝隙和非辐射缝隙的形状:

[0014] 当采用矩形锯齿状辐射缝隙和矩形非辐射缝隙时,形成矩形支节的交互嵌入式超表面单元;

[0015] 当采用三角形锯齿状辐射缝隙和矩形非辐射缝隙时,形成三角支节的交互嵌入式超表面单元;

[0016] 当采用三角形锯齿状辐射缝隙和三角形锯齿状非辐射缝隙时,形成十字形的交互嵌入式超表面单元。

[0017] 进一步地,所述金属地板中心开有耦合缝隙,选取耦合缝隙的激励方式,用于耦合所述交互嵌入式超表面辐射结构,使其将能量进行辐射;所述耦合缝隙的形状包括但不限于矩形、阶梯状矩形、梯形。

[0018] 进一步地,所述馈电网络由微带金属片组成,用于耦合所述金属地板上的耦合缝隙进行馈电,从而进一步使得交互嵌入式超表面辐射结构将能量进行辐射;所述微带金属片的形状包括但不限于Y型、矩形、阶梯状矩形。

[0019] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:

[0020] 本发明首次提出交互嵌入式超表面结构,通过在金属贴片上蚀刻多条锯齿状缝隙,引入交指电容来增大超表面单元间的耦合电容,降低谐振频率,从而实现结构紧凑的交互嵌入式超表面辐射结构。与常见的超表面结构相比,尺寸可以大大减小。

[0021] 本发明采用这种通过蚀刻锯齿状缝隙得到的交互嵌入式超表面结构,可以引入更大的感抗,在实现小型化的同时,保证了带宽;将其应用于天线设计中,并选取合适的馈电形式,可以在较低的剖面下实现具有宽带、平稳高增益等特性的小型化超表面天线。

[0022] 本发明采用这种通过蚀刻锯齿状缝隙得到的交互嵌入式超表面结构,在保证一定周期性的同时,引入了更多的设计自由度;与常见的超表面结构相比,缝隙的形状不再局限于矩形状,可以采用各种锯齿状缝隙;同时这种锯齿状缝隙也可以扩展到多个维度。

[0023] 本发明结构简单,加工容易,成本和重量都相对较小,可以大规模生产。

附图说明

[0024] 图1为基于三角形锯齿状缝隙的二维交互嵌入式超表面天线的结构示意图,其中,图1a为本发明的三维图,图1b为俯视图,图1c为仰视图,图1d为侧视图。

[0025] 图2为常见的方形超表面单元与本发明通过蚀刻不同锯齿状缝隙得到的三种交互嵌入式超表面单元的结构对比示意图,其中,图2a为在金属贴片上蚀刻矩形缝隙而得到的方形超表面单元的俯视图;图2b为本发明中通过蚀刻矩形锯齿状缝隙而得到的基于矩形支节的交互嵌入式超表面单元的俯视图;图2c为本发明中通过蚀刻三角锯齿状缝隙而得到的基于三角形支节的交互嵌入式超表面单元的俯视图;图2d为本发明中沿着x轴和y轴均蚀刻三角锯齿状缝隙而得到的十字形交互嵌入式超表面单元的俯视图;图2e为这四种超表面单元共同的侧视图。

[0026] 图3为基于图2的四种超表面单元结构的反射特性对比示意图。

[0027] 图4为基于图2的四种超表面单元所设计的超表面天线示意图;这些超表面天线通过在金属贴片上蚀刻不同形状的缝隙而得到,其中,图4a为常见的方形超表面天线示意图(单元结构对应图2a),即参考1;图4b为本发明中的采用矩形锯齿状缝隙的一维交互嵌入式超表面天线示意图(单元结构对应图2b),即方案1;图4c为本发明中采用三角形锯齿状缝隙的一维交互嵌入式超表面天线示意图(单元结构对应图2c),即方案2;图4d为本发明中采用三角形锯齿状缝隙的二维交互嵌入式超表面天线示意图(单元结构对应图2d),其沿着x轴和y轴均蚀刻三角形锯齿状缝隙,即方案3。

[0028] 图5为基于图4的四种天线的性能对比示意图,其中,图5a为 S_{11} 曲线对比示意图,图5b为增益曲线对比示意图。

[0029] 图6为基于图4d的二维交互嵌入超表面天线(方案3)在不同频点处的辐射方向图,其中图6a为5.5GHz处,图6b为6.5GHz处,图6c为7.5GHz处。

具体实施方式

[0030] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步地详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

[0031] 实施例:

[0032] 如图1a、图1b、图1c、图1d所示,一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线,包括上层介质基板6和下层介质基板7,其中,上层介质基板6和下层介质基板7采用双层叠放方式放置;

[0033] 所述上层介质基板6的介电常数为 $[2.2, 10.2]$,厚度 h_0 为 $[0.001\lambda_0, 0.1\lambda_0]$,下层介质基板7的介电常数为 $[2.2, 10.2]$,厚度 h_1 均为 $[0.001\lambda_0, 0.1\lambda_0]$;

[0034] 上层介质基板6上表面印制有交互嵌入式超表面辐射结构1,下表面印制有开有耦合缝隙4的金属地板3;下层介质基板7上表面与金属地板3贴合,下表面印制有馈电网络5;

[0035] 能量由馈电网络5输入,经金属地板3上的耦合缝隙4耦合到交互嵌入式超表面辐射结构1,交互嵌入式超表面辐射结构1将能量定向地向上辐射,从而实现具有宽带、平稳高增益、低剖面的特性的小型化超表面天线。

[0036] 所述交互嵌入式超表面辐射结构1通过在金属贴片上沿着x轴蚀刻 N_1 条辐射缝隙8和沿着y轴蚀刻 N_2 条非辐射缝隙9实现, N_1 、 N_2 为大于1的整数;交互嵌入式超表面辐射结构1可分割成若干个独立的交互嵌入式超表面单元2。

[0037] 当所述辐射缝隙8采用锯齿状缝隙时,实现沿着x轴方向的小型化;当非辐射缝隙9采用锯齿状缝隙时,实现沿着y轴方向的小型化;

[0038] 锯齿状缝隙可以拓展到多个维度,当在一维方向上开锯齿状缝隙时,实现超表面的一维小型化,当在二维方向上同时开锯齿状缝隙时,实现超表面的二维小型化;

[0039] 所述锯齿状缝隙的形状包括但不限于矩形锯齿状缝隙、三角形锯齿状缝隙、斜三角锯齿状缝隙;通过在金属贴片上蚀刻若干条锯齿状缝隙,实现交互嵌入式超表面辐射结构1;这种交互嵌入式超表面辐射结构1用于引入适当的交指电容,在实现小型化的同时,也保持了宽带的特性。

[0040] 所述交互嵌入式超表面单元2由金属贴片构成,为交互嵌入式结构,并呈周期性排列;其中,交互嵌入式超表面单元2的金属贴片的形状取决于辐射缝隙8和非辐射缝隙9的形状;

[0041] 当采用矩形锯齿状辐射缝隙8和矩形非辐射缝隙9时,形成矩形支节的交互嵌入式超表面单元2;

[0042] 当采用三角形锯齿状辐射缝隙8和矩形非辐射缝隙9时,形成三角支节的交互嵌入式超表面单元2;

[0043] 当采用三角形锯齿状辐射缝隙8和三角形锯齿状非辐射缝隙9时,形成十字形的交互嵌入式超表面单元2。

[0044] 所述金属地板3中心开有耦合缝隙4,选取耦合缝隙4的激励方式,用于耦合所述交互嵌入式超表面辐射结构1,使其将能量进行辐射;所述耦合缝隙4的形状包括但不限于矩形、阶梯状矩形、梯形;

[0045] 所述馈电网络5由微带金属片组成,用于耦合所述金属地板3上的耦合缝隙4进行馈电,从而进一步使得交互嵌入式超表面辐射结构1将能量进行辐射;所述微带金属片的形状包括但不限于Y型、矩形、阶梯状矩形。

[0046] 结合图2,交互嵌入式超表面辐射结构1的单元尺寸 W_1 为 $[0.05\lambda_0, 0.2\lambda_0]$;支节宽度 W_2 为 $[0.01\lambda_0, 0.18\lambda_0]$;支节长度 L_1 为 $[0.01\lambda_0, 0.18\lambda_0]$;交互嵌入式超表面单元2的排列周期 d 为 $[0.05\lambda_0, 0.2\lambda_0]$;辐射缝隙8和非辐射缝隙9的宽度 G_1 为 $[0.001\lambda_0, 0.02\lambda_0]$;其中, λ_0 为自

由空间波长。

[0047] 如图1c所示,金属地板3的大小GL为 $[0.3\lambda_0, \lambda_0]$;在金属地板3上所开的呈矩形的耦合缝隙4的整体长度 $2 \times L_{ss}$ 为 $[0.1\lambda_g, 0.8\lambda_g]$,宽 W_s 为 $[0.05\lambda_g, 0.5\lambda_g]$,其中 λ_g 为上层介质基板6的介质有效波长。馈电网络5中呈Y-型的微带金属片长为 $[0.1\lambda_{g1}, 0.8\lambda_{g1}]$,宽度为 $[0.1\lambda_{g1}, 0.5\lambda_{g1}]$,其中 λ_{g1} 为下层介质基板7的介质有效波长。

[0048] 本实施例中,提供了三种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化超表面天线的实施方案,分别命名为方案1~方案3,分别对应图4b、图4c、图4d。以实施例中的基于三角锯齿状缝隙的二维交互嵌入式超表面天线(方案3)为例,如图4d所示,具体实施方案及尺寸如下:

[0049] 上层介质基板6的介电常数 ϵ_r 为3.55,厚度 h_0 为3.25mm;下层介质基板7的介电常数 ϵ_r 为3.55,厚度 h_1 为0.813mm;交互嵌入式超表面辐射结构1通过在金属贴片上沿着x轴蚀刻3条三角形锯齿状辐射缝隙8和沿着y轴蚀刻3条三角形锯齿状非辐射缝隙9而实现的,可分割成 4×4 个独立的十字形交互嵌入式超表面单元2;其尺寸具体为: $W_1=9\text{mm}$, $W_2=2.3\text{mm}$, $G_1=1\text{mm}$, $d_1=7.4\text{mm}$;金属地板3的大小GL为35mm;在金属地板3上所开的呈矩形的耦合缝隙4的尺寸具体为: $L_{ss}=28\text{mm}$, $W_s=1.5\text{mm}$;馈电网络5中呈Y-型的微带金属片的尺寸具体为: $W_f=1.85\text{mm}$, $s=8\text{mm}$ 。

[0050] 结合图1a、图1b、图1c、图1d、图4d,方案3中的交互嵌入式超表面辐射结构1能够引入交指电容,从而实现超表面结构的宽带小型化性能。所述耦合缝隙4的作用在于耦合能量,以激励起上层的交互嵌入式超表面辐射结构1,从而实现天线的宽带小型化的特性。

[0051] 结合图2a、图2b、图2c、图2d、图2e,通过常见的方形超表面单元与本发明通过蚀刻不同锯齿状缝隙得到的三种交互嵌入式超表面单元的结构对比,可以发现,常见的方形超表面单元通常蚀刻矩形缝隙,无支节嵌入;而本发明中的超表面结构通常蚀刻锯齿状缝隙,形成的单元基本为支节嵌入式结构。

[0052] 结合图3和表1,通过方形超表面单元结构与本发明的三种交互嵌入式超表面单元2的反射特性对比及尺寸对比,可以发现,在保证中心频率不变的情况下,相比于常见的方形超表面单元(周期为10mm),交互嵌入式超表面单元2所需要的结构尺寸更小;其中,矩形支节的交互嵌入式超表面单元2的周期为8.4mm,三角形支节的交互嵌入式超表面单元2的周期为8mm,而十字形的交互嵌入式超表面单元2的周期仅为7.4mm。此外,相比于常见的方形超表面单元的带宽(20.2%),交互嵌入式超表面单元2所实现的带宽会更宽;其中,矩形支节的交互嵌入超表面结构的带宽为23.4%,三角形支节的交互嵌入超表面结构的带宽为30.4%,而十字形的交互嵌入式超表面单元2的带宽可达32.5%。另外,矩形/三角形支节的交互嵌入式超表面单元2均实现了x轴方向上的小型化,而十字形的交互嵌入式超表面单元2实现了x,y轴两个方向上的小型化。这些结果表明,与常见的方形超表面单元相比,本发明的交互嵌入式超表面单元2在实现小型化的同时,也能实现更宽的带宽;三角支节交互嵌入式超表面单元2的宽带小型化效果比矩形支节交互嵌入式超表面单元2更好一些;且交互嵌入式超表面单元2可以在一维上实现小型化,也可以拓展到两个维度上以实现进一步的小型化。

[0053] 表1

超表面类型	结构参数 (mm)					性能		
	W_1	W_2	L_1	G_1	d	带宽(%)	单元尺寸(λ_0^2)	小型化维度
方形超表面结构	9	/	/	1	10	20.2	0.16×0.16	/
[0054] 矩形支节的交互嵌入超表面结构	9	5	2	1	8.4	23.4	0.13×0.16	x
三角形支节的交互嵌入超表面结构	9	6	3	1	8	30.4	0.12×0.16	x
十字形的交互嵌入超表面结构	9	2.3	/	1	7.4	32.5	0.11×0.11	x 和 y

[0055] 结合图4和图5a、图5b发现,通过本发明中通过在金属贴片上蚀刻不同的锯齿状辐射缝隙8和非辐射缝隙9而得到的三种交互嵌入式超表面天线与用作参考的常见的周期方向超表面天线的结构对比,可以发现,在同一工作频段下,相比于方形超表面天线(超表面结构尺寸为 $39\text{mm} \times 39\text{mm}$),交互嵌入式超表面天线所需要的结构尺寸更小;其中,方案1中的矩形锯齿状缝隙的一维交互嵌入超表面结构尺寸为 $33.6\text{mm} \times 39\text{mm}$,方案2中的三角形锯齿状缝隙的一维交互嵌入超表面结构的周期为 $32\text{mm} \times 39\text{mm}$,而方案3中的三角形锯齿状缝隙的二维交互嵌入超表面结构的周期为 $31.4\text{mm} \times 31.4\text{mm}$ 。此外,相比于常见的方形超表面天线的带宽(25.3%),交互嵌入式超表面天线所实现的带宽会更宽;其中,方案1中的矩形锯齿状缝隙的一维交互嵌入超表面天线的带宽为29.9%,方案2中的三角形锯齿状缝隙的一维交互嵌入超表面天线的带宽为32.3%,而方案3中的三角形锯齿状缝隙的二维交互嵌入超表面天线的带宽可达36.3%。另外,方案1与方案2中的超表面天线均实现了x轴方向上的小型化,而方案3中的超表面天线实现了x,y轴两个方向上的小型化。这些结果表明,与常见的方形超表面天线相比,本发明的交互嵌入式超表面天线在实现小型化的同时,也能实现更宽的带宽;三角形锯齿状缝隙的交互嵌入超表面天线的宽带小型化效果比矩形锯齿状缝隙实现的超表面天线更好一些;且交互嵌入式超表面天线可以在一维上实现小型化,也可以拓展到两个维度上以实现进一步的小型化。

[0056] 结合图6,由基于图4d的二维交互嵌入式超表面天线(方案3)的带内各频点处的辐射方向图可以发现,其交叉极化抑制效果较好,可达到22dB左右。

[0057] 结合表1,与常见的方形超表面单元相比,本发明的交互嵌入式超表面单元在实现小型化的同时,也能实现更宽的带宽;单元尺寸最小可缩小至 $0.11\lambda_0 \times 0.11\lambda_0$,同时带宽可保证在32.5%;三角支节交互嵌入超表面单元的宽带小型化效果比矩形支节交互嵌入式超表面单元更好一些;且交互嵌入式超表面结构可以在一维上实现小型化,也可以拓展到两个维度上以实现进一步的小型化。

[0058] 结合表2,与常见的方形超表面天线相比,本发明的交互嵌入式超表面天线在实现小型化的同时,也能实现更宽的带宽;超表面结构尺寸最小可缩小至 $0.59\lambda_0 \times 0.59\lambda_0$,超表面天线的整体尺寸最小可缩小至 $0.66\lambda_0 \times 0.66\lambda_0$,同时带宽可保证在36.3%;三角形锯齿状缝隙的交互嵌入超表面天线的宽带小型化效果比矩形锯齿状缝隙实现的超表面天线更好一些;且交互嵌入式超表面天线可以在一维上实现小型化,也可以拓展到两个维度上以实现进一步的小型化。

[0059] 表2

[0060]

天线类型	阻抗带宽	最大增益	2-dB 增益带宽	超表面/ 天线尺寸	小型化 维度
参考 1-传统周期方形超表面 天线	25.3% (4.79-6.18GHz)	8.19 dBi (5.98GHz)	25.3%	$0.71\lambda_0 \times 0.71\lambda_0$ ($0.82\lambda_0 \times 0.82\lambda_0$)	/
方案 1-矩形锯齿状缝隙的一 维交互嵌入式超表面天线	29.9% (4.62-6.25GHz)	8.61 dBi (5.86GHz)	29.9%	$0.61\lambda_0 \times 0.71\lambda_0$ ($0.82\lambda_0 \times 0.82\lambda_0$)	x
方案 2-三角形锯齿状缝隙的 一维交互嵌入式超表面天线	32.3% (4.64-6.43GHz)	8.43 dBi (5.9GHz)	32.3%	$0.59\lambda_0 \times 0.71\lambda_0$ ($0.82\lambda_0 \times 0.82\lambda_0$)	x
方案 3-三角形锯齿状缝隙的 二维交互嵌入式超表面天线	36.3% (4.64-6.7GHz)	8.25 dBi (6.67GHz)	36.3%	$0.59\lambda_0 \times 0.59\lambda_0$ ($0.66\lambda_0 \times 0.66\lambda_0$)	x 和 y

[0061] 由上可知,本发明的一种基于交互嵌入式超表面结构的宽带小型化天线可以有效地实现宽带、平稳高增益、低剖面、小型化等特性。

[0062] 本发明通过在金属贴片上蚀刻多条锯齿状缝隙来引入适当的交指电容,实现了具有宽带小型化特性的交互嵌入式超表面辐射结构;通过缝隙激励的方式,使得小型化的超表面辐射结构辐射,从而形成宽带小型化的超表面天线。

[0063] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受所述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

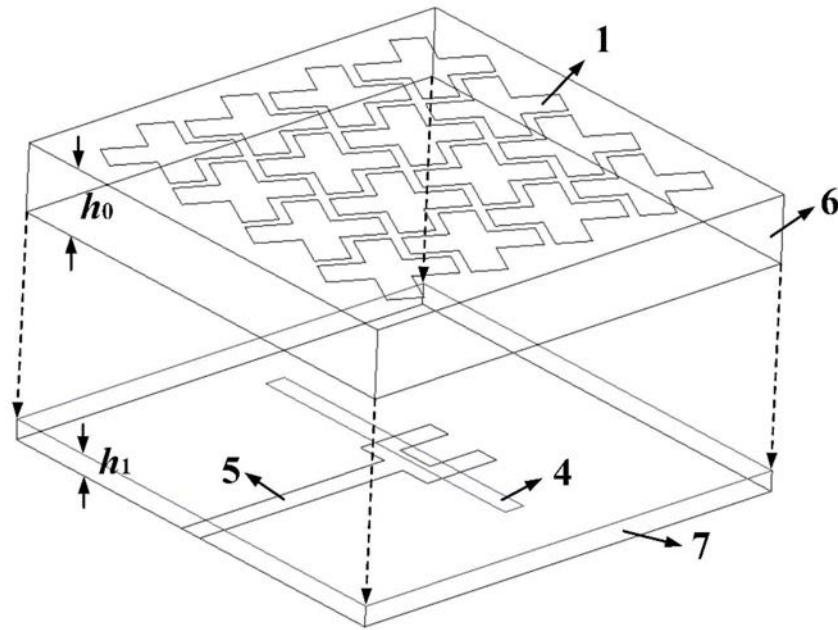


图1a

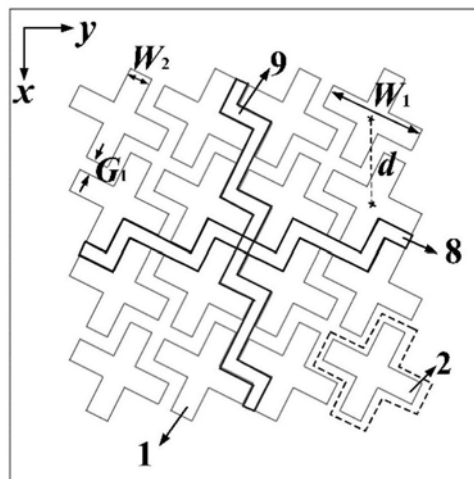


图1b

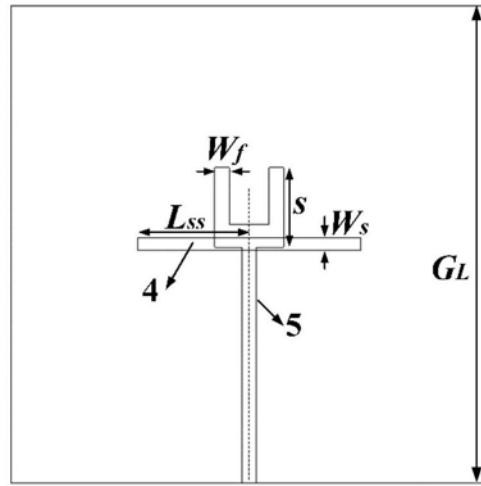


图1c

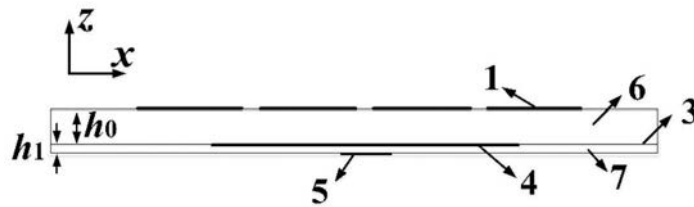


图1d

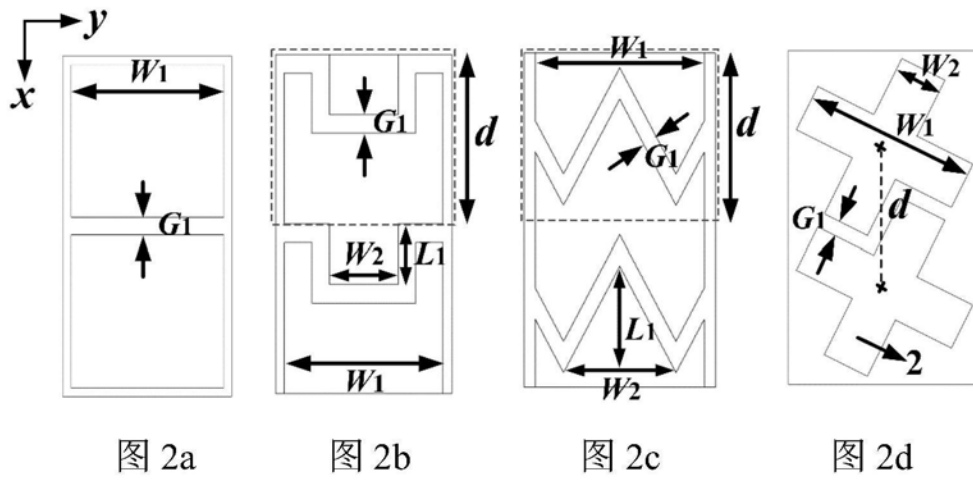


图 2a

图 2b

图 2c

图 2d

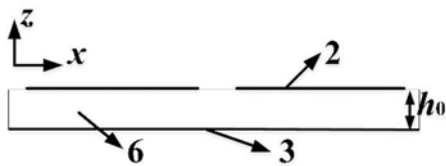


图2e

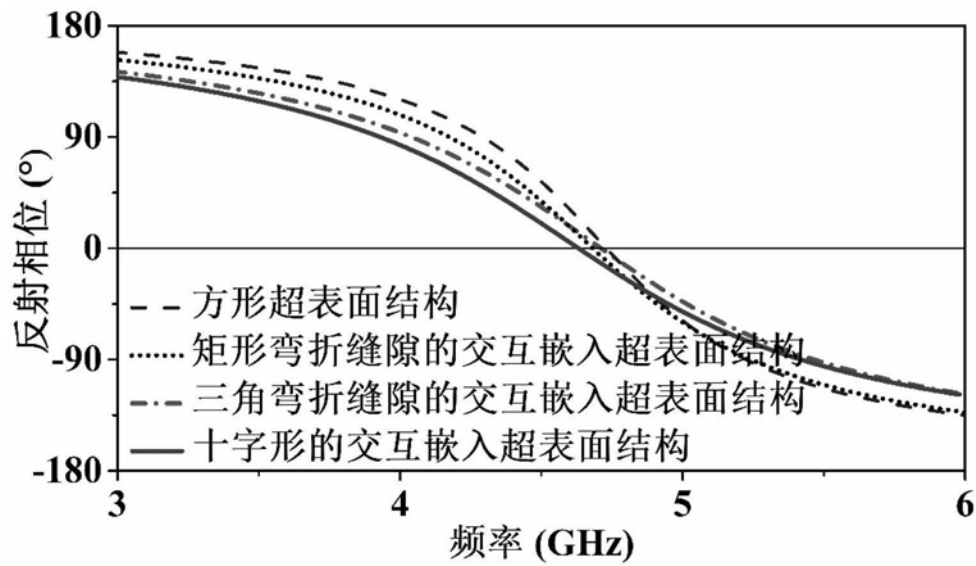


图3

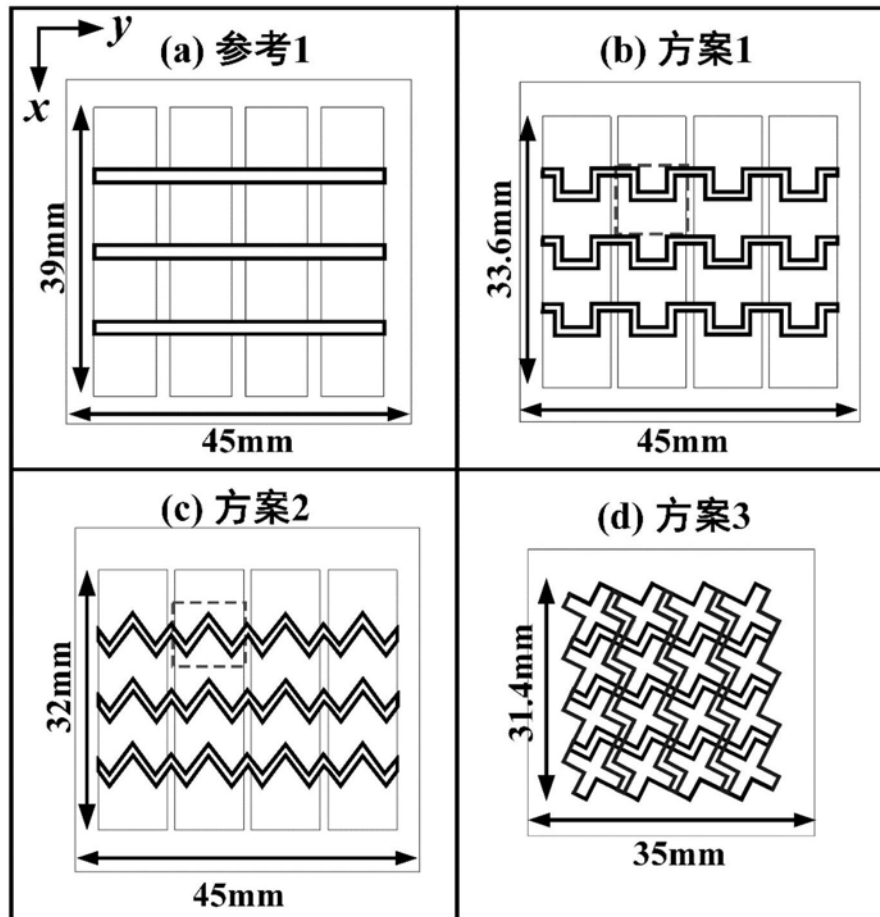


图4

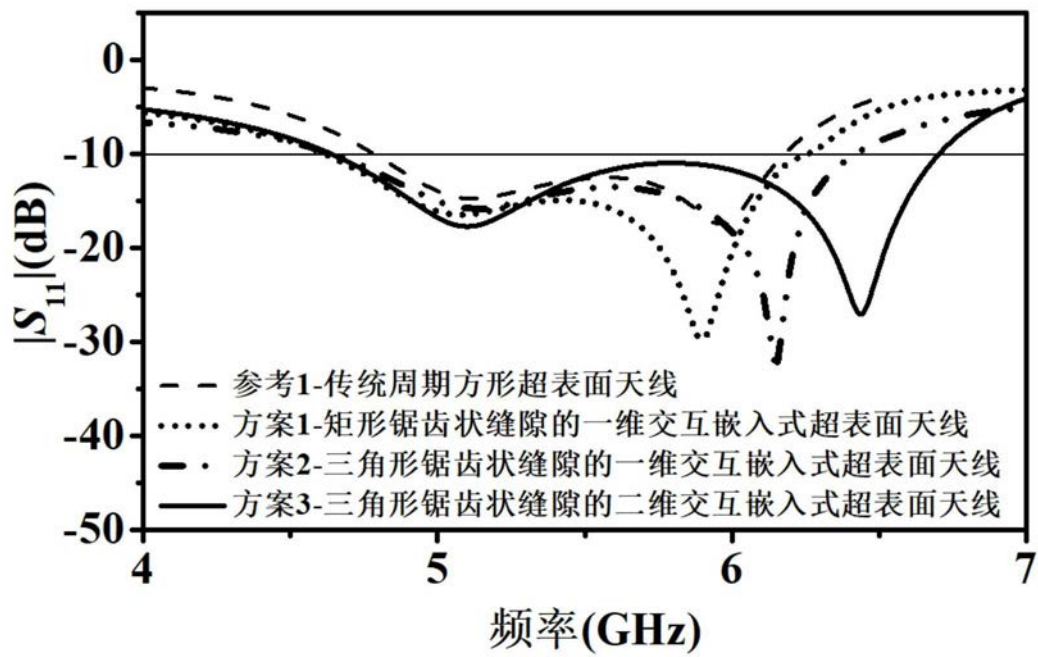


图5a

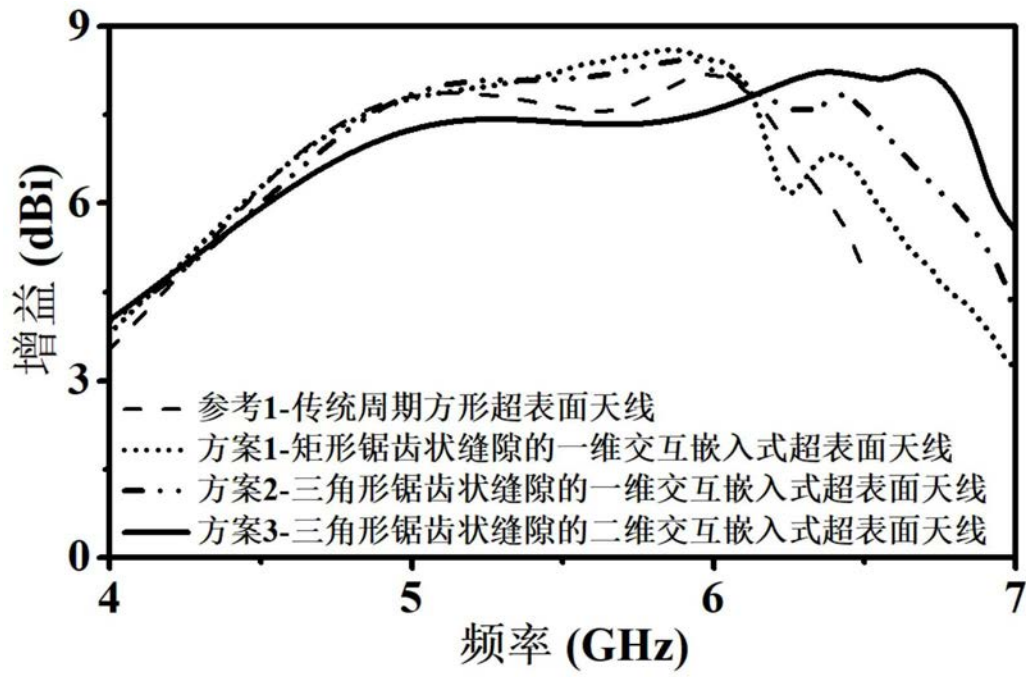


图5b

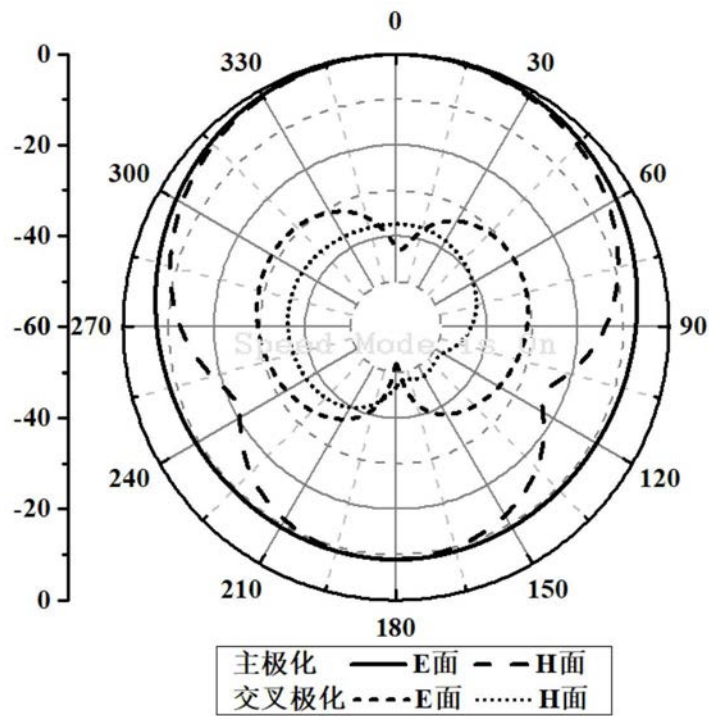


图6a

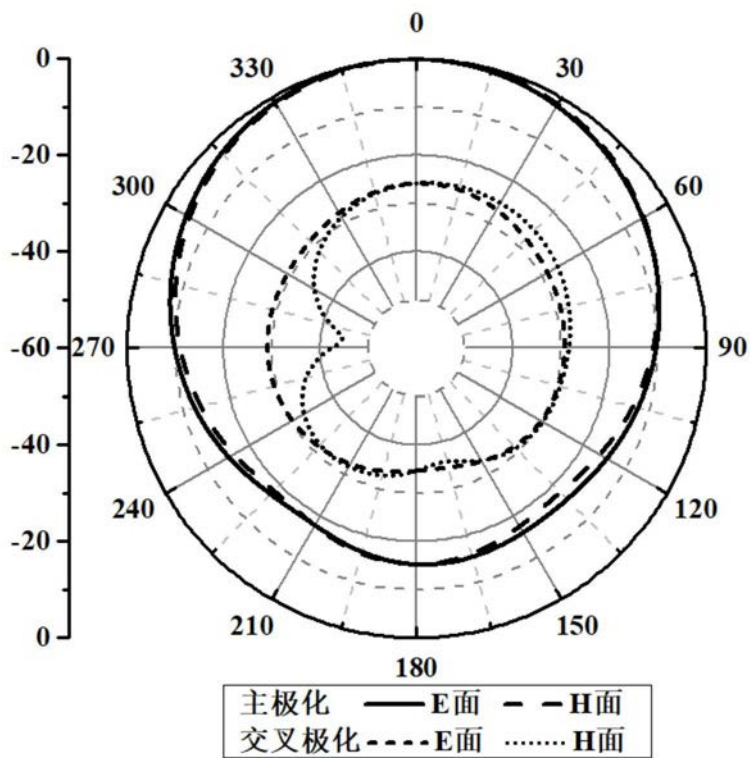


图6b

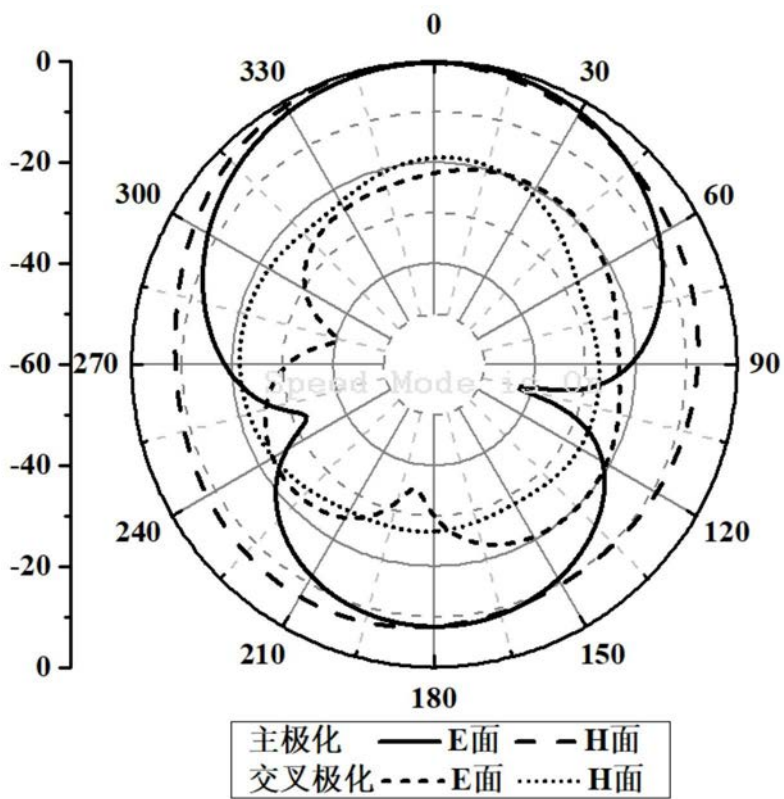


图6c