



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113078458 B

(45) 授权公告日 2022. 05. 03

(21) 申请号 202110234718.7

(22) 申请日 2021.03.03

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113078458 A

(43) 申请公布日 2021.07.06

(73) 专利权人 电子科技大学
地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72) 发明人 陈波 陈梦龙 谢琪 胡皓全
雷世文 田径 杨伟 唐璞
何子远

(74) 专利代理机构 电子科技大学专利中心
51203
代理人 吴姗霖

(51) Int.Cl.

H01Q 1/38 (2006.01)

H01Q 1/50 (2006.01)

H01Q 1/48 (2006.01)

H01Q 9/06 (2006.01)

H01Q 15/14 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102170049 A, 2011.08.31

CN 107240766 A, 2017.10.10

CN 108493595 A, 2018.09.04

GB 201420879 D0, 2015.01.07

CN 106450683 A, 2017.02.22

CN 103682678 A, 2014.03.26

US 2006033670 A1, 2006.02.16

CN 208548456 U, 2019.02.26

审查员 刁梦雯

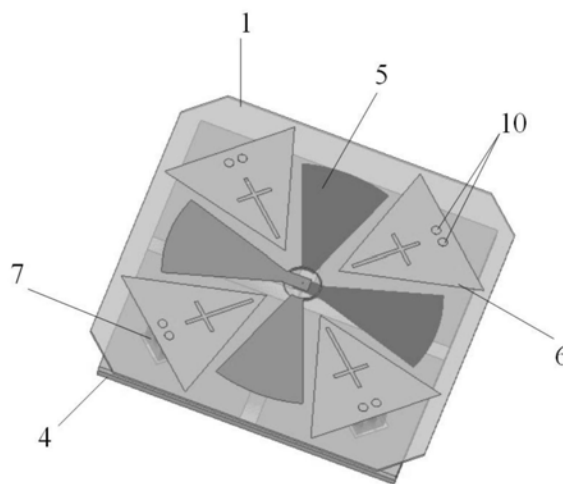
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线

(57) 摘要

本发明提供一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线,属于卫星移动通信领域。本发明天线通过对电偶极子辐射臂设计成特定的扇形形状,有效拓宽天线阻抗带宽;并且通过寄生磁偶极子拓宽了天线的波束宽度,增大了低仰角处增益;同时采用了一种新型AMC结构(人工磁导体反射面),适用于电磁偶极子天线,该AMC结构紧凑,设计简单,可以有效地降低天线的剖面高度;在介质基板和AMC之间引入空气层,拓宽天线的阻抗带宽,增大天线的增益。因此,本发明天线的总体尺寸为 $0.48 \lambda_0 \times 0.48 \lambda_0 \times 0.054 \lambda_0$ (λ_0 为天线中心频点处工作波长),具有小型化、低剖面特点。



1. 一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线,包括:上层介质基板、下层介质基板、AMC反射面、金属地板、四个电偶极子天线辐射臂、四个寄生贴片、四个垂直金属臂、自相移馈电网络以及同轴馈电线,其特征在于,

所述四个电偶极子天线辐射臂形状相同,均为扇形,其中两个电偶极子天线辐射臂设置于上层介质基板的上表面,且两个电偶极子天线辐射臂的中线相互垂直;另外两个电偶极子天线辐射臂设置于上层介质基板的下表面,使得四个电偶极子天线辐射臂在位置上呈“十”字形交叉排列,位于同一表面的相邻两个电偶极子天线辐射臂通过一个矩形金属片与自相移馈电网络连接;所述四个寄生贴片设置于上层介质基板的下表面,且位于电偶极子天线辐射臂之间的中线上,寄生贴片上设置缝隙;所述AMC反射面位于下层介质基板的上表面,其上设置矩形槽,金属地板位于下层介质基板的下表面;所述垂直金属臂设置于上层介质基板和下层介质基板之间,一端与四个寄生贴片固定连接,另一端通过AMC反射面上的矩形槽与金属地板固定连接,上层介质基板和下层介质基板之间为空气层;所述同轴馈电线设置于天线中心处进行馈电;

所述AMC反射面包括四个反射面单元,为 2×2 的周期排列,相邻反射面单元之间的间距相同,每个反射面单元为矩形金属贴片,并且在金属贴片沿斜 45° 方向上设置矩形槽。

2. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,电偶极子天线辐射臂靠近介质基板中心的内侧边缘为直线,外侧边缘为弧;弧度越大,天线的阻抗带宽越宽;扇形面积越大,天线的电尺寸越大,天线的谐振频率越低。

3. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,所述寄生贴片上的缝隙设置于电偶极子天线辐射臂之间的中线上,形状优选为“十”字形。

4. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,寄生贴片上的缝隙对磁偶极子天线的谐振频率有影响,具体规律为:缝隙越大,对寄生贴片上电流扰动越大,有效增加寄生贴片电长度,降低谐振频率,反之亦然。

5. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,所述寄生贴片的形状优选为三角形、矩形或扇形。

6. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,寄生贴片的大小对磁偶极子天线的谐振频率有影响,具体规律为:寄生贴片的面积越大,谐振频率越低,反之亦然。

7. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,所述四个垂直金属臂通过金属螺丝分别与寄生贴片和金属地板相连接,其中,垂直金属臂、寄生贴片和金属地板组成完整的磁偶极子天线。

8. 如权利要求1所述的圆极化电磁偶极子天线,其特征在于,所述的同轴馈电线从天线的中心馈入,外导体与金属地板和上层介质基板下表面的电偶极子连接,内导体与上层介质基板上表面的电偶极子连接,对电偶极子直接馈电;磁偶极子通过电偶极子耦合馈电。

一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线

技术领域

[0001] 本发明属于卫星移动通信技术领域,具体涉及一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线。

背景技术

[0002] 与线极化波相比,圆极化波抗干扰能力强,极化失配损失低,因此常用于各种卫星移动通信中。同时,现代通信场景非常复杂,卫星移动通信系统要在不同场景下正常工作,需要在其内部安装多个天线,单个天线的安装空间较小,因此系统对天线的剖面提出了更高的要求。另外,为保证卫星通信系统有足够的通信链路,要求天线具有足够宽的波束宽度,并且在低仰角有较高的增益。目前,卫星移动通信中常用到的圆极化卫星天线类型主要有螺旋天线、微带天线、交叉偶极子天线和单极子天线阵列等。

[0003] W.Yang等人(W.Yang,Y.Pan and S.Zheng.A Compact Broadband Circularly Polarized Crossed-Dipole Antenna With a Very Low Profile[J].IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2019,18(10):2130-2134)中提出了一种带有八个寄生元件的低剖面宽带圆极化交叉偶极子天线。八个寄生单元位于印刷交叉偶极子的同一基板的上表面和下表面,并且每个单元皆与短路柱连接,有效的将天线的剖面降低至 $0.067\lambda_0$,并且提高天线的工作带宽。由仿真和实测结果可知天线的最终尺寸为 $0.43\lambda_0 \times 0.43\lambda_0 \times 0.067\lambda_0$,半功率波束宽度和3dB轴比波束都约为 110° ;但是此天线的缺点是剖面仍较高,且3dB轴比波束宽度较窄。

[0004] 文献(王雪.车载S波段圆极化天线研究与设计[D].四川:电子科技大学,2020:28-37)设计了一款 2×2 顺序旋转微带阵列天线,用4个线极化单元通过顺序旋转馈电组成阵列。天线采用的是一分四串联型馈电网络,为了减小馈电网络与贴片之间的耦合,在金属地板与辐射体之间加载一定厚度的空气层,从而展宽天线的工作带宽。由仿真和实测结果可知,天线的整体剖面仅有 $0.068\lambda_0$,半功率波束宽度为 114° ,3dB轴比波束宽度大于 160° ,但是天线的剖面仍然较高,而且馈电网络复杂,幅度一致性较差,恶化了天线性能。

[0005] T.H.Jang等人(T.H.Jang,Y.H.Han,J.Kim,et al.60GHz Wideband Low-Profile Circularly Polarized Patch Antenna With an Asymmetric Inset[J].IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2020,19(1):44-48)提出了一种单层介质的低剖面圆极化贴片天线,通过将两个不对称的平行缝隙嵌入到天线中,产生 90° 的相位差,进一步使天线辐射圆极化波。由仿真和测试结果可知,天线的剖面高度为 $0.05\lambda_0$,半功率波束宽度为 75° ;该天线具有三个较宽的频带,剖面也较低,但是波束宽度较窄,不能适用于卫星移动通信。

[0006] 现有技术中还有其它圆极化卫星移动天线,但是都存在剖面过高或者波束宽度较窄的问题。基于此,一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线具有实际意义和应用价值。

发明内容

[0007] 针对背景技术所存在的问题,本发明的目的在于提供一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线,该天线通过电偶极子加载磁偶极子和添加AMC反射板的技术手段,实现了低剖面、宽波束、低仰角和高增益的技术效果,且结构简单、易于安装、能够应用于卫星移动通信中。

[0008] 为实现上述目的,本发明的技术方案如下:

[0009] 一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线,包括:上层介质基板1、下层介质基板2、AMC(人工磁导体)反射面3、金属地板4、四个电偶极子天线辐射臂5、四个寄生贴片6和四个垂直金属臂7、自相移馈电网络8以及同轴馈电线9。

[0010] 其特征在于,所述的四个电偶极子天线辐射臂5形状相同,均为扇形,其中两个电偶极子天线辐射臂5设置于上层介质基板1的上表面,且两个电偶极子天线辐射臂5的中线相互垂直;另外两个电偶极子天线辐射臂5设置于上层介质基板1的下表面,使得四个电偶极子天线辐射臂5在位置上呈“十”字形交叉排列,位于同一表面的相邻两个电偶极子天线辐射臂通过一个矩形金属片与自相移馈电网络连接;所述四个寄生贴片6设置于上层介质基板1的下表面,且位于电偶极子天线辐射臂5之间的中线上,所述寄生贴片6上设置缝隙;所述AMC反射面3位于下层介质基板2的上表面,其上设置矩形槽,金属地板4位于下层介质基板2的下表面;所述垂直金属臂7设置于上层介质基板1和下层介质基板2之间,一端与四个寄生贴片6固定连接,另一端通过AMC反射面3上的矩形槽与金属地板4固定连接,上层介质基板1和下层介质基板2之间形成了空气层;所述同轴馈电线9设置于天线中心处进行馈电。

[0011] 进一步地,所述电偶极子天线辐射臂为扇形,靠近介质基板中心的内侧边缘为直线,外侧边缘为弧;弧度越大,天线的阻抗带宽越宽;扇形面积越大,天线的电尺寸越大,天线的谐振频率越低。

[0012] 进一步地,所述AMC反射面包括四个反射面单元,为 2×2 的周期排列,相邻反射面单元之间的间距相同,每个反射面单元为矩形金属贴片,并且在贴片沿斜 45° 方向设置矩形槽。

[0013] 进一步地,所述寄生贴片6上的缝隙设置于电偶极子天线辐射臂之间的中线上,形状优选为“十”字形。

[0014] 进一步的,寄生贴片6上缝隙对磁偶极子天线的谐振频率有影响,具体规律为:缝隙越大,对寄生贴片上电流扰动越大,有效增加寄生贴片电长度,降低谐振频率,反之亦然。

[0015] 进一步地,所述寄生贴片6的形状对天线功能没有影响,可以为三角形、矩形、扇形等。

[0016] 进一步的,寄生贴片6的大小对磁偶极子天线的谐振频率有影响,具体规律为:寄生贴片的面积越大,谐振频率越低,反之亦然。

[0017] 进一步的,所述四个垂直金属7臂通过金属螺丝10分别与寄生贴片6和金属地板4相连接,垂直金属臂、寄生贴片和金属地板组成完整的磁偶极子天线。

[0018] 进一步的,所述同轴馈电线9从天线的中心馈入,外导体与金属地板和上层介质基板下表面的电偶极子连接,内导体与上层介质基板上表面的电偶极子连接,对电偶极子直接馈电;磁偶极子通过电偶极子耦合馈电。

[0019] 本发明的机理为：

[0020] 本发明通过同轴线给交叉电偶极子馈电实现圆极化，同轴线内外导体的幅度相等，相位差为 180° ；位于介质基板上下表面两两相对的一对辐射臂构成一个电偶极子天线，两个相同的电偶极子正交放置；自相移馈电网络为四分之一波长的环形微带线，产生 90° 的相移；因此，两个电偶极子的四个辐射臂馈入的电流幅度相等，相位依次相差 90° ，从而在远场产生圆极化方向图。电偶极子辐射臂为扇形，扇形设计可以改变天线的谐振点，拓宽了天线的阻抗带宽。

[0021] 通过增加寄生的一对垂直放置的磁偶极子展宽了波束宽度，增大了低仰角处的增益；磁偶极子的寄生贴片位于电偶极子天线辐射臂之间的中线上，而且由电偶极子耦合馈电，因此也产生了 90° 的相位差，从而在远场产生圆极化方向图；磁偶极子天线的方向图与电偶极子天线的方向图形式相同，差别仅在于对电偶极子天线是E面方向图，对磁偶极子天线是H面方向图，根据方向图相乘原理，磁偶极子天线的方向图和电偶极子天线的方向图在空间上互补，通过控制磁偶极子天线的尺寸和位置，就可以拓宽波束宽度，并且增大低仰角处的增益。磁偶极子的四个寄生贴片上设置缝隙，通过调整缝隙的尺寸微调磁偶极子天线的谐振频率。

[0022] 除此之外，本发明采用新型AMC结构代替传统的PEC结构（理想电导体），作为天线的反射板，有效降低天线的剖面高度。PEC作为反射板时，反射波的电场相位和入射波的电场相位差为 180° ，天线辐射贴片与反射板之间的距离一般大于四分之一个工作波长；AMC作为反射板时，反射波的磁场相位和入射波的磁场相位相同，反射板和天线之间的距离没有要求，从而可以降低天线的剖面高度。AMC反射面包括四个 2×2 的周期设置的单元，每个单元反射面沿斜 45° 方向设置一个矩形槽，不仅避免了与磁偶极子垂直臂的接触，而且可以通过改变AMC单元的形状，间接改变其等效容抗与感抗，增大AMC反射相位带宽，减小对整体天线带宽性能的影响。

[0023] 另外，AMC和上层介质基板的空气层也可以拓宽天线的阻抗带宽，增大增益。

[0024] 综上所述，由于采用了上述技术方案，本发明的有益效果是：

[0025] 1. 本发明提供了一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线，天线整体采用PCB板和金属导体组合而成，结构简单，易于加工组装。

[0026] 2. 本发明天线通过对电偶极子辐射臂设计成特定的扇形形状，有效拓宽天线阻抗带宽；并且通过寄生磁偶极子拓宽了天线的波束宽度，增大了低仰角处增益，其3dB轴比波束宽度可达 186° 。

[0027] 3. 本发明采用了一种新型AMC结构，适用于电磁偶极子天线，该AMC结构紧凑，设计简单，可以有效地降低天线的剖面高度；在介质基板和AMC之间引入空气层，拓宽天线的阻抗带宽，增大天线的增益。

[0028] 4. 本发明天线的总体尺寸为 $0.48\lambda_0 \times 0.48\lambda_0 \times 0.054\lambda_0$ （ λ_0 为天线中心频点处工作波长），具有小型化、低剖面特点。

附图说明

[0029] 图1是本发明天线结构示意图。

[0030] 图2是本发明天线结构侧视图。

- [0031] 图3是本发明天线结构俯视图。
- [0032] 图4是本发明天线中AMC结构平面示意图。
- [0033] 图5是本发明实施例中天线中AMC添加槽前后反射相位仿真图。
- [0034] 图6是本发明实施例中天线添加AMC结构前后回波损耗仿真结果图。
- [0035] 图7是本发明实施例中天线中心频点处增益方向图。
- [0036] 图8是本发明实施例中天线中心频点处轴比方向图。

具体实施方式

[0037] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面结合实施方式和附图，对本发明作进一步地详细描述。

[0038] 一种用于卫星通信的低剖面低仰角高增益圆极化电磁偶极子天线，其结构示意图如图1~图3所示，具体包括：上层介质基板1、下层介质基板2、AMC(人工磁导体)反射面3、金属地板4、四个电偶极子天线辐射臂5、四个寄生贴片6和四个垂直金属臂7、自相移馈电网络8以及同轴馈电线9。

[0039] 图1是本发明天线结构示意图，图3是本发明天线结构俯视图。从图中可以看出，所述的四个电偶极子天线辐射臂5形状相同，均为扇形，呈“十”字形交叉排列，扇形靠近介质基板中心的内侧边为直线，外侧边为圆弧；其中两个电偶极子天线辐射臂5设置于上层介质基板1的上表面，且两个电偶极子天线辐射臂5的中线相互垂直；另外两个电偶极子天线辐射臂5设置于上层介质基板1的下表面，使得四个电偶极子天线辐射臂5在位置上呈“十”字形交叉排列，位于同一表面的相邻两个电偶极子天线辐射臂通过一个矩形金属片与自相移馈电网络连接，矩形金属片的宽度与扇形内侧边长度相等，其中，自相移馈电网络为四分之一波长的环形微带线，产生 90° 的相移，进而使得四个电偶极子天线辐射臂沿顺时针方向相位依次相差 90° ；

[0040] 所述四个寄生贴片6设置于上层介质基板1的下表面，且位于电偶极子天线辐射臂5之间的中线上，所述寄生贴片6上设置“十”字形缝隙；通过调整缝隙的尺寸微调磁偶极子天线的谐振频率。

[0041] 图2是本发明天线结构侧视图。从图中可以看出，AMC反射面3位于下层介质基板2的上表面，所述垂直金属臂7设置于上层介质基板1和下层介质基板2之间，两层介质基板和下层介质基板之间形成空气层，金属地板4位于下层介质基板2的下表面，同轴馈电线9设置于天线中心处进行馈电。垂直金属臂7通过金属螺丝10分别与寄生贴片6和金属地板相连接，三者组成完整的磁偶极子天线；而且磁偶极子的寄生贴片位于电偶极子天线辐射臂之间的中线上，而且由电偶极子耦合馈电，因此也产生了 90° 的相位差，从而在远场产生圆极化方向图。

[0042] 图4是本发明天线中AMC结构平面示意图。本发明设计的AMC结构包括四个 2×2 周期设置的矩形反射面单元，每个单元反射面沿斜 45° 方向设置一个矩形槽，不仅避免了与磁偶极子垂直臂的接触，而且可以增大AMC反射相位带隙。AMC使得反射波的磁场相位和入射波的磁场相位相同，反射板和天线之间的距离没有要求，从而降低天线的剖面高度。

[0043] 所述的同轴线从天线的中心馈入，外导体与金属地板和上层介质基板上表面的电偶极子连接，内导体与上层介质基板上表面的电偶极子连接，对电偶极子直接馈电；磁偶极

子通过电偶极子耦合馈电。

[0044] 需要说明的是,本发明中的电偶极子辐射臂为扇形,但是形状并不局限于扇形,天线设计过程中可根据实际要求,采用其他形状的辐射臂。另外,本发明中的磁偶极子辐射贴片上设置的缝隙并不局限于“十”字交叉缝隙,可以刻蚀其他缝隙,用于微调磁偶极子的谐振频率。

[0045] 实施例1

[0046] 本实施例中,所述用于卫星通信的圆极化电磁偶极子天线中,所述天线呈正方体,总尺寸为 $84.5\text{mm} \times 84.5\text{mm}$,总体高度为 11.8mm ,上下两层介质基板之间的空气层高度为 $h = 7\text{mm}$,所述寄生贴片采用三角形贴片。上层介质基板的厚度 $h_1 = 0.8\text{mm}$,可选介电常数为4.6、损耗角正切为0.02的FR4,介质基板缺角仅仅是为了工艺节省,并无功能上的限定;下层介质基板的厚度 $h_2 = 2\text{mm}$,可选介电常数为4.6、损耗角正切为0.02的FR4;AMC反射面由四个周期排列的反射单元组成,单元尺寸为 $41\text{mm} \times 41\text{mm}$,相邻单元之间的间距 $w_{s1} = 3\text{mm}$,单元反射面上设置的矩形槽的参数为: $l_s = 10\text{mm}$, $w_s = 8\text{mm}$ 、单个电偶极子天线辐射臂尺寸为 $w_1 = 4.5\text{mm}$, $a_2 = 20^\circ$, $l_2 = 36\text{mm}$,单个磁偶极子的寄生贴片的尺寸为 $w_2 = 33\text{mm}$, $l_3 = 45\text{mm}$,且三角形顶点到介质基板中心的长度为 $l_7 = 10\text{mm}$ ，“十”字缝隙的尺寸为 $l_4 = 20\text{mm}$, $l_5 = 10\text{mm}$, $w_3 = 2\text{mm}$,垂直金属臂的尺寸为 $8\text{mm} \times 6\text{mm} \times 7\text{mm}$ 、自相移馈电网络弧长为四分之一波长(连接同层电偶极子天线辐射臂的四分之三周长的圆弧),宽度 0.7mm 的圆弧,距中心 $l_6 = 4.5\text{mm}$ (如图1~图4)。

[0047] 上述尺寸均为经过计算及优化后的特定尺寸,如尺寸变化,发明实施例的性能会恶化。

[0048] 对其进行仿真测试,结果表明:图5是本发明实施例中天线中AMC添加槽前后反射相位仿真图。从图中可以看出,本发明实施例中AMC单元沿斜 45° 方向开出一个矩形槽可以有效增大AMC反射相位带宽($|\text{deg}_S11| \leq 90^\circ$),减小对整体天线带宽性能的影响。图6是本发明实施例中天线添加AMC结构前后回波损耗仿真结果图,从图中可以看出,本发明实施例天线回波损耗小于 -10dB 的阻抗带宽是 $1.175\text{GHz} \sim 1.715\text{GHz}$,达到 36.48% 。将本发明的天线和未加AMC结构的天线对比可以发现,空气层厚度 $h = 18\text{mm}$ 时,未加AMC结构的天线阻抗带宽很宽,当降低天线剖面高度 $h = 7\text{mm}$ 时,未加AMC结构的天线阻抗匹配急剧恶化,所需带宽内回波损耗明显增加,不改变其它结构,天线加入AMC反射面, $h = 7\text{mm}$,天线的阻抗匹配明显变好,在 $1.175\text{GHz} \sim 1.715\text{GHz}$ 范围内,回波损耗小于 -10dB 。

[0049] 图7是本发明实施例中天线中心频点处增益方向图,由天线的仰角增益图可知,在中心频率 $f_0 = 1.48\text{GHz}$ 处,仰角大于 20° 时的增益均大于 0dBic ,尤其仰角 30° 时的增益可达到 1.14dBic ;而天线的后向辐射很小,前后比可以达到 35dB ;图8是本发明实施例中天线中心频点处轴比方向图,在中心频率 $f_0 = 1.48\text{GHz}$ 处,当 $\text{Theta} = 0^\circ$,轴比为 0.3dB 。从图7和图8可以得知,在中心频率 $f_0 = 1.48\text{GHz}$ 处,当 $\text{phi} = 0^\circ$ 时, $3\text{dB_ARBW} = 185^\circ$, $\text{HPBW} = 110.5^\circ$,当 $\text{phi} = 90^\circ$ 时, $3\text{dB_ARBW} = 186^\circ$, $\text{HPBW} = 111^\circ$ 。

[0050] 由此可见,本发明天线中AMC结构能有效降低天线的剖面高度,而且天线实现了宽带、低剖面、宽波束、低仰角高增益的性能。

[0051] 以上所述,仅为本发明的具体实施方式,本说明书中所公开的任一特征,除非特别叙述,均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换;所公开的所有特征、或所有方

法或过程中的步骤,除了互相排斥的特征和/或步骤以外,均可以任何方式组合。

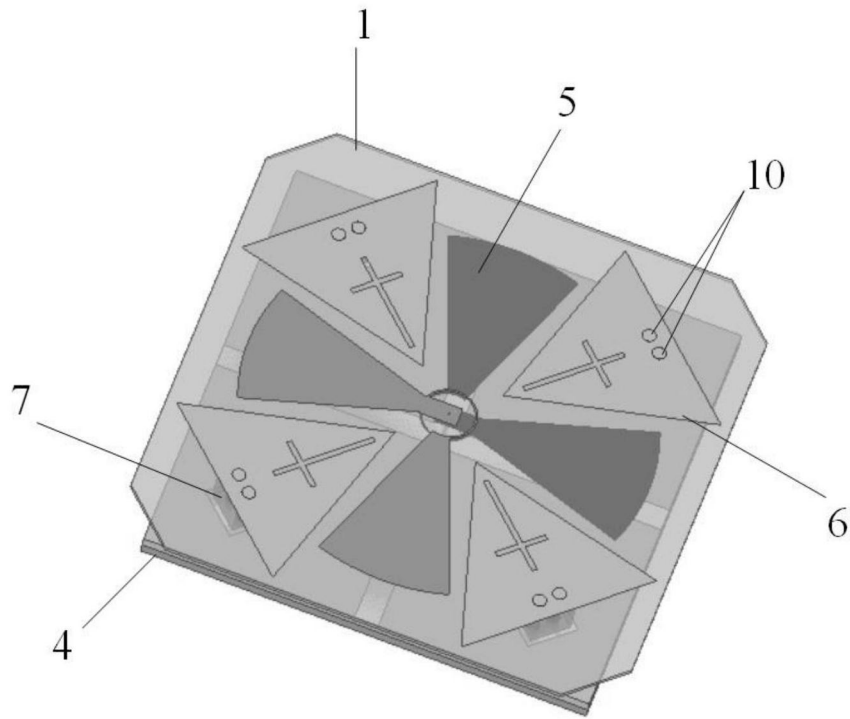


图1

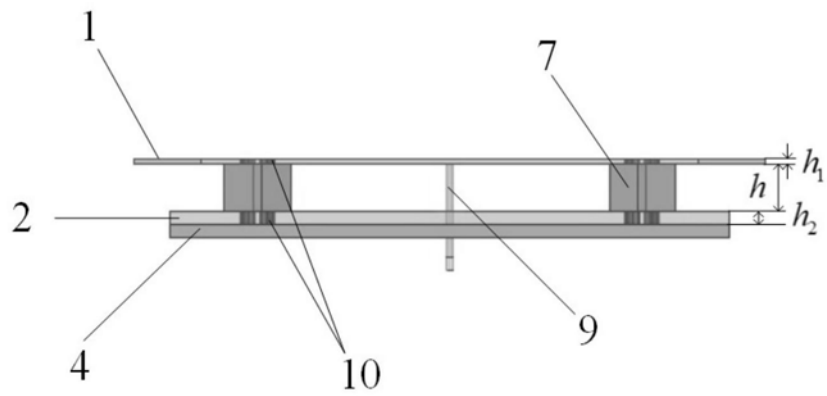


图2

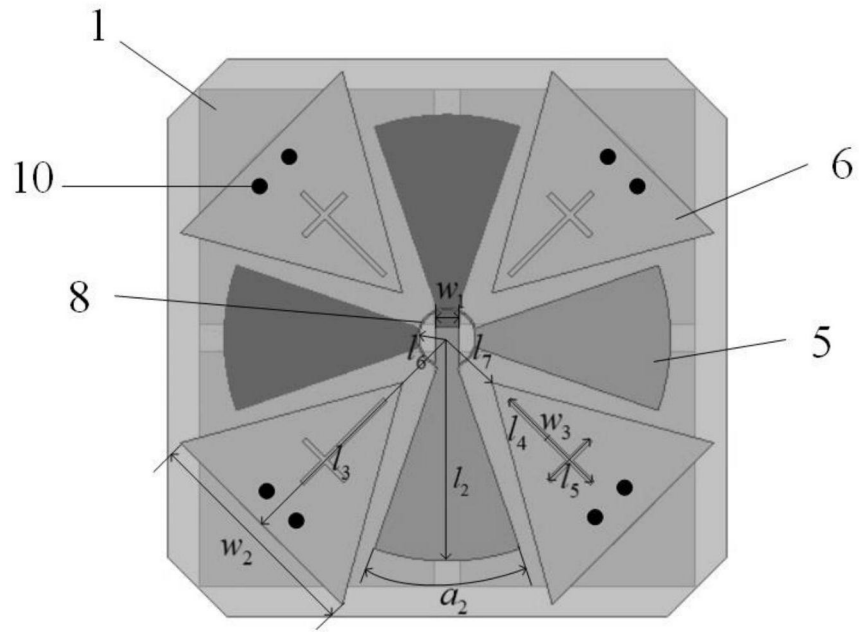


图3

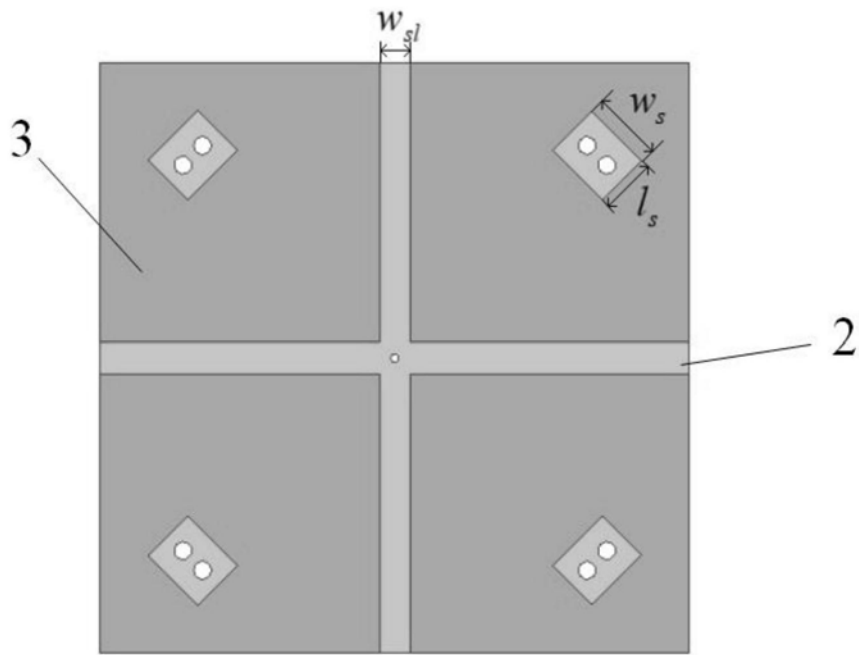


图4

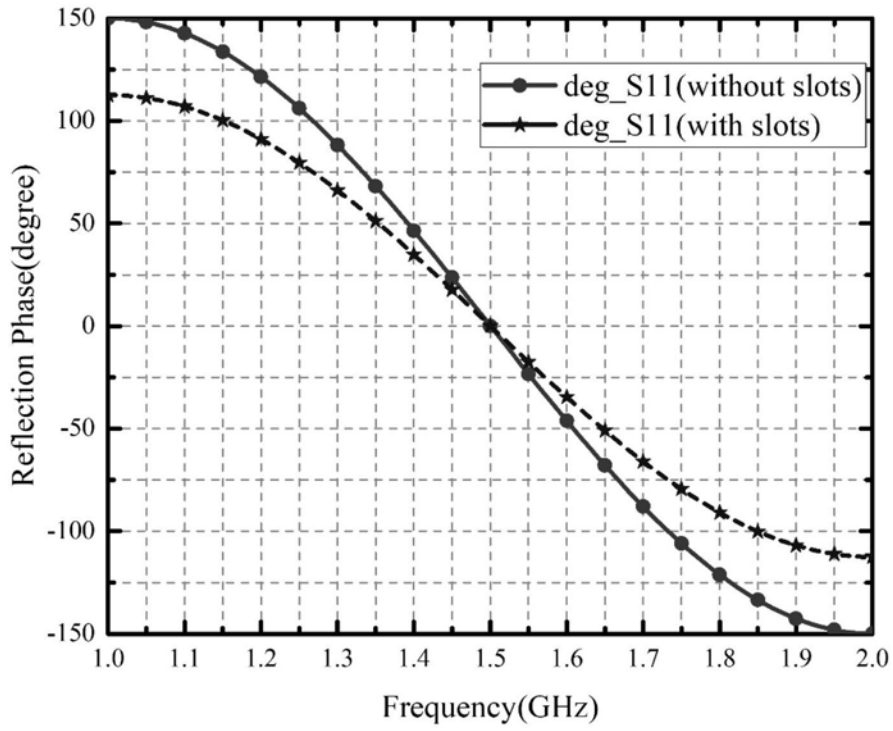


图5

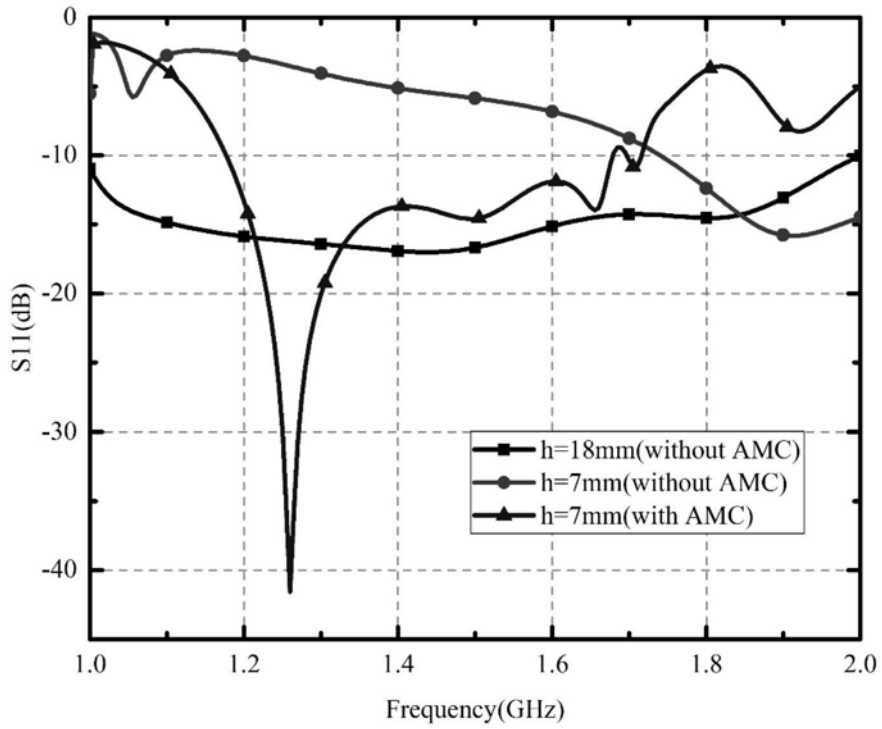


图6

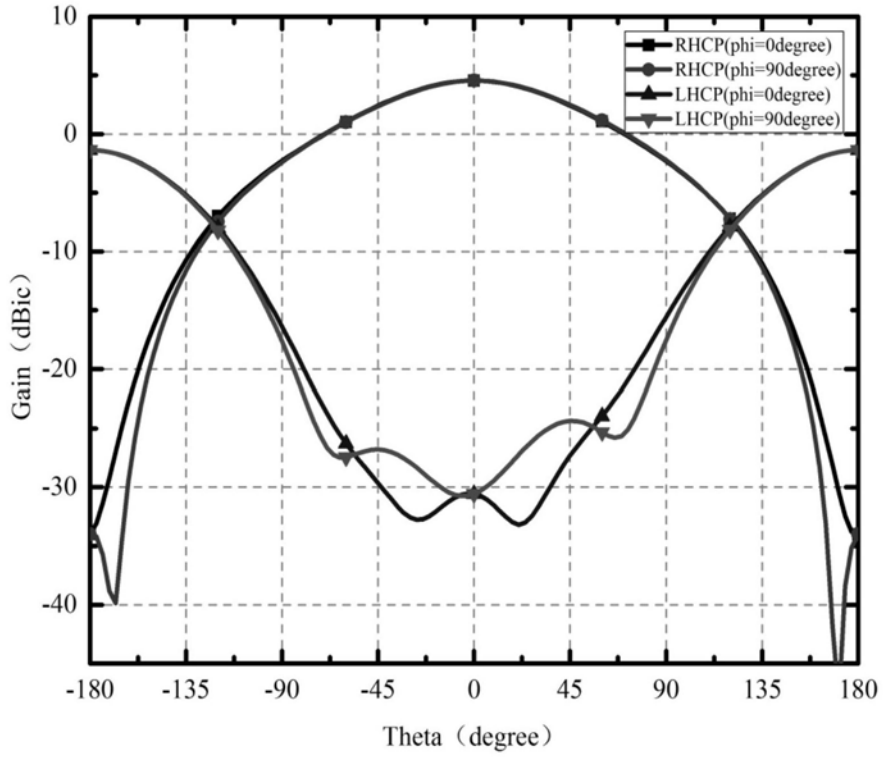


图7

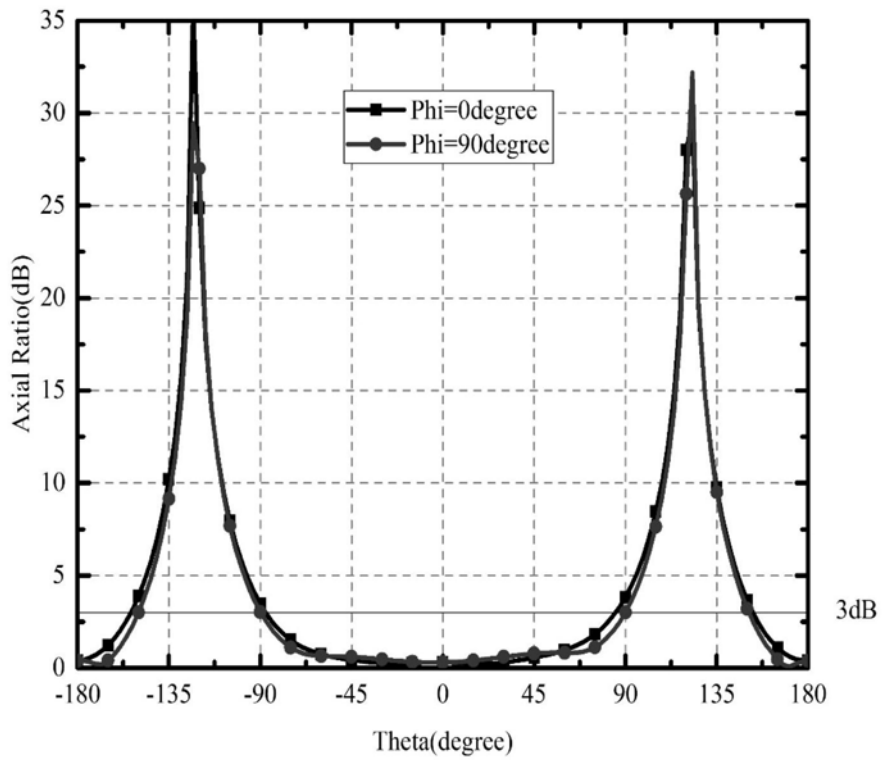


图8