

EBG 结构的小型圆极化微带天线

杨绍华, 张福顺, 焦永昌

(西安电子科技大学天线与微波技术国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文论述了小型圆极化微带天线提高方向图前后辐射比的实现途径. 文中采用在微带贴片背后附加 EBG 结构作为微带天线的地面, 并在 EBG 结构地面周边加齿的新方法来提高小地面情况下微带天线方向图的前后辐射比, 并对设计出的微带天线电特性进行了测量, 测量结果说明该方法对提高小型微带天线方向图的前后辐射比是非常有效的.

关键词: 微带天线; EBG 结构; 方向图; 前后辐射比

中图分类号: TN821 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 11-1930-03

The Circularly Polarized Microstrip Patch in Small Size with EBG Construction

YANG Shao-hua, ZHANG Fu-shun, JIAO Yong-chang

(National Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian Univ., Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: This paper deals with the method to raise the front to back (F/B) ratio on the pattern for the circularly polarized microstrip antenna patch in small size. Here the EBG construction on the patch opposite plane is adopted to be the ground and the continual tooth around the circumambient edges of the EBG ground are made, so that the F/B is increased for the patch ground in small size. The electric parameters of the designed patch are measured. The experimental results shows that this method is effective.

Key words: microstrip patch; EBG construction; pattern; front to back ratio

1 引言

微带贴片天线是七十年代初期研制成功的一种新型的天线, 与普通天线相比, 它具有体积小、重量轻、剖面薄、制作简单和成本低等优点. 但其致命缺点是在地面尺寸与辐射单元尺寸近似相等的情况下, 天线方向图的前后比变差, 导致这一问题的主要原因是有限大地面所存在的表面波所致, 为了解决这一问题, 本文探讨了以 EBG (Electromagnetic Band Gap Material) 为微带贴片天线地面且周边加锯齿的方法来提高方向图前后辐射比的途径. 研究结果说明该方法是行之有效的. 对 EBG 结构电特性的分析研究已有不少文献^[1~3]. EBG 结构用于单极天线国内外也有学者进行过研究^[1], 他们研究了在单极天线或微带贴片周围附加 EBG 结构来抑制表面波^[5,6]. 由于所研究的天线有小型化的要求, 本文主要研究了在微带贴片介质背面附加 EBG 结构来抑制表面波, 从而提高天线方向图的前后比.

2 设计方法

2.1 EBG 结构的设计

高阻表面 EBG 结构的设计可按等效电路模型设计^[3], 单元等效 LC 参数由式 (1)、(2) 给出:

$$L = \mu_0 h \quad (1)$$

$$C = -\cot \operatorname{sh} \left(\frac{a}{g} \right) \quad (2)$$

式中, a 为周期长度, w 为正方形单元的边长, g 为单元之间的带隙宽度, h 为基板厚度. 为微带基板的介电常数. EBG 结构示意图如图 1 所示.

依据上述理论, 选择介质基板的介电常数 $\epsilon_r = 16$, $h = 2\text{mm}$, 面积 $30 \times 30\text{mm}^2$, 周期单元的长度 $a = 6.5\text{mm}$, 宽度 $w = 2.2\text{mm}$, 短路孔直径 $d = 1\text{mm}$, 周期单元间的距离 $g = 0.5\text{mm}$ 设计了 EBG 结构, 并对设计出的 EBG 结构, 用 Wiltron37269 矢量网络分析仪测量了其反射及传输特性, 测量结果如图 2 所示.

由图 2 可见, 在 1 - 3GHz 频率范围内, 表面波的衰减很

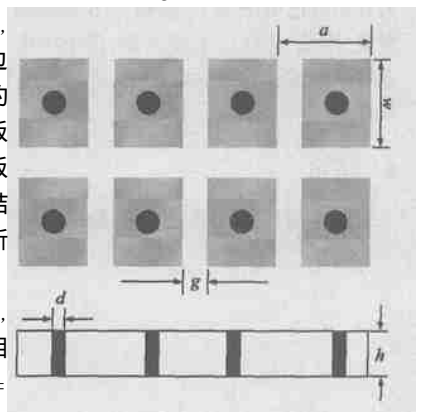


图 1 EBG 结构示意图

大,几乎不能传输,故该结构有明显的阻带效应.这个实验结果与 Ansoft HFSS 模拟结果基本一致.而欲使用的工作频率为 1.615GHz,因此,此种 EBG 结构可以满足使用要求.

2.2 圆极化的设计

单馈点圆极化微带天线是基于腔模理论的,利用两个辐射正交化的简并模工作.在给定中心频率 f_r 下,矩形微带贴片的尺寸有下式给出^[7]:

$$a = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{r+1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{2} \left(\frac{r-1}{r+1} \right)^{\frac{1}{2}} l = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} - 2l \quad (4)$$

$$\epsilon_r = \frac{1}{2} \left[r + 1 + (r-1) \left(1 + \frac{10h}{a} \right) \right] \quad (5)$$

$$l = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(r+0.3)(a/h+0.264)}{(r-0.258)(a/h+0.8)} \quad (6)$$

式中, a 为矩形贴片的长度; b 为矩形贴片的宽度; h 为微带基片的厚度; r 为微带基板的相对介电常数; c 为光速 (3×10^8 米/秒); l 为设计尺寸的缩进量.

馈点位置由式(7)确定^[7]:

右旋圆极化

$$y_0 = \frac{b}{a} \arccos \left[\left(\frac{R_{in} ab}{120_0 h Q} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad x_0 = \frac{a}{b} y_0 \quad (7a)$$

左旋圆极化

$$y_0 = \frac{b}{a} \arccos \left[\left(\frac{R_{in} ab}{120_0 h Q} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad x_0 = a - \frac{a}{b} y_0 \quad (7b)$$

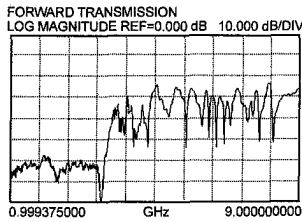
$$Q = \left(\frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \right)^{-1} \quad (8)$$

其中, Q_r , Q_c , Q_d , Q_{sw} 分别是辐射损耗,导体损耗,介质损耗和表面波损耗功率所对应的品质因素.对于矩形贴片,有如下近似公式^[7]:

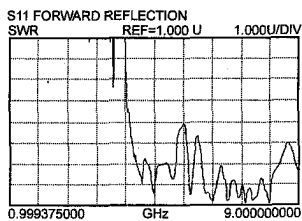
$$\begin{cases} Q_r = \frac{c \sqrt{\epsilon_r}}{4 h f_r} \\ Q_c = h \left(\frac{120_0}{c} \right)^{\frac{1}{2}} \\ Q_d = \frac{1}{\text{tg}} \\ Q_{sw} = \left(\frac{0}{3.4 h \sqrt{\epsilon_r - 1}} - 1 \right) Q_r \end{cases} \quad (9)$$

式中, c 为贴片的电导率.

当 $f_r = 1.615\text{GHz}$, $r = 16$, $h = 2\text{mm}$, $\text{tg} = 0.001$ 时,矩形微带贴片长度 $a = 21\text{mm}$;宽度 $b = 20.5\text{mm}$;馈点位置 $(x_0, y_0) =$



(a) 传输特性 (S_{21}) 的测量曲线



(b) 反射特性 (S_{11}) 的测量曲线

图 2 EBG 传输反射特性测量曲线

$$\epsilon_r = \frac{1}{2} \left[r + 1 + (r-1) \left(1 + \frac{10h}{a} \right) \right] \quad (5)$$

$$l = 0.412 \cdot h \cdot \frac{(r+0.3)(a/h+0.264)}{(r-0.258)(a/h+0.8)} \quad (6)$$

式中, a 为矩形贴片的长度; b 为矩形贴片的宽度; h 为微带基片的厚度; r 为微带基板的相对介电常数; c 为光速 (3×10^8 米/秒); l 为设计尺寸的缩进量.

馈点位置由式(7)确定^[7]:

右旋圆极化

$$y_0 = \frac{b}{a} \arccos \left[\left(\frac{R_{in} ab}{120_0 h Q} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad x_0 = \frac{a}{b} y_0 \quad (7a)$$

左旋圆极化

$$y_0 = \frac{b}{a} \arccos \left[\left(\frac{R_{in} ab}{120_0 h Q} \right) \right]^{\frac{1}{2}}, \quad x_0 = a - \frac{a}{b} y_0 \quad (7b)$$

$$Q = \left(\frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}} \right)^{-1} \quad (8)$$

其中, Q_r , Q_c , Q_d , Q_{sw} 分别是辐射损耗,导体损耗,介质损耗和表面波损耗功率所对应的品质因素.对于矩形贴片,有如下近似公式^[7]:

$$\begin{cases} Q_r = \frac{c \sqrt{\epsilon_r}}{4 h f_r} \\ Q_c = h \left(\frac{120_0}{c} \right)^{\frac{1}{2}} \\ Q_d = \frac{1}{\text{tg}} \\ Q_{sw} = \left(\frac{0}{3.4 h \sqrt{\epsilon_r - 1}} - 1 \right) Q_r \end{cases} \quad (9)$$

式中, c 为贴片的电导率.

当 $f_r = 1.615\text{GHz}$, $r = 16$, $h = 2\text{mm}$, $\text{tg} = 0.001$ 时,矩形微带贴片长度 $a = 21\text{mm}$;宽度 $b = 20.5\text{mm}$;馈点位置 $(x_0, y_0) =$

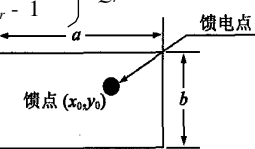


图 3 微带贴片结构示意图

(8.5,9.5) (mm),其馈电位置结构示意图如图 3 所示.

2.3 小型化的设计

为了保证天线的几何尺寸 ($30 \times 30\text{mm}^2$) 不变,不能把周期结构加在贴片的周围,如果加在天线的周围,依据 EBG 理论分析可知^[6],天线的方向图的后瓣会很小,然而带来的问题是贴片的几何尺寸会变大,达不到小型化的目的,为此,选用 EBG 结构附加在贴片的背面作为地面,如图 4 所示.由理论分析可知^[5],由于不能完全抑制天线侧面辐射的表面波,所以方向图的前后比不能达到最佳值.

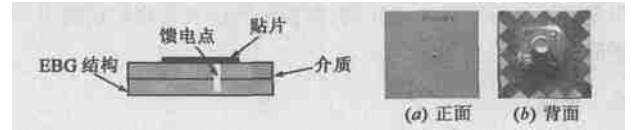


图 4 贴片背后附加 EBG 结构微带天线示意图

为了进一步提高天线方向图的前后辐射比,采用了 EBG 地面周边加锯齿的方法^[4].即在 $30 \times 30\text{mm}^2$ 的 EBG 结构的地面四周各边上各剪 5 个高度为 3mm 的均匀锯齿,其天线实物照片如图 5 所示.

3 实验验证

用远场测量^[8]的方法对微带贴片背后附加 EBG 结构的微带天线 ($r = 16$) 方向图进行了测量,天线尺寸为 $30 \times 30\text{mm}^2$,天线厚度 4mm,测试频率为 1.615GHz,其测量结果如图 6 所示.

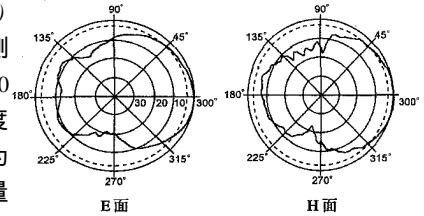


图 6 背后附加 EBG 结构微带天线的实测方向图

为了证明该方法的有效性,又测量了常规单点馈电圆极化微带天线 ($r = 16$),天线尺寸为 $30 \times 30\text{mm}^2$,天线厚度 2mm,测试频率为 1.615GHz,其测量结果如图 7 所示.

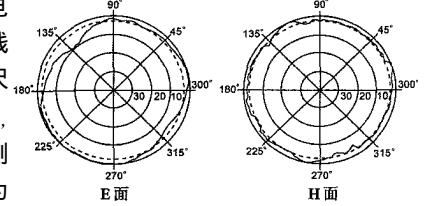


图 7 常规微带天线的实测方向图

比较图 6、图 7 的方向图测量结果,可以看出,背后附加 EBG 结构的微带天线的方向图有了明显的改善,方向图的前后比已达到了 8dB.在地面为 $30 \times 30\text{mm}^2$ 的尺寸不变的条件下,该设计方法与常规微带贴片 (同样尺寸) 相

比较图 6、图 7 的方向图测量结果,可以看出,背后附加 EBG 结构的微带天线的方向图有了明显的改善,方向图的前后比已达到了 8dB.在地面为 $30 \times 30\text{mm}^2$ 的尺寸不变的条件下,该设计方法与常规微带贴片 (同样尺寸) 相

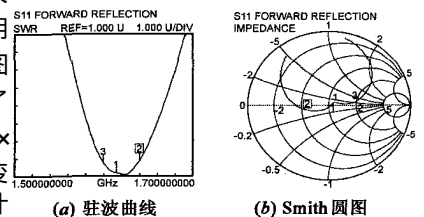


图 8 带 EBG 结构微带天线阻抗实测曲线

比,前后比改善了 7dB,而且增益达到了 5dB.

用线极化法^[8]对该天线的圆极化轴比进行了测量,10MHz 内,轴比小于 1.5dB;

用 Wiltron 37269 矢量网络分析仪对该天线的驻波特性进行了测量,其测量结果如图 8 所示.

4 结束语

本文所提出的 EBG 结构作为地板且在地板四周加锯齿结构可以使微带天线小型化,而且方向图的前后比明显变好.但是关于如何控制 EBG 结构,提高天线的其它指标仍需进一步的研究.

参考文献:

- [1] D Sievenpiper, et al. Antennas on high-impedance ground planes[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques Digest (0 - 7803 - 5135 - 5), 1999:1245 - 1248.
- [2] L Zhang. An efficient finite-element method for the analysis of photonic band-gap materials[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques Digest (0 - 7803 - 5135 - 5), 1999:1703 - 1706.
- [3] D Sievenpiper. High-impedance electromagnetic surface with forbidden frequency band[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(11):2059 - 2074.
- [4] G H Huff J T Bernhard. Improvements in the performance of microstrip antennas on finite ground planes through ground plane edge serrations [J]. IEEE Transactions on microwave and wireless components letters, 2002, 12(8):308 - 310.
- [5] 包秀龙,等.各向异性媒质中光子带隙结构色散特性的时域伪谱法分析[J].电子学报,2003,31(12):1761 - 1764.
- [6] 胡荣,张雪霞. EBG 结构特性的研究及其在天线中的应用[J].电子学报,2003,31(12):1765 - 1770.
- [7] 钟顺时.微带天线理论与应用[M],西安:西安电子科技大学出版社,1992.48 - 150.
- [8] 张福顺,等.天线工程手册[M],北京:电子工业出版社,2002.1229 - 1222.

作者简介:



杨绍华 男,1962 年出生于湖南常德市.现任中国电子科技集团第 7 研究所,高级工程师,主要研究方向为天线小型化技术,发表学术论文 10 余篇,西安电子科技大学在读博士生.



张福顺 男,1960 年出生于陕西西安市,西安电子科技大学教授,博士生导师,博士,主要研究方向为天线理论与工程及测量,发表学术论文 50 余篇,其中,10 余篇被 EI 收录,出版的专著有《天线工程手册》、《天线测量》和《天线近场测量误差分析与系统》.



焦永昌 男,1964 年出生于山西芮城县,西安电子科技大学教授,博士生导师,博士,陕西省人大常委,主要研究方向为天线 CAD 技术,曾应邀出访日本和香港作访问学者.发表学术论文 60 余篇,其中 20 余篇发表被 SCI、EI 收录.