

文章编号: 1001- 2486(2006) 01- 0033- 05

# 紧凑型电磁带隙结构短路销钉微带天线\*

郑秋容, 袁乃昌, 林宝勤

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 提出一种带有短路销钉的紧凑型电磁带隙结构微带天线, 并与相同尺寸的普通短路销钉微带天线作比较。测试结果表明, 该电磁带隙结构天线在增益上增加了 3dB, H 面的交叉极化有了明显的改善。同时也证明了设计具有同样谐振频率的电磁带隙结构单元, 使用这种紧凑型结构的单元尺寸仅为普通结构的 40% ~ 50%。这对最终实现电磁带隙结构微带相控阵天线具有重要意义。

**关键词:** 微带天线; 电磁带隙结构; 辐射方向图; 高阻表面

中图分类号: TN011 文献标识码: A

## The Micro-strip Shorted Patch Antenna with Compact Electromagnetic Band-gap Structure

ZHENG Qiu-rong, YUAN Nai-chang, LIN Bao-qin

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A micro-strip shorted patch antenna with a compact electromagnetic band-gap structure (CEBG) is presented and a performance comparison is made with the conventional short-patched device of identical dimensions. Measured data shows a gain improvement of 3dB and a significant reduction cross polarization for the CEBG antenna. Meanwhile it proves that the design of the same resonant frequency can be attained under such a condition that the CEBG structure cell size is only about 40% ~ 50% of conventional structure. It indicates that the suggested condition is significant in realizing the array of EBG of micro-strip phased antenna.

**Key words:** micro-strip antenna; EBG structure; radiation pattern; HIGP

近年来, 在无线通信领域, 人们越来越关注如何减小微带天线的体积<sup>[1-3]</sup>。常用的方法有两种: 采用短路销钉(或短路壁)和高介电常数材料。将短路贴片天线安装在塑料泡沫上, 其辐射性能和阻抗带宽有了很大改善, 但采用这种材料与印刷电路技术相比, 将会增加制作的难度和降低天线的可靠性。

跟许多贴片天线一样, 短路贴片天线的辐射性能将随着材料的介电常数的增加而降低, 其中的主要原因是随着介电常数的增加, 天线工作带宽在减小。因此为了提高天线带宽, 此时只能增加介质材料的厚度。但是随着介质材料厚度的增加, 天线的表面波将会急剧增加。这种电磁波能够沿着介质表面传播, 一旦遇到介质材料的不连续处, 电磁波将向空间传播。这种辐射的表面波会急剧恶化天线的辐射方向图。迄今为止, 人们已采用一些方法去抑制表面波, 其中包括电磁带隙(EBG)结构。1999年, D. Sievenpiper 提出了一种谐振式的 EBG 结构<sup>[4]</sup>, 被称为 Sievenpiper 结构。这种结构对某一频段的平面波(TE 模以及 TM 模)具有高阻特性, 也就是结构本身具有表面波带隙特性。这种结构具有两种特性: 一是对在其表面传播的表面波(频率位于其阻带之内)具有抑制作用; 二是对其表面上方入射的平面波具有同相反射的效果。经过各种抑制方法的比较, 人们<sup>[5-6]</sup>发现采用周期结构的高阻表面是到目前为止抑制表面波最有效的方法。

但在实际应用中, Sievenpiper 结构的单元尺寸却成为其应用的一个瓶颈。在天线阵列中, 天线单元间距不能超过二分之一自由空间波长, 否则会在方向图中出现栅瓣。天线单元之间的间距只能容纳 2~ 3 个 Sievenpiper 结构单元<sup>[7-8]</sup>。本文将采用一种新型 CEBG 结构应用于短路销钉微带天线中, 利用其表面波带隙特性抑制天线的表面波的传播, 降低天线的交叉极化电平。我们制作了两个材料相同

\* 收稿日期: 2005- 09- 05

基金项目: 国家部委资助项目(51307)

作者简介: 郑秋容(1973-), 男, 博士生。

(F<sub>4</sub>BK 聚四氟乙烯玻璃覆铜箔板)的微带天线。一个贴片天线的周围布满了电磁带隙结构,另一个不加电磁带隙结构。最终的研究可以发现,带有电磁带隙结构的微带天线比普通天线增益上增加了3dB,同时H面的交叉极化有了明显的减少。

## 1 EBG 结构

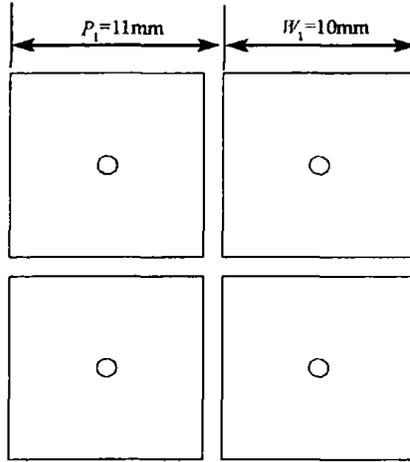


图1 Sievenpiper EBG

Fig. 1 Sievenpiper EBG

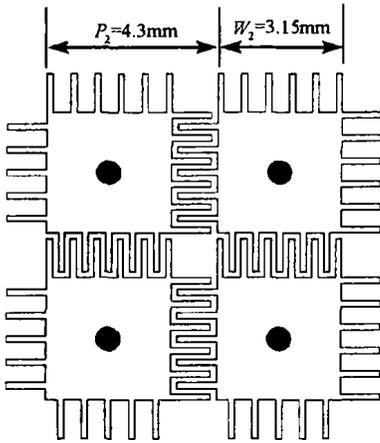


图2(a) 紧凑型 EBG

Fig. 2(a) Compact EBG

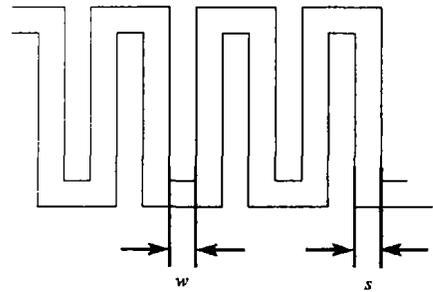


图2(b) 交指电容结构

Fig. 2(b) Structure of interdigital capacitor

图1和图2所示为常用的 Sievenpiper EBG 结构与紧凑型 EBG 结构的几何平面图。在设计电磁带隙结构时,  $f = 1/2\pi \sqrt{LC}$ 。一旦材料确定,则  $L$  也随之确定,所以只能通过改变电容  $C$  来改变谐振频率。在本文的紧凑型 EBG 结构中,将提出一种交指电容的概念。本文设计的电磁带隙的结构如图2所示,它不是一个正方形贴片,两个相邻单元之间的边缘互相交错产生一个大的交指电容,从而提高电容  $C$  的值,达到减小电磁带隙结构面积的目的。电容  $C$  的值为<sup>[9]</sup>

$$C = \frac{(\epsilon + 1) \mathfrak{K}(k)}{2K(k')} (N - 1)l$$

$w$  和  $s$  表示交指的宽度和间距,  $N$  表示交指的数目,  $l$  表示指长,  $k = \frac{\sqrt{(a+b)^2 - a^2}}{a+b}$ ,  $a = s/2$ ,  $b = (w + s)/2$ ,  $k' = \sqrt{1 - k^2}$ ,  $K(k)$  表示第一类完全椭圆积分函数,  $\epsilon$  为介质的相对介电常数。要使设计的电容最大,必须使得交指的宽度与间距相等。基于这个原则,本次设计的谐振频率设为 3.0GHz,电容参数为:  $w = s = 0.15\text{mm}$ ,  $l = 1\text{mm}$ ,正方形贴片的长度为 3.15mm。而采用常用的 Sievenpiper EBG 结构模型,得

到的参数为: 正方形宽度为 10mm, 周期长度为 11mm。

正基于此, 本文采用图 2 中的紧凑型 EBG 结构, 表面波带隙位于 3.0GHz 周围的窄带之内。采用微波网络分析仪测试的 EBG 的表面波带隙与模型计算的结果吻合得较好, 测试结果如图 3 所示。在 2.7~ 3.4GHz 范围内, 表面波传输系数下降了 27~ 43dB, 这正表明 2.7~ 3.4GHz 就是本次设计所需的表面波带隙。

## 2 短路销钉微带天线

图 4 和图 5 给出了两个短路贴片天线的结构图。辐射贴片同轴探针半径为  $r_0 = 0.5\text{mm}$ , 距贴片中心距离为  $x_p = 3\text{mm}$ 。短路销钉坐标为  $(x_{ps1} = 5\text{mm}, y_{ps1} = 1.5\text{mm})$  以及  $(x_{ps2} = 5\text{mm}, y_{ps2} = -1.5\text{mm})$ 。贴片天线的尺寸为  $L = 12\text{mm}$ ,  $W = 6\text{mm}$ , 厚度为  $d = 9.5\text{mm}$ , 介电常数为  $\epsilon = 2.25$ 。由于在 EBG 等效媒质模型中没有考虑过孔的半径, 所以为了制作方便, 本次采用的过孔半径为 0.4mm。由于 CEBG 的金属贴片和过孔减少了腔体的有效体积, 微带天线的谐振频率会有所提高, 同时为了使天线的谐振频率保持始终落在带隙之内, 可在贴片导体的周围与电磁带隙结构之间留有一定的空间, 以减小耦合<sup>[10]</sup>。

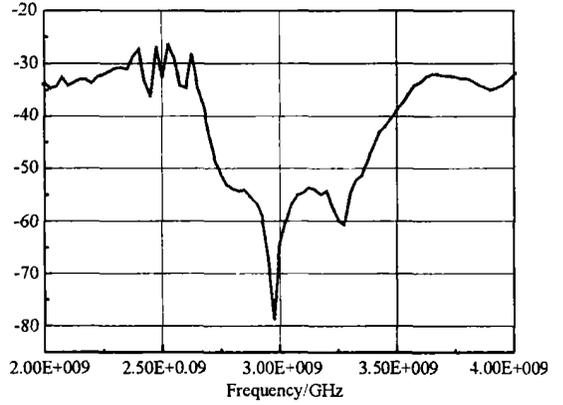


图 3 光子带隙测试曲线

Fig. 3 Testing curve of PBG

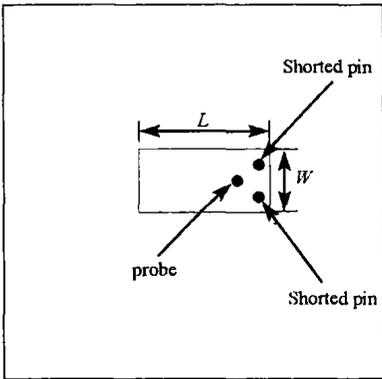


图 4 普通短路微带天线

Fig. 4 Conventional micro-strip shorted antenna

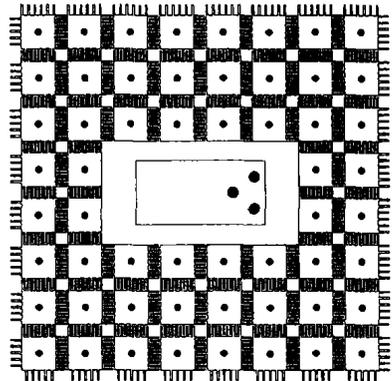


图 5 带 EBG 短路微带天线

Fig. 5 Micro-strip shorted antenna with EBG

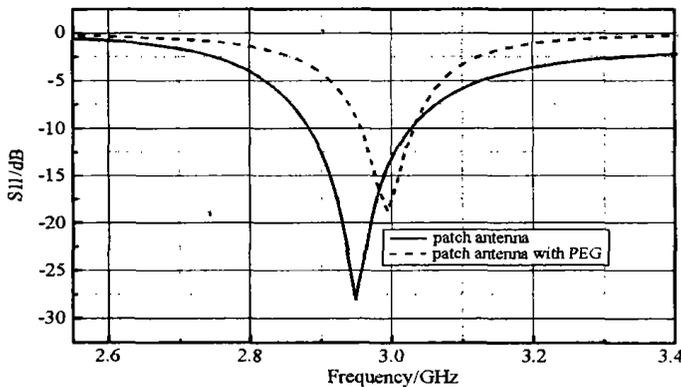


图 6 微带天线的回波损耗曲线图

Fig. 6 Measured return loss of micro-strip antenna

### 3 测试结果与讨论

图6给出了普通短路微带天线与电磁带隙结构短路微带天线的回波损耗( $S_{11}$ )曲线图。由图中可以看出,虽然由于电磁带隙结构的存在,天线的谐振频率有所偏高,但仍然落在带隙之内。电磁带隙结构微带天线的 $-10\text{dB}$ 回波损耗带宽比普通微带天线小,其中电磁带隙结构天线的带宽为 $2.8\%$ ,普通天线为 $4.8\%$ ,这是所有高 $Q$ 值微带天线的共同特性。

图7和图8给出了这两个短路贴片天线的归一化E面和H面的辐射方向图。所测方向图的频率为 $2.97\text{GHz}$ ,因为此时两个天线具有相同的回波损耗系数 $S_{11}$ ,均为 $-17\text{dB}$ 。从图中可以看出,CEBG贴片天线产生了更加光滑的方向图,说明电磁带隙结构已经起到了抑制表面波的作用,从而减少了介质材料边缘的散射。在E面方向图中,表面波的改善非常明显。在普通微带贴片天线中,E面方向图的不对称性以及起伏(在 $+15^\circ \sim +30^\circ$ )主要是由馈电探针和销钉的阻挡效应而产生的平面波所引起的。在 $+336^\circ$ 方向上,E面方向图的值是 $-7.5\text{dB}$ 。加上电磁带隙结构以后,E面方向图相对来说变得比较光滑尖锐,对称性更好。在 $+336^\circ$ 方向上,E面方向图的值是 $-3\text{dB}$ ,提高了 $4.5\text{dB}$ 。H面方向图更加光滑,背瓣有所减小,同时主瓣方向提高了 $4.5\text{dB}$ 。

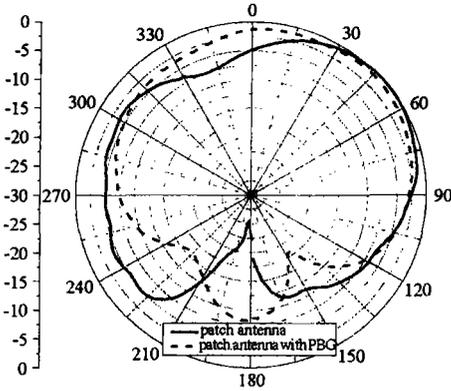


图7 E面测试方向图

Fig. 7 Measured E-plane radiation pattern of configuration land 2

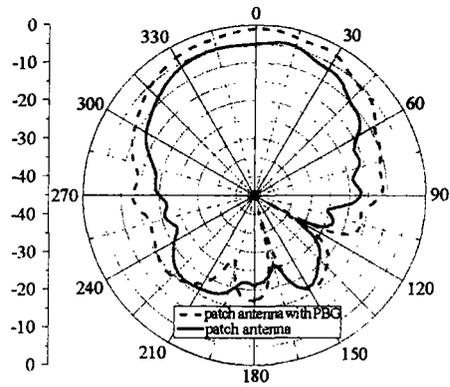


图8 H面测试方向图

Fig. 8 Measured H-plane radiation pattern of configuration land 2

图9中的E面方向图变化不太明显。如图10所示,对于普通短路微带天线,H面的交叉极化电平非常高。这是短路微带天线的共同特性,主要是由贴片天线在短路销钉连接处的不连续性引起的。但加上电磁带隙结构以后,H面的交叉极化电平下降比较明显。在 $+105^\circ$ 方向上,H面的交叉极化电平下降了 $7.5\text{dB}$ 。在 $+300^\circ$ 方向上,H面的交叉极化电平下降了 $20\text{dB}$ 。这对在微带相控阵体天线中减小阵列单元之间的耦合,提高天线阵的方向性具有重要意义。

### 4 结论

实验结果表明,采用CEBG电磁带隙结构的短路销钉微带天线与普通短路销钉微带天线相比,CEBG能够提高了天线的增益,改善了其方向图,极大地降低了H面的交叉极化电平,从而提高天线的整体性能。同时证明了设计具有同样谐振频率的电磁带隙结构单元,使用这种紧凑型EBG结构的单元尺寸仅为普通Sievenpiper EBG结构的 $40\% \sim 50\%$ 左右,这对最终实现电磁带隙结构微带相控阵天线具有重要意义。

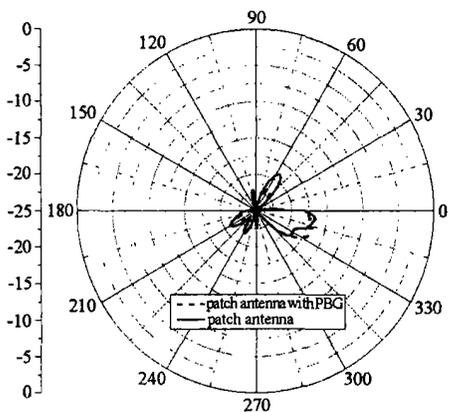


图 9 E 面交叉极化测试图

Fig. 9 Measured cross-polar of E-plane

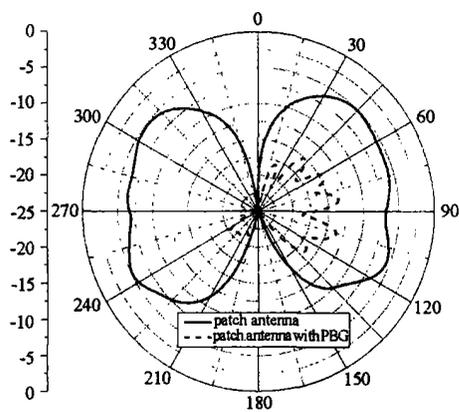


图 10 H 面交叉极化测试图

Fig. 10 Measured cross-polar of H-plane

参考文献:

[1] Waterhouse R B, Targonski S D. Design and Performance of Small Printed Antennas [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1998, 46(11): 1629 - 1633.

[2] Kin L W. Compact and Broadband Micro-strip Antennas [M]. New York: A Wiley-interscience Publication, 2002.

[3] Nystrom I, Karlsson D. Reduction of Back Radiation and Cross Coupling in Dual Polarized Aperture Coupled Patch Antennas [J]. IEEE Trans. AP, Soc. Int. Symp., 1997: 2222- 2225.

[4] Sievenpiper D F. High-impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 1999, 47(11): 2059- 2074.

[5] 付云起, 董创明, 等. 平面微波光子晶体的表面波带隙[J]. 国防科技大学学报, 2003, 25(2): 76- 78.

[6] 付云起, 袁乃昌, 等. 适合于电路集成的 PBG 结构微带线[J]. 国防科技大学学报, 2001, 23(4): 120- 122.

[7] Gonzalo R G. Coupling between Patch Antennas on Photonic Crystals [J]. In Proc. 24th ESTEC Antenna Workshop, Noordwijk, the Netherlands, May 30- June 1, 2001: 6- 10.

[8] Iluz Z, Shavit R, Bauer R. Micro-strip Antenna Phased Array with Electromagnetic Band-gap Substrate [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat. 2004, 52(4): 1446- 1453.

[9] Alley G D. Interdigital Capacitors and Their Applications to Lumped-element Microwave Integrated Circuits [J]. IEEE Trans. MIT., 1970, 18(12): 1028- 1033.

[10] Coccoli R, Yang F, Itoh T. Aperture-coupled Patch Antenna on UG-PBG Substrate [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 1999, 47(11): 2123- 2130.