

# 一种基于改进型高阻表面的微带天线

闫敦豹, 高 强, 付云起, 张国华, 袁乃昌

(国防科技大学光子晶体研究中心, 湖南长沙 410073)

摘 要: 本文提出了一种改进型的高阻表面结构, 将其应用于微带天线, 可使天线增益提高 0.9 dB 左右, 背瓣降低 15 dB 左右, 天线性能的提高明显优于应用普通高阻表面结构的天线. 制作了实际的天线, 测量结果与仿真结果基本一致.

关键词: 光子晶体; 电磁带隙; 高阻表面; 表面波; 增益; 背瓣

中图分类号: TN822 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2005) 03-0511-03

## A Microstrip Antenna Based on Improved High impedance Surface

YAN Dun bao, GAO Qiang, FU Yurr qi, ZHANG Guo-hua, YUAN Nai-chang

(PBG Research Center, NUDT, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: In this paper, a novel improved High impedance Surface structure is introduced. Using the improved structure, the gain of microstrip patch antenna is increased by about 0.9 dB, and the back radiation is decreased by about 15 dB. The performance is improved much more than the antenna using normal High impedance Surface structure. Several antennas are manufactured, and the measured results are basically accordant to simulated results.

Key words: photonic crystals; Electromagnetic Band gap; High impedance Surface; surface wave; gain; back lobe

### 1 引言

国内外对光子晶体 (photonic crystals)<sup>[1]</sup> 的研究已经经历了近 30 年的时间, 研究领域愈来愈广, 并且不断深入. 目前其研究范围已涉及到光学、电磁学、声学波段, 而在微波领域经常称其为电磁带隙 (EBG—Electromagnetic Band gap) 结构. 对 EBG 结构在微波与毫米波领域的应用研究已经取得了很多成果, 例如在微带电路里可以用 EBG 结构实现带阻滤波器<sup>[2]</sup>、谐振器<sup>[3,4]</sup>, 可以抑制谐波<sup>[5]</sup>, 提高放大器效率<sup>[6]</sup>等; 在天线方面可以用其实现抛物面天线反射面<sup>[7]</sup>, 可以加载于微带天线用于抑制表面波<sup>[8]</sup>从而改善天线方向图等.

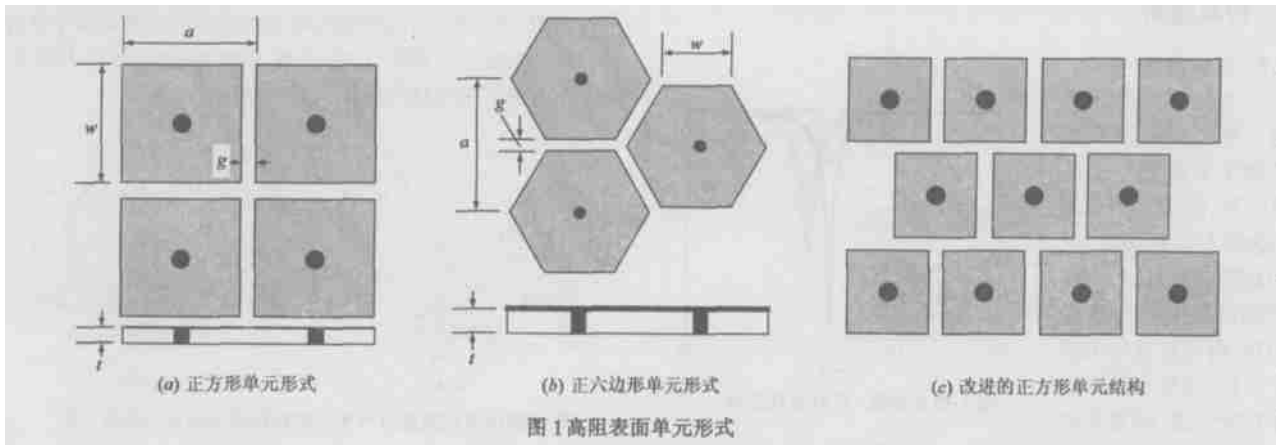
近来又提出了一种新型的 EBG 结构, 由于其对某一频段的表面波具有高阻特性, 所以称其为高阻表面 (High impedance Surface)<sup>[9]</sup>. 这种结构具有两种特性, 一是对在其表面传播的表面波 (频率需位于其阻带之内) 具有抑制作用, 或者说它不

支持某一频段的表面波的传播; 二是对垂直于其表面入射的平面波 (同样频率需位于其阻带之内) 具有同相反射的效果, 也就是说在其表面上, 反射波与入射波的相位没有发生变化, 而金属表面会使反射波产生 180 度的相位变化. 这两种特性是统一的, 因为由其表面的高阻特性, 可以得到其表面对垂直入射波的零反射相位差特性, 所以表面波带隙的中心频率与零反射相位点是一致的, 无论是表面波带隙特性还是反射相位带隙特性在微波与毫米波领域都有着十分重要的意义.

本文提出了一种改进的高阻表面结构, 将其环绕在微带贴片天线周围, 利用其表面波带隙特性, 用于抑制天线表面波的传播, 改善了天线的方向图.

### 2 结构设计

较为常用的高阻表面单元形式有两种 (图 1), 正方形单元与正六边形单元, 中间的黑点表示过孔. 高阻表面表面波带



隙位置的设计可以按其等效电路模型计算<sup>[9]</sup>, 单元等效 LC 参数均可按下面两个公式<sup>[10]</sup> 进行估计.

$$C = \frac{w(\epsilon_1 + \epsilon_2)}{\pi} \cosh^{-1} \left( \frac{a}{g} \right) \quad (1)$$

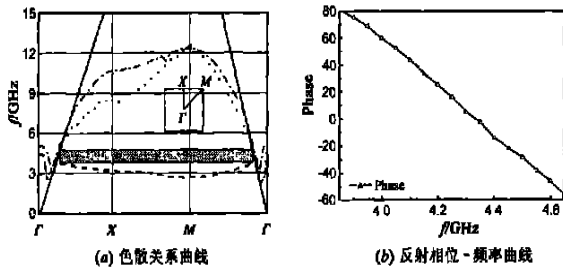
$$L = \mu_0 t \quad (2)$$

其中,  $a$  为周期长度,  $w$  为正方形单元的边长,  $g$  为单元之间的缝隙宽度,  $t$  为基板厚度,  $\epsilon_1$  与  $\epsilon_2$  分别为金属贴片单元上方与下方的介电常数,  $\mu_0$  为真空中的磁导率. 但以上两个公式只是估计公式, 实际应用中还需要进行优化设计, 特别是对于低频或者窄带应用. 另外上面两个公式得到的只是单元的等效 LC 参数, 实际的结构等效电容还要乘上一个结构因子系数, 这样就可以估计得到表面波的带隙中心位置:

$$f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC_e} \quad (3)$$

其中  $C_e$  就是单元等效电容与结构因子的乘积.

设计高阻表面的带隙中心频率为 4.3GHz 左右, 采用的基板厚度为 3mm, 相对介电常数为 10.2, 过孔半径为 0.3mm. 对于正方形单元结构,  $w$  为 3.7mm,  $g$  为 0.37mm; 对于正六边形结构单元,  $w$  为 2.1mm,  $g$  为 0.37mm. 其中图 2 为正方形结构的反射相位曲线与表面波带隙图, 可以看出这种结构的中心频率确实位于 4.3GHz 左右. 天线形式采用微带矩形贴片天线, 天线单元尺寸为  $9.16 \times 9.16\text{mm}^2$ , 底部同轴馈电, 设计其工作频率为 4.3GHz 左右.



(a) 色散关系曲线

(b) 反射相位-频率曲线

本文将正方形单元结构进行了改进, 使单元呈三角形排列(图 1(c)), 将这种结构环绕在微带天线周围, 结果证明这种改进起到了很好的效果.

### 3 仿真结果

#### 3.1 驻波特性

本文分别对环绕这三种不同高阻表面的微带天线进行了仿真计算, 图 3 为仿真得到的反射损耗曲线. 应用高阻表面以后, 天线的谐振频率均向高端偏移, 而且驻波也偏高了一些, 这在实际应用中均要考虑, 因为这种

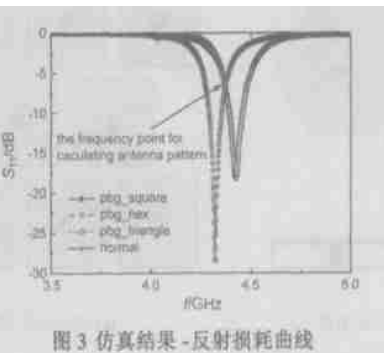


图 3 仿真结果-反射损耗曲线

微带贴片天线本身属于谐振式天线, 带宽很窄. 对于改进的结构, 天线的驻波特性与应用其他高阻表面结构的天线基本相同.

### 3.2 方向图

应用高阻表面之后, 天线的谐振点发生偏移, 其驻波特性也发生了改变. 为了便于方向图的比较, 计算方向图的频率点选择在图 3 所示的应用高阻表面的天线与普通天线的反射损耗曲线的交点. 所取得交点频率为 4.37GHz, 对应的反射损耗为 -6.63dB. 图 4 为应用普通正方形单元结构高阻表面的天线与普通天线的方向图对比. 普通天线在此频率点上的增益为 3.8dB 左右, 而应用普通正方形单元结构高阻表面的天线增益为 4.3dB 左右, 提高了 0.5dB 左右, 而且其背瓣也有所降低, 平均降低有 5dB 左右, 最大的地方降低了 10dB 左右. 图 5 所示为应用正六边形高阻表面结构的电线的方向图, 相对于普通天线, 其增益提高了 0.6dB 左右, 而背瓣平均降低了 6dB 左右. 从数据上看, 正六边形高阻表面结构略优于普通的正方形结构.

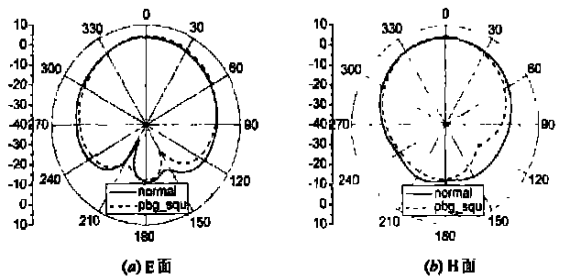


图 4 应用普通正方形单元结构的高阻表面天线方向图

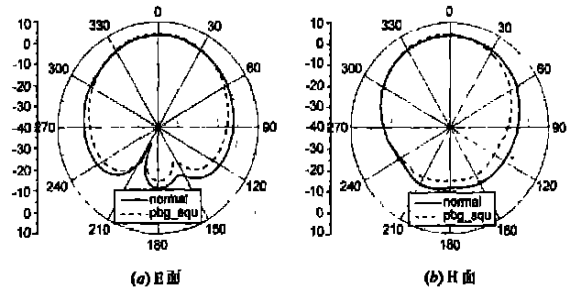


图 5 应用正六边形单元结构的高阻表面天线方向图

图 6 所示为应用改进的正方形单元结构高阻表面的天线的方向图, 可以看出, 这种结构对天线背瓣的改善起到了很好的效果, 背瓣平均降低了约 15dB, 而增益也增加了大约 0.9dB. 改善效果明显优于前面的两种结构.

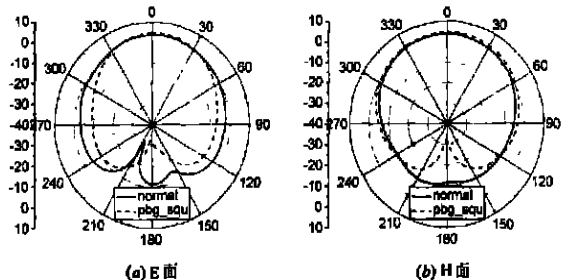
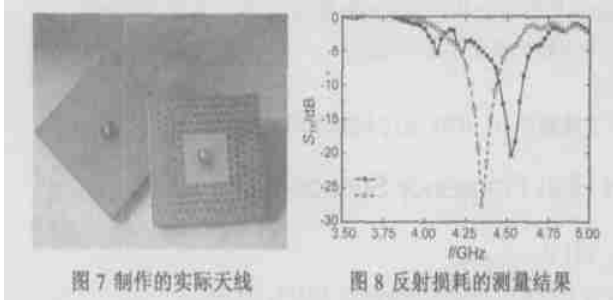


图 6 应用改进型正方形单元结构的高阻表面天线方向图

### 4 实验结果

从仿真结果中得到, 本文提出的改进的高阻表面结构对

微带天线方向图的改善起到了很好的效果,于是制作了实际的天线(图 7)与仿真结果进行比较.图 8 为应用改进型高阻表面的天线与普通天线的反射损耗的测量结果.测量结果的带宽比仿真结果要宽一些,这可能是由于仿真时没有考虑介质损耗的结果.另外发现应用改进型高阻表面的天线频率偏移比仿真结果要大一些,而且其他频率的平坦度要比普通天线略差一些.



在图 8 中,选择两个曲线的交点作为天线方向图测量的频率点.该点对应的频率为 4.46GHz,相应的反射损耗为 8.97dB.图 9 为测量得到的方向图,与图 7 所示的仿真结果基本一致,天线增益提高 0.8dB 左右,而方向图的背瓣平均降低 15dB 左右.仿真结果与实验结果均表明,应用这种改进的高阻表面结构可以更好的抑制表面波的传播,提高天线增益,降低天线的背瓣辐射.

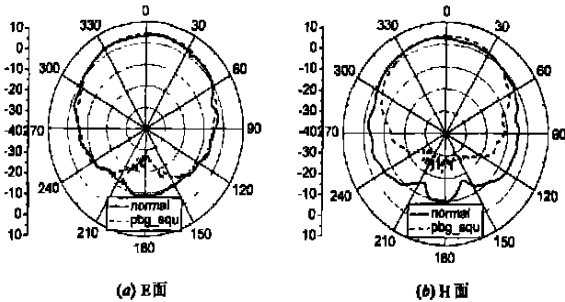


图 9 实测的方向图

## 5 结论

本文研究了高阻表面结构在微带天线中的应用,同时提出了一种改进的结构,通过仿真计算以及实验测量得出如下结论:

(1) 对于高阻表面的计算, D. Sievenpiper 提出的设计公式<sup>[11]</sup>并不准确,如果给定需要的带隙中心频率,通过公式设计得到的结构的实测结果会偏低一些,所以实际设计之前最好进行仿真计算;

(2) 应用高阻表面结构以后,微带天线的谐振频率发生偏移,因为微带天线本身是窄带天线,这种偏移不能忽略,实际设计时应当注意;

(3) 相比普通的高阻表面结构而言,本文提出的改进型结构可以更好的抑制表面波的传播,可以更好的改善天线的方

向图.

## 参考文献:

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid state physics and electronics[J]. Phys Rev Lett, 1987, 58(20): 2059- 2062.
- [2] Radisic V, Qian Y, Coccioli R, et al. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines[J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1998, 8(2): 69- 71.
- [3] Tae Yeoul Yun, Kai Chang. Uniplanar one dimensional photonic bandgap structures and resonators [J]. IEEE Trans MTT, 2001, 49(3): 549- 553.
- [4] Matthew M Beaky, John B Burk, Henry O Everitt, et al. Two dimensional photonic crystals fabry perot resonators with lossy dielectrics[J]. IEEE Trans MTT, 1999, 47(11): 2085- 2090.
- [5] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi. Harmonic control by photonic bandgap on microstrip patch antenna[J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1999, 9(1): 13- 15.
- [6] V Radisic, Y Qian, T Itoh. Broad-band power amplifier using dielectric photonic bandgap structure [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 1998, 8(1): 13- 14.
- [7] Marc Thevenot, Cyril Cheype, Alain Reineix, et al. Directive photonic bandgap antennas[J]. IEEE Trans MTT, 1999, 47(11): 2115- 2122.
- [8] Joseph S Colburn, Yahya Rahmat Samii. Patch antennas on externally perforated high dielectric constant substrates[J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1999, 47(12): 1785- 1794.
- [9] D Sievenpiper, Lijun Zhang, R F Jimenez Broas, et al. High impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band [J]. IEEE Trans MTT, 1999, 47(11): 2059- 2074.
- [10] D Sievenpiper. High impedance electromagnetic surfaces [D]. UCLA electrical engineering department, 1999.

## 作者简介:



闫敦豹 男,1976年5月出生于山东省禹城市,1999年与2002年于国防科学技术大学电子科学与工程学院分别获工学学士与硕士学位,目前于国防科学技术大学电子科学与工程学院攻读工学博士学位,研究方向包括光子晶体天线,AMC结构及应用,宽带紧凑型微带天线等.



高强 男,1979年3月出生于河南省信阳市,2000年于国防科学技术大学电子科学与工程学院分别获工学学士学位,同年保送入国防科学技术大学电子科学与工程学院硕博连读,研究方向包括光子晶体天线,频率选择表面等.