

一种紧凑型软体表面EBG结构的柱面微带天线应用研究

殷兆伟^{1,3}, 曹祥玉², 张小宽¹

(空军工程大学导弹学院学院, 陕西三原 713800)¹

(空军工程大学电讯学院, 西安 710077)²

(空军装备研究院 2 所, 北京 100085)³

yz_wizd@163.com

摘要:本文以柱坐标 FDTD 为工具, 对一种新型紧凑型的软体表面 EBG 结构在柱面微带天线中的应用进行了研究, 分别研究了对单个贴片天线的辐射性能改善作用, 对阵列贴片天线耦合的降低作用等, 表明该软体表面结构在柱面情况下, 对微带天线性能的改进显著。

关键词:柱坐标 FDTD; 软体表面; 电磁带隙; 表面波

A compact soft-surface EBG structure and its application

for cylindrical microstrip antennas

Yin Zhaowei^{1,3}, Zhang Xiaokuan¹ Cao Xiangyu²

(The Missile Institute, AFEU, San'yuan, Shannxi713800)¹

(Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an, Shannxi710077)²

(Radar and ECM Institute, Air Force, Bei'jing,100085)³

Abstract: In this paper, the application of a new compact soft-surface structure for cylindrical rectangular microstrip patch antenna is studied. Improvement of radiation patterns for single cylindrical microstrip patch antenna, and mutual coupling reduction for two patches are calculated using cylindrical FDTD method separately. Accordingly, some useful conclusions are obtained.

Keywords: Cylindrical FDTD; soft surface; EBG; surface-wave

1 引言

在微带贴片天线中应用EBG结构, 可以抑制表面波的传输, 提高天线的辐射性能^{[3][4]}; 在阵列天线中可以降低阵元之间的互耦^[2]。在多数情况下, 都采用周期结构, 这增大了制作的复杂性, 同时增大了天线的体积。常用的软体EBG结构适用于介质厚度在四分之一波导波长的情况^[1]; 在距微带贴片天线的四周的一定距离放置一定宽度的金属带状线, 在带状线的外侧与天线接地面之间放置短路金属板, 就形成了含有软体EBG结构的微带贴片天线^[1]。当短路金属带的宽度为四分之一波导波长的时候, 会形成一个理想的软表面结构, 形成的表面阻抗为无穷大, 表面电流不能传播。这种紧凑型的软体表面EBG结构在平面微带天线中获

得了较好的应用, 这里研究在柱面的应用情况。

2 紧凑型软体表面EBG参数确定

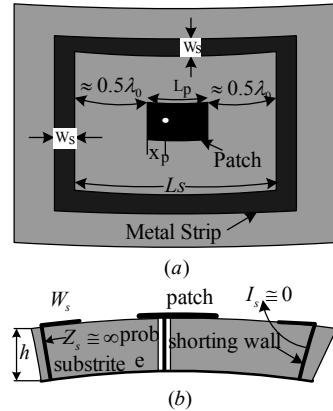


图 1 柱面软体结构微带天线(a)正视图(b)剖面图

金属软体表面距离天线的距离约为半个自由空间波长, 容易确定。要确定的关键参数是金属带的宽度。

基金项目:国家自然科学基金(60671001); 陕西省自然科学基础研究计划(2005F21)。

金属带宽度约为四分之一波导波长，考虑金属导带内边的边缘效应，作如下修正(c_0 为光速， λ_g 为波导波长， ε_{re} 为有效介电常数)：

$$W_s = \frac{c_0}{4f_0\sqrt{\varepsilon_{re}}} - \Delta W_s \quad (1)$$

$$\varepsilon_{re} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}(1 + 6h/W_s)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ΔW_s 由经验公式得到：

$$\Delta W_s = h[0.882 + \frac{0.164(\varepsilon_r - 1)}{\varepsilon_r^2} + \frac{\varepsilon_r + 1}{\pi\varepsilon_r} g (0.758 + \ln(\frac{2W_s}{h} + 1.88))] \quad (3)$$

根据上述公式，可以确定金属带的宽度。设计了软体金属表面EBG结构的柱面微带天线，并用柱坐标FDTD程序软件进行计算，圆柱坐标FDTD采用单轴各向异性完全匹配层作为吸收边界^[9]，采用金属柱体延伸到吸收层内的做法以避免柱坐标FDTD算法中心值奇异问题。

3 对微带天线辐射方向图的改善

设计的正方形微带天线的工作频率为15.1GHz，天线参数(单位mm)：金属柱体半径为15，高度为40；贴片尺寸： $L_p = 5.6$ ；馈电点距离辐射边距离2.0；EBG结构参数： $L_s = 22.4$ ， $W_s = 2.65$ ；介质参数：厚度 $h = 0.5$ ，介电常数 $\varepsilon_r = 2.9$ 。如图1所示。

首先对没有EBG结构的天线进行计算，然后对采用软体结构设计的天线进行计算。柱坐标FDTD计算的网格参数和时间步长为： $\Delta r = 0.1$ ， $\Delta z = 0.2$ ， $\Delta\varphi = 0.0462$ ， $\Delta t = 0.272$ ps。贴片采用同轴馈电，激励源采用高斯脉冲信号。

3.1 S11参数比较

从图2可以看出，在馈电位置不变的情况下，应用软体表面EBG结构后，天线回波损耗降低了约6dB，谐振频率基本保持不变。

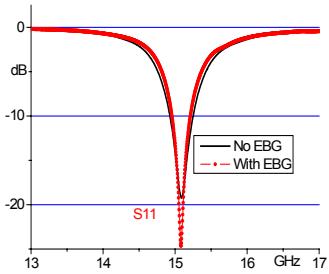


图2 两种柱面贴片天线的回波损耗之比较

3.2 对天线方向图的改善

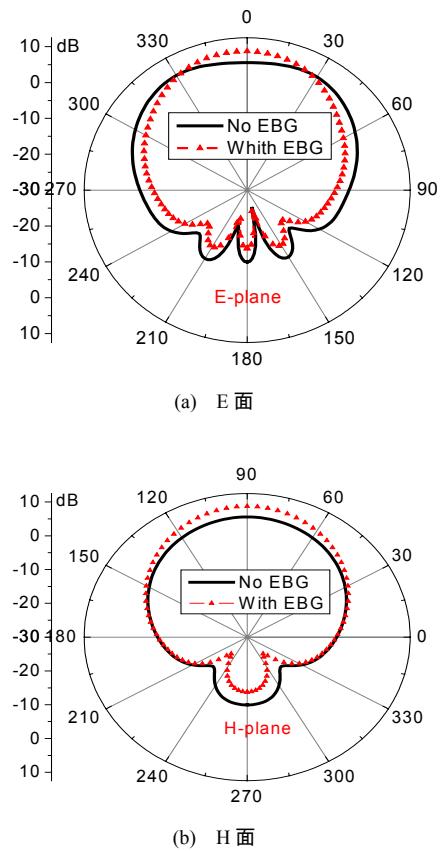


图3 两种柱面贴片天线的方向图之比较

从图3看出，应用EBG后天线的增益为8.7dB，与没有用EBG结构的柱面天线增益5.56dB相比，提高了3.14dB。普通方形柱面天线E面方向图顶部有一个凹陷，应用软体表面EBG后，凹陷消失，同时方向图变窄，后瓣减小；在H面，EB的宽度没有明显改变，除了前向辐射增强外，后向辐射减弱为-13.7dB，比普通微带天线后向增益-9.9dB，减小3.8dB。这是由于应用软体表面EBG结构后，沿柱体表面波的传输受到抑制的效果。

4 对贴片天线之间耦合的抑制

天线阵列的一个固有问题是阵元之间的耦合比较大，特别当阵元较近时，会严重影响天线阵列的性能。研究图4所示的应用软体表面EBG结构的柱面两个天线，然后对照常规的两个天线耦合情况进行了比较。

天线的参数如前面保持一致，这里两个贴片天线的间距为27.7mm。中间的金属导带宽度S为 $2W_s$ ，导带中间接一个短路面。柱面的半径和高度和前面保持一致。

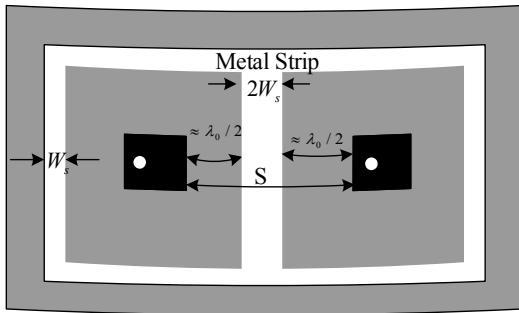


图4 应用软体结构的两个贴片天线

4.1 S参数比较

从图5看到，应用软表面EBG应用到柱面贴片阵列时，会明显的降低天线之间的耦合效应，在谐振频率处，S21为-42.0dB，而未采用EBG结构的贴片天线，S21为-28.6dB，减小耦合13.4dB；应用EBG后，天线阵列的回波损耗降低了近10dB，比单个贴片应用软体EBG的回波损耗进一步降低约4dB，而谐振频率保持基本不变。

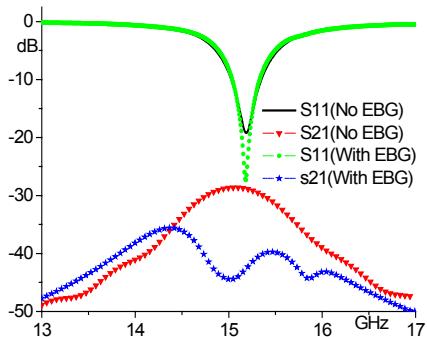
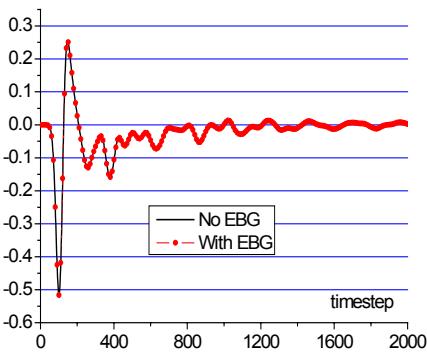


图5 两种情况下贴片天线的S参数比较

4.2 馈电点的电压和感应电压比较

为了观察软体结构对表面波的抑制作用，对馈电点1的电压时域波形、馈电点2（感应电压）的时域电压波形在两种情况下进行了比较。时间步长0.272ps，馈电点1采用高斯脉冲激励。



(a) 馈电点1的电压波形

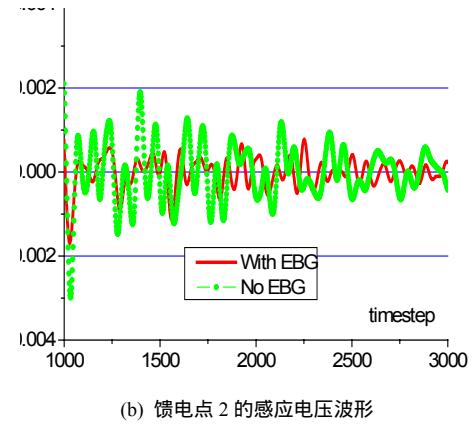


图6 两种情况下馈电点电压波形比较

从图6看出，在前700时间步，普通天线和采用EBG结构的天线信号没有差异，信号还没有到达软体结构；在前2000时间步内，两种情况的信号幅度相差不大。在450时间步的时候，信号传输至馈电点2，常规天线馈电点2的感应信号幅度远大于采用软体表面结构的感应信号幅度，这直观地说明软体表面EBG结构对表面波传输的抑制作用，从而降低了天线间的耦合。

5 结论

本文采用柱坐标FDTD对紧凑型、制作简易的柱面软体表面EBG结构在微带贴片天线中的应用进行了研究，表明这种紧凑型的结构抑制表面波的作用非常明显，既可以增强天线的辐射方向性，同时对于天线间的耦合有着很好的降低作用，是一种很好的EBG结构。

参考文献

- [1] RongLin Li , Gerald DeJean, etc. “Radiation- Pattern Improvement of Patch Antennas on a Large-Size Substrate Using a Compact Soft- Surface Structure and Its Realization on LTCC MultilayerTechnology” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, VOL.53,NO.1,pp.200-206, JAN. 2005.
- [2] J-G. Yook and P. B. Katehi, “Microma -chimed microstrip patch antenna with controlled mutual coupling and surface waves,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.49, no. 9, pp. 1282-1289, Sep. 2001.
- [3] M. J. Vaughan, K. Y. Hur, and R. C. Compton, “Improvement of microstrip patch antenna radiation patterns,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 6, pp. 882–885, Jun. 1994.
- [4] R. Gonzalo, P. de. Maagt, and M. Sorolla, “Enhanced patch-antenna performance by suppressing surface waves using photonic -bandgap substrates,” *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 11, pp.2131–2138, Nov. 1999.

- [5] P.-S. Kildal, “Artificially soft and hard surfaces in electromagnetics,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 38, no. 10, pp. 1537–1544, Oct. 1990.
- [6] Y.-J. Park, A. Herschlein, and W. Wiesbeck, “A photonic bandgap (PBG) structure for guiding and suppressing surface waves in millimeter-wave antennas,” *IEEE Trans. MTT.*, vol. 49, no. 10, pp. 1854–1859, Oct. 2001.
- [7] Feng Liu, “An FDTD Model for Calculation of Gradient-Induced Eddy Currents in MRI System, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY”, VOL. 14, NO. 3, pp1983-1989, SEPTEMBER 2004.
- [8] 刘涛 , 曹祥玉 , 殷兆伟.EBG 结构在圆柱共形偶极子阵中的应用[J] , 空军工程大学学报 2007.4:63-65.
- [9] 何芒 , 徐晓文.探针馈电圆柱共形微带天线阻抗特性的 FDTD 方法分析微波学报 2004.9:1-5.

作者简介：殷兆伟，男，博士，主要研究领域为电磁数值计算、曲面EBG等；曹祥玉，女，教授、博士生导师，主要研究领域为数值计算和电磁兼容等；张小宽主要研究领域为电磁数值计算、复杂目标散射等。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>