

文章编号: 1009-3443(2007)03-0226-04

# 电磁带隙结构在卫星接收天线中的应用

袁 峰, 卢春兰, 邵 尉, 张继龙

(解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘 要:** 为了有效提高天线的增益,采用电磁带隙结构作为天线的地板。利用等效电路的原理对电磁带隙结构产生禁带特性进行了初步研究,解释其电磁带隙结构的工作原理。并根据原理对传统的带隙结构进行改进,给出一种新型的电磁带隙结构——高阻抗表面结构。用这种结构作为天线的反射面,能够有效地抑制反射面上的表面波。把这种结构应用在卫星接收天线中,并进行仿真计算。仿真结果表明,采用高阻抗的电磁带隙结构作为反射面,能够有效提高天线的增益,改善其辐射方向图。

**关键词:** 电磁带隙;卫星;接收天线;禁带

**中图分类号:** TN928      **文献标识码:** A

## Application of electromagnetic band-gap structure to receive antenna of the satellite

YUAN Feng, LU Chun-lan, SHAO Wei, ZHANG Ji-long

(Institute of Communications Engineering, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 210007, China)

**Abstract:** The principle of the EBG (electromagnetic band-gap) was studied and a new EBG was designed. The principle of the circuit was used to analyze the EBG, the working principle explained, and then a new kind EBG presented. This structure could be used as the reflecting surface of the antenna, and could restrain the surface wave of the reflecting surface effectively. Then it was applied in the receiving antenna of the satellite, and this structure simulated. The result of the simulation indicates that the pluse of the receiving antenna of the satellite with this EBG structure as reflecting surface increases effectively.

**Key words:** EBG (electromagnetic band-gap); satellite; receive antenna; prohibit-band

电磁带隙结构(EBG),又称光子带隙结构或光子晶体<sup>[1]</sup>。它是一种介质在另一个介质中周期排列所组成的特殊结构,能够产生光子带隙。由于光子带隙的特性可以在很宽的频率范围内得到实现,近几年来,对其特性的研究扩展到了毫米波和微波波段。而且在这个频段上,可以很容易地制造光子带隙结构。在微波频段的光子带隙结构又被称为电磁带隙。电磁波在EBG结构中的活动类似于电子在半导体中的活动。这些人工制造得到的周期性介质能够控

制电磁波在其中的传播,即当电磁波的频率落在一定的范围内时,电磁波不能在EBG结构中传播。这个频率范围即称为电磁带隙,类似于半导体结构中的禁带。正是由于EBG结构的这种特性在微波中的巨大应用价值,引起了微波学术界的极大兴趣和关注。利用EBG结构在微波电路中可以用作带阻滤波器<sup>[2,3]</sup>和谐振器<sup>[4,5]</sup>,可以抑制滤波<sup>[6]</sup>提高放大器效率。在天线方面可以用其作反射面,抑制表面波,从而改善天线方向特性等。一般的EBG结构主要有以下几类:①基底打孔型<sup>[7]</sup>,即在微带天线介质基底上打孔来实现,具有抑制表面波的优点,但不易加工;②高阻抗表面型<sup>[8]</sup>,即在与天线贴片共面的四周刻蚀上周期性的金属片,金属片由过孔与接地板

收稿日期:2006-10-26.

作者简介:袁 峰(1982—),男,硕士生.

联系人:卢春兰,副教授;研究方向:天线技术;E-mail:

luchlan@sina.com.

相连,具有抑制表面波的作用,且易于加工;③ 地面腐蚀型<sup>[6]</sup>,即在贴片天线的接地面上腐蚀出一些周期性的孔结构,具有抑制寄生辐射,消弱旁瓣电平,从而改善天线性能的作用。此外,共面紧凑型和夹层式结构等EBG 结构也得到广泛的应用。

本文主要对高阻抗 EBG 结构应用于卫星接收天线进行研究,考察了这种结构对天线辐射特性的影响。通过仿真分析,发现这种结构可有效地提高天线的增益,最后给出了仿真的结果,说明这种结构的可行性。

1 EBG 结构的设计原理

金属结构 EBG 的周期比自由空间波长小很多,通过选择合适的介电常数和介质板厚度其周期可以接近波长的1/10,所以在实际中得到了广泛的应用,成为目前研究的主流。通过对常见的金属结构EBG 形式暨 Mushroom-like EBG 的等效电路进行分析,解释其高阻抗表面的工作原理,提出一种尺寸比较小的新型高阻抗表面结构。

图1 给出了Mushroom-like EBG 的结构和等效电路示意图。在介质表面周期性地镀上正方形的金

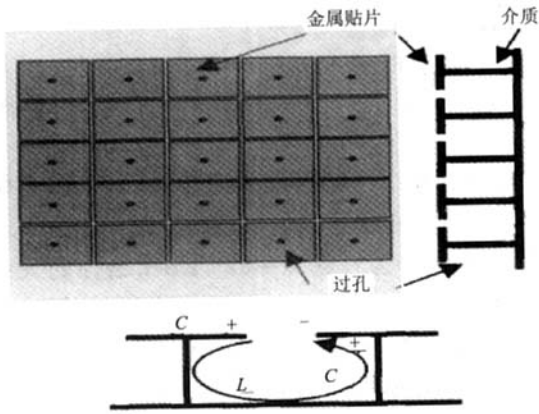


图1 Mushroom-like EBG 的结构和等效电路示意图  
Fig. 1 Model of Mushroom-like EBG structure and equivalent circuit

属贴片,金属贴片相互之间有窄缝相隔。每个金属贴片通过一个过孔与接地面相连。由于 Mushroom-like EBG 结构的周期比波长小得多,所以可以用集总参数波阻抗 $Z$ 来分析它。当电磁波入射到EBG 结构中时,在金属表面上会产生感应电流。电流从一个金属贴片经过过孔和接地面流到另一个金属贴片时形成电感。电荷在金属贴片缝的边缘以及贴片和地之间积累形成电容。所以该EBG 结构可以等效为二维的平面电容电感网络,应用复变函数中保角变换

原理求解等效模型中的电容和电感值,单元等效 LC 参数<sup>[9]</sup>由式(1)(2)给出:

$$C = \frac{\epsilon_0 \tau w}{\pi} \operatorname{arccosh}(a/g) + \frac{\epsilon_0 \epsilon_r w'}{\pi} \operatorname{arccosh}\left(\frac{\operatorname{sh}(\pi(w' + g)/4t)}{\operatorname{sh}(\pi g/4t)}\right) + \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \tau w}{\pi} \left[ \frac{\pi^2 t}{2w} / \ln\left(\frac{a + \sqrt{a^2 - d^2}}{d}\right) \right], \quad (1)$$
$$L = \mu_0 t \left\{ \frac{1}{\pi} \left[ \ln\left(\frac{a + \sqrt{a^2 - d^2}}{d}\right) + 1.301825 \right] \right\}, \quad (2)$$

其中: $w' \approx \left(1 - \frac{k^2 S}{2w^2}\right)w$ ,  $k$  参数一般取 3 左右;  $C$  为等效电容;  $L$  式等效电感;  $w$  是金属贴片的边长;  $a$  为单元的周期长度;  $g$  为单元间缝隙的宽度;  $d$  为金属过孔的直径;  $t$  为基板材料的厚度;  $\epsilon_r$  为相对介电常数。

当电磁波的频率等于该电感电容网络的谐振频率  $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC}$  时,  $Z$  趋于无穷大,形成了高阻抗表面,此时介质与空气交界面上的表面波不能沿介质表面传播。通过以上分析可知,EBG 的工作原理可以用 LC 滤波网络来描述。落在谐振频率内的电磁波将会被高阻抗表面阻挡而不能传播。因此,如果能够增大 EBG 结构的等效电容或电感,都能导致谐振回路谐振频率的降低,从而起到减小 EBG 尺寸的作用。

增大等效电容或电感的方式很多,图 2 是一种新型的 EBG 结构<sup>[10]</sup>,图 3 是它的等效电路图。这种 EBG 结构通过在传统的正方形金属贴片上面开槽,从而增加高阻抗表面的平面电感,电感的增加引起谐振频率

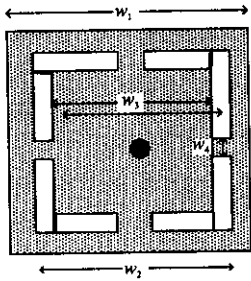


图 2 新型 EBG 结构参数示意图  
Fig. 2 Parameter model of the new EBG structure

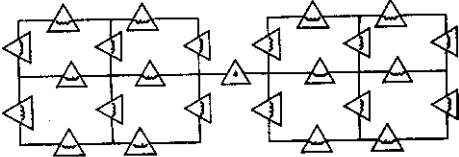


图 3 新型 EBG 结构等效电路  
Fig. 3 Equivalent circuit of the new EBG structure

的降低,使得这种新型的电磁带隙高阻抗表面比传统的高阻抗表面结构尺寸更小,易于与微波元器件集成。这种新型的带隙结构来源于文献[10],本文对该结构的尺寸进行了改进,让高阻抗表面的谐振点在 $1.5 \sim 2.6$  GHz 之间。具体的结构参数为: $w_1 = 5$  mm,  $w_2 = 4.6$  mm,  $w_3 = 3.6$  mm,  $w_4 = 1$  mm, 单元之间的间距  $D = 5.5$  mm;采用的介质材料是: $\epsilon_r = 2.08$ ,  $h = 2$  mm, 中心通孔的半径  $r = 0.5$  mm。

## 2 EBG 结构的应用

将这种新型高阻抗表面结构作为卫星接收天线的接地板,当天线的工作频率工作在高阻抗表面的谐振频率时,表面阻抗很高,不会有表面波传播,并且将表面波直接反射到高阻抗表面上方的空间。由于在高阻抗表面上产生的镜像电流与天线上的镜像电流同相,因此反射的表面波与天线辐射的电磁波在空间同相叠加,增加了天线的辐射效率。设计的卫星接收天线为四臂螺旋天线<sup>[11]</sup>,工作频率为 $f$ 。天线由半径为 $0.5$  mm 的漆包线绕一介质圆柱旋转 $90^\circ$ 做成;介质圆柱的半径为 $15$  mm; $\epsilon_r = 2.05$ ;天线的高度为 $66.25$  mm。新型的高阻抗EBG 结构组成 $11 \times 11$  的阵列,天线与高阻抗表面的高度为 $1$  mm,其结构,如图4所示。

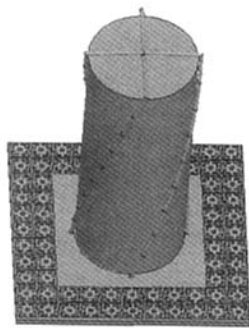


图4 带有EBG结构的卫星接收天线

Fig. 4 Satellite receiving antenna with EBG structure

## 3 仿真结果

这种新型的电磁带隙结构高阻抗表面通过在正方形金属贴片上面开槽,增加贴片的电感,因而会降低高阻抗表面的谐振频率。分别比较以带隙结构和铜板作为天线地板时天线的谐振频率,其仿真结果如图5所示。可以看出,EBG 结构作为地板时,天线的谐振频率有所下降。降低天线的高度,使得天线工作在谐振频率上。天线工作在谐振频率 $f$ 上时 $S$ 参

数如图6所示。

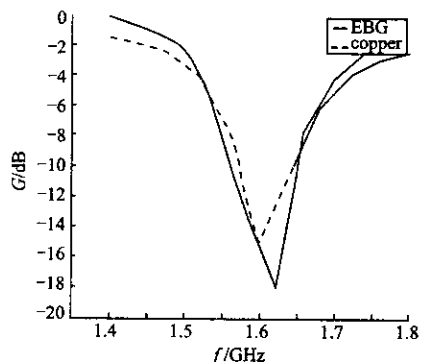


图5 2种地板的 $S$ 参数

Fig. 5 Parameter  $S$  of the two antennas

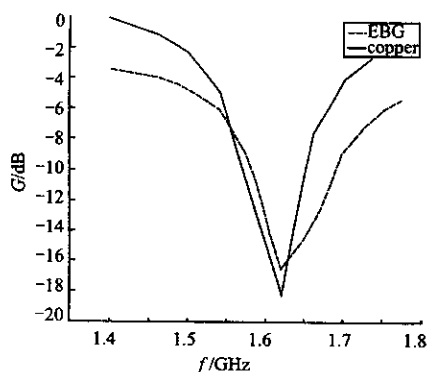
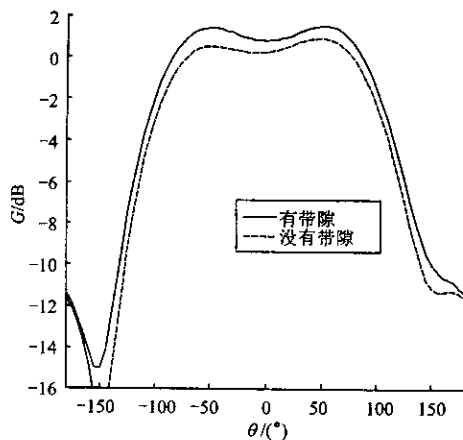


图6 高度调整后天线的 $S$ 参数

Fig. 6 Parameter  $S$  of the antenna with height adjusted

对这2种结构的天线方向图进行仿真,其结果如图7所示。在满足宽波束指标要求的条件下—— $3$  dB 主瓣宽度为 $-80^\circ$ 、 $-88^\circ$ ,EBG 结构的天线增益 $G$ 比copper 结构的天线增益提高了 $0.5$  dB。

图8是轴比随角度 $\theta$ 的变化情况,从图中可以看出EBG 结构的轴比比copper 结构的轴比略有改善。



(a)  $\varphi = 0^\circ$

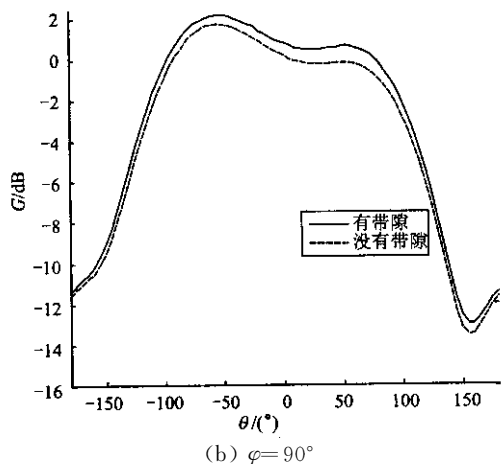
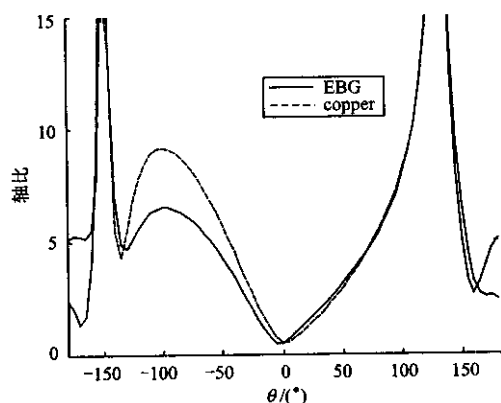


图7 辐射方向图

Fig. 7 Radiation pattern

图8 轴比随角度 $\theta$ 变化情况Fig. 8 Axial ratio with variation of  $\theta$ 

## 4 结 语

本文首先分析了电磁带隙高阻抗表面原理,然后设计了一种结构新颖的电磁带隙高阻抗表面,与传统高阻抗表面相比,该高阻抗表面增加了平面电感,从而降低了高阻抗表面的谐振频率,因此与工作在相同频段的传统高阻抗表面相比较具有尺寸小的优势。将这种新型的EBG结构用在卫星接收天线上,从仿真结果上可以看出,EBG结构可以有效的抑制表面波的传播,提高卫星接收天线的增益,优化天线的方向图,同时使得天线的轴比有所改善。

## 参考文献:

- [1] YABLONOVITCH E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. Phs Rev Lett, 2001, 58(20): 2059-2062.
- [2] SMITH D R, SCHULTZ S. A new type of waveguide structure with photonic band structures [J]. IEEE MTT-S Digest, 2006(2): 911-914.
- [3] RADISIC V, QIAN Y, COCCIOLI R, et al. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett, 2005, 8(2): 69-71.
- [4] YUN Tae-yeoul, CHANG Kai. Uniplanar one-dimensional photonic-band gap structures and resonators [J]. IEEE Trans on MTT, 2001, 49(3): 549-553.
- [5] BEAKY M M, BURK J B, EVEITT H Q, et al. Two-dimentional photonic crystals Fabry-Perot resonators with lossy dielectrics [J]. IEEE Trans On MTT, 2002, 47(11): 2085-2090.
- [6] YASUSBI H, MAKOTO T H. Control by photonic bandgap on microstrip patch antenna [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. 1999, 9(1): 13-15.
- [7] GONZALO RAMON, PETER D M, MARIO S. Enhanced patch antenna performance by suppressing surface waves using photo-bondgap substrate [J]. IEEE Trans Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(11): 2131-2138.
- [8] QIAN Yong-xi, ROBERTO C, DAN S, et al. A microstrip patch antenna using novel photonic band-gap structures [J]. Microwave Journal, 1999, 42(1): 66-76.
- [9] 胡 荣, 张雪霞. PBG 结构特性的研究及其在天线中的应用 [J]. 电子学报, 2003, 31(12): 1761-1764.
- [10] 曹 毅. 电磁带隙结构的理论与应用研究 [D]. 西安: 空军工程大学, 2006.
- [11] 林昌禄. 天线工程手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

(责任编辑: 程 群)

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、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](http://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>