

# 一种基于电磁(光子)晶体基底的新型贴片天线的研究

朱方明,何赛灵,应志农

(浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室,浙江大学光及电磁波中心,浙江 杭州 310027)

**摘要:**给出了一种基于电磁(光子)晶体基底的新型贴片天线。用时域有限差分法(FDTD)研究了该新型天线的表面波以及阻抗、辐射方向图、带宽和增益等;并将它们与普通贴片天线进行了比较。结果表明,光子晶体结构对表面波的抑制非常明显,从而改善了天线的性能,包括增加了天线的带宽,提高了向前辐射的增益,削弱了沿基底方向( $90^\circ$ 侧面方向)的辐射等。

**关键词:**贴片天线;电磁(光子)晶体;FDTD方法;表面波

中图分类号: TN823.27

文献标识码:A

文章编号:1008-973X(2003)04-0475-03

## A novel patch antenna with photonic Bandgap substrate

ZHU Fang-ming, HE Sai-ling, YING Zhi-nong

(State Key Laboratory of Modern Optical Instruments, Center for Optical and Electromagnetic Research,  
Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** A novel patch antenna with photonic Band-gap substrate was reported. The surface wave mode, impedance, radiation pattern, frequency bandwidth and gain of this novel patch antenna are studied by the finite-difference time-domain (FDTD) method and were also compared with those of the conventional patch antenna. The results showed that the surface waves are significantly suppressed by the PBG substrate, which leads to improvements in the bandwidth and far field radiation pattern.

**Key words:** patch antenna; photonic Band-gap; FDTD method; surface wave modes

近年来对电磁(光子)晶体的特性以及应用的研究逐渐成为工程、物理等学科的前沿研究领域<sup>[1]</sup>。所谓电磁(光子)晶体,又称电磁(光子)带隙材料(photon bandgap)或称PBG材料,是指介质或金属的一种人工周期性结构,电磁波在该晶体内部传输的特性类似于电子在半导体晶体中的运动特性,故又称为光子晶体或电磁晶体。电磁(光子)晶体在某一频率范围可以禁止电磁波传播,该频率范围称为频率禁带,简称为禁带<sup>[2]</sup>。这一特性使得电磁(光子)晶体在光电、微波工程等领域得到应用。在天线领域,光子晶体结构被应用于多种新型天线,如偶极子天线、谐振天线等,其中贴片天线由于其体积小,重量轻,低剖面,成本低,易加工等优点使得它在移

动通信、卫星通信以及航空航天等众多领域发挥它的作用。但它们也有缺点,由于表面波的损耗贴片天线的辐射效率很低,并且频率带宽极窄(大约1%~2%)。为了克服这些缺点,许多PBG结构被应用于贴片天线。Gonzalo等人<sup>[1]</sup>采用光子晶体基底有效地抑制贴片天线中的表面波。本文研究了这种基于电磁(光子)晶体基底的新型贴片天线,证明了光子晶体基底可以有效展宽天线的带宽,改善天线的方向性。

## 1 光子晶体贴片天线的设计

本文设计的新型光子晶体贴片天线的几何结构见图1,贴片的尺寸为26 mm×16 mm,基底的介电

收稿日期:2002-04-27。

基金项目:浙江省自然科学基金重点资助项目(ZD0002);高等学校重点实验室访问学者基金资助项目。

作者简介:何赛灵(1969—),女,浙江湖州人,讲师,博士,从事移动通信、信号处理、电磁场数值计算及天线技术等的研究。

E-mail:fmzhu@zju.edu.cn

常数为  $\epsilon_r=10$ , 基底的厚度为  $h=8 \text{ mm}$ . 在这些参数下, 基底不加光子晶体结构的普通贴片天线的工作频率为  $f_0=2.48 \text{ GHz}$ (见图 2)<sup>[3]</sup>. 由于  $h/\lambda_0$  的值为  $0.064>0.03$ , 当  $h/\lambda_0>0.03(\epsilon_r\approx 10)$  时, 表面波的激励就相当可观了. 因此天线辐射在基底的介质中所激励出的表面波非常多<sup>[1]</sup>. 为了改善天线的性能, 增加天线的带宽, 提高天线的方向性, 就需要抑制基底中的表面波. 在如上所述的天线结构中,  $\text{TM}_0$  模的表面波总是存在的, 而  $\text{TE}_1$  模可以根据公式(1)计算出它的截止频率<sup>[1]</sup>:

$$f_c = \frac{c}{4h \sqrt{\epsilon_r - 1}}. \quad (1)$$

式中:  $c$  为光速;  $h$  为基底的厚度. 根据所设计的结构, 可得到  $f_c=3.1 \text{ GHz}$ , 可见  $\text{TE}_1$  模的截止频率比天线的工作频率要高出许多, 该模式的表面波也就不会对天线造成影响, 所以需要抑制的是  $\text{TM}_0$  模. 为此, 在天线的基底内引入了一个二维的光子晶体结构<sup>[1]</sup>, 即在基底内钻出一些周期性排列的栅格为正方形的空气孔, 见图 1. 该电磁(光子)晶体的禁带特性与栅格常数  $a$ 、填充因子  $r/a$  以及介电常数有关<sup>[3]</sup>. 根据光子晶体结构的禁带图可以选择适当的参数值  $r$  和  $a$ , 使得天线的工作频率落在光子晶体结构的禁带范围内, 该结构的光子晶体就可以抑制天线基底中的表面波, 从而改善天线的性能. 根据文献[1], 取归一化频率( $f \cdot a/c$ )为 0.28, 已知天线的工作频率为  $2.48 \text{ GHz}$ , 可以得到正方形栅格的大小  $a=34 \text{ mm}$ ; 取  $r/a$  的值为 0.47, 得到空气孔的半径  $r=16 \text{ mm}$ . 在该二维光子晶体结构中, 基底共设计了  $9 \times 9$  个周期性单元, 基底中间留有 5 个未被钻孔的位置, 是给贴片天线以及微带馈线留出的位置. 因此, 基底的尺寸最后设定为  $320 \text{ mm} \times 320 \text{ mm}$ . 在以上这些设计参数下, 该光子晶体贴片天线的工作频率偏移到了  $2.61 \text{ GHz}$ , 见图 3.

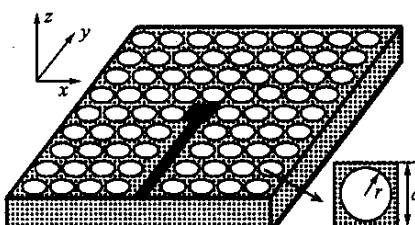


图 1 光子晶体贴片天线几何图

Fig. 1 Geometry of the PBG patch

## 2 模拟结果

为了研究该新型光子晶体贴片天线的性能, 本

文用 FDTD 方法并结合 PML 吸收边界条件<sup>[4,5]</sup>, 分别计算了普通贴片天线和光子晶体贴片天线的阻抗和方向图. 在计算过程中采用均匀网格, 网格尺寸为  $\Delta_x=\Delta_y=\Delta_z=2 \text{ mm}$ , 时间步长取  $\Delta t=0.99 \cdot \Delta x/\sqrt{3}c$ , 其中  $c$  为光速, 激励方式为在馈点处施加 Gauss 脉冲激励源. 为了证明表面波的存在, 以及研究光子晶体结构对表面波的抑制作用, 还分别计算了两种结构贴片天线的表面波电场分布.

图 2 和图 3 分别为普通贴片天线和光子晶体贴片天线的输入回波损耗( $S_{11}$ )曲线. 由图 3 可以看出, 加了光子晶体结构后, 贴片天线的输入回波损耗有所改善. 取  $S_{11}=-10 \text{ dB}$  计算, 天线带宽由原来的 0.4% 增加到 2.5% 左右.

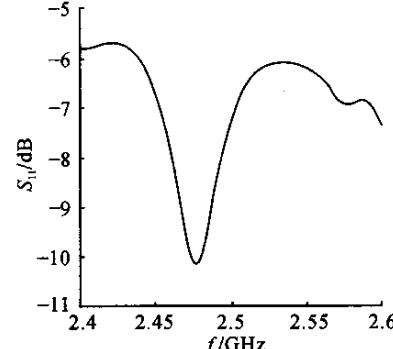


图 2 普通贴片天线的输入返回损耗( $S_{11}$ )曲线

Fig. 2 Input return loss ( $S_{11}$ ) for the conventional patch antenna

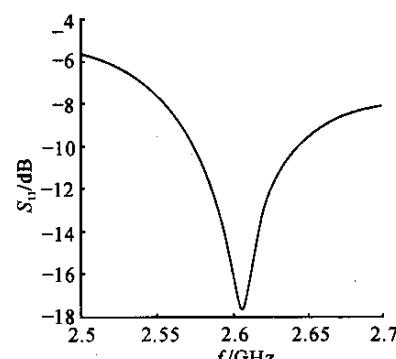


图 3 光子晶体贴片天线的输入返回损耗( $S_{11}$ )曲线

Fig. 3 Input return loss ( $S_{11}$ ) for the PBG patch antenna

普通贴片天线和光子晶体贴片天线的基底表面的电场( $E_z$ )分布图分别如图 4 和图 5 所示, 两图均归一化到相同的最大值和最小值. 其中  $E_z$  为垂直于贴片方向的电场分量. 由图 4 可以看出不加光子晶体结构, 贴片天线基底中的表面波非常可观. 加了光子晶体结构后, 从图 5 可以看出, PBG 结构对表面波的抑制作用非常明显.

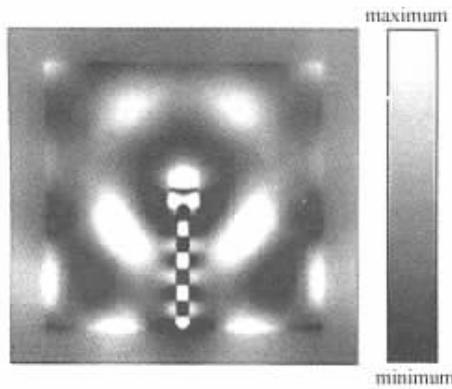


图4 普通贴片天线基底表面的表面波电场分布图

Fig. 4 Surface plot of the electric field on the surface of the substrate of the conventional antenna

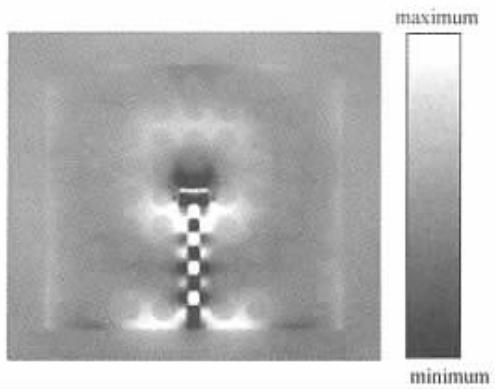


图5 光子晶体贴片天线基底表面的表面波电场分布图

Fig. 5 Surface plot of the electric field on the surface of the substrate of the PBG antenna

为了进一步看出 PBG 对天线的远场辐射特性的改善作用,图 6 和图 7 分别比较了两种不同结构的天线在谐振频率处的 E 面和 H 面的辐射方向图。从图 6 可以看出,E 面方向图的改善是明显的,可以看到整个的波束更加收拢,向正前方向辐射的增益,普通贴片天线约为 12 dB,光子晶体贴片天线约为 26 dB,增加了大约 14 dB. 90°侧面方向(沿基底方向)的增益减少了约 3 dB.

对于 H 面的辐射方向图,改善不是很明显,见图 7. 这是由于微带线辐射的缘故. 但向正前方向辐射的增益仍有约 12 dB 的提高.

### 3 结语

本文研究了一种基于电磁(光子)晶体基底的新型贴片天线. 通过用 FDTD 方法并结合 PML 吸收边界条件对两种结构的天线的输入返回损耗、辐射方向图、带宽和增益等的比较,发现本文所设计的光子晶体结构对抑制表面波从而提高天线性能的作用

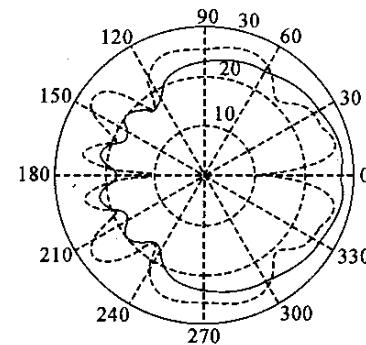


图6 普通天线和光子晶体天线的E面方向图

Fig. 6 E-plane radiation patterns for the conventional patch antenna (dashed line) and our PBG antenna (solid line)

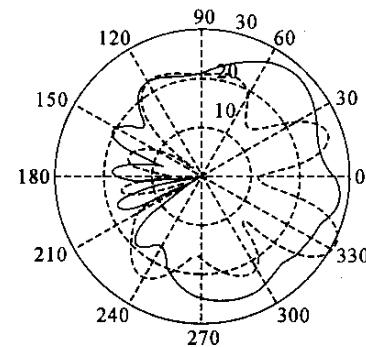


图7 普通天线和光子晶体天线的H面方向图

Fig. 7 H-plane radiation patterns for the conventional patch antenna (dashed line) and our PBG antenna (solid line)

是明显的. 采用其他馈电方式的基于该光子晶体结构的新型贴片天线有待今后的进一步研究.

### 参考文献(References):

- [1] GONZALO, de MAAGT, SOROLLA. Enhanced patch antenna performance by suppressing surface waves using photonic-bandgap substrates [J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1999, 47(11): 2131—2138.
- [2] BROWN R , PARKER D, YABLONOVITCH E. Radiation properties of a planar antenna on a photonic crystal substrate [J]. *Journal of the Optical Society of America B*, 1993, 10(2): 404—407.
- [3] BALANIS A. *Antenna Theory: Analysis and design* [M]. New York: Wiley, 1997. 722—784.
- [4] SHEEN M, ALI M, ABOUZAHRA D. et al. Application of the three-dimensional finite-difference time-domain method to the analysis of planar microstrip circuits [J]. *IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1990, 38(7): 849—857.
- [5] BERENGIER P. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves [J]. *Journal of Computational Physics*, 1994, 114 : 185—200.

## 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](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>