

# 光子晶体结构贴片天线研究

葛 俊<sup>1,2</sup>, 沈廷根<sup>1,2</sup>, 余凤潮<sup>1</sup>, 周跃群<sup>2</sup>, 季培来<sup>2</sup>

(1. 江苏大学应用物理研究所, 江苏 镇江 212003; 2. 江苏大学通信系, 江苏 镇江 212013)

**摘 要:**采用时域有限差分法(FDTD)研究光子晶体带隙结构(PBG)对贴片天线性能的影响, 设计了一种基于光子晶体结构的贴片天线, 通过仿真, 与普通贴片天线进行了对比。结果表明, 通过添加光子晶体结构能提高天线增益。

**关键词:**光子晶体; 贴片天线; FDTD

**中图分类号:**TN204

**文献标识码:**A

## Study of Patch Antennas Based On Photonic Crystal Structure

GE Jun<sup>1,2</sup>, SHEN Ting-gen<sup>1,2</sup>, YU Feng-chao<sup>1</sup>, ZHOU Yue-qun<sup>2</sup>, JI Pie-lai<sup>2</sup>

(1. Department of Physics, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2. Department of Communication, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is to analyze the influence of photonic crystal band-gap (PBG) structure to the patch antenna, and the method based on the finite difference time domain (FDTD) was used. We compared two simulated antennas, one of which is based on PBG structure. We found that its gain were improved by adding the PBG structure.

**Key words:** photonic crystal; patch antenna; FDTD

### 1 引 言

E. Yablonovitch<sup>[1]</sup>和S. John<sup>[2]</sup>于1987年提出光子晶体的概念, 光子晶体是指折射率在空间呈周期性分布的结构, 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, 当电磁波入射电磁(光子)晶体时, 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, 1989年Yablonovitch与Gmitte率先制作了由九层苯乙烯板构成的具有8000个“原子”的光子晶体, 并在6.5GHz的微波频段上观察到了一个超过2GHz的禁带<sup>[3]</sup>, 这一特性使得电磁(光子)晶体已应用到微波电路、天线等诸多方面, 光子晶体结构被应用于多种新型天线称为光子晶体天线<sup>[4-5]</sup>, 由于其体积小、质量轻、低剖面、成本低、易加工、有效展宽天线的带宽、改善天线的方向性, 大幅度提高天线的辐射效率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。

本文用时域有限差分法研究了基底钻孔型光子晶体结构贴片天线, 通过仿真分析得到对应的性能参数, 并将其与普通的贴片天线进行比较, 发现在禁带范围内天线传播的电磁波会受到抑制, 它比普通的贴片天线具有更小的回波损耗, 能大幅度地反射光子晶体的天线基底中的能量, 使其拥有较高的增益。

### 2 光子晶体结构天线的计算模型

在仿真贴片天线的诸多算法中, 有限时域差分法<sup>[6-8]</sup>由于其有许多优点常常被人们用来仿真计算电磁(光子)晶体结构贴片天线的特性, 计算时通过求解麦克斯韦方程组, 将其在直角标系中展开成标量场分量的方程组, 然后用二阶精度的数值差商代替微商, 用Yee提出的方法对上述微分方程进行时空离散化, 将光子晶体单元网格化<sup>[9]</sup>, 用 $\Delta x, \Delta y$ 表

作者简介: 葛 俊(1983-), 男, 研究生, 研究方向为光子晶体应用研究和信号处理。

收稿日期: 2008-02-27

示  $x, y$  方向的空间步长,  $\Delta t$  表示时间步长, 得到标量场分量的差分方程组, 对 TE 模式, Maxwell 方程可转化为迭代形式的 FDTD 形式方程:

$$E_x^{n+1}(i, j) = E_x^n(i, j) + \frac{H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j + \frac{1}{2}) - H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j - \frac{1}{2})}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j)} \quad (1)$$

$$E_y^{n+1}(i, j) = E_y^n(i, j) + \frac{H_z^{n+\frac{1}{2}}(i + \frac{1}{2}, j) - H_z^{n+\frac{1}{2}}(i - \frac{1}{2}, j)}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j)} \quad (2)$$

$$H_z^{n+\frac{1}{2}}(i, j) = H_z^{n-\frac{1}{2}}(i, j) + \frac{E_x^n(i, j + \frac{1}{2}) - E_x^n(i, j - \frac{1}{2})}{\Delta y} \cdot \frac{\Delta t}{\mu} - \frac{E_y^n(i + \frac{1}{2}, j) - E_y^n(i - \frac{1}{2}, j)}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta t}{\mu} \quad (3)$$

为了保证迭代收敛得到稳定解,  $\Delta x, \Delta y, \Delta t$  选择必需满足稳定条件<sup>[9]</sup>:

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{(\Delta x)^{-2} + (\Delta y)^{-2}}} \quad (4)$$

对 TM 模式同样可以得到类似的关于  $H_x, H_y, E_z$  计算式。

在计算程序中, 我们使用的是在  $x, y$  方向采用完全匹配层 (perfectly matched layer, PML) 边界条件<sup>[7-8]</sup>, 对单个元胞进行  $20 \times 20$  个分割离散, 对每个面元上的介电常数作平均取样, 计算中取了 4000 个时间步长, 通过用 FDTD 数值计算方法的计算, 对微波有源光子晶体贴片天线结构进行了仿真计算。

本文主要讨论的基底钻孔型光子晶体结构贴片天线的结构如图 1 所示, 就是在天线的基底上钻出

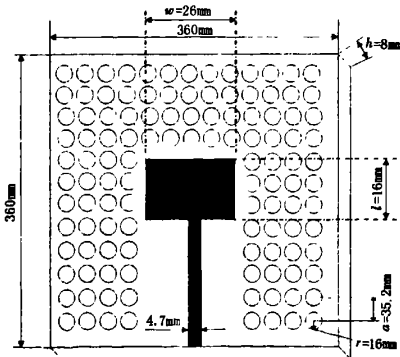


图1 基底钻孔型光子晶体结构贴片天线

周期性排列的孔以形成光子晶体结构, 基底的大小为  $360\text{mm} \times 360\text{mm} \times 8\text{mm}$ , 孔的半径为  $16\text{mm}$ , 两圆

心之间相距  $35.2\text{mm}$ 。基底介质的相对介电常数为 10, 在介质层上加入  $26\text{mm} \times 16\text{mm}$  的贴片天线, 激励源采用 Gaussian 离散源, 它通过宽度为  $4.7\text{mm}$  的微带馈线给贴片天线馈电, 去掉光子晶体结构后的普通贴片天线的结构如图 2 所示, 其结构参数同图 1 所示。

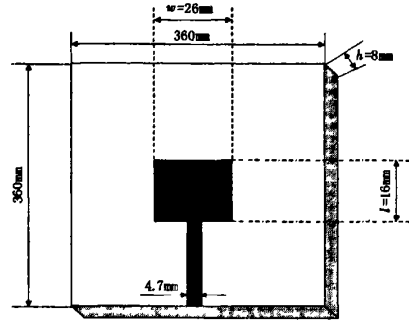
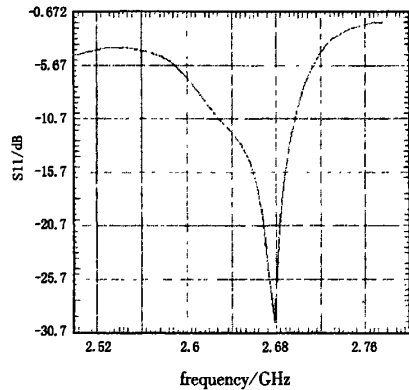


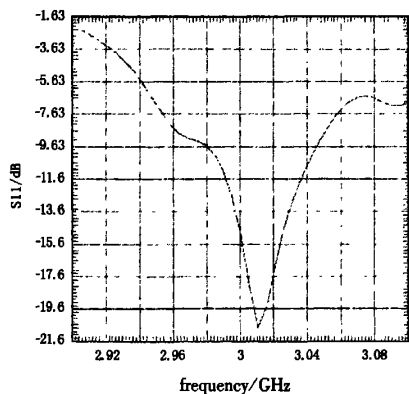
图2 普通贴片天线

### 3 仿真结果及分析

利用 FDTD 电磁仿真软件对以上两天线进行仿真分析, 可以得到回波损耗 ( $S_{11}$ ) 和增益特性如图 3 和图 4 所示。



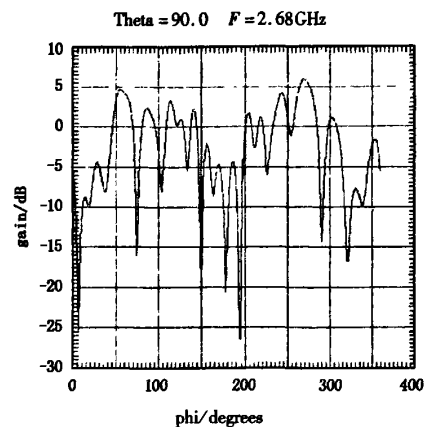
(a) 基底钻孔型光子晶体结构贴片天线  $S_{11}$



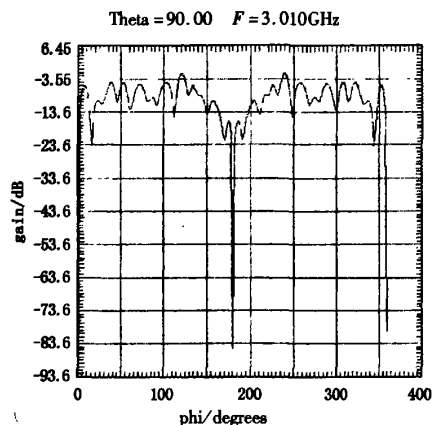
(b) 普通贴片天线  $S_{11}$

图3 天线回波损耗( $S_{11}$ )仿真结果对比

从图 3 可以看出,增加光子晶体结构通过仿真计算后,天线回波损耗( $S_{11}$ )比普通贴片天线改善了很多,其最小回波损耗( $S_{11}$ )减少了  $-10\text{dB}$ 。



(a) 基底钻孔型光子晶体结构贴片天线增益



(b) 普通贴片天线增益

图 4 天线增益性能仿真结果对比

由图 4 天线在最小回波损耗( $S_{11}$ )处的增益图容易看出,普通贴片天线的正向增益最大为  $-3\text{dB}$ ,加入光子晶体结构后,正向增益最大约为  $+6\text{dB}$ ,提高了  $9\text{dB}$ ,说明光子晶体结构可以较大提高贴片天线的增益。

通过在贴片天线中人为地引入光子晶体结构后,不难发现,其特性表现为较低的回波损耗和较大的天线增益,从理论的角度分析其原因也是容易理解的:在贴片天线的基底介质上加入了光子晶体结构之后,就会形成电磁(光子)禁带,在禁带频率范围内的电磁波将受到束缚不能向任意方向传播,利用光子晶体的禁带效应,可抑制沿基底底板介质传播的表面波,由此,将减少天线基底对电磁波的吸收,增加电磁波向自由空间的反射能量,从而减少了天线的回波损耗、增加了增益,其物理图像由图 5 能得到更直观的说明。

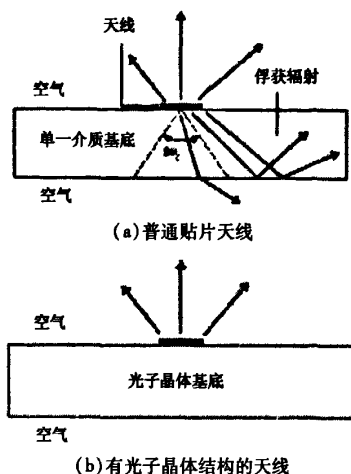


图 5 利用光子晶体结构做基底的贴片天线抑制表面波的物理图像

为了进一步说明光子晶体禁带效应能抑制天线基底电磁表面波,本文对基底钻孔型光子晶体结构贴片天线和普通贴片天线这两种天线绘制了基底表面的电场( $E_z$ )分布图(如图 6 和图 7 所示),两图归一化到相同的最大值和最小值,其中  $E_z$  为垂直贴片方向的电场分量,显然,图 7 中的普通贴片天线表面波电场明显比图 6 的基底钻孔型光子晶体结构贴片天线表面波电场强得多,直观地说明了在贴片天线的基底中加入光子晶体结构后,能有效抑制天线基底电磁表面波。

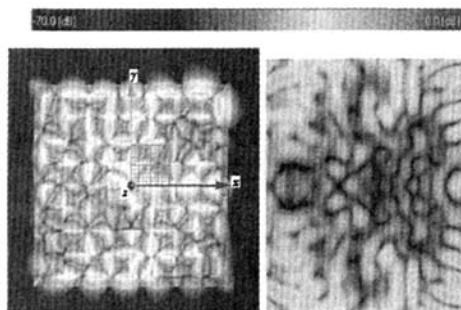


图 6 基底钻孔型光子晶体结构贴片天线的表面波电场分布图

图 7 普通贴片天线的表面波电场分布图

#### 4 结论

在贴片天线中引入光子晶体结构,利用光子晶体的禁带效应,可抑制沿基底底板介质传播的表面波,由此,增加了天线耦合到空间的电磁波辐射功率,从而提高了贴片天线增益和信噪比,较好地改善了天线的性能,使得光子晶体贴片天线在移动通信、卫星通信以及航空航天等众多领域能更好地发挥它的作用。

(下转第 812 页)

显示和存储,并且通过实验证明,该软件可以与不同型号的泰克示波器进行数据交互,充分体现了 VISA 标准的优势。



图 5 脉宽测量软件界面

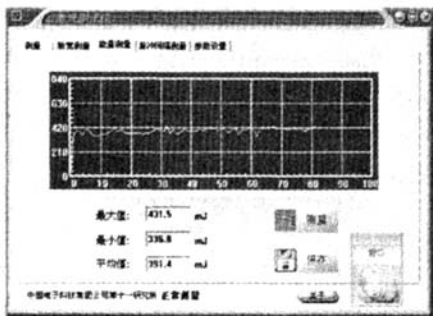


图 6 能量测量软件界面

## 6 结 论

本文讨论了基于 VISA 标准的一体化激光参数测试仪的设计思想及关键技术。通过实践论证,一体化激光参数测试仪简化了测距机参数测量过程,能够快速、精确的自动测量激光测距机的各项性能参数,弥补了传统激光测试系统繁杂、庞大、操作不便等缺点。测试仪的软件基于 VISA 标准,可以做到应用软件与硬件系统的无关性,增强了系统软件的可移植性,体现了 VISA 技术的优势。本文为激光测试系统的研制提供参考。

## 参考文献:

- [1] Tektronix Corporation. TDS200, TDS1000/TDS2000, TDS1000B/TDS2000B, and TPS2000 Series Digital Oscilloscopes Programming Guide[M]., 2006.
- [2] Tektronix Corporation. TEKVISI Programmer Manual, 2007.
- [3] 王险峰,刘宝宏. Windows 环境下的多线程编程与原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002:247-304.
- [4] 徐光辉,程东旭,黄如. 基于 FPGA 的嵌入式开发与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2006:300-313.
- [5] 官掌全,刘加明. Visual C++ 6.0 类库大全[M]. 北京:电子工业出版社,1999:420-423.

(上接第 804 页)

## 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] John S. Strong localization of photon in certain disordered dielectric super lattice[J]. Phys. Rev. Lett., 1987, 58(23):2486-2489.
- [3] E Yablonovitch, E Kapon, T J Gmitter, et al. Double heterostructure GaAs/AlGaAs thin film diode lasers on glass substrates, IEEE Trans[J]. Photonics Technology Letters, 1989, (2):41-42.
- [4] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi. Harmonic control photonic bandgap on microstrip patch antenna[J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett., 1999, 9(1):13-15.
- [5] Joseph S Colburn, Yahya Rahmat-Samii. Patch antennas on externally perforated high dielectric constant substrates [J]. IEEE Trans. on Antennas Propagation, 1999, 47(12):1785-1794.
- [6] K S Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1966, 14(3):302-308.
- [7] Qiu M, He S L. Numerical method for computing defect modes in two-dimension photonic crystals with dielectric of metallic inclusions[J]. Physical Review B, 2000, 61(19):12871-12876.
- [8] Dong Xiaoting, X S Rao, Y B Gan, et al. Perfectly matched layer absorbing boundary condition for left handed materials[J]. IEEE Microwave and Wireless Components letters, 2004, 14(6):301-303.
- [9] K S Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media [J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1966, 14(3):302-308.

## 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>