

一维光子晶体对微带天线性能的改善

刘双兵 朱挺挺 李民权

(安徽大学计算智能与信号处理教育部重点实验室,安徽 合肥 230039)

摘要:采用传输矩阵理论,分析了带缺陷的一维光子晶体的传输特性,随缺陷层厚度和周期数变化的情况,并把这种结构应用于微带天线中,通过HFSS软件仿真,结果表明,相比于普通的微带天线,光子晶体天线的谐振频率有所降低,方向性得到了很大的改善。

关键词:光子晶体; 传输矩阵; 微带天线

中图分类号:O73 文章标识码:A 文章编号:1672-2868(2008)03-0051-04

1 引言

光子晶体(PBG)最初是在光学领域提出的^{[1][2]},空间介电函数周期性的分布可以使通过该结构中的光子具有在晶体中电子一样的禁带和导带,呈现出能带结构。近几年来,这种周期性结构在微波频段的研究已经迅速发展,涉及微波滤波器,放大器,高性能天线,相控阵天线等^{[3][4]}。微波光子晶体结构可以分为一维、二维、三维,其中,一维光子晶体的结构非常的简单,不同介电常数的材料交替排列就可以构成一维光子晶体,频率处于带隙范围内的电磁波将被抑制,对于一维光子晶体,我们可以引入一维平面缺陷来产生缺陷模结构,这里我们首先用传输矩阵法研究了一维光子晶体缺陷的频率特性,并把这种结构应用于微带天线中,设计出一款高方向性的微带天线。

2 传输矩阵法

带缺陷的一维光子晶体是有两种不同介电常数的材料a,b交替构成,其厚度分别为d₁和d₂,为了达到更好的滤波效果,设中间层是厚度为d₀的缺陷层,如图1所示缺陷层两侧的周期单元数目为N,每个周期单元中各介质层电厚度近似为λ₀/4,缺陷层的厚度h=λ₀/4√ε_r×m,该一维光子晶体的结构可以表示为(ab)^Nd^m(ba)^N。

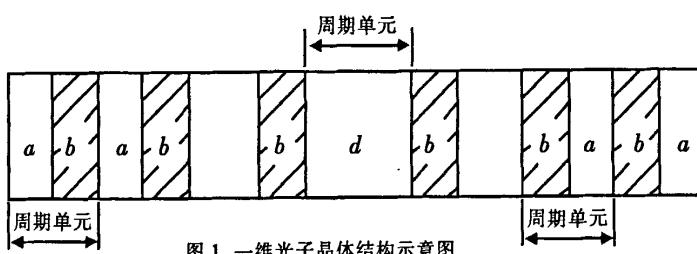


图1 一维光子晶体结构示意图

收稿日期:2008-03-16

作者简介:刘双兵(1982-),男,安徽宿松人。安徽大学硕士研究生,巢湖学院物理与电子科学系教师。

考虑光子晶体的两侧为空气介质,当电磁波垂直入射时,可以利用传输矩阵法^[9]来进行传输频谱的研究。

每一个介质层的特征矩阵为

$$M_i = \begin{bmatrix} \cos\delta_i & j\eta_i^{-1}\sin\delta_i \\ j\eta_i\sin\delta_i & \cos\delta_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{式中 } \delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_i} d_i, \quad \eta_i = \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_i}{\mu_0}} \quad (2)$$

ϵ_0, μ_0 是真空中的介电常数和磁导率; ϵ_i 是介质的相对介电常数

整个一维光子晶体的总传输矩阵为

$$M = (M_a M_b)^N M_a (M_b M_a)^N = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

光子晶体的传输系数

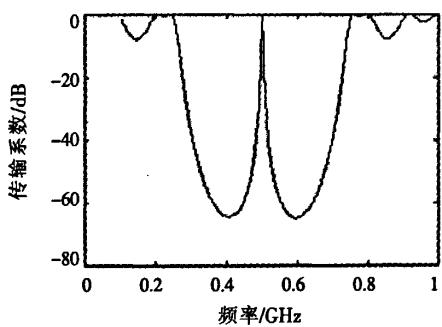
$$t = \frac{2\eta_0}{m_{11}\eta_0 + m_{12}\eta_0 + m_{21}\eta_0 + m_{22}\eta_0} \quad (4)$$

η_0 为真空中的波阻抗。

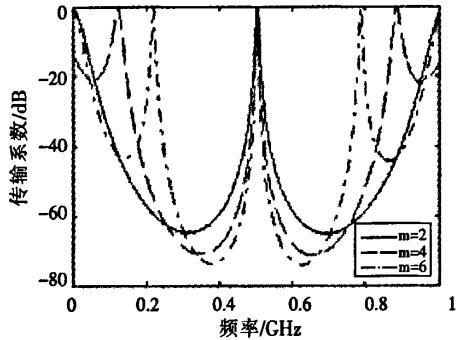
3 光子晶体缺陷的频率特性

基本周期结构一定的一维 PBG,带隙宽度随着周期数目的增加而增大^[7],这里我们考虑尺寸因素,设计尺寸如下:m=2,N=2,d1=14.8mm,d2=4.76mm, $\epsilon_a=1,\epsilon_b=9.8$,缺陷层为 $\epsilon_r=1$ 的空气,晶体外层为空气,根据公式(1)~(3),利用matlab软件进行数值模拟计算,得到传输系数如图(2)所示,从图中看到,在宽阻带的中间出现了缺陷模,也就是我们所需要的通带,其中心频率为5.04GHz。

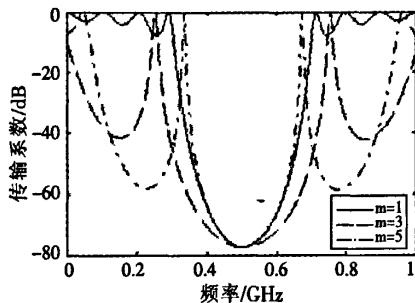
图(3)~(5)表示介质周期数N及缺陷层厚度h的变化,对 $(ab)^n dm (ba)^n$ 结构光子晶体的传输系数的变化情况。在图(3)和图(4)中,取介质周期数N=2,在图(5)中,取m=2。从中可以发现要想在5.04GHz频率产生通带,m必须取偶数,即缺陷层的厚度为四分之一中心波长的偶数倍,且随着m(偶数)和周期数N增大,缺陷模的幅度开始下降,且通带范围变窄。



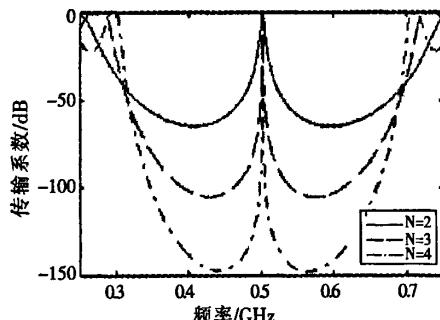
图(2) 含缺陷模光子晶体的传输系数



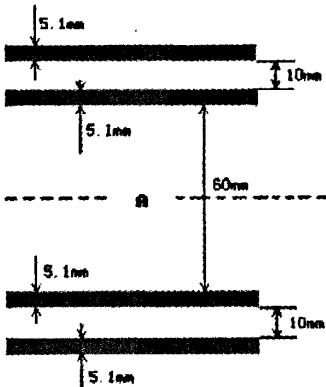
图(3) m 为偶数情况下的传输系数



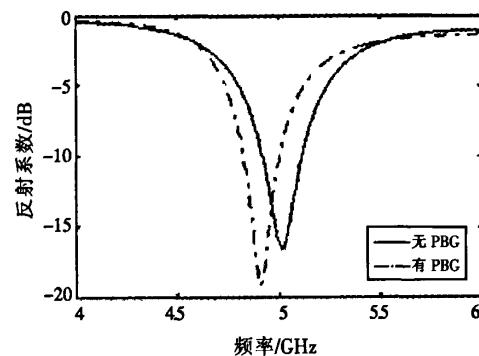
图(4) m 为奇数情况下的传输系数



图(5) 周期数 N 变化下的传输系数



图(6)光子晶体的尺寸



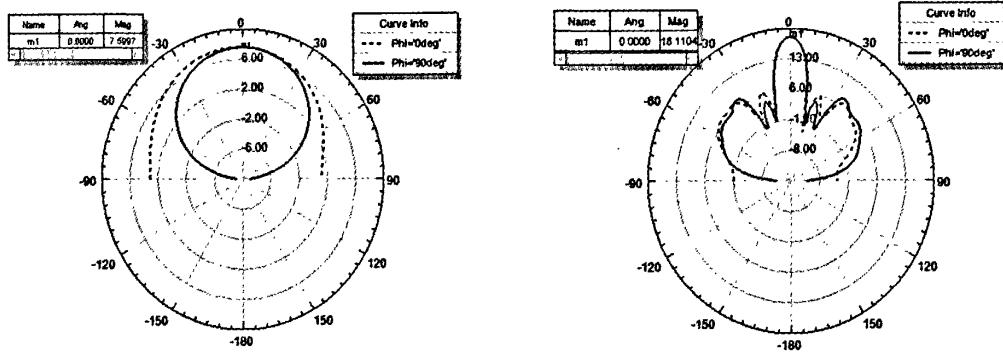
图(7)天线的反射系数

4 微带天线中的应用

一维光子晶体缺陷这种结构所支持的空间辐射限制在很小的范围内,或者说,具有很强的方向性^[8],因此可以应用在微带天线中,作为高方向性新型天线结构。

天线的具体尺寸为 17.5mm*25mm,基片采用 Rogers RT/duroid 5870, $\epsilon_r=2.33$ 介电常数,基片厚度 $h=2.35\text{mm}$,采用同轴线馈电。带缺陷的光子晶体具体尺寸如图(6)所示,这里把微带天线作为激励源放置于缺陷层正中 A 点,因为由文献^[9]所知,缺陷的场具有对称性,在缺陷中心放置的天线所产生的切向电场为零,这就意味着在缺陷中心位置放置一个金属接地面不会对场产生影响,同时只需要考虑上半部分,使得结构缩小了一半。

图(7)是天线的反射系数,由此可见加入光子晶体后谐振频率有所下降,这可以使得贴片做的更小;图(8)分别给出了用作激励的普通贴片天线和光子晶体缺陷天线的方向性系数,贴片天线单独存在时,方向性系数大约在 7.5dB,而光子晶体缺陷天线的方向性系数可达到 18 dB,相比达到这个系数的贴片天线阵列,其空间大大的减小。



图(8)天线的方向性系数比较

(a)贴片天线;(b)光子晶体天线

5 小结

本文通过传输矩阵法研究了一维光子晶体缺陷模式的频率特性,并把这种缺陷模式的结构成功应用到微带天线中,使天线的方向性系数提高到了 18dB,结构简单,易于制造。

参考文献：

- [1] Yablonovitch E. Photonic Band-Gap Structures [M]. Journal of the Optical Society of America 1993.
- [2] Joannopolous J,Meade R, Winn J. Photonic Crystals: Modeling of Flowing of Light[M]. Princeton University Press,1995.
- [3] Taesun Kim, Chulhum Seo. A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband. IEEE Microwave Guide Wave Lett., 200, 10(1):13~15.
- [4] Ian Rumsey, Melinda Piket-May, P Keith Kelly. Photonic bandgap structure used as filters in microstrip circuits. IEEE Microwave Guided Wave Lett.,1998,8(10):336~339
- [5] Yasushi Horri,Makoto Tsutsumi. Suppression of the harmonic radiation from the PBG microstrip antenna. 1999 IEEE MTT-, 1999:724~727
- [6] P.Yeh. Optical waves in layered Media[M].German:Bertelsmann,1981.
- [7] 羣益玲等.一维光子晶体的带隙分析[J].同济大学学报,2004,32(7):920~923.
- [8] 付云起,袁乃昌,温熙森,微波光子晶体天线技术[M],北京:国防工业出版社,2006.
- [9] 李民权,刘双兵,赵谨.基于辛时域有限差分方法微带天线的数值分析.[J] 安徽大学学报 2007,31(3):44~47.

ONE-DIMENSIONAL PHOTONIC CRYSTALS AND ITS APPLICATIONS TO MICROSTRIP ANTENNAS

LIU Shuang-bing ZHU Ting-ting LI Min-quan

(Key Laboratory of Intelligent Computing & Signal Processing of Ministry of Education, Anhui University,
Hefei Anhui 230039)

Abstract: Transfer matrix method (TMM) is used to analyzed transmission properties of one-dimensional photonic crystal with defect mode, and its situation of properties are study as the change of defect thickness and the number of period. we also apply this structure into microwave antenna, the results of simulation by Ansoft HFSS indicate that compared to normal microstrip antenna, the resonant frequency of photonic crystals antenna is reduced a little, and the directivity is improved efficiently.

Key words: Photonic crystals; Transfer matrix method; Microstrip Antennas

责任编辑:宏彬

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>