

文章编号:1001-3679(2011)02-0156-04

几种不同周期性单元的 PBG 天线的设计与仿真

赖慧芳,叶志清,李海兰

(江西师范大学物理通信与电子学院,江西 南昌 330022)

摘要:提出了几种不同周期性单元的 PBG 结构的贴片天线。采用有限元法对其进行仿真分析,通过相互对比,研究出这几种不同 PBG 结构对贴片天线性能的影响。结果表明,在贴片天线中增加 PBG 结构能减少天线的回波损耗,提高天线的增益和辐射效率。并得出周期性单元的形状和数目对其特性的影响。

关键词:PBG;有限元法;周期性单元

中图分类号:O734 文献标识码:A

The Design and Simulation of Several Patch Antennas Based on Different Periodic Cell Photonic Bandgap Structures

LAI Hui-fang, YE Zhi-qing, LI Hai-lan

(Jiangxi Normal University, College of Physics and Communication Electronics, Jiangxi Nanchang 330022 PRC)

Abstract: In this paper, several patch antennas based on different periodic cell photonic bandgap structures are proposed. The method based on finite element was used to analyze those different antennas, and we get some results about the influence of different photonic bandgap structure to the patch antenna by compared with each other. We found that its input return losses were reduced, the radiation efficiency was higher and its gain was improved in the patch antenna by adding the PBG structure. And it also contains that the shape and number of periodic cell influenced the properties.

Key words: PBG structure, Finite element method, Periodic cell

0 引言

光子晶体是 20 世纪 80 年代末提出的新概念和新材料,是在 1987 年由美国加州大学的 E yablonovitch 教授和美国普林斯顿大学的 S Joho 分别提出。光子晶体是一种介质在另一种介质中周期排列所组成的晶体结构,其周期为光波长量级。光子在这类材料中的作用类似于电子在凝聚态物质中的作用,存在着类似于半导体能带结构中的禁带,称之为光子带隙 (PBG)。在 PBG 材料中^[1,2],某些频率落在光子带隙内的电磁波被完全禁止在光子晶体中传播。

光子晶体不仅具有理论价值,更具有非常广阔的应用前景,这个领域已经成为国际学术界的研究热点。近年来,许多学者致力于把 PBG 结构用于微带天线之中,如果将 PBG 应用于微带天线,就可以克服一些表面波、高次模、馈线损耗和介质损耗的影响,从而提高微带天线的性能。另外,微带天线表面波的存在降低了天线的辐射效率,但通过在支撑介质中穿孔或者在贴片周围环绕 PBG 网格形成高阻表面,就可以非常有效地抑制表面波的传播,从而提高天线的辐射效率。

电磁场的数值计算方法包括有限差分法和有限元素法等,本文运用的软件 Ansoft HFSS (High-

收稿日期:2011-02-10;修订日期:2011-03-06

作者简介:赖慧芳(1985-),女,江西石城人,在读硕士研究生,研究方向:光学工程专业、光通信、微带天线。

Frequency structUreSimulator)就是利用有限元素法求解电磁场。该软件是一个基于有限元素法的三维电磁场分析软件,通过有限元素法可以计算任意形状,任意有限体积内的全波电磁场分布,从而可以用来精确仿真光子晶体的能带结构,尤其是仿真光子晶体缺陷态的定域效应时快速而直观^[3]。本文主要研究了5种光子带隙结构,通过仿真分析得到对应的参数,并将其与普通的微带贴片天线进行比较,发现它们比普通贴片天线具有更小的回波损耗、更高的增益和更高的辐射效率。然后对5种不同周期性单元的PBG天线进行对比,从辐射效率、天线增益、回波损耗等方面进行讨论和分析。

1 普通微带贴片天线设计

微带天线是在带有导体接地板的介质贴片上贴加导体薄片而形成的天线。它利用微带线或者同轴线等馈线馈电,在导体贴片与接地板之间激励起辐射电磁场,并通过贴片四周与接地板之间的缝隙向外辐射^[4]。因此微带天线也可以看成一种缝隙天线。本文设计了工作频率为2.45 GHz的PBG结构的切角微带天线。采用背馈的方式为微带天线馈电,根据修正的腔膜理论计算输入阻抗的方法和仿真结果显示,馈电点位置由贴片中心向边缘移动,输入阻抗的变化规律是由感性向容性渐变。在仿真设计中按照这一变化规律进行调谐,即得到合适的馈电位置。

微带天线设计技术参数^[5]:介质基片的宽度和长度分别为 $L=45\text{ mm}$, $W=45\text{ mm}$,相对介电常数为3.38,微带贴片的宽和长度分别为 $W=32\text{ mm}$, $L=32\text{ mm}$,采用 50Ω 的同轴线进行馈电,如图1所示。

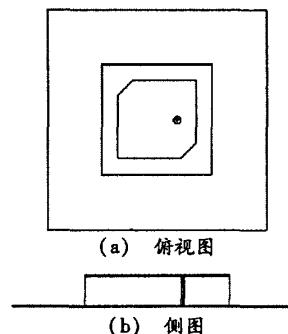


图1 切角微带天线

2 PBG 结构天线设计

PBG结构的设计要依靠光学原理。PBG周期结构可近似为光学的 Bragg 反射体来进行分析,其阻带的中心频率满足 Bragg 条件。

$$2 \times k = k_{\text{Bragg}} = 2\pi/a$$

式中, k 为波导模的波数, a 为 PBG 结构的周期。由上式可以推出

$$\lambda = 2/a$$

即 PBG 结构的周期约为波导波长的 1/2。实际上在应用 PBG 结构后,精确的波导波长的计算变得十分复杂^[6]。本文中采用了基片钻孔型^[7]微带天线,利用上述的设计公式及经验数据,设计了中心频率约为 4.5 GHz 的 PBG 结构^[8],周期单元之间长度 $a=6\text{ mm}$,PBG 结构的周期性单元取了圆柱体、直三棱柱、直四棱柱、直五棱柱和直六棱柱,并根据工程经验,分别取了 5 个、10 个、15 个周期。其中所有周期性结构的高都为 5 mm,圆柱体半径为 2 mm,直三棱柱、直四棱柱、直五棱柱和直六棱柱的边长分别为 $2\sqrt{6}\text{ mm}$ 、 4 mm 、 3.325 mm 、 $2\sqrt{2}\text{ mm}$ 。图 2、图 3 是利用 HFSS 软件建立的 PBG 结构模型。

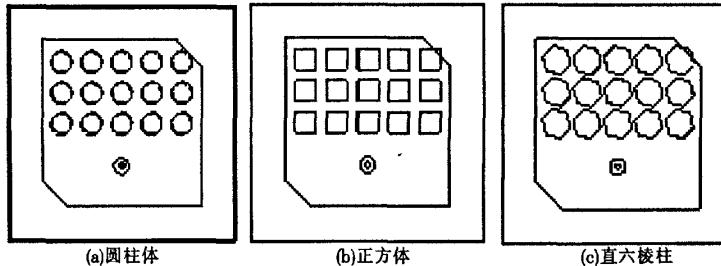


图2 不同周期性单元的PBG微带天线

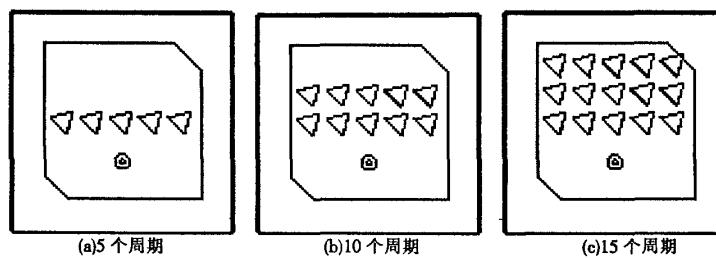


图 3 不同个数的直三棱柱 PBG 微带天线

3 仿真结果与讨论

利用有限元法对所设计的微带天线进行仿真分析, 分别得到: 天线增益图、驻波比、反射参量 S 随频率变化图及回波损耗图, 效果最好的 4 幅图分别如图 4~图 7 所示。

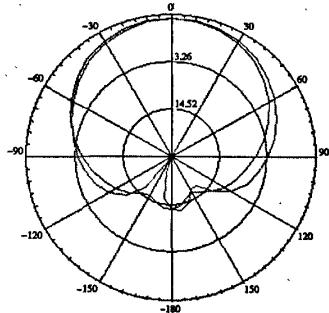


图 4 天线增益图(5 周期直三棱柱)

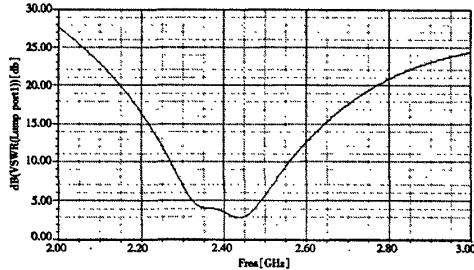


图 5 驻波比(5 周期直三棱柱)

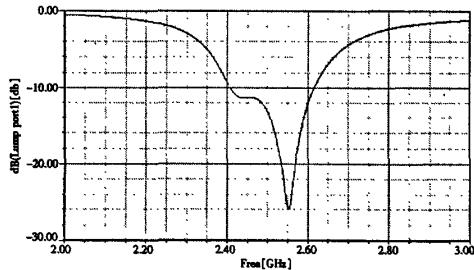


图 6 S11(15 周期直五棱柱)

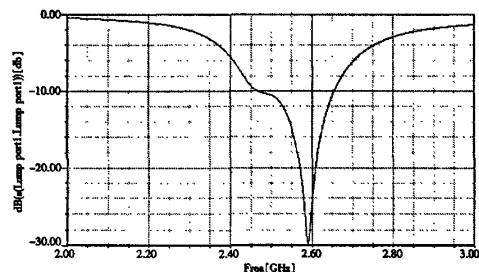


图 7 回波损耗(15 周期直六棱柱)

普通贴片天线和 5 个周期性单元的 PBG 天线的回波损耗、-10 dB 处带宽、增益、辐射效率、驻波比和谐振频率如表 1 所示。从表 1 可以看出, 加入 PBG 的天线特性优于普通贴片天线, 特别是在天线增益、辐射效率和驻波比方面。

不同周期性单元的 PBG 天线的回波损耗、-10 dB 处带宽、增益、辐射效率、驻波比和谐振频率如表 2 所示。

如表 2 所示, 15 个周期的不同形状单元的仿真结果表明, 直六棱柱周期 PBG 天线有较小的回波损耗, 但是天线增益和辐射效率更低; 而直三棱柱周期 PBG 天线却有更高的天线增益、辐射效率和更大的驻波比。

表 1 普通贴片天线和 PBG 结构的贴片天线性能的比较

天线性能参数	普通贴片天线	5 个圆柱体周期 PBG 天线	5 个直三棱柱周期 PBG 天线
天线增益/dB	5.7	6.813	7.144
天线辐射效率	84%	89.59%	93.14%
驻波比 VSWR	1.96	2.78	2.95
谐振频率 /GHz	2.45	2.44	2.44
回波损耗/dB	-15.6	-16	-15.47

表2 不同周期性单元的PBG天线性能的比较

天线性能参数	15个直三棱柱周期PBG天线	15个正方体周期PBG天线	15个直五棱柱周期PBG天线	15个直六棱柱周期PBG天线
回波损耗/dB	-18.67	-22.65	-25.84	-29.62
-10 dB处带宽(MHz)	200	210	210	200
天线增益/dB	7.05	6.348	6.21	5.905
天线辐射效率	97.91%	83.09%	81.28%	77.19%
驻波比VSWR	2.03	1.28	0.89	0.57
谐振频率/GHz	2.5	2.54	2.55	2.59

综上所述,通过仿真发现15个周期的PBG结构能获得比较好的带宽、较小的回波损耗,而5个周期的则能获得更大的天线增益、更高的辐射效率以及更大的驻波比,而谐振频率也会随着周期性单元数目的增加而变大。可以根据不同需求采用不同周期性单元的PBG结构,也可以改变周期单元的数目。

4 结束语

本文在一定理论设计的基础上,创新性的设计了5种光子带隙结构微带天线,通过仿真分析得到对应的参数,将其与普通的微带贴片天线进行比较,发现它们比普通贴片天线具有更小的回波损耗、更高的增益和更高的辐射效率。然后,对5种不同周期性单元的PBG天线进行对比,从辐射效率、天线增益、回波损耗等方面进行讨论和分析。由此得出,周期性单元数目的增加普遍减小了回波损耗,增加了带宽,但是其它天线特性不如

周期数目小的PBG天线,另外也会偏移中心频率,5个周期的PBG结构效果比较理想。

目前,众多的PBG结构的微带天线被设计出来,有地面刻蚀型、基底钻孔型、高阻抗表面型、(共表面)UC-PBG型、覆层型和软表面型等,本文是基底钻孔型中的一种,并进行了多方面探讨。我国对光子晶体的研究已开始向实验验证和实际应用的方向发展,特别是将PBG应用于天线的研究。本文的不足之处是未能通过实验进行验证,在未来应致力于该项工作,使PBG天线的研究更上一个台阶。

参考文献:

- [1] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. *PhysRev. Lett.*, 1987, 58(20): 2059 - 2062.
- [2] Jhon S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices [J]. *PhysRev. Lett.*, 1987, 58(23): 2486 - 2489.
- [3] 杜娟.光子晶体及其应用的研究[D].西安:西安电子科技大学,2008.
- [4] 钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.
- [5] Byungje Lee, Haraekiewicz F J. Miniature microstrip antenna with a partially filled high-permittivity substrate [J]. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2002, 50(8): 1160 - 1162.
- [6] Agostino Giorgio, Anna Gina Perri. Modelling photonic band-gap structures having multiple defects [J]. *Journal of Computational Electronics*, 2003, 2: 397 - 401.
- [7] 朱方明,林青春.新型电磁(光子)晶体贴片天线的研究进展[J].电波科学学报,2002,17(2):182 - 186.
- [8] 宋琦,高劲松,王笑夷,等.时域有限差分法在一维光子晶体数值模拟方面的研究[J].光学仪器,2006,25(4):37 - 42.

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>