

“微系统集成与应用”专题

基于光子晶体的小型微带天线的分析与设计

邵建兴

(重庆邮电大学 光电工程学院,重庆 400065)

摘要:针对传统微带天线低频端尺寸较大的缺点,设计了一种基于光子晶体的新型微带天线结构,即通过采用在传统微带天线贴片下方挖出凹槽,将辐射板放入凹槽中,并在微带天线的介质基板中引入高度不同的周期性圆柱空气隙光子带隙(PBG)结构的设计方案。采用基于有限元方法的电磁仿真软件HFSS 10.0对所设计的天线进行了仿真。仿真结果表明,当回波损耗小于-10.0 dB时,天线的工作频段分别为2.40 GHz~2.51 GHz和3.54 GHz~3.62 GHz,且天线在这两个频段内具有良好的辐射特性。与传统的微带天线相比,所设计的天线后向辐射明显降低,且其整体尺寸减少了59.19%,从而验证了这种设计方案的有效性。

关键词:光子晶体;双频;回波损耗;微带天线;表面波

中图分类号:TN82 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-5692(2010)01-036-06

Analysis and Design of a Small Size Microstrip Antenna Based on a Photonic-Band-Gap Substrate

SHAO Jian-xing

(College of Electronic, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Conventional microstrip antennas often hold a big size. To overcome this problem, a novel microstrip antenna based on a new photonic-band-gap structure is designed, which has a groove been dug below the radiation plate, within which the radiation plate is placed, and air cylindrical gaps with different height are placed in the substrate periodically. Numerical simulation is performed for the antenna with Ansoft HFSS 10.0, which is a kind of simulation software based on Finite Element Method (FEM). The simulation results show that the operation frequencies of this antenna are 2.40 GHz~2.51 GHz and 3.54 GHz~3.62 GHz with return loss less than -10.0 dB, and the proposed antenna holds good performances in its operation bands. Compared with the conventional microstrip patch antenna, the back lobe of this antenna is greatly reduced and its total size is reduced by 59.19%, which demonstrates that the proposed design is efficient.

Key words: Photonic-Band-Gap (PBG); dual-frequency; return loss; microstrip antenna; surface wave

0 引言

微带天线,作为20世纪70年代研究成功的一种新型天线,以其结构简单、重量轻、低剖面、易于与飞行器表面共形安装和可与微带电路集成等优点,在通信、雷达等领域得到了广泛的应用。但是,微带天线的结构能支持表面波。微带天线中表面波的存

在,一方面使能量被束缚在介质层附近而不能辐射出去,从而降低了天线的效率;另一方面,在介质截断处,电磁波会发生辐射和绕射,影响天线的辐射方向图,主要是引起后瓣增大和旁瓣起伏加大,使天线易于受到电子干扰和欺骗^[1,2]。

近年来出现的PBG(photonic bandgap)材料,也称光子晶体(photonics crystals),为提高微带天线的整体性能提供了新的研究思路。光子晶体,是一种

具有频率带隙的周期介质材料,这一概念是1987年美国Bell实验室的E.Yablonovitch和Princeton大学的S.John分别在研究如何抑制自发辐射和无序电介材料中的光子局域时各自提出的^[3,4]。光子晶体的最根本特性就是具有光子带隙^[5]。基于新型电磁(光子)晶体的研究是近年来兴起的一个新的研究领域^[6],光子晶体可以用于天线、谐振腔、滤波器等器件上,以提高其性能。利用电磁(光子)晶体结构所具有的独特性质可以抑制微带天线内的表面波,从而显著的提高天线的辐射阻抗、方向性、增益和效率等性能。虽然国内外已经在基底钻孔型^[7,8]、地面腐蚀型^[9,10]、高阻抗表面型^[11]、UC-PBG型^[12,13]、覆层型^[14,15]和软表面型^[16]电磁光子晶体贴片天线等方面开展了研究,但是这些研究中还遗留着多方面的问题,诸如怎样显著改善天线的性能指标,减小天线的体积、重量,降低天线的加工费用等。

本文分析并设计了一种基于光子晶体的新型双频微带天线,所提出的新型PBG结构是在微带天线的介质板内引入高度不同的周期性圆柱空气隙。所设计的天线在结构上保持了天线低剖面、结构简单、馈电方便等优点的同时,不仅能够保证天线双频段工作的特点,而且天线保证了其优异的辐射性能,在宽带射频移动通信系统中具有很好的应用前景。

1 PBG结构微带天线的设计

通常情况下,在设计光子晶体天线时,首先是将光子晶体结构和天线分别设计好,然后再将二者组合在一起。这种设计思路比较通用,但是对于最后形成的光子晶体天线,还要综合考虑天线和光子晶体的一些参数对天线整体性能的影响。

1.1 普通微带天线的设计

在普通矩形微带天线的设计中,可以根据所要求的带宽及增益,来确定介质板的材料及厚度。一般可以根据天线所工作的中心频率,由以下两式求出辐射片的尺寸^[17]。

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.421 \frac{(\epsilon_r + 0.3)(W/h + 0.264)}{(\epsilon_r - 0.258)(W/h + 0.8)} \quad (3)$$

式中, W 和 L 分别为辐射单元的宽度和长度; ΔL 为

线伸长量; ϵ_r 为介质的介电常数; ϵ_s 为介质板等效介电常数; c 为光速; h 为介质板厚度。

为了获得较大的带宽,可以采用介电常数小的介质基板材料或增加介质基板的厚度,但这又会导致天线的增益降低及其尺寸的增大。从理论上来说,接地板可以视为无限大,然而在实际工程设计中,考虑到天线安装尺寸、重量及其成本方面的诸多因素,接地板尺寸应尽可能的小。在实际工程应用中,当接地板宽度满足 $W_0 \geq W + 0.2\lambda_g$ 时,即可将其视为无限大。

采用同轴线馈电方式,可以有效调整天线的输入阻抗,增加调试的灵活性。对于介质基板较厚的天线,同轴探针过长会影响天线的整体性能,为此可以采用如下的新型天线结构,即在介质板内挖出一部分介质,并将辐射板放入该凹槽中,如图1所示。

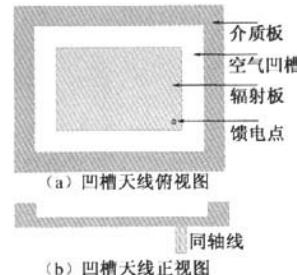


图1 凹槽天线俯视图及正视图

1.2 PBG结构的设计

在微带贴片天线中引入PBG结构,主要是为了抑制微带天线中的表面波及高次谐波,从而改善天线的增益及带宽等性能。目前常用的PBG结构主要有基底钻孔型、地面腐蚀型、高阻抗表面型等结构。本文采用基底钻孔型的PBG结构方案。

传统的基底钻孔型,即是在天线辐射板周围的介质基板内引入一个二维光子晶体结构,通常可以采用在基板中钻出一些周期性排列的孔(如圆形孔、椭圆形孔、方形孔等)来实现该结构。这种光子晶体的禁带特性与栅格常数 a ,填充比 r/a 及介电常数 ϵ 等因素有关。可以通过光子晶体的TM禁带图来适当选择 r/a 的值,使天线的工作频率处于光子晶体结构的禁带范围内,从而抑制天线基板中的表面波,以改善天线的整体性能。虽然该结构可以有效地改善天线的性能,但其横向尺寸往往较大,其介质板与辐射板的尺寸比一般在8:1左右,这种天线结构在小型化应用中难以得到推广。

基于以上分析,本文提出的PBG结构主要是在

天线辐射板下方的介质基板中钻孔,而在辐射板周围仅仅钻少量周期性空气孔。这种结构具有如下两个方面的优点:

(1)有效减少了天线的横向尺寸,从而实现了天线小型化要求。

(2)通过周期性空气孔与辐射板之间的耦合,实现了天线的双频工作性能。

为了验证该结构的合理性,设计了一副工作于2 GHz~4 GHz频段内的微带天线,基板材料为Rogers RT/duriod 5880(相对介电常数 $\epsilon_r=2.2$,损耗角正切 $\tan\delta=0.0009$)。天线的具体尺寸经分析计算如图2所示(注:图中处于辐射板下方的圆柱形空气孔因辐射板的遮挡而未显示出来)。

天线的具体尺寸为:(1)辐射板尺寸20 mm×30 mm;(2)凹槽尺寸26 mm×36 mm×2 mm;(3)介质板尺寸50 mm×40 mm×3 mm;(4)PBG尺寸圆柱形空气孔半径2.5 mm,孔间横向间距10.75 mm,纵向间距8.25 mm。

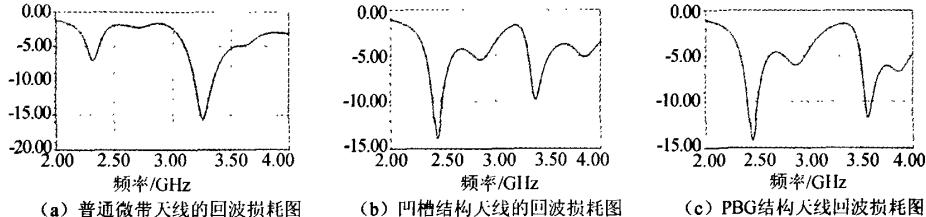


图2 PBG天线俯视图及正视图

2 天线的仿真分析

利用HFSS 10.0对上述天线进行仿真,可以得到天线的回波损耗图及天线的辐射方向图形分别如图3、图4所示(注:普通微带天线、凹槽结构天线及PBG结构天线的辐射板尺寸、接地板尺寸、介质板材料及其厚度均相同,其具体尺寸如上文所述)。

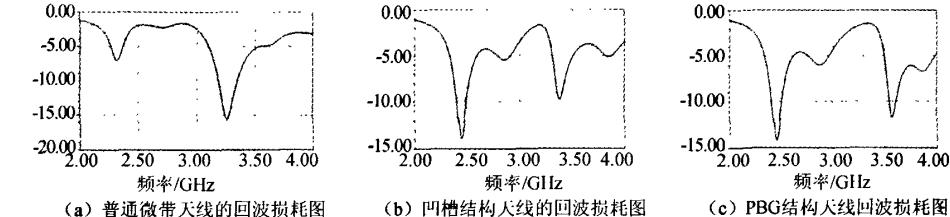


图3 微带天线回波损耗图

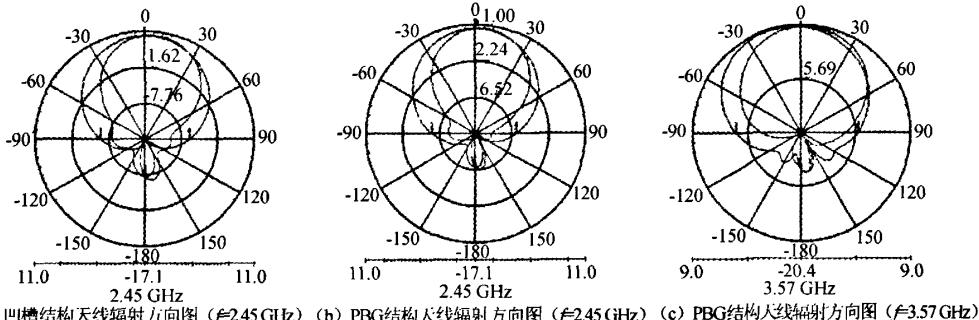


图4 天线的辐射方向图

从图3(a)可以看出,在回波损耗小于-10.0 dB时,普通微带天线的谐振频率为3.25 GHz,其工作频段为3.18~3.35 GHz;凹槽结构的微带贴片天线的工作频段2.40 GHz~2.49 GHz,其谐振频率为2.45 GHz,如图3(b)所示。可见,引入凹槽结构后的微带天线谐振频率降低了800 MHz,从而实现了天线的小型化设计方案。

当在凹槽微带天线的介质基板内引入光子结

构后,微带天线出现了两个工作频段:2.41 GHz~2.51 GHz和3.54 GHz~3.62 GHz,如图3(c)所示。天线的两个中心频率点分别为2.45 GHz和3.57 GHz,其相对带宽分别为4.31%和2.23%,天线具有较宽的工作频带。

通过图4(a)、图4(b)可以看出,当谐振频率为2.45 GHz时,凹槽结构的微带天线主辐射方向为0°,其增益为9.867 dB。引入光子晶体后,天线的主

辐射方向没有改变,天线的增益增加至 10.101 dB,天线的后向辐射较小,其前后比约为 17.370 dB。可见,引入 PBG 结构后微带天线的增益有了较明显改善,其增益提高了 0.234 dB。这是由于介质中的 PBG 结构对表面波产生了抑制作用,使一部分功率不再向背向传播,而是加强到前向辐射方向。

从图 4(c)可以看出,当谐振频率为 3.57 GHz 时,天线主辐射方向在 0°,此时 PBG 结构天线的增益较低,约为 8.465 dB,天线的后向辐射较小,其前后比约为 18.920 dB。

通过图 4 可以看出,天线在两个工作频段内的辐射一致性较好。但是,上述两个图形也表明,加入 PBG 结构后天线水平方向上的辐射并没有得到明显抑制,这主要是由于在辐射板周围的 PBG 结构周期性较少所导致的。这也说明了要想在各个方向上抑制基板中的表面波,需要引入理想的三维电磁光子晶体结构。

3 结语

本文通过采用在微带天线辐射板正下方介质中加入周期性圆柱形空气隙的方法实现了天线的双频工作特性,并在一定程度上增加了天线的增益,改善了天线的辐射性能。此外,所设计的天线谐振频率较普通微带天线降低了 800 MHz。所设计的天线结构简单,性能良好,天线具有很好的小型化应用前景。但同时我们也注意到,天线的工作频段较窄,且其高频端的增益不高。因此,下一步的工作重点制作天线模型,并就如何改善天线的高频端辐射性能,提高天线的相对带宽及天线小型化的设计等方面的问题进行深入研究。

参考文献:

- [1] 付起云. 微波光子晶体及其应用研究 [D]. 长沙: 国防科技大学, 2004; 115-123.
- [2] 范长林. 光子晶体的全新应用及其研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2003; 3-9.
- [3] YABLONOVITCH. E. Inhibited Spontaneous Emission in Solid State Physics and Electronics [J]. Physical Review Letters, 1987, 58(20): 2 059-2 062.
- [4] JOHN S STRONG. Localization of Photons in Certain Disordered Dielectric Superlattices [J]. Physical Review Letters, 1987, 58 (20): 2 486-2 489.
- [5] 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.
- [6] 朱方明. 新型电磁(光子)晶体贴片天线的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
- [7] GONZALO R, MAACT DE PETER, SOROLLA MARIO. Enhanced Patch Antenna Performance by Suppressing Surface Waves Using Photonic-bandgap Substrates [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(11): 2 131-2 138.
- [8] GONZALO R, MARTINEZ B, MAACT DE P, et al. Improved Patch Antenna Performance by Using Photonic Bandgap Substrates [J]. Microwave Optical Technology Letters, 1999, 24: 213-215.
- [9] COCCIOLI R, DEAL W R, ITOH T. Radiation Characteristics of a Patch Antenna on a Thin PBG Substrate [J]. IEEE Antenna and Propagation Society, 1998, 2(2): 656-659.
- [10] YASUSHI HORRI, MAKOTO TSUTSUMI. Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1999, 9(1): 13-15.
- [11] QIAN YONGXI, et al. A Microstrip Patch Antenna Using Novel Photonic Bandgap Structure [J]. Microwave Journal, 1999, 42: 221-224.
- [12] YANG F R, COCCIOLI R, Qian Y, et al. PBG-assisted Gain Enhancement of Patch Antennas on High-Dielectric Constant Substrate [J]. IEEE Antenna and Propagation Society, 1999, 3(8): 1920-1923.
- [13] COCCIOLI ROBERT, et al. Aperture-Coupled Patch Antenna on UC-PBG Substrate [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1999, 47(1): 2 123-2 130.
- [14] THEVENOT M, et al. Design of a New Photonic Cover to Increase Antenna Directivity [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1999, 22(2): 136-139.
- [15] QIU M, HE S. High-Directivity Patch Antenna with Both Photonic Bandgap Substrate and Photonic Bandgap Cover [J]. Microwave Opt Technol Lett, 2001, 30(1): 41-44.
- [16] YING Z, KIDAL R S. Improvements of Dipole, Helix, Spiral, Microstrip, Patch and Aperture Antennas with Ground Planes by Using Corrugated Soft Surfaces [J]. IEEE Transactions on Microwave and Antennas Propagation, 1996, 143(3): 244-248.
- [17] 张钧, 等. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.

作者简介



邵建兴 (1984-), 男, 贵州安顺人, 硕士研究生, 主要研究方向为有耗媒质中的天线辐射与电磁散射。

E-mail: sjxccxz@163.com

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>