

文章编号:1673-9590(2009)04-0088-04

哑铃形 EBG 结构微带天线的设计与仿真

车仁信,彭海龙

(大连交通大学 电气信息学院,辽宁 大连 116028)

摘要:以哑铃形 EBG 结构为研究载体,通过数值计算,对其带隙特性进行了研究。结果表明:在一定范围内哑铃形结构矩形边长增加、狭缝长度增加、介质基板厚度增加、介电常数增加,带隙中心频率呈下降趋势,而狭缝宽度增加,带隙中心频率呈上升趋势;同时表明介质基板厚度、介电常数增加,禁带宽度上升,狭缝宽度增加,禁带宽度下降。依据所得结论,设计了一 Ku 频段的微带贴片天线,与无 EBG 结构的同尺寸天线相比,其单元天线增益提高了 1.68 dB,方向图特性得到了很好的改善。

关键词:哑铃形;EBG 结构;带隙特性;微带天线

中图分类号:TN822.4 文献标识码:A

0 引言

电磁带隙 (EBG, Electromagnetic Band - Gap) 结构由于应用于微带贴片天线中会有效的抑制基底的表面波、抑制高次谐波,提高辐射增益等而成为近年来平面天线领域的一个新的研究热点^[1-2]。目前国内对于 EBG 结构微带贴片天线的研究,主要有基底钻孔型、地面腐蚀型、高阻抗表面型、UC - PBG 型等^[3-4]。其中基底钻孔型 EBG 贴片天线对于禁带的设计较容易,但这一类贴片天线的基底往往比较厚,会增加表面波而产生负效应,需要合理选择基底的厚度。地面腐蚀型主要优点是可有效抑制天线的寄生辐射,这类天线的缺点是背向辐射加大。高阻抗表面型及 UC - PBG 型结构可提高天线的增益和辐射效率等性能,但也各有其禁带对金属小贴片之间的间隔敏感及禁带与周期单元之间的间隙等因素有关,不易获得宽的禁带等缺点。

哑铃形 EBG 结构是韩国学者 J. I. Park 等人于 1999 年提出的一种在接地板上刻蚀哑铃形孔的新型 EBG 结构,又有人称之为缺陷接地结构 (DGS, Defected Ground Structure)^[5]。这种结构是在接地板上刻蚀出缺陷图案,但该结构的带隙特性不再受“EBG 结构周期为波导波长的一半”规

律的约束,这种结构中等效引入了一个 LC 网络^[6-7],具有带阻特性。这种结构具有结构简单、易于制作等优点。

本文以哑铃形 EBG 结构为研究载体,基于时域有限差分法进行数值计算,对其带隙特性进行研究,得出了哑铃形结构尺寸及介质基板参数对带隙特性影响的变化趋势。依据所得结论,设计了一 Ku 频段的微带贴片天线,与无 EBG 结构的同尺寸天线相比,其性能得到了很好的改善。

1 带隙特性分析

典型的刻蚀哑铃形 EBG 结构如图 1 所示。EBG 结构单元刻蚀于介质下的接地板上,它由两个边长为 a 和 b 的矩形孔和一个长为 w 、宽为 g

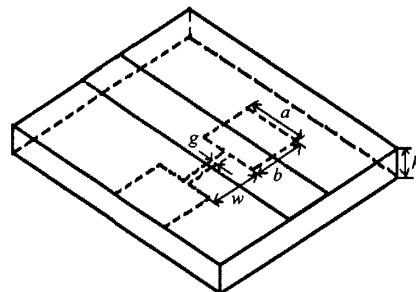


图 1 典型哑铃形 EBG 结构图

收稿日期:2008-10-30

作者简介:车仁信(1956-),女,教授,硕士,主要从事微带天线的数值计算及工程应用的研究

E-mail:cherx@ djtu.edu.cn.

的狭缝组成。首先取矩形边长 $a = b = 3 \text{ mm}$, 狹缝长度 $w = 2 \text{ mm}$, 宽度 $g = 0.2 \text{ mm}$, 介质基板的相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$, 介质厚度 $h = 1 \text{ mm}$, 以此为基础数据, 并通过微带传输线模拟电磁波在这种结构中的传播分析其带隙特性。

在数值计算空间, 借助于时域有限差分法, 建立计算模型。采用划分不等间距网格的方式划分 Yee 氏网格。取网格数为 $156 \times 142 \times 11$, 模型完全处于计算空间之中, 计算空间的吸收边界采用理想匹配层吸收边界(PML), 分为 4 层, 为了保证介质基片的截断处和微带线的截断处无反射, 计算区域介质基片和微带线深入到 PML 中^[8]。最小网格划分长度为 0.24 mm , 网格小于计算的最高频率波长的十分之一, 网格大小变化平滑, 而且计算远场的位置离边界三个网格。介质层为 4 个空间

步长, 可保证计算精度。采用 Gauss 脉冲作为激励源, 以提供较宽频带。运行数值计算程序, 分析各参数变化对 EBG 结构带隙特性的影响。所得结果如附表所示。附表中数据是在上述基础数据的基础上, 每次只改变一个参数。哑铃形结构, 等效于引入 LC 网络。正方形边长 a 的变化, 等效于电感变化, 从而导致带隙中心频率变化; 缝隙宽度 g 的变化、狭缝长度 w 的变化, 等效于电容的变化, 从而导致带隙中心频率变化。而且哑铃形 EBG 结构引入等效 LC 网络的参数与介质基板的厚度、相对介电常数关系密切, 当介质基板确定后, 该结构的带隙特性就主要由该结构的正方(矩)形边长、缝隙宽度和缝隙长度来决定了。所以, 确定介质基板材料后可以通过调整该 EBG 结构的结构尺寸来调整带隙中心频率 f_0 、禁带宽度 Δf 来达到设计要求。

附表 各参数变化对哑铃形 EBG 结构带隙特性的影响序号

序号	参数	变化	所得结果
1	调正方形的边长 a/mm	2 3 4	$a \uparrow \rightarrow f_0 \downarrow$
	得带隙中心频率 f_0/GHz	12.95 12.6 11.7	
2	调狭缝宽度 g/mm	0.1 0.2 0.3	$a \uparrow \rightarrow f_0 \uparrow$
	得带隙中心频率 f_0/GHz	11.6 12.6 12.9	$a \uparrow \rightarrow \Delta f \downarrow$
3	得-10 dB 禁带宽度 $\Delta f/\text{MHz}$	570 496 400	
	调狭缝长度 w/mm	2 4 5	$w \uparrow \rightarrow f_0 \downarrow$
4	得带隙中心频率 f_0/GHz	12.6 11.1 10.9	$w \uparrow \rightarrow f_0 \downarrow$
	调介质基板厚度 h/mm	0.5 1 2	$h \uparrow \rightarrow f_0 \downarrow$
5	得带隙中心频率 f_0/GHz	12.98 12.62 11.79	$h \uparrow \rightarrow \Delta f \uparrow$
	得-10 dB 禁带宽度 $\Delta f/\text{MHz}$	287 528 860	
	调介电常数 ϵ_r	2.2 2.65 4.4	$\epsilon_r \uparrow \rightarrow f_0 \downarrow$
	得带隙中心频率 f_0/GHz	12.91 12.59 11.54	$\epsilon_r \uparrow \rightarrow \Delta f \uparrow$
	得-10 dB 禁带宽度 $\Delta f/\text{MHz}$	259 500 685	

2 天线设计与仿真

2.1 天线设计

2.1.1 基础模型

以 Ku 频段矩形微带贴片天线为基础模型, 如图 2 所示。依据文献[9-10]进行参数计算。

贴片宽度:

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

式中, c 为自由空间的光速 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$, ϵ_r 为介质基板介电常数, f_r 为天线工作频率。

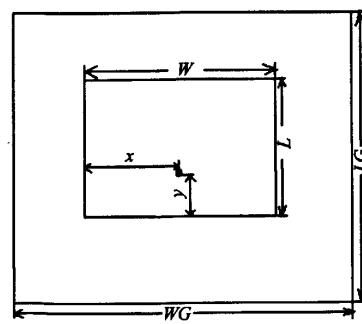


图 2 矩形微带贴片天线结构图

贴片长度:

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

式中, ϵ_e 为等效介电常数, Δl 为辐射缝隙的等效延长量, 其计算经验公式分别为:

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{10h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\Delta l = 0.412 \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right) h}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (4)$$

式中, h 为介质基板的厚度, 从工程实际出发, 取介质基板的相对介电常数为 $\epsilon_r = 2.65$, 基板厚度 $h = 0.8 \text{ mm}$, 天线工作中心频率 $f_r = 11.1 \text{ GHz}$. 联立求解上式(1)~(4), 得到天线的初步尺寸, 经过优化调整, 最终得天线贴片尺寸为 $W = 10.2 \text{ mm}$, $L = 6.82 \text{ mm}$, 采用同轴线底部馈电, 馈电点位置 $x = 5.1 \text{ mm}$, $y = 1.56 \text{ mm}$, 馈电探针直径为 $r = 1 \text{ mm}$, 介质基板尺寸 $WG = 70 \text{ mm}$, $LG = 60 \text{ mm}$.

2.1.2 加入哑铃形 EBG 结构

在接地板上刻蚀哑铃形孔的图案如图 3 所示. 考虑到该 EBG 结构在微带贴片天线上排列及附表所得数据进行综合分析, 取哑铃形 EBG 结构的结构尺寸为 $a = b = 2 \text{ mm}$, $w = 2 \text{ mm}$, 经数值计算优化狭缝宽度 $g = 0.2 \text{ mm}$, 分别取 $d = 7 \text{ mm}$ 、 9 mm 、 11 mm .

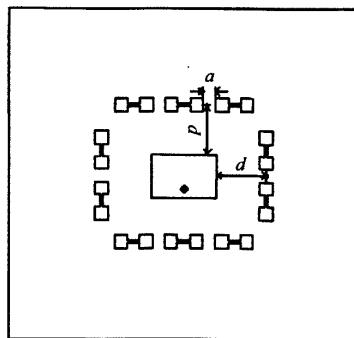


图 3 哑铃形图案

2.2 仿真分析

在仿真程序中建立 EBG 结构微带贴片天线模型并进行数值计算, 得到有、无 EBG 结构微带贴片天线的回波损耗曲线, 如图 4 所示.

由图 4 可以看出, 有 EBG 结构时微带贴片天线的工作频率 $f_r = 11.04 \text{ GHz}$, 有少量偏移, 且偏移量几乎不受参数 d 的影响, 这主要是在介质基板上加入 EBG 结构后其等效介电常数有所增大,

所以天线的工作频率会向低频端少量的偏移; -10 dB 回波损耗带宽为 474 MHz ; 最大禁带深度为 -22 dB .

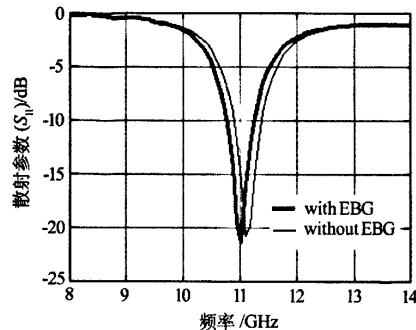


图 4 有、无 EBG 结构天线回波损耗比较

有、无 EBG 结构的微带贴片天线在 $f = 11.04 \text{ GHz}$ 处的方向图, 如图 5 所示. 可以看到, 参数 d 取值不同, 对天线的方向图的影响也略有不同, 但有 EBG 结构天线的背向辐射都在不同程度上有所抑制; 当 $d = 9 \text{ mm}$ 时, EBG 结构的作用最明显, 使天线的增益从无 EBG 结构时的 7.3 dB 提高到 8.98 dB , 天线增益增加了 1.68 dB ; 天线前向辐射宽度变窄, 天线辐射出的能量更加集中, 方向性得到优化; 天线的背向辐射在一定程度上得到抑制, 前、后向辐射比达到了 15.1 dB , 这主要是因为参

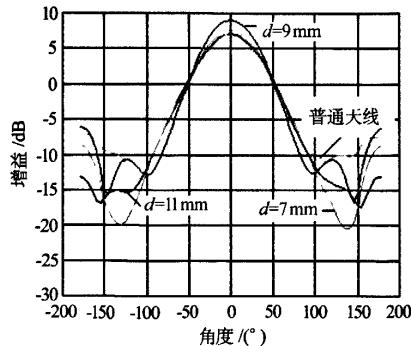


图 5 有、无 EBG 结构天线 H 面方向图比较

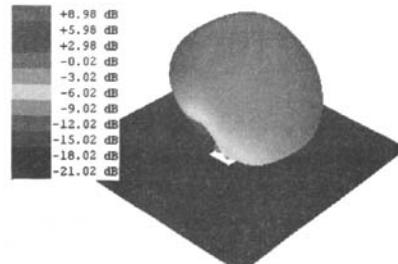


图 6 哑铃形 EBG 微带贴片天线 3D 方向图

数 d 恰为频率为 $f_c = 11.04$ GHz 的电磁波在介质基板中波长的一半。哑铃形 DBG 结构对 E 面方向图的影响与 H 面基本相同。其性能的改善说明该 EBG 结构有效的抑制了天线表面波的传播。图 6 为 $d = 9$ mm 时的 3D 图像, 可见其正向辐射的规则性。

3 结语

由本文所讨论的哑铃形结构所得结果可见, 灵活的改变缺陷接地结构图案的尺寸, 可改变其带隙特性参数。本文对于普通微带贴片天线增加了 DGS 结构, 使天线的增益提高了 1.68 dB, 方向图特性得到了优化。

随着通信设备的小型化及移动通信的发展, 对于平面天线的要求将越来越高, 诸如增加 DGS 结构类的高性能天线必将会得到人们更多的关注。并且随着人们对缺陷接地结构认识和理解的深入, 将会有更多、更新的结构形式出现。

参考文献:

- [1] EELL J M, ISKANDER M F, LEE J J. Ultrawideband Hybrid EBG/Ferrite Ground Plane for Low-Profile Array Antennas [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(1): 4-12.
- [2] BLUTAYEB H, DENIDNI T A. Metallic Cylindrical EBG Structures With Defects: Directivity Analysis and Design Optimization [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(11): 3356-3361.
- [3] 刘涛, 曹祥玉, 殷兆伟, 等. 曲面 EBG 结构带隙特性的研究 [J]. 微波学报, 2007, 23(5): 44-47.
- [4] 李斌, 李龙, 梁昌洪. EBG 高阻表面结构的矩形波导宽边缝隙天线 [J]. 电子学报, 2006, 34(3): 429-432.
- [5] PAEK J I, KIM C S, KIM J, et al. Modeling of a photonic band-gap and its application for the low-pass filter design [C]. Asia-Pacific Microwave Conference Singapore, 1999, 2: 331-334.
- [6] 刘海文, 孙晓玮, 李征帆, 等. 周期性缺陷接地结构的微带线 [J]. 电波科学学报, 2007, 22(4): 675-679.
- [7] 刘海文, 李征帆, 孙晓玮. 缺陷接地结构在 RF 和微波电路中的最新应用 [J]. 电子科学技术评论, 2005(1): 19-23.
- [8] 车仁信, 程鑫, 张振国. 口径耦合微带天线阵的互耦研究 [J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2005, 23(4): 337-342.
- [9] 张钧, 刘克成. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [10] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 北京: 西安电子科技大学出版社, 1991.

Design and Simulation of Microstrip Antenna with EBG Structure of Etching Dumbbell Shape Structure

CHE Ren-xin, PENG Hai-long

(School of Electrical and Information Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: A microstrip antenna based on the EBG structure of etching dumbbell shape is investigated. The results indicate that in the specific range the band gap, center frequency has a decrease tendency with the increase in rectangle side length, the length of the dumbbell-shaped structure slit, as well as the increase of dielectric substrate thickness and the dielectric constant. However, the increase in the slit width will cause the increase of the band gap center frequency. At the same time, the inhibitive gap rises with increasing the dielectric substrate thickness and the dielectric constant value. The increase in the slit width results in the drop of the inhibitive gap. According to the above mentioned results, a novel Ku-band microstrip patch antenna is designed, which has a 1.68 dB higher gain than the one with the same size without EBG, and the pattern characteristic is improved also.

Key words: dumbbell-shaped; EBG(Electromagnetic Band-Gap) structure; band-gap characteristic; microstrip antenna

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>