

PBG 结构圆柱形微带贴片天线的设计与仿真

陈志贤

(中国航空综合技术研究所 北京 100028)

摘要: 本文利用光子晶体带隙(PBG)结构的特点,将特殊设计的 PBG 结构应用于圆柱形微带贴片天线中。在同轴线馈电的圆柱形微带贴片天线的介质上蚀刻出按一定规律排列的 PBG 结构,并基于 HFSS 对特殊设计的 PGB 结构圆柱形微带贴片天线和普通的圆柱形微带贴片天线进行仿真和优化,仿真结果表明,按照一定规律排列的 PBG 结构可以有效抑制天线表面波的传播,明显提高圆柱形微带贴片天线的带宽和增益,有效改善圆柱形微带贴片天线的辐射方向图,实现天线性能的优化设计。

关键词: PBG;微带贴片天线;天线增益

中图分类号: TP82 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.10

Design and simulate on cylindrical conformal microstrip patch antenna with PBG structure

Chen Zhixian

(China Aero-Polytechnolgy Establishment, CAPE, Beijing 100028,China)

Abstract: This paper proposes a new structure named Photonic Band Gap(PBG) for microstrip patch antenna. The new PBG structure is etched on the dielectric plane of a probe-fed microstrip patch antenna and arranged by a certain rule. The cylindrical conformal microstrip patch antenna with PBG structure was simulated by HFSS. The simulation results indicate that using the PBG structure which is arranged by a certain rule on the antenna could suppress the propagation of the surface wave, significantly improve the cylindrical microstrip patch antenna bandwidth and gain, effectively improve the cylindrical microstrip patch antenna radiation pattern.

Keywords: Photonic Band Gap(PBG) structure; microstrip patch antenna; antenna gain

1 引言

微带贴片天线^[1]以其体积小、低剖面、重量轻、易与载体共形等优点,受到了国内外研究者大量的关注,已经被广泛应用在 100 MHz~100 GHz 频段的无线电设备中。圆柱是构成各种飞行器的基本结构,因圆柱形微带贴片天线一直是国内外研究的热点,而低宽带成为制约其发展的一个重要因素。

近几年来,微波领域的光子晶体带隙(PBG)结构^[2]由于其自身的特点越来越引起人们的关注。PBG 结构可来改善一些天线的性能。所谓的 PBG 结构指的是一种具有带阻特性的人造周期性电介质结构,与光子晶体的结构类似,光子带隙结构可以调制具有相应波长的电磁波。当对应波长的电磁波在光子带隙结构中传播时,由于存在布拉格散射而受到调制,电磁波的能量在光子带隙结构中形成

能带结构,即所谓的“禁带”。光子晶体的出现,使人们操控光子的梦想成为可能。Yablonvitch 和 John 在 1987 年各自提出了光子晶体的概念^[3],它来自传统的光子晶体概念。而事实上,PBG 结构的周期单元尺寸非常接近禁带频率对应波长的一半,因此 PBG 结构在实际应用中经常受其自身尺寸的限制,尤其是在较低的频段上使用时。

目前已有国内外研究人员将合理设计的 PGB 结构用于改善天线性能^[4]中。将 PBG 结构应用于微带贴片天线可抑制天线表面波的传播、减轻天线重量、增加天线的带宽等。目前国内外所提出的 PBG 结构微带贴片天线多种多样,按照馈电方式大致分三类:微带线馈电型、口径耦合馈电型、同轴线馈电型。本文对同轴线馈电介质刻蚀型 PBG 结构柱形微带贴片天线进行了研究。设计的 PBG 结构微带贴片天线是直接把 PBG 结构蚀刻在微带贴片天线的介质上,制作简单,有效减轻天线重量,可操作性强,并试图通

过 PBG 结构增加天线带宽,改善天线性能。

2 圆柱形微带贴片天线的设计

当微带贴片天线所在的圆柱体^[5]半径相对来说比较小时,一般而言需要考虑圆柱曲率半径对微带贴片天线的影 响,而当圆柱体半径大于一个波长时,则无需考虑圆柱曲率半径对微带贴片天线的影 响,直接采用矩形微带贴片天线。根据微带天线理论设计出原始尺寸和馈电位置,基于 HFSS 仿真,对天线尺寸和馈电位置不断进行优化,以达到相应的要求。具体设计步骤如下:

1) 选择天线厚度和介质材料。经过计算对比后,本文选择的材料为 RF4,相对介电常数为 4.4,厚度 h 为 2 mm。

2) 计算微带天线尺寸

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

式中: c 为真空中光速, f_r 为天线工作的中心频率, h 为介质基板的厚度, ϵ_r 为介质基板的相对介电常数。当取频率 $f_r = 15$ GHz 时,根据公式(1) 可求得贴片的宽度 $W = 22$ mm。

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

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

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3)(W/h + 0.262)}{(\epsilon_e - 0.258)(W/h + 0.813)} \quad (3)$$

式中: ϵ_e 是等效介电常数, Δl 为天线贴片的延长度。由公式(2)、(3)可求得天线的贴片长宽分别为 $W = 22$ mm, $L = 19$ mm,如图 1 所示。

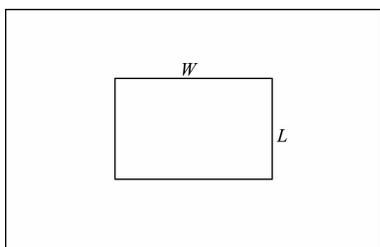


图 1 矩形微带贴片天线

3) 馈电点位置的确定

通过传输线理论可计算出馈电点的位置,基于 HFSS 对模型进行仿真优化,得到最佳的馈电位置,此时馈电点最佳位置位于距离天线贴片的底边 2 mm 处。

3 PBG 结构的设计方法

根据 PBG 结构的相关理论知识^[6-7],由公式(4)可知

PBG 结构的周期约为光子晶体禁带中心频率所对应的波长的一半。

$$2k = \frac{2\pi}{T}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_g}$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_e}}$$

式中: T 为 PBG 结构的周期, k 为导波模的波数, λ_g 为布拉格波长, ϵ_e 为有效介电常数, f_r 是天线中心频率,所以可得周期 $T = \frac{\lambda_g}{2}$,一般布拉格波长比天线工作的中心频率所对应的波长小,在设计微带贴片天线基础上逐渐对布拉格波长进行优化设计,当取频率 $f_r = 15$ GHz 时,优化后取周期为 $T = 5$ mm,圆柱直径 $d = 3$ mm。

4 带 PBG 结构的微带贴片天线分析

在同轴线馈电型的微带贴片天线的介质上蚀刻出按一定规律排列的 PBG 结构,根据设计的 PBG 结构尺寸和微带贴片天线尺寸,在 HFSS 中建模并仿真,如图 2 所示。基于仿真得到天线的增益图如图 3、图 4 所示,S 参数如图 5 所示。

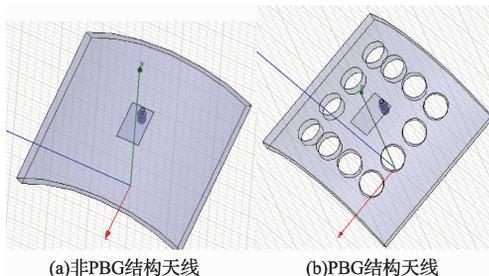


图 2 圆柱形微带贴片天线

从图 3 可以看到,合理设计的 PBG 结构使得微带贴片天线的方向性有所增强,带 PBG 结构的微带贴片天线增益大约提高了 0.6 dB,且带 PBG 结构的微带贴片天线增益方向图相对而言比较对称。在没有构造 PBG 结构时,从图 4 可以发现,天线增益的主瓣有开裂现象,方向性比较差,这是由于天线介质上的表面波损耗过大造成的。带 PBG 结构的微带贴片天线由于介质上的表面波得到了有效的抑制^[8-9],从而增强了主模的辐射幅度,因此天线增益得到了显著的提高。从图 3、图 4 可以看出,将 PBG 结构与微带贴片天线相结合可有效抑制表面波和谐波辐射,显著提高天线的方向性系数^[10]。

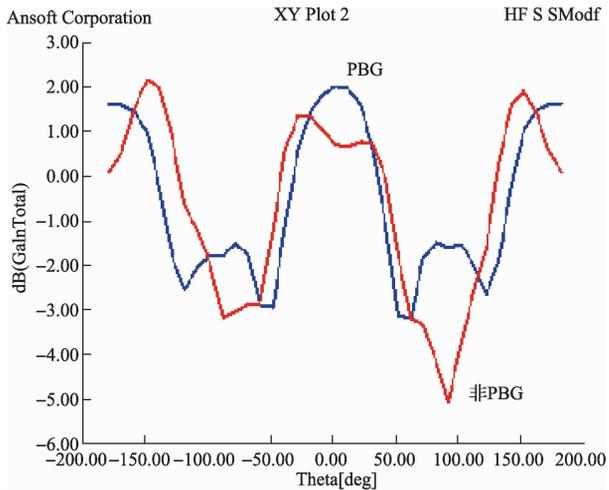
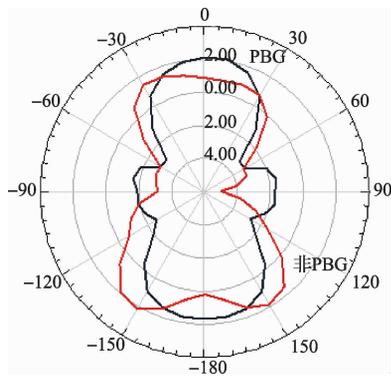


图 3 微带贴片天线在直角坐标系下的增益



4 微带贴片天线在球坐标系下的增益

带 PBG 结构和不带 PBG 结构的微带贴片天线 S 参数如图 5 所示,带 PBG 结构的微带贴片天线的 S 参数明显小于不带 PBG 结构的微带贴片天线 S 参数,由图 5 可知,合理设计的 PBG 结构能抑制表面波和谐波,明显的提高微带贴片天线的带宽。

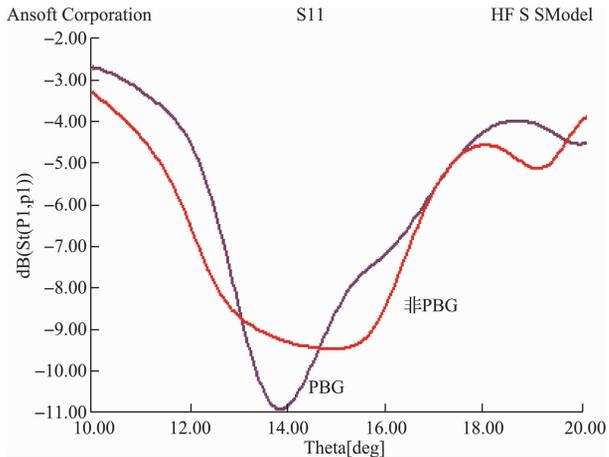


图 5 天线的 S 参数

从图 3、图 4、图 5 可知,合理设计的 PBG 结构在减轻天线重量的同时,可以有效改善天线的性能。

5 结 论

将合理设计的 PBG 结构应用于微带贴片天线中,基于 HFSS 的带 PBG 结构和不带 PBG 结构微带贴片天线仿真结果表明,PBG 结构的圆柱形微带贴片天线的方向性得到了一定的增加,同时在最大指向上的增益也得到了比较大的提高,回波损耗有所减小,天线带宽变宽。因此,合理设计的 PBG 结构能够较好的提高天线的工作性能,这在实际工程应用中有着十分重要的意义。

参考文献

- [1] 杨虹,陈轶芬,邵建兴.一种基于 PBG 结构的多频微带天线的分析与设计[J].中国电子科学研究院学报,2011,06(2):192-196.
- [2] 匡芬,刘林,叶志清.基于 PBG 结构微带天线增益的研究[J].电子测量技术,2011,34(11):27-28,35.
- [3] 袁宏伟,汪春霆,杜彪.新型光子带隙宽带双极化微带天线设计[J].电子器件,2013,36(2):158-162.
- [4] 倪杨,叶明,王晓静.应用于 ISM 频段的小型双频微带天线[J].电子测量技术,2014,37(2):112-115.
- [5] 林若波,廖兴展,陈旭文.基于光子晶体 PBG 结构的微带天线优化研究[J].重庆邮电大学学报(自然科学版),2012,24(4):431-436.
- [6] 王淑娟.PBG 结构分析及其在柱面共形微带天线中的应用[J].现代电子技术,2011,34(1):125-129.
- [7] 赖慧芳,叶志清,李海兰.几种不同周期性单元的 PBG 天线的设计与仿真[J].江西科学,2011,29(2):156-159.
- [8] 范瑾,邓云凯,罗积润,等.新型基于 PBG 结构的宽带高增益贴片天线及阵列技术研究[J].电子器件,2010,33(3):322-326.
- [9] ELSHEAKN D N, ISKANDER M F. Microstrip Array Antenna with New 2D-Electromagnetic Band Gap Structure Shapes to Reduce Harmonics and Mutual Coupling [J]. Progress in Electromagnetics Research C,2010(12):203-213.
- [10] 陈彬,王国安,赵国煌.一种平面小型化超宽带天线的设计[J].电子测量技术,2012,35(6):37-40.

作者简介

陈志贤,硕士,工程师,主要研究方向为天线设计、电磁兼容和机载设备电源特性等。

E-mail:694113372@qq.com