

EBG 结构磁性材料微带天线的研究与设计

杨虹, 陈威, 郑雨薇

(重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065)

摘要:以磁性材料(JV-5)作为基板,设计双L型结构的微带天线,带宽是普通基板的2倍以上,尺寸缩小了40%。在此基础上引入电磁带隙(EBG)结构,设计了一种基于磁性基板EBG结构的微带天线,该EBG结构采用接地板腐蚀性,即在地板上腐蚀出周期H型和圆形结构,采用电磁仿真软件HFSS14.0进行仿真设计。结果显示,与非磁性材料做基板的微带天线相比,EBG结构磁性材料具有小型化和宽频化突出优点,相对带宽达到10%以上,增益方面略有降低,引入EBG结构后能在一定程度上减小了天线的尺寸同时增大了天线的带宽,改善了天线的增益和辐射特性。

关键词:电磁带隙(EBG);磁性材料;双L型微带天线;增益

中图分类号:TN82;TM271

文献标识码:A

Study and Design of Magnetic Substrate Microstrip Antennawith Electromagnetic Band-Gap (EBG) Structure

YANG Hong, CHEN Wei, ZHENG Yuwei

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

Abstract:The double L-shaped slot microstrip antenna is designed by using the magnetic material (JV-5) as substrate. Based on the magnetic material (JV-5) substrate, Double L-shaped slot microstrip antenna is designed. The bandwidth is 2 times more than the normal substrate, size reduction of 40%. And then, the electromagnetic band-gap (EBG) structure is introduced to design the microstrip antenna based on magnetic base plate EBG structure, the EBG structure uses the joint floor corrosion, namely the cycle H-type and circular structures are corroded on the floor. Numerical simulation is performed with HFSS14.0. The results show that comparing with the microstrip antenna based on the non-magnetic material substrate, the EBG structure of magnetic material has a prominent advantage of the miniaturization and high-speed. The relative bandwidth is up to 10% but the gain is slight reduced. The introduction of the EBG structure can to some extent reduce the size of the antenna while increase the bandwidth of the antenna, and improve the gain and radiation characteristics.

Key words:EBG structure; magnetic material; Double L-shaped slot microstrip antenna; gain

0 引言

微带天线具有质量轻,体积小,剖面薄,易共形,易制作,能多频工作,便于组阵和组合设计等优点;而磁性材料微带天线具有可减小体积,隐蔽性能好,频带较宽及性能不易受环境影响等优点。因此将两者的特性集于一体,天线的性能就更理想^[1]。

$\sqrt{\epsilon \times \mu}$ (ϵ 为介电常数, μ 为磁导率) 为缩波因子,能缩短波长,从而降低了天线的尺寸,同时磁性材料具备较大的品质因数,因此能很好的展宽带宽。磁性材料损耗较大,所以导致增益有所降低,本文中采用电磁带隙(EBG)结构,即光子晶体结构,来改善天线的辐射特性,它们都属于一种媒质在另一种媒质中周期性的排列所形成的人造结构,其周期为波长的

数量级。EBG结构最早由 Yab lono vitch 提出^[2],该结构具有带缝和带通特性。本文设计基于磁性材料上的 EBG 微带天线,所提出的 EBG 结构是在接地板上腐蚀出周期性的 H 形和圆形,从而使该天线保持低剖面、结构简单、小型和多频的特点,辐射特性和带宽达到了工程上的设计要求。

1 磁性材料基板微带天线的研究设计

频率与磁性材料等参数服从斯诺克定理^[3],即频率与磁导率相乘接近于常数,频率越高,磁导率越小,在 1 GHz 以上普通的磁性材料的磁导率接近于 1。为突破斯诺克定理的约束,开发出高于 1 GHz 以上更好性能的磁性材料,一直以来是微波介质材料领域研究热点,如纳米化、薄膜化等。本文选用有

收稿日期:2013-01-14

作者简介:杨虹(1985-)男,四川蓬溪人,教授,硕士生导师,主要从事微波/毫米波集成电路设计与天线设计,电子材料与元器件的研究。

机高分子磁性材料 JV-5(有效磁导率 $\mu_r=1.5$, 有效介电常数 $\epsilon_r=3.4$), 它的磁导率和介电常数在小于 17 GHz 范围内保持相对恒定。

1.1 磁性材料基板微带天线设计公式推导

根据厂商提供的 JV-5 基板的相对磁导率和相对介电常数几何形状因子 w/h (w 为微带线的宽度, h 为磁介质基板的厚度) 来推导出等效介电常数 ϵ_{ec} 和等效磁导率 μ_e 的公式从而计算出天线的尺寸, 通过保角变换得到相对有效介电常数^[4] 为

$$\epsilon_{ec} = 1 - n_1 - n_2 + \frac{\epsilon_r(n_1 + n_2)^2}{n_2 + \epsilon_r n_1} \quad (1)$$

式中 n_1, n_2 为磁性材料的介电材料和介磁材料的填充因子, 利用介质基板和磁性基板的对偶关系^[4] 及 Pucal 公式^[5] 得到基板的 ϵ_e 和 μ_e 分别为

$$\epsilon_e = \epsilon_{ec} [(A-B)/A]^{-2} \quad (2)$$

$$\mu_e = \mu_r [A/(A-C)]^{-2} \quad (3)$$

其中

$$A = \frac{W}{2h} + \frac{1}{\pi} \left[\ln 2\pi e \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \right] \quad (4)$$

$$B = \frac{\epsilon_{ec} - 1}{2\pi\epsilon_{ec}} \left\{ \ln \left[\frac{\pi e}{2} \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \right] - \frac{1}{\epsilon_{ec}} \ln \left(\frac{e\pi^2}{16} \right) \right\} \quad (5)$$

$$C = \frac{1 - \mu_r}{2} \left\{ \ln \left[\frac{\pi e}{2} \left(\frac{w}{2h} + 0.94 \right) \right] - \mu_r \ln \left(\frac{e\pi^2}{16} \right) \right\} \quad (6)$$

式中 W 为微带天线辐射贴片宽度。

通过几次迭代最终计算出有效介电常数和有效磁导率, 天线尺寸的公式为

$$w = \frac{c}{f_r} \left(\frac{\mu_r \epsilon_{ec}}{2} \right)^{-1/2} \quad (7)$$

$$l = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r \mu_r}} - 2\Delta l \quad (8)$$

式中: c 为光速; f_r 为天线谐振频率; l 为辐射贴片长度; Δl 为微带天线辐射边等效的辐射缝隙的长度。

$$2\Delta l = 0.824 \times \frac{h(\mu_r \epsilon_r + 0.3)(w/h + 0.264)}{(\epsilon_r \mu_r - 0.258)(w/h + 0.8)} \quad (9)$$

输入阻抗为 50 Ω 时馈电点的位置为

$$L_f = \frac{l}{2} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{ec}}} \right) \quad (10)$$

1.2 微带天线的设计

利用上述公式计算出工作频率在 2~6 GHz 的三频段微带天线, 满足于回波损耗小于 -10 dB 时, $W_{lan}(2.4 \sim 2.4835 \text{ GHz}, 5.15 \sim 5.25 \text{ GHz})$ 和 $W_{imax}(3.4 \sim 3.6 \text{ GHz})$ 天线的尺寸, 经过式(1)~(10)的计算和 HFSS 仿真设计优化分析, 设计出最终微带天线的尺寸, 即磁性 JV-5 材料做基板

21.5 mm \times 28 mm (JV-5, $\mu_r=1.5, \epsilon_r=3.4$) 和普通材料做基板 28.5 mm \times 36.2 mm (NELCO N-4000-13, $\mu_r=1, \epsilon_r=3.4$), L 型缝隙宽度为 1 mm。图 1 为天线结构图。

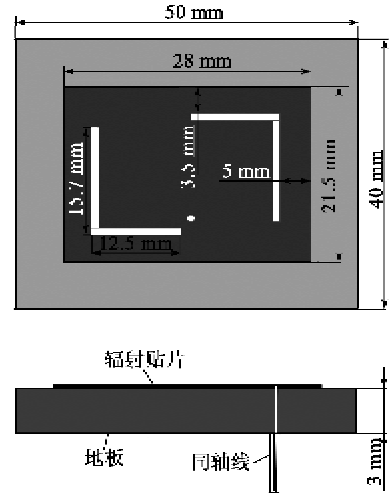


图 1 天线结构图

图 2 为回波损耗图。由图可知, 双 L 型微带天线有多个工作频段, 其谐振频率分别为 2.45 GHz、3.52 GHz 和 5.25 GHz, 其回波损耗小于 -10 dB 时, 带宽分别为 240 MHz (2.35~2.59 GHz)、240 MHz (3.37~3.61 GHz)、750 MHz (4.88~5.63 GHz), 相对带宽分别为 9.7%、6.8%、14.3%。

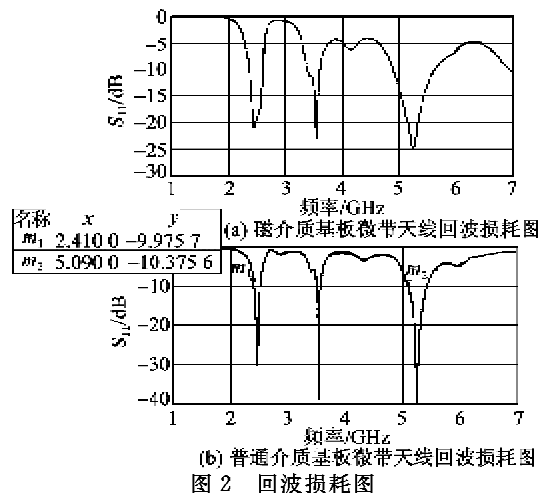


图 2 回波损耗图

图 2(b) 为非磁性材料作为基板天线的驻波特性, 由图可知, 在介电常数、损耗、谐振频率及结构均相同的微带天线 (区别是磁导率为 1), 回波损耗小于 -10 dB 时带宽 100 MHz (2.41~2.51 GHz)、80 MHz (3.49~3.57 GHz) 和 330 MHz (5.08~5.41 GHz) 其相对带宽分别为 3.9%、2.3% 和 6.7%。

通过上述比较发现采用 JV-5 作基板的微带天线尺寸缩小了 41.6%，带宽分别增大了 140 MHz、160 MHz 和 670 MHz，由此可见磁性材料做基板的微带天线具有较好的展宽天线的带宽果。

图 3 为天线的辐射方向图。由图可见，在 2.45 GHz 时，磁介质基板微带天线主辐射方向为 $-48^\circ \sim 56^\circ$ ，E 面最大增益指向在 3° ，增益为 5.41 dB，普通介质基板微带天线主辐射方向为 $-44^\circ \sim 47^\circ$ ，E 面最大增益指向在 10° ，增益为 6.85 dB；3.52 GHz 时，磁介质基板微带天线主辐射方向在 $-27^\circ \sim 72^\circ$ ，E 面最大增益指向 22° ，增益为 5.03 dB，普通介质基板微带天线主辐射方向在 $-31^\circ \sim 56^\circ$ ，E 面最大增益指向 12° ，增益为

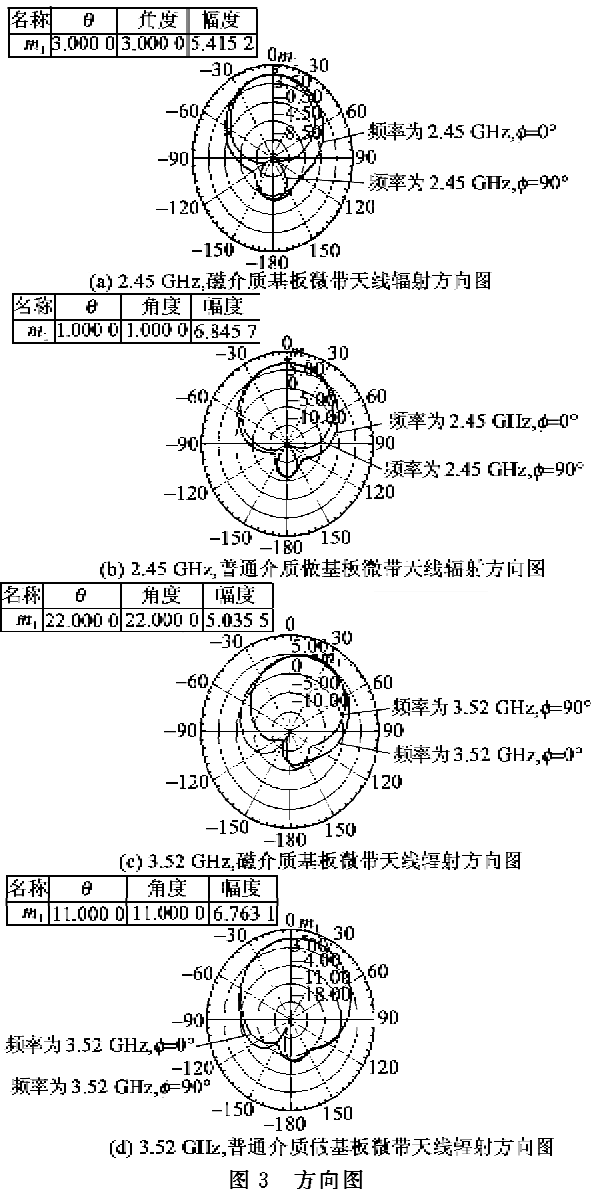


图 3 方向图

6.76 dB。由此可见，磁性材料微带天线的增益略有降低。

2 EBG 结构的设计

EBG 结构在改善天线的增益、带宽、尺寸方面具有很大的优势，因此近年来对该方面的研究越来越广泛，常使用的方法是用 EBG 结构替代传统的金属材料来做天线的基底，使天线的谐振频率刚好落在光子晶体的带隙时，减小表面波的损耗，提高天线的增益。常用的方法有地面腐蚀型^[7]、基地钻孔型^[7]、UC-PBG 型和高阻抗表面型^[8]等。

地面腐蚀型微带天线是在微带天线的地板上腐蚀出周期性的结构图形，地面上的周期图形可看作是一种起伏表面，因此这种地面腐蚀型光子晶体结构可以归类为起伏表面型结构。这种起伏表面型结构具有表面波禁带。本文基于上述设计的双 L 型微带天线，在基板上周期性腐蚀出 H 型和圆形结构，结构如图 4 所示。

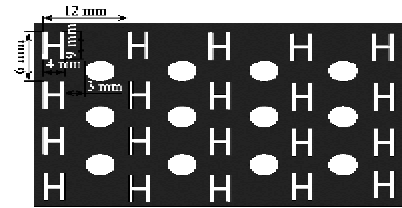


图 4 EBG 结构图

引入 EBG 结构对上述 JV-5 基板上设计的双 L 型微带天线进行仿真，如图 5、6 所示。其中，EBG 结构天线与上述双 L 型微带天线辐射板尺寸、介质基板材料及厚度、接地板尺寸和馈电点的位置均相同。由图 5 可知，引入 EBG 结构，天线的谐振频率分别为 2.39 GHz、3.49 GHz 和 5.23 GHz，天线谐振频率有所降低，其回波损耗小于 -10 dB 的带宽分别为 260 MHz (2.30 ~ 2.56 GHz)、270 MHz (3.31 ~ 3.58 GHz) 和 1 000 MHz (4.94 ~ 5.94 GHz)，相对带宽分别达到 10.9%、7.7% 和 19.1%。可见引入 EBG 结构后，带宽有很大的增加。由图 6 可看出，在 2.45 GHz 时，天线的主辐射方向不变，EBG 磁介质做基板的微带天线主辐射方向为 $-47^\circ \sim 54^\circ$ ，E 面最大增益指向在 3° ，增益为 5.35 dB，基本保持不变；在 3.52 GHz 时，主辐射方向在 $-40^\circ \sim 61^\circ$ ，E 面最大增益指向 10° ，很大程度上纠正了天线的最大辐射方向，增益为 5.46 dB，增加了 0.46 dB。

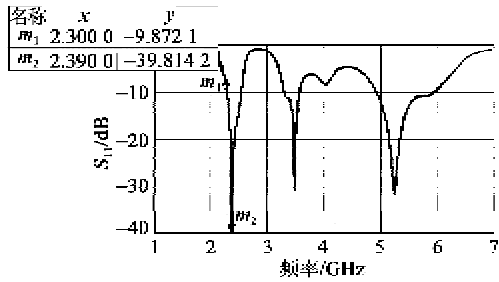


图 5 EBG 结构天线回波损耗图

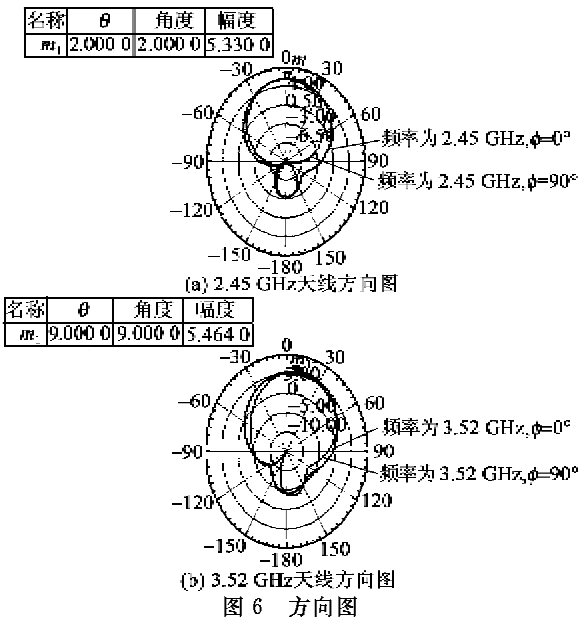


图 6 方向图

3 结束语

本文在磁介质基板上设计了 EBG 结构微带天线。仿真结果表明,磁介质 JV-5 基板微带天线具有展宽带宽和减小尺寸的明显优势,带宽是 NELCO N-4000-13 基板天线的 2 倍,尺寸大约减小了 1/2,增益方面略有降低,但不是特别明显;在引入 EBG 结构后天线谐振频率有所降低,带宽也有很大的增

加,特别是在高频段带宽和增益增加都较明显,而且在一定程度上纠正了天线的主辐射方向。随着通信设备小型化多功能化的发展,对天线的小型宽频化要求越来越突出,因此利用 EBG 结构在磁性材料基板上设计微带天线具有广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 倪国旗. 介质埋藏微带天线 [M]. 北京:国防工业出版社,2012:15-23.
- [2] 付起云. 微波光子晶体及其应用研究 [D]. 长沙:国防科技大学,2004:87-130.
- [3] 袁礼新. 新型微波陶瓷天线的仿真设计与性能研究 [D]. 北京:清华大学,2010:17-26.
- [4] 于永杰. 层状磁电复合基板微带天线设计及应用[J]. 电子学报,2010,38(9):2021-2024.
YU Yongjie. Bilayered magnetoelectronic composites substrate microstrip antenna design and application [J]. Dian zi xuebao, 2010, 38(9):2021-2024.
- [5] WHEELER H A. Transmission-line properties of parallel strips separated by dielectric sheet [J]. IEEE Trans on MTT, 1965, 13(3):172-186.
- [6] PUCEL R A. Microstrip propagation on magnetic substrate-Part I: design theory [J]. IEEE Trans on MTT, 1972, 20(5):526-531.
- [7] ELSHEAKH D N, LSKANDER 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.
- [8] CHENG H R, SONG Q Y. Design of a novel EBG structure and its application in fractal microstrip antenna [J]. Progress in Electromagnetics Research C, 2009, 11:81-90.

(上接第 127 页)

- [6] WANG Xiaojuan, TSE P W, MECHEFSKE C K, et al. Experimental investigation of reflection in guided wave-based inspection for the characterization of pipeline defects [J]. NDT&E International, 2010, 43(4): 365-374.
- [7] 刘增华, 吴斌, 李隆涛, 等. 管道超声导波检测中信号选取的实验研究 [J]. 北京工业大学学报, 2006, 32(8):

699-703.

- LIU Zenghua, WU Bin, LI Longtao, et al. Experimental study on signal choice for ultrasonic guided wave inspection in pipes [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2006, 32(8): 699-703.
- [8] ALLEYNE D, VOGT T, CAWLEY P. The choice of torsional or longitudinal excitation in guided wave pipe inspection [J]. Insight, 2009, 51(7):373-377.