

EBG 结构在圆柱共形微带天线中的应用

刘 涛, 曹祥玉, 秦建军, 王 伟

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:利用 EBG 结构改善平面微带天线的性能已得到广泛研究,同时在天线研究领域,圆柱共形微带天线由于其低剖面、易于共形,重量轻等特性而在航空航天及移动通信等众多领域得到广泛应用,因此,对高阻表面 EBG 结构在圆柱共形微带天线中的应用问题进行了着重研究。通过建立模型数值仿真了 EBG 结构对天线谐振频率、方向图的影响规律及有 EBG 结构时曲率对天线性能影响。结果表明,在天线周围加载 EBG 结构后,天线谐振频率升高,方向图得到显著改善,前向增益提高,后瓣减小,3 dB 波束宽度变窄。比较研究发现,EBG 结构减小了曲率对圆柱共形微带天线增益的影响。

关键词:电磁带隙;圆柱共形天线;谐振频率;方向图;曲率

中图分类号: TN015 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2009)01-0079-04

近几年,电磁带隙结构(Electromagnetic Band-gap, EBG)是微波领域研究的一个热点课题,各种不同类型的电磁带隙结构被提出。其中,高阻表面(High Impedance Surface)结构是典型的 EBG 结构之一,其带隙特性和工程应用都得到了广泛的研究^[1-8]。应用方面的研究表明,高阻表面结构用于微波器件和天线后,可明显改善它们的性能。与此同时,在天线研究领域,圆柱共形微带天线由于其低剖面,易于共形,重量轻等很多特性而在航空航天以及移动通信等众多领域得到了广泛应用^[9-10]。本文在文献[11-12]对曲面 EBG 结构的带隙特性和应用研究的基础上,进一步深入研究了高阻表面 EBG 结构在圆柱共形微带天线中的应用,得到了 EBG 结构对天线谐振频率、方向图等性能参数的影响规律。

1 天线设计

类似于平面结构,本文在普通圆柱微带天线周围引入 EBG 结构,使天线谐振频率落在 EBG 结构的带隙范围内,构成新的圆柱共形微带天线结构。

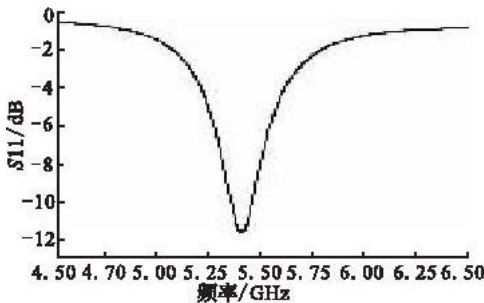


图 1 天线回波损耗

Fig.1 Return loss of antenna

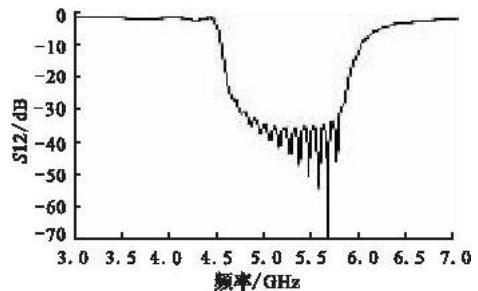


图 2 柱面 EBG 结构带隙

Fig.2 Band-gap of cylindrical EBG structures

* 收稿日期:2007-11-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60671001);陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2005F21);西安市工业攻关项目(GG06020);空军工程大学电讯工程学院博士创新基金资助项目

作者简介:刘 涛(1976-),男,山东单县人,博士生,主要从事电磁场数值算法和电磁带隙结构研究;
E-mail:lt9571@163.com

曹祥玉(1964-),女,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事电磁场数值计算,电磁兼容等方面研究。

柱面微带天线的具体参数为:贴片宽 $L = 14 \text{ mm}$, 长 $W = 20 \text{ mm}$, 介电常数 $\varepsilon = 3.2$, 介质厚度 $h = 1.59 \text{ mm}$, 馈电位置 $L_f = 2.6 \text{ mm}$, 圆柱半径 $R = 54 \text{ mm}$, 谐振频率大约为 5.37 GHz , 仿真结果如图 1 所示。依据 Sievenpiper 准静态模型估计公式, 设计高阻表面 EBG 结构参数为: 贴片宽度 $w = 8 \text{ mm}$, 贴片缝隙 $g = 1.5 \text{ mm}$, 过孔半径 $r = 0.6 \text{ mm}$, 用悬置微带线法测得其柱面带隙范围为 $4.87 \text{ GHz} - 6.0 \text{ GHz}$, 仿真如图 2, 包含了天线谐振频率。天线结构模型见图 3, 此时 $X = 19 \text{ mm}$, $Y = 14.25 \text{ mm}$ 。



图 3 天线结构示意图

Fig. 3 Antenna structure paragraph

2 EBG 结构对天线影响

2.1 EBG 结构对天线谐振频率影响

首先观察柱面天线在有无 EBG 结构情况下的谐振频率变化情况, 选择柱面半径 $R = 54 \text{ mm}$, 分两种情况加载 EBG 结构:

Case1: $X = 19 \text{ mm}$, $Y = 14.25 \text{ mm}$

Case2: $X = 23.75 \text{ mm}$, $Y = 19 \text{ mm}$

仿真对比结果如图 4 所示, 从图中可看出, 加载 EBG 结构后, 天线谐振频率向高频移动, 从 5.37 GHz 分别偏移到 5.50 GHz 和 5.40 GHz , EBG 结构距离天线越远影响越小, 越近影响越大。这是因为距离越近天线与 EBG 结构相互作用耦合越强, 对天线辐射性能影响也就越大。同时看出, 加载 EBG 结构后回波损耗更低, 表明天线辐射效率提高。值得注意的是, 加载 EBG 结构后天线带宽变窄, 由 2% 进一步减小为 1.4% 和 1.2% 。由矩形贴片天线的空腔模型, 天线辐射效率提高, 则 Q 值增大, 天线带宽减小。

2.2 EBG 结构对天线方向图的影响

同样选择柱面半径 $R = 54 \text{ mm}$, 研究 EBG 结构对天线方向图的影响。图 5 和图 6 分别给出了 E 面和 H 面的方向图比较。在没有 EBG 结构情况下, 对 E 面, 天线方向性增益 6.6 dBi , 后瓣 -7.5 dBi , 3 dB 波束宽度 65.9° 。由于有限的影响使得 E 面主辐射方向偏离到 120° , 在 90° 方向出现了一个凹陷。对 H 面, 天线方向性增益 3.4 dBi , 后瓣 -3.6 dBi , 3 dB 波束宽度 95.8° 。

考察前面 2 种 EBG 结构放置位置情况下的方向图。从图 5 和图 6 中可以看到, 2 种情况下天线前向增益都明显改善。对 E 面, Case2 时前向增益达到 9.7 dBi , 后瓣减小到 -17.4 dBi , 3 dB 波束宽度变窄为 38.7° ; Case1 时达到 9.8 dBi , 后瓣减小到 -14.7 dBi , 3 dB 波束宽度变窄为 42° , E 面 90° 凹陷也都消失。

对 H 面, Case2 时达到 9.7 dBi , 后瓣减小到 -28.2 dBi , 3 dB 波束宽度变窄为 82.4° , Case1 时达到 9.8 dBi , 后瓣减小到 -22.7 dBi , 3 dB 波束宽度变窄为 80° 。与没有加载 EBG 结构的天线相比, 这些数据充分表明 EBG 结构有效地改善了天线的辐射性能, 使得前向增益提高, 3 dB 波束宽度变窄。有 EBG 结构时 E 面 3 dB 波束宽度相比变化较大, 而 H 面变化较小, 原因在于表面波主要在 E 面传播, 一旦 EBG 结构抑制了表面

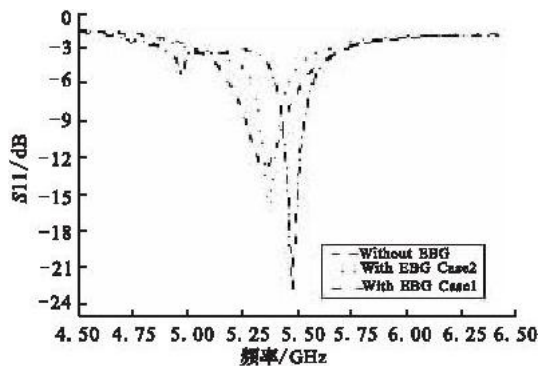


图 4 EBG 结构对天线谐振频率影响

Fig. 4 Effect of EBG structures on antenna resonance frequency

波传播,波束宽度就相应变窄。

对比 EBG 结构放置的 2 种情况,可以看到,EBG 结构距离天线较远的情况下后瓣减小更为明显,3 dB 波束宽度变化不大,这说明 EBG 结构与天线之间距离需要优化,在合适的距离上,EBG 结构既可以减小与天线之间的相互作用,同时又可以抑制表面波的传播,改善天线辐射性能。

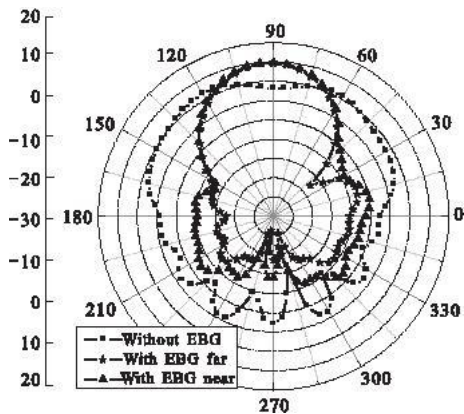


图 5 方向图 E 面比较
Fig. 5 E plane pattern compare

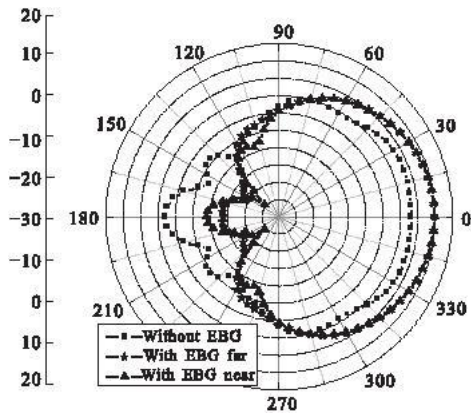


图 6 方向图 H 面比较
Fig. 6 H plane pattern compare

2.3 有 EBG 结构时曲率对天线的影

为了研究曲率对 EBG 结构共形天线性能的影响,保持贴片和 EBG 结构尺寸不变,改变曲率半径,对 $R = 27\text{ mm}$ 和 $R = 54\text{ mm}$ 时情况进行了仿真,并和平面时情况进行比较,此时 EBG 结构位置采用 Case1 情况。图 7 给出了 3 种情况下 S11 曲线,可见,随着表面弯曲程度的增大,天线的谐振频率减小了。

为了便于比较曲率对方向图的影响,图 8 和图 9 分别给出了 3 种情况下 H 面直角坐标方向图。从两图中可看出,当圆柱体的半径减小时,天线的增益呈现减小的趋势。图 8 加载 EBG 结构时前向增益从平面时的 10 dBi 分别减小到 9.7 dBi 和 9.1 dBi,图 9 没有 EBG 结构时前向增益从 5.53 dBi 减小到 3.68 dBi 和 3.15 dBi。表面弯曲使天线增益减小是我们不希望看到的。但是从二者结果对比来看,同样加载 EBG 结构,柱面与平面相比前向增益减小不到 1 dBi;没有 EBG 结构时,前向增益减小达到 1.85 dBi 以上。加载 EBG 结构时柱面天线增益相比平面降低的要少,这说明 EBG 结构减小了曲率对圆柱共形微带天线的影,换言之,减小了微带天线对曲率的依赖程度。其原因,实际上是不管在柱面还是平面上,EBG 结构都改善了天线辐射性能,相应的减小了其他结构参数对天线性能不利的影响。

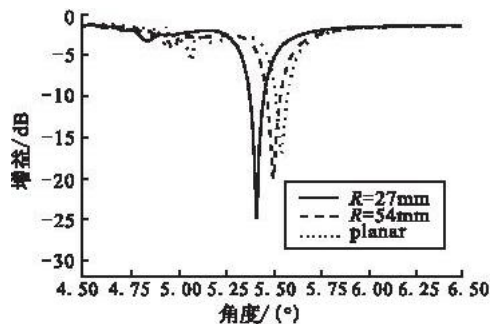


图 7 曲率对天线谐振频率影响

Fig. 7 Effect of curvature on antenna resonance frequency

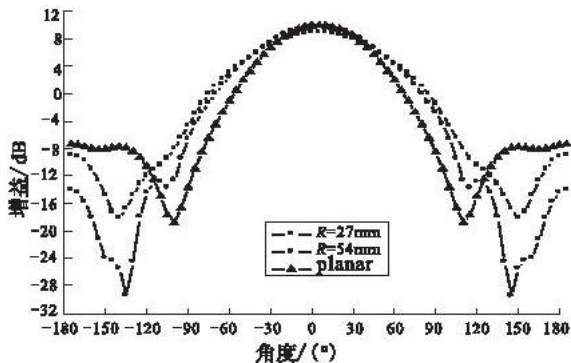


图 8 有 EBG 结构时曲率对天线方向图影响
Fig. 8 Effect of curvature on antenna pattern with EBG structures

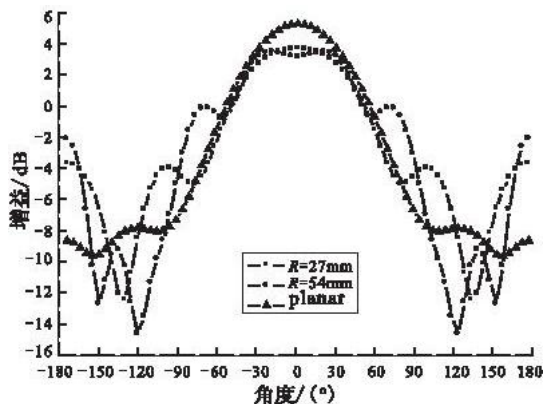


图 9 无 EBG 结构时曲率对天线方向图影响
Fig. 9 Effect of curvature on antenna pattern without EBG structures

3 结论

通过对高阻表面结构在圆柱共形天线中的应用研究可以发现,EBG结构显著影响天线谐振频率,使之升高,同时明显改善了天线方向图,提高了前向增益,降低了后瓣,减小了曲率对圆柱共形微带天线性能的影响。但EBG结构却使天线带宽减小,因此如何提高天线带宽也是一个待解决的课题。

参考文献:

- [1] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi. Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Letters, 1999, 9(1):13-15.
- [2] Ramon Gonzalo, Peter de Maagt, Mario Sorolla. Enhanced Patch - Antenna Performance by Suppressing Surface Waves Using Photonic - Bandgap Substrates [J]. IEEE Trans on Microwave Theory Tech, 1999, 47(11):2131-2138.
- [3] Yang Fan. Microstrip Antennas Integrated with Electromagnetic Band - gap Structures: A Low Mutual Coupling Design for Array Applications - Antennas and Propagation [J]. IEEE Trans Antenna and Propagation, 2003, 51(10):2936-2948.
- [4] Jin N, Rahmat - Samii Yahya. Particle Swarm Optimization of Miniaturized Quadrature Reflection Phase Structure for Low Profile Antenna Applications [J]. IEEE AP - S Int Symp Dig, 2005, 2(7):255-258.
- [5] Yang Fan, Rahmat - Samii Yahya. Reflection Phase Characterizations of the EBG Ground Plane for Low Profile Wire Antenna Applications [J]. IEEE Trans on Antenna and Propagation, 2003, 51(10):2691-2703.
- [6] Feresidis Alexandros P, Goussetis George, Wang ShenHong, et al. Artificial Magnetic Conductor Surface and Their Application to Low Profile High Gain Planar Antenna [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagation, 2005, 53(1):209-215.
- [7] Telesphor Kamgaing, Omar M Ramahi. Design and Modeling of High - Impedance Electromagnetic Surfaces for Switching Noise Suppression in Power Planes [J]. IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, 2005, 47(3):479-489.
- [8] Shahparnia S, Ramahi O M. Simultaneous Switching Noise Mitigation in PCB Using Cascaded High - impedance Surfaces [J]. Electronics Letters, 2004, 40(2):98-100.
- [9] Tam W Y, Y Lai A K, Luk K M. Cylindrical Rectangular Microstrip Antennas with Coplanar Parasitic Patches [J]. IEEE Proc Microwave Antennas and Propagation, 1995, 142(4):300-306.
- [10] Wong K L, Cheng Y T, Row S. Resonance in A Superstrate - loaded Cylindrical Rectangular Microstrip Structure [J]. IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques, 1993, 41(5):814-819.
- [11] 刘涛,曹祥玉,余侃民. 曲面 EBG 结构表面波带隙特性研究[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2008, 9(2):56-59.
LIU Tao, CAO Xiangyu, YU Kanmin. Study on Surface Wave Band - Gap Feature of Curved Electromagnetic Band - gap Structures [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2008, 9(2):56-59. (in Chinese)
- [12] 刘涛,曹祥玉,殷兆伟,等. EBG 结构在圆柱共形偶极子阵中的应用[J]. 空军工程大学学报:自然科学版, 2007, 8(2):63-65.
LIU Tao, CAO Xiangyu, YIN Zhaowei, et al. Application Study of EBG Structures in Cylindrical Conformal Dipole Arrays [J]. Journal of Air Force Engineering University: Natural Science Edition, 2007, 8(2):63-65. (in Chinese)

(编辑:徐楠楠)

Application Study of Electromagnetic Band - gap Structures for Cylindrical Conformal Microstrip Antenna

LIU Tao, CAO Xiang - yu, QIN Jian - jun, WANG Wei

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

Abstract: Application of the high impedance surface EBG structures for cylindrical conformal microstrip antenna is studied. Through modeling and numerical simulation, the effects of EBG structures on antenna resonance frequency and pattern as well as effect of curvature on antenna performance with EBG structures are obtained. The results demonstrate that the resonance frequency of antenna shifts higher frequency, the antenna pattern is improved obviously, the forward gain increases, the back lobe decrease, 3 dB beam width gets narrower. The comparison research shows that the effect of curvature on cylindrical conformal microstrip antenna gain is decreased remarkably after EBG structures are applied to antenna.

Key words: electromagnetic band - gap; cylindrical conformal microstrip antenna; resonance frequency; antenna pattern; curvature