

一种新型高增益贴片天线阵的研制

高向军, 杨涛, 朱莉, 梁建刚

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:利用光子晶体可以抑制基板表面波传播来提高天线增益的基本思想,改进设计了一种高增益多层耦合贴片天线。天线采用悬置耦合馈电方式,使馈电电路与辐射元分离,减小了馈电电路对辐射元性能的影响,从而便于在阵列中的应用,同时,通过在覆盖层加载基底钻孔型PBG结构,使单元天线增益可以达到11.54 dB,相比普通单层微带贴片天线,增益提高了8.68 dB。在此基础上,采用均匀等幅并联馈电网络,实际制作并测试了一个4×4元高增益微带贴片平面天线阵。测试结果表明:天线阵在12.0-13.0 GHz的频带内均满足驻波比小于2.0(VSWR<2.0);在中心频率12.5 GHz处,天线阵增益可以达到22.23 dB,副瓣电平小于-13.5 dB,相对于普通4×4元微带贴片天线阵,增益提高了近一倍,这样的结构在平面天线阵小型化领域应用前景广阔。

关键词:高增益;耦合;多层;光子晶体

DOI:10.3969/j.issn.1009-3516.2010.03.009

中图分类号: TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)03-0040-04

光子晶体(Photonic Band Gap, PBG)是一种由介质材料或金属周期排列而成的结构,这种结构在一定频率范围内呈现出频率禁带,工作频率处在禁带范围内的任意电磁波都不能在其中传播。近些年对PBG结构的研究很多,其主要的原理都是利用了PBG结构的禁带特性来改善微波电路和天线的工作性能^[1-6]。尤其在微带天线方面,利用PBG结构抑制基板内表面波传播来提高天线增益^[7-8]受到了越来越多的关注,包括基底钻孔型贴片天线,口径耦合馈电地面腐蚀型贴片天线以及同轴线馈电的高阻抗表面型贴片天线均可以有效地提高天线增益。此外,由于微带贴片天线在合理选择不同厚度和不同介电常数的介质板覆盖时,可以有效提高增益,因此在距离参考天线表面一定距离处增加不同PBG结构的覆盖基板,可以明显改善天线辐射性能^[9-11]。文献[9-11]对具有不同PBG覆盖结构以及复合结构的贴片天线在改善天线辐射性能方面作了深入的研究,并取得了较好的结果,但也存在一些明显的缺点,其中最主要的就是PBG结构复杂、尺寸太大。这样在微波频段的工程应用,尤其是Ku波段阵列天线的应用上就变得不切实际。因此,为了将PBG结构有效地应用于微带贴片天线阵以提高其增益,本文设计了一种Ku波段基底钻孔型PBG结构覆盖的多层耦合贴片天线,增益可以达到11.54 dB。此结构在卫星接收平面阵列天线的小型化等方面具有非常重要的实用价值。

1 天线单元设计

在不影响天线性能的基础上,为了减小PBG结构的尺寸,并能有效提高贴片天线的增益,改进设计了一种结构简单的基底钻孔型PBG结构覆盖的悬置耦合贴片天线,见图1。这种结构采用悬置耦合馈电方式,使

收稿日期:2009-05-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60971118)

作者简介:高向军(1979-),男,山西孝义人,讲师,博士,主要从事天线技术、微波技术研究。

E-mail: gaouxj111@163.com

馈电路与辐射元分离,并且贴片层与覆盖层之间不再添加较厚的空气层。这样做的优点一是可以有效拓展频带,二是可以显著提高天线增益,并且由于仅仅采用了简单的边馈形式,更便于在阵列天线中使用。

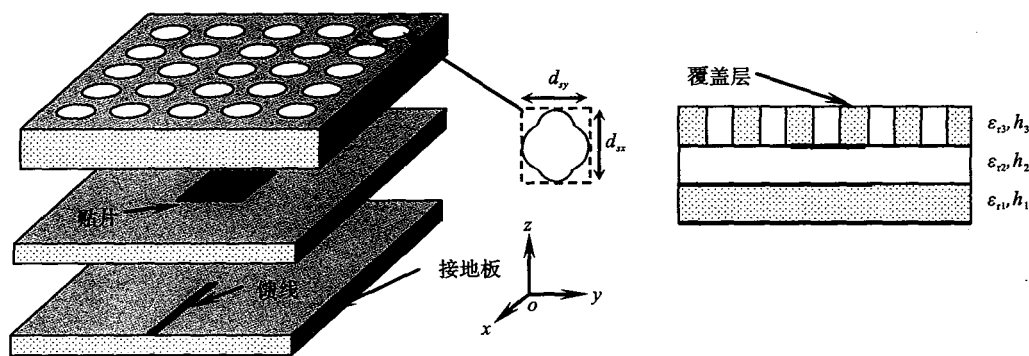


图1 天线单元结构

Fig. 1 Structure of antenna element

选择3层介质基板大小均为 $w_{sub} \times w_{sub} = 29 \times 29 \text{ mm}^2$,介电常数和基板厚度分别取 $\epsilon_{r1} = 2.65, h_1 = 1.5 \text{ mm}, \epsilon_{r2} = 1.006, h_2 = 0.5 \text{ mm}, \epsilon_{r3} = 9.6, h_3 = 1.5 \text{ mm}$,PBG 结构中周期长度 $d = 6.0 \text{ mm}, r = 2.0 \text{ mm}$,周期数 $n = 5$ 。贴片尺寸 $w_{px} \times w_{py} = 6.4 \times 6.4 \text{ mm}^2, d_{sx} = 4.64 \text{ mm}, d_{sy} = 5.5 \text{ mm}$,馈线宽度 $w_f = 1.38 \text{ mm}$,特性阻抗 $Z_0 = 100 \Omega$ 。在工作频率 $f_0 = 12.5 \text{ GHz}$ 处天线远场方向图的计算结果见图2-3。从方向图的计算结果可以看出,基底钻孔型PBG结构覆盖的悬置耦合贴片天线E面波瓣宽度变窄,后瓣明显减小,与参考天线(未加PBG结构的单层贴片天线)相比,天线增益达到11.54 dB,提高了8.68 dB。

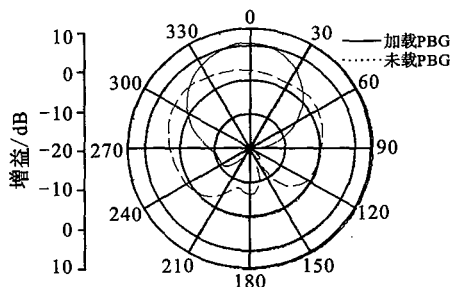


图2 天线E面方向图

Fig. 2 Direction pattern at E - plane

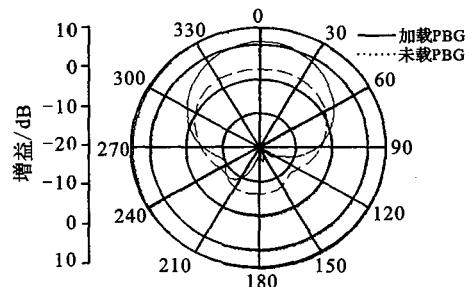


图3 天线H面方向图

Fig. 3 Direction pattern at H - plane

为了更进一步说明这种结构的优越性,我们同样选择覆盖层厚度和空气层厚度均为1.5 mm和0.5 mm,馈电层介电常数和厚度不变,当覆盖基板的介电常数分别取9.6、4.1和2.65,并不加PBG结构时,在最佳的匹配条件下,悬置耦合贴片天线远场方向图的计算结果见图4-5。

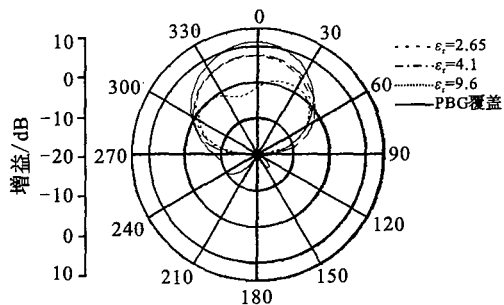


图4 不同基板覆盖贴片天线的E面方向图

Fig. 4 Direction pattern at E - plane covered with different substrates

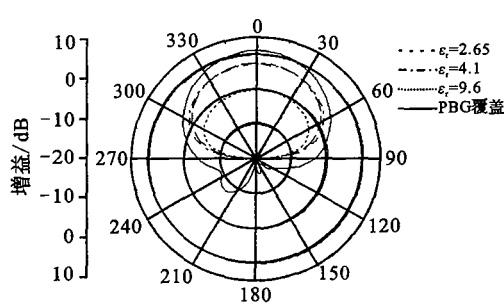


图5 不同基板覆盖贴片天线的H面方向图

Fig. 5 Direction pattern at H - plane covered with different substrates

在计算结果中,覆盖层介电常数分别取 9.6、4.1 和 2.65 对应悬置耦合贴片天线的 E 面 3 dB 波束宽度分别为 116° 、 67° 和 58° , 而 PBG 结构覆盖的悬置耦合贴片天线 E 面 3 dB 波束宽度仅为 42° , 同时天线增益相比分别有大约 11.12 dB、4.54 dB 和 4.15 dB 的提高。如此计算结果不仅充分说明了利用这种天线口面和厚度都比较小的结构来提高天线增益的可行性和有效性, 而且它也比较适合阵列应用。

2 天线阵设计

在此基础上, 以图 1 的天线为阵列单元, 在充分计算阵元间互耦的情况下, 将单元贴片尺寸修改为 $w_{px} \times w_{py} = 6.53 \times 6.36 \text{ mm}^2$, 阵元间距取 18 mm ($0.75\lambda_0$), 天线阵阵面尺寸 $w_{sub} \times w_{sub} = 90 \times 90 \text{ mm}^2$, PBG 结构周期长度 $d = 6.0 \text{ mm}$, 采用简单 T 型功分器等幅同相馈电, 制作了一个 4×4 元平面天线阵。经过实验测试, 图 6-8 给出了 4×4 元天线阵驻波比以及 E 面和 H 面远场方向图的实测结果。

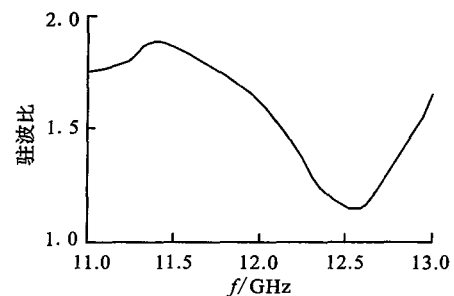


图 6 实测驻波比结果

Fig. 6 Experimental result of VSWR

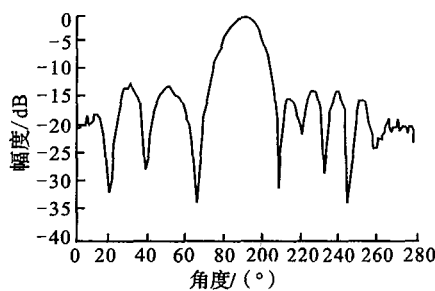


图 7 天线阵 E 面方向图

Fig. 7 Experimental result of direction pattern at E-plane

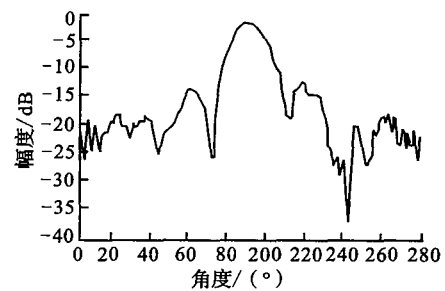


图 8 天线阵 H 面方向图

Fig. 8 Experimental result of direction pattern at H-plane

从天线阵的测试结果可以看出, 4×4 元 PBG 结构覆盖的悬置耦合贴片天线阵在 12.0 - 13.0 GHz 的频带内, 均满足驻波比 $VSWR < 2.0$, 波束宽度 $\theta_{0.5} \leq 15^\circ$, 而天线阵增益更是达到了 22.23 dB, 相对于普通 4×4 元贴片天线阵, 增益提高了近一倍。

3 结束语

PBG 结构一直是研究的热点, 在微带天线中采用 PBG 结构可以提高天线增益的方法被很多研究人员采用, 但大多数面临的问题就是尺寸大, 结构复杂, 在阵列天线中推广应用并不十分理想。因此, 作为改进, 本文提出了 PBG 结构覆盖的耦合贴片天线, 天线结构相对简单, 厚度较小, 并且馈电层电路与普通的耦合贴片天线无异, 适合阵列天线应用。利用此结构制作的 4×4 元贴片天线阵, 增益较高, 与普通贴片天线阵相比, 优势比较明显。然而, 加载 PBG 结构均利用了高介电常数的介质基板, 明显增加了天线的制作成本, 这是存在的一个现实问题。尽管如此, 采用 PBG 结构覆盖的 4×4 元悬置耦合贴片天线阵在平面天线阵小型化领域应用前景广阔。

参考文献:

- [1] Haiwen Liu, Zhengfan Li, Xiaowei Sun, et al. A Novel Photonic Band-gap Microstrip Structures for Lowpass Filters of Wide Stop-Band [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2003, 11(6): 470-472.
- [2] Tae Yeoul Yun, Kai Chang. Uniplanat One-dimensional Photonic-bandgap Structures and Resonators [J]. IEEE Transac-

- tions on Microwave Theory and Technology, 2001, 49(3): 549 – 553.
- [3] Li xiaowei, Cheng zhiqun, Sun xiaowei. A Novel One Dimensional Microstrip PBG Filter[J]. Journal of microwaves, 2003, 19(2): 61 – 64.
- [4] Roberto Coccioli, FeiRan Yang, KuangPing Ma, et al. Aperture – coupled Patch Antenna on UC – PBG Substrate [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Technolgy, 1999, 47(11): 2123 – 2130.
- [5] Fabrizio Consoli, Rocco Catalano, Roberto Laudani. Planar Slot Antenna with PBG Filter for Wireless Communications [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 15(3): 551 – 555.
- [6] Baoqin Lin, Qiurong Zheng, Naichang Yuan. A Novel Planar PBG Structure for Size Reduction [J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2006, 16(5): 269 – 271.
- [7] Fan Yang, Yahya, RahmatSamii. Microstrip Antennas Integrated With Electromagnetic Band – gap (EBG) Structures: A Low Mutual Coupling Design for Array Applications [J] IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2003, 51(10): 2936 – 2945.
- [8] Yang F, Rahmat Y, Samii Mutual. Coupling Reduction of Microstrip Antennas Using Electromagnetic Band – gap Structure [J]. Proc IEEE AP – S Dig, 2001, 2(7): 478 – 481.
- [9] Thevenot M. Design of A New Photonic Cover to Increase Antenna Directivity [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1999, 7(2): 136 – 139.
- [10] Marc Thevenot. Directive Photonic – bandgap Antenna [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 1999, 7(11): 2115 – 2121.
- [11] Qiu M, He S. High Directivity Patch Antenna with Both Photonic Bandgap Substrate and Photonic Bandgap Cover [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2001, 9(1): 41 – 44.

(编辑:田新华)

A Novel Design on Gain Enhancement of the Patch Array

GAO Xiang – jun, YANG Tao, ZHU Li, LIANG Jian – gang

(Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the idea that PBG can restrain the promulgating of surface wave in substrate, a novel patch antenna is designed with multi – layer in order to enhance the gain. Through loading the PBG structure, 11.54 dB gain of element can be achieved. Compared to the patch antenna with single layer, 8.68 dB is increased. Then a planar array fed by parallel net with 4×4 elements is manufactured and tested. The experimental results show that VSWR is less than 2.0 from 12.0 GHz to 13.0 GHz, and 22.23 dB gain can be achieved at 12.5 GHz, which is approximately doubled in comparison with the common array. Such planar array will be used extensively in the field of miniaturization for satellite reception.

Key words: high gain; coupling; multi – layer; PBG