

文章编号:1005-6122(2005)03-0039-04

新型光子带隙微带贴片天线*

李英明 钟顺时

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要: 提出一种新型光子带隙(PBG)结构微带贴片天线。在同轴线馈电型微带贴片天线的接地板上蚀刻出新颖 PBG 结构,通过数值仿真得到有效提高增益的结构。实际制作了 PBG 结构微带天线,并实测了天线特性参数。数值结果和实验结果进行了比较,取得了较为一致的结果。实测天线增益达 8.8dB,比无 PBG 时提高约 3dB,验证了该 PBG 结构的有效性。

关键词: 光子带隙结构, 微带天线, 天线增益

A New PBG Microstrip Patch Antenna

LI Ying-ming, ZHONG Shun-shi

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper proposes a new PBG structure for microstrip patch antenna. A new PBG structure is etched on the ground plane of a probe-fed microstrip patch antenna. An effective structure for enhancing the antenna gain is obtained by simulations. Such a PBG structure microstrip patch antenna is fabricated and measured. Numerical results are compared with the measured ones, showing good agreement. The measured gain reaches 8.8dB, which is about 3.2dB larger than that without PBG, verifying the validity of the PBG structure.

Key words: Photonic band gap(PBG) structure, Microstrip antenna, Antenna gain

引言

微带天线具有体积小、重量轻、剖面薄、能与载体共形、易于制造、成本低等很多优点,应用越来越广^[1]。其应用的某些场合,天线尺寸受到限制,为了减小微带天线尺寸,近几年来已采用一些方法^[2,3]。但这样明显减小了天线增益。这就要求找到提高天线增益的新方法。

近几年来,微波与毫米波领域的 PBG 结构越来越引起人们的关注。PBG 结构是具有带阻特性的周期性结构,可应用于平面微带电路,如用于抑制谐波、改善功率效率、制作滤波器、反射器、高 Q 谐振器、TEM 磁壁波导等等。现在微波、毫米波中,PBG 结构已用来改善天线性能。比如它与微带天线结合抑制表面波和谐波辐射,提高增益。

目前国内外所提出的 PBG 结构微带天线多种

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。按照实现 PBG 结构的方法,每种 PBG 结构微带天线再可分四类^[4]:(1) 基片钻孔型,(2) 地面刻蚀型,(3) 高阻抗表面型,(4) 共面光子带隙(UC-PBG)结构型。

微带线馈电-基片钻孔型当天线工作频率为 2.23GHz 时,与原来不加光子晶体结构的同样大小基底的普通贴片天线相比,增益由原来的 -2dB 提高到 7.75dB^[4]。文献[5]为了抑制谐波采用微带线馈电-地面刻蚀型。口径耦合馈电-地面刻蚀型明显地抑制表面波,增益提高了约 4dB^[6,7]。同轴线馈电-高阻抗表面型和同轴线馈电-UC-PBG 结构型微带天线增益分别比原来的增益增强了约 1.6dB^[8]和 5dB^[4]。

本文对同轴线馈电-地面刻蚀型 PBG 结构微带天线进行了研究。所提出的 PBG 结构微带天线是

* 收稿日期:2003-12-08;定稿日期:2004-06-28

基金项目:国家自然科学基金(60071020)资助项目

直接把 PBG 结构蚀刻在微带天线的接地板上的,制作简单,实现方便。用同轴线馈电型的优点是:(1) 馈电点可选在贴片内任何所需位置,便于匹配;(2) 同轴电缆置于接地板下方,避免了对天线辐射的影响。

已对这种结构不同实例(方形 PBG 单元,圆形 PBG 单元和振子形 PBG 单元等)进行了仿真,采用振子形 PBG 单元时增益最高,故选用这一设计,并实际制作了 PBG 结构微带天线。

1 PBG 结构微带贴片天线设计

首先我们采用微带天线接地板上的蚀刻方形、圆形和振子形 PBG 单元设计了一般的 PBG 结构,组成同样大小的 PBG 结构微带天线。它在贴片周围 y 方向和 x 方向横截面,分别具有 1 列单元,每列取 2 单元。设计时按照一般的方法,周期间距取为 $d = \lambda_g/2$,其中 λ_g 是微带天线的导波波长,方孔的边长和圆孔的直径取 $d = 2a$ 的关系。进行了仿真对比,结果如表 1 所示。可以看出,方形和圆形 PBG 单元效果不明显;采用振子形 PBG 单元的 PBG 结构具有较好的表面波抑制性能。

我们设计的一种新型 PBG 结构如图 1 所示。振子形 PBG 单元的细小缝隙提供电容,通过大缝隙的磁流提供电感。这些电容、电感引入了一个等效的 LC 网络,从而提高介质中的传播常数。在贴片周围 y 方向和 x 方向的横向,分别只要 3 列单元和 1 列单元,在每列取 2 个单元即可。

表 1 三种常规 PBG 结构微带天线增益的比较

PBG 单元形	增益(dB)
振子形	7.3
方形	5.6
圆形	5.6
没有 PBG 结构	5.6

取 $f_0 = 10\text{GHz}$,在文献[1]的基础上进行计算可以得到微带贴片天线尺寸为 $a = 12.7\text{mm}$, $b = 8.54\text{mm}$, 50Ω 特性阻抗对应的馈电点离 a 边为 2.79mm 。仿真所用基板的介电常数为 $\epsilon_r = 2.78$,基板厚度 $h = 0.8\text{mm}$, $\tan\delta = 0.001$ 。在 10GHz 的频率点上所对应的导波波长是 17.99mm 。接地板两边的尺寸为 $2A = 2B = 2\lambda_0 = 60\text{mm}$ 。

一般来说,阻带的中心频率 f_0 是结构周期性的函数,频率 f_0 的导波波长是周期间距 d 的两倍。按

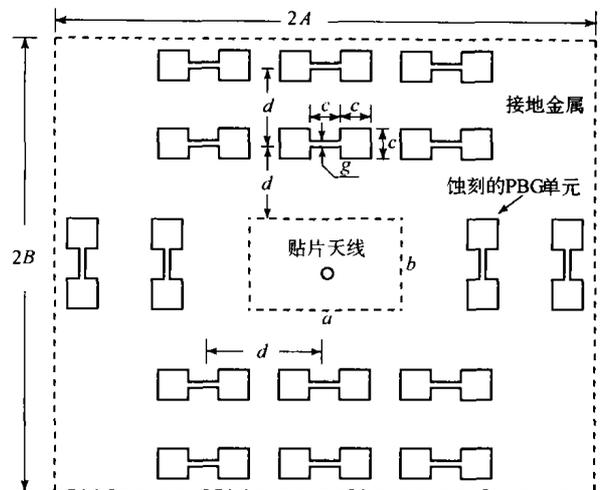


图 1 PBG 结构贴片天线的接地板

照这种概念排列 PBG 单元,通过仿真所得到的最优化的结构如下。贴片和 PBG 单元间距离, PBG 单元之间距离都取为 $d = \lambda_g/2 = 9\text{mm}$,其中 λ_g 是中心频率的导波波长。单元的间距取为 $d = 4c$, $c = 2.25\text{mm}$, $g = 0.29\text{mm}$ 。

2 数值与实验结果

利用 Ansoft Ensemble 软件对此种 PBG 结构微带天线进行了全波分析,仿真所得的电压驻波比如图 2 所示。可见驻波比小于 2 的带宽约 3%。中心频率 f_0 时仿真的 H 面和 E 面方向图见图 3,图中也示出了无 PBG 结构情况。图 3(及图 5)中径向坐标为相对振幅值(数值)。可以看出, PBG 结构使方向性有所增强,特别是 E 面。E 面有 PBG 结构的最大场强约为无 PBG 结构时的 $100/72 = 1.4$ (2.9dB),而背向辐射振幅则减小了。这是由于贴片背面的 PBG 结构对表面波的抑制作用,使一部分功率不再向背向传播而加强到前方。有、无 PBG 结构时的天线增益如图 4 所示。可以看出,中心频率 f_0 时仿真的增益比没有 PBG 结构的贴片天线提高约 3dB(在中心频率 f_0 点上常规贴片天线的增益为 5.6dB, PBG 结构贴片天线的增益为 8.5dB)。

根据上面的参数实际制作了这种 PBG 结构微带天线。使用安捷伦公司的 8722ES 网络分析仪测试了它的 S 参数,测得的驻波比也已示于图 2 中。实验结果的驻波比小于 2 的带宽略有增大,达到 4%。可喜的是,仿真的中心频率与实测的中心频率完全一致,都是 10GHz 。

在 10GHz 实测的 H 面和 E 面方向图如图 5 所示。图中也示出了仿真结果, H 面方向图的实测与

仿真结果较吻合,而 E 面差异大些,估计是 E 面有限尺寸的边缘效应所致。在 10GHz 等三个频率点上利用 HP 公司标准喇叭测试天线增益,实测的增益结果已示于图 4 中,在中心频率上 PBG 结构贴片天线的增益测量值达 8.8dB,与仿真结果相近,比无 PBG 情况提高了 3.2dB。

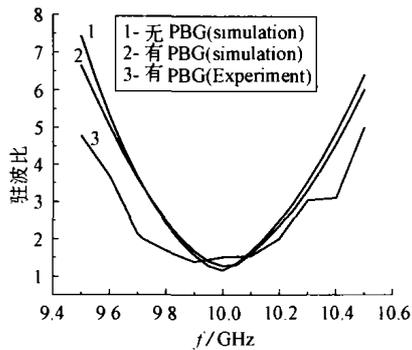


图 2 PBG 结构贴片天线的驻波比

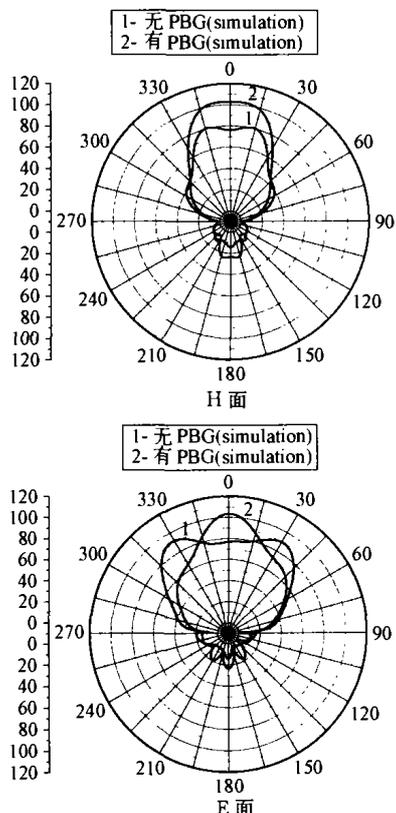


图 3 PBG 结构贴片天线的方向图(仿真结果)

3 结论

本文采用振子形单元周期结构设计了同轴线馈电-地面刻蚀型 PBG 结构微带天线。这种设计结构简单,制作方便,实验天线厚度仅 0.8mm。数值仿真结果与实验得到的结果吻合较好。从结果可以看出,这种 PBG 结构微带天线具有明显的表面波抑

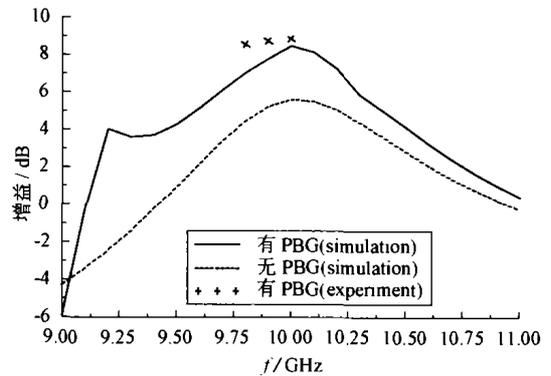


图 4 PBG 结构贴片天线的增益

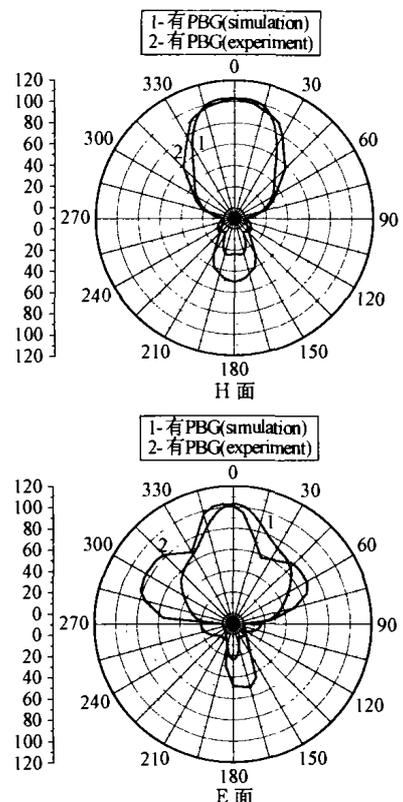


图 5 PBG 结构贴片天线的方向图(实验结果)

制性能,可增强贴片单元的方向性,提高天线增益。实测天线增益达 8.8dB,比无 PBG 结构时的理论值 5.6dB 提高了约 3.2dB,显示了这种设计的有效性。

参考文献

- [1] 钟顺时. 微带天线理论与应用. 西安:电子科技大学出版社,1991
- [2] 崔俊海,钟顺时. 一种新型小型化微带天线的全波分析. 电子学报, 2001, 29:785~787
- [3] 张需涛,钟顺时. 小型化蝶形微带天线的全波分析. 上海大学学报(自然科学版), 2001, 7(2): 95~99
- [4] 朱方明,林青春. 新型电磁(光子)晶体贴片天线的研究进展. 电波科学学报, 2002, 17(2):182~186

- [5] Chang I, Lee B, Hee Kyung. Design of defected ground structures for harmonic control of active microstrip antenna. IEEE antennas and propagation society international symposium. 2002. 6: 852 ~ 855
- [6] Padhi S, Bialkowski M. Investigations of an aperture coupled microstrip yagi antenna using PBG structure. IEEE antennas and propagation society international symposium. 2002. 6: 752 ~ 755
- [7] Karmakar N, Mollah M, Padhi S. Photonic bandgap assisted aperture coupled patch antennas. IEEE antennas and propagation society international symposium. 2002. 6: 772 ~ 775
- [8] Tavakkol-Hamedani F, Shafai L, Rafi G R. Comparison of PBG and perfect magnetic conductor surface effects on the performance of finite microstrip antennas. IEEE antennas and Propagation Society International symposium. 2002. 6: 748 ~ 751

李英明 男,1963年7月生于朝鲜平壤,1987年取得金日成综合大学物理系微波工程专业学士学位。同年,开始攻读该专业硕士学位,于1991年获得硕士学位并留校任教。主要从事微波测量和雷达技术的研究和教学工作。曾先后编写五本讲义:《微波测量》、《雷达技术基础》、《微波应用技术》、《微波基础实验指导》(一、二版)、《微波专业实验指导》。在各类学术期刊发表论文五篇。2002年9月至2003年7月为上海大学通信与信息工程学院访问学者。其间主要从事微带天线的理论和应用研究。

钟顺时 上海大学通信与信息工程学院教授,博士生导师。1939年9月生于浙江瑞安,1960年军事电信工程学院毕业,1980~1982年美国华盛顿大学和伊利诺伊大学访问学者。长期从事电磁场与微波技术专业教学与科研,在国内外发表论文200余篇,著译4部,获全国电子类和上海市优秀教材奖2项,国家和省部级科技进步奖7项,研究方向为天线、微波技术与电磁场理论。

(上接第38页)

- [3] Gonzalo R, De Maagt P, Sorolla M. Enhanced patch-antenna performance by suppressing surface waves using photonic-bandgap substrates. IEEE Trans on MTT, 1999, 47(11): 2131 ~ 2138
- [4] Coccioli R, Yang F R, Ping Ma K, et al. Aperture-coupled patch antenna on UC-PBG substrate. IEEE Trans on MTT, 1999, 47(11): 2123 ~ 2130
- [5] Sievenpiper D, Zhang L J, Jimenez Broas R F, et al. High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band. IEEE Trans on MTT 1999, 47(11): 2069 ~ 2074
- [6] Hillebrand R, Hergert W. Band gap studies of triangular 2D photonic crystals with varying pore roundness. Solid State Communications, 2000, 115(5): 227 ~ 232
- [7] Sigalas M, Soukoulis C M, Economou E N, et al. Pho-

tonic band gaps and defects in two dimensions: studies of the transmission coefficient. Physical Review B, 1993, 48(19): 14121 ~ 14126

- [8] Chan C T, Yu Q L, Ho K M. Order-N spectral method for electromagnetic waves. Physical Review B, 1995, 51(23): 16635 ~ 16642
- [9] 包秀龙,章文勋,郑龙根,等. 二维介质 PBG 结构色散特性的时域有限差分法分析. 应用科学学报, 2003, 21(3): 236 ~ 240

包秀龙 1968年10月生,2003年1月毕业于东南大学无线电工程系,获博士学位。现为上海交通大学电子工程系博士后,主要从事天线与电磁场理论、计算电磁学、微波集成电路等方面的研究工作。

E-mail: xlbao@vip.sina.com

(上接第22页)

- [8] Paolo Ciampolini, Luca Roselli, Giovanni Stopponi, Roberto Sorrentino. Global Modeling Strategies for the Analysis of High-Frequency Integrated Circuits. IEEE Trans. on MTT, 1999, 47: 950 ~ 955

研究生。主要研究方向为微波集成电路的时域建模。

E-mail: zhengyunsun@163.com

褚庆昕 男,1958年生,山东人,华南理工大学电信学院教授、博士生导师,射频与无线技术研究所所长,并任中国电子学会高级会员,微波学会委员,IEEE member。研究方向包括射频与微波电路、有源集成天线与空间功率合成和时域计算电磁学。

郑阳明 男,1978年生,浙江人。西安电子科技大学博士