

一种新型紧凑宽带平面电磁带隙结构

刘涛 曹祥玉 马嘉俊

(空军工程大学电讯工程学院 西安 710077)

摘要: 针对一般谐振型电磁带隙结构相对带宽比较窄的特点, 依据电磁带隙结构带隙形成机理和等效电路分析模型, 该文提出了一种基于低介电常数低成本基底的紧凑宽带平面电磁带隙结构。实验结果表明, 新结构具有 54.1% 的相对带宽, 相比文献结构有超过 100% 的相对带宽改善, 并且中心频率降低了 25.2%, 达到了实现紧凑宽带 UC-EBG 结构的目的。

关键词: 天线; 电磁带隙; 相对带宽; 宽带

中图分类号: TN823

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)04-1007-03

A Novel Compact Wideband Planar Electromagnetic Band-Gap Structure

Liu Tao Cao Xiang-yu Ma Jia-jun

(The Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077, China)

Abstract: Aiming at the characteristic of relative narrower bandwidth of present Electromagnetic Band-Gap (EBG) structure, according to the physical mechanism of EBG structures and equivalent circuit model, a novel compact wideband planar EBG structure is proposed constructed on low permittivity low-cost substrate in this paper. The measured results show that relative bandwidth of the novel structure reaches 54.1% and obtain more than 100% bandwidth improvement, and simultaneously the center frequency is reduced by 25.2%. The objective of realizing compact wideband UC-EBG structure is attained.

Key words: Antenna; Electromagnetic Band-Gap(EBG); Relative Bandwidth; Wideband

1 引言

在过去的近十年中, 电磁带隙(Electromagnetic Band-Gap, EBG)结构成为微波和毫米波领域中一个研究的热点课题, 它的带隙形成机理和在电磁各个领域的应用都得到了广泛的理论和实验研究, 证实了其在改善微波器件和天线性能方面具有明显的作用^[1-8]。在这些 EBG 结构中, 共面紧凑电磁带隙(Uniplanar Compact Electromagnetic Band-Gap, UC-EBG)结构受到了特别的关注^[3-8]。这种结构具有简单、平面、低损耗和易加工等优点。传统的 UC-EBG 结构一般基于相对厚的高介电常数基底, 且带隙在 10GHz 以上^[3], 这意味着低频设计将具有较大的结构尺寸。当实际应用空间有限或共形于弯曲表面时, 较大的结构尺寸显然是不适用的, 这就要求必须缩小 EBG 结构的尺寸, 或者说减小 EBG 结构的周期。很多文献在此方面已做了工作, 并且获得了很好的结果^[6-12]。如比较典型地采用交指结构, 可以显著增大单元等效电容, 从而降低带隙中心频率, 实现同频率下比较小的单元结构^[9,10]。然而已有这些结构却存在一

个不足, 即带隙的相对带宽比较窄, 一般仅在 5%~27%之间, 这就使得其在宽带天线中的应用受到限制。

为了得到相对宽的带宽和更紧凑的结构, 本文提出了一种新的基于低介电常数低成本基底的 UC-EBG 结构。它可以看作是文献[11]中提出的 UC-EBG 结构的进一步改进的结构。实验证实, 这种新结构可以实现更宽的带宽和更紧凑的尺寸。

2 分析与设计

EBG 结构的带隙形成机制可分为两种: 一种是 Bragg 散射机制, 包括介质基底钻孔和接地面腐蚀两种结构类型; 另一种是局域谐振机制, 包括 mushroom-EBG 结构和 UC-EBG 结构。与 Bragg 散射机理不同, 在谐振型的 EBG 结构中, 周期单元本身的谐振效应在带隙形成中起主要作用。这种 EBG 往往通过对单元结构的特殊设计, 使得其单元可等效为局域谐振特性比较强的并联 LC 电路, 以增加单元的谐振性能, 然后利用单元谐振时电抗无穷大的特性, 阻止谐振频率附近的电磁波传播, 以形成频率带隙。带隙的中心频率和相对带宽近似由表面单元等效电容 C 和等效电感 L 决定^[13]:

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} \quad (1)$$

$$BW = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{1}{\eta} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

2007-12-21 收到, 2008-05-14 改回

国家自然科学基金(60671001)、空军工程大学电讯工程学院博士创新基金(200603)、陕西省自然科学基金(2005F21)和西安市工业攻关项目(GG06020)资助课题

η 是自由空间波阻抗。由式(1)可以看出, 为了获得紧凑的 EBG 结构, 应该利用各种方法增大单元等效电感和电容, 以降低带隙中心频率。这也就意味着, 在相同的带隙中心频率下, 具有较大等效电感和电容的结构就具有较小的周期和结构尺寸。但从式(2)又看出, 带隙宽度和等效电容平方根成反比, 和电感平方根成正比, 增大电容在降低频率的同时会使得带隙宽度减小, 而增大电感在降低频率的同时使得带隙宽度增大。因此, 增大单元等效电感就成为实现 EBG 结构小型化比较好的选择。

依据上面的分析, 本文对文献[11]中提出的结构进行了改进。在传统 UC-EBG 结构中, 如图 1(a), 相邻单元之间缝隙引入等效电容 C , 单元之间连接枝条引入等效电感 L 。文献[11]设计的 EBG 结构也是对传统结构^[3]的一种改进。它通过增加连接枝条和边缘贴片的长度, 相应地提高了等效电感和等效电容值, 使得 EBG 结构的带隙中心频率与初始结构相比有明显的降低, 但相对带宽却减小了很多, 由超过 40% 带宽减小到不足 27%。

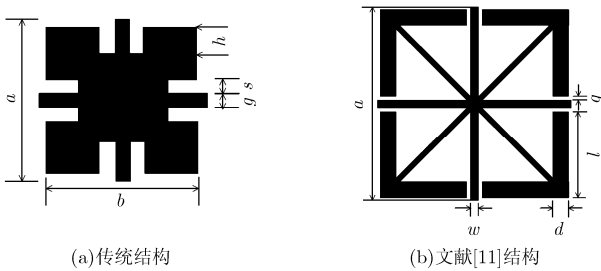


图 1 UC-EBG 结构单元

从图 1(b)改进结构图中可以看到, 该结构并没有充分利用单元空间, 中间部分仍有相当大的冗余空间。为了利用这部分空间, 本文把连接枝条由直线变换成折线形式, 如图 2(a), 同时图 2(b)给出了该结构的单元等效电路。连接枝条长度的增大相应地增大了中间部分的等效电感值, 使得 EBG 结构具有了相对宽的带宽和更小的尺寸, 而且改变折线长度可以相应改变等效电感值, 从而改变相对带宽。

3 实验结果

为了证实本文提出的 UC-EBG 结构的特性, 我们设计制作了该结构的电路板, 并且为了和文献[11]中结果对比, 新结构同样采用了厚 1.5mm, 相对介电常数 2.65 的基板,

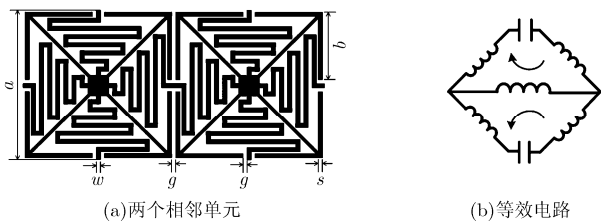


图 2 改进的 UC-EBG 结构

单元参数为: $a=7.2\text{mm}$, $w=g=s=0.2\text{mm}$, $b=3.2\text{mm}$, 折线之间间隔 0.2mm, 中心方形贴片宽 1mm。电路板由 19×19 的单元阵列组成, 图 3 给出了结构的部分照片。测试方法是在测试电路测试方向的对角垂直放置两个短探针, 探针的外导体与测试电路板的接地板相连, 一个探针激励 TM 模表面波(由探针的放置方式, 根据场结构可知激励的主要是 TM 模式, 但对 TE 模也能激励起一定程度), 另一个探针用来接收, 用 Agilent N5242A 矢量网络分析仪测试两个探针之间的传输参数 (S_{21})。图 4 给出了测试结果, 从图中可以看出, 在 -60dB 以下, 从 2.7GHz~4.7GHz 有一个明显的禁带, 带隙中心频率 3.7GHz, 相对带宽 54.1%。相同周期相同测试方法下, 文献[11]中结构带隙为 4.3GHz~5.6GHz, 中心频率为 4.95GHz, 相对带宽 26.3%。这样新结构就有超过 100% 的相对带宽改善和 25.2% 的中心频率降低。

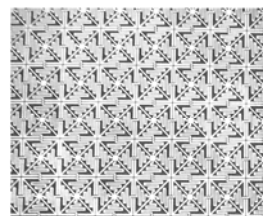


图 3 加工的 UC-EBG 结构部分照片

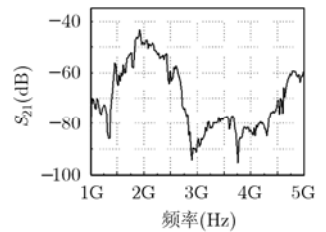


图 4 测试结果

4 结论

EBG 结构的理论研究经过近十年的发展已日趋成熟, 其工程应用自然成为其下一步发展的一个主要方向, 工程应用对 EBG 结构的一个主要要求就是宽带紧凑小型化。本文依据 EBG 结构带隙形成机理和等效电路分析模型, 提出了一种新的紧凑宽带 UC-EBG 结构。实验结果表明, 新结构相比文献结构又有 25.2% 的中心频率降低, 同时具有 54.1% 的相对带宽, 超过 100% 的相对带宽改善, 实现了宽带紧凑的 UC-EBG 结构。

参考文献

- [1] Yu Ang and Zhang Xuexia. A novel method to improve the performance of microstrip antenna arrays using a dumbbell EBG structure. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2003, 2: 170-172.
- [2] 郑秋容, 袁乃昌, 付云起. 紧凑型电磁带隙结构在短路微带天线中的应用. *电子与信息学报*, 2007, 29(6): 1500-1502.
Zheng Qiu-rong, Yuan Nai-chang, and Fu Yun-qi. Application of compact Electromagnetic Band-Gap structure to shorted microstrip antenna. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(6): 1500-1502.
- [3] Yang F, Ma K, Qian Y, and Itoh T. An uni-planar compact photonic-band gap (UC-PBG) structure and its applications

- for microwave circuits. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech*, 1999, 47(8): 1509–1514.
- [4] Coccioli R, Yang F R, Ma K, and Itoh T. Aperture-coupled patch antenna on UC-PBG substrate. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech*, 1999, 47(11): 2123–2130.
- [5] Yang F and Rahmat-samii Y. Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap structures: A low mutual coupling design for array applications. *IEEE Trans. on Antenna Propagation*, 2003, 51(10): 2936–2946.
- [6] Iluz Zeev, Shavit Reuven, and Bauer Reuven. Microstrip antenna phased array with Electromagnetic Band-Gap substrate. *IEEE Trans. on Antenna Propagation*, 2004, 52(6): 1446–1453.
- [7] Abedin M F and Ali M. Effects of a smaller unit cell Planar EBG structure on the mutual coupling of a printed dipole srray. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2005, 4: 274–276.
- [8] Yang F, Ma K, Qian Y, and Itoh T. A novel TEM waveguide using uniplanar compact photonic-bandgap (UC-PBG) structure. *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, 1999, 47(11): 2092–2097.
- [9] Fu Y, Yuan N, and Zhang G. Compact high-impedance surfaces incorporated with interdigital structure. *Electronic Letters*, 2004, 40(5): 310–311.
- [10] Lin B Q, Cao X Y, Yang Y M, and Wen X. Compact high-impedance surfaces integrated with rhombic interdigital structure. *Electronics Letters*, 2007, 43(20): 1100–1101.
- [11] Lin B Q, Zheng Q R, and Yuan N. A novel planar PBG structure for size reduction. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2006, 16(5): 269–271.
- [12] Tse S, Izquierdo B Sanz, Batchelor J C, and Langley R J. Reduced sized cells for electromagnetic bandgap structures. *Electronics Letters*, 2003, 39(24): 1699–1701.
- [13] Sievenpiper D. High-impedance electromagnetic surfaces. [Ph. D. dissertation], Dept. Electrical Engineering, Univ. California, Los Angeles, CA, 1999.
- 刘涛: 男, 1976年生, 博士生, 研究方向为计算电磁学与电磁带隙结构.
- 曹祥玉: 女, 1964年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为计算电磁学、电磁兼容及电磁带隙结构.
- 马嘉俊: 男, 1978年生, 博士生, 研究方向为计算电磁学与电磁带隙结构.