

甚宽带 PBG 滤波器结构

付云起, 袁乃昌

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要: 研究了光子带隙结构作为微带电路衬底的情况, 分析其阻带特性的形成以及对电路性能的影响. 提出了利用级联与混合并联结构设计具有很宽频带的滤波器形式. 实验测量了其传输特性, 验证了频率阻带的存在和作为宽带滤波器结构的可行性.

关键词: 光子带隙结构; 微带电路; 滤波器

中图分类号: TN45; TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 03-0444-03

Broadband PBG Filtering Structures

FU Yunqi, YUAN Naichang

(Institute of Electronic Science and Engineering, NUDT, ChangSha, Hunan 410073, China)

Abstract: The application of photonic bandgap structures (PBG) as substrates in microstrip circuits has been investigated. The characteristic of stopband and effect to microstrip circuits are introduced. Novel cascade and hybrid parallel PBG structures based on ground defected structures are presented as inner microwave broadband filters. Experiments have been done and the frequency transmission characteristic is measured. Existence of the frequency bandgap and feasibility to construct microwave broadband filters have been proved.

Key words: photonic bandgap structures; microstrip circuits; filters

1 引言

在微带电路的设计中, 一些不需要的频率信号, 可以通过加短路调谐分支来实现滤波, 但是这种方法是窄带的, 并且占用比较大的电路空间. 近一段时间引起广泛注意的光子带隙 (PBG) 结构^[1]对于解决这类问题提供了一个很好的选择. PBG 结构最初的研究是为光学应用, 比如制造高质量的光镜或者显微孔隙, 这在设计效率很高的半导体光发射器和滤波器上是很实用的, 但是其极小的尺寸使得加工难度非常高, 于是后来的研究便向较低的频率发展. 尤其现在在微波、毫米波中, PBG 结构已用来改善天线性能^[2], 增加功率放大器的效率和输出功率^[3], 宽带吸收器以及频率选择表面^[4]等. PBG 结构是具有带阻特性的周期性结构, 可以采用金属、介质、铁磁或铁电物质植入基质材料, 或者直接由各种材料周期性排列而成. 目前国内外所提出的 PBG 结构多种多样, 比如在介质基板穿孔^[3], 在介质基板中填充其他材料或金属, 在微带电路表面环绕冗余部分形成 PBG 结构^[5,6], 后一类型更适合于集成化的要求.

采用 PBG 结构作为衬底, 跨越几个 PBG 周期单元的电路元件将能够实现频率滤波. 利用 PBG 结构可以实现在微带电路衬底中集成具有很宽阻带的滤波器, 和其它电路元件有机地结合起来, 同时又不会占用过多的电路空间. 在文献[7]中,

给出了一种可作为宽带滤波器的 PBG 结构, 将 3 组不同的 2 维 PBG 结构级联, PBG 结构采用在介质衬底中穿圆孔, 给出的结果表明极大地拓展了滤波的带宽. 但是由于这种结构在机械上加工起来不是非常简单, 尤其不适合于大规模集成电路的需要. 和微带电路融合性很好的 PBG 结构是著名学者 Itoh 等人给出的几种结构^[5~9], 尤其在背面金属板上开一些孔, 形状可以是多种多样的, 比如在文献[8]中, 就给出了圆孔的情况. 测量结果显示性能很好. 为了使 PBG 结构能够更适合于电路集成, 我们在文献[7]的基础上进行了改进, PBG 周期单元采用文献[8]的形式, 形成 3 级滤波器结构. 实验测量了其电路参数.

2 PBG 结构设计

一般地来讲, PBG 结构的特性主要有以下因素决定: 周期单元的数目; 周期单元的几何结构; 周期单元的排列方式; 另外还有介质的介电常数等. 研究的 PBG 结构如图 1 所示, 介质衬底的厚度 ($h = 1\text{mm}$) 和相对介电常数 ($\epsilon_r = 2.65$) 都是确定的, 这样决定 PBG 结构特性的参数就只有圆孔的半径, 孔之间的距离, 以及周期单元的数目. 根据文献[8]的报道, 在微带线横截面, 只要三列孔就可以满足要求, 因为带线的场基本上是在其周围很小的距离之内的. 在纵向我们这里取 5 个

单元, 并且每一级都是这个数目, 这样就只要研究圆孔的半径 r 、孔之间的距离 a 这两个因素的影响; 每一级的这两个参数都不同, 对应于不同的阻带中心频率。一般的来说, 阻带的中心频率 f_0 是此结构周期性的函数, 也就说与 a 相关, 在频率 f_0 的导波波长是周期间距 a 的两倍。

虽然这个关系对于此 PBG 结构不是很严格准确, 因为其结构变得复杂了, 但是对于比较小的 r/a 的情况, 利用这个关系可以估计阻带的中心频率 f_0 。

利用 Esoft 软件对微带线进行计算, 可以得到对于标准的微带线, 50Ω 特性阻抗对应的线宽度为 2.7mm 。同时可以计算得到在 5GHz 、 7.5GHz 、 12.2GHz 的频率点上微带线所对应的导波波长分别是 40.3mm 、 26.8mm 、 16.3mm 。在文献[8]中给出的 r/a 的最佳值为 0.25 , 在这个条件下, 阻带的衰减和通带的起伏都比较理想。

这样可基本确定 PBG 结构的几何特征见表 1: 第一级, $a = 20.2$, $r = 5.1$; 第二级, $a = 13.4$, $r = 3.4$; 第三级, $a = 8.2$, $r = 2.1$ 。在两级之间连接的地方, 距离取它们间距的平均值。所以第一、二级间距为 16.8mm , 第二、三级间距为 10.8mm 。

表 1 (单位: mm)

	a	r
第一级	20.2	5.1
第二级	13.4	3.4
第三级	8.2	2.1

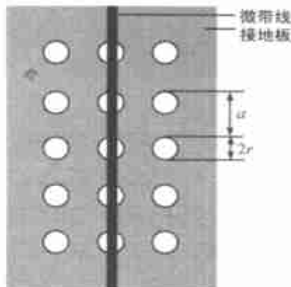


图 1 接地板打孔形成的 PBG 结构

3 试验结果

根据上面的分析所确定的数据进行实验。电路板的尺寸为 $210 \times 80 (\text{mm}^2)$ 。同时也制作了一个具有并联形式的 PBG 结

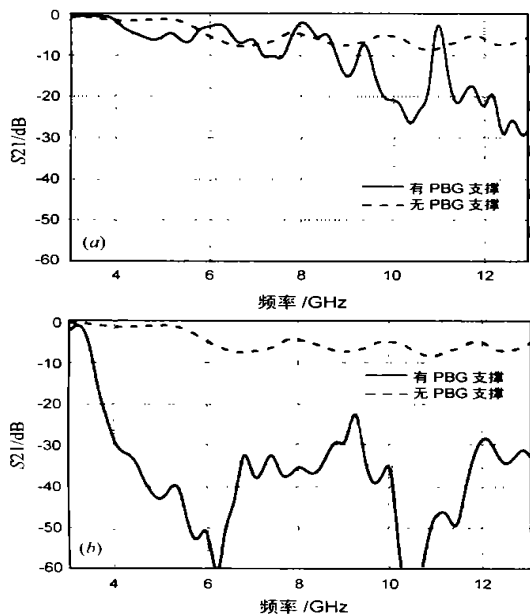


图 2 测得的 PBG 滤波器传输系数

(a: $r/a = 0.125$; b: $r/a = 0.25$)

构, 用 Wiltion 5447A 标量网络分析仪测量了它们的传输系数曲线, 并和标准的微带线进行了比较。图 2 中给出的是级联结构作为微波滤波器的结果, 对两种不同的孔半径和孔间隔比例进行比较, 分别为 $r/a = 0.125$ 和 $r/a = 0.25$ 。从文献[8]研究的结论来看, 后者的比例是最优化的, 具有比较明显的阻带, 同时通带的起伏也比较小。

测量结果基本证实了其观点。因为我们所作的是三级, 但是可以看到在 $r/a = 0.125$ 的时候, 基本是没有阻带效果的出现。当 $r/a = 0.25$ 时, 出现了非常明显的阻带特性。从曲线来看, 基本可以体现我们的设计预期, 当然因为三级级联时由于相互间的耦合, PBG 结构的特性也不是简单的与我们所设计的单级的一致, 但是作为一种滤波结构其性能还是很好的。需要说明的是, 我们所采用的介质材料在高频的损耗比较大, 所以曲线后段没有明显的回到通带上。除了进行 PBG 结构的级联实验, 我们还对一种混合并联结构进行了研究, 几何结构如图 3。它是在 PBG 结构的孔之间再融合进一些大小和间隔都不同但是差别又不是很大的孔, 这样希望它能够更有效的拓展此种结构的阻带带宽。因为并联结构比级联结构具有更好的紧凑性, 占用更少的电路空间, 所以也很有价值。两组结构的中心频率分别是 4GHz 和 7GHz , 可以和一般的结构(单级, 中心频率 5GHz)相比较。从测量曲线来看, 比一般结构有着更大的阻带宽度, 比文献[7]中的结果也要好。证明这种结构的有效性, 同样可以用作微带电路中的滤波器结构, 并且具有更好的集成性。但由于并联结构很紧凑, 结构的安排和参数设计具有更大的难度, 需要认真设计。

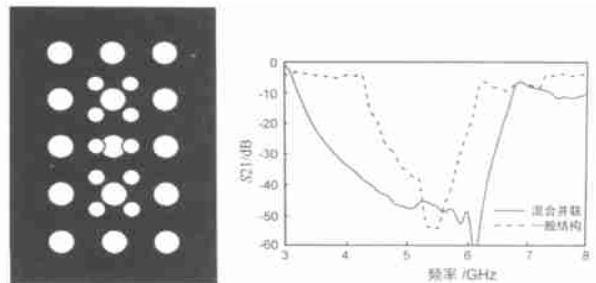


图 3 混合 PBG 并联结构及测量的传输系数

4 结论

PBG 结构用于微带电路可以改善其多方面性能, 本文提出了利用级联 PBG 结构和混合并联 PBG 结构建立宽带滤波器。采用在接地板上打孔的方式, 这种结构与电路的集成性相容, 利于大规模制作, 并且不会占用多余的电路空间。通过实验证明这种结构阻带的存在和作为宽带滤波器结构的可行性, 大大简化了电路, 在微带电路以及微带天线的设计中都有重要的用途。

参考文献:

- [1] E Yablonovitch. Photonic band gap structures [J]. J. Opt. Soc. Amer., 1993, 10(2): 283.
- [2] T J Ellis, G M Rebeiz. MM-wave tapered slot antennas on microm

- chined photonic bandgap dielectrics [A]. IEEE MTT-S, Int. Microwave Symp. Dig [C]. 1996: 1157- 1160.
- [3] V Radisic, Y Qian, T Itoh. Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. , 1998, 8(1): 13- 14.
- [4] M P Kesler, J G Maloney, B L Shirley. Antenna design with the use of photonic bandgap materials as all dielectric planar reflectors [J]. Microwave Opt. Tech. Lett. , 1996, 11(4): 169- 174.
- [5] Y Qian, R Coccioli, D Sievenpiper, V Radisic, E Yablonovitch, T Itoh. A microstrip patch antenna using novel photonic band gap structures [J]. Microwave J. , 1999, 42(11): 66- 76.
- [6] Ramon Gonzalo, Peter de Maagt, Mario Sorolla. Enhanced patch antenna performance by suppressing surface waves using photonic bandgap structures [J]. IEEE Trans. Microwave Theory Techniq, 1999, 47(11): 2131- 2138.
- [7] Ian Rumsey, Melinda Picket-May, P Keith Kelly. Photonic bandgap structure used as filters in microstrip circuits [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. , 1998, 8(10): 336- 339.

- [8] Veana Radisic, Yongxi Qian, Roberto Coccioli, Tatsuo Itoh. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines [J]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. , 1998, 8(2): 69- 71.

作者简介:



付云起 男. 1975 年 12 月生于天津宝坻. 国防科技大学电磁场与微波技术专业博士生, 目前主要进行相控阵天线、宽带天线、电磁散射等方向的研究.

袁乃昌 男. 1965 年 12 月出生. 工学博士, 国防科技大学教授、博士生导师, 美国纽约科学院院士, 美国科学学会高级会员, 被选为跨世纪人材及学科带头人, 先后在 IEEE、电子学报等国内外刊物上发表论文 60 余篇, 出版专著两本. 现研究领域为微波毫米波电路、电磁散射以超宽带技术等.