

# 具有分形特征的 PBG 微带线

付云起, 张国华, 袁乃昌

(国防科学技术大学光子晶体研究中心, 湖南长沙 410073)

**摘 要:** 提出了具有分形特征的光子带隙结构微带传输线, 用类似于塞尔宾斯基垫结构代替一般的方孔, 在微带传输线的接地板上开孔. 对不同生长维数的塞尔宾斯基垫结构进行了实验研究, 结果得到了与谐振无关的双频率带隙.

**关键词:** 光子带隙; 分形; 微带线

**中图分类号:** TN45 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2002) 06-0913-03

## A PBG Microstrip Line with Fractal Characteristics

FU Yunqi, ZHANG Guohua, YUAN Naichang

(Photonic Crystal Research Center, National University of Defense Technology, Changsha, Hunan 410073, China)

**Abstract:** A novel fractal microstrip PBG structure is proposed. It is realized by replacing the etched rectangular holes in the ground plane with a Sierpinski-like carpet. Dualstopband characteristic not related to harmonics is observed. Different number of iterations of Sierpinski carpet has been studied experimentally.

**Key words:** PBG; fractal; microstrip line

### 1 引言

光子带隙 (Photonic Bandgap, PBG) 结构是具有带阻特性的周期性结构<sup>[1]</sup>, 位于频率带隙内的电磁信号将不能传输. 最先在光学领域提出, 但是后来被扩展到很宽的频率范围, 包括微波频段. 近几年适用于微带线的二维和一维的 PBG 结构已经被提出<sup>[2~6]</sup>, 在微带线的接地板上集成一定周期结构的孔阵, 在周期性决定的谐振频率附近, 表现出一个频率带隙, 阻止微波信号的传输, 这可以用来有效的抑制有源电路中高次谐波的影响.

由于存在周期特性, 大多数 PBG 结构都表现出周期性的频率带隙. 由高次谐波产生, 很难控制. 然而在某些情况下, 需要得到双频段或多频段的频率带隙, 尽管可以扩展 PBG 结构频率带隙的宽度, 但是在很多情况下是不能达到要求的, 尤其各个中心频率相距比较远, 频率带隙的带宽不能完全覆盖. 在所提出的 PBG 结构中, PBG 单元大多数都采用很简单的几何形状, 比如圆形、矩形等等, 这里我们提出利用具有分形特征的单元来构成 PBG 结构, 希望能够获得双频段的频率带隙, 并且频段的谐振中心由单元的几何特征来决定. 大多数的分形结构都具有自相似的形状, 这意味着它们的某一部分在经过一定比例的扩展之后和原来的结构是一样的<sup>[7]</sup>. 分形结构的自相似性可以产生多频段特性, 一些塞尔宾斯基垫结构的分形天线在文[8~11]中被提出, 并且讨论了它们的工作特性, 得到了双频和多频响应. 文[12]中研究了一类具有塞尔宾

斯基垫结构的薄铜膜的表面阻抗性能, 并推导了计算公式; 文[13]分析了由塞尔宾斯基垫结构构成的频率选择表面 (FSS), 也得到了多频段的响应特性. 这里采用一类塞尔宾斯基垫结构作为 PBG 结构的单元, 再周期排列形成 PBG 结构. 但这里的塞尔宾斯基垫和文[7]中的结构是有区别的. 在微带线的接地板上, 我们在一般 PBG 结构单元的方孔的边上按照一定的比例蚀刻一小块金属板. 对这种分形结构不同迭代次数的实例进行了研究, 并且和具有方孔的 PBG 结构的性能进行了比较. 给出了所测量的 PBG 微带线的传输系数.

### 2 分形 PBG 结构设计

首先设计了一个一般的 PBG 传输线, 在微带线的接地板上蚀刻一系列方孔. 设计时按照文[2]和[3]中的方法. 周期间距取为  $d = K_g/2$ , 其中  $K_g$  是标准微带线的导波波长, 方孔的边长取为  $d = 2a$  的关系, 这是所得到的最优化的结构, 阻带内具有较大的衰减, 通带的起伏又在可接受的范围之内. 整个结构如图 1. 由于方孔是很简单的几何结构, 为了获得更复杂的性能, 就需要采用更为复杂的结构, 这里我们只对 PBG 单元的结构进行研究. 引入了分形的结构形式作为 PBG 结构的单元, 分形 PBG 单元的结构和塞尔宾斯基垫很类似, 在方孔的边上, 一部分空间被小的金属板所填充, 如图 2 所示.

这种结构被集成到微带线的接地板上, 取代前面所用到的方孔形状. 如果以这种方式进行不同次数的填充, 就可以得到更复杂的结构, 在图 2(a) 中, 金属板的大小是  $a_1 @ a_1$ , 其中

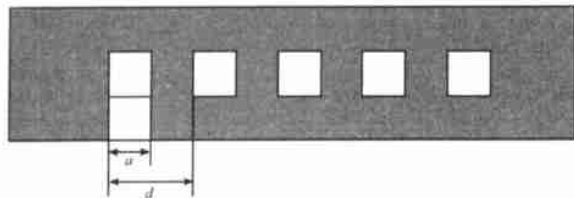


图1 一般的 PBG 微带线结构,接地板一面

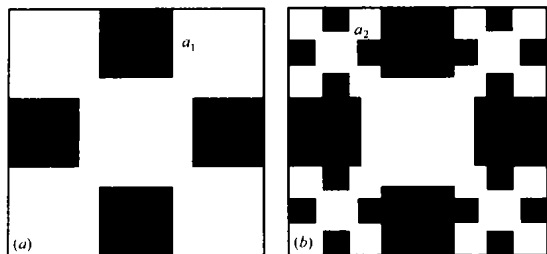


图2 具有分形结构的 PBG 单元( a )一次迭代; ( b )二次迭代

$a = 4a_1$ ; 在图 2( b )中,  $a_1 = 4a_2$ . 金属板被蚀刻在方孔每一边的中间, 这样就可以形成塞尔宾斯基垫的分形结构, 但是稍有不同. 从细节上看, 这并不是严格的分形结构, 因为某些部分不是整体结构的简单缩小, 比如在第二个迭代, 方孔的四个角并不是闭合的, 有一个空隙和方孔的中间相连接. 但可以认为它是准分形结构, 也具有自相似性, 用这种结构作为单元构成 PBG 结构, 就可以得到与一般 PBG 结构不同的特性.

### 3 测量结果及分析

制作了三种 PBG 微带线: 一个是图 1 中的一般 PBG 微带线, 另外两个是具有分形单元的 PBG 微带线, 迭代次数分别是 1 和 2. 对于微带线这种简单结构, 五个单元所组成的周期结构就可以获得频率带隙, 这在文[ 2, 3 ]中已经得到了证实. PBG 微带线印制在介质板上(  $E_r = 21.65$ ,  $h = 1$  毫米). 确定频率带隙的中心频率为 5GHz, 结构参数按照文献[ 2 ]的设计原则可以得到:  $d = 211.3$  毫米,  $a = 101.2$  毫米. 所制作的三种 PBG 微带线的照片在图 3 中给出. 用微波网络分析仪测量了它们的传输特性, 结果在图 4 中给出.

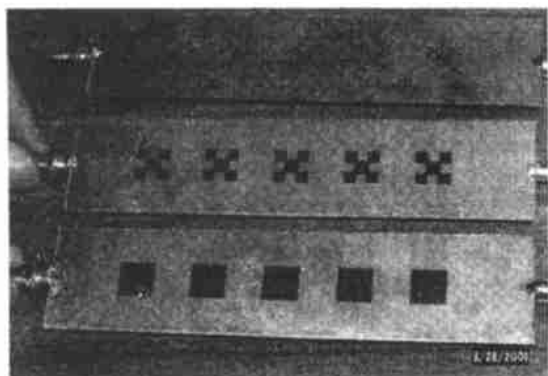
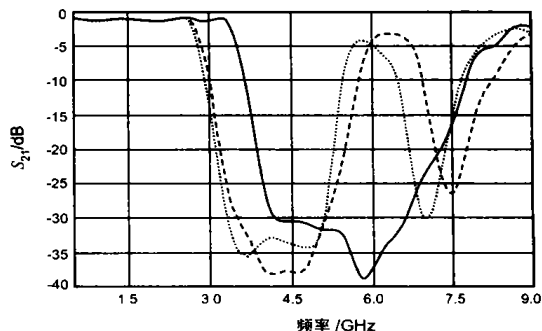


图3 三种 PBG 微带线的照片, 最下面的是标准结构,

上面的两个具有分形特征

标准 PBG 微带线在谐振频率附近具有比较宽的频率带

隙, 然而分形的 PBG 微带线表现出双频率带隙, 第一个频率中心在 4GHz, 第二个在 7GHz. 这主要是由于 PBG 单元的分形特征形成的. 1 次迭代和 2 次迭代下 PBG 结构的频率带隙特性基本上是一致的, 在谐振频率和阻带的衰减等方面只略有差别. 所以 1 次迭代的分形结构就已经可以产生预期的效果. 如果调整分形结构本身的几何特征, 比如分形比例、分形维数乃至分形结构本身, 就能得到不同谐振频率上的频率带隙.

图4 测得的  $S_{21}$  参数( 实线: 矩形孔; 点划线: 分形结构, 一次迭代; 虚线: 分形结构, 二次迭代)

### 4 结论

设计了一种新型的分形 PBG 微带线, PBG 结构的单元由具有分形特征的塞尔宾斯基垫来代替方孔和圆孔. 所提出的结构表现出双频段的频率带隙特性, 其谐振频率可以通过调整分形单元结构本身改变, 可以解决对双频和多频段频率带隙的需求问题. 这种结构的频率带隙特性将能抑制有源电路中的多次谐波, 而将谐波中间的有用频率分量留出来, 同时也克服了由于需要滤波的信号频率相距较远时寻求宽频带光子带隙结构的困难.

### 参考文献:

- [ 1 ] E Yablonovitch. Photonic bandgap structures [ J ]. J Opt Soc Amer B, 1993( 10 ): 283- 295.
- [ 2 ] V Radisic, Y Qian, R Coccioli, T Itoh. Novel 2D photonic bandgap structure for microstrip lines [ J ]. IEEE Microwave and Guided Wave Lett, 1998( 8 ): 69- 71.
- [ 3 ] F Falcone, T Lopetegui, M Sorolla. 2D and 2D photonic bandgap microstrip structures [ J ]. Microwave Opt Technol Lett, 1999, 22( 9 ): 411 - 412.
- [ 4 ] T Lopetegui, M A G Laso, M J Erro, D Benito, M J Garde, F Falcone, M Sorolla. Novel photonic bandgap microstrip structures using network topology [ J ]. Microwave Opt Technol Lett, 2000, 25( 4 ): 33- 36.
- [ 5 ] M A G Laso, T Lopetegui, M J Erro, D Benito, M J Garde, M Sorolla. Novel wideband photonic bandgap microstrip structures [ J ]. Microwave Opt Technol Lett, 2000, 24( 3 ): 357- 360.
- [ 6 ] Quan Xue, K M Shum, Chi Hou Chan. Novel perforated microstrip PBG cell [ J ]. Microwave Opt Technol Lett, 2000, 26( 9 ): 325- 327.
- [ 7 ] Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature [ M ]. California: Freeman Company, 1982.
- [ 8 ] C Puente, J Romeu, R Pous, X Garcia, F Benitez. Fractal multiband ant

tenna based on the Sierpinski gasket [J]. Electron. Lett., 1996, 32(1): 1- 2.

- [ 9] C Puente, J Rameu, R Pous, A Cardama. On the behavior of the Sierpinski multiband antenna [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1998, 46(4): 517- 524.
- [10] C P Baliarda, C B Borau, M N Rodero, J R Robert. An iterative model for fractal antennas: application to Sierpinski gasket antenna [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2000, 48(5): 713- 719.
- [11] J Chang, S Jung, S Lee. Triangular fractal antenna [J]. Microwave Opt Technol Lett, 2000, 27(5): 41- 46.
- [12] E Troncet, G Ablart, L Allam. Microwave characterization and modeling of the surface impedance of fractal structure copper films [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 1998, 46(3): 434- 441.
- [13] J Romeu, Y R Samii. Fractal FSS: a novel dualband frequency selective surface [J]. IEEE Trans Antennas Propagat, 2000, 48(7): 1097- 1105.

#### 作者简介:



付云起 男, 1975 年出生于天津, 国防科技大学电磁场与微波技术专业博士生, 目前主要进行光子晶体、相控阵天线、电磁散射等方向的研究, 已在国内外发表论文十余篇。



张国华 男, 1976 年出生于河南洛阳, 国防科技大学电磁场与微波技术专业博士生, 目前从事光子晶体、超宽带理论与技术、目标散射特性等方面的研究, 已发表论文数篇。