

文章编号 :1001-2486(2001)00-0120-03

## 适合于电路集成的 PBG 结构微带线\*

付云起 袁乃昌 张国华

(国防科技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支撑的微带线。采用在接地板上光刻出光子带隙结构形成新型的微带线,利用 FDTD 数值仿真和实验的方法进行了研究。分析了方孔的情况,并对三级级联光子带隙结构构成滤波器的情况进行了研究。给出了频率传输特性曲线,验证了此种结构频率禁带的存在。

**关键词** 光子带隙;微带线;FDTD

**中图分类号** :TN817 **文献标识码** :A

## PBG Microstrip Lines Compatible with Circuits Integration

FU Yun-qi, YUAN Nai-chang, ZHANG Guo-hua

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** The characteristics of microstrip lines supported by photonic bandgap (PBG) structures are studied. Defected ground planes have been adopted to build up novel microstrip lines. Numerical simulation based on FDTD method and experiments have been carried out. The cases of rectangular holes and a filter constructed by cascaded PBG lines have been studied. Frequency transmission curves are given, and the existence of a bandgap is proved.

**Key words** PBG; microstrip line; FDTD

光子带隙(Photonic Bandgap, PBG)结构<sup>[1]</sup>是具有带阻特性的周期结构,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。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有用的,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<sup>[2]</sup>,增加功率放大器的效率和输出功率<sup>[3]</sup>等。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<sup>[3]</sup>,在介质基板中填充其他材料或金属,等等。但是这些方式在加工上具有一定的难度,尤其对于目前微波电路的集成化发展来说,不能很好地相互融合。我们主要研究了在微带传输线的底板上光刻成型周期性的结构,表现出 PBG 特性。实验考察了方孔的情况,并且考察了不同的 PBG 进行级联时的特性。给出了实验测量的结果,证明了这种 PBG 结构的可行性。

## 1 光子带隙微带结构分析

FDTD 法于 1966 年由 K.S. Yee<sup>[4]</sup>提出,它是一种时域方法,和其它方法相比, FDTD 法有其优点。首先,它直接由 Maxwell 方程出发推导而来,因此理论上讲是精确的;其次,这种计算方法具有广泛的适用性,可以处理各种形状、多种材料的复杂结构系统;另外,时域有限差分法还可以在一次计算中得到系统的宽带响应,对系统频率特性的研究有重要意义。因此 FDTD 方法在微波电路的分析中有突出的作用。

一般地来讲, PBG 结构的特性主要由以下因素决定: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<sup>[5]</sup>。我们这里的 PBG 结构如图 1 所示,聚四氟乙烯介质衬底的厚度( $h = 1$  毫米)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孔的尺寸,孔之间的距离,以及周期单元的数目。根据文献[6]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限制在其周围很小的距离之内的。在纵向我们这里就取 5 个单元,这样一来,就只要研究孔的尺寸、孔之间的距离  $d$  这两个因素的影响。一般来说,阻带的中心频率  $f_0$  是此

\* 收稿日期 2001-02-22  
作者简介:付云起(1975-)男,博士生。

结构周期性的函数,也就是说与  $d$  相关,在频率  $f_0$  的导波波长是周期间距  $d$  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多了,但是对于比较小的  $a/d$  的情况,利用这个关系可以估计阻带的中心频率  $f_0$ 。我们设计的 PBG 微带线接地板上蚀刻的周期结构采用矩形方格,如图 1 所示。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,  $50\Omega$  特性阻抗对应的线宽度为  $2.7\text{mm}$ 。我们把 PBG 结构的中心频率取在  $5\text{GHz}$ ,可以计算对应的导波波长是  $40.3\text{mm}$ 。在文献 [6] 中给出的圆孔  $a/d$  的最佳值为  $0.5$ ,在这个条件下,阻带的深度和通带的起伏都是在比较理想的情况。

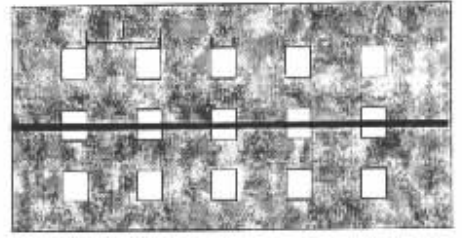


图 1 PBG 微带线结构

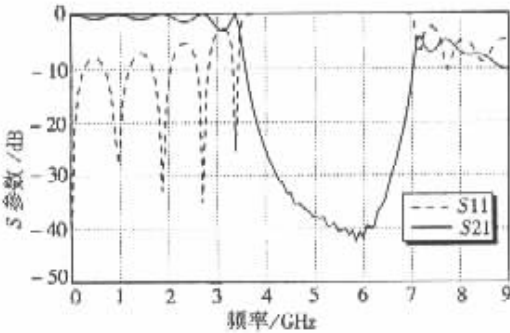
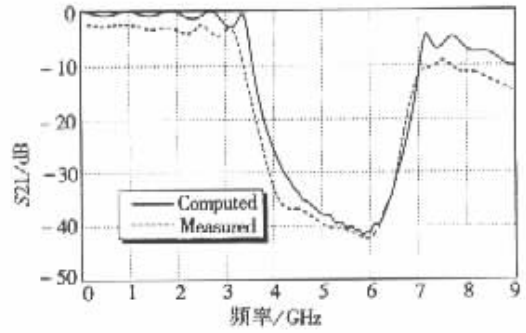
Fig.1 PBG microstrip line structure

我们按照这个尺寸等效到方孔进行数值仿真和实验,计算中的吸收边界条件采用的是目前广泛应用的完全匹配层(PML)条件,实际计算中使用了 5 层 PML。为了得到 PBG 微带结构的阻带特性,激励源采用瞬态脉冲,通过在金属导带和接地板之间引入 Gauss 变化的跨接电场来实现。为了得到完全匹配情况下 PBG 结构对微带线的影响,将微带线两端伸入 PML 层中,吸收微带馈电端和终端的反射。在微带线的激励端和终端分别设置两个参考面,记录两个参考面上的电场值随时间的变化,通过 Fourier 变换和相关处理,可以得到 PBG 微带结构的  $S_{11}$  和  $S_{21}$  参数,从中可以看出微带线的宽带频响。

## 2 数值仿真与实验结果

我们采上面所述的方法编制了计算程序,计算了如图 1 所示的 PBG 微带线结构,其中  $d = 20\text{mm}$ ,  $a = 10\text{mm}$ ,微带线板的长度为  $120\text{mm}$ ,宽度为  $80\text{mm}$ 。 $S_{11}$ 、 $S_{21}$  参数的数值仿真结果如图 2 所示。从图中可以看出在  $3 \sim 7\text{GHz}$  之间有一个非常明显的禁带。

我们根据上面的尺寸参数实际制作了 PBG 微带线,用网络分析仪测量了它的  $S_{21}$  参数并与仿真结果进行了比较,比较结果如图 3。可以看出两者吻合得比较好,仿真所得的禁带中心频率、宽度以及禁带深度都与实测结果符合。

图 2 计算的 PBG 微带线  $S$  参数Fig.2 Computed  $S$  parameters of PBG microstrip line图 3 微带线  $S_{21}$  参数计算与测量结果比较Fig.3 Comparison of computed and measured  $S_{21}$  parameters of the PBG microstrip lines

为了得到 PBG 周期结构参数对微带线禁带特性的影响,我们对不同参数的 PBG 微带结构进行了数值仿真。图 4 是微带蚀刻周期结构的周期  $d = 25\text{mm}$  时的  $S$  参数仿真结果。与图 2 比较可以看出,微带禁带的中心频率是与 PBG 结构的周期相关的。文献 [6] 中指明禁带中心频率  $f_0$  是 PBG 结构周期  $d$  的函数,  $f_0$  点处的波导波长是  $d$  的两倍,我们的计算结果验证了这一观点。另外在图 4 中还可以看出,在  $f_0$  的倍频位置还有一个非常明显的禁带,这是 PBG 微带结构作为一种周期结构所固有的特性。

图 5 是在保持  $d = 20\text{mm}$  不变的情况下,将蚀刻周期孔的边长减小为  $a = 6\text{mm}$ ,仿真所得到的结果。对比图 2、图 5 可以看出,禁带中心频率基本相同,而禁带的宽度和深度则有了明显的变化,因此禁带的

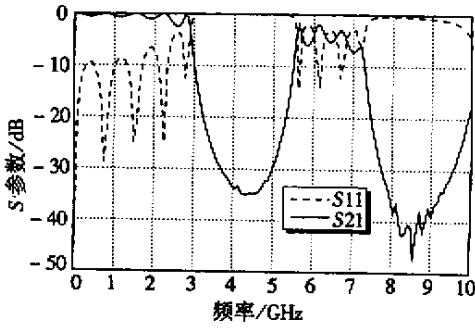


图 4 周期  $d = 25\text{mm}$  时微带线的  $S$  参数

Fig.4  $S$  parameter of PBG microstrip line with  $d = 25\text{mm}$

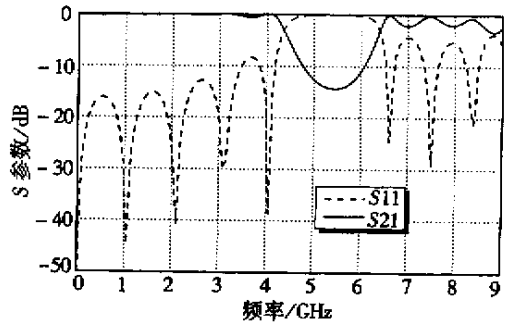


图 5 孔边长  $a = 6\text{mm}$  时 PBG 微带线  $S$  参数

Fig.5  $S$  parameter of PBG microstrip line with hole size  $a = 6\text{mm}$

宽度和深度取决于周期孔的大小。

我们还制作了一个 PBG 级联微波滤波器结构，测量得到的传输系数曲线如图 6。表现了非常明显的阻带特性。当然因为三级串联时由于相互间的耦合，PBG 结构的特性也不是简单地与我们所设计的单级的一致，但是可以作为一种滤波结构，使微带电路更紧凑。

### 3 结论

本文研究了 PBG 微带线结构，利用 FDTD 得到了其  $S$  参数的仿真结果，并与实验结果进行了比较。PBG 微带线结构具有明显的频率禁带，其禁带中心频率是 PBG 结构周期的函数，而周期结构的尺寸则影响禁带的宽度和深度。因此可以选择 PBG 结构参数来设计光子带隙微带线结构，以获得实际应用中所需要的禁带特性。PBG 结构可广泛应用于微波电路和天线。

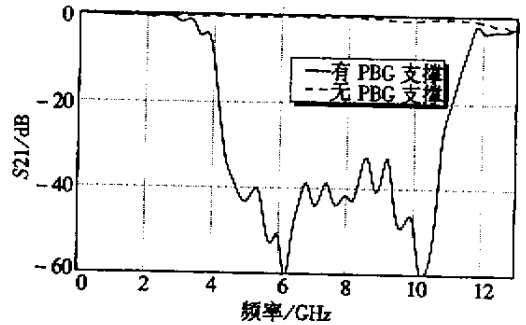


图 6 测量的级联 PBG 结构的  $S_{21}$  参数

Fig.6 Measured  $S_{21}$  parameter of cascaded PBG structures

### 参考文献：

- [ 1 ] Yablonovitch E. Photonic band-gap structures [ J ]. J. Opt. Soc. Amer. 1993, 10 ( 2 ) : 283.
- [ 2 ] Ellis T J, Rebeiz G M. MM-wave tapered slot antennas on micromachined photonic bandgap dielectrics [ C ]. IEEE MIT-S, Int. Microwave Symp. Dig. June 1996 : 1157-1160.
- [ 3 ] Radisic V, Qian Y X, Itoh T. Broadband power amplifier using dielectric photonic bandgap structure [ J ]. IEEE Microwave Guided Wave Lett. , 1998, 8 ( 1 ) : 13-14.
- [ 4 ] Yee K S. Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell 's Equations in Isotropic Media [ J ]. IEEE Trans. AP, 1966, 14 ( 2 ) : 302-307.
- [ 5 ] Taflove A. Advances in computational electromagnetics-the finite difference time-domain method [ M ]. Artech House, Boston London, 1998 : 396.
- [ 6 ] Radisic V, Qian Y X, Coccioli R, Itoh T. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines [ J ]. IEEE Microwave and Guided Wave Lett. , 1998, 8 ( 2 ) : 69-71.



