

文章编号:1001-9014(2004)02-0135-04

# 一种基于光子带隙结构的宽阻带低通滤波器

刘海文<sup>1,2</sup>, 孙晓玮<sup>2</sup>, 李征帆<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学电子工程系, 上海 200030;

2. 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 上海 200050)

**摘要:**提出了两种新颖的基于光子带隙结构微带线的宽阻带低通滤波器. 该滤波器分别采用了T形和十字形短截线来构造. 文中还讨论了该滤波器的传输特性. 该滤波器设计和制作简易. 最后给出的该低通滤波器的模拟结果和测试结果, 表明了该滤波器设计的有效性.

**关键词:**低通滤波器; 光子带隙(PBG); 微带线; 时域有限差分法(FDTD)

**中图分类号:**TN45; TN713 **文献标识码:**A

## LOW-PASS FILTERS OF WIDE STOP-BAND BASED ON PHOTONIC BAND-GAP STRUCTURES

LIU Hai-Wen<sup>1,2</sup>, SUN Xiao-Wei<sup>2</sup>, LI Zheng-Fan<sup>1</sup>

(1. Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy Sciences, Shanghai 200050, China)

**Abstract:** Two novel low-pass filters (LPFs) of wide stop-band based on the structure of photonic band-gap (PBG) and the structure of microstrip are proposed. The proposed filters were made of a PBG microstrip structure with T-junction opened stubs and cross-junction opened stubs, respectively. The transmission characteristics of the proposed filters were also discussed. The new LPFs are easy to design and fabricate. Finally, The simulated and experimental results verify the validity of the proposed LPFs.

**Key words:** low-pass filter; photonic band-gap (PBG); microstrip; finite-difference time-domain

### 引言

近几年,将光子带隙(PBG)结构应用于微波毫米波电路设计<sup>[1-9]</sup>,用来滤除高次谐(杂)波渐成热点.在PBG结构中<sup>[10,11]</sup>,某些频率落在光子带隙内的电磁波,被完全禁止在PBG结构中传播.因此,采用PBG结构作为衬底,可实现选频滤波.但是,PBG结构具有周期性的频率带隙特性,这些周期性带隙主要由高次谐波产生,很难控制. Rumsey<sup>[12]</sup>提出了在同一平面上级联不同周期PBG结构的方法来消除高频部分的周期频率带隙. Kim<sup>[13]</sup>提出在同一平面上将不同周期PBG结构并列排列的形式,来消除高次谐波. Caloz<sup>[14]</sup>设计了一种将两个以上PBG

结构叠加起来的多层结构的低通滤波器.

大多数PBG结构的滤波器设计重点是寻求和构造合适的PBG结构,信号传输一般采用一根直的微带线.本文提出一种新颖的、基于PBG结构的宽阻带低通滤波器,首次提出将PBG结构和微带线结构结合起来设计滤波器的方法.该方法采用具有T形或十字形短截线的微带线代替普通直线微带线,只需在接地板上刻蚀一系列PBG结构,即可获得性能良好的宽阻带低通传输特性.模拟和测试结果表明它的有效性.

### 1 PBG结构低通滤波器的设计

本文提出的基于PBG结构的低通滤波器的结

收稿日期:2003-06-18,修回日期:2003-12-10

Received date: 2003-06-18, revised date: 2003-12-10

基金项目:国家863计划招标基金(2002AA135270)和上海市应用材料研究与发展基金(0109)资助项目

作者简介:刘海文(1975-),男(汉族),湖南邵阳人,上海交通大学博士研究生,主要从事光子晶体、HBT器件、微波VCO和MMIC等研究.

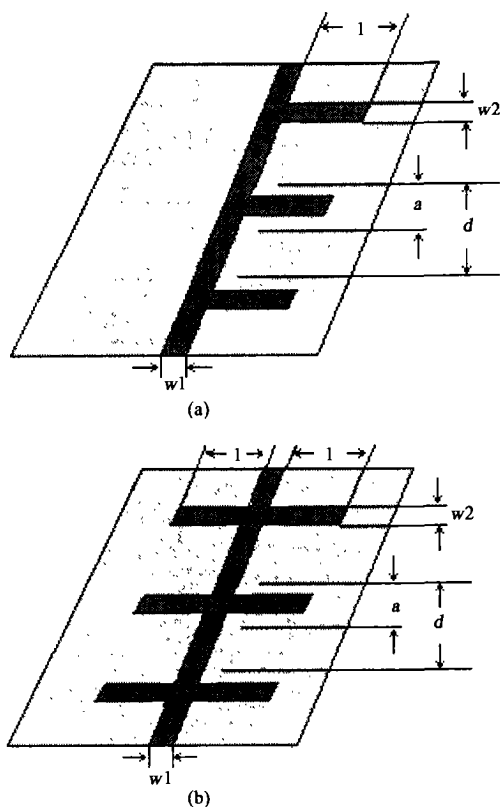


图1 本文提出的基于PBG结构的低通滤波器的结构示意图(a)T形开路短截线(b)十字形开路短截线  
Fig.1 Schematics of designed low-pass filters based on PBG. (a) Microstrip with T-junction opened stub (a) Microstrip with cross-junction opened stub

构如图1所示。图1(a)顶层是带T形开路短截线的50Ω微带线,图1(b)中是带十字形开路短截线的50Ω微带线。微带线下面是由聚四氟乙烯构成的介质层(介电常数为2.22,厚度为0.254mm)。该介质下面是一层刻蚀有正方形方孔的PBG结构的接地板。微带线和接地板材料为铜,其表面镀金。选取带隙中心频率 $f_0$ 为5GHz,因此50Ω微带线线宽 $w_1$ 约为0.78mm。该工作频率下介质中导波波长 $\lambda_g$ 约为43.6mm。T形开路短截线和十字形开路短截线线宽 $w_2=0.78$ mm,线长 $l=10.9$ mm( $\lambda_g/4$ )。接地板上PBG结构中的方孔间距最佳值 $d$ 约为 $\lambda_g/2$ ,即21.8mm,方孔边长最佳约为 $d/2$ ,即10.9mm。

## 2 低通滤波器传输特性的分析

以图1(a)中所示具有T形开路短截线的PBG结构的低通滤波器为例,运用时域有限差分法(FDTD),分析其传输特性。

### 2.1 短截线长度 $l$ 对滤波器传输特性的影响

分别取 $l=8$ mm,10.9mm和21.8mm,其传输特

性如图2所示。由图2可知,随着 $l$ 增加,该滤波器的截止频率减小。其原因是当改变开路短截线长度 $l$ ,开路短截线的串联谐振频率随之改变,从而改变了滤波器的截止频率。

### 2.2 PBG结构方孔边长 $a$ 对滤波器传输特性的影响

分别取PBG结构方孔边长 $a=5$ mm、10.9mm和16mm,其传输特性如图3所示。由图3分析可得, $a$ 的变化对滤波器的截止频率影响很小。但是, $a$ 的变化对通带内波纹影响却较大。与 $a=5$ mm和16mm两种情况下相比,当 $a=10.9$ mm(即 $\lambda_g/4$ )时,通带内波纹起伏较小,结果比较理想。该 $a$ 值选取结果与PBG经验公式<sup>[7]</sup>计算选取 $a$ 值的结果是吻合的。

### 2.3 与Rumsey方法和Kim方法设计的PBG结构低通滤波器的比较

Rumsey<sup>[11]</sup>提出了一种同一平面上级联不同周期PBG结构的方法来消除高频部分的周期频率带隙,来实现低通滤波特性。此处,我们选取带隙中心频率为5GHz和10GHz两种PBG结构级联构成的PBG结构。Kim<sup>[12]</sup>提出一种在同一平面上将不同周期PBG结构并列排列的结构,来消除高次谐波。此外,我们选取带隙中心频率为5GHz和7.5GHz两种PBG结构并联构成的PBG结构。比较上述两种方法构成的PBG结构低通滤波器与本文图1(a)所示结构的低通滤波器的传输特性,三者的模拟结果如图4所示。

由图4分析可知,Rumsey方法设计的低通滤波器具有很好宽带阻带特性,但是,通带内波纹起伏明显大于其他两种方法的波纹起伏,而且,该滤波器需要占用很大的面积。本文方法和Kim方法设计的低通滤波器,通带内波纹起伏小于1dB。另外,本文方法

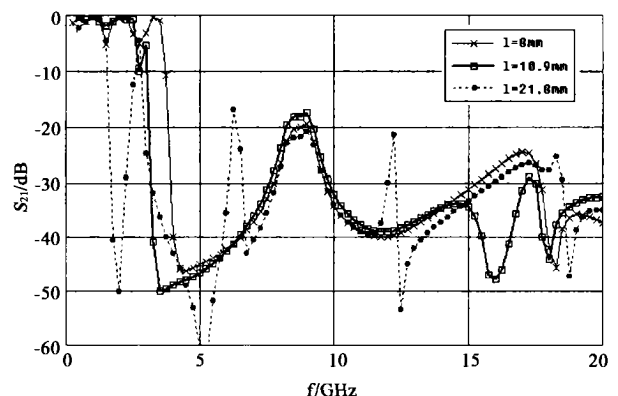


图2 不同的短截线长度 $l$ ,滤波器传输特性( $S_{21}$ )的FDTD模拟结果

Fig.2 Simulated S-parameters for different length  $l$  of the stub.  $l=8$ mm, $l=10.9$ mm and  $l=21.8$ mm

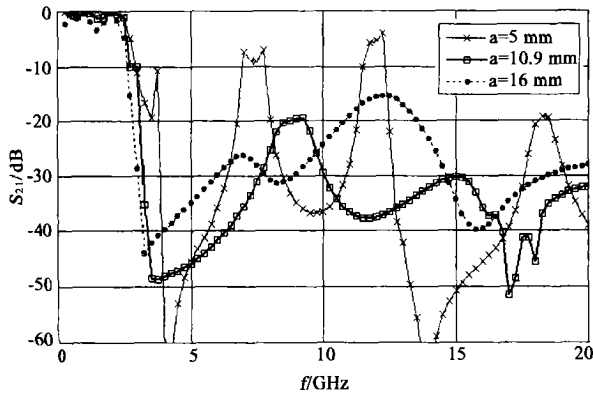


图3 不同PBG结构方孔边长 $a$ ,滤波器传输特性( $S_{21}$ )的FDTD模拟结果  
Fig. 3 Simulated S-parameters for different side length  $a$  of the square hole  $a = 5\text{mm}$ ,  $a = 10.9\text{mm}$  and  $a = 16\text{mm}$

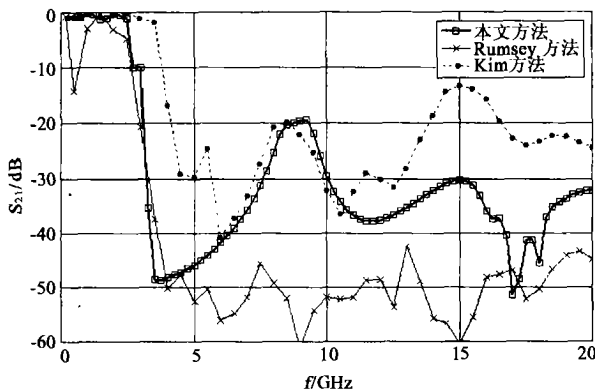


图4 基于本文方法、Rumsey方法和Kim方法设计的PBG结构低通滤波器,三者传输特性( $S_{21}$ )的FDTD模拟结果对比  
Fig. 4 Comparison of simulated results for the proposed low-pass filters with two LPFs using Rumsey's method and Kim's method respectively

设计的低通滤波器宽阻带特性优于Kim方法设计的低通滤波器,而且,占用电路面积很小。

### 3 模拟结果和测试结果

根据图1所示结构,制作了二个基于PBG结构的低通滤波器(分别采用T形和十字形短截线的微带线结构)。它们的传输特性如图5所示。

由图5知,由具有T形短截线和具有十字形短截线构成的PBG结构低通滤波器在低通频段(0.5 GHz~3GHz之间)传输系数 $|S_{21}|$ 大于-1dB;在高阻频段(3GHz~20GHz之间)传输系数 $|S_{21}|$ 小于-20dB,满足实际应用要求,并且,后者的宽阻带特性优于前者。图5还表明,模拟结果与实测结果基本吻合。本测试是在微波网络分析仪HP8722D上完成

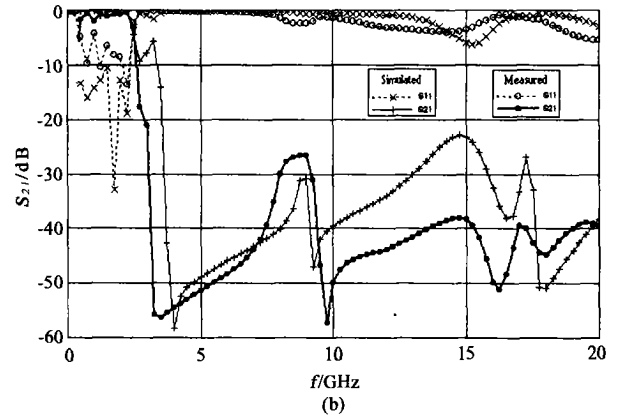
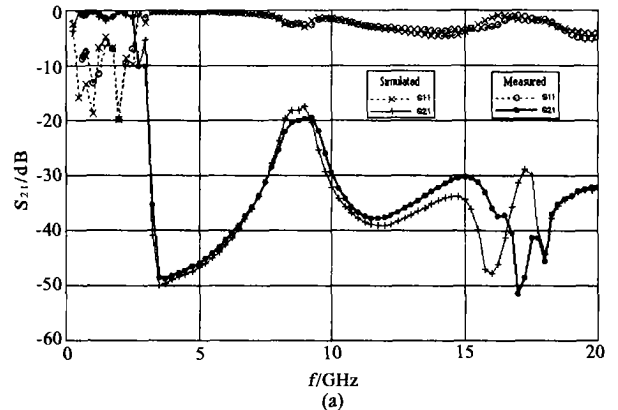


图5 本文设计的两个低通滤波器传输特性的模拟结果与测试结果(a)T形短截线(b)十字形短截线  
Fig. 5 Measured S-parameters for the proposed LPF with simulated data for comparison (a) microstrip with T-junction opened stub (b) microstrip with cross-junction opened stub

的,其工作频段为0.05GHz~40GHz。

### 4 结语

本文提出一种新颖的、基于PBG结构的宽阻带低通滤波器。该滤波器采用具有T形和十字形短截线的微带线代替普通直线微带线,并结合在接地板上刻蚀一列PBG结构,即可获得良好宽阻带低通传输特性。模拟和测试结果表明它的有效性。与以往PBG结构低通滤波器相比,它具有如下优点:(1)电路结构简单;(2)具有很好的宽阻带特性和较小的通带波纹;(3)很低的插入损耗;(4)该结构易于实现,可应用于微波电路和天线设计。

### REFERENCES

- [1] Laso M G, Lopetegi T, Erro M J, et al. Novel wideband photonic bandgap structure [J]. *Microwave and Optical Tech. Lett.*, 2000, 24(5): 357-360
- [2] Radisic V, Qian Yongxi, Coccioni Roberto, et al. Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1998, 8(2): 69-71
- [3] Yang F R, Qian Yongxi, Itoh T. A novel uniplanar compact

- PBG structure for filter and mixer application [J]. *IEEE MTT*, 1999, **47**(11): 1509—1514
- [4] Coccioli R, Qian Yongxi, Itoh T. Aperture-coupled patch antenna on UC-PBG substrate [J]. *IEEE Trans. MTT*, 1999, **47**(11): 2123—2130
- [5] Caloz C, Itoh T. Multilayer and anisotropic planar compact PBG structure for microstrip application [J]. *IEEE Trans. MTT*, 2002, **50**(9): 2206—2208
- [6] Radisic V, Qian Yongxi, Itoh T. Broad-band power amplifier using dielectric photonic bandgap structure [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1998, **8**(1): 13—14
- [7] Rumsey I, Melinda Piket-May, Keith Kelly P. Photonic bandgap structure used as filters in microstrip circuits [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 1998, **8**(10): 336—339
- [8] Laso M A G, Mira, Martinez A, et al. Multiple-frequency-tuned photonic bandgap structure [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 2000, **10**(6): 220—222
- [9] YAN Dun-Bao, YUAN Nai-Chang, FU Yun-Qi, et al. Research on 1-D and 2-D PBG structure based on FDTD method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (闫敦豹, 袁乃昌, 付云起, 等. 基于 FDTD 的 1-D 和 2-D PBG 结构的研究. *红外与毫米波学报*), 2002, **21**(4): 281—284
- [10] Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**(20): 2059—2062
- [11] John S. Strong localization of photo in certain disordered dielectric superlattices [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, **58**(20): 2486—2489
- [12] Lim J S, Kim C S, Lee Y T, et al. Design of lowpass filters using defected ground structure and compensated microstrip line [J]. *Electronics Letters*, 2002, **38**(22): 1357—1358
- [13] Kim T, Seo C, A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband [J]. *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, 2000, **10**(1): 13—15
- [14] Ahn D, Park Jun-Seok, Kim Chul-Soo, et al. A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure [J]. *IEEE MTT*, 2001, **49**(1): 86—93