

# 小型高性能 1-D PBG 结构及其在滤波器中的应用<sup>1</sup>

张文梅<sup>1,2</sup> 毛军发<sup>1</sup> 孙晓玮<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(上海交通大学, 上海, 200030)

<sup>2</sup>(中科院上海微系统与信息技术研究所, 上海, 200050)

Zhang Wenmei, Mao Junfa, and Sun Xiaowei

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai, 200030)

(Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology

Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200050)

**摘要:** 本文提出了一种新的用于小型化微波滤波器的一维光子带隙(PBG)结构, 并采用半导体材料做衬底, 用微电子工艺实现了这种结构。实际测试结果与模拟结果基本吻合。这种光子带隙结构单元的尺寸只有阻带中心频率上导波波长的 0.2~0.25, 得到的滤波器具有通带内纹波系数小, 通带到阻带的变化率很陡等特点。由四个周期新 PBG 结构组成的滤波器, 阻带抑制大于 60dB, 通带到阻带以及阻带到通带的变化率达到 40dB/GHz 和 10dB/GHz。同时, 由于采用微带 PBG 结构, 因而工艺简单, 便于与其他电路集成, 尤其适用于小型化应用。

**关键词:** 光子带隙结构(PBG) 带阻滤波器 小型化

## 1. 引言

光子带隙结构是由 UCLA 的 Yablonovitch 在 1987 年提出[1]。这种结构具有带阻特性。同时, 光子带隙结构还改变通带内的传播常数, 是一种慢波结构。因此, 在滤波器中得到广泛的应用[2-5]。[2][3]曾采用在接地板上打孔的方法来形成光子带隙结构, 这种方法会带来一些问题, 比如打孔后的接地板必须远离任何金属, 使得封装比较复杂。同时, 信号线相对于接地板上孔的位置也会影响传输特性, 给加工工艺也增加了复杂度。文献[4]采用将光子带隙结构夹在信号线与接地板中间, 这种结构避免了封装的问题, 但仍然存在工艺问题, 而且结构复杂, 阻带很窄, 阻带内衰减小。基于以上原因, 文献[5]直接将信号线做成周期结构, 得到了用于低通滤波器的光子带隙结构。

本文提出一种新的用于滤波器的光子带隙结构, 这种光子带隙结构采用文献[5]中的方法, 直接在微带线上引入附加的电容和电感, 从而避免了封装的问题。同时, 由于其特殊的结构, 实现的滤波器通带内损耗小, 通带与阻带之间的转换斜率很大。这种新的光子带隙结构单元的周期只有导波波长  $\lambda_e$  的 1/5~1/4, 可以单独使用。由四个周期这种新 PBG 结构组成的滤波器, 阻带抑制大于 60dB, 通带到阻带以及阻带到通带的变化率达到 40dB/GHz 和 10dB/GHz。同时, 由于采用微带 PBG 结构, 因而工艺简单, 加工方便, 便于与其他电路集成, 尤其适用于小型化应用。

## 2 光子带隙结构单元的设计

本文提出的新的光子带隙结构单元上下、左右对称, 如图 1 所示, 各边的宽度如图所示, 为了设计方便, 一般可取  $a=b=c=d$ 。e、f、g 可以根据实际需要进行调整。从结构上来说,

<sup>1</sup> 国家 863 计划项目(2002AA1Z1520, 2002AA135270)与上海市科技发展基金重点项目(015115049)资助。

加载在微带线上的狭长的臂以及各臂之间的缝隙相当于给电路附加了电感、电容，引入了一个等效的LC网络，从而提高了介质中的传播常数，使得在给定结构尺寸的情况下，降低电路的截止频率。换言之，在给定频率的情况下，就可以减小PBG结构单元的长度。

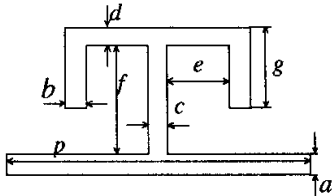


图1 一种新的PBG结构单元

### 3 模拟和测量结果

采用本文提出的新的光子带隙结构实现的滤波器如图2所示，两边直接与50Ω微带线连接，所用介质基板的介电常数为 $\epsilon_r=12.6$ ，厚度 $h=0.25\text{mm}$ 。各边的长度分别为： $a=b=c=d=0.09\text{mm}$ ， $e=0.34\text{mm}$ ， $f=0.53\text{mm}$ ， $g=0.44\text{mm}$ ， $p=1.14\text{mm}$ ，滤波器的总长度为4.56mm，模拟及测量的S参数的如图3(a)、(b)所示。从图3可以知道，所实现的带阻滤波器的阻带中心频率为 $f_0=18\text{GHz}$ ，在 $f_0$ 的导波波长 $\lambda_e=5.84\text{mm}$ 。可见，新的光子带隙单元的长度为 $\lambda_e$ 的0.195，相当于自由空间中波长 $\lambda_0$ 的0.068，滤波器的总长度分别为为 $\lambda_e$ 的0.78。



图2 用新的PBG结构实现的滤波器

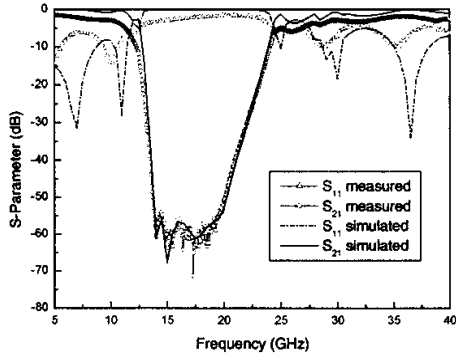


图3 四个单元滤波器的模拟和测量结果

同时从图3可以看出，由四个单元的PBG结构实现的带阻滤波器具有高达-60dB以上阻带抑制，由通带到阻带以及由阻带到通带的衰减率分别高达40dB/GHz和10dB/GHz以上。与文献[2]~[5]相比，用这种新的PBG结构实现的带阻滤波器高频损耗相对更小。理论模拟与测量结果之间的偏差主要是由于模拟时所考虑的介质损耗小于实际损耗，以及测试系统的系统误差引起的。

本文还研究了 $g$ 、 $f$ 、 $e$ 变化时，滤波器特性的变化，模拟结果如图4、5、6所示。在图4和5中， $g$ 或 $f$ 增大时，滤波器的阻带中心频率减小，通带与阻带之间的转换速率基本不变，

阻带宽度基本不变。 $e$ 增大时,滤波器的中心频率减小,阻带宽度也减小。

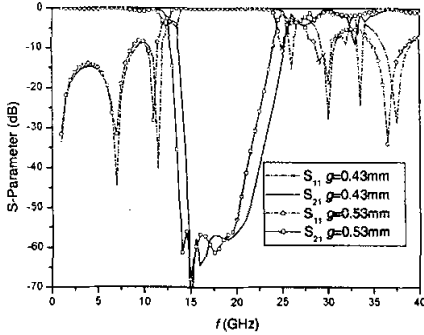


图4 g 改变时, S参数的变化

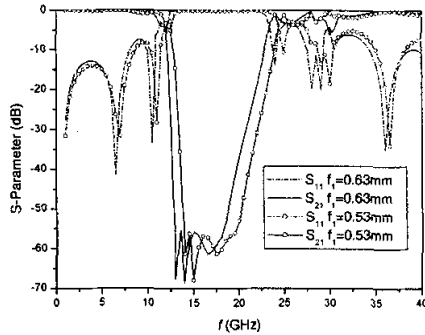


图5 f 改变时, S参数的变化

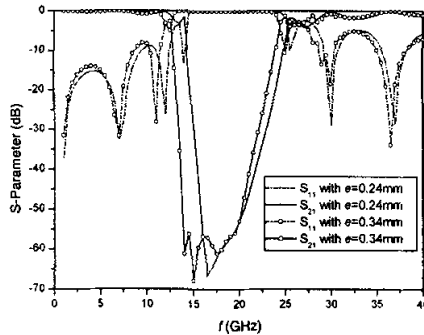


图6 e 改变时, S参数的变化

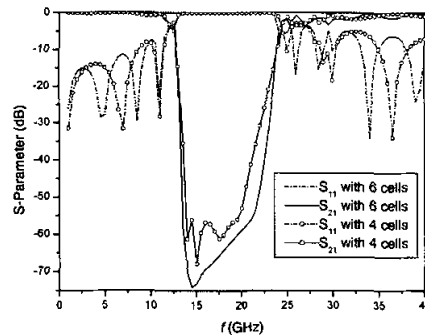


图7 六个单元滤波器的S参数

通常,增加PBG的单元数,可以增大通带与阻带之间的转换速率,但通带损耗也会略有增加,尺寸也增大。图7是六个单元时,滤波器S参数模拟结果,以及四个单元的比较。可见,六个单元滤波器的S参数与理想滤波器的S参数基本接近,通带到阻带的衰减速率达到40dB/GHz。同时,与四个单元的比较可知,增加单元数可以增大由阻带到通带的转换速率,而由通带到阻带的转换速率由于在四个单元时基本已达到极限值,因而变化很小。

#### 4 结论

本文提出了一种新的宽阻带1-D光子带隙结构,单元长度约为阻带中心频率上导波波长的1/5~1/4。由四个单元的PBG结构实现的带阻滤波器具有高达-60dB以上阻带抑制,由通带到阻带以及由阻带到通带的衰减率分别高达40dB/GHz和10dB/GHz以上。对增加PBG单元数给滤波器性能带来的影响也做了对比研究。由于采用微带PBG结构,因而这种滤波器工艺简单,便于实现与其它电路的集成。这种新的PBG结构也可用于耦合器,环形器等电路中。

#### 参考文献

1. E.Yablonovitch. Inhibited spontaneous semissionin solid-state physic sand electronics. Phys. Rev. Lett.,1987, 58(20): 2059 ~ 2062.
2. Vesna Radisic, Roberto Coccioli, "Novel 2-Dphiotonic Bandgap Structure for Microstrip

Lines," IEEE microwave and Guided wave letters, Vol.8, NO.2, Feb.,1998.

3. Taesun Kim and Chulhun Seo, "A Novel Photonic Bandgap Structure for Low-Pass Filter of Wide Stopband", IEEE Microwave And Guided Wave Letters, Vol. 10, No. 1, pp13-15, January 2000.
4. Yunbo Pang, Baoxin Gao, "A New Sandwich Structure of Photonic Bandgap", IEEE MTT-S Digest. Pp1157-1160.
5. Dusan Nestic, "A New Type of Slow-wave 1-D PBG Microstrip Structure without Etching in the Ground Plane For filter and other Applications", Microwave and Optical Technologic Letters, Vol. 33, No. 6, pp440-443, June 20, 2002.

## 微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题, 有资深工程师领衔主讲, 课程既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 设计原理和设计仿真实践相结合, 向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



### 微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频, 专家授课, 中文讲解, 直观易学; 既有微波滤波器设计原理的详细解释, 也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解, 旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

### 更多专业培训课程:

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>