

# 基片集成波导和带隙结构的带通滤波器\*

田树林

(重庆大学 通信工程学院,重庆 400044)

**摘要:**基于基片集成波导具有高通传输特性,而光子带隙结构具有带阻特性,构建了一种新型结构的基片集成波导带通滤波器。为了验证该想法,设计了一个中心频率为 5.0 GHz,分数带宽为 60% 的滤波器。电磁仿真结果表明:该滤波器在频率为 3.5 ~ 6.5 GHz 时具有明显的通带特性,带内最大插入损耗约为 0.6 dB。

**关 键 词:**基片集成波导;光子带隙;带通滤波器

中图分类号: TN713

文献标识码:A

文章编号:1674 - 8425(2010)06 - 0052 - 04

## Bandpass Filter of Substrate Integrated Waveguide and Band Gap Structure

TIAN Shu-lin

(College of Communication Engineering, Chongqing University ,Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In this paper, a substrate integrated waveguide filter based on the highpass characteristics of substrate integrated waveguide(SIW) and the bandstop performance of photonic band gap (PBG) structure was presented . In order to verify this idea, a wideband bandpass filter with 5.0 GHz center frequency and 60% fractional bandwidth was designed. The electromagnetic simulation results show good passband characteristics from 3.5 GHz to 6.5 GHz and about 0.64 dB maximum insertion loss.

**Key words:** substrate integrated waveguide; photonic band gap;bandpass filter

光子带隙(photon band gap, PBG)结构<sup>[1]</sup>是由一种介质材料在另一种介质材料中按一定规律分布所构成的,这种结构具有带阻特性。PBG 结构通过在微带电路的上表面或接地板上刻蚀缺陷图案,改变微带电路屏蔽电流的分布,从而改变传输线的等效电感和等效电容,获得慢波和禁带特性。矩形波导具有低损耗和高 Q 值的优点,被广泛应用于无线通信系统中。但是矩形波导是腔体结构,难以与其他平面电路集成,并且加工成本较

高,为了保证电路具有高的 Q 值并且易于和其他平面电路集成,近年来提出了基片集成波导的概念。基片集成波导<sup>[2-5]</sup>是利用基片的上下金属板和两排间隔一定距离的金属通孔构成波导的金属壁,相当于内部填充了介质的矩形金属波导,因此,基片集成波导具有和普通金属波导相似的传输特性,采用普通矩形波导实现的电路结构也基本可以用基片集成波导来实现。当前用集成波导设计的滤波器有:利用 SIW 的高通传输特性和微

\* 收稿日期:2010 - 01 - 12

基金项目:重庆市自然科学基金资助项目(CSTC 2009BB2205)

作者简介:田树林(1956—),女,四川泸州人,硕士研究生,主要从事射频电路方面的研究。

带螺旋形谐振器(SCMRC)结构的带阻特性<sup>[6]</sup>,实现基于SCMRC结构的基片集成波导带通滤波器<sup>[7]</sup>,该类型滤波器具有陡峭的裙边阻带抑制特性,整个电路尺寸小、易于加工;和传统的矩形金属波导相似,在集成波导中插入改变其宽度的膜片和销钉,实现电感耦合结构的基片集成波导带通滤波器,以及金属膜片的集成波导带通滤波器<sup>[8-10]</sup>;另外,文献[11]中介绍了通过TE102和TE201两种模式耦合的双模集成波导滤波器,该滤波器在带外产生了一个传输零点,使得阻带更陡峭,大大提高了滤波器的频率选择特性。

本文在分析集成波导传输特性和PBG结构带阻特性的基础上,利用SIW的高通特性,以及在集成波导的信号层刻蚀一定规律的矩形槽,形成PBG阻带特性的一种新型宽带滤波器,即基片集成波导和矩形槽带隙结构的滤波器。设计了1个中心频率5.0 GHz,分数带宽为60%的滤波器。设计的基片集成波导-带隙结构宽带带通滤波器是指在基片集成波导信号层刻蚀具有一定规律的带隙结构的滤波器,所以它的设计应同时包含基片集成波导和矩形槽谐振器尺寸的选择。

## 1 基片集成波导设计

单层基片集成波导的结构如图1所示,介质基片的上下表面均为金属化层,在介质基片中相隔一定距离制作2排金属化通孔,于是在上下金属面和2排金属通孔间就形成了一个类似于矩形波导的结构。介质基片的上下金属面可以看成是相应矩形波导的上下波导壁,2排金属化通孔就构成了传统矩形金属波导的2个金属侧壁。当电磁波在2排金属化通孔中传输时,其传输特性和波在传统金属波导中的传输特性类似。

图1中,d为金属通孔直径,w为相邻金属通孔的中心距离,c为2排通孔的中心距离,称为基片集成波导的宽度,h为基片的厚度。只要满足 $d/c < 0.2$ 和 $w/d < 2$ ,基片集成波导的传输特性与等效的矩形波导基本一致。文献[12]中通过大量理论分析和数值计算推导出基片集成波导宽度c与等效矩形波导宽度 $c_{\text{eff}}$ 的关系为

$$c_{\text{eff}} = c - 1.08 \frac{d^2}{w} + 0.1 \frac{d^2}{c} \quad (1)$$



图1 基片集成波导的结构

由此可以得出基片集成波导TE10模的截止频率 $f_{\text{TE10}}$ <sup>[13]</sup>为

$$f_{\text{TE10}} = \frac{C_0}{2c_{\text{eff}}\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

式中: $C_0$ 为光在真空中的传播速度; $\epsilon_r$ 为基板的相对介电常数。

根据上述设计原则,采用介电常数 $\epsilon_r$ 为2.65的聚四氟乙烯材料作为基板,设计的基片集成波导的尺寸为: $d=0.6 \text{ mm}$ , $w=1.2 \text{ mm}$ , $c=27 \text{ mm}$ , $h=1 \text{ mm}$ 。使用Ansoft公司的HFSS三维电磁仿真软件建立基片集成波导仿真模型并对其进行了仿真,基片集成波导的频率响应曲线如图2所示,可以看出该尺寸的集成波导截止频率为3.40 GHz,与式(2)计算出的截止频率3.42 GHz基本吻合,集成波导展示了典型的高通特性。

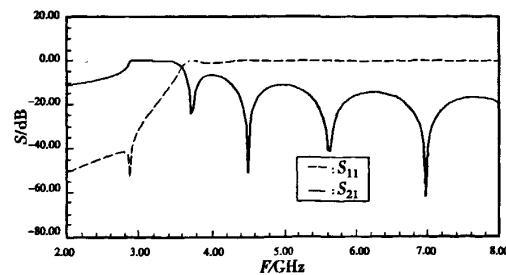


图2 集成波导频率响应曲线

## 2 基片集成波导-带隙结构滤波器设计

图3为基片集成波导信号层刻蚀的矩形槽谐振器结构示意图。其中槽的尺寸和槽与槽之间的

距离将影响滤波器的阻带频率及滤波器的频率响应特性。谐振器槽的长度  $a = 6 \text{ mm}$ , 宽度  $b = 2 \text{ mm}$ , 槽的尺寸为  $e$ 。

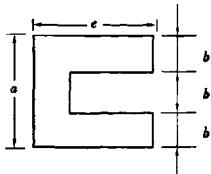


图 3 单个谐振器的几何图形和尺寸

为了使得集成波导和微带线相连接, 需要进行集成波导和微带线之间的转换设计。根据微带锥形转换线设计理论<sup>[1]</sup>, 由传统矩形波导 TE10 模等效阻抗<sup>[14]</sup>可以得出基片集成波导 TE10 模等效阻抗<sup>[15]</sup>, 由此得出微带 - 集成波导转换线的设计尺寸。

根据以上对滤波器各部分结构设计的分析, 设计了一个中心频率为 5.0 GHz, 分数带宽为 60% 的基片集成波导和矩形槽谐振器的带通滤波器, 如图 4 所示。其中集成波导的尺寸为:  $c = 30 \text{ mm}$ ,  $w = 1.2 \text{ mm}$ ,  $d = 0.6 \text{ mm}$ ,  $h = 1 \text{ mm}$ ; 50 欧姆微带线尺寸:  $L_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $W_{50} = 2.72 \text{ mm}$ ; 微带转换线尺寸:  $L_1 = 15 \text{ mm}$ ,  $W_2 = 6 \text{ mm}$ ; 槽的尺寸为:  $e_1 = 5.65 \text{ mm}$ ,  $e_2 = 5.75 \text{ mm}$ ,  $e_3 = 5.75 \text{ mm}$ ; 槽与槽之间的距离:  $g_1 = 2.7 \text{ mm}$ ,  $g_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $g_3 = 4.25 \text{ mm}$ 。由于整个滤波器上表面是关于 XZ 平面对称的, 所以图中只标出了滤波器右半平面谐振器和微带转换线的尺寸。整个滤波器的长度  $L = 102 \text{ mm}$  (包括了微带转换线的长度)。

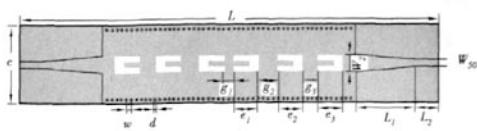


图 4 基片集成波导和带隙结构带通滤波器结构

采用 HFSS 软件对该滤波器结构进行电磁仿真, 滤波器的插入损耗、回波损耗仿真结果如图 6 所示。可以看出滤波器的中心频率为 5.0 GHz, 工作带宽大约为 3 GHz, 在 3.5 GHz 到 6.5 GHz 的通

带内, 最大插入损耗等于 0.64 dB, 分数带宽约为 60%。

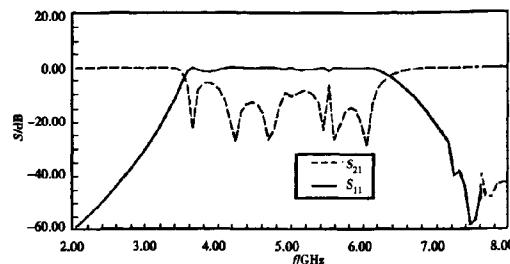


图 5 带通滤波器的  $S$  参数仿真结果

### 3 结束语

在详细介绍基片集成波导的传输特性和主要设计技术的基础上, 在 SIW 信号层上刻蚀一定规律矩形槽构建的一种宽带 SIW 带通滤波器。仿真结果表明:该滤波器具有 60% 的分数带宽, 通带内波纹平坦、插损小, 阻带较深。该类型的滤波器结构简单、生产成本低、易于加工, 对于微波 SIW 宽带滤波器设计具有一定的参考价值。

### 参考文献:

- [1] YABLONOVITCH E. Photonic band - gap structures [J]. Optical Society of America B Optical Physics, 1993, 10(2): 283 – 295.
- [2] YAN L, HONG W, WU K, et al. Investigations on the propagation characteristics of the substrate integrated waveguide based on the method of lines[J]. IEEE Proceedings-H: Microwaves, Antennas and Propagation, 2005, 152(1): 35 – 42.
- [3] ZHANG Y L, HONG W, WU K, et al. Novel substrate integrated waveguide cavity filter with defected ground structure[J]. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 2005, 53(4): 1280 – 1287.
- [4] WU K, XU F. Guidedwave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide[J]. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 2005, 53(1): 66 – 73.
- [5] SONG K, FAN Y, ZHANG Y. Eight-way substrate in-

- tegrated waveguide power divider with low insertion loss [J]. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 2008, 56(6): 1473 - 1477.
- [6] CHE W Q, DENG K, WANG D P, et al. Improved spiral compact microstrip resonance cell low-pass filter with wide stopband characteristics [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2007, 49(1): 121 - 124.
- [7] CHE W Q, DENG K, XU L, WANG D P. A compact wide-band bandpass filter integrating SCMRC and SIRW structures [J]. Nanjing University of Science and Technology, 2006, 49 (1): 195 - 198.
- [8] 谭正良,吴先良,丁让箭.基于介质销钉的基片集成波导带通滤波器的设计[J].安徽建筑工业学院学报:自然科学版,2007,15(1):59 - 61.
- [9] 冉亮,吴先良,丁让箭.偏置介质销钉基片集成波导带通滤波器的设计[J].安徽工业大学学报:自然科学版,2007,31(2):45 - 47.
- [10] 吴先良,丁让箭,吴琼.基片集成波导带通滤波器的设计[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2007,30 (3):394 - 396.
- [11] 张胜,王子华,肖建康等.一种新型的基片集成波导双模带通滤波器 [J].压电与声光,2006,28 (6):674 - 676.
- [12] XU F, WU K . Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide [ J ]. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, 2005, 1 (53):66 - 73.
- [13] CASSIVI Y, PERRECRINI L, ARCIIONI P , et al. Dispersion characteristics of substrate integrated rectangular waveguide [J]. IEEE Microwave Wireless Components letters, 2002, 9 (12) :333 - 335.
- [14] 盛振华.电磁场与微波技术与天线[M].西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [15] 邓磊,唐高弟.基片集成波导传输特性分析和应用仿真[C]//第二届全国信息与电子工程学术交流会暨第十三届四川省电子学会曙光分会学术年会.四川省电子学会曙光分会学术年会论文集.成都:[出版者不详],2006:306 - 310.

(责任编辑 陈松)

## 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，致力于专注于微波、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/>