

中图分类号:TN713.5

文献标志码:A

文章编号:1674-2230(2009)06-0077-04

宽阻带基片集成波导带通滤波器

陈阳^{1,2},张怀武¹,曾斌²

(1. 电子薄膜与集成器件国家重点实验室,电子科技大学,成都 610054; 2. 信息综合控制国家重点实验室,成都 610036)

摘要:滤波器寄生通带对带外抑制会产生非常严重的影响,甚至使得滤波器无法正常工作。结合基片集成波导结构(SIW)结构,设计出一种宽阻带的滤波器。仿真和实验吻合良好。该滤波器具有重量轻、工作频率高、便于集成等优点。

关键词:基片集成波导;寄生通带;耦合结构

Wide-Bandstop Substrate Integrated Waveguide Band-Pass Filter

CHEN Yang^{1,2}, ZHANG Huai-wu¹, ZENG Bin²

(1. State Key Laboratory Electronic Thin Film and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. National Information Control Laboratory, Chengdu 610036, China)

Abstract: Additional pass band plays a deteriorative role in skirt selectivity. A novel approach for SIW (Substrate Integrated Waveguide) filter without additional TE102 pass band is introduced. The theory result agrees well with the measured results.

Key words: SIW filter; additional pass band; coupling structure

1 引言

微波滤波器的研究具有悠久的历史。随着频率的增加,传统微带滤波器结构无法实现高品质因素;而波导滤波器体积大、重量重、难以集成。基片集成波导(Substrate Integrated Waveguide-SIW)是一种新型的波导,可以广泛应用于微波毫米波系统中,具有与传统矩形波导相近的特性,诸如品质因数高、易于设计等,同时也具有体积小、重量轻、容易加工、造价低和易于集成等传统矩形波导所没有的优点^[1-3]。

波导滤波器寄生通带对带外抑制有严重影响。寄生通带中,波导波长变成谐振器长度一半时就会产生TE102模式的寄生通带,离主通带位置距离近,对滤波器高频性能影响最大。且目前对其寄生通带研究较少,在已阅读的文献中,尚未发现有通过改变耦合结构抑制寄生通带的思路。

本文先讨论了普通基片集成波导滤波器的通

带和寄生通带的产生机理,然后采用不同的耦合方式,制作出在单模工作区内无TE102模式寄生通带滤波器。仿真和测试结果均显示其具有优良的宽阻带特性。

2 寄生通带的产生

根据基片集成波导近似等效宽度公式^[4]:

$$\bar{a} = \frac{a_{rec}}{WSIW} = \zeta_1 + \frac{\zeta_2}{\frac{P}{D} + \frac{\zeta_1 + \zeta_2 - \zeta_3}{\zeta_3 - \zeta_1}} \quad (1)$$

其中, \bar{a} 为归一化波导宽度, a_{rec} 为等效矩形波导宽度, $WSIW$ 为实际金属孔壁中心间距, P 为金属孔间距, D 为孔的直径, $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ 由以下公式求得:

$$\zeta_1 = 1.0198 + \frac{0.3465}{\frac{WSIW}{P} - 1.0684}$$

$$\begin{aligned}\zeta_2 &= -0.1183 - \frac{1.2729}{\frac{WSIW}{P}} - 1.2010 \\ \zeta_3 &= 1.0082 - \frac{0.9163}{\frac{WSIW}{P}} + 0.2152\end{aligned}\quad (2)$$

当 $WSIW = 6.4\text{mm}$, $P = 0.8\text{mm}$, $D = 0.4\text{mm}$, 由计算可知其截止频率约为 16.84GHz , 等效截止波长约为 12mm 。

采用上述的尺寸, 通带 $20.2 - 21.2\text{GHz}$, 传统滤波器会在 $30 - 34\text{GHz}$ 处产生寄生通带。图 1 为传统结构波导滤波器的仿真结果。

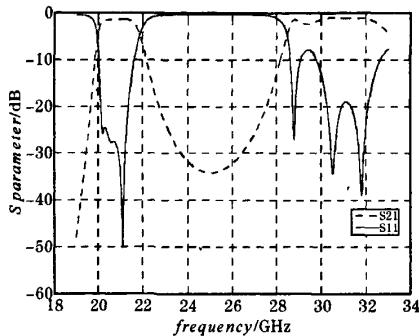


图 1 传统滤波器仿真结果(S参数)

如图 1 所示, $20.2 - 21.5\text{GHz}$ 处为所需要的通带, 但是在 $28.5 - 32\text{GHz}$ 处产生了寄生通带, 使滤波器高频性能急剧恶化。

波导波长与自由空间波长的关系为:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_e)^2}} \quad (3)$$

自由空间波长和频率的关系为:

$$\lambda = \frac{C}{f \sqrt{\epsilon_r \mu_r}} \quad (4)$$

其中, λ_g 为波导波长, λ 自由空间波长, ϵ_r 相对介电常数, μ_r 相对磁导率。

由式(3)、(4)可以得到波导波长和频率变化关系。图 2 为上述结构波导的自由空间波长与波导波长的关系。当频率为 20.7GHz (主通带中心频率), 波导波长为 16mm 左右; 当频率变为 30GHz 时, 波导波长变为 8.5mm 左右。

可见波导滤波器采用半波长谐振器, 在通带的中心频率处激励起 TE_{101} 模式的电场。随着频率的增加, 当波导波长缩短为中心频率对应波长一半时, 激励起 TE_{102} 模式的电场, 产生寄生通

带。

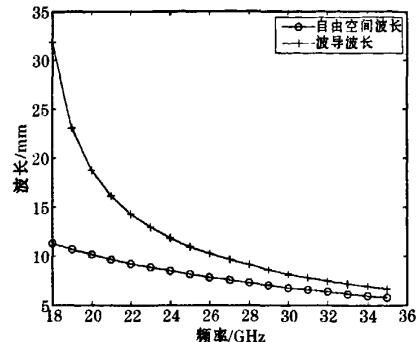


图 2 自由空间波长与波导波长关系图

3 耦合结构对 TE_{102} 模式的抑制

传统方法抑制寄生通带采用 $\lambda_{g0}/4$ 耦合结构^[5]。但这种方法要求调谐螺钉的大小和高度都可以改变, 而基片集成波导的孔是由加工机床决定的, 不可随意变动, 所以 $\lambda_{g0}/4$ 耦合结构并不适合于基片集成波导滤波器。为抑制 TE_{102} 模式可以考虑采用新的耦合结构。

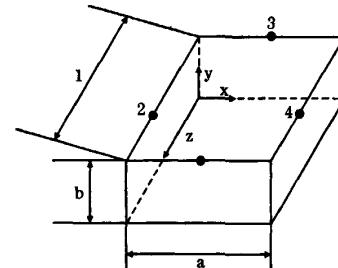


图 3 谐振腔示意图

对于 TE_{10n} 模式的电磁场, 谐振腔内电磁场存在以下关系, 如图 3 所示。

$$\begin{aligned}E_y &= E_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{p \pi z}{l} \\ H_z &= -j E_0 \frac{1}{Z_{TE}} \sin \frac{\pi x}{a} \cos \frac{p \pi z}{l} \\ H_x &= \frac{j \pi E_0}{k \eta a} \cos \frac{\pi x}{a} \sin \frac{p \pi z}{l} \\ E_x &= E_z = H_y = 0\end{aligned}\quad (5)$$

l 、 a 、 b 分别为谐振腔的长、宽、高, Z_{TE} 为波阻抗, η 为媒质固有阻抗, ω 为角频率, ϵ 为介电常数, μ 为磁导率。

$$\text{其中, } k = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \quad (6)$$

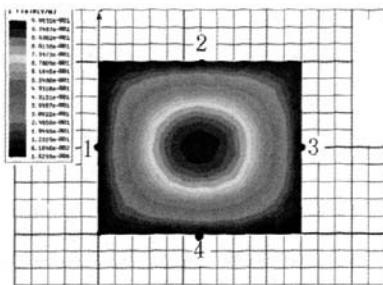


图4 TE101模式电场分布

当 $a = 6\text{mm}$, $b = 1\text{mm}$, $l = 8\text{mm}$, $\epsilon_r = 2.2$ 时, 谐振腔在 21GHz 处激励 TE101 模式电磁场, 在 30.5GHz 处激励起 TE102 模式电磁场。TE101 模式电场如图 4 所示, 由式(5)可知, 在 TE101 模式激励下, 对于点 1、点 3 有如下结论:

$$\begin{aligned} E_x &= E_y = E_z = H_y = H_z = 0 \\ H_x &= \max(H_x) \end{aligned} \quad (7)$$

对点 2、点 4 有如下结论:

$$\begin{aligned} E_x &= E_y = E_z = H_x = H_y = 0 \\ H_z &= \max(H_z) \end{aligned} \quad (8)$$

由此可见, 对于 TE101 模式的电磁场, 点 1、2、3、4 处切向磁场达到最大值。在此四处开耦合窗均可以达到电感耦合的效果。

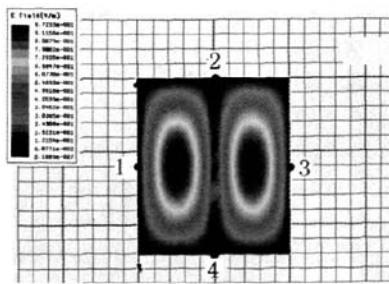


图5 TE102模式电场分布

图 5 为 TE102 模式电场(频率为 31.5GHz)的分布图。由式(5), 对于 TE102 模式, 点 1、3 处电磁场分量为:

$$\begin{aligned} E_x &= E_y = E_z = H_y = H_z = 0 \\ H_x &= \max(H_x) \end{aligned} \quad (9)$$

点 2、4 处电磁场分量为:

$$E_x = E_y = E_z = H_x = H_y = H_z = 0 \quad (10)$$

由上述分析可知, 如果将耦合窗开在点 1、3 处, TE101、TE102 模式的电磁场均可以通过腔体

之间的耦合到达下一级。

如果把耦合窗开在点 1、2 处, 对于 TE101 模式的电磁场, 可以实现良好的电感耦合。但是对于 TE102 模式的电磁场, 在点 2 处, 电磁场所有分量全部为零, 能量无法耦合到下一个谐振腔, 从而阻止了 TE102 模式电磁场的传播, 达到抑制寄生通带的效果。

4 宽阻带滤波器

根据上述关于耦合位置、谐振模式及寄生通带的讨论, 采用抑制 TE102 模式的耦合结构, 设计出 5 阶的基片集成波导滤波器。在 1、2 和 4、5 腔之间采用侧壁耦合, 在 2、3 和 3、4 腔间采用直接耦合, 可以得到较好的效果。

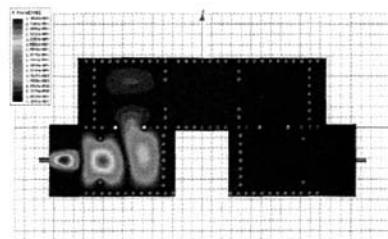


图6 30.7GHz电场分布

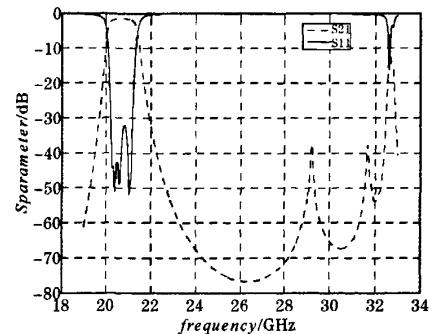


图7 新结构仿真结果(S参数)

图 7 为 S 参数的仿真结果, 新的耦合结构对 20.7GHz (中心频率)的 TE101 模式电磁场无任何影响, 但是对 30.7GHz (原寄生通带)的 TE102 模式的电磁场有非常强烈的抑制作用。图 6 为 30.7GHz 的 TE102 模式电场分布图, 可以发现 TE102 模式能量无法通过腔体侧壁耦合传输到下一级腔体。在 32.5GHz 处, 出现了一个小的谐振峰, 产生原因可能是腔体仍然存在极少的 TE102

模式谐振,造成该频点有少量能量传输。但寄生通带已由4GHz带宽,缩小成为一个点频,寄生通带改善明显。

5 实验验证

新结构滤波器采用 Rogers5880 材料,其介电常数为 2.2。图 8 为真实加工后的滤波器实物对照图。

图 9 为滤波器的测试结果,与仿真结果吻合良好,反射系数很小。传统滤波器在 28~32GHz

处产生寄生通带,而新的耦合结构抑制了 TE102 模式寄生通带的形成。仿真时在 32.5GHz 处的谐振峰,实际测试可以抑制到 -30dB 以下,此处谐振可以忽略。常规滤波器的带宽比仿真时展宽约 5% 左右,可能是由于加工存在部分误差。插入损耗比仿真结果大,可能是由于所采用的测试夹具不是毫米波专用夹具,存在较大损耗。但可以满足使用需要,达到了设计指标。

6 结论

本文所采用新型基片集成波导耦合结构所制作的滤波器,在其单模工作区内,无寄生通带,达到预期的设计目标。

这种毫米波滤波器结构,为传统波导以及基片集成波导抑制 TE102 模式的寄生通带找出新的思路,为宽带平面波导双工器提供了较好的方法。

参考文献:

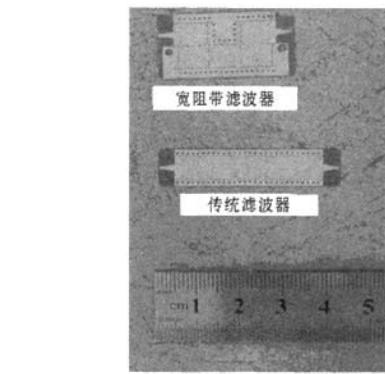


图 8 测试实物

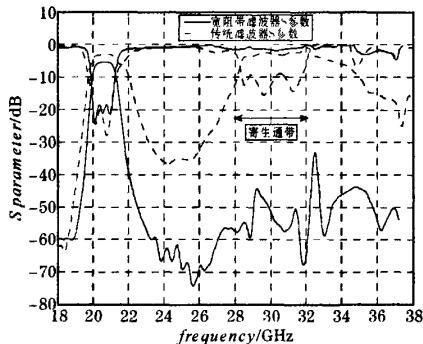


图 9 S 参数测试结果

- [1] LI H, HONG W, CUI T J, WU K, ZHANG Y L, YAN L. The Propagation Characteristics of Substrate Integrated Waveguide based on LTCC [C] // IEEE MTT-S Int Microw Symp Dig, 2003: 2045~2048.
- [2] 张玉林. 基片集成波导传播特性及滤波器的理论与实验研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [3] 赫张成. 基片集成波导技术的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [4] YAN L, HONG W, WU K, CUI T J. Investigations on the Propagation Characteristics of the Substrate Integrated Waveguide Based on the Method of Lines [J]. IEE Proc Microw Antennas Propag, 2005, 152(1): 35~42.
- [5] 李嗣范. 微波元件原理与设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1982.

欢迎投稿! 欢迎订阅!

投稿信箱: ew@mei29.scgb.com, 编辑部电话: 028-87551384

编辑部地址: 成都市 429 信箱 011 分箱《电子信息对抗技术》编辑部

订阅地址: 天津联合征订服务部, 订阅电话: 022-23973378, 022-23962479

本刊订阅代号: 8265

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(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/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>