2017年6月

#### 文章编号: 2095-4980(2017)03-0364-04

# 220 GHz 新型 SIW-波导过渡结构的设计

刘 军,于伟华,吕 昕

(北京理工大学 毫米波与太赫兹技术北京市重点实验室,北京 100081)

摘 要: 基片集成波导(SIW)既有波导的损耗低、品质因数高、功率容量大的特点,又兼具微带线的低剖面、尺寸小、易于与其他平面电路集成的优点,被广泛应用于微波电路设计之中。鉴于目前测试系统及级联都采用矩形波导端口,为实现对SIW元器件的测试及系统集成,须对SIW元器件进行过渡结构设计。采用三维高频电磁仿真软件仿真和优化,设计了一种新型SIW-波导过渡结构。仿真结果表明:该结构在205~225 GHz频段内,带内插入损耗在0.5~0.6 dB之间,回波损耗大于12 dB;背对背结构,插入损耗小于1.5 dB,回波损耗大于10 dB,相对带宽11.4%。

 关键词:
 太赫兹;基片集成波导;过渡结构

 中图分类号:
 TN62

 文献标志码:
 A

#### doi: 10.11805/TKYDA201703.0364

# Design of new type Substrate Integrated Waveguide-to-microstrip transition structure in 220 GHz

LIU Jun, YU Weihua, LYU Xin

(Beijing Key Laboratory of Millimeter Wave and Terahertz Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Substrate Integrated Waveguide(SIW) has been widely used in microwave circuits because it bears the advantages of both waveguide and microstrip, such as low cost, high Q, compact size, and easy for fabrication, etc. In order to measure the scattering parameters of planar SIW components and realize system integration, it is necessary to develop the transition between SIW and rectangular metallic waveguide because most of the measurement systems are waveguide based. The transition between SIW and waveguide is designed and optimized by using High Frequency Structure Simulator(HFSS). The simulation results indicate that: in 205–220 GHz, the in-band insertion loss is between 0.5–0.6 dB, and the return loss is more than 12 dB; the back to back structure has less than 1.5 dB insertion loss and the return loss is more than 10 dB, the relative bandwidth is 11.4%.

Keywords: THz; Substrate Integrated Waveguide; transition structure

基片集成波导(SIW)概念萌芽于日本学者 F. Shigeki 于 1994 年提出的一种称为"波导线"的结构<sup>[1]</sup>,随后得 到 Hiroshi Uchimura, J Hirokawa, Dominic Deslands 等众多学者更加详尽的研究和分析。SIW 是一种类似于矩形金 属波导的集成导波结构,通过介质板上下 2 层金属面及四周金属通孔而构成谐振腔,将电磁波限制在这个区域进 行传输。

基片集成波导在毫米波波段损耗小, Q 值较高, 微波毫米波元器件如天线、功分器、滤波器等在基片集成波导上实现可以获得较好性能<sup>[2-5]</sup>。传统的有源模块、天线等一般为矩形波导接口,为了实现与其他波导模块互联, 对矩形波导-SIW 过渡结构的研究和设计显得至关重要。通常有 4 种矩形波导-SIW 过渡结构: a) 渐变基片直接 插入减高波导实现过渡; b) 难以实现宽频带的缝隙耦合的 T 型过渡结构; c) 难以实现小型化的金属探针插入减 高波导或矩形波导的过渡结构; d) 易产生谐振的鳍线过渡结构<sup>[6]</sup>。

为了提高带宽,减小尺寸,本文采用一种新型、类 E 面探针的形式实现波导-SIW 的过渡结构。通过 HFSS 的仿真优化设计,在 205~225 GHz 频段内,插入损耗在 0.5~0.6 dB 之间,回波损耗大于 12 dB,相对带宽 11.4% 频段范围内获得了较好的性能。

#### 1 过渡结构仿真与优化设计

SIW 结构与矩形波导结构在传播模式上类似,属于单导体传输结构,只能传输有色散的 TE<sub>n0</sub>模式的波。传统矩形波导的主模为 TE<sub>10</sub>模,而 SIW 传输的主模是类 TE<sub>10</sub>模。因此从物理概念上讲,二者应该可以获得良好的 匹配<sup>[7]</sup>。

SIW 的辐射损耗与反射损耗主要由金属通孔的直径和相邻金属通孔之间的距离决定,为减小损耗,SIW 尺 寸的一般设计原则<sup>[8]</sup>:

$$d < 0.2\lambda_{\rm g} \tag{1}$$

$$d/w < 0.2 \tag{2}$$

$$d/p \ge 0.5 \tag{3}$$

$$\lambda_{\rm g} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\lambda/\lambda_{\rm c}\right)^2}} \tag{4}$$

式中: *d* 为金属通孔直径; *p* 为相邻金属通孔的距离; *w* 为 SIW 的宽度即 2 列金属通孔之间的距离(如图 1 所示); λ<sub>c</sub> 为波导截止波长; λ 为真空中电磁波波长; λ<sub>g</sub> 为导波波长。为减小辐射损耗,可以减小相邻通孔距离,从而减 小孔间泄露的能量。当孔的间距和直径满足设计原则时,辐射损耗减小,电磁波被限制在 2 排金属通孔之间传播, SIW 就可与填充相同介质的矩形波导等效。



本文设计的 220 GHz 波导-SIW 过渡结构在 HFSS 中建立的模型如图 2 所示, SIW 上电场分布如图 3 所示。 介质基片选取为 Rogers 3003, 其相对介电常数  $\varepsilon_r$ =3, 介质厚度为 0.127 mm。该过渡结构采用在 SIW 开槽的方式, 直接与波导腔体相连接,通过改变  $w_1, L_1, w_2$  和  $L_2$  以及 SIW 设计参数实现波导-SIW 的良好过渡。为获得最佳过渡 性能以减少场的泄露,波导边缘距离金属孔应大于四分之一波长。该设计省去了中间微带线结构的过渡,减小了 整个结构的体积。



为了使工作频段覆盖 220 GHz,同时使 SIW 结构满足尺寸设计需求,波导采用 WR4(1.1 mm×0.55 mm)标准 波导,其他相关参数如表 1 所示。HFSS 仿真结果如图 4 所示,在 205~225 GHz 频段内,插入损耗在 0.5~0.6 dB 之间,回波损耗在 12 dB 以上。

### 太赫兹科学与电子信息学报

parameter	d/µm	p/µm	w/µm	$w_1/\mu m$	$L_1/\mu m$	$w_2/\mu m$	$L_2/\mu m$		
value	100	150	700	1 800	1 360	1 000	3 870		

可以看出,在 220 GHz 频段插入损耗低,并且 具有较明显的带通特性,1 dB 插损带宽为 25 GHz, 相对带宽为 11.4%。

实际应用中一般采用背对背结构,文献[9-10]中 对W和Ka波段的背对背结构进行了仿真分析,本文 对背对背结构在HFSS中建模并进行仿真,仿真结果 如图 5、图 6所示,与文献[9-10]中的仿真对比如表 2所示。可以看出,在 205~225 GHz 频段内,插损小 于 1.5 dB,回波损耗大于 10 dB。

该结构可以适用于在该频段雷达、通信系统应用,体现了 SIW 结构的优越性。但该结构相比于传统的过渡器而言,其工作带宽较窄,主要原因是 SIW 结构品质因数高,选择性好。可以通过在 SIW 两侧 周期性地打一系列空气孔的方式来提高带宽。



Fig.5 3-D model of back-to-back 图 5 背对背 HFSS 建模

#### 2 分析与结论

本文利用 HFSS 软件设计了新型的波导-SIW 过渡结构,该结构采用 SIW 开槽的形式,将波导与 SIW 直接相连,降低了插入损耗,提高了过渡结构的电性能,并且该结构便于加工,经济性能好。通过进一步改进与优化设计,为将来 太赫兹 SIW 器件与标准波导器件的过渡互联提供了一种优良、新颖的实现形式。

#### 参考文献:

- [1] SHIGEKI F. Waveguide line:06-053711[P]. 1994-02-25.
- [2] CHENG F,LIN X,SONG K,et al. Compact diplexer with high isolation using the dual-mode Substrate Integrated Waveguide resonator[J]. IEEE Microwave & Wireless Components Letters, 2013,23(9):459-461.
- [3] 李荣强,杜国宏,唐军. 过模基片集成波导腔体滤波器设计[J]. 微波学报, 2014,30(3):93-96. (LI Rongqiang, DU Guohong, TANG Jun. Design of oversized SIW cavities filters[J]. Journal of Microwaves, 2014,30(3):93-96.)



Fig.6 Simulated results for back-to-back 图 6 背对背结构仿真结果

表 2 不同背对背结构对比

Table2 Comparisons between this work and others					
Ref.	back-to-back S parameter/dB	<i>f</i> /GHz			
[9]	$S_{11} < -14.3$ -2.7 $< S_{22} < -1.4$	75-109.2			
[10]	$S_{11} < -15$	91-95			
this work	$S_{11} < -10$ $S_{21} < -15$	205-225			

### 刘 军等: 220 GHz 新型 SIW-波导过渡结构的设计

- [4] 郭增旭. 基于 SIW 的新型带通滤波器的研究[D]. 南京:南京理工大学, 2013. (GUO Zengxu. The study of a new type band-pass based on SIW[D]. Nanjing, China: Nanjing University of Science and Technology, 2013.)
- [5] 胡海,梁实,文光俊.W波段矩形波导-SIW 探针过渡结构设计[J]. 微波学报, 2016,32(1):75-78. (HU Hai,LIANG Shi, WEN Guangjun. A design of waveguide-to-SIW probe transition structure in W-band[J]. Journal of Microwaves, 2016, 32(1):75-78.)
- [6] 黄祥,唐高弟,李中云,等. 一种改进结构的毫米波基片集成波导滤波器[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(2): 159-162. (HUANG Xiang, TANG Gaodi, LI Zhongyun, et al. An improved structure for millimeter wave substrate integrated waveguide filter[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(2):159-162.)
- [7] 胡海. 基于 SIW 的 W 波段毫米波功率合成技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2015. (HU Hai. Research on SIW based W-band millimeter wave power combining technologies[D]. Chengdu, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.)
- [8] XU F,WU K. Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2005,53(1):66-73.
- [9] DOUSSET D, WU K, CLAUDE S. Millimetre-wave broadband transition of substrate-integrated waveguide to rectangular waveguide[J]. Electronics Letters, 2010,46(24):1610-1611.
- [10] LI T,DOU W. Broadband right-angle transition from substrate-integrated waveguide to rectangular waveguide[J]. Electronics Letters, 2014,50(19):1355-1356.

#### 作者简介:

第3期



**刘 军**(1989-), 男, 山东省寿光市人, 在 读博士研究生, 主要研究方向为毫米波电路. email:lj bit@163.com.

**于伟华**(1978-), 女, 内蒙古自治区赤峰市人, 副教授, 主要研究方向为毫米波太赫兹电路等.

**吕** 昕(1960-),男,北京市人,教授,主要 研究方向为太赫兹成像等.

#### 

## 关于召开"第四届中国煤化工自动化技术高级研讨会暨全国煤化工测控技术专家组 2017 年工作会议"的通知(第一轮)

为了研究新的经济形势下仪表自动化技术如何为煤化工企业安全生产、提质增效、建设智能工厂及转型发展服务,总结重大、典型工程项目设计、运维管理经验,解决煤化工仪表自动化技术的疑难问题,中国仪器仪表学会定于2017年8月上旬召开"第四届中国煤化工自动化技术高级研讨会暨全国煤化工测控技术专家组2017年工作会议"。现将有关事宜通知如下:

**会议主题**:安全、智能、清洁、降耗。**内容**:会议将重点研讨"建设智能工厂"背景下煤化工工程仪表自动化、 信息化、智能化技术的结合应用,并针对重点问题进行讨论解决(欢迎煤化工企业、设计院、维保单位将技术问题 反馈给学会,以便学会针对性组织交流)。

**会议征文、优秀论文评选及发表:**凡与煤化工行业自动化、信息化、智能化相关的内容都属于本次征文范围。 欢迎煤化工企业、设计院、仪表自动化企业针对重点工程项目实施、产品选型、运行维护、智能工厂建设经验以及 煤化工仪表自动化技术问题及解决方案撰写论文。征文截止日期 2017 年 7 月 14 日。论文需同时提供 word 格式及 PDF 格式,请发至 chenyf@gongcheng365.cn。通过专家审核的论文将收录至会议《论文集》,优秀论文推荐至《仪 器仪表用户》和《太赫兹科学与电子信息学报》等杂志正刊发表。大会具体内容和征稿具体要求参见 http://www. gongcheng365.cn; http://www.cis-pic.org.cn 或 http://www.iacej.com。

参会联系人:张士英、郜亚丽	电话:	010-57430164,	13261170263	email:	zhangsy@gongcheng365.cn
厂商赞助联系人:陈彦峰	电话:	13911765114		email:	chenyf@gongcheng365.cn
媒体联系人:刘梦晨	电话:	15313661725		email:	liumc@gongcheng365.cn
总协调人:刘哲鸣(中国仪器位	以表学会	秘书处特别助理	里、产信委秘书	长)	电话: 18910309177
email: SSSLLL6688@163.com					

中国仪器仪表学会 2017年4月15日