

# 一种共面波导型表面贴滤波器S参数测量方法研究

黄辉<sup>1,2</sup> 刘欣萌<sup>2</sup> 吕昕<sup>1</sup>

(北京理工大学,北京 100081)<sup>1</sup> (中国计量科学研究院,北京 100013)<sup>2</sup>

huanghui@nim.ac.cn

**摘要:**本文通过建立微波S参数片上测量系统,实现对一种共面波导型表面贴滤波器S参数的测量。文章首先对微波S参数片上测量系统的结构进行了研究,并对其误差模型进行了分析。利用矢量网络分析仪、探针台、标准阻抗基片建立了微波S参数片上测量系统,实现对一种3×3mm封装的共面波导型表面贴滤波器在DC-3GHz频段内的S参数测量。该测量系统的建立以及测量方法的实现对表面贴器件的设计和性能分析具有很好的指导意义。

**关键词:**微波S参数,片上测量,共面波导,滤波器,探针台

## Research on Method Measuring Scattering Parameters of the Coplanar Waveguide Surface Mounted Filter

Huang Hui<sup>1,2</sup> Liu Xin meng<sup>2</sup> Lv Xin<sup>1</sup>

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)<sup>1</sup>

(National Institute of Metrology, Beijing 100013, China)<sup>2</sup>

**Abstract:** In this paper, an on-wafer microwave scattering(S) parameters measuring system is based, this system may implement measuring the S parameters of the coplanar waveguide (CPW) surface mounted (SMD) Filter. This paper firstly researches the configuration of the on-wafer S-measuring system, and then analyzes its' error model. The based measuring system is composed of vector network analyzer, impedance standard substrate, probe station. The measuring system is use to measure the S parameters of the 3×3mm CPW SMD Filter, which frequency is from DC to 3GHz. The realization of the measuring system and method has great benefit to the analyzing performance and design of the SMD.

**Keywords:** Microwave scattering parameters; On-wafer; Coplanar waveguide; Filter; Probe station;

## 1 引言

近年来,现代的各种军用、民用电子装备对高集成度、高频率、低功耗等要求越来越高,因此器件的设计大量采用了表面贴技术,随之而来的是首先要解决这些表面贴器件S参数的测量问题。

由于表面贴器件结构、型式、尺寸多种多样,如果以购买成套商用探针台及标准阻抗基片来开展测量,成本将非常高,因此必须研究探针台与标准阻抗基片的结构和设计技术,分析其参数模型,并从根本上掌握表面贴器件S参数的测量原理,建立相应的测量系统,实现测量。

## 2 片上测量方法

片上测量系统通常由矢量网络分析仪、微波探针台、标准阻抗基片等组成,测量原理类似于同轴器件的测量,如图1所示。

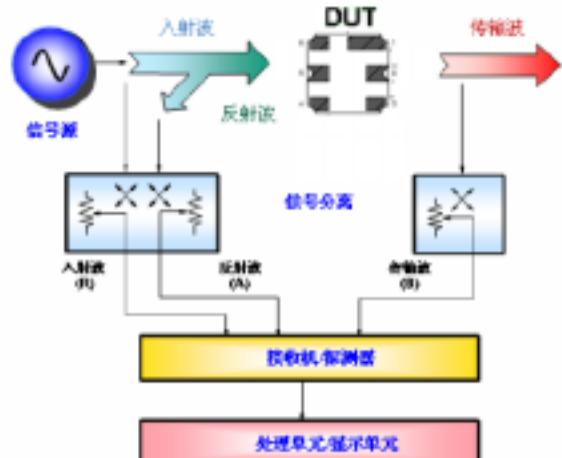


图1 片上测量原理图

从片上测量系统的组成和结构可以知道,片上测量系统的系统误差和同轴系统一样,包括反射和传输通道上的频率响应误差、方向性误差、源失配、负载

失配和串扰等误差，如图2所示。

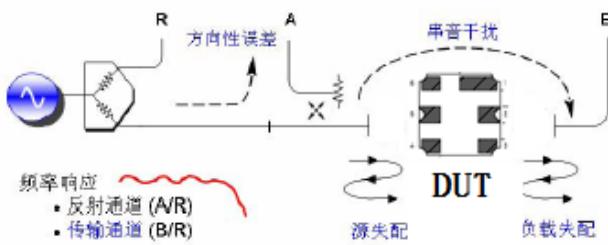
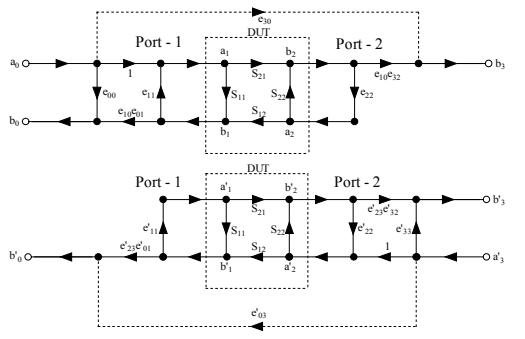


图2 系统误差

由于系统误差的存在，因此在使用之前必须对其进行自校准。所谓自校准，就是首先要建立一个有关系统误差的数学模型，然后测量一些已知特性的被测件（也称校准标准），来确定误差模型中各个误差项的具体值，利用这些误差项的值和误差模型，在测量被测器件时，就可以修正测量结果，得到被测器件的真实S参数。

### 2.1 12项误差模型

对于二端口表面贴器件S参数片上测量系统通常用12项误差模型来描述系统误差项，双向12项误差信号流图如图3所示。



$e_{00}$ =Directivity  
 $e_{11}$ =Port-1 Match  
 $(e_{10}e_{11})$ =Reflection Tracking  
 $(e_{10}e_{32})$ =Transmission Tracking  
 $e_{22}$ =Port-2 Match  
 $e_{30}$ =Leakage

图3 12项误差模型信号流图

$$S_{11M} = \frac{b_0}{a_0} = e_{00} + (e_{10}e_{01}) \frac{S_{11} - e_{22}\Delta_S}{1 - e_{11}S_{11} - e_{22}S_{22} + e_{11}e_{22}\Delta_S} \quad (1)$$

$$S_{21M} = \frac{b_3}{a_0} = e_{30} + (e_{10}e_{32}) \frac{S_{21}}{1 - e_{11}S_{11} - e_{22}S_{22} + e_{11}e_{22}\Delta_S} \quad (2)$$

$$S_{22M} = \frac{b_3'}{a_3'} = e_{33} + (e_{23}e_{32}) \frac{S_{11} - e_{11}\Delta_S}{1 - e_{11}S_{11} - e_{22}S_{22} + e_{11}e_{22}\Delta_S} \quad (3)$$

$$S_{12M} = \frac{b_0'}{a_3'} = e_{03} + (e_{23}e_{01}) \frac{S_{12}}{1 - e_{11}S_{11} - e_{22}S_{22} + e_{11}e_{22}\Delta_S} \quad (4)$$

其中， $\Delta_S = S_{11}S_{22} - S_{21}S_{12}$ 。

### 2.2 OSLT校准

有了双向12项误差模型，通过对标准阻抗基片中的开路、短路、负载、传输标准的测量，得到双向12项误差，完成对片上测量系统的校准。

校准步骤如下：

(1) 分别在端口1、2测量标准开路、短路、负载，求出  $e_{00}$   $e_{11}$   $(e_{10}e_{11})$   $e_{33}$   $e_{11}'$   $(e_{23}e_{32}')$ 。

(2) 在端口1、2同时连接负载，测量传输，得到  $e_{30}$   $e_{03}'$ 。

(3) 最后将端口1、2直连或用已知长度的传输标准连接，得到：

$$e_{10}e_{32}' = \frac{S_{11M} - e_{00}}{S_{11M}e_{11} - \Delta_e} \quad e_{22} = (S_{21M} - e_{30})(1 - e_{11}e_{22}) \quad (e_{23}e_{01}') = \frac{S_{22M} - e_{33}'}{S_{21M}e_{11}' - \Delta_e'} \\ e_{22}' = (S_{21M} - e_{03}')(1 - e_{11}'e_{33}')$$

系统误差项求出后，修正被测器件的测量结果，得到被测器件的真实值，如式(5)~式(8)。

$$S_{11} = \frac{\left( \frac{S_{11M} - e_{00}}{e_{10}e_{01}} \right) \left[ 1 + \left( \frac{S_{22M} - e_{33}'}{e_{23}e_{32}'} \right) e_{22}' \right] - e_{22} \left( \frac{S_{21M} - e_{30}}{e_{10}e_{32}} \right) \left( \frac{S_{12M} - e_{03}'}{e_{23}e_{01}'} \right)}{D} \quad (5)$$

$$S_{21} = \frac{\left( \frac{S_{21M} - e_{30}}{e_{10}e_{32}} \right) \left[ 1 + \left( \frac{S_{22M} - e_{33}'}{e_{23}e_{32}'} \right) (e_{22}' - e_{22}) \right]}{D} \quad (6)$$

$$S_{12} = \frac{\left( \frac{S_{12M} - e_{03}'}{e_{23}e_{01}'} \right) \left[ 1 + \left( \frac{S_{11M} - e_{00}}{e_{10}e_{01}} \right) (e_{11} - e_{11}') \right]}{D} \quad (7)$$

$$S_{22} = \frac{\left( \frac{S_{22M} - e_{33}'}{e_{23}e_{32}'} \right) \left[ 1 + \left( \frac{S_{11M} - e_{00}}{e_{10}e_{01}} \right) e_{11}' \right] - e_{11}' \left( \frac{S_{21M} - e_{30}}{e_{10}e_{32}} \right) \left( \frac{S_{12M} - e_{03}'}{e_{23}e_{01}'} \right)}{D} \quad (8)$$

$$D = \left[ 1 + \left( \frac{S_{11M} - e_{00}}{e_{10}e_{01}} \right) e_{11}' \right] \left[ 1 + \left( \frac{S_{22M} - e_{33}'}{e_{23}e_{32}'} \right) e_{22}' \right] - \left( \frac{S_{21M} - e_{30}}{e_{10}e_{32}} \right) \left( \frac{S_{12M} - e_{03}'}{e_{23}e_{01}'} \right) e_{22}' e_{11}'$$

这个过程称之为OSLT校准。

### 3 片上测量系统实现

本文实现的共面波导型表面贴滤波器的S参数测量系统由E8361A矢量网络分析仪，GGB公司Model-40A-1250p微波探针，ISS CS-10标准阻抗基片，自行设计研制的探针台组成，如图4所示。在测量系统中，主要部分是矢量网络分析仪、探针、标准阻抗基片和探针台。



图4 片上测量系统

### 3.1 微波探针

微波探针由同轴接头，短同轴电缆，空气介质的共面波导传输线(probe的tip)组成。其中，tip材料为镀铜合金，宽40  $\mu\text{m}$ ，有比较好的可视性，厚75  $\mu\text{m}$ ，有50万次的连接寿命。对于金等硬质材料，tip材料的选择镀-铜合金，而对于铝等软质材料，tip材料选择钨。为了得到较好的温度稳定性，使用非聚四氟乙烯介质的同轴电缆。同时，同轴电缆和tip均为低损耗的，保证probe在40GHz时只有少于1dB的插入损耗。本文中，选用美国GGB公司Picprobe Model-40A-1250p。



图5 Model-40A-GSG-1250P 探针实物图

### 3.2 标准阻抗基片

标准阻抗基片选用ISS CS-10，可接受pitch为250-1250  $\mu\text{m}$ 。厂家提供的ISS CS-10的模型值如表1所示。基片长12.690mm，宽16.935mm，厚0.650mm，基片材料为三氧化二铝，结构如图6所示。

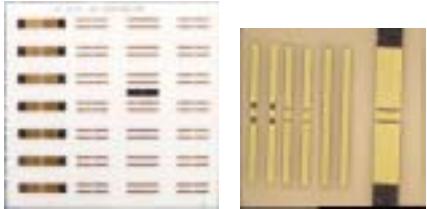


图6 ISS CS-10 标准阻抗基片结构示意图

表1 ISS CS-10标准阻抗基片电特性参数

校准标准	校准系数
Open (on open pad)	$\text{Co}=19\text{fF}$ or Offset $\text{Length}=285\mu\text{m}$ or Offset $\text{Delay}=0.950\text{ps}$
Short (on short pad)	$\text{Lo}=81.4\text{pH}$ or Offset $\text{Length}=488\mu\text{m}$ or Offset $\text{Delay}=1.627\text{ps}$
Load (on 50ohm load pad)	Offset $\text{Zo}=500\text{ohm}$ With Offset $\text{Delay}=0.097\text{ps}$
Thru	400 $\mu\text{m}$

### 3.3 探针台

探针台是微调架、探针支架和载物台等的总称，它是一个位置相对固定的整体，便于搬运和稳定放置。其中，载物台可放置标准阻抗基片和待测器件进行校

准和测试。

三维微调架调整范围为13毫米，调节精度为0.001毫米；通过X、Y、Z方向的调节可使该探针台适合不同封装尺寸的待测器件的测试。为了便于使探针很好的接触待测件并从显微镜上面观察调整位置，探针支架采用L槽型式，如图7所示。



图7 探针台结构示意图

## 4 片上测量

### 4.1 校准实现

由于厂家提供了ISS CS-10标准阻抗基片上校准标准的标准数值，所以在建立了二端口表面贴器件S参数片上测量系统后，可以在网络分析仪上直接实现OSLT校准。

首先在网络分析仪里新建ISS CS-10标准阻抗基片能用于自校准的参数模型，包括ISS CS-10标准阻抗基片的校准标准类型，每种校准标准按厂家提供的标准电特性值(表1)。ISS CS-10标准阻抗衬底包括OPEN、SHORT、LOAD、THRU四类阻抗标准。

校准标准模型建立后，按照网络分析仪内置的校准向导进行校准和测量，就可以在片上测量系统完成对二端口表面贴器件S参数的OSLT校准和直接测量。

### 4.2 共面波导型表面贴滤波器

本文选择的是ITF 3  $\times$  3mm封装共面波导型表面贴滤波器，如图8所示。管脚定义：引出端2和5为输入和输出，其余均为接地端。

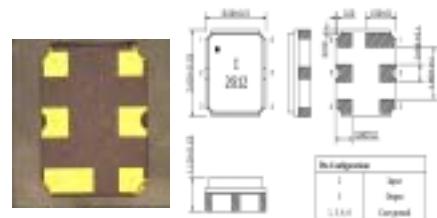


图8 ITF 3  $\times$  3mm 封装共面波导型滤波器结构图

### 4.3 F1G85、F2G12测量结果

本文测试了ITF生产的在DC-3G频段内几种型号的3  $\times$  3mm封装共面波导型表面贴滤波器，这里列出F1G85和F2G12测量结果。

F1G85滤波器频率范围： $1842.5 \pm 37.5\text{MHz}$ ，带内损耗： $<3.8\text{dB}$ ，带内平坦度： $<2.2\text{dB}$ ，带外抑制比： $>23.5\text{dB}$ 。

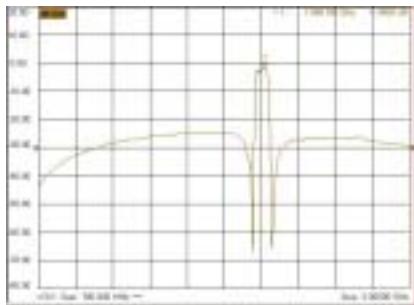


图 9 F1G85SAW 100MHz-3GHz 测量结果

F2G12滤波器频率范围 :  $2140 \pm 30\text{MHz}$  , 带内损耗 :  $<3.5\text{dB}$  , 带内平坦度 :  $<2.4\text{dB}$  , 带外抑制比 :  $>28\text{dB}$ 。

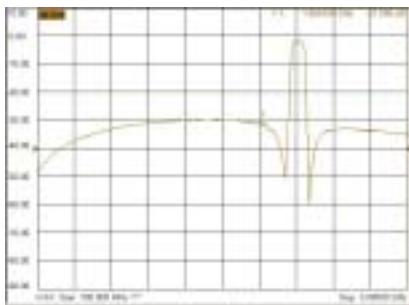


图 10 F2G12SAW 100MHz-3GHz 测量结果

作者简介 : 黄辉 , 男 , 博士研究生 , 主要研究微波阻抗、衰减等参数计量 ; 刘欣萌 , 男 , 副研究员、博士 , 主要研究微波功率、阻抗等参数计量 ; 吕昕 , 男 , 教授、博士生导师 , 主要研究微波、毫米波技术等。

## 5 结论

本文利用矢量网络分析仪、探针台、标准阻抗基片建立了微波S参数片上测量系统 , 实现了对一种  $3 \times 3\text{mm}$  封装的共面波导型表面贴滤波器在 100MHz-3GHz 频段内的S参数测量。该测量系统的建立以及测量方法的实现对表面贴器件的设计和性能分析具有很好的指导意义。

本文今后将在标准阻抗基片参数模型 , 校准标准溯源以及片上测量系统测量准确度等方面作进一步的研究工作。

## 参考文献

- [1] Scott A. Wartenberg, "RF Measurements of Die and Packages", Artech House.
- [2] On-Wafer Vector Network analyzer calibration and Measurement, Application Note of Cascade Microtech.
- [3] D J Bannister, D I Smith , " Traceability for on-wafer CPW S-parameter measurements " , National Physical Laboratory.

## 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/>

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>