

晶圆探针测试系统校准

伍平,董姝,杜波,冷俊林,刘晓莉,刘善群,王岚

(中国电子科技集团公司第26研究所,重庆400060)

摘要:阐述了消除探针测试系统误差的方法,通过分析校准原理和计算校准模型,提出了把已知的校准位放在校准基片上,通过修改网络分析仪(VNA)的校准位和信号接收端口,利用探针台的移动和探针与校准位的接触提取和反馈信号,修正系统误差。

关键词:校准基片;误差修正;系统误差

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

Calibration on Probe Test System for Wafer

WU Ping, DONG Shu, DU Bo, LENG Junlin, LIU Xiaoli, LIU Shanqun, WANG Lan

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The method to eliminate the error of the probe test system for wafer was discussed in this paper. Through analyzing the calibration theory and calculating the calibration model, the known calibration position can be placed on the calibration substrate. By modifying the calibration position of VNA and the signal receiving port, the signals can be extracted and fed back by using the movement of the probe platform and the contact between the probe and the calibration position, and then the error of the probe test system can be corrected.

Key words: calibration substrate; error correction; system error

0 引言

在晶圆探针测试中,要求晶圆芯片的测试具有很高的准确度和精度,特别是一些技术分析,如功能失效分析、特征失效分析、对芯片S参数的提取分析等。因此需要分析影响探针测试系统精度和重复性误差来源,通过校准消除误差。

1 晶圆探针测试系统

晶圆探针测试系统中存在与网络分析仪误差相关的3种主要误差:系统误差、随机误差、漂移误差。

1.1 随机误差消除

通过测试前保证网络分析仪的预热时间,再校准前选择网络分析仪的平均次数和平滑来减小网络分析仪引起的随机误差。

探针头与短路校准位、直通校准位、负载校准位、开路校准位等接触深度控制一致,减少校准时操作随机性造成的误差。

1.2 漂移误差消除

校准后由于温度变化引起的测试系统性能漂

移,需进一步校准消除。

1.3 系统误差消除

在探针测试中,网络分析仪、电缆和作为适配器的探针是影响整个测试系统误差的重要来源。图1为探针测试系统常规校准的校准面为同轴校准参考面,其校准只能实现到网络分析仪的端口,不能满足精确测试的探针校准面,为了消除由网络分析仪(VNA)、探针、同轴连接电缆引入的误差,需把校准测试面由网络分析仪的端口校准面向前延伸到晶圆校准面。

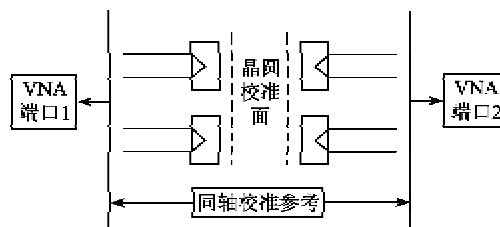


图1 探针测试校准面端口延伸示意图

本文的校准方式主要指将已知的电标准(短路、直通、50 Ω 负载)通过特殊工艺加工,在晶圆上做成

收稿日期:2012-09-07

作者简介:伍平(1979-),女,四川达县人,工程师,主要从事声表面波等相关专业的探针和测试工作。

校准晶片作为校准配件,通过修改 VNA 的校准位和在显微镜下移动探针台,把探针放在对应的校准位上,实现 SOLT(Open\Short\Load\Through)校准。

由于在 DUT 测试校准中,为了把校准面提升到测试面,需把测试夹具和测试电缆引入的误差消除。采用端口延伸或植入、剥离技术,通过一系列方程计算和后续校准来消除大部分误差。在晶圆校准中,需要消除网络分析仪、电缆和探针引入的系统误差,来保证校准面和测试面是同一个平面,从而确定测试的一致性和重复性。

2 晶圆探针校准原理

由于校准是指在校准件的实际特性已知,通过测量可以得到原始测量结果,然后通过运算得到误差矢量特征中的各项系数,因为系统误差中的各项误差都是矢量,一旦其矢量特征(幅度和相位)已知,这些误差可以通过数学运算从原始的测量结果中减去,运算的结果就是精确的被测件的测量结果,其测量结果和被测件以及矢量误差之间的关系如图 2 所示,校准方式一般选择描述误差矢量特征的数学模型。

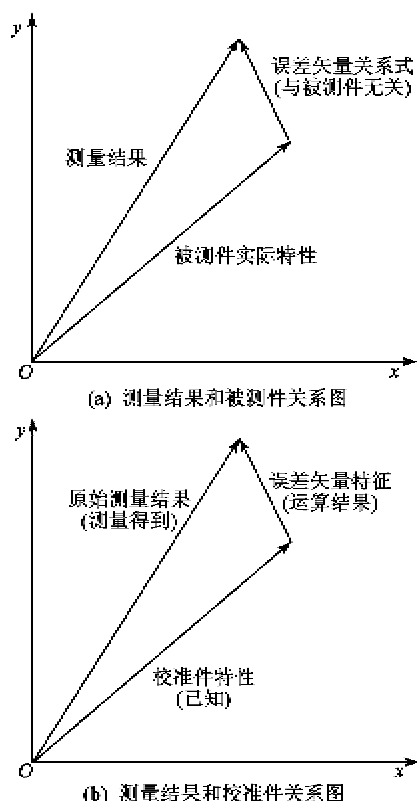


图 2 测量结果和被测件以及矢量误差之间的关系

晶圆探针测试校准可以采用对已知校准位如短路、开路、负载、直通等进行测量,将这些测量结果通过探针反馈贮存到 VNA 的存储器内,VNA 进行误差模型计算,然后利用误差模型从后续测量中去除系统误差的影响。网络分析仪常用的校准方法有 SOLT\TRM\TRL,探针测试系统对精度不高的误差修正主要采用测试校准晶片上的标准芯片,利用数学计算的方式对采集 S 参数修正。图 3 为 SOLT 误差结构模型图,图 4 为双端口 S 参数定义示意图。

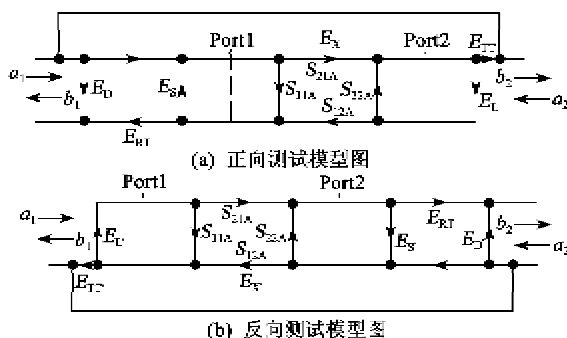


图 3 SOLT 误差结构模型图

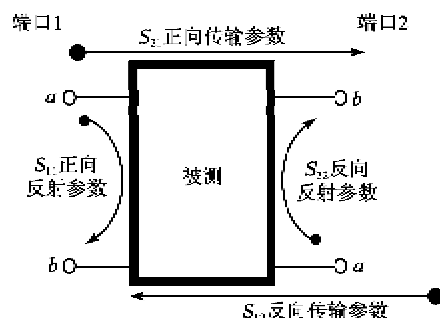


图 4 双端口 S 参数定义示意图

表 1 为 SOLT 误差结构模型图对应的参数定义。

表 1 SOLT 误差结构模型图中的参数定义

E_D, E'_D	正、反向方向性误差	E_{R-}, E'_{R-}	正、反向反射跟踪误差
E_S, E'_S	正、反向源失配误差	E_{L-}, E'_{L-}	正、反向负载匹配误差
E_X, E'_X	正、反向隔离误差	E_{T-}, E'_{T-}	正、反向传输跟踪误差
S_{11A}, S_{12A} S_{21A}, S_{22A}	测量值	S_{11A}, S_{12A} S_{21A}, S_{22A}	被测件真实值

根据 SOLT 误差结构模型图及双端口 S 参数定义,经分析计算可得测得的 S 参数($S_{11A}, S_{21A}, S_{12A}, S_{22A}$)与器件实际的 S 参数($S_{11A}, S_{12A}, S_{21A}, S_{22A}$)间存在的关系,从而得到下述 4 个关系式:

$$S_{11a} = \frac{\left(\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}\right)\left(1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}E'_s\right)-E'_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)}{\left(1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}E_s\right)\left(1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}-E'_s\right)-E'_LE_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)} \quad (1)$$

$$S_{12a} = \frac{\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)\left[1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}(E_s-E'_L)\right]}{\left(1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}E_s\right)\left(1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}-E'_s\right)-E'_LE_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)} \quad (2)$$

$$S_{21a} = \frac{\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left[1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}(E'_s-E_L)\right]}{\left(1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}E_s\right)\left(1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}-E'_s\right)-E'_LE_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)} \quad (3)$$

$$S_{22a} = \frac{\left(\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}\right)\left(1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}E_s\right)-E'_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)}{\left(1+\frac{S_{11A}-E_D}{E_{RT}}E_s\right)\left(1+\frac{S_{22A}-E'_D}{E'_{RT}}-E'_s\right)-E'_LE_L\left(\frac{S_{21A}-E_X}{E_{TT}}\right)\left(\frac{S_{12A}-E'_X}{E'_{TT}}\right)} \quad (4)$$

通过校准晶片上的3个校准件 Short、Open、Load (每端口)共6项测量,对测量校准基片上的直通测试和负载测试,包括正、反向传输,反射共6项测量,得到12项方程,12个未知数,也就是在端口1和端口2分别做开路、短路、负载反射和传输、直通反射和传输测量。通常在端口1做开路、短路、负载反射和传输测量时, S_{11} 是常数, $S_{12}=S_{21}=S_{22}=0$,做直通、反射和传输测量时, $S_{12}=S_{21}$ 为常数, $S_{22}=S_{11}=0$;通常在端口2做开路、短路、负载反射和传输测量时, S_{22} 是常数, $S_{11}=S_{21}=S_{12}=0$,做直通、反射和传输测量时, $S_{12}=S_{21}$ 为常数, $S_{22}=S_{11}=0$ 。将校准位校准测量过程中测试每个标准所建立的条件代入式(1)~(4),列出12个矢量方程组 $L_0 \sim L_{11}$,这12个方程和上面的4个矢量方程组成方程组联立求解,得到12项参数,应用12项系数与被测芯片的测量S参数联立,得到被测芯片的真实S参数。

3 晶圆探针校准具体实验

3.1 创建晶圆校准位,定义校准套件

在网络分析仪操作界面下,通过定义标准、标准类型后,分别定义校准基片的校准位 Open、Short、Load、Thru 对应的电阻、电容、电感以及延时等值,设置需要使用的探针在本校准基片上对应的标准系数;定义连接头和测试端口,必须保证连接头和端口都使用相同标准。

3.2 执行校准

图5为晶圆校准基片 SOLT 校准位。探针按照图5连接到校准片对应的校准位上,按照网络分析仪的校准操作进行全端口2校准,修正12项误差

系数。校准时,在显微镜下通过移动探针台把探针放在对应的校准位上,实现 SOLT 校准,进行误差修正。SOLT 校准需要在介质基片上制造出符合探针尺寸的微带型校准件。



图5 晶圆校准基片 SOLT 校准位

3.3 检查校准效果

通常网络分析仪的 ECAL 校准和机械校准完成后,大部分误差已被消除,但是作为自定义的校准位,需要检查系统的误差是否消除^[1]。由于复阻抗与反射系数间有一一对应关系,因此复阻抗平面的正实半部分映射到极坐标上,所有电抗值从0到无限大的正电阻值均落在 SMITH 的外圆上,因此选用表征0和无限大的两个特殊点 SMITH 圆图,对应的是开路和短路模型。

当探针接在校准片的 Short 校准位时,可以观察单端口(如 S_{11} 或 S_{22})的 SMITH 圆图阻抗为0;当探针接在 Open 校准位时,可以观察单端口(如 S_{11} 或 S_{22})的 SMITH 圆图阻抗为 ∞ ;当探针接在1 pF 的 Thru 时, S_{11} 和 S_{12} 的 SMITH 图分布保证测试点不能在轨迹外。传输 SMITH 图为接近阻抗为0的环,或 Log 图的插损值很小(0.001 dB 以上)。图6~8为探针检查校准效果的步骤分布图,频率为15.000 MHz~3.015 GHz。其中图6说明探针在校准基片上短路、开路校准位上的 SMITH 图分布,图7、8是当探针接在1 pF 的 Thru 时, S_{11} 和 S_{12} 的 SMITH 图分布轨迹。

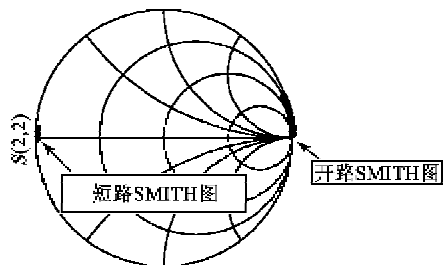
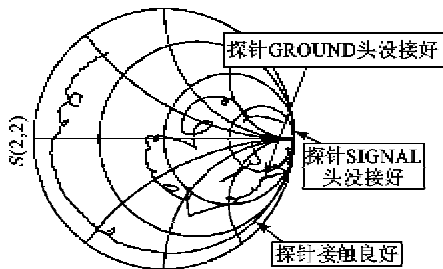
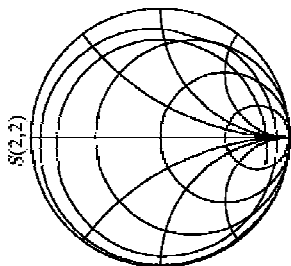


图 6 短路、开路情况下引起的 SMITH 图

图 7 针接在 1 pF 的 Thru 的 S_{21} 的 SMITH 图图 8 探针接在 1 pF 的 Thru 的 S_{22} 的 SMITH 图

3.4 校准状态存储

由于校准消除网络分析仪测试的系统误差,是基于测试状态参数的设置,校准后更改测试状态会影响测试精度或使校准失效,因此,校准后不要轻易改变电缆、测试条件的状态。

4 晶圆探针校准实验结果

误差修正对被显示数据的影响很明显,对带通滤波器的测量会呈现明显的损耗和波动。二端口校准后,平滑的误差修正轨迹线去除了系统误差的影

响,更好地反映被测器件的实际性能^[2-4]。图 9(a)充分展现了宽带器件在频响校准、端口 2 校准、未校准等 3 个状态下的测试曲线,很明显频响校准的损耗和通带波动优于没有校准状态的测试曲线,但是其通带却劣于端口 2 校准。图 9(b)也充分说明了带通滤波器在校准前后的测试曲线的明显差别。

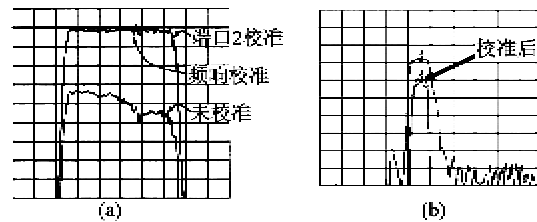


图 9 误差修正对被显示数据的影响

5 结束语

本文针对探针测试系统中的探针台和双端口网络分析仪,阐述了消除探针测试系统误差的方法。最后通过测试实例,获得了相应的测试校准数据和曲线,实现了双端口网络分析仪晶圆校准。本方法适用于所有探针测试系统的校准,操作灵活。

参考文献:

- [1] 张华, 何兰. SAW 器件测试的误差修正[J]. 压电与声光, 2003, 25(4): 267-269.
ZHANG Hua, HE Nan. Error correction in SAW device testing[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2003, 25(4): 267-269.
- [2] 赵科佳, 刘明亮, 高小珣, 等. 基于 NTN 技术的宽带取样示波器自动校准系统[J]. 计量学报, 2006(4): 388-391.
- [3] 董树义. 近代微波测量技术[M]. 北京: 北京电子工业出版社, 1995.
- [4] 郭大元. 微波自动测量线的建立[J]. 实验技术与管理, 2005, 22(6): 43-47.