



中华人民共和国工业和信息化部

电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—XXXX

在片微波测试系统散射参数
校准规范

Calibration Specification for Scattering Parameters of On-Wafer
Microwave Testing Systems

XXXX-XX-XX 发布 XXXX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

在片微波测试系统 散射参数校准规范

Calibration Specification for Scattering
Parameters of On-Wafer Microwave
Testing Systems

JJF(电子)××××—××××

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子技术标准化研究院
中国电子科技集团公司第十三研究所
北京无线电计量测试研究所

参加起草单位：

北京芯宸科技有限公司
江苏方天电力技术有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

黄英龙（中国电子技术标准化研究院）
张红（中国电子技术标准化研究院）
沙长涛（中国电子技术标准化研究院）
吴爱华（中国电子科技集团公司第十三研究所）
王一帮（中国电子科技集团公司第十三研究所）
陈婷（北京无线电计量测试研究所）

参加起草人：

黄辉（北京芯宸科技有限公司）
叶加星（江苏方天电力技术有限公司）

目录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 概述.....	1
3 计量特性.....	1
3.1 S_{11} 模和 S_{22} 模 (反射)	1
3.2 S_{21} 模和 S_{12} 模 (衰减)	1
3.3 S_{21} 相位	1
4 校准条件.....	1
4.1 环境条件.....	1
4.2 测量标准.....	1
5 校准项目和校准方法.....	2
5.1 外观及工作正常性检查.....	2
5.2 校准项目.....	2
5.3 校准方法.....	2
5.3.1 在片微波测试系统散射参数双端口校准.....	2
5.3.2 S_{11} 模和 S_{22} 模	2
5.3.3 S_{21} 模和 S_{12} 模(衰减量)	2
5.3.4 S_{21} 相位	3
6 校准结果表达.....	3
7 复校时间间隔.....	3
附录 A 原始记录内页格式.....	4
附录 B 证书内页格式	5
附录 C 测量不确定度评定实例	6

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

在片微波测试系统散射参数校准规范

1 范围

本校准规范适用于 1GHz~110GHz 输入输出型式为 GSG 型共面波导在片微波测试系统散射参数的校准, 典型探针间距为 150um、100um、50um。其它型式 (如 GS、GSGSG 等)、不同间距的片上微波测试系统散射参数校准可参照此规范执行。

2 概述

在片微波测试系统主要用于裸芯片在片 S 参数测试, 主要包括网络分析仪、探针和微波电缆等; 相对于传统矢网同轴校准, 在片测试系统的探针和线缆均会引入误差项, 需要进一步在片校准将测试端面从同轴端面平移到探针尖, 从而测得裸芯片 S 参数。

3 计量特性

3.1 S_{11} 模和 S_{22} 模 (反射)

频率范围: 1GHz~110GHz;

测量范围: 0~1,

测量不确定度: 0.08(1GHz~40GHz), $k=2$;

测量不确定度: 0.15(40GHz~110GHz), $k=2$ 。

3.2 S_{21} 模和 S_{12} 模 (衰减)

频率范围: 1GHz~110GHz;

测量范围: (0~30) dB,

测量不确定度: 0.8 dB(1GHz~40GHz), $k=2$;

测量不确定度: 1.5dB(40GHz~110GHz), $k=2$ 。

3.3 S_{21} 相位

相位范围: $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$, U : $5^{\circ} + \text{Arcsine}(U_r)$ ($k=2$), U_r 是反射和衰减的线性相对测量不确定度。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度: $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;

4.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$;

4.1.3 电源要求: $(220 \pm 22)\text{V}$ 、 $(50 \pm 0.5)\text{Hz}$;

4.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动;

4.2 测量标准

校准用设备应经过计量技术机构检定或校准, 满足校准使用要求, 并在有效期内。

4.2.1 在片失配器:

频率范围: 1GHz~110GHz;

反射系数: 0~1;

测量不确定度: 0.02~0.070($k=2$)。

4.2.2 在片衰减器:

频率范围: 1GHz~110GHz;

衰减: (0~30)dB;

测量不确定度: 0.020dB~2.0dB($k=2$)。

4.2.3 在片传输线:

频率范围: 1GHz~110GHz;

相位范围: $-180^{\circ} \sim +180^{\circ}$;

测量不确定度: $U=0.5^{\circ} \sim 6.0^{\circ} (k=2)$ 。

5 校准项目和校准方法

5.1 外观及工作正常性检查

5.1.1 被校在片微波测试系统应结构完好, 不应有影响正常工作的机械碰伤及接触不良的现象, 并记录于附录 A.1 中;

5.1.3 校准人员应按要求穿防静电工作服, 佩戴防静电手环等。

5.2 校准项目

- a) S_{11} 模和 S_{22} 模 (反射);
- b) S_{21} 模和 S_{12} 模 (衰减量);
- c) S_{21} 相位。

5.3 校准方法

5.3.1 在片微波测试系统散射参数双端口校准

在片微波测试系统通电自检, 外观和功能检查后, 进行测试系统双端口校准, 具体步骤如下:

- a) 网络分析仪预热 30min;
- b) 设置网络分析仪扫描类型、频率、功率、中频带宽等参数, 通常中频带宽设置为小于 100Hz;
- c) 选择校准片和校准方法, 依据校准向导分别扎针校准片上的校准模块完成校准。

5.3.2 S_{11} 模和 S_{22} 模

采用在片失配器进行在片微波测试系统 S_{11} 模和 S_{22} 模的校准。步骤如下:

- a) 在网络分析仪上分别设置 S_{11} 、 S_{22} 测试迹线, 格式设置为 MAG LIN;
- b) 按图 1 连接进行测试, 将测试系统两个探针依次扎于在片反射标准上;

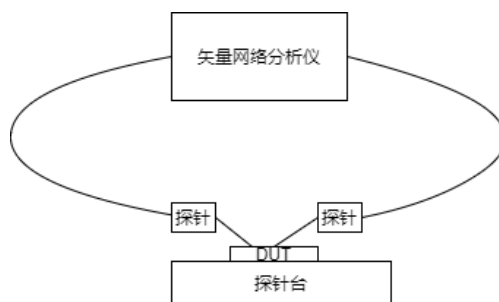


图1 在片微波测试系统在片校准连接示意图

- c) 依次读取反射标准件上的 S_{11} 和 S_{22} 值, 并填入附录 A 表格 A.2 中。

5.3.3 S_{21} 模和 S_{12} 模(衰减量)

采用在片衰减器进行在片测试系统 S_{21} 模和 S_{12} 模(衰减量)的校准, 具体步骤如下:

- a) 在网络分析仪上分别设置 S_{21} 、 S_{12} 测试迹线, 格式设为 MAG dB 格式;

- b) 按图 1 连接进行测试, 将测试系统两个探针依次扎于在片衰减标准上;
- c) 依次连接并读取在片衰减器上的 S_{21} 、 S_{12} 值, 并填入附表 A 表 A.3 中。

5.3.4 S_{21} 相位

采用在片传输线进行在片测量系统 S_{21} 相位校准, 步骤如下:

- a) 在网络分析仪上设置 S_{21} 测试迹线, 格式设置为 Phase;
- b) 按图 1 连接, 将测试系统两个探针扎于在片传输线上, 读取 S_{21} 填入附录 A 表 A.4 中。

6 校准结果表达

校准后, 出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息:

- a) 标题: “校准证书”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行校准的地点 (如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的说明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

7 复校时间间隔

在片微波测试系统复校时间间隔一般不超过 1 年。送校单位可根据设备实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

原始记录格式

一、 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观检查记录表

外观检查：合格 ☐ 不合格 ☐：

二、 在片微波测试系统校准数据记录格式

表 A.2 S_{11} 模或 S_{22} 模

频率 GHz	标准值	测量值	$U(k=2)$

表 A.3 S_{21} 模或 S_{12} 模

频率 GHz	标准值 dB	测量值 dB	$U(k=2)$ dB

表 A.4 S_{21} 相位

频率 GHz	标准值 (°)	测量值 (°)	$U(k=2)$ (°)

附录 B

证书内页格式

一、外观及工作正常性检查

表 B.1 外观检查表

外观检查：合格 ☐ 不合格 ☐：

二、在片微波测试系统校准数据

表 B.2 S_{11} 模或 S_{22} 模

频率 GHz	标准值	测量值	$U(k=2)$

表 B.3 S_{21} 模或 S_{12} 模

频率 GHz	标准值 dB	测量值 dB	$U(k=2)$ dB

表 B.4 S_{21} 相位

频率 GHz	标准值 (°)	测量值 (°)	$U(k=2)$ (°)

附录 C

测量不确定度评定实例

C.1 S_{11} 模和 S_{22} 模测量不确定度分析

C.1.1 测量不确定度的来源

采用在片失配器标准校准在片微波测量系统反射幅度。

测量不确定度的数学模型为：

$$Y_r = X_r \quad (\text{C.1})$$

其中 Y_r 为被校反射幅度， X_r 为在片微波测量系统对在片标准件的测量结果。

测量结果的不确定度来源有以下几项：

- a) 标准器引入的不确定度分量；
- b) 测量重复性。

C.1.2 标准不确定度

C.1.2.1 标准器引入的不确定度分量 u_1

以 75GHz、反射系数 0.333 的在片失配器标准为例，标准器引入的测量不确定度分量 $u_1=0.021$ 。

C.1.2.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_2

在相同条件下，网络分析仪在片测量系统测量在片失配器标准 10 次，测量结果如表 C.1 所示。

表 C.1 S_{11} 模重复性数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	0.333	0.332	0.332	0.332	0.331	0.333	0.332	0.333	0.332	0.335

测量重复性的实验标准偏差 $s(x)=0.001$ ，按照 A 类方法进行评定，测量重复性引入的不确定度分量 $u_2=0.001$ 。

C.1.3 合成标准不确定度

表 C.2 标准不确定度汇总表

测量不确定度来源	评定类型	分布类型	k	不确定度分量
标准器引入 u_1	B	正态	2	0.010
测量重复性引入 u_2	A	/	/	0.001

u_1 、 u_2 相互独立，互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.010$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U=k u_c=0.020(k=2)$$

C.2 S_{21} 模和 S_{12} 模测量不确定度分析

C.2.1 测量不确定度来源

采用在片衰减标准校准在片微波测量系统衰减幅度。

测量不确定度的数学模型为：

$$Y_a=X_a \quad (C.2)$$

其中 Y_a 为被校衰减幅度， X_a 为在片微波测量系统对在片标准件的测量结果。

测量结果的不确定度来源有以下几项：

- a) 标准器引入的不确定度分量；
- b) 测量重复性。

C.2.2 标准不确定度

C.2.2.1 标准器引入的不确定度分量 u_3

以 75GHz、20dB 在片衰减器标准为例，标准器引入的测量不确定度分量 $u_3=0.27\text{dB}$ 。

C.2.2.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_4

在相同条件下，网络分析仪在片测量系统测量在片衰减标准 10 次，测量结果如 C.3 所示。

表 C.3 S_{21} 模重复性数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (dB)	20.96	20.96	20.96	20.96	20.12	20.96	20.96	20.96	20.94	20.95

测量重复性的实验标准偏差 $s(x)=0.25\text{dB}$ ，按照 A 类方法进行评定，测量重复性引入的不确定度分量 $u_4=0.25\text{dB}$ 。

C.2.3 合成标准不确定度

表 C.4 标准不确定度汇总表

测量不确定度来源	评定类型	分布类型	k	不确定度分量 (dB)
标准器引入 u_3	B	正态	2	0.27
测量重复性引入 u_4	A	/	/	0.25

u_3 、 u_4 相互独立，互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_3^2 + u_4^2} = 0.37\text{dB}$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k u_c = 0.74\text{dB} (k=2)$$

C.3S₂₁ 相位测量不确定度分析

C3.1 测量不确定度来源

采用在片传输线标准校准在片微波测量系统相位参数。

测量不确定度的数学模型为：

$$Y_p = X_p \quad (\text{C.3})$$

其中 Y_p 为被校相位测量值， X_p 为在片微波测量系统对在片标准件的测量结果。

测量结果的不确定度来源有以下几项：

- a) 标准器引入的不确定度分量；
- b) 测量重复性。

C.3.2 标准不确定度

C.3.2.1 标准器引入的不确定度分量 u_5

以 75GHz、在片传输线标准为例，标准器引入的测量不确定度分量 $u_5=1.9^\circ$ 。

C.3.2.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_6

在相同条件下，网络分析仪在片测量系统测量在片传输线标准 10 次，测量结果如表 C.5 所示。

表 C.5S₂₁ 相位重复性数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 (°)	-6.0	-5.5	-5.9	-5.4	-5.3	-5.5	-5.6	-5.6	-5.5	-5.3

测量重复性的实验标准偏差 $s(x)=0.2^\circ$ ，按照 A 类方法进行评定，测量重复性引入的不确定度分量 $u_6=0.2^\circ$ 。

C.3.3 合成标准不确定度

表 C.6 标准不确定度汇总表

测量不确定度来源	评定类型	分布类型	k	不确定度分量
标准器引入 u_5	B	正态	2	1.9°
测量重复性引入 u_6	A	/	/	0.2°

u_5 、 u_6 相互独立，互不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_5^2 + u_6^2} = 1.9^\circ$$

C.1.4 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k u_c = 3.8^\circ \quad (k=2)$$
