

电子行业计量技术规范项目建议书

建议项目名称	射频微波探针校准规范		
制定或修订	<input checked="" type="checkbox"/> 制定 <input type="checkbox"/> 修订	被修订计量技术规范号	
计量技术规范性质	<input type="checkbox"/> 检定规程 <input checked="" type="checkbox"/> 校准规范	计量技术规范类别	<input type="checkbox"/> 重点 <input checked="" type="checkbox"/> 基础
主要起草单位	中国电子科技集团公司第十三研究所		
联系人	刘晨	联系电话	15830196189
任务年限	1 年	申请经费	4 万元
参加单位	/		
目的、意义和必要性	<p><u>1. 编制目的、意义，解决产业的问题和编制必要性、迫切性</u></p> <p>在片微波晶圆测试技术可以在芯片封装前更快得到芯片的测量结果，能够直接得到器件本身的微波性能，因此受到微波芯片工程师的青睐。</p> <p>自上世纪 80 年代射频微波探针问世以来，在片微波晶圆测试技术在电子行业集成电路产业链研发和生产过程中快速得到了应用。目前，在片微波晶圆测试射频微波探针已广泛应用于微波半导体新技术开发、器件模型参数提取、芯片设计验证和调试、小规模验证和最终生产检测中的各个环节。</p> <p>在片微波晶圆测试技术的实际应用中，最为常见的为</p>		

网络分析仪在片测试系统。组成该系统的设备包括矢量网络分析仪、探针台、射频微波探针、在片校准件等，其结构如图 1 所示。图 2 为利用该系统测量晶圆时射频微波探针与被测晶圆接触的照片。

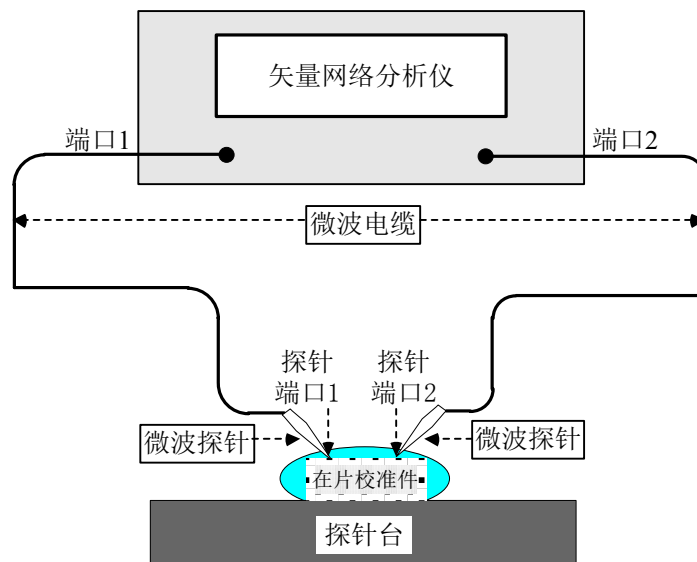


图 1 在片微波晶圆测试系统

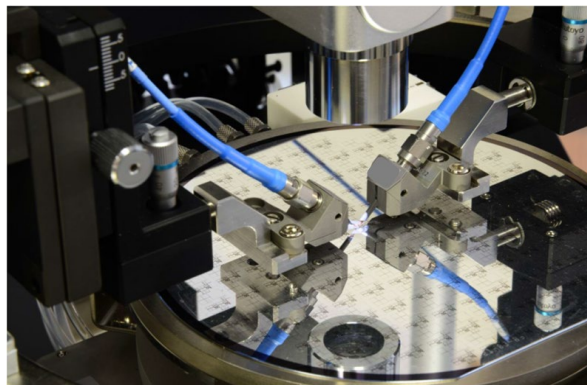


图 2 探针与被测晶圆接触照片

对于图 1 所示的网络分析仪在片测试系统，在测试过程中探针对测量结果的影响可通过在片校准进行修正，整个系统可根据《JJF（军工）162-2017 网络分析仪在片测量系统校准规范》进行整体校准，但是在以下 3 类晶圆测量的实际应用中，探针的微波性能不能通过系统整体校准

进行修正，必须通过额外方法对射频微波探针进行校准：

- (1) 利用功率计进行晶圆级集成电路绝对功率测量；
- (2) 利用频谱分析仪观察晶圆级集成电路频谱特性；
- (3) 将探针的 S 参数作为输入量进行去嵌入的场合。

上述射频微波探针的应用中，前两种需要使用射频微波探针的插入损耗参数对测量结果进行标量修正，最后一种应用需要使用射频微波探针的插入损耗、回波损耗参数对测量结果进行矢量修正，以得到去除探针影响后被测件更加准确的测量结果。

以上三种应用射频微波探针组成的测试系统中，除射频微波探针外，都已经具有较为完善的计量技术规范，唯独缺乏微波探针的计量技术规范。特别是近几年来，国内微波探针产品的生产厂家越来越多，产品型号与技术规格多种多样，射频微波探针的技术指标验证方法无法得到有效统一。

为解决上述射频微波探针的校准问题，保证微波探针的技术指标验证方法统一有效，制定微波毫米波校准规范势在必行。

## 2. 先进性和亮点、社会效益和推广应用前景

该校准规范包含的技术能力目前国内属于领先地位，最大亮点是解决了射频微波探针的表征算法和测量不确定度评定。

射频微波探针是在片微波晶圆测试必不可少的附件之一，它提供了同轴至无封装裸芯片的稳定连接。从而实现直接对微波裸芯片器件或集成电路进行测量，得到芯片真正的微波参数，以缩短研究时间，提高设计效率，降低开发新产品的成本。射频微波探针涵盖了从器件建模、芯片设计、工艺验证到小规模生产以及最终的批量生产全过程。

随着半导体技术的不断进步，射频微波探针越来越广泛的被使用。电科 13 所、41 所、55 所、航天 203 所、河北雄安太芯科技有限公司、中科院微电子所、河北新华北集成电路有限公司、华为公司等微波半导体研制和生产单位对射频微波探针有着大量的计量需求。保守估计，每年探针消耗量超 2000 只以上。

面对中国制造 2025 的大时代，计量需先行。“没有准确的计量，就没有可靠的数据，就无法正常控制工艺过程，也就不可能生产出高质量的产品”。射频微波探针校准规范的制定，不仅满足基础仪器设备计量的需求，而且符合助力中国制造 2025 的大趋势。

### 3. 查新结果

2017 年，国家国防科技工业局发布了我团队负责起草的《JJF（军工）162-2017 网络分析仪在片测量系统校准规范》。但该规范仅针对 1GHz~40GHz 网络分析仪在

	<p>片测量系统的整体校准方法做出了规定，并未实现射频微波探针的单独校准；</p> <p>《JJF（军工）76-2022 微波二端口器件校准规范》仅针对衰减器、放大器、检波器、滤波器、混频器、滤波器，插入损耗、电压驻波比（回波损耗）的校准采用同轴或波导矢量网络分析仪测量方法得到，无法实现输入、输出端口接口形式不一致的射频微波探针校准。</p> <p>除此之外，国家、本行业或其他行业无相关类似技术规范。</p>
产业链应用	<p><u>1. 重点产业链方向</u></p> <p>电子行业集成电路产业链囊括了半导体材料、IC 设计、制造、测试、封装和应用等各个环节，射频微波探针在整个电子行业集成电路产业链中的 IC 设计和测试环节都发挥着重要的作用。</p> <p>在集成电路产业链的 IC 设计环节中，利用射频微波探针实现对半导体器件 S 参数、负载牵引和噪声参数等测试，基于测试数据建立器件模型，从而指导 IC 设计师完成匹配优化设计；在集成电路测试环节中，利用射频微波探针测试工程师可以将参数特性不符合要求的集成电路记录下来，在进入后道工序前予以剔除，极大地降低集成电路的制造成本。</p> <p><u>2. 对本行业重点产业链的支撑作用</u></p>

	<p>本规范直接服务于电子行业集成电路产业链。射频微波探针校准规范的编制，对集成电路产业链的支撑作用如下：</p> <p>（1）射频微波集成电路生产单位：负责射频微波半导体芯片的研发和生产任务。射频微波探针校准规范的编制，对射频微波探针的计量特性做出了详细规定，射频微波半导体单片电路生产单位可根据实际情况将射频微波探针进行送检，以确保射频微波探针的溯源性和技术指标的正常性。</p> <p>（3）校准实验室以及计量器具检定机构：负责提供射频微波探针的校准服务。射频微波探针校准规范对校准参数、环境条件、校准仪器设备及技术指标、校准方法等做出了明确规定，可确保射频微波探针校准方法的统一和校准结果的准确可靠。</p> <p>（4）射频微波探针制造商：负责生产各种类型的射频微波探针。射频微波探针校准规范的编制，有利于规范制造商的制造技术和质量控制体系，以确保射频微波探针的测量精度和质量可靠性。</p> <p>（5）维修和售后服务商：负责提供射频微波探针的维修和售后服务。校准规范的编制，为射频微波探针维修后性能指标是否满足使用要求提供依据，确保射频微波探针维修后正常工作。</p>
--	---

	<p>总之，射频微波探针校准规范的编制，对电子行业集成电路产业链起到了重要的支撑作用。</p>
范围和主要 计量特性	<p><u>1. 计量技术规范的适用范围</u></p> <p>适用于新制造、新购置、使用中的频率范围不大于 67GHz，探针间距位于 50μm~1000μm 的射频微波探针的校准。对于频率范围大于 67GHz 的射频微波探针，可参照本规范进行校准。</p> <p><u>2. 计量特性的技术指标</u></p> <p>典型仪器 1：美国 FormFactor 公司的 IXT67-GSG-150 型射频微波探针，该探针技术指标为：</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● 频率范围：DC~67GHz。</li><li>● 插入损耗：0.8dB，（0~25）GHz； 1dB，（25~40）GHz； 1.5dB，（40~67）GHz。</li><li>● 回波损耗：20dB，（0~25）GHz； 15dB，（25~40）GHz； 12dB，（40~67）GHz。</li></ul> <p>典型仪器 2：中国电科 41 所生产的 36102 系列射频微波探针，该探针性能指标如图 3 所示：</p>



图 3 中国电科 41 所生产的探针性能指标

综上，校准规范规定的计量特性的技术指标如表 1 所示：

表 1 校准规范规定的计量特性

技术指标名称	测量范围	测量不确定度（ $k=2$ ）
插入损耗	0dB~4dB	0.4dB~2.0dB
回波损耗	3dB~40dB	0.5dB~5dB

3. 主要测量标准的技术指标

主要测量标准为网络分析仪在片测量系统，技术指标如表 2 所示：

表 2 主要测量标准矢量网络分析仪的技术指标

技术指标名称	测量范围	测量不确定度（ $k=2$ ）
频率范围	10MHz~67GHz	/
反射幅度	0.0~1.0	0.015~0.05
反射相位	-180° ~180°	1.5° ~180°
传输幅度	0dB~5.0dB	0.13dB~0.3dB
传输相位	-180° ~180°	1.5° ~4°



#### 4. 主要计量项目的技术原理

用测量标准网络分析仪在片测量系统分别经过同轴、在片单端口校准，校准后，通过一定的算法提取射频微波探针的 S 参数，从而实现射频微波探针插入损耗、回波损耗的测量。

具体测量步骤如下：

(1) 矢量网络分析仪至少预热 30 分钟，设置适当的扫频范围、扫频点数、中频带宽、功率。

(2) 选择合适的校准方法在同轴端口进行单端口校准，校准完成后保存误差项。

(3) 在第 (2) 步骤中的校准端口上连接射频微波探针，选择相应的校准方法，在片端口进行单端口校准，并保存误差项。

(4) 根据以下公式计算探针的 S 参数，从而得到插入损耗、回波损耗。

$$S_{11} = \frac{EDF' - EDF}{ERF + ESF \cdot (EDF' - EDF)}$$

$$S_{22} = ESF' - ESF \cdot x$$

$$S_{21} = S_{12} = x \sqrt{\frac{ERF'}{ERF}}$$

其中， $x = 1 - ESF \cdot S_{11}$ 。

上式中， $EDF$ 、 $ESF$ 、 $ERF$  分别为步骤 (2) 中同轴端口校准后的方向性误差、源匹配误差、反射跟踪误差；

	$EDF'$ 、 $ESF'$ 、 $ERF'$ 分别为步骤（3）中在片端口校准后得到的方向性误差、源匹配误差、反射跟踪误差。						
水平	<input checked="" type="checkbox"/> 国际先进 <input type="checkbox"/> 国内先进						
国内外情况 简要说明	<p><u>1. 与国内相关技术规范之间的关系</u></p> <p>《JJF（军工）162-2017 网络分析仪在片测量系统校准规范》仅针对 1GHz~40GHz 网络分析仪在片测量系统的整体校准方法做出了规定，并不适用射频微波探针的单独校准。</p> <p><u>2. 是否发现有知识产权的问题，或涉及专利的情况</u></p> <p>无此类情况。</p>						
推荐意见	<p>射频微波探针是在片微波晶圆测试设备的重要组成部分，广泛应用于射频微波半导体测试领域。但目前国家及行业计量技术规范不能满足该设备的计量需求，建议书给出的计量特性和技术原理基本合理，可满足接地引下线导通电阻测试仪的校准需求，建议立项。</p>						
主要 起草 单位	（签字、盖公章）  月 日		技术 委员 会	（盖公章）  月 日		部委托 支撑 单位	（盖公章）  月 日

填写说明：1.表中第 2，3，10 行，请在选定的内容上填写“☒”的符号。

2.填写制定或修订项目中，若选择修订则必须填写被修订计量技术规范号。