

# 亚太赫兹频段的在片器件表征

新的技术和应用,如6G通信和传感等,已经开始使用D频段以及更高的亚太赫兹(sub-THz)频段。因此需要新的半导体技术和工艺,为这些新应用提供支持。

6G通讯对射频性能要求很高。同时,高频电磁波信号传输有很多物理方面的限制,因此对毫米波(mmWave)或太赫兹(THz)频段器件的功率和效率都提出了更高的要求。射频电路的性能受限于晶体管和其他有源器件的性能,而晶体管在高频下最大可用输出功率会显著降低。因此,需要充分了解半导体器件在高频下的特性,并结合应用,为半导体器件在不同工作条件下及更宽的频率范围内精确建模。

需要在大动态范围内表征毫米波器件的特性时,矢量网络分析仪是最佳的测量设备。我们和合作伙伴MPI公司一起,可以提供全套的在片器件表征测量系统。此外,还可以在该系统中增加负载牵引测量设备,进一步完善对新半导体器件的表征。

## 您的任务

新的通信标准和技术通常都在更高的频段上寻找可用的频谱。下一代雷达传感器和6G等无线通信系统预计将使用100 GHz以上的频率,习惯上称之为亚太赫兹(sub-THz)频段。这些频段之前未用于商业应用,因此需要开发新的半导体技术,以保证成本效益并可实现量产。针对这一频段,工业界和学术界一方面对现有的半导体技术进行优化和改进,另一方面也在研究新的半导体技术。目前,一些半导体技术已经能够工作在该频段,但在成本和量产良率等方面仍存在问题。

研发人员和工程师都会关注亚太赫兹频段内半导体器件的射频性能。目前有一些业内通用的测量方法。最常见的是使用晶圆探针台系统直接对器件进行在片测量。S参数被广泛应用于各种器件的表征测量中。为了更全面地表征有源器件,需要使用负载牵引系统来控制 and 设置被测器件的输入输出阻抗。



安装扩频单元的探针台可支持太赫兹频段在片测量

产品手册 | 版本02.00

**ROHDE & SCHWARZ**

Make ideas real



## 罗德与施瓦茨公司联合MPI公司、Focus微波公司提供完整的亚太赫兹频段和太赫兹频段在片负载牵引系统

罗德与施瓦茨公司与行业领导者MPI公司、Focus微波公司展开密切合作, 分别提供自己的核心产品组成测试系统:

- ▶ 罗德与施瓦茨提供R&S®ZNA系列矢量网络分析仪
- ▶ Focus微波公司提供负载牵引测量中所需的阻抗调谐器和系统软件, 用于控制输入输出阻抗。
- ▶ MPI提供先进的探针台和重要的硬件集成, 确保整个系统的运行
- ▶ MPI提供支持自动阻抗调谐器(AIT)应用的专用探针系统平台。该系统中集成了所有仪器设备, 包括射频探针、校准基片, 并在系统软件SENTIO®中集成了射频校准软件QAlibria®。

### 矢量网络分析仪(VNA)是测试系统的核心

测试装置中的R&S®ZNA矢量网络分析仪是进行射频测量的核心仪器。矢量网络分析仪除了可以进行标准S参数测量以外, 还可用于功率放大器(PA)及混频器的其他指标测量, 例如增益压缩点、互调和群时延等。R&S®ZNA系列主机频率最高为67 GHz, 最多可配置4个端口。配合R&S®ZCxxx系列毫米波频率扩展单元, 可将工作频率扩展到1.1 THz, 并支持四端口测量。R&S®ZNA系列矢网可以控制频率扩展单元, 轻松进行手动或自动测量。

R&S®ZNA矢量网络分析仪主机和R&S®ZC330毫米波频率扩展单元, 可覆盖220 GHz至330 GHz频段。



### 探针台系统用于连接在片器件

在亚太赫兹频段在片测量时, 可使用MPI公司的AIT探针台系统。该系列探针台可用于150 mm、200 mm和300 mm晶圆测量, 同时不会影响仪器特性、测量精度和操作简易性。该系列探针台工作频率可达1 THz, 还可执行高低温测试。

专用频率扩展单元安装套件(FEAD)配合专用的探针座, 尽可能缩短了频率扩展单元端口和被测器件(DUT)之间的距离, 可提高被测器件的输入功率, 保证测量的动态范围。创新的QAlibria®校准软件和经过验证的校准基片提供符合行业标准的先进校准方法, 还可与NIST StatistiCAL软件包结合, 提供计量级NIST多线直通-反射-传输线(mTRL)校准。

MPI TS200-THZ手动探针系统和MPI TS2000-IFE THZ-Selection自动探针系统的核心部分相同, 均包含精密针座和精心设计的固定件, 能够满足亚太赫兹频段的在片测量。手动探针台系统能够确保频率扩展单元尽可能靠近被测件, 保证与被测件连接可靠。这种设计能够尽可能减少信号损耗, 提高被测件(DUT)的输入功率。这一点在亚太赫兹频段的负载牵引测量中非常重要。

自动探针台系统MPI TS2000-IFE THZ-Selection同样集成了精心设计的精密探针座和固定件。该探针台系统提供稳定可控的测量条件, 这对于亚太赫兹频段测量的可靠性和重复性非常重要。自动探针台系统采用MPI的创新技术, 在使用频率扩展单元进行测量时, 可确保信号传输连续, 支持高精度射频、毫米波和太赫兹频段测量。

手动和自动探针台系统支持不同尺寸的晶圆测量, 最大可支持300 mm (12英寸)的晶圆, 是适合多种应用的全面解决方案。研发人员和工程师能够利用这些先进探针台系统探索高频半导体技术, 并进行准确、可重复的片上测量表征。

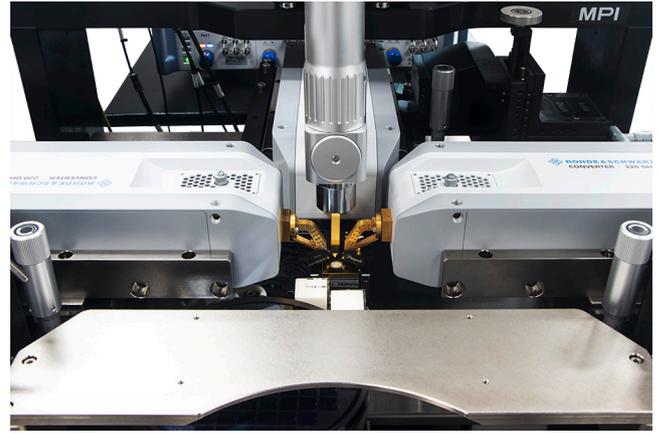
MPI探针台系统还可以支持太赫兹频段内的三端口测量。借助这一独有的特性, 系统能够同时输入毫米波频段的射频信号和本振(LO)信号, 进行宽带次谐波混频器测量。

## 负载牵引和阻抗变换

完整的有源器件表征需要使用源/负载牵引测量系统。该测量系统可为被测半导体器件提供所需的阻抗，并在不同的源和负载匹配条件下表征被测件。负载牵引的主要应用之一是器件建模。除此之外，对于功率放大器等有源器件，其最大效率等特性也需要进行负载牵引测量。有源器件的最大输出功率、附加功率效率等特性与负载阻抗密切相关。而测试仪器通常阻抗为 $50\ \Omega$ ，在片有源器件的阻抗与此相差较大。进行在片测试时，通常会使用阻抗调谐器提供所需的阻抗。

在完整解决方案中，罗德与施瓦茨使用合作伙伴Focus微波公司的Delta系列阻抗调谐器。Focus微波公司推出的全新Delta系列机电调谐器专为高频在片测量设计。调谐器非常轻巧，能够靠近被测晶圆，使探针前端和调谐器直接连接，尽可能减小被测件和调谐器之间的插入损耗，为用户提供了更大的可用调谐范围。Focus微波公司提供多个型号的Delta系列谐波阻抗调谐器，可涵盖 $1.8\ \text{GHz}$ 至 $110\ \text{GHz}$ 的频段。

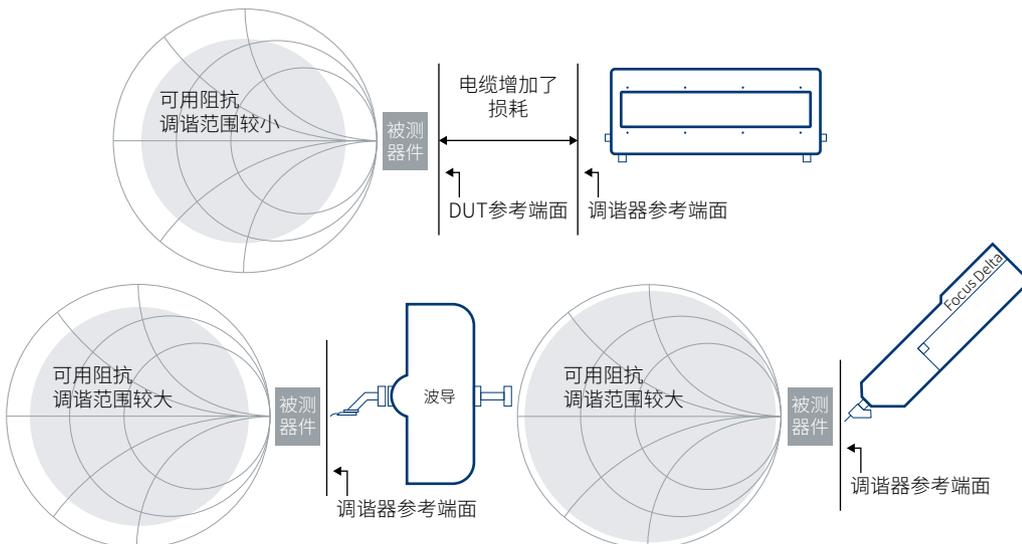
针对 $110\ \text{GHz}$ 以上频段的应用，Focus微波推出了全新系列的波导调谐器。该系列调谐器以Delta系列调谐器为基础，可实现微米级的精度和重复性。配合专门设计的探针台安装套件，Focus微波公司的小型波导调谐器，能够直接连接亚太赫兹波导探针，提供最大的可用调谐范围。该系列阻抗调谐器内置了定向耦合器，配合R&S®ZRxxxL系列接收机，可测量端口的输入输出波量 ( $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$ )，实现全校准的矢量负载牵引测量。这种方法也可常用于混合负载牵引测量，提高最大可用调谐范围。



MPI探针台和罗德与施瓦茨变频器组成的紧凑系统支持三端口在片测量。  
(© MPI Corporation)

## 损耗对调谐范围的影响

传统调谐器结构和支持直接连接射频探针的Focus Delta调谐器



## 应用

矢量网络分析仪和探针台组成的基础系统可用于射频设备的在片测量。MPI公司提供多种型号的探针，包括频率高达110 GHz的单端探针和用于复杂偏置的多触点探针。

使用频率扩展单元和专门设计的MPI波导探针，能够将测量扩展到整个太赫兹频段。6G通信中的D波段和330 GHz频段都在这个频率范围内。全频段的测量方案，可以支持研发人员和工程师准确表征半导体器件，助力下一代通信技术的发展。

为了全面表征有源器件，推荐进行负载牵引测量。配合Focus微波公司的太赫兹频段波导调谐器，可支持太赫兹频段的负载牵引测量，并可集成在探针台系统中。

所有矢量网络分析仪测量都需要系统校准，整个校准流程可以分为两步：

- 1.使用MPI校准解决方案和配套软件校准矢量网络分析仪和频率扩展单元。有关详细信息，参阅MPI应用指南《简化太赫兹测量》(www.mpi-corporation.com/wp-content/uploads/ASTPDF/MPI-Simplifying-the-Art-of-Terahertz-Measurements.pdf)。

- 2.对系统中的用于负载牵引测量的阻抗调谐器进行校准。此校准使用Focus微波公司软件。

完成校准后，可使用Focus微波公司软件，控制阻抗调谐器实现所需要的阻抗，并控制R&S®ZNA系列矢量网络分析仪进行射频测量，完成器件表征。

MPI探针台确保准确定位，提供稳定的测试条件。此外，使用冷板和可控气流，实现对被测晶圆的温度控制。

## 总结

通信和传感器应用已经扩展到了太赫兹频段，需要先进的半导体技术和器件。罗德与施瓦茨、MPI公司以及Focus微波公司携手提供联合解决方案，可用于亚太赫兹频段和太赫兹频段在片测量。该解决方案包含矢量网络分析仪、探针台系统和阻抗调谐器，能够在太赫兹频段可靠准确地表征半导体器件。这三家行业领导者将共同加速创新技术的发展，为高频通信和传感领域开启新的可能性。

## 另见

[www.rohde-schwarz.com/product/zna](http://www.rohde-schwarz.com/product/zna)

[www.mpi-corporation.com/ast/applications/rf-and-mmw](http://www.mpi-corporation.com/ast/applications/rf-and-mmw)

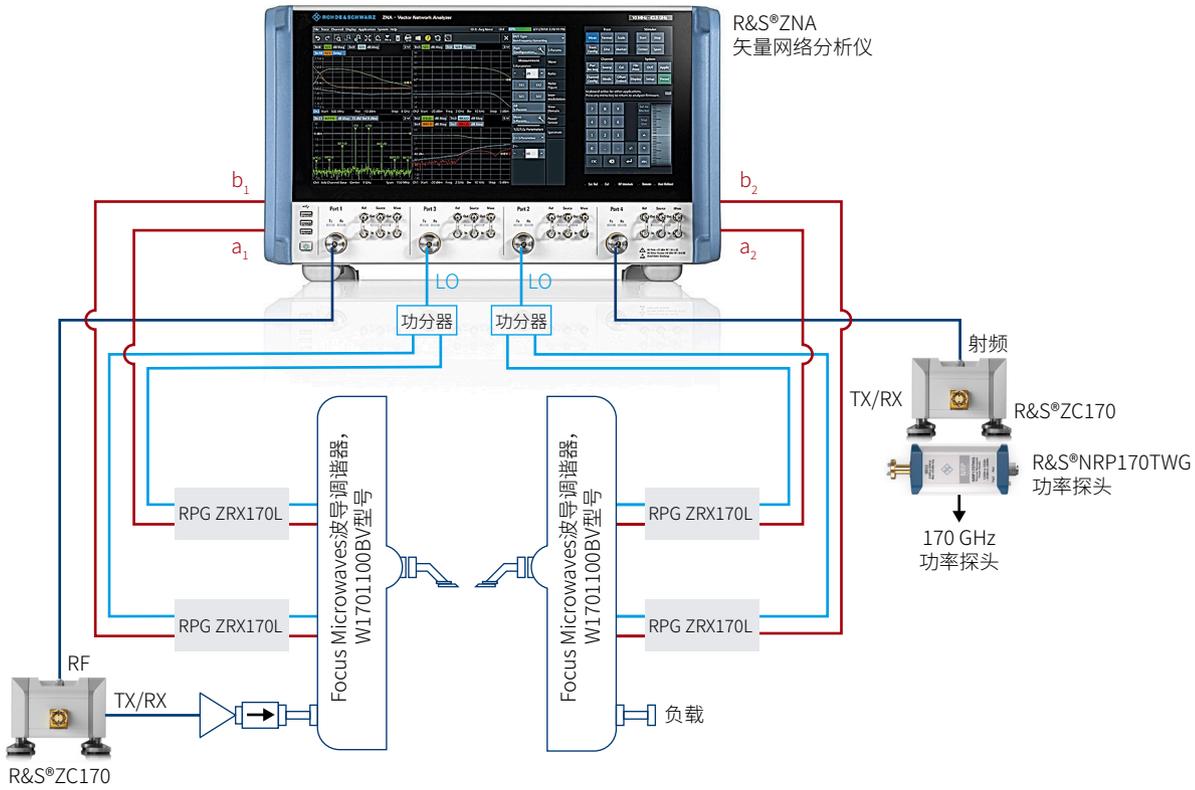
[www.focus-microwaves.com](http://www.focus-microwaves.com)



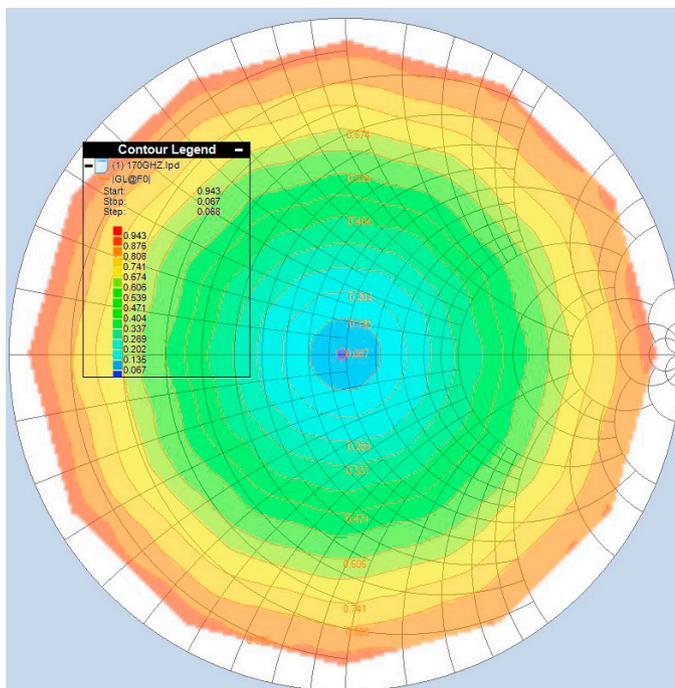
Focus Microwaves波导调谐器, W1701100BV型号  
(© Focus Microwaves)

## 太赫兹频段矢量负载牵引系统框图和最大可用阻抗调谐范围

下图为D频段矢量负载牵引系统，其中的小型波导调谐器能够直接连接到射频探针，并集成可选的双定向耦合器。双定向耦合器连接外部下变频器，直接测量被测件输入和输出的波量。



## 最大可用阻抗调谐范围



左图为Focus D频段WR06调谐器在170 GHz频率下，在调谐器参考面上的阻抗调谐范围。图中显示，在调谐器平面上最大VSWR可轻松达到16:1。调谐器在整个频段中保持非常平坦的VSWR响应。(© Focus Microwaves)

## 罗德与施瓦茨的服务 你会得到很好的照顾

- ▶ 遍及全球
- ▶ 立足本地个性化
- ▶ 可订制而且非常灵活
- ▶ 质量过硬
- ▶ 长期保障

## 关于罗德与施瓦茨公司

作为测试测量、技术系统以及网络安全方面的行业先驱, Rohde & Schwarz technology group通过先进方案为世界安全联网保驾护航。集团成立于90年前, 致力于为全球工业企业和政府部门的客户提供可靠服务。集团总部位于德国慕尼黑, 在全球70多个国家和地区设有分支机构, 拥有广阔的销售和服务网络。

## 罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司

[www.rohde-schwarz.com.cn](http://www.rohde-schwarz.com.cn)

罗德与施瓦茨公司官方微信

## 可持续性的产品设计

- ▶ 环境兼容性和生态足迹
- ▶ 提高能源效率和低排放
- ▶ 长久性和优化的总体拥有成本

Certified Quality Management

ISO 9001

Certified Environmental Management

ISO 14001

## 罗德与施瓦茨培训

[www.training.rohde-schwarz.com](http://www.training.rohde-schwarz.com)

## 罗德与施瓦茨客户支持

[www.rohde-schwarz.com/support](http://www.rohde-schwarz.com/support)



R&S® 是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

PD 3608.9624.95 | 02.00版 | April 2024 (ch)

亚太赫兹频段的在片器件表征

© 2024 文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改

