ISSN：2958-2245

2025年 3/4月

Microwave Journal China

微波杂志



horizon house®

Founded in 1958

mwjournalchina.com

微波/射频/无线工程师的专业聚会

EDICON 2025 Electronic Design Innovation Conference 电子设计创新大会

4月23-24日

北京国家会议中心

(电磁兼容大会同期同地举行)

欢迎

赞助、参展、免费参会

探讨和展示议题

- 5.5G/6G、毫米波
- 卫星通信
- 雷达、相控阵
- 物联网
- Wi-Fi 7/Wi-Fi 8
- 测试和测量
- 设计/建模/仿真/测试软件
- 天线
- EMC/EMI/SI/PI
- 半导体/芯片
- 高速和高频互连
- 导航和定位
- 车联网
- 无人机
- 软件定义无线电
- 人工智能/机器学习
- 无源和有源元器件

注册　官方网址　联系我们

主办 horizon house®　合办 ACT INTERNATIONAL　官媒 Microwave Journal　Signal Integrity Journal　Microwave Journal China 微波杂志

MWJournalChina.com/EDICON

SIGLENT® 鼎阳

WWW.SIGLENT.COM

股票代码：688112

通用电子测试测量仪器领域的行业领军企业

鼎阳 不止于示波器

银河系列高端射频新品

50 GHz	50 GHz	67 GHz
信号/频谱分析仪	矢量网络分析仪	微波模拟信号源



鼎阳科技公众号

鼎阳智库公众号

深圳市鼎阳科技股份有限公司

地址：深圳市宝安区68区留仙三路安通达科技园4栋三楼

全国免费服务热线：400-878-0807　　网址：www.siglent.com

邮箱地址：Market@Siglent.com

Microwave Journal China 微波杂志

目录 Contents

25年3/4月 Mar/Apr 25

www.mwjournalchina.com

封面文章 Cover Feature

04 台式射频测试中互连器件的演变
Evolution of Interconnects in Benchtop RF Test

08 电子设计创新大会（EDICON）议程表

10 电子设计创新大会（EDICON）展品荟萃

技术特写 Technical Feature

16 通过连接模块化创新支持商用车生产
Supporting Commercial Vehicle Production Through Modular Innovation

20 太赫兹元件制造的最新进展：迈向下一代通信系统的一步
Recent Advancements in Terahertz Components Fabrication: A Step Toward Next-Generation Communication Systems

24 波束赋形和AESA天线在卫星通信中的角色
The Role of Beamforming and AESA Antennas in SATCOM Communications

特别报道 Special Report

28 手持式微波消融系统为未来提供动力
Powering the Future: The Journey to a Handheld Microwave Ablation System

31 卫星直连到设备：卫星突围的第二幕
Direct-to-Device: Satellite's Breakout Second Act

32 四大创新趋势重塑微波无线电市场
Four Innovative Trends Reshaping the Microwave Radio Market

产品特写 Product Feature

34 高密度连接增强了PXIe测试与测量功能
High-Density Connection Enhances PXIe Test & Measurement

36 专有连接器设计可提高质量和相位稳定性
Proprietary Connector Design Enhances Quality and Phase Stability

产品简报 Product Brief

37 耐用射频电缆组件
Durable RF Cable Assemblies

37 超低剖面UWB天线
Ultra-Low Profile UWB Antenna

38 新品橱窗 New Products

40 广告索引 Advertising Index

欢迎投稿：winsonx@actintl.com.hk
15611832959（电话/微信）

俊科 SHX 上海华湘计算机通讯工程有限公司

华湘测试子系统解决方案

欢迎来电垂询.....

关注【上海华湘】了解企业新动态

5G/自组网测试子系统

卫星地面接收测试子系统

多通道选择及切换开关矩阵测试方案

负载老化等测试子系统

综合测试子系统

经典产品

同轴固定衰减器 DC-6, DC-18, DC-40, DC-67

同轴固定负载 DC-6, DC-18, DC-40, DC-67, DC-110

可调衰减器 DC-6, DC-18, DC-40, DC-50

程控衰减器

大功率合路器

大功率定向耦合器

耦合器/功分器/合路器

同轴/固态开关

自动化测试子系统

测试附件

电话:021-54451395

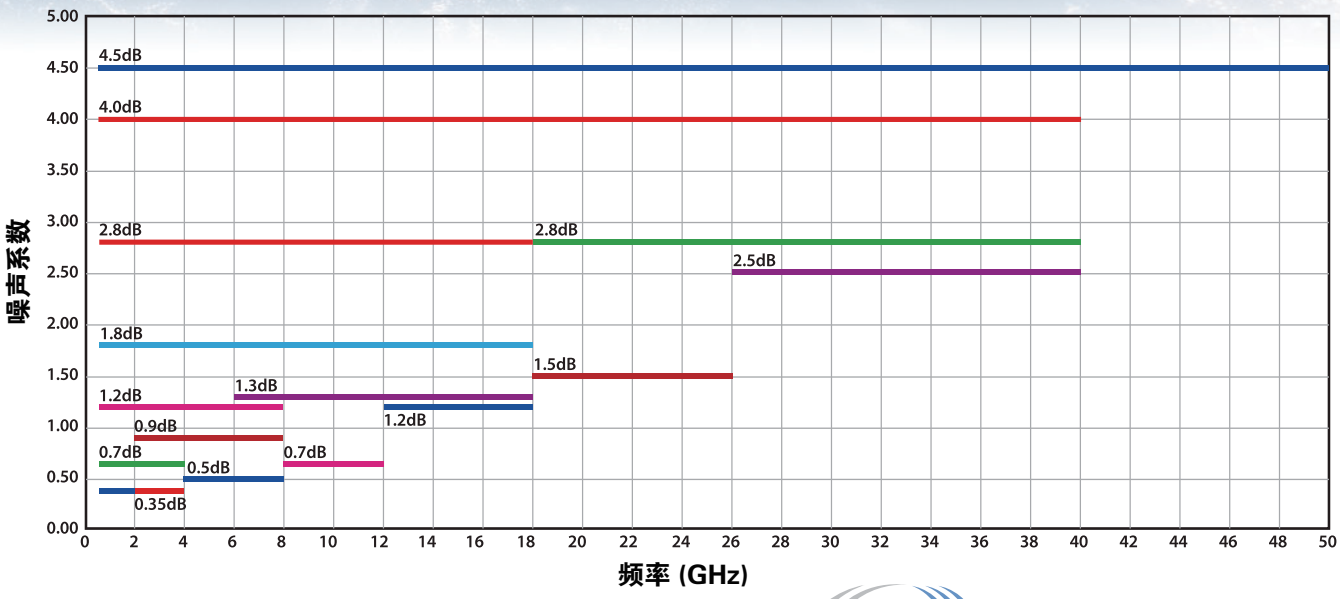
Email:shx@shhuaxiang.sina.net

网址:www.shx-sh.com

放大器性能不够或交付不及时阻碍过您的项目吗?



一些频段中的噪声系数



B&Z TECHNOLOGIES
Innovating to Excel

www.bnztech.com

台式射频测试中互连器件的演变

Jim Alexander, Dan Birch and David Beraun, *Samtec, New Albany, Ind.*

除了矢量网络分析仪（VNA）等测试仪器外，被测设备（DUT）的测试夹具也是射频台式评估的关键要素。DUT的复杂程度从单个芯片或元件到整个印刷电路板(PCB)子系统不等。在评估DUT性能时，最理想的情况是将测试设备直接连接到DUT的端口。然而，出于实际考虑，这种方法通常并不可行。因此，需要在DUT和测试设备之间使用测试夹具。

测试夹具通常由连接器、电缆和印刷电路板组合而成。测试夹具的主要目标之一是使其在电气上尽可能透明。这意味着测试夹具在整个测量带宽范围内都不应影响测量结果。S. Sankararaman等人[1]进一步分析了测试夹具去嵌入和注意事项。

本文结合现代测试夹具面临的重要技术挑战，回顾了台式射频测试中某些类型的互连器件（电缆和连接器）是如何根据不断变化的测试需求而发展的。

技术挑战

VNA通常用于射频台式测试。自1970年代推出商用VNA以来，这些功能强大、用途广泛的仪器发生了巨大的变化。当时，这些设备是由多架不同仪器组成的。自问世以来，VNA已发展成为具有快速采样率、基于FFT的频谱分析、宽带宽和大容量内存的系统，可支持复杂宽带信号的分析。最近增加的直接数字合成（DDS）使较新的VNA可以从窄带分析扩展到几乎无限的带宽[2]。

幸运的是，VNA的技术进步也大大提高了测量速度。例如，1970年代的全频段频率扫描可能需要一个多小时。如今，VNA可以在几分之一秒内完成频率扫描。这种速度上的变化增强了VNA的作用，使其具备了实时测量能力，通常还能结合温度变化和振动等环境刺激进行测量。值得注意的是，这些刺激不仅会影响DUT的性能，还会影响测试夹具。



图1：Samtec Nitrowave™电缆在测试应用中使用Keysight P502A USB VNA。

随着微波设备和系统的不断普及，32GHz和43.5GHz等新频段对于5G无线通信和K波段卫星通信等应用变得越来越重要。支持台式射频测试的VNA电缆通常经过优化，以实现最小损耗以及在时间、弯曲和温度条件下的相位稳定性。VNA及其相关电缆的示例如图1所示。随着新频段的应用，有机会优化新的电缆和/或连接器变体。例如，针对32GHz优化的电缆可提供比针对40GHz优化的电缆损耗更低的解决方案。

此外，当今的测试装置要求互连器件（包括电缆和连接器）能够支持比以往更多的物理通道数，并在更小的空间内提供更高的密度。它们必须以高线性度运行，即在频带内没有非线性相位变化，并在连接/断开互连器件后显示出可重复性。这一点在最初的系统调试中尤为重要。要在电缆和连接器中满足所有这些互连需求，对供应商来说是一项挑战。

电缆和连接器的演变

在射频台式测试的早期，选择电缆或连接器往往是事后才考虑的事情。设计人员经常是有什么用什么。如今，与印刷电路板的连接可以使用各种不同的互连器件，每种器件在处理复杂信号时都各有优缺点。

SMA连接器

自1960年代起，亚小型A版(SMA)连接器就开始为射频和微波应用服务。如今，它们的应用频率高达27GHz。传统上，SMA采用通孔技术焊接到电路板上。后来，表面贴装型连接器开始流行，而边缘贴装型SMA则用于最高频率的应用。老式连接器，尤其是通孔设计，非常适合在频繁使用的恶劣条件下使用。但是，这些连接器可能需要大量的技术和/或昂贵的工具才能达到最佳效果。SMA连接器因其广泛的可用性和显著的坚固性，只要其带宽支持DUT的频率上限，仍然是一个很好的选择。

压紧安装连接器

自1960年代以来，压紧射频连接器就以某种形式存在，但最近由于能更容易地支持更高的频率而受到青睐。这



图2：Samtec REF-228591评估套件配有多个压紧安装连接器。



热情、好奇心和创造力的共同之处在哪里?

答案: 你

无论你自称为何（创客、学生、修理者、业余爱好者、技术达人……），
你都呈现了创新精神——正是这种精神造就了一个更美好的世界，让我们共同受益。

只要你能想象出来，我们将在 digikey.cn 协助你实现

DigiKey 得捷

we get technical

DigiKey 是所有合作供应商授权的正品分销商。新产品每日添加。DigiKey和DigiKey Electronics是在美国和其他国家的注册商标。© 2025 得捷电子（上海）有限公司。本公司保留全部版权。
上海客服中心: 上海市长宁区长宁路1133号长宁来福士广场T1幢办公楼32层3202、3203、3205、3206单元 邮编: 200051

ECIA MEMBER Supporting The Authorized Channel 上海工商

EDI CON 2025
Electronic Design Innovation Conference
电子设计创新大会

4月23-24日
北京国家会议中心
(电磁兼容大会同期同地举行)

微波/射频/
无线工程师的
专业聚会

欢迎
赞助、参展、免费参会
MWJournalChina.com/EDICON

注册

官方网址

联系我们

主办 horizon house
合办 ACT INTERNATIONAL

官媒 Microwave Journal Signal Integrity Journal Microwave Journal China 微波杂志

与焊点有很大关系，更确切地说，是与消除焊点有关。事实证明，在较低频率下，焊点是连接互连器件的可靠方法。然而，随着频率和数据传输速率的提高，焊点的尺寸和形状等不可避免的变化转化为电气性能的变化[3]。多年来，推入式压紧安装连接器已改用螺纹，以提供更稳定的性能并确保安全连接。

压装连接器具有多种优势，包括与焊接连接器相比信号完整性更好、组装速度更快以及可拆卸和重复使用，这对射频台式测试的测试夹具非常有用[4]。例如，Samtec对测试夹具卡进行了优化，允许用户根据测试设置快速更换压紧安装连接器。图2显示了Samtec REF-228591评估套件的一个示例，其中包含1.35毫米、1.85毫米、2.40毫米和2.92毫米压紧安装连接器。

与焊接式连接器不同，压装式连接器通过微型通孔接入PCB信号层。这就避免了对大通孔和盲孔的需求。就性能而言，这可以转化为出色的阻抗，从而改善高速传输[4]。

对齐的重要性

小型压紧安装连接器非常适合用于测试、原型和诊断应用。这在很大程度上得益于其性能和易用性优势。这类连接器的一个问题是存在错位风险。遗憾的是，检测这种错位可能很困难[5,6]。

所有信号输入和输出都需要互连器件[7]。幸运的是，业界已经解决了连接器对不准的问题，如图3所示，增加了视觉标志，帮助正确对准小型压紧安装连接器。这些对准标记可大大加快装配和对准速度，同时提高产量。这些对准功能与印刷电路板上的靶标配合使用，确保压紧安装连接器的正确位置和接触。成组（ganged）连接器也具有对准功能，有助于避免错位。



图3：箭头所指豁口用于对齐。

无焊接成组连接器

随着测试夹具中对连接器需求的增加，设计会变得笨重且空间受限。解决这一难题的办法是在射频台式测试中经常使用成组无焊接连接器。无焊接连接器可实现更多通道。此外，成组无焊压紧系统还能提高更换连接器的速度、可靠性和占用空间问题。

图4显示了一个Samtec Bulls Eye®高性能测试组件的示例，该组件带有成

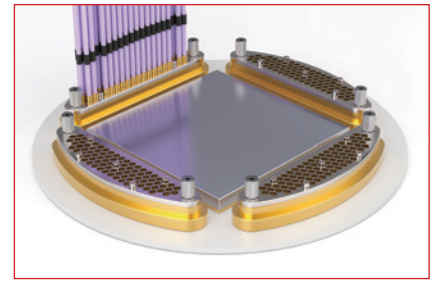


图4：成组压紧连接器简化了测试夹具板的设计。

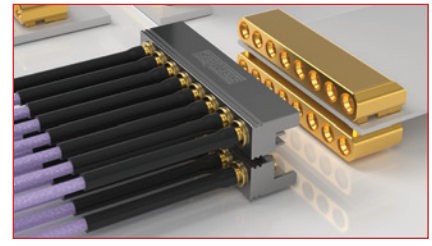


图5：带对带成组连接器配置。

组的无焊连接器和电缆。我们的研究表明，图4所示的配置具有良好的性能，因为电缆损耗低于PCB损耗。为了进一步降低损耗，成组连接器提高了连接密度，而且可以放置得更靠近DUT。

通过改变电缆接近夹具的平面，可以进一步发挥成组连接器的优势。当测试夹具有Z高度限制时，这一点就变得尤为重要。在这些应用中，将电缆与印刷电路板平行放置是非常有利的。如图5所示，Samtec的Magnum RF® GPPC-RA-SM产品具有3.94毫米的外形。

性能分析

为了证明成组连接器配置的优势，我们对两个成组电缆连接器和相同长度的电路迹线进行了分析。分析的目的是了解测试夹具在宽频率范围内的插入损耗(IL)和回波损耗性能。图6显示了电路迹线和两个成组电缆连接器的损耗比较。其中一个成组连接器使用直径为0.047英寸的低损耗电缆，另一个使用直径为0.086英寸的低损耗电缆。结果表明，与长度与电缆相同的6英寸低损耗介质带状线迹线相比，成组电缆连接器可大幅减少夹具IL，尤其是在频率增加时。这些结果使测试夹具设计人员对使用成组压紧安装连接器充满信心。

使用VNA时，互连相位和振幅稳定性是实现最佳性能的关键因素。特别是对于电缆而言，弯曲稳定性至关重要，因为夹具上会接入不同的测试点。为了实现稳定的测量，在动态应用中改用低损耗、高性能的微波电缆效果非常好。图7显示了Samtec Nitrowave LL043系列电缆在50万次弯曲前后50GHz的回波损耗性能。在这种情况下，非常适合用于

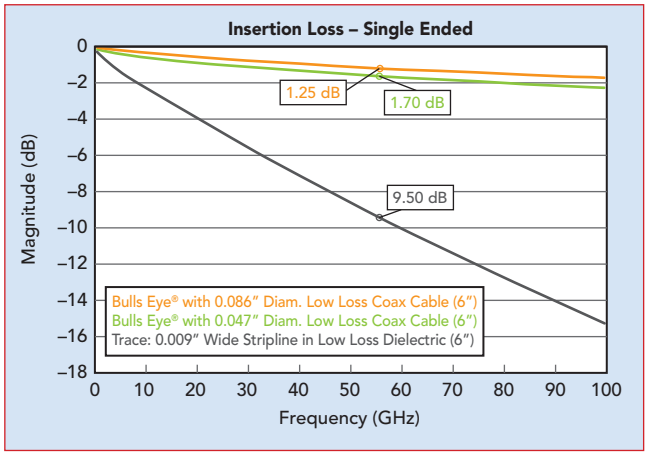


图6：成组电缆连接器和迹线的插入损耗对比。

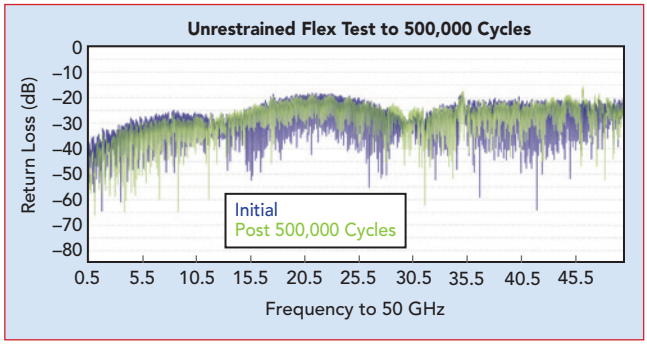


图7：弯曲50万次前后的相位稳定性。

射频台式测试应用的电缆在其结构中加入了中间层。这种结构是总体性能稳定的主要因素。

电缆的重要性

分析中使用的电缆是高性能微波电缆。随着本文所述连接器在射频台式测试中的发展，相关电缆也在发展。标准微波电缆类型，如RG142 50Ω电缆，可从许多不同的供应商处获得。此外，罗德与施瓦茨等VNA供应商也提供用于测试的电缆[8]。

有些设计需要高性能的多通道电缆，而台式测试和其他应用对柔性电缆的需求也在不断增长。W. L. Gore & Associates的PHASEFLEX®微波/射频测试组件[9]和Samtec的Nitrowave电缆[10]等产品具有出色的机械耐久性和电气性能。这一点非常重要，因为在校准测试夹具时，电缆通常处于一个静态位置。然而，校准后，电缆可能会被移动到设备上的不同测试点。在这种情况下，保持校准信号的稳定性就变得非常重要。

展望未来

在整个射频台式测试的发展过程中，互连器件供应商和仪器供应商都在使自己的产品更易于使用。这种发展提供了更稳定的性能，并支持频率范围的不断扩大。预计互连器件供应商将继续适应测试设备制造商的变化。对更大通道数和更高密度的需求将继续推动对更低间距和更高带宽的成组连接器的需求。

此外，升级现有技术的机会将变得越来越重要。例如，1毫米连接器的传统额定最高频率为110GHz。新的应用促使人们需要升级设计，并将这些连接器和电缆的工作频率提高到125GHz甚至更高。毫无疑问，时代已经发生了变化，现在人们对互连技术给予了极大的关注。随着新技术挑战的出现，制造商将继续推进互连技术的发展。■

参考文献

1. S. Sankararaman, S Tucker, I Novak and G.Blando, "Realistic Use Cases for Edge, Angled, and Vertical Launch Connectors up to 100GHz," DesignCon 2024.
2. J. P. Dunsmore and J. -P. Teyssier, "The Evolution of Vector Network Analyzers to Provide Precision Vector Spectrum Anal-ysis for 6G Applications: VNA Evolves for 6G EVM Signals," IEEE Microwave Magazine, Vol.25,No.12, Dec.2024, pp.77–90, doi:10.1109/MMM.2024.3438711.
3. "Webinar: Impact of Solder Reflow on High Bandwidth Connectors, Samtec gEEk®spEEk," Samtec,Web: https://www.samtec.com/support/videos/we-binar-impacts-of-solder-reflow-on-high-bandwidth-rf-connectors-781934976/.
4. "What are Solderless Compression Mount Connectors?," everything RF, https://www.everythingrf.com/commu-nity/what-are-solderless-compression-mount-connectors.
5. "Mechanical Consideration for Com-pression Mount RF Connectors," Samtec gEEk® spEEk, December 2022.
6. Jean-Jacque DeLisle, "How to Reliably Align Compression Connectors for Mil-limeter Wave Applications," Microwave Journal, Vol. 66, No. 3, March 2023, pp.70-80.
7. M. Griesi,Z.Speraw, E.Loy and S.Wronowski, "Millimeter Wave Design: Optimizing Performance in RF Compres-sion Mount Connectors," Samtec, Web: https://suddendocs.samtec.com/note-sandwhitepapers/samtec-millimeter-wave-design.pdf.
8. VNA accessories, Rohde & Schwarz.
9. "Data Sheet: GORE® PHASEFLEX® Mi-crowave/RF Test Assemblies," Gore.
10. High-Performance RF Microwave Cable Assemblies, Samtec, https://www.sam-tec.com/rf/cables/high-performance-microwave/.



地点：北京国家会议中心 日期：4月23-24日 展览时间：9:00-17:30；会议时间：9:30-16:30

第10届电子设计创新大会（EDICON 2025）

电磁兼容大会将同期在405和406会议室举行，将发表超过24场演讲

了解更多
https://www.mwjournalchina.com/edicon/

立即注册
https://w.lwc.cn/s/VBRNjy

时间	K	4月23日上午，报告厅，主旨演讲	
09:30	K1	6G通信和AI的融合赋能社会数智化转型	中国移动研究院首席专家/6G总监刘光毅博士
10:00	K2	AI时代基础设施技术的演进：从算力芯片到数据中心互联	是德科技技术与解决方案部总监李凯
10:30	K3	从低轨卫星终端、载荷、整星到在轨的完整测试	罗德与施瓦茨业务发展经理刘晓普
11:00	K4	低空经济背景下的无人机电磁兼容技术发展与挑战（电磁兼容大会）	南京航空航天大学教授曾庆生
11:30	午休，参观展览		
4月23日下午			
	T1	分会T1：毫米波/太赫兹/测试/器件	402A室
13:00	T1a	毫米波矢量负载牵引系统：测量技术的实际比较	Focus Microwaves首席执行官 Iason Tsironis
13:25	T1b	太赫兹在片噪声测试系统	Focus Microwaves应用工程经理郜圣捷
13:50	T1c	让用户掌控微波开关系统的设计	品英仪器产品与市场开发经理王琦
14:15	休息，参观展览		
14:45	T1d	高频多通道线缆组件的开发与运用	德普福总经理马向阳
15:10	T1e	高可靠高稳定性微波毫米波电缆组件解决方案	迈可博总裁刘伟
15:35	T1f	定制化太赫兹解决方案推动下一代连接技术的发展	Farran应用工程师Courage Mudzingwa
	T2	分会T2：测试/太赫兹/天线/WiFi	402B室
13:00	T2a	调制分析测量方案的进化-从WiFi 6到WiFi 7	鼎阳射频产品工程师梁杰
13:25	T2b	面向新一代射频芯片技术趋势的ATE量产测试方案	爱德万高级技术经理孙佳焱
13:50	T2c	太赫兹扩频模块在天线测试中的应用	泰莱微波总经理赵亮
14:15	休息，参观展览		
14:45	T2d	生产加工误差对高速串行信号的影响-设计十大误区	一博科技研发总监吴均
15:10	T2e	Wi-Fi 7从研发到生产的全面验证	罗德与施瓦茨业务拓展经理张红云
15:35	T2f	铺就Wi-Fi 8之路：核心特性与目标一览	LitePoint资深产品经理温中义
16:00	T2g	单通道100G物理层核心技术突破与产业实践	淼森波总经理邓桂才
	T3	分会T3：AI/ML，主持：是德科技	403室
13:00	T3a	AI浪潮下光电互连技术发展及测试挑战	是德科技解决方案工程师吴季元
13:25	T3b	AI服务器的发展与信号完整性挑战	罗德与施瓦茨业务发展经理裴英良
13:50	T3c	AI算力芯片关键技术与测试(PCIE6.0/CXL)	是德科技解决方案工程师朱梦
14:15	休息，参观展览		
14:45	T3d	AI驱动的RRU节能：LLM多代理系统如何优化能耗	新拓尼克研发经理王占仓
15:10	T3e	AI时代高速电缆和PCB的测试挑战	是德科技解决方案工程师孙丽晴
15:35	T3f	基于数据分析的机器学习技术解决高频电磁问题	Altair高级技术经理焦金龙

* 本表为计划议程，随时有可能更改，最终以现场为准。

4月24日上午			
时间	T4	分会T4：测试/器件/SDR/毫米波	402A室
09:30	T4a	变频器的相位响应测试	《微波杂志》顾问、鼎阳科技高级应用专家尤嘉
09:55	T4b	超高速产品发展中的测试应对	德普福总经理马向阳
10:20	T4c	利用最先进的矢量信号收发器增进DUT特性分析	东方中科应用开发总工程师刘洋
10:45	休息，参观展览		
11:15	T4d	全系列高功率宽带耦合器解决方案	迈可博总裁刘伟
11:40	T4e	软件定义无线电加速6G通信与非地面网络原型开发	NI主任应用工程师张德锋
12:05	T4f	从硬件到软件：如何用软件无线电优化毫米波射频设计	新拓尼克产品经理杨建慧
	T5	分会T5：5G/6G/卫星/天线/PCB	402B室
09:30	T5a	AI赋能6G无线终端与网络	是德科技高级技术方案工程师孙长明
09:55	T5b	解锁5G/6G时代的测试测量解决方案	德思特高级技术工程师胡姝蕾
10:20	T5c	新一代卫星通信测试技术全景解析	中星联华技术支持总监苏水金
10:45	休息，参观展览		
11:15	T5d	终端导航卫星通信用户的商业空间	Qorvo中国区销售总监黄靖
11:40	T5e	B5G及6G新基站天线的高性能设计	赵鲁豫博士，安徽大学教授/朗普达公司
12:05	T5f	如何面对高速设计的挑战	一博科技研发总监吴均
	T6	分会T6：半导体/芯片	403室
09:30	T6a	射频集成电路智能综合技术及iRFS软件	东南大学特聘教授/博导王海明博士
09:55	T6b	用于无线通信的射频滤波器/集成产品开发技术	稳懋先进技术中心协理林正国
10:20	T6c	下一代GaAs HBT工艺和应用	三安副总经理魏鸿基
10:45	休息，参观展览		
11:15	T6d	III-V族化合物半导体向高频的演进	稳懋先进技术中心协理林正国
11:40	T6e	面向DC-110GHz应用的国产高性能射频工艺	吴牧之，臻频
12:05	T6f	面向4D毫米波雷达应用的开放式8T8R雷达芯片	岸达高级硬件工程师曹财荣
4月24日下午			
	T7	分会T7：测试/毫米波/半导体	402A室
13:30	T7a	宽禁带半导体器件测试挑战	罗德与施瓦茨市场经理王洪立
13:55	T7b	评估EVM和BER恶化程度的快速高效的PAPR测量方法	David Li，Maury Microwave
14:20	休息，参观展览		
14:45	T7c	模块化数字阵列产品及应用	普源精电业务拓展经理王林
15:10	T7d	兼具上下变频功能的毫米波频谱仪扩频模块	鳌太电子总经理王明福
15:35	T7e	遗传算法优化IBIS-AMI模型设计200G SerDes	MathWorks中国区通信电子半导体行业经理陈晓挺博士
	T8	分会T8：器件/SI/PI/EMC/PCB　主持：苏水金	402B室
13:30	T8a	抗负载失配的双频高效率负载调制放大器设计	北京理工大学长聘副教授/博导林峰博士
13:55	T8b	深度解析高速信号完整性的“隐形杀手”	中星联华技术支持总监苏水金
14:20	休息，参观展览		
14:45	T8c	信号完整性测试-你的产品质检员	一博科技研发总监吴均
15:10	T8d	EMC仿真流程化的价值与落地思考	Ansys高级应用工程师倪胜
15:35	T8e	大电流通流设计-线缆通流和垂直供电技术	中兴通讯信号完整性设计师卢娴
	T9	分会T9：NTN/测试/毫米波/雷达	403室
13:30	T9a	泛在连接，3GPP NTN 直连终端测试	罗德与施瓦茨业务拓展经理张红云
13:55	T9b	全面的解决方案助力加速NTN设计测试	是德科技技术方案工程师魏永杰
14:20	休息，参观展览		
14:45	T9c	110GHz毫米波矢量网络分析仪应用	创远信科高级硬件工程师张伟伟
15:10	T9d	TDD时隙分离干扰定位方案	创远信科技术支持杨宇巍
15:35	T9e	基于程差方程重构的定位方法研究	裕韬智能董事长郁涛

* 本表为计划议程，随时有可能更改，最终以现场为准。

本栏目只刊登了EDICON 2025的很小一部分展品。访问官网www.mwjournalchina.com/edicon预览更多展品及了解活动详情。微波杂志读者使用邀请码“MWJC”注册可免费参会。扫二维码或访问w.lwc.cn/s/NFf2uy立即注册。

任意波形发生器



德思特任意波形发生器（AWG）是可以提供各种模拟数字信号生成的设备，包括台式仪器和基于PCIe/PXIe总线板卡。它支持多样的复杂调制信号，包括模拟调制AM、FM、PM和数字调制QPSK、QAM、FSK等等。除了提供强大的信号生成功能之外，可触屏的UI界面使得用户可以快速上手使用，编辑输出用户想要的各种波形。

德思特

手持频谱分析仪



HSA800系列频谱分析仪专为满足现场作业而设计。采用高亮度6.5英寸屏幕。大容量可充电电池，连续工作时间达4小时，推盖式电池仓方便随时更换。内置跟踪源、场强测量、GPS/北斗导航测量等选件，能够快速可靠地完成多种常规测量任务。通用USB、LAN接口，可实现远程操控。使用标准完备的SCPI命令集，可快速组建和升级集成测试系统，方便用户使用。

白鹭电子

信号发生器



Prosund SP200系列信号发生器支持6GHz以内的矢量信号和高达40GHz的模拟信号生成。具有出色的相位噪声、ACPR、EVM。经过验证的可扩展平台以及经济高效的校准和内部诊断功能，并且能根据今后的测试需求轻松升级。无论是针对5G、半导体、汽车，还是航空航天与国防等特定应用，该信号发生器都能支持生成更准确的信号来激励器件和系统，并保证更快的速度。

普尚电子

射频同轴连接器



该产品接口类型广，最高可达DC-110GHz，精密测试级，可靠性高，使用寿命长等优点。

正迪微波

12bit示波器6428E-D



3G带宽，10GS/S采样率，4G超长内存，12bit高分辨率示波器。

Pico Technology

高性能超精密稳幅稳相测试电缆



Acculine是翼波电子结合在微波测试领域多年的工程经验不断优化后推出的高性能、超精密、幅度和相位极其稳定的微波测试电缆组件。该电缆采用公司多年实践优化后的电缆结构，确保产品在反复弯曲过程中信号传输的稳定和可靠。种类丰富的精密连接器可满足客户在不同频段、不同应用环境下的需求。坚固且柔软的铠甲确保了良好的使用寿命，可降低用户的综合成本。

翼波电子

功率放大器



我们的射频功率放大器采用固态设计，实现了超宽带覆盖与高达10KW的饱和输出功率。其卓越的功率控制及散热设计，以及精细的监测与保护功能，为信号的高效传输与稳定性提供了保障。该设备在通信、雷达系统及科研探索中展现出其卓越的性能，实现了高功率与高稳定性的完美平衡，确保了在宽频带内的稳定输出和优异的信号质量。

焱行科技

射频环形器隔离器



射频无源器件，产品频率范围DC-112GHz，功率最高可达20KW。

优译

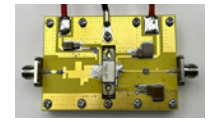
频率响应分析仪



VENABLE 6300系列二通道频率响应分析仪是广受欢迎的双通道频率响应分析仪，采样率高，隔离电压600VP-P。

马舍科技

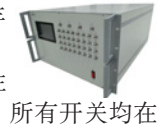
GaN功率放大器



氮化镓功率放大器ZDN8044/ZDN8045，陶瓷封装，超宽带，覆盖DC-6GHZ，28V电压，支持连续波应用，功率分别是30W和50W，效率高达55%；ZDN603/ZDN6112，塑封，高性价比，覆盖DC-3GHZ，28V，支持连续波，功率为30W和100W，效率高达70%；这4个型号，满足反无系统对带宽、功率、效率、性价比的苛刻要求。

中电宏业

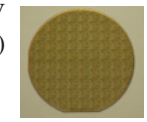
开关矩阵



泰莱微波技术团队有20余年的同轴开关研发经验，经过多年的技术沉淀和批量生产，同轴开关的性能和可靠性得到了广大客户的认可。所有开关均在十万级无尘车间装配完成，并在出货前100%进行万次可靠性和重复性测试。

泰莱微波

晶圆代工



专业与客制化的III-V族MMIC（射频集成电路）应用解决方案。

Win Semiconductors

幅相控制多功能芯片



幅相控制多功能芯片集成了串行驱动机制，能够对信号的幅度和相位进行精确控制，适用于通信、雷达以及电子战等领域。通过串行接口控制，这类芯片能够在复杂的系统中实现高效的信号处理和管理。

益丰电子

晶圆测试探针



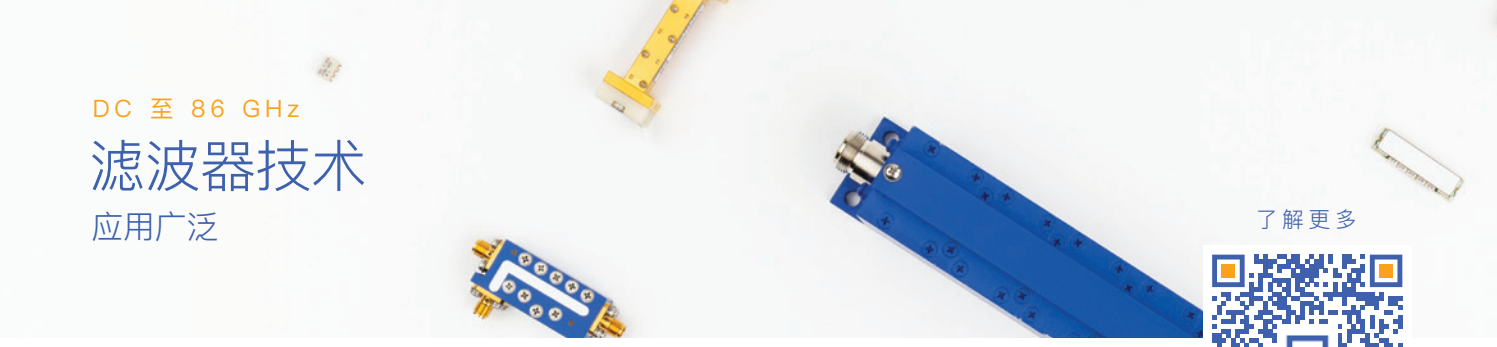
德普福提供各种类型的晶圆级测试探针，以满足信号完整性和晶圆级测量应用。型号齐全，包含GS/SG、GGS、SS、GSSG、GSGSG，频率覆盖26.5GHz-145GHz。德普福晶圆探头可以达到高严格的耐用性和高低温，以满足客户端芯片不同级别的测试环境。

德普福

DC 至 86 GHz

滤波器技术

应用广泛



了解更多

腔体



- 通带范围至43.5 GHz
- 阻带范围至 57 GHz
- 带宽窄至1%
- 100+ dB的抑制度

陶瓷谐振器



- 分数带宽从 0.5 至 40%
- 优异的功率处理能力，最高至 20W
- 微型SMT封装实现高Q 值

集总L–C



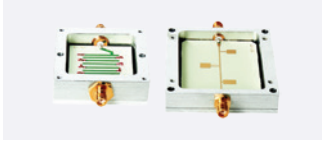
- 广泛的产品选择
- 多种封装选择，包括水洗封装
- 多种滤波器拓扑结构

LTCC



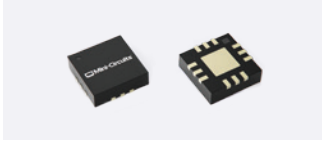
- 体积小，最小封装0202
- 业界最丰富的毫米波 LTCC 滤波器选择
- 专有设计，阻带抑制度高达 100 dB

微带线



- 带连接器设计，分数带宽为4%至40%
- 最高功率处理能力为 10W
- 平坦的群延迟

MMIC非反射型



- 专利设计，吸收并内部消除阻带信号
- 与放大器、混频器、倍频器ADC/DAC等完美搭配使用

矩形波导



- WR–12, WR–15和WR–28接口
- 通带范围高达 87 GHz
- 高阻带抑制，达到40 dB

悬置基片



- 超宽通带，最高可达 26 GHz
- 宽阻带，最高可达 40 GHz
- 高 Q 值

氧化铝薄膜组件



- 通带范围从 DC 至 40 GHz
- 宽通带内实现高抑制
- 微型SMT封装

Mini-Circuits®

PXI/PXIe微波多路复用器

新款40/42-788系列PXI/PXIe微波多路复用器模块，使用行业领先的Radiall高品质机械微波开关，扩展了Pickering射频和微波开关范围。该模块系列提供8GHz到40GHz带宽；单或双SP8T、SP10T或SP12T多路复用器等多种开关配置，是构建复杂微波开关网络的理想之选。



品英Pickering

110GHz矢量网络分析仪

110G矢量网络分析仪测试系统覆盖频段宽、测试功能强大、测试性能稳定、操作简便且具有很高的灵活性。其频率为1MHz-110GHz，可以轻松应对5G毫米波、卫星通信、汽车雷达、半导体芯片测试、材料测试、天线测试、高速线缆测试、微波部组件测试、科研教学、V2X等测试需求，是推动现代高频电子技术发展的关键测量工具。



创远信科

工控主板

点数：4011；器件种类：185；PCB尺寸：233.5*162mm；双面回流+选择性波峰焊+压接；阻容感最小封装尺寸：0402。



一博科技

射频拉远单元4401M

O-RU是一种白盒化的Radio方案，使得运营商在Radio选择层面更加灵活，进而使其网络有更独立和自由的发展形态。RRU 4401M O-RU是一款ORAN CAT A宏站产品，支持FDD B3/N3频段，有四路收发通路，空口每通道40W规格。支持LTE和5G NR制式，最大载波带宽50MHz。支持直流（三线和两线）接电方式。



新拓尼克Syntronic

6GHz 实时频谱分析仪模块

BB60D—6GHz实时频谱分析仪模块和射频记录仪。频率范围：9KHz~6GHz。IQ数据采集：4KHz到27MHz可变并经过幅度修正。分辨率带宽：10Hz到10MHz。内部时基精度：±1ppm/年。扫描速度（RBW≥30KHz）：24GHz/秒。幅度范围：+10dBm到DANL。工作温度：标准型：从0°C到+65°C；宽温型选件：从-40°C到+65°C。



舜特科

SDS7000A数字示波器

带宽：8GHz，6GHz，4GHz，3GHz，2GHz。存储深度：最高2Gpts/通道。垂直分辨率：12-bit。实时采样率：最高20GSa/s。波形捕获率：最高100万帧/秒。支持眼图与抖动分析、协议一致性分析等高级测量分析功能。



鼎阳科技

SDR软件无线电

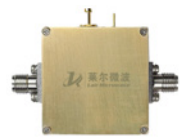
USRP4120，UCRP4320，USRP6330，USRP7440，前传加速卡等。



彬鸿科技

4-10.5GHz有源二倍频器

LMA-1003有源二倍频器采用创新拓扑结构实现4-10.5GHz输入/8-21GHz输出，内部集成倍频与放大模块，无需外置放大器即可实现在5dBm驱动下输出功率达14dBm@8V（典型值）。该器件支持+5.5~+15V宽电压工作，宽频段内输出稳定，适配通信、雷达及测试设备，助力毫米波信号链高效扩展，为毫米波系统提供高性价比的本振解决方案。



莱尔微波

射频连接器、转接器、线缆组件等

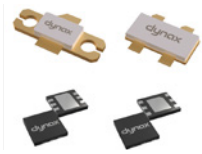
0.8mm—145GHz主要用于太赫兹通信；1mm—110GHz主要用于半导体测试、卫星通信和仪器仪表；1.35mm—90GHz主要用于无人驾驶和卫星通信。毫米波连接器3.5mm、2.92mm、2.4mm和1.85mm广泛应用于光通信、物联网仪器和雷达系统。18GHz高频BNC产品主要应用于广播系统、4K、8K高清及远程视频通信等领域，以及其他与射频相关的更多型号及线缆组件。



蓝箭电子

低空经济GaN 射频功率管产品

能讯半导体专注于GaN射频功率放大器解决方案开发，为低空经济通信应用提供全系列解决方案。DC-6GHz是低空经济通信端主流应用场景，客户需求痛点集中在宽带化需求，追求用更少的射频功率器件满足宽带覆盖应用。依据这个需求点，能讯推出DF2G0060-08N、DF2G0030-30N1、DF2G0330-50DF，以及DF2G0330-100EF系列产品，满足客户宽带应用需求。



能讯半导体

模块化仪器

SUA8000模块化仪器产品线旨在为客户提供灵活、高效的测试测量解决方案。该产品线包括标准化的模块产品，以及由这些模块组成的高性能仪器和测控系统，能够根据客户需求自由组合，快速部署，灵活扩展。通过采用统一的平台架构和强大的软件支持，模块化仪器不仅功能多样，还具备卓越的灵活性与可升级能力，帮助客户以更低的总体成本应对复杂测试需求与业务系统应用需求。



普源精电

基于PXI的射频测试系统

基于PXI的射频测试系统，NI PXIe-5842、NI PXIe-5633，频率覆盖30 MHz - 26.5 GHz（可扩至54 GHz），带宽达2 GHz，在EVM性能上表现优异，并支持VNA测试分析功能，能为多种商业应用提供有力支持。



东方中科

高精度巴特勒矩阵

0.617~7.25GHz 4x4和8x8宽带高精度巴特勒矩阵可对0.617~7.25GHz 4路和8路输入信号分别进行4路或8路信号分配和相位控制，每一路产生4路或8路等幅但不同相位组合的信号输出，从而使4种或8种状态的合成信号实现不同的波束指向。是5G测试、WIFI 6E测试、MIMO测试、多路径仿真与性能评估、阵列天线波束形成等应用的理想选择。



迈可博

MiCable

通过 ISO9001质量管理体系认证
通过GJB9001C国军标质量管理体系认证

新品 2~6GHz 100W

GaN 功率放大器

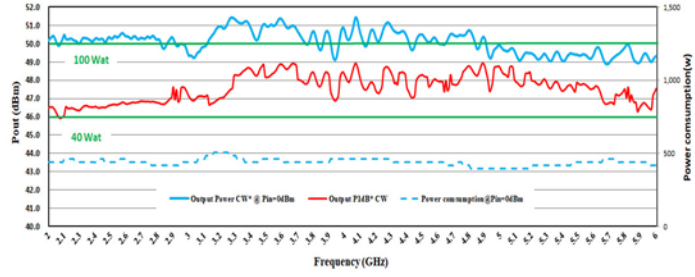


¥118,888.00/台 (1-4)
现货销售

- 高输出功率 Psat 49/50 dBm
  P1dB 46/47 dBm (Min/Typ.)
- 高增益 49/50 dB (Min/Typ.)
- 低谐波(2nd/3rd) -20/-25 dBc (Typ.)
- 低杂散 -70 dBc (Typ.)
- 低驻波 1.5:1 Typ.

MPAR-020060S50 是一款采用先进的GaN技术设计的2-6GHz 100W高增益固态机箱式放大器，具有较高的饱和功率输出同时兼具高P1dB输出功率和较好的线性的特点。其内置控制、检测和保护电路，提高了功放的可靠性和可用性，广泛应用于5G、LTE、WIFI和其它相关系统的模块测试及EMC测试等领域。

*用户也可定制特殊需求的功放



输出功率@ Pin=0dBm & P1dB (连续波, 负载驻波≤1.2, 25℃)

关注微信公众号

福建迈可博电子科技集团股份有限公司
电话:400-918-0388
邮箱:sales@micable.cn
网址:www.micable.cn

经销商:伟博电讯有限公司
电话:400-887-3088
邮箱:sales@mitron.cn
网址:www.mitron.cn

八通道高精度幅相控制器

1.7-6GHz/24-43GHz八通道宽带高精度幅相控制器是伟博电讯开发的高精度信号幅度和相位控制器，具有0.1dB和1°的幅度和相位调整步进，50dB和360°的幅度和相位调整动态。在任意幅度相位组合下具有0.1dB和1°（2°@24-43GHz）的绝对典型幅度和相位精度。自带校准软件，无需进行外部校准且每个模块都带有可同时控制的同步触发口，用户可用这些模块自由组成任意结构的系统。



伟博电讯

射频转接器

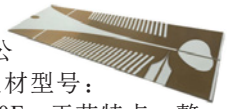
RFTOP提供近1000个型号的射频转接器，频率覆盖DC-110GHz，能满足射频行业不同类型的客户需求。RFTOP产品分为精密型和经济型两个等级，产品出厂100%射频性能测试，95%以上型号提供产品实测性能曲线图。具有频率范围广、界面尺寸精准、电压驻波比小、可靠性高、耐久性好、高性价比、交期快等特点。



频优微波

射频天线板

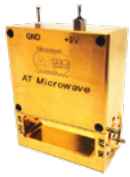
应用场景：5G天线；板材品牌：ROGERS；板厚(mm)：1.8，板厚公差(%)：±10；板材型号：RO4350B+RO4450F；工艺特点：整板电金AU+10U、多处控深锣



金晟达

毫米波和太赫兹模块与子系统

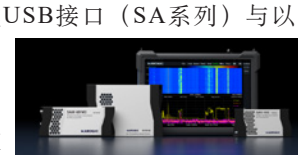
上海鳌太电子专注于毫米波和太赫兹领域，提供各种有源模块、无源模块、子系统及测试测量扩频模块，频率覆盖DC-500GHz。



鳌太电子

小型化实时频谱仪/接收机

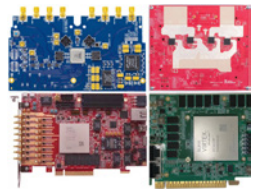
已形成USB接口（SA系列）与以太网接口（NX系列）、手持设备（PX系列）、频率范围9kHz至4.5/6/9/20/40GHz的全系列实时频谱分析仪/接收机产品。海得科技正通过持续的自主创新与投入，在射频微波前端、高速信号处理、测试测量等基础工程领域取得进步，并努力让更多的用户享受到先进射频设计所带来的灵活与便利。



海得科技

高速射频PCB设计加工

高速射频PCB设计加工是电子制造中的关键环节。它主要针对高频信号传输，要求精准控制阻抗、减少信号损耗与干扰。设计阶段需优化微带线、带状线等传输线结构，合理布局元件，避免电磁兼容问题。加工时，采用高精度蚀刻、钻孔工艺，使用低介电常数材料，确保高频性能。其广泛应用于通信、雷达等领域，是现代电子设备高速、稳定运行的重要保障。



励知科技

探针台，太赫兹扩频模块

我们可以提供的系统解决方案：RF、mmW&及负载牵引系统；IV、CV、PIV及硅光测试系统；存储器芯片及传感器系统；大功率及MEMS系统；红外热像可靠性测试系统；键合封装系统；激光检漏系统；颗粒检测设备。合作品牌包括：探针台制造商 MPI；load pull系统制造商 MAURY/AMCAD；太赫兹频率扩展及成像制造商 Farran；测量仪器制造商 KEYSIGHT。



中科睿华

BOONTON射频功率分析

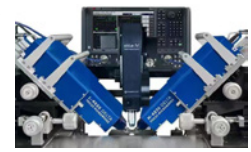
Boonton射频功率分析产品线提供高性能的射频和微波功率测量解决方案，包括峰值和平均射频功率计、实时USB功率传感器、电压表、调制分析仪和音频分析仪，为产品设计、生产、维护和系统集成提供精确的分析。



Maury Microwave

在片功率负载牵引系统

在片功率负载牵引系统是改变射频微波器件输入源阻抗和输出负载阻抗的阻抗牵引系统，它可以在片测量出射频微波器件及功率芯片在不同源阻抗及负载阻抗下的各种工作参数，典型的被测件是功率晶体管、MMIC。对于功率晶体管器件，可以测量出在最大输出功率、最佳功率附加效率或最佳线性特性下的源端和负载端的最佳阻抗匹配参数，从而优化放大器的设计性能及提高设计效率。



华美博

高精度衰减器负载

同轴固定衰减器适用于任何需要降低功率电平或进行电路匹配的场合，可定量吸收传输线中的能量，扩展功率量程，控制功率电平，并可配以小功率计、综合测试仪或频谱分析仪精确测量各种射频微波发射机的功率或频谱。同轴负载主要用于吸收射频或微波系统的功率，可作为天线的假负载和发射机终端。也可以作为多端口微波器件如环行器、方向耦合器的匹配端口，从而保证特性阻抗得到匹配，进行精确测量。



昕讯光电

移动式测量箱

朗普达移动式测量箱MTS-112为市面上首款全国产化的毫米波测试设备， 完全自主设计研发，高精度的宽带测试超过15个倍频程的频率覆盖（6-110GHz），超稳定方向图的双极化探头， 双轴共体转台系统，支持全无源及无源+有源测试，可定制的一键式报告自动生成系统。



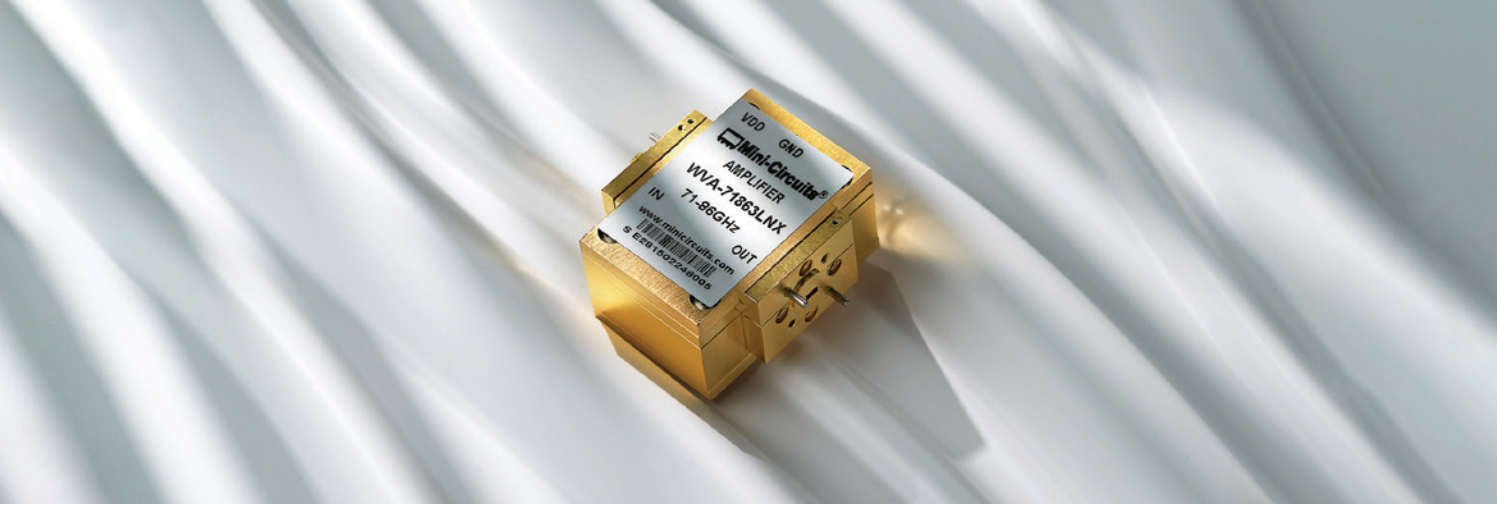
朗普达

天线测试扩频模块

Farran的AET和AER扩频模块系列是一种专用于天线的测试和测量解决方案。该系统由发射和接收单元组成，能够实现近场、远场、紧缩场高达500GHz的天线测量。所有模块的小尺寸和轻重量允许使用更轻的安装结构，无需复杂和昂贵的定位器，而不影响测量精度。非常高的振幅和相位稳定性以及特殊的动态范围确保了非常高的测量保真度，即使是低增益天线，并允许高测量速度和减少每个AUT的测试时间。



Farran



最高至 110 GHz

高频解决方案

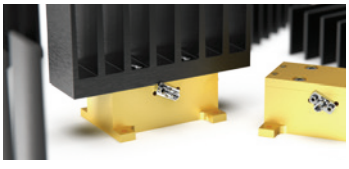
适用于毫米波应用的放大器和模块

波导放大器



- 带宽从 40 至 110 GHz
- 低噪声、高增益和中等功率选择
- WR10, WR12, WR15 & WR15接口
- TRP & TIS的OTA测试的理想之选

带连接器的放大器



- 带宽从50 kHz 至95 GHz
- 2.92, 2.4, 1.85 & 1.0mm 连接器选项
- 增益最高至 45 dB
- 噪声系数低至 1.7 dB
- 功率高达1W

增益可调放大器



- 带宽从18 至 54 GHz
- 增益最高至 50 dB
- 支持精确的17 dB衰减功能，可通过模拟信号或数字信号控制
- 饱和输出功率最高至 +1W
- 带遥测功能的交互式图形用户界面(GUI)

Mini-Circuits®

通过连接模块化创新支持商用车生产

Robert Weirauch, HUBER+SUHNER, Herisau, Switzerland

商用车的电气化仍在快速发展。在中国和欧洲，这无疑是正确的。根据ACEA的数据，仅欧洲的零排放城市公交车市场在2024年的前六个月就增长了45%[1]。与此同时，超过42%的城市公交车现在是零排放，这比五年前多了近三倍[1]。

与此同时，电动卡车的销售额也在不断攀升，到2032年，市场价值将达到约202.5亿美元[2]。例如，ICCT报告称，2023年欧洲轻型和中型电动卡车的销量将增长200%，因为用户将继续逐步放弃内燃机汽车[3]。

在商用电动汽车日益普及的同时，全球各地也出台了多项雄心勃勃的"绿色"政策和法规。其中一个突出的例子是欧盟委员会最近提出的气候目标，该目标建议到2040年将欧盟的温室气体净排放量减少90%[4]。该目标旨在帮助该地区到2050年实现气候中和，而电动卡车和公共汽车的使用在实现这一目标方面可以发挥关键作用。

需要克服的挑战

公共汽车和卡车制造商正在加大力度向大众市场提供电动汽车，用于所有车辆细分市场。对于那些涉及重型、长途运输的车辆来说，尤其如此。正如预期的那样，这导致了更高的产量，而随着这些车辆类型的普及，产量只会继续增加。

这给制造商带来了越来越大的压力，他们必须满足客户日益增长的需求。这不仅体现在预期交付周期上，也体现在性能上。制造商不仅必须想方设法缩短整体装配制造时间，优化电缆装配流程，以便更快地将车辆投入使用，而且还必须找到创新方法，使电缆和连接器达到最高性能水平。

在电气化时代，必须克服电磁兼容性问题。当关键电气系统、组件和设备相互干扰，无法同时工作时，就会出现电磁兼容问题。因此，新的电缆屏蔽连接方式必须成为现实。

通常，汽车制造商主要关注解决方案的直接成本。因此，对装配、测试和生产设备甚至返工等间接生产成本关注不够。最近，一些制造商已经意识到这一挑战，并开始转向模块化解决方案，将其作为电动汽车生产的最佳方法。

连接的模块化时代

自电气化新时代开始以来，HUBER+SUHNER一直致力于开发高压解决方案。起初，我们必须克服许多紧迫的问题。首先，制造商必须确保所有电缆和连接器都能发挥最大性能。这些问题引发了其他问题。避免电磁兼容性问题的最佳方法是什么？如何减少装配过程中的时间和工作量？对于HUBER+SUHNER来说，采用模块化方法可以解决所有这些问题。

最新一代高压电缆组件

模块化电缆组件已成为现代生产实践的关键。由于模块化生产需要使用预组装部件，这些即装即用的组件有助于缩短生产时间。这在很大程度上是因为原始设备制造商不再需要丰富的知识和经验来处理日益复杂的线束。

像HUBER+SUHNER RADOX®模块化汽车电缆组件(mCAY)这样的解决方案现在已经通过终端测试证明。这意味着制造商可以立即将这些组件安装到其商用电动汽车中。图1举例说明了高压电缆组件在商用车中的应用。

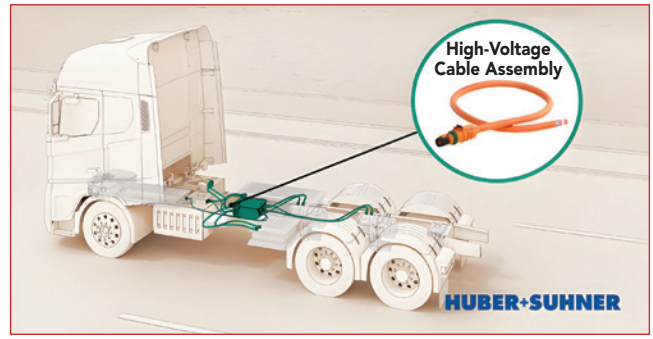


图1：应用中的高压电缆组件和RADOX高压电缆。

不断发展的伙伴关系，而不仅仅是技术

随着模块化技术成为现实，它们改变了HUBER+SUHNER在市场中的运作方式。我们从仅提供电缆的供应商转变为这一高压领域的完整解决方案提供商。这种定位上的变化有助于供应商，同时也为OEM制造商，提供新的解决方案，如RADOX技术。结果就是创新的电动汽车和高质量的最终产品。

优化车辆内部的连接

mCAY解决方案的一个重要优势是实施和使用了电磁脉冲技术(EMPT)。利用电磁脉冲技术建立内部装配能力的投资是巨大的，但它已被市场认可和采用。电磁脉冲技术使用短小的高功率电流来连接和形成导电材料，这使得使用该技术的公司（如HUBER+SUHNER）超越了传统的压接技术，因为传统的压接技术在电流负载下存在一些技术限制。

EMPT工艺不会给连接点带来大量热量。这意味着所使用的材料能保持完全强度，完全适用于恶劣环境。这也有助于确保这些材料和连接点在其寿命内提供高质量的电气性能。市场上最新的连接器与RADOX高压电缆相结合，形成了可靠的电缆组件，可作为大功率应用的连接核心。

商用电车的完整连接方案

模块化方法并不是一种放之四海而皆准的方法。许多制造商都希望使用具有某种程度个性化的解决方案。产品个性化对于向不同的用户群（包括"非公路"或其他行业）提供量身定制的客户体验至关重要。该行业的供应商（如HUBER+SUHNER）一直在为客户提供量身定制的设计支持，以确保解决方案满足客户的需求。这种模块化定制方法的目标是成为商用电动汽车系统的一站式服务商。

RADOX为密集型车辆应用提供支持

几年前，RADOX电缆技术首次被引入汽车市场。RADOX是“辐射X联接”的缩写，利用的是交联工艺。在这一过程中，电缆暴露在可控的电子束中，电子束会穿透聚合物结构。这样就产生了交联，在不影响材料整体成分的情况下改善了材料的性能。这使电缆绝缘材料的热性能、机械性能和化学性能得到显著改善，使其成为重型车辆应用的合适解决方案。

RADOX材料可抵御极端高温，尤其是导致过热和性能下降甚至可能导致元件熔化的温度。同时，这些材料还能在极寒条件下发挥最佳性能，因为极寒条件可能导致绝缘材料变脆、

MiCable

通过 ISO9001质量管理体系认证
通过GJB9001C国军标质量管理体系认证

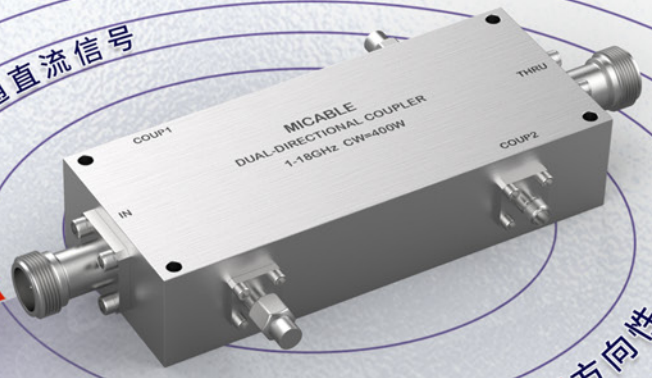
1~18GHz 30/40dB

大功率双定向耦合器

新品

可通直流信号

高功率容量
400W CW



低驻波、低插损、高方向性

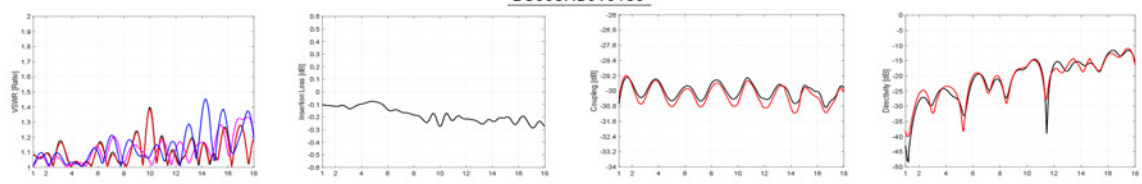
优异的耦合度、平坦度

型 号	工作频段 (GHz)	耦合度 (dB) Max.	主线驻波比 (:1) Max.	耦合端驻波比 (:1) Max.	插入损耗* (dB) Max.	平坦度 (dB) Max.	方向性 (dB) Min.	额定功率 (W) Max.
D3008HB010180	1~18	30±1.2	1.5	1.6	0.6	±1.2	10	400
D4008HB010180		40±1.2						

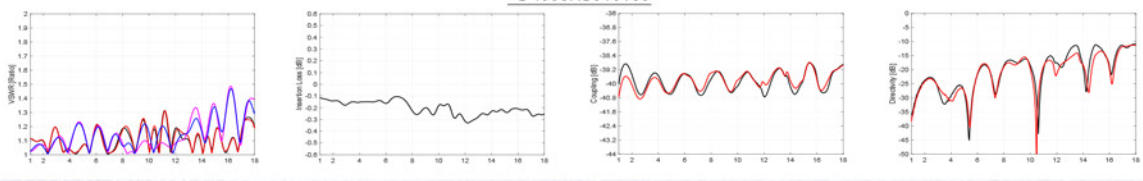
* 包含理论耦合损耗

测试曲线

D3008HB010180



D4008HB010180



迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

关注微信公众号

福建迈可博电子科技集团股份有限公司
电话：400-918-0388
邮箱：sales@micable.cn
网址：www.micable.cn

经销商：伟博电讯有限公司
电话：400-887-3088
邮箱：sales@mitron.cn
网址：www.mitron.cn

冻结或完全脱落。它们还能处理通常会导致短路和腐蚀的湿气和潮气。

车辆在使用过程中可能会遇到化学品。这种接触会迅速影响绝缘性能，并可能导致电气过载，从而引发系统故障。事实证明，RADOX材料也能有效克服这些挑战。

此外，经过筛选的RADOX高压电缆可承受高交流负载，确保动力总成系统在车辆的整个寿命期间都能有效工作。RADOX电缆结构坚固，符合ECER118阻燃标准，并符合Accord Dangereux Routier (ADR)标准。ADR是关于危险品运输的欧洲条约。此外，RADOX工艺还可实现高紫外线和耐候性，适用于直接暴露在不同环境下的应用。

高效配送高压电

基于定义明确的接口和内部架构，HUBER+SUHNER模块化高压配电装置(mHVDU)的组件可在较短的交货时间内根据客户的规格进行定制。这有助于原始设备制造商更快地将新型电动汽车推向市场，同时保持现成解决方案的高质量水平。模块化系统和组件根据各种全球汽车法规和标准进行测试和验证。

mHVDU采用模块化概念，与传统配电解决方案相比，具有更大的灵活性和可扩展性，包括输入、输出和熔断器应用。该装置作为完整系统解决方案的一部分也发挥着重要作用。mHVDU与HUBER+SUHNER高压产品组合的其他关键元件兼容，包括RADOX电缆和EV-C连接系统。此外，它还具有很强的适应性，因为其采用了市场上常见的标准化组件。图2展示了mHVDU和RADOX电缆如何用于各种商用车。

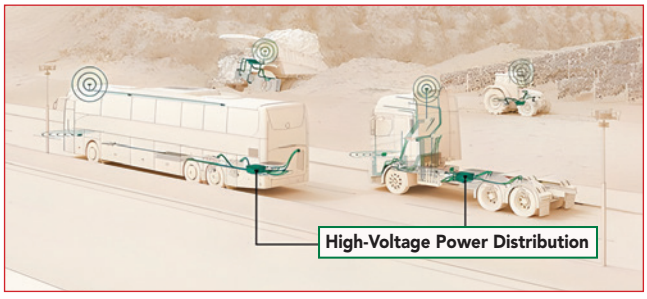


图2：mHVDU和RADOX电缆的使用。

考虑到mHVDU将与RADOX电缆暴露在同样恶劣的环境和条件下，该装置的设计能够承受较大的温度波动、振动和其他机械负载。这样做是为了提供可靠的解决方案，确保在重型应用中实现最佳性能。将mHVDU与高压电缆和连接系统配对使用，可显著改善各种系统的供电和能量分配。

抗冲击和振动能力更强的连接件

为了使高压连接系统在实际车辆使用过程中能够承受振动和冲击，有必要确保卓越的可靠性并增强解决方案的抗震性。HUBER+SUHNER开发了EV-C2高压连接系统，以减轻这些问题，并满足可能影响重型电动汽车性能的苛刻条件。这种增强型连接系统适用于-40℃至140℃的环境温度。整个系统按照B类电压的规定电压范围进行分类，包括使用交流或三相电流元件的高压电路，如电力驱动系统。根据DIN EN 60512-3-1标准，EV-C2在1000V直流电压下测量的绝缘电阻大于200MΩ。插入时，连接系统符合IP6K9K和IP6K7防护等级。

EV-C2具有预涂层螺纹，可提高密封性和机械阻力。此外，它还改进了密封概念，使结构更加坚固耐用。EV-C2产品系列于2024年3月推出。在推出时，我们注意确保所选材料能够让制造商使用符合“电子电气设备中有害物质限用指令

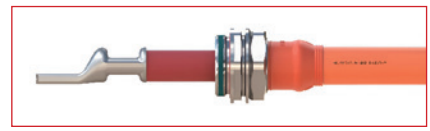


图3：RADOX EV-C2连接系统中使用的RADOX高压电缆。

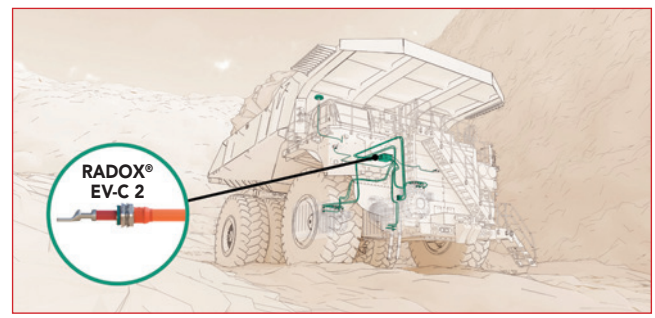


图4：RADOX EV-C2连接系统应用示意图。

RoHS 3”（欧盟2015/863）最新指令规定的连接系统。这种模块化方法在汽车生产中证明非常有效，为了简化安装过程，针对薄壁应用采用了较短的螺纹。带RADOX电缆的EV-C2连接系统见图3，典型应用见图4。

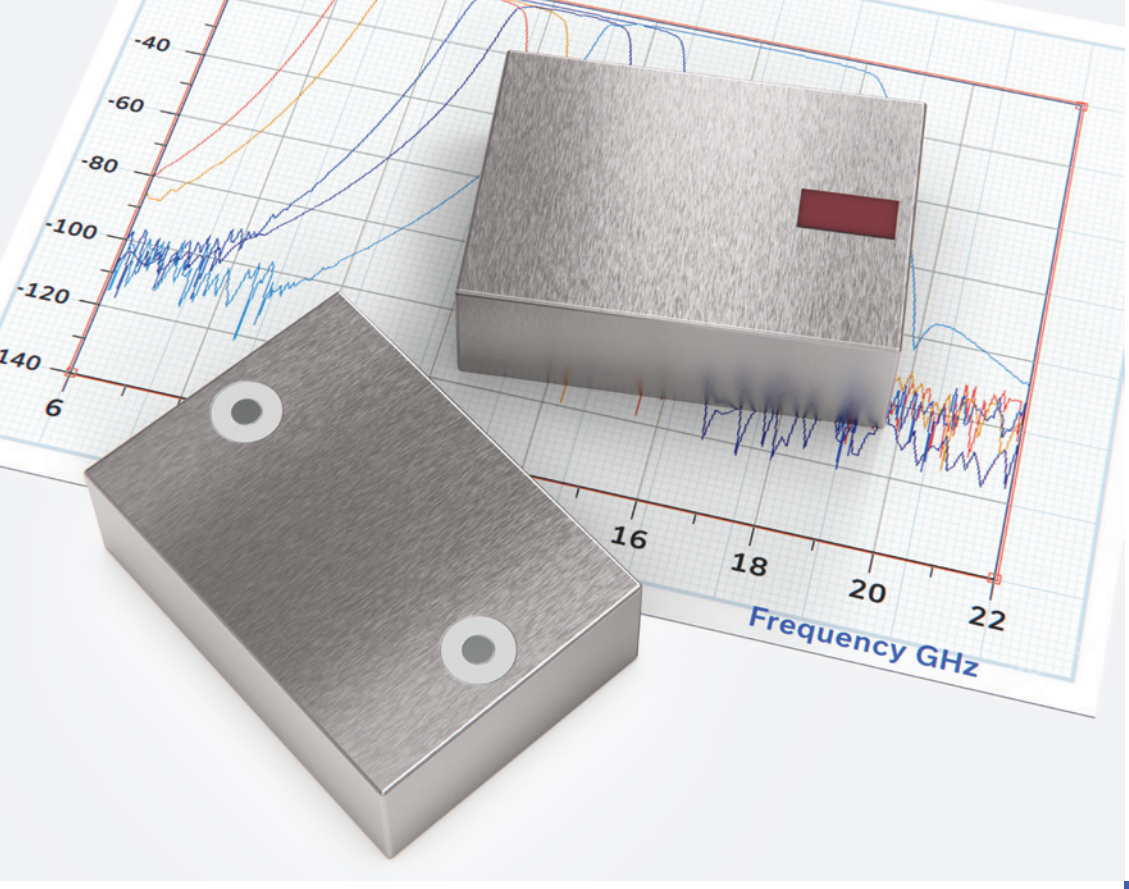
连接：今天和未来

随着燃料电池和电动商用车的不断增加，汽车行业必须不断发展，以确保在车辆和连接系统的整个生命周期内实现可靠的高压连接。通过开发RADOX和模块化技术，HUBER+SUHNER继续推动商用车领域的发展，重点关注能量流及其分配。在这一领域，灵活性至关重要。解决方案需要可定制，以满足特定的项目需求和更广泛的市场需求。这就是为什么像HUBER+SUHNER这样的供应商要超越单一功能的商品组件，为最终用户提供完整的解决方案，从设计阶段到成品都与客户合作。在当今市场上，这是支持不断向模块化系统过渡的最佳方式。■

参考文献

1. “Zero emission bus registrations +45% in Europe in H1 2024, says ACEA: Germa-ny and Spain grew, France decreased,” Sustainable Bus, July 30, 2024, Web: sustainable-bus.com/news/acea-zero-emission-bus-registrations-2024-half-europe.
2. “Global Electric Truck Market Size, Share & Trends Analysis Report, by Propulsion (BEV, PHEV & FCEV), Type (Light-Duty Trucks, Medium-Duty Trucks & Heavy-Duty Trucks), Range, Battery Type, Bat-tery Capacity, Level of Automation, End User, By Region (North America, Europe, APAC, and Others), and Segment Fore-casts, 2024 – 2032,” Factview Research, January 2024, Web: factviewresearch. com/report/global-electric-truck-market.
3. S. Ananda, E. Mulholland and A. Musa, “Race to Zero European Heavy-Duty Ve-hicle Market Development Quarterly (January–December 2023),” Interna-tional Council on Clean Transportation, March 19, 2024, Web: theicct.org/pub-lication/race-to-zero-eu-hdv-market-development-q4-2023-mar24.
4. “2040 climate target,” European Com-mission, Web: climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2040-climate-target_en.

第10届电子设计创新大会
第29届电磁兼容大会
地点：北京国家会议中心 日期：4月23-24日
两会同期同地举行，预计将发表80多场演讲，约60家参展商展示百种千款产品、方案、服务。
立即注册免费参会
w.lwc.cn/s/VBRNjy
了解更多
w.lwc.cn/s/iq2qeq



4 至 50 GHz

高抑制 LTCC滤波器

专有技术

- 100+ dB 抑制基准
- 内部屏蔽—无频率偏离
- 1812 表面贴装封装样式
- 实现SMD类器件最佳的EMI和EMC性能
- 与同等性能产品相比，尺寸和成本大幅降低

配套器件

TPHK-3002+

1812 LTCC直通线滤波器

- DC 至 30 GHz
- <1 dB 插入损耗
- 充当BFHK系列滤波器的占位空间
- 为线路板布局增加设计灵活性

扫码了解更多详情

Mini-Circuits®

太赫兹元件制造的最新进展：迈向下一代通信系统的一步

N. Gunavathi, National Institute of Technology, Trichy, India

太赫兹频谱（0.1至30太赫兹）的优势使其成为下一代通信系统的一个极具吸引力的选择。该频谱可提供高度安全、高吞吐量、干扰最小的通信。与传统的射频系统相比，太赫兹更宽的带宽大大提高了数据传输速率[1]。因为太赫兹元件的技术和基础设施仍处于早期开发阶段，这给开发和部署基于太赫兹的系统带来了挑战。将太赫兹技术用于实际的一个关键问题是成本。太赫兹元件的物理尺寸随着工作频率的增加而减小。大多数微波元件的传统制造技术不适合太赫兹频率。制造技术的新发展为满足这一要求提供了途径。本文将讨论适合太赫兹的先进制造技术中一些更有趣、更重要的最新发展。

材料选择和表征

制造材料的选择非常重要。研究微波介电材料在太赫兹频率下的特性对于精确设计元件至关重要。介电特性（如介电常数和损耗正切）的精确表征有助于设计出具有所需性能的元件，最大限度地减少信号损耗，并在太赫兹应用中实现更高的整体效率[2]。

这一研究领域已经引起了人们的兴趣，并且正在蓬勃发展。例如，Nattapong Duangrit等人[3]讨论了光聚合物介电特性的表征并利用时域光谱技术研究了聚合物样品的介电特性。Sasmita Dash等人的论文[4]研究了最常用的铜、石墨烯和碳纳米管(CNT)的材料特性及其对太赫兹天线的适用性。在太赫兹范围内，铜的导电性和集肤深度往往较低。与铜相比，碳纳米管具有更好的导电性，而石墨烯则表现出更好的性能。微型化和可重构性被认为是石墨烯天线的优势。Diego Correas-Serrano等人[5]对太赫兹频率下基于石墨烯的天线几何形状进行了详细研究并对石墨烯的导电性进行了数学建模和分析，石墨烯的导电性受其带状结构的影响很大。Rajour Tanyi Ako等人[6]对太赫兹元件表面使用的电介质进行了综述，研究并提出了薄膜电介质片、液态涂层和固化电介质材料作为间隔物的建议。还研究了通过蚀刻或加工技术形成的厚膜或块状介电材料，并提出了解决方案。

先进的制造方法

传统的制造方法需要无尘室环境、先进的机器和高技能人才，才能生产出用于超高频应用的纳米级元件。要确保太赫兹频段的性能，需要精确无误的制造技术。快速成型制造方法解决了传统技术的局限性，可用于制造各种有源和无源元件。图1显示了该行业的一些重要制造技术发展时间表。图2显示了支持高频元件和系统开发的部分工艺的时间轴。



图2：制造高频元件的工艺技术。

CMOS制造太赫兹元件

纳米CMOS晶体管栅极长度的缩短、器件规模的扩大以及模拟和数字元件集成的简便性，使硅成为太赫兹集成电路的一种可行的低成本材料。在CMOS工艺中，天线与所有其他元件一起制作在硅基板上。这样可以减少片上天线的互连，从而提高天线性能。Zihan Ning[7]开发并描述了采用180纳米CMOS技术的太赫兹可重构超材料原型测试芯片。65nm CMOS工艺被用于设计工作频率以300GHz为中心的紧凑型宽带天线阵列。Changmin Lee和Jinho Jeong报告了这项工作[8]。通过这项研究，我们制作出了增益和带宽都有所改善的结构，天线如图3a所示。如报告所述，开发了一种新型接地结构，以提高元件之间的隔离度。图3b为1×2天线阵列，图3c为2×2天线阵列。

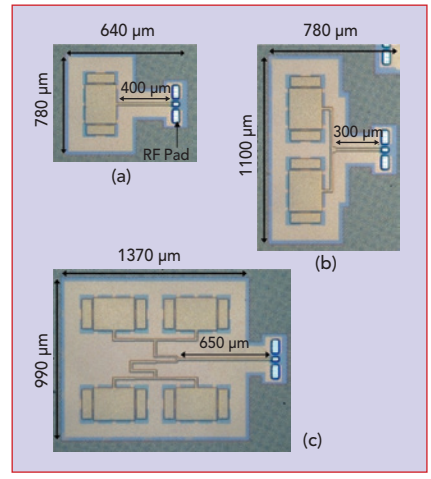


图3：(a) 65纳米CMOS工艺的片上天线。(b) 65纳米CMOS上的1×2天线阵列。(c) 65纳米CMOS上的2×2天线阵列。[8]

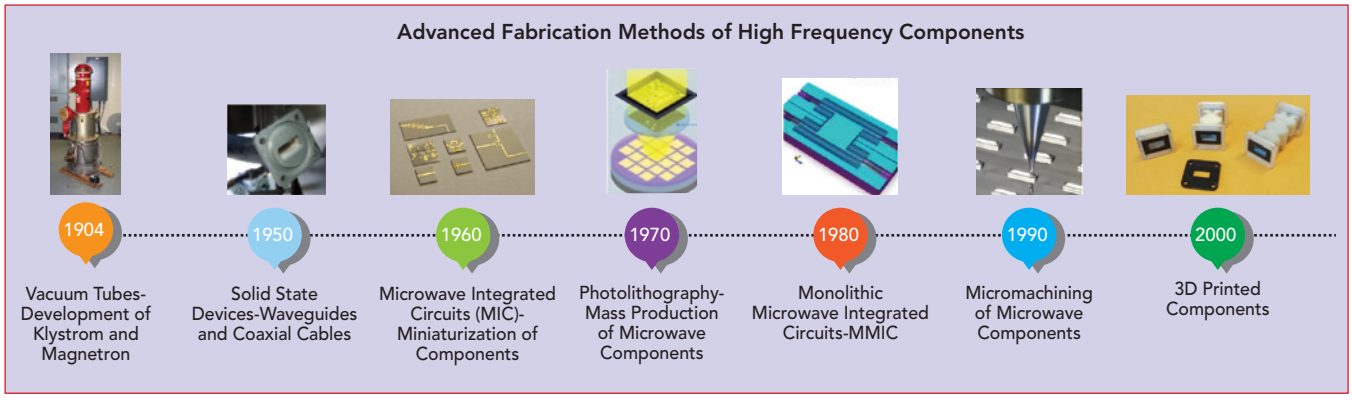


图1：高频元件制造方法的进展。

Mohammad Alibakhshikenari等人[9]展示了带有基底集成波导（SIW）通孔的超材料天线。该文所描述的天线采用堆叠层结构制作，以实现紧凑的天线结构。为减少表面波和基板损耗，在顶部硅层形成金属通孔。在0.4太赫兹片上天线的设计中采用了标准的0.18微米CMOS工艺，并带有缝隙辐射器[10]。SIW通孔连接顶部和底部金属层，并形成一个背腔以减少表面波。空腔将辐射引向低电阻率基底，从而改善了宽面辐射。适当设计的SIW侧壁可弥补有损硅基板的影响。

TeraFET

天线耦合太赫兹场效应晶体管（TeraFET）是专门设计用于太赫兹频率范围的场效应晶体管。这些器件将场效应晶体管的高速电子特性与天线结构相结合，使其能够探测、产生和操纵太赫兹电磁波。F. Ludwig等人[11]的论文中对使用TeraFET的太赫兹辐射硅CMOS检测器的建模和实验特性进行了广泛的研究。TeraFET检测器因其响应速度高、易于制造、响应时间超快以及可通过调整栅极、掺杂水平和沟道结构实现显著的可调性而日益受到关注。

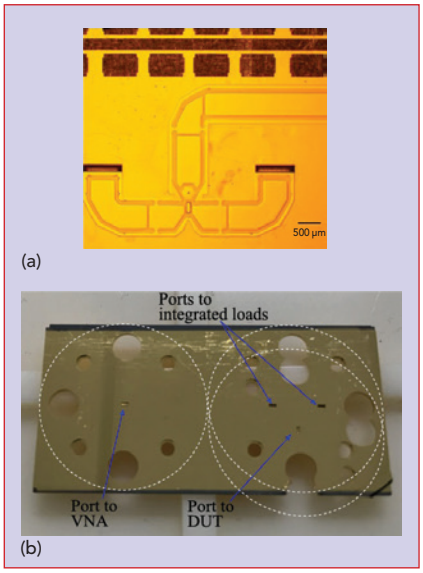


图4：(a)双线天线阵列[15]。(b)硅微机械加工中间件[16]。

硅微加工

选择合适的材料后，通过不同的蚀刻技术去除部分基底或薄膜，从而获得微机械加工结构。硅微机械加工主要采用两种方法：表面微机械加工和体微机械加工。表面微机械加工是利用沉积在硅晶片上的薄膜来制造表面结构。相比之下，体微细加工则是直接在硅基片上雕刻特征。蚀刻对硅基片的图案化至关重要，包括各向同性蚀刻和各向异性蚀刻。各向同性蚀刻可采用湿法或干法，可在所有方向上产生均匀的蚀刻，从而形成圆形特征。各向异性蚀刻主要采用干法，在特定方向进行蚀刻，产生边缘锋利的特征。这两种蚀刻技术对于实现硅微加工的精确和结构化效果至关重要。硅微加工具有制造成本低、公差限值高、特征尺寸小和易于元件集成等优点。微加工元件可减少表面粗糙度和插入损耗。硅微加工已被证明是制造太赫兹元件的合适方法。

A. Madannejad等人[13]提出了一种创新的硅微加工、低剖面、高增益天线，设计用于整个500至750GHz波导频段。其制造工艺是在硅绝缘体（SOI）晶片上进行的。A. Karimi等人[14]展示了由两个混合耦合器和两个SPST开关组成的紧凑型硅微加工交叉开关原型，该交叉开关原型由四个垂直堆叠的SOI芯片组成。如图4a所示，该文设计的天线阵列采用了先进的硅微加工技术，特别是深反应离子蚀刻（DRIE）和侧壁金属化技术。DRIE可以在硅中精确蚀刻深层垂

ARCHIWAVE
做最好用的通信感知射频芯片

波束赋形射频芯片

针对雷达、卫通、5G毫米波等应用，频率覆盖S/C/X/Ku/K/Ka波段，单通道至十六通道，支持多波束、多极化等各种架构

单功能射频芯片

- 检波器
  频率最高40GHz，动态范围最高95dB，10ns快速响应
- 射频开关
  9kHz-40GHz，高隔离，宽带，高功率，适用于多种应用场景
- 限幅器
  0.02-10GHz，低成本，小尺寸，连续波耐受功率10W，峰值100W
- 衰减/移相器
  9kHz-40GHz，高线性，低插损，串并控制可选
- 放大器
  4G/5G频段，硅基单片集成，单/双通道，高可靠性

热招岗位

资深模拟混合信号芯片设计工程师/设计经理
（PLL/ADC芯片方向）

资深毫米波/射频集成电路设计工程师/经理
（射频收发机方向）

资深毫米波/射频集成电路设计工程师/经理
（波束赋形/上下变频方向）

FAE工程师

销售经理

资深芯片生产运营经理

研发项目质量管理主管/经理
(Process Quality Assurance)

更多岗位请扫描右方二维码查看
所有岗位均开放内外部推荐，推荐奖金最高可达10万元，推荐电话：18018072575

上海安其威微电子科技有限公司
Web：www.archiwave.com/ Email：info@archiwave.com
Tel：021-50490103 / Add：上海市浦东新区张东路1387号07幢

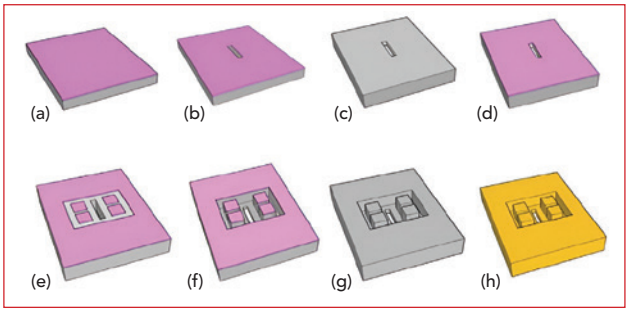


图5：太赫兹硅馈电天线的制造技术[18]

直结构。同时，侧壁金属化可确保沿蚀刻特征形成均匀的导电涂层，从而提高天线阵列的性能和完整性。通过这些技术，可以制造出天线在高频应用中实现最佳运行所需的复杂、高精度结构。

图4b显示的是Adrian Gomez等人讨论的用于多端口元件的硅微加工中间件[16]。硅微加工测试中间件具有更高的精度、更低的成本、更大的通用性和集成负载的能力。这些因素使它们成为推动亚THz波导元件开发的重要工具。

尽管硅微加工技术具有诸多优势，但其在复杂电路元件和信号链中的应用仍面临一些限制：

扇形侧壁：DRIE工艺会在蚀刻侧壁上产生扇形斜纹，增加表面粗糙度，并可能影响器件的性能和效率。

倾斜侧壁：由于深沟蚀刻过程中离子流和密度的变化，侧壁可能会变得倾斜而不是垂直。控制这种斜度对于保持精确的尺寸和性能至关重要，尤其是在微机电系统中。

长宽比相关蚀刻(ARDE)：根据沟槽长宽比的不同，ARDE会造成侧壁轮廓的变化，从而导致不同器件几何形状的轮廓各不相同。

表面粗糙度：表面粗糙度是造成矩形波导插入损耗的一个关键因素。要实现低损耗，尤其是高频率下的低损耗，就必须尽量减小表面粗糙度。

集成电路可集成性：制造方法应与集成电路工艺兼容，可同时制造有源元件和无源元件。

3D打印

3D打印的优势使其能够取代太赫兹元件的传统制造方法。该技术的主要优势是快速原型制作以及能够使用多种电介质和金属材料制作原型。3D打印技术的其他优势还包括：材料损耗低、产生的有害废物少、能够精确制造具有微米级特征的设备、易于重复以及可以使用单一桌面系统在平面和非平面结构上制造各种元件。Rui Xu等人介绍了用于5G的各种3D打印天线[17]。

3D打印有源和无源太赫兹元件

Shu-Yan Zhu等人的论文[18]采用了压印和干蚀刻技术来设计高斯波束天线。论文描述了在100μm厚的硅基板上蚀刻出50μm × 190μm的槽图案。较高的纵横比显示了使用干蚀刻技术的优势。DRIE工艺用于形成柱形光刻胶方块。在图5所示的制造过程中，通过干法蚀刻和光学光刻制造出了馈源。

Chao Gu等人的论文[19]采用两步3D打印技术打印了一个D波段天线。在这个例子中，开发了一个天线原型，使用金属打印，然后是介电材料打印。论文中描述的结构在135GHz频率下可获得14.2%的带宽和15.5dBi的增益，增益值来自增益增强技术。通过使用介质脊波导实现了宽带传播特性。Muhammad Talal Ali Khan等人[20]在论文中将3D打印和金溅射技术结合起来制造拓扑波导。所述的带空气通道的金属波导可用于高速互连。

激光技术

激光制造方法的发展使超薄结构的制造成为可能。如Qinghua Wang等人[21]所述，利用激光技术在电介质基底上制造出透明导电表面。电介质表面镀有10纳米厚的金属层，并通过激光烧蚀形成图案。使用纳米脉冲激光对金属沉积进行图案化。使用太赫兹时域光谱法测量了制造结构的表面电阻和可见光透射率。图6a显示了该文中使用的金属薄膜沉积和激光表面图案化技术。图6b显示了在8纳米厚的铜膜上用激光进行超材料表面图案化的光学图像。

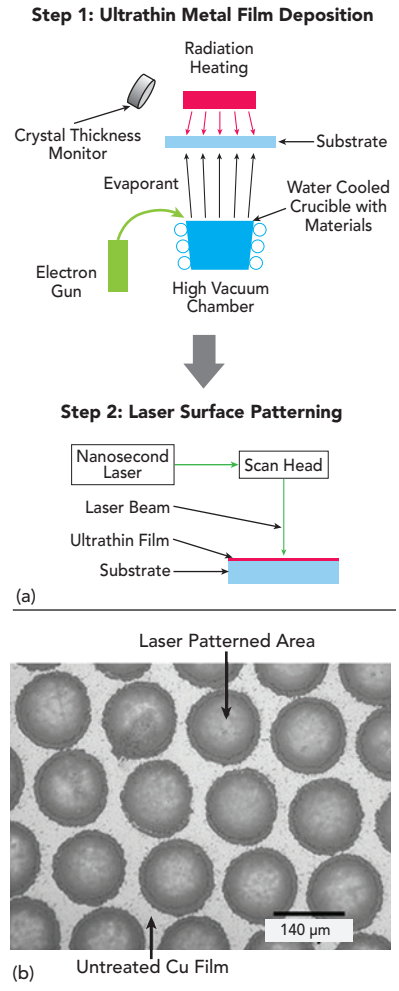


图6：(a)金属膜沉积和激光表面图案化。(b)超材料表面的光学图像。

Hou-Bing Liu等人的文章[22]采用激光

上接第30页

试点项目中获得的见解有助于优化设计和功能，确保在实际环境中满足医疗保健专业人员的需求。我们还制定了全面的培训计划，包括详细的教程、现场演示和专门的客户支持，以支持临床医生采用新技术。

结论

SwiftPro设备的成功上市是微波消融技术发展史上的一个重要里程碑。其性能和紧凑便携的设计为传统手术室以外的微波消融手术开辟了新的可能性。该设备和技术可用于门诊诊所、偏远地区，未来甚至可能用于家庭护理环境。通过在更广泛的环境中提供更多的治疗选择，这种可及性的扩大有可能大大加强对病人的护理。

除了目前在组织消融方面的应用，该技术未来还有可能扩展到其他医疗应用领域，如皮肤科和足科。这些应用可能包括治疗良性和恶性皮肤病以及其他各种皮肤病。Emblation的未来发展可能包括软件改进、扩大临床应用和新的治疗方案，以进一步提高设备的多功能性和临床价值。

致谢

Emblation获得了1906尤里卡新加坡英国皇家研究院第105977号拨款的资助。■

直接写入法制造了一种基于分形结构的太赫兹超材料吸收器，用于宽带应用。在这篇文章中，介电层上覆盖了一层负胶，图案是用激光直接写入法在光刻胶上形成的，然后用磁控溅射法进行金属沉积。激光可用于太赫兹元件制造的雕刻、熔化、钻孔、切割、烧蚀和图案化等多种工艺。直接激光图案化（DLP）是一种合适的无掩模方法，可用于在不同材料上制造各种微孔和表面图案[23]。由于飞秒激光DLP技术采用的是无掩模打印方法，因此设计上的变化很容易适应。

结论

本文概述了适用于太赫兹系统的先进制造技术的最新发展。太赫兹技术前景广阔，吸引了大量关注和投资。随着制造技术的成熟，人们有机会探索太赫兹在下一代通信系统中的应用前景。■

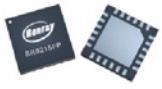
参考文献

1. M. V and N. Gunavathi, “Experi-mental Study on THz-FSS Struc-tures using SIW Technology, “ No-vember 2023, doi: 10.1109/ICRA-SET59632.2023.10420264.
2. J. Carter et al., “Terahertz Properties of Common Microwave Dielectric Ma-terials,” Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Vol. 44, 2023, pp. 873–884, Web: https://doi.org/10.1007/s10762-023-00940-3.
3. N. Duangrit et al., “Terahertz Dielectric Property Characterization of Photopoly-mers for Additive Manufacturing,” IEEE Access, Vol. 7, 2019, pp. 12339–12347, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893196.
4. S. Dash et al., “Material selection for THz antennas,” Wiley, 2017, doi: 10.1002/mop.31127.
5. D. Correas-Serrano et al., “Graphene-based Antennas for Terahertz Systems: A Review,” Forum for Electromagnetic Research Methods and Application Technologies (FERMAT), April 2017, arX-iv:1704.00371.
6. R. T. Ako et al., “Dielectrics for Tera-hertz Metasurfaces: Material Selection and Fabrication Techniques,” Advanced Optical Materials, 2019, doi: 10.1002/adom.201900750.
7. Z. Ning et al., “An AI-assisted Terahertz Reconfigurable Metamaterial in Stan-dard 180-nm CMOS,” Optics Com-munications, 2024, Web: https://doi. org/10.1016/j.optcom.2024.130934.
8. C. Lee and J. Jeong, “THz CMOS On-Chip Antenna Array Using Defected Ground Structure,” Electronics 2020, 9, 1137, doi: 10.3390/electronics9071137.
9. M. Alibakhshikenari et al., “Study on on-Chip Antenna Design Based on Metamaterial-Inspired and Substrate-Integrated Waveguide Properties for Millimetre-Wave and THz Integrated-Circuit Applications,” Journal of Infra-red, Millimeter, and Terahertz Waves, Vol. 42, 2021, pp. 17–28, Web: https://doi.org/10.1007/s10762-020-00753-8.
10. R. K. Kushwaha et al., “Design of a SIW on-chip Antenna using 0.18-µm CMOS Process Technology at 0.4 THz, Optik,” September 2020, Web: https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2020.165509.
11. F. Ludwig, J. Holstein, A. Krysl, A. Lis-auskas and H. G. Roskos, “Modeling of Antenna-Coupled Si MOSFETs in the Terahertz Frequency Range,” IEEE Trans-actions on Terahertz Science and Tech-nology, Vol. 14, No. 3, pp. 414–423, May 2024, doi: 10.1109/TTHZ.2024.3388254.
12. Y. Zhang and M. S. Shur, “TeraFET Tera-hertz Detectors with Spatially Non-uni-form Gate Capacitances,” Appl. Phys. Lett., Vol. 119, 161104, 2021, Web: https://doi.org/10.1063/5.0069072.
13. A. Madannejad, M. M. Gohari, U. Shah and J. Oberhammer, “High-Gain Circu-larly Polarized 500–750 GHz Lens An-tenna Enabled by Silicon Micromachin-ing,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 72, No. 5, pp. 4077–4085, May 2024, doi: 10.1109/TAP.2024.3383289.
14. A. Karimi, U. Shah, S. Yu and J. Ober-hammer, “A 220–260-GHz Silicon-Micro-machined Waveguide MEMS Crossover Switch,” IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, doi: 10.1109/TMTT.2024.3373870.
15. A. Karimi, U. Shah, A. Madannejad and J. Oberhammer, “Silicon-Micromachined Subterahertz Frequency Beam-Steered Dual-Port Array Antenna,” IEEE Transac-tions on Terahertz Science and Technol-ogy, Vol. 14, No. 2, pp. 258–268, March 2024, doi: 10.1109/TTHZ.2023.3344023.
16. A. Gomez et al., “Micromachined Wave-guide Interposer for the Characterization of Multi-port Sub-THz Devices,” Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, doi: 41. 10.1007/s10762-019-00663-4.
17. R. Xu et al., “A Review of Broadband Low-Cost and High-Gain Low-Terahertz Antennas for Wireless Communications Applications,” IEEE Access, Vol. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2981393
18. S.-Y. Zhu et al., “Compact High-gain Si-imprinted THz Antenna for Ultra-high Speed Wireless Communications,” IEEE Transactions on Antennas and Propaga-tion, doi:10.1109/TAP.2020.2986863.
19. C. Gu et al., “A D-band 3D-Printed An-tenna,” IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, doi:10.1109/TTHZ.2020.2986650.
20. M. T. Ali Khan et al., “3D-Printed Terahertz Topological Waveguides,” September 2020, Web: https://doi.org/10.1002/admt.202100252.
21. Q. Wang et al., “High Throughput Laser Process of Transparent Conducting Sur-faces for Terahertz Bandpass Ultrathin Metamaterials,” scientific reports, Web: https://doi.org/10.1038/s41598-019-38949-1.
22. H.-B. Liu et al., “An Ultra-Wideband Terahertz Metamaterial Absorber Based on the Fractal Structure,” Plasmonics, Web: https://doi.org/10.1007/s11468-20.01288-3.
23. B. Voisiat et al., “THz Components and Plasmonic Structures Fabricated by Di-rect Laser Patterning of Metals,” 39th In-ternational Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, 2014, doi: 10.1109/IRMMW-THz.2014.6956327.

Bonray 博瑞集信 让每个人都能用上自主可控的高等级核心芯片

新品速递 ▷▷▷

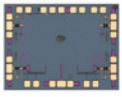
S、C波段驱动放大器系列



BR9213/9214/9215

» 高增益、小体积
» 内匹配
» 单电源供电

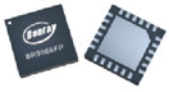
微波毫米波无源产品系列



DAT PS SW
BR9575/9576/9591/9592/9593/9364

» 超宽带、低插损、高精度
» 小尺寸、低功耗、高可靠性

集成VCO的小数N分频整数N分频低功耗PLL



BR9068

» 低功耗
» 集成压控振荡器
» 快速锁定

招贤纳新 ▷▷▷

校企携手 联聘英才

博瑞集信-西安交通大学
化合物半导体科教融合创新研究院

热招岗位：
校企联青年拔尖人才
校企联聘博士后

欢迎海内外优秀人才投递简历

快速响应、高效交付 | 提供免费样品试用 | 产品选型指导 | 提供现场技术支撑

博瑞集信(西安)电子科技股份有限公司
BONRAY (XI'AN)INTEGRATED INFDRMATION ELECTRONICS TECHNOLOGY CO,LTD.
400-678-6538转810 customer@bonray.com.cn www.bonray.com.cn
陕西省西安市高新区毕原二路3000号硬科技企业社区12号楼

波束赋形和AESA天线在卫星通信中的角色

James Cheng、David Schnaufer、Ryan Jennings，Qorvo

这是我们系列文章的第3部分；该系列探讨了低地球轨道（LEO）卫星及其在电信、地球观测、科学研究和国家安全等多个领域中的关键作用。欢迎阅读这一系列的第1部分《现代低轨卫星技术如何改写太空竞赛格局》（见本刊24年9/10月号），第2部分《低轨卫星在全球无线通信扩展中的角色》（见本刊24年11/12月号）。本篇文章作为第3部分将深入探讨波束赋形和有源电子扫描阵列（AESA）天线如何主导卫星通信设计趋势，并使该领域的工程人员获益。

波束赋形是一种用于天线阵列的信号处理技术，可实现信号的定向传输或接收。这项技术可以提高信号功率，从而增强性能和效率，因而对于无线通信系统至关重要。

波束赋形、多入多出（MIMO）和AESA是现代无线通信的基础技术，在信号质量、网络效率和用户体验方面带来了显著优势。这些技术的应用范围从移动网络、Wi-Fi到卫星通信和雷达，是推动无线技术进步的关键工具。

什么是有源电子扫描阵列或有源天线？

有源天线，也称为相控阵天线，由多个相干馈电的固定阵列元件组成。为形成电子波束，每个元件都会以适当的相位通电，从而在远场中按所需方向形成相干波束。它利用每个元件的可变相位控制，将波束扫描至空间中的特定角度，如图1所示。这种无移动部件的电子波束转向由每个辐射元件上的集成电路（IC）管理。

带有波束赋形IC的有源天线具有一种被称为软失效机制的优势，这意味着少数元件的失效通常对整体性能影响甚微。此外，AESA波束赋形天线能够在微秒级时间内引导波束，并支持多个同时且独立可控的波束。由于没有机械部件，这些天线外形小巧、性能可靠。此外，它们还能够引导零点，并具有高度自由性来阻挡干扰源和干扰器，从而实现精确的辐射孔径模式。

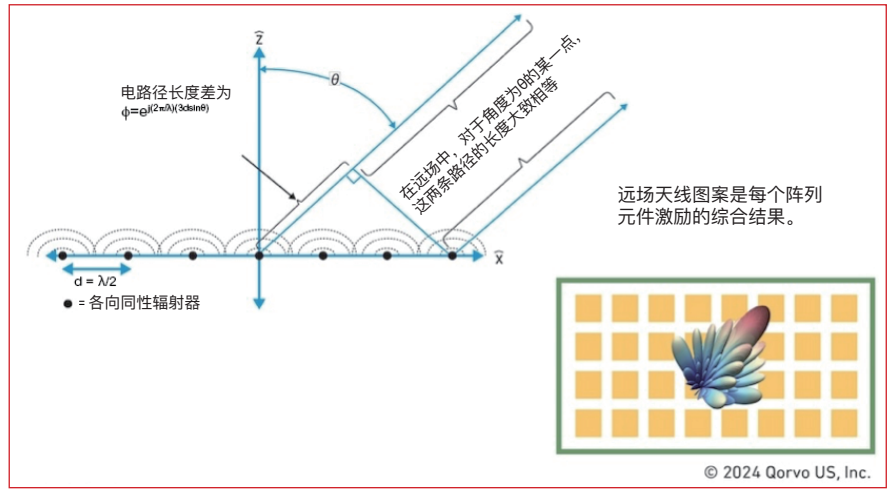


图1：带有一排各向同性辐射器的简化一维平面阵列天线

对于大多数NTN通信而言，天线在GHz频段内的毫米波（mmWave）范围内工作，如24、26、28、37或39GHz。这些高频波具有较短的波长，使得许多天线元件能够紧凑地安装在高指向性孔径中，从而抵消高路径损耗，如图1所示。高指向性波束还提供了空间分集，允许多个波束复用相同的频谱，从而显著提高系统容量。

什么是波束赋形？

波束赋形可以根据系统要求以模拟或数字格式执行。波束赋形涉及操纵阵列中每个辐射元件上信号的相位和幅度。这种技术使得特定角度的信号获得相干干涉，而其它信号则受到相消干涉。射频（RF）能量由此在特定方向上“聚焦”，形成类似波束的形态，如图2所示。在图2中，我们可以看到天线阵列中的引导波束在给定角度上形成主波瓣，并最小化旁波瓣。波束赋形提高了接收端的信噪比（SNR），减少了多径衰落，并将来自其它方向的干扰降至最低。

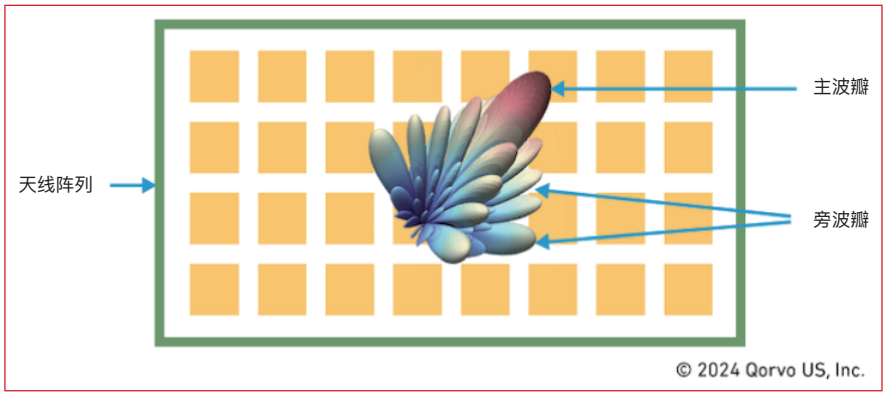


图2：使用AESA天线的波束赋形信号波瓣

AESA天线可以使用移相器或时延单元（TDU）来引导信号波束。当然，每种方法都有其利弊。对于具有较大瞬时带宽的系统，TDU可能是更好的选择，以避免波束失真，即所谓的“倾斜”现象，如图3所示。然而，对于较低带宽的系统，移相器已足够，并且是最广泛实施的解决方案。需要注意的是，也有将TDU和移相器结合到同一系统中的架构，这也有助于减少倾斜现象。

TDU在整个频率范围内表现出恒定的相位斜率，因此可以消除波束倾斜效应。而移相器在工作频率范围内保持恒定相位；但移相器的设置可能会导致不同频率的波束转向角不同，这就是为什么移相器在较窄的系统带宽中表现最佳的原因。

移相器通过近似时延对波束进行电子转向，从而在中心频率上产生最佳波束。然而，移相可能导致最大工作频率下的欠转向和最小工作频率下的过转向。当然，移相器架构的成本效益显著，因此更为常用。

MiCable

通过 ISO9001质量管理体系认证
通过GJB9001C国军标质量管理体系认证

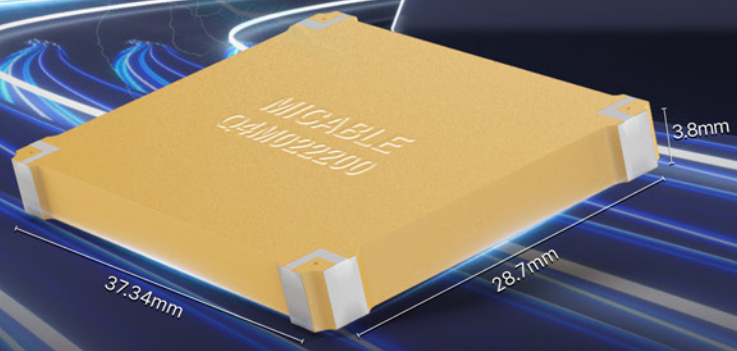
0.225-2GHz

表贴式 90°电桥

应用：功率放大器、功率合成网络、天线馈电网络、调制器、移相器等

- 低驻波/低插损/高隔离
- 优异的幅度、相位平衡
- 体积小，性价比高

高功率容量 200W CW

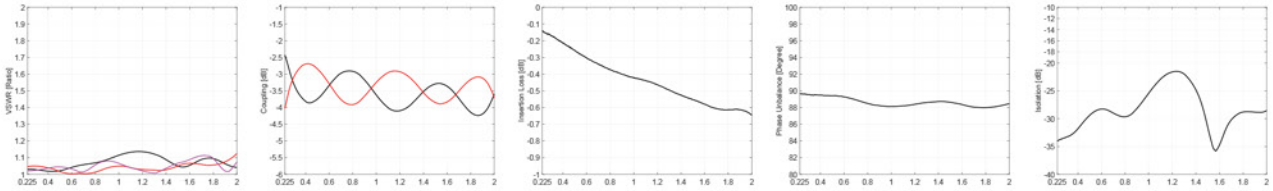


新品

工作频段 (GHz)	型 号	标称相位差 (Deg.)	端口驻波 Max. (:1)	插入损耗* Max. (dB)	幅度平衡 Max. (dB)	相位平衡 Max. (Deg.)	隔离度 Min. (dB)	额定功率 Max. (W)
0.225-2	Q4M022200	90	1.3	0.8	±1	±5	17	200

*不包含理论耦合分配损耗3dB和耦合幅度不平衡

测试曲线 (Q4M022200)



迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

关注微信公众号

福建迈可博电子科技集团股份有限公司
电话：400-918-0388
邮箱：sales@micable.cn
网址：www.micable.cn

经销商：伟博电讯有限公司
电话：400-887-3088
邮箱：sales@mitron.cn
网址：www.mitron.cn

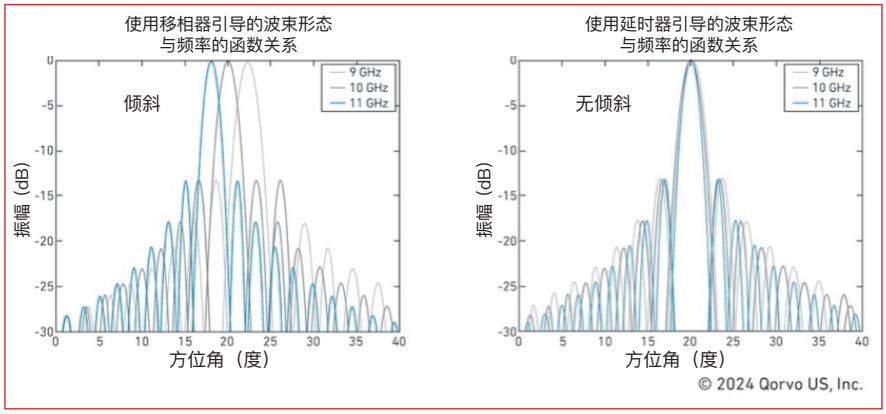


图3：波束倾斜/失真

归根结底，这两种方法都能奏效，但工程人员必须权衡利弊，以实现最佳效果。首先要评估阵列大小和瞬时带宽要求，以确定移相器是否足够。其次，评估混合解决方案是否足够；即在元件上使用移相器，而在更大阵列中的某些元件子集后实施TDU。如果瞬时带宽和/或阵列尺寸足够大，则可能需要在每个天线元件上都安装TDU。

波束赋形类型

混合波束赋形结合了模拟和数字波束赋形两种方式，在5G毫米波网络中非常流行。它缓解了使用数字波束赋形所固有的复杂性，并减少了RF链组件，从而简化了整个系统。下面，我们将介绍这三种波束赋形架构并举例说明。

- **模拟波束赋形**：需要在每个天线元件上调整RF信号以将波束导向所需方向。与数字波束赋形相比，它更简单、通常更便宜，且功耗更低，但灵活性较差。
- **数字波束赋形**：每个天线元件连接到自己的数字信号处理器。通过数字方式操控信号来形成和引导波束。这能够实现更精确的控制，并从同一阵列中同时形成多个波束。
- **混合波束赋形**：结合了模拟和数字技术，通常用于纯数字方法成本过高或过于复杂的系统中。

为帮助区分上述不同类型的波束赋形技术，表1进行了比较。

浅析波束赋形的无线应用

无线通信市场开始向更多采用波束赋形技术的卫星通信应用转变，以利用更宽的频段实现更高的数据吞吐量。在蜂窝网络中，波束赋形可以提高带宽效率和覆盖范围，让基站能够将信号集中于单个用户，减少干扰并提升数据速率。在Wi-Fi网络中，波束赋形技术可用于提升信号质量和覆盖范围；尤其是在用户设备众多的拥挤环境中。此外，借助波束赋形技术，卫星通信可精准规划卫星信号的覆盖范围，得以实现对特定区域的定向广播与通信。在雷达系统应用中，波束赋形技术通过将发射脉冲聚焦于特定方向，增强了分辨率和探测范围，提高了目标检测能力。

结语

本文探讨了利用波束赋形和AESA技术在卫星非地面网络方面取得的进展。我们发现了波束赋形如何通过定向电磁能来提升信号质量和效率；这对于移动网络、Wi-Fi和卫星通信举足轻重。借助AESA天线、移相器和TDU，当今的系统能够提供精确可靠的波束引导，从而进一步提升卫星通信中的网络性能、信号覆盖和数据吞吐量。此外我们也了解到，结合了模拟和数字技术的混合波束赋形在5G毫米波网络中尤为有效，同时有助于降低设计复杂性和成本。■

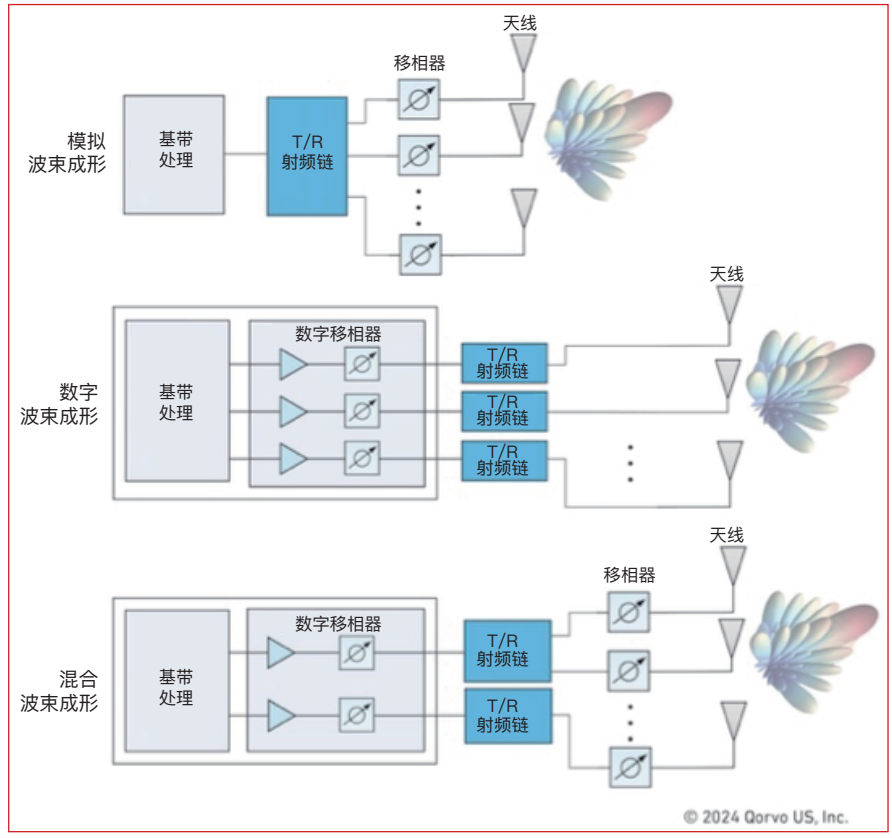


图4：模拟、数字和混合波束赋形架构的比较

表1：波束赋形类型比较

参数	模拟	数字	混合
移相控制	模拟移相器	数字信号处理	模拟和数字结合
载波带宽	较窄	最宽	较宽
复杂度	较低	较高	中等
成本	最低	最高	中等
功耗	最低	最高	中等
应用	最广泛市场	高端市场	高性能市场

© 2024 Qorvo US, Inc.

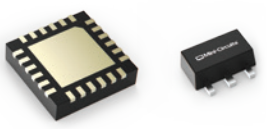
DC 至 50 GHz

MMIC 放大器

自行设计的300+型号

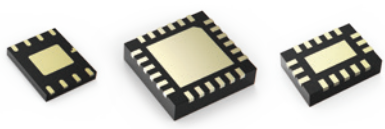
每一项需求都有应对方案

CATV (75Ω)



支持 DOCSIS® 3.1
和4.0需求

双匹配



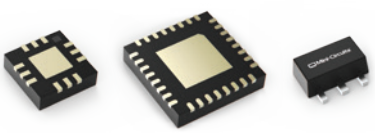
节省平衡和推挽配置
占用的空间

高可靠性



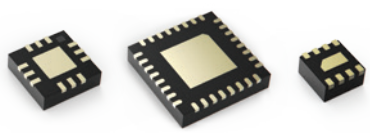
坚固的陶瓷封装满足
军事级的苛刻工作环境要求

高线性度



带宽达45 GHz的高动态范围

低噪声



噪声系数低至0.38 dB，
适用于高灵敏度的接受机系统

低附加相位噪声



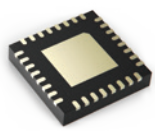
低至–173 dBc/Hz
@ 10 kHz偏移

射频晶体管



噪声系数<1 dB，尺寸小至
1.18 x 1.42mm

可变增益



高达31.5 dB的数字增益控制

宽带增益模块



为宽带和多频段应用提供平坦增
益

Mini-Circuits®

手持式微波消融系统为未来提供动力

Eamon McErlean, Emblation®, Stirling, Scotland

微波消融已成为医疗领域的一项变革性技术，特别是在微创治疗癌症肿瘤方面。工作频率为2.45GHz的传统系统往往体积庞大、价格昂贵，而且在临床环境中难以操作。Emblation®正通过SwiftPro®设备应对这些挑战，该设备是首款获得FDA批准的商用紧凑型手持微波消融系统。该解决方案的核心是高度集成的8GHz微波源模块，这对于实现手持设备所需的紧凑尺寸、效率和性能至关重要。

传统的微波消融系统依赖磁控管技术，该技术以高效著称，但也存在相当大的缺陷。这种设备体积大，工作电压高，需要笨重的冷却装置，因此操作繁琐且成本高昂。这些局限性限制了此类系统在外科手术中的使用，阻碍了微波消融技术的广泛应用，尤其是在门诊或资源有限的环境中。

开发手持式微波消融系统面临着一系列独特的挑战。其中一个主要障碍是尺寸和重量的限制。与传统系统不同，手持设备必须既小巧又轻便，同时还要保持有效消融所需的性能。另一个关键因素是功率效率。微波消融需要精确输送高频电磁能量。在手持设备中，这一需求要求对功耗和热管理进行仔细优化，以确保在不产生过多热量的情况下可靠运行。微波元件的集成也带来了巨大的挑战。要在不影响关键元件性能或可靠性的前提下实现微型化，需要重新思考设计方法和工程方法。最后，用户安全和人体工程学也是至关重要的因素。手持式消融设备不仅要保证病人和用户的安全，还要让医务人员在长时间操作过程中感到舒适和易用，这就强调了人体工程学设计和用户友好控制的重要性。

为了克服包括性能、重量、功率效率和热管理在内的关键设计难题，Emblation开发了图1所示的高度集成微波源模块。图片有意模糊处理的微波源模块安装在铜载体上。印刷电路组件是一块六层双面板，结合了微波层压板/FR4和嵌入式铜板（copper coin）。

该模块的核心是Qorvo的QPA1010 MMIC放大器，如图2所示。该器件是一款X波段碳化硅基氮化镓放大器，工作频率为7.9至11GHz。QPA1010的饱和输出功率为15W，功率增加效率为38%，信号增益高达18dB。该器件由24V电源供电，IDQ=600mA，并在24引线4.5 × 5.0 × 1.72mm气腔层压封装中集成了功率检测器。为了达到理想的线性度，需要使用R6、R17、C5和C14作为额外的旁路元件。

QPA1010在单个MMIC芯片中集成了多级放大器、偏置电路和控制逻辑。这种集成大大减小了MMIC的尺寸、寄生损耗和放大器的整体尺寸，而这些都是设计微波便携式设备的关键因素。QPA1010外形小巧，可在保持最佳性能的同时，轻松与消融设备的其他组件（如电源管理和控制系统）集成。

要确保手持式消融设备能够为天线提供10W的功率，并满足在8GHz频率下工作的性能要求，需要进行大量的仿真和建模。电路级建模用于优化关键指标，包括增益、输出功率、稳定性和效率。这些仿真为QPA1010与前置放大器增益级的集成提供了指导，以确保整个放大器符合有效消融所需的性能指标。鉴于微波源模块必须满足60毫米 × 25毫米的占地面积，这一点尤其具有挑战性，如图3所示，该图也被有意模糊。在有限的空间内，使用了非常短的元件间传输线，因此无法使用锥度或弯曲来调整元件连接垫的尺寸变化。此外，紧凑的结构和级联的高增益级容易产生反馈和振荡，通过对器件电源输入进行仔细滤波，克服了这一问题。

手持式微波消融系统的高功率密度要求采用先进的冷却技术。这些技术包括针对特定热量集中区域的选择性散热策略，以及将放大器保持在安全工作温度范围内的专门热接口。热管理策略的一个关键组成部分是使用铜板技术，这是大功率电子设备中增强散热能力的一种常见做法。铜板是



图1：SwiftPro微波源模块。

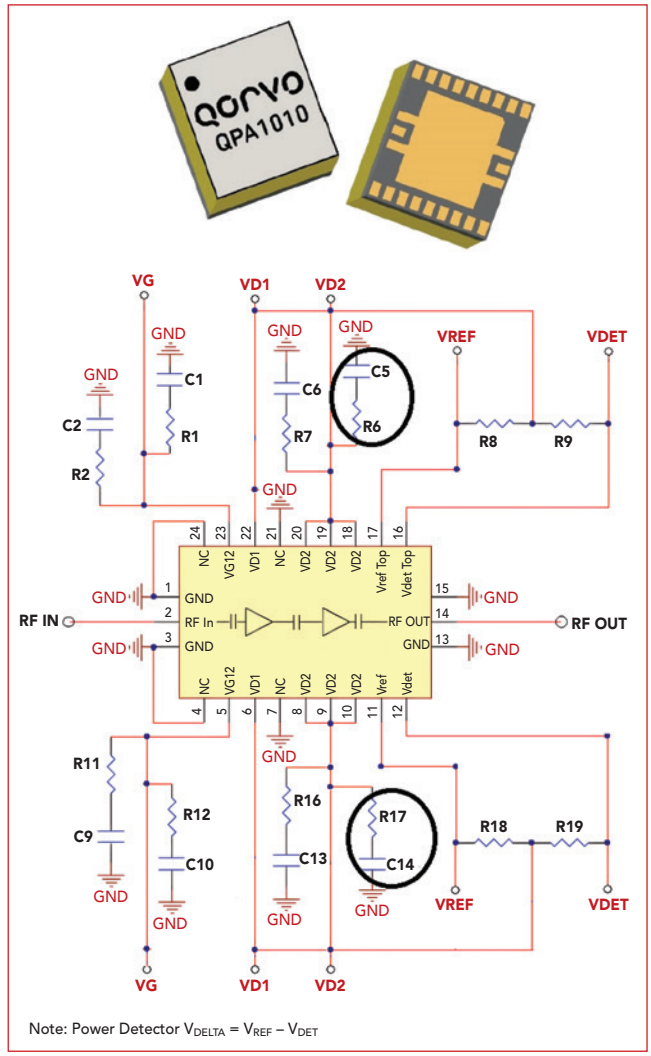


图2：Qorvo QPA1010应用电路和封装。

MiCable

通过 ISO9001质量管理体系认证
通过GJB9001C国军标质量管理体系认证

67GHz

67GHz

67GHz

螺套可退式
高性能半刚电缆组件



新品

结构可靠

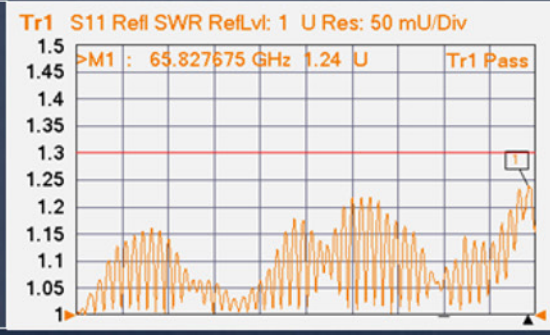
性能优异

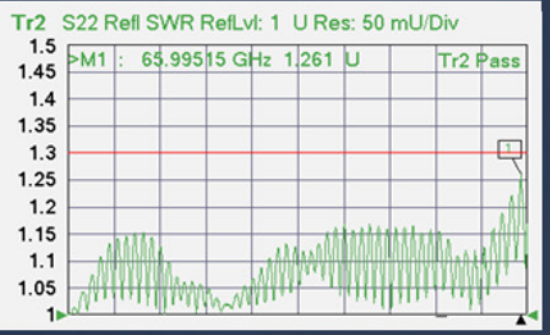
三维成型

相位匹配

频 率	电缆损耗	VSWR	电缆屏蔽效率
DC~67GHz	<6.2dB/m@67GHz	<1.35:1@67GHz	<-120dB

VSWR测试曲线
(无三维弯折)





迈可博 —— 微波毫米波电缆组件 / 无源器件专家

关注微信公众号

福建迈可博电子科技集团股份有限公司
电话:400-918-0388
邮箱:sales@micable.cn
网址:www.micable.cn

经销商:伟博电讯有限公司
电话:400-887-3088
邮箱:sales@mitron.cn
网址:www.mitron.cn

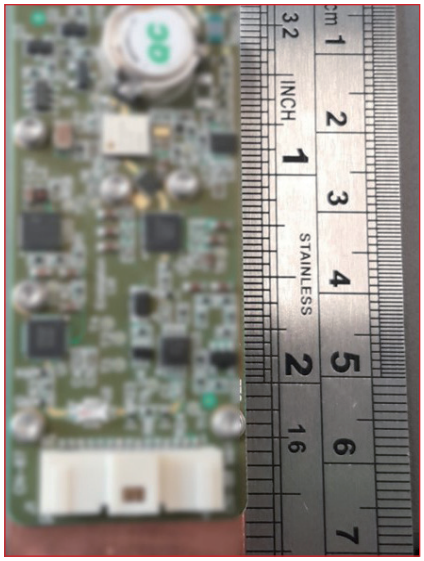


图3：紧凑型微波源模块电路组件。

直接嵌入元件下方印刷电路板的高效热桥，为热量传递到散热器提供了有效路径。集成铜板具有高导热性，可与元件底部直接接触，而元件底部是产生热量最多的地方，从而最大限度地减少了热阻，实现了快速热传导。它与一个紧凑型散热器连接，该散热器将热量从一些特定的电路位置散发出去，在确保高效冷却的同时，保持轻巧紧凑的设计。

铜板技术通过快速散热、保持最佳工作温度以及与热补偿技术相结合帮助保持性能，从而大大提高了热性能。这种高效的热传导还允许使用更小的散热器，有助于将整个设备的尺寸和重量保持在最低水平。此外，有效的热管理还能确保整个设备保持凉爽的触感，提高用户在长时间操作过程中的舒适度。随后，在长时间使用测试期间，使用FLIR测量仪对其进行了验证，结果如图4所示。

微波设计完成后，要将其集成到整个消融设备中。这需要微波设计团队与负责电源管理、控制电子设备、固件、用户界面(UI)、产品设计和机械设计的其他团队进行协调。放大器的电源必须得到管理，以确保高效运行，同时尽量减少电池消耗。我们设计了一个定制的配电装置(PDU)，即使在不同的负载条件下也能为放大器提供稳定的电源。该PDU还必须通过低压3.7V锂电池或可选的主直流电源输入，为较高电压的微波电路和所有其他电子设备供电。集成高效的电源管理系统对该设备至关重要，既要满足高性能需求，又要实现最大限度减少电池消耗的目标。

电源管理工作是该设计的另一个重要挑战。传统的微波功率放大器设计通常保持恒定的静态偏置，导致即使在设备闲置时也会持续耗电。这种低效率会严重影响便携式设备的电池寿命，从而限制了其在临床中的应用，因为在临床环境中，移动性和长时间操作是必不可少的。为了应对这一挑战，SwiftPro实施了以动态偏置控制为中心的电源管理策略。这种方法通过固件控制动态调整放大器的偏置，以降低空闲期间和每次能量处理暂停之间的功耗。只有在进行主动能量输送时，才会启用全偏压。

消融设备的动态偏置控制机制允许放大器在能量传输期间快速提升偏置，并在设备不使用时解除偏置。这需要放大器的控制电路、PDU和整个系统逻辑之间的协调，以确保平稳过渡，同时不影响消融过程的质量或精度。通过最大限度减少闲置期间的耗电量，该设备可以长时间工作，一次充电可进行数百次治疗。

定制设计的PDU在支持动态偏置控制策略方面发挥着至关重要的作用。PDU专为在不同负载条件下提供稳定高效的功率而设计，可在工作和空闲状态下向放大器提供精确的电压和电流。PDU采用固件管理的自适应电力输送技术，可根据放大器的电流偏置要求持续调整输出，从而最大限度地减少功率浪费，最大限度地提高整体能效。这些自适应电力输送技术可确保放大器在任何特定时刻都能获得所需的精确功率，从而在优化性能的同时节省电池寿命。

除了管理电力输送外，PDU还具有电池保护功能，如低功耗"睡眠"模式和快速唤醒功能。这些功能使SwiftPro设备能够在待机和工作状态之间快速转换，从而在长时间停机期间降低功耗，同时又不影响设备的就绪状态。这种智能电源管理系统由软件和固件算法控制，可监控设备的运行状态、电池电量和使用模式，并进行实时调整以优化功耗。这些算法与用户界面的整合为医疗专业人员提供了有关电池状态和电源使用情况的实时反馈，使他们能够在手术过程中对设备的运行做出明智的决策。

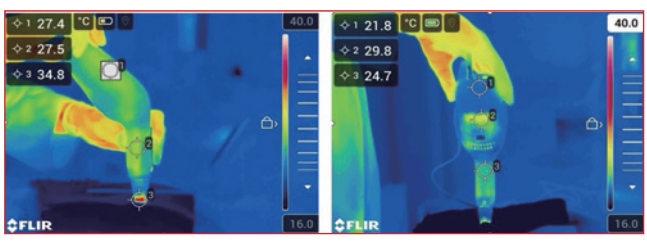


图4：SwiftPro设备在模拟长时间使用过程中的热像仪图像。

用户界面的设计考虑到了医疗专业人员的需求，将易用性和直观操作放在首位。界面提供了用于调节功率水平和时间的消融参数控制，使用户能够快速调整设备的设置，以满足特定的临床要求。定制软件和固件的开发旨在确保用户界面与放大器控制逻辑之间的无缝通信。该用户界面还经过专门设计，以保持Emblation现有Swift产品的易用性和可用性，以及医护人员已经熟悉的协议。这种以用户为中心的方法使消融设备能够轻松集成到临床工作流程中，即使是对微波消融技术一无所知的从业人员也不例外。

在最初的设计和仿真阶段之后，我们开发了原型，并在各种使用条件下进行了测试，以验证性能并确定需要改进的地方。这些原型符合60601医疗设备标准的严格性能要求，包括专门针对微波医疗设备的IEC 60601-2-6标准。由于高功率微波放大器结构紧凑、发热量大，因此如何管理放大器在运行过程中产生的热量是一项主要挑战。

监管与技术开发一样严格。作为直接用于临床的医疗设备，消融设备必须满足多个市场的严格监管标准。SwiftPro设备在美国获得了FDA 510(k)认证（K222388、K240518），在欧洲的CE认证目前正在申请中。

生产SwiftPro需要在保持严格的质量控制标准的同时扩大生产规模。内部生产流程旨在确保一致性和可靠性，每台设备在发货前都要经过全面测试。关键部件，特别是氮化镓放大器，均从业内享有盛誉的领先半导体解决方案供应商处采购。对供应商的精心挑选有助于确保可靠的供应链，降低可能影响设备性能的元件短缺或不一致的风险。最终的SwiftPro设备及其底座如图5所示。



图5：SwiftPro微波消融设备和底座。

一项由关键意见领袖和顶尖临床医生参与的试点计划为市场推广提供了支持。这些早期采用者就设备的性能、人体工程学和临床实用性提供了宝贵的反馈意见，帮助完善了最终产品。从这些

下转第22页

卫星直连到设备：卫星突围的第二幕

Andrew Nuttall, Skylo Technologies, Mountain View, Calif.

我在密歇根州长大。我家在密歇根州的一个偏远地区，当我们把房顶上的大天线对准南面的威斯康星州时，只能接收到几个模糊的电视新闻频道。后来有一天，一辆Dish Network的卡车开到我们家，在前院安装了卫星电视天线，我被突然出现在我们面前的各种动画片惊呆了。在接下来的30年里，每当有人跟我提起卫星，我首先想到的总是那个天线。对我来说，卫星就意味着电视。

随着我们进入"直连到设备"（D2D）通信时代，"卫星"一词再次进入人们的视野，但这次不是指卫星电视，而是指通过卫星将蜂窝连接直接传送到手机。作为一名工程师，很容易对通过卫星连接手机所面临的工程挑战感到兴奋，但坦率地说，这并不是D2D的全部意义。通过卫星连接手机已经有几十年的历史了。D2D的真正精髓在于卫星如何融入普通文化和词汇。它旨在大幅提高卫星在消费者移动领域的可及性，从而改写人们一提到卫星就联想到电视的事实。如果您正在阅读这篇文章，您很可能从未使用过卫星电话，但在D2D时代，您的口袋里就会有一部卫星电话。

如今，我是D2D移动网络运营商Skylo的联合创始人。Skylo通过卫星向世界各地的手机、手表、资产追踪器和其他移动设备提供服务，其指导原则是提高可访问性。可访问性是D2D的关键。可访问性可以有多种不同的含义，但在此情况下，可访问性要从服务、技术、财务、功能等多个方面进行评估。

Skylo与各领域的合作伙伴合作，系统性地消除接入卫星的障碍，创造一个每个消费者和企业都能默认接入混合（地面+卫星）连接的世界，当地面连接不可用时，他们的设备可无缝漫游到卫星上。

终极无障碍之旅始于硬件和设备。从历史上看，如果你想要一部卫星电话，就必须购买一部专门的卫星电话。为了消除这一障碍，Skylo与高通、联发科、索尼、三星LSI等主要芯片组制造商合作，使您最喜爱的设备中的蜂窝调制解调器能够支持Skylo和卫星。现在，有些手机（如谷歌Pixel 9）已经配备了卫星功能，无需额外配置。消除对特殊硬件的需求只是第一步。

目前，现有的移动网络运营商为市场提供蜂窝网络连接。为了使卫星连接尽可能普及，这一点不应改变。Skylo与Verizon等移动网络运营商合作，使其能够为客户提供混合连接服务。Skylo将其网络与地面网络整合，实现漫游，就像您的手机在旅行时可以在不同的网络运营商之间漫游一样。因此，消费者无需更换运营商、注册新的账单计划或获得新的SIM卡，就能享受卫星服务。当您离开蜂窝连接时，您的设备会自动漫游到卫星上。

D2D服务可与您现有的电话、现有的服务运营商一起使用，最重要的是，它可以在任何地方使用。Skylo正在实现这一愿景，目前已在多个卫星星座开展业务，提供全球性、一流和强大的D2D卫星服务。Skylo目前已在北美、欧洲、澳大利亚、亚洲和中美洲进行了商业部署，即将在南美和非洲进行部署。在所有3GPP蜂窝技术网络运营商中，Skylo的地理覆盖范围最大，可确保最高程度的可及性。无论是在沙漠中、山顶上、离岸10英里远的地方还是在芝加哥市中心，Skylo都能为您提供服务。



Skylo与其卫星合作伙伴在移动卫星服务(MSS)频谱上运行D2D服务。这一特殊频谱专门分配给卫星使用，并在全球范围内实现跨国界统一。这与其他重复使用蜂窝运营商地面频谱的D2D方法形成鲜明对比。使用MSS频谱作为提供服务的主干，可确保服务保持经济实惠和全球性。

随着世界的不断缩小，为旅行中的人们和设备提供强大而有吸引力的无线服务变得越来越重要。就个人而言，国际旅行可能是一种紧张的经历，您最不希望的就是您的主要通信方式因旅行而中断。通过MSS频谱提供的服务可确保无论您是在美国还是在地球的另一端，都能获得相同的服务。启用D2D不需要逐国进行监管斗争，就像我们现在在美国FCC看到的那样。通过MSS频谱实现D2D服务快速全球化的现有框架已经存在。

通过卫星进行网络连接，使用您已有的相同设备，与您已有的相同服务提供商合作，无论您在地球上的任何地方都能进行网络访问，这必须有一个前提：价格贵吗？Skylo通过MSS频谱提供这项服务，不会与地面MNO频谱收入需求竞争，而且作为现有服务计划的一项附加功能，Skylo可确保这项服务在经济上也非常容易获得。

网络连接只是达到目的的一种手段，如何利用这种连接才是最重要的。Skylo深厚的技术开发专长是推出关键特性和功能的基础。Skylo支持核心IP和非IP数据服务，这些服务可用于资产跟踪、管道监控、位置共享、金融交易等应用。Skylo启用了短信等核心通信服务，因此当您在卫星上漫游时，可以像现在一样收发短信。Skylo与谷歌安卓等主要生态系统参与者合作，将所有这些功能和其他功能（如SOS服务）直接置于您的指尖。

在Skylo将D2D服务推向市场的经历改变了我对卫星的看法。它不再仅仅是屋顶上的大天线；它关系到通信能力。所有这些将卫星无缝集成到蜂窝生态系统中的工作，现在已经融入了我对Wi-Fi、蜂窝和网络连接的总体看法。在我的脑海中，它不再是那种明显的抛物线形状；它已被我们所拥有的连接架构所吸纳，这正是问题的关键所在。卫星不一定非要成为一种特殊的小众技术；它可以始终伴随着你，无处不在。■

四大创新趋势重塑微波无线电市场

Emmy Johnson, Sky Light Research, Scottsdale, Ariz.

长期以来，微波无线电一直是在塔台和中心局之间传输移动回程流量的关键组件。随着无线网络的发展，微波无线电的发展成为一个关键的推动因素。能效、流量管理和容量阈值方面的进步共同推动着市场向前发展，以满足先进的5G和6G网络的要求。

能源效率：黄金标准

能源效率是移动网络的一个关键指标。根据摩根士丹利的研究，[1]生成式人工智能的能源需求每年可能增长70%。根据能源信息署的《国际能源展望》，[2] 2022年至2050年间，全球能源消耗可能会增加34%。正是这些数据以及日益增长的能源成本，使得能效在移动运营商、企业和政府机构等客户心目中占据重要地位。

通过在产品中集成生成式人工智能，微波无线电在能效方面取得了长足进步。虽然创建生成式人工智能模型最初需要消耗大量能源，但随着时间的推移，节省的能源有望超过开发模型所需的能源。生成式人工智能模型通过优化网络性能、预测维护需求、改善能源流程和提高信号处理能力，能够改变微波无线电的运行和管理。这些技术使运营商能够提高资源利用率、降低运营成本并保持较高的服务质量。特别是深度睡眠模式，代表了节能潜力的飞跃，与提高效率和可持续性的行业目标不谋而合。

深度睡眠模式是微波无线电的一种省电功能，旨在网络需求减少时降低能耗。这种功能在多载波配置（如2+0或4+0配置）中尤其有用，因为在这种配置中，一天24小时都不需要满负荷运行。该系统利用人工智能驱动的流量感知生成算法，监控每个链路的特定流量模式。通过研究过去的趋势和当前的条件，它可以确定启动深度睡眠模式的最佳时机，同时避免网络超载的风险。这种方法确保只有在运行安全的情况下才会暂时关闭非活动载波，从而在不降低服务质量的情况下显著节约能源。与标准运行状态或较轻的省电方法相比，人工智能驱动的深度睡眠模式能更大幅度地降低能耗，是提高网络效率的重要工具。

爱立信的MINI-LINK微波无线电是利用人工智能深度睡眠模式为运营商节省能耗的一个有趣实例。在对一个拥有5000个2+0链路的中型网络进行的案例研究中，爱立信证明，人工智能驱动的深度睡眠功能与多载波链路的流量感知输出功率调节相结合，可在五年内节省20%的能源，而对用户体验或服务可用性的影响几乎可以忽略不计。功耗的大幅降低凸显了人工智能增强型深度睡眠技术的节能潜力，以及其为更加环保的微波网络做出贡献的能力。图1显示了爱立信在流量感知输出功率方面使用无深度睡眠、固定深度睡眠和人工智能驱动的深度睡眠的节能效果。

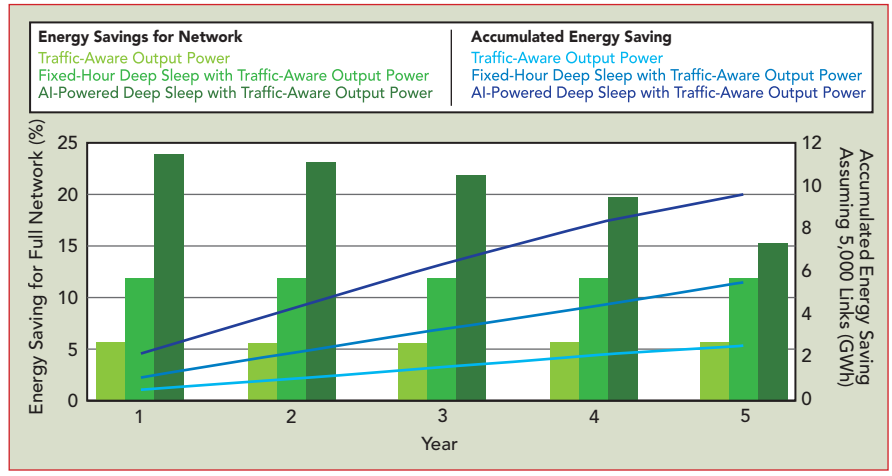


图1：爱立信不同网络配置下的节能效果。资料来源：Ericsson Microwave Outlook, 2022。

无法测量就无法改进

预测性维护是人工智能产生重大影响的另一个领域，它提供硬件降级警报和高温预警。这样就能对潜在问题进行主动管理，避免昂贵的紧急维修，提高整体网络效率。生成式人工智能模型还可以预测网络流量的增长，使运营商能够主动优化资源分配和能源使用，从而在为未来需求做好准备的同时保持网络的平稳运行。通常情况下，采用一种称为自动根本原因分析（RCA）的技术来帮助监控和改善信号管理。

自动RCA的主要应用之一是检测和缓解天线错位问题。通过频繁收集和分析性能数据（例如每10秒一次），可以高精度地评估链路质量。这样就能检测和诊断信号衰减，在中断发生之前区分无线电干扰、障碍物、降雨或对齐偏移等原因。这些系统可以确定是否有必要立即采取行动，或者问题是否是暂时的。例如，在暴雨期间，系统可以将天气确定为信号下降的可能原因，使操作员能够监控情况，而不是不必要地派遣维护团队。这种有针对性的故障排除和维护方法大大减少了现场访问。通过最大限度地减少现场访问，网络效率得以提高，同时运营成本和能耗也有所降低。结合深度睡眠模式等节能流程和基于人工智能的管理流程，运营商可以提高能源效率、降低成本并减少碳足迹，同时保持高质量的服务。

Ceragon的Insight Tool就是利用人工智能简化网络管理的一个极佳范例。在过去24个月中，Ceragon通过整合人工智能和机器学习重塑了网络管理方法。通过利用人工智能，该平台提供了对网络性能的全面监督，使运营商能够更有效地应对复杂的挑战，更高效地使用网络资源，从而节省时间和金钱。该平台的主要功能包括：关联警报和事件以更快地排除故障；分析链路性能以检测异常情况；预测性地管理流量以在容量问题升级前对其进行预测。此外，该工具的预防性监控功能使运营商能够减少潜在的故障，而远程维护功能则可减少运营支出并提高网络性能。通过解决这些关键问题，Insight Tool等人工智能平台正在成为现代微波网络不可或缺的一部分。这些工具帮助运营商在要求越来越高的环境中实现更高的效率和可靠性。

以低延迟实现容量最大化

除了更有效地利用资源，提高容量也是所有运营商最关心的问题。先进

的5G和6G网络使用大量数据，这就需要大量容量。对于运营商来说，能够扩展现有资源以满足客户需求是至关重要的。有几种方法可以提高容量：增加信道大小、采用更高的调制方案（高达16K-QAM）、增加另一个载波或采用多频段技术。

多频段技术正成为运营商最大限度地提高链路距离和容量的一种更常见的方式。多频段技术将高容量频率（如E频段）与低频段相结合，可显著提高容量。这种方法充分利用了两个频段的优势，扩大了传统微波链路的覆盖范围并提高了容量。

Aviat Networks的WTM 4800系列产品是高效多频段技术的典范。通过利用E频段的容量，与一个或多个微波通道并行，Aviat可以将10+Gbps链路扩展到10公里以上。4800系列之所以引人注目，是因为它提供了多种选择，包括单盒E波段供应商无关多波段配置、单盒多波段配置和扩展距离多波段配置。扩展距离多频段配置是一种独特的选择，它由两个独立的盒子组成，四个频道共用一根天线。一个盒子包含两个E波段信道，另一个盒子包含两个微波信道，所有信道通过共享天线无缝集成。其他功能还包括集成的L1-LA流量汇聚、无需室内单元和优化的低功耗。通过在单个设备中部署结合多个频段的无线电，运营商可以提高链路容量、可靠性和距离，而无需额外的天线或设备。图2显示了Aviat 4800系列中这些选项的链路距离。

尽管Aviat在多频段配置方面取得了成功，特别是在美国的农村地区，但欧洲和中东地区使用多频段E波段已经有一段时间了。为了在多频段配置中充分利用资源，ETSI一直在研究新的回程关键性能指标，即回程流量可用性(BTA)。BTA考虑了运营商的RAN流量统计，以最大限度地减少链路的过度设计，确保在不影响最终用户体验的情况下提高效率。多频段和BTA只是另一个例子，说明分层创新流程如何将网络效率提升到另一个水平，同时大幅降低回程成本。

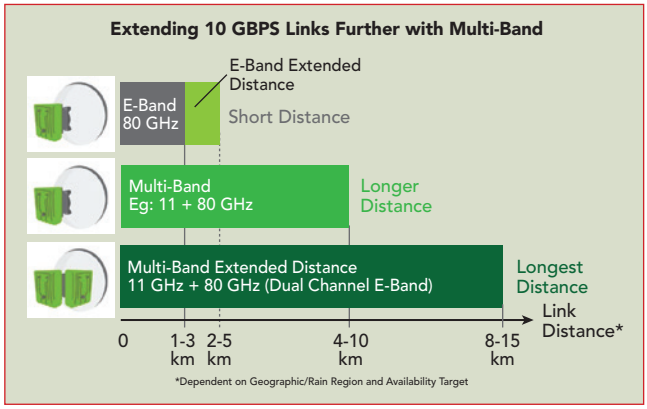


图2：Aviat 4800各选项的链路距离。资料来源：Aviat Networks。

D波段：超大容量的另一种选择

通过接入更高的频率，运营商可以传输更大的容量。与多频段一样，传统微波频段通过利用80GHz范围内的E频段来增加容量。D波段是另一个频段，通过使用130至157GHz这一更高频率范围内的广泛频谱，可提供更大的容量。

虽然D波段技术相对较新，但该技术的进步表明，它有能力超越20Gbps。在实现这一目标的同时，还能保持功率、延迟和效率等重要指标。紧凑型高增益天线等创新技术有助于使这些系统更加适应城市小型基站网络，而宽信道带宽则可实现更快、更高效的数据传输，从而提高部署的灵活性。

目前只有少数D波段试验，诺基亚在法国的试验是首批现场试验之一，也是唯一使用频分双工（FDD）的试验。与传统的时分双工（TDD）传输相比，诺基亚通过使用FDD，在单个信道上同时进行传输和接收，有效地将容量提高了一倍，同时保持了较低的延迟。诺基亚报告说，利用D频段FDD，他们能够实现10+10Gbps的容量，即利用单个2GHz信道实现上行和下行各10Gbps的容量。此外，通过利用全部信道带宽而无需单独频率，他们还能将频谱效率提高100%。由于无需在传输和接收模式之间切换，能源效率也得到了提高，比TDD系统提高了100%。此外，由于简化了设计，需要的组件更少，采用了更精简的部署方式，并针对各种应用采用了标准化方法，因此硬件成本最多可降低50%。这种接入更高频率的创新技术以及其他微波技术的进步，解决了无线回程和前传技术中的容量和延迟技术障碍，从而实现了高效的5G-A和6G网络。

Sky Light Research预计D波段的商用出货要到2027年以后，而大量出货则不会早于2029年。目前，传统微波无线电占出货量的大部分，而E波段无线电正在推动增长。图3显示了Sky Light对传统微波与E波段无线电发展趋势的最新预测。

通过现在投资D波段技术，业界正在为下一代网络奠定基础。此外，D波段无线电还为在光纤安装困难的地方建立大容量无线链路提供了切实可行的解决方案。这将为现有网络基础设施提供宝贵的补充。

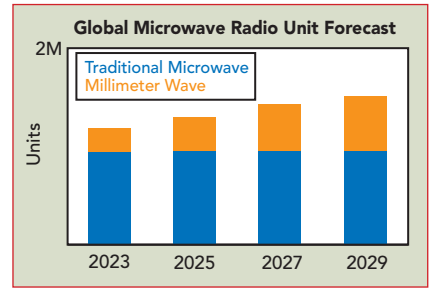


图3：微波无线电预测和细分。资料来源：Sky Light Research。

小结

微波无线电正在稳步发展，以满足先进移动网络日益增长的需求，重点是提高能效、容量和可靠性。人工智能驱动的深度睡眠模式、预测性维护、多频段配置和新兴的D频段等创新技术正在重塑运营商对无线回程的看法。这些发展不仅降低了成本和能耗，还提高了网络性能，使运营商能够处理5G的海量数据需求，并为6G奠定基础。虽然传统的微波无线电仍然是网络基础设施的重要组成部分，但E波段和D波段等技术正在逐步突破无线回程的极限，为更高效、可扩展的网络铺平道路。■

参考文献
1. www.morganstanley.com/ideas/sustainability-industry-trends-energy-transition-AI。
2. www.instituteforenergyresearch.org/international-issues/eia-expects-global-energy-consumption-to-increase-through-2050。

第10届电子设计创新大会
第29届电磁兼容大会
地点：北京国家会议中心
日期：4月23-24日
两会同期同地举行，预计将发表80多场演讲，约60家参展商展示百种千款产品、方案、服务。
立即注册免费参会
w.lwc.cn/s/VBRNjy
了解更多
w.lwc.cn/s/iq2qeq

高密度连接增强了PXIe测试与测量功能

The Phoenix Company of Chicago, Inc., www.phoenixofchicago.com

制造自动化的迅猛发展和各行各业产品复杂性的不断提高，不断催生对模块化测试解决方案的强烈需求。PXIe平台是先进测试和测量领域最受欢迎的选择之一。该平台使用从直流到毫米波的各种仪器模块，为验证和生产测试提供灵活、高性能的解决方案。

这些模块包括交换机、多路复用器、矢量和信号分析仪等仪器，通常在模块面板上使用多达20个SMA连接器，多路复用器模块则使用50多个SMB连接器。整个频谱对更高性能PXIe模块的需求，使得对连接器性能的要求超出了传统连接器所能提供的范围。Phoenix公司的仪器连接器系列提供了新一代的机械和电气性能，以卓越的性能提高了密度。

仪器模块

PXI机箱是测试系统的基础，有固定数量的插槽用于接收测试模块。大多数模块只有一个插槽宽度，但根据功能或连接器所需的空间，也可能增加到双倍或三倍插槽宽度。使用许多射频连接器（如SMB）的模块通常需要双倍插槽宽度来安装所有连接器，从而浪费了宝贵的机箱空间。现有的多针连接器可以安装在单插槽模块上，但连接器性能有限，可能会降低带宽规格。



图1：53针面板安装插座。

触点设计和性能

Phoenix公司开发了一种新型多针连接器系列（图1），以提高单插槽效率。该系列采用了高密度的PkZ®微波触点，其电气性能也超过了现有的SMB或多针连接器。该连接器系统的核心是PkZ微波触点，旨在克服模块化配接应用中的公差差距。要同时配接多达53个微波触点，就必须严格控制设计和制造公差，以避免超出连接器系统的配接极限。PkZ通过空气介质和对内部导体比率的严格控制，提供了一种宽松的解决方案，即使在未完全匹配的情况下也能表现出色。

图2显示了一对PkZ触点在18GHz频率下的门控驻波比性能。该图显示了PkZ触点在配接间隙条件下提供恒定阻抗的独特能力。该图显示了代表不同配接条件下触点的三条轨迹：完全配接、0.025英寸间距和0.050英寸间距。从图中可以看出，在此配合范围内，材料性能没有差异。这一点非常重要，因为公差叠加总会发生。从电气性能上消除了这一机械因素，使PkZ能够在高密度平台中以更高的频率工作，并使其有别于传统的多针连接器。

外壳

如前所述，连接器最重要的设计目标之一是限制微波性能关键部位的公差。大量微波触点的可靠匹配需要仔细考虑多针外壳中的以下机械特性：径向接触稳定性、接触保持力、轴向配合公差、插入力、分离力、电缆类型、端接和电缆管理。

要实现上述每个目标，都需要在触点和外壳中采用独特的设计，以实现坚固耐用的结构，并达到毫米波区域的工作精度。PkZ触点卡入外壳，在长度和直径上具有限制径向浮动的特殊设计。插头和插座外壳具有相应的特性，以提供最佳的接触稳定性。规定每个触点在外壳中的保持力至少为10磅。每种触点设计都有一个与电缆屏蔽焊接的终端，以实现卓越的电气和机械性能。



图3：53针插头外壳。

插头外壳中的PkZ触点径向稳定性通过导向销和电缆导向板得到进一步增强，电缆导向板可将电缆的弯曲半径与PkZ触点隔离。这样就无需使用传统的后壳和夹具，因为后壳和夹具可能会使电缆变形并影响微波性能。外壳有13引脚、26引脚、28引脚和53引脚四种，均为单插槽宽度。在这一级别，插入力和分离力变得非常重要。图3所示的集成式螺钉可以解决这个问题，它不仅可以将配对的两半引到一起，还能以受控的方式进行分离，以避免损坏。

50Ω和75Ω电缆通用性

PkZ触点可容纳标准50Ω RG电缆组和1.37mm电缆，提高了在单插槽模块内布线等应用中的灵活性。对于更高的频率，可提供适用于50GHz的RG-405电缆和适用于67GHz的0.047英寸M17/151电缆的触点。75Ω触点的规格为12，性能可达18GHz。图4显示了Harbour Industries SS75086电缆上一对配对的75Ω PkZ系列的18GHz门控性能。

Phoenix的多针连接器和微波触点具有一些特殊功能，旨在为PXI测试市场提供一种新选择，即用高密度封装提供高频性能。■

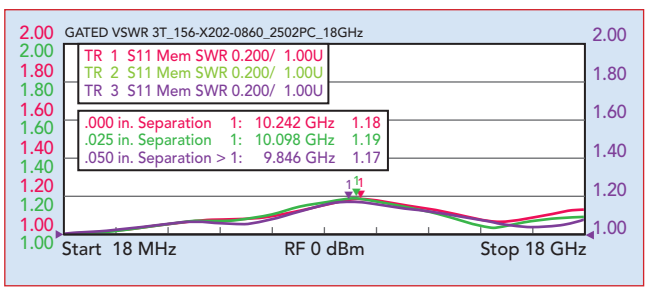


图2：三种配接条件下的门控驻波比。

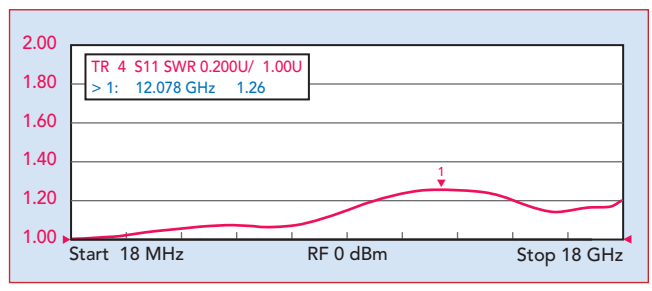


图4：75Ω PkZ系列的门控性能。

electronica China

慕尼黑上海电子展

MESSE MÜNCHEN

2025年4月15-17日

上海新国际博览中心

观众注册
火热进行中

扫码即可注册观展



专有连接器设计可提高质量和相位稳定性

Junkosha，www.junkosha.com

随着无线通信技术的不断进步，对测试和测量应用的要求也在迅速发展。现在，电缆和连接器的创新在保持现代测试所需的精度和可靠性方面发挥着举足轻重的作用。展望未来，人工智能（AI）与测试和测量流程的整合将推动测试和测量技术的重大进步，从而实现更智能、更高效的系统。此外，5G和物联网的不断扩展预计将带来新的测试挑战，需要尖端的解决方案来确保更高的载波频率和数据速率。随着这些技术的发展，复杂的测试对于验证和维持这些互联系统的可靠性将变得越来越重要。

5G的快速推广改变了测试和测量设备的格局。5G的核心是更高的毫米波频率，可提供更快的数据传输速度，同时也带来了挑战，例如对弯曲和机械应力的敏感性增加。这可能会影响到系统开发和设备性能鉴定阶段，因为在这些阶段，精度和可重复性至关重要。它还可能包括在生产测试环境中对整个系统进行调试和持续监测。要解决这些复杂问题，测试装置必须依靠坚固耐用的高精度布线和互连。

在更高的毫米波频率下，"相位和振幅性能持久稳定"是布线和互连器件必须满足的要求，尤其是在测试和测量环境中。在这些频率下，互连器件非常小，这意味着连接器的设计可能是一个挑战。此外，传输信号对电缆弯曲和温度变化更加敏感，因此需要相位稳定的电缆。高性能互连器件是这些测试设置的关键，可在各种设备和组件之间建立可靠的连接。连接器的选择受特定仪器、应用要求以及电气和机械性能的影响。这就强调了量身定制的互连解决方案在现代测试环境中的重要性。

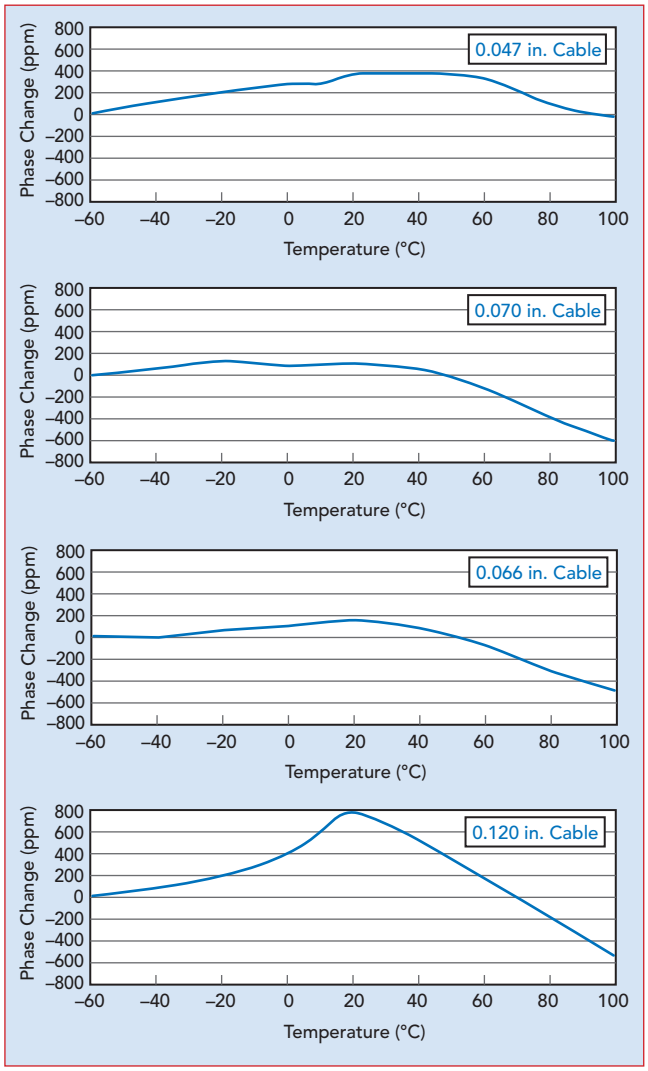


图3：18.5GHz时相位稳定性与温度的关系。

Junkosha最近推出了其专有连接器设计。这些新型连接器集成到微波/毫米波同轴电缆组件中，可满足下一代高速、大容量通信系统的严格要求。图1显示了这些组件的示例，其设计适用于宽温度范围，同时纤细耐用。

精度至关重要，尤其是在毫米波波长下，弯曲和机械应力会影响测量结果的精度。Junkosha的电缆和连接器综合设计方法能够应对这些挑战，在苛刻的条件下实现可靠、可重复的测量。这些连接器有80种独特的类型，采用安全锁定机制设计，具有更高的耐用性和易于使用的多重锁定系统，可在高频环境中确保稳健的信号完整性和运行可靠性。



图1：Junkosha电缆组件，带J标记的连接器。



图2：MXW7系列电缆。

5G的发展利用了更高的毫米波频率，布线和互连解决方案必须坚固耐用，以经受住任何特定情况下的严格考验。Junkosha微波/毫米波同轴电缆组件MWX7系列以最小的相位和振幅偏差以及最佳的温度和弯曲线性度而著称。加上专有的连接器，这些组件保证了测试和校准的一致性能。MWX7系列采用EPTFE带包介电技术，在温度和机械波动条件下具有一致的相位和振幅稳定性。此外，这些电缆还能减少机械波动造成的相位和振幅漂移，从而支持可重复的结果。图2显示了不同电缆直径和终端连接器的MWX7相位稳定电缆组件示例。

要在更高的毫米波频率下实现可靠的系统性能，需要提供相位稳定的互连解决方案。这在测试和测量环境中尤为重要，因为精确和可重复的性能对于验证和优化系统设计至关重要。图3显示了在18.5GHz频率下测量的几种直径的MXW7系列电缆的相位稳定性能与温度的关系。

随着5G不断推动创新，Junkosha的集成互连解决方案为客户提供了更多选择。它们结合了高性能电缆和精密设计的连接器，可满足不同的行业需求，从而应对未来复杂系统的挑战。■

耐用射频电缆组件

Swift Bridge Technologies, www.swiftbridgetechnologies.com



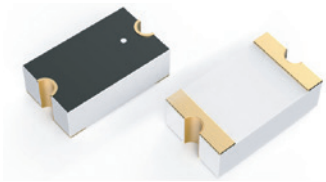
Swift公司的DuraWave PS测试端口延长电缆组件专为在最苛刻的环境中提供卓越的耐用性和性能而设计。这些组件专为室内和室外使用而设计，具有出色的相位和振幅稳定性，同时能经受物理和环境挑战。DuraWave PS组件内部坚固耐用，可防止挤压、扭曲和扭结，确保性能稳定并延长使用寿命。连接器主体和接口采用密封设计，可防止流体、灰尘和污垢渗入测试设备和被测件的连接处。耐磨、阻燃聚氨酯护套增加了一层额外的保护，使这些组件即使在恶劣的条件下也能保持其完整性。

尽管这些电缆组件坚固耐用，但却非常灵活，最小弯曲半径为2英寸，不会影响电气性能。这种灵活性使其易于穿过狭小或难以到达的空间，进一步提高了其实用性。DuraWave PS电缆组件有标准长度和定制长度两种，最长可达25英尺，可满足各种应用的需要。

配置N型连接器的电缆可支持直流至6GHz的频率范围，最大回波损耗为-25dB。至18GHz配置的最大回波损耗为-20dB。对于更高频率的应用，可选择2.92mm和2.4mm连接器，这两种连接器都支持高达43.5GHz的频率，最大回波损耗为-18dB。■

超低剖面UWB天线

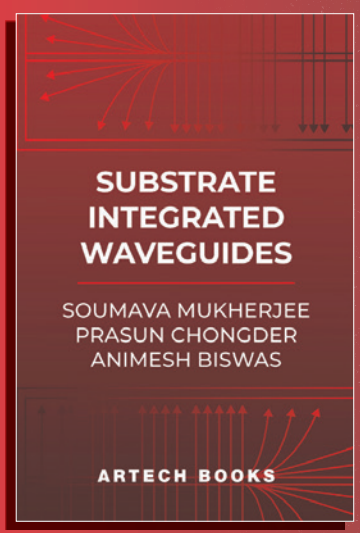
上海连空通信科技有限公司，www.leankon.com



上海连空最新推出的创新产品LK1820201是一款超低剖面、超宽带(UWB)天线，采用最小外形尺寸设计，同时支持UWB通道5、6、7、8和9。LK1820201是一款表面贴装（SMD）的UWB天线，尺寸为3.2 × 1.6 × 0.5毫米。凭借5毫米x4毫米的最小净空要求，该天线最大限度地提高了PCB主板的空间效率，使其成为当今紧凑型无线设备的理想选择。同时，其紧凑的设计有利于提高两UWB天线之间的隔离性能，使其非常适合一个设备需要多个UWB天线的应用场景。

随着物联网设备向更小、更薄的趋势发展，天线挑战变得更加复杂。LK1820201旨在克服这些挑战，确保在越来越紧凑的设备中实现稳定的无线连接。本产品主要特点和优点包括：

- 卓越性能：超宽的天线带宽，出色的全向性能，确保稳定可靠的无线连接。
- 紧凑尺寸：业界最小的UWB天线，易于与PCB集成。
- 超薄设计：0.5mm的厚度使其能够轻松集成到薄型设备中，特别适用于可穿戴和医疗等应用。■



基片集成波导

Author: Soumava Mukherjee, Prasun Chongder, Animesh Biswas
ISBN 13: 978-1-68569-045-8
ePub: 978-1-68569-046-5
Publication Date: November 2024
主题领域： 电磁学、天线与传播、微波与射频、移动通信
Binding/pp: Hardcover/390pp
Price: $144/£124

《基片集成波导》 全面概述了基片集成波导（SIW）的工作原理、设计规则和制造程序，以及使用基片集成波导技术实现天线、无源和有源电路的若干新颖设计理念。

- 重点介绍使用基片集成波导设计天线、天线阵列、滤波器和现代收发器的其他部件。
- 了解如何利用SIW开发先进的微波和毫米波系统。
- 涵盖从基本通信原理到基于SIW的电路和系统的复杂设计，确保读者掌握在这一快速发展的领域进行创新的必要知识。
- 提供必要的工具和见解，为下一代通信系统，尤其是5G和未来技术做出贡献。

本书以射频工程师、学术研究人员和研究生为读者对象，通过提供有关SIW技术的整体视角而脱颖而出。它不仅介绍了基础知识，还整合了理论基础和实际设计方法。对于希望掌握SIW技术的人来说，本书是不可或缺的资源。

ARTECH HOUSE
BOSTON | LONDON

欲了解更多，请访问：
https://us.artechhouse.com/
https://uk.artechhouse.com/

同轴三倍频器

Mini-Circuits的ZXF90-3-223-K+是一款3倍倍频器，可将3.33至7.33GHz的输入信号转换为10至22GHz的输出信号。它专为+12至+18dBm的输入信号电平而设计，在整个范围内的转换损耗通常不超过18dB。二次谐波抑制通常为45dB或更高。50Ω三倍频器的尺寸为0.7×0.7×0.37英寸，配有SMA母头同轴输入连接器和2.92毫米公头输出连接器。



www.minicircuits.com

表面贴装低噪声放大器

Mini-Circuits的PMA1-14LN+是一款低噪声放大器(LNA)，在50MHz至10GHz范围内具有21.8至22.3dB的典型增益。50MHz时的典型噪声系数为1.6dB，4GHz时为1.1dB，10GHz时为1.8dB。1dB压缩时的典型输出功率范围为+19.6至+22.8dBm。这款50Ω pHEMT LNA采用六引脚QFN表面贴装封装，尺寸为1.5×1.5mm，非常适合电子战、雷达和测试应用。



www.minicircuits.com

400W大功率双定向耦合器

迈可博的2-8GHz大功率双定向耦合器具有直流通过能力，拥有优异的主线/耦合端驻波比(1.4:1/1.4:1 Max.)、插入损耗(0.4dB Max.)、耦合度(30/40±0.8dB Max.)、平坦度(±0.9dB Max.)以及方向性(14dB Min.)，连续波功率处理能力达400W，广泛应用于5G、测试测量、仪器仪表、功放、发射机等领域。



www.micable.cn

高性能半刚电缆组件

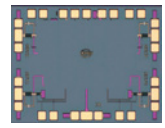
迈可博的67GHz半刚电缆组件采用螺套可退式高性能1.85mm不锈钢连接器，配接.070"低损耗半刚电缆(线径2.0mm)，可实现可视化快速、精准对位，防止对配损伤。产品结构稳定可靠，性能指标优异，低损耗，低驻波比，可三维预成型与相位匹配，弯折处无皱褶，外形美观。适用于毫米波设备、测试仪器与夹具的内外部连接，特别是面板安装。



www.micable.cn

微波毫米波无源系列产品

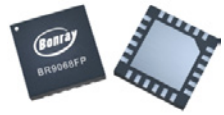
博瑞集信推出了6款高性能信号控制类射频芯片：2款射频开关、3款六位数控移相器、1款六位数控衰减器。频率覆盖DC-20GHz，具有超宽带、低插入损耗、高可靠性等特点。与我司微波毫米波放大器系列产品搭配，可为客户提供定制化的射频微波链路解决方案，能够满足数据链、电子对抗、雷达、相控阵、通信基站等应用需求。



www.bonray.com.cn

低功耗锁相环

博瑞集信的BR9068FPJ是一款具有低功耗、快速锁定特点的频综产品。结合外部环路滤波器和外部参考时钟，可实现小数分频或整数分频锁相环频率合成器功能。典型功耗为122mW，其内部集成压控振荡器。基波输出频率为1.62-3.24GHz，通过1/2/4/8/16/32/64分频电路，可以产生低至25.5MHz的RF输出频率。所有片内寄存器均通过标准串行外设接口进行控制。



www.bonray.com.cn

大功率水负载系列

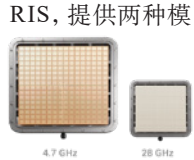
上海华湘的WWTF大功率水负载系列由一个需外接水循环系统的50Ω负载和安装支架组成，适用于DC-100MHz、DC-200MHz及DC-800MHz频率范围，具备10-50kW射频功率承载能力。可将射频功率通过负载吸收转化为热能，再由外置水循环系统的冷却液吸收带出，高效的热交换使电阻负载始终工作在稳定的热平衡状态。该负载采用同轴线设计，满足高精度射频老化测试要求。



www.shx-sh.com

有源毫米波可重构智能表面

稜研科技推出了有源可重构智能表面XRifle Dynamic RIS，提供两种模组：28GHz型号(26–30GHz)和4.7GHz型号(4.2–5.2GHz)，可精确控制接收与反射角度，扩展信号覆盖至弱信号区域。特别提供模组化设计、双频段支持以及便捷的用户控制介面。单一控制器可连接多达四个模组，且允许混合搭配4.7GHz和28GHz两种RIS型号，同时模拟5G FR1和FR2场景。



www.tmytek.com

新一代RAN计算平台

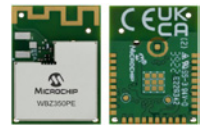
爱立信第四代RAN专用计算平台专为满足5G-Advanced网络需求而打造，具有更强的AI支持能力、更大的容量和更高的能效。在降低能耗的同时，该平台可以处理更多的数据，并利用先进的AI功能为用户带来更优化的体验。新一代RAN计算平台沿用了爱立信RAN计算平台家族标志性的一体化架构模式，1U高度，适配于各种通用机架。



www.ericsson.com

射频就绪多协议MCU模块

Microchip Technology的WBZ350射频就绪多协议MCU模块是PIC32CX-BZ系列的一款安全型32位MCU，内置了蓝牙和Zigbee无线功能。此模块专为需要可靠无线连接的应用而设计，包括用于智能工厂和过程自动化的物联网设备、家庭自动化和智能照明系统、具有无线数据控制功能的健康和健身可穿戴设备以及楼宇自动化系统。



经销：贸泽电子 www.mouser.cn

Wi-Fi 7家庭网关方案

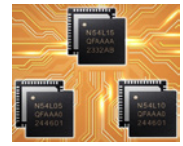
大联大旗下诠鼎推出基于高通IPQ5322、QCN6422、QCN6432和QCA8386芯片的Wi-Fi 7家庭网关方案。本方案具有1个10G SFP+端口和4个以太网端口，同时支持2.4G、5G、6G三个频段，每个频段均配备了2×2的Wi-Fi 7无线收发器。在软件方面，其搭载OpenWrt 19.07系统，可提供从硬件到软件的一站式解决方案，是追求高速无线连接家庭的理想选择。



www.wpgholdings.com

新型低功耗蓝牙SoC

Nordic Semiconductor推出了nRF54L系列无线SoC。这一系列设定了全新的行业标准，提供显著增强的效率、卓越的处理能力和多样化设计选项，以满足日益广泛的低功耗蓝牙和物联网应用需求。nRF54L三款器件均将2.4GHz无线电和MCU功能(包括CPU、内存和外设)集成到单个超低功耗芯片中，支持从简单的大批量产品到要求较高的先进设计等各种应用。



www.NordicSemi.cn

低功耗蓝牙模块

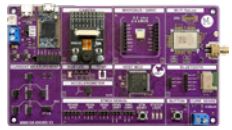
创新微推出了基于Nordic Semiconductor新一代无线SoC nRF54L系列的ME54BS01和采用革命性nRF54H20 SoC的ME54BS02低功耗蓝牙模块。与之前的模块相比，其性能和安全性有质的飞跃。支持工业自动化、医疗保健、智能家居、电动汽车、LE Audio、游戏控制器、VR/AR设备和医疗设备等物联网应用。



www.minewsemi.com

物联网开发平台

摩尔斯微电子推出MM6108-EKH05评估套件。这款完全整合的开发平台旨在推动各行业物联网解决方案的发展。该平台充分发挥了Wi-Fi HaLow的强大功能，支持从智能家居设备到工业自动化系统的广泛应用。该套件支持高达32.5Mbps的数据传输速率，并具备在1GHz以下频率范围内的可编程操作功能，是加速物联网开发的必备工具。



www.morsemicro.com

蓝牙音频发射器

飞易通发布了一款USB蓝牙发射器FSC-BP401，使任意音源设备都能将高保真LE音频流传输到兼容的终端设备。该发射器集成了Nordic Semiconductor的nRF5340高端多协议SoC，具备LE音频和Auracast功能，可在发射器和接收设备之间提供高质量、低延迟的LE音频连接。发射器还集成了经典蓝牙芯片组，用于连接音源设备。



www.feasycom.com

蜂窝物联网原型平台

Nordic Semiconductor的物联网原型验证平台Nordic Thingy:91 X适用于LTE-M、NB-IoT、Wi-Fi SSID定位、DECT NR+和GNSS应用。Thingy:91 X通过其全面的板载功能简化了开发人员的物联网原型开发过程，从而简化了蜂窝物联网应用的开发，缩短了产品上市时间。



www.nordicsemi.cn

Wi-Fi HaLow路由器

摩尔斯微电子推出首款Wi-Fi HaLow接入点参考设计HaLowLink 1，进一步扩展公司物联网评估工具套件阵容。HaLowLink 1旨在充分发挥Wi-Fi HaLow技的术潜能，将Wi-Fi HaLow的远距离覆盖、高速传输和低能耗优势集于一体。这款强大的工具提供了一个即插即用的评估体验与参考设计，大幅加速了Wi-Fi HaLow接入点的商业化进程。



www.morsemicro.com

Wi-Fi HaLow芯片

摩尔斯微电子推出第二代MM8108系统级芯片（SoC）。继第一代MM6108 SoC大获成功，MM8108在覆盖范围、数据吞吐量和功率效率等核心指标实现全面突破，同时显著降低了下一代Wi-Fi HaLow产品的上市成本、工作量和周期。MM8108 采用全球首创的sub-GHz 256-QAM调制技术，在带宽8MHz下实现高达43.33Mbps的传输速率。



www.morsemicro.com

车规级UWB SoC

Qorvo推出全新已通过车规级认证的超宽带（UWB）片上系统（SoC）QPF5100Q。这款突破性SoC满足汽车行业对高精度、可靠UWB技术的需求，适用于诸如无钥匙车辆安全门禁、数字钥匙，以及儿童存在检测和运动感测等UWB雷达应用。



www.qorvo.com

Qi2无线充电模组方案

大联大旗下世平推出基于易冲半导体WB8118芯片的MPP Qi2无线模组方案。WB8118是一款高效的磁感应无线电源发射器IC，支持Qi2 15W无线快充，具有3.3V~18V的宽输入电压范围。该IC兼容无线电源接收器（ASK）通信，拥有固定的通信接口端口，同时内置可靠的过压、过电流及温度保护方案。在IC内部集成稳压器、全桥和驱动器，并可通过I²C界面与其他设备进行通信。



www.wpgholdings.com

矢量信号发生器

罗德与施瓦茨升级了业界领先的R&S SMW200A矢量信号发生器及其同系列中端产品R&S SMM100A。升级后的SMW200A在误差矢量幅度(EVM)性能方面有了大幅提升，成为5G NR FR3 研发测试和高要求射频应用（如功放测试）的理想之选。该仪器还添加了射频线性化软件新选件，通过数字预失真来优化高输出功率下的EVM。同时，SMM100A也进行了升级，提升了 EVM性能。



www.rohde-schwarz.com.cn

射频功率传感器

罗德与施瓦茨的R&S NRPxE射频功率传感器为频率范围高达18GHz的精确、可靠功率测量树立了新标杆，并且提供极高的性价比。该传感器具有极佳的性能和多功能性，动态范围高达80dB，视频带宽为100kHz，每秒可执行多达1,000次测量。频率范围从10MHz到8GHz或者18GHz，可满足各种测量需求。其紧凑的设计和坚固的外壳可确保在苛刻环境中轻松操作并可靠运行。



www.rohde-schwarz.com.cn

汽车UWB Digital-Key Kit应用方案

大联大旗下世平推出以恩智浦（NXP）S32K144 MCU、NCJ29D5芯片、KW38无线控制芯片为主，辅以芯源系统（MPS）、TDK、莫仕（Molex）等旗下产品为周边器件的汽车UWB Digital-Key Kit应用方案。UWB数字钥匙作为新一代汽车的解锁方式，以出色的抗干扰性能、强大的多设备共存能力以及精准至厘米级的定位技术，为车辆的智能化和数字化提供了更多可能性。

www.wpgholdings.com

基带矢量DSP

Ceva推出了高性能、高效率的基带矢量DSP。这些DSP基于成功的Ceva-XC20架构，已经获两家一级基础设施OEM厂商合作设计用于5G-advanced和pre-6G处理器，能够实现更快速、更高效的数据处理，同时降低延迟并提高吞吐量。两款DSP均支持人工智能，让客户应用机器学习来优化用户设备和基础设施的调制解调器算法性能和网络效率，并使其设计能够适应日后不断发展的无线标准。

www.ceva-ip.com

Microwave Journal China 微波杂志

职员 Staff

US Office
685 Canton Street Norwood, MA 02062
Tel: +800-966-8526
mwj@mwjournal.com

Publisher: Carl Sheffres
Editorial Director: Patrick Hindle
Editor: Eric Higham
Managing Editor (US): Jennifer DiMarco
Copy Editor: Kelley Roche
Multimedia Staff Editor: Barbara Walsh
Director of Production & Distribution: Ed Kiessling
Art Director: Janice Levenson
Graphic Designer: Ann Pierce

Corporate Staff
CEO: William M. Bazzy
President: Ivar Bazzy
Vice President: Jared Bazzy

China Offices (中国办事处)

ACT International (雅时国际商讯)
Hong Kong (香港)
Unit B, 13/F, Por Yen Building, No.478 Castle Peak Road, Cheung Sha Wan, Kowloon, HK
香港九龙长沙湾青山道478号百欣大厦13楼B室

Shenzhen (深圳)
Room 2801, Block A, United Plaza,
No.5022 Binhe Road,Futian District,
Shenzhen 518033, China
广东省深圳市福田区滨河大道5022号联合广场A座2801
Tel: 86-755-25988572 / 25988567

President (总裁):
Adonis Mak (麦协林)
adonism@actintl.com.hk

Associate Publisher and Managing Editor (中国编辑兼副社长):
Winson Xing (邢文胜)
winsonx@actintl.com.hk

Deputy General Manager (副总经理):
Floyd Chun (秦泽峰)
floydc@actintl.com.hk

Editorial Advisory Board (编辑顾问委员会)
Alex Chen 陈炯丞，稜研科技亚太区业务发展经理
Chen Junhua 陈俊华，岸达科技天馈及应用技术总监
Felix Xing 邢晓航，能讯半导体市场总监
Feng Keming 冯克明，航天科工二院科技委总师
Gao Jianfeng 高剑锋，凯川电子总经理
Gordon Liang 梁国春，贝孚德董事长/总裁
Jin Zhi 金智，中国科学院微电子研究所研究员
Justin Wang 王占仓，新拓尼克研发经理
Liu Guangyi 刘光毅，中国移动研究院首席专家
Liu Wei 刘伟，迈可博董事长/CEO
Xue Quan 薛泉，华南理工大学教授/IEEE Fellow
You Jia 尤嘉，鼎阳科技现场应用支持经理

horizon house®

广告索引 Advertising Index

广告客户 Advertiser	页码
Artech	37
Bonray / 博瑞集信	23
B&Z Technologies	3
Digi-Key Electronics	5
EuMW 2025 / 欧洲微波周	COV3
EDICON China 2025	COV2
HUAXIANG / 华湘	2
Huiming Technology / 华兴汇明	7
Mini-Circuits	11, 15, 19, 27
Siglent / 鼎阳科技	1
Shanghai Archiwave Microelectronics / 上海安其威微电子	21
Spectrum	COV4
伟博电讯	13, 17, 25, 29
2025 慕尼黑上海电子展	35

投放广告

免费订阅

欢迎投稿

技术文章、应用笔记、案例分析、产品特写、新品发布、
市场/行业/产业分析、新闻分析、新闻发布……
winsonx@actintl.com.hk；15611832959（电话/微信）
www.mwjournalchina.com/submission_guide.asp

欢迎投稿

销售代表 Sales Representatives

Shanghai (上海)
Tel: 86 21 62511200

Sales Director-China (中国区销售总监)
Linda Li (李承珍) lindal@actintl.com.hk Tel: 86 136 7154 0807

Shenzhen (深圳)
Tel: 86 755 2598 8571
Annie Liu (刘映妮) anniel@actintl.com.hk Tel: 86 135 9024 6961

Beijing (北京)
Cecily Bian (边团芳) cecilyb@actintl.com.hk Tel: 86 135 5262 1310

Wuhan (武汉)
Phoebe Yin (尹菲菲) phoebey@actintl.com.hk Tel: 86 134 7707 0600

Hong Kong (香港特区)
销售副总裁
Floyd Chun (秦泽峰) floydc@actintl.com.hk Tel: 86 137 2429 8335

Taiwan, Singapore (台湾省、新加坡)
Simon Lee (李若龙) Simonlee@actintl.com.hk Tel: +852 28386298

国际销售代表：www.microwavejournal.com/salesoffices

欧洲首屈一指的微波、射频、无线和雷达行业活动

EUROPEAN MICROWAVE WEEK
JAARBEURS UTRECHT
THE NETHERLANDS
21-26 SEPTEMBER 2025
www.eumw.eu
WAVES OF INNOVATION

欧洲微波展

荷兰 JAARBEURS UTRECHT
2025年 9月23 - 25日



- 10,000平米展览
- 5,000与会者
- 1,700 - 2,000会议代表
- 300多家国际参展商
  (包括亚洲和美国以及欧洲)

有意参展?

请联系销售代表:

Richard Vaughan,
国际销售经理
rvaughan@horizonhouse.co.uk

Gaston Traboulsi, 法国
gtraboulsi@horizonhouse.com

Mike Hallman, 美国
mhallman@horizonhouse.com

Victoria and Norbert Hufmann, Germany,
德国、奥地利和瑞士
victoria@hufmann.info
norbert@hufmann.info

Katsuhiro Ishii, 日本
amskatsu@dream.com

Jaeho Chinn, 韩国
inter11@jesmedia.com

电话: +44(0) 20 7596 8742　　官网: WWW.EUMW.EU

超快数字化仪



系列：M5i（7个型号）

捕获、存储和分析最快的 GHz 信号！
向内存、CPU 或 CUDA GPU 持续传输！

10 GS/s 采样率
12 比特分辨率
12.8 GB/s 传输速度

- 高达 4.7GHz 带宽
- 高达 16GB 内存
- 免费 SDK，用于 C++、MATLAB、LabVIEW 等。



我们的最畅销款：

系　列：**M4i**（17个型号）
类　型：**PCIe x8，8 至 16 比特**
速　度：**180 MS/s 至 5 GS/s**
通道数：**1 至 4**



成功的中程数字化仪：

系　列：**M2p.59xx**（24个型号）
类　型：**PCIe x4，16 比特**
速　度：**5 MS/s 至 125 MS/s**
通道数：**1 至 8**



PXIe卡系列：

系　列：**M4x**（17个型号）
类　型：**PXIe x4，8 至 16 比特**
速　度：**130 MS/s 至 5 GS/s**
通道数：**1 至 4**

独立式 Ethernet/LXI数字化仪，适合移动应用或机架



系　列：**DN2.xxx**（39个型号）
类　型：**LXI-Ethernet，8 至 16 比特**
速　度：**5 MS/s 至 10 GS/s**
通道数：**1 至 16**

NEW!



系　列：**DN6.xxx**（40个型号）
类　型：**LXI-Ethernet，8 至 16 比特**
速　度：**5 MS/s 至 5 GS/s**
通道数：**12 至 48**

联系我们：
China@spectrum-instrumentation.com

SPECTRUM
INSTRUMENTATION

完美适配 - 模块化设计方案

5 YEARS WARRANTY
SPECTRUM INSTRUMENTATION