

Agilent Nano Indenter 新一代纳米力学测试系统



Agilent Technologies

概述

纳米压痕测量理论的前驱—Warren Oliver & John Pethica在1983年创立了世界上第一家生产纳米力学测量系统的公司——Nano Instruments Innovation Center，并且成功地发明和推出了世界上第一台商品化的纳米压痕测量系统。至今，Oliver-Pharr模型仍然是纳米压痕领域最为通用的物理模型。1998年Nano Instrument公司加入了MTS公司，在此期间，公司的压痕产品在全球市场中得到了完全的认可，在高端市场占有率稳居第一，技术一直处于领先地位，2008年，Nano Instrument并入了安捷伦科技的纳米测量部。

位于美国田纳西州橡树岭的安捷伦纳米力学工厂推出了新一代的纳米力学测量系统，其压痕功能可以轻松获取到接触刚度、硬度、弹性模量；断裂韧性；蠕变应力指数；贮存模量、损耗模量、阻尼、疲劳特性等，而划痕功能可以获得摩擦系数；划痕临界载荷（薄膜与基底材料之间的临界结合力）；划痕硬度；定量表面形貌测量例如台阶仪功能，尤其值得指出的是，G200独有的连续刚度测量专利技术可以轻松解决长久以来困扰薄膜和涂层材料的力学测量中的基底效应问题，这个测量技术同理可以解决复合材料中不同相的力学性能测量中周边效应问题，该技术已被列入中国的纳米压痕测试的国家标准（GB/T 22458-2008）。

安捷伦公司的纳米力学系统用户遍布全球的各大知名院校、科研院所以及跨国公司。例如Stanford、Cal-Tech、MIT、Cambridge、Oxford、清华、中科院力学所、武汉大学、北工大、哈工大、吉林大学、中科沈阳金属所、大连理工、西安交大、南航、中科苏州纳米所、宝钢研究院、上海纳米中心、中科宁波材料所、中山大学等。应用领域涵盖了各种表面保护和涂层、多相材料和复合材料、生物材料、MEMS/NEMS器件、半导体领域、高分子、陶瓷、玻璃、金属合金、切削工具等材料的力学性能的分析表征等等。

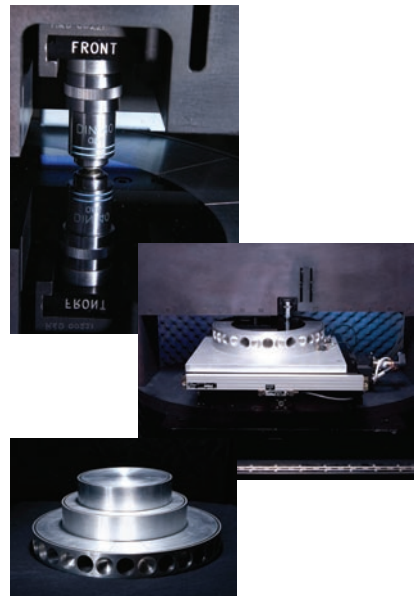


多功能的测试平台

Nano Indenter G200 是一套完整的纳米力学显微探针系统，其功能包括了纳米压痕、纳米划痕以及纳米力学显微镜等。整个测试流程都是全自动的，这样就提高了测试数据的可靠性和可重复性。



Nano Indenter G300 配备支持试样直径最大为12英寸的样品台,可对各种不同尺寸晶圆片直接进行力学性能检测，不需要破坏晶圆片就可以获得上面任意位置的力学性能，整个实验过程全自动控制，避免了可能的人为因素的影响，确保每个测试都是合理、一致、精确。

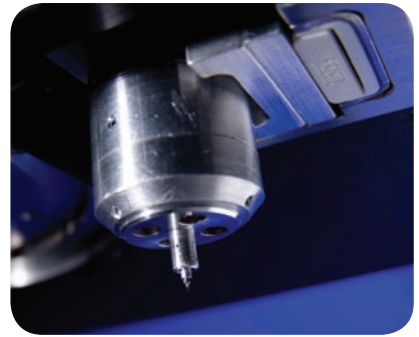


T150 UTM 系统提供了一种测量静态和动态微拉伸性能的非常卓越的方法。设备采用了一种独特设计的纳米力学激励传感器，使得系统既能够进行大应变实验，又能进行小应变测试(高分辨率)。连续动态分析 (Agilent CDA)是安捷伦公司的专利技术，通过施加一个纳米量级的简谐信号以及反馈控制，Agilent CDA可以进行连续拉伸过程中不同应变状态下的储存模量和损耗模量测量。UTM 系统可以快速测量弹性模量、屈服强度、极限抗拉强度以及失效测量等。

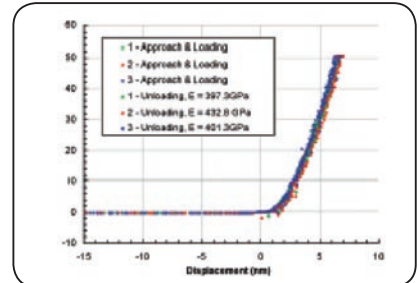


高精度加载功能

DCM II是高分辨纳米力学测量模块，它可以单独工作，也可以作为一个附件与G200和G300协同工作。由于其惯性质量很低，使得纳米压痕中的初始表面的选取更加灵敏、精确，所以DCM II在超低载荷下的纳米压痕测试具有极高的精确度和可重复性，由于它自身的空载共振频率远高于一般建筑物的振动频率，这就使得一般的环境振动对它几乎没有影响，DCM II具有很宽的动态频率范围(0.1 Hz到300 Hz)，所有这些特点使得DCM II可以提供同类设备不可比拟的高信噪比和高可靠性的试验数据，例如下图所示的蓝宝石上三个纳米深度的压痕测试，在几个纳米的压痕深度范围内获得了非常可靠的弹性模量。



Agilent DCM II

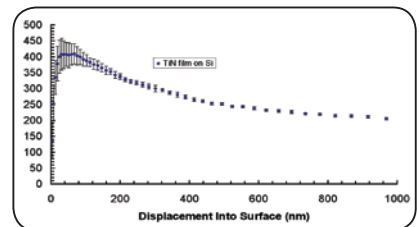


蓝宝石(E = 400GPa)上三个连续的纳米压痕. 加载和卸载曲线完全重合说明这里的压痕无安全弹性形变。

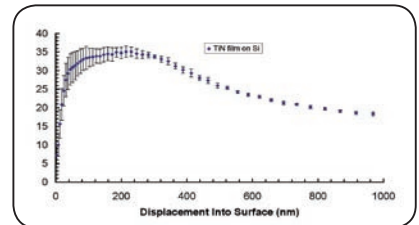
独有的连续刚度测量专利功能

传统的准静态纳米压痕测试是利用卸载曲线获得接触刚度，每个压痕循环只能获得最大压痕深度处的一个硬度和模量。连续刚度测量功能则可以直接获得压入过程中采集的每个载荷和位移数据对应压入深度的接触刚度、进而计算出硬度与弹性模量等力学性能作为压入深度的连续函数。连续刚度测量技术对各种薄膜材料，表面改性材料和复合材料的研究至关重要。连续刚度测量给出硬质涂层的纳米压痕结果，硬度和弹性模量随压入深度均出现一个最高的平台，该平台处的数值代表硬质薄膜的硬度和弹性模量。随着压痕深度的增加，硬度和弹性模量均出现下降，这是基底效应的表现，值得指出的是两个力学参量的最高平台的宽度存在很大差别，这表明弹性模量的基底效应与硬度的基底效应相比总是出现在更浅的压痕深度处，因此传统的涂层材料的维氏硬度测量方法采用的10%膜厚的经验，根本不适用于弹性模量的测量。解决这个问题，还得依靠连续刚度测量技术。

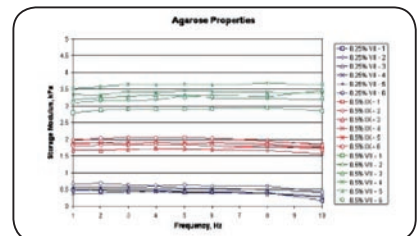
连续刚度测量技术的另一个应用就是可以精确测量材料得出存模量和损耗模量，主要应用包括橡胶、高分子、生物以及阻尼材料等。



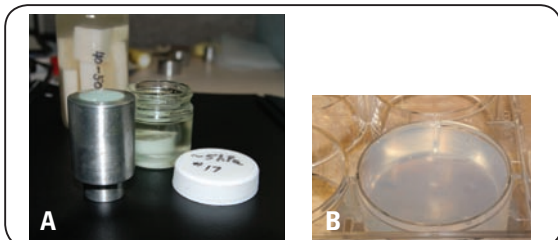
硬质涂层的弹性模量vs 压入深度曲线



硬质涂层的硬度vs 压入深度曲线



硬质涂层的硬度vs 压入深度曲线



图A同心筒状样品台，图B 制成平板状的琼脂糖凝胶

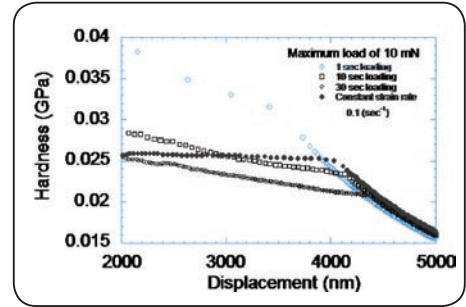
全新的测量模式

恒应变速率下的纳米压痕测试

由于大部分材料的强度都是应变速率的函数，因此在力学测试过程中应变速率的控制极为重要。作为流变强度的反映，硬度也不例外。

压痕测试的应变速率定义为压痕深度的瞬态变化率除以压痕深度 $((dh/dt)/h)$ ，恒载荷速率 $(dP/dt=k)$ 或恒位移速率 $(dh/dt=k)$ 都不能保持恒定的应变速率。恰恰相反，上述两种加载方法的应变速率随着压痕深度的增加逐渐变小，因此这两种加载技术都会给出近表面处较高的硬度，这是由于实验过程中的人为因素所导致的。

安捷伦公司的 Nano Indenter 利用恒应变速率加载过程中的硬度测量彻底排除了这种人为因素，这样就保证了所测数据的可靠性和可对比性。



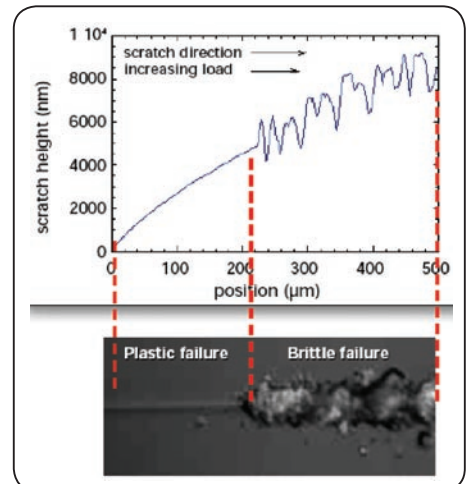
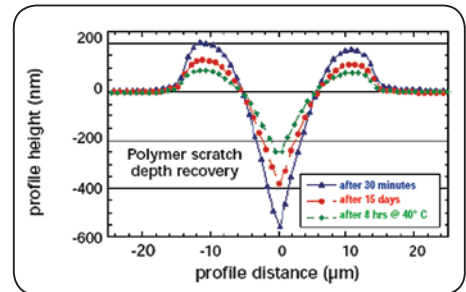
纳米划痕测试

Nano Indenter 测试系统，可以轻松地解决过去人们一直认为划痕测试无法给出定量的、可靠的并且可重复的测试结果这一难题，而且可以定量地研究过去无法获得的表面划痕的特性行为。利用垂直于划痕方向的断面扫描可以获得划痕深度、划痕宽度以及凸起高度。利用该测试方法，还可以研究划痕损伤后的粘弹性恢复以及时效。

主要划痕特征包括:

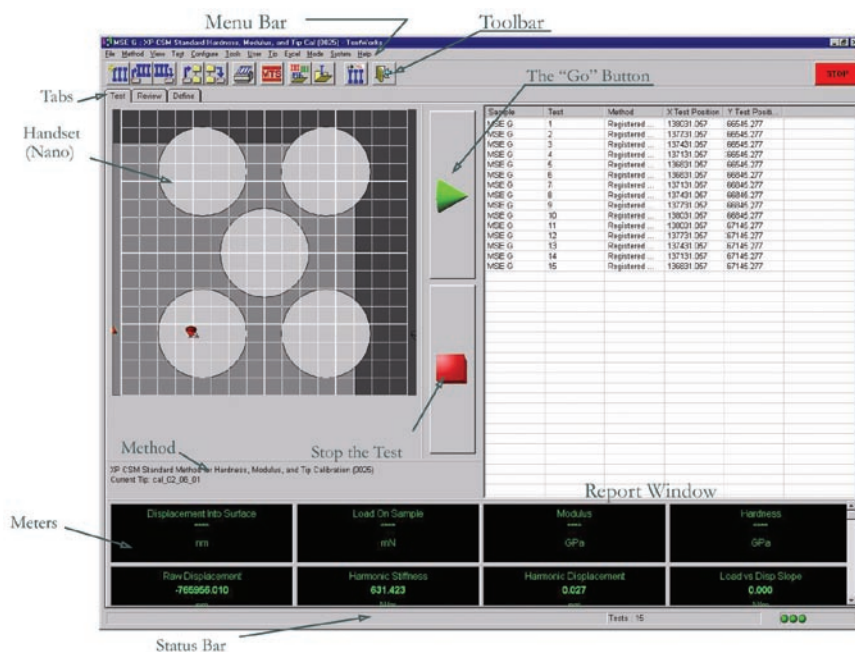
- 划痕头的几何形状完全一致
- 测量过程全自动
- 能在多个试样设置多次划痕测试
- 可在不平整的表面进行划痕测试
- 定量测试表面形貌

利用线性变载荷划痕方法可以测试薄膜与基底材料之间的临界结合力。



全新的应用软件

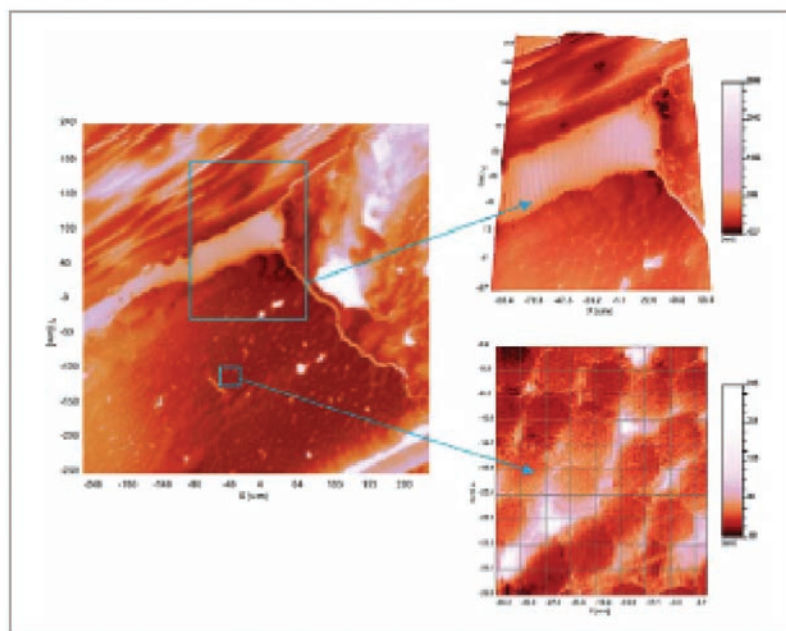
在同行业内领先的NanoSuite软件不仅可以自动测试，也可以使用户利用网络远程遥控进行实验控制，NanoSuite不仅能够做到压入过程中硬度和弹性模量等力学性能的实时计算和显示，同时允许用户根据自己的研究需求以及提出的新模型随时添加新的软件通道，此外，根据实验参量的变化快慢能够自动调整数据的采集速率，实现了智能化的数据采集功能，从而既获得您真正需要的数据，又可避免不必要的垃圾数据。



新增的图像功能和Survey Scanning

NanoSuite 5.0 提供了非常强大的图像功能，包括试样断截面扫描，实时调整扫描参数以及图像后处理功能。最大扫描面积可达 $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$ ，整体的平整度每 $100\ \mu\text{m}$ 可达 0.1% 。

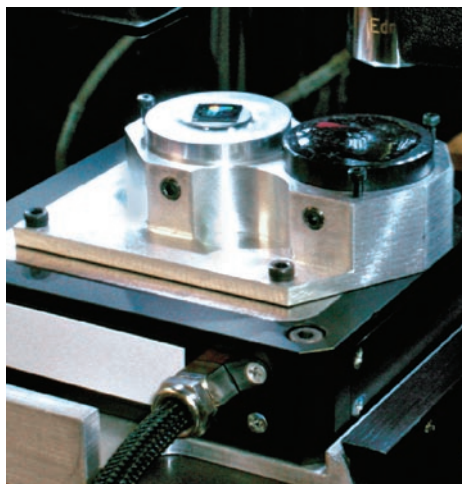
该功能模块对于较大试样的划痕和磨损测试非常适用，对于非规则形状或非均匀材料包括金属、陶瓷、以及硬质涂层材料等的较大块试样非常有用。



左图: 碳纤维材料 $500\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{m}$ 的扫描, 试样高度差别可达 $18\ \mu\text{m}$ 。
右上图: $40\ \mu\text{m}$ 扫描的3D图像; 右下图: 碳纤维断面 $40\ \mu\text{m}$ 扫描加上Polynomial leveling处理后的3D图像

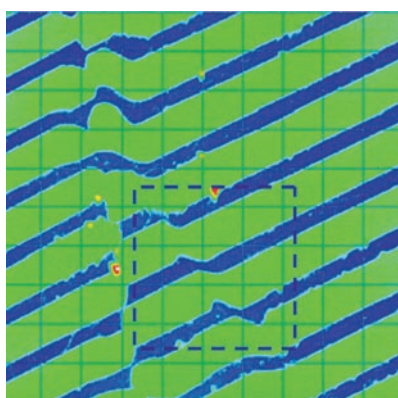
纳米力学显微镜

纳米力学显微镜提供了真正意义上的原位纳米力学测试功能，同一个金刚石头既可以做纳米压痕测试，又可以实现原位的三维定量扫描成像，由于在X和Y方向均采用了位移传感器和反馈系统，因此利用它可以轻松实现超高分辨率定位的纳米压痕测试。

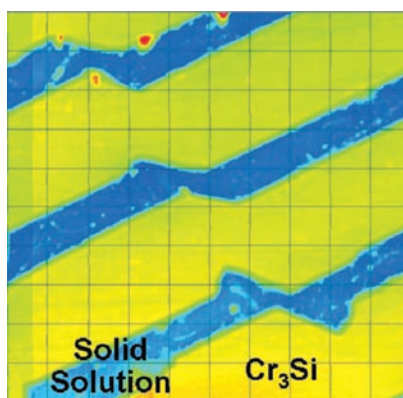


纳米精度控制移动的扫描台

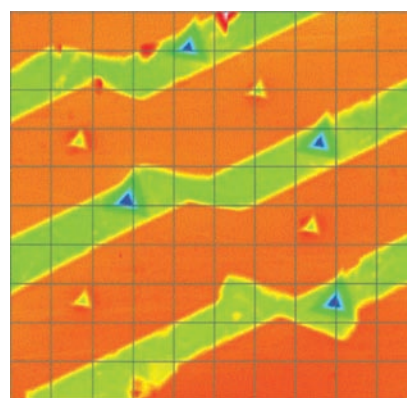
多相材料的原位纳米力学测试，可轻松找出目标，分别进行纳米压痕测试。



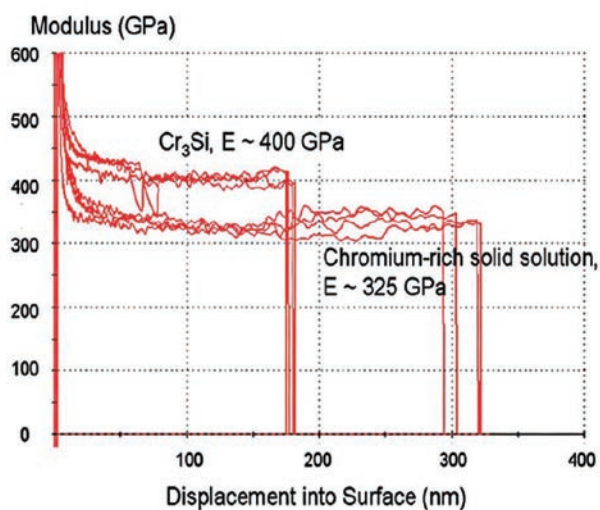
多项材料的50x50 μm扫描图像



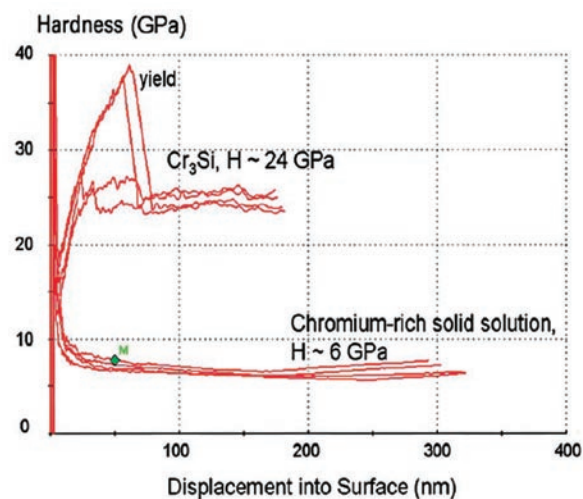
多项材料的20x20 μm扫描图像



多项材料纳米压痕后的20x20 μm扫描图像



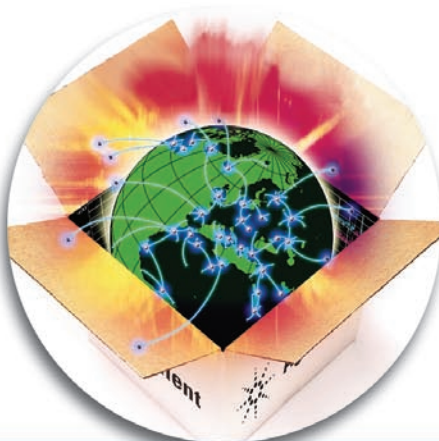
材料中两种不同相的弹性模量曲线



材料中两种不同相的硬度曲线

创新技术和优势 Advantages

- 传感器的精度高，稳定性和重复性好，人性化的界面设计，使用方便。
- 多种加载模式：恒载荷速率、恒位移速率、恒应变速率以及阶梯加载。
- Agilent专利技术--连续刚度测量，基底效应难题迎刃而解。
- 机械部分全新的设计，X-Y方向的运动范围：200 X 200 mm。
- 电控部分采用了全新的第三代技术，仪器的稳定性更高，实现了更高速的数据采集和传递，并且做到数据的实时处理和显示，包括硬度和弹性模量在压入过程中的实时显示。
- 高级X-Y运动系统，采用了纳米运动马达和 linear encoders等, 样品台移动快，并且定位更准确，试样高度实现了原位调节。
- 内置LED光源，并且实现了软件对显微镜光源的控制，使得试样表面的图像观察更加方便，图像质量更加清晰。
- 超高精度的金刚石压头，新的Berkovich压头顶端曲率半径20nm。
- 压入过程中的热漂移效应全自动扣除，测量结果更加真实、可靠。
- 内置温度测量。
- 载荷范围自动识别。
- 完全符合ISO-14577（国际标准），GB/T22458—2008（中国国标）。
- Agilent是全球最大的测量领域的公司，在国内有8家分公司,28个维修站，2个工厂。
- 国内高水平的专业人员和国际顶尖科学家的技术支持。



仪器参数

Nano Indenter 的主要指标



	G200	G300
位移能力		
位移测量方式	电容位移传感器	电容位移传感器
压头总的位移范围	≥1.5mm	≥1.5mm
最大压痕深度	>500um	>500um
位移分辨率	<0.01nm	<0.01nm
载荷能力		
加载模式	电磁力	电磁力
最大载荷（标配）	>500mN	>500mN
载荷分辨率	50nN	50nN
高载荷选件	10N /50nN	10N /50nN
DCM压痕选件	10mN/1nN	10mN/1nN
框架刚度	≥5x10 ⁶ N/m	≥5x10 ⁶ N/m
样品台		
有效使用面积	100mmX100mm	225mmX300mm
定位精度	1um	1um
定位控制模式	全自动遥控	全自动遥控
光学显微镜		
总的放大倍率	250倍和1000倍	250倍和1000倍
物镜镜头	10X 和40X	10X 和40X

UTM T150 主要技术指标

最大载荷	500mN
载荷分辨率	50nN
作动器最大位移	± 1mm
位移分辨率	<0.1nm
动态位移分辨率	<0.001nm
横梁最大拉伸	150mm
拉伸分辨率	35nm
拉伸速率	0.5um/s to 5mm/s
动态频率范围	0.1Hz to 2.5kHz

安捷伦实验室

作为全球领先的研究中心，安捷伦实验室推动企业的持续发展，不断突破技术瓶颈，同时它致力于保持安捷伦在其现有领域的领导地位，也不断在技术上推陈出新，使安捷伦在各种新的行业领域里快步前进。

安捷伦实验室遍布全球，它主要的研究中心位于美国加利福尼亚州 Santa Clara。此外，全球各地也有它的分部，包括欧洲的 Leuven, Belgium, South Queensferry, Scotland；亚洲的中国北京；美国华盛顿州 Everett。

安捷伦实验室立足于专家级的技术人才，各种学科的有机融合，技术产业化转化的通畅渠道，以及热爱科学技术的广大员工。它横跨多个领域与行业，通过组合看似无关的技术，以发现、解决问题。通过集合各种有用技术，安捷伦实验室与安捷伦科技紧密相连。

安捷伦实验室的研究方向可大致分为电子测量、生物分析，以及纳米技术，这大致满足了各行业客户的不同需求：

- 通过不断发展、革命性、以及创造性的技术研究，安捷伦科技在其现有的电子测量和生命分析领域中勇往直前。
- 不断突破创新，为安捷伦科技开辟崭新的市场
- 基础研究促进人们对根本问题的认识，从而对企业未来的发展起到至关重要的作用。

安捷伦实验室的卓越成果得益于其优秀的专家级人才。大约70%的研究人员拥有各类专业的高等学历，他们密切关注于自身的研究领域，以及全球相关的其他研究人员。他们长期致力于高风险的研究项目，推动商业目标的实现，与世界其他顶级研究组织保持紧密联系。他们与众多大学以及政府研究机构保持积极的协作关系。

安捷伦实验室里众多科学家的卓越能力是他们成功的有利保障。他们或是美国电气及电子工程师学会 (IEEE)、美国物理学会的研究员，或是美国国家工程院的成员。他们凭借自身的研究成果和论文赢得了无数的荣誉，也经常应邀在各种颁奖活动前进行演讲，比如美国国家卫生研究院，美国国防部高级研究计划署等。此外，这些科学家们还积极参与到各种标准的制定工作中去，包括IEEE标准、中国国家GB标准等。



安捷伦科技公司

安捷伦科技公司是由惠普公司战略重组分立而成的一家高科技跨国公司，1999年11月18日，安捷伦科技在纽约股票交易所挂牌上市，当天公司股票募集资金额达21亿美元，在硅谷发展历史上创造了最高纪录。从加州的小车库发展成为员工遍及全球，为110个国家的客户提供服务的跨国企业，安捷伦在通信、电子、测试与测量和生命科学和化学分析的创新和领导上，有着悠久的历史。

安捷伦 2005 财年约 2/3 的收入来自于美国境外，全球有 21,000 名雇员，在全球运营中具有人才竞争优势。安捷伦在世界各地的制造、研发、销售和支持能力，让我们的客户们得到在当今竞争激烈的环境中所需的灵活性。

安捷伦在中国

中国是安捷伦在美国本土以外最重要的市场。多年来，安捷伦一直致力于加大在华投资，扩大在华业务。作为全球通信、电子和生命科学的领导者，安捷伦科技在中国的发展可追溯至1977年，这一年，惠普创始人Bill Hewlett和Dave Packard与中国高层领导人建立了联系。目前，安捷伦在中国拥有近1300名员工，三个合资企业，两个独资企业，业务涉及软件和硬件研发、制造、市场、销售和服务支持，在北京、上海、广州、深圳、成都、西安、沈阳、南京和苏州等9座重要城市设有办事机构。

2007年4月，安捷伦科技中国总部及研发中心在中关村科技园区电子城西区建成(下图所示)。该总部大楼集中了安捷伦在北京的研发中心、销售、市场、技术支持及售后服务部门，该举措充分表明安捷伦扎根中国的长期承诺。



安捷伦科技的技术支持和服务

安捷伦科技有限公司的宗旨是使用户能获得最大效益，同时把问题和风险降到最小。我们将全力保证您获得的测试和测量能力物有所值，并及时得到所需的技术支持。我们全面的技术支持和服务能够帮助您选择正确的安捷伦产品，并在应用中获得成功。我们销售的每一款仪器和系统都将提供全球保修服务。对于停产的产品，在5年内均可以享受技术服务。“我们的承诺”和“用户至上”概括了安捷伦科技公司的技术支持和服务的理念及价值。

我们的承诺

我们的承诺意味着安捷伦的测试和测量设备将符合其广告宣传的性能和功能。在您选择新设备时，我们将充分提供产品的信息，包括切合实际的性能指标和资深测试工程师提供的实用建议。在您使用安捷伦设备时，我们可以验证这些设备的工作能力，此外我们还提供自助工具。

用户至上

用户至上意味着安捷伦公司可以提供的各种专门测试和测量服务，您可以根据自己独特的在技术和商务方面需求来获取这些服务。通过与我们联系取得有关校正，升级，超保修期的维修，现场讲解和培训，设计和系统组建，工程计划管理和其它专业服务，使用户能够有效地解决问题，并取得竞争优势。安捷伦遍布全球的资深工程师和技术人员能够帮助您最大限度的提高科研和生产的效率，使您在安捷伦仪器和系统上的投资得到最佳回报，并在产品的整个生命周期内获得可靠的测量精度。

欢迎登陆: www.agilent.com, 热线电话: 800-810-0189
请通过Internet、电话、传真得到更多的帮助

安捷伦科技(中国)有限公司

地址: 北京市朝阳区望京北路3号

电话: 010-64397360

传真: 010-64390278

邮编: 100102

上海分公司

地址: 上海市浦东张江碧波路690号微电子港4号楼

电话: 021-38507420

传真: 021-50273000

邮编: 201203



Agilent Technologies