

PI-95 型 TEM 专用纳米压痕仪  
眼见为实！定量检测、直接观察、  
TEM专用纳米力学仪器。

美国海思创 (Hysitron) 公司制造的PI-95 TEM PicoIndenter是TEM专用的第一代多用途高灵敏度传感器压痕仪，可以在TEM上做纳米力学检测时直接观察检测过程。使用侧面进样支架，不仅可以实现纳米尺度材料力学性质成像，还可以同时得到载荷-位移数据。通过视频接口可以在载荷-位移曲线与响应TEM视频之间实现时间同步。

纳米力学检测系统和TEM结合，方便研究人员瞬间得到特定参数，比如化学复合物的种类或样品中已造成的影响。除成像外，选择区域衍射可以检测样品的取向和加载方向。此外，使用原位力学检测形变可以实时观测，而不是事后验证。这两种高分辨技术的结合从两方面展示了检测的结果。

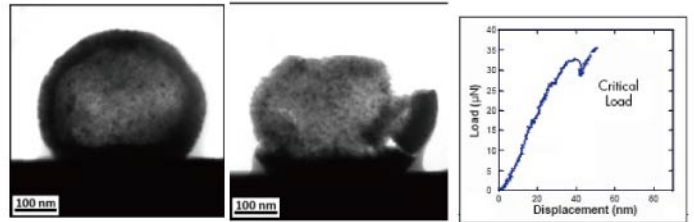
海思创(Hysitron, Inc.)，世界领先的纳米力学测试仪器公司，由于发明了PI 95 TEM PicoIndenter荣膺2006年R&D 100 Award年度奖项。奖项。

## 无与伦比的性能

PI 95实现了探头定位和力学检测的三级控制。除了三轴粗定位和3维压电螺线管精确定位，支架配置了已申报专利的微型传感器，实现静电驱动和电容式位移传感。使用这个新开发的传感器，可以实现定量检测，获得的原位应力-位移曲线。

传统的压痕检测方法在原理上依赖于开环、压电控制、串联加载的原理，不可避免会人为引入误差，得到不准确的载荷-位移曲线。使用微型传感器可以得到高精度的深层

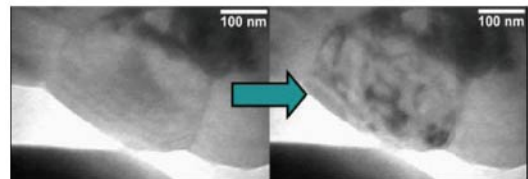
能力。更多的是，因为传感器的静电驱动特性，可以识别持续施加的较大应力，不会出现灵敏度损失的状况。



CdS纳米微球在原位压缩前后的明视场TEM 图像  
从载荷-位移曲线可以看到临界载荷力

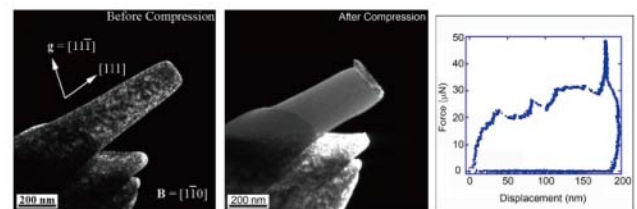
## 应用

PI-95 TEM PicoIndenter专为研究纳米尺度力学现象设计。使用 TEM 进行力或位移瞬态效应相关的材料研究，包括位错猝发、剥落、剪切带、破碎点等，可以清晰的看到过程前后的差异。



压痕试验：取自连续的视频帧。  
可以观察到本来无位错的一个纯铝金属的晶粒形成位错是开始屈服的过程

PI 95配备了微型平滑探头，可以对单个纳米粒子、纳米柱以及其他纳米尺度结构进行高效压力测试。使用这套配置，TEM可以用来表征形变发生前、中、后的纳米结构。不仅如此，PI-95对所接触的区域都可以进行检测然后进行应力计算。



Ni纳米粒子压缩前后纳米柱TEM暗场像  
能观察到压缩前位错密度高，而压缩后位错消失



## PI-95 的特点

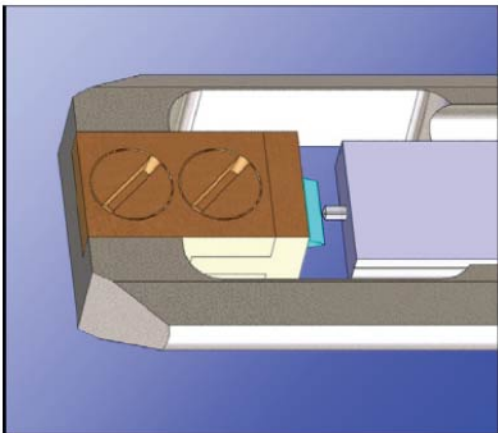
- 已申请专利的微型传感器提供静电驱动和电容式位移传感
- 多控制模式包括闭环位移控制、开环加载控制和闭环力平衡控制
- 在闭环控制下，工作期间会激活主动阻尼传感
- 传感器和压电驱动控制使用新的 **performech™** 内嵌DSP的控制器在高循环频率下工作
- 在TEM中，不同尺寸形状、掺杂导电探针可互换

## 传感器性能参数

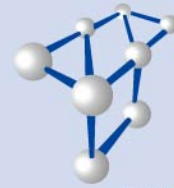
- 最大应力:  $> 1.5 \text{ mN}$
- 最大位移:  $5000 \text{ nm}$
- TEM的力背景噪音:  $<200 \text{ nN RMS}$ ; 力分辨率:  $< 8 \text{ nN}$
- TEM的位移背景噪声  $<1 \text{ nm}$ ; 力分辨率:  $<0.02 \text{ nm}$

## 支架性能参数

- 单斜度: 样品支架的斜度范围可变的，与TEM的制造厂家和型号有关，也和径向磁极块的间隙大小有关。
- 特殊的支架尺寸与所使用的显微镜有关。



支架如图，压痕仪探头尖直接对准样品，与电子束方向垂直，方便原位观察形变现象。



**Tegment**  
**德祥**

www.tegment.com.cn  
客服热线: 4008-822-822

## 主要办事处

### 总部

香港九龙官塘鸿图道26号威登中心2602-05室  
Tel: (852) 2759 2182  
Fax: (852) 2758 3830  
Email: info@tegment.com.cn

### 北京办事处

北京市海淀区知春路9号  
坤讯大厦1506室 (100191)  
Tel: (010) 8232 7383  
Fax: (010) 8232 9551

### 上海办事处

上海市静安区北京西路1068号  
银发大厦18楼 (200041)  
Tel: (021) 5261 0159  
Fax: (021) 5261 0122

### 广州办事处

广州市中山五路219号  
中旅商业城1505室 (510030)  
Tel: (020) 2227 3388  
Fax: (020) 2227 3368

### 成都办事处

成都市春熙路大科甲巷8号  
利都广场7楼724-5室 (610016)  
Tel: (028) 8665 6745  
Fax: (028) 8665 6744

### 昆明办事处

昆明市拓东路80号  
绿洲大酒店写字楼906室 (650041)  
Tel: (0871) 3157 211  
Fax: (0871) 3157 015

### 厦门办事处

厦门市后埭溪路28号  
皇达大厦15楼A2BC (361004)  
Tel: (0592) 5185 885  
Fax: (0592) 5185 886

### 南宁办事处

南宁市民族大道38-2号  
泰安大厦18楼09室 (530022)  
Tel: (0771) 5890 482  
Fax: (0771) 5890 402



## 可用的检测模式

### 标准

**准静态纳米压痕** - 通过纳米压痕测定杨氏模量、硬度、断裂韧度和其他力学性质。

**划痕检测** - 量化划痕、层裂应力、摩擦系数，同时进行普通应力和侧向应力以及位移监测。

**严密的光学组件** - 高分辨、彩色 CCD 相机可以分辨单个结构和检测位置。

**SPM 成像** - 使用探头尖部进行原位扫描成像，实现了纳米级精度测试定位和表面拓扑信息。

**ScanningWear** - 使用原位成像技术观察和量化磨损量和磨损率。

**反馈控制** - 在闭环回路中控制载荷或位移，进行高级纳米压痕、蠕变和应力弛豫测试。

### 升级选项

**nanoDMA** - 使用专为聚合物和生物材料设计的动态测试技术研究材料的含时性质。

**模量成像** - 从单次 SPM 扫描获得积累的和损失的刚度和模量绘出定量图。

**闭环扫描** - 给出一个略大的参考扫描范围 (100  $\mu\text{m}$  x 100  $\mu\text{m}$  x 15  $\mu\text{m}$ )，指导测试位置的精确度和稳定性。

**AFM 升级组件** - 对聚合物和生物材料进行表面拓扑和选择测试位置给出超低接触力和间歇并且可以配合纳米压痕探头使用，高效快速地定位压痕位置并进行压坑形貌表征。

**3DOmniProbe** - 提供最高达10 N的力和最长达150mm的划痕，进行微米级深度压痕测量和摩擦学研究。

**热控制** - 可以加上加热/冷却台在非环境温度下进行力学性能研究。

**真空卡盘** - 有了晶片挂载系统，就无需在检测之前先粘合或切削晶片。

**nanoECR** - 导热的纳米压痕系统可以同时进行原位电子和力学检测，同时研究材料的形变和应力带来的转变行为。

## TI-950 的技术特点

- 双载荷头测试能力，可以在从  $\leq 30\text{ nN}$  到  $10\text{ N}$  的力学范围内进行测试，实现了纳米-微米尺度无缝接合。
- 符合 ISO14577 纳米压痕检测标准，以及温度湿度测量标准。
- 自动测试高通量和统计采样材料。
- 原位成像提供纳米精度的测试位置和便捷的 SPM 形貌图。
- 专业设计的声学 and 热学孤立体系，配合稳定的传感器设计和主动减震系统最大程度的缩短了测试设置和稳定所需的时间。
- 严密的、高分辨彩色光学系统方便在可视化条件下选择测试位点。
- 500nm 分辨率样品台进行精确样品定位。
- 可选附件很多，是市场上同类产品中扩展功能最广泛的仪器。

### 传感器性能参数

#### 载荷

分辨率:  $< 1\text{ nN}$

噪声层:  $< 30\text{ nN}$

最小成像接触应力:  $\leq 70\text{ nN}$

#### 位移

分辨率:  $< 0.006\text{ nm}$

噪声层:  $< 0.2\text{ nm}$

热成像漂移:  $< 0.05\text{ nm/sec}$

### 工作台性能参数

#### X和Y方向

移动范围:  $250\text{ mm} \times 150\text{ mm}$

分辨率:  $3\text{ nm}$

#### Z方向

移动范围:  $50\text{ mm}$

分辨率:  $3\text{ nm}$

# TI-950 纳米力学测试系统



Hysitron (海思创) 的 TI-950 型纳米力学测试系统具备功能增强的环境隔离系统和极高的检测灵敏度。

## TI-950 纳米力学测试系统 纳米力学测试仪器

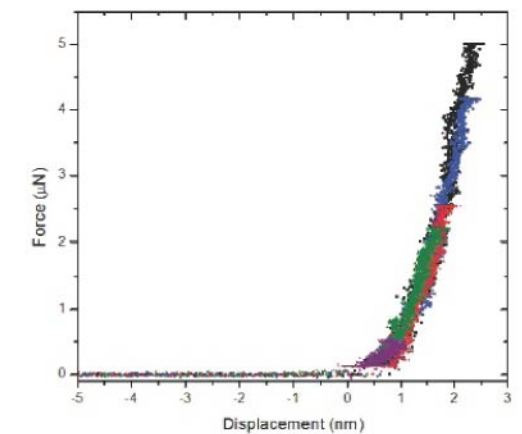
TI-950是下一代纳米力学测试系统, 提供了业界领先的灵敏度和无可比拟的性能。TI-950 设计为自动的高通量检测仪器, 支持 Hysitron (海思创) 开发的许多纳米力学表征技术。系统集成了新开发的 **performech™** 高级控制模块, 显著提高了反馈控制纳米力学检测精度, 支持双载荷头检测, 实现了纳米-微米尺度无缝接合, 达到了前所未有的低噪声性能。在 TI-950 上应用了许多新开发的纳米力学检测方法, 这些让 TI-950 如虎添翼, 大大拓展了纳米力学检测的应用范围, 成为多用途、高效率的纳米力学表征工具。TI-950 结合 Hysitron (海思创) 的专利技术“三板电容式传感器”和先进控制技术得到了优秀的纳米力学表征性能。系统最出色的地方包括低于  $30\text{ nN}$  的施力噪声背景、超快反馈控制、用户可选的数据采集速率最高可达  $30\text{ kHz}$ , 最广泛的纳米力学测试技术和高载荷头与低载荷头无缝结合的测试能力。

TI-950 优异的样品台系统, 可以配合原位扫描探针显微镜(SPM) 进行成像扫描, 在位移测试的准确度和数据重复性等性能上超越了以往任何一款同类仪器。

### 优异的控制

Hysitron (海思创) 性能领先的反馈控制算法与优异的测试灵敏度结合, 使所有 Hysitron 纳米力学测试手段都能得到精确控制。TI-950 所有反馈控制功能都采用内嵌专用数字信号处理器 (DSP) 和现场可编程门阵列 (FPGA) 控制系统, 随时对用户输入做出响应, 进行精确控制。

在 Si (110) 面进行的5次低值压痕测试  
Five Low Force Indentation Tests on (100) Si



A series of five low force indents on (100) Silicon showing the industry leading noise floor performance and data repeatability of the TI 950 nanomechanical testing system.

### 5组应力-位移数据点

如上图所示, 在Si (110) 面进行了5次微小力压痕对比测试, 5组数据点显示了 TI-950 纳米力学测试系统业界领先的低噪声性能和数据重复性。

内部反馈回路频率高达  $78\text{ kHz}$ , 确保了载荷/位移函数可以捕捉到压痕产生过程中转瞬即逝的变化。此外, 借助快速反馈回路, 可以在用户可定制的数据采集速率 (最高达  $30\text{ kHz}$ ) 下获得精确数据。用 TI-950 可同时进行载荷和位移控制, 允许操作人员采用对探头和样品接触条件的优异控制进行纳米尺度蠕变和应力松弛研究。

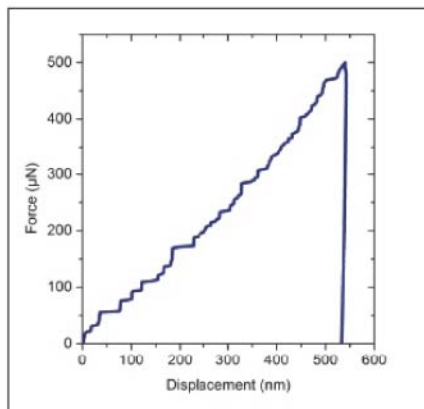
总部  
香港九龙官塘图道26号威登中心2602-05室  
Tel: (852) 2759 2182  
Fax: (852) 2758 3830  
Email: info@tegent.com.cn

北京办事处  
北京市海淀区知春路9号  
坤讯大厦1506室 (100191)  
Tel: (010) 8232 7383  
Fax: (010) 8232 9551

上海办事处  
上海市静安区北京西路1068号  
银发大厦18楼 (200041)  
Tel: (021) 5261 0159  
Fax: (021) 5261 0122

广州办事处  
广州市中山五路219号  
中旅商业城1505室 (510030)  
Tel: (020) 2227 3388  
Fax: (020) 2227 3368

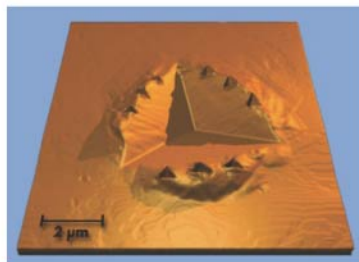




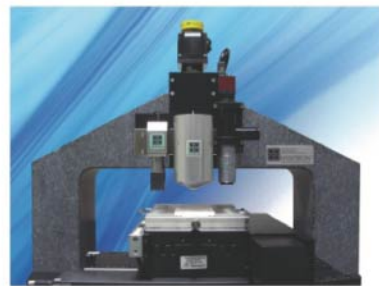
在单晶 Al (100) 面进行控制载荷纳米压痕测试。从整个测试循环可以观察到错位。

### 双载荷头测试

使用 TI-950 可以集成 Hysitron (海思创) 的电容传感技术、著名的业界领先的灵敏度和高载荷压头 (三维全方位探针或多范围纳米探针) 结合起来应用。这就实现了纳米-微米尺度测试无缝接合。这种压头独特组合方式扩大了纳米力学测试的应力范围 ( $\leq 30 \text{ nN}$  到  $10 \text{ N}$ )，是专为最宽范围测试应用所设计的。



如图所示用低载荷压痕测试法在高载荷压痕形成的余量堆积区域进行试验后的图像



压痕仪配备了无缝操作所需的电容式传感器、三维全方位探针和高分辨光学器件

### 原位扫描探针显微 (SPM) 成像

Hysitron (海思创) 为每台纳米力学测试仪器提供原位扫描探针显微 (SPM) 成像组件。TI-950 压痕仪配备的 SPM 成像组件对于精确测试位置和微结构压痕至关重要。原位成像是从压痕探针经过样品表面时光栅扫描得到的，可以观察探针经过前后材料表面的不同状况。这个功能使得在期望测试的位置，压头探针可以控制在  $10 \text{ nm}$  以内的定位精度。如果要对多相材料中的某一相或精细样品表面进行特征分析，就只能使用 Hysitron 专利保护的原位扫描探针显微 (SPM) 成像设备。测试后成像也可以验证测试是否在预期位置进行。这使数据的可靠性最大化，可以辅助解释预期之外的测试结果。

TI-950 可以在极低的成像接触力下 ( $\leq 70 \text{ nN}$ ) 产生定量拓扑成像。这项功能尤其适合软物质和柔性结构表征。从纳米压痕和纳米划痕测试结果衍生许多分析项目是材料形变的定性所必须的。原位扫描探针显微 (SPM) 成像可以对材料的变形进行观察和定性，比如测试某时间段内的堆积、磨损体积、破裂长度和划痕形态等。Hysitron (海思创) 开发了多用途软件包，方便使用原位成像技术自动测试位点专一的各个样品位置。软件包还包括为科研人员设计的实时和离线图像处理和分析工具，可以对测试期间材料的形变进行定性分析。

### 传感器的设计

#### 低漂移

Hysitron (海思创) 的关键设计是专利三板电容式传感器，既可用作驱动器也可用作传感器。载荷力是由静电力驱动的，而同一时间的位移是通过电容的变化来测量的。静电驱动只需要极小的电流，这样驱动过程中不会产生热漂移。相对其他驱动方法来讲，这种方法的漂移特征优于其他方法，如铁磁性器件在激发过程中因为需要高电流不可避免会引入热漂移。低漂移条件带来的好处是在保证较高准确度和重复性的同时数据采集速度更快。

### 动态特征

由于具有较高灵敏度和动态特征，传感器可以对粘弹性材料进行高频测试。

由于压痕探头和驱动传感器平板的质量都很小，而且传感器的阻尼很低，仪器可以在更宽的频率范围内 (最高可达  $300 \text{ Hz}$ ) 进行多项测试。Hysitron (海思创) 的传感器技术和动态测试模式是专为聚合物和生物材料的纳米力学测试性能进行的拓展。

### 环境独立

噪音、气流、试验室温度变化和振动等很小的因素都会对测试的稳定性和精确性造成潜在的损害。仪器通过主动和被动阻尼系统，以及定制的隔离体系把上述因素的影响降到最低。特殊设计的外罩由双层玻璃纤维制造而成，包括了三个相互分离的聚合物绝缘层。这些绝缘层把仪器从较宽的噪音频率范围中分隔开来，提供了在与外部环境隔离的稳定环境下进行实验的条件。为准确进行纳米尺度测试，启用了压电防振系统，在  $200 \text{ Hz}$  以下的振动都由主动阻尼抵消掉了， $200 \text{ Hz}$  以上的振动由被动阻尼抵消掉了。定制的隔离系统是整个 TI-950 系统的关键组件。TI-950 系统设计为采集定量数据的速度最快、重复性最好。此外，应用花岗石架也有助于在任何环境下得到优异的空间稳定性。每个系统都配备了温度和湿度传感器，准确记录定制的隔离系统中的环境条件。目前市场上还没有其他任何一种纳米力学检测仪器的环境稳定性超过 TI-950。



TriboScanner 上的 Hysitron (海思创) 专利三板电容式传感器

### 高分辨光学组件

TI-950 系统集成的严密光学组件配备彩色 CCD 相机，适合高度放大和可视化观察样品表面和选择测试点。数字化变焦的光学组件可以选择放大倍率和视野，几乎适应各种样品尺寸。光学组件的明视野发光，极化光线下可以看到样品表面和区分不同材料内各相。由于光学显微镜分辨能力达到了  $1 \mu\text{m}$  并且样品台的控制精度达到了亚微米级别，因此可以通过光学显微镜对探针进行误差  $1 \mu\text{m}$  左右的粗定位测试。如果要把探针放在更高精度下的某个位置，需要借助原位扫描探针显微 (SPM) 成像，位置精确到  $\pm 10 \text{ nm}$ 。TI-950 成像的双模式允许对探针进行精确定位，方便多种应用测试。

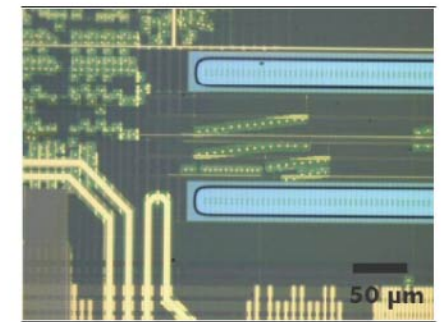
### 光学性能参数

#### 普通视野

最大:  $625 \mu\text{m} \times 550 \mu\text{m}$   
最小:  $28 \mu\text{m} \times 22 \mu\text{m}$

#### 放大率

光学变焦:  $20\times$   
数字变焦:  $0.5\sim 11\times$   
有效变焦:  $10\sim 220\times$



用 TI-950 光学组件拍到的  $540 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$  晶片视野 (2倍变焦)

### 软件自动化程度

为 TI-950 开发的界面友好软件包方便用户自动采集纳米力学数据。使用 TriboScan v.9 软件包，用户可以对高通量测试项目进行预编程和设置自动例行检测参数。这样就可以对每天几千种样品进行材料性能测试并进行真实采样统计。自动化纳米力学测试消除了人为干预，极大提高了生产率。