

Hysitron PI Series PicoIndenter

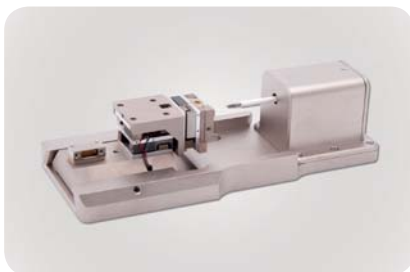
ハイジトロンPIシリーズピコインデント

- ナノ力学現象が一目瞭然！
SEM / TEMでの「ナノインデンテーション”in-situ”観察」

Hysitron PI Series

ナノ力学現象を観察しながら定量評価が可能

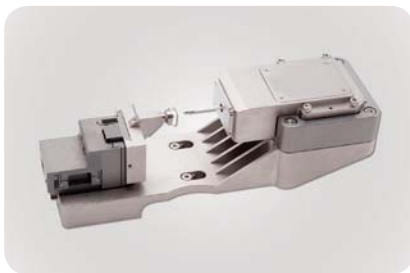
業界をリードするナノ力学特性評価装置メーカーであるブルカーがナノ力学現象の「in-situ(その場)観察」装置、ピコインデントラーをご提供します。ピコインデントラーをお持ちのSEM、TEM内に組み込むことで、ナノインデントレーションなどの定量性のあるナノ力学特性評価を行いながら、その際に実際に生じたナノ力学現象(破壊、剥離、結晶面のすべりなど)をその場で観察することが可能です。SEM、TEMの像を画像、動画で記録し、ナノ力学特性評価で得られた荷重-変位曲線とリアルタイムで比較することで、ナノ力学現象について、より深い考察や知見を得ることが期待できます。弊社のピコインデントラーは多くのメーカーのSEM、TEMに適合するように作製されていますので、現在お持ちのSEM、TEMを簡単な接続でご利用いただけます。



Hysitron PI 85L SEM PicolIndenter

SEMでのin-situナノ力学特性評価向けベーシックモデル

- SEMのステージ上に直接固定することで安定的に測定、観察することが可能
- サンプルの傾きの補正に最大限対応できるよう設計
- SEM、ラマン顕微鏡、光学顕微鏡、ビームラインなどに他の装置にも対応できるコンパクト設計



Hysitron PI 88 SEM PicolIndenter

SEM、FIB/SEMでのin-situナノ力学特性評価向けハイエンドモデル

- その場観察しながら、あらゆるナノ力学特性の定量評価を実現
- 試料台の傾き補正、回転によるXYZ方向のサンプルポジションの補正が可能
- 800°Cの加熱、スクラッチ、大きな変位で押し込み可能なロードセル、電気測定などの弊社提供のオプションすべてに対応



Hysitron PI 95 TEM PicolIndenter

TEMでのin-situナノ力学特性評価向けモデル

- TEM装置内で荷重、押し込み深さなどを高精度に制御、検出する技術を搭載
- 押し込み試験、圧縮試験、引張試験、曲げ試験、スクラッチ試験など様々な試験に対応
- 多くのメーカーのTEMに適合するよう、使いやすいインターフェイスをデザイン

● 直接見て、分かる。“in-situ”の魅力

ナノスケールの力学特性定量評価を電子顕微鏡の中で

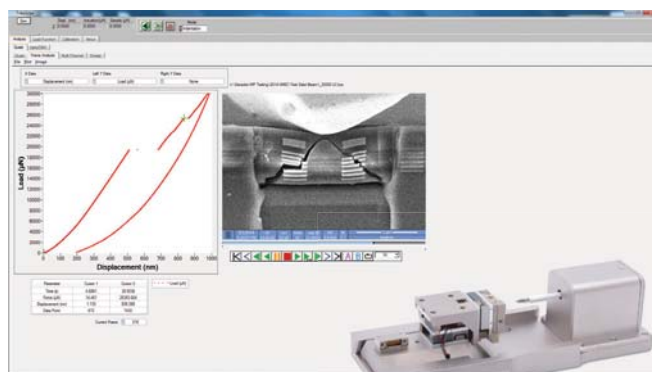
現在お使いの、使い慣れたSEM、TEMチャンパー内にピコインデントーターを組み込むことで、ナノ力学特性に関するデータを“in-situ”で得ることができます。具体的には以下の機能をSEM、TEMに加えることができます。

- ナノインデントーション
- マイクロビーム曲げ試験
- ピラー、粒子の圧縮試験
- 引張試験
- ナノスクラッチ

これらの試験をSEM、TEM内にて“in-situ”観察を行うことにより、ナノ、マイクロの領域でどのような力学現象が生じたのか、より深い考察を得ることが可能になります。具体的には、結晶欠陥、力学的なひずみに対する加熱、電圧印加の影響や工業製品の耐久性などの評価です。

ピコインデントーターの妥協のない安全性、安定性

ピコインデントーターはSEM、TEMの観察環境において、極めて安全に、そして安定的に動作します。真空中での動作や検出器との干渉、フレームコンプライアンスなどについて、十分に考慮した設計です。なお、ピコインデントーターにはブルカーの荷重・変位の検出感度が高く、動作が安定的なトランスデューサーおよびフィードバック速度、データ取得速度の極めて速いデジタルコントローラーを採用。SEM、TEMの高倍率観察環境下で、試験前、試験中、試験後の試料の破壊、変形なこれらの試験をSEM、TEM内にて“in-situ”観察を行うことにより、ナノ、マイクロの領域でどのような力学現象が生じたのか、より深い考察を得ることが可能になります。具体的には、結晶欠陥、力学的なひずみに対する加熱、電圧印加の影響や工業製品の耐久性などの評価です。どの様子を直接見ながら、正確なナノ力学特性評価に関するデータを得ることができます。

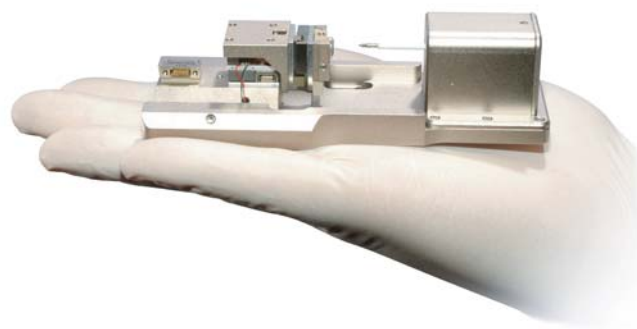


● SEMで見る。SEM向けピコインデントー

Hysitron PI 85L SEM PicoIndenter

SEMでのin-situナノ力学特性評価向けベーシックモデル

ハイジトロン PI 85L SEM ピコインデントーはSEM中でナノ力学特性評価を行うために開発された装置ですが、そのコンパクトな形状ゆえに、さまざまなプラットフォームや環境にて使用が可能です。ブルカーの高性能の静電容量型トランスデューサーと78kHz高速コントロールシステムにより、ナノスケールでの力学特性評価において優れたパフォーマンスを発揮します。コンパクトかつ厚みの薄い設計になっていますので、チャンバーの小さなSEMやラマン顕微鏡、光学顕微鏡、ビームラインなどにも使用可能です。



Hysitron PI 88 SEM PicoIndenter

SEM、FIB/SEMでのin-situナノ力学特性評価向けハイエンドモデル

ハイジトロン PI 88 ピコインデントーはSEMおよびFIB/SEM内にて様々なナノ力学特性評価試験を行うことができる装置です。ブルカーの最先端の静電容量型トランスデューサー技術を搭載、多種多様な試験で高いパフォーマンスを発揮します。PI 88のモジュールはブルカーが現在ご提供しているオプション、開発中のオプション全てに対応可能です。現在、高温測定(800°C加熱ステージ)、動的疲労試験(DMA試験)、高荷重・大変位トランスデューサーなどのオプションをご用意しています。



安定性と正確性

ハイジトロン PI 88 ピコインデントーはSEMチャンバー内での観察に適応するため、真空中でも安定かつ正確に動作するトランスデューサーと導電性のダイヤモンドプローブを用いています。トランスデューサーは静電容量型を採用しており、測定時に使用する電流量が少なくすむため、熱ドリフトを抑制し、高い荷重・変位の検出感度を発揮します。また、XYZ方向にそれぞれ8mm以上移動可能なサンプルステージを搭載し、大きなサンプルでも垂直、水平方向で測定箇所へのアプローチが容易です。これらの技術がSEMチャンバー内でのナノ力学特性評価に必要な安定性と正確性の土台となっています。

ハイジトロン PI 88 ピコインデントーには、3軸(X、Y、Z)もしくは5軸(X、Y、Z、tilt、rotation)調整可能なサンプルステージを搭載可能です。



● TEMで見る。TEM向けピコインデントー

Hysitron PI 95 TEM PicoIndenter

TEMでのin-situナノ力学特性評価向けモデル

ハイジトロン PI 95 ピコインデントーはTEM装置内で像を直接観察しながら、ナノ力学特性評価を行うことができる装置です。多くのメーカーのTEMに適合するように、インターフェイスを作製しており、取り付けも容易です。ナノ力学特性評価の際、ナノスケールの材料が破壊などの力学現象を起こす様子をリアルタイムで見ることができます。また、TEMで撮影した画像、動画データと力学測定で得られた荷重-変位曲線のデータを同期させることにより、ナノ力学現象に関するより深い知見を得ることができます。



実験条件のコントロール

ピコインデントーでは、電子顕微鏡中に試料を挿入して、ナノ力学特性評価を行うため、あらかじめ試料を電子顕微鏡で観察、分析し、化学成分や結晶方位、あらかじめ存在している結晶欠陥などを事前に確認することが可能です。その後、それらを参考にナノ力学特性評価に最適な実験条件を決定することができます。また、ナノ力学特性評価と遠視野顕微鏡観察を別々に行うときに比べ、“in-situ”測定は実際に起こっているナノ力学現象をリアルタイムで観察、分析できることから、より深い知見を得ることができます。ピコインデントーと電子顕微鏡、2つの高分解能装置を組み合わせることで、研究開発、製品開発などの分野に新たなソリューションを生み出します。

ハイジトロン PI 95は
FEI、日立、日本電子、
Zeiss製の多くのTEMに
適応できるよう
インターフェイスが
設計されています。

高い安定性・高性能

ハイジトロン PI 95 ピコインデントーは、正確な測定箇所的位置決めのため、3軸の粗動のポジショナーと3Dの圧電アクチュエーターを用いています。また、静電容量型トランスデューサーを用いており、正確な荷重、変位の検出が可能です。現在、日本電子製TEM対応の小型トランスデューサーとFEI(Thermo Fisher Scientific)製、日立製、Zeiss製TEM対応のMEMSトランスデューサーの2種類をご準備しております。これらのトランスデューサーを用いることで定量的な荷重-変位曲線の取得がin-situで可能です。

オープンループのピエゾコントロールを用いたナノ力学特性評価の場合、アーティファクトが頻繁に認められますが、ハイジトロン PI 95では静電容量型トランスデューサーを採用。非常に正確な荷重、変位制御の性能を有しているため、極めて低いノイズレベル、高い荷重、変位感度で評価が可能です。



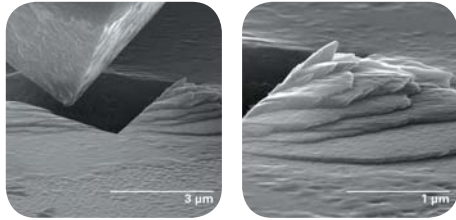
JEOL compatible front-end.



FEI/Hitachi/Zeiss compatible front-end
with MEMS transducer.

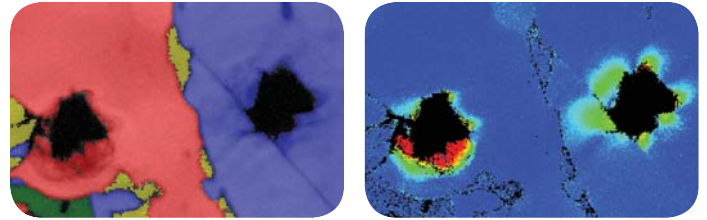
Hysitronハイジトロン ピコインデントー 測定モード

Nanoindentation (ナノインデンテーション)



変形をリアルタイムで観察

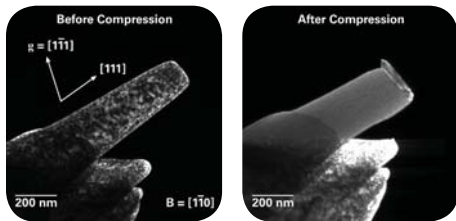
正確に押し込み箇所を指定し、材料の変形挙動を観察しながら、硬さおよび弾性率の測定が可能です。



ナノインデンテーションとEBSDのソリューション

ナノインデンテーションで個々のグレインの硬さと弾性率を測定。EBSD（電子線後方散乱回折法）マッピングにより取得される、金属などの結晶材料の結晶方位・粒径・歪分布などの情報を取得。それらを組み合わせ、ソリューションを生み出します。

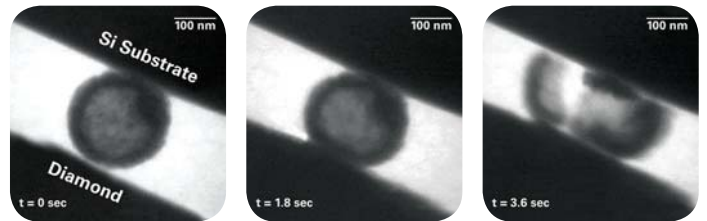
Pillar and Particle Compression (ピラー、粒子の圧縮試験)



ナノピラーの圧縮試験

材料転位に対する圧縮の影響を観察して、降伏応力を測定することにより、材料の強度信頼性を予測するのに役立ちます。

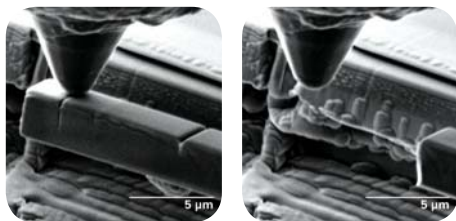
[Nature Materials 7, 115-119 \(2007\)](#)



粒子の圧縮試験

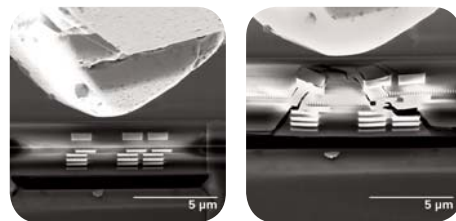
SEMやTEMによる観察により、適切な圧子のアライメントを行い、ナノ～マイクロサイズの粒子の大きさと強度の関係を定量的に評価することが可能です。

Cantilever and Microbeam Bending (カンチレバー、マイクロビーム曲げ試験)



インターフェイスの破壊強度

関心のあるインターフェイスを分離して、故障のメカニズムを直接観察、測定、分析します。均一なサンプル形状は、MDまたはFEMシミュレーションとの比較に役立ちます。



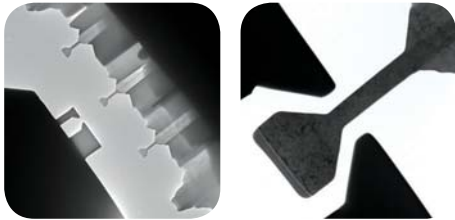
多層構造デバイスの破壊予測

層状構造、複合構造または多相構造のマイクロビームに曲げ応力を加えて、破壊始点を評価し、材料および界面に沿った破壊の進行を観察することが可能です。

[Vanstreels, et. al., Applied Physics Letters 105, 213102 \(2014\)](#)

押す。曲げる。引っ張る。ナノ、マイクロの世界で

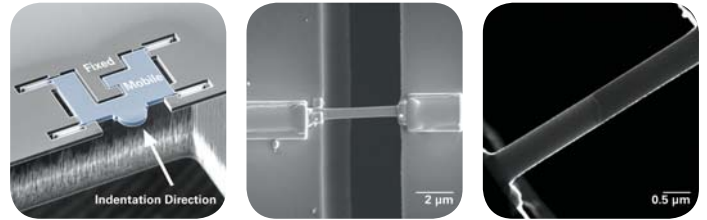
Tensile Testing (引張試験)



定量的な直接引張試験

引っ張り特性を評価し、転位開始、ピンニング、欠陥および変形メカニズムとの相互作用を観察できます。

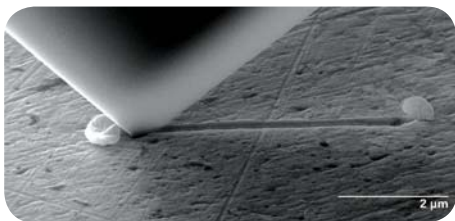
D. Kiener, et al., *NanoLetters* 11, 9 (2011)



1D、2D材料の評価

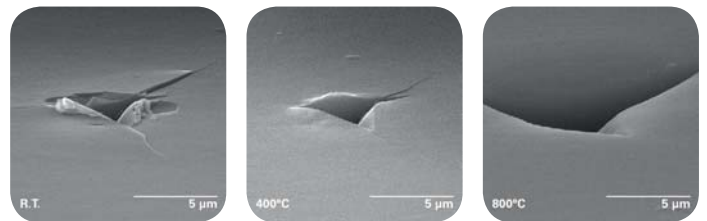
MEMS製Push to Pullデバイスを使用することにより、ナノワイヤや薄膜を、張った状態で取り付けて試験することができます。また、電子顕微鏡での観察結果を組み合わせることにより、真の応力や歪量を計算することが可能です。

Nanoscratch (ナノスクラッチ)



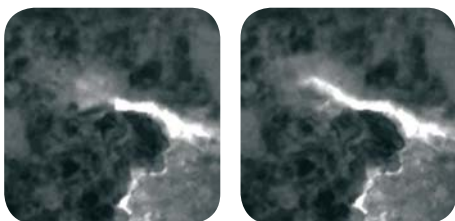
トライボロジー試験のその場観察により、摺動面で生じる材料の変形や薄膜の剥離のプロセスを明らかにすることができます。摩耗や剥離の進展を直接観察しながら、摩擦特性を測定することが可能です。

Heating (加熱測定)



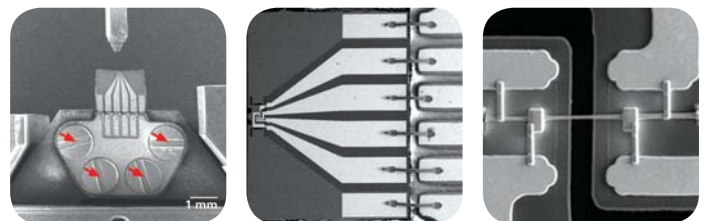
過酷な加熱条件下で、信頼性が要求される材料の試験に理想的なオプションであり、加熱時に開始される材料変形の挙動や、測定時の直接観測が可能です。400°C及び、800°Cタイプの加熱ホルダーが選択できます。

Dynamic (動的試験)



圧子を動的に振動させることで、材料の深さ方向や周波数の関数における、粘弾性特性や疲労特性評価への応用が期待できます。

Electrical (電気特性評価)



圧縮や引っ張り荷重を印加した際の電気特性評価が可能なオプションです。材料の変形挙動を観察しながら、デバイスの電気的特性の変化の起点を確認することが可能です。

SEM ピコインデント仕様

装置	Hysitron PI 85L	Hysitron PI 88
最大荷重	10 mN / 30 mN	10 mN / 500 mN (optional)
荷重ノイズフロア	<0.4 μ N	<0.4 μ N / <5 μ N
最大変位	5 μ m	5 μ m / 150 μ m
変位ノイズフロア	<1 nm	<1 nm
フィードバックコントロール速度	78 kHz	78 kHz
最大データ取得速度	39 kHz	39 kHz
XYZ方向サンプル位置調整移動範囲	>3 mm	>8 mm

TEM ピコインデント仕様

装置	Hysitron PI 95 (FEI、日立、Zeiss製TEM対応)	Hysitron PI 95 (日本電子製TEM対応)
最大荷重	1 mN	1.5 mN
荷重ノイズフロア	<0.2 μ N	<0.2 μ N
最大変位	1 μ m	4 μ m
変位ノイズフロア	<1 nm	<1 nm
フィードバックコントロール速度	78 kHz	78 kHz
最大データ取得速度	39 kHz	39 kHz
XYZ方向微動サンプル位置調整移動範囲	50 μ m / 50 μ m / 3 μ m	50 μ m / 50 μ m / 3 μ m
XYZ方向微動サンプル位置調整感度	2 nm / 2 nm / 0.1 nm	2 nm / 2 nm / 0.1 nm
XYZ方向粗動サンプル位置調整移動範囲	750 μ m / 750 μ m / 5000 μ m	750 μ m / 750 μ m / 5000 μ m

- ブルカージャパン株式会社 ナノ表面計測事業部 **Bruker Nano Surfaces Division**

東京都中央区新川1-4-1
Phone 03-3623-63616
Info-Nano.BNS.JP@bruker.com

www.bruker.com/nanomechanical-testing