

1

弾性率ってどう測る?

原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscope)とは?





AFM: 超微小領域の機械特性測定とマッピング技術 Force distance curve 測定







Height

© 2021 Bruker

3.0 µm

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 3

3

<section-header><section-header>

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 4

Arabidopsis Thaliana shoot apical meristem

0

AFM: 超微小領域の機械特性測定とマッピング技術 ナノ相関イメージング技術 Topography (-60 nm ~ 60 nm) Chemical (Butadiene / Styrene) Adhesion (25 ~ 75 nN) Modulus (1 ~ 12 GPa) Tapping AFM-IR mode PFQNM mode PFQNM mode 400.0 nm 機能(ナノ機械特性) 表面形状 化学構造情報 Styrene-butadiene rubber with a carbon black filler

© 2021 Bruker Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 5

6

弾性率ってどう測る?

弾性率ってどう測る?

Bruker AFM ラインナップ (For material research)

Multimode **Dimension Nexus Dimension Icon** - POP M & nanolR Spectroscopy RUNER iconXR Nexus with PeakForce Tanning multimode © 2021 Bruker Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 6





BRUKER

2ÚKF



Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 7

AFM 技術に基づく様々なナノ機械特性評価法

測定モード	得られる機械特性	
Tapping mode (phase)	粘弾性マッピング	カンチレバーの共振を利用
HarmoniX mode	凝着力, 弾性率, エネルギー散逸, 変形	
Torsional Resonance (TR) mode	摩擦力	4864444444
Contact Resonance (CR) mode	凝着力,弾性率,エネルギー散逸,変形,動的粘弾性分析	
Force Curve / Force Volume	凝着力, 弾性率, エネルギー散逸, 変形	非共振動作
PeakForce QNM	凝着力,弾性率,エネルギー散逸,変形	DMT fit for modulus
Ringing mode	凝着力 (検出にRinging 信号を利用)	
AFM-nDMA mode	凝着力,弾性率,エネルギー散逸,変形,動的粘弾性測定	Dissipation

7





10



(*米国 AppNano 社製カンチレバー)

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 11



ヤング率 (Young's modulus) と Hertzian contact model



12



試料の ひずみ (δ) は十分に小さい (弾性変形)

探針ー試料間の 接触面積が試料・探針先端に対して十分に小さい 試料は十分な厚みがあり、測定において基板の影響を受けない

探針ー試料間には 相互作用(凝着力・摩擦力)が存在しない



Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 13













16



AFM ナノスケール機械特性測定 のポイント

サンプル作製

- ・サンプルは比較的滑らかであること
 - < サンプルの形状効果によるアーティファクトを抑制 > ・機械測定においてはサンプル厚 (z) も重要なファクター 薄すぎると基板の影響を受けることがあり、逆に、厚すぎると測定不可とな
 - るケースもあります
- ・ミクロトームやFIBを用いた薄片試料の作製は効果的ですが、加工プロセスが及ぼす試料への影響は注意する必要があります

カンチレバーの選択

- ・測定試料と同程度のかたさを持つカンチレバーを選択
 - 硬いカンチレバーを使用するとDeflection信号が小さく,逆に,柔らかなカン チレバーでは試料の押し込みが小さく測定が困難となる
- ・探針の曲率半径・カンチレバーのバネ定数は測定値に直接関わるパラメータ 校正済みカンチレバーの利用 or ユーザーによる適切な校正



Probe Type	Spring Const. (N/m)	Tip Radius (nm)	min E' (MPa)	max E' (MPa)
SAA-HPI-DC-125	0.25	125	0.1	10
RTESPA150-125	5	125	2	200
RTESPA300-125	40	125	20	2,000
RFESPA-40-30	0.9	33	0.8	80
RTESPA150-30	5	33	4	400
RTESPA300-30	40	33	40	4,000
RTESPA525-30	200	33	200	20,000

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 17



AFM ナノスケール機械特性測定 のポイント

測定モードの選択

Technique	Mode	Category	Elastic Modulus Range	Applications	Acquisition Time (256x256 image)
Dynamic Mechanical Analysis	AFM-nDMA	Non-Resonant	< 1 kPa to 100 GPa	Quantitative viscoelastic analysis; point measurements and mapping	14 min
PeakForce Tapping	PeakForce QNM	Non-Resonant	<1 kPa to 100 GPa	Nanoscale material property mapping with quantitative results	4 min
Force Volume	FASTForce Volume	Non-Resonant	<1 kPa to 100 GPa	Nanoscale force mapping and point spectroscopy	14 min
	FASTForce Volume CR	Combined	<1 GPa to >300 GPa	Elastic and viscoelastic moduli for materials characterization	33 min
Tapping	Phase Imaging	Resonant	1 MPa to 100 GPa	Qualitative contrast convolving elasticity, adhesion, dissipation	4 min
	HarmoniX	Resonant	10 MPa to 10 GPa	Nanoscale material property mapping	4 min
	Torsional Resonance	Resonant	N/A	Qualitative contrast convolving elasticity, adhesion, dissipation and friction at low force	4 min
Contact	Friction Force Microscopy	Non-Resonant	N/A	Nanotribology, lattice resolution	4 min



弾性率像



Sample: 3-conpound polymer

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 19

Innovation with Integrity | 24 June 2025 | 18







Innovation with Integrity