

# 微小領域の三次元形状を正確・簡単に計測する

## —走査型プローブ顕微鏡 AFM5500M—

蓮村 聡  
Hasumura Satoshi

脇山 茂  
Wakiyama Shigeru

伊與木 誠人  
Iyoki Masato

安藤 和徳  
Ando Kazunori

走査型プローブ顕微鏡は、サブナノメートルの高分解能で、試料表面の形状と機械的・電気的物性を測定することが可能な装置である。

株式会社日立ハイテクサイエンスは、産業計測用途でのニーズに応えるために、正確な三次元形状の計測ができる走査型プローブ顕微鏡AFM5500Mを開発した。カンチレバーの自動光軸調整機構や測定パラメータ自動調整

機能を搭載することで、オペレータの負荷を軽減する簡単操作を実現している。また、走査電子顕微鏡や走査型白色干渉顕微鏡とのリンケージ機能を有することで、試料の同一箇所の相補的な観察・計測や物性測定を可能とした。本稿では、AFM5500Mとリンケージ機能について、測定例を交えながら紹介する。

### 1. はじめに

走査型プローブ顕微鏡 (SPM: Scanning Probe Microscope) は、観察・測定対象物の表面近くで、先端が鋭く尖った針をなぞるように動かすことでイメージを得る、顕微鏡の一種である。走査型プローブ顕微鏡の観察イメージを図1に示す。走査型プローブ顕微鏡の観察範囲は、数百マイクロ

メートルから数ナノメートルであり、観察範囲を小さくするとサブナノメートルオーダーの分解能で表面形状を観察することができる。一般的に、観察イメージはPC (Personal Computer) のモニタ画面上に映し出されるが、そのイメージ画郭を10 cmとすると、見える倍率は1,000万倍以上に及ぶ。

表面形状を観察する顕微鏡としては、走査電子顕微鏡や走査型白色干渉顕微鏡がある。これらの顕微鏡は、走査型プローブ顕微鏡に比べ、広い観察範囲からスピーディにイメージを得ることができる。一方、走査型プローブ顕微鏡は、水平・垂直分解能ともに優れており、三次元測長や物性測定も可能である。よって、それぞれの顕微鏡を併せて用いることができれば、互いの長所を生かした相補的な観察・測定が可能になる。

ここでは、走査型プローブ顕微鏡の測定原理と構成を説明し、2016年3月にリリースした走査型プローブ顕微鏡AFM5500Mについて紹介する。

### 2. 走査型プローブ顕微鏡の測定原理

#### 2.1 測定原理

走査型プローブ顕微鏡の測定原理を図2に示す。先端が鋭い針 (探針、プローブ) は、カンチレバーの先端部に形成される。ここで、カンチレバーを振動させながら探針を

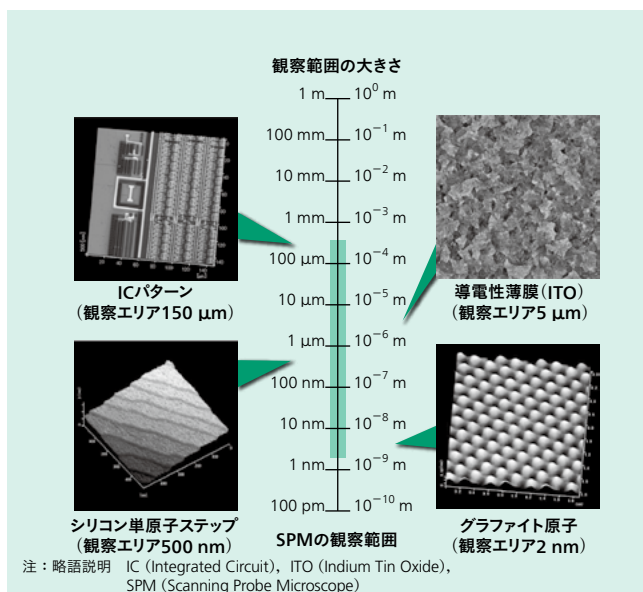
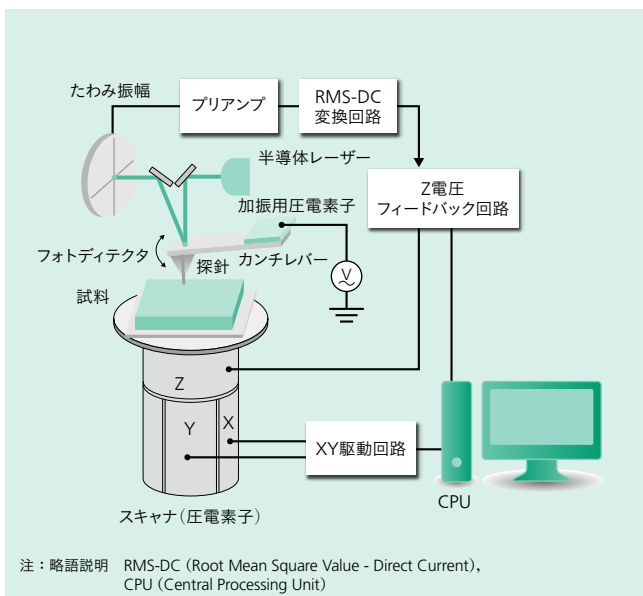


図1 | 走査型プローブ顕微鏡による観察例

走査型プローブ顕微鏡の観察範囲と、それぞれの観察イメージを示す。原子像を観察できる分解能を有する。



**図2 | 走査型プローブ顕微鏡の測定原理**

カンチレバーと試料の間に生じる力によってカンチレバーは変形する(斥力の場合はレバーがたわむ)。カンチレバーの変形は光によって検出する。

試料に近づけると、探針—試料間に生じる物理的な力によってカンチレバーの振幅が変化する。カンチレバーの振幅は、カンチレバー背面に照射した光によって検出される。

試料は、面内(X, Y)方向と垂直(Z)方向に微小に動かすことができるスキャナの上に設置される。探針(プローブ)を試料に近づけた状態でスキャナを面内方向に走査すると、試料表面の形状に応じて探針と試料の間の距離が変

わり、結果としてカンチレバーの振幅が変化する。ここで、カンチレバーの振幅が一定になるようにスキャナを垂直方向に制御しながらスキャナの移動量を三次元画像化することで、試料表面の形状を得ることができる。

**2.2 特徴とアプリケーション**

走査型プローブ顕微鏡の特徴とアプリケーションを図3に示す。三次元形状の高倍率観察・計測ができるだけでなく、コーティングしたカンチレバーを用いたり、スキャナやカンチレバーを振動させたりすることで、試料表面の物性情報も得ることができる。また、大気中、真空中、液中での測定も可能なことから、多種多様な分野で活用されている。

**3. 走査型プローブ顕微鏡AFM5500M**

**3.1 高精度プローブ顕微鏡AFM5500M**

微細化が一段と進む電子部品や高機能材料、精密部品などでは、開発・製造・品質管理分野で、より高分解能な計測ができる走査型プローブ顕微鏡への期待が高まっている。この要求に応えるために、高精度化・自動化を追求したSPMとしてAFM5500Mを開発した。AFM5500Mの外観を図4に、主な仕様値を表1にそれぞれ示す。

	有機・高分子	半導体	無機・金属	誘電体・磁性体	生体
	プラスチック ゴム ブレンドポリマー	エレクトロニクス Siデバイス パワー半導体 有機半導体	ガラス セラミックス 配線 電極	メモリ ストレージ マルチフェロ	DNA タンパク コラーゲン 細胞
形状	表面粗さ・粒子解析・ピッチ計測・段差計測				
機械物性	粘弾性・摩擦力・吸着力・ヤング率・ナノインデンテーション				
熱物性	ガラス転移・軟化・熱伝導				
電気物性	リーク電流・導電性・分極特性・キャリア分布・表面電位				
磁気物性	磁気力・磁区・磁壁・磁化特性・スピン				
加工	リソグラフィ・マニピュレーション・陽極酸化・スクラッチ				

注：略語説明 DNA (Deoxyribonucleic Acid)

**図3 | 走査型プローブ顕微鏡の特徴とアプリケーション**

観察・測定ツールとして多くの分野で使用されている。



**図4 | 走査型プローブ顕微鏡AFM5500M**

高精度化・自動化を追求したSPMとして2016年3月にリリースした。

**表1 | AFM5500Mの主な仕様**

カンチレバー側に広域フラットスキャナを、試料側に自動XYステージを配置した。走査範囲の広さ、計測精度の高さ、操作性(自動化)が特長である。

項目	仕様
スキャナ走査範囲(観察範囲)	XY : 200 μm Z : 15 μm
非線形性	< 0.2% (X,Y,Z)
面内直交度	< 0.5°
面内上下動(bow)	2 nm (50 μm エリア)
最大試料サイズ	φ 100 mm, 厚さ 20 mm

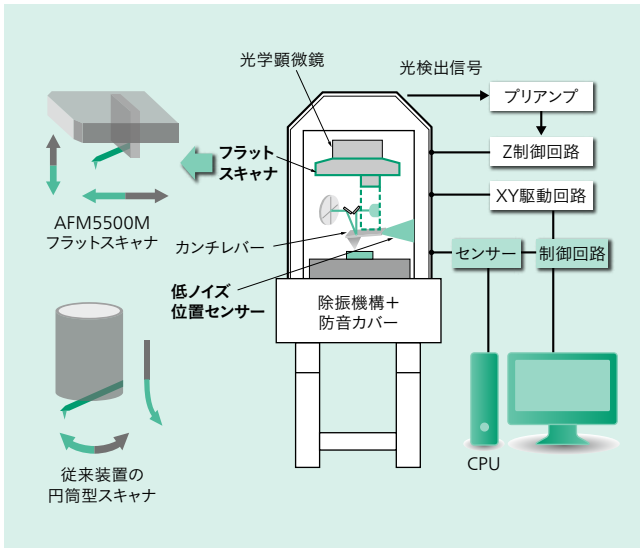


図5 AFM5500Mの構成

新たに開発した直線性の高いXY200 μm広域フラットスキャナと、低ノイズ位置センサーをカンチレバー側に装備した。

### 3.2 優れた計測精度の実現

AFM5500Mは、広い走査範囲を確保しながら高い計測精度と高感度測定を達成するために、従来の走査型プローブ顕微鏡とは異なる手法を採用している。AFM5500Mでは、カンチレバー側に平行バネ機構にピエゾ素子を組み込んだ広域フラットスキャナを配置し、カンチレバー近傍に面内・垂直の3軸方向に対しての低ノイズ位置センサーを加えている(図5参照)。従来のスキャナは、円筒型圧電素子に起因する円弧エラーやZ軸方向の真直性に課題があったが、AFM5500Mではフラットスキャナを採用し、面内方向のスキャナの動きをセンサーで制御しながら垂直方向のセンサーを読み取ることで、ゆがみのない三次元画像を得ている。

シリコン基板上的のアモルファスシリコン薄膜の段差のAFM5500Mによる測定例を図6に示す。従来のスキャナでは、円弧エラーが測定データに重畳するが、AFM5500Mでは200 μmの広域にわたって平坦性のよい測定が行われている。

太陽電池に使用されるテクスチャ構造のAFM5500Mに

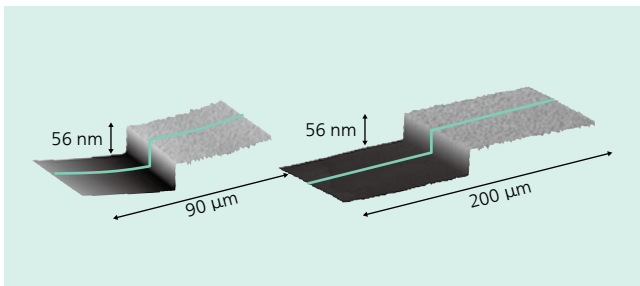


図6 アモルファスシリコン薄膜の段差測定例

従来装置による測定例を左に、AFM5500Mによる測定例を右にそれぞれ示す。広領域にわたって平坦性が得られていることが分かる。

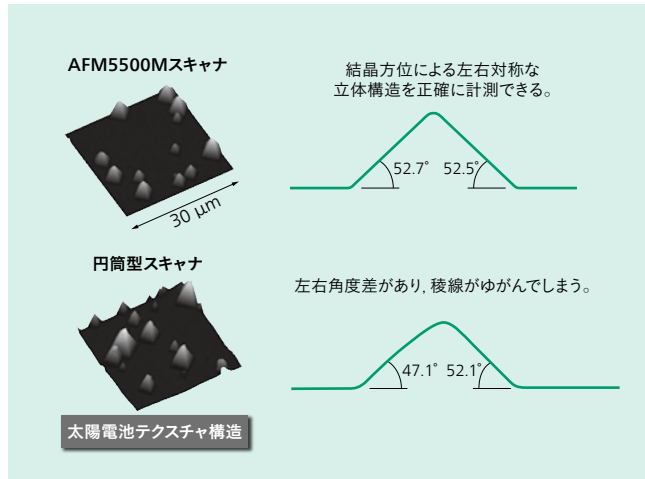


図7 太陽電池に使用されるテクスチャ構造の測定例

AFM5500Mによる測定例を上、従来装置による測定例を下にそれぞれ示す。Z軸方向の真直性、面内方向の非線形性などAFM5500Mの優れた基本性能を示している。

よる測定例を図7に示す。従来のスキャナでは、Z軸方向の真直性が悪いいため左右の角度が非対称に計測されてしまう。一方、AFM5500Mでは、結晶方位による左右対称な立体構造を正確に計測できている。このようにAFM5500Mでは、SPM測定で問題となる形状のゆがみや非対称性のない、精度の高い形状測定が実現されている。

### 3.3 測定の自動化による操作性の向上

観察・測定を行うまでのオペレータの手順を図8に示す。

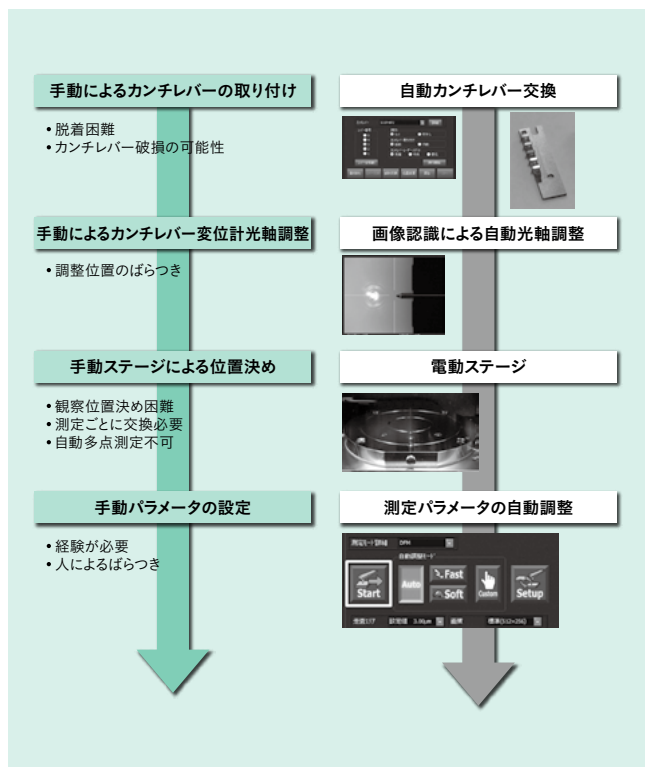


図8 走査型プローブ顕微鏡の測定手順

従来の測定手順を左に、AFM5500Mの測定手順を右にそれぞれ示す。自動化によって手順を大幅に簡素化した。

AFM5500Mでは、パターンマッチング技術などを用いて、カンチレバーの装着や光軸調整を自動化するとともに、カンチレバーの振幅量やフィードバックのパラメータも自動で調整できる機能を搭載した。これらの機能により、オペレータは煩雑な作業を行うことなく手軽に観察・測定ができ、オペレータ起因の測定誤差を排除することも可能になった。

#### 4. 観察装置間のリンケージの試み

冒頭に述べたように、複数種類の顕微鏡を併せて用いることができれば、互いの長所を生かした相補的な観察・測定が可能となる。このために、共通ホルダと座標リンケージ機能を用いた、簡単かつ迅速な同一箇所の複数種類の顕微鏡による観察技術を構築した(図9参照)。

走査電子顕微鏡と走査型プローブ顕微鏡を用いて、CVD (Chemical Vapor Deposition) 成長単相グラフェン/ $\text{SiO}_2$ の同一箇所を観察した結果を図10に示す。走査電子顕微鏡の観察像にあるコントラストの起源を調べるために、走査型プローブ顕微鏡で測定した形状像と電位像を、走査電子顕微鏡の観察像に重ね合わせた。その結果、走査電子顕微鏡のコントラストの差は、走査型プローブ顕微鏡で観察されるグラフェン1層分の高さに相当しており、また、グラフェンの層数などによって表面電位が違っていることが分かる<sup>1)</sup>。

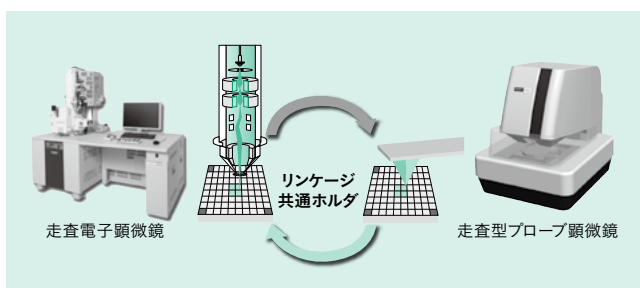


図9 | 装置間リンケージの概念

試料の同一箇所を観察することは、共通ホルダを用いてアライメントマークと測定箇所との座標を共有すれば可能となる。

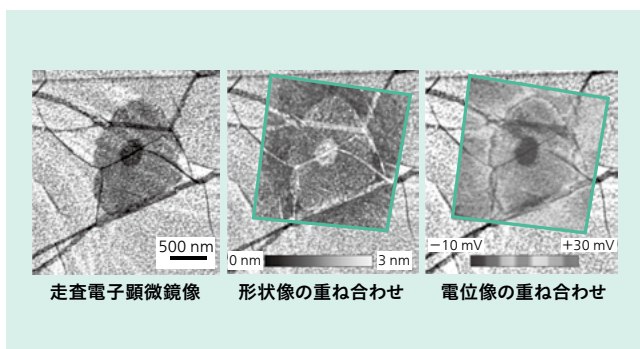


図10 | CVD成長単相グラフェン/ $\text{SiO}_2$ の観察像

走査電子顕微鏡の観察像を左に、走査型プローブ顕微鏡の形状像と重ね合わせた図を中央に、走査型プローブ顕微鏡の電位像と重ね合わせた図を右にそれぞれ示す。

#### 5. おわりに

ここでは、走査型プローブ顕微鏡の原理と特徴を述べ、ナノ領域の研究開発から工業計測や品質管理に対応できるSPMとしてAFM5500Mを紹介した。

最新の走査型プローブ顕微鏡は、新開発のスキヤナや低ノイズセンサーなどによって高い計測精度を実現するとともに、カンチレバー交換や光軸調整を自動化するなど、操作性も大きく向上している。また、新たな試みとして、複数種類の顕微鏡による同一箇所の観察・測定の例を示した。

これからも産業計測用途でのナノ計測ニーズは膨らむと予想され、より高精度・高速・高分解能化をめざして装置開発を進める。また、複数種類の顕微鏡とのリンケージを推進して観察から分析・計測を容易に実現可能とすることで、顧客にトータルでのソリューションを提供していく。

#### 参考文献

- 1) Y. Hashimoto, et al.: Correlative Characterization of Graphene with the Linkage of SEM and KFM, M&M予稿集 (2016.7発表予定)

#### 執筆者紹介



**蓮村 聡**  
株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、走査型プローブ顕微鏡の開発、マネジメントに従事



**脇山 茂**  
株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、走査型プローブ顕微鏡の開発に従事



**伊與木 誠人**  
株式会社日立ハイテクサイエンス 営業本部 応用技術部 所属  
現在、走査型プローブ顕微鏡のアプリケーション開発に従事



**安藤 和徳**  
株式会社日立ハイテクサイエンス 設計本部 分析設計部 所属  
現在、走査型プローブ顕微鏡の開発に従事