

ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-1. 計測
小項目	3-1-8. 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)

概要 (200字以内)	
<p>表面の微小領域との間の相互作用を検知するプローブを走査することで局所的な構造・物性変化を画像化する走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、多種多様なプローブの開発により、さまざまな表面情報が得られる測定装置として発展が続いている。現在も新たなプローブの開発、分解能向上、測定精度や確度の向上、高速測定、といった技術開発が進められる一方で、取り扱いの簡略化と低価格化による SPM の幅広い普及が望まれている。</p>	<p>SPM 開発における最新トレンド</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多種多様なプローブ、走査モードの開発 ・クローズドループスキャナによる測定精度、再現性の向上 ・取り扱いが容易なシステムの開発 ・さまざまな測定環境への対応 ・小型軽量な可搬 SPM ・走査プローブの長寿命化
現状と最前線	
<p>走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、表面の微小領域との間の相互作用を検知するプローブを、表面内で走査することで局所的な構造・物性変化を画像化する装置である。装置開発の初期では、走査型トンネル顕微鏡 (STM) による表面微細構造・電子状態測定、および原子間力顕微鏡 (AFM) による表面構造測定が主な機能であったが、現在ではさまざまなプローブの開発により、検知可能な「表面との相互作用」は広範囲なものとなっている。すなわち表面構造の凹凸や電子エネルギー状態にとどまらず、磁性、粘弾性、硬度、吸着力、摩擦力、光物性、表面電位、誘電率、圧電性、電気抵抗、電気容量、温度、化学反応性、といったさまざまな性質の走査面内分布を画像として可視化することが可能になっている。また、プローブ走査系や信号検出系の電気電子回路および測定プログラムの改良により、これらの表面情報をより高精度に再現性良く、かつ高速に測定できるような SPM 装置が開発されてきている。また SPM は表面情報の測定だけではなく、表面の微小領域を加工するための道具としても利用されており、ナノテクノロジー分野では欠かせない装置となっている。さらに SPM の原理を応用し、現在のハードディスクよりもはるかに高密度な情報記憶装置を開発する研究も進められている。</p> <p>SPM 装置に関する最前線の研究・開発例としては、例えば以下の研究が挙げられる。</p> <p>①クローズドループ制御による測定精度、再現性の向上</p> <p>プローブ走査に用いる圧電素子に電圧を加えた際に起きる変位を計測し、走査系にフィード</p>	

バックすることで、圧電素子が持つヒステリシスやクリープなどの非線形特性による影響を補正し、測定の精度や再現性、信頼性を向上させる手法。

②位相測定モードの利用による表面物性測定の高感度化

振動カンチレバーを試料表面に近接させ相互作用を測定する際に、その振幅変化だけではなく位相変化も測定することで、これまで困難であった表面の吸着力や粘弾性測定を可能とする手法。

③磁気共鳴力顕微鏡による表面核スピン、電子スピン検出

試料表面における磁気共鳴信号を、AFM 技術を応用して高感度・高分解能に検出することで、核磁気共鳴や電子スピン共鳴の測定を「固体表面」で実現し、その面内分布を画像化しようという試み。

上記例の他にも SPM についてはさまざまな技術開発・改良が進められている。また SPM は古くから複数の国内企業による製品が販売されており、最先端研究分野だけではなく商品開発においても、日本はトップレベルの水準を保っている。一方で今後 SPM が汎用的な分析装置として幅広く用いられるためには、取り扱いの簡略化、走査プローブの長寿命化、装置及び消耗品の低価格化も望まれるところである。

近年の SPM 開発の流れ

- ・ さまざまなタイプのプローブ開発による、測定可能な表面情報の拡大
- ・ 走査モードの改良による画像安定化
- ・ 電子回路の高精度、高安定、高速化

最前線の研究の例

- ・ クローズドループスキャナによる測定精度、再現性の向上
- ・ 各種プローブにおける測定感度、分解能の向上
- ・ 走査速度の向上による「リアルタイム」測定
- ・ 薄膜成長、表面改質装置との組み合わせによる「その場」観察
- ・ 磁気共鳴力顕微鏡による表面の核スピン、電子スピン検出

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

①測定操作の簡略化、②探針寿命の向上、③走査速度の高速化によるリアルタイム観察、④測定位置決めの実用性向上、⑤他の実験装置への組み込みによるさまざまな物性の同時測定

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

①装置本体、探針の低価格化、②さらなる高分解能化、③測定精度や再現性の向上、④表面核スピン、電子スピン検出の実用化

キーワード

走査型プローブ顕微鏡、SPM、表面形状計測、表面物性測定、ナノテクノロジー

(執筆者：上野啓司)