

ディビジョン番号	10
ディビジョン名	分析化学

大項目	1. 分析化学
中項目	1-12. 顕微鏡
小項目	1-12-3. 原子間力顕微鏡 (AFM)

概要 (200字以内)	
<p>原子間力顕微鏡には接触型と非接触型がある。ともにナノテクノロジー分野において個々の原子・分子の高解像度映像化と力学的操作の面で大いに発展が期待される成果が挙げている。原子・分子レベルからのボトムアップ型デバイス構築を実際に行なうに至っていると言える。今後さらに原子・分子操作の高速化、種類の同定法、構築されたナノデバイスの安定性などの方面での発展が望まれる。バイオ、高分子等ソフトマテリアル領域へのナノテクノロジー開発にも先導的役割を果たす。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 原子間力顕微鏡装置開発 2 固体結晶表面での原子操作 3 固体表面吸着原分子の挙動 4 吸着有機分子の高解像度映像取得 5 触媒表面における分子の動的挙動 6 生体構造の力学物性測定 7 計算機シミュレーション 8 特殊用途用探針開発 9 探針の化学・生化学的修飾法開発 10 市販汎用原子間力顕微鏡の開発
現状と最前線	
<p>1. 原子間力顕微鏡装置開発</p> <p>高解像度: 超高真空中では非接触原子間力顕微鏡が接触型に比較してより高い解像度と精度の高い力学測定を可能とすることが大阪大の森田研究室により示された。その理由は接触型が探針を固定したカンチレバーの力学的変位そのものを検知しているのに比較して、非接触型では一定周期で振動するカンチレバーが試料との引力的相互作用領域に入るとその周波数に微小な変化が生じることを利用する。</p> <p>高速化: 従来は126×126ピクセル画面を取得するのに数分を要していたが、近年これを100ms以下の高速でおこなう機器が金沢大の安藤研究室により開発された。今後さらに高速化が期待されると同時に、筋肉など動力学的研究が盛んな生物物理学、および表面原子の環境に依存した再配列や触媒反応など表面科学における高速現象の解明に寄与することが期待されている。</p> <p>高精度: 原子間力顕微鏡をナノテクノロジー分野の主要機器とするためには、個々の原子・分子の捕獲・移動・解離・種別同定などの力学的ないしは電気的操作を精度よく容易に行える必要がある。</p>	
<p>2. 固体結晶表面での原子操作</p> <p>半導体表面原子の映像化は年々精度を高めており、現在では、トンネル顕微鏡と並んで、原子内部の電子軌道の形の映像化が議論される段階となっている。将来は原子内部の電子配置を示す波動関数の映像化が実現されるだろう。非接触原子間力顕微鏡を使用する高分解能 AFM の開発を続けている大阪大学工学部の森田研究室はシリコン結晶表面の原子分解映像を得るとともに、個々の原子を探針先端に吸着して結晶表面から採取し、欠陥部分に移動して原子欠陥を埋めるという原子操作を実現した。ボトムアップ型ナノテクノロジーの基本技術として不可欠の基盤技術である。</p>	
<p>3. 固体表面吸着原分子の挙動</p> <p>液中で動作する非接触原子間力顕微鏡を京都大学山田研究室で開発し、将来への明るい展望を示した。またケルビン力顕微鏡の開発も行なっており、分子試料表面の電位分布測定が可能となりつつある。</p>	

5. 触媒表面における分子の動的挙動

触媒化学の分野では、神戸大学の西大研究室は酸化チタン表面にギ酸、酢酸、プロピオン酸を個別または同時に散布し、これらの分子をその幾何学的な高さで識別する方法を非接触原子間力顕微鏡を使用して確立した。また触媒表面における有機分子の動的振舞いを明瞭に示した。プローブ顕微鏡での化学種の識別は重要な進歩である。今後、この分子の触媒表面での反応過程を実時間で解明することが可能となり、触媒化学分野でおおきな貢献が期待される。

6. 生体構造の力学物性測定

タンパク質、DNA、細胞など柔らかい生体構造の力学物性の測定が東工大猪飼研究室、北海道大学川端研究室などで活発に行なわれ、生体構造のヤング率測定、印加力による破壊過程から生体構造の内部力学を知る方法を開発した。柔らかく、時間変化する試料の取り扱いについての技術進歩は今後の走査型プローブ顕微鏡普及と新規現象発見には不可欠である。

7. 計算機シミュレーション

走査型プローブ顕微鏡が描き出す世界は我々の目には見えず、また単純な物理過程としての解釈に未解明な点が多いので、分子動力学および第一原理計算による測定過程の計算機シミュレーションが欠かせない。この分野では、早稲田大学塚田研究室、同大泊研究室における研究が革新的な貢献をしている。将来は計算機および計算法の進歩により、多くの原子・分子過程が信頼性高く予測できるようになる。試料と直接接触し、試料分子を測定する探針部分の開発もまだまだ進歩すべき課題である。東京大学川勝研究室やオリンパス光学株式会社等で活発な開発研究が行なわれている。

9. 探針の化学・生化学的修飾法開発

医学・生化学分野への原子間力顕微鏡の応用では、探針に種々の機能性分子を結合し、これらの分子と試料表面の相互作用を測定することが多い。この修飾過程に伴う難しさ、再現性の低さ、時間経過による不活性化、対象とする試料以外の物質との非特異的な相互作用など種々の問題がある。今後、この分野での標準化が不可欠である。

10. 市販汎用原子間力顕微鏡の開発

多くのユーザーは市販の原子間力顕微鏡を使用して新規な測定を試みている。国内および国外メーカーからの供給が続いている。原子間力顕微鏡の一番の問題点は機器の使用法の難しさ、試料調製の不安定性、オペレータへの高い依存性などにより、再現性のある高解像度データが取りにくい点である。この点での格段の進歩がないと今後の普及に障害となる。

11. 参考文献 森田清三編集「SPM ロードマップ」(丸善) 2005年

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：超高速原子間力顕微鏡の開発、超高感度力学測定の可能な原子間力顕微鏡関連機器の開発、固体表面での原子・分子の動的挙動解明、

・10年後までに解決・実現が望まれる課題：ボトムアップ型デバイス的高速複製方法の開発、トップダウン型デバイス構築との融合による新規デバイス開発、生体機能解明とその高度機能維持のためのバイオナノテクノロジーへの貢献、

キーワード

単一原子・分子操作、 単一原子・分子の同定、 ボトムアップ型デバイス構築、
ナノデバイス物性測定、 バイオナノテクノロジー

(執筆者：猪飼 篤)