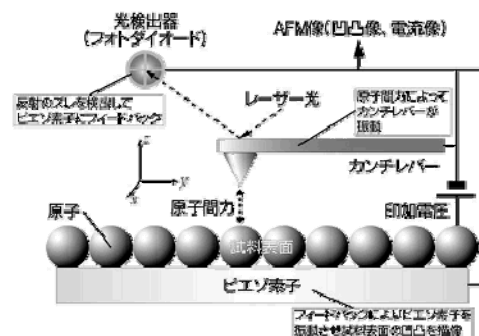


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-1. 計測
小項目	3-1-7. 走査型プローブ顕微鏡 (SPM)

概要 (200字以内)

原子間力を利用した表面幾何形状像の観察に加えて、カンチレバー制御方式の開発による摩擦力顕微鏡やカンチレバーの先端部の開発(磁性チップ、官能基チップなど)による、磁気力顕微鏡、化学力顕微鏡などが開発されている。また、カンチレバー制御部が小型化され、蛍光顕微鏡、共焦点レーザー顕微鏡、顕微ラマン分光法などと組み合わせた複合機が製品化されている。今後は、分解能数ナノメートルを生かした諸物性測定用顕微鏡としての発展が期待される。



AFMの原理(電気通信大学電子工学科 野崎・内田研究室)

現状と最前線

走査型トンネル顕微鏡 (STM) が1981年に開発され、トンネル効果が生じるような非常に近い距離で探針と試料の間に働く相互作用による力を利用する事により1985年にAFMが開発され、SPMとして発展した。その後の進展は、制御系電子回路とカンチレバーに大別される。制御系電子回路は、制御精度の向上に加え、主に生体や有機物のような柔らかい試料を対象として、表面に周期的に接触させるタッピングモードの開発、およびカンチレバー制御用入力信号とカンチレバーからの応答信号の位相遅れの大小から表面の粘弾性や吸着物の情報を得る、などの新たな機能が付加された(位相モード)。更に、カンチレバーに生じるねじれの検出により水平方向に働く力を測定する摩擦力顕微鏡が開発されると共に、ナノトライボロジーという研究分野が生まれ精密研磨・潤滑などの工業応用もされている。

以上はオーソドックスな先端形状を有するカンチレバーを用いたSPM技術であるが、カンチレバーの先端を加工・修飾して原子間力(AFM)に加えて様々な物性を計測する試みが為されている。カンチレバー先端を導電性にして電気抵抗・誘電率・圧電率などの電気的物性を計測、カンチレバーの先端部に微小強磁性体を取付けて磁気的物性を計測(磁気力顕微鏡; MFM)、カンチレバーの先端部を疎水性のCH<sub>3</sub>や親水性のCOOHなどを有する有機物で被覆して化学的物性を計測(化学力顕微鏡; CFM)、などが開発されている。例えば、金を蒸着したシリコンナイトライド(Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)の探針表面に、末端に官能基を有する脂質からなる単分子膜(SAM)を自己

組織化法により修飾する。SAM としては、octa-decylmercaptan や 11-thiundecanoic acid がそれぞれ  $\text{CH}_3$  や  $\text{COOH}$  の官能基を表面に有する有機化合物を用いて、 $\text{COOH}$  同士の組合せで凝着力が一番大きく、 $\text{CH}_3$  と  $\text{COOH}$  の組合せが最も小さいことが調べられている。

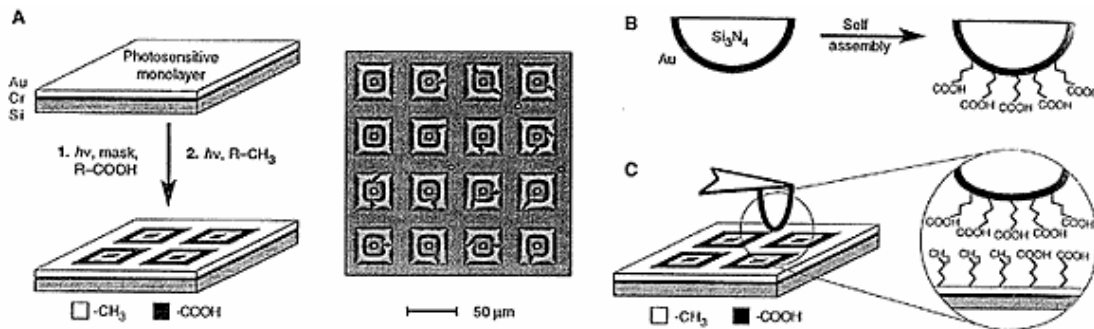


図 官能基ラベルされた探針のモデル図と CFM 用のテスト試料を測定対象とした場合の探針先端部と試料表面の近接のモデル図

(出典：“Reprinted with permission from [Functional Group Imaging by Chemical Force Microscopy; Science, Vol. 265, p. 2072 (1994); C. D. Frisbie, L. F. Rozsnyai, A. Noy, M. S. Wrighton and C. M. Lieber, Fig. 1]. Copyright [1994] American Association for the Advancement of Science, URL: <http://www.sciencemag.org>”)

#### 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

ナノ領域における機械的・電磁氣的物性は SPM 技術で計測可能となったが、光物性は光学限界のため、ナノ領域では難しい状況である。近接場光学顕微鏡 (SNOM) は、50nm 程度の領域の光物性計測が可能であるが、プローブにおける減衰が大きいため制約が大きく実用的なレベルに達しておらず、進展が望まれる。

また、SPM 技術により様々な物性が測定されるようになったが、基礎的研究の域を出ていないのが現状である。例えば摩擦力の場合、マクロ系で静・動摩擦が定義されているが、AFM カンチレバー先端の数ナノメートルにおける測定値と物理定数の間の相関については確立されていない。

- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

計測方法・物性値の標準化：既存の物理・化学定数などの物性は、全てマクロ系で定義されており、ナノメートル領域での計測における精度や物性値は、標準が確立されていないのが現状である。計測方法そのものの標準化、および計測された物性値の標準化は必須である。

#### キーワード

カンチレバー制御、カンチレバー先端、計測標準、標準物質、SPM 複合機

(執筆：平賀隆)