

# 先端追跡

## [R-188] AFM によるリアルタイム粘弾性観察

走査型プローブ顕微鏡の中では原子間力顕微鏡 (AFM) が最も汎用的に使われており、派生する技術や装置も AFM を基本にしたものが多い。最近になり表面形状以外に、電気的特性や材料的特性などをマッピングする技術が開発されてきている。その中の代表的なものとして、表面の硬さの違いを画像化する粘弾性測定という手法がある<sup>1)</sup>。

カンチレバーまたは試料を一定の振幅、周波数で振動させ、探針を試料に軽く押し付けると、試料表面の物性の違いによって、振幅および位相が変化する。この時、カンチレバーの「振幅」および「位相」の変化量を検出し、マッピングすることにより、試料表面上の物性の違いを示す画像が得られる。こういった手法が、一般に粘弾性測定と呼ばれ、振幅の変化分が弾性像、位相の変化分が粘性像とされている<sup>2-5)</sup>。粘弾性測定においては、位相検出 (フェーズイメージング) とフォースモジュレーションの2種類の手法がある。

これらの手法をもちいて、特にポリマー等の複合材料の相分離観察の報告が数多くされている<sup>6)</sup>。また、その他にも、試料表面の付着物観察や吸着力マッピング、表面形状では観察できない微細な構造の観察などがリアルタイムで可能となる。現在のところ、この測定手法では、粘弾性特性の定性的・相対的なマッピングしか得られないが、今後、定量的な測定技術の開発が期待される。

## 文 献

- 1) P. Maivald et al.: *Nanotechnology* **2**, 103 (1991).
- 2) J. Tamayo and R. Garcia: *Langmuir* **12**, 4430 (1996).
- 3) J. Tamayo and R. Garcia: *Appl. Phys. Lett.* **71**, 16 (1997).
- 4) M.-H. Whangbo et al.: *Probe Microscopy* **1**, 23 (1997).
- 5) J.P. Cleveland et al.: *Appl. Phys. Lett.* **72**, 20 (1998).
- 6) M.A. van Dijk and R. van den Berg: *Macromolecules* **28**, 6773 (1995).

(島津製作所 中島秀郎)

## [R-189] カーボンナノチューブの電界効果トランジスタ

半導体エレクトロニクスの微細化限界を克服するための将来の新デバイスが盛んに模索されている。Feynman は、1960年に既に原子レベルのメモリなどの可能性を指摘している<sup>1)</sup>。単独の分子を用いたスイッチング素子もいくつか提案されているが、個々の分子にアクセスする手法が開発できていなかったために、それらのデバイスの実証はされていなかった。カーボンナノチューブは、チューブの巻き方により、半金属/金属的な電子状態を持つことは以前から知られていて、最近になり、単層のカーボンナノチューブの合成が可能になり、また、2端子法や4端子法でその伝導特性が測定され始められていた<sup>2)</sup>。

さらに最近になり、デルフト大のグループでは、1本のカーボンナノチューブを用いた電界効果トランジスタの特性測定に成功して、1998年の5月にネイチャー紙に発表した<sup>3)</sup>。薄い酸化シリコン上に配置した2本の白金電極間に1本のカーボンナノチューブを乗せ、さらに、酸化シリコンの基板であるドーブしたシリコンを第3電極として、白金電極間の電圧を変化 (-1V から +1V 程度) させたとき、カーボンナノチューブに流れる電流 (20 nA 程度) をシリコン電極のゲート電圧 (-3V から +6V 程度) で制御できることを示した。この研究は、分子1個でデバイス特性を実証した初めての実験例として注目でき、さらに、この測定が室温でなされたことが、産業への応用を考えたときに大変に重要である。今後のこの分野の発展が期待される。

## 文 献

- 1) R. Feynman: "There's Plenty of Room at the Bottom", Invited talk at the Jet Propulsion Laboratory (Feb. 1960); reprinted in *J. Microelectromechanical Systems* **1**, 60 (1992).
- 2) S.J. Tans et al.: *Nature* **393**, 49 (1998); P.L. McEuen, *ibid* **15** (1998) とその文献。

(日立基礎研 橋詰富博)

## [R-190] 低エネルギースパッタリングによる 超浅接合評価

半導体デバイスの微細化に伴いボロン等のドーパントを低エネルギーあるいはプラズマを用いてイオン注入することで、超浅接合 (Shallow Junction) を形成する試みがなされている。このプロセス最適化のための評価技術として低エネルギースパッタリングを利用した SIMS が期待されている。最近、従来の数~数十 keV のイオンスパッタリングのエネルギーを 100 eV まで低減して Shallow Junction 評価を行った例が盛んに発表されはじめてきている<sup>1)</sup>。現在、低エネルギーイオン注入で形成される“真のプロファイル”とは何かが議論されているが、スパッタリングの際に発生する表面粗度に伴う depth profile の歪みや二次イオン化率変化など未解明な点が多い。ボロンの Shallow Junction の評価は表面科学の本年号にも星らの報告があるが<sup>2)</sup>、シリコンウエハ表面における低エネルギー酸素イオンビームの振る舞いも解明されてはいない。一方、低エネルギー Cs イオンビームを利用した際の表面の仕事関数変化の挙動と、それに伴う二次イオン化率の変化なども全く理解されていない。イオンビームの低エネルギー化で、イオンビームの注入飛程も浅くなるため、従来の SIMS における表面近傍の二次イオン生成の様子ともかなり異なっているらしい<sup>3)</sup>。表面の極薄酸化膜の存在や注入ドーパント濃度が表面で数%に達する場合の SIMS のマトリクス効果の影響なども今後、大いに議論されるべき点であろう。今後、低エネルギーイオンビームと固体表面のダイナミックな相互作用が飛躍的に解明されることを期待する。

## 文 献

- 1) M.G. Dowsett et al.: "Secondary Ion Mass Spectrometry SIMS X", ed. by A. Benninghoven, B. Hagenhoff and H. W. Werner (John Wiley, Chichester, 1996) p. 367.
- 2) 星 孝弘他: 表面科学 **19**, 527 (1998).
- 3) M.G. Dowsett et al.: "Secondary Ion Mass Spectrometry SIMS XI", ed. by G. Gillen, R. Lareau, J. Bennett and F. Stevie (John Wiley, Chichester, 1998) p. 371.

(新日鐵 林 俊一)

## [R-191] ピコ秒時間分割 X 線回折

最近の超短パルス・高出力レーザーの発展に伴って、レーザー照射誘起プラズマによるパルス X 線の発生が注目されている<sup>1)</sup>。発生する X 線は、照射レーザーに完全同期しているため、分岐光学遅延回路によるポンププローブ法を用いることにより超高速の時間分割測定が可能である。現在のところ、精力的に研究が行われているのは 2 keV 以下のエネルギーの軟 X 線領域での X 線発生メカニズムに関するものであるが、最近では、8 keV 程度の硬 X 線の発生についても報告されている。

Guo ら<sup>2)</sup>は、30 フェムト秒のレーザー光を銅ターゲットに照射し発生する CuK $\alpha$  線 (8.06 keV) を用いて、ピコ秒台での時間分割 X 線回折の実験を行った。彼らは波長 800 nm 繰り返し数 20 Hz のテラワットレーザー (75 mJ/pulse) 光を 2 つのビームに分岐し、一方のビームを GaAs(111) 表面に照射し、誘起される格子の膨張を、光学遅延系を経由したもう一方のビーム光の銅表面照射で誘起されるパルス X 線を用いて、時間分割 X 線回折を行うことにより調べた。時間間隔は約 10 ps で測定している。その結果、レーザー照射後 10 ps 以内における約 9 ミリオングストロームの格子間隔広がりを観測し、その緩和時間が約 150 $\pm$ 30 ps であることを報告している。

ここで用いられているレーザーシステムは、テーブルトップサイズのものであり、通常の実験室サイズでピコ秒台での構造変化の研究が行えるようになってきている。

## 文 献

- 1) "Time-resolved Diffraction", ed. by J.R. Helliwell and P. M. Rentzepis (Clarendon Press, London, 1997).
- 2) T. Guo et al.: Proc. SPIE **3157**, 84 (1997).

(東工大 中村一隆)