

先端追跡

[R-216] カーボンナノチューブチップを用いた化学力顕微鏡

原子間力顕微鏡 (AFM) から発展した走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は固体表面の凹凸形状に加えて摩擦力、静電気力、磁気力などの力によるマッピングを可能としてきた。最近、物質表面の化学的性質を区別して nm オーダのマッピングのできる化学力顕微鏡が実現しつつある¹⁾。

AFM や SPM の探針の多くは角錐状のシリコンや窒化シリコンが用いられており、先端の曲率半径は最低でも 5 nm 以上で開き角は 30° 以上もあるために先端の曲率半径より微細な構造や深い凹凸を忠実にトレースすることはできない。1991 年にカーボンナノチューブが発見されると、その細長い形状と高い弾性力を有するという力学的性質から AFM 探針への応用が期待された。1996 年に Dai らがナノチューブの AFM 探針へ適用し、その優れた特性を報告した²⁾。

このナノチューブ探針の SPM への展開として化学力顕微鏡への応用が進んでいる。化学力顕微鏡とは探針の先端の官能基と試料表面の特定の官能基との相互作用に基づいて、表面の化学的性質の差によるマッピングを行うものである。カーボンナノチューブを酸化雰囲気中で処理することで反応性の高い開放端を得ることができ、ここに各種の官能基を取り付けることが可能となる。Lieber のグループは、カルボニル基やフェニル基を取り付けたナノチューブ探針を用いてメチル基とカルボニル基でパターンニングされた試料を測定し、タッピングモードの位相の違いからマッピング像を得た³⁾。最近では、単層ナノチューブ探針を用いることで約 3 nm の横方向分解能の得られることを報告している³⁾。ナノチューブはハンドリングに難しさがあるものの、AFM や SPM の探針として今後の発展が期待される。

文 献

- 1) S.S. Wong et al.: Nature **394**, 52 (1998).
 - 2) H. Dai et al.: Nature **384**, 147 (1996).
 - 3) S.S. Wong et al.: J. Am. Chem. Soc. **120**, 8557 (1998).
- ((株)豊田中研 堂前和彦)

[R-217] 陽電子寿命測定による表面近傍の微小空隙サイズの推定

表面近傍の微小空隙を調べる方法の 1 つに、入射エネルギー可変陽電子ビームによる陽電子寿命測定がある。この測定法は、単色の陽電子ビームを固体に入射して固体中での陽電子の寿命分布を測定し、その寿命値から空隙サイズを推定する方法である。最近、測定技術および理論的研究が進展し、表面近傍 (表面から数 μm までの特定の深さ) の微小空隙のサイズを推定することが可能になってきた。

測定される陽電子寿命と空隙サイズとの関係は、空隙の大きさによって状況が異なる。原子が 1 個欠損した単原子空隙から数個が欠損した空隙集合体までは、空隙に捕獲された陽電子の波動関数と電子の波動関数の重なりが消滅速度に比例することから、量子力学的な手法を用いた計算¹⁾によって陽電子寿命と空隙サイズの間関係を求めることができる。これは、物質および結晶構造によって異なり、多くの物質についてのデータが蓄積されつつある。また、直径がサブナノメートル以上の空隙では、ポジトロニウム (電子と陽電子の束縛状態) の寿命から空隙サイズを推定できる。サブナノメートルから 2 nm 程度までのサイズの空隙では、量子力学的効果を取り入れた半経験的な式²⁾が使われる。ポジトロニウムの室温におけるド・ブロイ波長は約 6 nm であることから、これより十分大きな空隙 (20 nm 程度以上) では古典論により大きさを見積もることができる。しかし、2 nm から 20 nm 程度の領域は量子論と古典論の境界領域であり、これまで陽電子寿命とサイズとの関係を記述する式がなかった。ナノメートル構造の物質ではこの領域の空隙も重要であることから、Ito ら²⁾や Gidley ら³⁾は、ポジトロニウムの粒子性を考慮してこれまでの関係式を拡張し、2 nm から 20 nm の領域にも有効な関係式を導き出した。

これによって、単原子空隙から数十ナノメートル以上の範囲の空隙サイズと陽電子寿命の間関係が一応揃った。今後、種々の物質についてこの関係を検証していく必要があるが、陽電子寿命測定は、表面近傍の空隙等の微視的構造を評価する有用な手段となることが期待される。

文 献

- 1) M.J. Puska et al.: Phys. Rev. B **39**, 7666 (1989).
 - 2) K. Ito et al.: Radioisotopes **47**, 206 (1998).
 - 3) D.W. Gidley et al.: Phys. Rev. B **60**, R 5157 (1999).
- (電総研 鈴木良一)