

## 原子分解能原子間力顕微鏡法の歴史と現状

### History and Current Situation of Atomic Resolution Atomic Force Microscopy

○大阪大学名誉教授 森田 清三

Osaka University, Professor Emeritus, °Seizo Morita

E-mail: smorita@eei.eng.osaka-u.ac.jp

原子間力顕微鏡(AFM)が、G.Binnig, C.F.Quate, Ch.Gerberにより1985年に発明[1]されてから30年経過した。この間、強い斥力で接触(Contact)測定して表面の破壊が起こった時代(1985~1994;黎明期)を経て、1994年にF.J.Giessiblが発明したAFMテコを大振幅で機械的に共振させ共振周波数変化を測定する周波数変調法(FM)で弱い引力下の非接触(NonContact)原子分解能測定[2]が始まった時代(1994~2002;勃興期)、強い引力や弱い斥力が働く擬似接触(NearContact)領域でAFMによる力学的原子操作/組立が制御可能になり、Force Curve/Force Mappingによる原子間力分光、q-PlusセンサーによるSub-Atomic Resolution、AFM/STM複合化、パウリ斥力を利用した分子骨格画像化、元素識別、電荷画像化、磁気交換相互作用力顕微鏡(MExFM)、液中高速バイオAFM、液中原子分解能AFMなどの超高分解能化・高機能化・多機能化の時代(2002~2009;転換期)を経て、現在は、原子分解能AFMの応用・実用化を行うフェーズ(2009~現在;応用期)に有る。

AFM発明後の30年間は、「原子分解能」[3]だけでなく、原子分解能で局所電子状態密度を測定する「電子物性評価機能」[4]、水平・垂直の「原子操作/組立機能」[5][6]、非弾性トンネルによる「1分子化学反応制御機能」[7]、非弾性トンネルによる「同位体識別機能」[8]などの画期的機能・性能を達成した第一世代の原子分解能表面評価・制御装置である極低温STMの背中を見ながら、「STMに追いつけ追い越せ」が、AFMの長年の目標であり、夢であった。現在では、原子分解能で局所フォース(化学結合力)・カーブを測定する「力学物性評価機能」、水平・垂直の「交換型原子操作/組立機能」、局所フォース・カーブ測定による「半導体元素識別機能」などが室温AFMでも実現して、AFMにSTMの機能が組み込まれて一体化するAFM/STMの時代となっている。本講演では、このような原子分解能原子間力顕微鏡法(AFM)の歴史と現状[9]を紹介する。

#### 【参考文献】

- [1] G.Binnig, C.F.Quate, and Ch.Gerber, Phys.Rev.Lett. 56, 930 (1986).
- [2] F.J.Giessibl, Science 267, 68 (1995).
- [3] G.Binnig, H.Rohrer, Ch.Gerber, and E.Weibel, Phys.Rev.Lett. 50, 120 (1983).
- [4] R.J.Hamers, R.M.Tromp, and J.E.Demuth, Phys.Rev.Lett. 56, 1972 (1986).
- [5] D.M.Eigler, and E.K.Schweizer, Nature 344, 524 (1990).
- [6] S.Hosoki, S.Hosaka, and T.Hasegawa, Appl.Surf.Sci. 60/61, 643 (1992).
- [7] B.C.Stipe, M.A.Rezaei, W.Ho, S.Gao, M.Persson, and B.I.Lundqvist, Phys.Rev.Lett. 78, 4410 (1997).
- [8] B.C.Stipe, M.A.Rezaei, and W.Ho, Science 280, 1732 (1998).
- [9] S.Morita, Journal of Electron Microscopy 60(Supplement 1), S199 (2011).