

原子スケール液中 AFM 技術の現状と今後の展望

Current Status and Future Prospects of Atomic-Scale Liquid-Environment AFM

金大¹, JST/ACT-C² °福間剛士^{1,2}

Kanazawa Univ.¹, JST/ACT-C², °Takeshi Fukuma^{1,2}

E-mail: fukuma@staff.kanazawa-u.ac.jp

原子間力顕微鏡 (AFM) は、液中で絶縁体表面を原子分解能観察できるという他に類を見ない特長を有しており、鉱物や高分子の結晶、膜たんぱく質の二次元結晶などの原子・分子スケール表面構造解析に活用されてきた。さらに近年になって、周波数変調 AFM (FM-AFM) を中心とするダイナミックモード AFM 技術でも液中での原子分解能計測が可能となり[1]、より高精度で低侵襲なイメージングが可能となってきた。例えば、基板上に弱く吸着した生体分子の表面構造[2]や、固体表面近傍で揺動する水分子[3]や分子鎖[4]の 3 次元空間分布もサブナノスケールで可視化できるようになってきた。また、従来 1 min/frame 程度だった観察速度も 1 sec/frame 程度まで向上し[5]、結晶の成長・溶解過程などの動的界面現象をリアルタイムに原子分解能観察できるようになってきた。

このように目覚ましい発展を続ける液中 AFM による原子分解能計測技術であるが、一方で、現在、これらの技術を様々な学術・産業分野での計測課題の解決に活用することが強く求められるようになってきた。この原因としては、多くの学術・産業分野において 10 nm を下回る構造や物性の制御や分析が必要とされるようになり、原子・分子レベルの計測技術が実際に必要になってきたことや、これまで多額の研究資金を投じて発展させたナノ計測技術を社会利益に還元させようとする社会的要請が高まってきたことなどが挙げられる。ただし、高度に計測条件を最適化することで実現されてきた極限的な性能を、複雑で、不均一で、動的に変化する固液界面構造の観察に適用するためには、多大な労力が必要とされる。

本講演では、まずこれまでの AFM による液中原子分解能計測技術の発展の歴史を簡単に振り返った後、現在進められている最先端の技術開発の動向を紹介する。さらに、これらの原子分解能計測技術を様々な学術・産業分野における計測課題の解決に応用しようとする現在の動きと、その将来展望について、いくつかの具体例をもとに議論する。

[1] T. Fukuma, K. Kobayashi, K. Matsushige, H. Yamada, Appl. Phys. Lett. 87 (2005) 034101.

[2] H. Yamada, K. Kobayashi, T. Fukuma, Y. Hirata, T. Kajita, K. Matsushige, Appl. Phys. Express 2 (2009) 095007.

[3] T. Fukuma, Y. Ueda, S. Yoshioka, H. Asakawa, Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 016101.

[4] H. Asakawa, S. Yoshioka, K. Nishimura, T. Fukuma, ACS Nano 6 (2012) 9013.

[5] K. Miyata, H. Asakawa, T. Fukuma, Appl. Phys. Lett. 103 (2013) 203104.