

「高度情報処理・通信の実現に向けたナノファクトリーとプロセス観測」

平成 14 年度採択研究代表者

川勝 英樹

(東京大学生産技術研究所 教授)

「超高速・超並列ナノメカニクス」

## 1. 研究実施の概要

本研究の目的は、走査型力顕微鏡における力検出素子の小型化や、高周波モードの使用を通じて、力や質量検出の高速化、高感度化を実現するものである。また、小型振動子を平行で用いることで、同時計測や多点観測、多点加工を可能とする。今年度は、超高真空原子間力顕微鏡により、5 MHz までのカンチレバーを用いた撮像、常温での単原子操作、pm オーダの振幅を用いた原子レベルの3次元の力の場の計測、液中原子間力顕微鏡による NaCl, KCl, マイカの液中撮像、ならびに、探針の横振幅を用いた、マイカ上の水のラテラル格子構造と縦方向の層状構造の可視化を可能とした。今後、真空及び液中での高速元素同定、TOFやTEMとAFMを用いた、元素同定の検証、質量分解能の検証を行う。また、液中での、水和構造や膜中の蛋白についての知見を深める。

## 2. 研究実施内容

### 超高真空での高周波撮像

200MHzまでの振動計測の可能なヘテロダインレーザドップラー計を実現した。同手法を用いて、市販カンチレバーの高次モードを用いた撮像を行った。撓み2次や3次を用いた原子分解能撮像、捻れの1次を用いたラテラル力顕微法が可能であることを示した。

### 超高真空での単原子マニピュレーション

硬いカンチレバーをMHzオーダで駆動することにより、1オングストローム程度の振幅で安定した単原子マニピュレーションを常温で可能とした。

### 走査型力顕微鏡による力の3次元マッピング

実現した顕微鏡の高周波検出能力を生かして、MHzオーダのオングストロームオーダの振幅を用いた力の場の計測を実現した。振幅が小さいため、平均化効果が小さく、力の場による計算結果に近い結果が試料表面の縦および横方向で得られた。周波数シフトにより力勾配のマッピングが3次元的に可能であることを示した。

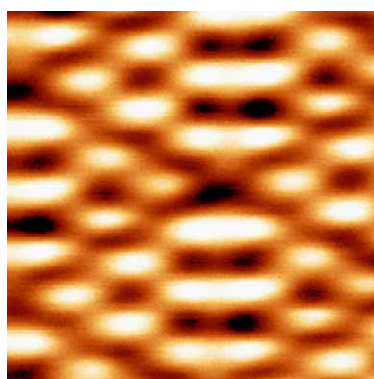


図1. シリコン(111)7x7上において、探針を数10pm–100pm程度ラテラル方向に振動させることにより得られた周波数シフト像。周波数シフト像と、計算された横方向の力の勾配の像が良い一致を示した。

### 液中原子分解能撮像

ヘテロダインレーザドップラー計と、レーザダイオードによる光励振を組み合わせることにより、スプリアスがなく、励振と計測のクロストークがfmオーダで無い液中走査型力顕微鏡を実現した。いままでに、飽和ブタノール中の、NaCl, KCl, ならびに、純水中のマイカの原子分解能撮像を可能とした。また、カンチレバーのラテラル振動を用いることにより、マイカ上の水の構造が、試料水平方向と垂直方向に構造を為していることを示した。ラテラル方向はピッチ4オングストロームの六角形状格子構造、縦方向は2.5オングストローム程度の層状構造をなしていることが明らかにされた。また、制御方法として、カンチレバーの自励を用いないことにより、大きな段差のある試料において、振幅を消失させることなく、原子分解能までのズームを可能とした。

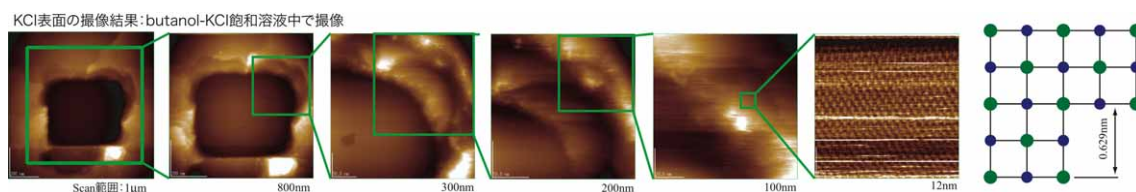


図2. 段差のある試料の、原子分解能までの連続的ズーム。

### 液中原子間力顕微鏡による水和構造の可視化

同様の原子間力顕微鏡を用いて、MHzオーダの捻れ振動を用い、探針を数10pmから100pm程度振動させ、表面近傍の周波数シフトが一定になるように試料台を上下させた。純水中のマイカ表面で、ピッチ4オングストロームの格子構造が見られること、層によってはコントラストの反転が見られること、試料や条件によっては、ピッチ5nm程度の、巨大な周期構造が見られることが明らかにされた。前者については、水がマイカ表面で3次元的に規則正しい構造をなしている可能性がある。イオン濃度、温度等を変え、観察結果との関係を調べている。なお、同領域の観察に置い

て, 1分のオーダーで見られる構造が変化していることが観測されている。



図3. 純水中のマイカ表面で見られる構造. 白い点の最小ピッチは4オングストローム程度である. コントラストの反転が見られる. もやのような部分は絶えず動いていた.

### 3. 研究実施体制

#### (1)「川勝」グループ

##### ①研究者名

川勝 英樹 (東京大学 教授)

##### ②研究項目

・超高真空走査型力顕微鏡の高周波化, 低振幅化による高感度化. それによる3次元の場の計測, 原子マニピュレーションと原子同定. 液中 AFM による液中表面の高分解能観察と, 水和構造や膜構造, 膜構造中物質の可視化とメカニズムの解明.

### 4. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表(原著論文)

- Atomically resolved observation of the quenched Si(111) surface with small amplitude dynamic force microscopy  
S. Kawai, F. Rose, T. Ishii, H. Kawakatsu  
Journal of Applied Physics, Vol. 99, pp. 104312-1\_6  
2006-05-30
- Adsorption and combing of DNA on HOPG surfaces of bulk crystals and nanosheets: application to the bridging of DNA between HOPG/Si

heterostructures

F. Rose, P. Martin, H. Fujita, H. Kawakatsu

Nanotechnology, Vol. 17, pp. 3325-3332

2006-06-12

- Atomically resolved amplitude modulation dynamic force microscopy with a high-frequency and high-quality factor cantilever

Shigeki Kawai, Hideki Kawakatsu

Applied Physics Letters, Vol. 89, p. 013108

2006-07-03

- Mechanical atom manipulation with small amplitude dynamic force microscopy

S. Kawai, H. Kawakatsu

Applied Physics Letters, Vol. 89, p. 023113

2006-07-10

- Suspended HOPG nanosheets for HOPG nanoresonator engineering and new carbon nanostructure synthesis

F. Rose, A. Debray, P. Martin, H. Fujita, H. Kawakatsu

Nanotechnology, Vol. 17, pp. 5192-5200

2006-09-28

- Combing and self-assembly phenomena in dry films of Taxol-stabilized microtubules

F. Morin, F. Rose, P. Martin, M. Tarhan, H. Kawakatsu, and H. Fujita

Nanoscale research letters, Vol. 2, No. 3, p135-143, 2007

2007-3-13

## (2) 特許出願

平成 18年度特許出願: 1件 (CREST 研究期間累積件数: 14 件)