

「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 教授)

「超高速・超並列ナノメカニクス」

1. 研究実施の概要

微細な振動子を用いた質量や場の計測を高度化し、原子レベルの質量検出や、オングストローム前後の振幅を用いた、様々な環境下での力の3次元マッピングを可能とする。上記を実現するために、新たな振動子の作製方法、振動計測方法、信号処理方法を実現する。2004年度は、ヘテロダインレーザードップラー計と市販カンチレバーの撓み2次モード(1.6 MHz)を用いて、サブオングストロームの振幅で原子像が取得可能であることを示した。また、液中でのカンチレバーの自励振動を光励振とヘテロダインレーザードップラー計を用いて実現し、マイカの単原子ステップを取得した。また、サポートロスの原理的に少ないカンチレバーの製法を確立した。

2. 研究実施内容

(目的) 本研究の目的は、振動子を用いた質量や場の計測を高度化し、原子レベルの質量や、様々な環境下で原子レベルの力の勾配を3次元的にマッピングすることにある。これにより、微小な原子クラスターの質量やクラスターに含まれる原子の数、原子分解能での低振幅撮像を可能とする。

(方法, 結果) ヘテロダインレーザードップラー計はドップラー効果を用いてターゲットの速度を直接計測しているため、振動子の周波数が高くなるほど等価ノイズ振幅は低下する。図1にノイズフロアが $1/f$ で低下する傾向を示す。各線は周波数シフトを検出する遅延検波回路の各レンジに対応する。レンジによっては、1 MHz以上で $1 \text{ fm} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$ 以下のノイズとなっている。高周波化に伴いノイズが低下する傾向を利用し、市販のAFM(原子間力顕微鏡)カンチレバーをその撓み2次モード(1.6 MHz)で自励させ、自励周波数が一定の周波数シフトを生じるように試料探針間距離を制御しながら表面を走査した。その結果、良好な原子像が得られた。試料はシリコン $111 > 7 \times 7$ 面であった。振幅としては、最小 0.028 nm_{0-p} まで原子像が得られた。

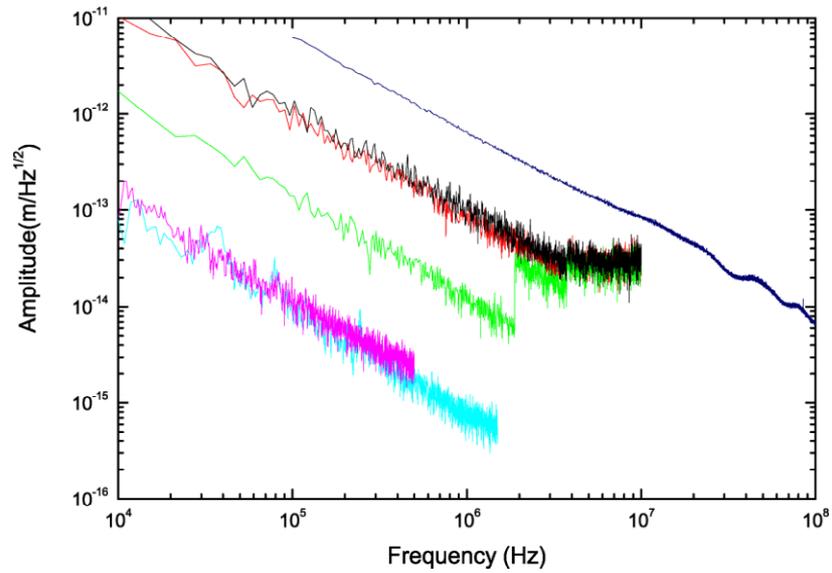


図1. ヘテロダインレーザドップラー計のノイズフロア.

図2にその傾向を, 図3に振幅 0.1 nm_{0-p} の場合の像を示す. この手法により, 探針先端を試料表面の近距離力の力の勾配の中に常に配置した状態で位置変調による力の計測が可能となった. 低振幅化により, より局所的な場の計測が可能となり, 振幅を低下させるとより試料表面近傍で急峻な周波数シフトが生じることを確認した.

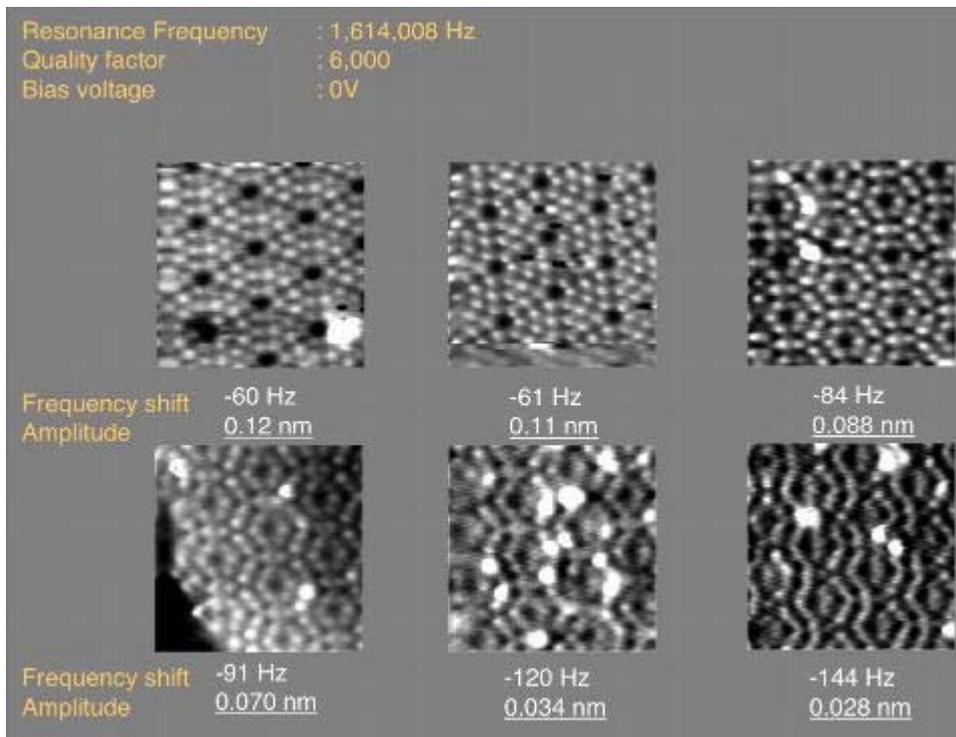


図2. シリコン<111> 7 x 7面の低振幅撮像結果

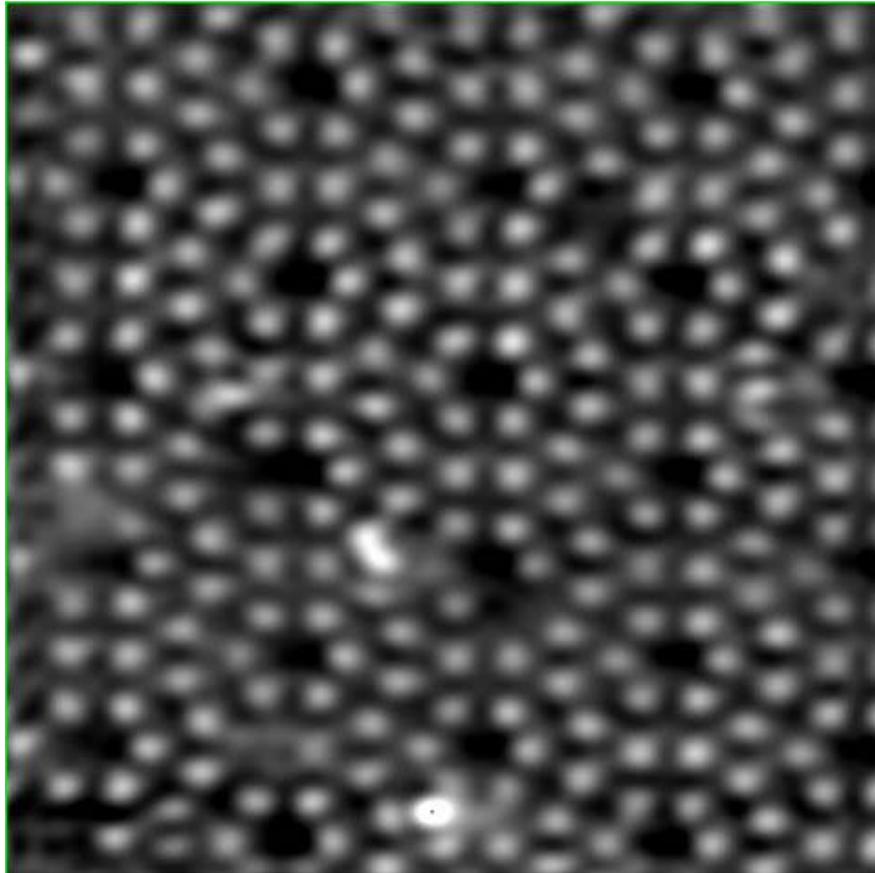


図3. シリコン<111> 7 x 7面の像. 振幅0.1 nm_{0-p}

液中原子分解能撮像を行う目的で、倒立顕微鏡に光励振用強度変調レーザー光とヘテロダインレーザードップラー計の光を導入し、シャーレの底面に固定したカンチレバーを自励させた。シャーレに水を入れ、試料を上側からカンチレバーの探針に近接させ、一定の周波数シフトを保つように試料の走査を行ったところ、マイカの単原子ステップの撮像に成功した。現在原子分解能達成を目指している。

今までのAFM撮像は市販のカンチレバーを用いていたが、将来的にはより微小で、固有振動数の高いカンチレバーをその1次モードで用いることを考えている。図4に作製例を示す。シリコンベースとシリコンカンチレバーのボンディングによって実現している。さらに、カンチレバーベースに移動機構を組み込み、カンチレバー作製時に所定の量カンチレバーが突出し、シリコン基板に接合される作製方法を確立した。今後、微小カンチレバーを作製し、その1次モードをMHzオーダーに設定する。微小振幅による撮像手法を確立する。この撮像手法は従来の撮像と比べて高分解能、高安定度が得られるため、その優位性を様々な試料で確認する。また、液中での原子分解能を達成し、分子膜等への撮像に応用する。質量検出については、現在進めているゲルマニウムクラスターのマニピュレーションの予備実験結果を用いて、微小質量による周波数変化を計測する。カンチレバーアレイに関しては、液中物質検出を、実現した液中AFMを応用して

行う予定である。

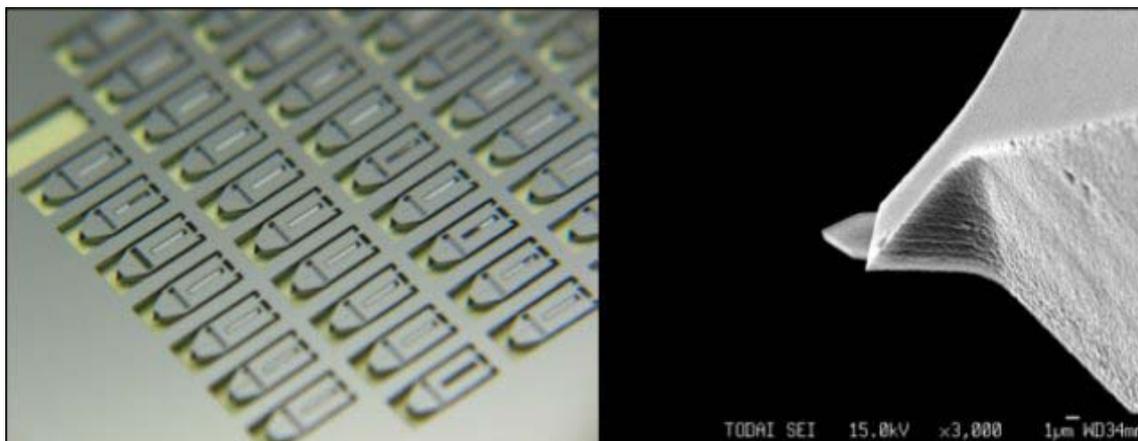


図4. シリコン・シリコンボンディングによって作製したカンチレバー

3. 研究実施体制

今年度より1グループとして全課題に取り組むこととなった。課題別を担当者を以下に記す。

カンチレバー計測

川勝 英樹（東京大学生産技術研究所、教授）

研究項目：シングルおよびマルチナノカンチレバーによる顕微鏡および分子補足認識の実現

光学計測

目黒 栄（ネオアーク株式会社 課長）

研究項目：光学計測系

ナノファブリケーション・信号計測

小林 大（JST、研究員）

研究項目：ナノファブリケーションと高周波信号処理

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文発表

- D. Kobayashi, S. Kawai, H. Kawakatsu

“New FM Detection Techniques for Scanning Probe Microscopy”

Japanese Journal of Applied Physics, 43-7B, 4566-4570, 2004

- Y. Hoshi, S. Kawai, J.-G. Kim, Y.-H. Cho, S. Takeuchi, B.-J. Kim, D. Kobayashi and H. Kawakatsu,

“Observation of Self-Assembled Monolayer by Using the Lateral Resonance of the Cantilever in the Contact and Non-Contact Region”

Japanese Journal of Applied Physics, 43-7B, 4533-4536, 2004

(2) 特許出願

H16年度特許出願件数：6件（CREST研究期間累積件数：7件）