

「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

微小で固有振動数の高いカンチレバーは、素子としての熱雑音が小さくなるパラメータを選びやすいため、高い質量や力の感度が期待できる。また、高速度撮像の点からも、AFMへの導入が徐々に進められている。ここで重要な点を列挙すると、(1) 小型化による表面効果によるQ値の低下が著しくないこと、振動の非線形性が10 nm程度の振幅まで顕在化しないこと、則ち、素子として周波数ノイズが低いこと、(2) 計測系、例えば光学系の周波数ノイズがカンチレバーの小型化によって低下しない、ないし必要なCN(キャリア・ノイズ)比が確保できること、が挙げられる。使用したAFMの光学系は、ヘテロダインレーザドップラー計とLD(レーザダイオード)による光励振を組み合わせたもので、100 nmを切る幅のカンチレバーの計測やダイナミックモードラテラル力顕微鏡でのSi<111>7x7原子像(励振はピエゾ)の取得に成功している。また、液中光励振Qコントロール、カンチレバーアレーの順次計測、レーザスポット内の複数のカンチレバーの周波数によるアドレッシング、を可能にしている。

## 2. 研究実施内容

(目的) 微小なカンチレバーを一個ないし数百万個用いて、原子レベルの質量や場の計測、ターゲット分子の捕捉認識を行う。カンチレバー一個を用いるものとしては、ナノカンチレバー用AFMやTEM・AFMを実現する。また、高感度液中AFMによる生体膜の高解像度撮像を目指す。カンチレバーを複数個用いるものでは、同時多点計測と加工、ターゲット分子の捕捉・認識を行う。

(方法) 微小で固有振動数の高いカンチレバーは、素子としての熱雑音が小さくなるパラメータを選びやすいため、高い質量や力の感度が期待できる。また、高速度撮像の点からも、AFMへの導入が徐々に進められている。ここで重要な点を列挙すると、(1) 小型化による表面効果によるQ値の低下が著しくないこと、振動の非線形性が10 n

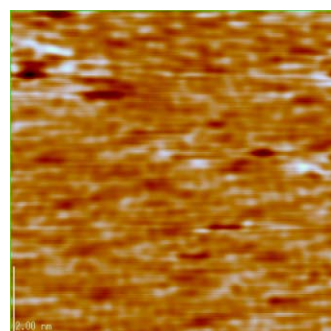


図1. DLFM Si<111>像

m程度の振幅まで顕在化しないこと、則ち、素子として周波数ノイズが低いこと、(2)計測系、例えば光学系の周波数ノイズがカンチレバーの小型化によって低下しない、ないし必要なCN(キャリア・ノイズ)比が確保できること、が挙げられる。ここに紹介するAFMの光学系は、ヘテロダインレーザドップラー計とLD(レーザダイオード)による光励振を組み合わせたもので、100nmを切る幅のカンチレバーの計測やダイナミックモードラテラル力顕微鏡でのSi<111>7x7原子像(励振はピエゾ)の取得に成功している。また、液中光励振Qコントロール、カンチレバーアレーの順次計測、レーザスポット内の複数のカンチレバーの周波数によるアドレッシング、を可能にしている。

(構成・結果)ヘリウムネオンレーザから2個の波長を発生させ、AOM(acousto optic modulator)により更に周波数差を大きくし、一方をプローブビーム、もう一方をリファレンスビームとした。1GHz以上のキャリアを用いることにより、200MHzまでのヘテロダイン速度計測を確認した。光熱励振効果を用いることにより、数kHzから100MHz以上までの固有振動数を有するカンチレバーの励振を確認した。図1は、超高真空中で得られたSi<111>

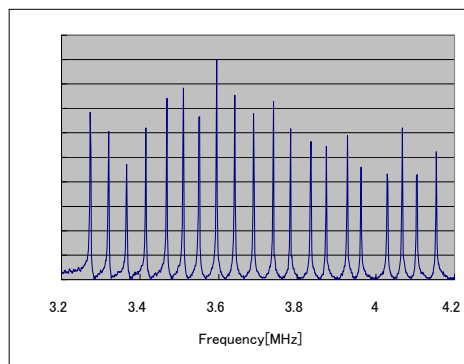


図2. ナノピアノの周波数ピーク

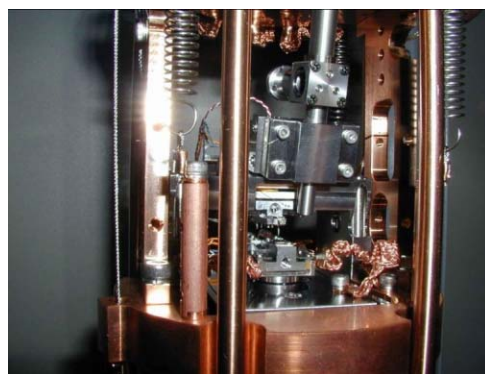


図3. 超高真空極低温ナノカンチレバーAFMの全体像とヘッド部

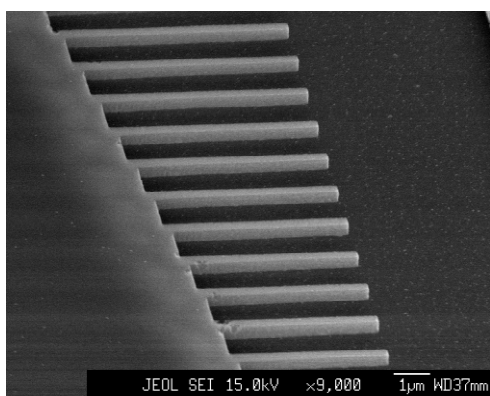


図4. ナノピアノのSEM像

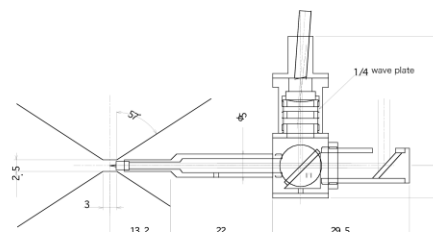


図5. TEM用ナノカンチレバーAFMの光学ヘッド部

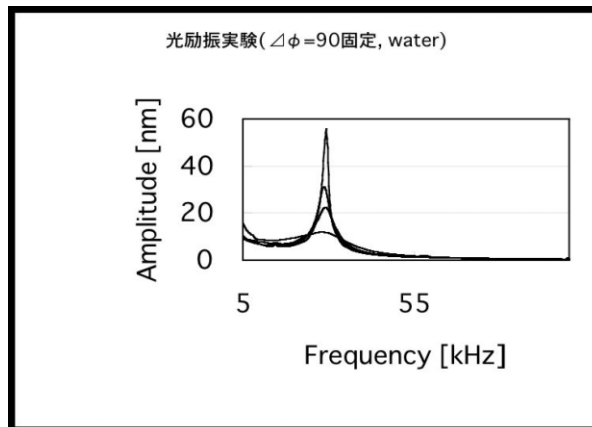


図6. 液中光励振Qコントロールの実験結果、横軸周波数、縦軸振幅、帰還量がおおいほどピークが鋭くなる。

11 > 7 x 7表面のダイナミックモードラテラル力顕微鏡(DLFM)像, 図2は周波数に勾配を持たせたナノピアノカンチレバーアレー上を光スキャナによるレーザスポット走査により取り込んだ, 各カンチレバーの周波数のピークを示すものである. 図3は超高真空極低温ナノカンチレバーAFMの全体像とヘッド部, 図4はナノピアノのSEM像である. また, 実現したヘテロダインレーザドップラー計と組み合わせてもちいるレーザプローブで, TEMの上極と下極の間の2.5 mm程度の空隙に挿入できる光プローブとして図5に示すものを設計している.

ナノカンチレバーによる液中AFM, およびカンチレバーアレーの液中応用を目的として, 液中光励振へのQコントロール導入を進めている. 速度項を位相シフトして光り励振用レーザをドライブすることにより, 図6に示すような, 見かけのQ値向上に成功している. 今後, より高いQ値の実現と, 液中高感度AFM, 液中ターゲット分子認識ナノギャップアレーへの応用を行う予定である.

### 3. 研究実施体制

インスツルメンテーション・観測グループ

- ① 研究分担グループ長：川勝 英樹（東京大学生産技術研究所、助教授）
- ② 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

光源・光学グループ

- ① 研究分担グループ長：目黒 栄（ネオアーク㈱製造技術部 課長）
- ② 研究項目：光学計測系

ナノファブリケーショングループ

- ① 研究分担グループ長：小林 大（JST、研究員）
- ② 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

○ Dai Kobayashi, Shigeki Kawai, Hideki Kawakatsu

“Radio Frequency Circuitry for Atomic Force Microscopy up to 100 MHz”

American Institute of Physics, STM03 Conference Proceedings, Dec. 2003

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：1件（CREST研究期間累積件数：1件）