

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：超高速・超並列ナノメカニクス

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

川勝 英樹(東京大学生産技術研究所 教授)

3. 研究内容及び成果

振動検出方法としてヘテロダインレーザドップラー速度検出を提案し、走査型力顕微鏡(AFM)の高分解能化、高感度化、ならびに、AFMを用いた原子レベルの質量検出を実現することを目的としている。共同研究グループはない。

(1)超高真空AFM

カンチレバーの等価剛性の高い、高次モードを用いることにより、28pm(ピコメートル)のカンチレバーの振動振幅でシリコンの原子分解能撮像が可能であることを明らかにした。(1995年には33nm、現在も数nmの振幅が一般的には用いられている)

引力領域に探針を配置し、表面の原子を力により操作可能であることを示した。

市販カンチレバーの3次モード(5MHz)を用いて、コリユゲーションハイトが数pmしか無い、グラファイトの原子分解能撮像が可能であることを示した。また、その過程において、STMと匹敵するか、凌駕するほどのSN比の高い像の取得を可能とした。

10pmオーダのラテラル振幅によって、シリコン表面の、横方向の力の場のマッピングが可能であることを、実験と計算の両者から明らかにした。これにより、縦横両方の探針の位置微分により、表面の力の場が3次元的に計測可能であることを示した。また、構想通り、微小振幅により、平均化効果の極めて少ない、局所的計測が実現可能であることを示した。

(2)液中AFM

液中において、光励振、光計測によって、原子分解能が達成可能であることを明らかにした。雲母表面に水が常温であっても数層の結晶構造をなしており、分のオーダで水分子の吸着離脱が起きていることを可視化した。

カンチレバーのQ値の極めて低い液中環境に適応した制御方法を実現し、ミクロンオーダのステップ像と、原子分解能までの連続的ズームアップを可能にした。この成果は、生体試料の観察など、高いダイナミックレンジの要求される試料の観察に重要な技術になる。

NaCl、KClが飽和ブタノール中で変化している様を、ステップの移動として捉え、また、それぞれで原子分解能を達成した。これらの成果により、表面力装置(SFA)では得られない原子分解能撮像と、液体の力計測を両立した。

なお、液中AFMについては、H.Yamada、Hoogenboomが2005年に雲母の水中撮像に成功しているが、水和構造の水平方向の結晶構造を可視化した例は他には無い。

(3)カンチレバー

表面張力を用いた自己組み立て式カンチレバーを実現した。

シリコンの異方性エッチングを用いて、幅100nm程度のナノワイヤから構成される、コンプライアントかつ高周

波のカンチレバーを実現した。

原子数10層からなるグラフェン薄膜をカンチレバーおよび、四隅を支持した膜として実現し、光励振とドップラー計測でその振動を計測可能とし、カーボンナノチューブに代わる薄膜グラファイトによる質量計測の可能性を示した。

また、カンチレバーアレーを作製し、寸法が10ミクロンオーダの比較的大きいものでもfg(フェムトグラム)程度以下の分解能が得られることを示した。

#### (4)超高真空TEMAFM

走査型力顕微鏡を用いた原子レベルの質量検出を実現するために、透過電子顕微鏡内にAFMを配置した超高真空TEMAFMを設計製作した。今後、TEMAFMを利用し、クラスターや分子を操作し、それに伴うカンチレバーの周波数変化から質量分解能を明らかにし、元素同定を可能にする予定である。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文		招待講演		通常講演		ホスター発表		その他		特許出願	
国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内	国際	国内
18	1	29	11	13	12	28	3	3	3	9	10

超高真空中および液中での固体表面の原子分解能撮像に成功した。液中AFMはバイオ応用への展開のステップとしても重要なテーマであり、ラテラル振動による新手法開発は重要な成果である。また、微小振幅により、平均化効果の極めて少ない、局所的計測が実現可能であることを示したことは評価される。

共同研究グループがなく、担当した研究員の数は少ないが、論文、学会発表ともに必ずしも多いとは言えない。しかし、通常の講演より招待講演の方が多い(特に国際会議)のは、世界的に評価されていることを物語っている。液中AFMの原著論文がまだ無く、今後業績が増えることが期待される。重要な成果、新規性のある成果、製品化される可能性のある成果について適切に特許出願されている。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

ヘテロダイナミックドップラー法、200MHz光熱励起ラテラル振動、縦横両方の探針の位置微分により10pmオーダでの3次元の力の場の計測を実証した。AFMの高速化、高分解能化に貢献できると思われる。

液中試料の原子分解能観察とミクロンオーダのステップ像からの連続ズームアップを可能としたことは生体試料観察などダイナミックレンジの広い観察に広範に使われる技術として重要である。

AFMの世界トップメーカーの米国企業が実用化/ライセンスに興味を示しており、国内の3社が実用化を検討しているなど、成果の一部は実用化に向けて検討されている。

#### 4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

- ・ AFMで培ったファイバークラウド干渉計を用いた測定技術の、同じ領域の木下チームのEUV顕微鏡の開発に必要な参照ミラーの駆動特性評価への応用を提案し、サブナノメートルのステージ制御の確認につなげた。
- ・ 彌田チームの自己生成3次元構造の観察を共同で行うなど、チーム間の連携が見られる。
- ・ その他、新規に立ち上がった共同研究として、液中の糖類の観察(東大生研白樫研)、原子レベルの摩擦の

モデリング(成蹊大学佐々木研、スイスEMPA H. J. Hug研)、水と物性の関連の研究(東大生研福谷研、光田研)などが挙げられる。本研究がAFMの可能性を大きく広げ、新しい研究や研究手法の核となっていることを物語っている。

- ・ International Conference on the Science of Frictionを開催した。
- ・ 並列AFM(百万本)、1GHz励振、TEMAFMの3テーマはいずれもAFMとして意欲的なターゲットである。今後の進展に期待したい。また、TEMAFMとAFM探針/アトムプローブの装置の製作に成功したが、期間内に十分な成果が得られなかったのは残念であった。今後の研究発展に期待し、将来にわたってこれらの装置に基づく研究成果に注目して行きたい。研究期間終了後、適切な時期に調査する機会があれば良いと思われる。
- ・ 受賞

日本学術振興会 2006年度ナノプローブテクノロジー賞 川勝英樹 教授