



Title	光てこ方式非接触原子間力顕微鏡の開発とその画像化 機構に関する研究
Author(s)	横山, 康祐
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42066
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	横山 康祐
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15457 号
学位授与年月日	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子工学専攻
学位論文名	光てこ方式非接触原子間力顕微鏡の開発とその画像化機構に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 森田 清三
	(副査) 教授 吉野 勝美 教授 濱口 智尋 教授 尾浦憲治郎 教授 西原 浩 助教授 菅原 康弘

論文内容の要旨

本論文は、光てこ方式非接触原子間力顕微鏡(AFM)を開発し、その画像化機構を実験的に検討した研究成果をまとめたもので6章から構成されている。

第1章では、非接触AFMを高分解能化する必要性について述べ、さらにその画像化機構の研究の必要性を述べて、本研究の目的と意義について明らかにしている。

第2章では、周波数変調(FM)検出方式による非接触AFMの測定原理について詳細に述べ、探針と試料との間の力学的相互作用の寄与が、カンチレバーの共振周波数の変化として検出できることを述べている。次に、探針と試料との実験的な接觸点の定義について述べている。

第3章では、まずAFMの変位検出法の一つである光てこ方式変位検出法の原理とその特性について述べ、検出装置高分解能化のための指針を説明している。次に、実際に開発したAFMユニットの概要を示し、高分解能化を実現するための光軸調整機構の動作と、非接触AFMのシステム全体の構成について説明している。

第4章では、Si(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}-Ag$ 表面において2種類の原子分解能像が得られることを示し、新たに得られたタイプの像が最表面の銀原子位置を画像化していることを述べている。次に、画像パターンの距離依存性、観察条件などを検討し、シリコン探針先端に銀原子が吸着していると結論している。最後に、銀原子が吸着したシリコン探針の場合に探針と試料表面間に働く相互作用のモデルを提案し、最表面の銀原子が画像化される機構を明らかにしている。

第5章では、ダンギングボンドを持ち化学的に活性な表面としてSi(100)2×1再構成表面、水素原子によって終端され不活性化されている表面としてSi(100)2×1:H表面を取りあげ、同じ探針を用いて非接触AFMの画像化機構の比較を行っている。Si(100)2×1表面においては、強い方向性を持って表面に局在しているダンギングボンドの非接触AFM像への寄与について述べている。Si(100)2×1:H表面においては、水素原子の実空間での観察結果について述べている。最後に、それぞれの非接触AFM像の画像化位置から、探針試料間に働く相互作用を検討し、非接触AFMの画像化機構を明らかにしている。

第6章は結論であり、本論文で得られた成果を総括し、本研究の結論を述べている。

論文審査の結果の要旨

本研究では非接触 AFM の分解能を向上することを目的として、新たな光軸調整機構を設けることにより従来の装置の問題点を改善し、高分解能化が実現可能な光てこ方式非接触 AFM の設計開発を行っている。半導体表面 (Si (111) 7×7 再構成表面)、金属単結晶表面 (Cu (111) 表面)、金属酸化物表面 (TiO₂ (110) 表面)、そして核酸塩基分子吸着表面 (チミン分子／グラファイト表面) などの様々な表面における原子分解能・分子分解能観察により、開発した顕微鏡装置が高分解能な非接触 AFM として動作することを確認している。次に、非接触 AFM の画像化機構を明らかにすることを目的として、不活性化した探針および不活性化した試料を用いた探針と試料間の相互作用の研究を行い、探針先端の原子種により非接触 AFM で画像化される位置が変化することを明らかにしている。また、ダングリングボンドはその強い方向性が画像に強く影響することを明らかにして、さらに、水素原子のような小さな原子も画像化できることを明らかにしている。得られた主要な成果を要約すると次の通りである。

- (1) レーザー光の焦点位置を調整するためのスライダー、4分割フォトダイオードの分割方向を調整するための筒状ローター、カンチレバー背面にレーザー光を照射するための球状ローター、4分割フォトダイオードへレーザー光を入射するための球状ローターの4つの光軸調整機構を持つ光てこ方式非接触 AFM 装置の設計開発を行い、光てこ方式非接触 AFM の高分解能化を達成している。
- (2) シリコン探針を Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3} - \text{Ag}$ 表面に接触させた後、画像パターンと距離依存性がともに異なるあらたな非接触 AFM 像パターンが得られる場合があることを見いだし、その原因がシリコン探針先端への銀原子の吸着によることを明らかにしている。
- (3) 銀吸着したシリコン探針を用いることによって、シリコン探針の場合に観察できなかった Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3} - \text{Ag}$ 表面の個々の銀原子の観察に成功している。
- (4) 探針先端の原子種によって、Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3} - \text{Ag}$ 表面の異なる位置が画像化されることを明らかにしている。この結果は、探針先端の原子種を制御できれば、非接触 AFM を用いて表面の原子種を識別や同定することができる可能性が有ることを示唆している。
- (5) Si (100) 2×1 再構成表面の高分解能観察によって、非接触 AFM で観察されるダイマーを構成している輝点間距離が $3.2 \pm 0.1 \text{ \AA}$ であることを明らかにしている。さらに、この画像はシリコンダイマーの外側を画像化していることを明らかにしている。
- (6) Si (100) 2×1 再構成表面に局在しているダングリングボンドが強い方向性を持って画像化に寄与していることを明らかにしている。
- (7) Si (100) $2 \times 1 : \text{H}$ 表面の高分解能観察によって、非接触 AFM で観察されるダイマーを構成している輝点間距離が $3.5 \pm 0.1 \text{ \AA}$ であることを明らかにしている。
- (8) シリコンのダングリングボンドを終端している Si (100) $2 \times 1 : \text{H}$ 表面の水素原子位置を実空間で観察することに成功している。さらに、非接触 AFM が水素原子のように小さな原子との相互作用も画像化できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は非接触 AFM の分解能を向上することを目的として、光てこ方式非接触 AFM システムを開発し、超高分解能の表面観察を達成している。また、非接触 AFM の画像化機構を明らかにすることを目的として、探針先端の原子種により非接触 AFM 像が劇的に変化することを明らかにしている。これは、非接触 AFM を用いて表面の原子種を識別や同定することができる可能性を示している。さらに、水素終端シリコン表面の原子分解能観察に成功し、水素原子のように非常に小さな原子と探針との間の相互作用が観察可能であることを明らかにしている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。