Osaka University Knowledge Archive

Title	室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究
Author(s)	森田, 健一
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59206
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

【139】

氏　　名	森　田　健　一（もり　た　けん　いち）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２５５３０　号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学　位　論　文　名	**室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教　授　森田　清三 （副査） 教　授　片山　光浩　　准教授　阿部　真之　　准教授　杉本　宜昭 教　授　伊藤　利道　　教　授　森　　勇介　　教　授　尾崎　雅則 教　授　栖原　敏明　　教　授　近藤　正彦　　教　授　大森　　裕 教　授　八木　哲也

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、「室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究」をまとめたものであり、以下の８章から構成されている。

第１章では、本研究の背景・目的と、論文の構成について述べた。

第２章では、実験に用いた非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)と走査型トンネル顕微鏡(STM)について、その原理と特徴について述べた。さらに、NC-AFMにおいて、Force Spectroscopy、非接触測定を安定に行うための測定条件、周波数シフトの信号雑音比の求め方、小振幅測定の特徴について述べた。また、NC-AFMとSTMの同時測定において測定される時間平均のトンネル電流が、通常のSTMで測定されるトンネル電流へ変換できることを述べた。

第３章では、本研究で用いた実験装置および要素技術について述べた。特に、本研究で使用した2種類のカンチレバーの形状や特性について詳しく述べた。また、室温環境下において、高さ一定測定モードによる画像測定やForce Spectroscopyを行う必要性について述べ、Force Spectroscopyを行うために使用したAtom Tracking法について述べた。

第４章では、室温環境で精密な測定を行うために開発を行った熱ドリフト補正手法について述べた。まず、Atom Tracking法の応用により面内（xy方向）の熱ドリフト速度を精密に計測することで、本研究で用いた装置では短時間では熱ドリフト速度が一定であることを明らかにした。次に、熱ドリフト速度を基にしてフィードフォワード制御によって熱ドリフトを実時間で補正する手法について述べた。さらに、３次元・実時間で熱ドリフトを補正することで、室温環境下でForce Mappingを用いた精密な表面分析が可能となることを示した。また、リトレース法の応用による面に垂直（z方向）な熱ドリフトの補正手法についても述べた。

第５章では、NC-AFMの信号雑音比・凹凸を最大化するための測定条件についてのシミュレーションについて述べた。高さ一定測定モードの測定を行う場合に周波数シフトの信号雑音比（S/N）を大きくするための測定条件と、凹凸測定モードでの測定を行う場合に凹凸を大きくするための測定条件をシミュレーションによって求めた。それぞれの結果NC-AFMとSTMの同時測定を行う場合には、水晶製カンチレバーを小振幅で使用すれば良いことを明らかにした。

第６章では、第５章で明らかになった水晶製カンチレバーの利点について実験による確認を行った。室温環境下でPtIr被覆されたSi製カンチレバーと水晶製カンチレバーのそれぞれでNC-AFM凹凸像測定を行い、水晶製カンチレバーの小振幅測定の方が凹凸をより大きく画像化出来ることを明らかにした。さらに、それぞれのカンチレバーの場合において、Force Spectroscopyを行い、周波数シフトの距離依存性曲線からS/Nを求め、水晶製カンチレバーの小振幅測定の方がより大きいS/Nを得られることを明らかにした。

第７章では、水晶製カンチレバーを使用して、リトレース法による面に垂直（z方向）な熱ドリフトの補正を使用した高さ一定測定モードで、STMとNC-AFMを同時にかつ精密に測定した結果を示した。また、半導体表面の測定を行う場合、金属探針であっても先端に表面原子が付着することで導電性が変化する場合があり、トンネル電流の電流値の解釈について注意を要することを示した。また、NC-AFMとSTMの同時測定で測定される時間平均のトンネル電流が、通常のSTMで測定されるトンネル電流と同じ物理量をあらわす測定量であることを定量的に実験で検証した。

第８章では、第2章から第７章で得た室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究の結果を総括し、本論文の結論とした。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、「室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究」の成果をまとめたものであり、以下の８章から構成されている。

第１章では、本研究の背景・目的と、論文の構成について述べている。

第２章では、実験に用いた非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)と走査型トンネル顕微鏡(STM)について、その原理と特徴について述べている。さらに、NC-AFMにおいて、Force Spectroscopy、非接触測定を安定に行うための測定条件、周波数シフトの信号雑音比の求め方、小振幅測定の特徴について述べている。また、NC-AFMとSTMの同時測定において測定される時間平均のトンネル電流が、通常のSTMで測定されるトンネル電流へ変換できることを述べている。

第３章では、本研究で用いた実験装置および要素技術について述べている。特に、従来から市販されているSi製カンチレバー以外に水晶製カンチレバーの提案・作製を行い、これら２種類のカンチレバーの形状や特性について詳しく述べている。また、室温環境下において、高さ一定測定モードによる画像測定やForce Spectroscopyを行う必要性について述べ、Force Spectroscopyを行うために使用したAtom Tracking法について述べている。

第４章では、室温環境で精密な測定を行うために開発した熱ドリフト補正手法について述べている。まず、Atom Tracking法の応用により面内（xy方向）の熱ドリフト速度を精密に計測することで、本研究で用いた装置では短時間では熱ドリフト速度が一定であることを明らかにしている。次に、熱ドリフト速度を基にしてフィードフォワード制御によって熱ドリフトを実時間で補正する手法について述べている。さらに、３次元・実時間で熱ドリフトを補正することで、室温環境下でForce Mappingを用いた精密な表面分析が可能となることを示している。また、リトレース法の応用による面に垂直（z方向）な熱ドリフトの補正手法についても提案している。

第５章では、NC-AFMの信号雑音比・凹凸を最大化するための測定条件についてのシミュレーションについて述べている。高さ一定測定モードの測定を行う場合に周波数シフトの信号雑音比（S/N）を大きくするための測定条件と、凹凸測定モードでの測定を行う場合に凹凸を大きくするための測定条件をシミュレーションによって求めている。それぞれの結果NC-AFMとSTMの同時測定を行う場合には、水晶製カンチレバーを小振幅で使用すれば良いことを明らかにしている。

第６章では、第５章で明らかになった水晶製カンチレバーの利点について実験による確認を行っている。室温環境下でPtIr被覆されたSi製カンチレバーと水晶製カンチレバーのそれぞれでNC-AFM凹凸像測定を行い、水晶製カンチレバーの小振幅測定の方が凹凸をより大きく画像化出来ることを明らかにしている。さらに、それぞれのカンチレバーの場合において、Force Spectroscopyを行い、周波数シフトの距離依存性曲線からS/Nを求め、水晶製カンチレバーの小振幅測定の方がより大きいS/Nを得られることを明らかにしている。

第７章では、水晶製カンチレバーを使用して、リトレース法による面に垂直（z方向）な熱ドリフトの補正を使用した高さ一定測定モードで、STMとNC-AFMを同時にかつ精密に測定した結果を示している。また、半導体表面の測定を行う場合、金属探針であっても先端に表面原子が付着することで導電性が変化する場合があり、トンネル電流の電流値

の解釈について注意を要することを示した。また、NC-AFM と STM の同時測定で測定される時間平均のトンネル電流が、通常の STM で測定されるトンネル電流と同じ物理量をあらわす測定量であることを定量的に実験で検証している。
第８章では、第 2 章から第７章で得た室温非接触原子間力顕微鏡における精密測定に関する研究の結果を総括し、本論文の結論としている。

以上のように、本論文は、実時間の熱ドリフト補正手法の開発による室温における精密な NC-AFM 測定および精密な NC-AFM と STM の同時測定を実現し、次に、水晶製カンチレバーを提案し、NC-AFM の小振幅測定による精密な測定の実現を行い、さらに、NC-AFM と STM の同時測定で測定される時間平均のトンネル電流が通常の STM で測定されるトンネル電流に精密に対応する間接的な測定量であることを実験で定量的に検証している。これらの研究成果は、室温で NC-AFM 測定および NC-AFM と STM の同時測定を精密に行うために重要であり、今後の室温 NC-AFM 測定および NC-AFM と STM の室温同時測定を用いた表面分析や原子操作などの研究に大きく寄与するものである。
よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。