



Title	半導体表面における相互作用力とトンネル電流の原子分解能同時測定に関する研究
Author(s)	澤田, 大輔
Citation	大阪大学, 2010, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/57562
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	さわ 澤 だ 田 大 輔
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学 位 記 番 号	第 2 3 8 4 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 22 年 3 月 23 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	半導体表面における相互作用力とトンネル電流の原子分解能同時測定に関する研究
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 教 授 伊藤 利道 教 授 森 勇介 教 授 杉野 隆 教 授 尾崎 雅則 教 授 栖原 敏明 教 授 谷口 研二 教 授 八木 哲也

論 文 内 容 の 要 旨

第1章では、本研究を行うに至った背景および研究目的を述べ、本研究の表面科学の分野における位置付けを示した。近年、デバイスの微細化は原子レベルに到達しつつあり、原子レベルでの測定が可能で、且つ精度の高い多様な物性計測手法が求められている。非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)と走査型トンネル顕微鏡(STM)は共に原子分解能での物性測定が可能で、前者では化学結合力等の力学的物性が、後者では電子の状態密度等の電子物性が得られるが、同時にこれらを測定することは幾つか課題があり難しい。本研究ではこの問題を解決し、NC-AFMとSTMの原子分解能同時測定技術を確立すること、また、原子分解能での同時測定を行うことにより、単独測定では分からぬ力学的物性と電子物性の相関についての知見を得ることを目的とした。

第2章では、NC-AFMとSTMの測定原理と特徴について述べた。NC-AFMでは探針-試料間の相互作用力が周波数シフトとして測定される。周波数シフトは間接的な物理量であるためこれを直接的な物理量である力に変換する必要があるが、Force Spectroscopyによりこの変換が可能であることを述べた。一方機械的に共振させるカンチレバーを用いたSTMでは、探針の位置が変動しているため探針-試料間に流れるトンネル電流は一定ではない。そこで検出されるトンネル電流が時間平均されることを示し、時間平均されたトンネル電流から、カンチレバー振動において探針-試料間距離が最近接する位置でのトンネル電流を求めることが可能であることを述べた。また、走査トンネル分光(STS)と局所状態密度(LDOS)との関係について述べた。

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。先ず、装置構成と超高真空系などについて述べた。次に、NC-AFMやSTM測定において最も重要な探針について、その形状や特性、測定のための前処理について述べた。さらに室温環境下において、高さ一定モードによる画像測定やSite-specificな分光測定を行う必要性と、そのため行ったAtom Tracking法とフィードフォワード制御による熱ドリフト補正の手法について述べた。

第4章では、NC-AFMでSi(001)-(2×1)表面の観察を行い、NC-AFM測定で原子分解能が得られることを示した。原子分解能でのNC-AFMとSTMの比較を行うために、基盤技術となるNC-AFMの測定で原子分解能測定できることが前提となる。室温環境下におけるSi(001)-(2×1)表面のNC-AFM観察では、ダイマーを構成するそれぞれのSi原子をはっきりと区別できる分解能が得られた。実際に得られた画像について、ダイマーの輝点の距離を解析することにより、NC-AFMによる画像化における探針-試料間の振舞いを明らかにした。

第5章では、Si(111)-(7×7)表面及びGe(111)-c(2×8)表面のNC-AFMとSTMによる同時画像観察について述べた。探針の走査方法は幾つかあるが、周波数シフトもしくはトンネル電流を一定にする走査での同時測定では、信号のクロストークが起こり、解釈が難しくなる。そのため、表面に対して平行に探針を走査する高さ一定モードでの測定が必要となる。本研究では室温環境下での熱ドリフトを補正し、初めて室温での高さ一定モードでのNC-AFMとSTMの同時原子分解能観察を行った。

第6章では、Si(111)-(7×7)表面及びGe(111)-c(2×8)表面での周波数シフトと時間平均トンネル電流のSite-specificな探針-試料間距離依存性と試料バイアス依存性を測定した。距離依存性において測定された周波数シフトと時間平均トンネル電流を、振動の最近接時の相互作用力とトンネル電流に変換し、それぞれの振る舞いを比較した。この比較により化学結合がLDOSに影響していることが直接示された。またバイアス依存性測定を行い、導電性カンチレバーを用いてもLDOSを求めることができるこを示した。

第7章では、第2章から第6章で得られた、半導体表面における相互作用力とトンネル電流の原子分解能同時測定に関する研究結果を総括し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

本論文では、室温環境下で非接触原子間力顕微鏡(NC-AFM)の測定量である相互作用力と走査型トンネル顕微鏡(STM)の測定量であるトンネル電流を同時に原子分解能で測定する技術を確立し、実際に同時測定を行い得られた知見について述べられている。得られた主要な結果を要約すると次の通りである。

- (1) カンチレバー探針を用いたトンネル電流の測定においては、カンチレバー振動により時間平均化されたトンネル電流が測定されることを示している。また、直接的な物理量であるカンチレバー振動において表面に最も近接する探針の位置でのトンネル電流を、測定される時間平均トンネル電流から求めることができることを示している。
- (2) 探針-試料間距離を一定に制御して凹凸を測定しながら探針を走査する凹凸モードでのNC-AFMとSTMの同時画像測定では、測定される信号のクロストークが生じることを示している。この探針の走査方式において得られるNC-AFM像とSTM像とをクロストーク無しで比較することは困難であるために、探針-試料間距離の制御を行わずに試料表面に対して水平に探針を走査させる高さ一定モードと呼ばれる探針の走査方式による画像同時測定を行い、室温でクロストークの無い原子分解能のNC-AFM像とSTM像の同時取得を初めて実現している。
- (3) 特定の原子上での相互作用力とトンネル電流の探針-試料間距離依存性の同時測定を室温で初めて行っている。探針-試料間に化学結合力が生じる領域において、トンネル電流が探針-試料間距離に対する指數関数的依存から外れ急減する現象が測定された。理論計算により化学結合と状態密度の相関が示唆されているこの現象を、相互作用力とトンネル電流の同時測定により初めて実証した。
- (4) 特定の原子上での相互作用力とトンネル電流のバイアス依存性の同時測定を室温で初めて行い、試料の局所電子状態密度を評価しており、振動させたカンチレバー探針を用いても局所電子状態密度を評価することが可能であることを実証している。

以上のように、本論文は室温環境下でのNC-AFMとSTMの原子分解能同時測定について、クロストークの無い原子レベルでの表面の画像観察及び分光測定を実現し、非常に高精度なNC-AFMとSTMの同時測定技術を確立している。本論文の結果は表面、特に表面の局所的な構造における多様な物性計測を可能とするものであり、表面科学の分野を中心とした工学の分野の発展に貢献するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。