



Title	非接触原子間力顕微鏡による室温環境下における原子の識別と操作
Author(s)	杉本, 宜昭
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46859
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、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏名	すぎもとよしあき 杉本 宜昭
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 20357 号
学位授与年月日	平成 18 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	非接触原子間力顕微鏡による室温環境下における原子の識別と操作
論文審査委員	(主査) 教授 森田 清三 (副査) 教授 伊藤 利道 教授 佐々木孝友 教授 片山 光浩 教授 杉野 隆 教授 尾崎 雅則 教授 栖原 敏明 教授 近藤 正彦 教授 谷口 研二 教授 八木 哲也 助教授 阿部 真之

論文内容の要旨

本研究では、非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM) を用いて、ボトムアップテクノロジーの中核になる室温環境下における原子種の識別と原子の操作についての基礎研究を行った。本論文は、Force spectroscopy による実用的な原子種の識別技術と室温環境下における原子操作・組立技術の初めての研究報告である。本論文は以下に示す全 7 章からなっている。

第 1 章では、研究背景としてナノテクノロジーの動向と走査プローブ顕微鏡の現状について述べ、近年問題になっているデバイスの微細化の限界を打ち破ると期待されているボトムアップテクノロジーに原子種の識別技術と原子操作技術が必要不可欠であることを指摘した。そして、NC-AFM が試料の導電性を問わない意味で重要なツールであることを述べた。次に、原子種の識別技術と原子操作技術を定義・分類しながら、現状と問題点を明らかにした。

第 2 章では、本研究に用いた NC-AFM の原理と実験方法について記した。NC-AFM の観測量である Cantilever の共振周波数のシフト (Δf) の起源について説明し、Force spectroscopy つまり Δf の探針-試料間距離依存性を測定することによって Δf を相互作用力に変換することが可能であることを述べた。そして、本研究で用いた NC-AFM の動作原理と装置構成、実験方法について述べた。

第 3 章では、室温で信頼性の高い Force spectroscopy 測定を可能にするために開発した Atom tracking 法について述べた。

第 4 章では、Force spectroscopy を用いた化学結合力の比較による Sn/Si(111)-($\sqrt{3} \times \sqrt{3}$) 表面における Sn 原子と Si 原子の識別について述べた。Sn 原子上に対する Si 原子上での化学結合力の最大の引力の比が探針に依存しない不変量になることを発見し、NC-AFM を用いた Force spectroscopy によって相対識別が可能であることを初めて実証した。

第 5 章では、交換型水平原子操作という新しい原子操作の方法について述べた。交換型水平原子操作とは、表面に埋め込まれた異種原子の位置を探針を試料に近づけてスキャンすることによって、一挙に交換する方法である。この方法により、Sn/Ge(111)-c(2×8)表面において原子埋め込み文字を室温で作製し、走査型プローブ顕微鏡を用いて室

温での原子組立が可能であることを初めて実証した。さらに、 $\text{Sn/Si(111)}-(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 表面、 $\text{In/Si(111)}-(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 表面、 $\text{Sb/Si(111)}-(7 \times 7)$ 表面においても、交換型水平原子操作を行い、この現象の普遍性について検証した。

第6章では、NC-AFMを用いた原子操作のメカニズムについて知るために、 $\text{Si(111)}-(7 \times 7)$ 表面での Si adatom を水平原子操作した実験について述べた。原子操作中の探針の軌跡の解析と Force spectroscopy の解析によって Si adatom は必ず準安定吸着サイトを經由して操作されることと、探針との比較的弱い引力によって操作されることについて述べた。

第7章では、本論文のまとめと今後の展望について述べた。

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 (NC-AFM) を用いて、フォース・スペクトロスコーピー測定や、交換型水平原子操作や原子埋め込み文字の組立を行ったもので、以下の7章から構成されている。

第1章では、関連研究分野の状況についてまとめ、本研究の目的とその位置付けを示している。

第2章では、研究に用いた NC-AFM の原理と実験方法について記している。

第3章では、室温で信頼性の高い Force spectroscopy 測定を可能にするために開発した Atom tracking 法について述べている。

第4章では、 $\text{Sn/Si(111)}-(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 表面で Force spectroscopy を用いた化学結合力の比較を行い、Sn 原子に対する Si 原子の化学結合力の最大引力の比が探針に依存しない不変量になることを発見し、NC-AFM を用いた Force spectroscopy によって相対識別が可能であることを初めて実証している。

第5章では、 $\text{Sn/Ge(111)}-c(2 \times 8)$ 表面において埋め込まれた異種原子の位置を、探針を試料に近づけて走査して一挙に交換する交換型水平原子操作という新しい原子操作の方法を発見して、原子埋め込み文字を室温で作製し、室温での原子組立が可能であることを初めて実証している。さらに、 $\text{Sn/Si(111)}-(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 表面などでも交換型水平原子操作を行い、この現象の普遍性を検証している。

第6章では、NC-AFM を用いた原子操作のメカニズムについて知るために行った $\text{Si(111)}-(7 \times 7)$ 表面での Si adatom の水平原子操作実験について述べている。原子操作中の探針の軌跡の解析と Force spectroscopy の解析によって Si adatom は必ず準安定吸着サイトを經由して操作されることと、操作時の探針との引力は比較的弱いことを明らかにしている。

第7章では、本論文のまとめと今後の展望について述べている。

以上のように、本論文では、室温で信頼性の高い Force spectroscopy 測定を可能にするために Atom tracking 法を開発している。つぎに、 $\text{Sn/Si(111)}-(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$ 表面における Sn 原子に対する Si 原子の化学結合力の最大の引力の比が探針に依存しない不変量になることを発見し、NC-AFM を用いた Force spectroscopy によって相対識別が可能であることを初めて実証している。さらに、交換型水平原子操作という新しい原子操作の方法を発見して、 $\text{Sn/Ge(111)}-c(2 \times 8)$ 表面において原子埋め込み文字を室温で作製し、走査型プローブ顕微鏡を用いて室温での原子組立が可能であることを初めて実証している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。