



Title	原子間力顕微鏡を用いた多機能測定法に関する研究
Author(s)	有馬, 英司
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69248
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文について 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

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 （ 有 馬 英 司 ）	
論文題名	原子間力顕微鏡を用いた多機能測定法に関する研究
論文内容の要旨 本論文は、原子間力顕微鏡に基づく多機能測定方法に関する結果と、表面物性において非常に重要な表面磁性と触媒反応の解明のための基礎的研究結果をまとめたものである。具体的には、表面の原子レベルのスピンを分離測定するために、強磁性共鳴を用いる新たな手法を開発し、酸化物のスピン情報の分離測定に成功した。また、触媒反応の原子レベルでの解明のために、高速な表面電位撮像手法を開発し、酸化物表面の触媒反応をその場観察することに成功した。これらの成果は、今後のスピントロニクスや触媒化学の発展に貢献すると考えている。 以下に各章の概要を述べる。 第 1 章では、研究背景として、今後の科学技術の発展において非常に重要な物質表面の特性と、その解明のためのプローブ顕微鏡技術の歴史について概論した。特に、表面磁性や触媒反応を解明するための課題を述べた。また、本研究の目的と意義について述べた。 第 2 章では、原子間力顕微鏡の測定原理について説明した。まず、探針・試料間に働く様々な相互作用（van der Waals相互作用、静電氣的相互作用、化学的相互作用）について述べた。次に、カンチレバーの動力学と安定条件の理論について述べた。また、検出方式である周波数変調方式について説明し、その力検出感度について説明した。さらに、小振幅モードによる高感度な力検出についても述べた。 第 3 章では、探針にマイクロ波を照射可能な極低温光てこ原子間力顕微鏡装置について説明した。まず、光てこ変位検出計の特徴と利点を述べた。次に、照射するレーザーの直径をカンチレバーの幅程度に絞ることで高感度に変位検出が可能になることを述べた。 第 4 章では、反強磁性体表面である酸化ニッケルNiO(001)表面のスピン測定結果について述べた。まず、磁性体探針の強磁性共鳴を利用して磁性体試料のスピン情報を分離測定する原理について述べた。また、測定に使用した磁性体探針とNiO(001)表面について説明した。最後に、NiO(001)表面のスピン情報を原子レベルで分離測定した実験結果について述べた。 第 5 章では、高速撮像のための原子間力顕微鏡の課題と、新たに開発した高速ケルビンプローブ力顕微鏡について述べた。新たに開発したケルビンプローブ力顕微鏡の測定原理と従来の方法に比べて高速に表面電位測定が可能になることを述べた。 第 6 章では、高速ケルビンプローブ顕微鏡による酸化物TiO₂(110)表面への酸素ガス吸着による電荷移動現象の測定結果について述べた。TiO₂(110)表面の負に帯電した欠陥サイトに酸素原子が吸着すると、表面電荷が移動し、表面電位に変化が生じることを見出した。 第 7 章では、本研究の成果をまとめ、今後の展望について述べた。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (有馬 英司)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教授	菅原 康弘
	副 査	教授	関谷 毅
	副 査	准教授	李 艶君
	副 査	准教授	Diño Wilson Angerico Tan
	副 査	教授	松本 卓也 (理学研究科化学専攻)

論文審査の結果の要旨

試料の表面スピンや表面電位は、多くの物理化学過程を左右する極めて重要な物性である。表面スピンや表面電位の空間分布を高感度・高分解能に測定するため、原子間力顕微鏡に基づく測定手法が用いられてきた。例えば、表面スピンの測定では、磁性体探針・磁性体表面間に働く交換相互作用を検出する磁気交換力顕微鏡が用いられてきた。しかし、従来の磁気交換力顕微鏡では、表面の形状に関する情報とスピンに関する情報が混じった画像が得られるため、それらの情報を分離する方法の開発が求められていた。一方、表面電位の測定では、探針・表面間に働く静電氣的相互作用を検出するケルビンプローブ力顕微鏡が用いられてきた。しかし、従来のケルビンプローブ力顕微鏡では、表面で生じる反応に伴う電荷移動を高速に撮像することが困難であり、撮像速度の向上が求められていた。

本学位申請論文は、原子間力顕微鏡における表面の多機能測定法に関する研究をまとめたものである。本論文における主な成果を要約すると以下の通りである。

- (1) 磁性体探針の磁化を変調できる強磁性共鳴を利用した磁気交換力顕微鏡を開発した。具体的には、磁性体探針に周波数変調されたマイクロ波を照射し、磁性体探針の磁化状態を強磁性共鳴により変調できるようにした。探針・試料間相互作用力の変調成分を検出することにより、表面のスピンに関する情報だけを分離測定できることを実証した。
- (2) 試料表面として酸化ニッケル表面を取り上げ、強磁性共鳴を利用した磁気交換力顕微鏡を用いて、原子スケールで表面スピンの情報を分離測定できることを実証した。具体的には、表面に反強磁性的に配列するニッケル原子の電子スピンを原子スケールで観察することに成功した。また、表面の酸素原子を介した超交換相互作用も観察できることを実証した。
- (3) カンチレバーの振動信号の側波帯に現れる信号を直接検出し、位相ロックループ回路での遅延をなくすことにより、試料の表面電位を高速に撮像できるケルビンプローブ力顕微鏡を開発した。この顕微鏡を用いて、酸素ガス雰囲気下でルチル型二酸化チタン表面の表面電位を測定し、原子スケールでの酸素分子の吸着機構について考察した。

以上のように、本学位申請論文は、原子間力顕微鏡による表面の多機能測定法に関して研究したものであり、基礎的な面のみならず、応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特にナノ計測学に寄与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。