OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ケルビンプローブフォース顕微鏡における交流電圧制御法と二重バイアス変調ヘテロダイン周波数変調法の開発
Author(s)	宮崎, 雅大
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/91920
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　宮崎　雅大　）	
論文題名	ケルビンプローブフォース顕微鏡における交流電圧制御法と二重バイアス変調ヘテロダイン周波数変調法の開発

論文内容の要旨

ケルビンプローブフォース顕微鏡（KPFM）はナノスケールの高空間分解能で試料の表面電位を計測可能な顕微鏡であり、より新奇な表面物性を解明することを目的として、現在でもその計測技術の改良・拡張が研究されている。本研究では、従来のKPFM法で課題となっていた表面光起電力（SPV）の直接測定法の開発と、ヘテロダイン検波方式の改良に関する手法を新たに提案した。また、原子分解能での観察で課題となっていた吸着原子種の識別に関して、クラスター分析を用いることで、多次元データから自動で原子種を識別する解析ソフトを開発した。本論文の構成は以下の通りである。

第１章では、本論文全体の研究背景として、酸化チタン光触媒、KPFMによるSPV測定、ヘテロダイン検波方式におけるKPFM測定、走査型プローブ顕微鏡による化学種の識別に関する課題と研究目的について述べた。

第２章では、原子間力顕微鏡とKPFMの測定原理について述べた。

第３章では、本研究のベースとなる極低温超高真空原子間力顕微鏡の装置構成について述べた。

第４章では、本研究で新たに開発したAC bias KPFMの理論とSPVの直接測定の実験結果について述べた。本手法によりSPV分布の直接画像化が可能となり、SPVの画像取得時間を約1/3に短縮できることを示した。またSPVを直接測定することで、ドリフトや探針変化の影響を抑制することができ、空間分解能と測定精度を向上できることを示した。また従来の差分法の測定法と比べて、約10^1~10^8倍高速なSPV応答の測定が可能となることを示した。さらにAC bias KPFMを静電気力顕微鏡と組み合わせることで、SPVと静電容量勾配の信号を同時に検出できる手法を新たに提案した。

第５章では、ヘテロダイン方式の周波数変調（FM）KPFMを改良し、二重バイアス変調ヘテロダインFM-KPFMを新たに開発した。本手法により、従来のヘテロダイン方式では困難であった高周波（数MHz）の交流電圧に対する静電気力の基本波成分と二倍波成分を同時に測定することが可能になった。この技術により、高周波の交流電圧に対する接触電位差と静電容量勾配を同時に測定することが可能となった。また静電気力の二倍波成分を同時に測定可能となったことで、高周波の交流電圧を利用するFM-KPFMの応用範囲を広げることが可能となることを示した（液中動作、誘電緩和測定、測定アーティファクトの除去）。

第６章では、クラスター分析を用いて複数のチャネルデータから化学種を自動で識別する解析ソフトの開発について述べた。近年、画像取得の高速化や多機能化により、全てのデータを人の手で詳細に解析することが困難になりつつある。そこで本解析ソフトでは、多数のデータを扱えるように、クラスター分析に必要な一連の前処理（ドリフト補償やノイズ除去など）を自動処理するように工夫した。本手法により、複数のチャネルデータからから吸着化学種を自動で識別できることを確認した。また多数のデータに適用することで、人の手による解析では見過ごされていた情報を発見的に獲得することが期待される。

第７章では、本研究の結論と今後の展望について述べた。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　宮崎　雅大　）	
論文審査担当者	（職）　氏名 主 査　准教授　李　艷君 副 査　教授　菅原 康弘 副 査　教授　桑原　裕司 副 査　教授　関谷　毅 副 査　准教授　小林　圭　（京都大学工学研究科）

論文審査の結果の要旨

ケルビンプローブフォース顕微鏡（KPFM）はナノスケールの高空間分解能で試料の表面電位を計測可能な顕微鏡であり、より新奇な表面物性を解明することを目的として、現在でもその計測技術の改良・拡張が研究されている。本学位申請論文は、従来のKPFM法で課題となっていた表面光起電力（SPV）の直接測定法の開発と、ヘテロダイン検波方式の改良に関する手法を新たに提案したものである。また、原子分解能での観察で課題となっていた吸着原子種の識別に関して、クラスター分析を用いることで、多次元データから自動で原子種を識別する解析ソフトを開発したものである。

本学位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）新たに開発したAC bias KPFMの理論とSPV測定の実験結果を検討した。その結果、本手法によりSPV分布の直接画像化が可能となり、SPV測定の空間分解能と測定精度を向上することに成功した。また、従来の測定法に比べて、約10^1~10^8倍高速なSPV応答の測定が可能であった。更に、AC bias KPFMをオープンループ型のKPFMと組み合わせる手法を新たに提案し、SPV、接触電位差、そして静電容量勾配の信号を同時に検出できることを確認した。

２）周波数変調（FM）ヘテロダイン方式のKPFM法を改良し、二重バイアス変調ヘテロダインFM-KPFM法を新たに提案した。本手法により、従来のヘテロダイン方式では困難であった、静電気力の基本波成分と二倍波成分を同時に測定することが可能になった。この技術により、高周波のAC電圧を利用するFM-KPFMの応用範囲（液中動作、誘電緩和測定、アーティファクトの除去）を従来に比べて広げることが出来ることである。

３）クラスター分析を用いた多次元データの自動解析法の開発を行った。本手法により、多次元データから吸着化学種を自動で識別できることを確認した。また、多数のデータに適用することで、人の手による解析では見過ごされていた情報を発見的に獲得することが期待される。

以上のように、本学位申請論文は、ケルビンプローブフォース顕微鏡における交流電圧制御法と二重バイアス変調ヘテロダイン周波数変調法の開発に関して新たな研究である。基礎的な面のみならず、理論と応用の面でも有益な知見を得ており、応用物理学、特に表面科学や触媒分野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。