

(続紙 1)

京都大学	博士（工学）	氏名	細 川 義 浩
論文題目	周波数変調原子間力顕微鏡(FM-AFM)の高感度化と赤外応答像測定への応用		
（論文内容の要旨） 本論文は、次世代エレクトロニクスの有力な候補とされる単一分子エレクトロニクスの実現に向け、周波数変調原子間顕微鏡(FM-AFM)の測定において、分子薄膜表面を従来よりも高感度に検出するための最適な実験パラメーターを導出し、また、この FM-AFM を用いた高い空間分解能をもつ赤外分光技術の確立を目指した基礎的研究の結果について記述したものである。本論文は5章からなっている。 第1章は序論であり、次世代エレクトロニクスの展望及び課題、特にナノスケール計測技術の開発の必要性を述べるとともに、現状の FM-AFM 技術の高感度化・高分解能化するための課題および新しい物性情報を取得できる顕微鏡開発の意義を述べた上で、本論文の目的について述べている。 第2章では、走査型プローブ顕微鏡技術に基礎的内容について述べている。特に、本論文で主題となるカンチレバー探針の自励発振や安定励振条件、無機半導体材料観察と有機半導体材料観察の差異について、従来からの主張をまとめる形で述べている。 第3章では、FM-AFM の高感度化の実施について述べている。まず始めに、分子/原子分解能を持つ FM-AFM の等価信号雑音比(ESNR:effective signal noise ratio)について定義し、この定義に基づいて主要な実験パラメーターである振動振幅とばね定数についての最適値の算出を行っている。その後、算出された最適値に基づいて実験を行ったが、残念ながら実際には分解能の劇的な向上は確認出来なかった。そこで検証を行った結果、最適値導出における前提条件として利用した「従来主張されていた探針振動エネルギー散逸と安定動作の関係」が必ずしも正確でない事を見だし、より正確な安定動作条件について簡易モデルによる導出している。また、導出したより正確な安定動作条件について数値シミュレーション解析や実験による検証を行う事で正当性の確認している。さらに、このより正確な安定動作条件に基づいて、本章の始めで提案した最適値算出を再度行い、この結果を基に実験を実施することで鉛フタロシアニンの分子内構造が確認出来る程度の高分解能観察に成功している。			

第4章では、第3章で得られた知見を基に、新規物性情報を取得するため、赤外分光技術と AFM を組み合わせた技術についての検討・開発について述べている。本章では3つの赤外光源（シリコンカーバイド、自由電子レーザー、量子カスケードレーザー）を利用した3種類の実験セットアップに対し、赤外光を試料に照射した際の探針－試料間に働く保存力相互作用と散逸力相互作用について実験を行っている。特に、自由電子レーザーを用いた実験では試料に赤外光を照射する事で、散逸力相互作用に変化が現れる事を見いだしている。また、量子カスケードレーザーを用い、カンチレバーの共振を利用して検出感度を向上させる工夫を行う事で、従来の赤外分光技術では原理的に不可能であった 10nm 程度の空間分解能で試料の赤外吸収差異を検出する事に成功している。

第5章は本論文の内容を総括し、今後の課題について述べている。本論文では、走査型プローブ顕微鏡の高感度化および赤外分光計測への応用について取り組んだが、高感度化においては探針先端形状の影響が非常に大きく、探針先端の化学的・機械的処理の必要性について指摘している。また、赤外分光計測への応用については赤外光源の選定が重要であるとともに、検出物理量のより原理的な解明、特にエネルギー散逸の起源についての解明が重要である事を指摘している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、次世代エレクトロニクス有力な候補とされる単一分子エレクトロニクスの実現に向け、周波数変調原子間顕微鏡(FM-AFM)の測定において、分子薄膜表面を従来よりも高感度に検出するための最適な実験パラメーターを導出し、また、この FM-AFM を用いた高い空間分解能をもつ赤外分光技術の確立を目指した基礎的研究の結果について記述したものである。本論文により得られた主な研究成果は以下の通りである。

1. 分子/原子分解能を持つ FM-AFM の等価信号雑音比(ESNR:effective signal noise ratio)について定義するとともに、計算により得られた最適な実験パラメーターを用いた実験を行うことにより、分子内構造が確認出来る程度の高空間分解能の鉛フタロシアニン像観察が可能であることを実証した。
2. 従来の研究で用いられてきた FM-AFM の安定動作条件のうち、「探針振動エネルギー散逸に関する関係式」が必ずしも適切で無かったことを示し、より正確な関係式を導出した。また、この新しい関係式の妥当性を数値演算や実験から確認した。
3. FM-AFM の探針直下に外部から赤外光を照射し、試料の赤外応答を AFM で直接検出する、新規高位置分解能赤外分光技術の実現に向けた基礎実験を行った。この結果、試料の赤外吸収を反映した FM-AFM 像を取得する事に実証し、また、10 nm 程度の空間分解能で試料の赤外吸収差異の観察に成功した。

以上の内容により、本論文は博士（工学）の学位審査の請求に値するものと認める。

以上の内容により、本論文は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 8 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

要旨公開可能日：平成 23 年 9 月 27 日以降