

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13800 号
------	---------------

氏 名 TONG Bo

論文題目

A Study on Quantitative Evaluation of Local Permittivity and Conductivity Using Microwave Atomic Force Microscope
(マイクロ波原子間力顕微鏡を用いた局所誘電率と局所導電率の定量評価に関する研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	工学研究科	教授	巨 陽
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	福澤 健二
委員	名古屋大学	工学研究科	教授	荒井 政大
委員	名古屋大学	工学研究科	講師	徳 悠葵

論文審査の結果の要旨

TONG Bo君提出の論文「A Study on Quantitative Evaluation of Local Permittivity and Conductivity Using Microwave Atomic Force Microscope」は、原子間力顕微鏡とマイクロ波計測を融合したマイクロ波原子間力顕微鏡（M-AFM）を用い、誘電材料の局所的誘電率と金属ナノワイヤの導電率の非接触定量評価に成功したものである。近接場近似に基づいたプローブ先端の電場分布モデルを提案し、フォースカーブおよび局所領域におけるマイクロ波反射の計測手法を確立した。また、有限要素法（FEM）に基づいて探針と試料間の電場分布をシミュレーションし、近接場近似電場分布モデルの正確性を定量的に評価した。

第一章は緒論であり、研究の背景と目的を要約している。原子間力顕微鏡の発展と現状、M-AFMの計測原理、局所的電気特性計測の問題点などについて述べている。

第二章はプローブの作製および実験アプローチについて記述している。フォトリソグラフィ、電子ビーム蒸着および集束イオンビームエッチングなどを利用し、スリット型と同軸型M-AFM用プローブの作製方法を説明した。また、二種類のプローブの分解能と感度を比較し、これらの特徴に基づいてそれぞれ誘電率と導電率の定量評価に適用した。また、誘電材料と金属材料に最適な計測モードとその理由について説明した。

第三章では、フォースカーブによる誘電材料の局所的誘電率計測手法の開発について記述している。近接場近似に基づいて、マイクロ波により誘起される探針と試料間の電場分布モデルを構築し、定量評価できる計算式を導出した。また、誘電率の異なる材料に対して、マイクロ波ありとなしでのフォースカーブを非接触モードで計測し、マイクロ波によるフォースカーブの変化から局所的誘電率の定量評価を実現した。

第四章は、金属ナノワイヤに対して、金属表面における反射と近接場モデルを組み合わせた電場分布の半近接場モデルを提案した。これによって、ナノワイヤの直径に依存する探針と試料間の電場分布の評価が可能となった。また、半近接場モデルを用いた局所的導電率の定量評価手法を構築した。さらに、導電率の異なるナノワイヤのM-AFMによる走査を行い、ナノ分解能を有する表面形状とマイクロ波画像の同時計測を実現した。計測結果より、ナノワイヤの直径に依存した影響を最小限にして、金属ナノワイヤの導電率の定量評価を実現した。

第五章では、FEMによるM-AFMプローブ先端の電場分布シミュレーションについて記述している。サンプルがない場合のスリット型と同軸型プローブが放出したマイクロ波の電場分布シミュレーションを行い、その結果を近接場近似モデルで計算した電場分布と比較し、近接場近似モデルの評価精度を確認した。また、二種類のプローブの構造パラメータがマイクロ波の放出能力に及ぼす影響をシミュレーションで調査し、各プローブの分解能、感度および最適な構造を検討した。さらに、サンプルがある場合の電場分布をシミュレーションし、反射波のサンプル電気特性への依存性について近接場近似モデルで正確に評価できることを確認した。

第六章では、本研究によって得られた主な結論を要約している。

以上のように、本論文ではM-AFMの新しい計測機能を開発し、誘電材料の局所的誘電率および金属ナノワイヤの導電率の非接触定量評価を実現した。また、近接場近似により探針と試料間の電場分布を評価できる計算モデルを構築した。さらに、FEMシミュレーションにより、プローブ先端のマイクロ波分布を解析し、提案した計算モデルの正確性を検証した。本研究は先駆的技術の基礎となる非常に価値の高い成果を挙げており、学術的および産業的に寄与するところが多い。よって、本論文の提出者であるTONG Bo君は博士の学位を受けるに十分な資格があると判定した。