OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	非接触原子間力顕微鏡を用いた近接場光の高分解能測定に関する研究
Author(s)	阿部, 真之
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3155407
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	阿部真之（あべまさゆき）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 14654 号
学位授与年月日	平成11年3月25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を用いた近接場光の高分解能測定に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教授 森田 清三 （副査） 教授 福西 宏有　教授 西原 浩　教授 吉野 勝美 教授 濱口 智尋　教授 尾浦憲治郎

論文内容の要旨

本論文は，非接触原子間力顕微鏡（AFM）を用いた近接場光の高分解能測定に関する研究をまとめたものであり，以下の7章により構成されている。

第1章は序論で，回折限界を超える空間分解能を持つ（走査型）近接場光学顕微鏡（SNOM）の特徴ならびに問題点について述べている。さらに，探針に働く力として近接場光を測定する高分解能なSNOMを実現するための指針について述べ，本論文の目的ならびに課題を明らかにしている。

第2章では，近接場光の理論的な取り扱いについて説明し，近接場光によって深針に働く力の機構を半導体の理論に基づいて説明している。

第3章では，近接場光を力として高感度に測定するために本研究で新たに開発した非接触AFMの構成，ならびに近接場光を測定するための実験システム，測定に必要な要素技術について述べている。

第4章では，近接場光によって探針に働く力の機構を調べた結果について述べている。波長の異なる3つの光源を用いて，近接場光による力学的相互作用の距離依存性をそれぞれ測定した結果，減衰距離の波長依存性は実験誤差内で見られないことを明らかにしている。次に，電圧依存性と入射光強度依存性を測定し，探針に働く力の機構が表面光起電力モデルで説明されることを検証している。さらに，近接場光によって探針に働く力の入射光の偏光依存性を測定して，P偏光入射の方がS偏光入射に比べて力が大きいことを見いだして，この実験結果を説明するためのモデルを提案している。

第5章では，近接場光を力として高分解能に画像化した結果について述べている。まず，近接場光を画像化するために必要な技術的な課題について説明している。次に，近接場光を光として高分解能に画像化することが出来る方式を考案し，50nm以下（$<\lambda/14$）の分解能で近接場光を測定することに成功している。

第6章では，力による近接場光測定の高感度化・高分解能化について述べている。検出感度を1,000倍向上させることに成功し，さらに15nm以下（$<\lambda/33$）の分解能で近接場光を測定することに成功している。これは，力として画像化する場合における最高の分解能であった従来の170nmの分解能を大幅に上回る。

第7章では，本研究で得られた成果を総括し，本研究が今後，微小空間での電磁相互作用の研究における測定手段となりうることを指摘している。最後に，今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

レンズを使用する従来の光学顕微鏡では，空間分解能は光の回折効果により波長λで制限される。他方，近年開発が進みつつある近接場光学顕微鏡（SNOM）では，光ファイバー探針や散乱型探針を近接場光に挿入して散乱光を検出するため，回折効果による波長限界が無くなる利点がある。この方式で十数nm程度の空間分解能が実現しているが，光ファイバーの微小開口で伝達できる波長限界や迷光による散乱光測定のバックグラウンドの問題により，これ以上の空間分解能の向上は困難と思われる。このような問題を除去出来る可能性を持つ方法として，半導体探針を近接場光に挿入して，散乱光ではなく探針に働く力を測定する方法が提案されているが，得られた空間分解能は170nmと光ファイバー探針や散乱型探針を用いた場合の空間分解能に比べ劣っており，改善が期待されている。本論文では，探針に働く力を高感度に検出できる方法を開発し，以下のような結果を得ている。

(1) 近接場光によって探針に働く力を真空中で測定できる装置を開発している。この装置では力を安定に測定できるように万全な除振を行い，力を測定する原子間力顕微鏡（AFM）の剛性を高めるためにAFM本体を小さく作る工夫を行っている。

(2) 波長の異なる3つの光源を用いて，近接場光によって働く力の距離依存性を測定して，波長依存性が無いことを明らかにしている。

(3) 近接場光によって探針に働く力の電圧依存性と入射光強度依存性を測定して，探針に働く力の機構が表面光起電力モデルで説明出来ることを検証している。

(4) 近接場光によって探針に働く力の入射光の偏光依存性を測定して，p偏光入射による力がs偏光入射による力よりも強いことを見いだして，この結果を説明するモデルを提案している。

(5) プリズム背面に設けていた電極を，極薄電極を用いてプリズムの全反射表面に設けることにより，近接場光によって探針に働く力の強さを1,000倍強くできることを明らかにしている。

(6) ケルビン零位法を応用して，接触電位差の空間変化を補償しながら近接場光を測定できる接触電位差変化補償周波数分割方式の開発を行い，金スパッタ表面の凹凸像，接触電位差像，ならびに近接場光像をほぼ完全に分離して測定出来ることを示している。

(7) 近接場光によって探針に働く力の測定により，空間分解能15nm以下（$<\lambda/33$）を実現し，従来の力の測定で得られた空間分解能170nmを10倍以上改善できることを示している。

以上のように，本論文は，近接場光によって半導体探針に働く力を測定して，力の働く機構を検証し，近接場光によって働く力の距離依存性や，入射光の偏光依存性を測定している。さらに，近接場光によって探針に働く力の強さを1,000倍強くする方法を開発し，また，凹凸像，接触電位差像，ならびに近接場光像をほぼ完全に分離して測定出来る方法を開発して，従来の力の測定で得られた空間分解能170nmを10倍以上改善することにも成功している。よって，本論文は博士論文として価値あるものと認める。