

甲 (Kou)

様式 4. (Form 4)

# 学位論文概要

## Dissertation Summary

学位請求論文 (Dissertation)

題名 (Title) 周波数変調原子間力顕微鏡を用いたサブナノスケール3次元水和揺動構造解析

*Subnanometer-scale 3D hydration and fluctuating structures by frequency modulation atomic force microscopy*

専攻 (Division): 電子情報科学専攻

学籍番号 (Student ID Number): 1624042005

氏名 (Name): 宮澤佳甫

主任指導教員氏名 (Chief supervisor): 福間剛士

### 学位論文概要 (Dissertation Summary)

本研究では、周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) を基に開発された三次元走査型力顕微鏡 (3D-SFM) に着目し、3D-SFM を用いた固液界面の水和構造および揺動分子構造の3次元サブナノスケール解析手法の確立を行った。3D-SFM は、AFM 探針を固液界面で3次元的に走査し、探針が受ける3次元力分布をサブナノスケールで取得する。これまでの先行研究により、3D-SFM で取得した力分布像が理論的に予想されている水和構造 (水分子密度分布) と非常に強い相関を持つことが示されており、3D-SFM で固液界面の水和構造が直接可視化できる可能性が示唆されている。また、その他にも、揺動する分子の3次元構造そのものを可視化した例も報告されており、3D-SFM の応用可能性が議論されている段階である。しかしながら、現時点では、計測メカニズムに関する重要な疑問点が解消や、ノイズや安定性の向上、応用計測分野の開拓というような本手法に関する改善点が多く残されており、それが本手法の幅広い分野への普及と応用の拡大の妨げになっていた。そこで、本研究では、(1) 3D-SFM を用いた水和構造計測の計測メカニズムの解析 (基礎研究) と、(2) 3D-SFM を用いた産業実用材料計測の計測 (応用研究) を行い、基礎研究と応用研究を同時に進めることで3D-SFM 計測技術の確立を目指した。

基礎研究では、原子レベルで平坦かつ清浄な表面 (カルサイトやカルシウムフロライト) をサンプルモデルとして使用し、理論 (シミュレーション) と実験 (3D-SFM) で同じ系で力分布計測を行った。理論と実験の様々な事情により、本研究は純水中で力分布計測を行う必要があったが、シミュレーション・実験双方で技術的に改良を行う事で、純水中でもコントラストが明瞭な3次元力分布像の取得に成功した。理論と実験を比較した結果、通常ナノスケールのサイズを有する AFM 探針を用いても、探針先端原子とその直下の水和構造の分布がサブナノスケールの力分布像の形成に寄与することを明らかにし、3D-SFM を用いて原理的にサブナノスケールの水和構造が計測可能であることを明らかにした。本研究の成果は、3D-SFM の水和構造計測の計測メカニズムを定性的に明らかにしたものであり、この成果を基に本手法が幅広い分野の水和構造計測に受け入れられると考えられる。

応用研究では、実用材料のサンプルモデルとしてハードディスク (HD) 用潤滑剤の 3D-SFM 計測を行った。HD 用潤滑剤は、わずか1 nm 程度の膜厚しかないが、従来3D-SFM で計測されてきた試料とは異なり表面の分子吸着構造が複雑かつ非周期的であり、3D-SFM で潤滑層の真の分子吸着構造が可視化できることが期待されていた。本研究では、試行的な実験としてリン酸緩衝液中で HD 用潤滑剤の3D-SFM 計測を行った。その結果、水平方向に横たわる繊維状のコントラストが3次元的に計測され、これは従来考えられていた潤滑剤の吸着モデルにも矛盾しない結果であった。このことから、繊維状コントラストは、3D-SFM でHD 用潤滑剤分子の骨格部分を表していると考えられる。本結果は、3D-SFM で様々な産業実用材料を直接可視化することができる可能性を強く示しており、本研究を基に、ゆくゆくはHD 用潤滑剤以外の様々な薄膜材料計測に応用されることが期待される。

以上のように、本研究では、3D-SFM の幅広い分野への応用と普及を進めるために、基礎研究と応用研究を同時に進め、3D-SFM の水和構造計測の計測メカニズムの解明、および揺動分子構造計測の応用例としてHD 用潤滑剤の計測に取り組み、その有用性を示した。