



Title	サブピコニュートン感度を持つプローブ顕微鏡による分子レベルでの非接触表面力計測
Author(s)	青木, 高明
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40251
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	あおき たかあき 青 木 高 明
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 2 2 6 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 9 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	サブピコニュートン感度を持つプローブ顕微鏡による分子レベルでの 非接触表面力計測
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 柳 田 敏 雄 (副査) 教 授 葛 西 道 生 教 授 佐 藤 俊 輔

論 文 内 容 の 要 旨

生体分子間に働く微小な相互作用力を非接触で検出し、2次元的に可視化することを目的として、従来の原子間力顕微鏡 (AFM) の約100倍の力検出感度を持つ新しい非接触走査型プローブ顕微鏡技術を開発した。この新しいシステムの特徴は、1) ピコニュートン以下の力検出感度； 2) 相互作用する探針と試料との間の間隙距離を、ナノメートルの精度で一定に制御する非接触計測； の2点である。これらの技術的改善は、 0.1pNm^{-1} という非常に柔らかいバネ定数をもつ自作カンチレバープローブと、カンチレバーの熱揺らぎを1 nm 以下に制御するための、レーザーの輻射圧を利用した位置フィードバック系の開発により達成された。

開発した非接触プローブ顕微鏡の性能を評価するために、分子レベルでの静電斥力の非接触計測を行った。アミノシラン分子により帯電した探針とガラス表面との間に動く静電斥力を溶液中で測定したところ、nm 程度の間隙距離をもつ非接触領域で pN 程度の力が実測でき、力のプロファイルは2成分の指数関数で表される理論曲線とよく一致した。また対イオンの混在による斥力の遮蔽の効果は Debye - Hückel の理論とよく一致した。さらに、pN 程度の分子間力の2次元的な像を非接触でマッピングする事にも成功した。

これらの結果は、単なる分子表面の形状ではなく、生体分子間の相互作用、すなわち分子の「機能」をプローブ顕微鏡を用いて可視化する道が拓けたということを示している。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、生体分子間に働く微小な相互作用力を非接触で検出し、2次元的に可視化することを目的とする、従来の原子間力顕微鏡 (AFM) の約100倍の力検出感度を持つ新しい非接触走査型プローブ顕微鏡技術の開発と、その応用について述べている。

本論文は大別して3つの章からなる。まず第一章では、生体分子が出すピコニュートン以下の微弱な力を感度よく検出するための、 0.1pNm^{-1} 程度のバネ定数を持つカンチレバープローブの制作技術に関して述べている。従来の AFM 用のカンチレバープローブのバネ定数は数十 pNm^{-1} 程度と硬く、力検出感度が数 pN となってしまうので、サブピコニュートン感度を達成するためには新しいレバーを自作する必要があった。実体顕微鏡下での顕微加工技術

を駆使することにより、目的のバネ定数をもつレバーを安定に自作できるようになった。これにより、ピコニュートン以下の微小力を感度よく検出することが可能となる。

第2章では、光帰還を用いたプローブの位置フィードバック系の開発について述べている。開発した柔らかいカンチレバーはブラウン運動により激しく揺らぎ、また外力の作用によりたわみを生じて平均の位置が変化してしまうため、このままでは目的とする分子間相互作用の非接触計測は不可能である。このため、光が反射面に及ぼす輻射圧力を利用したフィードバック系を開発し、レバーの位置を強制的に一定にとどめることを試みた。結果としてレバーの熱揺らぎの振幅は1 nm以下にまで減少した。また外力によるレバーの運動もフィードバックにより制御可能であった。外力のシグナルはフィードバック電圧から求めることができ、pN以下の力検出感度があることも確認した。

第3章では、開発したプローブ顕微鏡技術を用いて、分子レベルでの静電斥力の非接触計測を行った。アミノシラン分子により帯電した探針とガラス表面との間に働く静電斥力を溶液中で測定したところ、nm程度の間隙距離をもつ非接触領域でpN程度の力が実測できた。力のプロファイルは2成分の指数関数で表される理論曲線とよく一致した。また対イオンの混在による斥力の遮蔽の効果はDebye-Hückelの理論とよく一致し、微小領域における理論の検証ともなった。さらに試料をx-y走査することにより、pN程度の分子間力の2次元的な像を非接触でマッピングする事にも成功した。

1986年に開発されたAFMは、表面微細構造の強力な研究手段として様々な分野で応用され、生物学の分野でも利用が活発であるが、本研究の結果により、単なる分子表面の形状ではなく、生体分子間の相互作用、すなわち分子の「機能」をプローブ顕微鏡を用いて可視化する道が拓けたといえる。技術的に非常に大きなブレークスルーであり、内外の学会発表においても高く評価されている。これらにより、本論文は博士学位論文として価値あるものと認める。