

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 崔 竣 豪

本論文は「液体ナノメニスカス架橋の動的特性に関する研究」と題し、7章からなる。

ナノテクノロジーは21世紀における重要なキーテクノロジーの一つになると予測されるが、微小な機械要素のしゅう動部に形成される微小なメニスカス架橋（ナノメニスカス架橋）の特性を把握することはナノ/マイクロマシンシステムにおいては重要な課題である。従来の液体薄膜の研究は、表面力測定装置(Surface Forces Apparatus, SFA)や原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscope, AFM)の開発とともに飛躍的に発展してきたが、これらの測定部の幾何学的形状から考えて、液体ナノメニスカス架橋の一般的な動的特性を明らかにすることは困難である。このような現状認識から、本研究では、単純な形状の固体試料を用い、また二固体面間の距離を正確に決定できる微小引張/せん断試験機を設計製作して、長さが数十ナノメートル~数百ナノメートルのナノメニスカス架橋の動特性を明らかにすることを目的としている。

第1章ではこの研究の目的および本論文の構成を述べている。また、ナノメニスカス架橋および液体超薄膜に関する過去の研究を述べて本研究の背景および位置付けを示している。

第2章では本研究にて設計・製作した実験装置について述べている。この装置は、PZTアクチュエータに取付けたガラス球（直径 $20\mu\text{m}$ ）と弾性カンチレバーに支持されたガラス球（直径 $20\mu\text{m}$ ）との間に液体メニスカス架橋を形成させた後、PZTアクチュエータによってガラス球を加振し、もう一方のガラス球を支持するカンチレバーの変位を測定することによって、メニスカス架橋の伸張およびメニスカス架橋に加わる力を求める機構である。また、第2章では精密計測のために行った、ガラス球の軸合せ、カンチレバーのばね定数補正などのキャリブレーションについても言及している。なお、カンチレバーは4分割光てこ方式により変位を測定し、その感度は $0.1\sim 0.01\text{mN}$ である。

第3章では製作した実験装置の性能評価および予備実験として行った凝着力測定および液体薄膜の粘度測定について、その手法および結果について述べている。そして、その結果を従来の結果と比較して、本実験装置が十分な精度で計測できることを示している。

第4章では液体メニスカス架橋の静特性を求めるために行った実験について述べている。

2球を低速度で近接させたときのメニスカス架橋の形成および離反させたときのメニスカス架橋切断について実験を行い、架橋形成時の attractive force および離反時の pull-off force が接近離反速度に依存する特性を調べ、メニスカスの伸張はメニスカス内部の液体の流れを誘引することを述べている。

第5章は PZT アクチュエータによってメニスカス架橋の軸の方向に変位加振したときのガラス2球の振幅比および2球間の位相の計測結果について記述している。メニスカスの長さは数十ナノメートルから数百ナノメートルとし、PZT アクチュエータの振動振幅は 1.5 ナノメートル、周波数は 2 Hz から 1000 Hz まで変化させた。そして、これらの計測結果が加振周波数およびメニスカス架橋長さに依存する様子を詳細に調べた。続いて、メニスカス架橋を力学的モデル（バネとダッシュポット）で表して、メニスカス架橋の特性を単純化した。その結果、メニスカス架橋はバネとダッシュポットとが並列に配置されたモデル（フォークトモデル）で表されることを示し、さらにバネはメニスカス架橋の形状変化に対する抵抗を表しその特性は周波数に依存しないこと、またダッシュポットはメニスカス内部の流れに対する抵抗を表しその特性は周波数およびメニスカス長さに依存することを明らかにした。すなわち、メニスカス架橋が長い場合にはバネ要素が優勢になり、逆にメニスカス架橋が短い場合にはダッシュポット要素が優勢になる。

第6章は PZT アクチュエータによってメニスカス架橋の軸と垂直方向に加振した場合の実験について記述している。そして、この場合にもメニスカス架橋は簡単な力学モデルで表されるが、せん断に対するバネ定数は引張りに対するものの約  $1/3 \sim 1/4$  であること、またバネ定数にも周波数依存性が出てくることなどを明らかにした。

以上を要するに、本研究は高精度のナノメニスカス引っ張り／せん断試験機を設計製作し、そしてナノメニスカス架橋の動特性を明らかにしてさらにそれを簡単な力学系でモデル化することに成功した。本研究によってナノメニスカスに関する新しい知見が多く得られており、これらの知見はマイクロ／ナノマシンの潤滑部の設計に役立てられ、機械工学およびトライボロジーに寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。