

## 審査の結果の要旨

氏名 佐藤 隆昭

本論文は「固体潤滑の機構解明を目指すナノせん断破壊の実時間 TEM 観測」と題し 7 章と付録からなる。固体の摩擦現象を微視的なレベルから解明するため、透過電子顕微鏡 (TEM) 内でマイクロマシン (MEMS) デバイスを駆動して、銀とシリコンのナノ接合のせん断破壊試験を行い、機械的変形と摩擦力の変化を実時間で対応させ評価する研究を扱っている。

第 1 章は序論であり、本研究の研究背景を述べている。長寿命、高信頼性、高効率な MEMS の開発には、ナノサイズの潤滑機構の解明や、潤滑材の特性向上が急務であることを述べ、これまでの研究を総括してその問題点を明らかにするとともに、透過電子顕微鏡中で MEMS が動作する実験系を解決策として提案し、本論文の目的と研究の意義を提示している。

第 2 章では、サブ nm の精度で駆動できるマイクロマシン (MEMS) と、原子レベルの変形を観察できる透過型電子顕微鏡 (TEM) とを組み合わせて、せん断破壊を実時間かつ原子レベルで観察する実験系の作製・構築方法について述べている。

第 3 章では、構築した実験系を用いてナノ接合のせん断破壊を観察する実験手順と、微小な摩擦力の測定方法について説明している。また典型的な実験結果に基づき、測定の精度について考察した結果を示している。

第 4 章では、材料によるナノ接合のせん断破壊の相違を述べている。潤滑材である銀と、マイクロマシンの標準的な材料であるシリコン、この 2 つのせん断破壊を比較した。直径が 5 nm のナノ接合の場合、銀はシリコンに比べせん断破壊に要する力も変位量も格段に小さく、銀が良好な潤滑効果を示すことを確認した。

第 5 章は、銀ナノ接合のせん断破壊の詳細な観察と破壊機構の考察である。銀のナノ接合を極めて低速度でせん断変形させ、その時の内部構造の変化を原子レベルで観察することで、せん断変形の特徴について考察した。

第 6 章は、ナノ接合の太さとせん断強度の関係を扱っている。銀ナノ接合の直径を 2~30 nm の範囲で変え、接合の直径とせん断破壊に必要な力との関係を測定した。直径が十 nm 程度以上であると、せん断破壊応力はバルクの値の 2 倍程度であるが、それ以下に直径が細くなると急激に増加する結果が得られた。

第 7 章は結論であり、本論文で得た成果をまとめ、その意義を論ずるとともに、巨視的な摩擦現象に結びつけるため、今後の研究で明らかにすべき課題を述べている。

以上これを要するに、本論文は、銀やシリコンでできたナノ接合のせん断破壊について、MEMS デバイスを透過電子顕微鏡内で駆動する実験系の構築により、摩擦力と構造変形を実時間で同時観察可能にするとともに、ナノせん断特性の定量的な測定、銀とシリコンのせん断変形と破壊特性の比較、せん断変形に伴う原子レベルの構造変化観測、および破壊特性へ及ぼすナノ接合のサイズ効果の測定を行い、ナノトライボロジーに新たな知見を加えたもので、電気工学に貢献するところが少なくない。

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。