

審査の結果の要旨

論文提出者 三田 信

本論文は、「半導体マイクロマシンツールを用いた局所高電界場観測に関する研究」と題し、マイクロマシン技術で用いた真空トンネルギャップ制御用のデバイスを論じたものであり、10章より構成されている。

第1章は「序論」であって、研究の背景、動機、研究課題と目的と、論文の構成が述べられている。真空トンネル電流の流れるギャップ中では、原子オーダの寸法領域に、極めて高い電界が加わり、集中した電流が流れる。このような局所高電界場での原子や分子ふるまいを透過電子顕微鏡で可視化観測するため、数mm角のシリコンチップ上に、真空トンネルギャップを制御するデバイスを実現する必要がある。本研究の目的は、高剛性のマイクロアクチュエータと原子レベルの先端曲率を持つナノ探針を、シリコン微細加工技術で一体製作することである。

第2章は「マイクロSTMの設計指針」であって、真空トンネルデバイスの設計に関して論じている。探針に働く原子間力に打勝つだけの高剛性を持った構造とそれを精密に動かす静電くし歯アクチュエータの設計指針を示している。

第3章は「マイクロSTMの製作」であって、真空トンネルデバイスの製作法に関して、ナノ探針の製作法、高剛性アクチュエータの異方性ドライエッチングによる加工法、両者のモノリシック集積化手法などを示している。

第4章は「製作したマイクロSTMの機械的特性」であって、デバイスの機械特性の測定結果について述べている。デバイスの共振周波数、電圧対変位特性を実験的に測定し、設計値と比較して、その差が生じた原因を論じている。

第5章は「トンネル電流の計測」であって、デバイスを用いたトンネル電流の測定結果について述べている。まず、マイクロマシン加工した探針が十分に鋭く、トンネル電流の検出に利用できることを示すため、探針を市販のSTM装置に取り付け、グラフィイト原子像を得ることで、利用可能なことを示している。さらに、チップ内で駆動電圧と分けて微小なトンネル電流を測る手法を開発し、実際に真空トンネル電流が安定に制御できることを実証している。

第6章は「透過電子顕微鏡中での動作実験と可視化観測」であって、透過電子顕微鏡内でデバイスを動作させた結果について述べている。顕微鏡内でのトンネル電流制御には成功したが、対になっている探針が、観察方向からは重なった状態でギャップが形成されたため、トンネルギャップの可視化観測ができなかった。

第7章は「垂直方向駆動アクチュエータ」であって、探針の一方を垂直方向に動かすアクチュエータに関して論じている。針先の重なりの問題を解決するため、ギャップ間隔を制御するアクチュエータに加え、対になった針先端の高さを一致させるアクチュエータを組み込むことを提案している。このアクチュエータの構造を設計し、単体での動作を確認している。

第8章は「高剛性構造と高出力アクチュエータの設計と製作」であって、可動構造の剛性の向上を論じている。実験上得られた知見に基づいて更に安定な動作を実現するた

めの高剛性構造を提案し、アクチュエータとしての動作を確認している。

第9章は「マイクロSTMの試料粗動用アクチュエータ」であって、トンネル電流制御デバイスで種々の試料表面を観察することを目標にした、試料粗動機構用アクチュエータについて述べている。可動質量の対向面への衝突時に発生する撃力を利用して、小さなステップで試料を移動するアクチュエータを新たに考案し、動作の確認と理論解析を行っている。

第10章は「結論」であって、本論文で得られた成果をまとめている。

以上を要するに、本論文は真空トンネルギャップ中の物理現象を透過電子顕微鏡中で可視化観測するために、マイクロマシン技術を用いて数mm角のチップ上にトンネルギャップを制御するデバイスを実現することを目的とし、そのデバイスの設計、製作プロセスの開発、特性評価に基づく改良を行い、トンネル電流制御が可能なことを実証するとともに、将来針端のアライメントや試料交換も可能にするためのアクチュエータも新たに実現したもので、マイクロメカトロニクス分野において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。