

審査の結果の要旨

氏名 石田 忠

本論文は「MEMS 針端の形状変化の TEM その場観察と電気・機械特性の同時測定」と題し7章と付録からなる。固体の変形や拡散現象を原子レベルで観察・操作するため、透過電子顕微鏡(TEM)内で MEMS デバイスを駆動して、シリコンや金でできた針端や微小接合の機械的変形や電気特性を評価する研究について述べている。

第1章は序論であり、本研究の研究背景を述べている。ナノテクノロジーにおける原子レベルの観察・操作の重要性を述べ、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動作する MEMS を用いた実験系を、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章は、ナノ界面研究用 MEMS デバイスの設計と作製に関して論じている。対向した探針間における機械的、電氣的現象を、再現性良く、安定して実験できるツールとして、ナノ界面研究用 MEMS (MEMS for Investigation of Nano Interface: MINI) を設計する。シリコン対向探針、金対向探針、金対シリコン対向探針を持った MINI を作製するためにさまざまな方法を考案し、最良の方法を模索した結果を述べている。

第3章は、ナノ現象観察用 TEM と電子線による影響に関し、まず対向した探針間における現象を観察する方法として、TEM を用いる意義を説明する。TEM 試料室内で、MINI を電氣的に駆動して、原子レベルで対向探針先端を観察しながら、電氣的・機械的測定を行うための可視化計測系の説明を行う。また、TEM 電子線による観察対象への影響について考察を行い、電氣的・機械的特性への影響を実験的に調べた結果を示している。

第4章は、シリコンナノコンタクトの引張試験を述べている。シリコン探針 MINI を TEM 試料室に挿入し、顕微観察を行いながら駆動する。シリコン対向探針を用いた接近-接触-引張-破断の過程を説明し、シリコンナノコンタクトの形成、引張試験の結果を示す。シリコンナノコンタクトの引張過程と、破断後の破断面の丸まり過程については、第一原理ベースのポテンシャルを用いた共役勾配法と分子動力学法による、原子レベルでシミュレーションと比較して実験結果の解釈を行う。さらに、シリコンナノコンタクトの引張試験において

得られた電気的特性と機械的特性の変化を対応付けている。また、通電によるシリコンナノコンタクトの形状変化を観察した。

第5章は、金ナノコンタクトの引張試験を述べている。金対向探針をもちいて、TEM内でシリコンナノコンタクトと同様の実験を行ったところ、金ナノコンタクトの形状変化に伴いコンダクタンスが量的に減少した。さらに金ナノコンタクトの形成においてはバイアス電圧依存性や、形状の伸張方向依存性が見られた。また、通電による金ナノコンタクトの破断も観測された。

第6章では、金のシリコンへのナノスケール拡散現象を扱っている。TEMの観察を行いながら金対シリコン対向探針MINIを駆動し、通電による金のシリコン探針上の表面拡散過程や、室温での金ナノクラスターのシリコン探針内部への拡散過程の可視化に成功した。

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、今後の研究の進むべき方向を述べている。

以上これを要するに、本論文は、シリコンや金でできた対向可動探針を持つMEMSデバイスを透過電子顕微鏡内で駆動する新しい実験系を開発し、高電界による針先形状変化、圧接によるナノコンタクト形成、ナノコンタクトの引張や通電による破断、シリコンへの金の拡散過程、などを原子レベルで実時間観察すると同時に、ナノ構造の機械特性や電気特性を評価し対応付けたもので、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。