

本論文は、「3次元ピエゾ抵抗ヘリカルナノベルト力センサの開発と応用」と題し、全7章から構成され、InGaAs/GaAs 3次元ヘリカルナノベルトのピエゾ抵抗を測定することによって力センサを構成する手法を提案し、2本のHNB(Helical Nanobelt)をマイクロピペットにアセンブリすることによって3次元ピエゾ抵抗HNB力センサを作成し、その有効性と今後の展開及び応用可能性を明らかにしたものである。

第1章では、「序論」と題し、本研究の背景である遠隔微細マニピュレーションシステムなどのナノマニピュレーションにおけるカフィードバックに着目し、その実現のためHNB力センサを提案している。さらに、高精度・広範囲HNB力センサとナノマニピュレーションシステムの応用可能性とその波及効果に関して述べている。

第2章では、「ナノマニピュレーションのための力計測」と題し、ナノ領域で現在研究が進められているAFM(Atomic Force Microscope)・光ピンセット・マイクロニードルといったセンシング技術を概観し、高精度広範囲且つ多軸化可能なピエゾ抵抗HNBを用いることのセンサとしての優位性を述べている。

第3章では、「力センサの構成要素としての自己渦巻きHNB」と題し、本研究で提案するHNB力センサの構成要素として用いられるHNBの自己渦巻き生成原理を説明している。さらに、力センサのアセンブリを実現し、且つHNBのピエゾ抵抗特性分析を行うため、HNB両端へ金属を付着する加工手法を述べている。

第4章では、「HNBの材料特性分析」と題し、HNBの電子顕微鏡内での電気・機械特性を測定し、センサとしての基本特性について述べている。電子顕微鏡の中でのナノマニピュレーションによりHNBの伸縮方向ピエゾ抵抗を計測した結果、最大27.5%程度までの張り抵抗値が線形関係を維持し、また、そのピエゾ抵抗係数が従来のBn-Siと比べて249~890倍高いことが判明したことからHNBが高精度・広範囲力センサの構成要素として適していることを明らかにしている。さらに、HNBの曲げ方向でのピエゾ抵抗特性を計測し、それらの結果からHNBを力センサとして構成した際のピエゾ抵抗特性の計測可能性を示している。

第5章では、「ナノロボティックマニピュレーションによるHNB力センサのアセンブリ」と題し、HNB力センサの作成法について述べている。MBEで成長させたGaAs薄膜をマイクロ加工することでHNBを作成し、その両端とピペット電極に強磁性金属Niを加えることで外部電磁気力により曲げの方向を制御することによってアセンブリすることを提案している。さらに、真空中でゴールドナノ粒子のファウンティンペン手法によりHNB力センサを作成している。また、蒸着物が不要なナノ抵抗溶接を提案し実験を通してその有効性を明らかにしている。

第6章では、「HNB力センサのピエゾ抵抗特性分析」と題し、本研究で作成したHNB力センサをAFMを用いてキャリブレーションすることに成功し、実験を通して力センサとしての有効性を明らかにしている。

第7章では、「結論」と題し、本研究で得られた成果をまとめ、残された問題と今後の研究方向を述べている。

以上これを要するに、本論文は、HNBのピエゾ抵抗を用いたナノ・ニュートン・レンジの力センサを提案し、HNBの電気・機械特性を明らかにしたうえで、独自のアセンブリ手法によってそのHNB力センサを製作し、AFMを用いてキャリブレーションを行い力の計測に成功し、センサとしての有効性と今後の展開可能性を明らかにしたものであり、電気工学、機械工学、ロボット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。