

審査の結果の要旨

論文提出者氏名

神田 岳文

本論文は「水熱合成法 PZT 薄膜を用いた縦振動プローブセンサ」と題し、水熱合成法による PZT 薄膜を用いた縦振動プローブセンサの開発に取り組んだ研究成果を纏めたものである。本論文は、全7章から構成されている。

第1章「序論」では、AFMなどのプローブ顕微鏡等の超精密表面形状測定器の現状を示し、本研究の技術分野の背景について述べている。AFMなどのプローブ顕微鏡や、超精密表面粗さ計では測定が難しい範囲の表面形状測定システムを実現することを目的とし、具体的にはプローブとして用いる振動形接触・近接検出センサの開発、およびこれに用いる PZT 薄膜の成膜および評価に取り組むことを述べている。

第2章「振動形プローブセンサの原理」では、振動形プローブセンサの原理について論じ、センサに用いる振動子を設計する際の指針を明らかにしている。

プローブが表面に接触したことを検出する振幅電圧変調感度を、縦振動子とたわみ振動子について解析し、AFM などでのカンチレバーのたわみ振動を用いた場合と比較して、縦振動を用いることによって高い感度が得られる可能性があることを導いている。

また、縦振動子をプローブとして用いる場合について、プローブセンサの先端が対象物に接触する際の先端の挙動を解析し、感度および測定力の変化の様子を明らかにしている。そして、センサに用いる振動子を設計する際の指針を示している。

第3章「水熱合成法による P Z T 薄膜の成膜」では、センサの製作に用いる、PZT 薄膜の水熱合成法による成膜、およびその評価について論じている。

まず、PZT 膜の成膜方法の現状についてまとめ、各種成膜法の特徴を述べ、各々の特性の比較を行っている。そして、目標とする縦振動子の励振とセンシングに必要な P Z T 薄膜を製作する方法としては、水熱合成法が最も適していると判断している。しかし、従来の水熱合成法による PZT 薄膜では、バルクの P Z T に比べてやわらかく、変位、発生力が小さいなど特性が良くなかった。そこで、特に重要であるヤング率等を向上するよう、結晶の成長を図る方法を探索した。そして、成膜回数を増やすことによって膜厚と結晶粒径の増大が得られることを見出し、15回成膜を繰り返して、バイモルフ振動子片面あたり、30 μm の膜厚を得ることに成功している。多数回成膜によって得られたこれら

の振動子の最大の振動速度は、2.24 m/s となり、バルクの振動子の場合と比較して数倍の値を達成している。このように改良した水熱合成法によって成膜された PZT 薄膜を用いた縦振動子は、振動を利用するセンサやアクチュエータに用いられる振動子として優れていることを明らかにしている。

第 4 章「センサの製作・振動子特性の評価」では、本研究で試作したセンサの構造、製作方法、および振動子としての特性の評価について詳細に論じている。まず、予備実験として、円柱状の振動子によるセンサを試作し、測定原理の確認を行い、励振および振動検出が可能であり、また、検出電圧の測定によって、接触の検出に成功している。そして、PZT 薄膜のチタン材に対する割合を高めるため、円柱状から板状の構造とした。また、検出電圧に対する誘導による影響を抑えるため、検出に用いる電極の組み合わせ、および検出回路について種々の工夫を行っている。そして、製作した厚さが 100 μm の振動子について、共振周波数 305 kHz において 126 nm_{o,p} の振動振幅を得ている。このときのたわみ方向の振動振幅は 36 μm ときわめて小さくすることに成功している。

第 5 章「センサの小型化・高周波化」では、第 4 章で試作した振動子の小型化・高周波化によるセンサの改良について論じている。

まず、振動子の小型化による、センサの性能への影響について詳しく検討している。振動子は小型化により有利な特性が得られることを理論的に明らかにした。そして、4 分の 1 波長部の長さが 1 mm の振動子を試作し、第 4 章の振動子の 6.3 倍の感度を得ることに成功している。

第 6 章「接触検出と形状測定」では、試作したプローブセンサを用いて接触検出、および形状測定実験を行っている。プローブ先端に取り付ける端子に形成にてこずり、期待された高分解能の測定はできていないが、先端を先鋭化させない状態で、AFM でのカンチレバーのかわりに開発した縦振動センサを用いて、走査による形状測定を試み、500 nm 間隔の凹凸の画像を得ることに成功しており、研究開発した諸技術の有効性の確認を行えている。

第 7 章[結言]は本論文の結論であり、本研究で得られた成果についての総括を行い、さらに今後の展望について述べている。

このように、本論文では、水熱合成法という新しい P Z T の薄膜形成技術の改良を行い、薄板に形成し縦振動センサーを試作し、表面微細形状の計測が可能であることを明らかにしており、精密機械工学及び精密機械工業の発展に大きく貢献するものと言える。

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。