

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 高崎正也

本論文は「弾性表面波のメカトロニクスへの応用に関する研究」と題し、フィルタや共振器という通信機器用デバイスとして急速に利用が拡大してきている弾性表面波 (SAW) デバイスの開発で培われた技術を機械の運動の知能化技術であるメカトロニクスの分野に展開して、新たなセンサやアクチュエータ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6章から構成されている。

第1章「序論」では、本論文の研究課題に関係する弾性表面波とその利用技術の現状について纏め、本論文の研究目的、および本論文の構成について述べている。

第2章「弾性表面波」では、弾性表面波の1種であるレイリー波の理論的導出から励振方法・伝搬解析に至るまでの基本的事項について述べている。また、弾性表面波を効率よく利用するためにはメタルストリップアレイからなる反射器の利用が有効であることを明らかにしている。この反射器を用いた弾性表面波デバイスの設計に必要なパラメータを決定するために、等価回路モデルを導入している。そして、この等価回路モデルの一般的構築方法、及び数値計算の手法について述べており、弾性表面波素子の設計の指針を明らかにしている。

第3章「弾性表面波角速度センサ」では、弾性表面波の角速度センサへの応用に関する研究を述べている。弾性表面波の定在波を励振すると、回転角速度にともなうコリオリ力により2次的な弾性波動が励振され、この2次波を検出することで回転角速度を知ることができることを理論的に明らかにしている。この弾性表面波角速度センサとして、1次定在波と2次弾性波が直交するCross型と、2次弾性波が1次定在波と同一線上に励起される直線型の2つの方式を提案している。そして、これらの考案を実証するために第2章で導いた等価回路モデルを用いて、角速度センサの設計・製作をおこなった。そして、製作した角速度センサについて、インピーダンス特性の測定とレーザドップラ振動計を用いた振動分布の観察などにより、センサの性能の評価を行っている。しかし、期待どおりの振動分布を得ることができず、また、励振回路からの雑音の影響により、十分な角速度信号を検出するには至らなかった。しかし、この一連の研究により、将来の角速度検出実現のために改良すべき事項を明示し、新しい形式の弾性表面波角速度センサの構想を得ている。

第4章「弾性表面波リニアモータ」では、弾性表面波リニアモータの性能の向上に関して行った種々の研究成果を纏めている。弾性表面波は振動周波数が数 MHz と高く、振動振幅がナノメートルオーダーと小さいため、スライダには表面に10ミクロン程度の突起が分布しているシリコンウエハを利用する方法が開発されている。このシリコンスライダを用いた弾性表面波リニアモータに関する研究は東京大学で考案されたものであるが、基礎的な研究が中心であり、ステージの駆動などを念頭に置いた高性能化に関する研究は十分には行われていなかった。そこで、まず、弾性表面波リニアモータの駆動周波数を高めることでステータ振動子の小型化を図った。駆動周波数を高めるとステータ振動子表面の振動振幅が小さくなるが、振動子表面には表面粗さが存在し、粗さと振幅が同程度になると推力が低下することを実験により明らかにしており、小型化に限界があることを明確に示している。次に、スライダ面積あたりの推力の向上を図っている。シリコン製スライダ表面の突起のサイズ・配列の違いによる推力の変化を観測し、小さな突起が等間隔で配されているスライダがより大きな推力を発揮する傾向を明らかにしており、ステータ振動子とスライダの弾性変形との因果関係について考察している。

そして、これらの研究に基づき、理想と考えられる突起を持った4ミリ角シリコンスライダを試作し、従来の1.8倍の最大推力6.4Nを得ている。さらに、ストロークの制限を受けない構造を提案し、長ストロークSAWリニアモータを実現している。試作した100mmの範囲の移動が可能なりニアモータであら、推力23N、定常速度160mm/s、最小ステップ幅12nmを得ている。磁界の発生の無い、精密位置決め用リニアモータとしての有用性を実証している。

第5章「弾性表面波皮膚感覚ディスプレイ」では、弾性表面波の皮膚感覚ディスプレイへの応用に関する研究を行った成果を纏めている。まず、従来の研究を調査し、皮膚感覚の提示には振動の再現が必要であることを示し、第4章で取り組んだ弾性表面波モータの駆動力を用いるとのstick-slip-through振動を比較的容易に実現できるため、弾性表面波の新しい応用分野として有望であることを述べている。そして、弾性表面波を用いた皮膚感覚ディスプレイとして定在波と進行波を用いる2つの方式を考案している。この両者とも弾性表面波駆動信号に「変調」をかけることを特徴としている。変調された弾性表面波により変調信号に応じたDC~数kHzの振動を励振することができ、その振動を指に与えることで指で固体表面をなぞったときの感覚を提示する。試作したディスプレイを用いて皮膚感覚の提示実験を行っており、両方の手法において、指である粗さをもった固体表面をなぞったときの感覚を再現することがで

きること、さらに、粗さの違いも認識させることができることを実証している。

第6章「結論」では、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、本論文でなされた研究は、弾性表面波の機械振動をメカトロニクスに応用する新技術の開発に関してなされたものである。長ストローク SAW リニアモータ、皮膚感覚ディスプレイの考案などの優れた着想の有効性を理論と実験によって明かにしている。

本研究の成果は、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。