

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 保井秀彦

本論文は「高真空・クリーン環境用静電浮上リニアモータの開発」と題し、電子ビーム露光装置などで要求されている真空環境での高精度位置決め機構などへの応用を第一の目的として、静電浮上機構を一体で有する静電モ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、2部全8章から構成されている。第1部「高真空・クリーン環境用静電モータ」(第2章～第4章)では真空環境用にクロスローラガイドを用いて製作した高真空・クリーン環境用静電モータについてその駆動特性、制御特性について述べ、第II部「静電浮上モータ」(第5章～第7章)では交流駆動両電極形静電モータと静電浮上技術を融合し、モータの発生する固定子・移動子間の吸引力を利用して移動子を鉛直方向に浮上させた状態で駆動を行う静電浮上モータについて論じている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的、および本論文の構成について述べている。真空やクリーン環境での利用に適したモータと位置決め機構について論じ、そのなかでも、次世代の半導体製造における最も重要な機器のひとつである超高精度 EB (電子ビーム) 露光装置を実現するには、磁界の発生の極めて小さい超精密位置決め機構が不可欠であることを示し、静電モータと静電浮上技術によってこの要求を満たす位置決め機構を開発することを本博士論文研究の目的とすることを述べている。

第2章「オープンループ駆動系での性能評価」では交流駆動両電極形静電モータの真空環境への対応法について検討し、試作した高真空・クリーン環境用静電モータについて述べ、諸性能の評価を行った。高真空・クリーン環境に対応したクロスローラガイドを用いてモータを製作し、大気環境とほぼ同様な特性を得ることができた。推力性能としては最大推力 4.51N、単位面積あたりの推力密度にして 2.82kN/m² (印加電圧振幅 3.4kV) を得ることができた。また、真空環境において問題となると考えられるモータ発熱とガス放出の影響についての検討を行っている。

第3章「駆動電極兼用位置センサ」では交流駆動両電極形静電モータの位置決め制御や推力制御等に使用するために必要な位置センサ開発を行っている。

トランスを介してモータ駆動電圧に位置センサ信号を重畳することにより駆動用電極の位置を検出する方法を考案している。このセンサの原理を理論的に証明し、設計の指針を示した。試作した装置により、考案の有効性を確かめる

とともに、センサ信号に基づく静電モータの推力の制御を行い、誤差が 3%以内には抑えることに成功している。このセンサは特別なセンサ用の電極を必要としない特徴があり、静電モータの利用の拡大に貢献する画期的な技術であると言える。

第 4 章「真空環境での位置決め制御」では実際に真空チャンバー内での静電モータの駆動実験を行い、基本的な性能の評価と制御法の有効性の確認を行っている。高真空環境においても大気環境と同等の特性が得られることを実証するとともに、第 3 章の研究で開発したセンサが真空環境においても問題なく動作することの確認も行っている。

第 5 章「静電浮上モータに関する理論的検討」では静電浮上モータの理論的考察を行い、交流駆動両電極形静電モータで推力とともに発生する吸引力を浮上力として利用する新しい方式の静電浮上モータを考案している。等価回路によるシミュレーションによる解析により、駆動電圧にバイアス電圧を付加し、このバイアス電圧を操作することより、浮上のための静電吸引力を推力とは独立に制御できることを見出している。

第 6 章「静電浮上モータに関する実験的検討」では考案した静電浮上モータの有効性の検証を行うとともに、諸性能の測定を行っている。高真空・クリーン環境対応リニアスライドユニットを用いて駆動方向・浮上方向以外の自由度を拘束した支持機構付静電浮上モータを製作している。この実験装置を用い、大気中及び真空中において、所定のギャップを保ったまま、スラダーの駆動と位置決めを行うことを実証している。

第 7 章「今後の展望」では開発した静電モータが実際の真空メカトロニクス機器用サーボモータとして広く利用されるために解決すべき諸課題について考察している。また、完全な非接触浮上を実現するための具体的電極構成方法について論じ、その具体的な設計例を示している。

第 8 章「結論」では本研究で得られた成果についての総括し、静電浮上技術の将来の展開を述べている。

このように、本論文でなされた研究は、静電モータと静電浮上技術を融合した革新的な静電浮上モータの考案し、その有効性を試作した装置によって証明したものである。その成果は、非接触浮上技術に関する学術的な発展に貢献するとともに、EB 露光装置などへの利用が期待できるものであり、産業界への貢献も大きい。精密機械工業、及び精密機械工学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。