

## 論文の内容の要旨

### MEMS 静電アクチュエータの 時分割駆動・変位計測インターフェース回路に関する研究 A Study on Interface Circuits for Time-Multiplexed Drive and Displacement Measurement of MEMS Electrostatic Actuators

氏名 丸山 智史

本論文は、「MEMS 静電アクチュエータの時分割駆動・変位計測インターフェース回路に関する研究」と題し、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems、微小電気機械システム) 型静電駆動アクチュエータの制御方法として、駆動電圧の印加と静電容量検出によるアクチュエータ変位の読み取りをパルス電圧列の時分割で行う新たな電気回路を提案し、実際に  $0.35\ \mu\text{m}$  および  $0.6\ \mu\text{m}$  設計ルールによる CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 集積回路として設計・製作し、光ファイバ通信用の MEMS 静電駆動ミラーを対象に制御性の評価を実施したものであり、研究分野の背景、パルス幅変調電圧による MEMS アクチュエータ変位出力の発生、時分割駆動・変位検出インターフェース回路の設計手法、回路評価実験結果、性能の考察、および結論に関する全 6 章を日本語で報告したものである。

第 1 章は「序論」であり、本研究の背景技術について述べている。まず、従来の MEMS 分野における各種マイクロアクチュエータの原理と応用について背景技術を述べた後に、当該分野で急速に技術が拡充しつつある、マイクロメカニズムとその駆動・制御回路を融合した集積化 MEMS 技術の必要性について述べている。とくに、集積回路設計者が MEMS 設計を容易に実施するための汎用インターフェース回路の必要性について述べるとともに、本論文の目的と研究の意義、本研究の位置づけ、論文構成について説明している。

第 2 章は「MEMS 静電アクチュエータの駆動・変位検出に関する理論」であり、本研究の制御対象である静電駆動アクチュエータを電氣的 2 端子素子としてモデル化する手法について述べている。とくに、静電アクチュエータを平行平板モデルとして取り扱い、駆動電圧と変位の関係を定式化するとともに、実際に本研究で測定対象とする回転型のトーションミラー静電駆動機構へのモデル拡張方法を記述している。また、静電駆動アクチュエータに特有なプルイン現象、負のバネ定数効果、チャージアップ等の現象を説明し、これらの特徴を利用した駆動方法として、パルス幅変調によるアクチュエータ出力の制御方法を提案している。具体的には、二端子素子としての MEMS 静電駆動アクチュエータの変位出力、高速動作特性を劣化させずに実時間で変位を計測するための手法として、静電駆動アクチュエータに蓄積した電荷を、その機械的共振周波数以上のサンプリング速度で高速でモニタする新たな駆動・変位検出回路を提案している。さらに、この駆動手法の有効性を検証するために、光ファイバ通信に使われている静電駆動型のマイクロミラーを用いて、パルス幅変調により、ミラー角度をアナログ制御できることを実験的に示した。

第3章は「パストランジスタ回路による駆動・変位検出」であり、バースト電圧パルス列を静電駆動アクチュエータに時分割方式で印加し、また、アクチュエータの充放電電圧を高速でモニターするための電気回路をプリント基板を用いたパストランジスタ回路として設計・製作・評価した結果について述べている。特に、静電駆動型マイクロアクチュエータの静電容量は、通常フェムト・ファラッド程度と非常に小さいことから、プリント基板などを用いたディスクリート回路構成では、その浮遊容量の影響が非常に大きく、高精度の変位検出が困難であると述べており、本論文の第4章で説明している駆動・変位検出回路の集積回路化の必要性を示している。

第4章は「時分割駆動・変位計測インターフェース回路の集積化」であり、第3章の結果を受けて、静電駆動MEMSアクチュエータを駆動するためのバースト電圧パルス列を時分割で印加するインターフェース回路を $0.35\mu\text{m}$ および $0.6\mu\text{m}$ 設計ルール of CMOS回路として設計する手法と、予想される回路特性について述べるとともに、実際に試作した回路の電気的特性の測定結果と、このインターフェース回路を用いてMEMS静電駆動ミラーを駆動した実験結果について述べている。

第5章は「考察」であり、本論文が提案した時分割駆動・変位計測インターフェース回路に関して、駆動電圧、応答速度、負荷としてのMEMS静電容量の観点から、本方式の適用可能領域に関して理論的な考察を述べるとともに、回路の浮遊容量の影響、ノイズやチャージ・メモリ効果、消費電力に関する定量的な検証を行っている。

第6章は「結論」であり、本論文で示した成果を総括している。