

論文の内容の要旨

論文題目

Study of RF MEMS Switches Using PZT Thin Films For High Isolation and Low Voltage Actuation

和訳：PZT 積層膜を用いた RF MEMS スイッチの研究：高信号隔離特性および低電圧駆動設計

氏名 曹 俊 杰

本論文は、「Study of RF MEMS Switches Using PZT Thin Films For High Isolation and Low Voltage Actuation」（和訳：PZT 積層膜を用いた RF MEMS スイッチの研究（高信号隔離特性および低電圧駆動設計）に関する研究）と題し、英文で書かれている。

高周波（RF）回路において、MEMS スイッチは PIN ダイオードスイッチや FET トランジスタスイッチなどの半導体スイッチに比べて低い挿入損失、高い信号隔離特性、広い周波数帯で使用可能、という優れた特徴を有している。本論文はこの RF MEMS スイッチに、誘電、圧電特性に優れた PZT 積層膜を用いることによる挿入損失、信号隔離特性、および低電圧駆動特性の向上に関して述べたもので、全 7 章より構成される。

第 1 章は「Introduction」（序論）である。本章では現在の半導体スイッチにおける問題点と、将来有望な RF MEMS スイッチの研究開発動向についてまとめており、本論文の背景と目的を明確にしている。

第 2 章は、「Design of Electrostatically Actuated MEMS Switches」（静電で駆動されるスイッチの設計）と題している。本章では始めに PZT 膜の成膜について、Sol-Gel 方と Hybrid 法について検討し、成膜した PZT 膜の誘電特性がスイッチ応用に十分なものであることを実証した。続いて、PZT/HfO<sub>2</sub> 積層膜を用いた容量性接触方式のシャント抵抗型 MEMS スイッチの設計し、このスイッチの挿入損失、隔離特性および駆動電圧の理論解析と数値計算を行った。

第 3 章は、「Fabrications and Measurement」（製造と測定）と題している。前章で提案したデザインを元に PZT/HfO<sub>2</sub> 積層膜を用いたスイッチを MEMS 微細加工技術によって試作し、その特性を評価した。その結果、試作したスイッチが世界最高レベルの低挿入損失、高信号隔離特性を実現していることを実証した。さらにスイッチに用いた PZT/HfO<sub>2</sub> 積層膜の信頼性評価にも言及し、従来用いられた Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜に比べて圧倒的に高い信頼性を有することを実証した。

第 4 章は、「Design of Low Voltage Actuated Shunt MEMS Switches」（低電圧で駆動されるスイッチの設計）と題している。ここでは、RF MEMS スイッチの駆動電圧を低減可能なデバイスとして、容量性接触方式のシャント抵抗型 MEMS スイッチと PZT カンチレバーを集積したスイッチを提案した。理論解析と数値計算の双方によって、本章でデザインしたスイッチが RF 周波数 18GHz 以下で高隔離性能を示すことを実証した。

第5章は、「Fabrications and Measurement」（製造と測定）と題している。第4章でデザインしたスイッチをMEMS 微細加工技術によって試作し、3章で実証した低挿入損失、高信号隔離特性に加えて、低電圧駆動も可能であることを実証した。

第6章は、「Integration of RF MEMS Switches」（RF MEMS スwitchの集積化）と題している。信号線周囲の構造としてグランドシールド構造を提案し、数値解析によって信号の低損失化が可能であることを実証した。そしてこのグランドシールド構造を Au と Au の界面熱結合法を用いることで試作し、信号の低損失化を実験によって証明するとともに、この構造が RF MEMS スwitchと信号線の集積、およびスitch駆動部の保護にも有効であることを実証した。さらに、このような集積化が Single-Port-Double-Throw (SPDT) MEMS スwitchの実現に有効であることを数値計算によって実証した。

第7章は「Conclusions」（結論）であり、本論文の結論を述べるとともに、RF MEMS スwitchの将来動向に言及している。

以上のように本論文は、RF MEMS スwitchに誘電、圧電特性に優れた PZT 積層膜を用いることで、世界最高レベルの低挿入損失、高信号隔離特性、および低電圧駆動性を示すスitchが実現可能であることを理論解析、数値計算、実験によって提案・実証したものであって、精密工学上寄与するところが多い。