

論文の内容の要旨

論文題目 Development of MEMS electrostrictive actuator for flow control
(流体制御のための MEMS 電歪アクチュエータの開発)

氏名 アロンコン ピンピン

近年、流体制御分野へのマイクロアクチュエータの利用が注目されている。流体制御用アクチュエータには、大変形可能で、応答性にも優れ、高効率、かつ厳しい環境にも耐え得るものが要求される。しかし、従来のアクチュエータはこれらの要求を完全には満足していない。そこで本研究では、これらの条件をクリアするために、マイクロ電歪アクチュエータの設計・開発、及び作製手法の提案を行なう。

本研究で対象とする電歪アクチュエータは、二枚の変形可能な電極と、それらには含まれたエラストマー製の誘電体とで構成される。電場によるマクスウェル圧力によってエラストマーは伸縮し、座屈・変形を起こす。このように電場による力でシリコンエラストマーの大変形を達成するためには、柔軟性の高い電極が必要となる。しかし、MEMS プロセスに適した金属製の平板状の電極では柔軟性が失われる。そこで本研究では、小さな同心リングと4つの平行螺旋形状に金属をパタニングした電極を提案し、電極の柔軟性を確保した。この方法では、同じマクスウェル圧力で得られる変形量は大きくなるが、逆に総電極面積が小さくなることで、シリコンエラストマーにかかるマクスウェル圧力が小さくなってしまう。このトレードオフ問題を解決するために、主に電極の幅、電極のギャップ、シリコンの厚さの3つをパラメータとして、実験と数値計算(2次元ビーム有限要素解析)の両面から解析を行った。

まず、この新しいマイクロ電歪アクチュエータに適した誘電体及び電極の材料をテストした。テストされた材料の中で、誘電体材料としては SYLGARD186 シリコンが、電極材料としては金が最適であることが確認された。次に MEMS プロセスにより、厚さ 30-40 μm の誘電体のシリコンと厚さ約 0.1 μm の金の電極を用いて、直径 2 mm 及び 4 mm の電歪アクチュエータを試作した。これらアクチュエータを用いて一連の実験を行なうことにより、電極の幅、電極のギャップ、シリコン厚さの3つのパラメータが変形量に与える効果を調査し、さらにそれらの中で代表的なケースについて応答性を調査した上で、総合的に流体制御デバイスとしての能力を評価した。

実験の結果を以下にまとめる。1) 有限要素解析及び実験の結果によると、電極の幅とシリコン厚さとの比率は約 1 で、電極ギャップと電極の幅との比率が 0.2-0.4 の範囲内で最大の変形が得られる。また電極のギャップと幅との比を一定とした場合、電極直径が小さいほ

うが変形量が大きくなる。2) 最大約 $60 \text{ V}/\mu\text{m}$ の電場を印加した場合、直径 2 mm アクチュエータの最大変形量は約 $120 \mu\text{m}$ 、 4 mm アクチュエータの最大変形量は約 $170 \mu\text{m}$ となる。アクチュエータ直径に対する変形量の比は 0.06 である。この比率はピエゾアクチュエータより約 10 倍大きい。3) 製作されたアクチュエータは印加電圧に対して 1 ms 以下の応答性を持っている。また、作動周波数の範囲も広い。直径 2 mm アクチュエータの場合は 2 kHz 以上、直径 4 mm アクチュエータの場合は 1.3 kHz の周波数で作動する。4) 静電力を用いているため、原理的に消費エネルギーが小さい。本アクチュエータの場合は、駆動周波数 100 Hz で、約 1 mW の消費エネルギーである。高電圧を印加するので電流値は小さい。また、実験結果により、最大の効率は 29% である。5) 流体制御用アクチュエータの一つとして、空洞内に設けたキャビテイの下面に配置した膜を振動させることでオリフィス上部にジェットを作り出すデバイスがある。この振動膜として、本研究で開発した直径 4 mm アクチュエータを用いた場合、約 1.1 kHz の周波数で最大 0.4 m/s のジェットを生み出すことが出来る。

以上の結果により、金属をパタニングした柔軟な電極と誘電体シリコーンエラストマーを使用することで、本研究で開発されたマイクロ電歪アクチュエータは将来実用に資する可能性が示された。

(以上)