バイモルフ型静電マイクロアクチュエータの力特性

Dynamic Characteristics of a Bimorph Electrostatic Microactuator

深町 尚貴 (九州工業大学) 〇國本 悠司 (九州工業大学)

河本 祐樹 (九州工業大学) 正 安田 隆 (九州工業大学)

Naoki FUKAMACHI, Kyushu Institute of Technology, 2-4 Hibikino, Wakamatsu-ku, Kitakyushu

Yuji KUNIMOTO, Kyushu Institute of Technology

Yuuki KAWAMOTO, Kyushu Institute of Technology

Takashi YASUDA, Kyushu Institute of Technology

Four types of bimorph electrostatic microactuators having different structure and size were fabricated and tested. They consist of bimorph structure beams made of poly-Si and Au/Cr, and their performance is achieved by using several beams connected in series and bending them sequentially with electrostatic force. Forces generated by the microactuators were measured with a Si cantilever and a laser displacement meter. The relationship between applied voltage and generated force showed that the actuator which had longer beams located closer to a substrate generated larger force by applying lower voltage.

Keywords: Electrostatic microactuator, Low voltage, Large deflection, Bimorph structure, Force measurement

1. はじめに

筆者らは、Au/poly-Si バイモルフ構造を有する複数の beam をスパイラル状に接続することで、10V 程度の低電圧で大変形可能な静電マイクロアクチュエータを作製した^[1]。さらに、出力部分が中心にあるため外部への出力が困難であった構造を改良し、beam の組み合わせを変更することで外部出力を容易にしたマイクロアクチュエータを考案した^[2]。本講演では、このマイクロアクチュエータの発生力を力測定用の片持ち梁とレーザ変位計により測定した結果を報告するとともに、この結果を考察することにより低電圧で大きな発生力を得るのに必要なアクチュエータの構造などについて議論する。

Fig. 1 Structure of two types of electrostatic microactuators.

2. 構造と動作原理

Fig.1 に、外部出力を容易にしたアクチュエータの構造と寸法を示す。Fig.1(a)の Type 1 は、長さが徐々に短くなる beam を組み合わせ、中心部分で折り返し、長さが徐々に長

くなる beam を組み合わせた構造を有する。また、Fig.1(b)の Type 2 は、電極部分を中心にし、長さが徐々に長くなる beam をスパイラル状に組み合わせた構造を有する。それぞれのアクチュエータにおける全ての beam は同じ構造をしており、poly-Si 薄膜から成る真直梁部(Straight beam)と poly-Si 薄膜上に Cr 薄膜と Au 薄膜が成膜されたバイモルフ構造から成る曲り梁部(Curved beam)で構成される。曲り梁部は、初期状態において poly-Si 薄膜と Au 薄膜の残留応力の違いにより上方に反り上がっている。

これら 2 種類のアクチュエータは、以下のような原理で動作する。基板に固定された電極(Electrode)から伸びた 1st beam と基板間には初期状態において非常に小さな隙間が構成されているため、低い電圧を印加しても大きな静電力が発生し、それにより 1st beam は基板に接触するまで変形する。1st beam が基板に接触することで、2nd beam と基板間に非常に小さな隙間が構成されるので、ほぼ同じ低電圧で 2nd beam を変形させることができる。以下同様にして、全ての beam を変形させることができ、全体として大きな変位量を得られる。

3. 力測定の原理

Fig. 2 Experimental setup for force measurement.

力測定の模式図を Fig.2 に示す。アクチュエータの出力部分の下に、Si で製作した片持ち梁を挿入する。アクチュエータに電圧を印加すると、静電力によって片持ち梁が歪み、その歪み量をレーザ変位計で計測する。その歪み量から以下の式を使って力 F を算出する。

$$F = \frac{6E \cdot I_z}{2L^3} y$$

ただし、 E は Si のヤング率、 I_z は断面二次モーメント、 L は片持ち梁の長さ、 y は片持ち梁の先端の歪み量である。

4. 力特性の計測実験

Type 1 と Type 2 のそれぞれについて寸法が異なる 2 種類のアクチュエータを製作し、合計 4 種類のアクチュエータの発生力を測定した。Fig.3 に、その結果を示す。印加電圧を上げていくと、7 V 程度までは全てのアクチュエータの発生力は電圧に比例して上昇したが、7 V を超えると寸法 1500 μm の Type 2 の発生力のみが急激に増大し、20 V 程度以下の低電圧においてこのアクチュエータのみが他よりも大きな力を発生した。以降では、この原因を考察する。

Fig. 3 Applied voltage vs. generated force.

無負荷状態において全ての beam が基板に接触するまで変形するのに必要な電圧を調べると、Table 1 の結果となった。寸法 1500 μm の Type 2 は最も低い電圧で変形できるため、力測定のための負荷を加えた場合でも低電圧で変形しやすく、その結果として大きな力を発生する。しかし、寸法 720 μm の Type 1 と寸法 1200 μm の Type 2 も無負荷状態では同程度の電圧で変形するため、これだけでは Fig. 3 のような大きな違いが得られた理由を説明できない。

Table 1 Required voltage in case of no-load actuation.

Actuator type	Actuator size, L	Required voltage
1	1080 μm	26.0 V
1	720 μm	16.2 V
2	1500 μm	15.9 V
2	1200 μm	18.4 V

さらに詳細に原因を解明するために、電圧印加前における各 beam 先端と基板との距離を計測した (Fig. 4)。Type 2 では、4th beam と 8th beam の先端は 1st beam を除く他の全ての beam 先端よりも基板に極めて近い位置にある。したがって、電圧を印加すると、1st beam から先端に向かって beam が順番に変形するのではなく、1st beam が基板に接触した後は 4th beam と 8th beam が他の beam よりも先に基板に接触するものと考えられる。したがって、寸法 1500 μm の Type 2 は比較的低い電圧でも 8th beam を基板に接触させることが可能であり、これが低電圧における大きな発生力につながる。寸法 1200 μm の Type 2 の場合も 8th beam が基板からほぼ同じ距離にあるが、beam の長さが短く変形し

難いために、低い電圧では 8th beam を基板に接触させられなかったものと思われる。また、寸法 720 μm の Type 1 の場合は、10th beam の先端が基板に近く配置されているが、Type 2 の二つのアクチュエータよりもさらに beam が短いために、低い電圧では変形し難く大きな力を発生できなかったものと思われる。

Fig. 4 Gap between tips of beams and a substrate.

なお、Type 2 の 4th beam が 2nd beam や 3rd beam より基板に近い位置に配置されるのは、2nd beam が傾いていることに起因する。Fig. 5 は、1st beam から 4th beam までを、1st beam 側からと 4th beam 側から見た図である。2nd beam の傾きによって、3rd beam と 4th beam の先端が 2nd beam 先端より基板に近付くことが分かる。Type 1 でも同様のことが生じているが、その影響は Type 2 よりも小さい。

Fig. 5 Side views of an actuator composed of 4 beams.

5. まとめ

構造と寸法が異なる 4 種類の静電マイクロアクチュエータについて力計測を行い、印加電圧と発生力の関係を調べた。その結果、低電圧で大きな力を発生させるためには、低電圧で大きな変形量が得られるような構造と寸法が必要であることが分かった。すなわち、基板からの距離が短く、なるべく長い beam を持つアクチュエータは、駆動電圧が低くなるため、低電圧で大きな発生力を得ることが可能である。今後は、さらに駆動電圧を低くすることで、さらに低電圧で大きな発生力を得ることができるアクチュエータを実現する。

参考文献

- [1] Yuuki Kawamoto *et al.*, "Electrostatic Microactuator with Au/poly-Si Bimorph Structure," Proceedings of the 21st Sensor Symposium, pp. 43-46, 2004.
- [2] 深町尚貴ら, "マイクロロボットのための静電マイクロアクチュエータの特性評価," 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2A1-N-090, 2005.