

K-65

## 静電モータの低消費電力化に向けた蒸着材料の検討

### Study on Vapor Deposition Material for Power Consumption Drop of Electrostatic Motor

○石川真聡<sup>1</sup>, 伊藤徳高<sup>1</sup>, 山田哲之<sup>1</sup>, 長田元気<sup>2</sup>, 水本明日也<sup>2</sup>, 平尾聡志<sup>2</sup>, 武井裕樹<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>4</sup>  
 \*Masato Ishikawa<sup>1</sup>, Hotaka Ito<sup>1</sup>, Noriyuki Yamada<sup>1</sup>, Genki Osada<sup>2</sup>, Asuya Mizumoto<sup>2</sup>, Satoshi Hirao<sup>2</sup>, Yuki Takei<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>4</sup>

Abstract: In this paper, the authors considered the vapor deposition material for the purpose of lowering the power consumption of the electrostatic motor. The electrostatic motor can move a leg of Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) microrobot by receiving 60V from the silicon PV cell array. The parameters to consider for lowering the power consumption are electrical resistance of materials and material evaporation rate during deposition. The parameters were calculated based on a simple model of the electrostatic motor. The results show that silver is the best material for the lowering the power consumption.

#### 1. はじめに

スマートフォンの内臓カメラのレンズ駆動部やインクジェットプリンターのノズル, 内視鏡の先端部など様々な電子機器にアクチュエータは搭載されている。アクチュエータの高出力化や小型化, 低消費電力化は電子機器の性能の向上に繋がる。小型化においては, Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)を用いた研究が多く行われている<sup>[1]</sup>。低消費電力化においては, MEMSを用いた研究が多く行われている<sup>[2]</sup>。

我々は MEMS 技術を用いて静電モータの開発を行っている。先に我々は, 2.2mm×2.5mm の静電モータを開発した。静電モータの消費電力は約 1.0mW で 1.5mN の出力と 250 $\mu$ m の変位を得た。本論文では, 静電モータの低消費電力化に向けて, 蒸着材料の選定を行った。材料の電気抵抗値と蒸発速度を蒸着材料ごとに比較したので報告する。

#### 2. 静電モータの構成

Figure1 に静電モータを示す。電極として  $V_1$ ,  $V_2$ , GND を設置した, Figure2 に静電モータの断面図を示す。静電モータは SOI ウエハを MEMS 技術で加工した。SOI ウエハの各層の厚さは Si デバイス層が 40 $\mu$ m, 絶縁層が 2 $\mu$ m, Si ハンドル層が 550 $\mu$ m である。電極と配線を作製するために, Si デバイス層上に厚さ 100nm の Al を蒸着させる。蒸着時は  $1.0 \times 10^{-2}$  [Pa] の真空中で蒸着材料の Al を 1283K まで加熱し, 蒸発させ, 基板上に付着して薄膜を作製する。また, 配線は Si デバイス層の表面を加工し, Al が蒸着された配線部分と Si ハンドル層を電氣的に分離した。

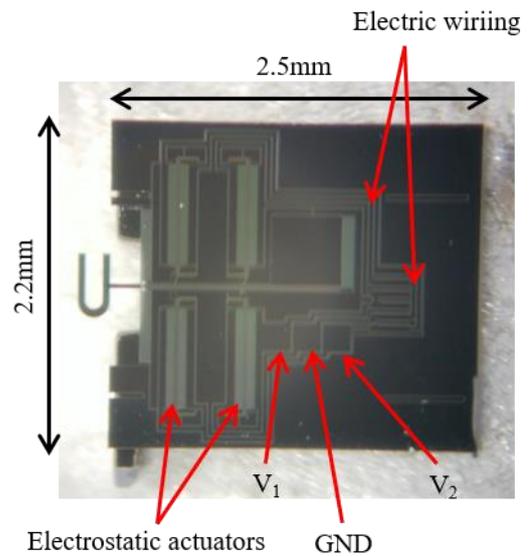


Figure1. Electrostatic motor

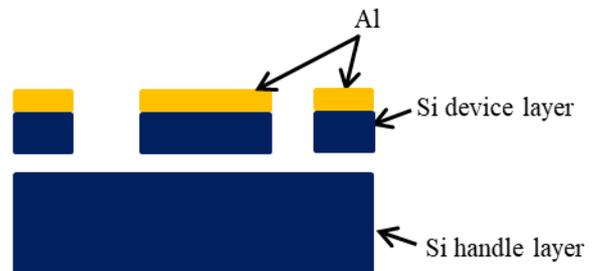


Figure2. Cross section of electrostatic motor

#### 3. 静電モータの各蒸着材料ごとの電気抵抗値

抵抗率は  $1\text{m}^3$  当たりの抵抗値を表しており, 抵抗率が小さい蒸着材料を使用することで, 静電モータの低消費電力化が期待できる。真空蒸着法で用いられる材料は単一金属が多い。一般的に, 希土類の Sc や Y, チタン系の Hf, Zr, La, Ti, 土酸金属の Ce, Nb, Ta, V,

1: 日大理工・学部・精機 2: 日大理工・院(前)・精機 3: 日大理工・院(後)・精機 4: 日大理工・教員・精機

クロム系の Mo, Cr, Pr, W, マンガン系の Mn, Nb, Re, 鉄系の Fe, Co, Ni, 白金系の Rh, Pd, Ir, Pt, 銅系の Ag, Au, Cu, 亜鉛系の Hg, Tb, Zn, 土類金属の Al, Dy, In, Tl, スズ系の Ho, Pb, Sn が用いられる。本論文では静電モータの低消費電力化に向けて蒸着材料を検討するために、抵抗率 10Ωm 以下の材料から選定をした。Table1 に選定した材料の抵抗率及び、各蒸着材料の電気抵抗値の計算結果を示す。また、電気抵抗値は式(1)より求めた。式(1)の  $\rho[\Omega\text{m}]$  は抵抗率、 $L[\text{m}]$  はモデルの縦の長さ、 $H[\text{m}]$  はモデルの幅、 $t[\text{m}]$  はモデルの厚さである。静電モータ内の配線の寸法より、縦の長さ 4.0mm, 横の幅 0.04mm, 厚さ 100nm の直方体のモデルを想定する。

$$R = \frac{\rho L}{Ht} \quad (1)$$

Table1. Resistivity of Vapor Deposition Materials

Vapor Deposition Materials	Resistivity $\rho[\Omega\text{m}] \times 10^{-8}$	Resistance Value $R[\Omega]$
Ag	1.63	16.3
Al	2.67	26.7
Au	2.2	22.0
Co	6.34	63.4
Cu	1.694	16.9
In	8.8	88
Ir	5.1	51
Mo	5.7	57
Ni	6.9	69
Rh	4.7	47
W	5.4	54
Zn	5.96	59.6

Table1 より, Al と比較して電気抵抗値が小さい蒸着材料は, Ag, Au, Cu である。

#### 4. 各蒸着材料の蒸発速度

蒸着材料の蒸発速度が速いほど、電気抵抗値は小さくなる。よって、各蒸着材料の蒸発速度を比較する。式(2)に蒸気圧 133 Pa 以下の場合の単一金属の蒸発速度の理論式を示す。また、式(2)の計算結果を Table2 に示す。  $F[\text{g}/\text{cm}^2\text{s}]$  は蒸発速度、  $T[\text{K}]$  は材料の温度、  $P[\text{Pa}]$  は温度  $T[\text{K}]$  における蒸気圧であり、ここでは高真空の  $1.0 \times 10^{-2} [\text{Pa}]$  とした。  $M$  は蒸発材料の原子量とする。今回  $T[\text{K}]$  を蒸発し始めるときの温度とした。

$$F = 5.84 \times 10^{-2} \times P \times \left(\frac{M}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Table2. Evaporation Rate of Vapor Deposition Materials

Vapor Deposition Materials	Atomic weight M	Temperature T[K]	Evaporation Rate of Vapor $F[\text{g}/\text{cm}^2\text{s}] \times 10^{-4}$
Ag	107.9	957	1.961
Al	26.98	1283	0.8469
Au	197	1405	2.187
Co	58.93	1473	1.168
Cu	63.55	1290	1.296
In	114.8	1015	1.964
Ir	192.2	2653	1.572
Mo	95.95	2390	1.170
Ni	58.69	1535	1.142
Rh	102.9	1980	1.331
W	183.8	3030	1.438
Zn	65.38	523	2.065

Table2 より, Al と比較して蒸発速度が速い蒸着材料は, Ag, Au, Co, Cu, In, Ir, Mo, Ni, Rh, W, Zn である。よって、各蒸着材料の電気抵抗値と蒸発速度を考慮すると、Al より静電モータの低消費電力化を期待できる蒸着材料は Ag である。

#### 5. まとめ

Table1 より、Al と比較して電気抵抗値が小さい蒸着材料は、Ag, Au, Cu である。Table2 より、Al と比較して蒸発速度が速い蒸着材料は、Ag, Au, Co, Cu, In, Ir, Mo, Ni, Rh, W, Zn である。以上より、静電モータの低消費電力化が期待できる蒸着材料は Ag である。今後、Ag と基板との密着性や Ag の腐食性等の検討を行う。

#### 6. 参考文献

- [1] 鈴森康一, 川原伸章 : 「マイクロアクチュエータ」, 電子学会論文誌 E, Vol.122, No.12, pp.555-559, 2002
- [2] 森村浩委, 島村俊重, 桑原啓, 小野一善, 町田克之 : 「集積化 CMOS-MEMS 技術とその応用」, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J95-C, No.8, pp.175-182, 2012