

K-32

昆虫型マイクロロボット用の触覚センサの基礎的検討

Basic Study on Tactile Sensor for Insect-Type Microrobot

○石川真聡¹, 伊藤穂高¹, 山田哲之¹, 水本明日也¹, 長田元気¹, 森下克幸¹, 武井裕樹², 齊藤健³
 *Masato Ishikawa¹, Hotaka Ito¹, Noriyuki Yamada¹, Genki Osada¹, Asuya Mizumoto¹, Katsuyuki Morishita¹, Yuki Takei², Ken Saito³

Abstract: Insects are capable of highly autonomous activities because they have excellent elements such as the brain, muscles, sensory organs, and energy sources. We have previously developed an insect type Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) microrobot with actuators and control circuit. Furthermore, we succeeded in getting it to walk. For microrobot to perform autonomous movements in response to the external environment, it is necessary to develop sensors that play the role of the tactile sensation and eyes of insects. Therefore, we conducted a basic study and design of the tactile sensor for an insect type MEMS microrobot.

1. はじめに

マイクロロボットは小型な体を用いて、狭い空間の移動や検査をおこなうことが期待されている。災害現場において、瓦礫の隙間に潜入して探索を行うことや医療分野において、人間の体内の検査を行うことなど、マイクロロボットに高い自律性が求められている。そのため、マイクロロボットの研究の多くは小型でありながら高度な自己制御を行う昆虫を模倣している^[1]。昆虫はミリメートルサイズの管体に体を制御する脳、体を動かす筋肉、外部環境を認識する触覚や目等の感覚器官、体を動かすために必要なエネルギー源を搭載している。

我々は自律駆動が可能なマイクロロボットの実現に向けて、マイクロロボットに制御回路やアクチュエータ、センサ、電源の搭載を目指している。これまでに、Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)技術を用いてミリメートルサイズのマイクロロボットを開発した^[2]。マイクロロボットが外部環境に応じて自律駆動をおこなうためには、昆虫の触覚や目の役割を果たすセンサの開発が必要である。本論文では、マイクロロボット用の触覚センサを設計し、障害物検知に利用する基礎的検討を行ったので報告する。

2. 触覚センサの設計

Figure1 に設計した触覚センサを示す。触覚センサは、カンチレバー、電極 V_1 , V_2 、可動接点、固定接点から構成した。触覚センサはマイクロロボットの上部に搭載することを想定している。Figure2 に触覚センサ搭載時の昆虫型マイクロロボットの概略図を示す。カンチレバーの先端が障害物に触れることで、カンチレバー

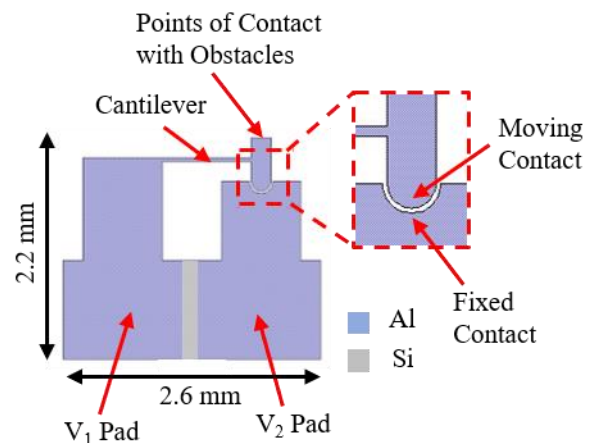


Figure1. Tactile sensor

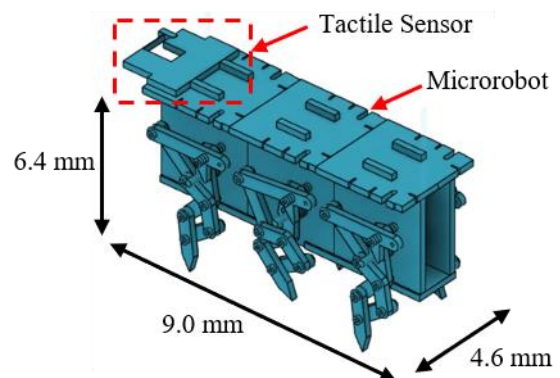


Figure2. Insect type microrobot equipped with tactile sensor

がたわみ、触覚センサの可動接点と固定接点が接触する。可動接点と固定接点の接触により、触覚センサが導通する。導通の有無により障害物に接触しているかどうかを判断する。触覚センサは、Si ウエハを MEMS 技術を用いて加工する。

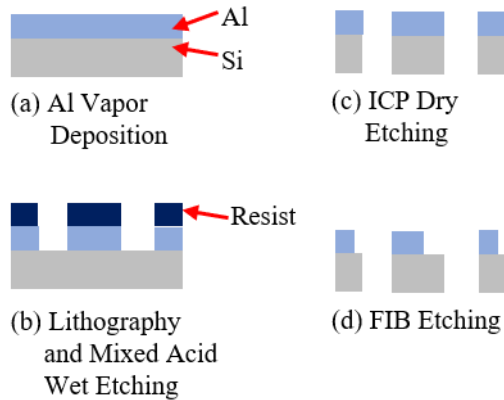


Figure3. Process flow of tactile sensor

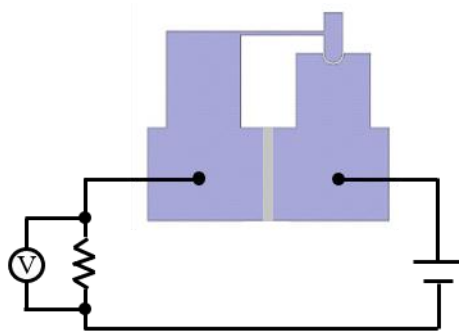


Figure4. Evaluation circuit

Figure3 に触覚センサの作製プロセスを示す. Si ウエハ基板上に Al を 100 nm 蒸着させ, リソグラフィを行う. その後混酸ウエットエッチングを行う. 次に, ICPドライエッチングにかけ Si の厚み分である 200 μm を垂直に削る. その後, FIB を用いて Al の厚み分である 100 nm を垂直に削る. 以上の作製プロセスにより, 触覚センサの固定接点と受動接点の絶縁性の確保及び配線の作製が可能となる.

3. 測定方法

障害物に接触した際, 触覚センサの導通により, 触覚センサから電圧が出力される. 触覚センサへの入力電圧に対する出力電圧の比を求めることにより, 触覚センサを制御する回路の設計が可能になる. Figure4 に触覚センサ導通時に出力電圧を計測する評価回路の概略図を示す.

4. 触覚センサの導通条件

触覚センサが障害物に接触した際に, 以下に示す二つの条件を満たした場合, 可動接点と固定接点が導通する. 一つ目の条件は, カンチレバーのたわみ y が可

動接点と固定接点の距離 d よりも大きいことである. 二つ目の条件は, カンチレバーに入力される力 F がカンチレバーの復元力 P よりも大きいことである. y は式(1)より求めた. ここで, L はカンチレバーの長さ, E はヤング率, h はカンチレバーの厚さ, b はカンチレバーの幅である. また, P は式(2)より求めた.

$$y = \frac{4FL^3}{Ehb^3} \quad (1)$$

$$P = \frac{Ehb^3}{4L^3} d \quad (2)$$

F はマイクロロボットの移動速度 v と質量 M から運動量保存の式を導き式(3)より求めた.

$$F = \frac{Mv^3}{d} \quad (3)$$

検討の結果, $M = 207 \text{ mg}$, $v = 5.9 \text{ mm/min}$, $L = 1000 \mu\text{m}$, $b = 20 \mu\text{m}$, $d = 30 \mu\text{m}$ の場合, $y = 69 \mu\text{m}$, $P = 1.56 \text{ mN}$, $F = 4.80 \text{ mN}$ と求まり, 導通を確保するための条件を満たすことが確認できた. ただし, カンチレバーの長さや幅などの寸法はマイクロロボットへの搭載を考慮した.

5. まとめ

昆虫型マイクロロボット用の触覚センサを設計し, 障害物検知に利用する基礎的検討を行った. 触覚センサが物体との衝突を検出するために必要な力の計算の結果, 設計した触覚センサは, 障害物の検知が可能であることを示した. 今後は, 設計した触覚センサを作製し, 出力電圧の測定を行う予定である.

6. 参考文献

- [1] D. Vogtmann, R. S. Pierre, and S. Bergbreiter, : "A 25 MG Magnetically Actuated Microrobot Walking at > 5 Body Lengths / sec", IEEE 30th International Conference on MEMS, 2017
- [2] K. Saito, D. S. Contreras, Y. Takeshiro, Y. Okamoto, Y. Nakata, T. Tanaka, S. Kawamura, M. Kaneko, F. Uchikoba, Y. Mita, and K. S. J. Pister, : "Study on Silicon Device of Microrobot System for Heterogeneous Integration", ICEP, 2018