

## 圧電素子型 MEMS マイクロロボット用ニューロンモデルの IC 設計

## IC Design of Neuron Model for Piezoelectric Element Type MEMS Microrobot

○石原優毅<sup>1</sup>, 内藤友香<sup>1</sup>, 多谷大樹<sup>1</sup>, 岡根佑樹<sup>1</sup>, 奥大純<sup>1</sup>, 高藤美泉<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 齊藤健<sup>3</sup>

\*Yuki Ishihara<sup>1</sup>, Yuka Naito<sup>1</sup>, Masaki Tatani<sup>1</sup>, Yuki Okane<sup>1</sup>, Hirozumi Oku<sup>1</sup>, Minami Takato<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>, Ken Saito<sup>3</sup>

This paper presents the neuron model which could generate the driving waveform of piezoelectric element type micro electro mechanical systems (MEMS) microrobot. The microrobot was made from silicon wafer fabricated by MEMS technology. The fabricated robot was 4.0, 4.6, 3.6 mm, width, length, height in size. The mechanical system of the robot equipped with millimeter size rotary-type actuators, link mechanisms and six legs. The rotary-type actuator drove by neuron model realized by the bare chip. Neuron model has the same basic features of biological neurons. Therefore, neuron model outputs the driving waveform using electrical oscillation such as biological neuron. As a result, we showed that neuron model could generate the driving waveform for the rotary-type actuator of piezoelectric element type MEMS microrobot without any software programs.

## 1. はじめに

様々な分野での活躍が期待されるマイクロロボットは、さらなる小型化や高機能化が必要である<sup>(1)</sup>。小型化において、既存の加工技術では限界があり、MEMS 技術を用いた開発が報告されている<sup>(2)</sup>。

現在のマイクロロボットの制御はソフトウェアプログラムによる制御が一般的である。しかし、プログラムによる制御法では、記述されていない状況への対応が困難である。一方、生物は脳の構成要素であるニューロンの相互結合によりニューラルネットワークを構築し、ニューロンやシナプスによる情報伝達を用いて優れた情報処理を行っている。そこで、生物を模倣して柔軟で優れた情報処理機能を実現する研究が行われている。

本稿では、圧電素子型 MEMS マイクロロボットの駆動回路を、ニューロンモデルを用いてロボットに実装可能なサイズで構成した。その結果、3.2×4.9 [mm]のサイズの駆動回路でアクチュエータの駆動が可能であることを明らかにしたので報告する。

## 2. MEMS マイクロロボット

Figure 1. に圧電素子型 MEMS マイクロロボットを示す。MEMS マイクロロボットは圧電素子型アクチュエータおよび脚部から構成した。各構成要素はシリコンウェハを微細加工し、4.0×4.6×3.6 [mm]の MEMS マイクロロボットを構成した。

MEMS マイクロロボットの歩行動作は圧電素子型アクチュエータ内部のロータの回転運動により

生成した。圧電素子を変位方向に振動させ、取り付けしたインパクトヘッドがロータを叩くことで回転運動を行う。この回転運動をリンク機構で構成した脚部へと伝達することで、6 足歩行を実現した。

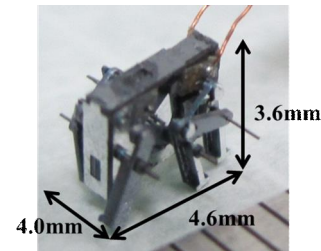
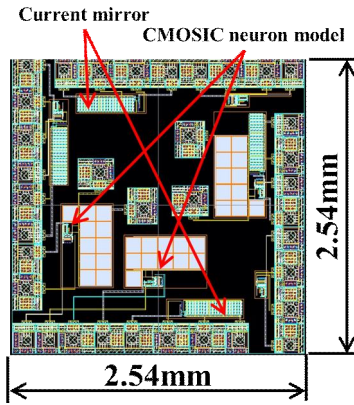


Figure 1. Fabricated MEMS microrobot

## 3. 圧電素子型 MEMS アクチュエータの駆動回路

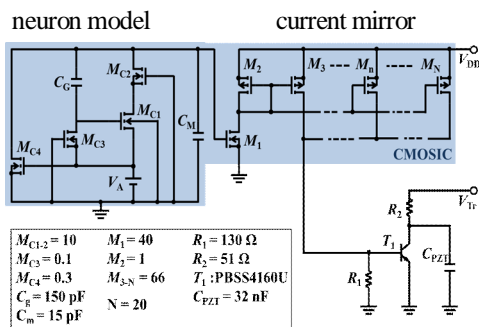
ニューロンモデルは、パルス波形を出力する生物のニューロンをアナログ電子回路でモデル化したものである。ニューロンモデルは生物のニューロンにおける細胞体の特徴である不応期、閾値および活動電位を持つ。ニューロンモデルは時間的に変化する負性抵抗回路と等価インダクタおよびコンデンサからなる発振器であり、電源電圧  $V_A$  により  $C_M$  の両端電圧を出力とした周期的な発振動作を行う。

ニューロンモデルからの出力はインピーダンス調整のためカレントミラーを介し周辺回路に出力する。ニューロンモデルおよびカレントミラーを Figure 2. に示すレイアウトで 0.35 [μm] デザインルールを用いて 2.54 [mm] 角のベアチップサイズで CMOSIC 化を行った。

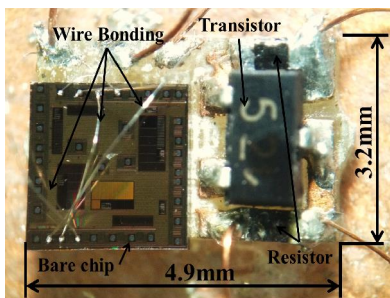


**Figure 2.** Example of layout pattern of the CMOSIC  
 圧電素子型 MEMS アクチュエータの駆動回路は、  
 Figure 3.に示したニューロンモデルおよびカレント  
 ミラーを実装したベアチップと FR4 基板、抵抗およ  
 びトランジスタで構成した。Figure 3.の青枠に示す  
 ように、ニューロンモデルとカレントミラーを各電  
 源およびグラウンドを除いて CMOSIC 化を行った。

実際に作製した駆動回路を Figure 4.に示す。作製  
 をおこなった駆動回路は 3.2×4.9 [mm]であり、  
 MEMS マイクロロボットへの実装が可能な大き  
 さである。



**Figure 3.** The driving circuit for actuator

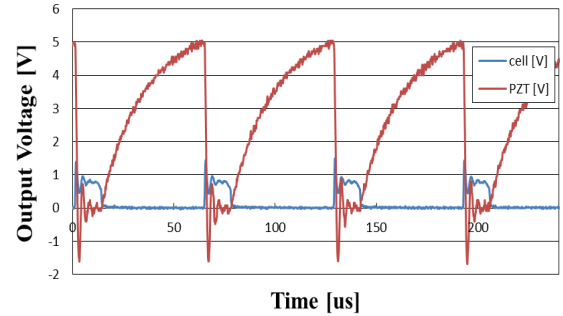


**Figure 4.** Photograph of the fabricated driving circuit

#### 4. 駆動回路によるアクチュエータの回転動作

駆動回路を圧電素子型 MEMS アクチュエータに

接続し、回転動作の生成を行った。回転動作時のニューロンモデルの出力および圧電素子の印加電圧の波形を Figure 5.に示す。ニューロンモデル、カレントミラーおよびトランジスタの電源電圧がそれぞれ  $V_A = 2.67 \text{ [V]}$ ,  $V_{DD} = 2.20 \text{ [V]}$ ,  $V_{Tr} = 6.00 \text{ [V]}$ の場合にロータの回転動作が得られた。



**Figure 5.** Output waveform while rotary motion

#### 5. まとめ

本論文では、CMOSIC ニューロンモデルにより圧電素子型 MEMS マイクロロボットの歩行動作を実現する回路を開発し、駆動波形の生成を行った。その結果、ベアチップを用いてロボットに実装可能なサイズである 3.2×4.9 [mm]の駆動回路を開発し、MEMS マイクロロボットの圧電素子型 MEMS アクチュエータの回転動作が可能であることを明らかにした。今後は圧電素子インパクト型 MEMS アクチュエータに脚部を接続した MEMS マイクロロボットに駆動回路を実装し、ロボットの歩行動作の実現を目指す。

#### 6. 参考文献

[1]M.K.Habib : "Biomimetics robot: from bio-inspiration to implementation", proc.of 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.143-248, 2007  
 [2]E. Edqvist, N.Snis, and R.C. Mohr, et al.: "Evaluation of building technology for mass producible millimeter-sized robots using flexible printed circuitboards", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.19, No.7, p.11, 2009  
 [3]Farahani, A.A. Suratgar, A.A. Taalebi, H.A. : "Dynamics model and control of underwater fish-like micro mobile robot with PZT actuator", First RSI/ISM International Conference on Robotics and Mechatronics, 437-442, 2013