

**圧電素子型 MEMS マイクロロボットの駆動波形を出力する  
パルス形ハードウェアニューロンモデルの IC 設計**  
**IC Design of Pulse-Type Hardware Neuron Model Which Outputs  
the Driving Waveform of Piezoelectric Element Type MEMS Microrobot**

○石原優毅<sup>1</sup>, 杉田和貴<sup>1</sup>, 多谷大樹<sup>1</sup>, 奥大純<sup>1</sup>, 高藤美泉<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>2</sup>, 齊藤健<sup>2</sup>  
 \*Yuki Ishihara<sup>1</sup>, Kazuki Sugita<sup>1</sup>, Masaki Tatani<sup>1</sup>, Hirozumi Oku<sup>1</sup>, Minami Takato<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>2</sup>, Ken Saito<sup>2</sup>

Abstract: This paper presents the IC which could output a driving waveform of the piezoelectric element type micro electro mechanical systems (MEMS) microrobot. The microrobot was made from silicon wafer fabricated by micro fabrication technology. The fabricated robot was  $4.0 \times 4.6 \times 3.6$  mm in size. Pulse-type hardware neuron model (P-HNM) has the same basic features of biological neurons and generates the pulse waveform. In this paper, we showed that the P-HNM which outputs the driving waveform for the piezoelectric element type actuator could design as bare chip IC. As a result, we showed that P-HNM with driving circuit could generate the driving waveform of piezoelectric element type MEMS actuator.

### 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>。しかし既存の加工技術では限界があり、小型化に向けて MEMS 技術を用いたロボット開発や素材の特性を利用したアクチュエータが報告されている<sup>[2][3]</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、プログラム制御では、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 マイクロロボットに使用する圧電素子を利用したアクチュエータ（以後、圧電素子型 MEMS アクチュエータ）の駆動波形を出力する回路を、パルス形ハードウェアニューロンモデル（P-HNM）により構成し IC として設計したので報告する。

### 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 MEMS 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、 $4.0 \times 4.6 \times 3.6$  [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 MEMS 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。

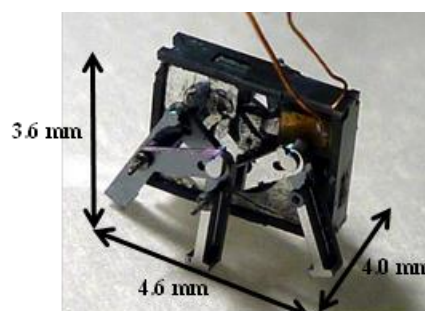


Figure 1. Fabricated MEMS microrobot.

### 3. P-HNM の CMOSIC 設計

P-HNM 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。P-HNM 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。

Figure 2 に P-HNM の基本回路図を示す。P-HNM は時間的に変化する負性抵抗回路、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。

Figure 3 に CMOSIC として設計した P-HNM のレイアウトを示す。CMOS 0.8  $\mu\text{m}$  のルールで CMOSIC 化を行い、2.5 mm 角のペアチップを作製した。

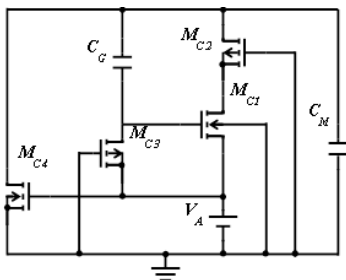


Figure 2. The circuit diagram of the P-HNM.

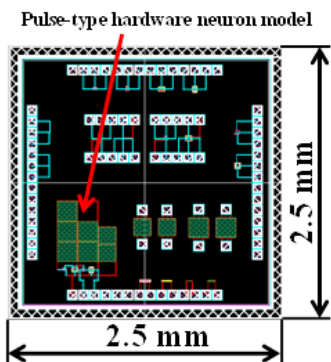


Figure 3. The layout pattern of the P-HNM as the CMOSIC.

#### 4. P-HNM の測定結果

Figure 4 に設計した P-HNM の周波数帯域のシミュレーション結果および実測結果を示す。

作製した圧電素子型 MEMS アクチュエータは、10 kHz~30 kHz, Duty 比 50 % 程度のパルス波形にて駆動を確認した。そこでシミュレーション結果を基に、レイアウト時にはゲート容量、配線容量などの寄生容量を考慮して設計した結果、作製した CMOSIC はアクチュエータの動作に最適な周波数にて発振が可能であることを明らかにした。

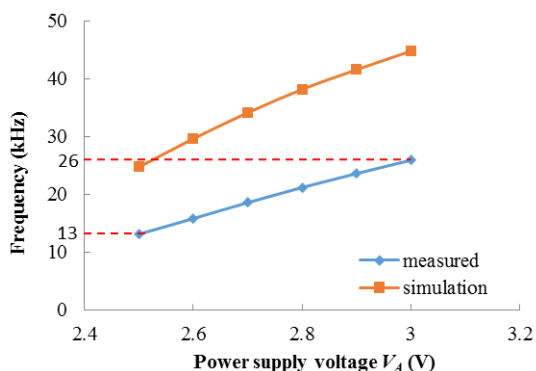


Figure 4. The frequency characteristic of the P-HNM.

#### 5. 圧電素子型 MEMS アクチュエータの駆動回路

IC の出力では駆動に十分な出力を得られないため、周辺回路を設計した。Figure 5 に圧電素子型 MEMS アクチュエータの駆動回路の回路図を示す。駆動回路は

CMOSIC 内部の P-HNM (図中青枠内) および周辺回路により構成される。周辺回路は演算増幅器  $O_1$ , トランジスタ  $T_1$  および抵抗  $R_1$  により構成される。

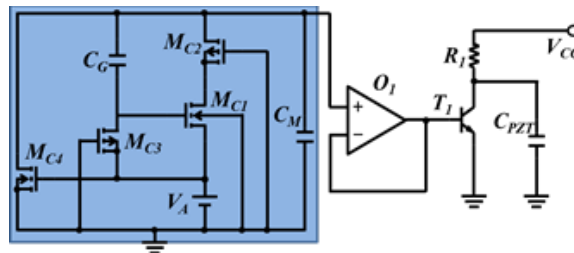


Figure 5. The circuit diagram of driving circuit for piezoelectric element type MEMS actuator.

#### 6. まとめ

本論文では、P-HNM により圧電素子をアクチュエータに使用した圧電素子型 MEMS マイクロロボットの歩行動作を生成する回路の CMOSIC 設計について検討をおこなった。その結果、作製した CMOSIC は圧電素子型 MEMS アクチュエータの駆動波形を出力可能であることを明らかにした。

#### 7. 謝辞

本研究は科研費(25420226), 日本大学学術研究助成金(総 14-002), 日本大学理工学部プロジェクト研究の助成を受けたものである。また、日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けた。また、本研究は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し、日本ケイデンス株式会社, シノプシス株式会社, メンター株式会社, オンセミコンダクター新潟(株), 凸版印刷(株), および京セラ(株)の協力で行われたものである。

#### 8. 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, pp143-248, 2007.
- [2] E. Edqvist, N.Snis, and R.C. Mohr, et al.: “Evaluation of building technology for mass producible millimeter-sized robots using flexible tinted circuitboards”, Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol.19, No.7, p11, 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, pp437-442, 2013.