

# スパイクタイミングに依存してコンダクタンスが変化する メモリスタ神経デバイス

A memristor-based synaptic device having spike timing dependent plasticity

赤穂 伸雄  
Nobuo Ako

浅井 哲也  
Tetsuya Asai

雨宮 好仁  
Yoshihito Amemiya

北海道大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

## 1 まえがき

近年、メモリスタを神経ネットワークハードウェアにおけるシナプスとして用いる試みが盛んに行われている[1,2,3]。本稿では、スパイクタイミングに依存してコンダクタンスが変化するメモリスタ神経デバイスを提案する。具体的には、メモリスタと少数のMOSFETおよびキャパシタを用いて、シナプス前ニューロンとシナプス後ニューロンの発火タイミングの差 ( $\Delta t \equiv t_{pre} - t_{post}$ ) によりシナプス結合重みが増加 ( $\Delta t \leq 0$  の時に結合重みが増加) するような学習回路を提案する。

## 2 提案デバイス

図1に提案するシナプスデバイスの構成を示す。 $V_{pre}$ ,  $V_{post}$  はそれぞれシナプス前、後ニューロンのスパイク出力を表し、 $I_{PSC}$  がシナプス後電流となる。まず、本デバイスの学習動作を述べる。メモリスタのコンダクタンス  $G$  は、メモリスタに流れた電流  $i$  の積分値  $w$  で決まる ( $i = G(w)v$ ,  $\frac{dw}{dt} = i = \frac{dq}{dt}$ ;  $v$  はメモリスタ両端の電圧、 $q$  は電荷) [3]。シナプス後ニューロンが発火していない場合 (M2がOFF)、 $V_{pre}$  (シナプス前ニューロンのスパイク) が立ち上がると、メモリスタを介してキャパシタが充電され、 $V_{pre}$  の立ち下がりで同じくメモリスタを介してキャパシタが放電される。この場合、シナプス前ニューロンのスパイク前後におけるメモリスタの  $q$  の変化が (理想的には) 0 となるため、スパイク前後でメモリスタのコンダクタンスは変化しない。ここで、キャパシタが充電された状態でシナプス後ニューロンが発火した場合を考える (シナプス前ニューロンとシナプス後ニューロンがほぼ同時に発火)。この場合、M2を介してキャパシタが放電されるため、シナプス前ニューロンのスパイクの立ち下がりによりメモリスタを介して放電される電荷量が減ることになる。これによって、メモリスタのコンダクタンスはシナプス前ニューロンのスパイク前後で変化する (コンダクタンスが大きくなる)。

次に、このデバイスのスパイク伝達特性について述べる。このデバイスがシナプス前ニューロンからスパイクを受けると、シナプス (メモリスタ) 後電位 (PSP) が発生する (PSPの立ち上がり/立ち下がり時間は  $C/G$  で決まる)。M1によりPSPを非線形電流 ( $I_{PSC}$ ) に変換すると、 $I_{PSC}$  の積分量 (=シナプス後ニューロンの膜電位) は  $G$  により変化するようになる (PSPを線形電流変換した場合は  $I_{PSC}$  の積分量は  $G$  に依存しない)。

## 3 シミュレーション結果

標準的な  $0.35\mu\text{m}$  CMOS パラメータとメモリスタ等価回路を用いてSPICEシミュレーションを行った。図2に、シミュレーションで用いた神経ネットワークの構成

を示す (4個の積分発火ニューロン (A,B,C,D) と12個の提案シナプスデバイス)。AとBを同時に発火させ、AとCおよびAとDは同時に発火させないような外部入力電流 (入力A~D) を与えた。結果を図3に示す。BとAが同時に発火した時にAB間シナプスの結合重みが増加し、それを数回繰り返す事によって、Bの発火がAの発火を誘引するというSTDP学習が確認できた。

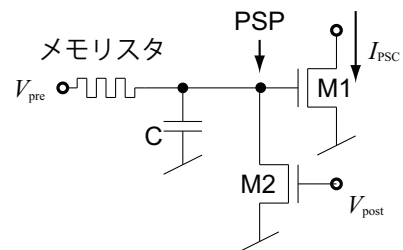


図1 提案するシナプス回路

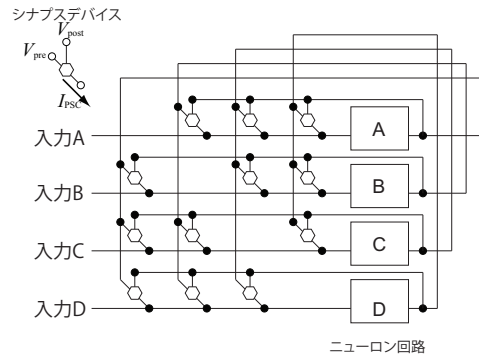


図2 構成したニューラルネットワーク

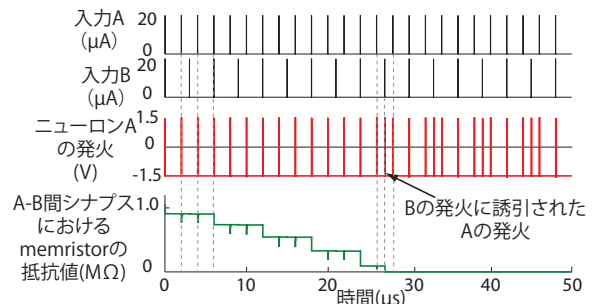


図3 シミュレーション結果

## 参考文献

- [1]G. S. Snider, Nanotechnology **18**, 1, 2007.
- [2]Ahmad Affif, et. al., IEICE Electronics Express, **6**(3), 148, 2009
- [3]S.H. Jo, T. Chang, et. al., Nano Letters, **10**(4), 1297, 2010.