# 金属酸化物系シナプス素子の STDP 評価と学習器への応用検討

## STDP characterizations of metal-oxide synapse devices for learning hardware

東芝　研究開発センター　フロンティアリサーチラボラトリー
○丸亀 孝生，Radu Berdan，野村 久美子，西 義史
Frontier Research Lab., Corporate R&D Center, Toshiba Corp.,
○Takao Marukame, Radu Berdan, Kumiko Nomura and Yoshifumi Nishi
E-mail: takao.marukame@toshiba.co.jp

【背景】近年、人工知能（AI）分野において、ディープラーニング（深層学習）が大きく注目され、それに特化したハードウェア開発が活発化している。深層学習は多層型のニューラルネットワーク（Neural Network; NN）であり、NN は本質的に誤動作やばらつきの影響を受けにくいという特徴があるため新規エレクトロニクス技術の導入が期待できる [1]。また近年、エレクトロニクスによる脳模倣研究も進展が目覚ましく、脳型信号伝達や脳型アルゴリズムを LSI 技術で模倣する研究が注目されている [2]。このいわゆるニューロモルフィック技術の代表例として、ニューロンの記憶最小単位シナプスの可塑性現象である Spike-Timing-Dependent synaptic Plasticity (STDP) を抵抗変化素子で模倣する技術が知られている [3, 4]。我々はこれまでに金属酸化物系の抵抗変化素子を用いて STDP を観測し、自律学習応用の可能性を指摘してきた [4-6]。今回、アレイ状素子における STDP 特性を評価したので報告する。

【実験と考察】LSI 金属配線層での素子形成を想定し、熱酸化膜付き Si 基板上に下側から W/$WO_x$/MgO/TiN の積層構造を有する抵抗変化素子を形成した。前回の報告 [6]と同様に，Fig.1(a) のようにアレイ中の一つの素子両端に正負極性の非線形パルス電圧を印加し、時間差を横軸としコンダクタンス変化を縦軸としてプロットすると Fig.1(b) のような明瞭な非線形性を伴う STDP 特性が得られた。今回、アレイへの書き込みのため順に STDP スパイクを印加することで高抵抗と低抵抗を保持する差動動作用抵抗ペアを作り込むことができた（Fig.1(c)）。この差動型シナプスは大規模アレイ化した際に NN の基本シナプス単位とみなすことができ重み正負値を実現しつつ低電力動作する積和演算回路を実現できる[7]。STDP は一般的に教師なし学習かつスパイク型 NN での応用が知られているが [8]、学習器応用の幅を広げるため、教師あり学習など他方式との組み合わせも講演にて報告する。

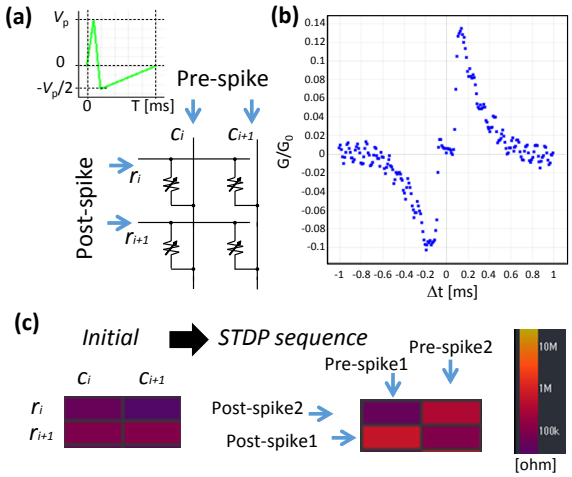


Fig. 1 Demonstration of spike timing dependent plasticity (STDP): (a) a differential memristive device array for synapses with pre- and post- spikes, (b) a typical STDP curve of the W/$WO_x$/MgO/TiN memristive devices, and (c) changes of cell resistances at crosspoints of column $c_i$ and row $r_i$ lines during STDP sequences.

[1] T. Marukame, *et al*., IEEE TCAS II: Express Briefs. **64**, 4, pp.462－466 (2016).
[2] G. Indiveri, *et al*., IEEE TNN, **17**, 1, pp. 211－221 (2006).
[3] S.H. Jo, *et al*., Nano letters **10**, pp. 1297-1301 (2010).
[4] T. Marukame, *et al*., JJAP **57**, pp. 04FK06-1－04FK06-6 (2018).
[5] R. Berdan ら, 2018 応物春講演会.
[6] 丸亀ら，2018 応用物理秋講演会.
[7] T. Marukame, *et al*., Intl. Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 2018.
[8] W. Wang, *et al*., Sci. Adv., **4**, eaat4752 (2018).

© 2019年 応用物理学会