

酸素空孔分布制御型メモリスタを用いた多機能人工シナプス

Versatile functioning created by topological control of oxygen vacancy distribution in artificial memristive synapses

阪大院基礎工¹ °酒井 朗¹, 藤平哲也¹, 林 侑介¹

Osaka Univ.¹, °Akira Sakai¹, Tetsuya Tohei¹, Yusuke Hayashi¹

E-mail: sakai@ee.es.osaka-u.ac.jp

脳の神経回路網構造を簡易的に模倣したニューラルネットワーク (NN) によるコンピューティングは、ノード (ニューロン) 間のシナプスの結合重みを変化させて学習を行う。膨大なデータ量を扱うマトリクス演算を、従来のノイマン型コンピュータを用いたソフトウェアベースから、メモリスタ素子を人工シナプスとして用いたハードウェアベースに置き換えることは、今後の低消費電力化や高速化等に欠かせない。多元多層結合されたパーセプトロンから構成される NN プラットフォームは、シナプス結合重みが入力特定で決まる信号伝達機構に基づいており、生体系で例えば、運動ニューロンの応答が感覚ニューロンのみで決定される最も単純な系である。これに対して、生体系シナプスには、感覚ニューロン信号のみならず、介在ニューロン等が及ぼす種々のニューロモデュレーション効果を受けて伝達パラメータを自己調節し、出力を決定する機構が存在する。将来的に、NN コンピューティングにおいて高次の脳機能を発現させるには、単なる多入力信号の総和のみで出力が決まる素子だけでなく、「多相関」機能を有する情報処理素子が不可欠である。

我々はこれまでに 4 端子人工シナプスメモリスタ素子を創製し、当該素子におけるシナプス結合重みの多角的変調を実証してきた。本 4 端子構成のユニークな特徴は、抵抗値が素子活性領域における酸素空孔の 2 次元分布によって決定される動作に現れる。正電荷を持つ酸素空孔は素子内の電界によるドリフト運動によって変化するため、その分布は 4 つの端子電極に印加される外部電圧によって正確に制御することができ、この原理によって、多相関電圧入力による高次ニューロモフィック機能の模倣の可能性が広がる。本講演では、主としてエピタキシャル単結晶 TiO_{2-x} [1-3] やアモルファス GaO_x [4] の還元型金属酸化物薄膜からなる平面型 4 端子素子において、スパイクタイミング依存可塑性 (STDP) の変調、慣れや感作を模倣したシナプス可塑性、パブロフの条件付け等の機能を実装した結果について報告する。これらの結果は、ヘテロシナプス可塑性やニューロモジュレーションのような多様で複雑な機能を持つ人工シナプスを 1 つのメモリスタ素子で実現できる、4 端子型の優れた汎用性を示している。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 (JP17K18881、JP20H00248、JP21K18723) の助成を得て行われた。

参考文献

- [1] K. Yamaguchi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 06KB02 (2018).
- [2] S. Takeuchi *et al.*, Sci. Rep. 9, 2601 (2019).
- [3] Z. Nagata *et al.*, Sci. Rep. 9, 10013 (2019).
- [4] M. Joko *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 59, SMMC03 (2020); T. Ikeuchi *et al.*, Ext. Abst. SSDM 2021, I-2-03.