

4 端子平面型 TiO_{2-x} メモリスタ素子における 酸素空孔分布 2 次元制御に基づく STP・LTP 特性の実装

Implementation of STP/LTP based on 2D control of oxygen vacancy distribution in 4-terminal planar TiO_{2-x} memristive device

阪大院基礎工 〇(M1) 安達 健太, 三宅 亮太郎, 林 侑介, 藤平 哲也, 酒井 朗

Osaka Univ. 〇Kenta Adachi, Ryotaro Miyake, Yusuke Hayashi, Tetsuya Tohei, Akira Sakai

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

概要: 近年、ニューロモルフィック・コンピューティング分野において、シナプス素子の開発が進められており、その基幹素子としてメモリスタが注目されている。我々は還元 TiO_{2-x} 単結晶およびホモエピタキシャル薄膜を基材として 4 端子平面型メモリスタ素子を作製し、ゲート変調が可能なヘテロシナプス可塑性やスパイクタイミング依存可塑性 (STDP) の実装を報告してきた[1,2]。今回は、同素子において、連合学習と短期増強 (STP)・長期増強 (LTP) 特性の実装と、そのゲート変調を実証したので報告する。

実験方法: Nd:YAG レーザー (波長 266 nm) 及び TiO_2 ターゲットを用いたパルスレーザー蒸着 (PLD) により、絶縁性ルチル型 $\text{TiO}_2(001)$ 単結晶基板に、温度 500°C 、酸素分圧 3.0×10^{-5} Pa、成膜レート 2.5 nm/min の条件下で TiO_{2-x} (膜厚 50 nm) をホモエピタキシャル成長させた。表面に Pt 電極 T1~T4 を配置して 4 端子平面型素子を作製し、電気特性評価を行った。STP・LTP 特性評価において、まず T1 に負電圧を印加することで、T1 周辺に酸素空孔を集積させた (初期化)。その後、図 1 の電圧印可プロトコルに従い、増強操作 (T1 にパルス正電圧印加) 及び減衰操作 (T2 及び T4 にパルス負電圧印加) を繰り返し行い、T1-T3 間のコンダクタンス G_{1-3} を変調させた。増強操作の頻度及び減衰操作におけるゲート電圧値 ($V_{2,4}$) を変化させた条件で測定を行い、STP・LTP 特性の発現とその変調性を評価した。

実験結果: 図 2 は増強操作と減衰操作を繰り返し行ったときの G_{1-3} の変化である。増強操作 (図 2 下赤線) が低頻度のときに比べ、高頻度のときの方が、 G_{1-3} が減少するのに必要な減衰パルス数が増えている。この結果から、記憶保持が増強操作の頻度に依存する STP・LTP 特性が実装されたといえる。また、増強操作直後の G_{1-3} 値から 10 % 減少するのに必要な減衰パルス数を考慮し、ゲート電圧依存性を検証した。図 3 に示すように、 $V_{2,4} = -8 \text{ V}$ における同パルス数は、 $V_{2,4} = -9 \text{ V}$ よりも増加しており、ゲート電圧により STP・LTP 特性を変調できることが実証された。当日は、本 4 端子素子における連合学習の実装の結果も合わせて報告する。

謝辞: 本研究は、JSPS 科研費 JP17H03236、JP17K18881、JP20H00248 の助成を得て行われた。

参考文献: [1] Z. Nagata et al., Sci. Rep. 9 (2019)10013. [2] 三宅ら, 第 80 回秋応物学会, 20a-F211-9.

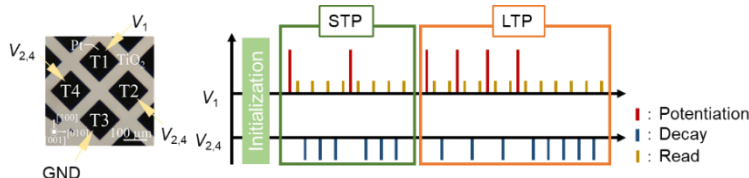


Fig. 1. Optical micrograph of 4-terminal memristive device and voltage application protocol for STP/LTP tests.

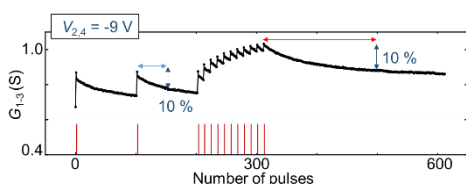


Fig. 2. Implementation of STP and LTP characteristics at $V_{2,4} = -9 \text{ V}$. Red lines indicate applied potentiation pulses.

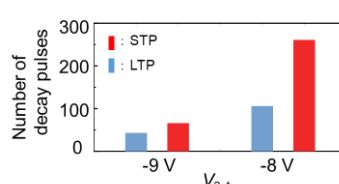


Fig. 3. Number of decay pulses required for 10% reduction of G_{1-3} in STP and LTP at $V_{2,4} = -9 \text{ V}$ and -8 V .