# アモルファス酸化ガリウムを用いたメモリスタの抵抗変化特性およびシナプス特性

## Resistive switching and synaptic properties of amorphous GaO<sub>x</sub> memristive devices

# 阪大院基礎工, <sup>O</sup>上甲 守治, 池内太志, 林 侑介, 藤平 哲也, 酒井 朗

## Grad. Sch. Eng. Sci., Osaka Univ. °M. Joko, T. Ikeuchi, Y. Hayashi, T. Tohei, A. Sakai

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

**背景** メモリスタをニューロモルフィックコンピュータのシナプス素子へ応用するにあたり、その抵抗変化特性の制御は重要課題の一つである。導通フィラメントの形成は抵抗変化を引き起こす代表的機構であるが、こうした導通パスを多数の素子に均一に作製することは難しく、素子ごとにばらつきが生じるデメリットがある。また、抵抗変化をもたらす酸素空孔のドリフトは転位や結晶粒界などの欠陥に影響を受けやすいため[1,2]、一般的な多結晶体を用いたデバイスでは、素子安定性の低下が実用化に向けた大きな課題となる。一方、アモルファス還元酸化ガリウム(a-GaO<sub>x</sub>)は、フォーミング無しでその内部の酸素空孔分布によって抵抗値が定まる、バルク伝導型の抵抗変化を示すことが知られている[3]。アモルファスの均一構造はデバイス信頼性の観点からも有望であり、我々はそれをクロスバー構造に応用してきた[4]。本研究では Pt/a-GaO<sub>x</sub>/ITO 構造のメモリスタ素子を作製し、抵抗値の多値変調や STDP 特性の実装を行った。

実験方法 a-GaO<sub>x</sub>薄膜は Nd:YAG レーザーの第4高調波(波長:266 nm)および Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ターゲット を用いたパルスレーザー蒸着法を利用し、ITO がコートされたガラス基板上に室温、Ar 分圧が  $4 \times 10^{-1}$  Pa の条件下で成膜した。厚さ 100 nm の Pt 電極(350  $\mu$ mΦ) はスパッタ法により作製し た。また、電気的特性評価は真空プローバーを用いて行った。

**実験結果** 図1に厚さ200 nm の a-GaO<sub>x</sub>層をもつデバイスの電流電圧(*I-V*)特性を示す。安定した逆8の字型のヒステリシスループが、フォーミング無しで得られた(Fig.1中の破線)。負(正) 電圧によってデバイスが低(高)抵抗状態にセット(リセット)され、酸素雰囲気下で成膜を行った場合[4]よりも抵抗変化比の大きな特性が得られた。また、掃引電圧を少しずつ減少(増大) させながら、負(正)方向のみの連続した電圧掃引を行うことによって、デバイスを徐々にセット(リセット)することに成功した。これらの、なめらかで連続的な抵抗変化および、抵抗変化 特性の電圧極性依存より a-GaO<sub>x</sub>の抵抗変化特性が酸素空孔のドリフトと拡散に起因するものと 考えられる。

さらに、本デバイスを用いて STDP 特性の実装を行った。1 組の pre および post スパイクを様々 な時間差( $\Delta t$ ) で入力し、入力前後におけるシナプス結合強度の変化( $\Delta w$ )を測定した。ここで  $\Delta w$ は、スパイク入力前(後)のコンダクタンス値  $G_{before}$ ( $G_{after}$ )より、 $\Delta w=100\times(G_{after}-G_{before})/G_{before}$ と定義した。Fig. 2 に縦軸を $\Delta w$ 、横軸を $\Delta t$ とした結果を示す。この結果から、a-GaO<sub>x</sub>を用いたメ

モリスタ素子で生体シナプ スにおいて観測される非対 称 STDP 特性を、非常によ く模倣できていることが分 かる。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP17H03236、JP17K18881、 T19K044680、JP20H00248の 助成を得て行われた。

#### 参考文献

J. Chen et al., Adv. Mater.
 **27**, 5028 (2015).
 K. Szot et al., Nat. Mater. 5,

312 (2006).

[3] Y. Aoki et al., Nat. Commun. 5, 3473 (2014).
[4] M. Joko et al., Jpn. J. Appl. Phys. 59, SMMC03 (2020).



Fig. 1: Single voltage sweep *I-V* curve and the incremental SET (RESET) switching by several voltage sweeps with increasing amplitudes from -1.0to -1.75 (1.0 to 1.75) V with a step of 50 mV.



Fig. 2: STDP properties showing  $\Delta w$  as a function of  $\Delta t$ . The conductance value was initialized to be 1.5 mS, and the amplitude of the spike was set to be 0.75 V.