

課題番号 : F-17-NM-0012
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : SrTiO₃の絶縁体金属転移を用いたニューロモルフィック素子の作製
 Program Title (English) : Neuromorphic devices based on the insulator-to-metal transition of SrTiO₃.
 利用者名(日本語) : 井上公
 Username (English) : L. H. Inoue
 所属名(日本語) : 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 Affiliation (English) : National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
 キーワード/Keyword : FET、SrTiO₃、HfO₂、パリレン、ニューロモルフィック、成膜・膜堆積

1. 概要(Summary)

SrTiO₃チャンネル上に、パリレン(6 nm)/HfO₂(20 nm)二層ゲート絶縁膜を用いて電界効果トランジスタ(FET)を作製した。このFETは絶縁体から2次元金属への相転移を起こす。これを利用して人工ニューロンと人工シナプスを作製することに成功した。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】 原子層堆積装置(ALD)

【実験方法】 産総研のクリーンルームでSrTiO₃の単結晶基板(10mm角、0.5mm厚)上にまずパリレン(3 nm)を成膜する。ソース・ドレイン電極のパターンをリソグラフィで形成し、その部分のパリレンを除去した後、Tiを蒸着しリフトオフ。再び全体にパリレン(3 nm)を成膜する。次にNIMS微細加工PFのALDでチャンネル部分のパリレン上にHfO₂を20 nm積層。この試料を産総研に持ち帰り、ゲート電極等を形成してFETを完成させた。さらに、任意波形発生器、オシロスコープ、デジタルマルチメータなどを用いて、ニューロモルフィック素子としての特性評価を行った。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

我々のSrTiO₃ FETは、ゲート電場の印加でSrTiO₃中の正に帯電した酸素欠損がバルク内部へとドリフトしていく。これに応じて閾値電圧が徐々に小さくなり、最終的にはほぼ0Vに近いゲート電場で絶縁体チャンネルから2次元金属チャンネルへの相転移を制御できるようになる。酸素欠損の移動(閾値の変化)は緩やか(0.5 Hzほど)だが、絶縁体金属相転移の方は20 Hzほどの速さで起こり、生体との連携を考えた場合にニューロモルフィック素子としては好ましい速度である。さらにこの相転移は履歴を伴って進行するため、この時定数と履歴特性をうまく利用すると、生物の脳の構成要素であるシナプスとニューロンの働きを模倣させることが可能であることがわかった。

本研究では実際に、ゲートへの複数の入力シグナルの

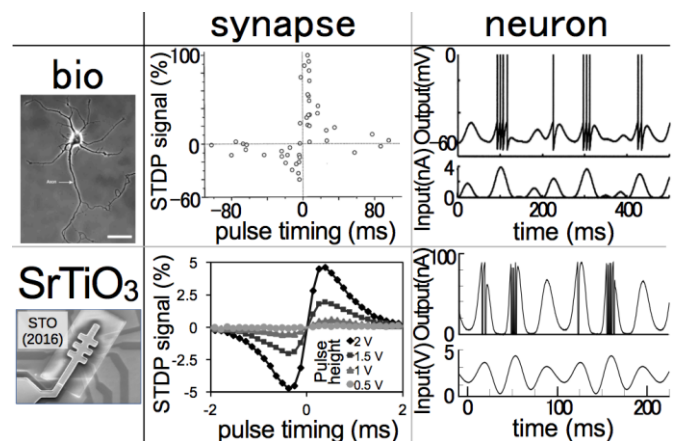


Fig.1: Behaviors of the biological synapse and neuron of a rat hippocampal neural cell (top row) compared with those of our artificial synapse and neuron made of a single SrTiO₃ FET (bottom row).

タイミングによってチャンネルの伝導度に変化するspike-timing-dependent plasticity (STDP)というシナプスの特性と、シグナルをその間隔に依存して蓄積するleaky-integrate and fire (LIF)というニューロンの特性を、ともに再現することに成功した (Fig. 1)。

4. その他・特記事項(Others)

本研究は科研費基盤A(15H02113)と科研費特研奨励(25-03502)の支援を受けて行った。また、二層絶縁膜の評価のためTEM測定をNIMS微細構造解析プラットフォームにて行った。

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) P. Stoliar, A. Schulman, A. Kitoh, A. Sawa I. H. Inoue, 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA), 2017年12月05日

(2) P. Stoliar, A. Schulman, A. Kitoh, I. H. Inoue, 2017 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), 2017年12月06日

6. 関連特許(Patent)

なし。