

4 端子 TiO_{2-x} 薄膜メモリスタ素子によるシナプス特性の実装

Implementation of synaptic properties by four-terminal

TiO_{2-x} thin film memristive device

阪大院基礎工 〇(M2) 三宅 亮太郎, 林 侑介, 藤平 哲也, 酒井 朗

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

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

背景: 近年、人工知能分野において、脳機能を模倣した脳型コンピュータの開発が期待されている。人間の学習や記憶は、脳神経回路網に存在するシナプスの結合強度変化により行われていると考えられ、このシナプスの特性を模倣できる素子としてメモリスタが注目されている。我々は前回、4 端子平面型メモリスタ素子を開発し、2 端子構造では実装困難な高次脳機能であるヘテロシナプス可塑性が実現できることを示した[1]。また、パルスレーザー蒸着法 (PLD) を用いて TiO_2 単結晶基板上に還元 TiO_{2-x} 薄膜のホモエピタキシャル成長を行い、その表面に形成した 4 端子平面型素子において、比較的高い抵抗比と抵抗スイッチング繰り返し耐性が得られることを報告した[2]。今回、この還元 TiO_{2-x} エピタキシャル薄膜 4 端子素子に電圧パルス列を段階的に印加し、抵抗値を連続的に変化させて、シナプス素子としての応用を試みた。

実験方法: TiO_2 ターゲットを用い、酸素分圧を制御した PLD により、絶縁性ルチル型 $\text{TiO}_2(001)$ 単結晶基板上に、 TiO_{2-x} エピタキシャル薄膜を形成した。成膜後、表面に Pt 電極 T1~T4 を配置し、4 端子平面型素子を作製した (図 1)。その後、T1 と T3 を接地しながら T2 と T4 に同時に書き込み電圧 $V_{2,4}$ を 1 s 印加した。電圧 $V_{2,4}$ は 3 V から 8 V まで 0.25 V 刻みで段階的に変化させた後、-6 V から -8 V まで 0.1 V 刻みで変化させた (図 2)。各書き込み電圧 $V_{2,4}$ 印加後に、T1-T3 間に 100 mV の読み取り電圧を印加することで、T1-T3 間のコンダクタンス $G_{1,3}$ を計測した。

実験結果: 基板温度 500°C、酸素分圧 3.0×10^{-5} Pa の条件で成膜した膜厚 60 nm の TiO_{2-x} 薄膜の 4 端子素子に対して、図 2 の電圧印加プロトコルを繰り返して計測した $G_{1,3}$ の変化を図 3 に示す。正 (負) の電圧パルス列を印加することで $G_{1,3}$ が段階的に増加 (減少) した。これは電圧印加により、酸素空孔が T1 および T3 (T2 および T4) 付近へ遷移し、T1-T3 間に段階的に低抵抗領域 (高抵抗領域) が形成されたためと考えられる (図 3 挿絵参照)。また、抵抗比は約 4 倍で、コンダクタンスの変化は良好な線形性を示している。本特性で見られるような電圧印加による抵抗値の連続的な変化は、刺激を受けることでシナプスの結合強度が変化する特性に類似しており、本素子はシナプス素子としての応用が可能であることが確認された。

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

[1] 永田善也ら、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、11p-W810-5
[2] 三宅亮太郎ら、第 66 回応用物理学会春季学術講演会、10p-W641-12

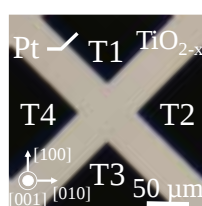


Fig.1. Optical microscope image of the four terminal device.

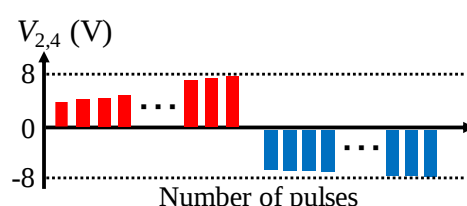


Fig.2. Applied voltage sequence.

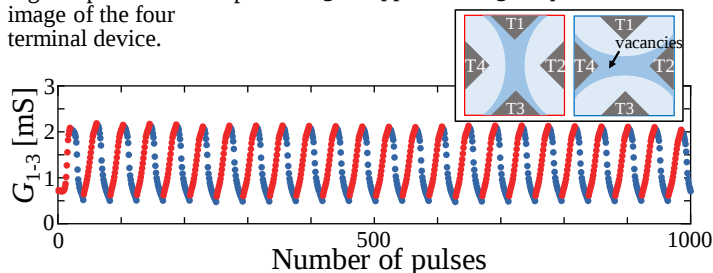


Fig.3. Repetitive gradual conductance modulation under voltage pulse stimulation. The insets are schematic illustrations showing the modulation of oxygen vacancies distribution by voltage application. Those surrounded by red and blue flames correspond to $G_{1,3}$ marked by red and blue in the graph, respectively.