

# 酸素空孔分布制御型4端子メモrista素子における抵抗変化機構の有限要素法シミュレーション

## Finite Element Analysis of Resistive Switching Characteristics in four-terminal memristive devices

阪大院基礎工 〇(M1) 永田善也, 清水拓磨, 竹内正太郎, 藤平哲也, 酒井朗

Osaka Univ., 〇Zenya Nagata, Takuma Shimizu, Shotaro Takeuchi, Tetsuya Tohei, Akira Sakai

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

**背景：**脳神経回路を模したアルゴリズムの開発により人口知能技術が大きく発展した。一方で、これらソフトウェア実装に止まらず、脳神経回路のハードウェア実装に大きな期待が寄せられている。そこで注目されているのが、脳神経回路のシナプスの役割を模倣可能なメモrista素子である。我々は、これまでにメモrista材料として抵抗変化 (RS) 現象を示す  $\text{TiO}_2$  に着目してきた。ルチル型  $\text{TiO}_2(001)$  単結晶基板上に4端子平面型素子を作製し、対向2端子でもう一对の対向2端子間の酸素空孔分布を制御する電圧印加プロトコルにより、RS ヒステリシス特性の精密制御を実現した[1]。今回、同電圧印加プロトコルによる端子間の酸素空孔密度分布の変化を有限要素法により二次元的にシミュレートし、酸素空孔密度分布と RS 特性の相関を評価した。

**実験方法：**二次元領域を正方メッシュに分割し、電位・電場・イオン電流密度・酸素空孔密度を各メッシュそれぞれに定義する。①ポアソン方程式により電位・電場分布を導出し、②電界によるドリフトと拡散効果を考慮してイオン電流密度分布を導出した。さらに、③キャリア連続の式に基づき、酸素空孔密度分布を導出した。①～③を再帰的に解く事で酸素空孔密度分布の時間変化を計算し、実験結果[1]との比較を踏まえ評価した。

**実験結果：**Fig. 1は電極1と3を接地して電極2と4に同時に電圧  $V_{2,4}=6\text{V}$  を50 iteration 印加した後の酸素空孔密度分布である。電極2と4への同電圧印加により電気力線が打ち消された領域が電極間に形成され、そこに酸素空孔が集積した結果、低抵抗領域が形成されていることがわかった。また、印加電圧を  $V_{2,4}=8\text{V}$  と大きくしたとき、電極間に集積される酸素空孔密度がより高くなった。これより、 $V_{2,4}$  印加による素子の低抵抗化[1]は、電極間に集積される酸素空孔密度の上昇に起因すると考えられる。一方、 $V_{2,4}$  をさらに大きくすると低抵抗領域そのものが小さくなるため素子は高抵抗化すると考えられる。Fig. 1を初期状態として、電極1-3間で電圧  $V_1$  を振幅6V、掃引速度12mV/iterationで掃引した後の酸素空孔密度分布がFig. 2である。Fig. 1で形成されていた電極間の低抵抗領域に着目すると、電極1の先端部に酸素空孔密度が低い高抵抗領域が形成されることがわかった。また、電極1-3間での電圧掃引速度を遅くしたとき、電極1の先端部に形成される高抵抗領域はより大きくなった。このことから、電圧掃引速度の低下による素子の高抵抗化[1]は、電極1の先端部に形成される高抵抗領域の拡大に起因すると推測できる。謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP17K18881 の助成を得て行われた。

[1] 清水拓磨ら, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 5p-A202-11

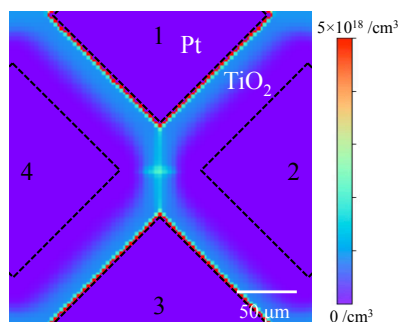


Fig. 1. Oxygen vacancy distribution after the application of  $V_{2,4}=6\text{ V}$  for 500 iteration

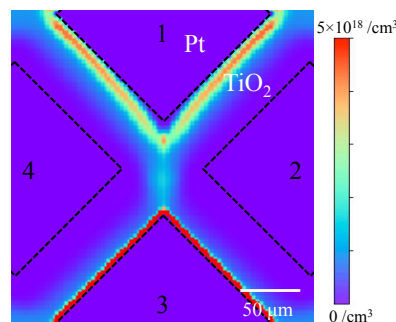


Fig. 2. Oxygen vacancy distribution after the application of  $V_1$  sweep 0~6 V (sweep rate: 12 mV/iteration)