## 酸素空孔分布制御型4端子メモリスタ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 ○(M1)永田善也,清水拓磨,竹内正太郎,藤平哲也,酒井朗

Osaka Univ., °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リスタ素子である。我々は、 これまでにメモリスタ材料として抵抗変化 (RS) 現象を示す TiO,に着目してきた。 ルチル型 TiO,(001) 単結晶基板上に4端子平面型素子を作製し、対向2端子でもう一対の対向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 V2.4=6V 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 V24=8V 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、V24 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、V24 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<sub>1</sub>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。 [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  $V_{2,4}=6$  V for 500 iteration



Fig. 2. Oxygen vacancy distribution after the application of V<sub>1</sub> sweep 0~6 V (sweep rate: 12 mV/iteration)

