

アナログ抵抗変化特性のシミュレーションモデルの改良

Improvement of Simulation Model for Analog Resistance Change Characteristics

舞鶴高専¹, 阪大工², ○湯浅 拓海¹, 林 巧巳^{1,2}, 西 佑介¹

NIT Maizuru College¹, Osaka Univ.², ○T. Yuasa¹, T. Hayashi^{1,2}, Y. Nishi¹

E-mail: s9292@g.maizuru-ct.ac.jp

はじめに 次世代不揮発性メモリやシナプス素子として期待されている抵抗変化型メモリは、根幹たる抵抗変化特性の起源が明らかになっていない。我々は、酸化タンタルを用いた抵抗変化素子が示すアナログ抵抗変化特性の解析として、酸素空孔が構成する導電性フィラメントの濃度分布シミュレーションモデルを用いてフィラメントの連続的な切断と再形成を確認した [1]。しかし、実素子での実験における抵抗変化素子に流れる電流値とは十倍近い差があったため、本研究では電流値を整合させることを目的とする。

手法 実素子の酸化タンタルは化学組成が不明な粒界を多数含む多結晶や非晶質である。そのため、単結晶酸化タンタルとしての物性値には変更の余地があり、まずは一つの物性値を変化させることによって電流値を整合させるを試みた。ここでは、抵抗変化層である酸化タンタルの電気伝導率 $\sigma_{Ta_2O_5}$ ・熱伝導率 $k_{Ta_2O_5}$ について、以下の式を用いて解析を行った。

$$\sigma_{Ta_2O_5} = \sigma_0 e^{-\frac{E_{AC}}{kT}} \quad (1)$$

$$k_{Ta_2O_5} = k_0(1 + \lambda(T - T_0)) \quad (2)$$

なお、本研究では酸素空孔のフィック拡散とドリフト効果を考慮した連成シミュレーションを、COMSOL Multiphysics を用いて構築した [2]。

結果・考察 酸化タンタルの熱伝導率を増加させた場合の電流-電圧特性を Fig1(a) に示す。熱伝導率を 70 倍とすることで、実素子に近い 1.8 mA 程度の電流値を得ることができた。抵抗変化層内の酸素空孔濃度の変化が活発になることで酸素空孔が増加し、電流値も増加したと考えられる。Fig1(b) より熱伝導率を 70 倍とすることで等倍状態よりフィラメントがはっきり形成され、またその濃度も大きいことが見て取れる。しかし、100 倍以降の濃度分布を観察すると酸素空孔の流入が遅れており、フィック拡散が大きく酸素空孔の流入を超えて拡散していることが分かった。

一方、酸化タンタルの電気伝導率を増加させた場合の電流-電圧特性を Fig2(a) に示す。電気伝導率が増加するに従い電流値を増加させたが、同時に開口率が低下し、抵抗変化特性が見えなくなった。これは酸化タンタルに電流が必要以上に流れたためであると考えられる。Fig2(b) に示す酸化タンタルの電気伝導率を 20 倍にした場合の濃度分布からわかるように、等倍状態のフィラメントから大きく形状が変わっていない。このことからフィラメントの電流値が mA 間隔で変化していないことが分かる。

以上の結果より、大きい抵抗変化特性を得るためにはフィラメントと酸化タンタルの電気伝導率のギャップが非常に重要であり、酸素空孔が供給された場合に電気伝導率が大きく増加することが理想的であるといえる。

参考文献

[1] Y. Nakamura and Y. Nishi, MEMRISYS 2021, P-11

[2] Y. Nakamura and Y. Nishi, Jpn. J. Appl. Phys. 61, SM1012 1-7 (2022)

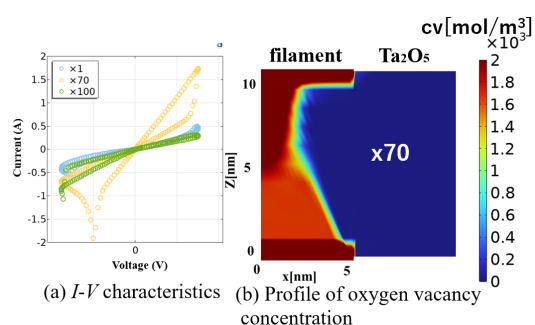


Fig1 In the case of change in thermal conductivity

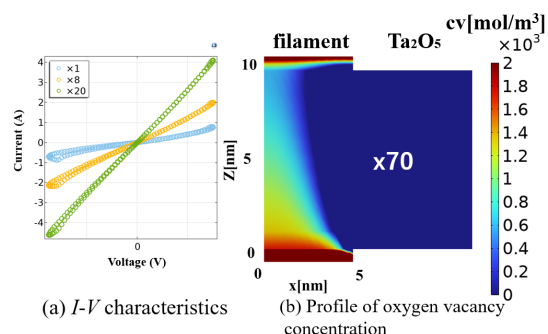


Fig2 In the case of change in electrical conductivity