

Ta 酸化物中の化学組成分布と抵抗変化のアナログ制御性の相関

Correlation between depth profile of chemical compositions in tantalum oxide and analog controllability of resistive switching

京大院工 °宮谷 俊輝, 西 佑介, 木本 恒暢

Kyoto Univ. °Toshiki Miyatani, Yusuke Nishi, Tsunenobu Kimoto

E-mail: miyatani@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

抵抗変化型メモリ(ReRAM)は、素子抵抗をアナログ的に制御できることから、シナプス素子の有力候補として期待されている。しかし、金属酸化物薄膜の局所領域で生じるフィラメント断裂形成過程の直接観測は困難であるため、アナログ抵抗変化の起源は未だ解明されていない[1]。本研究では、異なる金属を上部電極(TE: top electrode)に用いて作製した Metal-TE/TaO_x/Pt 素子における抵抗変化のアナログ制御性を調べた。また、nm オーダーの極めて高い深さ方向分解能を有するラザフォード後方散乱(RBS)を用いて、Metal-TE/TaO_x 界面付近の化学組成分布を非破壊的に評価し、抵抗変化のアナログ制御性との相関を調べた。

SiO₂/Si 基板上に、下部電極となる Pt(60 nm)を DC スパッタリングによって成膜した後、TaO_x を反応性高周波スパッタリングによって堆積した。最後に、酸化物形成のための自由エネルギーが異なる Ni(-4.39 eV), Ta(-7.92 eV), Ti(-9.21 eV) [2]の3種の金属を、高周波スパッタリングにより堆積した。この Metal-TE/TaO_x/Pt 積層構造を有する、RBS 分析用の試料および抵抗変化特性評価用の素子を、それぞれ作製した。前者に関しては、TaO_x(5 nm)/Pt 上の全面に Metal-TE を堆積し、試料の破壊を伴わない RBS 分析によって、深さ方向の化学組成分布を精密に評価した。後者に関しては、TaO_x(10 nm)/Pt 上に直径 150 μm の Metal-TE を堆積し、下部電極を接地して抵抗変化特性を評価した。

RBS 分析用の各 Metal-TE/TaO_x/Pt 試料における、深さ方向の化学組成分布を図 1 に示す。TaO_x 層から Metal-TE へ酸素が拡散した領域(図 1 中の灰色部分)は、Ni/TaO_x/Pt 試料で最も狭く、2.5 nm 程度となった。また、Ta/TaO_x/Pt および Ti/TaO_x/Pt 試料の酸素拡散領域における酸素組成分布の形状から、Ti/TaO_x/Pt 試料において最も多くの酸素が拡散したといえる。ここで、TaO_x 層から Metal-TE への酸素の拡散は、TaO_x 層中の酸素空孔(V_O)の増大を意味する。以上より、TaO_x 層中の V_O 生成量は、Ni/TaO_x/Pt, Ta/TaO_x/Pt, Ti/TaO_x/Pt 試料の順で増加し、これは酸化物形成のための自由エネルギーの傾向と整合する。次に、抵抗変化特性評価用の素子において、フォーミング後に負電圧を-3 V まで印加した際の典型的な高抵抗化(Reset)特性を図 2 に示す。TaO_x 層中の V_O 生成量が多い Ti/TaO_x/Pt 素子では、約-1 V からアナログ Reset 特性が得られた。一方で、TaO_x 層中の V_O 生成量が少ない Ni/TaO_x/Pt 素子では、約-0.5 V で急峻な Reset 特性を示した。さらに、Ta/TaO_x/Pt 素子においては、アナログおよび急峻な Reset 特性を含む中間的な特性が得られた。これらの結果は、TaO_x 層中の V_O が増大することによって、Reset 過程における抵抗変化のアナログ制御性が向上することを示唆している。

[1] R. Waser et al., *Faraday Discuss.*, **213**, 11 (2019).

[2] C. Chen et al., *J. Appl. Phys.*, **114**, 014502 (2013).

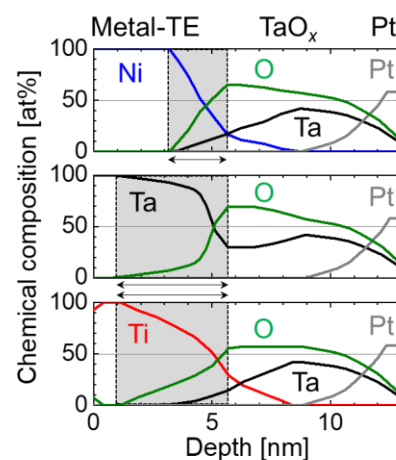


Figure 1: Depth profiles of chemical compositions in the Metal-TE/TaO_x/Pt samples. Arrows and gray areas indicate oxygen diffusion regions.

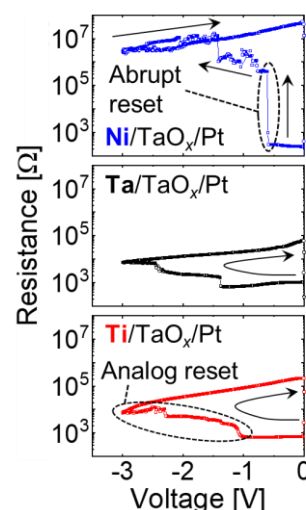


Figure 2: Typical resistance-voltage characteristics in reset processes when a negative voltage is applied to the Metal-TE/TaO_x/Pt cells.