Ag/Ta_2O_5/Pt 接合型原子スイッチの拡散障壁高さと素子動作に与える影響

Diffusion barrier height and its effect on the operation of a Ag/Ta_2O_5/Pt gapless-type atomic switch

早大先進理工　○(M)三上 舞子, 長谷川 剛
Waseda Univ, ○(M)Maiko Mikami, Tsuyoshi Hasegawa
E-mail: maiko.m.0416@fuji.waseda.jp

はじめに：陽イオン制御型の抵抗変化素子(ReRAM)や原子スイッチでは、金属酸化物層中に水分子が存在するとイオン拡散の障壁高さが減少することが報告されている[1]。逆に考えると、水分子が存在しないとイオン拡散の障壁高さが増加する。この変化は、動作電圧やスイッチング動作を支配する素過程（律速過程）にも影響を及ぼす。例えば、イオン拡散が律速過程となるフォーミングでは、動作電圧が上昇する。一方、フィラメントが切れるスイッチオフ過程では溶融した金属イオンの熱拡散距離が減少するはずであり、それに続く SET 動作への影響を単純に予測することは難しい。そこで我々は、酸化物中の水分子を完全に取り除いた状態での素子の動作特性を調べた。特に、イオン拡散障壁が高くなることで SET 動作にどのような変化が現れるのかに注目した。

実験：拡散障壁の高さは、二回目以降のスイッチング動作における Ag/Ta_2O_5/Pt 原子スイッチのスイッチオン時間(SET 時間)の温度依存性測定によって評価した。電子ビーム蒸着(5×10^{-6}Pa, 蒸着レート：0.2Å/s)により、Pt/Ag/Ta_2O_5/Pt/Ti の多層膜からなる接合型原子スイッチを SiO_2 基板上に作製した。この試料を真空プロービングシステムに導入し、1×10^{-2}Pa および 1×10^{-4}Pa 程度の真空下で 5 時間排気した後に SET 時間を測定した。

結果と考察：図 1 は、(a) 10^{-2}Pa, (b) 10^{-4}Pa の真空下でそれぞれ 5 時間排気した後に測定した SET 時間を示す。この温度依存性から求めた活性化障壁高さは(a) 0.49eV と(b)0.72eV となった。図 1(a)では水分子が Ta_2O_5 層中に残っており、図 1 (b)ではほとんど離脱していることが示唆される。つまり、1×10^{-4}Pa 程度の真空度下に長時間置けば水分子をほぼ完全に脱離できることがわかる。また水分子を脱離することで SET 動作の活性化障壁の高さが Forming 動作のそれとほぼ同じになったことから、大気中では核形成であった SET 動作の律速過程が[2]、イオン拡散に変化することも分かった。このほか、水分子を離脱することで SET 電圧が大幅に減少することも分かった。当日は、これらの詳細を発表する。

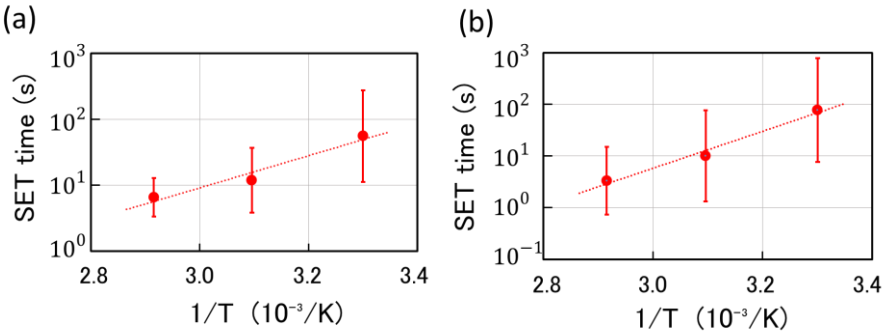

Fig. 1. SET time of Ag/Ta_2O_5/Pt atomic switches as a function of temperature measured after 5 hours evacuation at (a) 1x10^{-2}Pa and (b) 1x10^{-4}Pa.

参考文献

[1] T. Tsuruoka et al., Adv. Func. Mater., 25, 6374-6381 (2015).
[2] Y. Shigeoka et al., Jpn. J. Appl. Phys., 57, 035202 (2018).