

酸化タンタル薄膜における抵抗スイッチ現象の決定論的挙動から 確率的挙動への遷移

Crossover from Deterministic to Stochastic Nature of Resistive Switching in a Tantalum Oxide Thin Film

西 義史^{1,2}, S. メンツェル^{2,3}

¹東芝 研究開発センター, ²アーヘン工科大学, ³ユーリッヒ研究所

Yoshifumi Nishi^{1,2} and Stephan Menzel^{1,3}

¹Toshiba R&D Center, ²RWTH Aachen University, ³Forschungszentrum Jülich

E-mail: yoshifumi.nishi@toshiba.co.jp

遷移金属酸化物薄膜に見られるバイポーラ型抵抗スイッチ現象は、次世代不揮発メモリをはじめとした様々な電子デバイスへの応用が期待されている。特に抵抗スイッチ現象に見られる確率的挙動は、従来の半導体デバイスには見られない特徴であり、生体の脳・神経を模倣したニューロモルフィックデバイスへ応用することが研究されている。

バイポーラ型抵抗スイッチ現象を示す金属酸化物の中でも、酸化タンタル TaO_x は、繰り返し動作に対する耐性が高く、状態保持時間が長い等、実デバイス応用に必要な高い信頼性を備えており、多くの関心を集めている [1]。そこで我々は今回、パルス測定技術を用いて、ナノ～マイクロ秒領域における TaO_x 薄膜の SET 電圧と確率的挙動の関係を調べることにした。

本研究で用いた TaO_x 薄膜は、あらかじめ Si 基板上に成膜した Ta 膜の表面を 5 nm ほど酸化することによって得られたものである [3]。TaO_x 膜の下に残った Ta は下部電極として機能する。TaO_x 表面には Pt を成膜し、25 μm 角に切り出して上部電極とした。

フォーミング後、セルの上部電極に正電圧の 100 ms パルスを印加して RESET し、続いて負電圧パルス印加して、SET に至るまでの電流挙動をオシロスコープで観測した。電圧印加後しばらくは低電流プラトー領域が見られるが、ある時点で数 ns 以内の極めて急激な電流増加が起こる。電圧印加から急激な電流増加までの時間を SET 時間とし、同一セル内で繰り返し測定して SET 時間の統計分布を調べた。

Fig. 1 は、様々な SET 電圧 V_{SET} に対する SET 時間分布を室温 (a) および 85°C (b) で測定した結果をワイブルプロットで示したものである。おおむね直線的な分布が見られることから、SET 時間分布はワイブル分布に従うと考えることができる。図 1 (c) はワイブル分布によるフィッティングで得られた傾き (形状パラメータ) β を V_{SET} に対してプロットしたものである。 $|V_{SET}|$ が 1.4 V よりも大きい電圧領域では、室温および 85°C いずれの場合においても、 β は 2 よりも大きな値を取る。しかし、 $|V_{SET}|$ の

値を小さくすると、 $V_{SET} = -1.4$ V から -1.2 V の間で β が急激に小さくなり、ほぼ 1 に近い値を取る。

一般にある系への入力に対する応答時間がワイブル分布を示す場合、 $\beta > 1$ の場合は、入力に対して系の状態が経時的・磨耗的に変化することを示しており、 $\beta = 1$ であれば、偶発的に変化が起こることを示している。従って、 $|V_{SET}| > 1.4$ V の場合に見られる $\beta > 2$ は、 V_{SET} 印加によって TaO_x 内部状態が進行的に変化し SET が引き起こされることを示しており、SET メカニズムが決定論的であることを示唆している。一方、 $|V_{SET}|$ が 1.4 V 以下で β が急激に 1 に近づくことは、低電圧においては SET が確率的現象になることを示している。講演では、これらの結果の詳細を示し、確率性の起源について議論する。

[1] Z. Wei, et al., IEDM p.293 (2008). [2] F. Miao, et al., Adv. Mater. 23, 5633 (2011). [3] Y. Nishi, et al, IEEE Electron Device Lett. 35, no.2, 259 (2014).

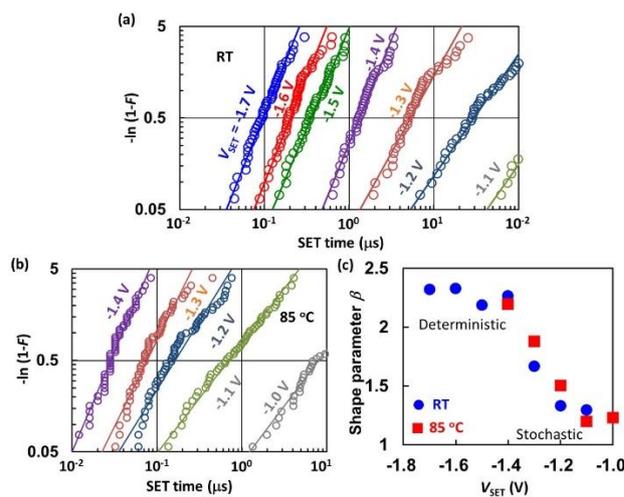


Fig. 1: Weibull plots of cumulative SET time distributions for various V_{SET} measured at (a) room temperature and (b) 85°C. Solid lines are fitting lines by Weibull distributions. (c) Shape parameter β as a function of V_{SET} measured at room temperature (blue circles) and 85°C (red squares).