

VCM と ECM に基づいた Ta₂O_{5-δ} 抵抗変化型メモリの初期特性と多値動作

Initial characteristics and analog switching behaviors of VCM and ECM based Ta₂O_{5-δ} resistive memories

北大・院情報¹, 九工大・生命体工²

○李 遠霖¹, 福地 厚¹, 有田 正志¹, 森江 隆², 高橋 庸夫¹

Hokkaido Univ.¹, Kyushu Inst. Tech.²

○Y. Li¹, A. Tsurumaki-Fukuchi¹, M. Arita¹, T. Morie² and Y. Takahashi¹

E-mail: liyuanlin_nano@eis.hokudai.ac.jp

<研究背景>

抵抗変化型メモリの動作特性は作製材料に依存し、導電フィラメントの種類によって主に valence change memory (VCM) と electrochemical memory (ECM) に分類できる[1, 2]。電極材の選定により異なる動作モードが発現されているが、詳細な比較を検討した例はあまりない。本研究では、VCM と ECM 動作モードの比較に着目し、Ta₂O_{5-δ} 絶縁膜の膜形成条件を制御したうえ、異なる上部電極に組み合わせて初期状態及び動作特性を評価した。

<試料作製>

下部電極 TiN(100nm) の上に SiO₂(300nm) を層間絶縁層として形成した後、フォトリソグラフィと RIE により VIA HOLE(8μm) を形成し、RF スパッタリングで絶縁膜 Ta₂O_{5-δ} の形成条件を制御し、VCM と ECM を実現するために、上部電極を Ta と Cu(各 30nm) にそれぞれ形成し、比較のために不活性の TiN(50nm) 上部電極としたデバイスも作製した。絶縁膜 Ta₂O_{5-δ} の成膜条件として酸素流量比 $f_{\text{depo}} = [f_{\text{O}_2} / (f_{\text{Ar}} + f_{\text{O}_2})]$ と膜厚 t_{ox} を制御した。

<実験結果>

まず、三種類の上部電極とした試料の初期抵抗値を、±20 mV の電圧で測定した。Figure 1 では f_{depo} による三種類の初期抵抗を示す (膜厚 : 10 nm)。スパッタリング時の酸素分圧の上昇に伴って三種類の試料の初期抵抗が異なっている。不活性の TiN 上部電極の初期抵抗は最も高く、 f_{depo} の上昇に伴って上昇し、酸素欠陥の濃度(C_{ov})が低減したことが確認できる。TiN 上部電極構造では、酸素欠陥やイオンの導入が生じないと考えられるため、初期抵抗から、元の膜に含まれている酸素欠陥の量は $0 < \delta < 0.04$ (Ta₂O_{5-δ}) と推測できる[3, 4]。Ta 及び Cu 上部電極は TiN より 3 桁以上低い初期抵抗を示した。これは、Ta と Cu 電極—絶縁膜間の自発的な酸化還元反応によって、新たな酸素欠陥の導入や Cu イオンの導入が生じ、絶縁性が低下したと推測できる。そして、Ta の VCM では TiN 上部電極と同じく f_{depo} の上昇に伴って元々の C_{ov} に加えて、Ta 電極から導入される C_{ov} が追加され、絶縁性が単調に上昇したと考えられる。一方で、Cu 上部電極の ECM では、低い C_{ov} の場合の初期抵抗が最も高い値を示し、Cu イオンの導入あるいは拡散が絶縁膜の C_{ov} に強く依存することを示唆している。このように、Ta と Cu 上部電極による VCM と ECM には、Figure 2 のような初期拡散モデルが適用できると考える。VCM では初期作製に入れた酸素欠陥は残り、加えて Ta 上部電極が酸化膜の上部に新たな酸素欠陥を励起した。一方、ECM では、Cu イオンの拡散が示唆され、ECM の初期抵抗の f_{depo} 依存性から、Cu イオンの拡散定数は C_{ov} によって変化することが示唆される。

以上の初期状態は VCM と ECM のスイッチング動作に影響するが、スイッチ動作が生じれば、VCM は初期抵抗状態に関わらず似たような多値動作をする。一方、ECM は初期抵抗状態の違いをある程度反映した多値動作をすることがわかった。詳しい結果と討論は当日報告する。

<参考文献>

- [1] Y. Li, *et al.*, 2019 Silicon Nanoelectronics Workshop #4-3 (2019).
 [2] A. Wedig, *et al.*, *Nature Nanotech.*, 11, 67–74 (2016)
 [3] Y. Ma, *et al.*, *Adv. Electron. Mater.*, 5, 1800954, (2019). [4] T. V. Perevalov, *et al.*, *Nanotechnology*, 29, 264001 (2018).

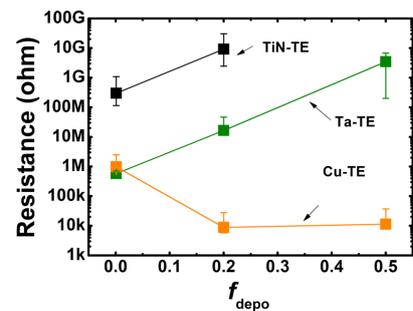
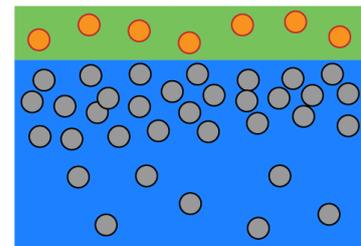


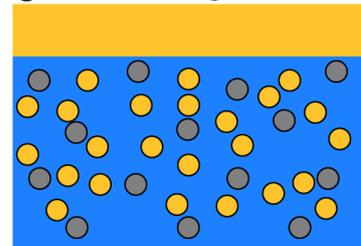
Figure 1 The initial resistance results.

● 酸素欠陥 ● 拡散した酸素



(a) VCM

● Cuイオン ● 酸素欠陥



(b) ECM

Figure 2 Initial diffusion models of fabricated VCM and ECM devices.