高抵抗動作を目指した Cu 上部電極型 Ta₂O_{5-δ}抵抗変化多値メモリ Realizing multi-value switching in high-resistive Ta₂O_{5-δ} based ReRAM using Cu top-electrode 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,高橋 庸夫¹, 森江 隆² Hokkaido Univ.¹, Kyushu Inst. Tech.², <u>Y. Li¹</u>, A. Tsurumaki-Fukuchi¹, M. Arita¹, Y. Takahashi¹ and T. Morie² E-mail: liyuanlin_nano@eis.hokudai.ac.jp

<研究背景>

デジタルまたはアナログの不揮発性メモリとして動作する抵抗変化型メモリ(ReRAM)は近年、機械学習向 けニューラルネットワークの構築に不可欠な素子と認められている[1]。ReRAMは、シナプスのようなアナログ 動作をし、不揮発性、耐久性、省電力の特徴で研究者の注目を集めている。Cu もしくは Ta を上部電極とした Ta2Oso ReRAM はアナログ抵抗変化の可能性を示した[2]。本研究では、上部電極(TE)による特性の違いに注目 し、ニューラルネットワークの構築に適した、耐久性と高抵抗を持つTa2Oso ReRAMの実現を目指す。

<試料作製>

ReRAM デバイスの作製に、まず下部電極 TiN (50 nm) 上に SiO₂ (300 nm) を層間絶縁層として成膜した。フォトリソグラフィと RIE により コンタクトホール (ϕ =4-64 μ m) の形成を行い、RF スパッタリングを 用いて絶縁膜 Ta₂O₅ 、上部電極 Cu あるいは Ta (30 nm)を成膜した。 Ta₂O₅ の成膜雰囲気として、O₂/Ar=50%を用いた。

<実験結果>

多値動作(MS)の評価は I-V スイープ測定により行った。すなわち、 正電圧スイープを用いて低抵抗状態 (LRS) にスイッチさせた後、負 電圧側へのスイープの最大値を少しずつ増加させながら、複数回印加 することで徐々に高抵抗状態(HRS)にスイッチさせた。Fig.1には、 Cu-TE Ta2O58 (20 nm)サンプルの結果を示す。+2.2V に急峻な低抵抗化 が生じ、複数回のRESETによって100kΩ以上の高抵抗状態に戻った。 挿入図は各電圧印加によってスイープ終了後の抵抗値を示し、段階的 な変化が生じた。Fig.2 には、作製した Cu-TE サンプルを用いて、SET に+3.0V、RESET に-1.0Vの測定条件で安定・耐久性について繰り返し 実験を行った。その結果、挿入図の Ta-TE Ta2O5-3(10nm)(RESET に-1.7V) ほど安定ではなかった。また、SET 後及び RESET 後の抵抗値(@20mV) を LRS と HRS と呼び、繰り返し回数によって抵抗値の変化を作図し た結果を Fig.3 に示す。 ★☆で表す Cu 上部電極は、 **□**で表すの Ta 上 部電極のデバイスの抵抗分布より揺らぎが大きいものの、抵抗値の可 変範囲(ウィンドウ)が広がった。また、二色の破線は二種類の上部 電極それぞれの初期抵抗を示し、Cu-TE には初期抵抗に近い、または 初期抵抗を超える HRS が出現した。それに対し、Ta-TE は高い初期抵 抗を持つが、動作時のHRSは初期抵抗より五桁くらい低くなった。

以上から、Cu-TE の金属フィラメントモデルが、Ta-TE の酸素欠陥 モデルより高い抵抗の HRS にスイッチできることが分かった。しか し、ニューラルネットワークの省電力化という観点からはより高抵抗 動作が必要であり、さらに検討する必要がある。また、Fig.2 のような 不安定性の回避については、トランジスタを接続し電流を精密に制御 することで、より安定な繰り返し動作が可能となると考えている。



Fig.1 Stop-voltage dependence of *I–V* characteristics of 20nm-50% ReRAM. Inset shows final resistances of each RESET.



Fig.2 Results of endurance tests of Cu-TE 20nm-50% and Ta-TE 10nm-50% samples.



Fig.3 Resistance changes of Ta-TE 10nm-50% (square) and Cu-TE 20nm-50% (star) with 10-time endurance test. Dot lines shows the initial resistance respectively.

<参考文献> [1] A. K. Maan *et al.*, *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.* **28** (2017) 1734. [2]李他, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 20a-222-4 (2018).