

ReRAM の書き換え耐久性の分析

Analysis of Endurance in 40nm TaO_x-based ReRAM

○宮部一帆, 木下寛士, 米内飛翔, 竹内健 (中大理工)

○Kazuho Miyabe, Hiroshi Kinoshita, Tsubasa Yonai, and Ken Takeuchi (Chuo Univ.)

E-mail: miyabe@takeuchi-lab.org

1. はじめに

深層学習のハードウェアを構成するディープニューラルネットワーク (Deep Neural Network; DNN) は、画像処理をはじめとする人工知能の領域で顕著な成功を収めている[1]。しかしシステムが大量のデータを処理する過程で、メモリの帯域幅によるパフォーマンスの制限と消費電力の増加が問題となっている[2]。こうした中、DRAM をより低消費電力な不揮発性メモリに置き換えることで、システムのパフォーマンスと消費電力を改善する研究が行われている[3]。抵抗変化型メモリ (Resistive Random Access Memory; ReRAM) は、DNN の省電力化が期待されている不揮発性メモリの一種であり、高密度、高速アクセス、低消費電力という特長から、将来のメモリアーキテクチャの有望な候補とみなされている[2]。

本稿では TaO_x ベースの ReRAM チップを対象とし、書き込まれるデータの書き換え耐久性を向上させる手法を検討した。

2. ReRAM の動作原理

ReRAM は、Fig. 1 に示すように、金属酸化物でできた抵抗変化層を2枚の電極で挟んだ構造をしている。これに電圧を印加すると酸素欠陥 V_O が縦方向に移動し、それらを結ぶパーコレーションパスが形成または切断されることで抵抗変化層の電気抵抗値が変化する。抵抗値が高い状態を HRS (High Resistance State)、低い状態を LRS (Low Resistance State) と呼び[4]、それぞれをデジタル値の 0 と 1 に対応付けて記憶する。なお、HRS の抵抗値は、LRS の数十倍以上大きい[5]。

3. 書き換え回数増加による LRS エラーの原理

ReRAM は、集中的に書き換えられたセルに対して再び Set/Reset の書き換え動作を行うと、特に Set 時に LRS のエラーを起こしやすくなる[4]。この現象は、Set/Reset 時に抵抗変化層内で発生するジュール熱が導電性フィラメント (CF) の直径を横方向に拡大させ、 V_O 同士の距離が広がることによって起こる。これに伴い、 V_O を結ぶパーコレーションパスが切断されやすくなり、電流経路が制限されて閾値以上の電流を流すことができなくなる。これが LRS エラーを引き起こす[6]。Fig. 2 に、フィラメント径拡大により LRS 電流値が減少する様子を示す。

4. 書き換え耐久性の分析方法

本稿では、Fig. 3 に示すように、セルに対して Set/Reset の書き換えサイクルを複数回繰り返し、ある回数においてセルに流れる電流値を

測定した。そして、正しく書き込まれていないセルの割合である BER (Bit Error Rate) をはじめとする、セルの諸特性を算出した。

謝辞

本研究の一部は、JST, CREST の支援(グラント番号 JPMJCR1532) を受けたものである。

参考文献

- [1] B. Li *et al.*, DATE, 2018, pp. 815-820.
- [2] L. Song *et al.*, HPCA, 2017, pp. 541-552.
- [3] M. Mao *et al.*, ICCD, 2015, pp. 359-366.
- [4] S. Fukuyama *et al.*, IRPS, 2018, pp. MY.4-1 - MY.4-5.
- [5] A. Kawahara *et al.*, ISSCC Dig. Tech. Papers, 2013, pp. 220-221.
- [6] A. Hayakawa *et al.*, IMW, 2017, pp. 1-4.

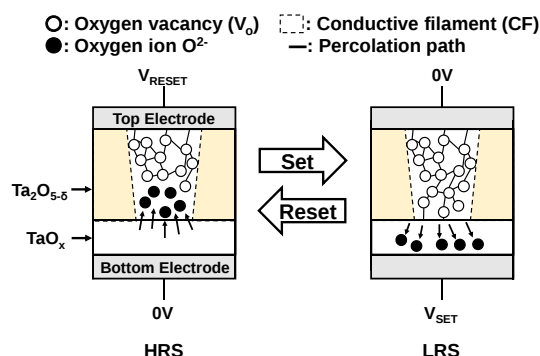


Fig. 1 Illustration of conduction switching in TaO_x-based ReRAM

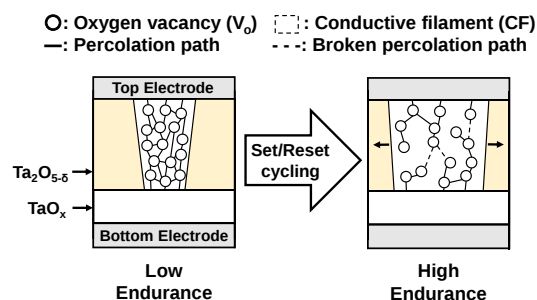


Fig. 2 Illustration of LRS error caused by CF expansion

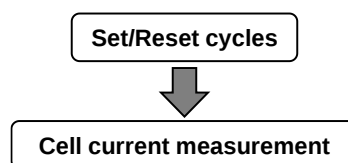


Fig. 3 The method of endurance analysis