

ナノスケール ReRAM/CBRAM デバイスの *In-situ* TEM 解析

In-situ TEM investigation of nano-scale ReRAM/CBRAM devices

○高橋 庸夫、福地 厚、有田 正志
北大院情報

○Yasuo Takahashi, Atsushi. Tsurumaki-Fukuchi, and Masashi Arita
IST, Hokkaido Univ.

E-mail: y-taka@nano.ist.hokudai.ac.jp

1.はじめに： 半導体デバイスの微細化による LSI の高性能化に加え、新たな機能デバイスを BEOL で搭載することで、新たな機能を追加が可能となっている。MOSFET 等は、物理モデルに基いて動作することが証明されているが、それでも長期動作信頼性に関しては、発熱や高エネルギーキャリアの影響による材料・構造の劣化が問題になり、その対策に多大な時間を費やしてきている。最近注目されている、抵抗変化メモリ (ReRAM) や相転移メモリ (PCM) では、積極的に構造変化を利用するので、長期信頼性確保のためには、材料物性的な劣化モデルが必要になる。特に、故障原因の特定と、寿命保証のための加速試験の原理の確立が不可欠となっている。

旧来、LSI の故障解析には、高解像度で材料分析も可能な透過型電子顕微鏡 (TEM) が用いられてきた。TEM の中でデバイスを動作させること (*in-situ*-TEM) が可能になれば、故障に向かって変化する過程が明確に観察でき、きわめて効果的である。幸い、デバイスのサイズは TEM の観察に適した 100nm 以下程度になり、TEM の中での劣化試験が可能になりつつある。ここでは、

ReRAM の一つである、Cu-CBRAM(Conductive Bridge RAM)の *in-situ*-TEM 評価について紹介する。

2.実験方法： TEM 評価用サンプルは、FIB 技術等を用いて、厚さ約 100nm の形状に加工する。TEM 内で電気的特性が評価可能とするため、下部電極をサンプルホルダに接続し、上部電極にはピエゾ駆動の探針を接触させることで導通をとる (Fig. 1 参照)。サンプルとホルダ間には MOSFET を挿入し、ReRAM が高速に抵抗変化する際の電流オーバーシュートを防止している。

3.実験結果： Fig. 1 の評価装置を用いて、各種の Cu-CBRAM について検討を行った結果、ほぼ全ての系で TEM の中で I-V 特性を測定することが可能であることが確認されている。加えて、条件が整えば、抵抗の変化に対応して、金属フィラメントの形成と消滅が動画として撮影可能である。また、最大の特徴は、繰返しスイッチさせることができる点である。最大、10 万回の抵抗スイッチを TEM 内で行うことに成功している¹⁾。この特徴を用いて、Cu/WO_x/TiN 構造の CBRAM の劣化特性を評価した結果が Fig. 2 である。図では、SET 電流を増やしながら、繰返しスイッチさせた際の、RESET 後(高抵抗状態)の TEM 像を示してある。このとき、SET 電流の増加に伴い、RESET 後の抵抗が低下する様子が同時に測定されている。Fig.2 からは、絶縁層の WO_x 層の見目の厚さが、電流とともに、薄くなっていることがわかり、抵抗変化と符合している。高抵抗状態の劣化が、WO_x 層内への Cu の析出によって徐々に起こっていることがわかった²⁾。

in-situ-TEMでの CBRAM の評価性能を Table I にまとめた。高速な時間分解能がビデオ画像のフレーム周波数で制限される以外は、多くの項目で高いレベルの評価が可能であることがわかる。最大の特徴である、変化の前後の状態を観察可能であることから、変化を引き起こした原因を特定でき、ナノスケール素子の信頼性評価には最適である³⁾。

[1] M. Kudo, et al., IMW, p.85 (2015). [2] M.Arita, et al., Scientific Reports, 5, 17103 (2015). [3] Y. Yang, et al., J. Electroceramics, (2017).

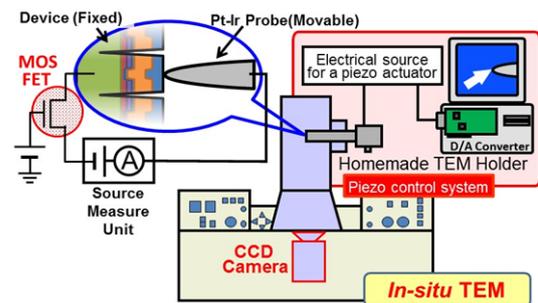


Fig. 1. *In-situ* TEM system for ReRAM.

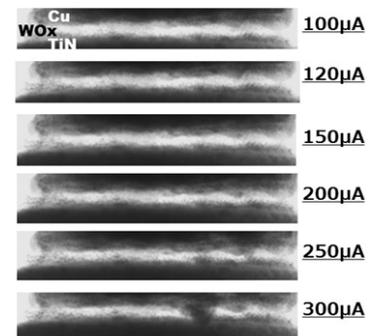


Fig. 2. TEM images after RESET measured by increasing SET current.

Table I Performances of *in-situ* TEM evaluation of CBRAM.

	評価項目	評価レベル
フィラメント イメージ	解像度	◎
	時間分解	△
	化学分析	◎
スイッチ 特性	I-V特性	○
	パルス駆動	○
	Endurance	○
	Retention	○
	Reliability	◎