

抵抗変化層に TiO_x を用いた抵抗変化メモリの試作

Fabrication of resistive random access memory using TiO_x as a resistance change layer

秋山竜介(電気電子工学科)

Ryusuke Akiyama

高機能デバイス研究室 指導教員 相川慎也 准教授

1. 緒言

データ量の爆発的な増加に伴い、新たな不揮発性メモリの開発が求められている。次世代メモリの候補として、強誘電体メモリ、磁気抵抗変化メモリ、相変化メモリ、抵抗変化型メモリ(ReRAM)が挙げられる。中でも ReRAM は高集積化、高速動作が可能であることから注目されている。しかしながら、ReRAM は抵抗変化材料としてレアメタルの Zr や Hf を用いており、埋蔵量やコスト面で課題がある。加えて、Hf では動作不安定性が報告されている[1]。また、Zr は酸化還元反応エネルギー ΔG が -5.4 eV と高いため、Set/Reset 時の電圧が高くなるのが課題となっている[2]。

そこで本研究では、抵抗変化層として、地殻内存在量が多く、安価であるとともに、ワイドバンドギャップ、高熱安定性、高誘電率という特徴をもつ TiO_2 を用いることで[3]、先行材料の問題を解決することを目指す。 TiO_2 は $\Delta G \sim -1.7 \text{ eV}$ と小さいため、Set/Reset の低電圧化につながる事が期待される。

2. 方法

作製した ReRAM の概略図を図1に示す。Si 基板上に Pt/ TiO_x /Pt/Ti 積層構造とした。接着層として、まず Ti を 5nm 堆積させた。金属マスクを使用し Ti および下部電極となる Pt を 50nm 電子ビーム(EB)蒸着装置を用いて蒸着した。ターゲットにはそれぞれ金属 Ti と金属 Pt を用いた。その後、下部電極上に抵抗変化層となる Ti 薄膜を EB 蒸着装置にて 25nm 蒸着した。Ti は蒸着後に、卓上ランプ加熱装置を用いて酸素雰囲気下にて 400°C 、30 分でアニールを施し TiO_x とした。上部電極には金属マスクを使用し Pt を 50nm 蒸着した。作製した ReRAM の電流-電圧(I-V)特性は SMU(Keysight B2900A Quick I/V)を用い室温、大気中でマニュアルプローバーを用いて評価した。ReRAM 特性の電極サイズ依存性を調べるため、抵抗変化層の面積が $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ と $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ のものを比較した。

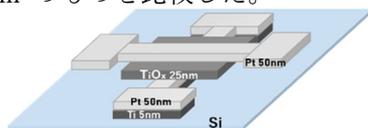


図1 作製素子の概略図

3. 実験結果および考察

作製した ReRAM の I-V 特性を図2に示す。上部電極に正電圧を印加することで約 20V で Set した、一方でいずれの電圧印加においても Reset 動作は見られなかった。これは正電極側に引き寄せられた酸素イオンが酸素ガスとして脱離するため[4]、負電圧印加時に酸素空孔フィラメントを埋める酸素イオン

が足りずフィラメントが完全に断裂できなかったためだと考える。

また、繰り返し動作において、上部電極と下部電極間でのリークにより、導通状態となることが観測された(図2青線)。これは酸素ガスの脱離により酸素イオンが不足し、 TiO_x 層が還元されるため、より金属的な挙動になったと考える。図3に電極サイズが(a) $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 、および(b) $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ の ReRAM の I-V 特性を示す。電極サイズが小さい素子では、10 程度のオンオフ比が得られた。また繰り返し測定 of 5 回目で導通状態となった。一方で、大きい素子は 2 回目で導通状態となった。これより、繰り返し測定においても小さい素子で比較的良好な特性が得られた。これは、小さな素子では酸素アニール時に十分な酸化が施されたためだと考える。

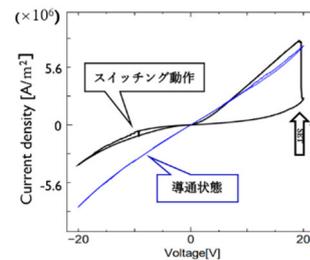


図2 作製した ReRAM の典型的な I-V 特性

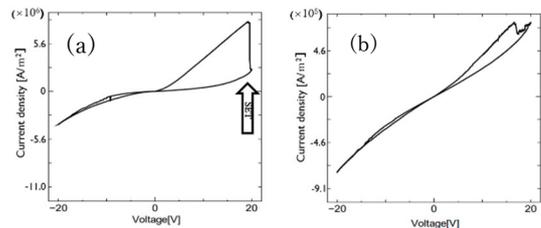


図3 ReRAM 特性の電極依存性：(a) $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 、(b) $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ 。

5. 結論

TiO_x を抵抗変化層に用いた ReRAM を作製し、その特性評価を行った。今回作製した条件においては、Reset 動作が見られなかった。これは、酸素ガスの脱離により Reset 動作時にフィラメントが破断されなかったことによるものと考えられる。電極サイズの比較では、 $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ に比べ $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ の小さい素子で優れた特性が得られた。これは、酸化アニール時のサイズ依存性を示唆するものと考えられる。

6. 参考文献

- [1] A. Hardtdegen, et al, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol.65, No.8, p.3229-3236 (2018)
- [2] 二宮健生, 酸化物の材料設計と信頼性モデリングに基づく抵抗変化型メモリの量産化, 名古屋大学大学院博士論文(2016)
- [3] D.Carta, et al, ACS Appl. Mater. Interfaces, p.19605-19611 (2016)
- [4] D. Acharyya, et al, Microelectronics Reliability, 54, p.541-560 (2014).