

Zr₀x/Si₀x スタック型 ReRAM の動作機構解明に向けた 電極界面挙動の理解

Electrical behavior at the electrode interface for understanding operation mechanism of Zr₀x/Si₀x stacked ReRAM devices

浪花 大暉

指導教員 相川 慎也

工学院大学 工学部 電気電子工学科 高機能デバイス研究室

キーワード：抵抗変化型メモリ, ReRAM, 遷移金属酸化物、Cu フィラメント

1. 緒言

現在の不揮発性メモリの中心であるフラッシュメモリは微細化や性能向上化において限界に達しつつある。そのため、次世代の不揮発性メモリの研究が活発に行われている。その中でも、抵抗変化型メモリ（ReRAM）は高集積化に優れていること、高速動作が可能であることから、新たな不揮発性メモリとして注目を集めている。

しかし、安定した動作が報告されている ReRAM は電極に貴金属を用いるものが多く、集積化にあってコスト面の問題がある。そこで当研究室では、電極に貴金属を使わない ReRAM の開発を行っている。実際に作成した Cu/Zr₀x/Si₀x/Mo 積層構造の素子は ReRAM としての動作が確認出来たが、その動作原理は明らかになっていない。^[1]

本研究では先行研究の Cu/Zr₀x/Si₀x/Mo 積層構造の ReRAM の動作メカニズムを検討するために、下部電極に Pt を用いて電流-電圧（I-V）測定を行い、特性を評価した。

2. 方法

作成した試料は、Si 基板上の Cu/Zr₀x/Pt:Si/Ti 積層構造（図 1）である。Ti は Si と Pt との密着性を向上させるための接着層である。まず、Si 基板上に Ti および下部電極となる Pt を電子ビーム

（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 とプラチナにシリコンドープした金属 Pt:Si を用いた。その後、下部電極上に抵抗変化層となる Zr を Zr₀₂ ターゲットを用いて EB 蒸着装置にて 25nm 蒸着した。Zr 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 600°C、30 分でアニールを施し Zr₀_x とした。上部電極には、シャドウマスク（0.4mm × 0.4mm）を用いて EB 蒸着装置にて Cu を 50nm 蒸着した。ターゲットには金属 Cu を用いた。

作成した試料の電流-電圧（I-V）特性は 2 端子測定法により測定した。この際、0V → 5V → 0V → -5V → 0V の順に電圧掃引を行い、コンプライアンス電流は 0.1A とした。

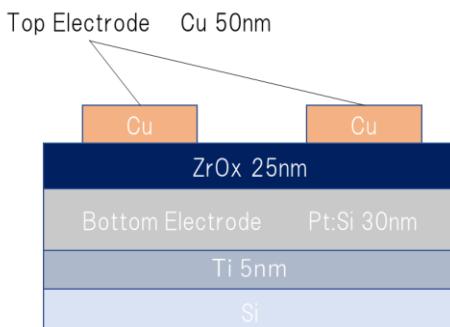


図 1 作製素子の断面概略図

3. 実験結果および考察

図2にCu/ZrO_x/Pt:Si素子のI-V特性を示す。上部電極のCuに正電圧を印加することでセットし、負電圧を印加することでリセット(LRSからHRSへスイッチング)した。セット電圧は約2.2V、リセット電圧は約2.9Vとなった。このスイッチングの動作モデルを図2に示す。上部電極に正電圧を印加すると抵抗変化層中のCuイオンが下部電極方向へ移動し、下部電極界面で偏析する。さらに電圧を印加することで、下部電極に偏析したCuイオンは電気化学反応により還元され、Cuとして析出する。この析出したCuが上部電極と下部電極を接続するフィラメントを形成した際に抵抗値がHRSからLRSとなる急峻な変化を起こす。^[2]

図2よりセット方向において急峻な抵抗変化が発生した2.2Vを超えると電流値が不安定になることが確認できる。これは生成されたCuフィラメントに電流が流れ、その電流で発生したジュール熱によってCuフィラメントが酸化されることでCu₀が形成されるためと考える。Cu₀が形成されることで、上部電極界面で導通しづらい箇所が現われる。したがって、セットの閾値電圧以上の電圧を印加すると電流値の不安定さが表れると考えられる。

リセット時は2.9V付近で10³程度の急激な変化が得られ、優れたリセット特性が確認出来た。Cu/ZrO_x/SiO_x/Mo積層構造のReRAMはリセット動作が不安定であった。リセット時には上部電圧に負電圧を印加する。セット時とは逆バイアスをかけるため、析出していたCuフィラメントはCuイオンとなり抵抗変化層へと拡散される。これによりフィラメントが断裂され、HRSへとシフトする。しかし、Moを下部電極に用いた場合、上部電極のCuと同様に下部電極からMoイオンが拡散し、HRS状態が不安定になる。そのため、ReRAMのリセット動作が安定しなかったと考えられる。

対して、本研究では安定性の高いPtを下部電極に用いたため、リセット時の動作が安定した。

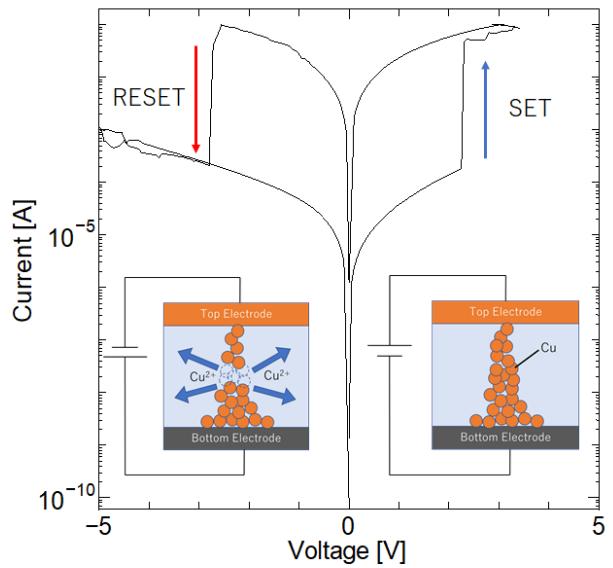


図2 作成したReRAMのIV特性およびスイッチング動作モデル

4. 結論

作成したCu/ZrO_x/Pt:Si積層構造の素子はLRSとHRSとの間で電流値が10³程度のReRAMの特徴的なスイッチング特性が確認できた。

また、貴金属であるPtを下部電極に用いることで、先行研究のリセット時の不安定さの原因が、下部電極Moのイオン拡散によるものだと示唆された。

今後の展望として、上部電極CuとZrO_x層の間にCu₀を挟んだフィラメント機構と界面機構を組み合わせたReRAMを作成し、安定したセット動作の検討を行う。

5. 参考文献

- [1] K. Toyama, D. Naniwa, S. Aikawa, 33rd International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC 2020), Osaka, Japan, Nov. 9-12, 2020, Session No. 2020-22-15.
- [2] M. Liu, Q. Liu, S. Long and W. Guan, Proceeding of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, Paris, 2010, pp. 1-4, Doi:10.1109/ISCAS.2010.5537156