

酸化物半導体を用いた抵抗変化メモリの動作サイクルにおける電極サイズの依存性

Dependence of Electrode Size on the Operating Cycle of Resistance Change Memory Using Oxide Semiconductors

秋山竜介
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：抵抗変化メモリ，ReRAM,電極サイズ,反応エネルギー

1. 緒言

データ量の爆発的な増加に伴い、メモリ需要が増加し、それに伴い新たなメモリの開発が活発化している。その中でも抵抗変化型メモリ（ReRAM）は高集積化、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されている。しかし、ReRAM は動作サイクルに課題があり、安定した動作が報告されているものも貴金属を用いるものが多くコスト面の問題もある。そこで当研究室では貴金属ができるだけ使用しない ReRAM を作成するとともに動作サイクルの向上を研究している。^[1]

本研究では ReRAM の電極サイズを小さくすることでの動作サイクルに及ぼす影響を確認した。それに加え、上部電極を Pt に変えることで酸素空孔のみのフィラメント形成の動作サイクルに及ぼす影響を確認した。

2. 方法

作成した試料は、Si 基板上の Cu/ZrO_x/Pt/Ti 積層構造（図 1）である。Ti は Si 基板と Pt の密着性向上させるための接着層である。まず Si 基板上に電極サイズの縮小を目的とした金属マスクを使用し 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 と金属 Pt を用いた。その後、下部電極上に抵抗変化層となる Zr を ZrO₂ ターゲットを用いて金属マスクを使用し 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 ZrO_x とした。上部電極には金属マスクを使用し Cu を 50nm 蒸着した。

酸素空孔のみのフィラメントでの特性を確認するため上部電極を Pt に変え 50nm 蒸着した。Pt/ZrO_x/Pt 積層構造（図 2）

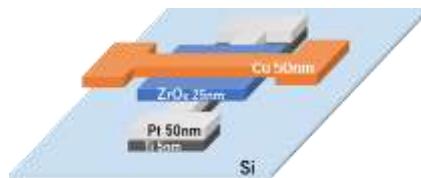


図 1 作製素子の概略図

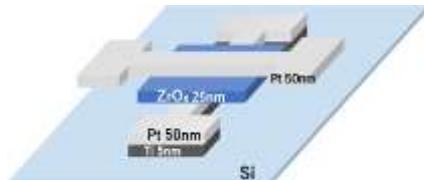


図 2 上部電極 Pt の概略図

3. 実験結果および考察

図 3 に Cu/ZrO_x/Pt 素子の I-V 特性を示す。上部電極 Cu に正電荷を印加することでセットし、負電荷を印加することによりセットした。このスイッチングの動作モデルを図 3 中に示す。電極サイズ 0.0036 mm² の場合、0.0441 mm² に比べ優れた I-V 特性が得られた。これは電極サイズが小さい方がフィラメント密度が高くなり、良好なリテンション特性が得られたためだと考えている。^[2] しかしながら図 3 の動作

サイクルのうち 7 回目の動作で負電荷を印加中リセット後セットが行われた。これは Cu イオンでのフィラメントが一度破断された後、酸素空孔が破断されたフィラメントを補填したと思われる。そのため図 4 では上部電極を Pt に変えることで酸素空孔のみでの動作を確認する。

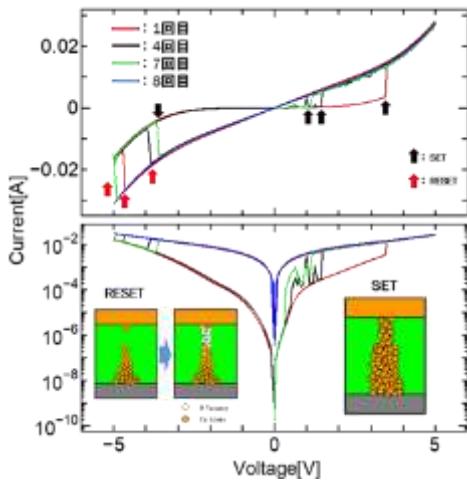


図 3 Cu/ZrO_x/Pt の I-V 特性

図 4 に Pt/ZrO_x/Pt での I-V 特性を示す。上部電極が Pt の場合 Cu 時に比べ動作サイクルの安定性が低い、また回数を追うごとに絶縁性が高くなることが分かった。これは反応エネルギーが高いほど安定性が悪いことから表 1 より ZrO_x の反応エネルギーが比較的大きいことが分かる。これにより高抵抗状態からセットがうまく起こらず絶縁性が高くなってしまったと考えられる。

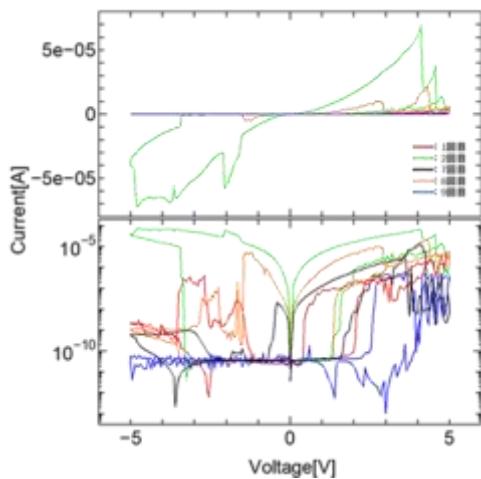


図 4 Pt/ZrO₂/Pt の I-V 特性

表 1 反応エネルギーの比較

MO _x	全エネルギー (eV/unit cell)	MO _y	全エネルギー (eV/unit cell)	ΔG (eV)
TaO ₂	-29.6	Ta ₂ O ₅	-66.1	-0.9
Ti ₂ O ₃	-46.1	TiO ₂	-26.9	-1.7
ZrO	-17.9	ZrO ₂	-28.5	-5.4
HfO	-18.9	HfO ₂	-30.5	-6.4
NbO ₂	-28.3	Nb ₂ O ₅	-62.7	-1.5
Cu ₂ O	-12.7	CuO	-9.8	-0.8

4. 結論

電極サイズが 0.06 mm の素子が 0.21 mm の素子に比べ優れた I-V 特性が得られた。また上部電極を Pt に変え酸素空孔のみのフィラメントによる I-V 特性では動作サイクルが不安定で回数を追うごとに絶縁性が高くなった。これは Zr の反応エネルギーが比較的大きくリセット状態からセットされなくなり絶縁性が高くなつたと考えられる。

今後の展望として反応エネルギーが Zr に比べ小さい Ti を使用することで動作サイクルの安定化を図るとともに、引き続き電極サイズの影響も観察する。

5. 参考文献

- [1] 浪花大暉, ZrO_x/SiO_x スタック型 ReRAM の動作機構解明に向けた電極海面挙動の理解, 第 12 回八王子コンソーシアム, Q126(2020)

- [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, 博士論文(2016)