

SiO_x/TiO_x/SiO_x積層型抵抗変化素子における過渡応答評価

Transient response in SiO_x/TiO_x/SiO_x stacked resistive changing devices

牧島 唯斗 (電気電子工学科)

Yuito Makishima

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 教授

1. 緒言

急速な情報社会の発展に伴い、メモリデバイスの需要が増加し、大容量化、高速化が求められている。従来のトランジスタメモリは速度および微細化を更に進展させることが厳しいため、次世代型不揮発性メモリへの置き換えが行われている。次世代型不揮発性メモリの中でも、抵抗変化メモリ(ReRAM)は占有面積の小ささと高速動作の観点で優れているため注目されている。

ReRAM は単純な金属/絶縁体(抵抗変化層)/金属(MIM)構造で構成されており、電界によって情報を書き換えて記憶する素子である。ReRAM の電極には、主に白金(Pt)が用いられてきた。しかし Pt を含む貴金属は、電極と抵抗変化層の間に酸素ガスを発生させ、デバイスを破壊する問題点があった[1]。

当研究室ではタングステン(W)を電極として用いることで酸素ガスの発生を抑制しつつ、抵抗変化層に酸化チタン(TiO_x)を用いることで低コスト化した[2]。しかし、TiO_x は抵抗変化が不安定であり、デバイスの動作回数が 10 回程度まで少なくなった。我々は、この問題を酸素リザーバー層の役割を持つ酸化ケイ素(SiO_x)で抵抗変化層を挟むことで解決し、動作回数を 100 回程度まで上昇させた。しかしながら、作製した抵抗変化素子の動作速度とそのメカニズムは未解明のままである。

そこで本研究では、W/SiO_x/TiO_x/SiO_x/W 構造の抵抗変化素子を作製し、SiO_x 層の加熱温度を変化させ、酸素空孔を減少させた際の動作速度と挿入膜が及ぼす影響を観測し、そのメカニズム解明を目的とした。

2. 実験方法

成膜は全て RF マグネトロンスパッタ装置で行った。アルゴン雰囲気成膜圧力を 0.4 Pa として薄膜を作製した。最初に、アセトン/IPA で超音波洗浄したシリコン基板の上に、チタン(Ti)を 5 nm 成膜して接着層とした。その後 W を 50 nm 成膜して下部電極とした。次に酸素リザーバー層として SiO_x を 15 nm 成膜し、卓上ランプ加熱装置を用いて加熱した。加熱条件は酸素雰囲気下で 300, 400, 500 °C とし、10 分処理した。続いて抵抗変化層として Ti を 20 nm 堆積させ、卓上ランプ加熱装置を用いて加熱した。加熱条件は酸素雰囲気下で 300 °C, 10 分とした。その後 SiO_x を 15 nm 成膜して酸素リザーバー層とし、W を 50 nm 成膜して上部電極とした。

測定は室温・大気圧下のマニュアルプローブ上で、半導体パラメータアナライザーを用いて行った。測定時の概略図を Fig. 1 に示す。始めに作製したデバイスが ReRAM 同様に動作することを確認するため、電流-電圧(I-V)特性を測定した。測定プログラムは 0 V → -5 V → 0 V → +5 V → 0 V とし、25 mV/s の速度で電圧を掃引した。続いて過渡応答特性を測定するため、電圧パルスを加し電流-時間(I-t)、電圧-時間(V-t)特性を測定した。パルス波長は 100, 10, 1 ms とし、振幅はそれぞれのデバイスの I-V 特性測定で高抵抗状態から低抵抗状態へ急激に遷移(RESET)した電圧、

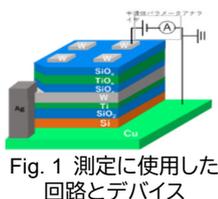


Fig. 1 測定に使用した回路とデバイス

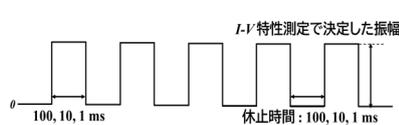


Fig. 2 印加したパルス

または低抵抗状態から高抵抗状態に急激に遷移(SET)した電圧の内大きい方の少数を繰り上げた値にした。測定に用いたパルス電圧波形を Fig.2 に示す。

3. 実験結果および考察

SiO_x 層を 300 および 400 °C, 10 分で加熱したデバイスの典型的な I-V 特性を Fig.3 に示す。300 °C で加熱したデバイスでは動作回数を重ねるごとに抵抗状態の変化の仕方が異なった。400 °C で加熱したデバイスはメモリの記憶性能であるヒステリシスが小さくなった一方で、低電圧で安定に動作した。これは、酸素リザーバー層を比較的高温で加熱したことにより、ReRAM の動作の要因となる酸素空孔が減少し、抵抗変化は起こりにくくなった一方で、フィラメントは安定して接続されたためであると考えられる。300 °C で加熱したデバイスは、+2.9 V で SET 動作したのち、-4.2 V で RESET 動作した。よって、同デバイスに対するパルスの振幅は 5 V とした。一方、400 °C で加熱したデバイスは、+0.18 V で SET 動作したのち、-0.27 V で RESET 動作した。よって、同デバイスに対するパルスの振幅は 0.2 V とした。

300 °C 加熱したデバイスで 1 ms の電圧パルスを印加したときの、時間に対する電流と電圧の波形を Fig.4 に示す。300 °C で加熱したデバイスは、波長が 100, 10, 1 ms の全ての電圧パルスにおいて、1 回のパルスで SET した。一方、400 °C で加熱したデバイスは、100 ms の波長の電圧パルスを印加しても、1 回のパルスで SET せず、2 回目以降も抵抗が変化した。これにより酸素空孔の移動時間は、300 °C 加熱したデバイスでは 1 ms 以下である一方、400, 500 °C 加熱したデバイスでは 100 ms より長いことが考えられる。

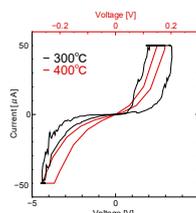


Fig. 3 作成した素子の I-V 特性

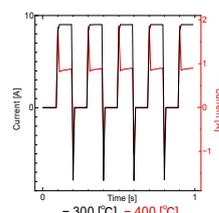


Fig. 4 SiO₂ を 300, 400 °C 加熱したデバイスの過渡応答特性(100ms)

4. 結論

本研究では、W/SiO_x/TiO_x/SiO_x/W 構造の抵抗変化素子を作製し、その影響の調査と過渡応答評価を行った。その結果、SiO_x 層を 400 °C 加熱したときに良好な I-V 特性が得られることが判明し、一方で 300 °C で加熱したときの方が、ReRAM としての動作速度が速いことが判明した。先行研究で報告されたデバイスは、SiO_x 層の加熱温度を上昇させることでより良い I-V 特性を得ることができると報告通りに作成することで動作速度が向上することが分かった。今後の展望としては、今回得た結果の原因を調査するため、透明電極を採用し、フィラメントの観察を行う。

5. 参考文献

- [1] D.Acharyya, *et al.*, Microelectron Reliab., 54, pp.541-560, (2014).
- [2] 池田翔, “TiO_x 系抵抗変化層を用いた ReRAM 特性のアニール温度の依存性”, 工学院大学, 2022, 卒業論文