

SiO_x/TiO_x/SiO_x 抵抗変化素子の 1C1R 回路への実装

Implementation of SiO_x/TiO_x/SiO_x resistive changing memory device into 1C1R circuits

中村 光我 (電気電子工学科)

Koga Nakamura

高機能デバイス研究室 指導教員 相川 慎也 教授

1. 緒言

近年の情報社会の発展による情報量の増加に伴い、占有面積、データの書き換えや読み出しにかかる電力の増加、そしてデータアクセスに要する時間が課題となっている[1]。このような課題を踏まえ、次世代不揮発性メモリとして動作速度が速く集積化が容易な抵抗変化メモリ(ReRAM)が注目されている。

ReRAM を集積するにあたり、初期案として ReRAM の上下を平行な金属線で挟んだクロスバー・アレイが提案されてきた。しかし、この構成では意図しないスニーク電流が発生し、余分なエネルギー消費やターゲットセルへの書き込み動作が失敗する欠点がある[2]。スニーク電流を除去するために、1つのメモリセルに対して1つのトランジスタを組み合わせた 1T1R 型が提案された[3]。この構成によりスニーク電流の除去は可能となったが、一方で高抵抗状態から低抵抗状態、または低抵抗状態から高抵抗状態に切り替える際に必要となるエネルギーが 1.17 nJ[4]と、現在使用されている DRAM の書き込み動作に必要なエネルギー約 0.2-0.4 pJ に対して消費電力が高くなってしまいう問題が発生した。

この課題を解決するために ReRAM の高速性と低消費電力性を活用するメモリ構造として、キャパシタと組み合わせた 1C1R 型が提案されている[5]。しかし、ReRAM デバイスを実装した実験的報告は未だない。

本研究では、これまでに開発してきた SiO_x/TiO_x/SiO_x 構造の抵抗変化素子を 1C1R 回路に実装し、その電気特性評価を目的とする。

2. 実験方法

最初に、アセトン/IPA で超音波洗浄した Si 基板上に RF マグネトロンスパッタ装置を用いて Ti を 5 nm 成膜し接着層とした。そののちに W を 50 nm 成膜して下部電極とした。次に酸素リサバー層成膜のため、RF マグネトロンスパッタ装置を用いて 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℃、10 分とした。続いて抵抗変化層成膜のため、再び RF マグネトロンスパッタ装置を用いて Ti を 20 nm 成膜した後、卓上ランプ加熱装置を用いて加熱した。加熱条件は 300℃10 分とした。その後 RF マグネトロンスパッタ装置で SiO_x を 15 nm 成膜して酸素リサバー層とし、W を 50 nm 成膜して上部電極として、図 1 に示す通りの ReRAM を作製した。

作製後、まず Fig. 1 に示す通り ReRAM の下部電極と銅版を銀ペーストで接着しコンタクトを取った。その後半導体パラメータアナライザを用いて室温、大気圧下で 0 V→+5 V→0 V→-5 V→0 V の順に電圧を掃引し、電流-電圧(*I-V*)特性を評価した。次に Fig.

2 に示すように Fig. 1 の回路にキャパシタ *C*(67 μF)を直列に接続した 1C1R 回路を作製し、*I-V* 特性を同条件で測定した。

続いて過渡応答特性を測定するため、半導体パラメータアナライザを用いて室温、大気圧電圧下でパルス印加し電流-時間(*I-t*)特性を測定した。パルス波長は 100ms とし、振幅は 5V とした。

3. 実験結果および考察

アニール温度 300℃で作製したデバイスおよび 1C1R 回路実装したデバイスの *I-V* 特性を Fig. 3 に示す。デバイスのみと 1C1R 回路のいずれも+2.8 V で低抵抗状態から高抵抗状態へ急峻に抵抗が変化した(SET)。また負方向ではどちらも同様に、-3.7 V で高抵抗状態から低抵抗状態へ急峻に抵抗が変化した(RESET)。SET, RESET は酸素空孔フィラメントの形成と破断に起因すると考える。電界で移動した酸素空孔がフィラメントを形成することで SET し、これが逆電界により破断することで RESET する。1C1R 回路ではデバイス同様の電圧で抵抗変化した^が、その ON/OFF 比はデバイスの半分であった。これは電圧変化の際にコンデンサに電荷が蓄積し、動作範囲に影響が生じていると考える。

また過渡応答特性を Fig. 4 に示す。デバイスのみと 1C1R 回路のいずれも 1 回目の電圧パルスで SET した。電流の大きさ、SET の発生時間に大きな違いは見られなかった。これからキャパシタがオープンスイッチとして動作していると考えられる。[5]

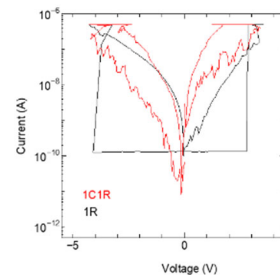


Fig. 3 SiO_x/TiO_x/SiO_x 構造
(300℃)の *I-V* 特性

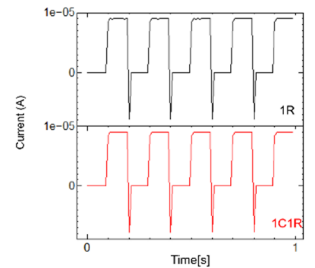


Fig. 4 SiO_x/TiO_x/SiO_x 構造
(300℃)の過渡応答特性

4. 結論

本研究では、SiO_x/TiO_x/SiO_x 構造の抵抗変化素子を 1C1R 回路に実装し、*I-V* 特性と過渡応答特性を評価した。作製したデバイスと回路は、*I-V* 特性においてそれぞれ同様の電圧で抵抗変化を示した。また過渡応答特性においてどちらも 1 回目の電圧パルスで SET し、電流の大きさ、SET の発生時間に大きな違いは見られなかった。したがって本研究で作製した抵抗変化素子は、1C1R 回路に応用できることが示唆された。

5. 参考文献

- [1] A. Alshaya, et al., 2023 IEEE 66th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), pp.341-345 (2023).
- [2] H. Li, et al., Adv. Intell. Syst., Vol. 3, pp.2100017 (2021).
- [3] H. Nikam, et al., IEEE Trans. Electron Devices, Vol.69, pp.1743-1751 (2022).
- [4] A. Alshaya, et al., J. Phys. Conf. Ser., 2613 (2023).
- [5] A. Alshaya, et al., 2022 International Conference on Microelectronics (ICM), pp.121-124 (2022).

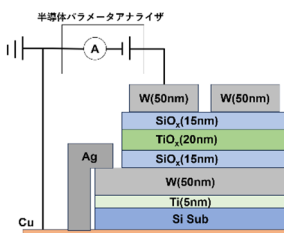


Fig. 1 作成した ReRAM デバイスの構造
成及び *I-V* 特性測定概略図

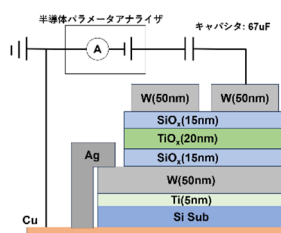


Fig. 2 作製した 1C1R 回路
の *I-V* 測定概略図