

TiO_x/SiO_x 積層型抵抗変化メモリの堆積順序が電気特性に及ぼす影響

Influence of Deposition Order on Electrical Properties of TiO_x/SiO_x Stacked Resistive Random Access Memory

加藤 崇

指導教員 相川 慎也 研究協力者 大沢 遼輝, 岩澤 侑司
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：酸化物半導体, TiO_x, SiO_x, ReRAM, 絶縁層

1. 緒言

近年、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、低消費電力化が求められている。しかし、従来のメモリデバイスでは微細化の限界により、これ以上の性能向上が望めなくなっている。そこで次世代型不揮発性メモリが開発されている。中でも微細化のしやすさ、動作速度の速さから抵抗変化メモリ (ReRAM) が注目されている。ReRAM は簡易な構造のため微細化が容易であるとともに、異種材料の積層によるマルチビット化が期待できる。現在、典型的な ReRAM は、Pt を電極、Hf や Zr を抵抗変化層として用いている。しかしデバイスのコストおよび動作電圧が高いこと [1] また、動作が不安定であり [2]、代替金属の使用が求められている。

我々はこれまでに、W を上部および下部電極、TiO_x を抵抗変化層とした貴金属フリーの ReRAM デバイスにおいて、電極/抵抗変化層の界面に SiO_x 層の挿入効果について報告した。SiO_x/TiO_x 間での酸化還元により効果的な酸素空孔形成が生じ、安定したフィラメントが形成され、動作の安定性が向上した [3]。しかし SiO_x 層を挿入する位置を変えた場合の電気特性評価については未実施であった。

そこで本研究では、W を上部および下部電極に、TiO_x を抵抗変化層とした ReRAM デバイスに、上部電極/抵抗変化層、下部電極/抵抗変化層の界面それぞれに SiO_x 層を挿入した 2 種類のデバイスを

製作し I - V 特性を評価することで、電気特性を調査し電極界面での SiO_x 層の役割を解明することを目的とする。

2. 実験方法

Fig. 1 に、製作した ReRAM デバイスの断面模式図を示す。アセトン/IPA で超音波洗浄した SiO₂ 付き Si 基板の上に RF マグネトロンスパッタリングにて、Ar 雰囲気下で成膜を行った。まず接着層として Ti を 5 nm、下部電極として W を 50 nm 成膜した。Fig. 1(a)の構造では SiO_x を 10 nm または 15 nm 成膜した後、抵抗変化層として TiO_x を 25 nm 成膜した。Fig. 1(b)では抵抗変化層として TiO_x を 25 nm 成膜した後、SiO_x を 10 nm または 15 nm 成膜した。その後、(a)では TiO_x 成膜後に、(b)では TiO_x/SiO_x 成膜後に、卓上ランプ加熱装置を用いて O₂ 雰囲気にて 300 °C アニールした。最後に W を 50 nm マスク蒸着し上部電極とした。銅板にデバイスと下部電極を銀ペーストで繋げ、マニュアルプローバを用いて室温・大気圧下で電圧スイープさせ I - V 特性を測定した。

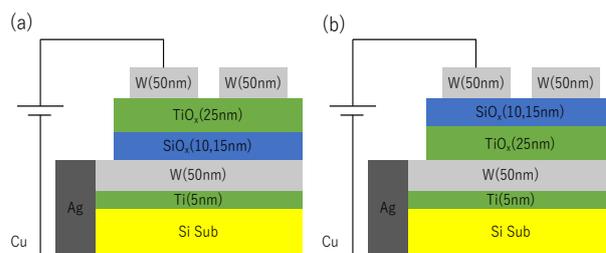


Fig.1 デバイスの断面模式図

3. 実験結果及び考察

Fig.1(a)のデバイスの I - V 特性を Fig.2、Fig.1(b)のデバイスの I - V 特性を Fig.3 に示す。

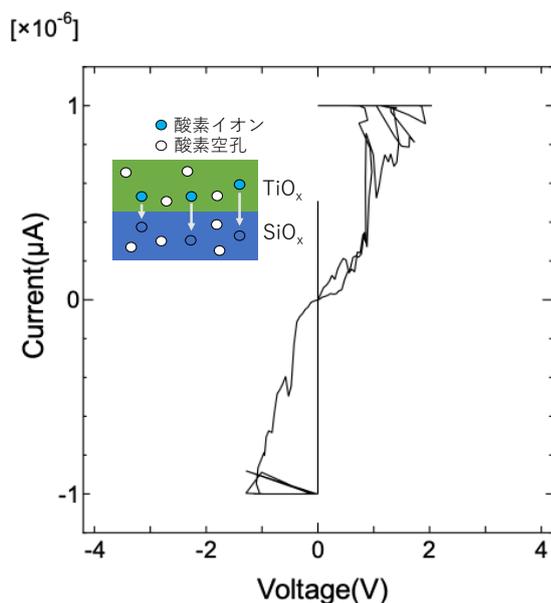


Fig.2 Fig.1(a)のデバイスの I - V 特性

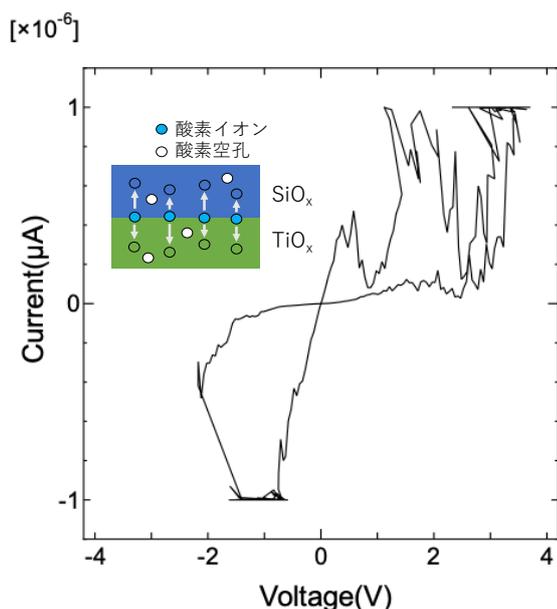


Fig.3 Fig.1(b)のデバイスの I - V 特性

Fig.2 において負電圧を印加することにより、 -0.5 V 付近でスイッチングが生じ導通した後、正電圧印加後に挙動が不安定となった。これは、負電圧印加後に TiO_x 層に存在する酸素イオンが SiO_x 層に吸収されフィラメントが形成されることにより導通したためだと考えられる。また、導通した後に絶縁状態とならなかったのは、アニールが十分

でなかったため、成膜中に SiO_x 層内に多くの酸素空孔が残り、導通しやすかった一方で破断されないフィラメントが形成されたと考えられる。

Fig.3 では負電圧を印加することで -2 V 付近でスイッチングした後、正電圧印加で不安定な挙動が見られ、その後絶縁状態となった。このデバイスにおいても、負電圧印加により SiO_x 層に存在する酸素イオンが TiO_x 層に供給されフィラメントが形成されることにより導通したと考えられる。また Fig.1(b)のデバイスは Fig.1(a)のそれに比べて十分にアニールを行ったため、十分に酸化され抵抗変化層全体の酸素空孔が少ない。そのため、フィラメントの断裂がしやすくなっていると考えられる。

このことから、下部に挿入した SiO_x 層は TiO_x 層の酸素を吸着することで全体の酸素空孔の量を均一にし、上部に挿入した SiO_x 層は TiO_x 層と酸素をやり取りすることによって抵抗変化層になっていると考えられる。

4. 結論

本研究では W を上部および下部電極に、 TiO_x を抵抗変化層とした ReRAM デバイスに、上部電極/抵抗変化層、下部電極/抵抗変化層の界面それぞれに SiO_x 層を挿入した 2 種類のデバイスを製作し I - V 特性を評価した。その結果、Fig.1(a)のデバイスではスイッチングが生じ導通した後、挙動が不安定となった。Fig.1(b)のデバイスではスイッチングした後、連続した不安定な動作が見られ、その後フィラメントが破断され絶縁状態となった。これらのことから、上部/下部界面に挿入した SiO_x 層は挿入箇所異なる役割をしていることが分かった。

5. 参考文献

- [1] H. Zhai et al., *Journal of Materials Science & Technology* 32, 676-680 (2016).
- [2] E. Ambrosi et al., *Faraday discussions* 213, 87-98 (2019).
- [3] 大沢遼輝, 他, SiO_x 層挿入による TiO_x 系 ReRAM の動作安定化, 2023 年第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 22a-A303-2.