

論文内容の要旨

博士論文題目

システムオンプラスチック応用に向けた
非晶質 InGaZnO 抵抗変化メモリに関する研究

氏 名 門 圭佑

(論文内容の要旨)

次世代ウェアラブル端末の実現に向けて、プラスチック基板上にデバイスを集積化させるシステムオンプラスチック (SoP) が注目を浴びている。集積化される素子はプラスチックの熱変形温度より低い温度で作製される必要がある。低温プロセスが可能で、有機材料より電子移動度や信頼性の優れた無機材料である非晶質 InGaZnO (*a*-IGZO) は、論理回路を構成する薄膜トランジスタ (TFT) だけでなく、抵抗変化メモリ (ReRAM) としても期待されている。現在、*a*-IGZO は ReRAM として動作することは確認されているが、素子性能は低いままである。その原因として動作メカニズムの解釈にいくつも説があり、高性能化するための有効な技術が成熟していないためである。*a*-IGZO ReRAM を実用化するためには、動作メカニズムの解明は重要な課題である。本研究では、*a*-IGZO ReRAM の動作メカニズムの解明と、SoP への応用を想定し小型化された *a*-IGZO ReRAM の動作評価を行い、SoP を実現するためのメモリ技術の確立を目指した。

本論文は第 1 章「序論」から第 4 章「総括と展望」までの全 4 章で構成されている。

第 2 章では、低温プロセスにて作製した簡易構造 Pt / *a*-IGZO / Pt メモリセルの動作実証と動作メカニズムについて解析を行った。上部電極 Pt に正電圧を印加するとソフトブレイクダウンが起こり、低抵抗状態へ変化した。負電圧印加により高抵抗状態に戻り、高抵抗状態は低抵抗状態に比べ 100 倍抵抗値が高く、読み出し動作を行う上で十分なメモリウィンドウが得られた。また、電圧駆動中の ReRAM からフィラメントの形成・崩壊から生じたジュール熱を観察し、*a*-IGZO ReRAM は導電性フィラメントを介したメモリ動作を行うことが明らかになった。

第 3 章では、前章で *a*-IGZO ReRAM の動作メカニズムが明らかになったことから、SoP を想定した小型化されたデバイスを作製し、セル動作評価を行った。素子に対する初めての書き込み電圧であるフォーミング電圧と 2 回目以降の書き込み電圧を比較した結果、小型化されたデバイスにおいて従来の ReRAM セルのフォーミング電圧および 2 回目以降の書き込み電圧より高い再現性でそれぞれの電圧は低減された。また *a*-IGZO ReRAM の電気特性から、ON 状態では導体としての特性を示し、OFF 状態では絶縁体の特性を示した。100 回の書き込み・消去を繰り返してもメモリウィンドウの減少はなく、良好な結果が得られ

た．これらの結果から，低温プロセスにおいて良好な特性を示すメモリの実現性を見出した．

以上の結果より，*a*-IGZO ReRAM の動作メカニズムの解明および低消費電力化・高信頼性化としての可能性を示した．本研究で得られた知見により，より実用的な *a*-IGZO ReRAM への応用が可能となり，次世代ウェアラブル端末の実現に貢献すると期待される．

(論文審査結果の要旨)

本論文は、非晶質 InGaZnO 抵抗変化メモリ (*a*-IGZO ReRAM) の動作メカニズムの解明と、プラスチック基板上にあらゆる周辺機器を集積化させるシステムオンプラスチックへの応用を想定し、小型化された *a*-IGZO ReRAM の動作評価を目的とし研究された。以下に示す結果を得ている。

(1) 室温で成膜した *a*-IGZO を Pt 電極で挟んだ Pt / *a*-IGZO / Pt 構造をもつ簡易試料の動作実証を行った。上部電極 Pt に正電圧と負電圧を印加し、書き込み・消去動作が十分なメモリウィンドウ 10^2 を保ちながら行われることを確認した。電極面積依存性の評価からは、メモリが OFF 状態のときは *a*-IGZO 膜を介した伝導が行われ、ON 状態では局所伝導であるフィラメントが存在することが示された。

(2) メモリ駆動時の発熱解析の結果から、フィラメントの形成・崩壊から生じたジュール熱を観察し、*a*-IGZO ReRAM はフィラメントを介したメモリ動作を行うことが分かった。素子面積の大きなメモリからは複数のフィラメントが形成され、動作電流値が高くなる可能性が示唆された。バイポーラ型で動作する ReRAM の動作メカニズムは、ジュール熱によって酸化還元反応が起こり、フィラメントが崩壊・形成すると考察した。これらの結果から、マクロスケールにおける新しいメカニズム解析手法として発熱解析を確立した。

(3) *a*-IGZO は光・大気中の水分および酸素などの影響を受けやすいことが課題として考えられてきた。本研究では外気などの影響を防ぐために *a*-IGZO 膜を上部電極で覆った新しい素子構造を提案し、さらに小型化した素子の動作実証を行った。その結果、素子面積の縮小の効果からメモリの OFF 抵抗値が増加し、制限電流を低く設定してもメモリ動作に必要なメモリウィンドウを維持できることが分かった。またメモリの書き込みに必要な印加電圧を従来の *a*-IGZO ReRAM のものより高い再現性で低下させることに成功した。

(4) 上記の結果を踏まえ、素子面積を縮小することにより 1 つのフィラメントのみ選択的に形成し、動作電流値の低減を試みた。小型化された素子を用いて発熱解析を行った結果、1 つの発熱スポットを観察したことから、素子面積の縮小により選択的に 1 つのフィラメントを形成できることが分かった。電気特性から動作電流値は約 $100 \mu\text{A}$ まで低減された。これはフィラメントの数・サイズを制御したことで素子の低消費電力化が実現されたことを示す。また、100 回の書き込み・消去を繰り返してもメモリウィンドウの減少はなく、良好な繰り返し特性を得た。これは外気と *a*-IGZO の相互作用が抑制されたことで、酸素欠陥の過剰な発生が抑えられ、素子の信頼性が向上したと考察した。

以上より、本論文は *a*-IGZO ReRAM の動作メカニズムの解明および低消費電力化・高信頼性化としての可能性を示した点で工学的に高い価値を有し、半導体工学やデバイスプロセス工学の発展に大きく寄与するものと考えられる。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。