

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11232 号
------	---------------

氏 名 二宮 健生

論 文 題 目

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

(Mass Production of Resistive Random Access Memory Based on Oxide Material Design and Reliability Modeling)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	白石 賢二
委員	名古屋大学	教授	財満 鎮明
委員	名古屋大学	教授	宮崎 誠一
委員	名古屋大学	准教授	芳松 克則

論文審査の結果の要旨

二宮健生君提出の論文「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」は、二宮君が抵抗変化型メモリの材料設計から信頼性モデリングの構築を通して世界初の抵抗変化型メモリの量産化を行った過程を詳細に議論しているものである。

各章の概要は以下の通りである。

第1章では、不揮発性メモリの動向を述べると同時に抵抗変化型メモリの最近の進歩とそのポテンシャルについて議論している。

第2章では、抵抗変化型メモリ材料として最も適した材料を第一原理計算を用いた計算科学によって予言することを試みている。その結果タンタル酸化物が最も抵抗編型メモリに適していることが明らかになった。

第3章では、抵抗変化型メモリデバイスの構造について考察している。その結果、高抵抗状態と低抵抗状態の0n-0ffを支配するフィラメントはたった一つであることを実験的に明らかにしている。また、フィラメントの伝導機構はホッピング伝導であることを明らかにした。

第4章では、これまで成功しなかった低電流動作におけるリテンション特性の向上に成功した道筋について述べている。低電流動作においてはこれまでの手法ではフィラメントが内径が大きくなってしまい、酸素空孔濃度が下がってしまうため、主要なパーコレーション経路が切断されることが起こってしまうため、リテンション特性が悪かった。そこで筆者はフィラメントのスケーリングという新しい考え方を提案し、内径の小さなフィラメントを作ることによって酸素空孔密度を高く保てるというアイデアの下実験を行った。その結果、下部のTaOxの酸素濃度を高くすることによって内径の小さなフィラメントを作成することに成功した。この結果、これまで280 μ Aまでしか動作しなかった抵抗変化型メモリが80 μ Aという低電流でもリテンションを保ち動作することがわかった。この研究により抵抗変化型メモリの世界初の量産化に一歩近づいた。さらに本省では抵抗変化型メモリのスケーリングに対する見直しについても述べている。

第5章では多数回書き換え後のリテンション特性について述べている。本章では多数回の書き換えを行った後におけるリテンション特性を改善するために、サイクリング動作中のフィラメント特性の変化について調べた。まず、書き換えを繰り返し行うことで導電性フィラメントの径が拡大してしまい、このために D_{hop} が減少してしまうことを突き止めた。前章で明らかにしたように、低い D_{hop} の場合にはLRSでのフェイルビットが発生してしまうのである。この拡大挙動が、ジュール熱による導電性フィラメント周囲からの酸素イオン拡散によるものであると考え、モデルの妥当性を計算により得られるフィラメント径の拡大量と拡散距離とを比較することで検証した。最後に、駆動条件を最適化することで導電性フィラメントの拡大を抑制し、サイクル動作後においても良好なリテンション特性を実現した。この成果は抵抗変化型メモリの量産化への道を確認するものにするものであった。

第6章では、リテンション特性に大きな影響を与える導電性フィラメント周囲の酸素拡散について、その材料依存性に初めて着目した。計算により種々の酸化物の化学ポテンシャルを計算し、その結果、材料選択は第2章で述べた抵抗変化特性を決めるだけではなく、リテンション特性にも密接に関わることがわかった。SIMS分析による実験結果で、タンタルとハフニウム酸化物では大きく酸素拡散速度が異なることを確認し、計算による見積もりの妥当性を確認した。また本章で示した考えに基づく取り組みは、抵抗変化材料の設計において極めて有効であると考えている。そしてその結果は、タンタル酸化物が第2章で示した書き換え特性に対してのみでなく、リテンション特性の観点からもReRAMに適した材料であることを示すものであった。

以上のように、本論文は大容量化と高速駆動に対して高いポテンシャルを有する、抵抗変化型メモリの材料設計、信頼性モデリング及びそのモデルに基づくデータ保持特性の改善について考察することを通して抵抗変化型メモリ量産化への道を議論したものである。本論文の成果である材料設計と信頼性モデリングに基づき、パナソニック株式会社は世界初となるReRAMの実用化に成功した。0.18 μ mのプロセスノードを用いたReRAM内蔵マイコンの生産を2013年8月より開始しており、ReRAMの特長である低消費電力性能を活かすことにより、電池駆動機器の長時間駆動を実現している。さらに本論文で示した結果は、タンタル酸化物を用いたReRAMの更なる大容量化および低消費電力化のポテンシャルを支持するものであり、様々なメモリアプリケーションに利用できることを示すものである。このように世界初の抵抗変化型メモリの量産化の筋道を議論した本論文はメモリ応用において革命的な寄与したことが認められ工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である二宮健生君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。