



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on tantalum oxide resistive memory operation using different nano-material compositions [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	李, 遠霖
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14726号
Issue Date	2021-09-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/83236
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Yuanlin_Li_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 李 遠霖

審査担当者 主 査 教 授 植村 哲也
 副 査 教 授 本久 順一
 副 査 高橋庸夫 (北海道大学名誉教授)
 副 査 准教授 有田 正志

学位論文題名

Study on tantalum oxide resistive memory operation using different nano-material compositions

(異なるナノ材料で構成したタンタル酸化物抵抗変化メモリの動作特性に関する研究)

人工ニューラルネットワーク (ANN) の応用により、さまざまな分野において情報処理の効率化が図られている。しかし、トランジスタの微細化限界の点から、その性能向上の制限が指摘されている。この状況を打破するためには多数のニューロンとシナプスを集積したデバイスが必要となるが、その実現のためには超微細化可能なアナログメモリ素子の開発が不可欠である。その重要な候補の一つが、本論文で研究対象とした抵抗変化メモリ (ReRAM) である。金属・絶縁体・金属のシンプルな構造であるため微細化に有利であり、正または負の電圧印加によって生じる可逆的な抵抗変化を不揮発な情報として保持するものである。また、電圧印加方法により連続的な抵抗値を保存できることから、国内外において ANN 用素子としての研究が進められている。

電圧印加による抵抗変化は、絶縁体中における導電フィラメントの形成と破断に依ると考えられており、酸素空孔フィラメント (VCM:valence change memory) と金属フィラメント (ECM:electrochemical memory) に大別される。絶縁層に酸化物を用いる場合、いずれにおいても酸素空孔の制御が大切であると考えられ、様々な酸化物や金属を用いたメモリ動作が調べられている。しかしながら先行研究においては、酸化物の作製方法や電極材料、デバイス構造が報告ごとに異なっており、アナログ動作の安定的実現に向けての統一的・客観的理解が不十分な現状にある。

これに対して、本論文では、半導体プロセスに親和性のあるタンタル酸化物 (Ta_2O_5) 系 ReRAM に焦点を絞り、アナログ動作発現の要因を、デバイス初期状態、ReRAM タイプの特徴、電力投入方法などの側面から、詳細に調べている。結果として、その初期酸素空孔量や電極による酸素吸収効果 (scavenging 効果) のみならず、電極酸化などの微細構造変化が重要であることを指摘し、また電力投入法の工夫によってデバイスのアナログ基本特性を示すなど、重要な知見を得ている。

以下に論文の構成を述べる。

第 1 章は序論である。抵抗変化メモリの歴史、ANN への応用の経緯および近年の研究動向について概観している。

第 2 章では、研究の目的、意義および議論の流れを説明している。

第 3 章では、使用した実験手法をまとめている。スパッタ法によるデバイス作製、デバイス化プロセスについて述べた後、電気特性評価方法および走査透過電子顕微鏡を用いた元素分析 (STEM/EDS) について説明している。

第 4 章では、メモリ動作特性に多大な影響を与え得るデバイス初期状態に着目し、異なる酸素空

孔濃度を持つ Ta_2O_5 と異なる scavenging 効果を有する金属電極を組み合わせた VCM について議論している。scavenging 効果によって酸素空孔が導入され、初期抵抗、デバイス初期化の絶縁破壊電圧 (forming 電圧)、初期化後の抵抗値が条件により異なるという結果を得ている。電気測定結果と STEM/EDS 測定結果との比較により、これらの特性変化が、一般的に言われているような、電極金属の酸化物生成エネルギーだけで決まる物ではなく、初期酸素空孔濃度、界面における電極酸化物層の形成、 Ta_2O_5 層内の空孔分布などにより大きく影響されることを示した。

第 5 章では、微細化デバイスを用いてメモリ特性について議論している。第 4 章の結果に基づいて Ta 電極の VCM に注目し、Cu 電極の ECM との比較を通じて、アナログ特性に関する特徴を調べている。後者の動作が初期酸素空孔濃度により影響を受けるのに対し、前者は初期状態に依らないアナログ特性を示すことを見出し、アナログ動作を行う上で Ta/ Ta_2O_5 が取扱易い構造であると結論づけている。

第 6 章では、メモリ動作時の投入電力に注目し、Ta/ Ta_2O_5 を例として動作条件最適化について議論している。極薄 SiO_2 層の挿入による電流制限によって急激なメモリ書込/消去を軽減できうること、また書き込み時の電流、消去時の電圧が安定したアナログ動作の鍵であることを示した。その結果として、パルス電圧によるアナログ動作、生物シナプスを模擬したスパイクタイミング依存可塑特性 (STDP) を示すことに成功している。

第 7 章は、本研究の総括である。

これを要するに、著者は、抵抗変化メモリのアナログ動作を安定して実現する要因について調査・解析した。 Ta_2O_5 系デバイスを例として、その初期酸素空孔量や電極による scavenging 効果の組み合わせ、電力投入方法が重要な鍵を握るとの結論を得ており、メモリ開発に関する重要な指針を示した。今後のナノデバイス研究へ貢献するところ大である。

よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。