

論文審査の結果の要旨

氏名 藤原 宏平

本論文「Resistance Switching in Binary Transition Metal Oxides (二元系遷移金属酸化物の抵抗スイッチング)」は題目に表現される様に、酸化物が示す電界誘起抵抗スイッチング現象のメカニズム解明に取り組んだ研究である。論文は全六章から成る。

第一章では研究の背景が述べられている。現行の半導体メモリ素子が抱える問題について紹介し、それを克服する新規デバイスとして抵抗メモリ素子が注目されていると述べている。続いて、抵抗メモリ素子の基本原理である抵抗スイッチング現象について説明し、遷移金属酸化物における報告を概観している。応用上有望視されながらも現象理解が進んでいない二元系酸化物の当該現象を研究対象として取り上げ、そのメカニズムの解明を研究目的として設定している。具体的アプローチとして、酸化物中への導電性パスの形成／消失を示唆する報告を取り上げ、このパス形成の真偽が機構解明だけでなく応用上極めて重要な指標である微細化限界などにも密接に関連することを指摘している。

第二章では、実験に用いた平面型抵抗スイッチング素子の作製法及び基本特性が述べられている。通常素子は金属／酸化物／金属の薄膜積層構造から成るが、平面型では酸化物表面に平行平板型の金属電極を有する。このため酸化物領域の表面観察が可能であり、推測される導電性パス形成の実証に適していると説明している。独自に考案したプロセスに基づいて作製した平面型素子は良好な抵抗スイッチング特性を示し、その特性が通常積層構造で発現するスイッチングと本質的に同じ、即ち同一の物理的起源に起因すると実験事実から確認している。

第三章では、抵抗スイッチング領域の特定を中心に電気特性・表面観察の結果について述べている。開発した平面型素子構造を用いることで、スイッチング動作の初期化のプロセス時に酸化物中にブリッジ状構造が形成されることを観測した。ブリッジ切断実験の結果は、このブリッジ構造内での金属－絶縁体間相変化が、スイッチングの本質であることを示す。最後にブリッジ構築のプロセスは一種の不完全絶縁破壊現象であることを一般的な絶縁破壊と比較して論じている。

第四章では、上述の導電性ブリッジ構造内の化学的状態の評価を分光学的に行い、それに基づいて動作モデルを構築している。光電子顕微鏡（微小領域 X 線吸収）・エネルギー分散型 X 線分析を駆使し、ブリッジ構造内では母体酸化物が化学的に強く還元されていることを明らかにした。これらをもとに二元系遷移金属酸化物の抵抗スイッチング現

象の機構として電圧／電流印加による局所酸化還元を提案した。すなわち絶縁破壊に誘起された還元（低抵抗化）と電流誘起局所酸化（高抵抗化）がスイッチングの背景にあるメカニズムである。提案されたモデルは本論文で明らかになった実験結果のみならず、過去の報告をも非常に良く説明する。

第五章では、抵抗スイッチングの諸特性の改善法について述べられている。上述のブリッジ構造の形成位置の制御、またその結果として得られるブリッジサイズの低減により、スイッチング電圧・電流を大幅に低下させることができることを実証している。本章で紹介されているアプローチにより、メモリ応用上障害となっているいくつかの問題が解決可能である。即ち抵抗スイッチングメモリは、将来の高集積メモリとして高いポテンシャルを有する。

第六章では、本論文で行われた研究の総括及びそこから得られた知見がまとめられている。抵抗スイッチング効果を利用したナノメモリ創製へのアイデアを提示している。同時に、酸化物の機能開拓をナノスケールで行う上で今後重要になる問題を提起している。

本論文は、金属／二元系遷移金属酸化物／金属構造が示す抵抗スイッチング効果の本質が電圧／電流誘起による局所酸化還元現象であるという明確な動作モデルを構築し、さらには高性能抵抗メモリ実現への設計指針を提案した。独自の素子構造を構築するなど、その研究アプローチは極めて独創的である。これらの結果は、遷移金属酸化物が示す電場誘起相転移現象の理解に対して重要な知見を与えるだけでなく、酸化物エレクトロニクス発展にも大きく貢献するものである。従って、博士（科学）の学位を授与できると認める。