

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A New Resistive Switching Based on Breakdown and Anodic Re-Oxidation of Thin SiO ₂ at the Interface of CeO _x Buffer Layer and Silicon Related Bottom Electrodes
著者(和文)	Mokhammad Sholihul Hadi
Author(English)	Mokhammad Sholihul Hadi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10340号, 授与年月日:2016年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:角嶋 邦之,筒井 一生,若林 整,大見 俊一郎,渡辺 正裕
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10340号, Conferred date:2016/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Mokhammad Sholihul Hadi		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	角嶋 邦之	准教授	審査員	大見 俊一郎	准教授
	審査員	筒井 一生	教授			
		若林 整	教授			
		渡辺 正裕	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“A New Resistive Switching Based on Breakdown and Anodic Re-Oxidation of Thin SiO₂ at the Interface of CeO_x Buffer Layer and Silicon Related Bottom Electrodes”と題し、英文7章で構成されている。

第1章“Introduction”では、これまでのコンピュータシステムで採用されているアクセス遅延時間とメモリ容量の違いによりもたらされる階層的メモリ構造について述べている。特に最近の高性能コンピュータシステムではCMOS論理回路の速度性能向上に比べてメモリの性能向上が追いつかないために遅延時間のギャップが大きいという課題があることを述べ、これの解決には遅延時間ギャップを埋めるための新規な不揮発メモリ（ストレージクラスメモリ）が必要であることを主張している。これまでに提案されている不揮発メモリ技術について概観し、上記目的には抵抗変化型メモリ ReRAM が適していることを述べている。ReRAM の動作原理や現状技術の課題を説明した上で、本研究の目的が新規な動作機構の ReRAM によりその課題解決を行うことであると述べ、本論文の構成を示している。

第2章“Concept Disclosure”では、従来型 ReRAM の動作機構を説明し、(1) メモリの動作初期に高電圧を印加するフォーミングプロセスが必要である、(2) 動作電圧とオンオフ比のトレードオフ関係がある、という2つの大きな課題があることを示している。これらを解決するために本研究で提案した新たな ReRAM 構造、すなわち下部電極との界面に極薄 SiO₂ 膜を形成させた CeO_x 膜を中核とする構造を説明している。CeO_x 膜と SiO₂ 膜という大きく誘電率の異なる積層構造をとることによって、極薄 SiO₂ 膜に電界を集中させて低い電圧でセット動作（局所絶縁破壊）を可能とすること、CeO_x 膜を介した酸素の輸送により効率よくリセット動作（絶縁破壊部分の修復）が行えること、SiO₂ 膜の良好な絶縁特性により高いオンオフ比が実現出来ること、という本構造の動作機構について説明している。

第3章“Effect of Bottom Electrode on Device Switching Characteristics with CeO_x Buffer Layer”では、ReRAM 動作機構に大きな影響を与える下部電極について W, Ti, Ni, TiN を用いた ReRAM を試作評価している。そして、CeO_x 膜と下部電極界面に反応形成される CeO_x 膜より誘電率の小さな極薄絶縁膜の存在が ReRAM 特性、なかでもフォーミングプロセスの要不要、に与える影響を検討している。

第4章“Bipolar Resistive Switching Characteristics of CeO_x Layer on Si-based Bottom Electrodes”では、第3章で得られた結果よりフォーミングプロセス不要かつオンオフ比を大きくできる極薄絶縁膜には SiO₂ が有力な候補であるとの考えに基づき、Si 下部電極を用いた ReRAM を試作評価している。さらに、この構造での ReRAM 動作機構について考察し、十分に薄くかつトラップ密度の少ない SiO₂ 絶縁膜を CeO_x 絶縁膜と下部電極界面に形成することが重要との知見を得ている。

第5章“Forming Free Resistive Switching Memory Device with CeO_x layer on NiSi₂ Bottom Electrode”では、下部電極に NiSi₂ を用いることによりフォーミングプロセスが不要かつオンオフ比を大きくできることを ReRAM の試作評価により明らかにしている。NiSi₂ を用いた結果、1.5nm の極薄 SiO₂ 絶縁膜を安定的に界面に形成できることを示し、適切な酸素雰囲気中熱処理を施すことによりトラップ密度を低減し、フォーミングプロセスが不要で、10⁶ という高いオンオフ比を実現できることも示した。さらに、CeO_x 膜厚依存性を調べることにより第2章で提示した動作機構の妥当性を検証している。

第6章“Time Dependence Analysis of W/CeO_x/SiO₂/NiSi₂ ReRAM Structure”では、セット動作およびリセット動作における電流の時間依存性を評価し、本研究で提示する極薄絶縁膜の破壊と回復という機構と矛盾のない結果が示されている。また、ReRAM の遅延時間が 200ns 以下とストレージクラスメモリへの応用には十分な速度を有すること、少なくとも 200 回（実験上の制約回数）以上にわたりオンオフ比 10³ 以上という書き換え耐性を有することが示されている。

第7章“Conclusion”では、本研究で得られた結果をまとめ、これまで報告されてきた ReRAM 特性との比較を行いながら本研究で提示する ReRAM の優位性を論じると共に、将来に向けた研究開発課題を提示している。

以上を要するに、本論文は、今後のストレージクラスメモリへの適用が期待される ReRAM について、フォーミングプロセス不要かつ高いオンオフ比という課題解決を目的とした研究を行い、CeO_x 絶縁膜と Si 含有下部電極との界面反応により極薄 SiO₂ 絶縁層を形成した構造により実現した新規な動作機構を持つ ReRAM により課題が解決できることを明らかにしたものであり、工学上、工業上、貢献することが大きい。よって我々は、本論文が博士(工学)の学位論文として十分な価値あるものと認める。