

高スピード、低電力動作の新しい抵抗変化型不揮発メモリ

先端的共通技術部門 量子ビームユニット 中性子散乱グループ 原田善之	先端的共通技術部門 量子ビームユニット 中性子散乱グループ 児子精祐	先端的共通技術部門 量子ビームユニット 中性子散乱グループ 中野嘉博	先端的共通技術部門 量子ビームユニット 中性子散乱グループ 加藤誠一	先端的共通技術部門 量子ビームユニット イオンビームグループ 大吉啓司	先端的共通技術部門 量子ビームユニット ユニット長 北澤英明	中核機能部門 強磁場共用ステーション 木戸義勇
---	---	---	---	--	---	-------------------------------

シリコン系メモリの限界を超える ReRAM

集積メモリはシリコンを中心とした半導体の微細加工技術により技術革新を遂げてきました。主流は光リソグラフィという作製方法で、集積度の向上に伴って短波長側の光源を用いて微細化を実現し、近年では極端紫外線(波長13.6nm)を用いて20nm台のパターニングが実現しています。しかし、これ以上の微細化となると光源の物理的限界に達しようとするため困難で、製造には莫大なコストが必要になります。そのため近年シリコン系にかわる次世代メモリ材料、デバイスの研究が世界的にすすめられており、中でも抵抗変化型メモリ(ReRAM)は金属で酸化物などの絶縁体をサンドイッチしたMIM型構造という簡単な構造であることから製造コストを下げることが期待されています。また、数ボルト程度の低電圧により材料の持つ電気抵抗が高い状態(OFF状態)と低い状態(ON状態)をサイクルすることで動作することから、低電力動作が可能というメリットや、さらにDRAMの持つ高速応答性と、不揮発メモリ特性という二面性を同時に持つことから、ReRAMは夢のユニバーサルメモリともいわれています。

従来のReRAM構成材料にはニッケル(Ni)やコバルト(Co)などの酸化物が、電極や配線にはプラチナ(Pt)が用いられてきましたが、これらの多くは資源確保の問題を抱えて

います。我々は、元素戦略プロジェクトの一環として「ありふれた材料を用い、構造などを工夫することにより同等の機能を発揮する材料の開発」というコンセプトの下、アルミニウム(AI)と酸素(O)のみからなるReRAMデバイスの開発をすすめてきました。

アルミニウム酸化物と アルミ配線のみでReRAMを作製

我々が開発したデバイスは、記憶部分を担うアルミニウム酸化物(アルミナ)層(AI₂O₃)と配線部分のAIにて作製されています。アルミナ層は通常のアルミナより酸素を欠損した構造を人工的に作製することにより、記憶層として用いています。これらは材料・プロセスともに従来のシリコン製造プロセスと大変相性がいいことが知られています。そこで作製工程にはシリコンデバイスを製造する際使われている製造プロセスを利用し、5から100μm角のデバイスを作製し、全体としてメモリ容量256ビットメモリを実現しました。

アルミナは絶縁性が高いため、通常の作製方法では周囲の絶縁性の低い部分を通して動作(リーク)することが考えられます。そこでこのメモリセルでは絶縁層の形成について考慮したプロセス開発をおこないました。

図1はこのデバイスの構造で、上下配線は図1中のオレンジの部分に見られるように厚い樹脂性の絶縁層により分離されており、アル

ミナ層以外での電流リークを抑制しています。この絶縁層は塗布により形成が可能で、作製プロセスと同様の方法でパターン形成、熱硬化が可能となる優位性を持っています。

図2はこのメモリの典型的なI-V特性のグラフです。動作サイクルは、まずアルミナ層内にフィラメントといわれる電流パスの元を形成します(フォーミング工程)。この後、記憶時にはプラス側に電圧をかけ、閾値に到達するとOFF状態(高抵抗状態)からON状態(低抵抗状態)へと抵抗値が変化します。この際、急激な電流上昇を防ぎ、素子を保護するために電流には制限(この素子では100μAの電流制限)を加えておきます。この状態で抵抗値は保持されることにより、電圧を切った状態でも記憶することが可能となります。逆に消去時にはマイナス側に電圧を印加します。こちら側では電流制限を外しており、電流が流れるままに流します。こちらもある閾値に到達すると電流は急激に減少、抵抗状態がONからOFFへと変化し、後はこのサイクルを繰り返すことによりメモリとして動作します。このように厚い絶縁層のため配線間での電流リークは見られず、ONは5.5V、OFFは1V以下の安定的な動作を確認しています。現時点では、本材料による素子サイズは大きいですが、シリコンと同じ製造プロセスが可能で、今後はこの酸化アルミニウム系ReRAMでも小型化、高集積化の可能性ががあります。

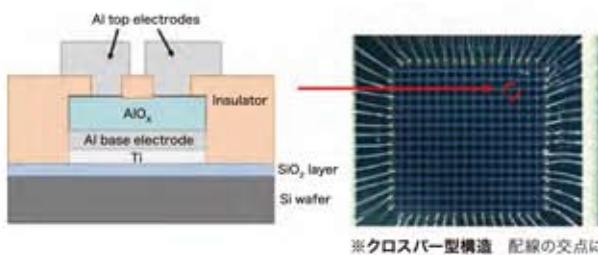


図1 アルミナ ReRAM のデバイス構造

※クロスバー型構造 配線の交点にメモリ素子が配置されている

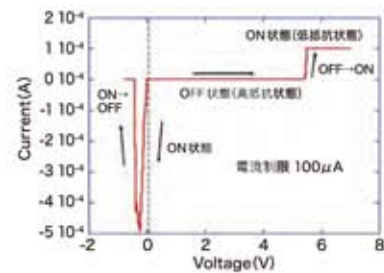
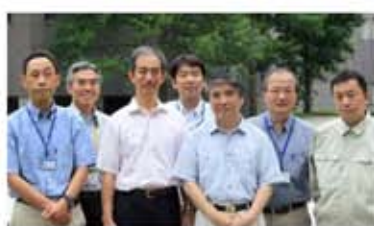


図2 典型的なアルミナ ReRAMのI-V特性



(左から順に)おおよし けいじ 博士(工学)。日本板硝子筑波研究所を経て1995年1月無機材料研究所入所、現在NIMS量子ビームユニットイオンビームグループ主幹研究員。/ なかの よしひろ 1981年IBM藤沢研究所入社、1987年IBM大和研究所、を経て2001年日本GIT入社、2007年よりNIMS外来研究員1998年The George Washington University, 公共政策(修士) / きと ぎょう 博士(工学)。1973年大阪大学大学院基礎工学部修了。東京大学大物性研究所、東北大学金属材料研究所教授を経て、1994年金属材料技術研究所(全材研)入所。2004年より強磁場共用ステーション長。/ はらだ よしとも 博士(工学)。2004年岩手大学大学院物質工学専攻修了。2009年4月入所。量子ビームユニット中性子散乱グループ所属、NIMSポスドク研究員。/ にこ せいすけ 1966年大阪大学工学部冶金学科卒、川崎製鉄、みずほ R&D 設立を経てNIMS量子ビームセンター外来研究員として入所。2006年8月元素戦略プロジェクト、特別研究員。/ さたざわ ひであき 博士(理学)。1987年4月理化学研究所入所、1995年金材研入所、主幹研究員を経て、2006年4月より量子ビームセンター中性子散乱グループ グループリーダー。2011年4月より現職。東京理科大学大学院理学研究科物理学専攻客員教授併任。/ かとう せいいち 博士(学術)。1994年4月全材研入所、現在NIMS量子ビームセンター中性子散乱グループに所属。主任研究員。