

過酷な環境下で動作する メモリスタデバイスの開発

基礎工学研究科 システム創成専攻

教授 酒井 朗

Researchmap <https://researchmap.jp/read0192520>

研究の概要

自動車、航空宇宙、IoTなどの分野では、過酷な環境下でも安定動作する次世代メモリデバイスが不可欠である。特に金属酸化物を用いたメモリスタ（抵抗変化型メモリデバイス）は、内部の酸素空孔イオン等の分布変化により不揮発な抵抗変化を示し、その構造のシンプルさや低消費電力性から研究開発が興隆している。我々はワイドギャップ半導体である酸化ガリウムから還元性アモルファス酸化ガリウム(a-GaOx) 薄膜を生成してメモリスタを作製し、その高温動作に成功した。現在主流であるシリコン系メモリデバイスが125℃を越える動作温度では信頼性が確保できないのに対し、本a-GaOx メモリスタでは300℃以上の高温下でも安定したメモリ特性が得られる。また、将来的に3次元高度集積回路へと発展させるために、上下の微細電極バーから構成されるa-GaOx クロスバーアレイメモリスタの作製にも成功した。

研究の背景と結果

宇宙探査、地熱エネルギー、原子力エネルギー、航空システム等の新興分野では、高温動作する制御システム・デバイスが必須であり、過酷な環境下でもメモリ動作するメモリスタの開発はそれらを実現するうえで不可欠である。導電性部分がフィラメント状に繋がる「フィラメント型」メモリスタは高い抵抗比が得られる一方で、フィラメントの形成位置やサイズ制御の困難さから、性能ばらつきや長期的信頼性に問題がある。これに対して本研究では、「非フィラメント型」すなわち酸素空孔イオンの分布制御によって抵抗変化する金属酸化物材料に着目し、ワイドギャップ半導体である酸化ガリウムをパルスレーザー蒸着によって数十nm厚の還元性アモルファス薄膜に生成し、キャパシタ型メモリスタを作製した。このa-GaOx メモリスタの電流-電圧特性には正/負電圧の掃引に応じて出力電流が変化する「逆8の字形ヒステリシス」が現れ、非フィラメント型のメモリ機能を有することがわかった(図1)。これは、電子を供給して正に帯電した酸素空孔が負電圧印加で上部電極側へ引き寄せられたときに低抵抗状態に、正電圧印加で同電極側から引き離されたときに高抵抗状態になる特性を示している(図1挿絵参照)。また、このヒステリシス特性は600 K (327℃)の高温下でも確認され、メモリ機能は長時間に渡り保持されていた。本結果から、a-GaOx メモリスタが優れた高温耐性を備えていることが明らかになった。さらに、高度3次元集積化を目指して電子線リソグラフィ等の微細加工技術を駆使し、a-GaOx クロスバーアレイメモリスタを構築した(図2)。10,000秒以上の不揮発性保持、多段階コンダクタンス変調、スパイクタイミング依存性可塑性等のニューロモルフィックコンピューティングに不可欠な基礎特性が観測された。以上の結果は、a-GaOx クロスバーアレイメモリスタがAIエッジデバイスの有望なハードウェアプラットフォームであることを示している。

研究の意義と将来展望

a-GaOx メモリスタは、通常のストレージデバイスとしての用途のみならず、その構造のクロスバーアレイ化によって、人工ニューラルネットワークにおける人工シナプス素子として機能させることができる。今回開発された高温耐性を有するa-GaOx メモリスタは、過酷な環境下でも安定動作が可能なAIのエッジデバイスへの応用に際し高いポテンシャルを有している。

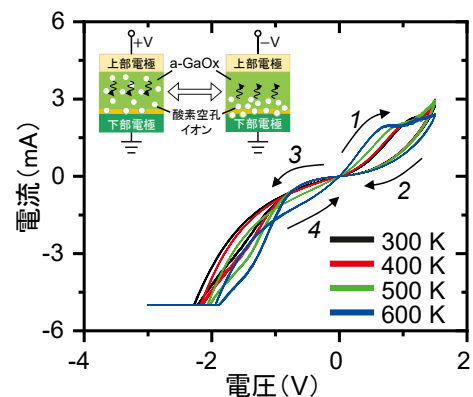


図1 還元性アモルファス酸化ガリウムメモリスタの電流-電圧特性 600 K (327℃) の高温下においても1→2→3→4に従う逆8の字形ヒステリシスをもつ非フィラメント型の抵抗変化が生じる

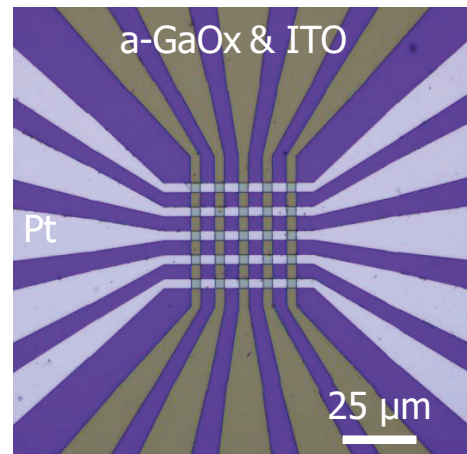


図2 還元性アモルファス酸化ガリウムを用いたクロスバーアレイメモリスタの光学顕微鏡像 Pt電極バーとITO電極バーに挟まれたクロスポイントの大きさは3 μm × 3 μm

特 許 特許第7591784号

論 文 Sato, Kento; Hayashi, Yusuke; Sakai, Akira et al. High-temperature operation of gallium oxide memristors up to 600 K. Scientific Reports. 2023, 13, 1261. doi: 10.1038/s41598-023-28075-4

参考URL <http://www.nano.ee.es.osaka-u.ac.jp/>

キーワード メモリスタ、抵抗変化型メモリデバイス、高温動作、酸化ガリウム、AI