

抵抗変化型不揮発性メモリ ReRAM のデバイス技術と 次世代アプリへの展開

Device technology of ReRAM and its expansion to next-generation applications

栗村 聡資 (パナソニックセミコンダクターソリューションズ)

Panasonic Semiconductor Solutions Co., Ltd.

E-mail: awamura.satoshi@jp.panasonic.com

近年, Society 5.0 の実現に向けた AI, IoT 技術の急速な成長に伴い, 低消費電力かつ高機能なデバイスの要求がますます高まっている. 現在, 当社では低消費電力, 高速動作を特徴とした抵抗変化型不揮発性メモリ ReRAM (Resistive RAM) の開発を行っている.

ReRAM の動作原理を図 1 に示す. 上下電極間に挟まれた 2 層のタンタル酸化物(TaO)構造に, フォーミングと呼ばれる電気処理で, Ta₂O₅ 中にフィラメントと呼ばれる導電層を形成する. 電極に電圧を印加することで, 酸素イオンが移動し, フィラメント内の酸素空孔 (oxygen vacancy) 密度が変化する. フィラメント内の電気伝導は酸素空孔を介したホッピング伝導で行われる. 酸素空孔の密度を変化させることで低抵抗状態 (LRS) と高抵抗状態 (HRS) の 2 値を素子内に保持可能で, この性質を不揮発性メモリとして応用している. 当社は 2013 年に 180nm 技術ノードで, ポータブル機器等の低消費電力用途で使用可能な ReRAM 混載 LSI を量産した. 更に, 2019 年には IoT 機器, IC カード等に最適な 40nm 技術ノードでの ReRAM 混載 LSI の製品適用を開始した.

また, ReRAM の動作原理であるフィラメント内の状態変化を応用し, 次世代アプリに向けた新規デバイスも開発中である. 一つはアナログ抵抗を積和演算器に応用した AI アクセラレータ (RAND) であり, エッジでの推論・学習といった AI 機能アプリを実現する. もう一つは水素によるフィラメント内の還元反応を積極的に利用した水素センサ (ReH センサ) であり, FCV に代表される水素使用環境下における漏れ検知アプリを低消費電力で実現する.

現在活発に研究されている AI アルゴリズムの多くは, 図 2 に示すニューラルネットワーク (NN) と呼ばれる, 脳細胞を模した多対多の情報結合をシミュレートした計算構造を用いている. 計算は重みと呼ばれる大量の実数値との積和演算の繰り返しで構成されている. 現在開発中の RAND (Resistive Analog Neuro Device) は, この重みを ReRAM の抵抗値として保持することを特徴とする. 積和演算はアレイ状に配列した ReRAM 素子電流の合算に置き換えられ, これにより積和アナログ計算を低消費かつ高速に行うことができる.

もう一つの応用である水素センサは, 上部の電極構造に白金を用いて, 触媒作用により大気中の H₂ をフィラメント中に H⁺ として取り込み, フィラメント内部の酸素原子と反応することで抵抗変化する現象を応用したデバイスである (図 3). この反応により, フィラメント内部で起きた還元作用でフィラメントの抵抗は低下し, 水素漏れを検知することができる.

このような特徴を利用し, ReRAM は, AI やセンシングなどの次世代機能を, エッジデバイスで要求される低消費・高速動作で実現可能である. 本発表では, ReRAM の 40nm ノードへの微細化を実現する為に必要不可欠なデバイス技術, 及び次世代アプリ向けデバイスの特徴について紹介する.

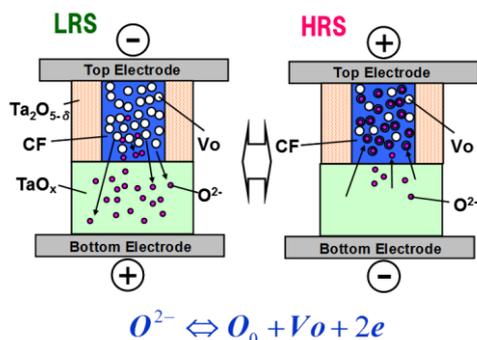


図 1. ReRAM の構造と抵抗変化メカニズム

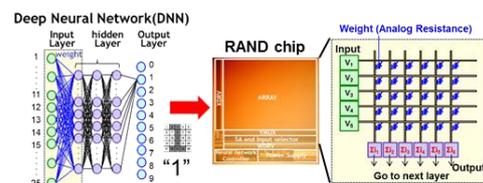


図 2. ニューラルネットワーク (左) と RAND 構成 (右)

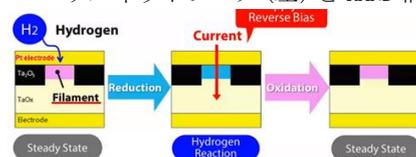


図 3. ReH センサの構造と水素センシングメカニズム