

ユニポーラ抵抗変化メモリのアナログ応用～迷路の経路探索～

An application of unipolar ReRAMs: searching mazes for a short path

宮曦媛
Xiyuan Gong

赤穂伸雄
Nobuo Akou

浅井哲也
Tetsuya Asai

雨宮好仁
Yoshihito Amemiya

北海道大学 情報科学研究科
Department of Electrical Engineering, Hokkaido University

1 まえがき

迷路を解くガジェットの1つとして抵抗を使った回路(抵抗ガジェット)が存在する。迷路を解くためには「迷路から回路への変換」と「ガジェットの出力から経路への変換」が必要であるが、これらを除いた「ガジェットの動作時間」は迷路のサイズに依存しない。迷路の出入口間に2つ以上の経路が存在する場合は、それぞれの経路の電流を調べることで、短い経路を見つけられる(短い経路は電流が大きい)。ただし、経路差が小さい場合には電流差が小さいため判別が難しい。そこで本稿では、抵抗の代わりに抵抗変化メモリ(ReRAM)を用いる事を提案し、その回路の動作をSPICEシミュレーションにより確認する。

2 迷路を解くガジェット

抵抗ガジェットは図1の迷路が与えられた場合、図2の抵抗回路を作成する(図2の長方形は抵抗とする)。つまり、迷路の通路は抵抗で構成し、迷路の分岐は回路の節点とする。ここで、長さの違う二つの経路(経路1, 2)に着目する。短い経路(経路1)の合成抵抗は長い経路(経路2)の合成抵抗よりも小さいため、経路の電流の大小により長短が判別できる。この電流は回路が発する熱として観測可能である。

ここで、図2の長方形をReRAMとした回路をReRAMガジェットと呼ぶ事としよう(ReRAMに流れる電流の方向は迷路の構造に依存するため、ReRAMは極性がないユニポーラ型が望ましい)。ReRAMは電気的に抵抗素子として考えることができ、この素子は抵抗値が高いOFF状態(抵抗値 R_{OFF})と低いON状態(抵抗値 R_{ON})を持つ($R_{OFF} \gg R_{ON}$)。また、OFF状態のReRAMはしきい電圧(V_{TH})を与えるとON状態に変化する。以下、ReRAMガジェットを用いた迷路の解き方を示す。まずガジェットを動作する前、全てのReRAMにOFF状態を与える。入力電圧 V_{IN} (迷路の出入口間にかかる電圧)を0Vから上昇させると、ReRAMにかかる電圧が V_{TH} を超え、状態がON状態に変化する。ここで、長さの違う二つの経路(経路1, 2)に着目する。短い経路(経路1)では V_{IN} を少ない数のReRAMで分圧しているため、この経路上のReRAMにかかる電圧は長い経路(経路2)上のReRAMに比べ大きくなる。つまり、短い経路上のReRAMが先にON状態に変化する。ReRAMの抵抗値は $R_{OFF} \gg R_{ON}$ であるため、二つの経路に流れる電流の比は大きい。ReRAMが発する熱量は電流の二乗に比例するためReRAMガジェットの経路確認は容易となる。

3 シミュレーション

ReRAMガジェットをSPICEシミュレーションで解析した。ReRAMは以前提案したモデル[1]を用いる。ReRAM A, B, Cの内部状態を示す変数の時間変化を図3に示す。図3より最短経路(経路1)上にあるReRAM A, BはOFF状態からON状態に変化し、ReRAM CはOFF状態から変化しない事が確認できる。図4の長方形の色の濃度は素子が消費する電力を示す(A, D, E: 4.2mW, B: 1.66mW, C: 0.6mW, F: 15μW)。

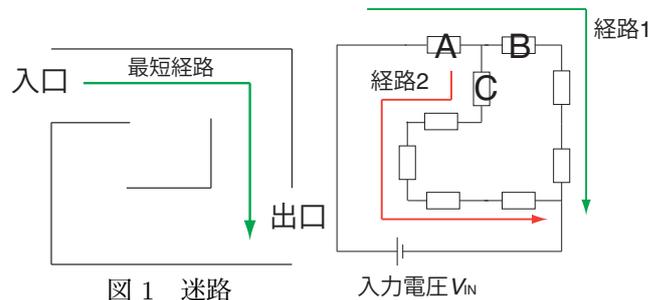


図1 迷路

図2 迷路のガジェット

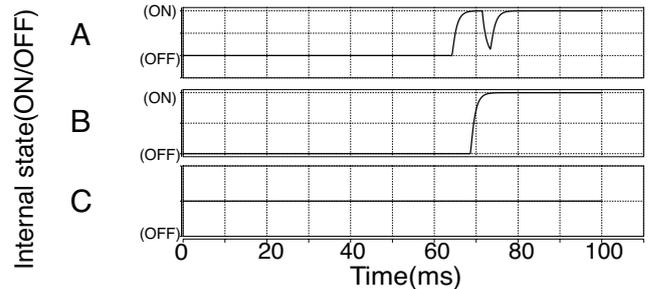


図3 回路の代表的なReRAMの内部状態

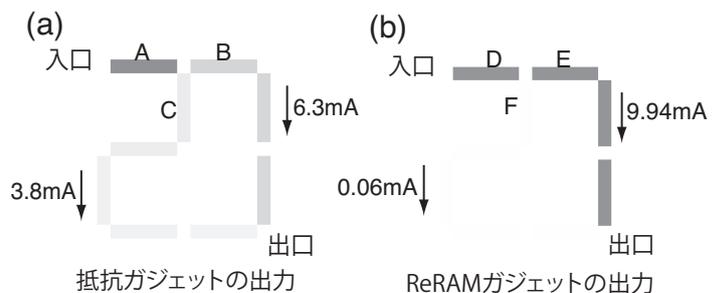


図4 抵抗ガジェットとReRAMガジェットの出力

参考文献

[1] Akou N., et. al., IEICE Electronics Express, 7(19), 1467-1473 (2010).