

# メモリの行方

鈴木 真理子, 川崎 考蔵

Mariko SUZUKI, Kozo KAWASAKI

## 1 はじめに

近年, コンピュータ機器の発展や携帯電話, MP3 プレイヤー等のモバイル製品の普及に伴って, 大量のデータを扱うようになり, 大容量の情報を高速に処理することが不可欠になった. それに伴い, 現在では, メモリの高速化, 大容量化を実現するための開発が盛んに行われている. また, 消費電力節約が世界的に注目されていることにより, エネルギー使用効率の向上も重要となってきた. そのため, 高速化, 大容量化に加え, 低消費電力化が重要な課題となっている. 本報告では, 現在発展してきているメモリとその技術について調査した. また, 今後, メモリがどのように進化していくのかを考察する.

## 2 メモリの現状と推移

現在メインメモリに使われているメモリは, 主に DRAM (Dynamic Random Access Memory) である. DRAM は電源の供給がなくなると記憶内容が消えてしまう, 揮発性という欠点がある. そのため, 補助記憶装置に内容を退避し, 必要なときに再度読み込んで利用する形を取らなければならない. よって, DRAM に代わる不揮発性メモリの研究, 開発が盛んに行われている. 現在, 不揮発性のメモリとしてシェアを伸ばしているメモリは, フラッシュメモリである. フラッシュメモリは, 不揮発性で高信頼性, データの読み出しが高速であり, 近年では, より大容量で低コストのものが現れてきた. しかし, フラッシュメモリは, 書き込み速度が低速で, 書き込み回数に制限があることから使用可能期間が短いという欠点がある. それらの欠点から, フラッシュメモリをメインメモリに使用することは困難であると考えられている. そこで, フラッシュメモリの欠点を克服し, メインメモリに使用可能な不揮発性メモリの開発が行われている. 開発にあたって, 今後必要とされる不揮発性メモリの条件を挙げると, 主に以下の 3 つが考えられる.

1. 高速動作可能
2. 大容量
3. 低消費電力

現在, 上記の 3 点の実現を目指し, 次世代不揮発性メモリの開発が続けられている.

## 3 次世代メモリ

次世代メモリとして最も有力なメモリは, PRAM (Phase change RAM), RRAM (Resistance RAM), MRAM (Magnetic RAM), そして新型メモリであるレオスタックメモリの 4 つである. 次節から, 各次世代メモリ

とその原理, 特徴を述べる.

### 3.1 PRAM

#### 3.1.1 PRAM の概要

PRAM は, 相変化記録技術を利用したメモリである. 書き換え可能な光ディスクに用いられることが多いが, 最近では追記型光ディスクに採用されることもある. CD-RW ディスクや DVD ± RW ディスクなどにも使用されている<sup>2)</sup>. 低コスト化されてきており, 製品化への期待が高まっている.

#### 3.1.2 PRAM の原理

PRAM は, 記録素子に相変化膜を利用している. 相変化膜の原理を Fig.1 に示す. 相変化膜では, 結晶状態とアモルファス状態で膜の一部の状態変化を利用して情報を記憶し, 読み出しには状態変化に伴う抵抗変化を利用する.



Fig.1 相変化膜の原理 (参考文献<sup>2)</sup> より参照)

相変化膜のメモリセルは, 相変化膜と抵抗素子, セルを選択するためのトランジスタから成り, 基板上にトランジスタを形成しその上に抵抗素子と相変化膜を形成する. 抵抗素子は相変化膜を加熱する役割を果たしている. 加熱の仕方により, 相変化膜の一部の状態変化に違いが出る. 600 以上で加熱し, 急激に冷却すると, 高い抵抗値のアモルファスになり, 400 以上に加熱し, ゆっくり冷却すると, 通常の抵抗値を示す結晶体になる. アモルファス状態時を"1", 結晶状態を"0"して情報を記憶する. 抵抗値の違いを検出することで読み出しを行うことが可能である. 記録素子の抵抗変化率が大きいので, 雑音などの影響を受けにくいという利点を持つ.

### 3.2 RRAM

#### 3.2.1 RRAM の概要

RRAM は, 電圧の印加により生じる抵抗変化を利用したメモリである. RRAM には低消費電力, 高速動作といった特徴があるが, 電圧による抵抗変化には, まだ未解明な点が多い.

### 3.2.2 RRAMの原理

RRAMの単一セルは遷移金属酸化物の半導体または絶縁体材料を金属電極で挟んだコンデンサー型の素子である。この素子にパルス電圧を印加することで高抵抗状態と低抵抗状態を可逆に切りかえることができ、印加電圧を取り除いてもその抵抗状態が保持できるため、不揮発性を実現している<sup>3)</sup>。RRAMの素子構造と動作特性をFig.2に示す。

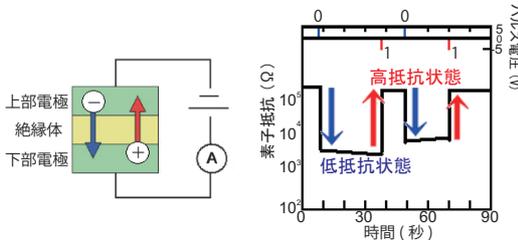


Fig.2 素子構造と動作特性 (参考文献<sup>3)</sup>より参照)

電圧によって動作するため電流使用量が微量で、低消費電力化が可能である。また、高価な材料や、特殊な取り扱いを必要とする原料を用いず、既存の半導体プロセスで製造可能なため、大規模な設備投資が不要で、低コストでの実現が可能である。

### 3.3 MRAM

#### 3.3.1 MRAMの概要

MRAM<sup>4)</sup>は、スピントロニクス技術<sup>1)</sup>を用い、TMR(トンネル磁気抵抗)効果を利用して磁気方向変化を情報として記憶するメモリである<sup>4)</sup>。磁気状態変化を利用するため、高速動作、大容量、低消費電力などの特徴がある。

#### 3.3.2 MRAMの原理

MRAMに利用されている、スピントロニクス技術とは、固体中の電子スピンを利用し、スピンの向きの違いを"0"、"1"情報として記憶する原理である。電子スピンとは、電子の持つ方向のことを言い、その方向は、磁場に対して平行か反平行のどちらかしかとることができない。MRAMの基本素子は、3つの薄い層を重ねた素子であり、MTJ(Magnet Tunnel Junction)素子と呼ばれる。下から磁性層、絶縁層、磁性層となっており、2つの磁性層に絶縁層が挟まれた構造になっている。MTJ素子の構造をFig.3に示す。

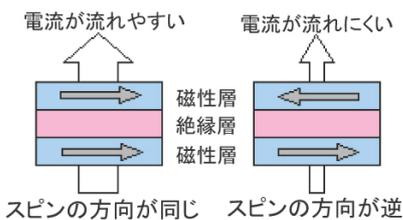


Fig.3 MTJ素子の構造 (参考文献<sup>4)</sup>より参照)

データの読み書きには、TMR効果を用いる。TMR効果は、磁気により絶縁体層の電流が変化する現象であり、MTJ素子に電圧を加えることで絶縁体層に電流が流れる。2つの磁性層における電子スピンの向きがそろっていると抵抗が小さくなり、絶縁層を貫通する電流が流れやすくなり、電子スピンの向きが逆であると、抵抗が大きくなり、電流が流れにくくなる。その性質を利用し、自由層の磁化の向きを電氣的に変化させ、電流の流量を制御することでデータを書換えている。よって、電気抵抗の変化を検出することで、MTJ素子のスピン状態を知ることができ、MTJ素子に蓄えられている情報を取り出すことが可能である。電源供給が無くなっても磁化の向きは変化しないのでデータは保存される。そのため、不揮発性を実現している。

MRAMはMTJ素子をグリッド状に配置した構造をしている。MRAMの構造をFig.4に示す。

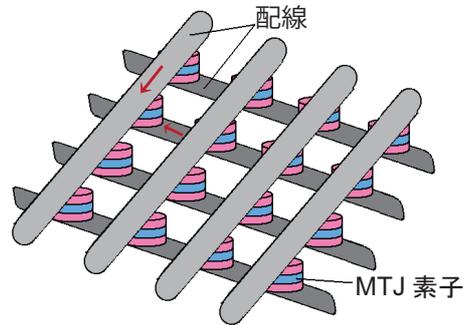


Fig.4 MRAMの構造 (参考文献<sup>4)</sup>より参照)

配線を通る電流によって生じる磁場により、素子内の磁性層のスピン方向を決定し、個々のMTJ素子がスピンの向きにより"0"、"1"の情報を保持している。

#### 3.4 新型メモリ

これまで次世代メモリとして開発が進められてきた3つのメモリに加え、新たに、新型メモリの開発が進んでいる。IBM社により開発されたレーストラックメモリ<sup>5)</sup>と呼ばれる新型メモリは、従来のMRAMが進化したメモリであり、MRAMより高性能な原理として注目されている。

##### 3.4.1 レーストラックメモリの概要

レーストラックメモリは、スピントロニクス技術を用いたメモリであり、ワイヤを競技用トラック(track)と見立て、その上をデータが駆け巡る(race)ことから、レーストラックメモリと名付けられている。

##### 3.4.2 レーストラックメモリの原理

レーストラックメモリでは、MRAMと同様、スピントロニクス技術を利用し、磁区の磁化の向きを情報として磁壁に記憶する。シリコンウェハ表面にワイヤを垂直または水平に配列した構造をしており、ワイヤ中を磁壁が移動している。レーストラックメモリの構造をFig.5に示す。

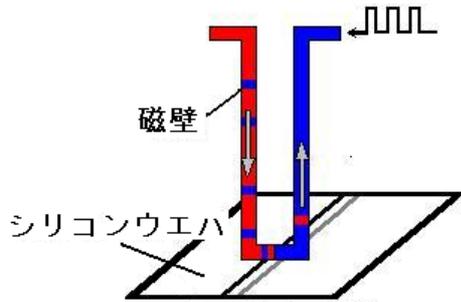


Fig.5 レーストラックメモリの構造 (参考文献<sup>5)</sup> より参照)

ワイヤ内では、反対方向に磁化された領域を磁区の境界である磁壁で線引きしており、それぞれの磁区は両端にNとSの磁極を形成し、レーストラック内にNとSの磁極を持つ磁壁が交互に形成される。ワイヤ内の磁区は電流で動かすことができ、スピン移行トルクを利用して磁壁の移動を行う。

### 3.4.3 データ読み書きの仕組み

レーストラックメモリによるデータの読み書きの仕組みを Fig.6 に示す。

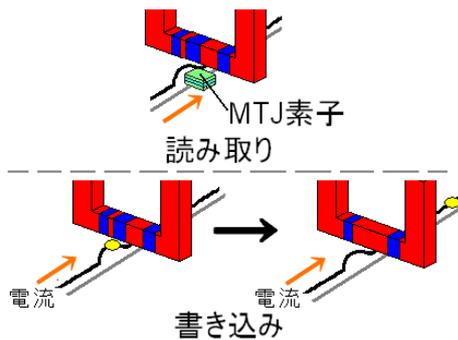


Fig.6 読み書きの仕組み (参考文献<sup>5)</sup> より参照)

MRAM では、読み書きの際、同じ配線を使用しているため、書き込み時に誤って読み出しの動作をするなど、誤動作が生じる場合がある。しかし、レーストラックメモリでは、読み出しと書き込みにそれぞれ違う配線を使用するため、誤動作が生じることは無い。

### 3.4.4 データ書き込みの原理

レーストラックメモリでは、磁壁に情報を格納する。ワイヤ内には、NとSの磁極をもつ磁壁が交互に形成される。“N”、“S”の磁極が“0”、“1”に対応し、適当な磁壁の長さを1bitとしたとき、その長さを基準として連続した情報に対応している。また、磁場を介さずに直接磁壁に電流を流して磁化反転させることで書き込みを行う。レーストラックメモリの書き込み原理を Fig.7 に示す。

レーストラックメモリでは、磁場を介さずに直接磁区に電流を流して磁化反転させることで書き込みを行うため、外部磁場発生機が不要である。そのため、磁場を生み出すための電力が軽減可能であり、低コストが実現可

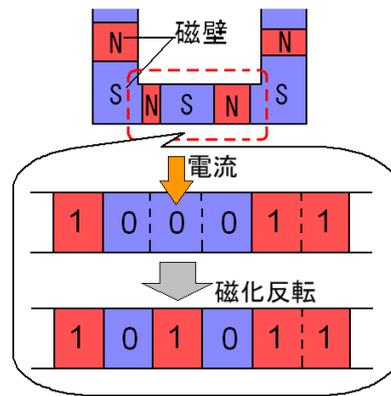


Fig.7 データ書き込み原理 (出典：自作)

能となる。また、読み取り素子に MTJ 素子を用いており、スピンの向き変化を利用して情報を読んでいるので、可動部品が大幅に削減され、耐衝撃性に優れ、機械的な磨耗がないため、長寿命というメリットがある。

### 3.4.5 レーストラックの特徴

レーストラックの特徴は以下の6点である。

1. 大容量
2. 低コスト
3. 低消費電力
4. 耐衝撃性が優れている
5. 安定性 / 信頼性が高い
6. 長寿命

今まで主に情報の記憶に用いられてきたハードディスクには、メモリの大容量化、低コストという利点があり、多くが可動部品であるために、機械的信頼性の問題、低速であるという欠点があった。また、現在普及しているフラッシュメモリには、読み取りが高速であるという利点があり、書き込みが低速で、書き込み回数に制限があるという欠点がある。これを踏まえると、レーストラックメモリは、ハードディスクとフラッシュメモリの利点を取り入れ、また、二つの欠点を改善したメモリ原理と言える。

## 4 まとめと今後の展望

これまでに挙げた次世代メモリおよび新型メモリの主な特徴を Table.1 に示す。

Table1 次世代メモリの特徴比較 (出典：自作)

	PRAM	RRAM	MRAM	レーストラック
大容量	○	◎	○	◎
高速動作	△	○	○	○
消費電力	△	○	△	○
書込制限	△	△	○	○

Table.1 より、次世代メモリの3つについて注目すると、全ての性質を実現した完璧なメモリはないことがわかる。一方レーストラックメモリは、それら3つのメモリの全ての欠点を補い、期待される性質を全て兼ね備えたメモリである。レーストラックメモリがより多くの利点を生み出している理由は、スピントロニクス技術を利用している点が大きいと思われる。近年、スピントロニクス技術の研究は世界中で注目され、期待されている。その証拠として、2007年には、スピントロニクス技術を利用した巨大磁気抵抗効果(GMR)がノーベル物理学賞を受賞した。このようにスピントロニクス技術は、発展途上の分野ではあるものの、大きな可能性を秘めた分野であり、今後、更に進歩することが予想される。よって、この技術を用いたメモリの今後の発展が期待されている。

#### 参考文献

- 1) スピントロニクス技術を用いたメモリ技術「race-track」, マイコミジャーナル  
<http://journal.mycom.co.jp/news/2008/04/11/017/index.html>
- 2) アモルファスと結晶のはざま, Panasonic  
<http://panasonic.co.jp/ism/souhenka/sec2.html>
- 3) 遷移金属酸化物接合の電界誘起抵抗変化効果の機構解明と不揮発メモリ素子の開発, NEDO  
<http://www.tech.nedo.go.jp/PDF/100011393.pdf>
- 4) 「MRAM (Magnetic RAM)」-ナノエレクトロニクス, サイエンス・グラフィックス(株)  
<http://www.s-graphics.co.jp/nanoelectronics/kaitai/mram/index.htm>
- 5) Press room, IBM  
<http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/23859.wss>