

不揮発メモリの行方

宮村 幸祐, 木田 清香
Kosuke MIYAMURA, Kiyoka KIDA

1 はじめに

現在, 世界は「ユビキタス社会」に向けて動いている。携帯端末やデジタル家電が, 無線, 有線を問わずネットワークで繋がり, いつでもどこでも誰でも情報を自由に利用することが望まれている。そのため, ネットワーク環境のアクセスポイントである携帯端末やデジタル家電に対するユーザーのニーズは大きい。稼働時間が短かったり, 起動に時間がかかるようでは, 到底ニーズには応えられない。このような背景から, メインメモリに従来の揮発メモリではなく不揮発メモリが使用される動きが出始めている。本報告では現在の不揮発メモリの主流であるフラッシュメモリおよびフラッシュメモリの欠点を克服するために開発が進められている次世代不揮発メモリについて解説し, 不揮発メモリの今後の展望について述べる。

2 フラッシュメモリ

フラッシュメモリは, 電気的に内容を書き換えることが出来る EEPROM の一種である。主にメモリーカードや USB メモリなどに使用される。フラッシュメモリという言葉から, USB メモリを想像されることが多いが, あくまで USB メモリはフラッシュメモリのチップを使用しているに過ぎない。

2.1 フラッシュメモリの原理

EEPROM が 1 ビット毎に消去および書き込みができるのに対し, フラッシュメモリはセクター単位で消去および書き込みを行う。その分, 通常の EEPROM に比べて, コストが安く, また書き込み, 消去の速度が速いため, 普及するに至った。フラッシュメモリには大別して NOR 型と NAND 型の 2 種類が存在する。本報告では NAND 型フラッシュメモリの説明を行う。NAND 型フラッシュメモリの構造を Fig. 1 に示す。

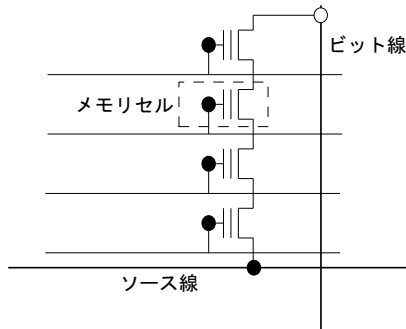


Fig.1 NAND 型フラッシュメモリの構造 (3) より参照)

Fig. 1 のように, NAND 型フラッシュメモリはメモリセルがビット線に対して直列に接続されている。メモリセルを駆動するのに使用するソース線を複数のセルで共有するため, 書き込みは同時に複数ビット同時に行うことになり, NOR 型のものに比べて大容量, 高速アクセスである。メモリセルそのものは NOR 型フラッシュメモリも NAND 型フラッシュメモリも同じである。メモリセルの構造を Fig. 2 に示す。

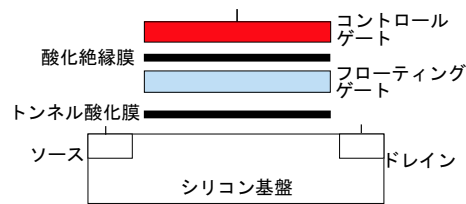


Fig.2 フラッシュメモリセルの構造 (3) より参照)

Fig. 2 に示すようにフラッシュメモリはコントロールゲートとシリコン基盤の間にフローティングゲートが設置してある。記憶状態の判断は, フローティングゲートの中の電子の有無で行う。フローティングゲート内に電子が存在すれば“1”, 存在しなければ“0”となる。

書き込みはコントロールゲートに電圧を印加することで行う。コントロールゲートに電圧を印加すると, シリコン基盤から電子がトンネル酸化膜を通過してフローティングゲート内に注入される。消去するときは逆にドレインとソースに電圧を印加することで, フローティングゲートから電子を取り出す。

フラッシュメモリは電子を保持するため, フローティングゲートを絶縁機能をもつ酸化膜で覆っている。書き込みや消去時に電子が酸化膜を通り抜けるため, 使用するたびに酸化膜が劣化してしまい, 徐々に絶縁の役目を果たせなくなる。つまり, フラッシュメモリには書き込み回数の制限があるということである。NAND 型フラッシュメモリでは約 100 万回が書き込み回数の限度だと言われている。

2.2 フラッシュメモリの課題

現在, フラッシュメモリは不揮発性, 大容量, 信頼性が高いといった点から主に USB メモリやメモリーカードに使用されている。2006 年には Samsung が 32G ビットのフラッシュメモリを開発した。今後は大容量, 軽量, 低消費電力, 衝撃に強いなどの理由からフラッシュディスクとして, 既存の HDD に置き換わる動きがある。しかし, 前述の通り, 書き込み回数の制限, 書き込み時間の遅さといった欠点が存在するため, 既存のメモリの代わ

りにメインメモリとして使用することは難しい。

3 次世代不揮発メモリ

前述の通り、フラッシュメモリには欠点があるため、メインメモリとして使用することはできない。そこで、現在、フラッシュメモリの欠点を克服し、メインメモリとしても使用可能な次世代不揮発メモリの開発が行われている。次世代不揮発メモリに望まれているのは次の4点である。

- 高速アクセス
- 1G ビットを超える大容量
- 低消費電力
- 書き込み回数が無制限（あるいは極めて多い）

この4点を満たす次世代不揮発メモリとして、MRAM, PRAM, RRAM の3つが期待されている。

3.1 MRAM

次世代不揮発メモリのなかでも代表的なのが、MRAM (Magnetic Random Access Memory) である。MRAM は磁性を利用して、記憶を行っている。

3.1.1 MRAM の原理

MRAM は TMR (Tunneling Magneto Resistive) 効果^{*1}を持つ TMR 素子をメモリ素子に用いている。MRAM の構造を Fig. 3 に示す。

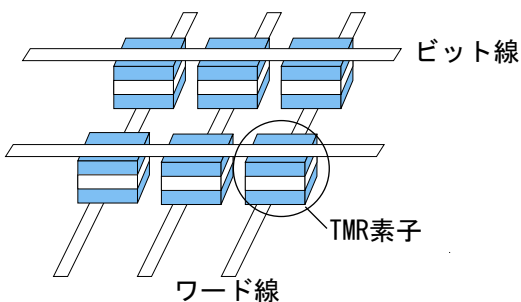


Fig.3 MRAM の構造 (2) より参照)

Fig. 3 の通り、MRAM は TMR 素子をビット線とワード線の2本の配線の交点に平面的に並べた構造をしている。TMR 素子を Fig. 4 に示す。

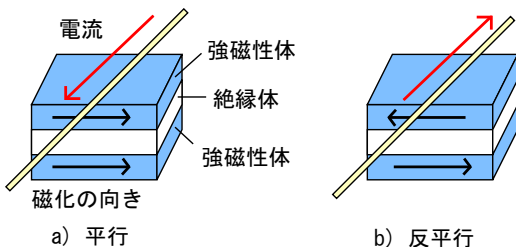


Fig.4 TMR 素子 (4) より参照)

TMR 素子は極めて薄い絶縁層を2つの強磁性体で挟んだものである。TMR 素子の上にはビット線が配置さ

^{*1} トンネル効果による電子の電気伝導度が、強磁性金属の磁化方向の変化に応じて変化する現象

れ、そのビット線に流れる電流の向きにより、TMR 素子の上部の強磁性体の磁化の向きが変わる。TMR 素子の下部の強磁性体の磁化の向きは変化しないようになっていたため、TMR 効果によって上部強磁性体の磁化の向きで抵抗の値が異なることになり、それに応じて“0”か“1”かを決めている。Fig. 4 の a) のように磁化の向きが平行な場合は抵抗が低いため“0”となり、b) のように反平行の場合は抵抗が高いため“1”となる。

3.1.2 MRAM の今後

MRAM は 1999 年に開発がはじまってから、次世代不揮発メモリの最有力候補として期待されているが、「書き込み電流が大きい」「信号電圧が低い」という理由で、ある程度以上の大容量化は難しいとされていた。しかし、2004 年に新型 TMR 素子^{*2}が開発され、さらに 2007 年 2 月に日立がスピン注入磁化反転法^{*3}という方法を使用した MRAM が開発され、本格的にギガビット級の大容量化が見えてきた。

3.2 PRAM

MRAM と同様、近年注目を浴びているのが PRAM (Phase-change Random Access Memory) である。

3.2.1 PRAM の原理

PRAM は記憶素子に相変化膜を利用したメモリである。相変化膜は加熱後の冷却速度によって抵抗値が変化するという特性を持っており、CD-RW や DVD-RAM にも使われている。PRAM の基本原理そのものは 1970 年にアメリカで発表されていたが、本格的に開発が始まったのはここ数年のことである。相変化膜の仕組みを Fig. 5 に示す。

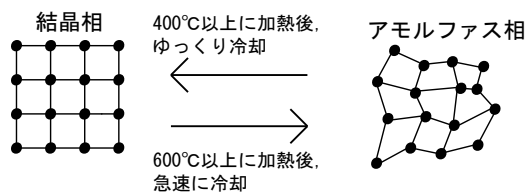


Fig.5 相変化膜の仕組み (5) より参照)

相変化膜は 600 °C 以上に加熱し、急速に冷却すると高い抵抗値を示すアモルファス相になる。逆に 400 °C 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相になる。この抵抗値の差を利用して、データ記憶を行う。

3.2.2 PRAM の今後

PRAM は既に実用化に向けて試作段階に入っている。2006 年には Samsung が 512M ビットの PRAM の試作に成功しており、2008 年には同様のものが製品化できると考えられている。

PRAM は MRAM と比較してコストが低いため、Sam-

^{*2} 絶縁体層に従来の酸化アルミではなく、酸化マグネシウムを利用することで、電子が直進できる

^{*3} TMR 素子に直接電流をながし、電子が持っているスピンのによって上部強磁性体の磁化の向きを変える方法

sungをはじめとした企業が開発に乗り出している。

3.3 RRAM

PRAMと同じように最近注目されているのが RRAM(Resistance Random Access Memory)である。

3.3.1 RRAMの原理

RRAMはCMR(Colossal Magneto Resistive)と呼ばれる材料を記憶素子に用いる。CMR素子をFig. 6に示す。

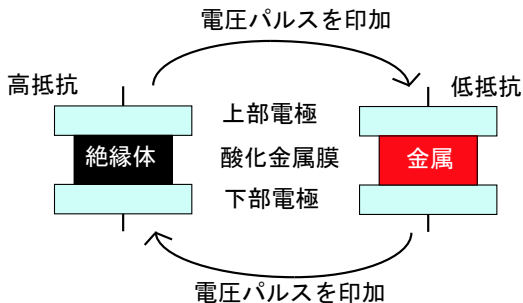


Fig.6 CMR素子 (6)より参照

Fig. 6に示すように、CMR素子は酸化金属膜が二つの電極に挟まれた形をしている。その電極に電圧パルスを印加することで酸化金属膜が絶縁体と金属を遷移する。絶縁体状態ならば高い抵抗値を示し、金属状態ならば低い抵抗値を示す。この抵抗値の差を記憶情報としている。

電圧によって駆動するため、電流による磁界を使用して記憶を書き込むMRAMと比べて消費電力が低く、微細化が容易である。

3.3.2 RRAMの今後

RRAMは容量性、消費電力、高速性の面で他の次世代不揮発メモリよりも優れていると見られている。

2002年の発表当時は原理的に未解決な部分があり、数年以内の実用化が疑問視されていた。しかし、2006年の12月にシャープがRRAMの基礎技術を開発したと発表し、2010年以降の実用化に期待が高まっている。

4 次世代不揮発メモリの展望

4.1 次世代不揮発メモリの主流

現在、次世代不揮発メモリの開発は激化している。各不揮発メモリの性能の比較をTable 1に示す。

Table1 各不揮発メモリの性能の比較

	容量	アクセス速度	消費電力
フラッシュ	◎	×	◎
MRAM	○	○	○
PRAM	○	△	○
RRAM	◎	◎	◎

現時点で、開発中の次世代不揮発メモリの中ではPRAMがもっとも実用化に近く、2008年には512Mビットのものが実用化されると思われる。現在、メインメモリの主流であるDRAMの容量が1Gビット

であるので、512Mビットの容量ならば充分代役は果たせる。

しかし、Table 1に示した通り、書き込み速度、読み込み速度の点においては、PRAMよりMRAMの方が勝っている。容量の面ではPRAMの方が有利と思われていたが、2007年に書き込み電流の低減方法が確立し、MRAMの大容量化が見えてきた。2、3年後ではPRAMが主流であると予想されるが、5年後にはMRAMが次世代不揮発メモリの主流になっていると思われる。そのときには1Gビットの容量が実現されるであろう。

一方でRRAMはまだ実用段階には至っていないものの、MRAMよりも消費電力や容量、速度の面で勝ると見られている。最終的にはRRAMが次世代不揮発メモリの開発競争の勝者として、不揮発メモリの主流になるとと思われる。そのときには容量は2Gビットから4Gビットになるだろう。

4.2 次世代不揮発メモリが実用化されると

最終的にこれまでに述べた次世代不揮発メモリが開発されれば、現在のDRAMやSRAM、フラッシュメモリといった従来のメモリはすべて次世代不揮発メモリに代わることが予想される。そうすれば、コンピュータ、携帯端末、デジタル家電といった情報機器の利便性や性能は飛躍的に増すだろう。例えば、現在のような電源を入れてから立ち上がるまで時間のかかるコンピュータはテレビのように簡単に電源をオン、オフできるようになり、作業中に不慮の事故で電源が落ちても作業内容は保持されたままになる。携帯端末はより小型化し、長時間の使用が可能となり、ネットワークを通じて大容量のデータの送信、受信も行うことができるようになる。このように情報機器の利便性が増すことで、ユビキタス社会に一步、近づくことになるだろう。

参考文献

- 1) 躍進するフラッシュメモリ, 舛岡富士雄, 工業調査会, 2003
- 2) 不揮発性磁気メモリ MRAM, 猪俣浩一郎, 工業調査会, 2005
- 3) 大容量かつ高速化で普及が進む「フラッシュメモリー」の原理を探る, 日経パソコンオンライン <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/NPC/20061129/255245/>
- 4) MRAM, <http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/glossary/mram.html>
- 5) アモルファスと結晶のはざままで, 松下電器 <http://panasonic.co.jp/ism/souhenka/sec2.html>
- 6) 遷移金属酸化膜を用いた超大容量不揮発性メモリとその極微細加工プロセスに関する研究開発, NEDO <http://www.nedo.go.jp/informations/press/kaiken/190221/betten2.pdf>