

## 次世代メモリの現状と展望

佐世保工業高等専門学校

機械工学科 森田英俊

### 1. はじめに

現在、主に用いられている半導体メモリには、DRAM、SRAM、フラッシュメモリなどがあり、コンピュータのメインメモリには主に DRAM が使われている。近年、これらの半導体メモリとは異なる、次世代の高速不揮発性メモリ開発が活発に行われている。その背景には、プロセスの微細化が進むにつれて従来のメモリに限界が見え始めていること、形態情報機器の普及に伴い、高速かつ不揮発性のメモリの必要性が高まっていることなどがある。本稿では、次世代メモリ開発の現状と今後の展望を述べる。

### 2. 次世代メモリ

次世代メモリとは、MRAM (Magnetic RAM)、FeRAM (FRAM と呼ばれる)、PRAM (Phase Change RAM: 相変化メモリ)、RRAM (Resistive RAM: 抵抗変化型不揮発メモリ)、カーボンナノチューブメモリなどを指す。これらのメモリは、フラッシュメモリと同様に不揮発性というメモリにとっては非常に好都合な性質を備えつつ、SRAM を越える高速アクセス、DRAM を越える高集積性をもつ『ユニバーサルメモリ』として有望視されている。

#### 2.1 MRAM

強磁性体のヒステリシス特性を用いた不揮発性メモリの種類。高速アクセス、書き換え耐性、高温 (100 ) での動作が可能といった特徴を持つ。絶縁体を二つの強磁性体ではさんだトンネル磁気抵抗 (TMR: Tunneling Magneto Resistance) 素子を用いて読み出し、書き込みを行う。TMR 素子は、ワード線、ビット線と呼ばれる縦、横に、基板の目のように張り巡らされた電線の交点上に配置されている。ワード線、ビット線への通電により発生する合成磁界を利用し、TMR 素子のスピンの向きを反転させることで書き込みを行う。また、TNR 素子のスピンの向きを反転で生じる抵抗の変化を検出することで読み出しを行う。

2004 年、Infineon Technologies と IBM が共同で 16Mbit の試作品を開発した他、Motorola (現 Freescale Semiconductor) が 2003 年より 4 Mビット品の量産を行っている。2006 年、ISCC2006 において東芝と NEC が共同開発し発表した MRAM は、16Mbit、1 秒あたりの書き込み速度が 200MB、サイクルタイムが 34ns、MRAM の最高容量・最高速度の性能を持つ。また、この MRAM は、携帯機器での使用に適した 1.8V の低電圧動作を実現している。現在、安定性の向上や大容量化の実現に向け、更なる研究・開発が進められている。しかし、一方では、莫大な開発・設備投資によりビット単価が高額である

ために市場の拡大を憂慮し、開発から手を引く企業も出てきている。

## 2.2 FeRAM (FRAM)

強誘電体を記憶素子とする不揮発性メモリの一種。強誘電体とは、電圧の付加により物質内の自発分極の方向を自由に变化させ、その分極方向を電圧の付加無しで維持出来る誘電体のことである。構造が DRAM に似ており、DRAM の延長線上の技術で破壊的読み出しを行う。2003 年、松下電器産業が FeRAM 混同システム LSI の開発・量産化に成功し、沖電気工業が Symmetrix からのライセンス提供で 16Mbit の非破壊読み出し FeRAM の開発を開始し脚光を集めた。しかし、未だに安定性の問題で大容量化に苦戦しており、開発から出を引く企業も出てきている。その中、2006 年の ISSCC において東芝は、64Mビットの容量を持ち、1 秒間の書き込み速度が 200MB の FeRAM を発表した。同社は、将来的には高性能なデジタル携帯電話やコンピュータなど幅広い分野での実用化に向けて開発を継続するとしている。

## 2.3 RRAM

RRAM は、電圧パルスの付加により抵抗値が大幅に変わる CMR (Colossal magnetoresistive) と呼ばれる材料を記憶素子に用いた不揮発性メモリの一種。電圧駆動のため、MRAM よりも消費電力が少ない。更に、抵抗変化率が 1,000 倍以上と大きく、多値化による大容量化が容易だといわれている。1bit 当りの占有面積、消費電力、高速性などで、他の不揮発性メモリより優れているが、原理には未だ未解明な部分がある。2002 年、シャープから発表された。2004 年、Samsung は、シャープとは異なる材料を使って RRAM と似た原理を持つ「OxRRAM」を発表した。OxRRAM は早期に製品化される可能性がある。OxRRAM は、同社が 64MBit 品の開発を終えている PRAM (OUM) と構造が似通っている。また、2006 年にシャープは産業技術総合研究所と共同で RRAM の小型化に必要な書き換え技術を開発したと発表した。当初、RRAM は実用化に時間がかかるといわれていたが、一般的な CMOS プロセスとの整合性が高い材料を用いているため、既存の生産ラインが起用出来ると言われており、早期に製品化される可能性がある。

## 2.4 PRAM

PRAM は、記録素子に「相変化膜」を用いた不揮発性メモリの一種。膜の一部をアモルファス状態にするか結晶状態にすることで情報を記録する。状態変化に伴う抵抗変化を利用し、読み出しを行う。リセット動作(結晶状態から非結晶状態に戻す動作)に大電流を必要とする事が最大の課題である。PRAM は、構造が DRAM と非常に似ており、キャパシタ部分を GST (Ga-Sb-Te) 膜に変更するだけで原理的には動作する。そのため、DRAM の製造ラインを使用することが可能である。また、材料である GST は、すでに光ディスクで使用されているため他のメモリの材料に比べ安易に扱うことが出来る。

Intel Corp、Samsung、STMicroelectronics など、大手半導体メーカーがフラッシュメモリの後を継ぐ不揮発性メモリとして最有力視している他、2005 年にはエルピーダメモリ、IBM、Infineon Technologies AG、が開発に名乗りを挙げた。

2006 年、Samsung が試作品を発表した。同社は、携帯機器向けに 512MBit の大容量品の製造を 2008 年内に目指すとしている。

## 2.5 カーボンナノチューブメモリ

カーボン・ナノチューブは、炭素原子が網状のチューブのように結合したもので、人の髪の毛の 50,000 分の 1 ほどの直径の円筒状分子である。結合の方法により、金属や半導体のような性質を示す。p 型半導体と n 型半導体の性質を示すものが開発された、これらを用いたトランジスタは、シリコン製トランジスタの性能を 2 倍以上上回る相互コンダクタンス値数値を達成している。シリコン型トランジスタに代わる有力候補として期待されている。

現在、カーボンナノチューブを用いたトランジスタや論理回路が開発されているが、回路やトランジスタの集積化が課題となっている。カーボンナノチューブを用いた LSI が開発されれば、現在の 1000 倍以上の性能を持つといわれ、今後の研究が期待されている。

## 3. 今後の展望

これまで、次世代不揮発性メモリは、FeRAM や MRAM が本命視されてきた。しかし、近年になって PRAM、RRAM といったメモリの実用化も急激に進展している。今回取り上げたメモリ技術の中で最も早期に実用化が期待されるのは PRAM であるが、最初の製造品の容量は 512Mbit といわれている。MRAM、FeRAM も大容量化に苦戦しており、これを克服し PC のメインメモリとなりうる容量まで拡張することが今後の課題といえる。

次世代不揮発性メモリが実用化されれば、消費電力の大幅な節約、データアクセスの高速化、記憶容量の増大が可能となり、情報処理システムへの貢献が大いに期待される。