

FeRAM

(1999年～現在)

強誘電体は、外部から電界を加えることによって発生した分極が、電界を取り去った後でも残る性質をもつ。この性質を利用して作られたのが、強誘電体メモリー（FeRAM: Ferroelectric Random Access Memory）である。FeRAMは電源をオフした状態でも、記憶を保持することができる（不揮発性）だけでなく、高速で情報を書き込むことができ、情報の書き換え回数が極めて大きい。FeRAMは、その優れた特性を活かして、ICカードや電子タグなどに使われている。

1. 製品適用分野

ICカード、携帯電話、電子タグ。

2. FeRAMの歴史と特徴

強誘電体を半導体メモリーへ応用した例は、1950年代に遡るが、現在実用化されているFeRAM^(注1)の原型は、1980年代後半にアメリカのベンチャー企業から発表された。それから約10年後の1990年代後半に日本の企業から、FeRAMの量産が開始された^{1), 2)}。

次に代表的な各種半導体メモリーの特性の比較を表1に示す。不揮発性メモリーのFLASHメモリーやEEPROMでは、データを書き込むのに高い電圧と長い時間を必要としており、データ書き換え回数が比較的少ない。これらの不揮発性メモリーに比べて、FeRAMは、高速でデータを書き込むことができ、書き換え電圧が低く、書き換え回数が非常に大きいことがわかる。従って、従来EEPROMやSRAM、DRAMなどを、メモリーの特性に合わせて使い分ける必要があったが、FeRAMはこれらのメモリーを、これ一つで置き換えることができると考えられている。

3. 製品適用分野

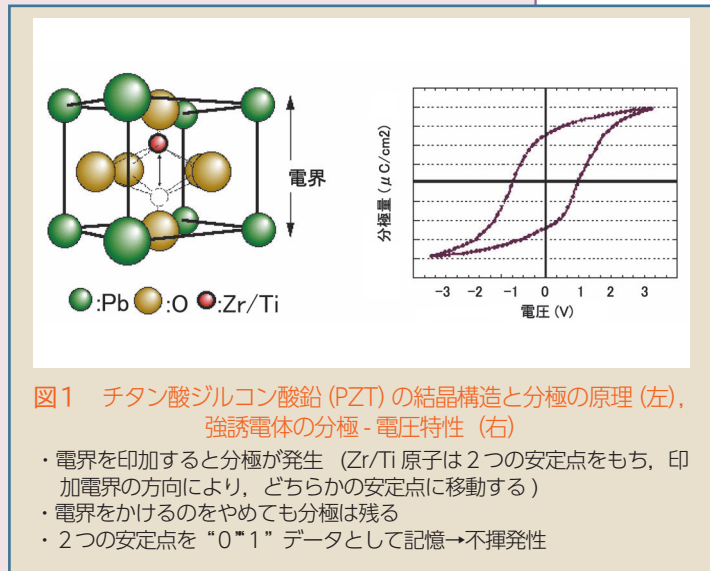
表1 半導体メモリーの特性比較

FLASH：一括消去型の不揮発性メモリー
EEPROM：不揮発性メモリー
SRAM：随時書き込み型メモリーで高速
DRAM：随時書きこみ型メモリーで高集積

	FeRAM	FLASH	EEPROM	SRAM	DRAM
メモリータイプ	不揮発性	不揮発性	不揮発性	揮発	揮発
書き込み時間 (書き込みサイクル)	50~180 ns	1 s	10 ms	10~70 ns	60 ns
読み出し時間 (アクセスサイクル)	50~180 ns	90 ns	200 ns	10~70 ns	60 ns
書き込み電圧	1.8 V	14 V	14 V	1.8 V	1.8 V
書き換え回数	100億~100兆回	10万回	100万回	無限回	無限回

nsは10億分の1秒

FeRAMは不揮発性で、FLASHやEEPROMよりデータの書き換え回数が非常に大きいことから、電源オフ時のデータ保持用途に使われている。従来この用途には、電池付SRAM(バッテリーバックアップSRAM)が使われていた。FeRAMを使うことにより、電池とその実装コストが不要となる。図2は、この用途に用いられている1 Mbitおよび256 Kbit FeRAMチップの写真を示す³⁾。



参考になるホームページ：
FeRAM FRAM 富士通研究所「やさしい技術講座」
<https://www.fujitsu.com/jp/documents/about/research/techguide/document/fram.pdf>
FeRAMの解説
<https://www.fujitsu.com/jp/group/fsm/products/feram/overview/>

Key-words：強誘電体メモリー、FeRAM、IC

注1 FeRAMとFRAMはどちらも強誘電体メモリーを意味する。

注2 EU加盟の各国では、2006年7月1日から電気電子機器への鉛の使用を原則として禁止したRoHS指令が施行された。PZT系材料は主要構成元素としてPbを60wt%あまり含んでいるが、RoHS指令では「電子セラミック部品中の鉛は、RoHS規制の対象から除外」となっているため、法規上は問題なく今後も使用可能である。

その他、FeRAMの特性を活かした商品に、ICカード(図3)、電子タグ、携帯電話などがある。これらはいずれも小型軽量である必要があり、構造の簡単な回路を用いた方が有利である。FeRAMでは、不揮発性メモリーと高速処理用のメモリーの双方に使用できるために、回路構成を簡単にすることができる。また、EEPROMやFLASHメモリーのように昇圧回路が不要で、低消費電力が小さいために、通信距離を大きくすることができる利点がある。

さらに、ICカードや携帯電話では、決済やクレジット機能をもった用途が急速に拡大してきている。このような用途には、ネットワーク上の安全性確保(ネットワークセキュリティ)が必要になる。このためには、データを高度な暗号化技術で、保護することが重要になる。FeRAMは、不揮発性であると同時に高速

でデータが書き換えられる。したがって、FeRAMを用いたデバイスでは、高度な暗号化処理も容易に行うことができ、安全性の確度が高くなる。

4. FeRAMの製造

通常の半導体製造工程では、Si基板上にトランジスタや抵抗、コンデンサなどの素子を作りこむ工程(バルク工程と呼ぶ)と、これらの素子を、アルミ配線で結ぶ工程(配線工程)からなる(図4)。FeRAMの製造では、バルク工程と配線工程の間に強誘電体キャパシタを作製する工程を挿入する。したがって、通常の従来の半導体製造工程との親和性が高く、比較的容易にFeRAMを製造することができる¹⁾。

FeRAM用の強誘電体は、現在主にチタン酸ジルコン酸鉛(PZT: $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$)^(注2)またはビスマス層状酸化物強誘電体(代表的なものは、SBT: $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$)が使われている。前者は、分極量が大きい特徴があり、後者では、分極量は小さいが書き換え回数が多いと言われている。PZTではスパッタ法、SBTでは化学溶液堆積法でそれぞれ、キャパシタ用の薄膜を製造している。最近、これらの堆積法に代わって、さらに特性のよいキャパシタが得られる有機化学気相堆積法という方法も開発されている⁴⁾。

5. 信頼性の確保

不揮発性メモリーでは、データの保持特性が重要である。開発当初のFeRAMでは、データを書き換えて読み出す特性が不十分だった。しかし、強誘電体薄膜製造プロセス^{2,4)}の改良や回路的な工夫³⁾により大幅に改良され、実用上十分な保持特性が得られるようになった。

さらにFeRAMで重要な点は、書き換え回数である。現在の商品カタログの仕様では、1~10兆回(10^{12} ~ 10^{13} 回)程度である。しかし、DRAMなどの揮発性メモリーより数桁劣る。上述の電極の改良や有機化学気相堆積法などにより、書き換え回数は 10^{14} 回を超えるものが、登場してきている⁴⁾。

6. 今後の展開

FeRAMは今までの半導体メモリーにない大変優れた性質をもつ。しかし、従来の半導体工程になかった材料を用いていることからくる製造上の未熟さや、FRAMの特性を理解した設計技術が成熟していないために、まだまだ市場への浸透は十分ではない。しかし、FeRAMが量産され始めて、20年以上が経過し、設計、製造技術の両面において大きな進展があった。今後そ



図2 量産されているFeRAMチップの写真

両チップともPZT強誘電体キャパシタを用いて作製されている。電源オフ時のデータ保持用途などに幅広く使われている。

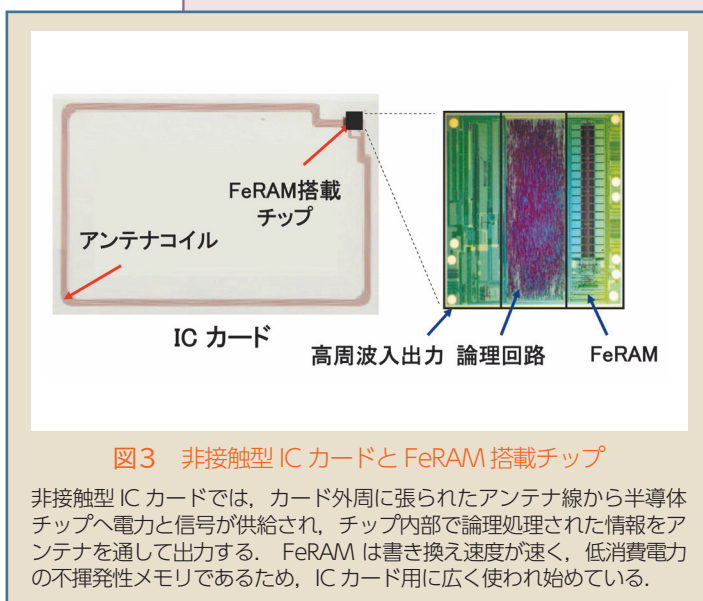


図3 非接触型ICカードとFeRAM搭載チップ

非接触型ICカードでは、カード外周に張られたアンテナ線から半導体チップへ電力と信号が供給され、チップ内部で論理処理された情報をアンテナを通して出力する。FeRAMは書き換え速度が速く、低消費電力の不揮発性メモリーであるため、ICカード用に広く使われ始めている。

の特徴をうまく活用した商品展開が急ピッチで進んでいくであろう。

文献

- 1) 山崎辰也ほか, *IEDM Technical digest*, 613 (1997).
- 2) 中村孝他, *Integrated Ferroelectrics*, 9, 179 (1995).
- 3) 川嶋将一郎他, *Proceedings of Symposia of VLSI Technology and VLSI Circuits*, C12-3 (2001).
- 4) 堀井義正他, *IEDM Technical digest*, 539 (2002).

[連絡先] 川久保 智広

富士通セミコンダクターメモリソリューション (株)

営業・マーケティング統括部

〒 222-0033

神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 100 番 45

新横浜中央ビル 11 階

TEL 045-565-9123

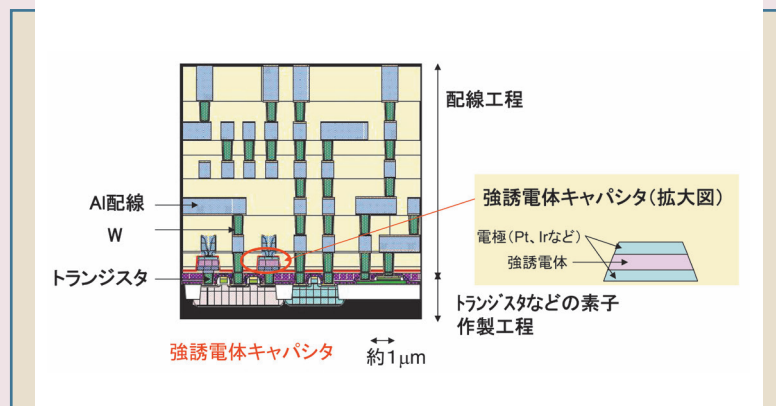


図4 FeRAMの断面構造

FeRAMでは、Si基板上へトランジスタなどの素子を作製した後強誘電体キャパシタを作製し、これらの素子をAl配線などで電気的に接続して製造する。