

## 第4章

p.43

1. 半導体メモリは、メモリセルの種類によって RAM (random access memory) と ROM (read only memory) に大別される。RAM は記憶情報(データ)を随時書き換え、保持し、読み出すことができるメモリである。ただし、電源を切ると記憶情報を保持できない揮発性メモリである。RAM にはダイナミック RAM (dynamic RAM ; DRAM) とスタティック RAM (static RAM ; SRAM) がある。DRAM は、汎用計算機、パソコン、ワークステーションの主記憶、あるいは画像メモリなどに使用されている。SRAM は、DRAM のようなりフレッシュ動作を必要とせず、動作速度が速いものの、素子面積が大きいという問題がある。価格はやや高いものの高速で使いやすいので、スーパーコンピュータ用主記憶、汎用計算機用キャッシュメモリ、マイクロプロセッサチップ内のキャッシュメモリ(演算素子内部に設けられた高速な記憶素子)、携帯機器用メモリなどに多用されている。

これに対して、ROM は読みだし専用メモリであり、ユーザが製造後のチップに情報を自由に書き込むことができる、プログラム可能な ROM すなわち PROM (programmable ROM) と、あらかじめ情報をチップ製造工程で書き込んでしまうプログラム固定のマスク ROM に分けられる。一般に、ROM は RAM にくらべて機能は限定されるものの低価格なので、文字フォントやゲーム機、FAX、電話、エンジン制御など多方面に使われている。最近の携帯電話、デジタルカメラや携帯音楽機器などのモバイル機器の飛躍的な市場の広がり、書き換え可能な不揮発性半導体メモリ EEPROM (フラッシュメモリ) の急激な進歩によるものが大きい。ただし、書き換えができるとはいっても、書き換え時間が RAM にくらべて桁違いに遅く、消費電力も大きい。また書き換え回数にも  $10^4 \sim 10^5$  回程度と制限がある。

2. MOSFET のスイッチングは半導体層のキャリア反転をゲート電圧で制御することによって生じており、また、半導体層のキャリア反転は誘電体と半導体の界面における電荷のつり合いによって決まる(図 4.1 参照)。また、誘電体中に誘起される電荷量は  $Q = C_{ox} \cdot V$  によって規定される。したがって、誘電体には MOS トランジスタのスイッチングに必要な電荷量(Si の場合  $0.1 \mu\text{C cm}^{-2}$  程度)を確保するという重要な役割がある。 $C_{ox} = \epsilon \epsilon_0 \Sigma / d$  であるので、ゲート絶縁膜の誘電体として  $\text{SiO}_2$  を用いた場合、 $\epsilon = 3.9$  であり、素子の微細化(Sの減少)に伴って膜厚  $d$  を薄くする必要があるが生じる。ゲート絶縁膜が薄膜化され、 $1 \text{ nm}$  程度になるとトンネル電流が増加するために大きな問題となっている。このために、 $\text{SiO}_2$  に代えて  $\text{SiON}_x$  や  $\text{HfO}_2$  などの高誘電率膜を用いる研究開発が盛んに行

われている。高誘電率膜を用いれば同じゲート絶縁膜容量に対して  $\text{SiO}_2$  より誘電率が高い分だけ物理的膜厚を増加でき、トンネル電流を減少できる。また、リーク電流を低減するには高誘電率材料はエネルギー障壁が高いことも必要である。

3. フラッシュメモリをカード型にパッケージしたものは「メモリカード」と呼ばれ、デジタルカメラや携帯音楽プレーヤーなどデジタル機器の記憶媒体として急速に普及している。最近ではメモリカードが利用可能な携帯電話まで出現し、デジタルカメラと携帯電話の区別が難しくなってきた。また、フラッシュメモリのパッケージに USB コネクタを付けた「USB メモリ」は、フロッピーディスクに代わるパソコン用の手軽なデータ交換メディアとして期待されている。携帯音楽プレーヤーはフラッシュ搭載型においても 16 Gbit のものが登場し、ハードディスク搭載型よりも小型で音飛びがないことから大きな市場を形成しつつある。また、JR や私鉄の改札、キャッシュカード、各種プリペイドカード等に用いられる非接触 IC カードにも利用されている。荷物や商品を非接触で仕分けできる IC タグへの応用はさらなる市場の広がりを予感させる。近年は 0, 1 の二値を使うメモリだけでなく多値メモリも開発されその集積化技術の進歩によってデジタル、モバイル時代を牽引している。

しかしながら、その問題点は消費電力と書き込み時間である。これは、データの書き込みに高電圧を利用するからである。これは、モバイルデジタル機器としては致命傷である。コラムに掲載した強誘電体メモリは低消費電力で書き込み時間も短いため、非接触 IC カードなどの電池を用いないデバイスから置き換えが進んでいる。