

# 集積回路の現状と将来

奥戸 雄二

あらまし：

本講演では集積回路技術の発展の歴史と現状を概観し、更にその将来像についての報告を行った。

はじめに：

1902年のフレミングの2極真空管の発明で始まった20世紀の前半は真空管の時代であった。1947年に半導体を用いたトランジスタがベル研究所で発明され、更に1958年には幾つものトランジスタを一つの半導体基板上に作成、結線して回路を作成するという集積回路技術の開発がTI社で行われ、以降特にMOSトランジスタを用いた集積回路技術、更には1970年頃の化合物半導体を用いたマイクロ波素子、レーザー等の技術開発なども伴って、エレクトロニクスが社会に大きな影響を与えるようになった。

特に集積回路技術の発展はめざましく、現在では炊飯器、自動車からPC、高性能情報処理機器まで、我々の日常生活、社会活動に欠かせない物となって居る。またその国内生産額は年間10兆円程度に上り、それを用いた電子機器の輸出は12兆円を超して、自動車のそれを上回っており、集積回路のない社会はもはや考えられなくなっている。

本稿ではこの集積回路技術の発展の歴史と将来像を概観する事とする。

微細化技術の進展：

1970年代から今日に至るまで集積回路技術の発展は主として微細加工技術の発展で支えられてきた。この微細化の方向は1974年にIBMから発表された微細化指針にも大きく影響されていると思われる。<sup>1)</sup> それによると設計寸法を $1/k$ にすると、動作速度が $k$ 倍に、電力が $1/k^2$ 倍に、集積度が $k^2$ 倍になるという物で微細化には利点の多いことを示した物である。

集積回路で重要なデバイスの一つであるDRAMの歴史を見るとその辺りの事情が良く解る。DRAMに於いては70年代初期に1Kbのメモリが実現されて以来今日の64Mbに至るまで3年ごとにその集積度を4倍にして定期的に発展してきた。その間の事情を見ると初期の1Kbでは最小設計寸法は約10ミクロンであったが、約15年後の(5世代後)の1Mbでは集積度が1000倍になり、設計寸法は1.25ミクロンで15年前の $1/10$ になり(64Mbでは0.35ミクロン)、チップの面積は10倍になっ

ている。また生産されるメモリビット数は15年で1万倍になっておりその為に生産されるチップ数は100倍となり、この計算では使用ウエファー面積は1000倍になる。

これらの微細化を実現するために加工技術も順次高度化されてきた。例えばリソグラフィ技術に置いては、はじめは1:1マスクの密着露光であったが、現在では1:5程度のステッパーが主流であり、使用光源も水銀のg-線(436nm)、i-線(367)からさらに微細化を目指し短波長の光(例えばKrFレーザー(248nm)等)の使用や、電子ビーム露光、更にはSORを用いたX線露光なども検討されている。

またそれ以外の加工技術でも各種改良がなされ、<sup>2)</sup> 例えばエッチング技術でも初期の液体やプラズマによる等方的な加工や結晶にダメージを発生しやすいイオンミリング等から、結晶に優しくしかも異方性加工の実現できるエッチング方法に変わってきた。この傾向は各種の膜の堆積においても同様である。但し、現実はこちら新しい技術の開発と微細化の進行とが常に追い掛け合いをしていると言ったところであろうか。また近來では先に述べた微細化指針では対応できない問題(例えばMOSトランジスタを電流スイッチとしてみたときのスイッチ特性や拡散層の抵抗等)が顕在化してきている。

集積回路技術の将来：

このように各種の技術開発に支えられ、集積回路技術は過去約30年順調に発展してきたが、この発展は何時までも続く物であろうか。

他方この30年の間に集積回路は社会に受け入れられると共に社会活動を支える基幹技術としての責任も負うようになってきた。例えば社会生活に於いて、pcの性能は年毎に向上すると共にその価格は低下すること、更にはいわゆるハイエンドのコンピューターでは10年でその性能が1000倍になり1996年には1テラFLOPSが実現された事など、過去の経験則で将来の社会を想定するように成ってきている。

それに対する答えを出すべく世界中で色々検討がなされているが、現時点での予測では今までと同様の微細化の進展で2010年の64Gb迄は何とか成るのではないかとの意見が主流のようである。その時点では設計寸法は0.07ミクロン(700オングストローム)、チップ面積は15平方センチ(約4cm角)という驚異的な構造になっている予定である。

このような物が実現できるかどうかとの議論も有ろうが、此処ではそれは省略する。むしろそれ以降をどうするかの方がもっと大きな問題では無いだろうか。0.07ミクロンというのはすでにいわゆるメゾスコピックの領域に入っており、これ以下にもう一桁微細化を行って同様の性能を出すことは原理的に不可能である。

他方すでに述べたように、社会活動を円滑に進める上では更なる性能向上が期待されて居り、達成できないと社会の進歩に対する大きな障害に成りかねない。

このギャップをいかに埋めるかがこれからの我々に課された大きな問題であろう。

参考文献：

- 1] Denard et al., IEEEJ. Solid State Circuits SC-9, no5, pp256-268, May 1974
- 2] 逢坂哲弥、山崎陽太郎、奥戸雄二「半導体の化学」日本化学会編集、先端材料のための新化学シリーズ第9巻、朝倉書店、1996