

パネリスト5 電子材料と半導体材料とその機能デバイスの最近の進歩

大阪大学 基礎工学部

浜川圭弘

(1) はしがき

われわれの日常生活を見まわしても、茶の間の"テレビにVTR"、そして"電話に電卓"、さらには"マイコンとパソコン"と、エレクトロニクスは最早現代人の生活維持に必需の道具となり、また、コンピュータを駆使した情報処理システム、文明社会の中核機能をよかなり利器となってしまっている。エレクトロニクスのこうした急速な進歩は、常に"より早く"、"より多く"の情報を"より微少なエネルギー"で処理しようとする強い社会的ニーズと、これに応するためのたゆみないR&D努力の賜と云えるが、その中心的役割を果したもののは、半導体を中心とした材料技術とその加工技術の進歩に負うところが大きい。本稿は、最近のエレクトロニクスの飛躍的な展開について、半導体を中心とした材料技術とその加工技術の面から分析し、技術革新の展開過程を調べ、その底流を探ってみたい。

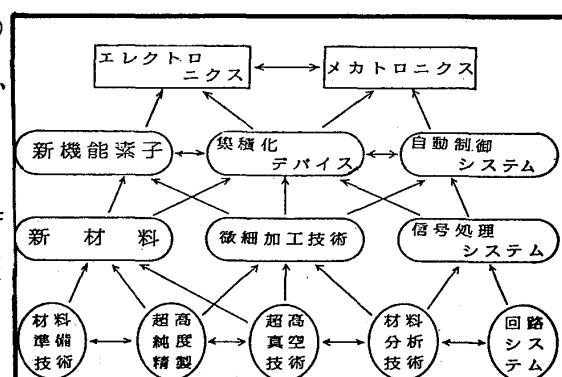


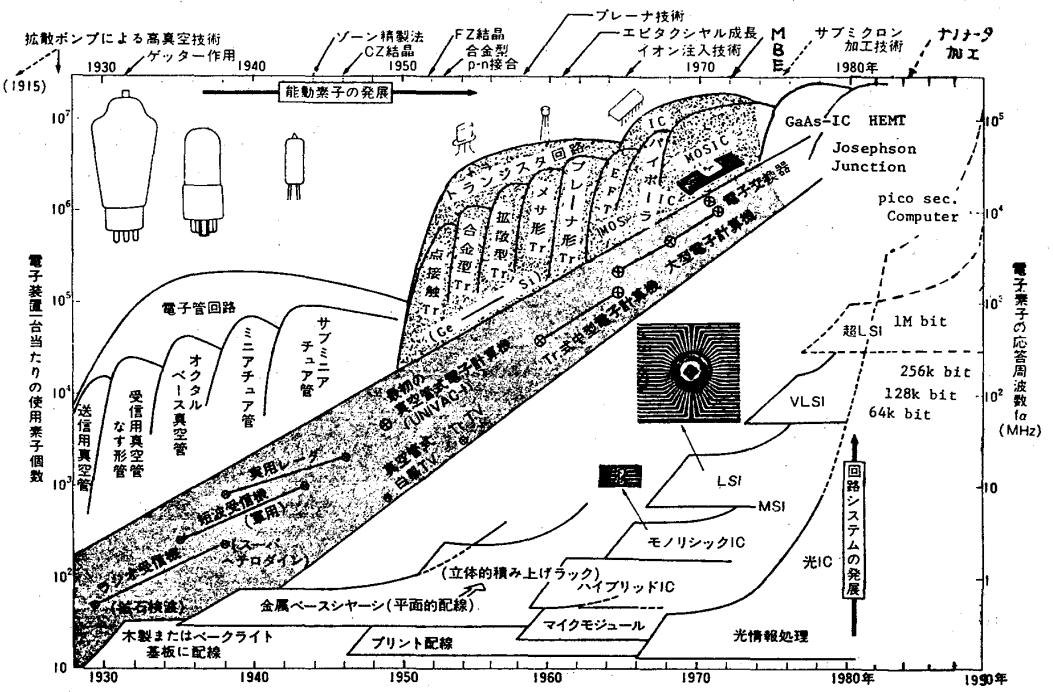
図1 材料科学とシステム工学との結合によるエレクトロニクスの発展過程

(2) 電子素子の進歩による一つの流れ

エレクトロニクスの進歩の変遷は図2に示すように、3段階に分けることができる。図はエレクトロニクスを

図2

能動素子の発達とともに代表的電子装置1台当たりの使用素子個数と回路システムの変遷。図の上部は電子材料の加工技術、右下には回路システムの発展の様子を示している。

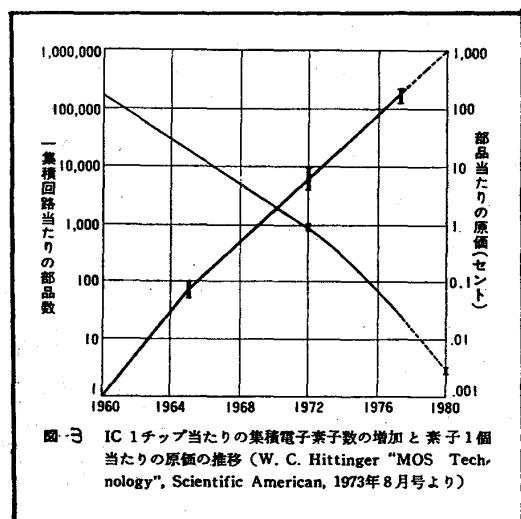


支配した中心的電子装置の、使用素子数の年代による推移を示したものである。この図から理解されるように、電子装置の持つ情報処理能力は、年を追うごとに巨大化、複雑化の一途をたどり、これに必要な素子個数はまさに指数関数的に増加していることがわかる。こうしたすう勢は当然、情報処理の経済化という問題がからんで、1機能を果たすに必要な消費電力の“省エネルギー化”、“小型化”につながり、一方生産行程や装置の維持の合理化などとからんで、部品の“標準化”が行われ、受信管を例にとっても、その形式が“日本形管”から“オクタルベース真空管”さらに“ミニチュア”および“サブミニチュア管”へと変遷していったのである。電子装置の使用部品数の増加は、また回路システムの組み立て方式に対してもいくつかの変革をもたらした。たとえば、初期の回路基板が木製かベーケライトなどの絶縁物に組みこまれていたのが、金属製シャーシに変わって、各回路の持地や電磁シールドが便利となり、回路全体が“コンパクト化”されるようになり、回路アッケラック方式へと変わっていったのである。こうした電子回路の小型化、コンパクト化への流れは、マイクロモジュールからハイブリッドICへと受けがれ、1960年初期に開発されたフォトマスクによるアレーナ技術と結びついてモノリシックICが誕生した。これは1枚のシリコン結晶の上に、酸化と不純物拡散の繰り返しによって、ダイオードやトランジスタはもとより、抵抗やコンデンサを形成し、さらにその上にアルミや金の蒸着によって、配線まで作りつけてしまうのである。

1960年代はいよいよでもなく宇宙開発に飛躍的な進歩が見られ、またコンピュータ時代ともいわれた年代である。一方、民生機器に付いてもカラーテレビ、自動車などの生産台数にも、かってはなかった程の伸びが見られたのもこの時代である。エレクトロニクスを中心とするこうした産業の発展が、まさに莫大ともいえるICの需要を呼び起し、大量生産→コストの低下→需要の増大→大量生産という正帰還作用によって、エレクトロニクスがますますわれわれ文明生活の中に一層身近な存在となつた。ICのこうした需要の伸びは、当然小型化、低コスト化の流れを加速することになり、微細マイクロファット加工技術の進歩と結びついて、集積密度の増加を促すことになる。図3は集積密度と部品原価の推移を示す。

(3) 材料技術と微細加工技術との結合

情報化時代とまで云われる1970年代に入って、情報処理のコストパフォーマンス向上の立場から、計算機1機の処理能力の拡大化が望まれ、その結果、“より多く”“より高密度”的情報量を“より早く”、より低エネルギーで処理する技術の開発はさらに加速が加えられ、ICの集積密度はますます高められた。これには幾つかの壁が存在するが、その1つは加工精度の限界によるもので、俗に“密度の壁”とも云われている。これをアレーナルーラーする革新技術として、従来の紫外線露光によるリソグラフィからX線、電子ビーム露光セイオング



ーム加工などによるサブミクロンからナノメータ加工へと次第に進歩してきている。

情報処理量の巨大化に対するもう1つの壁は、部品の信頼度と素子の歩留りとの兼ね合いで定まる限界で、これを“数の壁”と呼んでいる。たとえば最近の大型計算機では、百万個のオーダを超える電子部品が使われている。現在もっとも高い信頼度を有する半導体ICは、その信頼度が 2×10^8 MTBF 程度と云われている。たとえば素子数約2万個のICは、1万時間に平均1回の故障が生じるなどを意味している。さらに現在めざされている128 Kビットや256 KビットものVLSI (Very Large Scale IC) を作るには、従来のICと比べて格段と信頼度を高める必要があり、それには加工技術のみならず、原材料シリコンの結晶完全性との均一性、および製造技術における高度の品質管理が要求されるのである。数の壁に対しては無転移、大型結晶成長技術や、分子ビームエピタクシャル法による薄膜単結晶製造技術や低温拡散技術など、基礎材料品質のいよいよ一層の向上と、製造工程の高水準の品質管理システムの準備や組織の整備に力が注がれているのである。

電子素子の数が同じでも、その応答速度が1桁速くなると情報処理能力はそれだけ増して、情報処理のコストは安くなくなる。この意味で電子素子の応答時間を t 、その動作消費電力を P とし、その積を $P \cdot t$ 積と呼んで、情報処理機能素子としての性能指標としている。図4は各種の能動素子の $P \cdot t$ 積をグラフに描いたものである。この図からも、エレクトロニクスの進歩は $P \cdot t$ 積の縮少に向かって進んでいるといえる。

その他、新材料の分野ではGaAsをはじめ、光IC用のInGaAsPなど、これらに併せて電子制御の効くアモルファスシリコンの開発が進み、オプトエレクトロニクスに新分野が切り開かれつつある。

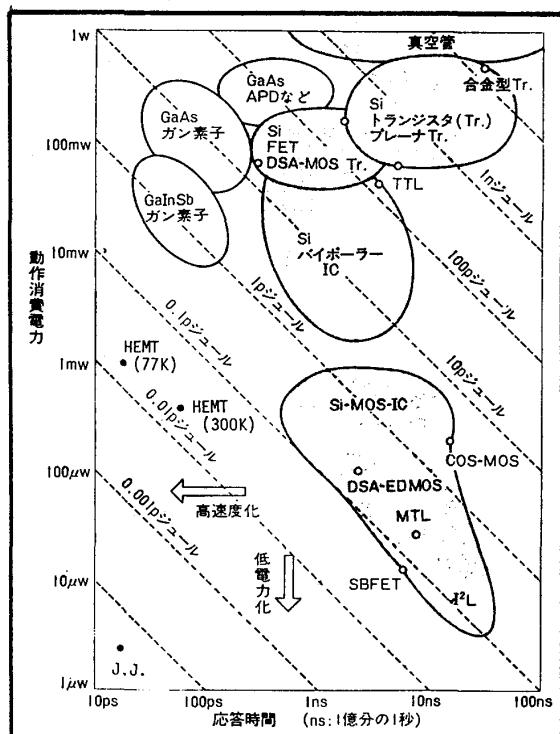


図4 各種能動素子の $P \cdot t$ 積 電子素子の小型化、低消費電力化、高速化への進歩は、 $P \cdot t$ 積の低下への努力の足跡ともいえる。

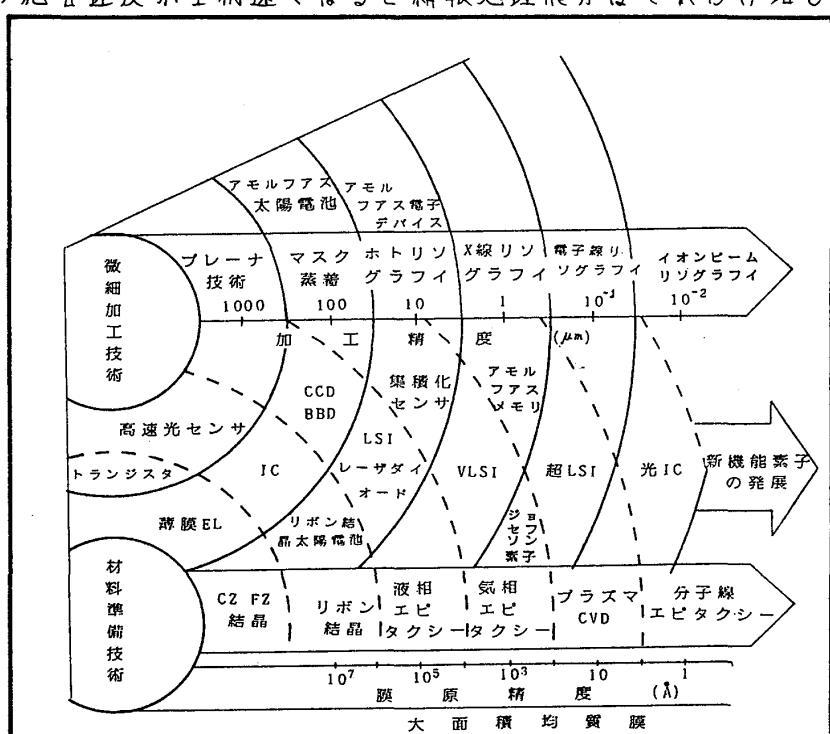


図5. 微細加工技術と材料技術の進歩による新機能素子の誕生