

《日本半導体メーカー挽回の鍵は?》

ムーアの法則を牽引する3次元LSI 付加価値の源泉は前工程から後工程へ



微細加工研究所 所長 湯之上 隆

EUVの量産適用が絶望視されている。今度こそ、本当にLSIの微細化がスローダウンし、止まるかもしれない。それでも“ムーアの法則”は終わらない。TSVによる3次元LSIが高集積化を牽引するからだ。規格団体JEDECにより、2013~2014年に量産されるモバイル用アプリケーションプロセッサの規格として、40/50 μ mピッチ、1200TSVが決められ、積層されるDRAMとCPUの一等地に1200個もの穴がかけられる。今後、LSIの付加価値の源泉は、前工程ではなく後工程に移行する。低収益に喘ぐ日本メーカーが挽回するには、後工程に賭けるしかないと考える。

今度こそ本当にスローダウンする微細化
次世代露光装置EUVの量産適用が絶望視されている。EUV光源の開発が計画通り進まず、光源出力が所望の1/10にも満たないことが原因である。リソグラフィの歴史を見てみると、常に、「もう限界だ」、「微細化はもう止まる」と大騒ぎするが、結

果的にその壁は突破されてきた。
しかし、今回に限って言えば、どうやら本当に困難な壁に突き当たっている。少なくとも、2013年に量産機完成、2016年に量産適用という目論見は実現不可能という意見が支配的である。
そのため、ArF液浸+多重露光により、微細化を

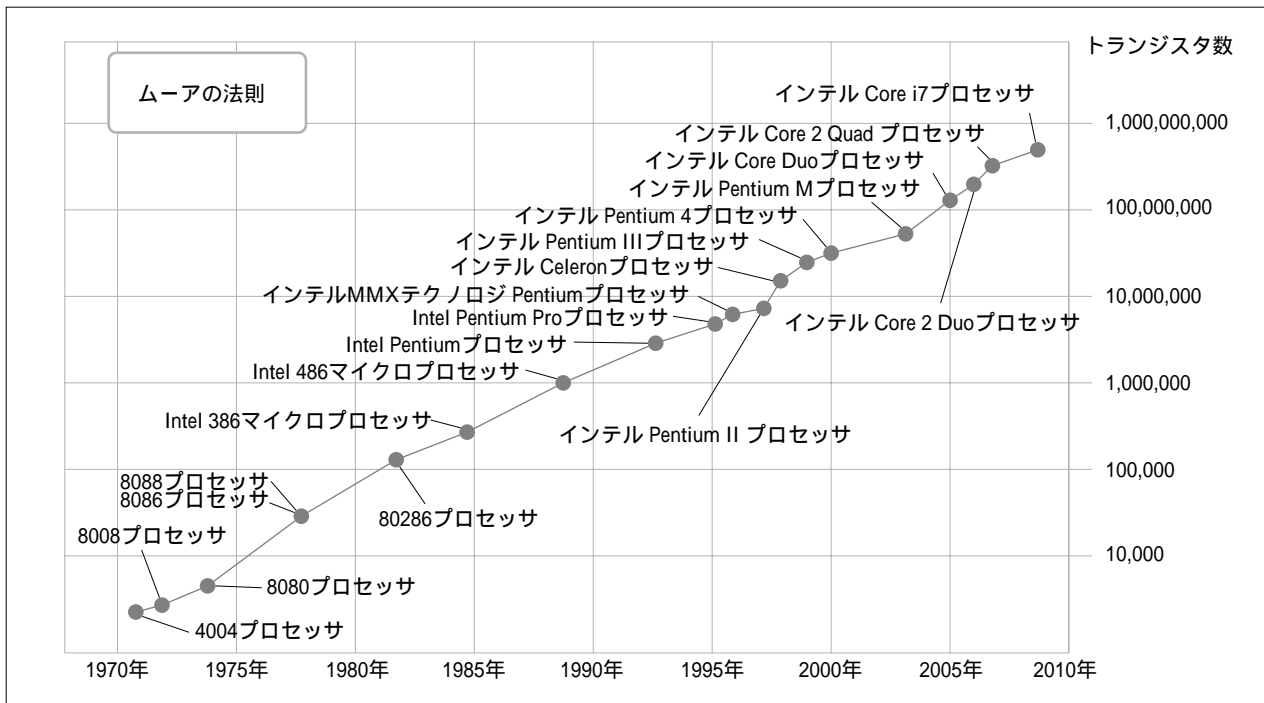


図1 ムーアの法則 (出所: Intel)

進めるしか方法はない。この方法で11nmまでの微細加工はできると言われているが、合わせ精度の問題、マスクや工程が増大することによるコストの問題、多重露光でLSIができるように設計しなければならないDFM (Design For Manufacturing) の問題など、課題は多い。

従って、今後10年間で展望すると、今度こそ本当に、微細化はスローダウンし、場合によっては止まるかもしれない(もちろん、破壊的なイノベーションが起きて、まったく異なる方法で微細化が実現するという事はあり得る)。

「ムーアの法則」は終わるのか?

米Intelの会長となるゴードン・ムーアは、1965年に、「トランジスタの集積度は24か月ごとに倍になる」ことを論文に発表した。半導体業界に関わっている人ならば誰でも知っている“ムーアの法則”である¹⁾。70年以降、Intelはまさにムーアの法則通りに、高集積化を推し進めてきた(図1)。

この高集積化を進めるための極めて効果的な手段が微細化であった。米IBMのデナードなどが発表した“スケーリング則”に従って微細化すれば、高速化、低消費電力化、高集積化が一挙に実現できるからである²⁾。

では、微細化がスローダウンし、やがて止まるならば、ムーアの法則は終焉を迎えるのだろうか? この問いに対する答えが、米国の発明家であり実業家でもあるレイモンド・カーツワイルの著書に掲載されている³⁾。

カーツワイルは、ムーアの法則をLSIだけではなく、計算機という大きな枠組みで理解しようとしている(図2)。まず1890年に機械式計算機が登場し、次にリレー式計算機が発明され、やがて真空管式コンピュータが開発される。そして、トランジスタ式のコンピュータを経て、70年にSiを用い

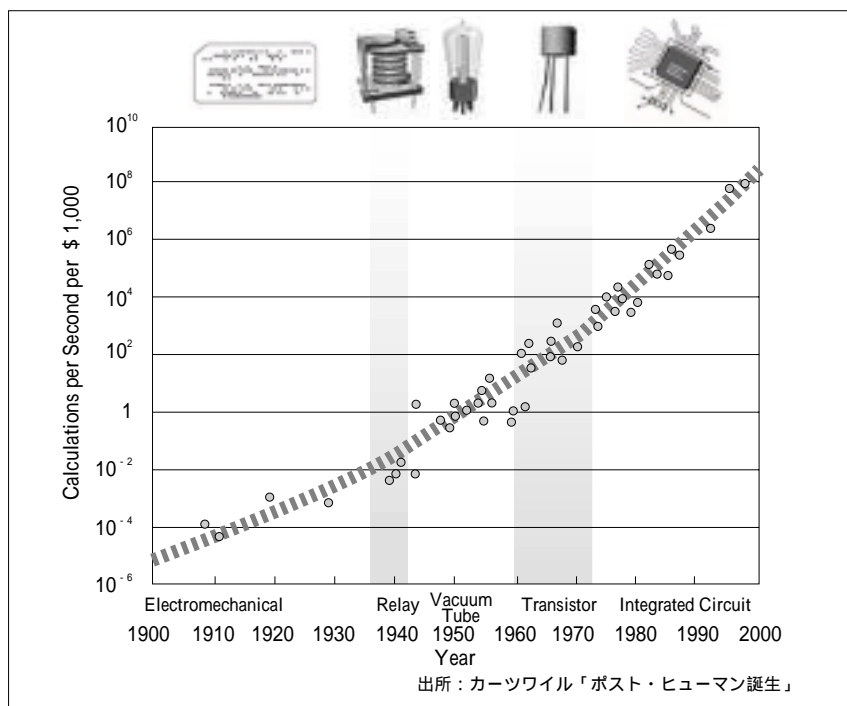


図2 計算機の歴史から見たムーアの法則

たLSIの時代となる。

カーツワイルによれば、ムーアの法則とは、18世紀末から続く計算機の潮流の第5番目のパラダイムを表現しているに過ぎない。このパラダイムが終焉を迎えても、第6番目のパラダイム(例えば2020年に3次元分子コンピュータなど)が新たに登場すると論じている。そして、2050年には人間の脳を超えるコンピュータが実現するとまで予測している。

TSVが「ムーアの法則」を牽引する

筆者には、LSIの次に来るパラダイムシフトを正確に予測することはできない。しかし、微細化が行き詰ったLSIに何が起きるかは、見通しがついてきた。

微細化がスローダウンしても、高集積化は止まらない。それは、PC、スマートフォンおよびタブレットからの“LSIの高性能化とチップの軽薄短小化”を要求する圧力が大きいからである。この要求を実現するのは、3次元LSIしかない。そして、3次元LSIの形成手段は、TSV (Through Silicon Via) に他ならない。

TSV技術は、Intel、韓国Samsung Electronics、

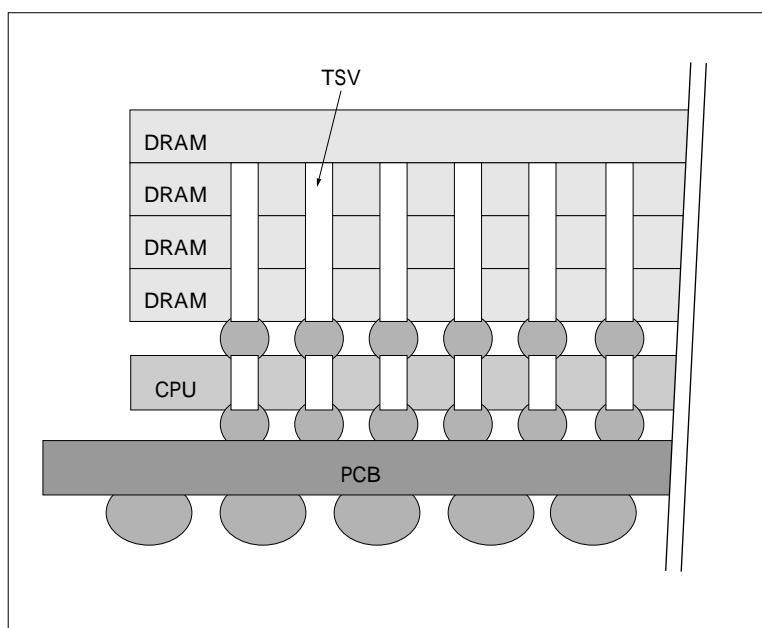


図3 TSVを用いた3次元LSI

Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC)などが着々と準備を進めているという噂が聞こえてくる。しかし、「TSVはコストが高過ぎて使えない」という声があったのも事実である。

ここに風穴があきそうだ。1月18日～20日に東京ビッグサイトで開催されたインターネットコン ジャパンにおけるシンポジウムの1つ、「技術革新が進む海外メーカーの最新動向と将来展望」においてSTATS ChipPAC Japanの西尾俊彦氏が紹介した話によれば⁴⁾、2013～2014年に量産されるモバイル用アプリケーションプロセッサは、TSVを用いた3次元LSIになる。この3次元LSIには、Wide IO Memory (DRAM)とCPUが積層される。そして、これらLSIには、40/50 μ mピッチで1200個のTSVが形成される(図3)。

西尾氏の言葉を借りれば、「LSIチップの第1優先事項は、まず穴あけ(TSV形成)である。つまり、DRAMやCPUの“1丁目1番地”に、TSV用の穴をあける」ということになる。そして、これは、国際的にLSIの規格を規定している団体JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council)によって決められたという。

モバイル用アプリケーションプロセッサの規格が、TSVを用いた3次元LSIに決定した。この波及効果は大きい。半導体メーカーは、メモリ、ロジ

ック関係なく、TSVによる3次元化LSIを嫌でも生産しなければならなくなった。従って、微細化が止まっても、TSVがムーアの法則を牽引する。

付加価値は前工程から後工程へ

LSIの高集積化、すなわちムーアの法則は、前工程の中の微細加工によって実現されてきた。それが故に、前工程の中には、4番エースがリソグラフィ技術、3番サードがドライエッチング技術で、9番ライト(または補欠)が洗浄技術というような土農工商が存在した(現在、この土農工商は誤認識であり、4番でエース候補は洗浄技術であることを以前報告した⁵⁾)。ところが、後工程は、前工程以下と見做され

てきた。大阪大学の田畑先生によれば、「土農工商・後工程」という言葉があるという。つまり、後工程は、江戸時代のヒエラルキーで言えば、最下位ということだ。

しかし、EUV開発が頓挫し、微細化がスローダウンする。すると、微細化はもはや競争力にならない。今後、LSIに付加価値を生み出すのは、TSVを含めた後工程になる。従って、パッケージや実装などの後工程に、人、もの、金などリソースを集めるべきである。果たして、日本半導体メーカーにその覚悟はあるのか? 続きは次号にて報告したい。

参考文献

- 1) Gordon E. Moore : Cramming more components onto integrated circuits、Electronics Magazine 19 (1965)
- 2) R. H. Dennard et al. : Design of ion-implanted MOS-FET's with very small physical dimensions、IEEE、J. of SSC、v9、n5 (1974) pp. 256-268
- 3) レイモンド・カーツワイル : ポスト・ヒューマン誕生 コンピュータが人類の知性を超えるとき、NHK出版 (2007)
- 4) 西尾俊彦 : スタッツチップパックにおける先端パッケージテクノロジーのロードマップ、ICP 13th IC PACKAGING TECHNOLOGY EXPO、ICP-2
- 5) 湯之上隆 : 洗浄技術の時代がやって来た、Electronic Journal (2010.3) pp. 41-43