

生研公開講演

「半導体集積回路 (VLSI) の挑戦」

第三部 桜井 貴康 教授

生産技術研究所第3部の桜井でございます。本日は「半導体集積回路 (VLSI) の挑戦」ということで、少し半導体集積回路というものに親しんでいただこうと考えております。

(OHP)

ここに4つ書いてございますが、まず最初に半導体を取り巻く環境ということで、いま集積回路、どのような立場にあるかということ、次に、少し技術的に、LSIとはどんなものであるか。それから、将来を考えますと、LSIに3つほど大きな危機があると考えられますので、この辺を取り上げましてご説明したいと思っております。それから、これのある種のソリューションについてお話しして、最後に日本のLSI技術の行方ということでまとめをしたいと思っております。

(OHP)

これは横軸が年代で、縦軸が1973年の値を100とした生産量ということで鉄と原油とシリコンの3つのものについて書いてありますが、この辺まで鉄は生産が伸びてきている。この辺から生産の伸びが止まっているのですが、その辺から、いわゆるシリコン・珪素が大きく生産量を伸ばしてきました。もちろん鉄のように重くありませんので、絶対値は少ないですが、相対的な伸びは非常に大きな伸びを示している。そういう意味で、いまの時代を石器時代に例えて「珪石器時代」と呼ぶことがあるようでございます。

特にシリコンがどこに使われるかといいますと、集積回路というもので、これはあとでご説明しますが、これが情報処理をいたしまして、それから光ファイバにも珪素が入ってございまして、これで情報が伝達される。どちらもシリコンをベースにしたような時代になってきた、こういうことになるかと思っております。

身近なところでいいますと、メモリですとかプロセッサですとかカメラのセンサですとかが、コンピュータ、通信

機、家電の中にそれぞれたくさん入っている、こういうことになるわけでございます。

(OHP)

「世界の半導体市場と他産業の比較」ということですが、1980年から書いてございますが、この辺はまだかなり小さな規模の産業だったものが、2000年には世界で20兆円産業と言われておりまして、2010年には80兆程度の規模になって鉄鋼等の産業を抜くのではないかと予想されております。ということで、いわゆる「産業のコメ」と呼ばれている由縁であるわけです。

(OHP)

もう少し内部構造を見ますと、これは横軸が年代で、縦軸が構成比ですが、日本、米国、欧州、その他と書いてあって、その他はアジアが多いということですが、1986年ぐらいに米国と日本がクロスして、日本のいわゆる半導体における地位が確立したということで、この辺は日本が絶好調だった時代があったわけですが、これから急速に下がって、97年はもっとこの差が開いているというようなことになっております。

(OHP)

それが大きな理由ですけれども、いわゆるメモリ (記憶素子) で、DRAMという名前はお聞きになったことがあると思いますが、これの価格が急速に1996年ぐらいから下落いたしましたので、4万円ぐらいだったものが今7,000円ぐらいまで落ちてきています。基本的に、ゆっくりと下降するのはかまわないのですが、急速に下降したということで、特に日本の半導体業界がDRAMに依存が非常に大きいということから、他の地域、特に米国に比べて地位が逆転してしまったという状況です。ですから日本はこれからポストDRAMといいますが、DRAM依存を脱却したところでどうやって勝負していくのかというのが課題になっているところでございます。

(OHP)

以上が半導体を取り巻く環境ということですが、次に少し技術的になりまして、LSI (集積回路) の中身を構成します MOS のトランジスタというものがどんなものかということで、実際のトランジスタを横に切りまして顕微鏡写真を撮ったものです。ここがシリコン (珪素) でできておりまして、ドレインと呼ばれている部分とソースと呼ばれている部分がちょっと導電性が違っていて、ここに薄い絶縁膜がございまして、この上にゲートと呼ばれている部分がある。ここからここまでの距離が、いま 0.0002 mm ぐらいがよく使われているということで、0.2 ミクロン、1000 分の 1 mm のことをミクロンと称しますが、0.2 ミクロンぐらいのゲート長が使われているということでございます。

ゲートに高い電圧をかけますと、ドレインとソースの間に電流が流れるということで、これが制御棒で、ここに電流が流れるかどうか、これで制御されるというスイッチの素子でございます。

(OHP)

これをどんどん組み合わせるとということで LSI ができるわけですが、いまのトランジスタが 10 個から 1,000 個ぐらいのものを 1970 年代、集積回路、Integrated Circuit と呼んでおりまして、その後トランジスタが 1,000 個を超えたあたりから大規模集積回路 (Large Scale Integration) で LSI という名前が使われるようになりました。

それから、トランジスタが 10 万個ぐらいを超えたあたりから Very Large Scale Integration で、VLSI という名前が使われておりますが、最近、V とか、この上に Ultra Large Scale Integration (ULSI) とかいうのがあるのですが、あまり名前を変えないで、一般名称で LSI ということがよく行われておりますので、今日も基本的に LSI という言葉を使わせていただきます。これは 1,000 個以上のものが集積されたものだけということになります。

(OHP)

「LSI 製造の流れ」ということで、まずこの図を説明しますと、まずシリコン・珪素のウェハというものがございます。これはいま皆様のお手元におまわしいたしますが、これは東芝さんのご好意でお借りしたのですが、ここにまるい大きな円盤みたいなものがございます。これは厚さが 0.5 mm ぐらいで、シリコンのウェハと呼ばれているもので、ここにびっしりパターンが書いてございます。これが設計が焼き付けられたもので、それぞれ機能する。それがパッケージに入ったものがございますので、これはおまわししますので、見てください。

それから、原材料がここに入りまして、一方で設計というものがございまして、これはいわゆる魂を入れるものがございますけれども、ここに設計図がございまして、ごらんになった方はあるかもしれませんが、びっしり配線と

かトランジスタがあるものがございまして、これもちょっとお返しします。

ここで設計しまして、設計の結果は、マスクというものができるわけです。マスクというのはちょうど光を通す部分と通さない部分があるわけですが、これによって光を遮りながら物をつくっていくということで、これもいまおまわしします。

いまのマスクというのが設計の最後のもので、マスクというのが、設計を終わりますと 20 枚ぐらい出てまいります。それでウエハ工程というので、ここにこういうパターンをつくって行って、あとでパッケージに入れるわけですが、パッケージも最近大いに進歩しまして、ここに 2 つ、これもおまわししますが、非常に小型のものと、小型のものはシリコンのチップサイズそのまま程度になっておりますし、大型のものも非常に薄くて 1,000 ピンぐらいの端子が出てまして、これでほかのものと接続できるということになります。ということで、組立てが終わったらテストして、出荷ということになるわけでございます。

(OHP)

ウエハ工程なんですが、ウエハをどうやって作るかというのは、まさに写真技術の応用でして、シリコンの今のまるいウエハの上に薄い酸化膜ですとか金属薄膜を付けまして、その上にフォトレジストといって、写真の乳剤を付けてまして、これを露光いたします。上に、先ほどのマスクで覆って、光を当てますと、マスクの光が通る部分だけここに感光しまして、現像しますとこの部分が溶けてなくなります。溶けてなくなったもので覆いができたわけですから、ここに酸化膜や金属膜を溶かすようなものを入れますと、酸化膜、金属膜がこのようにきれいに溶けまして、そのあとで要らない、先ほどのフォトレジストという乳剤を取ります。そうしますと、ここに残ったものは所望の金属薄膜が所望の形に残るということになりまして、これをちょうど版画のように 20 回ぐらい繰り返すということを行いますと、最後に加工物ができるわけでございます。

(OHP)

1950 年の頃、1 トランジスタがこのくらい大きかったものが、1995 年には、それが 7,000 万トランジスタが同じようなサイズでできるようになったということです。同じ珪素を使いまして、そこまで小型化できたということに、もちろん機能がぎっしり詰まったことなるわけです。

(OHP)

なぜこんなに皆さんがどんどん小さくしてきたかというのには理由がございまして、その根本的な理由がスケール則というものです。これは業界の皆さんがある種の法則として経験則ですが、従っているルールがございまして、これはトランジスタというものがございましたら、これを小さくいたします。横方向も縦方向も全部小さく、2 分の 1

にいたしますと、それで、いろんなところにかける電圧を、同じくサイズが半分になったら、電圧も半分にする。そうしますと、電界、電気の強さですが、基本的に電界が変わらないということで、特に薄い酸化膜が壊れたりすることがない。ですから基本的に全部調和がとれた格好できれいに小さくしていくと、そのまま同じように動いてしまうというメリットがございます。

もっとメリットは、半分にするると速さが倍速くなる。コストは、同じ面積に、縦方向2分の1、横方向2分の1になりますから、同じ工程をかけてつくったものが4分の1でできてしまうということですから、価格は安くなるし速度は速くなるということなので微細化がどんどん進展したわけでございます。

(OHP)

その微細化の結果、いわゆるメモリ、先ほど言ったDRAMの記憶容量は3年で4倍の速度でここ20年、あるいはもうちょっと前からですから30年ぐらい、この速度で進展してきております。最小線幅は、それを実現するためにどんどん小さくなって、最初3ミクロンぐらいだったものが今では0.2ミクロン程度まで小さくなってきているということです。(OHP)

いまのはメモリでしたけれども、プロセッサ、これはインテルという会社のプロセッサの例ですが、これもトランジスタ数が年々、やはり1,000個から始まって今が1,000万個~1億個に到達しようとしているということでございますので、これも順調に微細化あるいは高集積化が進んでいるということになります。

(OHP)

高集積化は分かったけれども、本当に速くなるのかということで、これは実際の動作周波数というもので、上に行くほど速いということなんですが、ここにいろいろとチップを並べてありますが、大体2年で2倍程度の速度で高速化も進んでいるということになるわけです。

(OHP)

まとめますと、いまメモリ(記憶)素子とプロセッサ(処理装置)の例をとりましたが、メモリが3年で4倍の集積度で、30年では100万倍になりました。1000ビットだったものが、今は10億ビットが集積されるようになってきた。プロセッサは、これはミップスという速度の単位ですが、0.06 MIPSだったものが98年には600 MIPSということで、もし自動車に同じ高速化が起こっていたら、自動車の速度は高速になっているというぐらいの技術革新が起こったということになります。

(OHP)

こんなに速い処理能力が要るのか。もうこの辺で技術が要らなくなるのではないかとということでございますけれども、それはあまり心配ございません。これは要求される性

能を横にとってございますが、縦に、いわゆるマルチメディアに要求される、マルチメディアの基本機能を書いてございます。現在は、技術がこの辺にありまして、1秒間に100万回の1,000倍ですから、ちょうど10億回ぐらいの演算量が可能なんです。これからテレビがデジタルになる。そのデジタルテレビを見るのに必要なデコーダというのがあるのですが、それをつくるのに十分ぐらいのところまでは今進化していますが、これがHDTVというハイリゾリューションの、もっと高精細の非常にきれいなテレビにはまた数倍の演算量・性能が必要ですし、これを見るのではなくて動画を撮って、それを放映するという方向のエンコーダというものはそれからまた1桁ぐらいの性能が必要だということで、どんどん高い性能が要求される分野があるということですから、それで終わるということはないと考えられます。

(OHP)

先ほどスケール則の良い面を述べました。どんどん小さくするとどんどん速くなるし、コストは安くなるということをお述べたのですが、実は悪い効果というのがあります。ここに3つ書きました。これが特に最近目立って悪くなってきて問題になっている面です。

1つは、サイズを半分にするると消費電力が1.3倍ぐらいになる。つまり電力をどんどん食うようになってくる。それから配線遅延というのがございまして、トランジスタのスイッチはいいのですが、スイッチとスイッチをどこかでつないでいるわけですが、この配線が非常に細くなりますので、抵抗が非常に高くなりまして、信号が通りにくくなるということになってしまいます。これは半分にしますと実は4倍ぐらい遅くなります。

もう一つは、これはちょっと毛色が違いますが、何億個という素子をどうやって設計して、基本的には1個も間違いなく動作させるかというこの複雑さが極めて問題になってきているわけです。

(OHP)

少しまとめますと、LSIをめぐる3つの危機というのは、1つが、消費電力が限りなくでかく大きくなる。それから配線の危機。配線がどんどん遅くなってくる。それから複雑さの危機ということで、設計できなくなってしまいます。この3つが顕在化してきております。これを少しずつ、どんなふうに解決するかということも含めて話したいと思えます。

(OHP)

まず、「消費電力はうなぎのぼり」ということで、横軸に年代がありまして、過去主要な学会で発表されたいわゆる処理装置の消費電力をここにとってありますが、大体3年で4倍ぐらいにどんどん消費電力が増えまして、ついに1997年、72 W、小さいシリコン片ですから、そこに72 W

ということは電球ぐらい明るいわけですから、その熱をそこでどうやって逃がすかというような問題があるわけですが、72 W というのができてまいりました。

(OHP)

手をこまねいていると、これがどんどん伸びて、どんなふうに予想されているかという、2010年頃になると、電力は170 W ぐらいまで大きくなるだろう。そのときに電源電圧は0.6Vとか非常に低い。今3Vとっておりますが、0.6Vの非常に低い電圧ですので、電流が非常に問題でして、200 A——といたしますと、電流をそこに運ぶだけでも3 mm 角ぐらいの銅の線を持ってこないと切れちゃうというような電流ですけれども、そういうとてつもない大きな電流を食うことになるということで、将来も決して予断を許さないということでございます。

(OHP)

言いたいのは、じゃあ電力というのはどうしてそんなに大きくなるのだ、あるいはどうやって決まるのだろうかということなんです、難しい式はさておきまして、電力というのは電源電圧×電流×静電容量というものに比例します。ですからこれは電力なんです、縦軸を電力にとって、ここは電源電圧なんです、電源電圧を下げますと、急速にパワーが減るということになります。

ところが電源電圧を下げますと、遅延を見てもみますと、遅延は急速に上がる。遅延が、電源電圧分の1ということで、電圧が小さくなりますと遅延が大きくなるということがございます、そういうふうになってしまう。

静電容量に関しては両方ともにかかっている、静電容量を小さくすることは両方にいい効果があるわけですが、電源電圧は、非常にパワーを減らすには効果があるけれども、遅延が伸びてしまうという問題があります。この辺をどういうふうに解決するかというのが今の最大の関心事になっております。

1つは、実は技術的になりますが、しきい値というものがありまして、この電圧以上になりますとトランジスタが導通する、これ以下ですと導通しないという、そういう点なんです、そのしきい値電圧を、電源電圧を下げると同時にしきい値電圧も下げますと、例えばこの点とこの点は遅延が同じなので、電源電圧を下げると同時にしきい値電圧も下げるとことをしますと、同じ遅延で消費電力は半分ぐらいになるということがわかっております。

ただ、しきい値電圧を下げますと、今度は漏れ電流とか、いろいろなほかの効果が出てまいりまして、それを抑えるという研究が必要になってまいります。そのことはあとで言うことにいたします。

低消費電力というのは、非常に大きくなってしまっているというのみならず、ポジティブな意味でも非常に重要なことだということをお話ししたいと思います。

(OHP)

これはコンピュータの歴史ということを書いてみたものですが、面白いことに1950年代に30億円ぐらいだったコンピュータの1台の値段が、ちょうど10年で10分の1になるように、60年代が3億円ぐらいの大型だコンピュータがありまして、70年代になりますと中規模のいわゆるオフィスコンピュータという3,000万ぐらいのもの。1980年になりますと、ワークステーションとかミニコンと言われているものが300万円ぐらいで買えるようになる。今の10年はちょうどパソコンの時代で、30万円ぐらいになってます。そうしますと次の世紀は3万円ぐらいになるでしょうということでございます。

3万円になったら困るという向きもあるのですが、3万円になって10倍以上売ればよろしいということで、3万円以下になりますと、いわゆるインドですとか中国ですとか、非常に人口の多い地域のがま口が開くということも言われておりまして、そういう非常に大きな市場も期待されるわけです。

(OHP)

もう一つの大きな流れは、ダウンサイジングでございます。2000年代のコンピュータは、おそらくどこでも使える、どこでも持って運べるコンピュータになる。電子キャッシングとかインターネットとかそういうものですが、こういうものがメインの3万円のコンピュータということで、コンピュータは決して計算をやるものではなくて、というのが大きなパラダイムの変化だと思いますけれども、その場合に、これを持って歩くわけですから、低消費電力が非常に重要で、電池がどのくらい持つかというのが重要になってくるということになります。

(OHP)

特に私が思っているのは、いま3Vぐらいなんです、0.5V ぐらいまで下げてまいりますと、現在の50分の1ぐらいの消費電力ですから、極めて低消費電力でバッテリーも非常に長くもつ、太陽電池でも動くということで、新しい市場を形成する可能性があるということで大変興味を持っております。

ところが、MOS トランジスタのしきい値、先ほど言いましたが、これ以上かけないとオンしない電圧というのは、今は0.6V ぐらいあるものですから、0.5V の電源電圧で0.6V 以上かけなければいけないと言われますと、これは絶対にONしないもので回路を組むということになってしまいます。0.6V 以下に下げると、待機時の電流が問題になるということで新しいアイデアが求められているわけでございます。(OHP)

私どもがやっておりますのは、いわゆる回路の部分に直列にこういうふうな1つトランジスタを入れまして、待機時には、ここのゲートを、ふつうは0と0.5Vの間を動い

ているのですが、 $-0.4V$ とって負の電圧をうまく使ってコントロールするという試みです。これがその実験結果なんです。従来ですと $0.6V$ 、 $7V$ ぐらいで——これは横軸が電圧で、だんだん低電圧化すると、ゲート遅延が非常に大きくなってしまいます。それに比べて新しい方式ですと、 $0.5V$ でも十分動く方式ができています。ということで、超低電圧、 $0.5V$ 以下のところでひとつ面白いことが起こるのではないかと考えています。

(OHP)

低電力にするために、いまみたいに回路のアイデアもありますが、もう一つは、もっとアーキテクチャーといいますが高いレベルでプロセッサみたいなもの、これはいわゆるコンピュータに入っているものですが、これでソフトウェアのみで、先ほどのデジタルテレビを見ようと思えば、確かに見れるんです。見れるんですが、 $25W$ ぐらいかかる。これを信号処理専用プロセッサ(DSP)と呼ばれているものでやると $4W$ ぐらいかかります。

(OHP)

専用に、デジタルテレビ用につくられたLSIですと、 $0.7W$ ぐらいということで、ここで50倍ぐらいの低消費電力化が可能だということになります。ですからうまくアーキテクチャーを選べば、こういうふうな低消費電力化が可能だということです。このラインの研究といたしましては、ニューロチップということで、ソフトウェアでやるよりも3桁程度低い電力で、いわゆるモリジニシティ等を行うプロセッサを研究しております。

先ほど3つの危機と言いました。以上で、消費電力の危機というのをやりましたが、次に配線の危機というのをお話ししたいと思います。

(OHP)

これはLSIの中の配線の拡大図でございまして、最小線幅が 0.35 ミクロンという値になります。これは4層の配線層がございまして、これは1層、2層、3層、4層となっていて、これはアルミニウムでつくられているのですが、本当はこんなふうには見えませんが、ここにガラスが詰まってこんなふうには見えないのですが、ガラスをきれいにとって見ると、こんなふう非常に複雑な構造になっております。

(OHP)

しかしこれはかなりきれいにできています。1985年、十何年前の断面図を見ますと、こんなふうになってました。配線というのがあるのですが、非常にうねりがありまして、現在の配線というのとはこんなふうになっています。非常にきれいに、これは断面ですが、配線らしい。こちらは配線が、大変下地の影響を受けてうねってます。ですからこちらの方が当然失敗なくつくれるということでございます。

す。

従来はアルミニウムだったものが、より抵抗が低くて、性質のよい銅が使われるようになりました。この辺にはガラスが詰まっているのですが、ガラスですと、先ほど言った静電容量が大きいのということから、これをだんだん低誘電体にしていきたいということで、いま盛んに研究が行われているところです。最終的には、ここを全部ガスか空気にするので4分の1ぐらいまで誘電率が落ちますので、そうすると消費電力も4分の1になりますし、速度も4倍になるという大変良い効果があるので、注目してやっているわけでございます。

(OHP)

配線がなぜ大切かというのが、4枚示してございます。横軸が全部年代で、まず配線の総数というのが、いま4層、先ほど言いましたけれども、4つの配線層があったのですが、これが10年で7層ぐらいまで、大変複雑な設計をしなければいけないことになりました。

7層もありますと、消費電力も配線で消費電力が決まるということがございます。

それから遅延時間(速度)も、配線がどんどん速度を決める因子になってきて、トランジスタそのものはあまり重要でなくなってしまう。それから、つくるうえでも配線の工程がどんどん長くなってきて、その他の工程が厳しくなるということで、電力、速度、製作時間、コストが配線で決まるような時代がやってきたというのが一つでございます。

(OHP)

こういう時代に、事をもっと悪くするのは、細かい配線になってきましたので、隣の配線の振る舞いで自分自身の動きが変わるという現象がございまして、この真ん中の配線、これは配線の断面ですが、3本並んでいるとして、配線の真ん中の1本が上に動こうとしています。そのとき隣の同じ方向に動いてくれれば大変速く動く。これが上に動こうとしているのに、相手側が上から下に下がろうとしますと、今度は大変遅くなってしてしまうということで、いままでは自分の行く通り道だけ考えて設計すればよかったものが、隣がどう動くかを考えないとちゃんと設計できないという非常に面倒くさいことになってきたということです。この辺のちゃんとした見積りが重要だということで、この辺の研究も行っています。

(OHP)

もう一つは、配線が何本もあったとします。実は自分はじっとしていたかった。 $0V$ にずっとじっとしていたいんだけれども、隣の配線が $0\sim 1V$ に変化すると、それに応じて自分自身も容量結合がございまして、上に上がってしまう。自分はじっとしていたいんだけれども、隣が上に持ち上がると自分自身が上に上がってしまうという、こうい

うノイズ,カップリングノイズという問題も出てきて、配線関係でその辺を考慮してこれからは物事を考えていかなければいけないということになります。

(OHP)

配線でもう一つ非常に重要だと言った、配線遅延ですが、もちろんいろんな手立てで回避しようとしています。アルミニウムから銅に変わったのもその一つのあらわれです。その他何もなしに、ここからここに信号を伝達させようと思えば、配線遅延を縦軸、配線値を横軸にとりますと、うなぎのぼりで急速に時間がかかる。それを1本の配線をいくつかのものに区切りまして、いくつか、インバータといいますが、こういうものを入れて波形整形をいたしますと、これがこんなに遅くなっていかないでこれぐらいですむということから、少し配線遅延が低減できるわけです。これをどうやって入れたらいいかというあたりがもう一つ重要になってまいります。

(OHP)

いまのが配線の危機でございましたが、複雑さという面で申しますと、2010年頃、これから12年ぐらいたったときのLSIの設計というのは、ちょうど全世界を10m幅の道路で覆い尽くす程度の設計ということになります。全大陸を10mの道路をどう通せばいいかというのを全部設計図を描くというのが一つのLSIをつくる作業になってまいります。

(OHP)

こういうことを1から始めてできるわけもないので、複雑さの問題というきは、一つはコンピュータを駆使した設計で回避するのがあります。ここにきて新しい動きが出てまいりました。それは、設計の再利用や共有をしようということ。使い捨ての設計はやめて、一度設計したら全人類の資産としてみんなで共有する、あるいは何回も使うというリサイクルをしようという動きが出てまいりました。これが一番本質的にこの問題を克服する重要な鍵だと思いますけれども、特にここにVSI (Virtual Socket Interface) というのがございます。これはこういう動きでございます。

(OHP)

いままでプリントボードというものにLSIのチップをたくさん付けまして、これでいろんなシステム、テレビとかコンピュータでつくってきたわけです。このように部品がたくさん載っているのですが、これでシステムをつくってきた。しかし10億個ぐらいたんじスタが載るといふことになれば、これ自体が全部一つのシリコンのチップ上に載ってしまうということが可能だということです。そのときにいままでは例えば富士通さんのメモリをここに入れる、日立さんのプロセッサをここに入れるというふうに、いろんな会社から持ってきてプリントボードをつくれればよ

かった。ところがシリコンというのはあるメーカーさんが独占的につくるわけですから、例えば東芝さんについて、三菱さんの部品をここにに入れてくさというのはいままではタブーだったわけです。

ところが、じゃあここにあるいろんなものを一社で全部品揃えしないとシステムというものはもともとできないではないかということです。各会社が全部品揃え、いままでは誰とかさんの何とかと、誰とかさんの何とかをプリントボード上で組み合わせればよかったのが、その品揃えを全部してくれない、つくってくれないわけです、それでは大変困る。そこでこうしましょうということです。つまり仮想的に、設計は部品と同じように流通させましょう。ほかの会社のもも受け入れられるようにしましょうということで、そのとき重要なのは、以前ピンのピッチやなんか重要だったように、ちょうどこの周りのインターフェースの部分を規格化しておけば、どんどんここに載せて、あとで少し配線で組んでやれば、シリコンの上に全部載るではないかということで、仮想部品と呼ばれています。これは実態はないといいますが、実態はプログラムみたいなものです。設計そのもののデータです。それをこういうふうを集めて一つのシリコンをつくるということがあって、この規格化をしましょうということで、いま世界中で百数十社が参加して規格を制定中でして、ここができますと仮想部品というのが一人の会社でもできます。誰でも簡単にパソコン一つあればできるということになります。ちょうど出版業のようになってきます。特にデザインというのが、よくIP (Intellectual Property) と最近言われるのですが、これが知的な付加価値の源泉だということもあって、最近「IP立国」という言葉も出てきたぐらいで、こういう設計そのものが非常に重要な価値を持っているということになってまいりました。ですから一つの大きな流れとしては、こういう目に見えない知的財産権をみんなで共有しようというのが一つの大きな流れになったわけでございます。

(OHP)

先ほど言ったDRAMというメモリと、ふつうの論理回路を組み合わせようとしています。例えばDRAM断面というのは、ここに非常に細い2本の箸みたいなものが見えますが、これはキャパシターとあって、ここに電荷を蓄えてメモリ作用を起こすのです。そして、DRAMとロジックを組み合わせるといふのはそう簡単な作業ではなくて、明らかに技術革新がないとできなかった。先ほども申し上げましたようにDRAMが日本は御家芸だったわけですから、最近価格の下落が非常に激しくて困っていたわけです。DRAMとロジックが一緒にできると大変いいことがあるということが分かってまいりました。

(OHP)

一つは、別々にメモリと、プロセッサが別チェックだと

しますと、信号をやり取りできるのは、いわゆるボンディングといって大きな配線で外でつながなければいけません。情報量が限られる。ところが一つのチップになりますと、ここに1000本とか2000本という配線をつけられますので、2桁ぐらい1秒間にやりとりできる情報量が増えるということです。最近のプロセッサ、いくら速くなくても、そこにデータを与えなければ、何をやっていいのかわからなくなります。どんどん与えるという意味でここの接続の情報量が性能を制限したのですが、こういう技術が確立しますと、これが2桁ぐらい向上しまして、システムとして性能が2桁ぐらい向上するというメリットがある。それから、交信に必要な電力も、大きな配線ではなくて小さな配線ですみますので、これも2桁ぐらい向上するということが大変メリットが大きいということです。かつ日本の強い部分であるということでございます。

(OHP)

一つのシナリオですけれども、メモリそのものはいろんな労働コスト等々安くつくということだけになってまいりますと、アジアの諸国が非常に強いところになってまいります。高級なプロセッサというのは今米国の独占的な市場でなかなか崩せない。しかしながら日本は、プロセッサもあるしメモリもあるしロジックもあるしアナログも、すべての技術がありますし、これを搭載したシステムLSIと呼ばれているものがこれから目指して差別化できる、あるいは日本の強みが活かせる分野というふうに考えております。

このシステムLSIのお客さんは、先ほどのポータブルの

小さなセット、3万円のコンピュータと書きましたが、そういうところが強い。いわゆる半導体のお客さんも日本に大変多いわけですので、お客さんの近くでこういうものをつくるということが非常にメリットが出てくるわけでございます。

(OHP)

最後にまとめをいたしますと、こんなことではないかと思えます。2010年では、現在の数十倍のトランジスタ数が搭載されます。これはできる。性能も十数倍になるはずということで、非常に明るい。何でもできるシリコンがきますよということなんですが、それには3つの危機を克服しなければいけません。1つは消費電力の危機です。消費電力が大きくなってしまふ。配線の危機、複雑な危機、3つのところをそれぞれ説いていかなければいけません。日本としては、脱DRAM依存という体質を脱して、パラダイムシフトする全商品をどこまで魅力的にできるかということが問われています。いまちょうどコーナーを曲がってDRAM依存からほかのものを探しているということだと思えます。

ただ日本は、低消費電力技術については、学会レベル等々考えますと強い技術でございます。もう一つの強みは、システムLSIをつくるための、先ほど言いましたメモリ混載技術というのが大変得意でございます。こういう総合力を活かしまして日本の半導体がどこまで電子商品が魅力化して新しい市場を創造できるかというのがこれからの課題だと思えます。