

64Kb DRAM の研究開発

—NTT の超 LSI 研究開発プロジェクト

デバイス編

鈴木敏正 (元 NTT 研究開発本部副本部長)



1. はじめに

NTT(当時は日本電信電話公社)電気通信研究所(通研)では米国でトランジスタが発明された直後の1949年からトランジスタの基礎研究に着手し、その後通信用高性能トランジスタや IC の研究開発を進めてきましたが、1975年から体制を大幅に強化し、64Kb DRAM の実現を主な目的とした超 LSI 研究開発プロジェクトを発足させました。

その後、このプロジェクトは第2期、第3期と発展的に継続され、1983年には公社における4番目の研究所として超 LSI をはじめとする固体エレクトロニクス部品研究を担当する厚木電気通信研究所が設立されるに至りました。

以下で、この64Kbメモリ開発の端緒から厚木研究所設立までの約10年間におけるNTTの超 LSI 研究開発の経緯を振り返ってみます。

2. きっかけ

1949年、米国IBMにおいて当時F S計画と呼ばれていたコンピュータ開発プロジェクトで、シリコンウエハを丸のまま用いる途方もないLSIが開発されつつあるという情報がもたらされました。その頃、日本国内で製造販売されていた4Kb DRAM はビットあたり2円くらいでしたが、このフルウエハメモリが実用化されるとビット単価はその100分の1以下になると予想されていました。

当時の日本の技術レベルからすると夢のような話で、こんなものが実現し導入されたらコンピュータのみならず、日本の通信エレクトロニクス産業は大幅に立ち遅れることになると、関係者は一様に危惧感を抱きました。

このような状況を踏まえて通研におけるLSI研究の在り方が議論され、以下のような整理のもとで、研究所の最重点項目の一つとしてとり上げることが決定されました。

- 1) LSI は公社が進める電気通信サービスの多様化、高度化、経済化、高信頼化のいずれの面においても欠くことのできない基幹技術の一つである。
- 2) LSI は本来量産をベースとする汎用部品であるが、公社はそれをもっとも多用する企業のうちの

つである。

- 3) LSI は部品というよりシステムに近く、その効率的な開発には材料、加工、設計技術から応用技術に至る専門家の緊密な協力が必要であり、通研はそれに適した研究体制を持っている。

- 4) 通研はすでに個別半導体部品や集積回路についていくつかの顕著な実用化実績を持っている。

電気通信の分野では、高性能な部品が開発されたために、それまで不可能だったシステムの革新が実現できた事例が数多くあり、研究所内に鍵となる部品の先行開発が重要との共通認識が存在したことが、この決定の背景にあったといつてよいと思います。

超 L S I は光ファイバー通信、デジタル技術とともに、将来の電気通信を支える基盤技術の3本柱としての位置づけが明確化されたのです。

3. 研究目標

関係する研究部門の総力を挙げて技術的な達成可能性を予測したうえで、将来、電気通信システムに必要とされる各種のL S I の実現目標を設定しました。その主なものは

NMOS DRAM	; 64Kb、
フルウエハメモリ	; 0.5~1Mb、
バイポーラロジック	; 1K ゲート、
CMOS ロジック	; 4K ゲート、
CCD メモリ	; 64Kb

などでした。

この中でNMOS 64Kb DRAM の実現を最重点項目としました。当時使われていたNMOS DRAM の最先端製品は4Kbで、次世代デバイスとして16Kbの開発が行われていた段階でしたから、64Kb/チップは、世界水準にいち早く追いつき追い越すために、1世代飛躍して設定した戦略的な目標でした。

現在では想像もできないでしょうが、64Kb DRAM が、当時のLSI製作技術の延長上で実現可能か否かは必ずしも明確ではありませんでした。当時の最先端LSIで用いられていたパターンルールは5ミクロン前後であり、64Kbの実現に必要なと見積もられた2ミクロンパターンが、当時まだ1:1が主流であった紫外線露光法で形成可能かどうか也十分

見通せませんでした。

このため無欠陥 Si 結晶の育成技術、高解像度レジストなどの材料技術、イオン注入・ドライエッチングなどの製作技術から光露光法の代替技術としての電子ビーム露光装置やX線露光装置の開発に至るまでの研究開発を総合的に展開することになりました。

設計技術面でもセンス回路の高感度化・低電力化など、高集積化に不可欠な技術の研究に取り組むことになりました。

製造装置や結晶材料研究の多くは 64Kb DRAM の開発目的には必ずしも結びつきませんでした、その後の先導的研究の大きな推進力になりました。

4. 予算と体制

研究費は3年間で200億円が計上されました。通研では、それまで武蔵野研究所集積回路研究部の下に5つの研究室という体制で半導体研究が進められてきましたが、これを契機に研究要員の大幅な増強を図るとともに、新たに記憶用 LSI の研究開発を推進する集積記憶研究部を創設し、この部の下に記憶回路研究室、記憶集積研究室、集積マスク研究室、結晶材料研究室、高信頼度部品研究室を置きました。

さらにフルウエハ LSI は同じ武蔵野研究所内の電子装置研究部、電子ビーム露光装置など製造装置類は工務部、レジスト材料類は茨木研究所部品材料研究部の担当としました。研究要員は当初 250 名で、その後さらに増員されました。

64Kb DRAM の実現のためには製作技術の革新が不可欠なことは明らかで、製造販売を行わない公社の研究所といえども LSI の先導的技術開発には製作技術の研究強化を図ることは必然でした。通研はそれまで大規模な LSI の所内試作経験をほとんど持っていませんでしたが、この目的のためにクリーンルームの大幅な拡張を含めた所内製造設備の充実を図り、当時の主流であった3インチ口径ウエハによる製造ラインを整えました。

5. 共同研究と成果

この研究とほぼ位相を合わせて、製造メーカーさんと共同研究を開始しました。通信機器への影響が大きく、成果の汎用性があり、技術的にも高度性が要求される主記憶用 L S I メモリ (64Kb DRAM) およびそれに必要とされる共通基本技術を対象とすることになりました。電電公社は当時、データ通信用コンピュータ DIPS の開発を進めていたので、その

担当メーカー3社をこの LSI 共同研究の対象メーカーとしました。

開発競争の激しいデバイスが対象であり、しかも製造技術を含むという、研究所としてもまたメーカーさん側にとっても初めての経験であったため、調整に苦労しましたが、共同研究の進め方について

- ① 代替技術の分担、
- ② 共同設計などの合同作業、
- ③ 並行作業

という3種類の作業形態を研究対象によって使い分けることにして発足しました。

結果的には、各社がそれぞれ固有のノウハウの固まりである製造ラインを背景にしているために、②の合同作業は難しいことが分かり、主に①と③のパターンで進められました。特にデバイスの試作研究段階では、各社が同一の目標を持ってそれぞれ独立に進める手法が、互いの競争心を鼓舞する観点からも効果的だったと思います。

通研は予定より1年早い1977年の春に、目標であった64Kbメモリの所内試作に成功しました。

実現に当たってはまず、発熱による温度上昇の関係から回路全体の消費電力の低減が重要であり、これを解決するために従来の4Kb DRAM に比べて5倍の感度で、しかも消費電力が8分の1の新しい低電力センス回路、動作マージンの大きなレベル検出回路などを開発しました。

製造プロセス面では光露光技術を駆使して最小2ミクロン幅の微細パターン形成を実現するとともに3インチウエハの精密処理プロセス技術を確立し、モリブデンによる微細配線、極薄酸化膜形成などの安定した微細加工を可能にしました。

完成した DRAM の諸元は以下の通りです。

素子構造	; n チャネル Si ゲート MOS トランジスタ
ワード構成	; 16Kw×4b
セル面積	; 14 ミクロン×15 ミクロン
チップ面積	; 6.1mm×5.8mm
アクセス時間	; 200 ナノ秒
電源電圧	; +7 ボルト、-2 ボルト
消費電力	; 150mW

この成果を国内外で新聞発表するとともに、その詳細を同年7月の欧州固体回路会議 (ESSIRC) で発表し、世界の注目を浴びました。

前述したように、この共同研究では製造プロセスの詳細にまで立ち入った情報交換は行いませんでした。

たが、1社で試作に成功した事実自体が大きな先導的効果となり、1年後には共同研究各社さんもつぎつぎに試作の完成にこぎつけました。

6. 第2期研究

64Kb DRAM 開発を主目的とした3年間を成功裏に終えた頃には、各種通信システムに対する LSI の導入実績も増し、当時、会社の重点目標であったデジタル電話網の実現に LSI 技術の進展が不可欠との認識もさらに高まって、LSI 研究の重要性はますます明確になりつつありました。

このような情勢の下で、1978年からの次の3年間を第2期として

- ① 電気通信用 LSI の研究実用化、
- ② カスタム化 LSI 技術の研究、
- ③ 高密度集積化技術の研究

の3本柱で研究を進めることにしました。

第1期に確立した基本技術を応用して具体的 LSI を実現し、電気通信機器への導入を図るのが第1の柱で、64Kb DRAM 用に開発した2マイクロルールの NMOS 製作技術を論理 LSI 用の E/D MOS 技術さらに CMOS 技術に発展させ、必要とする各種 LSI の実現に資することにした。

2番目の柱はこのような通信用各種 LSI の経済的実現を可能にするための手法ないしはツールの研究です。通信用 LSI は多品種少量の傾向をもつものが多く、これらの経済化のための研究がますます重要になります。第2期研究の特徴の一つは、これを重点項目に取り上げたことで、論理仕様の決定から、加工、測定評価にいたるターンアラウンド時間を平均的に当時の2分の1にすることを目標に、設計自動化技術の研究、マスタスライスなどのセミカスタム LSI の研究が強化されました。

第3の柱は第1期の研究成果をうけて高密度化基本技術の一層の進展を図るもので、64Kb の次の世代である 256Kb メモリをキャリングビークルにして、高密度化をさらに進めるための技術開発を総合的に推進しました。

この期間に実用化段階に達した LSI は前期の9品種に対して24品種となり、試作まで完了した LSI は42品種に達しました。また100万ステップにおよぶ DA 用プログラムを整備し、新たに開発した階層仕様記述言語 HSL とデータベースを採り入れた LSI 自動設計システムを構築して、20K ゲート級論

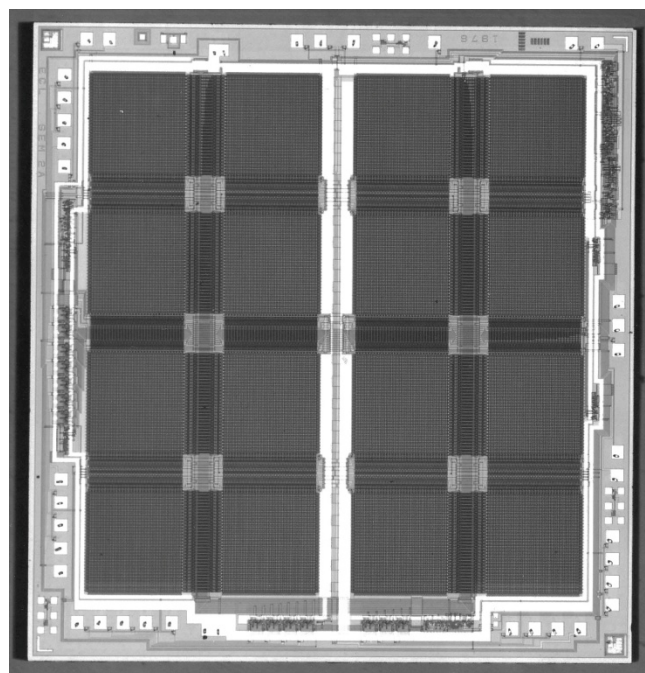


図1 64Kb DRAM のチップ写真

理 LSI のパタン設計工数を従来の30分の1に短縮しました。

この自動設計システムを駆使して、新たに開発を進めた2マイクロン CMOS 技術による DIPS および電子交換用プロセッサ VLSI の設計を行い、試作による技術確認を完了しました。

高密度化基本技術の分野では、電子ビーム直接描画法による最小寸法1マイクロンの NMOSLSI 用の総合製造プロセス技術を開発し、256Kb DRAM の試作に成功しました。

これに関連した微細加工技術分野では、1マイクロン描画用電子ビーム露光装置、ステップアンドリピート型 X 線露光装置、電子サイクロトロン共鳴を利用した ECR エッチング装置およびこれらに適したレジスト材料などの開発が行われました。また微小欠陥のないシリコン結晶育成技術の開発にも成功しました。

アルファ線によるソフトエラー問題がクローズアップされてきたのもこの時期で、ハード、ソフト両面からの欠陥救済・冗長構成技術とともに必須のテーマとして取り上げられました。これらは後に通研の大きなテーマになる通信衛星に搭載する半導体素子の耐放射線性研究にもつながっていくことになります。

7. 第3期研究と厚木研究所

1981年から開始された第3期研究は、後述する新施設への移転に要する期間も考慮して4年間に設定し、

- ① 電気通信用 LSI の研究実用化
- ② LSI 開発自動化技術の研究
- ③ 先端技術の開発

に取り組むことにしました。②項の開発自動化技術の研究では、これまで進めてきた設計自動化技術とともに、製造プロセス自動化技術の研究が加えられました。

この第3期の初めから、GaAs 集積回路と超電導ジョセフソン素子の研究を強化しました。

GaAs 素子については、すでに1971年からミリ波通信用としてFETの研究を開始し、1978年からはメモリを中心とする集積回路の研究に着手していましたが、将来、公社での超高速領域の需要が見込めるとの見通しのもとに、研究を本格化させました。重要な鍵となる結晶育成技術についても取り組むことにしました。

超電導ジョセフソン素子についても1976年から基礎研究を進めてきましたが、要員を大幅に増強し、高集積化の可能性検討を主体とした研究体制を整えました。

1983年には厚木電気通信研究所が完成、発足しました。この研究所は、これまでこのプロジェクトを進めてきた武蔵野研究所が手狭になり、研究体制の強化に必要な施設の拡充が困難になってきたため、LSI および固体機能素子の研究開発を担当する、公社4番目の研究所として新たに建設されたものです。第1期超LSIプロジェクト最終年の1977年に新設が決定され、1980年に着工、3年をかけて完成されました。

1万2千平米のクリンルーム棟と2棟の研究棟から成り、集積回路研究部、集積加工研究部に、超高速化合物半導体デバイス・光半導体デバイス担当の機能デバイス研究部を加えた3研究部、総員460名で発足しました。

この研究所はそれ以降、公社の目指す次世代通信システムの実現を支える基幹部品の研究実用化に大きな役割を果たしていくことになります。

8. あとがき

厚木研究所が完成した時期は日米半導体摩擦の最中であり、新研究所の発足は米国の新聞雑誌にと



図2 設立当時の厚木電気通信研究所

りあげられるなど、海外からも強い関心を持たれました。研究所が正式にオープンする前に、当時通産省との半導体関係の折衝に来ていた米国政府高官の一行が視察に訪れ、この研究所の研究成果が民間の企業にどのように移管されるのかと執拗に聞かれたものです。

研究所が正式に発足した1983年7月から12月までの半年間に外国、主に米国からの訪問者は300人に達し、当時研究所の企画管理室長をしていた私は、研究所の立ち上げ・基盤整備業務の傍ら、その対応に追われました。

今では信じられないようなことですが、64Kb DRAMの開発を企画した当時は、このメモリが実現できたとしても、本当にそれが大量に使われるような需要が出てくるのだろうかかと本気で心配したものです。公社内での需要はある程度見込めるものの、世の中全体でどれほどの市場規模になるものか、見通せなかったのです。

パソコンの高性能化と普及台数の拡大などにより、その後急速に市場が拡大し、1984年には64Kb DRAMの生産量が全世界で10億個に達し、しかも日本が圧倒的なシェアを占めるにいたったことを考えると感慨深いものがあります。

当時はLSIの集積度はどこまで高められるかという、いわゆる極限論が盛んで、筆者も80年代初めの学会シンポジウムでこのテーマでの講演を依頼され、DRAMで64Mbあたりが限界ではないかと述べたことを記憶しています。この値でも当時でははるか彼方の夢のような数字でしたが、これを二桁も上回る勢いの現状をみると技術の進歩は驚くべきものとの感を深くしています。今後のさらなる発展を楽しみに見守りたいと思っています。