Encore
アンコール
半導体シニア協会
ニューズレター
発行元 SSIS半導体シニア協会
2007年10月 No. 53

巻頭言

次の世代に夢を与えよう

東京大学名誉教授
菅野 卓雄

東京大学名誉教授
菅野 卓雄

若い人の理工系離れが話題になって久しいが、その中でも最近特に顕著になってきたのは大学の電気、電子工学関係への入学志願者が減少してきたことで、半導体産業の将来を考えると人材確保の観点から看過できない問題である。その背景には韓国の半導体産業の急成長などにより特にDRAMの世界市場における日本の半導体産業の市場占有率が低下したことや所謂ITバブルの崩壊などがマスコミで採り上げられ、電気、電子関係の産業が若い人々にとって将来性のある、魅力ある分野と受け入れられていないことがあると思われる。このような問題を解決するためにこそ新しい技術開発が必要であり、その為にも若い人の参加が期待されるというのは当該分野で現在、乃至は過去に活躍した大人の論理であって、若い世代に理解して貰うことは難しい。

ここで更に配慮すべきことは大学学部学生の気質の変化である。世代毎に関心や価値判断の基準が変化していくことは世の常であるが、日本の大学学部、短期大学に入学した学生数の同年即ち18歳人口に対する割合、即ち大学・短大への進学率の過去半世紀の変化をみると、昭和35年度では10%であるのに対し、本年度では50%を超えている。従って平均的な大学生像といっても半世紀前の平均的な学生像は現代ではトップより10%の学生像に相当することになるし、現在の平均的な学生像は半世紀前には大学生の中で見出すことは例外的であった学生像に相当すると言える。

勿論その間に大学への入学者数が16万人から60万人に4倍増していることは我が国における高等教育の普及を示すものとして喜ばしいことであるが、ここで配慮すべきことは例えば最近低下が懸念されている大学生の平均学力といっても半世紀前と現在とでは日本の若年人口中における母集団が異なるので、その意味も異なってくることである。同様なことは社会から大学生への働き掛けの仕方、内容が異なるべきであることを意味し、半導体産業に若い人材を確保する際に留意すべきである。

昭和35年はルビーレーザーの発振がはじめて報告された年であり、その後所謂情報産業が発展しエレクトロニクス関係の技術者の活躍する舞台が急速に拡大したので気質の上でも数の上でも優れた人材を確保することが半導体産業では困難になってきている。国際化により人材を海外に求めるのも一つの方策であるが、国内の若い世代、特に小、中学生に半導体産業に対する夢を与え、関心を持ってもらうよう努力することを怠ってはならない。一頃巨額の国費が投入されているにも拘わらず国民の関心が必ずしも高いとはいえなかった宇宙開発が最近になり各種のイベントにより小、中学生に夢を与え関心を惹いていることは将に他山の石である。

話題の技術

SSIS 2007年度　賛助会員説明会　特別講演会［パネル討論会］

「ポスト・ムーアの時代を担う新しい半導体産業の挑戦、その動向と展望」の概要

中原　紀（研修委員長）

概　要

2007年度賛助会員説明会の特別講演会は3人のパネラーによるパネル討論会として開催され質疑応答を含めて約2時間の盛会であった。ここではその内容の概要を紹介すると同時にモデレータによる若干の補足も付加し本誌読者への参考に供したい。

1．序　論

2006年の当協会総会における特別講演会で賛助会員会社ルネサステクノロジーの社長伊藤 達氏はいわゆるムーアの法則の終焉を2016年と指摘、ポスト・ムーアの対応にも言及している[1)]。ムーアの法則と呼ばれる半導体集積回路の集積度進歩指標が発表された1965年からすでに42年を経過しその終焉まで10年とは本当にもうすぐという感を否めない。尤もムーアの法則は2026年まで存続という説もあるが、いずれにしてもその終焉が現実味を帯びてきたのは事実であろう。一方では2000年代に入って微細加工技術の進歩は加速され、それはムーアの法則終焉への急接近の感もある。このような背景から2007年度の賛助会員説明会に際しての特別講演会は「ポスト・ムーア」の時代に向かっての半導体産業の動向と展望を論ずるパネル討論会形式での論議を企画した。

パネラーには1962年以来半導体産業の論客として著名な志村幸雄氏（当協会諮問委員、工業調査会会長）、半導体デバイスの研究開発に長年従事されてきた渡辺久恒氏（㈱半導体テクノロジー社長）、新進気鋭のメモリデバイスの研究開発者として著名な田口眞男氏（㈱Spansion Japan社長）にご登場を願い、モデレータを当協会研修委員長が担当した。以下パネル討論へのイントロダクションとしての資料を紹介した後、各パネラーによる講演内容の概略を紹介する。

2．ムーアの法則再考

ムーアの法則は周知のように1965年に当時Fairchild Semiconductor社に在籍したGordon MooreがElectronics誌に発表した集積回路の集積数が毎年2倍で増加するという実績と予言である[2)]。1965年という年を回顧するとMOSトランジスタは発明されてまだ2年目、集積回路はバイポーラ型のTTLがようやく主流になろうとしていた時代であるがMooreは集積回路を構成するデバイスの種類には全く触れていない。トランジスタ発明50周年に際してProceedings of IEEE誌は特集号の中でG. Moore自身がムーアの法則を補足する論文を発表している[3)]。なお集積回路を構成するトランジスタの数が注目されるようになったのは1970年代以降で従ってムーアの法則の実態はその大半がMOS型集積回路の集積度向上の歴史である。**図**1にはムーアの法則42年の経緯を関連情報と共に示しておく。

MOSトランジスタの原理的な限界はチャネル長5ナノメータと言われているが実用的な設計中心は工程能力に応じた値に落ち着くであろう。また微細化に向けて製造装置の価格は4年で倍増というRockの法則[4)] があるが集積度向上に伴う1トランジスタ当りのコスト低減は製造装置の価格によって制約されるであろう。一方ではムーアの法則の延命要素として製造工程の工程能力におけるソフトウエアの寄与効果が指摘されており例えばIntel社の製造工程を管理するソフトウエアサイズは10テラバイトのデータベースとの報告がある[5)]。またCarbon Nano Tubeエレクトロニクスの援用についても2000年代に入って研

CONTENTS

・巻頭言　菅野 卓雄　1頁
・話題の技術　SSIS 2007年度　賛助会員説明会　特別講演会［パネル討論会］
「ポスト・ムーアの時代を担う新しい半導体産業の挑戦、その動向と展望」の概要
中原　紀 研修委員長　2頁
・NOSIDE「良き時代に半導体を担当して」　小宮 啓義 諮問委員　10頁
・半導体事始「ドライエッチング装置」　織田 善次郎　12頁
「高電流イオン注入装置「NV-10」国産化」　日髙 義朝　15頁
・賛助会員紹介シリーズ「㈱フジキン」　小川 洋史　18頁

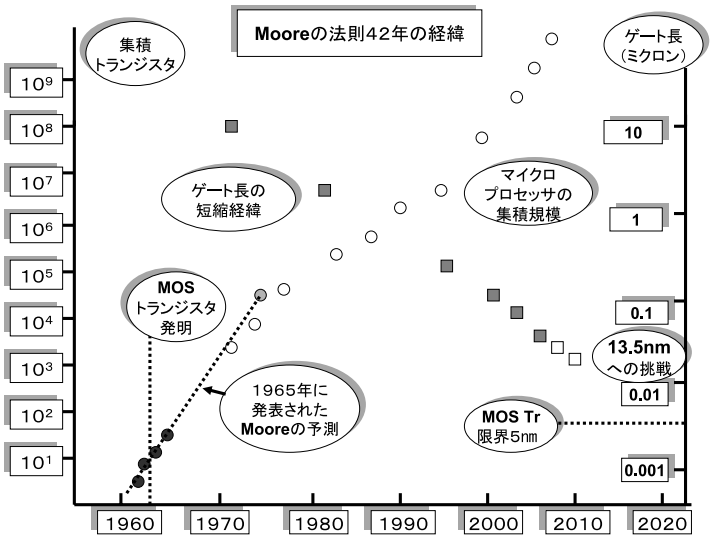


図１　ムーアの法則４２年の経緯

究開発が進んでおりCMOSスイッチの長期に亘る延命が可能という報告もある[6)]。

Proceedings of the IEEEの編集長Fawwaz T. Ulabyは2006年7月号のProceedings誌でムーアの法則の遺産（Legacy）と題する評論記事を寄稿している[7)]。この評論の中で先ずムーアの法則の限界要因として物理的動作限界、製造技術的限界、経済的限界を挙げた後、ムーアの法則の終焉は必ずしも“世界の終わり”ではなくその遺産が様々な形で活かされるであろうと指摘している。従ってムーアの法則を巡ってはその実用的終焉の形態と同時にその遺産の活用形態の両面から論議が展開される時期にさしかかっている。以下には3人のパネラーによる講演要旨と講演後に交わされた質疑応答の概要を示そう。

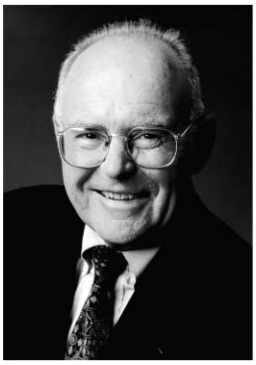
3.“More Moore”と“More than Moore”

志村 幸雄 氏　講演要旨

志村 幸雄 氏

More MooreとMore than Mooreという概念は二項対立と捉えて論議すべきではない。半導体産業新聞紙上で半導体のイノベータとは誰か？を論ずる中で志村氏はそれを量から質への転換の歴史と捉え、それはかなり早期に見られる現象であると指摘、その典型がマイクロプロセッサの登場であるとする。

ムーアの法則は周知のように1965年G. Mooreが



The experts look ahead

Cramming more components onto integrated circuits

With unit cost falling as the number of components per circuit rises, by 1975 economics may dictate squeezing as many as 65,000 components on a single silicon chip

By Gordon E. Moore

Electronics, Volume 38, Number 8, April 19, 1965

図２ 「ムーアの法則」最初の論文とG.Moore近影

Electronics誌35周年記念号に寄稿した記事が出発点であるが、それはFairchild社のICが登場して4年後であった。なお有名なMead教授（カリフォルニア工科大学）がMoore's Law（ムーアの法則）の命名者である。**図**2にはG. Mooreによる「ムーアの法則」最初の論文の1ページ目を示しておく。

G. Mooreは1929年生まれ、サンノゼ州立大学で化学を専攻カリフォルニア工科大学で赤外線分光を専攻し学位を取得した。志村氏はかつてMooreにチップ当りのビット数が増加してもトータルマーケットは大きくならないのでは？　と質問したことがあるがムーアはビット当りのコストダウンが市場を拡大する可能性を指摘した。

ムーアの法則は最初のマイクロプロセッサ4004（集積度約2000）から最新のItanium dual processor（集積度約17億）まで約40年間の進歩エンジンの役

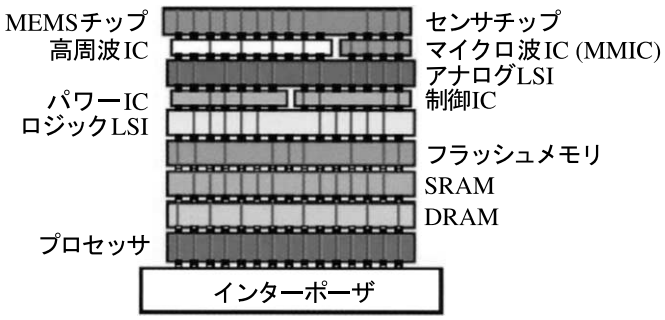


図3　More than Mooreのアプローチ事例　3次元LSIの基本構成

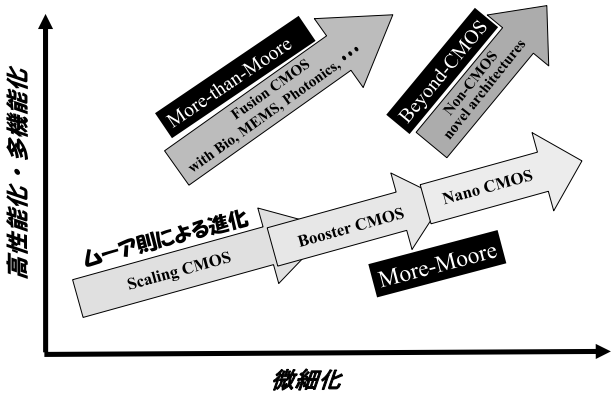


図4　ポストムーア：3つの方向

割を担ってきた。ハーバードビジネスレビュー誌上でムーアの法則について技術のTime Pacingという概念に触れ、時間的間隔のコントロールについてムーアの法則は格好の例と指摘されている。このムーアの法則に関しては悲観主義、楽観主義が共存するが楽観主義が勝ってきた。

メガビットへの挑戦ではIBMはFuture Systemへの自信を深めた。日本の超LSIプロジェクトは1976年に発足、技術的な支えとなった。しかし数10ナノメータのレベルでチップ開発はムーアの法則に影を落とすに至っている。Intelはマイクロプロセッサではdualコアからさらに4コア、8コア、最近では80コアまで開発している。ただ開発費は90ナノマスクセットで1億円、45ナノでは4億円と高騰しその他のコストアップでムーアの法則も限界を考えざるを得ない状況になっている。エルピーダの坂本社長は微細化技術を低コスト化の手段と捉え二律背反ではないと主張している。

1999年以降のフラッシュメモリの進歩の歴史の中ではサムスン電子のChangiの法則と呼ばれる経験則があり、この法則に従ってメモリ容量の増加を続けるTechnology Driverの役割を果たしてきた。今日iPodのメモリデバイスとして大きな役割を占めるに至ったことは周知であろう。この詳細は後述するSpansion社の田口眞男氏の講演で述べられる。**図**3にはMore than Mooreの方向を示唆する3次元集積化構造の例を示しておく。

4．ポスト・ムーア：5つの視点

渡辺 久恒 氏　講演要旨

集積回路チップの集積度がムーアの法則に従って3年で4倍という進歩は続くのか？　という疑問には新しい意味で“辛さ”がある。これまでも技術開発の終焉として1ミクロン説、0.25ミクロン説があったがいつかは終わるRoad Mapにおいてハーフピッチ10ナノメータの22ナノメータがムーアの法則の終焉の壁と言われている。この壁の要因として“ばらつき”の問題がある。100億個のMOSトランジスタが集積されたチップで果たして“ばらつき”はどのように制御されるか？

渡辺 久恒 氏

Mooreの法則には囚われないとする立場から多くのビジネスチャンスが期待される論議もあるが同時に次のような論議がある。先ず半導体の消費電力増大はよいのかどうか？半導体は今日の情報社会に恩恵を齎している。しかしインターネットはCO_2問題の元凶という説もある。Binary Logicを卒業したコンピュータへの期待に応える様々なアプローチが発表されている。

ムーアの法則のBooster Technologyとしてスケーリング則を実現するポリシリコン、高誘電率絶縁膜、歪結晶などがあるがナノの精度でばらつきを抑えられるのかが課題である。More Moore、More than Mooreの課題としてCMOSから一挙に計算速度を上げる新しい演算素子への期待がある。一方ではCMOSのファイン・チューニング技術が導入されている。例えばnMOSとpMOS構造ごと材料の変更、Dual gate構造、SiGeによる移動度の向上、歪導入による有効質量の小さい担体の利用などがある。またソースドレイン間の短チャンネル化でキャリア散乱がないBallistic Conductionの可能性もあるが反射電流をどのように低減するか、そのコストアップの要因などがある。**図**4にはポストムーア：3つの方向を図式的に示しておく。

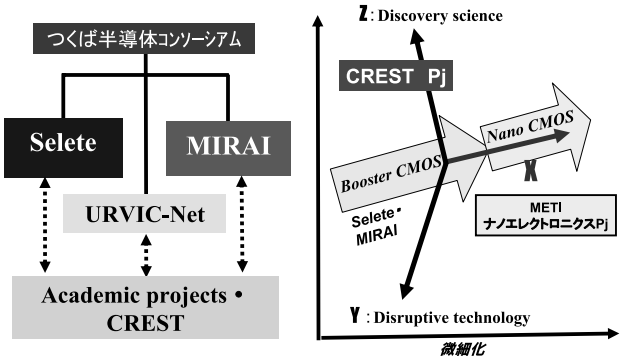


図５　半導体における産学連携

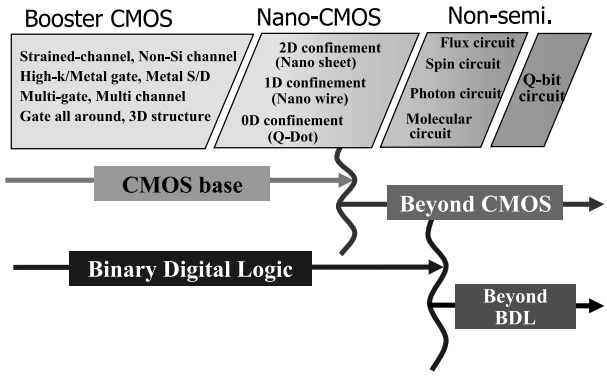


図７　ＣＭＯＳ、２値論理を超えて

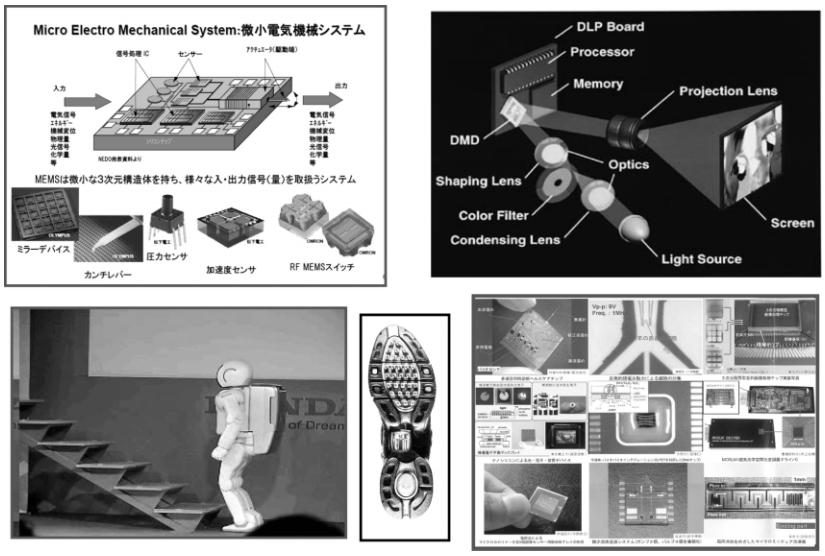


図６　More than Mooreデバイス市場

製造ラインのコストアップと並んでR&D資金ギャップの問題がある。この対応策として核融合の研究と同じように世界中でコンソーシアムを結成する動きがあるが日本の頭脳がIntelやSamsungに利用されるのではという懸念を表明する向きもある。特に大事なことは科学的知見の重要性であり半導体デバイスの製造管理にScientific Knowledgeがますます重要な役割を果たす。大学の力を借りる方向で40大学の共同研究も軌道に乗りつつある。**図**５には産学連携プロジェクトの状況を示しておこう。

More than Mooreという観点からはFunction Integrationによる市場拡大が期待される。

例えばIntelligent Sneakerと呼ばれるMEMS応用“電子靴”は全人口が顧客になる可能性を秘めている。**図**６にはその概要を示している。

一方では電力消費問題ではインターネット弊害論も散見される。例えば現在すでに全電力消費の８％がインターネットで消費されているがこれがやがて50％になるとも言われる。CO_2の排出経緯を見るとインターネットの影響が1990年0.7％であったのが2000年には1.1％、これが2010年には2.6％と予測されている。Bit課税などという案もあるが米国では反対論が大きくBit課税は考えていない。なおインターネット・トラフィックでは１％のユーザが90％を占有している。これはビデオ配信に占有されているのである。

CMOSを超えるデバイスの可能性も研究開発は進んでいる。また量子コンピュータでは1と0が共存するデータ処理の開発も進んでおり素因数分解への適用例も発表されている。**図**７にはCMOSを超えて、２値論理（Binary Digital Logic）を超えて、さらには半導体を超えてどのような新しい可能性が展開されるかを示しておこう。

5．Non-volatile-Memory微細化とMooreの法則

田口 眞男 氏　講演要旨

田口 眞男 氏

これまでの経歴は富士通で先ず16KDRAMを開発からスタート、16GDRAMの開発などメモリの技術開発に従事してきた。学会発表も多く行ってきたが当時から今なお学会で活躍しているのは小柳氏（日立、現在東北大）など限定されている。ここで先ずムーアの法則とは何かを振り返って**図**8に「Mooreの法則の解釈」を示しておこう。

ちなみにDRAMについてMooreは言及していないが3年で集積度4倍は固く信じていた。マイクロプロセッサとメモリの進歩は同期していたがそれはPCのメモリ、プロセッサ、プログラムサイズに制約されていた感がある。ここでDRAMの微細化トレンドとチップ寸法の経緯を**図**9に示しておこう。NANDフラッシュではかなり様子が異なり社会はいくらでも大きいメモリ容量を要求している。DRAMよりも構造が単純であり信頼性も低くてよい世界、それはエントロピー増大の法則に従っている。ビット単価が低下すれば需要が拡大されるので多ビットの蓄積が可能になってムーアの法則よりも早い進歩を遂げている。

Fanの法則はSamsungの最大努力による微細化技術、最大限の成果と思われる。実際にはリソグラフィが根本的制約になっている。

メモリセル面積は年率0.7倍位その平方根が83％、ほぼ3年で4倍というムーアの法則通りである。なお量産チップでは1GビットDRAMで100平方mm程度であり4年で容量4倍という本来のムーアの法則に従ってきた。

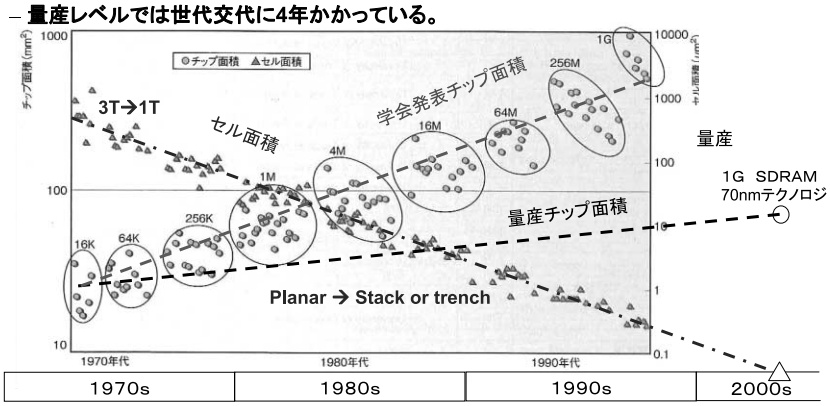
一方NANDフラッシュは要求が異なる。すなわちNANDフラッシュでは容量が大きいほどよいという要求がある。DRAMよりは単純であり集積度優先、信頼性の要求は緩い。いわばGood Enough Theoryが通用する世界である。DRAMよりも微細化が先行しており多ビット化によってムーアの法則以上の進歩が実現されている。しかしデバイスの信頼性低下によってどこかで終着点を迎える宿命にある。

参考までに**図**10には露光波長の進歩という観点か

- 何となく皆が目標にし、長年産業界を牽引して来た良い指標。
- プロセッサが要求するメモリ容量とDRAMが経済的に実現可能な容量のバランス。
  - プロセッサの性能アップは社会が必要とする情報処理能力＋技術開発スピードで決まる。
  - NOR型フラッシュもこれに近い。大容量品の主な用途は携帯電話であり、プロセッサの能力との関係で必要容量が決まる。
  - NANDフラッシュは様子が違う。
    - 社会はいくらでも大きなメモリ空間を必要とする。
    - ある価格までならば容量は大きければ大きいほど好まれる。
    - 微細化に適した環境あり。
      - 構造的にシンプル、ビット欠陥問題、信頼性問題、多々の問題点がシステムでマネージできる。
    - 多ビット蓄積技術が使える。
- 結局、原点はリソグラフィ技術の発展具合。
  - ただし短い波長化だけでは微細化ピッチに追いつけなかった。多様な手段の追加で微細化ピッチは加速。

図８　Mooreの法則の解釈

- 平均するとセル面積は0.7倍/year。線幅で0.837倍/yearの推移。
- 集積度（ビット数）
  - 学会発表では3年で4倍に増えている（Mooreの法則に従う）。研究者はMooreの法則実現のためあらゆる努力（無理）をしたが、最後は巨大なチップとなってしまった。
  - 量産レベルでは世代交代に4年かかっている。



日経マイクロデバイスNo. 262, 2007年4月、p47をもとに加筆

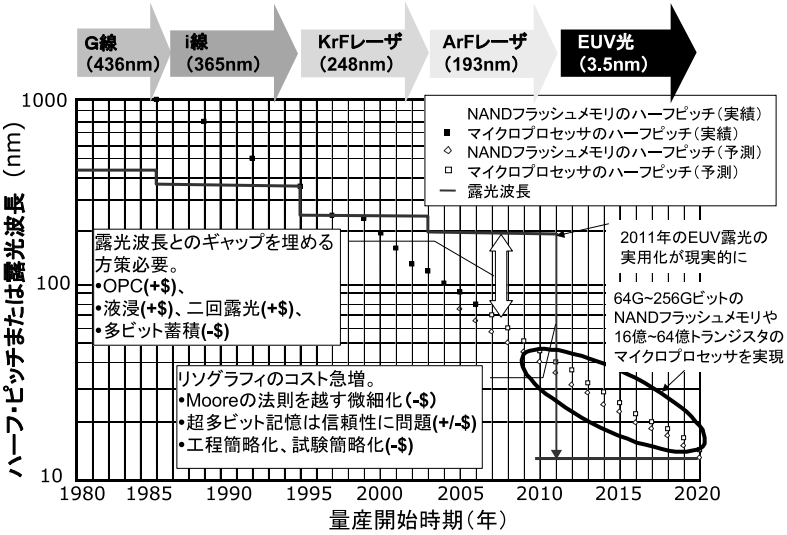
図９　DRAMの微細化トレンドとチップ寸法

ら1980年以降の約25年間の経緯を示しておこう。太いラインがリソグラフィの波長を示しているが4Mビット時代には位相シフト方式、その後はレメルソン方式、さらに波長の4分の1以下の寸法が切れるようになった。しかしEUVではコストが急増、スループットが低いという問題がある。

フラッシュメモリではコストアップ要因を低減する方法が必要である。多ビット蓄積はプラス要因であるが信頼性の問題がる。尤も音楽録音ではノイズが余り問題視されない傾向がある。ただ記憶したものが消えるのは問題である。なおCMOSのプロセスはメモリには利用できない。

DRAMとNANDフラッシュに見られる微細化技術と経済性に関連してコメントしたい。DRAMが本来ならば16G～64Gビットの商品化段階を迎える筈が現実には512Mビットに止まっているのは主としてコストに敏感なPCへの応用が最大用途を占めているためである。一方NANDフラッシュではムーアの法則に近い高集積化が進んでいる。その代わり価格下落も激しい。**図11**にはNANDフラッシュにおける価格低下の傾向を合わせて示している。

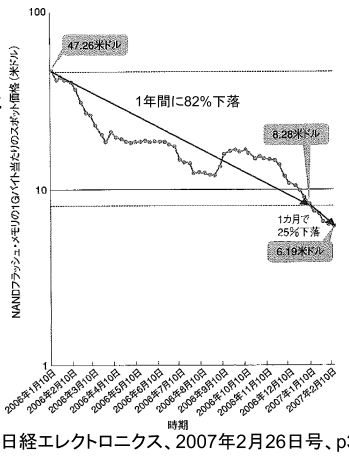
エンドユーザでメモリ価格が3000円から5000円、1年で半でメモリは倍増、1Gバイトが現実に近くなっても小売価格は一定という世界である。NANDフラッシュについてはムーアの法則は余り深い意味がない。それは微細化によるローコスト化の競争である。Spansionでは230nmからスタート、65nmを商品化しているがSpansionにおけるムーアの法則の特徴



日経エレクトロニクス、2007年7月30日号、p86をもとに加筆

図１０　露光波長とパターンのピッチ

- **DRAMが長期的にMooreの法則に従っていれば今ごろ16G-64Gが開発されている。**
  - **商品となるDRAMの開発にはコストがかかる。DRAMを牽引したPCもコストに敏感なので性能とのバランスを重視。**
  - **セル構造が複雑。**
  - **リフレッシュ特性の管理、高速化、など商品化には検討項目非常に多い。**
- **NANDはDRAMよりも速いピッチで高集積化、Mooreの法則に近い。**
  - **NANDは立体構造キャパシタを抱えたDRAMよりもセル構造が簡単。**
  - **ビット不完全性を許容したユニークさが発展の鍵。**
  - **DRAMには不可能な多ビット記憶方式で更に高集積化。一見Mooreの法則よりも速い。**
  - **その代わり価格下落も激しい。**



日経エレクトロニクス、2007年2月26日号、p30

図１１　ＮＡＮＤフラッシュの価格低下傾向

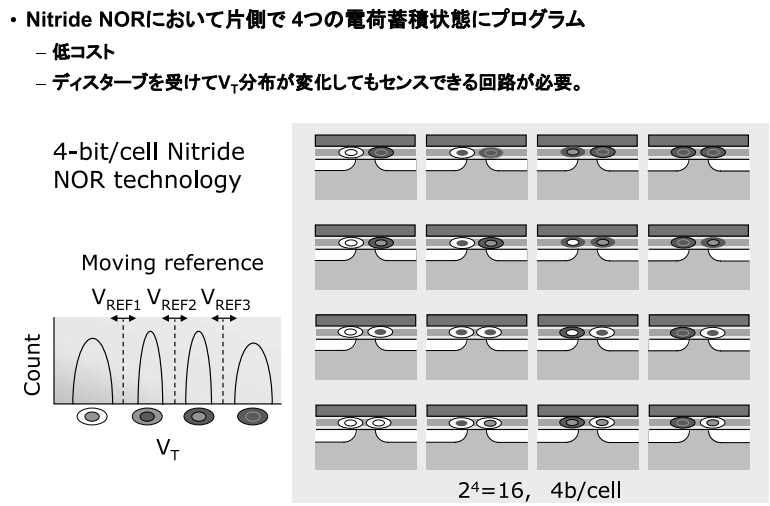


図12　4-bit/cellの電荷蓄積状態

はリソグラフィの微細化技術を借りずにサイズ低減していることで例えば2Gビットを65ナノメータで図12に示す4ビット/Cell方式で実現している。

メモリを読むだけで破壊されるDisturb現象には最適バイアス・ポイントをドレイン電圧、ゲート電圧の最適動作点の設定によって解決している。NANDフラッシュの課題は使い易いNANDの時代への対応であると考えておりSpansion社でもその対応商品ORNANDを出荷している。次世代メモリーとしては位相変化メモリ、磁気RAM（MRAM）があるが実用化には時間を要すると思われる。

6．質疑応答経緯

（太字は質問者）

川名会員　EUVリソグラフィについて渡辺さんに質問したい。最近のIEEE Spectrumの記事では光源がどこまで生産に利用できるか疑問が提起されているがこの対応は？

渡辺氏　レジストの感度100Wを目標、いつまでに達成するかは2009年で実用化が要請される。かなり大変ではあるが大学の協力、国の援助金が必要であり光源は外国から買うとしても外国でも完成していない。総力を挙げて日本で実現する必要があるがNikonやCanonでの商品化に期待されている。

川西会長　1990年代講演でDRAM16Gビットのロードマップ2006年とした。

何故512Mチップに止まっているのか？　マイクロプロセッサが要求していないのではなく現在すでに4GビットがPCには搭載されている。DRAMが伸びないのは経済的要因であろうか？　同じことがNANDフラッシュにもあるのでは？

田口氏　64ビットPCのDRAMをワンチップで使うのは考えていない。最低8チップ内臓のモジュールで利用されている。現在1Gが最大でプロセッサの要求には適応している。本来は16G、64Gができている筈ではあるが各DRAMメーカが撤退しビジネスが困難となった時期があった。DRAM開発には手間がかかり開発費が膨大になる。この点でNANDフラッシュはいろいろ手段がありSamsung、東芝などNAND中心のメモリ産業に期待しているが広くメモリ産業の活性化にも期待したい。

川端会員　志村さんに質問したい。3次元LSIの事例が示されたが貫通電極は本当に実用化が可能なのか？　現在では大学レベルの事例であるが近い将来実用化されるのか？

志村氏　正確な答えはむつかしいが集積化の歴史を顧みるとメモリセルとキャパシタを2階構造にする田口氏や小柳氏（元日立）の事例もある。3次元IC、LSIとしてIBMも積み木型を発表、日本でも国家戦略として立体構造を計画しており歴史的必然性があるのではないか。チップを多層に積み上げるために貫通孔を作る積み上げにむつかしさがあるが基本的にはCMPの技術が活かされて垂直方向の貫通配線技術は確立しつつある。

小柳氏はnano技術、自己組織化技術も比較的うまく、実現を期待している。IBMやエルピーダなども多層化の開発（エルピーダでは20層）を進めており世界の研究機関が手がけている。これはMore than Mooreの有力なアプローチであろう。小柳方式は日本が先行してデファクトスタンダード

として認知されている。ブレークスルー日本型技術として期待したい。実装技術学会（前身は川西会長が会長をされたハイブリッド協会として長い歴史がある）ではこの積み上げ方式が21世紀のメインストリートになると考えている。

田口氏　人間の脳を考えてもそれは立体構造でありインターコネクト構造でバススピードを上げるには3次元による短距離の構造が必要である。

八幡会員　自戒と反省という観点からこのような討論がものを作ることが焦点になっているが現在半導体産業は作るものがないのではないか？　もしJASVAとSSISで分業すればJASVAの分担かもしれないがSOCは作るための技術、ファウンドリにとって必要な技術ではないか。日本ではファウンドリは育たず依然IDMが並立している。作るものを考え出す議論がなかったのは意図的であったのか？

渡辺氏　よくつるし上げられるがコモディティ化されないMPU、Flash以外はKillerアプリがない限り投資回収が難しいという問題がある。Flashの活況を期待して東芝はFlashに投資している。SOC専業メーカが成り立つのか？　例えばディジタル家電では3ヶ月ごとに新製品を出荷、これにはついて行けない。Killerアプリは難しい。Samsungの場合8インチラインは余って作るものがないと聞いている。日本では8インチラインはディスクリートデバイス用に利用してきた。このような質問は経営者に何とかならないかとそっくりお返ししたい。

志村氏　ファウンドリは育たないというが経産省の構想ではファウンドリを作る計画がある。日本の企業は右向け右では向かない。松下が標榜している垂直統合の利点はどうか？　45nm LSIラインで目的が明確なものは製造プロセスから必要という。半導体産業を二つに分けて仲間に入ることへのレジスタンス、32nm、22nmをどうするのか？業界として思い切った対応が必要ではないか。TIの場合32nm以下はファウンドリに出すとしてTSMCを予定している。アメリカの割り切り方は日本では難しいのか？

高橋会員　技術的な話で渡辺氏に質問したい。デバイスのばらつきがクリティカルになる問題、不純物ドープはボリュームが小さくなると統計誤差を解決しようがないのでは？

渡辺氏　明らかにそれは問題であるが不思議に解決する知恵がでるものである。ランダムでもごまかす技術、同じばらつきでもシグマを小さくするような技術など、斜めチャンネルやチャンネルには不純物をドープしない、つまり不純物でしきい値の制御はしないというアイディアなど。難しい課題の解決手段は楽観的に考えている。

パネル討論会風景

7．パネル討論会まとめ

2007年度賛助会員説明会の特別講演会は半導体集積回路の集積能力の指標として42年の歴史をもつムーアの法則の終焉が予想される中で半導体産業としてポスト・ムーアへのシナリオを3名の講師から解説頂いた。少なくともまだ10年は残されているとはいえ、60年の歴史を持つ半導体産業の拡大指針に寄与してきたムーアの法則の終焉をどのように乗り越えるかについて、当協会会員にとって外では聞けない貴重な知見を各パネルメンバーから披露頂いたことに深甚なる謝意を表して討論会を終了したい。

謝　辞

本日のパネル討論会開催に際して当協会研修委員会のアドバイザとして貴重な示唆と講師の人選を頂いた志村幸雄氏に深謝したい。また台風接近の悪天候にも拘わらず参加された聴講者の方々に深甚な謝意を表する次第である。

参考文献（モデレータ）

1）伊藤　達：“ユビキタス時代におけるデバイスイノーベーション”, 半導体シニア協会　ニューズレター　No.45（2006）
2）G. E. Moore：“Cramming more components onto integrated circuits”, Electronics, Vol.35, No.8（1965）
3）G. E. Moore：“Cramming More Components onto Integrated Circuits”, Proceedings of the IEEE, January 1998
4）Robert Doering, Yoshio Nishi：“Limits of Integrated-Circuit Manufacturing”, Proceedings of the IEEE、March, 2001
5）Chandra Mouli & Wayne Carriker：“Future Fab, How software is helping Intel go Nano and beyond”, IEEE Spectrum March 2007
6）Chemming Hu：“The Future of CMOS Technology”, First CITRIS－Asia Research Symposium, Invited Paper, April 10 2006
7）Fawwz T. Ulaby：“The Legacy of Moore's Law”, Proceedings of the IEEE, Vol.94, No.7, July 2006

良き時代に半導体を担当して

小宮 啓義 諮問委員（元 セリート代表取締役専務）

司会　今回は、長年三菱電機に勤務し、西条工場長、LSI研究所長等要職を歴任されました小宮啓義様にお話を伺うことになりました。よろしくお願いいたします。まず子供の頃のお話からお願いいたします。

朝鮮で終戦、そして引揚げ

小宮　1945年8月15日、9歳の時、朝鮮の北緯38度線のすぐ北にある土城という寒村で終戦を迎えました。

父は国民学校の校長でした。翌日、貨物列車の石炭の上に乗って、38度線のすぐ南にある開城市（現在は北朝鮮）へ移動し、警察署に避難しました。

ソ連軍はヤルタ協定に違反し、38度線を越えて南下したので、開城市は終戦後1週間程度、米軍が進駐するまで、ソ連軍の支配下に置かれました。当初、ソ連軍は警察署長に武装解除を要求しましたが、署長は「当地はソ連軍の支配地域ではないので、要求に従う義務はない」と拒否したとのことでした。

10月、治安が回復してから京城（ソウル）へ移動し、同年11月さらに釜山まで貨物列車に乗り、そこから引揚げ船に乗って、博多に上陸しました。そして、一家はひとまず母の出身地である福岡県の田舎に落ち着きました。

司会　途中で身の危険を感じたようなことは？

小宮　ありませんでした。警察がしっかりしていましたから。もっと北から引揚げた方々は苦労されたようです。

三菱電機㈱に入社

小宮　1959年、九州大学理学部物理学科を卒業して、三菱電機㈱に入社し、研究所に配属されて、約10年間光半導体材料の研究開発に従事しました。

米国Purdue大学に留学

小宮　1962年に東大の田中昭二先生のご紹介で米国Purdue大学に留学し、H. Y. Fan教授のもとでZnSb（熱電材料）を研究しました。大学はインディアナ州にあって当時は半導体材料の研究ではベル研と肩を並べる存在でした。

1年10ヶ月後三菱電機㈱研究所に復職し、1970年に光半導体材料の研究で九州大学から理学博士号を頂きました。1972年からLSIプロセス技術の開発に従事し、1976年に社内のLSI研究所創立と共に転属しました。

司会　小宮さんは英会話が達者なかただとうらやましく思っておりましたが、今日、豊富な海外経験を伺って納得しました。中国の言葉と英語のイントネーションが類似するので、ヒヤリングの上達に有利に働くという説がありますが。

小宮　若いときに米国に留学することが絶対有利です。私は少々遅かったので苦労しました。それでも帰国後に初めて米国で学会発表したときには、日本人を対象にした事前のオーラル・チェック（内容ではなく、発音や喋り方、用語の適切さのチェック）をノートラブルでパスできました。

超エルエスアイ技術研究組合

小宮　1976年から超エルの共同研究所で研究開発をしました。当初は三菱電機の代表委員として企画に携わりましたが、途中から垂井所長に依頼され、川崎市郊外の宮崎台にあったNEC中研の建屋の一部を借りた共同研へ出向し、プロセス技術特に超清浄技術とドライエッチング技術の開発を担当しました。

司会　「国家プロジェクトの成功には、組織の組み方がポイント」と小宮さんは自著“日本半導体産業の課題”で強調されています。超エルではどんな組み方をされたのですか？

小宮　当初、委員として出席された方々は会社による性格もあってか、話がなかなか纏まりませんでした。通産省からかなりの規模の補助金（将来利益が出たら返還する）が出た事と、共同研究所と各社の研究所（三菱、日立、富士通のCDL研、および、NEC、東芝のNTIS研）に分けて、ノウハウに近い仕事は各社の研究所でやる様にした事が良かったと思います。補助金は50％を共同研へ、CDLとNTISへはそれぞれ25％を配分しました。

司会　共同研究所の規模は？

小宮　5社から計100人ほど出向し、ステッパ等では装置メーカとの共同研究を実施しました。

製造ラインの全自動化に挑戦

小宮　1980年に三菱電機㈱LSI研究所へ復職し、同年に同社北伊丹製作所へ移り、幾つかの部の次長・部長を経験しました。その時所長の小林氏から製造ラインの全自動化を命じられました。カセ

ット・ツウ・カセットのハンドリングがようやく普及してきた頃なので、時期尚早と反対しましたが、所長の熱意に押されて、世界初のLSI製造全自動化ラインの開発・建設のリーダとして挑戦しました。

設置場所は四国の西条工場で、1985年からは工場長として陣頭指揮し、設備メーカの協力も得て、種々の困難を乗り越えて、実現できました。この功績により、大河内記念賞および科学技術庁長官賞を頂きました。

司会　成功の鍵は？

小宮　小林所長の「強引さ」ですかね（笑い）。その後1988年にLSI研究所に復帰し、翌年所長になり、1993年にはULSI研究所と改名しましたが、引き続き所長としてLSIとメモリの製造技術と研究開発を指揮しました。

Selete（セリート）でもう一奮張り

小宮　1996年㈱半導体先端テクノロジーズへ出向し、代表取締役専務を務めました。

司会　セリートの目的は？

小宮　米国のSEMATECHに対抗するためには各社がばらばらにやったのではだめだということで、半導体産業研究所（SIRIJ）に通産省の担当官を含めて関係者が集まり、一年位かけて企画しました。各社から募集した100人位の規模で発足しました。

テーマは300mm技術の実用化開発とリスクの大きい新規プロセスとか装置開発を取り上げました。例えばキヤノン、ニコンなどと組んでDeep UVの露光装置を開発しました。

司会　超エルとセリートの相違は？

小宮　超エルは通産省の国家プロジェクトであり、セリートは民間のプロジェクトです。

300φ化と関連事業の推進

小宮　少し遡って、1994年サンフランシスコで開かれたシリコン・ウェーハ・サミット会議で、次世代のウェーハとして日本が提案した300mmの採用が決定されました。その後、日、米、欧のウェーハメーカと装置メーカを中心として技術開発が進められました。

また国際業界団体であるSEMIおよび日本の関連団体で構成した「大口径ウェーハ5団体連絡会」により標準化が進められました。この辺の経緯は私の監修による“グローバルスタンダードへの挑戦”SEMIジャパン2003年発行を参照願います。

これらの300mmウェーハ実用化活動での貢献により、米国のIEEEよりIEEE Frederik Philips Award 2005を頂きました。

趣味は合唱

小宮　2000年にセリートを退職しました。

司会　退職されてからは、なにかご趣味でも？

小宮　趣味として合唱団の指揮をしています。合唱団は二つ、三菱電機と社外です。合唱は高校の時も少しやりましたが、本格的にやったのは大学に入ってからです。指揮を始めたのは、入社して直ぐ社内の合唱団に入った時からです。

某大学の作曲科の主任教授に作曲理論の一つである「和声学」を師事し、「和声学」に関しては作曲科修士課程修了レベル、という口頭でのお墨付きを貰っています。

この経験から得られた教訓は、ある分野に含まれる一つの科目をマスターすると、その分野に属する他の科目の修得も、独学でも比較的容易に可能となる、ということです。これは、一つの科目をマスターする過程で、その分野全体の共通基盤技術／知識を修得することによるものでしょう。これは音楽理論に限らず、いろいろな場面で共通的なことだと考えています。

ステージは年に3～4回程度ですが、練習は、2週間に3回程度行っています。指揮をしていて一番苦労するのは曲選びです。その合唱団の技術レベルにマッチしたもので、かつ、歌って楽しく聴いても楽しいこと、が条件になりますので。

司会　職業と別の世界があるのは良いですね。

小宮　私の場合は転勤が多かったので、行く先々で地元の合唱団に入りました。合唱団に入ると、新しい土地でも、いろいろな人から、仕事上の付き合いとは無関係に地元の情報が入って来るので、大変有難かったです。

司会　SSISに合唱団を編成したら？

小宮　合唱は老化防止に効果があります。指揮をしている合唱団の一つでは、団員の平均年齢は73歳、最高齢は85歳で、皆さんびっくりする程お元気です。

司会　本日は大変興味深いお話をして頂きまして有難うございました。今後ともSSIS及び本誌へご指導をよろしくお願いいたします。

（まとめ：岡田　隆
同席：秋山信之、片野弘之、高畑幸一郎
各編集委員）

ドライエッチング装置

織田善次郎（元 日電アネルバ株式会社 社長）

1．会社の時代背景

私が勤務していた日電アネルバ㈱の前身日電バリアン㈱がNECと米国バリアン社との合弁会社として設立されたのは、今から丁度40年前の1967（昭42）年だった。真空機器と化学用分析機器を事業の2本柱として発足したが、業績は当初の計画通りに伸びず、毎年赤字を重ねていた。

その様な苦しい経営状況の中にあって真空機器部門の技術担当であった私は、当時先端技術産業として急成長してきた電子工業、就中半導体産業の中に真空機器の市場を見出すべく、乏しい予算と限られた技術者で以て、UHV技術をはじめ真空蒸着やスパッタリングによる成膜技術の研究開発を続けていた。しかしその頃の我国の半導体メーカーは米国メーカーからの技術導入が盛んで、それに伴って主要製造設備も実績のある米国製品の輸入が優先されて、国内メーカーが新規参入する余地は殆どなく、せいぜい実験装置の受注生産で辛抱する他はなかった。

2．開発の動機

1972（昭47）年10月当社の大事な顧客から、IC製造のドライプロセス化を目指して、それに適したプラズマエッチング装置開発の打診を受けた。当時のSiウェーハのサイズはϕ50 mm、配線巾は4 μm、やがて2.5 μmになるだろうとの話であった。そして顧客の当面の利用目的はウェーハの裏面エッチングであった。当時はパターンエッチングの微細化よりも、公害問題がうるさくて、半導体工場ではウェットエッチングに使用した薬液の廃液処理を必要としないドライプロセス化による工場の無公害化が重要課題のようであった。

その頃ドライエッチの方法としてArイオンを固体表面に衝撃させるスパッタエッチング法は既に知られていた。しかしSiウェーハ上の種々の材料に対するエッチング速度の差はほとんどなく、また速度そのものも低くて、到底実用化の見込みはなかった。一方石英管内にウェーハを並べて、酸素を流してRF放電プラズマを作り、発生する酸素イオンやラジカルの働きでフォトレジストを灰化剥離させる「プラズマアッシャー」が市販されていた。この反応ガスをフロンに変えてSiウェーハのエッチを試みた実験も発表されていたが、速度と均一性の面から微細加工には適していないと判断した。

3．開発の経過と初期実験結果

日電バリアンではその前身であるNEC真空機器部時代からスパッタ技術を事業の柱として開発育成してきた。細川直吉君は入社以来麻蒔立男課長の下で同軸型マグネトロンスパッタや、当時学会発表された許りのRF 2極スパッタ装置の研究開発に携わってきていたので、この新しいテーマの研究に最も適任であると判断して、彼に担当して貰うことにした。社内ではエッチング方式についていろいろな意見があったが、彼はRF 2極スパッタ方式に固執し、その延長線上で実験を進めることにした。

そこで彼はドライエッチに関して、その用途と要望を直接半導体メーカーの技術者達から聴取。その結果可能性のある応用プロセスとしては、レジスト剥離やウェーハの裏面エッチングの他に、Al配線の

図1　実験装置のチャンバー内部構造。RF平面電極の上に石英板を載せ、その上に各種材料の試片を置いて、30分間RF放電に曝す。エッチング速度は試片の重量減少から求めた。

形成、窓明け、素子分離等々微細加工への応用が極めて大きいことを知らされた。

1973年2月頃からRF 2極スパッタの実験装置を使っての予備実験を手始めに、ガス分析計を付けた専用実験機を準備し、松崎励作君を助手として本格的な実験に着手した。当時入手出来た8種類のフロンガス（弗化塩化炭化水素ガス）を用意し、SiはじめSiO_2、7059ガラス、Al、Mo、ステンレス、フォトレジスト（NMR）等7種類の試片をRF電極上に並べて、エッチング速度を1.3～1.5 W/cm^{2}と云った低いRFパワー密度の下に測定して、Arの場合（130～170 Å/min）と比較した。その結果SiやAlに対し、10～20倍のエッチング速度が得られ、またフロンにO_2を20％程度混ぜると、Siのエッチング速度が無添加の場合の2倍以上に増え、SiO_2やガラスでは逆に低下する現象を発見した。

この方法は材料表面に対するイオンの物理的衝撃効果とフロンが分解して生ずる活性ラジカルの化学反応の相乗効果を利用するので、低い電力密度でも速いエッチングが実現出来るのだと解釈した。しかもガスを選択すれば、フォトレジストマスクに対するエッチング速度を下地材料より低く出来るので、ICの微細加工にも利用出来るという見通しを得た。

この年の末頃から、この情報を聞きつけて、半導体や電子部品メーカーの顧客から評価用サンプルテストの依頼が舞い込む一方、実験装置の引き合いも出てきた。後者はRF 2極スパッタ装置の一部を設計変更して、ドライエッチ装置として対応した。またサンプルテストの方ではガラス基板上にCrやSiを膜付けしたICマスクや、NESA膜を蒸着したデジタルウォッチ用数字表示板のパターンエッチングはうまく出来たが、Si系のパターンエッチングは未だ簡単ではなかった。

この初期の実験結果を英文論文にまとめて、「RF Sputter Etching...」との表題で1974年3月に京都で開催された第6回国際真空学会（IVC）で発表した。その後IBMで追試が行われ、この方式をエッチング機構から見て「反応性イオンエッチング」（RIE）と名付けて学会で紹介したようで、IC製造のための異方性エッチングには最適な方法として世界中から注目されるようになった。

4．製品開発

RIEがICのパターンエッチングには最適なプロセス技術になることが半導体業界で認められてきたので、会社としてはその製品化を進めることにした。丁度その頃スパッタ技術グループでは、バリアン製のSガン（スパッター源の商品名）で作ったAlスパッタ膜の白濁問題が起こり、このままではICの配線には使えないことが判った。急遽白濁の原因を究明し、量産用Alスパッタ装置を独自に開発するため、1975年の末細川君を元のスパッタグループに戻し、ドライエッチ技術は新たに花沢国雄、鵜飼勝三、鴻巣峻博の3君に引き継がせ、後に塚田勉君も加わった。

彼らはCCl_4を使って当時未解決であったAlエッチの再現性問題を解決、種々の材料に対する最適ガスの模索、エッチング反応の終点検出法の開発等を行い、製品化のための準備を進めた。かくして1978年に100 mmウェーハ7枚を一度にバッチ処理出来る自動型生産装置としてDEA-503を初めて発表した。

Sputtering gas		Etching rate
Symbol	chemical composition	
	A	124 Å/min
	C_2HCl_3	330
R-14	CF_4	900
R-11	CCl_3F	1670
R-12	CCl_2F_2	2200
R-21	$CHCl_2F$	410
R-22	$CHClF_2$	1430
R-112	$(CCl_2F)_2$	1280
R-113	CCl_2FCClF_2	2015
R-114B2	$(CBrF_2)_2$	1850

図2　種々のフロンガスによるSiエッチング速度（参考資料2のTable 1より）
RFパワー密度　1.3 W/cm^2、ガス圧力2×10^{-2} Torr

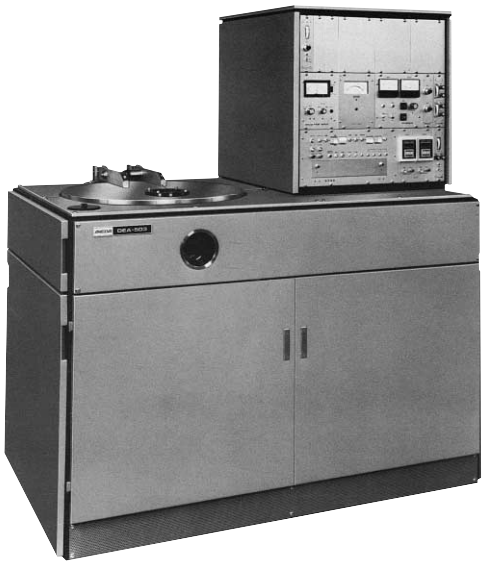


図3　100 mm Siウェーハ向の最初の自動型生産装置DEA-503

図4　枚葉式マルチチャンバー型エッチャーDEA-3016

5．超LSI共同研究組合との共同開発

1976年4月から4年間の予定で超LSI共同研究組合が発足した。このプロジェクトにおいてもRIE技術は微細加工の重要テーマとして取り上げられ、垂井所長、小宮第5研究室長の御指導の下に、φ100ウェーハ対応の枚葉式マルチチャンバ装置DEA-3016を共同開発した。それは中央にロードロック室があり、その周りに6個のプロセスチャンバーが配置されていて、ロードロック室からウェーハを1枚づつ取り出してチャンバでエッチングして、元に戻すと云う構造で、当時としては世界に先駆けた画期的なコンセプトであった。それだけに当社の担当技術者達は大変苦労した。10年後にマルチチャンバ方式で特許係争が起こった時、このDEA-3016の存在が有力な公知例になったようである。

6．大河内賞受賞

1979年（昭54）年3月、当社の平面電極型ドライエッチング装置の開発に対し、4名の技術者連名で大河内記念技術賞が授与された。日電バリアンがバリアン社との合弁契約を解消し、社名も日電アネルバ（ANELVA）に改称して、名実ともに自立して半導体装置メーカーとして躍進し始めた頃で、この受賞は全社員にとっても大きな励みになった。当時の記録によると、売上げ台数は実験機、生産機合わせて38台、関連特許出願15件、学術論文3篇を含め学会報告数多数となっている。

賞状

田中利明殿
花沢国雄殿
鵜飼勝三殿
細川直吉殿

大河内記念技術賞

平面電極型自動ドライエッチング装置の開発につき成績顕著であるを認め本会記念賞贈賞規定により大河内記念技術賞を贈呈します

昭和五十四年三月八日

財団法人大河内記念会会長 土光敏夫

第一六六号

図5　大河内記念技術賞の賞状

7．64K DRAM量産時代への対応

1980年代に入るとRIE技術は多数の半導体プロセス技術者の努力により2 μmルールの微細加工が可能となり、64K DRAMの量産ラインに採用されることになった。と同時に競合メーカーとの市場競争が次第に活発になってきた。当社は先に発表したDEA-503の改良、性能向上を図る一方、本格的なC-to-C全自動のバッチ処理型量産機ILD-4002を1981年4月に発表し、米国に先行した我国の64K DRAMの量産に寄与することが出来た。

当社もこの頃から漸く念願の売上100億円を達成し、スパッタ装置と合わせて実験装置の一品受注生産メーカーから、半導体製造装置メーカーへと脱皮し、超LSI全盛時代に対応して急成長を遂げることができた。

この原稿を書くに当たり、当時の技術担当であった細川、鵜飼の両君並びにキヤノンアネルバ㈱総務部の樋口マネージャーには、古い資料と写真を提供して頂いた。ここに厚く御礼申し上げる次第である。

参考資料

1）アネルバ30年の歩み（1967～1997）平成10年5月，アネルバ株式会社発行.
2）N. Hosokawa, R. Matsuzaki and T. Asamaki: RF Sputter Etching by Fluoro-Chloro-Hydrocarbon Gases, Proc. 6th International Vacuum Congress, Kyoto 1974, p.435-38.
3）細川直吉：日経マイクロエレクトロニクス「時代を変えた発想」欄寄稿原稿（1994-5）他　私信.
4）垂井康夫監修，SEAJ編：半導体立国日本，第5章，第7章，日刊工業新聞社（1991-11）.

►半 導 体◄

ことはじめ 事始 ～装置編～

高電流イオン注入装置「NV-10」国産化

日髙 義朝（株式会社 SEN-SHI･アクセリス カンパニー*）

1.「NV-10」の誕生

半導体におけるイオン注入は、1972年頃にまず中ドーズ注入が実用化され、ついで1977年頃に高ドーズ注入が実用化された。そして1990年代には高エネルギー注入によるウエル形成が量産に適用されるようになった。イオン注入はドーパント量と深さ方向のプロファイルを高精度に制御できる技術であり、最先端デバイス製造にとって不可欠の技術となっている。

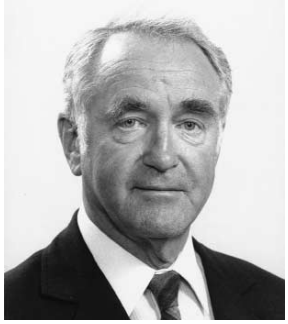


写真1　NV-10の生みの親
Dr. Peter Rose

イオン注入装置において、忘れてはならないのが、Dr. Peter Rose（**写真1**）の存在である。彼は「NV-10」の生みの親であるばかりでなく、黎明期のイオン注入装置のほとんどが彼とその仲間たちによって開発されている。言わば、“イオン注入装置の父”である。その功績により、彼は1996年米大統領より国家技術勲章を授与された。

Dr. Peter Roseは1978年、米国カトラーハンマー社の支援を受けて、NOVA Associatesを設立し、半導体向け高電流イオン注入装置「NV-10」の開発をスタートさせた。NOVA Associates設立後カトラーハンマー社がイートン社に吸収され、NOVA Associatesはイートン社の傘下に入ったが、開発は順調に進み、当時としては最高の10mA以上のビーム電流が得られる本格的量産用高電流イオン注入装置「NV-10」が1979年に完成した。この年12月、1号機は日本のT社へ出荷された。

図1に「NV-10」のシステム構成を示す。「NV-10」では、大電流イオン注入によるウエハー温度の上昇

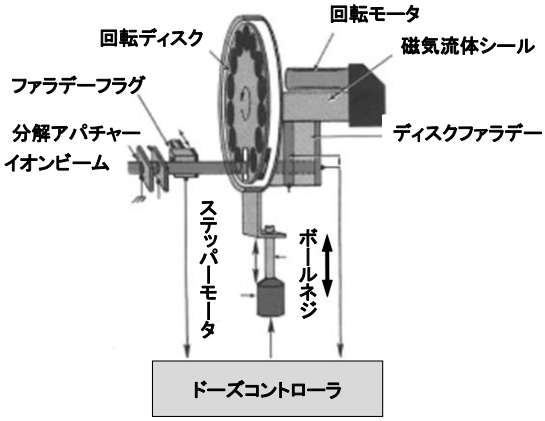


図2　NV-10ドーズ制御システム

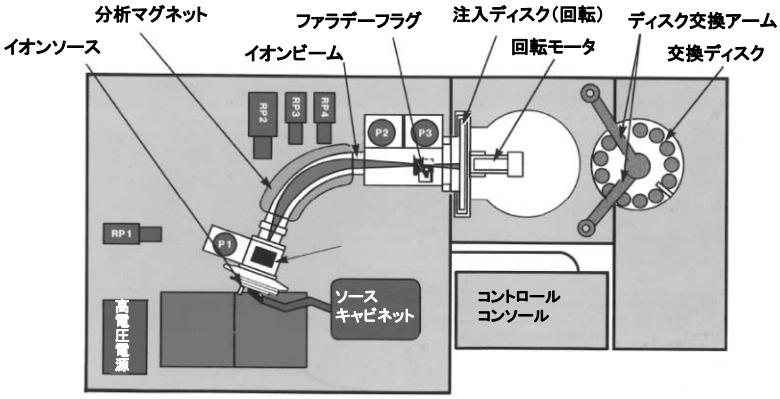


図1　NV-10システム構成

*旧 住友イートンノバ株式会社

を抑制するため、バッチ式回転ディスクが採用された。「NV-10」の特徴の1つは、優れたドーズ制御にあった（**図**2）。高速のディスク回転と低速の半径方向のスキャンの組み合わせで、ドーズ量はディスクファラデーで測定されるビーム電流量に応じて、半径方向のスキャン速度を変えることにより制御される。

2．SENの設立

「NV-10」は、1号機が日本に出荷された後、日本の主要半導体メーカに採用されるようになった。その当時は、日本の商社が代理店となって輸入販売されていたが、概して外国製装置は品質に問題があり、稼働率が低かった。「NV-10」もその例外ではなく、特にエンドステーション（**図**3）の信頼性が問題であった。ウエハーオートローダは装備されていたがほとんど動かず、オペレータが手で行っていた。また、ディスク交換アームはディスクのグリップがうまくいかず、プラスチックハンマーで叩いてグリップさせるという状態であった。イオン注入がドーピングのキーテクノロジーになるにつれて、日本の顧客からは日本製、少なくとも日本で組み立てられた装置を購入したいとの声が高まった。そこでイートン社は、当時円がドルに対して安いこともあり、日本の会社と提携し、日本で製造することを考え始めた。

丁度その頃、住友重機械工業（SHI）でも半導体装置産業に興味を持ち、技術本部を中心に調査が行われていた。半導体製造プロセスと製造装置をつぶさに調査し、SHIの新事業としてイオン注入装置が最適であると判断していた。SHIは既に研究用大型サイクロトロンや医療用小型サイクロトロンを手がけており、イオン注入装置製造に重要な加速器技術を有していたからである。

両社の思惑が一致したことと、SHIとイートン社は古くから技術提携やJV設立により親密な関係にあったことから、JV設立の交渉は比較的順調に進んだ。1982年12月にJV設立契約が結ばれ、1983年4月に住友イートンノバ株式会社（SEN）がスタートした。その後2006年4月に社名が、株式会社SEN-SHI・アクセリスカンパニーに改称されて現在に至っている。

3．国産化への道

国産化はリスクを最小にするため、次のステップで行われた。

（1）ノックダウン方式による組み立て、立ち上げ技術の確立

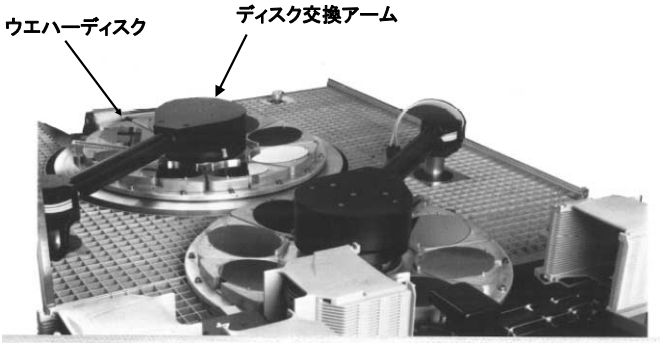


図3　NV-10エンドステーション

（2）部分国産化
国産化に時間を要するコントローラ関係等をイートン社から購入し、他は全て国産化

（3）完全国産化

国産化に当たっては、顧客から改善が要求されているウエハー搬送系を除いて、その他の部分は全てイートン社と同じものを使うことを原則とした。これは、イートン社からイートン社製装置との共通性、互換性を保つよう強く要請されたためである。

SEN設立の2ヶ月前からイートン社へ技術者が派遣され、国産化の準備を開始した。まずトレーニングコースへの参加から始まり、図面、マニュアルの収集から製造・検査技術、生産管理システム等国産化に必要な情報収集が行われた。特に、同一部品採用のためのカタログ探しには手がかかった。

同一部品の採用は簡単に行くと思っていたが、実際はそう簡単ではなかった。カタログから部品を選定するまでは苦労しないが、その部品を購入することが大変であった。その上、新しい会社のため全く知名度がなかった。社名を言っても、なかなか通じず、やっと通じたかと思ったら、送付された封筒の宛先は「住友糸鋸（いとのこ）様」とか「住友イートンロバ様」であった。

発足当時、国産化に従事した工場の社員は13名であった。この人数で図面製作、発注先業者探しと発注、部品の納期管理、組立て、出荷前テスト、解体＆梱包、出荷、現地立上げまでの作業を担っていた。このため、休みは年間を通して数日あるかないかであった。

国産化で苦労した中の一つに、ディスクの製作過程でのRTVのゴム貼りがあった。イートン社の作業手順書通りにやってもうまく貼れない。すぐに剥がれてしまう。納期は迫ってくる、時間がない、焦る、失敗するの悪循環に陥った。部品や材料は同一品で

進めたが、作業は手順書通りにやることをあきらめざるをえなかった。日本の気候に応じた温度や湿度管理を試行錯誤することでやっと良い条件にたどり着き完成した。この種の作業は独自にノウハウを作りあげていくことが大切と痛感した。

当社では、設立当初から“納期厳守”が合言葉になっており、社員は相当なプレッシャーを感じながら仕事を行っていた。また、このプレッシャーは要求スペックを満たさなければいけない品質保証も含めてであった。納期を守るためには、1週間連続の徹夜勤務はごく普通であった。当時の社員はこれを当たり前のこととして受け入れ、誰も不平不満を言わなかった。納期を何としてでも守るという体質はその後も継承され、当社の社風になった。

国産化は悪戦苦闘の連続であった。しかし、人間逆境に追い込まれると不思議な力が湧いてくるものである。追い込まれ、絶望的な状況下での徹夜作業にも拘わらず、何故か深夜になると頭がさえ、もつれた糸が一瞬に解けるように問題が解決されたことを何度も経験した。今思うと辛かったことが沢山あったはずなのに、それが何故か良い思い出になっているのは何とも不思議である。

4．国産１号機出荷と完全国産化へ向けて

国産1号機（**図**4）は会社設立の1年後の1984年5月初めに、東北地方のNM社に納入された。納期短縮のため、工場での出荷前検査を省いての出荷であった。一部後送りの部品もあり、搬入後10日目で装置は組み上がった。国産1号機で、顧客も当社も心配の中で立ち上げが開始された。しかし、思いの外トラブルが少なく、順調に立ち上がり、性能もスペック以上のものが得られた。顧客から「やはり国産がいいですね」と言われた時は大変うれしかった。これまでの苦労が報われた思いであった。

図４　NV-10-80国産機

国産1号機の出荷後、国産化比率を高める仕事が続いた。最終的に100％国産化するには、なお8ヶ月を要した。その間に様々なトラブルに遭遇したが、顧客の協力や指導により成し遂げることができた。当時は、トラブルがあると顧客の技術者も一緒に徹夜し、汗を流しながら解決に取り組んだ時代であった。そのおかげで多くの事を学び、装置を改善することができた。顧客から強い要望のあった搬送系の信頼性向上も実現でき、顧客から与えられた目標のウエハーノートラブル連続搬送10,000枚も達成できた。

「NV-10」はDr. Peter Roseを中心とした物理学者によって開発された装置であり、機械系の設計製作技術には不十分なところが多々あった。SHIで鍛えられた機械技術者が国産化を通してこれを改善し、日本の顧客の要求品質レベルまで信頼性を高めることができた。米国と日本の技術がうまく融合できた良い例ではないかと思う。

5．「NV-10」を超えて

「NV-10」は当時ベストセラーであったが、数年を経ずして微細化の進行によりパーティクル低減やチャージアップ抑制の要求が高まり、新装置の開発が望まれた。当社ではこれに応えるため、「NV-10」の後継機として「NV-10SD」シリーズを、続いてさらに性能向上をめざし、ロードロック方式を採用した「NV-GSD」シリーズを独自開発した。この「NV-GSD」シリーズは、イートン社へも技術を供与し、全世界へ製品展開されてベストセラーとなった。「NV-GSD」シリーズは当社独自のビームライン開発や300mm化をへてさらに進化し、「LEX3-II」に至っている。最近では、高電流機の枚葉化に応じ、最新機種である枚葉式高電流イオン注入装置「SHX」シリーズを独自開発した。1992年以降は中電流イオン注入装置や高エネルギーイオン注入装置、フラットパネル用イオン注入装置へも分野を広げ、日本の総合イオン注入装置メーカとして、幅広くお客様にご愛顧いただいている。

今日の当社があるのは、設立当時からご指導いただいた日本のお客様のおかげである。紙面を借りて感謝申し上げたい。今後は、さらに技術革新につとめ、半導体産業の発展に尽力していきたい。

☆賛助会員紹介☆
シリーズ

㈱フジキン

代表取締役社長　小川 洋史

会社案内

私どもフジキンは、昭和5年配管機材・機械工具問屋として創業し、常に極限に挑戦し、技術の究極を越えることを企業ポリシーとしてまいりました。それによりまして、特殊バルブ機器類のみならず、精密バルブ機器、超精密電子ながれ（流体）制御システム装置の研究開発型企業として日々努力、邁進しております。

フジキンの製品は、高温・高圧や半導体製造に使用される毒性ガスなどの分野に使用され、これらに関して、「保安」「安全」「安心」を最優先しております。その結果、半導体製造装置用バルブ機器で国内70％のシェアを占め、宇宙ロケット用では国内シェアの90％。そのほか、原子力発電所、燃料電池、潜水調査船など、最先端の設備機器に数多く使われており、超精密バルブ機器・継手のトップメーカーの地位を確立いたしました。

これらの製品に関し、高くご評価頂いた結果として、2005年内閣総理大臣表彰「第一回ものづくり日本大賞（優秀賞）」を初め、2004年第一回から2007年第四回モノづくり部品大賞（各賞）（日刊工業新聞社主催）まで4年連続で受賞、2005年東大阪モノづくり大賞金賞を受賞するなど、その他数々の賞をいただいております。

事業紹介

フジキンは、国内におきましては、大阪（大阪工場・柏原事業所）、茨城（筑波フジキン研究工場）、岩手（東北サービス工場）に工場、研究所を大阪南港（大阪ハイテック研究所）や、大阪彩都（大阪ハイテック研究所分室）、東大阪（技術開発センター分室）や、山梨サービスセンターを置き、また、全国的に28ヶ所の営業所を設けて、サービス体制を強化しております。

ワールドワイドにおきましても、積極的に事業展開も行っており、アメリカ コネチカット、アイルランド、上海、台湾、韓国及びベトナムにも進出しており、現在ASEAN諸国なども準備中です。

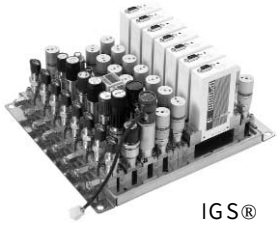
これら最先端生産拠点を軸に位置付けて、日本は東西2眼レフ体制から、アジアスクエア体制、世界モノづくりヘキサゴン体制（2-4-6極体制）へと、グローバルネットワーク化を進めております。

製品紹介

―IGS®（集積化ガス供給システム）―

半導体を製造する場合、ガス供給においては、ばらつきがあってはならないため、半導体製造用集積化ガス供給システム（IGS®）を開発いたしました。

この集積化ガスシステム（IGS®）は、①独自の高信頼性を実現するUPG継手、Wシールの採用による、リークフリー。②集積化され従来の1/3の占有面積として小型化。③機器交換は、上部着脱方式による、従来の1/5時間とするメンテナンスフリーが主な特長としてあげられます。



IGS®

―FCS®（Flow Control System）―

従来の流量コントローラとは全く異なる原理を採用した、圧力制御式流量コントローラ（Flow Control System）は、「オリフィス上流側の絶対圧力がオリフィス下流側の絶対圧力の約2倍以上になると、オリフィスを通過するガスが音速となり、それ以上にならないことから、その流量はオリフィス上流側の圧力のみに依存し、流量は圧力に比例する。」という原理（臨界膨張条件）を利用し、単体機器としてまとめたものであり、①供給圧力変動による流量変動がない。②高精度・高速応答。③取り付け姿勢の影響を受けない。④流量自己診断機能。⑤ガス種を選ばない。などの特長があげられます。

これらの特長を活かし、圧力調整器と監視用圧力計が不要となり、先の集積化ガス供給システム（IGS®）の小型化にも利用されています。

その他、フジキンでは、「他社がやらない」「他社が出来ない」技術へのこだわりと、学問に基づいた研究開発や、鍛造から研磨完成検査までの一貫生産システムによるホンモノづくりで、ながれ（流体）制御に関する科学技術創造企業として今後も更なる新製品・技術の開発と、応用分野の拡大を予定しております。

SSIS会員の皆様には、幾多のご指導を賜り大変ありがとうございました。心から感謝申し上げます。今後とも一層のご指導、ご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

半導体シニア協会も来年は10年を迎えることとなる

10周年記念準備委員長　鈴木 司郎

来年の1月は半導体シニア協会がスタートしてより10年になる。

ヘーゲルに「歴史には幸福なページは多くない。そして幸福なページは空白だ」の言葉がある。確かに過去を振り返ると厳しいことが多く、一般ニュースでも微笑より眉をひそめる事が多い。併し現実に人の活動の場があれば、誰かがその場を支えて来たのである。SSISは10年間の各年の半導体関係者の集いを思い返し、現状を見つめ、新たなる道筋に歩を進めるべく式典を開催することとし、記念準備委員会を設置した。

先ず脳裏を走るのは、1997年。川西代表、河崎委員長等が協会準備委員会を設立し「長年半導体産業に携わってきた人が、経験と知識を無とせず、国の内外を問わず半導体産業の永続的発展に寄与すべし」との想いで協会設立に動かれた。翌1998年1月23日にホテルグランドパレスで半導体シニア協会が設立・スタートした。当日は半導体部品・製造装置と官公庁の方々のお祝いを受け、参加者も多方面の人の集まりとなり、盛大且つ順風満帆の出航であった。事務局は文京区本郷4丁目。事業は東大赤門脇学士会分館で実施していた。関西も3月スタートと同時にシステムLSI学院で事業も開始した。各経験知識のある会員が事業を遂行した。財務に関しては、スタート時、好況で会員・賛助会員の会費納入も順調で大助かりであった。また、SSISは早期に編集委員会を設けて会の状況を伝える会誌「アンコール」を、新規・独創性情報を遵守して発刊、継続してきている。

話は先走ったが、世の景気は常に順調とはいえず、ブレイクダウンの大不況となり2001年02年には、各企業が社内事業調整、人員整理等のリストラとなり、SSISも打撃を受け、アンコール発行数とページ数削減の苦慮にも見舞われた。03年4月には事務所を本郷より文京区大塚に移し、事業も地下鉄茗荷谷下車の全林野会館に代えた。更に財務・人材不足で事務員不在の異常時を招くが「捨てる神ありゃ、拾う神あり」、よき運営委員が活動をはじめ、慣れない会の案内、コピー、会場設定等を行った。又走り回ってくれた女性達も忘れられない。皆が、責任感を再認識して全てをオープンで行い、まとまりあるSSISであった。03年総会は「大変ですね」の声を受けつつも、多人数の出席で不況を問わず「半導体此処にあり」の感を抱いた程であった。此の機（04年）に、他依頼の事務処理も含めてSSIS自立への想いが募り、事務局を日本橋に移転。だが、熱意ある当時の事務局長は都合で米国に戻ってしまった。併し、現事務局長が04年秋には就任し、委員会をはじめ各部門の微細な庶務事項に至るまで各種事柄をよく処理してくれている。場所も現新宿に移転。各部門事業は、責任者の努力で所定形式を整え、定例事業として認知されてきている。同時に、会長の大変なご努力、副会長、諮問委員の方々による良き賛助会員、総会での多数人の参加等、又、常なるバックアップの賛助会員、事業での良講師、見学時の好配慮の企業や研究所、事業多参加の会員、又、多行事への参加と人的交流推進の運営委員等、思い起こすと切りの無い程である。個々の事は事務局長まとめの10年史表に記録され、主事項は予定の「アンコール」10周年特集号に記載されるであろう。

さて10年は単なる年数で、黙して通過するか、立ち止まって明日を想うかでその意味は異なる。「回顧と反省、義務・責任」を持ち得るのが人間・社会人である。準備委員会は上記の経過を思い起こして式典を迎えることとした。本年初春の未だ肌寒さ残る時、5月連休の頃、そして7月猛暑の日、各委員が集い討議を重ねてきた次第である。過去を充分に振り返り、現時点を凝視し、新体制・新ベクトル方向に進展させるべく、明日へ1拠点としての祭典を開催することとした。（準備委員会：［委員長］鈴木司郎［副委員長］秋山信之/鎌田晨平［委員］内田雅人/岡田 隆/木内一秀/和田俊男/片野弘之）

新入会員（2007.7.11～2007.9.30）

個人会員

周藤 仁吉　㈱日立製作所
宍戸 利光　㈱AWS
Halonen Timo　Asia Business Advisor㈱

賛助会員

㈱シスウェーブ

（入会順、敬称略）

新会員の一言

周藤 仁吉 会員（㈱日立製作所）

半導体産業に36年間携わり一区切りです。SemiのISSジャパン（現ISTF）委員も20年間継続しましたが、新たな気持ちで進みたい。

ご寄付芳名（No.51掲載報告以降2007年9月30日まで）

前回報告以降、ご寄付をお寄せいただきました方は下記の通りです。厚く御礼申上げます。

山根 正熙（敬称略）

《協会行事のお知らせ》

海外半導体企業視察旅行のお知らせ

1. 期日：10月29日（月）～11月2日（金）
2. 行先：台湾―高雄・台中・台北地区
3. 訪問企業（予定）：Formosa SUMCO Technology社、Winbond Electronic社、Etron Technology社

（詳細は別途ご案内申上げます。）

SSIS秋季特別セミナーのお知らせ

1. 日時：11月29日（木）15：00～20：00
2. 会場：大阪倶楽部（大阪市中央区今橋）
3. 講演：

「インドにおける半導体技術者の活用」
―私の経験から
FTD社テクノロジーアドバイザー　喜田 正喜 氏

「私の歩んできた道」
―ステッパーと日本製造業の変遷
㈱ニコン相談役　吉田 庄一郎 氏

SSIS九州地区工場見学会のお知らせ

1. 期日：11月30日（金）AM（予定）
2. 訪問企業：富士電機システムズ熊本工場
（最新アモルファス型太陽電池を生産）
3. 同時企画：半導体国際学会AEC/APCの聴講
（11/29、11/30熊本市で開催）

SSIS 12月度研修会のお知らせ

1. 日時：12月13日（木）17：00～18：30
2. 会場：全林野会館（東京・文京区茗荷谷）
3. 講演：「MEMSの現状と今後の展望」
東北大学大学院工学研究科教授　江刺 正喜 氏

―SSIS設立10周年記念式典のお知らせ―

SSISは来年1月、設立10周年を迎えます。現在、鈴木司郎運営委員を委員長に実行委員会で記念行事の計画を具体化中です。逐次ご案内申上げます。

［記念式典の概要］

1. 開催期日：2008年1月31日（木）13：00～19：00
2. 会場：如水会館（東京・神田一ツ橋）
3. 式次第：
   - 記念式典（13：00～14：00）
     ［会長挨拶／来賓祝辞／式典行事］
   - 年次総会（14：00～15：30）
   - 記念特別講演（15：30～17：00）
     講師：㈱東芝首席技監　斎藤 光男 氏
   - 祝賀会（17：00～19：00）

SSIS事務局のメールアドレスが変更になりました!

新しいメールアドレスは

【9月15日より】

―info@ssis.gr.jp―

です。今後SSISへメールをご送信の場合、こちらのアドレス宛に願います。アドレス帳にご登録のある場合は更新をお願い申し上げます。

会員現況（9月30日現在）

個人287名、賛助53団体

SSISでは会員を募集中です。協会は求人・求職サポートや研修会等、活動内容の充実を図っています。

各会員の方は沢山のお仲間に協会をご紹介下さい。連絡先等を事務局までご一報いただければ資料をお送りします。

SSIS News Letter "ENCORE"　No.53
発行日：2007年10月12日
発行者：SSIS半導体シニア協会
会長　川西 剛
本号担当編集委員　岡田 隆
〒160-0022　東京都新宿区新宿5-14-3
有恒ビル4F
TEL：03-5366-2488，FAX：03-5366-2487
URL　http://www.ssis.gr.jp
E-mail：info@ssis.gr.jp