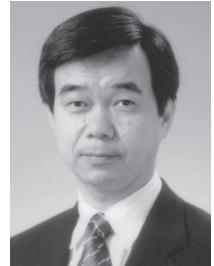


## ICT化社会における電子デバイスが果たす役割

1997年度エレクトロニクスソサイエティ  
和文論文誌編集委員会

委員長 横山 直樹



本誌の第1号が発刊された翌年の1969年、アポロ11号が月面に着陸した。人類が地球以外の天体に初めて足跡を残した科学史上最大の成果の一つである。このアポロ宇宙船の司令船と月着陸船に全航行機能を自動制御するアポロ誘導コンピュータ（Apollo Guidance Computer (AGC)）が搭載された。このコンピュータには、初期の半導体集積回路（IC）が使われた。二つの3入力ゲートから構成されるICをワイヤーラップという方法で接続、数千ゲートの規模であったとされる。ゲートはレジスタ・トランジスタ・ロジック（RTL）、RAMは磁気コアメモリ（4Kワード）で、ROMはコアロープメモリ（32Kバイト）であった。

時ほぼ同じくして、現代の半導体大規模集積回路（LSI/VLSI）のもととなる電子デバイスが誕生していた。1968年、Dennard氏が、現在のDRAMの原型となる1トランジスタ・1キャパシタ型のメモリの特許として登録、1970年には、インテル社より、最初の商用DRAM-1Kbitsが発表された。更に同年、インテル社は最初のマイクロ・プロセッサIntel4004を発表、そして1972年には、8ビット・マイクロプロセッサIntel8008を発表した。その後、Dennard氏のスケールリング則を指針としてシリコンMOSFETの微細化と高性能化が進み、Moore氏のムーアの法則に従うように、半導体集積回路の大規模化が進められ、現在では、1GbitDRAMや3億個のトランジスタが集積化されたプロセッサが実用に供している。

一方、1969年、もう一つの大きなエポックがあった。米国カリフォルニア大学のホストコンピュータが米国国防総省の高等研究計画局（Advanced Research Project Agency）のネットワークであるARPAnetに

接続されたのである。これが現代のインターネットの始まりとされている。インターネットは、コンピュータと通信技術が融合することによって初めて可能となったが、この通信技術を支える電子デバイスが無線通信素子と光通信素子である。いずれも化合物半導体が半導体素材として主に使われている。なぜなら、化合物半導体は、シリコンよりも高い電子移動度をもつため、高周波通信素子や低雑音通信素子の半導体素材として有望であるとともに、直接遷移型のバンド構造をもつため、受光素子、発光素子の素材としても有望であるからである。1970年にベル研究所により、AlGaAsとGaAsのヘテロ接合を用いた常温発振する半導体レーザが開発された。一方、1966年にカリフォルニア工科大学においてGaAsFETが発明され、1973年には富士通により高出力通信用のGaAsパワー FETが開発された。1979年には、AlGaAsとGaAsのヘテロ接合を用いたHEMT（High Electron Mobility Transistor）が同社より発明・開発されている。これら通信デバイスと、先に示した半導体LSI技術の進展により、現代のICT社会そしてインターネット社会が構築されたことはいうまでもない。本和文論文誌は、過去40年間、人類史上類を見ない技術大革新時代に生き、そしてそれら革新を支えてきたのである。

さて、今後の話をする前に、日本国内におけるこれまでの電子デバイスの研究経緯を振り返ってみよう。民間による半導体LSIの研究開発は、国家プロジェクトにより底入れされた。1975年に、NTTが超LSI開発プロジェクトをスタート。旧日電公社の研究開発部門である武蔵野電気通信研究所に、富士通、日立製作所、NECの3社が協力する形で、通信用超LSIの研究開発

が進められた。結果、3年間にわたる第1期計画で、64KDRAMと128KROMの開発に成功し、日本の半導体デバイス開発の牽引車となった。更に、NTTは78年から同じ3年の期間で第2期計画をスタートさせ、サブミクロンデバイスへの挑戦に総力を結集していく。一方、NTTの計画に1年遅れの1976年に発足したのが、旧通産省による超LSI技術研究組合で、とりわけ工業技術院電子技術総合研究所と富士通、日立、NEC、三菱電機、東芝による共同研究所の活躍は目覚ましかった。LSIを使った国産コンピュータを開発するという共通のフラグシップがあった。この共同研究は、結果として半導体製造技術の標準化に貢献し、異なる組織から人が集まって共同で仕事をするプラットフォームを作り出した。微細加工に集中した新しい製造技術の立ち上げは、共同研究所の主要テーマとなり、ここからステッパー、電子ビーム描画装置などの画期的な装置が次々と誕生したとされている。日本の半導体産業はこれら国家プロジェクトの成功に支えられ、1980年代、日米半導体摩擦を起こすほどまでに発展した。しかしその後、自前技術の限界、日本市場の相対的縮小と強力な海外アプリの台頭、総花的ビジネスと国内過当競争などが原因となり低迷、業界再編が進むとともに、現在ではビジネスと研究開発のグローバル化が進み、国内の技術空洞化も懸念される状況に陥っている。

化合物半導体電子デバイスの研究については、1981年からの大型プロジェクトによる「科学技術用高速計算システム」や次世代産業基盤技術制度による「超格子素子」などにより底入れされ、本分野においては、他国を圧倒し常に世界をリードして来た。しかし、化合物半導体の光応用以外は、化合物半導体が切り開いた市場をシリコンデバイスが置き換えていくという構図が続き、なかなか化合物半導体自体の市場が伸びていない。米国においては確固たる軍用市場があるのと対照的である。それでも、高効率の高周波デバイス、通信用高速集積回路等の分野では化合物半導体デバイスが活躍しており、現代のインターネット社会を支える必要不可欠な電子デバイスとなっている事実は変わらない。現在では、低消費電力性に注目が集まっており、低炭素化社会を目指したGaNHMTパワーデバイスの研究開発が勢力的に行われている。

さて、21世紀のICT社会は、新たなるパラダイムシフトを迎えようとしている。コンピュータ中心の世界

から、ネットワーク中心の世界を経て、人間中心の世界となるシフトである。いつでもどこでも欲しい情報がとれるのは当然として、人の安心と安全をまもり、そして人の社会活動を支援していく世界、すなわち真のユビキタス社会が到来するだろう。しかし、この新しいICT社会を構築しようとするれば、これまでの技術の延長だけでは、ICTの使用するエネルギーがこれまでの10倍以上増大し、地球環境を脅かすというジレンマに遭遇する。このジレンマを克服し、環境にも優しいICT社会を構築するためには、電子デバイスに新たな技術革新が必要である。微細化と高集積化を追求するだけでなく、これまで蓄積してきた半導体を含むエレクトロニクス技術と日本の強みとするナノテクノロジー・材料技術を融合させたナノエレクトロニクスが、その技術革新をもたらす最有力候補と考えている。

2009年の3月に、(社)電子情報技術産業協会(JEITA)と産業競争力懇談会(COCON)が、日本として強化すべきナノエレクトロニクス研究として、4分野10研究テーマを提言した。筆者もこれら検討委員会のメンバに加わった。第1の分野は、スケーリングCMOS技術をベースとして日本の強みである光技術やカーボン材料技術との融合によって半導体の付加価値を高め、半導体産業の進展とともに新しい産業創出をねらう「シリコンベース・ナノエレクトロニクス」の分野、第2の分野は、真空管からトランジスタ、バイポーラからCMOSのように電子デバイスの世代交代を可能とする「革新的電子デバイスの創出」の分野、第3の分野は、環境に優しいユビキタス社会実現に向けたアプリ指向の「アプリドリブン・ユビキタスデバイス」の分野、そして第4の分野は、ナノエレクトロニクスの研究開発を支える共通基盤技術として、シミュレーション技術、評価技術、そしてデータベースの蓄積とデータマイニング技術を開発し統合する「ナノエレクトロニクス共通基盤技術」の分野である。具体的な研究テーマとして、10テーマを選んだが、その中の次の三つのテーマを日本として戦略的にそして集中的に進めるべきテーマと位置づけた。第一に「ナノCMOS」であり、微細化を推進していくためのキーテクノロジーとなる材料や新構造デバイスの研究開発、第二に「カーボンエレクトロニクス」であり、カーボンナノチューブやグラフェン等のカーボン素材を利用した環境に優しいユビキタスデバイスの開発、そして

第三に、「シリコンフォトニクス」であり、電子と光の融合を図ることによりICT機器の高性能化と低消費電力化をねらう研究開発である。

これらナノエレクトロニクスの研究開発により、ウェアラブル端末やユビキタス端末などの情報機器においても、新たな動作原理やアーキテクチャの導入により先端半導体の限界を延ばし、微細化・省エネ化をより推進することができると考えられる。更に、異分野との融合が可能となり、考えられないほど多くの機器に対するアプリケーションを生み出す。センサ機能などが融合することで、車載、防災、商取引・流通、金融与信、更にナノバイオ機能などが融合することで、医療・予防から、生物の栽培・養殖、エネルギー変換との融合により、エネルギー自給、エコ住宅・都市にまで応用分野が広がる。ナノエレクトロニクスによる機器応用の市場規模は、国内だけで2030年にはGDP換算で80兆円に及び、更にそれらは社会の不可欠な要素として、日本が今後直面する高齢化や、食糧・エネルギーなどの自給化にも大きな貢献を果たすと考えられる。

ナノテク・材料技術の研究は、日本の公的研究機関・大学・企業の研究所が長期にわたり行っており、世界的にも高いポテンシャルを有している。今やそれ

らを半導体エレクトロニクス技術と融合することで、新たなナノエレクトロニクス基幹産業の創出につながる時期を迎えている。日本の公的研究機関・大学・企業の研究者が、一堂に会する共通の場を設けることにより、日本のグローバル化したエレクトロニクス・半導体企業のアプリや蓄積した技術と融合し、新たな産業創出と繁栄をもたらすと期待される。日本の総力を結集して第二の産業の米と目される「ナノエレクトロニクス」の研究を推し進め、環境に優しい真のユビキタス社会を築こうではないか。これまで以上に、学への期待は大きい。

よこやま なおき  
横山 直樹（正員：フェロー） 1973大阪大学大学院基礎工学研究科了。同年、富士通研究所入社。以来、化合物半導体デバイス、量子効果デバイス等、先端デバイスの研究開発に従事。1991機能デバイス研究部長、1999主席研究員を経て、2000年6月富士通研究所フェローに就任。同年12月に、ナノテクノロジー研究センターが創設され、センター長を兼務、現在に至る。1984工学博士（大阪大学）。2007年4月より、東京大学客員教授の称号授与。

JSTさきがけ「ナノ製造技術の探索と展開」研究総括。  
産業競争力懇談会（COCN）ナノエレクトロニクスプロジェクトリーダー。

IEEE Fellow, 応用物理学会フェロー。  
受賞歴：1987 GaAs国際シンポジウムYoung Scientist Award。  
1998 IEEE Morris N. Liebmann Memorial Award。