半導体デバイス

●微細化を越えて機能融合へ

WGリーダー　高田　裕，堀川　剛

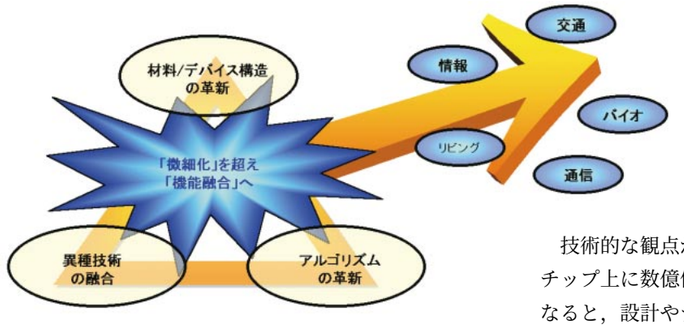


図１．半導体デバイスのコンセプト

1．半導体デバイスの20世紀の歩み

1958年のIC発明以降，半導体デバイスは，大規模化と高集積化が進むとともに，情報・通信・生産分野の飛躍的な技術革新を促してきた。

特に近年の“IT革命”とも称せられる情報・通信技術の急激な進展は，シリコンCMOSを用いたマイクロプロセッサ，メモリ，システムLSI，及び化合物半導体を用いたレーザや高周波ICなどの多種多様な半導体デバイスの高性能化によって支えられてきた。半導体デバイスは今後とも産業基盤を支えるキーデバイスと位置付けられるが，微細化のみに頼る高性能化には限界が見え始めている。

2．半導体デバイスの21世紀のコンセプト：“微細化を越えて機能融合へ”

21世紀を豊かにするため半導体デバイスの進化を必要とする多くの産業分野がある。例えば情報通信分野では，高速化／高帯域化に伴って，携帯端末や情報家電が扱う情報量も増えるので，大量の画像データを高速に処理でき，しかも低消費電力な半導体デバイスが求められる。また，次世代交通システムやホームネットワークの普及により，多様な通信方式に対応した半導体デバイスが必要になる。高齢化に伴い，高齢者がシステムを利用する際に複雑な操作を求めない平易なインタフェースや受診時に患者の身体的な負担の少ない医療用デバイスへの期待も高くなる。

環境負荷低減の要望から省エネルギーが重要な要素となる。HEV（Hybrid Electric Vehicle）やEV（Electric Vehicle）などの普及，省エネルギー家電の拡大を実現するために，半導体デバイス自体の低消費電力化が更に必要となる。

技術的な観点からは，高集積化に伴う問題点がある。１チップ上に数億個レベル以上のトランジスタが載るようになると，設計やテストに膨大な時間が必要となる。

上記の高集積化・低消費電力化・多機能化など多様なニーズを満たすには，これまで主流であった微細化技術だけでは対応が難しい。このため，**図１**に示すように，材料・デバイス構造の革新，アルゴリズムの革新に支えられた異種技術との融合による新しい半導体デバイスが必要とされる。この新しい半導体デバイスによって，**図２**に示すような，多くの産業分野の革新が可能になり21世紀の社会と生活を支えるだろう。

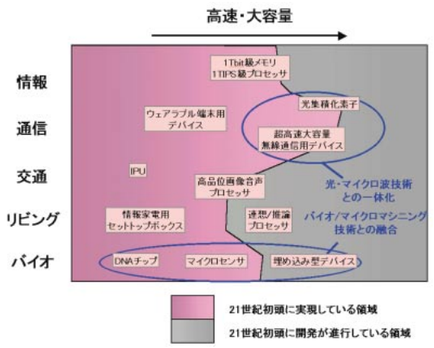


図２．21世紀初頭の半導体デバイスと応用

3．実現のための技術課題と当社の取組

⑴　新材料導入と新規デバイス構造採用による高性能化

ロジックデバイスの高速化や携帯機器向けのデバイスの低消費電力化を実現するためには，従来の微細化トレンドの実現に加えて，デバイスを構成する材料や構造面でのブレークスルー技術が必要となる（**図３**）。材料では，高誘電体ゲート絶縁膜や金属ゲート電極などの導入により，構造面では縦型トランジスタやサラウンドゲートSOI（Silicon on Insulator），新しい配線構造などの開発によってCMOS技術の革新が図られる。情報通信ネットワークの超高速基幹システムに対応する全光素子には，高い電気光学効果を持つ材料が適応される。高出力高周波デバイスには，窒化ガリウムやダイヤモンド薄膜といったワイドギャップ半導体の利用が進む。パワーエレクトロニクス分野では，高耐圧化・低消費電力化がシリコンカーバイトなどの新材料の導入によって実現される。

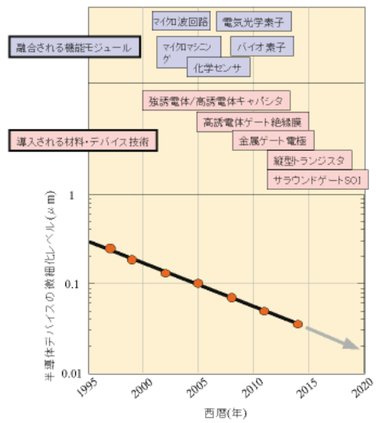


図３．半導体デバイスの微細化トレンドとブレークスルー技術

当社では，次世代の半導体材料・プロセス技術として，金属ゲート電極や高誘電体キャパシタ，低誘電率層間絶縁膜などの数十ナノレベルのデザインルールを実現するCMOS技術やパワーエレクトロニクス用シリコンカーバイト素子，超高速光通信用レーザダイオードなどの開発に取り組んでいる。

⑵　アルゴリズムの革新による回路設計容易化とデバイスへの適応

大規模システムLSIを短期間に実現するためには，IP（Intellectual Property）コアと呼ばれる再利用可能な機能ブロックの活用や，遺伝アルゴリズムなどの自己組織化アルゴリズムを用いた最適回路設計によって設計効率の向上が求められる。また，プッシュ型マンマシンインタフェースを実現するために，人間的な認識・推論をサポートするプロセッサアーキテクチャも開発される。

当社は，IPコアの活用やソフトウェアの開発効率の向上を全社的に進めている。さらに，遺伝アルゴリズムを使った回路最適化などの検討も進めている。

⑶　異種技術との融合によって実現する多機能化

マイクロ波，光，マイクロマシニング，化学センサ，バイオなどの異種技術に基づく機能モジュールを融合することにより，通信や医療などに適用可能な多様な機能を持つシステムLSIが実現される。情報通信の分野では，光及び無線系の基幹システムに光やマイクロ波技術と半導体技術が融合した超高速／大容量通信用システムLSIや１チップ通信LSIなどが登場する。医療分野では，マイクロマシニングやバイオ技術と融合することによってマイクロセンサが実現される。これにより，診断や治療の低侵襲化が可能になる。更に進んだ治療を目的に，体内埋め込み型の治療用デバイスの開発も進められる。

当社では，異種機能モジュールの融合として，情報端末への応用を目的に，高周波回路とロジック回路との混載化や三次元実装によるシステム化などに取り組んでいる。

また，マンマシンインタフェースの高機能化のために，機能モジュールの融合を行った例として，当社が独自技術で開発した人工網膜LSIが挙げられる。人工網膜LSIは，画像検出機能とその処理機能がチップレベルで融合しており，リアルタイムの画像処理を可能とする。**図４**に人工網膜LSIのチップ写真を示す。

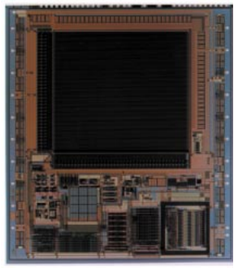


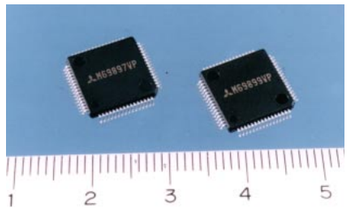
図４．人工網膜LSI

0.18μm SOIプロセスを用いた高速通信用LSI

0.18μm SOI（Silicon On Insulator）CMOSプロセスを用いた2.5Gbps 16：1マルチプレクサ（M69897VP）と1：16デマルチプレクサ（M69899VP）を開発した。これらの製品は，高速光通信ネットワークで用いられ，信号の多重化・分離化を行う。

SOI CMOSプロセスを用い回路の最適化を行うことで，マルチプレクサ／デマルチプレクサの消費電力をそれぞれ310mW，340mWに抑えた。これらの値は，GaAsやSiバイポーラ技術を用いた従来のチップの半分である。

今後は，フレーム処理や符号化／復号処理等のIP（Intellectual Property）の拡充を図り，同時に，10Gbpsで動作するチップの開発を目指す。



M69897VP，M69899VP