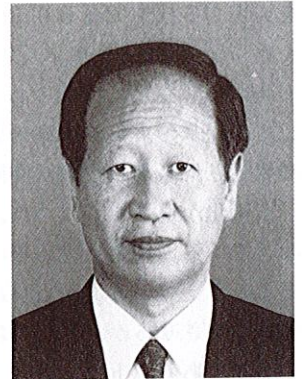


21世紀を拓く部品・材料技術

Toshiba Semiconductor Technologies in the 21st Century



眞鍋 研司
Kenshi Manabe

1 優れた機器・製品は優れた部品・材料から

1897年に英国のケンブリッジにおいてJ.J.トムソンが初めて電子を発見してから、今年ちょうど100年目にあたる。このわずか100年たらずの間に、量子論や電磁気学などの理論の確立、微細加工技術などの生産技術の発展に支えられ、電子を用いた情報処理技術、エネルギー変換技術の目覚ましい発展があり、さまざまな機器・製品が世に誕生してきた。

この流れの中で、“優れた機器は優れた部品を組み合わせること”によって、また、“優れた部品は優れた材料を組み合わせること”によってだけ構成されることが明確になった。その結果、将来のさらなる発展に向けての部品・材料の開発に携わる技術者の責任はますます重くなっている。

部品・材料の研究・開発は、きっちりとした理論の裏付けがあり、ユーザの信頼を十分得られるものでなければならない。このような観点から、当社は材料、基礎原理の開発にはしっかりと十分な時間をかけるよう心掛けている。この技術の蓄積により市場のタイミングに合わせたスピーディな商品開発が可能となる。

21世紀に向けて、情報・通信・映像が融合したマルチメディアの分野および地球環境にやさしい技術の分野が大きく成長するが、今回の東芝技術展では、マルチメディアを支える技術という観点から、ますます微細化が進みデジタル化の進展を加速している基盤部品である半導体、人とのインタフェースで重要な役割を果たすディスプレイ、デジタル化された大量のデータを保存するための記憶装置など、また地球環境にやさしい技術という観点から、エネルギー消費をより効率的にかつクリーンに行うための精密制御にはなくてはならないパワー素子など新しい商品を中心

に紹介するとともに、それらを支える基礎技術、さらには将来の発展に向けての基礎技術の開発方向を示すことを試みた。具体的には、新しい分野としてCMOS（相補型金属酸化膜半導体）イメージセンサに代表されるように、市場のニーズ・タイミングに合ったものをはじめ、英国 東芝ケンブリッジリサーチセンター（TCRC）の成果や、ギガビットメモリの要素技術など、基礎技術の着実な開発への取組みを示した。

以下にこれら主要分野における当社の取組みを紹介する。

2 部品・材料分野への取組み

2.1 LSI

LSI 分野での21世紀に向けての技術開発の焦点は、微細

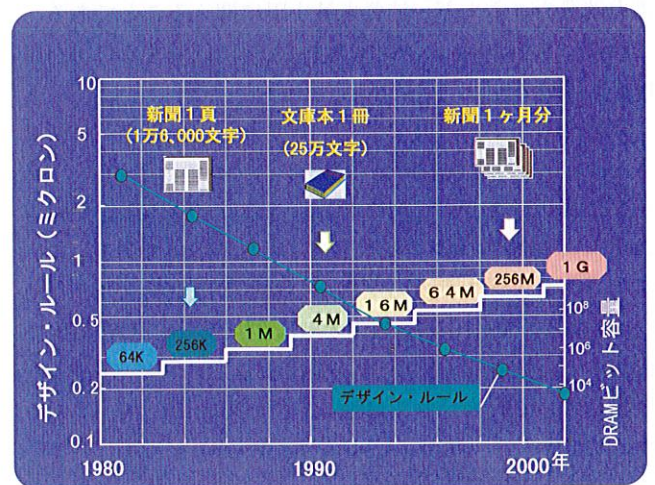


図1. 集積度の進展 (DRAM) 3年で4倍のメモリ容量の増大を実現した。

Progress of integration (DRAM)

化の加速とそれによる高集積・高性能化の技術開発であり、それに伴って発生する種々の困難をいかに解決し、従来の成長路線を維持するかにある(図1)。

微細化に関しては、間近に迫った1ギガビットDRAMの技術はすでに解決済みとして、次世代の4ギガビットDRAMを実現する技術である0.12 μm レベルの微細加工ができるX線リソグラフィやマスク技術を開発した。また、DRAMのユニークな基本技術であるデータ記憶用キャパシタに関して、従来のトレンチ型の要素技術に加えてスタック型に必要な高誘電率層間膜を開発した。

微細化が進行するにつれ、必然的に新たな技術的課題が起きてくる。現時点でのその主な課題は大きく分けて二つあると考えている。一点目は、微細化に見合っていくかに性能を向上させるか、二点目は、消費電力をいかに低く抑えるかである。トランジスタのスイッチング特性は、微細化により十分高速になっても配線に起因する遅延が増大する傾向にあるため、期待するほど性能が向上しない。したがって一点目の課題に対しては、配線金属の低抵抗化と配線間絶縁物の低誘電率化が重要であり、配線間を空洞にした空気絶縁配線の開発を行っている。二点目に関しては、微細化により必然的に要求される低駆動電圧化や寄生容量の低下が低消費電力化に貢献している。ただし、それにも増して集積度の上昇、動作速度の向上の結果、新たな技術対策が必要となる。

プロセス面では薄型トレンチ分離技術による拡散層の寄生容量の削減などを開発してきたが、回路面でも可変しきい値(Variable Threshold)CMOS(VT-CMOS)、パストランジスタの採用、CADソフトウェアによるトランジスタサイズの最適化などに取り組んでいる。VT-CMOSのコンセプトは、動作速度の要求や動作/待機モードの切換えに応じて、最適な電源電圧やしきい電圧を自動生成することで、電力消費やエネルギー消費を最小限に抑えることである。これにより2010年に消費電力を1/15に低減することを目標としている。

今後の微細化の進展により1,000万ゲート以上が集積できるようになり、現在考えられるシステムのほとんどを1チップに載せることも可能になる。このことが“21世紀はシステムオンシリコンの時代”といわれる理由である。エレクトロニクスシステムの中核をなすものはマイクロプロセッサである。微細化の進展とともに64ビット、200MHzで動作する高性能なRISC(縮小命令セットコンピュータ)が登場している一方、さらに性能を上げるため、スーパースカラ、VLIW(Very Long Instruction Word)など新しいアーキテクチャが開発されてきたが、並列型アーキテクチャが主流となると考えられている。しかし、今後のマイクロプロセッサの性能向上を制限するものにメモリの転送速度も挙げられる。この点からも高速のDRAMを混載したシステ

ムオンシリコンが必要になる。このような非常に性能の高いコンピュータが1チップで形成できるとどんなことが可能になるだろうか。21世紀には画像圧縮・伸張などで10GMOPS(Million Operation Per Second)以上の高性能なMPUが期待できるのでHDTV(High Definition Television)を始めとする主要なシステムはほとんどソフトウェアで動作させることが可能となる。

当社ではすでにメモリ・ロジックの混載技術を確認し量産中であり、さらなる微細化に向けて技術開発を行っている状況にある。また、設計に関して、各種コアを自由に扱えることを目的としたVSI(Virtual Socket Interface)コンソーシアムを推進し、設計の容易化、迅速化を進めている。

2.2 ディスプレイデバイス

携帯機器の発展に伴って大型で低消費電力の見やすいディスプレイが要求されてくる。これらの解決策として印刷物以上の見やすさを実現した反射型LCD(液晶ディスプレイ)、視野角の広いLCD、より明るいディスプレイ技術などに注力している。将来動向としては、アモルファスシリコンTFT(薄膜トランジスタ)-LCDに替わり電流駆動能力に優れ、リーク電流の低い低温ポリシリコンTFT-LCDが急速に主流となると想定される。30インチから40インチまでの大画面ディスプレイでも、ポリシリコンTFT-LCDを使用したプロジェクション方式が有力となっている。ポリシリコンTFTは周辺回路も大規模に取り込める可能性を秘めているため、今後もっとも注目される技術である。

一方ブラウン管の進歩も止まることなく、ブラウン管のもつ高輝度、高コントラストの特長はいまだ他のデバイスでは実現できない。図2に示すように多電子銃ブラウン管

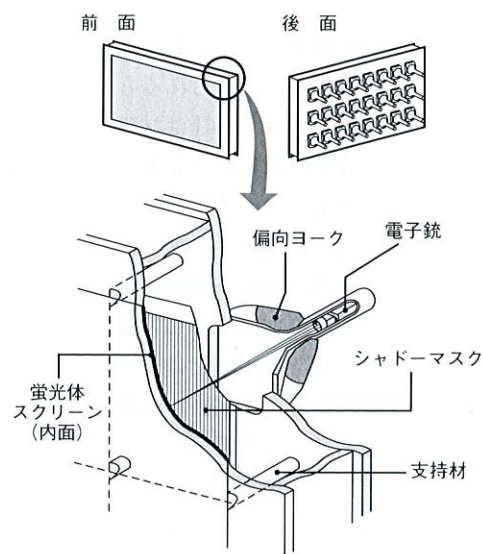


図2. 薄型大画面ブラウン管の構造 小型のブラウン管を並べて一体化した構造になっている。

Structure of thin and large screen CRT

方式による薄型・大画面で、かつ画面を完全に平面化した32インチテレビを出展したが、その明るさ、コントラストの良さで多くの観客を魅了することにより、このサイズ領域でのディスプレイの主役となれる可能性を示した。

2.3 パワーデバイス

環境問題から発電所、高圧鉄塔の立地確保がますます困難となっている。したがって、送電網の効率的運用が必要となる。また、情報機器の普及から高品質の電力供給が求められている。これらを達成するにはパワーデバイスによる電力の精密制御が必要となる。

超高压直流送電に用いられる光トリガサイリスタ (LTT) はゲートを光信号によりトリガするパワーデバイスであり、落雷などに遭っても誤動作しにくく、またデバイスを組み込む機器をゲートドライブ機器から切り離して設置できるなどの利点がある。当社のLTTは陽子線の選択的照射、アロイフリー技術などでいっそうの特性改善、品質向上を図っている。

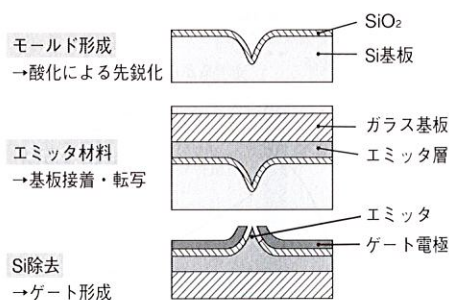
現在、高速鉄道、産業機器に広く用いられているゲートターンオフサイリスタ (GTO) もまた、陽子線の選択的照射、微細化により、高速スイッチング特性を高めている。これらサイリスタ系デバイスはシリコンウェーハの大口径化の流れに合わせて着実に高耐圧、大電流化に向かっている。

産業機器、家電機器では省エネルギー化によりインバータ化が急速に進んでいる。このような機器に最適なデバイスとしてIGBT (絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ) がある。IGBTはMOSFET (MOS型電界効果トランジスタ) の一種であり、MOSFETのドレインにp層を付加しここから少数キャリアを注入し、より低オン抵抗化を図ったデバイスである。したがって、MOSFETの利点であるゲート電圧駆動、高速スイッチング特性、破壊しにくい、などを受け継ぐ非常に使いやすいパワーデバイスである。今後はゲートのトレンチ化を図りいっそうの低オン電圧化、高速スイッチング特性の向上、波形のソフト化による電磁妨害 (EMI) 対策に進むとともに、IGBTチップをゲート駆動回路、保護回路と一体化したインテリジェントモジュール化も進む。また、信頼性を向上させるため多数のチップを並べてアロイフリーの平型パッケージに組み込んだIGBTも完成した。21世紀の電管用や電気自動車市場においてIGBTは魅力的なキーデバイスである。

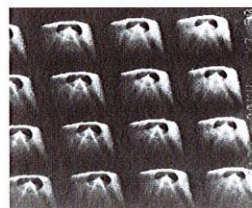
IEGT (電子注入促進型トランジスタ) はIGBTの構造をさらにくふうして、スイッチング特性を落とさずに、少数キャリアの蓄積を高め、いっそうの低オン電圧化を図ったものである。これによりGTO領域へのMOS系デバイスの進出を可能にした。GTOと比べて、ゲートが電圧駆動であるため、ゲート駆動装置が小型になるほか、高速スイッチング化により、スナバコンデンサ、リアクトルなどが小型化できる。このため21世紀の電車、大型産業機器ではGTO

に替わるパワーデバイスとして期待されている。

さらに先の技術として真空マイクロ素子がある。真空マイクロ素子は冷陰極管の一種である。LSIの微細化技術を適用して超先鋭エミッタを形成し、その部分に発生する高電界により電子を放出する。今回シリコンを鋳型として使う“転写モールド法”を使用することにより、歩留まり良く微小素子を形成することに成功した。個々の素子はミクロン単位の大きさであり、取り扱える電流は小さいがこの素子を無数に並べることにより、耐圧の高い、かつオン電圧の低いパワーデバイスができる可能性がある (図3)。



(a) 転写モールド法素子作製プロセス



(b) ゲート付きエミッタアレー

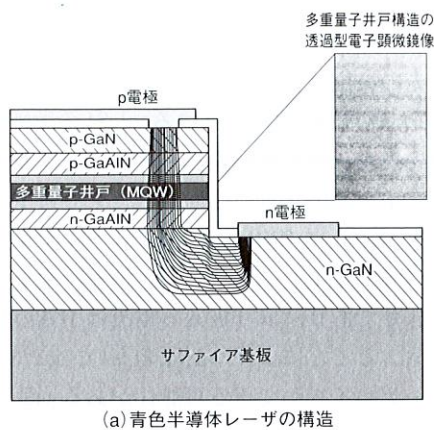
図3. 真空マイクロ素子 当社独自の素子作成技術により、世界でもっとも先鋭で均一な電界放出エミッタアレーを実現した。

Vacuum microelectronic device

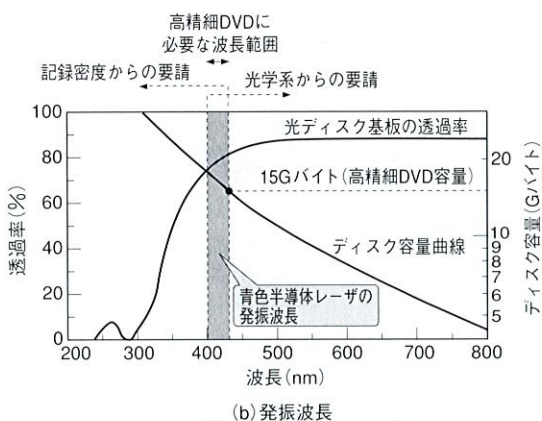
2.4 記録・オプトデバイス

半導体以外の記録デバイスとしてHDD (磁気ディスク装置) やDVDがある。HDDは過去10年間で約100倍の記録密度を達成する伸びを示してきたが今回MR (磁気抵抗効果) ヘッドに比べ、3倍以上の出力が出るCoFe系GMR (巨大MR) ヘッドと低ノイズ媒体を用いて5 Gbps (bit per square inch) 級の記録密度を達成し、この伸びが今後も続く見通しを得た。DVDについては410nm波長の青色の半導体レーザ開発の成功によって、現行DVDの3倍の記録密度達成への確信を得た (図4)。また、DVD-RAMのキーデバイスとして、データの書込み・消去に必要な30mW以上の高出力赤色レーザも開発した。

将来の高記録密度化に向けた先端技術として、シリコン基板上に直径10nmの分子ドットを自己組織的に構成し、



(a) 青色半導体レーザーの構造



(b) 発振波長

図4. 青色半導体レーザーの構造と発振波長 発光層に有機金属気相成長法によって原子層レベルで制御された多重量子井戸構造を採用し、発光効率を高めた。

Blue laser diodes

電荷により分子ドットの発光、消光を制御する新しい原理の発光型記録媒体を提案している。これは現行DVDの数百倍の記録密度をもつ可能性をもっている。

2.5 先端要素技術

マルチメディア時代を可能にしたのは、LSIの指数関数的なコストパフォーマンスの向上である。微細加工技術の適用によるLSIの高集積化は、次々に技術障害を突破し、年々ますます加速されているようにも見える。

当社が注力する技術の具体的成果として、CMOS微細化の限界が $0.04\mu\text{m}$ ゲート長より先にあることの確認、LSIの高集積・高速化に伴って発生する問題を解決し特性を落とさずに消費電力を1/100に下げる技術、配線容量を減らし高速伝達を可能とする技術、原子レベルでのデバイスシミュレーション技術、さらに高周波からベースバンドまで1チップで構成するためのCMOS-RF (Radio Frequency) 技術な

どが挙げられる。これらの要素技術を結集して、大規模システムのオンチップ化が可能となる。また、LSIユーザのいっそうの便宜を図るべく他社製IP (Intellectual Property) コアとの相互乗入れを可能とするVSI設計手法にも注力している。ではこの先に来るものはどのようなものであろうか。当社研究開発センターでは現在のCMOSを越える素子を目指して“三端子シリコン表面接合トンネル素子”や“シリコン単一電子トンネル素子”の研究開発を進め、さらには新概念を求めて東芝ケンブリッジリサーチセンターで次世代への基礎研究を進めている。

2.6 その他

モバイル時代を象徴する携帯機器のキーデバイスとして、二次電池、DC-DCコンバータ、光ファイバ、あるいは、低消費電力型イメージセンサ、メモリカード SmartMedia_{TM}などの周辺デバイスなどがある。

特にCCDイメージセンサに替わるCMOSイメージセンサはCMOS-LSIとのプロセスの共有化により、1チップスチルカメラへの道を切り開くものであり、その低消費電力特性と合わせてデジタルカメラ、パソコン(PC)、テレビ電話など、マルチメディア機器への応用がおおいに期待できる。今回の発表では130万画素のセンサを試作し、これを用いたデジタルスチルカメラでの撮影を実演して見せた。データの媒体としては64Mビット(8Mバイト)のSmartMedia_{TM}を使用した。このように高画質の画面データのPCやプリンタへの入力を行うことにより、将来のマルチメディア向けの画像入力システムのありかたを示した。

3 まとめ

東芝技術展では、部品・材料分野への取組みとして、“マルチメディア時代をリードするキーデバイスと材料”、“新エネルギー・環境共生社会を支えるパワーデバイス”、“新しい世界を拓く先端材料・デバイス研究”などについて紹介した。

情報・通信・映像融合分野、エネルギー・環境分野のニーズに対応する要素技術、材料技術のシーズを示したが、市場ニーズと当社のシーズとは良い製品を生み出す両輪であり、バランス良く最適に組み合わせることが必要である。

当社では今後も、お客様から信頼されて任せられるシーズの開発をきちんと進める一方、社内外のニーズにも敏感かつ迅速に対応するように努め、優れた製品を開発し続ける所存である。