

Green Clean Semiconductor

よくわかる半導体

ICガイドブック 2009 基礎編より

JEITA

社団法人 電子情報技術産業協会

IC Guide Book

よくわかる半導体



基礎編

Contents

1-1 社会の発展を支える半導体 2

- 身近な「半導体製品」 2
- 機器の進歩を加速する 3
- ネットワークを支える 4
- 省エネに貢献する 6
 - 半導体を用いたビルの省エネ
- 半導体産業の広がり 8
 - 半導体産業の特徴

1-2 半導体の働き 10

- 情報機器のすべての機能を搭載する携帯電話 10

1-3 半導体産業の歴史と発展 12

- 微細化によって付加価値を向上 12
 - 半導体産業の歴史

1-4 半導体はどうやって作られるか 14

- 半導体はナノスケールの加工を行っています 14
- ICの基本的な加工プロセス 15

ICのできるまで 16

半導体とは —— 半導体の基礎知識 18

1-1 社会の発展を支える半導体

身近な「半導体製品」

ICなどの半導体^{*1}製品は、身の回りにたくさんあります。携帯電話、カラーテレビ、パソコン、ゲーム機、冷蔵庫、エアコン、自動車、電車、飛行機、自動販売機、…。これ

ら電子機器のほとんどは半導体によって動いています。

しかし、機器の中に組み込まれているため、人目にはつきません。

例えば、携帯電話。会話をするだけの「電話機」だったのが、時計、電卓、電子手帳、メール、カメラ、音楽プレーヤ、テレビ視聴、ナビゲーション、電子マネー、乗車券、リモコンなどと機能がどんどん拡大しています。しかし、その大きさは小さく、薄くなっています。これは、半導体の進歩によるものです。携帯電話の中には半導体がたくさん入っています。

半導体の種類は多く、2本足の「ダイオー

ド」、3本足の「トランジスタ」、これらを集積した「IC」、さらには「半導体レーザ」や「CCD撮像素子」などがあります。

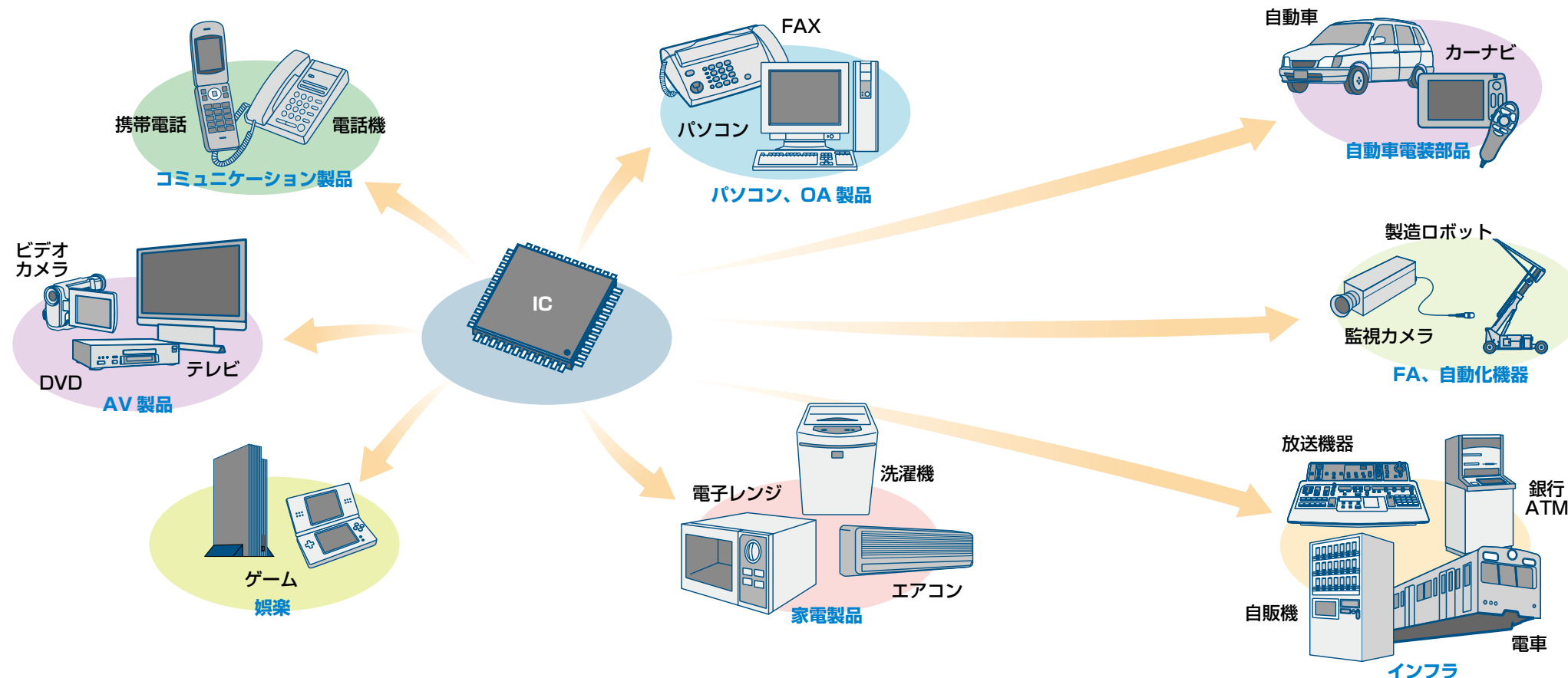
「メモリ」や「マイクロコンピュータ」はICの一種です。ここでは記憶や計算処理といった仕事を、電気信号で行っています。約1cm角の大きさですが、20～30年前の大型コンピュータと同等の機能をもつようになり、その性能は日々、向上しています。

機器の進歩を加速する

半導体はハイテク製品の進歩を加速する中核です。IT社会のインフラとなっているコンピュータや通信ネットワークも半導体によって実現できています。自動車の低燃費化や安全・快適運転も半導体が支えています。

このように半導体は技術・製品面で貢献するだけでなく、地球環境の面でも大きく貢献しています。半導体を「設計する」「製造する」ということは、「どのような機器を作りたいのか」「どのように社会に貢献できるのか」を具体化することなのです。

今日の社会・文明を支えており、人々に安全・安心で快適な生活を提供し、産業の担い手としてだけでなく、新たな電子機器を生み出し、さらには高齢化や地球環境に対応して人・環境に優しい製品を実現する原動力として、半導体は活躍しています。



身の回りには「半導体」があふれている。

^{*1} 半導体：ここではトランジスタやICなどを総称して「半導体」または「半導体デバイス」という。トランジスタを組み合わせたものが「IC」(集積回路)であり、ICで回路規模の大きいものを「LSI」(大規模集積回路)という。

ネットワークを支える

つながる(ネットワーク技術)

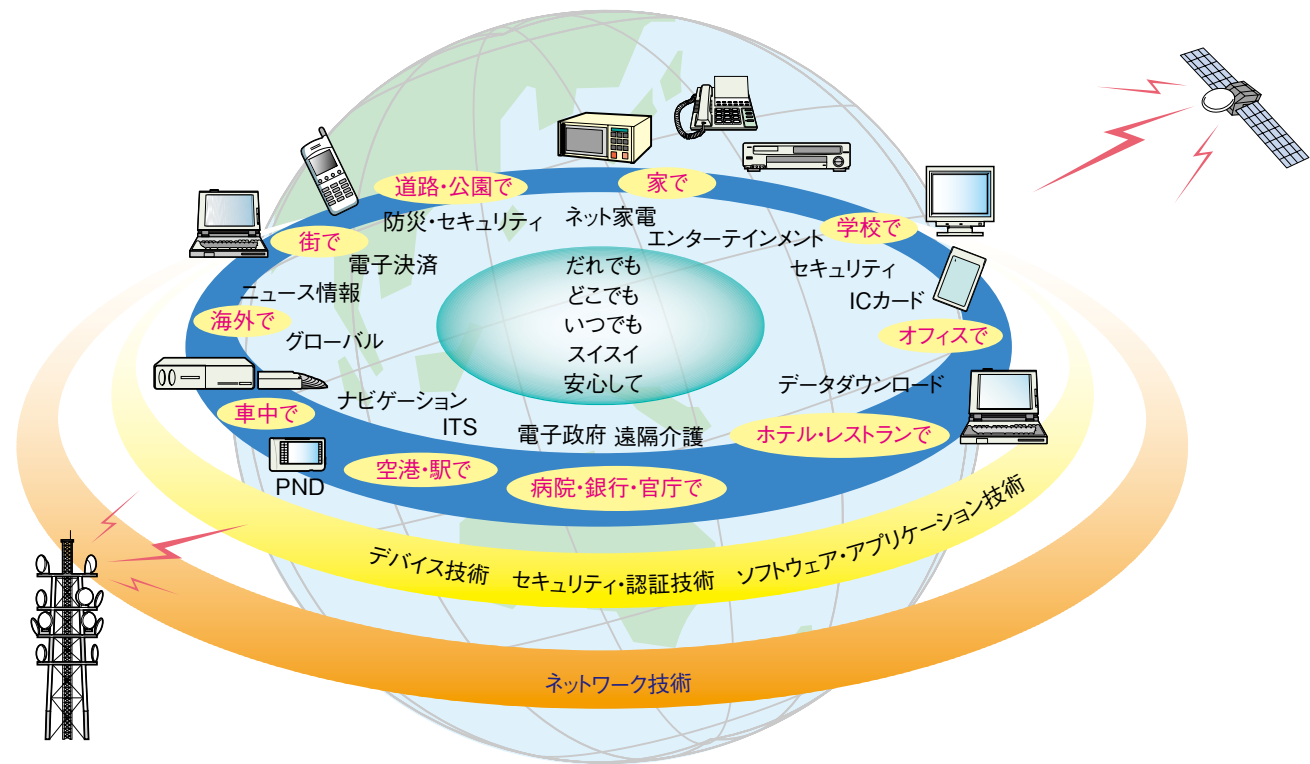
インターネット技術が距離の壁を取り払い、世界中、どこからでも情報(データ、音声、映像)の交換が可能になりました。これは半導体を利用した情報通信機器の成果の一つです。インターネットは、まさに21世紀の社会の重要なインフラです。

全世界は衛星通信または海底光ケーブルでつながり、国内では有線回線や無線通信でつながっています。これに携帯電話などの携帯情報機器、デジタル家電、パソコン、コンピュータ、

サーバ、さらにはテレビやラジオなど放送サービスもつながっています。

安全、信用(セキュリティ・認証技術)

ものを買ったり、銀行の残高を確認したり、情報を送ったりするには、ネットワークが安全で信用できないと使えません。本人確認したり、通信を暗号化して守ったりすることにセンサ技術や暗号化技術、認証技術が使われ、そこでは半導体センサをはじめ、いろいろな半導体が活躍しています。



どこでもネットワーク

どこでもネットワーク社会のイメージ

社会生活	・無線タグの活用で、薬品や食品の在庫管理、トレーサビリティ、安全・品質管理 ・空調や照明を、人がいるかどうかセンシングして自動コントロール ・ビルやマンションの入出管理 ・自宅の様子を Web カメラで監視 ・子供の塾通いに GPS の活用
消費	・IC カードや携帯電話で買い物 ・インターネット取引、電子オークション
行政・サービス	・電子政府、各種申請 ・遠隔医療サービス ・防災・公共放送や通信
ビジネス	・電子決済、電子商取引 ・テレビ会議、電話会議、インターネット会議 ・在宅勤務、遠隔勤務
教育	・e-Learning、インターネット講座 ・ネットワークによるグループセッション

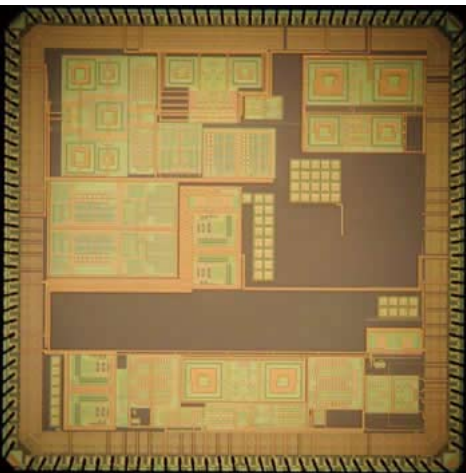
便利(高速、高機能処理技術)

いろいろなサービスが提供されていても、遅かったり、複雑だったり、面倒なら使われません。使いやすいインタフェースや、速い応答、的確に対応するネットワークサービスを支えているのは、高速で高機能なハードウェア(ここにも半導体が使われています)と高性能なソフトウェアです。

安い、軽い、地球にやさしい (低コスト、小型化、省エネ技術)

便利なネットワークをだれでも使えるようにするには、端末やサービスが安く提供され、端末が小型軽量で、電池が長持ちする必要があります。ネットワーク全体でも消費電力がより少なく、地球にやさしいものでなければ

なりません。半導体を使うと、機器や端末を小型化することが可能です。半導体はたくさん作るとコストメリットが大きいので安くできます。省エネ技術にも半導体は貢献しています。



センサネットワーク向け無線ICの例

省エネに貢献する

省エネ社会を実現する半導体

人々の便利な暮らしと地球環境を守る省エネルギー社会の実現——このことは今、社会全体の課題として大きくクローズアップされています。その省エネ社会の実現を土台から支えているのが、半導体と応用製品である電子機器や情報通信機器なのです。

機器の省エネ化を支える

自動車の低燃費は、エンジン制御を半導体（マイコンなど）によって電子化することで実現しています。

洗濯機や冷蔵庫では、半導体の一つであるインバータと制御ICを使って、モータやコンプレッサの回転数を細かく制御することで低

消費電力化を実現しています。

パソコンでは、例えば、記憶装置であるHDD（ハードディスク）を、フラッシュメモリ（半導体メモリの一種）に変えると、大幅な消費電力の削減が可能になります。モータの回転や磁気ヘッドの動作による消費電力が削減できるからです。

また、配送センタの運行、ビルや店舗の空調やエレベータ管理などにも半導体を使い、きめ細かな制御を行うことで省エネ化を実現しています。

このほか、半導体の機能や性能が向上することで、デジタル家電など電子機器の消費電力や待機電力を削減しています。例えば、携帯電話はICの微細化と集積度向上によって低消費電力、小型・薄型・軽量を実現しています。

半導体自身も低消費電力に

半導体は年々、加工寸法が小さくなっています。このことを微細化といいます。微細化することで、同じサイズのICの中には多くのトランジスタなどの素子を搭載することができます（集積度向上）。この結果、各素子は低消費電力で動作することができ、省エネに貢献します。



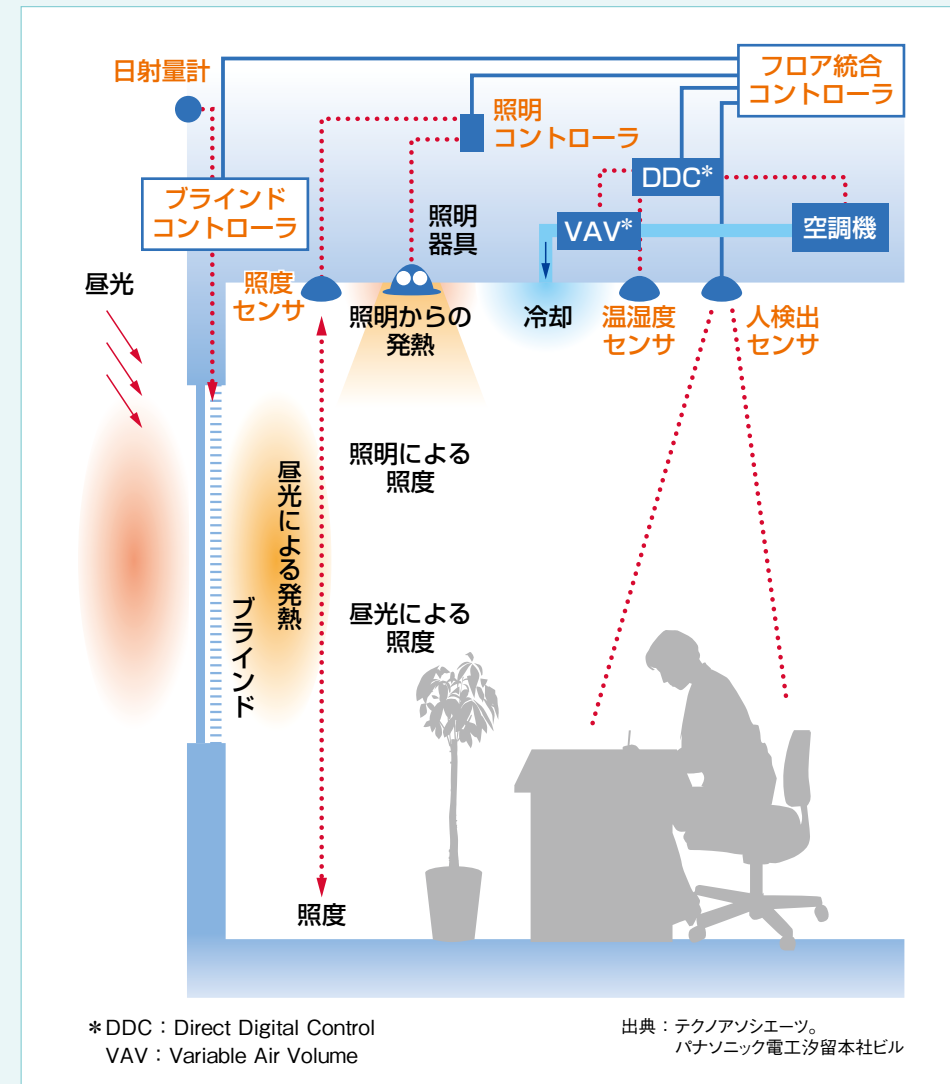
HDD（ハードディスク）を置き換えるフラッシュメモリのモジュール

半導体を用いたビルの省エネ

半導体を利用することで、ビルの快適性と照明・空調などの省エネルギーを実現しています。日射量やビルの方位、日時に応じて、空調設備や照明設備、電動ブラインドの協調制御を行うのです。

エネルギー消費の推定モデルと、照度センサによるセンシング技術とをベースに、ブラインドのスラット角度を調整し、自動採光を行っています。同時に、温湿度センサによって窓からの熱入射量による空調熱

負荷を自動制御し、照明も自動調光制御することで、空調や照明の電力を削減しています。この技術は、オフィスビルだけでなく、ホテルや、店舗、さらには住宅にも応用することが可能です。



半導体を使い、窓の採光を自動調整することで省エネを実現する

半導体産業の広がり

世界の半導体の市場規模は、2007年に約2560億ドル(約28兆円)でした。その半導体はあらゆる産業に大きく貢献しています。

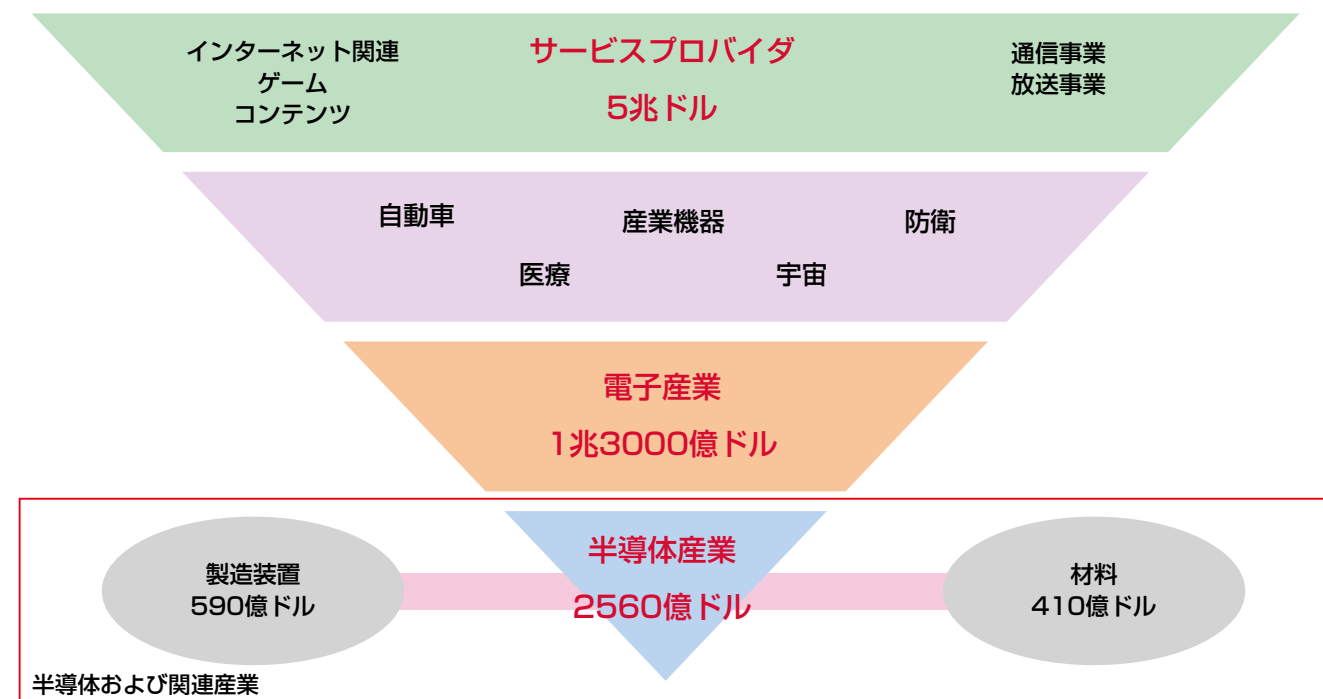
まず、半導体に直接関連する産業として、製造装置産業(世界で約590億ドル)と半導体用材料産業(世界で約410億ドル)があります。

次いで、半導体を使った電子・情報・通信機器があります。デジタルテレビやコンピュータ、携帯電話などの電子産業や情報通信産業です。その市場規模は世界で約1兆3000億ドルです。

また、半導体と電子技術の恩恵を受けてい

る分野として、自動車、産業機械、金融、交通、化学、医療、電力、宇宙、防衛など幅広い産業があります。さらに、インターネット事業やゲーム、通信事業、放送事業などサービス関係が5兆ドルもあります。

ところで、日本の半導体生産額は約5兆円で、GDP(国民総生産)の1%にすぎません。しかし、日本だけで見ても、電子産業や自動車、放送・通信など半導体を利用する全産業の市場規模は約220兆円ともいわれ、GDPの約40%にもなります。それだけ半導体産業の影響は大きく広がっています。



出典：F. Huang(WSC), Green IT International Symposium 2008 を基に作成

半導体を支える産業

半導体産業の特徴

●社会システムの重要な基幹産業である。

半導体産業は、IT(情報通信)産業のコアであり、生活・産業・社会の基盤(インフラ)であり、ハイテク産業を推進する原動力である。社会に貢献していると実感できる産業である。

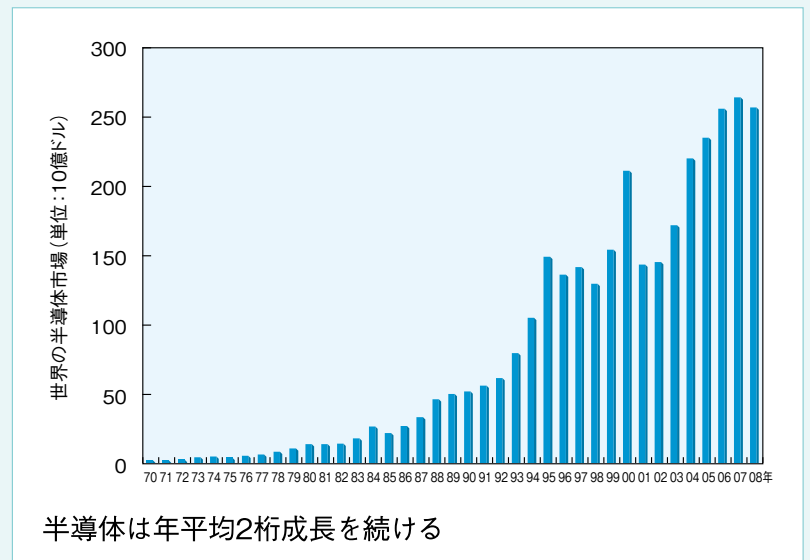
- 電子機器や自動車の省エネを実現し、地球環境に貢献する。
- デジタル家電など新しい電子機器を実現し、健康・医療機器など新しい産業を創出する。
- 指紋検出など社会の安全性にも貢献している。

●世界市場規模は約28兆円と巨大で、しかも1970年以降、平均年率14%で成長を続ける。

好不況のアップダウンを繰り返しながらも、年平均成長率が2桁の産業は他に例がない。最近では規模が大きくなり、世界経済の不安要因もあって、成長率は鈍化してきた。

●技術革新が高成長を推進する。

技術革新の速度が著しく、3年で4倍のスピードで性能や集積度が向上している。この性能向上によって発展を続けている。



●世界市場相手のビジネスである。

- 欧米やアジア各国は、情報通信技術が国家の発展の基と位置付け、その基盤である半導体産業を育成し、国・大学・企業が連携し技術競争を繰り広げている。
- 半導体製品の顧客は世界中にあり、優れた半導体製品を求めている。エンジニアが活躍できる場であり、世界に開かれ、世界を相手にするビジネスである。

●ビジネスの形態が多様で、ビジネスチャンスが大きい。

- 半導体産業のビジネス形態は、半導体を受託生産するファウンドリ(製造メーカ)や製造工場をもたないファブレス、製造装置の開発、新し

い材料の開発などいろいろな業態があり、ビジネスチャンスが大きい。

- 半導体のビジネスは、商品企画から研究開発、設計、製造、検査、品質保証、ソフトウェア開発、知的所有権、顧客サービスなどと分野が広く、総合的な産業である。文系・理工系にかかわらず、自分の知識が生かせる分野である。

●半導体の技術は他産業に波及する。

- 半導体の微細加工やクリーン化などの技術は、LCDやPDPなどのディスプレイに加え、MEMSなど電子部品、さらに医療・食品・化学など幅広い産業分野に利用範囲を広げている。

1-2 半導体の働き

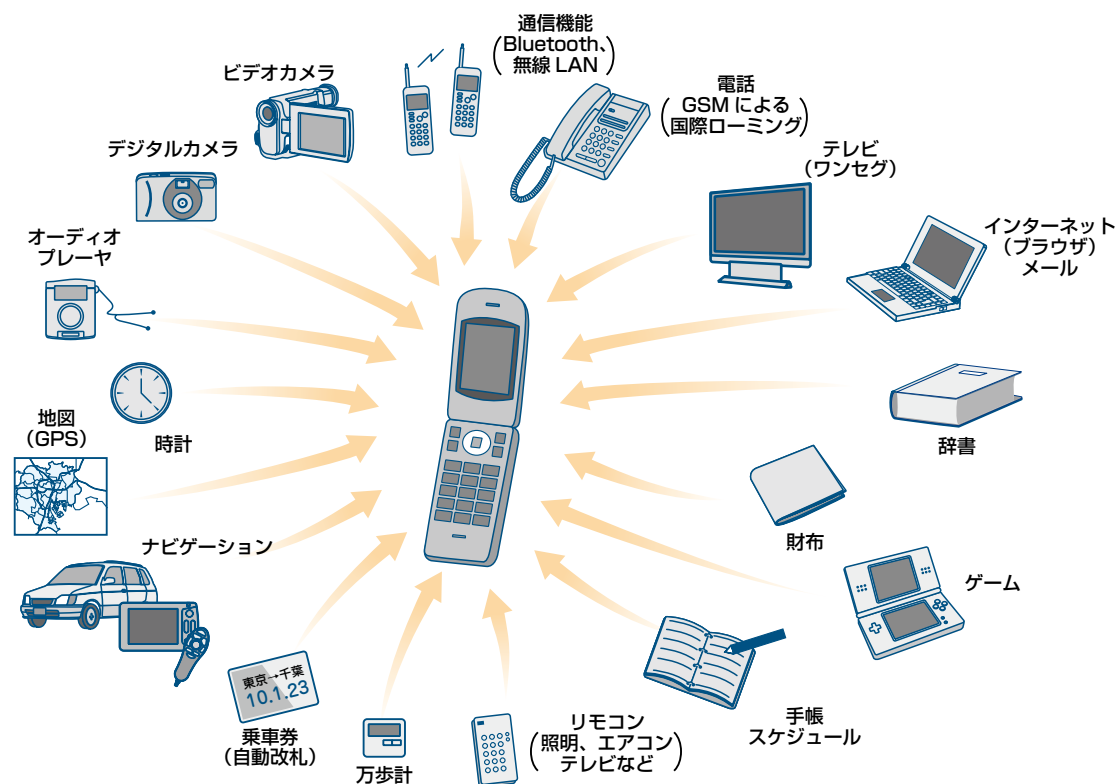
情報機器のすべての機能を搭載する携帯電話

携帯電話は日々、機能が拡充され、技術的にも急激な進化をとげています。世界中で年間約13億台が生産され、もはや生活に欠かせない必需品となっています。電子決済や自動改札などをみると、一種のインフラとして機能するようになってきました。

この携帯電話には、最先端の半導体技術が使

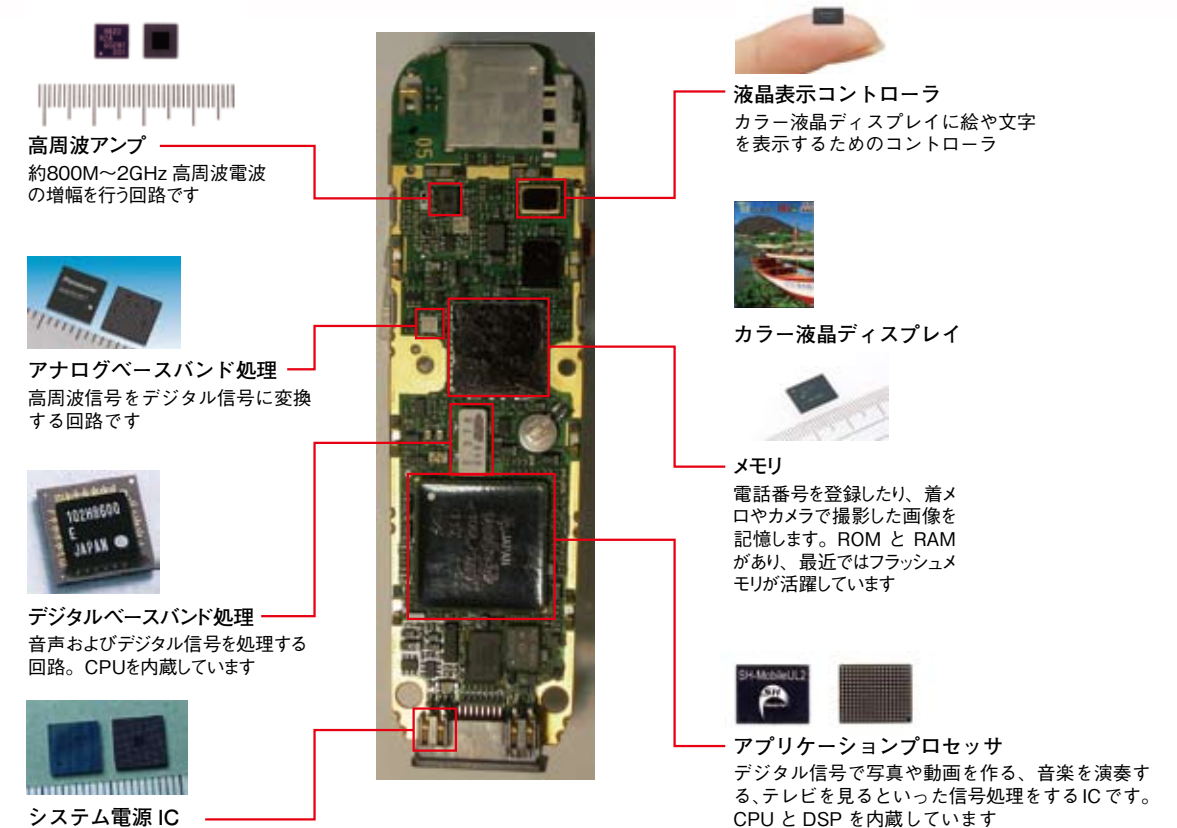
われています。

携帯電話は、限られた容積の中にテレビ(ワンセグ)やカメラ、GPS、高精細度ディスプレイといった多くの機能を搭載し、しかも薄く、どのような場所でも安心して使えるように信頼性を高めています。この多くは半導体技術の進歩があって実現されているのです。

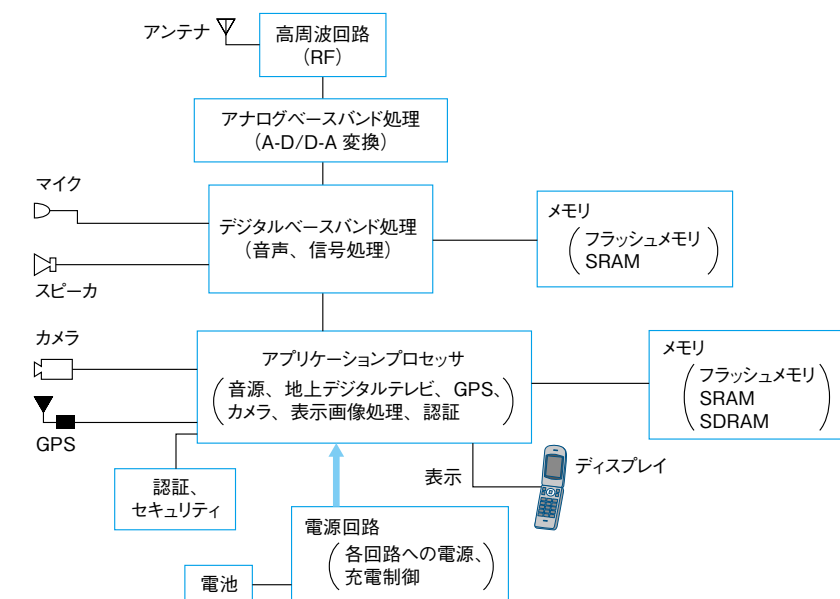


多くの機能を搭載する携帯電話

携帯電話機の基板には多くのICが搭載されています。最近では、機能の拡大と半導体技術の進歩で、複数の回路を1チップ化したICが多くなっています。



携帯電話の中を見ると



携帯電話の主な回路構成

1-3 半導体産業の歴史と発展

微細化によって付加価値を向上

ICは、シリコン表面に微細なパターンを形成し、多数のトランジスタなどの素子を搭載しています。その加工寸法を小さくすることを「微細化」といいます。

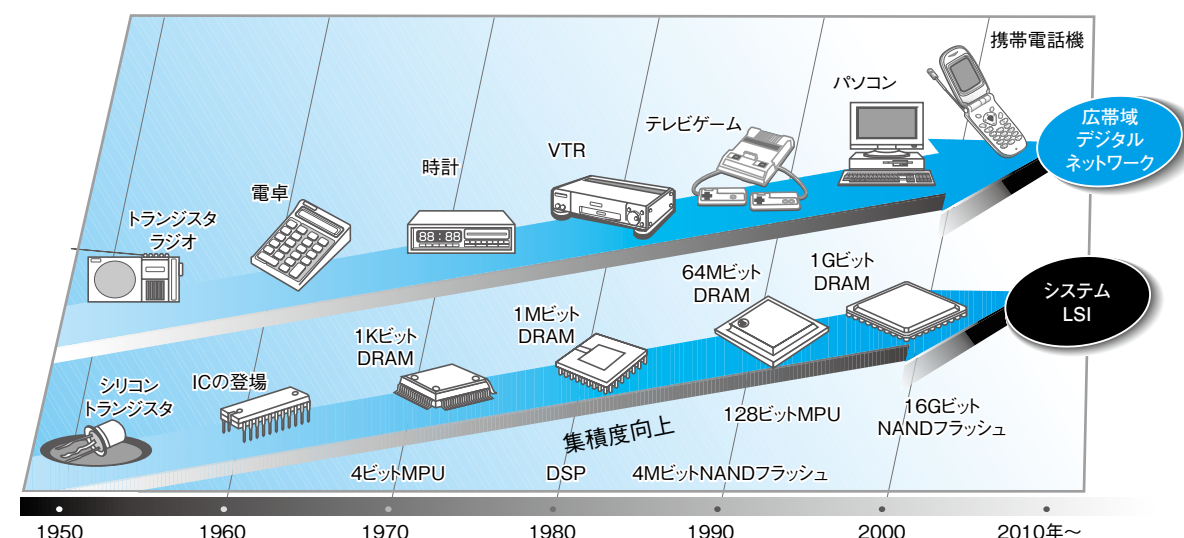
半導体技術の発展は、まさに微細化の歴史です。微細化することで、単位面積当たりの付加価値（顧客満足度）を上げてきたのです。しかし、pn接合*を利用するという基本原理は60年前と同じです（*pp.30-31参照）。微細化の主な利点は、以下の5点です。

●**集積度が向上する**：微細化すればするほど、同じチップ面積では集積度は上がります。

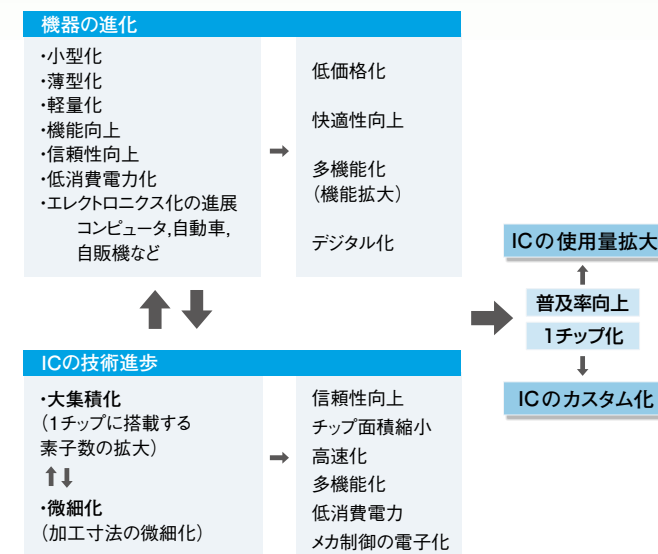
多くの機能を搭載したり、メモリの記憶容量を大きくすることができます。

●**チップ面積が小さくなる**：同じ集積度であれば、半導体チップの面積を小さくすることができます。チップ面積を小さくできれば、チップの収量も多くなり、コストダウンにつながり、顧客に対しても安価な製品を供給できます。

●**消費電力が削減できる**：素子サイズを小さく（縮小）すれば、低電圧で動作することになり、結果として低消費電力化を実現し、省エネにも貢献します。



半導体デバイスの技術進歩に伴って、新たな電子機器が生まれ、またそれが半導体の進歩を促します



IC技術の進歩が機器の進化に

●**速度が速くなる**：微細化すれば、動作速度（処理速度）が速くなり、高機能な処理ができます。

●**信頼性が向上する**：集積度を上げ、多くの機能を1チップ化することで、部品点数が削減でき、回路の接続個所が減り、回路全体の信頼性が向上します。

このように、微細化を追求してきた結果、半導体は安価、多機能、低消費電力、高信頼性と、良いことづくめの理想の素子として発展してきました。

半導体産業の歴史

半導体産業は、団塊世代が生まれた1947年に、米国AT&Tベル研究所のバーディンとブラッデンが点接触型トランジスタで音声信号を増幅する実験に成功したことから始まります。ゲルマニウム(Ge)片に金属線を2本立てた構造です。

翌1948年1月に同研究所のショックレーが接合型トランジスタの設計理論をまとめ、1949年4月に実験に成功しました。結晶成長させながらpnp型の接合構造を作りました。こうしてできたトランジスタは、3端子の素子で、増幅作用があり、真空管に代わる固体デバイスです。

トランジスタを使った一般消

費者向けの製品は、1955年に東京通信工業（現ソニー）が発売したトランジスタラジオです。トランジスタ化されたことで小型・軽量化、低消費電力、高信頼性を実現し、爆発的なブームとなりました。

1960年代にはトランジスタを数多く搭載したIC(Integrated Circuit: 集積回路)が開発されます。その後ICは、電卓(電子式卓上計算機)やクォーツ時計に採用され、産業を形成していきます。そのとき電卓用に開発されたICがマイクロプロセッサに発展し、従来の計算機概念を根本的に変えてしまいました。

ICの集積度が向上すると

もに、カラーテレビやVTR、テレビゲーム、CDプレーヤーといった複雑な回路構成をもった新しい電子機器が開発され、世界中に普及していきました。

1990年代はパソコン全盛の時代で、メモリ(DRAM)やプロセッサ(CPU)が半導体産業を牽引します。

2000年代以降は、携帯電話やゲーム機が高度化され、デジタル家電、自動車、産業機器など、生活の中のあらゆる分野に半導体を取り込まれるようになってきました。

今や、半導体なくして、生活は考えられない状況です。半導体の種類も多彩になってきました。

1-4 半導体はどうやって作られるか

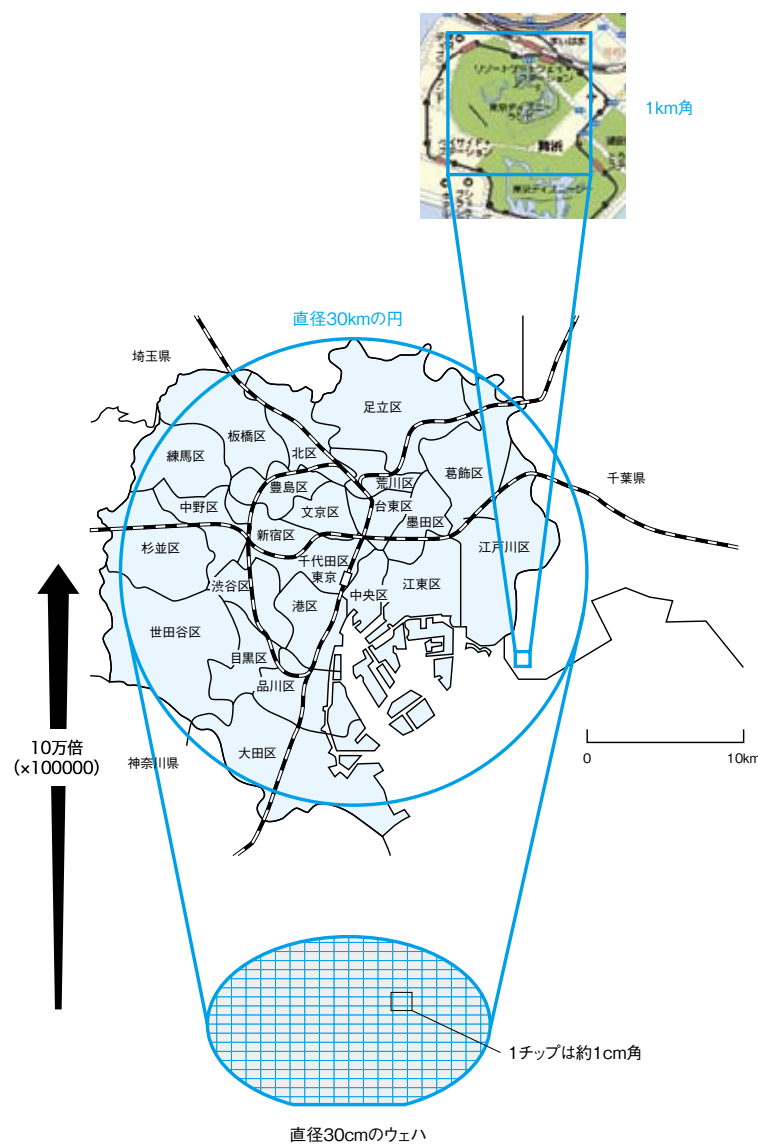
半導体はナノスケールの加工を行っています

1個のICは、約1cm角の大きさです。これをLPレコード盤と同じ直径30cmのシリコンウェハ上に作ります。ICの中に作りこまれるトランジスタの加工寸法は、最先端のもので約40～50nm（ナノメートル*）で、髪の毛の1/1000、ウィルスの大きさです。

この微細なトランジスタが1チップ上には数十億個も搭載されています。世界の人口よりも大きい数で、しかもそれぞれが同じ性質（特性）です。

このICの世界を拡大してみましょう。10万倍すれば、直径30cmのウェハは直径30kmとなり、ちょうど東京23区が入る大きさです。また1辺が1cmのICチップの大きさは1km角となり、東京ディズニーランドの大きさに匹敵します。50nmの加工を行うということは、この直径30kmの円内で5mmの加工を行うことに匹敵するのです。

注) 1nm=10⁻⁹m (=1/10億m)。ところで、新聞紙などの紙の厚さは約0.1mm (=100μm)、髪の毛の太さは80～50μm、スギ花粉は約30μm。やっと見える範囲です。さらに小さくなると、大腸菌が約1μm (=1000nm)、ウィルスが約100nm、タンパク質は約10nm。ICはこのレベルの加工を行っています。DNAの直径は2nmで、シリコンの原子半径は約0.1nmです。



シリコンウェハと東京23区のイメージ

ICの基本的な加工プロセス

ICは、シリコンウェハ上に回路パターンを形成する「リソグラフィ」、「エッチング」、「ドーピング」（不純物注入）、「デポジション」（成膜）、および「洗浄」、「平坦化処理」などの工程を何度も繰り返してトランジスタや配線を形成します（次ページのウェハ加工参照）。

リソグラフィとは、エッチングやドーピングなどの加工する場所を決めることです。シリコンウェハ上にフォトレジスト（光感光性樹脂）を塗布し、そこにマスクパターンを露光装置（ステッパやスキャナ）で感光（焼き付け）、現像する工程（パターン転写工程）です。

現像されたウェハ上には、フォトレジストによって、回路構成要素のパターンが描かれており、これをマスクとしてエッチング、ドーピングなどの加工を行います。

エッチングは、レジストパターンに覆われていない酸化膜などの部分を削り取る工程です。

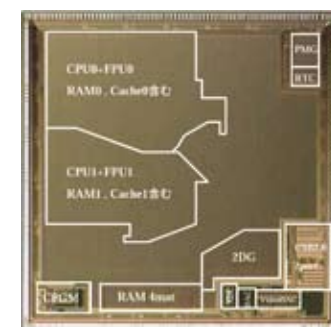
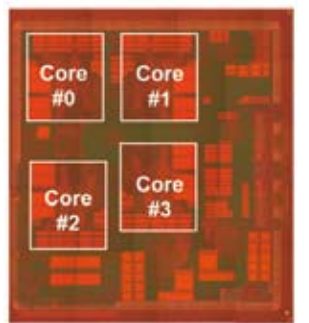
ドーピングは、シリコン単結晶の中に、ホウ素（B）やリン（P）などの元素をごく微量入れて、p型やn型の半導体とする工程です。

また、デポジションは、ウェハ上に酸化膜や窒化膜、金属膜を形成する工程です。

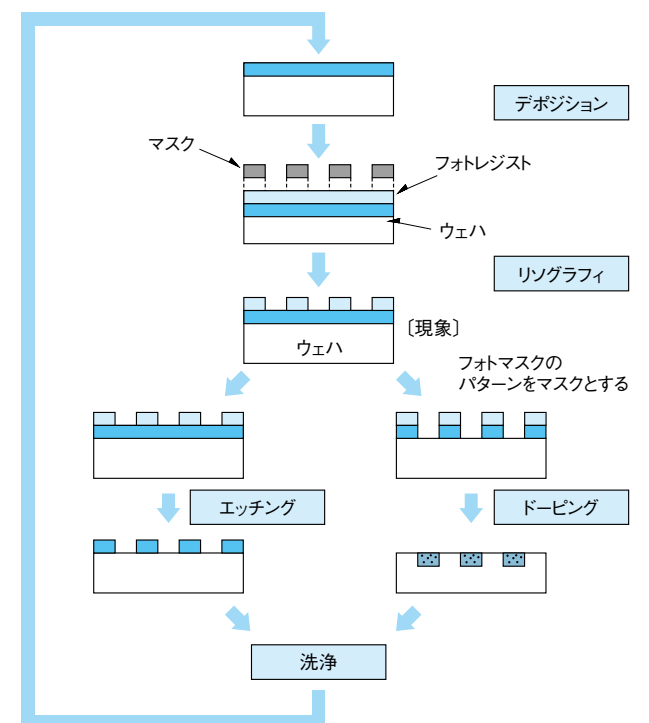
このそれぞれの工程の前後で、ウェハ表面をきれいにするために洗浄を行います。

ところで、半導体の生産工程は、基本的には装置産業であり、同じものを大量に生産することに向いているという性格があります。

4個のCPUコアを搭載したマルチコアプロセッサ



CPU内蔵のシステムLSI



半導体のウェハ加工の基本

1 回路設計・パターン設計

CADという設計専用のコンピュータで行うんだ。

機能設計(要求される機能を満たす回路を決定)、論理設計(回路図を作りテスト・検証)、物理設計(素子の配置・配線レイアウト)を経てマスク作成用のデータを作ります。

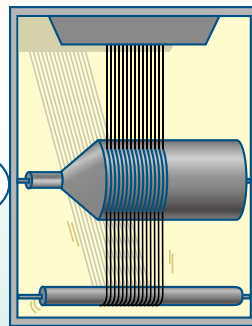
2 フォトマスク作成

電子ビーム露光装置でマスクを描画するんだ。

マスクパターンのデータをガラス基板(レティクル)に描画装置を使って転写し、写真のネガのようなものを作ります。通常1種類のICを作るのに20~30枚程度のマスクが必要となります。

3 インゴットの切断

ハムの薄切りのように切るんだ。

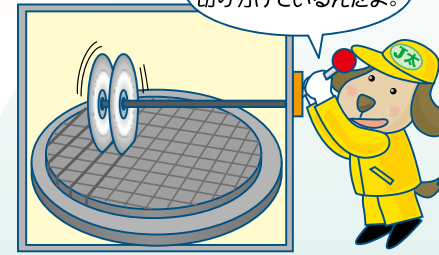


シリコンインゴットをダイヤモンドカッタで薄くスライスし、表面を磨き「鏡面ウェハ」を作ります。

5 組み立て

① ウェハのダイシング

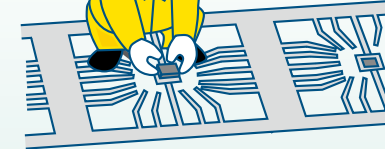
1個ずつのチップに切り分けているんだよ。



- ①ダイヤモンドを使った「ダイシングソー」で1個ずつのチップに切断(ダイシング)します。
- ②チップ(ペレット)をリードフレームの中央部に樹脂接着法などで接着します(マウンティング)。さらにチップとリードフレームの電極を金線(直径約25μm)などで接続(ボンディング)します。
- ③チップと配線部分の保護のため、樹脂などのパッケージに封止(モールド)し、メーカー名や製品名、ロット番号などを捺印(マーキング)します。マーキング方法には、インクを使ったオフセットマーク法とレーザ光を使ったレーザマーキング法があります。

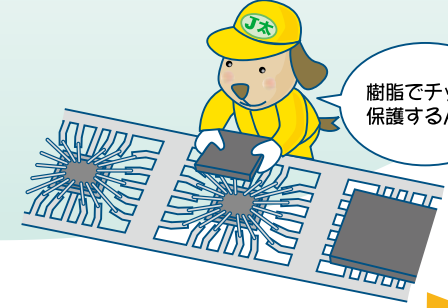
チップとリードフレームをくっつけているんだ。

② チップのマウンティング



樹脂でチップを保護するんだ。

③ モールド



6 検査

⑤ バーンイン(温度電圧試験)

温度や電圧をかけて加速試験しているんだよ。

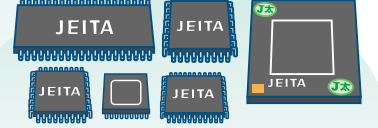
製品に異常がないか慎重にチェック!

⑥ 製品検査・信頼性試験



- ④モールドで発生した樹脂バリを取り除き、金型でリードフレームから個々のICに切断・分離しリードを所定の形状に成型します。
- ⑤初期不良を取り除くため、ファンクションテスト(機能テスト)を行いながら、温度電圧ストレスの加速試験(バーンイン)を行います。
- ⑥機能、電気的特性、その他さまざまな試験・検査に合格してLSIが完成します。こうした工程を経て、良品選別されたLSIが最高の状態を保つための梱包をし、出荷します。

半導体製品の完成



ようやく完成!! 電子機器の中で活躍しているよ。



4 ウェハ加工



② パターン形成

- ①ウェハを高温の酸化炉(1000~1200℃)の中に入れ、表面に酸化シリコン膜を形成させます。その上に感光膜(フォトリソスト)を薄く塗布します。
- ②マスクとウェハを合わせ、パターンをウェハに焼き付けます(感光)。「リソグラフィ」法には、チップと等倍のマスクを使用する「密着露光法」と、チップの5倍あるいは10倍のマスク(レティクル)を縮小投影する「縮小投影露光法」とがあります。マスクデータを直接ウェハに描画する「電子ビーム直接描画法」は開発や試作に使われます。現像すると、感光部のフォトリソストは除去されます。
- ③腐食液(エッチング液)やプラズマ化した活性ガスなどを使い露出した部分の酸化膜を削り取る(エッチングする)と、ウェハのシリコン面が現れます。この後、不要なフォトリソストを除去します。
- ④酸化膜のなくなった部分のシリコン面に「熱拡散法」や「イオン注入法」などによって不純物(ホウ素(B)やリン(P)など)を注入します。ウェハ表面にはp型、n型の異なる半導体領域が形成されます。
- ⑤「スパッタリング」と呼ばれる方法で、ウェハ表面に金属薄膜(アルミニウム(Al)や銅(Cu))を形成(メタライズ)し、回路をつなげます。こうした作業(②~⑤)を何度も繰り返します。高度なLSIほど回数は多くなります。
- ⑥完成したウェハを検査し(プロービング)、不良チップにマークを付けます。



③ エッチング

いらぬ膜を取り除いているんだよ。

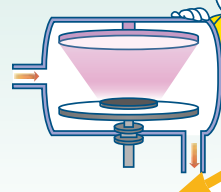
リソグラフィ、酸化、エッチング、デポジション

ウェハに不純物イオンを注入しているんだよ。



④ イオン打ち込み

配線のための金属を付けているんだよ。



⑤ 電極作成



チップごとに検査しているんだ。

⑥ ウェハ検査(プロービング)

半導体とは

ここで「半導体」という場合は、パソコンや携帯電話、テレビなど電子機器を構成するIC（集積回路）やトランジスタのことをいいます。フラッシュメモリやマイクロプロセッサも半導体の一種です。「半導体デバイス」（半導体素子）ともいいます。

しかし厳密には、物質としての「半導体」と、「半導体デバイス」とは別のものです。

●物質としての「半導体」

半導体 (semiconductor) は、銅や鉄などの電気を通す導体 (conductor) と、電気を通さない絶縁体 (insulator) の中間的な性質を示します（「半導体の性質」参照）。

●半導体デバイス（半導体素子）

半導体で作られた素子（デバイス）のことで、ダイオード、トランジスタ、ICなど多くの種類があり、それらを総称しています。

半導体の性質

●半導体

電気抵抗率が絶縁物に比べると数桁程度低く、金属と比較すると数桁程度高いものを半導体 (Semiconductor) といいます。抵抗率の明確な数値の定義はありませんが、おおむね $10^{-4} \sim 10^{10} \Omega\text{cm}$ のものを指し

ます。ここに、ほんのわずかな不純物を添加するだけで、電気抵抗が大きく変わります。半導体デバイスはこの現象を積極的に利用したものです。

代表的な半導体材料にはシリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) があり、これらの電気抵抗は負の温度係数をもっています。これも特徴の一つです。ICに使うSi単結晶は純度が99.99999999%（11N）以上と非常に高純度です。

●n型半導体

高純度のシリコン (Si) やゲルマニウム (Ge) のようなⅣ族（周期律表）の元素の中に、リン (P) やひ素 (As) のようなⅤ族の元素をごく微量入れる（不純物をドーピングする）と、リンやひ素原子1個から自由に動ける電子を1個放出するので、電気抵抗が小さくなります。この電子（自由電子）の振舞いで特性が決まるため、このマイナス (negative) 電荷から名をとり、n型半導体といいます。この場合は電子がキャリアとなります。

●p型半導体

シリコン (Si) などのⅣ族の元素の単結晶の中に、ホウ素 (B) などのⅢ族の元素が入ると、電子が不足するため正孔（ホール）が生成されます。この正孔によって n 型半導体と同様に、電気抵抗が小さく

なります。

この場合は正孔の振舞いが特性を決めるため、正 (positive) 電荷からp型半導体といいます。この場合は正孔がキャリアとなります。

●pn接合

p型とn型の半導体を接合すると、電流は

片方向にしか流れません（整流作用）。これは電子や正孔が電圧によって反発または引きよせられるからです（図1-A）。

●バイポーラトランジスタ

pn接合を2つ合わせた構造で、真中の層を非常に薄くした構造のトランジスタをいいます。npn型とpnp型があります。それぞれの端子をエミッタ (E)、ベース (B)、コレクタ (C) といいます。

真中のベース層は薄いため、エミッタからのキャリアがベースを突き抜け、コレクタに到達します。このとき到達するキャリアは、ベースへの注入キャリアによって影響を受けるので、信号の増幅をすることができます。この場合は、キャリアとして電子と正孔の両方を利用しているので、バイポーラ（双極）トランジスタといいます（図1-B）。

●電界効果型トランジスタ（FET）

n型またはp型の片方だけのキャリアを使用し、キャリアの通る幅を変化させることで電流を制御するのがFET (Field Effect Transistor) です。両方のキャリアを使用するバイポーラトランジスタに対して、単一のキャリアを使用することからユニポーラ（単極）トランジスタということもあります。

FETには接合型とMOS (Metal Oxide Semiconductor) 型があります（図1-C、図1-D）。ICではMOS型のトランジスタが使われています。

●CMOS

n型MOSFETとp型MOS FETを組み合わせた素子をCMOS (complementary MOS：相補型金属酸化膜半導体) といいます。電子と正孔の両方を用いるため、MOS型FETに比べて動作速度が速く、消費電力が少ないという利点があり、最近のICではCMOSが基本となっています。

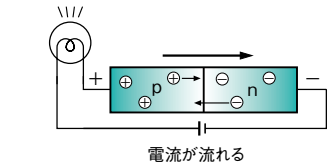


図1-A pn接合（整流作用がある）

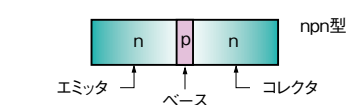


図1-B バイポーラトランジスタの基本構造

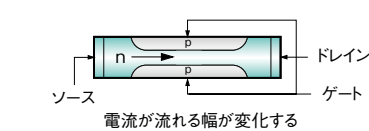


図1-C 接合型FETの基本構造

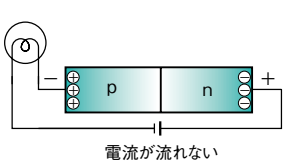


図1-D MOS型FETの基本構造

半導体デバイスとは

ひとくちに「半導体デバイス」といっても、機能や役割はさまざまです。

●ダイオード：電流を一方方向にしか流さない特性があります。2本足の素子です。

●トランジスタ：「増幅」と「スイッチ」という作用のある3本足の素子で、電子回路の基本となる能動素子です。このトランジスタは1947年に発明されました。

●IC (Integrated Circuit：集積回路)：一つのシリコンチップの中に、ダイオードやトランジスタをたくさん集積したものです。素子数の多いものをLSI（大規模LSI）といいます。頭脳の役目で、四則演算などをする「マイクロプロセッサ」、データを蓄える「メモリ」（記憶素子）、画像を検出する撮像素子（イメージセンサ）など、多くの種類があります。

ICは機器の機能を実現する

ICは、大きさ数mm～10数mm角のシリコン (Si) 上に、トランジスタやダイオード、抵抗、コンデンサなどの回路素子を作り込み、それぞれの素子間を相互に配線することで、ある機能をもった電子回路として機能させた

「何を作るか」——設計が重要になる

電子機器のほとんどの機能をICのなかに集積できるようになると、ICの設計は、電子機器を設計するのと変わらなくなってきました。このため電子機器の性能・特性・大きさなどの仕様を決めるときから、IC設計者も参加します。新しい機器を設計・開発することは、ICを設計することにつながるのです。

これとともに、ICメーカの形態も変化してきました。ICの設計だけを専門に行う会社（デザインハウス）、ICの製造だけを請け負う会社（ファウンドリ）などが多くなっています。

ICには、トランジスタなど構成する電子回路素子だけで目的の機能を実現する場合と、プログラム（ソフトウェア）によって演算処理する場合とがあります。

前者を「ハードウェア処理」または「ワイヤードロジック」などといい、ICチップのなかで論理回路構成が固定化されています。機能を実現するための最適化設計が行われている場合が多く、比較的高速・低消費電力で動作します。ただし、設計変更には対応できません。

後者を「ソフトウェア処理」といい、基本的にはプログラム内蔵方式のコンピュータと同様に、プロセッサで処理を行います。このため、プログラムを書き換えるだけで処理内容を変更できます。柔軟性は高いが、一般的にはハードウェア回路に比べて処理速度は遅いといわれています。

注) 左上の数字は原子番号。原子番号は電子の総数に等しい。

集積回路 (IC) の分類

略号	意味	素子数 ^(注)	主な年代
SSI (Small Scale IC)	小規模IC	100素子以下	1958～1960年代
MSI (Medium Scale IC)	中規模IC	100～1000素子レベル	～1960年代後半
LSI (Large Scale IC)	大規模IC	1000素子以上	1970年代～
VLSI (Very Large Scale IC)	超大規模IC	100万素子以上	1980年代後半～
ULSI (Ultra Large Scale IC)	超々大規模IC	1000万素子以上	1990年代～

注) 素子数は概略としてのめやすで、厳密な定義ではありません。

ICガイドブック2009年版 年表

年 代	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2009
■主なデバイス	トランジスタ トランジスタの発見 （47年）（米Bell T.研, Shockley他） 複合型トランジスタの発明 （49年） ICの概念（52年） （英，王立レーダ研）	IC（バイポーラ） GaAs発光ダイオード開発 （55年） Siトランジスタの開発 （TI社，56年） FETの開発（57年） ICの開発 （米TI社, Kilby氏, 58年） 機能ブロック素子発表 （米WH社，58年） マイクロモジュール発表 （米RCA社，58年） SiプレーナIC開発 （米FCL社,Noyce氏ら,59年）	IC（MOS） 国産IC発表 （三菱電機，61年） デジタルIC生産開始 （62年） （米FCL, TI, WH社など） MOS ICの発表 （米TI社他，64年） 厚膜IC（SLT）発表 （米IBM社，64年）	1Kビット DRAM構想 （68年） CMOS ICの発表 （RCA社，68年）	LSI 1Kビット DRAMの開発 （米Intel社，70年） GaAs半導体レーザー室 温連続発振（70年） 4ビットマイコンの開発 （米Intel社，71年） 8ビットマイコン（72年） 1μm加工技術発表 （米IBM社，73年）	64Kビット DRAM開発 （76年） 16ビットマイコン開発 （78年）	VLSI HEMT開発（80年） 1Mビット DRAM開発 （82年） DSP開発（82年） 32ビットMPU開発 （83年）	4Mビット DRAM開発 （85年） 16Mビット DRAM開発 （88年） 64ビットMPU開発 （89年）	ULSI 64Mビット DRAM開発 （90年） 256Mビット DRAM開発 （93年） 青色発光ダイオード開発 （93年）	1Gビット DRAM開発 （95年） 銅（Cu）配線超LSI 技術開発（97年） 1GHz動作MPU開発 （98年） 128ビットマイコン開発 （99年）	システムLSI 0.25μmルール1KビットMRAM開発 （00年） 1Gビットフラッシュメモリ開発 （01年） 32MビットFeRAM 開発（03年） 統合プラットフォームUniPhier開発 （03年）	マルチコア/メニーコアプロセッサ 16ビットNANDフラッシュ開発（05年） 統合プロセッサ「Cell」開発（05年） 64MビットFeRAM開発（06年） 32Gバイト組み込み型（32Gビットチップ 16枚積層）NANDフラッシュ開発（08年） 2400万画素CMOSセンサ開発（08年） 4GビットDRAM開発（06年）	
■プロセス（設計線幅） ■ウェハサイズ（直径）			32mm	15～10μm 40mm（67年） 50mm（69年）	8～5μm 60mm（71年） 75mm（72年～）	3～2μm 100mm	～1μm 125mm	～0.8μm 150mm	～0.5μm 0.5～0.3μm 200mm	0.3～0.2μm	0.18～0.13μm 300mm	90nm～45nm 300mm	
■主な応用製品	ラジオ・電気蓄音機  TRラジオ発売 （ソニー，55年） VTR発表 （米Ampex社，56年） TR式コンピュータ （米IBM社，59年）	トランジスタラジオ  TRラジオ発売 （ソニー，55年） VTR発表 （米Ampex社，56年） TR式コンピュータ （米IBM社，59年）	白黒テレビ TR式白黒テレビ発売 （ソニー，60年） 	電卓 時計 全ICコンピュータ発表 （NEC，65年） IC電卓発表 （シャープ，66年） 	カラーテレビ IC採用コンピュータ （米IBM社，70年） ICカラーテレビ発売 （国内各社，71年） 1チップ電卓を製品化 （日本計算機，71年） 	オフィスコンピュータ マイコントレーニングキット （NEC，76年） VHS方式VTR （日本ビクター，76年） 日本語ワープロ発売 （東芝，78年） ウォークマン発売 （ソニー，79年） 	VTR 16ビットPC発表 （米IBM社，81年） セルラー自動車電話 （NTT，82年） CDプレーヤー発売（82年）  ファミリーコンピュータ 発売（任天堂，83年）	ビデオカメラ 8ミリビデオ発売 （ソニー，85年） ノートブックPC発売 （東芝，89年） 	ゲーム機 コードレス電話（90年） スーパーファミコン発売 （任天堂，90年） ポケベル人気（93年） Windows3.1 発売 （米Microsoft社,93年） プレイステーション発売 （ソニー，94年） 	パソコン，携帯電話 Windows95発表（95年） DVD発売（各社，96年） AIBO発売（ソニー，99年）  ハイブリッド自動車 プリウス発売 （トヨタ，97年）	情報・通信・ネットワーク機器 ユビキタス プレイステーション2発売（ソニー，00年） DSCが銀塩カメラの国内 出荷台数を抜く（01年） 世界最速のスーパーコンピュータ 「地球シミュレータ」完成（NEC,02年）  	ユビキタス Wii発売（任天堂，06年） 有機ELテレビ発売（ソニー，07年） 超薄型大画面テレビ 小型ノートPC（ネットブック） メモリーオーディオプレーヤー 地上波デジタル（ワンセグ）受信機の普及  	
■世界の半導体 市場規模 ^{注2)} （上段:兆円）（下段:10億ドル）		0.04（兆円） 0.012（10億ドル）	0.23 0.65	0.47 1.3	0.87 2.4	1.28 4.3	3.50 13.7	5.12 21.5	7.33 50.5	13.57 144.4	22.05 204.4	25.11（05年） 227.5（05年）	25.83（08年）* 248.6（08年）*
■産業・経済動向	ラジオブーム 電波3法公布（50年） 民間ラジオ放送開始 （51年） カラーテレビ標準化方式 （NTSC方式決定,52年） NHKテレビ本放送開始 （53年）	FMラジオ放送開始 （日本，57年）	カラーテレビ本放送開始 （日本，60年）	インターネットの誕生 （米UCLA，69年）	電子計算機の一部輸入 自由化（71年） ICの一部資本自由化 （71年） ICの完全自由化（74年）	コンピュータの完全 自由化（75年） 米SIA設立（77年） ワープロ，パソコン元年 （79年）	OAブーム（81年） 日系メーカ，半導体シェア トップに（84年）	日米半導体通商協議始まる 日米半導体協定発足 （86年～96年） 米SEMATECH設立 （87年） 外資系半導体ユーザー 協議会設立（88年） 欧JESSI開始（88年）	PCがWindowsブームで 急伸（93年～） ハイビジョン実用化 試験放送（94年） 日本，バブル経済崩壊 （90年～）	Internetビジネス本格化 （95年） デジタル化・マルチ メディア化（96年～） WSC発足（96年） DVD-RAM仕様（97年） NTTドコモ「iモード」 サービス開始（99年）	中国WTO加盟（01年） 台湾WTO加盟（02年） ITバブル崩壊（01年） NTTドコモ第3世代携帯「FOMA」 サービス開始（01年） 米，ワールドコム社破綻（02年） 半導体業界、統合・分社化による 日本で地上波デジタル放送開始（03年）	BRICsの台頭（04年～） 日本車シェア拡大（05年） 京都議定書発効（05年） 原油価格高騰（07年～08年） グリーンIT国際シンポジウム（08年） 洞爺湖サミット（08年） 半導体業界、統合・分社化による 再編の流れが進む	
■産業育成策 関連 ^{注1)}	通商産業省設置（49年） （旧商工省）	電振法（57年～71年）	重要技術開発費 補助金（61年） 中小企業近代化 促進法公布（63年）	大型技術研究開発 制度発足（66年） （大型プロジェクト） 超高性能電子計算機 研究組合（68年）	機電法（71年～78年） IC自由化対策補助金 （73年）	超エル・エス・アイ技術 研究組合（76年～80年） 機情法公布 （78年～85年）	次世代産業基盤技術 研究開発（81年）	次世代情報処理技術 基盤開発事業（92年） 産業科学技術研究 開発機構（93年） 研究センター（95年） 半導体産業研究所 （94年）	次世代情報処理技術 基盤開発事業（92年） 産業科学技術研究 開発促進事業（95年） 半導体理工学 研究センター（95年） 半導体先端 テクノロジーズ（96年） 技術研究組合超先端電子 技術開発機構（96年）	科学技術基本法（95年） 超高度先端電子技術 開発促進事業（95年） 半導体理工学 （95年） 半導体先端 テクノロジーズ（96年） 技術研究組合超先端電子 技術開発機構（96年）	あすかプロジェクト（00年～05年） あすかIIプロジェクト（06年～） 次世代半導体材料・プロセス基盤技術開発プロジェクト （半導体MIRAIプロジェクト）（01年） 高効率次世代半導体製造システム技術開発（HALCAプロジェクト）（01年） 先端SoC基盤技術開発（02年）		
■トピックス	朝鮮戦争（50年） GATT発足（47年） 無線通信機械工業会設立 （48年）（現・JEITA） ドッジライン発表（49年） 湯川氏ノーベル賞受賞 （49年）	神武景気（55年～57年） 3種の神器 （テレビ，冷蔵庫，洗濯機） 日本，国連加盟（56年） 伊勢湾台風（59年）	有人宇宙飛行に成功 （61年） 日米間初のテレビ 衛星中継（63年） 東京オリンピック（64年）	3C（カー，クーラー，カラー テレビ）（66年） アポロ11号月面着陸 （69年）	大阪万博（70年） ドルショック（71年）	スーパーコンピュータ発表 ロッキード事件（76年） 日中平和友好条約調印 （78年）	東京ディズニーランド 開園（83年） 新電電設立（84年）	NTT民営化（85年） プラザ合意（85年） 科学万博つくば（85年） 電話機自由化（87年） 消費税スタート（89年）	東西ドイツ統一（90年） 湾岸戦争（91年） ソ連崩壊（91年） 代替フロン規制（92年） Jリーグ開幕（93年）	阪神大震災（95年） WTO発足（95年） 「京都議定書」が採択 （97年） 香港，中国に返還（97年） 欧州連合統一通貨 「ユーロ」誕生（99年）	ニューヨーク同時多発テロ（01年） 日韓共催ワールドカップ・サッカー（02年） 新型肺炎SARS流行（03年） イラク侵攻（03年） インド洋大地震・大津波（04年）	新3種の神器 （薄型テレビ，DSC，BDレコーダ） スペースシャトル「ディスカバリー」 打ち上げ再開（05年） 愛知万博開催（05年） 北京五輪開催（08年） 日本人4人がノーベル賞受賞（08年） サブプライムローン金融不安から 世界同時不況へ（08年～）	
■半導体出荷 ランキング トップ3 ^{注2)}					TI Motorola Fairchild	TI Motorola Philips	TI Motorola Philips	NEC Motorola TI	NEC 東芝 Motorola	Intel NEC 東芝	Intel 東芝 NEC	Intel（05年） Samsung（05年） TI（05年）	Intel（08年）* Samsung（08年）* TI（08年）* 東芝（08年）*

注1) 電振法:電子工業振興臨時措置法
機電法:特定電子工業及び特定機械工業振興臨時措置法
機情法:特定機械情報産業振興臨時措置法

1995年～2000年の産業育成策の関連には次のようなものもある。
「300mm半導体技術連絡会」(96年), 「大規模集積システム設計教育研究センター」(96年),
「産業科学技術研究開発制度」(97年), 「半導体ロードマップ委員会」(98年),
「システムLSI設計支援センター」(98年)。

注2) 半導体市場規模はSIA/WSTSによる。半導体出荷ランキングはガートナー による。 TI: Texas Instruments

*速報値

半導体デバイスの分類

半導体デバイスは、1947年のトランジスタの発明以来、技術革新と応用分野の拡大によって、性能を上げ用途を拡大してきた。これにともない種類も増え、いろいろな呼び方(名称)がでてきた。

半導体材料による分類、トランジスタ構造による分類、形状(外形)による分類、集積度による分類、用途による分類などさまざまである。ここでは、一般的な「機能・構造による分類」を紹介する。同時に、統計データとして「WSTS(World Semiconductor Trade Statistics)分類」と経済産業省「生産動態統計」の分類を紹介する。

WSTS分類(2009年版)

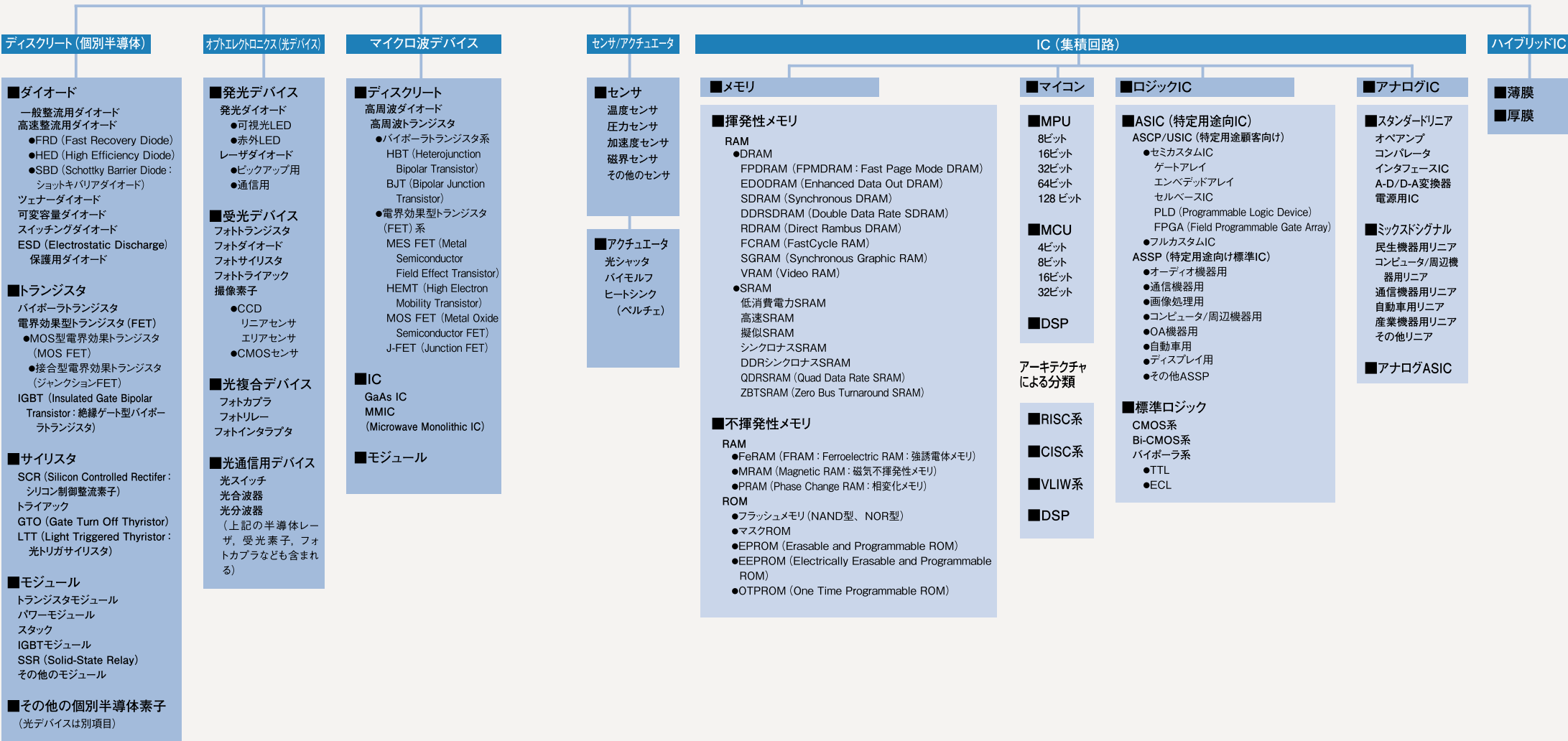
■個別半導体素子(ディスクリット)	■集積回路(モノリシックIC)
ダイオード ●小信号ダイオード ●ツェナーダイオード ●過電流保護デバイス ●RF & マイクロ波ダイオード 小信号トランジスタ ●バイポーラ小信号トランジスタ ●電界効果トランジスタ(FET) ●RF & マイクロ波小信号トランジスタ パワートランジスタ ●RF & マイクロ波パワートランジスタ ●RF & マイクロ波パワートランジスタモジュール ●汎用バイポーラパワートランジスタモジュール ●汎用電界効果トランジスタ(FET) ●汎用电界効果トランジスタ(FET)モジュール ●IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュール IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュール	アナログ ●汎用アナログ - アンプ/コンパレータ - インタフェース - パワーマネージメント ●専用アナログ - 民生機器向け - コンピュータ、周辺機器向け - 通信機器向け - 自動車向け - 産業、その他向け MOSマイクロ ●MOS MPU ●MOS MCU ●DSP (Digital Signal Processor) ロジック ●デジタルバイポーラ ●汎用MOSロジック ●MOSゲートアレイ ●MOSスタンダードセル & FPLD (Field Programmable Logic Device) ●MOSディスプレイドライバ - 大型LCD用ドライバ - 携帯電話機用ドライバ - その他の表示用ドライバ ●MOS特定用途向けロジック - 民生機器向け - コンピュータ、周辺機器向け - 通信機器向け - 自動車向け - 多目的、その他向け MOSメモリ ●MOS DRAM ●MOS SRAM ●MOS マスクPROM & EPROM ●フラッシュメモリ - NOR 型フラッシュメモリ - NAND型フラッシュメモリ ●その他メモリ
■オプトエレクトロニクス ●ディスプレイ ●ランプ ●カプラ/アイソレータ、スイッチ ●イメージセンサ ●赤外素子 ●レーザ素子(ピックアップ用) ●レーザ素子(通信用) ●その他オプトエレクトロニクス	
■センサ、アクチュエータ ●温度、その他センサ ●圧力センサ ●加速度、ヨーレートセンサ ●磁界センサ ●アクチュエータ	

システムLSIとは

- システムLSIは、SoC (System on a Chip) とも呼ばれている。主にデジタル家電、携帯電話機、車載用電子機器などに向け、必要な機能を集積した大規模な専用ICをいう。分類表のロジックのASIC (Application Specific IC) や、ASSP (Application Specific Standard Product) などに相当する。ASIC/ASSPが、半導体を製造する側からの分類とすれば、システムLSI (またはSoC) は半導体を使う機器側からの表現とみることもできる。
- システムLSI (またはSoC) の明確な定義はないが、一般には以下のように定義されている。
- ・[構造上の定義] マイクロプロセッサ(MPU)、メモリ、ロジック、アナログ回路などをチップ内に搭載したモノリシックIC^{*1}。
 - ・[機能上の定義] システムまたはサブシステムの主機能をつかさどるIC。
 - ・[用途による分類] 単数あるいは複数のユーザのための特定アプリケーション向けとして開発されたIC。

^{*1} モノリシックIC：1個のシリコンチップでできたIC。1チップ(シングルチップ)ICともいう。これに対して、1パッケージ内に複数のチップを収納したデバイスにはハイブリッドIC(混成集積回路)、マルチチップモジュール(MCM)、SiP (System in Package) などがある。

機能・構造による分類



経済産業省統計の分類(2009年版)

■半導体素子	■集積回路
シリコンダイオード	半導体集積回路
整流素子(100mA以上)	●線形回路(リニアIC)
トランジスタ	標準線形回路
●シリコントランジスタ	非標準線形回路
1W未満	・産業用機器向け
1W以上	・民生用機器向け
●電界効果型トランジスタ	●計数回路(デジタルIC)
●IGBT	バイポーラ型
サーマスタ	MOS型
バリスタ	・マイクロコンピュータ
サイリスタ	MPU
光電変換素子	MCU
●発光ダイオード	・ロジック(論理回路)
●レーザダイオード	標準ロジック
●カプラインタラプタ	セミカスタム
●その他の光電変換素子	ディスプレイドライバ
その他の半導体素子	その他のロジックIC
	・メモリ(記憶素子)
	DRAM
	SRAM
	フラッシュメモリ
	その他メモリ
	・その他のMOS型
	CCD
	その他MOS型
	混成集積回路(ハイブリッドIC)

その他の半導体分類(大分類を記載)

■半導体材料による分類	化合物半導体	バイポーラ
単体半導体 ●Si (シリコン) ●Ge (ゲルマニウム)	●GaAs (ガリウムひ素)	●RTL
	●GaP (ガリウムリン)	●DTL
	●GaN (ガリウムナイトライド)	●TTL
	●AlGaAs (アルミニウムガリウムひ素)	●iIL (iPL)
	●SiC (シリコンカーバイト)	●ECL
	●SiGe (シリコンゲルマニウム)	●CTL
	●InP (インジウムリン)	
	●InGaP (インジウムガリウムリン)	
■トランジスタ構造による分類		
MOS ●CMOS ●nMOS ●pMOS	複合素子 ●Bi-CMOS ●IPD (Intelligent Power Device) ●SOI (Silicon on Insulator)	
■集積度による分類		
SSI (Small Scale Integration) 100素子以下	100素子以下	小規模集積回路
MSI (Middle Scale Integration) 100 ~ 1,000素子	1,000 ~ 1,000,000素子	中規模集積回路
LSI (Large Scale Integration) 1,000 ~ 1,000,000素子	1,000,000 ~ 10,000,000素子	大規模集積回路
VLSI (Very Large Scale Integration) 10,000,000素子以上		超大規模集積回路
ULSI (Ultra Large Scale Integration) 10,000,000素子以上		超超大規模集積回路
■取り扱う信号による分類		
アナログ	デジタル	アナログデジタル混載

■パッケージによる分類	■用途による分類
233ページ参照	民生機器向け
■構造による分類	産業機器向け
単体デバイス	コンピュータ機器向け
複合デバイス ●ハイブリッドIC ●モジュール	通信機器向け
	車載向け
	軍需、宇宙向け
	その他
■品質水準による分類	
一般電子機器品質水準	
コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、家電、工作機械、パーソナル機器など	
●JEITA (EIAJ) 規格	
●IEC規格	
特別高品質水準	
輸送機器、交通用信号機器、各種安全装置、航空宇宙機器、海底中継機器、原子力制御システム、医療機器など、その故障や誤動作が直接人命を脅かしたり人体に危害をおよぼす恐れのある機器	
●MIL規格品 (Military Specifications and Standards: 米軍規格)	
●JAXA認定部品 (Japan Aerospace Exploration Agency: 宇宙航空研究開発機構)	
■安全規格	
●ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構)	
●IEC (International Electrotechnical Commission: 国際電気標準会議)	
●UL (Underwriters Laboratories Inc.: 米保険業者安全試験所)	
●CSA (Canadian Standards Association: カナダ規格協会)	
●CE (European Conformity: 欧州安全基準)	
●VDE (Verband Deutscher Elektrotechiker: ドイツ電気技術協会)	

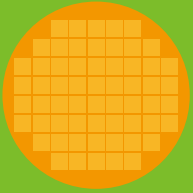
Green Clean Semiconductor

よくわかる半導体

ICガイドブック 2009 基礎編より

発行 社団法人 電子情報技術産業協会 JEITA
電子デバイス部

URL: <http://www.jeita.or.jp>



Green Clean Semiconductor