

半導体の話

半導体の性質

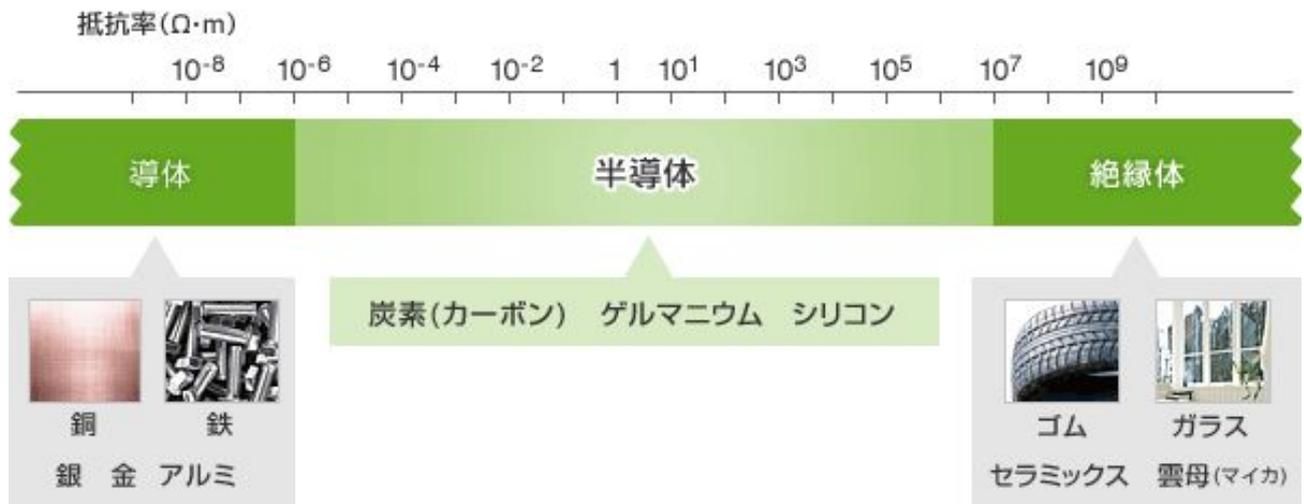
導体と絶縁体の中間の電気伝導性を持つ物質。代表的なものにはシリコンがある。周囲の温度などの要因によって伝導率が変化する性質があり、高温になると内部抵抗が低下するため、電子機器では高温になるのを避けなければならない。ICやダイオード、トランジスタを指して半導体と言う場合があるが、正確には半導体素子と言う。

その名称は広く知られていますが、そもそも「半導体」とはどのようなものなのでしょうか。半導体は、一定の電氣的性質を備えた物質です。物質には電気を通す「導体」と、電気を通さない「絶縁体」とがあり、半導体はその中間の性質を備えた物質です。

電氣的性質を示すものとして抵抗率があります。導体は抵抗が低くて電気が通しやすい金、銀、銅などが相当します。絶縁体は抵抗が高く、電気が通りにくいゴム、ガラス、セラミックスなどがあります。これらの中間的な性質を備える半導体は、温度によって抵抗率が変化します。低温時ではほとんど電気を通しませんが、温度が上昇するにつれて、電気が通りやすくなります。

また不純物をほとんど含まない状態の半導体は、ほとんど電気を通しません。しかし、ある種の元素などを含ませることで電気を通しやすくなります。こうした性質が、多くの電化製品の制御を行なう上でとても役立つのです。

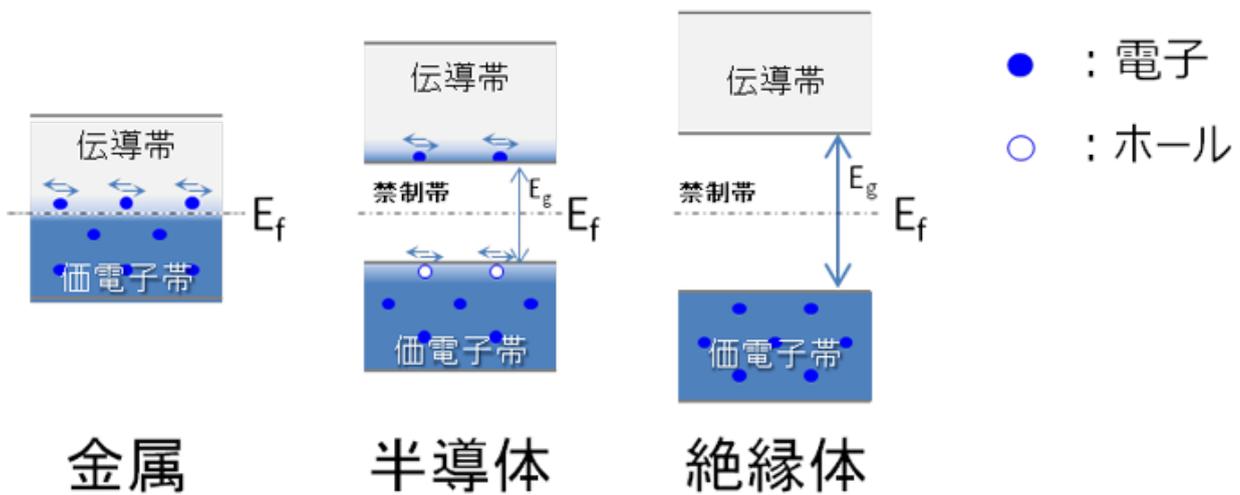
なお、半導体には単一の元素からなる「元素半導体」があり、半導体材料としてよく知られているシリコンなどが含まれます。これに対し、2種類以上の化合物からなるものは「化合物半導体」と呼ばれ、半導体レーザーや発光ダイオード(LED)などに使われています。



エネルギーバンド

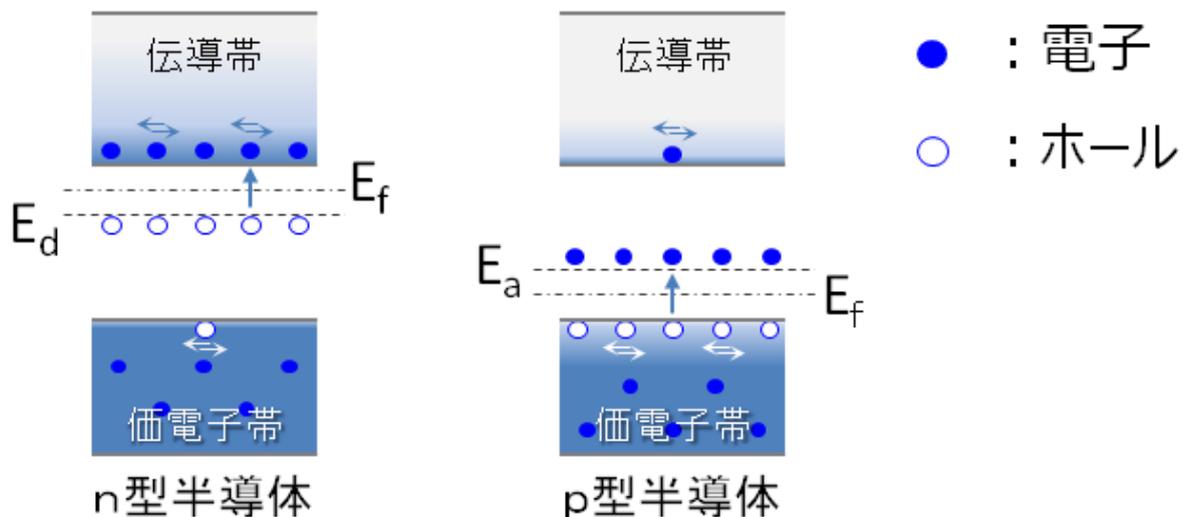
原子は、原子核とその周りの軌道上の電子で構成されています。それぞれの軌道は不連続的な飛び飛びの値をもちます。電子が取ることのできるエネルギーを、「エネルギー準位」と呼びます。原子が多数集まって結晶を構成すると、このエネルギー順位が連続的に分布し、バンド(帯)状の順位を作ります。これがエネルギーバンドです。

金属、半導体、絶縁物のバンド構造を比較すると、以下の様になります。



金属では、バンド中にフェルミ準位 (E_f) があり、価電子を含むバンド内に空き準位があります。このため、金属では価電子がそのまま伝導電子（自由電子）となります。絶縁体と半導体の相違は、このバンドギャップ (E_g) の大きさの違いです。バンドギャップ (E_g) が大きいほど、抵抗値が高くなります。

ICなどに使われる半導体の結晶は、99.999999999%と9が11桁も並ぶ、高純度の単結晶シリコンですが、これで実際に回路を作る場合は、不純物（添加物）を加えて電気的性質を制御して使っています。加える不純物によって、n型、p型の半導体になります。



n型半導体には、高純度シリコンに5価のリン (P) や、ヒ素 (As) が添加されています。これらの不純物は、ドナーと呼んでいます。ドナーのエネルギーレベルは、伝導帯に近い位置、すなわちエネルギーギャップの小さな位置にあります。するとこのエネルギーレベルにいる電子は、容易に伝導帯まで励起されて電気伝導に寄与します。

一方p型半導体には、3価のボロン (B) などが添加されています。これは、アクセプターと呼んでいます。アクセプターのエネルギーレベルは、価電子帯に近い位置にあります。ここにはもともと電子がないので、価電子帯の電子がここに励起されます。その結果、価電子帯に正孔（ホール）ができ、これが電気伝導に寄与します。

ゲルマニウムの健康への効果

テスト対象銘柄に表示されていたゲルマニウムの健康への効果は、文献調査及び製造・販売業者に対するアンケート調査を実施したところ、根拠となる科学的データが確認できなかった。ゲルマニウムブレスレットを購入する人は健康への効果を期待すべきではない。

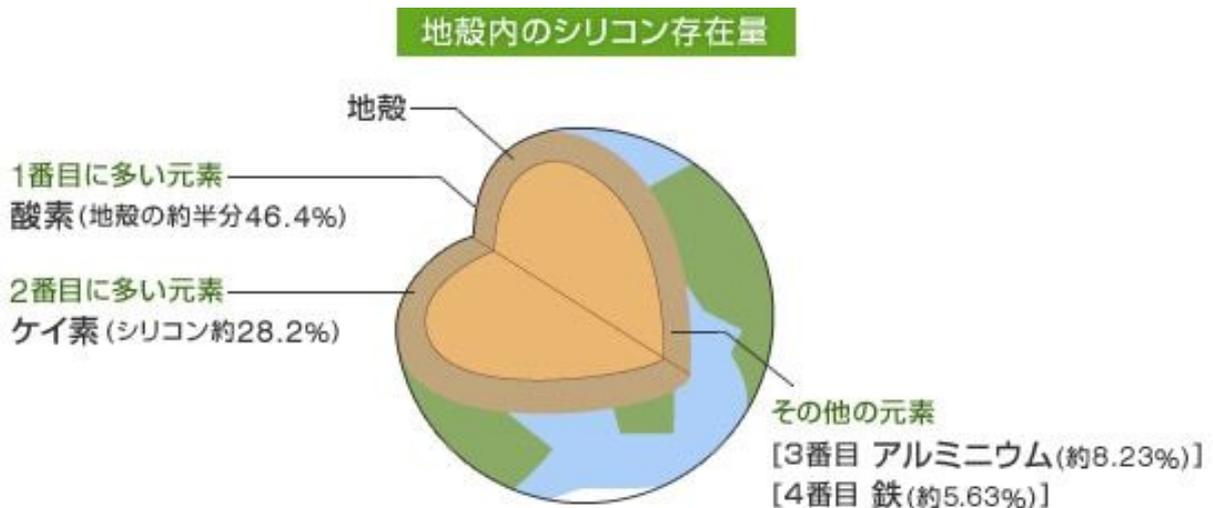
半導体材料シリコンについて

パソコンやテレビ、スマートフォンやデジタルカメラ、さらにICカードなど身近な電気製品に幅広く使われている半導体。その半導体に最も多く使われている素材がシリコン（元素記号=Si）です。日本語でケイ素と言われるシリコンは、地球上で酸素の次に多い元素です。多くは土壌や岩石にあります。天然水、樹木、植物などにも含まれ、最も「ありふれた元素」と言っても過言ではありません。

しかし自然の中にあるシリコンは、酸素やアルミニウム、マグネシウムなどと結びついているため、シリコン元素の抽出には精錬が必要です。なかでも、IC（集積回路）などの半導体に使われるシリコンでは、「99.999999999%」（イレブン・ナイン）という「超高純度の単結晶構造」が要求されるため、抽出後に各種の製造工程を経て精製されます。

単結晶とは、原子が3次元的に規則正しく並んだもので、その配列の基本単位を結晶格子といいます。単結晶とは、この結晶格子が、繰り返し規則的に配列されているものです。シリコンの結晶格子は、8個のシリコン原子を持つ単位格子による「ダイヤモンド構造」になっており、各々のシリコン原子は、4つの結合手によって周囲の4個のシリコン原子と結合しています。「ありふれた元素」でも、こうした安定した構造を持つシリコンだからこそ半導体の素材として利用されているのです。

なお、シリコンの精錬には大量の電力が必要なため、日本では、電力の比較的安価なオーストラリアや中国、ブラジルなどから精錬された純度98%以上の金属シリコン（インゴット）として輸入しています。



金属ケイ素とは、ケイ石を還元して製造される金属の一種でシリコンの主要原料。半導体デバイスの基板として使われているシリコンウエハーの原料です。

原鉱石であるケイ石は、酸素とケイ素が結合した二酸化ケイ素（SiO₂）（珪石、珪砂、シリカ）のかたちで天然に存在しています。ケイ素は石やガラスの主成分で、河原などで見かける白い石は、ケイ素を多く含んだケイ石です。

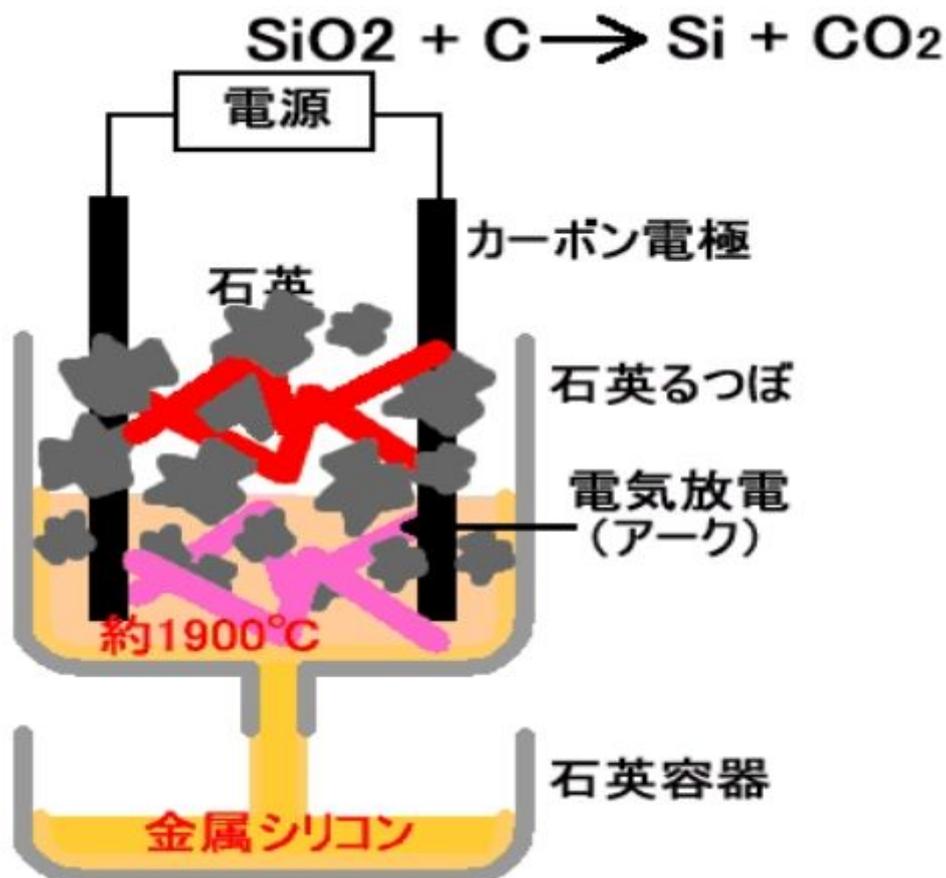
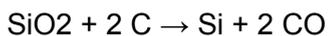
金属ケイ素はアルミニウムと同様、酸化物から還元するには大量の電力を必要とするため、金属シリコンの状態になってから輸入するのが一般的。

金属ケイ素の製造には膨大な電力を消費します。日本では1982年をもって国内で生産するメーカーがなくなり、現在は全量輸入されています。電力の安い国が金属シリコンの供給源となるため、これまで中国、ブラジル、ロシア、南アフリカ、ノルウェーなどが主要な供給国でしたが、近年はオーストラリア、マレーシア、ベトナムなども注目されているそうです。

ケイ素と酸素を主成分とするケイ石を木炭などと一緒に電気炉で融解、還元してつくります。具体的には電気炉にケイ石、木炭などの炭材を配合投入し、そこに大電流を流して炉心温度を上げると、炭材から出るガスがケイ石から酸素を奪い、ケイ素が金属状に遊離して金属ケイ素ができて上がります。

金属グレード (MG) シリコン

ケイ素の単体はカーボン電極を使用したアーク炉を用いて、二酸化ケイ素を還元して得る。この際、精製されたケイ素は純度99%程度のものである。



半導体の歴史

半導体の歴史・誕生は、1874年の整流器（AC-DCコンバータ）の発明までさかのぼります。その後、1947年に米国・ベル研究所でバーディーン、ブラッテンによって点接触型トランジスタ、1948年にはショックレーによる接合型トランジスタが発明されたことで、トランジスタ時代が到来しました。1946年に米国・ペンシルバニア大学が開発した真空管を利用したコンピュータは、建物が真空管で一杯になるほど大きく、使用電力も発熱も膨大でした。しかし、画期的なトランジスタ式計算機（コンピュータ）の登場で、以降コンピュータは大きな成長を遂げていきます。その後、半導体の研究とトランジスタの開発が認められ、1956年にショックレー、バーディーン、ブラッテン3名に、ノーベル物理学賞が授与されました。

トランジスタの発明を機に半導体産業は大きく伸長し、1957年には、すでに1億ドルを超える規模にまで成長しました。半導体の歴史は、1959年、米国テキサス・インスツルメンツ社のキルビーやフェアチャイルド社のノイスによるバイポーラIC（集積回路）の発明によって大きく動き始めました。このICは、小型、軽量化できることからさまざまな電気製品で幅広く使われるようになり、IC時代の幕開けとなりました。

1967年、テキサス・インスツルメンツ社がICを使った電子式卓上計算機（電卓）を開発。日本国内でも、電子機器メーカーが相次いで電卓を発表し、70年代終わりまで熾烈な「電卓戦争」を展開しました。その後、ICの集積度は一段と進み、LSI（大規模集積回路）へと飛躍を遂げ、さらに80年代はVLSI（素子集積度が10万～1000万個）、90年代のULSI（素子集積度が1000万個超）へと技術革新が進みました。2000年代に入ると、システムLSI（多数の機能を1個のチップ上に集積した超多機能LSI）の生産が本格化していきました。ICの高機能、多機能化が進むことで、応用の分野は多岐にわたり、半導体は社会のすみずみで使われ、私たちの生活を支えています。

バイポーラトランジスタまたはバイポーラジャンクショントランジスタ（英: Bipolar junction transistor; BJT）は、トランジスタの一種である。N型とP型の半導体がP-N-PまたはN-P-Nの接合構造を持つ3端子の半導体で、電流増幅・スイッチング機能を持つ。電界効果トランジスタなどのユニポーラトランジスタと異なり、正・負両極のキャリアをもつためバイポーラと呼ばれる。

電界効果トランジスタ（でんかいこうかトランジスタ、Field effect transistor, FET）は、ゲート電極に電圧をかけることでチャンネル領域に生じる電界によって電子または正孔の濃度を制御し、ソース・ドレイン電極間の電流を制御するトランジスタである。電子と正孔の2種類のキャリアの働きによるバイポーラトランジスタに対して、いずれか1種類のキャリアだけを用いていることから、別名「ユニポーラトランジスタ」とも呼ばれる。また、電界を使って電流を制御する点において、特性は真空管に類似している。

真空管

真空管とは、内部を高度に真空にし、電極を封入した中空の管（管球）のことである。陰極から陽極に流れる電子流を制御することによって増幅、検波、整流、発振などを行うことができる。構造としては、一般的にガラスや金属あるいはセラミックスなどで作られた容器内部に複数の電極を配置し、容器内部を真空もしくは低圧とし少量の稀ガスや水銀などを入れた構造を持つ。

原理や機能としては、電子を放出する電極（陰極）を高温にして熱電子放出効果により、陰極表面から比較的低い電圧により容易に電子を放出させ、この電子を電界や磁界により制御することにより、増幅、検波、整流、発振、変調などができる。

二極管が発明されたイギリスを中心とした欧州で主に、その電極の数により、二極管のことをダイオード、三極管のことをトライオード、四極管のことをテトロード、五極管のことをペントードという。

特殊な真空管の一種であるマグネトロンは、強力なマイクロ波の発生源として、電子レンジやレーダーなどに使われ、現在でも大量生産されている。

テレビ受像機などに用いるブラウン管も広義の真空管であり世界で量産されているが、薄型テレビへの移行から減少傾向にあり日本国内での生産はオシロスコープなどの測定機などを除き終了している。

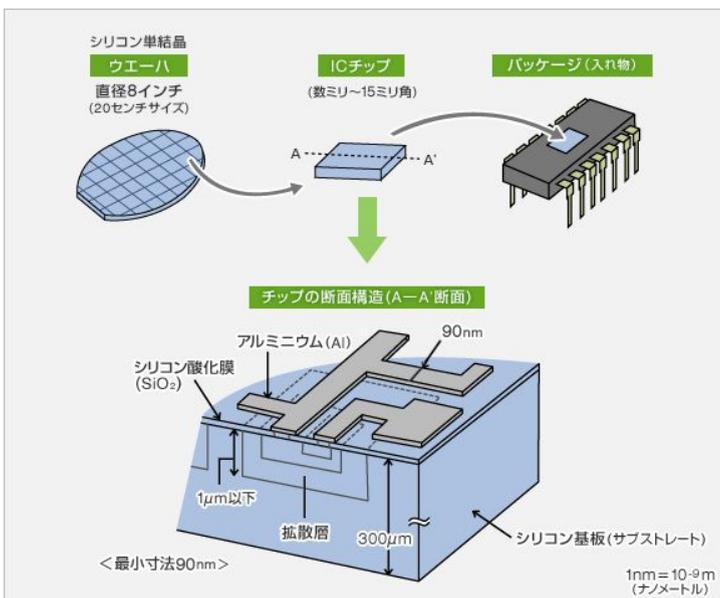
半導体 - IC（集積回路）について

集積回路（Integrated Circuit）は、ひとつのシリコン半導体基板の上に、トランジスタ、抵抗（電気抵抗）、コンデンサなどの機能を持つ素子を多数作り、まとめた電子部品です。このICは、複数の端子を持つパッケージに封入されています。現在のICは、最小寸法として10ナノメートルをきるほどの極小のものも使われています。

その昔、少年達が夢中になった鉱石ラジオでは、個別のトランジスタ、抵抗、コンデンサ、ダイオードをプリント基板に挿して、配線していましたが、現在のICは、鉱石ラジオと比べると、寸法で約5万5000分の1、面積で30億分の1というサイズに小型化、高集積化されています。高集積化したことで様々な機能を積み込めるようになり、電子機器の性能を飛躍的にアップさせました。

ICの製造では、前工程としてシリコンウェーハ上にICを多数作り込みます。その後の工程で、1個1個のチップ（ダイ）として切り出し（ダイシング）ます。パッケージへ封入するのは、この切り出したICチップでは、小さすぎてプリント基板への電氣的接続が難しいことや、ICチップそのままでは傷をつけたりしてしまうからです。パソコンを開けたときに目にするゲジゲジの足のよな形状をしたものの中に、ICがパッケージングされて隠れています。

1つのICの中にトランジスタなどの素子を多数集積すると、その素子数で、LSI(1000素子以上)、VLSI（10万素子以上）、ULSI（1,000万素子以上）などと呼ばれます。今日では、これら高集積のIC全体をLSI、またはVLSIと呼ぶことが多いようです。



シリコンウェーハメーカー

株式会社SUMCO

(サムコ、英: SUMCO Corporation) は、新日鐵住金・三菱系の大手半導体用シリコンウェーハメーカーである。

信越化学工業

塩化ビニル樹脂、半導体ウエハ、シリコン樹脂、希土類マグネットなどを主力商品とする。特に塩ビとウエハでは世界シェア首位。

半導体 - 最近注目の半導体 パワーデバイス



パワー半導体

CPUやLSIといった半導体が主に「演算」や「記憶」を行うのに対して、電力の制御や変換をするのがパワーデバイスです。半導体というとICを想像するかもしれませんが、パワーデバイスは、ICよりも大きな電圧、電流を扱える半導体です。たとえば、電車の走行で電力を制御しているのはインバータという電源回路ですが、そこには「GTO（ゲートターンオフサイリスタ）」や「IGBT（絶縁ゲートバイポーラトランジスタ）」と呼ばれるパワーデバイスが組み込まれています。1秒間に数百回から数万回も電源のオンとオフを行い、さらに数千ボルトという高い電圧を扱えるパワーデバイスだからこそ新幹線の走行も可能になっているのです。

今日、私たちの日常生活に欠かせないエアコンや冷蔵庫、電子レンジ、炊飯ジャー、液晶テレビといった家電製品はもちろん、地球温暖化対策には欠かせないハイブリッドカー、燃料電池、太陽電池や風力発電などにも、効率の良いIGBTをはじめとするパワーデバイスが組み込まれたインバータが使われています。

パワー半導体はシリコン素材が主流ですが、新しい半導体材料として、SiC（炭化ケイ素）やGaN（窒化ガリウム）があります。シリコンよりも電気を通しやすく、電力損失が大幅に削減されます。これにより効率向上や小型化が図れ、ハイブリッドカーの燃費向上、電気自動車、電車をはじめ、様々な機器の効率向上、省電力化が期待されています。

MEMS（メムス、Micro Electro Mechanical Systems）



MEMSセンサー

MEMSとは、センサー、アクチュエーター、電子回路といった微小機械要素部品を、シリコンウェーハの上に作り込んだ超小型システムで、LSIの製造技術を応用した微細加工技術で作られます。MEMSはさまざまな製品の超小型化に貢献しています。たとえば、プロジェクタのデジタルマイクロディスプレイ（DMD）や、インクジェットプリンタのヘッド部にある微小ノズル、ジャイロスコープ、圧力センサー、加速度センサー、流量センサーなどの各種のセンサーなどがあります。また、医療用として血液検査チップやカテーテルなどにも応用されています。

MEMSの最大の特徴は、従来のLSIが平面上に電子回路を集積していたのに対して、立体的に積み上げる積層技術によって、電気的な機能ばかりでなく、メカニカルな機構をウェーハ上に大量に作れる点にあります。これにより、LSIのさらなる高性能化、大容量化を実現することが可能になります。今後、MEMSによって、センサー等のデバイスは、一層の小型化、低消費電力化を実現することが期待されています。

半導体製造工程

半導体チップは、トランジスタや配線を半導体ウェーハ上に多数形成して電気回路を形成したものです。これらは、集積回路（IC、LSI）と呼ばれます（参考：IC（集積回路）について）。トランジスタや配線の配置はコンピュータでフォトマスク（レチクル）上にパターンとして描かれます。これを次に紹介する半導体製造工程によって半導体ウェーハ上に転写して形成します。

ウェーハ処理工程（前工程）

半導体製造工程の前工程と呼ばれる半導体ウェーハ処理工程では、シリコン結晶ウェーハ表面上にトランジスタなどを含む電子回路を高集積で形成して行きます。

集積回路形成の基本は、

配線や、トランジスタ等になる薄膜層をウェーハ上に形成します（成膜）。

シリコンウェーハの薄膜上に感光材（フォトレジスト）を塗布し、フォトリソグラフィ技術でフォトマスク（レチクル）上の回路パターンを転写します。

現像されたフォトレジストをマスクにして、エッチングによって、薄膜を配線等の形状に加工して行きます。

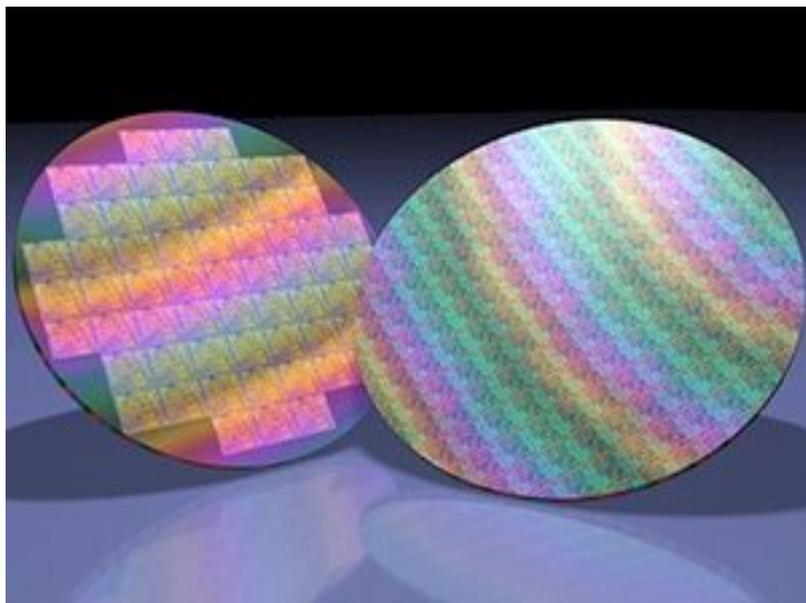
これで、一層の回路が形成されます。一番下の層にトランジスタを形成します。同様の工程を繰り返すことで、この上に何層もの配線回路層を形成して行きます。

半導体製造工程で各層の回路を形成して行く途中で、検査、計測の工程が入り、パターンが設計通り製作されているかどうかをチェックします。ここで不具合が発見されると、製造を中断し、工程の不具合を取り除いたり、製造の条件を微調整したりして修正して行きます。1枚のウェーハ上には、四角い半導体チップが百個以上製造されます。現在は、最大で直径300mmのシリコンウェーハが製造に使われています。今後、最先端のウェーハ製造では、直径450mmのシリコンウェーハも使うよう検討されています。

前工程と後工程

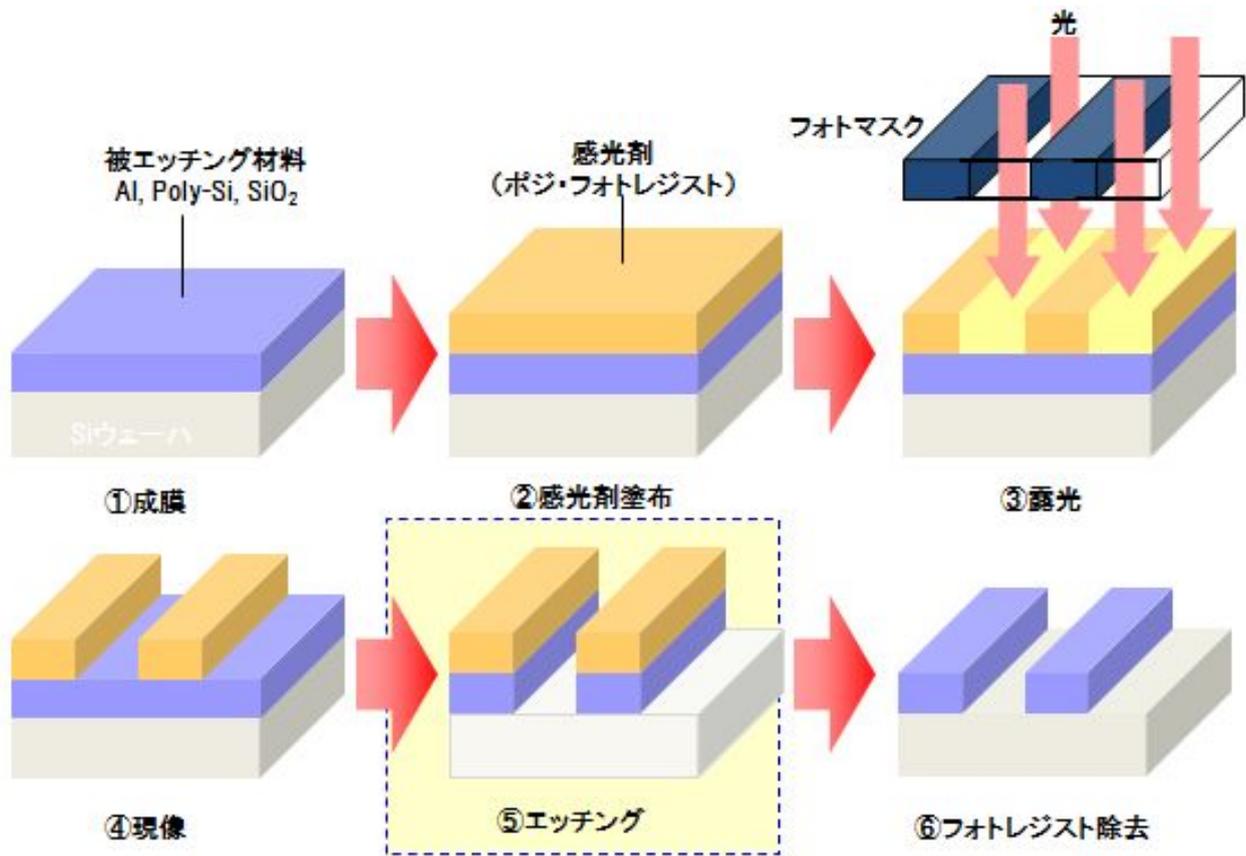
半導体デバイスは、以下の半導体製造工程の前工程（ウェーハ処理工程）と後工程（組立工程）を経て完成します。

完成した製品は、パソコン、スマートフォン、自動車を始め、暮らしの中で様々な製品に使われています



エッチング装置とは？

エッチング装置とは、薬液や反応ガス、イオンの化学反応を使って、薄膜の形状を化学腐食、蝕刻加工する装置です。半導体等の電子デバイスの製造ラインで使用されます。加工工程の流れを示します。



エッチングには、ウェットとドライがあります。以下にそれぞれを説明します。

ウェットエッチング

酸やアルカリを用いて露出部分を除去します。

ウェットエッチング装置の特徴

- 薬液が安価
- 一度に複数枚処理可能
- 等方性

ドライエッチング

高真空プラズマを利用
ガスをプラズマ化し、化学反応と加速したイオンで除去します。

ドライエッチング装置の特徴

- 微細加工、異方性に優れている
- プラズマを用いる
- ウェットよりも高価

プラズマとは？

プラズマ (plasma) は、正の電荷をもつ粒子 (イオン) と負の電荷をもつ電子が電離状態で同程度分布し、全体として電気的中性を保つ粒子集団です。以下にドライエッチング装置の各種プ

ラズマ方式を示します。

加工機器

ダイシングソー（英語：dicing saw）は、切断機械の一種。ダイシングに使うカッターで、シリコンウェハの切断を行う。現在では直径200mmあるいは300mmのシリコンウェハの切断が主流で、0.05mm四方の切断も可能である。

樹脂に工業用ダイヤモンドを埋めさせたダイヤモンドブレードが主流である。又、ブレードの厚みは対象素材により異なるが、シリコンウェハを切断する際は20 μ m～35 μ m程度の物が用いられる。

シェアはディスコや東京精密などの日本企業だけで9割を占めている。以前はウェハ厚の2/3程を切削するハーフカットが主流であったが、ウェハサイズの大径化に伴い、テープマウントの上、ウェハを全部切り込むフルカットが主流になってきている。それに伴い、前後の工程が、ダイシングソー（ハーフカット）⇒エキスパンド（テープにハーフカット済みのウェハを貼り付けローラーによりウェハの残りの部分を割りチップに分割）から、マウンター（フレームにテープ（主にUV硬化型テープ）とウェハを同時に貼り付ける）⇒ダイシングソー（フルカット）⇒UV照射へ変更されている。