

半導体

半導体とは物質の性質を示す言葉である。物質には電気をよく流すもの（電気伝導体）、電気を流さないもの（電気絶縁体）、導体と絶縁体の間の電気伝導性を示すもの（状況により電気を通したり、通さなかったりする物質）がある。

一般に半導体と言ったとき、半導体物質そのものというよりは、半導体素子（半導体デバイス）やICチップをさすことが多いが、まず物質（素材）としての半導体について触れ、次に応用について触れ、それらが組み合わされて発現される特性に触れる。今日よく使われている半導体素材は高純度ケイ素（シリコン、周期表のIV族の元素）で、このもの自体は電気絶縁性だが、リンやヒ素（周期表V族の元素）を少量添加したものがn型半導体として、また、シリコンにホウ素など（周期表III族の元素）を少量添加したものがp型半導体として働くことが明らかにされている。n型半導体とp型半導体を組み合わせたものに加えて抵抗、コンデンサを組み合わせたものが非常に小さく作られ、それらが集積された機能豊かな半導体集積回路が製造されている。

1. シリコンを使ったn型半導体

周期表IV族のシリコンやゲルマニウムが半導体製造に使われるが、シリコンが圧倒的に多い。IV族の元素は原子集合体（固体）を形成するとき隣の原子との間で化学的結合をする。この結合に使える電子をIV族の元素は4つ持っている。（4つの手を伸ばして結合相手を求めていることを想像してみてください）。4つの電子の位置は正四面体の4つの頂点の位置にあり、原子核は重心の位置にあるとされている。この四面体が連なってできているのがシリコンの結晶です。この結晶に不純物としてのリンやヒ素が入ってくると、どうなるのでしょうか。リンやヒ素はV族に属し、原子と原子が化学的に結合するのに使える電子を5つ持っている。結合の手を4つ持つシリコン原子からなるシリコン結晶にV族の原子がどのように存在するのでしょうか。5つの結合に使える電子の内4つは相手が存在するが、1つは相手がいない状態です。この相手のない電子（自由電子）がある条件下で結晶の中を動くことができ、電気伝導に関与する。電子はマイナスの電気を持っているので、negativeの頭文字のnでn型半導体と呼ばれている。

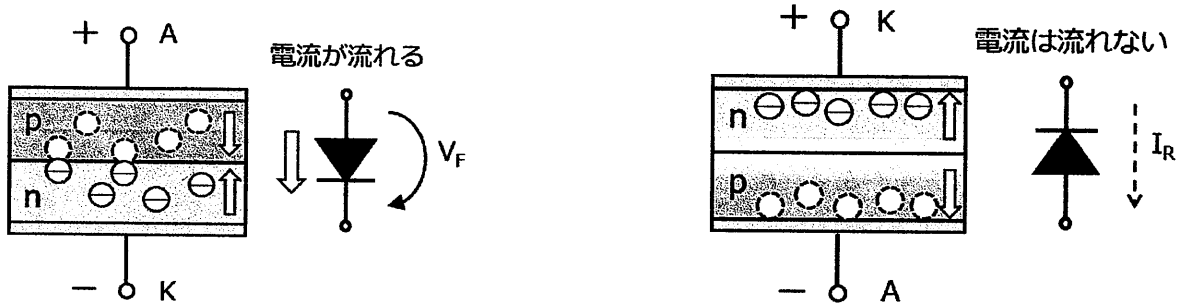
2. p型半導体

IV族のシリコンの結晶にIII族のホウ素が少量は入っている場合（III族のホウ素は結合に使える電子を原子1つにつき3つ持っている）シリコン原子とホウ素原子が隣り合った場合シリコン原子の結合に使える4つの電子の内1つの電子は結合相手のない状態になります。結晶という大きなものから見ますと、結晶の中に電子が不足しているところが生じる。この部分は電子不足により正に帯電することになり（この部分を正孔と呼ぶ）、ある条件下で結晶の中を動くことができる。positiveのpを取ってp型半導体と呼ばれている。

3. n型とp型の半導体を接触させるとどのようなことが起きるか。

n型とp型の半導体を接触することでpn接合と呼ばれる接触面（ジャンクション）が生まれる。これを半導体素子として使用すると、整流反応によってトランジスタやダイオードとしての利用が可能になる。接合によりp型の正孔とn型の自由電子が引きつけ合う。この

反応が進行すると、p型半導体はマイナス極として帯電し、n型半導体はプラス極として帯電し、電界が発生する。このような接触により接触面にはキャリアの存在しない空乏層（正孔や自由電子が存在しない層）が生まれる。この層は電気を通すことができなくて絶縁性になる。このような現象を上手く利用すると整流作用が示される。これは一方向にしか電流が流れない状態のことで、電流が流れる方向と流れない方向を作り出せる。



4. 集積回路(IC)とは

集積回路とは電子部品の繋がりであり、その電子部品の各種繋がりを一枚の基板（チップ）上に実装したものを集積回路と呼ぶ。電子部品（回路素子）とは抵抗やコンデンサ、トランジスタなどであり、ICと言われるものでは多数の素子が集積され、パッケージングされている。多いものだと数十億個のトランジスタが搭載されているものもあるそうです。しかもナノメートルという極微細なチップ状です。

1m の 1/1000 が 1mm, 1mm の 1/1000 が 1 μ m (マイクロメートル), 1 μ m の 1/1000 が 1nm (原子は 0.1nm) くらい。

パッケージング(Packaging)：半導体チップを搭載する電子機器に適した形態にする工程。集積回路は、基板や電子機器の構成部品で、必要な位置に装着するには、それに適した形にパッケージングする必要がある。つまり、相互配線、電力供給、防熱などの役割を持つ。

4.1 集積回路の製造過程

コンピューターを用いて回路パターンを設計・作成しておく。作成した回路パターンをコンピューターを用いて透明なガラス板の表面に描く。これがフォトマスクとなり、ウエハーに回路を転写する際に用いる。集積回路の正体は半導体です。シリコンウエハーが半導体製造で使われている。シリコン結晶が基本材料です。

純度の高いシリコンを高温でとかし、ここに不純物（半導体の性質を決める重要なもの）を入れる（ドーピングという）。ドーピングしたもの（融体）をゆっくり回転しながら引き上げ、大きな円柱状の塊（インゴット）を作る。

インゴットを 0.5~2 mm 程度の薄さにスライスする。このスライスしたものがウエハーとなり、集積回路の基板となる。

ウエハー回路を転写する。(光学装置を使ってウエハーに集積回路を形成する) ウエハーにフォトレジスト(感光性樹脂)を均一に塗布し、事前に作っておいたフォトマスクを付け、光照射を行う。縮小レンズを通すため、極微細なウエハーにもフォトマスクのパターンを転写できる。

回路パターンによって露光する部分としない部分とが存在するため、照射後に溶液(光が当らず感光していない部分のレジスト(樹脂)を溶解除去するための溶液)に入れ、感光しなかった部分のフォトレジストを除去すると、パターンが出来上がる。このパターンに沿ってエッチング(化学反応で金属を溶解・除去する操作)すると、回路がウエハー上に出来上がる。このエッチング後に不純物のドーピングを行うことができる。

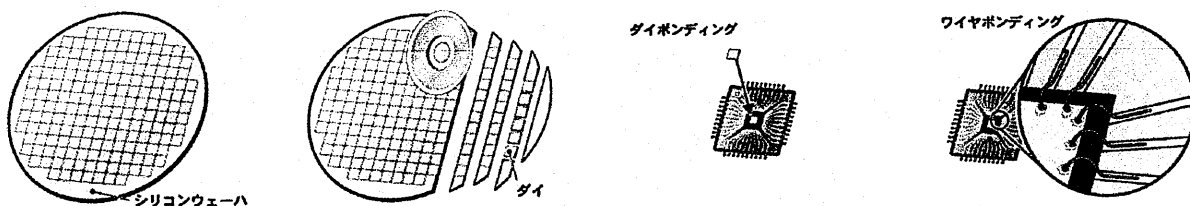
この工程の繰り返しで、必要な回路がウエハー上に転写される。そうして全ての回路パターンが転写できたら、電極を作成する。

集積回路となったウエハーはカッターで個々に切り離される。切り離された1つダイ(die)という。ダイは配線用の端子の台の上に置かれ、ワイヤーで接続される。ダイの保護のためにプラスチックなどでパッケージングされ、集積回路が出来上がる。

4.2 集積回路の仕組み

集積回路の仕組みを読み解くには、実装される半導体がどのように構成されているかを知らなくてはならない。半導体には様々な形状があるが、どうやって小さなチップ(指の先にのるくらいのもの)の上に集められているのか疑問に思ったことがあります。

平らなウエハーを酸化膜で覆った後、さらにその酸化物の特性の部分除去する。酸化物がn型半導体とすると、除去した部分は空洞ができるので、そこに別の不純物を入れてp型にすることが出来る。個々の部分はn型半導体とp型半導体が共存することになる。n型-p型-n型の配列ができると、NPNトランジスタとして機能する。実装されたトランジスタがスイッチングを行うことで回路としての集積回路として働くウエハー上に多数の素子が複雑にセッティングされ、それらを接続する配線層が構成される。



田里 伊佐雄(たり いさお)