

## 第18回 ディスクリート① —ダイオード—

厚木エレクトロニクス 代表  
サクセス インターナショナル 取締役  
加藤俊夫

今月と来月は、ディスクリートについて勉強しましょう。業界の話題はLSIが中心になりがちですが、どっこいディスクリートも技術革新が激しく、なくてはならない部品として頑張っています。ディスクリートは日本語では「単体」とか「個別半導体」とか訳されていますが、一つのチップにトランジスタなどが複数個載っているのがICで、1個だけ載っているのがディスクリートです。なんだ1個だけの単純なものか、なんて言わないで下さい。複雑な構造のものもあり、技術革新も激しいデバイスですから、勉強しておく価値は多いにあると思います。今月は、ダイオードだけで誌面が埋まってしまいました。来月はトランジスタを取り上げます。

ところで、私はミスをしたようです。半導体のPN接合の説明を第1、2回の基礎のところで行った積りだったのですが、読み返してみると全く抜けていました。はじめに、その補講を行いますのでご容赦下さい。

### PN接合の理論

半導体には、何もドーピングしていない真性半導体と、P型、N型があることは周知の通りです。Si単結晶には、Ⅲ族の原子をドーピングしたP型と、Ⅴ族の原子をドーピングしたN型があります。一つの結晶中に、P型とN型の部分が接しているのをPN接合（Junction）と呼んでいます。図1上のようにP型にプラス、N型にマイナ

スの電圧をかけると電流は流れて「順方向」と呼ばれますが、逆につなぐと電流が流れず「逆方向」と呼ばれます。これが半導体特有の面白い性質です。何故、そんな現象が現れるのか、図1下で少し詳しく見てみましょう。

まず、P型にマイナス、N型にプラスの逆方向につなぐと、P型に多数存在するプラスの電荷を持った正孔は、マイナス電極からのクーロン力に引かれて左へ移動します。すると、元々電的に中性だったⅢ族原子は、正孔を失ってマイナスに帯電した固定電荷として残ります。すると、

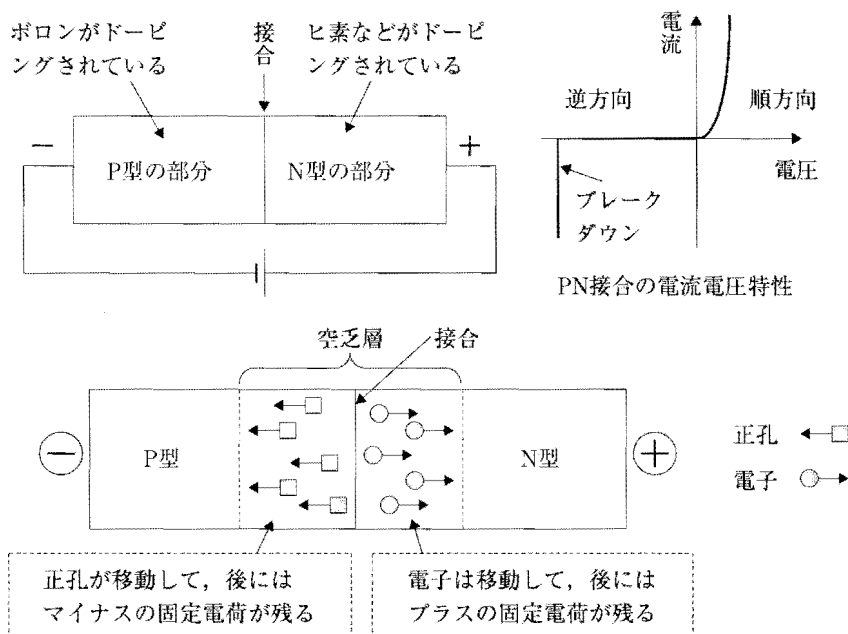
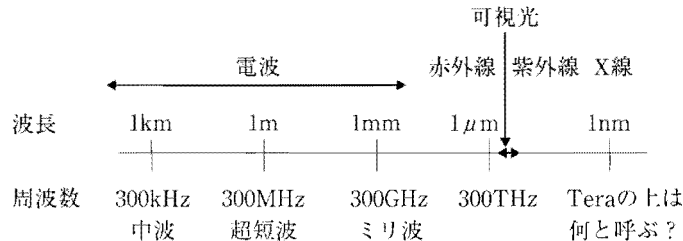


図1 PN接合の理論（順逆特性と空乏層について）



＜ちょっと脱線＞光と電波は出世魚？

魚屋さんの店に並んでいるイナダ、ハマチ、ブリは、同じ魚とは思えないが、実は同じ魚で大人になるにつれて名前が変わる出世魚です。そのように光と電波も同じ電磁波と呼ばれる波で、下の図のように周波数が低い時は電波と呼ばれ周波数がテラ・ヘルツ以上になると光と呼ばれる出世魚だったのです。これまで、電波は電波、光は光として扱われてきましたが、最近ではこの中間のテラ・ヘルツの利用が検討されるようになってきました。



電磁波の波長と振動数

の高電圧を必要としていましたから、高耐圧ダイオードが多数使われていました。

しかしながら、FPD-TVでは、こんな高耐圧回路は必要ありませんから、この業界は萎んでしまったのではないのでしょうか。化合物半導体などでは1万V以上の高い耐圧のダイオードもあります。

4. Vari Cap (Variable Capacitor:可変容量ダイオード)

PN接合の空乏層は、絶縁物を挟んだ平行平板コンデンサと同じ働きをしますが、空乏層の幅はかける電圧によって変化しますから、容量を自由に変えることができる、一風変わったコンデンサと言えます。主な用途は、TVやラジオのチューナで、電圧の変化で容量を変えることにより、特定周波数の電波を受信します。

5. SBD (ショットキ・バリア・ダイオード)

このダイオードは、これまで見てきたダイオードとは原理が異なります。つまり、金属（例えばモリブデンなど）と半導体を接触させると、ショットキ障壁と呼ばれる接合ができます。PN接合と同じように順方向、逆方向の特性を示しますが、図4に示したように順方向の電圧降下が低く、スイッチング速度が速いという特性があるため、ロジックICの高速化や電源回路などに多用されています。スイッチング・ダイオードは高電圧でも使えますが、SBDは数十V以下で用います。また、化合物半導体を用いた場合は、数百GHzのミリ波で使える高速品もあります。

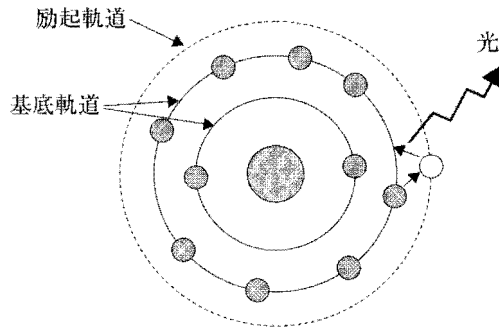
光電変換ダイオード

1. 化合物半導体

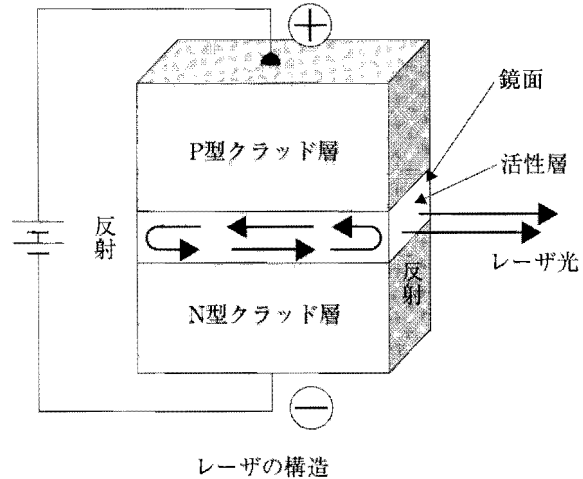
これまで、ほとんどSiを中心に話をしてきましたが、半導体には化合物結晶を用いたデバイスもあります。ここで周期律表を思い出して下さい。SiはIV族ですが、III族とV族の原子を1：1に混ぜて結晶にすると、Siと同じように半導体になります。例えば、GaAsとかInPなど、組み合わせは色々あります。また、II族-VI族の組み合わせのZnOやCdS、IV族-IV族のSiCやSiGeなどもあります。化合物半導体の大きな特徴の一つは、電子や正孔の移動度が大きいものがあることです。移動度が大きいと、高速動作に向けたデバイスが製作できます。二つ目は、発光デバイスに向いていることです。半導体のPN接合に電子と正孔が注入され再結合すると、熱と光が発生しますが、GaAsなどの化合物半導体では光になる率が大きく、Siでは熱になる割合が多いのです。そこで、SiはLDやLEDには用いられませんので、発光デバイスは化合物半導体の天下です。

2. LD (Laser Diode : 半導体レーザー)

Laserとは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiationの頭文字を取ったものです、と言うと分かりますか。「放射の誘導放出による光増幅」と訳されていますが、Stimulateと言う単語を辞書で引くと、「刺激する」「興奮させる」となっています。半導体に限



エネルギーを与えられると電子は上の軌道へ移るが、不安定なので直ぐに元の基底状態へ戻り、その際、光を放出する



光の屈折率は、活性層の方がクラッド層より大きく、光は全反射し上下に漏れない。また、両端はミラーになっているので、光は何度も反射して往復し、この間に原子を励起して光の強度を増し、最後は一端からレーザー光となって放出される

図5 レーザ発光の原理

らず、他の固体レーザーなども、原子を興奮させてエネルギーが基底状態から励起状態に移り、それが再び基底状態に戻る時に光を発するのです。もう少し易しく話をしましょう。図5のように、原子は中心に正の電荷を持った原子核があり、その回りを電子が回っていますが、その電子の軌道はどんな半径でも良いと言うわけには行きません。紐に錘をつけて回す場合は、紐の長さは自由に変えられますが、電子の軌道は一定のルールに従った軌道しか取れないのです。これが量子力学の基本となる考えで、我々が日常見る世界の物理法則は、ニュートン力学に従いますが、原子のような微小な世界ではニュートンさんの出番ではなく量子力学の世界なのです。

図5左は、電子の取り得る軌道を表しています。普通は、原子核に近い基底状態の軌道を回っていますが、エネルギーを与えられると興奮して飛び出し、外の軌道へ移ります。ただし、この外の軌道は居心地が悪いらしく、また元の基底状態へ戻りたいのです。その時、エネルギーを放出し、それが光になったのがレーザーです。この基底状態へ戻る時のエネルギーは原子によって一定で、光の振動数に比例しますから、出てくる光も原子によって決まる一定の振動数となり、即ち波長も一定です。

活性層の中で発生した光は、図5右のように左右のチップ表面のミラーで反射して活性層の中を往復します。

すると、光が原子に当たる回数が増え、基底状態から励起状態へ移行し、励起状態から発光して基底状態に戻るのを促進し、光はどんどん増幅されて行きます。これが、Amplification by Stimulated Emission (興奮させた光による増幅) という意味ですが、お分かりになりましたか。発光波長のスペクトルの極めて狭い光となり、コヒーレント光と呼ばれます。半導体レーザーは、CD、DVDなどの光ディスクのピックアップ用で量産技術が確立され、光ファイバ通信などにも使用されています。

### 3. LED (Light Emitting Diode : 発光ダイオード)

LEDの場合は、PN接合で発光するのはLDと同じですが、光が往復して増幅するような機構がありませんので、波長域の広い光が出てきます。LEDは、照明用として大いに期待されており、LCDのバックライトにはすでに使われ始め、さらに一般照明でも蛍光灯より効率が良いレベルまで向上してきたため、省エネ照明として期待されています。輝度の点でも、自動車のヘッドライトに使われる程度まで向上してきました。

LEDの半導体材料と、発光波長の例を表1に示します。中でも、青色のLDやLEDは中々作れなかったのですが、図6のようなMOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法による多層構造のLEDが開発され、DVDのピックアップなどに利用されています。

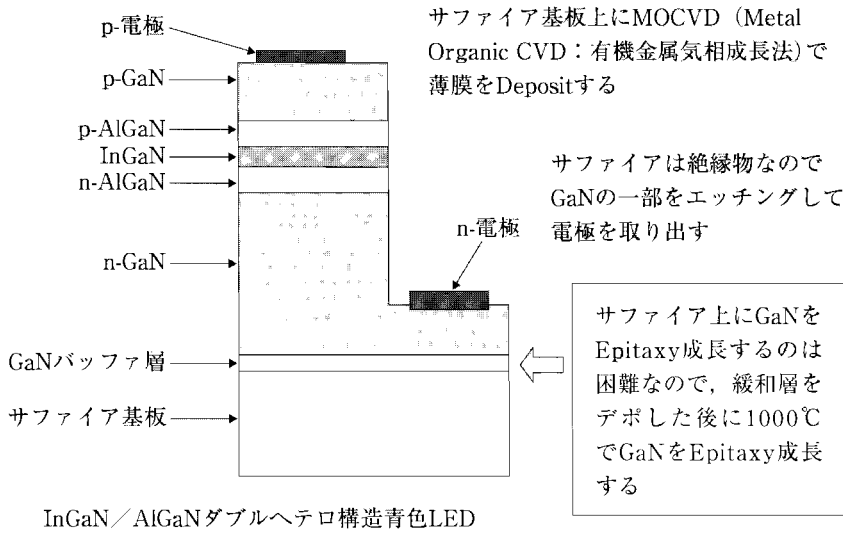


図6 青色LEDの構造

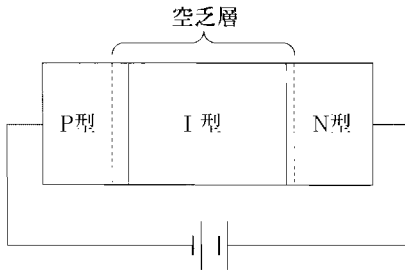


図7 PIN Diode

表1 LEDの材料と発光波長

発光材料	波長 (nm)	色
GaP/GaP	700	赤
InGaAlP/GaAs GaAlP/GaP	610~614	赤, 橙
InGaAlP/GaP	590	黄
InGaAlP/GaAs GaP/GaP	555~574	黄緑, 緑
GaN/Sapphire	410~450	青

#### 4. Photo Diode, PIN Diode

Photo Diodeについては、第16回(08年8月号, p80)で述べましたので省略させて頂き、PIN Diodeについて述べましょう。PINは、PとNの間に真性半導体(I層: Intrinsic)を挟んだ図7のような構造で、I層には何もドーピングされておらず、空乏層となり高電圧をかけると、電子や正孔が加速され、高速動作が可能となり、GHz以上の周波数の光信号を受け取ることができ、光ファイバなどに用いられます。

#### 5. 太陽電池 (Solar Cell)

ダイオードの説明に、太陽電池が出てきて違和感を持つ方もいらっしゃるかも知れません。確かに、太陽電池は半導体とはやや異なった産業分野と捉える場合が多いと

思います。しかし、動作原理はまったくPN接合のフォトダイオードと変わりませんから、ここで取り上げない方がおかしいと思います。単結晶SiにPN接合を設けた太陽電池と、多結晶を用いたものがありますが、多結晶では、発生した電子と正孔の寿命が短くて消滅し易く、変換効率がやや劣ります。変換効率とは、入射した太陽光のエネルギーの何%を電気エネルギーに変換できるのかということです。単結晶の場合は、20%以上が得られています。最近では、大きなガラス板にSi薄膜を成膜する装置が開発されて、コスト的には安くなりそうですが、変換効率は10%以下です。他にも、太陽電池の材料は色々開発されていますがここでは省略します。

#### おわりに

以上、今月は構造が簡単なダイオードを見てきましたが、様々な種類があるので驚かれたかも知れません。我々は気がつかないで日常これらのデバイスのお世話になっています。産業としてみても、半導体全体の10%ぐらいの売り上げを占めており、決して無視できないものです。ただ、プロセス的には、LSIのお古の装置を用いて生産されている場合が多く余り日立たないわけです。