

概要

前回まで 受動素子の 抵抗、コンデンサ、コイルの説明を行いました。今回は、能動素子の一部である ダイオードの説明を行います。

受動素子は、外部からの電圧により、受け身的に 熱を発生したり、部品内に電荷を貯め込んだり、周辺の空間に磁気エネルギーを生成して、エネルギーを蓄積出来、溜め込んだエネルギーを放出する事ができます。

それに対し能動素子は、与えられた電圧、周波数に 働きかける能力があるから能動素子なのだ。という説明が あるサイトに書いてありました。 または、半導体で作られた部品を、能動素子と 定義したサイトもありました。

受動素子は、RCLで お決まりのようですが、能動素子は、ちょっと定義が あいまいな部分がある感じもします。

今回は、能動素子に定義されているダイオードの 話をします。

Wikipediaの説明を 見ていたら歴史的背景が書いてありました。

1900年初頭、真空管のダイオードと、固体によるダイオード(半導体)は、無線受信機の復調用として同時期に、個別に開発された。とあります。 1950年代は、真空管ダイオードがラジオに最も多く使われた。

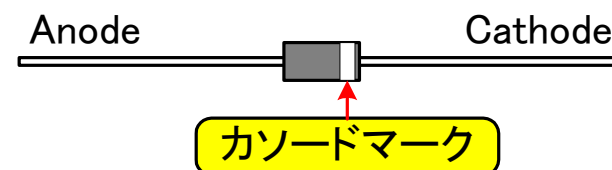
これは初期の点接触半導体ダイオードが信頼性に劣り、また多くの受信機には増幅用真空管が使われ、この真空管内にダイオード部を混成させる事が容易である事と真空管整流器とガス入り整流器は高電圧、大電流用途に対し、同時期の半導体ダイオードよりも適していた事があげられる。と書いてありました。

1900年初頭、真空管ダイオードと半導体ダイオードが、ほぼ同時期に研究開発されていたとは、知りませんでした。半導体は、安定して使えるようになるまでに、かなり時間がかかったのでしょうか。遥か昔の話ですが、私が、小学生の頃、ラジオはトランジスタになってましたが、テレビは、まだ真空管でした。映らなくなった時、叩けば直る。という時代でした。

今回は、真空管ダイオードは説明しません。

ダイオード(整流器)

では、ダイオードの話に入ります。
ダイオードは、基本 2つの端子があります。
アノード(陽極)と カソード(陰極)が、あります。

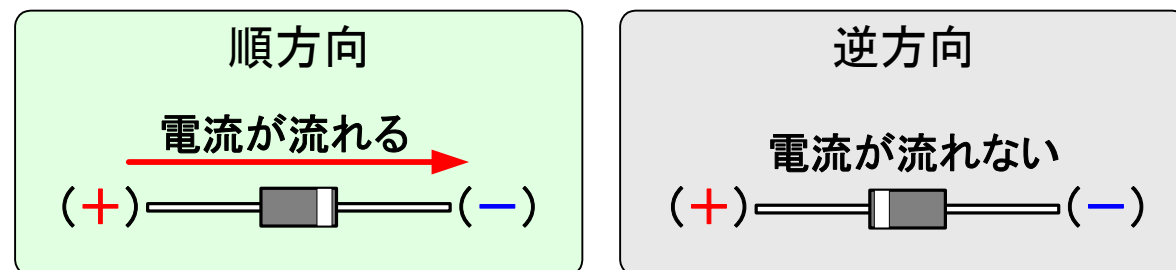


通常、アノード側にプラス、カソード側にマイナスの電圧をかけると電流が流れます。
この電流の流れる方向を順方向といいます。

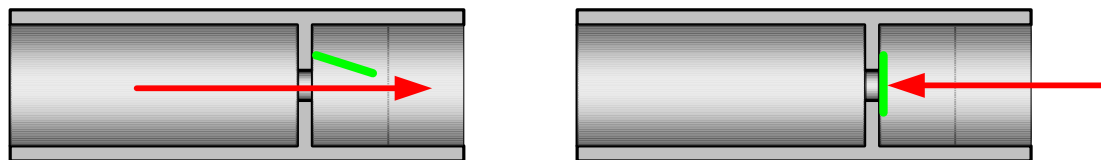
逆に、アノード側にマイナス、カソード側にプラスの電圧をかけると電流が流れません。
この場合は、逆方向といいます。

要は、アノード側から、カソード側にしか電流が流れないのです。この電流の流れる方向を、一方通行にして電流を流す事を、整流といいます。

順方向と、逆方向を 図で示します。

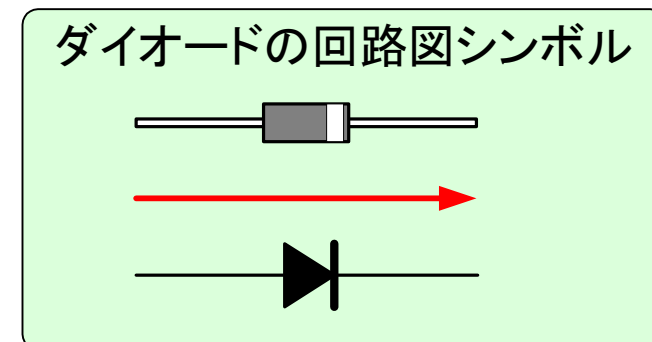


この片方向にしか電流が、流れない現象を、別の事に例えると、自転車のタイヤに空気を入れるポンプなどに 付けられている弁と 同じで 空気や流体が 逆方向に流れない様にしています。



という事で、ダイオードは、電流の弁と、見なす事が出来ます。

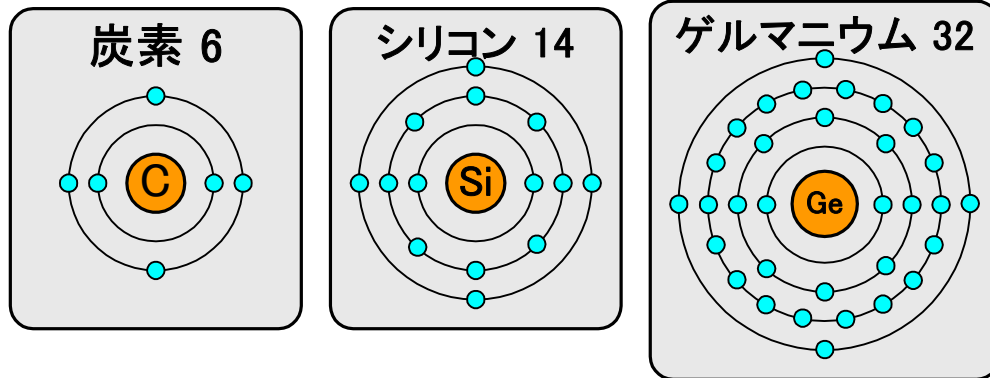
ダイオードの回路図シンボルを示します。



ダイオードは、他にも色々な種類の物が 多数あります。

ちょっと、半導体の原理を紹介してから、各種ダイオードを 紹介して行きます。

半導体の材料について



ダイオードの説明の前に、半導体材料について説明します。半導体材料は、**4価の元素** **最外殻軌道に電子(価電子)が4つある元素**で **Ge**(ゲルマニウム)、**Si**(シリコン)、**C**(炭素)の真性半導体に、3価または、5価の元素を、僅かに加えて、P型半導体、N型半導体を生成します。

現在では、ゲルマニウムは、希少金属という事もありあまり使われなくなりました。

シリコンは、土壤に多数含まれているので、元々の源材料費は、高価では無いと思いますが、高純度の単結晶を作りだすのに かなり多くの電力を消費するので、コストが高くなるとの事です。

炭素の単結晶は、ダイヤモンドなので、大きな単結晶を生成する技術は、まだ確立していないと思います。現在、シリコンウェハー上にダイヤモンドの薄膜を生成する技術は 確立してるようです。シリコンとダイヤモンドのハイブリッド半導体です。

ダイヤモンド半導体は、シリコンより高熱に耐えるので、パワー半導体に使われ始めています。もう一つダイヤモンド半導体で、厄介な事は 硬過ぎて切断が 困難な事です。

ここでは、半導体の主流であるシリコンを使ったN型、P型 半導体を 例に話を進めます。

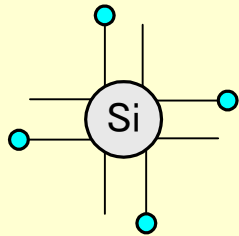
N型半導体

N型半導体とは、真性半導体に リン(P)やヒ素(As)、アンチモン(Sb)を 不純物として添加した物です。

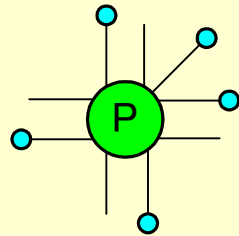
4価のシリコンは、価電子を4個、5価のリンは、価電子を 5個持っています。シリコンの単結晶に少量のリンを添加すると、リンが持っていた価電子の内の 1個が余剰な電子として自由に動き回れる自由電子になります。

この自由電子が、+電極に引き寄せられて移動する事で 電流が流れます。

シリコン(Si)
価電子 4個

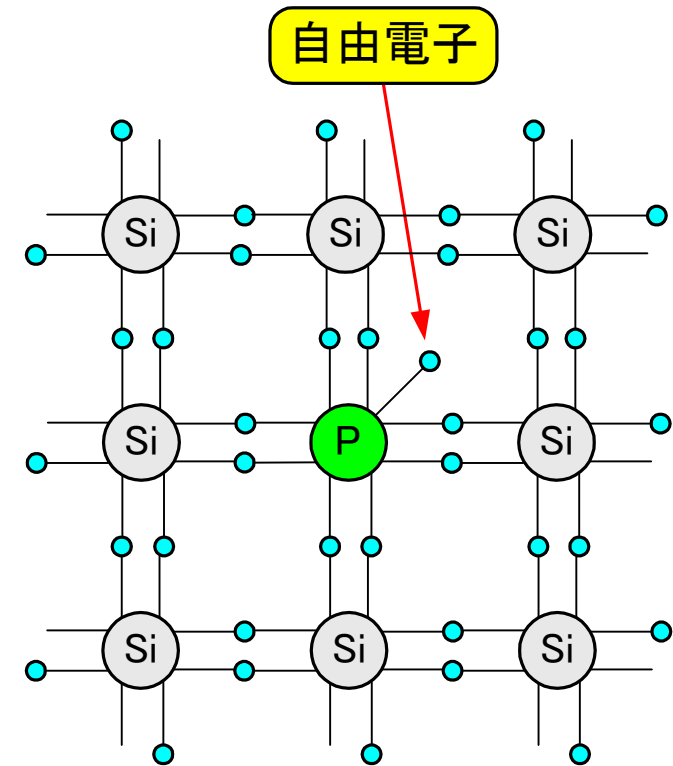


リン(P)
価電子 5個



シリコンの単結晶に リンを加えると 電子が1個余って自由電子になります。

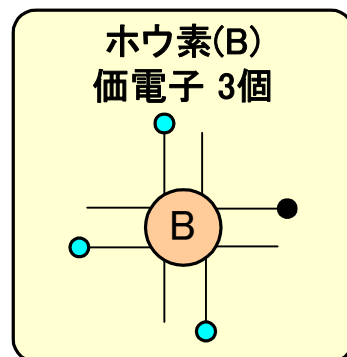
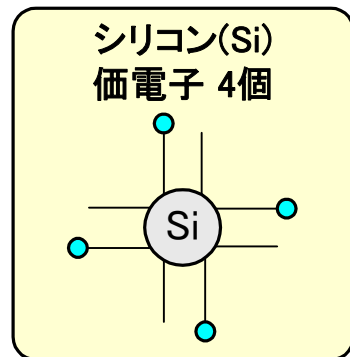
自由電子の事を、N型半導体のキャリアと呼びます。



P型半導体

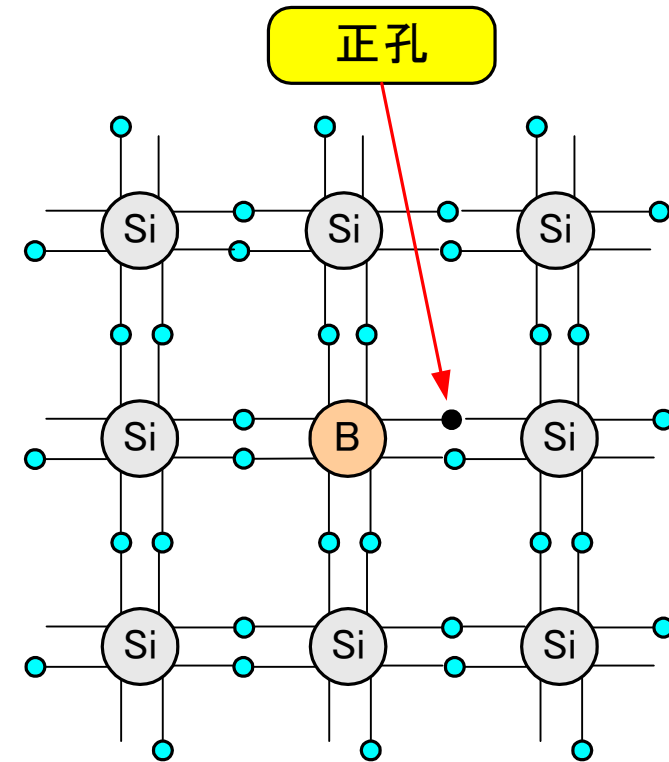
P型半導体とは、真性半導体に ホウ素や インジウム(As)、を 不純物として添加した物です。

4価のシリコンは、価電子を4個、3価のホウ素は、価電子を 3個持っています。シリコンの単結晶に少量のホウ素を添加すると、シリコンとホウ素の結合の1ヶ所で電子が不足となり電子の欠落した穴が出来ます。この穴を正孔(ホール)と呼びます。この状態で電圧をかけると、近隣の電子が正孔へ移動してくるため、その電子がいたところが新たな正孔になって、次々に正孔が 一極側へ移動していくように見えます。



シリコンの単結晶に ホウ素を加えると電子が 1個不足して正孔となります。

正孔の事を、P型半導体のキャリアと呼びます。

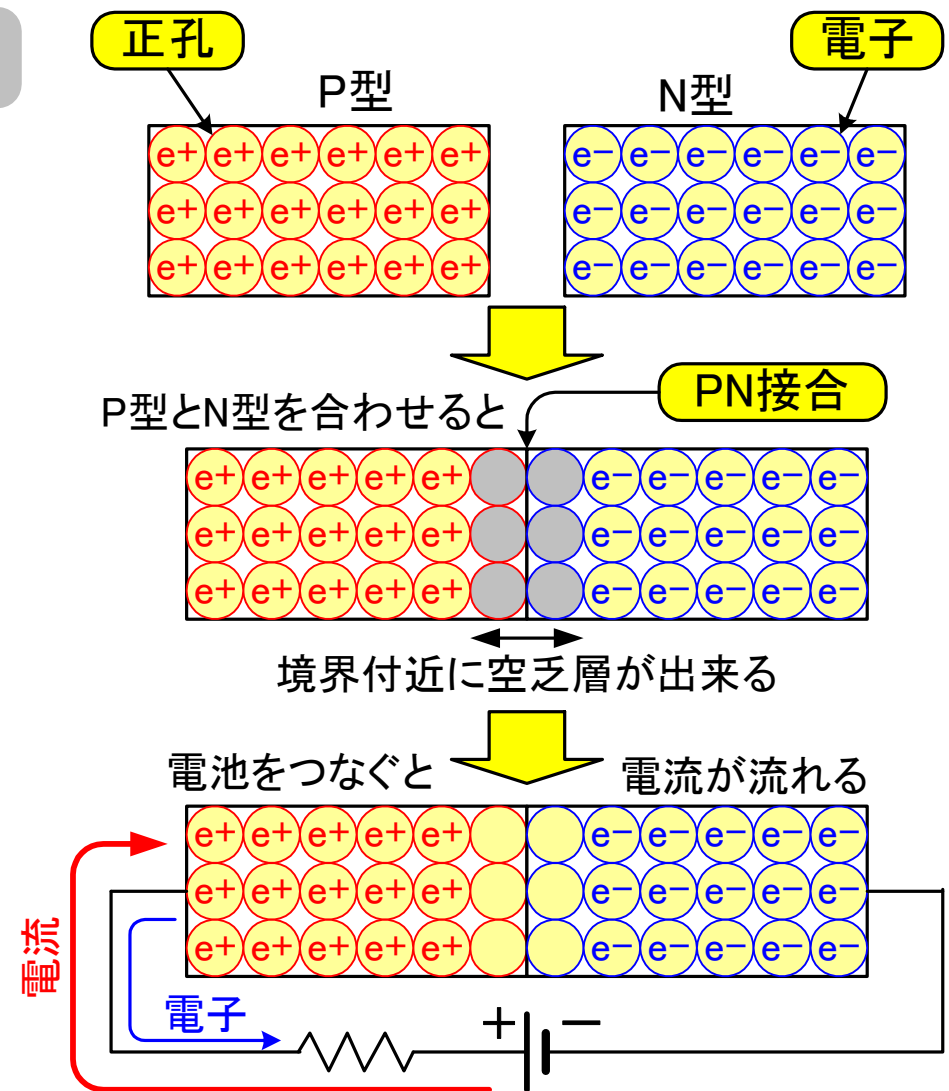


PN接合とは

P型半導体と N型半導体の接触面を PN接合と呼びます。

P型半導体とN型半導体を接合すると、それぞれのキャリアである正孔と自由電子が引き付け合って境界付近で結合し消滅します。この付近はキャリアが存在しなくなるため、空乏層と呼ばれ絶縁物と同じ状態になっています。この状態で P型領域に＋極をつなぎ、N型領域に－極をつないで電圧をかけていくと、電子が次々にN型領域からP型領域に流れ込み、正孔と結合して消滅しなかった電子が＋極へ移動して電流が、流れるようになります。

これが、PN接合型ダイオードです。

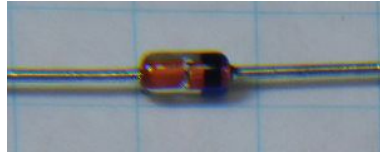


ダイオードの種類

① 整流用ダイオード: 1N4007 (1000V/1A)



② 汎用小信号高速スイッチングダイオード: 1N4148 (100V/0.2A)



③ スーパーファーストリカバリダイオード ER504 (400V/5A) 超高速整流子 (Maximum Reverse Recovery Time: 35ns)

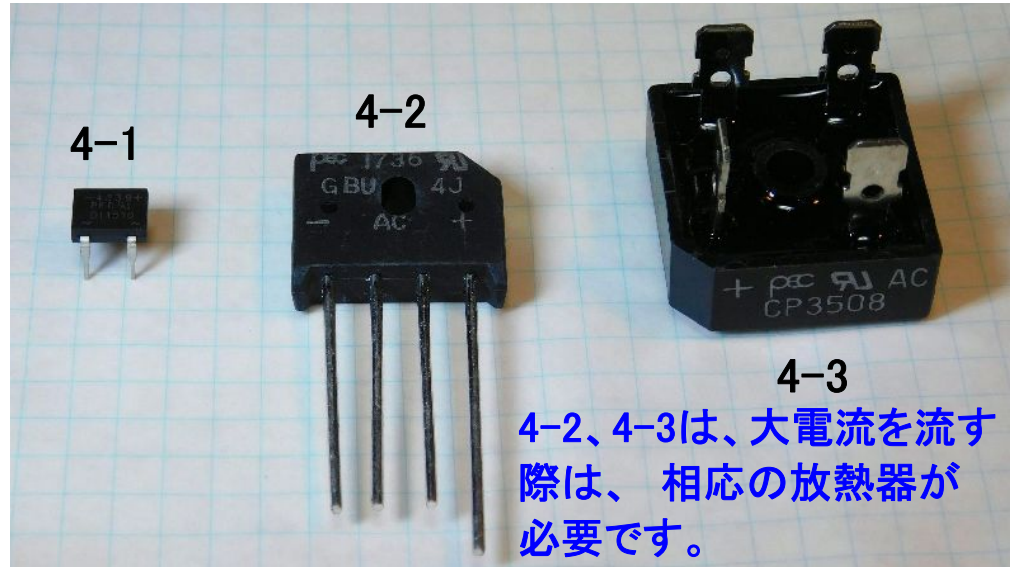
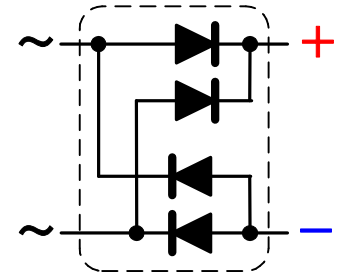


④ ブリッジ整流ダイオード

4-1: DI1510 (700V/1.5A)

4-2: GBU4J (600V/4A)

4-3: CP3508 (560V/35A)



ブリッジ整流ダイオードは、中に 整流用ダイオードが、4個入っており、全波整流を行う用途に使用します。 右上回路図参照の事。

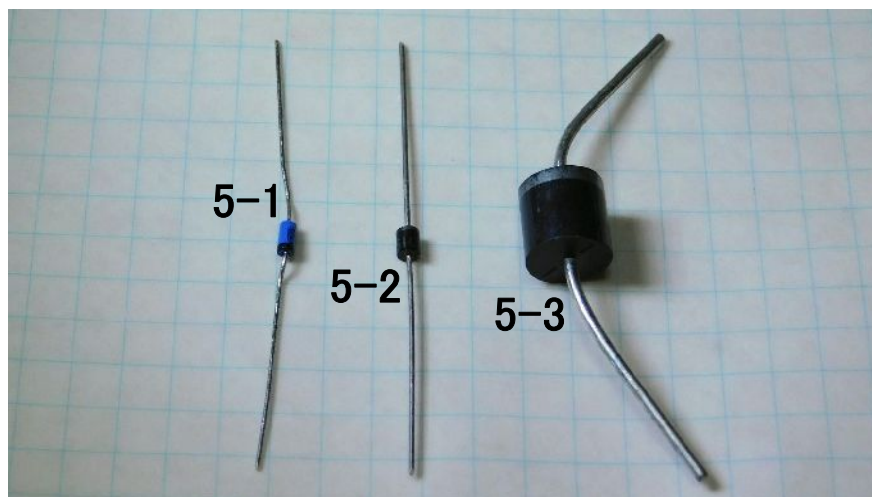
⑤ ショットキーバリアダイオード

5-1: BAT43 微弱電流対応

(30V/0.2A $V_F=0.26\sim0.33V$)

5-2: 1S10 (100V/1A)

5-3: 20SQ045 (45V/20A)



通常のダイオードは、 V_F が 0.7V ぐらいですが、ショットキーバリアダイオードは、 V_F が 0.4V ぐらいと低いです。特に 5-1 は、検波用ゲルマニウムダイオードの代わりに使える物です。

⑥ ツェナーダイオード: 定電圧ダイオード

抵抗でプルアップして、逆接続(カソードに +)で接続します。見た目は、小信号用の 1N4148 に似てます。

それにより決められた一定の電圧を維持します。電圧は、2.5Vとか、4.6Vとか 低い電圧でいくつか種類があります。ツェナーだけの場合、温度の影響を受けやすいので、ツェナーをつかったシャントレギュレータ(例: TL431 とか)を使う方が、扱いやすいと思います。

ツェナー
ダイオード
のシンボル



⑦ 定電流ダイオード: (CRD)

これも、見た目は 1N4148 に似ています。耐圧と、消費電力に 限界がありますので注意して下さい。

- ⑧ バリキャップ（バラクタ）ダイオード：
可変容量ダイオード：電圧を逆方向にかけた場合に、ダイオードのPN接合の空乏層の厚みが増加する事による静電容量の変化を利用した可変容量コンデンサ。
加える電圧により、容量を可変出来ます。
用途は、高周波関係と思いますが、VCOや電圧可変フィルターに用いられているようです。（私は使用した事が無いです。）
- ⑨ トンネルダイオード、エサキダイオード：
量子トンネル効果により、順方向の電圧を増加させるときに、電流量が減少する負性抵抗を示す電圧領域での動作を利用するもの。（私は使用した事が無いです。）
- ⑩ 発光ダイオード：（LED）
順方向に電流を流すと、発光します。

最初は波長の長い赤外線、赤色のLEDが作られ、その後橙、黄色、緑と作られました。が、青がなかなか作られませんでした。

1990年代後半に赤崎氏、天野氏、中村氏の3人の功績により、極めて高輝度の青色LEDが作られました。そしてLEDを照明に使う時代になりました。照明には白い光が使われますが、白い光を出すには、2通りの方法があります。

赤、緑、青のLED 3つを組み合わせる方法と、青色LEDと黄色の蛍光体を合わせて白色を光らせる方法です。赤、緑、青の3つのLEDを使う用途は、グラフィックディスプレイ用途です。照明用途では、青色LEDと黄色蛍光体の二次発光を利用しています。

ちなみに赤LEDは1.8Vぐらいで発光しますが青LEDは、4Vほど電圧が、必要です。

⑪ レーザーダイオード

基本的に発光ダイオードと 同様の物と思いますが、レーザー光として位相の揃った光（レンズで集光するとミクロンオーダーの焦点が 作れる。）そして用途によっては、高出力の物が あります。レーザー光を扱う時は、直接光を見ないようにレーザー用の遮光メガネを 使う必要があります。

⑫ フォトダイオード:

PN接合部分に光を受ける事により、光起電力効果が 生じ、その電圧、または電流を測定し光センサーとして利用するもの。

（私は 使用した事が無いです。フォトトランジスタは、フォトカプラや、フォトインタラプタで、間接的に使った事は あります。）

他にも特殊な物がありますが、今回は省略します。

追加説明:

通常の整流用ダイオード:

- ・ AC 50 ~ 60Hzの 整流用です。
高速な 逆回復時間は 期待出来ません。

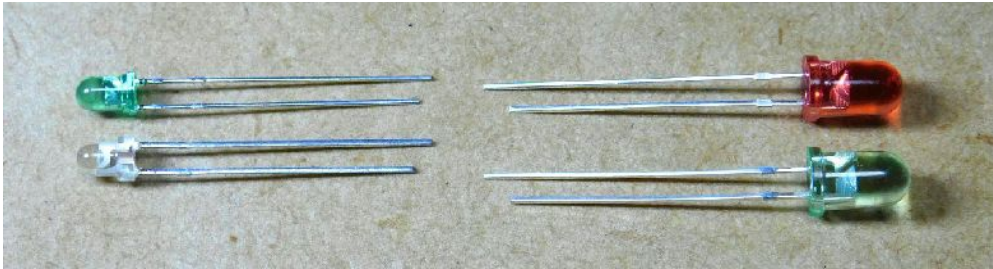
ファースト リカバリ ダイオード (FRD) :

- ・ 逆回復時間 t_{rr} が 非常に速い
数十ns ~ 100ns 程度
- ・ 耐圧が高い
- ・ 順方向電圧 V_F が 大きい
1.3V ~ 3.6V 程度
- ・ PFC回路(力率改善回路)やスナバ回路等で使われる事が 多い。

ショットキーバリアダイオード (SBD) :

- ・ V_F が 小さい 0.3V ~ 0.4V 程度
- ・ 非常に高速
- ・ 逆方向のリーク電流が 大きい

LEDの画像です。
足の長い方が、アノード(+)です。



左上が、黄緑の $\phi 3\text{mm}$ LEDです。

左下が、赤の $\phi 3\text{mm}$ LEDです。

右上が、赤の $\phi 5\text{mm}$ LEDです。

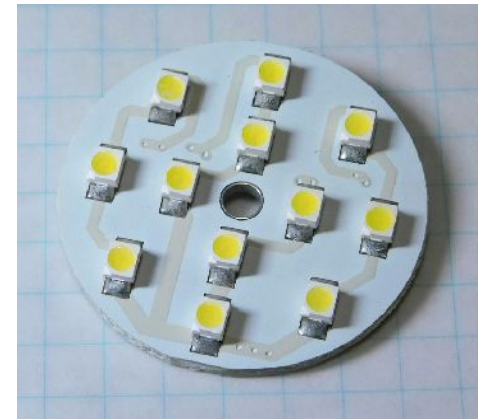
右下が、黄緑の $\phi 5\text{mm}$ LEDです。

4本とも、5Vで 電流制限抵抗 $1\text{K}\Omega$ で十分光ります。どちらかというと、黄緑のLEDは、赤に比べ、輝度が低いです。

この中では、左下の 赤の $\phi 3\text{mm}$ LEDが一番明るく点灯します。

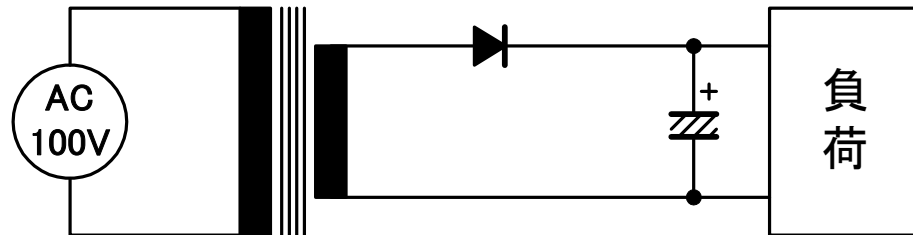
電流制限抵抗の 抵抗値を調整する事で明るさは調整可能です。赤と黄緑LEDの明るさを、同じくらいにしたい場合は、赤のLEDの輝度を落とす(抵抗値を上げる)方向で、調整すれば 可能と思います。

LEDにも 小さいチップタイプの物があります。極性があるので半田付け時、気を付ける必要があります。逆に丸い円盤状の部分照明用 高輝度LEDモジュールもあります。12ボルトの物が多いです。やや電流を消費し、多少発熱もあります。

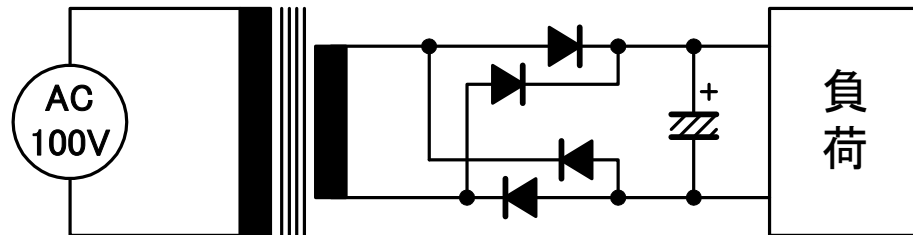


ダイオード使用例：整流回路

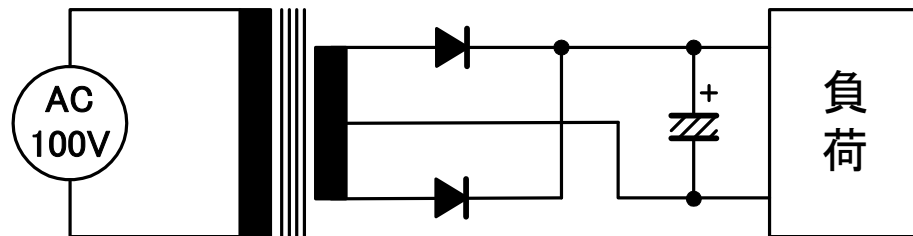
半波整流回路



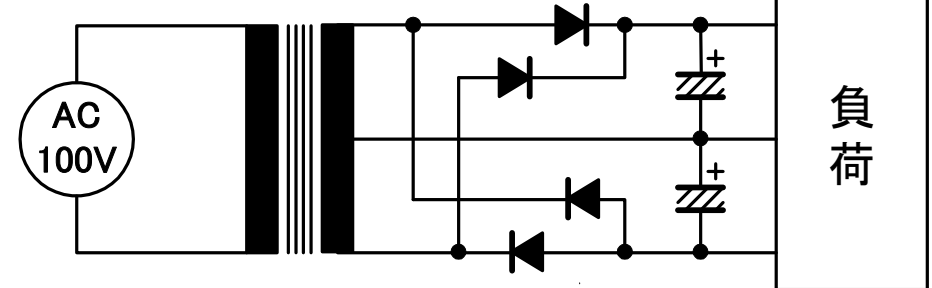
全波整流回路



センタータップ全波整流回路

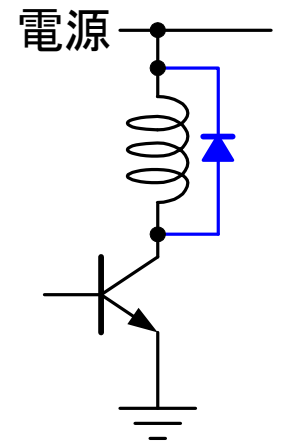


±2電源 全波整流回路



コイルの逆起電力吸収用 ダイオード

電磁石を使ったリレー、ソレノイド、ステッピングモーターの各相のコイルは、ON、OFFのパルス状電流を流します。電流を切る時に逆起電力が発生します。この逆起電力により電流をスイッチするパワートランジスタ、またはパワーMOSFETが壊される恐れがあるので、**逆起電力吸収用ダイオード**を付けます。

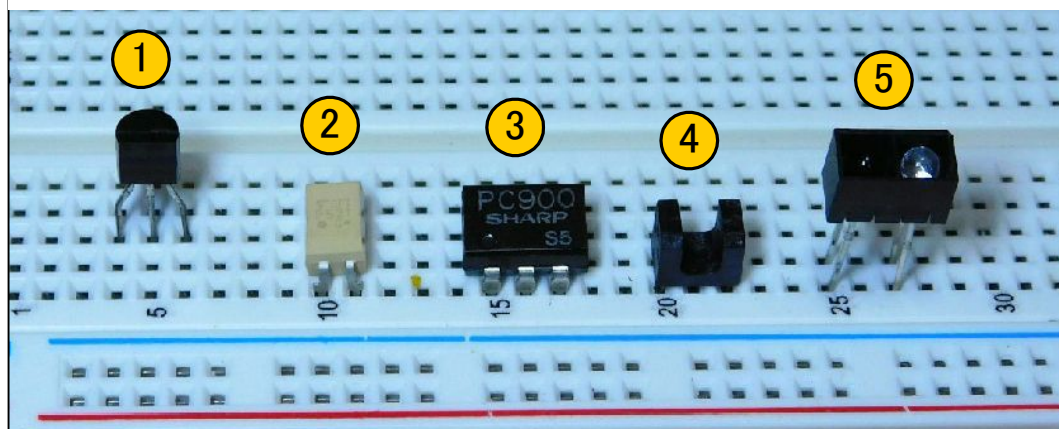


ダイオード使用: 複合部品

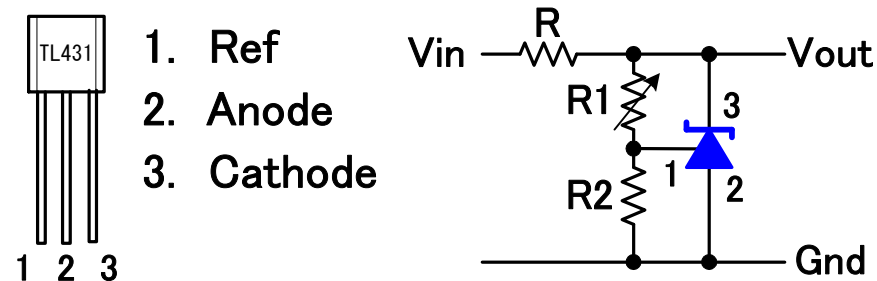
ダイオードと、他の素子を 組み合わせた複合部品です。

- ① TL431: 精密可変型シャントレギュレータ
- ② P521: 普及型フォトカプラ
- ③ PC900: 高速型フォトカプラ
- ④ RPI-352: フォトインタラプタ
- ⑤ LBR-127HLD: フォトリフレクタ(反射タイプ)

①は 基準電源のICで、② から ⑤ は LEDと フォトランジスタを 組み合わせた部品です。



- ① TL431: 精密可変型シャントレギュレータ
TL431は、温度補償型の ツェナーダイオードと、OPAMPを組み合わせたシャントレギュレータです。 A/Dコンバータの基準電源等に 使用できます。 **内蔵基準電源は 2.5V**です。



V_{in} は、9~12Vぐらいで $R1 = R2$ で V_{out} は 5V に なります。

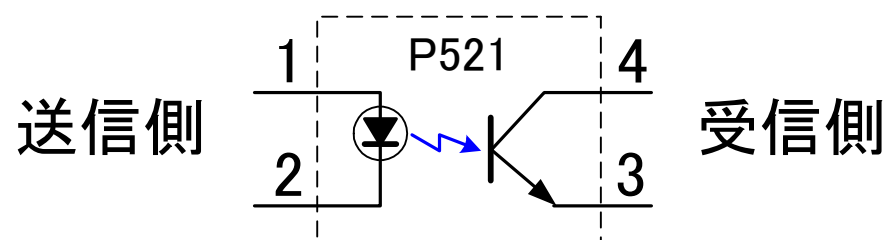
抵抗値の例: $R = 510$ 、 $R1=10K$ 、 $R2=10K$
 $V_{in} = 12V$ で、 R に 流れる電流は 14[mA]ぐらいで、 R の消費電力は 100 [mW]ぐらいです。

② P521: 普及型フォトカプラ

③ PC900: 高速型フォトカプラ

フォトカプラとは、2つの機器の間、または1つの機器でも、内部を2つの電子回路に分けてその間を、電氣的に絶縁して信号を伝送する用途に使用します。フォトカプラの絶縁耐圧は、2KV ~ 5KV ぐらいあります。伝送する信号は、1bitのデジタル信号です。シリアル通信の信号も転送出来ます。

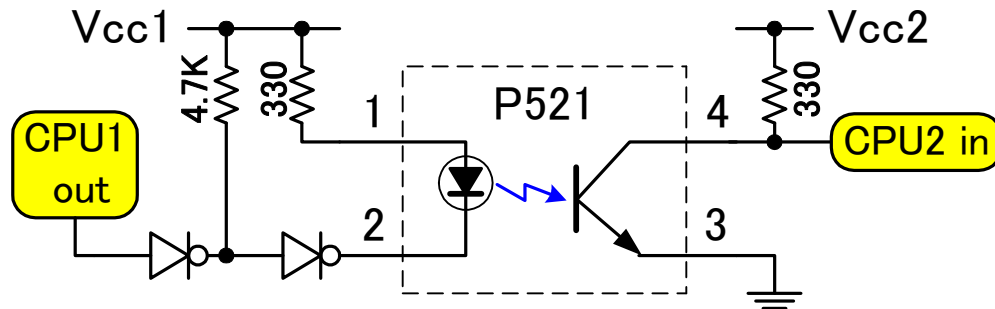
絶縁して伝送する仕組みは、フォトカプラ内部で電気信号をLEDにて光信号に変えて、絶縁された受光側(フォトランジスタ)に光を送り、光信号を電気信号に戻します。



PC900 または PC910の 高速型フォトカプラは足の本数が多いです。詳細は、ネットで データシートをダウンロードして参照して下さい。実はPC900、PC910は、シャープの製品ですが 既に製造中止になっています。

インバータの出力MOS-FETのドライバ用の高速フォトカプラは 有るのですが、通信用途に使える高速タイプの フォトカプラの入手は 困難と思います。P521のような 4ピンの汎用フォトカプラは、最大 10[KHz]の 方形波が、伝送できる事になっています。私は、9600[b/s]で 通信出来る事は、過去に試しています。PC900、PC910では、38400[b/s]で、通信できます。ちなみにこの速度を出す場合は、5V電源で 一次側のLED電流制限抵抗、二次側の フォトランジスタのプルアップ抵抗の両方を 330Ω にして下さい。

P521フォトカプラと、周辺回路



一次側の 330Ω を CPU1 の Outポートで直接引くのは、ちょっと厳しい感じもするので、TD62083等の オープンコレクタゲートで、論理を 2回反転して元に戻し 330Ω をドライブします。二次側の フォトランジスタと 330Ω PullUp抵抗との接続点から 信号を取り出すのは、CPU2 の Inポートで 直接取り込み可能です。PC900等の高速フォトカプラも、一次側の LED、二次側のフォトランジスタの 周辺回路接続は、同じになります。 **フォトカプラを使用する時は、参考にして下さい。**

④ RPI-352: フォトインタラプタ

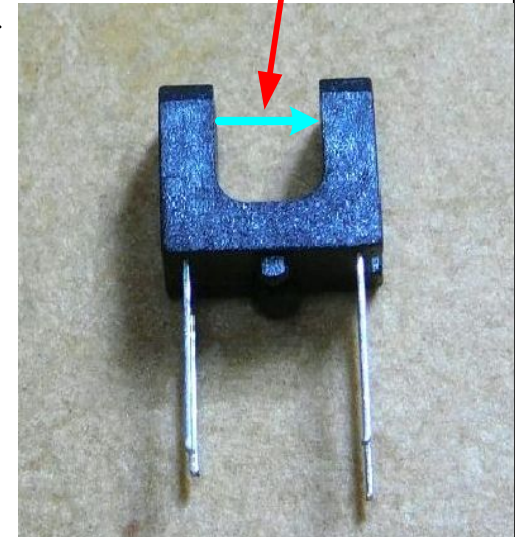
コの字型をした、光センサです。コの字型のスリット内に光を遮る物が通る事を 検出出来ます。

CNCマシンなどの原点検出のセンサとして よく使われます。

原理的には、フォトカプラの 光の通り道を 外に出したような物です。

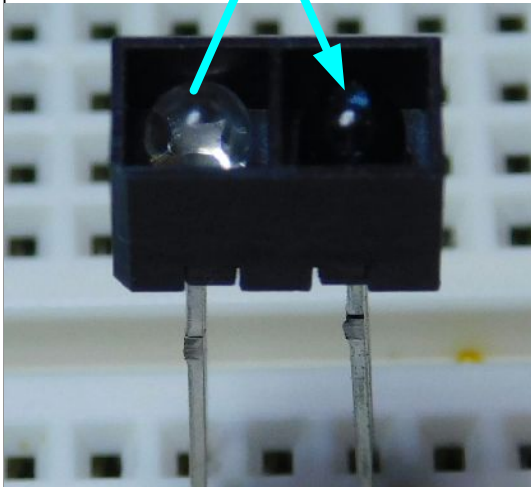
周辺回路の接続は、左のフォトカプラと、同様の接続となります。抵抗の定数も 330Ω で動作すると思います。足ピンの接続等は、使用するフォトインタラプタの接続図を確認して下さい。

光の通路



LBR-127HLD: フトリフレクタ(反射タイプ)

光を反射する物



上から見ると、LEDと
フォトランジスタの丸
い頭が、見えてます。

LEDから光が出て、
センサから 1cm以内
に 光を反射する障害
物が、来ると、検知出
来ます。

このフトリフレクタの場合、光が反射して、受
光するので、光の強さが状況により、変わるの
で、受光部分で、光の感度調整が必要になり
ます。

LED側は、330 Ω 固定でいいと思います。
フォトカプラのプルアップ抵抗は、330 Ω と 直列
に 10K ぐらいの可変抵抗を入れて調整して
下さい。

調整には、フォトカプラ出力の波形を見ながら
でないと、調整は 出来ないと思われるので、オ
シロスコープは必須となります。

仮に 電源が、5Vの場合、C-MOS CPUの ス
レッシホールドレベル 閾値は、電源電圧の半分
の 2.5V になります。 かなり鈍ったような波形が
出てきますが、信号が 0V から 5Vまで、フルス
イングは多分無理なので、 Lowレベルと Hiレ
ベルの ちょうど中間のレベルが 2.5V になる様
に調整します。

今回の実験

今回の実験は、何をやろうかと検討中だったのですが、思いきり敷居を下げて、半波整流と全波整流回路の波形をオシロで確認する事をやります。それとコイルの逆気電力を吸収するダイオード電流波形を確認してみたいと思います。