第4章　論理回路

4.1　半導体

半導体の電気的な性質は、電気をよく通す導体と電気を通さない絶縁体の中間に位置します。主な成分は**シリコン**(Si) やゲルマニウム (Ge) で、**リン**(P) やヒ素 (As) を少量混ぜた **N 形半導体**と、**ホウ素**(B) やインジウム (In) を少量混ぜた **P 形半導体**があります (シリコンに対して 1000 万分の 1 の割合)。以後、シリコンを主成分とし、リンを混ぜた N 形半導体とホウ素を混ぜた P 形半導体について話を進めていきます。シリコン・リン・ホウ素の原子構造は以下の図のようになっています 。

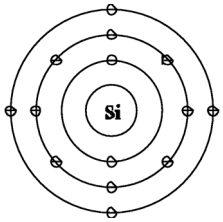

図 4.1: シリコンの原子構造

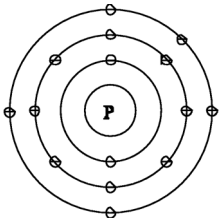

図 4.2: リンの原子構造

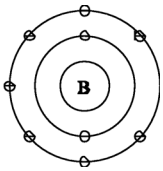

図 4.3: ホウ素の原子構造

上図のように、原子は内側から K 殻・L 殻・M 殻を持ち、各殻で決まった電子の数が存在することによって安定した状態になります (K 殻では 2 個・L 殻では 8 個・M 殻では 8 個)。ゆえに、シリコンのみの場合は各原子が M 殻の 4 つの電子を共有結合によって、下図のように安定した状態になります 。

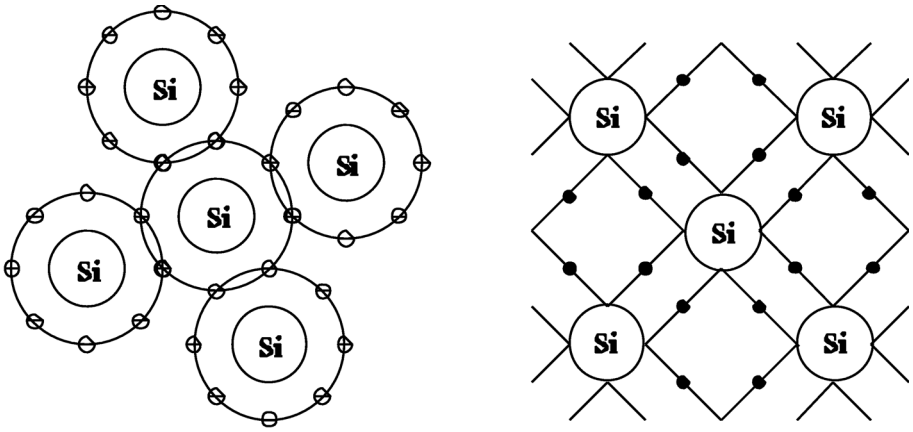

図 4.4: シリコンの共有結合

N 形半導体や P 形半導体はシリコンの安定した状態に少量のリンやホウ素を混ぜて不安定な状態となります。N 形半導体ではリンの N 殻の 5 つの電子のうち 4 つは共有結合を行いますが、図のように電子が 1 個余ります。逆に、P 形半導体ではホウ素の M 殻の 3 つの電子は共有結合を行いますが、図の矢印のように電子が 1 個足りないのでホールになります。

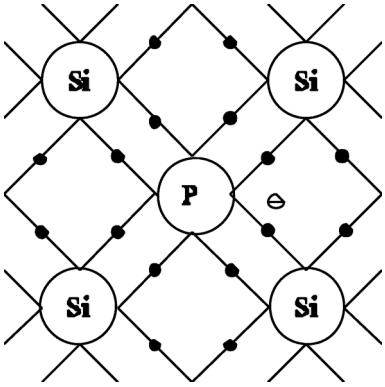

図 4.5: N 形半導体

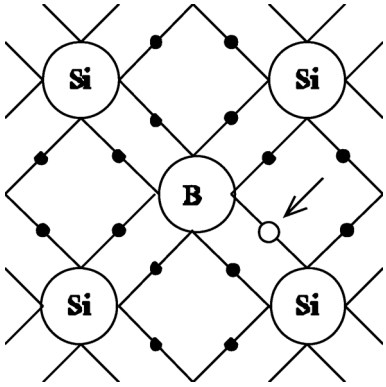

図 4.6: P 形半導体

本題に入りますが、上記で説明した N 形半導体と P 形半導体を組み合わせることで論理回路の元となる電子部品が作られます。代表的なものには**ダイオード**と**トランジスタ**があります。

ダイオード　下図のように、ダイオードは PN 接合することで一方向しか電流を流さないという働きをします。注意点として、図の青色の矢印は電流の流れを表し黒い矢印は電子の流れを表しますが、電流の流れと電子の流れは逆になります。解説では電子の流れに注目します。

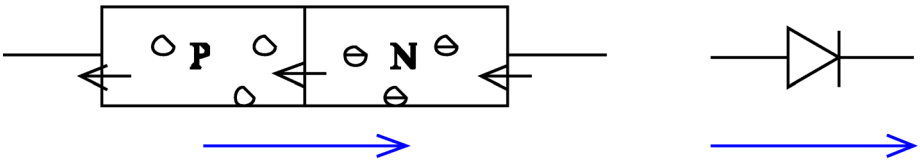

図 4.7: ダイオードと回路記号

次のページの左上の図のように電流が流れる場合は、P 形半導体と N 形半導体の間で安定状態になろうとするので、N 形半導体の余った電子が P 形半導体のホールを埋めようとします。また、電源の負極から出た電子は N 形半導体に供給され、P 形半導体からあふれ出た電子は電源の正極に流れます。その結果、N 形半導体から P 形半導体へ電子が流れ、全体的に電流が流れている状態になります。逆に、次のページの右上の図のように電流が流れない場合は、電源の負極から出た電子は P 形半導体に到達すると、安定状態になり、電子が流れなくなります。また、N 形半導体の余った電子は、導線を通って電源の正極に流れてしまい、N 形半導体も安定状態になってしまいます。従って、全体的に電流が流れていない状態になります。

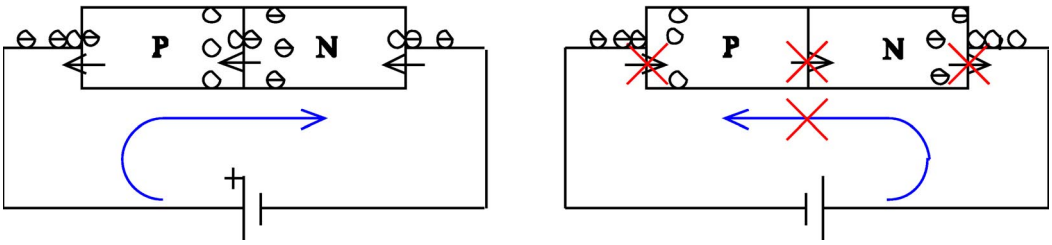

図 4.8: ダイオードの仕組み

トランジスタ　下図のように、トランジスタは PNP 接合 (NPN 接合) することで電流の増幅作用を行います。トランジスタにはエミッタ・コレクタ・ベースがあり、PNP 接合の場合にはベースに電流を流すことによってコレクタからエミッタへ増幅された電流が流れます。

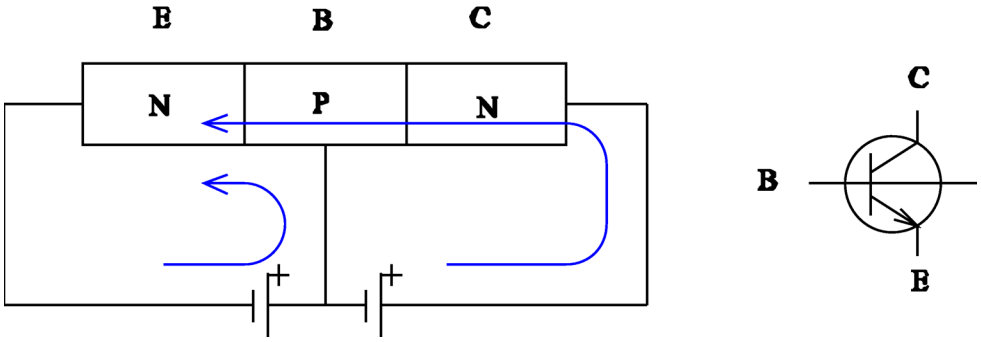

図 4.9: トランジスタと回路記号

4.2 論理素子

論理素子は論理演算を回路で実現したものです。現代のコンピュータは半導体によって実現されていますが、半導体が発明されるまでは**電磁リレー**や**真空管**を使用していました。そのような背景から、構成される論理素子の違いによってコンピュータの世代が特徴づけされていて、第 1 世代は真空管、第 2 世代は個別の半導体トランジスタ、第 3 世代は半導体の集積回路 (IC:Integrated Circuit)、第 4 世代は集積度の高い大規模集積回路 (LSI:Large Scale Integrated circuit) に分類されます。現在は第 4 世代になります。