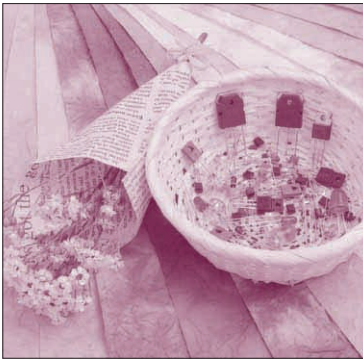




第3章 構造や動作原理を知れば 基本増幅回路がわかる!

トランジスタを理解しよう

渡辺 明禎
Akiyoshi Watanabe

トランジスタ誕生のきっかけは、1948年の米国ベル研究所のショックレイ(William Bradford Shockley)の実験と、彼の出張中に行われたブラッテン(W. H. Brattain)およびバーディーン(J. Bardeen)らによる点接触型トランジスタの増幅作用の発見に遡ります。トランジスタ(transistor)の名称は同研究所内で公募され、ピアース(J. R. Pierce)が発案した“Transfer Resistor”の略称から名付けられたものです。

ショックレイは1948年に接合型トランジスタの特許を出願し、1951年に実験に成功します。この接合型トランジスタは1952年に生産開始され、1953年に補聴器の増幅素子として採用され、Raytheon社だけで年間100万個を販売したそうです。ただし、当時のトランジスタは高周波特性が悪く、低周波増幅にしか使えないと考えられていました。それを改良し、ラジオにも使えるようにしたのが日本の半導体メーカです。

トランジスタは、ICやLSIの中でたくさん使われているほか、単体の部品としても、デジタル回路やアナログ回路の脇役やパワー回路の主役として、たくさん使われている基本デバイスです。トランジスタをFETと区別する意味でバイポーラ・トランジスタとか、バイポーラ・ジャンクション・トランジスタ(BJT)と呼んだりもします。

本章では、そんなトランジスタの動作原理を理解することにしましょう。

〈編集部〉

トランジスタとは

■ 概要

トランジスタの概要を表3-1にまとめました。構造はN-P-NまたはP-N-Pという3層構造になっており、**ベース層の厚さが非常に小さいのが特徴**です。

● 電流の流れる向きと静特性

図記号で、**エミッタの矢印は電流の流れる向き**を示しています。例えばNPN型の場合、電流はベースからエミッタに、またコレクタからエミッタに流します。同様にPNP型の場合、電流はエミッタからベースに、またエミッタからコレクタに流します。

トランジスタは電流増幅素子なので、最も重要な静特性は I_B をパラメータとした $V_{CE}-I_C$ 特性です。図を見るとわかるように、 I_C は V_{CE} にほとんど依存せず一定の領域をもち、この平たん領域における I_C は I_B を可変することにより制御することができます。

● 電流増幅素子だが電圧増幅にも多々使われる

トランジスタは**電流増幅素子**ですが、実際には電圧を増幅するために使うことが多々あります。表中の使用例に示すように、バイアス抵抗 R_{B1} と R_{B2} により V_{BE} をバイアスしておきます。そこで、 V_B の値を変化すると V_{BE} が変化し、それにより I_B が変化し、それが h_{FE} 倍増幅された I_C の変化になって表れます。この変化が負荷抵抗 R_C により電圧変化として取り出され、電圧が増幅されます。

Keywords

直流電流増幅率, h_{FE} , 小信号電流増幅率, h_{fe} , コレクタしや断電流, I_{CBO} , エミッタしや断電流, I_{EBO} , コレクタ-エミッタ間飽和電圧, $V_{CE(sat)}$, トランジション周波数, f_T , コレクタ出力容量, C_{ob} , コレクタ-ベース間電圧, V_{CBO} , コレクタ-エミッタ間電圧, V_{CEO} , エミッタ-ベース間電圧, V_{EBO} , コレクタ損失, P_C , 周囲温度 T_A , 接合温度 T_J , 熱抵抗, h パラメータ, h_{ie} , h_{oe} , 出力コンダクタンス, h_{re} , 電圧帰還比, アーリー効果, ベース幅変調効果, 空乏層広がり効果, エミッタ共通回路, コレクタ共通回路, ベース共通回路, 固定バイアス, 自己バイアス, 電流帰還バイアス, ブリダ抵抗, ダーリントン接続。

トランジスタの動作原理

● ベース層が極めて薄い場合

図3-1(a)に示すように、B-E間とB-C間にはPN接合がそれぞれ形成されています。まず、B-E間に順方向、B-C間に逆方向となるように電圧をかけます。すると、B-E間は順方向なので電流が流れます。すなわちエミッタからベースへ電子が矢印の方向に流れます。しかし、**ベース層の厚さは非常に薄いので、ほとんどの電子はこのベース層を突き抜け、コレクタ層に達します。**B-C間には逆バイアスがかかっているため、**コレクタ層に入った電子は一気にコレクタ電極に向かい、拡散していきます。**この電子の流れが**コレクタ電流**です。

一方、**ベース層ではエミッタからの電子のごく一部がベース層の正孔と再結合し、消滅します。**また、順

方向バイアスされているので、いくつかの正孔はエミッタ側へ流れます。これが**ベース電流**です。

すなわち、B-E間を順方向バイアスし、小さなベース電流を流すことにより大きなコレクタ電流を流すことができます。このコレクタ電流とベース電流の比を直流電流増幅率(h_{FE})と呼び、次式で表されます。

$$h_{FE} = I_C / I_B \dots\dots\dots (3-1)$$

この h_{FE} 値が大きいことがトランジスタの特徴です。

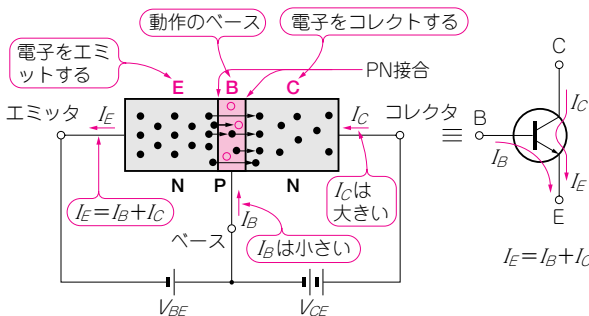
● ベース層が厚いとトランジスタとして動作しない

次に、ベース層が厚い場合を考えてみます。図3-1(b)をご覧ください。この場合、エミッタからベースに流れ込んだ電子は、ベース層の正孔と再結合して消滅し、ベース電流となります。したがって、コレクタ層に電子は到達しないのでコレクタ電流は流れません。ちょうどダイオードが二つつながっているのと同じです。等価回路モデルとして、このダイオード二つの回路

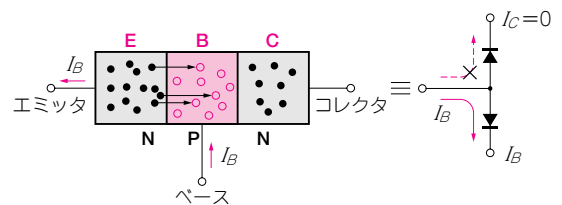
〈表3-1〉トランジスタの概要

名前	構造	図記号	静特性	使用例
NPN型				
PNP型				

〈図3-1〉NPN トランジスタの動作原理



(a) ベース層が極めて薄い場合 (トランジスタとして機能する)



(b) ベース層が厚い場合 (2個のダイオードとして機能する)