

第7章 トランジスタの静特性試験

Experiment of Static Characteristic of Transistor

7.1 目的

トランジスタの理論および静特性を調べ、その使用方法を習得する。

7.2 理論

シリコン (Si) 原子やゲルマニウム (Ge) 原子は元素の周期律表で第 14 族に属し、4 個の価電子をもっている。

これらの原子が多数集まって結晶となるとき、ダイヤモンド型の結晶構造となる。これらは抵抗率が金属と絶縁物の中間の値にあって半導体と呼ばれる。

いまこの半導体中に、リン P、あるいはヒ素 As のような 5 価の元素を不純物として少量ドーピングすると、この不純物電子のまわりで 1 個の電子が余ることになる。この余分な電子は半導体の電気伝導に寄与する。このような半導体を **n 型半導体** と言い、n 型の性質を付与する不純物をドナーという。

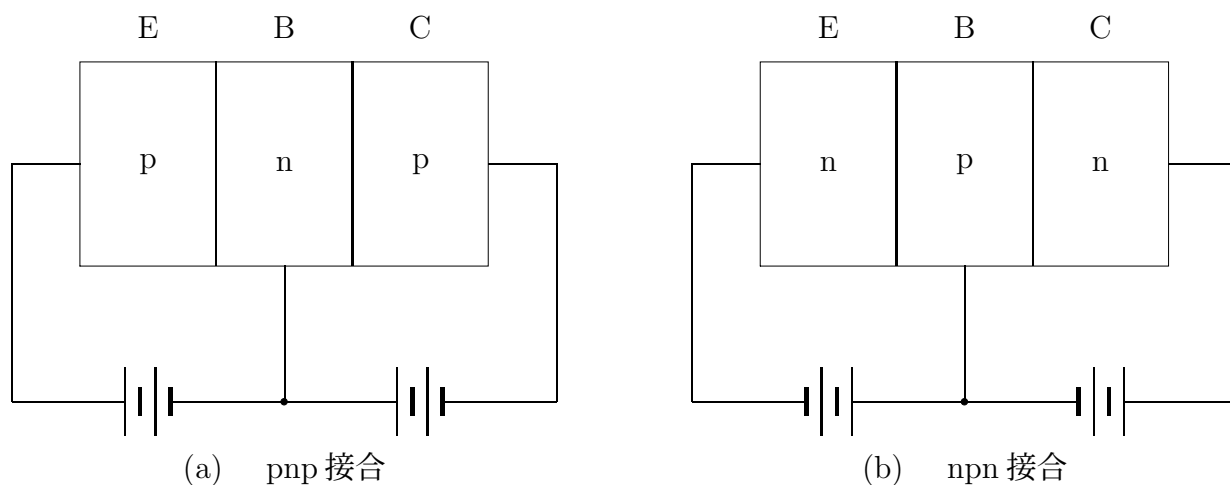


図 7.1: トランジスタの原理図

E : エミッタ

B : ベース

C : コレクタ

一方、不純物として3価のホウ素B、あるいはヒ素Asのような元素を少量ドーピングすると、1個の電子が不足することになる。この不足状態は負の電子が抜けた状態と考えられるので、これを正の素電荷を有する孔、すなわち正孔と呼ぶ。正孔もまた電気伝導に寄与するので、このような半導体を **p型半導体** と呼び、p型の性質を付与する不純物をアクセプタという。

このp形とn形の半導体を接合させたものをpn接合 pn junction という。pn接合のp形領域に正、n形領域に負の極性の電圧を印加したときが順電圧 forward voltage で、このときは低い抵抗値を示し、反対に、p形領域に負、n形領域に正の極性の電圧を印加したときが逆電圧 reverse voltage で、このときは高い抵抗値を示す。したがって、pn接合の電圧-電流特性は非直線性を示し、順方向には電流は急に増加するが、逆方向にはほとんど流れなく、整流特性を有する。

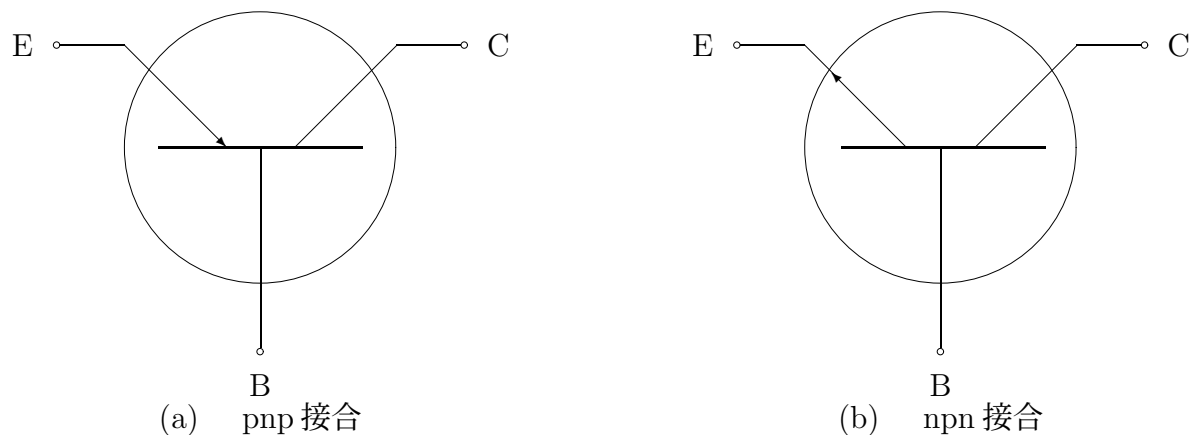


図 7.2: トランジスタの pnp 接合と npn 接合

2つのpn接合を背中合わせになるように1つの半導体中に作り込んだものがバイポーラトランジスタである。

図 7.1 に示すように、バイポーラトランジスタには pnp 接合と npn 接合との2種類があり、それぞれの記号は図 7.2 のようにエミッタについている矢印の向き（電流の向きに対応している。）が異なる。またそれぞれ一方のp形（またはn形）領域をエミッタ emitter、中間のn形（またはp形）領域をベース base、他方のp形（またはn形）領域をコレクタ collector といい、いずれの場合にも入力側エミッタは順方向に、出力側コレクタは逆方向にバイアスして動作させる。すなわち、pnp 接合と npn 接合では、バイアス電圧および電流の向きはすべて反対である。

ここでは、利用度の高い npn 接合トランジスタの動作を簡単に説明する。エミッターベース間に順バイアスを印加し、電子をエミッタからベースに注入する。ベース領域にはほとんど電界はなく、また厚さはきわめて薄いから、注入された電子のごくわずかはベースの正孔と結合してベース電流となるが、大部分の電子は拡散によって移動してベース、コレクタ間の接合面に達し、さらにコレクタの逆バイアスに吸い込まれてコレクタ電流となる。

7.3 方法

トランジスタの静特性についてベース共通回路とエミッタ共通回路で測定する。以下 npn 形トランジスタについて説明する。

7.3.1 ベース共通回路

図 7.3 のように接続して、エミッタ電流 I_E を一定にし、コレクタ電圧 V_C を変化して、それに対するコレクタ電流 I_C を測定する。次に、 I_E の値を 2、3 変えて同様の測定をする。 I_E 、 I_B および I_C の間には近似的に

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \quad (7.1)$$

が成り立つ。ここに α をベース共通回路の電流利得あるいは電流増幅率と言う。 I_{CBO} はエミッタ開放時のコレクタ・ベース間の逆方向電流で通常は無視してよい。

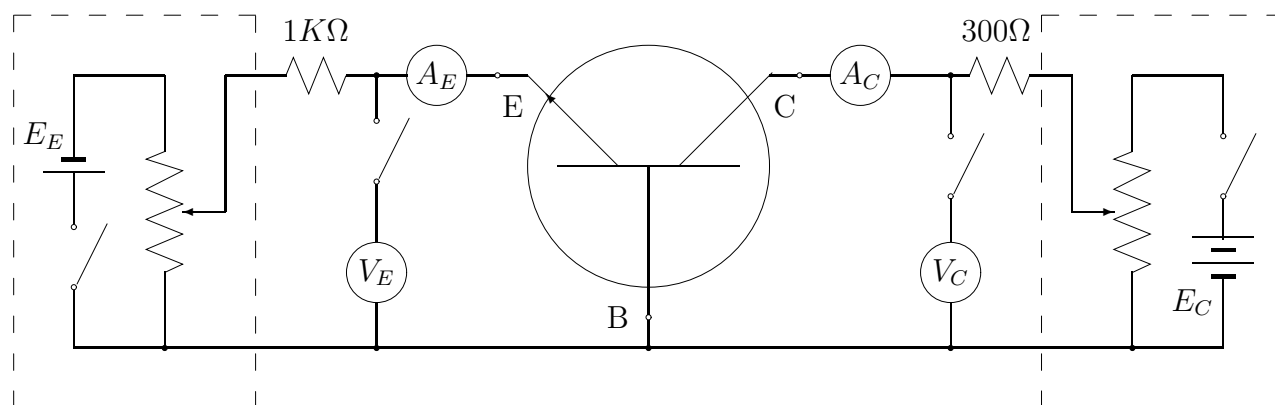


図 7.3: ベース共通回路測定結線図

A_E : 直流電流計

A_C : 直流電流計

V_E : デジタルマルチメータ

E_C : 直流電源

E_E : 直流電源

V_C : デジタルマルチメータ

7.3.2 エミッタ共通回路

図 7.4 のように接続して、ベース電流 I_B を一定にして、コレクタ電圧 V_C を変化して、それに対するコレクタ電流 I_C を測定する。次に、 I_B の値を 2、3 変えて同様の測定をする。この場合コレクタ電流は

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \quad (7.2)$$

で表される。ここに β はエミッタ共通回路の電流利得または電流増幅率、 I_{CEO} はベース開放時のコレクタ・エミッタ間の逆方向電流である。 α と β との間には

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (7.3)$$

なる関係がある。

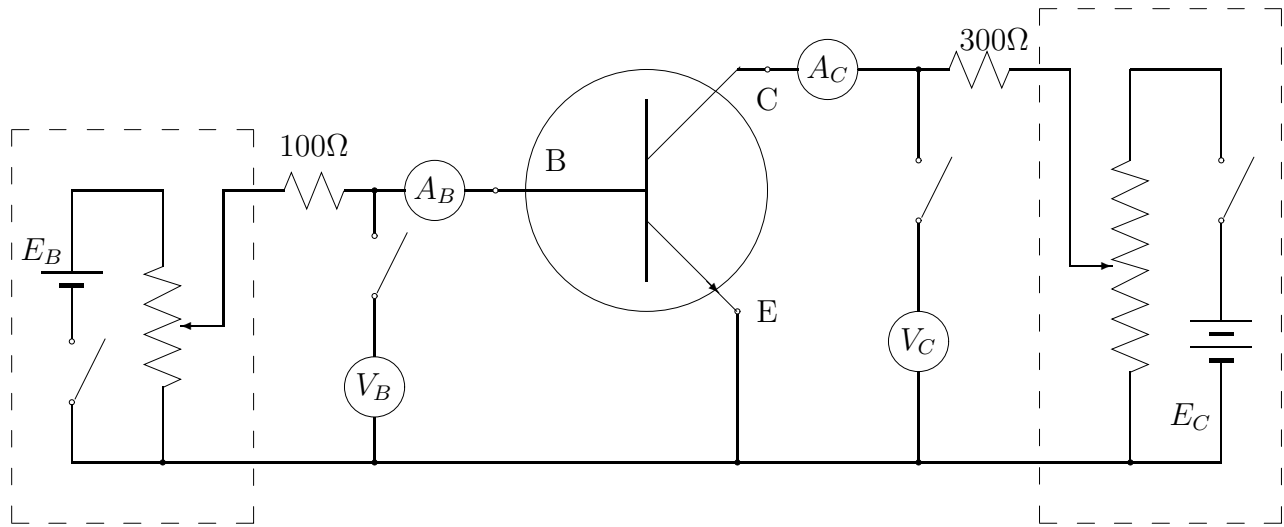


図 7.4: エミッタ共通回路測定結線図

A_B : 直流電流計
 E_C : 直流電源

A_C : 直流電流計
 E_B : 直流電源

V_B : デジタルマルチメータ
 V_C : デジタルマルチメータ

7.4 結果

トランジスタの形名と定格

7.4.1 ベース共通回路

エミッタ電流 $I_E(mA)$	コレクタ電圧 $V_C(V)$	コレクタ電流 $I_C(mA)$
一定		

コレクタ電圧 $V_c(V)$ を横軸にし、コレクタ電流 $I_c(mA)$ を縦軸にして、エミッタ電流 $I_{E1}(mA)$ 、エミッタ電流 $I_{E2}(mA)$ およびエミッタ電流 $I_{E3}(mA)$ の変化をグラフで示す。

7.4.2 エミッタ共通回路

ベース電流 $I_B(\mu A)$	コレクタ電圧 $V_C(V)$	コレクタ電流 $I_C(mA)$
一定		

コレクタ電圧 $V_C(V)$ を横軸にし、コレクタ電流 $I_C(mA)$ を縦軸にして、ベース電流 $I_{B1}(\mu A)$ 、ベース電流 $I_{B2}(\mu A)$ およびベース電流 $I_{B3}(\mu A)$ の変化をグラフで示す。

7.5 注意

1. トランジスタの定格をこえないようにする (表 7.1 参照)。
2. 出力特性 ($V_C - I_C$ 特性) を測定する場合には、コレクタ電圧 V_C とコレクタ電流 I_C との積が最大コレクタ損失 W_{cm} をこえないようにする。
3. 入力特性 ($V_E - I_E$ 、 $V_B - I_B$ 特性) を測定する場合には、コレクタ電圧 V_C とコレクタ電流 I_C は直接表面に現われないから、最大コレクタ損失 W_{cm} をこえないように、特に注意する。
4. 最大コレクタ損失 W_{cm} の付近では、長時間動作させないようにする。
5. 周囲温度の影響により、トランジスタ特性はかなり変動する。

7.6 問題

1. 特性曲線の概略の傾向をトランジスタの動作理論から説明せよ。
2. トランジスタの pnp 形と npn 形の判別方法を述べよ。
3. 電流増幅率 α と β の値をグラフから求めよ。

7.7 実験装置・規格

7.7.1 トランジスタの定格

表 7.1: トランジスタの定格 (25 °C)

項	目	2SC959
最大コレクターベース間電圧	$V_{CBm}(\text{V})$	120
最大コレクターエミッタ間電圧	$V_{CEm}(\text{V})$	80
最大エミッターベース間電圧	$V_{EBm}(\text{V})$	5
最大コレクタ電流	$I_{Cm}(\text{A})$	0.7
最大コレクタ損失	$W_{cm}(\text{W})$	0.7