

## 電子制御工学実験報告書

実験題目 : 半導体素子の静特性の測定  
報告者 : 3年41番 鷲尾 優作  
提出日 : 令和3年6月14日,6月21日,6月28日  
実験日 : 令和3年6月28日  
実験班 :  
共同実験者 : 39番 宮崎 来  
42番 渡辺 あかり

### ※指導教員記入欄

評価項目	配点	一次チェック ・ ・	二次チェック ・ ・
記載量	20		
図・表・グラフ	20		
見出し, ページ番号, その他体裁	10		
その他の減点	—		
合計	50		

コメント：

# 目次

<b>1 実験 A ダイオードとツェナーダイオードの静特性</b>	<b>2</b>
1.1 目的	2
1.2 使用器具	2
1.3 ダイオードの静特性	2
1.3.1 順方向の特性	2
1.3.2 逆方向の特性	3
1.4 ツェナーダイオードの静特性	5
1.4.1 順方向の特性	5
1.4.2 逆方向の特性	6
1.5 ダイオードの半波整流特性	8
1.6 考察	11
<b>2 実験 B トランジスタの静特性</b>	<b>12</b>
2.1 目的	12
2.2 使用器具	12
2.3 トランジスタの原理	12
2.4 評価回路の構造	13
2.5 $V_{BE}$ - $I_B$ 特性の測定	13
2.6 $V_{CE}$ - $I_C$ 特性の測定	15
2.7 考察	18
<b>3 感想</b>	<b>19</b>

# 1 実験 A ダイオードとツェナーダイオードの静特性

## 1.1 目的

- pn 接合半導体素子 (ダイオード) の順方向, 逆方向の電圧-電流特性を測定する.
- 逆方向の電圧を増加させた時に, ある電圧になると電流が急増する降伏特性を利用したツェナダイオードの電圧-電流特性を測定する.
- 交流入力に対する半波整流特性を観測することにより, ダイオードの整流特性について学習する.

## 1.2 使用器具

1. ダイオード静特性評価回路 EC-01
2. 直流安定化電源装置 TAKASAGO GPO25-5 帳 1 番号 195 分類 B21
3. 交流電源装置 KENWOOD AG-203 EC-02
4. デジタルマルチメータ SANWA CD770 EC-34
5. オシロスコープ GWINSTEK GDS-1022 No.6

## 1.3 ダイオードの静特性

### 1.3.1 順方向の特性

整流用ダイオード順方向に印加する電圧を変化させ, 電圧電流特性を測定する. ダイオードの端子間電圧はダイオードの定格電流を考え, 0-5[V] を超えないよう測定した. 精密な測定を図るため, ダイオードと直列に接続した抵抗器の両端電圧を測定し, キルヒホッフの法則を利用し間接的にダイオードの両端電圧を測定する方法を用いた,

以下図 1 に測定対象の回路図を示す.

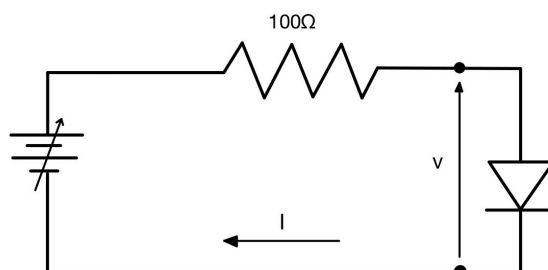


図 1: ダイオードの順方向静特性測定回路

表 1 に測定によって得られた結果を示す。また、以下図 2 にグラフを示す。

測定結果は変化の大きい部分を重点的に測定しており、不均一なものしている。結果からはダイオード両端電圧が 0.5[V] を超えたところで徐々に電流が流れ出し、0.8[V] にかけて急激に増加していく様子がわかる。これは、順方向電圧の印加によって内部電界が打ち消され、空乏層が減少することで通過可能な電流が増加したためである。

表 1: ダイオード順方向バイアスにおける電圧電流特性測定結果

抵抗にかかる電圧 [V]	主電源 E[V]	ダイオード両端電圧 [V]	電流 [mA]
4.960	5.730	0.770	49.6
3.030	3.773	0.743	30.3
1.508	2.220	0.712	15.08
0.996	1.691	0.695	9.96
0.511	1.177	0.666	5.11
0.252	0.887	0.635	2.52
0.095	0.688	0.593	0.95
0.051	0.617	0.566	0.51
0.025	0.559	0.534	0.25
0.013	0.521	0.508	0.13
0.005	0.478	0.473	0.05
0.000	-0.020	-0.020	0

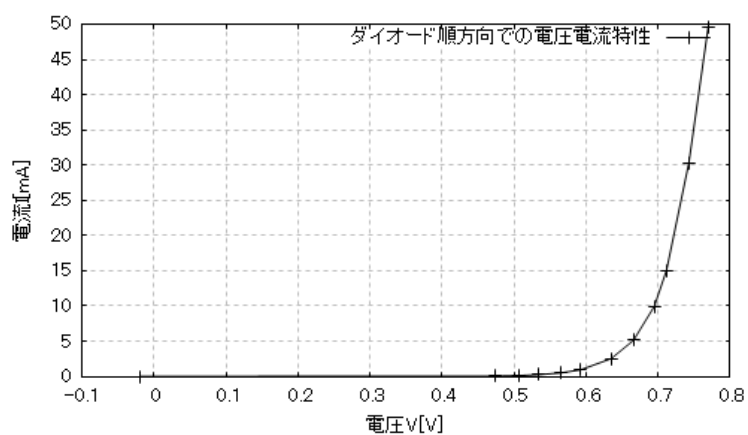


図 2: ダイオード順方向バイアスにおける電圧電流特性（グラフ）

### 1.3.2 逆方向の特性

同様に逆方向電圧を印加し、電圧電流特性を測定する。

設定電圧，測定方法については前項と同じ方法を用いている．

以下図 3 に測定対象の回路図を示す．

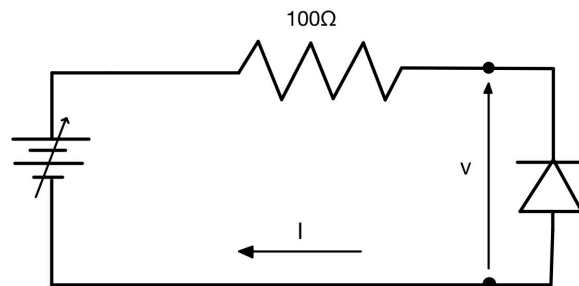


図 3: ダイオードの逆方向静特性測定回路

以下表 2 に得られた測定値を示す．

表 2: ダイオード逆方向バイアスにおける電圧電流特性測定結果

抵抗にかかる電圧 [V]	主電源 E[V]	ダイオードに印加する電圧 「V」	電流 [mA]
0.000	-4.940	-4.940	0
-0.001	-3.039	-3.038	-0.01
0.000	-1.055	-1.055	0
0.000	-0.493	-0.493	0
0.000	-0.098	-0.098	0

図 4 にグラフを示す．逆バイアス下においては電圧の変化に対して電流はほとんど流れない状態で変わらないことがわかる．印加した電圧が内部電界を拡張する方向にはたらき，空乏層が拡大し絶縁性が増すためである．ダイオードの持つ整流作用が正常に働いていると考えられる．

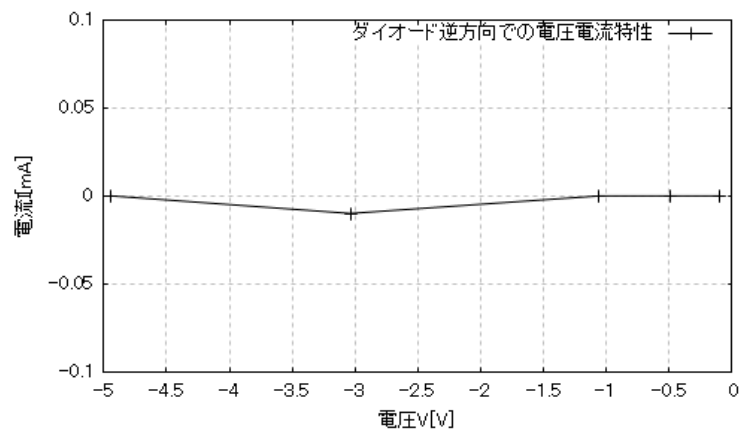


図 4: ダイオード逆方向バイアスにおける電圧電流特性（グラフ）

## 1.4 ツェナーダイオードの静特性

ツェナーダイオード順方向に印加する電圧を変化させ、電圧電流特性を測定する。ダイオードの端子間電圧は先ほどの実験と同様にダイオードの定格電流を考え、0-5[V] を超えないよう測定した。精密な測定を図るため、ダイオードと直列に接続した抵抗器の両端電圧を測定し、キルヒホッフの法則を利用し間接的にツェナーダイオードの両端電圧を測定する方法を用いた、

以下図 5 に測定対象の回路図を示す。

### 1.4.1 順方向の特性

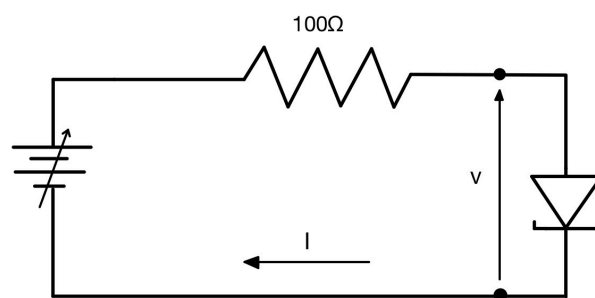


図 5: ツェナーダイオードの順方向静特性測定回路

以下表 3 に測定結果を示す。

表 3: ツェナーダイオード順方向バイアスにおける電圧電流特性測定結果

抵抗にかかる電圧 [V]	主電源 E[V]	ダイオードに印加する電圧 [V]	電流 [mA]
4.990	5.760	0.770	49.9
2.494	3.251	0.757	24.94
1.502	2.247	0.745	15.02
0.522	1.240	0.718	5.22
0.246	0.945	0.699	2.46
0.199	0.892	0.693	1.99
0.146	0.831	0.685	1.46
0.098	0.774	0.676	0.98
0.049	0.707	0.658	0.49
0.024	0.664	0.640	0.24
0.006	0.607	0.601	0.06
0.002	0.574	0.572	0.02
0.000	0.503	0.503	0

図 6 にグラフ化したものを示す。グラフの外形，特徴は整流用ダイオードと酷似しており，ダイオード同様に 0.5[V] から 0.8[V] にかけて急激に電流が変化している。ツェナーダイオードでも順方向特性は一般的なダイオードと同様の特性を示すことがわかる。

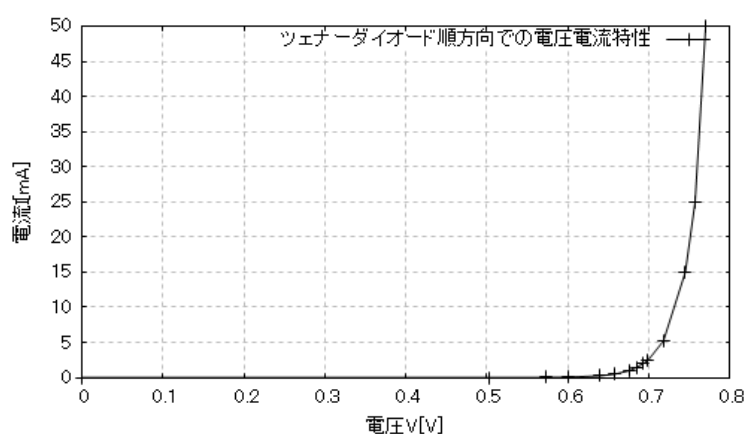


図 6: ツェナーダイオード順方向バイアスにおける電圧電流特性（グラフ）

#### 1.4.2 逆方向の特性

同様に逆方向電圧を印加し，電圧電流特性を測定する。測定方法については前項と同じ方法を用いる。

以下図 7 に測定対象の回路図を示す.

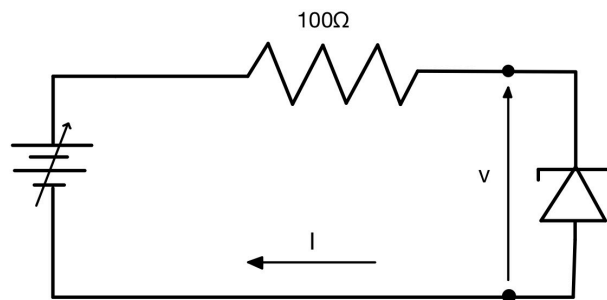


図 7: ツェナーダイオードの逆方向静特性測定回路

表 4 に測定によって得られた結果を示す.

表 4: ツェナーダイオード逆方向バイアスにおける電圧電流特性測定結果

抵抗にかかる電圧 [V]	主電源 E[V]	ダイオードに印加する電圧「V」	電流 [mA]
-5.000	-11.30	-6.300	-50
-2.497	-8.810	-6.313	-24.97
-1.013	-7.280	-6.267	-10.13
-0.490	-6.740	-6.25	-4.9
-0.206	-6.430	-6.224	-2.06
-0.150	-6.360	-6.21	-1.5
-0.068	-6.250	-6.182	-0.68
-0.039	-6.160	-6.121	-0.39
-0.025	-6.080	-6.055	-0.25
-0.019	-6.040	-6.021	-0.19
-0.014	-5.980	-5.966	-0.14
-0.010	-5.910	-5.900	-0.1
-0.005	-5.740	-5.735	-0.05
0.000	-5.730	-5.73	0
0.001	-2.012	-2.013	0.01
0.000	-1.061	-1.061	0
0.000	-0.488	-0.488	0



図 8 にグラフを示す。

6[V] を下回ったところで急激に電流が流れだすツェナーダイオード特有の特性が見られる。ツェナーダイオードは逆バイアス下一定の電圧を超えたときこのような特性が得られるよう作られており回路内で電圧、電流を安定させる用途で多用される。このツェナーダイオードはおよそ 6[V] で安定するよう設計されていると考えられる。

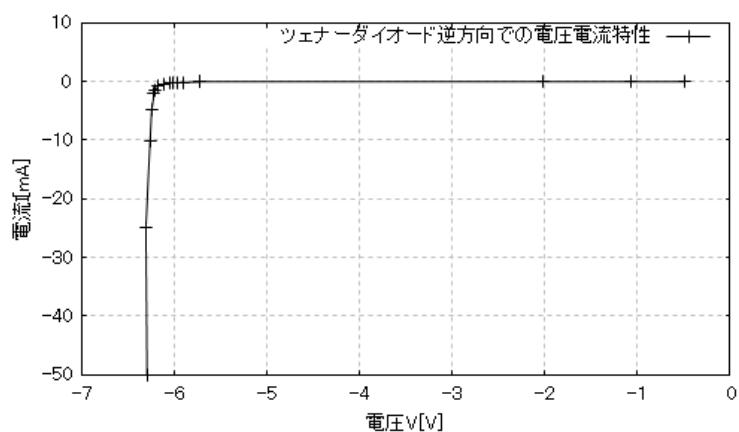


図 8: ツェナーダイオード逆方向バイアスにおける電圧電流特性（グラフ）

## 1.5 ダイオードの半波整流特性

周波数 100[Hz], 振幅 5[V] の正弦波を LFO を用いて回路に入力し。

オシロスコープ ch1 で LFO の出力を監視し, ch2 でダイオードの両端電圧を監視する。この時の波形の様子を観察, 報告する。

以下図 9 に測定対象の半波整流回路を示す。

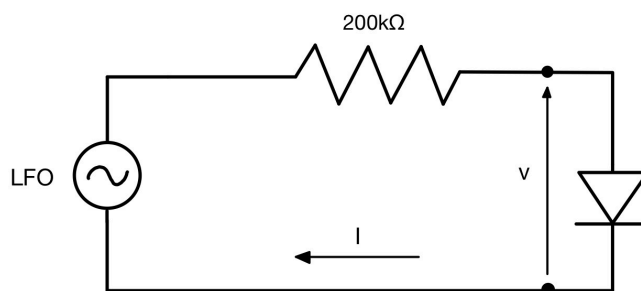


図 9: 半波整流回路

測定中のオシロスコープの波形を示す。

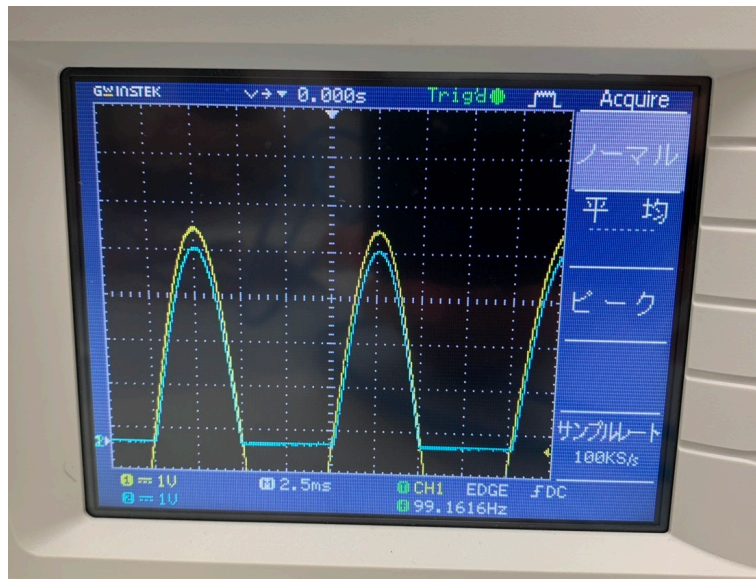


図 10: 半波整流回路測定の様子 (1)

観測した波形は、正弦波の負領域をカットする半波整流回路の特性を正常に示した。半波整流回路は、ダイオードが逆バイアスの場合空乏層が拡張し電流が流れなくなる整流性を利用した回路構成である、これにより、交流波形から正の部分のみを抜き出すことができる。

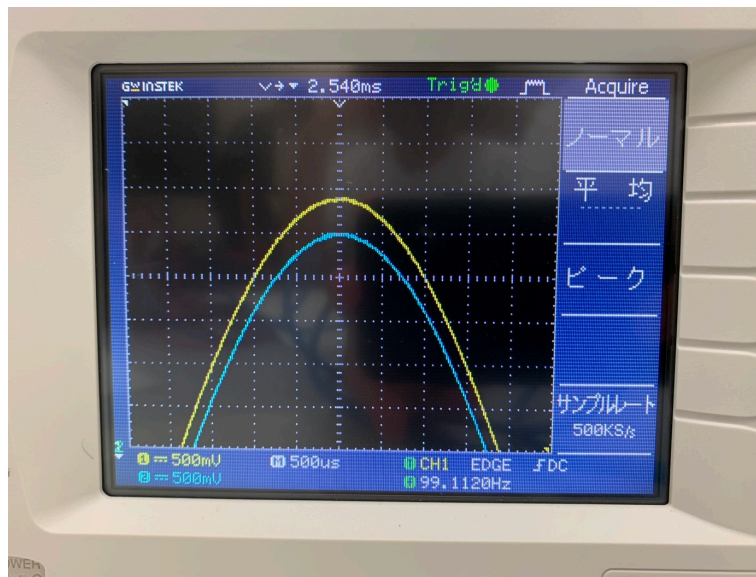


図 11: 半波整流回路測定の様子 (2)

半波整流回路はダイオードが順方向バイアスで動作している場合でも自由電子の運動に必要な電界が存在するため見かけ上抵抗値が発生することから、正弦波波形とは重ならず、すこしピークが落ちる形となる。オシロスコプの波形から最大値はおよそ 500mV 程度差異が認められる。

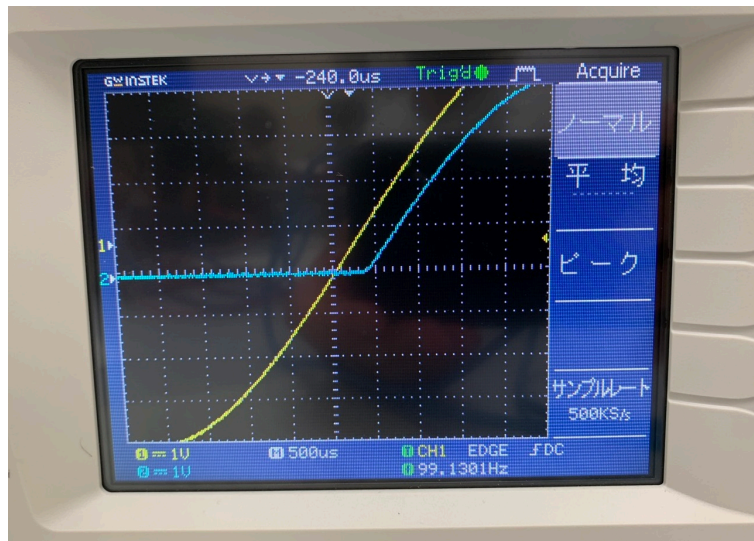


図 12: 半波整流回路測定の様子 (3)

波形の立ち上がりの応答は以下ようになった。ダイオード内部での空乏層の変化に必要な時間であると考えられる。

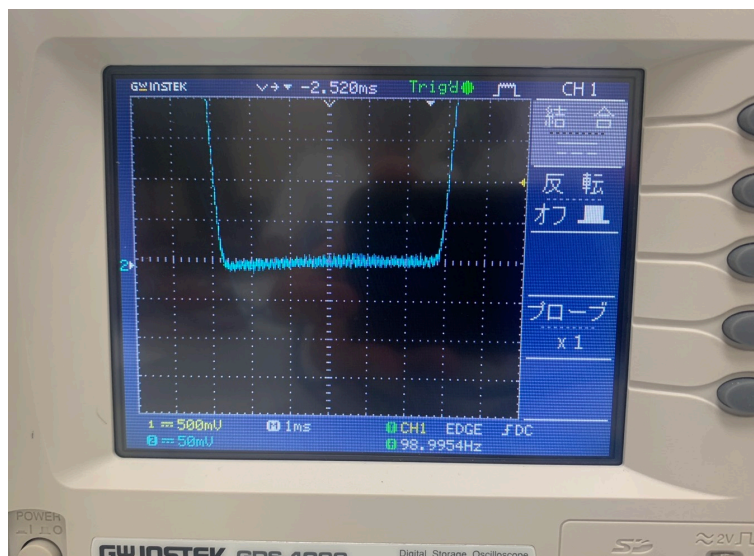


図 13: 半波整流回路測定の様子 (4)

一見平面のように見えるカットされた部分でも興味深い特徴がみられた。平面部を拡大すると (6) のような波形が見られた。ノイズの可能性も考えたが、おそらく逆バイアス時に空乏層を貫通してしまう漏れ電流から発生した波形と考えている。

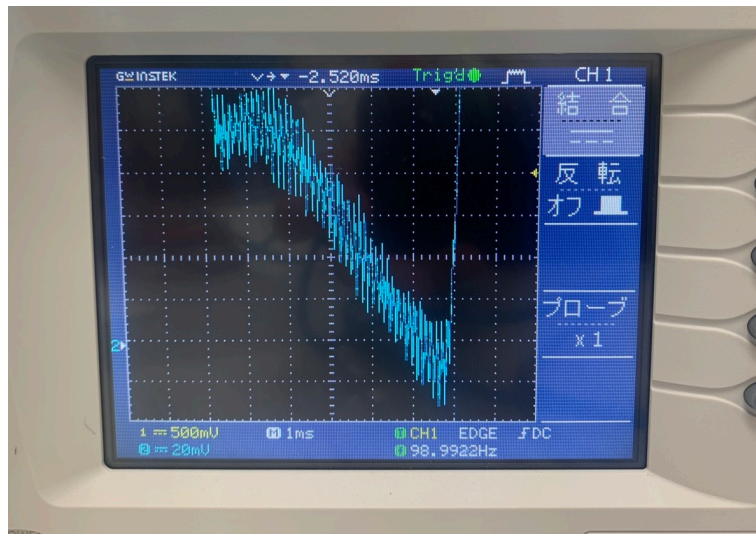


図 14: 半波整流回路測定の様子 (5)

## 1.6 考察

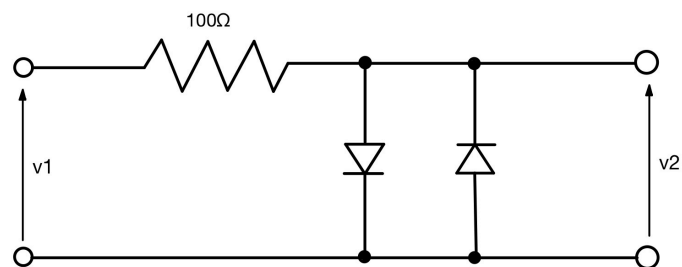


図 15: リミッタ

## 2 実験B トランジスタの静特性

### 2.1 目的

- npn 形トランジスタの静特性を測定し, その特性を把握する
- エミッタの設置回路について理解する

### 2.2 使用器具

1. トランジスタ静特性評価回路 EC-07
2. 直流安定化電源装置 KIKUSUI PMC35-2 L 48-10-1-42
3. 直流安定化電源装置 TAKASAGO GPO25-5 帳 1 番号 195 分類 B21
4. デジタルマルチメータ SANWA CD770 EC-26, EC-35
5. オシロスコープ GWINSTEK GDS-1022 No.2

### 2.3 トランジスタの原理

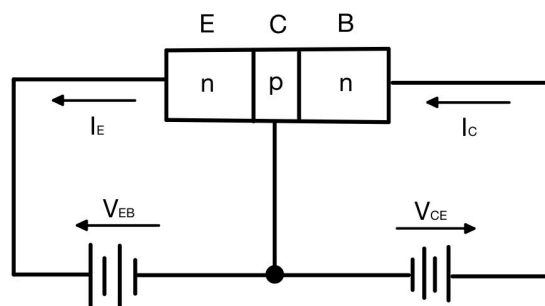


図 16: ベース接地回路

## 2.4 評価回路の構造

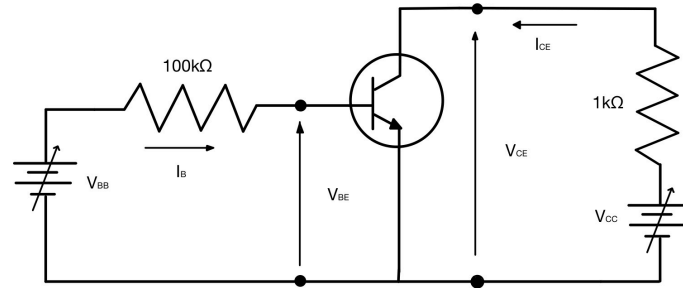


図 17: エミッタ接地回路

## 2.5 $V_{BE}$ - $I_B$ 特性の測定

表 5: トランジスタ入力特性測定結果 (0.5V)

IB 抵抗両端電圧 [V]	Vce[V]	Ib[mA]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Vbe[V]	Ic[mA]
1.398	0.502	0.01398	2.821	0.679	0.002821
0.671	0.496	0.00671	1.352	0.660	0.001352
0.392	0.500	0.00392	0.788	0.646	0.000788
0.371	0.500	0.00371	0.745	0.645	0.000745
0.289	0.500	0.00289	0.578	0.637	0.000578
0.138	0.498	0.00138	0.272	0.617	0.000272
0.060	0.499	0.0006	0.113	0.592	0.000113
0.022	0.498	0.00022	0.038	0.563	3.8E-05
0.001	0.500	1E-05	0.002	0.49	2E-06
0.000	0.502	0	0.000	0.034	0

表 6: トランジスタ入力特性測定結果 (1.5V)

IB 抵抗両端電圧 [V]	Vce[V]	Ib[mA]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Vbe[V]	Ic[mA]
1.426	1.499	0.01426	2.913	0.678	0.002913
0.928	1.501	0.00928	1.899	0.666	0.001899
0.644	1.500	0.00644	1.318	0.657	0.001318
0.371	1.500	0.00371	0.755	0.642	0.000755
0.163	1.499	0.00163	0.326	0.62	0.000326
0.062	1.503	0.00062	0.118	0.591	0.000118
0.011	1.499	0.00011	0.016	0.538	1.6E-05
0.002	1.502	1.9E-05	0.003	0.495	3E-06
0.000	1.503	0	0.000	0.034	0

表 7: トランジスタ入力特性測定結果 (2.5V)

IB 抵抗両端電圧 [V]	Vce[V]	Ib[mA]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Vbe[V]	Ic[mA]
1.403	2.505	0.01403	2.883	0.677	0.002883
0.957	2.503	0.00957	1.995	0.667	0.001995
0.352	2.500	0.00352	0.728	0.642	0.000728
0.193	2.498	0.00193	0.386	0.626	0.000386
0.109	2.503	0.00109	0.215	0.612	0.000215
0.021	2.497	0.00021	0.049	0.566	4.9E-05
0.007	2.499	7E-05	0.011	0.534	1.1E-05
0.000	2.503	0	0.000	0.034	0

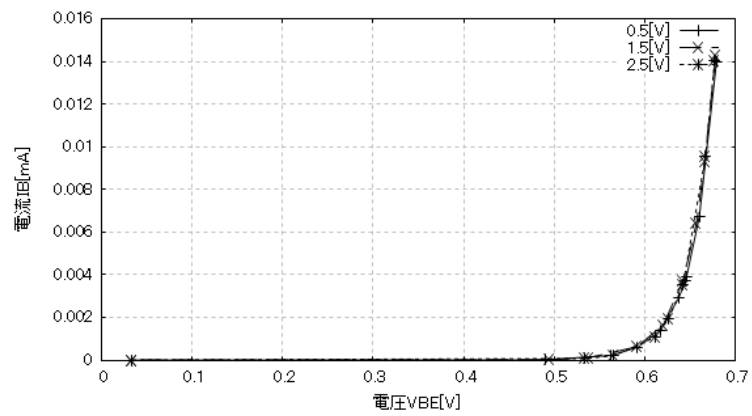


図 18: トランジスタ入力特性測定結果（グラフ）

## 2.6 $V_{CE}$ - $I_C$ 特性の測定

表 8: トランジスタ出力特性測定結果（2  $\mu$  A）

$V_{ce}$ [V]	IC 抵抗両端電圧 [V]	$I_c$ [mA]
9.980	0.413	0.413
6.070	0.409	0.409
5.000	0.409	0.409
3.004	0.403	0.403
1.502	0.404	0.404
1.004	0.404	0.404
0.507	0.400	0.400
0.245	0.388	0.388
0.195	0.363	0.363
0.151	0.295	0.295
0.101	0.117	0.117
0.049	0.016	0.016
0.000	0.001	0.001



表 9: トランジスタ出力特性測定結果 (4  $\mu$  A)

Vce[V]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Ic[mA]
9.950	0.845	0.845
6.110	0.835	0.835
3.055	0.825	0.825
1.511	0.820	0.820
1.081	0.818	0.818
0.513	0.814	0.814
0.253	0.792	0.792
0.149	0.545	0.545
0.105	0.265	0.265
0.000	0.000	0.000

表 10: トランジスタ出力特性測定結果 (6  $\mu$  A)

Vce[V]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Ic[mA]
9.970	1.250	1.250
1.009	1.230	1.230
0.490	1.220	1.220
0.245	1.190	1.190
0.204	1.140	1.140
0.152	0.904	0.904
0.103	0.377	0.377
0.052	0.062	0.062
0.000	0.001	0.001

表 11: トランジスタ出力特性測定結果 (8  $\mu$  A)

Vce[V]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Ic[mA]
9.980	1.670	1.670
1.040	1.618	1.618
0.517	1.606	1.606
0.254	1.572	1.572
0.197	1.486	1.486
0.151	1.180	1.180
0.106	0.500	0.500
0.048	0.070	0.070
0.009	-0.013	-0.013

表 12: トランジスタ出力特性測定結果 (10  $\mu$  A)

Vce[V]	IC 抵抗両端電圧 [V]	Ic[mA]
9.970	2.119	2.119
1.063	2.048	2.048
0.479	2.030	2.030
0.256	2.000	2.000
0.197	1.893	1.893
0.150	1.468	1.468
0.098	0.553	0.553
0.004	-0.006	-0.006

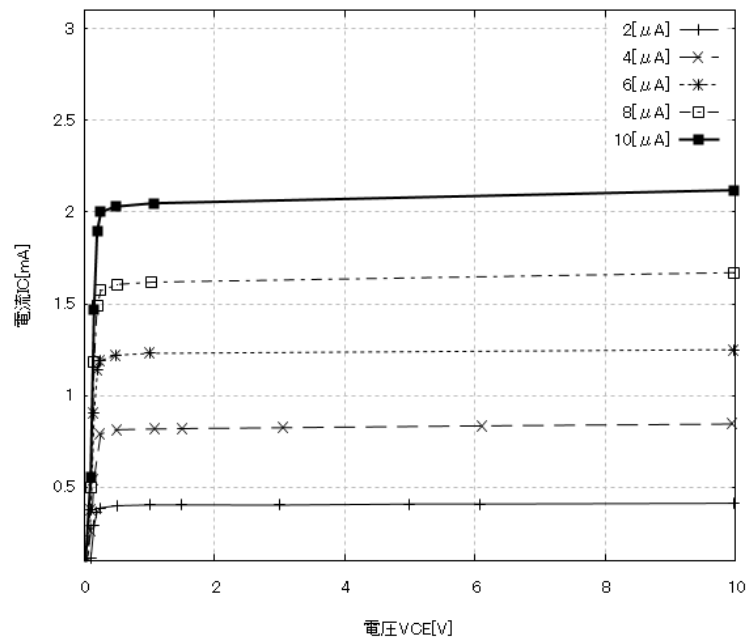


図 19: トランジスタ出力特性測定結果（グラフ）

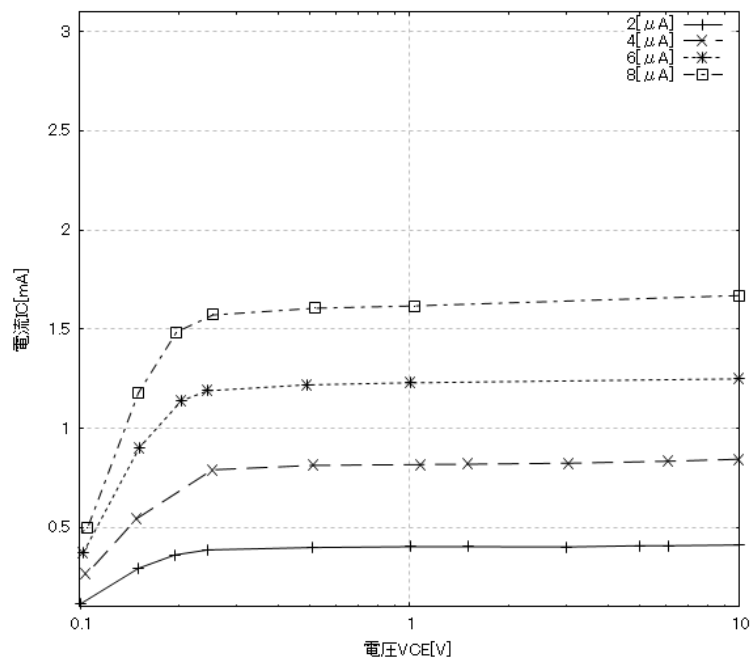


図 20: トランジスタ出力特性測定結果（対数グラフ）

## 2.7 考察

### 3 感想

### 参考文献

- [1] 皆川正寛, 「半導体素子の静特性の測定, 令和3年度電子制御工学実験・3年前期テキスト」