

# 第3学年 電気電子工学実験実習報告書

## 2 ダイオードの特性

実験日 令和 4 年 5 月 12 日 (木)  
令和 4 年 5 月 19 日 (木)

班	学生番号	氏名
2	3322	高橋広旭

共同実験者名

3306 上野航暉 3331 三瓶祐太 3335 吉岡大地

提出日			備考	評価
予定日	5/19	5/26		
提出日				

東京都立産業技術高等専門学校  
電気電子工学コース

## 1 目的

今回の実験では以下の3点を目的とする。

- ダイオードの原理を知り、実験により整流作用を理解することでダイオードを使用できるようにする。
- ツェナーダイオードの特性を学び、ツェナーダイオードを使用できるようにする。
- 太陽電池の特性を知り、使用できるようにする。

## 2 原理

### 2.1 ダイオード

半導体内部には、電子と正孔がキャリアとして存在している。真性半導体には4価のシリコンがよく使われる。真性半導体に微量の不純物を混入させたものを不純物半導体と言い、不純物としてリンやヒ素のような5価の元素(ドナー)を用いたものをn型半導体、ホウ素やガリウムのような3価の元素(アクセプタ)を用いたものをp型半導体と呼ぶ。

図1のように、p型半導体とn型半導体を接合し、端子を付けたものをダイオードと呼ぶ。ダイオード内部において、正孔はp型半導体内では多数キャリア、n型半導体内では少数キャリアであるから、より密度の大きいp型領域からn型領域へ流れ込む。この現象を拡散と呼ぶ。また、n領域へ拡散した正孔はn領域内の電子と結合し、双方とも消滅する。したがって、n領域では正に帯電したドナーイオンが、p領域では負に帯電したアクセプタイオンのみが残る、平衡状態となる。この結果、pn接合近傍にはキャリアの存在しない空乏層が形成される。空乏層では、電化分布によりp領域側からn領域側へ電位差が発生しこれを拡散電位と呼ぶ。

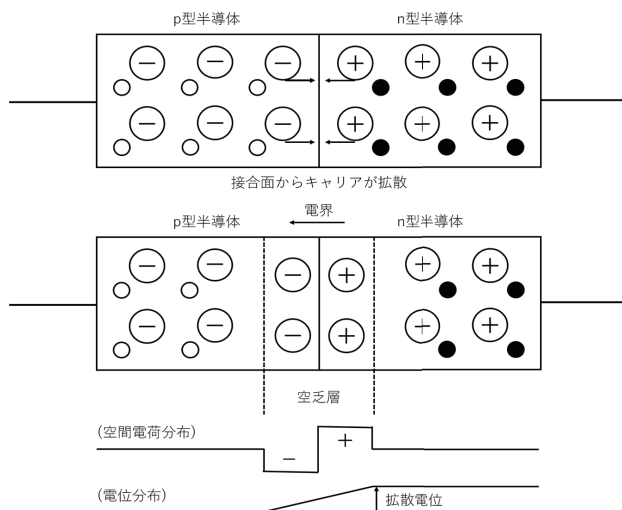


図 1: pn 接合と空乏層

図2のようにp型半導体に正、n型半導体に負の電圧を加えると、p領域とn領域の電位差は拡散電圧+印加電圧となり、電圧差が減少するため拡散電位により阻止されていたキャリアの拡散が起こる。このとき、ダイオードに印加した電圧、流れた電流を、それぞれ順方向電圧、順方向電流という。逆に、n型半導体に正、p型半導体に負の電圧を加えると、p領域とn領域の電圧差が大きくなるため電流は殆ど流れなくなる。このとき、ダイオードに加えた電圧、流れた電流を、それぞれ逆方向電圧、逆方向電流という。また、この電圧のかけ方を逆バイアスという。

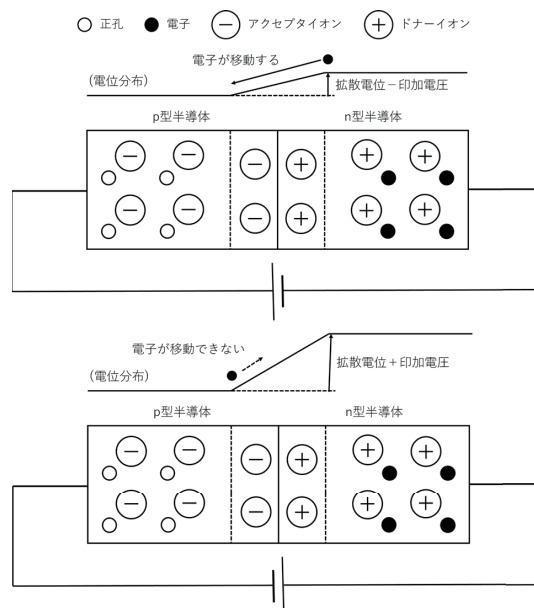


図 2: ダイオードの動作原理

## 2.2 ツェナーダイオード

ツェナーダイオードは定電圧ダイオードとも呼ばれ、加わる電圧がある一定の値 (ツェナー電圧) を上回ると、急激に電流が流れるようになる素子である。このとき流れる電流をツェナー電流と呼ぶ。入力電圧の増加に伴いツェナー電流が増加するため、出力電圧は一定に保たれる。すなわち、ツェナーダイオードは端子間電圧がツェナー電圧以上なら ON、ツェナー電圧以下なら OFF といったようにスイッチと似たような動作をして、ほぼ一定の電圧を維持する素子である。

## 2.3 太陽電池

太陽電池は様々な種類のものがあるが、本実験では最も基本的な構造である結晶シリコン太陽電池を用いる。結晶シリコン太陽電池の構造は、図 3 のような上段が n 形半導体、下段が p 形半導体となっており、pn 結合している。図 4 で示すよ blank うに、光が照射されると光のエネルギーにより接合面の電子は n 形半導体へ、正孔は p 形半導体へ移動し、起電力が発生する (光起電力効果)。この起電力は、光が照射されている間は持続し外部に負荷を接続しておけば電力を供給することができる。また、電子は負荷を通して p 形半導体に戻り、正孔と結合する。

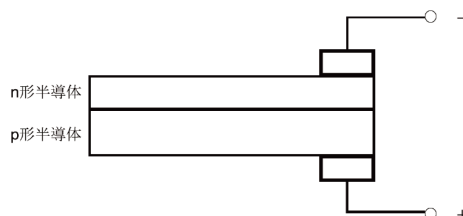


図 3: 結晶シリコン太陽電池の構造

太陽電池の電流-電圧特性は図 5 に示したようなダイオードの特性を下にシフトした特性となる。ここで電流値は負の値になるが、正に消費と考えていたので負の値は発電していることを意味する。一般的には、発電した電力も正の値で表現するので、縦軸を反転させる (図 5 参照)。また、太陽電池の電流-

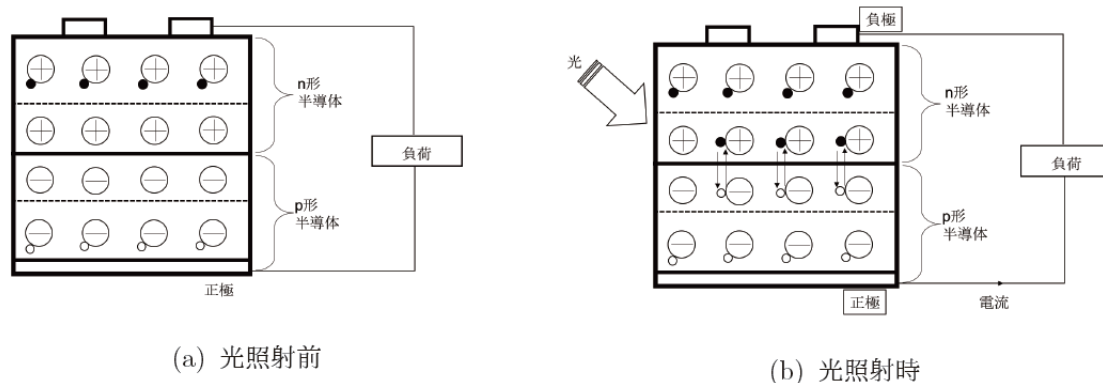


図 4: 太陽電池の動作原理

電圧特性を I-V カーブ, 電力-電圧特性を P-V カーブと呼ぶ。図 6 に示すように, I-V カーブは第 1 象限のみを表示する。

ここで電圧が 0 V になる《短絡する》時の電流を短絡電流 ( $I_{sc}$ ), 電流が 0 A になる電圧を解放電圧 ( $V_{oc}$ ) と呼ぶ。また, 縦軸を電力とした図 6 に示す P-V カーブからわかる通り, 太陽電池はどのような電圧で利用しても同じ電力を得られるわけではない。太陽電池を有効に活用するためには, 発電電力が最大になる最大電力点で利用する必要がある。

ここで, 発電電力が最大になる電力を最大電力 ( $P_{max}$ ), その時の電圧を最適動作電圧 ( $V_{pm}$ ) と呼ぶ。 $P_{max}$  は, 気象条件によって大きく変化し  $V_{pm}$  も変化してしまう。そのため, 太陽電池を利用したシステム (太陽光発電システム) では, 常に  $P_{max}$  を追従する制御である MPPT 制御 (Maximum Power Point Tracking: 最大電力点追尾) が具備されている。MPPT には様々な手法があるが, その手法を考える上でも太陽電池の I-V カーブの測定は非常に重要である。

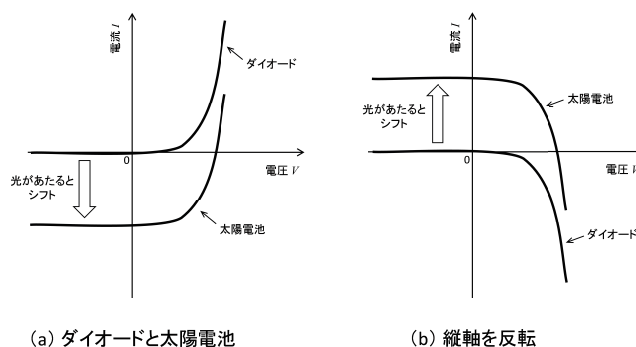


図 5: ダイオードと太陽電池の電流-電圧特性

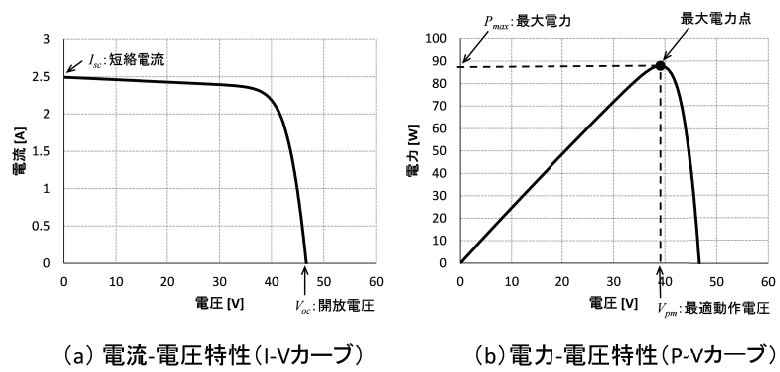


図 6: 太陽電池の発電特性 (左: I-V カーブ, 右: P-V カーブ)

### 3 実験

#### 3.1 ダイオード特性

##### 3.1.1 実験方法

この実験では図7と図8の回路を用いて実験を行った。

1. 図7の回路を作成した。5  $\Omega$  の抵抗は 10  $\Omega$  の抵抗 2 つを並列に接続して代用した。ダイオード D は 1N4002 を使用した。
2. 順バイアス  $E$  を加え、電圧  $V_D$  と電流  $I_D$  を計測した。 $V_D$  は 0~0.8 V まで 0.1 V 刻みで増加させた。また、0.6~0.8 V の間は  $I_D$  の変化量が大きかったため測定点を追加した。
3. 測定結果を用いて  $V_D - I_D$  特性をグラフに表した。
4. 図8の回路を作成した。5  $\Omega$  の抵抗は 10  $\Omega$  の抵抗 2 つを並列に接続して代用した。ダイオードは 1N4002 を使用した。
5. 逆バイアス  $E$  を加え、電圧  $V_D$  と電流  $I_D$  を計測した。 $V_D$  は 0~8 V まで 1 V 刻みで増加させた。
6. 測定結果を用いて  $V_D - I_D$  特性をグラフに表した。

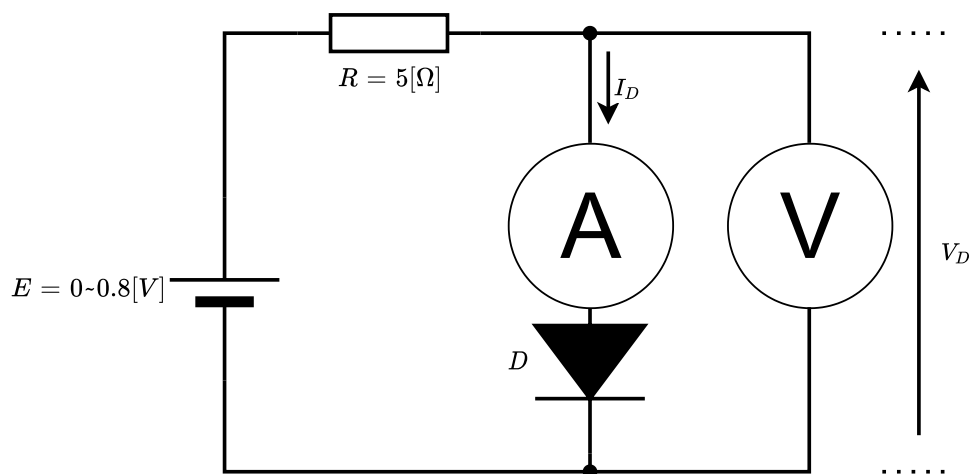


図 7: 測定回路 (順バイアス)

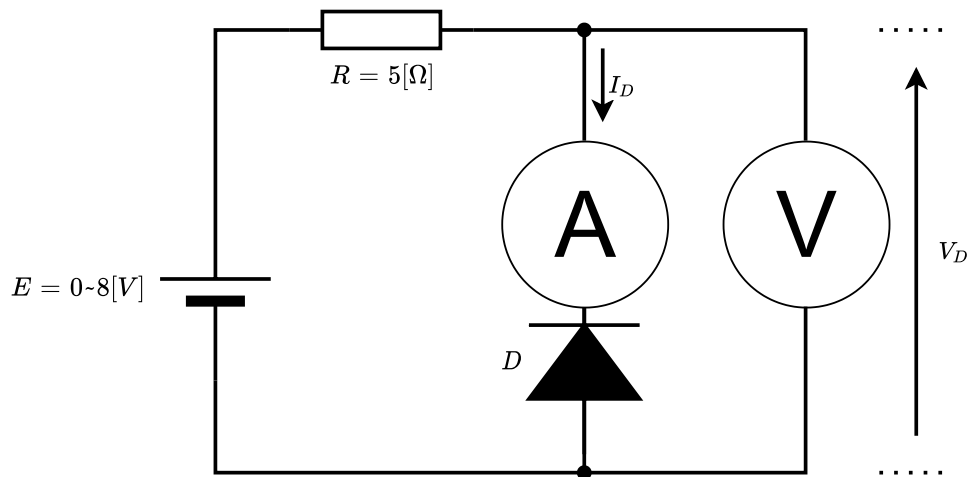


図 8: 測定回路 (逆バイアス)

### 3.1.2 使用機器

今回の実験の使用機材を表 1 に示す。

表 1: ダイオード特性実験使用器具

機器名	メーカー	型番	シリアル番号・管理番号
電源	菊水電子工業	32-0.5	77-5
電流計	YOKOGAWA	2051	534-2
電圧計	YOKOGAWA	E-11	278-16

### 3.1.3 結果

- 順バイアス測定結果を表 2 に示す。また, 測定結果を用いて作成したグラフを図 9 に示す。  
表 2 と図 9 より, 0.5 V を超えると電流が流れ始め, 0.66 V を超えると急激に  $I_D$  が増加することが分かる。
- 逆バイアス測定結果を表 3 に示す。また, 測定結果を用いて作成したグラフを図 10 に示す。  
表 3 と図 10 より, 常に  $I_D$  は 0 mA であることが分かる。

表 2: 順バイアス測定結果

電圧 $V_D$ [V]	電流 $I_D$ [mA]
0.80	62.50
0.78	50.00
0.76	40.00
0.74	30.00
0.73	20.00
0.70	13.20
0.69	10.00
0.66	5.00
0.60	2.00
0.50	0.10
0.40	0.00
0.30	0.00
0.20	0.00
0.10	0.00
0.00	0.00

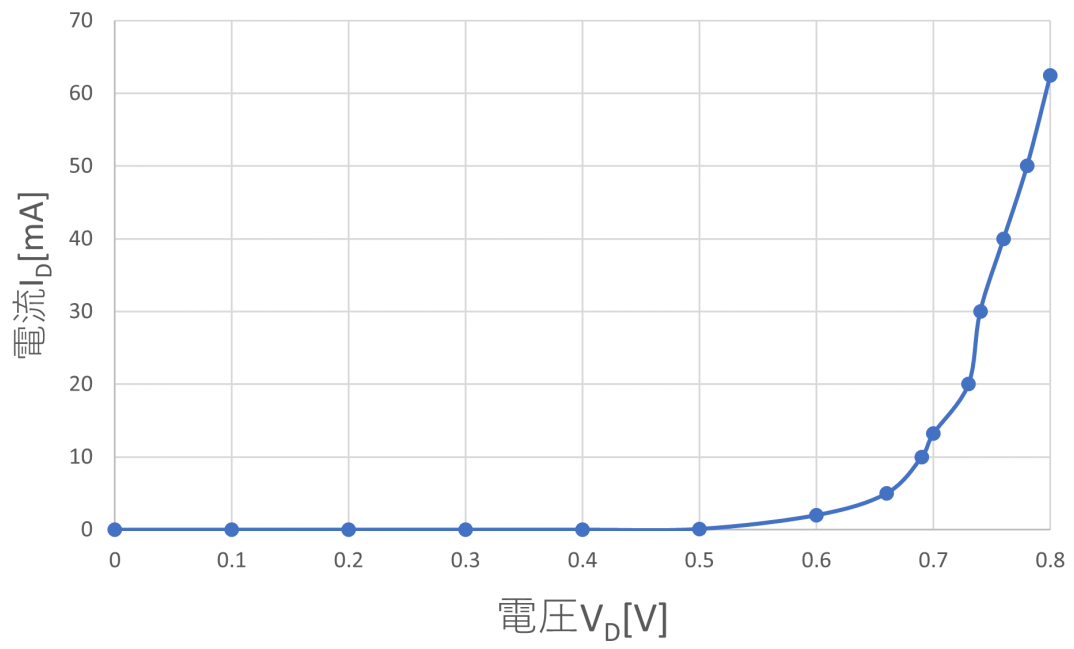


図 9: 順バイアス測定結果



表 3: 逆バイアス測定結果

電圧 $V_D$ [V]	電流 $I_D$ [mA]
8	0
7	0
6	0
5	0
4	0
3	0
2	0
1	0
0	0

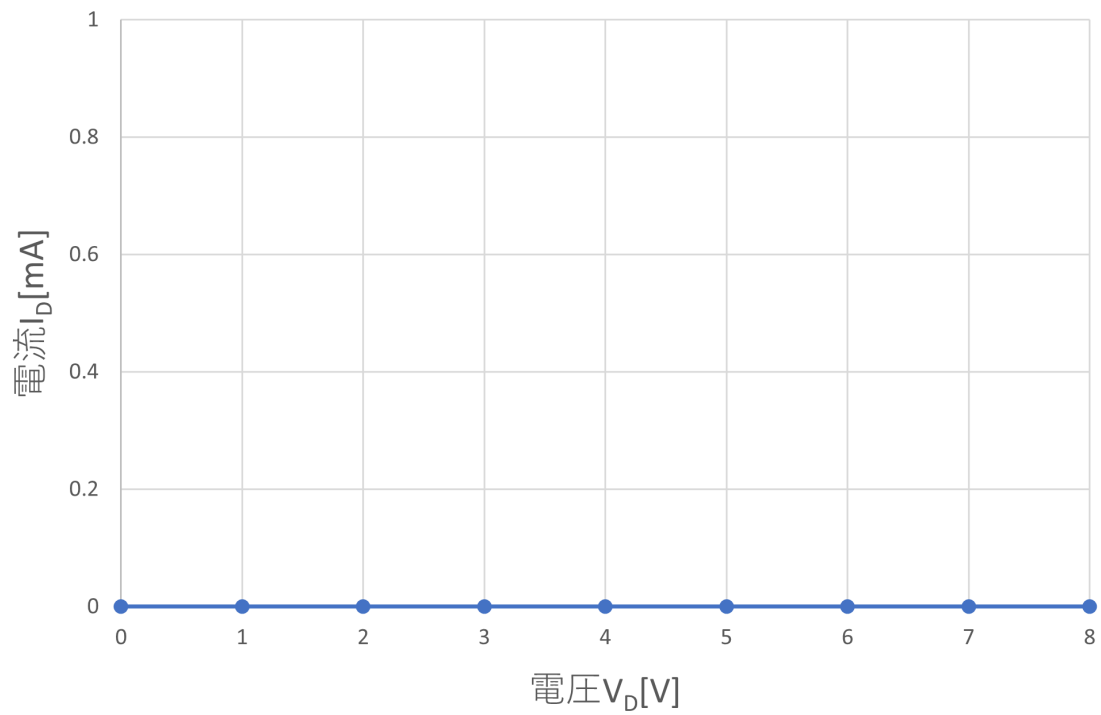


図 10: 逆バイアス測定結果

### 3.1.4 考察

#### 1. 直流電圧電流特性グラフ

直流電圧電流特性グラフを図 11 に示す。E を 0.8 V としたときの負荷線を加えた。これと  $V_D - I_D$  特性の線の交点が動作点になる。立ち上がり電圧  $V_J$  は動作点の接線と横軸の交点である。ま

た, 動作点 P は式 (1) のようにして求めた。

$$\begin{aligned}
 r_d &= \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \\
 &= \frac{0.73 - 0.70}{(20.00 - 13.20) \times 10^{-3}} \\
 &= 4.41176470 \\
 &\approx 4.41[\Omega]
 \end{aligned} \tag{1}$$

図 12 は  $r_d$ ,  $V_J$ , 理想ダイオードからなる等価回路である。この回路には  $V_J$  に対して逆向きにつながれている電圧源  $E$  がある。 $V_J$  は,  $E$  より小さい場合この回路に電流を流し,  $E$  より大きい場合は電流を流さない。 $r_d$  は電流値が緩やかに上昇するため, ダイオードの内部抵抗を表している。ダイオードは整流特性より電流の向きを一方向にする特性を表している。

## 2. 逆方向電流

実験で用いた 1N4002 ダイオードはデータシートより, 逆電流の値は  $25^\circ\text{C}$  のとき  $5.0\ \mu\text{A}$ ,  $100^\circ\text{C}$  のとき  $50\ \mu\text{A}$  であることが分かった [1]。また, 逆バイアスを加えたとき, 図 2 より多数キャリアは移動することができない。しかし, 図には記載されていない少数キャリアは移動することができる。従って, 逆バイアスを加えたときわずかに電流が流れる。

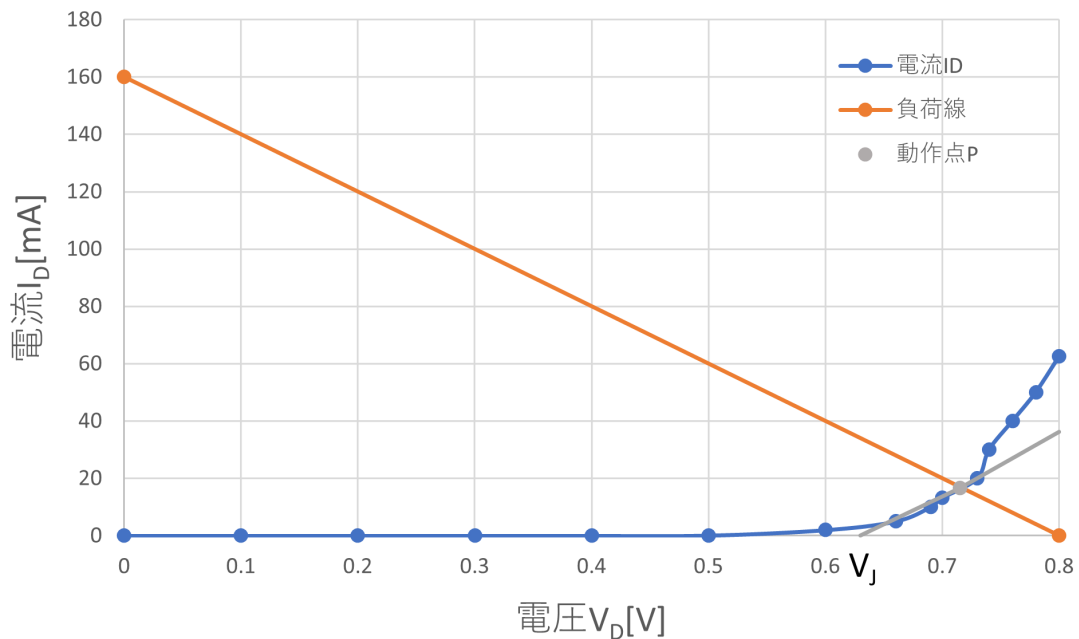


図 11: 直流電圧電流特性

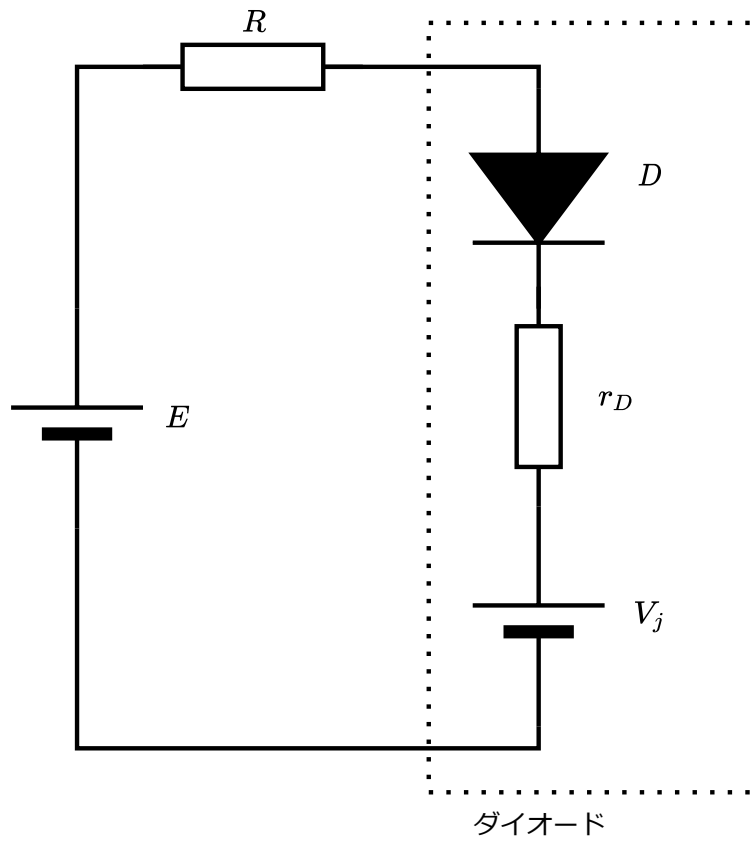


図 12:  $r_d$ ,  $V_j$ , 理想ダイオードからなる等価回路

## 3.2 ツェナーダイオード特性

### 3.2.1 実験方法

この実験では図 13 との回路を用いて実験を行った。

1. 図 13 の回路を作成した。ダイオード ZD は 1N4736A を使用した。
2.  $V_i$  を 0～18 V まで 0.1 V 刻みで増加させた。また、この時の電流  $I_Z$  と電圧  $V_L$  を測定した。
3. 測定結果を用いて  $V_i - V_L$  特性と  $V_i - I_Z$  特性を同一グラフに表した。

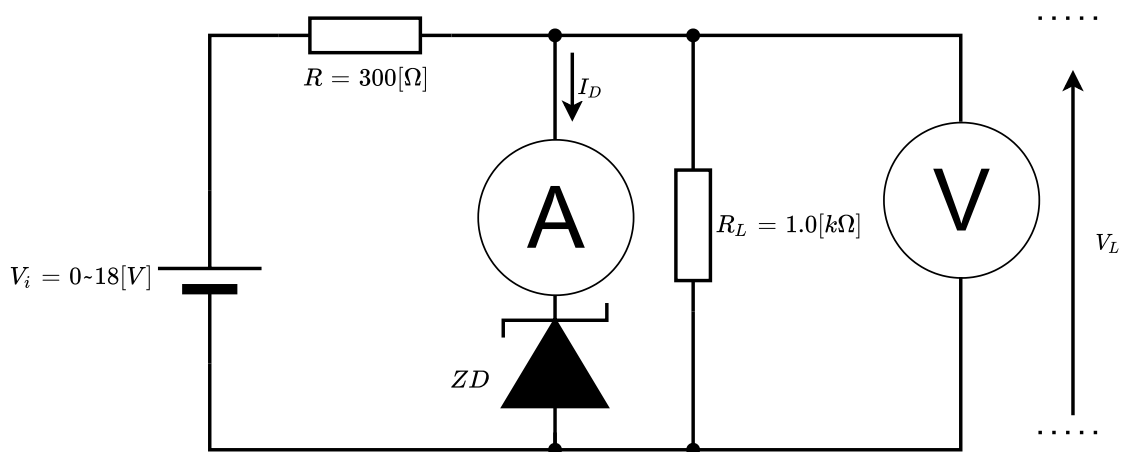


図 13: ツェナーダイオード特性の測定回路

### 3.2.2 使用機器

今回の実験の使用機材を表 4 に示す。

表 4: ツェナーダイオード特性実験使用器具

機器名	メーカー	型番	シリアル番号・管理番号
電源	菊水電子工業	32-0.5	77-5
電流計	YOKOGAWA	2051	534-2
電圧計	YOKOGAWA	E-11	278-16

### 3.2.3 結果

ツェナーダイオード特性の測定結果表 5 に示す。また、測定結果を用いて作成したグラフを図 14 に示す。表 5 と図 14 より、 $V_L$  は 6.7 V 付近まで急激に上昇し、それ以降は変化量が緩やかになった。 $I_Z$  は  $V_i$  が 9 V 以下の時 0 mA だったが、それを超えると電流が流れ始めた。

表 5: ツェナーダイオード特性測定結果

入力電圧 $V_i$ [V]	出力電圧 $V_L$ [V]	ツェナー電流 $I_Z$ [mA]
18	6.90	28.00
17	6.90	25.00
16	6.80	23.00
15	6.78	19.00
14	6.76	15.00
13	6.70	11.75
12	6.68	8.80
11	6.62	5.50
10	6.60	2.20
9	6.40	0.00
8	5.70	0.00
7	4.82	0.00
6	4.10	0.00
5	3.50	0.00
4	2.60	0.00
3	1.90	0.00
2	1.20	0.00
1	0.50	0.00
0	0.00	0.00

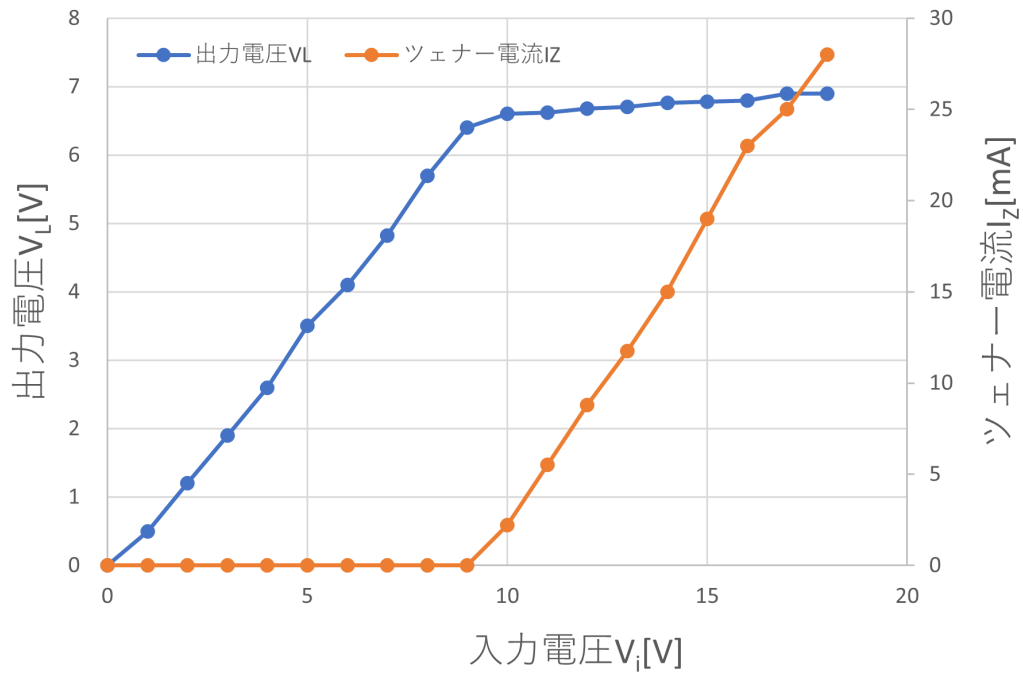


図 14: ツェナーダイオードの出力電圧特性とツェナー電流特性

### 3.2.4 考察

#### 1. 測定結果との比較

実験で用いた 1N4736 ツェナーダイオードはデータシートより、電流が流れはじめる電圧は 6.8 V で誤差は 5 %であった [2]。表 5 より、 $V_L$  が 6.6 V を超えると電流が流れ始めたため、誤差範囲に収まっている。従って、正しい計測ができたと考えられる。

#### 2. ツェナーダイオードの用途

ツェナーダイオードは一定の電圧を保持するため、定電圧源として利用することができる。

#### 3. $V_L - I_Z$ 特性

図 15 は、 $V_L - I_Z$  特性を表したものである。図 15 より、 $V_L$  が約 6.8 V のとき  $I_Z$  の値が急激に増加している。従って、ツェナー電圧  $V_Z$  は約 6.8 V であることが分かる。

#### 4. 入出力特性

表 5, 図 14, 図 15 より、 $V_L$  が急激に変化しているときは  $I_Z$  は変化していないことが分かる。また、 $I_Z$  が急激に変化しているときは  $V_L$  はほぼ変化していないこともわかる。従って、ツェナーダイオードには  $V_L$  と  $I_Z$  の 2 つの値を同時に大きく変化させることはできない性質があると考えられる。

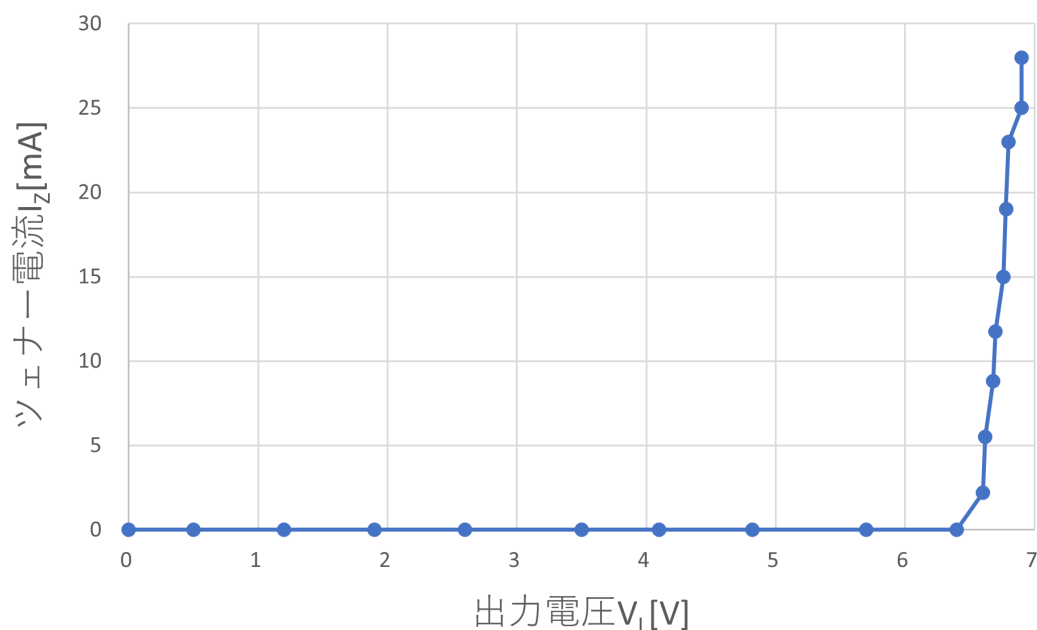


図 15: 出力電圧  $V_L$  ツェナー電流  $I_Z$  特性

### 3.3 ツェナーダイオード定電圧回路

#### 3.3.1 実験方法

この実験では図 16 との回路を用いて実験を行った。

1. 図 16 の回路を作成した。ダイオード ZD は 1N4736A を使用した。
2.  $V_i$  を 15 V に固定し, 可変抵抗を操作して  $I_Z$  を 2 mA ~ 22 mA まで 2 mA 刻みで増加させた。また, この時の電圧  $V_L$  と  $I_L$  を測定した。
3. 測定結果を用いて  $V_L - I_L$  特性と  $I_L - I_Z$  特性をグラフに表した。

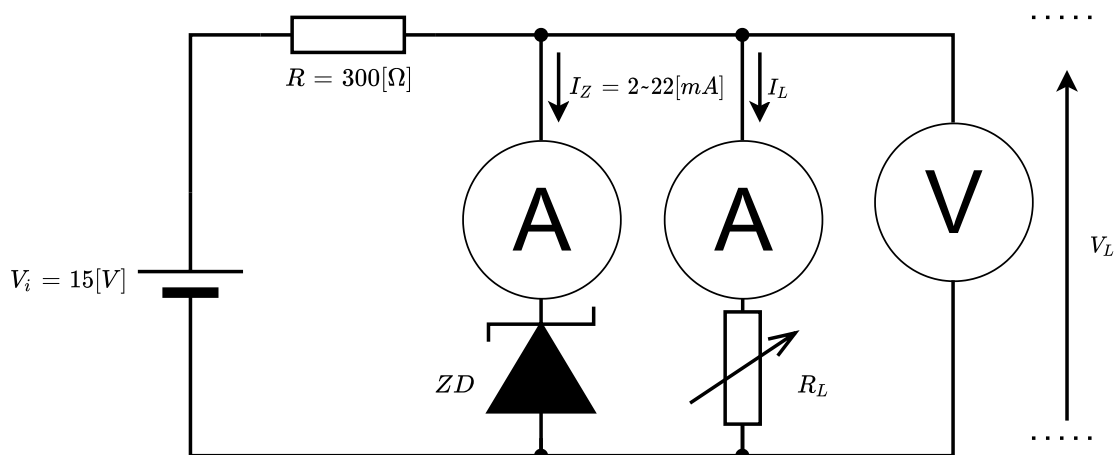


図 16: ツェナーダイオード定電圧回路の測定回路

#### 3.3.2 使用機器

今回の実験の使用機材を表 6 に示す。

表 6: ツェナーダイオード定電圧回路実験使用器具

機器名	メーカー	型番	シリアル番号・管理番号
電源	菊水電子工業	32-0.5	77-5
電流計	YOKOGAWA	2051	534-2
電流計	YOKOGAWA	2051	85-10
電圧計	YOKOGAWA	E-11	278-16

#### 3.3.3 結果

ツェナーダイオード定電圧回路の測定結果を表 7 に示す。また, 測定結果を用いて作成したグラフを図 17, 図 18 に示す。表 7 と図 17 より,  $I_Z$  が変化しても  $V_L$  の値はほぼ 6.8 V を保っていることが分かる。また, 表 7 と図 18 より,  $I_Z$  が増加すると,  $I_L$  の値が一定の割合で減少していることが分かる。

表 7: ツェナーダイオード定電圧回路測定結果

ツェナー電流 $I_Z$ [mA]	出力電圧 $V_L$ [V]	出力電流 $I_L$ [mA]
2	6.50	24.60
4	6.50	23.50
6	6.50	20.40
8	6.60	18.50
10	6.60	16.25
12	6.70	14.25
14	6.70	12.00
16	6.75	10.00
18	6.75	7.75
20	6.75	5.75
22	6.80	3.75

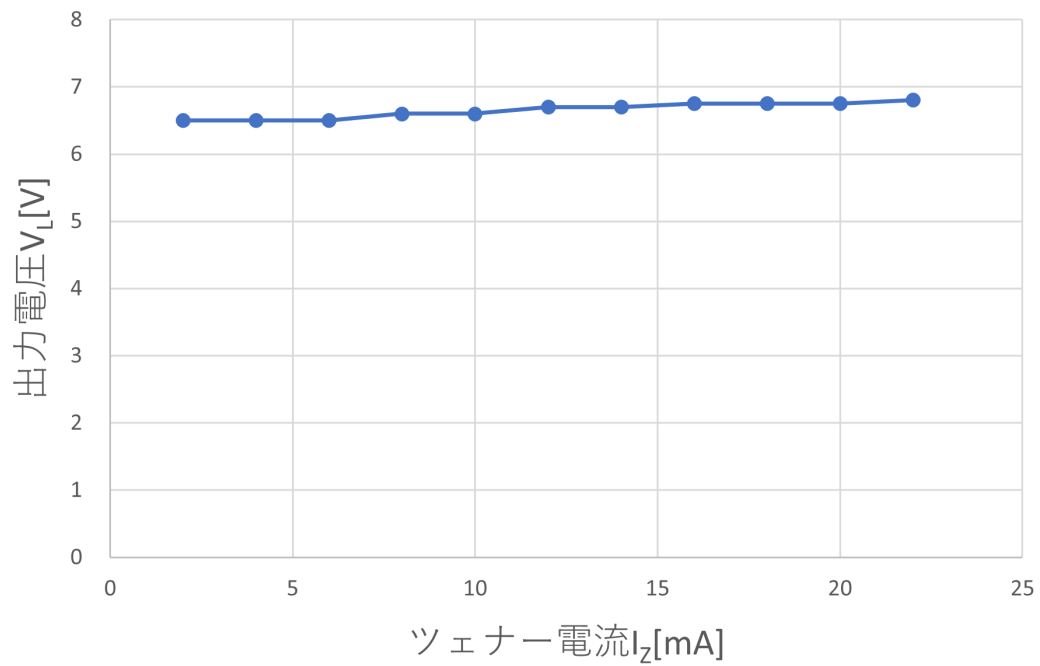


図 17: ツェナー電流  $I_Z$  - 出力電圧  $V_L$  の特性



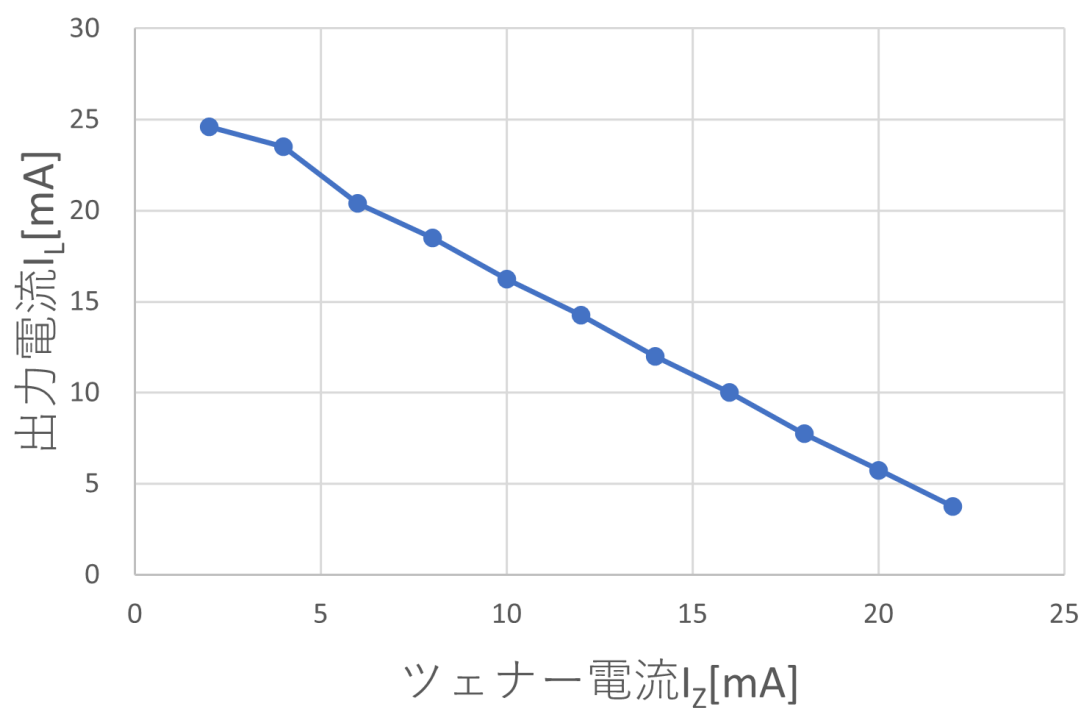


図 18: ツェナー電流  $I_Z$  ー出力電流  $I_L$  特性

### 3.3.4 考察

#### 1. $R_L$ , $R_Z$ , $R_A$ の算出

図 19 の定電圧回路の等価回路を参考にして,  $R_L$ ,  $R_Z$ ,  $R_A$  を算出した。算出に使用した式は式 (2) 式 (3) 式 (4) に示す。計算結果を表 8 に示す。

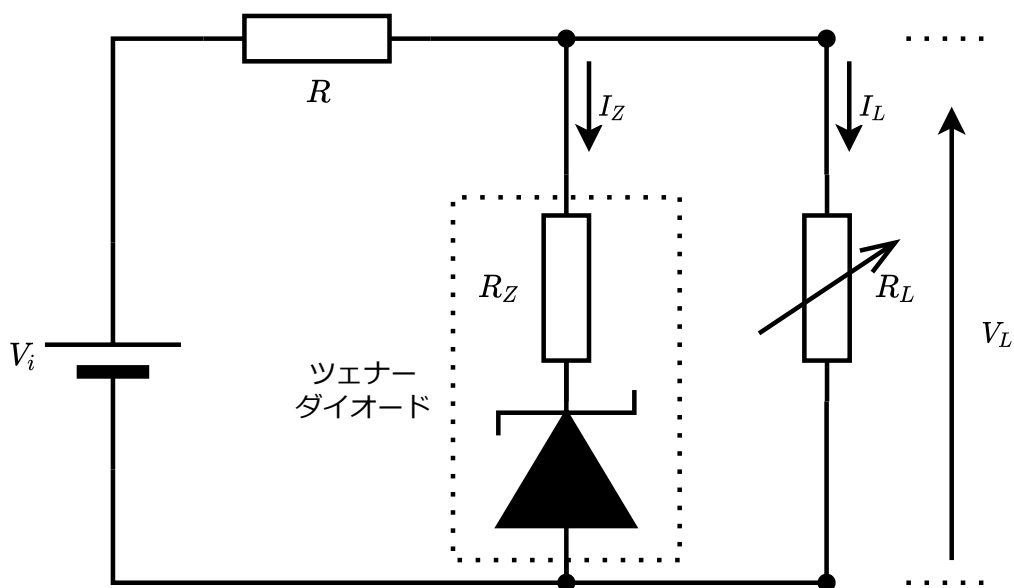


図 19: 定電圧回路の等価回路

$$R_L = \frac{V_L}{I_L} \quad (2)$$

$$R_Z = \frac{V_L}{I_Z} \quad (3)$$

$$R_A = \frac{R_L \times R_Z}{R_L + R_Z} \quad (4)$$

表 8:  $R_L$ ,  $R_Z$ ,  $R_A$  の算出結果

ツェナー電流 $I_Z$ [mA]	可変抵抗 $R_L$ [k $\Omega$ ]	ツェナー抵抗 $R_Z$ [k $\Omega$ ]	合成抵抗 $R_A$ [k $\Omega$ ]
2	0.26	3.25	0.24
4	0.28	1.63	0.24
6	0.32	1.08	0.25
8	0.36	0.83	0.25
10	0.41	0.66	0.25
12	0.47	0.56	0.26
14	0.56	0.48	0.26
16	0.68	0.42	0.26
18	0.87	0.38	0.26
20	1.17	0.34	0.26
22	1.81	0.31	0.26

## 2. $I_Z - R_L$ 特性と $I_Z - R_Z$ 特性のグラフ

図 20 に  $I_Z - R_L$  特性と  $I_Z - R_Z$  特性のグラフを示す。表 7 より,  $I_Z$  が増加したとき,  $V_L$  はほぼ増加しないことが分かる。抵抗  $R$  に掛かる電圧は  $V_i - V_L$  で求められる。 $V_i$  と  $V_L$  の値はほぼ一定であるため, 抵抗  $R$  に掛かる電圧は一定である。従って, 回路全体に流れる電流値は一定になる。そのため, 合成抵抗  $R_A$  に流れる電流と掛かる電圧は一定であるため,  $R_A$  の値は一定になる。

図 18 より,  $I_Z$  が増加すると  $I_L$  が減少することが分かる。式 (3) に代入すると,  $I_Z$  が増加すると  $R_Z$  が減少することが分かる。また, 式 (4) より,  $R_L$  が増加すると  $R_Z$  が減少し,  $R_L$  が現象すると  $R_Z$  が増加することが分かる。従って,  $R_L$  と  $R_Z$  は反比例の関係であるといえる。

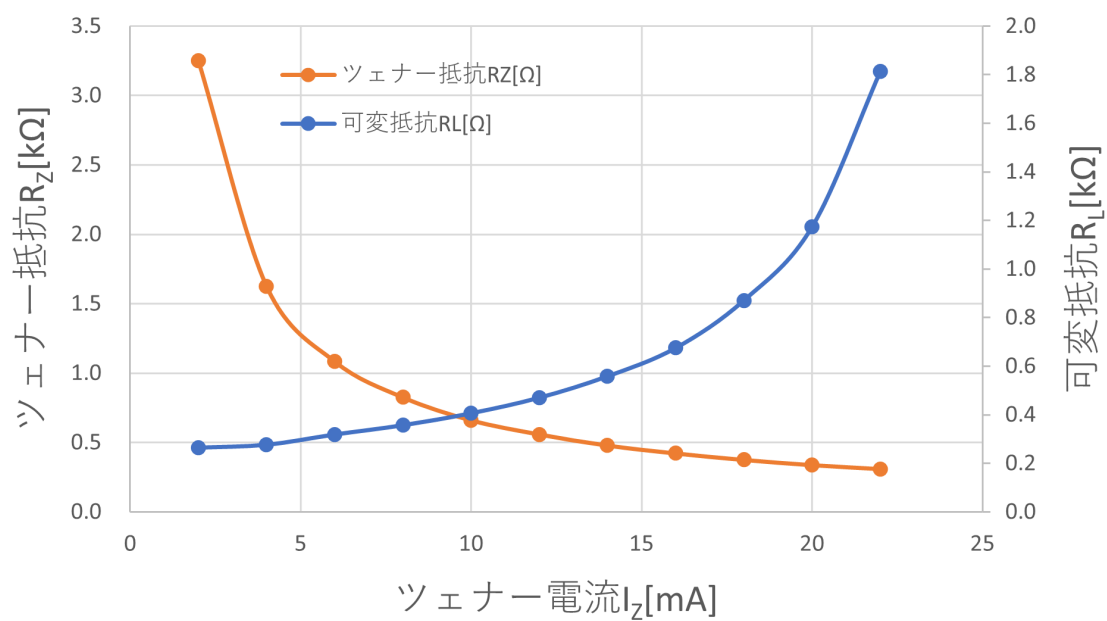


図 20: 可変抵抗  $R_L$  特性とツェナー抵抗  $R_Z$  特性

### 3.4 太陽電池

#### 3.4.1 実験方法

この実験では図 21 との回路を用いて実験を行った。

1. 図 21 の回路を作成した。
2. 太陽電池に光が均等に当たるように調整した。
3. ライトを 1 つ点灯させ照度を測定した。
4. 太陽電池の温度が目標温度になるように、扇風機やライトを用いて温度調整を行う。
5. 可変抵抗  $R_L$  を調整させながら  $I - V$  特性を測定した。
6. ライト数や目標温度を変更し、同様に測定した。

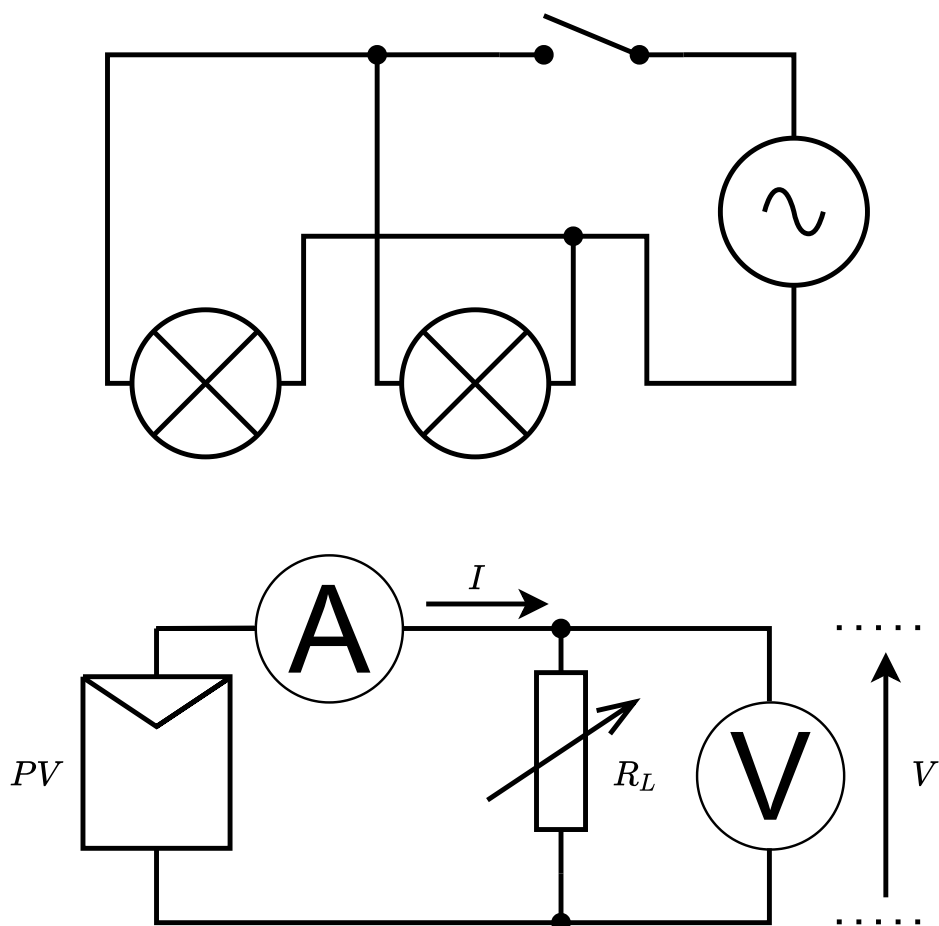


図 21: 太陽電池の発電特性の測定回路

#### 3.4.2 使用機器

今回の実験の使用機材を表 9 に示す。

表 9: 太陽電池の発電特性実験使用器具

機器名	メーカー	型番	シリアル番号・管理番号
デジタルマルチメーター	OWON	B35	不明
デジタルマルチメーター	OWON	B35	不明
太陽電池	SUNYO	SY-M5W	不明
屋外用作業灯	HATAYA	RY-500	KN09361
屋外用作業灯	HATAYA	RY-500	28CP02889
デジタルサーマルメーター	不明	digital Themometer	202019019
サーキュレーター	C:NET	CCM101BK	C16018206
照度計	不明	LX-1010B	不明
温度計	KKmoon	TL-TK04	不明

### 3.4.3 結果

ライト数と照度の関係を表 10 に示す。計測した結果を表 11 に示す。また、それをグラフに表したものを図 22 に示す。

図 22 より、ライト数や目標温度に関係なく電圧 20 V 付近で電流値が 0 mA になることが分かった。また、ライトの数が増えると電流値が約 2 倍になり、目標温度を上げると電流値が激しく減り始める電圧が低くなることが分かった。

表 10: ライト数と照度の関係

ライトの数 [個]	照度 [lux]
1	8588
2	17020

表 11: 太陽電池の  $I - V$  特性

30 °C 1 個		50 °C 1 個		30 °C 2 個		50 °C 2 個	
電圧 $V$ [V]	電流 $I$ [mA]	電圧 $V$ [V]	電流 $I$ [mA]	電圧 $V$ [V]	電流 $I$ [mA]	電圧 $V$ [V]	電流 $I$ [mA]
0.00	85.60	0.00	89.80	0.00	175.00	0.00	187.60
5.36	74.30	2.62	81.80	5.01	173.00	2.63	184.90
6.92	72.00	4.80	79.80	10.36	172.30	4.86	186.80
7.69	71.10	7.31	76.00	15.44	171.00	8.30	183.80
9.10	70.40	10.67	75.60	18.31	160.40	10.03	185.40
10.86	70.90	14.69	72.90	18.98	141.50	12.12	182.90
14.66	69.50	15.54	70.70	19.39	121.70	15.45	177.30
16.37	67.90	16.55	70.40	19.80	104.40	16.85	160.20
17.07	67.40	17.19	69.70	19.82	87.10	17.58	136.00
18.62	68.70	17.76	64.10	20.12	67.30	17.93	118.70
18.77	65.30	17.96	59.10	20.47	39.47	18.42	89.00
18.84	63.90	18.32	50.21	20.62	19.84	18.82	59.50
19.09	60.20	18.51	38.86	21.11	0.00	18.99	40.26
19.34	53.08	18.60	35.25	-	-	19.27	20.25
19.40	52.74	18.91	25.11	-	-	19.34	0.00
19.58	47.05	19.00	15.35	-	-	-	-
19.91	33.52	19.30	0.00	-	-	-	-
20.25	12.08	-	-	-	-	-	-
20.23	9.96	-	-	-	-	-	-
20.66	0.00	-	-	-	-	-	-

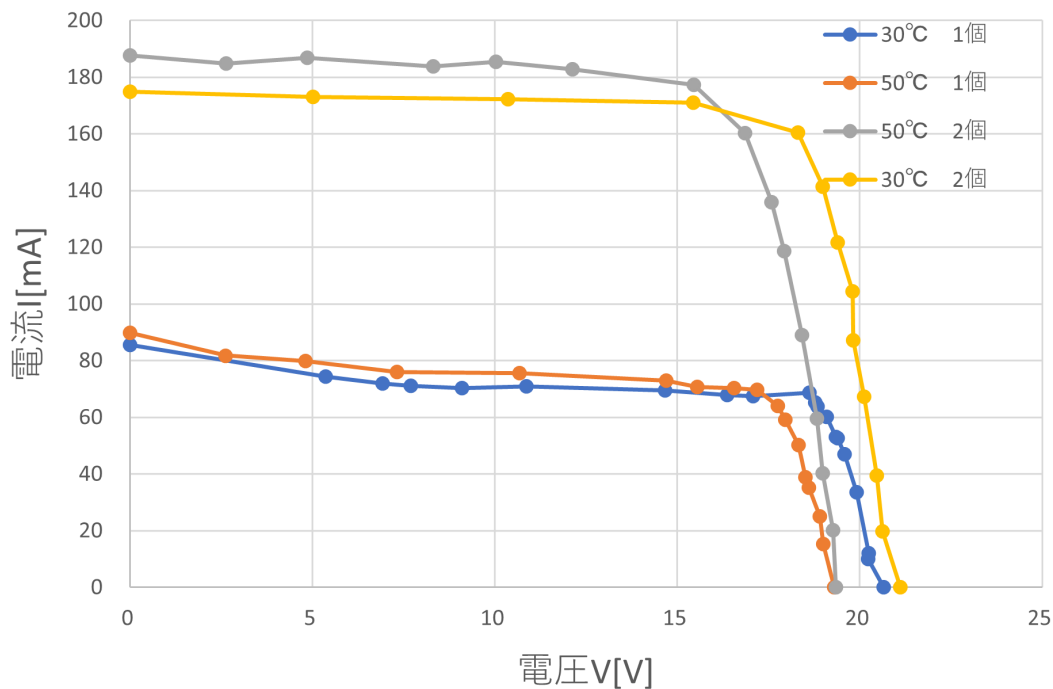


図 22: 太陽電池の電流  $I$  – 電圧  $V$  特性

### 3.4.4 考察

#### 1. 電力の算出

図 23 に表 11 から算出した電力を用いた  $P - V$  特性のグラフを示す。また, 表 12 に各実験の最大電力点を示す。この表より, ライトの数に関係なく 30 °C の時は約 18 V, 50 °C の時は約 17 V の時電力が最も大きくなっていることが分かる。また, ライトの数が 2 個の時のほうが電力が大きくなっていることが分かる。太陽電池の内部はシリコンでできている。半導体の原子が集まって近づくと, 光エネルギーを取り込むバンドギャップと呼ばれるものができる。光子のエネルギーはバンドギャップに入った分のみ電気エネルギーに変換される。温度が上昇すると原子が振動し半導体の原子間の距離が開く。従って, バンドギャップが小さくなる。バンドギャップが小さくなると取り込める光エネルギーも小さくなるため, 発電できる量が落ちる。[3]。従って, 太陽電池の温度が低く照度が高いとき最大電力点は高くなり, 太陽電池の温度が高く照度が低いとき最大電力点が低くなる関係にあるといえる。

#### 2. MPPT 制御

MPPT(Maximum Power Point Tracking) とは, 最大電力点追従制御と呼ばれるもののことである。これは, 太陽電池が発電するときに場所や気象に合わせて最適な最大電力点に追従する制御のことである。この制御のアルゴリズムには山登り法と電圧追従法がある。山登り法は, 電圧を一方方向に変化させ, 電力が増加から減少に転換すると電圧を変化させる方向を逆にすることを繰り返すことにより最適動作点に制御するものである [4]。電圧追従法は,  $P - V$  特性から最大電力点を予め求めておき, その電圧値になるように, 昇圧コンバータを用いた PWM 制御を行う。この方式は計算量が少ないため, マイクロコントローラの動作周波数を下げることができる [5]。従って, 山登り法より消費電力を抑えることができるため, 電圧追従法のほうが多く用いられている。

表 12: 最大電力  $P_{MAX}$

条件	電圧 $V$ [V]	最大電力 $P_{MAX}$ [W]
1 個 30 °C	18.62	1.28
1 個 50 °C	17.19	1.20
2 個 30 °C	18.31	2.94
2 個 50 °C	15.45	2.74

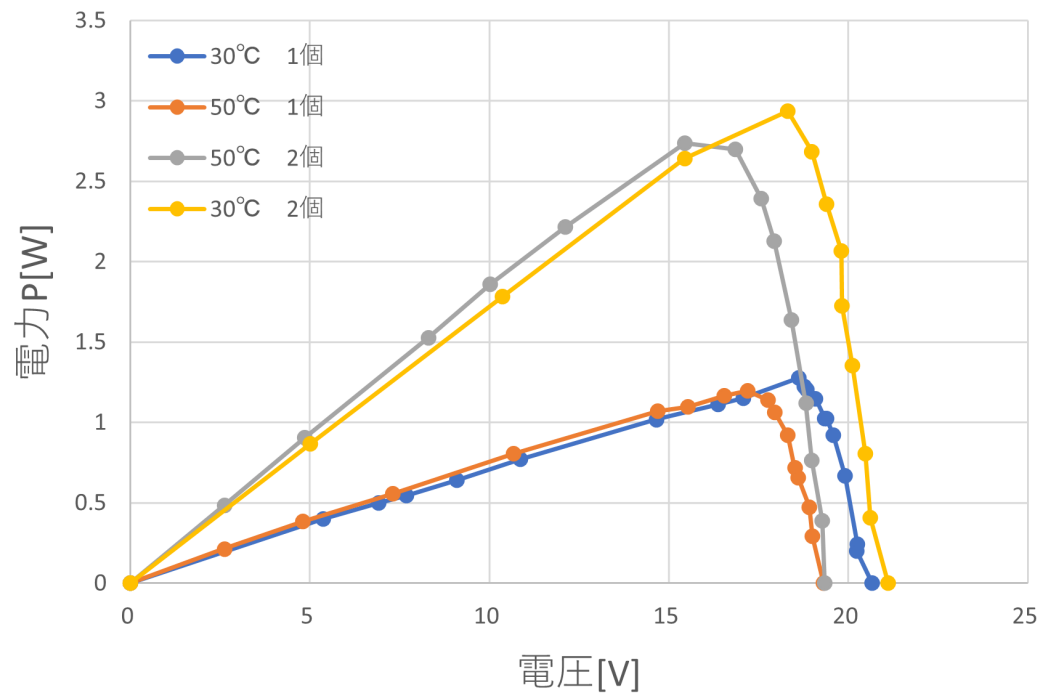


図 23: 太陽電池の電力  $P$  – 電圧  $V$  特性



## 4 結論

今回の実験を通して、ダイオードの原理を知り、実験により整流作用を理解することでダイオードを使用できるようにすることができた。また、ツェナーダイオードの特性を学び、ツェナーダイオードを使用できるようにすることができた。太陽電池の特性を知り、使用することができた。

## 参考文献

- [1] “1N4002 データシート”, Vishay Intertechnology, <https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>, 閲覧日 2022 年 5 月 17 日
- [2] “1N4736A”, microsemi, [https://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_download/10915-sa5-35-datasheet](https://www.microsemi.com/document-portal/doc_download/10915-sa5-35-datasheet), 閲覧日 2022 年 5 月 17 日
- [3] “太陽電池（光電池）は温度で性能が変わる !?”, 国立大学 55 工学系学部ホームページ運営事務局, [https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/181116\\_02.php](https://www.mirai-kougaku.jp/laboratory/pages/181116_02.php), 閲覧日 2022 年 6 月 13 日
- [4] “最大電力点追従制御 (MPPT)”, 一般財団法人日本電機工業会, <https://www.jema-net.or.jp/Japanese/res/dispersed/data/s01.pdf>, 閲覧日 2022 年 5 月 24 日
- [5] 竹内一平 金井康通 黒川浩助, “太陽電池単セル昇圧回路への MPPT 制御の適用”, 日本機械学会, [http://www.kurochans.net/paper/02F\\_kikai\\_takeuchi.pdf](http://www.kurochans.net/paper/02F_kikai_takeuchi.pdf), 閲覧日 2022 年 5 月 24 日