

電子制御工学実験報告書

実験題目 : 光センサの使い方
報告者 : 3年41番 鷲尾 優作
提出日 : 令和3年7月5日,7月12日,7月19日
実験日 : 令和3年7月20日
実験班 : A-3
共同実験者 : 15番 小林 遼
27番 滝沢 倅大

※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

1	実験背景	2
1.1	目的	2
1.2	光センサの選定方法	2
2	各素子の構造及び原理	2
2.1	CdS 光導電セル	2
2.2	フォトダイオード	2
3	基礎特性測定	2
3.1	CdS 光導電素子の特性	3
3.1.1	方法	3
3.1.2	使用器具	3
3.2	フォトダイオードの特性	5
3.2.1	使用器具	5
3.2.2	短絡特性の測定	5
3.2.3	開放特性の測定	6
4	CdS を用いた回路の作成	8
4.1	明暗判定回路の作成	8
4.2	応用回路の設計製作	10
5	フォトダイオードとオペアンプを利用した照度計の作成	11
6	考察	12
7	課題	12
7.1	課題 1	12
7.2	課題 2	12
7.3	課題 3	13

1 実験背景

1.1 目的

- 制御システムにおいてフィードバックを行うため必要不可欠であるセンサについて学ぶ.
- 2 種の光センサの特徴や特性を計測し、理解する.
- センサを活用する応用回路を自力で設計し、技術を身につける.

1.2 光センサの選定方法

光センサには様々な種類があり、目的に応じて適切に選定することが求められる. 重要な要素の代表例は、検出したい「波長」「必要な応答速度」である.

設計者はこれらを検討し、フォトダイオード、フォトトランジスタ、光導電素子、焦電素子、光電管、カラーセンサ、CCD などさまざまな種類の光センサから選び抜く力が求められる.

今回の実験では、課題として与えられた光導電素子 (CdS) とフォトダイオードについて特性を測定する.

2 各素子の構造及び原理

2.1 CdS 光導電セル

CdS は硫化カドミウムを主成分とした光導電素子で、照射光によって端子間電圧が変化する. CdS は構造上応答速度が遅く、高速条件下でのスイッチングには不向きであるため使用用途はゆるやかな照度変化の観測に限定される.

2.2 フォトダイオード

フォトダイオードは半導体の PN 接合界面に光が入射すると電位差を生じる光起電力を利用している. フォトダイオードは単体で起電力を有するため、外部の電源を必要とせず動作する. このため電源がなくとも簡単な光検出が可能であるが、その出力は極めて微弱なため、増幅回路を併せて用いることが多い. CdS と比較し 2 桁以上の高速応答性を持ち、入射光量と出力電流の直線性に優れる素子である.

3 基礎特性測定

LED 光源を CdS セル、及びフォトダイオードに照射し、抵抗値・起電力の変化を観察する. LED に流れる電流とその光量は正比例しないため、ここでは光の強度によって変化する特性を測定している.

3.1 CdS 光導電素子の特性

以下図 1 に実験回路図を示す.

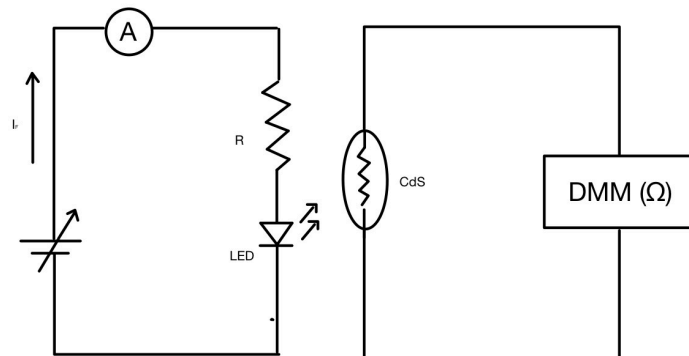


図 1: CdS 基礎特性評価回路

3.1.1 方法

電源の電圧を 0V から徐々に上げ、LED に流れる電流を増加させることで、LED に流れる電流は電流計で測定し、 $I_F=1\text{mA}, 2\text{mA}, 3\text{mA} \dots 19\text{mA}, 20\text{mA}$ と 1mA ずつ増加させる。このとき CdS の両端電圧をマルチメータで測定し光量-抵抗特性を測定する。

3.1.2 使用器具

1. CdS 光導電素子特性評価回路 CdS-A1 (MKY-54C348)
2. 直流安定化電源装置 KIKUSUI PMC35-2 Ec-05
3. デジタルマルチメータ SANWA CD770 EC-01
4. 電流計 YOKOGAWA YAS1991

以下表 1 に測定結果を表で示す.

以下図 2 に対数グラフを示す.

表 1: CdS セルの特性評価結果

IF(mA)	Rc(Ω)
1	2381
2	1517
3	1084
4	879
5	755
6	658
7	588
8	541
9	499
10	465
11	444.1
12	419.8
13	399.7
14	383.4
15	368.3
16	355.5
17	341.7
18	331.4
19	321.1
20	313.4

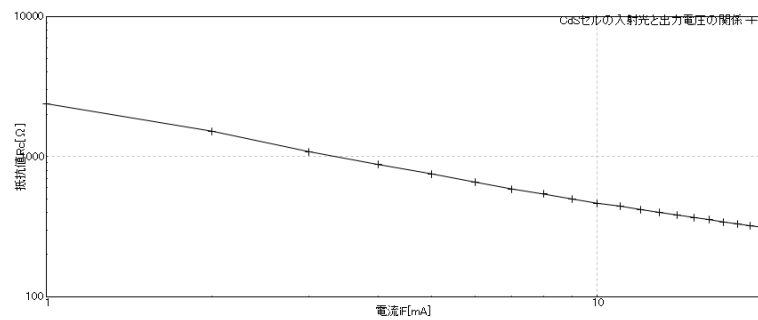


図 2: CdS セルの入射光と出力電圧の関係

測定結果からは、光量に増加に伴って抵抗値が減少する特性がわかる。

3.2 フォトダイオードの特性

短絡特性、開放特性の 2 つについて測定する

3.2.1 使用器具

1. フォトダイオード特性評価回路 PD-A5
2. 直流安定化電源装置 KIKUSUI PMC35-2 Ec-05
3. デジタルマルチメータ SANWA CD770 EC-10 Ec-17
4. 電流計 YOKOGAWA YAS1991
5. オシロスコープ GWINSTEK GDS-1022 No.11

3.2.2 短絡特性の測定

短絡特性はフォトダイオード両端子間を短絡させ、そのうえで入射光を与えた場合、フォトダイオードの短絡電流はどのようなになるかを測定するものである。

以下図 3 に実験回路を示す。

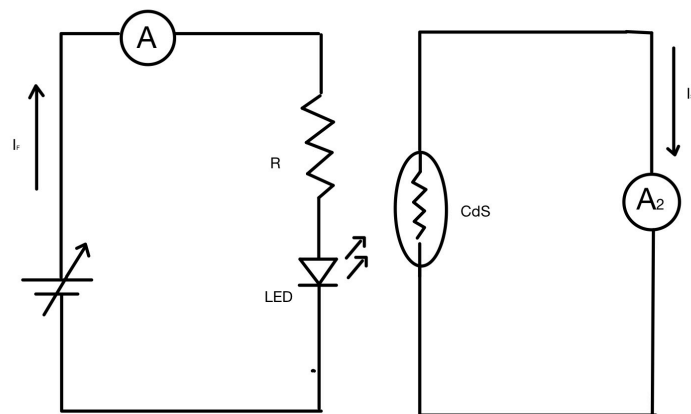


図 3: 短絡特性評価回路

CdS 特性評価時と同様に入射光を発生させる LED の電源電圧を 0V から徐々に上げ、LED に流れる電流を増加させる。LED に流れる電流は電流計で測定し、 $I_F=1\text{mA}, 2\text{mA}, 3\text{mA} \dots 19\text{mA}, 20\text{mA}$ と 1mA ずつ増加させるものとする。このときのフォトダイオードの短絡電流 I_S を測定し表にまとめた。結果は開放特性と併せて示す。

3.2.3 開放特性の測定

開放特性はフォトダイオード両端子間を開放し、そのうえで入射光を与えた場合、フォトダイオードの両端に発生する起電力はどのようになるかを測定するものである。

以下図 4 に実験回路を示す。

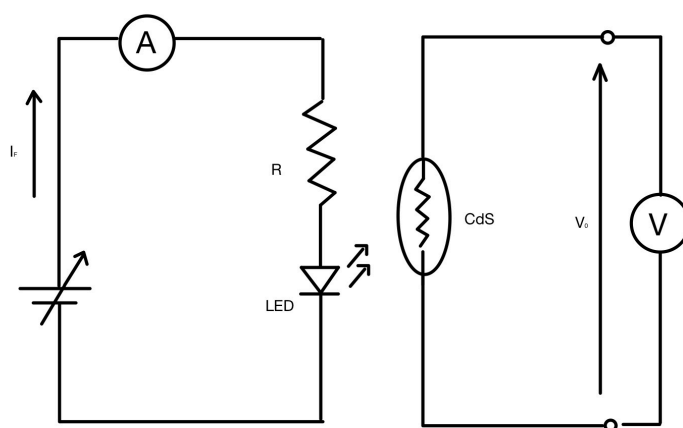


図 4: 開放特性評価回路

前実験同様に入射光を発生させる LED の電源電圧を 0V から徐々に上げ、LED に流れる電流を増加させる。LED

に流れる電流は電流計で測定し、 $I_F=1\text{mA}, 2\text{mA}, 3\text{mA} \dots 19\text{mA}, 20\text{mA}$ と 1mA ずつ増加させるものとする。このときのフォトダイオードの開放電圧 V_0 を測定し表にまとめた。

以下表 2 に測定結果を示す。

表 2: フォトダイオードの特性評価結果

IF(mA)	IS(uA)	V0[V]
5.0	1.6	0.400
6.0	2.0	0.407
7.0	2.5	0.412
8.0	2.9	0.416
9.0	3.3	0.419
10.0	3.8	0.423
11.0	4.2	0.425
12.0	4.6	0.428
13.0	5.1	0.430
14.0	5.5	0.432
15.0	5.9	0.434
16.0	6.3	0.436
17.0	6.7	0.438
18.0	7.1	0.439
19.0	7.5	0.441
20.0	7.9	0.442

以下図 5,6 にグラフを示す.

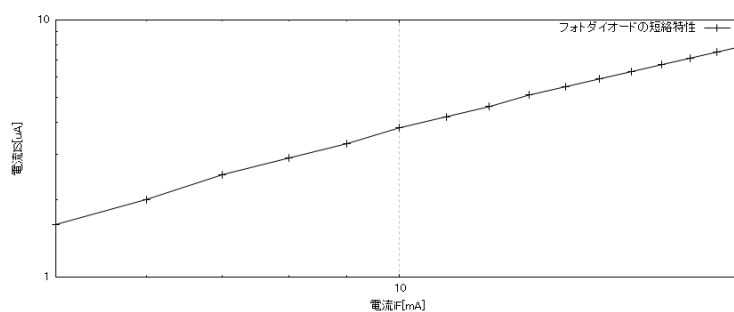


図 5: フォトダイオードの短絡特性

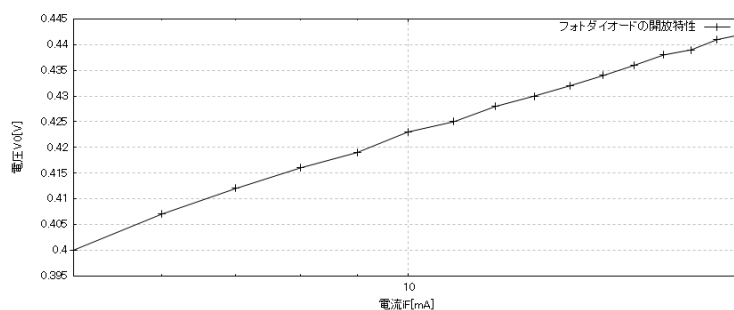


図 6: フォトダイオードの開放特性

実験から、フォトダイオードは光量変化に対して電圧、電流の両要素について非常に直線的な性質をもっていることがわかる。CdS と異なり、フォトダイオードは光量の増加に対して抵抗値が増す特性をもつこともわかる。

4 CdS を用いた回路の作成

4.1 明暗判定回路の作成

CdS を用いて、暗いと判定した場合赤色 LED が点灯する回路を作成する。

以下図 7 に回路図を示す。

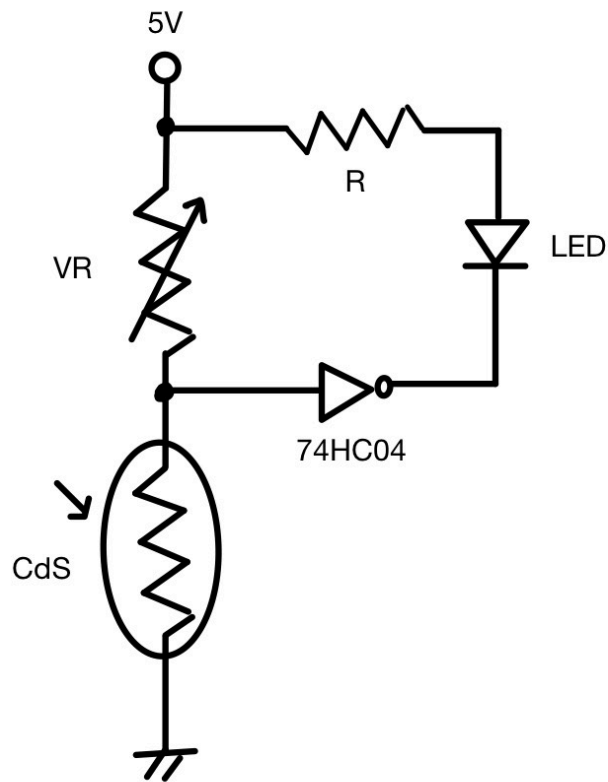


図 7: 明暗判定回路図

使用した素子は以下である

1. CdS MKY-54C348
2. 赤色 LED L-513LE1T
3. インバータ IC 74HC04

動作原理は次のとおりである.

CdS は暗くなるほど抵抗値が増す. したがって $VR * CdS / VR + CdS$ で示されるインバータ IC の入力端子の電位は、分圧則に従い、明るいほど 0V に近く、暗いほど 5V に近くなる.

この電位がインバータ IC の入力閾値に対して高いか低いかでインバータの入力が決定される暗い場合、インバータの入力は HIGH(1) となり出力は LOW(0) となる. このとき LED の両端には電位差が生じているため、LED は点灯する. また同様に、明るい場合インバータの入力は LOW(1) となり出力は HIGH(1) であるので、LED 両端は 1-1 で電位差が存在せず、消灯する.

明暗の点灯の閾値は半固定抵抗 VR の抵抗値を操作することで変更可能である.

4.2 応用回路の設計製作

前項目の判定回路を参考にし、明るい場合緑 LED を、暗い場合赤 LED を点灯させる応用回路を設計する。
以下図 8 に設計した応用回路を示す。

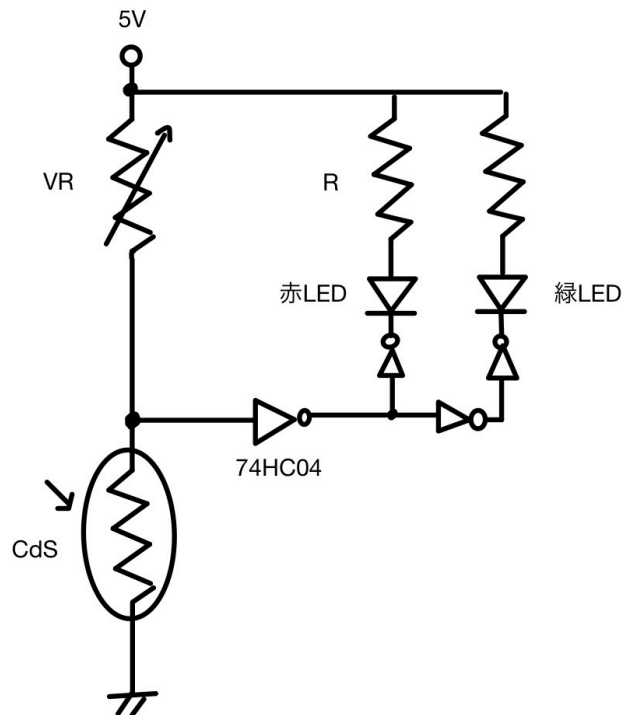


図 8: 応用回路回路図

前項目に加え、以下の部品を使用した

1. 緑色 LED L-513SGT3
2. 半固定抵抗 10k Ω
3. 炭素被膜抵抗 1k Ω * 2

以下に設計した回路を示す。赤色 LED と緑色 LED は並列に接続されており、判定用インバータの出力 0,1 に対して、赤色 LED は二重反転、緑色 LED は一重反転とすることで同時に点灯しないように設計している。判定インバータの出力は暗い場合に LOW(0) となるので、このとき緑色 LED は消灯赤色 LED は点灯する。

なお赤色 LED を直接接続でなく二重反転としているのは LED に流れる電流をデジタル的に制御し安定させるためである。

5 フォトダイオードとオペアンプを利用した照度計の作成

フォトダイオードの出力をオペアンプによって増幅し照度計として利用する方法を学ぶ。回路に光を照射しその挙動を観察した。

以下図 9 に回路を示す。

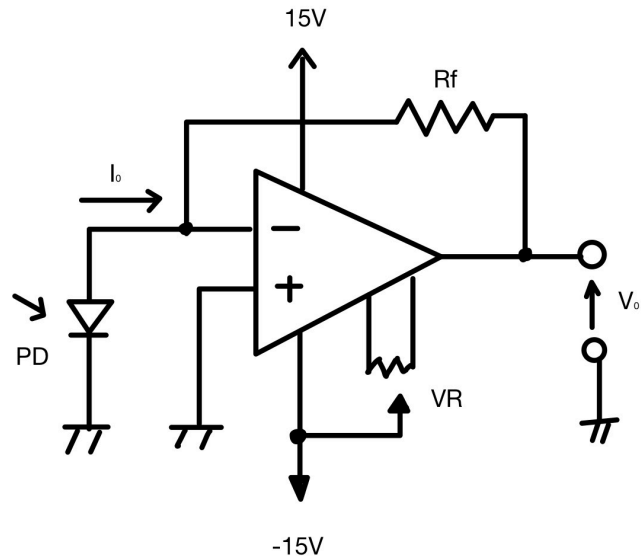


図 9: 照度計内部回路

以下に実験回路図を示す。この回路を作成するにあたっては、オペアンプとフォトダイオード間の配線をできるだけ短くするよう配慮する必要がある。

また、この回路を用いて蛍光灯の光を照射したときの出力電圧 V_o をオシロスコープで観測した。

以下図 10 に出力した画像を示す。

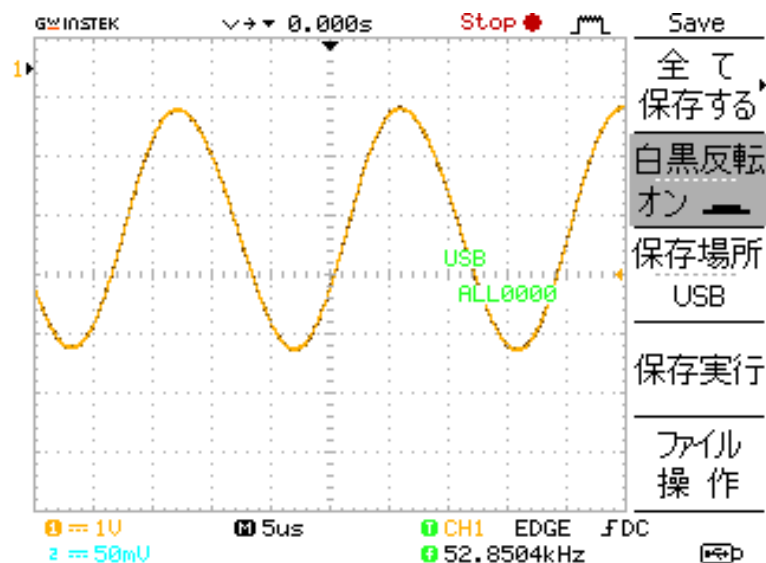


図 10: オシロスコープ画像

周波数 52.9[kHz]、周期は 18.9[us] であること、またそれを正弦波に近く観察できるような高速応答性をフォトダイオードが備えていることがわかる。

6 考察

CdS、フォトダイオード間には明確な特性の差があることがわかった。全体的にフォトダイオードであれば CdS の使用目的をほぼ満たせると考えられる。ただし、今回 CdS の応答性の測定等を行っていないため、実験としては不十分と思われる。金銭的な問題がなければフォトダイオードを剪定することが望ましいと現時点では考える。

7 課題

7.1 課題 1

CdS は、街路灯、夜間の保安灯、車のオートライトなど、ミサイルの熱誘導などに用いられる。無極性、耐電圧の高さ、電流電圧特性が比例的である等利用が簡単であるため、幅広く用いられている。

7.2 課題 2

CD プレーヤーやテレビのリモコン、ビデオテープレコーダー等に使用される。医療用器具の断層 X 線写真機等などにも使用され、高速で明滅する光信号の受信用途に用いられることが多い。

7.3 課題 3

フォトトランジスタはフォトダイオードとトランジスタを組み合わせたもので、出力が hFE 倍される素子である。このためフォトトランジスタにみられる出力が小さいという不利に対応できる。フォトトランジスタの数百倍の出力を持ち、数 Lux で動作する。使用用途は一般的にフォトダイオードと同様の分野である。

参考文献

- [1] 「光センサの使い方, 令和 3 年度電子制御工学実験・3 年前期テキスト」
- [2] 3 分でわかる技術の超キホン <https://engineer-education.com>
- [3] コーデンシ <https://www.kodenshi.co.jp>