

# 学生実験について—実験器具製作・他—

宮崎大学工学部研究教育支援技術センター  
江口 正雄

## はじめに

工学部基礎物理学実験は、全学科対象に行われていて、実験テーマは30程度あるが、ボルダの振り子、ユーイングの実験など古くからある実験テーマが、大部分であり、新しい実験テーマは少なく、あまり増えていない状況である。

最近、光センサーに関する基礎実験テーマが新しく加わり、そのテーマで使用する実験器具を製作し良好な結果を得たので報告を行い、その他として、来年から予定されている薄膜基礎の学生実験について説明する。

キーワード；基礎物理学実験、光センサー、実験器具製作、薄膜基礎

## < 実験器具製作 >

### 1 実験器具製作の概要

実験で、使用するため購入した島津理化の光電効果実験器 (PC-B4) は、光センサーと光源が別々のユニットになっていたので、実験中にセンサーユニット内の各センサー (フォトダイオード、フォトトランジスタ、光導電素子) 受光窓の向きが、ユニットに手が触れたり、振動などにより、光源の正面から少しでもずれるとセンサーの出力値が変動して正確に測定できなかった。それで測定中に各ユニットが固定されていて、しかも、各センサーの受光窓の向きが常に光源に一致している事と、各センサーの切り換え測定が簡単に出来るようにするために、実験器具概略図 (図1) のように1枚の木板上に、アルミ板、アクリル板、塗料等を使用してセンサーユニットを固定した。一方、光源はガイドレール上を移動して、各センサー受光窓と一致させるようにし、そのときセンサー名プレートを示すようにした。また、光源とセンサーの間に測定中に外部の光が影響を与えないようにするため、厚紙、アルミ板等で、フードを製作した。実験器具 (図2)、フード (図3) の写真を示す。

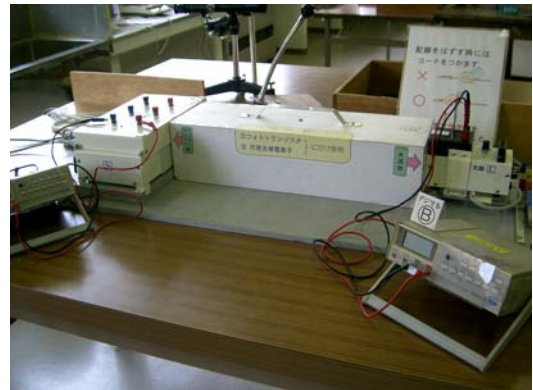


図2 実験器具



図3 フード

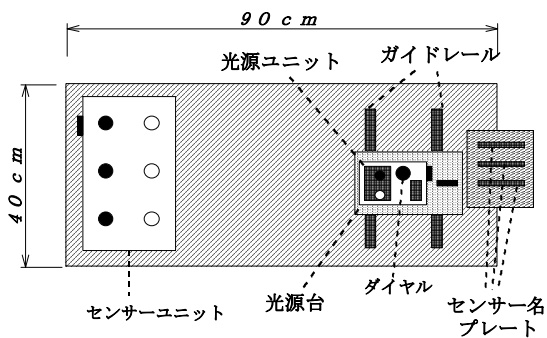


図1 実験器具概略図

### 1-1 実験の概要・目的

光を検出するために使われる光センサーには、半導体その他の材料を使った小型の受光素子いわゆる光デバイスや、光電管などの真空管型のものなどいろいろ種類があるが、実験ではこれらのうち光デバイスのいくつかについて、その直流特性を測定してその性質を知る。

## 2 装置について

光センサーを使った実験には、センサーだけでなく光源も必要であるので光源と光センサーについて述べる。

### 2-1 光源-----発光ダイオード

P型とN型の半導体を接合した形に作られた発光ダイオード(LED)を使用する。素子を流れる電流が低い時には、発光光度が電流にほぼ比例するので、これを利用して光の強さを制御しながら測定を行う。

### 2-2 光センサー

光センサーは、光を受けるとその光のエネルギーを電気エネルギーに変換し、電気信号を発生させて検出を行うものである。実験で使用する光センサーの特徴を下記に示す。

#### 2-2-1 フォトダイオード

フォトダイオードは、P型半導体とN型半導体との接合部にできる空乏層に光が入射すると、キャリアが発生して電圧が生じる光起電力効果を利用して光を検出する。光に対する応答が速く、広い範囲の波長の光を検出することが可能であるが、出力電流が非常に弱い。

#### 2-2-2 フォトトランジスタ

フォトダイオードにトランジスタを結合させたような機能を持つ。フォトダイオードよりも応答が遅く、感知できる光の波長範囲が狭くなるが、トランジスタの増幅作用により、出力電流はフォトダイオードよりも格段に大きくなる。

#### 2-2-3 光導電素子

物質に光があたると電気伝導度が増す光導電効果を利用して光を検出する素子。実験で使用するのは、硫化カドミウムで作られたCdsで、可視光線の波長範囲の光を検出できることから可視光導電素子と呼ばれる。

光の強度が増すにつれて素子の内部抵抗は減少するが、その関係は両対数グラフ上では、ある範囲において直線となる。

## 3 実験方法・結果等

### 3-1 使用器具、測定器について

◇ 使用センサー

- ① フォトダイオード HPI-201
- ② フォトトランジスタ PT501A

③ 可視光導電素子 P621

◇ 光源 高輝度赤色LED LT9560U

◇ デジタルマルチメーター

◇ フード

### 3-2 実験接続図(図4)の説明

3種類のセンサーは、すべてセンサーユニット内に収納されている。実験では、光源台をガードレール上で移動させ、光源を各センサーの窓の正面に位置させて測定を行う。LEDの発光強度は、低電流域では、電流にほぼ比例する。実験ではこの性質を利用して、光源ユニットのダイヤル④を回して回路の電流値を変える事により光の強度を変えて測定を行う。光の強度変化は、デジタルマルチメータ⑥で測った電圧の変化として記録される。各センサーの出力値は、デジタルマルチメータ④で測定する。

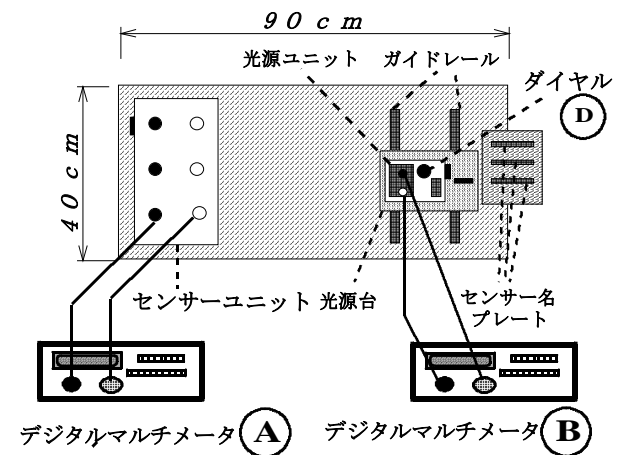


図4 実験接続図

### 3-3 フォトダイオード直流特性の測定

この実験では、図5のような回路において、フォトダイオードに光があたると回路を流れる電流が変化し、それにより図5の抵抗( $R_d=1k\Omega$ )の両端の電位差が変化するのをデジタルマルチメータで測定して光の強度と光電流との関係を測定する。

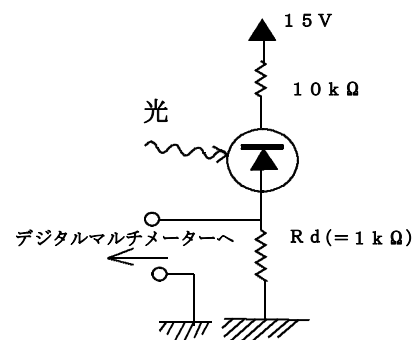


図5 フォトダイオード特性測定図

### 3-4 フォトトランジスタの直流特性の測定

回路の構成は、フォトダイオードの場合と同じである。

### 3-5 可視光導電素子の直流特性の測定

この実験では、P621素子の内部抵抗の変化を測定する。

図6のように、回路に15Vの電圧がかかっているとすると、P621の内部抵抗をRとすれば、15VがRと図6のRdによって分割されているのだから、Rdの両端の電位差Vは

$$V = 15 \times \frac{R_d}{R + R_d}$$

となる。これより

$$R = \frac{15 \times R_d}{V} - R_d$$

となるが、本実験ではRd=390Ωなので、上の式は

$$R = \frac{15 \times 390}{V} - 390$$

となる。この式により、デジタルマルチメーターで測定した電圧Vからその時のP621の内部抵抗Rを求めることができ、光の強度変化による素子の内部抵抗の変化を知ることができる。

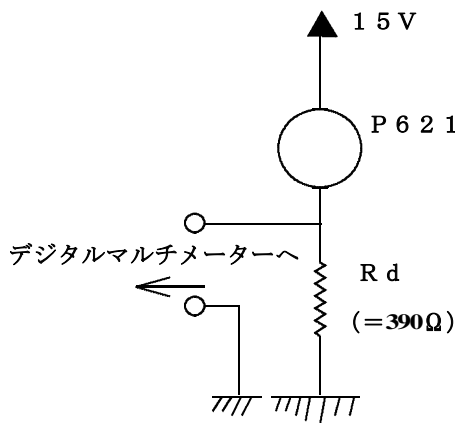


図6 光導電素子特性測定図

### 3-6 測定結果・他

この実験器具を製作する前は、光源とセンサー受光窓を正確に一致出来なかったり、実験台が狭いため手が触れたりしてわずかにずれたりする事が多く、各センサーの測定データ値が変動したりして、再測定をしなければいけなくなり、時には時間内に終了できないときもあった。製作した実験器具を使用する事により、各センサーの切り替えと光源側の電圧

を変えるだけで、測定データが変動することなく30分程度の短時間で測定できるようになった。また、測定値をグラフにプロットすることにより、各センサーの特徴を学生に理解させることが出来るようになった。

#### 3-6-1

製作した器具を使用しないで、光源とセンサー受光窓との光軸が2度程度ずれたときの測定データと器具を使用したときの各センサーの測定データを図7、図8、図9に示す。フォトトランジスタの測定結果は、製作した器具を使用したときの出力値が使用しないときの倍近くになった。フォトダイオードの測定では、光源側電圧が0.8Vまで直線性が良くなり、出力値が約6倍になった。また、光導電素子の結果は、光源側電圧が低いとき、器具を使用したときのほうが、器具を使用しないときの抵抗値より大きい。この原因は改良した装置に設置されたフードが、外乱となる光を遮断することで、素子に入力する光量が減ったためである。また、光源側電圧が高いとき、器具を使用したときのほうが抵抗値が低い。この原因は光源と素子の光軸が一致したため、素子に入力する光量が多くなったことによる。今回の実験装置の改良の結果は、フードの設置は光導電素子において顕著な効果が確かめられた。一方、ガイドレールの設置は測定した全ての素子について、顕著な効果が得られた。

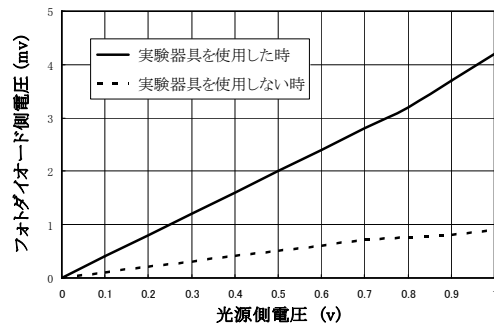


図7 フォトダイオード測定結果

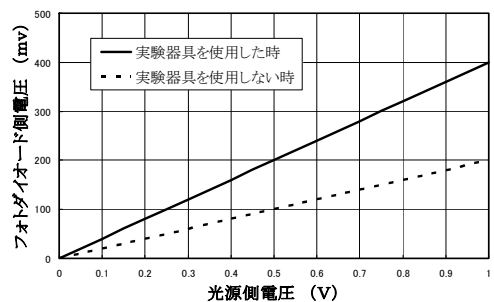


図8 フォトトランジスタ測定結果

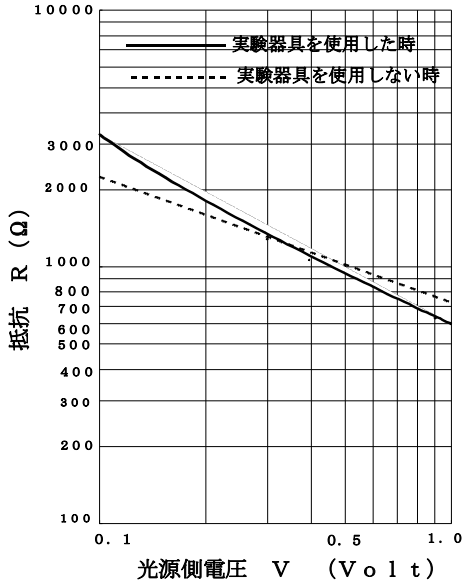


図9 光導電素子測定結果

< 薄膜基礎の学生実験について >

薄膜基礎の学生実験は、真空蒸着装置を使用して金属材料の蒸着で薄膜を形成するもので、来年4月から材料物理工学科の学生実験として予定されている。指導補助や装置の保守管理等に携わる事になるので、原理等について説明し、導入までの仕事を説明する。

1 原理・薄膜作製法

真空蒸着の原理図(図10)のように真空蒸着装置内の真空ポンプで、蒸着可能な状態( $10^{-3}$ Pa程度)になるまで蒸着槽内の排気を行い、蒸着材料を入れたるつぼに電流を流して、蒸着材料を加熱・溶解して蒸発させ、基板上に付着させて薄膜を作製する。蒸着テストしたガラス基板(図11)、蒸着装置の写真(図12)と透過率と膜厚を測定する分光光度計(図13)を示す。

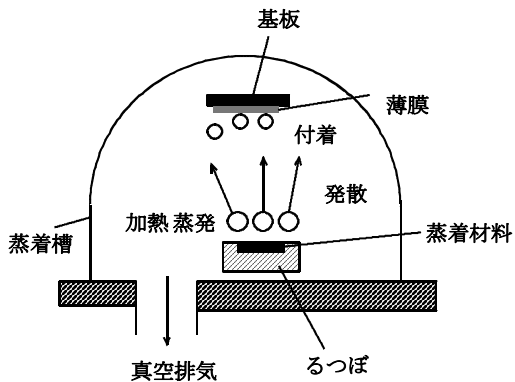


図10 真空蒸着の原理



図11 蒸着テストしたガラス基板



図12 蒸着装置



図13 分光光度計

## 2 導入について

### 2-1 導入についての問題点

- 1 形成される薄膜の構造や物性は、蒸着時の装置の真空度に大きく依存するため薄膜や真空に関する知識が必要である。薄膜の基礎や、真空ポンプ、真空計などの知識を理解する事が必要である。
- 2 真空装置の取り扱いについても装置の誤操作は、到着真空度の低下のみならず、修理に至るなどの問題を引き起こすことから、細心の注意が要求される。十分な真空排気を行わずに、蒸着などをすると、真空計の故障や拡散ポンプの油が酸化して使用できなくなる。
- 3 設備・装置のメンテナンスでは、金属材料の蒸着で薄膜作製を行うと薄膜形成用の基板以外の部分にも薄膜は付着し、特にガラスベルジャー（内部が観察可能な真空槽の容器）内部に付着した金属は、容易に剥ぎ取ることが出来ない。学生実験のような定期的な装置運用においては、1回の実験実施後には内部が観察できなくなる事態が生じる。従って実験終了時または後日にベルジャー内部のクリーニングが毎回必要となる。
- 4 実験室内や器具類のクリーン作業等も必要である。
- 5 この実験は3時間ほどかかるが、その内真空排気2時間程度必要とする。その間は特に継続的な操作は必要ではない。この時間をどのようにして有効に使うかという問題がある。

### 2-2 これらの問題の対策

- 1 薄膜や真空の知識の理解については、実験日とは別の日に勉強会を行う。
- 2 装置の誤操作については、装置取り扱い説明を行い、実験中は常に監視する。
- 3 設備・装置のメンテナンス等については、ガラスベルジャーのクリーニングは、水酸化ナトリウムなどの溶液を使用して行う。皮膚についたり、眼に入らないようにしながら、ベルジャーを床に落とさないように両手で持って行うので、時間がかかるが、実験後に確実に行う。

- 4 実験室内や器具類のクリーニングは、実験の前後に行い、消耗品などが不足しないようにする。
- 5 装置の操作以外の時間の使いかたに対しては、分光光度計原理の習得や、サンプルを使用して使い方の練習等を考えているところである。

このような事から、学生実験への導入は容易ではないが、現代の最先端の工業技術において、薄膜技術の占める重要性に鑑みて学生実験への導入となった。

## 3 まとめ

実際に実験が始まれば、いろんな不具合が生じる事が出てくると思われるので、教官と協力して改善していく考えである。

### < 最後に >

基礎物理学実験は、全学科必修であったが現在では、土木環境工学科と物質環境化学科が選択になっている。しかし、選択学科学生の受講が少なくなっている状態である。又、今年から、前期、後期で、TAを12名採用している。一方、学生実験の予算状況は厳しく、安い消耗品は必要な時購入出来るが、実験用電源など数万円以上になると、緊急に必要なもの以外は購入出来ない。修理が必要な器具もあるが、どうしても必要でないと修理依頼もできない状況である。今後は、実験器具の修理・製作等で可能なものは、出来るだけ行い、少しでも学生が実験を行いやすくなるための工夫努力をしていく考えである。

### 参考文献

- 1) 上西邦夫 光センサーの直流特性の測定
- 2) 平成17年度教育改革成果報告書