

1 課題 A. 抵抗器の温度特性

1.1 目的

様々な材料の温度を変化させその抵抗値の温度依存性を見ることで材料特有の温度特性を確かめ、考察する。

1.2 原理

抵抗器の抵抗 R と温度 T の関係は次の式で定義される。

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) = R_0 + R_0\alpha T \quad (1)$$

ここで複数点の測定によって作成した直線グラフのある 2 点 $(T_1, R_1), (T_2, R_2)$ を用いて、温度係数 α は

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 T_2 - R_2 T_1} \quad (2)$$

としてもとめることができる。

また、後述の回路図 1 で試料抵抗器の抵抗値を求めていくが、その値は

$$R_x = \frac{V_x}{V_s} R_s \quad (3)$$

で与えられる。

1.3 測定手順

1. 図 A-1 の通りに回路を組み、試料用抵抗器 x につながれた恒温槽の温度を 60 に設定。
2. 回路に電流を流し、試料用抵抗器および標準抵抗器両端の電圧を計測。
3. 次の全試料に対して 10 ~ 60 の間でおおよそ 5 間隔で 2 の操作を繰り返し、測定。

1.4 結果と考察

今回測定した各試料の実験によるグラフを、図 A-2 ~ 6 に示す。

図 A-2 ~ 6 より、各試料抵抗器の温度計数は次の様になった。

導体である炭素以外の金属は温度計数が正の値をとっている。またマンガン線 (銅とマンガンの合金) は低温において温度係数が正をとっているため、この試料は低温の系に適していることが分かる。同様に炭素の温度係数が負の値をとっていることから、炭素は半導体的性質を持っていることも考えられる。

またこれら試料の文献値も載せる。

表 1 各試料抵抗器の温度係数 α の実験値

マンガン線/ $^{-1}$	白金薄膜/ $^{-1}$	炭素皮膜/ $^{-1}$	金属皮膜/ $^{-1}$	銅線/ $^{-1}$
$-4.31 \times 10^{-5} \sim 1.16 \times 10^{-5}$	3.24×10^{-3}	-2.24×10^{-4}	4.42×10^{-5}	3.96×10^{-3}

表 2 測定試料と各温度係数の文献値

銅線/ $^{-1}$ *1	白金薄膜/ $^{-1}$ *2	炭素皮膜/ $^{-1}$ *3	金属皮膜/ $^{-1}$ *4	マンガン線/ $^{-1}$ *5
4.30×10^{-3}	3.50×10^{-3}	-3.5×10^{-4}	5.0×10^{-5}	$-1.0 \times 10^{-5} < \alpha < 2.0 \times 10^{-5}$

実験値と文献値を比較すると、マンガン線の負の部分だけ実験値が大きく文献値の範囲を越えていることが分かる。

マンガン線の測定では R-T 特性が曲線になっており一概に直線近似することができない。したがって測定範囲内における接線の傾きの変位をみて、その温度係数の範囲を文献値と比較している。そのため今回負の範囲のみ大きく実験値が文献値を越えてしまったことは、おそらく実験値測定、グラフの作成法、また温度の測定範囲の設定という各条件の差異によって生じる違いなのだとはいえる。実際今回の差も桁の違いは見られず、少なくとも 2~5 倍の絶対値の差であり、今考えた考察が有効な範囲内だと考える。

2 課題 B. ダイオードの温度特性

2.1 目的

ダイオードの電流-電圧特性の温度変化を測定する。温度の測定とともに、直接測定と間接測定、温度の他の物理量への影響なども理解する。

2.2 原理

ダイオードの電流-電圧特性の計算式は、今回の電圧・温度帯では以下の用に近似できる。

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) \quad (4)$$

*1 参考文献 [2] 参照

*2 参考文献 [3] 参照

*3 参考文献 [4] 参照

*4 参考文献 [3] 参照

*5 参考文献 [5] 参照

ただし、ここで I_s を逆方向飽和電流といい、 $V \leq 0$ の領域における少数キャリアの流れによるわずかな電流値である。[1]

また上式の自然対数をとると、

$$\ln(I) = \frac{q}{nkT}V + \ln(I_s) \quad (5)$$

と書くことができる。これは $V - \ln(I)$ グラフが線形を示すということであり、この傾きを A とすると理想係数 n は

$$n = \frac{q}{kTA} \quad (6)$$

で与えられる。

今度はダイオードの電圧温度特性について考えてみる。ある一定電流の場合について考えると、次の関係式を使って電圧の温度係数と絶対零度におけるエネルギーギャップを計算できる。

$$V = \left[\frac{\Delta V}{\Delta T} \right]_{I=\text{constant}} T + \frac{E_{g0}}{q} \quad (7)$$

2.3 測定手順

1. 図 B-1 のように回路を組み、恒温槽の温度を 10 に設定。
2. 電流を $10\mu\text{A} \sim 100\text{mA}$ の間で変えながらダイオードの電圧を測定。
3. 恒温槽の温度を 5 づつ上げ、60 まで 2 の操作を繰り返し、測定。

2.4 結果と考察

ダイオードの電流-電圧特性 (I-V 特性) を図 B-2 に示す。

ここでは各温度ごとに特性グラフを描画している。すると温度ごとに直線近似することが分かり、その傾き等は最小 2 乗法に則って描いている。ただし、各温度について $I=10\text{mA}$ よりも大きくなったあたりで特異な (直線近似できない) 性質が見られるため、直線近似のデータ範囲は

$$\text{直線近似のデータ範囲 : } 10\mu\text{m} \sim 10\text{mA} \quad (8)$$

としている。この近似直線の傾きとそこからもとめた理想係数 n を次の表に載せる。

また電圧-温度特性も図 B-3 に示す。このグラフの近似直線を最小 2 乗法で求めている。グラフの傾きと切片より、電圧に対する温度係数とエネルギーギャップを次の表に載せる。

ここでこの未知の材料によるダイオードのエネルギーギャップを実際の物質のそれと比較するため、いくつかの化学式におけるエネルギーギャップの文献値を次の表に載せる。

したがって表 4 の実験値と、表 5 の文献値を比較すると、今回の実験に用いたダイオードは Si 材料であると考えられる。

*6 参考文献 [6] 参照

表 3 ダイオードの各温度に対する $V - \log I$ グラフの傾きと理想係数 n

温度/	傾き/ V^{-1}	理想係数 n
10	9.98	4.110233
20	9.64	4.109971
30	9.34	4.101984
40	9.09	4.080141
50	8.85	4.061043
60	8.51	4.096469

表 4 ダイオードの $V - T$ 特性

電流 I/mA	温度係数	エネルギーギャップ E_g/eV
0.01	-2.7×10^{-3}	1.1976
0.1	-2.3×10^{-3}	1.1832
1	-2.0×10^{-3}	1.1925
10	-1.7×10^{-3}	1.209
100	-1.2×10^{-3}	1.232

表 5 いくつかの物質に対するエネルギーギャップ E_g の文献値

化学式	E_g/eV
Si	1.206
*6 Ge	0.735
GaAs	1.53
InSb	0.17
CdS	2.582

3 参考文献

- [1] 古川静二郎著,「電子デバイス工学 第 2 版」, 森川出版株式会社,p39
- [2] p13, 第 4 版 金属データブック, 丸善
- [3] コ - ア株式会社

http://www.koaproducts.com/index_02.php

[4] タクマン電子株式会社

http://www.takman-e.co.jp/product/rd_rds.html

[5] John R. Taylor 著, 「計測における誤差解析入門」, 東京化学同人

[6] 理科年表, 平成 28 年度, 国立天文台