

D 基礎物性物理

08A17091 佐藤 光

実験実施日

2019 年 6 月 14 日(金) 曇り

2019 年 6 月 17 日(月) 曇り

2019 年 6 月 21 日(金) 晴れ

2019 年 6 月 24 日(月) 晴れ

2019 年 6 月 28 日(金) 晴れ

2019 年 7 月 1 日(月) 雨

共同実験者

08A17089 佐々木 宇幸

提出日

7 月 5 日(金)

- ・ 1 日目

- ・ 実験課題

10Ω、51Ω、1kΩの抵抗に流れる電流と電圧の関係を 4 端子回路の時、2 端子回路の時それぞれ調べる。また、2つの銅線の直径、長さ、そして同様に抵抗を求める。

- ・ 実験目的

抵抗においては I-V グラフを作成して抵抗値を測定すること。その上で 4 端子回路と 2 端子回路の違いを理解すること。また、銅線においては測定した線の直径、長さそして抵抗値を用いて抵抗率を求めること。

- ・ 使用器具

電源

テスター2つ

抵抗 10Ω、51Ω、1kΩ

銅線 2 種類

- ・ 実験内容

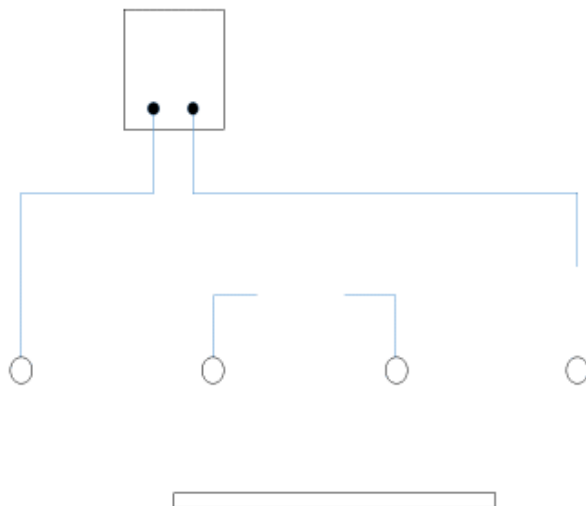


図 1-1 4 端子回路

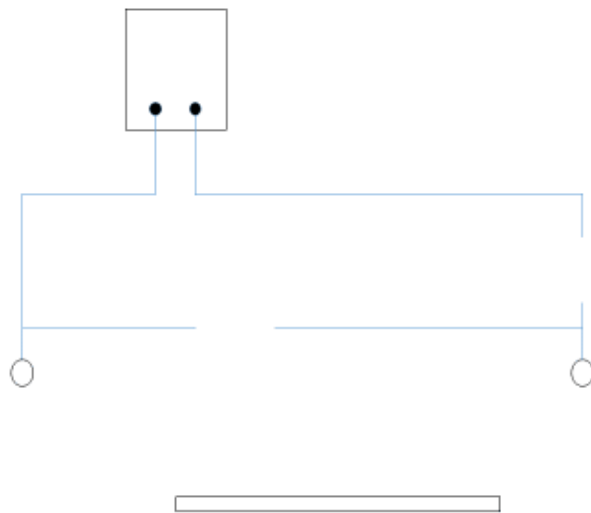


図 1-2 2 端子回路

まず、図 1-1 の様に 4 端子回路を作成した。抵抗値が 10Ω の抵抗を挟んで、電力が $0.25W$ を超えないように電圧を変化させて、電流を測定した。その測定値を用いて I-V グラフを作成した。同様の操作を 51Ω 、 $1k\Omega$ の抵抗でも行った。次に太い方の銅線の直径を測定して、抵抗と同様に回路を作成した。その時の両端の長さを測定して、ある電圧での電流の値を 5 回測定した。また、そこから求められた抵抗値を用いて、

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{---(a1)}$$

(R:抵抗値(Ω)、l:両端の長さ(m)、S:表面積(m^2))

の関係から銅線の抵抗率を求めた。細い銅線の場合も同様の操作を行った。

以上の操作を図 1-2 の 2 端子回路でも行った。

・実験結果

(i) 10Ω

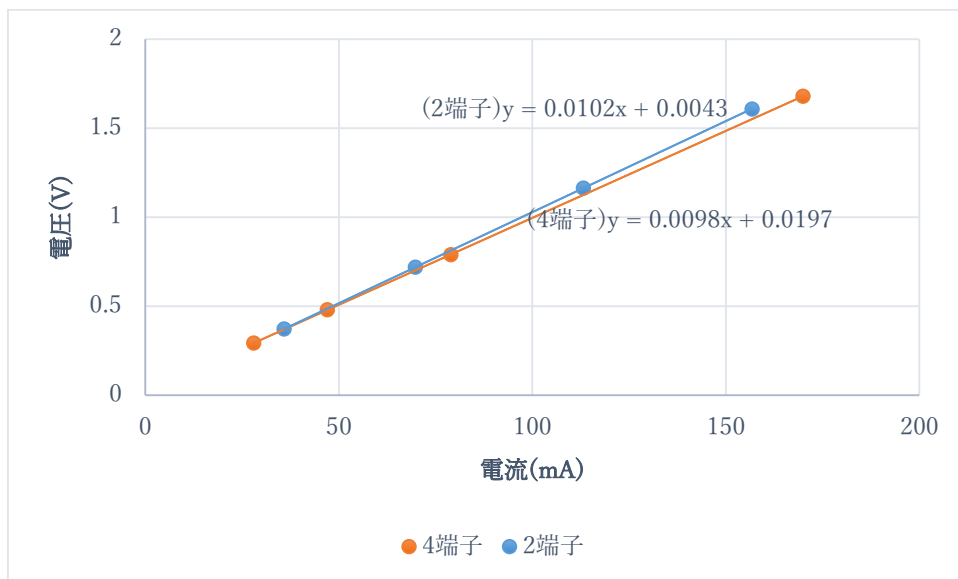


図 1-3 10Ω の時の I-V グラフ

横軸を mA、縦軸を V で取ったため、傾きはオームの法則を用いると $R(\Omega/10^{-3})$ から 4 端子回路の時の抵抗値は 9.8Ω 、2 端子の時は 10.2Ω となる。

(ii) 51Ω の時

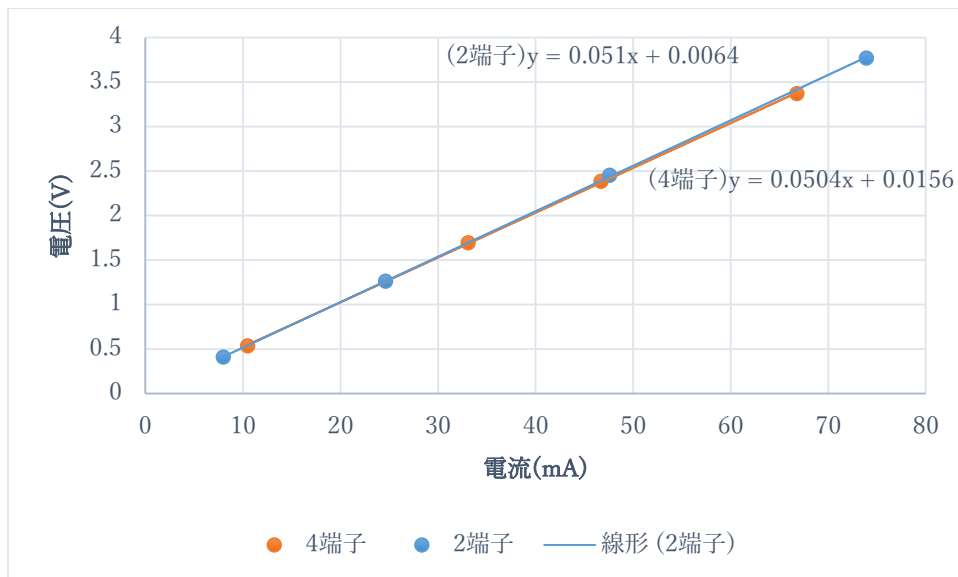


図 1-4 50Ω の時の I-V グラフ

傾きが同様に $R(\Omega/10^{-3})$ から 4 端子の時は 50.4Ω 、2 端子の時は 51Ω となった。

(iii)1kΩの時

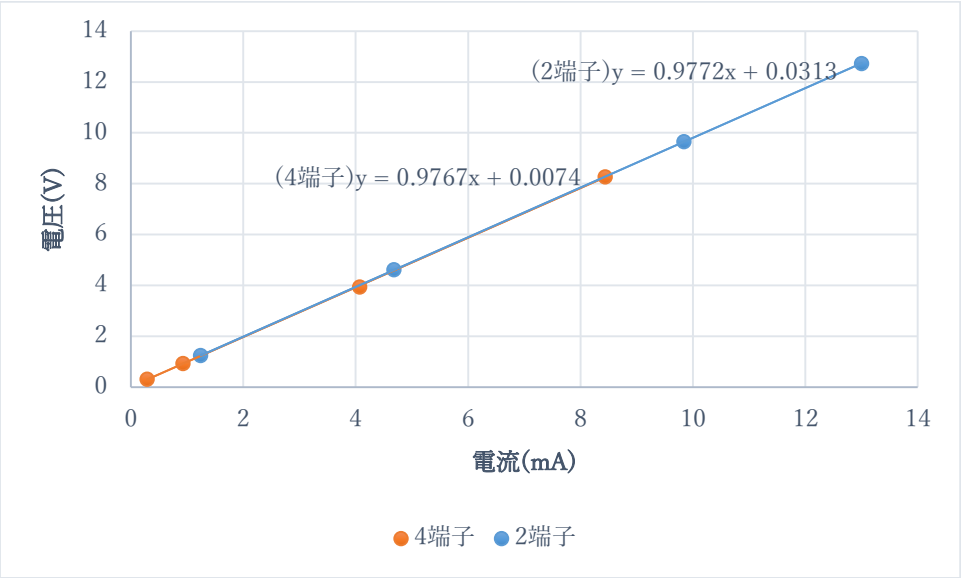


図 1-5 1kΩの時の I-V グラフ

抵抗値は 4 端子の時は 976.7Ω、2 端子の時は 977.2Ωとなった。

(iv)太い銅線

表 1-1 太い銅線の測定値

4 端子	mA	mV	2 端子	mA	mV
直 径 0.72mm	100.3	40	直 径 0.72mm	100.2	45.6
長さ 3.5cm	100.0	40	長さ 3.8cm	100.0	45.1
	100.0	50		100.0	44.8
	99.6	50		100.0	45.0
	98.3	50		99.8	46.3
平均値	99.64	46		100	45.36

よって、4 端子の時の抵抗値は 0.462(Ω)、2 端子回路の抵抗値は 0.454(Ω)であると分かった。(a1)の関係式を用いると、抵抗率はそれぞれ 4 端子回路の時は $5.37 \times 10^{-6}(\Omega \cdot m)$ であり、2 端子回路の時は $4.86 \times 10^{-6}(\Omega \cdot m)$ であると分かった。

(v) 細い銅線

表 1-2 細い銅線の測定値

4 端子	mA	mV	2 端子	mA	mV
直 径 0.50mm	100.0	40	直 径 0.50mm	100.3	44.3
長 さ 3.3cm	100.3	40	長 さ 3.0cm	100.7	44.9
	99.9	50		100.7	45
	96.8	40		100.2	44.9
	96.6	50		99.9	45.1

よって、4 端子回路の時の抵抗値は $0.518(\Omega)$ 、2 端子回路の時の抵抗値は $0.451(\Omega)$ となった。先ほどと同様に(a1)の関係式を用いると、抵抗率はそれぞれ 4 端子回路の時は $3.08 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{m})$ であり、2 端子回路の時は $2.95 \times 10^{-6}(\Omega \cdot \text{m})$ であると分かった。

・考察

(i) 抵抗

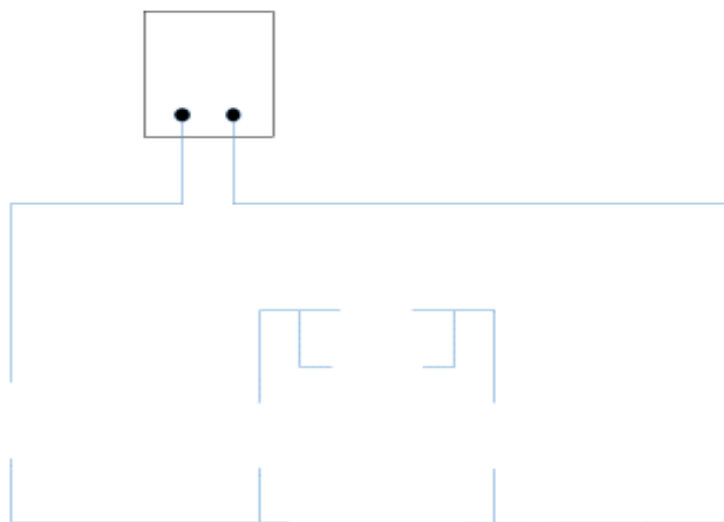


図 1-6 4 端子回路の等価回路

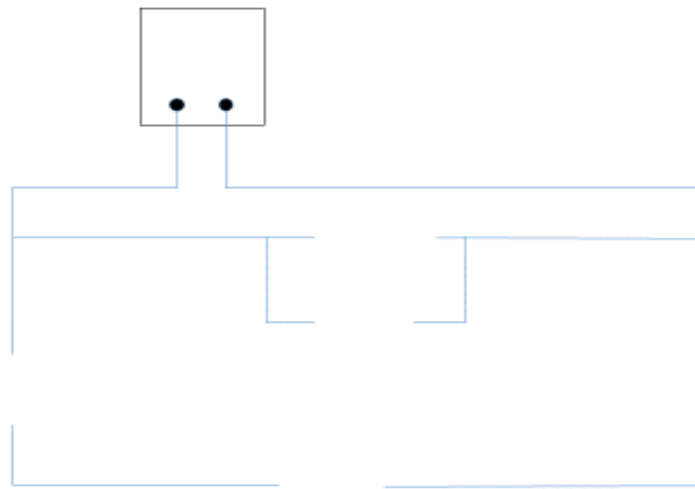


図 1-7 2 端子回路の等価回路

10Ωの抵抗を用いた時は、4 端子回路の時の誤差は $\frac{|9.8-10|}{10} \times 100 = 2(\%)$ 、2 端子回路の時は

$\frac{|10.2-10|}{10} \times 100 = 2(\%)$ であり、測定誤差は一致した。

50Ωの抵抗を用いた時は、4 端子回路の時の誤差は $\frac{|50.4-50|}{50} \times 100 = 0.8(\%)$ 、2 端子回路の時

は $\frac{|51-50|}{50} \times 100 = 2(\%)$ であり、4 端子回路の時の方が 2 端子回路の時に比べて測定誤差の値が小さくなった。

1kΩの時は、4 端子回路の時の誤差は $\frac{|976.7-1000|}{1000} \times 100 = 2.33(\%)$ 、2 端子回路の時は

$\frac{|977.2-1000|}{1000} \times 100 = 2.28(\%)$ であり、2 端子回路の時の方が 4 端子回路の時に比べて測定誤

差の値が小さくなった。

図 1-6、1-7 の R1~R4 をサンプルとリード線との接触抵抗、RS をサンプルの抵抗、RA、RV をそれぞれ電流計、電圧計の内部抵抗とする(RA;1~10Ω程度 RV;1~10GΩ程度)。

図 1-6 の四端子回路の場合、R2 と R3 は RV に比べて非常に小さいために無視することができて、また R1、R4、RA は電圧を測定する際に影響を与えないために、考慮するのは RS、RV のみであると考えられる。RS が RV に比べて非常に小さい時には、RV に流れる電流を無視することができ、従って抵抗値を正確に測定できると考えられる。

その一方で RS が RV と比較して無視することができないほど大きい時には、電圧計を流れる電流も電流計で測定することとなり、実際の値よりも抵抗値を小さく見積もることとなる。

図 1-7 の 2 端子回路の場合、RV が電流計での測定に影響を与えずに RS が接触抵抗と RA に比べて非常に大きい時にこれらの抵抗を考慮せずに測定を行える。したがって、4 端子回路はサンプルの抵抗値が小さい時に、2 端子回路は抵抗値が大きい時に用いると抵抗値を正確に測定できると考えられる。

以上から、 10Ω 、 50Ω の時は 4 端子の方が測定誤差は小さく、 $1k\Omega$ の時は 2 端子の方が測定誤差は小さくなると考えられて、 50Ω 、 $1k\Omega$ の時は実験が正確に行えたと考えられる。 10Ω の時は測定誤差が一致したので実験が不正確であると考えられる。今回の実験は 4 ヶ所で電流と電圧を測定したが、その点を 10 点ほどにするとより正確な実験結果が得られたと考えられる。

(ii) 銅線

理論値として銅の抵抗率は $1.68 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$ である。実験から得られた値は明らかに理論値よりも大きく、実験は不正確であったと考えられる。テスターの有効数字の表示が不足していたことや、抵抗値が小さい為に電流と電圧の値が一定に定まっていなかったことが原因として考えられる。