

- ・4日目

- ・実験課題

3つの金属線、銅線、ニクロム線、タングステン線の抵抗を温度を変化させながら測定すること。

- ・実験目的

金属の抵抗の温度依存性を調べる事。

- ・実験内容

図 1-1 の様に 4 端子回路を作成した。サンプルとして銅線をまずセットした。そこに先端が銅線と同じ高さになるようにクロメル線を結び付けた。クロメル線のもう一方の先端はテスターに接続して、氷水に入れた。クロメル線の電圧を測定して、まず、室温で電圧を変化させていき、電流を測定した。電流はおよそ 100mA になるまで測定を行った。次に、液体窒素を用意して、銅線を近づけて温度を低下させた。その時のクロメル線の電圧を測定して、同様に電圧を変化させた時の電流を測定した。更に、銅線を液体窒素に近づけた時にもう一度同様の操作を行った。それぞれの I-V グラフを作成して、温度によって抵抗値がどのように変化していくか確認した。以上の操作をニクロム線、タングステン線でも行った。

- ・実験結果

(i) 銅線

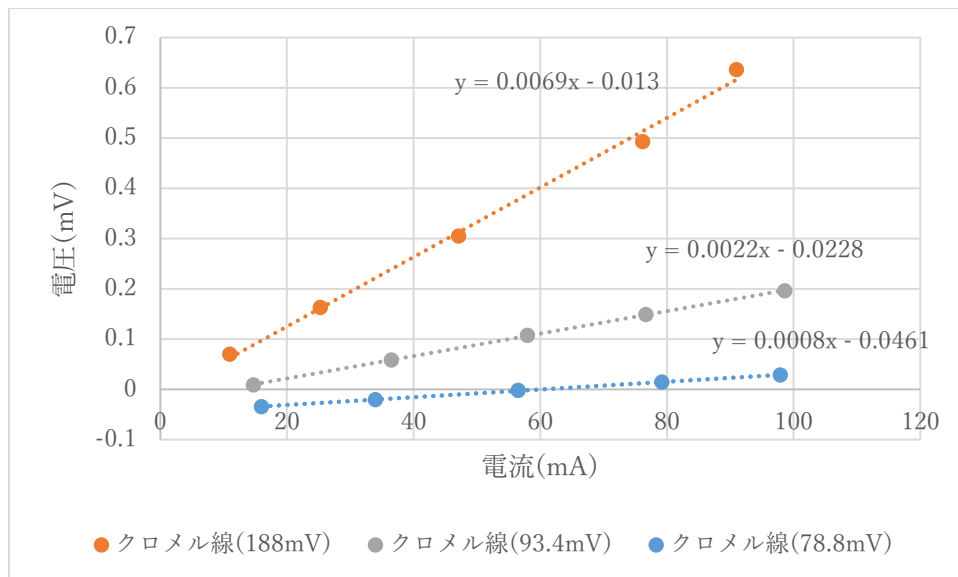


図 4-1 銅線の I-V グラフ

図 4-1 から温度が低下するほど、抵抗値は小さくなっていった。

(ii) ニクロム線

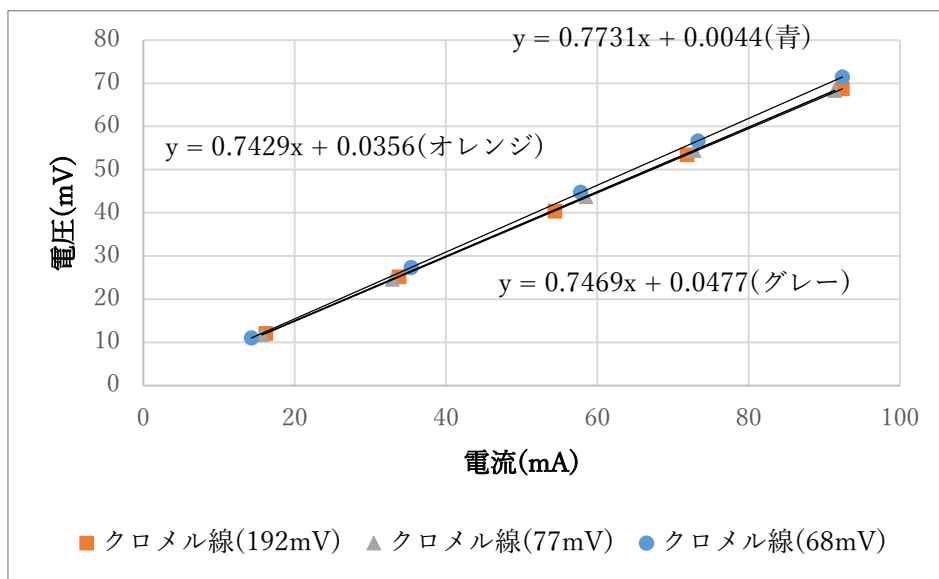


図 4-2 ニクロム線の I-V グラフ

図 4-2 から温度を低下させていっても、抵抗値の大きな変化は見られなかった。

(iii) タングステン線

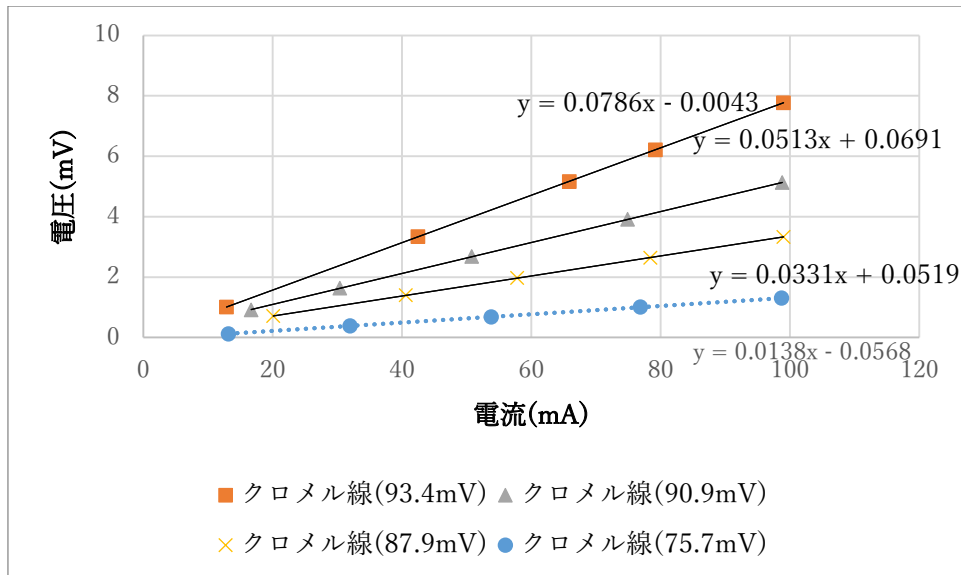


図 4-3 タングステン線の I-V グラフ

図 4-3 から、温度を小さくすると、抵抗値が小さくなっていった。

・考察

表 4-1 クロメル—アルメル熱電対

1 600	18.849	18.988	19.127	19.266	19.405	19.544	19.683	19.822	19.961	20.100
1 700	20.222	20.356	20.488	20.620	20.749	20.877	21.003	21.129	21.255	21.381
クロメル—アルメル熱電対(タイプK) (単位 mV)										
t/°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	-5.891	-6.035	-6.158	-6.262	-6.344	-6.404	-6.441	-6.458		
-100	-3.554	-3.852	-4.138	-4.411	-4.669	-4.913	-5.141	-5.354	-5.550	-5.730
0	0.000	-0.392	-0.778	-1.156	-1.527	-1.889	-2.243	-2.587	-2.920	-3.243
t/°C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0.000	0.397	0.798	1.203	1.612	2.023	2.436	2.851	3.267	3.682
100	4.096	4.509	4.920	5.328	5.735	6.138	6.540	6.941	7.340	7.739
200	8.138	8.539	8.940	9.343	9.747	10.153	10.561	10.971	11.382	11.795
300	12.209	12.624	13.040	13.457	13.874	14.293	14.713	15.133	15.554	15.975
400	16.397	16.820	17.243	17.667	18.091	18.516	18.941	19.366	19.792	20.218
500	20.644	21.071	21.497	21.924	22.350	22.776	23.203	23.629	24.055	24.480
600	24.905	25.330	25.755	26.179	26.602	27.025	27.447	27.869	28.289	28.710
700	29.129	29.548	29.965	30.382	30.798	31.213	31.628	32.041	32.453	32.865
800	33.275	33.685	34.093	34.501	34.908	35.313	35.718	36.121	36.524	36.925
900	37.326	37.725	38.124	38.522	38.918	39.314	39.708	40.101	40.494	40.885
1 000	41.276	41.665	42.053	42.440	42.826	43.211	43.595	43.978	44.359	44.740
1 100	45.119	45.497	45.873	46.249	46.623	46.995	47.367	47.737	48.105	48.473
1 200	48.838	49.202	49.565	49.926	50.286	50.644	51.000	51.355	51.708	52.060
1 300	52.410	52.759	53.106	53.451	53.795	54.138	54.479	54.819		

実験結果でグラフの傾きは抵抗値(Ω)を表していて、銅とタングステンは温度を下げた時に抵抗値が小さくなり、ニクロム線には抵抗値の大きな変化が観測されなかった。

また、表 4-1 からクロメル線を用いた電圧の大きさは全て 50mV を超えていたために温度の測定は正確に実行できていなかったと考えられる。原因は水に浸さないほうの先端が上手く結べていなかったことが 5 日目の実験時に判明した。したがって、サンプルと液体窒素の距離で温度の順番を決定した。

ここで、抵抗率と温度変化について考えてみる。一様な断面積 S の物質に電流 I が流れているとする。その時の単位体積あたりのキャリア(金属ならば電子、半導体ならばホール)の電荷を q 、数を n 、平均速度を v とすると

$$I = ngvS \quad - (b1)$$

の関係式が成立している。 v は電場の強さに比例しているので

$$v = \mu E \quad - (b2)$$

の関係式が成立している。ここで μ は物質中のキャリアの動きやすさを示している。

物質の長さを d 、その両端の電圧を V として

$$V = Ed \quad - (b3)$$

から、(b1)~(b3)の関係式を変形させると

$$V = \frac{d}{nq\mu S} I \quad - (b4)$$

の関係式を得る。

ここで、オームの法則 $V=IR$ と比較すると

$$R = \frac{d}{nq\mu S} \quad \text{--- (b5)}$$

となる。 $S=1(\text{m}^2)$ 、 $d=1(\text{m})$ の時の電気抵抗の値を抵抗率 $\rho (\Omega \cdot \text{m})$ と定義するので

$$\rho = \frac{1}{nq\mu} \quad \text{--- (b6)}$$

よって抵抗率はキャリアの数 n とキャリアの動きやすさ μ (移動度と定義する) に依存していることが分かる。

金属の場合は、温度が変化すると電子(キャリア)の数が増減せず、移動度 μ が上昇に伴って減少するので、抵抗率が大きくなる。つまり、長さ d 、断面積 S が一定の場合、温度を減少させると、抵抗の値が小さくなることが分かる。今回の実験では金属は銅線とタングステン線であり、温度の低下に伴って有意に抵抗値が小さくなっていることから実験は正確に実行できたと判断できる。合金であるニクロムは、抵抗値の変化はほとんど見られなかった。ニクロム線は温度変化による抵抗率の変化が非常に小さく、温度変化に強い物質であるので実験結果から大きな抵抗値の変化が見られなかったと考えられる。

また、温度を絶対零度に近づけるとすると、金属(銅線、タングステン線)の場合は温度が低下すると抵抗値が小さくなることからさらに抵抗値が小さくなると考えられ、合金であるニクロム線は抵抗値の値がほとんど変化しないと考えられる。