

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030103

碳膜與歐姆 但...RV 的線性關係

學校名稱：臺東縣立新生國民中學

作者： 國三 李咨萱 國三 林寶妮 國三 古乃元	指導老師： 郭哲華 邱洋斌
---	-----------------------------

關鍵詞：歐姆定律、電阻色碼表、高低電阻法

摘要

本實驗為了探討碳膜電阻是否遵守歐姆定律，依加州 Clair R. Arakelian 在 2006 年所做的 How Temperature Affects Carbon Resistors 實驗，發現碳膜電原本應是歐姆式導體，溫度越高，電阻越大，成正比關係，而碳膜電阻卻因溫度越高而電阻遞減，成反比關係，懷疑碳膜電阻和歐姆式導體的差異。

實驗探討 R 和 V 的關係，依據歐姆定律：一般金屬與電阻在定溫條件下，電壓和電流成正比，但在高中課程中依照電阻大小有高低電阻法不同的測量方式，理論上，若電阻器電阻遠大於安培計電阻則適用高電阻法，反之遠小於伏特計電阻的電阻器則適合低電阻法。除了測量方法的不同，還有色碼誤差和測量方法的誤差。

發現 R、V 有遞減關係且比 T 因素影響更明顯，且測量誤差皆在色碼誤差範圍內。

壹、 研究動機

- 一、平常在使用電器時，發覺老舊電器換電池頻率較高，且容易故障或壞掉，拿著老舊電器詢問老師時，老師推測為電器內裝置故障或電阻老舊的原因所導致，故建議我們可以先修九上課程電阻單元。
- 二、我們想對常見的碳膜電阻進行實驗，來了解電阻是否遵守歐姆定律。
- 三、我們想了解碳膜電阻器上的色碼誤差值，是否與高低電阻法測量有關?
- 四、由這個參考文獻中知道電阻和溫度的關係，我們想進一步了解電阻和電壓的關係。

貳、 研究目的

- 一、 比較碳膜電阻在測量實驗前後電阻大小的不同。
- 二、 使用三種不同大小的碳膜電阻(100Ω，1000Ω，2000Ω)進行高低電阻法的測量探討哪種測量法較接近理論值。
- 三、 了解探膜電阻在電壓極小範圍直到超過最大功率時的電壓後是否會產生變化
- 四、 探討電阻理論值和電阻色碼誤差範圍的關係。
- 五、 藉由繪製電壓和電阻的關係圖，希望能求出之間的關係式。

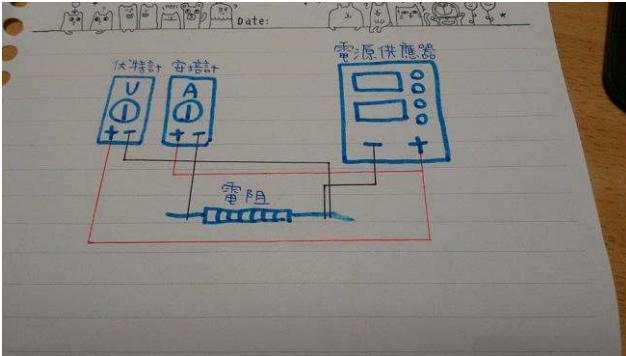
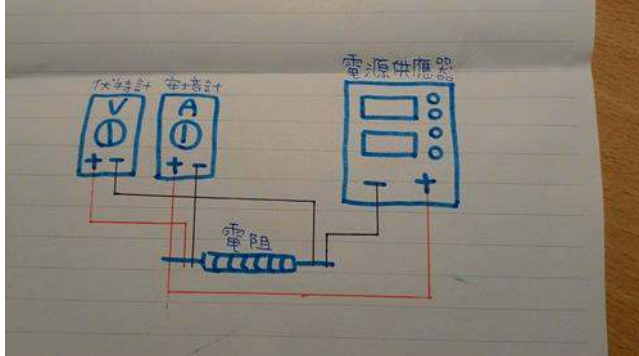
參、 研究器材與設備

以穩定電路、減少電阻點測時間、降低電阻溫度變化以及精準的三用電表與電源供應器做為控制變因，探討電壓與電流的相關數據，是否符合歐姆定律。


一、 實驗儀器說明

- (一) 數位電源供應器 TH-3205*1: AC-110V 0V~50V 出廠商: 美樂利 限制:5A
- (二) 三用電表 YF-1002*3: 出廠商: 世駿 限制:2500V
- (三) 電阻 $\frac{1}{4}$ W(1000.2000.100)*10

二、 實驗裝置示意圖

高電阻法	低電阻法
	

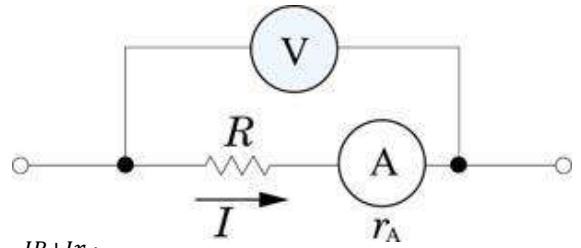
三、 器材說明

儀器名稱	三用電表	電源供應器	鱷魚夾
照片			
說明	可作為伏特計、安培計、測量歐姆	提供 0V~50V 電壓，可細微調整所需電壓，較為精密	連接用導線

儀器名稱	探針	刻度電源供應器	電阻
照片			
說明	提供三用電表使用	提供電源	碳膜電阻

肆、 理論背景

一、 高電阻測量法

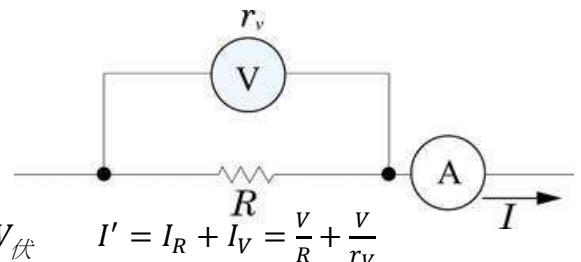


$$V = IR' = V_R + V_A = IR + Ir_A \quad R' = \frac{V}{I} = \frac{IR + Ir_A}{I} = R + r_A$$

$$R \gg r_A \text{ 安培計電阻小} \quad R' \approx R + r_A \quad R' \approx R$$

若待測導體的電阻 R 比起安培計的內電阻 r_A 大得多時，則 R' 近似於 R ，所以此種連接法適用於高電阻的電阻。

二、 低電阻測量法



$$V_R + V_A = V_{\text{電池}} \quad V_R \neq V_{\text{電池}} \quad V_R = V_{\text{伏}} \quad I' = I_R + I_V = \frac{V}{R} + \frac{V}{r_V}$$

$$R' = \frac{V'}{I'} = \frac{V_{\text{伏}}}{I_R + I_V} = \frac{V_{\text{伏}}}{\frac{V_{\text{伏}}}{R} + \frac{V_{\text{伏}}}{r_V}} \left(\frac{1}{r_V} \approx 0 \right) = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r_V}} = R \quad R' \approx R \quad r_V \gg R \quad \frac{1}{R} \gg \frac{1}{r_V}$$

若待測導體的電阻 R 比起伏特計的內電阻 r_V 小得多時，則 R' 近似於 R ，所以此種連接法適用於低電阻的測量。

三、 歐姆定律

(一) 歐姆定律:一般金屬導體的溫度保持一定，其兩端的電位差 ΔV 與所產生的電流 I 成正比則 $R = \frac{V}{I}$ ，符合歐姆定律的導體稱為歐姆式導體

(二) 影響電阻的因素

1. 電阻率 ρ :和物質種類和溫度有關但與長度及形狀無關

2. 溫度係數 α :物質電阻率隨溫度變化， $\rho = \rho_0[1 + \alpha(t - t_0)]$ ， ρ 是物質

在溫度 t 時的電阻率， α 是電阻率的溫度係數： $\alpha = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \frac{1}{\Delta t}$ 溫度每增加 1

度 物質電阻率的變化率，一般固體物質的熱膨脹係數遠小於電阻率

的溫度係數則長度與面積可視為定值， $\rho = \rho_0[1 + \alpha(t - t_0)]$ 同乘 $\frac{L}{A}$

$$\rightarrow R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)]$$

3. 根據加州 Clair R. Arakelian 在 2006 年所做的 How Temperature Affects Carbon Resistors 實驗，他們使用的電阻跟我們的一樣是 $100\Omega \frac{1}{4}W$ 的電阻，而使用溫度是在 $-198^{\circ}C \sim 250^{\circ}C$ 之間，推出了 $R = -0.02T + 98.74$ 這個公式，詳見參考資料。
4. 瓦數 P: 在電路中使用電阻時，主要的考慮有兩項目，即電阻在這個電路中所承受的瓦數及電路要求精密度為何。當電阻能承受的瓦特數小於電路中所施加，電阻即會燒毀，而瓦特數之計算為 $p = IV = \frac{V^2}{R} = I^2R$ ，在選用時要挑選瓦數足夠的電阻，故使用市面常見之 $\frac{1}{4}W$ 電阻即可勝任。

四、 電阻適合高低電阻法判斷

伏特計為 $998333\Omega \cong 10^6$ ，安培計為 $0.00217\Omega \cong 2.17 \times 10^{-3}\Omega$ ， $100\Omega = 10^2\Omega$ ，電阻遠大於安培計電阻，則適合高電阻法； $1000 = 10^3\Omega$ ，電阻遠大於安培計電阻，則適合高電阻法； $2000 = 2 \times 10^3\Omega$ ，電阻遠大於安培計電阻，則適合高電阻法。

五、 色碼表

電阻器色碼表(Resistor Colour Code)

四色環電阻器(4 Band Code Resistor)

棕黑紅金
= 10×10^2
= $1k\Omega \pm 5\%$

顏色 Colour	第一讀數 1st Band	第二讀數 2nd Band	倍數 Multiplier	誤差率 Tolerance
棕 Brown	1	1	$\times 10^1 = \times 10$	$\pm 1\%$
紅 Red	2	2	$\times 10^2 = \times 100$	$\pm 2\%$
橙 Orange	3	3	$\times 10^3 = \times 1\,000$	
黃 Yellow	4	4	$\times 10^4 = \times 10\,000$	
綠 Green	5	5	$\times 10^5 = \times 100\,000$	$\pm 0.5\%$
藍 Blue	6	6	$\times 10^6 = \times 1\,000\,000$	$\pm 0.25\%$
紫 Violet	7	7	$\times 10^7 = \times 10\,000\,000$	$\pm 0.1\%$
灰 Grey	8	8	$\times 10^8 = \times 100\,000\,000$	$\pm 0.05\%$
白 White	9	9	$\times 10^9 = \times 1\,000\,000\,000$	
黑 Black	0	0	$\times 10^0 = \times 1$	
金 Gold			$\times 10^{-1} = \times 0.1$	$\pm 5\%$
銀 Silver			$\times 10^{-2} = \times 0.01$	$\pm 10\%$
無色 None				$\pm 20\%$

顏色 Colour	第一讀數 1st Band	第二讀數 2nd Band	第三讀數 3rd Band	倍數 Multiplier	誤差率 Tolerance

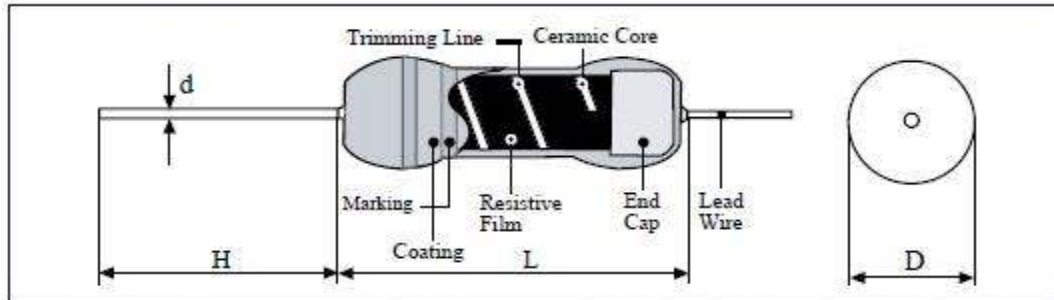
六、 碳膜電阻

碳膜電阻係利用高溫真空分離有機化合物之碳，並將此碳膜塗在絕緣管的外層，再在碳膜表面上切割成螺旋狀的溝槽而成。外層之溝槽愈多，其電阻值愈大。



CF 碳膜電阻器

▶ 碳膜電阻器 CF 規格及尺寸(單位: mm)



型號		尺寸 (mm)				最大 工作電壓	最大 負載電壓	阻值範圍	
CF	CFS	L	D	H	$d \pm 0.05$			$\pm 2\%(G)$	$\pm 5\%(J)$
1/8 W		3.2 ± 0.2	1.5 ± 0.2	26 ± 1	$0.40 \sim 0.45$	200	400	$10\Omega \sim 470K$	$1\Omega \sim 4.7M$
1/6 W	1/4 W	3.2 ± 0.2	1.5 ± 0.2	26 ± 1	$0.40 \sim 0.45$	200	400	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
1/4 W	1/2 W	6.2 ± 0.5	2.3 ± 0.3	26 ± 1	$0.40 \sim 0.50$	250	500	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
1/3 W	1/2 W	8.5 ± 0.5	2.8 ± 0.3	26 ± 1	$0.50 \sim 0.55$	250	500	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
1/2 W	1 W	9.0 ± 0.5	3.0 ± 0.5	26 ± 1	$0.50 \sim 0.55$	350	700	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
1 W	2 W	11 ± 1.0	4.0 ± 0.5	35 ± 3	$0.75 \sim 0.80$	500	1000	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
2 W	3 W	15 ± 1.0	5.0 ± 0.5	35 ± 3	$0.75 \sim 0.80$	500	1000	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$
3 W	5 W	17 ± 1.0	6.0 ± 0.5	35 ± 3	$0.75 \sim 0.80$	500	1000	$1\Omega \sim 10M$	$0.5\Omega \sim 22M$

▶ 碳膜電阻器 CF 電器特性

測試項目	條件	規格
使用溫度範圍	$-55^{\circ}\text{C} \sim +155^{\circ}\text{C}$	
短時間過負載	2.5 Times of rated voltage for 5sec.	$\pm 1\%$
負載壽命	70°C on-off cycle 1,000hrs.	$\pm 5\%$
耐濕壽命	40°C 95% RH on-off cycle 1,000hrs.	$\pm 5\%$
浸錫試驗	350°C for 3sec.	$\pm 0.5\%$
溫度循環	$-30^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 5cycles	$\pm 2\%$
溫度係數	$1\Omega \sim 22K\Omega$ $22K\Omega \sim 510K\Omega$ $510K\Omega \sim 1M\Omega$ $1M\Omega \sim 2.2M\Omega$ $2.2M\Omega \sim 5.1M\Omega$	$\pm 300\text{PPM}/^{\circ}\text{C}$ $\pm 450\text{PPM}/^{\circ}\text{C}$ $\pm 800\text{PPM}/^{\circ}\text{C}$ $\pm 1000\text{PPM}/^{\circ}\text{C}$ $\pm 1400\text{PPM}/^{\circ}\text{C}$

依此公司提供數據，本實驗環境溫度皆在負載範圍內，故溫度條件忽略。

伍、 實驗步驟

一、 解決實驗的誤差:

(一) 使用三用電表測量伏特計和安培計及鱷魚夾及探針的電阻

儀器種類 電阻 測量(Ω)	伏特計	安培計	鱷魚夾	探針
第一次	9.95×10^5	2.2×10^{-3}	2.0×10^{-1}	6×10^{-1}
第二次	1.00×10^5	2.4×10^{-3}	3.0×10^{-1}	3×10^{-1}
第三次	9.99×10^5	1.9×10^{-3}	2.0×10^{-1}	3×10^{-1}
平均	9.98×10^5	2.2×10^{-3}	2.3×10^{-1}	4×10^{-1}

(二) 測量速度快且短時間內點測，不重複用同一個電阻，為了避免使溫度上升而影響電阻，並且用小單位測量:

1. 分別使用高低電阻法測量及 $\frac{1}{4}W$ 的 100、1000 和 2000 Ω 的電阻
2. 每 0.5 個單位伏特個別點測 10 個電阻，並寫下數據。
3. 各種電阻功率所能達到的最大電壓

(三) 直測電阻

1. 實驗前

電阻值	100Ω	1000Ω	2000Ω
測量次數 1(Ω)	100.1	985	1990
測量次數 2(Ω)	99.3	980	2000
測量次數 3(Ω)	99.3	980	2000
測量次數 4(Ω)	99.1	986	2020
測量次數 5(Ω)	99.2	980	1983
平均歐姆值(Ω)	99.4	982.2	1998.6
誤差百分比%	0.6%	1.78%	0.07%

2. 實驗後

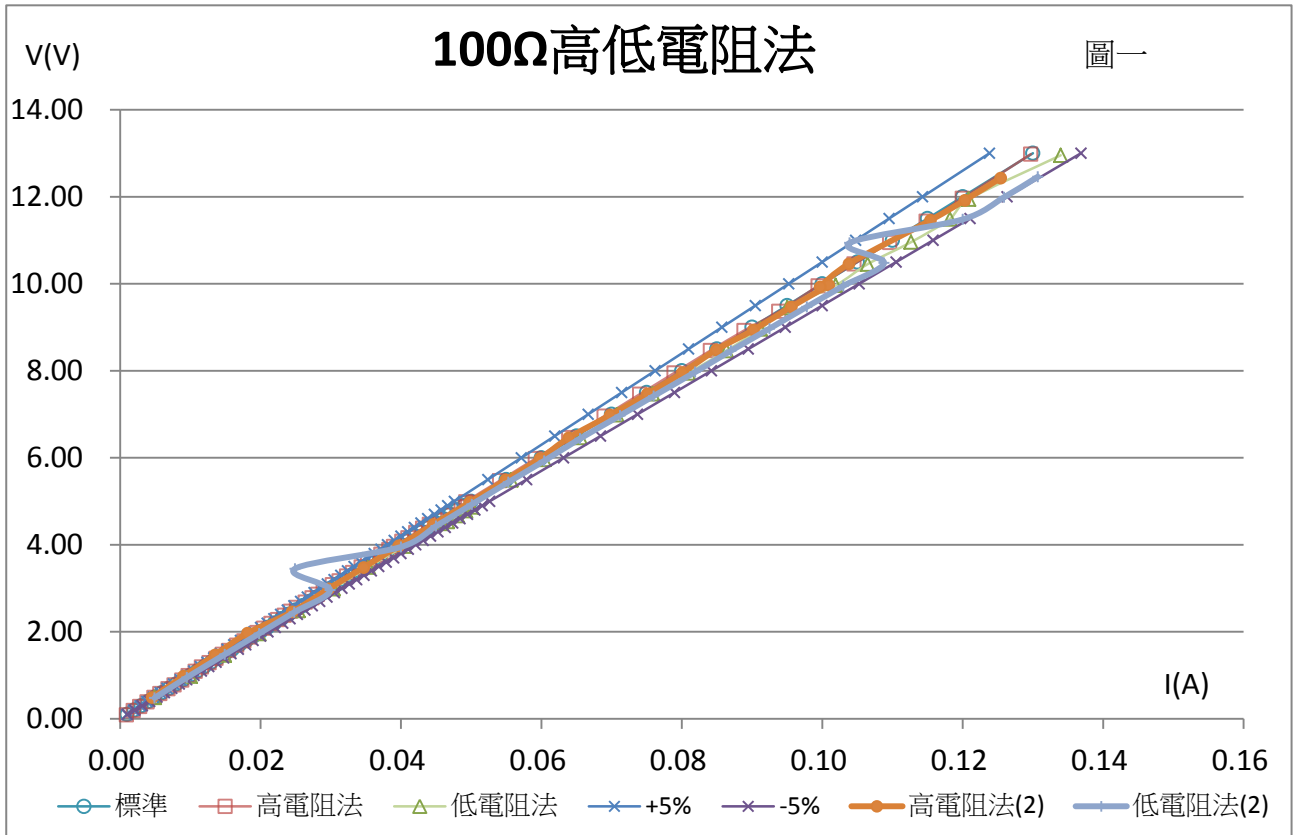
歐姆值	100Ω	1000Ω	2000Ω
測量次數 1(Ω)	98.9	986	1825
測量次數 2(Ω)	99.9	980	1832
測量次數 3(Ω)	99.2	982	1822
測量次數 4(Ω)	99.2	982	1829
測量次數 5(Ω)	99.2	984	1825
平均歐姆值(Ω)	99.3	982.8	1827.2
誤差百分比%	0.7%	1.72%	8.64%

用三用電表直測法，發現 100Ω、1000Ω 的實驗前後結果差異不大，皆在色碼表誤差範圍內，但 2000Ω 的確明顯偏差到 8.64% 比色碼表誤差值更多。

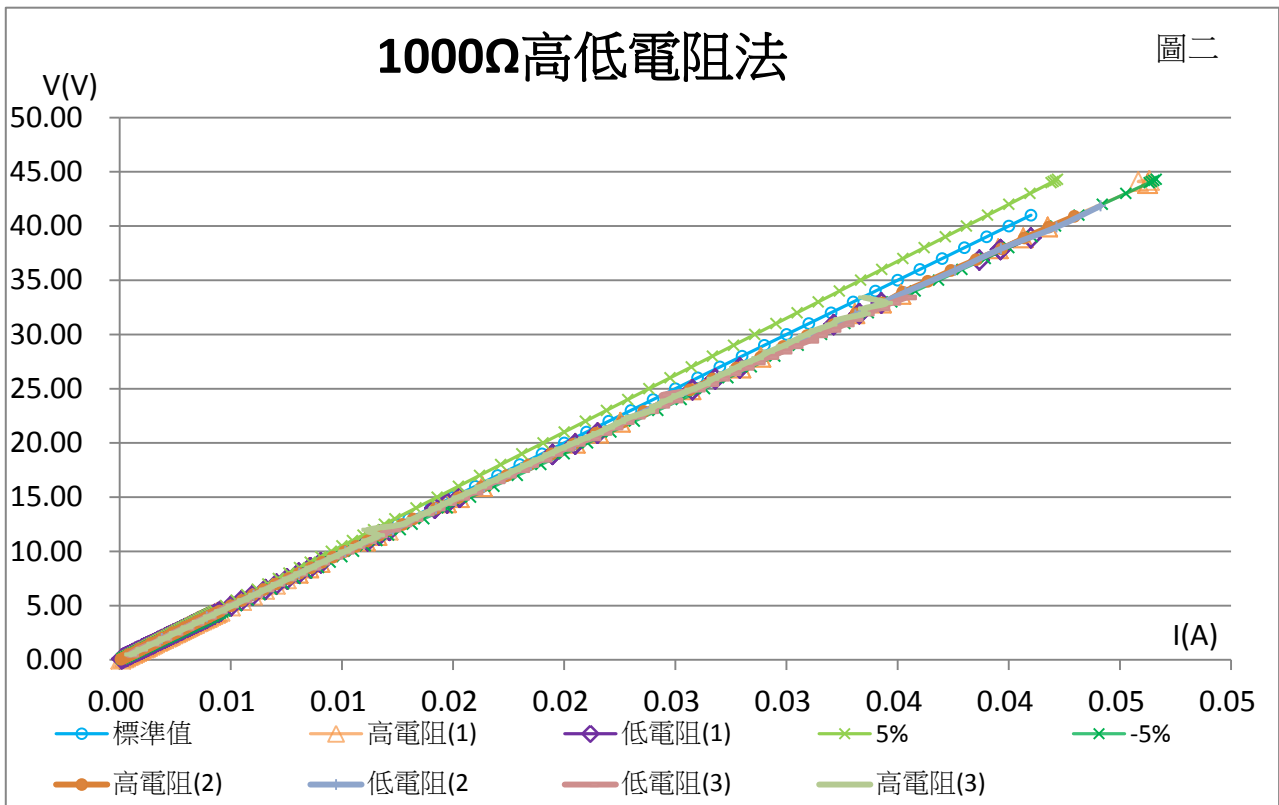
可能是因為 V 太大所以 R 變小，後面用圖四，圖五，圖六表示其變化。

二、 探討電阻色碼表顏色的誤差值

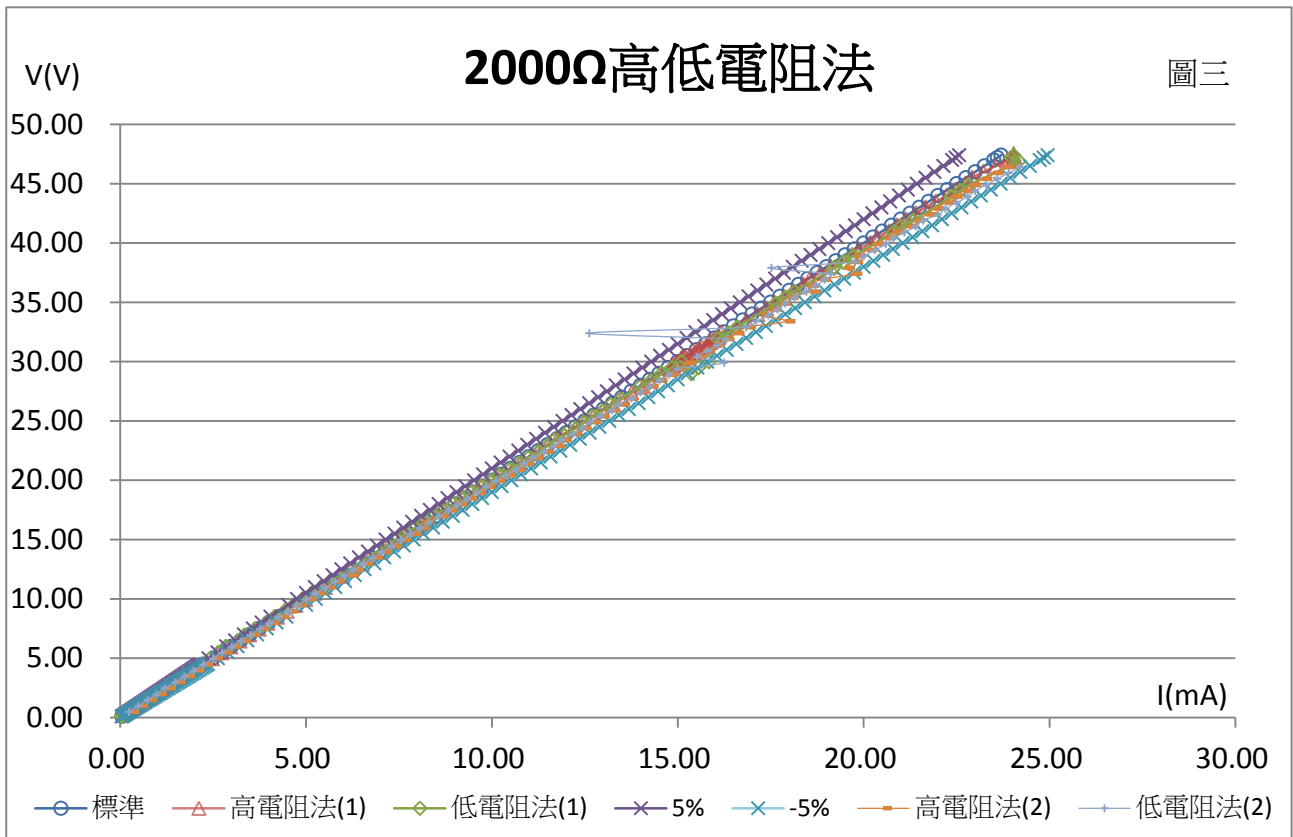
(一) 100Ω(V-A 圖)



(二) 1000Ω (V-A 圖)

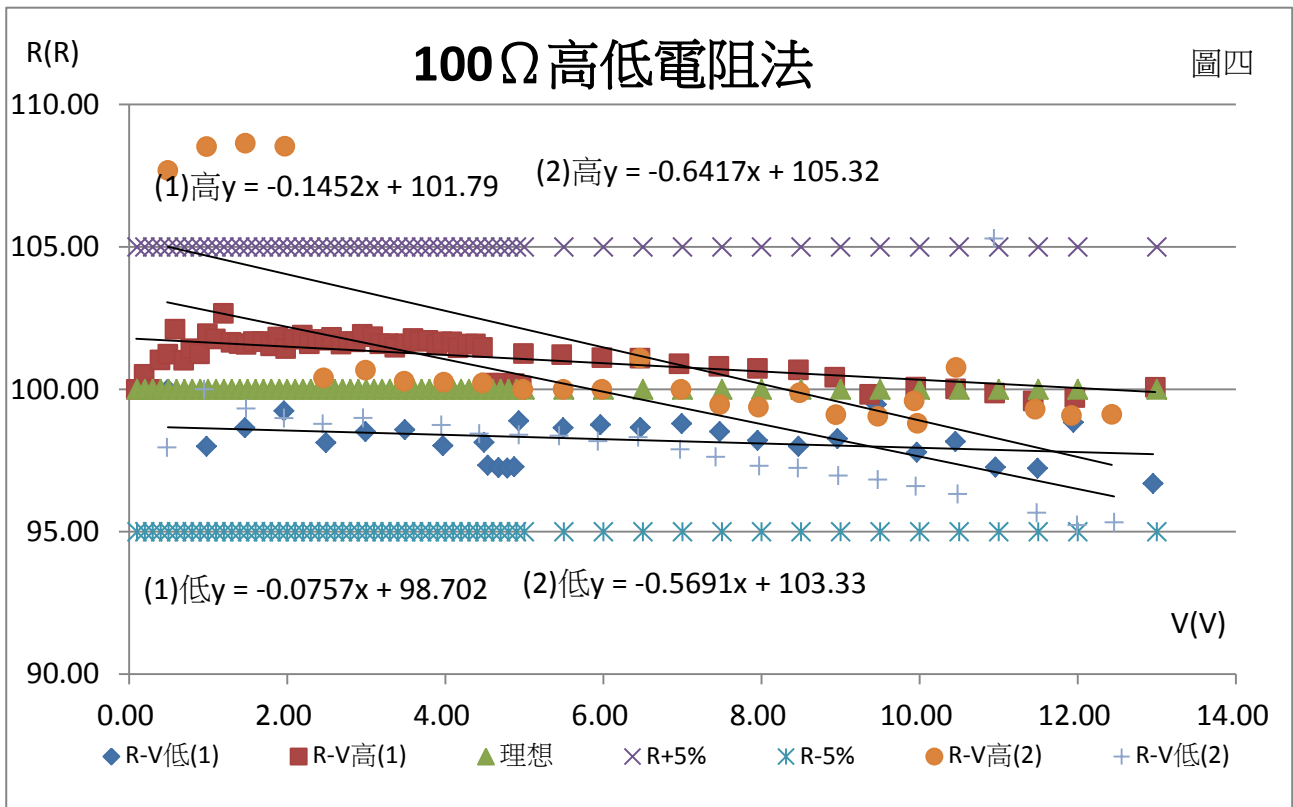


(三) 2000Ω (V-A 圖)

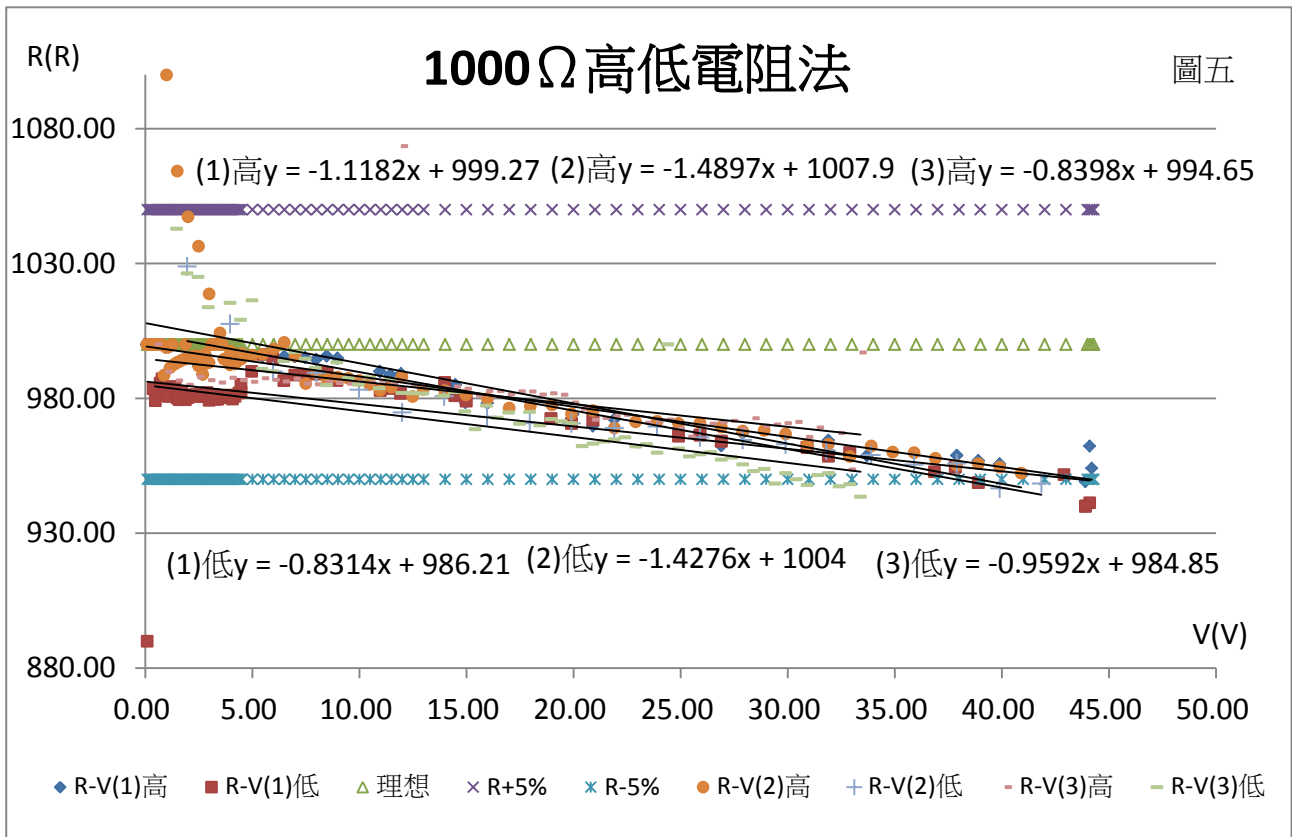


三、 探討電阻理想值、高低電阻法以及色碼表的誤差範圍

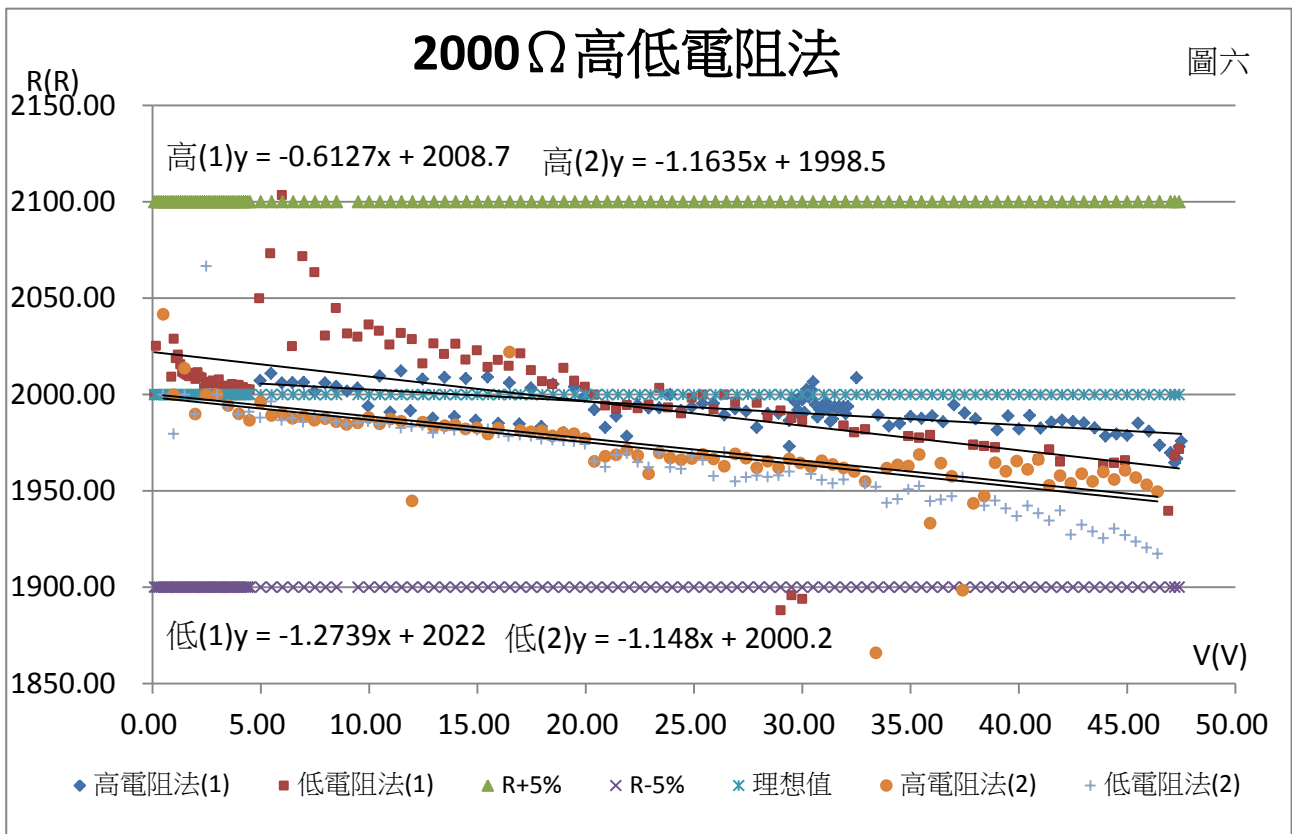
(一) 100Ω 的誤差



(二) 1000Ω的誤差

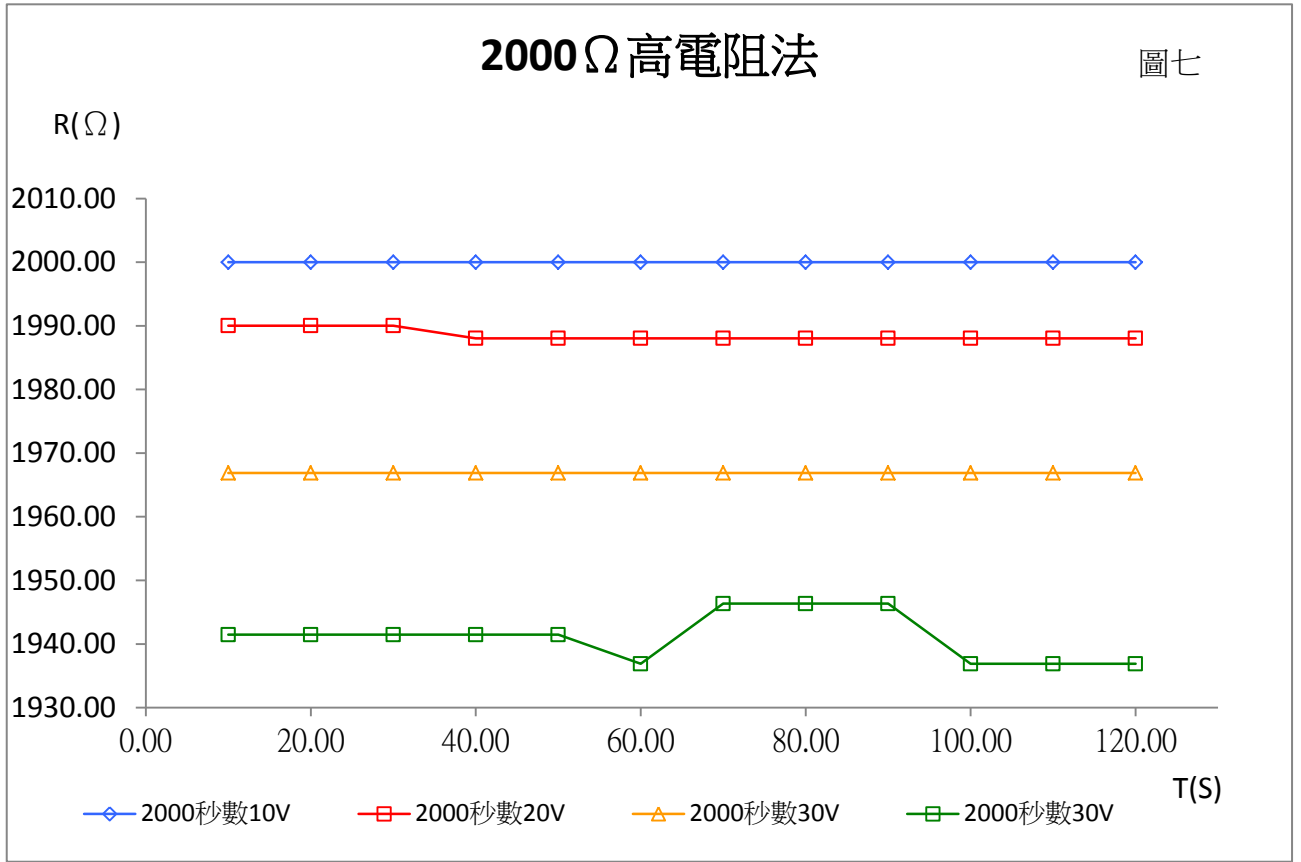


(三) 2000Ω的誤差

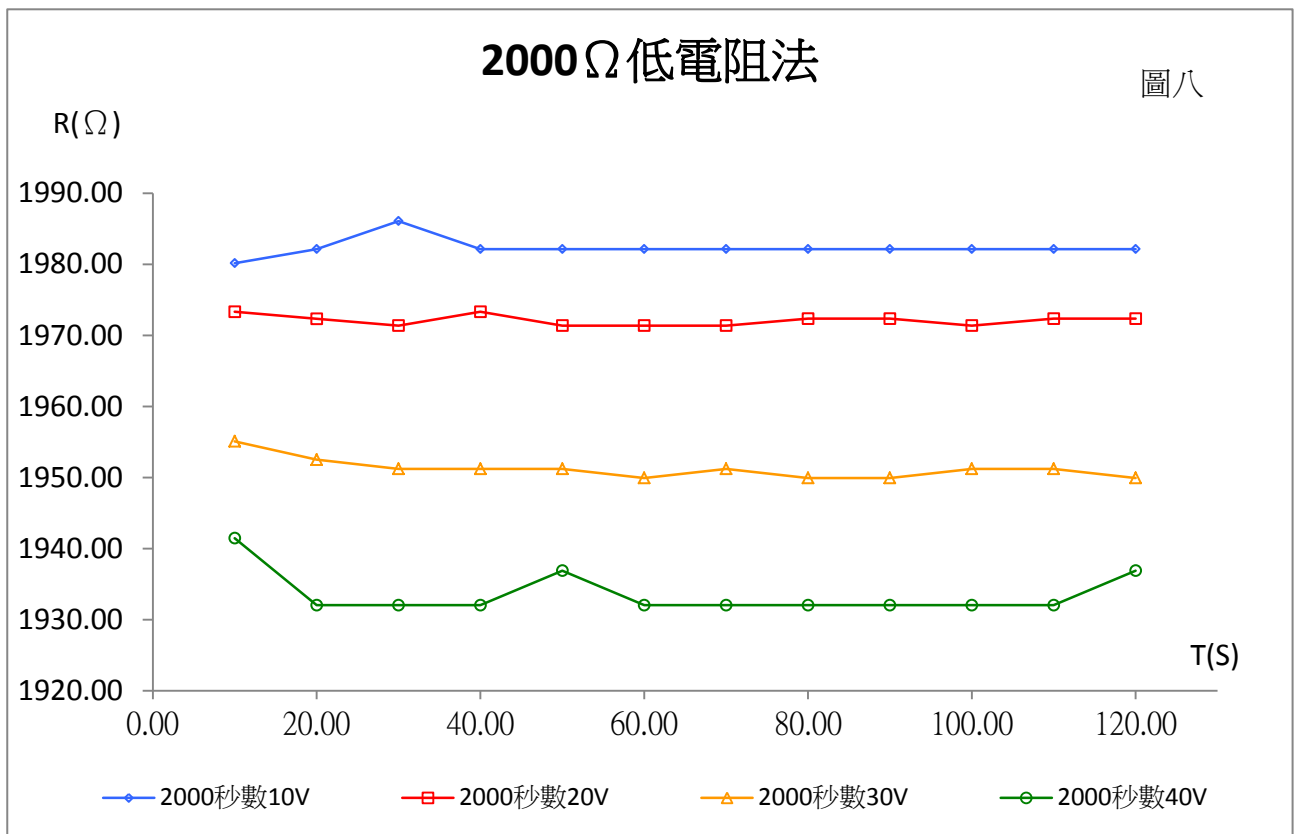


四、 探討電阻和時間的關係

(一) 以 2000Ω 電阻高電阻法測量

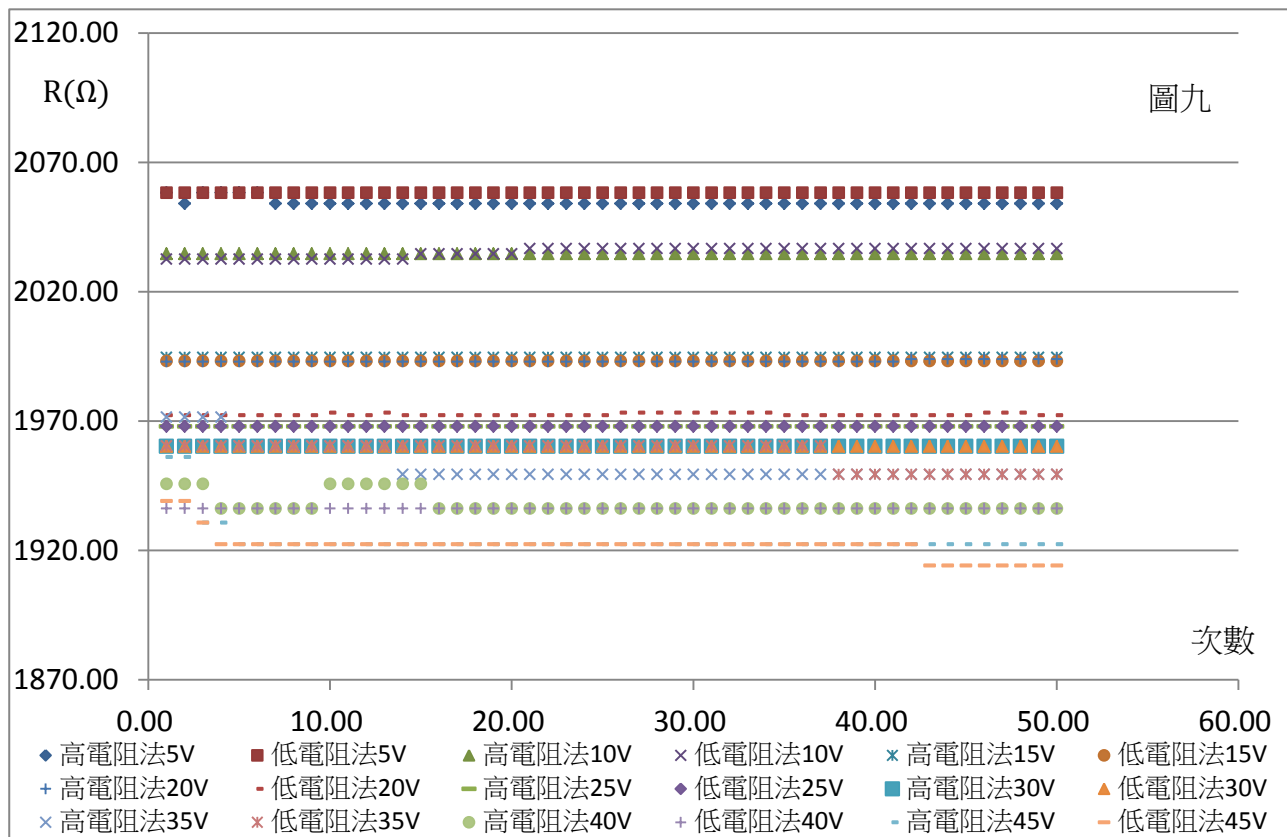


(二) 以 2000Ω 電阻低電阻法測量



五、 探討實驗次數與電阻值的關係:

以 2000Ω 電阻高低電阻法，相同電壓 5V~45V，各做 50 次實驗



陸、 討論

一、 解決實驗的誤差:

- (一) 安培計及導線的電阻誤差不大，影響實驗結果的誤差可以省略
- (二) 測量速度快且短時間內重複用同一個，為了避免使溫度上升影響電阻，以點測能使電阻上升溫度小，且都隔一段時間才在測一次相同的電阻，所以溫度的影響可以省略。

二、 斜率及誤差圖

- (一) 100Ω 第一次實驗，高電阻法斜率為-0.0757，低電阻法斜率為-0.1452，兩者皆為負，有遞減的趨勢。
- (二) 100Ω 第二次實驗，高電阻法斜率為-0.6417，低電阻法斜率為-0.5691，兩次實驗斜率皆接近 -10^{-1} ，有重現性。
- (三) 1000Ω 第一次實驗，高電阻法斜率為-1.1182，低電阻法斜率為-0.8314，一樣為遞減的趨勢。
- (四) 1000Ω 第二次實驗，高電阻法斜率為-1.4897，低電阻法斜率為-1.4276，兩次實驗斜率皆接近 -10^0 ，有重現性。
- (五) 1000Ω 第三次實驗，高電阻法斜率為-0.8398，低電阻法斜率為-0.9592，三次實驗斜率皆接近 -10^0 ，有重現性。
- (六) 2000Ω 第一次實驗，高電阻斜率為-0.8464，低電阻斜率為-1.2739，一樣呈遞減的趨勢
- (七) 2000Ω 第二次實驗，高電阻斜率為-1.1635，低電阻斜率為-1.148，兩次實驗斜率皆接近 -10^0 ，有重現性。

三、 電阻斜率數據探討

(一) 以斜率推出 $R = aV + b$ 公式， a 為負值，表示 V 越大 R 越小。

1. 100Ω (1)低電阻法為 $R = -0.1452V + 101.19$ ， 100Ω (1)高電阻法為 $R = -0.0757V + 98.702$ 。 100Ω (2)低電阻法為 $R = -0.5691V + 103.33$ ， 100Ω (2)高電阻法為 $R = -0.6417V + 105.32$
2. 1000Ω (1)低電阻法為 $R = -0.8314V + 986.21$ ， 1000Ω (1)高電阻法為 $R = -1.1182V + 999.27$ 。 1000Ω (2)實驗低電阻法為 $R = -1.4276V + 1004$ ， 1000Ω (2)實驗高電阻法為 $R = -1.4897V + 1007.9$ 。
 1000Ω (3)實驗低電阻法為 $R = -0.9592V + 984.85$ ， 1000Ω (3)實驗高電阻法為 $R = -0.8398V + 994.65$
3. 2000Ω (1)低電阻法為 $R = -1.2739V + 2022$ ， 2000Ω (1)高電阻法為 $R = -0.8464V + 2015.2$ 。 2000Ω (2)低電阻法為 $R = -1.148V + 2000.2$ ， 2000Ω (2)高電阻法為 $R = -1.1635V + 1998.5$ 。

(二) 斜率和電阻

1. 實驗電壓不夠，未來如能做更多組實驗，可更加確認斜率變化
2. 實驗電阻為 $x \times 10^2$ 時($1 \leq x < 10$)，斜率約等於 10^{-1} 。電阻為 $x \times 10^3$ 時，斜率約等於 10^0 ，初步推估判斷 R 與斜率 m 有正相關，約為 $R \approx 10^3 m$ 。
3. 若 $V=0$ ，則 R 值非常接近理想值，例如 100Ω (1)低電阻法為 $R = -0.1452V + 101.19$ ，將 $V=0$ 帶入，則 $R=101.19$ ， 100Ω (1)高電阻法為 $R = -0.0757V + 98.702$ ，將 $V=0$ 帶入，則 $R=98.702$ ，皆非常接近，且在色碼誤差內。

四、 電壓與電阻

(一) 根據電阻和實驗次數圖可知，電壓越大，電阻則下降。

(二) 由此可知，次數不會影響電阻值，而是電壓影響。

五、 將所有實驗的結果統整並加以簡化

- (一) 我們發現電壓上升時電流會變大，相對的電阻變小。
- (二) 實驗電阻所能承受的最大電壓時，我們發現後端的數據並非呈現斜直線，而是歪曲的。
- (三) 我們將數據作圖後發現實驗結果都在色碼環的誤差內。
- (四) 點測速度在兩秒之內所造成的溫度變化可以省略。
- (五) 電壓上升時，電阻應該為定值，實驗結果卻使電阻下降，由此可知，當電阻逐漸下降，因為功率和電壓為定值，電流則會因電阻下降而上升，使消耗功率上升($P = VI$)，增加電器燒壞機率，判斷與實驗過程中三用電表經常燒壞保險絲有關。
- (六) 不同數量級的電阻，所呈現的電阻衰減斜率也呈現相關。
 1. 由圖可知 100Ω 的斜率約為 0.1， 1000Ω 、 2000Ω 的斜率約為 1.0 左右。
 2. 無論高低測量法誤差都在色碼表範圍內。
- (七) 電阻 2000Ω 實驗前後測量值落差較大， 100Ω 、 1000Ω 卻沒這麼明顯，判斷應為電壓可提升較高而觀察到電阻明顯變小的現象。
- (八) 一開始實驗時，使用較老舊的電源供應器，僅能每 1.5 伏特單位轉換至 12V，發現 100Ω 僅轉至 6V 時則負荷不了，故做小單位(每 0.1V)測量實驗，觀察範圍為 0~4.5V。

(九) 高低電阻法的誤差百分比

電阻	100Ω				1000Ω				2000Ω			
方法	高電阻法		低電阻法		高電阻法		低電阻法		高電阻法		低電阻法	
範圍	0~	4.6~	0~	4.6~	0~	4.6~	0~	4.6~	0~	4.6~	0~	4.6~
	4.5V	極限	4.5V	極限	4.5V	極限	4.5V	極限	4.5V	極限	4.5V	極限
平均	101.55	100.41	100.27	98.07	996.16	974.76	980.66	969.77	2028.01	1987.37	2007.11	2001.32
誤差	1.55%	0.41%	0.27%	1.93%	0.38%	2.52%	1.93%	3.02%	1.40%	0.63%	0.36%	0.07%

可以發現用高低電阻法測量三種電阻所產生的誤差很小，皆在 5% 以內，但實驗後直測的 2000Ω 誤差可達到 8% 左右。(參考第八頁)

柒、 結論

- 一、 實驗後直測電阻變小，尤其以 2000Ω 較明顯。
- 二、 本實驗 100Ω、1000Ω 無論高低電阻法皆在色碼環 5% 的範圍內，2000Ω 略超過誤差到 8% 左右。
- 三、 實驗的電壓越大，其電阻值會越小，與實驗次數無關。
- 四、 以 100Ω 的實驗發現，Carbon Resistors 實驗的 R-T 公式為 $R = -0.02T + 98.74$ ，根據低電阻法實驗結果為 R-V 公式為 $R = -0.1452V + 101.19$ ，電壓的影響比溫度的影響大。
- 五、 由 $R = aV + b$ 公式，將 $V=0$ 帶入可得知，100Ω 第一次和第二次實驗皆較適合低電阻法，1000Ω 第一次實驗較適合高電阻法，第二次實驗較適合低電阻法，第三次實驗較適合高電阻法，2000Ω 第一次實驗較適合高電阻法，第二次實驗較適合低電阻法。由此無法判斷較適合哪種方法，跟一般歐姆式導體較不一樣，但可推測 100Ω 可能因為電阻值較小，而較適合低電阻法。

捌、 未來展望與建議

- 一、 100Ω 電阻高低電阻法斜率皆接近-0.1，1000、2000Ω 電阻高低電阻法斜率皆接近-1，可初步推估 10000Ω 電阻斜率可能接近-10 以此類推，未來可以朝這方向繼續做實驗。
- 二、 1000Ω 電阻第二次實驗時斜率變化明顯增大，且電阻值明顯變化，有此可知，電阻使用久，電阻值及斜率皆受影響。未來可以買新的 1000Ω 電阻重做實驗。
- 三、 歐姆定律討論到電壓電流比，某些導體屬於歐姆式導體，未來希望可以依照歐姆定律的形式，另外研究發展出 R 與 V 遞減斜率 m 的關係式。
- 四、 另外，雖然碳膜電阻使用皆在合理範圍的溫度內，使溫度改變的影響不會像金屬導線這麼大，但若能藉由本實驗討論出的 R 與 V 關係，能夠設計出更精準的表示法，計算出因電流變大造成的溫度提升，就能防止電器因過熱產生的危險。
- 五、 因色碼表誤差範圍 5%，本實驗發現高低電阻法會比色碼表更加精確；若改成色碼誤差為 1%或 2%的電阻，就不知高低電阻法測量是否也比色碼精確，後續值得研究，又或者使用惠斯同電橋的測量方法來實驗會不會有不同的結果。

玖、 參考資料

歐姆定律

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AC%A7%E5%A7%86%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

電阻 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E9%98%BB>

伏特計 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%8E%8B%E8%A1%A8>

安培計 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E6%B5%81%E8%A1%A8>

電阻溫度係數

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%BA%AB%E5%BA%A6%E4%BF%82%E6%95%B8>

電阻色碼

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E9%98%BB%E8%89%B2%E7%A2%BC>

電壓 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%A3%93>

電流 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E6%B5%81>

電源供應器

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%BA%90%E4%BE%9B%E6%87%89%E5%99%A8>

三用電表 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B8%87%E7%94%A8%E8%A1%A8>

電阻率 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E9%98%BB%E7%8E%87>

加州的電阻溫度實驗

CALIFORNIA STATE SCIENCE FAIR 2006 PROJECT SUMMARY

How Temperature Affects Carbon Resistors

<http://www.usc.edu/CSSF/History/2006/Projects/J0701.pdf>

國中-自然與生活科技課本(3 上)第 4 章 電流、電壓與歐姆定律

TOKEN 碳模電阻器規格及尺寸圖

TOKEN <http://www.token.com.tw/big5/resistors/resistors-color-code.htm>

【評語】 030103

電阻量測為現代科技元件與應用的重要議題之一，所以本實驗具應用科技的重要元件。不過在電阻量測的過程中，應再加強正確性與嚴謹度。