

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080117

碳為觀阻墨名其妙

—碳究石墨線的各種導電特性

學校名稱：臺中市北區私立育仁國民小學

作者：	指導老師：
小四 吳承曄	李人傑
小五 陳冠維	紀良穎
小四 朱安業	
小五 陳治仲	
小五 王詠萱	
小四 陳冠融	

關鍵詞：石墨、電阻

「碳」為觀止—探究石墨線的導電特性

摘要

本研究從四年級上學期自然與生活科技領域中「燈泡亮了」的單元出發，想找出影響「石墨線」導電特性的因素。探究各種特性發生的原因，最後歸納出各種原因對應的因素。

我們發現用鉛筆畫出的石墨線的長度、厚度與硬度都會影響石墨線的導電性，也發現畫線用的力道不同也會影響導電性。因此我們設計了壓力筆，使每一筆的用力程度相等。最後歸納出影響導電性的原因。我們利用一年的時間完成「石墨導電性」研究，發現這個研究是既有趣又有創意的，值得我們付出時間、及耐心去探索。

壹、研究動機

在四年級燈泡亮了的實驗中，我們欲製作神奇的 Drawdio 導電音樂玩具，用它產生的聲音來「聽聽看」串並聯電路的聲音有什麼不同，又想到在 99 年有兩位科學家因對碳做了深入的研究，因而得諾貝爾獎，其中石墨有導電性這個結果引起了我們的好奇心，究竟石墨的導電度還有什麼神秘的特性等待我們去發掘呢？影響它導電度的因素有那些呢？為了解開我們心中的疑惑，決定利用自製的導電音樂玩具對碳製鉛筆蕊畫出石墨線導電特性做一番研究，希望能由此找出石墨線如何導電、導電的特性及石墨線的長度、厚薄等因素間的關係，以及其他可能的新發現。

貳、研究目的

- 一、探討不同硬度鉛筆石墨線的導電度
- 二、探討不同長度石墨線的導電度
- 三、探討不同厚度石墨線的導電度。
- 四、探討石墨線的硬度、長度、厚度與燈泡串並聯的相關情形。
- 五、石墨線電阻的應用。

參、研究設備及器材

- 一、材料：4H~6B 硬度鉛筆、紙張、彈簧、螢光筆。
- 二、器材與工具：電子秤、Drawdio 電阻測試玩具、三用電表、自製壓力筆、直尺。
- 三、軟體：AudioSpectrumMonitor(android 軟體)、Origin 9.0 軟體。

Drawdio 工具製作

我們在網路上發現了一個可以測量電阻的工具，只要用探測針的兩端接觸物品，就可以讓我們「聽」見此物品的電阻值，所以我們在網路上查尋了製作的方法，希望我們也可以秉持科學的精神自己動手做一台，當作我們研究的工具，我們參考 Drawdio 發明者的資料，發現作者是一位麻省理工學院的學生，也把製作方法公佈在網站中。我們找到了一個十分複雜的電路圖及上面滿是一些我們不了解的符號，如下圖 3-1-1。

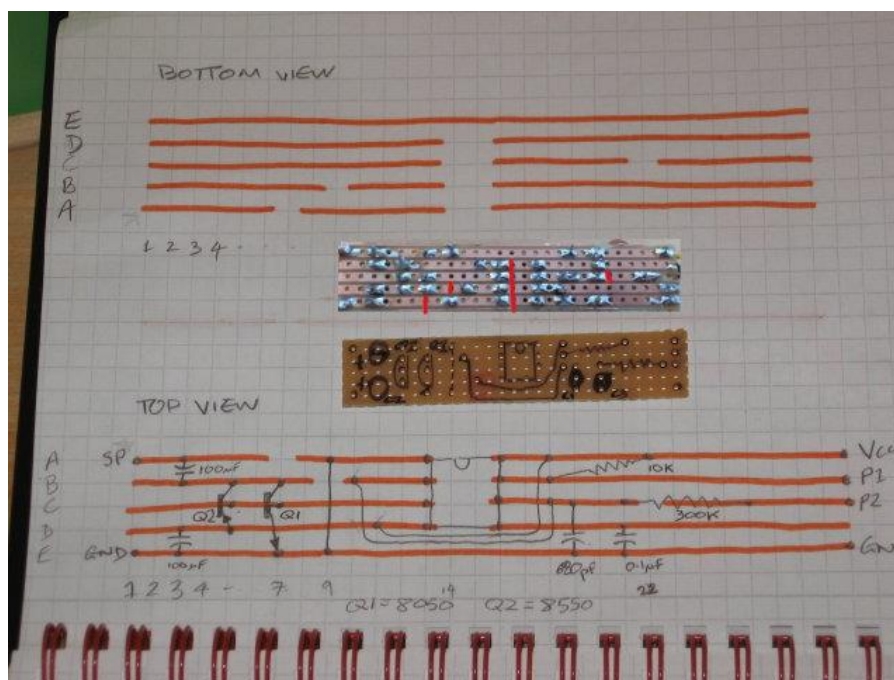


圖 3-1-1 Drawdio 製作電路圖

(取自：<http://www.2ne1.com/index.php/diy-hacks/drawdio/>)

作者也公布了詳細的作法供想自己製作的小朋友參考，參考圖 3-1-2 如下

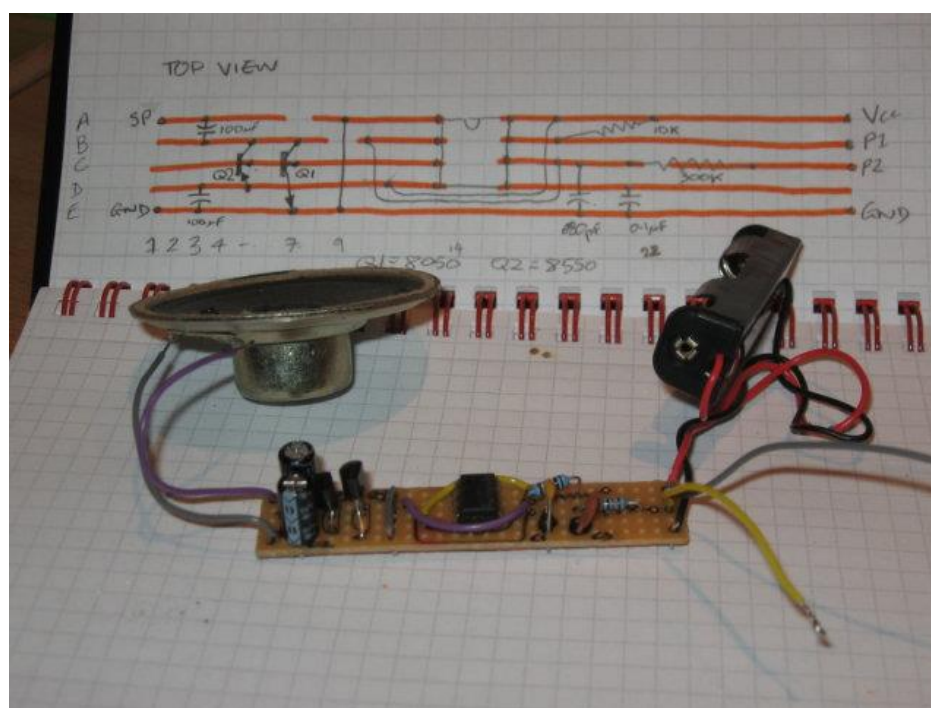


圖 3-1-2 Drawdio 製作完成圖

(取自：<http://www.2ne1.com/index.php/diy-hacks/drawdio/>)

帶著這些資料，我們詢問老師應該如何製作，老師建議我們找電子街的叔叔給我們一些建議。另外我們也參考了一位生物老師的網站，他也製作了相同的工具來偵測植物的電阻值。

就這樣我們帶著這些材料表及電路圖，請爸媽利用假日的時間，陪同我們去電子街請教叔叔教導如何製作一台屬於自己的 Drawdio。

到了電子街，我們拿著圖找店家詢問。我們進了一間店，問櫃台的姐姐是否有圖中的材料，她很有耐心的指引我們方向，並且幫我們把東西都找齊了。她好心的跟我們說，只要照著圖上的做，應該就可以完成製作！這也讓我們 **Drawdio** 尋寶之旅畫下了尾聲。材料如下圖 3-1-3。

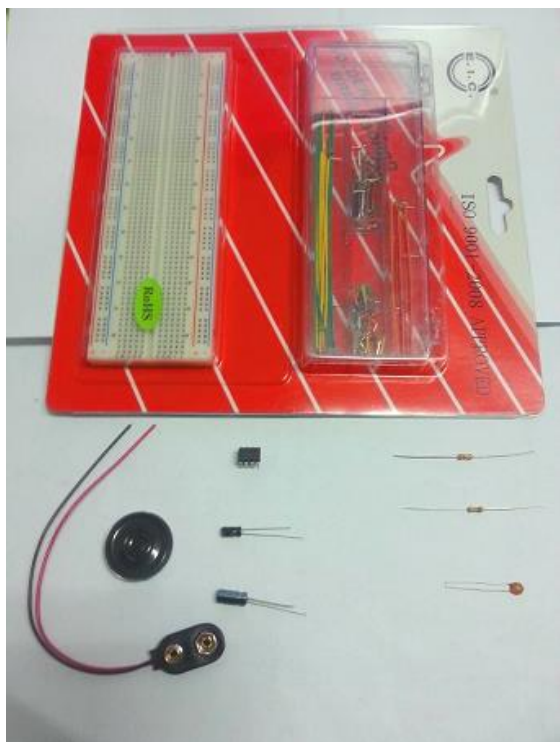


圖 3-1-3 Drawdio 材料圖



圖 3-1-4 Drawdio 製作情形

回到學校之後，我們迫不及待的依照說明書開始製作，在製作過程中常發生錯誤，於是我們請老師幫忙檢查線路。經過多次的調整後，終於完成了我們的電阻測量工具 **Drawdio**，它可以在電阻小的時候發出高音，電阻大的時候發出低音，再配合 **AudioSpectrumMonitor** 軟體可以測出 **Drawdio** 發出聲音的頻率。希望 **Drawdio** 可以讓我們的研究之路一路順暢，完成情形及測試情形如下圖 3-1-5、3-1-6。

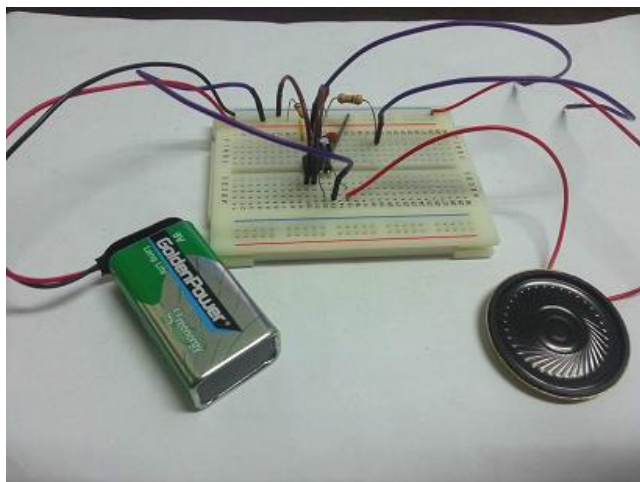


圖 3-1-5 Drawdio 電阻測試器完成圖

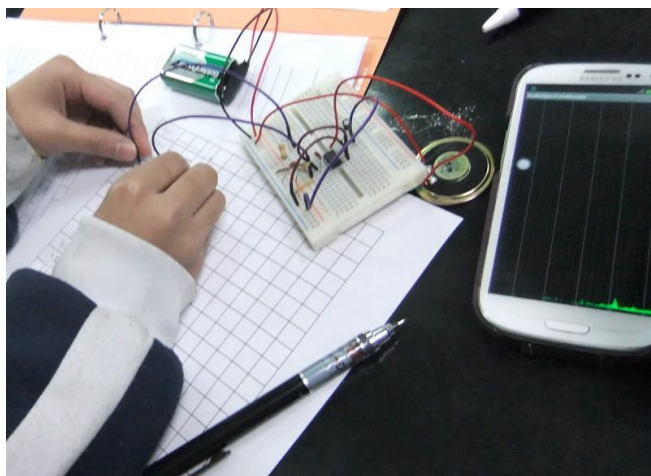


圖 3-1-6 Drawdio 測試情形

肆、研究過程及方法

本研究分別以下列九個實驗主題來研究。

實驗一、石墨線壓力控制

為了要控制每一筆下筆的力道，我們利用彈簧來製作，因為彈簧秤就是利用相同重量的物品放在上面，在彈性限度內可以產生相同的壓縮量，所以我們只要使每一筆畫線彈簧的壓縮量相同，就可以保持相同的壓力進行畫線。下圖 4-1-1 為壓力筆設計草圖，圖 4-1-2 為壓力筆實作成果照片。



圖 4-1-1 壓力筆設計草圖



圖 4-1-2 壓力筆實做成果

完成壓力筆製作後，需要記錄相對的壓縮量及對應的壓力，實作方式如下圖 4-1-3、4-1-4，將壓力筆放於電子秤或彈簧秤上記錄壓力，並於筆上繪製壓縮量之記號，以便觀察及操作。

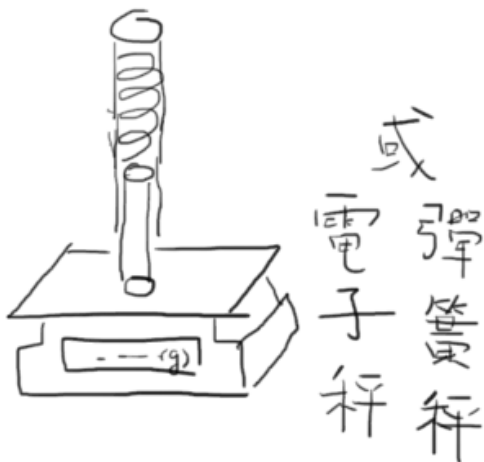


圖 4-1-3 壓力筆壓力測試實驗設計圖



圖 4-1-4 壓力筆壓力測試實驗操作圖

完成測試後，將繪製之壓力對照壓縮量記錄如下表 4-1-1

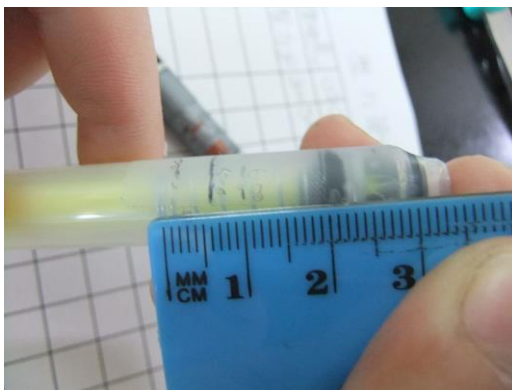


圖 4-1-5 壓力對照表製作情形

表 4-1-1 壓縮量與壓力筆對照表

壓力(g)	300	500	600
壓縮量(cm)	0.2	0.7	0.9

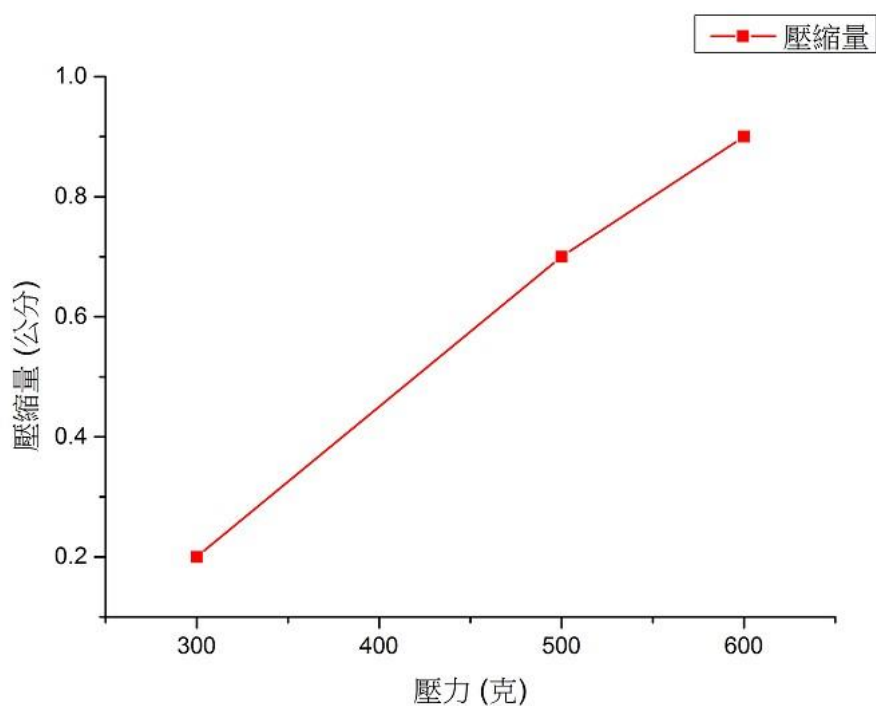


圖 4-1-6 壓縮量與壓力筆關係圖

由上圖可以發現壓縮量與壓力成正比關係，與我們的預測結果相符，所以我們可以在操作時控制壓縮量使其固定，以得到相同的壓力，來進行實驗中的畫線動作，並控制下筆的力道。

實驗二、不同鉛筆等級石墨線

實驗前假設愈軟的鉛筆畫出的石墨線愈深，導電特性愈好，電阻值愈低。我們將實驗設計如下：使用不同規格的鉛筆於相同位置繪製五次、十次、十五次，並比較其電阻值，繪製圖如下圖 4-2-1。



圖 4-2-1 不同鉛筆硬度比較繪製圖



圖 4-2-2 不同鉛筆硬度比較操作情形(一)



圖 4-2-3 不同鉛筆硬度比較操作情形(二)

下表 4-2-1、4-2-2 及 4-2-3 鉛筆硬度及頻率值對照表為鉛筆分別繪製五次、十次及十五次各 2cm 的情形，由表中資料可知鉛筆硬度愈高畫出來的石墨線就會愈細，掉落的石墨粉量就會愈少，電阻值愈高。

表 4-2-1 鉛筆硬度及頻率對照表(長度 2cm-畫五次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	F	HB	H	2H
頻率(Hz)	2415	2258	2200	2000	1333	1300	1200	1183	305	300

表 4-2-2 鉛筆硬度及頻率對照表(長度 2cm -畫十次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	F	HB	H
頻率(Hz)	2431	2213	2196	1963	1780	1613	1592	525	295

表 4-2-3 鉛筆硬度及頻率對照表(長度 2cm -畫十五次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	F	H	2H	3H	4H
頻率(Hz)	2834	2514	2683	2487	2039	1523	1244	1964	1523	1398	570	278

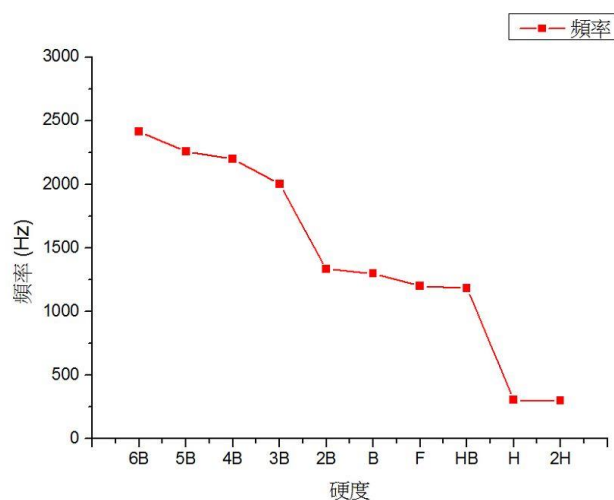


圖 4-2-4 鉛筆硬度及頻率關係圖(長度 2cm-畫五次)

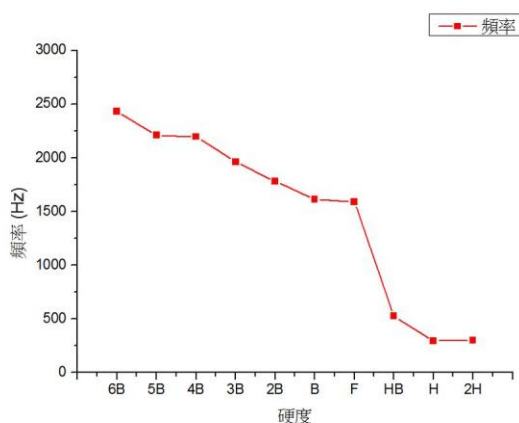


圖 4-2-5 鉛筆硬度及頻率關係圖
(長度 2cm -畫十次)

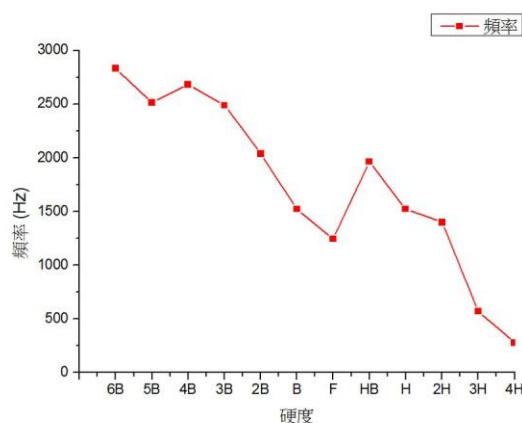


圖 4-2-6 鉛筆硬度及頻率關係圖
(長度 2cm -畫十五次)

由對照表及壓縮量與壓力筆關係圖可以得知，除了十五次的 4B、F、H、2H 之外，鉛筆愈硬則頻率愈低，電阻值應較大。雖然我們可以用耳朵感覺配合頻率測試軟體得知電阻大小，但我們仍需對應正確之電阻數值，於是我們藉由三用電表進行更進一步的測試，結果如下表 4-2-4、4-2-5、4-2-6。

表 4-2-4 鉛筆硬度及電阻值對照表(長度 2cm -畫五次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	F	HB	H	2H
電阻值(Ω)	46400	53200	54700	73600	100000	105000	113000	135000	2075000	14300000

表 4-2-5 鉛筆硬度及電阻值對照表(長度 2cm -畫十次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	F	HB	H
電阻值(Ω)	42000	74000	95000	90000	130000	151500	470000	1280000	28000000

表 4-2-6 鉛筆硬度及電阻值對照表(長度 2cm -畫十五次)

硬度	6B	5B	4B	3B	2B	B	HB	F	H
電阻值(Ω)	39100	44100	40300	53100	84800	11500	24200	85000	1195000

硬度	2H	3H	4H
電阻值(Ω)	14200000	25500000	97400000

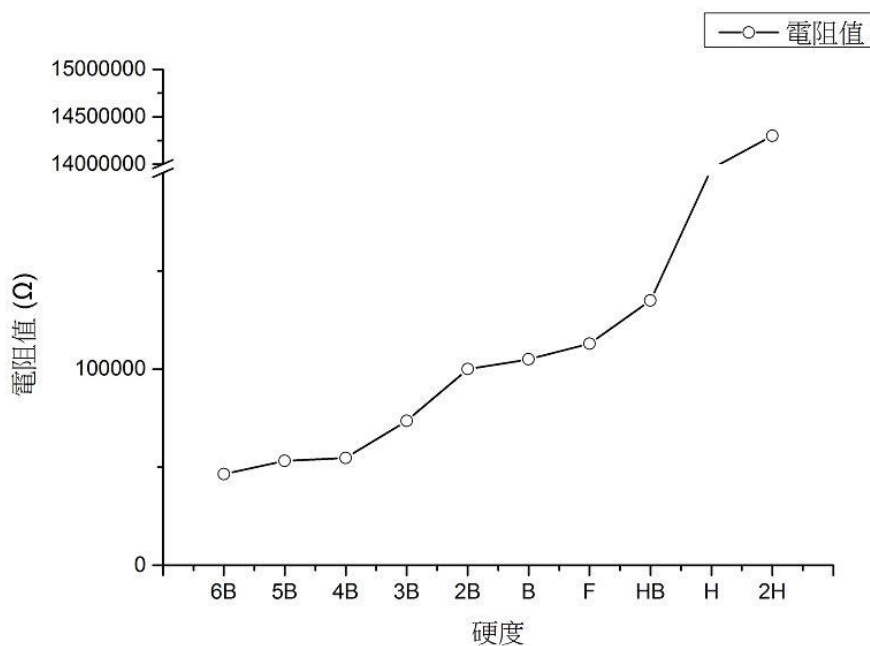


圖 4-2-7 鉛筆硬度及電阻值關係圖(長度 2cm -畫五次)

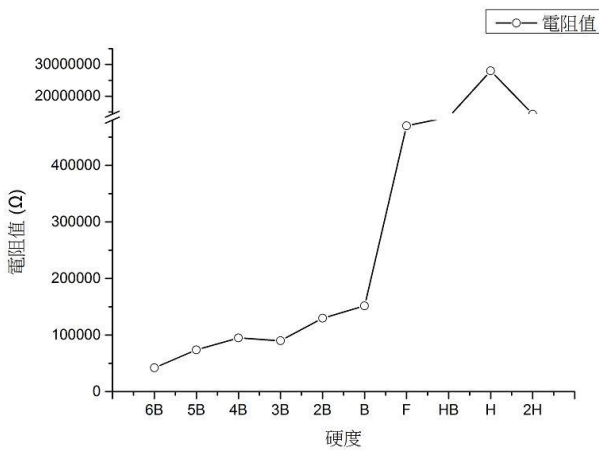


圖 4-2-8 鉛筆硬度及電阻值關係圖
(長度 2cm - 畫十次)

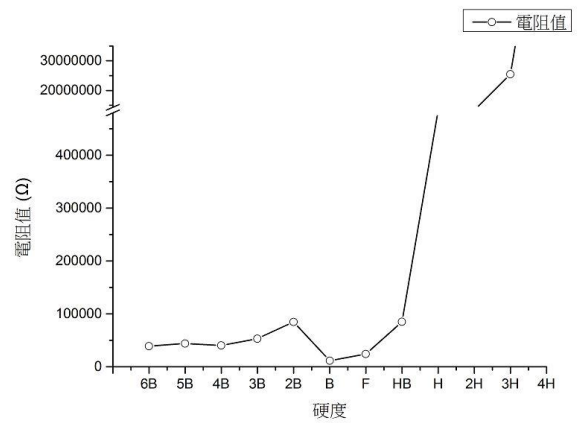


圖 4-2-9 鉛筆硬度及電阻值關係圖
(長度 2cm - 畫十五次)

由圖 4-2-7、4-2-8、4-2-9 可得知，除了畫十五次的圖形在 B、HB 有下降之外，硬度愈高的鉛筆繪製出的石墨線電阻值較高，與 Drawdio 測試之結果相符。我們將硬度對應電阻值及頻率(座標軸反轉)測試的資料用不同的座標維度繪製如下圖 4-2-10 至 4-2-12。

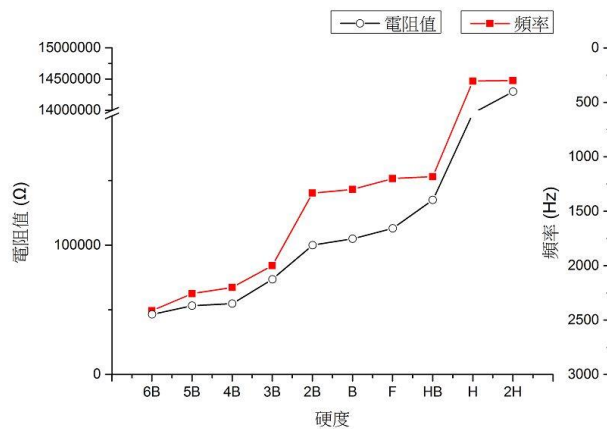


圖 4-2-10 鉛筆硬度對應頻率及電阻值關係圖
(長度 2cm - 畫五次)

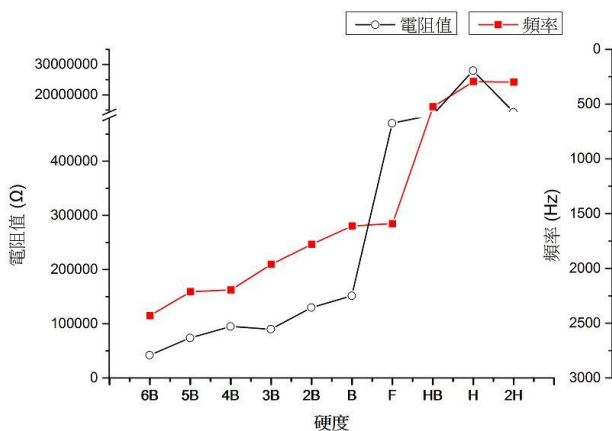


圖 4-2-11 鉛筆硬度對應頻率及電阻值關係圖
(長度 2cm - 畫十次)

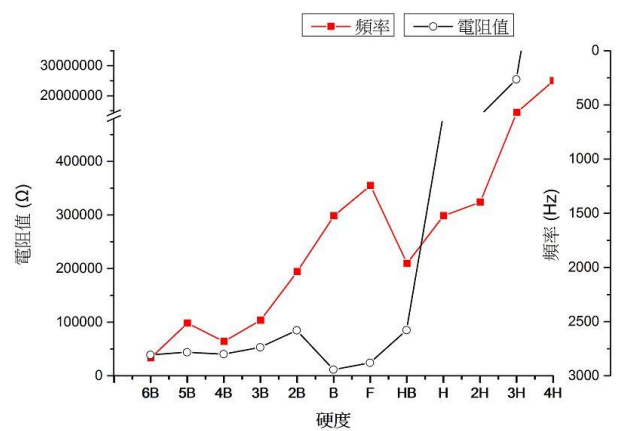


圖 4-2-12 鉛筆硬度對應頻率及電阻值關係圖
(長度 2cm - 畫十五次)

由圖 4-2-10、4-2-11、4-2-12 三個圖的趨勢，可將頻率與電阻值對應，觀察出硬度愈高、則繪製出的線段有較高電阻值，並且電阻值與 Drawdio 測得的頻率有反比關係。即愈軟的鉛筆，附著在紙上的石墨較多，所以可推知散落在紙上的石墨量愈多，則導電性愈好，電阻值愈低。至於十五次的結果與預期有些差別，推測可能與畫線的重合程度有關係。

實驗三、不同長度石墨線如何影響導電度

由實驗二我們瞭解了石墨線的散落數量多寡會影響導電度，若石墨的數量愈多則導電度愈佳、電阻值愈小。實驗三我們將更進一步測量不同長度的石墨線，是否符合實驗二預測之特性，畫愈長留下的石墨量愈多，導電特性愈好，電阻值愈低。

依照實驗二的結果，我們發現畫五次或十次產生的效果較好，故我們選擇畫十次來進行更進一步的長度觀察實驗。我們將硬度 6B 至 HB 的鉛筆分別畫 1 至 6 公分的長度，先用 Drawdio 分別測量頻率再用三用電表對其導電特性進行量測以做為對照，觀察其與石墨線長度的關係為何？實驗情形如下圖 4-3-1 實驗結果如下表 4-3-1。

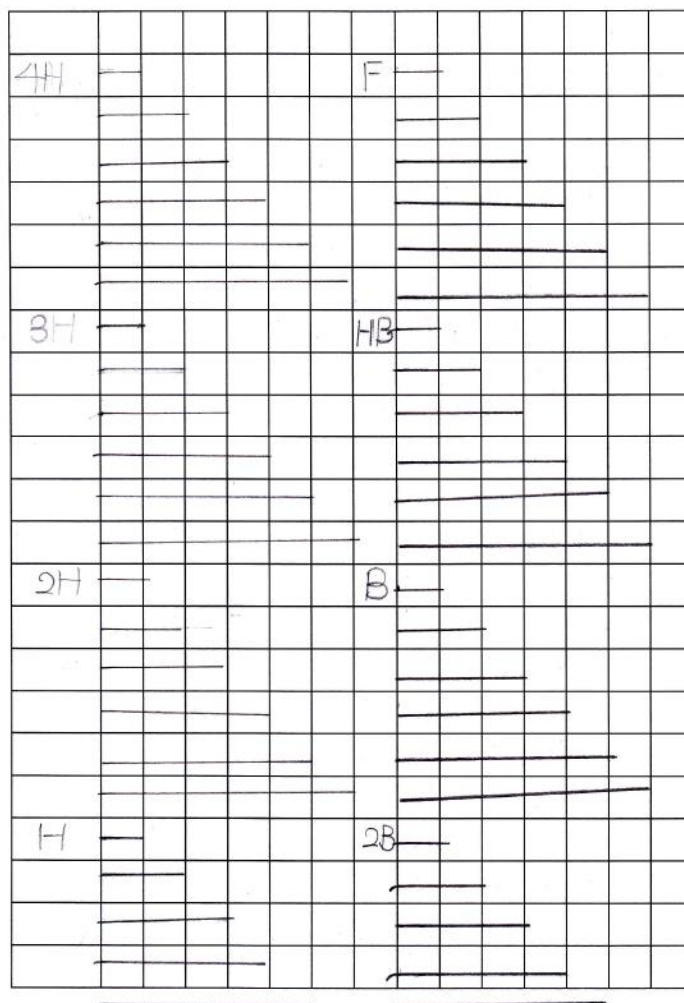


圖 4-3-1 石墨線長度與導電度實驗情形

表 4-3-1 鉛筆長度對 Drawdio 頻率及電阻值對照表

硬度\公分	1	2	3	4	5	6
6B 電阻	5280	11140	34700	42600	58900	70000
6B 頻率	3150	3085	2763	2600	2482	1952
5B 電阻	36600	37400	39200	44100	51400	87200
5B 頻率	2733	2746	2712	2571	2523	1843
4B 電阻	16950	18200	22760	48400	44000	51600
4B 頻率	2984	2954	2856	2573	2582	2554
3B 電阻	34200	104700	114500	219200	560000	180600
3B 頻率	2768	1750	1670	1531	1081	1600
2B 電阻	9880	16710	26190	55000	51100	128200
2B 頻率	3150	2982	2792	2510	2608	1634
B 電阻	12560	19120	22400	35000	47000	200800
B 頻率	3150	2913	2855	2748	2587	1523
F 電阻	14000	36600	34200	52100	87100	105300
F 頻率	3052	2700	2783	2623	1852	1733
HB 電阻	16500	26750	46000	50000	68000	341900
HB 頻率	1623	2732	2611	2593	1983	1652

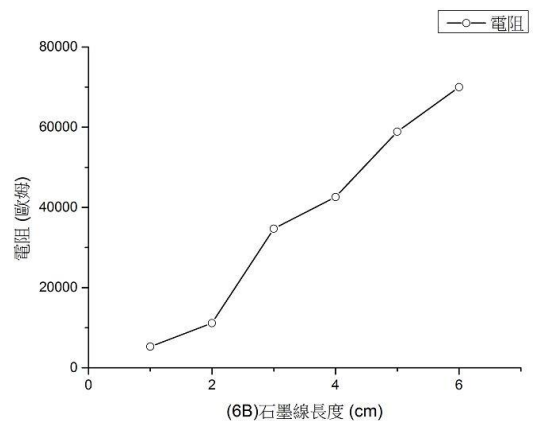
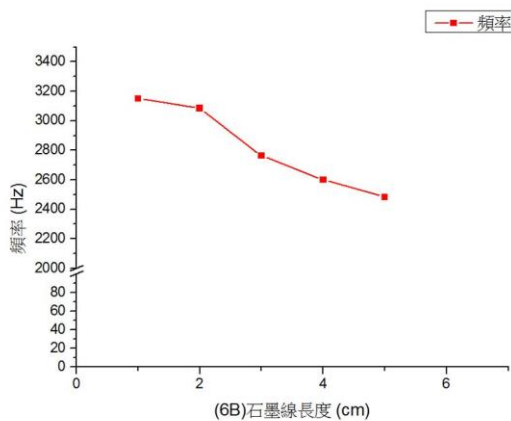


圖 4-3-2 6B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)關係圖 圖 4-3-3 6B 石墨線長度(cm)對電阻(Ω)關係圖

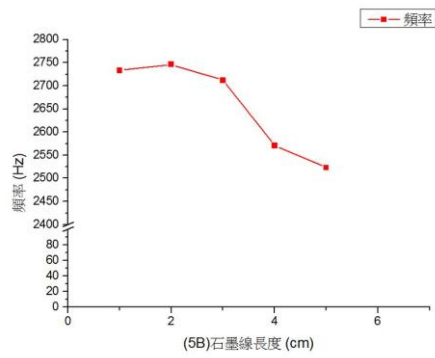


圖 4-3-4 5B 石墨線長度(cm)對應頻率(Hz)關係圖

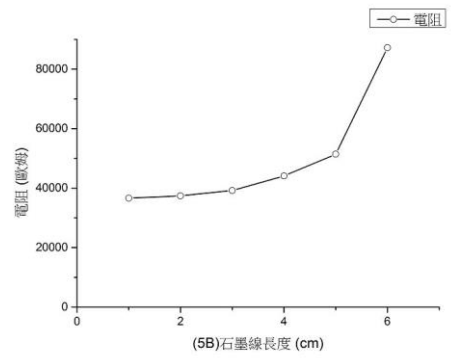


圖 4-3-5 5B 石墨線長度(cm)對應電阻(Ω)關係圖

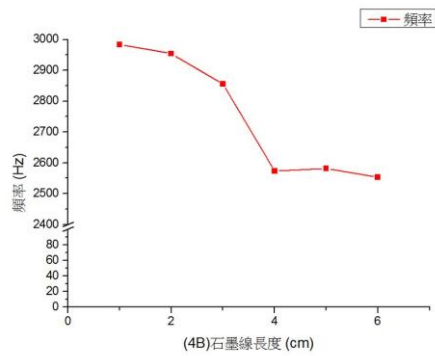


圖 4-3-6 4B 石墨線長度(cm)對應頻率(Hz)關係圖

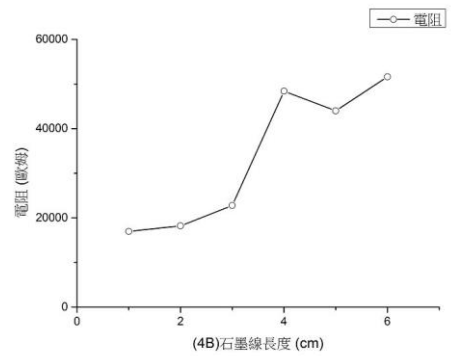


圖 4-3-7 4B 石墨線長度(cm)對應電阻(Ω)關係圖

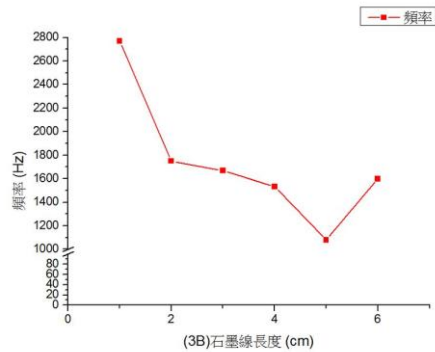


圖 4-3-8 3B 石墨線長度(cm)對應頻率(Hz)關係圖

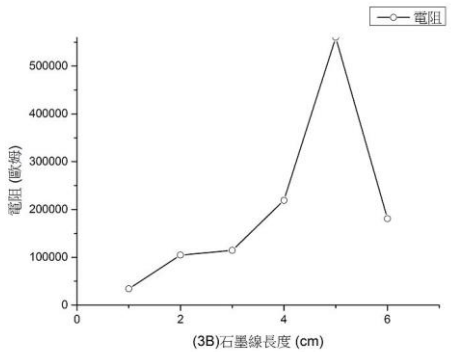


圖 4-3-9 3B 石墨線長度(cm)對應電阻(Ω)關係圖

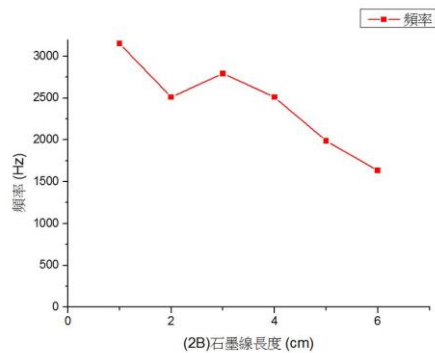


圖 4-3-10 2B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)關係圖

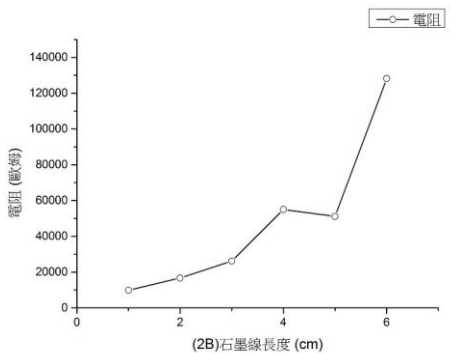


圖 4-3-11 2B 石墨線長度(cm)對電阻(Ω)關係圖

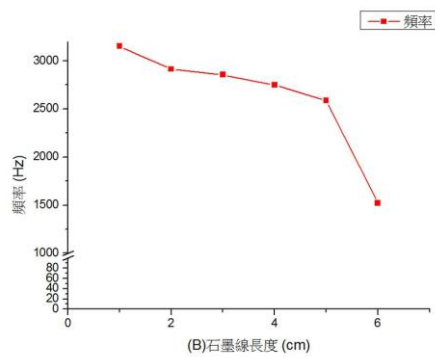


圖 4-3-12 B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)關係圖

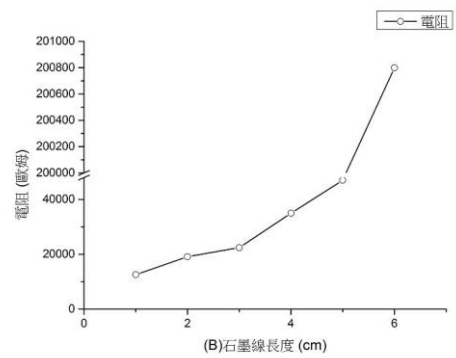


圖 4-3-13 B 石墨線長度(cm)對電阻(Ω)關係圖

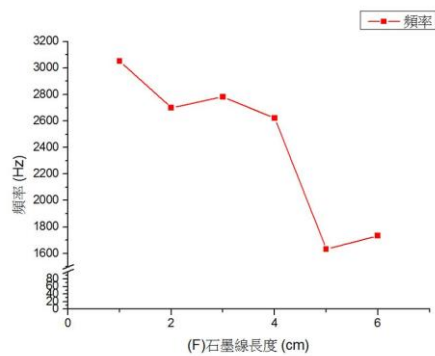


圖 4-3-14 F 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)關係圖

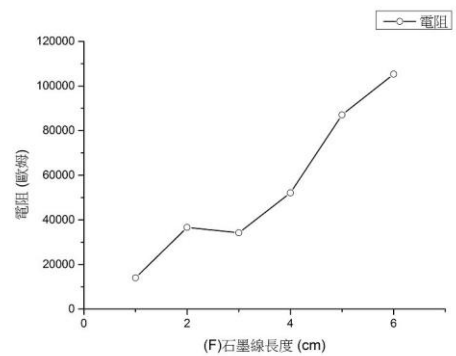


圖 4-3-15 F 石墨線長度(cm)對電阻(Ω)關係圖

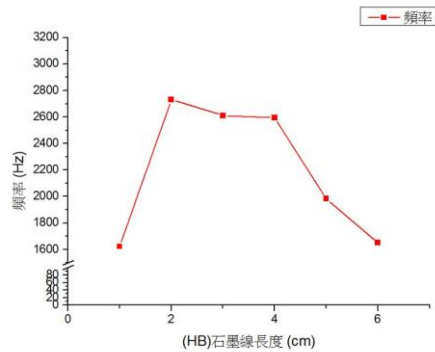


圖 4-3-16 HB 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)關係圖

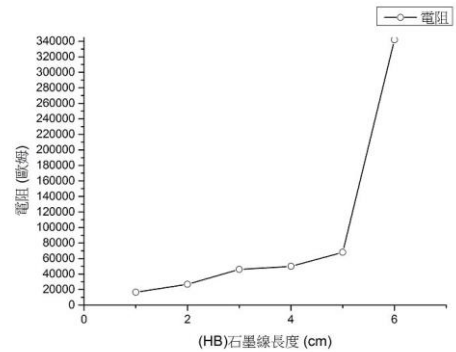


圖 4-3-17 HB 石墨線長度(cm)對電阻(Ω)關係圖

由表 4-3-1 及圖 4-3-1 至圖 4-3-17 可以得知，除了 4-3-5、4-3-6、4-3-9、4-3-10 四圖之外，大概可以看出長度愈長則頻率愈低，電阻值愈高，是一個成正比的走勢。於是我們再將頻率座標軸倒置及電阻值組合觀察，情形紀錄於以下圖 4-3-17 至 4-3-24 中。

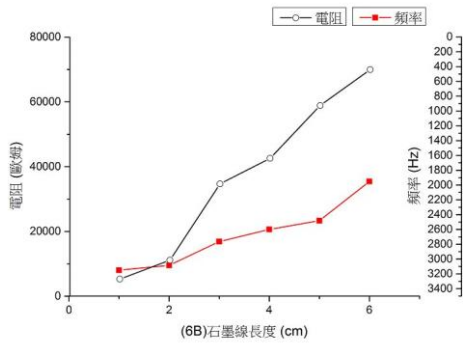


圖 4-3-17 6B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

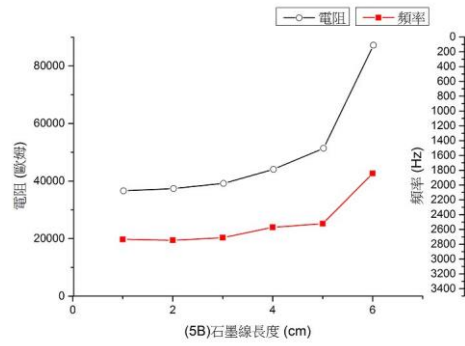


圖 4-3-18 5B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

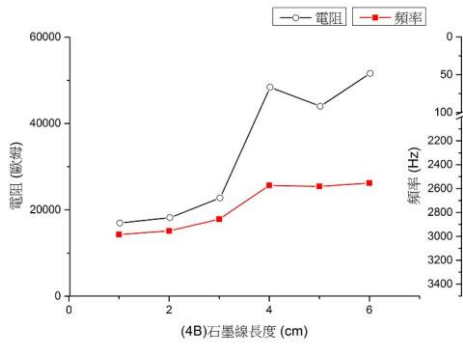


圖 4-3-19 4B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

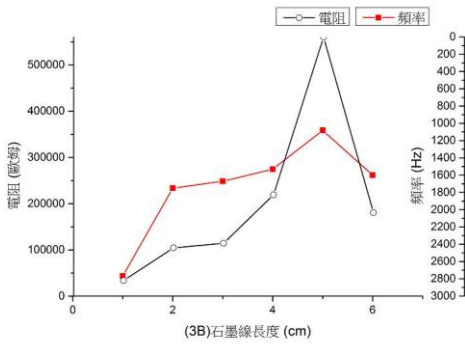


圖 4-3-20 3B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

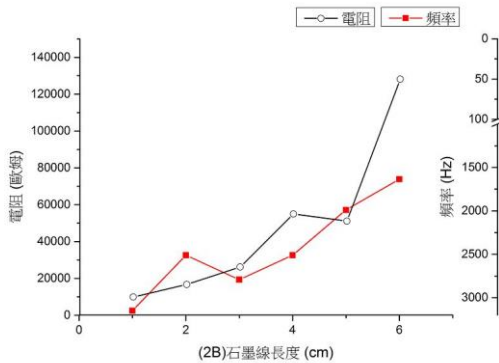


圖 4-3-21 2B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

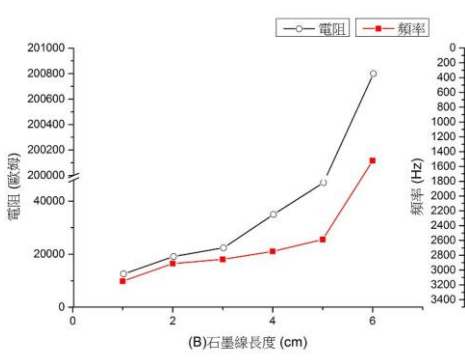


圖 4-3-22 B 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

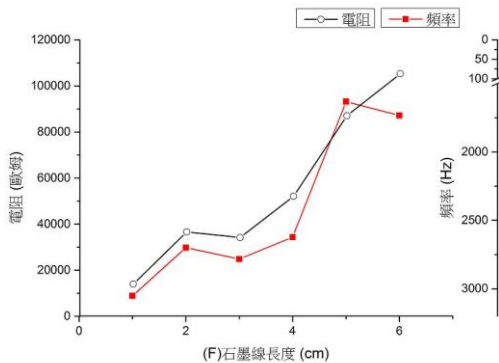


圖 4-3-23 F 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

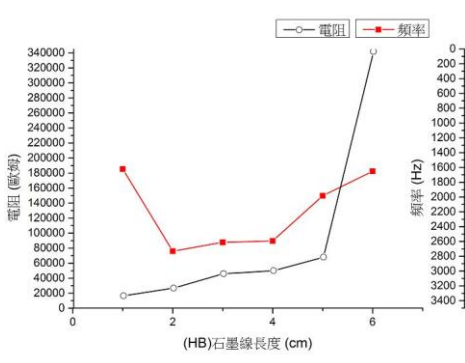


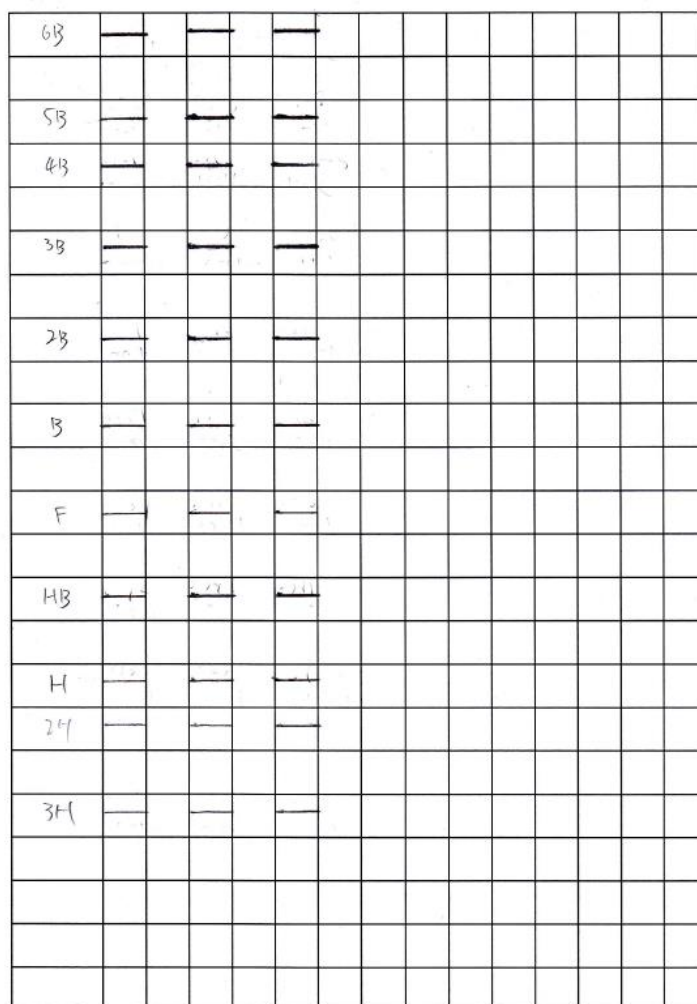
圖 4-3-24 HB 石墨線長度(cm)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

由以上的關係圖可以得知，長度愈長導電度較差，也就是長度愈長，電阻值愈高，與預期結果相反，但為何其中留下的石墨愈多，導電度竟然愈差呢？於是我們在實驗五做更進一步的討論。

實驗四、不同厚度的石墨線如何影響導電度

由實驗二，我們瞭解了石墨線的散落數量多寡會影響導電度，若石墨的數量愈多則導電度愈佳、電阻值愈小。在實驗四我們將更進一步測量不同厚度的石墨線，是否符合實驗二預測之特性，畫愈多次留下的石墨量愈多，導電特性愈好，電阻值愈低。

我們分別將各種硬度的鉛筆繪製五次、十次、十五次各一公分，實驗情形如下圖 4-4-1。先用 Drawdio 分別測量頻率再三用電表對其導電特性進行量測作為對照，研究結果資料整理如圖 4-4-2 至 4-4-17，再將頻率座標軸倒置後與電阻對照如圖 4-4-18 至 4-4-25。



↑ ↑ ↑
五次 十次 十五次
圖 4-4-1 石墨線厚度實驗情形圖

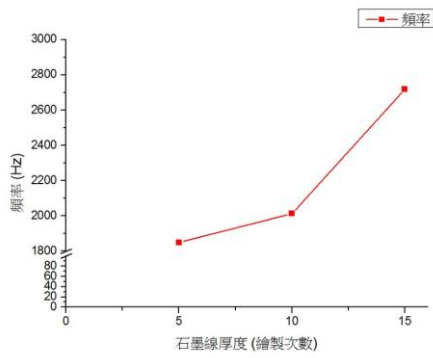


圖 4-4-2 6B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

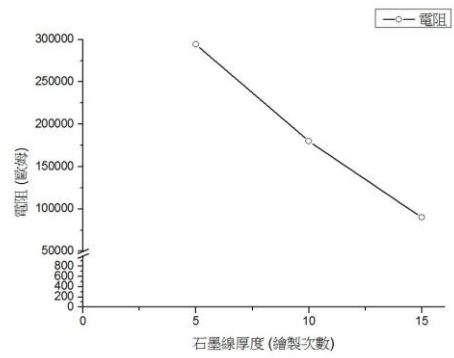


圖 4-4-3 6B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

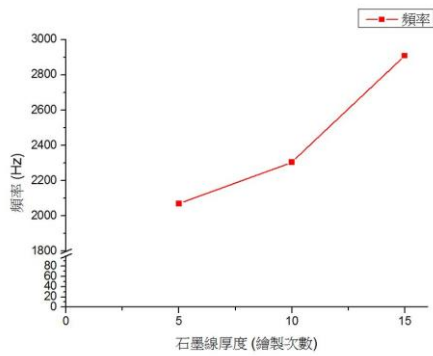


圖 4-4-4 5B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

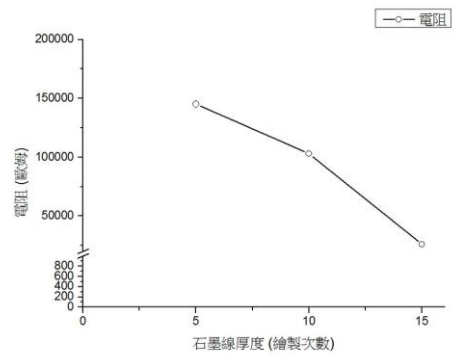


圖 4-4-5 5B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

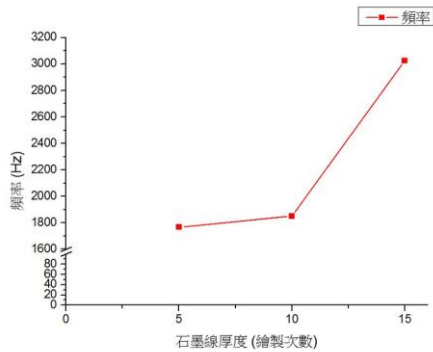


圖 4-4-6 4B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

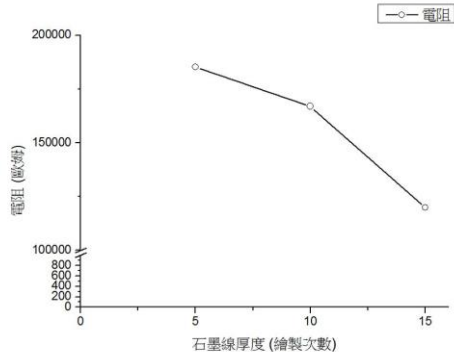


圖 4-4-7 4B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

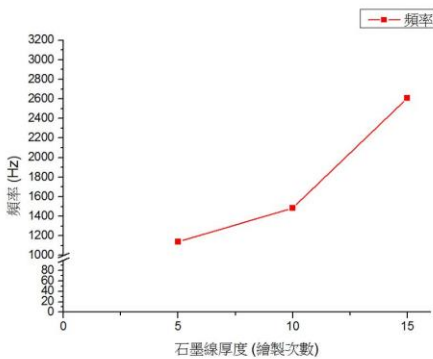


圖 4-4-8 3B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

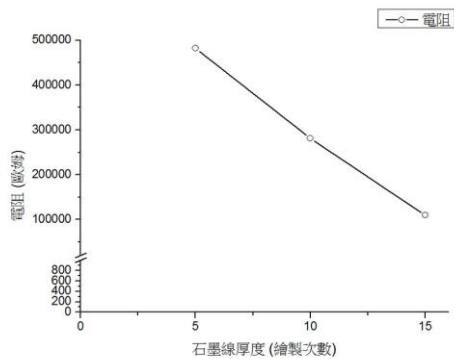


圖 4-4-9 3B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

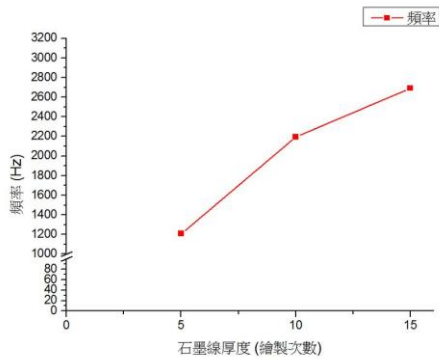


圖 4-4-10 2B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

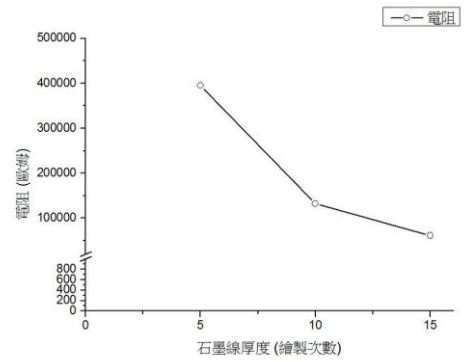


圖 4-4-11 2B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

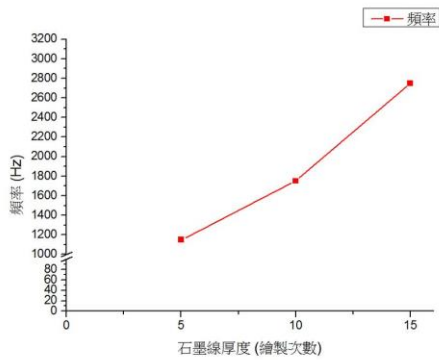


圖 4-4-12 B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

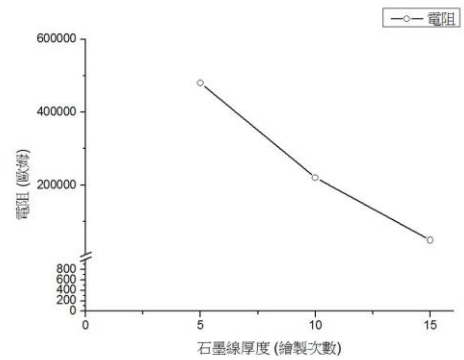


圖 4-4-13 B 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

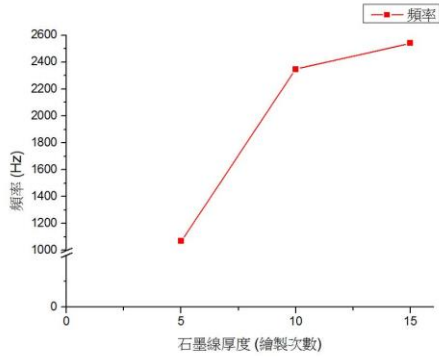


圖 4-4-14 F 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

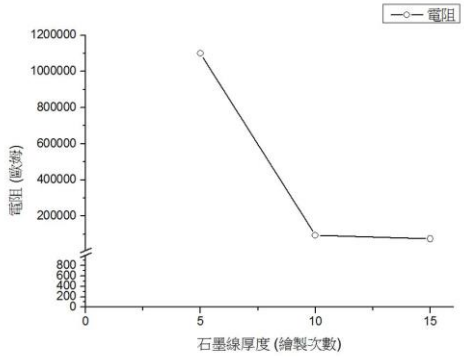


圖 4-4-15 F 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

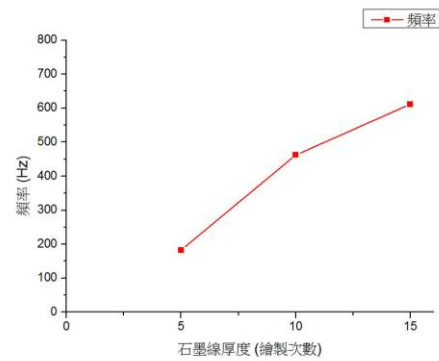


圖 4-4-16 HB 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)關係圖

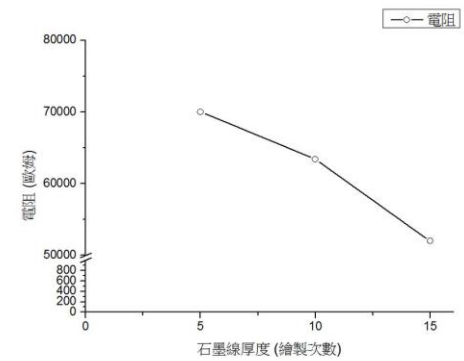


圖 4-4-17 HB 石墨線厚度(次數)對電阻(Ω)關係圖

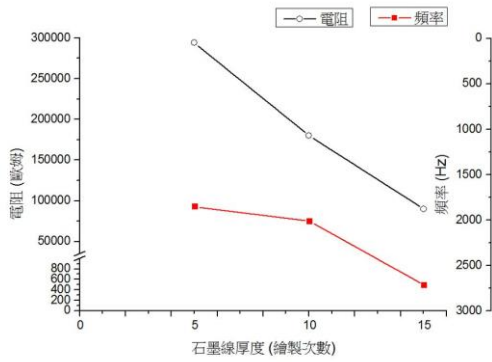


圖 4-4-18 6B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

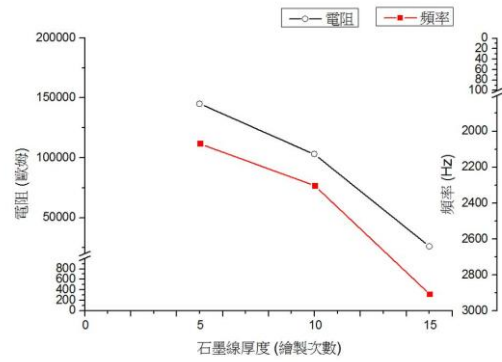


圖 4-4-19 5B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

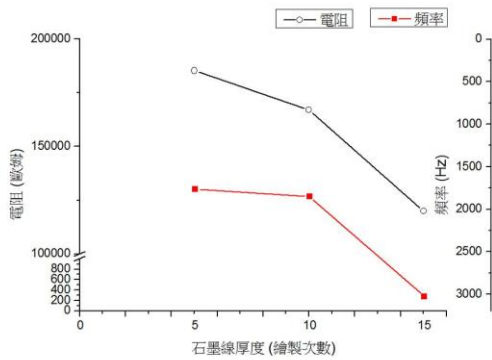


圖 4-4-20 4B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

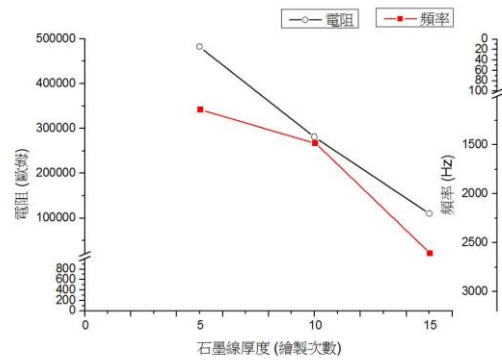


圖 4-4-21 3B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

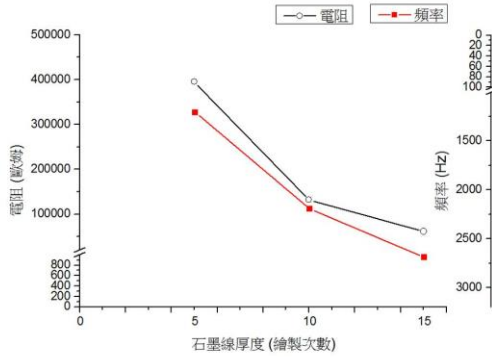


圖 4-4-22 2B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

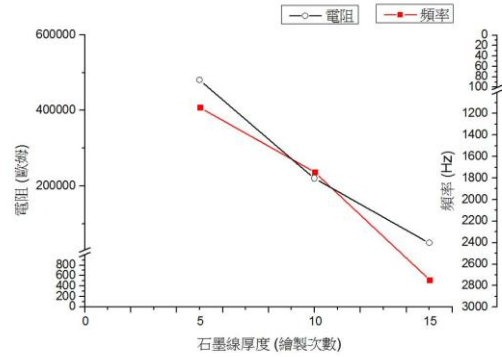


圖 4-4-23 B 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

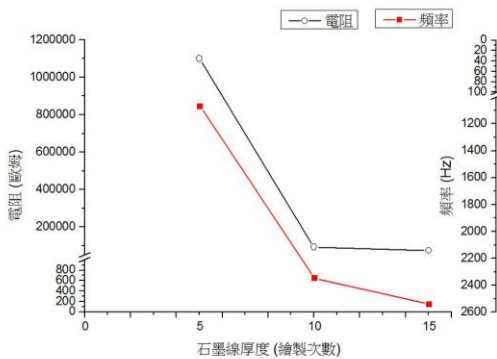


圖 4-4-24 F 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

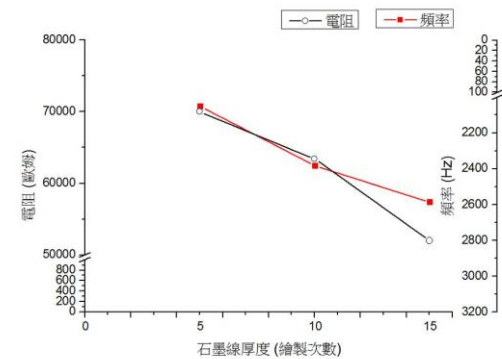


圖 4-4-25 HB 石墨線厚度(次數)對頻率(Hz)及電阻值(Ω)關係圖

由以上圖 4-4-2 至圖 4-4-25 厚度及頻率及電阻值對照關係圖，我們可以瞭解，大多數石墨線的厚度越厚，則 Drawdio 的頻率愈高，電阻值愈低。與實驗假設的石墨顏色越深電阻值越小的結果相符合。

實驗五、石墨長度與燈泡串聯情形比較

我們在實驗三發現了石墨畫的愈長，電阻值愈高，這一點與我們預想的結果不同，所以結合四年級上學期的燈泡串並聯電路來實驗看看，看是不是其中有些特性，與我們的實驗可以對應。



圖 4-5-1 一顆燈泡串聯三個電池圖

說明：電路上只有一顆燈泡
線路上的電流為 225mA
線路總電阻為 1.1 歐姆

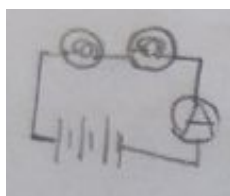


圖 4-5-2 兩顆燈泡串聯三個電池圖

說明：電路上有兩顆燈泡
線路上的電流為 210mA
線路總電阻為 2.3 歐姆

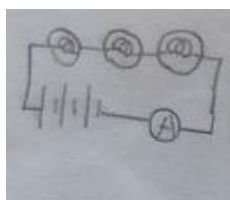


圖 4-5-3 三顆燈泡串聯三個電池圖

說明：電路上有三顆燈泡
線路上的電流為 183mA
線路總電阻為 3.5 歐姆

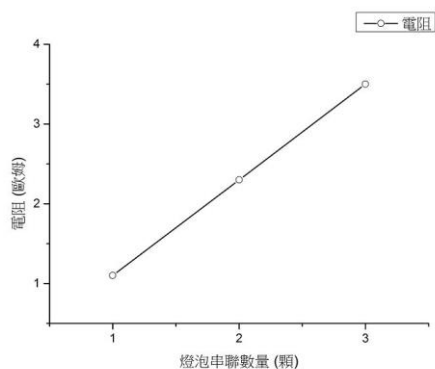


圖 4-5-4 燈泡串聯電池對應電阻圖

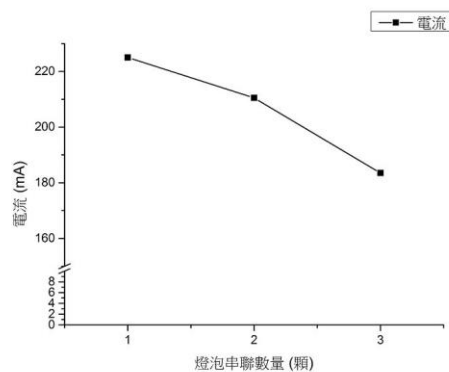


圖 4-5-5 燈泡串聯電池對應電流圖

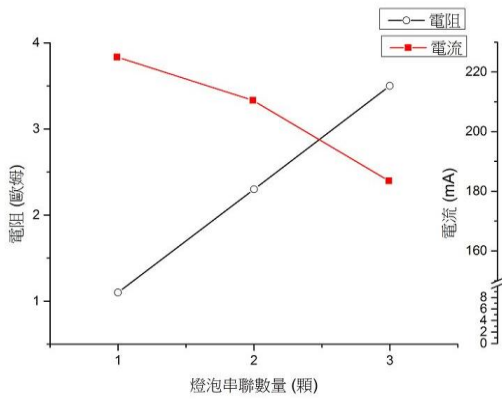


圖 4-5-6 燈泡串聯電池對應電阻及電流圖

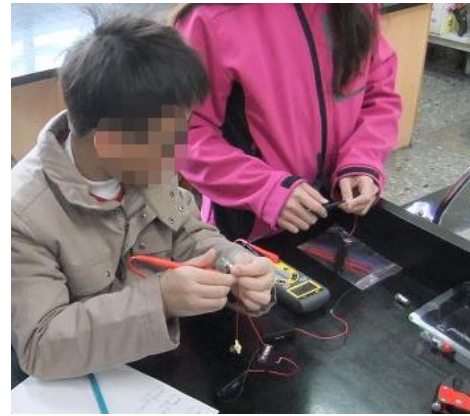


圖 4-5-7 燈泡串聯電池實驗情形

由實驗結果得知，燈泡內有電阻，所以可將燈泡視為電阻，串聯愈多則電阻值愈大。於是我們又將三個 100 歐姆的電阻串聯做了實驗進行比對，結果如下圖：

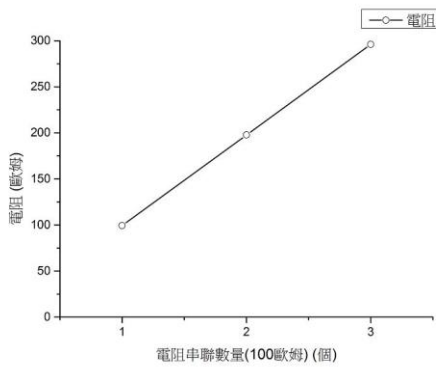


圖 4-5-8 電阻串聯電池對應電阻圖

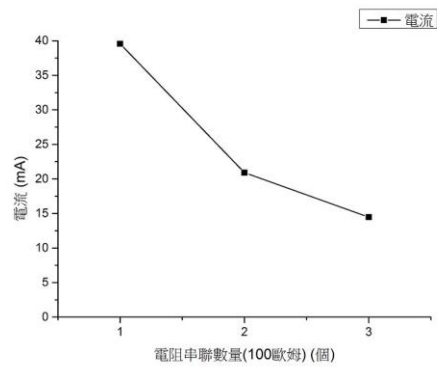


圖 4-5-9 電阻串聯電池對應電流圖

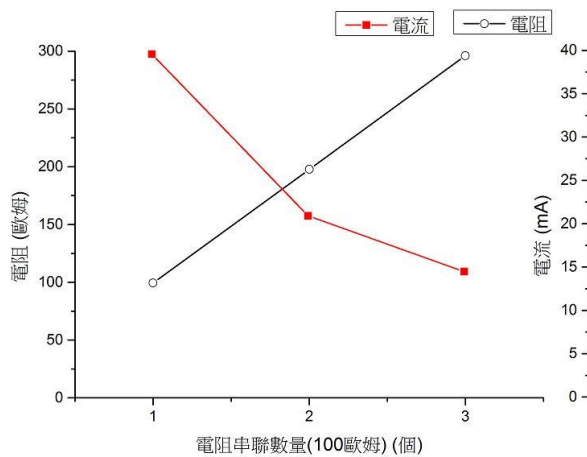


圖 4-5-1 電阻串聯電池對應電阻及電流圖

由圖 4-5-6 及 4-5-9 結果發現，燈泡及電阻串聯有相同的特性，並且電阻值是越串越大，電流則是越串越小。與實驗二的長度實驗對比後，有相似的情況。我們可以推測石墨線畫的愈長，情況相當於串聯情形。

實驗六、石墨厚度與燈泡並聯情形比較

在實驗四發現了石墨畫次數越多(越厚)，電阻值愈低，我們將實驗四的結果與四年級學過的電路並聯情況做對比，於實驗六做探討。



圖 4-6-1 一顆燈泡串電池

說明：電路上只有單一燈泡
線路上的電流為 150mA
線路總電阻為 1.1 歐姆

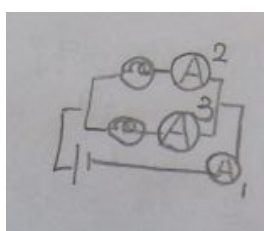


圖 4-6-2 兩顆燈泡並聯單電池

說明：電路上有兩顆燈泡並聯
線路上的電流為 220mA
線路總電阻為 0.7 歐姆

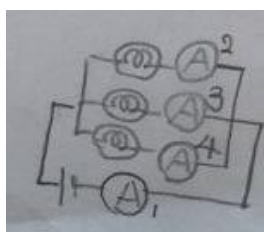


圖 4-6-3 三顆燈泡並聯單電池

說明：電路上有三顆燈泡並聯
線路上的電流為 259mA
線路總電阻為 0.5 歐姆

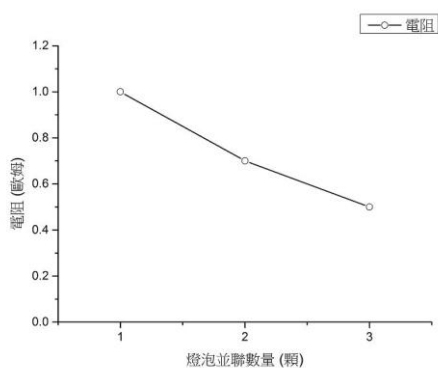


圖 4-6-4 燈泡並聯對應電阻圖

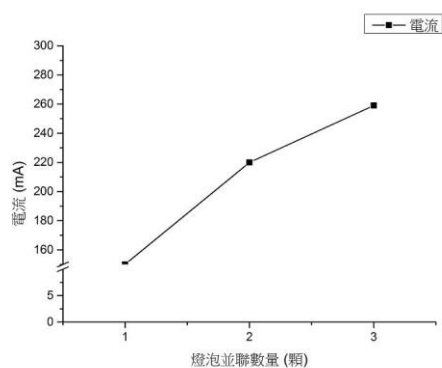


圖 4-6-5 燈泡並聯對應電流圖

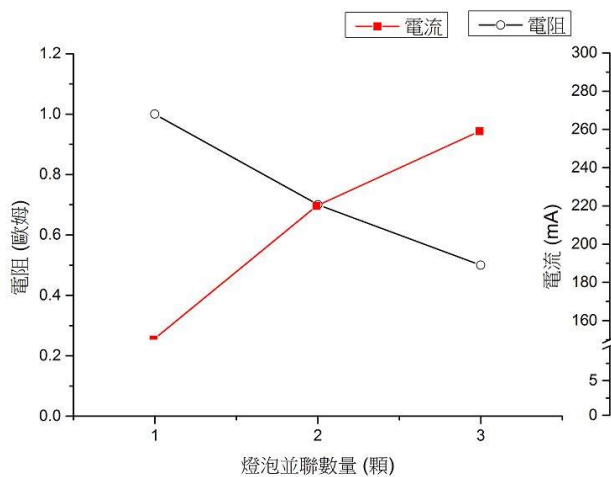


圖 4-6-7 燈泡並聯對應電流圖

由實驗結果得知，燈泡內有電阻，所以可將燈泡視為電阻。於是我們又將三個 100 歐姆的電阻並聯做了實驗進行比對，結果如下圖：

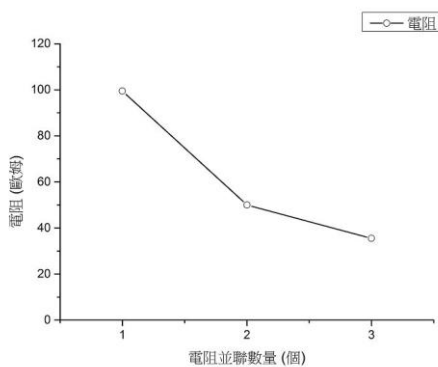


圖 4-6-8 電阻並聯對應電阻圖

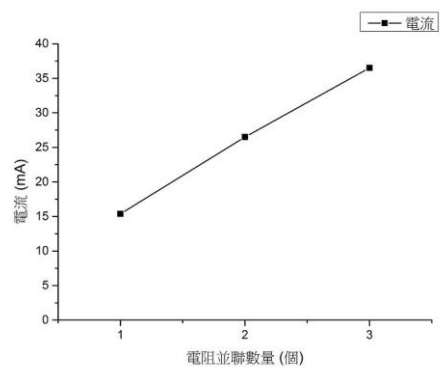


圖 4-6-9 電阻並聯對應電流圖

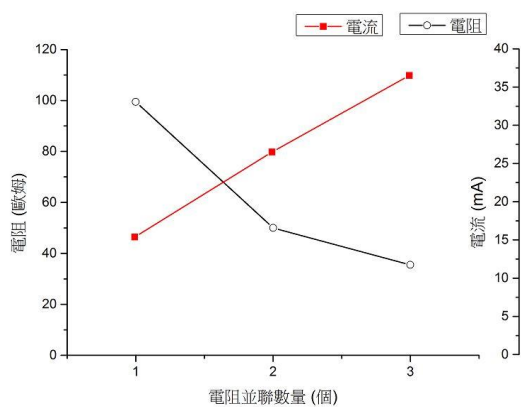


圖 4-6-10 電阻並聯對應電阻及電流圖

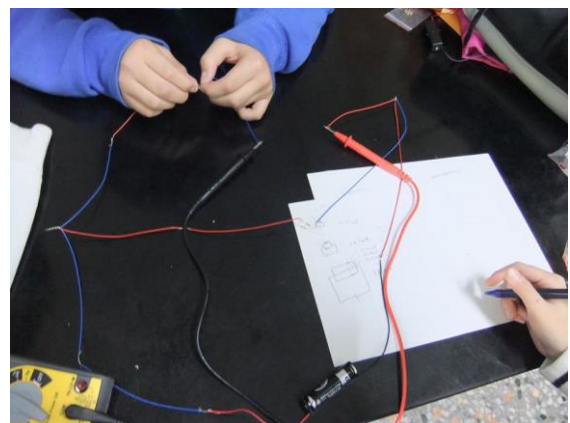


圖 4-6-11 電阻並聯實驗情形

由實驗四及本實驗的結果我們可以瞭解，燈泡並聯可以對比石墨線厚度的增加，所以我們要降低電阻可以將燈泡並聯或是將石墨線畫得較厚、較深些，如此我們就可以獲得較低的電阻值。

實驗七、探討石墨線並聯情形

由實驗四及實驗六，我們探討了石墨線厚度及燈泡並聯的問題，發現石墨線厚度增加後導電性有變好的趨勢。因此我們在本實驗將石墨線進行真正的並聯測試，觀察石墨線所繪製的並聯圖形及其導電特性。

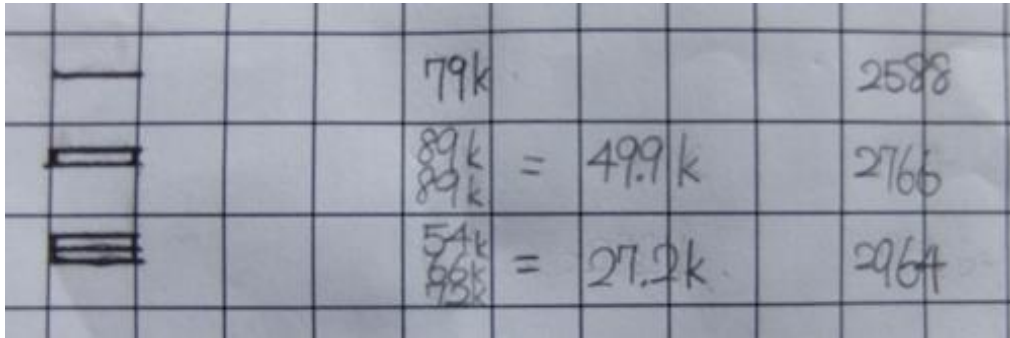


圖 4-7-1 石墨線並聯實驗圖

我們分別畫一段、兩段及三段的線條，分別用 Drawdio 測量頻率再用三用電表對其導電特性進行量測作為對照，並將其結果整理如下表 4-7-1：

表 4-7-1 石墨線並聯數對 Drawdio 頻率及電阻對照表

	單一線段	雙線並聯	三線並聯
電阻(Ω)	79000	49900	27200
頻率(Hz)	2588	2766	2964

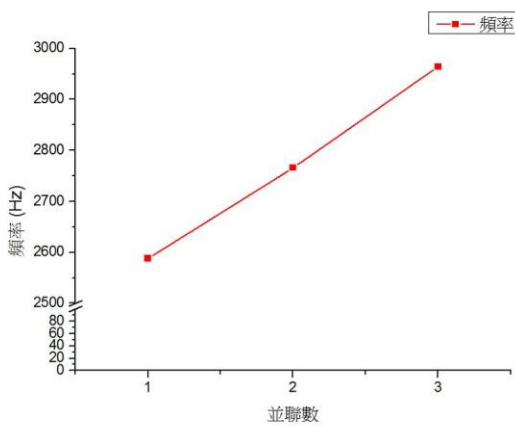


圖 4-7-2 石墨線並聯與頻率趨勢圖

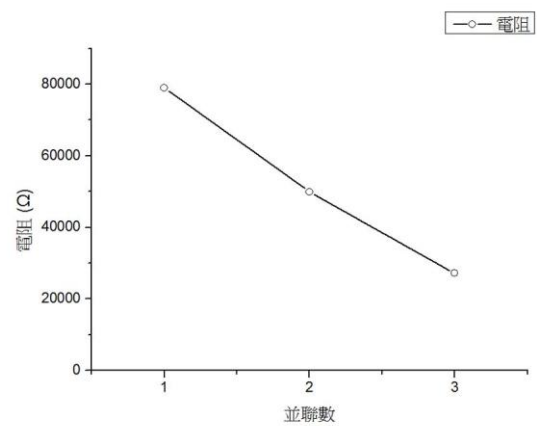


圖 4-7-3 石墨線並聯與電阻趨勢圖

我們再將其中頻率值座標軸倒置後兩個圖形疊加，可以看出其對應情形，如下圖 4-7-4。

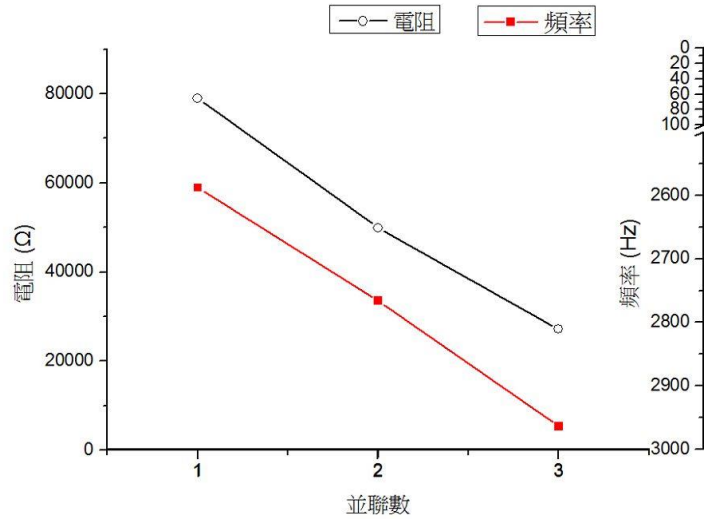


圖 4-7-4 石墨線並聯對頻率及電阻趨勢圖

由圖 4-7-4 的頻率及電阻關係圖，我們可以發現，畫的線條並聯越多，所得的 Drawdio 頻率愈高，電阻越小。可見並聯數量與導電度成正比，並聯愈多，導電性愈好。

實驗八、石墨電阻應用

由以上實驗，我們瞭解石墨的各種特性及串並聯情形，瞭解控制石墨線的長度或是厚度(寬度)可以得到我們想要的電阻值。那我們缺少電阻零件時是否可以用石墨線來取代呢？於是我們打算用石墨線來製造一個電阻，應用在電路上，看此電路的功能是否仍然可以運作。實驗設計如下：我們用石墨線取代的電阻頻率測試器 Drawdio 電路中的 10k 歐姆，所以一開始先在紙上製造出大約 10k 歐姆的石墨線，如圖 4-8-1



圖 4-8-1 自製石墨線電阻圖一

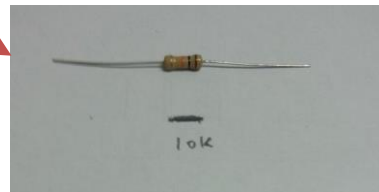


圖 4-8-2 自製石墨線電阻圖二

接下來我們使用自製的石墨電阻取代 Drawdio，試驗電路是否可以運作，實驗操作情形如下圖 4-8-3、4-8-4。

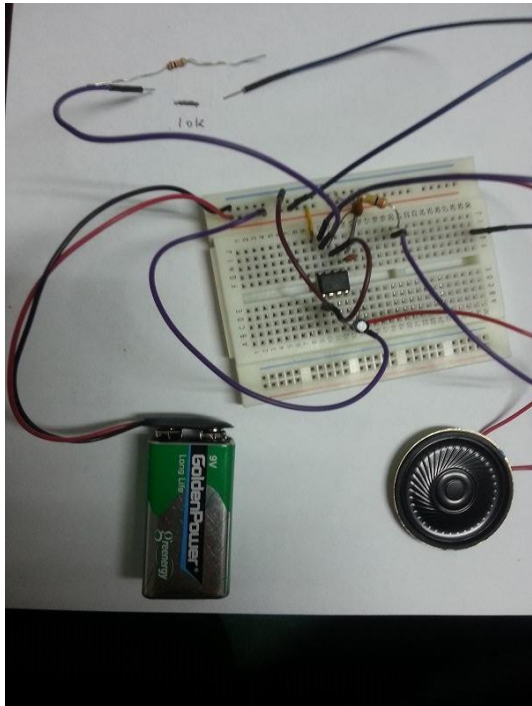


圖 4-8-3 石墨線電阻取代 Drawdio 10k 歐姆圖一

由實驗操作結果得知，石墨線電阻確實可以取代 Drawdio 電路中的 10k 歐姆，裝置運作情形正常，所以石墨電阻可以取代一般電阻在電路中使用，只要我們利用它的長度或厚度來改變電阻值就可以得到想要的電阻。

實驗九、石墨線可變電阻應用

由以上的實驗我們知道石墨線是一個可以變成任意值的電阻，我們更進一步進行實做，畫出一條線，並找出其中相應的電阻值，只需要將兩端接上不同長度的石墨線，就可以任意的改變電阻值，石墨線可變電阻操作情形如下圖 4-9-1：

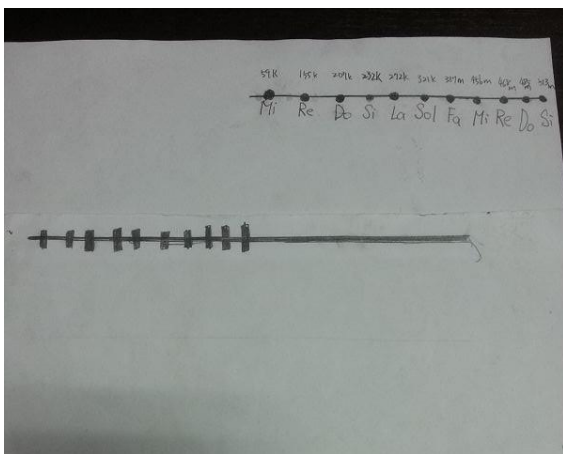


圖 4-9-1 石墨線可變電阻圖一

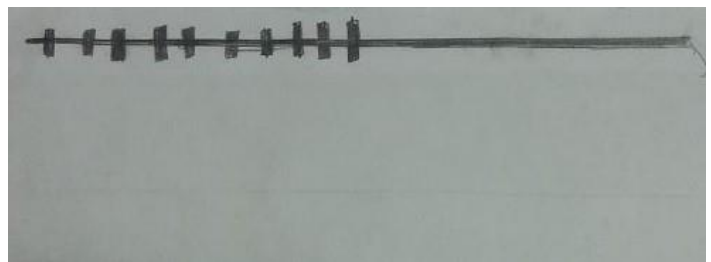
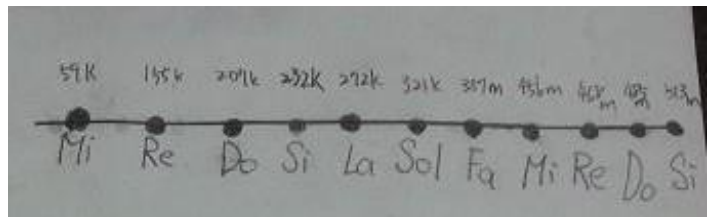


圖 4-9-2 石墨線可變電阻圖二、圖三

經過以上的操作發現，我們可以製造線段型的可變電阻如上圖 4-9-2，透過與電阻頻率關係測試工具 Drawdio，可以設計一個可變電阻音階線段。

伍、研究結果

由以上的實驗一至實驗九，我們整理成五個結果如下：

(一) 石墨厚度可視為電阻並聯

經由實驗一比較不同等級石墨線及實驗四之比較不同厚度的石墨線如何影響導電度後，我們發現了石墨在紙上的厚度及留下石墨量的多寡有不同的導電度，並且越厚、顏色愈深導電度愈佳。再由實驗五更進一步與之前學過的燈泡及電阻並聯情形比較，發現石墨線加厚，與燈泡或電阻並聯的情形相同，加厚一點就像多並聯一般，通常電阻較小，故我們可以將厚度視為並聯情形。

(二) 石墨長度可視為電阻串聯

由實驗三的不同長度石墨線如何影響導電度研究可得知，石墨線越長，則電阻值越高，導電性較差。再由實驗五的石墨長度與燈泡串聯情形比較後，發現石墨線長度與導電度關聯情形與燈泡或電阻串聯情形相同，石墨線越長，就彷彿串聯了愈多的電阻一般，串聯愈多則電阻值愈大。最後我們也發現，本實驗的線段可以畫在同一條線上，分不同長度來進行測試，結果會更加理想。

(三) 石墨線畫出的並聯可視為電阻並聯

由實驗七探討石墨線並聯情形的結果得知，若將石墨線兩條並接在一起，會有較低的電阻值，若增加為三條則電阻值更低，所以我們可以了解，石墨線的並接與電阻的並接有相同的結果。由實驗四及實驗七的結果我們可以得知，要製造低電阻值的石墨線可以增加厚度或是多並接石墨線，就可以得到低電阻值的石墨線。

(四) 石墨線電阻可取代一般電阻應用於電路中

由實驗八石墨線電阻應用情形，我們將石墨電阻取代一般電阻接於 Drawdio 電路中，發現電路仍可以運作，所以我們可以用石墨線路來取代一般電阻應用於電路中。

(五) 長條石墨線段可視為可變電阻

由實驗九可得知，長條形石墨線段可以視為一電阻值逐漸增加之電阻，在其中標記即可成為可變電阻。配合 Drawdio 使用可製造出不同的音階。

陸、討論

由研究結果發現，石墨線段可以視為一個電阻，長度像是串聯，厚度像是並聯。我們再查尋電阻的基本特性後發現電阻通電時的內部結構可以用下圖 6-1 導線電阻愈長愈細、及圖 6-2 導線電阻愈短愈粗來表示。

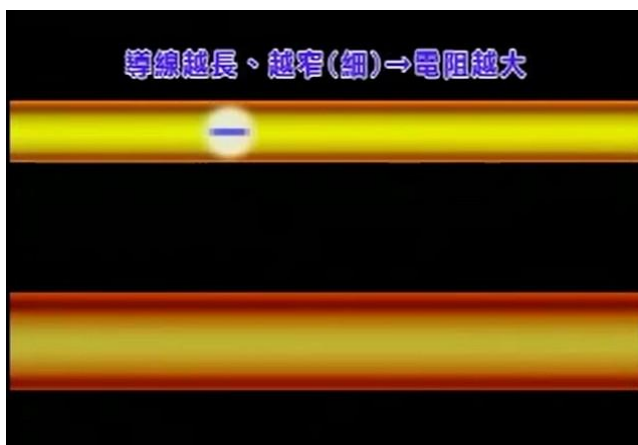


圖 6-1 導線電阻越長越細

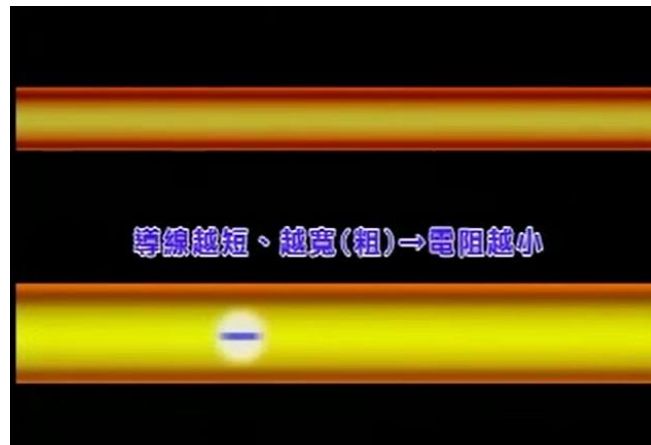


圖 6-2 導線電阻越短越粗

資料來源：家庭用電（國家教育研究院 95 年製作）取自：

<http://www.youtube.com/watch?v=1VzuuLkO-To>(2014/1/30)

經過以上之說明後，我們更加了解了原來石墨線可以當做一有較大電阻值的導線或是電阻，當導線越長越細時候，電子能走的路較窄、走的路較長，路上受到的阻礙較大，則電阻愈大，這解開了我們對於石墨線愈長，碳粉留下的數量愈多，電阻卻反而愈高的疑惑，結果如同本研究之長度討論情形。

另一方面，當導線越短越粗時，電子有較寬的路，或是通過較短的阻礙時，路程中受到的阻力較小，故電阻值較小，結果與寬度及長度較短時之研究情形相符。

研究限制：雖由壓力筆稍微能對下筆壓力進行控制，但仔細觀察後發現，當畫線段的時候，線段的前段筆尖比較細，後段筆尖比較粗，是可能造成實驗誤差的原因。

柒、結論

由以上的研究結果與討論，我們瞭了解石墨線的導電特性，石墨厚度可視為電阻並聯；石墨長度可視為電阻串聯；石墨線畫出的並聯可視為電阻的並聯；石墨線電阻可取代一般電阻應用於電路中；長條石墨線段可視為一可變電阻。

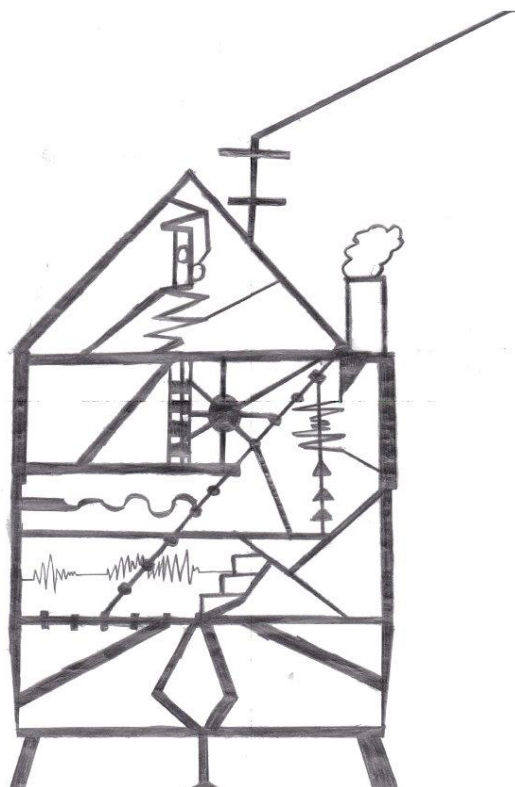
我們經由了這個石墨線的研究解開了心中對石墨線導電度的疑問，並瞭解了石墨線與燈泡及電阻的關係，再將關係整理如下表 7-1。

表 7-1 石墨線電阻特性對應之燈泡串並聯特性及導電特性對照表

石墨線電阻特性	對應之燈泡串並聯情形	導電特性
硬度(愈軟)	如並聯數變多	導電度愈好
長度(愈長)	如串聯數變多	導電度愈差
厚度(愈厚)	如並聯數變多	導電度愈好

由本研究及討論之結果，我們可以得知畫的線愈長則電阻愈高，畫的線愈短則電阻值愈低。畫的線愈窄愈細則電阻愈高，畫的線愈寬愈厚則電阻愈低，由表 7-1 可以完全了解石墨線燈泡串並聯特性及導電特性的對應關係。

經由一連串的實驗及對比討論結果，我們可以得到石墨線的導電特性可以完全由電阻之串並聯情形進行預測。



捌、參考資料

一、中文部分

[1]泓明石墨：所有石墨粉製品一覽表。桃園縣。上網日期：2014年1月30日，檢自：
http://www.graphite-h.com/graphite_triturable.htm

[2]洪連輝、林志遠、楊贊樺、簡世森(2011)：2010年諾貝爾物理獎介紹-石墨烯 graphene「完美二維系統」。國科會高瞻自然科學教學資源平台。上網日期：2014年1月30日，檢自：
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=20481>

[3]缺陷可提高石墨片導電性(劉家銘譯)。上網日期：2014年1月30日，檢自：
<http://cmnst.ncku.edu.tw/files/16-1023-56038.php>

[4]陳炳亨(2013)：燈泡亮了。自然與生活科技四上，68-87頁。臺南：翰林出版事業股份有限公司。

[5]偉昌碳素有限公司：石墨的性質。臺中市。上網日期：2014年1月30日，檢自：
<http://carbon.myweb.hinet.net/about-carbon.htm>

[6]國家教育研究院(2006)：家庭用電。上網日期：2014年1月30日，檢自：
<http://www.youtube.com/watch?v=1VzuuLkO-To>

[7]黃睦容、王維鬢、何世文、李榮展(2010)：電池電壓及內電阻的探討。國立政治大學附屬高級中學校內科展作品說明書，未出版，臺北市。上網日期：2014年2月12日，檢自：
http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2F140.119.99.5%2F%2Fdocument_library%2Fget_file%3Fp_l_id%3D406916%26folderId%3D414285%26name%3DDDLFE-5725.pdf&ei=qU36UtCmPMXZkAXiu4DYAw&usg=AFQjCNEPeRWPH2h6Lstk3Q_9V30cX0ymww

[8]湯佳玲(2010)：不到**6**年就獲獎創紀錄/石墨烯 導電比矽快**10**倍。台北：自由時報電子報。上網日期：2014年1月30日，檢自：<http://www.libertytimes.com.tw/2010/new/oct/6/today-int9.htm>

[9]臺灣師大物理系教學示範實驗室-物理問題討論區(2001)。石墨為什麼可以導電啊。上網日期：2014年1月30日，檢自：<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=2596>

[10]臺北市衛理女子高級中學、陳妍儒、蔡品妮、莊喆煊、盧麗鈴、許富忠(2013)：可變電阻在角度、高度、面積、體積之測量與應用。中華民國第53屆中小學科學展覽會作品說明書。臺北市：臺灣科學教育館。

[11]臺中市南屯區惠文國民小學、謝秉翰、郭仲翎、黃昭琦、涂語涵、陳昱萍、陳俊明、郭榮(2011)：「芯」「心」相映—筆芯燈泡的研究。中華民國第 51 屆中小學科學展覽會作品說明書。臺北市：臺灣科學教育館。

[12]德烜科技：認識石墨。桃園縣。上網日期：2014 年 1 月 30 日，檢自：
<http://www.google.com.tw/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CDQQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.tochance.com.tw%2Fupload%2Fimages%2F201261415241.pdf&ei=g9DEUsCaBYOYkQX-m4CgDQ&usg=AFQjCNHa1Z9orW1UCPgaZ03DBFuzDoJQcw&vm=bv.58187178,d.dGI>

[13]簡志詳(2012)：偵測電阻來發聲的 **Drawdio**。新竹。上網日期：2014 年 2 月 3 日，檢自：
http://a-chien.blogspot.tw/2012/09/drawdio_23.html

二、英文部分

[1]Jay Silver, “**Drawdio**”, MIT Media Lab's Lifelong Kindergarten. available at:
<http://web.media.mit.edu/~silver/drawdio/> (accessed 30 January 2014),2011.

【評語】 080117

本作品以鉛筆畫出的石墨線出發，研究石墨線長度、寬度與硬度對導電性的影響，並利用喇叭直接「聽出」石墨線的電阻值，可做為初接觸電學者的教具。唯整件作品仍可在創新的方向再補做加強。