

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 化學科

第二名

080201

粉墨登場-自製導電墨水的研究

學校名稱：臺中市南屯區惠文國民小學

作者： 小五 王鈺瑄 小五 盧湘霖 小五 張功筑 小五 鄭祐丞 小五 詹祐瑜	指導老師： 陳俊明 陳姿杏
---	-------------------------

關鍵詞：導電、備長炭、膠水

摘要

導電墨水是很有趣的科學材料，市面上有兩款導電墨水產品，但是價格都不便宜，所以我們嘗試找尋便宜又有不錯導電能力的材料來自製導電墨水。我們參考相關文獻及資料，建立導電能力的檢測方法及墨水製作流程，並測量市售導電墨水及材料的導電能力，將研究內容以導電材質、黏著劑與添加物三個變因來探討。研究發現：要製作高導電能力的導電墨水的條件為：碳粉純度要夠、顆粒越細越好，使用的黏著劑黏稠度要適中，可添加適當及適量的可導電物質。我們研究的最佳配方為：細顆粒備長炭碳粉和膠水以 1.25:1 的比例混合，再添加 15% 的鐵粉，所配製的墨水連接 LED 可發出 220LUX 照度的光線，為市售導電墨水的 65%，費用僅需九十六分之一，值得推廣並應用於教學上。

壹、研究動機

在電視看到主持人將一罐黑色油墨塗在紙上，接著拿一顆鈕扣電池和 LED 燈，接在黑線空缺的地方，此時 LED 燈竟然發光了，讓我覺得很神奇，記得四年級的時候，自然課曾經上過「電路」的單元，當時老師都是拿電線來連接電池與燈泡，沒想到，黑色墨水也能代替電線的功能，這真是太神奇了，於是我和同學一起向老師請教，當瞭解了「導電墨水」的原理後，我們也想進一步自己製造我們的「自製導電墨水」。

貳、研究目的

- 一、了解市售導電產品的種類及導電能力。
- 二、建立導電墨水導電能力測試方法。
- 三、建立導電墨水的標準程序。
- 四、探討自製導電墨水的變因。
- 五、研究添加物是否影響導電墨水導電能力。
- 六、找尋進一步應用導電墨水的方法。

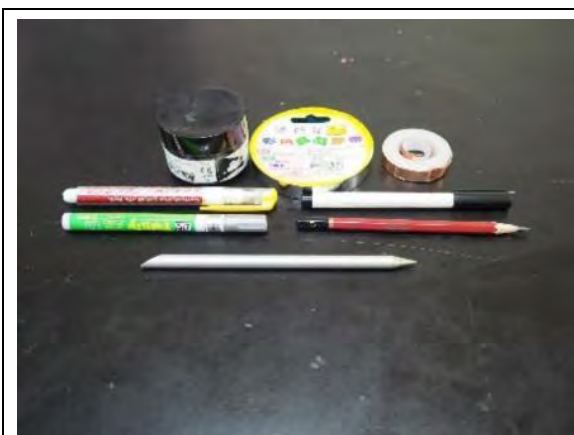
參、研究設備與材料

一、研究器材設備:

- | | | | | |
|----------|---------|----------|--------------|---------|
| 1. 三用電錶 | 2. 計時器 | 3. LED 燈 | 4. arduino 板 | 5. 燒杯 |
| 6. 電子秤 | 7. 攪拌棒 | 8. 量筒 | 9. 刷子 | 10. 模板 |
| 11. 裁切器具 | 12. 磨豆機 | 13. 噴火槍 | 14. 鋁杯 | 15. 蒸發皿 |
| 16. 相機 | 17. 酒精燈 | 18. 針筒 | 19. 研鉢 | 20. 篩網 |
| 21. 照度計 | 22. 玻璃片 | | | |

二、研究材料:

- | | | | | |
|-----------|------------|----------|---------------|----------|
| 1. 石墨粉 | 2. 活性碳粉 | 3. 備長炭 | 4. 鉛筆 | 5. 竹筷 |
| 6. 白膠 | 7. 膠水 | 8. 壓克力顏料 | 9. 廣告顏料 | 10. 澱粉 |
| 11. 四氧化三鐵 | 12. 鐵粉 | 13. 水玻璃 | 14. 銅箔膠帶 | 15. 美工膠帶 |
| 16. 食鹽 | 17. AgIC 筆 | 18. 銀漆筆 | 19. Bare 導電墨水 | 20. 油漆筆 |
| 21. 金屬筆 | 22. 各式紙張 | 23. 柴油 | 24. 蠟燭 | 25. 粉筆 |
| 26. 醋 | 27. 小蘇打 | 28. 漿糊 | 29. 木炭 | |



實驗使用市售產品



實驗使用含碳原料



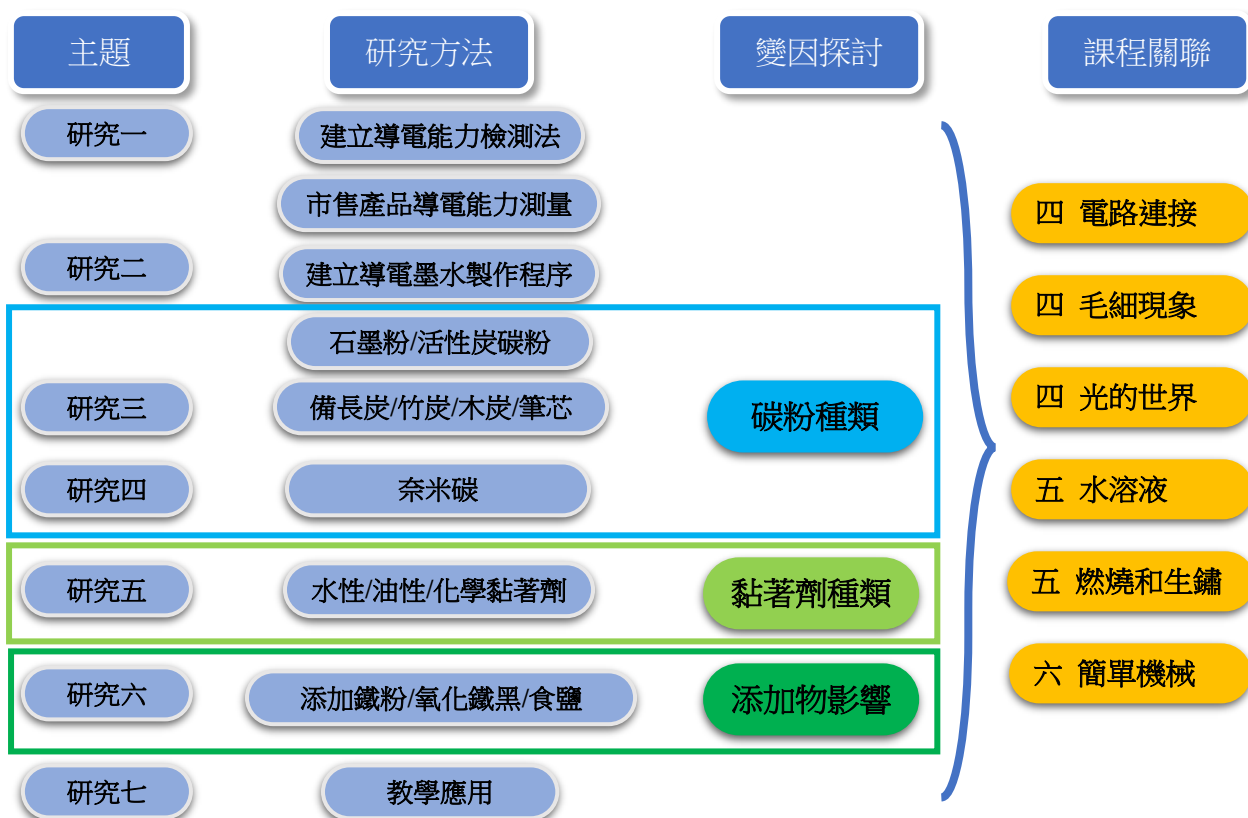
實驗使用黏著劑



實驗使用添加物

肆、研究方法、結果與討論

一、研究架構



二、研究內容

研究一 市售導電產品探討與檢測法的建立

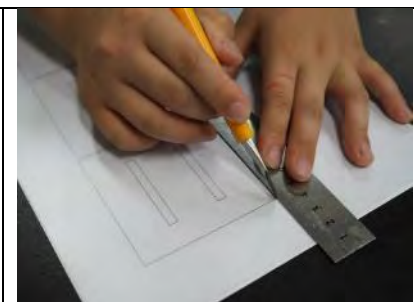
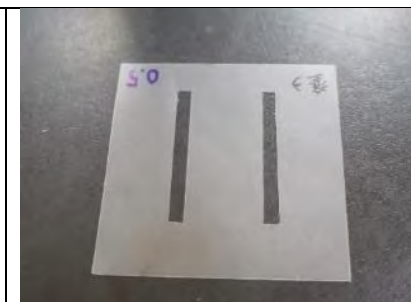
為了瞭解市售導電材質產品的導電效果，我們先進行紙張測試，以篩選適合作為實驗的紙質。除此之外，也以 9B 鉛筆繪出不同長度、寬度的線條測量電阻，找出適當的尺寸設計電路模板。我們設計模板來確保實驗的準確性，並建立後續電阻測試、電路測試的標準程序。

(一)研究方法

1.導線長度與寬度:製作不同長度、寬度模板，利用鉛筆畫出不同條件線條測試片。



2. 模板製作: 製作電阻實驗及電路實驗用的模板。

		
<p>1. 以 WORD 設計模板的底圖。</p>	<p>2. 以美工刀切割實驗模板。</p>	<p>3. 切割好的模板</p>

3. 電阻、電路(照度)測量



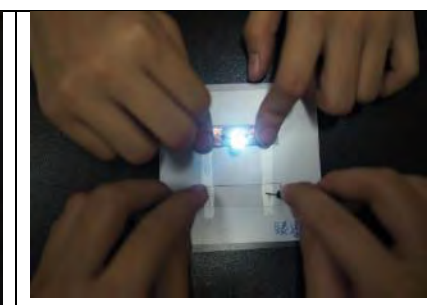
		
<p>1. 將導電材質以模板畫在測試紙片上。</p>	<p>2. 使用三用電錶來測量電阻。</p>	<p>3. 測量 LED 燈所產生的照度。</p>

4. 測試片材質試驗









(1) 紙張種類

名稱	圖畫紙	銅版紙	噴墨紙	雪銅紙	色紙	西卡紙
----	-----	-----	-----	-----	----	-----

(2) 實驗步驟

		
<p>1. 使用市售 BARE 導電墨水塗在八種紙上。</p>	<p>2. 計算導電材質在不同紙上的乾燥時間。</p>	<p>3. 測量導電材質在各種紙的電阻及照度。</p>

5. 市售產品

			
AGIC 筆	銀漆筆	油漆筆	金屬筆
			
銅箔膠帶	美工膠帶	9B 鉛筆	BARE 導電墨水

(二) 研究結果

1. 導線長度與寬度電阻測量

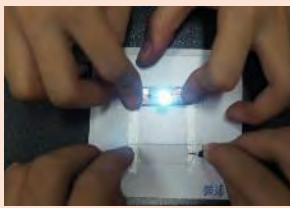

電阻(Ω)		導線長度		
		1 公分	3 公分	4.5 公分
導線寬度	0.1 公分	30.9K	171.5K	438K
	0.3 公分	29.5K	64.2K	98.5K
	0.5 公分	25.6K	50.9K	78.2K

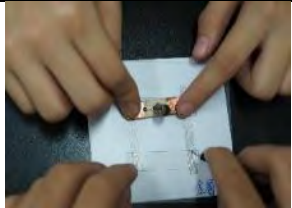
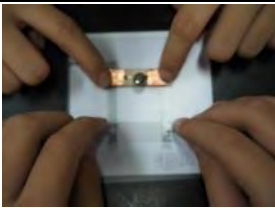
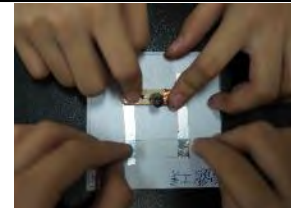
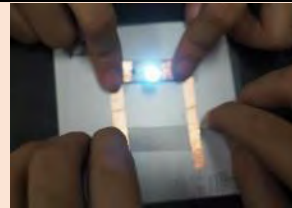
2. 不同紙張導線風乾時間及導電性實驗

	噴墨紙	西卡紙	色紙	銅版紙	雪銅紙	圖畫紙
風乾時間	B	C	B	B	B	B
電阻(Ω)	10.68K	0.35K	0.40K	0.40K	1.50K	0.93K
照度(LUX)	16.14	345	32.9	341	64	50


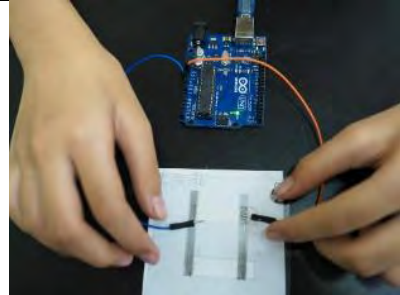
※ 風乾時間：A 代表 5 分鐘以內，B 代表 10 分鐘以內，C 代表 15 分鐘以內，D 代表 15 分鐘以上。

3. 市售產品

名稱	AGIC 筆	銀漆筆	BARE 導電墨水	油漆筆
成分	銀奈米粒子、溶劑	純銀、導電黏膠	石墨、水、黏著劑	丙烯酸、染料
功用	用來繪畫電路	修補斷路	修補斷路	標記用
價格	\$ 900	\$ 499	\$ 960	\$ 49
電阻	無法測得數據	1.4 Ω	0.398 Ω	無法測得數據
照度	無法測得數據	1490LUX	341 LUX	無法測得數據
導電情形				

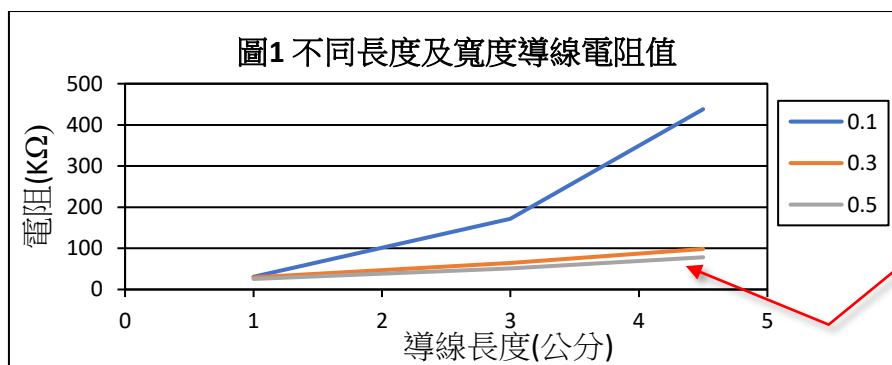
名稱	金屬筆	9B 鉛筆	美工膠帶	銅箔膠帶
成分	金屬	木材、石墨	聚丙烯、壓克力膠	銅
功用	書寫用	素描用	黏貼	黏貼
價格	\$ 979	\$ 10	\$ 18	\$ 65
電阻	無法測得數據	2.14mΩ	無法測得數據	0.7Ω
照度	無法測得數據	無法測得數據	無法測得數據	1634LUX
導電情形				

(三)研究照片

		
雖然金屬筆畫的線條無法導電，但測量金屬筆上面的筆芯電阻值為 0.6Ω、代表金屬筆本身可以導電。	我們使用冰棒棍、LED、熱塑塑膠以及銅箔膠帶做出的電路 LED 模組。	原本選擇使用鈕扣電池，但因電池供電不穩定，所以我們選擇使用電腦提供 5V 的電源。

(四)研究發現、觀察與討論

1. 做模板的目的是讓每一個人畫出的力道都相同，避免人為因素使線條粗細不同。在這之前，我們做了一個實驗來找出最好的長度、寬度，我們實驗後發現導電效果最好的是：長 1cm，寬 0.5cm 的導線。



導線長度 1 公分、
寬度 0.5 公分、
電阻值最低


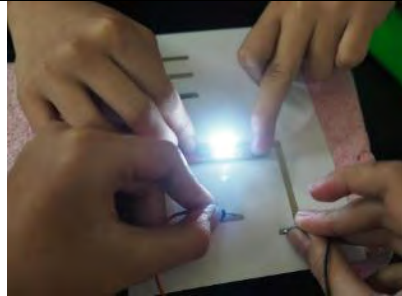
2.除了比較電阻外，我們也設計了電路測試，將導電材料以模板塗在測試片後，利用 LED 燈模組，再接上電源觀察 LED 發光情形，並以照度計數據比較明暗程度。

		
一開始使用鈕扣電池作為電源(因電壓太低)(3V)	後來使用 arduino 連接電腦，提供穩定的電源(5V)	照度偵測實驗裝置

3.為了後續的實驗，我們使用市售 BARE 導電墨水在各種紙上測量電阻及 LED 的照度值，發現效果最好的是西卡紙和銅版紙，電阻值和照度值都差不多，但是塗在銅版紙的 BARE 墨水風乾的時間較快，因此我們選擇以銅版紙作為測試片用紙。

4.市售產品大致上可以分成兩類：石墨以及金屬類，做完實驗後發現，金屬類電阻、照度的數據比石墨電阻的照度好。金屬類的市售產品有:銅箔膠帶，銀漆筆，金屬筆和 AGIC 筆。石墨類的市售產品有:9B 鉛筆和 BARE 導電墨水。其中可以使 LED 燈發光的有銀漆筆、銅箔膠帶和 BARE 導電墨水。

5.AgIC 筆含有奈米銀粒子可以導電，但因裡面含有特殊的墨水，所以無法在銅版紙上通電，只能在 AGIC 特殊紙上導電，在特殊紙上的電阻值為 1.4Ω。

	
AgIC 畫在一般紙上，連接電路仍然無法發光	AgIC 畫在專用紙上，連接電路可以使 LED 發光

6.金屬筆本身是金屬，我們原先認為導電能力應該很好，但實驗結果令我們困惑，經過與老師討論，由於金屬筆強調的是「萬年筆」，書寫過程中金屬成分並非留在紙上，因此筆跡無法導電。

7.綜合以上的敘述，我們發現：金屬類產品較能導電，導電能力為:銅箔膠帶>銀漆筆>BARE 導電墨水>9B 鉛筆，其餘無法在銅版紙上導電。我們在這個研究的最大發現是金屬比石墨更容易導電，但以金屬成分自製導電墨水成本太高，所以我們以製成含碳成分導電墨水為目標。

研究二 自製導電墨水製作程序初探





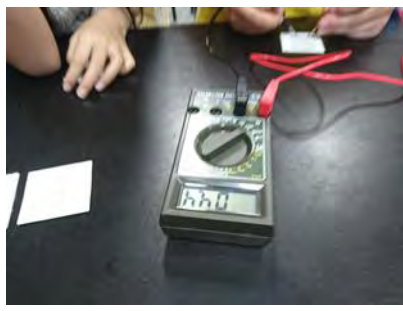

為了自製導電墨水，我們搜尋相關資料，在歷屆科展報告中，並未找到直接相關的題材，而在 youtube 中，則有自製導電墨水的影片，影片裡多以石墨粉和白膠、膠水或壓克力顏料混和製成導電墨水。參考影片，我們將研究變因分為碳粉種類、碳粉與黏著劑比例，黏著劑種類與添加物等，在此研究，我們先建立後續實驗與基本程序。實驗中，採用了石墨粉和活性碳粉兩種導電材料，並分別使用水、白膠、膠水、壓克力顏料和廣告顏料當作黏著劑，找出最好的碳粉及黏著劑的比例。

(一)研究方法

1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
石墨粉	水、 膠水(分 A、B 牌)、	1.75:1、1.5:1、 1.25:1、1:1
	白膠(分 A、B 牌)、	1:2(白膠 A) 1:1.5(白膠 B)
	廣告顏料 壓克力顏料	1:2 1:1.5
活性碳粉	膠水 A	1:3、1:4

2.製作流程

		
1.依比例秤取碳粉的克數。	2.依比例秤黏著劑克數，並和碳粉混合均勻。	3.將調製完畢的導電墨水塗在測試片上，進行實驗。
		
4.放桌面自然風乾並記錄乾燥時間。	5.利用三用電錶測量電阻。	6.利用自製光暗箱 LED 模組測量 LED 發光照度。




(二)研究結果

導電 材質	黏著劑	碳粉黏著 劑比例	風乾 時間	電阻 (Ω)	照度 (LUX)
石墨	水	1.75:1	A	X	X
		1.5:1	A	X	X
		1.25:1	A	X	X
		1:1	A	X	X
石墨	膠水 A	1.75:1	B	4.14K	51.1
		1.5:1	C	3.83K	28.8
		1.25:1	C	8.48K	36
		1:1	C	8.82K	24
石墨	膠水 B	1.75:1	A	1.35K	60.7
		1.5:1	C	1.0K	87.3
		1.25:1	A	13.48K	9.1
		1:1	B	111.7K	13.1
石墨	白膠 A	1:2	A	X	X
	白膠 B	1:1.5	B	2.7m	X
石墨	壓克力顏料	1:1.5	A	2.6m	X
	廣告顏料	1:2	D	14m	X
活性炭	膠水 A	1:3	B	14m	X
		1:4	C	X	X

※ 風乾時間符號意義見研究一

※ X：代表電阻過大，無法測出數值 ※：照度已扣除背景值

(三)研究照片


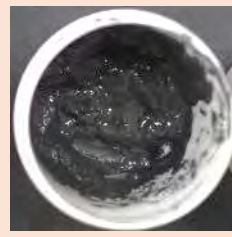

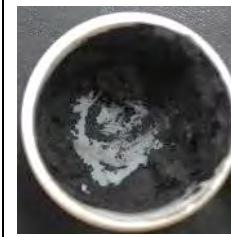

		
白膠過度黏稠，無法使碳粉和白膠均勻混合。	壓克力顏料最多只能結成塊狀，不易塗抹	膠水成分較稀，方便與碳粉混合成墨水，較適合作為黏著劑塗佈

(四)研究發現、觀察與討論

1. 為了建立導電墨水的製作流程，我們參考網路影片使用的材料進行實驗。在碳粉部分，我們選用石墨粉和活性炭粉做比較；在黏著劑部分，網路多用白膠、膠水或壓克力顏料，我

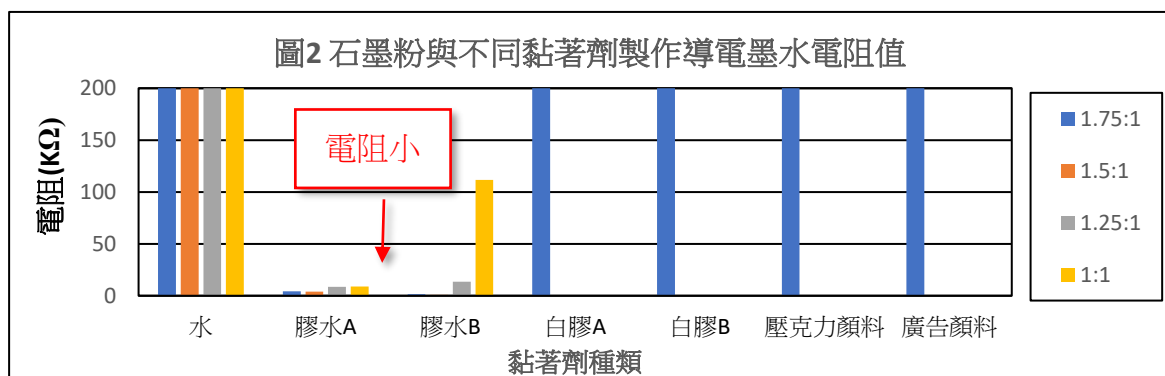
們的實驗增加用水為對照組，膠水及白膠同時使用兩種不同廠牌商品，並且加入廣告顏料與壓克力顏料作為比較。我們認為碳粉與黏著劑的比例影響導電能力甚鉅，所以也加入這項變因。

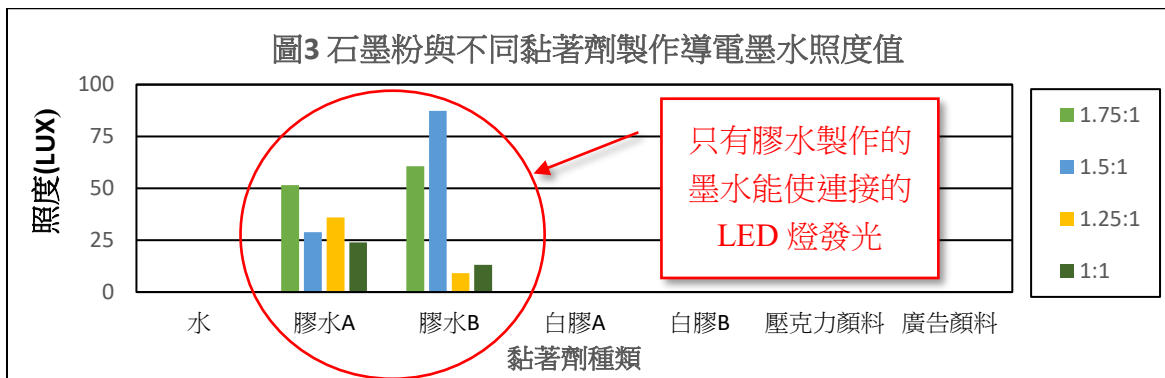
- 2.由實驗發現，黏著劑的黏稠度是影響導電墨水能否製作成功的主要因素，當黏著劑的黏稠度越高，能加入的碳粉量越少，碳粉與黏著劑越難混合均勻，甚至有結塊的現象，不容易塗抹於紙上。各種黏著劑中，以膠水的混合效果最好，白膠、壓克力顏料和廣告顏料的效果都不佳。水和碳粉雖然能均勻混和，但靜置後碳粉會和水分離，無法塗抹在紙上，以石墨粉和各種黏著劑混合實驗結果如下表。

石墨粉	石墨粉	石墨粉	石墨粉	石墨粉
膠水	膠水	白膠	壓克力顏料	水
1.5 : 1	1.25 : 1	1.25 : 1	1.25 : 1	1.25 : 1
				
碳粉結塊，無法順利塗抹	可以製得墨水，且可以畫在紙上	碳粉過多，完全無法製作	碳粉結塊，無法順利塗抹	可以製得墨水，但無法畫在紙上

- 3.將自製導電墨水塗抹在測試片上，測量的導線的電阻及連接 LED 燈發出的照度數據如下圖顯示。綜合兩項導電能力數據發現：

- (1)以膠水為黏著劑製作的導電墨水導電能力最佳，膠水 A 的電阻在 $4.14\text{K}\Omega \sim 8.82\text{K}\Omega$ 之間，膠水 B 的電阻在 $1\text{K}\Omega \sim 111.7\text{K}\Omega$ 之間；LED 照度最高 87.3LUX 、最低為 9.1LUX 。
- (2)製作的導電墨水碳粉濃度越高，導電能力越佳，但是碳粉比例超過 1.5:1 後，無法製成適合塗抹在紙張的導電墨水，甚至碳粉和黏著劑無法混和均勻。
- (3)在高碳粉比例(1.5:1 以上)時，膠水 B 製作的導電墨水導電能力比較好，但低碳粉比例(1.25:1~1:1)則是膠水 A 製作的導電墨水導電能力比較好。
- (4)以白膠、壓克力顏料和廣告顏料製作導電墨水時，因為黏稠度太高，必須降低碳粉比例，導致製作的導電墨水電阻都很高，也無法使 LED 發光。





- 4.由測試片風乾時間討論，大部分塗了導電墨水的測試片都能在 20 分鐘內自然風乾，其中水的風乾時間 5 分鐘以內最短，**碳粉比例越高，風乾時間越短，但低碳粉比例風乾時間也都在 10~15 分鐘內完成。**
- 5.以活性碳粉為導電材質時，我們發現由於活性碳粉重量很輕密度較低，導致膠水的使用量必須比碳粉多，要能夠成形所加的膠水重量是碳粉的 3 倍，**因為碳粉濃度低，所製作出的活性碳粉導電墨水電阻很大，也無法使 LED 燈發光。**
- 6.綜合上述製作程序、塗抹程序、導電能力和風乾時間四項指標，在製作方法的建立中，**我們發現石墨碳粉和膠水 A 以 1.25:1 的比例可以製作出最佳導電能力的墨水。**
- 7.我們設計出導電墨水製作標準程序，以下研究皆以此程序進行：



研究三 以其他含碳物自製導電墨水

在確立導電墨水操作程序後，本研究是為了找出是否有比研究二所用的導電材料「石墨粉」更好的炭粉，所以我們以備長炭、10B 筆芯、自製乾餾竹炭及木炭為材料磨製碳粉，將上述碳粉混合膠水 A 來製作導電墨水，希望可以找出比石墨粉的導電性更好的材料。

(一)研究方法




1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
備長炭碳粉(粗顆粒) 備長炭碳粉(細顆粒)	膠水 A	1.5:1 1.25:1 1:1
自製乾餹竹炭碳粉 竹炭碳粉 10B 筆芯碳粉	膠水 A	能製成墨水的比例

2.以備長炭製粗顆粒碳粉

		
1.將顆粒狀備長炭放入研鉢磨成粉。	2.將備長炭粉以紗網過篩，除去雜質及大碳粒。	3.研鉢研磨完畢並篩過的粗顆粒備長炭碳粉。




3.以備長炭製細顆粒碳粉

		
1.測量備長炭電阻值，挑選適合材料。	2.將備長炭敲成小塊。	3.再放入咖啡磨豆機，製作細顆粒備長炭碳粉。

4.乾餹竹炭

		
1.將每六根竹筴包覆在鋁箔紙裡(開口要鬆一點，不要包太緊)	2.噴火槍乾餹竹筴六分鐘，再把鋁箔紙剝開。	3.將燒好的竹炭放入磨豆機製作竹炭碳粉。

5.製作木炭碳粉

		
1.測量木炭電阻值，挑選適合材料。	2.將木炭先敲成小塊，再以研鉢磨粉。	3.最後放入咖啡磨豆機，製作木炭碳粉。

6.以 10B 筆芯製碳粉

		
1.先尋找鉛筆的兩條木條接縫處，以工具剖開。	2.利用小螺絲起子將筆芯挖出來。	3.將筆芯放入磨豆機磨製作筆芯碳粉。

7.以研究二製作程序自製導電墨水

(二)研究結果

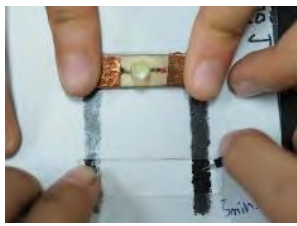



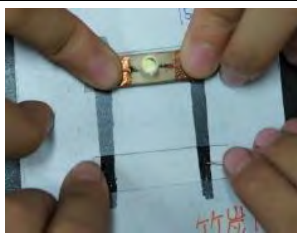



1.實驗數據

導電 材質	黏著劑	碳粉黏著 劑比例	風乾 時間	電阻 (Ω)	照度 (LUX)
備長炭	膠水 A	1.5:1	A	2.8m	X
碳粉 (粗顆粒)		1.25:1	A	3.8m	X
		1:1	D	18.4k	5.6
備長炭	膠水 A	1.5:1	B	0.18k	212
碳粉 (細顆粒)		1.25:1	C	0.28k	183
		1:1	D	1.19k	66
備長炭	膠水 B	1.5:1	A	0.4k	170.9
碳粉 (細顆粒)		1.25:1	A	0.54k	156.6
		1:1	A	0.77k	54.6
竹炭碳粉	膠水 A	1:3	C	X	X
		1:4	D	X	X
木炭碳粉	膠水 A	1:1.25	B	X	X
10B 筆芯	膠水 A	1.25:1	B	7k	12.6
碳粉		1:1	B	63k	2.6

※ 風乾時間符號意義見研究一


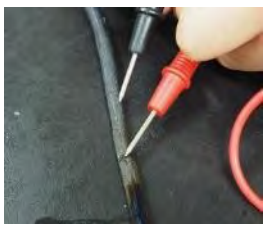


※ X：代表電阻過大，無法測出數值 ※：照度已扣除背景值

2.測試片照度實驗

粗顆粒備長炭碳粉 1.5:1	粗顆粒備長炭碳粉 1:1	細顆粒備長炭碳粉 1.5:1	細顆粒備長炭碳粉 1:1
			
自製乾餾竹炭碳粉 1:3	木炭碳粉 1:1.25	10B 筆芯碳粉 1.25:1	10B 筆芯碳粉 1:1
			

(三)研究發現、觀察與討論

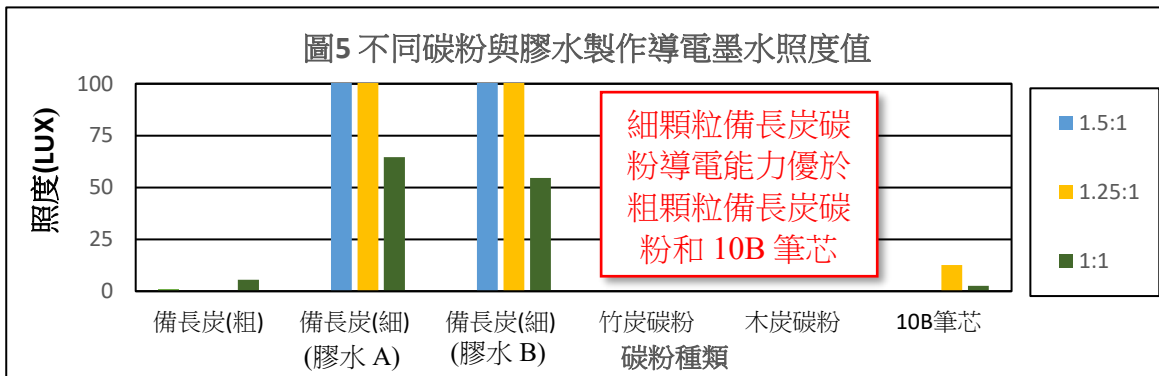
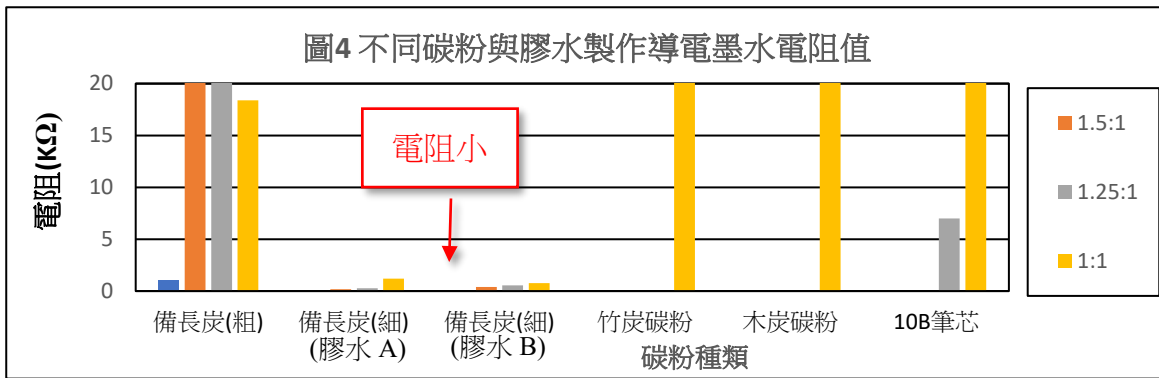
1.在這個研究中，我們主要探討的是不同碳粉所製作墨水的導電能力是否有影響，這些碳粉都是從條狀含碳物磨粉而來，我們也想了解原料的導電能力高低與製作的墨水間有無關聯，結果發現**備長炭、10B 筆芯的電阻比較低，所製作的導電墨水導電能力也比較好。**

備長炭	竹炭	木炭	10B 筆芯
			
電阻：4.1Ω	電阻：60kΩ	電阻：電阻太大	電阻：4.3Ω

2.備長炭都是用材質堅硬的樹木為主，越硬所以雜質就越少，雜質越少就越容易導電，所以條狀備長炭和顆粒狀備長炭的電阻都比較低。備長炭使用和歌山縣官方樹木的橡木作原材料，以攝氏一千度以上的高溫蒸燒製作而成，因為用高溫燒製，把碳裡面的雜質都燒掉了，所以導電性比較好。

3.將不同碳粉所製作的自製導電墨水塗抹在測試片上，測量的導線的電阻及連接 LED 燈發出的照度數據如下圖顯示。綜合兩項導電能力數據發現：

- (1)以**細顆粒備長炭碳粉製作的墨水導電能力比粗顆粒備長炭碳粉製作的墨水佳**，碳粉顆粒越細，碳粒間的孔隙越小，堆積的越緊密，導電的能力會更好。
- (2)用兩種膠水作為黏著劑進行比較，**膠水 A 的導電效果還是比膠水 B 好**。由於備長炭碳粉較細較重，甚至可以調配出 1.75:1 比例的墨水，導電性更加。
- (3)以**竹炭碳粉和木炭碳粉製作的墨水導電性很差**，電阻太大無法用三用電表測量到。10B 筆芯雖然電阻小，可是製作的墨水導電性比備長炭碳粉及石墨碳粉墨水差。
- (4)大部分導電墨水的自然風乾時間在 15 分鐘以內。



- 4.由研究二的結果可以知道，適當黏稠度的黏著劑可以獲得較高導電力的墨水。在研究三的實驗結果發現：碳粉的純度高及顆粒細也可以提升導電能力。實驗中也嘗試製作出 1.75:1 的細顆粒備長炭碳粉導電墨水，產生的照度高達 487.6LUX，比市售 BARE 導電墨水還要好 (341LUX)，可是還是太過黏稠，不方便塗在紙上。
- 5.綜合研究二、三的結果，以細顆粒備長炭碳粉和膠水 A 在 1.25:1 的比例下均勻混和後所繪製的測試片，和石墨粉所製成的墨水相比較，照度可以從 36LUX 增加到 183LUX，1.5:1 比例的墨水也可以從 87.3LUX 提升至 212LUX，顯示利用細顆粒備長炭碳粉能有效提升導電墨水的導電能力。

研究四 以奈米碳自製導電墨水







之前常常看到有關於燃燒產生奈米碳的報告，包含用蠟燭燃燒湯匙得到附著其上的奈米碳；腦子裡忽然萌生出了一個想法，可不可以把它用來當作我們這次主題「導電墨水」的材料呢？我們以蠟燭和柴油做為燃料進行測試。

(一)研究方法

1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
奈米碳	膠水 A	1:13

2. 收集奈米碳

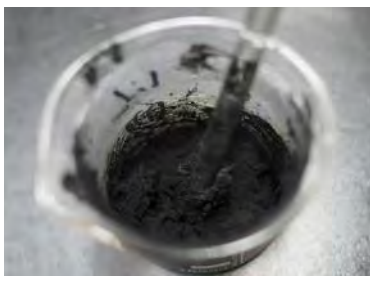


		
1. 鋁杯中加入柴油，將 3 根粉筆綁在一起，當作燈芯。	2. 鋁杯加入蠟塊，將 3 根粉筆綁在一起，當作燈芯。	3. 在蒸發皿包覆鋁箔紙，用來收集奈米碳。
		
4. 我們以自製的收集裝置快速收集奈米碳。	5. 燃燒蠟油，產生黑煙，用蒸發皿收集奈米碳。	6. 我們利用毛筆搜刮殘留在容器上的奈米碳。

3. 以研究二程序自製導電墨水並檢測

(二) 研究結果

導電材質	黏著劑	碳粉黏著劑比例	風乾時間	電阻 (Ω)	照度 (LUX)
奈米碳 (柴油)	膠水 A	1:13	D	X	X
				X	X
				X	X
奈米碳 (蠟燭)	膠水 A	1:13	D	X	X
				X	X
				X	X

(三) 研究照片

		
因為奈米碳粉太輕，相同重量，體積卻很大。	所蒐集的奈米碳粉	1:13 的墨水仍然非常黏稠。

(四)研究發現、觀察與討論

1.一開始的實驗,我們是設計以多支蠟燭燃燒的方式來收集奈米碳,我們預計要收集 10 公克,經過半小時我們只收集了 0.5g,因此我們參考網路資料改良了容器,也以粉筆筆芯作為燈芯,如此可產生大量黑煙!除此之外,我們以蒸發皿底部來收集奈米碳,也改良出以旋轉鐵罐方式收集。以柴油為燃料時,因為柴油為液體,燈芯的火更大,收集的時間比較短



2.我們原先設定以碳粉/黏著劑 1:1 來進行實驗,結果發現奈米碳很輕,膠水量不足以均勻混和,直到 1:13 才成功,顯見所製成的奈米碳過於蓬鬆,可能是因為燃燒的過程碳粒和空氣產生空隙所造成的。

3.由於膠水量較多,乾燥時在墨水表面覆蓋一層光亮的物質,導致乾燥時間比其他墨水久,因為奈米碳導電墨水的電阻很大,所以不容易導電,照度方面奈米碳實驗全部無法點亮 LED。

4.綜合研究二到研究四以不同型式碳粒製成的導電墨水,我們可以發現:碳粉的紮實度越高,導電效果越好,因此,我們選擇以備長炭碳粉的材料製成導電墨水。

研究五 自製導電墨水黏著劑種類探討

為了要確認是否有其他的黏著劑能把墨水的導電效果提升,我們試著使用不同性質的材料,如水性的澱粉和漿糊、油性的凡士林與葵花油和一些化學材料,找出有沒有其它能夠提升導電能力的物質來當作黏著劑。

(一)研究方法

1.變因

碳粉	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
細顆粒備長炭碳粉	澱粉、漿糊	1.25:1
	稀釋膠水	
	凡士林、葵花油	1:1
	水玻璃、醋(5%)、小蘇打	

2.製作流程

(1)澱粉



1. 澱粉與適量的冷水充分攪拌後，加熱至沸騰，使其產生黏性。



2. 將澱粉秤重，再加入碳粉，並攪拌均勻即可塗抹於紙上。



3. 將市售漿糊直接加入已秤好重量碳粉容器中。

(2) 凡士林/葵花油



1. 將凡士林秤好後，隔水加熱並加入碳粉(葵花油直接調製即可)。



2. 攪拌完後將做好的墨水放置並趁熱塗抹於紙上(葵花油不須趁熱)。



3. 將葵花油和碳粉製成的墨水塗抹於測試片上。

(3) 水玻璃



1. 將水玻璃秤重並加碳粉



2. 將導電墨水攪拌並塗抹於測試片上

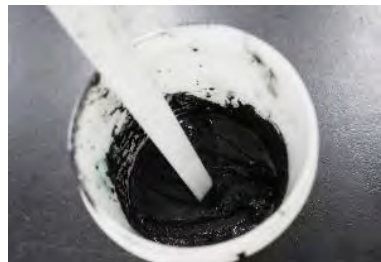


3. 將水玻璃配方墨水塗抹於測試片上。

(4) 醋/小蘇打



1. 將冰醋酸稀釋成 5% 醋酸水溶液。



2. 按比例將備長炭碳粉和醋酸/小蘇打水均勻混合。



3. 將醋酸/小蘇打水配方墨水塗抹於測試片上。

(二)研究結果

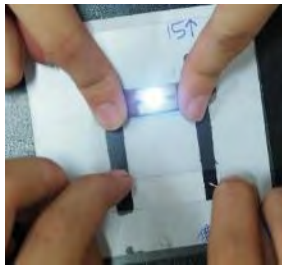
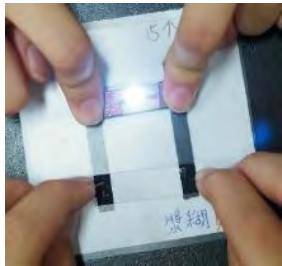
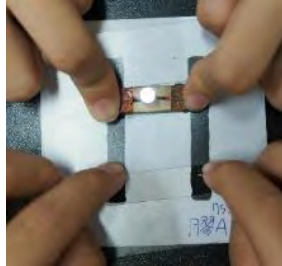


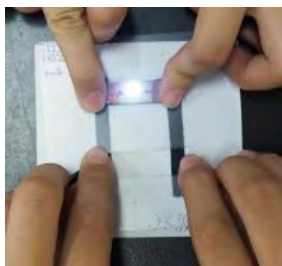


1.實驗數據

導電 材質	黏著劑	碳粉黏著 劑比例	風乾 時間	電阻 (Ω)	照度 (LUX)
備長炭碳粉 (細顆粒)	澱粉	1.25:1	D	2.59k	34
		1:1	B	2.6k	40
備長炭碳粉 (細顆粒)	漿糊	1.25:1	D	0.99k	130
		1:1	D	1.06k	148
備長炭碳粉 (細顆粒)	膠水+水(75%)	1.25:1	B	19.7k	11
	膠水+水(50%)		B	5.16k	14
	膠水+水(25%)		C	9.49k	X
備長炭碳粉 (細顆粒)	凡士林	1.25:1	D	26.5m	X
	葵花油		D	0.41m	X
備長炭碳粉 (細顆粒)	水玻璃	1.25:1	D	1.088k	16
		1:1	C	6.94k	14
備長炭碳粉 (細顆粒)	醋(5%)	1.25:1	D	27.7k	X
		1:1	D	100k	X
備長炭碳粉 (細顆粒)	小蘇打水	1.25:1	B	12.36k	X
	(飽和)	1:1	C	2.7m	X


※ 風乾時間符號意義見研究一

※ X：代表電阻過大，無法測出數值 ※：照度已扣除背景值

2.測試片照度實驗(碳粉皆使用細顆粒備長炭碳粉)

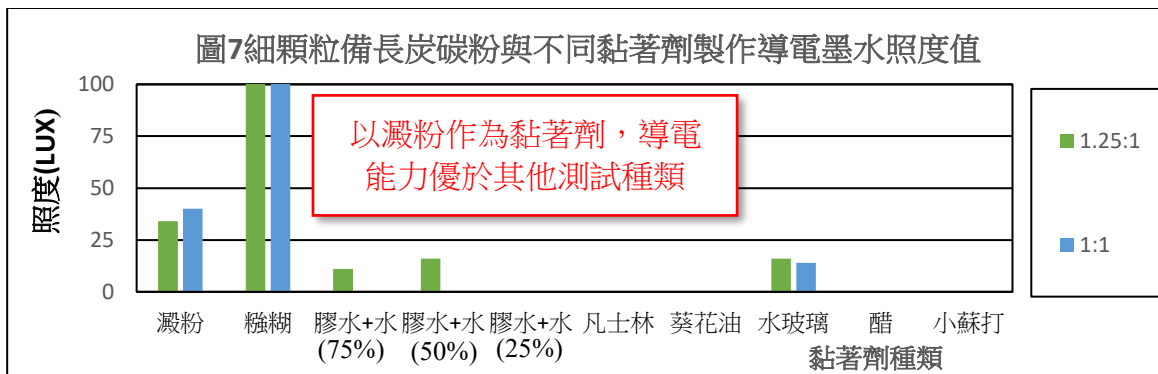
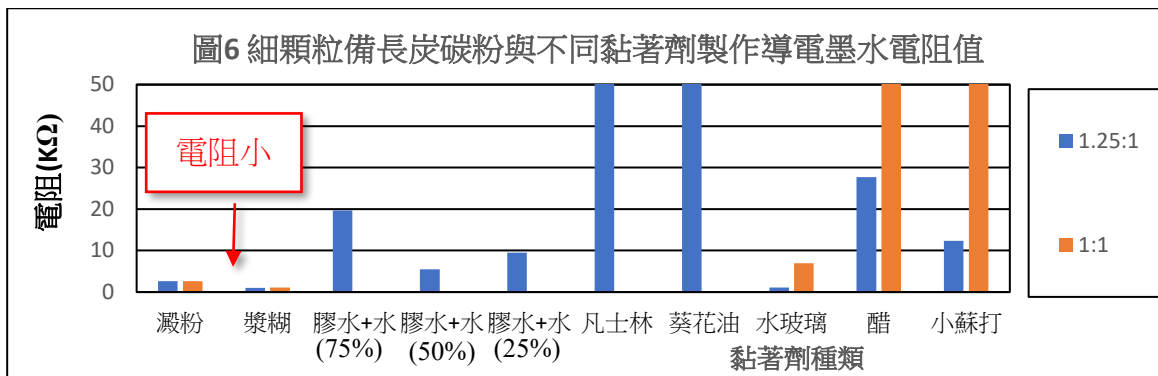
澱粉 1:25:1	漿糊 1:25:1	膠水+水(75%) 1:25:1	膠水+水(25%) 1:25:1
			
凡士林 1:25:1	水玻璃 1:25:1	醋(5%) 1:25:1	小蘇打水(飽和) 1:25:1
			

(三)研究照片

		
水玻璃會有沙沙的觸感	澱粉需經過加熱才能轉換性質，但不需考慮冷卻問題。	凡士林需要用水浴發使其變軟，才容易和碳粉攪拌均勻。
		
凡士林墨水不容易塗在測試片	膠水(上)的流動性比澱粉(下)好	以膠水稀釋、5%醋和小蘇打水製的墨水，容易散掉

(四)研究發現、觀察與討論

- 1.把澱粉加入冷水再加熱後，會使澱粉溶解而產生糊精，其黏稠度會增加，**性質就和膠水一樣，和碳粉混合後就可以製成導電墨水**，黏稠度可依照澱粉和水的比例來控制，澱粉越少黏稠度也越低。漿糊也是用澱粉製作的，性質也和澱粉相同。
- 2.油性黏著劑我們測試了固態的凡士林與液態的葵花油。凡士林在製作墨水時，要先以水浴法加熱，再混合碳粉，當溫度下降則又回復成固態，不容易塗抹。以葵花油為黏著劑時不僅容易混合，也很容易塗在測試片上。
- 3.化學類黏著劑，我們測試了三種，除了酸性的醋、鹼性的小蘇打水外，我們也測試具有黏稠性的水玻璃。醋和小蘇打水所製作的墨水和研究二以水作為黏著劑的墨水非常相似，因為碳粉和水不互溶，放置後碳粉和水會分離，不容易塗在紙上，水玻璃導電墨水摸起來則是有沙沙的感覺，但很容易塗在紙上。
- 4.將不同黏著劑與細顆粒備長炭碳粉所製作的自製導電墨水塗抹在測試片上，測量它們的電阻及連接 LED 燈發出的照度數據如下圖顯示。綜合兩項導電能力數據發現：
 - (1)糊精具有黏稠性，**可用澱粉配製或直接用漿糊當作黏著劑**，不論澱粉或是漿糊製作的墨水，導電能力都不錯。
 - (2)在研究二膠水有很好的導電能力，但以水稀釋後導電能力大幅下降。醋和小蘇打水也不適和當作黏著劑，顯見**水並不適合做為製作導電墨水的黏著劑**。
 - (3)**油性黏著劑**可能因為有不導電的油膜包覆在碳粉四週，測量的電阻值極大，也都**無法讓 LED 燈發光**。凡士林在常溫會結塊，完全不適合當作黏著劑。
 - (4)水玻璃(矽酸鈉)具有黏稠性，可做出具導電能力的墨水，但是效果比較不好。



5.與前幾個研究比較，使用不同黏著劑，風乾時間都變得比較長，大多數都需要 20~30 分鐘才能完全乾燥，乾燥時間多出了一倍，如果用在課程上較不適合。

6.綜合以上所述，以膠水和細顆粒備長炭碳粉製作的導電墨水導電能力最佳，如果想製作環保配方的導電墨水可考慮利用澱粉配製或直接採用漿糊為黏著劑，導電能力也不錯。

研究六 添加物質對自製導電墨水導電效果的影響

以細顆粒備長炭碳粉和膠水所製得的導電墨水在照度部分可達市售 BARE 墨水的 62%，我們嘗試添加某些物質來看看會不會對導電效果有所提升。經過討論，我們在自製導電墨水中添加了不同比例的鐵粉、具有磁性的氧化鐵黑及強電解質食鹽。

(一)研究方法

1.變因

碳粉	黏著劑種類	添加物	碳粉和黏著劑比例
備長炭粉	膠水	鹽(NaCl)	1.25 : 1
		鐵粉(Fe)	
		氧化鐵黑(Fe ₃ O ₄)	

2. 添加物

添加物	鐵粉	氧化鐵黑	食鹽
添加比例	1 公克(15%) 2 公克(30%) 3 公克(45%)	1 公克(15%) 2 公克(30%) 3 公克(45%)	0.1 公克(1.5%) 0.25 公克(3.75%) 0.5 公克(7.5%) 1 公克(15%) 2 公克(30%) 3 公克(45%)

3. 以研究二程序自製導電墨水並測試

(二) 研究結果

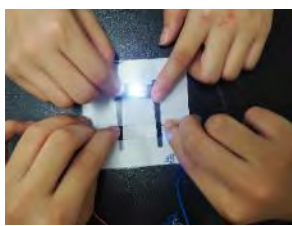

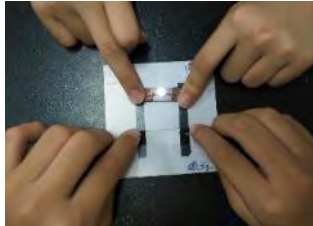
1. 實驗數據

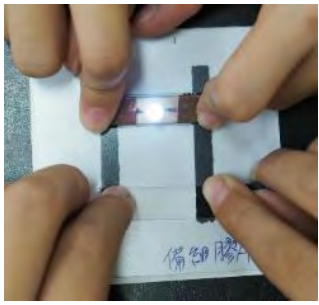


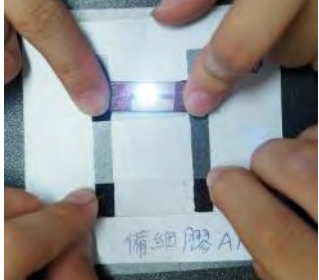
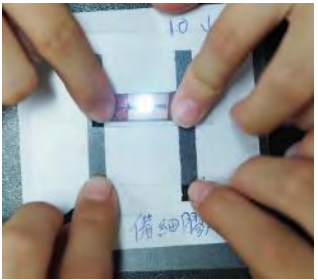
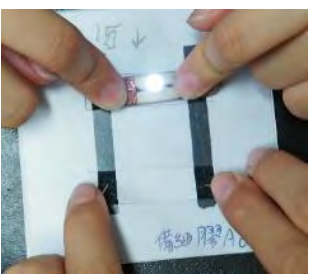
導電 材質	黏著劑	碳粉黏著 劑比例	添加物	添加物 重量	風乾 時間	電阻 (Ω)	照度 (LUX)
備長炭碳粉 (細顆粒)	膠水 A	1.25:1	鐵粉	1g	B	0.249k	218.5
				2g	B	0.33k	100.8
				3g	C	4.5k	X
備長炭碳粉 (細顆粒)	膠水 A	1.25:1	氧化鐵黑	1g	B	2.9k	32.7
				2g	B	2.84k	55.6
				3g	B	1.99k	88.1
備長炭碳粉 (細顆粒)	膠水 A	1.25:1	食鹽	0.1g	C	1.6k	81.1
				0.25g	B	1.87k	52.8
				0.5g	B	1.92k	51.5
				1g	X	X	X
				2g	X	X	X
				3g	X	X	X

※ 風乾時間符號意義見研究一





※ X：代表電阻過大，無法測出數值 ※：照度已扣除背景值

2. 測試片照度實驗(碳粉皆使用細顆粒備長炭碳粉)

添加鐵粉 1g(15%)	添加鐵粉 2g(30%)	添加鐵粉 3g(45%)
		

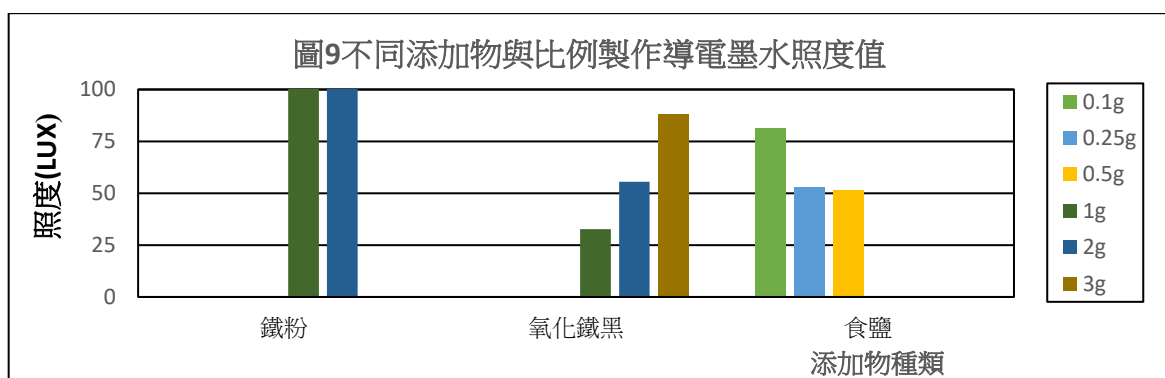
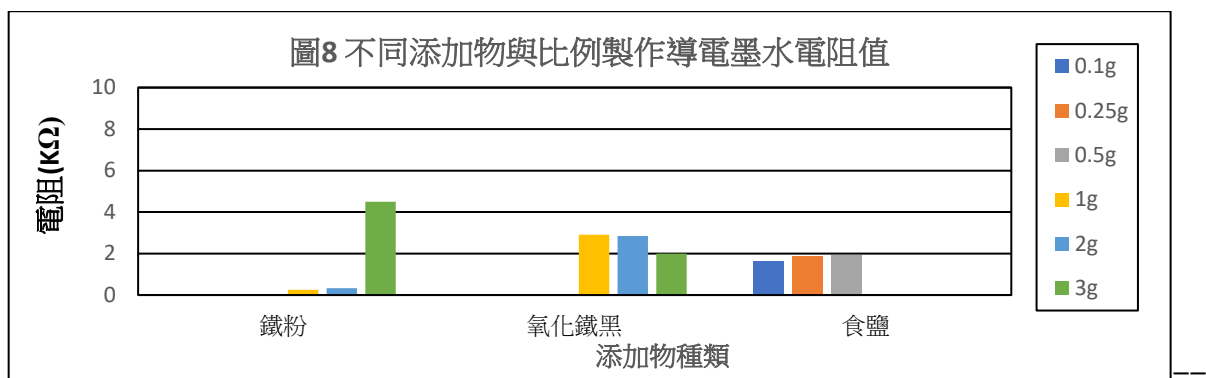
添加氧化鐵黑 1g(15%)	添加氧化鐵黑 2g(30%)	添加氧化鐵黑 3g(45%)
		
添加食鹽 0.1g(1.5%)	添加食鹽 0.25g(3.75%)	添加食鹽 3g(45%) 0.5g(7.5%)
		

(三) 研究照片

添加鐵粉(1g/2g/3g)	添加氧化鐵黑(1g/2g/3g)
	
鐵粉添加越多，黏稠性越高	氧化鐵黑添加越多，黏稠性越高
食鹽(0.1g/0.25g/0.5g)	食鹽(1g/2g/3g)
	
食鹽添加越多，黏稠性越高	全部無法成形

(四)研究發現、觀察與討論

- 1.在第一次實驗時，我們同時加入碳粉、膠水和添加物在一起攪拌，卻會產生結塊現象，所以我們改為先將碳粉、膠水攪拌後，再加入添加物。自製導電墨水中添加的添加物比例越高，墨水黏稠度越高，越不容易塗在紙上。
- 2.以細顆粒備長炭碳粉和膠水混和後，再添加不同比例的添加物所製作的自製導電墨水塗抹在測試片上，測量的導線的電阻及連接 LED 燈發出的照度數據如下圖顯示。綜合兩項導電能力數據發現：
 - (1)鐵粉添加越多，所製的墨水導電能力越差，添加 3 公克(45%)鐵粉後，墨水不易成形，無法使 LED 燈發光。
 - (2)氧化鐵黑具有磁性，添加越多，所製作的墨水導電能力反而更好，但 LED 燈的照度並沒有比添加鐵粉的墨水高。
 - (3)食鹽添加越多，墨水的導電能力越差，且比未添加時還差，顯示添加食鹽不會提升導電墨水的導電能力，添加 1 公克以上，墨水有結塊現象。
 - (4)不論添加哪一種物質，添加越多，墨水的黏稠度越高，越不易塗抹在紙上。



3.綜合研究一至研究六的結果，以市售的 BARE 導電墨水可以測得 341LUX 最佳，利用網路影片配方，以石墨碳粉和膠水配製的墨水照度是 36LUX。分別以碳粉種類、黏著劑種類探討，以細顆粒備長炭碳粉搭配膠水和漿糊測量的照度分別為 183LUX 及 148LUX，皆明顯高於石墨所製成的導電墨水，如果碳粉比例增加的膠水的 1.5 倍，照度更可達 212LUX。最後如果添加 15%的鐵粉於前述配方，照度可以提升到 220LUX。

4.本研究的最佳配方為：細顆粒備長炭碳粉和膠水以 1.25:1 的比例配製，再添加 15%的鐵粉，其所製備的導電墨水照度可達市售 BARE 墨水的 65%。

研究七 自製導電墨水應用探究

在研究出製作導電墨水的最佳配方之後，我們想進一步探討是不是可以做成以筆刷塗方式之外的形式？我們試著將自製的導電墨水填充到注射針筒中，擠壓針筒讓墨水自動流出，向筆書寫一般。除此之外，我們也按照中年自然課程裡學習到電路的串、並聯的概念，看看可不可以用導電墨水做出串、並聯的電路。我們也嘗試按照網路的資料自製可以導電的卡片。

(一)研究方法

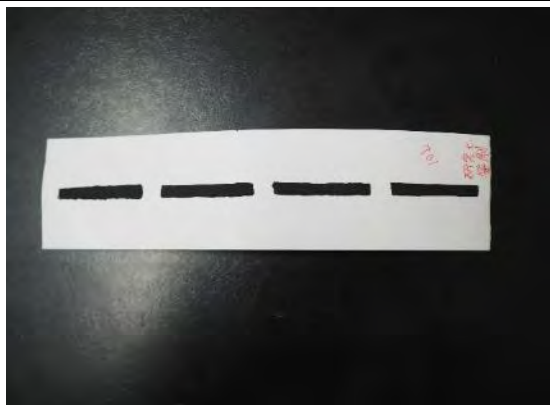
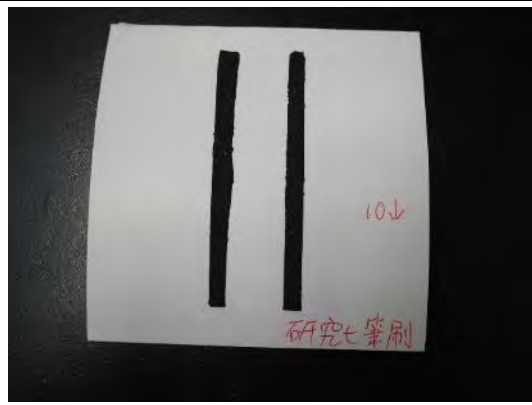
1.製作流程

(1)以水彩筆平塗：同研究六

(2)針筒(模擬筆桿)書寫：

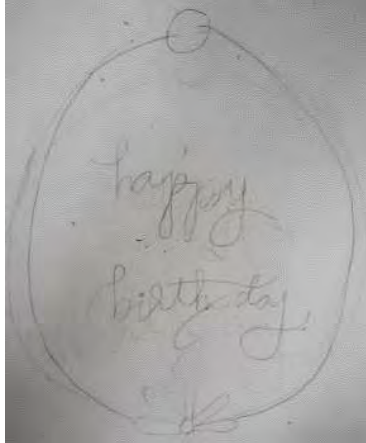
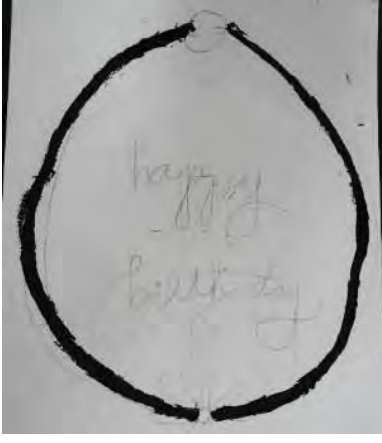
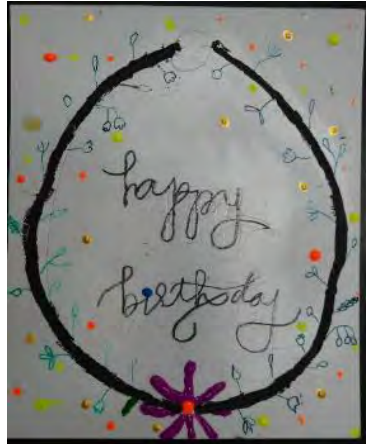
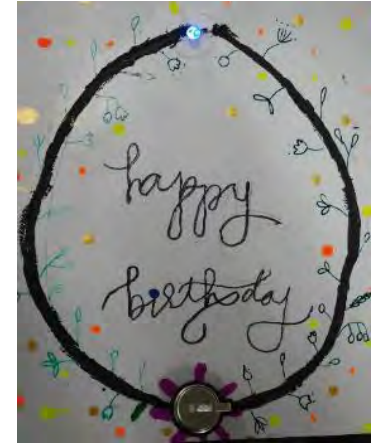
		
1.導電墨水製作。	2.將導電墨水加入針筒。	3.在測試片上書寫。

2.測試片形式

LED 燈串聯測試片	LED 燈並聯測試片
	







3.導電墨水的應用—卡片的製作

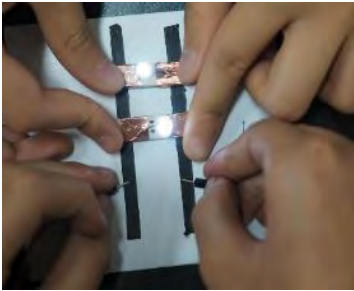
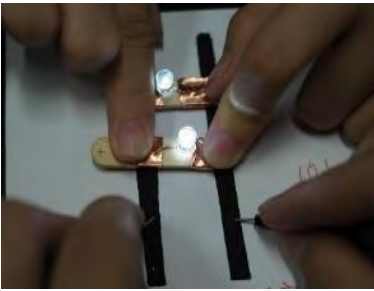

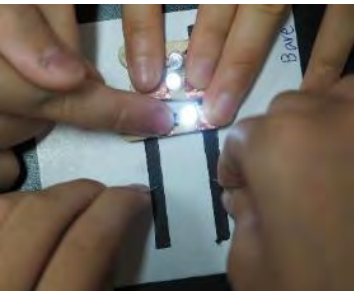

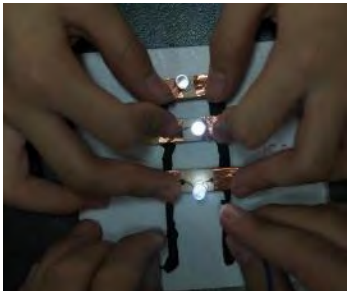
在網路發現有一家公司設計將 BARE 導電墨水塗在卡片中，再配合其他顏色廣告顏料製作出有趣的導電卡片，非常有趣，我們也嘗試用我們研發的最佳配方取代市售 BARE 導電墨水塗在主要電路上，製作出我們自己設計的卡片。

	
<p>1.在卡紙上畫出草稿。</p>	<p>2.先以導電墨水畫出能導電線路。</p>
	
<p>3.用顏料畫出其他不須導電部分。</p>	<p>4.完成卡片。</p>

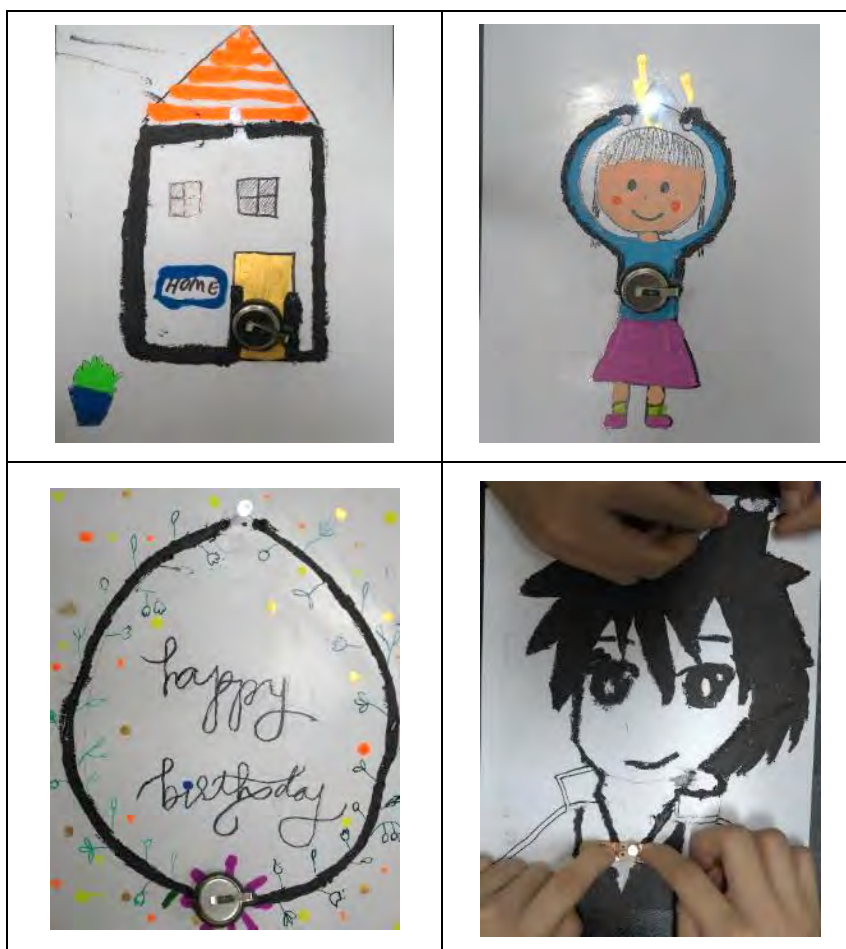
(二)研究結果

(1) 串並聯電路實驗

	以水彩筆平塗市售 BARE 導電墨水電路	以水彩筆平塗 自製導電墨水電路	以針筒擠出自製墨水電路
串聯兩顆燈泡			
串聯三顆燈泡			

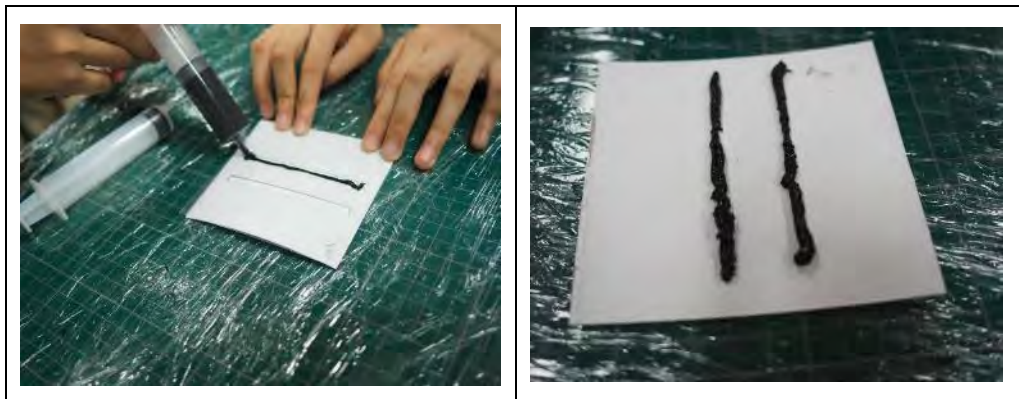
	以水彩筆平塗市售 BARE 導電墨水電路	以水彩筆平塗 自製導電墨水電路	以針筒擠出 自製墨水電路
並聯兩顆燈泡			
並聯三顆燈泡			

(2)自製導電卡片



(三)研究發現、觀察與討論

- 1.將自製導電墨水裝入針筒，由於墨水有碳粉顆粒，在擠壓時必須用很大的力量才能把墨水擠出來，雖然將墨水裝入針筒有攜帶上的便利性，除非可以將碳粉磨的更細，否則不易操作。由於墨水會經過針筒頂端，線條較接近電線形狀，然而也因為形狀較為立體，不易附著在紙上。



- 2.在串並聯電路實驗中，分別以市售 BARE 導電墨水、以筆刷平塗自製墨水於測試片及以針筒擠壓自製墨水於測試片三種型式來比較。實驗結果顯示：
 - (1)三種方法**都能夠**使串聯在電路中的兩顆 LED 燈亮，**也都無法**使串聯在電路中的三顆 LED 燈亮。
 - (2) 三種方法**都能夠**使並聯在電路中的兩顆 LED 燈亮，**也都可以**使並聯在電路中的三顆 LED 燈亮。

此結果代表三種方法的導電能力相近。
- 3.利用導電墨水製作卡片非常有趣，除了開發設計各式賀卡，將自己的想法，自製獨一無二的卡片，傳達心意。將來，也能製成互動式的 DIY 教具，增添學習的樂趣。

伍、結論

一、市售導電墨水探討

- 1.由媒體網路得知導電墨水的產品，能夠用此墨水畫出電路，製作有趣的電路、電子賀卡等等，這令我們相當好奇；我們購買相關商品，進行實驗測試，發現市售商品導電效能的確良好。惟仍有許多缺點：如價格昂貴，或是要配上特殊用紙（如 AgIC 筆）。
- 2.市售 BARE 在我們的測試環境下，導電使 LED 發光照度達 341LUX。這是我們主要想模仿的對象。
- 3.其他如 AGIC 筆（需要搭配特殊用紙）；銀漆筆發光照度達 1490LUX（但內含純銀）；9B 鉛筆（無法使 LED 發亮）、銅箔膠帶發光照度達 1634LUX（屬於膠帶非墨水），則提供參考。

二、自製導電墨水可行性

- 1.小組鎖定分別以導電材質、黏著劑、添加物三大項目來進行研究。
- 2.導電材質我們選擇碳製品，一來能導電，二來能扮演墨裡的色素成分。
- 3.由研究二我們發現黏著劑以膠水表現最優，導電後電阻 8.48kΩ 使 LED 照度達 36LUX。（條件為碳粉/黏著劑比例 1.25：1）。
- 4.研究三與研究四則發現備長炭碳粉(細顆粒)為最佳導電材質，能夠產生 212LUX，但是此配方是碳粉/黏著劑比例 1.5：1，產生的墨水應該稱為墨膏，塗抹困難。故小組退而選擇塗抹效果較佳之碳粉/黏著劑比例 1.25：1 的配方。此配方能產生 183LUX，電阻 0.28kΩ。
- 5.要製作出導電能力佳的導電墨水必須掌握以下原則：碳粉紮實度要夠、顆粒越細越好，使用的黏著劑黏稠度要適中。

三、近一步導入環保理念—環保導電墨水

- 1.近一步導入對環境更友善的材質，一定是個好選擇。由研究五我們發現以澱粉類黏著劑漿糊取代膠水，碳粉/漿糊比例 1.25：1，此配方能產生 148LUX，電阻 0.99kΩ。
- 2.從研究六中我們發現添加鐵粉、氧化鐵黑及食鹽都能得到不錯的導電效果。但只有添加 15%鐵粉可以獲得比未添加時更好的導電效果，照度可從 183LUX 提升至 220LUX，此時電阻為 0.249kΩ。

四、應用於課程遊戲

- 1.電路的課程在四下進行，若是能將導電墨水引進課程，那我們就有福了！因為電線的組裝不如用畫的簡單。不但能學習又能兼顧趣味性。
- 2.本實驗研發的成分十分安全，不論是一般配方或是環保配方，都是安全容易取得的材料，外加上價格友善，成本低廉，值得大大推廣。環保配方甚至可用食用級材料來製作呢！

陸、參考資料

一、書籍：

1. 國小自然與生活科技領域課本(四下)，康軒出版社，2017。
2. 左卷健男。圖解化學超有趣。世茂出版社，2008。
3. 瀧川洋二、山村紳一郎。66 個挑戰創意的科學實驗。世茂出版社，2010。
4. 蘇瓦茲。蘇老師化學黑白講一懂 2 點化學很有用。天下文化出版社。2010。

二、科展報告

1. 臺中市南屯區惠文國民小學，沈芹、林郁家、辛亮葳、范莉筠、李士朋。「生」生不「熄」！
生質柴油的製作與應用。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。
2. 臺中市北區私立育仁國民小學，吳承擘、陳冠維、朱安業、陳治仲、王詠萱、陳冠融、李人傑、紀良穎。**碳為觀阻墨名其妙-碳究石墨線的各種導電特性**。中華民國第 54 屆中小學科學展覽會作品說明書。
3. 國立臺中教育大學附設實驗國民小學，楊芸蓁、陳勇安、蕭沛芸、林禹宏。**發光吧!捏麵人!-濕軟電路於捏麵人導電之研究**。中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書。

三、網路資料

1. 奈米碳的奧秘。科學遊戲實驗室。<http://scigame.ntcu.edu.tw/chemistry/chemistry-018.html>。
2. 陸冠輝。奈米石墨烯的導電。科學研習月刊。第 52 卷第 11 期。2013。
<https://www.ntsec.gov.tw/User/Article.aspx?a=2242>
3. youtube 影片。電路直接用畫的 這個筆好厲害。
<https://www.youtube.com/watch?v=S1XsGVZ-hDY>。
4. youtube 影片。How To Make A Conductive Ink。
<https://www.youtube.com/watch?v=zyGX-VyXXTQ>
5. youtube 影片。\$1 DIY Conductive Ink and Paint (Non Toxic, homemade, cheap!)
<https://www.youtube.com/watch?v=w3dGRansje0>
6. 【玩體驗】顏料一畫就能發光?! 「導電顏料卡片 DIY 」新體驗。
<https://www.damanwoo.com/node/86520>

【評語】 080201

此研究目的在利用隨手可得的物品來製作簡易導電墨水，並將其利用在卡片的製作上。研究主題與生活相關，在評估各式導電墨水的表現上有展現科學計量的概念，發展了標準製程及模板來降低誤差。在實驗變因上，除了碳粉與膠水種類外，亦討論了三種添加劑對於墨水導電度的影響。作品不管是在紙本或展覽場上的呈現都相當有邏輯及吸引力，將來若可以考慮下列幾項建議，作品將會更趨近完善。

首先，在研究背景中應加入之前科展類似作品的分析（如：第四十七屆中小學科展-國中組理化科第三-竹炭與銀的美麗邂逅，第五十四屆中小學科展-國小組物理科-碳為觀阻墨名其妙碳究石墨線的各種導電特性，以及奈米碳製備文獻），並說明本研究的特異性。再來，在實驗細節上，在配置樣品時的描述要更清楚，如重量、體積；可加入空白實驗對照組；也可藉由過篩方式來控制粉體顆粒的一致性；由於導電度會受到導線粗細的影響，所以除了長寬外也可考慮厚度的控制。最後，討論部份比較多量測結果的數據呈現，對量測結果的分析可以再多深入一點。

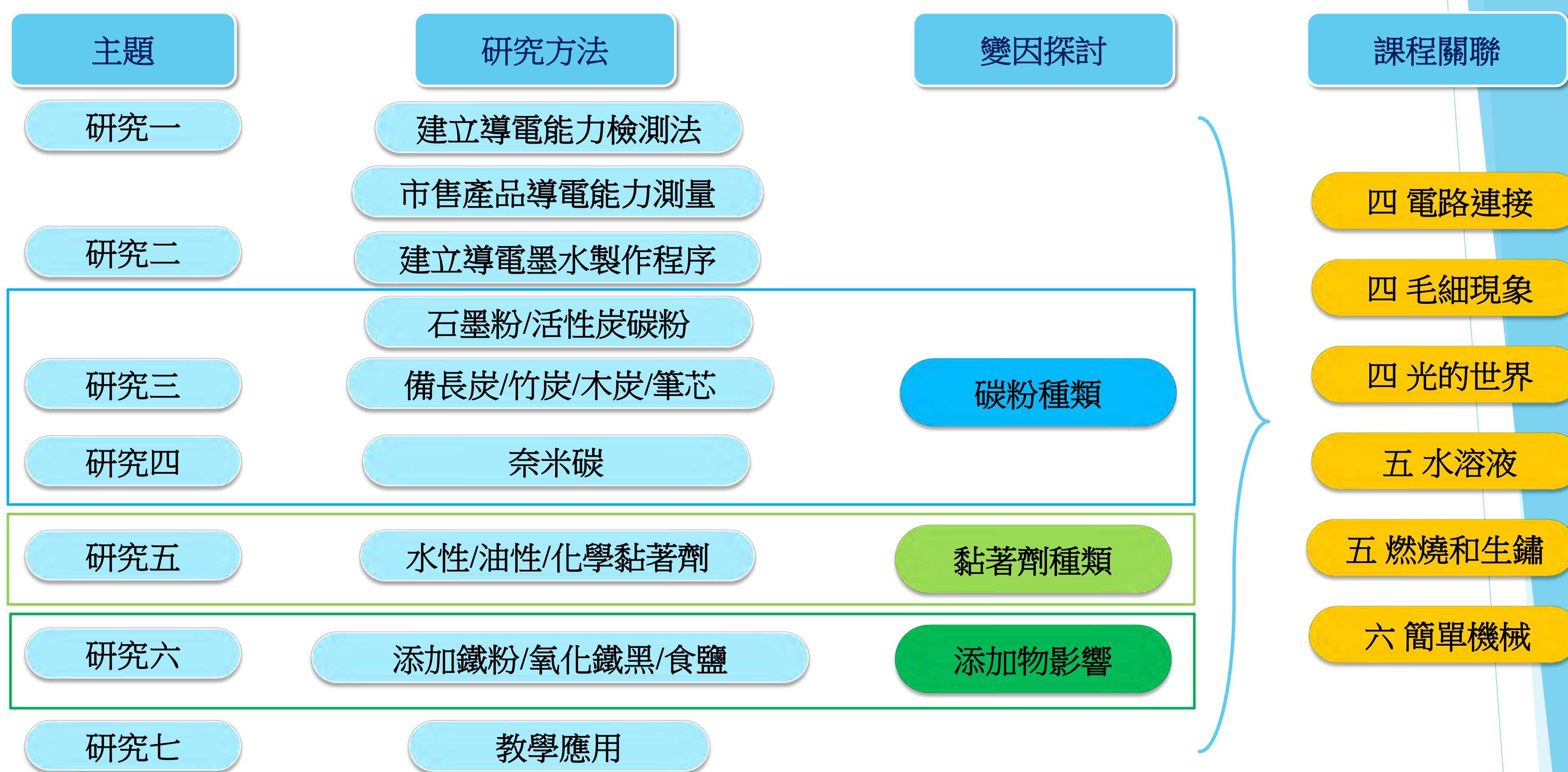
作品海報

摘要

導電墨水是很有趣的科學材料，市面上有兩款導電墨水產品，但是價格都不便宜，所以我們嘗試找尋便宜又有不錯導電能力的材料來自製導電墨水。我們參考相關文獻及資料，建立導電能力的檢測方法及墨水製作流程，並測量市售導電墨水及材料的導電能力，將研究內容以導電材質、黏著劑與添加物三個變因來探討。研究發現：要製作高導電能力的導電墨水的條件為：碳粉純度要夠、顆粒越細越好，使用的黏著劑黏稠度要適中，可添加適當及適量的可導電物質。我們研究的最佳配方為：細顆粒備長炭碳粉和膠水以1.25:1的比例混合，再添加15%的鐵粉，所配製的墨水連接LED可發出220LUX照度的光線，為市售導電墨水的65%，費用僅需九十六分之一，值得推廣並應用於教學上。

研究方法、結果與討論

一、研究架構



二、研究內容

研究一 市售導電產品探討與檢測法的建立

為了瞭解市售導電材質產品的導電效果，我們先進行紙張測試，以篩選適合作為實驗的紙質。除此之外，也以9B鉛筆繪出不同長度、寬度的線條測量電阻，找出適當的尺寸設計電路模板。我們設計模板來確保實驗的準確性，並建立後續電阻測試、電路測試的標準程序。

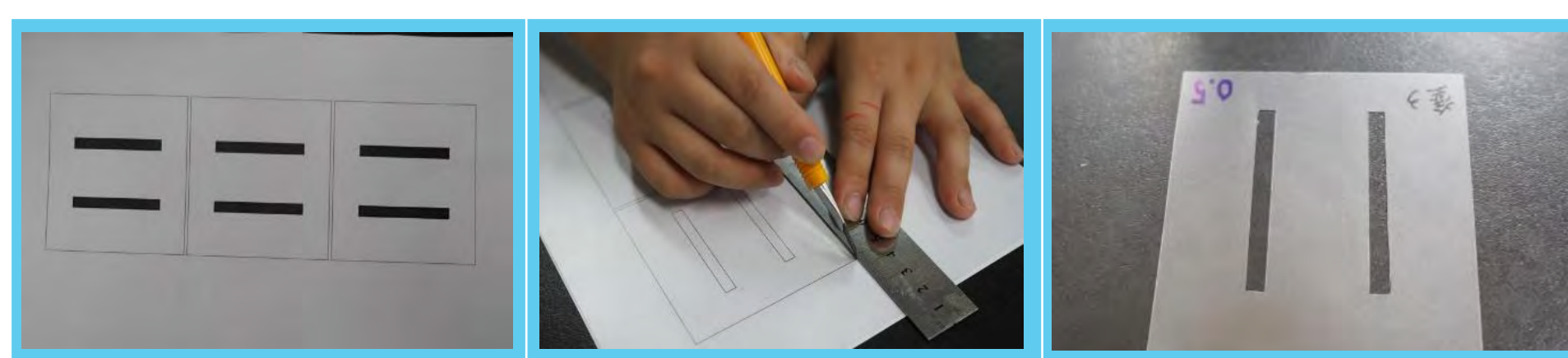
(一)研究方法

1.導線長度與寬度:製作不同長度、寬度模板，利用鉛筆畫出不同條件線條測試片。



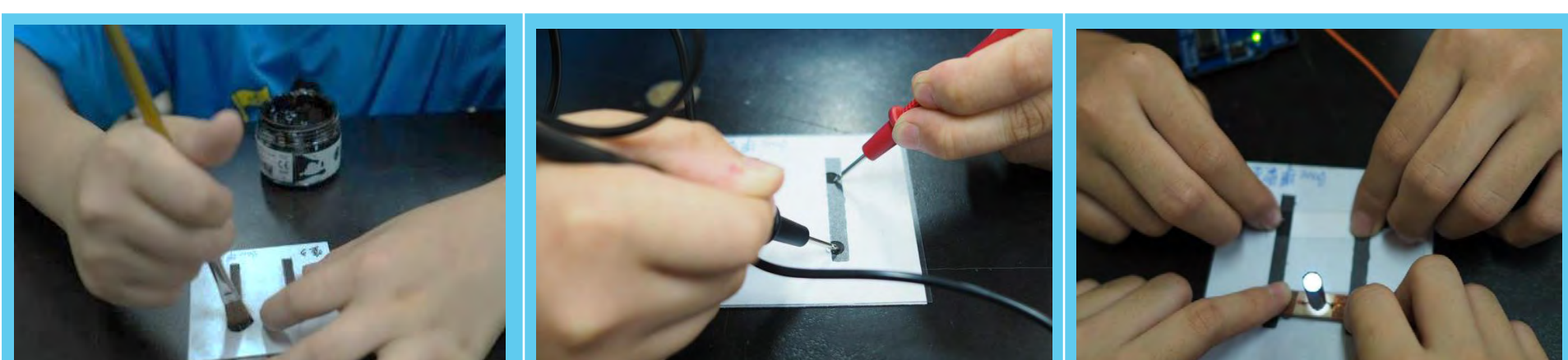
1. 製作模板，以產生固定條件線條。
2. 以鉛筆畫下長1、2、3cm和寬0.1、0.3和0.5cm的線條。
3. 測量鉛筆線的電阻。

2. 模板製作:製作電阻實驗及電路實驗用的模板。



1. 以WORD設計模板的底圖。
2. 以美工刀切割電阻實驗模板。
3. 以美工刀切割電路實驗模板。

3. 電阻、電路(照度)測量



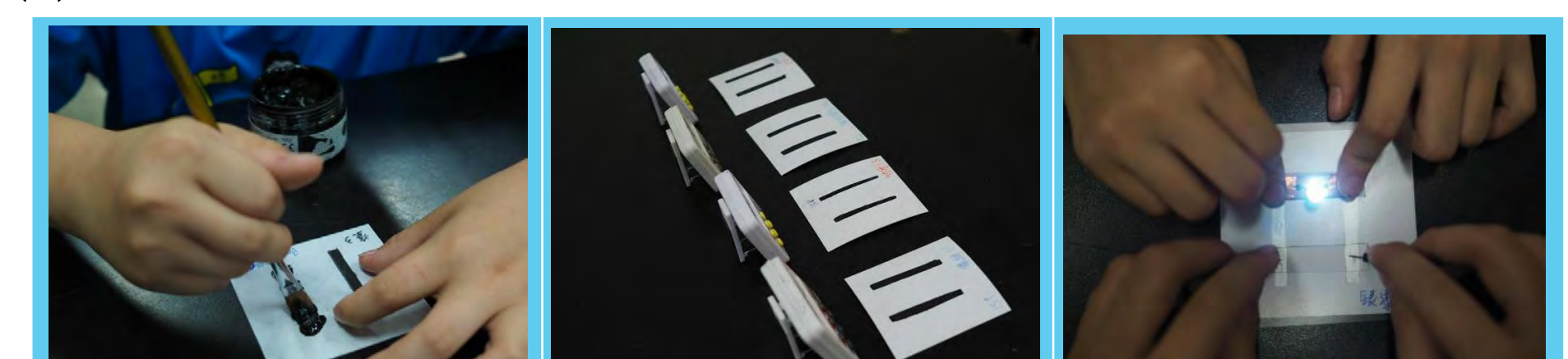
1. 將導電材質以模板畫在測試紙片上。
2. 使用三用電錶來測量電阻。
3. 測量LED燈所產生的照度

4. 測試片材質試驗

(1)紙張種類

名稱	圖畫紙	銅版紙	噴墨紙	雪銅紙	色紙	西卡紙
----	-----	-----	-----	-----	----	-----

(2)實驗步驟



1. 使用市售BARE導電墨水塗在八種紙上。
2. 計算導電材質在不同紙上的乾燥時間。
3. 測量導電材質在各種紙的電阻及照度。

5. 市售產品



(二)研究結果

1. 導線長度與寬度

電阻(Ω)	導線長度			
	1公分	3公分	4.5公分	
導線寬度	0.1公分	30.9K	171.5K	438K
	0.3公分	29.5K	64.2K	98.5K
	0.5公分	25.6K	50.9K	78.2K

2. 不同紙張導線風乾時間及電阻

	噴墨紙	西卡紙	色紙	銅版紙	雪銅紙	圖畫紙
風乾時間	B	C	B	B	B	B
電阻(Ω)	10.68K	0.35K	0.40K	0.40K	1.50K	0.93K
照度(LUX)	16.14	345	32.9	341	64	50

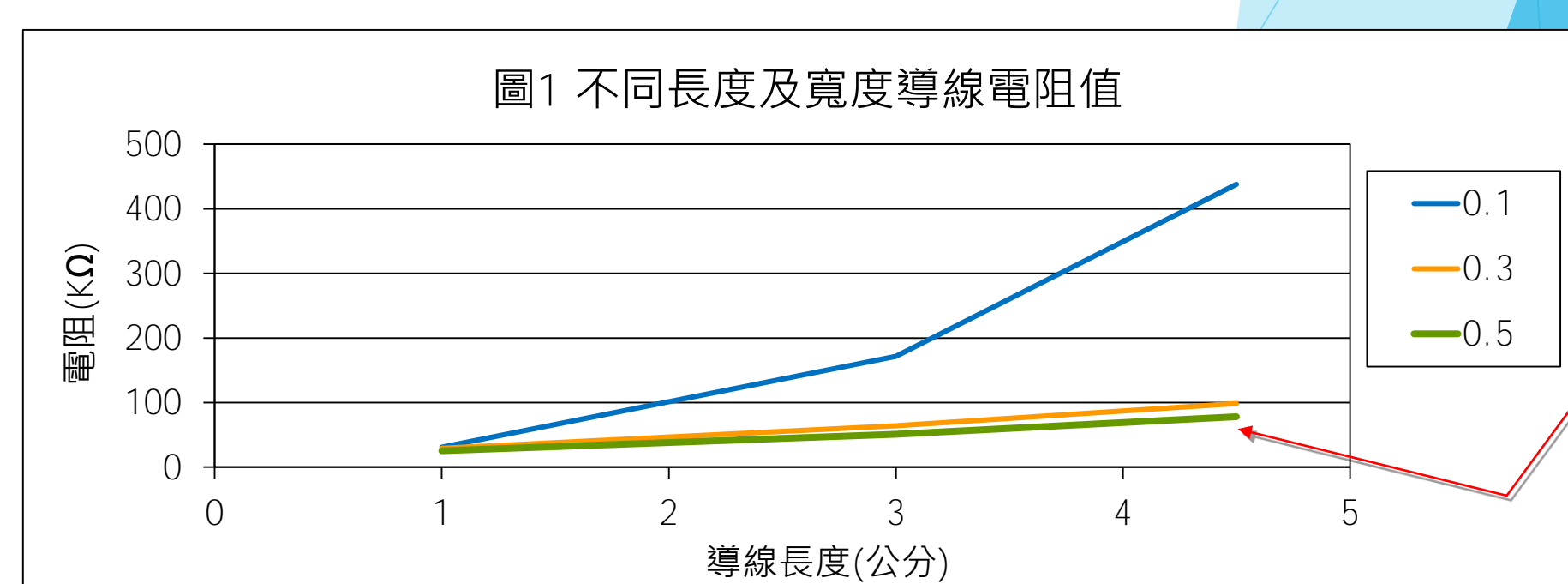
※ 風乾時間：A代表5分鐘以內，B代表10分鐘以內，C代表15分鐘以內，D代表15分鐘以上。

3. 市售產品

名稱	AGIC筆	銀漆筆	BARE導電墨水	銅箔膠帶
成分	銀奈米粒子、溶劑	純銀、導電黏膠	石墨、水、黏著劑	銅
功用	用來繪畫電路	修補斷路	修補斷路	黏貼
價格	\$ 900	\$ 499	\$ 960	\$ 65
電阻	無法測得數據	1.4Ω	0.398Ω	0.7Ω
照度	無法測得數據	1490LUX	341 LUX	1634LUX
導電情形				

(三)研究發現、觀察與討論

1. 做模板的目的是讓每一個人畫出的力道都相同，避免人為因素使線條粗細不同。在這之前，我們做了一個實驗來找出最好的長度、寬度，我們實驗後發現導電效果最好的是：長1cm，寬0.5cm的導線。



導線長度1公分、寬度0.5公分，電阻值最低

2. 為了後續的實驗，我們使用市售BARE導電墨水在各種紙上測量電阻及LED的照度值，發現效果最好的是西卡紙和銅版紙，電阻值和照度值都差不多，但是塗在銅版紙的BARE墨水風乾的時間較快，因此我們選擇以銅版紙作為測試片用紙。

3. 綜合研究結果，我們發現：金屬類產品較能導電，導電能力為：銅箔膠帶>銀漆筆>BARE導電墨水>9B鉛筆，其餘無法在銅版紙上導電。我們在這個研究的最大發現是金屬比石墨更容易導電，但以金屬成分自製導電墨水成本太高，所以我們以製成含碳成分導電墨水為目標。

研究二 自製導電墨水製作程序初探

為了自製導電墨水，我們將研究變因分為碳粉種類、碳粉與黏著劑比例，黏著劑種類與添加物等，在此研究，我們先建立後續實驗與基本程序。實驗中，分別採用了石墨粉和活性碳粉兩種導電材料，並分別使用水、白膠、膠水、壓克力顏料和廣告顏料當作黏著劑，找出最好的黏著劑及碳粉的比例。

(一)研究方法

1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
石墨粉	水、 膠水(分A、B牌)、	1.75:1、1.5:1、 1.25:1、1:1
	白膠(分A、B牌)、	1:2(白膠A) 1:1.5(白膠B)
	廣告顏料	1:2
	壓克力顏料	1:1.5
活性碳粉	膠水A	1:3、1:4

2.製作流程



1. 依比例秤取碳粉的克數。
2. 依比例秤黏著劑克數，並和碳粉混合均勻。
3. 將調製的導電墨水塗在測試片上，進行實驗。
4. 放桌面自然風乾並記錄乾燥時間。
5. 利用三用電錶測量電阻。
6. 利用自製光暗箱測量照度。

(二)研究結果

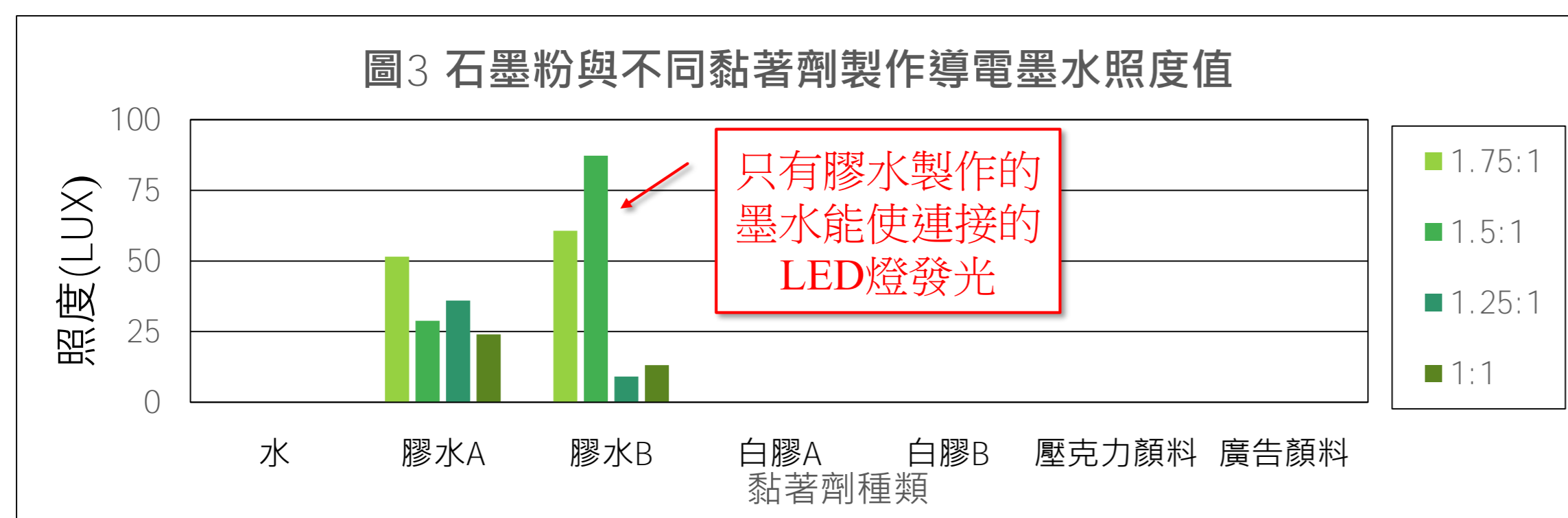
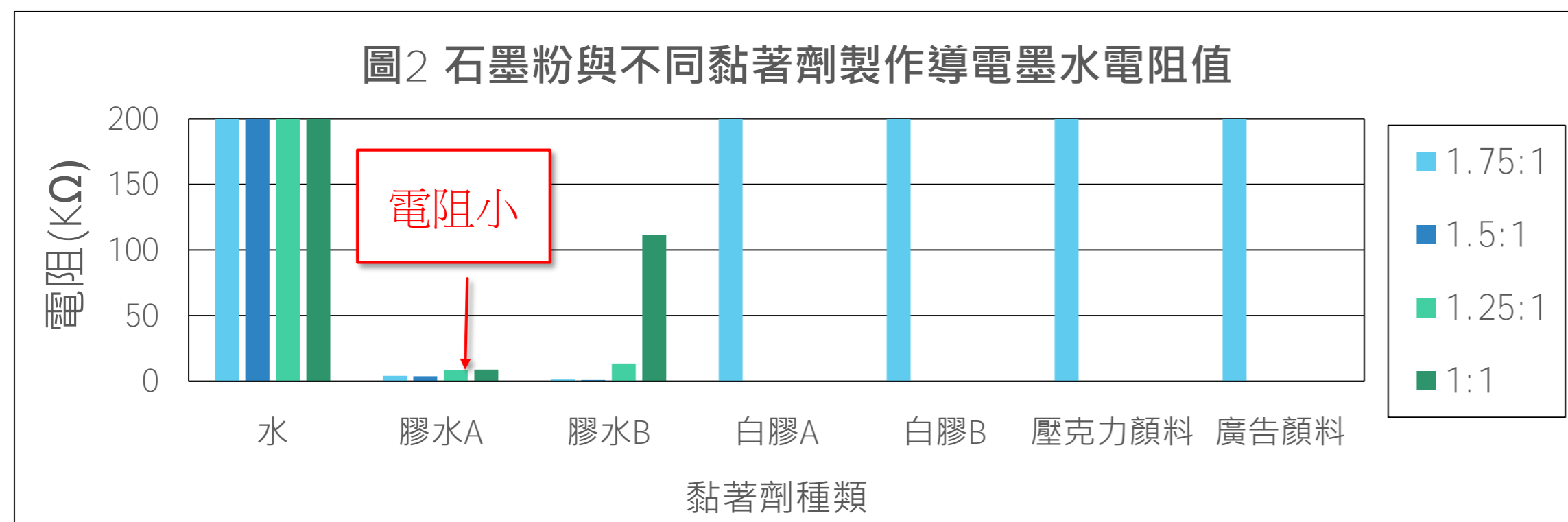
實驗數據詳見報告書

(三)研究發現、觀察與討論

1. 由實驗發現，黏著劑的黏稠度是影響導電墨水能否製作成功的主要因素，當黏著劑的黏稠度越高，能加入的碳粉量越少，碳粉與黏著劑越難混合均勻，甚至有結塊的現象，不容易塗抹於紙上。各種黏著劑中，以膠水的混合效果最好，白膠、壓克力顏料和廣告顏料的效果都不佳。水和碳粉雖然能均勻混和，但靜置後碳粉會和水分離，無法塗抹在紙上，以石墨粉和各種黏著劑混合實驗結果如下表。

石墨粉	石墨粉	石墨粉	石墨粉	石墨粉
膠水	膠水	白膠	壓克力顏料	水
1.5:1	1.25:1	1.25:1	1.25:1	1.25:1
碳粉結塊，無法順利塗抹	可以製得墨水且可以畫在紙上	碳粉過多，完全無法製作	碳粉結塊，無法順利塗抹	可以製得墨水但無法畫在紙上

2. 綜合實驗製作程序、塗抹程序、導電能力和風乾時間四項指標，在製作方法的建立中，我們發現石墨碳粉和膠水A以1.25:1的比例可以製作出最佳導電能力的墨水。



3. 我們設計出導電墨水製作標準程序，以下研究皆以此程序進行：



研究三 以其他含碳物自製導電墨水

在確立導電墨水操作程序後，本研究是為了找出是否有比研究二所用的導電材料「石墨粉」更好的炭粉，所以我們以備長炭、10B筆芯、自製乾餾竹炭及木炭為材料磨製碳粉，將上述碳粉混合膠水A來製作導電墨水，希望可以找出比石墨粉的導電性更好的材料。

(一)研究方法

1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
備長炭粉(粗顆粒) 備長炭粉(細顆粒)	膠水A	1.5:1 1.25:1 1:1
自製乾餾竹炭碳粉 竹炭碳粉 10B筆芯碳粉	膠水A	能製成墨水的比例

2. 實驗碳粉製作：詳見報告書
3. 以研究二製作程序自製導電墨水
4. 以研究一檢測程序進行測試

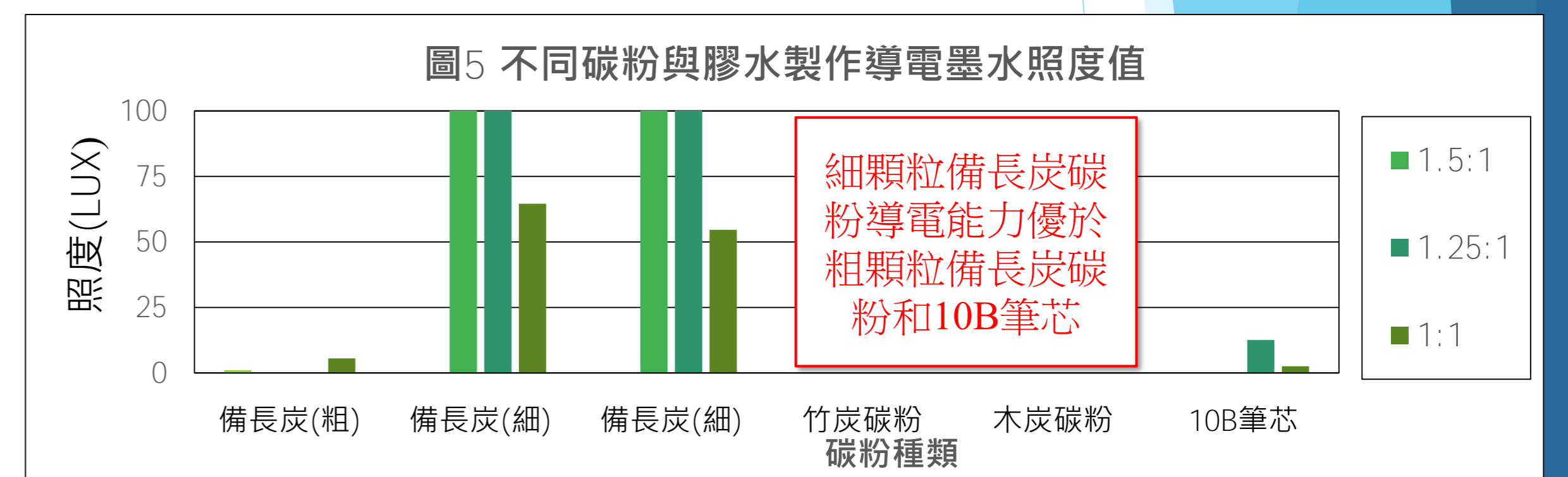
(二)研究結果

1.測試片照度實驗



(三)研究發現、觀察與討論

1. 將不同碳粉所製作的自製導電墨水塗抹在測試片上，測量連接LED燈發出的照度數據如下圖顯示。



2. 由研究二的結果可以知道，適當黏稠度的黏著劑可以獲得較高導電力的墨水。在研究三的實驗結果發現：碳粉的純度高及顆粒細也可以提升導電能力。

研究四 以奈米碳自製導電墨水

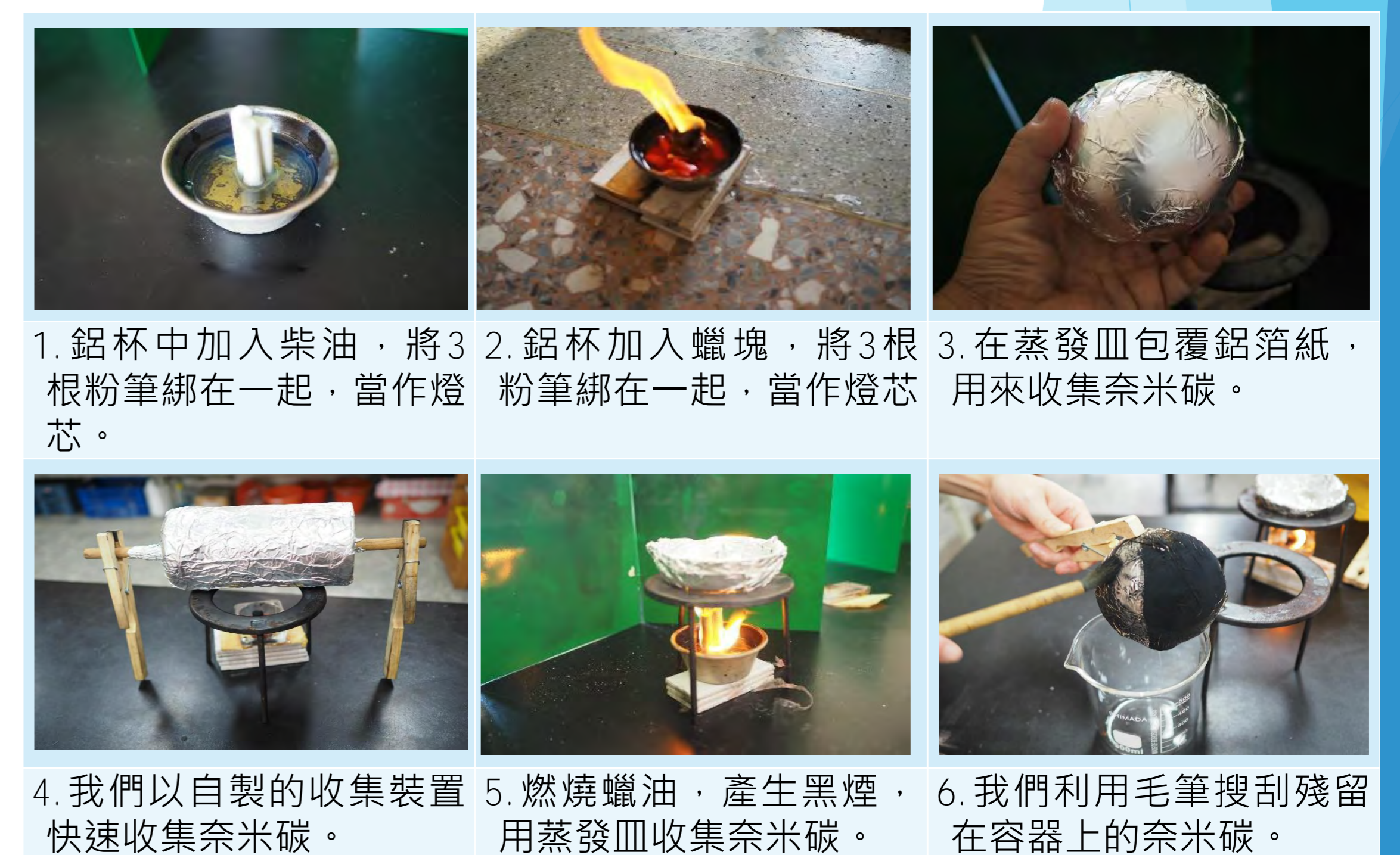
之前常常看到有關於燃燒產生奈米碳的報告，包含用蠟燭燃燒湯匙得到附著其上的奈米碳；腦子裡忽然萌生了一個想法，可不可以把它用來當作我們這次主題「導電墨水」的材料呢？我們以蠟燭和柴油做為燃料進行測試。

(一)研究方法

1.變因

碳粉種類	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
奈米碳	膠水A	1:13

2.收集奈米碳



3. 以研究二程序自製導電墨水並檢測

(二)研究結果

實驗數據詳見報告書

(三)研究發現、觀察與討論

1. 我們原先設定以碳粉/黏著劑1:1來進行實驗，結果發現奈米碳很輕，膠水量不足以均勻混和，直到1:13才成功，顯見所製成的奈米碳過於蓬鬆，可能是因為燃燒的過程碳粒和空氣產生空隙所造成的。
2. 由於膠水量較多，乾燥時在墨水表面覆蓋一層光亮的物質，導致乾燥時間比其他墨水久，因為奈米碳導電墨水的電阻很大，所以不容易導電，照度方面奈米碳實驗全部無法點亮LED。
3. 碳粉的紮實度越高，導電效果越好，因此，我們選擇以備長炭碳粉的材料製成導電墨水。

研究五 自製導電墨水黏著劑種類探討

為了要確認是否有其他的黏著劑能把墨水的導電效果提升，我們試著使用不同性質的材料，如水性的澱粉和漿糊、油性的凡士林與葵花油和一些化學材料，找出有沒有其它能夠提升導電能力的物質來當作黏著劑。

(一)研究方法

1.變因

碳粉	黏著劑種類	碳粉和黏著劑比例
細顆粒備長炭碳粉	澱粉、漿糊 稀釋膠水	1.25:1
	凡士林、葵花油 水玻璃、醋(5%)、 小蘇打	1:1

2.製作流程：詳見說明書

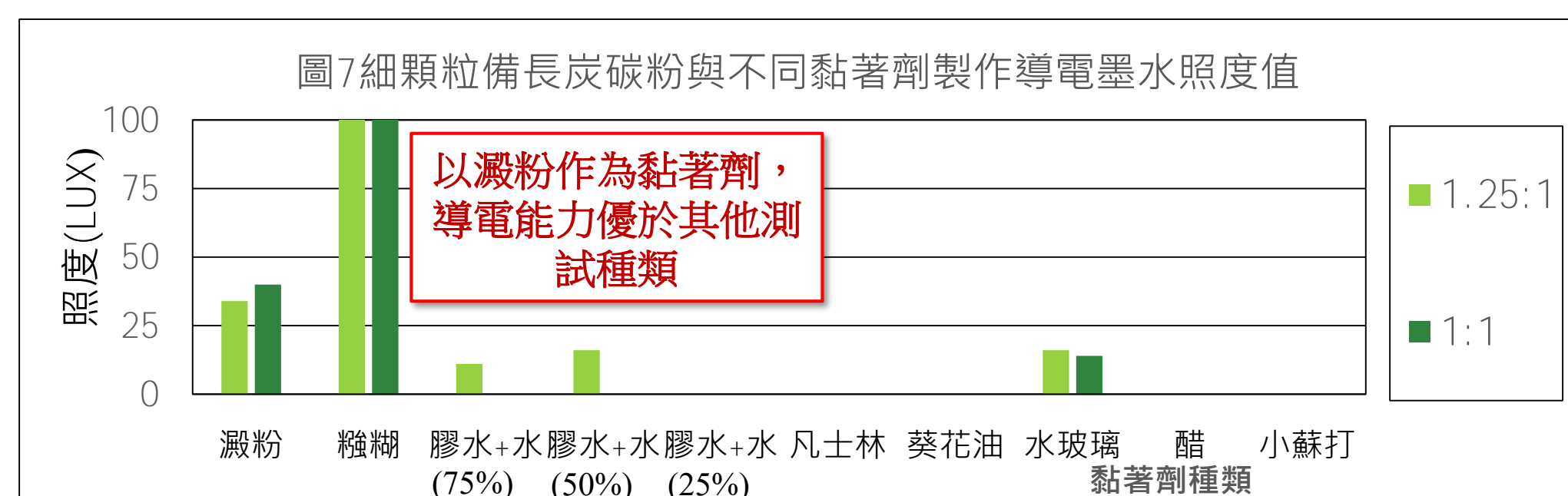
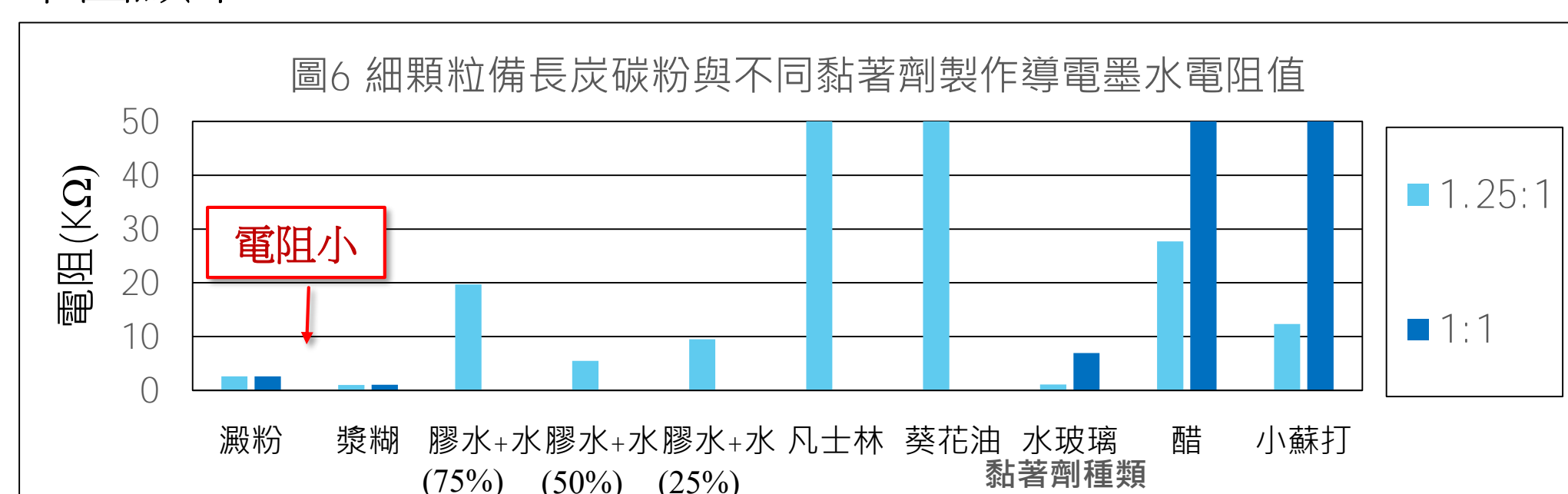
(二)研究結果

1.測試片照度實驗(碳粉皆使用細顆粒備長炭碳粉)

澱粉 1:25:1	漿糊 1:25:1	膠水+水(75%) 1:25:1	膠水+水(25%) 1:25:1
凡士林 1:25:1	水玻璃 1:25:1	醋(5%) 1:25:1	小蘇打水(飽和) 1:25:1

(三)研究發現、觀察與討論

1.將不同黏著劑與細顆粒備長炭碳粉所製作的自製導電墨水塗抹在測試片上，測量它們的電阻及連接LED燈發出的照度數據如下圖顯示。



2.如果想製作環保配方的導電墨水可考慮利用澱粉配製或直接用漿糊為黏著劑，導電能力也不錯。

研究六 添加物質對自製導電墨水導電效果的影響

以細顆粒備長炭碳粉和膠水所製得的導電墨水在照度部分可達市售BARE墨水的62%，我們嘗試添加某些物質來看看會不會對導電效果有所提升。經過討論，我們在自製導電墨水中添加了不同比例的鐵粉、具有磁性的氧化鐵黑及強電解質食鹽。

(一)研究方法

1.變因

碳粉	黏著劑種類	添加物	碳粉和黏著劑比例
備長炭粉	膠水	鹽(NaCl) 鐵粉(Fe) 氧化鐵黑(Fe ₃ O ₄)	1.25 : 1

2.添加物

添加物	鐵粉	氧化鐵黑	食鹽
添加比例	1公克(15%) 2公克(30%) 3公克(45%)	1公克(15%) 2公克(30%) 3公克(45%)	0.1公克(1.5%) 0.25公克(3.75%) 0.5公克(7.5%) 1公克(15%) 2公克(30%) 3公克(45%)

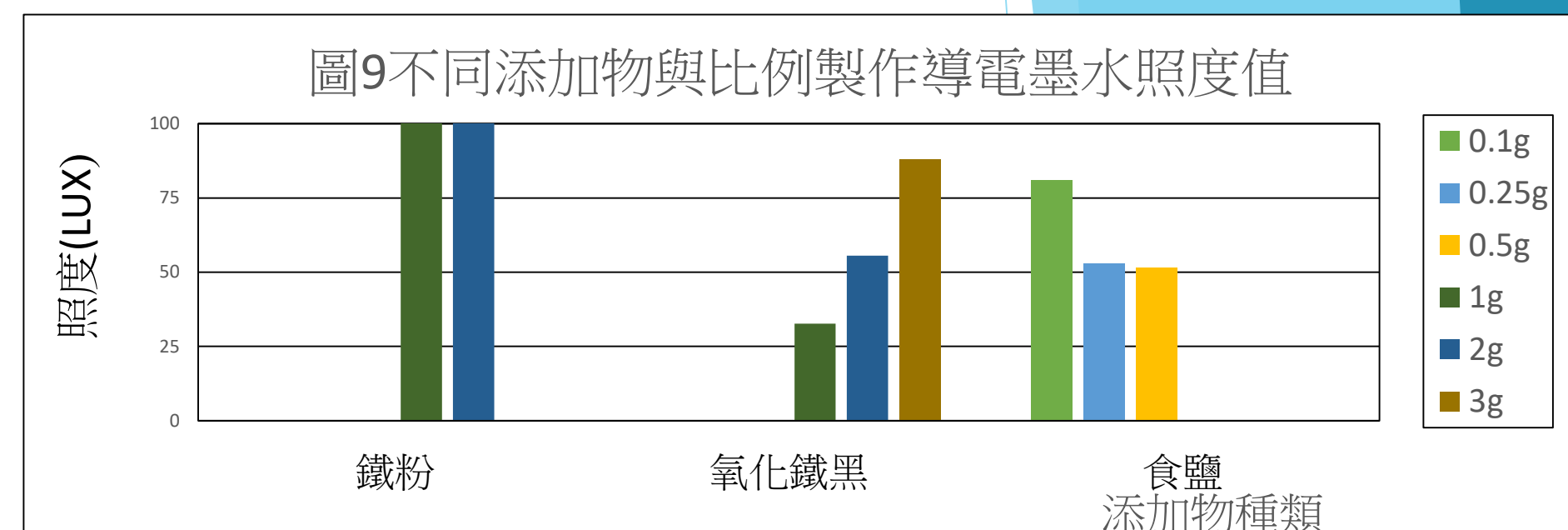
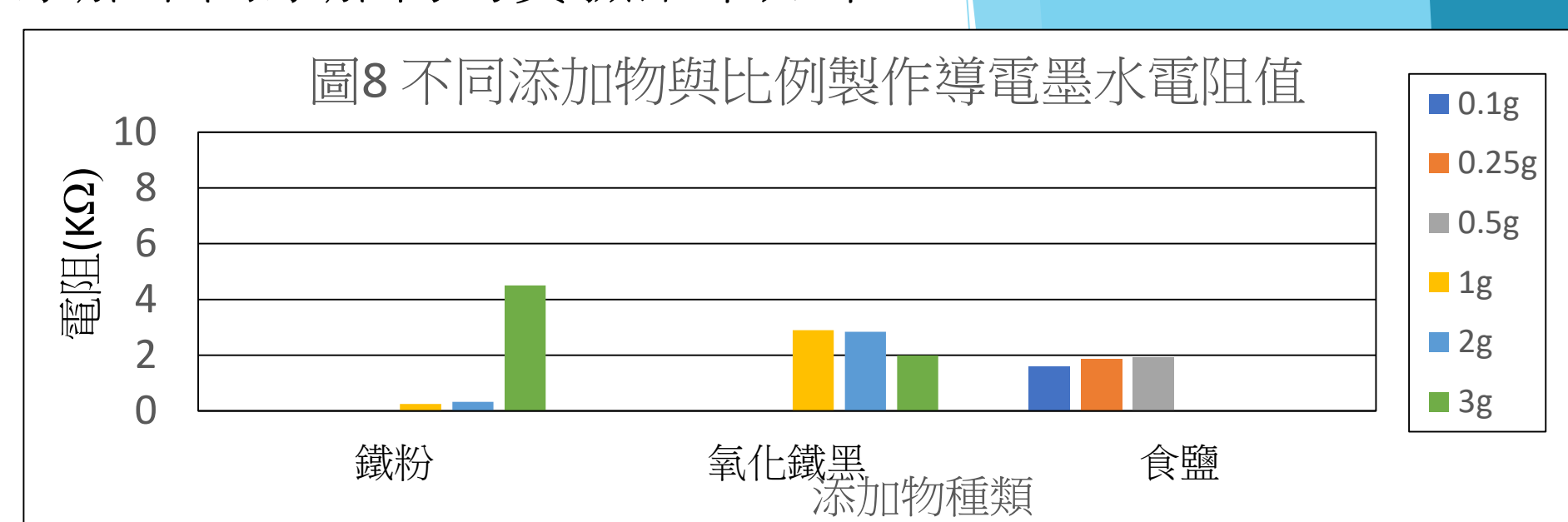
3.以研究二程序自製導電墨水並測試

(二)研究結果

實驗數據詳見報告書

(三)研究發現、觀察與討論

1.添加不同添加物的實驗結果如下。



2.本研究的最佳配方為：細顆粒備長炭碳粉和膠水以1.25:1的比例配製，再添加15%的鐵粉，其所製備的導電墨水照度可達市售BARE墨水的65%。

研究七 不同形式自製導電墨水應用探究

在研究出製作導電墨水的最佳配方之後，我們想進一步探討是不是可以做成以筆刷塗方式之外的形式？我們試著將自製的導電墨水填充到注射針筒中，擠壓針筒讓墨水自動流出，向筆書寫一般。除此之外，我們也按照中年自然課程裡學習到電路的串、並聯的概念，看看可不可以用導電墨水做出串、並聯的電路。我們也嘗試按照網路的資料自製可以導電的卡片。

(一)研究方法

- 1.製作流程：詳見說明書
- 2.卡片製作：詳見說明書

(二)研究結果

(1)串並聯電路實驗

	以水彩筆平塗市售BARE導電墨水電路	以水彩筆平塗自製導電墨水電路	以針筒擠出自製墨水電路
串聯兩顆燈泡			
串聯三顆燈泡			
並聯兩顆燈泡			
並聯三顆燈泡			

(2)自製導電卡片



伍、研究結論

一、市售導電墨水探討

- 1.由媒體網路得知導電墨水的產品，能夠用此墨水畫出電路，製作有趣的電路、電子賀卡等等，這令我們相當好奇；我們購買相關商品，進行實驗測試，發現市售商品導電效能的確良好。惟仍有許多缺點：如價格昂貴，或是要配上特殊用紙（如AgIC筆）。
- 2.市售BARE在我們的測試環境下，導電使LED發光照度達341LUX。這是我們主要想模仿的對象。
- 3.其他如AGIC筆（需要搭配特殊用紙）；銀漆筆發光照度達1490LUX（但內含純銀）；9B鉛筆（無法使LED發亮）、銅箔膠帶發光照度達1634LUX（屬於膠帶非墨水），則提供參考。

二、自製導電墨水可行性

- 1.小組鎖定分別以導電材質、黏著劑、添加物三大項目來進行研究。
- 2.導電材質我們選擇碳製品，一來能導電，二來能扮演墨裡的色素成分。
- 3.由研究二我們發現黏著劑以膠水表現最優，導電後電阻8.48kΩ使LED照度達36LUX。（條件為碳粉/黏著劑比例1.25：1）。
- 4.研究三與研究四則發現備長炭碳粉(細顆粒)為最佳導電材質，能夠產生212LUX，但是此配方是碳粉/黏著劑比例1.5：1，產生的墨水應該稱為墨膏，塗抹困難。故小組退而選擇塗抹效果較佳之碳粉/黏著劑比例1.25：1的配方。此配方能產生183LUX，電阻0.28kΩ。
- 5.要製作出導電能力佳的導電墨水必須掌握以下原則：碳粉紮實度要夠、顆粒越細越好，使用的黏著劑黏稠度要適中。

三、進一步導入環保理念—環保導電墨水

- 1.進一步導入對環境更友善的材質，一定是個好選擇。由研究五我們發現以澱粉類黏著劑漿糊取代膠水，碳粉/漿糊比例1.25：1，此配方能產生148LUX，電阻0.99kΩ。
- 2.從研究六中我們發現添加鐵粉、氧化鐵黑及食鹽都能得到不錯的導電效果。但只有添加15%鐵粉可以獲得比未添加時更好的導電效果，照度可從183LUX提升至220LUX，此時電阻為0.249kΩ。

四、應用於課程遊戲

- 1.電路的課程在四下進行，若是能將導電墨水引進課程，那我們就有福了！因為電線的組裝不如用畫的簡單。不但能學習又能兼顧趣味性。
- 2.本實驗研發的成分十分安全，不論是一般配方或是環保配方，都是安全容易取得的材料，外加上價格友善，成本低廉，值得大大推廣。環保配方甚至可用食用級材料來製作呢！