

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080110

一筆來電—導電膠的探索與製作

學校名稱：高雄市新興區信義國民小學

作者： 小六 楊宇博 小六 黃楷煊 小六 陳菡蓀 小六 林致良	指導老師： 林宇涵 胡益銘
---	---------------------

關鍵詞：導電膠、石墨粉

## 摘要

我們想瞭解如何做出較市售成本更低廉、且材料容易取得的導電筆。在經過蒐集文獻並嘗試製作後，我們決定將目標訂為導電膠的製作。在嘗試幾種粉末導體後，發現石墨粉效果較其他金屬粉末為佳。我們也嘗試使用不同種類、不同比例的有機溶劑及膠類，發現聚乙烯樹脂（PVAC）製成的導電膠效果最佳，其次是保麗龍膠，且當石墨粉的量為 4 平匙時，膠的量約 2~3 克為佳。另外有機溶劑在實驗中會影響到粉末與膠的結合，溶劑量太少時，導電膠便無法形成易塗抹的膠狀。最後我們經過電阻值、導電照度、風乾時間、塗抹順暢度等條件，來選出我們製作出最佳的導電膠比例，比例為「石墨粉 16 平匙、甲醇 16 毫升及 PVAC 20 克」。

### 壹、研究動機

我們最近在網路影音平台上看到一個有趣的廣告，廣告中，一支銀色的筆流暢地在卡片上畫出線條，神奇的是，卡片上裝設的小燈泡，隨著筆跡所到之處一一亮了起來。讓我們想到四年級自然課學習過的「神奇電力」單元，老師教我們如何利用串、並聯等方式來使小燈泡發亮。但如果課堂上的電路，可以隨心所欲的畫出來，是不是可以更有趣、更簡單操作呢？而市售的導電筆動輒一支 500~1000 元不等，或許我們可以自己來做出成本低廉又可導電的筆，因此我們決定蒐集資料，嘗試自己來製作導電筆，看看是否能實際做出可應用的成品。

### 貳、研究目的

- 一、市售導電墨水(導電膠)類產品之比較。
- 二、導電膠製作之嘗試與初探。
- 三、不同種類粉末對導電膠導電性之影響。
- 四、膠體成分對導電膠導電性之影響。
- 五、溶劑對導電膠導電性之影響。
- 六、決定最佳比例的導電膠。

### 參、研究設備及器材

粉末	暖暖包粉末、石墨粉、銅粉、鋁粉
膠體	膠水、白膠、PVAC (聚醋酸乙烯樹脂)、保麗龍膠、環氧樹脂
溶劑	甲醇、丙酮
器材	導電墨水筆、導電銀漆筆、塑膠杯、30ml 燒杯、電子秤、三用電表、量匙、玻璃攪拌棒、照度計、軟磁鐵、塑膠滴管、塑膠滴瓶 30ml、A4 紙張

### 肆、文獻探討

#### 一、導電膠與導電墨水的研究：

所謂的導電膠(墨水)，市售的成品幾乎沒有透露出配方，只有標榜主要成分如奈米銀離子、銀漿等，其他內容物一概為商業機密。於是我們上網找尋能製作出導電膠(墨水)的材料，得知導電膠是一種固化或乾燥後會具有導電性的膠黏劑，它通常以基體樹脂和導電粒子為主要組成的成分，通過基體樹脂的黏接作用把導電粒子結合在一起。而導電膠在固化或乾燥之前，導電粒子在基體樹脂中是分離的，相互間沒有連續接觸，因而處於絕緣狀態。導電膠固化或乾燥後，由於溶劑的揮發和基體樹脂的固化而引起膠黏劑體積的收縮，使導電粒子相互間呈穩定的連續狀態，因而表現出導電性。形成導電通路而導電墨水的產品較新，應用也較少，因此文獻資料也少，只能推斷它應該除了主要的導電體材料以外，可能還加入了類似水性原子筆等助於書寫的原料。

導電膠或導電墨水的應用，是可以替代鉛錫焊接，易於操作，並可在一般室溫下固化，提高生產效率或維修便利，還有許多微型電子元件跟印刷電路板上都少不了它的應用。當然，由於它的操作便利性及安全性，也可以拿來作為電路教學使用。

#### 二、導電膠或導電墨水相關科展作品：

「碳為觀阻墨名其妙—碳究石墨線的各種導電特性」，這篇為 2014 年的國小科展作品，雖研究的不是導電筆的製作，不過卻可作為測量導電性方法的參考。作品中考慮了各種石墨線的變因，如軟硬、長度、寬度、厚度等，這些都會影響電阻值的變化，也是

我們實驗中必須加入考量的變因。另外我們看到裡面描述電阻值時，電阻值幾乎大到後面都有很多個零，所以我們直接用 k $\Omega$  來描述，避免出現太多冗長的零。

「粉墨登場—自製導電墨水的研究」，這篇為 2017 年的國小科展作品，與我們的研究相關度非常大。當我們開始嘗試製作導電膠的時候發現到這篇研究，一方面失落於已有類似的研究，一方面又開心於果然自製導電膠是可行之路。此篇作者在導電粉末的部分做了許多嘗試，參考了多種的含碳物作為導體，覺得他們的嘗試非常多元也費工。另外他們還試做了把紙當成變因的一種，由於我們的導電膠目的是希望能在最常見、最易取得的 A4 紙上塗抹，因此沒有考慮將紙納入變因，這也顯現兩者著眼點的不同。該作品最後提出了一環保型的原料，在現在處處皆講求環保的時代，我們認為他們的想法非常棒，也希望能引以作榜樣。

### 三、電阻與導電率：

我們希望自製導電膠不只是個實驗，而是實際可以應用在教學或其他方面的成品。正因為期待其實用性，成品的導電率便是我們所關注的焦點。我們希望提高導電膠的導電率，也就是要想辦法如何降低導電膠的電阻。

我們上網查詢了電阻的公式，希望藉由瞭解電阻的定義後能更明白我們實驗時應注意哪些細節。我們查詢到的電阻計算公式為：

$$\text{電阻} = \text{電阻常數}(\rho) \times \text{長度} / \text{截面積}$$

其中電阻常數與導電的材質有關，而我們發現電阻會與導電體的長度成正比，與導電體的截面積成反比。若我們能自製出可導電的導電膠成品，在製作與測試的過程中，必須考量到測量的長度以及筆跡的寬度（截面積）都是我們實驗的變因。

## 伍、研究過程與步驟

### 一、市售導電筆類產品之比較：

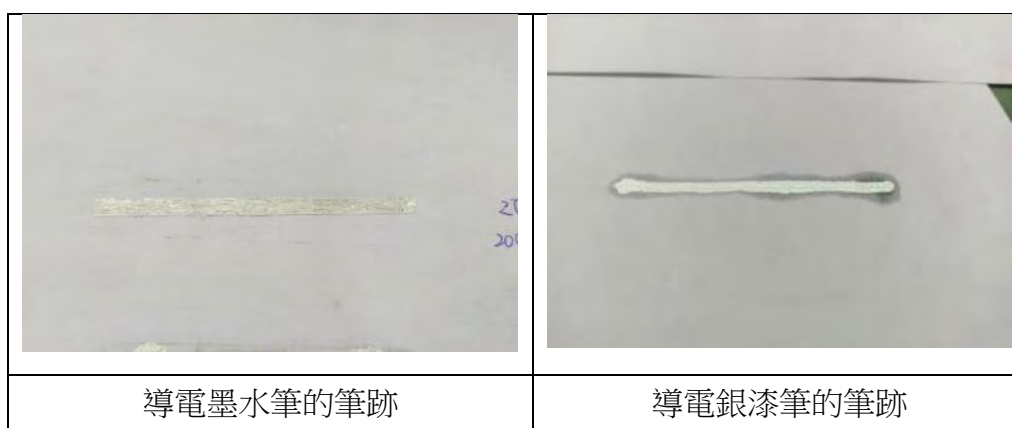
方法：我們從市面上買來兩款較著名的導電筆產品，並測試其導電性及其他特性。

第一種：導電墨水筆

第二種：銀漆筆

(一)基本比較：

比較項目 導電筆 種類	價格	主要導電 成分	書寫性	乾燥速度
導電墨水筆	約 900 元	奈米銀離子	跟鋼珠原子筆差不多，有些角度會斷水。	幾乎立即乾燥
導電銀漆筆	約 500 元	導電銀漿	類似立可白，需先搖晃後再擠壓，有的地方會太厚。	較慢，塗得較厚的部分要等比較久。



(二)導電性測試：

- 1.於紙上畫上兩段等長的導電筆筆跡，並使用串聯兩顆 1.5V 之 3 號電池及 3V 規格之 LED 燈，看看電路是否接通（如圖 1）。
- 2.使用市售三用電表，將兩測棒距離固定為一公分寬，並測量導電筆筆跡之電阻（如圖 2）。

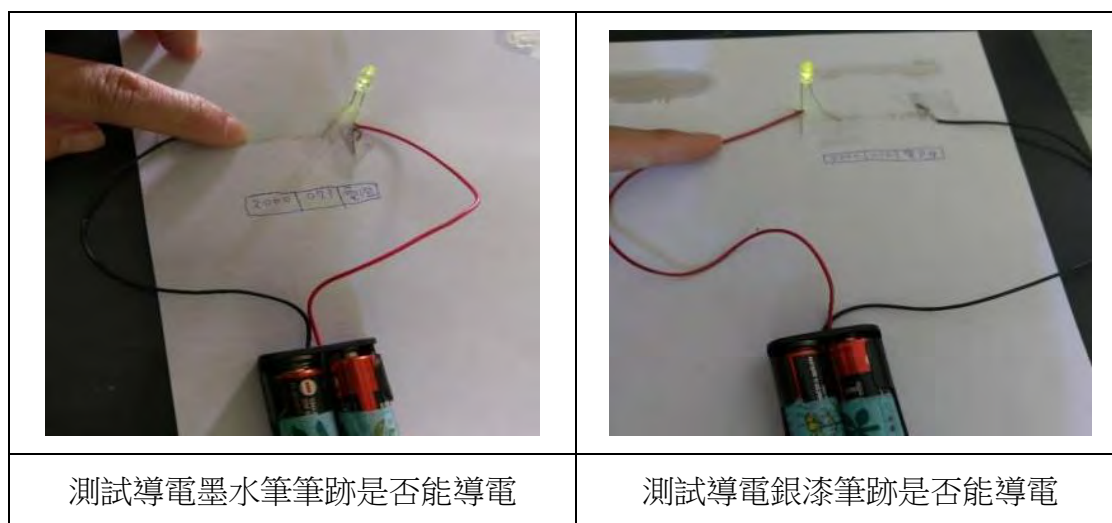


圖 1 導電墨水筆及導電漆筆筆跡的導電測試

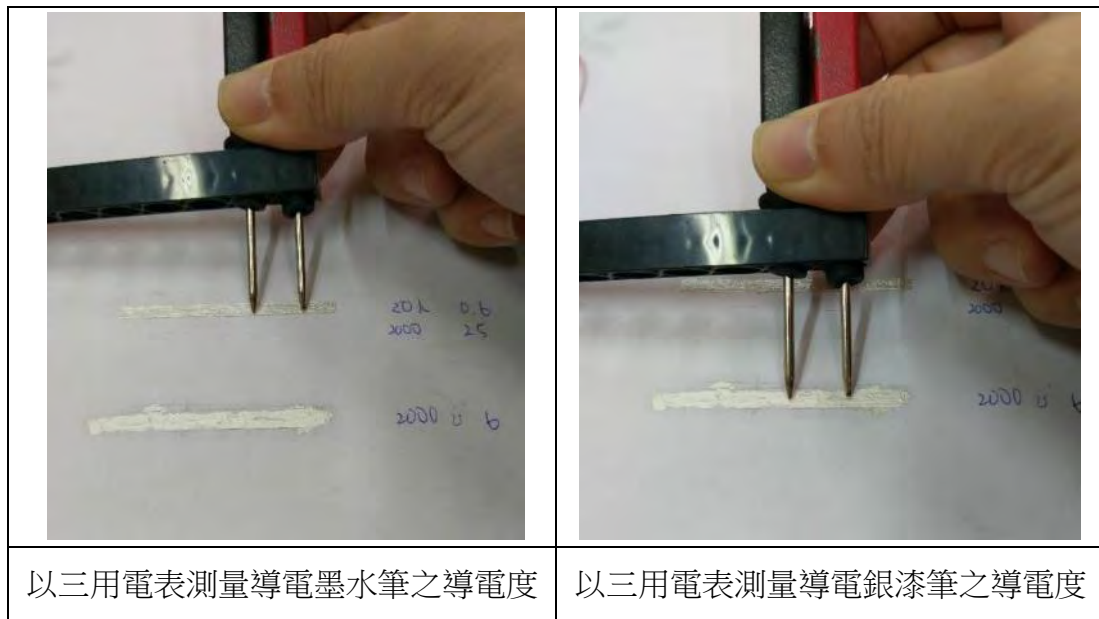


圖 2 以三用電表測量導電墨水筆及導電漆筆的導電度

(三)結果：

- 1.兩者皆能使 3V 的 LED 燈泡發亮。
- 2.導電度比較：

	第一次	第二次	第三次	平均
導電墨水筆	21k $\Omega$	20k $\Omega$	14k $\Omega$	18.3k $\Omega$
導電銀漆筆	10k $\Omega$	10k $\Omega$	12k $\Omega$	10.7k $\Omega$

兩者都能使 LED 燈發亮，而導電銀漆筆的電阻又比導電墨水筆小，導電性較佳，且價格還較便宜，缺點是塗抹時銀漆筆乾燥較慢，而且不易控制水量。

## 二、導電膠製作之嘗試與初探

(一)想法：

我們購入了市面上的導電筆，想一探其成分，但即使買到了實品，商品上還是沒有把成分標明出來，我們在查詢文獻後，決定將目標成分放在：導電體(粉末)及樹脂、膠類(用以把粉末狀的導電體接合在一起)。

因此我們將原本的目標從「導電墨水」改成「導電膠」，較能符合我們成品的內容。並探索身邊有何種材料可符合上述條件的，取之當作初次嘗試製作導電膠的試驗品。後來，我們想到暖暖包中含有鐵粉的成分，鐵本身可以導電，於是我們嘗試以鐵粉當作主要的導

電體。要將暖暖包中的鐵粉成分取出，我們使用磁鐵來分離。但暖暖包中的活性碳粉顆粒較鐵粉細，常會附著在鐵粉上一起被磁鐵帶起，活性碳粉我們雖然不清楚它的導電性，但鉛筆的筆芯—石墨是可以導電的，而石墨也是由碳所組成，抱著這個想法以及去除活性碳的困難度，因此少量的活性碳粉我們就不另外去除。另外樹脂膠體我們選用手邊就有的膠水與白膠來作嘗試，想看看暖暖包粉末加上膠水或白膠的混合體是否可以導電。

我們假設導電體在膠中的量如果不夠細密，可能會導致粉末與粉末間空隙過大沒有接觸在一起而無法導電，因此我們設定一個粉末量比膠體還多的比例來作為初探的嘗試，約是粉末 4g、膠體 2g 的量。

(二)實作：

- 1.取出暖暖包裡的粉末，以磁鐵將大部分鐵粉吸起分離至塑膠杯中。
- 2.將粉末平均秤約 4g，分別加入 2g 的膠水、白膠、及等量白膠加膠水的混合膠。  
(此時發現白膠過於黏滯難以和粉末均勻混合，因此白膠中我們加入了少許水)
- 3.將粉末與膠體均勻混合，過篩(把太大以及結塊的顆粒去除)。
- 4.將混合物放入塑膠針筒中，方便擠出。
- 5.連接 LED 燈泡看是否能導電。

		
<p>將暖暖包粉末與膠體混合後過篩</p>	<p>放入針筒擠在紙上</p>	<p>擠出的成品</p>

(三)結果：

- 1.我們在自製導電膠乾燥前與乾燥後分別連接了 LED 燈泡，試試看是否能使 LED 燈發亮。結果發現：乾燥前，不論加入白膠或是膠水，甚至白膠加了少許水，都可使 LED



燈發亮。但乾燥後，皆無法使 LED 燈發亮。我們推論：乾燥前能夠使 LED 燈發亮，可能是膠體中的水分如同含電解質的水溶液一樣在粉末間扮演導電的橋樑，但當水分乾了之後，膠體剩下的部分不導電，反而成為很大的電阻阻擋在粉末之間，因此無法導電。

		
乾燥前，加了膠水的粉末可使 LED 燈發亮	乾燥前，加了白膠加膠水的粉末可使 LED 燈發亮	乾燥前，加了白膠加水的粉末可使 LED 燈發亮

## 2.嘗試修改：

(1)我們使用的暖暖包粉末並不是純鐵粉而是多種粉末的混合物，即使嘗試分離也難以完全分離乾淨，增加了不穩定的變因，所以應選擇以純種類的粉末來實驗之。

(2)文獻中提到有機溶劑在揮發時會使膠體固化並收縮，可以使得導電粉體之間的距離更緻密，因此我們在接續的實驗中，將加入有機溶劑作為調和使用，並利用其揮發特性使導電膠能較快乾燥。

## 三、不同種類粉末對導電膠導電性之影響

### (一)想法：

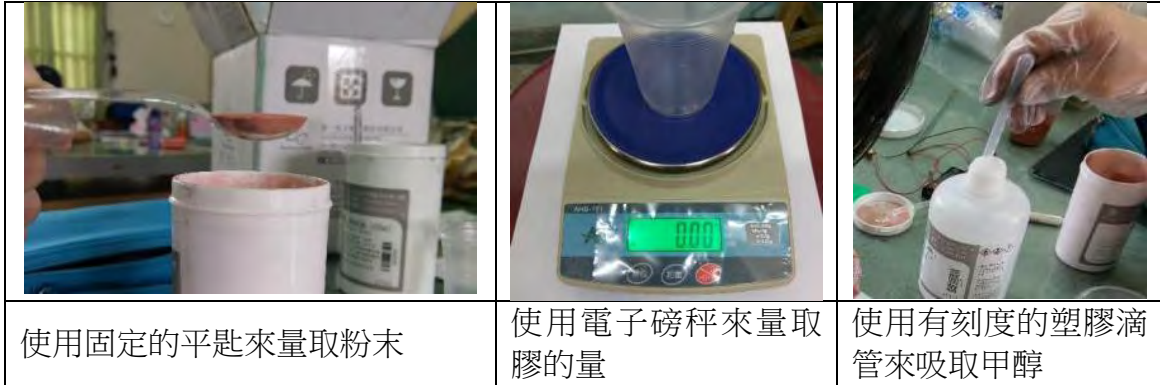
我們查詢了幾種電阻較小的元素，想作為導電體的主要材料。查詢的結果，發現常見金屬的導電度前幾名排行分別是：銀>銅>金>鋁，其中銀與金的成本太高，取得不易也不適用在國小自然課上，因此不考慮。另外還有非金屬的石墨雖然電阻較金屬略高，但價格便宜易取得，因此成為我們實驗的目標。所選用的材料如下：

- 1.導電體粉末：銅粉、鋁粉及石墨粉。
- 2.有機溶劑：考慮安全性與取得便利性，我們選用 99%的甲醇作為本實驗的溶劑。
- 3.膠類：我們發現常用的膠類都來自一種主要原料—聚醋酸乙烯樹脂(PVAC)，因此為排除各品牌膠類的成分差異，我們購買原料型的聚醋酸乙烯樹脂來作為本實驗的膠類。



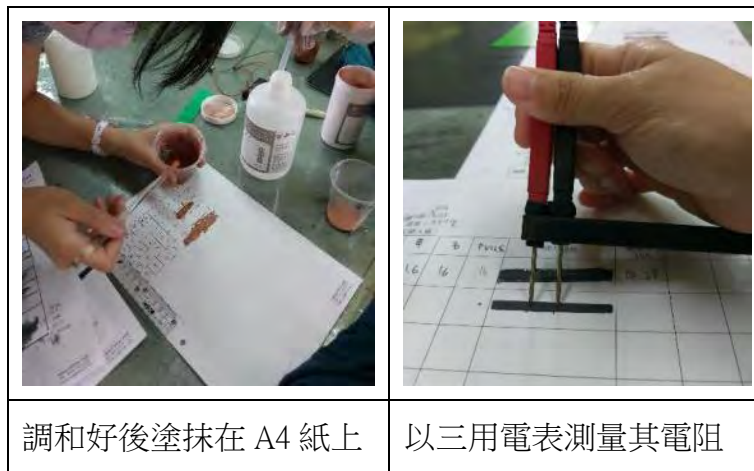
(二)實作：

- 1.取兩平匙（※）的銅粉、鋁粉及石墨粉，分別加入 2 毫升甲醇，以及為了嘗試各種粉末與多少量的膠類混合能得到較好的成品，我們分別加入 1、2、3、4 克的 PVAC，並混合之。



- 2.將混合的成品塗抹在 A4 紙上。

- 3.待其乾燥，以三用電表測量電阻值，兩支測電棒的距離固定為 1 公分。



※備註：粉末以平匙測量是由於各粉末本身的重量不同，若取用同重量反而量會不同。

(三)結果：各種導體粉末的測試情形分別如圖 3、圖 4、圖 5 所示，而測得的電阻值大小呈現如表 1。


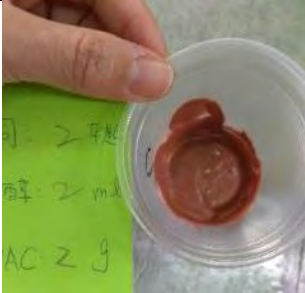
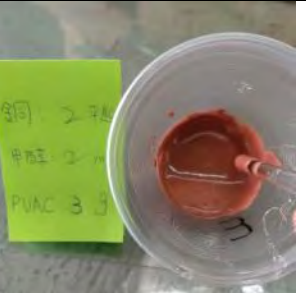

			
銅粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：1g	銅粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：2g	銅粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：3g	銅粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：4g
<b>狀態：</b> 粉末明顯，較像動力沙的觸感，塗在紙上很鬆散無法附著。	<b>狀態：</b> 用玻璃棒攪拌時感覺黏稠，且不會從玻璃棒上滴落。	<b>狀態：</b> 較稀，狀似廣告顏料，撈起會滴落。	<b>狀態：</b> 較稀，跟 3g 的狀態差不多。

圖 3 以銅粉作為導電體粉末的測試情形

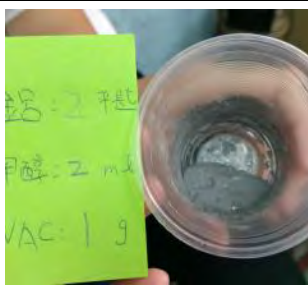
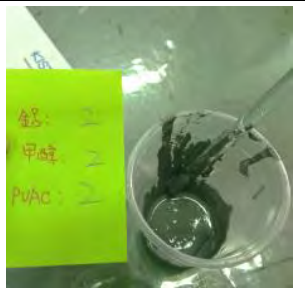
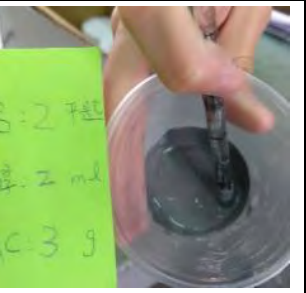

			
鋁粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：1g	鋁粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：2g	鋁粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：3g	鋁粉：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：4g
<b>狀態：</b> 似水泥狀，塗附在紙上時厚度不易掌控，乾燥時會結塊。	<b>狀態：</b> 泥狀，類似水彩顏料的狀態。	<b>狀態：</b> 偏稀，容易滴落的狀態。	<b>狀態：</b> 偏稀，容易滴落的狀態。

圖 4 以鋁粉作為導電體粉末的測試情形

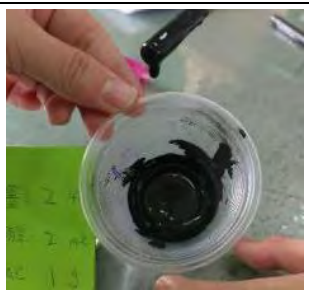
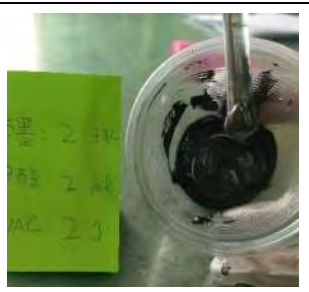
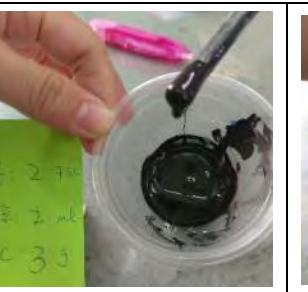
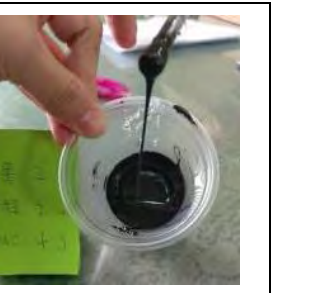
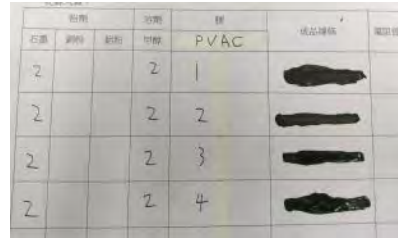
			
石墨：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：1g	石墨：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：2g	石墨：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：3g	石墨：2 平匙 甲醇：2ml PVAC：4g
<b>狀態：</b> 偏膠水狀，在玻璃棒上會緩緩滴落。	<b>狀態：</b> 稀泥狀，流動較慢。	<b>狀態：</b> 膠水狀，容易滴落。	<b>狀態：</b> 有黏滯性的膠狀，會牽絲。

圖 5 以石墨粉作為導電體粉末的測試情形

表 1 不同導電體粉末之電阻值比較表 (×表示電阻過大，不導電)

	銅粉 2g	鋁粉 2g	石墨粉 2g
甲醇 2ml + PVAC 1g	×	×	54k $\Omega$
甲醇 2ml + PVAC 2g	×	×	42k $\Omega$
甲醇 2ml + PVAC 3g	×	×	×
甲醇 2ml + PVAC 4g	×	×	×

◎記錄情形

		
銅粉膠體塗抹之線條，可發現當 PVAC 量越少時，越無法結膠結在一起，而形成粉末狀。	鋁粉膠體塗抹之線條，可發現當 PVAC 量越少時，結塊之狀況越嚴重。	石墨粉膠體塗抹之線條，可發現石墨粉較細緻，易與膠體混合，塗抹之線條也較平均。

(四)發現：

- 1.金屬粉末的銅粉與鋁粉在我們設定的比例中皆無法導電，但石墨粉可以，推測金屬粉末可能有氧化的問題，氧化層或其他因素可能是導致其電阻過大的原因，而非金屬的石墨粉則沒有這個問題。
- 2.從石墨粉的電阻值中可以觀察到，當 PVAC 的量增加到一個程度的時候，反而使其無法導電，推測可能是膠體的比例太高時使得粉末之間距離拉遠，無法互相接觸而導電。因此，我們接下來將以石墨粉為主要的導電體成分，並增加粉末的量，調整有機溶劑與膠類的種類及比例，試圖製作出最佳比例的導電膠。

四、膠體成分對導電膠導電性之影響

(一)想法：

接續研究三的實驗，我們改以石墨粉為主要導電成分，搭配不同比例的其他膠類，看看不同膠類及比例對於導電膠的導電性影響為何，並找出電阻較小之配方。除了 PVAC 以外，考慮到平常易取得與接觸到的膠類，於是我們選擇了白膠與保麗龍膠作為膠體成分的嘗試，另外根據查到的文獻，曾提到由於環氧樹脂可以在室溫或低於 150°C 固化，並且具

有豐富的配方可設計性能，目前環氧樹脂基導電膠佔主導地位，所以我們將環氧樹脂列入嘗試之一。

(二)實作：

- 1.固定石墨粉的量為 4 平匙，甲醇為 2 毫升，分別倒入不同比例的 PVAC、保麗龍膠、白膠及與硬化劑比例 3：1 的環氧樹脂。
- 2.將混合的成品塗抹在 A4 紙上。
- 3.待其乾燥，以三用電表測量電阻值，並用照度計來測量通電後 LED 燈之亮度。

(三)結果：各種膠體對導電膠導電性的測試情形分別如圖 6、圖 7、圖 8 所示，而測得的電阻值大小呈現如表 2。

			
石墨：4 平匙 甲醇：2ml 白膠：1g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 白膠：2g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 白膠：3g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 白膠：4g
<b>狀態：</b> 結塊，類似黏土狀，難以附著在紙上。	<b>狀態：</b> 結塊，似黏土狀，比 1g 的狀態再稍微濕潤一些，但仍不好塗抹在紙上。	<b>狀態：</b> 牽絲的膠狀，好塗抹。	<b>狀態：</b> 類似牙膏狀的黏稠度，較 3g 的狀態還要慢滴落。

圖 6 不同白膠分量對導電膠導電性的測試情形




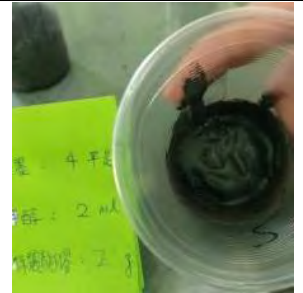
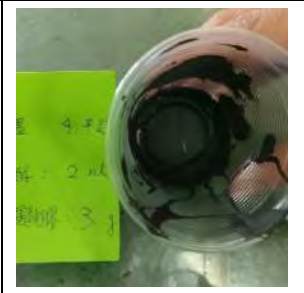

			
石墨：4 平匙 甲醇：2ml 保麗龍膠：1g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 保麗龍膠：2g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 保麗龍膠：3g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 保麗龍膠：4g
狀態：太乾，難以附著在紙上。	狀態：膏狀，但不易流動。	狀態：膠狀，容易塗抹。	狀態：膠狀，容易塗抹。

圖 7 不同保麗龍膠分量對導電膠導電性的測試情形

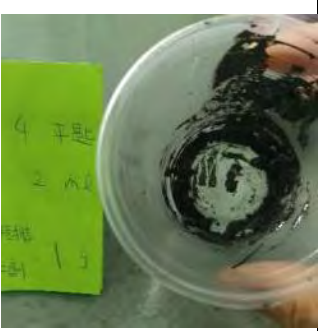

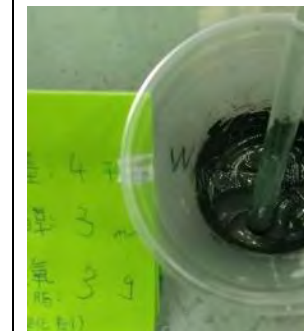
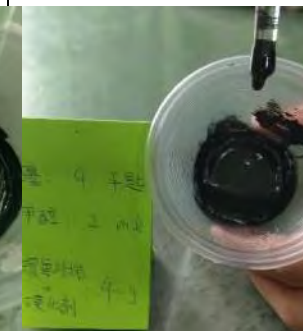
			
石墨：4 平匙 甲醇：2ml 環氧樹脂：1g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 環氧樹脂：2g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 環氧樹脂：3g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml 環氧樹脂：4g
狀態：太乾，嚴重結塊，難以附著在紙上。	狀態：雖沒有結塊但仍然太乾，不好塗抹。	狀態：濕潤的膠狀，容易塗抹。	狀態：膠水狀，撈起會滴落，容易塗抹。

圖 8 不同環氧樹脂(已加硬化劑)分量對導電膠導電性的測試情形

◎記錄情形

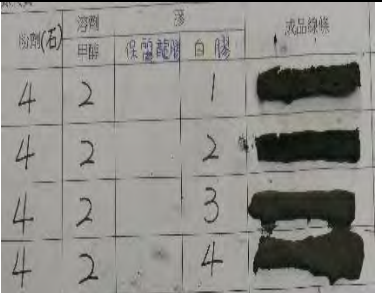
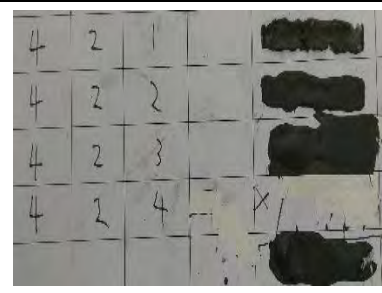
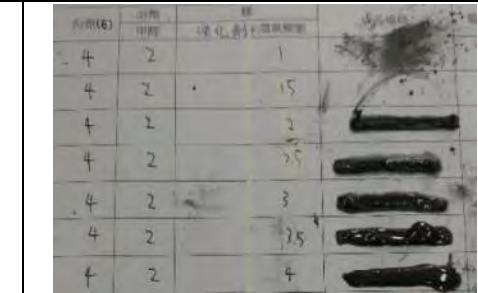
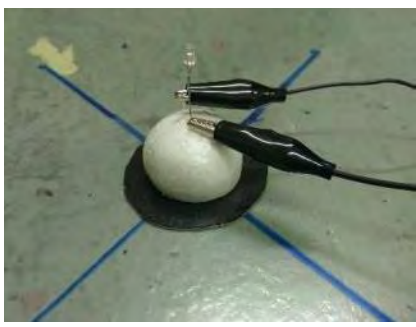
		
白膠的成品線條，1g 與 2g 的在乾燥後都呈現塊狀，且容易剝落，3g 與 4g 的塗抹情形較佳。	保麗龍膠的成品線條在 1g 時比較難塗抹，但 2~4g 都接近我們理想中的膠狀，塗抹容易。	環氧樹脂的成品線條在試作時便發現 1g 的比例完全無法附著於紙上，因此還另外嘗試了每次增加 0.5g 的比例。後來發現超過 3.5g 的比例，環氧樹脂會硬化成黑亮光滑的硬殼面。

表 2 不同膠體成分之電阻值比較表 (×表示電阻過大，不導電)

	白膠	保麗龍膠	環氧樹脂
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 1g	43.8k $\Omega$	17.4k $\Omega$	×
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 2g	188k $\Omega$	4.0k $\Omega$	3.6k $\Omega$
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 3g	64.2k $\Omega$	7.0k $\Omega$	207.4k $\Omega$
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 4g	79.6k $\Omega$	11.6k $\Omega$	×

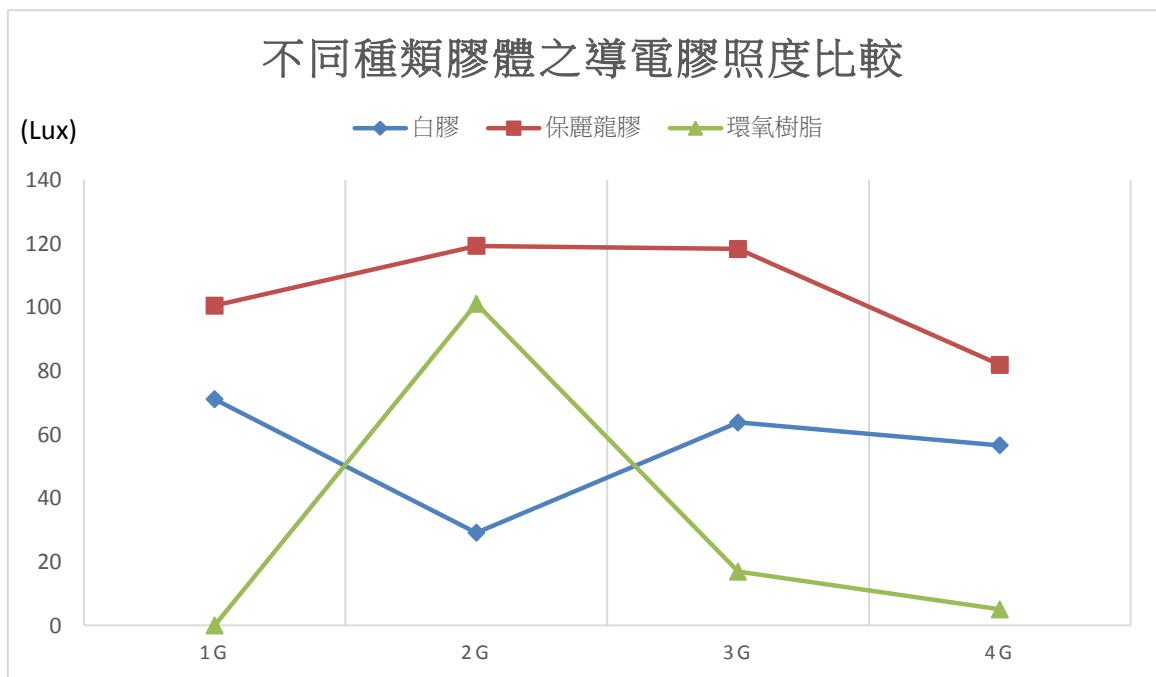
1.導電度測試：

我們實作出來的成品除了可測得電阻外，還要能夠實際在電路中導電才算真正能使用的成品。因此我們想到可以藉由照度計測量同一 LED 燈的亮度來判斷何種比例的導電膠導電效果較好，我們自製的照度計設計如下：

		
<p>將 LED 的兩支腳分別接上電池盒的正負極，串聯 2 顆 1.5V 電池，並將 LED 固定在剖半的保麗龍球上。</p>	<p>將紙盒的縫隙貼滿黑色膠帶，上方挖一圓洞，蓋住 LED 並確認 LED 在圓洞的正下方。</p>	<p>將照度計的感應器置於正上方，並塞滿圓洞口。</p>
		
<p>在 LED 沒有通電的情況下，開啟照度計，看看數值是否為 0 (表示外界光線沒有滲入紙盒內)。</p>	<p>使用冰棒棍固定 LED 的電線間距為一公分寬，將突出的電線末端反折至冰棒棍底部壓平。</p>	<p>依序測量每條導電膠成品線條，測三次並求平均值，記錄下來。</p>

2.導電膠導電照度實測（單位：Lux）：

膠體種類 成分比例	白膠				保麗龍膠				環氧樹脂			
	1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 1g	98.2	71.0	44.2	71.1	121.6	97.3	82.7	100.5	0	0	0	0
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 2g	42.2	15.6	29.6	29.1	177.7	106.4	73.0	119.3	100.4	92.5	110.5	101.1
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 3g	94.5	58.5	38.3	63.8	178.6	101.5	74.8	118.3	17.4	19.2	14.0	16.9
石墨 4 平匙 + 甲醇 2ml + 膠 4g	68.8	53.4	47.7	56.6	137.9	51.4	56.4	81.9	0	0	0	0



另外，我們對於環氧樹脂硬化後形成光滑的硬殼面感到好奇，那層光滑面看起來似乎是環氧樹脂比例高時無法導電的主因，因此我們也調製了一次不使用硬化劑的環氧樹脂，看是否對其成品的硬化有所影響。結果：不使用硬化劑，長時間都呈現膠狀，無法乾燥，也無法測得電阻。→**失敗**

(四)發現：

- 1.在石墨粉 4 平匙、甲醇 2ml 的比例下，以保麗龍膠為主要膠體的導電膠電阻最低，其次為白膠，而環氧樹脂太多或太少的時候都無法導電。



2.電阻低的成品線條，其照度就會高，代表導電效果越好。

3.膠的種類及比例都會影響導電膠的電阻值，在這個階段我們找到最佳的比例是石墨粉 4 平匙、甲醇 2ml 及 2g 的保麗龍膠。

## 五、溶劑對導電膠導電性之影響

### (一)想法：

導電膠成分中我們已嘗試過粉末及膠體等變因，接著我們想探討溶劑在導電膠中的影響力。在查詢了許多揮發性的有機溶劑後，發現大多數的有機溶劑都具有毒性或危險性，老師建議我們對於溶劑的選擇應慎重，並且要跟使用甲醇時一樣帶手套及口罩，還要保持室內通風。最後我們選擇了丙酮，由於丙酮之揮發性較甲醇略高，且若不小心碰觸較無立即性的嚴重傷害。

另外，我們對於環氧樹脂硬化後形成光滑的硬殼面感到好奇，如果照文獻來說環氧樹脂為現行導電膠的主流，但前次我們調製的比例中，環氧樹脂太高跟太低都不適用，因此我們想嘗試改變其中溶劑的量，來看是否對其成品的硬化有所影響。

### (二)實作：

- 1.將石墨粉與膠類的比例固定(石墨粉 4 平匙、PVAC 2ml)，分別混合不同比例的甲醇及丙酮。
- 2.將混合的成品塗抹在 A4 紙上。
- 3.待其乾燥，以三用電表測量電阻值，並用照度計來測量通電後 LED 燈之亮度。

### (三)結果：

- 1.不同比例溶劑在導電膠內對導電膠導電性的測試情形分別如圖 9、圖 10 所示，而測得的電阻值大小呈現如表 3。

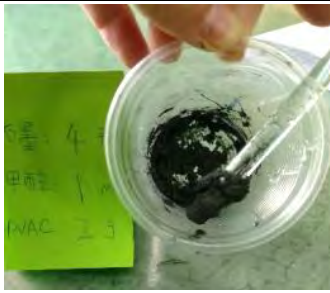
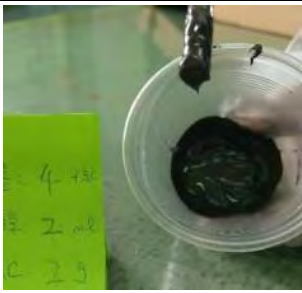

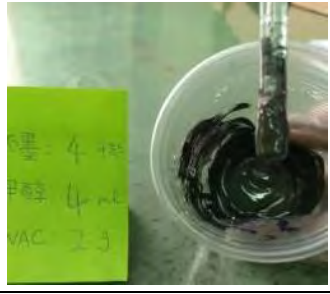
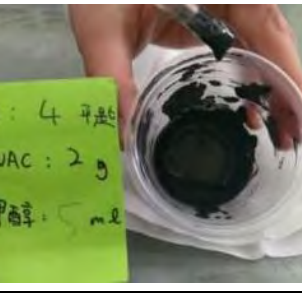
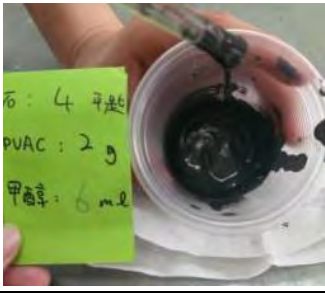
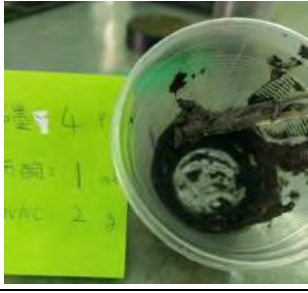
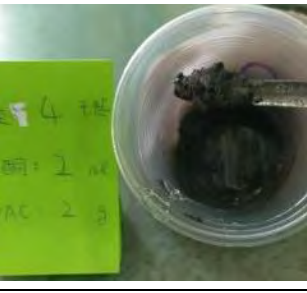
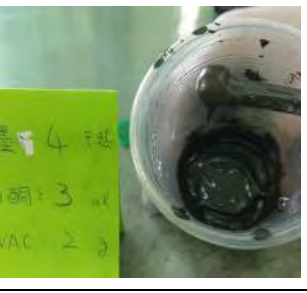
		
石墨：4 平匙 甲醇：1ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 甲醇：2ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 甲醇：3ml PVAC：2g
狀態：太乾，成塊狀，不會滴落，難以塗抹。	狀態：黏稠狀，不會滴落，可塗抹。	狀態：膠水狀，會滴落，容易塗抹。
		
石墨：4 平匙 甲醇：4ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 甲醇：5ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 甲醇：6ml PVAC：2g
狀態：膠水狀，容易塗抹。	狀態：膠水狀，容易塗抹。	狀態：膠水狀，會滴落，容易塗抹。

圖 9 不同甲醇分量對導電膠導電性的測試情形

		
石墨：4 平匙 丙酮：1ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 丙酮：2ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 丙酮：3ml PVAC：2g
狀態：黏土狀，乾燥後會結塊。	狀態：黏土狀，尚可塗抹於紙上，乾燥後易結塊。	狀態：膠泥狀，容易塗抹與附著。

		
石墨：4 平匙 丙酮：4ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 丙酮：5ml PVAC：2g	石墨：4 平匙 丙酮：6ml PVAC：2g
<b>狀態：</b> 膠水狀，容易塗抹與附著。	<b>狀態：</b> 膠泥狀，容易塗抹。	<b>狀態：</b> 膠水狀，容易塗抹與附著。

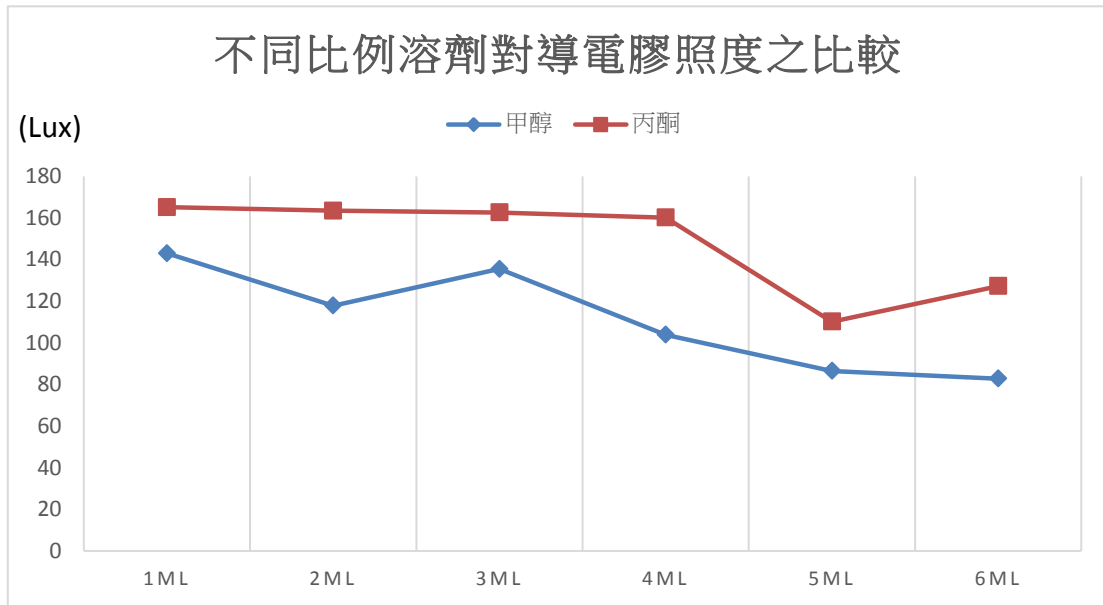
圖 10 不同丙酮分量對導電膠導電性的測試情形

表 3 不同溶劑成分之電阻值比較表（單位：k $\Omega$ ）

比例	溶劑	甲醇				丙酮			
		1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 1ml + PVAC 2g	1.4	1.6	1.4	1.47	1.0	1.2	1.2	1.13
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 2ml + PVAC 2g	3.4	3.0	2.6	3.00	1.2	1.6	1.2	1.33
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 3ml + PVAC 2g	2.6	2.0	2.2	2.27	1.4	1.4	1.2	1.33
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 4ml + PVAC 2g	3.4	4.0	3.4	3.60	2.0	1.8	2.0	1.93
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 5ml + PVAC 2g	4.2	4.0	3.6	3.93	2.0	2.2	3.8	2.67
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 6ml + PVAC 2g	4.2	5.0	4.2	4.47	2.6	2.6	2.8	2.67

導電膠導電照度實測（單位：Lux）：

比例	溶劑	甲醇				丙酮			
		1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 1ml + PVAC 2g	132.2	148.8	147.0	143.0	165.6	165.2	164.7	165.2
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 2ml + PVAC 2g	99.3	103.6	150.7	117.9	163.1	164.0	163.4	163.5
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 3ml + PVAC 2g	113.4	141.7	51.5	135.5	162.7	162.7	162.3	162.6
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 4ml + PVAC 2g	105.9	93.3	111.3	103.9	160.8	160.5	159.4	160.2
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 5ml + PVAC 2g	79.6	82.4	97.5	86.5	104.8	80.4	145.5	110.2
	石墨粉 4 平匙 + 溶劑 6ml + PVAC 2g	81.4	80.7	86.3	82.8	131.4	124.0	126.5	127.3



2. 改變環氧樹脂導電膠中甲醇的比例並比較電阻大小：

	甲醇 2ml	甲醇 3ml	甲醇 4ml
石墨 4 平匙 + 環氧樹脂 1g	×	×	1.8k $\Omega$
石墨 4 平匙 + 環氧樹脂 2g	3.6k $\Omega$	×	12.2k $\Omega$
石墨 4 平匙 + 環氧樹脂 3g	207.4k $\Omega$	30.6k $\Omega$	86k $\Omega$
石墨 4 平匙 + 環氧樹脂 4g	×	130.6k $\Omega$	178k $\Omega$

記錄人員：		膠		成品線條
粉劑(石)	溶劑 甲醇	PVAC	環氧樹脂	
4	3		1	
4	3		2	
4	3		3	
4	3		4	

石	甲	環	成品
4	4	1	
4	4	2	
4	4	3	
4	4	4	

當甲醇變為 3ml 時環氧樹脂的成品線條，發現環氧樹脂比例太低時，成品乾燥後易剝落，不易附著，而環氧樹脂增加後，也還是有結塊的狀況。

甲醇變為 4ml 時環氧樹脂的成品線條，雖然環氧樹脂比例高時還是出現黑亮硬化層，但仍可測得電阻。

(四)發現：

1. 我們發現當溶劑量加得太少時，石墨粉跟膠體會難以結合，變得太乾，不好塗抹。

2.當粉末與膠體比例固定時，甲醇 3ml 的時候，照度表現佳，電阻也小（1ml 時表現雖為最佳，但難以塗抹）；而丙酮則是 1~4ml 時表現都差不多，但 3ml、4ml 較為適合塗抹。

3.整體而言，加入丙酮的導電膠，電阻值略小於加入甲醇的導電膠。

4.環氧樹脂在搭配 4ml 比例的甲醇時導電度最佳，甲醇量太少時成品會容易出現剝落，因此使用環氧樹脂作為膠體時，應較其他種膠類增加溶劑的比例。

## 六、決定最佳比例的導電膠

### (一)想法：

我們想從前面的嘗試中，找到一個方便塗抹、電阻值也低的比例，並將其裝入瓶中，看能不能持續使用，測試電阻值會不會隨著放置時間增長而有所改變。最後再選出最好的成品，測量其在空氣中乾燥的速度，來決定是否適合真正作為導電膠來應用。

另外，為求驗證的公平性，我們希望塗抹的線條寬度與厚度均一致，因此用軟磁鐵製作了模子，以期降低實驗的誤差。




### (二)實作：

1.製作軟磁鐵模具：將軟磁鐵切割出 5mm×50mm 的中空凹洞，並測試是否能緊密吸附在磁性軟白板上。

2.調製各種比例之導電膠，裝入 30ml 的塑膠滴瓶內。

3.在欲塗抹的紙張下方墊上磁性軟白板，再放上軟磁鐵模具，擠壓塑膠滴瓶至模子中，再以美工刀橫向將多餘導電膠刮除。

4.每日重複擠壓成品線條，並測量電阻值。

		
以軟磁鐵模子劃出之成品線條	經過多次使用後破損的模子。	調配各種比例導電膠並裝於塑膠滴瓶中。

(三)結果：

1.各導電膠比例及連續紀錄之平均電阻值（單位：k $\Omega$ ）：

材 料	石墨粉（平匙）	16	16	16	16	16
	溶劑（ml）	甲 16	甲 16	甲 16	甲 16	丙 16
	膠類（g）	P8	P12	P16	P20	P8
記 錄 日 期	2/22	2.6	4.4	5.0	3.2	2.0
	2/23	4.2	5.8	6.0	3.8	2.2
	2/24	15.8	6.0	6.2	3.4	2.4
	2/25	4.2	5.6	4.8	3.2	1.6
	2/26	3.2	3.4	5.0	3.2	1.4
	2/27	3.6	3.6	3.8	4.0	1.6
	2/28	3.4	4.2	3.6	4.4	1.6
	3/1	3.6	3.4	4.0	3.4	2.2
	3/2	3.2	4.0	4.4	3.6	1.4
平均		4.87	4.76	4.49	3.58	1.82
排序					其次	最佳

材 料	石墨粉（平匙）	16	16	16	16	16	16
	溶劑（ml）	甲 16	甲 16	甲 16	甲 16	甲 20	甲 20
	膠類（g）	保 8	保 12	保 16	保 20	保 8	P8
記 錄 日 期	2/25	5.6	3.4	4.6	6.4	2.8	5.6
	2/26	3.8	4.8	2.4	3.6	3.8	4.0
	2/27	4.4	4.8	7.2	8.4	2.6	5.6
	2/28	4.4	4.0	5.0	4.8	3.4	6.0
	3/1	3.0	4.6	6.6	4.6	6.0	4.0
	3/2	6.0	4.4	4.6	5.6	5.8	3.8
平均		4.53	4.33	5.07	5.57	4.07	4.83

（甲：甲醇、丙：丙酮、P：PVAC、保：保麗龍膠）

2.各導電膠比例及連續紀錄之平均照度（單位：Lux）：

材 料	石墨粉（平匙）	16	16	16	16	16
	溶劑（ml）	甲 16	甲 16	甲 16	甲 16	丙 16
	膠類（g）	P8	P12	P16	P20	P8
記 錄 日 期	2/22	78.2	91.9	100	111.3	113.2
	2/23	116.3	86.7	93	131.6	161.2
	2/24	77.3	101.5	85	114.8	110.4
	2/25	90.4	88.6	119	101.2	152.3
	2/26	86.1	92.4	82	95.8	130.0
	2/27	82.4	82.9	109	66.7	156.8
	2/28	77.3	90.7	102	82.8	151.8
	3/1	82.3	88.7	115	94.9	130.4
	3/2	85.1	76.4	120	113.8	165.3
平均		86.2	88.9	102.8	101.4	141.2
排序				其次	第三	最佳

材 料	石墨粉（平匙）	16	16	16	16	16	16
	溶劑（ml）	甲 16	甲 16	甲 16	甲 16	甲 20	甲 20
	膠類（g）	保 8	保 12	保 16	保 20	保 8	P8
記 錄 日 期	2/25	77.7	102.5	90.2	56.6	121.9	51.3
	2/26	87.9	88.2	92.7	97.1	93.6	100.3
	2/27	49.5	70.7	30	48.9	105.3	50.0
	2/28	78.0	87.9	78.6	72.5	100.1	62.5
	3/1	109.5	70.2	105.4	82.9	75.8	104.5
	3/2	61.7	98.5	88.5	78.5	78.9	87.5
平均		77.38	86.3	80.5	72.75	95.93	76.01




（甲：甲醇、丙：丙酮、P：PVAC、保：保麗龍膠）



### 3.風乾時間實驗：

我們想挑選電阻與照度表現最佳及其次之比例配方，其中兩者都表現最好的是「石墨粉 16 平匙、丙酮 16ml、PVAC 8g」。而電阻表現最佳的「石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 20g」在照度上只略輸「石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 16g」一點多，因此整體表現還是算次之。

我們準備兩條寬度相同的木條，上面貼上等寬的紙條，取此兩比例之導電膠塗抹在紙條上，並迅速刮平，開始計時，以每 30 秒鐘間隔 1cm 的方式用尺輕壓成品線條，看到何時為止不會留下痕跡，即其風乾時間。

		
兩個等寬木條貼上紙條	以直尺輕壓導電膠，留下痕跡代表還沒有乾。	每 30 秒鐘就在間隔一公分處輕壓。

#### ◎風乾時間：

「石墨粉 16 平匙、丙酮 16ml、PVAC 8g」：約 2 分到 2 分 30 秒之間。

「石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 20g」：約 1 分 30 秒到 2 分之間。

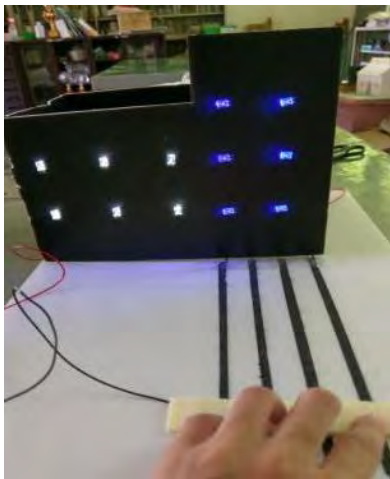
導電表現最好的配方「石墨粉 16 平匙、丙酮 16ml、PVAC 8g」，在風乾時間上略輸「石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 20g」一些，而我們在實測時發現，「石墨粉 16 平匙、丙酮 16ml、PVAC 8g」放了幾天後，導電膠會開始變得比較泥狀、不易擠壓，因此雖然它的導電度最好，我們還是決定以「石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 20g」作為我們的最佳配方。



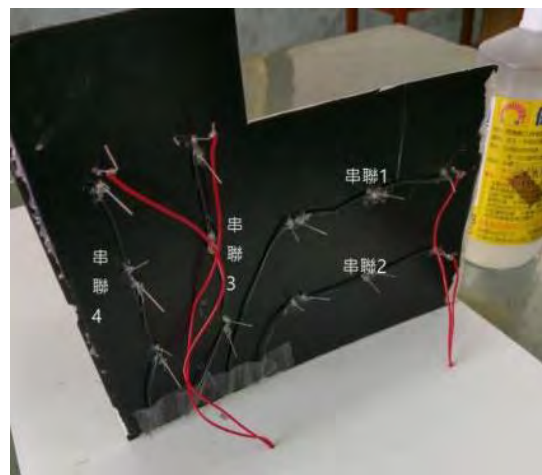
最佳比例配方之導電膠：  
 石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAc 20g

◎導電膠應用在電路中實測：

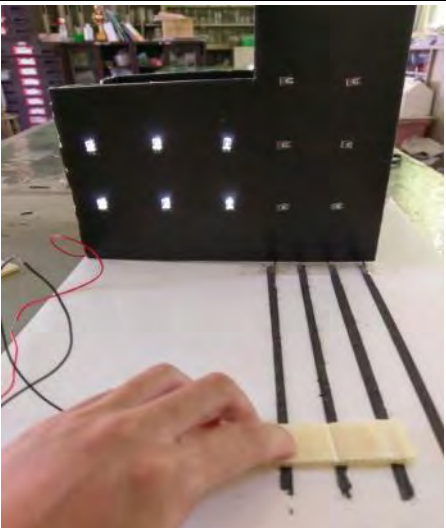
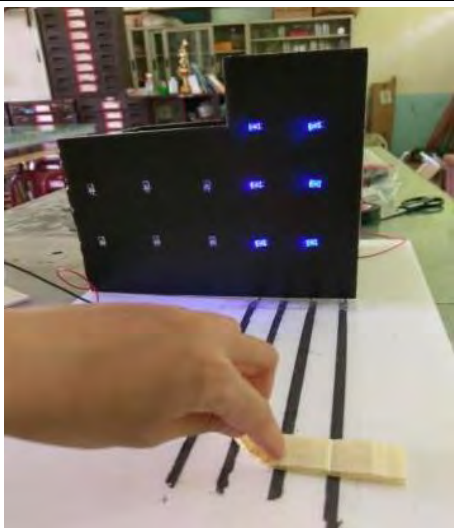
我們想用最佳比例的導電膠來實際作出一個電路成品，經過構想後，決定設計一個外貌為大樓外牆裝設 LED 燈的模型，如下圖：



以黑色保麗龍板為大樓底色，裝上兩色電壓為 3V 的 LED 燈，底下塗布四條 25cm 長的導電膠。



LED 燈以三個為單位做串聯，每條串聯電線的負極分別連接四條導電膠，正極電線合在一起成為一條線（並聯）。

	
<p>將正極導線觸碰其中兩條導電膠時，兩條串聯的電線便能以並聯形式同時使 LED 發光。</p>	<p>同左，正極導線可隨意接觸任一條至四條的導電膠，使不同排的 LED 燈發亮。</p>

原本還擔心會達不到額定電壓導致 LED 無法發亮，測試結果不但能順利發亮，且我們以肉眼觀察 LED 燈的亮度，覺得通過導電膠後發光的亮度與直接以銅導線連接的亮度差不多，代表我們的導電膠是可以應用在簡單的電路中的。且我們粗略計算了我們一瓶導電膠的成本(30ml 的瓶子裝約 9 分滿，瓶子價格 5 元)約 18 元，與市售的銀漆筆相比真的非常低廉，較適用於大面積的塗抹與教學使用。

## 陸、結論

- 一、市售導電筆主要以銀漿作為主要導電原料，其電阻值約落在 10~20k $\Omega$  之間，成本高昂。
- 二、我們實作出的導電膠原料包含：導電粉末、有機溶劑、膠類等三個成分。每一種的比例都會對其導電性有所影響。
- 三、以金屬粉末作為導電膠之導電原料可能會有氧化問題導致無法導電，而石墨粉沒有氧化問題，成本又低廉，因此成為我們導電膠原料之首選。
- 四、與白膠和環氧樹脂相比，其他比例固定的情況下，保麗龍膠的效果最好。但在實驗六的比較下，同比例情形下還是 PVAC 表現最好，但若以材料取得便利性來看，可以用保麗龍膠來取代 PVAC。
- 五、有機溶劑比例太低時，導電膠的粉末與膠無法適當結合在一起。

- 六、 在其它比例固定的情況下，有機溶劑中的丙酮在某些特定比例中表現是優於甲醇的。
- 七、 決定最佳比例的導電膠時，需考慮的因素有：導電性（包含電阻值與照度）、風乾時間以及塗抹的順暢度。
- 八、 我們最後得出的最佳比例之導電膠為：石墨粉 16 平匙、甲醇 16ml、PVAC 20g。這僅代表本實驗所做之結果，無法過度類推至其它我們未嘗試的材料上。
- 九、 我們試圖將石墨導電膠染色作為延伸實驗，但目前試了廣告顏料及壓克力顏料的效果皆不好，因此我們把這個當作未來可以嘗試的目標。

## 柒、參考文獻

- 一、南一出版社（2018）·國小自然與生活科技四下（第四冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 二、南一出版社（2018）·國小自然與生活科技五下（第八冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 三、華人百科：導電膠  
<https://www.itsfun.com.tw/%E5%B0%8E%E9%9B%BB%E8%86%A0/wiki-1724916>。
- 四、吳承擘、陳冠維、朱安業、陳治仲、王詠萱、陳冠融（2014）·碳為觀阻墨名其妙—碳究石墨線的各種導電特性。第 54 屆全國中小科學展覽作品。
- 五、王鈺瑄、盧湘霖、張功筑、鄭祐丞、詹祐瑜（2017）·粉墨登場—自製導電墨水的研究。第 58 屆全國中小科學展覽作品。

## 【評語】 080110

一支銀色的筆流暢地在卡片上畫出線條，神奇的是卡片上裝設的小燈泡，隨著筆跡所到之處一一亮了起來。題目能生活取材，題目及內容符合國小程度，實驗測量導電筆畫出線條之電阻，應該控制線條粗細與墨水厚度，因為電阻與截面積成反比。將測量電阻改為測量 LED 照度，可評估兩種測量方式的差異。



## 摘要

我們想瞭解如何做出較市售成本更低廉、且材料容易取得的導電筆。在經過蒐集文獻並嘗試製作後，我們決定將目標訂為導電膠的製作。在嘗試幾種粉末導體後，發現石墨粉效果較佳。我們也嘗試使用不同種類、不同比例的有機溶劑及膠類，發現聚乙烯樹脂（PVAC）製成的導電膠效果最佳，其次是保麗龍膠，且當石墨粉的量為4平匙時，膠的量約2~3克為佳。另外有機溶劑在實驗中會影響到粉末與膠的結合，溶劑太少時，導電膠便無法形成易塗抹的膠狀。最後我們經過電阻值、導電照度、風乾時間、塗抹順暢度等條件，來選出我們製作出最佳的導電膠比例，比例為「石墨粉16平匙、甲醇16毫升及PVAC 20克」。

## 壹、研究動機

我們對網路影音平台上導電筆的廣告相當有興趣，四年級的自然課時有學習過「神奇電力」的單元，老師教我們如何利用串、並聯等方式來使小燈泡發亮。但如果課堂上的電路，可以隨心所欲的畫出來，是不是可以更有趣、更簡單操作呢？而市售導電筆動輒一支500~1000元不等，或許我們可以自己來做出成本低廉又可導電的筆，因此我們決定蒐集資料，嘗試自己來製作導電筆，看看是否能實際做出可應用的成品。

## 貳、研究目的

一、市售導電墨水(導電膠)類產品之比較。

二、導電膠製作之嘗試與初探。

三、不同種類粉末對導電膠導電性之影響。

四、膠體成分對導電膠導電性之影響。

五、溶劑對導電膠導電性之影響。

六、決定最佳比例的導電膠。

## 肆、文獻探討

一、導電膠：導電膠是一種固化或乾燥後會具有導電性的膠黏劑，它通常以基體樹脂和導電粒子為主要組成的成分，通過基體樹脂的黏接作用把導電粒子結合在一起。

二、相關科展作品研究：我們主要參考了「碳為觀阻墨名其妙—碳究石墨線的各種導電特性」及「粉墨登場—自製導電墨水的研究」兩篇研究，在針對導電性的測量方式以及實驗的變因等等提供了很大的參考價值。

三、我們上網查詢了電阻的公式，希望藉由瞭解電阻的定義後能更明白我們實驗時應注意哪些細節。我們查詢到的電阻計算公式為：

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

其中電阻常數 $\rho$ 與導電的材質有關，而我們瞭解了電阻（R）會與導電體的長度（L）成正比，與導電體的截面積（A）成反比。因此在製作與測試的過程中，測量的長度及筆跡的寬度（截面積）都是我們實驗的變因。

## 伍、研究過程與步驟

### 一、市售導電筆類產品之比較：

方法：我們從市面上買來兩款較著名的導電筆產品，並測試其導電性及其他特性。

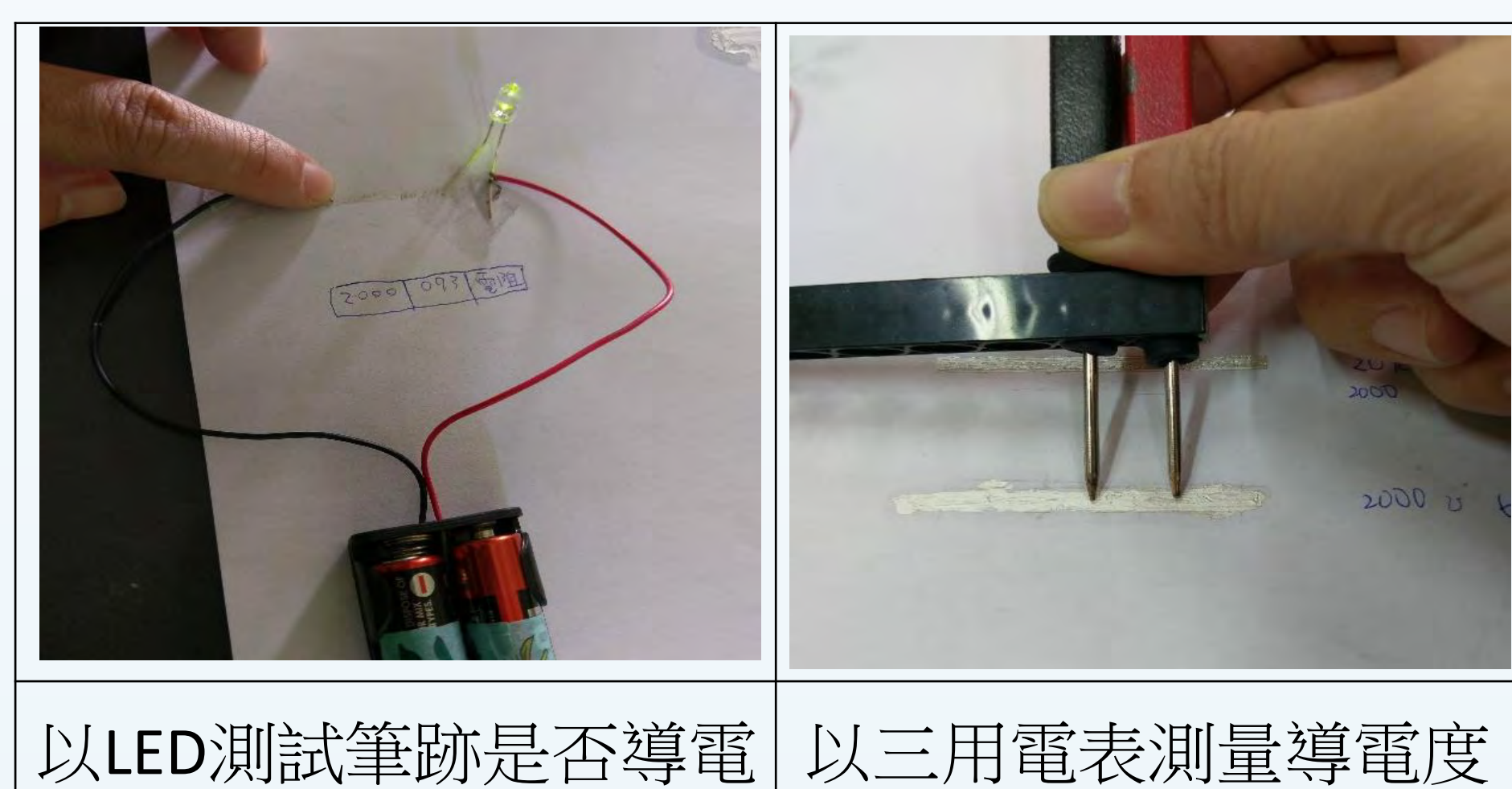
第一種：導電墨水筆

第二種：銀漆筆

(一)基本比較：

比較項目 導電筆 種類	價格	主要導電 成分	書寫性	乾燥 速度
導電墨水筆	約900元	奈米銀 離子	跟鋼珠原子筆 差不多，有些 角度會斷水。	幾乎立即 乾燥
導電銀漆筆	約500元	導電 銀漿	類似立可白， 需先搖晃後再 擠壓，有的地 方會太厚。	較慢，塗 得較厚的 部分要等 比較久。

### (二)導電性測試：



以LED測試筆跡是否導電

以三用電表測量導電度

### 結果：

1.兩者皆能使3V的LED燈泡發亮。

2.導電度比較：

	第一次	第二次	第三次	平均
導電墨水筆	21k $\Omega$	20k $\Omega$	14k $\Omega$	18.3k $\Omega$
導電銀漆筆	10k $\Omega$	10k $\Omega$	12k $\Omega$	10.7k $\Omega$

### 發現：

兩者都能使LED燈發亮，而導電銀漆筆的電阻又比導電墨水筆小，導電性較佳，且價格還較便宜，缺點是塗抹時銀漆筆乾燥較慢，而且不易控制水量。

## 二、導電膠製作之嘗試與初探

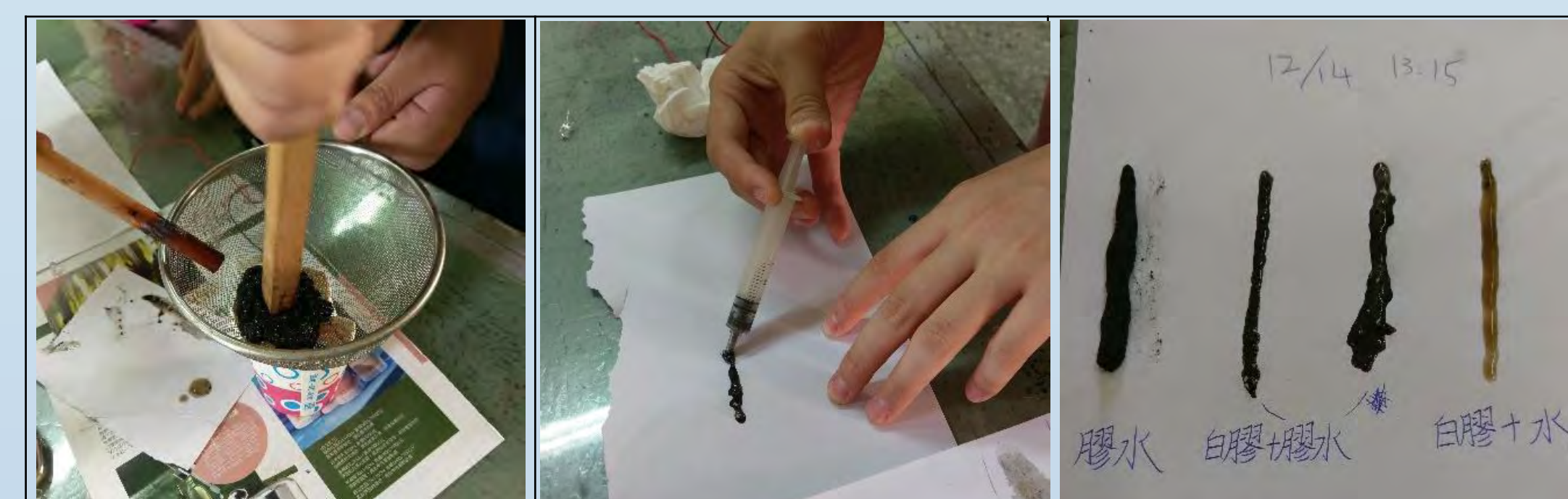
### 想法：

在查詢文獻後，我們得知導電膠的成分應有**導電體**(粉末)及**膠類**。

我們嘗試以暖暖包裡的鐵粉當作主要的導電體，並用手邊就有的膠水與白膠來作膠類。我們假設導電體在膠中的量若不夠細密，可能導致粉末間空隙過大，沒有接觸在一起而無法導電。因此我們設定一個粉末量比膠體還多的比例來作為初探的嘗試，約是粉末4g、膠體2g的量。

### 方法：

- 1.將暖暖包裡的粉末，以磁鐵將大部分鐵粉吸起分離至塑膠杯中。
- 2.將粉末平均秤約4g，分別加入2g的膠水、白膠、及等量白膠加膠水的混合膠。
- 3.將粉末與膠體均勻混合，過篩。
- 4.將混合物放入塑膠針筒中，方便擠出。
- 5.連接LED燈泡看是否能導電。



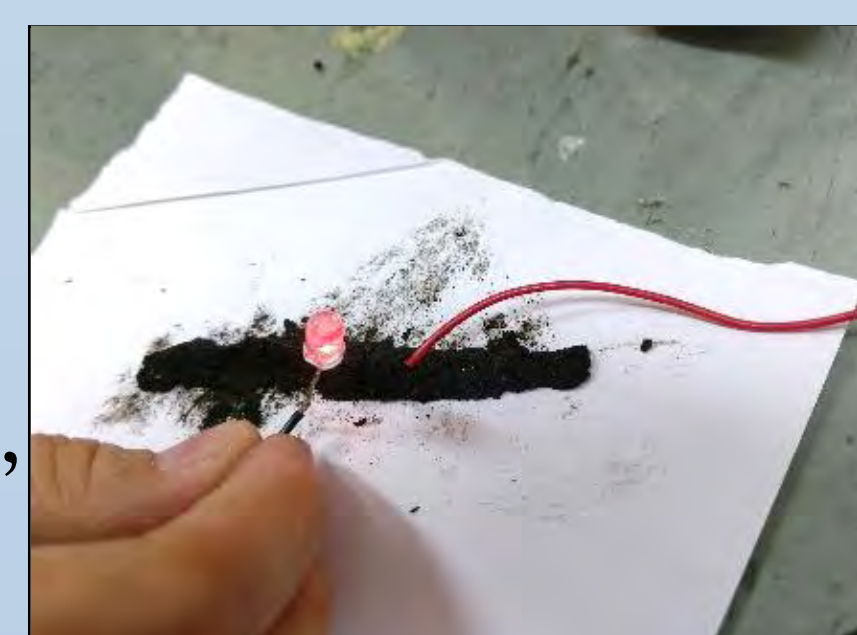
將暖暖包粉末與膠體混合後過篩

放入針筒擠在紙上

擠出的成品

### 結果：

乾燥前，不論加入白膠或是膠水，都可使LED燈發亮。但乾燥後，皆無法使LED燈發亮。我們推論：乾燥前能夠使LED燈發亮，可能是膠體中的水分如同含電解質的水溶液一樣在粉末間扮演導電的橋樑。



乾燥前的成品線條可使LED燈發亮

### 嘗試修改：

(1)我們使用的暖暖包粉末並不是純鐵粉，而是多種粉末的混合物，即使嘗試分離也難以完全分離乾淨，增加了不穩定的變因，所以應**選擇以純種類的粉末來實驗之**。

(2)文獻中提到有機溶劑在揮發時會使膠體固化並收縮，可以使得導電粉體之間的距離更緻密，因此我們在接續的實驗中，將**加入有機溶劑**作為調和使用，並利用其揮發特性使導電膠能較快乾燥。



### 三、不同種類粉末對導電膠導電性之影響

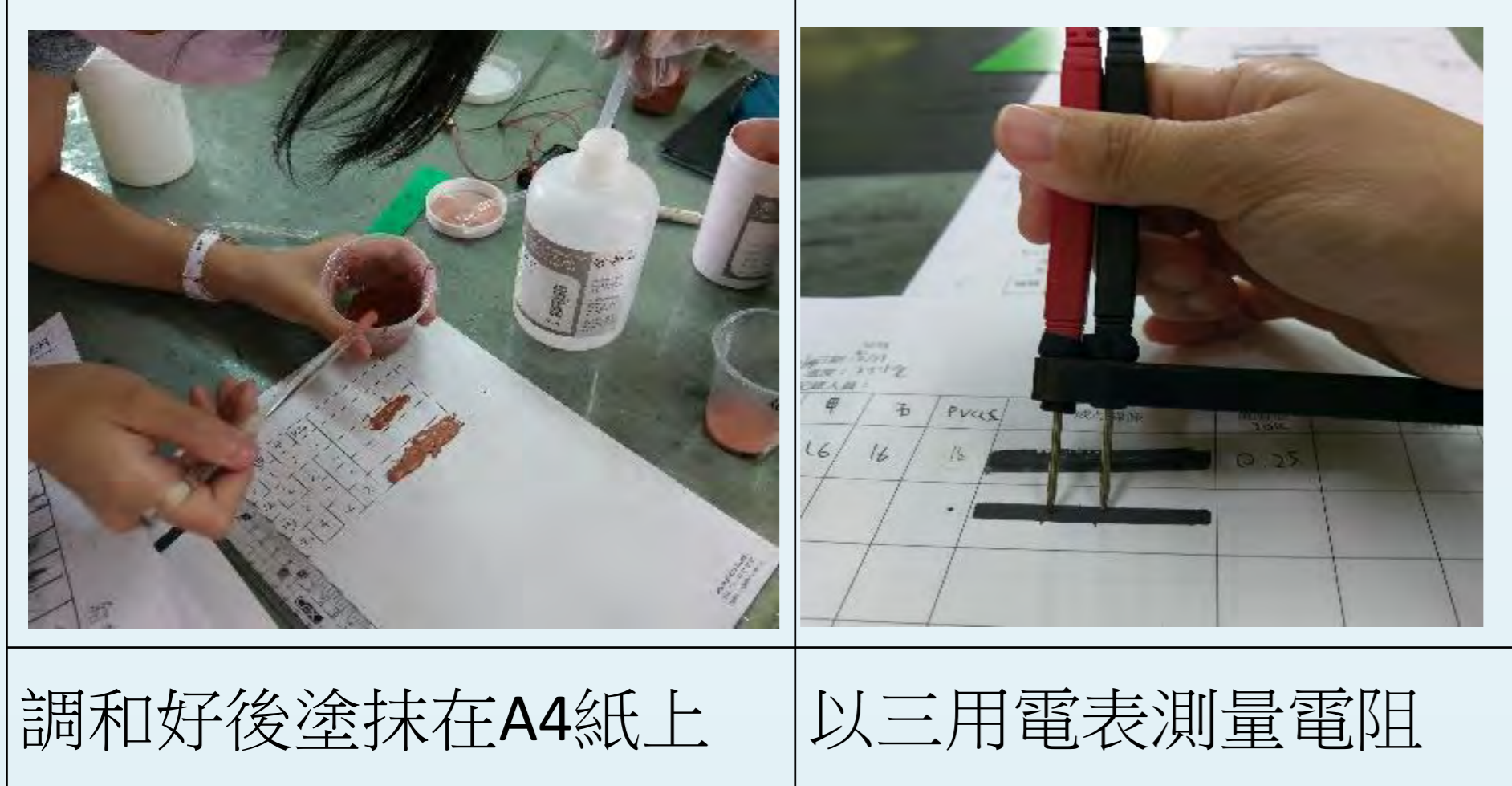
#### 想法：

基於價格、取得便利性、安全性等因素，我們選用的導電材料如下：

1. 導電體粉末：銅粉、鋁粉及石墨粉。
2. 有機溶劑：99%的甲醇。
3. 膠類：聚醋酸乙烯樹脂(PVAC)。



使用固定的平匙來量取粉末      使用電子磅秤來量取膠的量      使用有刻度的塑膠滴管來吸取甲醇



調和好後塗抹在A4紙上      以三用電表測量電阻

#### 方法：

1. 取兩平匙的銅粉、鋁粉及石墨粉，分別加入2毫升甲醇，以及為了嘗試各種粉末與多少量的膠類混合能得到較好的成品，我們分別加入1、2、3、4克的PVAC，並混合之。
2. 將混合的成品塗抹在A4紙上。
3. 待其乾燥，以三用電表測量電阻值，兩支測電棒的距離固定為1公分。

#### 結果：

##### 1. 線條記錄情形：

成分比例	銅粉	鋁粉	石墨粉	膠類	PVAC	成品線條
2 2 1	2 2 1	2 2 1	2 2 1	2 2 1	2 2 1	銅粉膠體塗抹之線條可發現當PVAC量越少時，越無法結膠結在一起，而形成粉末狀
2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	2 2 2	鋁粉膠體塗抹之線條可發現當PVAC量越少時，結塊之狀況越嚴重。
2 2 3	2 2 3	2 2 3	2 2 3	2 2 3	2 2 3	石墨粉膠體塗抹之線條，可發現石墨粉較細緻，易與膠體混合，塗抹之線條也較平均。
2 2 4	2 2 4	2 2 4	2 2 4	2 2 4	2 2 4	

##### 2. 不同導電體粉末之電阻值比較表：(×表示電阻過大，不易導電)

	銅粉2平匙	鋁粉2平匙	石墨粉2平匙
甲醇2ml + PVAC 1g	×	×	54kΩ
甲醇2ml + PVAC 2g	×	×	42kΩ
甲醇2ml + PVAC 3g	×	×	×
甲醇2ml + PVAC 4g	×	×	×

#### 發現：

1. 金屬粉末的銅粉與鋁粉在我們設定的比例中皆無法導電，但石墨粉可以，推測金屬粉末可能有氧化的問題。
2. 當PVAC的量增加到一個程度的時候，反而使其無法導電，推測可能是膠體的比例太高時使得粉末之間距離拉遠，無法互相接觸而導電。

因此，我們接下來將以石墨粉為主要的導電體成分，並增加粉末的量，調整有機溶劑與膠類的種類及比例，試圖製作出最佳比例的導電膠。

### 四、膠體成分對導電膠導電性之影響

#### 想法：

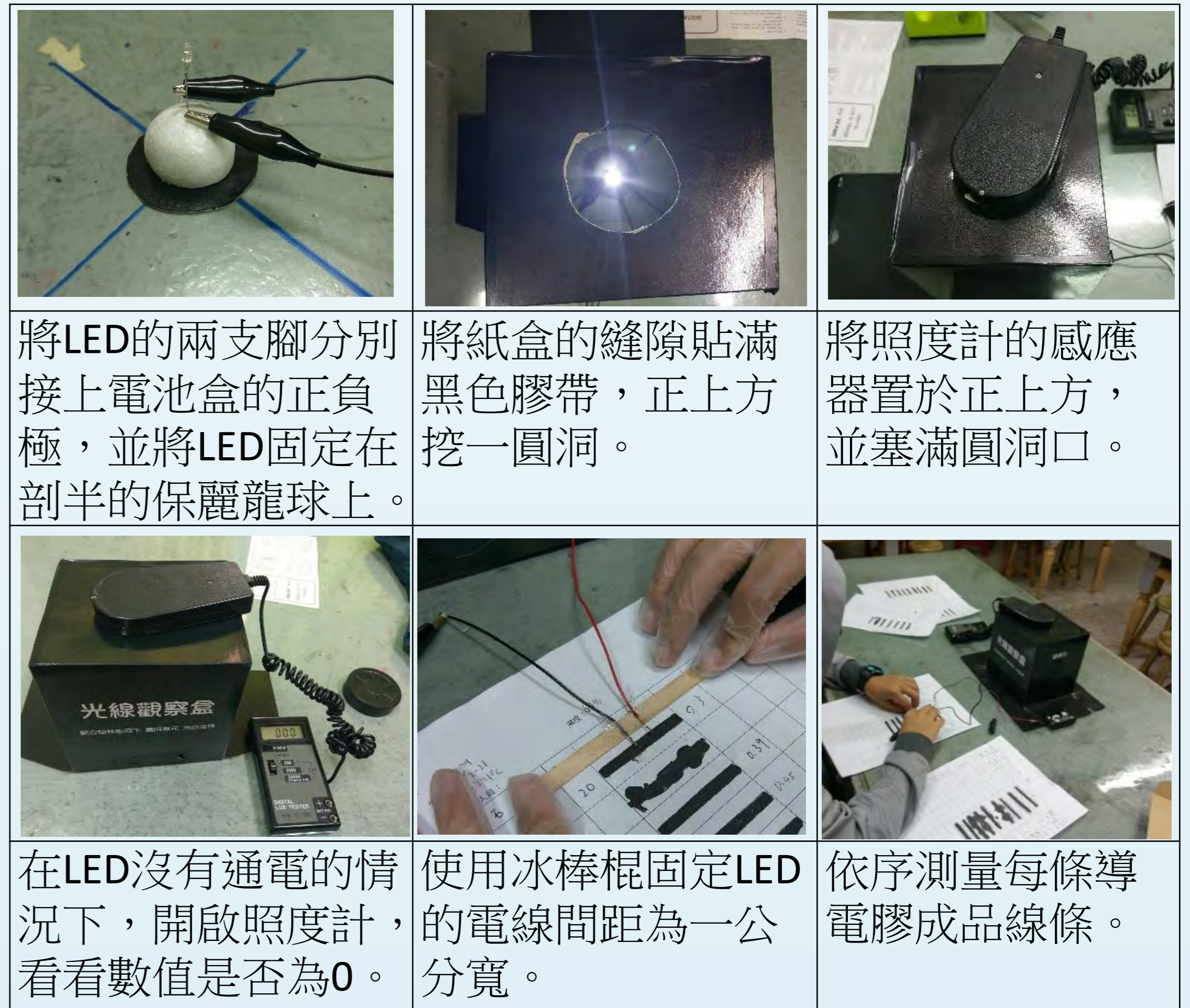
接續研究三，我們改以石墨粉為主要導電成分，搭配不同比例的其他膠類，看看不同膠類及比例對於導電膠的導電性影響為何，並找出電阻較小之配方。

#### 方法：

1. 固定石墨粉的量為4平匙，甲醇為2毫升，分別倒入不同比例的保麗龍膠、白膠及與硬化劑比例3：1的環氧樹脂。
2. 將混合的成品塗抹在A4紙上。
3. 待其乾燥，以三用電表測量電阻值，並用照度計來測量通電後LED燈之亮度。

#### 自製光線觀察盒搭配照度測量計以測量照度：

我們實作出來的成品除了可測得電阻外，還要能夠實際在電路中導電才算真正能使用的成品。因此我們想到可以藉由照度計測量同一LED燈的亮度來判斷何種比例的導電膠導電效果較好，我們的實驗器材設置如下：



將LED的兩支腳分別接上電池盒的正負極，並將LED固定在剖半的保麗龍球上。      將紙盒的縫隙貼滿黑色膠帶，正上方挖一圓洞。      將照度計的感應器置於正上方，並塞滿圓洞口。      在LED沒有通電的情況下，開啟照度計，看看數值是否為0。      使用冰棒棍固定LED的電線間距為一公分寬。      依序測量每條導電膠成品線條。

#### 結果：

##### 1. 成品線條：

成分比例	白膠	保麗龍膠	環氧樹脂
4 2 1	4 2 1	4 2 1	4 2 1
4 2 2	4 2 2	4 2 2	4 2 2
4 2 3	4 2 3	4 2 3	4 2 3
4 2 4	4 2 4	4 2 4	4 2 4

白膠的成品線條，1g與2g的在乾燥後都呈現塊狀，且容易剝落，3g與4g的塗抹情形較佳。

保麗龍膠的成品線條在1g時比較難塗抹，但2~4g都接近我們理想中的膠狀，塗抹容易。

環氧樹脂的成品線條在試作時便發現1g的比例完全無法附著於紙上。且超過3.5g的比例，環氧樹脂會硬化成黑亮光滑的硬殼面。

##### 2. 不同膠體成分之電阻值比較表 (×表示電阻過大，不易導電)

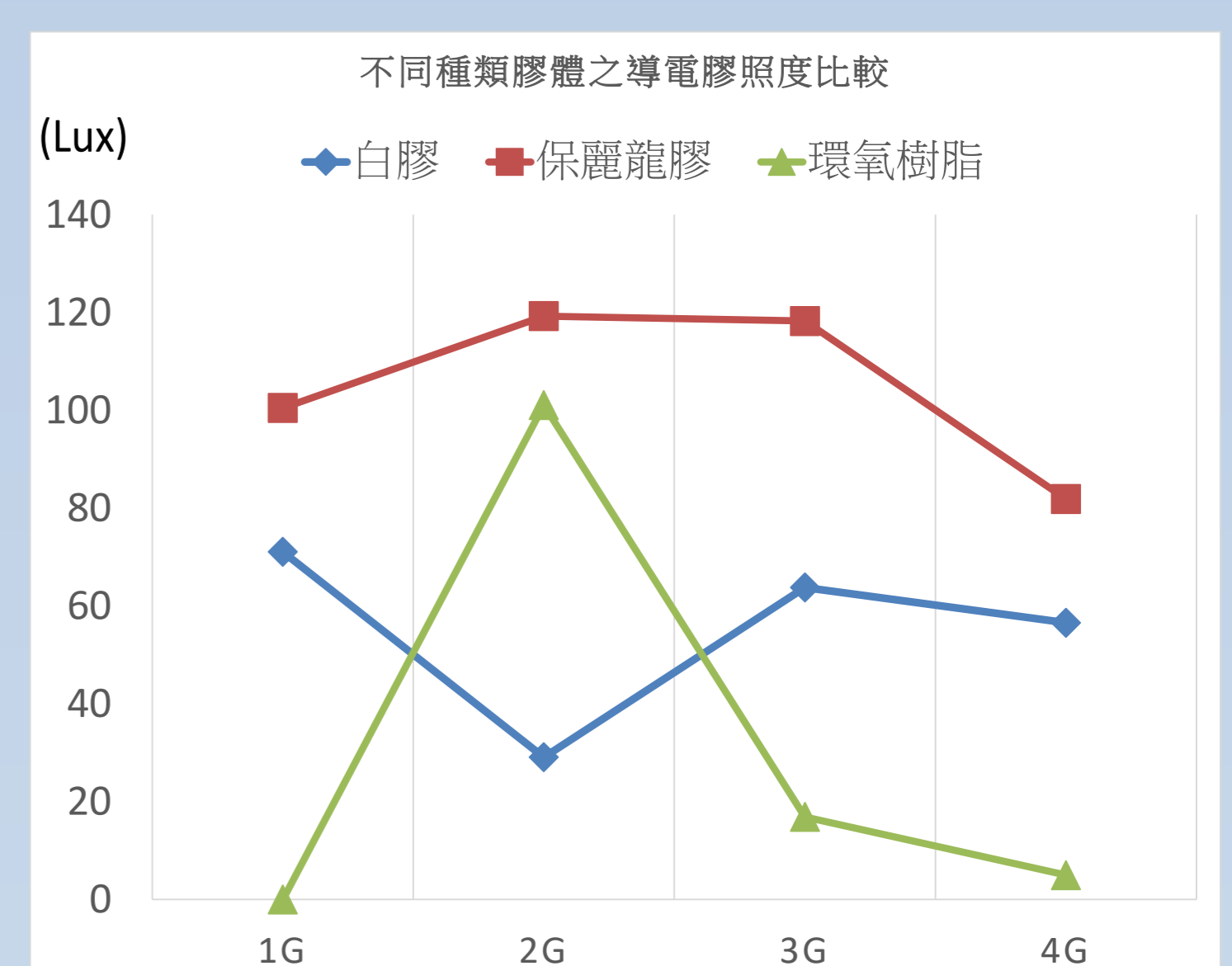
	白膠	保麗龍膠	環氧樹脂
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠1g	43.8kΩ	17.4kΩ	×
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠2g	188kΩ	4.0kΩ	3.6kΩ
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠3g	64.2kΩ	7.0kΩ	207.4kΩ
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠4g	79.6kΩ	11.6kΩ	×

##### 3. 導電膠導電照度：(單位：Lux)：

成分比例	白膠				保麗龍膠				環氧樹脂			
	1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均	1st	2nd	3rd	平均
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠1g	98.2	71.0	44.2	71.1	121.6	97.3	82.7	100.5	0	0	0	0
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠2g	42.2	15.6	29.6	29.1	177.7	106.4	73.0	119.3	100.4	92.5	110.5	101.1
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠3g	94.5	58.5	38.3	63.8	178.6	101.5	74.8	118.3	17.4	19.2	14.0	16.9
石墨4平匙 + 甲醇2ml + 膠4g	68.8	53.4	47.7	56.6	137.9	51.4	56.4	81.9	0	0	0	0

#### 發現：

1. 在石墨粉4平匙、甲醇2ml的比例下，以保麗龍膠為主要膠體的導電膠電阻最低，其次為白膠，而環氧樹脂太多或太少時都無法導電。
2. 電阻低的成品線條，其照度就會高，代表導電效果越好。
3. 膠的種類及比例都會影響導電膠的電阻值，在這個階段我們找到最佳的比例是石墨粉4平匙、甲醇2ml及2g的保麗龍膠。





## 五、溶劑對導電膠導電性之影響：

### 想法：

導電膠成分中我們已嘗試過粉末及膠體等變因，接著我們想探討溶劑在導電膠中的影響力。除了改變原本甲醇的比例外，另外我們選擇了丙酮當另一種溶劑的嘗試。

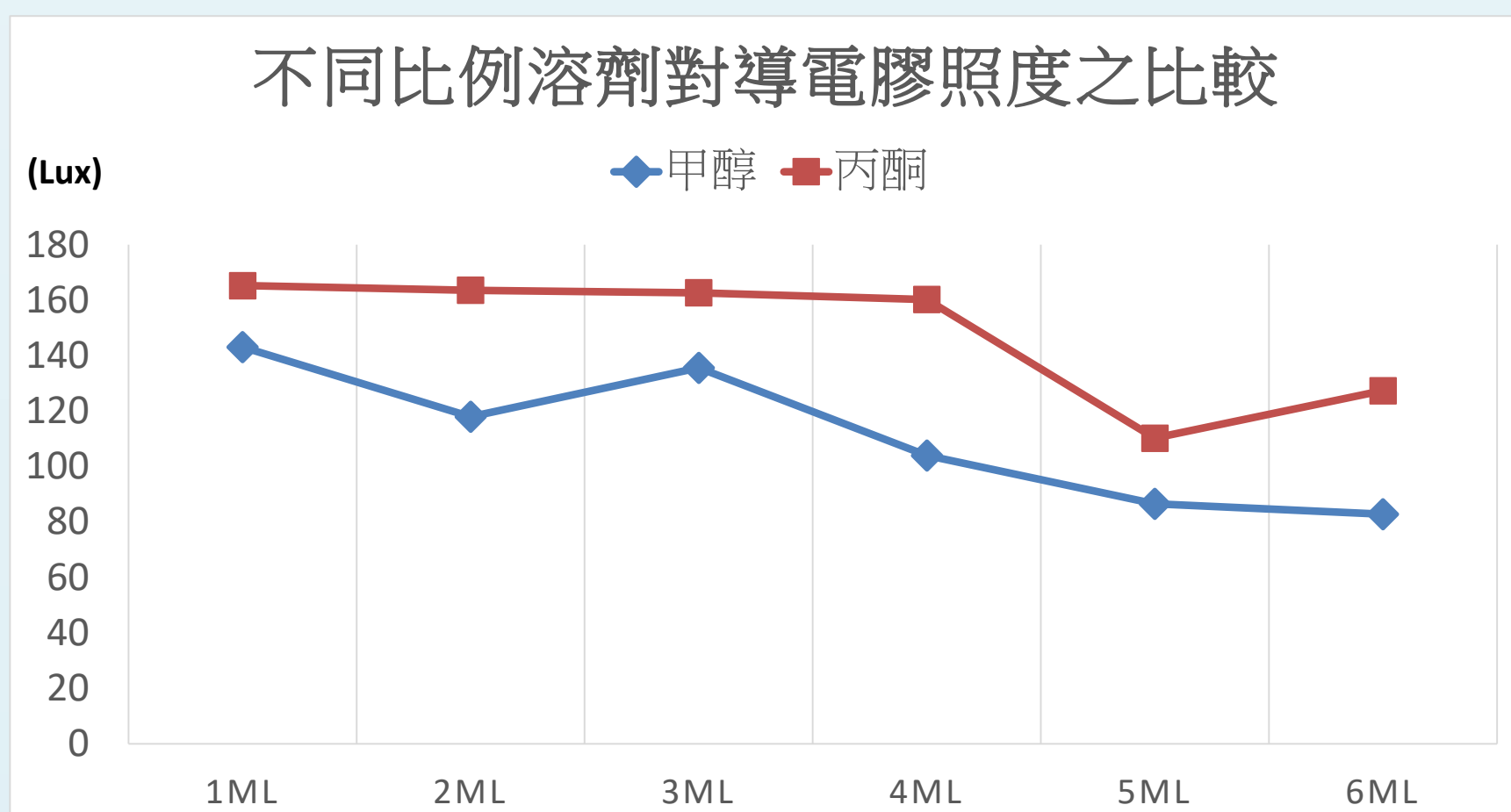
### 結果：

1.不同溶劑成分之電阻值平均比較表（單位：kΩ）：

比例	溶劑	甲醇	丙酮
石墨粉4平匙 + 溶劑1ml + PVAC 2g		1.47	1.13
石墨粉4平匙 + 溶劑2ml + PVAC 2g		3.00	1.33
石墨粉4平匙 + 溶劑3ml + PVAC 2g		2.27	1.33
石墨粉4平匙 + 溶劑4ml + PVAC 2g		3.60	1.93
石墨粉4平匙 + 溶劑5ml + PVAC 2g		3.93	2.67
石墨粉4平匙 + 溶劑6ml + PVAC 2g		4.47	2.67

2.導電膠導電照度實測平均結果（單位：Lux）：

比例	溶劑	甲醇	丙酮
石墨粉4平匙 + 溶劑1ml + PVAC 2g		143.0	165.2
石墨粉4平匙 + 溶劑2ml + PVAC 2g		117.9	163.5
石墨粉4平匙 + 溶劑3ml + PVAC 2g		135.5	162.6
石墨粉4平匙 + 溶劑4ml + PVAC 2g		103.9	160.2
石墨粉4平匙 + 溶劑5ml + PVAC 2g		86.5	110.2
石墨粉4平匙 + 溶劑6ml + PVAC 2g		82.8	127.3



3.改變環氧樹脂導電膠中甲醇的比例並比較電阻大小：

	甲醇2ml	甲醇3ml	甲醇4ml
石墨4平匙 + 環氧樹脂1g	×	×	1.8kΩ
石墨4平匙 + 環氧樹脂2g	3.6kΩ	×	12.2kΩ
石墨4平匙 + 環氧樹脂3g	207.4kΩ	30.6kΩ	86kΩ
石墨4平匙 + 環氧樹脂4g	×	130.6kΩ	178kΩ

### 發現：

- 我們發現當溶劑量加得太少時，石墨粉跟膠體會難以結合，變得太乾，不好塗抹。
- 當粉末與膠體比例固定時，甲醇3ml的時候，照度表現佳，電阻也小（1ml時表現雖為最佳，但難以塗抹）；而丙酮則是1~4ml時表現都差不多，但3ml、4ml較為適合塗抹。
- 整體而言，加入丙酮的導電膠，電阻值略小於加入甲醇的導電膠。
- 環氧樹脂在搭配4ml比例的甲醇時導電度最佳，甲醇量太少時成品會容易出現剝落，因此使用環氧樹脂作為膠體時，應較其他種膠類增加溶劑的比例。

## 六、決定最佳比例的導電膠：

### 方法：

- 製作5x50(mm)的中空凹洞軟磁鐵模具。
- 調製各種比例之導電膠，裝入30ml的塑膠滴瓶內。
- 在欲塗抹的紙張下方墊上磁性軟白板，再放上軟磁鐵模具，擠壓塑膠滴瓶至模子中，再以美工刀將多餘導電膠刮除。
- 每日重複擠壓線條，並測量電阻值。



### 結果：

1.各導電膠比例連續紀錄之平均電阻值排名（單位：kΩ）：

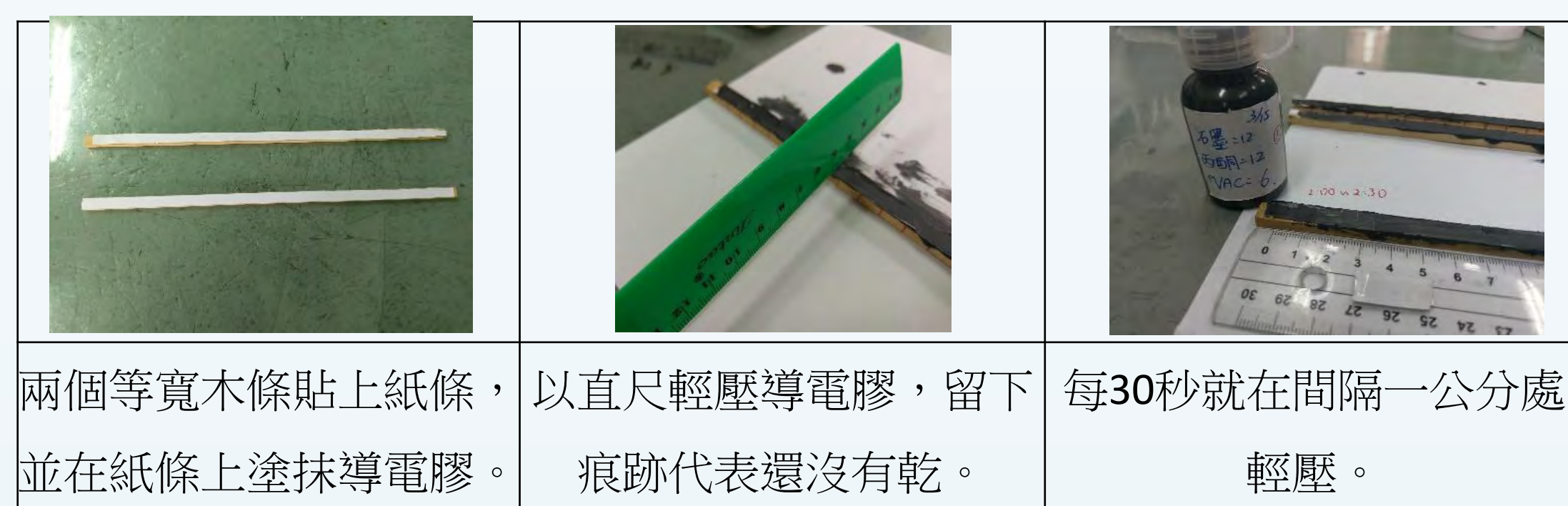
排名	導電膠比例	電阻值
最佳	石墨粉16平匙、丙酮16ml、PVAC 8g	1.82
其次	石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 20g	3.58
第三	石墨粉16平匙、甲醇20ml、保麗龍膠 8g	4.07
第四	石墨粉16平匙、甲醇16ml、保麗龍膠 12g	4.33
第五	石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 16g	4.49

2.各導電膠比例連續紀錄之平均照度排名（單位：Lux）：

排名	導電膠比例	照度
最佳	石墨粉16平匙、丙酮16ml、PVAC 8g	141.2
其次	石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 16g	102.8
第三	石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 20g	101.4
第四	石墨粉16平匙、甲醇20ml、保麗龍膠 8g	95.93
第五	石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 12g	88.9

3.風乾時間實驗：

取表現最佳之前兩名成品進行風乾速度測試，方法如下：



### 結果：

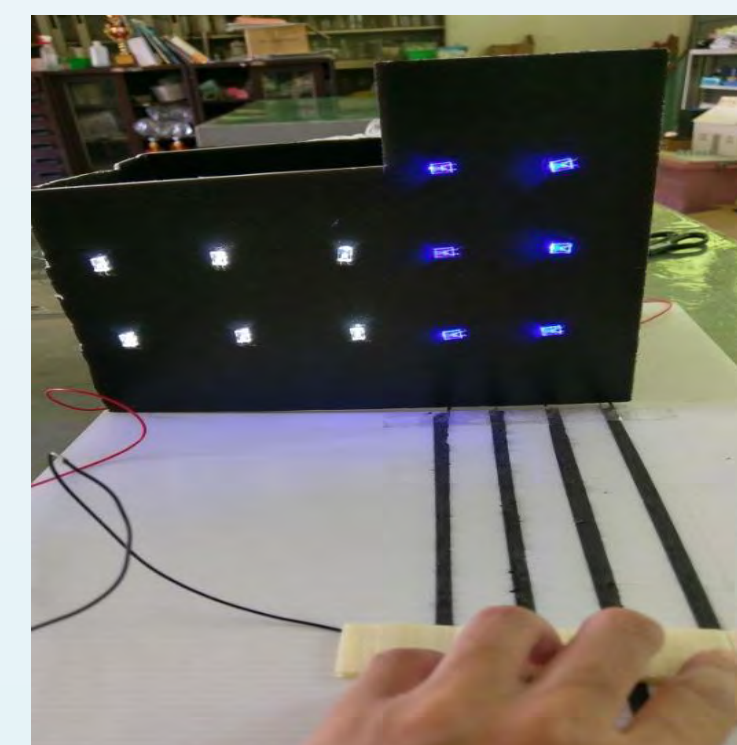
石墨粉16平匙（約7.2克）、丙酮16ml、PVAC 8g: 約2分到2分30秒之間。石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 20g: 約1分30秒到2分之間。

◎依照導電度、照度、風乾時間，以及擠壓的順暢度等考慮因素，我們決定出的最佳配方為「**石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 20g**」。

◎導電膠應用在電路中實測：

我們想看看最佳比例的導電膠，實際應用在電路成品中的樣子。經過構想後，我們嘗試了不同造型的作品，導電膠在其中皆能使燈泡順利發亮：

我們的成品不但能順利發光，且粗略計算了一下我們每瓶導電膠的成本（30ml的瓶子裝約9分滿，瓶子價格5元），約為18元，與市售的銀漆筆相比真的非常低廉，較適用於大面積的塗抹與教學使用。



## 陸、結論

- 市售導電筆主要以銀漿作為主要導電原料，其電阻值約落在10~20kΩ之間，成本高昂。
- 我們實作出的導電膠原料包含：導電粉末、有機溶劑、膠類等三個成分。每一項比例都會對導電性有所影響。
- 以金屬粉末作為導電膠之導電原料可能會有氧化問題導致無法導電，而石墨粉沒有氧化問題，成本又低廉，因此成為我們導電膠原料之首選。
- 與白膠和環氧樹脂相比，其他比例固定的情況下，保麗龍膠的效果最好。但在實驗六的比較下，同比例情形下還是PVAC表現最好，但若以材料取得便利性來看，可以用保麗龍膠來取代PVAC。
- 有機溶劑的體積越低時，粉末與膠越難以結合在一起。
- 在其它比例固定的情況下，有機溶劑中的丙酮在大部分比例中表現是優於甲醇的。
- 決定最佳比例的導電膠時，需考慮的因素有：導電性（包含電阻值與照度）、風乾時間以及塗抹的順暢度。
- 我們最後得出的最佳比例之導電膠為：石墨粉16平匙、甲醇16ml、PVAC 20g。這僅代表本實驗所做之結果，無法過度類推至其它我們未嘗試的材料上。
- 我們試圖將石墨導電膠染色作為延伸實驗，但目前試了廣告顏料及壓克力顏料的效果皆不好，因此我們把這個當作未來可以嘗試的目標。

## 柒、參考文獻

- 南一出版社（2018）·國小自然與生活科技四下（第四冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 南一出版社（2018）·國小自然與生活科技五下（第八冊）·臺南市：南一書局企業股份有限公司。
- 華人百科：導電膠<https://www.itsfun.com.tw/%E5%B0%8E%E9%9B%BB%E8%86%A0/wiki-1724916>。
- 吳承擘、陳冠維、朱安業、陳治仲、王詠萱、陳冠融（2014）·碳為觀阻墨名其妙—碳究石墨線的各種導電特性。第54屆全國中小科學展覽作品。
- 王鈺瑄、盧湘霖、張功筑、鄭祐丞、詹祐瑜（2017）·粉墨登場—自製導電墨水的研究。第58屆全國中小科學展覽作品。