

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)

佳作

052411

多功能萬能膠

學校名稱： 新北市立中和高級中學

作者：	指導老師：
高二 洪丞妘	王一哲
高二 曾蕙安	陳欣怡
高二 劉禹彤	

關鍵詞： 萬能膠、電阻、保溫墊片

摘要

實驗研究可以吸附物質的萬能膠，以聚醋酸乙烯酯為基底加入聚胺基甲酸酯、甘油以及正丁醇調整適合的比例。最佳比例為聚醋酸乙烯酯 50 毫升、聚胺基甲酸酯 10 毫升、5 毫升的甘油以及 7 毫升的正丁醇，以此比例製成的膠體可進一步與銅粉、水彩以及石墨粉製作成均勻的混合材料。研究討論這些混合材料其物理特性以及電阻特性，發現銅膠可以降低電磁波訊號，水彩膠可以製成指甲油，石墨膠可以應用於溫度及電阻感應，電阻值會隨著溫度升高而下降，石墨膠摺疊後電阻值會下降，通電後溫度會隨之上升，可以應用於防盜設備、偵測高溫設備以及保溫貼片等領域，這些材料顯示出廣泛的應用潛力，未來計畫再添加其他材料並討論應用，期望能為日常生活帶來實際的幫助。

壹、前言

一、研究動機

本研究旨在尋求一種無毒且穩定的膠體材料，讓該材料可以吸附多種物質，例如有顏色顆粒或是可以導電的金屬微粒、石墨等，經由吸附這些物質後製成複合材料，然後測試這些混合材料的性質，了解其電學特性，期望可以應用於日常生活中，從而提高生活的便捷性。在查閱相關文獻並向指導老師請教後，本研究選擇以常見的白膠成分:聚醋酸乙烯酯(PVA)和聚胺基甲酸酯(PU)為基底，製備出具有吸附多種物質特性的萬用膠。

二、研究目的

(一) 確定適合的基底膠材料

(二) 調製可用於多種應用萬用膠

(三) 將不同材料(例如：銅粉、水彩、石墨)添加至膠體，製作不同性質的複合材料。

(四) 分析不同混合材料的特性

(五) 討論各種混合材料的應用

(六) 保溫貼片製作

三、文獻回顧

導電薄膜中，導電粒子成分越高其導電性越好，硬化後導電粒子會在表面結合，故粒子表面積對導電膠影響大。

導電膠的種類：

導電膠製作方式主要分成兩種，填充型導電膠是將導電填充料，像是金屬粉末或纖維以混合方法與樹脂複合而成。樹脂的成分可以包括熱塑性塑膠、熱塑性彈性體、以及熱因性塑膠。

導電膠的分類

(一) 常溫乾燥型或常溫硬化型

一液型主要膠合劑為丙烯酸系樹脂等可塑性樹脂，通常以含有溶劑的溶劑型較多，接著強度弱，使用容易。

二液型主要為環氧樹脂，一般分為主劑和硬化劑，為了使其分散性良好，主劑與硬化劑通常設計混合比例為 1:1。其接著強度、導電性雖比一液型好，但混合後黏度上升快，可使用時間短。

(二) 加熱硬化劑

以 100~300°C 左右的溫度作反應硬化，膠著劑為環氧樹脂、聚亞醯胺樹脂、苯酚樹脂等熱硬化性樹脂。

導電膠脂構成材料

（一）導電膠填充物

具有導電性的主要材料為金、銀等金屬粉末或無定形碳與石墨粉。

（二）膠合劑

膠合劑把填充物緊密貼合以提供塗膜的物理與化學穩定性，一般以環氧樹脂為主。

（三）添加劑

添加稀釋劑以提升導電性膠之使用性；使用偶合劑以提升其接合強度；使用分散劑以幫助導電填充物之分散性。稀釋劑主要分為溶劑和反應性稀釋劑，使用前者叫稱為溶劑型導電膠，而使用後者稱為無溶劑型導電膠。

1. 溶劑

需考慮乾燥性、殘留性，及效率，選擇乾燥時不會有氣體附著之溶劑。

2. 環氧樹脂用反應性稀釋劑。

環氧樹脂並用反應性稀釋劑，可降低黏度、改善作業性，因無揮發成分存在，故加熱硬化後不會發生孔洞現象，為了達到可信賴的導電膠，多採用無溶劑型，以稀釋劑代替溶劑。

導電性填充物的影響：

填充物性質會間接影響導電膠的導電性質。常見的有金、銀、銅、鋁、鎳、石墨。具有化學安定性與良好導電性的為金粉和銀粉，但皆價格昂貴。導電性僅次銀粉的為銅粉，但易被氧化。鋁粉與鎳粉導電度較差，而鋁粉活性大所以易被腐蝕和氧化，表面形成絕緣性氧化物；鎳粉則易被磁場聚集。石墨的化學性質安定，但導電度較低。(註一)

王亭方等（2024）於第 60 屆全國科展的作品中，將聚矽氧加入石墨粉末製成導電薄膜，通電後測試電壓與電阻等相關電學性質，通電後導電薄膜形成電阻然後產生熱能，製成輕薄且柔軟的加熱片(註二)。

郭祉延等（2023）於第 59 屆全國科展的作品中，利用化學反應，先製作出石墨

烯，再跟奈米銀進行反應接合。最後添加聚甲基丙烯酸甲酯與聚二氧乙基噻吩聚苯乙烯磺酸複合物，製成可撓式的導電薄膜(註三)。

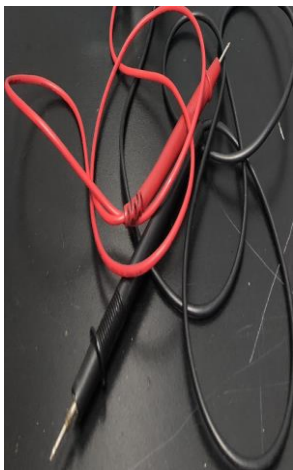

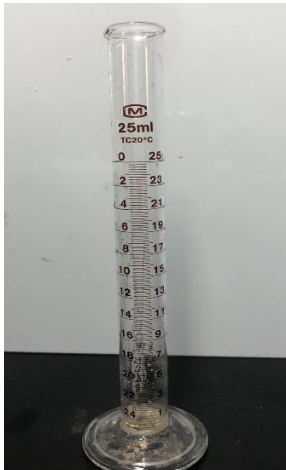
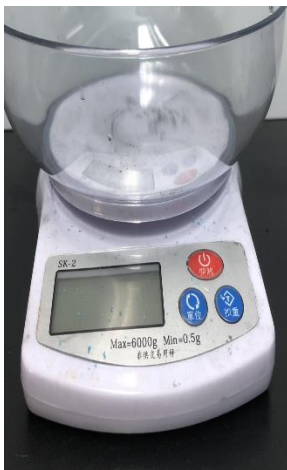


賴裕升等（2020）於 110 學年度新北市科展的作品中，將導電粉末加入聚合物，製作成混合材料，探討濃度特性以及通電後溫度上升變化的物理性質，如果在此材料上施加力量愈大，電阻值也會變大，力量消失電阻值會變回原來的值，並利用這些性質製作警報器(註四)。

貳、研究設備及器材

一、實驗器材

表 1：實驗器材

			
<p>三用電表 × 1 (作者自行拍攝)</p>	<p>點火槍 × 1 (作者自行拍攝)</p>	<p>刮勺 × 1 (作者自行拍攝)</p>	<p>鐵尺 × 20 (作者自行拍攝)</p>

			
電線 × 10 (作者自行拍攝)	攪拌棒 × 5 (作者自行拍攝)	量筒 × 5 (作者自行拍攝)	電子秤 × 1 (作者自行拍攝)
			
燒杯 × 30 (作者自行拍攝)	電源供應器×1 (作者自行拍攝)		

二、實驗藥品：

聚醋酸乙烯酯、聚胺基甲酸酯、甘油、乙醇、正丁醇、銅粉、石墨、石墨烯、水彩。

參、研究過程或方法

一、原理及公式

(一) 聚合物定義

聚合物又稱高分子聚合物或稱高分子物質，為許多分子量小的小分子如圖 1，A 為分子量的小分子，重複連結形成的巨大分子，n 可以是數千到數萬。其分子量可以是很大，多的話可達到數百萬以上，通常性質穩定不容易分解。（註五）

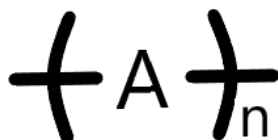


圖 1：聚合物示意圖（作者自行繪製）

（二）聚醋酸乙烯酯

為聚合物的一種簡寫為 PVAC，結構如圖 2，可以用於一般的家具物品當作黏著劑，不需要添加任何物質就可以使用。無毒，常用於木材的接合，俗名為白膠水 **White glue**，英文為 **Polyvinyl acetate**。（註六）

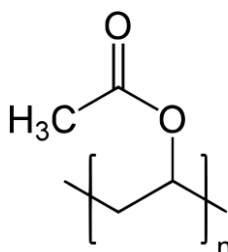


圖 2：聚醋酸乙烯酯結構式（作者自行繪製）

（三）聚胺基甲酸酯

簡寫為 PU 為聚合物的一種，結構如圖 3，有橡膠的彈性，也有塑膠的強度，適用於許多領域，如泡沫、纖維，黏著劑等。

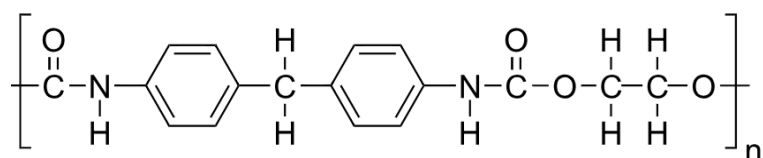


圖 3：聚胺基甲酸酯結構式

(commons wikimedia PU 結構)

（三）丙三醇

俗稱甘油，為三元醇，如圖 4 所示，因為羥基數目多，所以沸點很高，為 290°C，黏性也很大，且具甜味，為沒有毒性的液體，是化妝用品、洗面乳及口腔清潔劑中常用的成分。(註七)

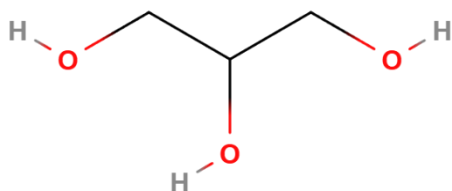


圖 4：丙三醇（作者自行繪製）

（四）金屬

由金屬鍵組成，金屬鍵包含金屬陽離子以及自由電子，其導電性是因為自由電子可以自由移動，固態跟液態均可以導電。導電性最好的是銀，其次為銅。

（五）非金屬

之間由共價鍵組成，共價鍵因為價電子共用而其電子被束縛住，故無法自由移動而無法導電，但是酸跟氨溶於水因為可以解離出陰、陽離子，陰、陽離子在水中可以自由移動，當通電後就可以導電，產生電解反應。

（六）石墨

石墨由共價鍵組成，石墨為二維結構，如圖 5 所示，但是石墨有 π 電子， π 電子因為共振所以在石墨的結構中可以移動，故可以導電，是碳的一種同素異形體。它的結構呈層狀排列，每個碳原子會和相鄰的碳原子藉由共價鍵結合，形成六角形的平面結構。而且它的化學性質不活潑，具有耐腐蝕性。(註八)

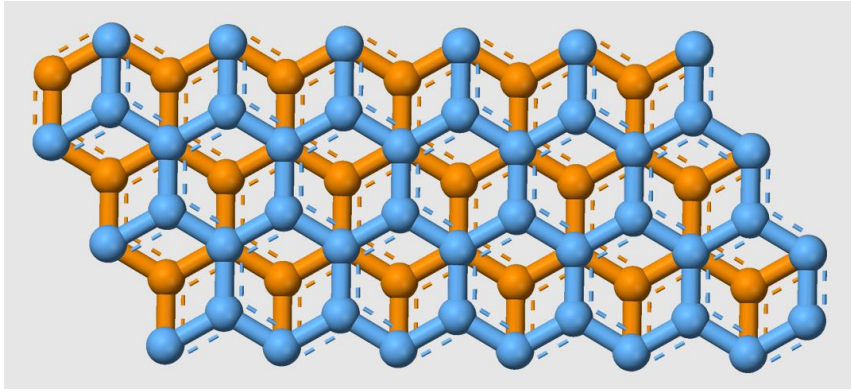


圖 5：石墨結構示意圖，(引用自維基百科 石墨)

(七) 電導體

通常定義材料是否為導體會以電阻率來判斷，電阻率的 SI 制單位為歐姆·公尺 ($\Omega \cdot \text{m}$)。金屬之所以可以導電是由於自由電子，而在食鹽水等溶液中的導電原因，為陰、陽離子可以移動而造成的，依照導電度分導體、半導體以及絕緣體（圖 6），導體如金屬其價帶跟傳導帶重疊，故電子可以自由移動，絕緣體的價帶跟傳導帶差距很大，故電子很難自由移動導電性很差，而半導體價帶跟傳導帶差距不大，所以在給予能量後有機會電子可以移動故可以導電，溫度越高，半導體的導電性越好。而原來不會導電的物質，當改變某些條件時，也可能變成導體。(維基百科，2024 年 11 月 21 日)

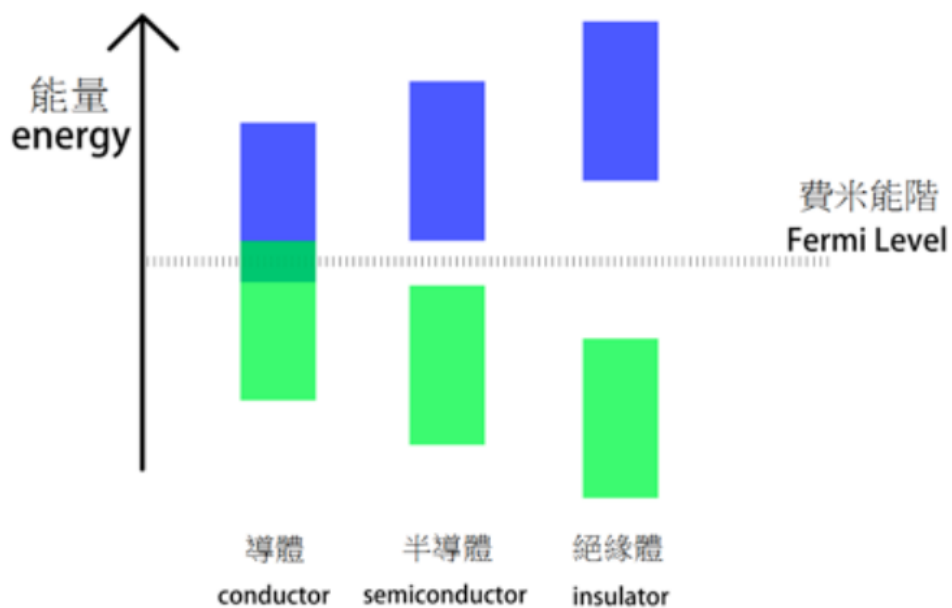


圖 6：材料導電性的比較示意圖（圖片引用自科學 online）

（八）測量原理

電子在導體中移動時會有阻力，必須要有電壓驅動，才能產生電流，可以用電阻來定量分析，當導線兩端的電壓為 V ，通過導線的電流為 I ，則電阻 R （註十）

$$R = \frac{V}{I}$$

電功率 **electric Power** 是指在單位時間內電能轉換成其他形式能量的速率。其中物理公式為 $P = W/t$ 或者是 $P = IV$ 。

P :為電功率，單位瓦特（W）。 W :為電能，單位為焦耳（J）。 t :為時間，單位為秒（s）。 V :為電壓，單位為伏特（V）。 I :為電流，單位為安培（A）。(註十一)

二、研究步驟

（一）研究流程

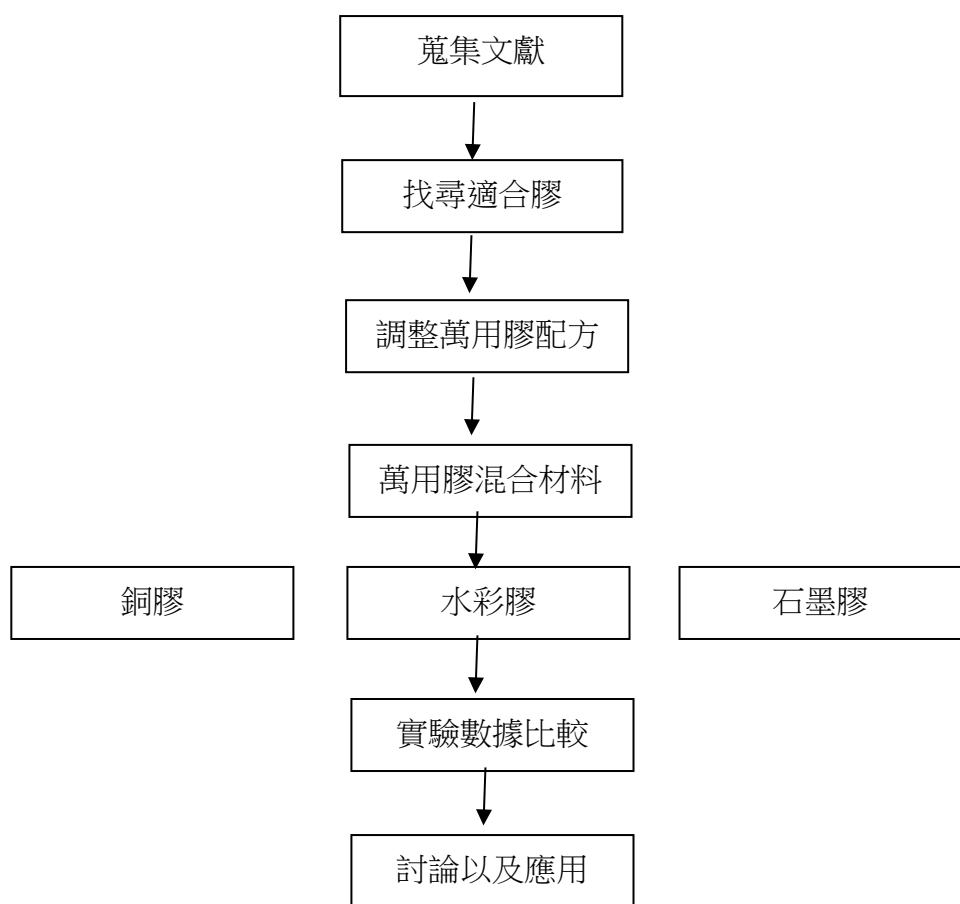


圖 7：研究流程（作者自行繪製）

（二）研究步驟

1. 萬用膠

- (1) 取出聚醋酸乙烯酯 50 毫升，置於 250 毫升燒杯，觀察物理性質
- (2) 取出聚醋酸乙烯酯 50 毫升，置於 250 毫升燒杯再加入聚胺基甲酸酯 10 毫升增加可彎曲性製成複合膠，觀察物理性質。
- (3) 取出複合膠，放置於 250 毫升燒杯加入乙醇或正丁醇，觀察物理性質
- (4) 取出複合膠，放置於 250 毫升燒杯加入甘油，觀察物理性質
- (5) 討論複合膠、甘油、正丁醇最佳比例製成萬用膠。

2. 銅膠

- (1) 取出複合膠放到 250 毫升的燒杯，加入 5 毫升的甘油，用攪拌棒攪拌均勻後，再加入 7 毫升的正丁醇攪拌均勻。
- (2) 加入 20 公克的銅粉攪拌均勻分散。
- (3) 討論銅膠物理性質跟電學特性。

3. 水彩膠

- (1) 取出複合膠放到 250 毫升的燒杯，加入 5 毫升的甘油，用攪拌棒攪拌均勻後，再加入 7 毫升的正丁醇攪拌均勻。
- (2) 加入水彩攪拌均勻
- (3) 討論水彩膠混合後性質

4. 石墨膠

- (1) 取複合膠放到 250 毫升的燒杯，加入 5 毫升的甘油，用攪拌棒攪拌均勻後，再加入 7 毫升的正丁醇攪拌均勻。
- (2) 加入 4-12 公克的石墨粉攪拌均勻
- (3) 討論石墨膠混合後物理性質
- (4) 討論石墨膠電學特性

肆、研究結果

一、基本膠

(一)聚醋酸乙烯酯(PVAC)

本研究旨在探索一種無毒且具穩定性的聚合物膠體，讓這個膠可以吸附多種物質，例如有顏色的物質或是可以導電的顆粒等，形成多種混合材料。白膠（聚醋酸乙烯酯，PVAC）為日常生活中常見的膠體材料，其特點為乾燥速度快且具有較強的

黏性，廣泛應用於各種材料的黏合。基於其優異的物理性質，我們選擇聚醋酸乙烯酯作為實驗的基底膠體。

當我們使用 PVAC 塗抹於紙張上，發現其具有速乾、黏性強的特性，但其彎折後容易斷裂，於是我們想去尋找改善此問題之解決方法。

(二)聚胺基甲酸酯(PU)

PU 膠具有彈性、耐撕裂、耐磨性佳等特點，於是我們嘗試在 PVAC 裡加入 PU 膠。發現當加入的量不夠多時，其柔軟性佳之特點無法明顯發揮；而加入過量會造成膠片固化不完全，最終實驗顯示 50 毫升 PVAC 加入 10 毫升 PU 膠較佳。兩者膠混合可以吸附材料，凝固後可以折疊不會斷裂。

二、添加溶劑

為了進一步調整膠體的流動性與分散性，我們在 50 毫升的聚醋酸乙烯酯與 10 毫升的聚胺基甲酸酯（以下簡稱複合膠）中，添加了不同溶劑進行測試。未加入溶劑的複合膠具有較大的黏性，凝固的時間很短。最後，我們選擇分別加入正丁醇和甘油來改善其流動性與分散性，並實驗其最佳比例。

(一)正丁醇

低碳數的醇類的分子較小，且分子間作用力相對較弱，流動性佳。為了方便塗抹、增加基本膠的流動性，我們使用了乙醇以及正丁醇進行實驗。添加乙醇時我們發現其乾燥時間過快，會造成配置及實際塗抹之不便，而添加正丁醇時乾燥時間較為適中，於是我們使用正丁醇進行實驗。

表 2 為實驗加入正丁醇的實驗量，當複合膠中加入 11 毫升正丁醇時，膠體的流動性增強，但過度流動使得膠體不易附著於塗抹面，且有分層現象；當正丁醇的量為 7 毫升時，膠體能夠穩定附著於表面且膠體可以完全溶解，但放置 2 天後，膠體會出現分層現象。

表 2：複合膠調整正丁醇的比例(作者自行製作)

複合膠(mL)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
正丁醇(mL)	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
現象	分層				佳	無法完全溶解						

(二)甘油

由於加入正丁醇後膠體會出現分層現象，所以我們找尋資料加入分散劑，選擇丙三醇(甘油)。

表 3: 複合膠調整甘油的比例(作者自行製作)

複合膠(mL)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
甘油(mL)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現象	黏性低、沉澱				佳	結塊				

經過進一步的實驗，我們發現：

- (1)當甘油的量少於 5 毫升時，膠體的黏度降低，導致膠體不易附著於表面。
- (2)當甘油的量大於 5 毫升時，膠體會開始結塊，且結塊程度會隨甘油量的增加而加劇。

因此，為了製備理想的萬用膠，我們確定了 5 毫升甘油與 7 毫升正丁醇為最佳配比。

經過上述測試，當加入 5 毫升甘油並添加 7 毫升正丁醇時，所形成的膠體具有最佳的流動性與黏稠性。

實驗使用萬用膠加入 20 克銅粉後，我們發現銅粉可以均勻地分布在溶劑中，發現接觸空氣乾掉的實驗會約 50 分鐘，增加製作材料時間，而且加入溶劑後可以增加混合物的分散性，可以讓整個混合物均勻混合，放置 6 個月都沒有沉澱或分層現象。

三、銅膠

(一) 製作比例

使用萬用膠再加入銅粉 20 公克。此時再加入銅粉凝固後會有銅粉析出，20 公克重

的銅粉以達到飽和。

（二）阻隔電磁波訊號

因為密閉的金屬盒可以隔絕電磁波，我們推測如果將銅膠塗滿盒子應該也能隔絕電磁波。於是我們在一個保麗龍盒子四周圍塗上一層銅膠（圖 8），然後將手機放入銅膠盒子，再取另一支手機通話，發現銅膠盒子內的手機可接收訊號並迅速響鈴，證明其無法完全隔離信號。接下來我們塗上更多層的銅膠反覆測試，一直增加到 10 層才能隔絕訊號 2 秒鐘，因此我們的銅膠可以降低訊號強度，但是需要塗到 10 層以上。

（三）導電測試

實驗加入可以導電的銅粉顆粒，所以我們試著測試銅膠是否有導電性，使用三用電表測試不出電阻值。實驗結果顯示銅膠的導電性較差。



圖 8：銅膠盒子（作者自行拍攝）

四、色膠

實驗使用萬用膠，加入 1 公克的水彩，製備出色膠，我們實驗將此色膠塗在指甲上（圖 9），再用酒精清洗（圖 10），我們發現可以當作指甲油使用，並且具有良好的可清潔性，只要用酒精就可以馬上清洗乾淨。



圖 9：色膠塗在指甲上
（作者自行拍攝）



圖 10：色膠塗在指甲上再用酒精清洗
（作者自行拍攝）

此外我們也試著將色膠當作油畫顏料(圖 11)使用，味道不會像油畫刺鼻，塗在圖畫紙上跟油畫一樣有立體感，由於我們製成的膠體為聚合物，所以具有良好的耐久性及易保存。



圖 11 色膠顏料圖畫紙
（作者自行拍攝）

五、石墨膠

將石墨加入萬用膠可以組成導電的聚合物，我們對石墨膠進行了以下實驗。

（一）濃度測試

實驗使用萬用膠加入 4 公克的石墨利用電線相隔 0.5 公分距離，使用三用電表測不出電阻訊號，到了加入 5 公克的石墨，電阻值有 1.1×10^6 歐姆，導電性還是很差，當加入到 7 公克的石墨電阻值有 2800 歐姆，一直加到 12 公克的石墨電阻值可以到 380 歐姆。石墨添加的重量越多電阻越小，實驗數據及關係圖如表 4 及圖 12。

表 4：石墨重量與電阻(作者自行製作)

石墨重量 (g)	5	6	6.5	7	8	10	12
電阻(歐姆)	1.1×10^6	2.0×10^4	9.0×10^3	2.8×10^3	2.1×10^3	1.2×10^3	3.8×10^2

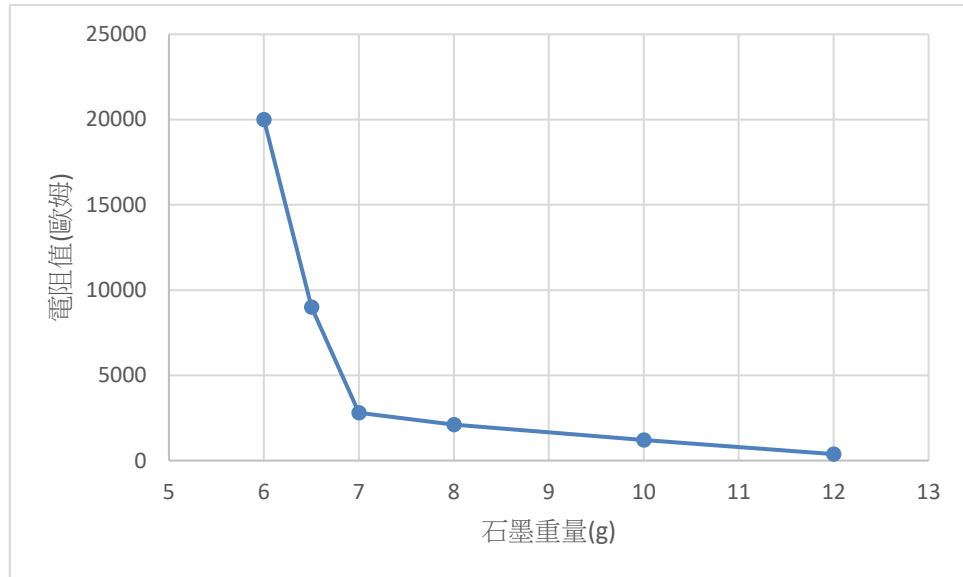


圖 12：石墨重量與電阻關係圖（作者自行繪製）

當加到 8 公克的石墨（圖 13），萬用膠還有彈性及光澤，加到石墨 10 公克的時候（圖 14），暗沉沒有光澤有彈性，加到石墨 12 公克的時候（圖 15），乾掉後石墨會析出。推論萬用膠可以加入的石墨達到飽和的重量為 10 公克，而加入石墨越多，電阻越小，導電性越佳，因為加入石墨顆粒數量達到一定程度時，顆粒之間會形成一個網狀結構，讓電子在其中流動，來降低電阻。

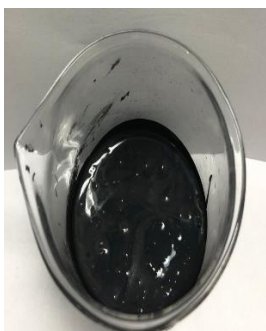


圖 13：膠加 8 公克石墨
（作者自行拍攝）

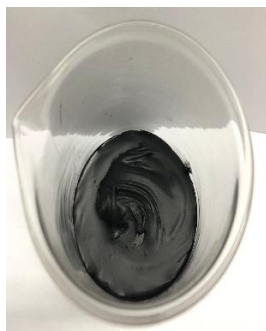


圖 14：膠加 10 公克石墨
（作者自行拍攝）

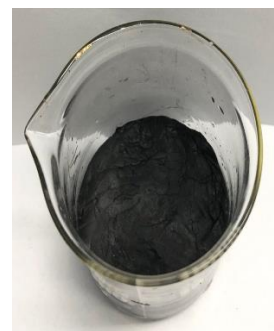


圖 15：膠加 12 公克石墨
（作者自行拍攝）

表 5：添加石墨後現象(作者自行製作)

膠加入石墨重量	8 公克	10 公克	12 公克
現象	明亮有光澤 乾燥後有彈性	暗沉沒有光澤 乾燥有彈性	暗沉沒有光澤 乾燥有粉末析出

(二) 厚度實驗

將兩支鐵尺放置兩邊距離一公分，塗上一層加入 8 公克石墨的石墨膠，測試厚度與電阻之間的關係，並使用寬 1 cm、長 5 cm 之貼片進行測試。我們發現厚度越厚，電阻值越小，導電性越佳，實驗數據及關係圖請參考表 4 及圖 21。0.05 mm 時電阻值為 2.5 k Ω ，0.07 mm 為 2.2 k Ω ，0.1 mm 為 2.0 k Ω ，1.0 mm 為 1.5 k Ω ，1.5 mm 為 1.1 k Ω ，1.8 mm 為 1.1 k Ω 。厚度越大電阻值越小。厚度大可以導電的石墨粒子數增加，有更多的自由電子可以參與導電，故導電性變佳。



圖 16：厚度實驗
(作者自行拍攝)

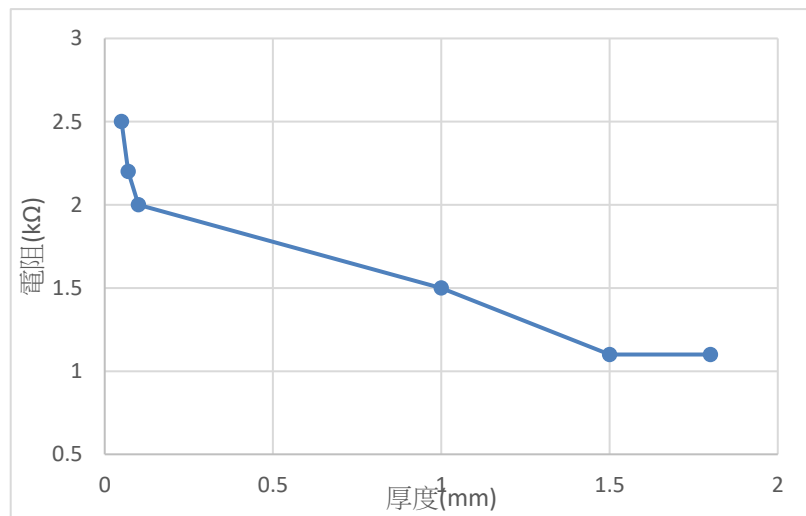


圖 17：石墨厚度與電阻值關係圖(作者自行繪製)

表 6：石墨厚度與電阻值(作者自行製作)

厚度(mm)	0.05	0.07	0.1	1.0	1.5	1.8
電阻(k Ω)	2.5	2.2	2.0	1.5	1.1	1.1

（三）距離測試

測試加入 8 公克石墨的石墨膠，分別取距離為 0.5、1、1.5、2、2.5、3cm 測量電阻值，我們發現距離越遠電阻值增加，實驗數據及關係圖見表 7 及圖 18。推論距離越遠，需要通過的阻礙越大，故電阻值越大。

表 7：石墨膠距離與電阻值關係(作者自行製作)

石墨膠距離 (cm)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
電阻 (kΩ)	2.8	3.3	3.5	3.5	3.8	4.2

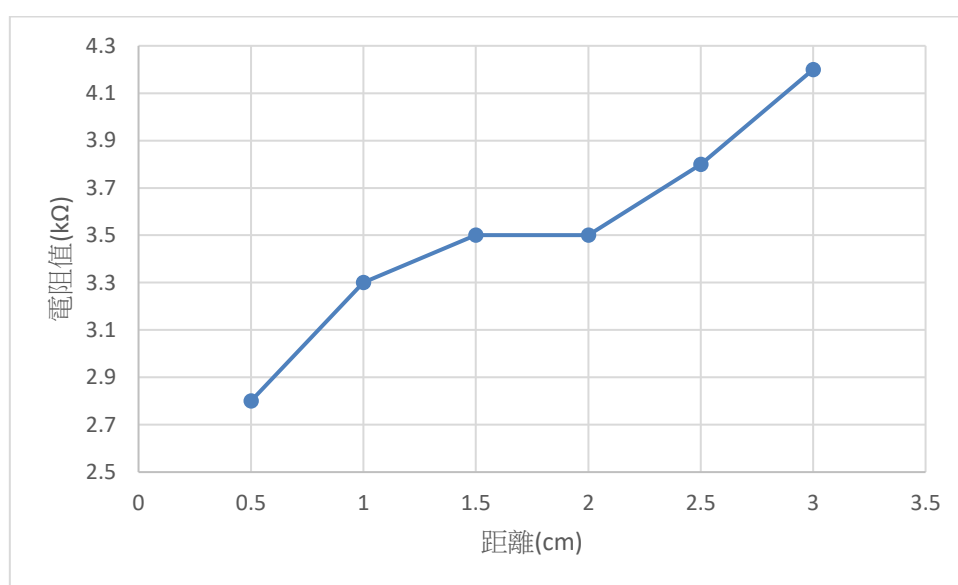


圖 18：測試距離跟電阻值關係圖（作者自行繪製）

（四）溫度測試

實驗用加入 12 公克石墨的石墨膠測試，發現溫度越高，電阻值會變小，但是測試到約 100°C，整個萬用膠會軟化，實驗數據及關係圖請參考表 8 及圖 19。實驗發現溫度 20 °C 電阻為 380 歐姆，到了 60 °C 變為 220 歐姆，140 °C 達到 120 歐姆。我們認為溫度越高電子吸收的能量越大，電子越容易移動所以電阻值會減少，導電性增加。

表 8：溫度與電阻值關係(作者自行製作)

溫度(攝氏)	20	30	47	60	87	100	140
電阻值 (歐姆)	380	280	250	220	213	160	120

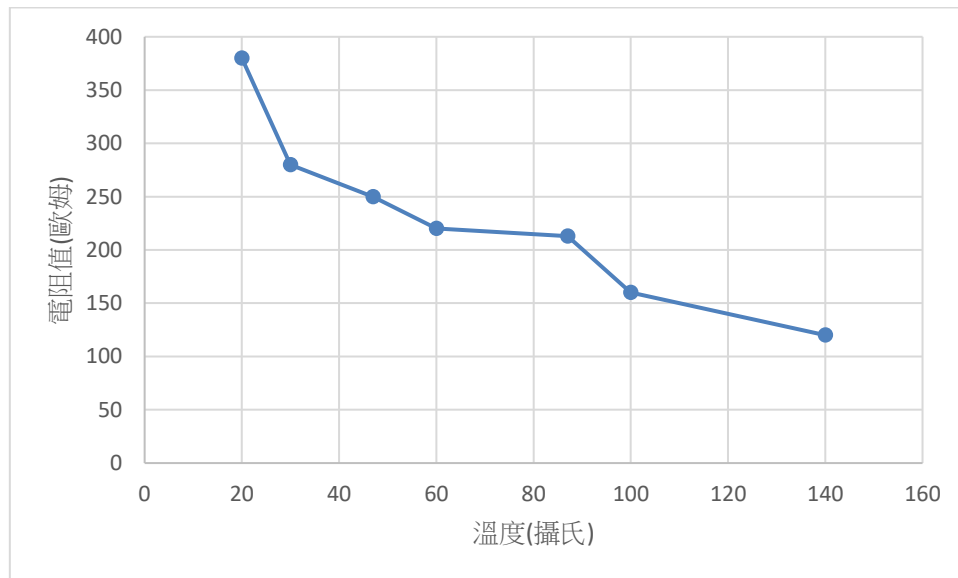


圖 19：溫度與電阻值關係（作者自行繪製）

（五）摺疊角度測試

將 6.5 公克石墨加入調配好的膠，測試摺疊角度大小與電阻之間的關係，實驗使用長 5 cm、寬 1 cm 之貼片進行測試。

表 9：低濃度石墨膠摺疊角度與電阻值關係(作者自行製作)

角度(°)	0	30	60	90	120	150
電阻(kΩ)	10.2	7.2	3.4	1.7	1.5	1.5

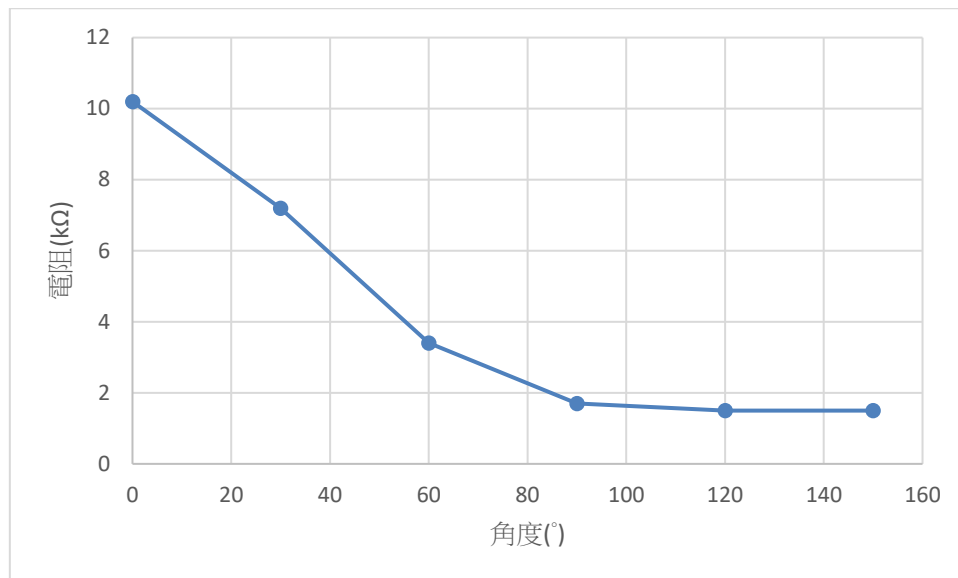


圖 20：低濃度石墨膠摺疊角度與電阻值關係圖（作者自行繪製）

0°時電阻值為 10.2 kΩ，30°為 7.2 kΩ，60°為 3.4 kΩ，90°為 1.7 kΩ，120°為 1.5 kΩ，150°為 1.5 kΩ。

將 8 公克石墨加入調配好的膠，測試摺疊角度大小與電阻之間的關係，實驗使用長 5 cm、寬 1 cm 之貼片進行測試。

表 10：高濃度石墨膠摺疊角度與電阻值關係(作者自行製作)

角度(°)	0	30	60	90	120	150
電阻(kΩ)	2.1	1.8	1.6	1.1	1.1	1.1

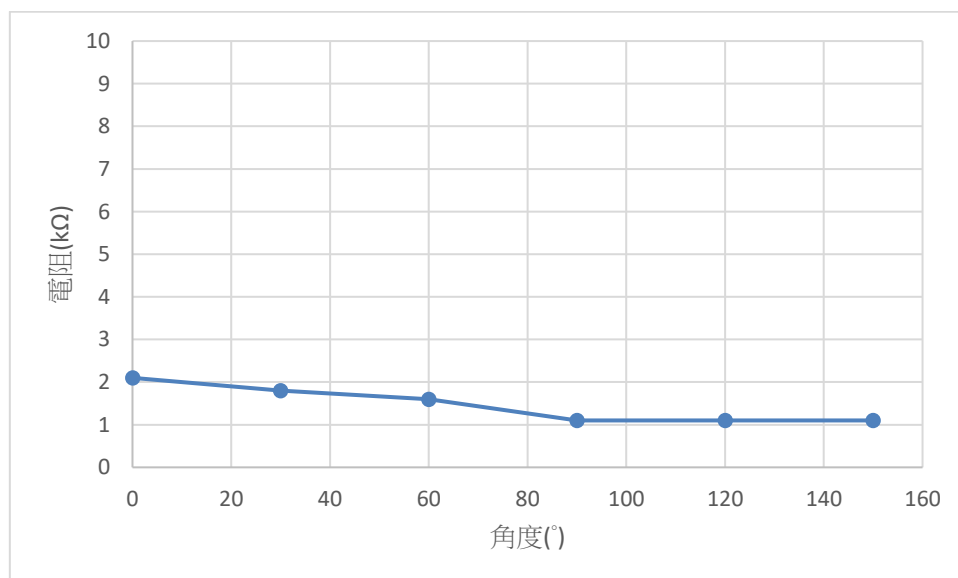


圖 21：高濃度石墨膠摺疊角度與電阻值關係圖（作者自行繪製）

摺疊角度為 0° 時電阻值為 $2.1\text{ k}\Omega$ ， 30° 為 $1.8\text{ k}\Omega$ ， 60° 為 $1.6\text{ k}\Omega$ ， 90° 為 $1.1\text{ k}\Omega$ ， 120° 為 $1.1\text{ k}\Omega$ ， 150° 為 $1.1\text{ k}\Omega$ 。角度越大電阻值越小，是由於中間處之石墨濃度隨折疊變化，摺疊角度越大濃度越高，導電性變好、電阻值變小。我們發現濃度較小，電阻值較大，摺疊後電阻值變化較明顯。

(六)重量測試

將 10g 石墨加入萬用膠中，製成 $2\text{cm} \times 2\text{cm}$ 之石墨膠片，測試承受重量與電阻值之間的關係表 11 及圖 22。

表 11 承受重量與電阻值關係(作者自行製作)

重量(g)	0	100	200	300	400	500
電阻 (歐姆)	2220	1860	1620	1550	1470	1420

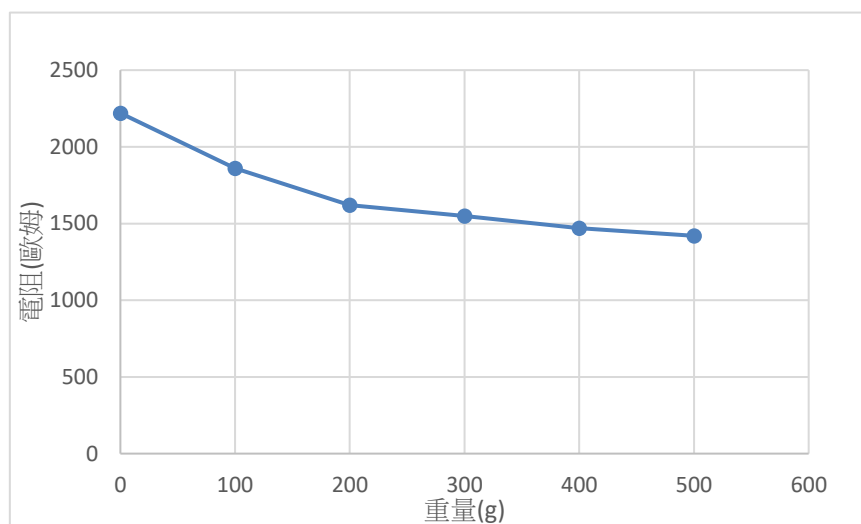


圖 22：承受重量與電阻值關係圖（作者自行繪製）

沒有加入砝碼的時候為 $2220\text{ }\Omega$ ，加 100 g 砝碼的時候為 $1860\text{ }\Omega$ 、加 200 g 砝碼的時候為 $1620\text{ }\Omega$ 、加 300 g 砝碼的時候為 $1550\text{ }\Omega$ 、加 400 g 砝碼的時候為 $1470\text{ }\Omega$ 、加 500 g 砝碼的時候為 $1420\text{ }\Omega$ ，加入的重量越重，電阻值越小，導電性越好，推測是因為重量越重擠壓石墨膠，讓石墨的濃度越大，導電性變好。

此外我們將 10g 石墨加入萬用膠中，製成大片 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 之石墨膠片，測試承受重量與電阻之間的關係。

表 12:10cm x 10cm 石墨膠承受重量與電阻值關係(作者自行製作)

砝碼重量(g)	0	100	150	200	250	300	350	400	450
電阻(k Ω)	47.3	45.6	44.1	43.8	41.5	40.3	39.2	38	37.3

砝碼重量(g)	500	550	600	650	700	750	800
電阻(k Ω)	36.7	36.2	35.8	35.1	34.6	33.9	33.4

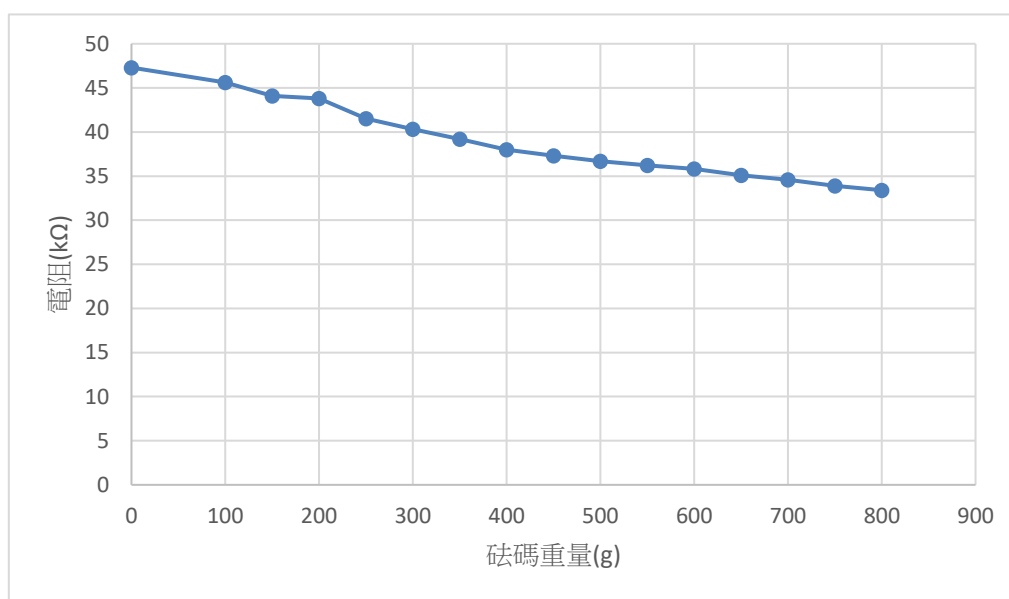


圖 23：10cm x 10cm 石墨膠承受重量與電阻值關係（作者自行繪製）

我們拿一張紙，墊在石墨上當作絕緣體，再把砝碼放上去一一的測量其電阻值。可以觀察到當加到 100g 的砝碼時，它的電阻值為 45.6k Ω ；加到 200g 的砝碼時，電阻值為 43.8k Ω ；加到 300g 的砝碼時，電阻值為 40.3k Ω ；加到 400g 的砝碼時，電阻值為 38k Ω ；加到 500g 的砝碼時，電阻值為 36.7k Ω ；加到 600g 的砝碼時，電阻值為 35.8k Ω ；加到 700g 的砝碼時，電阻值為 34.6k Ω ；加到 800g 的砝碼時，電阻值為 33.4k Ω 。

由上圖可知，當石墨膠加上的砝碼克數愈多，它的電阻值會下降，符合我們的推論「壓力越大，其電阻值會越小」。

(七)通電溫度測試

實驗將加入石墨 8 公克的石墨膠，通以電壓 5V、10V 以及 15V 如圖 24，測試通電時間跟溫度關係。

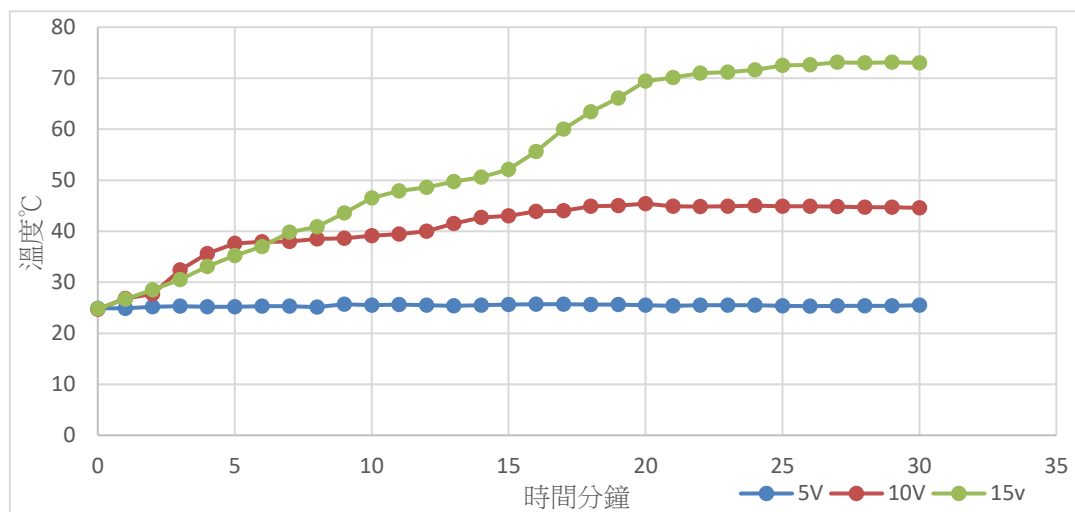


圖 24：石墨膠通以電壓 5V、10V 以及 15V 溫度上升圖（作者自行繪製）

當通以 5V 之電壓時，其溫度無明顯上升；10V 時會上升至大約 45℃；而 15V 時會上升至 73℃。實驗結果顯示通以電壓越高，上升溫度越高，我們可以利用此特性將其製成保溫墊片。

六、實際應用

(一) 銅膠:

當我們將萬用膠加入銅粉塗抹於保麗龍盒時，它可以暫時阻隔訊號之傳遞，可以將其塗抹於牆面上，使房間有減少電磁波的功效。

(二) 色膠:

使用萬用膠加入水彩，吸附性與分散性佳，可製成指甲油，它具有快乾、容易清洗之特性；亦可應用於油畫顏料，並具有立體感、顏色鮮豔、不刺鼻、保存容易和價格低廉之優點。

(三) 石墨膠應用

(1)警報器:

當我們製作好的石墨膠承受到重量時，其電阻值會隨著重量增加而減少、導電性變好。此特性可用於防盜方面，將製作好的膠片放置於地面，當有人踩踏時電阻值將發生變化，我們計畫未來將其接上蜂鳴器，及可製成防盜警報器。

我們製作的膠片受到摺疊時電阻值也會產生變化，摺疊角度越大電阻值會變小、導電性變好，這個特性亦可應用於防盜方面。我們可以將膠片固定於門與牆壁連接處，當門被打開時，膠片會遭到折疊，電阻值改變，如果將其接上蜂鳴器時也可作為防盜警報器使用。

製作好的膠片因外界溫度影響而升溫時，其電阻會產生變化，隨著溫度上升，電阻值會變小、導電性變好，可用於火災偵測。我們可將膠片放在廚房、走廊等地，當火災發生時外界溫度增高，膠片的電阻值改變，如果接上蜂鳴器時即可作為火災偵測警報器。

(2)保溫墊片:

我們將加入石墨的萬用膠利用網版印刷的方式均勻塗抹在大型塑膠片上(圖 25)，兩端貼上銅箔膠帶，再接上電線測試其通電時間與溫度上升之關係(圖 26)。



圖 25：自製保溫墊片（作者自行拍攝）

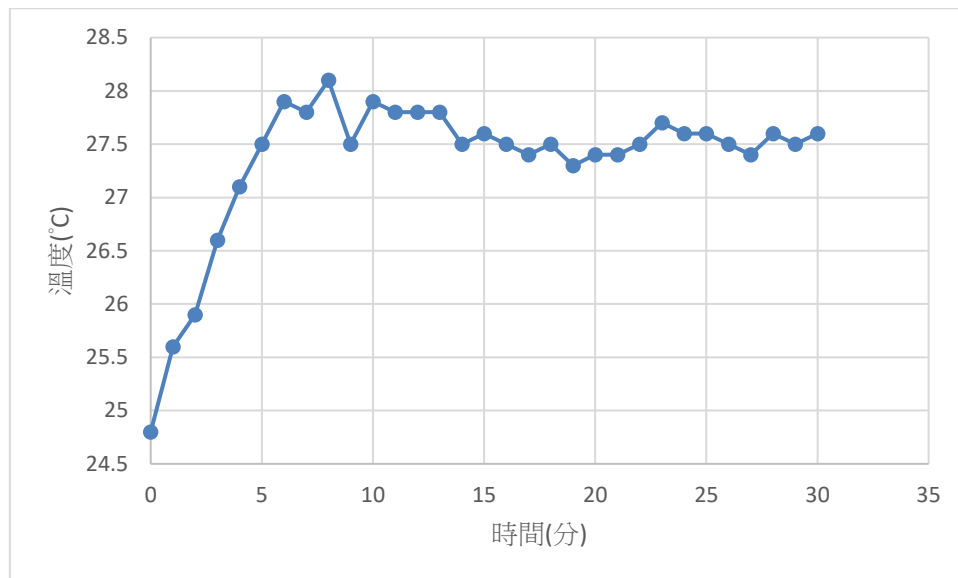


圖 26：通電 110V 溫度上升圖（作者自行繪製）

當通電 110V、電阻值為 5K 時圖 26，原始溫度為 24.8°C，5 分鐘後為 27.5°C，10 分鐘後為 27.9°C，15 分鐘為 27.6°C，20 分鐘為 27.4°C，25 分鐘為 27.6°C，30 分鐘為 27.6°C。推測因電壓不足導致溫度並無較大之上升。拔除電源後於 1 分 40 秒恢復室溫。於是我們使用 110V 轉 220V 之變壓器，以更高的電壓進行實驗。

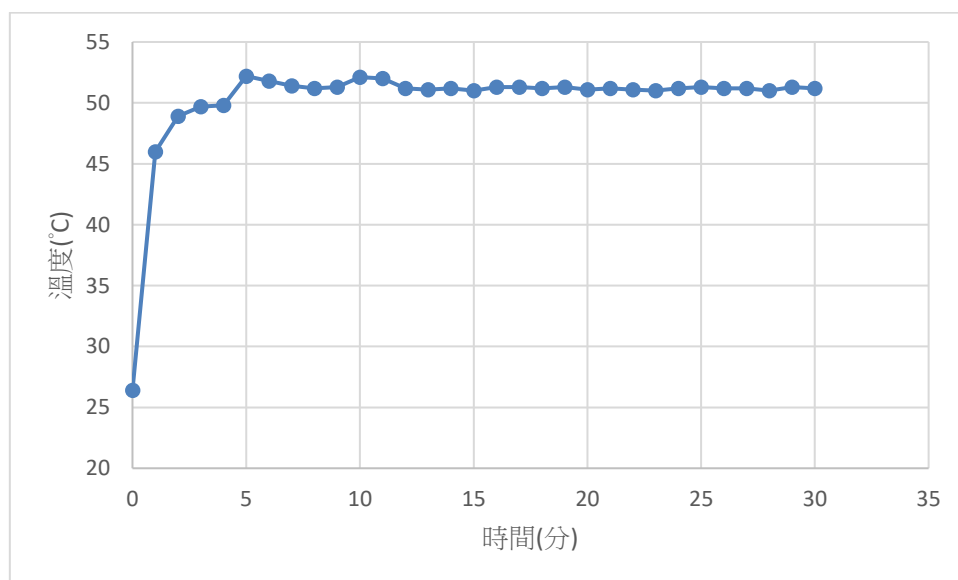


圖 27：通電 220V 溫度上升圖（作者自行繪製）

當通電 220V、電阻值為 5K 時如圖 27，原始溫度 26.4°C，5 分鐘後為 52.2°C，10 分鐘後為 52.1°C，15 分鐘為 51.0°C，20 分鐘為 51.1°C，25 分鐘為 51.3°C，30 分鐘為 51.2°C。實驗結果顯示當我們以更高電壓測試時，溫度有明顯上升，並於 6 分鐘後達到平衡，產生之熱量等

於逸散出的熱量。拔除電源 50 秒後恢復至室溫。故 220V 為較佳之電壓。

此外，由於我們使用的材料為聚合物，所以製作的保溫墊片具有保存容易、耐用性高以及造價低廉之優點。

(3)耐用性及修補:

當我們將石墨膠片以 90°反覆折疊約 180 次時，石墨膠片會有微小裂痕，但不影響其電阻值；摺疊約 500 次時石墨膠會出現足以影響電阻值之裂痕，於是我們將其塗上石墨膠修補，發現在完全乾燥後電阻值會恢復至未裂開前。

伍、討論

一、萬能膠

(一)實驗找尋一種無毒且具穩定性的聚合物膠體白膠（聚醋酸乙烯酯，PVAC），它能吸附多種物質，且具有乾燥速度快且較強的黏性，廣泛應用於各種材料的黏合，因此我們選擇聚醋酸乙烯酯作為實驗的基底膠體。

(二)本實驗中發現，若單彎折 PVAC 的膠，它會斷裂；若 50 毫升的 PVAC 加入 10 毫升的 PU 膠，兩種膠混合可以吸附其他物質，藉由 PU 膠彈性、耐撕裂性、耐磨性佳等特點，凝固後可以折疊不會斷裂。

(三)為了增加膠體的黏稠性，最後發現添加 7 毫升正丁醇時其乾燥的時間最適中

(四)由於加入正丁醇後膠體會出現分層現象，所以我們找尋資料加入分散劑，選擇丙三醇(甘油)，當加入 5 毫升甘油有最佳的流動性。

最後實驗得到萬用膠的最佳比例為 50 毫升的聚醋酸乙烯酯(PVAC)，10 毫升的聚胺基甲酸酯(PU)，加入 5 毫升的甘油以及 7 毫升的正丁醇。

二、銅膠

金屬隔板是可以阻礙電磁波的傳遞，而我們製作的銅膠阻礙電磁波的傳遞較差，我們認為是因為銅粉的濃度不夠，導致訊號會通過金屬的孔隙傳遞，塗到 10 層就可以阻礙一點訊號。此外銅粉的電阻大，因為銅氧化成氧化銅導致導電性變差。

三、色膠

我們製作的萬用膠可以添加水彩 1 公克，吸附性跟分散性佳，應用於塗在指甲上，可以很快乾燥，顏色也會保留，而且可以用酒精洗乾淨，我們可以應用此色膠製成指甲油。此外也可用於油畫顏料，有立體感並保存容易。

四、石墨膠

石墨膠導電較佳也有許多的應用，我們分為以下討論：

（一）濃度

當石墨加入調配好的萬能膠中，低濃度的石墨顆粒間建立起導電通道，使得電阻減小。原因是當石墨顆粒數量達到一定程度時，顆粒之間會形成一個網狀結構，讓電子在其中流動，來降低電阻。但是仍然有其飽和濃度，以我們實驗的萬用膠來說，加到 12 公克石墨後，萬用膠會無法吸附完全，乾掉後會有石墨粉析出，以應用性來說加入 8 公克石墨為最佳濃度。

（二）厚度

實驗結果厚度越大電阻值變小，導電性變好，厚度大可以使導電的石墨粒子數變多，有更多的自由電子可以參與導電，故導電性變佳。

（三）距離

推論距離越遠，需要通過的阻礙越大，故電阻越大。

（四）溫度

溫度越高，電阻越小，石墨膠中的導電性來自於石墨粒子間的電子傳遞。在低溫時，電子的能量較低，移動的能力受到限制，導致石墨膠的導電性較差，電阻較大。當溫度升高時，熱能會提供更多的能量給石墨膠中的電子，隨著溫度的增加，電子的運動能力也會隨之增加，使得電子容易地在石墨膠中移動，從而使得電阻隨溫度升高而降低。

萬用膠到 100 度的時候會軟化，我們認為膠在加溫到更高溫度，一旦石墨膠電阻值不正常變小，就是外界溫度升高，可能發生火災，石墨膠材料可以用於溫度偵測。

此外我們通以 5V 電壓，石墨膠溫度 30 分鐘後會上升約 15 度，可以用作保溫貼片。我們實際製作了保溫墊片，並加以測試通電電壓與溫度改變之關係，確認其可以實際應用。

（五）摺疊角度

摺疊角度越大，電阻值越小，不同層之間的排列就越緊密，顆粒之間的接觸點增加，這使得電子能夠在更多的顆粒之間進行傳遞，從而形成更有效的導電通道。摺疊角度越大，同時就意味著石墨顆粒會在膠基中聚集得更緊密，從而石墨顆粒的濃度增加。

這表示著石墨顆粒之間的接觸點數量上升，導電通道也隨之增加，這有助於電子的流動，使得電阻下降。我們可以利用這樣的關係設置一個裝置，當門打開時，石墨膠就會摺疊，可以偵測門是否打開，利用於家用防盜。

陸、結論

- 一、我們找出萬能膠的適當比例為 50 毫升的聚醋酸乙烯酯 10 毫升的聚胺基甲酸酯，加入 5 毫升的甘油以及 7 毫升的正丁醇，可以讓添加的物質完全分散到混合膠中，不易沉澱，而且乾燥時間適中，可以方便我們使用。
- 二、銅膠可以減少電磁波但是效果不佳，我們之後想找到更適合的導電材料，推測可以更有效的阻絕電磁波。
- 三、石墨膠的電阻特性可以使用於開門時石墨膠摺疊的角度，利用電子儀器可以偵測其變化，知道開門的角度以及重量感應。也可以利用溫度電阻特性，如果發生火災溫度上升電阻會變小，製作成火災偵測系統。
- 四、我們的萬用膠可以吸附很多物質，之後會再做更多的物質加入實驗討論其性質，再研究如何應用。

柒、參考文獻資料

- 一、劉乃碩 (2002) 高密度基板-充填銅導電膠之備製及物理性質之研究 義守大學 材料科學與工程學系研究所。
- 二、王亭方、粘小葳、林書緯 (2024) 「永不凍僵」可控制保溫複合材料之製作與應用 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會工程學(一)科。
- 三、郭祉延、姜又睿、陳芝叡、王俊豪、陳佳琪 (2023) 「烯」金焦點 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會工程學(二)科。
- 四、賴裕升，范曜宇、陳澤鴻 (2022) 聚合物加入導電物質之探討與應用 110 學年度新北市中小學科學展覽會化學科 彭愷恩 (2024) 選修化學 V 有機化學與應用科技學習講義 南一書局。
- 五、帝一化工 (2023 年 12 月 2 日) PVAC 聚醋酸乙烯樹脂。

六、葉名倉（2024） 選修化學 V 有機化學與應用科技課本 南一書局。

七、維基百科（2024 年 12 月 30 日） 石墨。

八、維基百科英文版（2024 年 11 月 21 日） **Electrical conductor**。

九、林秀豪、鄭呈因、張銘傑、徐國誠、林子立、吳易哲（2023） 選修物理 V 電磁現象二
與量子現象課本 龍騰文化。

十、科學 online（2024 年 12 月 31 日）。

十一、維基百科 電功率（2025 年 4 月 30 日）。

十二、commons wikimedia PU 結構。（2024 年 4 月 30 日）

【評語】 052411

本研究實驗量測不同比例聚醋酸乙烯酯、聚胺基甲酸酯、甘油及正丁醇，所製成混合材料物理及電阻特性，分析比較實驗結果獲得最佳混合比例，進一步將其與銅粉、水彩及石墨粉等製成複合材料，發現銅膠、水彩膠與石墨膠等複合材料具應用潛力。建議可針對選擇聚醋酸乙烯酯與聚胺基甲酸酯作為基底材料的原因，以及高分子比例如何影響膠體性質加以著墨，添加量多寡將影響膠體特性，於應用展示中可提出建議添加量，以維持膠體特性及具備複合材料之效果。於結果討論中採用三用電表進行電阻量測，然而量測之數據，並非整體材料之電阻，宜使用四點探針量測較為準確。於撓曲角度測試中，應說明撓曲時石墨朝外或朝內彎曲。最後，應說明石墨膠電阻值隨溫度升高而下降之具體機制，另外，將最適化之石墨膠，分別應用於警報感測器及保溫墊片，並對保溫墊片樣品通電測試，驗證可升溫至 50 度左右。

作品海報

多 功 能 萬 用 膠

摘要

實驗探討一種可以吸附許多材料的膠，以聚醋酸乙烯酯50 mL 加入聚胺基甲酸酯10 mL、5 mL 的甘油以及7 mL 的正丁醇，其可加入銅粉、水彩和石墨粉製成均勻且不會沉澱的混合材料。銅膠可降低電磁波訊號、水彩膠可製成指甲油和油畫顏料，石墨膠可應用溫度及電阻感應，通電後溫度會上升，電阻值會隨著溫度升高而下降，摺疊後電阻值會下降，可以應用於保溫、防盜設備及偵測高溫設備，計畫未來添加其他物質並討論其應用，期望對日常生活有幫助。

壹、前言

一、研究動機

我們找到無毒且吸附力好、黏性佳又穩定的聚醋酸乙烯酯以及聚胺基甲酸酯，為日常生活中的膠成分，經由調整溶劑比例可吸附多種材料且均勻分散，例如吸附色料或可導電金屬微粒及石墨等，製成混合材料。最後測試上述材料性質，以應用於日常生活中，使生活更加便利。

二、研究目的

- 1.找出適合的基底膠材料
- 2.調製可多種應用之萬用膠
- 3.將不同材料(例如：銅粉、水彩、石墨)添加至膠體，製作不同性質的複合材料
- 4.分析不同混合材料的特性
- 5.討論各種混合材料的應用
- 6.保溫貼片製作

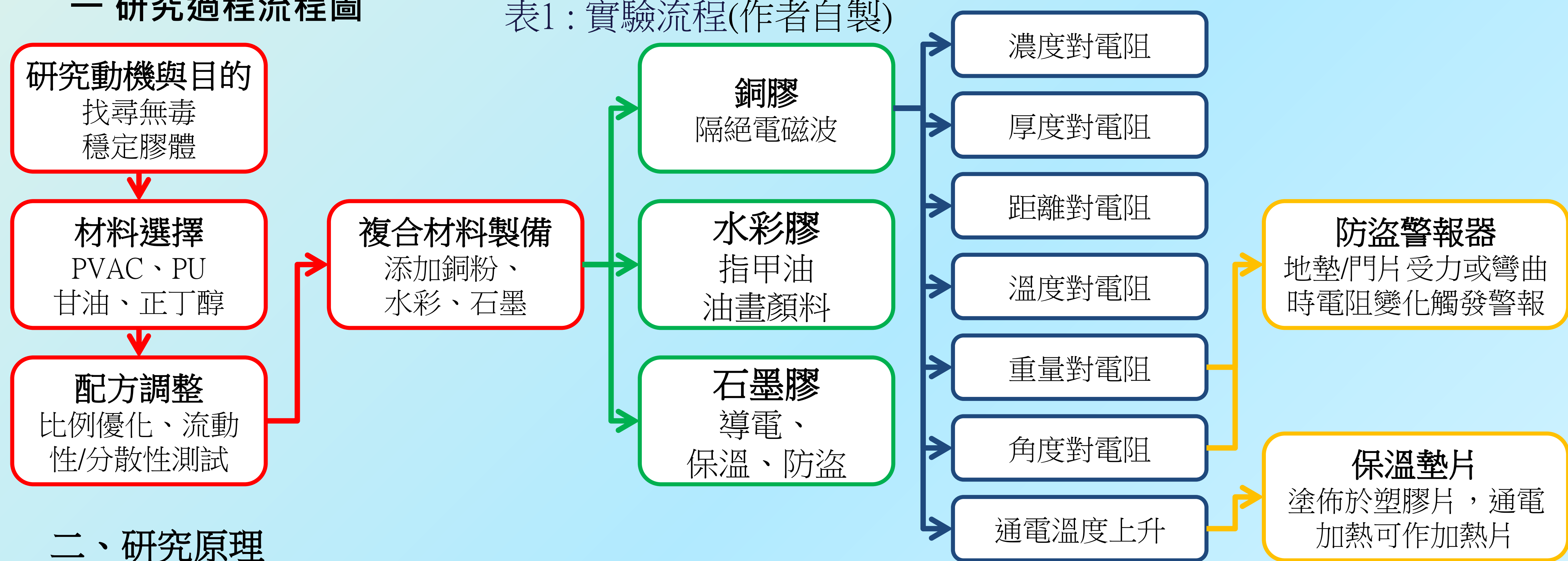
貳、研究器材

一、研究器材：三用電表、點火槍、刮勺、鐵尺、電線、攪拌棒、電子秤、燒杯、量筒、電源供應器

二、研究藥品：聚醋酸乙烯酯、聚胺基甲酸酯、甘油、乙醇、正丁醇、銅粉、石墨、石墨烯、水彩

參、研究方法與過程

一 研究過程流程圖



二、研究原理

聚醋酸乙烯酯 (PVAC)，可用於家具物品當作黏著劑，不需添加任何物質就可使用。無毒，常用於木材接合。

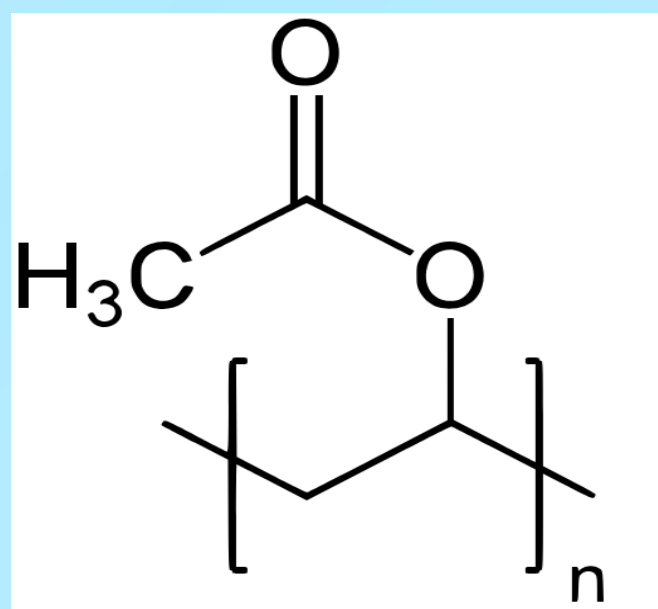


圖1 PVAC
(作者自製)

聚胺基甲酸酯(PU)，有橡膠的彈性、塑膠的強度，適用許多領域，如泡沫、纖維，黏著劑等。

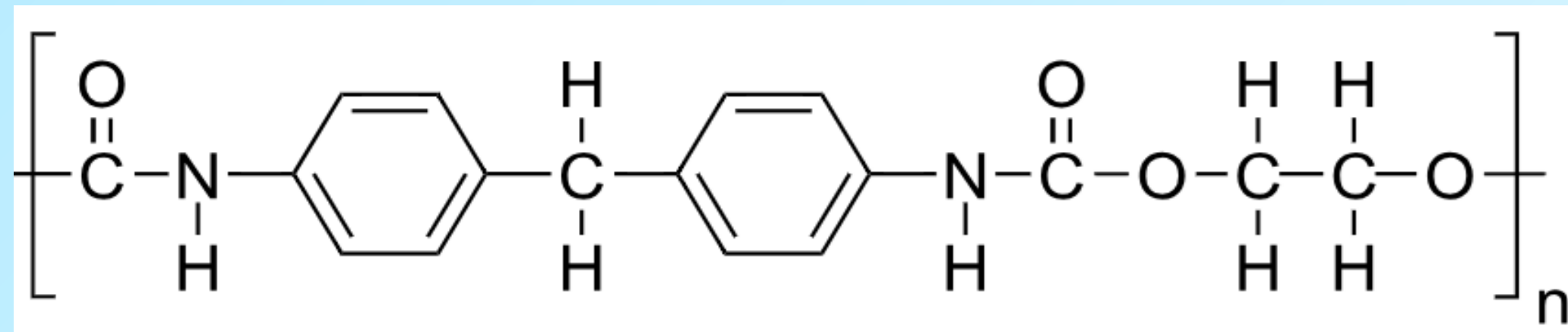


圖2 PU(commons wikimedia PU結構)

電子在導體中移動時會有阻力，必須要有電壓驅動，才能產生電流，可以用電阻來定量分析，當導線兩端的電壓為 V ，通過導線的電流為 I ，則電阻 $R = \frac{V}{I}$

肆、研究結果

一、基底膠

白膠（聚醋酸乙烯酯，PVAC），乾燥速度快且具有較強的黏性，選擇聚醋酸乙烯酯作為實驗的基底膠體。PVAC塗抹於紙張上，彎折後易斷裂。而PU膠彈性、耐撕裂、耐磨性佳，於是嘗試加入PU膠。發現當加入的PU膠不夠多時，其柔軟性不佳；而加入過量會造成膠凝固不完全，最終實驗顯示50 mL PVAC加入10 mL PU膠較佳。兩者膠混合可吸附材料，凝固後可折疊不會斷裂。

二、添加溶劑

調整膠體的流動性與分散性，在50 mL 的PVAC與10 mL 的PU中，添加不同溶劑進行測試。未加入溶劑的複合膠黏性較大，凝固的時間很短。最後選擇分別加入正丁醇和甘油來改善其流動性與分散性，並實驗其最佳比例。

- ## 1. 正丁醇

(表2)為實驗加入正丁醇的實驗量，當複合膠中加入11 mL 正丁醇時，膠體的流動性增強，出現分層現象；當正丁醇的量為7 mL 時膠體能夠穩定附著於表面並可完全溶解(表2)，放置2天後會出現分層現象。

表2：複合膠調整正丁醇的比例(作者自製)

複合膠 (mL)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
正丁醇 (mL)	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
現象	分層				佳	無法完全溶解						

2.甘油

加入正丁醇後膠體會出現分層現象，所以選擇丙三醇(甘油)當作分散劑。

當甘油少於5 mL 時，膠體的黏度降低，不易附著於表面。大於5 mL 時會結塊(表3)。因此，我們確定了5 mL 甘油與7 mL 正丁醇為最佳比例。

經過上述測試，當加入5 mL 甘油並添加7 mL 正丁醇時，所形成的膠體最佳以下稱為萬用膠。

表3：複合膠調整甘油的比例(作者自製)

複合膠 (mL)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
甘油 (mL)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
現象	黏性低、沉澱				佳	結塊				

三、銅膠

使用萬用膠加入銅粉20 g ，在保麗龍盒四周塗上10層(圖3)可隔絕手機訊號2秒鐘，因此銅膠可以降低訊號強度，但需要塗到10層以上。 。

四、色膠

萬用膠加入1 g 的水彩，可形成有顏色的色膠，將此色膠塗在指甲上(圖4)，顏色鮮艷有光澤，只要用酒精就可清洗乾淨，此外我們也試著將色膠當作油畫顏料(圖5)使用，味道不像油畫刺鼻，塗在畫紙上與油畫一樣有立體感，由於使用的是聚合物，所以保存容易，且不易壞。

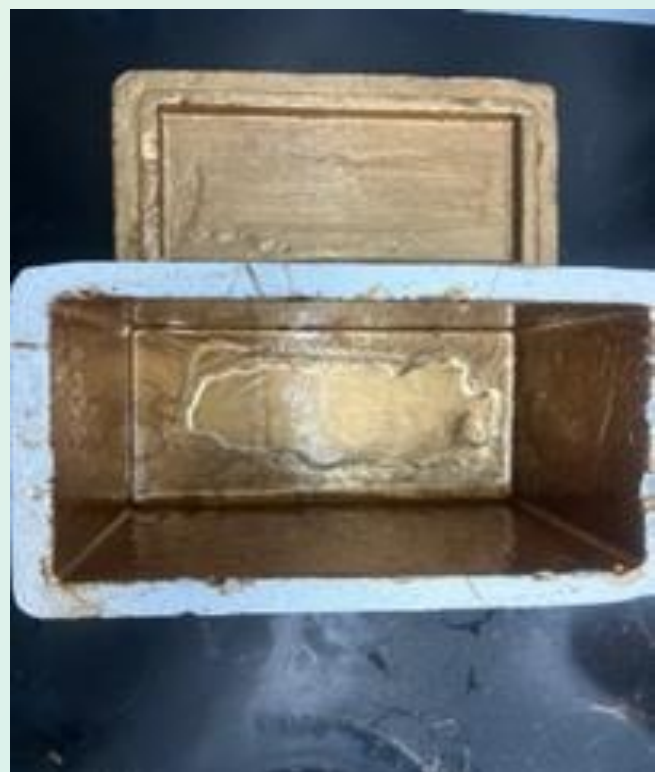


圖3：保麗龍銅膠(作者自製)



圖4：色膠塗指甲(作者自製)



圖5：色膠顏料圖畫紙(作者自製)

五、石墨膠

實驗使用萬用膠加入4 g 的石墨，相隔0.5 cm，此時測不出電阻，但加入5 g 的石墨測試，電阻值有1.1 x 10⁶ Ω ，於是我們做了以下實驗：

(一)濃度測試

加入到7 g 的石墨時電阻值有 2800 Ω ，加入8 g 的石墨電阻值可以到 2100 Ω ，並具有彈性及光澤。但加入10 g 時，電阻值為1200 Ω ，膠暗沉沒有光澤與彈性。加入12 g 的石墨時，膠凝固後石墨會析出。石墨添加的重量越多電阻越小，推測加入石墨顆粒時，顆粒之間會形成網狀結構，使電子在其中流動，降低電阻。實驗數據及關係圖請參考(表4)(圖6)。

表 4 :石墨重量與電阻(作者自製)

石墨重量(g)	5	6	6.5	7	8	10	12
電阻(Ω)	1.1 x 10 ⁶	2.0 x 10 ⁴	9.0 x 10 ³	2.8 x 10 ³	2.1 x 10 ³	1.2 x 10 ³	3.8 x 10 ²

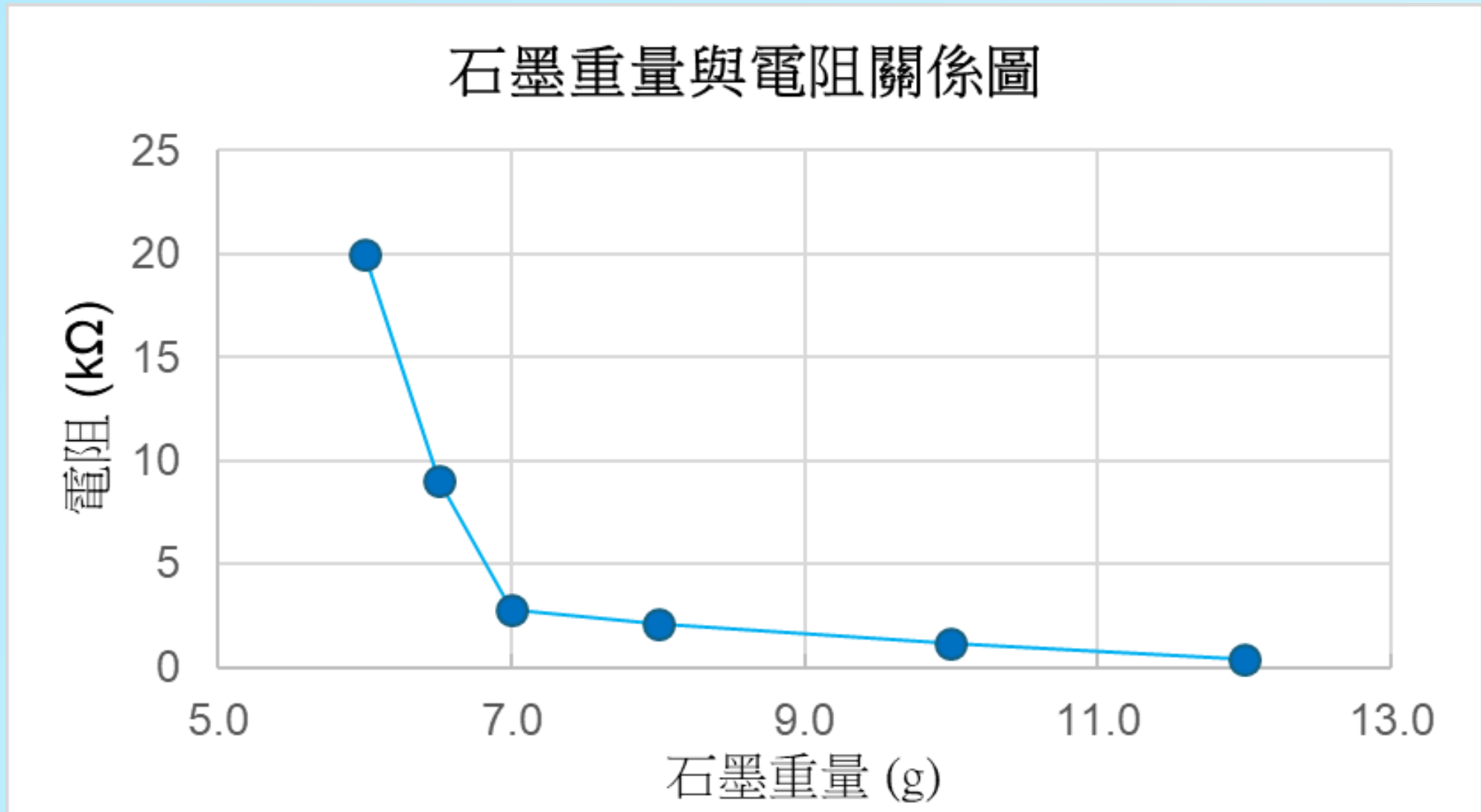


圖6：石墨重量與電阻關係圖(作者自製)

(二)厚度實驗

將兩支鐵尺放置相隔一公分，塗上一層的加入7 g 石墨的石墨膠，再增加鐵尺的數量並依序塗上更多層石墨膠，發現厚度大可使導電的石墨粒子數增加，有更多的自由電子可以參與導電，故導電性變佳，見表5跟圖7。

表5：石墨厚度與電阻值(作者自製)

厚度(mm)	0.05	0.07	0.10	1.00	1.50	1.80
電阻 (kΩ)	2.5	2.2	2.0	1.5	1.1	1.1

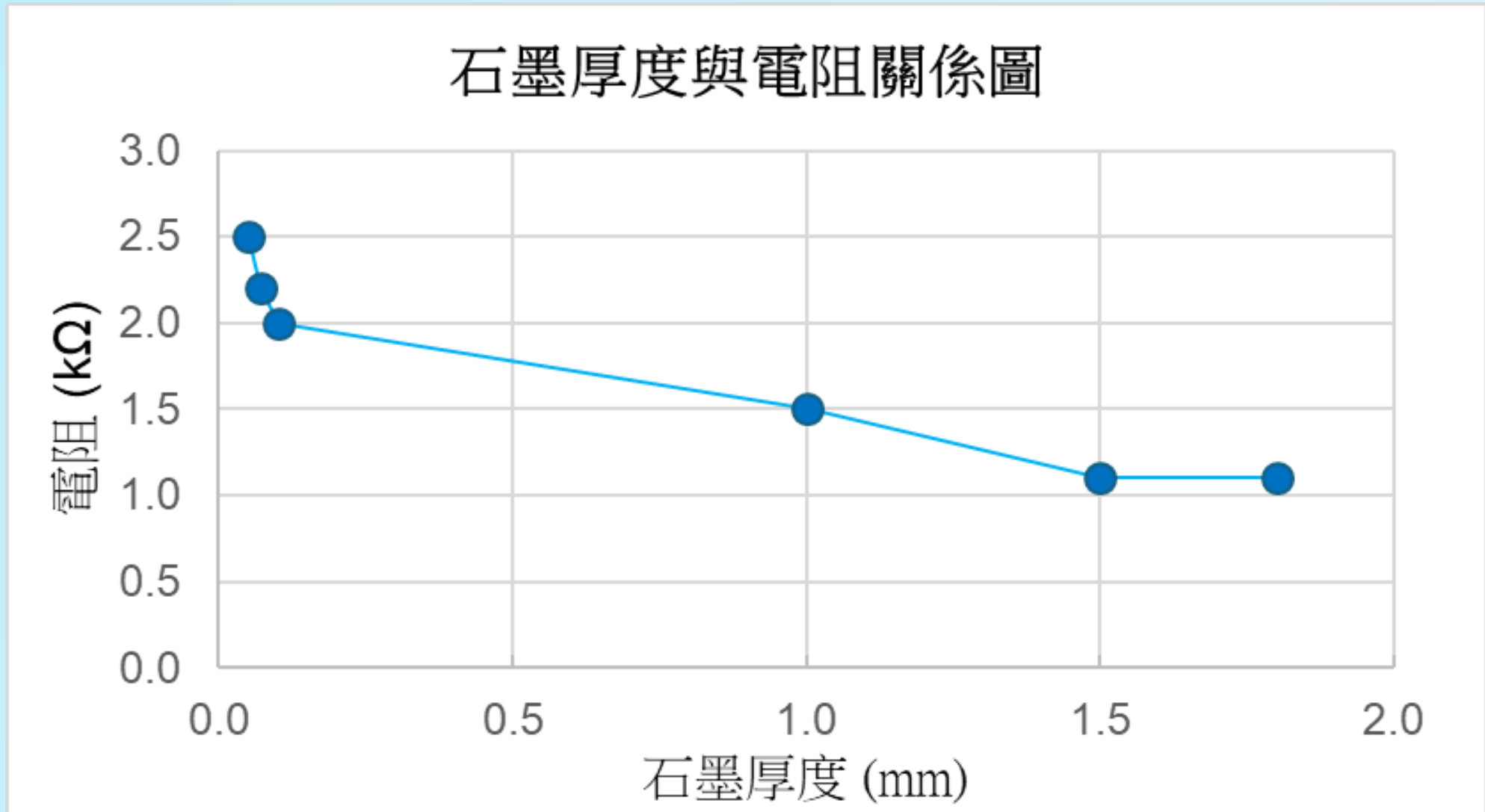


圖7：石墨厚度與電阻值關係圖(作者自製)

(三)距離測試

如(表6)所示，石墨膠之間的距離越遠，電阻值越大，實驗結果請參閱(圖8)。

表6：距離與電阻值關係(作者自製)

距離 (cm)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
電阻 (kΩ)	2.8	3.3	3.5	3.5	3.8	4.2

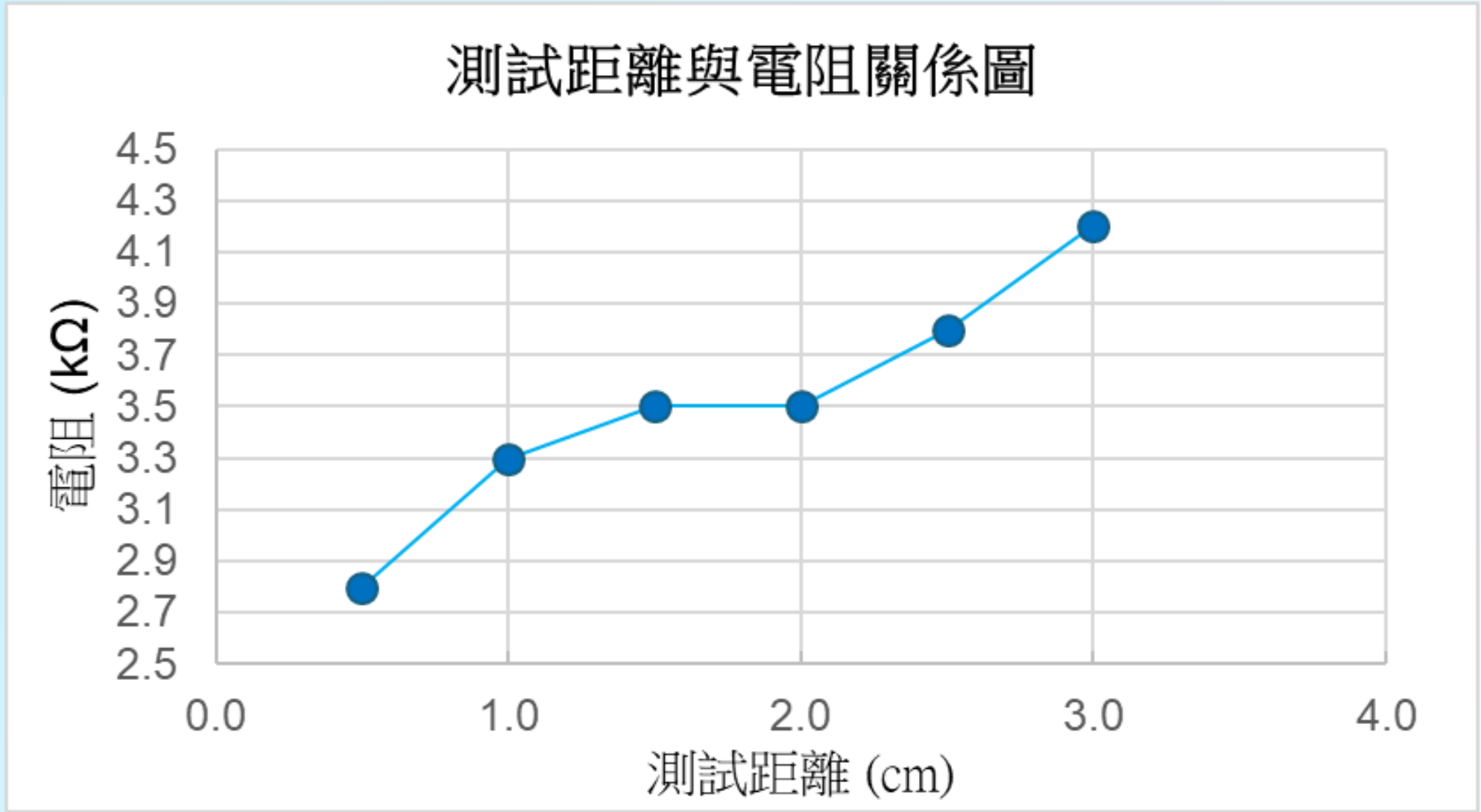


圖8：測試距離跟電阻值關係圖(作者自製)

(四)溫度測試

實驗發現溫度20℃ 時電阻為380 Ω ，60℃ 變為 220 Ω ，140℃ 達到120 Ω ，我們認為溫度越高電子吸收的能量越大，電子越容易移動，電阻值會減少，導電性增加，見(表7)及(圖9)。

表7：溫度與電阻值關係(作者自製)

溫度 (℃)	20.0	30.0	47.0	60.0	87.0	100.0	140.0
電阻 (Ω)	380	280	250	220	213	160	120

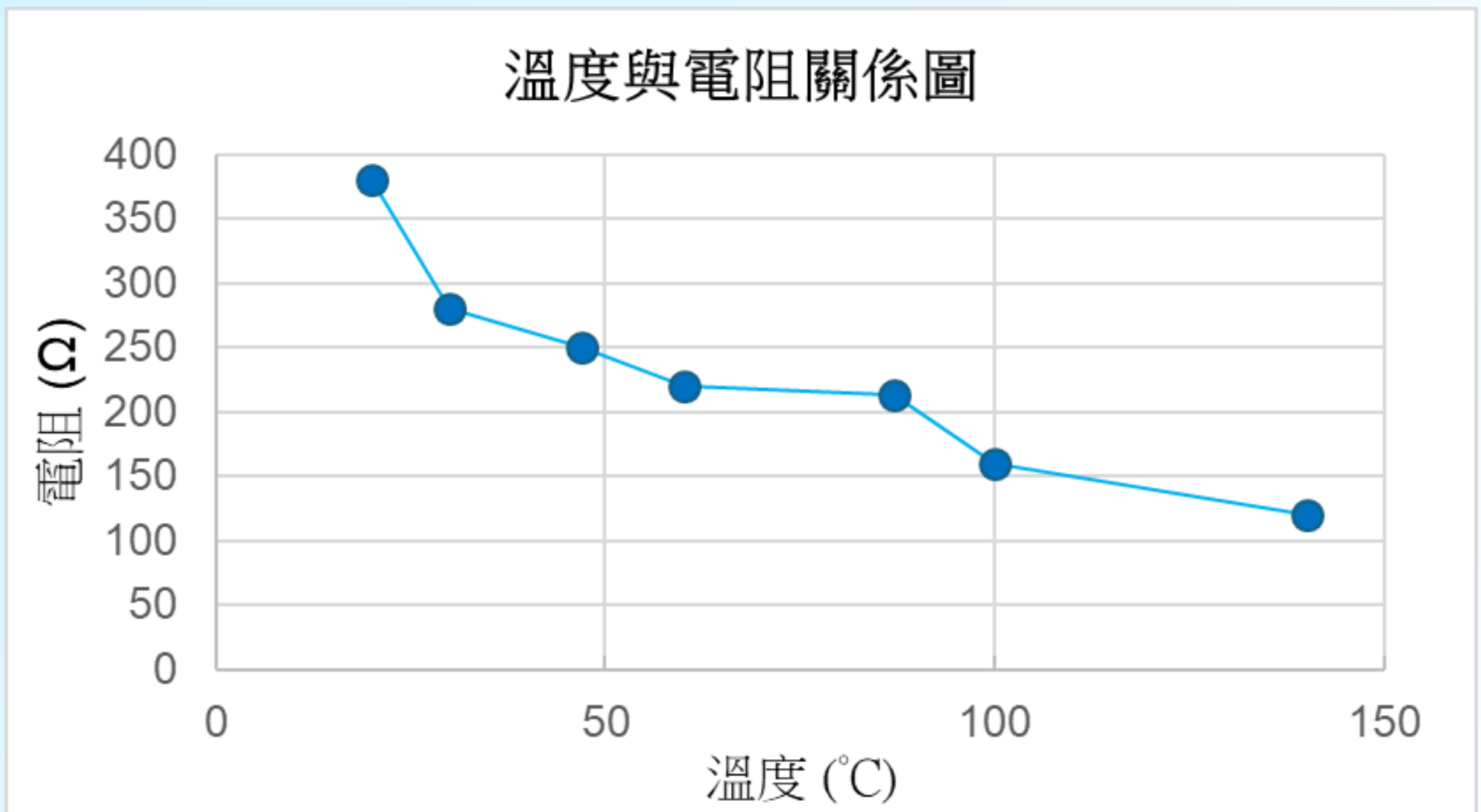


圖9：溫度與電阻值關係(作者自製)

(五)摺疊角度測試

角度越大電阻值越小，中間處之石墨濃度會隨折疊變化，摺疊角度越大導電性越好，見(表8)及(圖10)。



圖11：摺疊角度示意圖(作者自製)

(六)重量測試

承受的重量越重，電阻值越小，導電性越好，是因重物會擠壓石墨膠，使其導電性變好，見(表9)及(圖11)。

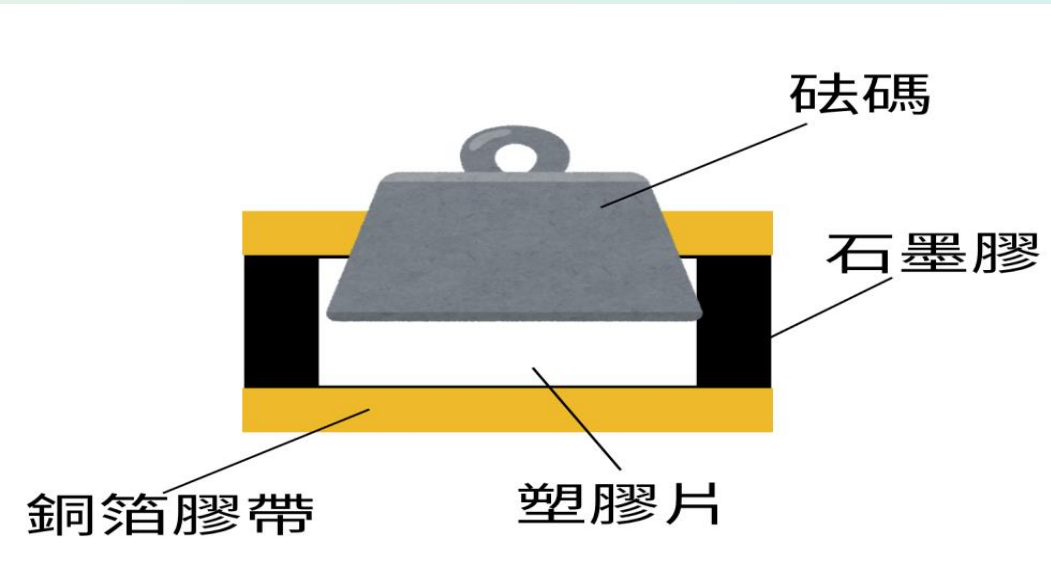


圖13：承受重量示意圖(作者自製)

(七)通電溫度測試

石墨膠加入7 g 的石墨，通電5V、10V、15V測試通電時間與溫度關係。由 (圖12)可以看出，電壓越高，溫度上升效果越好。

六：實際應用

(一)銅膠：可將其塗抹於牆面上，使房間有減少電磁波的功效。

(二)色膠：可製成指甲油，具有快乾、易清洗之特性；亦可應用於油畫顏料，並具有立體感、顏色鮮豔、不刺鼻、保存容易和價格低廉之優點。

(三)石墨膠：

- (1)警報器：1.將膠片放置於地面，當有人踩踏時電阻值將發生變化，如接上蜂鳴器，可製成防盜警報器。
2.當門被打開時，膠片會折疊，電阻值改變，如將其接上蜂鳴器時也可作為防盜警報器。
- (2)保溫墊片：我們將加入石墨的萬用膠利用網版印刷均勻塗抹在大型塑膠片上(圖13)，兩端貼上銅箔膠帶，再接上電線測試其通電時間與溫度上升之關係(圖14、15)。



圖13 自製加熱片(作者自製)

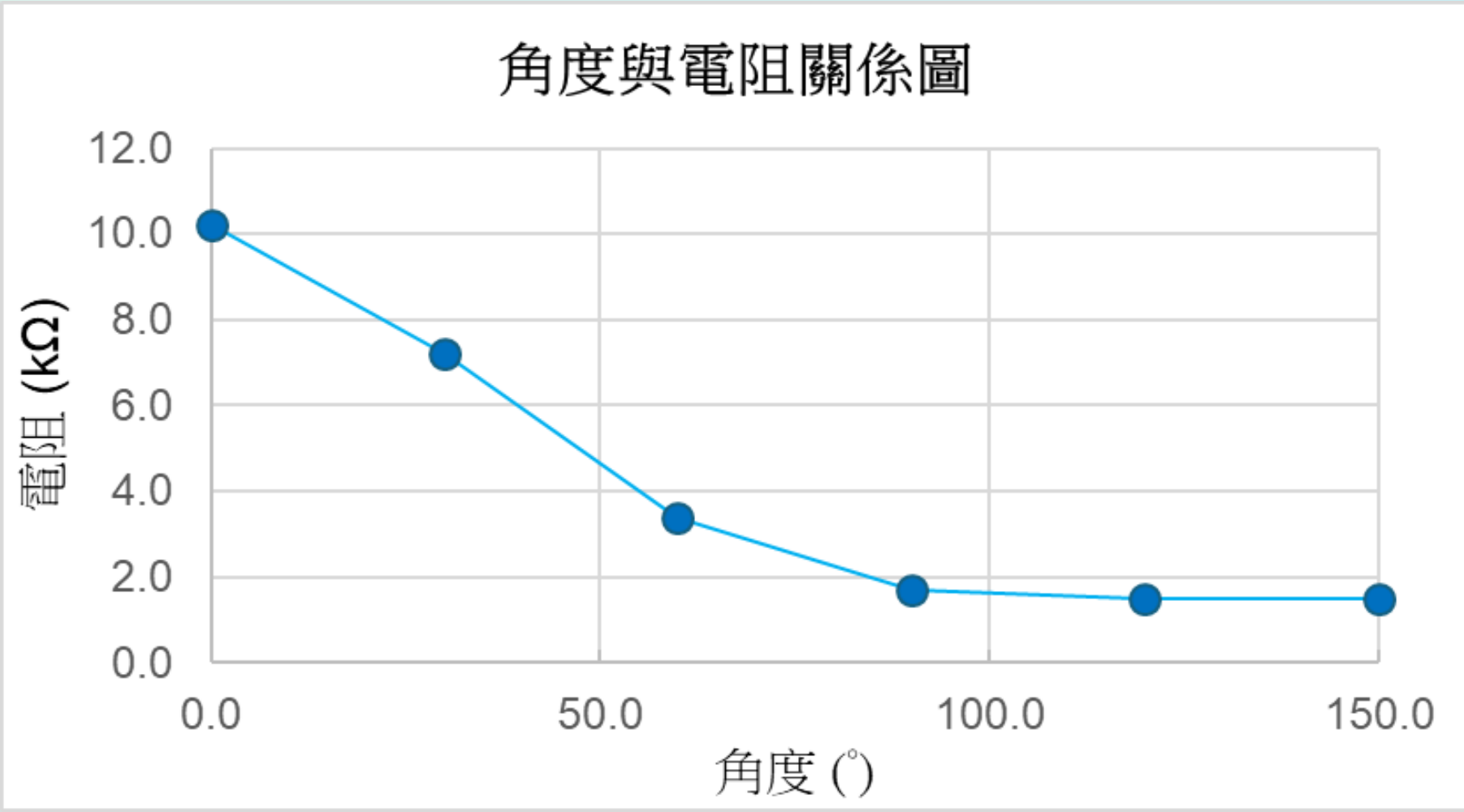


圖10：摺疊角度與電阻值關係(作者自製)

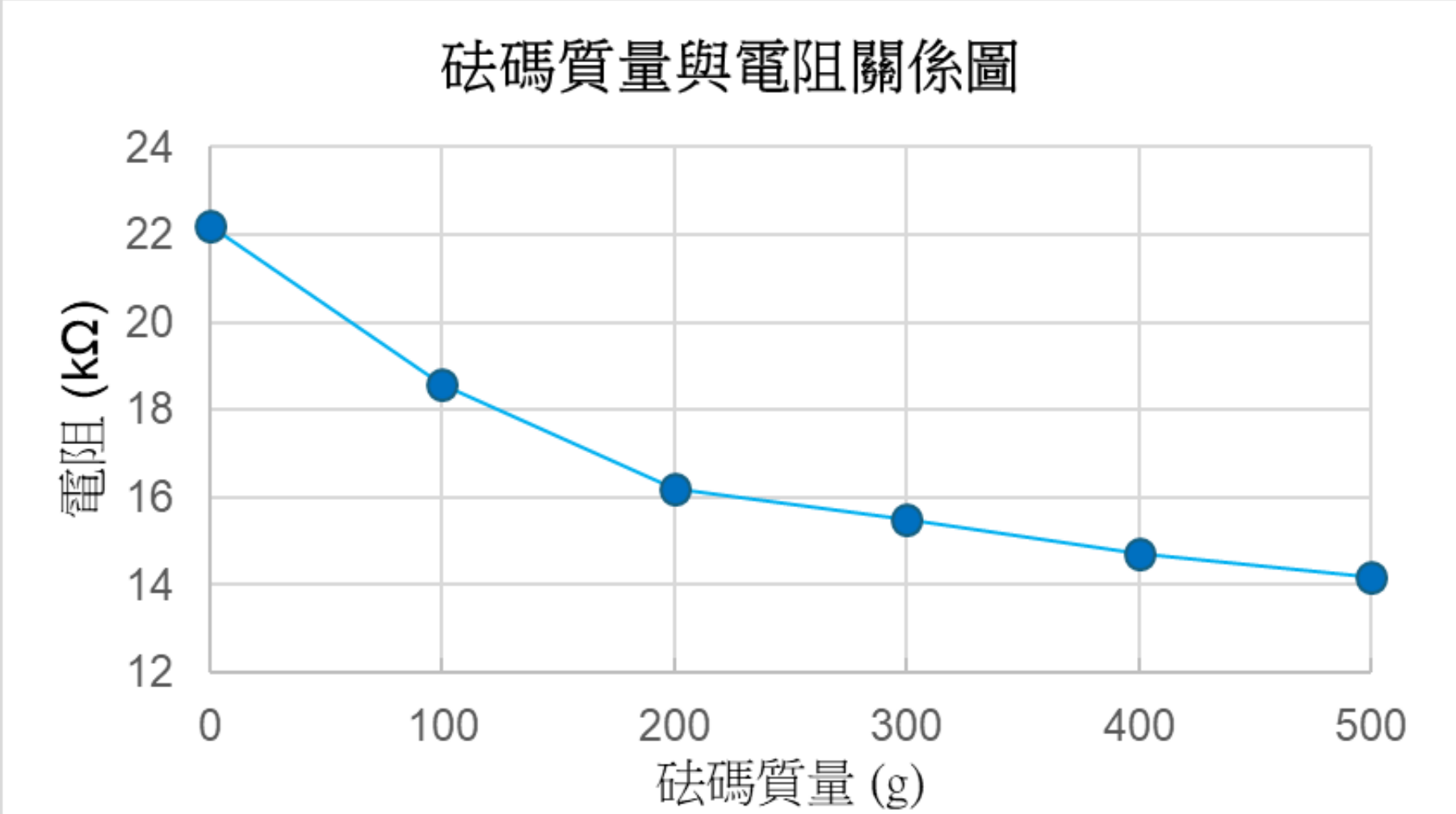


圖12：承受重量與電阻值關係圖(作者自製)

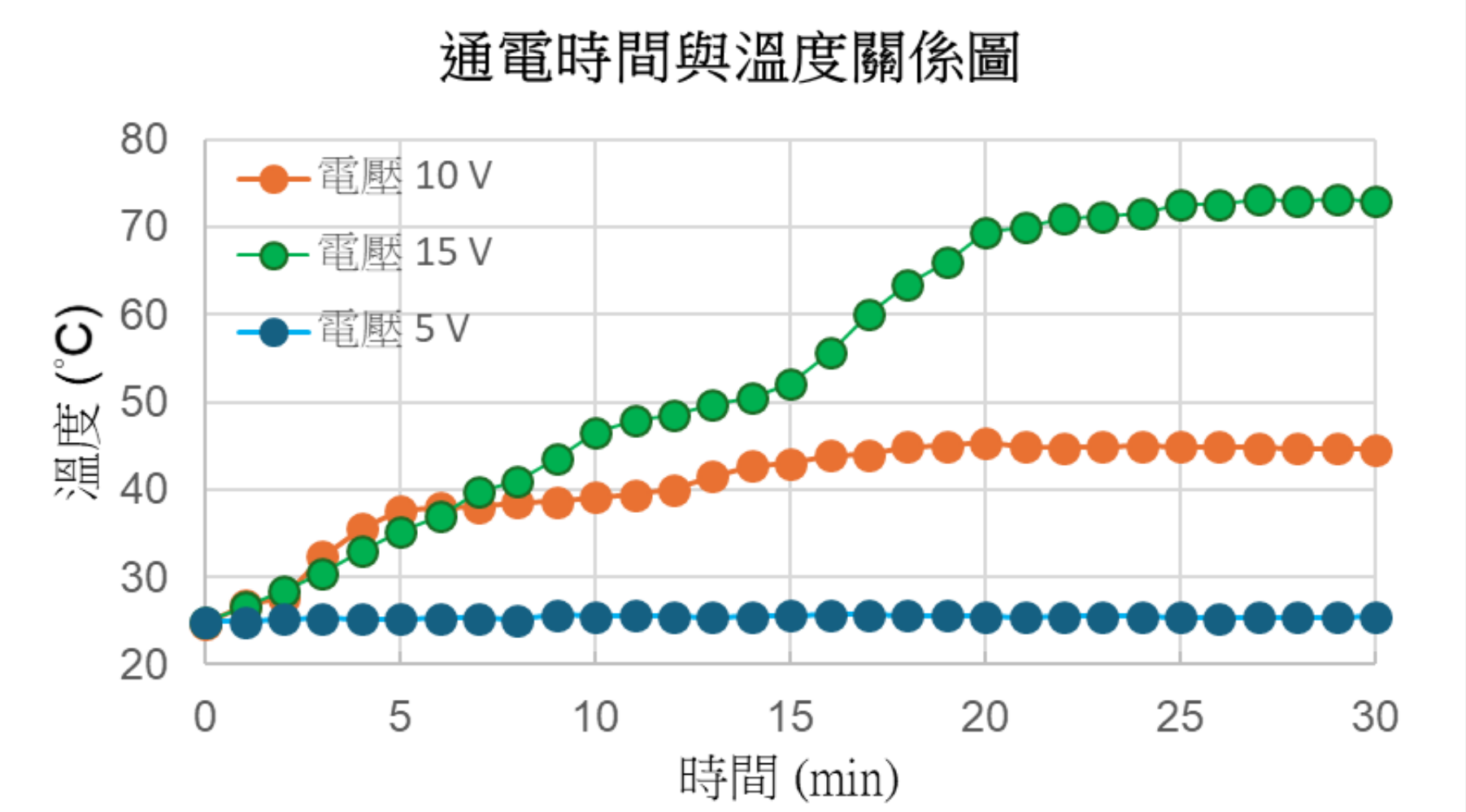


圖14：通電時間與溫度上升圖(作者自製)

伍、討論

一、萬用膠：經過多次實驗自製萬用膠的最佳比例為50 mL 的聚醋酸乙烯酯(PVAC)，10 mL 的聚胺基甲酸酯(PU)，5 mL 的甘油和7 mL 的正丁醇。

二、銅膠：可阻礙電磁波的傳遞，銅粉的濃度需增加。

三、色膠：製成指甲油，亦可製作成油畫顏料

四、石墨膠：

石墨膠導電較佳也有許多的應用，我們分為以下討論：

- (一)濃度：濃度越大時，石墨顆粒距離越接近，越容易導電，因此電阻越小。但是仍有其飽和濃度。
- (二)厚度：厚度越大，電阻值越小，導電性越好，厚度大會使石墨膠較易折疊。
- (三)距離：越大片的膠，需要通過的阻礙越大，故電阻越大。
- (四)溫度：溫度越高，電阻越小，通以電壓可使溫度增加，可用作保溫貼片。
- (五)重量：施予的重量越大，電阻值越小，可利用於家用防盜。
- (六)摺疊角度：摺疊角度越大，電阻值越小，亦可利用於家用防盜。

陸、結論

萬用膠的適當比例為50 mL 的聚醋酸乙烯酯(PVAC)、10 mL 的聚胺基甲酸酯(PU)和5 mL 的甘油以及 7 mL 的正丁醇，此比例可使添加物完全分散到萬用膠中，不易沉澱，且乾燥時間適中，方便我們使用，我們的萬用膠應用性廣、成本低，容易取得，在家裡即可完成，也容易修復，且可以吸附許多物質，未來會再將更多的物質加入實驗並討論其性質，研究可以如何應用。

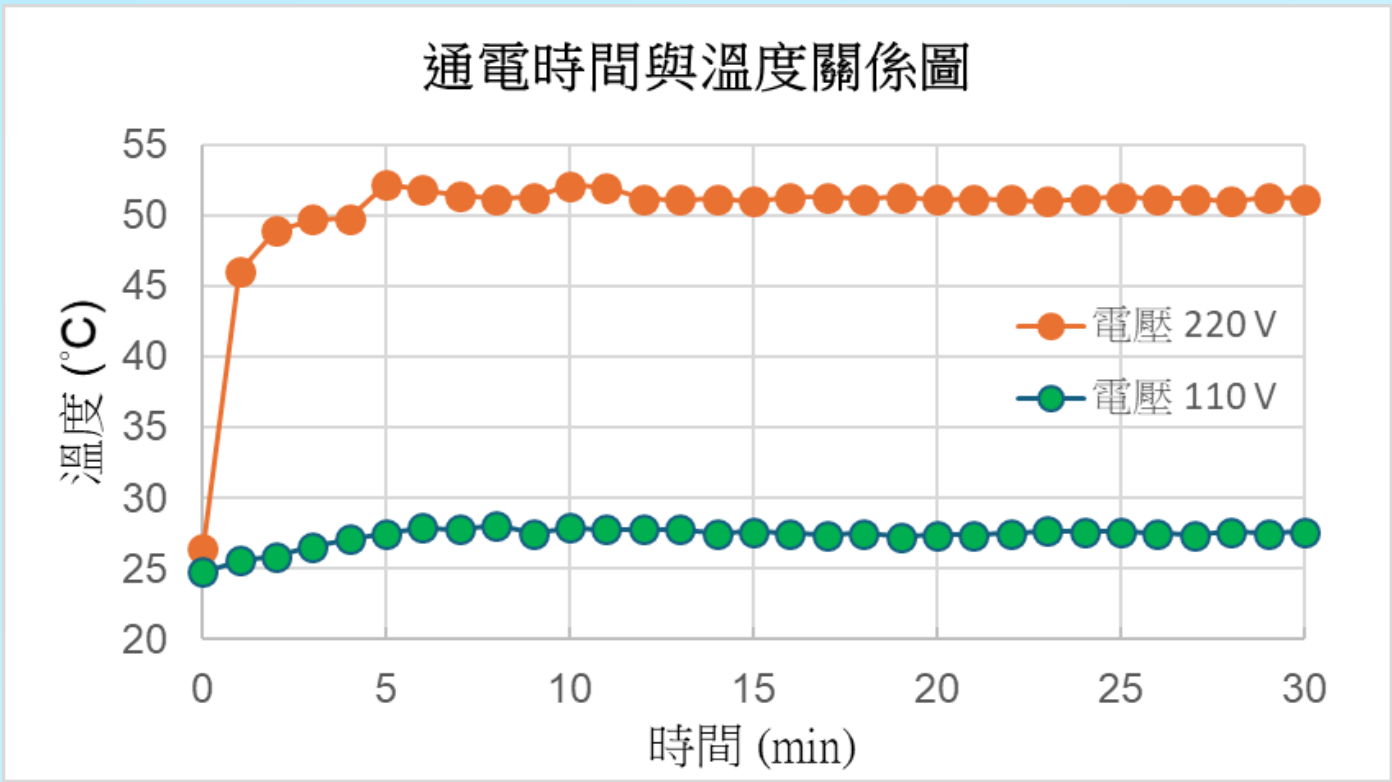


圖14 通電時間與溫度關係(作者自製)