

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學科(三)

第三名

083012

塑材過招 電子雲湧

學校名稱：臺南市東區復興國民小學

作者：	指導老師：
小六 葉祐廷	李孟娟
小六 馬晟禕	蔡佳錚
小六 潘宥翔	

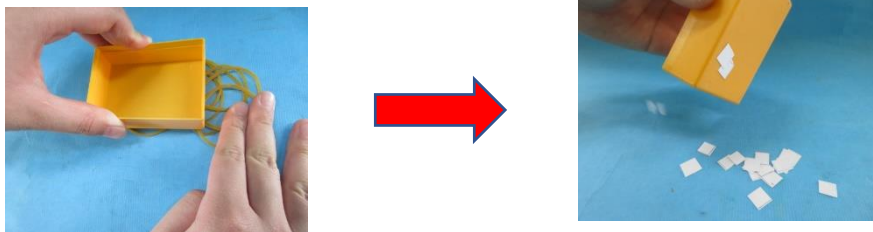
關鍵詞： 摩擦起電、可塑性、摩擦起電材料

摘要

研究主要在製作出具可塑性的材料，形塑成不同樣式以自製成摩擦起電的裝置，得以有更廣泛的應用。歷程中，研發了鑄模裝置、摩擦起電裝置、驗電器和測耐用性方法，以進行探究。在測試生活中多樣具可塑性的物品後，發現橡膠是不錯的材料，因此我們利用市售膠鑄模成多種膠膜，發現含 PVA 的材料和矽膠適合用來做成摩擦起電的材料，接著我們利用 PVA 膠和矽膠，添加不同物質，自製複合可塑性材料，探討何種材料互相摩擦之後，可以形成較高的電力。發現史萊姆膠添加硫酸銅，和矽膠添加聚四氟乙烯粉有最佳的效果，且可以形塑成薄膜、立體狀或塗抹在物品上，能夠吸引多樣的物品。最後將自製複合可塑性材料，做成摩擦起電吸引塑膠微粒、煙霧裝置，進行實際應用。

壹、研究動機

在自然五上的課程－力與運動，我們有學到摩擦力，在進行實驗的時候，我們把做實驗用的小盒子摩擦一堆橡皮筋後，發現小盒子可以把小紙片吸起來，原來物品互相摩擦後會形成電，摩擦就可以起電，這可以解決現在能源危機嗎？開始了我們的摩擦起電之旅。摩擦會起電，那摩擦原理和形成電之間有甚麼關係呢？塑膠盒子可塑性低，可以利用具可塑性的物品來做摩擦起電的材料嗎？那可以用甚麼材料和方法自製出可塑性摩擦起電材料呢？這些材料又可以進行哪些應用呢？讓我們一起去探索神奇的摩擦起電吧！

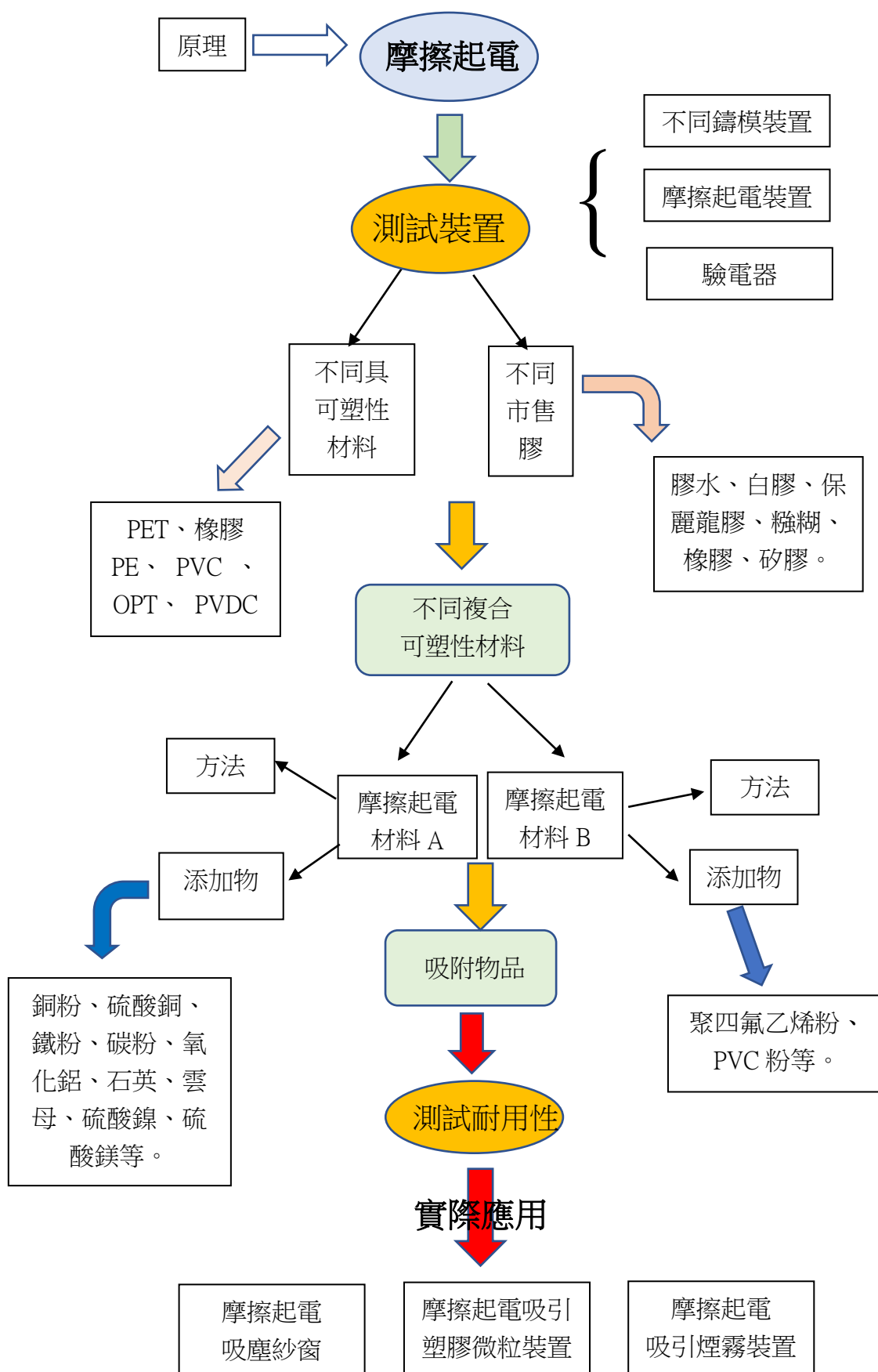


(作者自行拍攝)

貳、研究目的

- 一、研究不同具可塑性物品摩擦起電的效果
- 二、研究不同市售膠可塑性和摩擦起電的效果
- 三、研究不同複合可塑性材料摩擦起電的效果
 - 三-1、探討自製複合可塑性材料的方式
 - 三-2、探討自製複合可塑性材料摩擦起電的效果
- 四、研究複合可塑性材料吸引不同物品的效果
- 五、研究複合可塑性材料的性質
- 六、研究複合可塑性材料摩擦起電的實際應用

參、研究架構圖



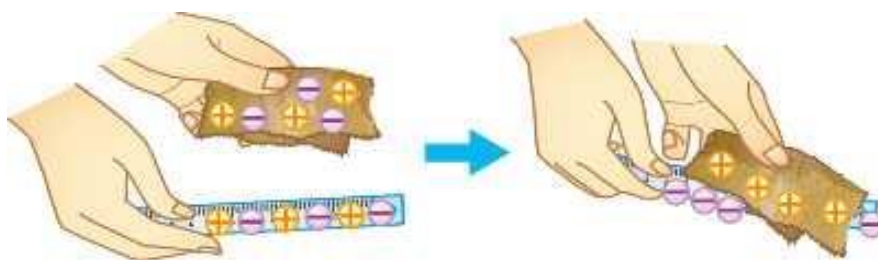
肆、研究原理和設計

一、研究原理：

(一)、摩擦起電：

把兩種物體互相摩擦時，一物體的部分電子由於受到力的作用，轉移到另一物體上，故失去電子的物體帶正電，獲得電子的物體帶負電，稱為摩擦起電。

下圖為：毛皮與塑膠尺摩擦起電示意圖。



(圖文說明來自翰林雲端學院)

摩擦起電只是電荷的轉移，不會產生更多的電荷，所以摩擦起電的兩個物品，電性會相反且電量一樣。摩擦起電帶正電荷或負電荷，跟兩種物體為何種材質有關。兩物體摩擦後，帶正電荷或負電荷的都有可能吸起東西。

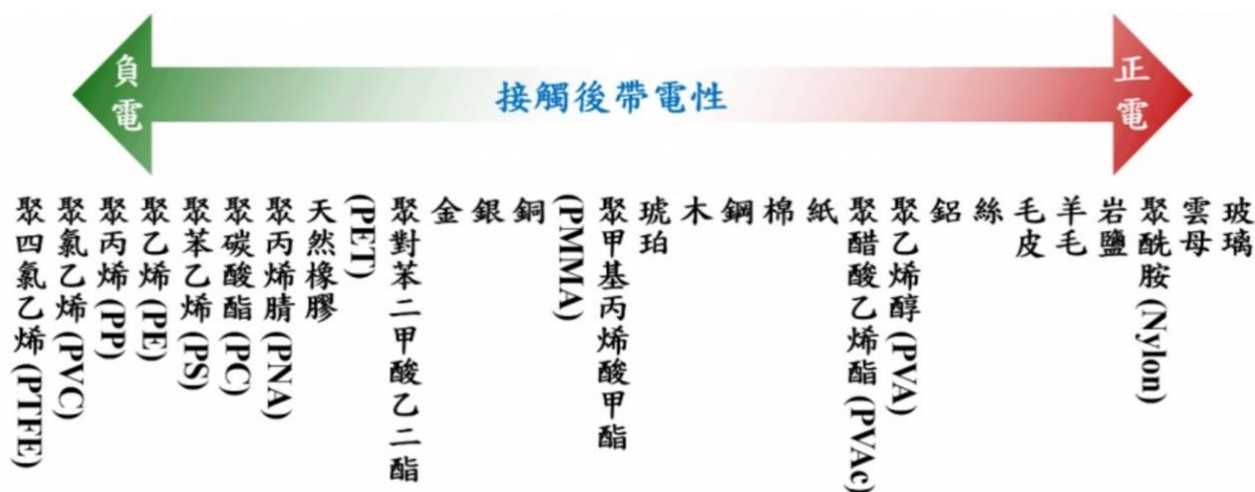
例如 A：用毛皮摩擦塑膠尺，電子會由毛皮轉移到塑膠尺上，故毛皮帶正電，塑膠尺帶負電，塑膠尺可以吸頭髮；例如 B：用絲絹摩擦玻璃棒，電子會由玻璃棒轉移到絲絹上，故玻璃棒帶正電，絲絹帶負電，玻璃棒可以吸紙片。

使用例子 A 的塑膠去吸收原本不帶電的頭髮，塑膠被摩擦後表面帶有負的淨電荷，頭髮被塑膠的負電荷靠近，頭髮的電荷暫時分離，頭髮的正電荷較靠近塑膠的負電荷，因為庫侖靜電力而產生吸引的現象。使用例子 B 的玻璃棒，靠近紙屑時，使紙屑電荷暫時分離，紙屑的負電荷較靠近玻璃的正電荷，由於庫侖靜電力作用，產生吸引的現象。

(二)、靜電：

讓物體摩擦起電後，該物體可以持續帶電，且攜帶的電荷幾乎靜止保持於物體表面，除非被其他物體移走，所以稱之為「靜電」。利用毛皮摩擦琥珀、絲絹摩擦玻璃棒，均能使物體帶電。靜電可以吸起輕小的物體，例如紙片。

不同物質摩擦起電後帶電序列表



(圖示來自物理雙月刊)

(三)、可塑性：

物品非固定形式，可以形塑成不同樣式，但是性質沒有改變。例如：史萊姆膠可以做成薄膜、球體或塗抹在其它物品上，但其性質沒有改變。

二、文獻探討：

蒐集歷屆相關作品，進行文獻探討：

屆別	作品名稱	材料	實際應用
第 56 屆	靜"殿"神來，與灰"臣"說拜拜！	主在探討製作出一台靜電除塵的裝置，材料探究較少提及。	靜電除塵的裝置，處理空氣中的塵埃。
第 57 屆	靜電 in，粉塵 out!-靜電板擦研究	利用海綿、塑膠袋、鋁箔及絨布製作擦面。 利用壓克力板、碎布、鋁箔、皮帶、金屬軸製成類似范氏起電機的靜電供應區。	靜電板擦，處理教室黑板。
第 61 屆	帶「靜」紗窗，防塵來「勁」—靜電紗窗防塵效果研究	利用自製靜電產生器跟不鏽鋼紗窗互相摩擦，吸引灰塵。	創意靜電紗窗，用來處理空氣中灰塵…等髒污。
第 63 屆	靜電密碼-無接觸電極感應探究	沒有討論要用甚麼東西摩擦，主做一個無接觸電極感應探測器。	無接觸電極感應探測器
第 42 屆	好玩的靜電	吸管和毛衣互相摩擦。	沒有成品，主探討甚麼東西可使靜電較大。
第 45 屆	靜觀奇電	測試各種物品形成靜電的大小。	沒有成品，主探討甚麼東西可使靜電較大。

早期的全國科展歷屆作品提及摩擦起電的較少，主在探討靜電形成的現象，在實際應用面較少。之後的研究有的偏向製作感應靜電的裝置，一部分應用靜電原理，製作成摩擦起電裝置來處理塵埃等物品，其中部分作品會針對使用何種材料進行探討，但以現成材料為主。**本研究**主要在找到適合的方式和材料，自製出可以提升摩擦起電效果且具可塑性的材料，以形塑成不同的樣式用來自製成摩擦起電的裝置，得以有更廣泛的應用。

(一)、材料上：

在材料上，主在探討如何利用可塑性材料來製作成摩擦起電的材料，除了利用現成物品，更以市售膠自製成可塑的材料，找到適合做摩擦起電的原料。再依據探究結果，進一步利用史萊姆膠和矽膠添加不同物品，自製出適合的複合可塑性材料，作為摩擦起電的材料。

(二)、在實際應用上：

自製複合可塑性材料，可以製作成不同樣式進行應用，形塑成薄膜、立體狀、塗抹在物品上…等，能吸引多樣的物品，可用來吸引灰塵、塑膠微粒和煙霧，是種能被廣泛使用的材料。

說明：接下來研究報告中所有照片、圖表皆由作者協同所拍攝製作。

三、研究設計：

(一)、材料

1. **摩擦起電材料**：物品互相摩擦起電後，依據讓驗電器展開情形，分成材料 A 和材料 B。

(1). **摩擦起電材料 A**：

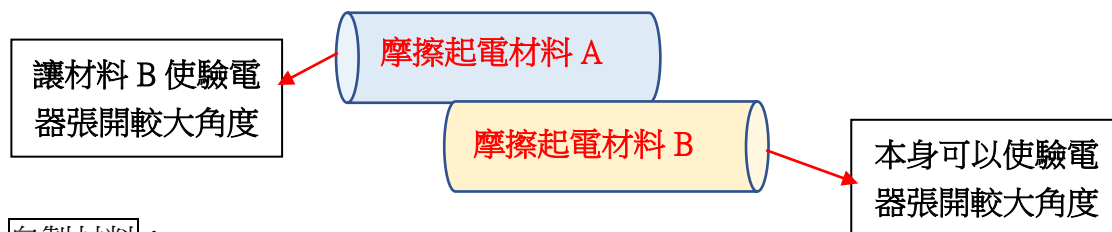
各種材質物品摩擦後，讓另一材料可以使驗電裝置內鋁箔片展開較大角度的材料，或者可以吸引物品的材料。

例如：研究中的含銅史萊姆膠膜，它摩擦矽膠膜…等材料後，可以讓被摩擦的材料使驗電器內的鋁箔張開或吸引紙片等物品。

(2). **摩擦起電材料 B**：

各種材質物品在摩擦起電後，接觸驗電裝置後，可以讓鋁箔片展開的材料。

例如：研究中的矽膠膜，在摩擦起電後，可以使驗電器內的鋁箔張開或吸引紙片等物品。



2. **自製材料**：

(1). **可塑性材料**：

可塑性為物質在外力作用下，可以形塑成不同狀態，但是性質沒有變。研究中，利用不同方法將材料製作成具可塑性，可以形塑成不同狀態，應用在不同的地方。

(2).市售膠材料：



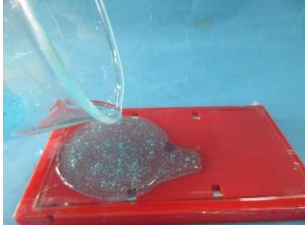

利用市售膠，例如膠水、白膠…等，利用鑄模裝置製作成研究用的薄膜、立體狀物品。

(3).史萊姆膠材料：

研究中利用膠水、隱形眼鏡清潔液和小蘇打粉等，製作成史萊姆膠，進一步鑄模成研究中實驗用的材料，包含平面或立體狀。

(4).複合可塑性材料：

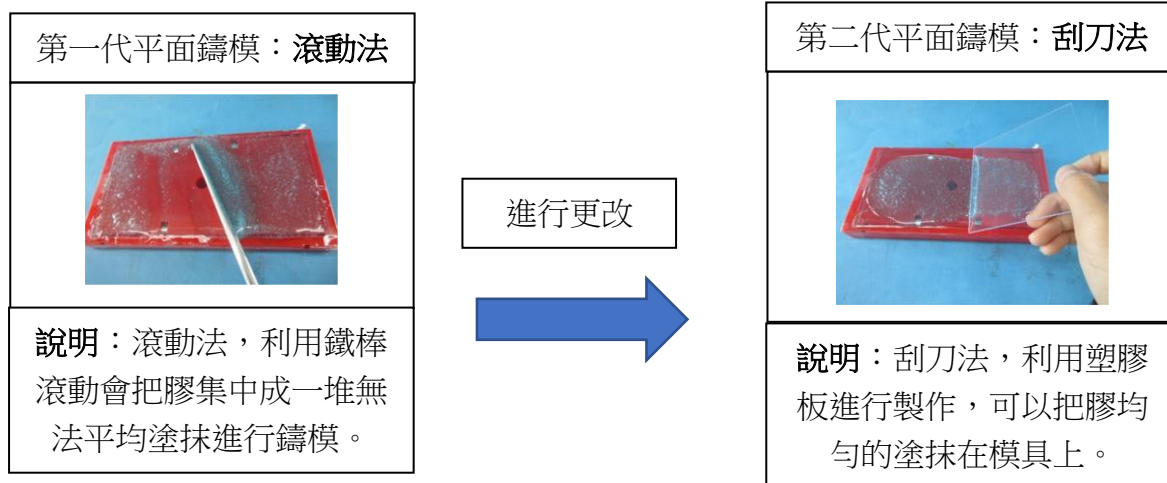
將添加物，例如硫酸銅、氧化鋁…等，加入史萊姆膠中，利用攪拌混合法、靜置浸透法進行製作，最後鑄模成各種複合具可塑性的材料，包含平面或立體狀。

			
添加物和史萊姆膠	混合添加物	鑄模	成品

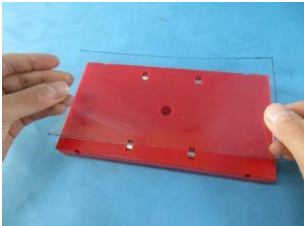
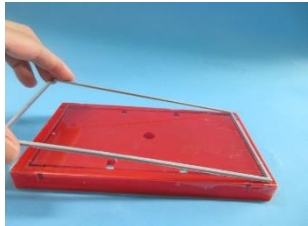
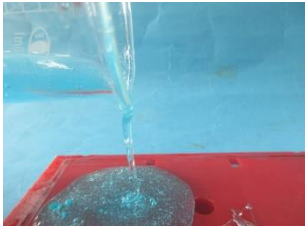

(二)、自製裝置





1.鑄模裝置：

(1).平面鑄模裝置：將材料鑄模成薄膜。

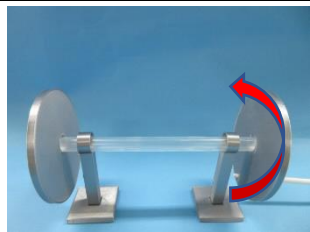
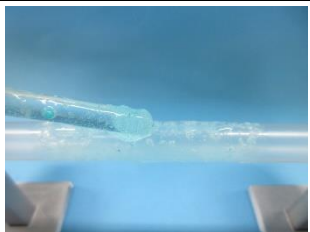




鑄模方法如下：

			
將透明片、定高裝置固定在底板上。		定量材料放入模具中	利用刮刀將材料刮平

			
靜置乾燥	脫模	裁切成所需尺寸	成品

(2).管狀鑄模裝置：將材料鑄模成管狀。測試材料的彎折可塑性。

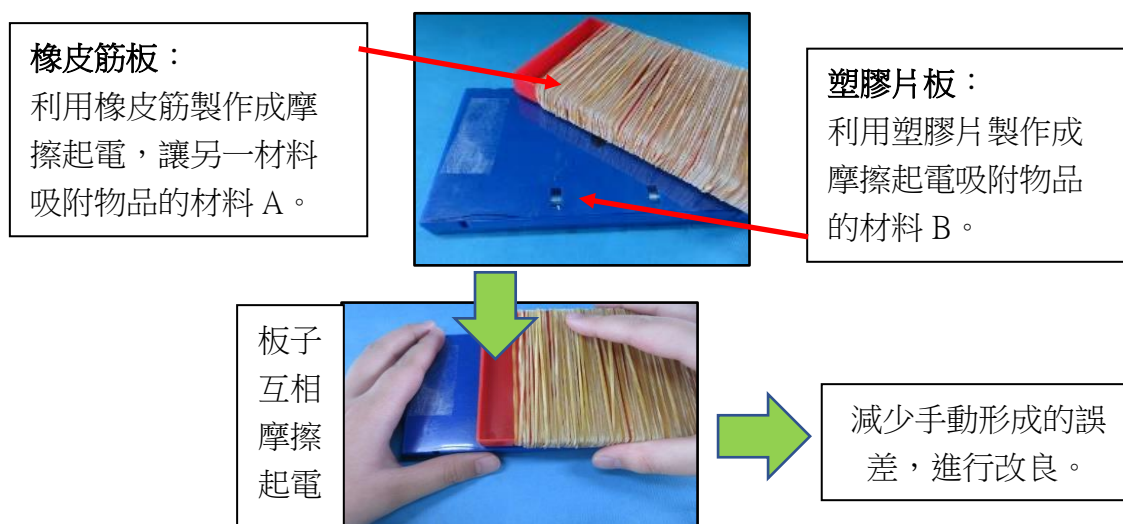
			
驅動滾輪，將材料均勻塗抹在管子上	晾乾成管狀後脫模		成品

(3).立體鑄模裝置：將材料鑄模成立體狀。測試材料的立體可塑性。

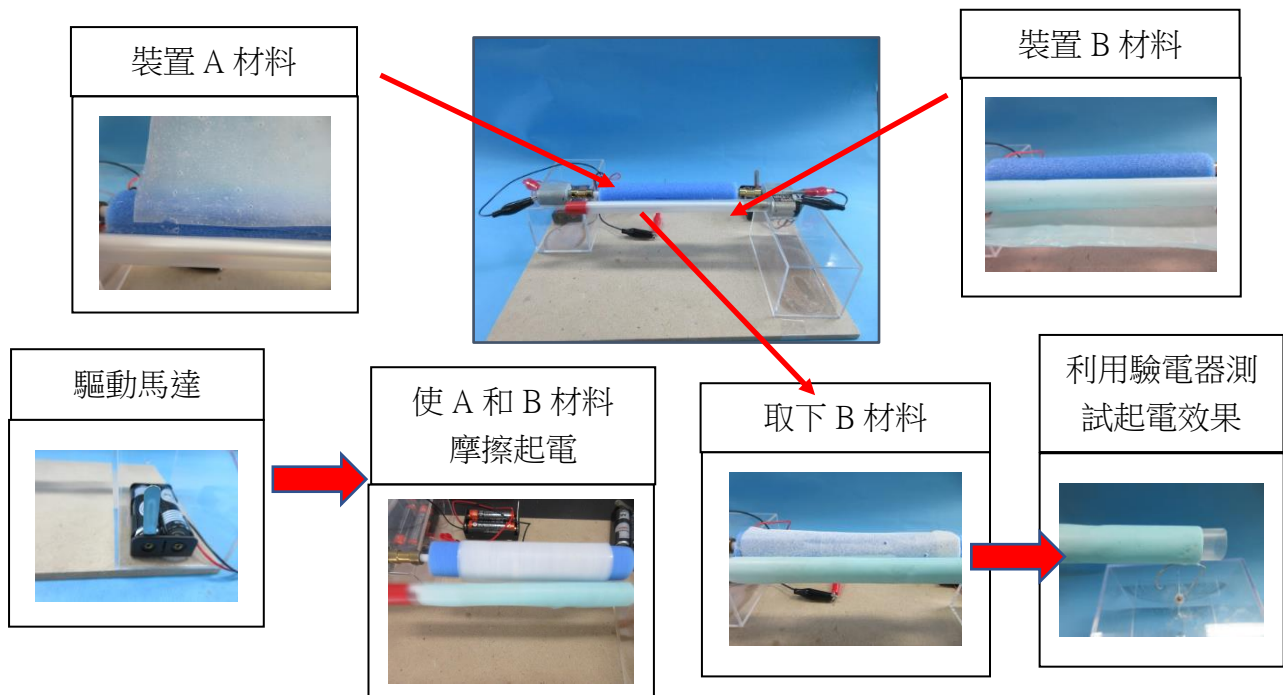
 <div data-bbox="165 994 451 1070">容器：盛裝材料</div> <div data-bbox="165 1283 419 1350">3D 列印固定架</div> <div data-bbox="451 1283 563 1350">模具</div>	 <div data-bbox="659 1261 930 1350">容器內裝入材料， 讓材料往下流動。</div>	 <div data-bbox="1056 1283 1390 1350">將材料鑄模成立體狀。</div>
--	---	--

2. 摩擦起電裝置：研究中，讓材料摩擦後形成電的裝置，說明如下：

(1).製作不同材質的板子，互相摩擦起電，如下：



(2).製作摩擦起電裝置：

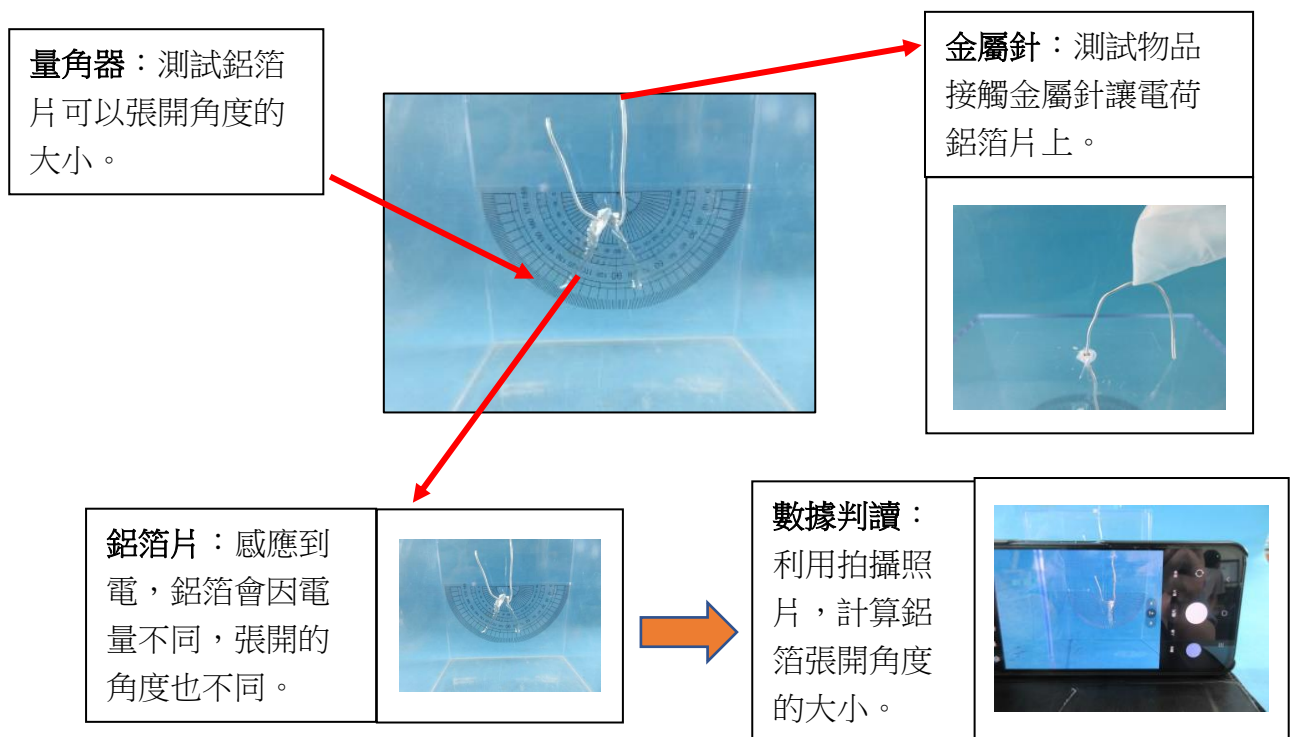


3.驗電裝置：

A 原理：

當被測試物體接近驗電器頂端的導體時，物體所帶的電荷會傳到的鋁箔片上。由於同種電荷會相互排斥，所以鋁箔片會自動分開，張開成一定角度。根據兩片鋁箔片張成角度的大小可以了解物體帶電量的大小。

B 自製驗電器，測試材料摩擦後所產生的電量，說明如下：



伍、研究設備和材料

一、實驗設備：燒杯、培養皿、量筒、攪拌棒、湯匙、電子秤、砂紙、攪碎機、剪刀、3D 列印機。

二、實驗材料：

A.可塑性材料：塑膠薄膜、橡皮筋、保鮮袋、塑膠手套、保鮮膜、膠帶、塑膠片、名片套、飲料杯。B.市售膠：膠水、白膠、醬糊、保麗龍膠、矽膠、橡膠。C.史萊姆膠：膠水、隱形眼鏡清洗液、小蘇打粉。D.複合可塑性材料：銅粉、硫酸銅、鐵粉、碳粉、氧化鋁、石英、雲母、硫酸鎳、硫酸鎂、PVC 棒、聚四氟乙烯棒。E.摩擦起電裝置：馬達連軸器、吸管塑膠棒。F.驗電器：金屬針、塑膠盒。

板子、刮刀、線香、透明片、小盒子、紙片、玉米粉、鋁箔紙、塑膠片、分裝袋、塑膠手套、夾鏈袋、塑膠杯、塑膠盒、水桶、木頭、滾輪。

陸、研究過程與結果

研究一：研究不同具可塑性物品摩擦起電的效果

構思：

塑膠盒和橡皮筋可以摩擦形成電，橡皮筋具有可塑性，摩擦起電的材料是否可以用具可塑性的物品來製作呢？讓摩擦起電材料不受限於物品原本的樣式，這樣在之後的應用上可以更為廣泛。

(一)、實驗步驟：

1.蒐集可塑性物品，

(1).利用管狀鑄模裝置，測試各物品的彎折可塑性，方法說明如下：



(2).測試結果：

表一-1 不同物品的彎折可塑性




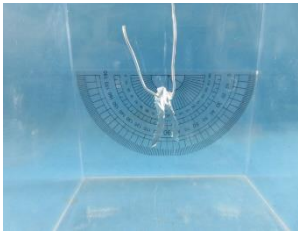
物品	塑膠薄膜	橡皮筋	塑膠片	保鮮袋	塑膠手套	保鮮膜	膠帶	塑膠杯	名片套
可塑性	○	○	X	○	○	○	○	X	X

說明：○ 代表可彎折成圓筒狀，具有較高可塑性；X 代表不可彎折成圓筒狀，可塑性較低。

(3).利用具較高可塑性的物品，包含塑膠薄膜、橡皮筋、保鮮袋、塑膠手套、保鮮膜、膠帶等，進行下列實驗。




2.測試各種可塑性物品摩擦起電的效果，

- (1).將各材料裁剪成 8cmx15cm 後，兩兩配對，分別摩擦起電裝置材料 A、材料 B 的位置。
- (2).摩擦起電裝置轉動 5 分鐘，測試各材料作為材料 B 時，可以讓驗電器張開的角度。

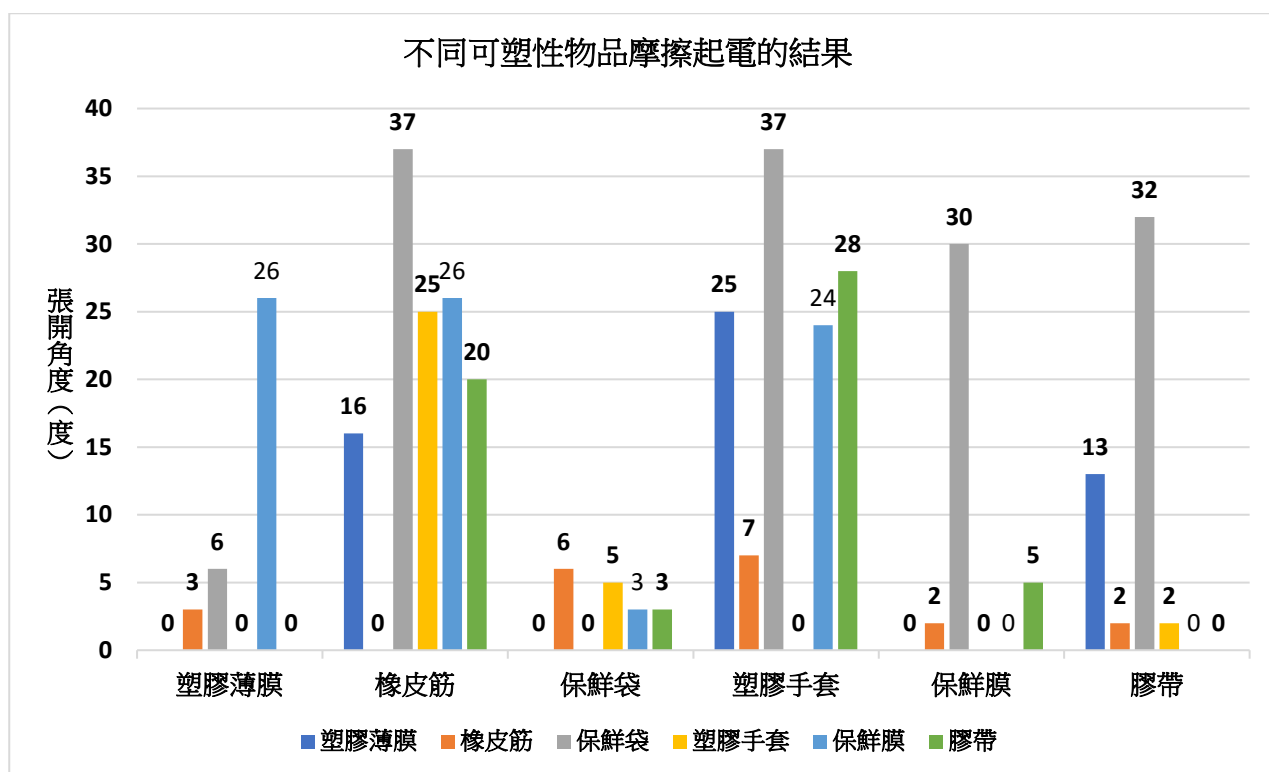
			
裁剪各材料	將橡皮筋套在吸管上	材料固定在裝置上	驗電器測試電量

(二)、實驗結果：

表一 2 不同具可塑性物品摩擦起電的結果

名稱	塑膠薄膜	橡皮筋	保鮮袋	塑膠手套	保鮮膜	膠帶
照片						
材質	PET	橡膠	PE	PVC	PVDC	OPT
塑膠薄膜	塑膠薄膜 張開 0 度	塑膠薄膜 張開 16 度	保鮮袋 張開 6 度	塑膠薄膜 張開 25 度	保鮮膜 張開 26 度	塑膠薄膜 張開 13 度
橡皮筋	塑膠薄膜張 開 16 度	橡皮筋 張開 0 度	保鮮袋 張開 37 度	塑膠手套張 開 25 度	保鮮膜 張開 26 度	膠帶 張開 20 度
保鮮袋	保鮮袋 張開 6 度	保鮮袋 張開 37 度	保鮮袋 張開 0 度	保鮮袋 張開 37 度	保鮮袋 張開 30 度	保鮮袋 張開 32 度
塑膠手套	塑膠薄膜張 開 25 度	塑膠手套張 開 25 度	保鮮袋 張開 37 度	手套 張開 0 度	保鮮膜 張開 24 度	膠帶 張開 28 度
保鮮膜	保鮮膜 張開 26 度	保鮮膜 張開 26 度	保鮮袋 張開 30 度	保鮮膜 張開 24 度	保鮮膜 張開 0 度	膠帶 張開 5 度
膠帶	塑膠博膜張 開 13 度	膠帶 張開 20 度	保鮮袋 張開 32 度	膠帶 張開 28 度	膠帶 張開 5 度	膠帶 張開 0 度

說明：將物品互相摩擦起電後，張開較大角度的結果記錄下來。



圖一-1 不同具可塑性物品摩擦起電的結果

(三)、討論：

- 1.發現所有的物品和橡皮筋摩擦起電後，都可以讓驗電器有不錯的展開角度。
- 2.發現 PVC 材質的塑膠手套，也可以讓其他物品，使驗電器有不錯的展開角度。
- 3.保鮮袋材質是 PE，被不同物品摩擦之後，可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度。接下來是 OPT 做成的膠帶和 PVDC 做成的保鮮膜。
- 4.材質是橡膠的橡皮筋與不同物品摩擦時，發現沒有太多的帶電量，讓驗電器中的鋁箔張開，但與之摩擦後的物品，都能使驗電器中的鋁箔有很好的展開角度。

結論：

研究中，不同具可塑性物品經摩擦起電後，發現有些適合讓其它材料形成較多的電，像是含有橡膠的橡皮筋或 PVC 製作的手套，可以讓物品都可以有不錯的展開角度；有些則被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度，例如：PE 材質的保鮮袋。

研究二：不同市售膠可塑性和摩擦起電的效果

(一)、實驗步驟：

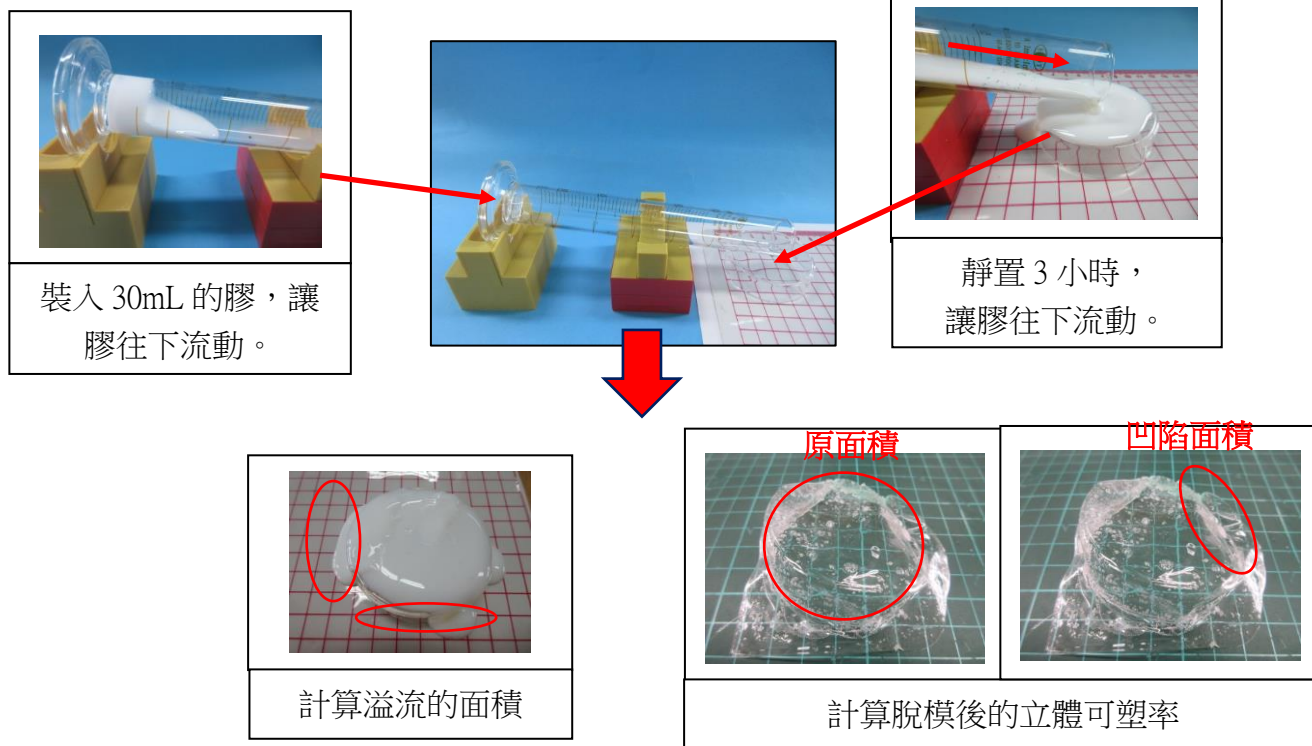
構思：

依據之前的研究結果，發現橡皮筋可以使其它物品，讓驗電器展開較大的角度，查閱資料後，發現橡皮筋是用橡膠製作成的，因此蒐集適合不同市售膠來進行測試。

測試立體可塑性：利用立體鑄模裝置，測試各種膠的立體可塑性，

- 1.計算各種膠溢流的面積；
- 2.靜置乾燥一天進行脫膜，計算各種膠的立體可塑率。


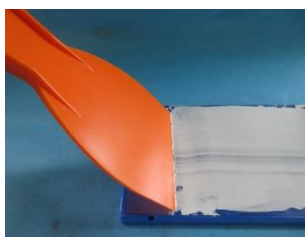


$\text{立體可塑率} = \text{凹陷面積} / \text{原面積}$ 。



測試摩擦起電的效果

1.自製市售膠膜：

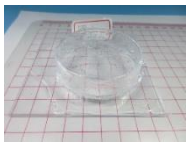
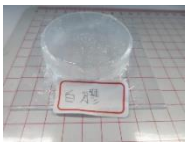
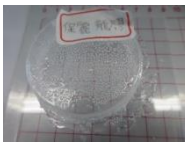
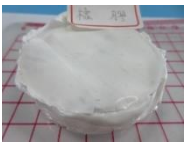





- (1).蒐集不同的膠，包含膠水、白膠、保麗龍膠、糰糊、矽膠、橡膠等。
- (2).將上述膠各 30mL 放入自製平面鑄模裝置，進行乾燥鑄模。
- (3).乾燥一天後，將材料由鑄模裝置中取出，觀察是否可以成膜、和平整性。

			
蒐集不同種類的膠	利用刮刀法進行鑄模	靜置乾燥後脫模	成品

- 2.利用摩擦起電裝置，把各種市售膠膜材料，兩兩配對，分別裝置在材料 A、材料 B 位置。
- 3.摩擦起電裝置轉動 5 分鐘，測試各材料作為材料 B 時，可以讓驗電器張開的角度。

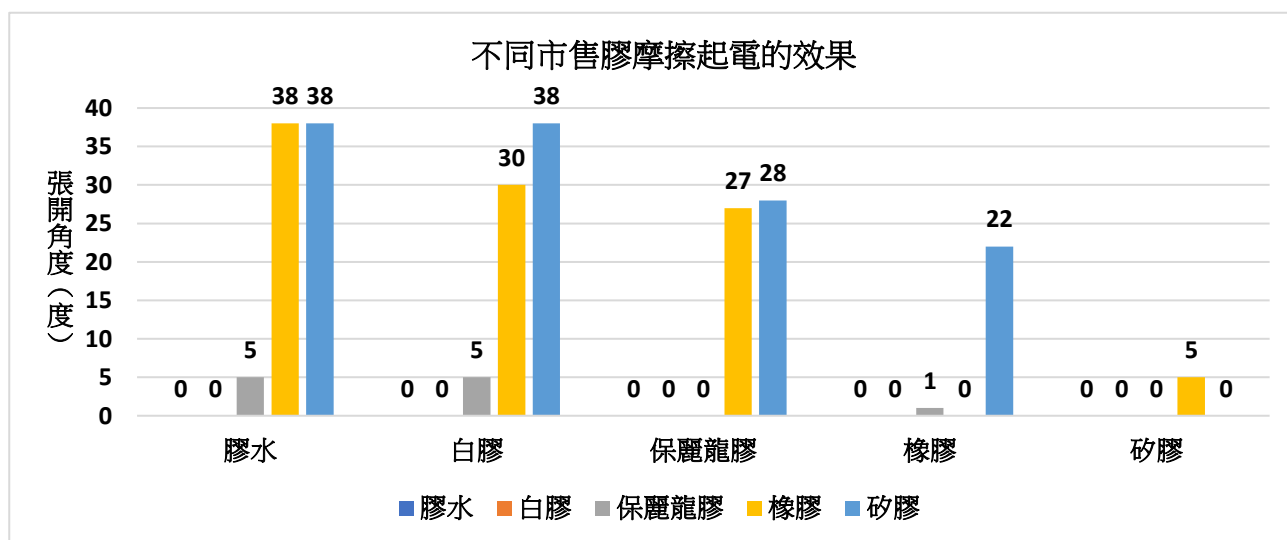
(二)、實驗結果：

表二-1 不同市售膠形塑成模的結果

名稱		膠水	白膠	保麗龍膠	橡膠	矽膠
成分		聚乙烯醇	聚乙烯醇	聚醋酸乙烯酯	聚丁乙烯	矽
平面鑄模		皆平整、可以形塑成膜				
立體鑄模	溢流面積 (cm ²)	 19	 17	 24	 0	 0
	立體可塑率	 80%	 90%	無法脫膜 0%	 90%	 100%

表二-2 不同市售膠摩擦起電的結果

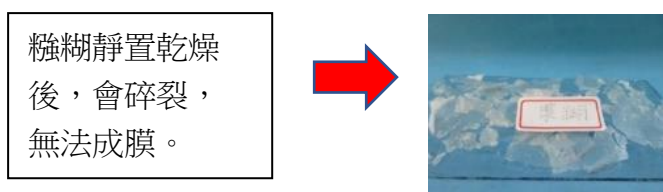
市售膠	膠水	白膠	保麗龍膠	橡膠	矽膠
膠水	膠水張開 0 度	膠水張開 0 度 白膠張開 0 度	膠水張開 0 度 保麗張開 5 度	膠水張開 0 度 橡膠張開 38 度	膠水張開 0 度 矽膠張開 38 度
白膠	白膠張開 0 度 膠水張開 0 度	白膠張開 0 度	白膠張開 0 度 保麗張開 5 度	白膠張開 0 度 橡膠張開 30 度	白膠張開 0 度 矽膠張開 40 度
保麗龍膠	保力張開 5 度 膠水張開 0 度	保力張開 5 度 白膠張開 0 度	保麗張開 0 度	保力張開 1 度 橡膠張開 27 度	保力張開 0 度 橡膠張開 28 度
橡膠	橡膠張開 38 度 膠水張開 0 度	橡膠張開 30 度 白膠張開 0 度	橡膠張開 27 度 保麗張開度	橡膠張開 0 度	橡膠張開 5 度 矽膠張開 22 度
矽膠	矽膠張開 38 度 膠水張開 0 度	矽膠張開 40 度 白膠張開 0 度	矽膠張開 28 度 保麗張開 1 度	矽膠張開 22 度 橡膠張開 5 度	矽膠張開 0 度



圖二-1 不同市售膠摩擦起電的結果

(三)、討論：

- 1.將市售膠形塑成薄膜，除了糝糊無法成膜外，其餘都可以鑄模成平整且完整的薄膜。



- 2.測試立體鑄模效果後，橡膠和矽膠沒有溢流的現象，且立體可塑率達到 100%。膠水和白膠會有溢流的現象，但有很高的立體可塑率，保麗龍膠則無法脫模。
- 3.膠水或白膠，摩擦各材質物品後，發現可以讓各材質張開較大的角度，接著是保麗龍膠。查資料後，發現膠水和白膠都含有 PVA 的成分，且 PVA 適合做摩擦起電的材料 A。
- 4.白膠和膠水摩擦後，讓鋁箔片展開的角度是 0 度，推測他們的材質相似，所以摩擦後沒有起電的效果。
- 5.橡膠或矽膠利用各膠類物品摩擦後，可以讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度，其中又以矽膠的效果較佳。因此矽膠和橡膠互相摩擦後，可以讓驗電器較大張開角度的是矽膠。
- 6.不同市售膠膜經摩擦起電後，發現膠水和白膠適合用來作摩擦起電中的 A 材料，矽膠和橡膠適合用來做 B 材料。

結論：

- 1.橡膠和矽膠的可塑性很高，可以立體成膜，白膠和膠水也可以立體成膜，但是有凹陷的現象。
- 2.市售膠都是具黏性的膠狀物質，但摩擦起電的效果卻不同，推測膠的成分是影響摩擦起電的因素，且成分相近的物品，摩擦起電效果不佳。
- 3.膠水和白膠可以讓多種材質的物品形成較多的電，適合用來作為摩擦起電材料中的 A 材料；矽膠和橡膠則適合用來做 B 材料，被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度。

研究三：不同複合可塑性材料摩擦起電的效果

研究三-1：自製複合可塑性材料 A 摩擦起電的效果

構思：

實驗中，發現膠水和白膠含有 PVA，可以做成小朋友喜歡玩的史萊姆，且資料中發現 PVA 適合用來做摩擦起電的材料 A，因此嘗試將 PVA 做成史萊姆膠，測試做成材料效果。

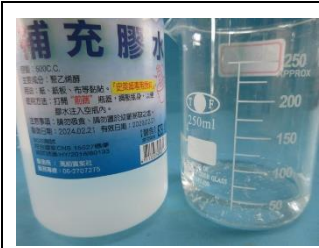
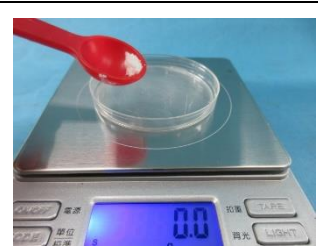
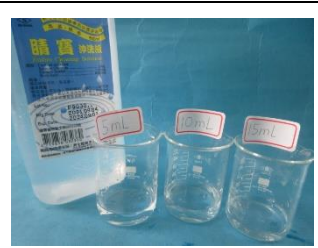
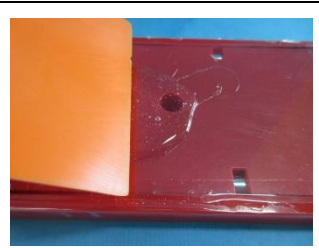

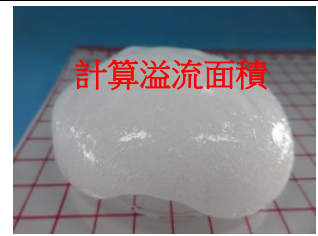

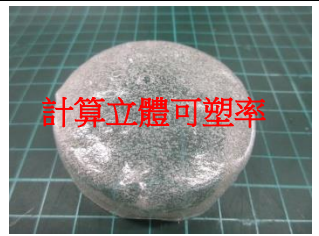
實驗一：不同比例史萊姆膠膜可塑性和摩擦起電的效果

(一)、實驗步驟：

操縱變因：不同比例所製作的史萊姆膠膜。

- 1.自製史萊姆膠膜：利用 50mL 的 PVA 膠水，0.1g 的小蘇打粉，分別加入隱形眼鏡清潔液(含硼酸)5mL、10mL、15mL，自製成不同比例的史萊姆膠，接著用鑄模裝置，製作成薄膜。

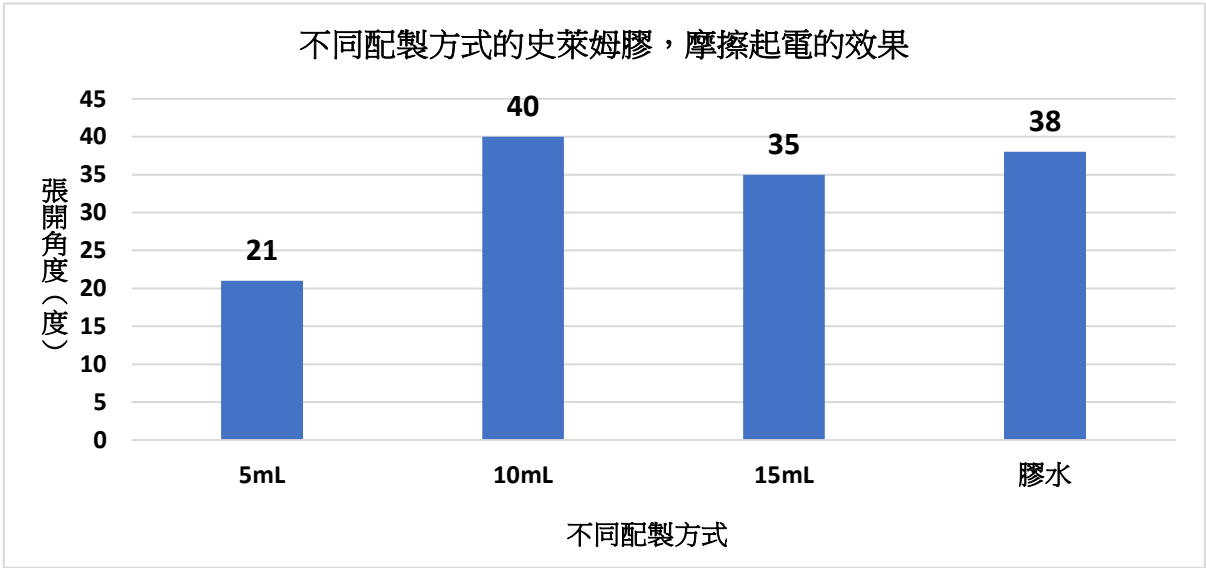
- 2.利用摩擦起電裝置，分別把各種比例史萊姆薄膜材料，裝置在材料 A 的位置。
- 3.將矽膠裝置在材料 B 的地方，摩擦起電裝置轉動 5 分鐘，測試起電效果。
- 4.利用測試立體可塑性裝置，測試最佳比例史萊姆膠的立體可塑性。

			
固定 PVA 膠 50mL	固定小蘇打粉的量	倒入不同量清潔液	鑄模成薄膜
			
測試摩擦起電的效果	測試最佳比例史萊姆膠的立體可塑性		

(二)、實驗結果：

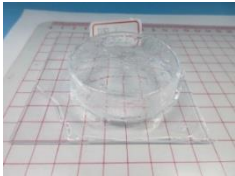

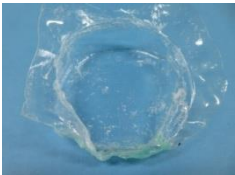


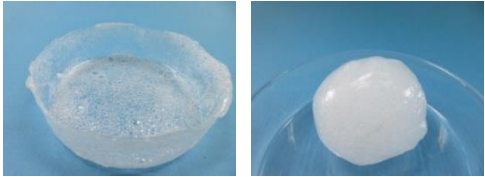
表三-1-1 不同比例史萊姆膠膜摩擦起電的結果

不同配方	製作方式	張開角度(度)
A	50mL 膠水，0.1g 的小蘇打粉，加入清潔液 5mL	21
B	50mL 膠水，0.1g 的小蘇打粉，加入清潔液 10mL	40
C	50mL 膠水，0.1g 的小蘇打粉，加入清潔液 15mL	35
膠水	PVA 膠水	38



圖三-1-1 不同比例史萊姆膠膜摩擦起電的結果

表三-1-2 史萊姆膠(10mL)和 PVA 膠，立體可塑效果的比較

名稱	溢流面積(cm ²)	可塑率(%)	立體狀
PVA 膠	 19	 80	 可形塑成空心圓柱狀，但會有凹陷，無法形塑成球狀。
自製史萊姆膠	 0	 100	 可形塑成空心圓柱狀，沒有凹陷的現象，可以形塑成球狀。

(三)、討論：

- 1.可以使驗電器張開角度最大的是添加 10mL 清潔液的史萊姆膠。
- 2.將最佳比例的史萊姆膠和 PVA 膠比較之後，發現史萊姆膠可以有更高的可塑性。
- 3.PVA 膠和硼酸進行交聯作用後，變成史萊姆膠。交聯作用會讓原本鏈狀聚合物變成網狀聚合物，讓分子間的聯結性更強，因此讓材料聯結更緊密，所以可塑性提高了。

結論：

將 50mL 的 PVA 混合 0.1g 的小蘇打粉，再加入 10mL 含硼酸的清潔液，這樣製作出來的史萊姆膠可以有最佳的效果作為摩擦起電材料 A，且史萊姆膠形成的歷程會進行交聯作用，讓材料更緊密，提高了材料可塑性，相對上一個實驗中，利用 PVA 膠所製作出來的材料，效果更佳。

實驗二：自製複合可塑性材料 A 的方式

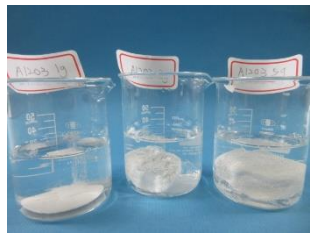



(一)、構思：

資料發現 PVA 的帶電性會和一些物質較為接近，因此嘗試在史萊姆膠當中添加金屬…等物質後，測試所製作複合材料摩擦起電的效果。



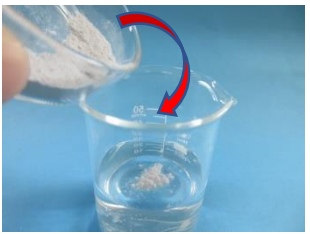
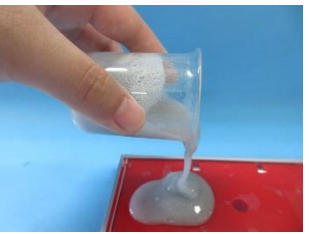
(二)、實驗步驟：

- 1.製作史萊姆膠，50mL 的 PVA 膠，添加 10mL 的隱形眼鏡清潔液和 0.1g 的小蘇打粉。
- 2.自製複合起電材料的方式。

A 不可溶顆粒狀的添加物：包含銅粉、鐵粉、碳粉、氧化鋁等，利用攪拌混合法製作，方式如下。



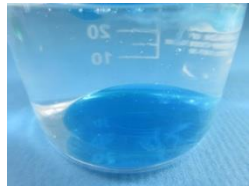
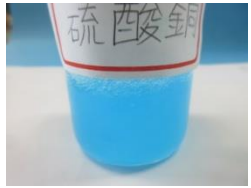
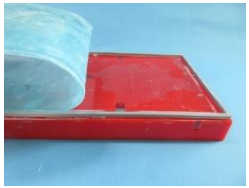
			
添加物加入史萊姆膠	均勻攪拌混合	靜置去除泡泡	鑄模成複合材料

B 不可溶塊狀的添加物：包含石英、雲母等，利用攪拌混合法製作，方式如下。

			
利用研磨機將塊狀物品研磨成粉狀	加入史萊姆膠中自製成複合材料	鑄模	

C 可溶顆粒狀的添加物：包含硫酸銅，利用靜置浸透法製作，方式如下：

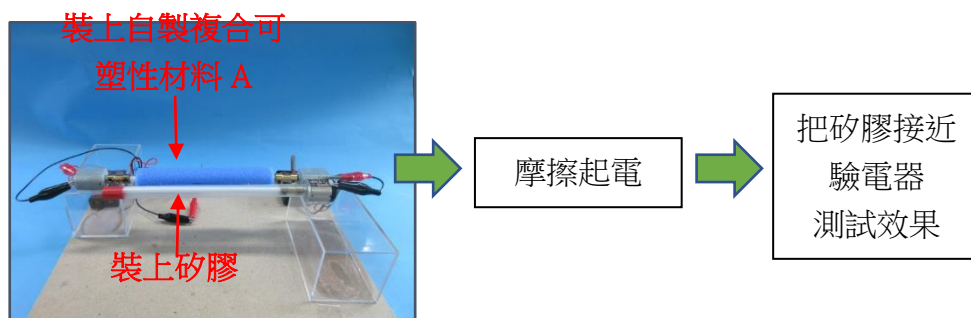
利用攪拌的方法，容易讓可溶顆粒狀的添加物和史萊姆膠形成反應成顆粒，無法混合的很均勻，且容易形成泡泡影響材料的成膜。所以利用靜置浸透法進行鑄模。

				
製作史萊姆膠	添加物加入清潔液，攪拌溶解	加入 PVA 膠中	靜置浸透	鑄模

實驗三：自製複合可塑性材料 A 和測試摩擦起電效果

(一)、實驗步驟：

- 1.操作變因：利用實驗二方法，自製複合可塑性材料 A，以添加物 1、3、5g 為操縱變因。
- 2.以矽膠作為另一材料，利用摩擦起電裝置進行測試效果。







(二)、實驗結果：

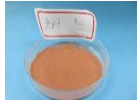
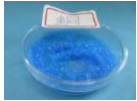


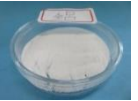

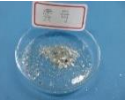







表三-1-3 不同克數添加物，鑄模的結果

添加物 添加量(g)	銅粉	硫酸銅	鐵粉	碳粉	氧化鋁	石英	雲母
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	X	✓	X
5	X	X	X	X	X	X	X

說明：打 X 表示無法鑄成模，打✓則表示可以鑄成薄膜，才進行之後效果測試。

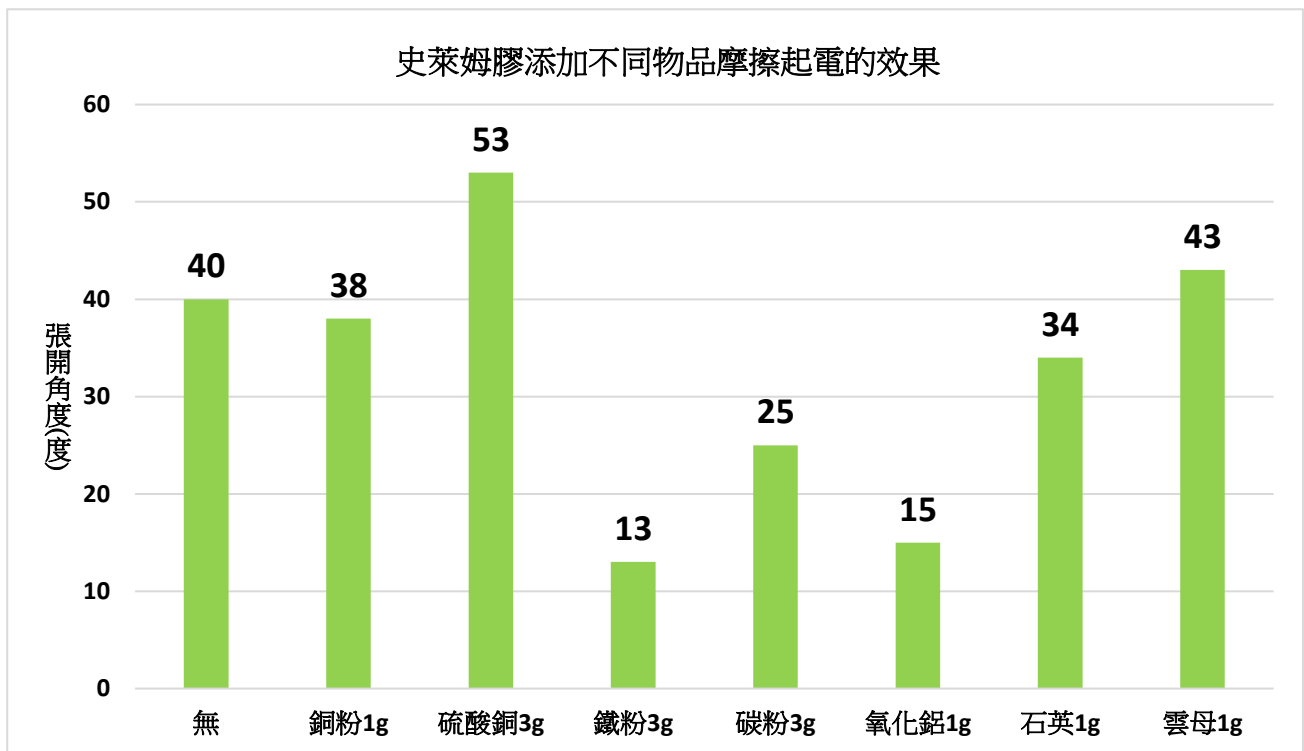
			
銅粉、鐵粉 5g 以上 會在膜上形成顆粒， 摩擦時顆粒會掉落。	硫酸銅添加太多會結 塊，以致無法成膜。	碳粉、石英 5g 以上 會有脆化的現象。	氧化鋁、雲母 3g 以上， 無法均勻混合、易脆。

表三-1-4 不同克數添加物，摩擦起電的結果

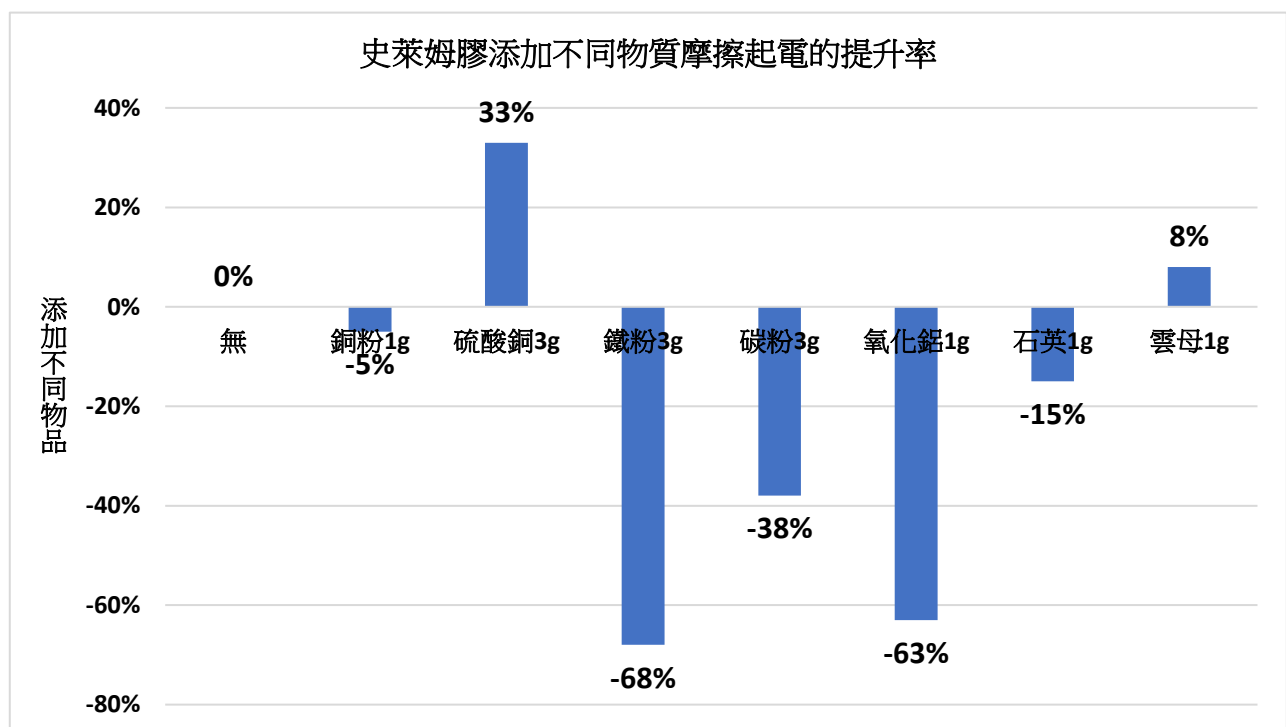
添加物	銅粉		硫酸銅		鐵粉		碳粉		氧化鋁	石英		雲母
克數(g)	1	3	1	3	1	3	1	3	1	1	3	1
照片												
成品												
角度(度)	27	38	26	53	5	13	16	25	15	34	28	43

表三-1-5 史萊姆膠添加各種物品最佳比例和史萊姆膠進行比較

添加物	對照組	銅粉 1g	硫酸銅 3g	鐵粉 3g	碳粉 3g	氧化鋁 1g	石英 1g	雲母 1g
角度(度)	40	38	53	13	25	15	34	43
提升率	0%	-5%	33%	-68%	-38%	-63%	-15%	8%



圖三-1-2 史萊姆膠添加各種物品最佳比例摩擦起電的效果



圖三-1-3 史萊姆膠添加各種物品最佳比例摩擦起電的提升率

(三)、討論：

- 1.各種物質加入史萊姆膠當中的最佳添加比例不同，大部分量太多會讓材料破碎、結塊、無法均勻分布，以致無法成膜。

- 2.發現添加硫酸銅、雲母所製作的材料，可以讓矽膠使驗電器鋁箔張開角度更大了，張開的角度最大的是硫酸銅，添加到 3 克時候為最佳比例，可以提升 33%的效果。
- 3.硫酸銅成分可以均勻分布在史萊姆膠中，推測這樣可以讓摩擦起電的歷程更為穩定，形成更多的電量在矽膠上。
- 4.鐵粉和銅粉的效果不佳，可能是因為金屬具有導電性，因此摩擦起電後電荷很快就移走了，因此不適合用來做摩擦起電的材料。
- 5.添加碳粉和氧化鋁的材料，摩擦起電的效果較不佳，讓矽膠展開的角度偏小。推測這些物質製作成模後，不易均勻分布在史萊姆膠中，因此影響了形成電的效果。
- 6.添加不同物品後，對史萊姆膠有提升效果的是硫酸銅和雲母；添加了銅粉、鐵粉、碳粉、氧化鋁和石英後的史萊姆膠，反而讓驗電器鋁箔張開角度減小了。

結論：



添加的物質可均勻分布在史萊姆膠中，可以讓摩擦起電更為穩定，因此可以形成更多的帶電量；添加物質具導電性，易使摩擦起電效果變差。

添加硫酸銅或雲母後的史萊姆膠膜，都使矽膠讓驗電器鋁箔張開角度更大，但相較之下，添加硫酸銅的效果最佳，因此選用為之後實驗用的材料。

自製史萊姆膠膜可提升摩擦起電的效果，在添加硫酸銅後，更適合作為摩擦起電的材料。

延伸實驗：

發現添加銅粉沒有明顯的提升效果，但是硫酸銅效果卻很好，因此添加硫酸鎳、硫酸鎂到史萊姆膠中進行實驗，結果如下：

添加物質	硫酸鎳	硫酸鎂
照片		
張開角度(度)	43	52

結論：

研究中，含硫酸根等物質的介電常數比 PVA(聚乙烯醇)還高，因此添加之後可以提升摩擦起電的效果。

研究中，含硫酸根等物質，無法直接用來使用，因此在加入史萊姆膠中，做成複合材料，可以成為摩擦起電的材料。

直接利用顆粒狀的硫酸銅，或是溶解在水中呈現液體狀的硫酸銅溶液，都無法直接用來摩擦起電，因此在應用較受局限，但將硫酸銅溶解後添加到史萊姆膠，製作成複合材料之後，就可以成為摩擦起電的材料且效果佳。

研究三-2：自製複合可塑性材料 B 摩擦起電的效果

構思：

資料中發現有些材料的帶電性會和矽膠較為接近，適合摩擦起電後用來吸附物品，但這些物品大多為固態狀，像是 PVC 管、聚四氟乙烯棒…等，接著嘗試將它們和矽膠結合成具可塑性的材料。

實驗一：自製複合可塑性材料 B 的方式

(一)、實驗步驟：

1.將添加物品研磨成粉狀物。

2.添加方式：

方式	方式一：攪拌混合法	方式二：灑粉法
照片		
說明	把粉末和矽膠一起攪拌，再進行鑄模。	在矽膠上均勻的灑上粉末，再進行鑄模。




(二)、結果：

- 1.攪拌混合法，粉末會讓矽膠無法推開，以進行鑄模。
- 2.灑粉法可以讓矽膠均勻的鑄模，自製成含添加物的接電材料。

實驗二：自製複合可塑性材料 B 和測試摩擦起電效果

(一)、實驗步驟：

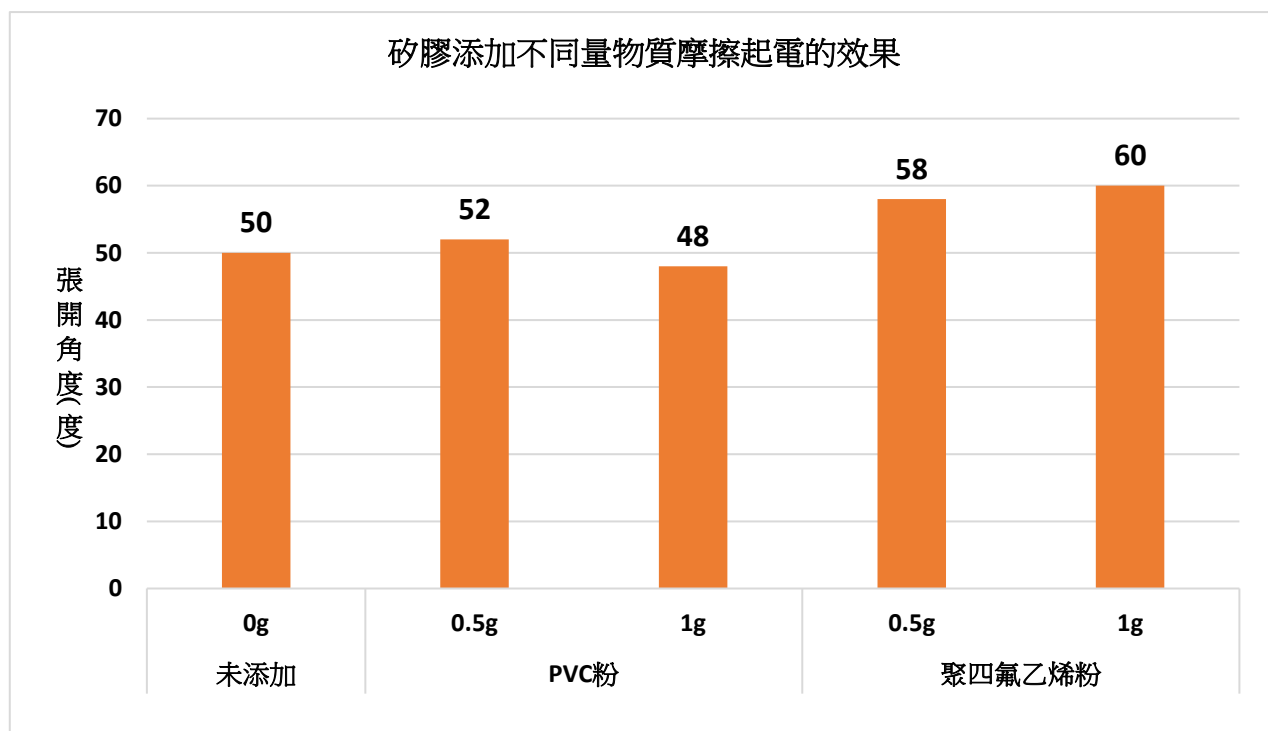
- 1.將固體狀的聚四氟乙烯和 PVC 管，研磨成粉。
- 2.把 0.5 g、1g 和 1.5 g 的聚四氟乙烯粉和 PVC 粉，分別加入 30ml 的矽膠內。
- 3.鑄模成含聚四氟乙烯矽膠膜和含 PVC 矽膠膜，和含銅史萊姆材料摩擦起電。
- 4.以沒有添加物品的矽膠膜為對照組。

		
製作添加用的粉末	加入矽膠中鑄模，含聚四氟乙烯矽膠膜	

(二)、實驗結果：

表三-2-1 自製複合可塑性材料 B 摩擦起電的效果

實驗設計	實驗組						對照組
添加物質	添加聚四氟乙烯粉			添加 PVC 粉			沒有添加
添加重量(g)	<u>0.5</u>	<u>1</u>	<u>1.5</u>	<u>0.5</u>	<u>1</u>	<u>1.5</u>	<u>0</u>
張開角度(度)	58	60	無法成膜	52	48	無法成膜	50



圖三-2-1 自製複合可塑性材料 B 摩擦起電的效果

(三)、討論：

- 1.發現有添加聚四氟乙烯粉的矽膠，能讓驗電器鋁箔張開的角度較大。
- 2.發現矽膠添加聚四氟乙烯粉會比添加 PVC 粉的，所提升效果更高。
- 3.聚四氟乙烯粉、PVC 粉在摩擦起電後，因為 PVC 粉鑄模後較無法均勻分布，因此形成的電較少。

結論：

將矽膠加上聚四氟乙烯粉，得到更好的摩擦起電效果，作為本實驗中矽膠複合材料。

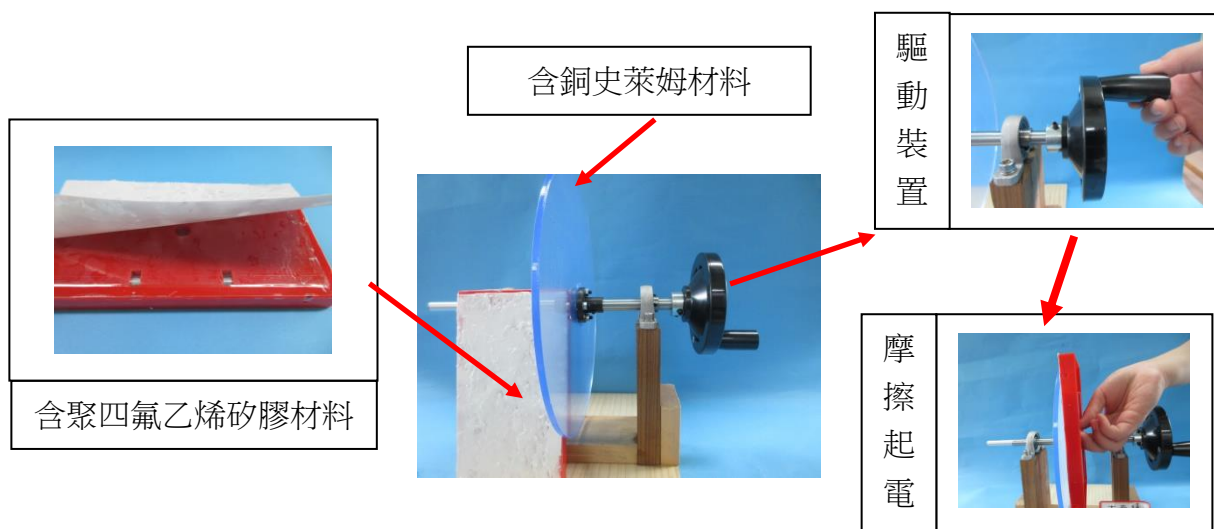
研究四、研究複合可塑性材料吸引不同物品的效果


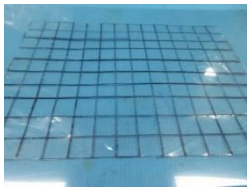

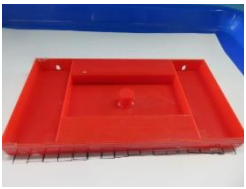
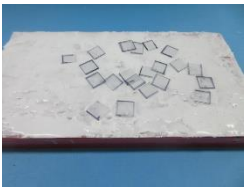
實驗一：複合可塑性材料吸引固體類和粉狀物的效果

(一)、實驗步驟：

- 1.蒐集不同物品，包含紙片、鋁箔片、不同種類的塑膠片、玉米粉。

2.把含聚四氟乙烯矽膠膜和含銅史萊姆膠膜，裝在大面積摩擦起電裝置上，互相摩擦起電，測試可以吸引的物品。









				
不同物品	裁切成 1cm*1cm	固定物品數量	進行測試	計算吸附數量

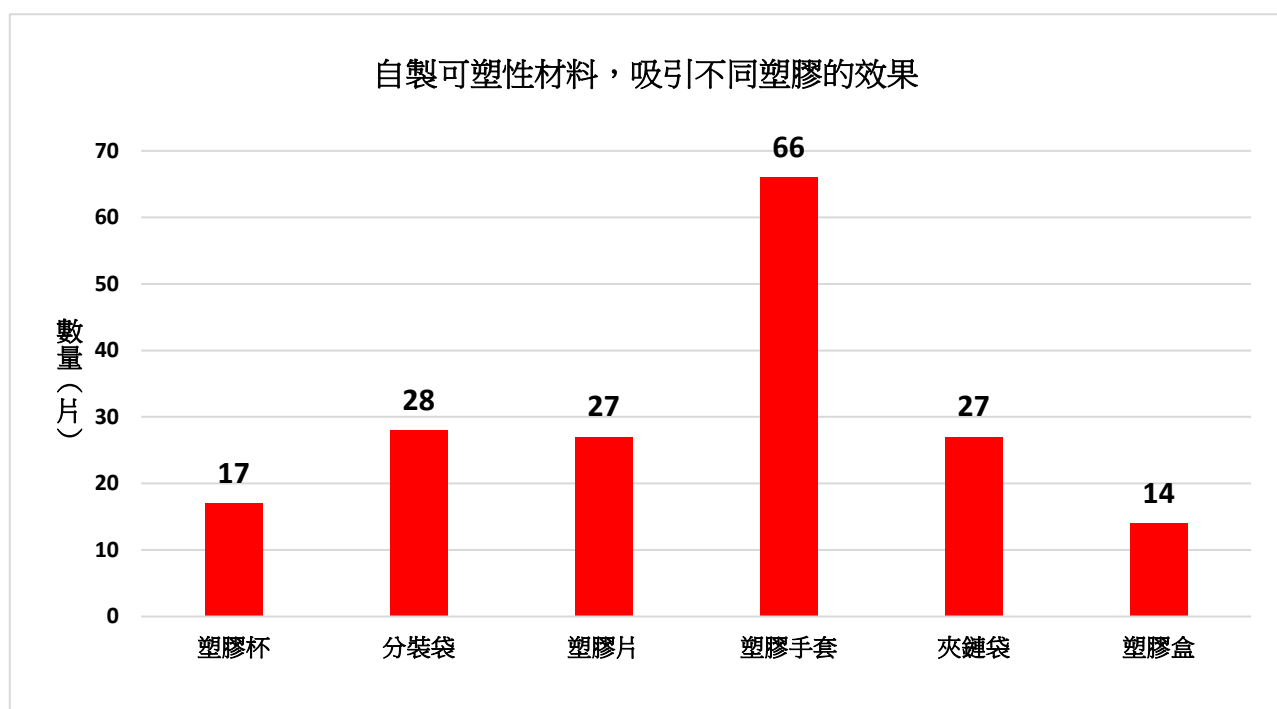
(二)、實驗結果：

表四-1 吸引不同樣式物品的結果

物品名稱	紙片	鋁箔片	玉米粉
吸引數量	46 片	43 片	0.5g

表四-2 不同種類塑膠的說明與吸引結果

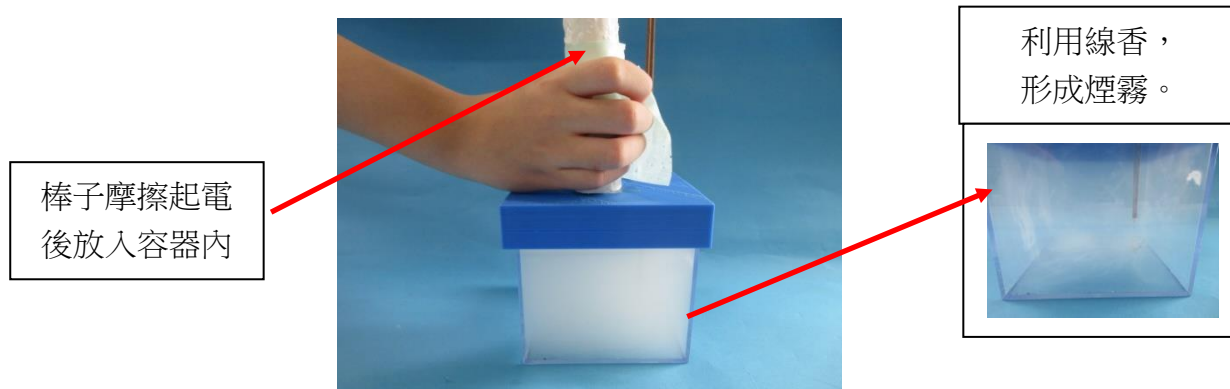
名稱	塑膠片	分裝袋	塑膠手套	夾鏈袋	塑膠杯	塑膠盒
分類	第 1 類	第 2 類	第 3 類	第 4 類	第 5 類	第 6 類
照片						
說明	PET	HDPE	PVC	IPDE	PP	PS
吸引數量(片)	27	28	66	27	17	14



圖四-1 自製可塑性材料摩擦起電後，吸引不同種類塑膠的結果

實驗二：複合可塑性材料吸引煙霧的效果

利用煙霧吸引效果裝置進行測試：



方式	放入沒有摩擦起電的棒子	放入摩擦起電的棒子
示意圖		
說明	煙霧會四散在盒子內	煙霧會被吸引過來





結論：

- 1.自製複合可塑性材料，含聚四氟乙烯粉矽膠膜和含銅史萊姆薄膜摩擦起電後，能夠讓物品內的電荷暫時分離，因此可以吸引各物品，例如：金屬片、紙片、各類塑膠和粉狀物。
- 2.嘗試吸附不同種類的塑膠物品後，發現可以吸引不同編號的塑膠。
- 3.利用煙霧吸引效果裝置進行測試後，發現摩擦起電後的自製複合可塑性材料會吸引煙霧。
- 4.自製複合可塑性材料，在摩擦起電後，可以吸引金屬片、紙片、粉狀物，分布於空氣中的煙霧，和大部分塑膠類物品。







研究五、研究複合可塑性材料的性質

綜合之前研究和進行測試，自製材料的性質特色如下：

(一)、可以添加不具可塑性物品，製作成複合可塑性材料。

			
利用 混合攪拌法 ，添加顆粒狀物品到史萊姆膠，自製成材料。	利用 靜置浸透法 ，添加溶解後可溶性顆粒狀物到史萊姆膠中。	利用 灑粉法 ，將粉狀物添加到矽膠中，自製成材料。	成品：各種自製複合可塑性材料。

(二)、可塑性高，可以形塑成各式的形態。

		
製作成薄膜樣式		塗抹在有孔洞的物品
		
製作成立體的樣式，A 管狀	B 圓盤狀	C 球狀

(三)、可以吸引各式各樣的物品。

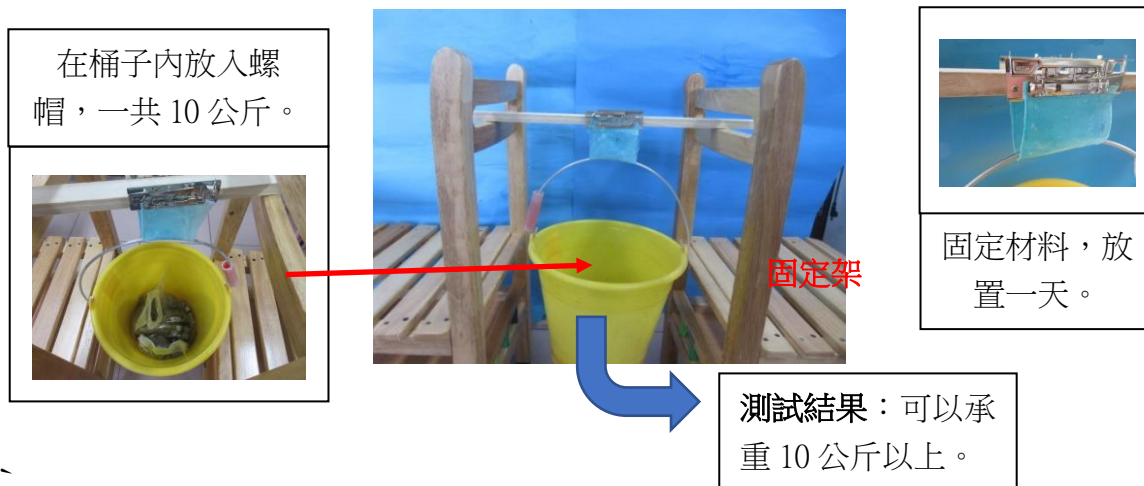
表五-1 自製複合可塑性材料摩擦起電後，可以吸引的物品

分類	塑膠	固態	空氣中
說明	1-6 號塑膠皆可以被吸引	金屬片、紙片、粉…等	煙霧

(四)、耐用性高。

測試含銅史萊姆材料和含聚四氟乙烯矽膠材料的耐用性，包含抗張力、耐脆性和耐磨性。

(1).抗張力：利用測試抗張力裝置進行實驗，了解材料的承重效果，測試方式說明如下。



(2).耐脆性：將含銅史萊姆膠和含聚四氟乙烯矽膠形塑成管狀，放入研磨機絞碎 1 次 1 秒，一共 50 次，以市售吸管為對照組。



表五-2 研磨機絞碎自製複合可塑性材料的結果

名稱	含銅史萊姆膠	含聚四氟乙烯膠膜	市售吸管
結果			
外觀	還有大面積的片狀物	碎片狀較多	有些已經變成粉末狀
碎片大小(cm^2)	3cmX3cm 的 1 個 2cmX2cm 的 2 個 1cmX1cm 的 3 個	1cmX1cm 的 4 個 2cmX2cm 的 3 個	1cmX1cm 的 6 個 2cmX2cm 的 1 個

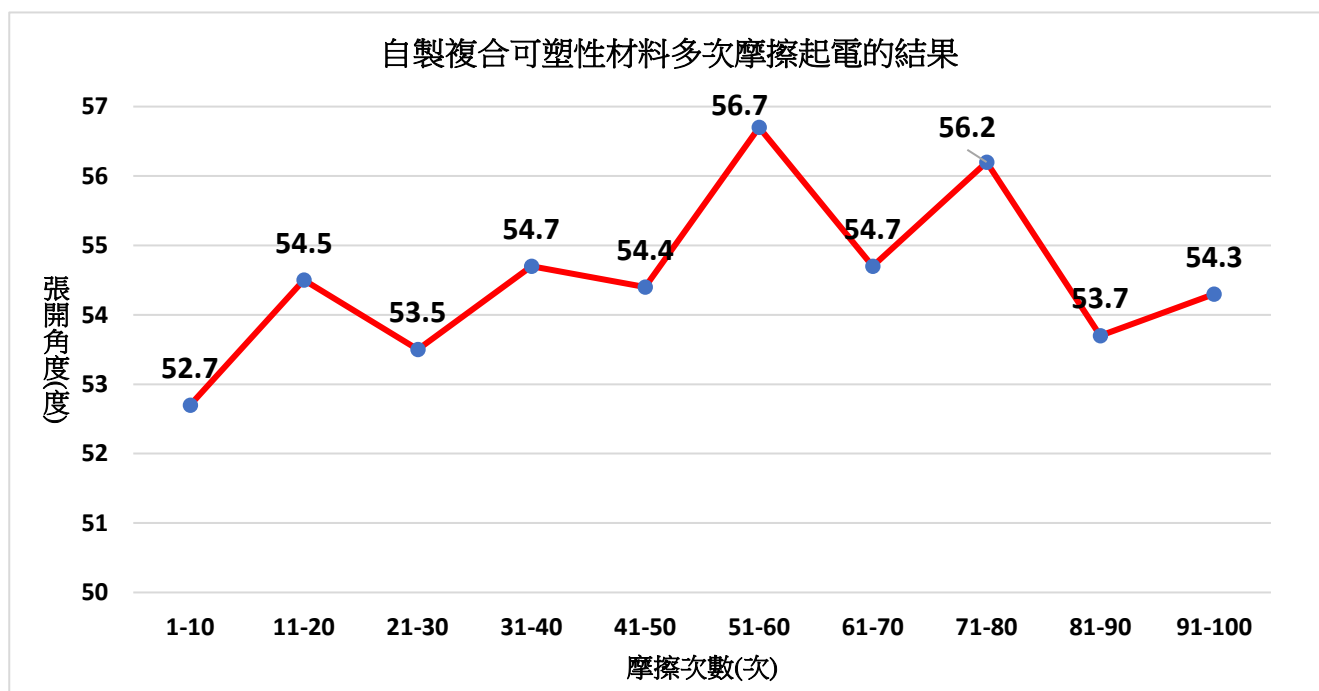
結果發現：自製複合材料的耐脆性會比市售吸管還高，更具韌性。

(3).耐磨性：

將含銅史萊姆材料和含聚四氟乙烯矽膠材料放置於摩擦起電裝置上，將兩個材料相互摩擦 5 分鐘，再利用驗電器測試起電的效果，一共測試 100 次。結果如下表：

表五-3 自製複合可塑性材料多次摩擦起電的效果

次數(次)	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
平均張開角度(度)	52.7	54.5	53.5	54.7	54.4	56.7	54.7	56.2	53.7	54.3



圖五-1 自製複合可塑性材料多次摩擦起電的結果

結果發現：可以繼續吸附物品，讓驗電器張開，材料沒有破損。

(五)、可以簡易操作，且進行廣泛的應用。

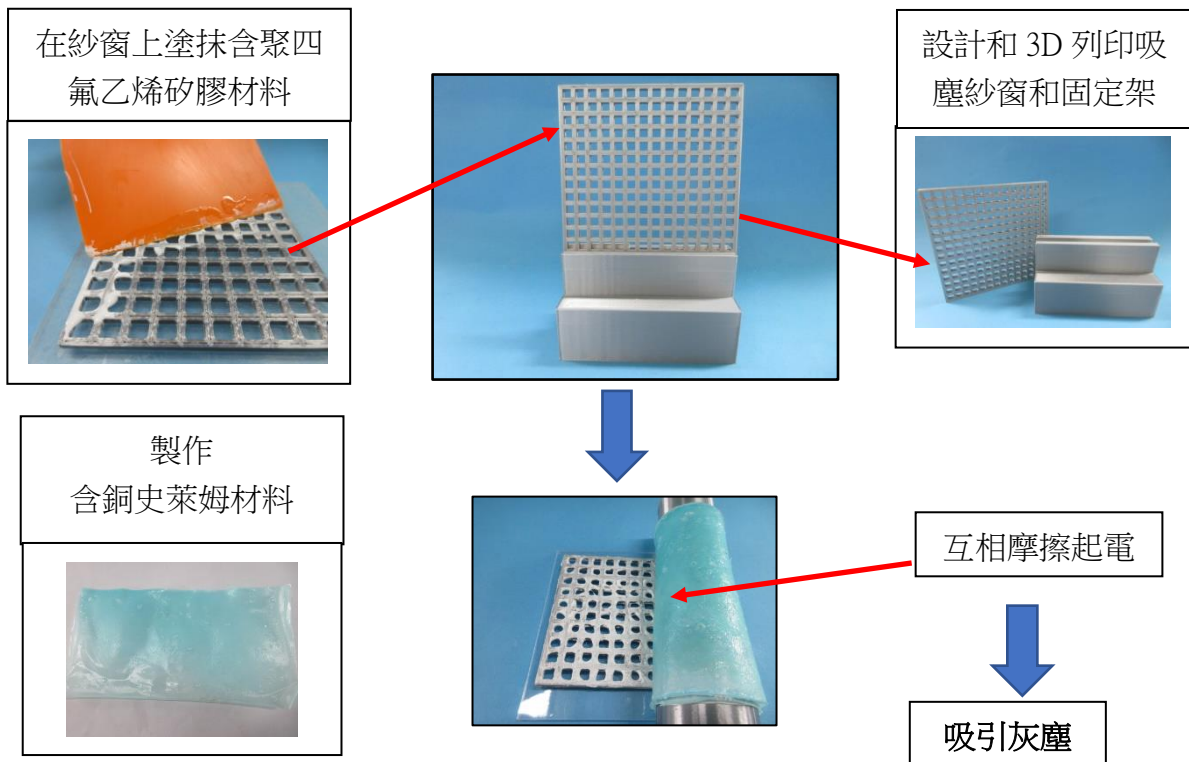
研究六：複合可塑性材料摩擦起電的實際應用

成品一、吸塵紗窗

(一)、構思：

自製含銅史萊姆材料和含聚四氟乙烯矽材料摩擦起電後可以吸引粉狀物，將其設計成可以吸引灰塵…等物品的窗戶。

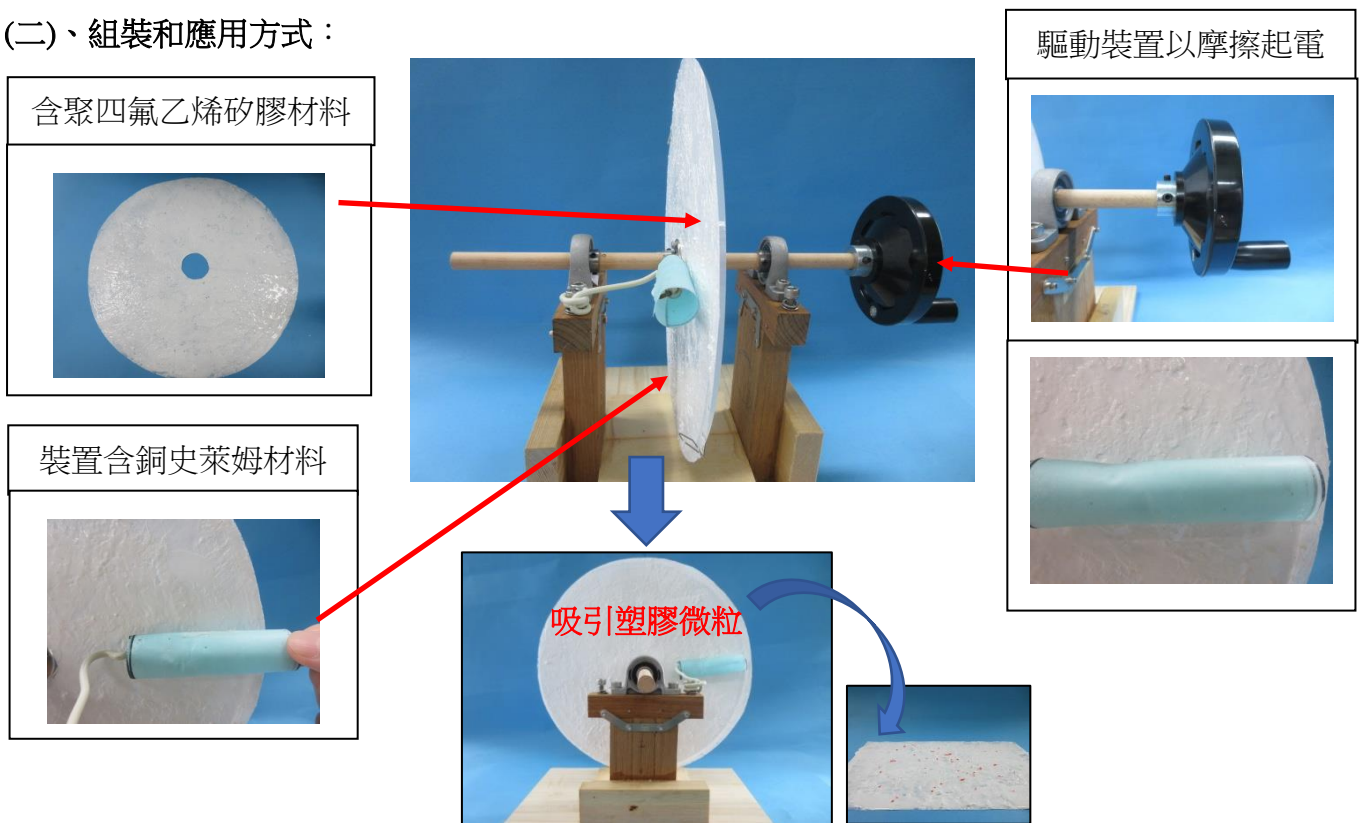
(二)、組裝和應用方式：



成品二、吸引塑膠微粒裝置

(一)、**構思**：利用材料摩擦之後，可以吸引不同種類的塑膠，嘗試組裝吸附塑膠微粒裝置。

(二)、組裝和應用方式：

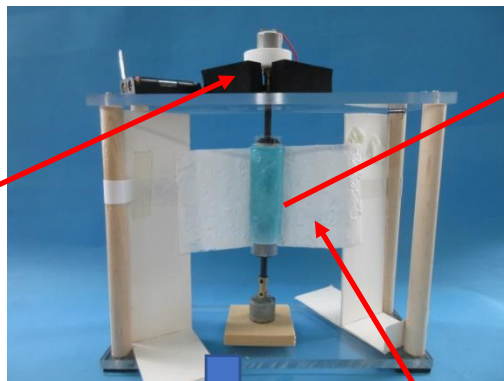
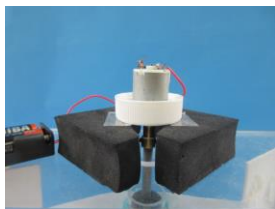


成品三、吸引煙霧裝置

(一)、構思：利用材料摩擦之後，可以吸引空氣中的煙霧，嘗試組裝吸引煙霧裝置。

(二)、組裝和應用方式：

驅動裝置：啟動馬達，轉動含銅史萊姆材料的棍棒。



吸引空氣中的煙霧

裝置材料：

在棍棒上裝上含銅史萊姆材料。



裝置材料：裝上自製的聚四氟乙烯矽材料。

柒、結論

一、日常生活中，不同具可塑性物品摩擦起電的效果

研究中，不同具可塑性物品經摩擦起電後，發現有些適合讓其它材料形成較多的電，像是含有橡膠的橡皮筋或 PVC 製作的手套，可以讓物品都可以有不錯的展開角度；有些則被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度，例如：PE 材質的保鮮袋。

二、不同市售膠膜可塑性和摩擦起電的效果

- 1.橡膠和矽膠的可塑性很高，可以立體成膜，白膠和膠水也可以立體成膜，但是有凹陷的現象。
- 2.市售膠都是具黏性的膠狀物質，但摩擦起電的效果卻不同，推測膠的成分是影響摩擦起電的因素，且成分相近的物品，摩擦起電效果不佳。
- 3.膠水和白膠可以讓多種材質的物品形成較多的電，適合用來作為摩擦起電材料中的 A 材料；矽膠和橡膠則適合用來做 B 材料，被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度。

三、自製複合可塑性材料

1.摩擦起電材料 A：

- (1).50mL 的 PVA 膠混合 0.1g 的小蘇打粉，再加入 10mL 含硼酸的清潔液，這樣製作出來的史萊姆膠可以有最佳的效果，作為摩擦起電材料 A，且史萊姆膠形成的歷程會進行交聯作用，讓材料更緊密，提高了材料可塑性。
- (2).添加的物質可均勻分布在史萊姆膠中，可以讓摩擦起電更為穩定，因此可以形成更多的帶電量；添加物質具導電性，易使摩擦起電效果變差。

- (3).添加硫酸銅或雲母後的史萊姆膠膜，都讓矽膠使驗電器鋁箔張開角度更大，但相較之下，添加硫酸銅的效果最佳。
- (4).自製史萊姆膠膜可提升摩擦起電的效果，在添加硫酸銅利用靜置浸透法所製作的材料，更適合作為摩擦起電的材料 A。

2.摩擦起電材料 B：

- (1).材料適合利用灑粉法來製作，將固體的添加物均勻撒在矽膠中，製作成材料。
- (2).把固體狀聚四氟乙烯研磨成聚四氟乙烯粉，加入自製的矽膠中，發現有添加聚四氟乙烯粉的矽膠更適合作為摩擦起電材料 B。

四、複合可塑性材料能吸附物品

自製複合可塑性材料，含聚四氟乙烯粉矽膠膜和含銅史萊姆薄膜摩擦起電後，能夠讓物品內的電荷暫時分離，因此可以吸引各物品，例如金屬片、紙片、粉狀物，分布於空氣中的煙霧，和大部分塑膠類物品。

五、複合可塑性摩擦起電材料的性質

自製材料可以添加不具可塑性物品，製作成複合可塑性材料；可塑性高，可以形塑成各式的形態，薄膜、立體或塗抹在物品上面；可以吸引不同樣式的物品；抗張力高、耐脆且耐磨性，耐用性高；可以簡易操作，且進行廣泛的應用。

六、實際應用

自製複合可塑性摩擦起電材料，進行組裝成可應用裝置，包含吸塵紗窗、吸引塑膠微粒裝置、以及吸引煙霧裝置。

捌、參考資料

- 1.國小五上 力與運動。
- 2.翰林雲端學院
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%90%86%E5%8C%96%E6%91%A9%E6%93%A6%E8%B5%B7%E9%9B%BB.html>
- 3.(物理雙月刊)
<https://bimonthly.ps-taiwan.org/?storyid=58&uid=0>
- 4.維基百科
<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9D%99%E7%94%B5>
- 5.全國科展第 56 屆，國小物理「靜"殿"神來，與灰"臣"說拜拜！」。
- 6.全國科展第 42 屆，國小物理「好玩的靜電」。
- 7.全國科展第 61 屆，國小物理「帶『靜』紗窗，防塵來『勁』—靜電紗窗防塵效果研究」。
- 8.全國科展第 57 屆，國中生活與應用「靜電 in，粉塵 out！—靜電板擦研究」。
- 9.全國科展第 63 屆，國小生活與應用科(一)「靜電密碼—無接觸電極感應探究」。
- 10.全國科展第 45 屆，國小自然「靜觀奇電」。

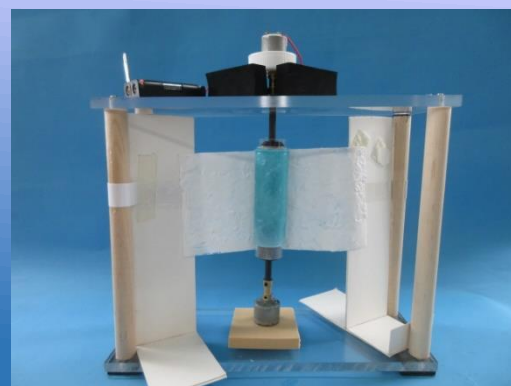
說明：研究報告中所有照片、圖表，除了有註明出處之外，皆由作者協同所拍攝製作。

【評語】 083012

本作品探索摩擦生電的現象與應用，作者自製鑄模裝置和摩擦起電裝置，規劃討論驗電檢測方法。研究內容涵蓋不同可塑性材料與市售膠體等摩擦起電表現，並分析複合材料對靜電吸附與應用效果之影響，初步驗證自製靜電膜的可行性。建議可進一步強化對添加物選擇依據的說明，並結合靜電原理深入分析摩擦材料組成與起電特性的關聯性，以提升研究的理論深度與應用潛力。

作品海報

湧雲子靈招過材塑



摘要

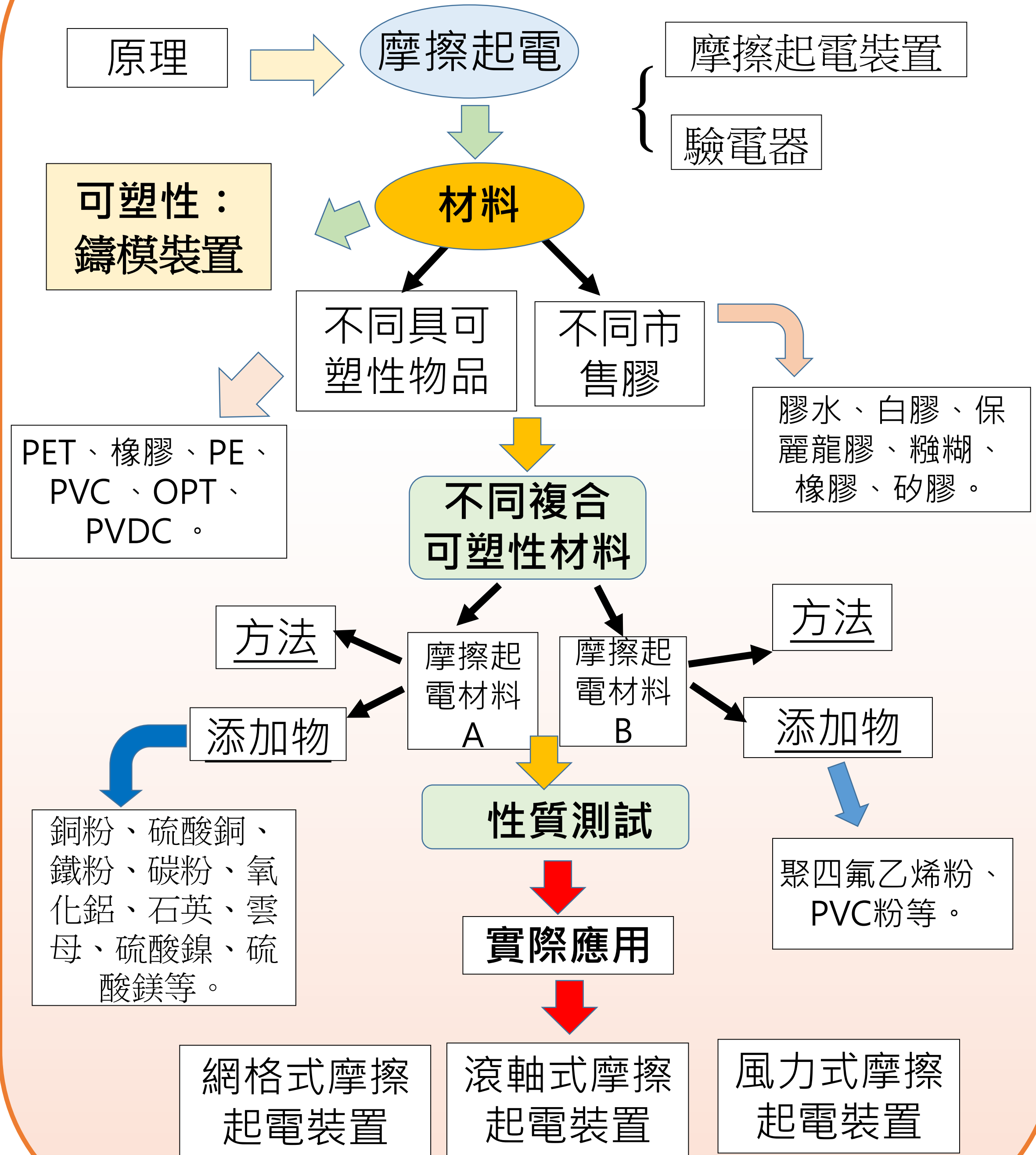
研究主要在製作出具可塑性的材料，形塑成不同樣式以自製成摩擦起電的裝置，得以有更廣泛的應用。歷程中，研發了鑄模裝置、摩擦起電裝置、驗電器和測耐用性方法，以進行探究。測試生活中多樣具可塑性的物品後，發現橡膠是不錯的材料，因此利用市售膠鑄成多種的膠膜，發現含PVA的材料和矽膠適合用來做成摩擦起電的原料，接著用 PVA 膠和矽膠，添加不同物質，自製複合可塑性材料，探討何種材料互相摩擦之後，可以形成較高的電力。發現史萊姆膠添加硫酸銅，和矽膠添加聚四氟乙烯粉有最佳的效果，且可形塑成薄膜、立體狀或塗抹在物品上，能夠吸引多樣物品。最後將自製複合可塑性材料，做成摩擦起電吸引塑膠微粒、煙霧裝置，進行實際應用。

壹、研究目的

- 一、不同具可塑性物品摩擦起電的效果
- 二、不同市售膠可塑性和摩擦起電的效果
- 三、不同複合可塑性材料摩擦起電的效果
 - 三-1、自製複合可塑性材料的方式
 - 三-2、自製複合可塑性材料摩擦起電的效果
- 四、複合可塑性材料吸引不同物品的效果
- 五、複合可塑性材料的性質
- 六、複合可塑性材料摩擦起電的實際應用

說明：研究報告中所有照片、圖表皆由作者協同所拍攝製作。

貳、研究架構圖



圖一

參、研究設計

表一 自製材料

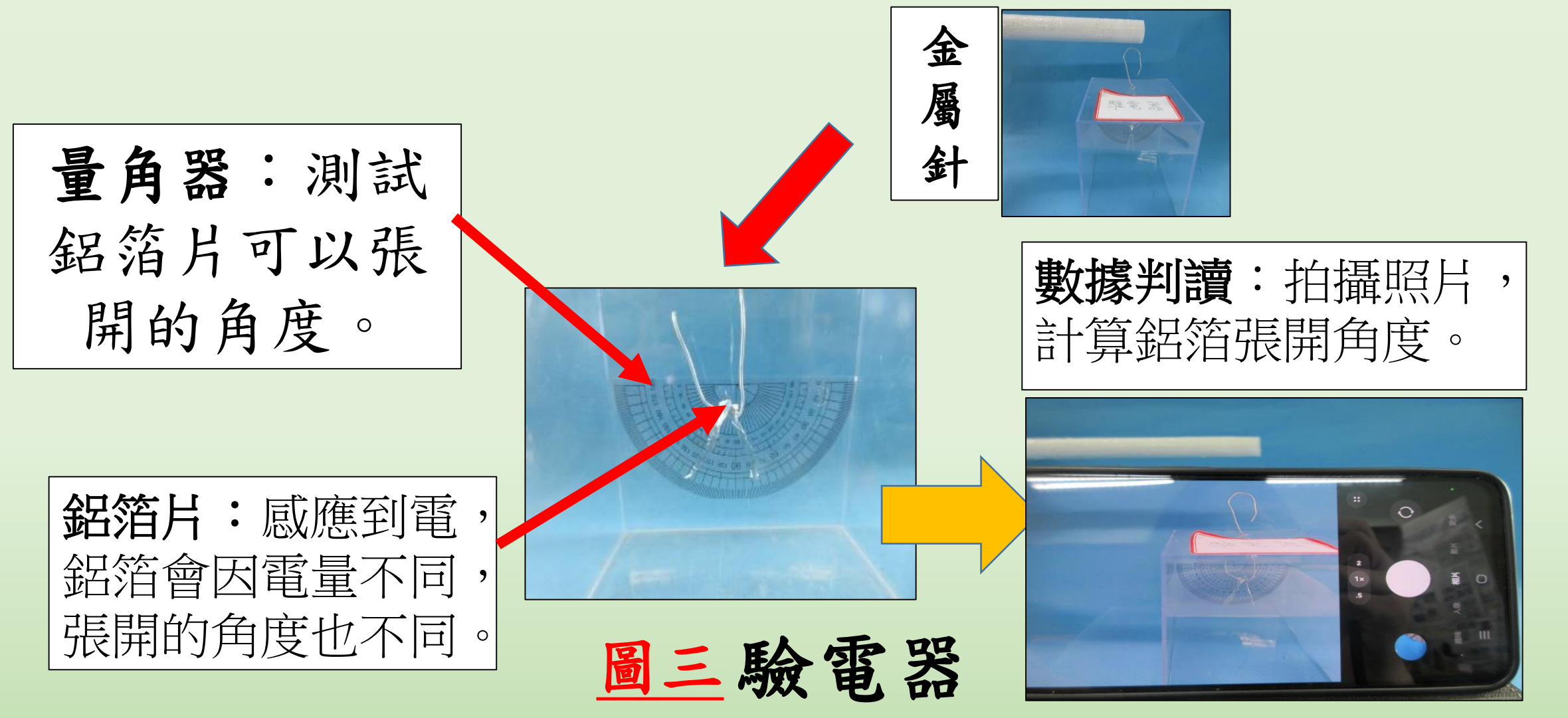
可塑性材料	市售膠膜	史萊姆膠	複合可塑性材料

表二 鑄模裝置

平面鑄模裝置	管狀鑄模裝置	立體鑄模裝置



圖二 摩擦起電材料/摩擦起電裝置



肆、研究過程

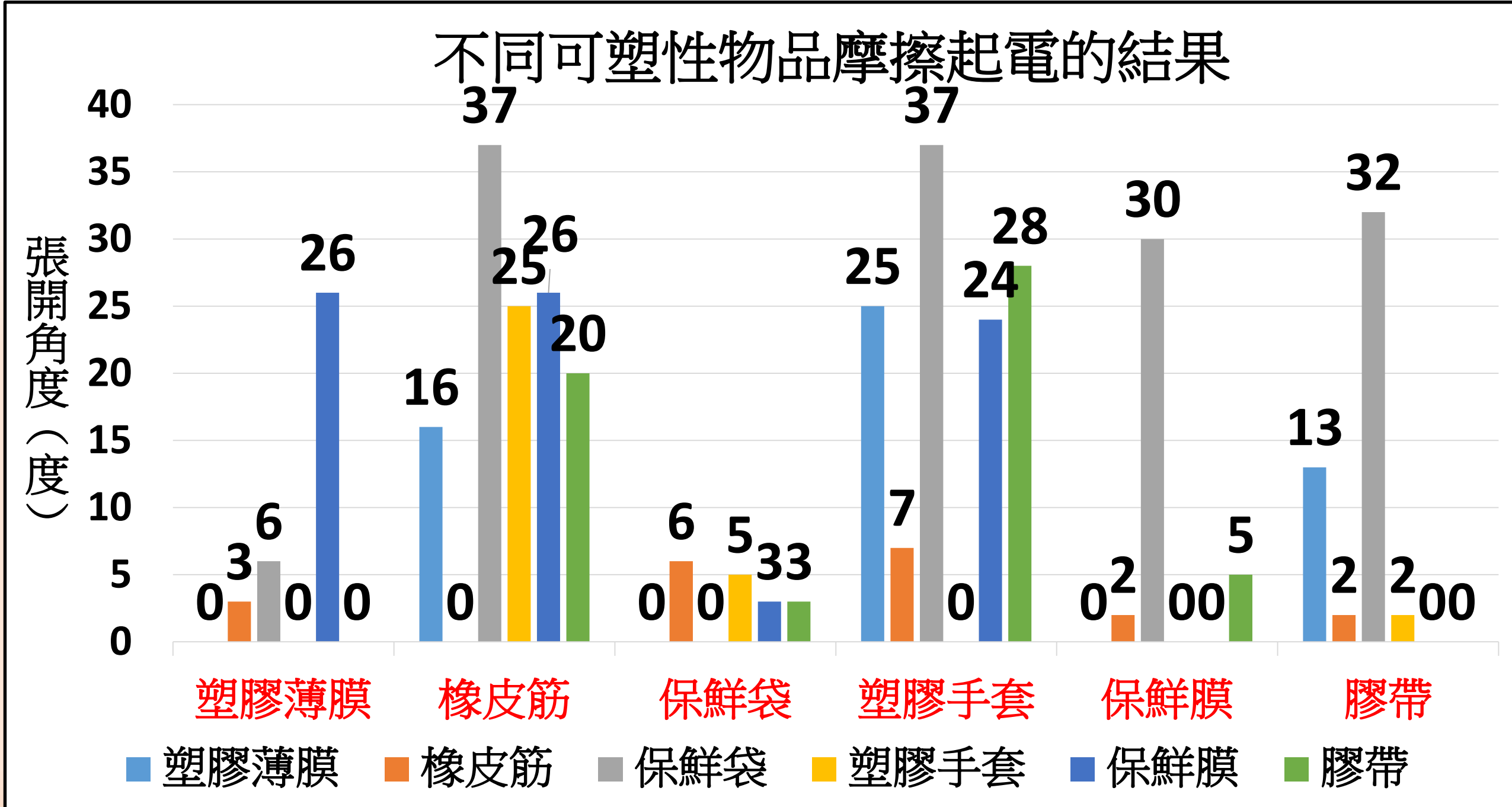
研究一：不同具可塑性物品摩擦起電的效果

(一)、實驗步驟、結果：

表三 不同物品的彎折可塑性

物品	塑膠薄膜	橡皮筋	塑膠片	保鮮袋	塑膠手套	保鮮膜	膠帶	塑膠杯	名片套
可塑性	○	○	×	○	○	○	○	×	×

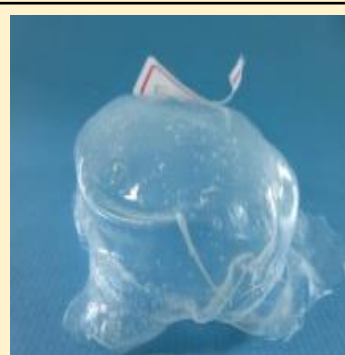
裁剪各材料	將橡皮筋套在吸管上	材料裝在摩擦起電裝置	驗電器測試電量

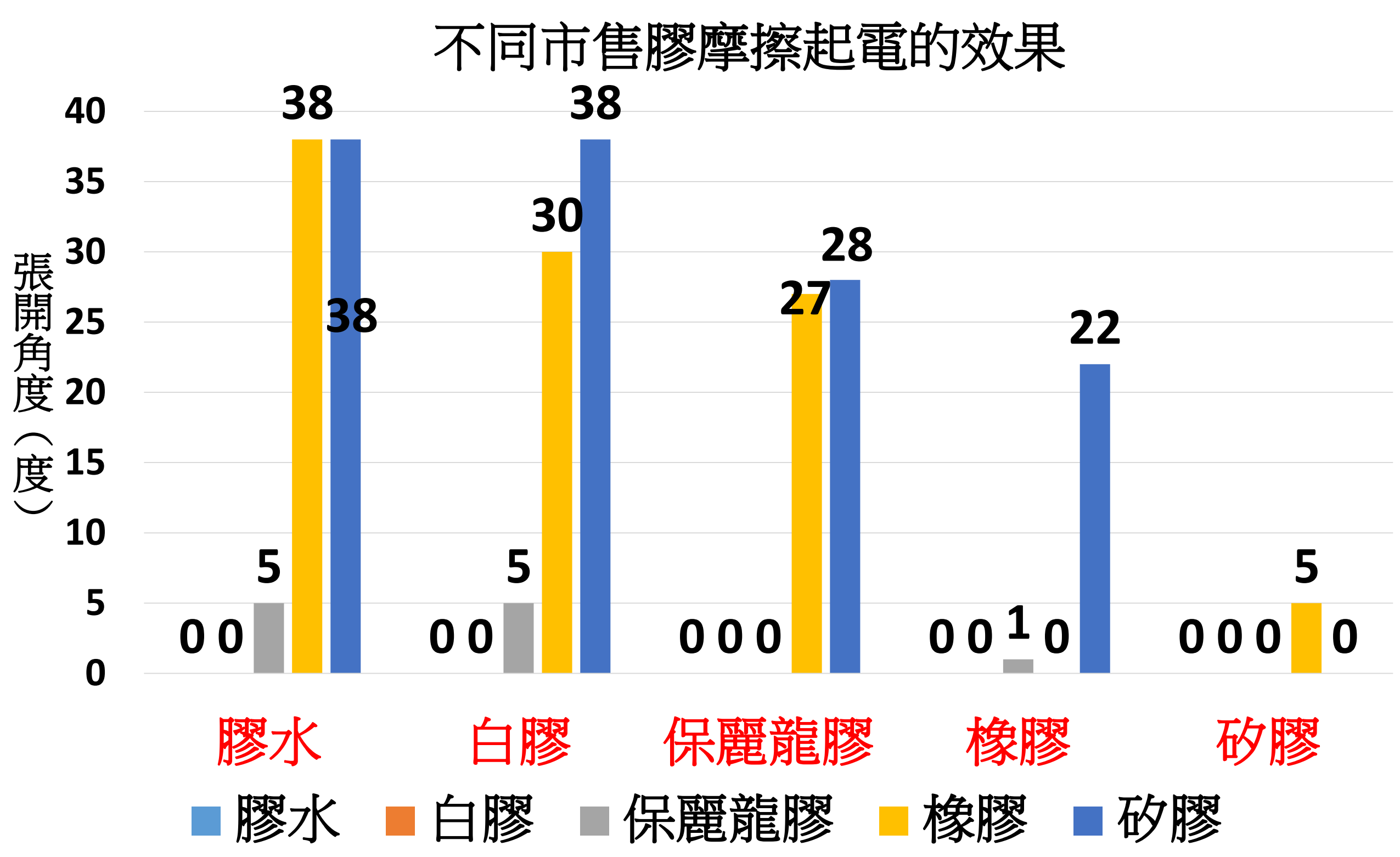


圖四

研究二：不同市售膠可塑性和摩擦起電的效果

表四 不同市售膠鑄模的結果

名稱		膠水	白膠	保麗龍膠	橡膠	矽膠
成分		聚乙烯醇	聚乙烯醇	聚醋酸乙烯酯	聚丁乙烯	矽
平面鑄模		皆平整、可以形塑成膜				
立體鑄模	溢流面積 (cm ²)	19	17	24	0	0
	立體可塑率	 80%	 90%	無法脫模 0%	 90%	 100%


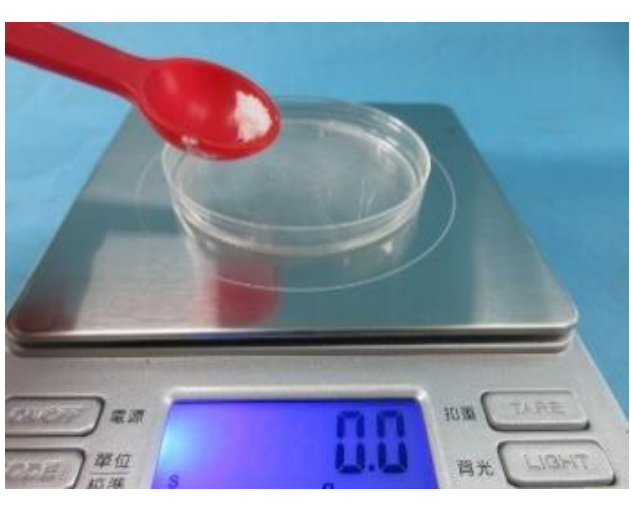




圖五

研究三：不同複合可塑性材料摩擦起電的效果

材料A

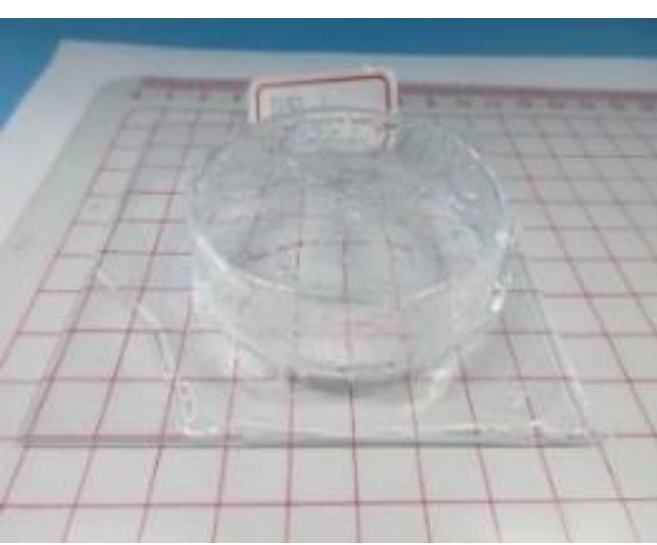


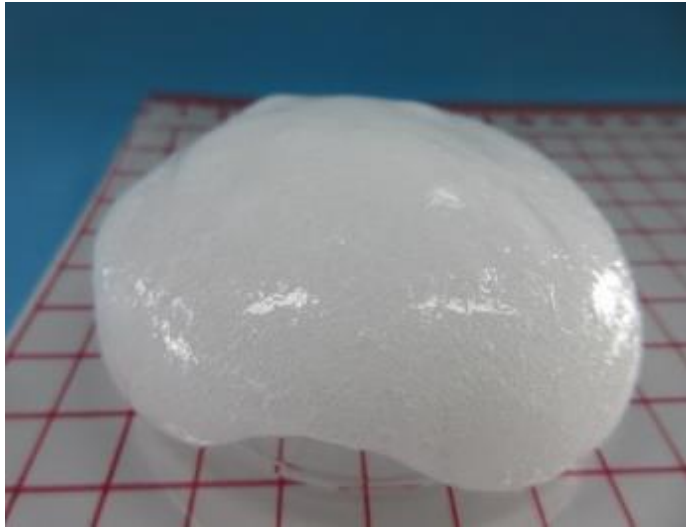
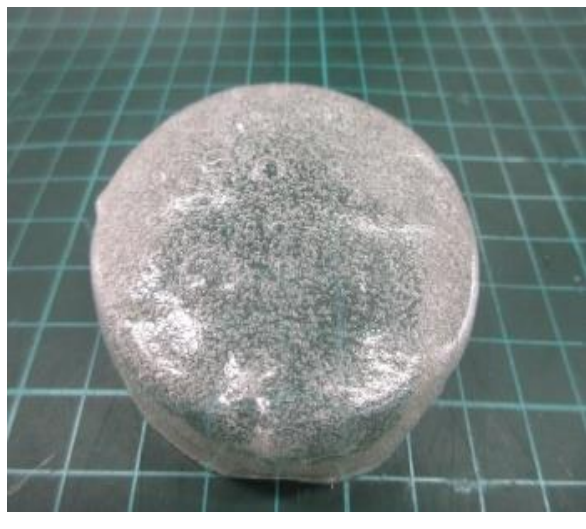
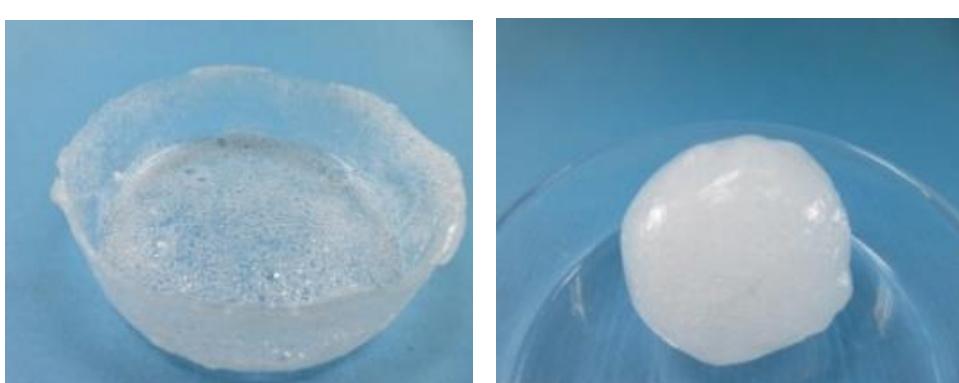
實驗一：不同比例史萊姆膠

			
固定PVA膠 50mL	固定小蘇打粉 的量0.1g	倒入不同量 清潔液	交聯作用後 鑄模成薄膜

表五 不同比例史萊姆膠膜摩擦起電的結果

不同配方	膠水	A	B	C
製作方式	PVA膠	含硼酸清潔液5mL	含硼酸清潔液10mL	含硼酸清潔液15mL
張開角度(度)	38	21	40	35

表六 史萊姆膠(10mL)和PVA膠，立體可塑效果的比較


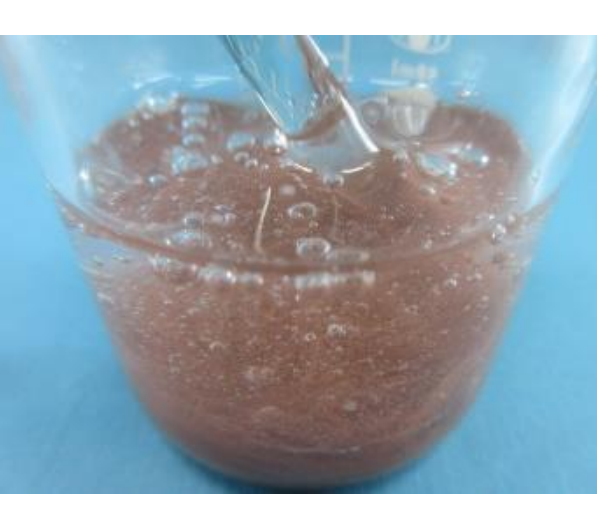


名稱	溢流面積(cm²)	可塑率(%)	立體狀
PVA膠	 19	 80	 可塑成空心圓柱狀，但有凹陷，無法成球狀。
	 0	 100	 可塑成空心圓柱狀且沒有凹陷和可塑成球狀。

結論：50mLPVA加0.1g的小蘇打粉，再加10mL含硼酸清潔液，製作出來史萊姆膠有最佳的效果作為摩擦起電材料A，且史萊姆膠形成的歷程會進行交聯作用，讓材料更緊密，提高了可塑性。





實驗二：自製複合可塑性材料A的方式

A不可溶顆粒狀的添加物

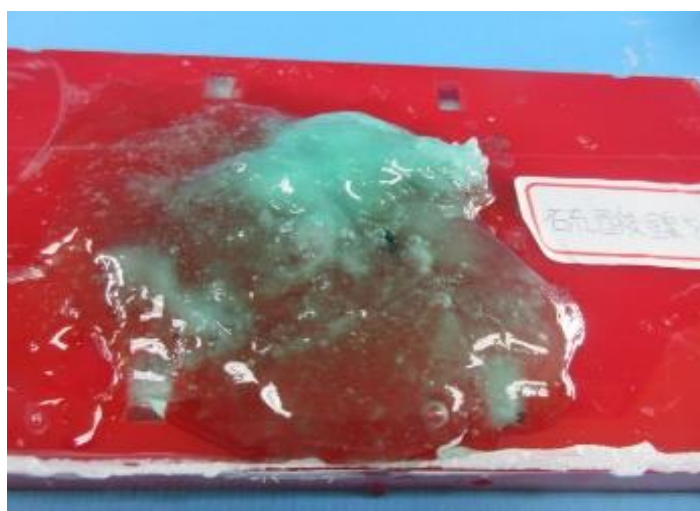

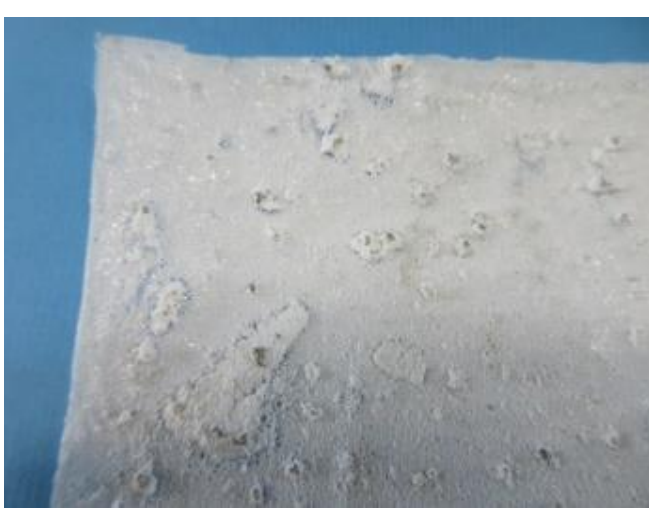
B不可溶塊狀的添加物

			
攪拌混合法	鑄模成材料	物品研磨成粉狀	攪拌混合法


C可溶顆粒狀的添加物

			
添加物加入清潔液，攪拌溶解	加入PVA膠中	靜置浸透法	鑄模成複合材料

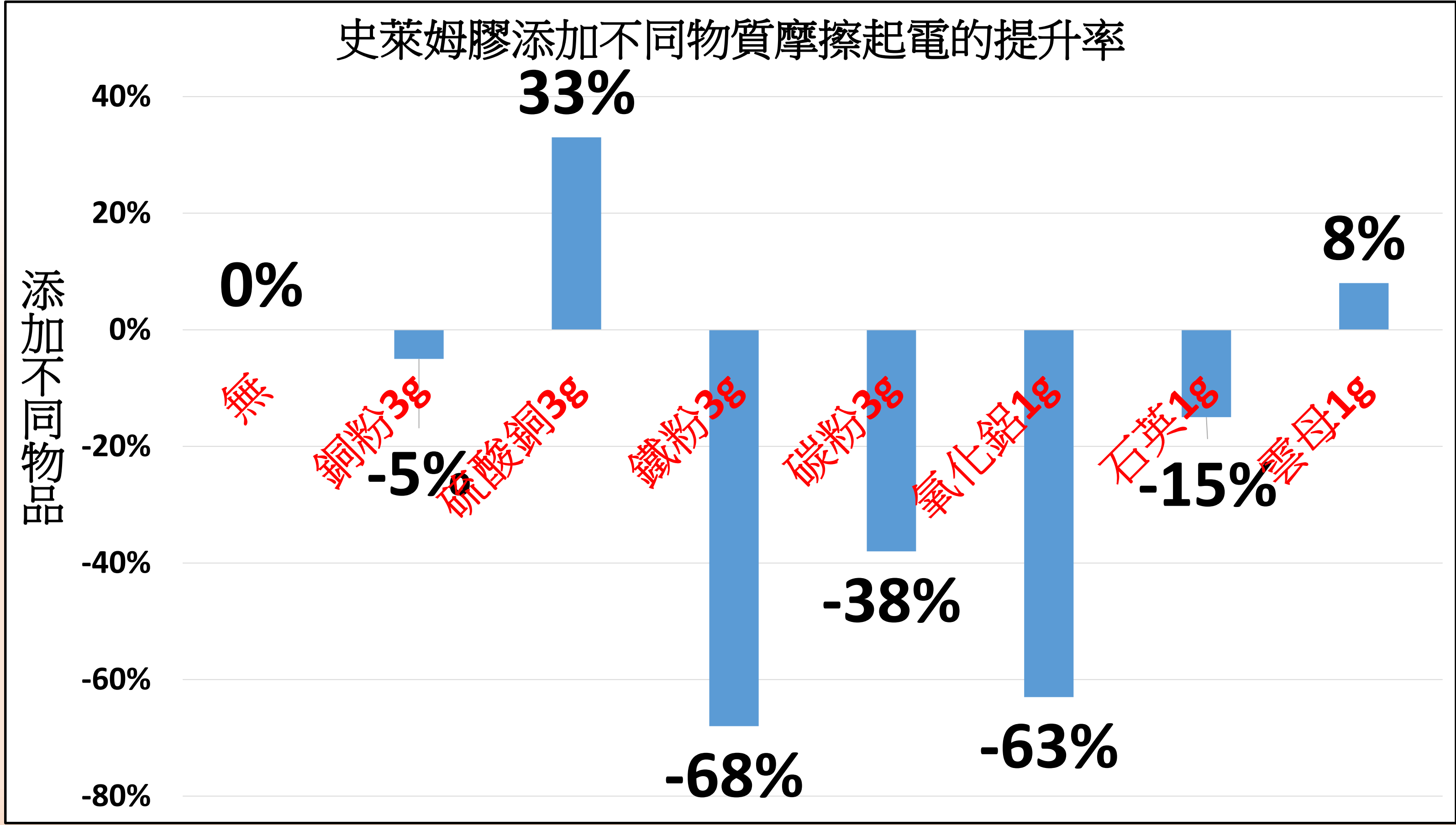
表七 不同克數添加物，鑄模的結果

			
銅、鐵粉5g以上，膜有顆粒。	硫酸銅加太多會結塊，無法成膜。	碳粉、石英5g以上會脆化。	氧化鋁、雲母3g以上，無法均勻混合。

表八 不同克數添加物，摩擦起電的結果



添加物	銅粉		硫酸銅		鐵粉		碳粉		氧化鋁		石英		雲母
克數(g)	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
成品													
角度(度)	27	38	26	53	5	13	16	25	15	34	28	43	43

實驗三：自製複合可塑性材料A和測試摩擦起電效果



圖六


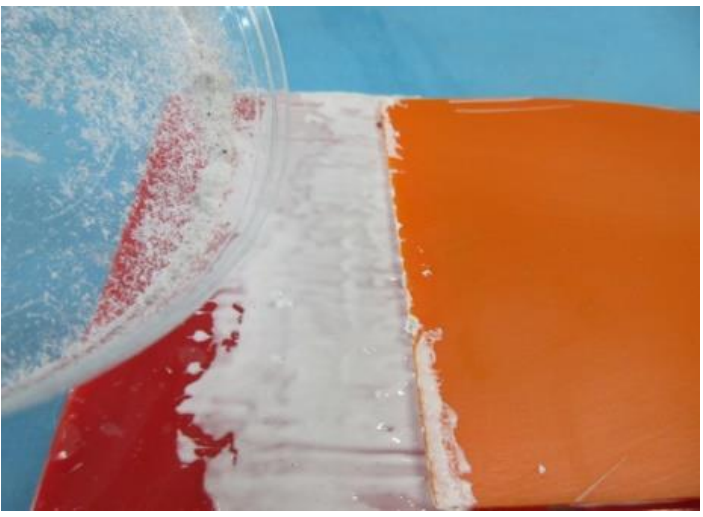
表九 含硫酸根物質摩擦起電效果

添加物質	硫酸鎳	硫酸鎂
照片		
角度(度)	48	52

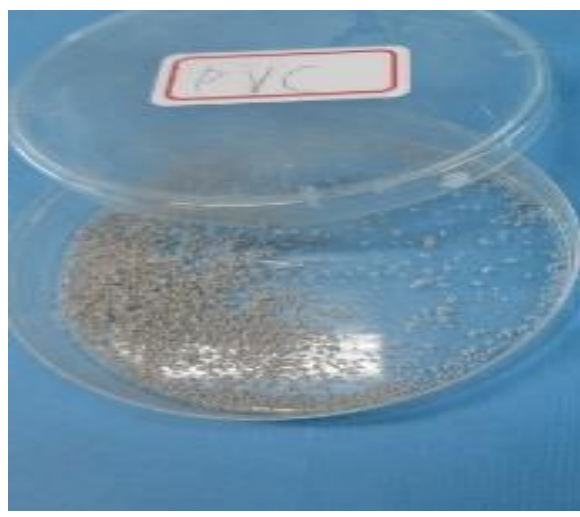
結論：添加的物質可均勻分布在史萊姆膠中，可以讓摩擦起電更為穩定，因此可以形成更多的帶電量；添加物質具導電性，易使摩擦起電效果變差。直接利用顆粒狀的硫酸銅，或是溶解在水中呈現液體狀的硫酸銅溶液，都無法直接用來摩擦起電，因此在應用較受局限，但將硫酸銅溶解後添加到史萊姆膠，製作成複合材料之後，就可以成為摩擦起電的材料且效果佳。

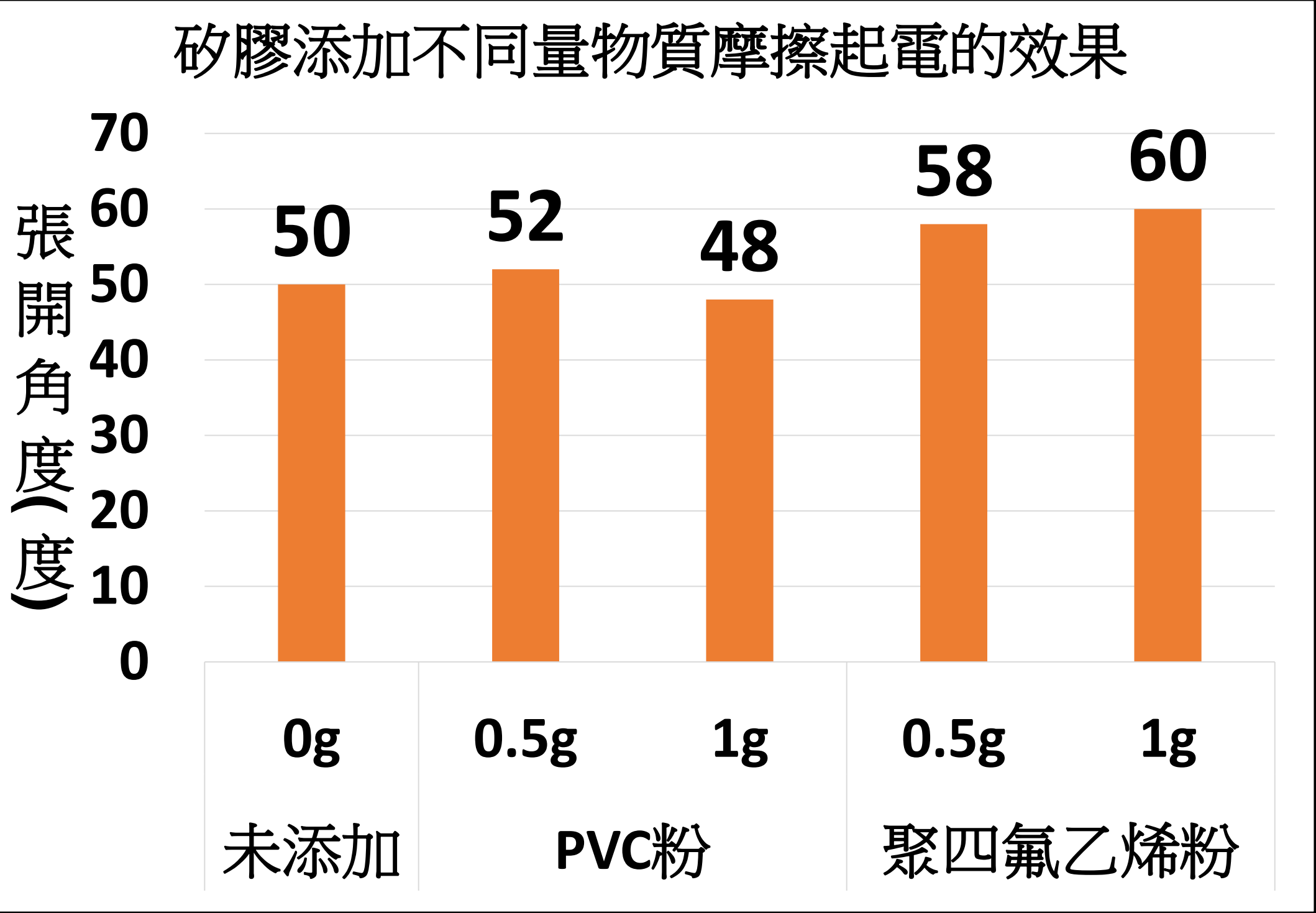
材料B

表十 自製複合可塑性材料B的方式

方式	方式一：攪拌混合法	方式二：灑粉法
照片		
說明	粉末和矽膠一起攪拌，進行鑄模。	在矽膠上均勻的灑上粉末，再進行鑄模。

表十一 自製材料B的結果



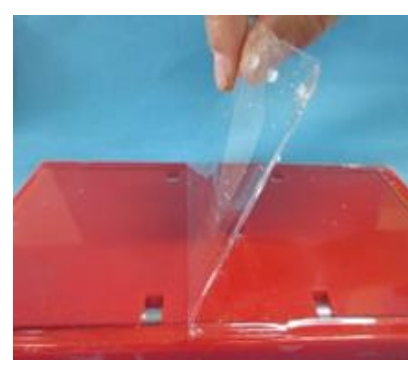


	
PVC粉末	聚四氟乙烯粉
結論：矽膠利用灑粉法加上聚四氟乙烯粉，有最佳的起電效果，作為本實驗中矽膠複合材料。	



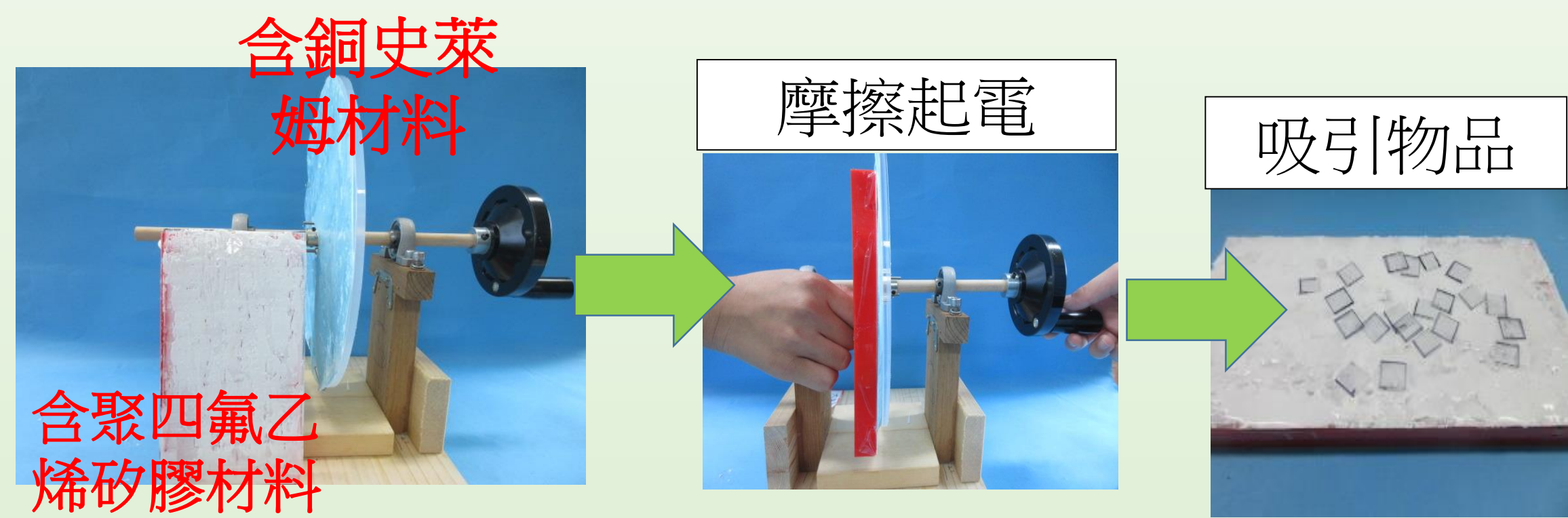
圖七

研究四：研究複合可塑性材料的性質

- (一)、將不具可塑性物品，製作成複合可塑性材料。
- (二)、可以形塑成各式的形態。

				
加顆粒	加粉狀物	薄膜樣式	塗抹物品	立體樣式

- (三)、可以吸引各式各樣的物品。



表十二 吸引不同物品的結果

物品名稱	鋁箔片	玉米粉	紙片
吸附數量	43片	0.5gw	46片

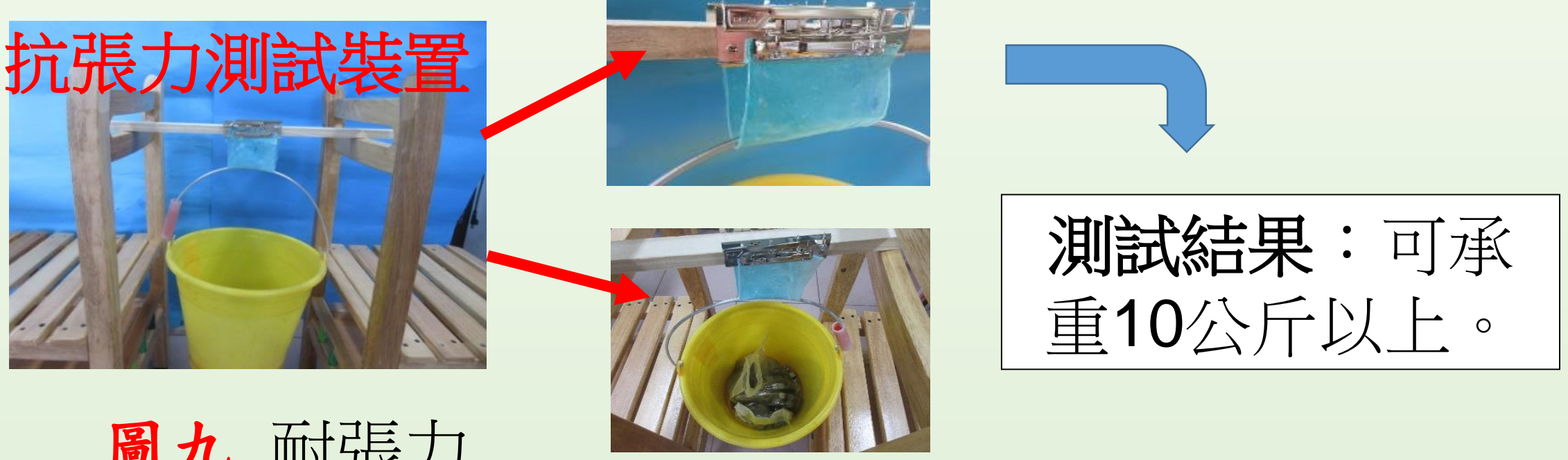
表十三 吸引不同塑膠的結果

名稱	塑膠片	分裝袋	塑膠手套	夾鏈袋	塑膠杯	塑膠盒
分類	第1類	第2類	第3類	第4類	第5類	第6類
說明	PET	HDPE	PVC	IPDE	PP	PS
吸引量(片)	27	28	66	27	17	14

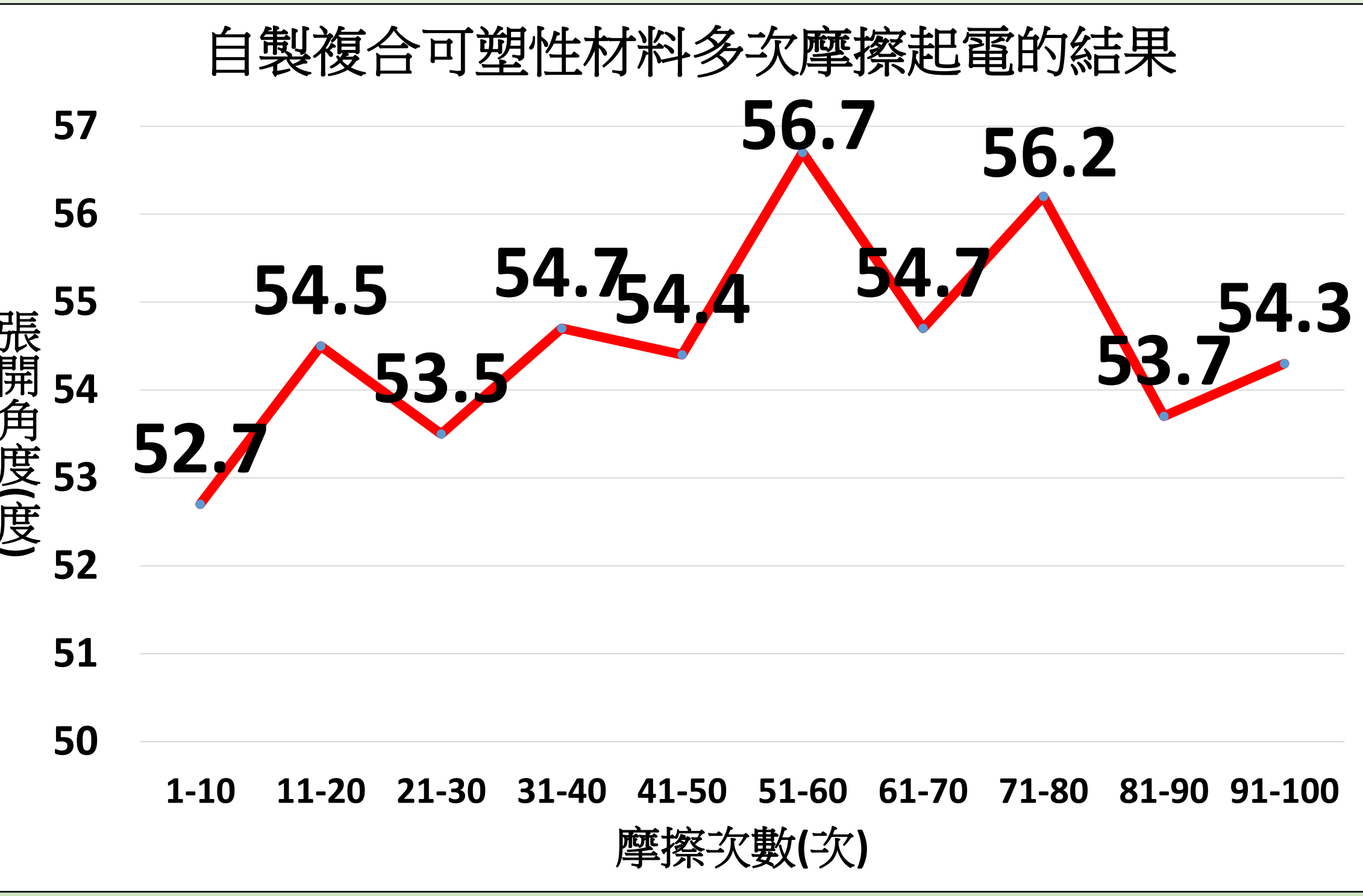


圖八 吸引空氣中煙霧的結果

- (四)、具耐用性，堅固、耐磨且耐脆。



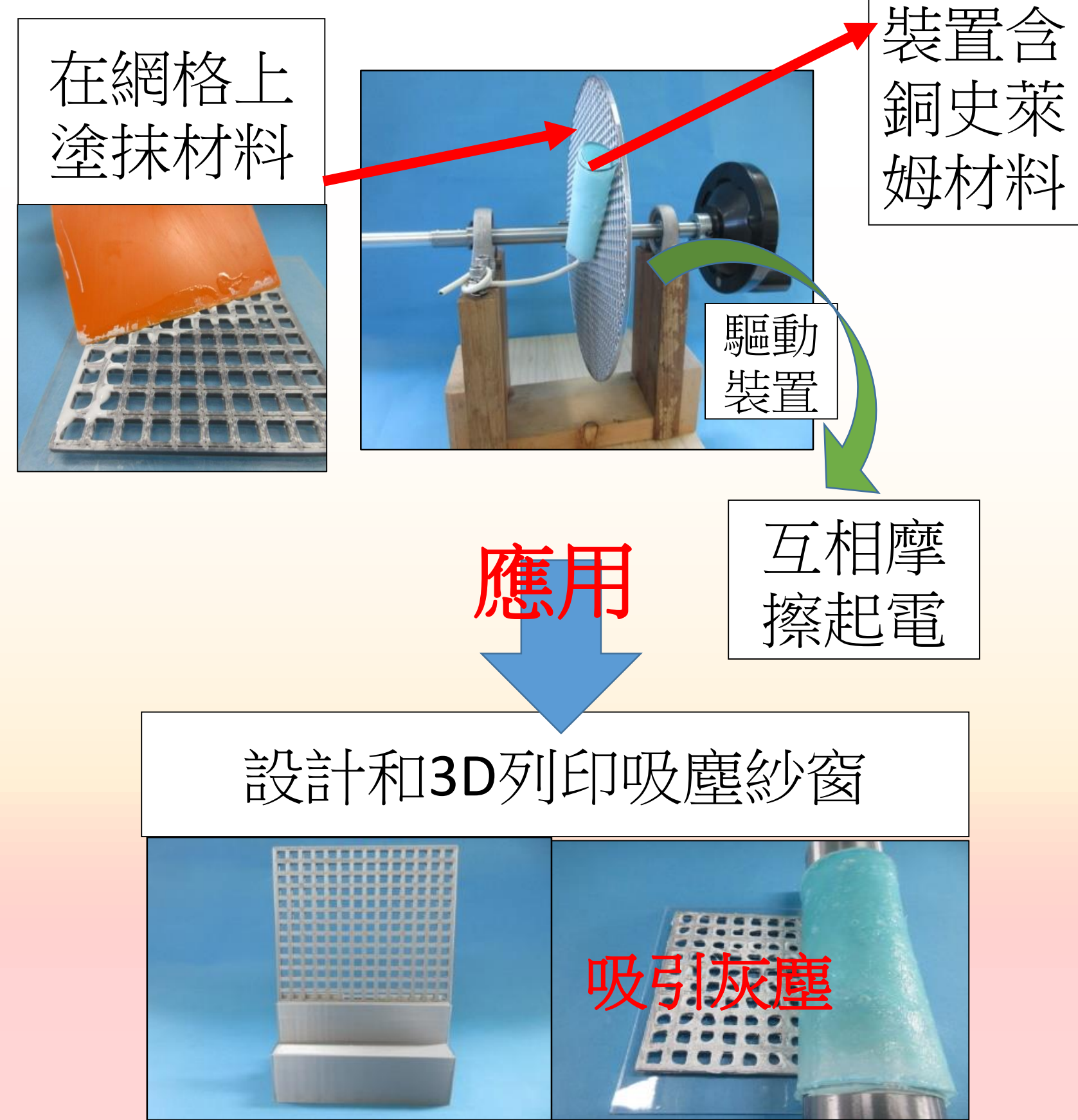
圖九 耐張力



圖十

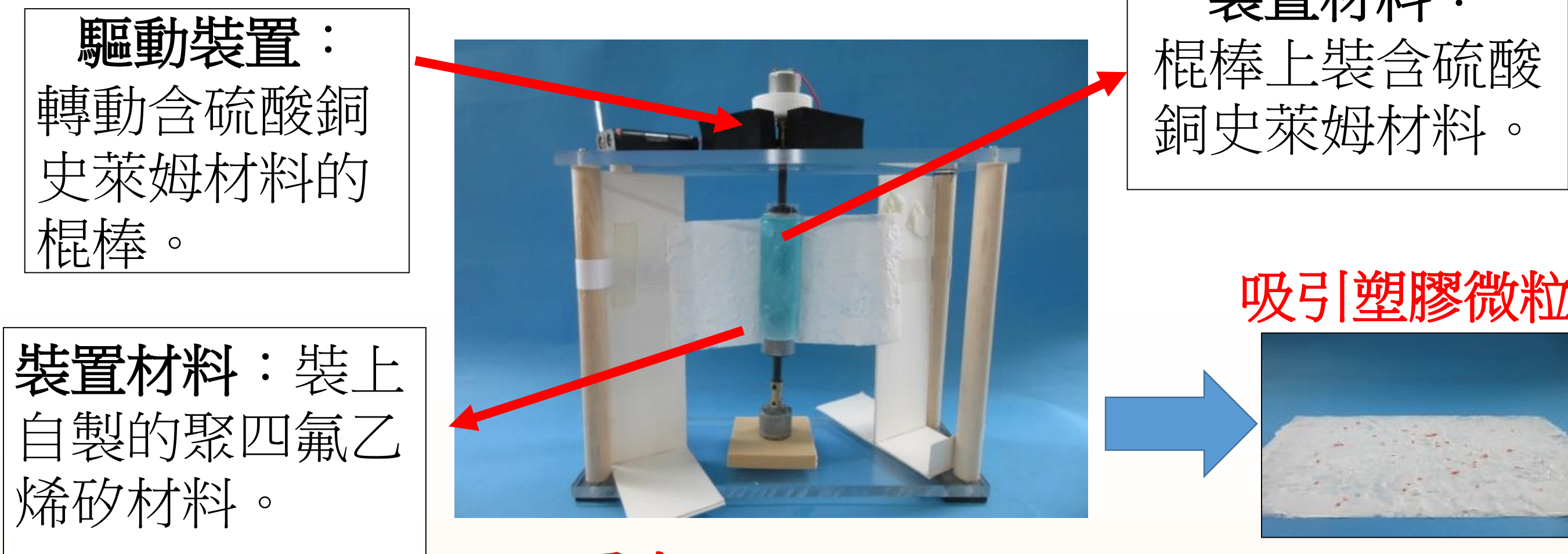
實際應用

成品一：網格式摩擦起電裝置



圖十一

成品二、滾軸式摩擦起電裝置



圖十二

成品三、風力式摩擦起電裝置



圖十三

伍、結論

一、日常生活中，不同具可塑性物品摩擦起電的效果

不同具可塑性物品經摩擦起電後，發現有些適合讓其它材料形成較多的電，像是含有橡膠的橡皮筋或PVC製作的手套，可以讓物品都可以有不錯的展開角度；有些則被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度，例如：PE材質的保鮮袋。

二、不同市售膠膜可塑性和摩擦起電的效果

- 橡膠和矽膠的可塑性很高，可以立體成膜，白膠和膠水也可以立體成膜，但是有凹陷的現象。
- 市售膠都是具黏性膠狀物質，但摩擦起電的效果卻不同，推測膠成分是影響摩擦起電的因素，且成分相近的物品，摩擦起電效果不佳。
- 膠水和白膠可以讓多種材質的物品形成較多的電，適合用來作為摩擦起電材料中的A材料；矽膠和橡膠則適合用來做B材料，被摩擦後可以形成較多的電，讓驗電器中的鋁箔張開較大的角度。

三、自製複合可塑性材料

1.摩擦起電材料A：

- 50mL的PVA膠混合0.1g的小蘇打粉，再加入10mL含硼酸的清潔液，這樣製作出來的史萊姆膠可以有最佳的效果，作為摩擦起電材料A，且史萊姆膠形成的歷程會進行交聯作用，讓材料更緊密，提高了材料可塑性。
- 添加物質可均勻分布在史萊姆膠中，可以讓摩擦起電更為穩定；添加物質具導電性，易使摩擦起電效果變差。
- 自製史萊姆膠膜可提升摩擦起電的效果，在添加硫酸銅利用靜置浸透法所製作的材料，更適合作為摩擦起電的材料A。

2.摩擦起電材料B：

把固體狀聚四氟乙烯研磨成聚四氟乙烯粉，加入利用灑粉法矽膠中，發現有添加聚四氟乙烯粉的矽膠更適合作為摩擦起電材料B。

四、複合可塑性摩擦起電材料的性質

自製材料可以添加不具可塑性物品，製作成複合可塑性材料；可塑性高，可以形塑成各式的形態，薄膜、立體或塗抹在物品上面；可以吸引不同樣式的物品，例如鋁箔片、紙片、粉狀物，分布於空氣中的煙霧，和大部分塑膠類物品；抗張力高、耐脆且耐磨性，耐用性高；可以簡易操作，且進行廣泛的應用。

五、實際應用

自製複合可塑性摩擦起電材料，進行組裝成可應用裝置，包含吸塵紗窗、吸引塑膠微粒裝置、以及吸引煙霧裝置。

說明：研究報告中所有照片、圖表皆由作者協同所拍攝製作。

陸、參考資料

- 國小五上 力與運動。
- 全國科展第56屆，國小物理「靜"殿"神來，與灰"臣"說拜拜！」。
- 全國科展第63屆，國小生活與應用科(一)「靜電密碼－無接觸電極感應探究」。