

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

團隊合作獎

030210

「遊」「銅」花之美

學校名稱：臺南市立復興國民中學

作者： 國一 郭芮瑄 國一 林宥廷 國一 王翔鴻	指導老師： 黃怡綸 黃吉楠
---	-----------------------------

關鍵詞：銅花、電解、硫酸銅

摘要

本實驗利用硫酸銅溶液進行電解，搭配自己設計的簡易型實驗裝置，製作出具紅色金屬光澤的平面式銅花。我們採用削尖的石墨棒當負極，圓形的銅片當正極，並使用添加了 3 滴 1 M 鹽酸的 0.5 M 硫酸銅溶液 30 mL 當電解液，搭配自行研發設計的**三明治裝置**，能在 10 分鐘內生長出最大寬度 4.8 cm、具對稱性的平面式銅花。

我們還設計出**綠色化學之銅花微型裝置**，除了可讓師生們能在教室進行電鍍銅的實驗，還能搭配製作銅花書籤，將藝術融入自然科學中，更能大大減少硫酸銅的使用量，達到「**低污染、可回收、省資源**」等減量減廢之環保理念的**綠色教學**。

壹、研究動機

我們在網路上看到一些金屬樹，包括銀樹、銅花等，令我們著迷，激起我們對於研究這個化學變化的興趣，但看了資料，許多金屬樹製作時間過於漫長，於是想找到更快速的方法，嘗試製作出美麗、具光澤的平面銅花。

貳、研究目的

- 一、自製一個簡易電解裝置
- 二、找出製作平面銅花的最佳配方
- 三、實驗裝置的改良
- 四、製作具紅色光澤的平面銅花
- 五、平面銅花的應用

參、研究設備及器材

- 一、實驗器材：三用電表、鱷魚夾、電子磅秤、秤量紙、燒杯、量筒、滴管、刮勺、玻棒、金屬片(銅、鋁、鋅、鐵)、筆芯、鋁箔紙、鋼絲絨、保鮮膜、鑷子、濾紙、膠水、剪刀、培養皿、熱熔膠、電源供應器、電線(有鱷魚夾)、石墨棒(圓滑,磨平,削尖)、鐵架、塑膠片、聚丙烯(PP)板、削鉛筆機、數位游標尺。
- 二、實驗材料：硫酸銅、鹽酸、硫酸鎳、硫酸鋅、硫酸鉀、氨水、乙酸乙酯、沙拉油、白蠟油、蠟燭、酒精、甲醇、甘油、肥皂、洗碗精、含聚乙烯醇(PVA)膠水、研砂。

肆、實驗流程圖



伍、研究過程與結果

一、文獻探討

(一)大部分作品是利用活性大的金屬與硫酸銅反應，製作出的銅樹**耗時過長**

在歷屆的科展作品中，不管是平面式的或是立體金屬樹，大部分製作的方式是利用氧化還原的方法，包括屏東縣第51屆作品：「閃閃亮亮」金晶，探討不同變因對金屬樹生長的影响；以及

中華民國中小學第53屆的科展作品：「迷霧森林-銅樹銀枝」的微觀探討及初步碎形分析，描述用氧化還原反應析出銅花、銀樹，以數學分析（碎形理論）計算金屬樹維度，以藝術與美學角度詳實記錄金屬樹特異性形態與變化；每件作品的製作時間通常耗費3~4天的時間，才能進行觀察，如圖1所示。



圖 1 截圖自第 53 屆科展作品-迷霧森林，銅樹在濾紙和洋菜凍裡生長，製作時間較長

(二)利用電解法，沿著電鍍液中的小罐子邊緣生長出較**不對稱**的銅花

在第57屆的科展作品中：「銅」樹銀花，利用電解法生長出銅樹，雖說利用電能來進行氧化還原反應，使銅花生長的時間縮短，但研究中的正負兩電極是左右放置的，所以往正極的方向有利於銅花的生長，故其銅花生長出來較不對稱；另外他們使用四氨銅溶液當電解液，需要多一道手續配置，且為了得到平面式的銅花，需要加裝小罐子，因此會使用較大的器皿填裝，因此**溶液用量較大**，如圖2所示。

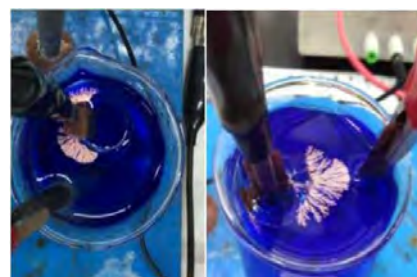


圖 2 截圖自第 57 屆科展作品-銅樹銀花，銅樹在加裝小罐子的燒杯內生長，**溶液用量較大**，且正負極為兩側，銅花生長較不對稱。

(三)利用電解法，在電鍍液與乙酸乙酯的界面，生長出鋅花

第58屆科展作品：「鋅」花怒放-鋅金屬花電析之研究，是在乙酸乙酯與電解液的界面，利用電解法生長出鋅花，**需費時調整筆芯到界面位置**，且**電解液不易重複使用**，也因使用了乙酸乙酯，對**人體健康性**產生較多的疑慮，如圖3所示。



圖 3 截圖自第 58 屆科展作品-鋅花怒放，鋅樹在乙酸乙酯與電解液的界面生長，**需費時調整筆芯到界面位置**，且使用有機溶劑對人體有**健康的疑慮**。

二、自製簡易電解裝置

研究歷屆作品後，要採用活性大的金屬與硫酸銅溶液，進行氧化還原反應來製作平面式的銅花，需費時 1~2 天，因此若要加速銅花的產生須使用電解法，此法除了受電解液濃度，以及外加電壓等變因之影響外，正負極的間距，亦是影響銅花生長速率的變因之一，另外為了讓銅花能長得對稱並能加以收藏，於是採用正負極上下放置的方式，構思設計出初步實驗裝置。

(一) 裝置製作步驟：

1. 將培養皿鑽洞，穿過一條電線，利用熱融膠將其固定於培養皿之底部。
2. 剪一個 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 的銅片，用砂紙磨亮後，使其與培養皿底座之電線接觸。
3. 鋪上一張濾紙，倒入 30 mL 的硫酸銅溶液。
4. 將石墨棒固定於滴定管夾上，輕碰硫酸銅液面，接上直流電源，計時五分鐘，觀察銅花生長情形，如圖 4 所示。

(二) 第一代實驗裝置示意圖：

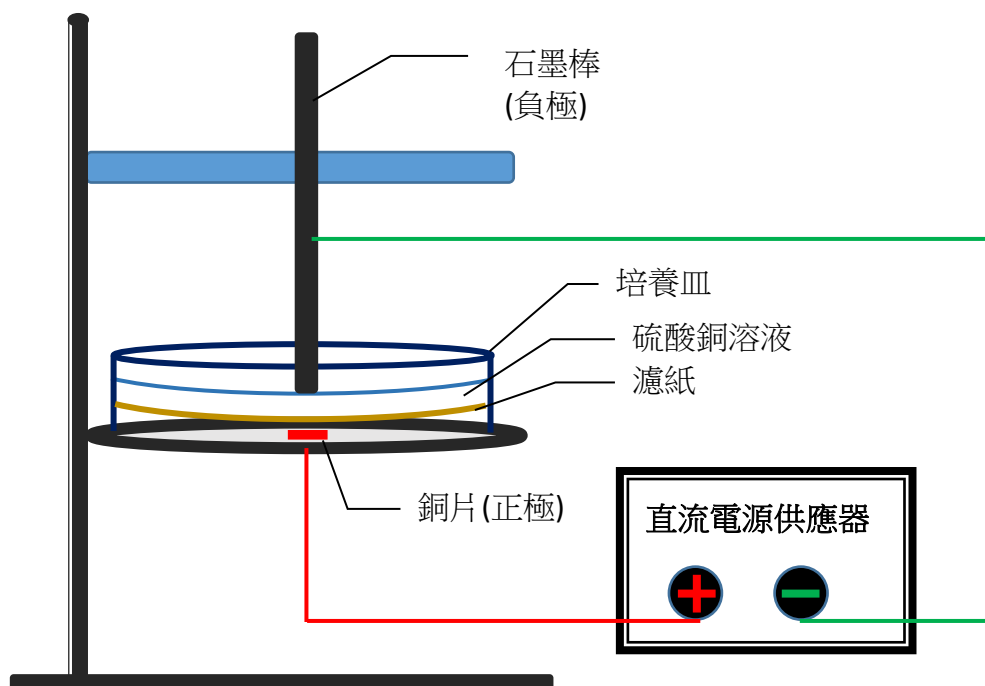


圖 4 第一代-簡易電解裝置示意圖







三、找出製作平面銅花的最佳配方

【實驗一】探討負極材料對銅花生長的影響

(一)實驗步驟：

1. 取 0.3 M 硫酸銅，直流電壓 4.5 V 進行實驗。
2. 依序將負極材料依序改成鋼絲絨、鋁片、鐵釘、鋁箔、筆芯等。
3. 通電 5 分鐘，觀察銅花生長的情形。

(二)實驗結果

負極材料	石墨	銅片	筆芯	鋅片	鐵片	棒形鋁箔
銅花生長情形						
分析結果	銅花具對稱性的生長，且呈紅色。	在 46 秒時即有紅色銅析出，而沿著銅片周圍長出銅。	銅花呈現上黑下紅，而 2 分 29 秒時外圈有紅一點。	有冒泡，銅花中心呈黑色，邊緣則呈紅色。	有冒泡，銅花內紅外黑，但在 2 分 24 秒時停止生長。	鋁箔上附著一些銅，濾紙上長出結構鬆散的銅粉

(三)結果分析與討論

1. 第一次試驗筆芯時，在通電 2 分鐘後即燒斷，重複試驗多次後，發現銅皆是向下生長，無法長出平面式銅花。
2. 鋅片與鐵片為負極時，有明顯的氣泡產生，且大部分的銅會附著在負極電極上，長出的銅花較小。
3. 以棒形鋁箔為負極時，析出的是鬆散的銅粉，效果不佳，推測是鋁箔表面較不規則，如圖 5 所示。
4. 銅片為負極材料時，長出的銅花以棒形為中心向外延伸，與石墨棒為負極長出的對稱性銅花一樣有紅色光澤，但考量**石墨較易塑形、便宜，且為惰性電極**，較不易與硫酸銅發生其他反應，因此評估後仍以石墨棒為負極材料做之後的實驗。

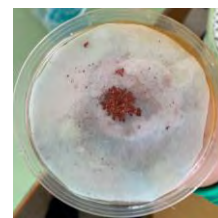


圖 5 以棒形鋁箔為負極時，析出鬆散的銅粉




【實驗二】探討負極石墨形狀對銅花生長的影響

由棒形鋁箔和銅片的結果推論，負極與電解液的接觸面積是否會影響結果，於是我們嘗試改變負極的形狀來觀察銅花生長的情形，考量石墨棒較易改變，故選擇用石墨。

(一)實驗步驟：

1. 利用削鉛筆機石墨棒削成尖形，以及用砂紙將石墨棒磨成一字形。
2. 取 0.3 M 硫酸銅，直流電壓 4.5 V，依序將負極改成石墨圓形、尖形、一字形。
3. 通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。

(二)實驗結果

負極石墨形狀	圓形	尖形	一字形
銅花生長情形			
分析結果	僅沿著圓形石墨周圍析出金屬銅	以尖形石墨為中心，慢慢往旁邊長出銅花	銅花在一字形旁邊長出，銅花太集中

(三)結果分析與討論

1. 以圓形、一字形石墨為負極時，與硫酸銅溶液的接觸面積較大，有較多的銅會析出在石墨上(如圖 6 所示)，結果造成銅花生長情形較差。且將石墨電極移開時，銅花中心形成破洞，整體效果較不佳。
2. 尖形石墨棒其尖端處，曲率半徑小，電荷密度較高，附近電場強度越強，使銅花生長較為快速。
3. 整體來看，為了得到平面式且較對稱的銅花，評估負

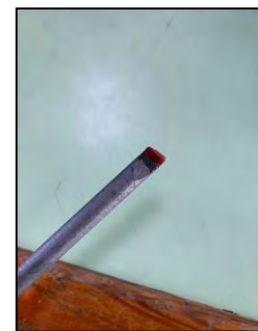




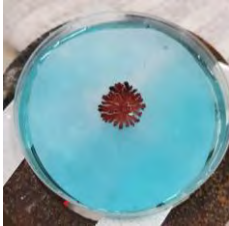
圖 6 以一字形石墨為負極，較多的銅會附著在石墨上

極**以尖形的石墨為最優**，且每次實驗後要去除石墨上的銅殘留物，用削鉛筆機處理更為一致性且方便，故往後實驗將以尖形石墨來當負極材料。

【實驗三】探討正極銅片大小對銅花生長的影響

(一)實驗步驟：

1. 分別取 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 、 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 的方形銅片，以及直徑 8 cm (較培養皿小 1 cm)的圓形銅片，用砂紙磨亮後，使其與培養皿底座之電線接觸。
2. 蓋上一張濾紙，倒入 0.3 M 的硫酸銅溶液 30 mL 。
3. 將石墨棒固定於滴定管夾上，輕碰硫酸銅液面，接上直流電壓 4.5 V ，計時五分鐘，觀察銅花的生長情形。

銅片大小	1 cm^2	4 cm^2	$16\pi \text{ cm}^2$
銅花生長情形			
分析結果	1 分鐘時有長出黑色樹枝狀 2 分鐘時黑色樹枝狀變粗 4 分鐘時外圈變紅 整體：樹枝狀較分散。	1 分鐘時有長出紅色樹枝狀 4 分鐘時紅色樹枝狀轉黑 整體：密集樹枝狀，但較無光澤	1 分鐘時有長出紅色樹枝狀 3 分鐘時外圈稍微變黑 整體：樹枝狀較密集，呈對稱性的分布，生長速率也較快。

(三)結果分析與討論

1. 剛開始進行實驗時，學校的銅片放置時間較長，即使用砂紙磨了許久，還是覺得不夠光亮，做出來的效果不好(如圖 7 所示)，後來購置新的銅片，效果極佳，因此發現正極表面是否平整光澤，亦是影響銅花生長的要素之一。
2. 正極面積越大越平整，生長出的銅花越快，且呈現紅色金屬有光澤，並且具對稱性。

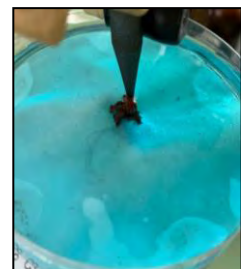


圖 7 使用放置太久的銅片，即使用砂紙磨過許久，效果仍有限

【實驗四】探討在溶液加入不同的鹽類對銅花生長的影響

(一)實驗步驟：

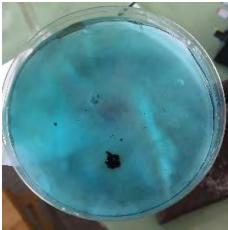

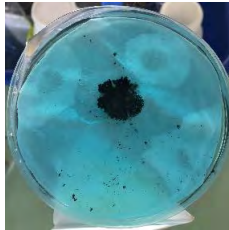

1. 分別配置 1 M 的硫酸鎳、硝酸鉀、硫酸鋅、硝酸鈉水溶液。
2. 各取上述溶液 2 滴，分別加至 0.3 M 硫酸銅溶液 30 mL 中，如圖 8 所示。



圖 8 加入各種鹽類的硫酸銅水溶液

2. 接上直流電源 4.5 V，通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。

(二)實驗結果

	硫酸鎳	硝酸鉀	硫酸鋅	硝酸鈉
銅花生長情形				
分析結果	生長緩慢且呈現深色	結構鬆散，且析出黑色物質	生長迅速但呈現不完整的樹枝狀	結構鬆散

(三)結果分析與討論



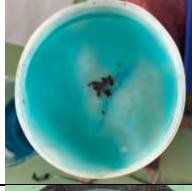

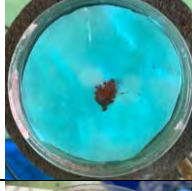



1. 加入鹽類電解質，本想可加速銅花的生成，但長出來的銅花不但鬆散，且呈現黑色，效果不好。

【實驗五】探討加入酸類和鹼類的電解質對銅花生長的影響

(一)實驗步驟：

1. 分別配置 1 M 的氫氧化鈉、氨水、硫酸、鹽酸溶液。
2. 在 0.3 M、30 mL 的硫酸銅溶液中，分別加入一~兩滴的酸或鹼。
3. 外加電壓 4.5 V，通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。

(二)實驗結果

	一滴	兩滴	
氫氧化鈉			負極有氣體產生，剛析出銅花細緻偏黑，但 2 分鐘後轉紅，不過結構鬆散呈粉狀
氨水			加入氨水的硫酸銅顏色變深，也有些綠，析出效果仍不夠好
硫酸			一開始析出較快，銅的顏色偏紅，但結構稍微鬆散，略有銅花之雛形。
鹽酸			加入鹽酸後使得銅花生長紮實，呈現樹枝狀，紅色金屬光澤清楚可見

(三)結果分析與討論

1. 整體而言，加入鹼類的硫酸銅，剛開始電解析出的銅顏色偏黑且細緻(如圖 9 所示)，但因負極產生大量氣泡，使得銅無法緊密堆疊，故結構較為鬆散。
2. 加入酸類的硫酸銅，析出的銅較緊密，顏色也較紅。
3. 我們也嘗試用混和酸類來進行實驗，在硫酸銅中加入一滴的硫酸和一滴的鹽酸，銅花生長快速但最後變成紅色泥狀，效果並不好，如圖 10 所示。
4. 滴入兩滴 1 M 的鹽酸後，銅花生長情形較為良好。



圖 9 加入鹼類後，析出黑色的銅花

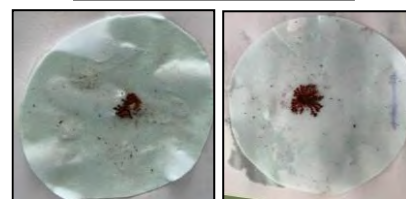


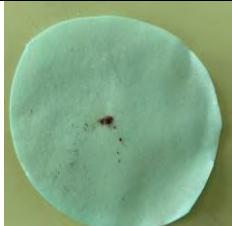



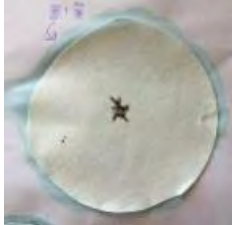



圖 10 加入混合酸，效果有限

【實驗六】探討電解液濃度和外加電壓對銅花生長的影響

(一)實驗步驟：

1. 分別取 0.3 M、0.5 M 硫酸銅溶液，分別滴入 2 滴 1 M 的鹽酸，依序外加電壓 4.5 V、6 V、9 V、12 V。
2. 通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。

(二)實驗結果

	4.5 V	6 V	9 V	12 V
0.3 M				
	4 分鐘時才長出一點金屬銅	3 分鐘時開始長出了黑色銅花，4 分鐘時長出了樹枝狀紅色銅花	3 分時已經長出了樹枝狀紅色銅花	2 分鐘時長出了黑色銅花，4 分鐘時長出了樹枝狀結晶
0.5 M				
	樹枝狀不明顯、效果不彰	樹枝狀較 4.5 V 大	結構雖大、但樹枝狀不完整	效果最好、樹枝狀最完整，但金屬光澤較不明顯

(三)結果分析與討論

1. 我們有先做初步性的試驗，發現 0.1 M 硫酸銅以及外加電壓為 1.5 V 和 3 V 時，生長出的銅花顏色偏黑，且生長較為緩慢，故捨棄不用。
2. 外加 4.5 V 以上的電壓，當電壓越大時，5 分鐘內所析出的銅花就越大。
3. 整體評估，以 **0.5 M 的硫酸銅溶液，滴入 2 滴 1 M 的鹽酸當電解液，並外加 12 V 的電壓，有最好的效果。**

四、裝置的改良


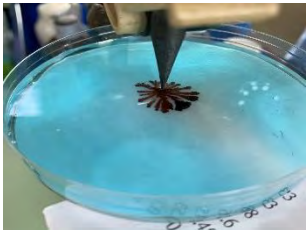
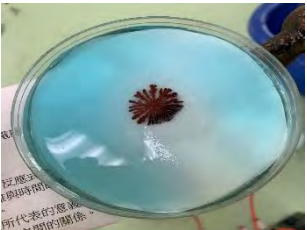
【實驗一】探討濾紙張數對銅花生長的影響

在前述實驗中，濾紙在硫酸銅溶液中，與接觸液面的石墨棒有段距離，而讓銅花向下生長後才在濾紙上沿平面析出，也因銅花會穿透濾紙而常常發生短路的現象，使得銅花生長受到限制，於是我們想到增加濾紙張數來試驗看看。

(一)實驗步驟：

1. 取 0.3 M 硫酸銅，直流電壓 4.5 V 進行實驗。
2. 將濾紙的張數調整為兩張、三張，依照前述步驟進行。
3. 接上電源，通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。

(二)實驗結果

濾紙張數	一張	兩張	三張
銅花生長情形			
分析結果	銅花聚集在中間，由側面看銅花會通過濾紙向下生長，平面狀的銅花效果不佳	銅花向下生長時被第二層濾紙擋住，大部分銅花長在第一層上，第二層只有一點點銅花	大部分銅花沿著第一層生長，第二層也有銅花，但第三層幾乎沒有，但銅花較沒有金屬光澤

(三)結果分析與討論

1. 只有一張濾紙時，長出的銅花會向下生長，且容易穿過濾紙直接與下方正極銅片接觸，造成短路。
2. 濾紙兩張和三張的效果都不錯，如圖 11 所示，能稍微阻斷銅花與正極銅片接觸，但銅花仍有機會通過濾紙與正極接觸發生短路。



圖 11 放入兩張濾紙(左)，以及三張濾紙(右)，銅花生長情形

【實驗二】利用浮板裝置觀察銅花生長的影響

在前述實驗中，即便多了濾紙，銅花仍先向下生長，碰到濾紙後才生長出平面式的銅花，且仍有發生短路的疑慮，因此利用 pp 板隔絕正極銅片，且靠著水給 pp 板的浮力，讓濾紙盡量貼著硫酸銅液面，期待能得到更大的平面式銅花。

(一)實驗步驟：

1. 剪一塊 pp 板，在其上戳數個小洞，如圖 12 所示。
2. 在培養皿中倒入硫酸銅溶液，先放 pp 板，用鑷子輕壓 pp 板，使其讓硫酸銅溶液填充其間。
3. 放上濾紙，讓濾紙浮在液面，用鑷子輕壓濾紙，使濾紙能完全浸潤硫酸銅溶液。
4. 將負極石墨電極輕觸沾濕溶液的濾紙，通電 5~10 分鐘，觀察銅花生長情形。

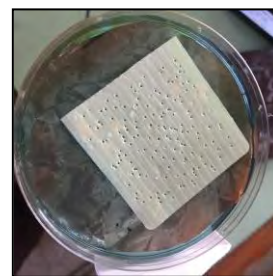

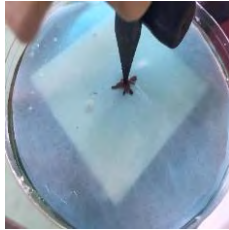


圖 12 利用戳小洞的 pp 板之浮力，讓濾紙浮於表面

(二)實驗結果

通電時間	5 分鐘	10 分鐘
銅花生長情形		
分析結果	PP 板滲透過少硫酸銅，導致生長緩慢。	

(三)結果分析與討論

1. 利用 pp 板的浮力，將濾紙盡量接觸液面，使得銅花生長空間僅限於濾紙薄薄一層，效果沒有預期中的好。
2. pp 板放入硫酸銅時，要盡量讓硫酸銅溶液滲入 pp 板的孔隙中，雖盡量減少內部殘留空氣而降低導電性，但仍會影響銅花生長。

【實驗三】利用雙層塑膠片裝置觀察銅花生長的情形

改用密度稍大的塑膠片，讓濾紙浸潤硫酸銅的空間變大。且為了在其生長過程中，降低與空氣接觸的面積，來減少銅花氧化的機會，故設計加蓋裝置，來觀察銅花生長的狀況。

(一)實驗步驟：

1. 將護貝膜加熱備用，即為塑膠片。
2. 剪兩張直徑為 8.5 cm 的圓形塑膠片，利用鑽子將一個塑膠片中間鑽洞，用熱熔膠固定石墨棒於塑膠片上(上層)，另一個塑膠片戳數個小洞(下層)。
3. 培養皿中倒入硫酸銅溶液，先放下層塑膠片，其上再放濾紙，如圖 13 所示，將上層塑膠片緊貼硫酸銅液面。
4. 利用下層塑膠片的浮力，讓濾紙夾在兩塑膠片間，且利用上層塑膠片使濾紙減少與空氣的接觸面。
5. 通電 5~10 分鐘，觀察銅花生長情形。



圖 13 雙層塑膠片有加蓋裝置示意圖

(二)實驗結果

通電時間	5 分鐘	10 分鐘
雙層塑膠片		
分析結果	銅花生長極為緩慢，效果不如預期	

(三)結果分析與討論

1. 濾紙被兩層塑膠片夾緊，能吸附的硫酸銅較少，且空間有限，銅花生長效果極差。
2. 嘗試用多層濾紙來增加濾紙吸附硫酸銅溶液的量，但接觸負極石墨棒的最上層濾紙，仍因加蓋使得空間依然狹小，銅花生長受限。

【實驗四】探討三明治裝置觀察銅花生長的情形

從上述兩項實驗結果發現，利用 pp 板的浮力撐著濾紙，效果雖然較好，但接觸空氣的面積過大，銅花溶液再氧化，而使用塑膠片夾著濾紙，又擠壓了銅花在濾紙上析出的空間，所以我們嘗試增加上層塑膠片到濾紙間的空隙，讓銅花在硫酸銅液面中有足夠空間生長。

(一)實驗步驟：

1. 取實驗三中的上層塑膠片，在塑膠片下方的四個角落黏上塑膠墊片，如圖 14 所示。
2. 電解液中放下層塑膠片後，放一張濾紙，再放加裝墊片的上層塑膠片，形成三明治裝置。
3. 通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形。
4. 將墊片依序增為兩層、三層、四層，觀察銅花生長情形。

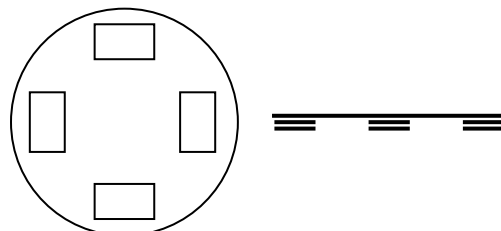


圖 14 上層塑膠片的下方加裝墊片，使銅花能在足夠的硫酸銅溶液中生長(左為正視圖，右為側面圖)

(二)實驗結果

墊片	一層	兩層	三層	四層
銅花生長情形				
分析結果	銅花析出的量甚少且為鬆散	長出平面是樹枝狀的銅花	長出樹枝狀的銅花，但較厚所以較小	銅花向下生長，變得厚實，但沒有樹枝狀

(三)結果分析與討論

1. 墊片只有一層，空間太小，濾紙吸附較少的硫酸銅溶液，使得銅花生長情形不佳。
2. 四層墊片空間過大，使得銅花往下生長，不利於平面式銅花的生成。
3. 墊片兩層、三層的空間，剛好適合銅花平面生長，但其中以在上層塑膠片貼上兩層墊片，與下層塑膠片夾著濾紙的三明治裝置，生長出的平面式銅花效果最好。

五、製作出最理想的平面銅花

【實驗一】電解液裝置再改良

(一)實驗步驟：

1. 合併前述實驗裝置，將裝置改良，製作出第二代三明治裝置，如圖 15 所示。

(1)上層：將削尖的石墨棒固定於塑膠片上，塑膠片下黏上兩層墊片塑膠片，石墨棒的深度恰與墊片塑膠片底部對齊。

(2)中間夾層：一張濾紙。

(3)底層：戳洞的 pp 板。

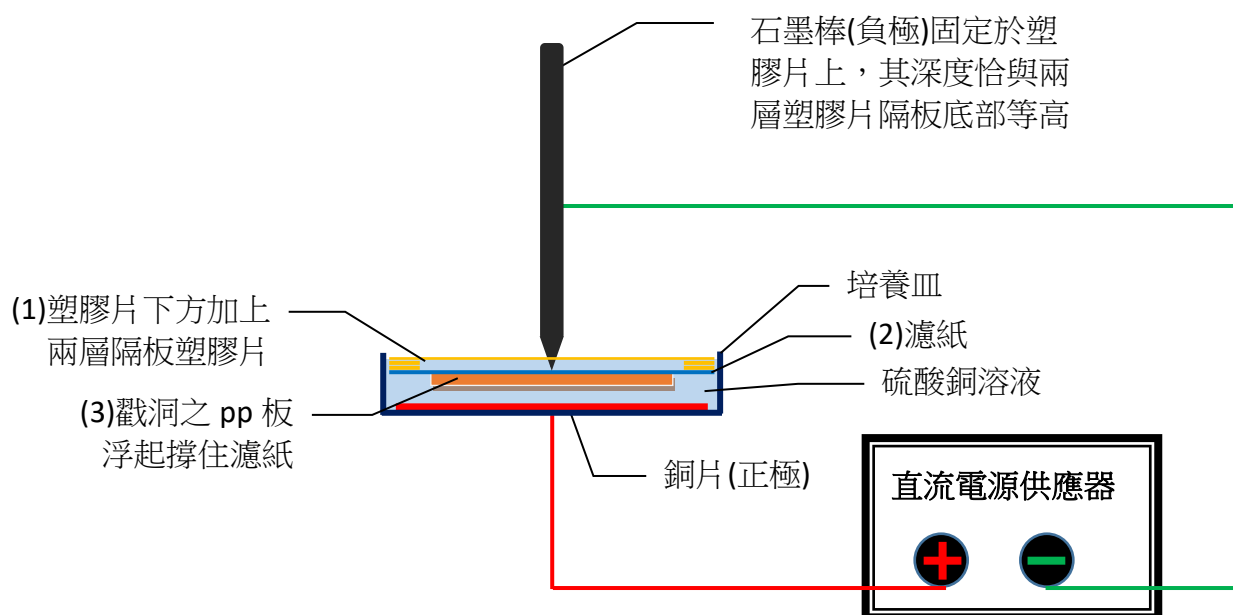


圖 15 第二代三明治裝置示意圖

2. 電解槽部分

(1)正極材料：直徑 9 公分圓形銅片。

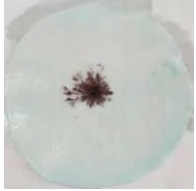




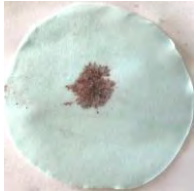

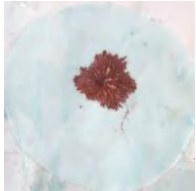
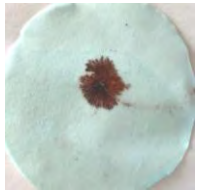



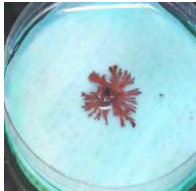
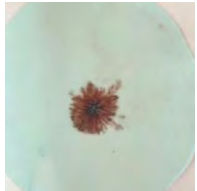

(2)負極材料：削尖的石墨棒。

(3)電解液：0.5 M 硫酸銅溶液 30 mL，分別滴入 1~5 滴 1 M 鹽酸。

3. 外加電壓 12 V，每 30 秒紀錄電流一次，持續通電 5 分鐘，觀察銅花生長情形，並計算 5 分鐘的平均電流，以及銅花最大寬度。

4. 重複上述步驟，進行三次實驗。

(二)實驗結果

	添加 1 M 鹽酸 1 滴	添加 1 M 鹽酸 2 滴	添加 1 M 鹽酸 3 滴	添加 1 M 鹽酸 4 滴	添加 1 M 鹽酸 5 滴
第一次					
銅花寬度	2.25 cm	2.55 cm	2.90 cm	2.85 cm	2.85 cm
平均電流	0.10 A	0.30 A	0.48 A	0.42 A	0.32 A
第二次					
銅花寬度	2.30 cm	2.60 cm	2.95 cm	2.80 cm	2.85 cm
平均電流	0.22 A	0.30 A	0.53 A	0.39 A	0.31 A
第三次					
銅花寬度	2.30 cm	2.40 cm	3.10 cm	2.85 cm	3.20 cm
平均電流	0.34 A	0.35 A	0.49 A	0.41 A	0.39 A
整體 分析	銅花顏色偏 黑，銅花寬度 小	銅花顏色黑中 稍紅，銅花稍 小	銅花顏色最具 紅色光澤， 且銅花最大最 具對稱性。	紅色具光澤但 仍有黑色部分 ，銅花密集對 稱	部分銅花呈現 紅色，有時外 圈變黑，有時 中心呈現黑 色，銅花稍大
三次 銅花 平均 寬度	2.28 cm	2.52 cm	2.98 cm	2.83 cm	2.97 cm
三次 平均 電流(A)	0.22 ±0.09	0.32 ±0.02	0.50 ±0.02	0.41 ±0.01	0.34 ±0.04

(三)結果分析

1. 電流約在 0.10~0.35 A，析出的銅花顏色偏黑；電流控制在 0.35~0.55 A，析出的銅花較紅且具光澤，嘗試幾次都有相似的情形。
2. 通電的電流隨時間而增加，推測當時間越長，析出之銅花越大，與電解液接觸的面積越大，導致電流就越大，其電流與時間關係圖如圖 16 所示。

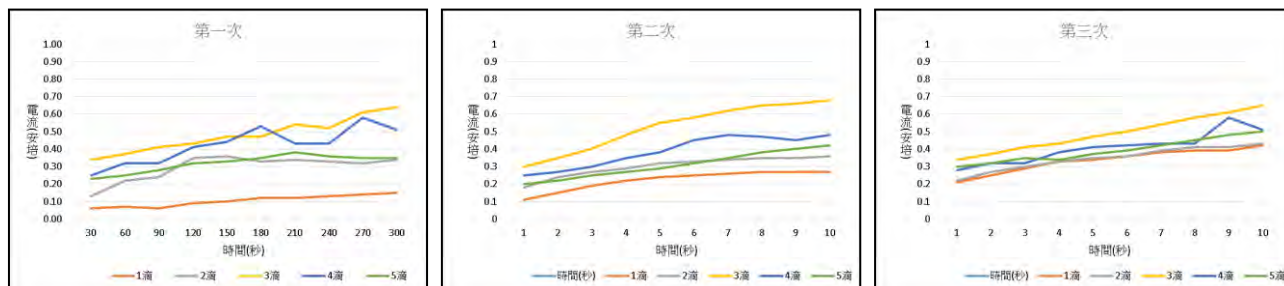


圖 16 加入不同滴數的鹽酸其電流與時間的關係圖

3. 計算五分鐘內之平均電流，得到關係圖如圖 17；並計算出三次電流之平均值，其關係圖如圖 18，評估在 30 mL、0.5 M 的硫酸銅溶液中，滴入 **3 滴 1 M 的鹽酸**，生長出的**平面式銅花呈紅色且具光澤，有最大的寬度，效果最佳**。

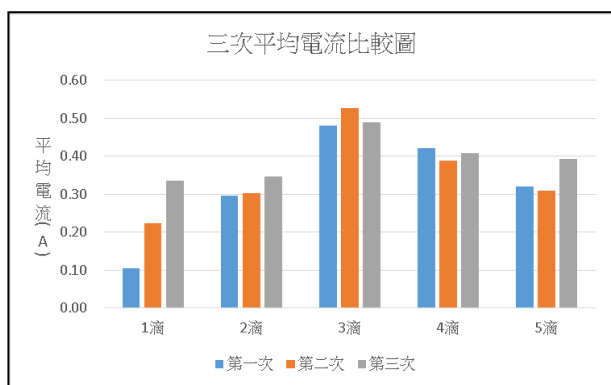


圖 17 三次平均電流比較圖

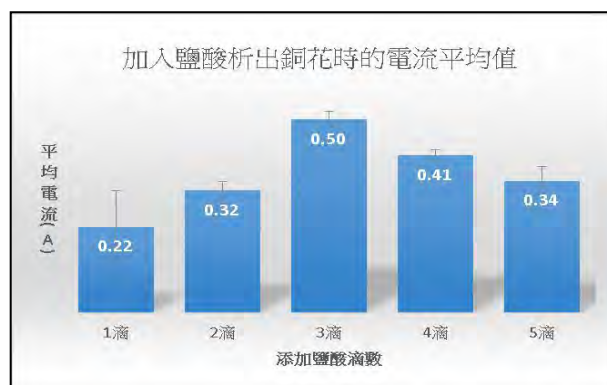


圖 18 加入不同滴數的鹽酸之電流平均值

【實驗二】裝置再改良

利用上述電解液，進行裝置的改良

(一)第二代，裝置如圖 19，實驗結果如圖 20 所示。

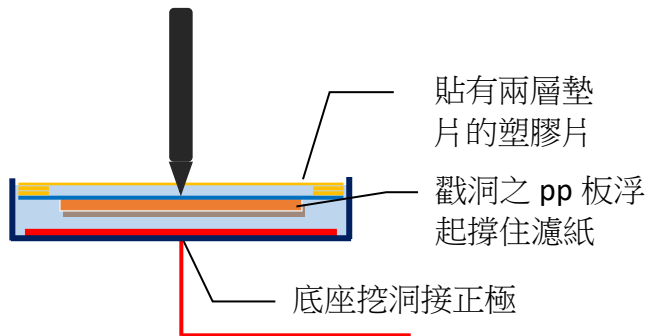


圖 19 第二代裝置-上層塑膠片下層浮板

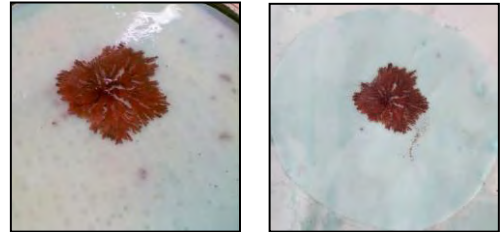


圖 20 第二代裝置之實驗結果

(二)第三代，裝置如圖 21，實驗結果如圖 22 所示。

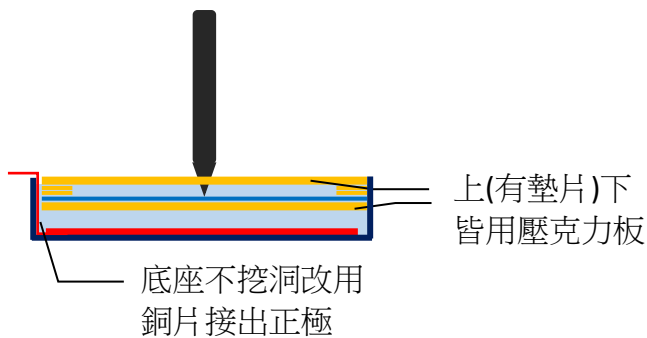


圖 21 第三代裝置-上下層皆為壓克力板

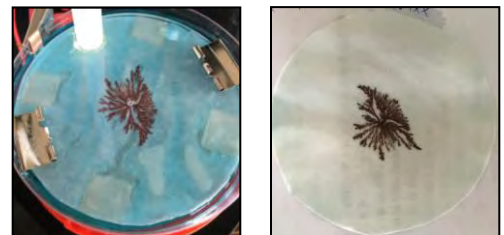


圖 22 第三代裝置之實驗結果

(三)第四代裝置如圖 23，實驗結果如圖 24 所示。

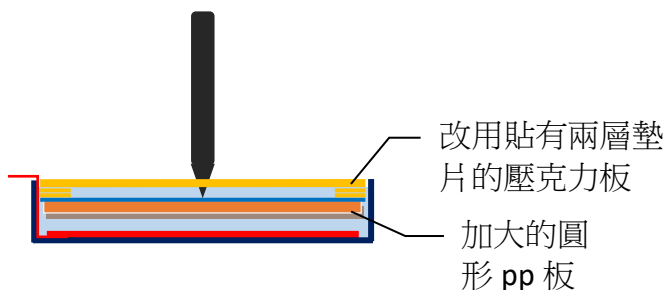


圖 23 第四代裝置-上層為壓克力板下層浮板

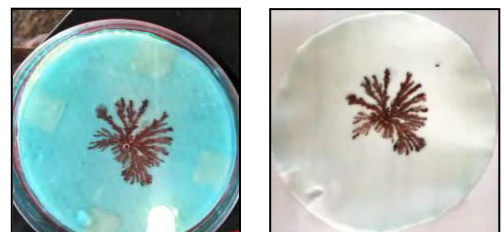


圖 24 第四代裝置之實驗結果

(四)由實驗結果，整理各代裝置之優缺點比較，如表 1。

表 1 各代裝置之優缺點比較

	銅花最大平均寬度	缺點	優點
第一代	2.9 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. 濾紙位置無法固定，常無法生長出平面式銅花，每次實驗誤差大。 2. 易發生短路，限制了銅花的生長。 3. 生長出的銅花較不具金屬光澤。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 正負極間距縮小，相較歷屆作品，較能快速生長出銅花。 2. 減少電解液的使用量。
第二代	2.9 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上層塑膠片太薄，放入水中時，常無法保持水平，導致兩層間的空間難固定。 2. 負極石墨常掉落，不易固定在塑膠片 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 負極產生的氣體有空間可以向上竄出。 2. 下層戳洞的浮板能適時補充電解液。
第三代	3.2 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上下皆為壓克力板，硬度較高，把裝置放入電解液後，狹小夾層空間中的空氣無法排出，導致電解液未能完全填充夾層間。 2. 因電解液不易補充，負極產生的氣泡越來越多，且都留在夾層中，導致銅花生長受限，形狀較不對稱。 3. 兩層須利用長尾夾夾住，製作較為麻煩。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因壓克力板的硬度較高，兩層間的空間較固定。 2. 負極石墨棒浸入電解液的深度較能固定。
第四代	3.5 cm	<ol style="list-style-type: none"> 1. 負極產生的氣泡仍留於夾層間。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 上層壓克力板硬度較高，易維持水平，較能固定銅花的生長空間。 2. 下層戳洞之浮板，可適時補充電解液，濾紙放入後也較能與浮板貼合。

(五)製作超大平面銅花

利用第四代裝置，裝置如圖 25，按照上述實驗配方，外加電壓 12 V 通電 5 分鐘得 3.5 cm 的銅花，通電 10 分鐘得到更大型的平面銅花，平均直徑大約 4.8 cm，如圖 26 所示。

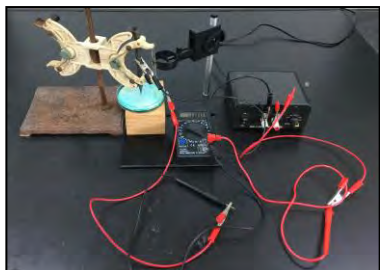


圖 25 改良後的第四代裝置圖



圖 26 左為通電 5 分鐘，右為通電 10 分鐘

六、平面銅花的應用

【實驗一】銅花製作的微型裝置

考量硫酸銅有汙染環境的疑慮，因此將硫酸銅由原先 30 mL 減量至 1 mL，銅片也從原先 $16\pi \text{ cm}^2$ 縮小至 $6.25\pi \text{ cm}^2$ ，設計出較環保的銅花製作微型裝置。

(一)初步實驗裝置：

1. 培養皿由直徑 9 cm 改成 6 cm。
2. 先放正極銅片，再放置周圍戳洞的塑膠片，如圖 27 所示，周圍戳洞的目的是為了讓硫酸銅溶液填充，連接正負極形成通路，中心不戳洞是為了避免銅花穿過濾紙與正極相接觸而發生短路。



圖 27 周圍戳洞之塑膠片

3. 放上濾紙，取前述實驗最佳配方之電解液 1 mL 潤濕濾紙，即為微型裝置，示意圖如圖 28。

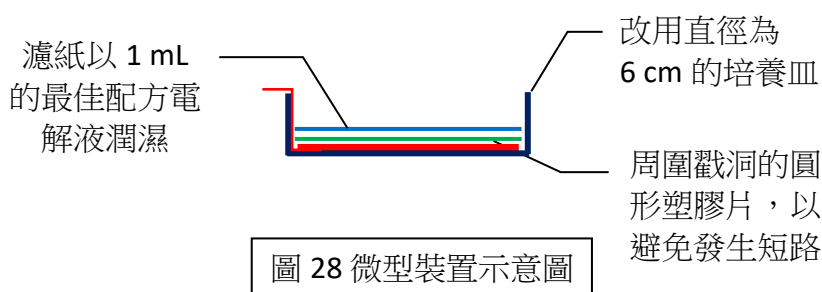


圖 28 微型裝置示意圖

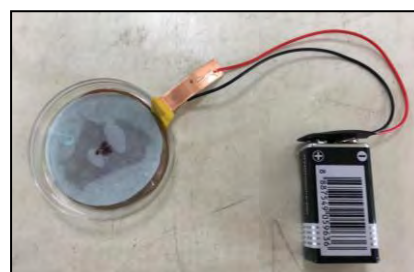


圖 29 銅花製作之微型裝置

4. 分別以電線、石墨棒、筆芯、銅釘為負極，利用 9 V 電池進行電解，如圖 29 所示。

(二)初步實驗結果：

如圖 30 所示，因微型裝置所用的電解液很少，故析出之銅花較細枝，成品雖不比前述實驗所析出的銅花那麼具有光澤，但仍有不錯的效果。

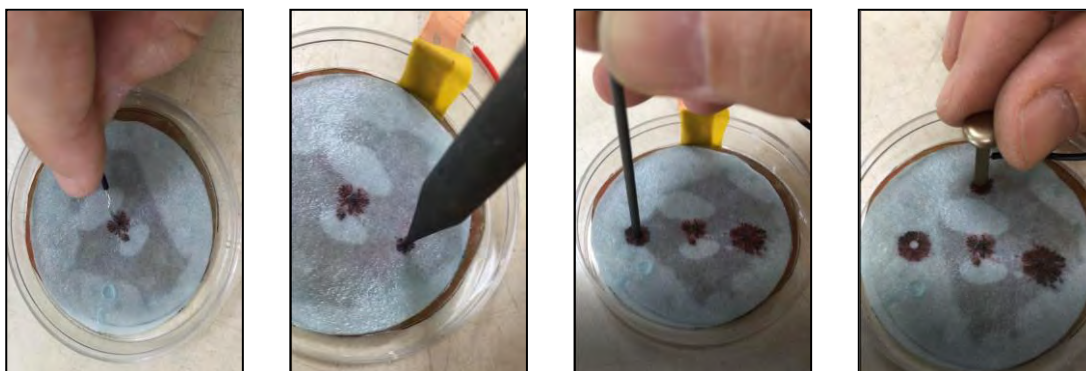


圖 30 以不同負極材料(左起為電線、石墨、筆芯、銅釘)，進行微型裝置的銅花製作，皆有不錯的效果

【實驗二】銅花書籤的製作

(一)製作步驟：

1. 利用前述實驗找到製作平面式銅花的最佳配方，外加 12 V 的電壓，隨意製作出不等大小的銅花。
2. 將析有銅花的濾紙，先用蒸餾水沖洗掉電解液，再用丙酮沖洗加速乾燥，最後用吹風機烘乾。
3. 搭配自己的巧思，利用護貝機製作出美麗書籤，如圖 31 所示。



圖 31 各式的銅花書籤

【實驗三】綠色化學之銅花微型裝置

看到課本上的電解、電鍍實驗，常使用大量的硫酸銅溶液，硫酸銅本身具污染性，若能減量使用，又能使老師能帶進教室內進行教學，於是設計出「綠色化學之銅花微型裝置」，如圖 32 所示。

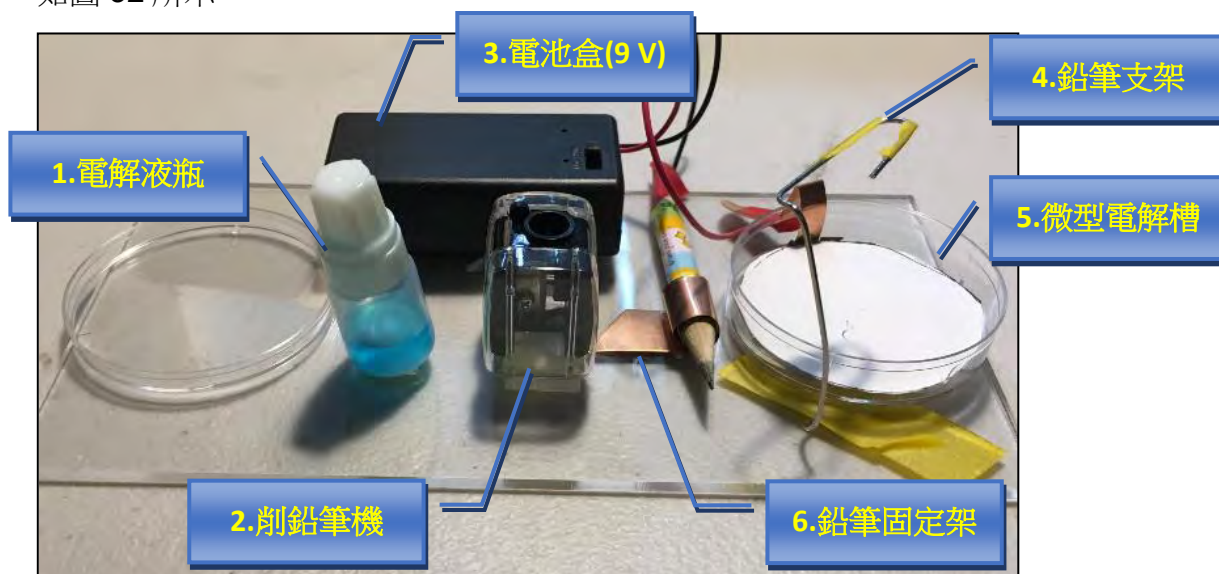


圖 32 綠色化學之銅花微型裝置

(一) 設計目的：

1. 透過微型實驗的儀器及設計，可以有效讓學生體驗電解、電鍍原理，並建立科學經驗，節省準備需要耗費的時間及物力。
2. 「實驗儀器動手做」，讓中小學的化學實驗能真正達到減量、減廢，並符合綠色化學原則，落實永續環境教育的經營目標。

(二) 裝置介紹

1. 電解液瓶：使用 5 mL 的塑膠瓶，內裝本實驗製作銅花的最佳配方，每次使用僅需 **1 mL** 的電解液。
2. 削鉛筆機：銅花生長後，會在鉛筆上殘留些許銅，影響下次實驗結果，故須於每次實驗完後，用削鉛筆機磨尖後再使用。
3. 電池盒：先前實驗是使用 12 V 有較佳結果，但不管是單一個 12 V 電池，或者是串聯 8 顆 1.5 V 的乾電池，體積都過於龐大，故以 9 V 電池為電源，雖然生長速率稍微慢了一些，但製作出的銅花效果也不錯。
4. 鉛筆支架：利用削尖的鉛筆筆芯為負極電極，因為用手拿較無法固定在同一個點，因此利用迴紋針製作出一個固定支架，方便觀察銅花生長情形。

5. 微型電解槽：利用直徑為 6 cm 的小型培養皿當電解槽，先放 5 cm 圓形銅片，再放上周圍戳洞的塑膠片，最後放上濾紙。
6. 鉛筆固定架：利用裁剪銅片剩餘的廢料製作而成，方便收納。

(三) 實驗結果：

1. 我們將此裝置推廣到指導老師的任課班級，一位學長在電解 3 分鐘後，即可長出直徑約 1.30 cm 的銅花，另一位學姊花了 10 分鐘製作出 2.82 cm 的美麗銅花。

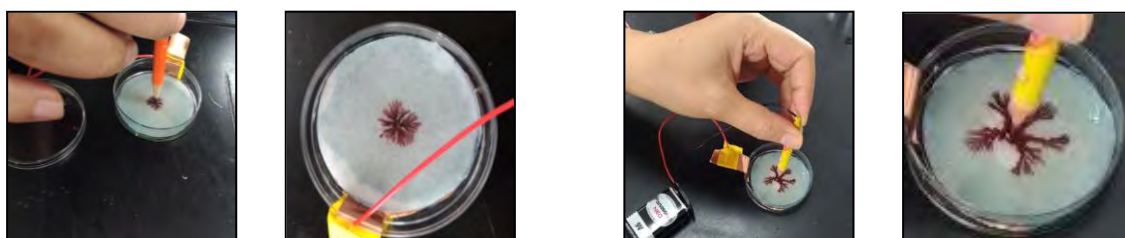


圖 33 利用綠色化學之銅花微型裝置製作出的銅花
左為 1.30 cm(3 分鐘)，右為 2.82 cm(10 分鐘)

2. 雖然不同的人做出的銅花不盡相同，但也因此會有多樣的銅花出現，最後將製作完的銅花烘乾護貝，加以保存留念，是一堂科學結合藝術的理化課。

(四) 結語：

本裝置實為一多功能性易於攜帶之實驗裝置，讓老師們在課堂內即可進行，不需要到實驗室，同時因方便操作，3 分鐘，即可產生結果。增加化學之方便性與趣味性，極符合「**低污染、可回收、省資源**」等減量減廢之環保理念，也是一種推展綠色化學之**綠色實驗裝置**。

陸、討論

- 一、利用顯微鏡觀察銅花的結構，發現銅花沿著濾紙纖維生長(如圖 34)，有時向旁延伸，有時向上堆疊。

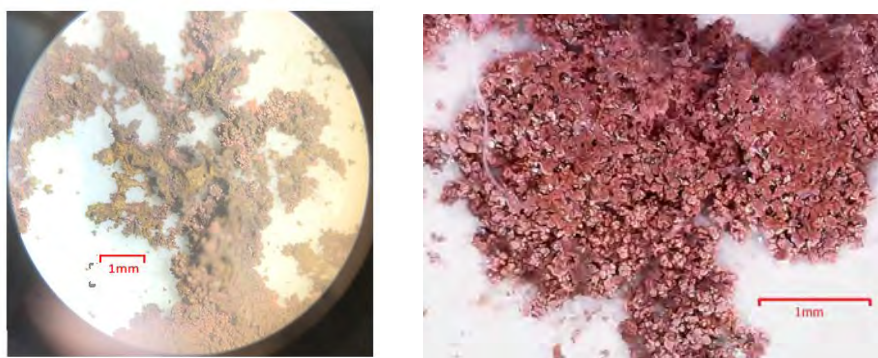


圖 34 顯微鏡下的銅花

- 二、看過文獻溫度越高亦會對銅花析出造成影響，本實驗主要希望能在室溫下(大約控制在 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$)快速析出銅花，所以對溫度不做探討。
- 三、我們試著將正負極的位置上下顛倒，正極銅棒在上方，負極石墨固定於培養皿底端，期待能在下層濾紙上長出平面式銅花，但析出的銅在穿過濾紙後，因正極銅棒在上方，且溶液中的硫酸銅比側向濾紙吸附得更多，使得銅不斷往上堆疊(如圖 35 左)，無法得到平面式銅花(如圖 35 右)，結果不如預期。

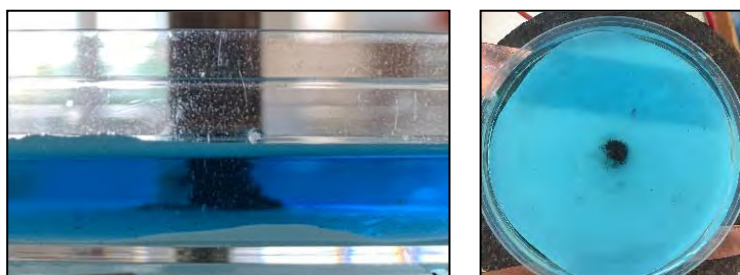


圖 35 正極在上，負極在下，析出銅向上堆疊

我們也嘗試將上方正極改放置在負極周圍溶液中，析出的銅仍是向上堆疊，效果都不好，如圖 36 所示。

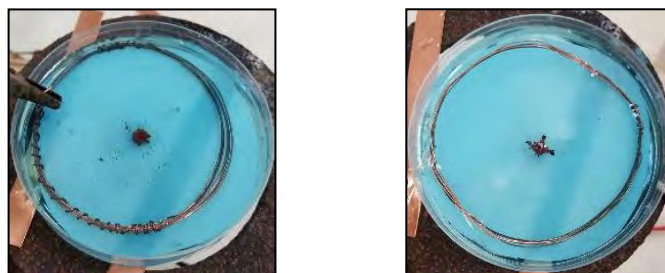


圖 36 將正極改在負極周圍，左為粗銅線，右為細銅線

- 四、為了長出更多變的銅金屬，我們嘗試自製能導電的硫酸銅鼻涕蟲，進行電解實驗，結果效果奇差無比，如圖 37。

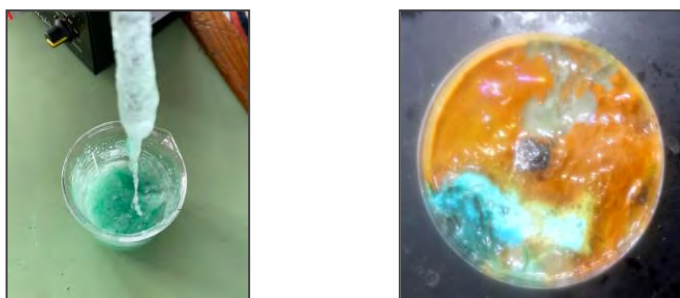






圖 37 硫酸銅鼻涕蟲中生長的銅花

五、在硫酸銅溶液中添加密度小於水且難溶於水的有機溶劑，並嘗試將負極石墨尖端控制在交界面，來觀察銅花生長情形，結果發現以乙酸乙酯的效果最佳，但其製作麻煩，且乙酸乙酯會對人體造成眼睛及呼吸道刺激，在健康上存有疑慮，加上效果沒有我們設計的裝置好，故捨棄不用。

	乙酸乙酯	沙拉油	白蠟油	蠟油
銅花生長情形				
分析結果	在剛開始的 2 分鐘時，有一小塊黑色析出，4 分鐘後即長出紅色有光澤的銅花。	在剛開始的 2 分鐘時，有一小塊黑色結晶，4 分鐘後有較大銅花，但較小且無光澤。	生長出的銅花結構鬆散，且呈黑色，效果不佳	蠟油倒入時分布較不平均，厚度難控制，但銅花可沿著蠟油底部生長。

六、我們嘗試用石墨棒在濾紙上畫上圖案，希望銅花能按照我們繪製的圖形析出，結果發現銅花生長不受影響，如圖 38，懷疑是濾紙表面較為粗糙，石墨劃上去後不夠緻密，而降低其導電性。後來改用較為平滑的 A4 紙，一開始效果不錯，在畫圖處出現紅色的銅金屬，但因紙張孔隙太小，導致硫酸銅補充不易，致使銅離子濃度過低，開始出現黑色的銅析出，並有大量氣體出現，如圖 39 所示。



圖 38 在濾紙上繪製圖形，但析出的銅花不受影響。



圖 39 在繪製圖形上析出的銅。左：一開始的筆芯顏色偏灰；中：一分半鐘後在所繪製的圖上析出紅色具光澤的銅；右：2 分鐘後在繪製圖形旁產生黑色銅並有大量氣泡冒出。

柒、結論

- 一、我們發現以削尖的石墨為負極，圓形銅片為正極，硫酸銅濃度為 0.5 M，並滴入 3 滴 1 M 鹽酸，外接電壓 12 V，銅花生成效果最好。
- 二、利用壓克力板下方加兩層墊片，留有適當空間填充電解液讓銅花生長；下層使用戳洞之 pp 板，吸附電解液，除了靠其受水的浮力，向上頂住讓中間夾層平均，亦能有效阻隔與正極銅片接觸而造成短路，使能析出美麗的平面式銅花。
- 三、我們成功製作出平面式銅花，歸納以下優點，整理如表 2：
 1. 自製電解裝置之正負極採上下模式，有效減少正負極間距，使用較少的電解液，即能快速長出較具對稱性平面式銅花。
 2. 電解液的最佳配方，成分單純，且能在 10 分鐘內長出 4.8cm 的「平面式銅花」，銅花之生成速率明顯提升後，對後續銅花發展之研究能更有效率。
 3. 自製浮板及附有兩層墊片的壓克力板，來取代乙酸乙酯，除了更方便操作，亦能重複使用。
 4. 「綠色化學之銅花微型裝置」之研發，減少硫酸銅之用量以降低環境污染，亦能用於教師的教學上，減量減廢，實施綠色環保教學。

表 2 研發的微型裝置與其他作品之比較

	市面上鍍銅	歷屆科展作品	本作品
電解液	配方不一，但大多須添加光澤劑、抗氧化劑、氯離子等	需加入氨水形成錯離子【附 1】	電解液單純，僅須添加低濃度的鹽酸，成本低 (勝)
花費時間	-	1~4 cm / 96 hr【附 2】	2.8 cm / 10 min (勝)
是否使用具毒性的氰化物	是	否【附 1、2】 (勝)	否 (勝)
銅花是否具對稱性	-	否【附 1、2】	是 (勝)
銅花是否具光澤	是 (勝)	是【附 1】 (勝)	是 (勝)
使用電壓	-	20~30 V【附 1】	9 V 或 12 V (勝)
電解液使用量	多	約 30 mL【附 1】	僅 1 mL (勝)
實驗便利性	大型複雜	燒杯終須加小罐子，裝置較複雜【附 1】	可攜式微型裝置 (勝)

附 1 是與參考資料二做比較，附 2 是與參考資料四做比較。

5. 自己設計製作的銅花書籤，好看又具實用價值，讓我們不只樂遊於探究、製作過程，亦能感受銅花之美。

捌、參考資料及其他

- 一、白榮銓(2018) · 自然與生活科技課本第六冊第一章 · 南一版。
- 二、林子歲等 (2017 年) · “銅”樹銀花《中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書》· 國立台灣科學教育館 · 取自 <http://science.ntsec.edu.tw/>。
- 三、許耕閩 (2018 年) · “鋅”花怒放 – 鋅金屬花電析之研究 · 《中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書》· 國立台灣科學教育館 · 取自 <http://science.ntsec.edu.tw/>。
- 四、彭璿 (2013 年) / 迷霧森林 – 銅樹銀枝的微觀探討及初步碎形分析。《中華民國第 53 屆中小學科學展覽會作品說明書》· 國立台灣科學教育館 · 取自 <http://science.ntsec.edu.tw/>。
- 五、廖旭茂等(2015 年) · 可攜式微型電化學電池與電解實驗教具的製作 · 台灣化學教育第 6 期/2015 年 3 月
- 六、魏凡丞等。金屬樹與重力的影響。
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033012594765.pdf>。
- 七、美麗的銅金屬樹(2016)-Tify 化學.理化.教學網 · 取自 <https://tify15.weebly.com/3931838913/march-11th-2016>。

【評語】 030210

此研究透過自行設計的電解系統，成功地在硫酸銅溶液環境下於削尖的石墨棒短時間地製造出具紅色金屬光澤的銅花。另外同學們也設計出簡便綠色化學銅花微型裝置，方便用於課堂上的教學。與之前科展所發表製造銅花的系統，同學們所提出之系統具有製作時間短、所使用較小的電壓、使用較少的電解溶液等優點。然而其實驗的設計還是沿用舊有的觀念，在創新性上稍嫌不足，可以再突破，不過在儀器設計上的改良還是有令人眼睛為之一亮的感覺。以下幾點建議提供同學們作為參考：

1. 是否能夠有效控制每次銅花所生成的形狀與大小？如夠能夠控制每次所長出形狀固定，較有經濟上的價值。
2. 如能夠探討銅花的生長的機制，會使得整體的研究更加的完整。
3. 所生成之銅花除了藝術上的價值以外，是否有其他科學上的研究？
4. 所生成之銅花除了二維的結構外，是否可以生成三維結構？

摘要

本實驗利用硫酸銅溶液進行電解，搭配自己設計的簡易型實驗裝置，製作出具紅色金屬光澤的平面式銅花。我們採用削尖的石墨棒當負極，圓形的銅片當正極，並使用添加了3滴 1 M鹽酸的 0.5 M硫酸銅溶液 30 mL當電解液，搭配自行研發設計的三明治裝置，能在10分鐘內生長出最大寬度4.80 cm、具對稱性及金屬光澤的平面式銅花。

我們還設計出綠色化學之銅花微型裝置，除了可讓師生們能在教室進行電鍍銅的實驗，還能搭配製作銅花書籤，將藝術融入自然科學中，更能大大減少硫酸銅的使用量，達到「低污染、可回收、省資源」等減量減廢之環保理念的綠色教學。

壹、研究動機

我們在網路上看到一些銀樹、銅花等金屬樹，令我們著迷，激起我們研究這個化學變化的興趣，但看了資料，許多金屬樹製作時間過於漫長，於是想嘗試是否有更快速的方法，製作出金屬樹。

貳、研究目的

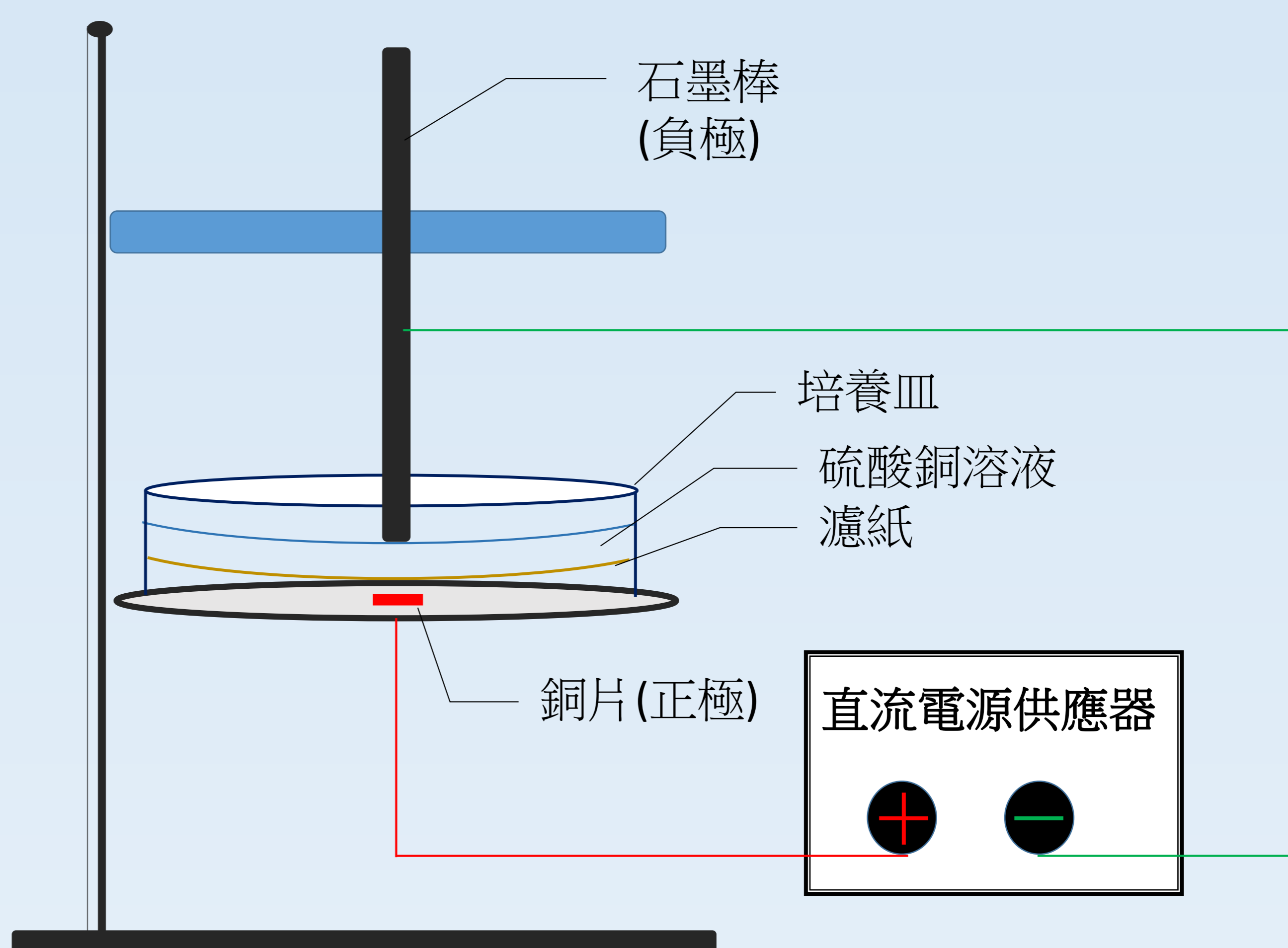
- 一、自製一個簡易電解裝置
- 二、找出製作平面銅花的最佳配方
- 三、實驗裝置的改良
- 四、製作具紅色光澤的平面銅花
- 五、平面銅花的應用

參、實驗流程圖



肆、研究過程與結果

第一代—自製簡易電解裝置示意圖



一、找出製作平面式銅花的最佳配方

【實驗一】探討負極材料對銅花生長的影響

負極材料	石墨	銅片	筆芯	鋅片	鐵片	棒形鋁箔
銅花生長情形						

【實驗二】探討負極石墨形狀對銅花生長的影響

負極石墨形狀	圓形	尖形	一字形
銅花生長情形			

【實驗三】探討正極銅片大小對銅花生長的影響

銅片大小	1 cm ²	4 cm ²	16π cm ²
銅花生長情形			
分析結果	樹枝狀較分散。	密集樹枝狀，但較無光澤。	樹枝狀較密集，且具對稱性，生長速率最快。

【實驗四】探討在溶液加入不同的鹽類對銅花生長的影響

	硫酸鎳	硝酸鉀	硫酸鋅	硝酸鈉
銅花生長情形				
分析結果	生長緩慢且呈現深色	結構鬆散，且析出黑色物質	生長迅速但呈現不完整的樹枝狀	結構鬆散

【實驗五】探討加酸和鹼類的電解質對銅花生長的影響

	氫氧化鈉	氨水	硫酸	鹽酸
1滴				
2滴				

【實驗六】探討電解液濃度和外加電壓對銅花生長的影響

	4.5V	6V	9V	12V
0.3M				
0.5M				

二、裝置的改良

【實驗一】

利用PP板和雙層塑膠片裝置對銅花生長的影響

通電時間	5分鐘	10分鐘	分析結果
PP板讓濾紙浮起			PP板滲透過少硫酸銅，導致生長緩慢。
雙層塑膠片加蓋			銅花生長極為緩慢，效果不如預期

【實驗二】

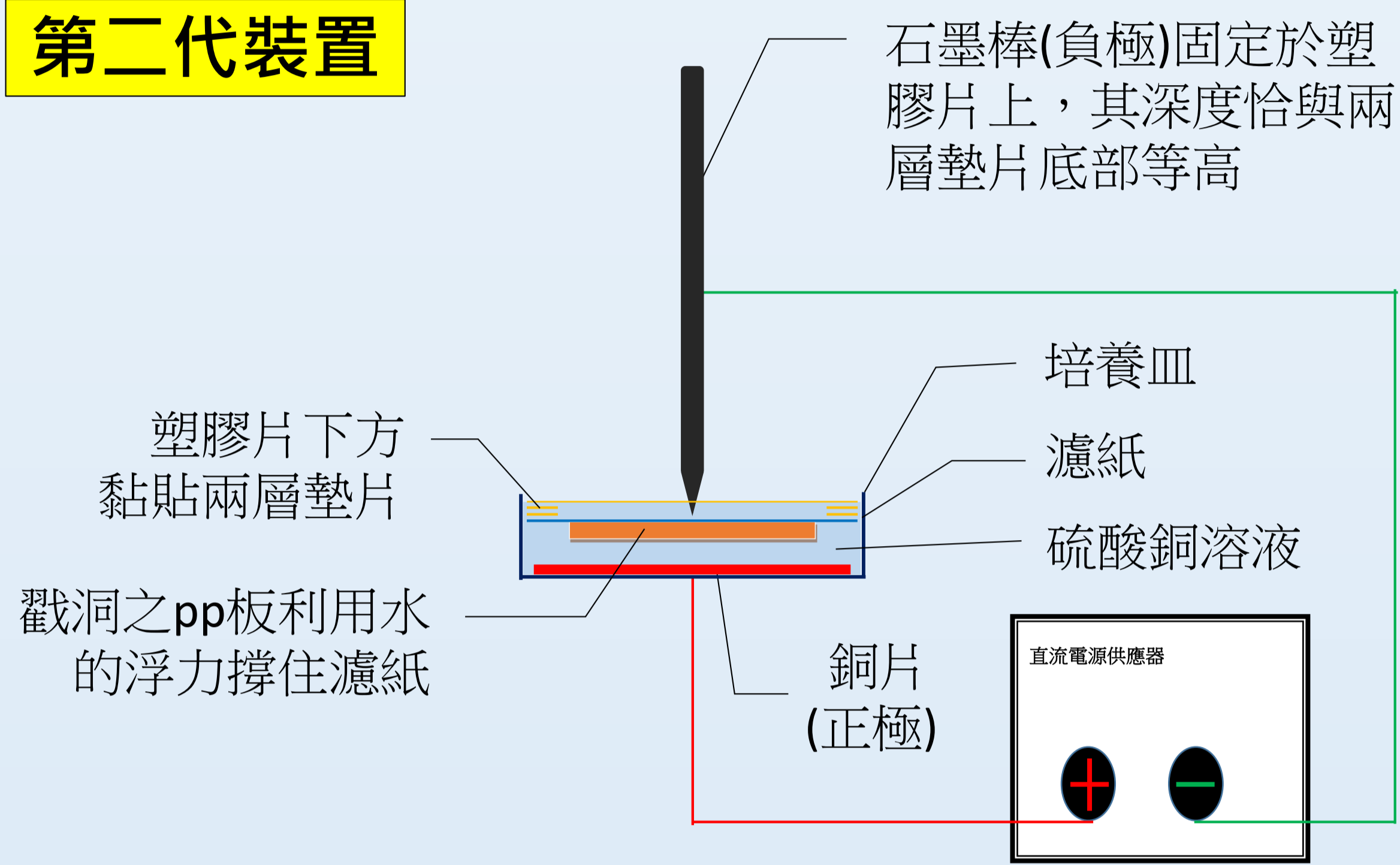
上層塑膠片黏貼墊片觀察銅花生長的情形

墊片	一層	兩層	三層	四層
銅花生長情形				
分析結果	銅花析出的量甚少且為鬆散	平面式樹枝狀的銅花	樹枝狀的銅花，但較厚所以較小	銅花向下生長，變得厚實，但沒有樹枝狀

三、製作出最理想的銅花

【實驗一】電解液及裝置再改良

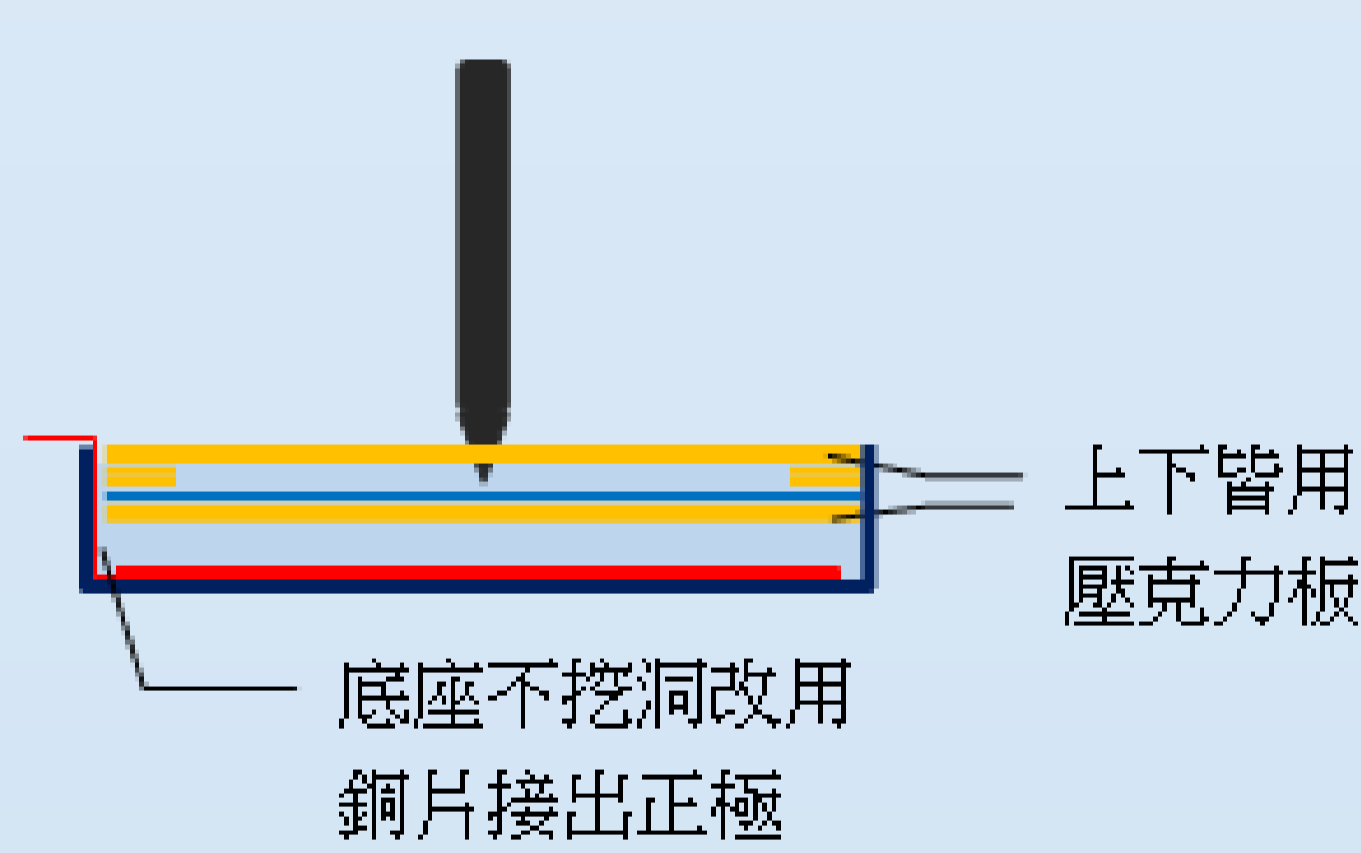
第二代裝置



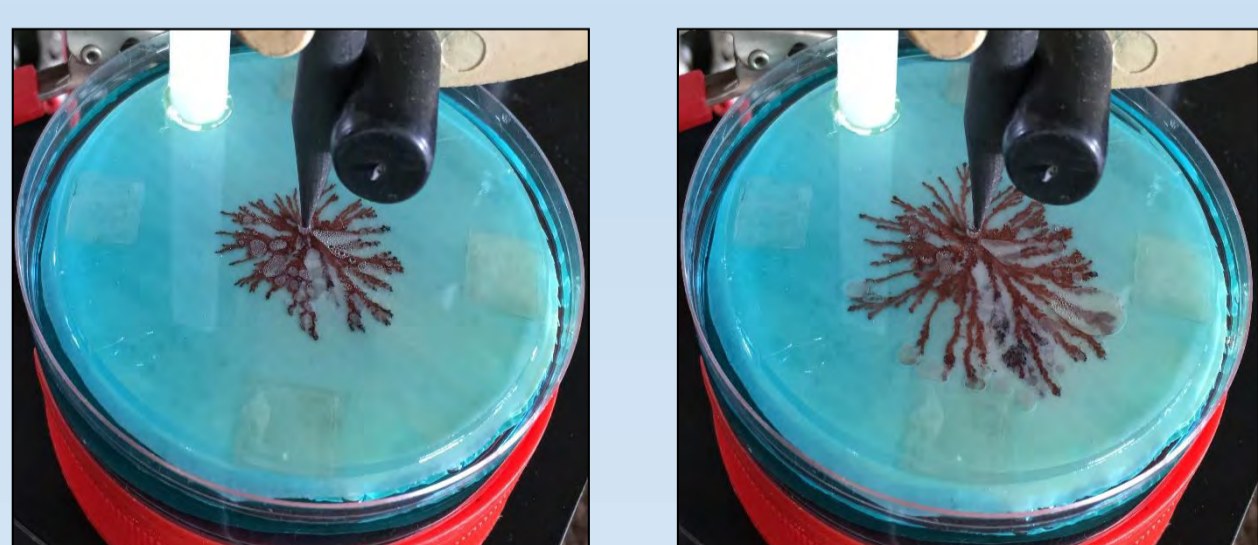
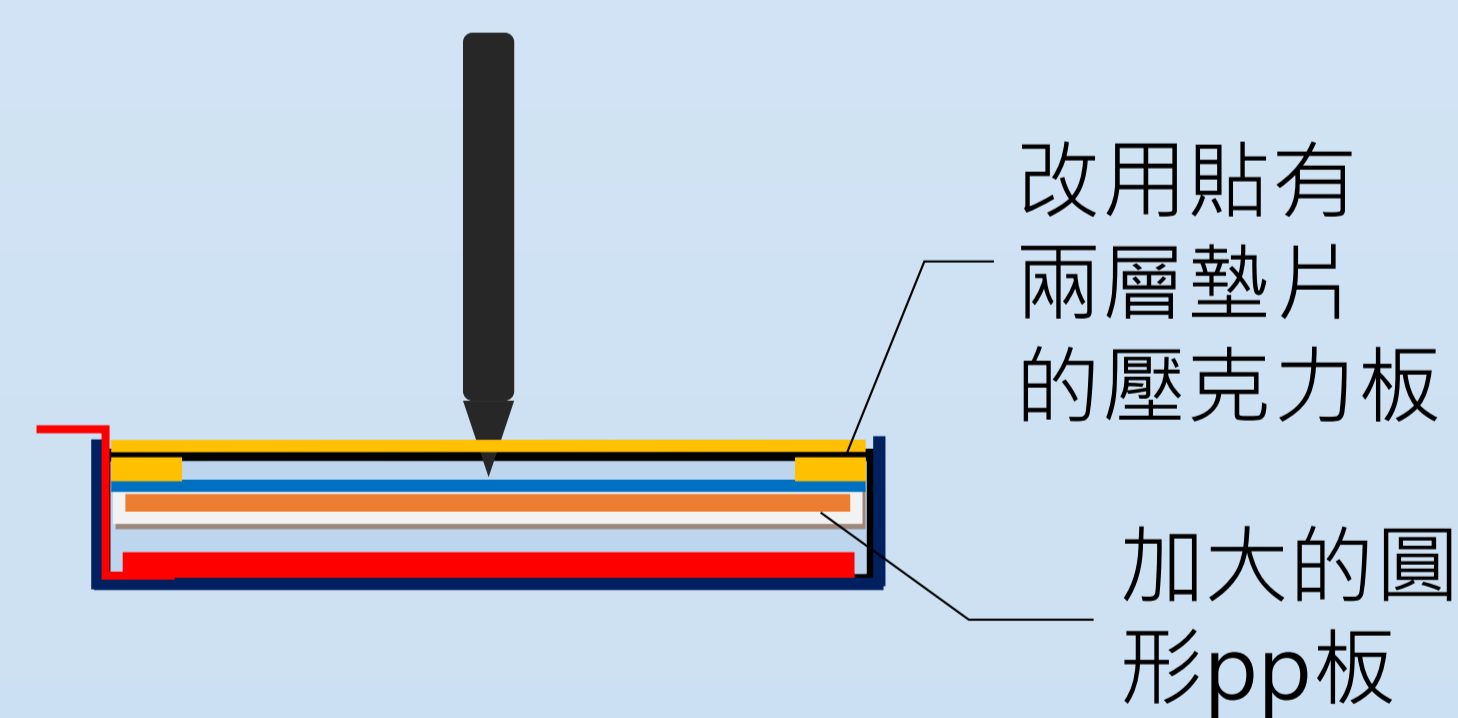
	添加1M鹽酸 1滴	添加1M鹽酸 2滴	添加1M鹽酸 3滴	添加1M鹽酸 4滴	添加1M鹽酸 5滴
實驗結果					
最大寬度	2.28 cm	2.52 cm	2.98 cm	2.83 cm	2.97 cm
平均電流	0.22 A ±0.09	0.32 A ±0.02	0.50 A ±0.02	0.41 A ±0.01	0.34 A ±0.04
結果分析	顏色偏黑，銅花最小	顏色稍紅，銅花稍小	顏色較具紅色光澤，且銅花最大	紅色具光澤但仍有黑色部分，銅花密集對稱	中心紅色銅花較具光澤，外圈呈現黑色，銅花稍大

【實驗二】裝置再改良，並整理四代裝置之優缺點如下表。

第三代裝置



第四代裝置

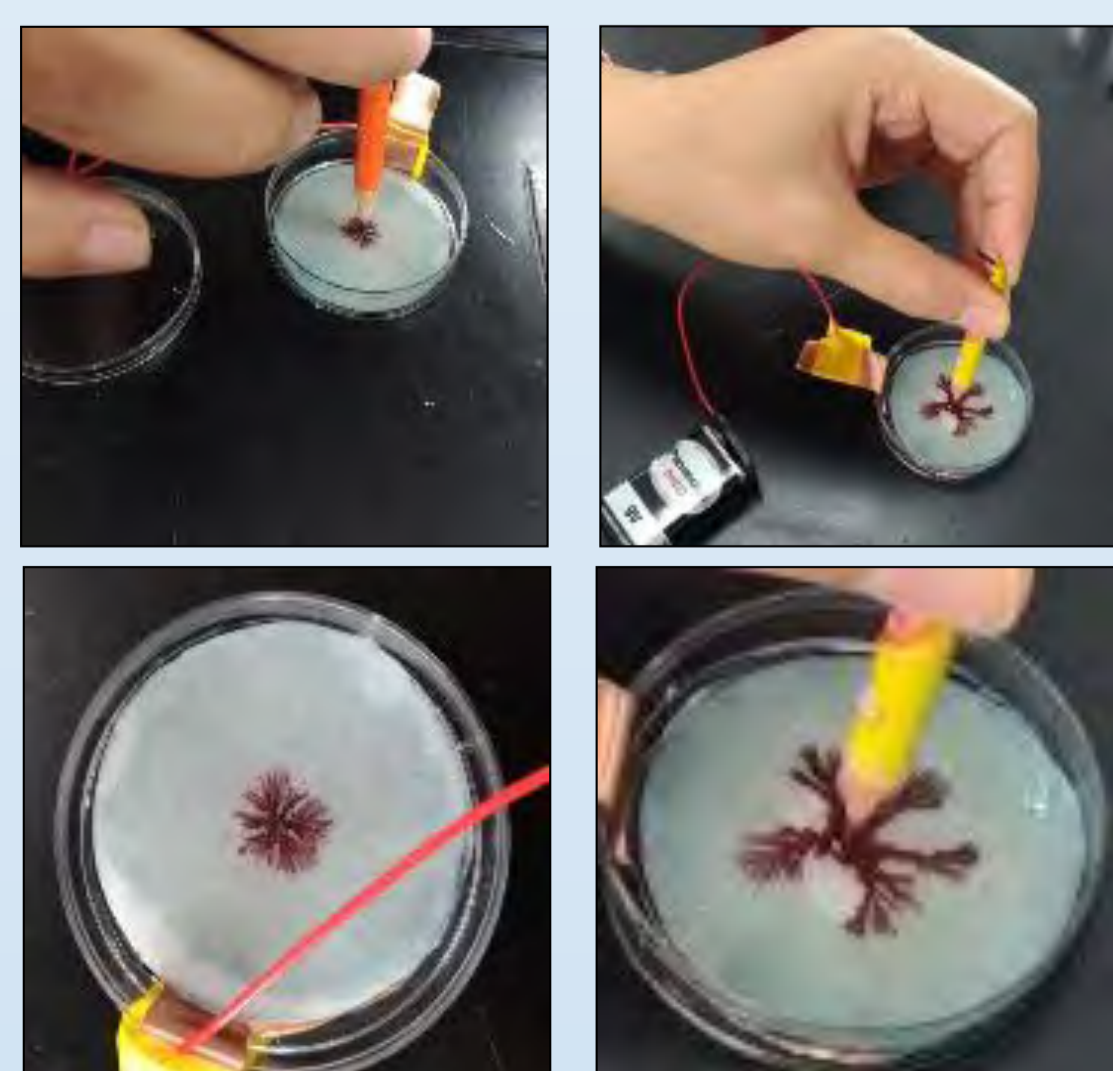
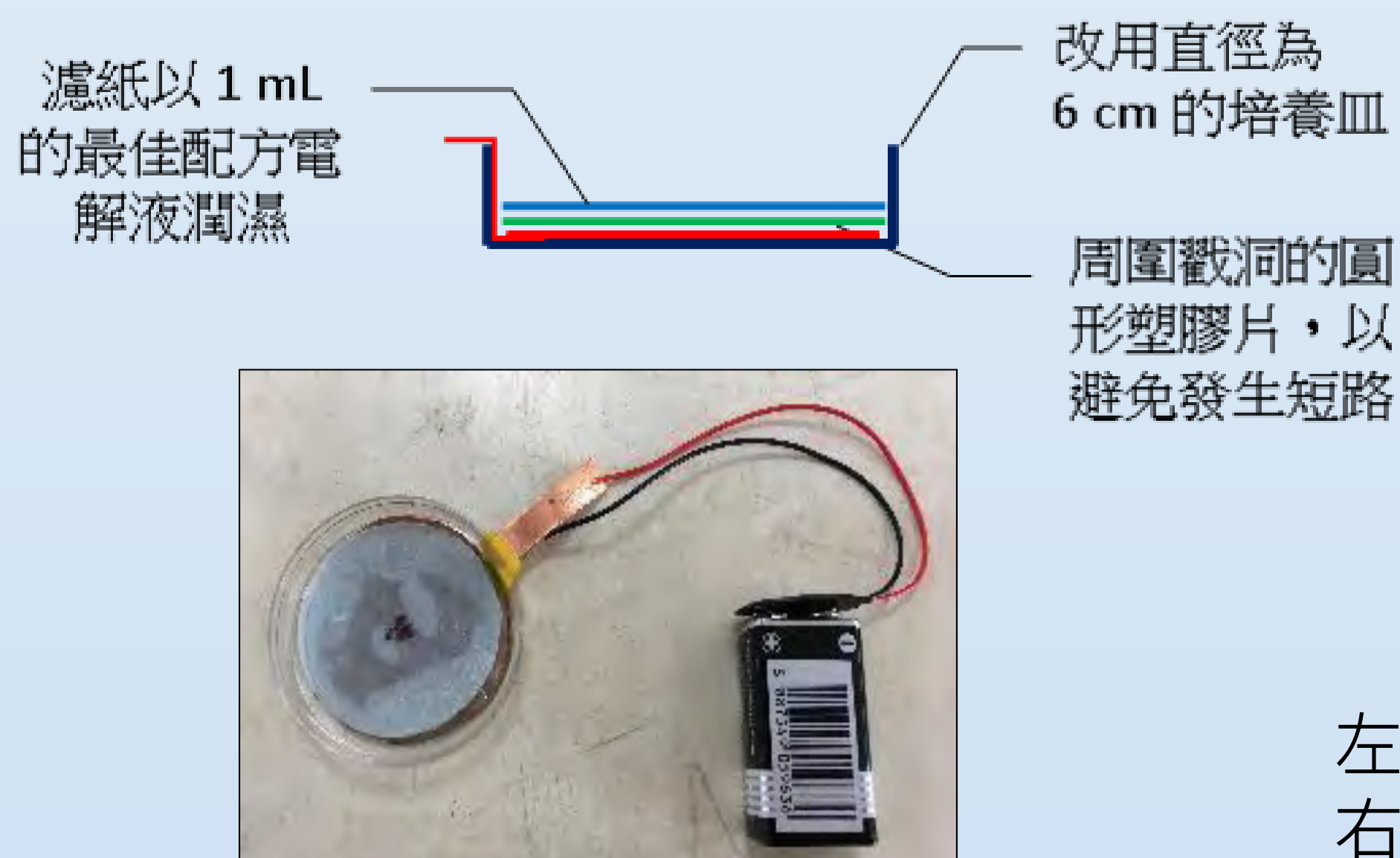


左為通電5分鐘，右為通電10分鐘
左為3.50 cm，右為4.80 cm

	缺點	優點	銅花外觀	最大寬度
第一代	1.濾紙無法固定，銅花較無法長成平面式，每次實驗結果差異大。 2.易發生短路，限制了銅花生長。	1.正負極間距縮小。		2.90cm
第二代	1.上層塑膠片太薄，放入水中時，常無法保持水平，導致兩層間的空隙難固定 2.負極石墨常掉落，不易固定在塑膠片。	1.負極產生的氣體有空間可以向上竄出。 2.下層戳洞的浮板能適時補充電解液。		2.98 cm
第三代	1.上下皆為壓克力板，硬度較高，產生銅花時所產生的氣泡無法排出。 2.因電解液不易補充，負極產生的氣泡越來越多，且都留在夾層中，導致銅花生長受限，形狀較不對稱 3.兩層須利用長尾夾夾住，製作較為麻煩。	1.因壓克力板的硬度較高，兩層間的空隙較固定。 2.負極石墨棒浸入電解液的深度較能固定。		3.20 cm
第四代	1.負極產生的氣泡仍留於夾層間。	1.上層壓克力板硬度較高，易維持水平。 2.下層戳洞之浮板，可適時補充電解液，濾紙放入後也較能與浮板貼合。		3.50 cm

四、平面銅花的應用

【實驗一】銅花製作的微型裝置



左：3分鐘內製作出 1.30 cm 的銅花，
右：10分鐘內製作出 2.82 cm 的銅花。

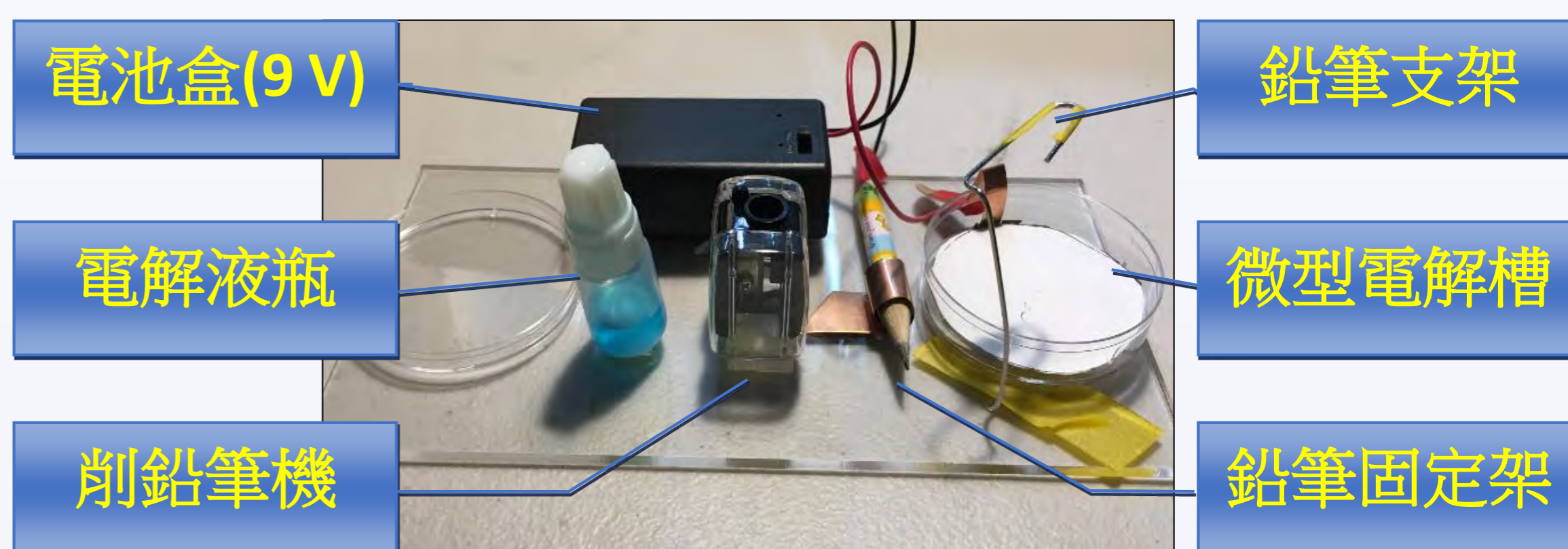
【實驗二】銅花書籤的製作



自製各式屬於自己風格的銅花書籤

【實驗三】綠色化學之銅花微型裝置

本裝置實為一多功能性易於攜帶之實驗裝置，讓老師們在課堂內即可進行，不需要到實驗室，同時因方便操作，僅數分鐘即可看到結果。增加化學之方便性與趣味性，極符合「**低污染、可回收、省資源**」等減量減廢之環保理念，也是一種推展綠色化學之綠色實驗裝置。

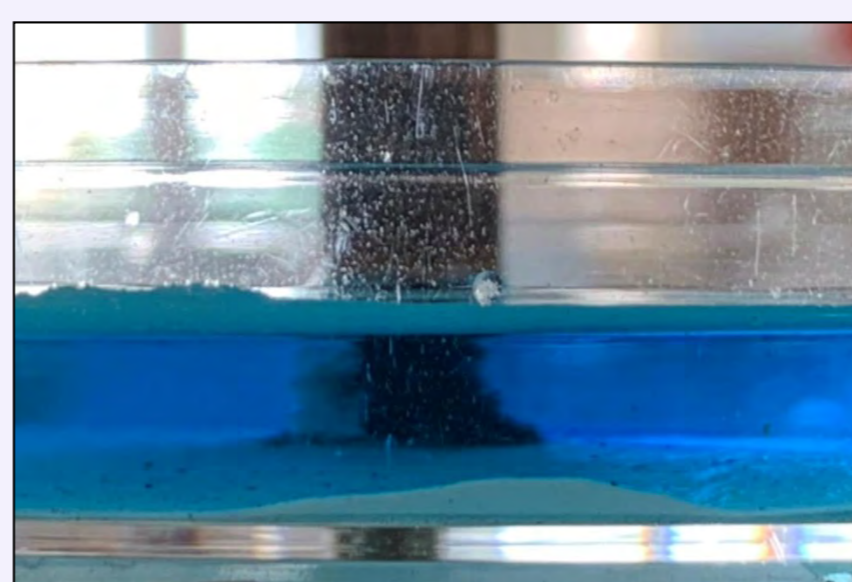


伍、討論

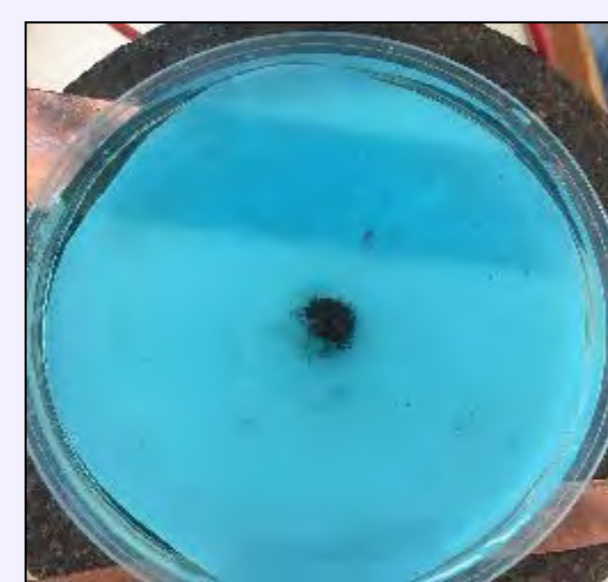
- 一、利用顯微鏡觀察銅花的結構，發現銅花沿著濾紙纖維生長，有時向旁延伸，有時向上堆疊(如圖一)。
- 二、文獻結果顯示，溫度越高亦會對銅花析出造成影響，本實驗主要希望能在室溫下(大約控制在20~25°C)快速析出銅花，因此對溫度不做探討。
- 三、我們試著將正負極的位置上下顛倒，正極銅棒在上方，負極石墨固定於培養皿底端，期待能在下層濾紙上長出平面式銅花，但析出的銅在穿過濾紙後，因正極銅棒在上方，且溶液中的硫酸銅比側向濾紙吸附得更多，使得銅不斷往上堆疊(如圖二)，無法得到平面式銅花(如圖三)，結果不如預期。我們也嘗試將上方正極改放置在負極周圍溶液中，析出的銅仍是向上堆疊，效果都不好，如圖四所示。



圖一



圖二



圖三



圖四

- 四、為了長出更多變的銅金屬，我們嘗試自製能導電的硫酸銅鼻涕蟲，進行電解實驗，結果效果極差無比。
- 五、利用各項密度小於水的有機溶劑，嘗試將石墨尖端控制在交界面，其中以乙酸乙酯的效果最佳，但其製作麻煩，且乙酸乙酯有健康性之疑慮，加上效果沒有我們設計的裝置好，故捨棄不用。
- 六、我們嘗試用石墨棒在濾紙上畫上圖案，希望銅花能按照我們繪製的圖形析出，結果發現銅花生長不受影響，懷疑是濾紙表面較為粗糙，石墨劃上去後不夠緻密，而降低其導電性。後來改用較為平滑的A4紙，一開始效果不錯，在畫圖處出現紅色的銅金屬，但因紙張孔隙太小，導致硫酸銅補充不易，致使銅離子濃度過低，開始出現黑色的銅析出，並有大量氣體出現。



陸、結論

- 一、我們發現以削尖的石墨為負極，圓形銅片為正極，硫酸銅濃度為0.5M，並滴入3滴1M鹽酸，外接電壓12V，銅花生成效果最好。
- 二、利用壓克力板下方加兩層墊片，留有適當空間填充電解液讓銅花生長；下層使用pp板，除了靠其受水的浮力，向上頂住讓中間夾層平均，亦能有效阻隔與正極銅片接觸而造成短路，使能析出美麗的平面式銅花。
- 三、我們成功製作出平面式銅花，歸納以下優點：
 1. 自製電解裝置之正負極採上下模式，有效減少正負極間距，使用較少的電解液，即能快速長出較具對稱性平面式銅花。
 2. 電解液的最佳配方，成分單純，且能在10分鐘內長出4.80 cm的「平面式銅花」，銅花之生成速率明顯提升後，對後續銅花發展之研究能更有效率。
 3. 我們製作的微型裝置，能在2分鐘內長出0.91 cm的平面式銅花。
 4. 「綠色化學之銅花微型裝置」之研發，減少硫酸銅之用量以降低環境污染，亦能用於教師的教學上，減量減廢，實施綠色環保教學。
 5. 製作的銅花書籤，搭配自己設計的圖案，好看又具保存價值，讓我們不只樂遊於探究、製作過程，亦能感受銅花之美。

柒、參考資料

- 一、林子崑等(2017年)/「銅」樹銀花
《中華民國第57屆中小學科展作品說明書》
- 二、彭璿(2013年)/迷霧森林-銅樹銀枝的微觀探討及初步碎形分析。
《中華民國第53屆中小學科展作品說明書》
- 三、許耕閩等(2018年)/「鋅」花怒放-鋅金屬花電析之研究。
《中華民國第58屆中小學科展作品說明書》

	市面上鍍銅	歷屆科展作品	本作品
電解液	配方不一，但大多須添加光澤劑、抗氧化劑、氯離子等	需加入氨水形成錯離子 【參考文獻2】	電解液單純，僅須添加低濃度的鹽酸，成本低 (勝)
花費時間		1~4 cm / 96 hr【附2】	2.82 cm / 10 min (勝)
是否使用有毒性的氟化物	是	否【附1、2】 (勝)	否 (勝)
銅花是否具對稱性	-	否【附1、2】	是 (勝)
銅花是否具光澤	是 (勝)	是【附1】 (勝)	是 (勝)
使用電壓	9~15 V	20~30 V【附1】	9 V (勝)
電解液使用量	多	約100 mL【附1】	僅1 mL (勝)
實驗便利性	大型複雜	燒杯中須加小罐子，裝置較複雜【附1】	可攜式微型裝置 (勝)