

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第一名

030207

「鋅」花怒放-鋅金屬花電析之研究

學校名稱：高雄市立鳳西國民中學

作者： 國二 許耕閩 國二 劉迎逸 國二 曾于容	指導老師： 蕭文誠
---	------------------

關鍵詞：鋅花、電解、顯微觀察

得獎感言

難忘的全國科展・難忘的「鋅」花怒放

「化學組第一名，高雄市鳳西國中，編號 030207！」站在台上，看著台下為我們鼓掌的人，不禁回想起一年前的我們。

我們從一開始對電解電鍍完全不懂，到能夠解釋實驗現象；從害怕說話，到能夠對答如流；從準備器材就要一節課的時間，到能夠熟練操作實驗。我們照著老師的指引，一步步了解實驗、發現、記錄、整理、發表。雖然實驗一開始很容易失敗，也非常耗精神，但每一次的失敗，都是激勵我們成長的動力。漸漸的，我們能夠和老師討論出一些方法，讓成功率變高。

完成這場科展耗費了我們許多心血，有人為了幫影片配音，重複錄了無數次音；有人為了改報告和做影片，花了好幾個禮拜的時間；還有人為了讓報告更流暢，對著鏡子唸了一百遍的實驗流程。經過如此嘔心瀝血的努力，我們如願以償以高雄市第一名成績，迎戰全國賽。

進到全國賽後，看了各個競爭對手的作品，赫然發現這些來自各縣市的第一名都不是等閒之輩。雖然我們和其他組別也成為了好朋友，但環境中飄散的緊張之意卻毫無淡去之象，深怕一不小心說錯了，或是評審問的問題答不出來，會害了大家。

比賽當天，相較於其他縣市西裝皮鞋的正式穿著，我們的服裝所展現出來的俏皮反而被凸顯出來。現場評審所問的問題我們都對答如流，完全展現出平時培養的絕佳默契，我們更加有自信了！長期磨練以及自我訓練，讓我們對這份作品有著極大的熟悉度與熱情，也因此獲得了青睞。

當主持人宣布我們拿了全國化學組第一名時，我們心中充滿了無限的感動與感謝。感謝老師辛苦指導；感謝隊友的 carry；感謝主任和組長的帶領，沒有你們，我們就不可能站在台上，拿到這第一名榮耀了。

不是每個人都能參加全國科展，也不是每個參展的人都可以得名，我們相信，當到了可以遙想當年的年紀時，參賽過程中的點點滴滴，絕對會是一個不可能被遺忘的美好回憶！



我們用自己做的鋅花電析裝置操作實驗，每次都會電出獨一無二的鋅花。



高雄大學陳振興教授解決我們許多實驗的疑惑，也讓我們接收許多新知。



佈展當天，我們已有第一名的好預兆。

摘要

本研究是利用電流的化學效應，在乙酸乙酯與硫酸鋅溶液之交界面，生成如花朵般薄膜狀的鋅金屬結晶，命名為鋅花。並在各種變因中找尋最佳條件，以製作出平面，光亮，樹枝狀的電析成品。最後，試用廢乾電池之鋅殼作為主要反應物，以簡易方法製作鋅花，達到結合**環保、科學、科技與藝術**的生活應用。

壹、研究動機

鋅的活性，並沒有像鉛、銅、銀那麼的小，就算用鎂、鋁來置換硫酸鋅，也只會冒氫氣泡泡，長不出鋅樹；因此我們改嘗試通電，希望利用電解法可以生長出鋅的漂亮結晶，過程中為了找出最適合的方法和**控制條件**，我們遇到了種種問題與新發現，並設計出一連串的實驗探討之……

貳、研究目的

- 一、觀察金屬樹的結晶，找出鋅結晶的方法。
- 二、探討鋅金屬花電析的影響因素：
 - (一)不同電解液條件 (**有機相、鋅電解液、濃度**)。
 - (二)不同電極條件 (**正極面積、負極粗細、形狀、兩極距離**)。
 - (三)不同反應條件 (**電壓、溫度**)。
- 三、歸納最佳條件，製作超級大鋅花。
- 四、利用廢乾電池和電池設計簡易鋅花電析裝置，製作鋅花標本。

參、研究設備及器材

一、實驗器材：

1.電源供應器 2.量筒 3.滴管 4.燒杯 5.電子顯微鏡 6.筆記型電腦 7.塑膠量杯 8.抽氣馬達
9.4B 鉛筆芯 10.加熱板 11.保鮮盒 12.電暖器 13.乾電池 14.鐵皮剪 15.鑷子 16.恆溫水槽

二、實驗藥品：

1.鋅片 2.硫酸鋅 3.乙酸乙酯 4.統一大豆沙拉油 5.正己烷 6.松香水 7.氧化鋅 8.氯化鋅
9.硝酸鋅 10.去離子水

肆、原理說明

一、標準還原電位：

1.在標準狀態(25°C、1atm、濃度 1.0 M)下：



2.還原電位越高的金屬，越容易發生還原反應(得到電子)。

二、1.金屬鋅的電解析出：以鋅片為正極，碳棒為負極，硫酸鋅為電解液，通以直流電反應式如下：

反應式：正極： $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 鋅原子失去電子(氧化)成鋅離子，鋅片溶解。

負極： $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$ 鋅離子得到電子(還原)成鋅原子，析出金屬結晶。

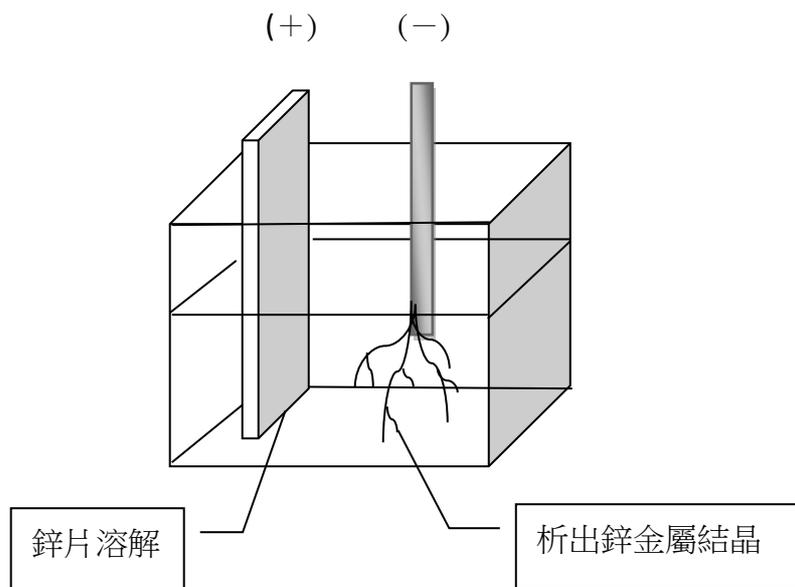


圖 1 鋅金屬電解析出示意圖

伍、研究過程、結果與討論

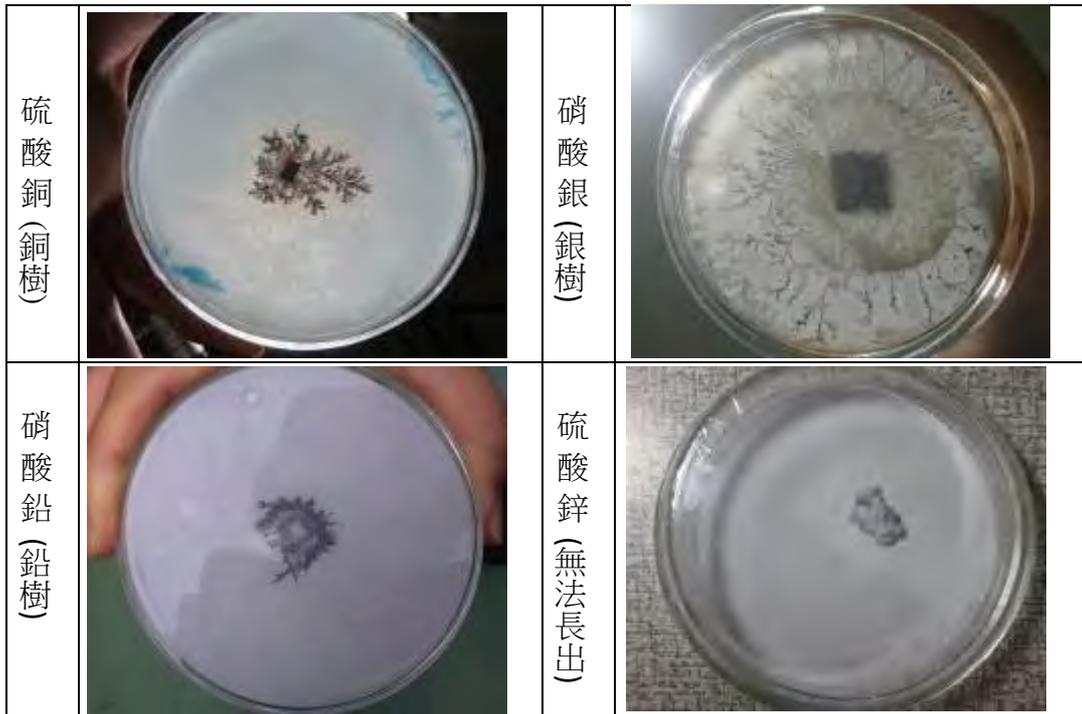
一、實驗一：取代法製作金屬樹結晶

(一) 實驗流程：

- 1.剪下一片鎂帶、三片鋅片，分別在濾紙上壓緊，分別置入四個培養皿中。
- 2.分別用硫酸鋅、硝酸銀、硫酸銅和硝酸鉛將濾紙潤濕，並以膠帶密封，靜置並觀察其變化。

(二) 實驗結果：

- 1.銅、銀、鉛都有長出樹枝狀的結晶，鋅卻沒有長出金屬結晶，只觀察到許多泡泡。



(三) 討論：為何鎂帶無法將硫酸鋅還原？

因為在硫酸鋅溶液中含有氫離子，而氫的還原電位(0V)遠大於鋅的還原電位(-0.76V)，所以會先將氫氣還原出來，而不會長出樹枝狀的結晶，因此我們改用電解法。

二、實驗二：電解法製作鋅結晶

(一) 實驗步驟：

1. 鋅片做正極，鉛筆芯做負極，放在用硫酸鋅濕潤的濾紙上通電		2. 改浸在燒杯的硫酸鋅溶液中通電		3. 將鋅片浸入硫酸鋅中，調整筆芯尖端在液體表面通電	
4. 加入乙酸乙酯，調整筆芯尖端，在乙酸乙酯和硫酸鋅的交界面通電		5. 改將鋅片剪成圓形，置於燒杯底部，同步驟 4. 在交界面通電			

(二) 實驗結果與討論：

		
1. 在濾紙纖維中，長出不規則樹枝狀的結晶，往正極延伸。	2. 筆芯周圍長出了立體的樹枝狀結晶，分布凌亂，拿起後結晶會下垂。	3. 沿著水面長出平面的樹枝狀結晶，延伸到一定長度後，結晶因力矩過大而下垂，沒入水中。因此我們將酯類溶液滴於水溶液，嘗試在交界面通電。
		
4. 因表面張力的作用，使的鋅結晶會沿著交界面不斷延伸，而不會下垂，但靠近正極鋅片的分支較長，成雞蛋形狀，因此將鋅片剪成圓形，置於燒杯底部。	5. 呈圓形像四周對稱生長，因形狀像一朵花，我們稱之為 鋅花 。	

6.為了方便記錄鋅花的成長過程，所以利用數位顯微鏡、抽風機、電腦及電源供應器組裝成可以穩定控制電極高度的鋅花電解裝置。

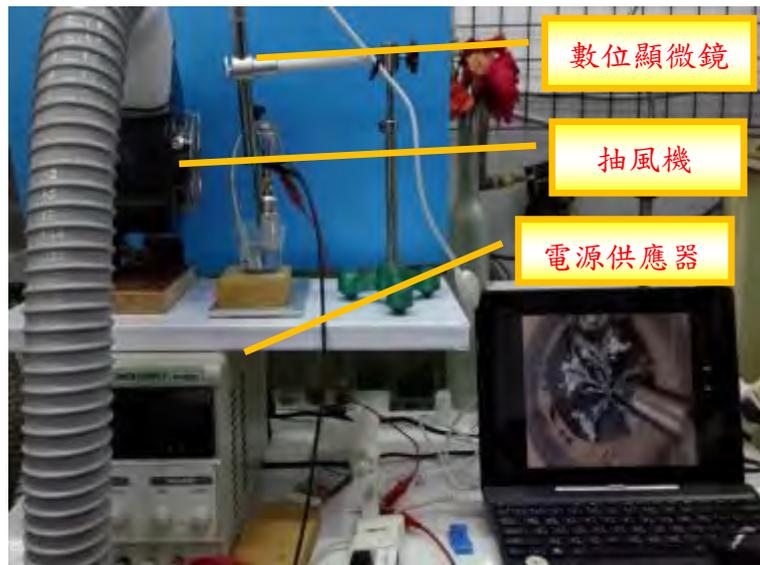


圖 1 鋅花電解裝置



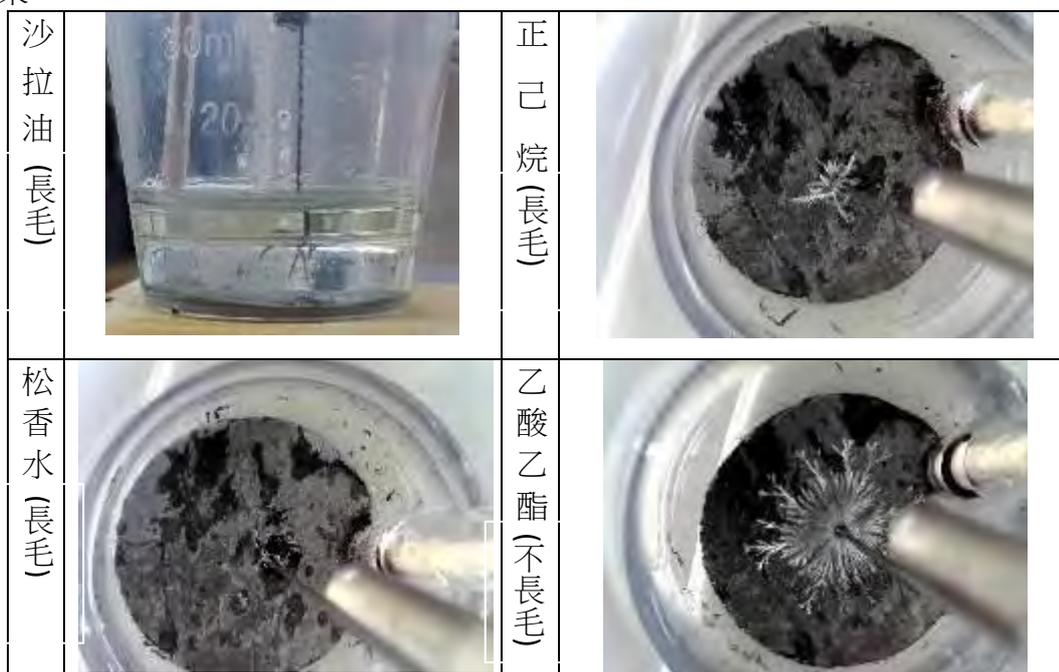
圖 2 鋅花電解裝置改良版

三、實驗三：探討不同的有機相對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

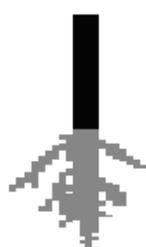
- 1.在量杯杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
- 2.加入 3M 硫酸鋅水溶液，使水面距離杯底正極 1cm，再加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
- 3.插入 0.5mm 磨平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於乙酸乙酯和水溶液的的界面上。
- 4.在 30°C 溫度下以 4.5 伏特電壓通電 2 分鐘(若結晶生長接近正極須立即停止通電，以免短路)，錄影觀察 2 分鐘結晶生成情形。
- 5.將步驟 3 改為沙拉油、松香水、正己烷重複上述步驟。

(二) 實驗結果：



(三) 實驗討論：

- 1.除了乙酸乙酯結晶沿交界面均勻生長，結晶都向下不規則生長，像長毛的尖刺，中心黑黑的像燒焦一樣嘗試好幾次都是，推測因只有乙酸乙酯微溶於水(25°C 溶解度 =8g/100g 水)，使鋅離子結晶速率較慢，較不易向下生長。剛開始像薄膜之後分枝展開，像開花一樣。

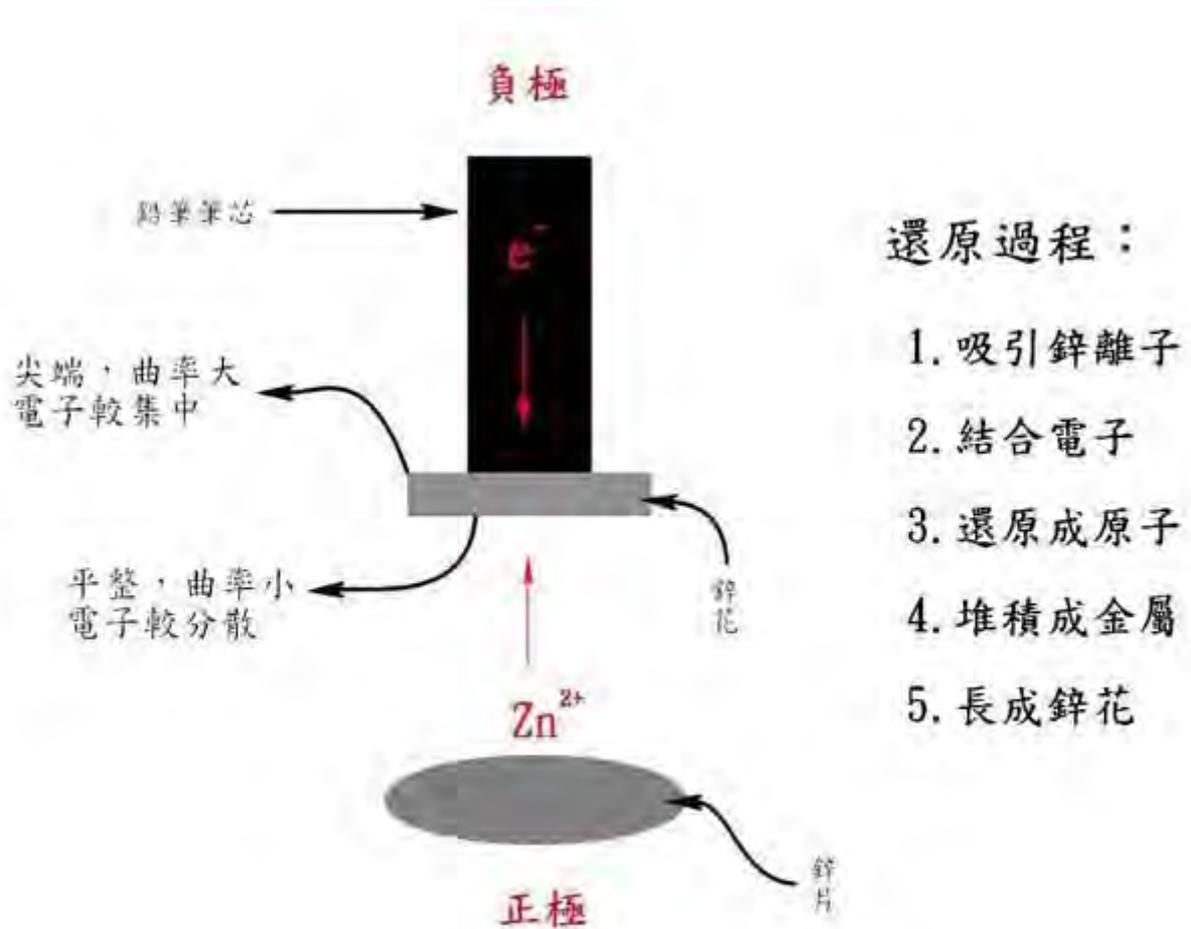


側面



正面

2.形成鋅花的過程:



3.以乙酸乙酯作為有機層，推測因為鋅花在：

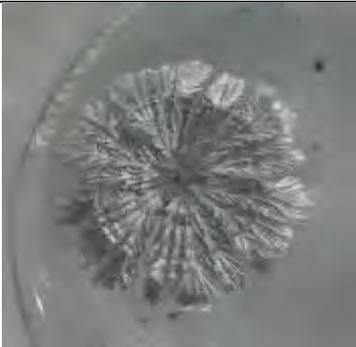
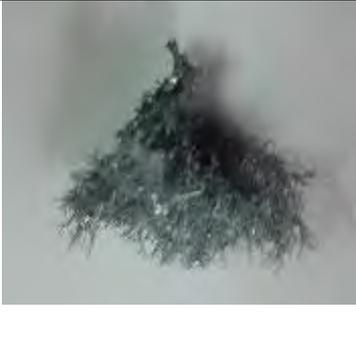
	
<p>交界的那一面：</p> <p>因為表面張力的作用，鋅離子往上堆積的時候，被乙酸乙酯阻擋，使鋅原子可以整齊的排列，所以光滑緊密，具有金屬光澤。</p>	<p>水溶液的那一面：</p> <p>鋅原子的堆積較不平整，且有部分發生氧化現象，所以沒有金屬光澤。</p>

四、實驗四：探討不同的電解液對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

同實驗三，將步驟 2 中的硫酸鋅分別改成氯化鋅、硝酸鋅，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。

(二) 實驗結果：

硫酸鋅			
	像開花一樣展開	沿著交界的平面生長	銀色的閃亮結晶
氯化鋅			
	長出立體超級細的銀白色結晶	因為結構分支太細受重力下拉，呈樹枝狀下垂。	取出像一團鋼絲絨，不像在水中伸展的樣子好看。
硝酸鋅			
	中間銀色，周圍黑色	呈半圓的團狀物	黑色毛邊的結晶

(三) 討論：1.由以上情形歸納出，以硫酸鋅當電解液為佳。

2.不同鋅電解液的導電性和移動性不同，所以生成的鋅花型態也不同。

五、實驗五—1：探討不同濃度硫酸鋅在不同電壓下鋅花電析的情形

(一) 實驗步驟：

- 1.同實驗三，將步驟 4 電壓分別改為 1.5V、3V、6V、9V，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。
- 2.以去離子水稀釋分別配製 0.1M、0.5M、1M 的硫酸鋅溶液，改變步驟 2 的硫酸鋅濃度，按照上述所有步驟重覆進行實驗。



圖 3 調整電壓裝置操作圖

(二) 實驗結果：

圖4 30°C下，0.1M~3M硫酸鋅在不同電壓下電析的情形

電壓	0.1M	0.5M	1M	3M
1.5V				
3V				
4.5V				
6V				
觀察記錄	黑色海綿狀	展開成薄膜狀	細樹枝狀	粗樹枝狀
9V				
觀察記錄	團狀結晶，生長過快，易短路，故省略	破碎的薄膜	尾部成羽毛狀展開	迅速展開閃電狀分枝

(三) 實驗討論：

1. 0.1M 濃度大小、鋅含量太低，無論如何調整電壓，都只能得到顆粒微細、結構鬆散、呈海綿狀(密集粉狀)的黑色團狀物，疏鬆附在電極尖端，結合力極弱，而且隨電壓增加，團狀物越大，因此只加至 6 V 即停止操作。



圖 5 0.1M 硫酸鋅黑色團狀析出物側照

2. 0.5M 濃度較低，從 3V~9V 皆形成細緻薄膜狀，但因太薄不夠厚實牢固，取出時輕碰即破裂開來，根本無法取出完整鋅花，從破裂的鋅花放大圖仍可看出非常細小的分枝紋路。

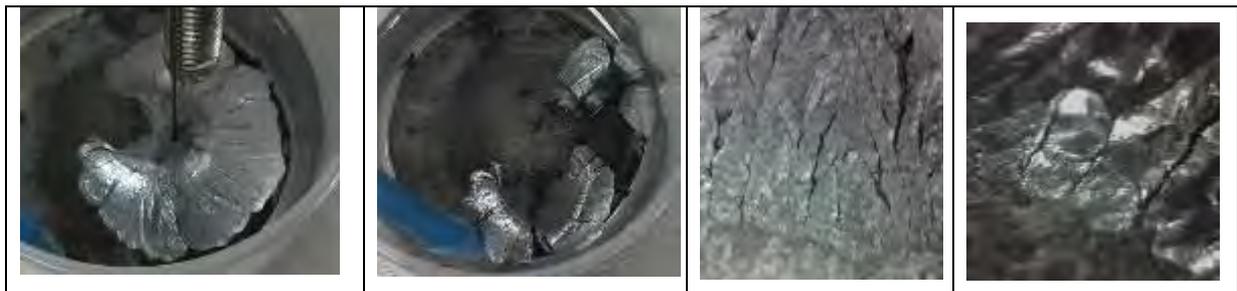
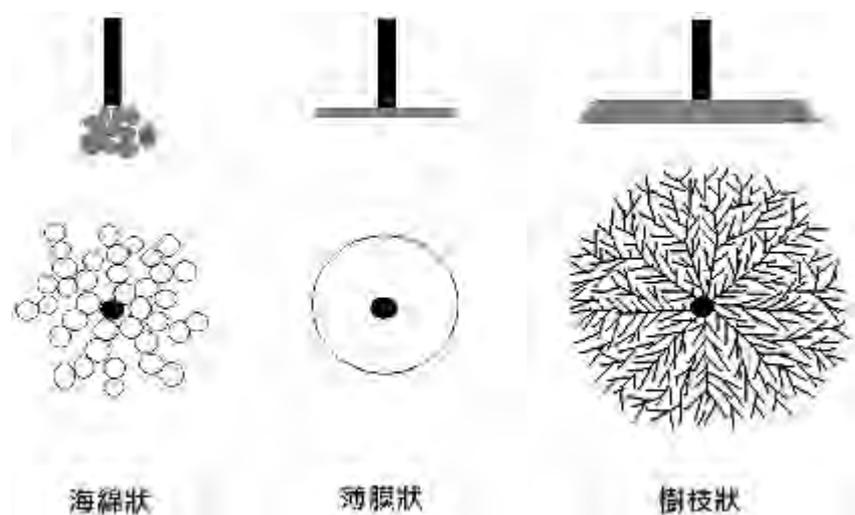
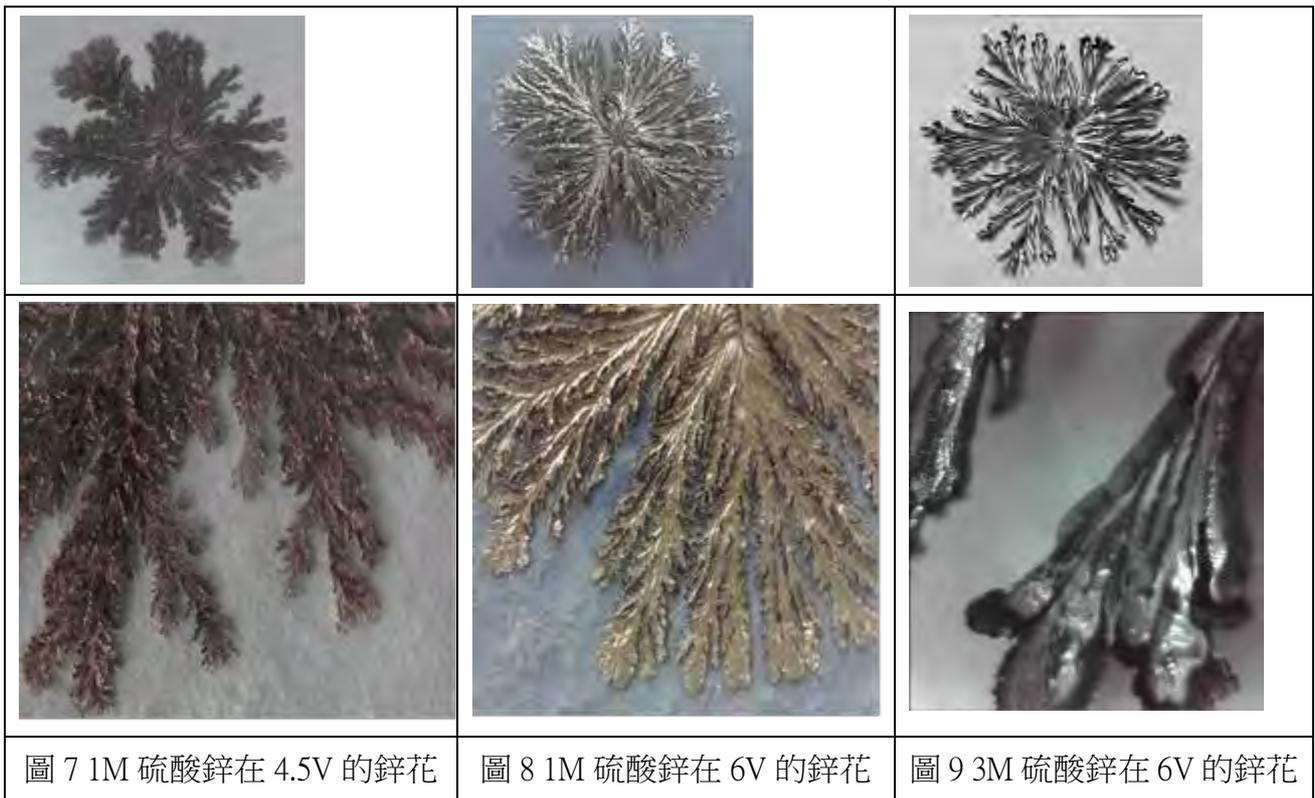


圖 6 0.5M 硫酸鋅在 6V 電壓下形成的膜狀鋅花放大照(可看到很細密的毛狀紋路)

3. 1M 和 3M 濃度較高，結晶速度較快，但也因此容易造成鋅離子濃度的差異，主要是因為鋅結晶的凹陷處，鋅離子不易擴散進入補充，結晶速度較慢，凸出處鋅離子濃度相對較高，且在尖端電子較容易放電，結晶速度較快，因此容易延伸生成樹枝狀。
4. 1M 和 3M 兩種濃度都可完整取出，差別在於 1M 較薄，光澤也較暗，而 3M 分支厚實堅固，直接黏在負極尖端拉出水面即可拉出水面。

5. 從放大圖可以看出枝狀結晶頂端又再凸出分化成新的枝晶，彼此間競爭生長，有些較大的分枝繼續分叉擴展，擠掉了附近其他小分枝的生長，最後形成不完全對稱的放射狀鋅花





成膜

一次分枝

二次分枝

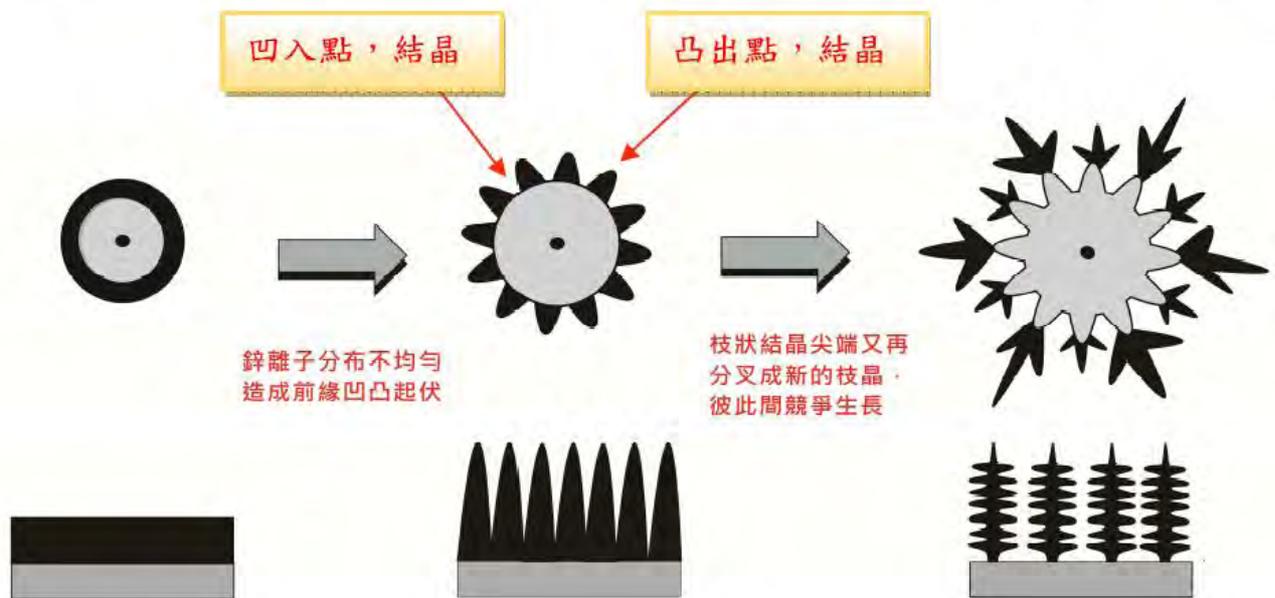
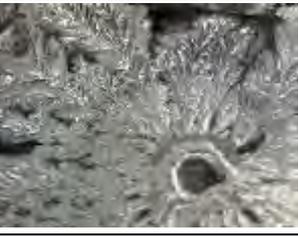
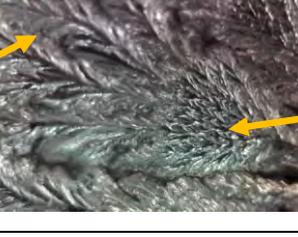


圖 10 枝狀鋅花結晶形成過程示意圖

實驗五-2：相同濃度連續增加電壓的探討

- (一)實驗步驟：1.同實驗三，取濃度 0.5 M 的硫酸鋅溶液將步驟 4 電壓由 1.5V →3V→ 4.5V →6V→ 9V →12V 連續增加電壓，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。
2.另外取濃度3M的硫酸鋅溶液步驟 4 電壓由 1.5V →3V→ 4.5V →6V→ 9V →12V 連續增加電壓，按照上述所有步驟重覆進行實驗。

	1.5 V 蜘蛛 抱卵		
	3V 禿枝 新芽		
	4.5 V 花滿 枝椏		
	6V 孔雀 開屏		
	9V 大鵬 展翅		
	12 V 光芒 四射		3 V 生長 慢 2 V 生長 快
0.5M 硫酸鋅 1.5V~12V 不同電壓的連續結晶變化		3M 硫酸鋅 3M 2V →3V→ 4V →6V 不同電壓的連續結晶變化的鋅花及放大圖	

(三) 實驗討論：

1. 0.5M 硫酸鋅 1.5V~12V 連續增加電壓，從超細小稀疏分枝，到密集薄膜狀展開，又再分化出較粗大的分枝，可惜結晶太細、太薄無法完整取出，只能錄影下來留念。
2. 3M 硫酸鋅 1.5V → 3V → 4.5V → 6V → 9V → 12V 連續增加電壓，從沉積紋路變寬可看出提高電壓後，鋅花邊緣分配到的電流增加，結晶速度變快。

六、實驗六：探討不同的正極面積對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

同實驗三，將步驟 1 中的直徑分別改成 1.5cm、2cm、2.5cm、3cm，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。



圖 11 不同面積的正極實拍

(二) 實驗結果：

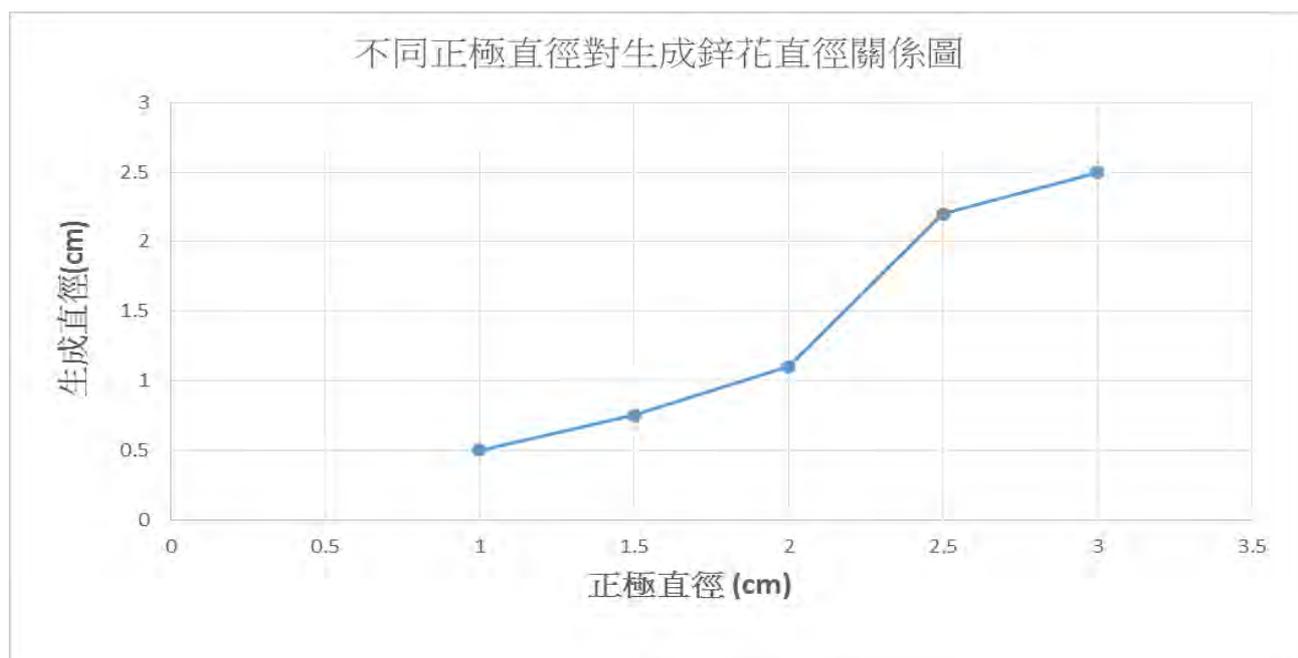
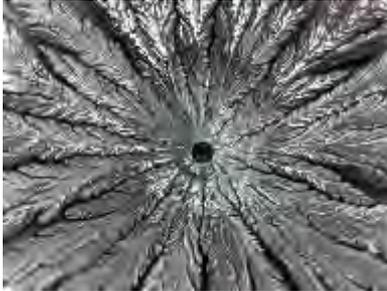


圖 12 不同正極面積的電流對時間關係圖

圖 13 30°C 4.5V 1~3cm 不同正極直徑鋅花的生長情形

正極直徑	通電兩分鐘生成的鋅花	放大圖	鋅花直徑	邊緣放大圖
1cm			0.50 cm	
1.5cm			0.75 cm	
2cm			1.10 cm	
2.5cm			2.20 cm	呈銀白色金屬光澤
3cm			2.50 cm	鋅花邊緣魚鱗狀的沉積紋路一層一層的，就像是蛤蜊殼一樣。

(三) 實驗討論：

- 1.正極直徑越大，鋅花生成面積也愈大，呈正相關。
- 2.因為正極面積太小，無法快速補充鋅離子，所以鋅花不易變大且周圍發黑。
- 3.從放大圖可觀察到，鋅花上層鋅原子受到乙酸乙酯的阻擋一層一層向外堆積延伸。

七、實驗七：探討不同的電極距離對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

- 1.同實驗三，將步驟 2 中的距離分別改為 2cm、3cm、4cm、5cm。
- 2.其餘步驟相同，錄影觀察 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和鋅花生成情形。

(二) 實驗結果：

電極距離(cm) \ 電流(A)	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
1	0.23	0.45	0.39	0.25
2	0.23	0.35	0.38	0.24
3	0.21	0.30	0.34	0.26
4	0.16	0.21	0.26	0.29
5	0.15	0.16	0.24	0.25



圖 14 不同極距測量示意圖

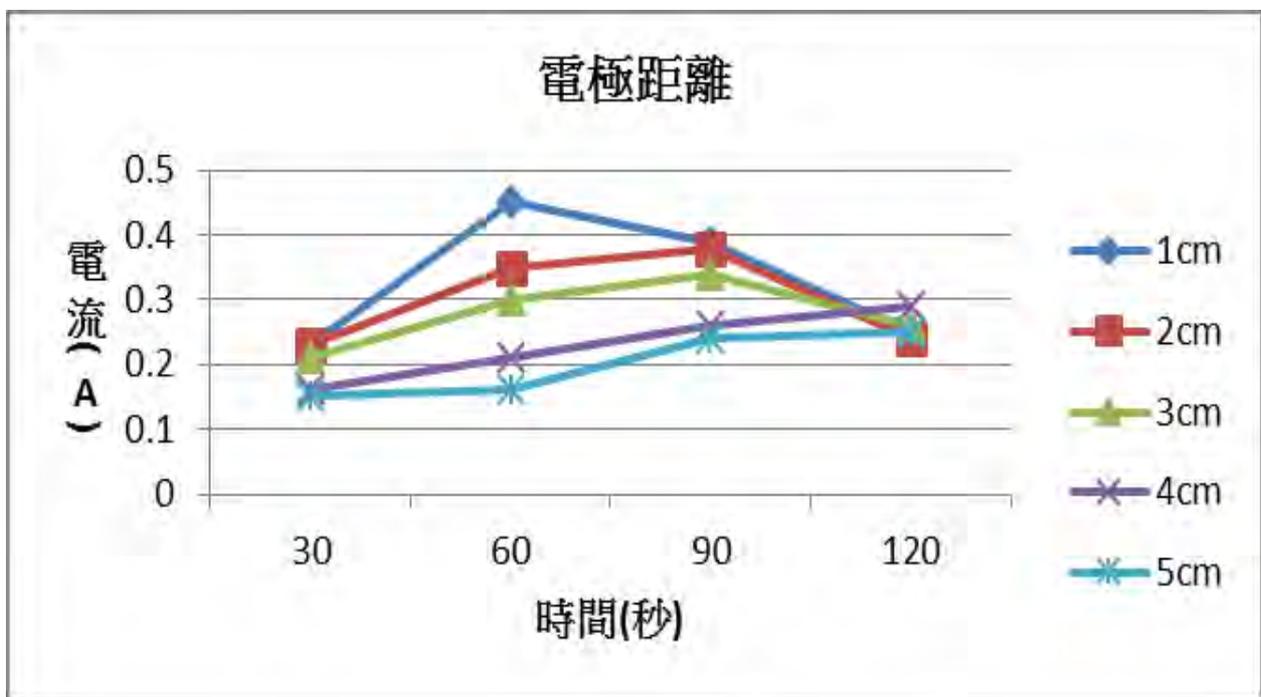
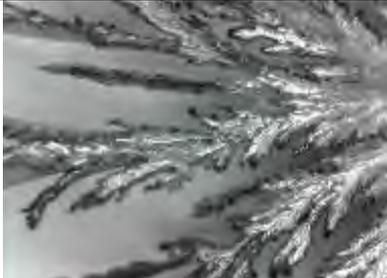


圖 15 不同極距的電流對時間關係圖

圖 16 30°C 6V 極距 1cm~5cm 120 秒鋅花生成情形

極距	通電兩分鐘生成的鋅花	放大圖	邊緣放大圖
1cm			
2cm			
3cm			
4cm			
5cm			

(三) 實驗討論：

- 1.極距越大，造成電阻增加，因此電流變小。鋅離子不易擴散、對流和補充，因此從顯微鏡放大圖可觀察到，雖然分枝較細但表面顆粒其實較粗糙多孔，因此亮度也隨之降低，逐漸呈無光澤、暗灰色。
- 2.縮短極距可提升分散作用，使鋅花表面更光亮，且更接近膜狀，但要小心避免短路。

八、實驗八：探討不同的負極粗細對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

1.同實驗三，將步驟 3 中的碳棒粗細分別改成 0.5mm、2mm、10mm，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。

(二) 實驗結果：

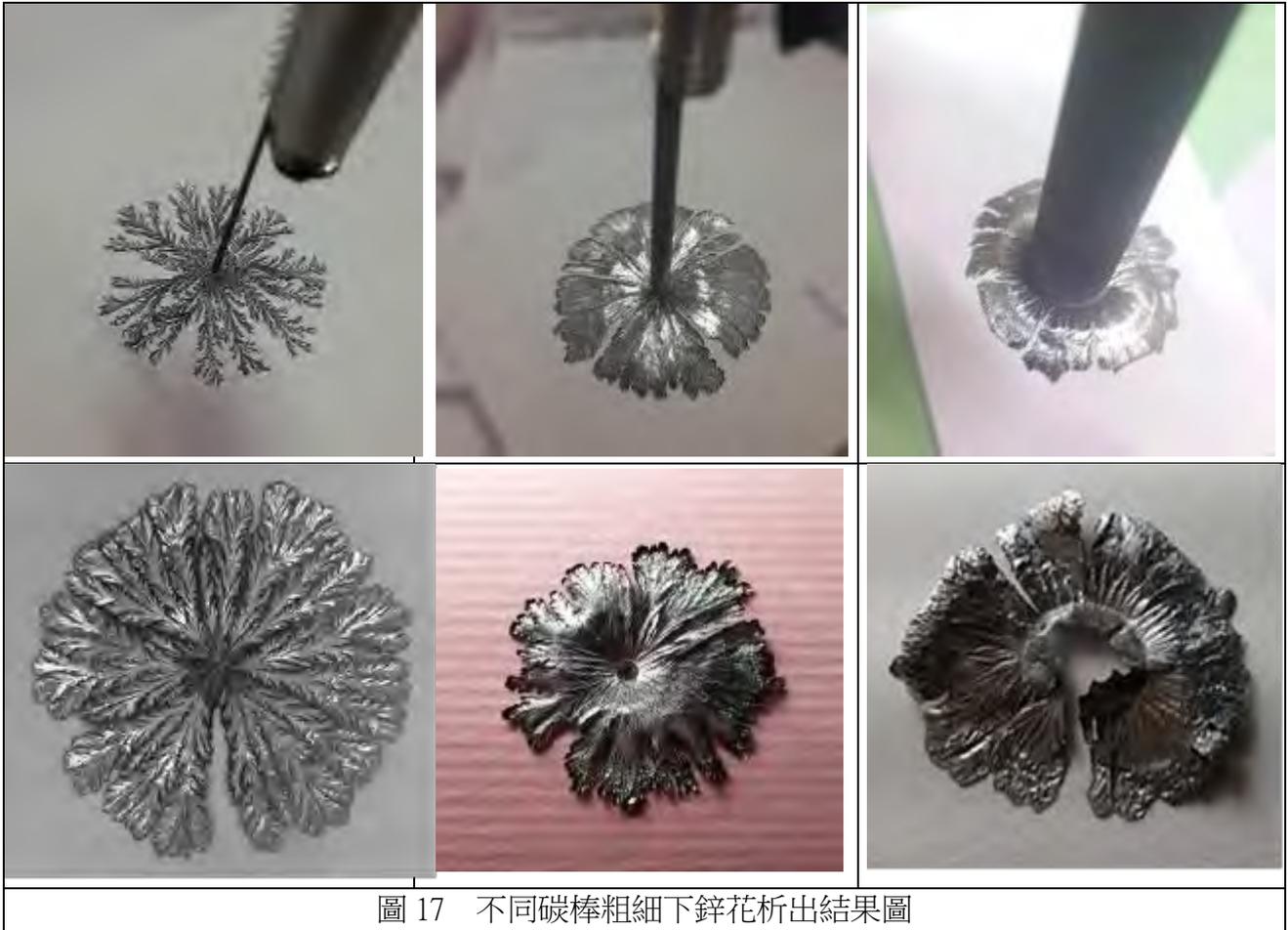


圖 17 不同碳棒粗細下鋅花析出結果圖

(三) 實驗討論：

- 1.碳棒越粗，生成的鋅花分枝較少且鋅花更厚、更平整光亮。
2. 2mm 與 10mm 因接觸面積過大，鋅花與碳棒緊密結合不易取下，故使用 0.5mm 為佳。

九、實驗九：探討不同的電極尖端形狀對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

- 1.同實驗三，將步驟 3 中的碳棒形狀分別改成一字形、圓尖形，其餘步驟相同，觀察結晶生長情形。

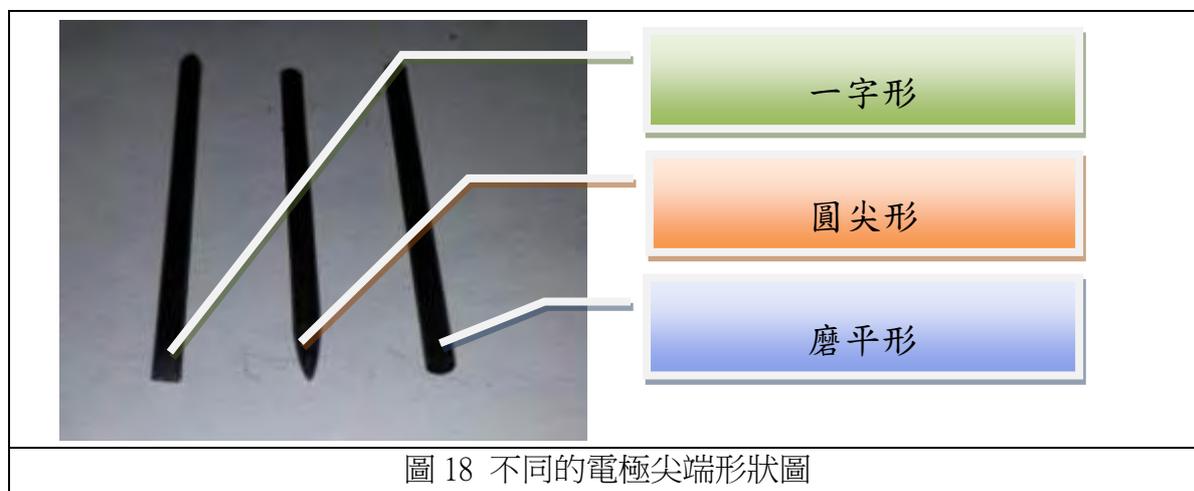


圖 18 不同的電極尖端形狀圖

(二) 實驗結果：

圖 19 30°C 90 秒下，3M 硫酸鋅在不同負極尖端形狀下電析的情形

形狀	一字形	圓尖形
生成情形		
觀察記錄	 三角形像蘭花	 分裂處漸趨明顯，呈菊花狀生長

(三) 實驗討論：

- 1.由錄影記錄擷圖發現，一字形與圓尖形電極**尖端**電流密度較高，反應速率較快，長出毛狀結晶，以致生長的鋅花產生缺口，分裂成 3 瓣至 5 瓣。因此，電極尖端形狀以磨平的碳棒為最佳。

十、實驗十：探討不同的溫度對鋅花電析的影響

(一) 實驗步驟：

- 1.同實驗三，恆溫水槽分別控制溫度為 20°C、40°C、50°C，其餘步驟相同。
- 2.每 30 秒紀錄電流並觀察結晶生長情形。

(二) 實驗結果：

電流(A) \ 溫度	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
20°C	0.15	0.35	0.08	0.07
30°C	0.31	0.43	0.33	0.29
40°C	0.82	0.80	碰觸杯壁 停止通電	
50°C	0.91	0.90	碰觸杯壁 停止通電	

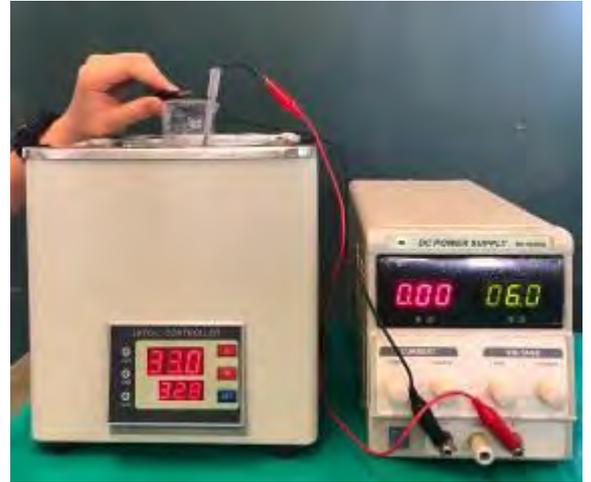


圖 20 鋅花電析裝置控溫操作圖

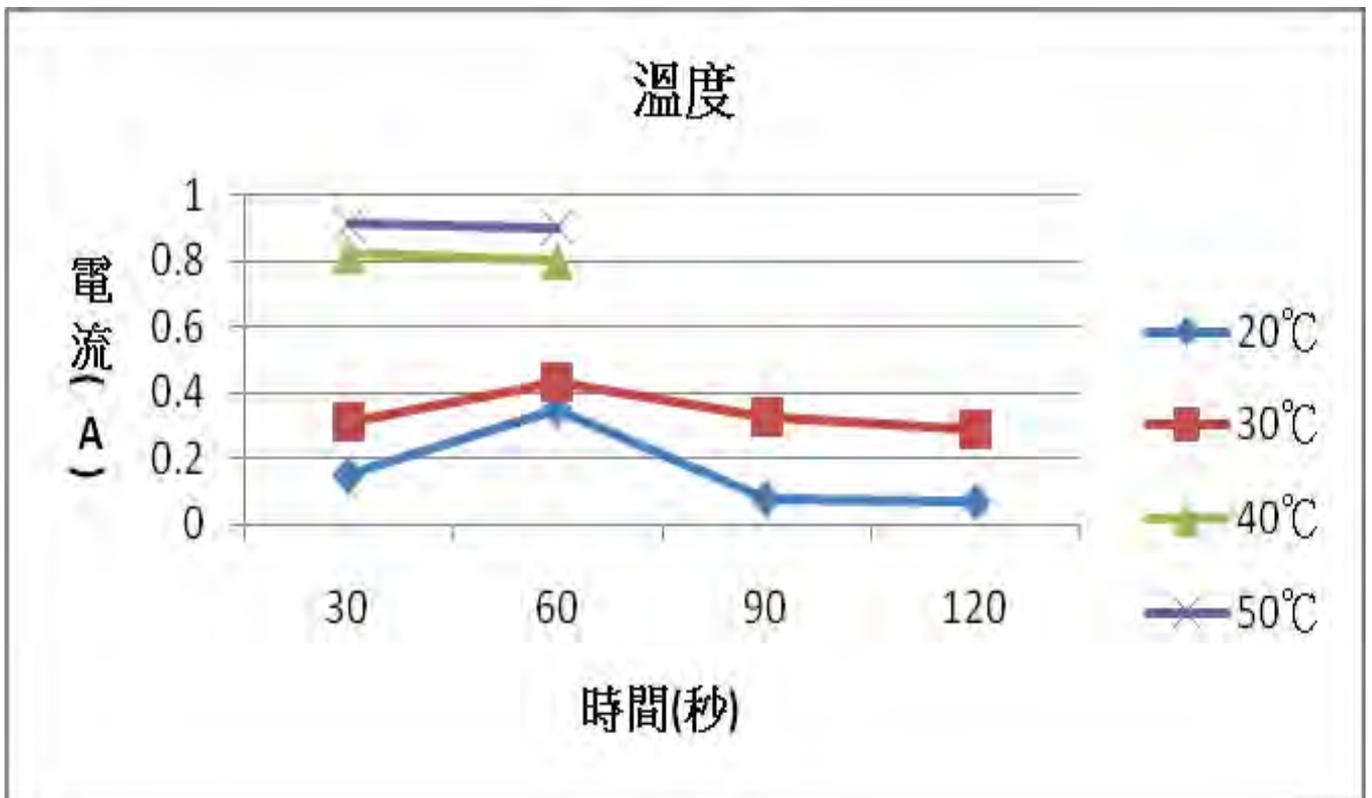


圖21 不同溫度與反應電流關係圖

溫度	120 秒	溫度	60秒
20°C		40°C	
觀察 記錄	因電流過小，生長至 1 公分即停止 生長	觀察 記錄	瞬間分支再以薄膜狀展開
30°C		50°C	
觀察 記錄	生長呈雪花狀分支	觀察 記錄	瞬間分支成大片薄膜狀

(二) 實驗討論：

- 1.由溫度和電流的關係圖得知當溫度越高，鋅離子擴散和反應速度越快，所以偵測到的電流也越大。
- 2.由錄影截圖發現，在 20°C 時鋅花長到直徑 1cm 就停止生長，原因是溫度低，反應速度慢，因此到一定的大小就幾乎不反應了，而且容易向下長毛，使實驗經常失敗，重複操作三次都是如此，因此溫度也會限制鋅花的生長大小。
- 3.40°C 和 50°C 時，鋅離子移動和補充的速度較快，堆積位置分散較均勻，容易形成膜狀結晶，但是生長太快、結晶太薄無法完整取出，因此反應條件以 30°C 為最佳。

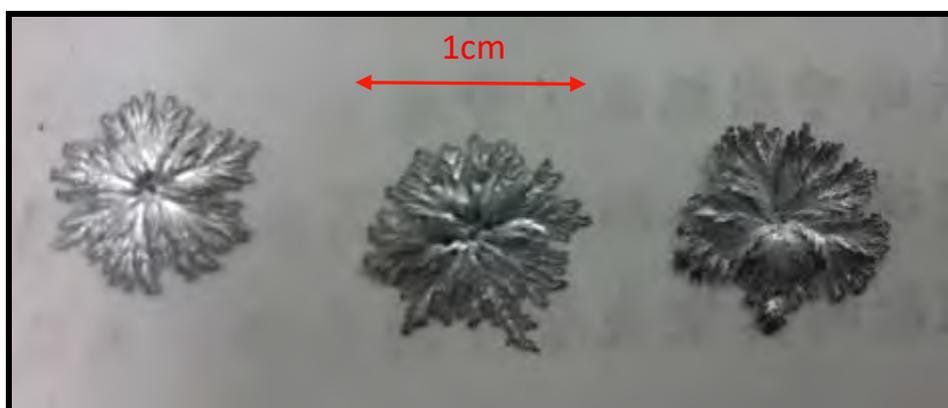


圖 22 溫度為 20°C 時的鋅花生長情形

十一、實驗十一：歸納找出製作鋅花的最佳條件，製作超大的美麗鋅花標本

(一) 實驗步驟：

1. 綜合以上實驗與討論，我們歸納出鋅花生成的最佳條件為 0.5mm 碳棒、極距 1cm(因鋅花大，怕短路不宜太近)、30°C、6V 電壓、3M 硫酸鋅。
2. 準備直徑 11cm 的保鮮盒，剪裁直徑 10cm 鋅片作為正極。
3. 通電 30 分鐘，長時間錄影並觀察其鋅花生成的情形，取出製成標本。



圖 23 超大鋅花電解裝置示意圖

(二) 實驗結果：

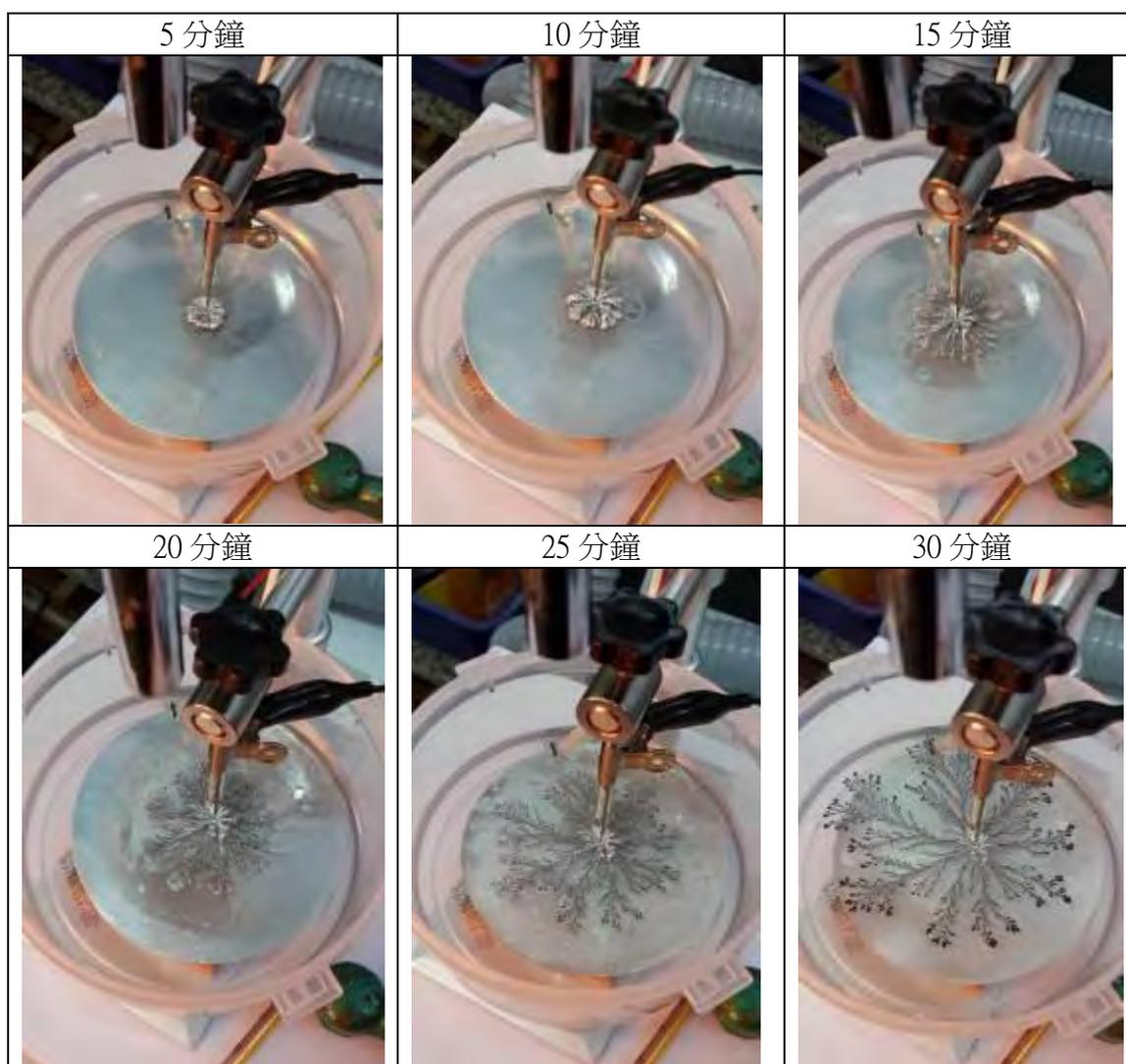




圖 24 超大鋅花尖端邊緣放大圖

圖 25 表面放大圖

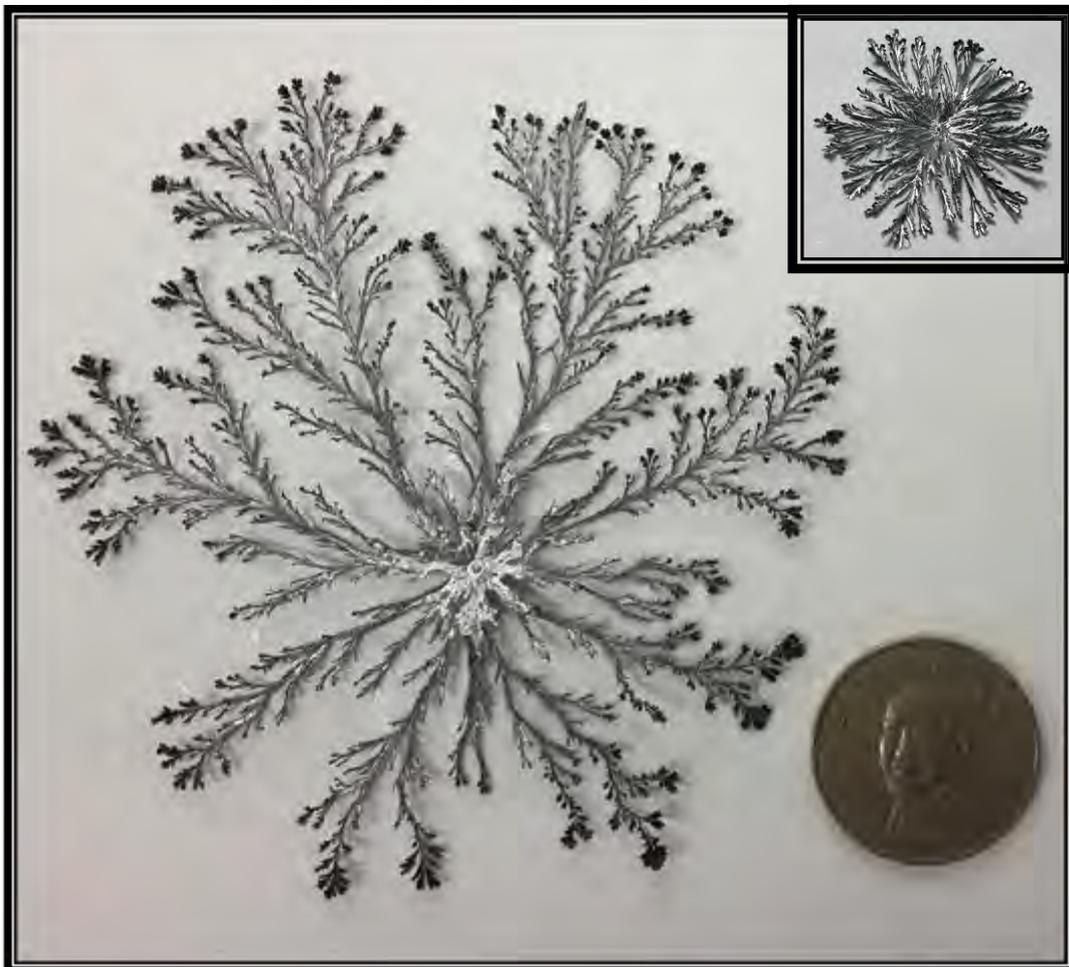


圖 26 超大鋅花和小鋅花比較的比例圖

(三) 實驗討論：

1. 同樣在最佳條件下，只有改變正極面積，比較直徑 10cm 和 3cm 的大、小鋅花，發現兩者形態相同，差別在於大鋅花的分支較長，分化的次數由四次增加為七次，輪廓較為細緻、清楚。

十二、實驗十二：利用乾電池設計簡易鋅花電析裝置，製作美麗的鋅花標本

(一) 實驗步驟：

1. 拆解廢乾電池，剪下鋅殼當正極，分別用電池拆下的碳棒及筆芯當負極。



圖 27 乾電池拆解圖

2. 以零件盒作為容器，電池作為電源，組成簡易電解裝置，如圖 28 所示，通電觀察鋅花生成情形。

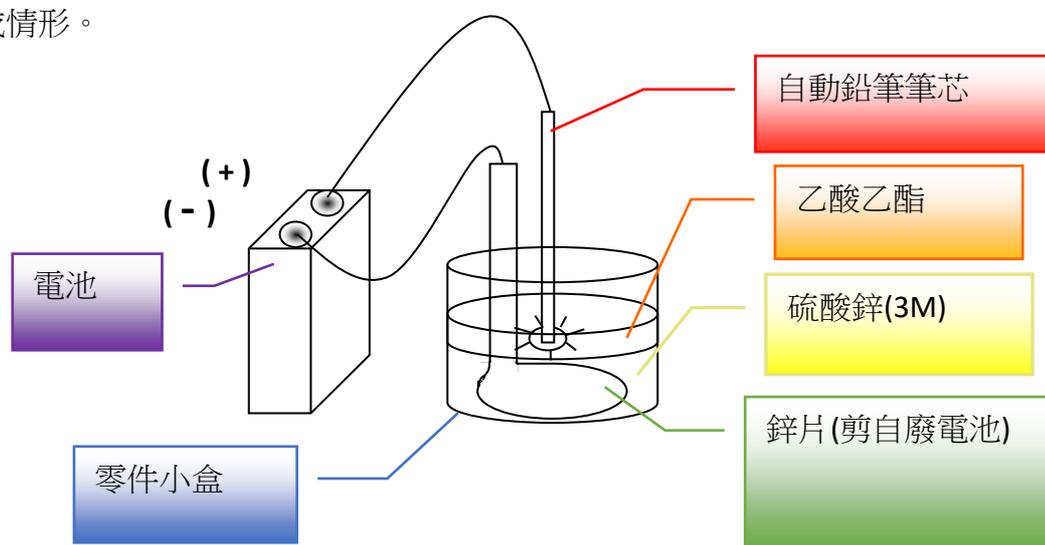


圖 28 乾電池簡易鋅花電解裝置示意圖

(二) 實驗結果與討論：

<p>碳棒作負極撕下呈中空膜狀</p>	<p>極距 0.3cm，以支架調整，高度較穩定，鋅花紋路較細小</p>	<p>極距 0.3cm，手動調整高度，容易抖動，產生像年輪的紋路。</p>

圖 29 多電壓鋅花放大圖

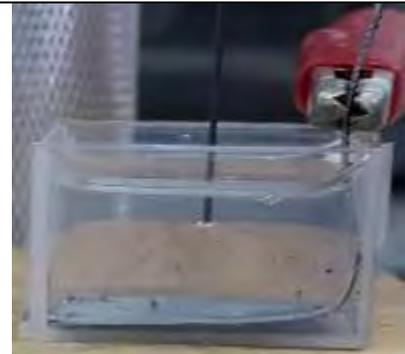
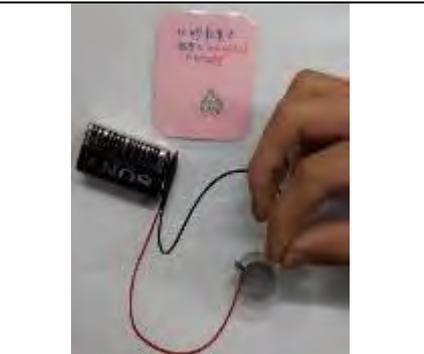
		
<p>乙酸乙酯和聚丙烯零件盒附著力>內聚力，硫酸鋅溶液和聚丙烯零件盒附著力<內聚力，交界面呈凸起</p>	<p>串四個 1.5V 的乾電池</p>	<p>9V 方形乾電池，中央分枝快，取出破裂</p>

圖 30 以電池作電源實驗圖

		
<p>3M 6V 取出完整</p>	<p>放大圖</p>	<p>邊緣放大圖</p>

圖 31 串四個 1.5V 乾電池的鋅花及其放大圖

陸、結論

- 一、因為氫的還原(0V)電位遠大於(-0.76V)，就算提高鋅離子的濃度，也無法用取代法得到鋅樹，所以我們改用**電解法**。
- 二、濾紙電解法結晶呈不規則薄膜狀；直接電解法呈下垂樹枝狀結晶(長毛)；**界面**電解法呈光亮的平面枝狀薄膜，就像開花一樣，閃亮又美麗稱為**鋅花**。
- 三、有機相為沙拉油、松香水及正己烷時，鋅花呈不規則尖刺狀，且中心發黑；而使用**乙酸乙酯**，能夠順利展開呈規則。會造成這樣的結果，推測可能跟有機層對水的溶解度，以及分散性的改善有關。
- 四、不同鋅電解液的導電性和移動性不同，生成的鋅花型態也不同，氯化鋅易向下生長成超級細密的樹枝結晶，硝酸鋅電解液呈黑色毛邊的結晶，**硫酸鋅**較易形成平面薄膜狀的鋅花。
- 五、濃度和電壓大小會影響電流和結晶速度，造成不同的鋅花型態，整理如下：

電壓 6V：

濃度	0.1M	0.5M	1M	3M
形狀	海綿狀	→ 薄膜狀(易破)	→ 細枝狀(灰色)	→ 粗枝狀(銀色)
完整取出	×	×	○	○

濃度 0.5M：

電壓	1.5V	3V	4.5V	6V	9V
形狀	灰色超細枝狀	→	薄膜狀(易破)		
完整取出	×		×		

- 六、正極的面積會限制鋅花生成的大小，直徑越大，鋅花分布越廣，超過的部分，離子不易擴散到，生長緩慢且容易變黑。
- 七、極距越大，阻力增加，電流變小，且分支越細，孔隙越多、亮度也隨之降低，**表面**從**光亮緻密**，變成鬆散暗灰色的**細枝**。
- 八、負極碳棒越粗，鋅花分支越少。但 2mm 與 10mm 因接觸面積過大，導致鋅花不易取下，故使用 **0.5mm** 為佳。
- 九、不同尖端形狀生成之鋅花大小雖差不多，但圓尖與一字形電極易在尖端聚集電子，向下結晶導致鋅花的分裂，故使用**磨平形**為佳。
- 十、電解液溫度愈高，電流愈大，生長速度也愈快。20°C時，鋅花生長至直徑 1cm 便不再生長；40°C與 50°C時，電流大，生長太快，成為不規則狀，故選用 **30°C** 作為最佳實驗條件。
- 十一、利用 10cm 鋅片在最佳條件下製作超級大鋅花，直徑生長到 10cm 需 30min。而大鋅花分枝結構比小鋅花分化更細緻。
- 十二、硫酸鋅電解液可回收一再使用，以電池做電源，拆解廢電池製作的簡易電解裝置，約 2 分鐘時間，就可快速電得各種型態的閃亮鋅花，可推廣應用於電化學實驗及工藝製作。

柒、參考資料

一、國中理化課本(二)(四)(南一版)。

二、金屬電鍍法，林秀雄編著，大孚書局。

三、相關網站：

(一)小小整理網站：氧化還原電位(Redoxpotential) 2017/9/8

取自：<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=3464>

(二)維基百科：電解 2017/9/8

取自：<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/電解>

(三)維基百科：電鍍 2017/9/8

取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/電鍍>

(四)維基百科：氧化還原反應 2017/9/8

取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/氧化還原反應>

(五)電鍍與電鍍的原理 2017/9/8

取自：http://www.nani.com.tw/nani/jlearn/natu/ability/a1/6_a1_4_11.htm

(六)擁有生命的金屬樹—科展群傑廳 2018/2/13

取自：

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=4259>

(七)神奇的金屬樹—鉛樹及銅樹的研究—科展群傑廳 2018/2/13

取自：

<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=3956>

捌、未來展望

一、心得：

- (一)國中的理化課本中的實驗，常常因課程時間上的問題而無法著手操作，無法實際了解化學知識背後的緣由，而此次的實驗正讓我們對課本講述的氧化還原反應、電流的化學效應—電解和電鍍—有更深入的理解，不再只是背誦原理的表面。
- (二)實驗中往往會遇到許多困難，如我們實驗中電析時容易析出黑色毛狀下垂鋅金屬失敗品，需要仔細控制負極碳棒高度，耗費大量時間與眼力，近視也因此加深了不少，但這同時也培養了我們遇到困難時該不屈不撓、持之以恆的精神，這才是最重要的。
- (三)實驗中仍有可繼續探討的地方，如其他含鋅電解液還未能成功析出平面薄膜花狀金屬，尚無使用其他金屬的電解液實驗析出如本實驗中漂亮的金屬結晶等，值得日後我們持續努力，將其加以研究與解決，整理如下：

二、延伸問題：

- (一)是否有條件能使其他含鋅電解液所析出的鋅金屬成平面薄膜狀？
- (二)有無更好的有機相與水相之搭配能更容易析出平面薄膜金屬？
- (三)能否以其他金屬（鎂、錫、鉛…）與電解液析出如本實驗成果之花狀結晶？
- (四)能否以特殊條件控制使析出之金屬呈特殊造型？

【評語】 030207

本研究觀測 Zn^{2+} 於電解還原所得之外觀形貌，並使用廢棄物做為反應物，使化學觀測更添樂趣及生活趣味。利用電流的化學效應，在乙酸酯與硫酸鋅溶液之交界面，生成如花朵般薄膜狀的鋅金屬結晶，命名為鋅花。有系統探討鋅花形成因素的影響，值得鼓勵。唯不足點為內容大多偏重於現象觀測，若可針對形貌成因進行堆積晶格面深入探討及解釋，將可使本研究添色許多，以下幾點建議：

- (1) 為何硫酸鋅、氧化鋅與硝酸鋅所形成的形狀不同？如果此研究內容可以藉由現象的觀察將鋅花的成長機制做一說明，將更趨完善與形狀控制。
- (2) 此研究找些實際的應用的層面，例如是否可以應用化學催化上？
- (3) 鋅的電析產生不同的結構，控制熱力學和動力學的平衡，具有應用以及藝術的價值。

壹、研究動機

鋅的活性，並沒有像鉛、銅、銀那麼的小，就算用鎂、鋁來置換硫酸鋅，也只會冒氫氣泡泡，長不出鋅樹；因此我們改嘗試通電，希望利用電解法可以生長出鋅的漂亮結晶，過程中為了找出最適合的方法和條件，我們遇到了種種問題與新發現，並設計出一連串的實驗探討之.....

貳、研究目的

- 一、比較並找出形成金屬花電析出的方法，進行實驗裝置設計。
- 二、探討鋅金屬花電析的影響因素：
 - (一)不同電解液條件(濃度、配方)。
 - (二)不同電極條件(面積、粗細、距離、形狀)。
 - (三)不同反應條件(電壓、溫度)對金屬花電析的影響。
- 三、歸納找出製作鋅花的最佳條件，製作超級大鋅花。
- 四、利用廢乾電池和電池設計簡易鋅花電析裝置，製作鋅花標本。

參、研究器材與藥品

- 一、實驗器材：電源供應器、數位顯微鏡、抽氣馬達。
- 二、實驗藥品：鋅片、硫酸鋅、乙酸乙酯(餘詳見說明書)

肆、研究方法與討論

一、原理說明：

- 1.電解：將電解質水溶液通以直流電，在兩極發生化學反應的現象，稱為電流的化學效應，又稱為電解。
- 2.電鍍：利用電解原理，將被鍍物置於負極，欲鍍金屬置於正極，電鍍液為含有欲鍍金屬離子的水溶液，通電後，電鍍液裡的金屬離子得到電子後，被覆一層均勻金屬薄膜在負極表面的過程稱為電鍍。
- 3.金屬鋅的電解析出：以鋅片為正極，碳棒為負極，硫酸鋅為電解液，通以直流電析出金屬鋅

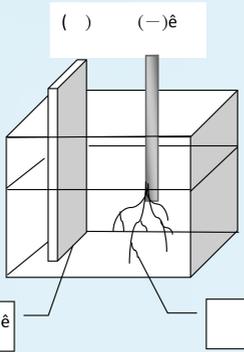
反應式：



鋅原子失去電子(氧化)成鋅離子，鋅片溶解。



鋅離子得到電子(還原)成鋅原子，析出金屬結晶。



二、實驗探討：

實驗一 探討不同電解方法對鋅花電析的影響

1. 螺絲：取 3M 的硫酸鋅溶液 10ml 放入燒杯，用鋅片作為正極，4B 自動鉛筆芯作為負極碳棒，平行插入硫酸鋅溶液中，通以 4.5V 電壓，觀察並紀錄其反應。

2. 熔鋅顯微鏡：剪長 7cm 寬 5cm 濾紙，浸於 3M 的硫酸鋅溶液中，取小鋅片做為正負極，在濾紙上以 4.5V 電壓觀察並紀錄其反應。

3. 在我們添加有機溶劑在硫酸鋅水溶液上，在交界面的水膜上通電，看看是否可析出形狀規則的薄膜結晶。

4. 改良實驗的方法如下：

5. 試過好幾次，結果發現鋅金屬果然會貼著交界面的水膜，生成平面完整的枝狀結晶，但要小心翼調整負極碳棒位置，不然太高接觸不到水溶液不會反應，太低又容易向下長毛，變回下垂樹枝狀分布，我們也常常因此失敗，非常挫折，重作好幾次才成功。

7. 由下圖結果也發現，正極在側邊，結晶兩邊分支長度並不對稱，呈現雞蛋型，靠近正極一方延伸較長，分布範圍也較大，因此我們將正極改成圓形，並將位置調整到量杯的底部。

8. 進一步改良的實驗方法，裝置和操作步驟如下：

2. 實驗結果與討論：

負極位置在電解液中，鋅花電析出的形狀分布。(呈粗樹枝狀分布，且分枝較靠近右邊正極)。

1. 所示，負極位置在電解液中時雜亂生長，呈下垂樹枝狀金屬結晶，像是「隨便插個插頭」隨便買清潔噴霧塗漆打個修補噴霧。

將顯微鏡調索(正極在側邊)在硫酸鋅水溶液加入 5ml 乙酸乙酯，用長條形鋅片作為正極插入硫酸鋅溶液中，4B 自動鉛筆芯作為負極，調整筆芯尖端位置剛好位於硫酸鋅水溶液和乙酸乙酯的交界面上，通以 4.5V 電壓，觀察並紀錄其反應。

7. 試過好幾次，結果發現鋅金屬果然會貼著交界面的水膜，生成平面完整的枝狀結晶，但要小心翼調整負極碳棒位置，不然太高接觸不到水溶液不會反應，太低又容易向下長毛，變回下垂樹枝狀分布，我們也常常因此失敗，非常挫折，重作好幾次才成功。

面電解法鋅金屬析出情況圖

8. 進一步改良的實驗方法，裝置和操作步驟如下：

4. 首筆顯微鏡調索(正極在側邊)將步驟 3 中，改用圓形鋅片作為正極放在燒杯底部，實驗裝置設計如圖 1，按照上述所有步驟重複進行，觀察並紀錄其反應。

實驗裝置圖

勝

名稱	體積	體積	體積
3D 立體樹狀，形狀像長毛的針，雜亂不具美感。	2D 薄膜或枝狀，和在紙張纖維中，雜亂不明瞭，形狀不規則像樹枝。	2D 薄膜或枝狀，表面光亮清楚，形狀規則像一朵花。	
反應快速，電解液可回收重複使用。	反應緩慢，電解液無法回收。	反應快速，電解液可回收重複使用。	
文獻稱為「整釘」	文獻也稱為「整釘」	我們取名叫金屬花，因為是鋅金屬所以就叫「閱」	

實驗二 探討不同有機相對鋅花電析的影響

(一)實驗步驟：

- 1.在量杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
- 2.加入 3M 硫酸鋅，使水面距離正極正極 1cm。
- 3.加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
- 4.以 0.5mm 扁平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於乙酸乙酯和水溶液交界面上。
- 5.通以 4.5V 電壓，錄影觀察 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和鋅花生成情形。
- 6.將步驟 3 有機相改為沙拉油、松香水、正己烷重複上述步驟。

(二)實驗結果：

有機相	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
沙拉油	0.26A	0.38A	0.42A	
松香水	0.28A	0.35A	0.43A	
正己烷	0.3A	0.42A	0.41A	0.28A

(三)實驗討論：

1. 有機相為沙拉油、松香水及正己烷時，鋅花呈不規則毛刺狀，且中心發黑，嘗試好幾次都長毛，乙酸乙酯顯微鏡拍攝構構異動並發現結構兩端異動結構擴展成美麗的金屬花。
2. 會造成這樣的結果，推測可能跟有機相對水的溶解度，以及分散性的改善有關。
3. 以乙酸乙酯作為有機相，推測因為結晶在：

實驗三 探討不同濃度硫酸鋅在不同電壓下鋅花電析的情形對鋅花電析的影響

(一)實驗步驟：

- 1.在量杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
- 2.加入濃度 3M 的硫酸鋅，使水面距離正極正極 1cm。
- 3.加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
- 4.插入直徑 0.5mm 扁平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於乙酸乙酯和水溶液的交界面上。
- 5.通以 1.5V 電壓，錄影 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和並觀察鋅花生成情形。
- 6.將步驟 5 電壓改為 3V、4.5V、6V、9V 重複上述步驟。
- 7.分別配置 0.1M、0.5M、1M 的硫酸鋅溶液，改變步驟 2 的硫酸鋅濃度，按照上述所有步驟重複進行，並一樣每 30 秒紀錄電流大小和並觀察鋅花生成情形。

(二)實驗結果：

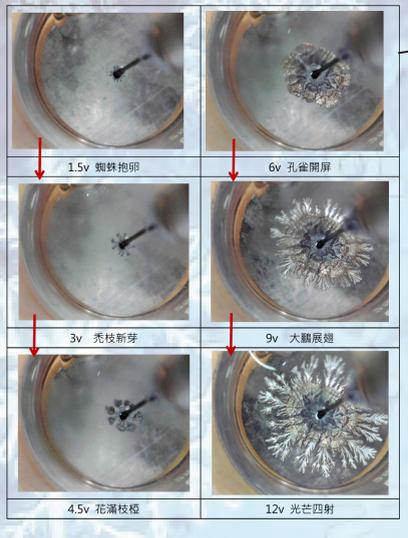
電壓	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
1.5V	0.01A	0.03A	0.07A	0.12A
3V	0.04A	0.11A	0.26A	0.48A
4.5V	0.12A	0.36A	0.60A	0.84A
6V	0.25A	0.75A	1.25A	1.75A
9V	0.78A	2.34A	3.90A	5.46A

(三)實驗討論：

1. 低濃度時，電流隨負極電壓增加而變大，提高濃度後電流增加的斜率逐漸變小，3M 高濃度時，在通電 60 秒後反而電流會隨時間增加而逐漸變小，因此容易分佈不均勻，造成結晶度變慢，電流因此下降。
2. 0.1M 濃度大小，鋅含量太低，無論如何調整電壓，都只能得到顆粒粗糙，但結構鬆散，呈海綿狀(密集粉狀)的黃色粉紅質粉狀物，因此只加至 6V 即停止操作。

面電解法鋅金屬析出情況圖

0.1M 1.5V 硫酸鋅 3V 生長情形 0.1M 硫酸鋅 3V 生長情形 0.1M 硫酸鋅 6V 生長情形

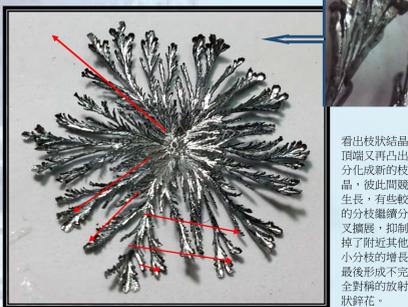
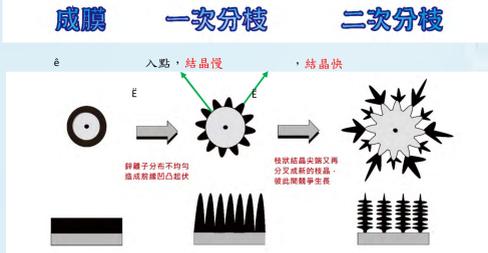


0.5M 硫酸鋅 1.5V ~ 12V 連續變換電壓的連續結晶變化，從超細小稀疏分枝，到密集薄層狀展開，又再分化出較粗大的分枝，形成的鋅花結晶瞬息萬變，非常漂亮，可惜結晶太細，太薄無法完整取出，只能錄影下來留念。

2M 和 3M 濃度較高，結晶速度較快，但也因此容易造成鋅離子濃度的差異，主要是因為鋅結晶的凹陷處，鋅離子不易擴散進入補充，結晶速度較慢，凸出處鋅離子濃度相對較高，且在尖端電子較容易放電，結晶速度較快，因此容易延伸生成上粗下細的枝椏。1M 和 3M 兩種濃度都可完整取出，差別在於 1M 較薄，光澤也較暗，周圍也更容易有燒焦現象，而 3M 分支突出，脈絡清楚，厚實堅固，不需要用鑷子撈取，直接黏在負極尖端拉出水面即可取下。



1M 硫酸鋅在 4.5V 的鋅花邊緣呈焦黑灰色現象，1M 硫酸鋅在 6V 的鋅花邊緣仍有灰暗結晶。



3M 4.5V 鋅花放大圖 光亮但晶質比較較細。

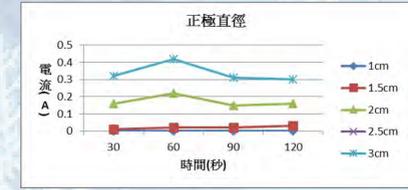


實驗四 探討不同的正極面積對鋅花電析的影響

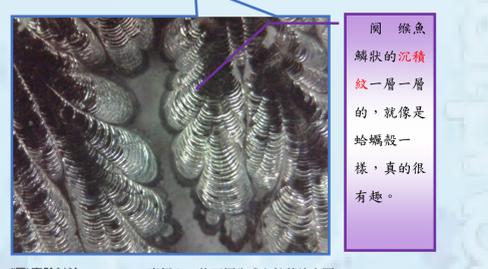
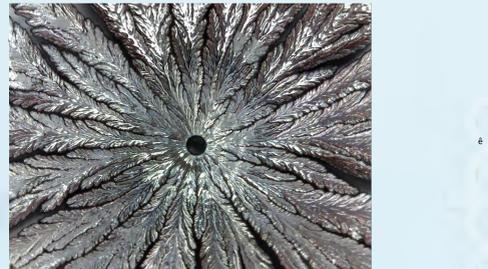
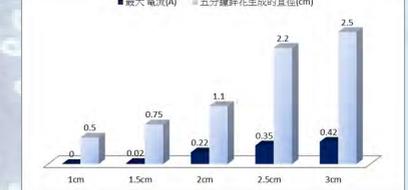
- (一)實驗步驟：
- 1.在玻璃杯底中置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
 - 2.加入濃度 3M 的硫酸鋅，使水面距離杯底正極 1cm。
 - 3.加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
 - 4.插入 0.5mm 磨平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 5.通以 6V 電流中，錄影觀察 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和鋅花生成情形。
 - 6.步驟 1 直徑改為 1cm、1.5cm、2cm、2.5cm 重複上述步驟。

30°C 6V 1~3cm 不同正極直徑鋅花的生長情形

正極直徑	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
1cm	0.0A 極為緩慢持續生長	0.0A 極為緩慢持續生長	0.0A 繼續緩慢展開	0.0A 周圍呈細小鋸齒狀微突出
1.5cm	0.01 A 先薄層再呈分枝展開	0.02A 邊緣略帶微黑	0.02A 邊緣黑色逐漸轉灰	0.03A 生長停滯，不再增大
2cm	0.16A 薄層狀快速展開，邊緣生成細毛	0.22A 細毛持續生長，為細微突出	0.15A 周圍微黑	0.16A 生長停滯
2.5cm	0.25A 薄層狀快速展開	0.35A 持續生長，周圍分裂	0.27A 持續生長	0.26A 持續生長，但速度明顯變慢
3cm	0.32A 薄層狀快速展開	0.42A 持續生長，周圍分裂	0.31A 持續開花	0.30A 持續開出大花



正極直徑(cm)	電流(A)	2分鐘鋅花生成直徑(cm)
1.0	0	0.50
1.5	0.02	0.75
2.0	0.22	1.10
2.5	0.35	2.20
3.0	0.42	2.50



(三)實驗討論：

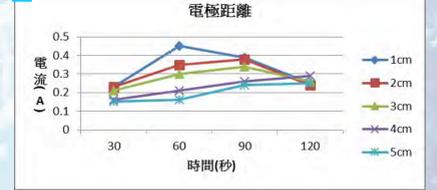
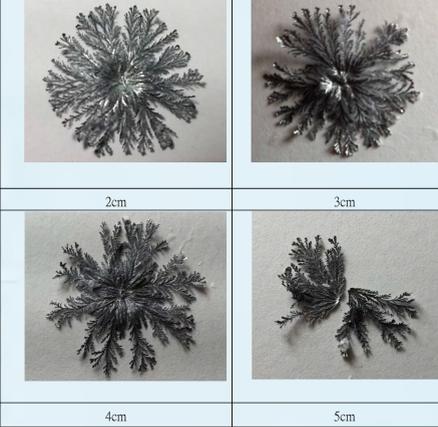
- 1.正極直徑越大，電流愈大，鋅花生成速度也愈快，呈一正相關。
- 2.從顯微鏡的放大圖可觀察到，受到乙酸乙酯的阻滯，鋅花上層鋅原子的堆積，是一層接著一層向外蔓延，非常緊密有序。
- 3.小面積的正極，因為鋅離子補充速度較慢，所以鋅花的生長大小會受到限制，而且在外圍的前緣容易燒焦發黑，發灰失去鏡面光澤。我們用顯微鏡放大500倍觀察，發現竟然像蝴蝶翅具有特殊光澤，而且看到邊緣分佈像齒輪的輪廓，要是能夠使用到更高倍數的顯微鏡觀察，猜測應該可以觀察到粒子凹凸不平的排列。

實驗五 探討不同的電極距離對鋅花電析的影響

- (一)實驗步驟
- 1.在玻璃杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
 - 2.加入 3M 硫酸鋅，使水面距離杯底正極 1cm。
 - 3.加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
 - 4.插入 0.5mm 磨平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 5.通以 6V 電流中，錄影觀察 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和鋅花生成情形。
 - 6.步驟 2 距離改為 2cm、3cm、4cm、5cm 重複上述步驟。



- (二)實驗結果
- 30°C 6V 1-5cm 不同電極距離鋅花生成情形
- | 電極距離 | 30 秒 | 60 秒 | 90 秒 | 120 秒 |
|------|--------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------|
| 1cm | 0.23 A 細密緊密，薄膜狀展開，周圍易為分裂 | 0.45 A 呈現粗大分支 | 0.39 A 分支厚粗，延緩，色澤明亮 | 0.25 A 厚粗，延緩，色澤明亮，可輕易取出，分支粗大厚實 |
| 2cm | 0.23 A 周圍分裂明顯 | 0.35 A 分支擴展，開闊 | 0.38 A 繼續分支，開闊 | 0.24 A 分枝較細，漆較暗 |
| 3cm | 0.21 A 周圍分裂較細 | 0.30 A 分支增長 | 0.34 A 繼續細密分支，光澤明顯偏暗 | 0.26 A 分枝更細 |
| 4cm | 0.16 A 周圍分支更細 | 0.21 A 分支增長 | 0.26 A 顏色較灰 | 0.29 A 細絲狀分支 |
| 5cm | 0.15 A 細細微弱 | 0.16 A 分支微細 | 0.24 A 灰色，完全無光澤 | 0.25 A 非常細，無法完整取出 |



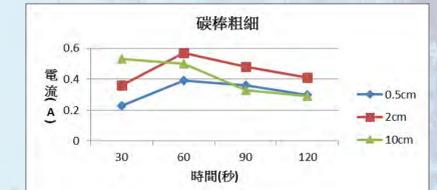
實驗六 探討不同的負極粗細對鋅花電析的影響

- (一)實驗步驟：
- 1.在量杯中放入直徑 3cm 圓形正極鋅片，倒入 3M 硫酸鋅，使水面距離杯底 0.5cm。
 - 2.插入 0.5mm 磨平負極碳棒，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 3.通以 6V 電流中，觀察 2 分鐘鋅花生成情形，每 30 秒紀錄電流大小。
 - 4.步驟 2 碳棒粗細改為 0.9mm、2mm、10mm 重複實驗。



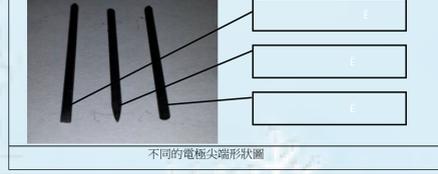
(二)實驗結果： 30°C、6V、0.5cm 極距，不同粗細負極鋅花生成情形

粗細	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
0.5mm	0.0A 晶	0.39A 晶	0.36A 晶	0.3A 晶
2mm	0.0A 開中心略黑	0.57A 開中心略黑	0.88A 像菊花一樣	0.41A 呈長條片狀
10mm	0.0A 長出薄層	0.5A 開	0.33A 薄	0.29A 圓盤無法取出



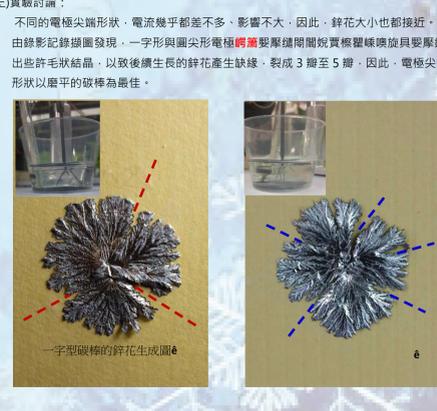
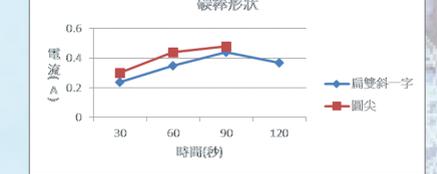
實驗七 探討不同的電極尖端形狀對鋅花電析的影響

- (一)實驗步驟
- 1.在量杯中放入正極鋅片，倒入 3M 硫酸鋅，使水面距離杯底 0.5cm。
 - 2.插入 2mm 磨平負極碳棒，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 3.通以 6V 電流中，觀察 2 分鐘鋅花生成情形，每 30 秒紀錄電流大小。
 - 4.將步驟 2 形狀改為雙斜一字、圓尖，重複實驗。



(二)實驗結果： 30°C 下，3M 硫酸鋅在不同負極尖端形狀下電析的情形

形狀	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
雙斜一字	0.24A 狀結晶，兩側薄膜狀展開	0.35A 繼續伸，兩側繼續擴展	0.44A 花	0.37A 顯，針狀立體結晶，繼續生長
圓尖	0.30A 狀立體結晶，成薄層狀生長	0.44A 支處較不明顯，呈五瓣狀薄層展開	0.48A 明顯，呈菊	0.29A 花狀生長，怕短路停止通電

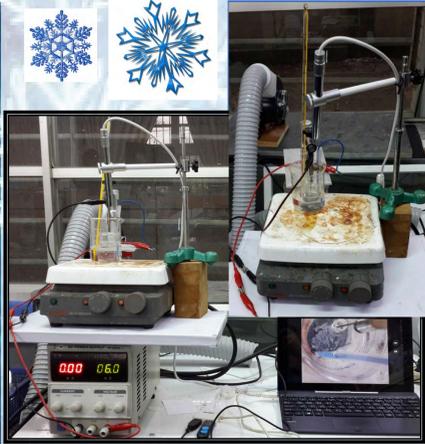


(三)實驗討論：

- 1.不同的電極尖端形狀，電流幾乎都差不多，影響不大，因此，鋅花大小也都接近。
- 2.由錄影紀錄發現，一字形與圓尖形電極，主要影響開闊度與層數，圓尖形電極會產生些許毛狀結晶，以致後續生長的鋅花產生缺憾，裂成 3 瓣至 5 瓣，因此，電極尖端形狀以磨平的碳棒為最佳。

實驗八 探討不同溫度對鋅花電析的影響

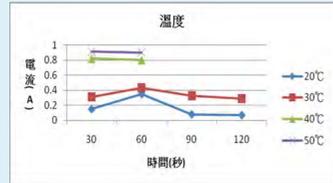
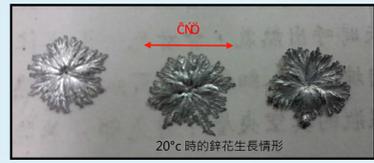
- (一)實驗步驟：
- 1.在玻璃杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
 - 2.加入 3M 硫酸鋅，使水面距離杯底正極 1cm。
 - 3.加入 0.5cm 高的乙酸乙酯。
 - 4.插入 0.5mm 磨平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 5.通以 6V 電流中，錄影觀察 2 分鐘，每 30 秒紀錄電流大小和鋅花生成情形。
 - 6.水浴加熱改變溫度為 30°C、40°C、50°C 重複實驗。



(二)實驗結果：

溫度	30 秒	60 秒	90 秒	120 秒
20°C	0.15A 呈薄膜狀緩慢生長	0.35A 逐漸分支	0.08A 直徑幾乎不再變動	0.07A 因電流過小而完全停止生長
30°C	0.31A 迅速展開薄膜	0.43A 逐漸產生細分支	0.33A 生長呈雪花狀分支	0.29A 電流逐漸轉小，生長也漸趨緩慢
40°C	0.82A 瞬間分支成膜狀再以薄膜狀展開	0.80A 薄膜持續生長呈不規則狀	碰撞杯壁，停止通電	
50°C	0.91A 瞬間分支成膜狀	0.90A 生長迅速呈大片薄膜且幾乎碰觸到杯壁	碰撞杯壁，停止通電	

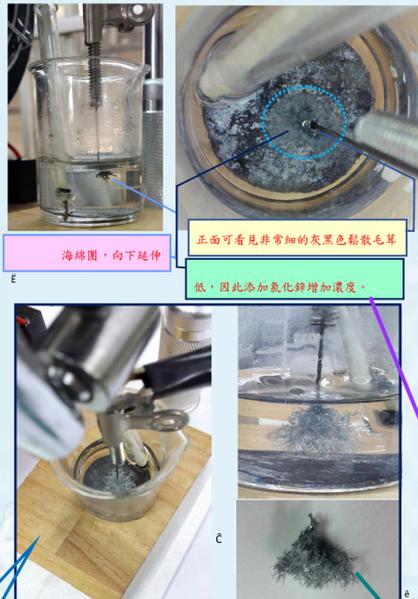
註記代表可完整取出



- (三)實驗討論：
1. 實驗結果的關係圖得知當電解液溫度愈高，鋅離子擴散能力增加，反應的速度會越快，因此所偵測到的電流也愈大。
 2. 由錄影紀錄顯圖發現，在 20 度鋅花長到直徑 1cm 就停止生長，主要原因是溫度低，電流極小以致反應速度慢，因此對定的大小即生長趨緩近停止生長，重複操作三次都是如此，因此溫度也會限制鋅花所能生長到之大小。
 3. 40 度和 50 度時，鋅離子移動和補充的速度加快，沉積位置分散較為均勻，因此容易偏向形成膜狀結晶，不過因為這樣的結晶生長太快、太薄以致無法完整取出。

實驗九 探討不同電解液對鋅花電析的影響

- (一)實驗步驟：
- 1.在燒杯中加入 0.2g 氯化鋅和 1g 氫氧化鈉，加水 10ml 配成電解液。
 - 2.在燒杯底置入直徑 3cm 的圓形正極鋅片。
 - 3.加入 2ml 的乙酸乙酯。
 - 4.插入 0.5mm 磨平的碳棒作為負極，調整尖端位置位於水的界面上。
 - 5.通以 6V 電流，觀察並錄影紀錄鋅金屬生成情形。
 - 6.將步驟 1 改成加入 2.5g 氯化鋅和 0.6g 氫氧化鈉，加水 10ml 重複其餘操作。
 - 7.將步驟 6 改成加入 2.5g 氯化鋅和 3g 氫氧化鈉，加水 10ml 重複其餘操作。



海綿圈，向下延伸

正面可見非常細的灰黑色鬆散毛茸

低，因此添加氯化鋅增加濃度。

且乙酸乙酯逐漸水解呈白霧狀。

在氫氧化鈉中可增加溶解度，但即使加到飽和，鋅離子數量仍少，以致析出鋅緩慢，提高電壓也只觀察到大量的氫氣冒出，主要是因為鋅離子濃度太小，在鹼性溶液中氫離子較容易逸出，無法形成銀白色光潔細緻的鋅花結晶。

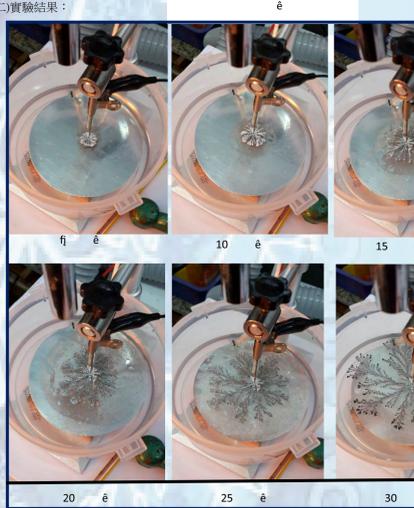
電解液更細的樹枝狀結晶，但重複嘗試好幾次，可能是結晶太細實在太細，都一直向下延伸，很難向周圍形成薄膜狀的漂亮鋅花，好可惜。

得到超級纖細的銀白色結晶，因為太細受重力下拉，呈樹枝狀下垂。

足以支撐形狀，取出場陷像一團鋼絲絨，就不像在水中伸展的樣子好看了。

實驗十 歸納製作鋅花最佳條件，製作超大鋅花標本

- (一)實驗步驟：
- 1.綜合以上實驗與討論，我們歸納出鋅花生成的最佳條件為 0.5mm 碳棒、極距 1cm (因鋅花大，怕短路不宜太近)、30°C、6V 電壓、3M ZnSO₄。
 - 2.準備直徑 11cm 的保鮮盒，剪取直徑 10cm 鋅片作為正極，因為結果易受溫度影響，此時正值冬天，因此採用電暖燈照射維持 30°C 溫度。
 - 3.通電長時間錄影並觀察其鋅花生成的情形，取出製成標本。



(三)實驗討論：

- 1.固定電壓在 6V，一開始電流增加較快，直徑擴張較快，5 分鐘之後一直到製作完成大鋅花電流都維持在 0.65A-0.75A 間作小幅度的變動，這段時間增長非常緩慢，到直徑 10cm 共花費 30 分鐘。
- 2.同樣固定在電壓 6V，比較直徑 10cm 和 3cm 的鋅花，發現兩者分枝形狀非常類似，色澤也都光亮，只有在邊緣有些微的燒焦現象，兩者的差別在於大鋅花除了尺寸放大之外，分支的延伸更長，分化的層次也較多，輪廓也較為細緻且清楚。

極為細緻光亮

剪取鋅花標本時應注意點

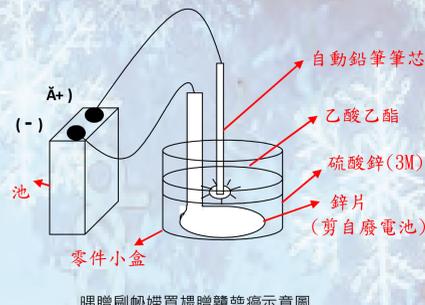
實驗十一 廢乾電池設計簡易鋅花電析裝置，製作鋅花標本

- (一)實驗步驟：
- 1.拆解廢乾電池，剪下鋅殼當正極、乾電池當電源、及鉛筆芯，組裝簡易電解裝置，如設計圖所示，通電觀察並錄影紀錄鋅花生成情形。



陸、參考資料

詳見作品說明書



自動鉛筆筆芯

乙酸乙酯

硫酸鋅 (3M)

鋅片 (剪自廢電池)

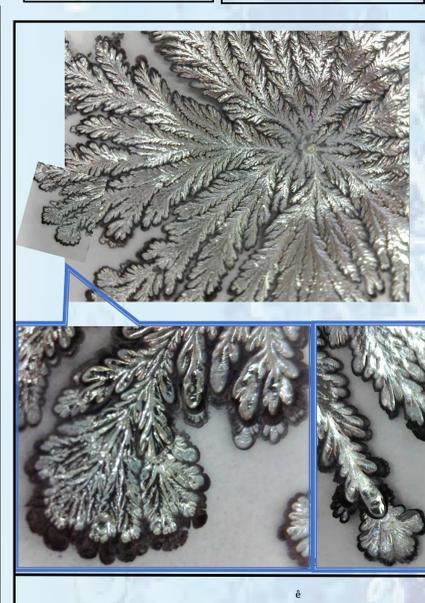
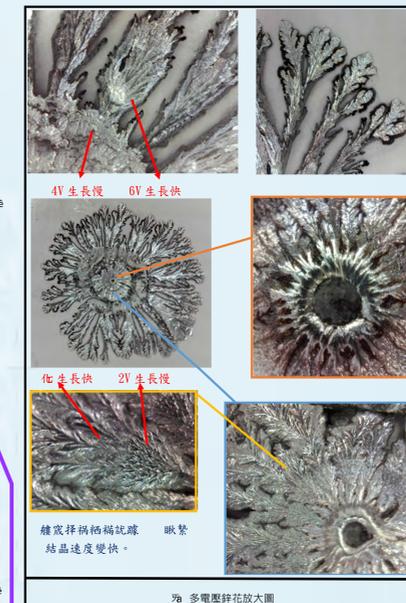
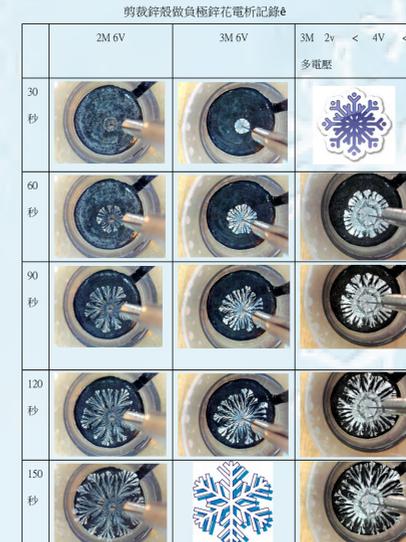
零件小盒

眼睛副射線保護眼鏡

(二)實驗結果與討論：

不透明，不易看到交界面導致常向下長毛。

不易做成漂亮圓形鋅花。



伍、結論

- 一、直接電解法呈下垂樹枝狀結晶(長毛)；濾紙電解法表層呈不規則薄膜狀；界面電解法呈光亮的平面枝狀薄膜，就像開花一樣，閃亮又美麗稱為鋅花。
 - 二、有機相為沙拉油、松香水及正己烷時，鋅花呈不規則尖刺狀，且中心發黑；而使用乙酸乙酯，能夠順利展開呈規則薄膜狀的美麗鋅花。會造成這樣的結果，推測可能跟有機層對水的溶解度，以及分散性的改善有關。
 - 三、濃度和電壓大小會影響電流和結晶速度，造成不同的鋅花型態，整理如下：
- | 年揮 6Vc | 濃度 0.5Mz | | | |
|--------|----------|-------|------|------|
| | 0.25a | 0.35a | 0.4a | 0.5a |
| 完整取出 | x | x | o | o |
- | 年揮 0.5Mz | 電壓 6Vc | | | |
|----------|--------|------|------|------|
| | 2.0v | 3.0v | 4.0v | 6.0v |
| 完整取出 | x | x | x | x |
- 四、正極的面積會限制鋅花生成的大小，直徑越大，電流愈大，鋅花分佈越廣，超過部分離子不易擴散容易燒焦。
 - 五、極距越大，阻力增加，電流變小，且分支越細，孔隙越多、亮度也隨之降低，從光亮緻密的厚膜，逐漸分化，變成鬆散暗灰色的細枝。
 - 六、隨著負極碳棒直徑加粗，鋅花表面更加平整光亮，膜層變得厚，結晶細緻，分支減少。但 2mm 與 10mm 因接觸面積過大，導致鋅花不易取下，故使用 0.5mm 為佳。
 - 七、不同尖端形狀生成之鋅花大小雖差不多，但圓尖與一字形電極易在尖端聚集電子，向下結晶導致鋅花的分裂，故使用磨平形為佳。
 - 八、電解液溫度愈高，電流愈大，生長速度也愈快。20°C 時，鋅花生長至直徑 1cm 便不再生長；40°C 與 50°C 時，電流大，生長太快，成為不規則狀，故選用 30°C 作為最佳實驗條件。
 - 九、氯化鋅溶解度小，就算加入氫氧化鈉也只是生成鬆散灰色結晶，氯化鋅水溶液就算提高濃度到飽和，仍然呈向下生長成超級纖細密集的樹枝結晶，無法在交界面展開薄膜狀鋅花。
 - 十、利用 10cm 鋅片在最佳條件下製作超級大鋅花，一開始的生長較快，後電流做小幅變動，直徑生長到 10cm 需 30min。而大鋅花分枝結構相較於小鋅花來說會更加明顯。
 - 十一、硫酸鋅電解液可回收一再使用，以電池做電源，拆解廢電池製作的微型化電解裝置，約 2 分鐘時間，就可快速電得各種型態的閃亮鋅花，可做資源再利用、操作方便又可活用科學原理，結合環保、科學、科技與藝術，可推廣應用於電化學實驗及工藝製作。