

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

040214

化學繪畫

國立科學工業園區實驗高級中學

作者姓名：

高二 李孟融 高二 余友軒 高二 王亘黼

高二 吳威震

指導老師：

黃紋瑜

第 45 屆

# 中小學科學展覽會

## 作品說明書

|      |           |
|------|-----------|
| 科別   | 化學科       |
| 組別   | 高中組       |
| 作品名稱 | 化學繪畫      |
| 關鍵詞  | 金屬樹、析出、導引 |
| 編號   |           |

## 中小學科學展覽會作品目錄

作品名稱：化學繪畫

|                        |    |
|------------------------|----|
| 壹、摘要.....              | 3  |
| 貳、研究動機.....            | 3  |
| 叁、研究目的.....            | 3  |
| 肆、研究設備及器材.....         | 3  |
| 伍、研究方法.....            | 4  |
| 陸、研究結果(含討論及結論).....    | 9  |
| 一、金屬活性對金屬樹生長方向的影響..... | 9  |
| 二、電磁場對金屬樹生長的探討.....    | 12 |
| 三、研究尖端放電對金屬樹的關係.....   | 17 |
| 四、配位基的存在對金屬樹生長的影響..... | 21 |
| 五、毛細現象對金屬樹析出的影響.....   | 24 |
| 柒、參考資料.....            | 26 |
| 捌、實驗群組科技樹.....         | 27 |

## 壹、摘要

本研究是利用氧化還原與尖端放電兩原理，使還原析出的金屬，在介質中藉由尖端放電生長成有如樹狀的物質。我們的研究重點有別於以往的金屬樹科展作品，是以如何控制或改變金屬樹的生長方向為主；為此我們設計了十幾組實驗，包含理、化操縱變因如：電、磁、光、溫度、配位基、電阻等，同時也對實驗過程中，發現的有趣現象做衍伸研究，如：導引、毛細現象的影響。經過一年多的實驗後，選出五種具有明顯實驗結果與發展潛力的實驗組，作為科展的深入研究，並將成果收錄於作品書中；其中活性組、電磁組為改變金屬樹生長方向的方法，錯離子組可影響金屬樹析出的速度，導引組與紙導引組是直接導引金屬樹的生長。

## 貳、研究動機

我們在高二時學習氧化還原反應，知道活性大的金屬偏向氧化而成為離子，活性小的金屬還原而析出；而且當我們閱讀歷年科展作品時，發現研究金屬樹的實驗，多半探討外加因素對金屬樹析出大小的影響，很少研究析出的路徑與外力的關係，所以我們以如何控制金屬樹析出方向為目標，而投入這個實驗。

## 參、研究目的

研究金屬樹在平面上或立體空間中，操縱變因對金屬樹析出路徑的影響。

## 肆、研究設備及器材

### 一、主要實驗器材：

| 名稱    | 規格    | 數量   | 名稱   | 規格     | 數量   |
|-------|-------|------|------|--------|------|
| 培養皿   | Φ9cm  | 50 個 | 滴瓶   | 25cc   | 10 個 |
| 培養皿蓋子 | Φ10cm | 60 個 | 濾紙   | Φ9cm   | 5 盒  |
| 濾紙    | Φ7cm  | 10 盒 | 廣用試紙 | 5×60mm | 2 盒  |

### 二、次要實驗器材：

| 名稱 | 規格 | 數量   | 名稱   | 規格    | 數量   |
|----|----|------|------|-------|------|
| 電線 | 5m | 1 捲  | 石蠟膜  | 5×5cm | 50 張 |
| 電池 | 9V | 25 個 | 強力磁鐵 |       | 6 個  |

### 三、藥品：

| 名稱                    | 濃度   | 用量    | 名稱  | 濃度  | 用量    |
|-----------------------|------|-------|---|-----|-------|
| SnCl <sub>4(aq)</sub> | 1M   | 500mL | H <sub>2</sub> SO <sub>4(aq)</sub>                  | 12M | 50mL  |
| AgNO <sub>3(aq)</sub> | 0.5M | 150mL | KNaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6(aq)</sub> | 1M  | 150mL |
| CuSO <sub>4(aq)</sub> | 1M   | 2L    | NH <sub>3(aq)</sub>                                 | 1M  | 150mL |

### 四、金屬(純度極高)：

| 名稱    | 規格     | 數量   | 名稱     | 規格     | 數量   |
|-------|--------|------|--------|--------|------|
| 銅(Cu) | 1×10cm | 20 片 | 鋅(Zn)  | 1×10cm | 50 片 |
| 銅(Cu) | 5×5cm  | 10 片 | 鋁(Al)  | 1×10cm | 20 片 |
| 銀(Ag) | 1×10cm | 1 片  | 鉑絲(Pt) | 10cm   | 1 條  |

## 伍、研究方法

### 一、金屬活性對金屬樹生長方向的影響。(活性組)

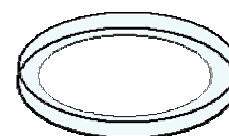
(一)操縱變因：濾紙上的金屬及物品種類。

(二)實驗器材：

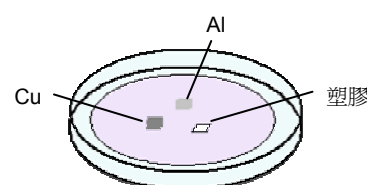
| 濾紙   | 培養皿組      | SnCl <sub>4(aq)</sub> | Al    | Cu    | 塑膠片   |
|------|-----------|-----------------------|-------|-------|-------|
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 1M                    | 5×5mm | 5×5mm | 5×5mm |
| 5 張  | 各 5 個     | 約 20mL                | 5 片   | 5 片   | 5 片   |

(三)實驗步驟：

- 1.取一片乾淨的濾紙，放置在培養皿的中央(如圖 1)。
- 2.將濾紙滴上SnCl<sub>4(aq)</sub>，只要稍微潤濕即可，不可使溶液從邊緣滲出。
- 3.將等大小的 Al、Cu 及塑膠片放在濾紙上，而且為了使效果迅速顯現，可以將 Al、Cu 及塑膠片放得近一點。(如圖 2)
- 4.最後便蓋上培養皿的蓋子，等待結果出現。



【圖 1】



【圖 2】

(四)預期完成的成果：活性較大的金屬可使溶液中的金屬離子析出，這一點是確定的；但反向思考，我們也希望活性較小的金屬是不利於金屬的析出，它能夠消耗掉所析出的金屬，使活性小的金屬周圍無法長出金屬樹。所以我們希望它的效果不光是「阻擋」而已，於是我們也放了一塊塑膠片作為對照，如果結果是我們預期的，便證明活性小的金屬對析出有影響；反之，則證明活性小的金屬擺在那裡的作用跟塑膠片一樣。

(五)預計可能遭遇到的困難：在我們假設「活性小的金屬對析出有影響」的前提下作實驗，可能遇到觀察不易，或者是影響太過微弱，或是根本沒影響。而且氣泡也可能大幅的改變實驗結果，使得金屬析出不易，或是使觀察受影響。

(六)解決途徑：在濾紙要滴上藥品的時候，利用滾壓的方式把氣泡擠出；而且為了節省時間及讓實驗結果明顯，可能會將放置的金屬塊換成金屬粉，除了可以減輕下壓的重量，也可使金屬影響的範圍加大，容易觀察金屬析出的範圍。

## 二、電磁場對金屬樹生長的探討。(電磁組)

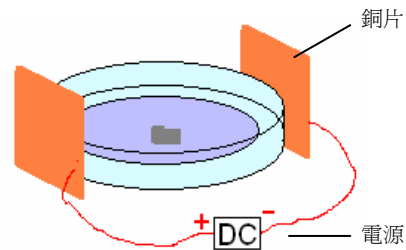
(一)操縱變因：電流、電壓大小及磁鐵的有無。

(二)實驗器材：

| 濾紙   | 培養皿組    | CuSO <sub>4(aq)</sub> | Zn    | 銅片    | 電線 | 電池  | 磁鐵 |
|------|---------|-----------------------|-------|-------|----|-----|----|
| Φ7cm | Φ9及10cm | 1M                    | 5×5mm | 5×5cm | 5m | 9V  |    |
| 5張   | 各5個     | 約40mL                 | 10片   | 4片    | 1捲 | 10個 | 6個 |

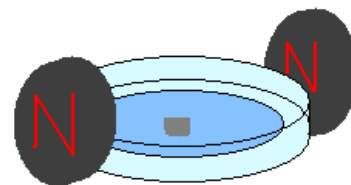
(三)實驗步驟：

- 1.取培養皿，放入濾紙並鋪好。
- 2.滴幾滴1M的CuSO<sub>4</sub>電解液，以兩金屬片架在兩側，培養皿放在中間，而金屬片一個接正極，一個接負極(如圖1)。
- 3.仿照以上步驟做一個磁場組(如圖2)。
- 4.做不加電、磁場的空白實驗(對照組)。
- 5.同時放上鋅片、蓋上蓋子及接上電源。
- 6.作紀錄以及觀察。

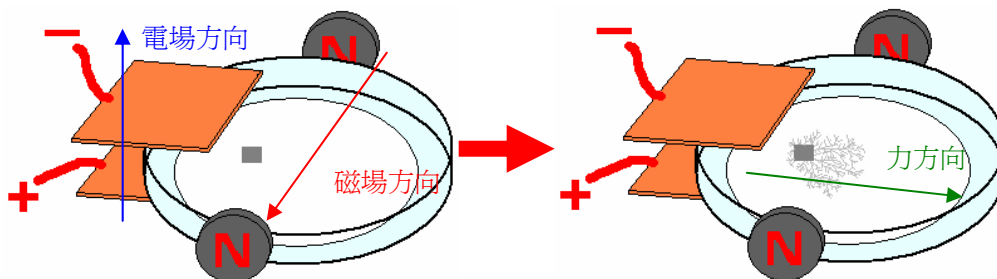


【圖1】

(四)預期完成的成果：電場與磁場的作用差不多，都是影響電子的方向，所以也是以改變金屬樹生長方向為主。希望能用電磁場的搭配(如圖3)，來直接吸引、改變金屬樹析出的方向，直接控制出想要的圖形。



【圖2】



【圖3】預期金屬樹的生長示意圖

(五)預計可能遭遇到的困難：由於很難製造出單獨的正電場或負電場來，而且感應起電的效果又極差，所以只能以分離的電路來製造電場。不過電磁場可能太過於微弱，對於金屬樹析出的影響不易觀察；但是目前並不能斷定電磁場是否對金屬樹析出有影響，有可能是以我們現在的技術來說，很難利用電磁場控制析出方向，導致實驗結果不明顯。

(六)解決途徑：也是只好增加電磁場的強度、縮小實驗的尺度；或是搭配其他輔助技術，讓金屬樹析出的時間較久，才能使實驗結果比較好觀察。

### 三、研究尖端放電對金屬樹的關係。(導引組)

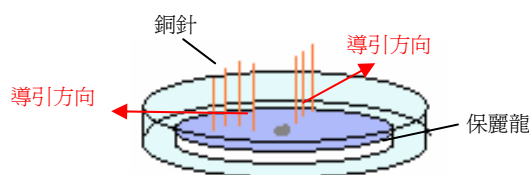
(一)操縱變因：金屬針位置。

(二)實驗器材：

| 濾紙   | 培養皿組      | CuSO <sub>4(aq)</sub> | Zn    | 銅針   | 保麗龍  |
|------|-----------|-----------------------|-------|------|------|
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 1M                    | 5×5mm | 5cm  | Φ7cm |
| 10 張 | 各 10 個    | 約 60mL                | 10 片  | 80 支 | 10 個 |

(三)實驗步驟：

- 1.取培養皿，放入濾紙並鋪好。
- 2.將兩片保麗龍放入培養皿內，並將濾紙鋪在保麗龍上。
- 3.將濾紙滴上藥品，並將數個銅針刺在濾紙上(如圖 1)。
- 4.同時放上鋅片，蓋上蓋子或石蠟膜，注意不要碰到金屬針。
- 5.做一個不插金屬針的對照組。
- 6.觀察實驗結果。

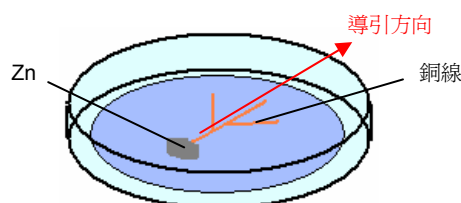


【圖 1】

(四)預期完成的成果：因為許多實驗結果，都說明金屬樹的析出的確和金屬的尖端放電有關係。而且之前的幾個實驗，都只能改變生長速率、生長方向，還很難真正的控制出自己想要的生長方向。所以我們如果想要控制出生長方向，可事先在濾紙上塗上可吸引金屬樹析出的藥品；雖然還沒發現有這種藥品，不過可利用尖端放電原理，簡單的使金屬樹轉彎，或使金屬樹生長至所想要的定點位置。

(五)預計可能遭遇到的困難：金屬樹在生長的時候，非常容易分支，所以即使事先將金屬針刺在濾紙上，金屬樹雖然能生長至所要的定點；但是分支容易影響實驗結果，也影響自己所想畫出的圖形。

(六)解決途徑：可以將金屬針刺得密一點，使金屬針導引金屬樹的功能提升，或是縮短實驗時間，讓實驗結果較早顯現。或者不要利用插針的方式，改成以放置金屬線，來導引金屬樹析出的方向(如圖 2)；不過所放的金屬線活性必須要很小(例如：鉑絲、銅線)，以避免影響金屬樹析出。



【圖 2】

#### 四、配位基的存在對金屬樹生長的影響。(錯離子組)

(一)操縱變因：金屬離子溶液、錯離子溶液。

(二)實驗器材：

|                   |                          |                            |                      |      |                          |                      |
|-------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------|------|--------------------------|----------------------|
| 濾紙                | 培養皿組                     | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | Zn                   | 滴瓶   | $\text{NH}_3(\text{aq})$ | 石蠟膜                  |
| $\Phi 7\text{cm}$ | $\Phi 9$ 及 $10\text{cm}$ | 1M                         | $5\times 5\text{mm}$ | 25cc | 1M                       | $5\times 5\text{cm}$ |
| 6 張               | 各 6 個                    | 約 50mL                     | 6 片                  | 2 個  | 約 100mL                  | 6 張                  |

(三)實驗步驟：

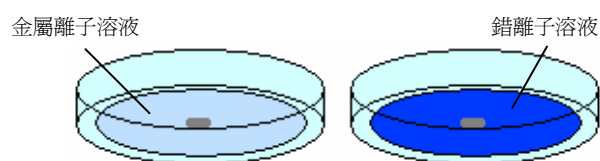
1.取一部分 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ ，並在 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 中加入 $\text{NH}_3(\text{aq})$ ，以產生 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ 的錯合物離子。

2.在兩個乾淨的培養皿中央各放入一張直徑 7cm 的濾紙，再分別滴入 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 及 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ ，並且注意不要殘留氣泡在濾紙和培養皿之間。

3.將鋅片用磨砂紙磨光亮，並剪成適當大小。

4.將磨亮的鋅片放入濾紙中央，再蓋上培養皿的蓋子(如圖 1)。

5.觀察並紀錄實驗結果。



【圖 1】

(四)預期完成的成果：我們利用普通的金屬離子溶液，及金屬的錯離子溶液，希望能夠觀察出錯離子溶液對金屬樹的析出速率有何影響；主要是希望能夠有效的減緩金屬樹析出的速度，而不只是光靠金屬活性來影響析出的速率。如果錯離子能減緩析出的速率，我們希望能夠配合尖端放電原理，慢慢的塑造出想要的圖形，使金屬導引的效果大增。

(五)預計可能遭遇到的困難：有可能錯合物離子的影響太微弱，很難觀察出它與金屬離子溶液對金屬樹析出的差別；或者是錯離子溶液的效果實在是太顯著了，根本很難有金屬樹析出，使得實驗的進度大受影響。

(六)解決途徑：如果錯離子溶液的影響太微弱，我們可以增加它的濃度，讓實驗的效果顯現；如果錯離子溶液的效果太顯著，就降低它的濃度，使得在錯離子溶液之下的金屬樹能夠析出。



## 五、毛細現象對金屬樹析出的影響。(紙導引組)

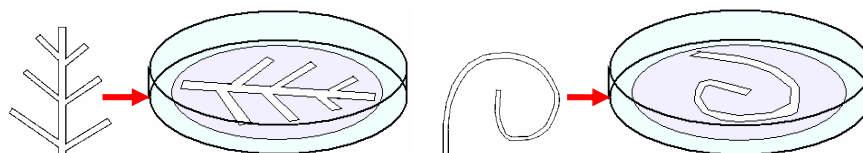
(一)操縱變因：濾紙上紙片的有無及其形狀。

(二)實驗器材：

| 濾紙   | 培養皿組      | CuSO <sub>4(aq)</sub> | Zn    | 滴瓶   | 美工刀 |
|------|-----------|-----------------------|-------|------|-----|
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 1M                    | 5×5mm | 25cc |     |
| 12 張 | 各 9 個     | 約 60mL                | 9 片   | 1 個  | 1 把 |

(三)實驗步驟：

1. 將三組濾紙平放在培養皿中並適度的潤濕，不可殘留氣泡。

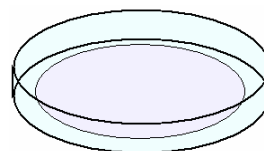


【圖 1】

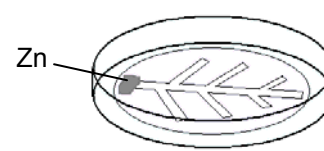
【圖 2】

2. 用乾淨的濾紙剪裁成樹狀的紙片，並放於

其中一組培養皿中(如圖 1)；再用另一片乾淨的濾紙，剪裁成螺旋狀的紙片，並放於另一組培養皿中(如圖 2)；剩下的一組作為對照組(如圖 3)。



【圖 3】



【圖 4】

3. 將鋅片放置至紙片的開頭處(如圖

4)，對照組為了控制變因所以也將鋅片放置至邊緣位置。

4. 蓋上蓋子，並作觀察紀錄。

(四)預期完成的成果：這個實驗是直接導引金屬樹生長方向，靈感來自於酸鹼組與切割導引組中(未收錄)，從割痕的切割形式發現可能使金屬樹順著割痕生長的原因，就是割痕兩側的濾紙有沒有重疊的差別。如果有重疊，則金屬樹容易順著割痕方向生長，所以我們重複並改進之前的實驗，希望加強導引金屬樹的強度。

(五)預計可能遭遇到的困難：由於這個實驗是衍伸出來的，尚無參考資料可以佐證，所以導引紙片的導引效果可能不如預期；另外其它金屬樹的分支也有可能影響受導引分支的顯著性。

(六)解決途徑：如果導引紙片無效或效果不明顯時，就先研究實驗結果，找出改進方法再做實驗；而其他未受導引的分支過度明顯的問題，可事先將金屬片周圍的濾紙割去，只留一小缺口供金屬樹生長，這樣可減緩或阻擋金屬樹其它分支的生長。

## 陸、研究結果(含討論及結論)

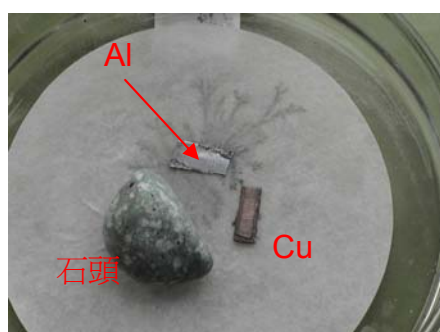
### 一、金屬活性對金屬樹生長方向的影響。

#### (一)第一批實驗：

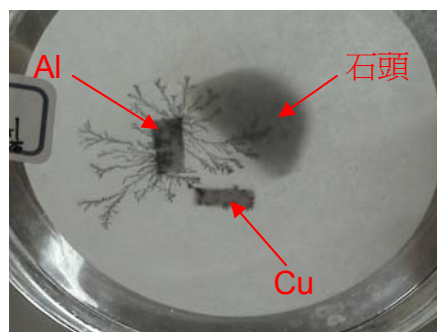
當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材                |                          |      |      | 藥品                         | 金屬    |       |
|-------------------|--------------------------|------|------|----------------------------|-------|-------|
| 濾紙                | 培養皿組                     | 滴瓶   | 石頭   | $\text{SnCl}_4(\text{aq})$ | Cu    | Al    |
| $\Phi 7\text{cm}$ | $\Phi 9$ 及 $10\text{cm}$ | 25cc | 約 5g | 1M                         | 5×5mm | 5×5mm |
| 1 張               | 各 1 個                    | 1 個  | 1 顆  | 約 10mL                     | 1 片   | 1 片   |

我們原本構想是利用濾紙上的物體，「阻擋」金屬樹的生長，所以便放置各種材質的物品，並觀察其對金屬樹的影響。



活性組全照



活性組反面全照

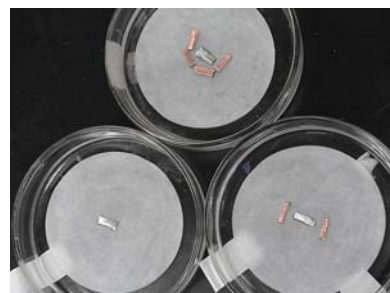
這個實驗的進度比我們原先想像的要來得快，已經證明了非金屬物質的放置，對金屬樹的析出毫無任何影響，如圖中金屬樹依然可在石頭下方正常生長，但是遇到銅片時，則有「跳躍」過銅片生長的情形；但是滴有 $\text{SnCl}_4(\text{aq})$ 的濾紙放至久時，容易有氯氣產生，且原先已經析出的錫金屬，也會受到氧化而慢慢消失，造成保存困難；所以之後的實驗，就全力研究活性小的金屬對金屬樹析出的影響。

## (二)第二批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |           |      | 藥品                           | 金屬    |       |
|------|-----------|------|------------------------------|-------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組      | 滴瓶   | $\text{SnCl}_{4(\text{aq})}$ | Cu    | Al    |
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 25cc | 1M                           | 5×5mm | 5×5mm |
| 3 張  | 各 3 個     | 1 個  | 約 50mL                       | 6 片   | 3 片   |

這個實驗是要研究銅片(或者其他活性比錫小的金屬)對錫樹析出的影響，所以不再放置其他物品；這次使用三組培養皿，其中一個做為對照組，只放置鋁片；另一個放置一片鋁片及兩片銅片，最後一個放一片鋁片及四片銅片。這可以觀察活性小的金屬數量，對金屬樹析出影響的差別。



活性組全照

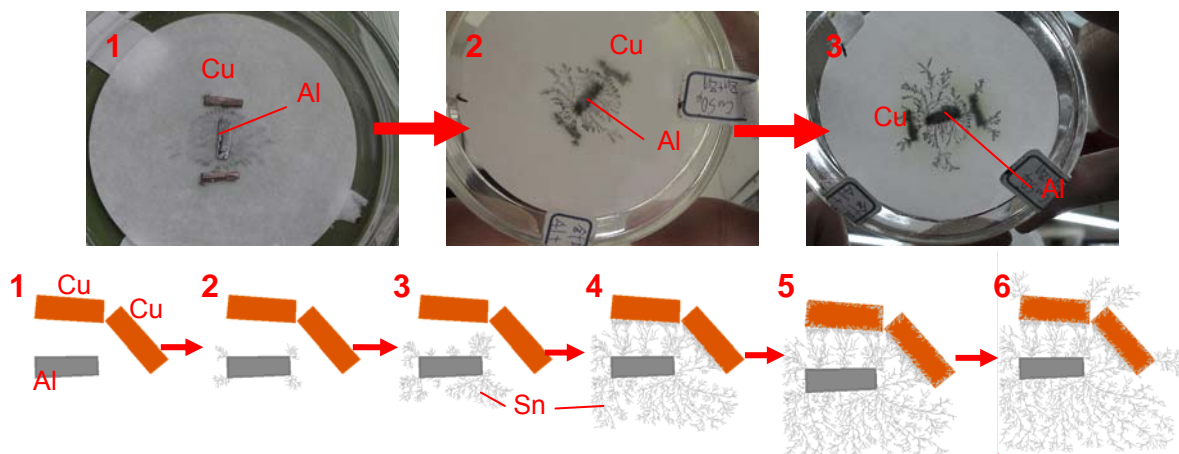
實驗照片：



活性組全照特寫圖

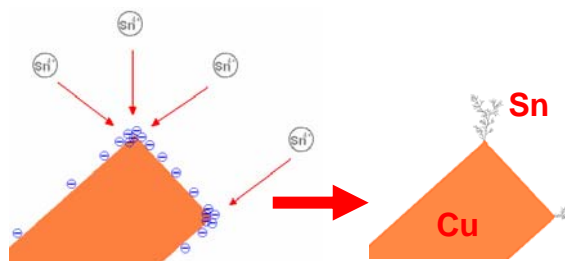
從實驗圖看出，錫樹生長靠近銅片時，會被阻擋下來，然後再由銅片的末端(尖角部分)繼續生長，明顯與對照組的錫樹形狀不同；所以我們判斷，錫樹躍過銅片生長的情形，可能與是銅片導電度較佳有關，或許可利用此性質導引錫樹的生長。

(三)活性組結論：雖然說明書中只收錄兩組實驗，但是我們爲了要保存實驗結果，前後可能做了十組以上的實驗；觀察結果都是自鋁片旁析出的錫樹，如果有銅片阻擋時，錫樹會先生長至銅片旁，並不會直接從銅片下越過，然後再從銅片的尖角部份生長出去(如圖 1)。這種現象可以用導電性與尖端放電原理解釋，由



【圖 1】活性組錫樹生長過程

於氧化還原反應有牽涉到電子轉移的問題，而如果這時有導電性佳、不參與氧化還原的金屬存在時，電子在此導體中移動的速度比其在溶液中還快，這解釋了受銅片影響的錫樹，形狀比對照組還大的原因。金屬導體上的自由電子傾向聚集在曲率半徑較小的地方，原來在溶液中的 $\text{Sn}^{4+}$ 接受了電子後，便析出還原成Sn(如圖 2)，這解釋了爲何錫樹由銅片尖角部分繼續生長；而析出後的Sn也具有導體



【圖 2】尖端放電圖解

的功能，所以Sn便繼續從金屬樹的尖端生長出去。我們認爲活性小的金屬具有「導引」金屬樹的功能，由於金屬的電阻比電解液小，所以更容易吸引電子；如果能將導引用的金屬面積減少，將它視爲一個很小的節點，再將導引金屬在濾紙上排列成想要的圖形，金屬樹可能會順著導引金屬的方向生長。之後的導引組實驗便是從這裡得到啓發，而且改進導引功能的方法也會在之後的實驗中探討，活性組的實驗便到此結束。

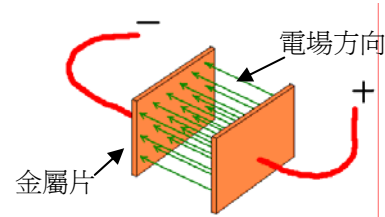
## 二、電磁場對金屬樹生長的探討。

### (一)第一批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |         |      |    |    | 藥品                         | 金屬    |       |
|------|---------|------|----|----|----------------------------|-------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組    | 滴瓶   | 電池 | 電線 | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | 銅片    | Zn    |
| Φ7cm | Φ9及10cm | 25cc | 9V |    | 1M                         | 5×5cm | 5×5mm |
| 2張   | 各2個     | 1個   | 4個 | 1m | 約50mL                      | 2片    | 4片    |

這一次我們試驗電場對金屬樹的影響，實驗裝置是將電池兩端分別接在兩片金屬片上，而不接通電路形成斷路；由於金屬片之間有不同的電位差，所以電子會從正極跨越斷路往負極移動(如圖 1)。



【圖 1】電場

實驗照片：



電場組全照



實驗組特寫



對照組特寫

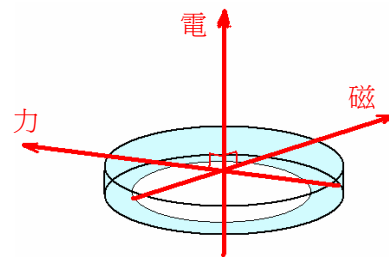
實驗結果觀察到受電場影響的金屬樹，分支偏向正極方向生長，而且偏向正極的長度約 2.5 公分，偏向負極的分支長度約 0.5 公分左右，長度相差甚大；但是對照組的金屬樹有生長不均勻的現象，推測是對照組的位置太接近電場組。實驗組中金屬樹往正極生長的原因，可能是電子受正極吸引的原因；氧化還原牽涉到電子的轉移，鋅金屬所釋出的電子，容易受正極影響而偏向正極，而銅離子接收電子而還原，所以銅析出的位置也可反映該處的電子密度，析出越多銅的代表電子越多，反之則反。

## (二)第二批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

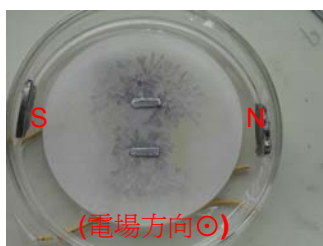
| 器材                |                          |      |     |    | 藥品   | 金屬                         |                       |                       |
|-------------------|--------------------------|------|-----|----|------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 濾紙                | 培養皿組                     | 滴瓶   | 電池  | 電線 | 永久磁鐵 | $\text{SnCl}_4(\text{aq})$ | 銅片                    | Al                    |
| $\Phi 7\text{cm}$ | $\Phi 9$ 及 $10\text{cm}$ | 25cc | 9V  |    |      | 1M                         | $5 \times 5\text{cm}$ | $5 \times 5\text{mm}$ |
| 3張                | 各3個                      | 1個   | 12個 | 1m | 2個   | 約 20mL                     | 2片                    | 6片                    |

這次實驗是電場配合磁場，希望觀察電、磁、外積力對金屬樹的影響(如圖2)，同時也將金屬離子溶液換成 $\text{SnCl}_4$ ，觀察電、磁場對不同溶液的影響。



【圖 2】電磁力與右手開掌定則

實驗照片：



實驗組



實驗組特寫



對照組一特寫



對照組二特寫



感覺上實驗組與對照組的金屬樹外型差不多，沒有特別向電場正、負極或外積力的方向偏長，初步判斷可能是電磁場太微弱、磁鐵之間距離太大，使得實驗結果不明顯，所以我們先往這部份改進。

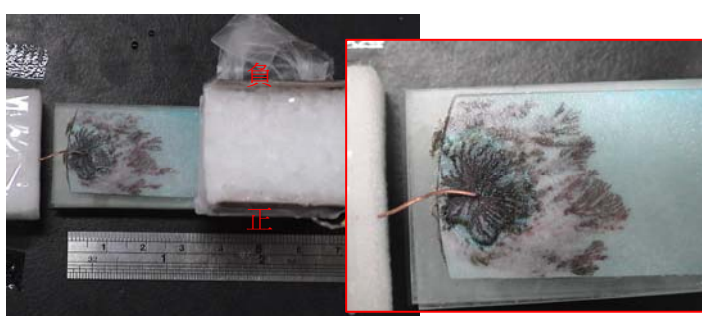
### (三)第三批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

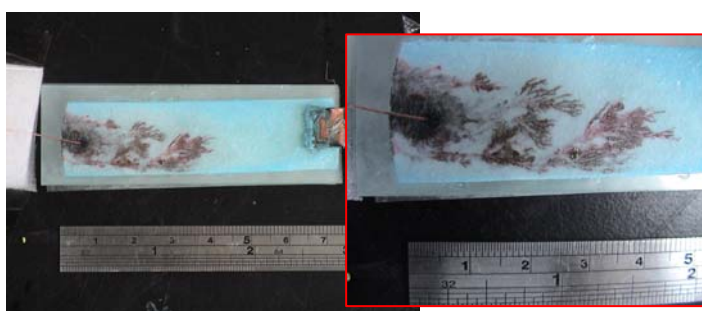
| 器材   |        |      |     |    |     |      | 藥品                    | 金屬    |        |
|------|--------|------|-----|----|-----|------|-----------------------|-------|--------|
| 載玻片  | 電源供應器  | 滴瓶   | 保麗龍 | 電線 | 電蚊拍 | 電池   | CuSO <sub>4(aq)</sub> | 銅片    | 銅片     |
|      | 50V、3A | 25cc |     |    |     | 1.5V | 1M                    | 5×5cm | 1×10cm |
| 10 個 | 1 個    | 1 個  | 2 塊 | 1m | 1 個 | 2 個  | 約 50mL                | 2 片   | 1 片    |

我們改進實驗裝置，縮小電場電極之間的距離至兩公分，而且提高電場電壓到 500 伏特左右，目的是增強電場的強度，使實驗結果更明顯。

實驗照片：



電場組及特寫



對照組及特寫

電解時間與金屬樹長度關係

|         | 電場組  | 對照組  |
|---------|------|------|
| 5 分     | 0.4  | 0.4  |
| 10 分    | 0.6  | 0.55 |
| 15 分    | 0.7  | 0.65 |
| 20 分    | 0.7  | 0.65 |
| 30 分    | 0.8  | 0.7  |
| 40 分    | 0.95 | 1    |
| 50 分    | 1.1  | 2    |
| 60 分    | 1.85 | 2.3  |
| 90 分    | 1.9  | 3.05 |
| 120 分   | 2.45 | 3.7  |
| 長度單位：cm |      |      |

這次實驗中金屬樹生長速度不一致，雖然已經縮短電極之間的距離，但是依然無法觀測到金屬樹偏長的趨勢，而且溶液乾燥快速，硫酸銅析出影響金屬樹生長，這些都有可能是阻礙實驗進行的原因；我們打算改進實驗方法，並利用顯微鏡觀察金屬樹末端的疏密程度，來了解電場對金屬樹的影響。

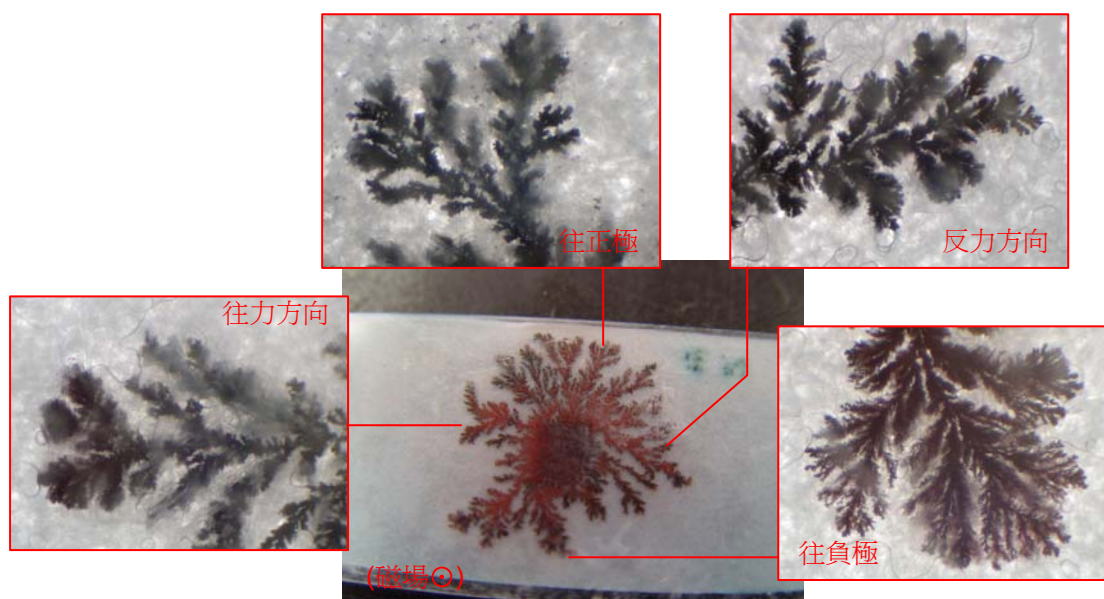
#### (四)第四批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |        |      |      |    |     |      | 藥品                    | 金屬    |        |
|------|--------|------|------|----|-----|------|-----------------------|-------|--------|
| 載玻片  | 電源供應器  | 滴瓶   | 石蠟膜  | 電線 | 電蚊拍 | 電池   | CuSO <sub>4(aq)</sub> | 銅片    | 銅片     |
|      | 50V、3A | 25cc |      |    |     | 1.5V | 1M                    | 5×5cm | 1×10cm |
| 10 個 | 1 個    | 1 個  | 10 片 | 1m | 1 個 | 2 個  | 約 50mL                | 2 片   | 1 片    |

我們利用石蠟膜包覆實驗裝置，並且在冰箱低溫的環境下進行(約 2 度)，減少水分的蒸發，而且可以避免重複添加溶液所造成溶液不定量的問題；這次我們使用顯微鏡觀察金屬樹，希望藉由微觀的觀察能使實驗有所發現。

實驗照片(顯微照片倍率為 10×4)：



電磁場組全照及特寫圖

(顯微照片倍率為 10×10)

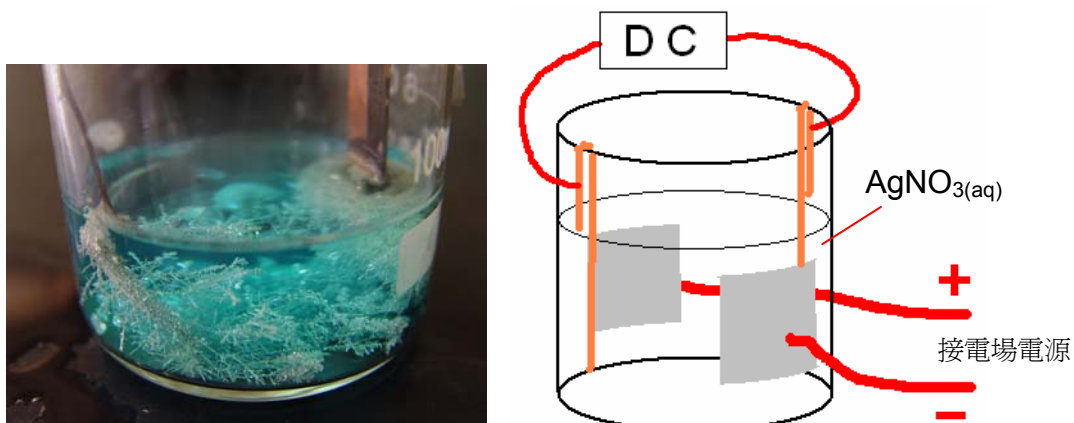


電場組特寫圖

雖然放大倍率觀察金屬樹，但是卻沒有發現生長的規律，有時候是往正極方向的金屬析出較快(呈銅紅色)，但是有時卻又是負極，實驗結果反覆；未來會全力找出改進的方法，但由於無法在交件日前全部完成，所以我們在評審當日會詳盡解說後繼的實驗。



**(五)電磁組結論：**我們原先預計金屬樹會往電場的正極，或是外積力的方向生長，但是結果都不如預期；所遇到最大的困難是實驗結果不明顯，尤其在巨觀的觀察上，使得實驗記錄更為困難。而且在做單純電場或單純磁場的實驗時，實驗結果更是無常，所以我們未來可能不用濾紙作為介質，直接在溶液中電解析出金屬樹(如圖 3)，除了能增快離子流動速度外，也能觀察到金屬樹立體方向的生長；而評審日我們會攜帶電磁組的實驗裝置，並且解說最新的實驗結果。



【圖 3】改進電場實驗的新實驗方法

### 三、研究尖端放電對金屬樹的關係。

#### (一)第一批實驗：

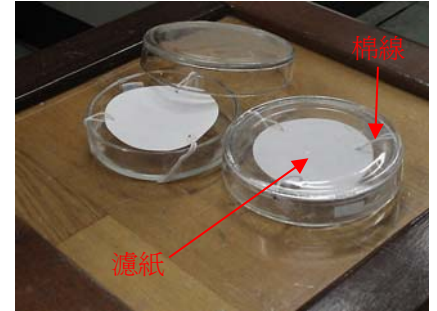
當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材                |                          |      |     |      |    | 藥品                         | 金屬   |                       |
|-------------------|--------------------------|------|-----|------|----|----------------------------|------|-----------------------|
| 濾紙                | 培養皿組                     | 滴瓶   | 美工刀 | 棉線   | 膠帶 | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | 銀線   | Zn                    |
| $\Phi 7\text{cm}$ | $\Phi 9$ 及 $10\text{cm}$ | 25cc |     | 20cm |    | 1M                         | 10cm | $5 \times 5\text{mm}$ |
| 3張                | 各3個                      | 1個   | 1把  | 1條   | 1捲 | 約 25mL                     | 2條   | 3片                    |

這個實驗我們利用金屬線來導引金屬樹，並且為了減少介質接觸對金屬樹生長的影响，將濾紙與培養皿的接觸面分離，然後再將金屬線放置在懸空的濾紙上，便有可能增加金屬線的導引功能；實驗裝置就是先將濾紙三處(對角部份)用美工刀割出割痕，再用棉線穿過以作支撐，最後將棉線用膠帶黏附在培養皿邊緣部份(如圖 1)。



導引組全照



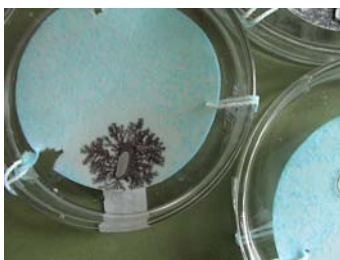
【圖 1】實驗裝置

實驗照片：

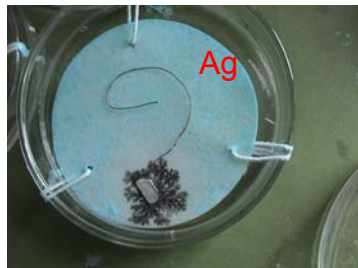


導引組全照

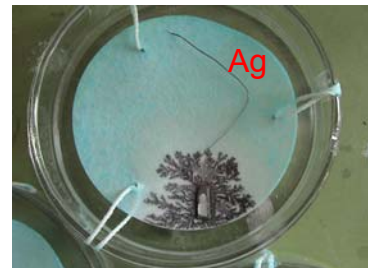
這個實驗失敗的原因是因為濾紙中央未受支撐的部份下垂，導致銀線與濾紙接觸不完全，所以根本就沒有辦法導引金屬樹。所以下次還是回復成原來的樣式，希望能夠清楚的見到惰性金屬導引金屬樹生長的過程。



對照組



螺旋形特寫



直線形特寫

## (二)第二批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |         |      | 藥品                           | 金屬    |        |       |
|------|---------|------|------------------------------|-------|--------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組    | 滴瓶   | $\text{SnCl}_{4(\text{aq})}$ | 銅粒    | Cu     | Al    |
| Φ7cm | Φ9及10cm | 25cc | 1M                           | 1×1mm | 1×10cm | 5×5mm |
| 1張   | 各1個     | 1個   | 約20mL                        | 15顆   | 1片     | 2片    |

這個實驗原本導引的金屬是要用銀粒的，但是礙於實驗室需要將銀線完整回收的要求，所以才改用銅粒；而目的是藉由活性組的結論，利用金屬與溶液導電性的差異，達到導引的功效。

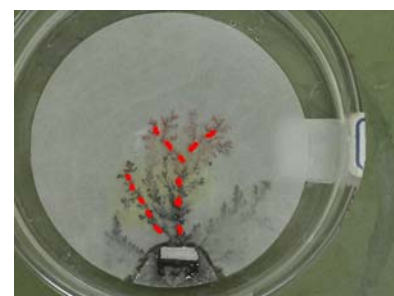
實驗照片：



銅粒組特寫

銅粒組反面特寫

從圖中觀察到金屬樹明顯地順著排放銅粒的方向生長，樹形也類似銅粒擺放的形狀，雖然其它分支的長度會影響導引的顯著性，不過已經證明了這種方法是可行的。這次實驗是已銅粒盡量縮小，可視為一個節點；因為金屬樹不易生長至惰性金屬下方(見活性組結論)，所以先前使用金屬線的方法可能不理想，因為金屬樹一下子就從金屬線末端生長出去，當移除金屬線時，並沒有我們想要導引出的圖形，所以便回歸到第一次導引組的節點觀念，而金屬樹便可從一個節點生長至另一個節點，形成一個由金屬樹排列而成的圖形，這次實驗的結果也和之前的理論相符。



銅粒套色圖

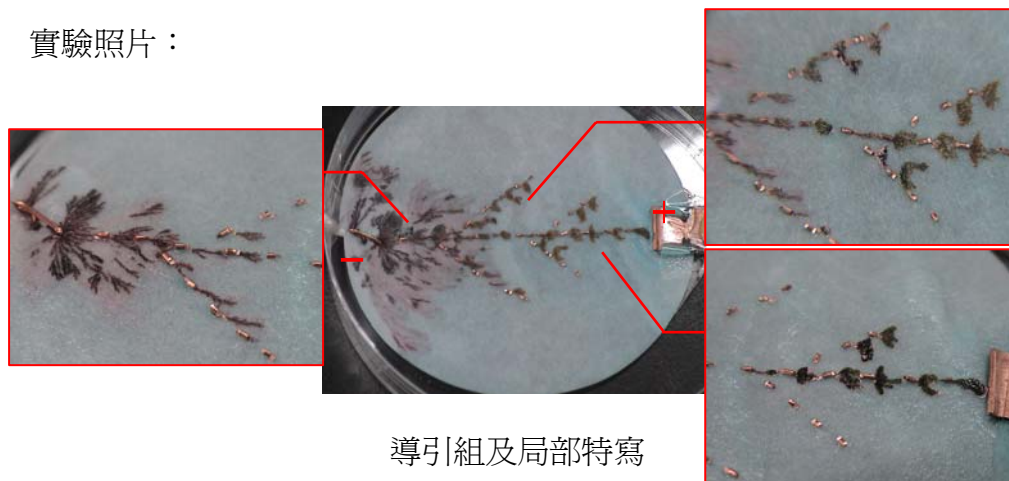
### (三)第三批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材                |                          |      |        | 藥品                         | 金屬                     |      |
|-------------------|--------------------------|------|--------|----------------------------|------------------------|------|
| 濾紙                | 培養皿組                     | 滴瓶   | 電源供應器  | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | Cu                     | 銅線   |
| $\Phi 7\text{cm}$ | $\Phi 9$ 及 $10\text{cm}$ | 25cc | 50V、3A | 1M                         | $1 \times 10\text{cm}$ | 15cm |
| 1張                | 各1個                      | 1個   | 1個     | 約 15mL                     | 1片                     | 2條   |

這次使用電解的方式，希望能提高金屬樹導引的速度，並且縮小導引金屬的尺度，讓受導引的金屬樹圖形能更平順。

實驗照片：



導引組及局部特寫



導引組反面

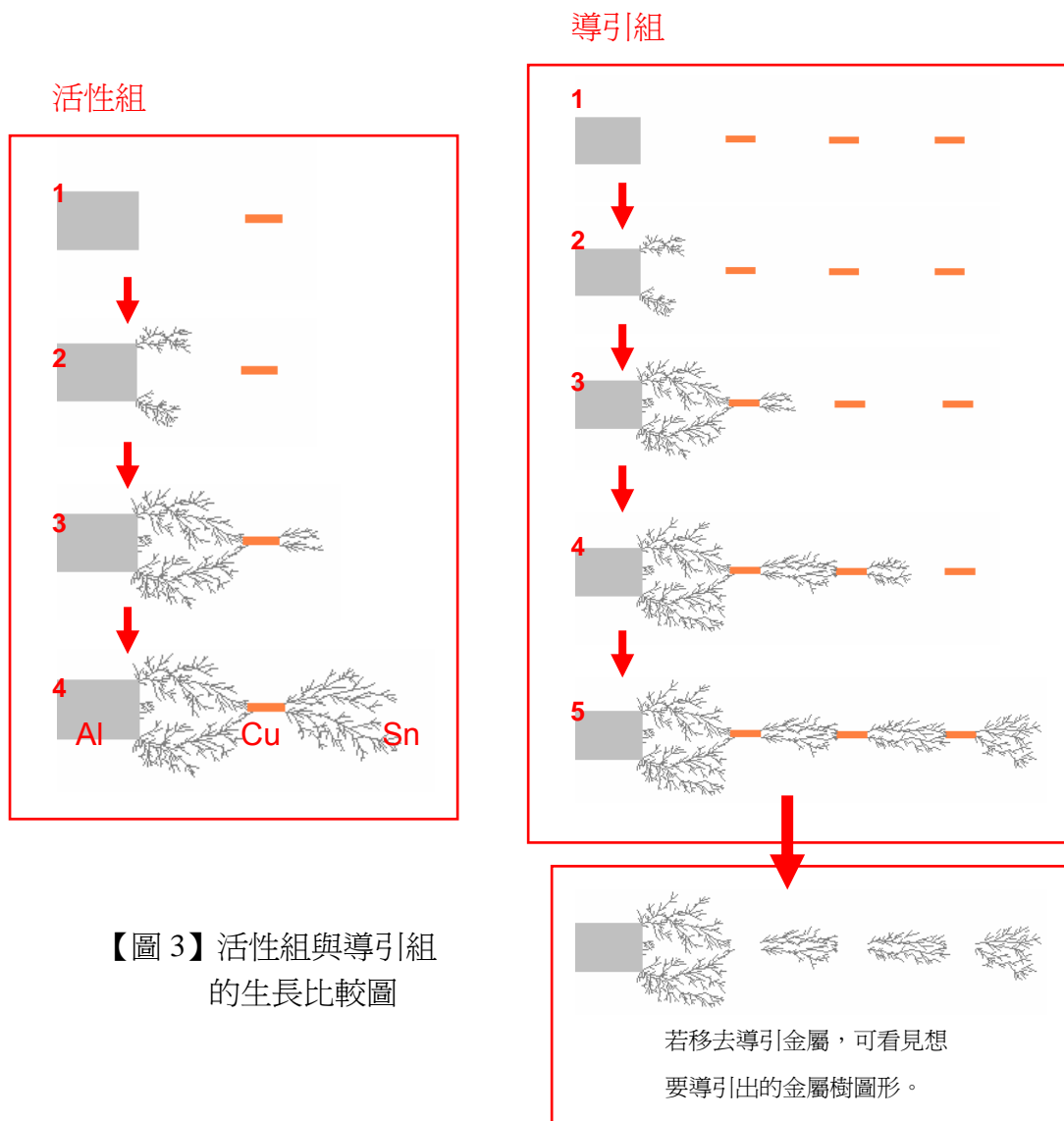
雖然在電解還原端的電極，依然有大量的銅析出，不過可明顯看出，金屬樹的確是「填滿」了導引節點之間的縫隙，所以當我們移除導引金屬後，可以看見金屬樹的生長形狀與我們想要的圖形相似；不過在電解時，除了還原端會先析出金屬外，靠近氧化端的導引金屬，也會有銅析出，但是形狀並不是樹狀，我們認為可能是氧化電極提供了大量的銅離子所致，使得銅先由兩電極附近析出，

再慢慢生長至中間(如圖 2)。



【圖 2】電解時金屬樹生長過程

**(四)導引組結論：**其實這個實驗的結論與活性組的差不多，可以將導引組視為「金屬片擺很多的活性組」，原因就在活性組的實驗中，金屬樹經由金屬片吸收而再由尖端生長出去後，就任由它任意生長了；導引組是利用金屬片能夠快速吸收再使金屬樹析出的特性，在一定的位置上連續擺放金屬片，使金屬樹析出後又再受吸引(如圖 3)，再加上金屬的導電性比溶液強，金屬離子容易在此獲得電子析出，



【圖 3】活性組與導引組的生長比較圖

所以金屬樹比較偏向金屬片的位置生長；其它沒有金屬片的地方也有金屬樹生長，只不過沒有那麼明顯而已。這是可以用來作為「化學繪畫」的理想繪圖方法了。

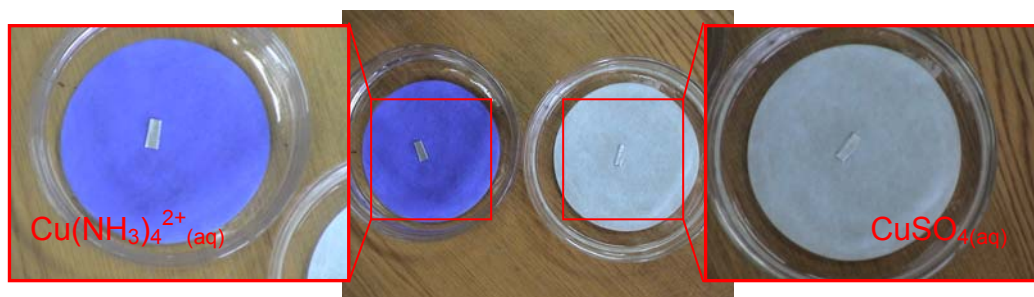
#### 四、配位基的存在對金屬樹生長的影响。

##### (一)第一批實驗：

當次實際使用的器材、藥品、金屬：

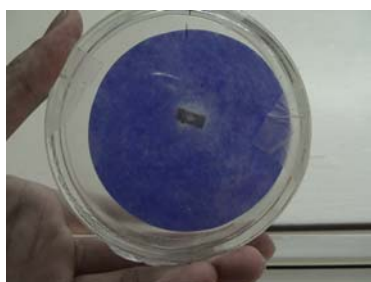
| 器材   |           |      | 藥品                         |                          | 金屬    |
|------|-----------|------|----------------------------|--------------------------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組      | 滴瓶   | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | $\text{NH}_3(\text{aq})$ | Zn    |
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 25cc | 1M                         | 1M                       | 5×5mm |
| 2 張  | 各 2 個     | 2 個  | 約 30mL                     | 約 20mL                   | 2 片   |

會使用錯離子的原因是， $\text{NH}_3(\text{aq})$ 會與 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 發生錯合反應產生 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ 的錯離子，而錯合反應的反應速率比較不快，所以當初的構想是用 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ 做為溶液時，由於銅離子有錯合力束縛著，比 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 中的銅離子不容易析出，主要是觀察金屬樹析出速率的不同為主；至於其它內容與想法便與當初設計的實驗內容相同。溶液的配製相當簡單，但是需要精確的掌握 $\text{NH}_3(\text{aq})$ 的量，以免過量。而在之前查到很多種的金屬錯離子，原本要將多種錯離子同時進行實驗來作比較，但因為配置時發現有些溶液會有沉澱的現象而做罷。



錯離子組全照特寫圖

實驗照片：



錯離子溶液特寫



對照組特寫

經由這個實驗發現，銅氨錯合物離子的錯合力實在是太大了，所以在溶液中根本就不可能形成銅離子，而且也沒有任何金屬樹析出的可能性；不過雖然實驗結果符合當初的預期

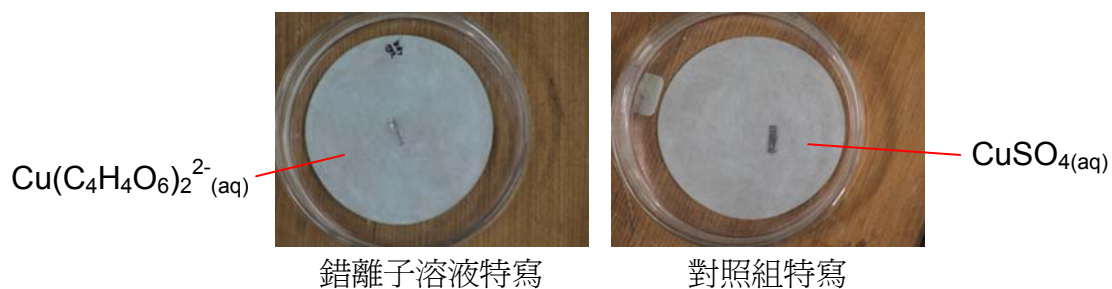
(當初是認為金屬樹在錯離子溶液中析出的速率，會比金屬樹在硫酸銅溶液中析出的速率慢)，但是金屬樹無法析出，就不可能完成「化學繪畫」，所以錯離子的錯合力太強也不適合，下一次實驗便會尋求錯合力較小的錯合物，讓錯離子溶液中也有金屬樹析出的機會。

## (二)第二批實驗：

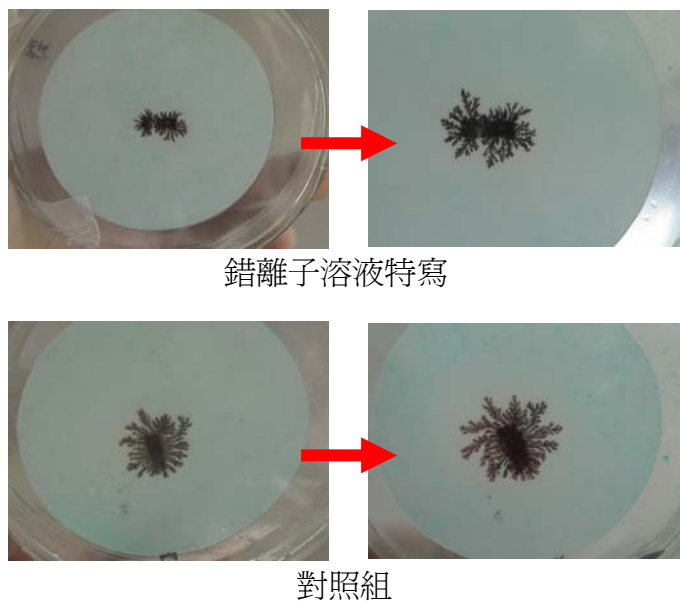
當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |           |      | 藥品                         |  | 金屬    |
|------|-----------|------|----------------------------|--|-------|
| 濾紙   | 培養皿組      | 滴瓶   | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6(\text{aq})$ | Zn    |
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 25cc | 1M                         | 1M   | 5×5mm |
| 2 張  | 各 2 個     | 2 個  | 約 20mL                     | 約 10mL   | 2 片   |

這次實驗改用酒石酸鉀鈉的錯合物作為實驗溶液，目的是要改進上次實驗中錯離子溶液無法有金屬樹析出的問題，也期待酒石酸鉀鈉錯合物的錯合力不要那麼強，這樣才比較會有金屬樹析出。



實驗照片：



這組實驗算是較成功的，實驗結果是以錯合物離子作為溶液的金屬樹析出範圍比較小，而以硫酸銅為溶液的金屬樹析出範圍較大。而且這次解決了上一組實驗中，錯離子溶液無法有金屬樹析出的問題，也清楚的看到了金屬樹全程的生長過程，的確是錯離子溶液中的金屬樹析出速度較慢。

(三)錯離子組結論：實驗結果顯示錯離子溶液的確有減緩金屬樹生長的效果，在我們選用的兩種錯離子溶液中， $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ 中的金屬樹沒有析出； $\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2^{2-}(\text{aq})$ 之中的金屬樹有析出，而且比對照組 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 的金屬樹析出得慢。不過 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}(\text{aq})$ 的錯離力太強了，它們不是預期的減緩金屬樹生長，而是使金屬樹無法析出，這並不符合我們的要求，所以此種錯離子溶液我們便不採用；而最成功的是 $\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2^{2-}(\text{aq})$ ，它的錯合力沒有這麼強，所以會有金屬樹析出。不過感覺上我們也蠻幸運的，因為試了兩種錯離子溶液，就可以找出適合的來；如果運氣不好，試了很多次其它錯合力太強的錯離子溶液，而導致實驗連連失敗的話，我們也可能以為錯離子溶液的變因是對「化學繪畫」沒有任何幫助的。不過反正我們至少試出 $\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2^{2-}(\text{aq})$ 是可以應用於「化學繪畫」的實驗設計中，整個實驗群組的實驗也算是成功了。

下列藥品與 $\text{Cu}^{2+}$ 錯合力一覽表

|                 | log k <sub>1</sub> | log k <sub>2</sub> | log k <sub>3</sub> | log k <sub>4</sub> | log k <sub>5</sub> |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Ammonia         | 4.31               | 7.98               | 11.02              | 13.32              | 12.86              |
| Bromide         | 0.30               |                    |                    |                    |                    |
| Chloride        | 0.1                | -0.6               |                    |                    |                    |
| Hydroxide       | 7.0                | 13.68              | 17.00              | 18.5               |                    |
| Pyrophosphate   | 6.7                | 9.0                |                    |                    |                    |
| Acetate         | 2.16               | 3.20               |                    |                    |                    |
| Alizarin red    | 4.1                |                    |                    |                    |                    |
| Citric acid     | 4.35               |                    | 14.2               |                    |                    |
| Ethanolamine    |                    | 6.68               |                    | 16.48              |                    |
| Ethylenediamine | 10.67              | 20.00              | 21.0               |                    |                    |
| Glycine         | 8.60               | 15.54              | 16.27              |                    |                    |
| Lactic acid     | 3.02               | 4.85               |                    |                    |                    |
| Oxalate         | 6.16               | 8.5                |                    |                    |                    |

資料來源：Lange's Handbook of Chemistry thirteenth edition



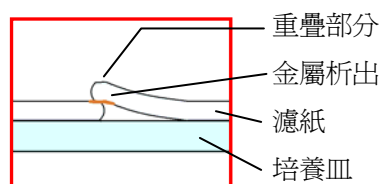
## 五、毛細現象對金屬樹析出的影響。

### (一)第一批實驗：

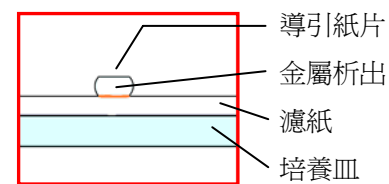
當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |           |      |     | 藥品                         | 金屬    |
|------|-----------|------|-----|----------------------------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組      | 滴瓶   | 美工刀 | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | Zn    |
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 25cc |     | 1M                         | 5×5mm |
| 5 張  | 各 3 個     | 1 個  | 1 把 | 約 25mL                     | 3 片   |

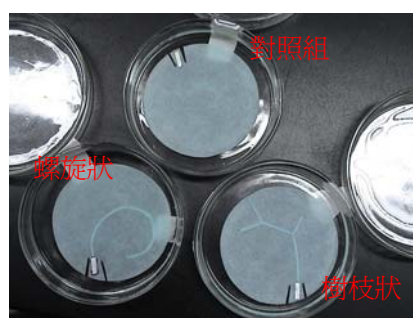
這實驗是承續酸鹼組與切割導引組(均未收錄)的實驗結果而來的，因為之前發現金屬樹會順著割痕中濾紙重疊的部分生長(如圖 1)，我們便將濾紙重疊的部分改成放置紙片(如圖 2)，希望也能夠吸引金屬樹生長；這組實驗也是利用導引的方法來控制金屬樹的生長方向。



【圖 1】割痕斷面圖



【圖 2】紙導引斷面圖



紙導引組全照

實驗照片：



紙導引組全照



樹枝狀特寫

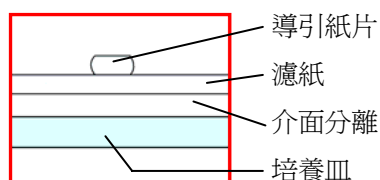
這組實驗在樹枝狀紙片導引中，金屬樹受到導引的效果明顯；只不過另外也有一個金屬樹的分支也長得很長，這樣很難判斷究竟是分支有受紙片導引，還是只是偶然長到紙片下方而已。而螺旋狀紙片導引組中，細看會發現有一個小小的金屬樹分支長在導引紙片旁邊，但是較不明顯。這次也還有硫酸銅晶體析出影響金屬樹生長，而且實驗的時間不夠久，所以我們決定要再做一組，來仔細研究金屬樹是否會受導引紙片的影響。

## (二)第二批實驗：

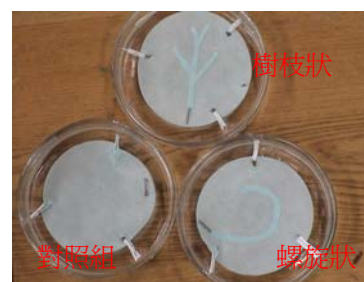
當次實際使用的器材、藥品、金屬：

| 器材   |           |      |      |     |     | 藥品                         | 金屬    |
|------|-----------|------|------|-----|-----|----------------------------|-------|
| 濾紙   | 培養皿組      | 滴瓶   | 鐵絲   | 膠帶  | 美工刀 | $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ | Zn    |
| Φ7cm | Φ9 及 10cm | 25cc | 20cm |     |     | 1M                         | 5×5mm |
| 5 張  | 各 3 個     | 1 個  | 1 條  | 1 捲 | 1 把 | 約 25mL                     | 3 片   |

這次實驗是改進上一組實驗而來，而且採用分離介質物的方式，目的是減緩金屬樹的生長，再配合導引紙片以提高導引的顯著性，其裝置如圖 3。



【圖 3】



紙導引組全照

實驗照片：



樹枝狀特寫



螺旋狀特寫

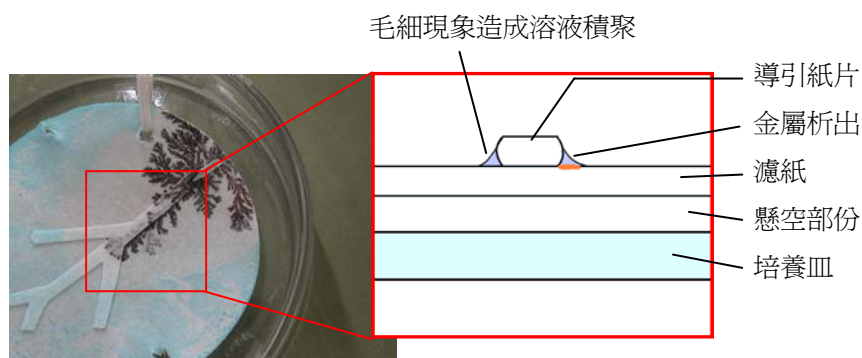


對照組

這次實驗結果比較符合當初所預定的，而且很清楚的看到金屬樹照著導引紙片的方向生長，其它的分支也因為濾紙懸空的關係，而生長得較遲緩，使得受導引的分支看起來格外明顯，這一點至少是達成了最原始的目的。但是濾紙上有硫酸銅析出，且濾紙也因為懸空的關係而不平整；不過可以改進此方法，使得導引金屬樹的能力更強。

**(三)紙導引組結論：**經實驗結果後發現，紙片的確有導引金屬樹生長方向的功能，而且配合濾紙懸空的方法，可使導引金屬樹的功能提升；雖然我們還沒有找出濾紙與介質物緊貼與否對金屬樹生長的關係，而且參考資料也沒提及此事，但是我們可以用另一個原理來解釋這種現象；其實金屬樹並不是與我們當初想像的生長在導引紙片與濾紙之間，而是生長在導引紙片的邊緣，原因是紙片與濾紙邊緣的縫細有毛細現象，此處所含的溶液較多，而金屬樹自然就容易往溶液濃度高的地方生長(如圖

4)，所以就形成了所謂的導引現象。雖然金屬樹受導引而析出的方式不是當初所想像的，但是總算又找到了一個有效的導引金屬樹樹方法。



【圖 4】金屬樹生長斷面圖

#### 柒、參考資料：

- 一、陳石貝編「第三十一屆中小學科學展覽優勝作品專輯」，臺北市南海路四十一號，國立台灣科學教育館，第 31～36 頁，民國八十年六月。
- 二、中華民國第四十三屆中小學科展高中組化學科，名稱「新發現！鉛樹最初形狀及其生長速率的探討」。
- 三、高中化學實驗(三)第五版，國立編譯館，第 35 頁，1990 年八月。
- 四、高中化學示範實驗，教育部自然科教學專案計畫。
- 五、高級中學數理叢書，化學科第一～四輯，教育部中等教育司出版。
- 六、大森泰弘「教師與學生的化學實驗」，日本化學會編，第 27 頁，1981 出版。
- 七、Lange's Handbook of Chemistry thirteenth edition，McGrawHill 出版，ISBN：0-07-100189-1。



中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

高中組 化學科

040214

化學繪畫

國立科學工業園區實驗高級中學

評語：

主題很有趣，在巨觀上很好看，如能在微觀的觀點更加探討會更好。