

# 濾紙上開展化學反應的研究

莊淑雀  
省立東石高中

## 一、前言

「操作」與「觀察」是科學活動的起步，也是中、小學自然科學基礎課程的主體內容，可以輔助學生學習活動生動活潑、獲得啟發、習得活的知識（見文獻1），達成較高層次的學習目的。現今的化學教育若在實驗課的施行方式、地點、教師角色定位、教材、以及教學流程等方面稍作因材而適度的調整，對啟蒙學生主動投入學習，影響頗深遠。

本篇報告筆者帶領高三學生作科展活動，探討氧化還原以及金屬的活性以至製作「金屬樹」書籤的研究結果。本實驗的特色除了可改善一般製作金屬樹的實驗方法外，更重要的是本實驗也可在一般教室讓每位同學都擁有自己的一份實驗器材，親自操作，並且可得美麗的結果，而實驗過程中會有生命成長一般的喜悅感；每人所用試劑量極少，廢液又可以完全回收。

## 二、項目

- (一) 金屬樹的觀察。
- (二) 比較金屬活性大小方法之改進。
- (三) 濾紙上電解反應析出金屬。
- (四) 硫酸銅晶體在濾紙的結晶。

## 三、實驗器材

### (一) 儀器：

|        |     |
|--------|-----|
| 培養皿及蓋子 | 鑷子  |
| 塑膠滴瓶   | 回收瓶 |
| 洗滌瓶    | 鋁箔紙 |
| 磨紗紙    | 漏斗  |
| 鐵 鎚    |     |

(二) 藥品：

硫酸銅 (0.10M~1.00M) 各 25 mL

金屬粒或片：鋁、鋅、鐵、

硝酸銀 (0.50M、1.0M、1.5M、2.0M、

錫、鉛、銅

2.5M) 各 25 mL

醋酸鉛 (0.05~0.01M) 各 25 mL

氯化錫 (0.4~0.8M) 各 25 mL

#### 四、實驗內容

(一) 金屬樹的觀察：

1. 實驗步驟

(1) 在乾淨的培養皿中央先滴入 2~5 滴硫酸銅溶液，再放入一張直徑 5.5 cm 的濾紙，俟濾紙潤濕平貼于培養皿，再逐滴滴入大約 20 滴溶液（使前後共 25 滴），使整張濾紙適度的潤濕，但不殘留氣泡在濾紙和培養皿之間。

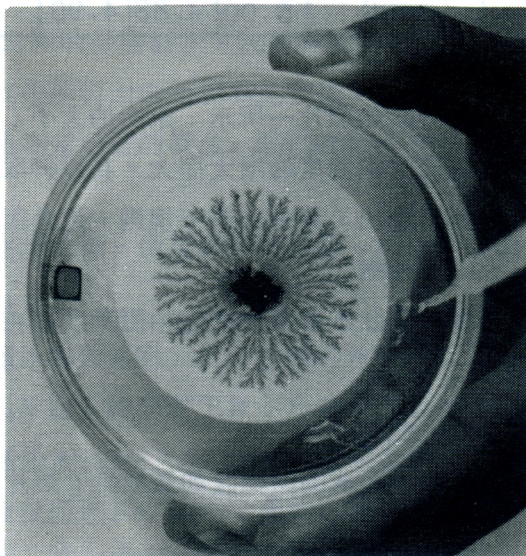
(2) 將鋅粒鎚扁成片狀，並用磨紗紙磨光亮。

(3) 將磨亮的鋅片放入步驟(1)的潤濕濾紙中央，用原子筆（或玻棒）尾端略壓一下，使鋅片和濾紙密切貼合，再蓋上培養皿的蓋子。

(4) 放置 8 小時後，以洗滌瓶輕洗濾紙上殘留的溶液，〔照片一〕，將洗液倒入回收瓶中，這樣反覆沖洗數次至濾紙上不再殘留未反應的硫酸銅溶液為止。（沖洗前可用鑷子夾出剩餘的金屬粒）

(5) 洗淨的濾紙放置於乾燥的衛生紙上晾乾後加護卡，可作長時間保存。

(6) 分別以硝酸銀、氯化錫、醋酸鉛的各種濃度溶液代替硫酸銅溶液，重覆步驟(1)~(5)，可分別析出銀樹、錫樹、及鉛樹。



〔照片一〕 以蒸餾水輕洗殘留在濾紙上的硫酸銅溶液

## 2. 實驗結果

### (1) 銅樹

依上述實驗步驟改變硫酸銅的濃度與用以取代的金屬片種類，所得結果如表一。

表一 鋅與鐵與各種濃度的硫酸銅作用所得銅樹的半徑（公分）

| 取代金屬             | 鋅    |      |      |      | 鐵    |      |      |      |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 實驗次數<br>溶液濃度 (M) | 1    | 2    | 3    | 平均值  | 1    | 2    | 3    | 平均值  |
| 0.10             | 0.70 | 0.68 | 0.72 | 0.70 | 0.78 | 1.12 | 1.14 | 1.01 |
| 0.20             | 1.61 | 1.41 | 1.55 | 1.52 | 1.52 | 1.72 | 1.87 | 1.70 |
| 0.30             | 1.80 | 1.73 | 1.82 | 1.78 | 1.80 | 2.22 | 2.30 | 2.11 |
| 0.40             | 2.60 | 2.54 | 2.51 | 2.55 | 2.00 | 2.20 | 2.02 | 2.07 |
| 0.50             | 2.62 | 2.64 | 2.68 | 2.65 | 1.81 | 1.82 | 3.00 | 2.21 |
| 0.60             | 2.70 | 2.72 | 2.69 | 2.70 | 3.01 | 2.12 | 3.10 | 2.74 |
| 0.70             | 2.82 | 2.80 | 2.78 | 2.80 | 2.08 | 1.92 | 2.87 | 2.29 |
| 0.80             | 2.82 | 2.83 | 2.85 | 2.83 | 1.48 | 2.12 | 1.89 | 1.85 |
| 0.90             | 3.85 | 3.81 | 3.62 | 3.76 | 2.15 | 2.00 | 2.12 | 2.09 |
| 1.00             | 5.00 | 4.88 | 4.90 | 4.93 | 2.62 | 2.30 | 2.10 | 2.34 |

銅樹形狀如照片一所示，銅樹的大小（半徑）如表一所示。單就銅樹的大小而言，其半徑隨硫酸銅濃度的增大而大。在以鋅取代銅離子時相當有規則，但在以鐵取代銅離子時由表可看出，其中有些不規則，這是因為鐵容易生銹，增加了一個變因。

### (2) 錫樹

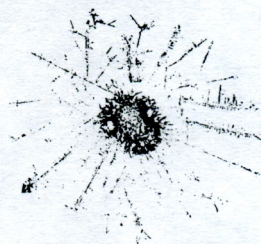
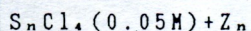
錫樹的形狀不像銅樹的龍柏樹葉狀而在晶體生長的長條上，與其垂直長出許多苔蘚如照片二。

### (3) 鉛樹

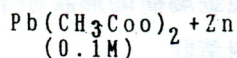
在濾紙上形成的鉛樹狀如散放針（照片三）。

### (4) 銀樹

銀樹的形狀如樹枝，由於銀離子的感光，使得濾紙着色，不易拍照存證。



〔照片二〕 錫樹



〔照片三〕 鉛樹

### 3. 討論

(1) 濾紙的濕度對金屬樹析出良窳有很大的影響，本實驗是用 TOYO 直徑 5.5 cm 的濾紙滴入 24 ~ 26 滴的效果較理想。

(2) 一般平均值的比較，金屬粒用扁平狀者析出金屬樹的效果比較好。

(3) 鋅、鋁、鐵、鉛、銅在空氣中放久了會有一層氧化膜，所以須徹底磨亮，使接觸溶液時立即反應；也可以用酸洗（10% 稀硫酸溶液），代替砂紙磨亮去除氧化層，但經比較實驗結果，以人工磨光金屬片的效果所析出的金屬樹比較佳。

(4) 回收溶液再用，在環保教育上是相當必要的概念，是本實驗的附帶學習。（回收液可再用於別班的實驗）

(5) 硝酸銀溶液的銀離子會產生光化學反應，使濾紙變褐黑色，所以作銀樹實驗時須用鋁箔包裹整個培養皿以斷絕光線照射。

(6) 金屬樹的晶形與用以取代的金屬片種類無關，但金屬樹的外觀形狀會受金屬片的種類影響，因其與形成速率有關。如照片四（請參看下頁）所示，若以金屬樹的半徑而論，Zn 的最大，其他用以取代的金屬依次為 Fe、Al、Sn，似與金屬片的活性有關。鋁因在溶液易產生薄膜覆蓋其表面，故反而比 Fe 的小，而 Sn 會產不溶物（可能是  $\text{SnSO}_4$ ）沈積在 Sn 片附近至使由其所產生的銅樹形狀殘破不成圓。

(7) 各種金屬樹的形狀如下：

銅：龍柏樹葉狀

錫：苔蘚植物附生在樹枝狀

鉛：散放針狀

銀：樹枝狀

(8) 硫酸銅溶液濃度愈低與 Zn、Fe 作用時，所析出的金屬樹愈小，但 Fe 的反應會因取得的鐵塊純度不同，使金屬樹的明晰度亦不同。

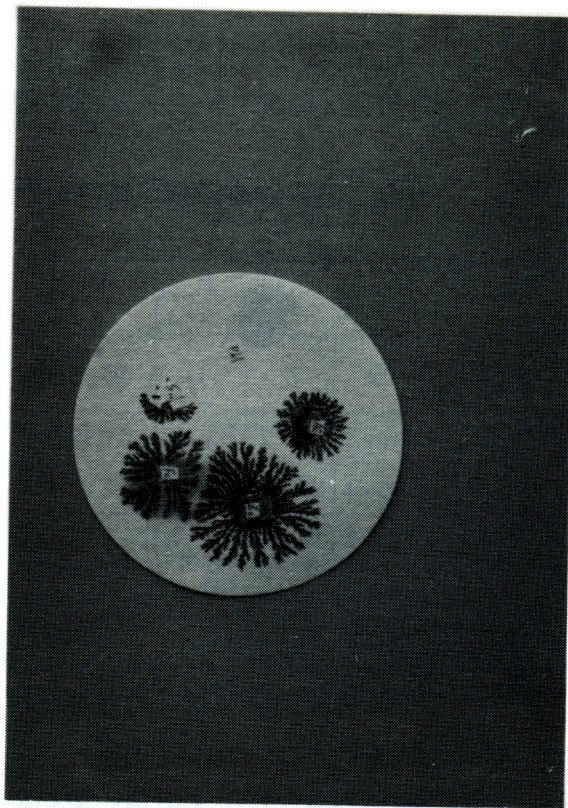
(9) 濃度為 1.0M 的  $\text{CuSO}_4$  與 Zn 作用約 20 分鐘，可以觀察到金屬樹，若與 Al 作用則須 30 分鐘，與 Fe 也需 30 分鐘，但與 Sn 則需 8 小時，與 Pb 作用需要 2 天。

(10) 氯化亞錫的 0.1M (已呈飽和) 溶液不易與 Al、Zn、Fe 作用析出錫樹，改用 (0.05M)

氯化錫就可與 Al 或 Zn 作用，在 20 分鐘內析出錫樹，但濃度太高 (甚至飽和時)，因作用生成的錫金屬堆提高了金屬 Al 或 Zn，因此只能在金屬片下找到一團塊的錫，不易在濾紙上伸展出美麗的錫樹。而與 Zn 作用的效果優於鋁。

(11) 醋酸鉛與 Al、Zn、Fe 皆能作用以析出鉛樹，在歷次的試驗中 Al 和 Zn 效果皆不錯，但溶液濃度太低時，析出的鉛樹會變黑再變白，所以放三天，反而在濾紙面上不易找到鉛樹，須在燈光下照看，因此本文用影印的鉛樹比實際析出的要小一些，因一部份已變白了。所以純欣賞鉛樹，要反應析出用飽和醋酸鉛較佳，只要 20 分鐘內即可清晰看見鉛樹在成長。

(12) 硝酸銀溶液析出銀樹用鉛和銅片反應的效果，比 Al、Zn、Fe 的效果要好又快，而且濃度 0.5 M 效果極佳，只是其銀白色的金屬光澤，照相和影印都不如銅的紅、棕色那麼明顯，而以 2.0M 析出的銀樹比較容易照相或影印出金屬樹的形狀。硝酸銀濃度 3.0M 以上又會有  $\text{SnCl}_4$  析出錫時的毛病存在。因此想得較美又較適度的銀樹用 2.0 ~



〔照片四〕 銅樹的比較

(由 Al、Zn、Fe、Sn 等金屬片所取代的)

2.5M的濃度很理想。用硝酸銀溶液時小心皮膚或衣物觸及溶液會變黑，最好帶手套、及穿實驗衣。

(13) 活性在Fe以上的Zn、Al等迄今尙未能以這種簡便的實驗方法析出金屬樹，乃因易於氧化，所以Al、Zn、Fe、Mg等，須用別種方法，像電解法或其他。

(14) 銅樹應呈紅棕色，鉛樹應該具有銀白色的金屬光澤，但水中的雜質或空氣中曝曬時氧化等作用使銅樹變黑，鉛樹也變黑，再u.v照射甚至變白。

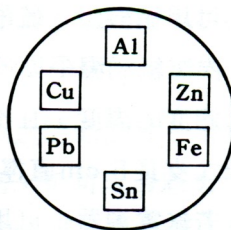
#### 4. 結論

(1) 如果想藉化學反應的方法觀賞金屬樹（國中、小學生研習活動極好的教材），半屬藝術玩賞時，銅樹用0.9M  $\text{CuSO}_4$  溶液與直徑約0.8~1.0 cm的鋅片反應，錫樹則以0.05M氯化錫和0.8~1.0 cm的鋅片反應。(c)鉛樹以0.1M的醋酸鉛（幾乎飽和溶液）與0.8~1.0 cm的鋅片反應。(d)銀樹則用1.5M~2.5M  $\text{AgNO}_3$  溶液與銅片（可正方形，也可以是圓形）約寬0.6公分反應即可。

#### (二) 比較金屬的活性大小：

##### 1. 實驗步驟：

依照(一)「金屬樹的觀察方法」的實驗步驟(1)~(6)，但同時在同一濾紙上分別依序放入Al、Zn、Fe、Sn、Pb、Cu等金屬如圖一：



〔圖一〕 由不同金屬所取代的同一金屬樹的形成（實驗方法）

#### 2. 討論

(1) 由一系列的實驗結果得知，還原以析出金屬樹的速度（金屬樹的面積大小）會因溶液濃度大小不同、快慢次序不同，而與金屬的氧化電位大小沒有關係；換句話說，氧化電位愈大的金屬所析出的金屬樹面積不一定最大。

(2) 比較金屬活性大小，不宜在同一張濾紙上，同時放置活性大小不同的金屬以進行金屬樹的析出，然後以金屬樹面積的大小，作為金屬活性大小的判別依據。另一方面金屬的氧化電位大小和析出金屬樹的速度也沒有關係。

#### 3. 結論

(1) 比較金屬的活性大小可參考下列方法：

(a) 準備二個培養皿，分別放入直徑5.5 cm的濾紙，並分別標示A、B。

(b) 在A培養皿中滴入 25滴(約 1.5 mL) 0.9M 硫酸銅溶液，再放上一片已磨亮(直徑 0.8 cm~1.0 cm)的鋅片。

(c) B培養皿中滴入 25滴硝酸銀 1.5M(或 1.0M)溶液，再放入一片已磨亮(直徑約 0.5 cm~0.8 cm)的銅片。

(d) 30分鐘後，再分別檢查培養皿的濾紙上析出的金屬樹，(只要有晶體析出不論大小皆可判活性大小順序)。

(e) 若A、B培養皿上都析出金屬樹即可知：

A :  $\text{Zn} > \text{Cu}$

B :  $\text{Cu} > \text{Ag}$

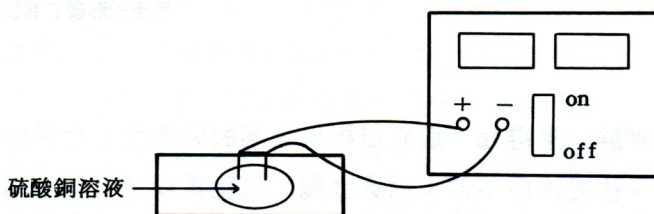
綜合A、B培養皿的結果可知  $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ag}$ 。

(三) 濾紙上電解反應析出的金屬樹：

### 1. 實驗步驟

(1) 在培養皿〔或平板玻璃、壓克力板(10 × 10 cm)〕上，滴入 2~5 滴硫酸銅溶液(亦可用硝酸銀、硫酸鋅、氯化錫、氯化鉛、醋酸鉛)，再放入一張直徑 5.5 cm 的濾紙，俟濾紙潤濕平貼於培養皿，再逐滴滴入 23~20 滴溶液(前後約需 25滴)，使整張濾紙含適度的濕度，且不殘留氣泡。

(2) 取二支長 5 cm 直徑 0.1 cm 的銅線(若有焰色試驗用的鉑絲更佳)作電極，接上電源器(若無電源器也可用乾電池代替)，如圖二。



〔圖二〕

(3) 調整適當電壓(12V、9V、6V、3V)，通電 15 分鐘。

### 2. 實驗結果

(1) 電解硝酸銀溶液：以 6 V 的直流電電解 1 M 的  $\text{AgNO}_3$  溶液，結果如照片五(請參看下頁)：

(2) 電解硫酸鋅溶液：以 12 V 的電壓電解 2 M 的硫酸鋅所得鋅樹如照片六(請參看下頁)：

AgNO<sub>3</sub> 6V 1M



〔照片五〕 在濾紙上由電解所形成的銀樹

ZnSO<sub>4</sub> 12V 2M



〔照片六〕 在濾紙上由電解所形成的鋅樹

### 3. 討論

(1) 因為電解析出金屬樹的速度較快且與濾紙的交錯盤結的現象較少，因此用水洗滌時容易剝離。

(2) 受到正極的影響，所以金屬樹較易生成在兩極之間的位置。所得的金屬樹的晶體外形較不好，但經比較結果，同種金屬樹的形狀相同，仍可看清原有的金屬色澤，只是電解反應時容易有雜質附帶析出（也有可能是來自於電極），所以容易有黑色呈現。

(3) 氯化鉛、氯化錫、醋酸鉛等皆會析出金屬，只是經影印後效果不算很好，所以未列出。

(4) 經由不同電壓的電解得知電壓愈大，析出的金屬樹效果不一定優於電壓低時，有一部份原因是瞬間析出的金屬晶體附在電極上，而使後續電子傳遞出去伸展生成金屬樹受損。

(5) 溶液濃度較低時（相同電壓下），向外伸展的面積會大一些，但紋路較細，所以作觀察時很容易，但作書面列印（或攝影）的比較就不易。

(6) 使用乾電池的優點是簡便，但電源器可得較穩定的電流與電壓。

(7) 可作並聯電解析出比較不同濃度或不同金屬樹等。

### 4. 結論

(1) 溶液中的電解反應，可明確清晰的看出陰極的金屬。陽極上的反應物質大都是非金屬物質，可參照高中化學實驗手冊(三)、(實驗九)，可供作趣味性的觀察，啟發

研究興趣。

(2) 硝酸銀溶液的電解反應析出時受光化學作用，濾紙變黑，反而更容易凸顯金屬樹的形狀。

(四) 硫酸銅晶體在濾紙上結晶：

1. 如同(一)中金屬樹觀察的實驗步驟，將濾紙置入培養皿並滴濕濾紙，再蓋上培養皿，靜置通風良好處3~5天。即可得，如照片七。

2. 硫酸銅溶液濃度0.5M~1.0M皆可清晰結晶於濾紙上，但濃度愈高析出的晶體紋路愈清晰，而且和金屬銅樹的形狀相似。

3. 若培養皿未加蓋，則濾紙乾燥速度過快，不易析出硫酸銅藍色的晶體。

$\text{CuSO}_4 (0.9\text{M})$



〔照片七〕 在濾紙上由電解所形成的銅樹

## 五、總結語

1. 如果以欣賞及趣味性的角度觀察在濾紙上的金屬樹，用金屬氧化還原反應法(實驗一)可得較清晰且形態較大而美麗的金屬樹，適當濃度如下：

|                    |          |
|--------------------|----------|
| 銅：硫酸銅溶液 0.5 ~ 1.0M | 用 Zn 片取代 |
| 錫：氯化錫溶液 0.5M       | 用 Zn 片取代 |
| 鉛：醋酸鉛溶液 0.1M       | 用 Zn 片取代 |
| 銀：硝酸銀溶液 1.5M~2.0M  | 用 Cu 片取代 |

2. 教學上概念的介紹，(1)可比較金屬活性大小(實驗二)，(2)電解反應陰極有金屬析出時，可參用實驗(三)，或作用產生特殊性，〔如顏色變化、檢出劑：(像  $\text{I}_2$  產生在陽極滴入澱粉變藍色者)〕可測其存在等〔參考高中化學實驗手冊第(三)冊實驗(九)〕。較諸試液裝入燒杯(或試管)中再通電作電解簡便，對某些物質的電解反應觀察很清晰。

(下接第50頁)