

銅與硫酸銅晶體的探討

國中組化學科第三名

台北市立陽明國民中學

作者：林美杏、林瑞琪

簡秀瑩、張哲航

指導教師：陳英杰、陳寶花



一、研究動機

我們在暑期科學營中曾做過「電解硫酸銅溶液」的實驗，但對負極所析出的黑色物質則大惑不解，因此設計了一系列實驗來探究其原因。此外，在實驗過程中，我們發現電解後殘留在濾紙上的溶液，經過一段時間後，結晶析出形成樹枝狀紋路，為找出其形成條件，所以進行第二部分的實驗。

二、研究目的

- (一)使用少量溶液及簡便器材，探討影響硫酸銅溶液電解析出銅樹的有關因素，並尋找負極析出紅色富金屬光澤的銅樹之適當條件。
- (二)了解硫酸銅晶體結晶的特性，並找出硫酸銅溶液在濾紙上結晶形成樹枝狀紋路的條件。

三、研究設備器材

恆溫槽、電子秤、電子計時器、電源供應器、數位式電錶、投影機、強力磁

鐵、過濾漏斗、過濾瓶、Water Aspirator、量瓶、培養皿、安全吸球、吸量管、乾燥器、鏡子、刻度尺、壓克力板、濾紙、廣用試紙、鉑絲、銅絲、鎳鉻絲、縫衣針、鋅片、硫酸銅、蒸餾水。

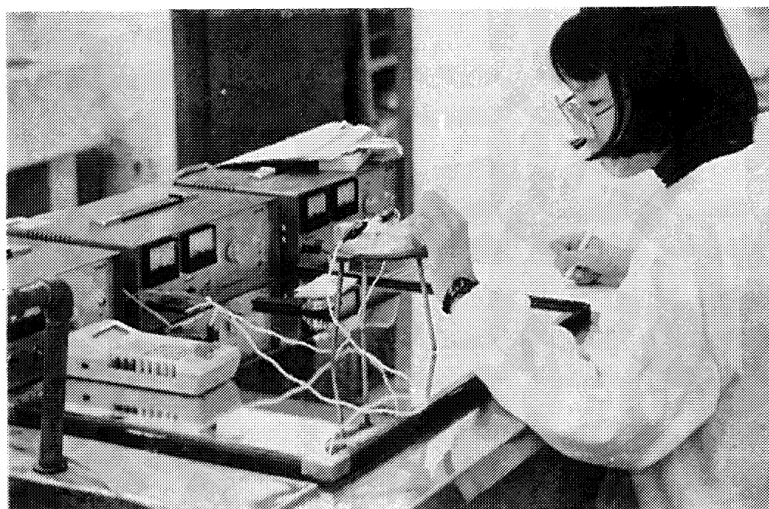
四、研究過程與結果

(一)電解硫酸銅溶液的變因之探討

[實驗一]不同電極材料對電解硫酸銅的影響

1. 方法：

(1)裝置：如圖(一)







(2)控制的變因

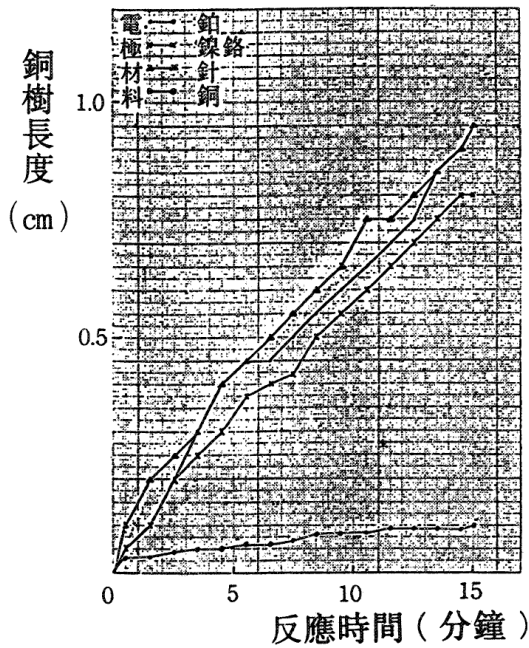
溶液濃度	溶液體積	電壓	電解時間	介質	兩極距離
1.0M	1ml	12v	15分鐘	濾紙直徑 5.5cm	3cm

(3)操縱的變因：電極材料（長 3cm、直徑 0.5mm）

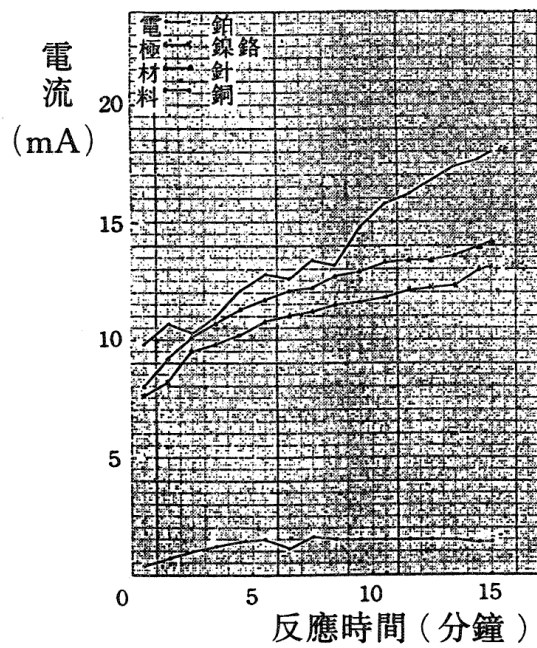
2. 結果：

材 料	兩 極 反 應 之 情 形
鉑 絲 	開始反應時正極周圍產生許多氣泡，pH值約為1，負極析出紅色銅，pH=4，有明顯花紋析出。約3.5分鐘銅樹生長明顯趨向正極，濾紙背面有些許凌亂分布的銅，約7分鐘銅樹末梢變黑，電解結束後溶液pH=1，實驗有惡臭味。
銅 絲 	正極產生微量氣泡，銅絲會逐漸反應而變短，pH=1。負極析出暗紅色銅，1分鐘後有明顯花紋，但反應進行速率極慢。

鎳鉻絲 	正極產生大氣泡，同時有黃色物質產生，鎳鉻絲會反應而逐漸變短。負極析出紅色銅，25 秒後即有明顯花紋產生，4 分鐘後銅樹生長明顯偏向正極，正極的酸性及黃色物質逐漸擴散。
縫衣針 	正極產生氣泡，並生成黑色粉狀物質，針會逐漸變短。負極析出黑色銅，約一分鐘後有花紋，約二分鐘後銅樹趨向正極，正極附近濾紙變淡黃色。



銅樹長度與反應時間關係圖



電流與反應時間關係圖

3. 分析：

以不同材料為電極，正極產物皆不同，而負極所析出之銅的顏色、排列形狀亦相異。其中以鉑絲為電極時，所析出之銅樹富金屬光澤，且正極不會產生有色物質，電極亦不會參與反應，故以下實驗均採用鉑絲為電極。

[實驗二] 溶液濃度對銅樹析出的影響

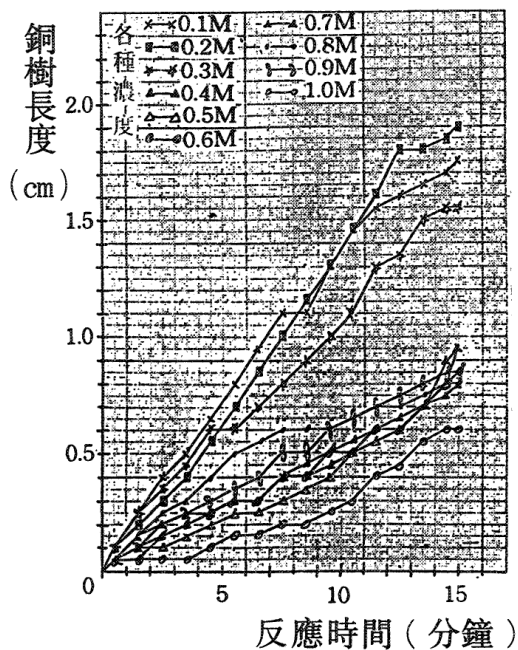
1. 方法：

(1) 控制的變因：

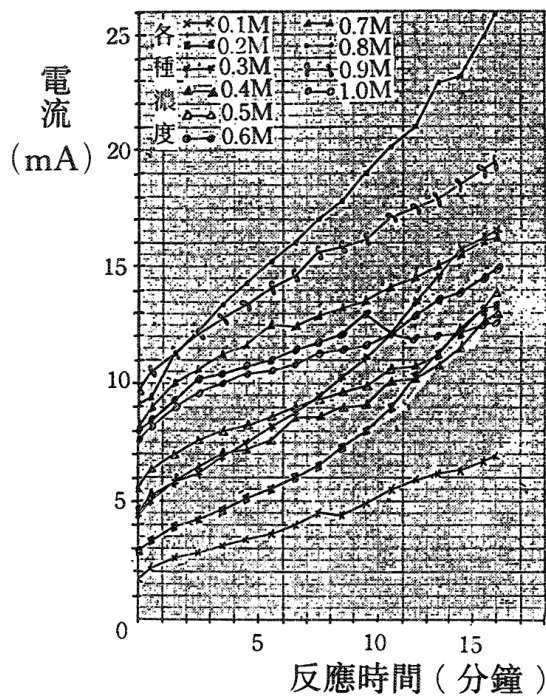
溶液體積	電極	濾紙直徑	兩極距離	電壓	電解時間
1ml	鉑	5.5cm	3cm	12v	15 分鐘

(2) 操縱的變因：溶液濃度

2. 結果：



銅樹長度與反應時間關係圖



電流與反應時間關係圖

3. 分析：

使用鉑絲為電極，濃度不同，負極所析出之銅樹的排列情形、顆粒大小、顏色皆不同，反應速率亦有明顯差距。其中以 1.0M 析出的銅富金屬光澤，顏色不易變黑，反應速率適當，易於觀察，故以下實驗之溶液濃度皆採用 1.0M。

[實驗三] 兩極距離對電解析出銅樹的影響



1. 方法：




(1) 控制的變因：

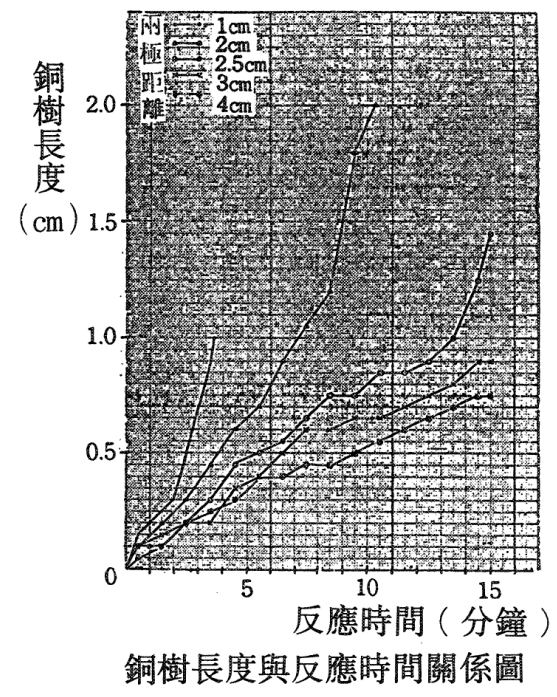
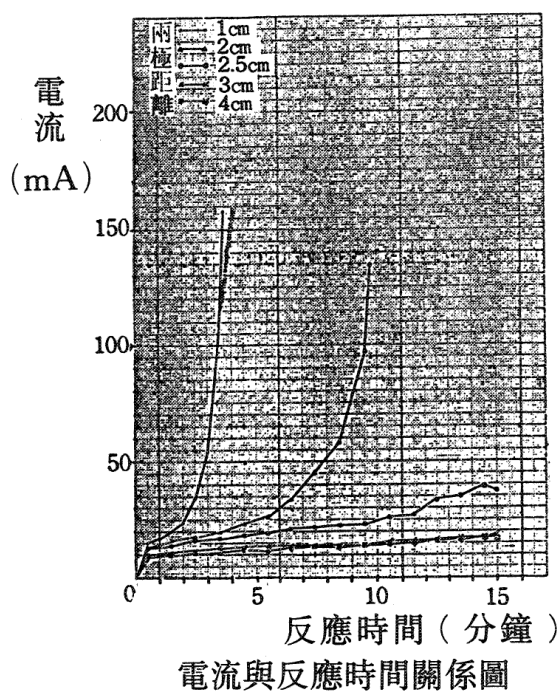
溶液濃度	溶液體積	電極極	濾紙直徑	電壓
1.0M	1ml	鉑絲	5.5cm	12v

(2) 操縱的變因：兩極距離

2. 結果：

兩極距離	銅樹形狀	反應情形
1cm		一開始正極迅速產生大量氣泡，負極析出大量紅色銅，反應速率極快，3 分鐘後銅樹生長至正極。
2cm		銅樹一開始為暗紅色，11 分鐘後銅樹到達正極，生長速率較 1cm 小。

2.5cm		銅樹剛析出時為紅色，接著末稍轉為黑色。
3cm		同實驗(-)“鉑絲”部份。
4cm		析出之銅樹為暗紅色，且生長速率緩慢。



3. 分析：

兩極距離為 3cm 時，反應速率較為適中，銅樹不會因析出速率太快而迅速到達正極，也不會因太慢而使已析出的銅樹變黑。

[實驗四] 溶液體積對銅樹析出之影響





1. 方法：

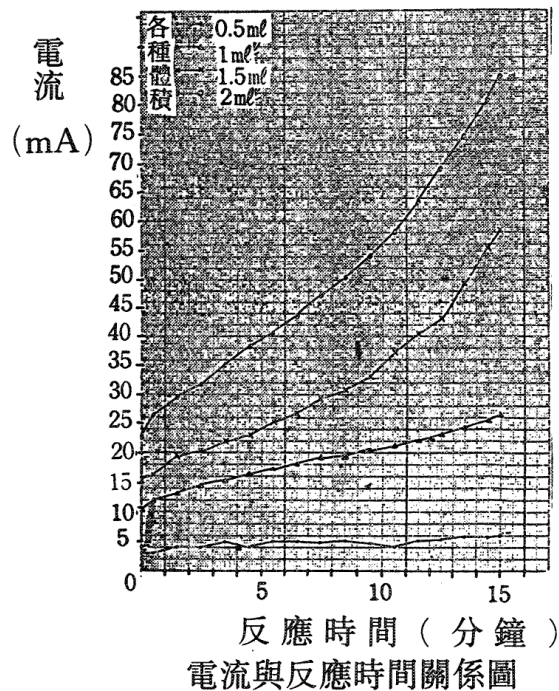
(1) 控制的變因：

溶液濃度	電極	兩極距離	濾紙直徑	電壓	電解時間
1.0M	鉑絲	3cm	5.5cm	12v	15 分鐘

(2) 操縱的變因：溶液體積

2. 結果：

溶液體積	析出之銅樹	銅樹析出情形
0.5ml		正面析出的銅是黑的，紋路較稠密，銅樹析出速率慢，背面析出銅為紅色，且面積較正面廣。
1.0ml		同實驗(-)“鉑絲”。
1.5ml		從一開始反應到結束，所析出之紅色銅皆無變色，但不易固著於濾紙上，易脫落。
2.0ml		所析出之銅樹為紅色，但易斷裂。



3. 分析：(略)

[實驗五] 探討電壓對銅樹析出的影響




1. 方法：

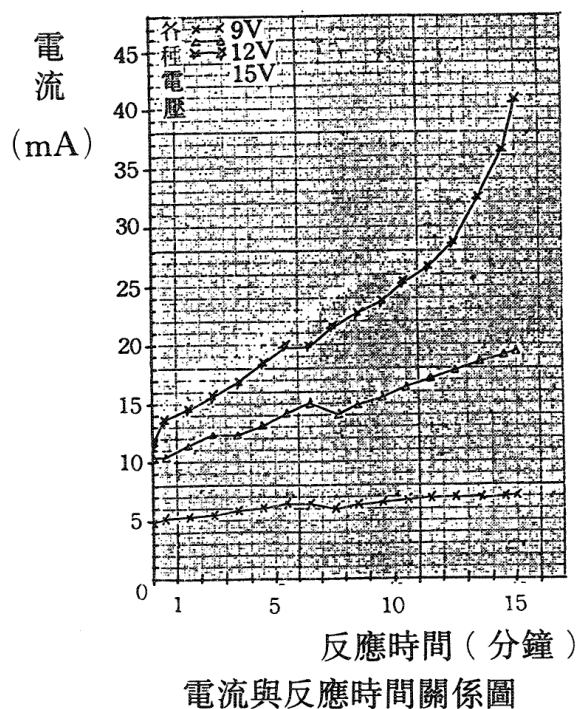
(1) 控制的變因：

溶液濃度	溶液體積	電極	兩極距離	濾紙直徑	電解時間
1.0M	1ml	鉑絲	3cm	5.5cm	15分鐘

(2) 操縱的變因：電壓

2. 結果：

電壓	析出之銅樹	銅樹析出情形
9V		析出的銅樹為紅色，但速率慢，面積小，且靠近負極的銅樹易變黑。
12V		同實驗(-)“鉑絲”。
15V		析出的銅樹為紅色，速率較快，長度較長，且實驗過程中銅樹易變黑。

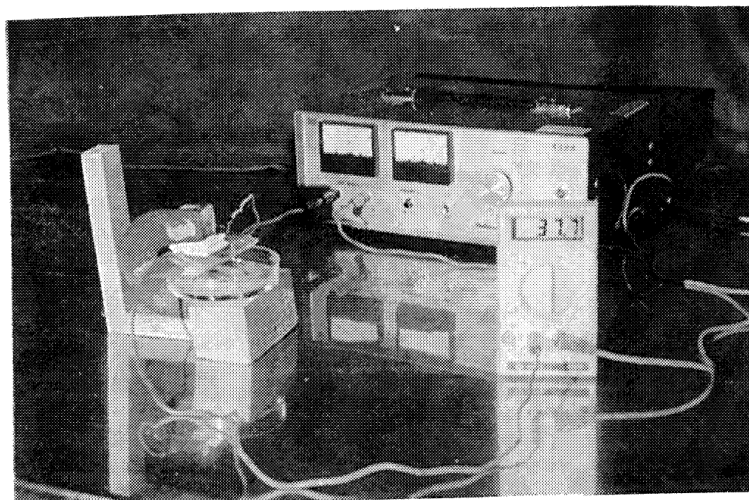


3. 分析：(略)

[實驗六] 磁力對電解硫酸銅的影響

1. 方法：

(1) 裝置：如圖(二)



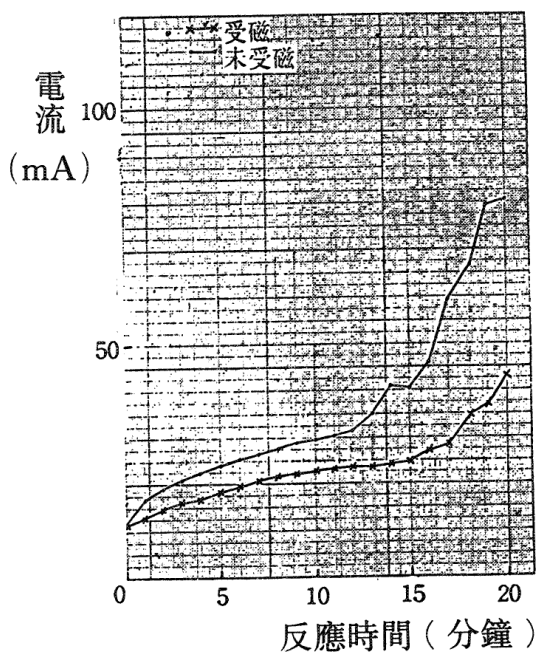
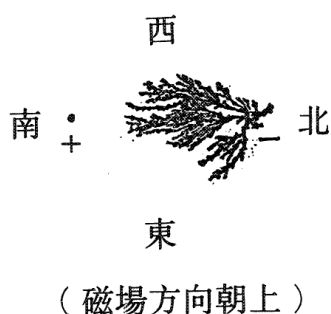
(2)控制的變因：

硫酸銅溶液	電極	兩極距離	濾紙直徑	電壓	電解時間
1.0M, 1ml	鉑絲	3cm	5.5cm	15v	25分鐘

(3)操縱的變因：外加磁場

2. 結果：

由上方俯視，南為正極，北為負極，磁場方向朝下，則銅樹偏向西方生長，若磁場方向朝上則銅樹偏向東方生長，其形狀如下：



電流與反應時間關係圖

3. 分析：

結果顯示，銅樹偏向符合電磁學中的「右手開掌定則」。

[實驗七] 探討電解與取代反應同時進行的情形

1. 方法：

(1)培養皿中盛 1M 硫酸銅溶液 1ml，然後放入濾紙，使其平貼於培養皿上，接著放入邊長 0.5cm 的正方形鋅片，同時以鉑絲為電極進行電解，觀察其結果。

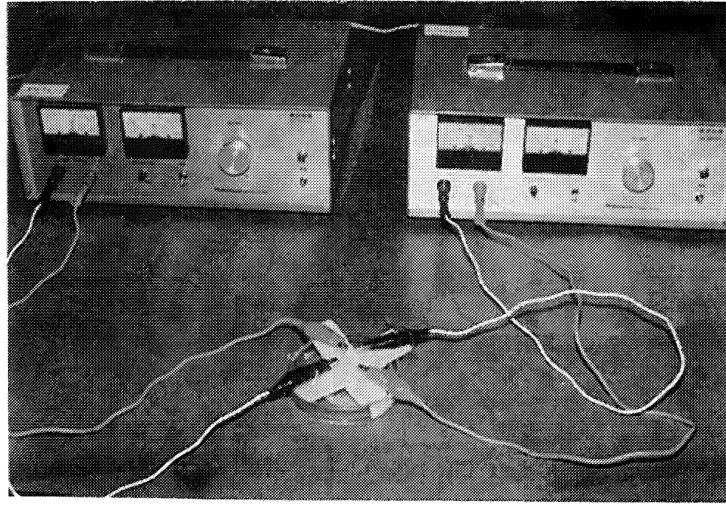
(2)改變鋅片位置，重覆上述操作。

2. 結果：(略)

3. 分析：電解硫酸銅溶液，同時進行鋅與硫酸銅的取代反應，會使溶液濃度降低更快，致使電解析出的銅有較多分枝出現且易變黑。而取代反應析出的銅樹很明顯受到正極的吸引，而與負極有排斥現象。

[實驗八] 探討在同一溶液中進行兩組電解對銅樹析出的影響

1. 方法：裝置如圖(三)。



2. 結果：

電極位置	析出之銅樹形狀及說明
<p>(a)</p>	<p>一開始析出紅色銅，漸轉為黑色，再轉為紅色，銅樹分枝極細，皆朝向較近之正極生長。</p> <p>(a) (b) </p>
<p>(b)</p>	<p>(a) (b) </p>
<p>(c)</p>	<p>一開始析出紅色銅，漸轉為黑色，再轉紅，銅樹向兩個正極生長，且長度幾乎相同。</p> <p> (c)</p>

3. 分析：(略)

(二) 影響硫酸銅溶液結晶的因素之探討 (限於篇幅，方法與結果只好全部省略)

[實驗一] 探討硫酸銅溶液在不同材料的介質上結晶析出之情形

[實驗二] 探討溶液濃度對晶體排列析出的影響

[實驗三] 探討溶液體積與晶體在濾紙上析出的關係

[實驗四] 探討硫酸銅莫耳數相同而溶液體積不等時所析出晶體的差異

[實驗五] 溫度對硫酸銅結晶的影響

[實驗六] 溼度對硫酸銅晶體析出的影響

[實驗七] 培養皿放置角度對硫酸銅晶體析出的影響

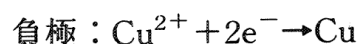
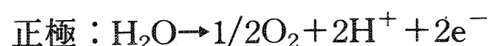
[實驗八] 外加磁場對硫酸銅晶體析出的影響

[實驗九] 探討在硫酸銅溶液中添加其他溶液對晶體析出的影響

[實驗十] 探討硫酸銅在已結晶的濾紙上析出的情形

五、討論

(一) 以鉑絲為電極，電解硫酸銅溶液時，其反應如下：



(二) 由於電解進行時，電子由負極釋出時受到正極影響而趨向正極，所以銅樹的生長由負極趨向正極。

(三) 經由不同電壓的電解得知，硫酸銅溶液濃度相同時，電壓高所析出銅樹的效果不一定優於電壓低時，其原因可能是反應一開始時瞬間析出的銅晶體大量附著於電極上，而使後續電子傳遞出去伸展生成的銅樹受損。

(四) 在電場中：帶正電的銅離子游向負極，帶負電的硫酸根離子游向正極。在磁場中：帶正極的銅離子移動時有如通電導線一般，會受一力作用，以致造成銅離子前進方向偏移，因此電解析出的銅樹有偏向一方的趨勢。

(五) 以相同電壓電解硫酸銅溶液時，濃度愈大，電流愈大，但析出的銅樹面積愈小，分枝少，晶體顆粒大，其原因可能為銅離子多，還原析出的銅原子堆積較緊密聚集所致。

(六) 電壓相同，兩極距離愈大，銅樹析出速率愈慢，其原因可能為電阻大，電流小，銅離子不易獲得電子所致。

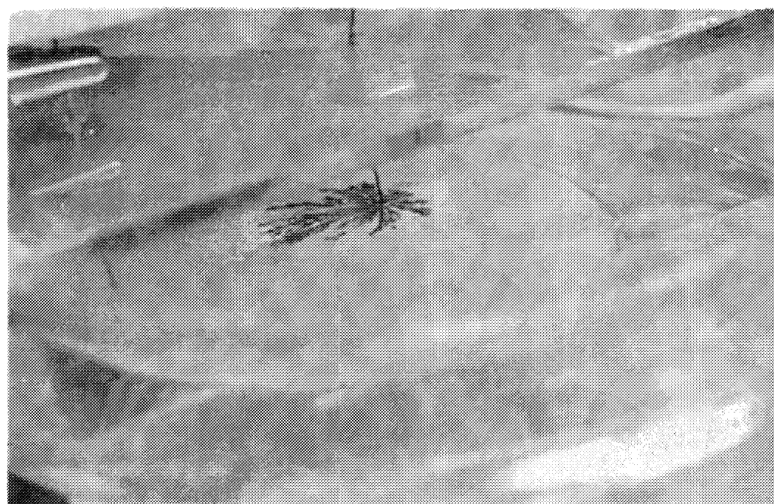
(七) 硫酸銅溶液濃度為 1.0M 進行電解時，起初析出紅色銅樹，且顆粒大，分枝少，但濃度隨著電解而降低，所以後來析出之銅樹顆粒小，分枝多，末稍變黑。

(八) 電壓與濃度相同而硫酸銅溶液體積不等時，剛開始電解時銅樹析出速率相當接近，但後來因體積大的溶液，離子數目較多，電流大，因此銅樹的生長速率加快。

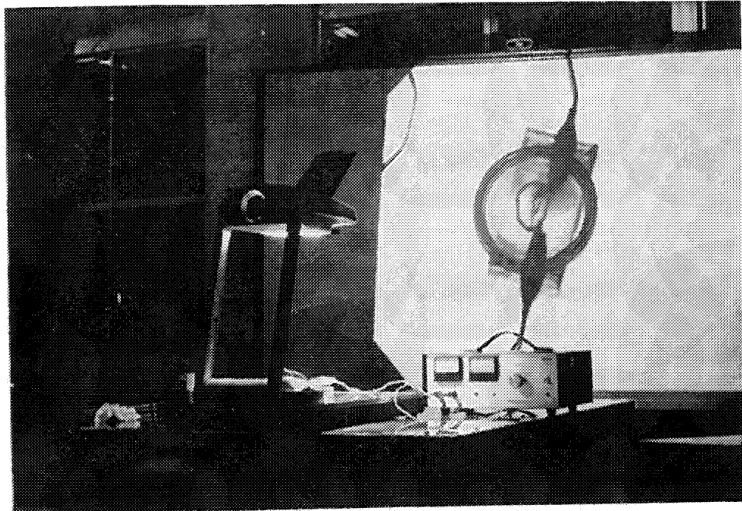
(九) 溶液濃度相同時，電壓大，電流加大，銅離子易獲得電子，因此析出速率快。

(十) 電解時加入鋅片進行取代反應，可能由於鋅氧化放出的電子被正極吸引而受負極排斥，致使取代析出的銅樹趨向正極生長而較靠近負極處析出量很少。

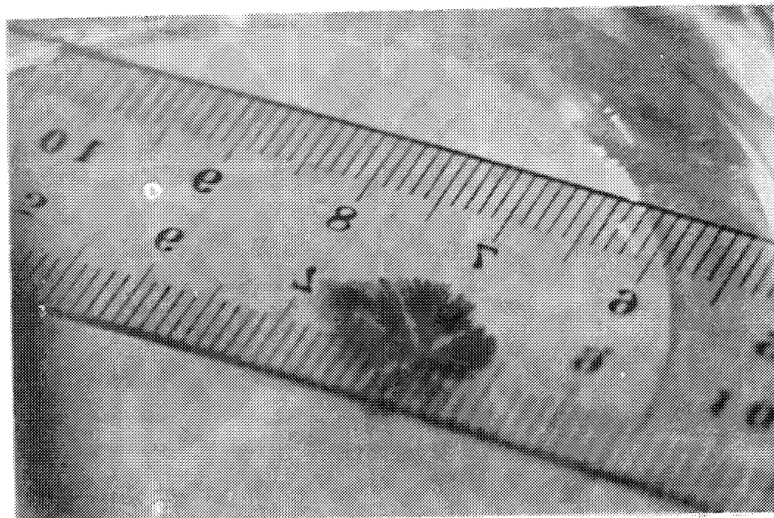
- (ㄊ)若以兩組電極同時進行電解，銅樹會趨向距離較近的正極生長，其原因可能是距離較近的正極對電子的吸引力強，影響電子的分布，進而影響銅離子得電子所致。又因電子由負極流出時會互相排斥，所以兩負極間析出量極少。
- (ㄊ)電解時若不以濾紙為介質，則負極仍然析出樹枝狀的銅，其析出情形與加濾紙、溶液體積較大時相當，我們可利用投影機將電解情形演示出來（如照片二），對於理化教學的生動化有所助益，但其缺點為析出之銅樹無法保存。
- (ㄊ)實驗結果顯示銅有紅色的晶體，有黑色的晶體，也有閃亮富光澤的晶體，且顆粒大小及紋路皆不同，可能是因為原子的排列方式、堆積緊密不同所致，其受溶液濃度影響最大。
- (ㄊ)電解硫酸銅溶液時所產生具惡臭味的氣體，經檢驗為二氧化硫。其反應可表示為：
- $$4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{SO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$$
- (ㄊ)實驗結果顯示，硫酸銅結晶速率慢則晶體較易聚集排列，故顆粒大，而晶體的排列受溫度影響最顯著。
- (ㄊ)以透易性較佳的紙張為介質培養硫酸銅晶體，較易形成樹枝狀花紋，其原因可能是紙張的結構影響水分蒸發情形，進而影響晶體的堆積析出。
- (ㄊ)當室內溼度低時，因水份散失速率快，使晶體析出速率增加，因而顆粒小，不易形成花紋。
- (ㄊ)若將培養皿靜置於室溫下，由於每天溫度變化有高低，因此析出晶體顆粒有大有小，於是形成樹枝狀花紋，若置於恆溫下，則無花紋析出。
- (ㄊ)若以已結晶之濾紙為介質進行再次結晶，則再次結晶之晶體會重疊生長在原来的晶體上，可能是以原来的晶體為晶種之故。
- (ㄊ)以濾紙為介質培養硫酸銅晶體，若培養皿加蓋，則晶體析出速率極為緩慢，晶體有機會慢慢堆積成顆粒較大的樹枝狀花紋（如照片五）。



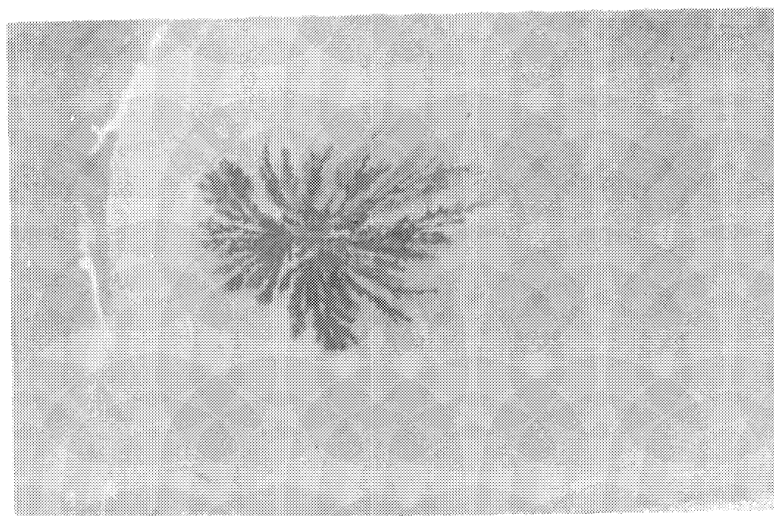
照片一：電解析出銅樹之情形



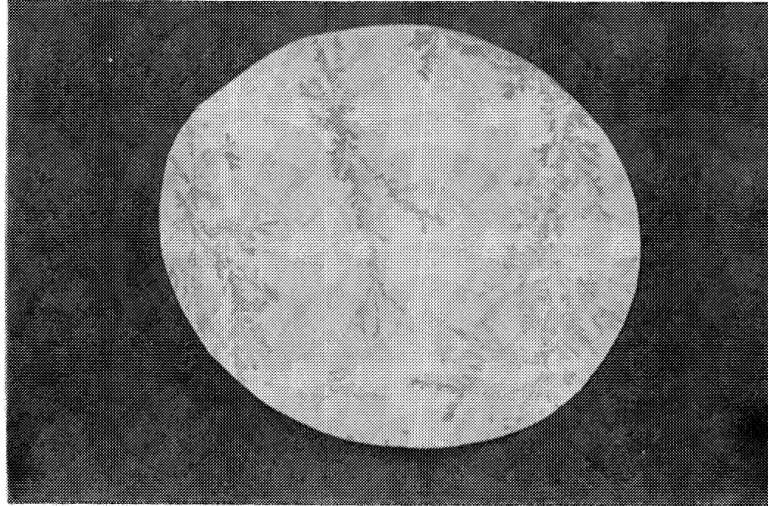
照片二：利用投影機演示銅樹生長情形



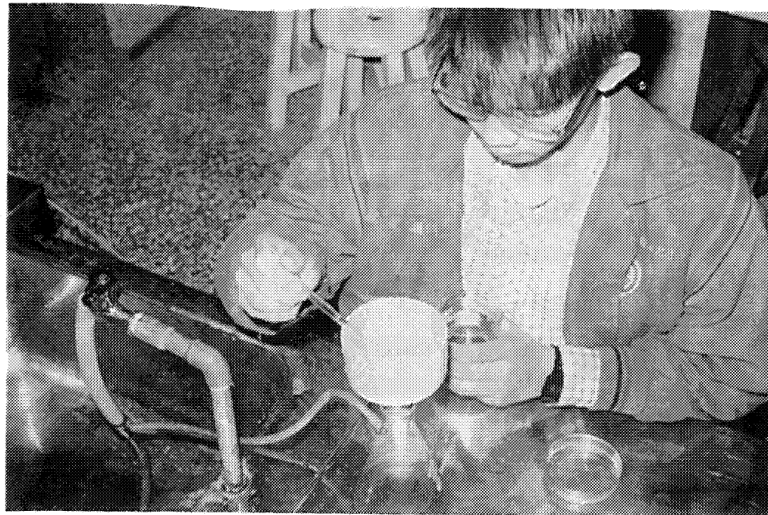
照片三：測量銅樹生長之長度



照片四：以鉑絲為電極電解所析出之銅樹



照片五：硫酸銅晶體在濾紙上析出之情形（培養皿加蓋）



照片六：清洗銅樹回收廢液之情形

六、結論

- (一)室溫下電解硫酸銅溶液，以濃度 1.0M，體積 1ml，電壓 12V，兩極距離 3cm，使用鉑絲為電極時，在濾紙上電解可獲得理想之結果。此外，銅樹析出明顯受磁力影響，且其析出情形符合『右手開掌定則』。
- (二)以濾紙為介質培養硫酸銅晶體，若晶體析出速率愈快，則晶體顆粒愈小，愈難形成樹枝狀紋路；反之，析出速率慢，則較易獲得美麗清晰的花紋。而室溫下(20℃~25℃)，相對溼度約 75%~80%，硫酸銅飽和溶液 1ml，培養皿水平放置，以濾紙為介質可獲得理想樹枝狀排列之硫酸銅晶體。此外，磁力對硫酸銅晶體的生長有顯著影響。

七、參考資料

- (一)吳謀泰(1968)：晶體與晶體的生長，徐氏基金會，第 62~72 頁。
- (二)莊淑雀(1991)：濾紙上開展化學反應的研究，科學教育月刊第 145 期，師大科教中心，第 38~46 頁。

評語

本研究研究成果豐碩，對銅樹的形成做相當深入的探討，包括電極材料、溶液濃度、磁力電壓對銅樹生長影響。