中華民國第57屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　化學科

050205

”銅”樹銀花

學校名稱：國立臺南第一高級中學

作者：	指導老師：
高二 林子崴 高二 曾芃臻 高二 徐亞呈	陳立偉

關鍵詞：銅樹、四氨銅、電解

摘要

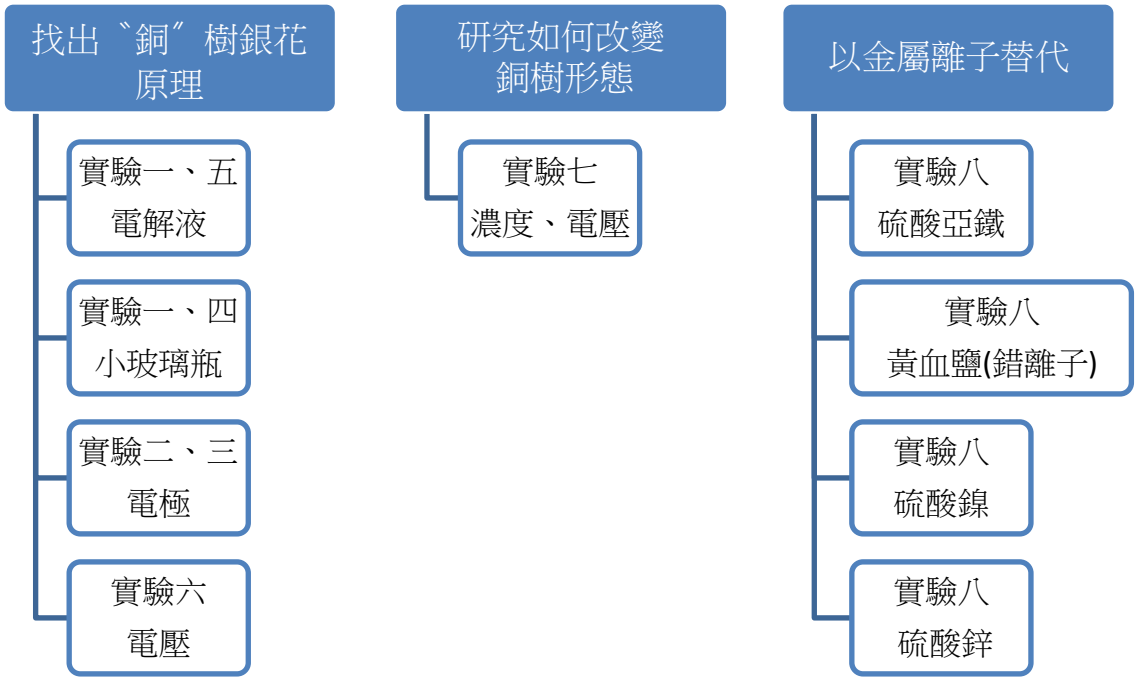
在偶然的機遇下，我們原為盛裝泥狀銅而放在負極下的小瓶子，播成了美麗的〝銅〞樹 銀花。自此開始研究操縱的方法及原理，我們改變不同的變因，包括電解液濃度、電極材質、 液面高度、電壓、電解液溶質等因素，並且探討這些變因對銅樹現象的影響。

壹、研究動機

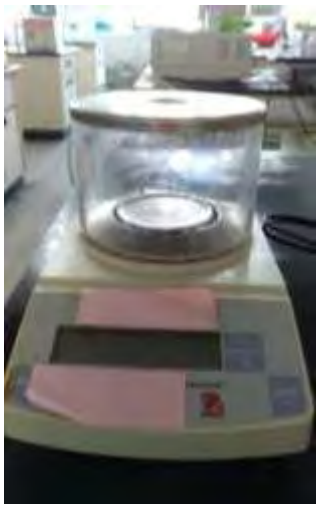
課本上電化學程中最常出現的莫過於電解硫酸銅水溶液的實驗了，但銅都是吸附在碳棒上。而我們希望能得到塊狀的金屬銅，於是削尖了碳棒，希望能讓銅掛在碳棒下，當我們實際操作時發現其實析出的是深紅色的銅，不但不具有金屬光澤，還是泥狀的，與我們想像差距甚遠。於是我們詢問老師怎麼讓具有金屬光澤的銅析出，老師反倒建議我們試試使用四氨銅水溶液，想看看是否能生成奈米銅，但實驗後發現仍是析出泥狀。在一次實驗中，我們 突發奇想使用罐子想盛接泥狀的析出物，沒想到晶亮的銅如金屬樹一般在溶液表面蔓延，激起 我們對於研究這個現象的興趣。

貳、研究目的

一、 找出〝銅〞樹銀花原理 二、 研究如何改變銅樹型態 三、 以金屬離子替代銅離子



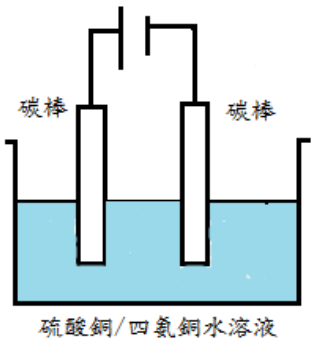
參、研究設備及器材

五水合硫酸銅(試藥級)	氨水 28%（試藥級）	乙醇 95%（試藥級）
燒杯	分度吸量管	容量瓶
不同電極 （石墨棒、銅片）	小玻璃瓶 （外徑 1.9cm，內徑 1.6cm）	鐵架
圖一 電子天平 	**圖二** 電流供應器 	

肆、研究過程或方法

一、 找出〝銅〞樹銀花原理

（一）實驗一、分別在負極有無加罐之條件下電解硫酸銅與四氨銅水溶液： 裝置情形如圖五所示，將電壓調至 30V，放入裝有電解液的 100ml 之燒杯中並以石墨棒為電極電解 $1.0x10^{-2}$M 硫酸銅或四氨銅溶液，分為有無加罐組。加罐裝置如圖六，將玻璃小罐置入並觀察其電解後銅析出情形。



圖五 實驗裝置

圖六 加罐裝置

（二）實驗二、探討電極對現象之影響： 考慮到電極材質的影響，於相同實驗裝置之條件下，將電極分成（正極-負極）碳棒-碳棒、碳棒-銅片 、銅片-銅片 ，並比較與石墨棒電極銅析出之情形及析出速 率之比較。

（三）實驗三、考量電極插入深度對目標現象的影響： 進行與實驗一有加罐組同樣的實驗，但改變石墨棒距小玻璃罐瓶口的深度，分為瓶口上 0.5cm、與瓶口齊高、瓶口下 1cm、3cm、5cm 等五個條件，以探討插 入深度可能造成的影響。

（四）實驗四、考量瓶口距液面高度的影響： 此實驗分為六組，其中一組以培養皿盛裝電解液，其他同實驗一有加罐組的實驗，且使用 100ml 規格的燒杯及同樣口徑的小玻璃瓶，改變瓶口與液面距離而 分為距離 0.1cm、0.2cm、0.3cm、0.4cm、0.5cm 等五組，觀察其電解情形及析出時 間。

（五）實驗五、考量溶液表面張力對電解情形的影響：

在 $1.0x10^{-2}$M 40ml 之電解液中，分成加入會減少表面張力之肥皂水、乙醇 10ml 兩組，攪拌使其均勻後進行電解實驗，觀察其是否生成銅及其析出狀況。

（六）實驗六、考量在溶液中隔絕氧氣後的影響： 在裝置中新增鹽橋與第二杯燒杯以隔絕氧氣，比較有無鹽橋與無加罐的四氨銅水溶液對照組。

二、研究如何改變銅樹形態

實驗七、藉由調控濃度、電壓以改變形態

改變電解液之濃度為 $1.0x10^{-2}$M、$2.0x10^{-2}$M,同時改變電壓為 20、30V 並觀察析出及堆疊之形態。

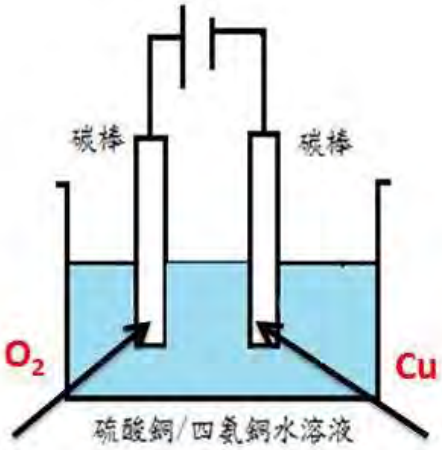
三、 以金屬離子替代銅離子

實驗八、電解不同金屬離子溶液：

分別電解硫酸亞鐵、黃血鹽、硫酸鎳、硫酸鋅水溶液，並觀察其是否會生出金屬樹。

伍、研究結果

一、 找出〝銅〞樹銀花原理 電解四氨銅水溶液所生成之氣體、析出之金屬示意圖如圖七



圖七（Cu（NH_3）$_4$）SO_4硫酸四氨合銅水溶液之理想電解情形 正極半反應：$2H_2O \rightarrow 4H^+ + O_2 + 4e^-$

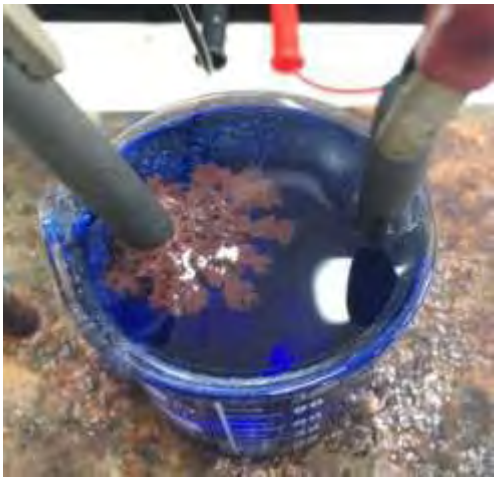
負極半反應：Cu（NH_3）$_4^{2+}$ $+2e^- \rightarrow Cu + 4NH_3$

（一）實驗一、分別在負極有無加罐之條件下電解硫酸銅與四氨銅水溶液： 在四氨銅溶液中，會先產生一圈銅包覆碳棒，並在瓶口內產生銅，在瓶口上與外側之溶液表面產生如樹狀開展的銅如圖九，從碳棒靠著瓶口的一 側擴展出來，並且在銅析出時電流會不斷上升（V 固定），直到析出的銅碰到正 極，隨即變回深紅色的銅。而硫酸銅為電解液的結果則與初始沒加小瓶子的狀況相同。實驗結果整理如表二，而析出金屬光澤的情況如圖八，而紅色泥狀之 結果如圖九。

表二 **改變電解液及加罐之影響**

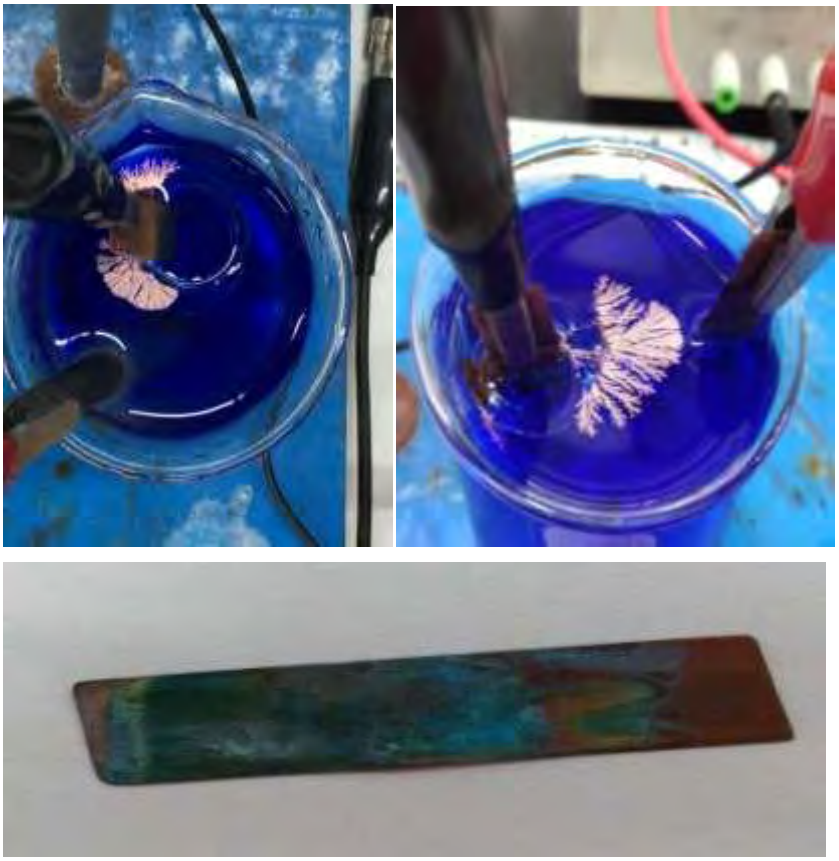
電解液／（無）加罐	加罐	無加罐
硫酸銅水溶液	紅色泥狀	紅色泥狀附著於碳棒
四氨銅水溶液	金屬光澤	紅色泥狀

圖八 金屬光澤之〝銅〞樹銀花



圖九 紅色泥狀之銅

（二）實驗二、探討電極種類對現象之影響：



圖十 左上負極改用銅片後仍會從兩側尖端長出〝銅〞樹銀花

右上正負極皆為銅片而正極會產生如右下的綠色物質

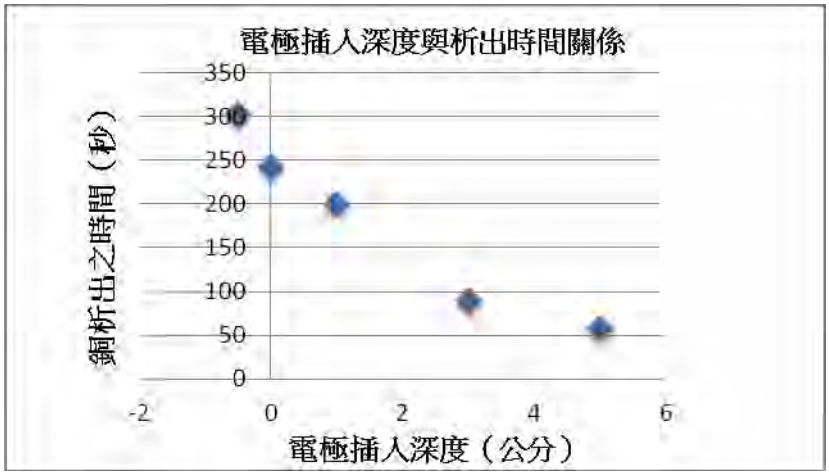
表三

改變電極對現象之影響

正極	負極	目測情形	析出時間（秒）
碳棒	碳棒	電極附近之銅為暗紅色，向外則具金屬光澤	19
碳棒	銅片	從銅片兩尖端直接析出	95
銅片	銅片	負極同上，正極析出綠色物質	102

（三）實驗三、考量電極插入深度對析出時間的影響：

結果如表四



圖十一 電極插入深度與析出時間關係

表四

電極插入深度對析出時間之影響

電極插入瓶口深度	銅析出之時間（秒）
瓶口之上 0.5cm	302
恰好與瓶口齊高	242
瓶口下 1cm	200
瓶口下 3cm	90
瓶口下 5cm	58

（四）實驗四、考量瓶口距液面高度的影響：

結果如表五

表五

瓶口距液面高度對現象的影響

培養皿組	只向下生出紅色泥狀的銅，向外的情況並不明顯
瓶口距液面 0.5cm	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.4cm	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.3cm	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.2cm	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.1cm	金屬光澤之銅

（五）實驗五、考量溶液表面張力對電解情形的影響：

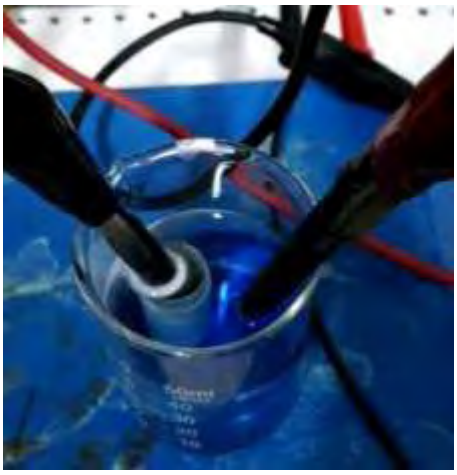
分別加入肥皂水（圖十二）、乙醇（圖十三）並觀察其是否析出銅，結果如表六。

表六

加入表面張力破壞劑之影響

影響表面張力之液體	是否析出銅
肥皂水	是（如圖十三）
乙醇	否（負極產生氣泡）（如圖十四）

圖十二 四氨銅加入肥皂水電解



圖十三 四氨銅加入乙醇電解

（六）實驗六、考量在溶液中隔絕氧氣後的影響：

在無加罐裝置中新增鹽橋，如圖十四，以阻隔溶液中的氧氣並產生較具金屬光澤的銅，如圖十五。

圖十四 無加罐裝置加鹽橋圖

圖十五 碳棒上之金屬銅析出

二、 研究如何改變銅樹形態

（一） 實驗七、藉由調控濃度、電壓以改變形態

結果如表七

表七

不同濃度、電壓對銅樹析出型態之影響

電壓（V） 濃度（M）	20V	30V
$1.0x10^{-2}$M		
$2.0x10^{-2}$M		

三、 以金屬離子替代銅離子

實驗八、電解不同金屬離子溶液：

結果如表九

表九

電解不同金屬離子溶液結果

電解液	外觀	有無生成金屬樹
硫酸亞鐵溶液	負極周圍溶液變為黃色膠狀液體	無
黃血鹽溶液	負極周圍溶液變為綠色	無
硫酸鎳溶液	負極只生出一小點金屬光澤之鎳	無
硫酸鋅溶液	負極生出樹狀鋅灰	無

陸、討論

一、 找出〝銅〞樹銀花原理

（一）實驗一、分別在負極有無加罐之條件下電解硫酸銅與四氨銅水溶液：

1.四氨銅溶液因有錯離子包覆著銅離子，相較硫酸銅水溶液，銅離子釋出的較緩慢，因此較容易堆疊成銅樹。

2.根據結果，我們擬出了了幾個可能造成此現象的原因，其中分為電極材質、電極插入深度、表面張力等，並於以下針對每一個變因進行探討。

（二）實驗二、探討電極對目標現象之影響：

1.由此實驗可知，正負極均為碳棒之速率最快，一為碳棒一為銅片之速率次中，而均為銅片之速率最慢。

2.我們推論粗糙度仍對此現象有影響，碳棒使銅較易附著在上面，因此也較容易接著長出銅樹。

（三）實驗三、考量電極插入深度對析出時間的影響：

1.由實驗結果可得，碳棒插入深度約與銅析出時間成反比。

2.推論析出時間與溶液上之碳棒長度有關，因電流改道至銅樹，碳棒越深，總電 阻越小，電流越大，速率愈快。

（四）實驗四、考量瓶口距液面高度的影響：

1.由實驗結果得知，瓶口距液面高度需距約小於 0.1cm 才能產生具金屬光澤之銅樹。

2.推論銅樹必要生成條件之一是金屬因溶液被罐口抬升，突破表面張力至溶液表面。因此才會呈現罐子內為深紅銅而罐子外卻為銅樹之現象。因瓶口上液面過厚造成被罐口抬升之金屬未能突破表面張力，而無法產生金屬銅樹。

（五）實驗五、考量溶液表面張力對電解情形的影響：

1.由此實驗可知，表面張力為抑制因子，因肥皂水為界面活性劑(降低表面張力)，使析出的金屬更容易突破水面的表面張力以浮到水面上。

2.醇類對此現象之影響留待未來進一步實驗再加說明。

（六）實驗六、考量在溶液中隔絕氧氣後的影響：

在無加罐裝置中新增鹽橋，希望能阻隔溶液中的氧氣以產生較具金屬光澤的銅，新增鹽橋後吸出速率雖然變的緩慢，但卻在負極碳棒上析出具金屬光澤的金屬銅層。

二、 研究如何改變銅樹型態

實驗七、藉由調控濃度、電壓以改變形態：

濃度高、電壓大之四氨銅溶液因生成速率快，故銅樹型態如榕樹，枝葉較向外開展；而濃度低、電壓小之溶液則如同稻穗，較細長向前延伸。

三、 以金屬離子替代銅離子

實驗八、電解不同金屬離子溶液：

目前我們還未找到除了銅離子外，可以生成金屬樹的離子。

柒、結論

藉由操控電解液濃度、電極、液面高度以及電極插入深度，我們得到了生成銅樹的最佳條件。負極下方有加玻璃瓶而瓶口距液面約 0.1cm 時其生成效果為佳。同時，電極正負極均選用碳棒且電極越深入溶液越容易生成銅樹，我們推測其應為電極粗糙度以及電阻大小所影響。由調控反應速率也得到不同的銅樹析出形態與面積速率。我們成功地推論此反應的原理為析出之銅金屬因溶液被罐口抬升，突破表面張力直至溶液表面。未來我們希望能夠探討醇類在反應中所影響的因素，並解釋為何加入醇類之後不會出現銅樹。我們也希望能夠計算銅樹的厚度，使用電子顯微鏡觀察其原子級的結構。最後我們希望能夠透過濃度與電壓的調控量化並且有系統的分類不同型態的銅樹。

捌、參考資料

一、 Steven S. Zumdahi(2014). *Principles of Chemistry*. Cengage Learning. Electrochemistry (pp.433-472).

二、 陳正偉、邱繼弘（1993）.擁有生命的金屬樹. 全國中小學科展作品。

三、 陳登輝、吳秋月（1989）.神奇的金屬樹-鉛樹雨銅樹的研究. 全國中小學科展作品。

四、 葉名倉（2014）. 選修化學（上）. 南一出版社. 5-4 章（pp.246-254)。

【評語】050205

藉由各項變因，觀察桐樹之形成，饒富趣味與藝術性。應進一步以理論探討桐樹形成機制，並思考其未來的應用與價值。

作品海報

壹、 研究動機

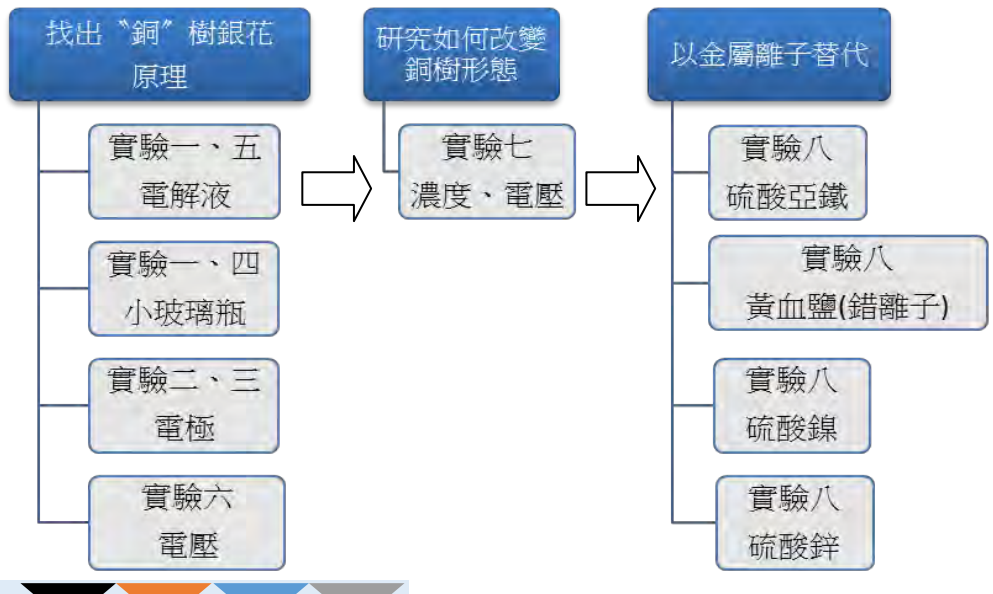
課本上電化學課程中最常出現的莫過於電解水或硫酸銅水溶液的實驗了，實際操作時發現析出的是深紅色的銅，不但不具有金屬光澤，還是泥狀的，與我們想像差距甚遠。於是我們詢問老師怎麼做會讓具有光澤的銅析出，老師反倒建議我們試試使用四氨銅水溶液，想看看是否能生成奈米銅。在一次實驗中，我們突發奇想使用罐子想盛接析出物，沒想到晶亮的銅如鐵樹銀花一般在溶液表面生成，激起我們對於研究這個現象的興趣。

貳、 研究目的

一、找出“銅”樹銀花原理

二、研究如何改變銅樹形態

三、以其他金屬離子替代銅離子

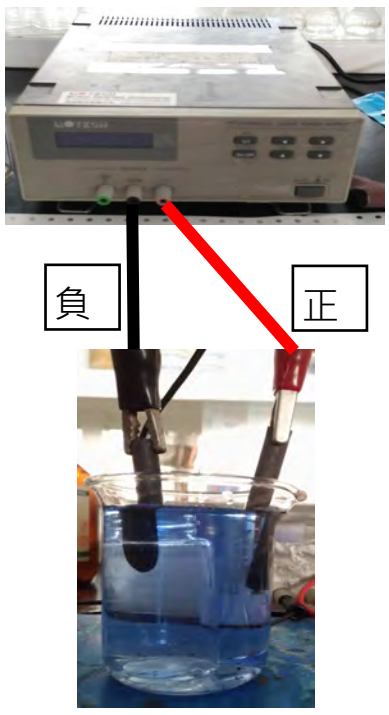


叁、 研究方法、結果與討論

實驗一

（一）分別在不同的變因下探討銅樹現象形成的最佳條件

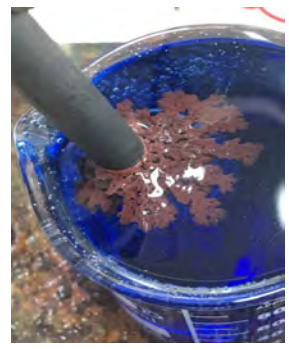
電解後銅析出的情形如下表(30V)



↑裝置示意圖

電解液 / 有無加罐	加罐	無加罐
硫酸銅水溶液	紅色泥狀	紅色泥狀
四氨銅水溶液	金屬光澤	紅色泥狀

↑具金屬光澤



↑呈紅色泥狀

在電解四氨銅水溶液時會在瓶口內產生深紅色泥狀的銅，在瓶口上與外側之溶液表面產生如鐵樹銀花般的銅，而電解硫酸銅水溶液時只產生深紅色泥狀的銅。

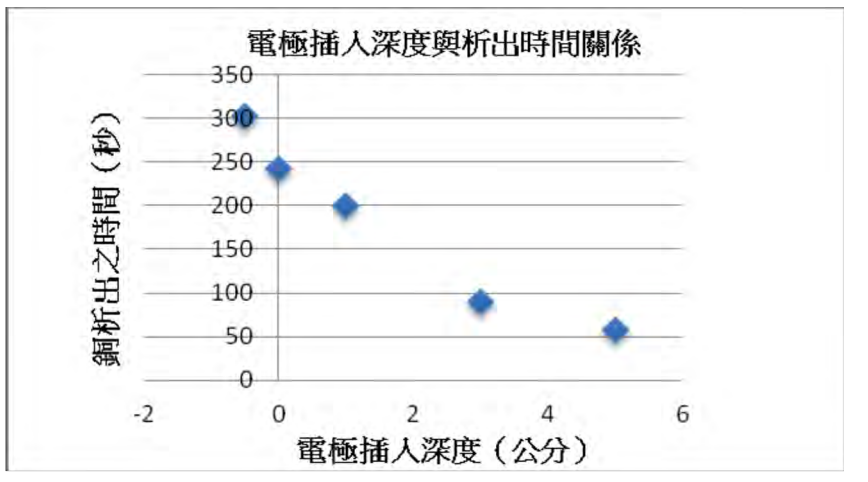
由於四氨銅水溶液有錯離子包覆著銅離子，相較於硫酸銅水溶液，銅離子釋出得較為緩慢 ，因此較容易堆成銅樹。而由於實驗結果，我們分為電極材質、電極插入深度、瓶口距液面高度、表面張力、是否隔絕氧氣等變因逐一探討。

1.二/三維度

由我們的推論可知，在沒有加罐或液面高度離罐口過高的實驗組裡面，金屬銅有三維度的生長空間，故其生長出的銅樹會包含四氨銅液體，以至於其呈現深紅色。反之，被罐子抬升至液面上的銅只有二維度的生長空間而向外產生具金屬光澤的銅樹。

2. 電極插入深度

<考量電極插入深度對電解情形的影響>



石墨棒距小玻璃罐瓶口深度不同而分為瓶口上 0.5cm、與瓶口齊高、瓶口下 1cm、3cm、5cm 等五個組別。

由實驗結果推論析出時間與溶液上之碳棒長度有關，因電流改道至銅樹，碳棒越深，溶液上之碳棒長度越短，總電阻越小，電流越大，速率愈快。

3.表面張力

<考量溶液表面張力對目標情形的影響>

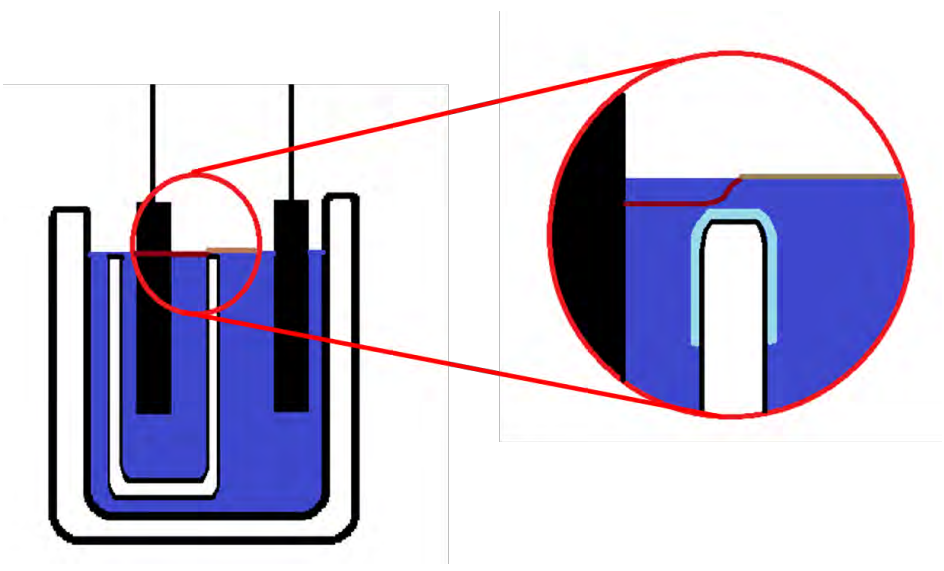
在 0.01M 電解液中，分別加入肥皂水、乙醇 10ml。由此實驗可知，表面張力為抑制因子，因肥皂水為界面活性劑(破壞表面張力)，使析出的金屬更容易突破水面的表面張力以生成到水面上。

影響表面張力之液體	是否析出銅
肥皂水	是
乙醇	否(負極產生氣泡)

4.瓶口距液面高度

<考量瓶口距液面高度的影響>

其中一組以培養皿盛裝電解液，其餘以瓶口與液面距離不同分成五組。 推論銅樹必要生成條件之一是金屬因溶液被罐口抬升，突破表面張力直至溶液表面。因此才會呈現罐子內為深紅色泥狀的銅而罐子外卻為金屬銅樹之現象。因瓶口上液面過厚造成被罐口抬升之金屬未能突破表面張力，而無法產生金屬銅樹。



培養皿上加上薄溶液	向下生出紅色泥狀的銅，向外的情況並不明顯
瓶口距液面 0.5 公分	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.4 公分	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.3 公分	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.2 公分	紅色泥狀的銅
瓶口距液面 0.1 公分	金屬光澤之銅

5.電極材質

<探討電極對目標現象之影響>

正負極均為碳棒最快析出金屬，一為碳棒一為銅片之速率次中，而均為銅片最慢。

我們推論粗糙度仍對此現象有影響，碳棒使銅較易附著在上面，因此也較容易接著長出銅樹。

正極	負極	目測情形	析出時間(秒)
碳棒	碳棒	電極附近暗紅，向外具金屬光澤	19
碳棒	銅片	從銅片兩尖端直接析出	95
銅片	銅片	負極同上，正極析出銅綠	102

實驗二

（二）藉由控制濃度、電壓以改變形態

濃度高、電壓大之四氨銅溶液因生成速率快，故銅樹型態如榕樹，枝葉較向外生長；而濃度低、電壓小之溶液則如同稻穗，較細長向前延伸。

電壓 / 濃度	20V	30V
$1.0x10^{-2}M$		
$2.0x10^{-2}M$		

實驗三

（三）以各種金屬離子替代銅離子

目前我們還未找到除了銅離子外，可以生成金屬樹的離子。

電解液	外觀	有無生成金屬樹
硫酸亞鐵溶液	負極周圍溶液變為黃色膠狀液體	無
黃血鹽溶液	負極周圍溶液變為綠色	無
硫酸鎳溶液	負極只生出一點金屬光澤之鎳	無
硫酸鋅溶液	負極生出樹狀鋅灰	無

肆、 結論

藉由控制電解液濃度、電極、液面具瓶口高度以及電極插入深度，我們得到了生成銅樹的最佳條件。負極下方有加玻璃瓶而瓶口距液面約 0.1cm 時其生成效果為佳。同時，電極正負極均選用碳棒且電極越深入溶液越容易生成銅樹，我們推測其應為電極粗糙度以及電阻大小所影響。由調控反應速率也得到不同的銅樹析出形態與面積速率。我們推論此反應的原理為析出之銅金屬因溶液被罐口抬升，突破表面張力直至溶液表面。未來我們希望能夠探討醇類在反應中所影響的因素，並解釋為何加入醇類之後不會出現銅樹。我們也希望能夠計算銅樹的厚度，使用電子顯微鏡觀察其原子級的結構。最後我們希望能夠透過濃度與電壓的調控量化並且有系統的分類不同型態的銅樹。

伍、 參考資料

一、 Steven S. Zumdahi (2014). Principles of Chemistry. Electrochemistry, 433-472. Cengage Learning.

二、 陳正偉、邱繼弘（1993）。擁有生命的金屬樹。全國中小學科展作品。

三、 陳登輝、吳秋月（1989）。神奇的金屬樹-鉛樹雨銅樹的研究。全國中小學科展作品。

四、 葉名倉（2014）。選修化學（上），5-4 章，246-254。南一出版社。