

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

030205

一閃一閃『電』『金』晶—探究金屬離子於不同  
介質與通電環境下的還原狀況

學校名稱：屏東縣立明正國民中學

作者：  國二 李佳錚  國二 陳姿吟  國二 廖仲崙	指導老師：  鍾梅英  陳盈吉
---	-----------------------------

關鍵詞：氧化還原、反應介質、汗水處理

# 研究摘要

本研究使用三種水溶液（硫酸銅、氯化鋅、硝酸鉛）、三種金屬（鎂、鋅、鋁）、三種紙張環境（濾紙、棉紙、宣紙）、三種膠體環境（洋菜、太白粉、澱粉）、三種溫度（10、20、30°C）與通電與否等變因交叉實驗探究金屬在不同環境中氧化還原的效果觀察，主要發現如下：

- （1）金屬於棉紙、宣紙的析出效果較為明顯。
- （2）反應初期會出現許多具有關鍵性的小泡泡，分析得知氣泡為氫氣。
- （3）若在電鍍水溶液中放置銅片或碳片，皆會出現暫時的偽正極和偽負極，其中偽正極會產生溶解反應（銅片）或產生氧氣（碳片），而偽負極皆會析出金屬。
- （4）若更改中央碳片與兩邊電極的排列方式，會影響金屬的析出量；建議可使用於重金屬污水處理。

# 壹、 研究動機

硫酸銅水溶液為漂亮的藍色水溶液，其中藍色的原因是因為銅離子的緣故。可是銅原子卻是呈現紅色的樣子，這其中的變化為何呢？經果資料的查詢發現銅離子還原成為銅原子，可是在查詢的過程中發現伴隨還原反應發生的是氧化反應，這引起我們的興趣。我們想要探究的主要目的之一就是希望可以找到一個良好的氧化還原觀察環境，讓我們可以清楚觀察到金屬離子的還原。另外一個動機在於金屬離子帶正電，若是在金屬氧化的環境中通入直流電流，那麼金屬還原是否會受到影響呢？若有影響，這個影響是什麼呢？

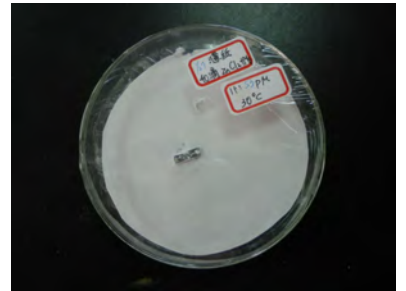
# 貳、 研究目的與問題

- 一、 探究不同介質中金屬的析出情況。
- 二、 探究不同溫度中金屬的析出情況。
- 三、 探究氧化還原反應初期的過程為何。
- 四、 探究在平面環境（濾紙）通入直流電流後其金屬析出狀況。
- 五、 探究在水溶液環境通入直流電流後其金屬析出狀況。
- 六、 探究通電對於重金屬汙水的處理是否有所助益。

# 參、 研究設備與方法

## 一、 金屬氧化的本體裁切

本實驗選擇常見的四種金屬當成金屬的氧化能力觀測，這三種金屬分別是**鎂**、**鋅**、**鋁**。這三種金屬都裁切成為長 1 cm，寬 0.3 cm 金屬薄片，分別以砂紙磨擦表面後，放置在不同的實驗條件中。



## 二、 離子溶液的配製

本實驗中選擇三種離子溶液進行離子的還原分析，分別為 0.5M 的氯化鋅（ $ZnCl_2$ ）、硝酸鉛（ $Pb(NO_3)_2$ ）、硫酸銅（ $CuSO_4$ ）。將這些化合物配製成為水溶液可得到鋅離子（ $Zn^{2+}$ ）、鉛離子（ $Pb^{2+}$ ）與銅離子（ $Cu^{2+}$ ）。

## 三、 培養介質的製作

- （一） 在實驗中我們選擇了六種不同的培養介質，分別為濾紙、宣紙、棉紙、澱粉、太白粉、洋菜；其中濾紙、宣紙、棉紙界定為紙張環境，而澱粉、太白粉、洋菜界定為膠狀環境。

- (二) 在濾紙、宣紙、棉紙等三種紙材上先將其剪出與培養皿相同大小的圓形，放置在培養皿上，分別滴入不同的水溶液 40 滴，均勻濕潤紙材。
- (三) 澱粉、太白粉與洋菜加水與氯化鋅、硝酸鉛、硫酸銅，加熱煮成爲膠狀的水溶液，再倒入培養皿中待其冷卻凝固。

#### 四、 金屬氧化(離子還原)設置

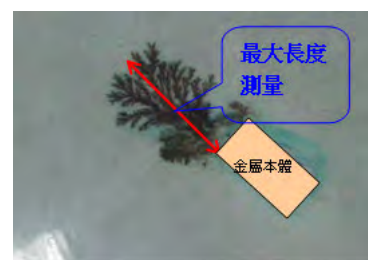
- (一) 將裁切好的金屬片分別上在裝有不同介質的培養皿中央。
- (二) 金屬片放置完畢後，將之封上保鮮膜，以免水分蒸發流失而影響溶液濃度。

#### 五、 不同培養溫度的環境設定

- (一) 本實驗使用三種不同的溫度設定，分別爲 10°C、20°C 與 30°C，皆以實驗室中的恆溫培養箱進行環境的設定。
- (二) 將已經裝置好氧化還原裝置放入不同的培氧環境中，進行定期觀察。

#### 六、 還原金屬長度測量與記錄方法

- (一) 如右圖所示，本實驗測定還原金屬的長度使用長出的金屬長度是測量長出的金屬樹行對於金屬本體而言的最大長度，使用最小刻度爲 0.1 cm 的直尺加以測量並記錄。除此之外，也使用解剖顯微鏡總放大倍率爲 40X 進行拍攝。
- (二) 在測量的時候我們考量到**金屬析出爲 3D 立體空間**，而非僅僅測量長度可以說明反應的快慢，但是我們當時的實驗目的在於探討明顯的觀察環境，所以仍選擇以長度的測量做爲判定是否明顯觀察的指標。



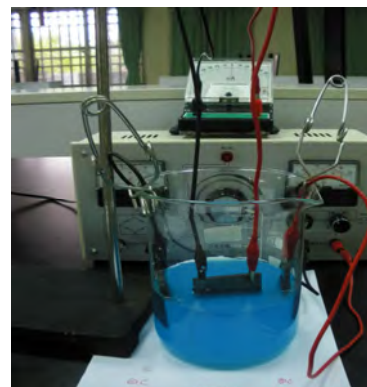
#### 七、 平面環境(濾紙)通電環境的設置

本部份的研究使用的電源供應器部分經由初步實驗，我們選擇使用 5V 通電 10 分鐘之後觀察，使用的電極和中央的還原金屬共分爲三組，爲了方便探討，此部分的實驗皆使用硫酸銅水溶液：

第一組			第二組			第三組		
負極	中央	正極	負極	中央	正極	負極	中央	正極
碳棒	碳棒	碳棒	碳棒	銅片	碳棒	銅片	銅片	銅片
濾紙吸附 0.5M 硫酸銅水溶液			濾紙吸附 0.5M 硫酸銅水溶液			濾紙吸附 0.5M 硫酸銅水溶液		

## 八、 水溶液通電環境的設置

- (一) 中央擺置碳片，兩電極也為碳片。
- (二) 兩端碳片分別接上直流電源供應器的正極與負極，調整電壓為 20V。
- (三) 中央碳片兩端各接上鱷魚夾並與微電流計( $\mu A$ )相接。
- (四) 水溶液為 0.5M 的硫酸銅水溶液。
- (五) 打開直流電源供應器，通電時間計時為 90 秒，觀測檢流計變化與相關電極的變化。
- (六) 實驗結束後，測量中央碳片上析出的銅金屬量與負極上所析出的銅金屬量。



## 九、 水溶液中央碳片的排列方向

共有四種排列方式，但是本實驗中僅有三片碳片可重複試用(因為碳片成本高，本實驗僅僅購買三片)，所以水溶液中的負極部份皆以銅片代替，其裝置如下圖所示

水溶液皆為 0.5M 硫酸銅水溶液 400mL			
中央碳片垂直兩側電極		中央碳片平行兩側電極	
1 片中央碳片	2 片中央碳片	1 片中央碳片	2 片中央碳片
<p>銅片 (負極)      碳片 (正極)</p> <p>碳片</p>	<p>銅片 (負極)      碳片 (正極)</p> <p>碳片</p> <p>碳片</p>	<p>銅片 (負極)      碳片 (正極)</p> <p>碳片</p>	<p>銅片 (負極)      碳片 (正極)</p> <p>碳片</p> <p>碳片</p>

- (一) 兩側的銅片接上直流電源供應器的負極、碳片接上正極，設定電壓為 20V。
- (二) 中央的碳片接上微電流檢測計 ( $\mu A$ )。
- (三) 開啓電源供應器，設定通電時間為 90 秒，測量中央碳片的電流變化。
- (四) 最後測量負極銅片與中央碳片上所析出的銅金屬質量。

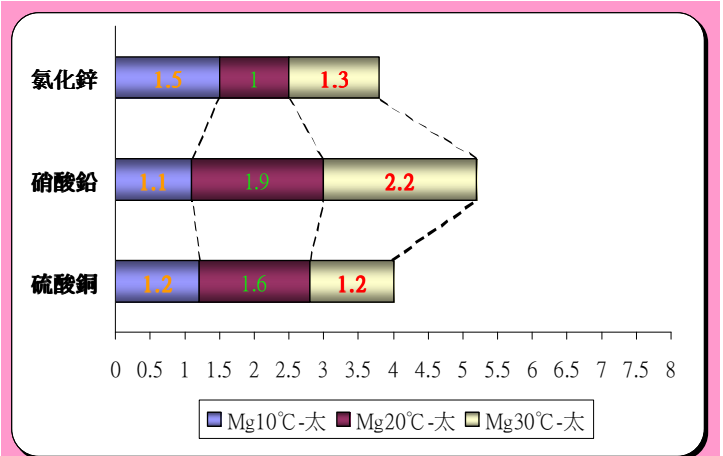
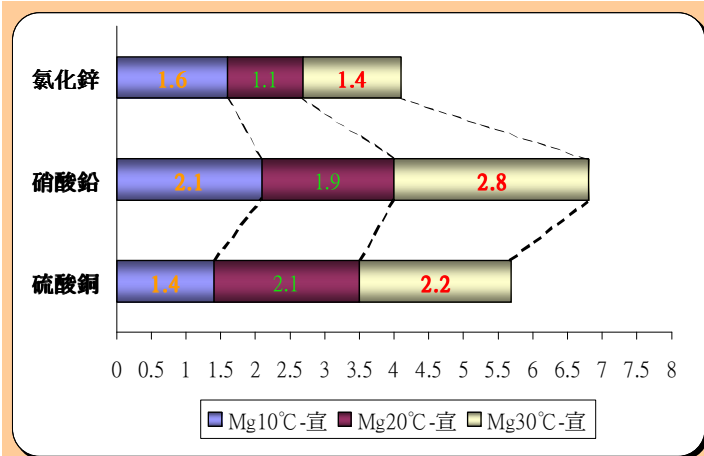
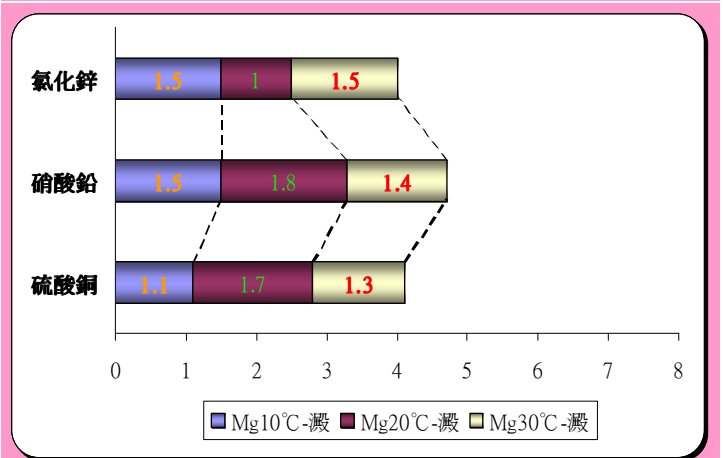
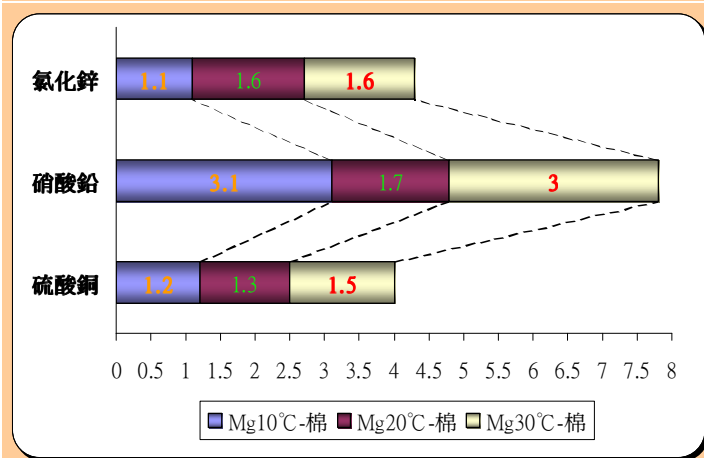
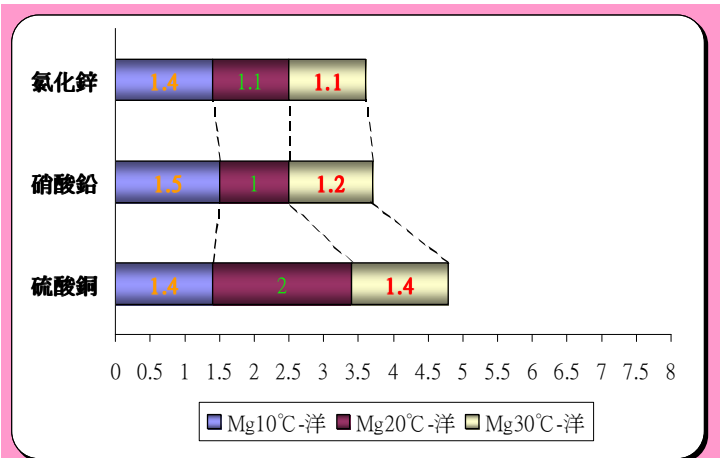
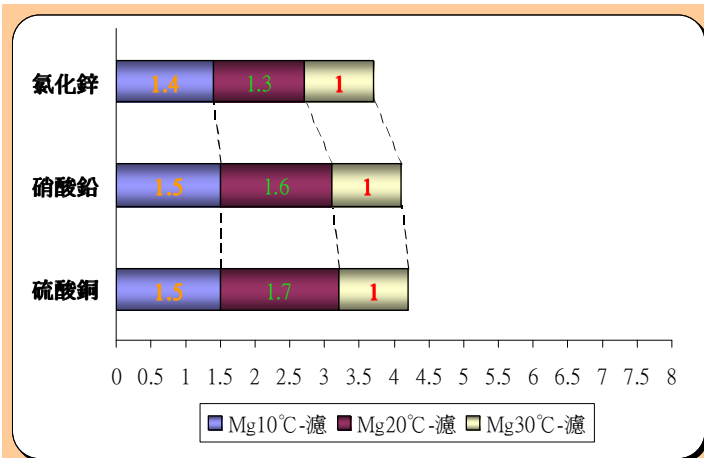
# 肆、 結果分析與討論

## 一、 鎂金屬在不同溫度與培養環境下的氧化還原分析

此段分析我們以鎂片分別放置在浸濕於不同水溶液（硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅）的紙張環境與混合有硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅的膠狀培養基上，又分別在不同溫度下培養 96 小時後測量最長析出金屬長度（銅、鉛、鋅，單位cm）的比較，其結果如下圖所示：

紙張環境

膠狀環境



以上的結果可先分爲紙張環境和膠狀環境來加以初步歸類，其所得結果如下：

(1) 鎂在不同紙張環境下

1. 在濾紙的環境中，鎂對於硫酸銅、硝酸鉛與氯化鋅的還原效果皆相當。
2. 在棉紙的環境中，鎂對於硝酸鉛的效果優於硫酸銅、氯化鋅。
3. 在宣紙的環境中，鎂氧化的效果爲硝酸鉛 > 硫酸銅 > 氯化鋅。
4. 整體考量紙張的效果，宣紙和棉紙優於濾紙。

(2) 鎂在不同的膠體環境下

1. 在洋菜環境中，鎂對於硫酸銅、硝酸鉛與氯化鋅的還原效果皆相當。
2. 在澱粉環境中，鎂對於硫酸銅、硝酸鉛與氯化鋅的還原效果皆相當。
3. 在太白粉環境中，鎂對於硝酸鉛的還原效果較好。

(3) 鎂在不同溫度的環境

1. 在濾紙的條件下，10°C、20°C 與 30°C 的差異不大。
2. 在棉紙的條件下，鎂對硝酸鉛在 10°C 與 30°C 的時候，其效果優於其他水溶液。
3. 在宣紙的條件下，鎂對硝酸鉛和硫酸銅在 30°C 的還原效果優於氯化鋅，其於溫度相差不大。
4. 在膠狀溶液中，洋菜和澱粉的差異不大，但是鎂在太白粉 30°C 時，其對硝酸鉛的效果優於其他。

以上的分析結果顯示析出金屬的的長度受到培養環境和溫度的影響，其中棉紙和宣紙的效果優於其他的介質，但是之前文獻中所提及的濾紙和洋菜，其金屬析出的長度雖可由肉眼判斷，但是相較於其他介質爲差，這是我們實驗中與其他的研究不同之處。

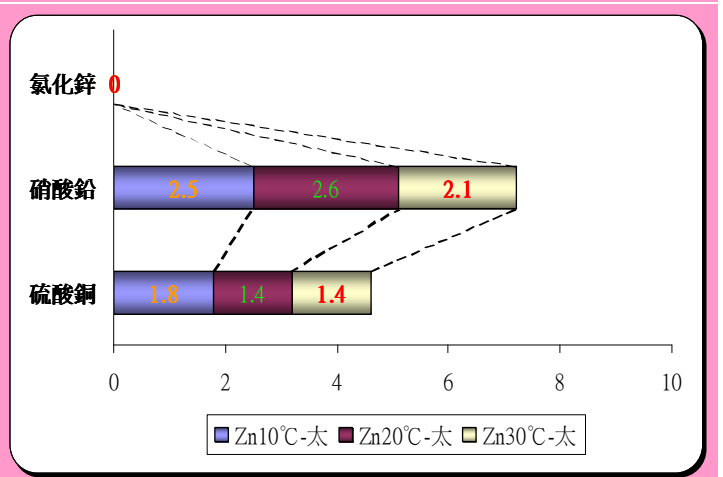
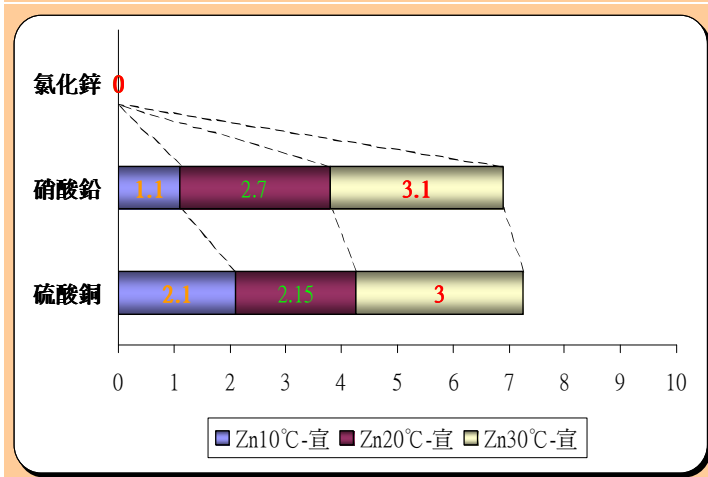
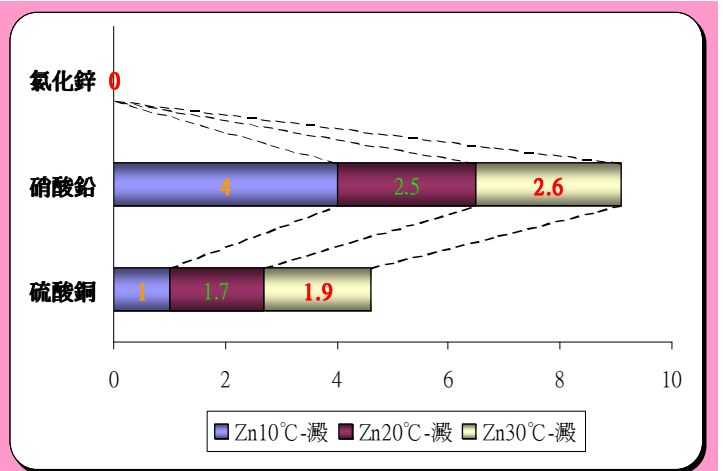
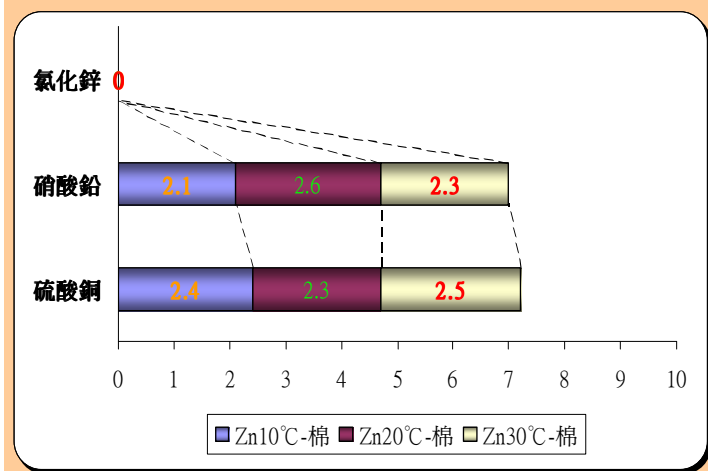
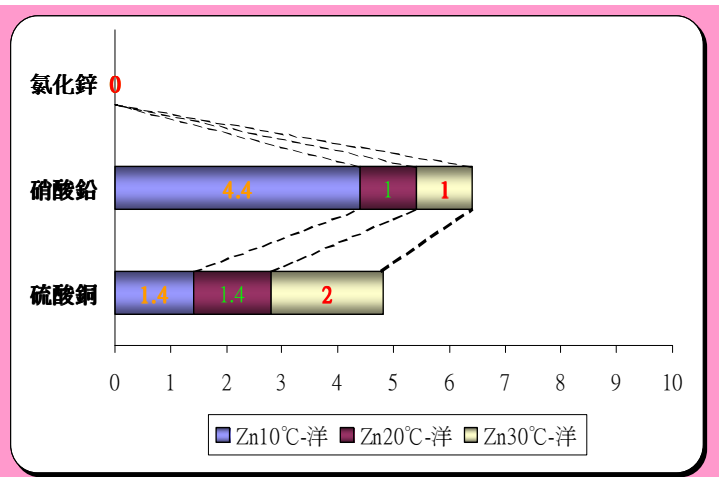
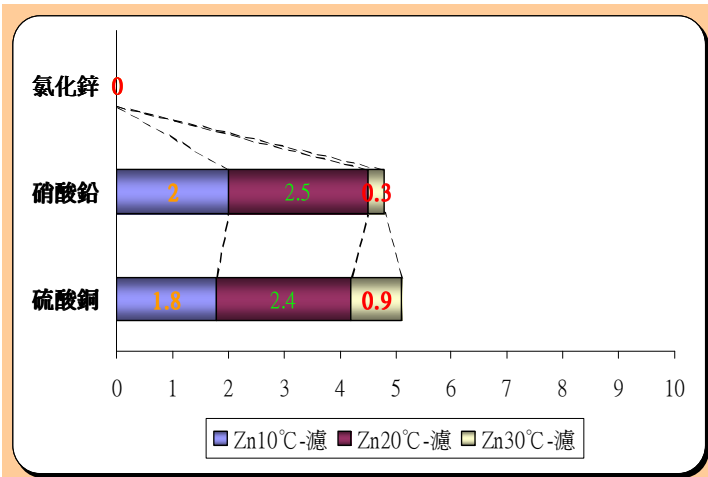
另外令人覺得有趣的是，我們原本認爲鎂相較於銅對氧的活性相差較大，應該是最明顯的的反應，可是卻得到鎂—硝酸鉛的效果最好，這是爲什麼呢？紙張環境中以濾紙效果較差，膠體環境中以太白粉效果較好，這又是什麼原因呢？其他的金屬也有相似的結果嗎？接著請看下段“鋅”與其他水溶液的氧化還原分析。

## 二、 鋅金屬在不同溫度與培養環境下的氧化還原分析

此段分析我們以鋅片分別放置在浸濕於不同水溶液（硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅）的紙張環境與混合有硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅的膠狀培養基上，又分別在不同溫度下培養 96 小時後測量析出最長金屬長度（銅、鉛，單位cm）的比較，其結果如下圖所示：

紙張環境

膠狀環境





以上的結果可先分爲紙張環境和膠狀環境來加以初步歸類，其所得結果如下：

(1) 鋅在不同紙張環境下

1. 在濾紙的環境中，鋅對於硫酸銅、硝酸鉛還原效果相當。
2. 在棉紙的環境中，鋅對於硫酸銅、硝酸鉛還原效果相當。
3. 在宣紙的環境中，鋅對於硫酸銅、硝酸鉛還原效果相當。
4. 考量紙張環境，宣紙和棉紙都優於濾紙。

(2) 鋅在不同的膠體環境下

1. 在洋菜環境中，鋅對於硝酸鉛還原效果優於硫酸銅。
2. 在澱粉環境中，鋅對於硝酸鉛還原效果優於硫酸銅。
3. 在太白粉環境中，鋅對於硝酸鉛還原效果優於硫酸銅。

(3) 鋅在不同溫度的環境

1. 在濾紙的條件下，10°C、20°C 效果相當，但是 30°C 的硝酸鉛效果較不明顯。
2. 在棉紙的條件下，10°C、20°C、30°C 效果相當。
3. 在宣紙的條件下，10°C、20°C、30°C 效果相當。
4. 在膠狀溶液中，硝酸鉛於澱粉的環境下在三種溫度下都優於硫酸銅，而在硝酸鉛的反應中，三種溶液都顯示出低溫的 10°C 有利於硝酸鉛在膠體環境中與鋅片進行氧化還原。

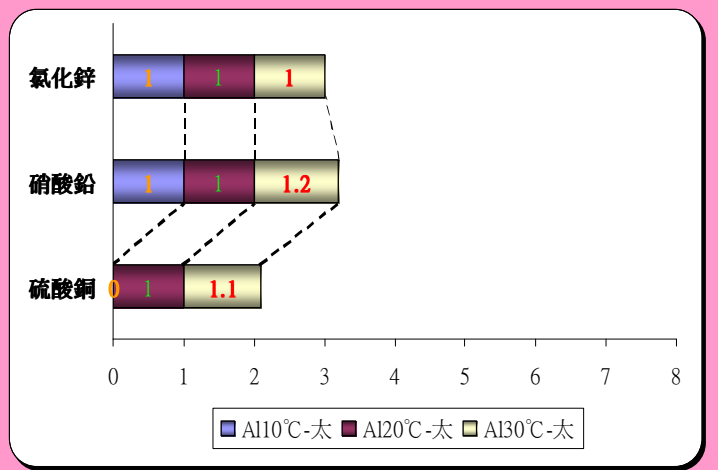
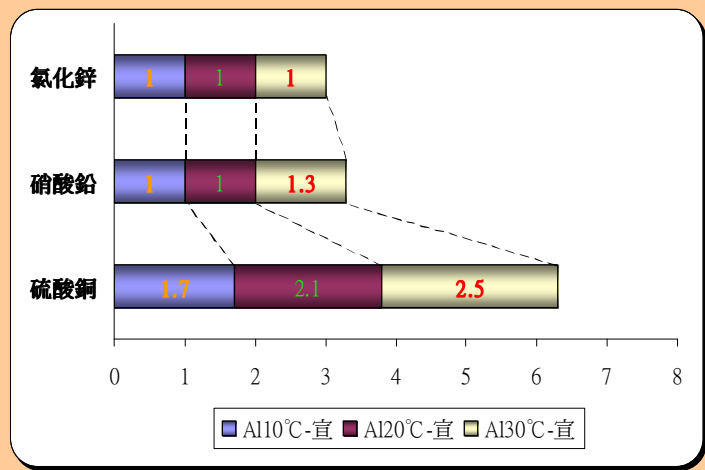
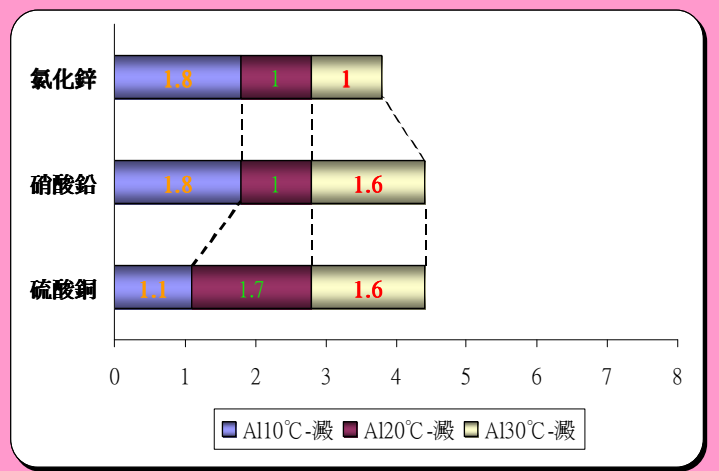
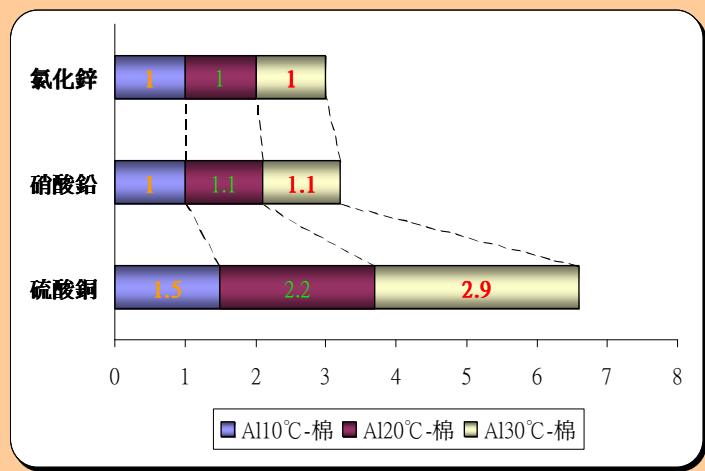
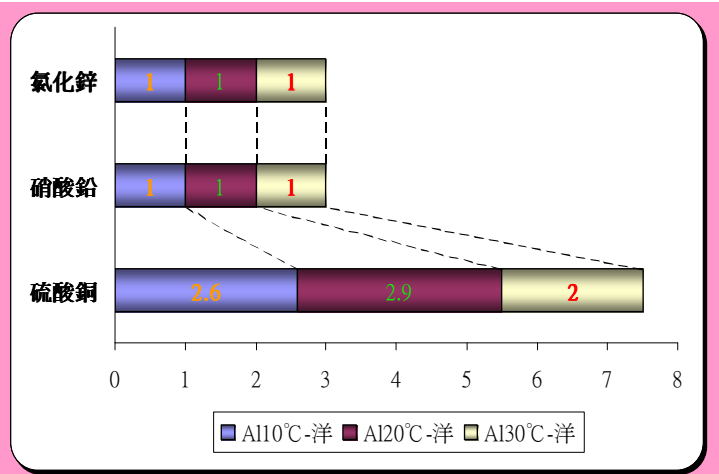
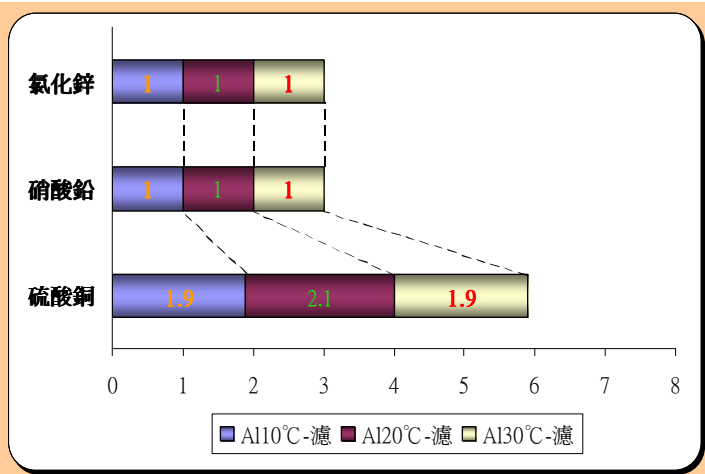
以上的分析結果顯示析出鋅金屬的的長度也受到培養環境和溫度的影響，其中紙張株的棉紙和宣紙的效果優於濾紙；另外令人覺得有趣的是，我們原本認爲鋅相較於銅對氧的活性相差較大，應該是最明顯的的反應，可是卻得到鋅—硝酸鉛的效果最好，此點結果與鎂的相似，這是爲什麼呢？紙張環境中以濾紙效果較差，膠體環境中以澱粉效果較好，這又是什麼原因呢？我們的實驗只剩下“鋁片”對其他水溶液的氧化還原，是否也具有類似的效果呢？請看下段分析。

### 三、 鋁金屬在不同溫度與培養環境下的氧化還原分析

此段分析我們以鋁片分別放置在浸濕於不同水溶液（硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅）的紙張環境與混合有硫酸銅、硝酸鉛、氯化鋅的膠狀培養基上，又分別在不同溫度下培養 96 小時後測量最長析出金屬長度（銅、鉛、鋅，單位cm）的比較，其結果如下圖所示：

紙張環境

膠狀環境



以上的結果可先分爲紙張環境和膠狀環境來加以初步歸類，其所得結果如下：

(1) 鋁在不同紙張環境下

1. 在濾紙的環境中，鋁對於硫酸銅的效果優於硝酸鉛與氯化鋅。
2. 在棉紙的環境中，鋁對於硫酸銅的效果優於硝酸鉛與氯化鋅。
3. 在宣紙的環境中，鋁對於硫酸銅的效果優於硝酸鉛與氯化鋅。
4. 整體考量紙張的效果，三種紙張的對於硫酸銅的效果都相當。

(2) 鋁在不同的膠體環境下

1. 在洋菜環境中，鋁對於硫酸銅的效果優於硝酸鉛與氯化鋅。
2. 在澱粉環境中，鎂對於硫酸銅、硝酸鉛與氯化鋅的還原效果皆相當。
3. 在太白粉環境中，鎂對於硫酸銅、硝酸鉛與氯化鋅的還原效果皆相當。
4. 在 10°C 的狀況下，太白粉中的硫酸銅在實驗中幾乎不與鋁片作反應。

(3) 鋁在不同溫度的環境

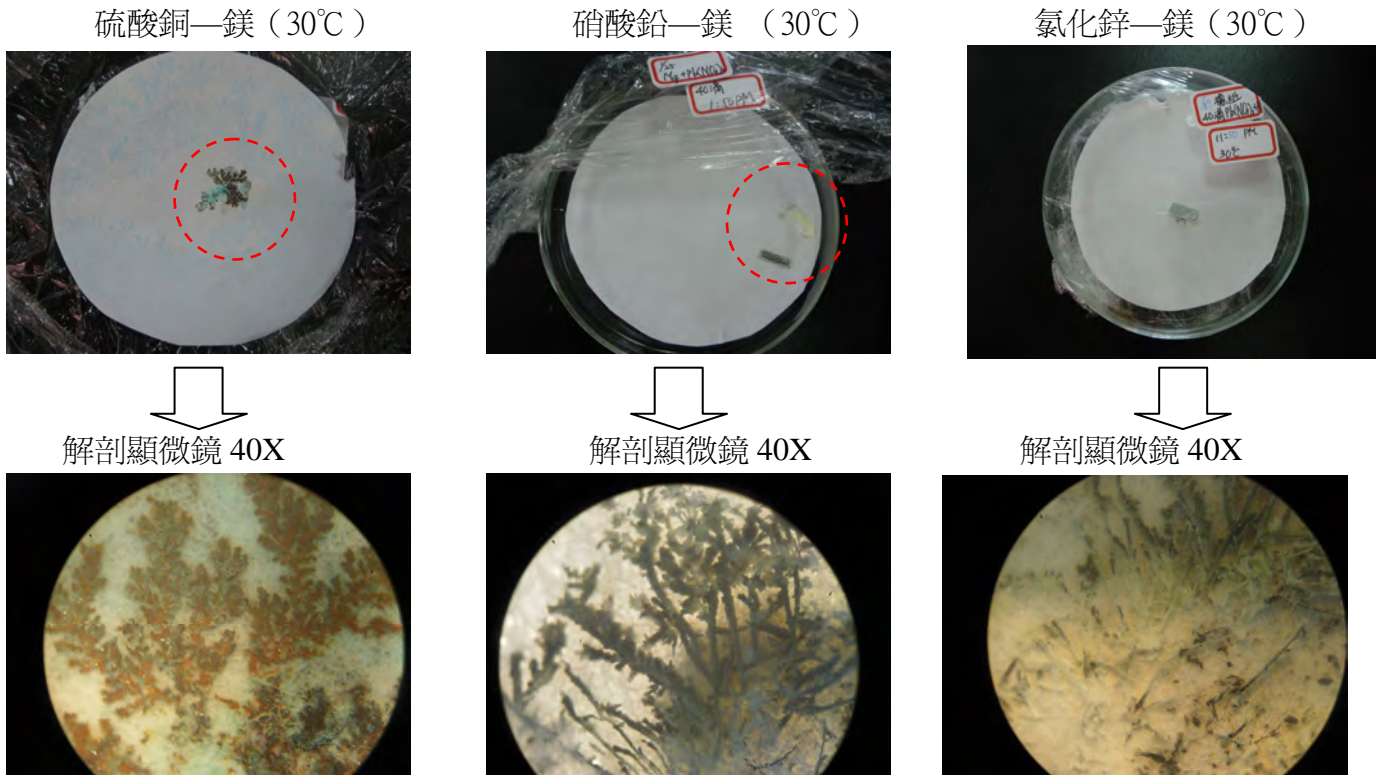
1. 在濾紙的條件下，10°C、20°C 與 30°C 的差異不大。
2. 在棉紙的條件下，10°C、20°C 與 30°C 的差異不大。
3. 在宣紙的條件下，10°C、20°C 與 30°C 的差異不大。
4. 在膠狀溶液中，硫酸銅於洋菜環境中效果最好，但是硫酸銅在 0°C 的太白粉環境中幾乎不反應；在澱粉環境中三者水溶液的效果相當。

分析至此，我們大致上得到溫度和培養介質都會影響到析出金屬的長度，其中的結果摘述如下：

- (1) 鎂和鋅在紙張的環境下，以宣紙和棉紙搭配硝酸鉛的效果最好。
- (2) 鎂和鋅在膠體的環境下，以太白粉和澱粉搭配硝酸鉛的效果最好。
- (3) 若以整體的溫度來作考量，氧化還原觀察效果最好的依次 30°C > 20°C > 10°C。

#### 四、 不同介質中的還原金屬的型狀差異—以鎂在 30°C 對硫酸銅水溶液為分析

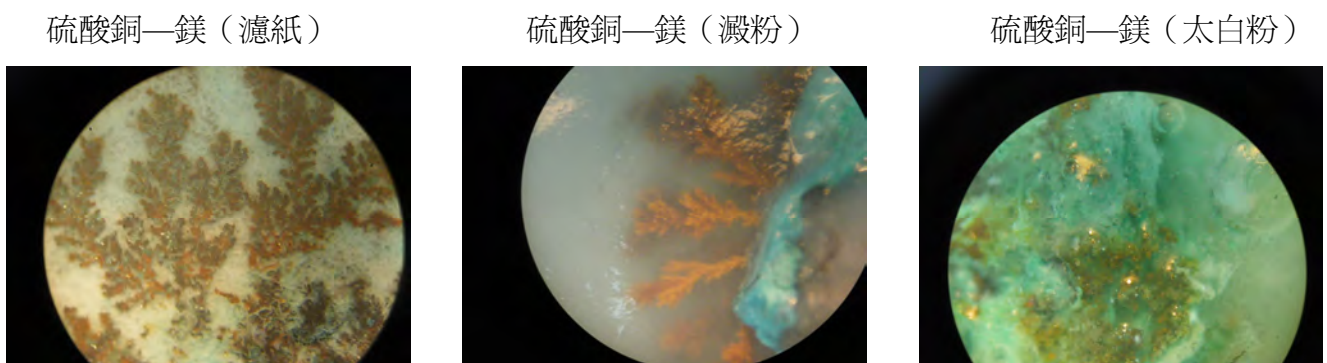
上段分析中我們認為在 30°C 的環境中可能是國中實驗室中的平均溫度，所以此段分析以較好切割的鎂帶在 30°C 的分析，其所得結果如下圖所示。



由圖中可以清楚的得到以下的結果：在濾紙環境下，經過 96 小時之後，

- (一) 硫酸銅-鎂的析出金屬平面較為平整漂亮，而且很像是扁柏的樹葉，平面的展開且多分枝。
- (二) 硝酸鉛-鎂的析出金屬為立體，似乎有一個主幹，頂端有很多分枝，但是整理而言的分枝狀況沒有硫酸銅-鎂的效果好。
- (三) 氯化鋅-鎂的析出金屬展開較不明顯，呈現針狀散開且較無分枝。

得到這樣的結果，讓我們很興奮，是不是其他的環境與介質下也會有這樣的類似的狀況呢？接著要我們分析在 30°C 時，濾紙、太白粉與澱粉介質下，硫酸銅-鎂的金屬析出狀況。

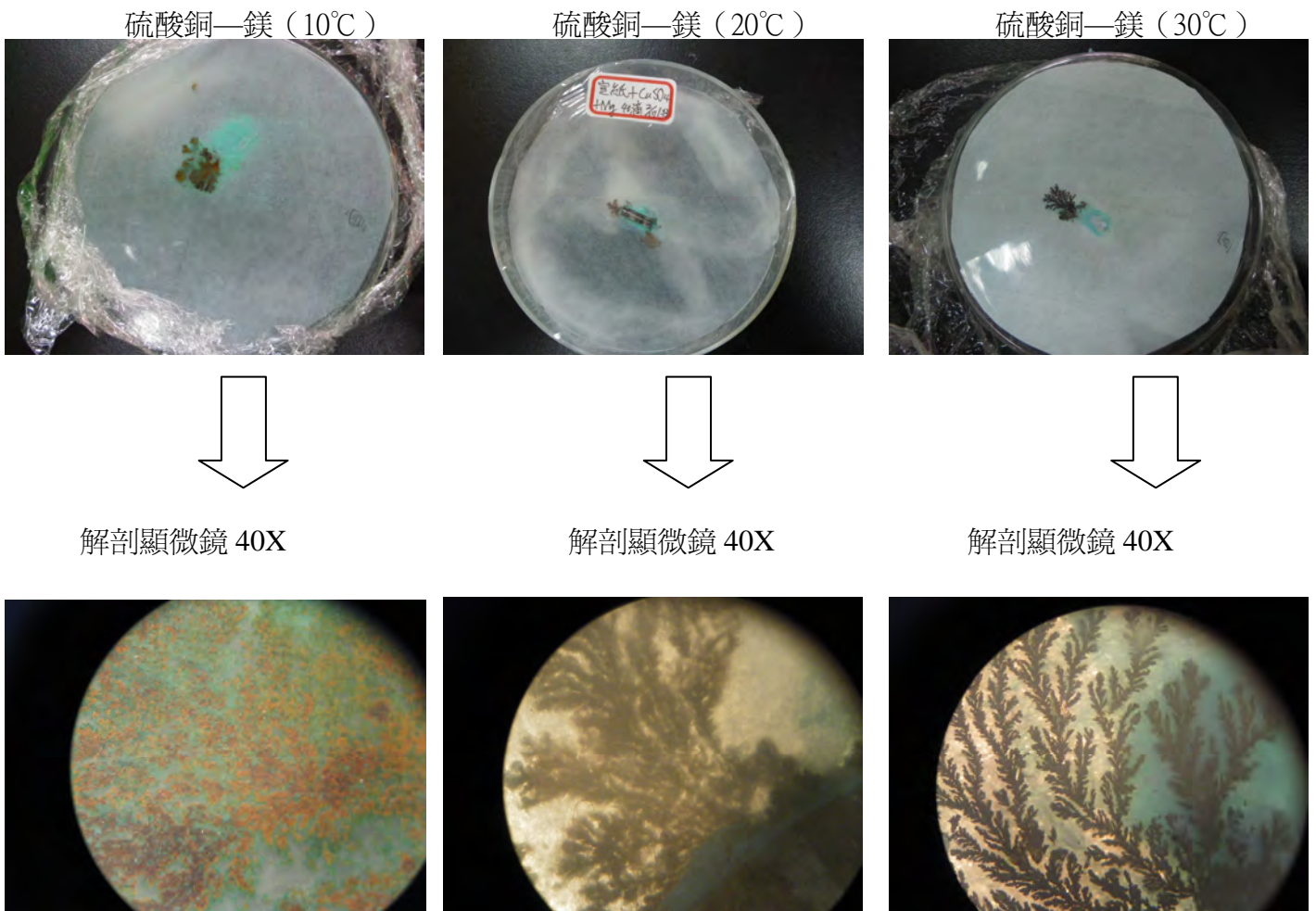


由上圖的結果可清楚發現，**不同介質下的硫酸銅-鎂所析出的金屬銅，其金屬的排列方式有明顯不同。**

在濾紙的環境下，析出的金屬銅平面且分枝多；在膠狀澱粉的狀況下，金屬銅似乎長的很像珊瑚，有立體的 3D 空間生長；在膠狀的太白粉下，析出的金屬銅似乎型成團塊，金屬樹的生長並不明顯。本組經過討論認為可能平面的濾紙環境限制了金屬銅的結合，所以可以長出較為平面且分枝多的生長，也許也跟濾紙本身的紙材纖維的走向有關。而膠狀的澱粉介質，因為離子在膠狀溶液中運動速度較為緩慢，加上膠狀溶液的空間較為立體，所以可長出像珊瑚狀的銅樹；膠狀的太白粉介質，可能因為太白粉中含有澱粉、玉米粉和樹薯粉等不同醣類，所以造成質地分布不均勻，也因此而造成其只出現銅塊，而非銅樹。

## 五、 不同溫度中的還原金屬的型狀差異—以鎂對硫酸銅水溶液在為分析

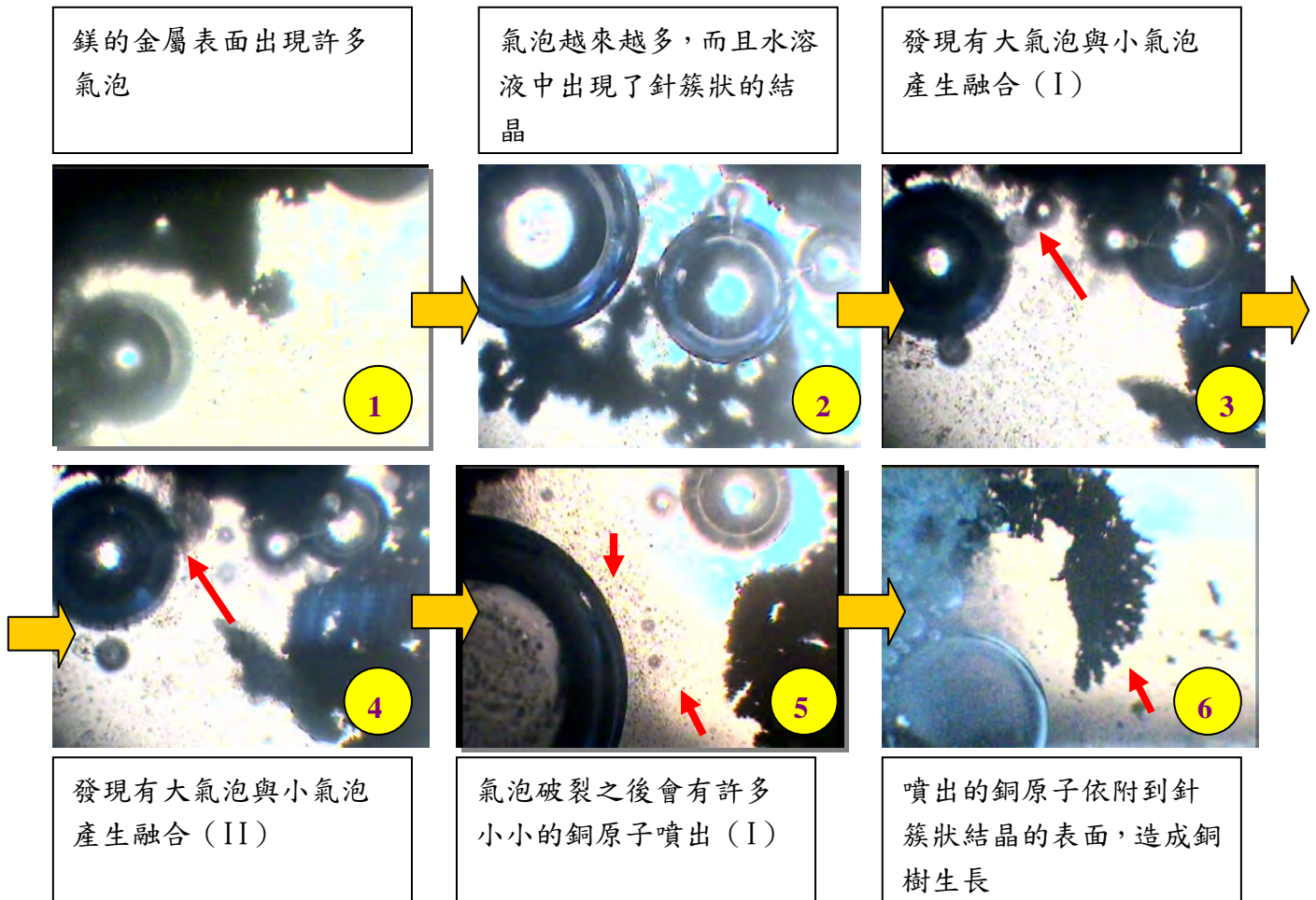
我們從事了很多種 3 種水溶液、3 種金屬與 3 種溫度、6 種培養介質的交叉實驗，結果繁複，很難一一表達，所以此部份我們以常見的硫酸銅水溶液對鎂在不同溫度下的氧化還原分析。選擇硫酸銅水溶液是因為我們此組在進行實驗之前，已經稍稍認識藍色的硫酸銅水溶液，另一方面我們認為這可能是國中生較為熟悉的一種離子溶液；另外選擇鎂片是因為實驗課中的鎂帶較為柔軟，相較於鋁片和鋅片更好裁割，所以此部分以常見的硫酸銅水溶液對鎂在不同溫度下的氧化還原分析。最後在培養介質中的選擇上，我們選擇分析效果較好的宣紙進行分析。其結果如下圖所示：



在以上的結果圖中，可以發現在宣紙上的銅金屬析出，以 30°C 的形狀最為明顯展開，而 10°C 的環境下似乎只能看到零星的銅金屬散布，並無一定的規則形狀。得到此結果，溫度可能會影響金屬的析出，而且溫度越高其析出的金屬排列最為明顯，在本實驗結果中顯示了明顯結果為 30°C > 20°C > 10°C。

## 六、 反應初期的金屬還原過程紀錄

此段分析上我們將各種金屬裁切成一小段放置於玻片上，之後滴上水溶液之後馬上蓋上蓋玻片立即進行觀察，並使用 MOTIC 軟體進行動畫拍攝，並將各結果以影片存檔方便之後的影帶分析。以下先介紹鎂帶碰上硫酸銅水溶液的氧化還原過程，如下圖所示：



由分析拍攝到硫酸銅-鎂的動畫過程中，我們認為這些不斷出現的小泡泡可能是使金屬樹形成的主要關鍵之一。反覆觀看其他金屬（鋅、鋁）滴上不同水溶液之後的反應都有類似的泡泡反應，經過我們分析後，這可能會有一個很新的結論。就我們所回顧的文獻，僅在第 43 屆全國中小學科展的高中組在從事金屬在醋酸鉛溶液中的氧化還原實驗結果中，有發現這些氣泡，其實驗報告中有說明此泡泡的氣體為氫氣，可是卻未說明是怎樣證明的。而其他文獻資料也都就最後的結果進行分析而沒有進行反應初期的動態分析。

而在紙張環境和膠體環境中是否也有類似的小泡泡出現呢？因為使用培養皿進行培養，我們無法使用 MOTIC 顯微鏡進行高倍率的動態攝影，但是這個發現仍具有相當的意義，我們認為在濾紙環境和膠體環境中可能也有這些肉眼看不到的小泡泡出現，這些泡泡出現的速度不同，而使得析出金屬的形狀不同。最後我們使用試管中裝置有硫酸銅水溶液，放置一小段鎂片進入水溶液中，並在管口用保鮮膜封住。待反應一段時間之後用點燃的線香穿破保鮮膜口進入試管空間內，發現會有些許的爆鳴聲，推測這些氣泡可能為氫氣。

## 七、 濾紙溶液中通電對於氧化還原的影響—以銅片為電極為分析

在實驗中我們對於鎂片、鋅片和鋁片都有作其對於硫酸銅水溶以在濾紙環境下的通電結果進行分析，在前期的操作中我們都是以銅片當作正極和負極，中央擺上鎂片、鋅片和鋁片，其結果如下所示：

第一組			第二組			第三組		
負極	中央	正極	負極	中央	正極	負極	中央	正極
銅片	鎂片	銅片	銅片	鋅片	銅片	銅片	鋁片	銅片

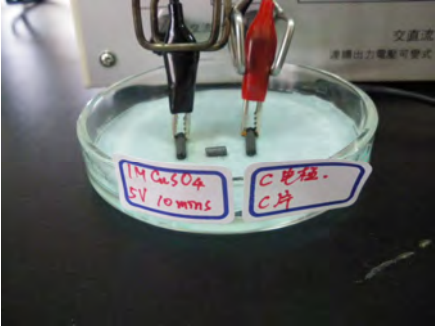
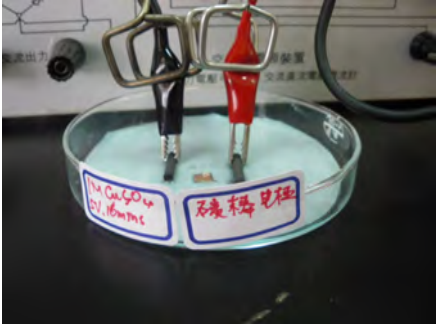
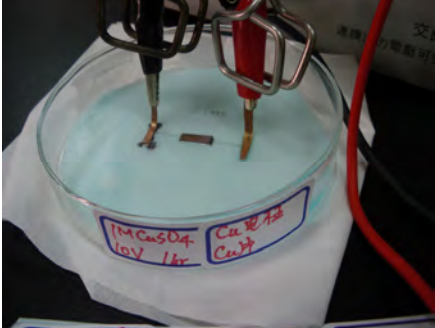
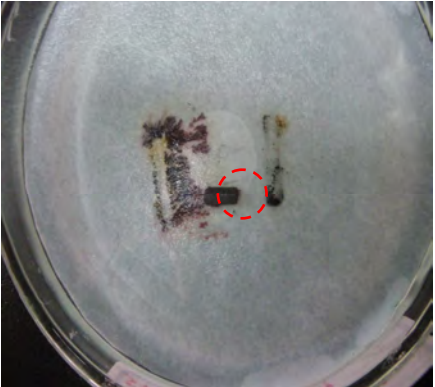

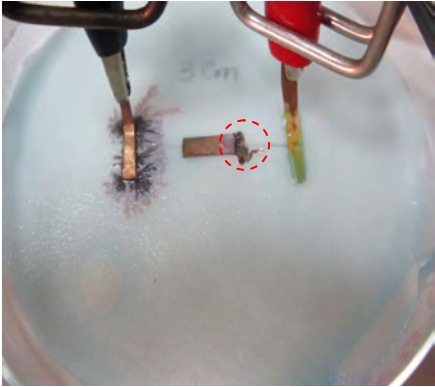
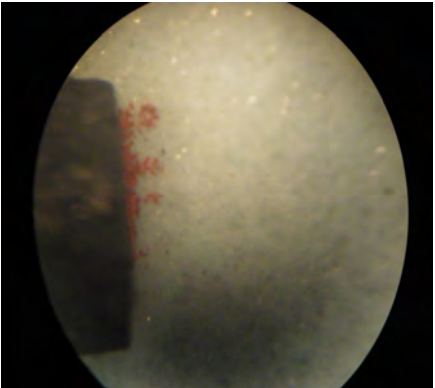
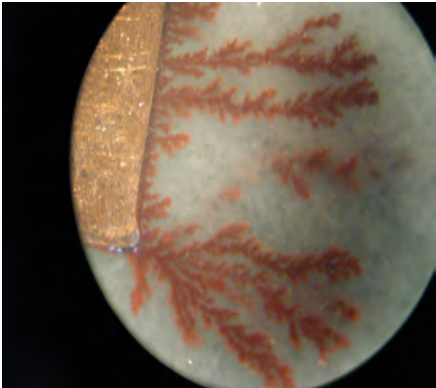
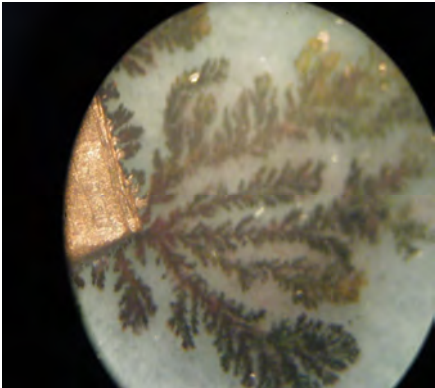
- (1) 在電源負極的部份都有析出紅色的銅，而中央金屬片靠近電源正極之處也有紅色的金屬銅析出。
- (2) 靠近電源負極的金屬析出以銅為主，後端大都以中央金屬片的金屬為主。

以上兩個結果讓我們非常的興奮，經由老師講解這是屬於電鍍。不過令人好奇的時候在培養皿中同時發生了電鍍和中央金屬與水溶液中金屬離子的互換，此點令我們感到很新奇。



## 八、 濾紙溶液中通電對於氧化還原的影響—以銅片為中央金屬片

得到以上的研究結果，我們多嘗試了一種若依照理論不太可能發生的事情，那就是在培養皿的中央擺上銅片，濾紙環境為硫酸銅水溶液，在自然狀況下銅片與銅離子不會發生氧化還原，因為兩者對氧的活性相同，但是若是通電呢？是否會發生互換，仍然有金屬銅析出呢？於是我們設計了以下的實驗進行探討。

第一組			第二組			第三組		
負極	中央	正極	負極	中央	正極	負極	中央	正極
碳棒	碳棒	碳棒	碳棒	銅片	碳棒	銅片	銅片	銅片
								
								
								

以上的研究資料中可有下列幾點發現

- (一) 不論是以銅或是碳棒作為電極材料，發現負極的周圍和尖端都有紅色的銅。
- (二) 中央的金屬銅片或碳棒在靠近正極之處皆有紅色的銅析出，而且以兩邊接為銅片當電極和中央為銅片的時候所析出的銅金屬最多。
- (三) 以銅棒為正極的狀況下，發現正極銅棒有質量減少的現象。

以上的研究結果中，以碳棒為電極的狀況下，相當於電解硫酸銅水溶液，也就是俗稱的電鍍，理論上會在負極產生紅色的銅金屬，在實驗中我們也得到了相同的結果。但是令人納悶的是在中央的金屬片和碳棒上仍有金屬銅的析出，而且是靠近正極的地方，而且在以銅棒為電極的時候，其中央金屬銅片所析出的金屬銅片更明顯更多。

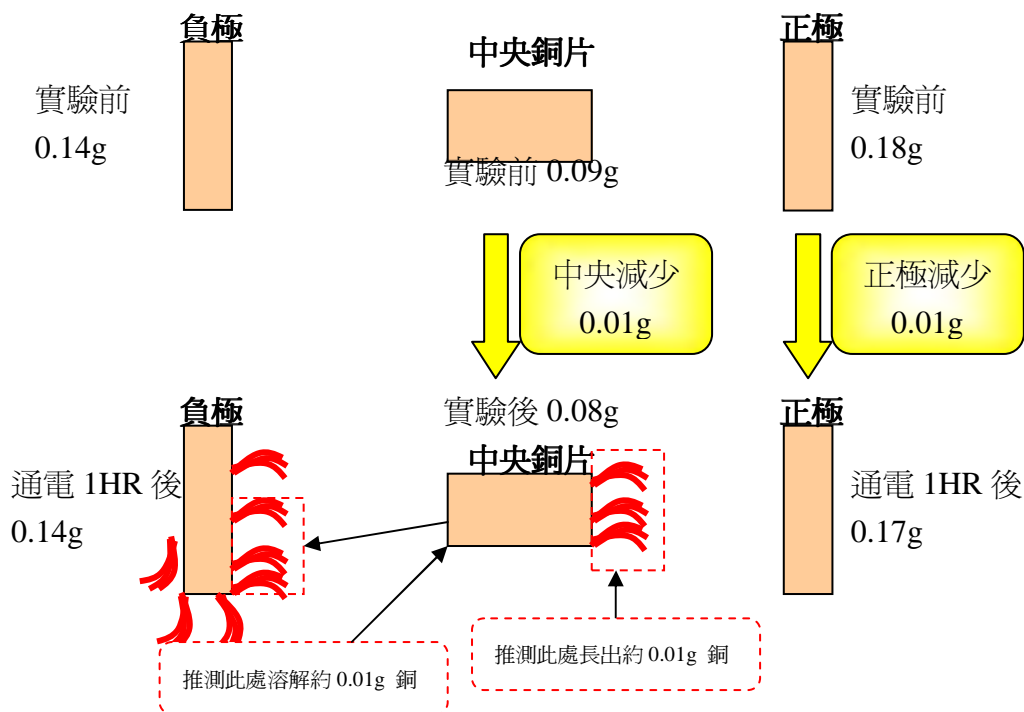
得到以上的結果實在令我們陷入膠著，我們反覆思考的問題是銅片和硫酸銅水溶液不能夠自然產生置換反應，因為兩者的氧化還原電為相近，可是在通電的環境下竟然可以在中央的銅片之處長出銅？這是為何呢？

硫酸銅是一種電解質，在電解的時候，水溶液中的銅離子因為帶正電，所以會趨向於往負極移動，而在負極的地方得到電子而還原成為銅原子析出；但在電極正極的部分若為銅棒，應該會產生溶解而析出帶電的銅離子到水溶液中補充，此點在我們的實驗中都有發現，也符合理論所述。


但是為何中央的碳棒或是銅片靠近正極的地方都有銅金屬析出呢？我們思考與老師一起討論後，認為有以下兩種可能：

	推測原因	證據或反駁？
可能一	水溶液中的靠近正極附近之帶正電的銅離子欲趨向負極移動，在移動的過程中遇到的中央的金屬片阻隔，而累積並開始析出。	帶正電的銅離子需要接受電子才能夠還原析出，在水溶液中流動的離子而非電子，除非中央的碳棒或是金屬銅上有游離的電子，否則不可能有提供給水溶液電子的可能。
可能二	水溶液中的靠近正極附近之帶正電的銅離子欲趨向負極移動，在移動的過程中可能因為速度較快而與中央的碳棒或銅片產生摩擦，進而產生在中央的碳棒或銅片上產生游離的電子。這些電子會在中央的碳棒或銅片上重新分布，造成中央金屬片或碳棒的『 <b>暫時電極化</b> 』，使電子集中於靠近正極之處的中央片上，而使中央銅棒或碳棒靠近正極之處析出銅片。	此想法雖然可以解決電子獲得的問題，但對於中央銅片或碳棒而言，若其失去電子必定造成部分的物質產生溶解，是否有相關的證據來加以支持呢？除非可以找到中央金屬或碳棒有溶解的現象，否則無法證明想法是否正確？

經過以上討論之後，我們認為可能二的解釋力較為強大，因此我們著手去尋找證據。在第三組的部分，負極—中央—正極分別對應為銅片—銅片—銅片，若我們能夠找到中央銅片有減少的證據，可能二的解釋可能就成立了，於是我們重複了實驗，使用 10V 通電 1 小時，實驗前後皆測量正極銅片和中央銅片的重量，其結果如下所示：



以上的結果顯示，正極銅棒在通電一小時後減少約 0.01g，而中央的銅片也減少了約 0.01g，顯示此兩處都有溶解現象，可以說明兩處都有氧化丟出電子的現象；基於這樣的結果，我們有以下的過程假設推論，依序為：

- (1) 中央銅片溶解了 0.01 克，顯示會有電子放出，這些電子會在中央銅片上移動靠近電極正極之處，形成中央銅片的暫時性負極（因為電子較多），而中央銅片靠近電極負極之處則形成了暫時性的正極（因為電子較少），這樣一來中央銅片就有暫時的正負電極，我們暫時稱呼為偽正極和偽負極。
- 
- (2) 正極銅棒溶解出的正電銅離子，因為受到中央銅片偽負極的影響而向偽負極移動，接受電子而產生金屬銅析出。
  - (3) 中央銅片的偽正極所溶解的正電銅離子則釋放到水溶液濾紙中，並向帶負電負電極移動且獲得電子並析出銅，因此造成負電極銅棒或是碳棒附近有金屬銅析出。
  - (4) 負極銅片所析出的銅較 0.01 克多，可能是因為和水溶液濾紙接觸的面積大，原本在水溶液濾紙中的銅離子像負極移動而產生析出。

至於中央的碳棒為何也會有銅片析出呢？我們認為碳棒也是電的導體，因該也會產生部份電荷的移動，只是沒有金屬銅那樣的明顯。

## 九、水溶液通電環境—中央為碳片、兩極為碳片

若兩側電極接為碳片，中央也為碳片，水溶液為 0.5M 的硫酸銅水溶液，通電時間為 20V\*90 秒，其所得結果如下圖所示（以其中一次實驗為例）：

**負極碳片**

實驗前重量：10.926g  
 實驗後重量：12.235g  
 析出銅重：1.309g

**正極碳片**

實驗前重量：10.938g  
 實驗後重量：10.934g  
 通電過程中不斷產生氣泡，推測為可能電解水產生的氧氣。

**偽正極**

不斷冒氣泡，推測為可能電解水產生的氧氣。

**偽負極**：上面有銅金屬的析出。

中央碳片實驗前重量：10.934g  
 中央碳片實驗後重量：11.879g  
 中央碳片析出的銅重：0.945g

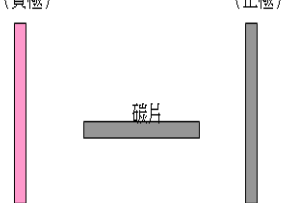
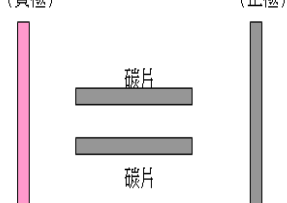
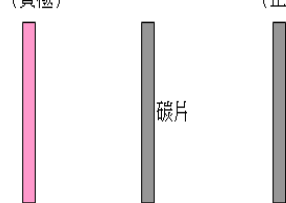
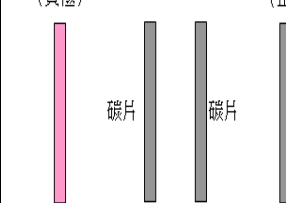
實驗 1	實驗前重量	實驗後重量	析出的銅金屬	是否有明顯氣泡
負極碳片	10.926g	12.235g	1.309g	無氣泡
正極碳片	10.938g	10.934g	0g	氣泡明顯
偽負極碳片	10.934g	11.879g	0.945g	無氣泡
偽正極碳片			0g	氣泡明顯
中央碳片電流	約 2 $\mu$ A			
實驗 2	實驗前重量	實驗後重量	析出的銅金屬	是否有明顯氣泡
負極碳片	10.932g	12.235g	1.303g	無氣泡
正極碳片	10.932g	10.932g	0g	氣泡明顯
偽負極碳片	10.936g	11.883g	0.947g	無氣泡
偽正極碳片			0g	氣泡明顯
中央碳片電流	約 2 $\mu$ A			
實驗 3	實驗前重量	實驗後重量	析出的銅金屬	是否有明顯氣泡
負極碳片	10.930g	12.253g	1.323g	無氣泡
正極碳片	10.936g	10.935g	0g	氣泡明顯
偽負極碳片	10.938g	11.881g	0.943g	無氣泡
偽正極碳片			0g	氣泡明顯
中央碳片電流	約 2 $\mu$ A			

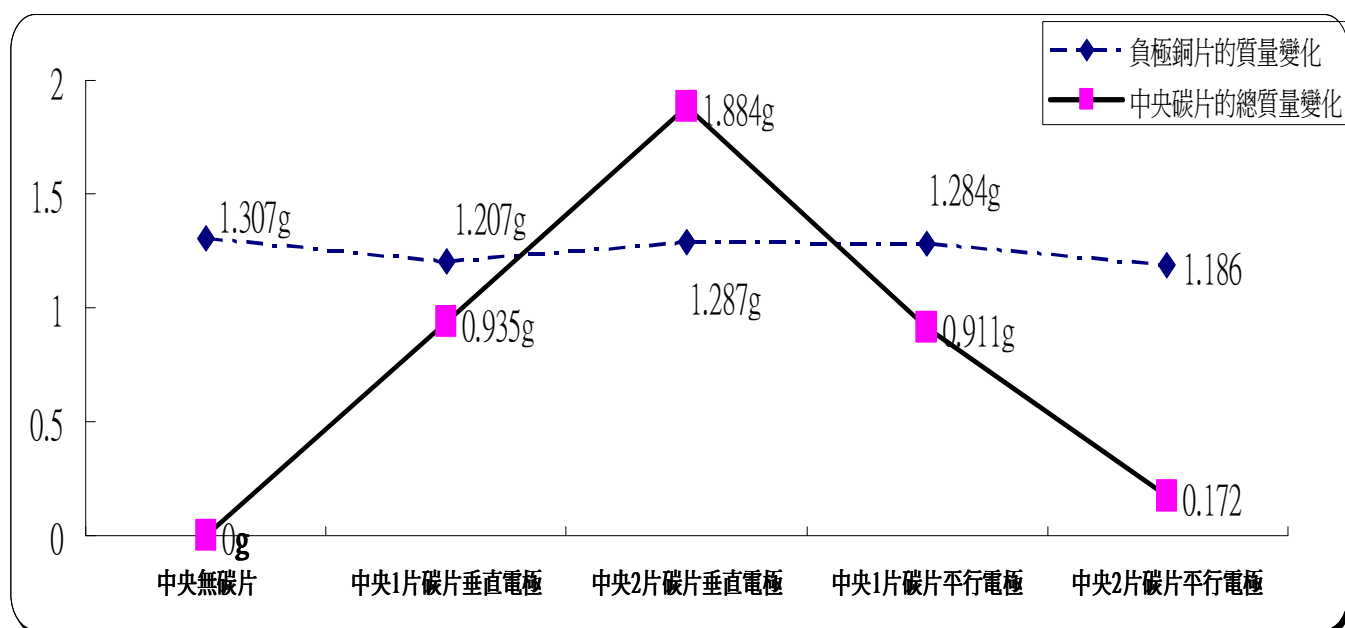
在以上的結果中顯示，中央的碳片在沒有接上電源的狀況下，仍有正極和負極的出現，顯示我們之前的偽正極和偽負極的推論可能正確，而且在偽正極的地方也有電解水的現象出現，顯示在這樣的過程中可以提供中央碳片可能的電子來源，同時也讓電子集中在偽負極，而讓水溶液中的銅離子獲得電子而在偽負極的地方析出。

接著讓我們有興趣的地方為若在增加一片中央銅片是否也會有同樣的結果呢？若試將中央銅片的排列方式做些更動會不會影響到析出的銅金屬呢？於是我們進行了下一段實驗。

## 十、中央銅片的與兩電極的排列方式

此部份的研究設計為以下表格的實驗設置，結果如下圖所示：

水溶液皆為 0.5M 硫酸銅水溶液 400mL			
中央碳片垂直兩側電極		中央碳片平行兩側電極	
1 片中央碳片	2 片中央碳片	1 片中央碳片	2 片中央碳片
銅片 (負極)  碳片 (正極)	銅片 (負極)  碳片 (正極)	銅片 (負極)  碳片 (正極)	銅片 (負極)  碳片 (正極)



以上的實驗結果可分為四部分進行說明：

(一) 關於負極析出銅金屬的量分析

在負極的析出銅量，不受到中央碳片數量和排列方式的影響，也就是說在 20V 通電 90 秒的狀況下，負極都析出約 1.2~1.3 克左右的銅；

(二) 關於中央碳片析出銅金屬的量分析

1. 若中央碳片排列方向與兩側電極垂直

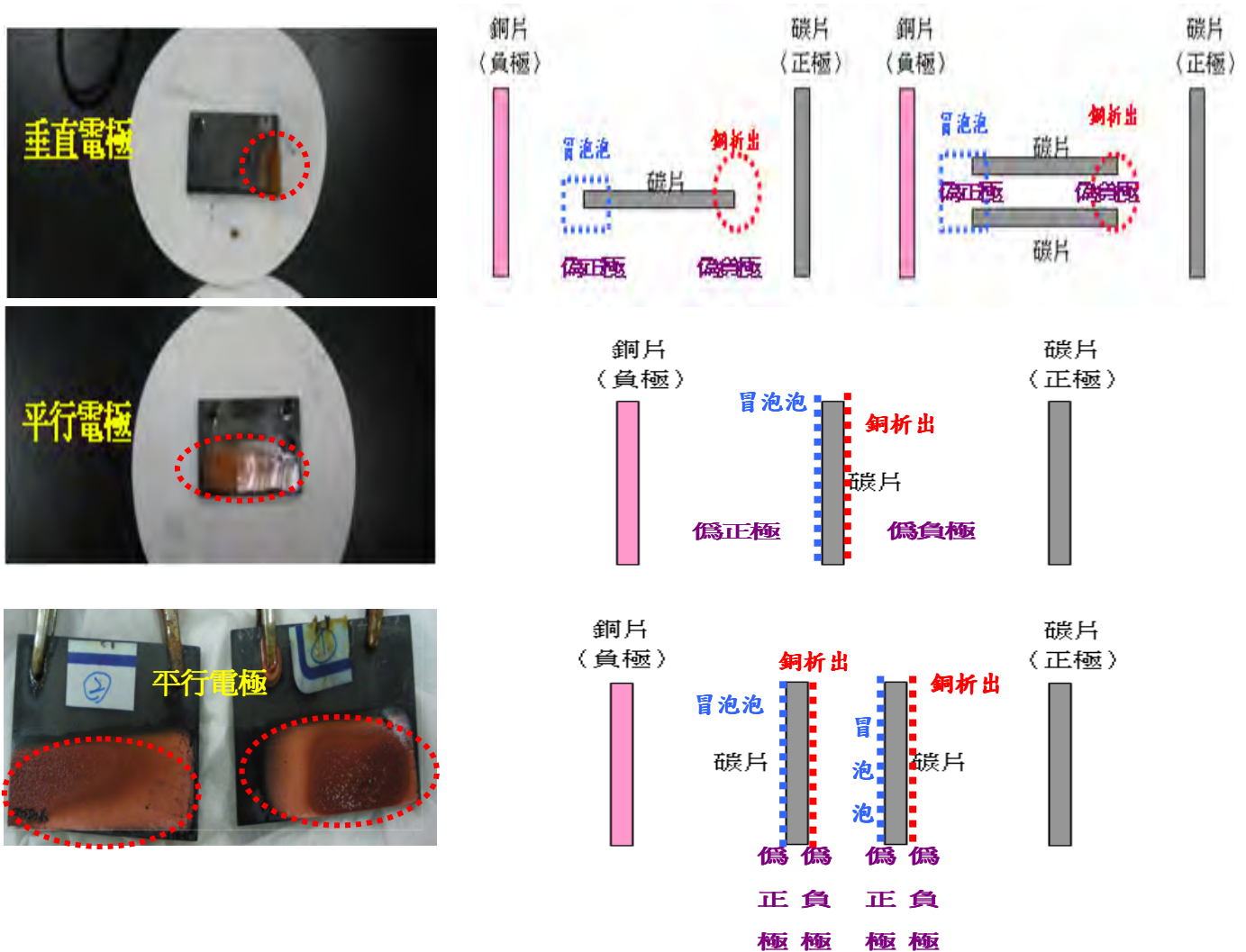
- (1) 一片中央碳片約可析出約 0.9 克的金屬銅。
- (2) 兩片中央碳片每片約可析出約 0.9 克的金屬銅，兩片共析出約 1.8 克的金屬銅。
- (3) 顯示中央碳片的片數若越多，則在同樣時間內，則可以析出更多的金屬銅。

2. 若中央碳片排列方向與兩側電極平行

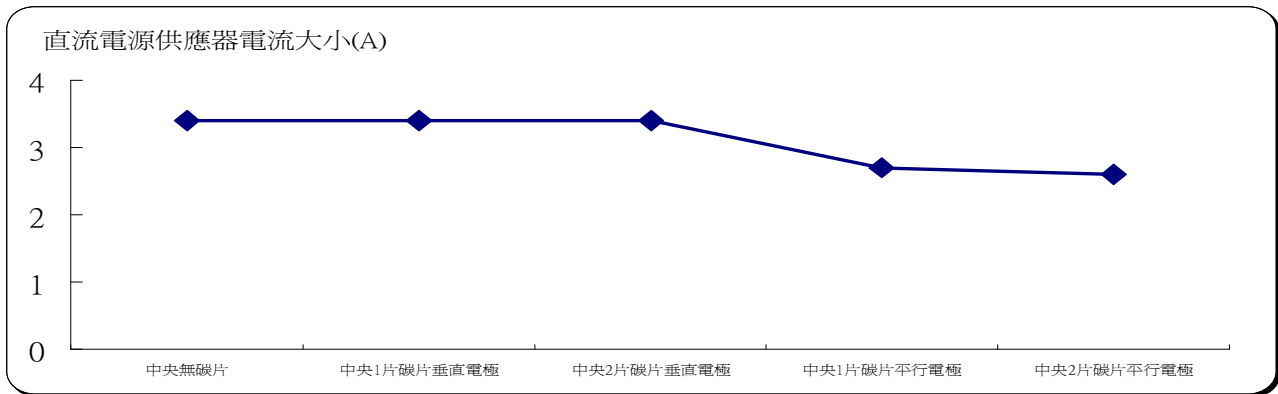
- (1) 若只有擺放一片中央碳片，約可析出 0.9 克的金屬銅。
- (2) 若擺放兩片中央碳片，兩片析出金屬量皆降低，兩片共析出約 0.17 克的銅，比單獨一片中央碳片的析出量低。

(三) 中央碳片平行排列與垂直排列所析出的金屬產生位置和產生氣泡位置

如下圖所示，平行和垂直排列的比較



(四) 四種裝置的直流電源供應器的安培計讀數分析

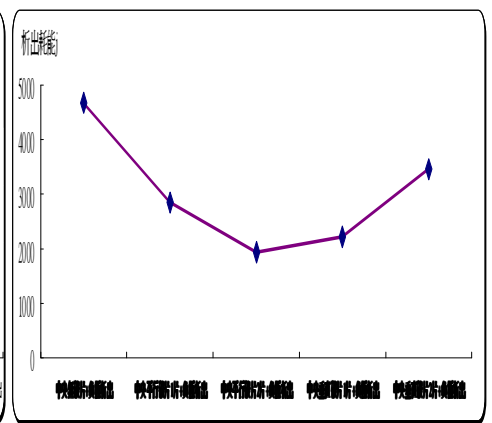
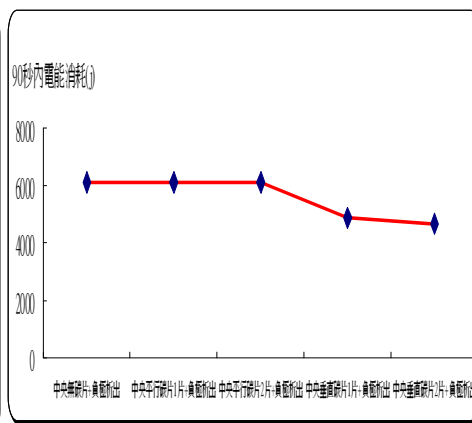
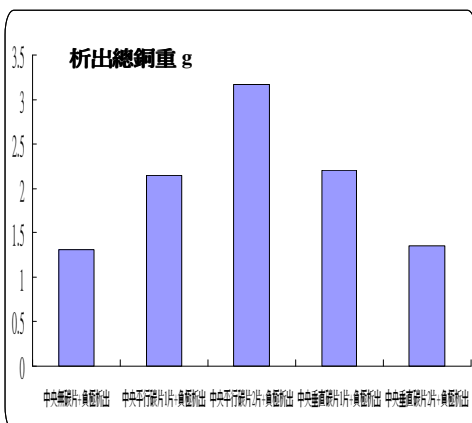


如上圖數據分析結果，五種情況下直流電源供應器所提供的電源皆為 20V，但是通電 90 秒內的整體電流卻有所差異。兩端若只有電極且有無碳片，其整體電流有不同的現象。

1. 中央無碳片、中央一片和兩片碳片垂直於兩側電極→整體電流皆為 3.4A。
2. 中央一片和兩片碳片平行於兩側電極→整體電流皆約為 2.6A。

得到這樣的結果讓我們去思考一個問題，根據電功率和電能析出的觀點，我們整理出以下表格與數據：

裝置	中央無碳片 +負極析出	中央垂直碳片 1 片 +負極析出	中央垂直碳片 2 片 +負極析出	中央平行碳片 1 片 +負極析出	中央平行碳片 2 片 +負極析出
析出總銅重量	1.307g	2.142g	3.171g	2.195g	1.358g
電功率 $P=IV$	68w	68w	68w	54w	52w
90 秒內 消耗能量 $E=P \times t$	6120j	6120j	6120j	4860j	4680j
<b>析出耗能</b>	<b>約 4682j/g</b>	<b>約 2857j/g</b>	<b>約 1929j/g</b>	<b>約 2214j/g</b>	<b>約 3446j/g</b>



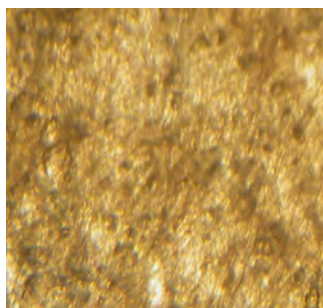
上圖資料中顯示中央若擺有碳片，無論是垂直或是平行兩側電極，都會比中央無碳片的裝置析出較多的銅，其中以垂直擺設且兩片中央碳片的裝置析出更多的銅。若以析出每克銅所需的電能來做比較，則可以清楚發現在同樣耗能的狀況下，垂直一片、垂直兩片中央碳片的裝置都比沒有中央碳片的裝置的析出效果更佳，也許這個發現可以應用設計到重金屬污水處理的裝置中。

## 伍、 綜合討論

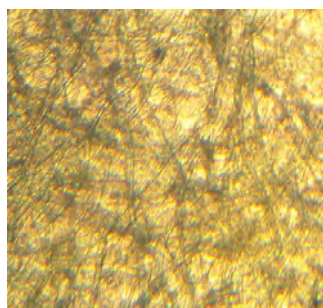
此段我們將在實驗的過程中所遇到的問題和想法整理出來，進行討論如下：

### 一、紙張環境狀況下，為何宣紙和棉紙的金屬析出形狀會於優濾紙呢？

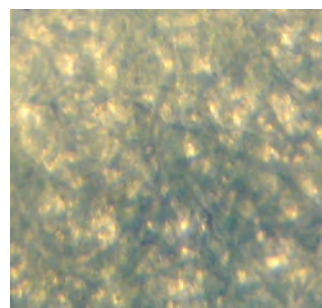
若要回答這問題，我們回到探討紙張纖維的關係，三種紙張的纖維以解剖顯微鏡 40X 的倍率拍攝，其結果如下所示：



宣紙纖維(40X)



棉紙纖維(40X)



濾紙纖維(40X)

如上圖結果，濾紙的纖維中短纖維較多、且纖維最為最為密集、紙張最厚，透光性較差；而棉紙和宣紙的纖維較為分散而且細長纖維較多、纖維聚集程度較鬆散、紙張透光性較佳。我們認為濾紙的纖維太過於密集，可能無法讓離子充分游移，雖然可以提供附著的點較宣紙、棉紙為多，但是不利於游離出的金屬離子移動，所以無法發展出較為廣大明顯平面金屬樹。

### 二、為何在膠體環境和紙張環境中的金屬析出形狀不同呢？

膠體溶液中的環境較為立體，而且可能黏滯性較大，離子和金屬不容易移動，所以析出的金屬較為小且立體；而紙張的環境較為平面，而且紙張的纖維粗細不一，可能提供了金屬析出的附著生長點，所以金屬析出較偏上平面。另外可能因為澱粉和洋菜中的醣類分子之間具有 H 鍵，這些 H 鍵可能會影響了銅原子的移動速度而造成了析出形狀的不同。

### 三、在測量的方法上，是否有哪些地方我們為考量到呢？

在金屬析出長度的測量上，我們無法測量到金屬析出時非平面的地方，例如厚度和立體構造，此點需要再想辦法加以改進，故本實驗只能針對較為平面明顯的部份加此測量。另外，本實驗的主要目的在於快速而且明顯的觀察到金屬還原的析出，所以當時仍選擇了觀測金屬所長出的長度。

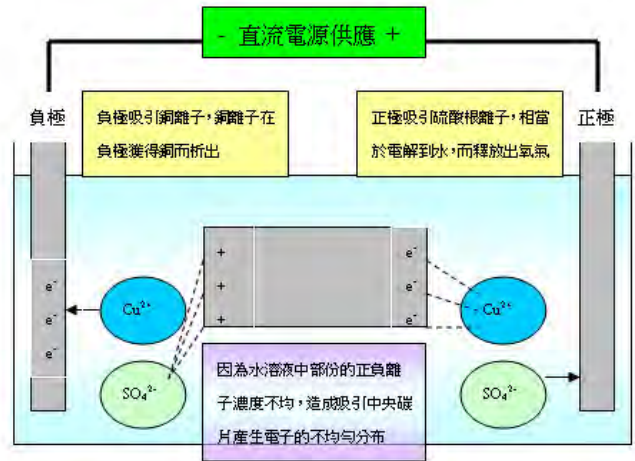


四、在通電的硫酸銅水溶液環境下，碳棒負極為何會同時有中央金屬片所析出的金屬和銅呢？

我們認為碳棒也是電的導體，因該也會產生部份電荷的移動，而造成中央碳棒也有偽負極和偽正極移動；溶液中的正電銅離子會往偽負極移動，接受電子而產生金屬銅析出，但是不像中央金屬銅那樣的明顯。

五、為何會有偽負極和偽正極的產生呢？

我們有去請教化學系的老師，他提供了一個想法為『離子障礙』。我們把它給圖示化如右。雖然可以解釋暫時化偽負極和偽正極的產生，可是卻無法解釋我們實驗中所觀察到偽正極的氣泡現象；另外一方面若偽負極之處產生了銅析出，中央碳片上流離出的電子給了銅離子，那麼中央碳片應該有溶解的現象(因為質量會減輕)。可是在我們的實驗中沒有發現中央碳片有溶解的現象。



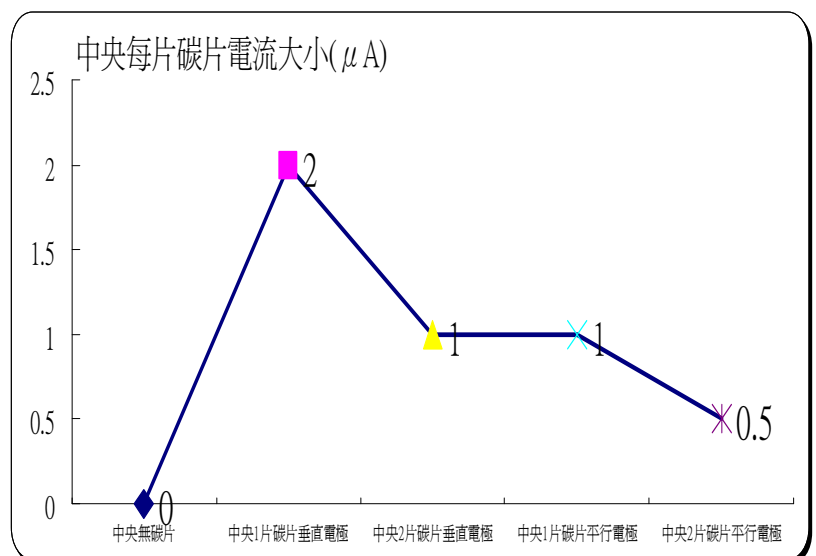
六、如何證明中央銅片和中央碳片中有電子的產生呢？

我們想到的證明方式有二：

1. 測量中央銅面和碳片是否有產生電流，在碳片上我們有測到 1~2  $\mu\text{A}$  的電流，但是在銅片上卻沒有測到，這可能是因為銅片為電的良導體所以不易測到電流。
2. 中央銅片有溶解現象，顯示有在進行  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$  的反應，可以提供的電子；另外中央碳片的偽正極有在冒泡泡，推論可能在進行電解水的正極反應，其反應為  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^{+} + 4\text{e}^{-}$ ，仍有機會可以提供電子。

七、在中央碳片的排列方式不同的狀況下，中央碳片所產生的電流比較為何呢？

如右圖所示，我們將中央碳片所測得的微電流做成數據圖表，可以清楚比較發現中央碳片的擺放位置和擺放數目，會影響其產生的電流大小，目前我們紀錄到這些感應的電流大小，可是對於為何會有這些數字的差異，目前為止我們推測水溶液、導線與電極、碳片等都是一種電阻，那麼產生的電流大小是否與這些電阻的串聯或並聯有關，可是其中的關係為何，目前沒有適當的回應。



八、實驗中所發現的偽正極和偽負極的現象，是否可應用於生活之中？

老師給我們一個問題思考，就是我們雖然得到了一個很有趣的實驗結果，可是對於生活中的應用是什麼呢？在我們經過討論和找尋資料之後，我們認為可以應用到重金屬污水處理的改進上。在查閱文獻後，我們整理出現行的重金屬污水處理大致上有三種方式和比較其優點缺點：

方法	內容說明	優點	缺點
傳統電解法	在水溶液中通電，在負極處析出金屬原子	可以回收金屬，重新使用	能源消耗，耗電費能
化學沉澱法	在污水中加入降低水溶液 pH 的化合物，待水溶液 pH 約為 8-9 時，大部分的金屬形成氫氧化物沉澱，再將這些沉澱的污泥封罐埋藏。	不需耗能，手續簡單	無法回收這些金屬
電透膜分析	在水溶液中放置一特殊透膜，通電後可將金屬析出於透膜上	有部分的金屬可以直接回收使用	能源消耗，耗電費能
生物吸附法	利用幾丁質多醣體吸附水溶液中的重金屬離子，之後將這些多醣體封存掩埋。	不需耗能，手續簡單	無法回收這些金屬

而本實驗的方式較偏向於傳統電解法，可是若在中央放置一片碳片或多片碳片，在通以同樣的電壓與時間中，可以得到產量較高的金屬回收，應該可以在同樣耗能的狀況下（總電壓為 20V、總電流都約為 3.4A，通電 90 秒的狀況下，其耗能為 6120 焦耳），得到更多的金屬析出，而且析出的金屬經過純化分離之後，仍可以繼續回收使用。可是在我們得到這樣的結論之後，有一個問題無法解決，若水溶液中具有氯離子，可能在通電的過程中在正極和偽正極的地方放出有毒的氯氣，這是這方法最為危險的地方。所以只能建議在一開始的廢液回收上，應該要分為鹵素系的非鹵素系的金屬化合物廢水分類，才能克服這樣的問題。

## 陸、 研究結論

- 一、不同介質環境下，金屬的還原析出形狀不同。以鎂-硫酸銅為分析例子，若是在濾紙環境下為扁柏模式；在澱粉環境下呈現珊瑚模式；而在太白粉環境下則呈現塊狀模式。
- 二、不同的溫度環境下，金屬的還原析出速度不同。以鎂-硫酸銅在 10°C、20°C、30°C 的宣紙環境下都呈現扁柏模式，但是溫度越高的環境其樹型越明顯，分枝越漂亮。
- 三、以水溶液對金屬的關點：硝酸鉛-鎂的金屬析出效果較好；以紙張的環境來看，宣紙和棉紙的效果較為濾紙明顯；以膠體環境來看，太白粉、澱粉的效果較優。
- 四、金屬還原析出的初期會冒出許多小泡泡，這些小泡泡內帶有許多析出的金屬，在金屬樹發育初期扮演重要的角色。而這些小泡泡經過實驗分析，推論可能為氫氣。

- 五、通電測試的結果，會造成中央金屬片和碳片的暫時電極化，造成中央金屬片呈現具有偽+、偽-極的狀態出現。
- 六、若將銅-硫酸銅水溶液，在濾紙環境下以銅棒為電極，會發現正極減少的質量約略等於中央金屬銅片之偽-極增加的質量。中央銅片具有溶解現象，顯示有產生電子。
- 七、若在硫酸銅水溶液中，兩端以碳棒為電極，中央放入碳片會有更多的銅析出。而且中央的碳片數量越多，可能析出更多的銅。
- 八、中央碳片的排列方式會影響暫時電極化的結果和影響析出的量。其中垂直兩側電極的碳片數量越多，析出的銅金屬可能越多。
- 九、國中的理化實驗中可增加金屬氧化還原的觀察實驗，建議可以鎂片-硫酸銅水溶液於宣紙環境中，效果明顯而且紙材材料更便宜。
- 十、本研究中所發現的偽正極和偽負極，建議可以在未來應用到重金屬汙水處理的設計上。唯獨要注意在通電的過程中可能會產生有害的毒氣問題。

## 柒、 參考文獻

國科會高瞻計畫平台，<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3196>

李耕溥(2003)，幾丁聚醣包埋酵母菌球株對重金屬離子廢水處理，台灣2003國際科展環境科學獎第三名。

康峻誠等，金屬的氧化還原再探討，東石高中，中華民國第32屆高中化學科展優勝

張志忠等，金屬的氧化還原，東石高中，中華民國第31屆高中化學科展優勝

陳正偉等，擁有生命的金屬樹，武陵高中，中華民國第33屆高中化學科展優勝

黃仲平等，新發現！！鉛樹最初形狀及其生長速率的探討，板橋高中，中華民國第43屆高中化學科展優勝

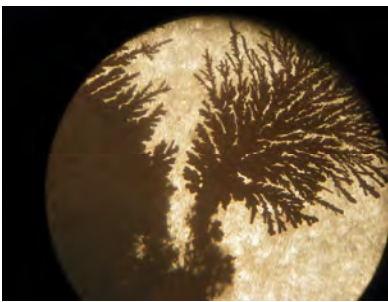
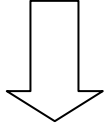
黃靖殷等，金屬樹長根了，北興國中，嘉義市第十九屆中小學科展優勝

蔡明谷(2006)，研究電透析技術處理重金屬廢水之效率及其物化機制—以含銅廢水為例，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文。

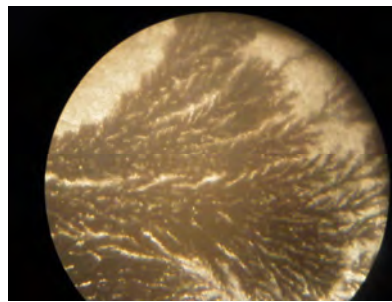
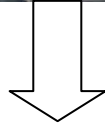
附錄資料：

觀察器材：解剖顯微鏡 40X 使用介質：宣紙

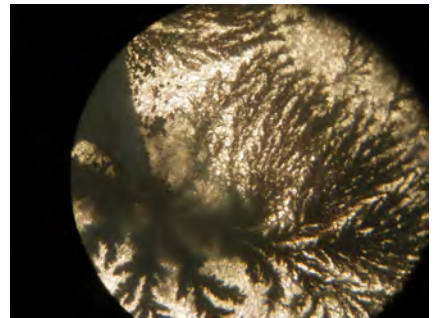
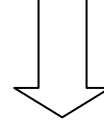
硫酸銅－鋁 (10°C)



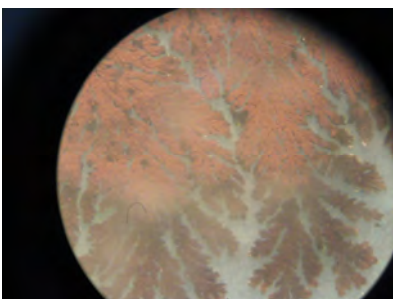
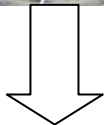
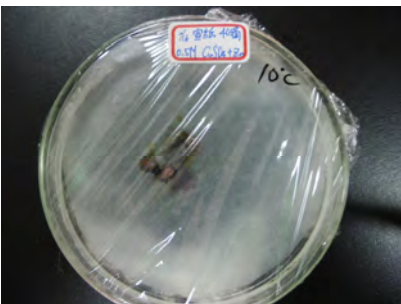
硫酸銅－鋁 (20°C)



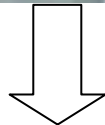
硫酸銅－鋁 (30°C)



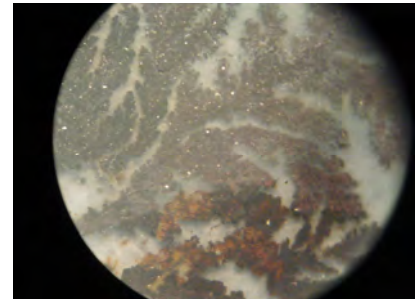
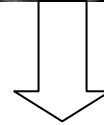
硫酸銅－鋅 (10°C)



硫酸銅－鋅 (20°C)

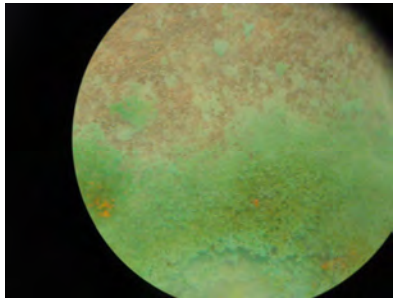
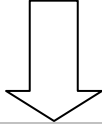
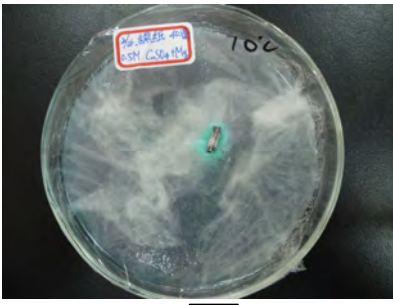


硫酸銅－鋅 (30°C)

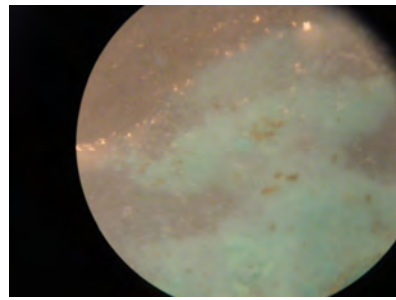
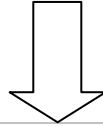
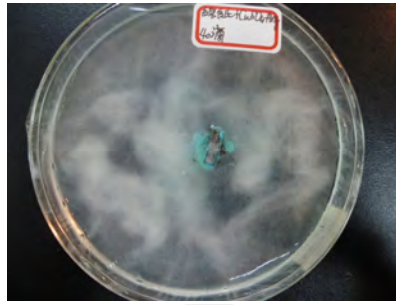


觀察器材：解剖顯微鏡 40X 使用介質：棉紙

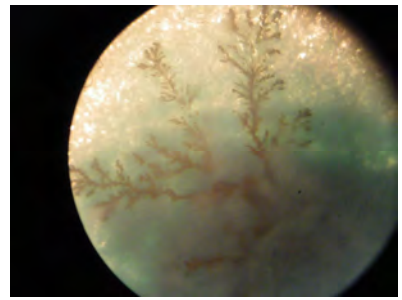
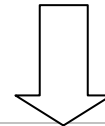
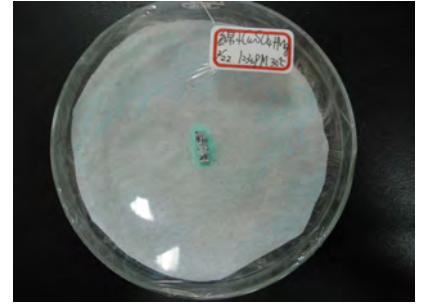
硫酸銅－鎂 (10°C)



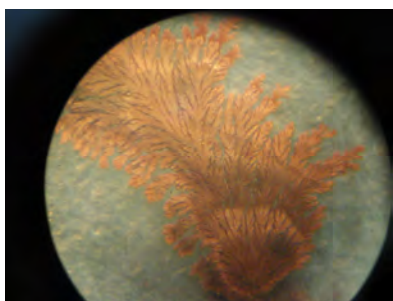
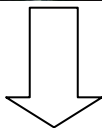
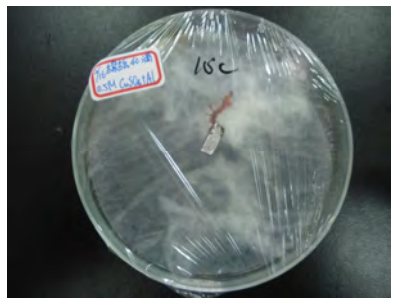
硫酸銅－鎂 (20°C)



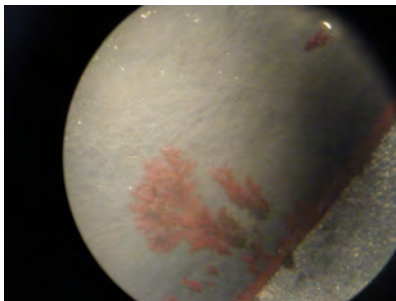
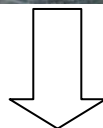
硫酸銅－鎂 (30°C)



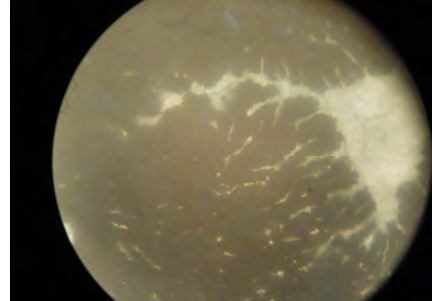
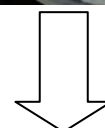
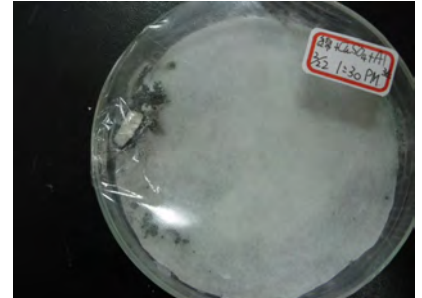
硫酸銅－鋁 (10°C)



硫酸銅－鋁 (20°C)



硫酸銅－鋁 (30°C)

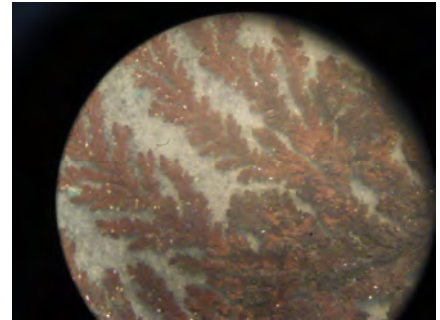
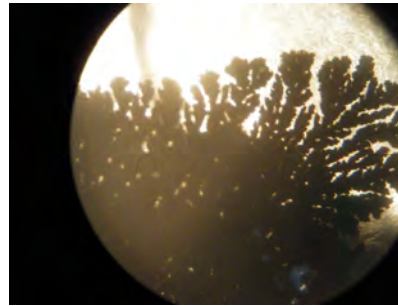
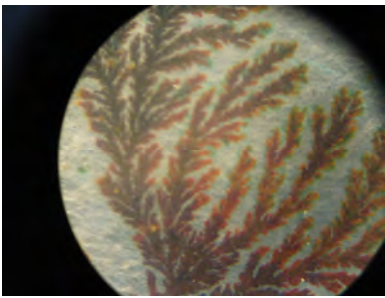
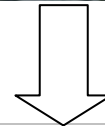
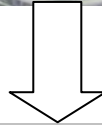
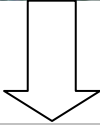
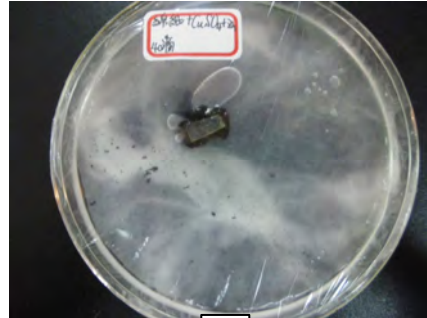
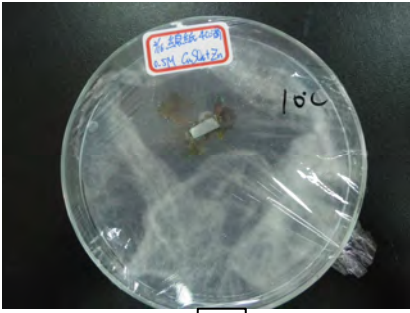


觀察器材：解剖顯微鏡 40X 使用介質：棉紙

硫酸銅－鋅 (10°C)

硫酸銅－鋅 (20°C)

硫酸銅－鋅 (30°C)

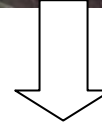
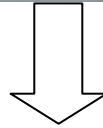
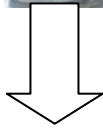
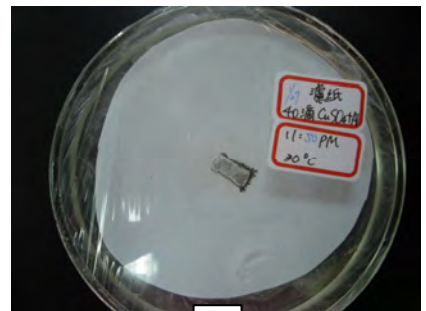
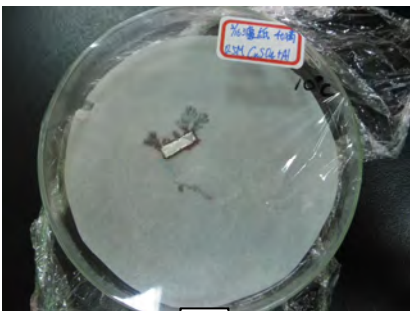


觀察器材：解剖顯微鏡 40X 使用介質：濾紙

硫酸銅－鋁 (10°C)

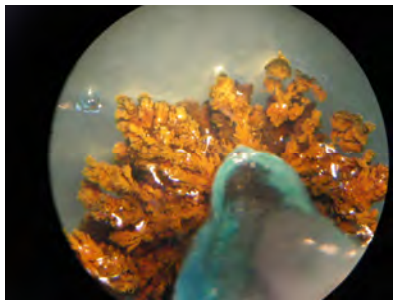
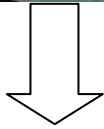
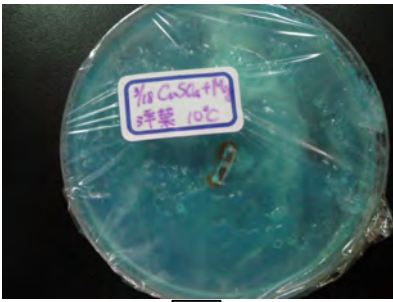
硫酸銅－鋁 (20°C)

硫酸銅－鋁 (30°C)

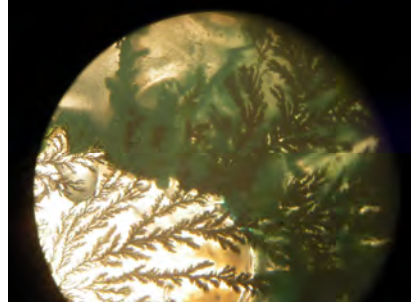
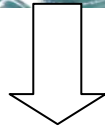


觀察器材：解剖顯微鏡 40X 使用介質：洋菜

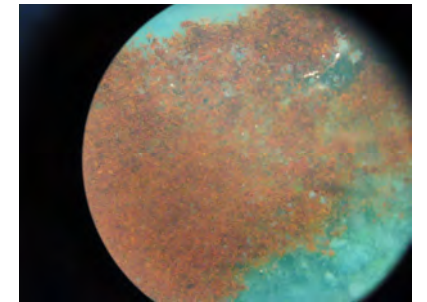
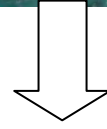
硫酸銅－鎂 (10°C)



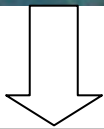
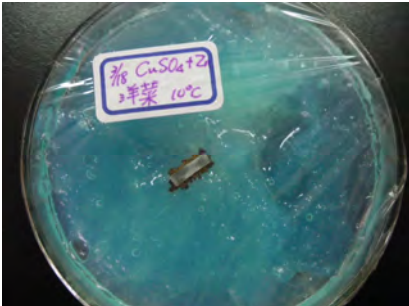
硫酸銅－鎂 (20°C)



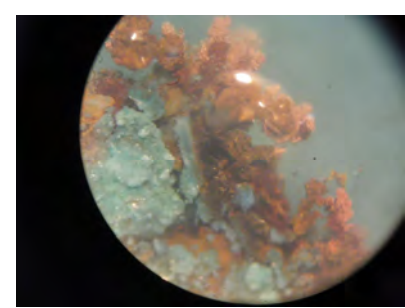
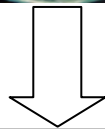
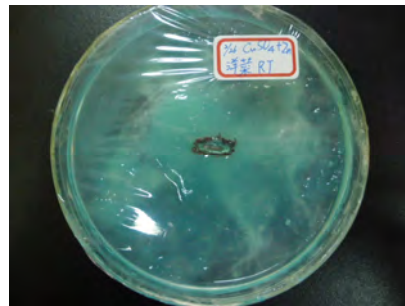
硫酸銅－鎂 (30°C)



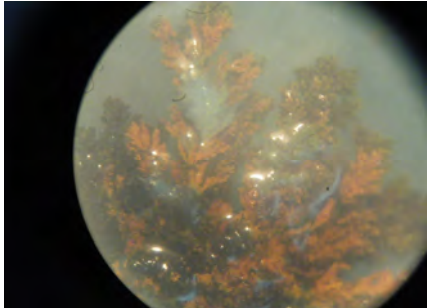
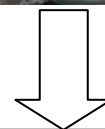
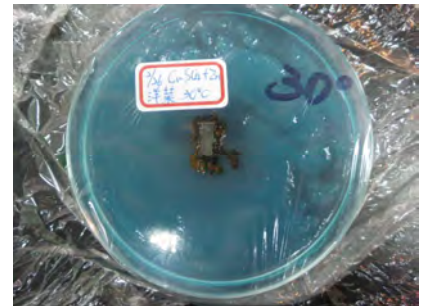
硫酸銅－鋅 (10°C)



硫酸銅－鋅 (20°C)



硫酸銅－鋅 (30°C)



## 【評語】 030205

本作品以濾紙宣紙棉紙為介質媒體，探討硫酸銅、氯化鋅或硝酸鉛電解析出金屬的研究。參展者十分用心設計改變電解的條件，如改變膠體環境或置入金屬片或碳片於電解液中。置入金屬片或碳片於電解液中的實驗，是比較特別的構想，實驗結果豐富，顯示參展者的用心，十分難得。