

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 化學科

佳作

080207

電一下就知道

學校名稱：桃園市楊梅區瑞塘國民小學

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 作者：<br>小五 蕭廷睿<br>小五 陳怡均<br>小五 黃靖煊 | 指導老師：<br>許世花 |
|-----------------------------------|--------------|

關鍵詞：銅、石墨、硫酸銅

## 壹、摘要

微型電解只能從顏色及氣味來判斷產物的種類與酸鹼性，本研究以不同的電解裝置來解決微型實驗無法定量的缺點。在氣體的檢驗除了氣味外，還以點燃的線香確認。溶液的酸鹼性除了酚酞外，也使用廣用試紙及 pH 計說明。在改變溫度的實驗中發現，溫度越高反應速率越快，陰極析出的量也越多。以石墨和銅電極電解硫酸銅水溶液，在陰極以銅電極析出較多，可說明活性電極的影響。以石墨電極分別電解硫酸銅與硝酸銀水溶液，陰極析出的量銀多於銅，則可以從法拉第電解定律中，通入相同電量時，析出的重量是和（原子量／電荷數）呈正比來解釋。另以銅電極電解碘化鉀水溶液，電壓由 9V 降為 3V 時，陽極由  $I_3^-$ 、 $Cu^{2+}$  變成了只有  $Cu^{2+}$ ，證明電壓大小會改變陰陽極的產物。

## 貳、研究動機

在去年老師指導第 55 屆科展活動中，以潮濕的濾紙來進行微型電解實驗，獲得評審的肯定，得到桃園市第三名。微型實驗最大的優點是化學藥品使用量少，但缺點是無法精確的定量分析，因此我們把評審給我們一些建議和老師討論後，決定結合微型實驗的定性分析和傳統電解實驗的定量分析，希望能更完整的來研究有趣又多變的電解實驗。

## 參、研究目的

- 一、探討電解水（ $H_2O$ ）、食鹽（ $NaCl$ ）、碘化鉀（ $KI$ ）與硫酸銅（ $CuSO_4$ ）水溶液在陰陽極的產物及重量變化。
- 二、以酚酞酸鹼指示劑及 pH 計來判斷電解不同物質在陰陽極的酸鹼性。
- 三、比較不同電極（石墨及銅）對陰陽極產物的影響。
- 四、探討不同電壓對陰陽極產物的影響。
- 五、比較不同電極在陰陽極的重量變化。
- 六、探討溫度對陰陽極重量的影響。

## 肆、研究設備及器材

### 一、使用器材：

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| NaCl 食鹽（島久化學）                     | 1 瓶 |
| CuSO <sub>4</sub> 硫酸銅（島久化學）       | 1 瓶 |
| AgNO <sub>3</sub> 硝酸銀（島久化學）       | 1 瓶 |
| KI 碘化鉀（島久化學）                      | 1 瓶 |
| 量筒（10ml、25ml、50ml、100ml）          | 2 個 |
| 燒杯（50ml、100ml、250ml、500ml、1000ml） | 5 個 |
| 電子天秤（小數點後二位）                      | 1 台 |
| 拋棄式滴管                             | 數支  |
| 拋棄式塑膠手套                           | 多副  |
| 電子式溫度計                            | 2 支 |
| 石墨棒電極（長 15 公分 直徑 1 公分）            | 4 支 |
| 銅棒電極（長 9 公分 直徑 0.5 公分）            | 4 支 |
| 銅片電極（長 10 公分 寬 2 公分）              | 6 片 |
| 電源供應器                             | 2 台 |
| 酚酞酸鹼試劑                            | 1 瓶 |
| pH 計                              | 1 台 |
| 濾紙（半徑 5 公分）                       | 數張  |

### 二、電解裝置：

#### （一）傳統電解裝置：

在五年級自然科的課本中，有提到電解質檢測的方法（如圖 4-1），一開始我們如法泡製，結果發現在電解過程中，無法判斷電極附近產生氣體的種類與體積，也無法分別測出電極附近酸、鹼的變化。因此我們分別設計了以下不同的電解裝置。

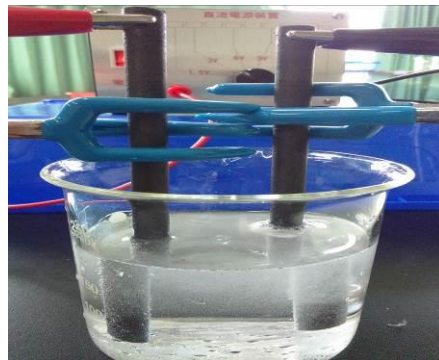


圖 4-1 傳統電解質檢測裝置

(二) 微型電解裝置：

微型電解最主要的優點是操作容易且化學藥品使用量少，非常符合環保要求，但是實驗必須非常小心，否則誤差會非常大。利用此裝置可清楚的觀察到兩電極的變化（如圖 4-2）。

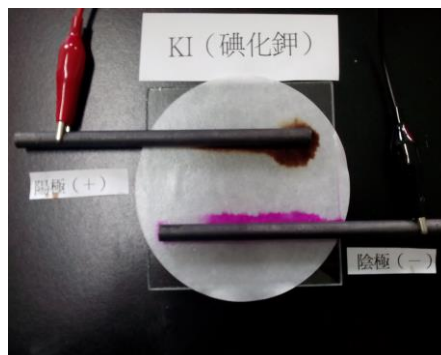


圖 4-2 微型電解裝置

(三) 自製 U 型管電解裝置：

傳統的電解裝置，無法觀察陰、陽極的變化，因此我們自製了 U 型管進行電解實驗（如圖 4-3）。

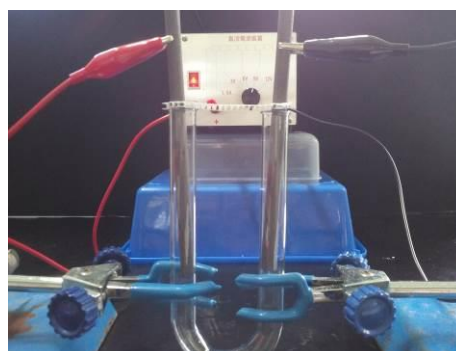


圖 4-3 U 型管電解裝置

(四) 氣體體積的測量：

為了方便讀取陰陽極所產生的氣體，將附有刻度的玻璃量管倒插於電極上，陰陽極所產生的氣體，會將管內的水排開，即可由刻度讀取氣體的體積（裝置如圖 4-4）。

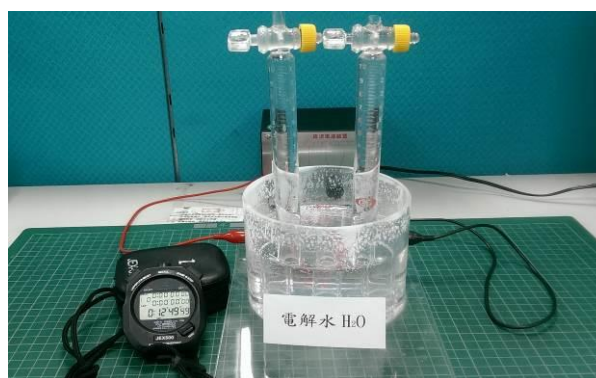


圖 4-4 氣體體積測量裝置

(五) 自製氣體的收集與檢驗裝置：

為了確認陰、陽極所產生的氣體產物，我們以附有側管的U型管（裝置如圖 4-5），將產生的氣體用排水集氣法收集，再以線香檢驗，若有復燃現象為氧氣，若產生爆鳴聲則為氫氣。

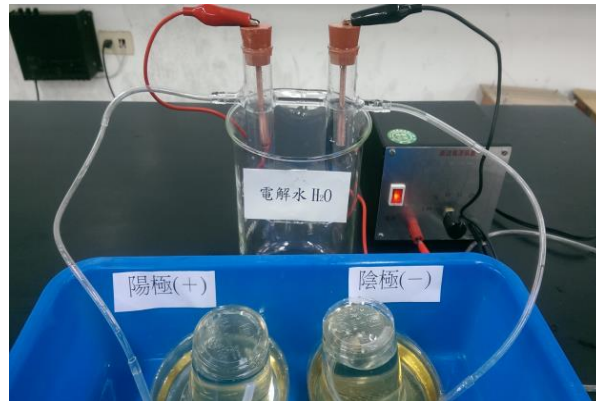


圖 4-5 氣體的收集與檢驗裝置

## 伍、研究過程或方法

一、實驗流程：

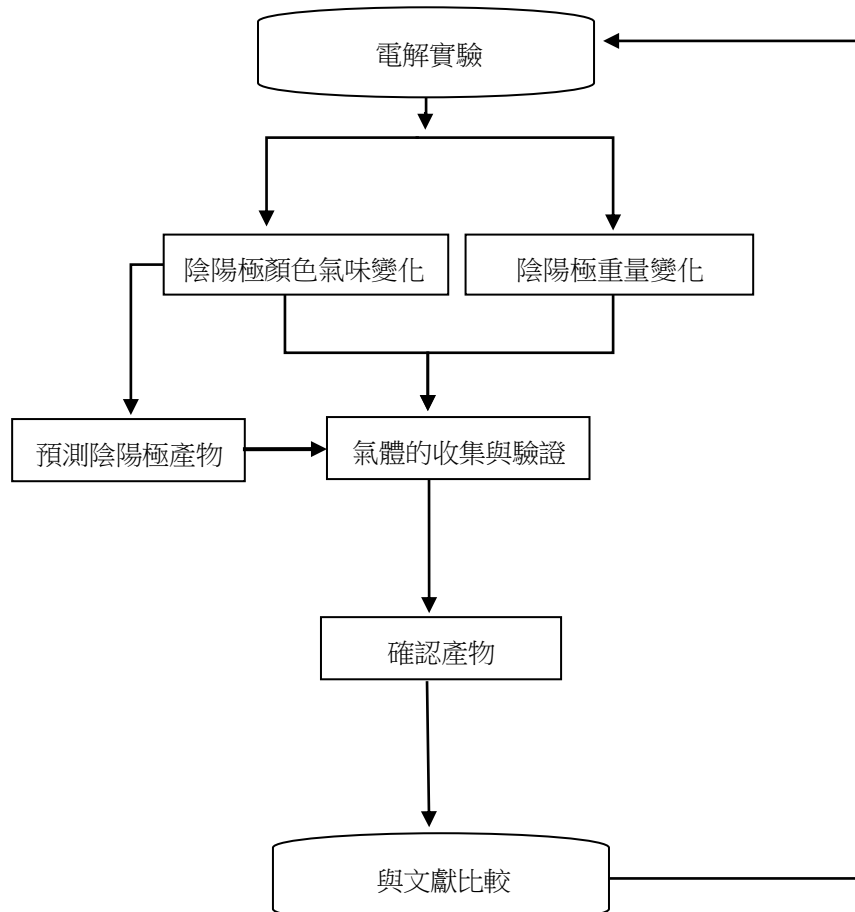


圖 5-1 實驗流程圖

## 二、原理：

### (一) 電解：

一般的電池是由化學能轉變為電能的裝置，電解則是由電能轉變為化學能。最常見的是，當手機電池沒電時，會進行充電才能再使用，充電的過程即是進行電解反應。

### (二) 電解質：

凡是在水溶液或熔融狀態下可以導電的物質就稱為電解質，另外，根據阿瑞尼士的解離說，電解質在水溶液中可以解離出陰、陽離子，所以可以導電。

### (三) 法拉第電解定律：

法拉第是英國的科學家，他發現在進行電解時，電極析出物質的質量與通入的電量成正比。例如，以穩定的電流電解硫酸銅水溶液時，通電時間愈久，通入的電量愈大，陰極析出的銅愈多

### (四) 電極：

電解反應要能夠進行，一定要有導電的物質，就稱為電極。通常分為惰性電極(石墨電極 如圖 5-2)，還有活性電極(銅電極 如圖 5-3)。



圖 5-2 石墨電極

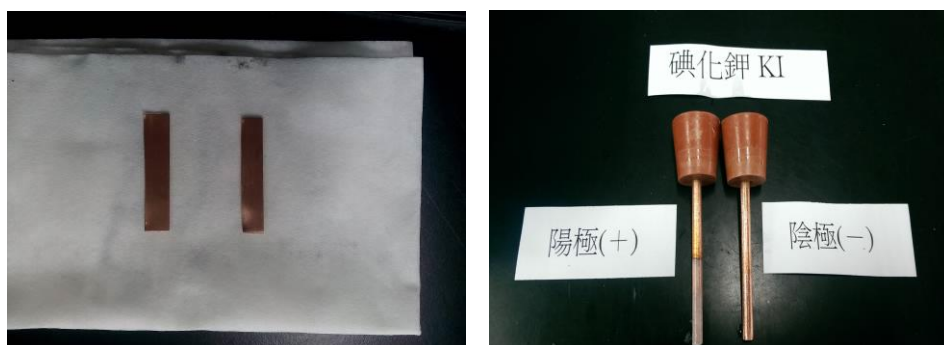


圖 5-3 銅電極

#### 1、惰性電極：

電極本身不參與反應，最常用的是白金 (Pt) 和石墨，白金導電性比石墨好，但價格較貴，因此本實驗使用石墨當作電極。

## 2、活性電極：

電極本身會參與反應，因銅的導電性很好，所以最常使用。

### (五) 電解反應的陰陽極：

#### 1、陽極：

為正極，與電池的正極相連接。發生氧化反應，會失去電子，若為活性電極重量通常會減少。

#### 2、陰極：

為負極，與電池的負極相連接。發生還原反應，會得到電子，不論惰性電極或活性電極重量通常會增加。

### (六) 極化現象：

在電解質檢測的實驗中，若電壓太高，電極（石墨）附近會產生氣體而使得電壓下降的現象。

## 三、研究過程或方法：

### (一) 微型電解實驗裝置：

#### 1. 配製不同溶質的飽和溶液：

(1) 以量筒量取 50 毫升的水。

(2) 將適量的不同電解質加入量筒中，經磁石攪拌後靜置一段時間，一直到有固體物質沉澱析出為止，取出澄清液即為飽和溶液。

2. 將半徑 5 公分的濾紙，先以飽和的電解質溶液沾濕濾紙，再將沾濕的濾紙放入電極後，以圖 4-2 之裝置進行實驗。

3. 將電極以導線接上電源供應器（正極接正極），再以 9V 電源進行實驗，觀察並記錄實驗所產生之現象。

### (二) 氣體體積的測量：裝置如圖 4-4

1. 配製不同溶質的飽和溶液加入裝置中。

2. 將附有刻度的玻璃管裝滿待測溶液。

3. 電解時，陰陽極所產生的氣體，會將管內的水排開，即可由刻度讀取氣體的體積。

### (三) 氣體的檢驗：裝置如圖 4-5

1. 配製不同溶質的飽和溶液加入裝置中。

2. 以排水集氣法分別收集陰、陽極氣體。

3. 以線香檢驗，若有復燃現象為氧氣，若產生爆鳴聲則為氫氣。

4.若電解食鹽水，會產生有毒的氯氣，所以必須在通風處中進行。

(四) 酸鹼性檢驗：裝置如圖 4-3

1. 在電解過程中，以酚酞指示劑及廣用試紙來判斷酸鹼性。
2. 電解結束後再以 pH 計測量溶液酸鹼值。
3. 詳細觀察並以數位相機拍攝結果。

(五) 顏色、氣味的變化：

1. 由於電解反應屬於化學變化，通常會伴隨著顏色、氣味的變化，我們可以從這些變化推測電解的產物。例如：如果有氯 ( $\text{Cl}_2$ ) 產生，顏色為黃綠色且會有刺鼻的氣味產生。
2. 詳細觀察變化並以數位相機拍攝結果。

(六) 電極重量變化：

1. 陽極：由於發生氧化反應，會失去電子，通常重量會減少，若是惰性電極則不會改變。
2. 陰極：由於發生還原反應，會得到電子，通常會有物質產生，所以不論惰性電極或活性電極，重量都會增加。
3. 若發現有物質在電極析出，則放入  $100^\circ\text{C}$  烘箱中 20 分鐘後再秤重。

(七) 溫度變化：

為了探討溫度改變對電解產物的影響，我們以加熱攪拌器加熱（大約  $50^\circ\text{C}$ ），觀察並記錄實驗結果。

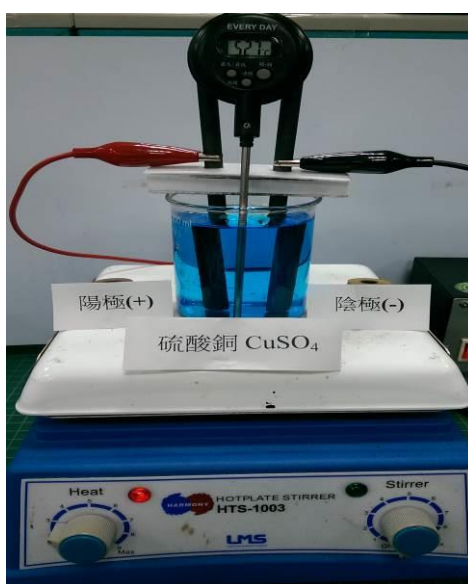


圖 5-4 溫度的影響



## 陸、研究結果與討論

### 一、電解水：

#### (一) 石墨電極：惰性電極

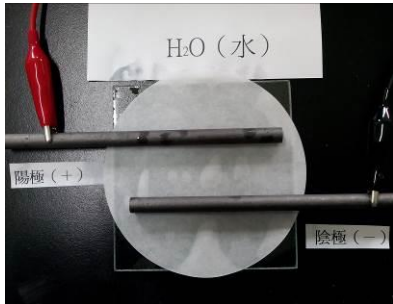


圖 6-1 微型電解水裝置

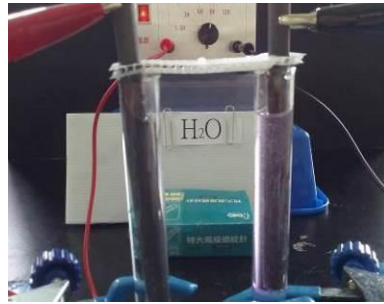


圖 6-2 U 型管電解水裝置

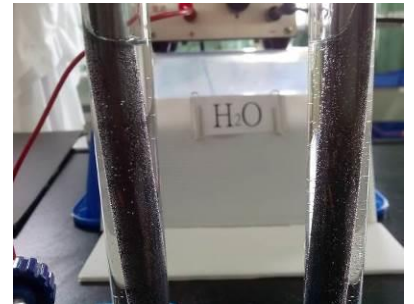


圖 6-3 電解水氣體附著在電極上

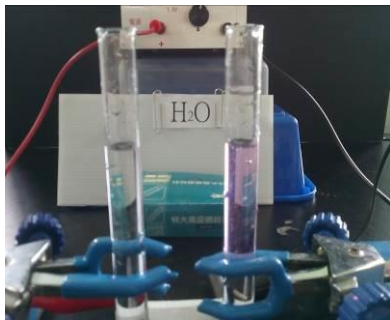


圖 6-4 電解水加酚酞 (變紅)



圖 6-5 電解水廣用試紙

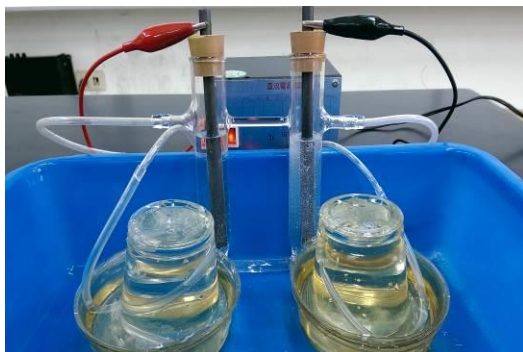


圖 6-7 電解水氣體收集與檢驗

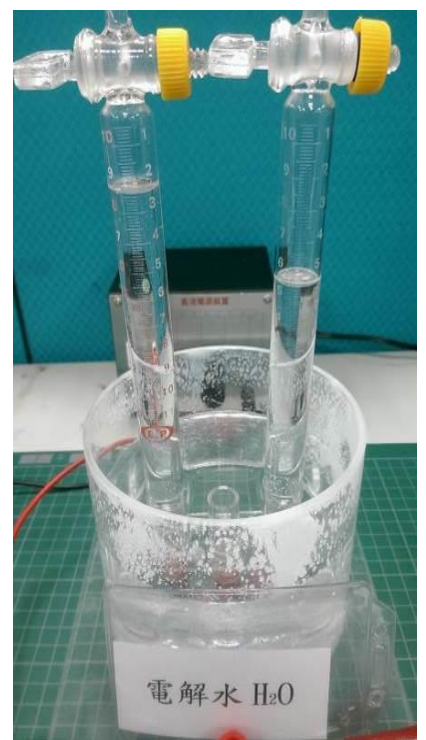


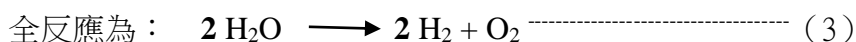
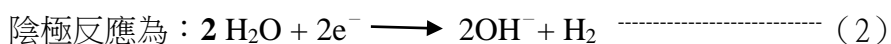
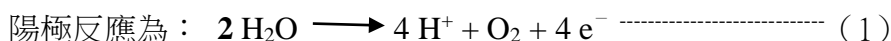
圖 6-6 電解水氣體體積測量裝置

表 6-1 電解水 pH 計試驗

|     | 電解水酸鹼測試結果 |
|-----|-----------|
| 陽 極 | pH=5.8    |
| 陰 極 | pH=8.1    |

## 【討論】

- 1、微型電解水裝置如圖 6-1，一開始會發現，兩根石墨電極附近都有不明顯的小氣泡產生，我們再以 U 型管進行電解實驗（圖 6-2），發現電極附近有明顯的氣泡附著（圖 6-3），經查文獻可知：



因此可推知陽極的小氣泡為氧氣而且溶液呈酸性，陰極的小氣泡為氫氣，溶液則呈鹼性。

- 2、為了證明以上的推論，我們在電極附近加入數滴酚酞指示劑，發現陰極附近呈現很淡的紅色（圖 6-4），酚酞遇到鹼會變紅色，因為只產生少量的  $\text{OH}^-$  所以變色不明顯。為了證明陽極溶液產生酸性物質（ $\text{H}^+$ ），我們以廣用試紙進行試驗，結果如圖 6-5，看起來變色並不明顯，最後我們使用 pH 計，結果如表 6-1，陽極溶液 pH=5.8，陰極 pH=8.1，證實了我們的推論。
- 3、為了測量陰、陽極產生氣體的體積，我們以圖 6-6 裝置進行實驗，電解 30 分鐘後，陽極收集氣體的高度為 2.5 公分，陰極則為 5.1 公分。接下來為了驗證陰、陽極產生的氣體，我們以圖 6-7 裝置，進行排水集氣法實驗，收集氣體後，再以線香檢驗，發現陽極所產生的氣體使線香燒得更紅，陰極產生的氣體遇到線香產生明顯的爆鳴聲，因此可以確定陽極產生氧氣，陰極產生氫氣，而且體積比為 2.5：5.1，大約為 2：1 這個結果完全與方程式（1）、（2）、（3）吻合。
- 4、電解結束後，我們將石墨電極烘乾，發現重量沒有改變，這可說明石墨電極的確是惰性電極。
- 5、為了探討電壓的影響，我們將電壓由 9V 降至 6V，發現除了產生的氣體量變少了，其他都沒變。當降至 3V 時，氣體只有附著在電極上，因為量太少所以無法收集。電壓 1.5V 時，電極附近都沒有任何的變化，所以接下來的實驗，如果沒有特別的變化，電壓都是設定為 9V。

(二) 銅電極：活性電極

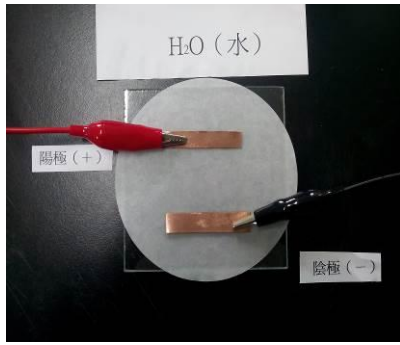


圖 6-1-1 銅—微型電解水

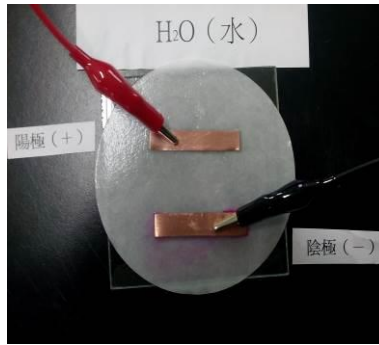


圖 6-1-2 銅--電解水 (加酚酞)

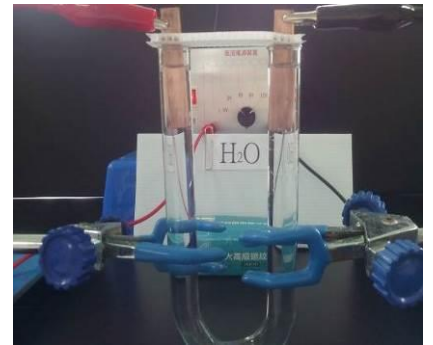


圖 6-2-1 銅—U 型管電解水

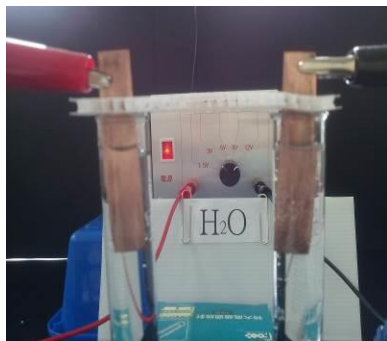


圖 6-2-2 銅—氣體附著於陰極上



圖 6-4-1 銅—電解水廣用試紙

表 6-2 銅—電解水 pH 計試驗

| 銅—電解水酸鹼測試結果 |        |
|-------------|--------|
| 陽極          | pH=6.6 |
| 陰極          | pH=7.7 |

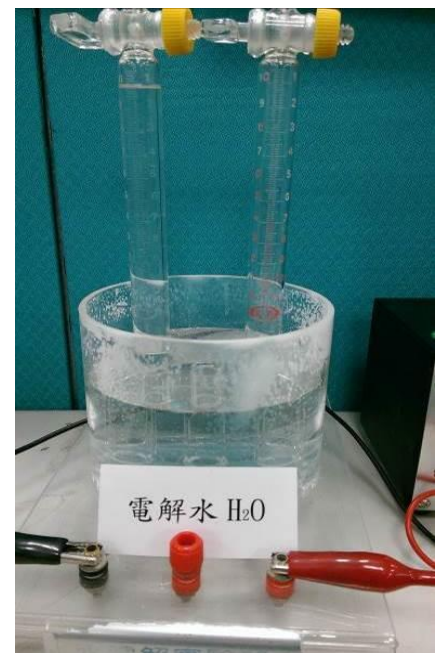


圖 6-5-1 銅—電解水氣體體積測量

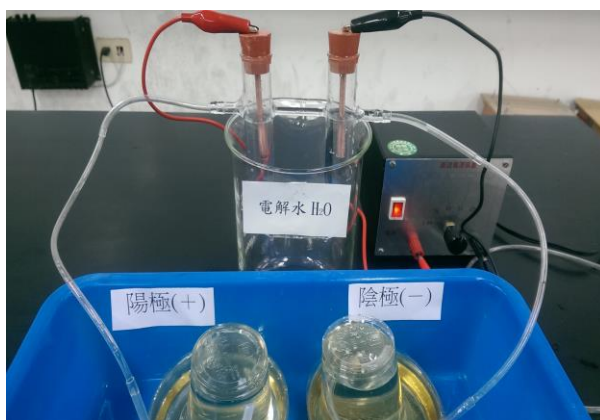


圖 6-6-1 銅—電解水氣體收集與檢驗



圖 6-7-1 銅—電解水電極變化

### 【討論】

- 1、以銅電極電解水裝置如圖 6-1-1 及 6-2-1 所示，和石墨電極不同的是，陽極的銅附近沒有產生氣泡，陰極有不明顯的小氣泡產生（如圖 6-1-2、6-2-2 及 6-6-1）。接下來以裝置 6-5-1 進行實驗，只有陰極收集到氣體，再進一步以裝置 6-6-1 進行氣體的收集及驗證，產生的氣體以線香檢驗也會產生爆鳴聲，因此可推知和石墨電極一樣，陰極的小氣泡為氫氣。
- 2、接下來我們分別以酚酞（如圖 6-1-2）、廣用試紙（如圖 6-4-1）及 pH 計（表 6-2）進行酸鹼測試，證實陽極溶液接近中性而陰極和石墨電極一樣都為鹼性。因此可推知陰極的反應式和石墨電極一樣為： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$
- 3、在電解 5 分鐘後，發現陽極附近有很淡的藍綠色產生（圖 6-1-2、6-5-1 及 6-6-1），而且在電解結束後，我們將銅電極烘乾，發現陽極重量有些許的減少（0.02 克）而陰極則沒有明顯的改變。因為銅為活性電極，因此我們由文獻得知，陽極發生氧化反應，為  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ， $\text{Cu}^{2+}$  應該是藍色，可能因濃度太低而顯示出淡綠色。
- 4、實驗結束後，發現陽極的銅顏色變得較陰極為亮，這個結果可以間接證實，陽極的確是發生氧化反應，而且重量是減少的。
- 5、電壓改變的結果和石墨電極一樣。



## 二、電解食鹽水：

### (一) 石墨電極：惰性電極

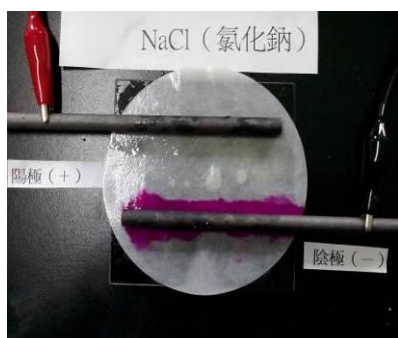


圖 7-1 微型電解食鹽水(加酚酞)

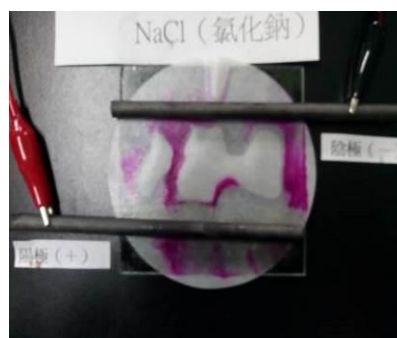


圖 7-2 電解食鹽水 (交換電極)

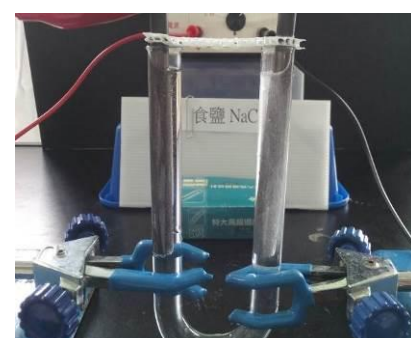


圖 7-3 U 型管電解食鹽水裝置



圖 7-4 電解食鹽水廣用試紙



圖 7-5 電解食鹽水 pH 計檢測

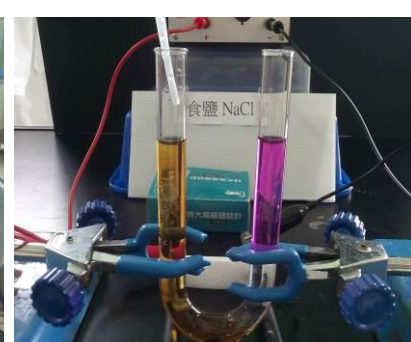


圖 7-6 電解食鹽水陽極加碘化鉀



圖 7-7 電解食鹽水氣體體積測量

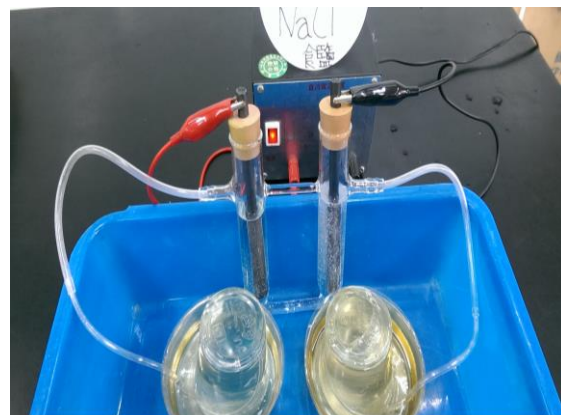


圖 7-8 電解食鹽水氣體收集與檢驗

表 6-3 電解食鹽水 pH 計試驗

|     | 電解食鹽水酸鹼測試結果 |
|-----|-------------|
| 陽 極 | pH=3.6      |
| 陰 極 | pH=10.9     |

## 【討論】

- 1、微型電解食鹽水裝置如圖 7-1，在電解的過程中，兩電極附近都有小氣泡產生，陽極附近產生漂白水味（與游泳池味道很像），顏色為淡淡的黃綠色，從文獻中可以推測為氯氣（Cl<sub>2</sub>），陽極反應為： $2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ 。加入酚酞後，陰極呈現紅色，和電解水相同，所以合理的推測：



- 2、為了驗證假設，我們將電極交換，結果如圖 7-2，可以明顯看出，交換後的陽極，紅色漸往陰極擴散，由此推知，陽極所產生的氯氣溶於水會呈酸性，使得酚酞由紅色變為無色，使得紅色漸漸的消失；而交換後的陰極，因產生的鹼會使得酚酞由無色變為紅色，所以紅色會往陰極擴散。
- 3、另外在交換電極後，原來陽極所產生黃綠色的氯氣，顏色消失了，氣味也淡了很多。由文獻可知，是因為氯氣遇到鹼產生了氧化還原反應所造成，反應式為  $\text{Cl}_2 + 2\text{OH}^- \longrightarrow \text{OCl}^- + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ，而 OCl<sup>-</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 皆為無色。
- 4、由於微型實驗變化不明顯，因此我們又設計一些實驗來驗證。由圖 7-3、圖 7-7 與圖 7-8 都可以明顯看出，陰陽極都有氣體產生，陽極呈現出黃綠色，且有強烈的刺鼻味。為了證明陽極氣體為氯氣（Cl<sub>2</sub>），在電解結束後，我們在陽極加入碘化鉀（KI），結果如圖 7-6 所示，溶液立刻變成棕色，查文獻得知，因為產生的氯氣會氧化碘化鉀中的碘離子（I<sup>-</sup>）成為碘（I<sub>2</sub>），I<sub>2</sub> 再和 I<sup>-</sup> 產生棕色的 I<sub>3</sub><sup>-</sup>（三碘錯離子）。另外，由於氯氣會溶於水產生次氯酸根離子（OCl<sup>-</sup>），從酸鹼測試中（圖 7-4、表 6-3），也可判斷陽極溶液為酸性，由此也可以間接證實陽極氣體為氯氣。
- 5、接下來，我們以圖 7-7 裝置來收集氣體，因陽極產生的氯氣會溶於水，因此才會收集不到。而陰極產生的氣體，先以排水集氣法收集後（圖 7-8），再以線香檢驗，由產生的爆鳴聲可以判斷是氫氣。
- 6、和電解水一樣，反應結束後，兩電極的重量都沒有改變，更加證明石墨電極為惰性電極。
- 7、我們將電壓由 9V 降至 6V，發現陽極還是有氯的味道，陰極氫氣的量變少了。當降至 3V 時，幾乎聞不到任何的味，也無法收集到氣體。電壓 1.5V 時，和前面實驗一樣，電極附近都沒有任何的變化。

(二) 銅電極：活性電極

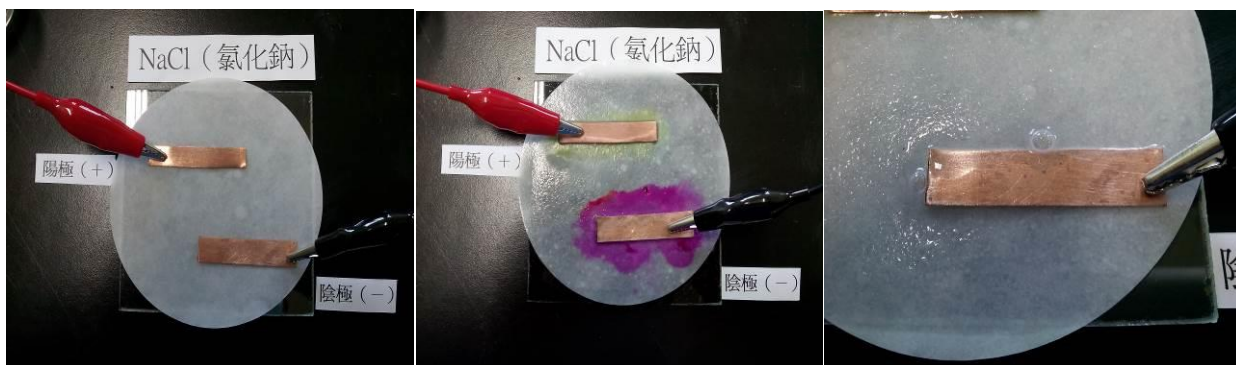


圖 7-1-1 銅—微型電解食鹽水    圖 7-2-1 銅--電解食鹽水(加酚酞)    圖 7-3-1 銅--電解食鹽水(氣泡)



圖 7-4-1 銅—U 型管電解食鹽水    圖 7-4-2 銅—U 型管電解食鹽水    圖 7-5-1 銅—電解食鹽水電極變化

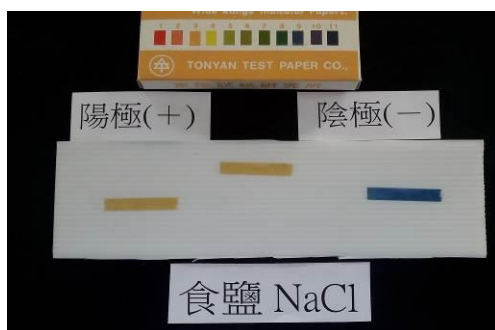


圖 7-6-1 銅—電解食鹽水廣用試紙



圖 7-7-1 銅—電解食鹽水氣體體積測量



圖 7-8-1 銅—電解食鹽水氣體收集    圖 7-9-1 電解食鹽水銅電極

表 6-4 銅—電解食鹽水 pH 計試驗

| 電解食鹽水酸鹼測試結果 |         |
|-------------|---------|
| 陽 極         | pH=6.4  |
| 陰 極         | pH=11.1 |

## 【討論】

- 1、以銅為電極，微型電解食鹽水裝置如圖 7-1-1，和石墨電極一樣陰極的銅附近有小氣泡產生（圖 7-3-1），因此可推測和石墨電極一樣，陰極的小氣泡為氫氣而且呈鹼性。這可由加入數滴酚酞指示劑（圖 7-2-1）呈現明顯的紅色而證明。因此陰極的反應式為  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ 。
- 2、在電解 5 分鐘後，發現陽極附近有很淡的藍綠色物質產生（圖 7-2-1），我們原本認為和石墨電極一樣應該是產生氯（黃綠色）但是我們始終聞不到氯的刺鼻味，因此我們推測應該是發生  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ，（ $\text{Cu}^{2+}$ 為藍色）。
- 3、電解結束後，我們將銅電極烘乾，發現陽極重量減少 0.05 克，減少的量較電解水為多（0.02 克），可能的原因是 NaCl 為強電解質，使得陽極的銅放出更多的  $\text{Cu}^{2+}$ 。
- 4、為了驗證以上的推論，我們以圖 7-4-1 裝置進行實驗，陰極有明顯的氣體產生，陽極溶液呈明顯的淡藍色（圖 7-4-2）。陰極的氣體再經由排水集氣法收集和線香驗證（圖 7-8-1），證明為氫氣。實驗結束後，發現陽極的銅片較陰極為亮也可證明陽極反應為  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ 。
- 5、從酸鹼試驗中（圖 7-6-1、表 6-4），也可以說明陰極為鹼性，陽極因為產生  $\text{Cu}^{2+}$  而不是氯，因此 pH 值從 3.6（表 6-3）上升到 6.4。
- 6、電壓由 9V 降至 6V，發現還是沒有氯的味道，但會產生藍色，只是電解時間更長，陰極氫氣的量也變少了。當降至 3V 時，陽極的藍色更淡了，陰極也無法收集到氣體。電壓 1.5V 時，電極附近則都沒有任何的變化。



### 三、電解碘化鉀水溶液：

#### (一) 石墨電極：惰性電極

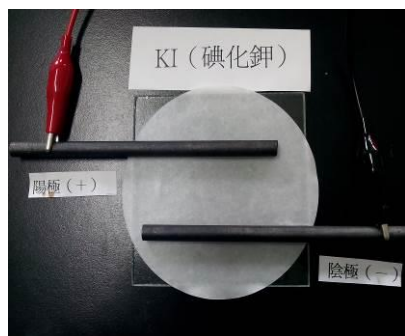


圖 8-1 微型電解碘化鉀裝置

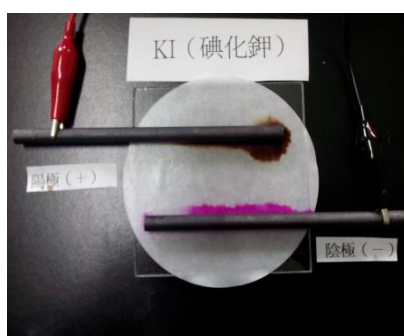


圖 8-2 電解碘化鉀 (加酚酞)

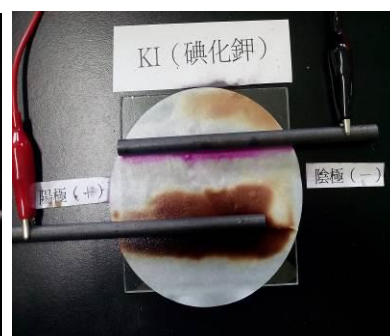


圖 8-3 電解碘化鉀 (交換電極)

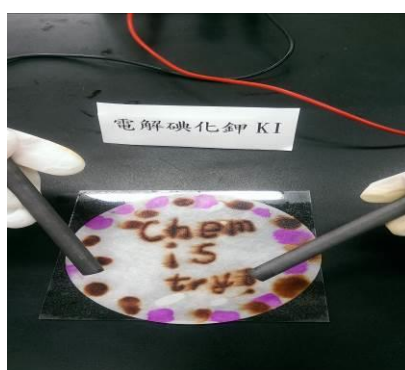


圖 8-4 化學電解筆

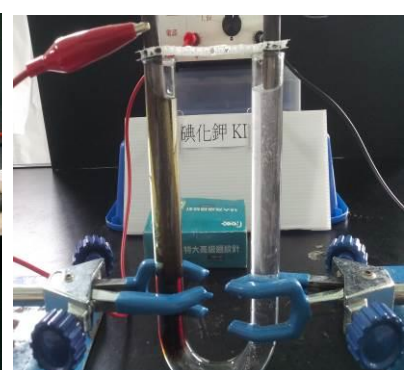


圖 8-5 U 型管電解碘化鉀裝置



圖 8-7 電解碘化鉀氣體收集與檢驗

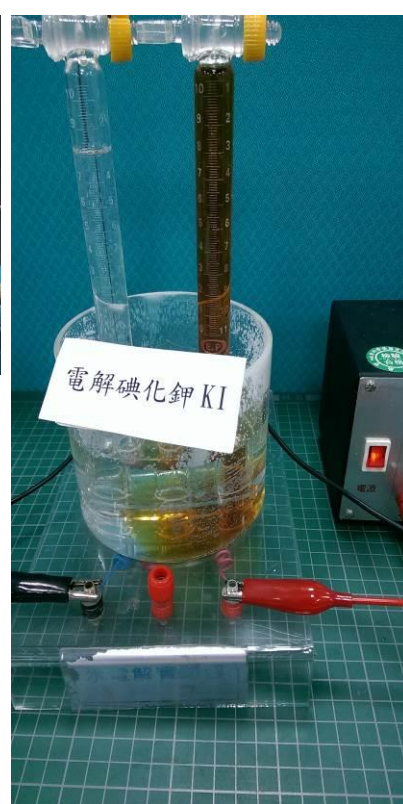


圖 8-6 電解碘化鉀氣體體積測量

表 6-5 電解碘化鉀 pH 計試驗

| 電解碘化鉀酸鹼測試結果 |         |
|-------------|---------|
| 陽極          | pH=7.2  |
| 陰極          | pH=11.8 |

## 【討論】

- 1、微型電解碘化鉀水溶液裝置如圖 8-1，加入酚酞的結果如圖 8-2，可以明顯的看出，陽極附近的顏色為棕色，而且具有類似碘酒的味道。陰極附近的顏色為紅色，表示陰極為鹼性（表 6-5 可證明），和電解水及食鹽水相同，我們可以大膽的假設陰極反應為：
$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$$
為了證明陰極產生  $\text{H}_2$ ，我們先以圖 8-5 的 U 型管進行實驗，發現陽極一樣為棕色，陰極則產生大量的氣體，再以圖 8-7 的裝置收集陰極所產生的氣體，用線香檢驗，有明顯的爆鳴聲，因此得到證明。
- 2、陽極為何會是棕色呢？我們都知道 Cl 和 I 在周期表中屬於同一族，具有相似的性質，電解 NaCl 水溶液，陽極產生  $\text{Cl}_2$ ，照理說電解 KI 水溶液，陽極應該產生  $\text{I}_2$ ，但是  $\text{I}_2$  為紫黑色與實驗結果的棕色不符合。和老師討論了許久，最後想出唯一的可能是：產生的  $\text{I}_2$  又和原來的  $\text{I}^-$  發生反應，最後產生棕色物質。經查文獻得知反應式為  $\text{I}_2 + \text{I}^- \longrightarrow \text{I}_3^-$ ，而  $\text{I}_3^-$ （三碘錯離子）為棕色。
- 3、圖 8-3 為交換電極的結果，可以發現，原本棕色的陽極顏色消失了，轉變為紅色；而原本紅色的陰極變為棕色。這是因為原來陽極的  $\text{I}_2$  和交換電極後陰極的鹼反應產生無色的  $\text{I}^-$ （碘離子）和  $\text{IO}_3^-$ （碘酸根離子），然後陰極產生的鹼（ $\text{OH}^-$ ）又和酚酞指示劑產生了紅色。
- 4、由於陽極產生棕色，陰極產生紅色，老師就建議我們可以利用石墨當成筆來寫，我們就把它稱為化學電解筆，結果如 8-4 所示，電解真的是太有趣了。
- 5、當電壓由 9V 降至 6V 時，發現陽極還是棕色，陰極還是產生氫氣，但產生氫氣的量變少了。當降至 3V 時，陽極的棕色更淡了，陰極的氫氣量更少，無法以排水集氣收集。電壓 1.5V 時，電極附近則都沒有任何的變化。

(二) 銅電極：活性電極

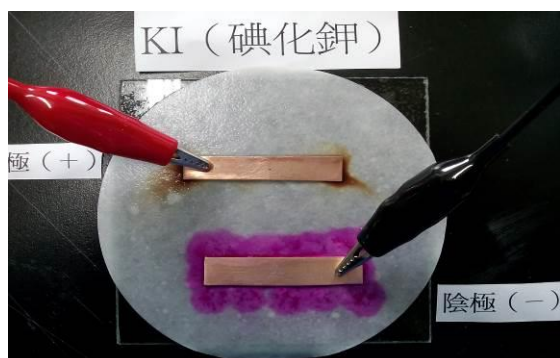


圖 8-1-1 銅—微型電解碘化鉀裝置

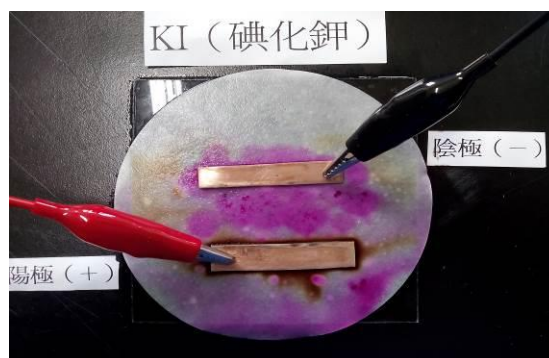


圖 8-1-2 銅—微型電解碘化鉀裝置(交換電極)

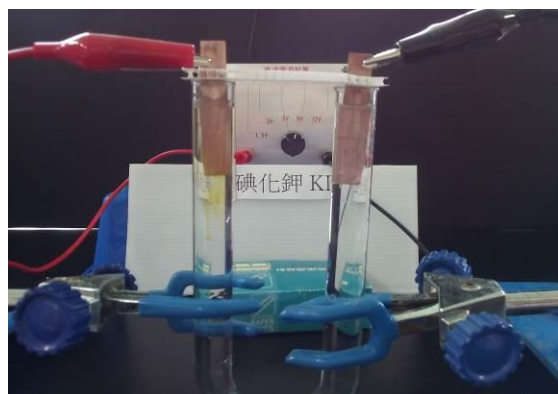


圖 8-2-1 銅—U 型管電解碘化鉀裝置

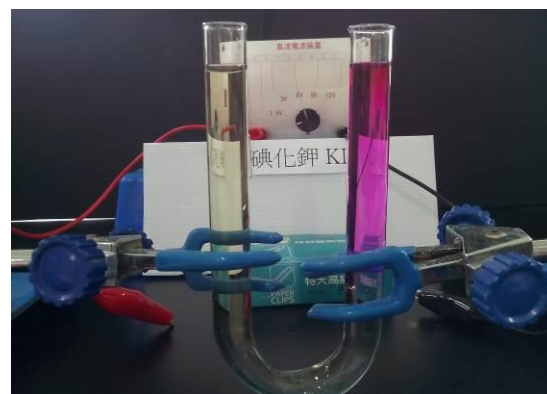


圖 8-2-2 銅—U 型管電解碘化鉀裝置(加酚酞)

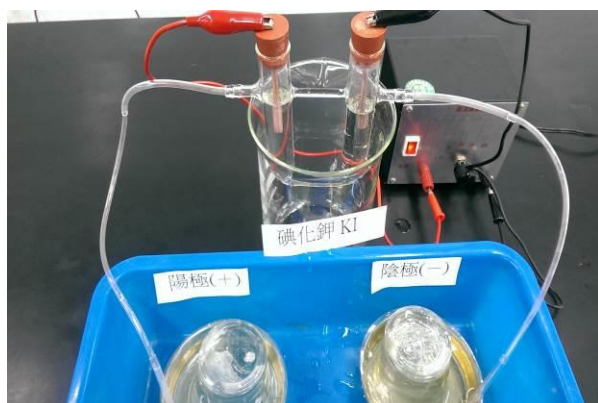


圖 8-3-1 銅—電解碘化鉀氣體收集與檢驗(1分鐘)



圖 8-3-2 銅—電解碘化鉀氣體收集與檢驗(5分鐘)



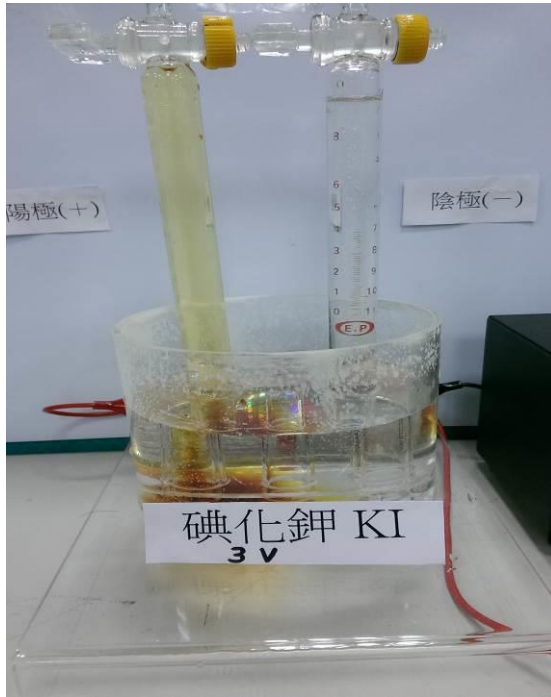


圖 8-4-1 銅—電解碘化鉀氣體體積測量(3V)

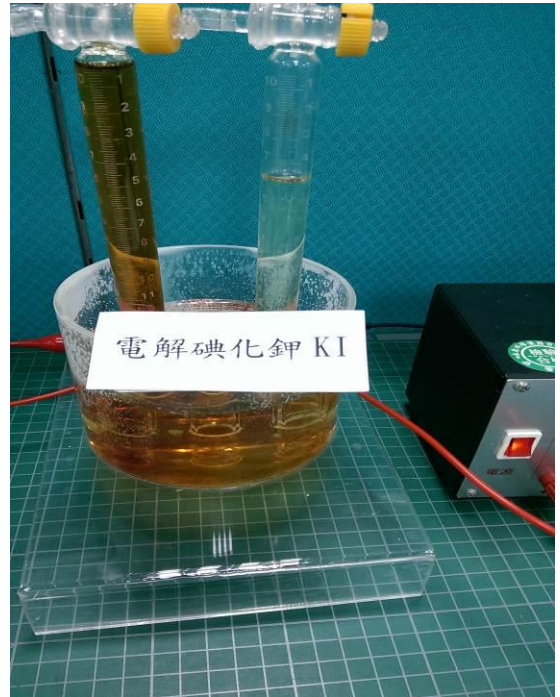


圖 8-4-2 銅—電解碘化鉀氣體體積測量(9V)



圖 8-5-1 銅—電解碘化鉀電極變化

表 6-6 銅—電解碘化鉀 pH 計試驗

|    | 電解碘化鉀酸鹼測試結果 |
|----|-------------|
| 陽極 | pH=6.7      |
| 陰極 | pH=10.8     |

### 【討論】

- 1、以銅電極電解碘化鉀水溶液，和石墨電極比起來，陽極水溶液的顏色較淡（圖 8-2-2），而且電解的初期，溶液呈現淡藍色（圖 8-2-1、圖 8-3-1）。再從陽極電極的變化（圖 8-5-1），重量減少 0.15 克，我們可以推知陽極反應為  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$  與  $\text{I}_2 + \text{I}^- \longrightarrow \text{I}_3^-$ 。
- 2、陰極加入酚酞的結果如圖 8-1-1 及圖 8-2-2，可以明顯的看出顏色為紅色，表示陰極為鹼性（表 6-6 可證明），和電解水及食鹽水相同。接下來以圖 8-3-2 的 U 型管進行氣體的收集，再以線香檢驗，有明顯的爆鳴聲，可證明為氫氣。因此可推知陰極反應為  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ 。
- 3、接下來我們將電壓調降為 3V，結果如圖 8-4-1，和電壓 9V（圖 8-4-2）比起來，顏色變淡許多而且有淡藍色產生，因此我們大膽的假設，當電壓調為 3V 時，陽極反應為  $\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ 。當我們再調降電壓 1.5V 時，電極附近則都沒有任何的變化。由此可知，電壓的大小，會影響陰陽極的反應及產物。

#### 四、電解硫酸銅水溶液：

##### (一) 石墨電極：惰性電極

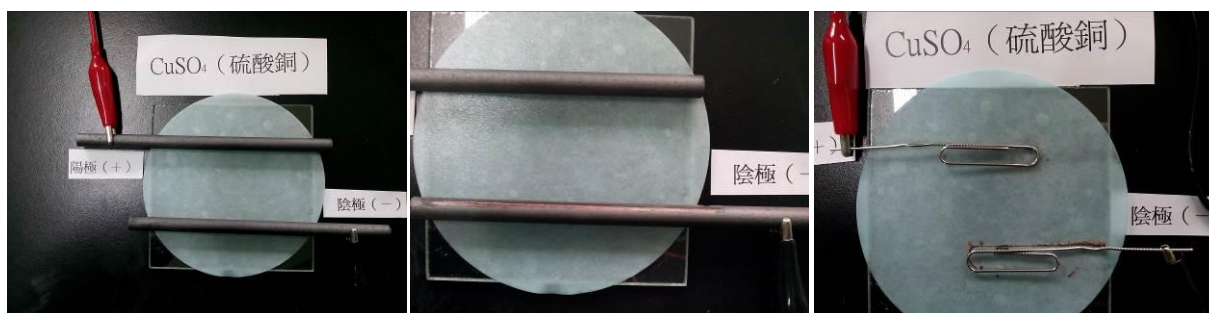


圖 9-1 電解硫酸銅裝置

圖 9-2 電解硫酸銅電極變化

圖 9-3 迴紋針電解硫酸銅



圖 9-4 電解硫酸銅氣體體積測量



圖 9-5 電解硫酸銅氣體收集與檢驗

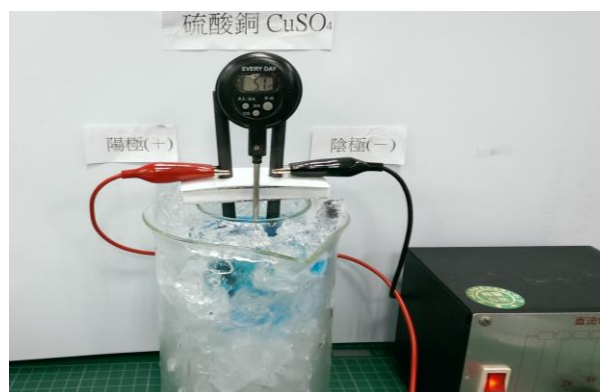


圖 9-6 冰溫電解硫酸銅裝置



圖 9-7 冰溫電解硫酸銅電極的比較



圖 9-8 電解硝酸銀不同溫度陰極比較

表 6-7 電解硫酸銅 pH 計試驗

| 電解硫酸銅酸鹼測試結果 |        |
|-------------|--------|
| 陽極          | pH=3.6 |
| 陰極          | pH=3.9 |

(二) 不同溫度電解結果：硫酸銅水溶液

表 6-8 電解硫酸銅不同溫度陰極累計析出克數

| 分鐘      | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| 冰溫 5°C  | 0.02 | 0.06 | 0.12 | 0.19 | 0.23 | 0.31 |
| 室溫 30°C | 0.05 | 0.12 | 0.20 | 0.27 | 0.33 | 0.45 |
| 加溫 50°C | 0.09 | 0.19 | 0.31 | 0.44 | 0.51 | 0.62 |

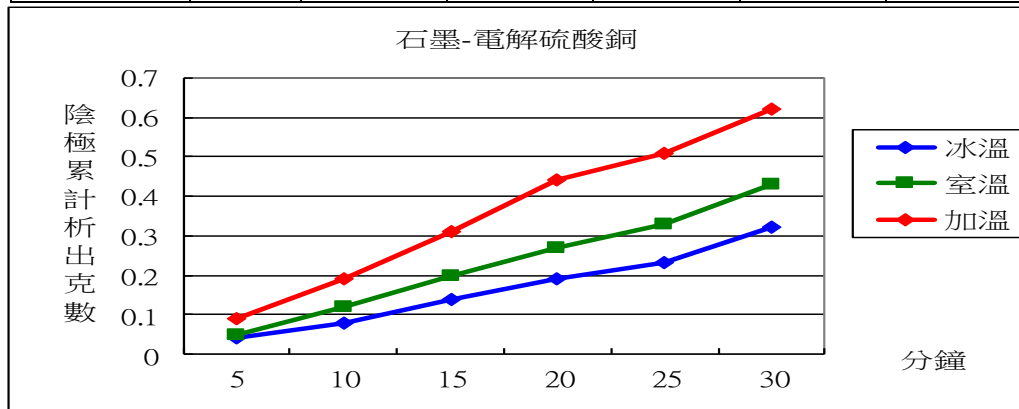


圖 9-9 電解硫酸銅不同溫度陰極累計析出克數比較圖

(三) 不同溫度電解結果：硝酸銀水溶液

表 6-9 電解硝酸銀不同溫度陰極累計析出克數

| 分鐘      | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| 冰溫 5°C  | 0.02 | 0.08 | 0.16 | 0.28 | 0.48 | 0.64 |
| 室溫 30°C | 0.05 | 0.21 | 0.78 | 1.73 | 2.98 | 3.41 |
| 加溫 50°C | 0.07 | 0.38 | 1.58 | 2.65 | 3.98 | 5.32 |

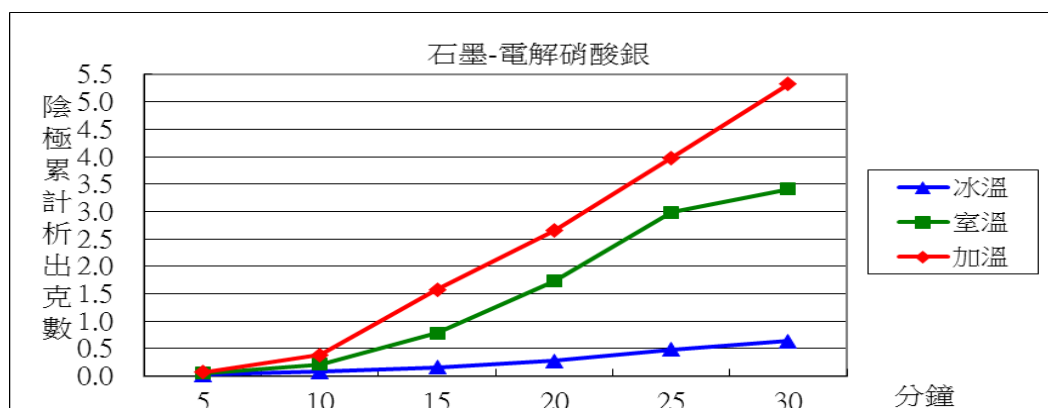


圖 9-10 電解硝酸銀不同溫度陰極累計析出克數比較圖

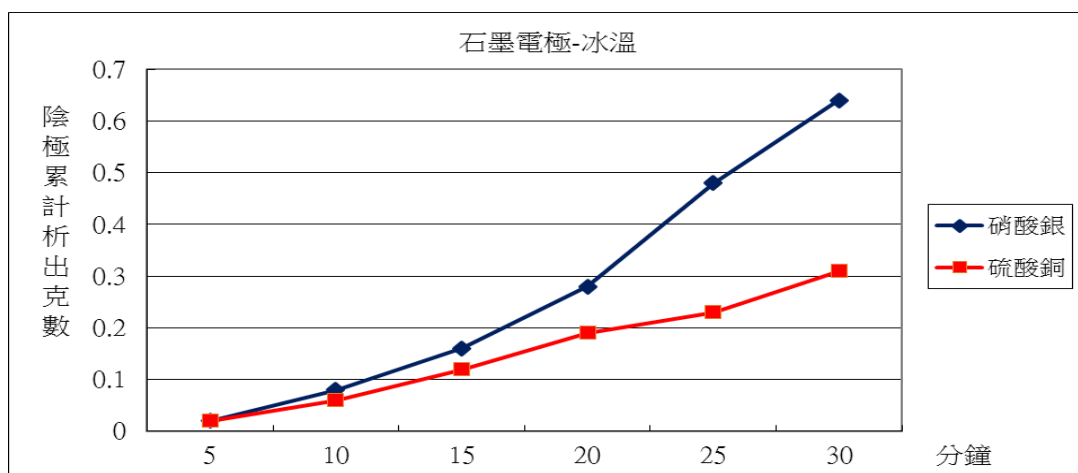


圖 9-11 電解硫酸銅、硝酸銀於冰溫時陰極累計析出克數比較圖

### 【討論】

- 1、微型電解硫酸銅水溶液裝置如圖 9-1，硫酸銅水溶液為藍色，在電解的過程可以發現，陽極的石墨有微小氣泡產生，陰極有紅色物質析出（圖 9-2），而且加入酚酞後也不會產生紅色，這表示陰極反應式不是  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \longrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ ，查完資料才知道陰極反應式為  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$ ，原來紅色物質就是金屬銅。而陽極產生的氣泡，推測應該和電解水一樣是氧氣，方程式為  $2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4\text{H}^+ + \text{O}_2 + 4\text{e}^-$ 。
- 2、為了使顏色更容易區別，我們以迴紋針為電極進行實驗，結果如圖 9-3，很明顯可看出陰極有紅色物質析出。
- 3、圖 9-3 實驗結束後，我們將電極烘乾再秤重，發現陽極重量不變，而陰極重量增加了 0.10 克，就是所析出金屬銅的重量。
- 4、接下來我們以裝置圖 9-4 進行實驗，結果只有陽極產生了氣體，再以裝置圖 9-5 收集陽極氣體，最後以線香檢驗，有復燃現象，證實是氧氣。
- 5、為了探討溫度的影響，我們以冰溫（5°C）、室溫（30°C）及加溫（50°C）進行實驗。冰溫是以冰浴進行（圖 9-6），而加溫是以電磁加熱器進行（圖 9-5-1）。結果如表 6-8 及圖 9-9 所示，溫度增加，陰極析出的銅重量也是增加，可能原因是溫度增加，使得  $\text{Cu}^{2+}$  還原成 Cu 的速率增加。圖 9-7 是以冰溫電解 30 分鐘電極的變化，陰極有明顯的銅析出，經烘乾後秤重，增加了 0.31 克，而陽極重量則沒有改變。
- 6、 $\text{Cu}^{2+}$  是正 2 價的陽離子，為了解電荷和析出量的關係，我們進行硝酸銀水溶液的電解實驗。結果如表 6-9 及圖 9-10 所示，和電解硫酸銅的結果是一致的。
- 7、圖 9-11 可明顯的看出，在相同溫度下，銀的析出量是大於銅，老師告訴我們是根據法拉第的電解定律，當通入的電量相同時，析出的重量是和（原子量／電荷數）呈正比，因為銀的（108／1）大於銅的（63.5／2），所以銀的析出量高於銅。



(二) 銅電極：活性電極

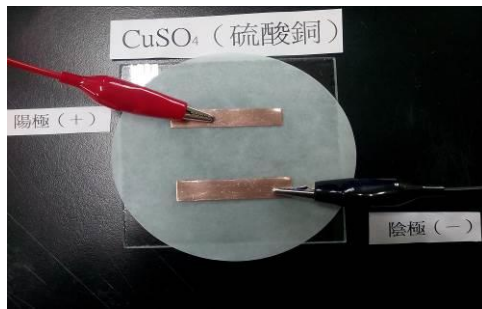


圖 9-1-1 銅--電解硫酸銅裝置

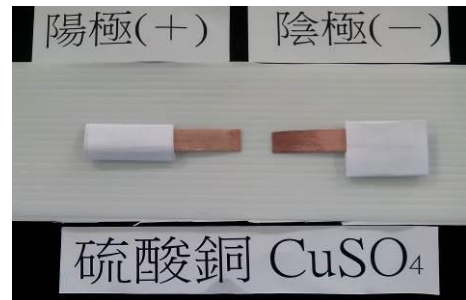


圖 9-2-1 銅--電解硫酸銅電極變化



圖 9-3-1 銅--電解硫酸銅氣體收集與檢驗



圖 9-4-1 銅--電解硫酸銅氣體體積測量

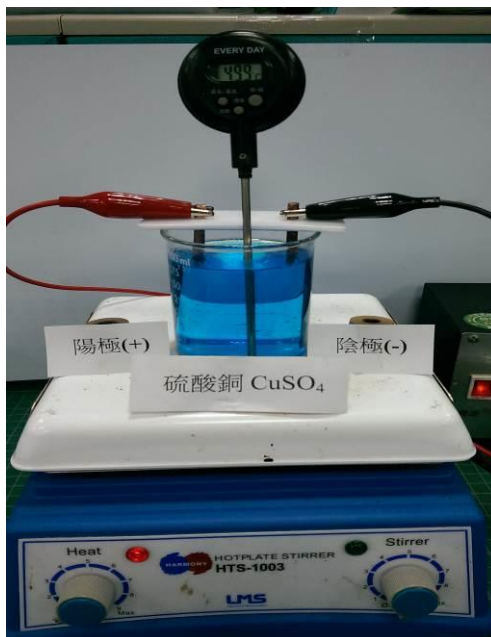


圖 9-5-1 銅—加溫電解硫酸銅裝置



圖 9-6-1 銅—加溫電解硫酸銅電極變化

表 6-10 銅--電解硫酸銅 pH 計試驗

|    | 電解硫酸銅酸鹼測試結果 |
|----|-------------|
| 陽極 | pH=3.5      |
| 陰極 | pH=3.8      |

表 6-11 銅--電解硫酸銅不同溫度陰極累計析出克數

| 分鐘      | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| 冰溫 5°C  | 0.04 | 0.09 | 0.15 | 0.22 | 0.28 | 0.33 |
| 室溫 30°C | 0.07 | 0.15 | 0.25 | 0.37 | 0.44 | 0.54 |
| 加溫 50°C | 0.13 | 0.28 | 0.42 | 0.56 | 0.65 | 0.77 |

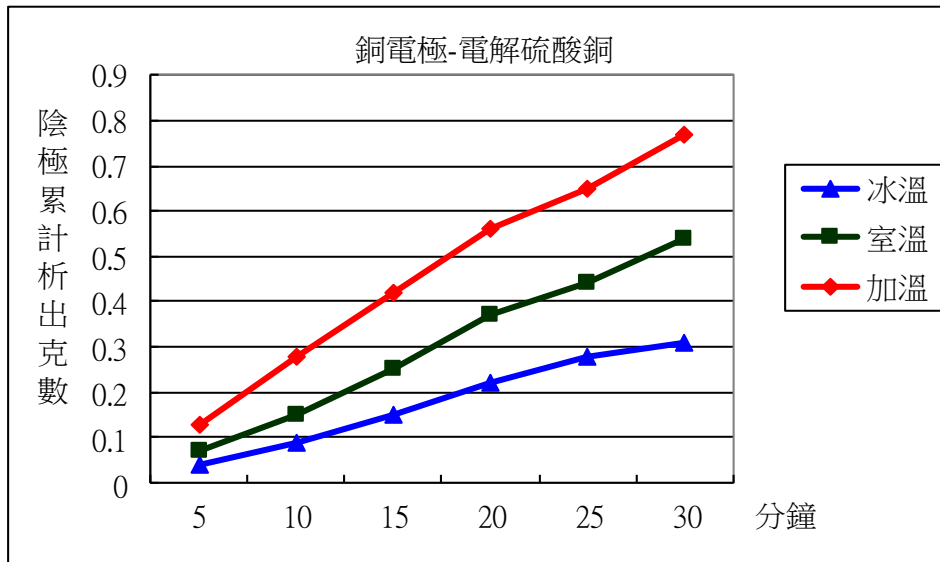


圖 9-7-1 銅--電解硫酸銅不同溫度陰極累計析出克數比較圖

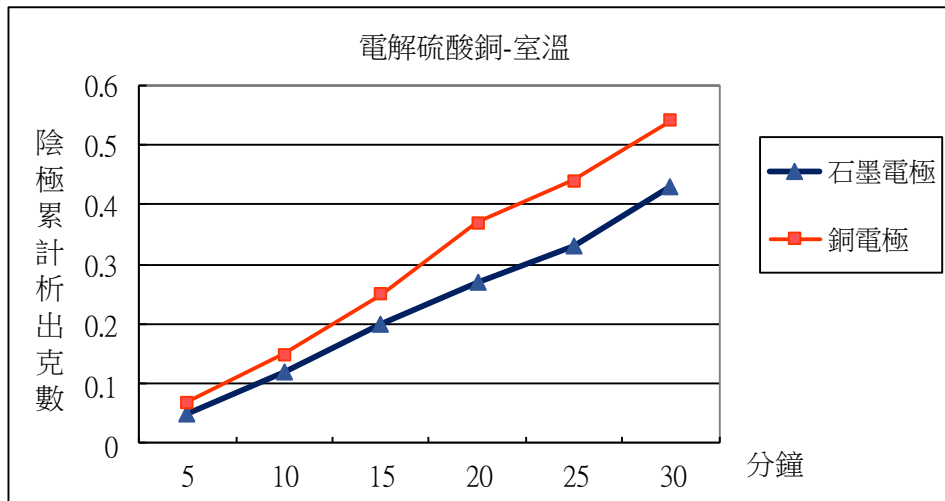


圖 9-8-1 不同電極電解硫酸銅陰極累計析出克數比較圖

## 【討論】

- 1、電解硫酸銅裝置如圖 9-1-1，和石墨電極不一樣的是，陰陽極的銅附近都沒有小氣泡產生，因此可推測陰陽極的產物都不會產生氫氣和氧氣，這可以從圖 9-3-1 與圖 9-4-1 的實驗證明。
- 2、加入酚酞後，陰陽極都沒有紅色產生，表示陰陽極附近都不是鹼性。在電解 5 分鐘後，發現陽極附近有淡藍色物質產生，陰極附近有褐色物質析出，由我們之前的實驗結果可推知，陽極反應式為  
$$\text{Cu} \longrightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$$
而陰極反應式為  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \longrightarrow \text{Cu}$ 。Cu 應該為紅色，可能是析出時和空氣中的氧反應成 CuO，才會變成褐色。
- 3、電解結束後，我們將銅電極翻面（圖 9-2-1），發現陽極的銅變亮變新，而陰極的銅變暗變舊，由這些觀察結果更可以證明我們的論點是正確的。
- 4、和石墨電極一樣，我們也想知道溫度對於陰極析出量的影響，結果如表 6-11 及圖 9-7-1 所示，溫度增加，陰極析出的銅重量也是增加。
- 5、圖 9-6-1 是以加溫電解 30 分鐘電極的變化，陰極有明顯的銅析出經烘乾後秤重，增加了 0.77 克，而陽極減少了 0.94 克，我們電解的硫酸銅水溶液是飽和的，因此陽極所放出的  $\text{Cu}^{2+}$  會間接跑到陰極去還原。而相差的 0.17 克有可能是剝落或是存在於陽極銅的雜質。
- 6、圖 9-8-1 是在室溫時，以不同電極電解硫酸銅水溶液，陰極析出重量的比較圖，由圖中可看出，在相同時間下，銅電極陰極析出量都是大於石墨電極，那是因為銅是活性電極，陽極銅放出的  $\text{Cu}^{2+}$  也會跑去陰極去還原。
- 7、當電壓由 9V 降至 3V 時，石墨電極附近附著許多的氧氣，但因量少而無法收集，陰極析出的銅明顯的減少。當電壓 1.5V 時，不論石墨或銅電極，都沒有任何的變化。

## 柒、結論

### 一、電解產物：電壓 9V

#### (一) 石墨電極—惰性電極

|    | 水<br>H <sub>2</sub> O | 食鹽<br>NaCl      | 碘化鉀<br>KI                   | 硫酸銅<br>CuSO <sub>4</sub> |
|----|-----------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|
| 陽極 | O <sub>2</sub>        | Cl <sub>2</sub> | I <sub>3</sub> <sup>-</sup> | O <sub>2</sub>           |
| 陰極 | H <sub>2</sub>        | H <sub>2</sub>  | H <sub>2</sub>              | Cu                       |

#### (二) 銅電極—活性電極

|    | 水<br>H <sub>2</sub> O | 食鹽<br>NaCl       | 碘化鉀<br>KI                                     | 硫酸銅<br>CuSO <sub>4</sub> |
|----|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| 陽極 | Cu <sup>2+</sup>      | Cu <sup>2+</sup> | I <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、Cu <sup>2+</sup> | Cu <sup>2+</sup>         |
| 陰極 | H <sub>2</sub>        | H <sub>2</sub>   | H <sub>2</sub>                                | Cu                       |

### 二、酸鹼試驗：電壓 9V

#### (一) 石墨電極—惰性電極

|    | 水<br>H <sub>2</sub> O | 食鹽<br>NaCl | 碘化鉀<br>KI | 硫酸銅<br>CuSO <sub>4</sub> |
|----|-----------------------|------------|-----------|--------------------------|
| 陽極 | 5.8                   | 3.6        | 7.2       | 3.6                      |
| 陰極 | 8.1                   | 10.9       | 11.8      | 3.9                      |

單位：pH

#### (二) 銅電極—活性電極

|    | 水<br>H <sub>2</sub> O | 食鹽<br>NaCl | 碘化鉀<br>KI | 硫酸銅<br>CuSO <sub>4</sub> |
|----|-----------------------|------------|-----------|--------------------------|
| 陽極 | 6.6                   | 6.4        | 6.7       | 3.5                      |
| 陰極 | 7.7                   | 11.1       | 10.8      | 3.8                      |

單位：pH

三、電壓的大小會影響電解產物，電解碘化鉀水溶液，電壓由 9V 降為 3V 時，陽極由 I<sub>3</sub><sup>-</sup>、Cu<sup>2+</sup> 變成了只有 Cu<sup>2+</sup>。當電壓為 1.5V 時，陰陽極都沒有任何的變化。

四、電解硫酸銅水溶液，陰極析出的銅重量隨溫度增加而增加。電解硝酸銀水溶液也是如此，而且在相同溫度時，陰極析出銀的重量多於銅。

五、以石墨或銅電極電解硫酸銅水溶液，陰極析出的銅重量以銅電極較多。

- 六、以石墨電解碘化鉀水溶液，陽極產生棕色的  $I_3^-$ ，陰極產生  $H_2$  和  $OH^-$ （遇酚酞呈紅色），利用顏色的變化，可設計為電解筆。
- 七、未來展望：這次的科展活動，從五年級上學期的暑假做到現在，原本只是覺得做實驗很好玩，到最後寫報告時，有很多都必須用到國、高中的知識，所以遇到許多的困難。報告能夠完成，除了老師的指導外，父母親也都加入討論，也因此對化學產生了興趣。明年我們會繼續針對電壓的影響和不同電荷的金屬離子來探討。
- 八、為了讓更多人喜歡電解實驗，我們寫了一首電解之歌：  
電解很簡單，電池充電就是電解；電解要用直流電，正接正，負接負；電池的正極是陰極，電解的正極是陽極；陽極一定是氧化，陰極一定是還原；氧化會失去電子，還原會得到電子；電解很好玩，大家一起來電解！

## 捌、參考資料及其它

- 一、周芷寧、蔡伊婷、彭聖鈞 國小組 化學科 桃園市第 55 屆中小學科學展覽會 "微型電解很好玩"
- 二、黃鴻博 自然與生活科技（4 上）南一書局 初版二刷 單元 4 神奇電力 活動 1 電路的連接 p64~p71 102 年 8 月
- 三、王美芬 自然與生活科技（5 上）康軒文教 再版 單元 3 水溶液 活動 1~活動 3 p46~p67
- 四、王美芬 自然與生活科技（5 下）康軒文教 再版 單元 2 燃燒和生鏽 活動 1 氧氣 p28~p33
- 五、黃得時（2012）選修化學（上）龍騰文化 初版 第三章 氧化還原反應 3-4 電解 p.131 101 年 3 月
- 六、陳秋炳 選修化學（上）翰林出版社 初版 第三章 液體與溶液 3-2 溶液 p100 101 年 3 月
- 七、陳秋炳 選修化學（上）翰林出版社 第五章 氧化還原反應 5-5 電解 p192 101 年 3 月
- 八、陳竹亭 基礎化學（一）泰宇出版社 二刷 第四章 常見的化學反應 4-2 酸鹼反應 p118 99 年 7 月
- 九、葉名倉選修化學（上）南一書局 初版 第五章 氧化還原反應 5-4 電解與電鍍 p251 103 年 3 月

## 【評語】 080207

本研究結合微型實驗的定性分析和傳統電解實驗的定量分析，自製 U 型管電解裝置，是不錯的教學改良設計，以電極不同酸鹼反應配合指示劑作畫，尤其是教學可用之有趣橋段。實驗設計上能在同一裝置中以 9V 與 3V 不同電壓驅使不同電解反應發生更是獨創！報告上若能突顯本作品與前人不同處，當更令人易於了解其特色。