

# 中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 化學科

040205

模[檸][良]可，[競]電有[力]

學校名稱：國立臺南家齊女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 陳曉琪	劉水德
高二 錢姝樺	蘇建源
高二 吳姿盈	

關鍵詞：檸檬電池、電池電位、能士特方程式

# 模「檸」「良」可，「競」電有「力」

## 摘要

本實驗以檸檬電池為出發點，首先比較不同電解液(檸檬汁、檸檬酸、鹽酸、磷酸)之電位大小，並導入能士特方程式(Nernst-equation)比較各電解液  $n$  值與理論  $n$  值的差異。

接著探討控制不同變因對電池電位的影響，藉由上述之變因，求得其電流(I)、電位(V)及電阻(R)。進一步由電位(V)對電流(I)作圖，找出偏離線性關係的極化現象，並探討極化產生的因素。

統整和分析上述之數據和原因，我們找出檸檬電池和模擬電池之各變因的最佳數值，並設計一組自製模擬電池。比較自製模擬電池與真實檸檬電池經串聯後的電位值，再導入應用層面，結合 LED 燈和功率測定儀，驗證自製模擬電池與真實檸檬電池的功率差異。

由上述實驗結果，我們發現電池的電位大小會隨電極種類、電極的距離、電解液的 pH 值、電解液的攪拌及溫度等因素而變。而  $n$  值亦會隨不同種類的電解液及溶液之  $[H^+]$  濃度而變。而我們找到之模擬電池電位的最佳條件，分別為 (1)電解液為 HCl (2)電極的種類為 Zn-C 電極 (3)電極的距離控制在 6cm (4)溶液的 pH 為 2.5 (5)攪拌。

經由本篇報告的研究結果，可以提供一個新電池開發的方向。例如：(1)如何有效的提高電池的電位值 (2)改善電池電位的變因，進一步應用到日常生活用品中，如照明或是 MP3 播放器...等，是此研究最大的意義。

## 壹、研究動機

記得高一時，化學老師在講解基礎化學第四章的課程時，曾介紹到檸檬電池的放電原理，並在課後老師的作業中，要我們討論增加電池電位的方法。

就在這樣的因緣際會下，我們對電池的放電原理及影響電位的因素有初步的概念。由於近年來石油危機和能源短缺，再加上我們對影響檸檬電池電位的變因產生好奇心，因此讓我們決定對檸檬電池作進一步的研究。

「檸檬電池」一直都是大家熟知的電池，也時常被拿來當示範電池講解之用。然而在我們找到的檸檬電池之相關資料中，卻鮮少有人針對電池的放電原理，作進一步的討論。到底電池電位會受什麼影響呢？而電池電位是怎麼來的呢？是否與濃度有關呢？這些疑問是我們想要去了解的。

此外，在找尋資料和閱讀相關文獻的過程中，我們發現檸檬電池的電位是否與極化現象的產生有關或是有其他原因而造成電位的變化，這都是我們感興趣的，因此我們設計了一系列的變因(如電解液的種類改變、電解液的 pH 值改變、電極種類的改變、電極的距離和震盪及攪拌與否...等)，探討不同變因造成的極化現象，進而與電位作結合，找出最佳模擬條件。

實驗過程中，我們選用高中實驗室現有的儀器設備(如三用電錶、金屬片、功率量測器)，為設計出發點，並結合我們找出的最佳模擬條件，設計出一組最佳模擬電池，並將其應用在 LED 燈的功率量測上，提供模擬電池的研究和應用上的價值性。

## 貳、研究目的

- 一、設計簡易的儀器與測量方法，測量不同電解液，在不同 pH 值下的電位。
- 二、導入能士特方程式的  $n$  值，以及探討不同電解液的濃度下之  $n$  值差異。
- 三、控制實驗條件，找出影響電池電位的變因。
- 四、探討電極種類、添加硝酸銀及以 NaOH 電解液 pH 值改變對電位的影響。
- 五、探討各變因之電位與電壓，找出電池內電阻。進一步討論各變因對電池極化現象的影響。
- 六、組裝一簡易的儀器設備，以量測 LED 燈的功率。
- 七、由控制所有變因中，組合出最佳模擬電池。比較模擬電池與真實檸檬電池輸出功率的差異。

## 參、研究設備與器材

<p>1.實驗藥品</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1)新鮮檸檬</li><li>(2)檸檬酸(Citric acid)</li><li>(3)丙酮</li><li>(4)鹽酸</li><li>(5)磷酸</li><li>(6)蒸餾水</li><li>(7)硝酸銀</li><li>(8)氫氧化鈉</li></ol> <p>2.電極</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1)鋅片</li><li>(2)銅片</li><li>(3)鎳片</li><li>(4)銀片</li><li>(5)鋁片</li><li>(6)鉛片</li><li>(7)石墨棒</li></ol>	<p>3.實驗器材與儀器</p> <ol style="list-style-type: none"><li>(1)SUNTEX pH 儀</li><li>(2)CORNING 加熱式攪拌器</li><li>(3)SOLAR POWER METER 太陽能功率測定儀</li><li>(4)BRANS 5200 超音波震盪清洗器</li><li>(5)DIGITAL MEASURING INSTRUMENTS 數位式三用電錶</li><li>(6)REGULATED DC POWER SUPPLY 數位式電源供應器</li><li>(7)DENG YNG D-620 恆溫槽</li><li>(8)鱷魚夾</li><li>(9)砂紙</li><li>(10)250mL 燒杯</li><li>(11)秤量瓶</li><li>(12)電子天平</li><li>(13)移液管</li><li>(14)珍珠板</li><li>(15)鐵架</li></ol>
--	---

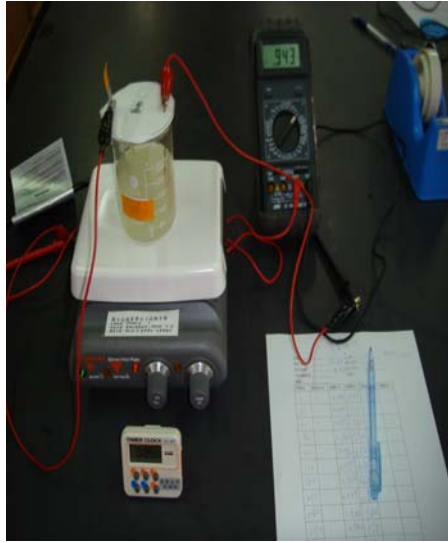


圖 3-1 檸檬電池測定電壓的裝置



圖 3-2 量測電解液 pH 值變化



圖 3-3 震盪對電壓的影響



圖 3-4 溫度變化對電壓的影響



圖 3-5 極化現象的探討

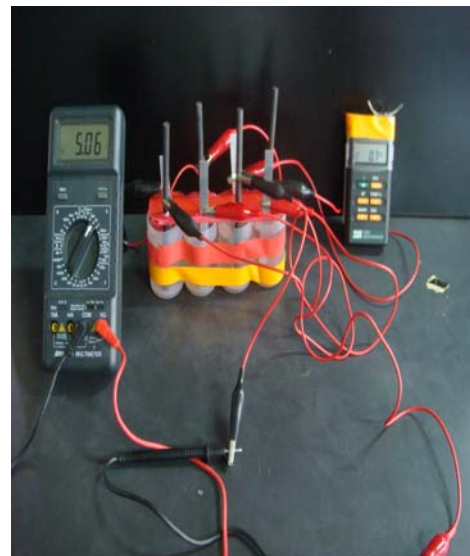


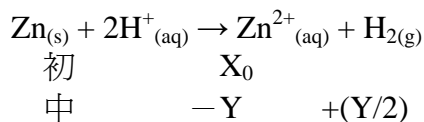
圖 3-6 電池功率測定裝置

## 肆、研究過程與方法

### 一、文獻探討

#### (一)由能士特方程式(Nernst-equation)去找出 n 值

1.以 Zn-Cu 電極所組成的檸檬電池，其化學反應式如下：




---

平  $X_0 - Y + (Y/2)$

其中  $X_0$  由初 pH 值測量得知， $X_0 - Y$  為放電完之 pH 值測量得知。

2.能士特方程式(Nernst-equation)：

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (1)$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Zn}^{2+}] P_{\text{H}_2}}{[\text{H}^+]^2} \quad (2)$$

R：理想氣體常數(=8.314J/mol·K)

T：絕對溫標 (K)

F：法拉第常數(1F=96500 庫侖)

n：莫耳電子得(失)數目

$P_{\text{H}_2}$ ：視為 1atm

E：實際測得知電位

$E^0$ ：標準電位： $\Delta E^0 = E^0_{\text{ox}} + E^0_{\text{red}}$

其中 Q=濃度商  $\rightarrow Q = \frac{[\text{Zn}^{2+}] P_{\text{H}_2}}{[\text{H}^+]^2}$

3.將實驗所求得之電位值(E)值 對  $\frac{RT}{nF} \ln Q$  作圖，可得斜率值。

$$\text{斜率} = -\frac{RT}{nF} \Rightarrow n = -\frac{RT}{\text{斜率} * F}$$

#### (二)歐姆電位與極化現象對電池電位的影響

電化學電池，如金屬導體，會阻礙電荷的流動，而兩種電導性中，歐姆定律描述這種電阻性的效應，如圖 4-1 所示。其反應式如下：

$$E_{\text{cell}} = \Delta E^0 = E^0_{\text{ox}} + E^0_{\text{red}} - IR \quad (3)$$

將上述式子(3)，重新安排成式子(4)

$$I = - (1/R) E_{\text{cell}} + (1/R) (E^0_{\text{ox}} + E^0_{\text{red}}) \quad (4)$$

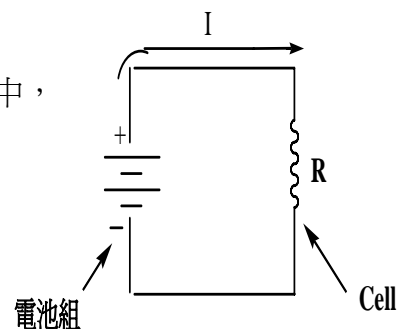


圖 4-1 電池組

就微小電流和短促的時間片段而言，在電解過程中  $E_{ox}$  和  $E_{red}$  均保持相對的一定值。所以電池的行為就和式子(5)關係相似

$$I = - (1/R) E_{cell} + K \quad (5)$$

將電解電池中當作是所加入電位的函數，繪圖應該得到一條斜率為負的電阻倒數的直線，如圖 4-2 所示。

當施加電位增加時，電流就越偏離直線電化電池也有類似的現象，就如前面所說的，在小電流時，有一個線性關係存在，但是當電流增加時，就會發生明顯地偏離直線。

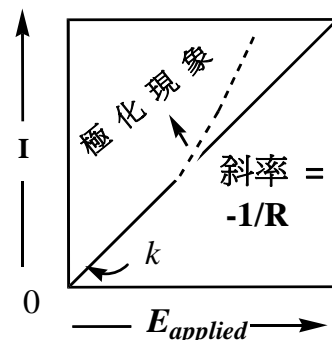


圖 4-2 極化現象

電池發生非直線性行為，即稱為極化作用(polarized)。

由於一般情況下，電池放電態的內電阻不穩定，測量的結果也比正常值高出許多，而電解之內電阻相對比較穩定，測量這個數值具有實際的比較意義，因此在電池的測量過程中，我們都以的電解之內電阻做為測量的標準。當電池極化現象的產生，對一個電池的電位影響很大，不僅會降低電池的放電量，更會縮短其使用壽命。

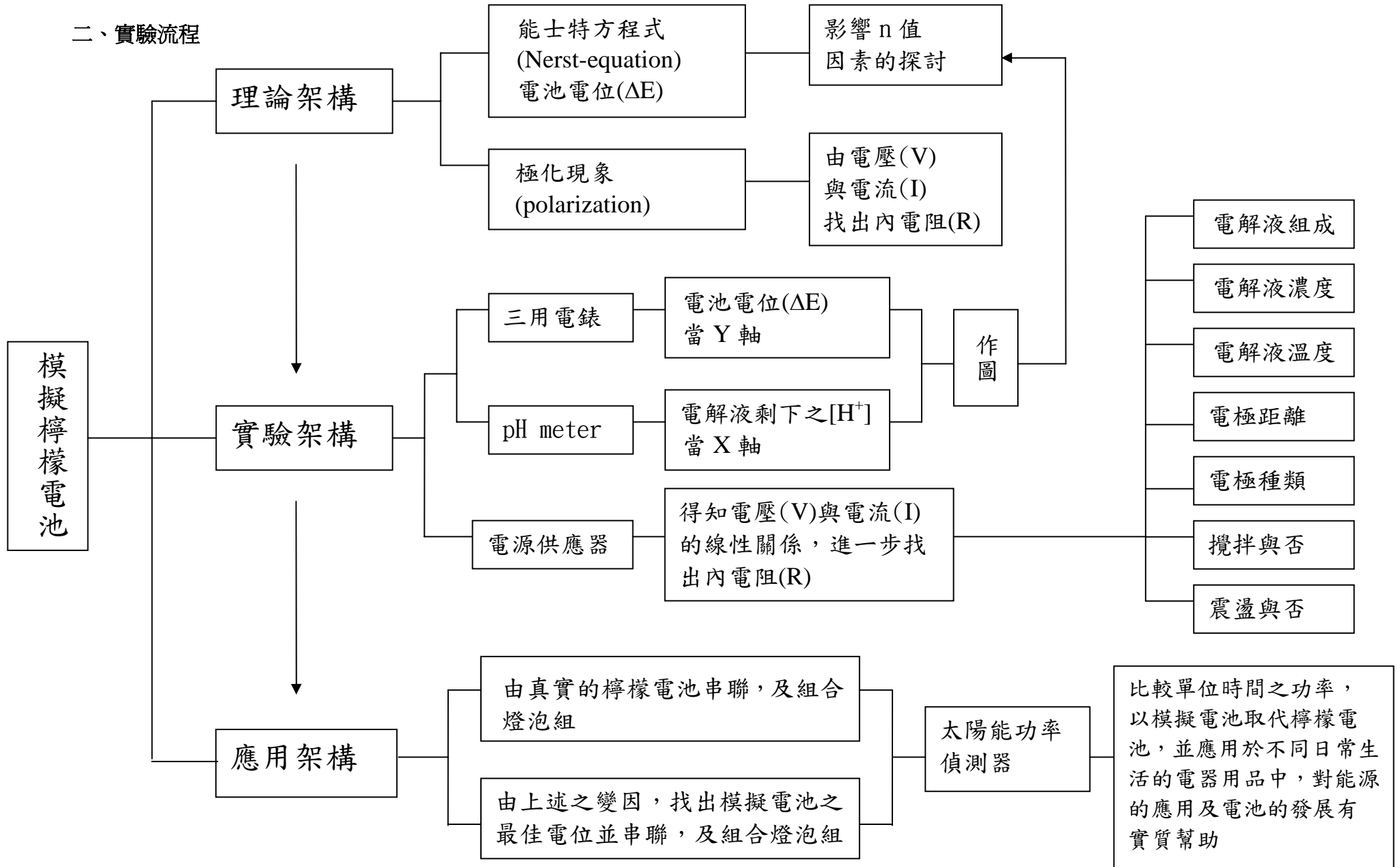
### (三)極化現象(Polarization)

一般影響極化的因素有電極材料、電極表面狀態、電流密度、溫度、電解質的性質、濃度及溶液中的雜質...等。

電池的極化現象可以區分兩大類：濃度極化作用(Concentration Polarization)和動力極化現象(Kinetic Polarization)

- 1.濃度極化作用：在溶液中反應物種和電極之間電子傳遞，只可能發生在緊鄰電極表面的一層細薄層中的溶液裡；這層溶液只有數埃的厚度，而只含有少量的反應離子或分子。為了使電池中有穩定的電流，這層溶液必須不斷地從溶液的其他部份補充進來反應物。  
當反應物到達陰極表面的速率或生成物離開陽極表面的速率，無法快到足以維持想要的電流值，極化現象就產生了。
- 2.動力極化作用：在動力極化作用中，電流的大小受限於一個或兩個電極反應的速率，也就是在反應物和電極之間電子的傳遞速率。為了消除動力極化作用，需要施加電位，或超電壓，來克服半反應的能障。而當電極反應包含包括了氣態的產物時，動力極化作用會最明顯。

## 二、實驗流程



### 三、實驗步驟

【實驗一】比較真實檸檬電池和模擬檸檬電池(如檸檬汁、檸檬酸、鹽酸、磷酸)的電位與能士特方程式之  $n$  值差異

#### (一)實驗設計

使用下列的起始條件，決定不同電解液之電位大小及實驗  $n$  值與理論  $n$  值的比較，決定使用哪些電解液作為【實驗二】變因改變對電位的影響。

#### 起始條件

電極：使用 Zn-Cu 電極

電解液：檸檬電池(檸檬汁)、模擬電池(檸檬酸、磷酸、鹽酸)

溫度：25°C

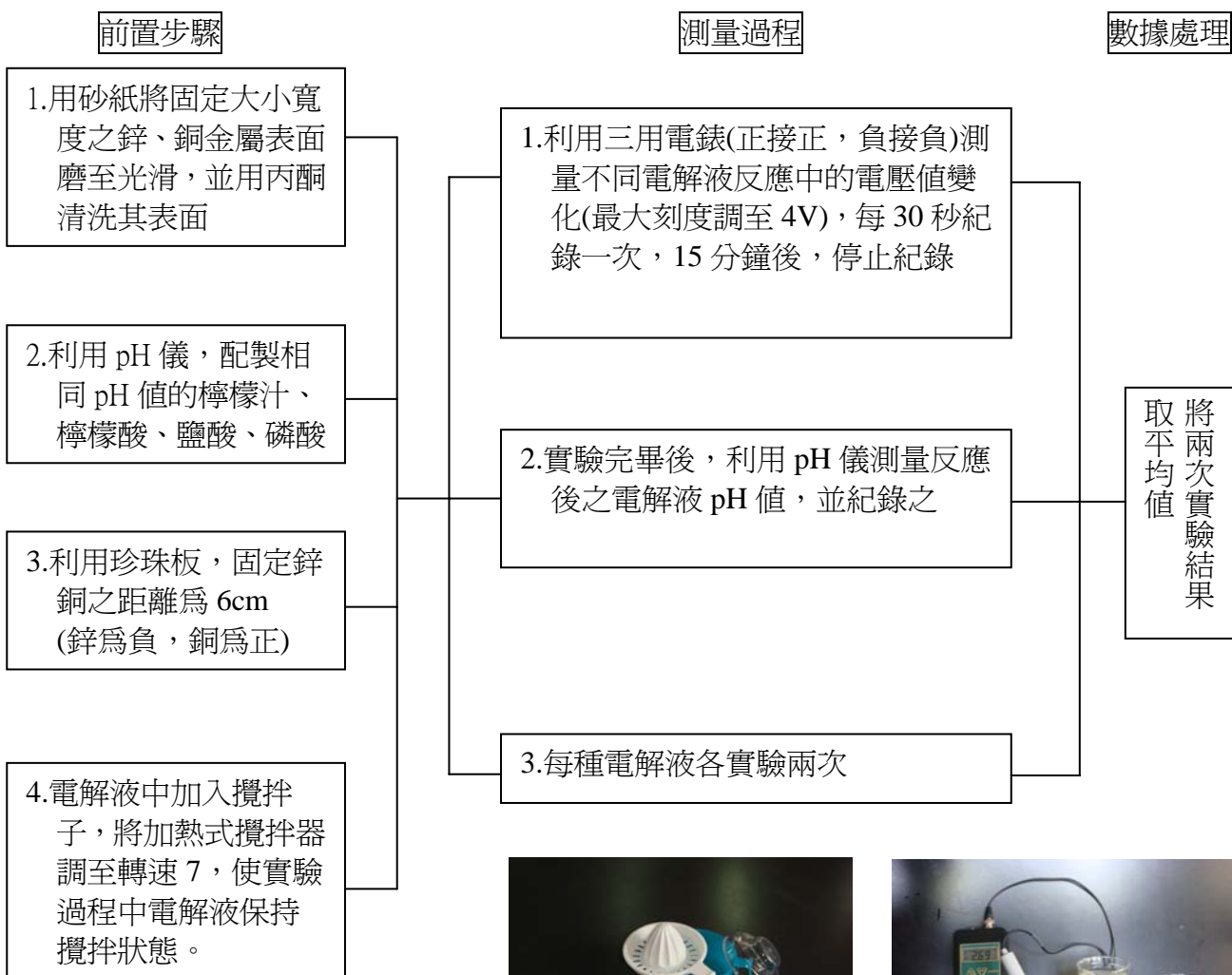
電解液的 pH 值：pH = 2.5

攪拌與否：有攪拌

震盪與否：無震盪

轉速快慢：轉速 7

#### (二)實驗流程





## 【實驗二】探討改變電池的變因對電位影響

### (一)實驗設計

- 1.由【實驗一】決定之電解液為檸檬汁、檸檬酸、鹽酸。
- 2.改變的變因有：
  - (1)電極種類
  - (2)單一電解液的 pH 值改變
  - (3)電解液的溫度
  - (4)兩電極的距離
  - (5)震盪與否
  - (6)電解液攪拌與否與轉速快慢。

### (二)實驗流程

- 1.【實驗二】之實驗流程架構，如同實驗一步驟

#### 2.改變變因種類：

##### (1)改變不同電極的種類

- ①在 25°C，固定電解液 pH 值、電解液攪拌轉速及電極距離下，將實驗一前置步驟 1，電極置換成 Zn-Cu、Ni-Cu、Al-Cu、Pb-Cu、Zn-Ag、Zn-C，紀錄並比較電位的差異。

##### (2)改變同一電解液之不同 pH 值

- ①在 25°C，固定電極種類及電極距離下，將實驗一前置步驟 2，電解液之 pH 值置換成 2.5、3、3.5、4，紀錄並比較電位的差異。

##### (3)改變不同電解液溫度

- ①在固定電極種類、電極距離、電解液攪拌轉速及濃度下，將實驗一測量過程中，溫度依序置換成 5°C、15°C、25°C、35°C、45°C、55°C，紀錄並比較電位的差異。

##### (4)改變不同電極間的距離

- ①在 25°C，在固定電極種類、電解液攪拌轉速及濃度下，將實驗一前置步驟 3，電極的距離置換成 2cm、4cm、6cm，紀錄並比較電位的差異。

##### (5)震盪與否的比較

- ①在 25°C，在固定電極種類、濃度及距離下，將實驗一前置步驟 4，使用超音波震盪器震盪電解液，紀錄並比較電位的差異。

##### (6)電解液攪拌與否與改變轉速快慢的比較

- ①在 25°C，在固定電極種類、濃度及距離下，將實驗一前置步驟 4，攪拌電解液並控制轉速大小，紀錄並比較電位的差異。



### 【實驗三】探討電極種類、添加硝酸銀及以 NaOH 電解液 pH 值改變對電位的影響

#### (一)實驗設計

此實驗的研究主軸，乃是針對實驗二改變變因中之電極種類 Al-Cu、Ni-Cu 的電位作探討。由實驗數據發現 Al-Cu、Ni-Cu 在三種電解液檸檬汁、檸檬酸及鹽酸的電位值，與理論值相差甚遠，數值偏小。因而進一步對此兩電極的電位作研究。

#### (二)實驗流程

1.【實驗三】之實驗流程架構，如同實驗一步驟

2.改變不同電極的種類

(1)在 25°C，固定電解液 pH 值、電解液攪拌轉速及電極距離下，將實驗一前置步驟 1，電極置換成 Al-C、Ni-C、Zn-Ni，紀錄並比較電位的差異。

3.添加不同濃度的  $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$  於電解液中

(1)在 25°C 下，以鹽酸當電解液，控制 pH 值 2.5、固定電解液攪拌轉速及電極距離下。在 Zn-Cu 電極，時間間隔三分鐘，分別加入 0M、1.25M、2.5M  $\text{AgNO}_{3(\text{aq})}$  各 1mL，紀錄並比較電位的差異。

4.改變同一電解液之不同 pH 值

(1)在 25°C，固定電極種類及電極距離下，將實驗一前置步驟 2，電解液之 pH 值置換成 9、10、11、12，紀錄並比較電位的差異。

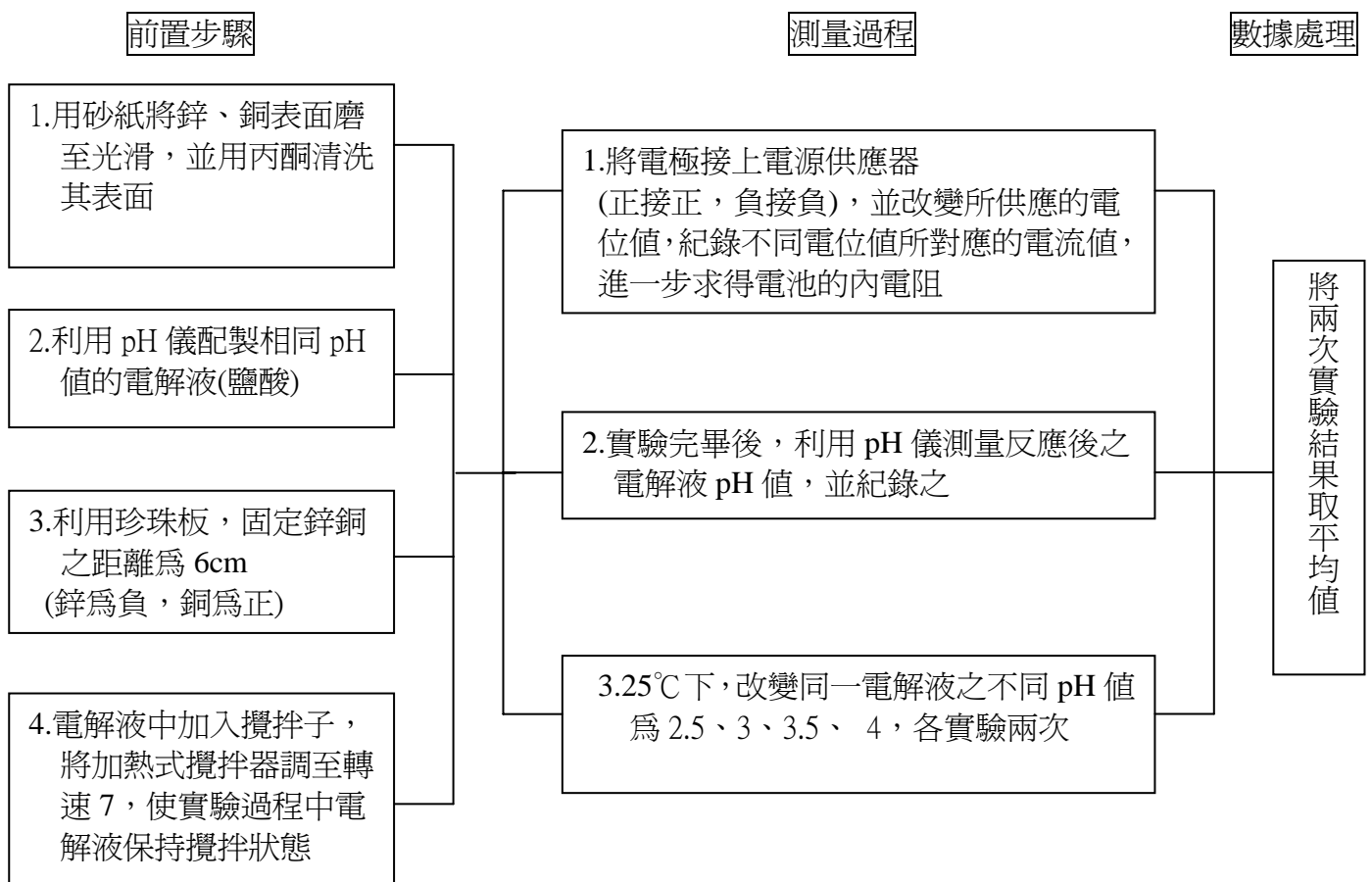
## 【實驗四】探討改變電池的變因，電池電位與極化的影響

### (一)實驗設計

- 1.由【實驗二】改變電池的變因對電位影響，針對上述變因，使用電解方法反推電池極化現象，探討極化與電池電位的影響，裝置如圖 4-3 所示。
- 2.改變的變因有：
  - (1)單一電解液的 pH 值改變
  - (2)電解液的溫度
  - (3)兩電極的距離
  - (4)電解液攪拌與否與轉速快慢。

### (二)實驗流程

- 1.【實驗四】之實驗流程架構，如下所示。
- 2.改變變因種類：
  - (1)改變同一電解液之不同 pH 值



①在固定電極種類、距離及濃度下，將實驗三測量過程中，溫度依序置換成 5°C、15°C、25°C、35°C、45°C、55°C，紀錄並比較電池內電阻的差異。

#### (3)改變不同電極間的距離

①在 25°C，在固定電極種類、濃度及攪拌下，將實驗三前置步驟 3，電極的距離置換成 2cm、4cm、6cm，紀錄並比較電池內電阻的差異。

#### (4)電解液攪拌與否與改變轉速快慢的比較

①在 25°C，在固定電極種類、濃度及距離下，將實驗三前置步驟 4，攪拌電解液並控制轉速大小，紀錄並比較電阻的差異。

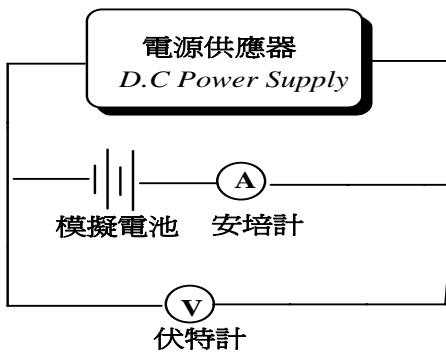


圖 4-3 池電壓與電流測定裝置

### 【實驗五】比較串聯真實檸檬電池與串聯自製最佳模擬電池之功率

#### (一)實驗設計

1.由【實驗二】與【實驗四】的變因，組合出自製最佳模擬電池，並設計出一組串聯電池，且同時串聯 LED 燈(如圖 4-4)，比較真實檸檬電池與最佳模擬電池的功率。

#### (二)實驗流程

1.檸檬汁：

- (1)取電解液 pH = 2.5 之檸檬汁於 4 個反應瓶中，置入距離固定的鋅片 4 片、石墨棒 4 支。
- (2)串聯 4 組化學電池，先量測起始電壓值，再與 LED 燈、功率測定儀連接，裝置如圖 4-4 所示。
- (3)每 30 秒紀錄一次功率，共紀錄 15 分鐘。

2.重複上述步驟(1)~(3)，將電解液改為檸檬酸及鹽酸，比較不同電解液電池功率的大小。

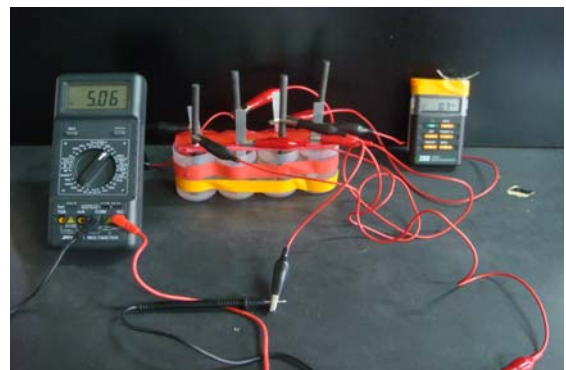
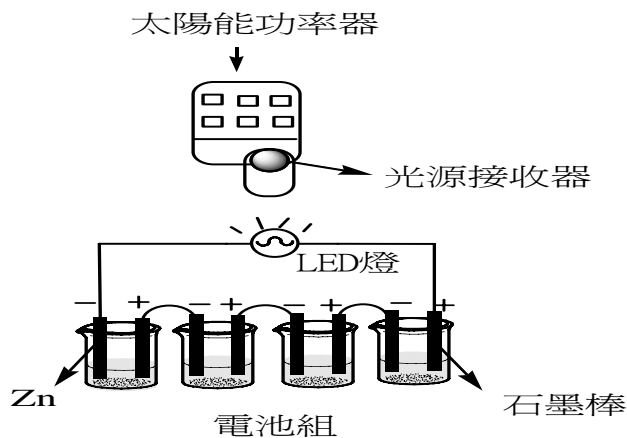


圖 4-4 自製串聯模擬電池組

## 伍、研究結果

【實驗一】比較真實檸檬電池和模擬檸檬電池(如檸檬酸、鹽酸、磷酸)的電位與能士特方程式之 n 值差異

(一) 檸檬汁之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

檸檬汁	Y 軸	X 軸	斜率	n 值
pH 值改變	電位(V)	$\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$	-0.023	1.090
2.5	0.941	7.207		
3	0.93	7.645		
3.5	0.919	7.977		
4	0.892	9.315		

表 5-1 檸檬汁之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

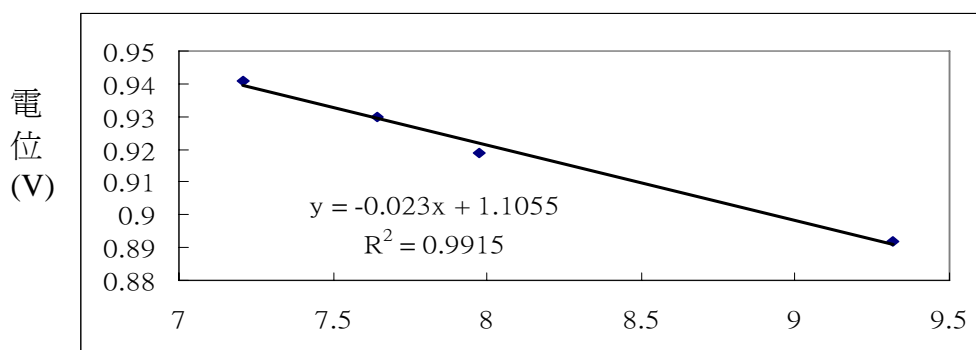


圖 5-1 檸檬汁之  $\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$  與電位(V)作圖

(二) 檸檬酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

檸檬酸	Y 軸	X 軸	斜率	n 值
pH 值改變	電位(V)	$\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$	-0.0215	1.166
2.5	0.982	5.346		
3	0.974	7.657		
3.5	0.959	8.931		
4	0.857	10.877		

表 5-2 檸檬酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

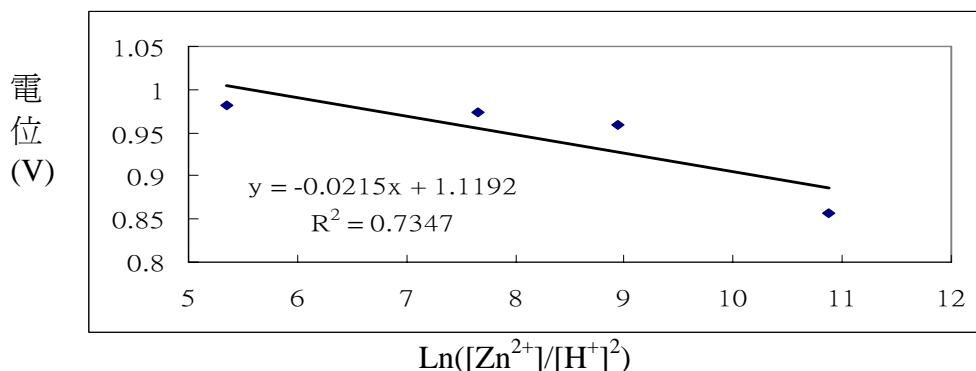


圖 5-2 檸檬汁之  $\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$  與電位(V)作圖

(三) 鹽酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

鹽酸	Y 軸	X 軸	斜率	n 值
pH 值改變	電位(V)	$\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$	-0.0188	1.323
2.5	1.045	6.968		
3	1.039	7.071		
3.5	1.007	8.574		
4	0.987	10.019		

表 5-3 鹽酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

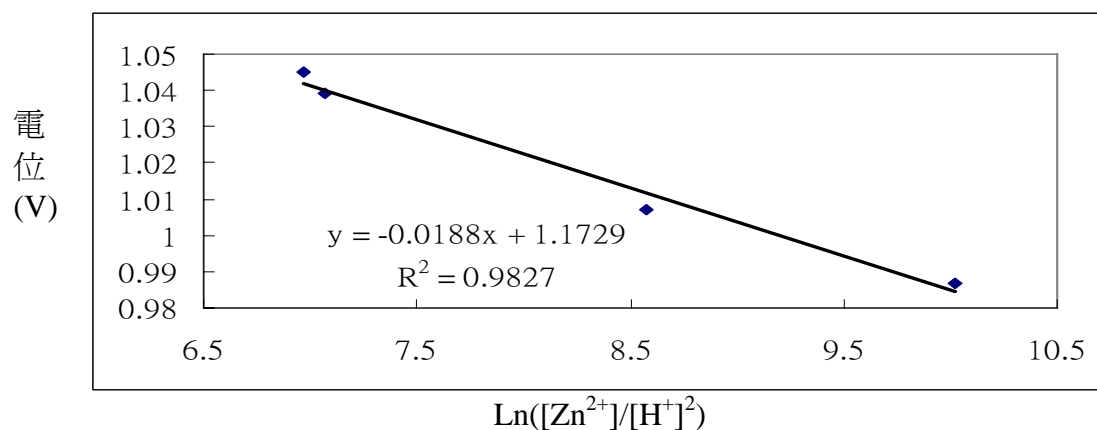


圖 5-3 檸檬汁之  $\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$  與電位(V)作圖

(四) 磷酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

磷酸	Y 軸	X 軸	斜率	n 值
pH 值改變	電位(V)	$\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$	-0.0478	0.794
2.5	0.996	5.139		
3	0.979	6.221		
3.5	0.856	7.859		
4	0.821	9.187		

表 5-4 磷酸之 pH 值改變之電位與能士特方程式之 n 值

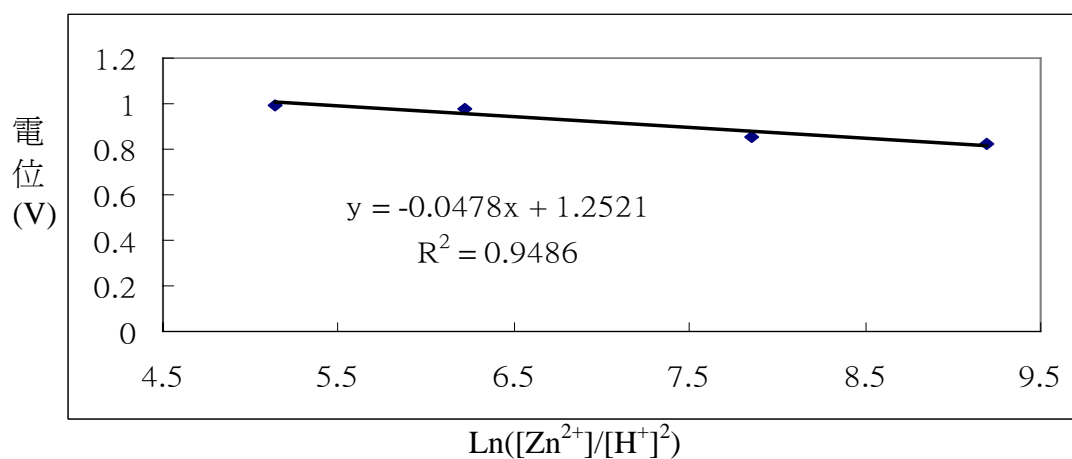


圖 5-4 檸檬汁之  $\text{Ln}([\text{Zn}^{2+}]/[\text{H}^+]^2)$  與電位(V)作圖

## 【實驗二】改變電池的變因，探討電位影響

改變變因一：改變不同電極的種類

電極種類	Zn—Cu	Al—Cu	Ni—Cu	Pb—Cu	Zn—C	Zn—Ag
檸檬汁之電位	0.941	0.367	0.031	0.949	0.974	0.943
檸檬酸之電位	0.982	0.485	0.043	0.966	1.253	1.069
鹽酸之電位	0.966	0.521	0.073	0.962	1.276	0.994

表 5-5 改變不同電極在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

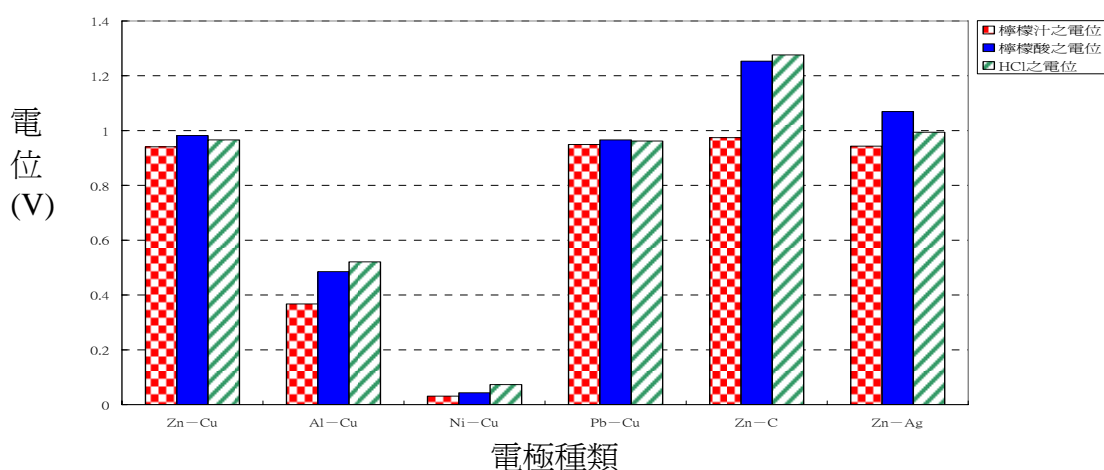


圖 5-5 改變不同電極種類在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖

改變變因二：改變同一電解液之不同 pH 值

濃度(pH)	2.5	3	3.5	4
檸檬汁之電位	0.941	0.936	0.919	0.892
檸檬酸之電位	0.982	0.974	0.959	0.857
鹽酸之電位	0.966	0.943	0.921	0.860

表 5-6 改變不同電解液濃度在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

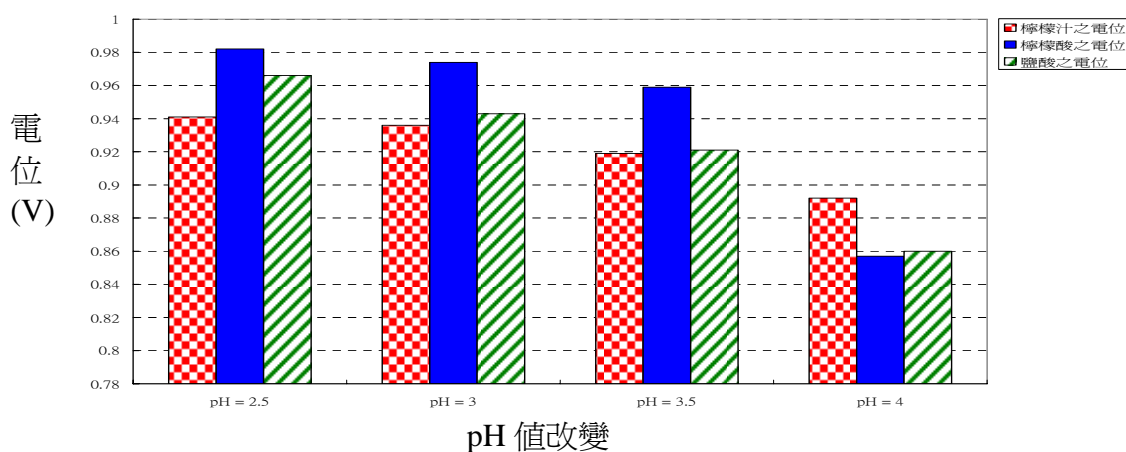


圖 5-6 改變不同電解液濃度在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖

改變變因三：改變不同電解液溫度

溫度(°C)	5	15	25	35	45	55
檸檬汁之電位	0.926	0.936	0.941	0.945	0.953	0.955
檸檬酸之電位	1.001	0.99	0.982	1.008	1.014	1.028
鹽酸之電位	0.976	1.017	1.025	1.052	1.062	1.075

表 5-7 改變不同電解液溫度在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

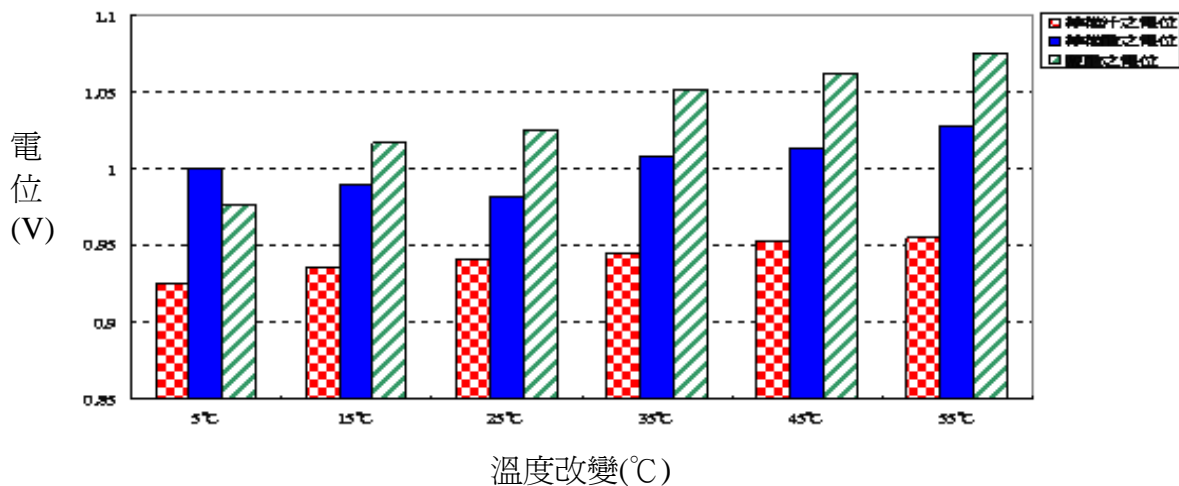


圖 5-7 改變不同電解液溫度在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖

改變變因四：改變不同電極間的距離

距離(cm)	2	4	6
檸檬汁之電位	0.915	0.922	0.941
檸檬酸之電位	0.945	0.94	0.982
鹽酸之電位	0.960	0.967	1.082

表 5-8 改變不同電極距離在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

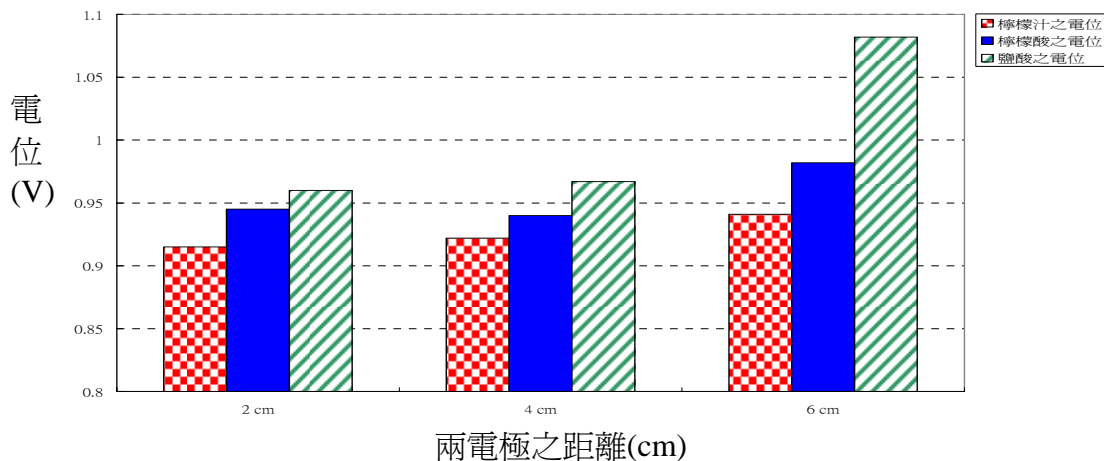


圖 5-8 改變不同電極距離在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖



改變變因五：震盪與否的比較

震盪與否	震盪	不震盪
檸檬汁之電位	0.941	0.947
檸檬酸之電位	1.019	0.982
鹽酸之電位	1.149	0.995

表 5-9 震盪與否在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

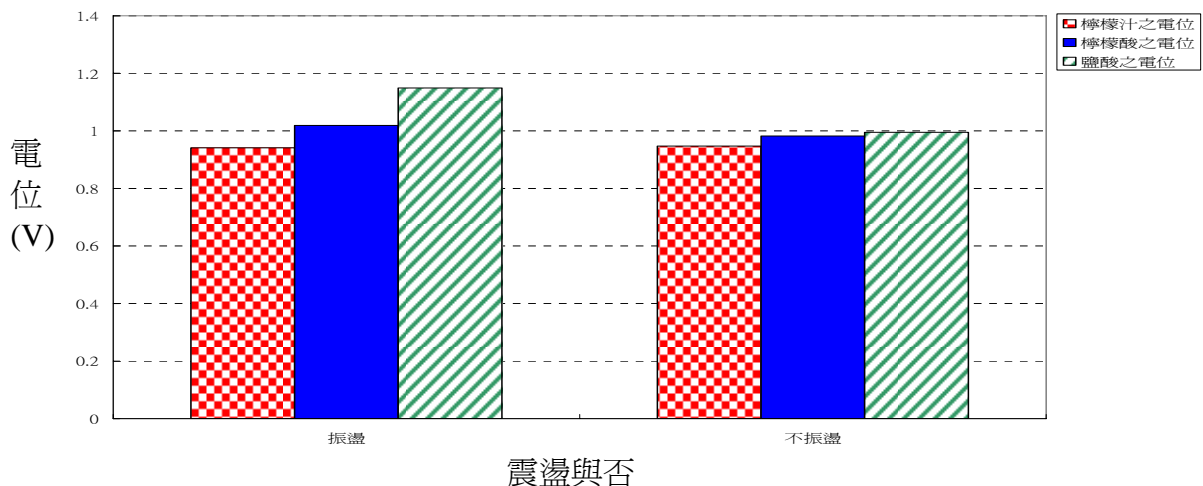


圖 5-9 震盪與否在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖

改變變因六：攪拌與否與轉速快慢的比較

轉速鈕	7	3.5	0
檸檬汁之電位	0.979	0.956	0.947
檸檬酸之電位	1.013	0.994	0.982
鹽酸之電位	1.138	1.062	0.995

表 5-10 轉速快慢在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位

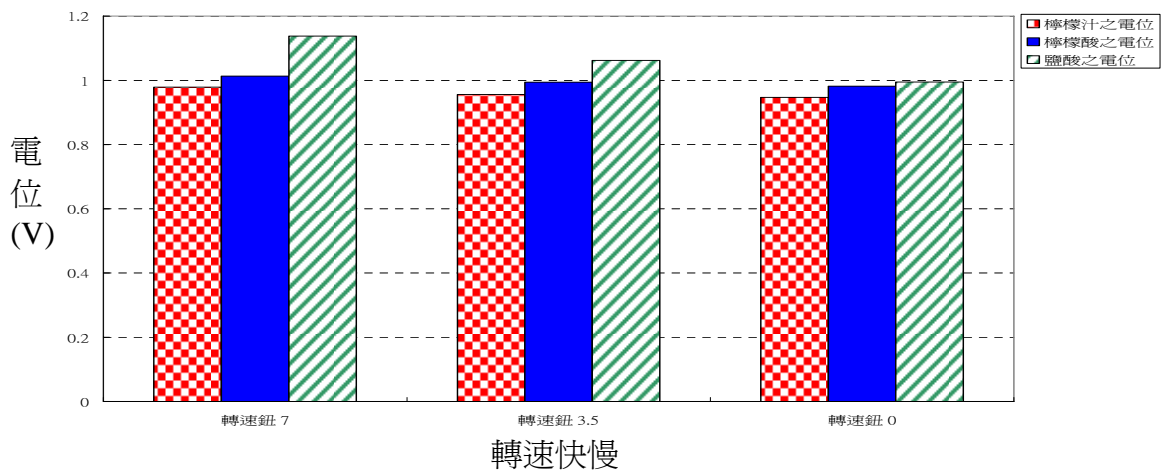


圖 5-10 轉速快慢在檸檬汁、檸檬酸、鹽酸之電位長條圖

**【實驗三】 探討電極種類、添加硝酸銀及以 NaOH 電解液 pH 值改變對電位的影響**

**(一)比較金屬與石墨電極的電位**

電極種類	Zn-Cu	Al-Cu	Ni-Cu	Zn-C	Al-C	Ni-C	Zn-Ni
在鹽酸之電位	0.947	0.521	0.073	1.276	0.701	0.235	0.860

表 5-11 比較金屬與石墨電極之電位

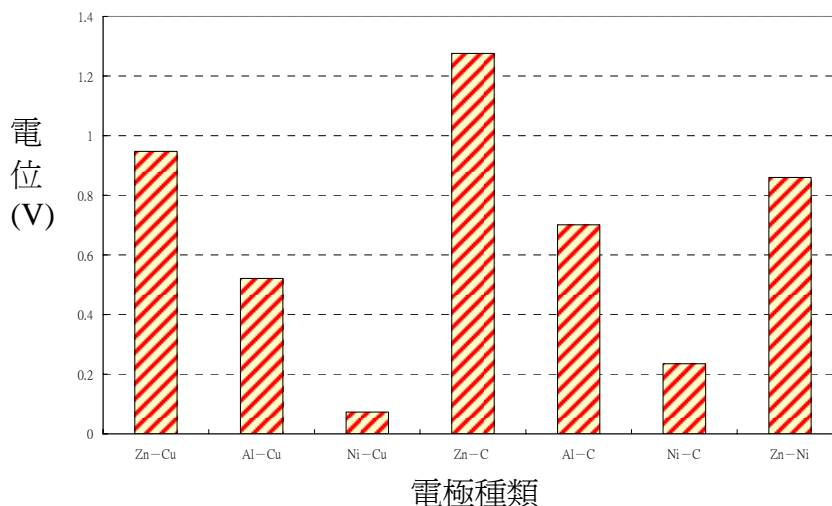


圖 5-11 比較金屬與石墨電極之電位長條圖

**(二)比較加入不同濃度之 AgNO<sub>3</sub> 溶液，在 Zn-Cu 電極 及 pH = 2.5 之 HCl 電解液中之電位**

添加 AgNO <sub>3</sub> 濃度(M)	0	1.25	2.5
Zn-Cu 電位	0.947	0.826	0.723

表 5-12 比較加入不同濃度之 AgNO<sub>3</sub> 溶液之電位

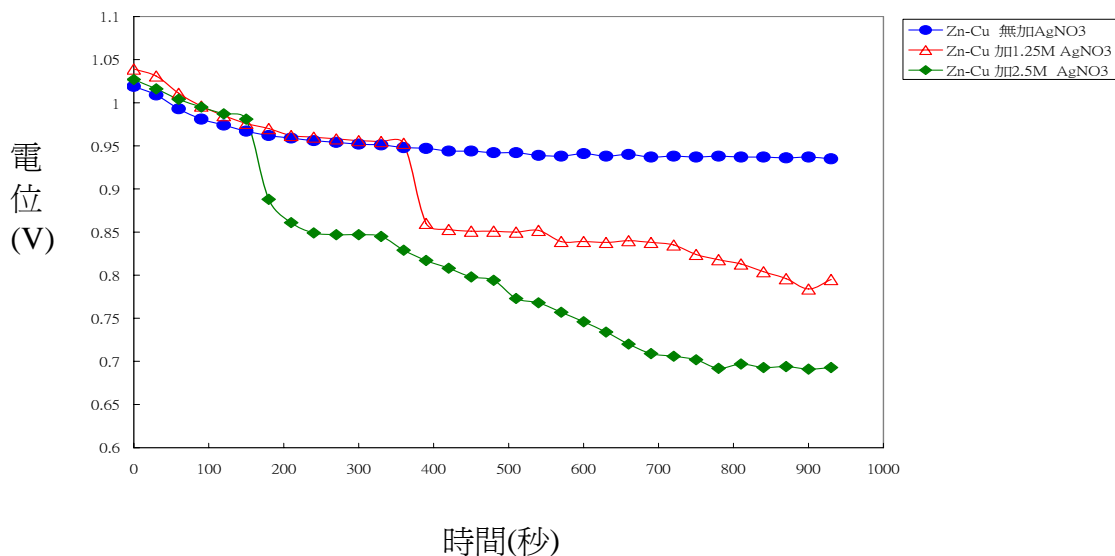


圖 5-12 比較加入不同濃度之 AgNO<sub>3</sub> 溶液之電位與時間之變化圖

(三)比較 Zn-Cu、Al-Cu、Ni-Cu 電極在不同 NaOH 之 pH 值之電位

NaOH 之 pH 值	Zn-Cu	Al-Cu	Ni-Cu
pH = 9 之電位	1.007	0.374	0.076
pH = 10 之電位	0.829	0.485	0.062
pH = 11 之電位	0.597	1.324	0.014
pH = 12 之電位	0.245	1.330	0.013

表 5-13 比較 Zn-Cu、Al-Cu、Ni-Cu 電極在不同 NaOH 之 pH 值之電位

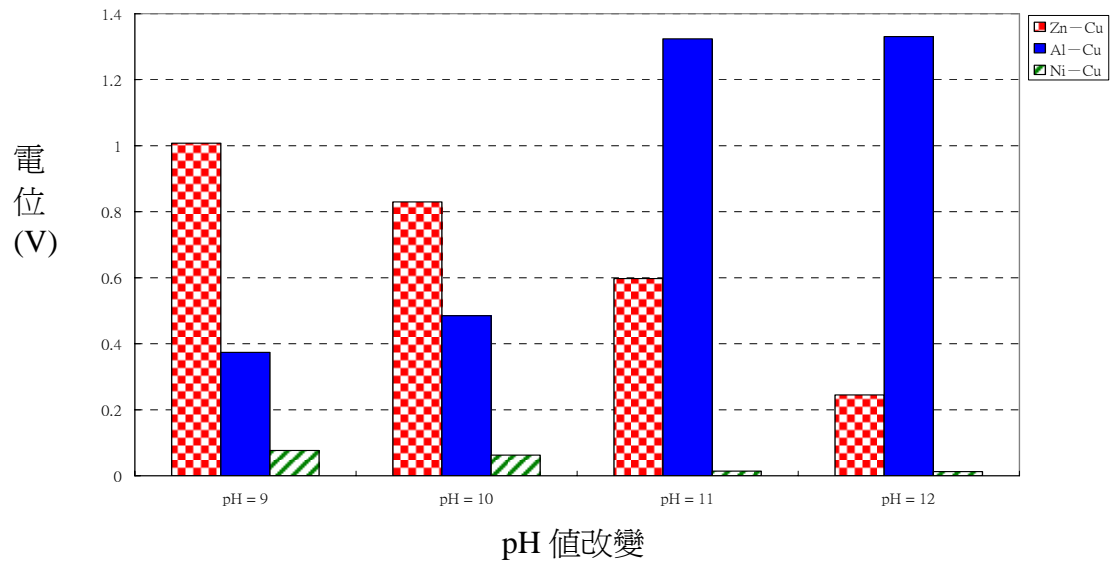


圖 5-13 比較 Zn-Cu、Al-Cu、Ni-Cu 電極在不同 NaOH 之 pH 值之電位長條圖

**【實驗四】** 改變電池的變因在鹽酸的電解液中，探討電池電位與極化的影響

改變變因一：改變同一電解液之不同 pH 值

濃度(pH)	2.5	3	3.5	4
內電阻( $\Omega$ )	0.401	0.527	0.569	1.157

表 5-14 改變不同 pH 值在鹽酸之內電阻

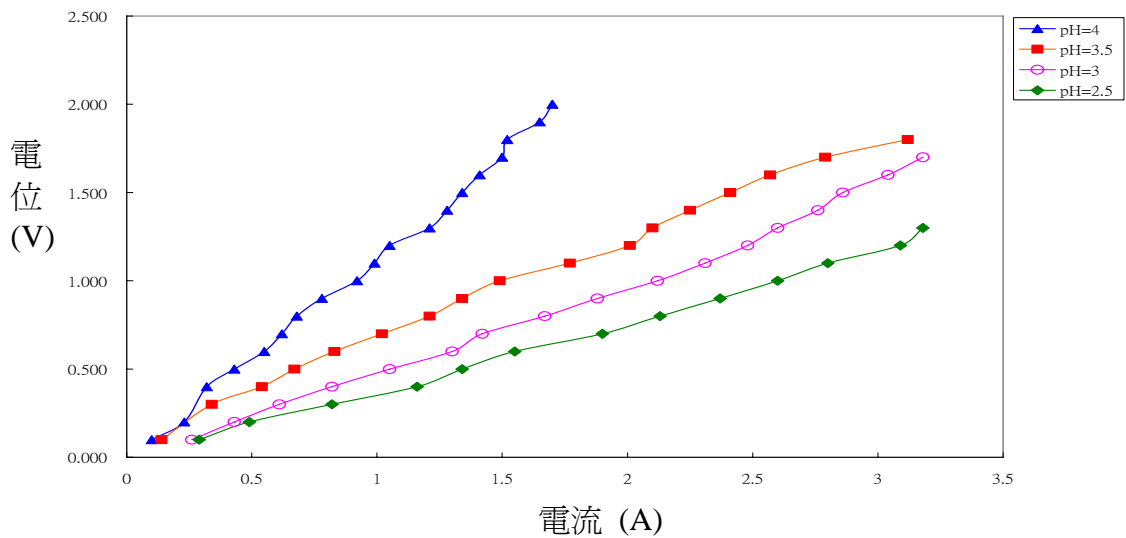


圖 5-14 改變不同 pH 值在鹽酸之電位對電流圖

改變變因二：改變電解液溫度

溫度( $^{\circ}\text{C}$ )	5	15	25	35	45	55
內電阻( $\Omega$ )	2.792	1.498	1.183	1.096	0.902	0.836

表 5-15 改變電解液溫度之內電阻

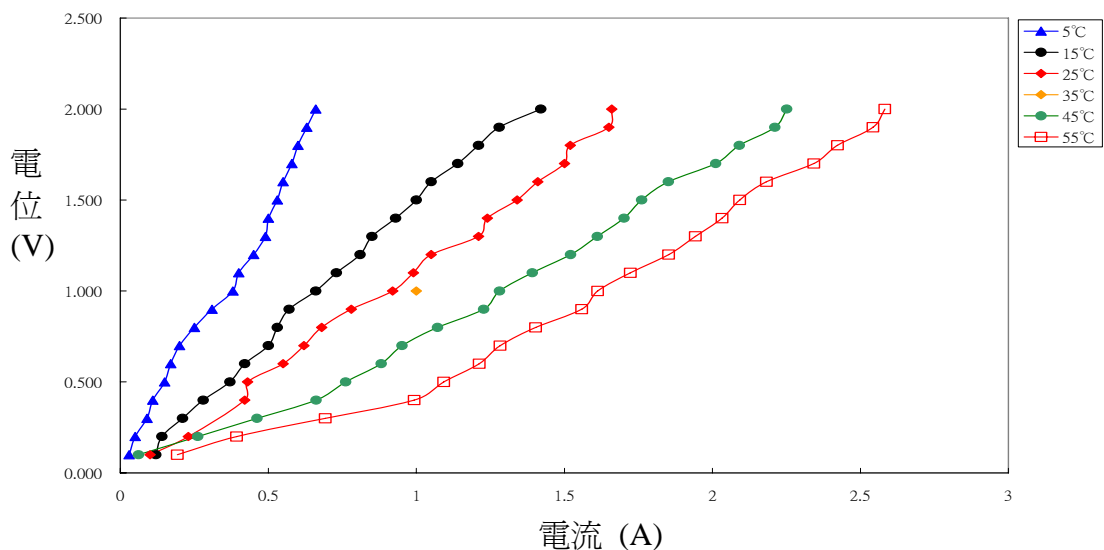


圖 5-15 改變電解液溫度之電位對電流圖

改變變因三：改變電極間的距離

距離(cm)	2	4	6
內電阻( $\Omega$ )	1.187	0.949	0.539

表 5-16 改變電極間的距離之內電阻

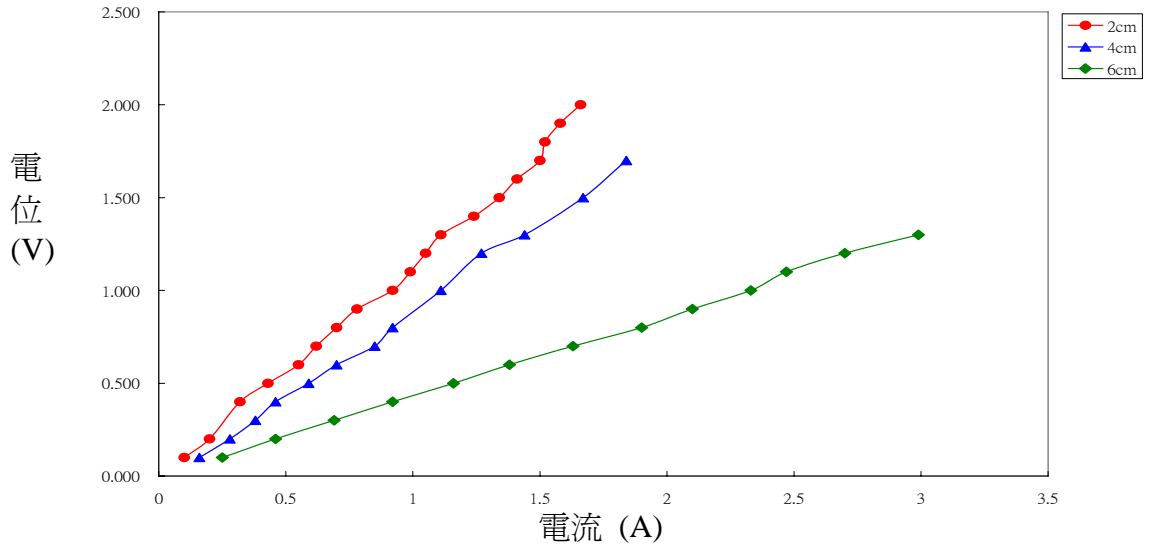


圖 5-16 改變電極間的距離之電位對電流圖

改變變因四：攪拌與否與轉速快慢的比較

轉速鈕	7	3.5	0
內電阻( $\Omega$ )	0.411	0.957	1.683

表 5-17 轉速快慢之內電阻

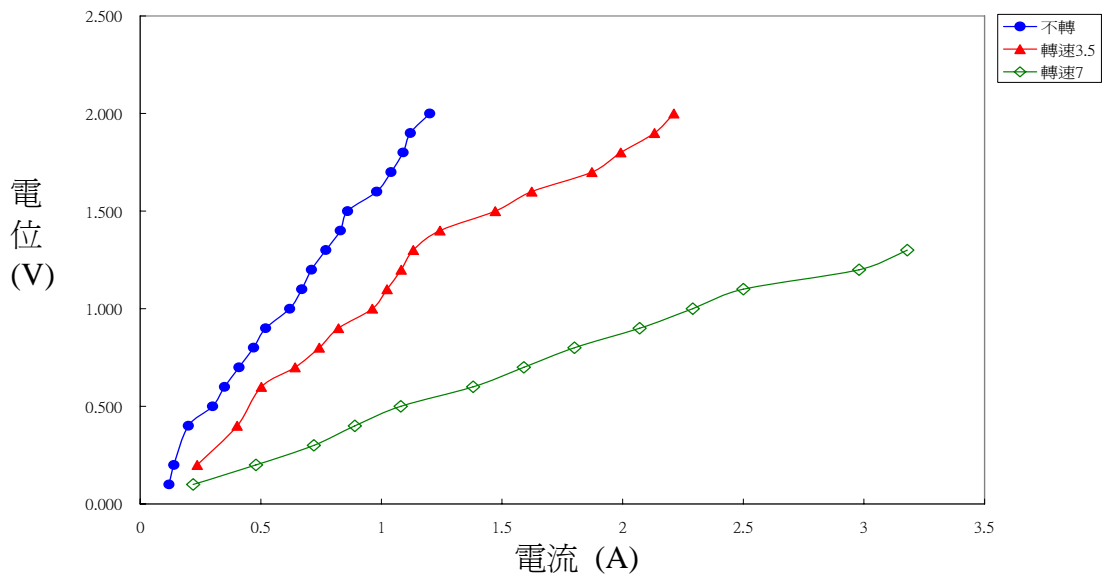


圖 5-17 轉速快慢之電位對電流圖

### 【實驗五】比較真實檸檬電池與自製最佳模擬電池的功率

表 5-18 鹽酸、檸檬酸、檸檬汁電池之功率

電解液的種類	HCl	檸檬酸	檸檬汁
串聯電位(V)	5.05V	4.81V	4.63V
時間(秒)	功率 (W/m <sup>2</sup> )	功率 (W/m <sup>2</sup> )	功率 (W/m <sup>2</sup> )
0	2	1.9	1.9
30	1.9	1.9	1.9
60	1.9	1.9	1.8
90	1.9	1.8	1.8
120	1.8	1.8	1.8
150	1.8	1.8	1.6
180	1.5	1.8	1.6
210	1.5	1.8	1.6
240	1.5	1.6	1.5
270	1.5	1.5	1.5
300	1.5	1.5	1.5
330	1.5	1.5	1.5
360	1.3	1.5	1.5
390	1.3	1.5	1.5
420	1.3	1.3	1.5
450	1.2	1.2	1.3
480	1.2	1.2	1.2
510	1.2	1.2	1.2
540	1.2	1.2	1.2
570	1	1.2	1.2
600	1	1.2	1
630	1	1.2	1
660	1	1	1
690	0.9	1	0.9
720	0.9	0.9	0.9
750	0.9	0.9	0.9
780	0.9	0.7	0.7
810	0.8	0.7	0.7
840	0.8	0.6	0.7
870	0.7	0.6	0.7
900	0.7	0.6	0.5
930	0.7	0.6	0.5
960	0.5	0.5	0.5
990	0.5	0.5	0.5

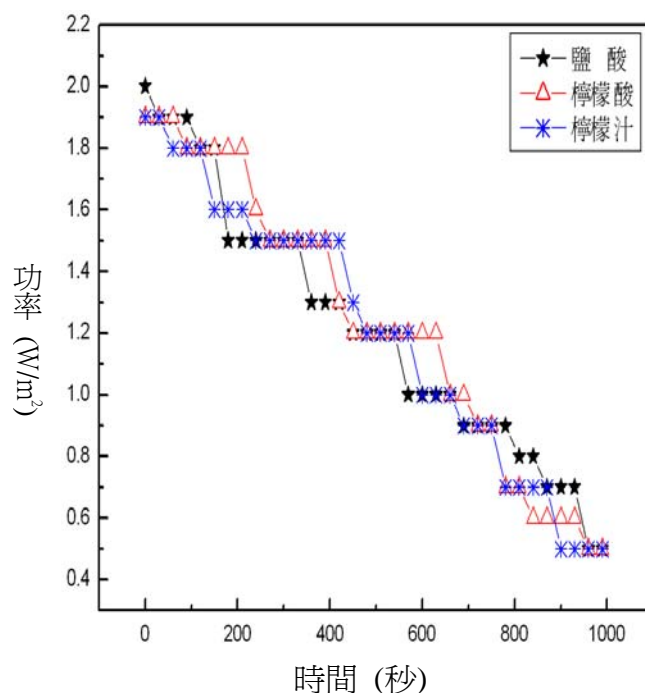


圖 5-18 檸檬電池與自製模擬電池串聯之功率圖

## 陸、討論

### 一、比較真實檸檬電池和不同電解質之模擬電池的能士特方程式 $n$ 值差異

由實驗數據表，得知，不同電解液之能士特方程式  $n$  值與理論  $n = 2$  值之比較：

鹽酸 > 檸檬酸 > 檸檬汁 > 磷酸。

推測原因是：

檸檬汁內組成的成分除了有檸檬酸之外，尚有其他雜質(如果膠、維他命 C...等)，容易造成極化現象，阻礙  $H_2$  的擴散，因此使得  $n$  值與理論值偏差較大，而鹽酸、檸檬酸、磷酸為純物質，所以不會有其他物質阻礙電子的轉移。其中鹽酸為強電解質，不會涉及到弱酸解離的問題，因此電位穩定度和再現性較大，而接近理論  $n = 2$  值，故本實驗以鹽酸為模擬電池的電解液。

電解液	檸檬汁	檸檬酸	磷酸	鹽酸
$n$ 值	1.090	1.166	0.794	1.323

### 二、改變電池的變因在鹽酸的電解液中，探討電位影響

由圖表 5-5 到 5-10 在三種不同電解液之電位大小如下

1. 電極種類改變之電位的大小：

$Zn-C > Zn-Ag > Pb-Cu \approx Zn-Cu > Al-Cu > Ni-Cu$ 。

2. 電解液 pH 值改變之電位的大小：

$pH = 2.5 > pH = 3 > pH = 3.5 > pH = 4$ 。

3. 電解液溫度改變之電位的大小：

$55^\circ C > 45^\circ C > 35^\circ C > 25^\circ C > 15^\circ C > 5^\circ C$ 。

4. 改變電極距離之電位的大小：

$6\text{ cm} > 4\text{ cm} \approx 2\text{ cm}$ 。

5. 電解液攪拌與否之電位的大小：

攪拌 > 不攪拌。

6. 電解液震盪與否之電位的大小：

震盪 > 不震盪。

7. 電解液轉速快慢之電位的大小：

轉速 7 > 轉速 3.5 > 轉速 0。

推測原因是：

(1) 共同點

在三種不同電解液(鹽酸、檸檬酸、檸檬汁)中，其電位大小分別為 鹽酸 > 檸檬酸 > 檸檬汁，其原因於實驗一已解釋，故不再贅述。

(2) 相異點(各變因之解釋)

① 因為石墨為多孔性材料，表面積大，因此其孔洞和排列較為規律，有利於  $H^+$  與  $H_2$  的轉移，且石墨的導電層與導電層的距離為  $3.35 \text{ \AA}$ ，而  $H_2$  分子的共價鍵長為  $0.74 \text{ \AA}$ ，因此石墨具有吸附作用，所以能有效的排除  $H_2$  所造成的極化現象，而金屬堆積無此特徵，故  $Zn-C$  的電位較大。其中， $Al-Cu$  電極 與  $Ni-Cu$  電極之電位較小，其結果與參考文獻二，所報導得的結果相符合。

② 電解液  $[H^+]$  的濃度越大，且單位時間內  $H^+$  得到電子，產生  $H_2$  的數目較多，所以電位較大，因此電位較大( $E_{\text{cell}}$ )，故  $pH = 2.5$  電位最大。

③依勒沙特列原理(Le Chatelier principle)得知，電池的放電為放熱反應，溫度越高，反應向左的趨勢越大，則電位越小，但本實驗的電池並非如此，這是因為此反應產物為  $H_2$ ，溫度越高， $H_2$  的平均動能越大，容易從電極脫離的速率較快，又符合勒沙特列原理，移走氣體產物  $H_2$ ，所以反應向右的趨勢越大，則電位越高。由上述兩變因之競爭結果，我們推測移走  $H_2$  造成電位的增加為主要因素，故溫度越高，電位越大。

④兩電極的距離越大，兩電極的距離為 6cm，其電位值最大。推測原因當兩電極的距離愈近，造成的濃度梯度會愈不明顯，容易形成瞬間濃度差變化，造成濃度的極化現象產生，而使得電位下降。

⑤電解液的攪拌、震盪及轉速對電池電位的影響，也與濃度梯度有關，其中由攪拌與高轉速所得的電位最大。推測其原因，當攪拌電解液， $[H^+]$  濃度可以均勻分散於溶液中，不容易形成瞬間濃度差變化太大，可避免濃度的極化現象產生。除此，攪拌或震盪，在單位時間內能夠有效的排除產生  $H_2$  的吸附在電極上，依勒沙特列原理，移走氣體產物  $H_2$ ，所以反應向右的趨勢越大，則電位越高。

### 三、探討電極種類、添加硝酸銀及以 NaOH 電解液 pH 值改變對電位的影響

1.由表 5-11 數據中，我們發現只要是陰極的電極材料是碳棒，大致而言都比純金屬電極有較大的電位值，推究原因已在實驗二的結果與討論中說明。

2.由表 5-12 數據，在酸性溶液中加入  $AgNO_3(aq)$  後，對電位造成明顯的下降。探究原因，可能發生的反應有(6)~(9)式子，其中推論式子(6)是造成電位下降的主因。因為當金屬 Zn 失去電子後，接受電子的競爭有兩個：其一是進行式(7)~(9)的路徑，電子由導線金屬傳遞給陰極；另一個是進行式(6)路徑，Zn 直接將電子給傳  $Ag^+$  的離子。在此如果進行式(8)、(9)的步驟，理論上，所得電位應該會增加，但實驗值卻是大幅下降，因而推測進行式(6)步驟，Zn 失去的電子有大部分直接傳給  $Ag^+$ ，Ag 吸附在陽極上，造成電位的下降。除此， $AgCl$  沈澱物在水中懸浮比在固態中較不易獲得電子，因而式(8)步驟，亦不容易進行。

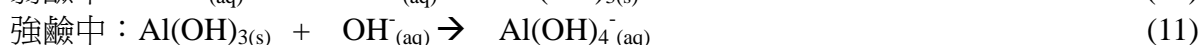
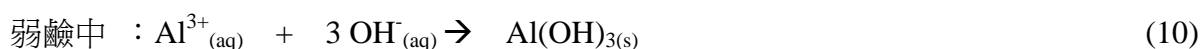
陽極(-)：



陰極(+)



3.由表 5-13 數據，Al-Cu 電極在強鹼中比在酸中有比較大的電位值。探討其原因可能是當陽極產生  $Al^{3+}_{(aq)}$ ，在較弱鹼的條件下會先形成  $Al(OH)_{3(s)}$  沈澱，覆蓋在電極表面，造成電位的下降。而當 pH 值增加到 超過 11 以上時，則發生了溶解反應，產生了  $Al(OH)_{4}^-_{(aq)}$ ，造成電位隨 pH 值增加而增加。



4.而 Zn-Cu、Ni-Cu 在鹼中比在酸中有較低的電位。推測原因，在鹼中的條件下，陰極進行了式(12)的反應，由方程式  $\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{ox} + E^{\circ}_{red}$  計算。在鹼中，陰極的還原電位( $E^{\circ}_{red}$ )為-0.83V，在酸中，電



位為 0.00V。因此，鹼中會有較小的總電位值( $\Delta E^{\circ}$ )。此外，我們發現其電位隨 pH 值增加而變小，推測原因是 pH 值越高， $[\text{OH}^-]$  越大，式(12)中，反應的平衡傾向左進行，亦會使整個電池的總電位變小。而在酸中則進行了式(13)的反應， $[\text{H}^+]$  濃度越大，越有利，去獲得電子，故電位越大。

(1)鹼性條件：



(2)酸性條件：



#### 四、改變電池的變因，探討電池電位與極化的影響

由圖表 5-14 到 5-17，在三種不同電解液之內電阻大小如下

(1)電解液 pH 質改變之電位的大小：

$$\text{pH} = 4 > \text{pH} = 3.5 > \text{pH} = 3 > \text{pH} = 2.5$$

(2)電解液溫度改變之電位的大小：

$$5^{\circ}\text{C} > 15^{\circ}\text{C} > 25^{\circ}\text{C} > 35^{\circ}\text{C} > 45^{\circ}\text{C} > 55^{\circ}\text{C}$$

(3)改變電極距離之電位的大小：

$$2 \text{ cm} > 4 \text{ cm} > 6 \text{ cm}$$

(4)電解液攪拌與否之電位的大小：

$$\text{不攪拌} > \text{攪拌}$$

#### 討論

- ①由電解法反推電池的內電阻，進一步探討電池的極化現象。由實驗數據中，我們發現電池的電位越小，內電阻也越大，這跟一般理論的內容相吻合。
- ②而在此實驗中較遺憾的，原本想藉由電解法實驗，找出電池的電位(V)與電流(I)，進一步得到內電阻。再由電位(V)與電流(I)作圖找出非線性關係點(如圖 4-2)，而得到電池開始極化產生的電位，再反推每個變因中電池的最大電位值，進而探討如何解決極化現象產生。但由整個實驗圖表了，我們發現幾乎每一變因，電位(V)與電流(I)作圖皆呈現線性關係，無出現極化現象的轉折點，因而極化的現象不明顯。
- ③這個實驗的設計可以在進一步研究，如何去求證電池的極化現象，亦是未來可以繼續延伸研究的課題。

#### 五、比較真實檸檬電池與自製最佳模擬電池的功率

經由我們設計的功率測定實驗，分別串聯四個真實檸檬電池、模擬檸檬電池(電解液為鹽酸與檸檬酸)功率測定，其實驗結果與我們原先實驗設計的方向，大致吻合。

模擬出的電池以鹽酸為電解液效果最好，其串聯的電位為 5.05V，為三種電池中最大，再經由趨動 3V 以上的 LED 燈，單位時間有較大的功率值，其值見於表 5-18。

## 柒、結論

透過「模擬檸檬電池」的實驗，我們討論了多種變因，最後得到一組能使電池產生最大功率的變因組，分別為(1)電解液為 HCl (2)電極的種類為 Zn-C 電極 (3)電極的距離控制在 6cm (4)溶液的 pH 為 2.5 (5)攪拌，進而取代檸檬電池。

此實驗也成功地討論了影響能士特方程式中  $n$  值的因素，也透過實驗獲得的電位值及電流值，找出電池的內電組，完成了電池中極化現象的討論。

經由本篇報告的研究結果，可以提供一個新電池開發的方向。例如：(1)如何有效的提高電池的電位值 (2)改善電池電位的變因，進一步應用到日常生活用品中，如照明或是 MP3 播放器...等，是此研究最大的意義。

## 捌、參考資料及其他

- 一、 Kenneth, R. M., Christopher, W. N., Randy, D. W.(2007). A Lemon Cell Battery for High-Power Applications. *Journal of Chemical Education*, 84, 635-638.
- 二、 Jerry , G (2001). Observations on Lemon Cells. *Journal of Chemical Education*, 78, 516-518.
- 三、 闕山仲、方嘉德、徐照程、陳秀珍(民81)。分析化學 臺北市：藝軒
- 四、 陳秋炳主編 (民98) 高中選修化學(下) 台南市：翰林
- 五、 網頁資料：
  - (一)電池相關知識  
<http://Orz.tw/iD6wU>
  - (二)<http://www.hanssummers.com/radio/homebrew/battery/index.htm>
- 六、感謝國立成功大學化學所電化學實驗室對於實驗相關問題的諮詢與協助

## **【評語】 040205**

本件作品探討檸檬電池的影響變因，並進一步從電位的觀念探討電池的最佳條件。研究發現具有參考價值。如果在數據的解釋能再進一步推論並加以驗證，則這些數據會有更好的結果。