

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高級中等學校組 工程學科(二)科

佳作

052408

『銅』心協『鋁』

——利用氧化還原回收銅離子之研究

學校名稱：桃園市立觀音高級中學

作者：  職三 葉家宏  職三 吳俊琦  職三 李欣榆	指導老師：  白善尹  莊竣翔
---	-----------------------------

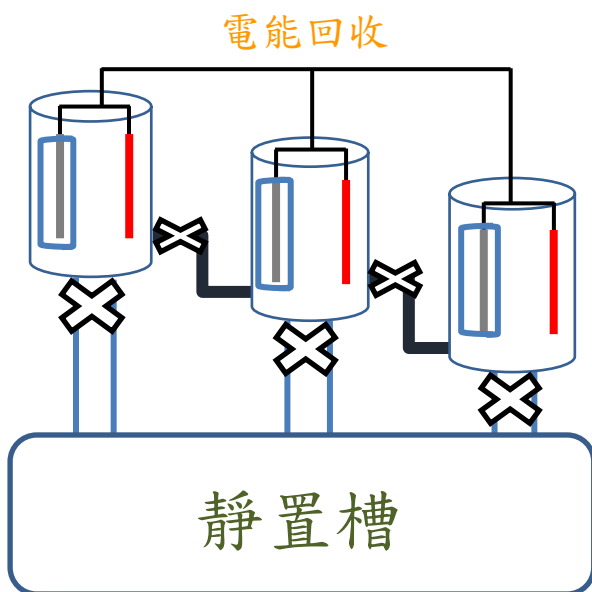
關鍵詞：鋁銅電池、氧化還原、銅離子回收

## 摘要

利用氧化還原反應，鋁的活性較銅大，因此鋁扮演失去電子的角色，將鋁片放入 2 M KOH，銅片放入模擬含銅高濃度之廢液 1 M CuSO<sub>4</sub>，銅廢液之 Cu<sup>2+</sup> 離子得電子析出於銅片，原本濃度高達 6.35 × 10<sup>5</sup> ppm 之廢液，經回收後 Cu<sup>2+</sup> 離子濃度下降至 1.999 ppm，符合行政院環境保護署規定之放流水標準 3.000 ppm，Cu<sup>2+</sup> 離子回收率達 99.99 %。達到淨化銅廢液的效果，同時氧化還原過程中可產生電能，接上蓄電池，儲存產生之電力，其電壓 1.575 V 及電流 3.05 mA。

利用上述的條件，製造出裝置模型，我們並利用塑膠桶及藥品瓶、橡皮塞、珍珠板、5 組球閥、透明塑膠管、塑膠接管，製造本研究裝置模型。

裝置優點：半連續式多級操作、回收銅金屬、產生電力、淨化水質達法規之標準、製作成本低。



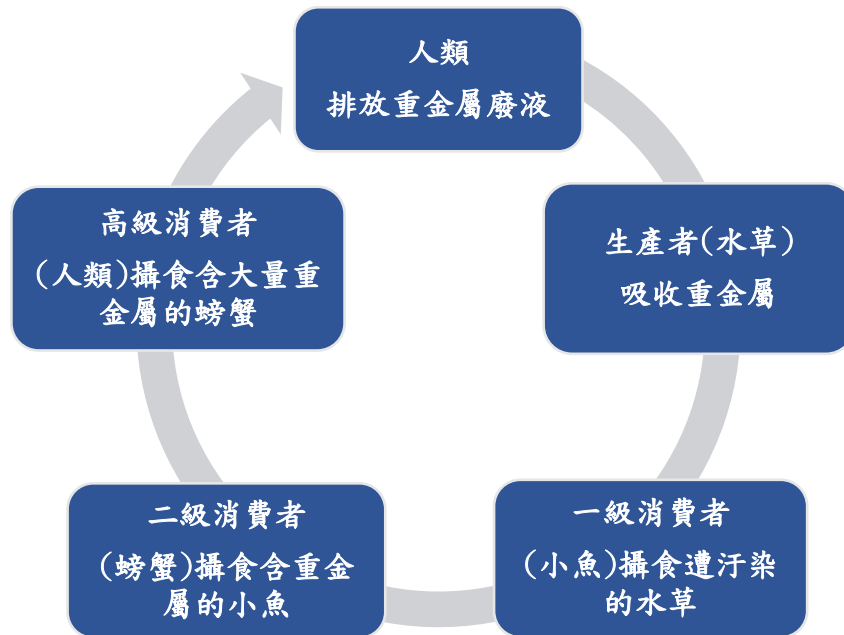
圖一、裝置簡圖



圖二、裝置實體圖

## 壹、研究動機

臺灣，矗立著許多工廠，創造龐大的經濟效益，同時也帶給我們生態上的危機，在近幾年的新聞上就有排放重金屬廢液而導致部分地區受到汙染的例子，例如：臺灣沿海地區的蚵仔受到工業區排放的含銅之廢液導致螢光綠牡蠣的現象，若人們攝取銅超過 64 mg 就會中毒，排放含銅之廢液導致銅金屬進入食物鏈(圖三)，則最後還是會回到我們自己身上。



圖三、食物鏈舉例

許多產業的製程中都會產生含重金屬之廢液，其中我們將對印刷電路板及半導體產業所產生的廢液進行銅離子回收處理之研究，於是我們整理了在印刷電路板部分製程中所產生的廢液，如下表一。

表一、印刷電路板部分製程產生的廢液

步驟	製程單元	槽液成份	污染濃度(ppm)	
			Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>
酸洗	刷磨	5%硫酸	50~1,000	/
蝕刻	內層蝕刻	氯化銅	50,000~100,000	
		氯化鐵	40,000~90,000	
	外層蝕刻	氨水、氨化鈉	100,000~150,000	
剝錫鉛	剝錫鉛	氟水銨、硝酸、雙氧水	1,000~1,500	10,000~15,000

利用氧化還原反應，金屬離子之得失電子，將銅離子還原成銅金屬，並使用分光光度計及原子吸收光譜作濃度的檢測，觀察下降濃度，及三用電表探討電壓、電流、電阻及電功率。

### 一、能斯特方程式 (Nernst Equation)

描述化學電池氧化還原反應之電動勢和反應物濃度商數關係的方程式，計算半反應的還原電位及電動勢。

以反應式  $aA + bB \rightarrow yY + zZ$  為例其公式為:

$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left( \frac{[Y]^y [Z]^z}{[A]^a [B]^b} \right) \rightarrow E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln(Q)$	
R: 氣體常數 0.082(L·atm/K·mol) T: 溫度(K) ΔG: 布吉斯自由能變化量(kJ/mol) Y、Z、A、B:(mol/L)	$Q(\text{反應商數}) = \frac{[Y]^y [Z]^z}{[A]^a [B]^b}$ $\Delta G = -nFE$ n: 莫耳數(mol) F: 法拉第常數 96500(C/mol)

### 二、比爾定律 (Beer's Law)

當平行光線穿透樣品溶液時，其吸光度、溶液濃度及光徑三者成正比關係，利用此特性求溶液之濃度變化量。

比爾定律之公式	比爾定律之示意圖
$A = \epsilon bc$ A: 溶液之吸光度 = $-\log(I_1/I_0)$ ε: 莫耳吸光係數(L/mol·cm) b: 光徑，為樣品槽之寬度(cm) C: 樣品之濃度(mol/L)	

### 三、克希荷夫電路定律 (Kirchhoff's Current Law)

內容包含了電壓及電流兩個領域，分別討論兩者。

克希荷夫電壓定律	克希荷夫電流定律
在任意之封閉迴路中，電流沿迴路循環一周，其電壓升及電壓降相等，其和值為零。	當電流進入某節點時，進去的電流等於出來的電流，若我們將進去的電流視為正值，出去的視為負值，其和為零。

### 四、歐姆定律 (Ohm's Law)

在定溫下，金屬通電時，兩端的電壓與通過之電流成正比關係，同理可推，金屬電阻值為定值，當電壓增倍時電流也會跟著增倍，其電阻值不變。

歐姆定律公式
$R=V/I$
R:電阻( $\Omega$ )      V:電壓(V)
I:電流(A)

### 五、焦爾定律 (Joule's Law)

當電流通過導體時會加電能轉為熱量釋放而出，因此我們可以利用此定律計算出功率的消耗量。

焦耳定律公式	電功率
$Q = I^2Rt$ 、 $P = I^2R$	每單位時間所消耗的能量
P:熱(電)功率(W)	$P=E/t$ E:能量(J)
Q:熱量(J)      I:電流(A)	藉由歐姆定律可推導出
t :時間(s)      R:電阻( $\Omega$ )	$P = I^2R=IV=V^2/R$

## 貳、研究目的

經文獻整理，發現重金屬廢水處理的方法非常多種，但每一種方法各有優缺點，不過這些程序不是設備成本太高，就是操作成本太高，以致於許多工廠不願處理廢液而是將其排入河川，汙染生態系。

因此我們將程序加以簡化，設備成本降低，再加入放電程序並儲存電力加以利用，在產電的同時，廢液中的  $\text{Cu}^{2+}$  會還原成銅金屬，藉此提高經濟價值以及淨化水質的功能為目的進行研究。

表二、常見處理重金屬溶液與作品比較

目前常見處理方法	讓重金屬廢液轉變為難溶重金屬化合物或者元素，經過沉澱及上浮從廢水中去除	將廢水中的重金屬，在不改變化學形態的條件下，進行濃縮及分離	自我分析，作品特色
種類	1.電解沉澱法 2.中和沉澱法 3.隔膜電解法 4.離子浮選法 5.硫化物沉澱法 6.上浮分離法	1.蒸發法 2.離子交換法 3.反滲透法 4.電滲析法	1.原電池法 2.中和沉澱法
優點	1.與重金屬離子沉澱可有效降低重金屬之濃度	1.原狀濃縮，不需要添加任何的化學藥劑 2.可以直接回收用於生產之過程。	1.可產生電能，以及回收金屬銅 2.成本相對其他方式較為低廉 3.可淨化因重金屬汙染的水質
缺點	1.需要經過多次化學形態的轉化才可以進行回收、利用 2.需消耗大量的藥品	1.操作成本太高 2.容易受經濟、技術等限制 3.適合處理少量的廢液	1.電流因發電面積而受到阻礙

## 參、研究設備及器材

### 一、研究設備

電子分析天平 SHIMADZU ATY224	精秤藥品所需克重
三用電表 YF-3503	測量電壓及電流
分光光度計 PREMA PRO-779	測吸光度回算溶液濃度
原子吸收光譜儀 WARIAN	微量金屬之定量分析
微電腦酸鹼度計 SUNTEX SP-2300	測量溶液pH值及電位差

### 二、研究器材

燒杯、定量瓶、球型吸量管、滴定管、電線、鱷魚夾、球塞閥、自製靜置槽、玻璃紙、年糕紙

玻璃紙來源及成分: 大漢美術紙品有限公司，成分為纖維素

年糕紙來源及成分: 朴威企業有現公司，成分為纖維素

### 三、使用藥品

$\text{CuSO}_4$ 、 $\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$ 、 $\text{KOH}$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaBr}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{KNO}_3$

## 肆、 研究過程或方法

了解鋁銅電池之原理及構造

陰陽電極板

銅廢液

電解液

半透膜

溫度

銅

鋁

飽和  $\text{CuSO}_4$   
模擬廢液

其他

KOH

化學  
處理

物理  
處理

利用恆溫  
水槽模擬  
環境溫度

大小(表面積)

探討銅廢液  
最佳 pH

最佳  
濃度

年糕紙

玻璃紙

取得最佳參數

利用原子吸收光譜  
證實實驗可行性

檢驗銅離子回收率

進行電池串並聯測試

結論

### 一、陰陽電極板大小(表面積)之影響

#### (一)、 探討 Cu 面積大小對電壓及電流之影響

以面積為  $12.5 \text{ cm}^2$ 、 $16.7 \text{ cm}^2$ 、 $25 \text{ cm}^2$ 、 $37.5 \text{ cm}^2$ 、 $50 \text{ cm}^2$  之銅線與鋁片  $50 \text{ cm}^2$ ，  
探討電壓及電流

#### (二)、 探討 Al 面積大小對電壓及電流之影響

以面積為  $12.5 \text{ cm}^2$ 、 $16.7 \text{ cm}^2$ 、 $25 \text{ cm}^2$ 、 $37.5 \text{ cm}^2$ 、 $50 \text{ cm}^2$  之鋁片與銅片  $50 \text{ cm}^2$ ，  
探討電壓及電流



## 二、硫酸銅濃度對電流及電壓之影響

配製 0.2 M、0.4 M、0.6 M、0.8 M 及 1 M 之  $\text{CuSO}_4$  溶液，測量其電壓及電流，並探討濃度對電池之影響

## 三、電解液

### (一)、探討電解液之種類

#### 1. 利用不同電解液測量電流及電壓並尋找最佳者

- (1) 分別配置 2 M  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{KOH}$ 、 $\text{MgCl}_2$ 、 $\text{NaBr}$ 、 $\text{Al(OH)}_4^-$ 、 $30^\circ\text{C}$  之(飽和) $\text{NaF}$  0.957 M 100.0 mL
- (2) 取配好之電解液 100.0 mL 與 250.0 mL 飽和(1 M)硫酸銅溶液，並利用電壓及電流算出電功率

### (二)、探討電解液( $\text{KOH}$ )之濃度

#### 1. 配置不同濃度之 $\text{KOH}$ 測量電流及電壓並選擇工作效率最佳者

- (1) 分別配置 1 M、2 M、3 M 及 4 M 之  $\text{KOH}$
- (2) 利用電壓及電流求得電功率，並找出最佳電功率之濃度

## 四、半透膜

半透膜是指提供陰陽離子互相交換的媒介，除了有市售透析膜外，也可以選擇玻璃紙來使用，玻璃紙由纖維素所組成的，因此分子間具有空隙，可使陰陽子互相交換，也是常見的半透膜之一，此外也選用與玻璃紙特性大同小異之年糕紙

### (一)、物理處理：利用水砂紙進行單面打磨處理

1. 年糕紙
2. 玻璃紙

### (二)、化學處理：利用 12 M $\text{H}_2\text{SO}_4$ 及 6 M $\text{NaOH}$ 進行侵蝕處理

1. 年糕紙
2. 玻璃紙

## 五、溫度對電流及電壓之影響

利用恆溫水槽模擬室溫 25°C、30°C、35°C、40°C 和 45°C，由電壓及電流推算最佳電功率

## 六、銅廢液最佳工作效率之 pH 值探討

電池進行陰陽離子交換，KOH 的 OH<sup>-</sup> 會穿過半透膜跑到銅溶液，若銅溶液之 pH 值過高，OH<sup>-</sup> 與 Cu<sup>2+</sup> 結合會產生沉澱物 Cu(OH)<sub>2</sub>，影響電池效率，所以找出最大工作之 pH 值，以防止沉澱

(一)、配置 1 M 之 CuSO<sub>4</sub>，取 30 mL 至燒杯，並使用 0.092 M 之 NaOH 進行沉澱滴定，測量 pH 與 mV 之變化量

## 七、檢驗銅溶液之濃度下降方法

(一)、分光光度計：

分析化學中，測量含量最為常見的分光光度計，其原理為朗伯-比爾定律，在固定波長下，藉由穿透樣品的光，分析其吸光度製作檢量線，利用線性迴歸，回推出其樣品濃度

1. 取銅試樣配置標準液，並分別稀釋成 1000 ppm、800 ppm、600 ppm、400 ppm、200 ppm 分別加入 2 mL 的 6 M 氨水，產生 Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub><sup>2+</sup> 進行顯色
2. 取 600 ppm 之溶液尋找最大吸收波長，最後發現在 600 nm 時有最大之吸光值，因此 600 nm 為本次實驗最大吸收波長
3. 利用最大吸收波長製作檢量線，以線性迴歸推算出濃度

(二)、原子吸收光譜儀 ( Atomic Absorption Spectrophotometer )：

原子吸收光譜是利用火焰或者電熱，將待測物原子化，氣態的原子吸收從陰極射線管中放出具有特定波長的光激發，比較前後光的強度再求出吸光度，做出檢量線，此方法為定量微量物質的方法，因此可以藉由本裝置更加證實最後之濃度

1. 取銅試樣配置標準溶液，稀釋成 0.0 ppm、0.2 ppm、0.4 ppm、0.6 ppm、0.8 ppm 測其吸光值製作檢量線，以便線性迴歸，推算出含量之變化量

## 八、電池之串並聯

根據克希荷夫定律所提及的「進入某節點的電流總和，等於離開時的電流總和」以及「沿著封閉線圈繞行一周，金屬兩端之電壓升等於電壓降，其和值為零」，因此我們利用三用電表測量電壓及電流，測試是否合乎其定律。

## 九、電池長時間放電

本電池持續放電 48 小時後，利用原子吸收光譜檢測銅溶液之濃度，再計算銅濃度下降率

## 伍、研究結果

### 一、陰陽電極板大小(表面積)之影響

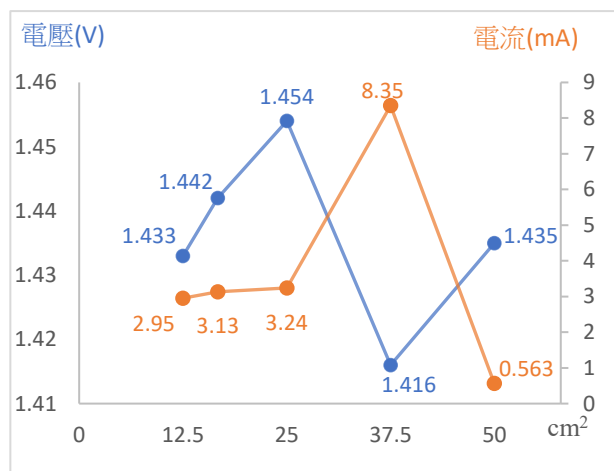
#### (一)、銅片面積

控制變因：CuSO<sub>4</sub> 溶液 250.0 mL、KOH 100.0 mL、未處理之年糕紙及 50cm<sup>2</sup> 鋁片

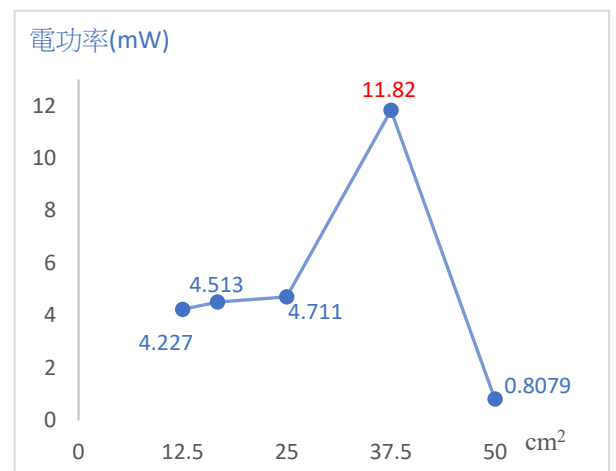
操縱變因：面積為 12.5 cm<sup>2</sup>、16.7 cm<sup>2</sup>、25 cm<sup>2</sup>、37.5 cm<sup>2</sup>、50 cm<sup>2</sup> 之銅線

表三、銅面積對電壓電流及電功率之影響

銅片面積( cm <sup>2</sup> )	12.5	16.7	25	37.5	50
電壓( V )	1.433	1.442	1.454	1.416	1.435
電流( mA )	2.95	3.13	3.24	8.35	0.563
電功率( mW )	4.227	4.513	4.711	11.82	0.8079



圖四、Cu 面積大小對電流壓之影響



圖五、Cu 面積大小之電功率

#### (二)、鋁片面積

控制變因：CuSO<sub>4</sub> 溶液 250.0 mL、KOH 100.0 mL、未處理之年糕紙及 50cm<sup>2</sup> 銅片

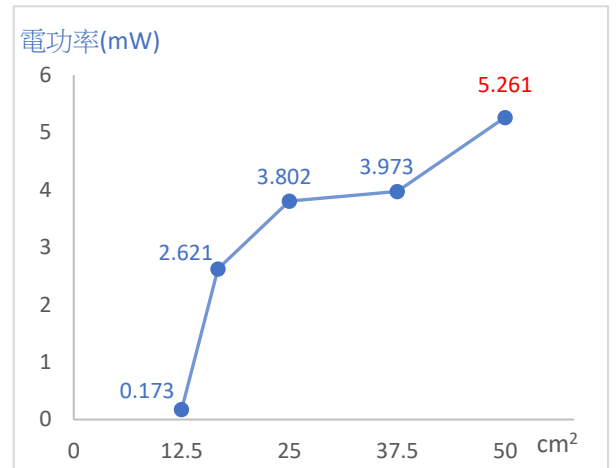
操縱變因：面積為 12.5 cm<sup>2</sup>、16.7 cm<sup>2</sup>、25 cm<sup>2</sup>、37.5 cm<sup>2</sup>、50 cm<sup>2</sup> 之鋁片

表四、鋁面積對電壓電流及電功率之影響

鋁片面積( cm <sup>2</sup> )	12.5	16.7	25	37.5	50
電壓( V )	1.577	1.613	1.618	1.635	1.639
電流( mA )	0.11	1.625	2.35	2.43	3.21
電功率( mW )	0.173	2.621	3.802	3.973	5.261



圖六、Al 面積大小對電流壓之影響



圖七、Al 面積大小之電功率

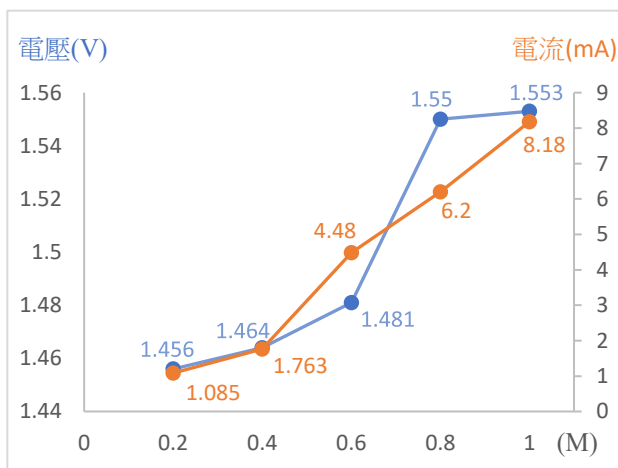
## 二、硫酸銅濃度對電流及電壓之影響

控制變因：KOH 100.0 mL、未處理之年糕紙、50cm<sup>2</sup> 鋁片及 50cm<sup>2</sup> 銅片

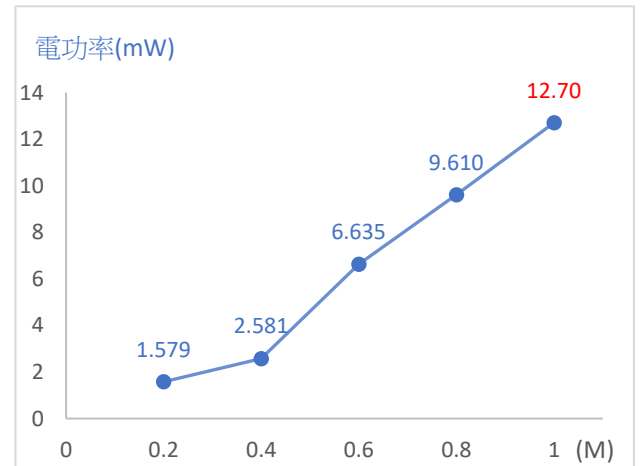
操縱變因：配製 0.2 M、0.4 M、0.6 M、0.8 M 及 1 M 之 CuSO<sub>4</sub> 溶液 250.0 mL

表五、CuSO<sub>4</sub> 對電流電壓及電功率之影響

CuSO <sub>4</sub> (M)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
電壓(V)	1.456	1.464	1.481	1.550	1.553
電流(mA)	1.085	1.763	4.480	6.200	8.180
電功率(mW)	1.579	2.581	6.635	9.610	12.70



圖八、CuSO<sub>4</sub> 濃度對電流電壓之影響



圖九、CuSO<sub>4</sub> 濃度對電功率之影響

### 三、電解液

(一)、硫酸銅濃度固定為 2 M，進行不同電解液之比較

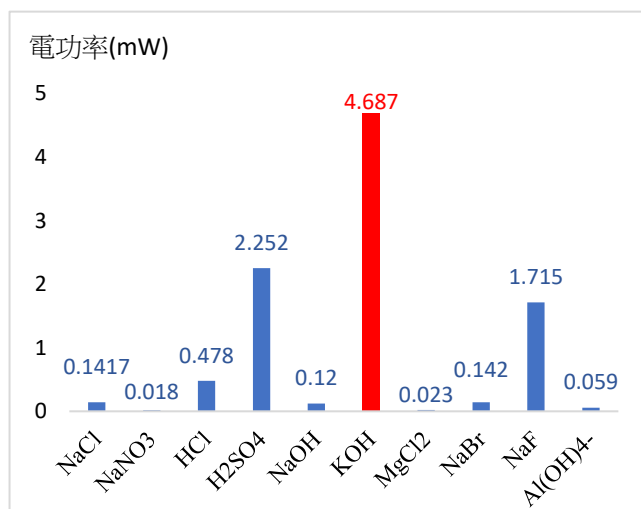
控制變因：CuSO<sub>4</sub> 250.0 mL、未處理之年糕紙、50cm<sup>2</sup> 鋁片及 50cm<sup>2</sup> 銅片

操縱變因：分別配置 2 M NaCl、NaNO<sub>3</sub>、HCl、H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、NaOH、KOH、MgCl<sub>2</sub>、

NaBr、Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>、30°C 之(飽和)NaF 0.957 M 100.0 mL

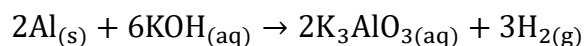
表六、各電解液之比較

	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (mW)	陽離子 半徑(pm)	陰離子 半徑(pm)	陽離子 價數
NaCl	0.819	0.173	0.142	102	181	+1
NaNO <sub>3</sub>	0.651	0.028	0.018			+1
HCl	0.940	0.508	0.478	32	181	+1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.612	3.680	2.252			+1
NaOH	1.515	0.079	0.120	102	137	+1
KOH	1.605	2.920	4.687	138	137	+1
MgCl <sub>2</sub>	0.838	0.028	0.023	72	181	+2
NaBr	0.727	0.195	0.142	102	196	+1
NaF	1.512	1.134	1.715	102	133	+1
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.379	0.043	0.059	250	137	+4



圖十、電解液之功率

由表六得知，KOH 的電壓為最大值，電流較 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 小，經計算 KOH 其電功率位居第一，因此我們選用 KOH 作為本實驗所使用的電解液。



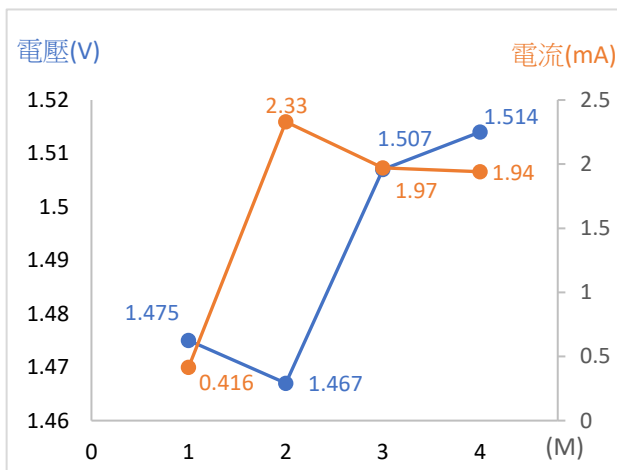
(二)、探討 KOH 之最佳濃度

控制變因：CuSO<sub>4</sub> 250.0 mL、未處理之年糕紙、50cm<sup>2</sup> 鋁片及 50cm<sup>2</sup> 銅片

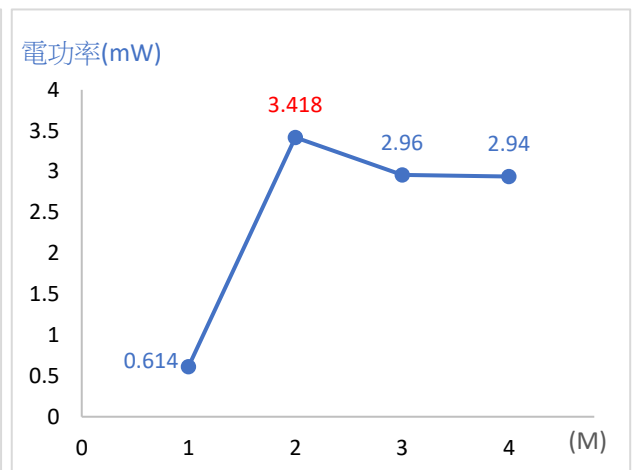
操縱變因：配製 1.0 M、2.0 M、3.0 M 及 4.0 M 之 KOH 溶液 100.0 mL

表七、KOH 對電流電壓及電功率之影響

KOH(M)	1.0	2.0	3.0	4.0
電壓(V)	1.475	1.467	1.507	1.514
電流(mA)	0.416	2.330	1.970	1.940
電功率(mW)	0.614	3.418	2.960	2.940



圖十一、氫氧化鉀濃度對電流壓之影響



圖十二、氫氧化鉀濃度之電功率

四、半透膜

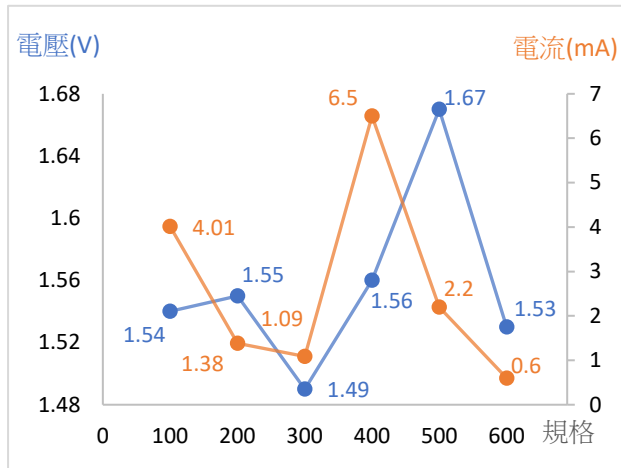
(一)、物理處理：利用水砂紙進行單面打磨處理

1.年糕紙：因年糕紙較玻璃紙薄，經打磨後易破

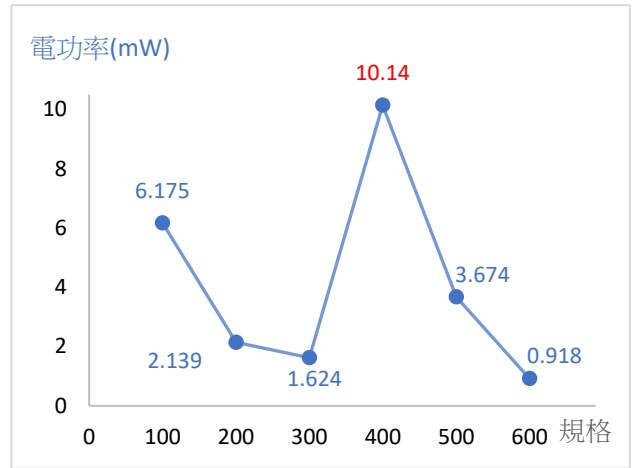
2.玻璃紙：

表八、砂紙規格對電壓及電流之比較

水砂紙( 規格 )	100	200	300	400	500	600
電壓(V)	1.540	1.380	1.490	1.560	1.670	1.530
電流(mA)	4.010	1.380	1.090	6.500	2.200	0.600
電功率(mW)	6.175	2.139	1.624	10.14	3.674	0.918



圖十三、打磨對電流電壓之影響



圖十四、打磨對電功率之影響

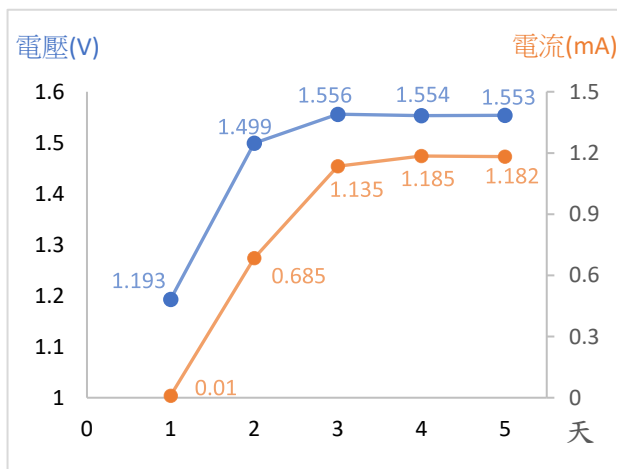
(二)、化學處理：利用 12 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 及 6 M NaOH 進行酸鹼蝕處理

1. 年糕紙：

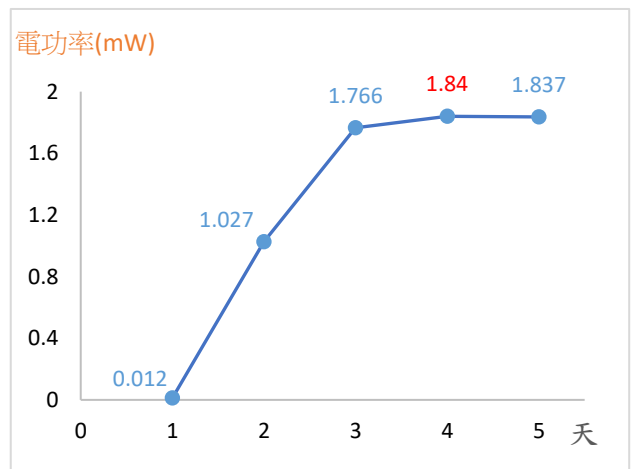
(1) 12 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 進行酸蝕處理

表九、酸蝕天數對電壓電流及電功率之影響

酸蝕天數	1	2	3	4	5
電壓(V)	1.193	1.499	1.556	1.554	1.553
電流(mA)	0.010	0.685	1.135	1.185	1.182
電功率(mW)	0.012	1.027	1.766	1.840	1.837



圖十五、酸蝕天數對電流電壓之影響



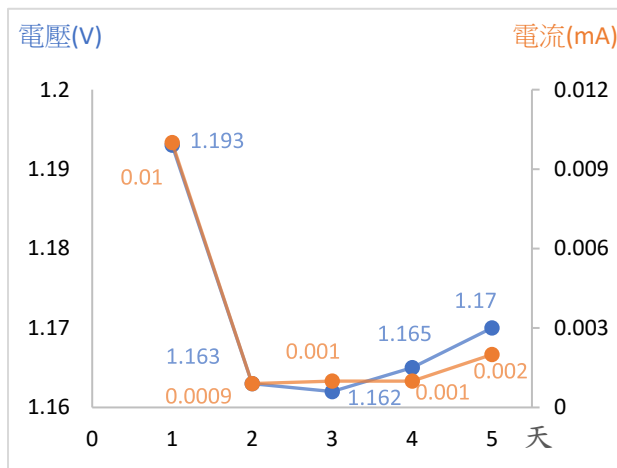
圖十六、酸蝕天數對電功率之影響



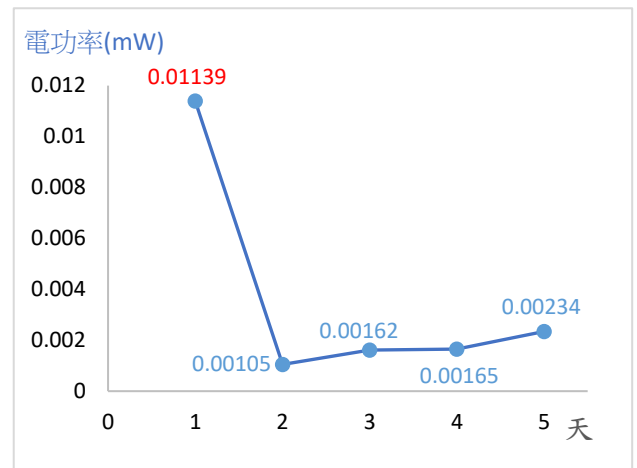
(2) 6 M NaOH 進行鹼蝕處理

表十、鹼蝕天數對電壓電流及電功率之影響

鹼蝕天數	1	2	3	4	5
電壓(V)	1.139	1.163	1.162	1.165	1.170
電流(mA)	0.01	0.0009	0.001	0.001	0.002
電功率(mW)	0.01139	0.00105	0.001162	0.00165	0.00234



圖十七、鹼蝕天數對電流壓之影響



圖十八、鹼蝕天數對電功率之影響

2. 玻璃紙：因玻璃紙厚度較年糕紙厚許多，因此酸鹼蝕不適合用來處理玻璃紙

五、溫度對電流及電壓之影響

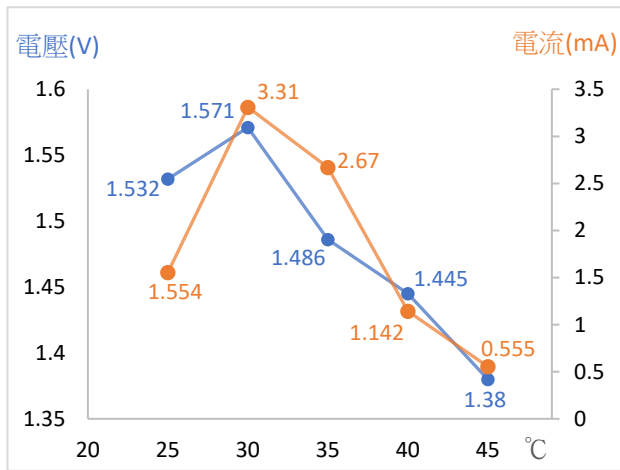
控制變因：1 M CuSO<sub>4</sub> 溶液 250.0 mL、2 M KOH 溶液 100.0 mL 未處理之年糕紙、

50cm<sup>2</sup> 鋁片及 50cm<sup>2</sup> 銅片

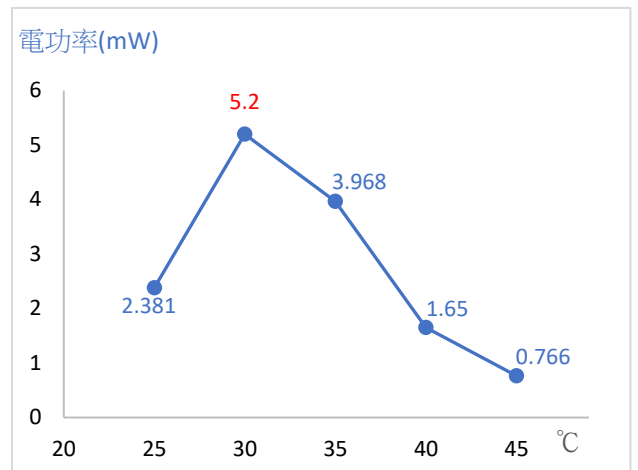
操縱變因：模擬室溫，分別為 25℃、30℃、35℃、40℃和 45℃

表十一、溫度對電壓電流及電功率之影響

溫度(℃)	25	30	35	40	45
電壓(V)	1.532	1.571	1.486	1.445	1.380
電流(mA)	1.554	3.310	2.670	1.142	0.555
電功率(mW)	2.381	5.200	3.968	1.650	0.766



圖十九、溫度對電流電壓之影響



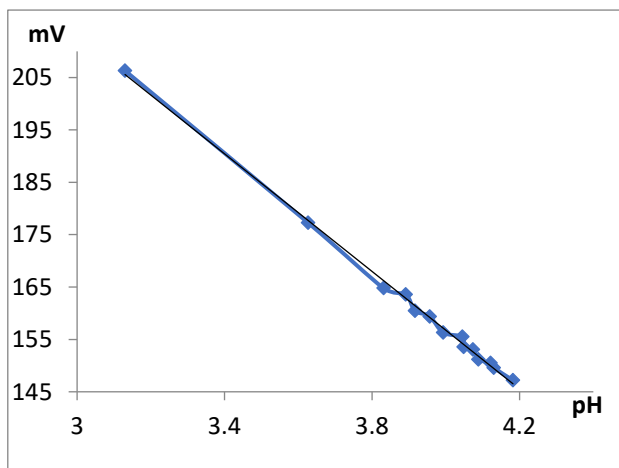
圖二十、溫度對電功率之影響

## 六、銅廢液最佳工作效率之 pH 值探討

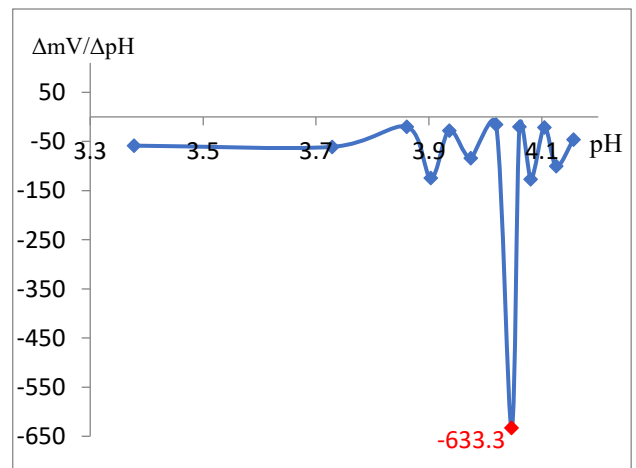
配置 1 M 之  $\text{CuSO}_4$ ，取 30 mL 至燒杯，並使用 0.092 M 之  $\text{NaOH}$  進行沉澱滴定，測量 pH 與 mV 之變化量

表十二、pH 與 mV 之變化量

體積(mL)	0.00	1.00	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80
pH	3.13	3.626	3.831	3.891	3.961	3.956	3.993
mV	206.3	177.3	164.8	163.6	160.5	159.4	156.3
體積(mL)	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	5.00
pH	4.045	4.048	4.073	4.088	4.121	4.13	4.182
mV	155.5	153.6	153.1	151.2	150.5	149.6	147.2



圖二十一、pH 與電位之關係

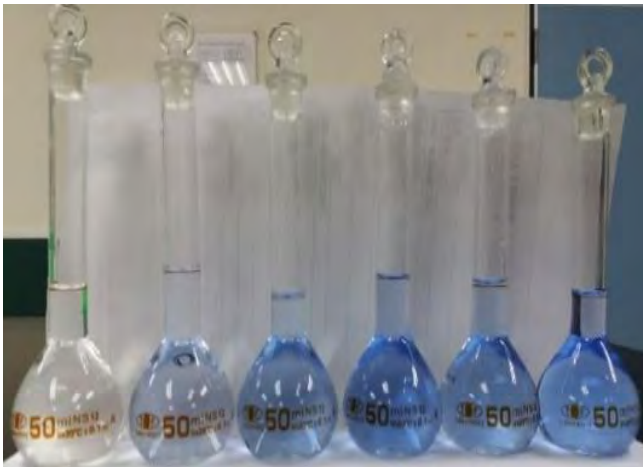


圖二十二、pH 與電位之微分關係

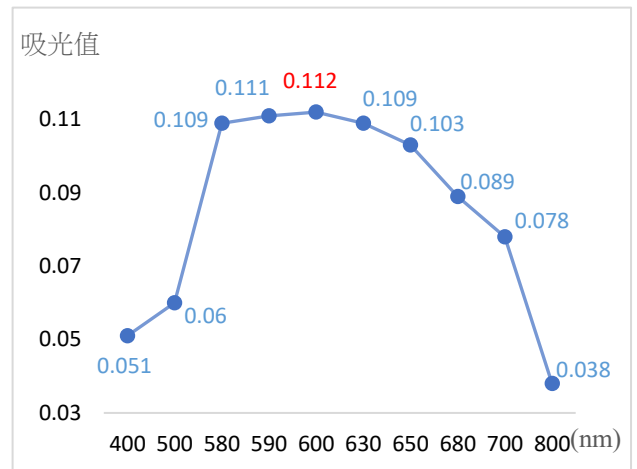
## 七、檢驗銅溶液之濃度下降方法

### (一)、分光光度計

1. 取銅試樣配置標準液，並分別稀釋成 1000 ppm、800 ppm、600 ppm、400 ppm、200 ppm 分別加入 2 mL 的 6 M 氨水，產生  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  進行顯色
2. 取 600 ppm 之溶液尋找最大吸收波長，最後發現在 600 nm 時有最大之吸光值，因此 600 nm 為本次實驗最大吸收波長
3. 利用最大吸收波長製作檢量線，以線性迴歸推算出濃度



圖二十三、 $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  顯色顏色



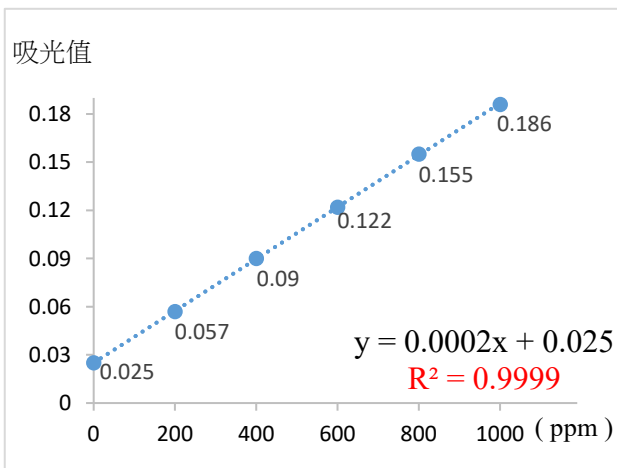
圖二十四、最大吸收波長

表十三、分光光度計之吸光度(高濃度)

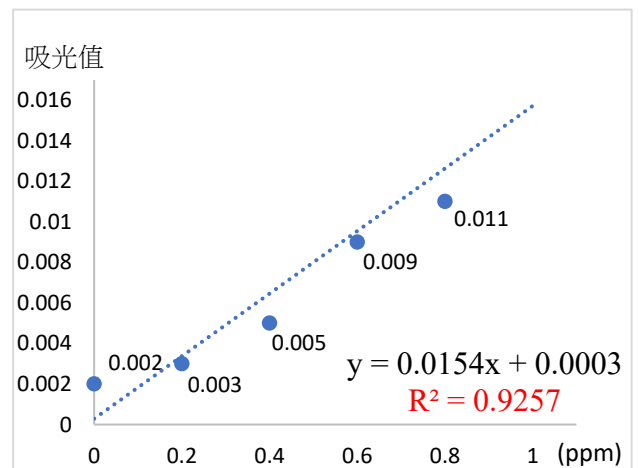
濃度 ppm	0.0	200	400	600	800	1000
吸光值	0.025	0.057	0.090	0.122	0.155	0.186

表十四、分光光度計之吸光度(低濃度)

濃度 ppm	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
吸光值	0.002	0.003	0.005	0.009	0.011



圖二十五、分光光度計之檢量線(高濃度)



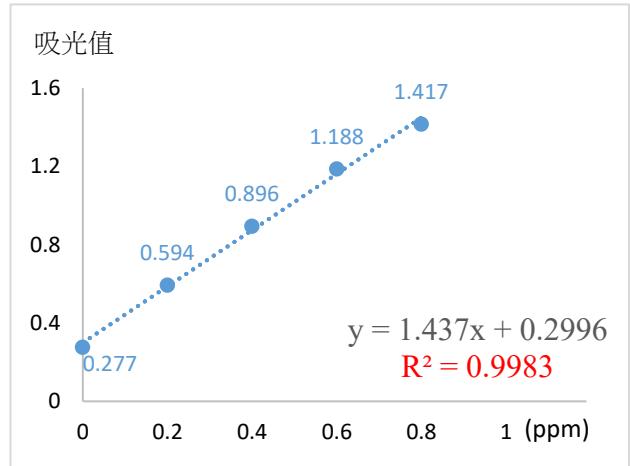
圖二十六、分光光度計之檢量線(低濃度)

(二)、原子吸收光譜儀

1. 取銅試樣配置標準溶液，稀釋成 0 ppm、0.2 ppm、0.4 ppm、0.6 ppm、0.8 ppm 測其吸光值製作檢量線，以便線性回歸，推算出含量之變化量

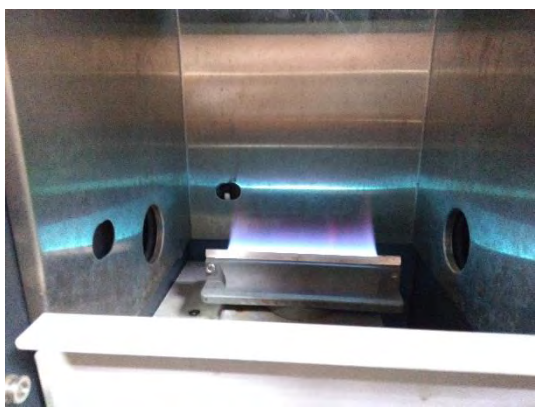
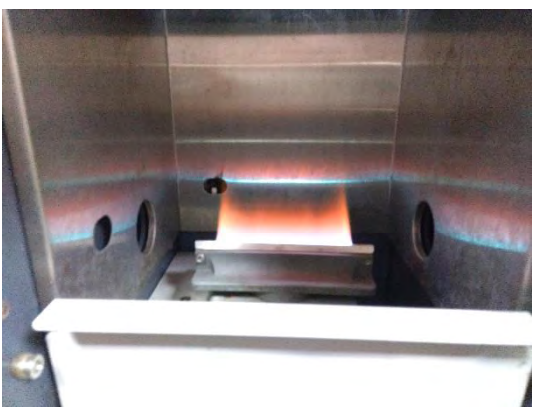


圖二十七、各濃度之溶液



圖二十八、原子吸收光譜之檢量線

表十五、純水與待測濃度之焰色

濃度 (ppm)	0.0 (純水)	待測濃度
焰色		

## 八、電池之串並聯

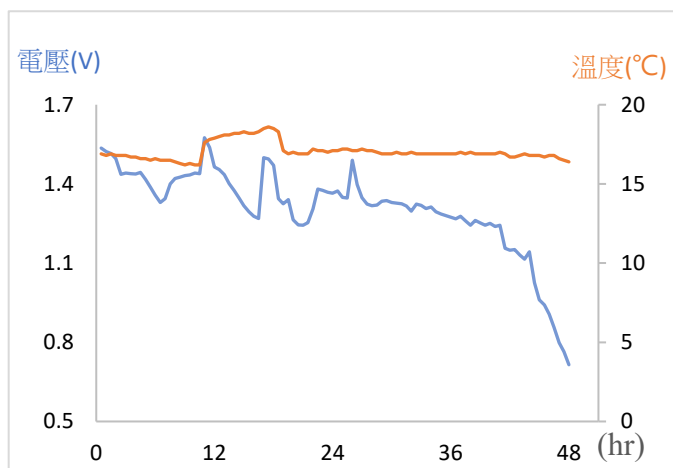
使用 50cm<sup>2</sup> 銅片、50cm<sup>2</sup> 鋁片、未經處理之年糕紙、1 M 250mL CuSO<sub>4</sub> 及 2M 100 mL KOH 組成電池，進行串並聯之實驗。

表十六、電池串並聯之電阻

	組數	電壓(V)	電流(mA)	電功率(mW)	電阻(Ω)
串聯	1 組	1.354	0.280	0.379	4835.7
	2 組	2.850	1.840	5.244	1548.9
	3 組	4.410	2.740	12.08	1609.4
	4 組	5.790	3.190	18.47	1815.0
並聯	1 組	1.553	0.285	0.4426	5449
	2 組	1.563	1.970	3.079	793.4
	3 組	1.583	2.990	4.733	529.4
	4 組	1.595	4.700	7.497	399.4

## 九、電池長時間放電

使用 50cm<sup>2</sup> 銅片、50cm<sup>2</sup> 鋁片、經酸蝕處理 4 天之年糕紙、1 M 250mL CuSO<sub>4</sub> 及 2M 100 mL KOH 組成電池，將本電池持續放電 48 小時後，利用原子吸收光譜檢測銅溶液之濃度，利用線性回歸算出反應後之銅濃度，再計算銅濃度下降率。



圖二十九、長時放電之電壓及溫度變化

利用原子吸收光譜之檢量線回推濃度，得到反應後之濃度為 1.999ppm，其下降率可高達 99.99%，可得知本裝置具有相當高的回收效率。

## 陸、討論

### 一、鋁和銅的表面積大小會對電功率有何影響?

- (一)、鋁的面積我們以  $50 \text{ cm}^2$  作為基準，分別以倍數取五點做比較，根據圖六，發現電壓及電流隨著面積變大而上升，不過當面積變大時，所附著在鋁片的氣泡就越多，電壓電流也變得不穩定，儘管如此，在  $50 \text{ cm}^2$  所測得的電壓電流仍為最大值。
- (二)、銅面積我們以常見的  $50 \text{ cm}^2$  作為基準，分別以倍數取五點作為比較，據圖七所知，在銅片為  $37.5 \text{ cm}^2$  時，其電功率最大。

### 二、為何電解質 KOH 為最佳?

我們推測以下幾種可能性:

- (一)、在電解質酸以及鹼分別和鋁片反應時，鹼會侵蝕鋁片表面的  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，而使內部的鋁金屬裸露出來，而鋁金屬因活性大，而和鹼中的氫氧根離子快速進行反應，生成  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，由於這個反應相當快速，所形成的化學能相當的強大，形成一股強勁的電動勢，所以電壓較其它者大，電流也不容小覷。
- (二)、在鹼當中我們有使用強鹼的氫氧化鈉以及氫氧化鉀兩者，這兩者中心陽離子分別為鈉及鉀，根據表六整理之陽離子半徑，鈉的陽離子半徑為  $102 \text{ pm}$ ，鉀的陽離子半徑為  $138 \text{ pm}$ ，可發現鉀的陽離子半徑比較大，因此我們判斷，由於鉀的半徑較大所以對於氫氧根的拉力小，所以容易將氫氧根，釋放出去，因此鋁更加容易獲得水中的氫氧根，反應也比其他的電解液更加劇烈。

### 三、為何電解液配製 2 M?

在實驗過程中發現，2 M 時之電功率為最高，我們推論下列原因:

- (一)、在反應過程中，鋁會和氫氧根進行反應產生氫氣，而氫氣會在 KOH 溶液中產生氣泡並附著在金屬表面，而阻擋住了鋁和 KOH 溶液進行反應的途徑。
- (二)、由於 KOH 的濃度越高其氫氧根越多，因此反應會更加劇烈，我們經由多次的實驗測試之後發現，當 KOH 溶液為 2 M 產生的氣泡沒有比 3 M 及 4

M 的多，而氫氧根的含量也比 1 M 來的多，依據圖十二得知，電功率為裡面最大者。

#### 四、為何使用年糕紙作為半透膜?

- (一)、容易取得。
- (二)、不需處理即有較玻璃紙佳的電壓及電流。
- (三)、成本低。

#### 五、為何不使用玻璃紙?

玻璃紙我們經過酸、鹼蝕，其電壓電流均為零，若進行打磨才有電壓及些許電流產生，不過打磨之後容易產生小破洞，其風險甚大，故不使用玻璃紙為半透膜。

#### 六、為何年糕紙不進行打磨處理?

年糕紙比起玻璃紙較薄，若進行打磨，容易產生破洞，導致 KOH 外漏，而影響電池之效率。

#### 七、浸泡酸鹼溶液的天數對電壓及電流有何影響?

- (一)、經由實驗發現泡酸會使半透膜變薄，因此可由圖十六得知，電壓電流會隨著天數上升，不過變在第三天後發現電壓及電流漸漸趨緩的趨勢，因此我們推測這是因為，年糕紙上可陰陽離子交換的通道已經到了最大極限，因此才會有此現象發生。
- (二)、經由圖十七發現，泡鹼的半透膜在第二天時，因為膨潤現象而使電壓電流快速下降，第三天以後因為強鹼會破壞部分纖維素，所以電壓及電流才會略微上升，但上升幅度太小，還是比不過酸蝕來得有效。

#### 八、年糕紙浸泡酸鹼溶液時，為什麼酸處理後的電壓電流較高?

經整理文獻資料發現，年糕紙為纖維素所構成的

- (一)、在酸方面，氫離子會與纖維素進行水解反應，因此年糕紙會變得更薄，使陰陽離子的傳遞效率大增。
- (二)、在鹼方面，由於氫氧根離子與年糕紙中的纖維素反應，造成膨潤現象，使年糕紙進行陰陽離子交換的通道變小，而使效率變低。

## 柒、結論

- 一、在鋁銅電池方面，成功做出電流，且電壓維持在市售電池之範圍 1.5V。
- 二、半透膜以年糕紙為最佳，便宜、好取得、經酸蝕處理後品質穩定且電壓電流大。
- 三、年糕紙以酸蝕所產生的電功率為最大，以酸蝕第 4 天為最佳天數。
- 四、我們以鋁片 50 cm<sup>2</sup> 搭配銅片 37.5 cm<sup>2</sup> 為反應最佳面積。
- 五、實驗發現就溫度而言，在攝氏 30 度(室溫)為工作效率最佳。
- 六、本實驗之鋁銅電池銅離子回收率可達 99.99 %，且電壓 1.575 V 電流 3.05 mA。
- 七、未來展望:

### (一)、電流增大

由於鋁片會和 KOH 反應產生氣泡易產生極化現象，進而阻礙質傳效果，使電阻上升，讓電壓及電流變得不穩定，若未來能找到有效的去極方法，電流可能有大幅度的進展，將這些電力儲存在蓄電池內，好好的運用這份能量，不僅可以節省一些電力的費用。

### (二)、聚氯化鋁 (PAC)

反應後的 KOH，裡面含有 Al<sup>3+</sup> 離子，我們可使用市面上常見的鹽酸法，加入鹽酸進行酸化，製造出具有淨水效果的聚氯化鋁 (PAC)，做為新的利用方式。

### (三)、其他重金屬離子回收可行性

可以將銅片換成欲回收離子之電極板，例如:鎳、鉻、鋅之重金屬離子，皆可進行回收，提高裝置之實用性。



## 捌、參考資料及其他

### 一、書籍資料

- (一)、 蔡永昌、江孟玲 (2016) 分析化學 I 台科大圖書股份有限公司
- (二)、 蔡永昌 (2015) 普通化學 I 台科大圖書股份有限公司

### 二、網路資料

- (一)、 朗伯-比爾定律 科學 Online。取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=40839>

- (二)、 克希荷夫電路定律 科學 Online。取自

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?tag=%E5%85%8B%E5%B8%8C%E4%BD%95%E5%A4%AB%E9%9B%BB%E8%B7%AF%E5%AE%9A%E5%BE%8B>

- (三)、 污染防治現況-廢水問題 中山大學全球資訊網。取自

<http://www2.nsysu.edu.tw/IEE/lou/elec/web/pollute/pcb.htm>

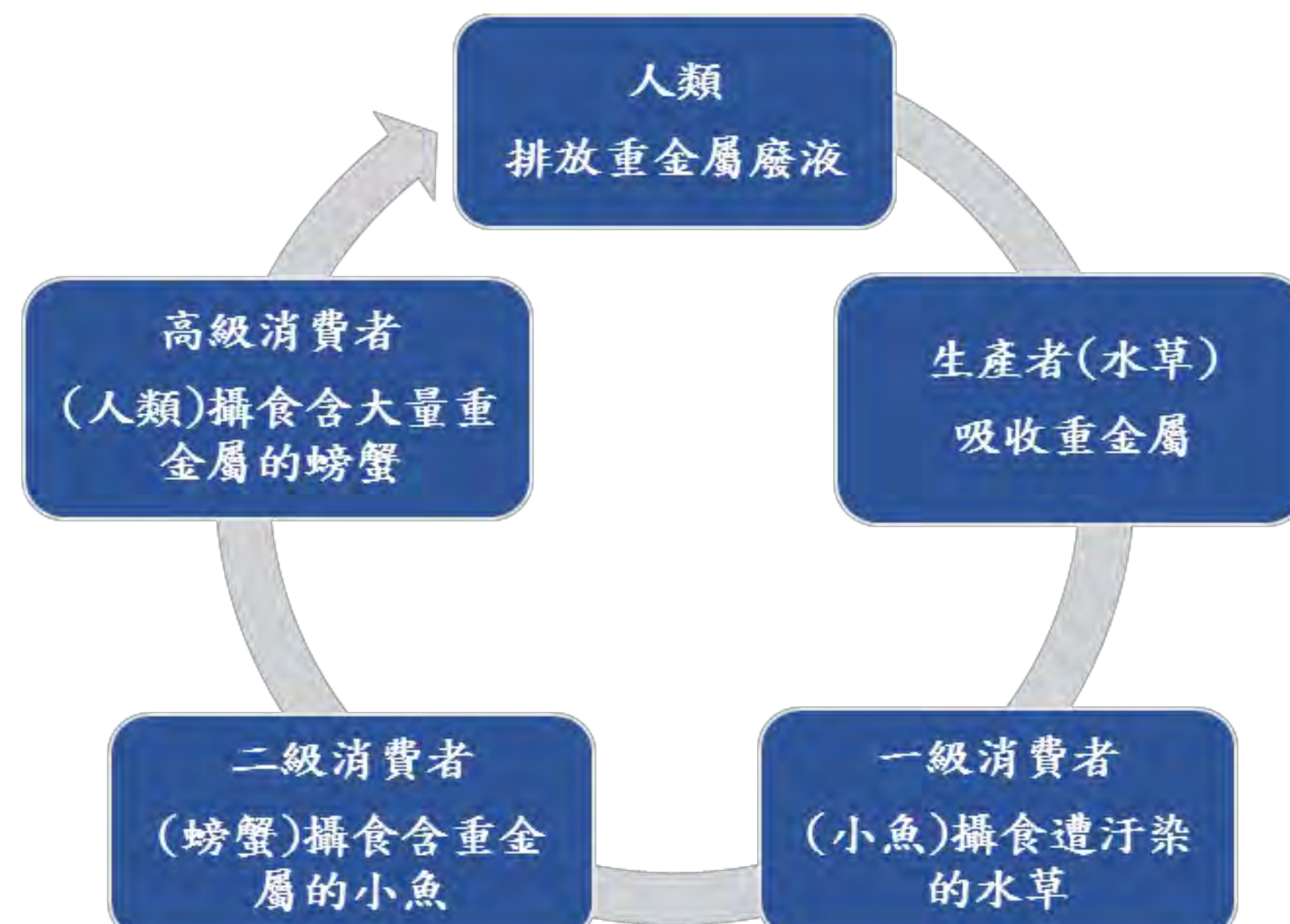
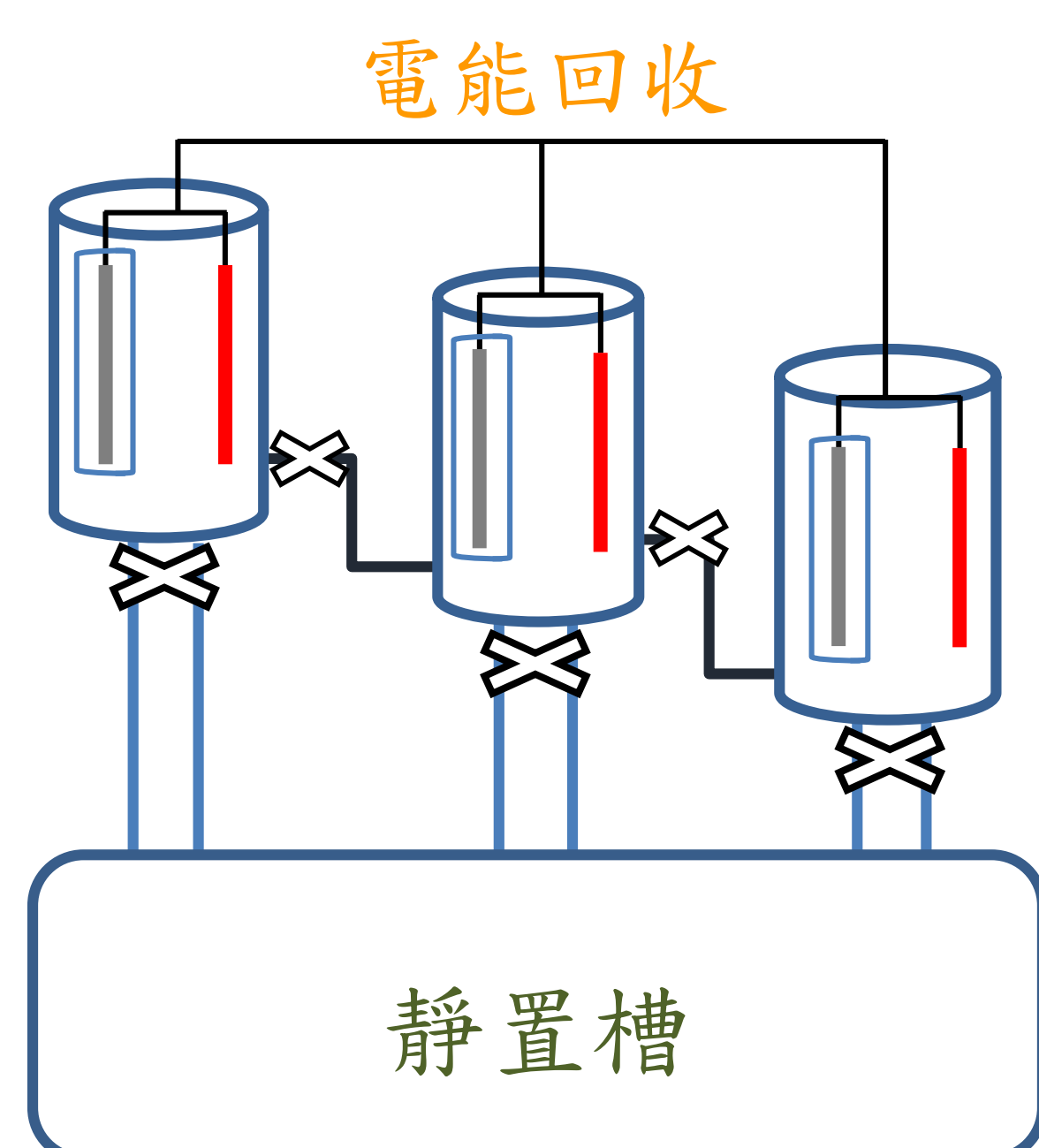
## 【評語】 052408

本作品利用氧化還原反應原理，鋁銅組成電池，將廢液中銅離子還原成銅金屬，在淨化水質的同時產生電。實驗設計包括電極面積、電解液種類、電解液濃度、溫度、pH 值、半透膜等。實驗宜重複驗證再現性。報告之撰寫宜參考學術報告之格式。玻璃紙及年糕紙作為半透膜，二者的物性及化性宜進一步分析，實驗記錄與討論宜針對圖表具體說明分析。另，建議增加文獻回顧，並可與其做比較。



## ● 摘要

利用氧化還原反應，鋁的活性較銅大，因此鋁扮演失去電子的角色，將鋁片放入 2 M KOH，銅片放入模擬含銅高濃度之廢液 1 M CuSO<sub>4</sub>，銅廢液之 Cu<sup>2+</sup> 離子得電子析出於銅片，原本濃度高達 635000 ppm 之廢液經回收後 Cu<sup>2+</sup> 離子濃度下降至 1.999 ppm，符合行政院環境保護署規定之放流水標準 3.000 ppm，Cu<sup>2+</sup> 離子回收率達 99.99 %。達到淨化銅廢液的效果，同時氧化還原過程中可產生電能，接上蓄電池，儲存產生之電力，其電壓 1.575 V 及電流 3.05 mA。



## ● 研究動機

許多產業的製程中都會產生含重金屬之廢液，其中我們將對印刷電路板及半導體產業所產生的廢液進行銅離子回收處理之研究，於是我們整理了在印刷電路板部分製程中所產生的廢液。

利用氧化還原反應，金屬離子之得失電子，將銅離子還原成銅金屬，並使用分光光度計及原子吸收光譜作濃度的檢測，觀察下降濃度，及三用電表探討電壓、電流、電阻及電功率。

## ● 研究過程或方法

### 了解鋁銅電池之原理及構造

陰陽電極板	銅廢液	電解液	半透膜	溫度
銅	飽和 CuSO <sub>4</sub> 模擬廢液	其他	化學處理	利用恆溫水槽模擬環境溫度
鋁		KOH	物理處理	
大小(表面積)	探討銅廢液最佳 pH	最佳濃度	年糕紙	玻璃紙

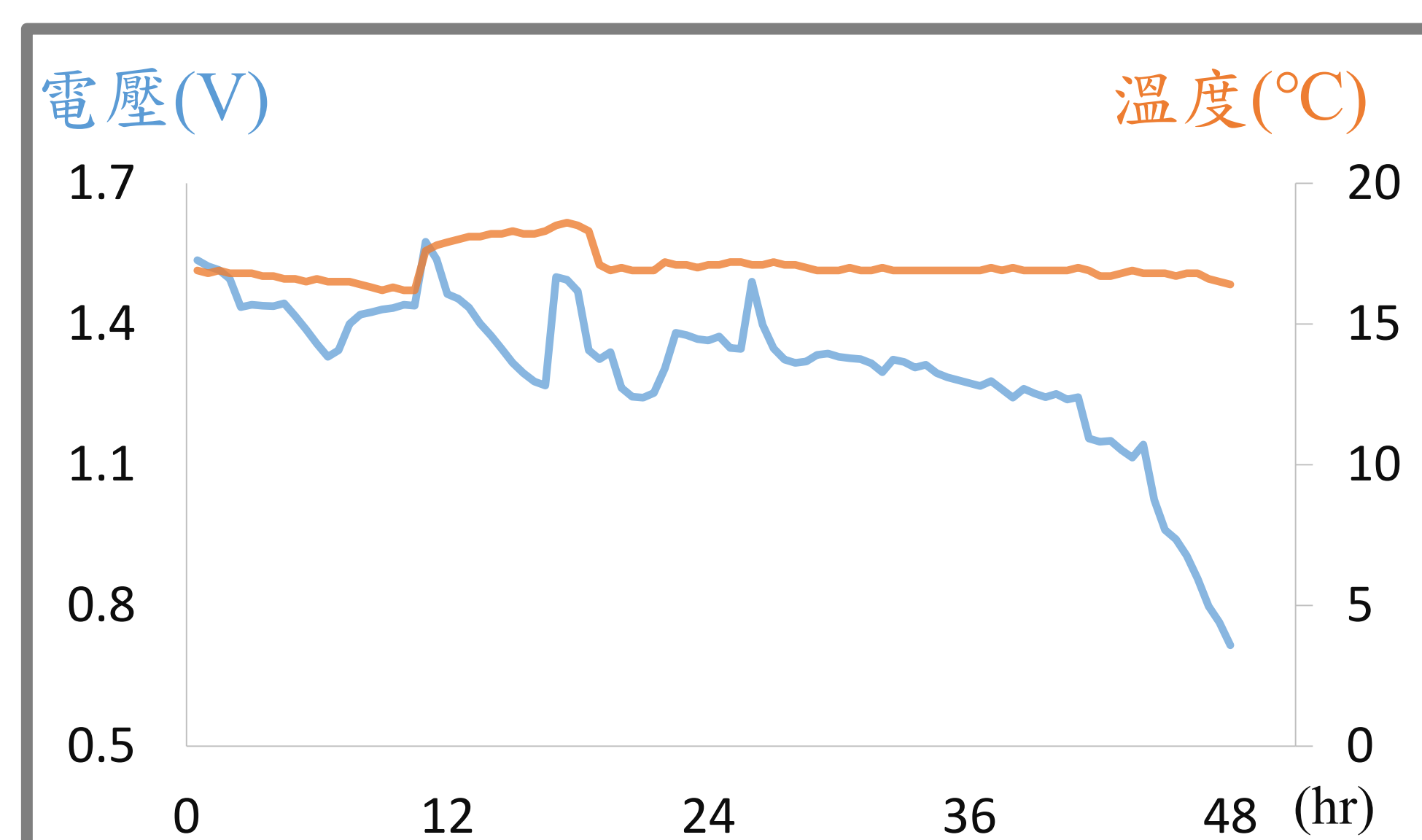
### 取得最佳參數

利用原子吸收光譜證實實驗可行性	檢驗銅離子回收率	進行電池串並聯測試
-----------------	----------	-----------

### 結論

## ● 結論

利用原子吸收光譜之檢量線回推濃度，得到反應後之濃度為 1.999 ppm 其下降率可高達 99.99 %，可得知本裝置具有相當高的回收效率。



## ● 未來展望

### (一)、電流增大

由於鋁片會和 KOH 反應產生氣泡易產生極化現象，讓電壓及電流變得不穩定，若未來能找到有效的去極方法，電流可能有大幅度的進展。

### (二)、聚氯化鋁 (PAC)

反應後的 KOH，裡面含有 Al<sup>3+</sup> 離子，我們可使用市面上常見的鹽酸法，加入鹽酸進行酸化，製造出具有淨水效果的聚氯化鋁 (PAC)，做為新的利用方式。

### (三)、其他重金屬離子回收可行性

可以將銅片換成欲回收離子之電極板，例如：鎳、鉻、鋅之重金屬離子，皆可進行回收，提高裝置之實用性。



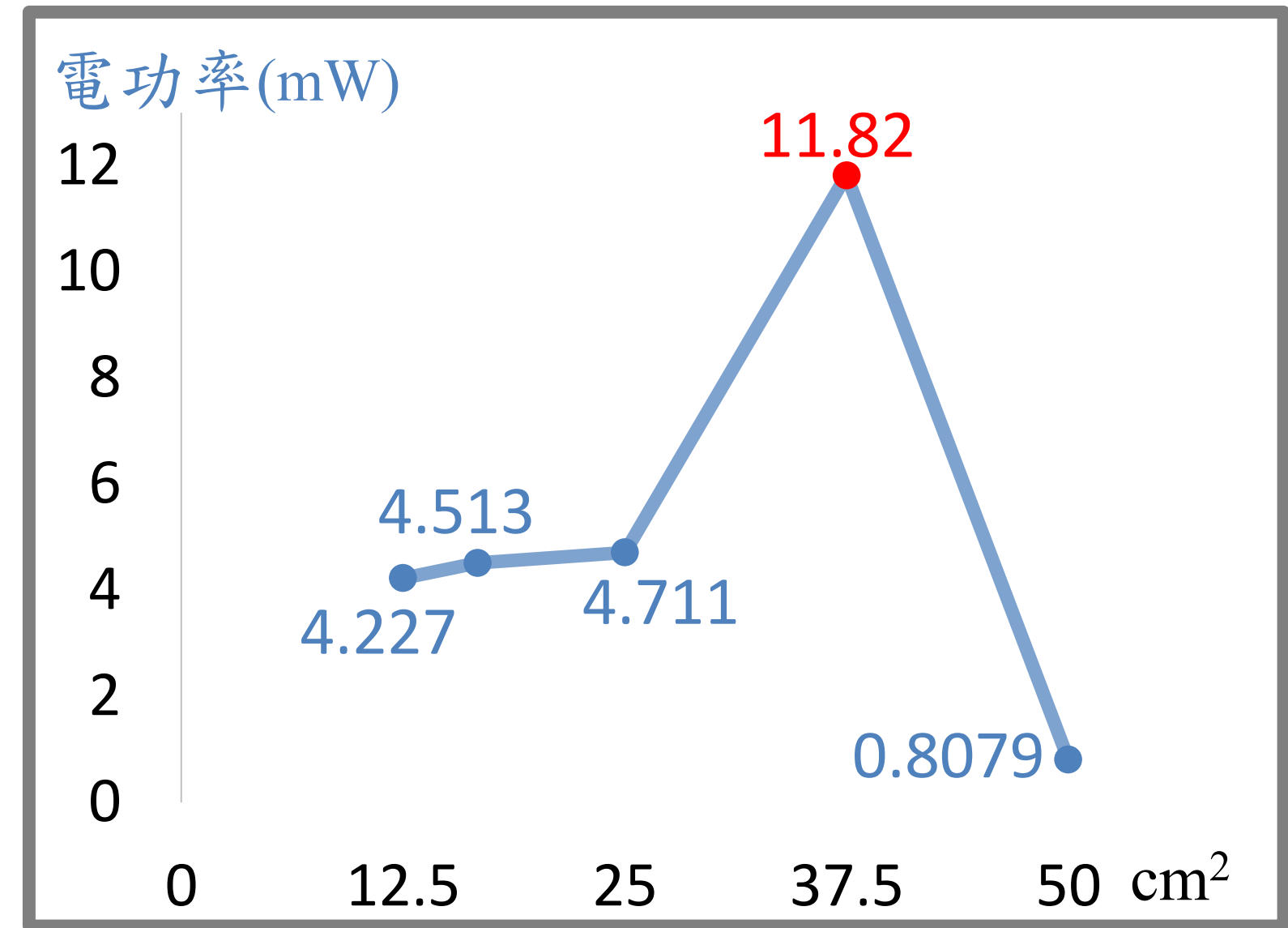
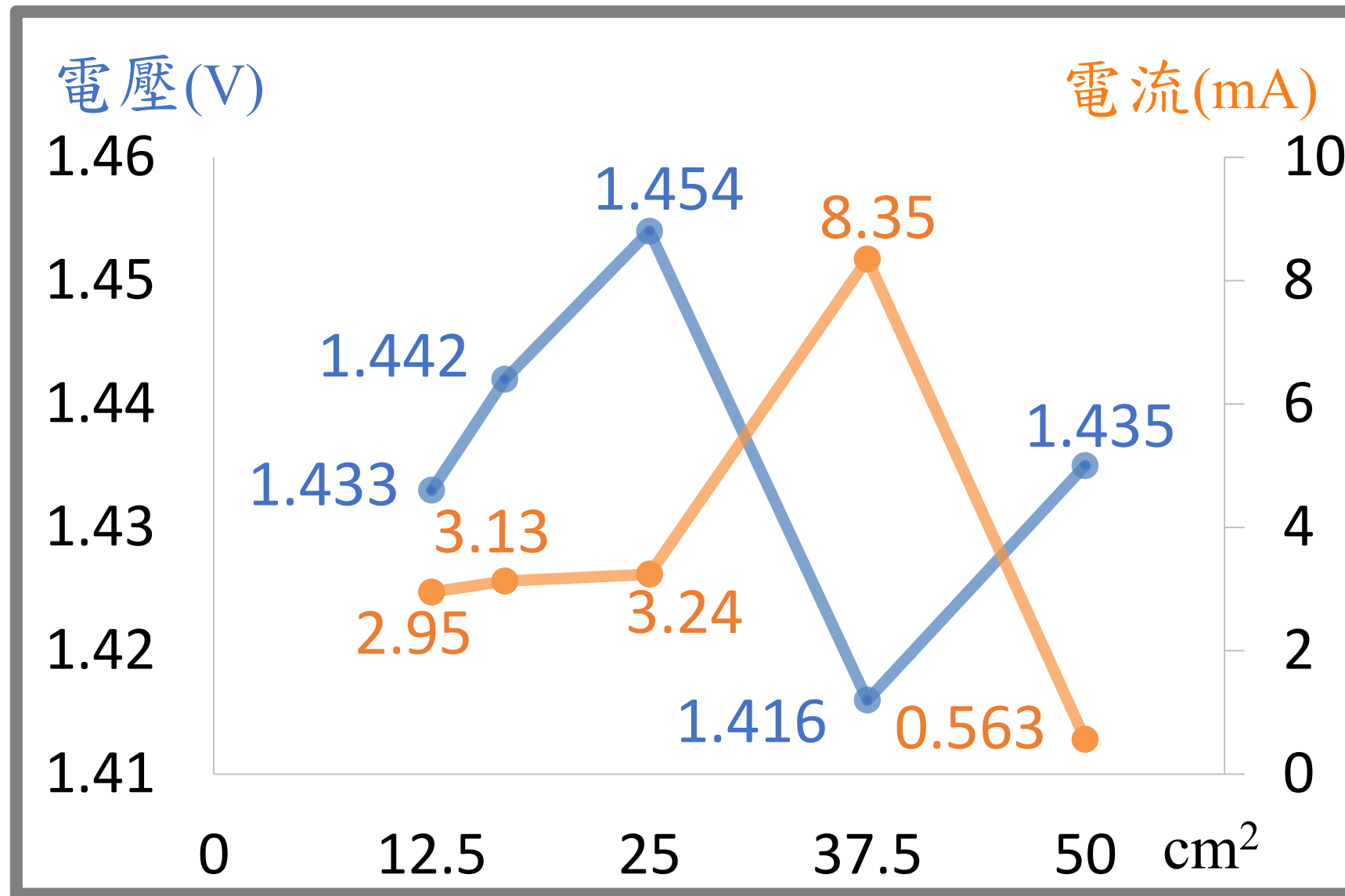
# ● 研究結果

## 陰陽電極板

### 銅面積對電壓電流及電功率之影響

銅片面積 (cm <sup>2</sup> )	12.5	16.7	25	37.5	50
電壓 (V)	1.433	1.442	1.454	1.416	1.435
電流 (mA)	2.95	3.13	3.24	8.35	0.563
電功率 (mW)	4.227	4.513	4.711	11.82	0.8079

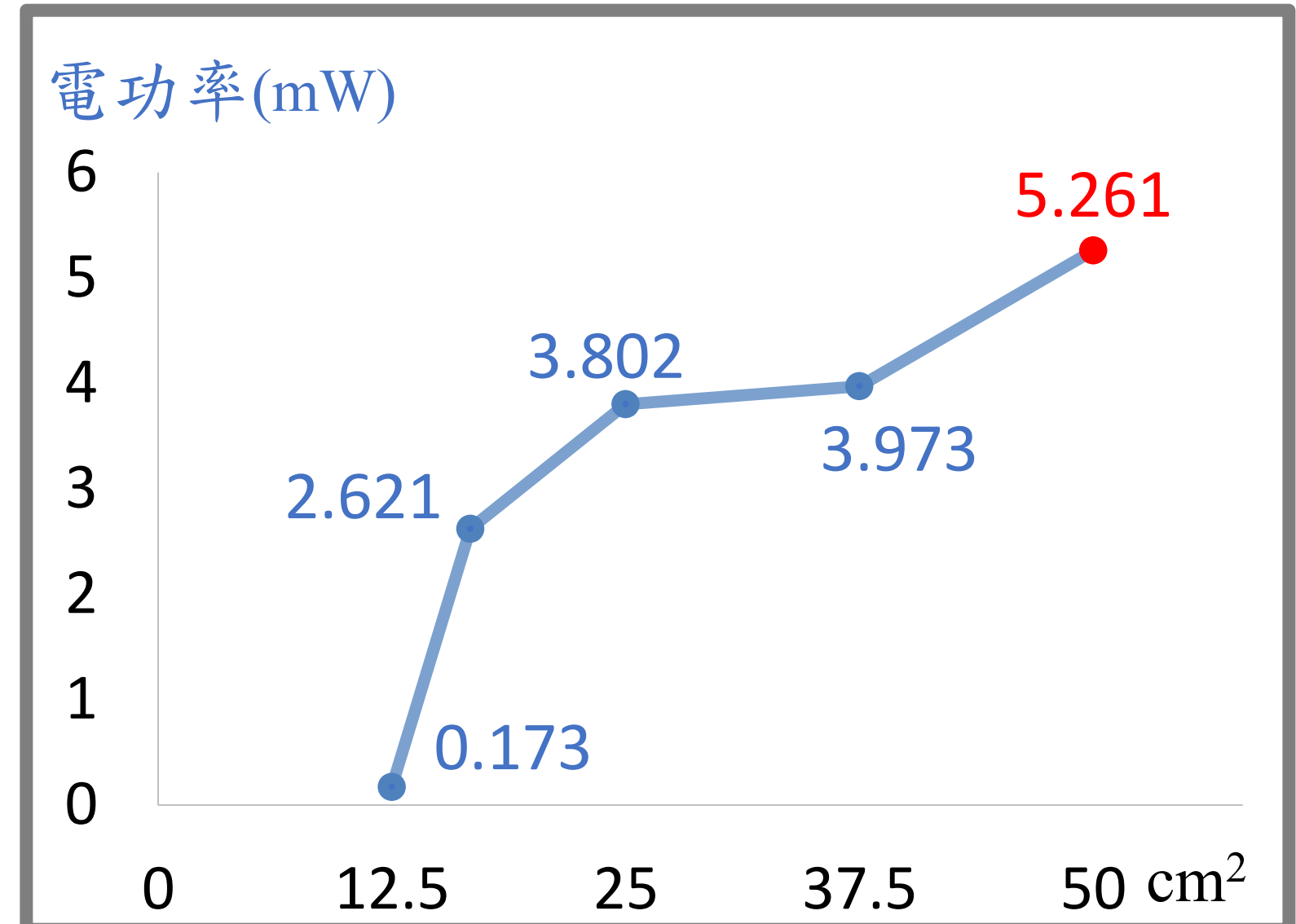
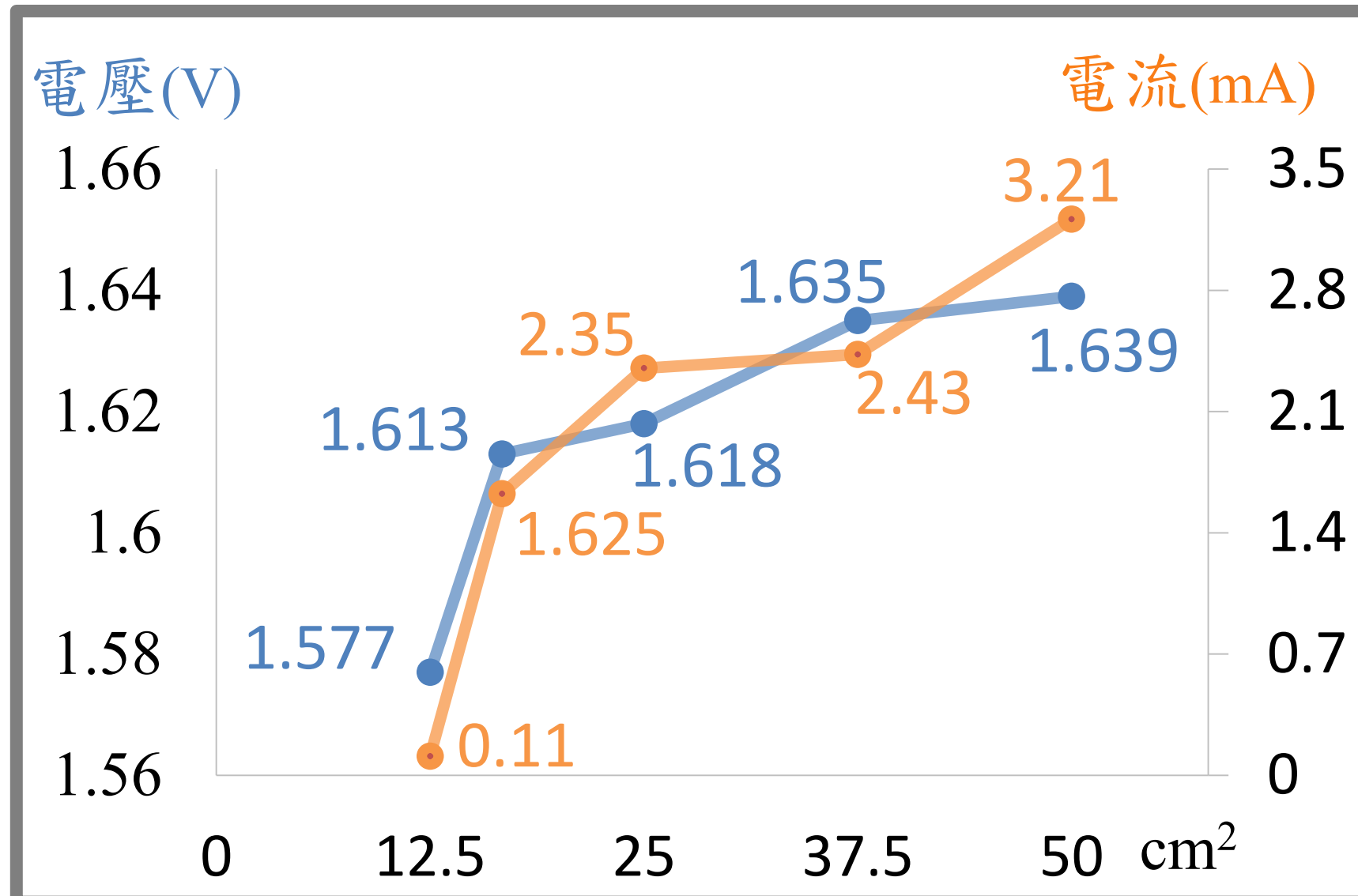
在鋁片為 50 cm<sup>2</sup> 和銅片為 37.5 cm<sup>2</sup> 時，其電功率最大



### 鋁面積對電壓電流及電功率之影響

鋁片面積 (cm <sup>2</sup> )	12.5	16.7	25	37.5	50
電壓 (V)	1.577	1.613	1.618	1.635	1.639
電流 (mA)	0.11	1.625	2.35	2.43	3.21
電功率 (mW)	0.173	2.621	3.802	3.973	5.261

在銅片為 50 cm<sup>2</sup>，發現電壓及電流皆隨鋁片面積下降而下降

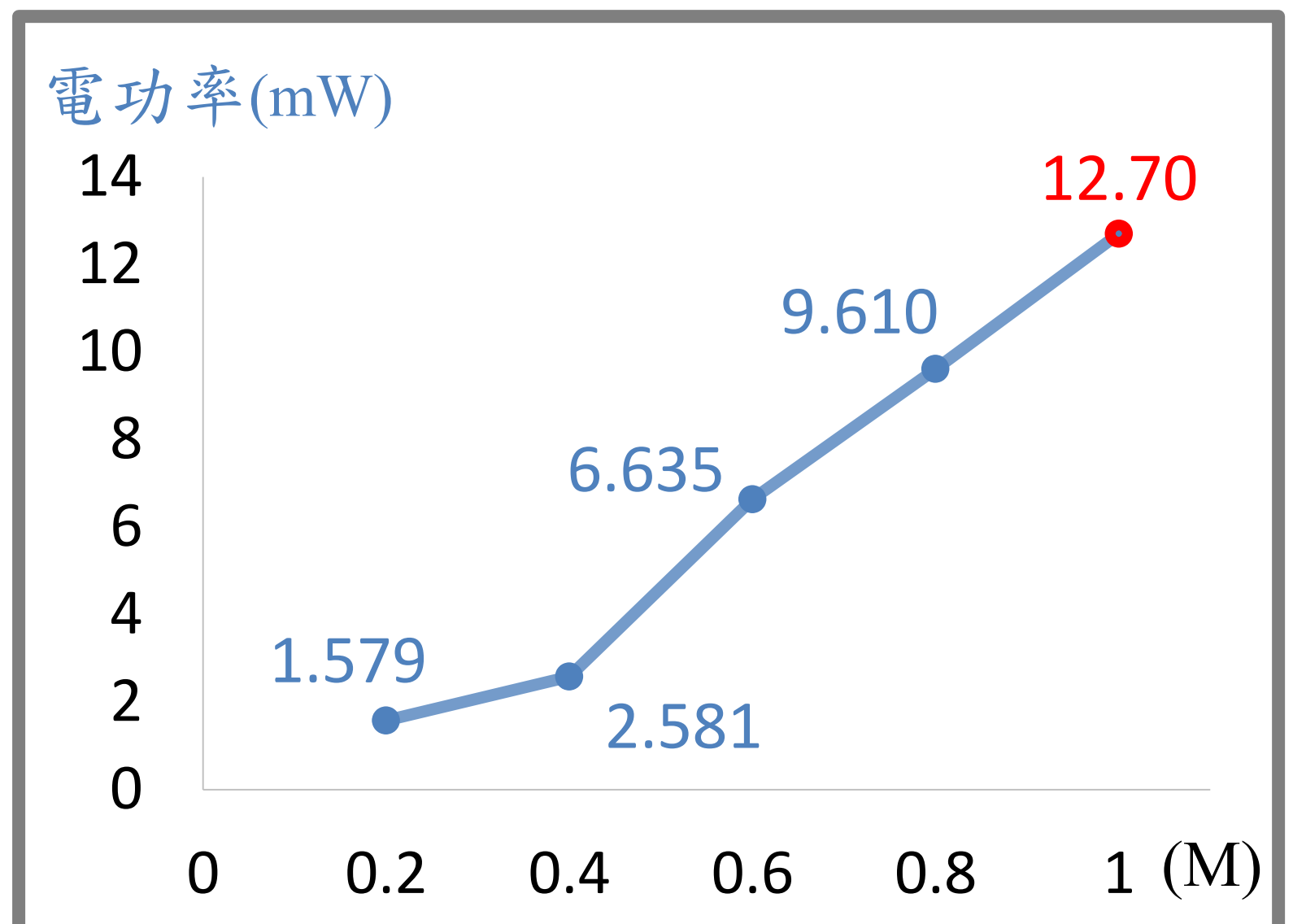
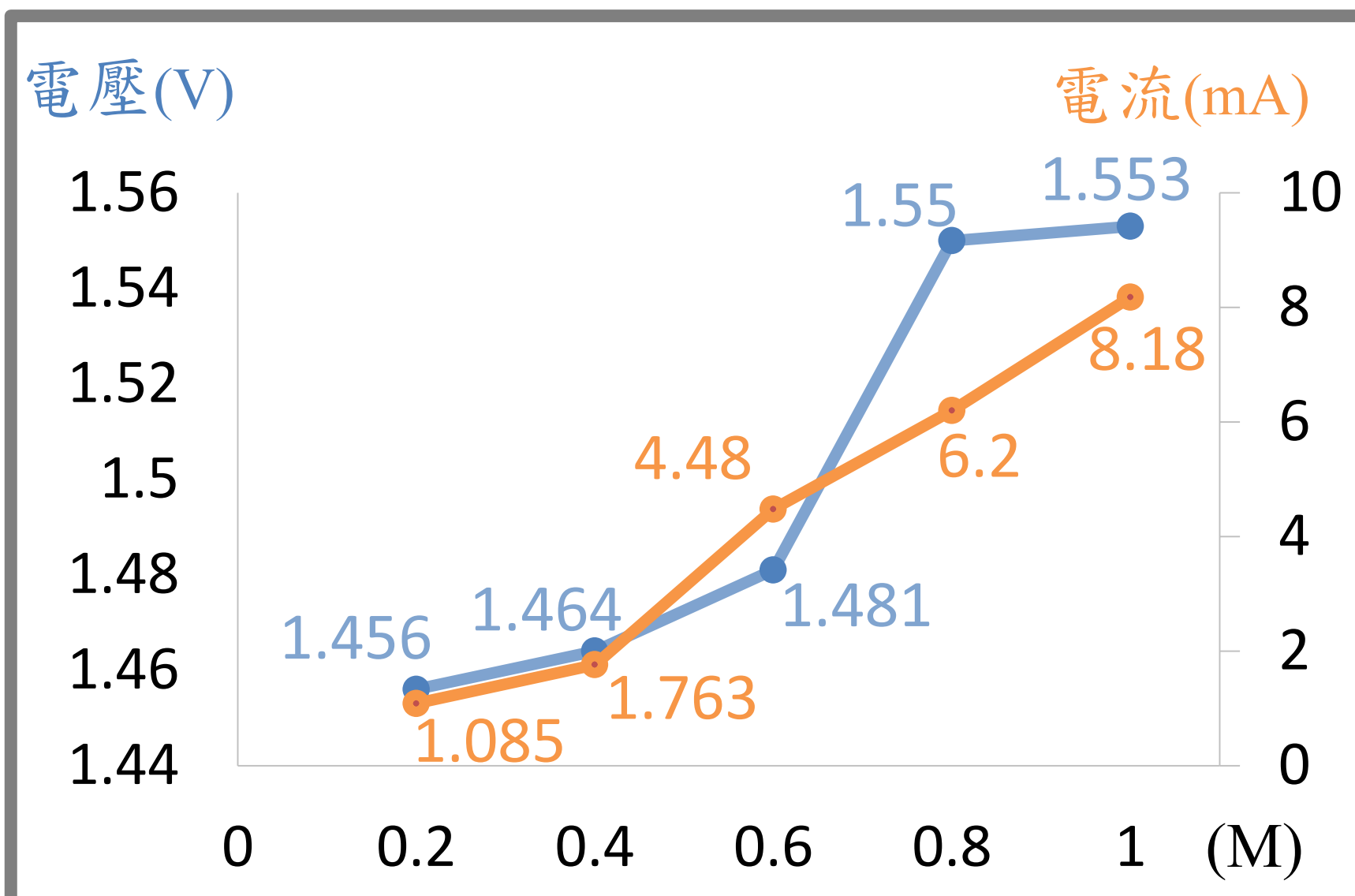


## 銅廢液

### 硫酸銅濃度對電流及電壓之影響

CuSO <sub>4</sub> (M)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
電壓 (V)	1.456	1.464	1.481	1.550	1.553
電流 (mA)	1.085	1.763	4.480	6.200	8.180
電功率 (mW)	1.579	2.581	6.635	9.610	12.70

電壓及電流隨硫酸銅濃度之下降而下降

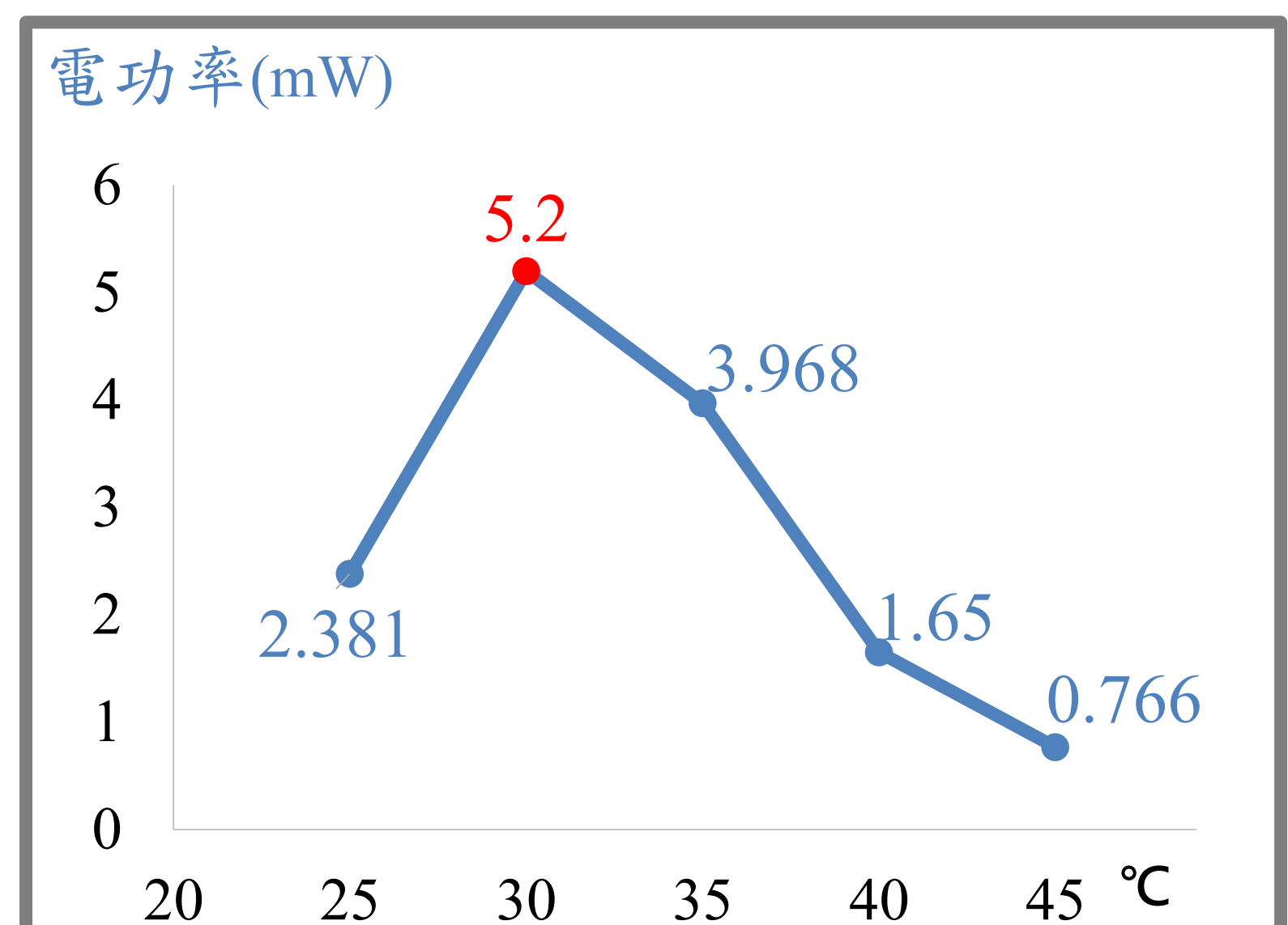
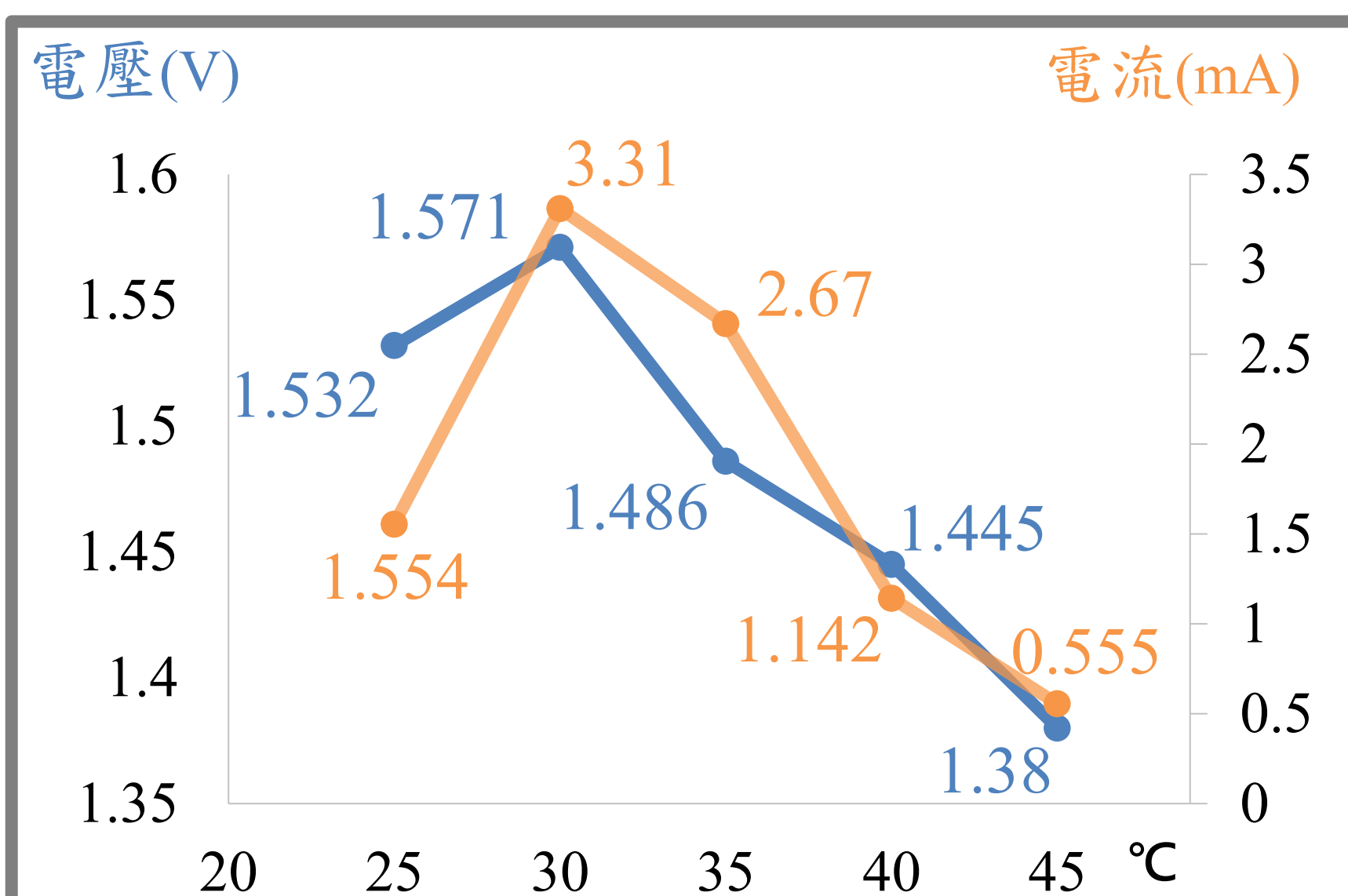


## 溫度

### 溫度對電壓電流及電功率之影響

溫度 (°C)	25	30	35	40	45
電壓 (V)	1.532	1.571	1.486	1.445	1.380
電流 (mA)	1.554	3.310	2.670	1.142	0.555
電功率 (mW)	2.381	5.200	3.968	1.650	0.766

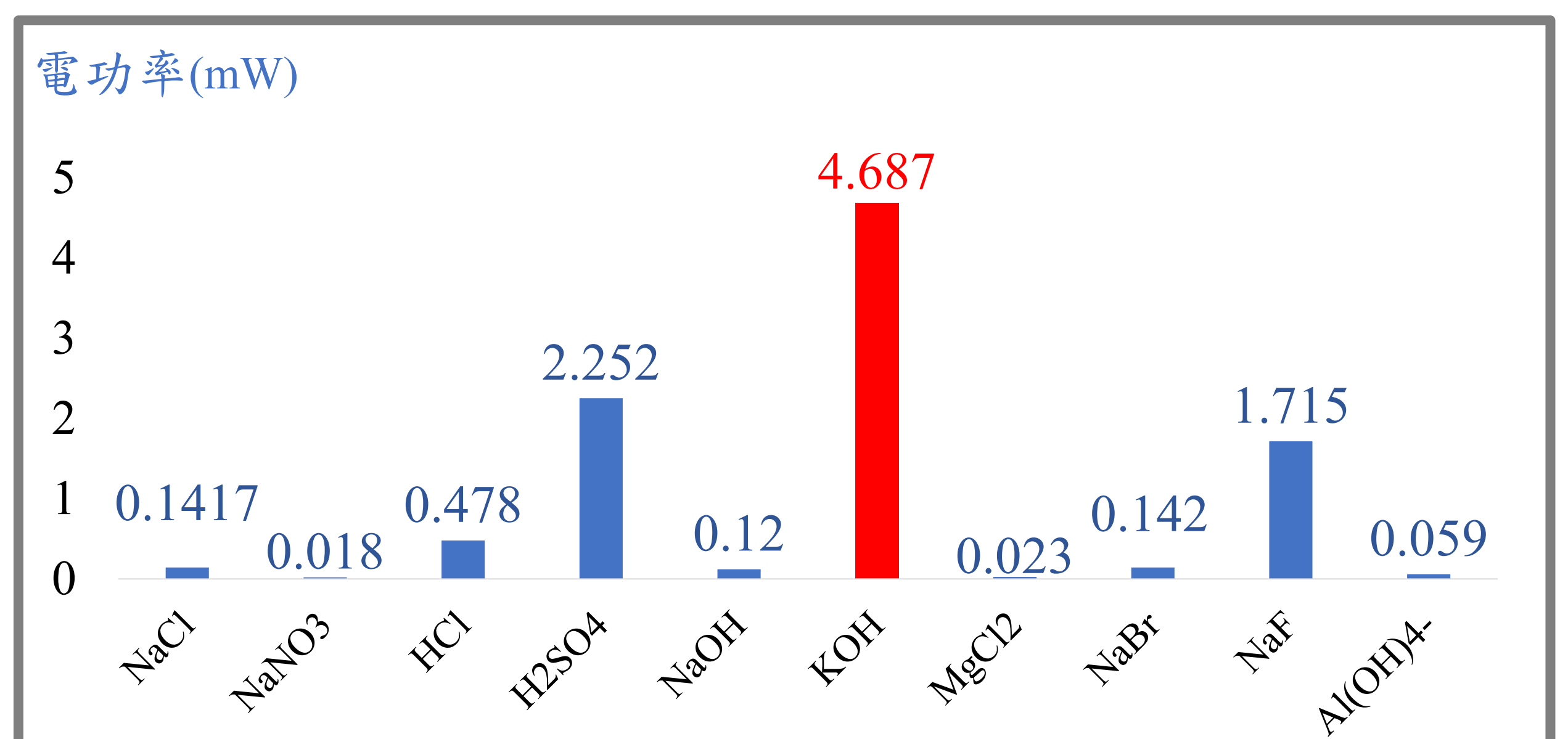
實驗發現就溫度而言，在 30 °C 為工作效率最佳。



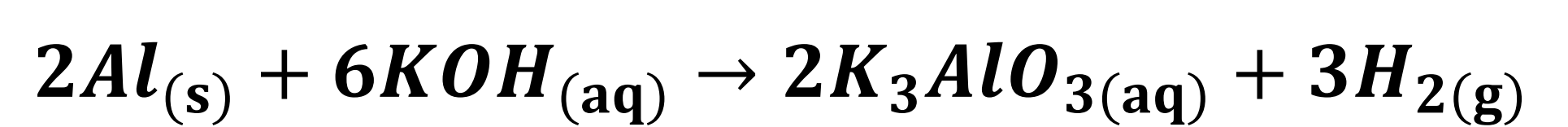
## 電解液

### 比較各 2M 電解液之電壓、電流及電功率

	電壓 (V)	電流 (mA)	電功率 (mW)	陽離子半徑 (pm)	陰離子半徑 (pm)	陽離子價數
NaCl	0.819	0.173	0.142	102	181	+1
NaNO <sub>3</sub>	0.651	0.028	0.018			+1
HCl	0.940	0.508	0.478	32	181	+1
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.612	3.680	2.252			+1
NaOH	1.515	0.079	0.120	102	137	+1
KOH	1.605	2.920	4.687	138	137	+1
MgCl <sub>2</sub>	0.838	0.028	0.023	72	181	+2
NaBr	0.727	0.195	0.142	102	196	+1
NaF	1.512	1.134	1.715	102	133	+1
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1.379	0.043	0.059	250	137	+4



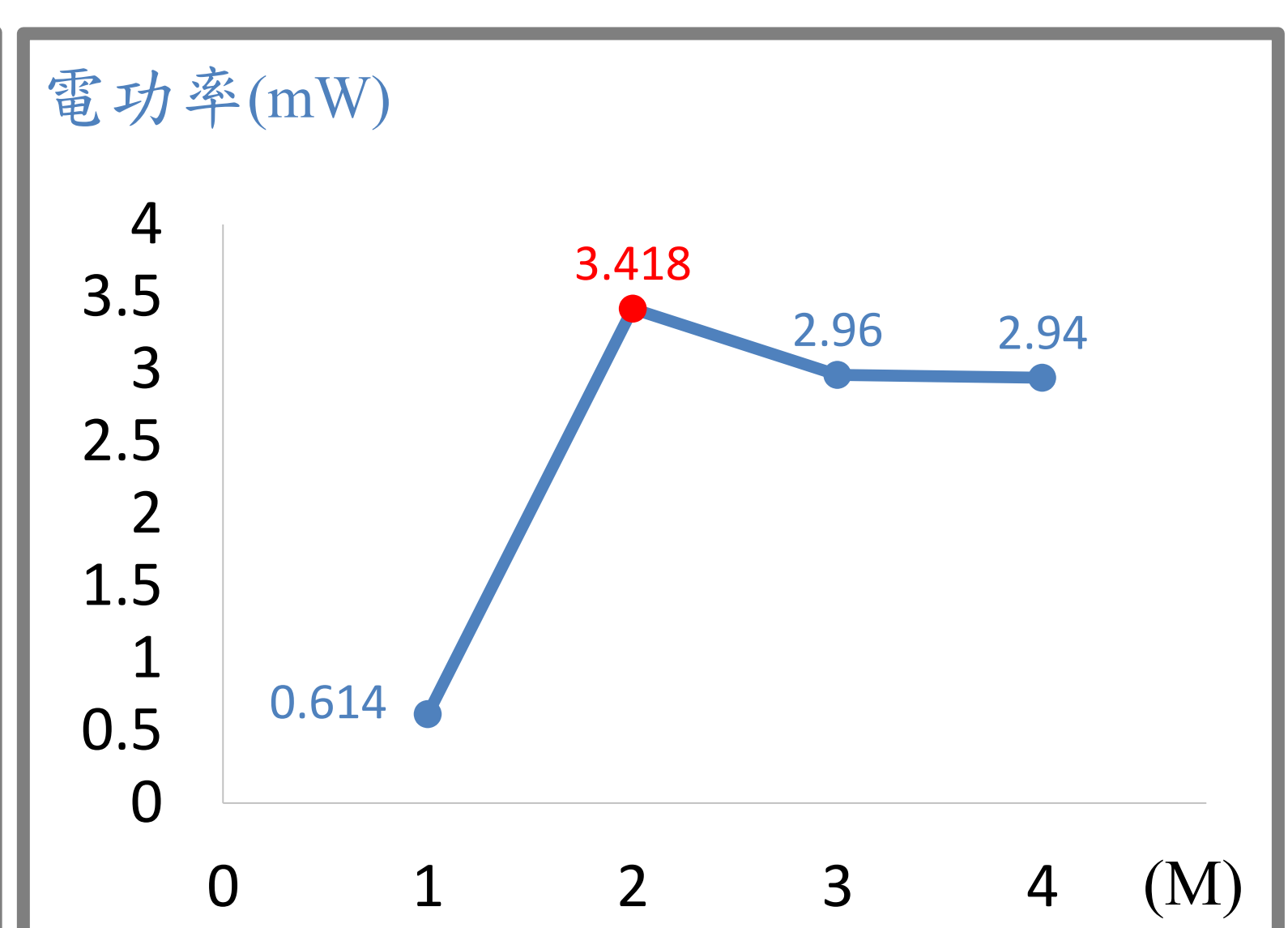
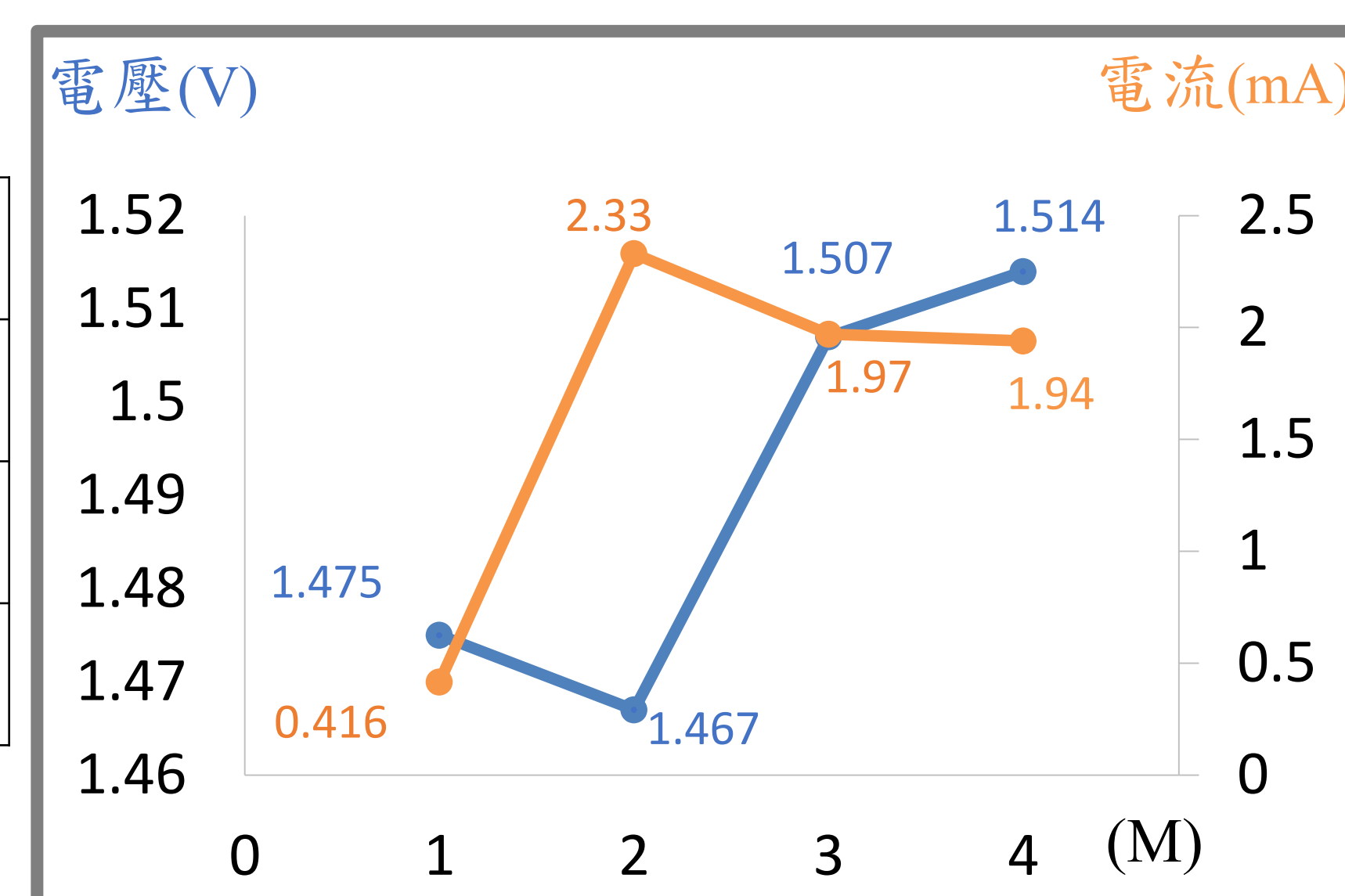
經計算 KOH 其電功率位居第一，因此選用 KOH 作為本實驗所使用的電解液



### KOH 對電流電壓及電功率之影響

KOH (M)	1.0	2.0	3.0	4.0
電壓 (V)	1.475	1.467	1.507	1.514
電流 (mA)	0.416	2.330	1.970	1.940
電功率 (mW)	0.614	3.418	2.960	2.940

發現 KOH 濃度在 2M 時電功率最大



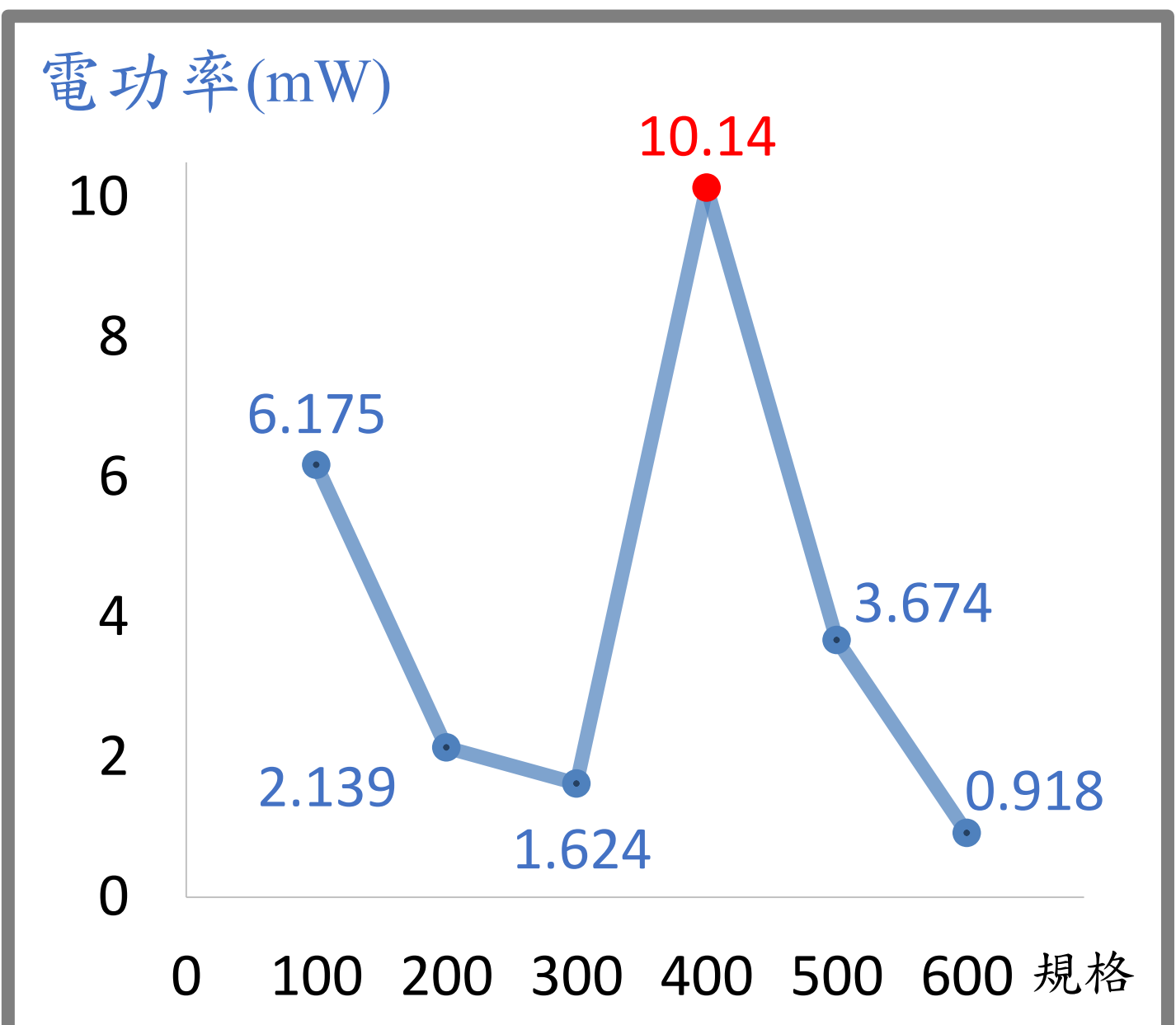
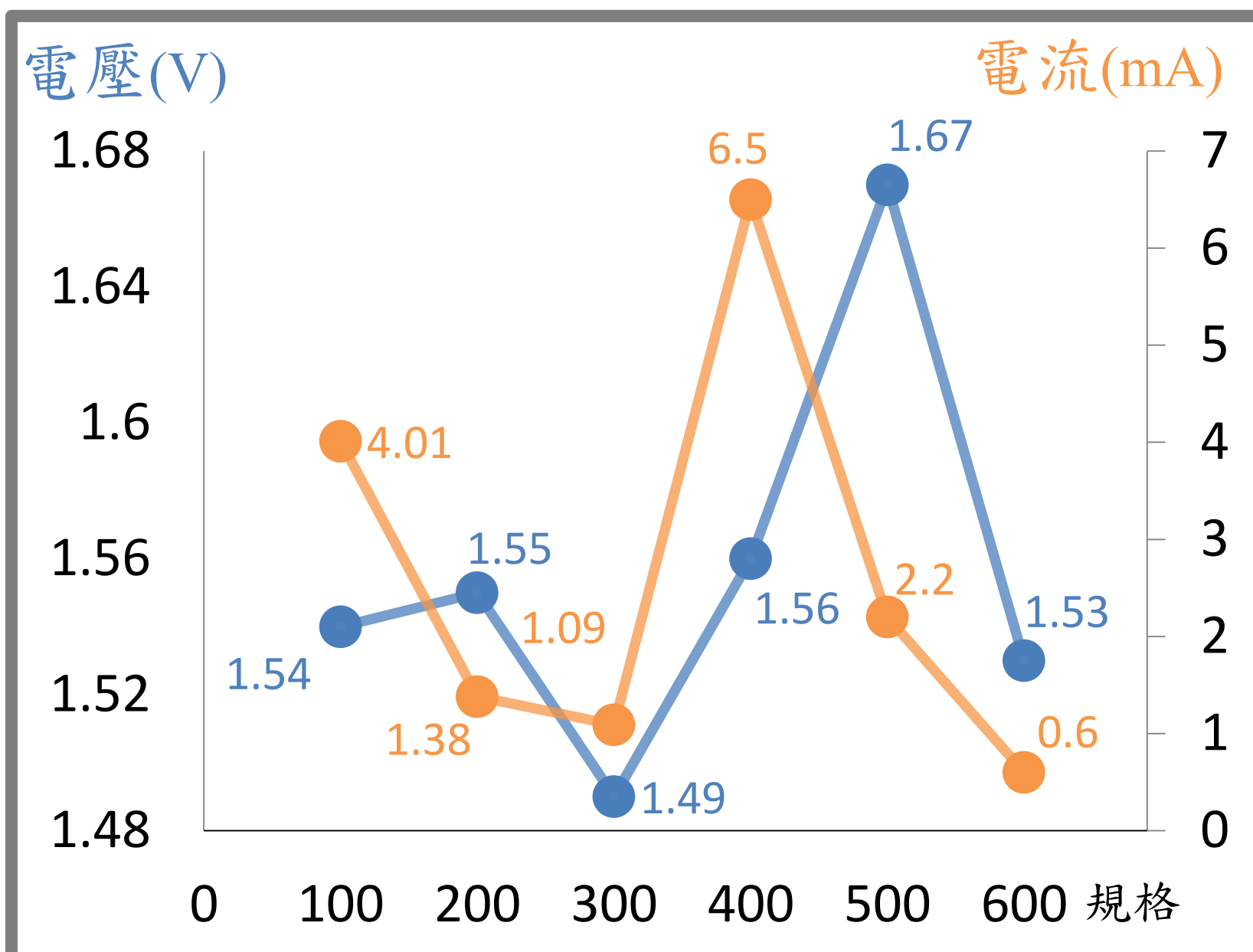


# 半透膜

## 玻璃紙對電壓電流及電功率之影響

水砂紙 (規格)	100	200	300	400	500	600
電壓(V)	1.540	1.380	1.490	1.560	1.670	1.530
電流 (mA)	4.010	1.380	1.090	6.500	2.200	0.600
電功率 (mW)	6.175	2.139	1.624	10.14	3.674	0.918

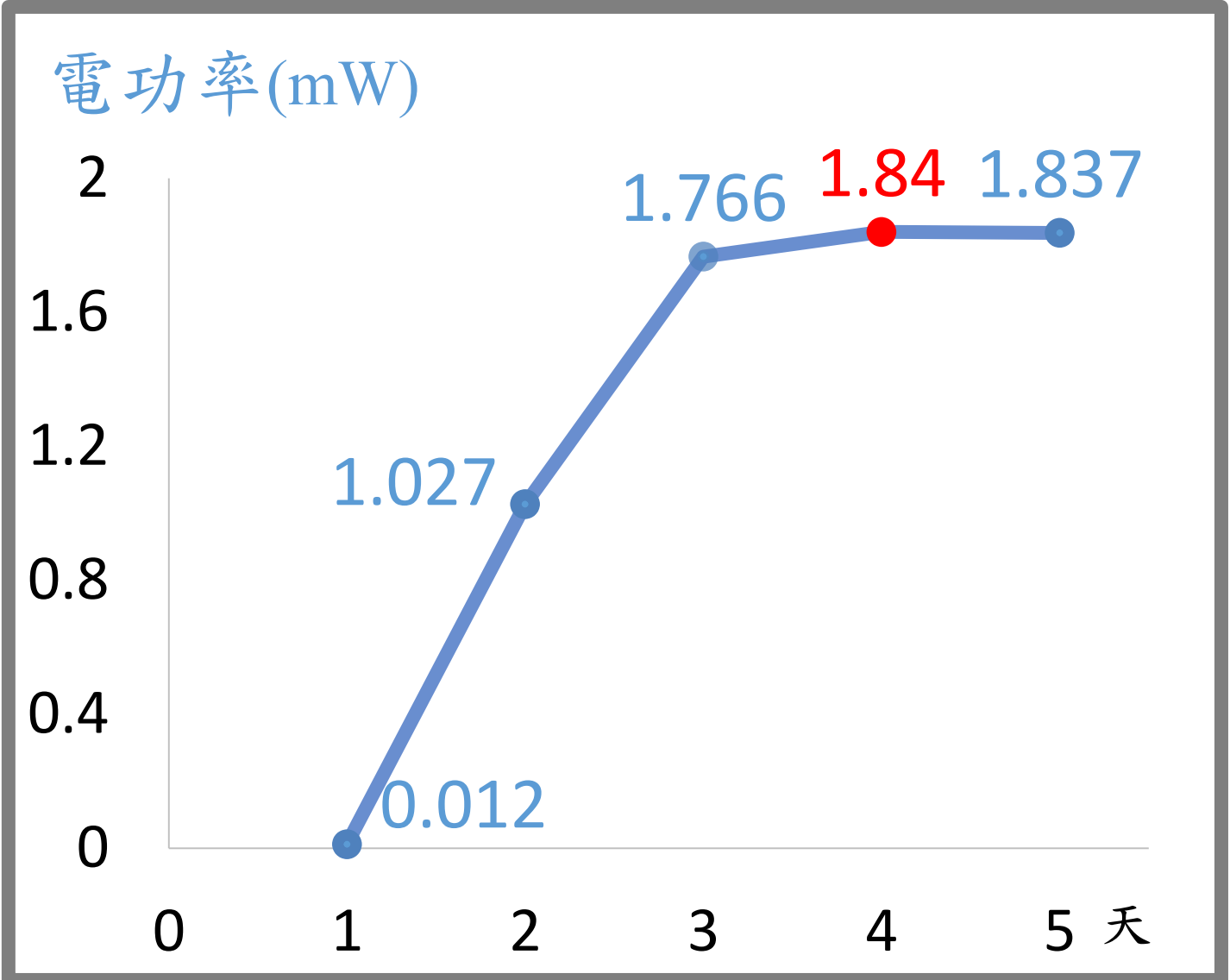
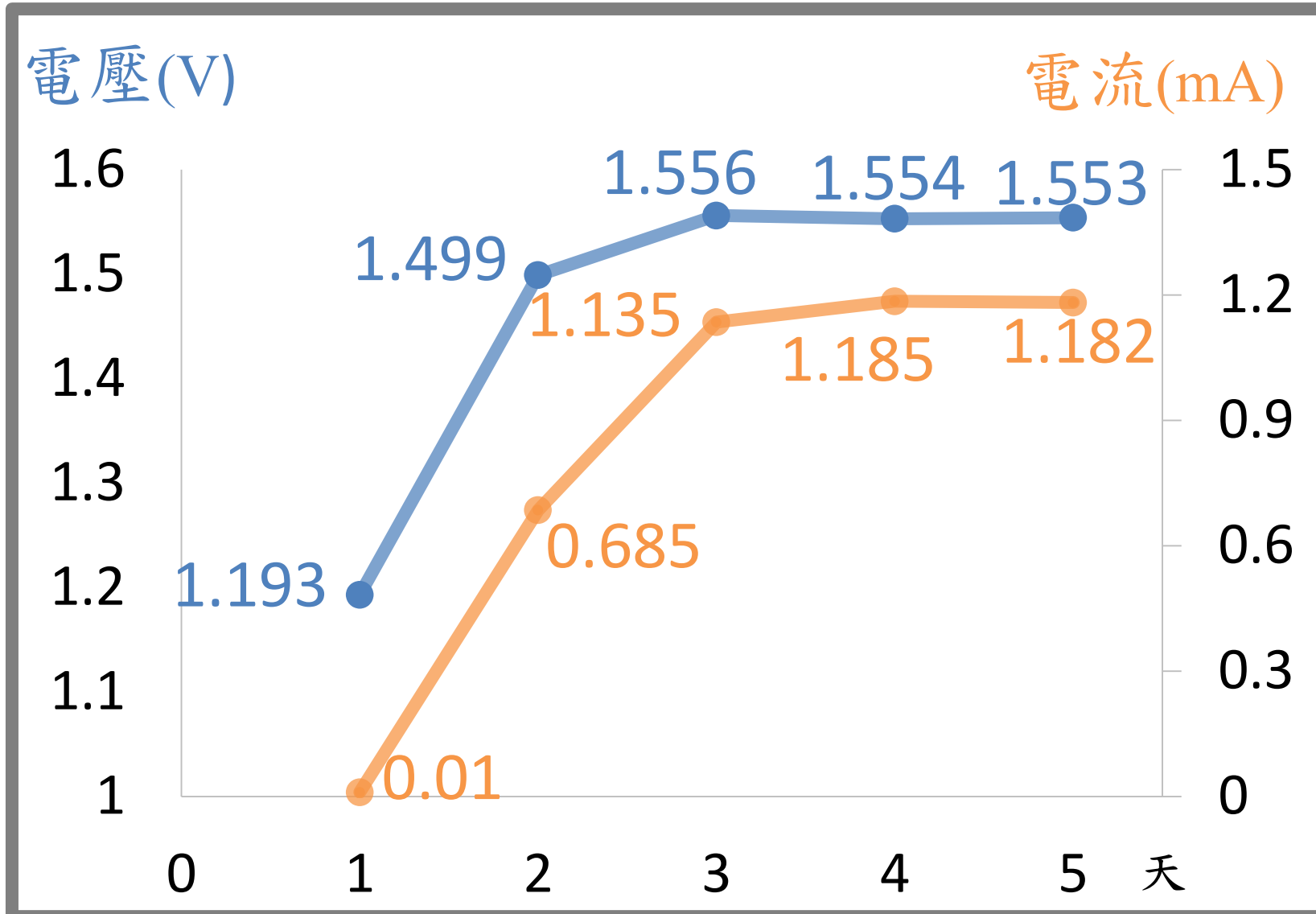
在 400 號時電功率為最大值，玻璃紙易破洞導致 KOH 漏出，不採用水砂紙為玻璃膜處理方式



## 年糕紙酸蝕對電壓電流及電功率之影響

酸蝕天數	1	2	3	4	5
電壓(V)	1.193	1.499	1.556	1.554	1.553
電流 (mA)	0.010	0.685	1.135	1.185	1.182
電功率 (mW)	0.012	1.027	1.766	1.840	1.837

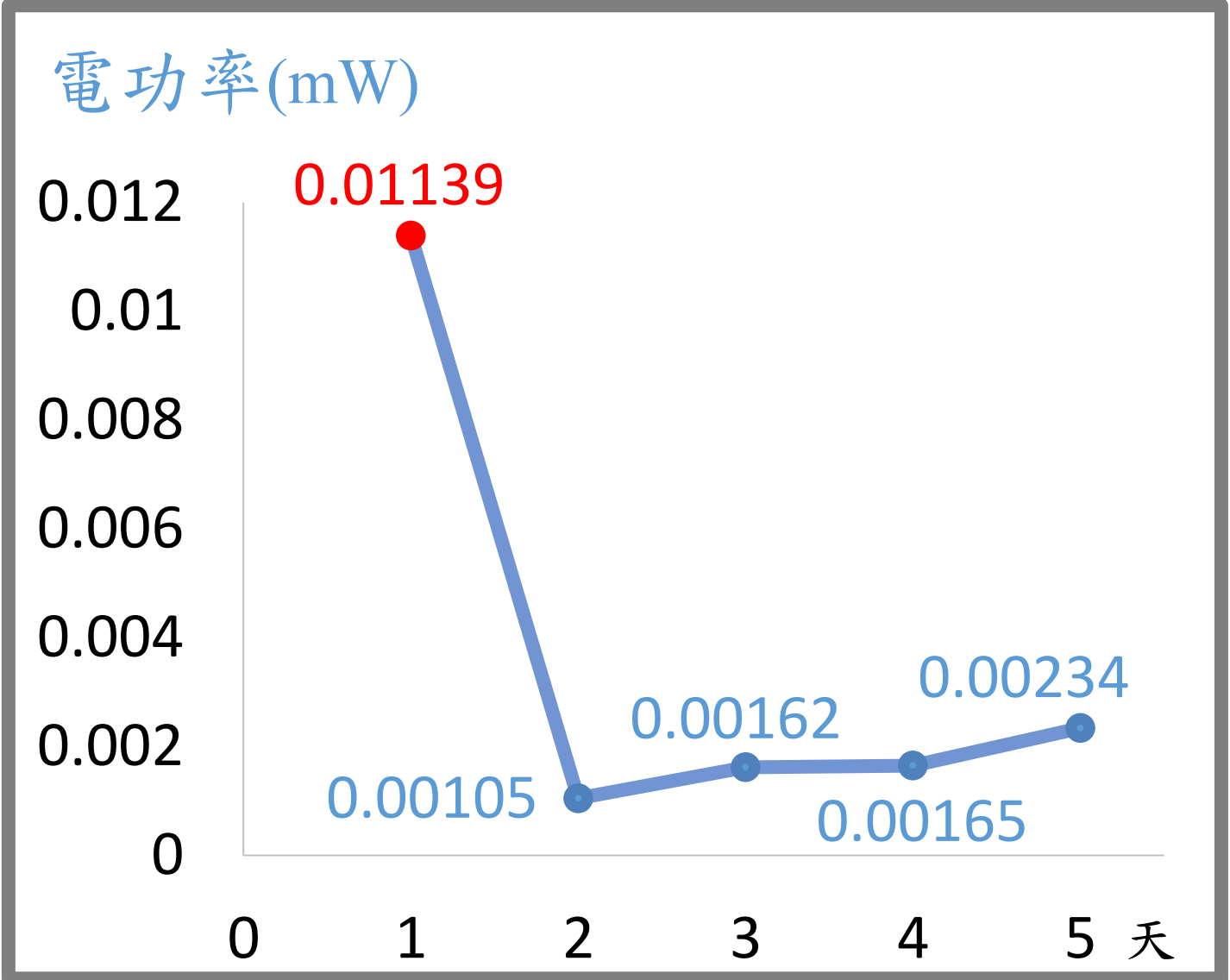
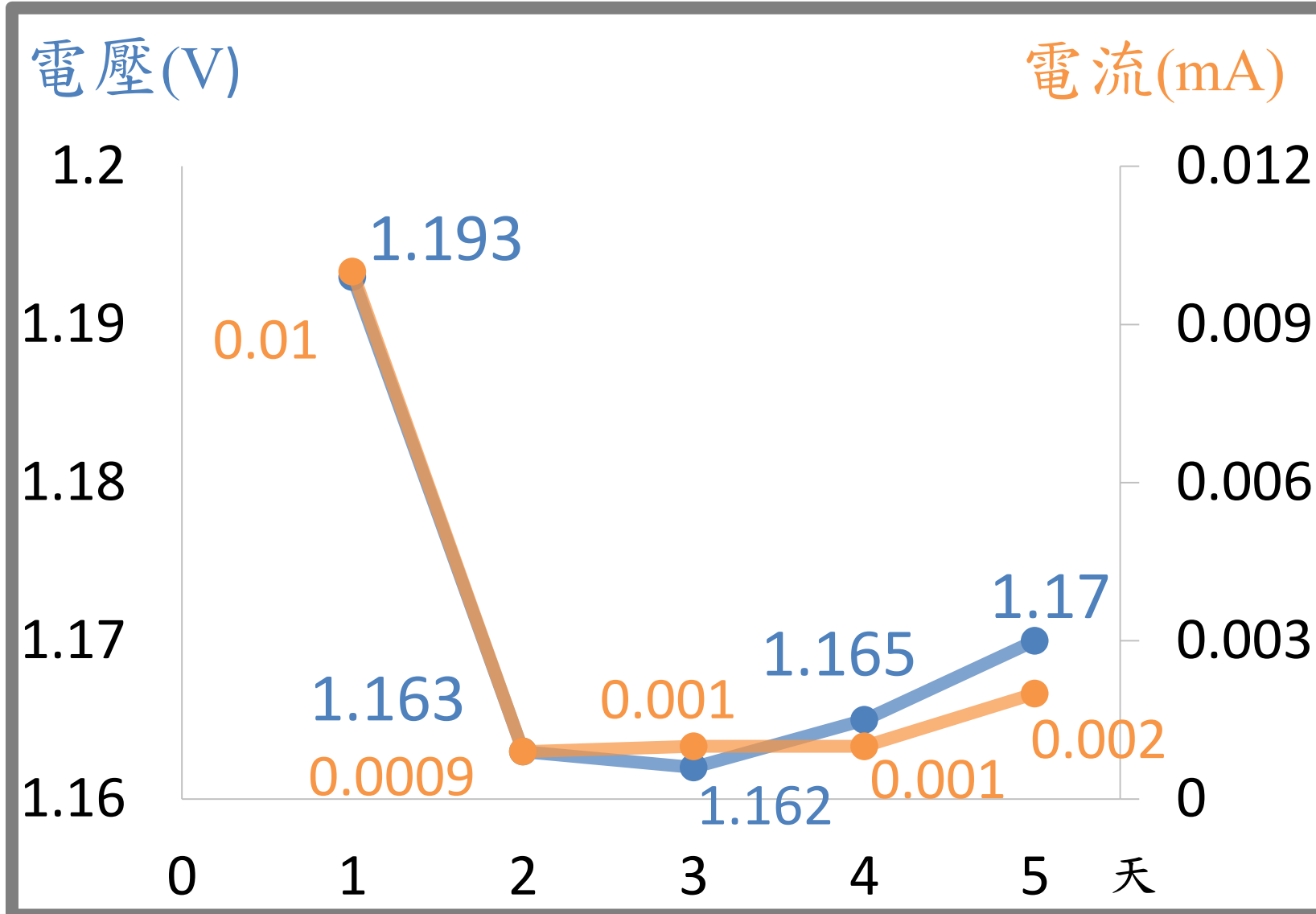
電壓及電流隨天數增加而上升，在第 4 天電功率最大



## 年糕紙鹼蝕對電壓電流及電功率之影響

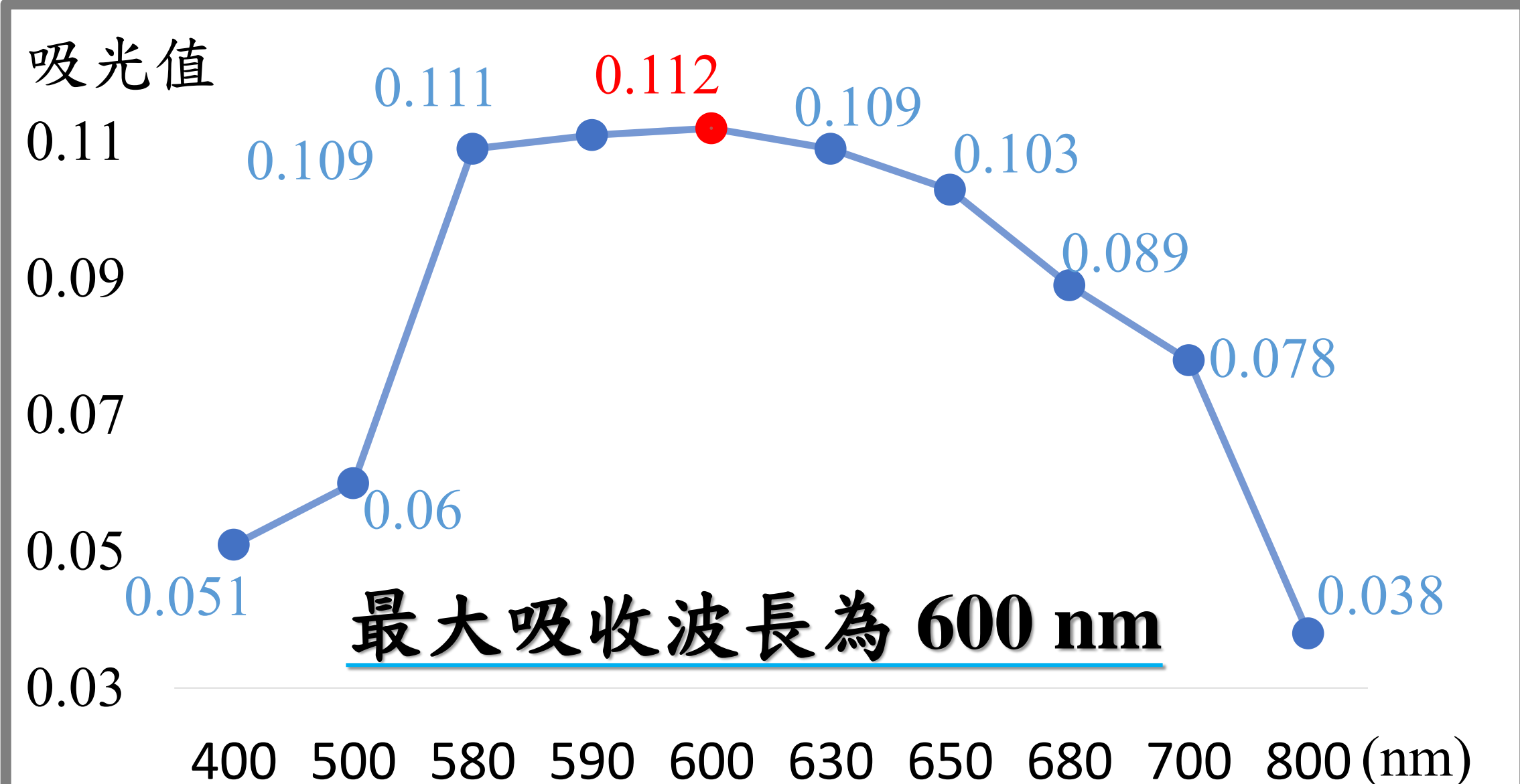
鹼蝕天數	1	2	3	4	5
電壓(V)	1.139	1.163	1.162	1.165	1.170
電流 (mA)	0.01	0.0009	0.001	0.001	0.002
電功率 (mW)	0.01139	0.00105	0.00116	0.00165	0.00234

第 1 天電流電壓快速下降，第 2 天後緩慢上升



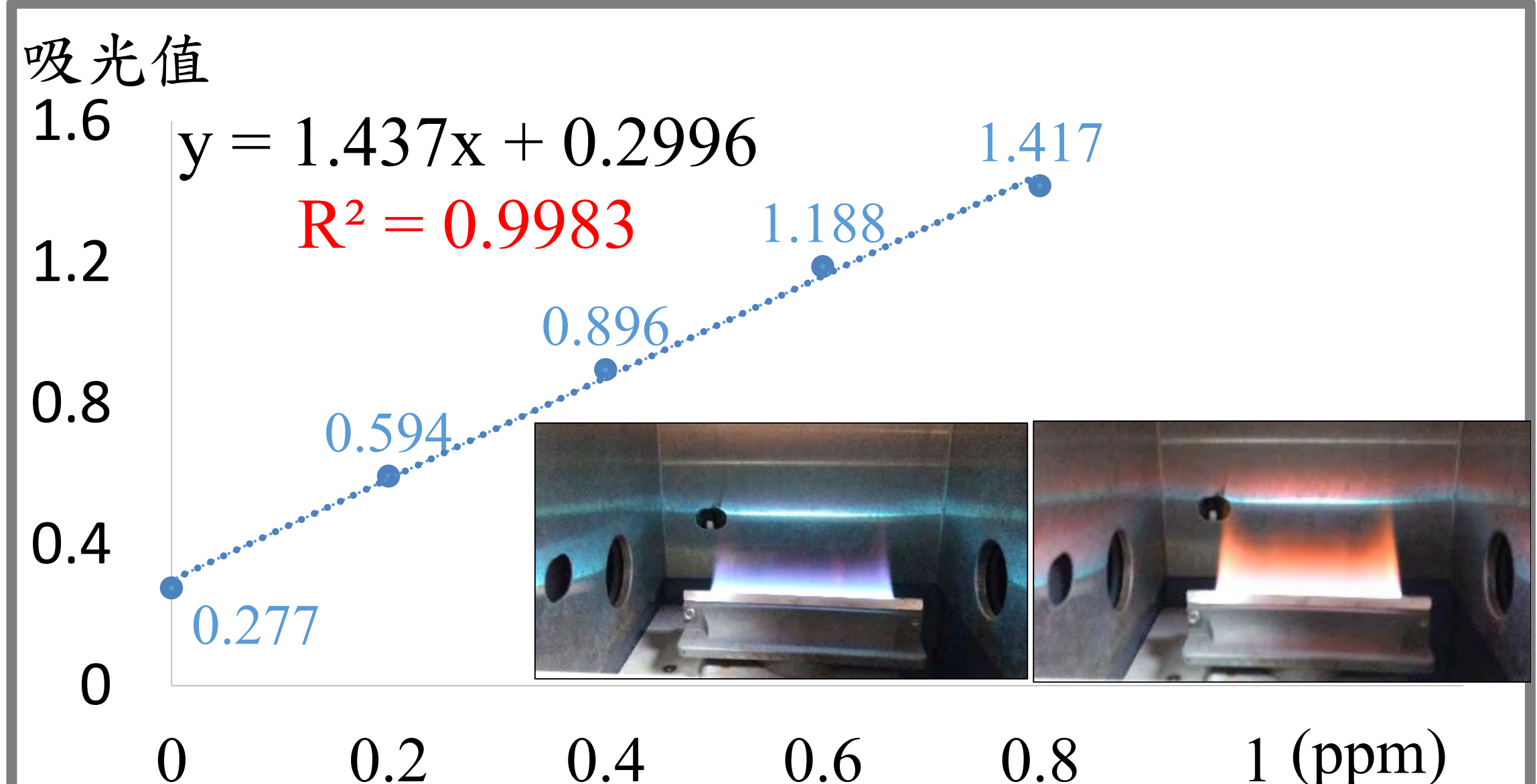
# 銅溶液檢驗

## 銅離子最大吸收波長



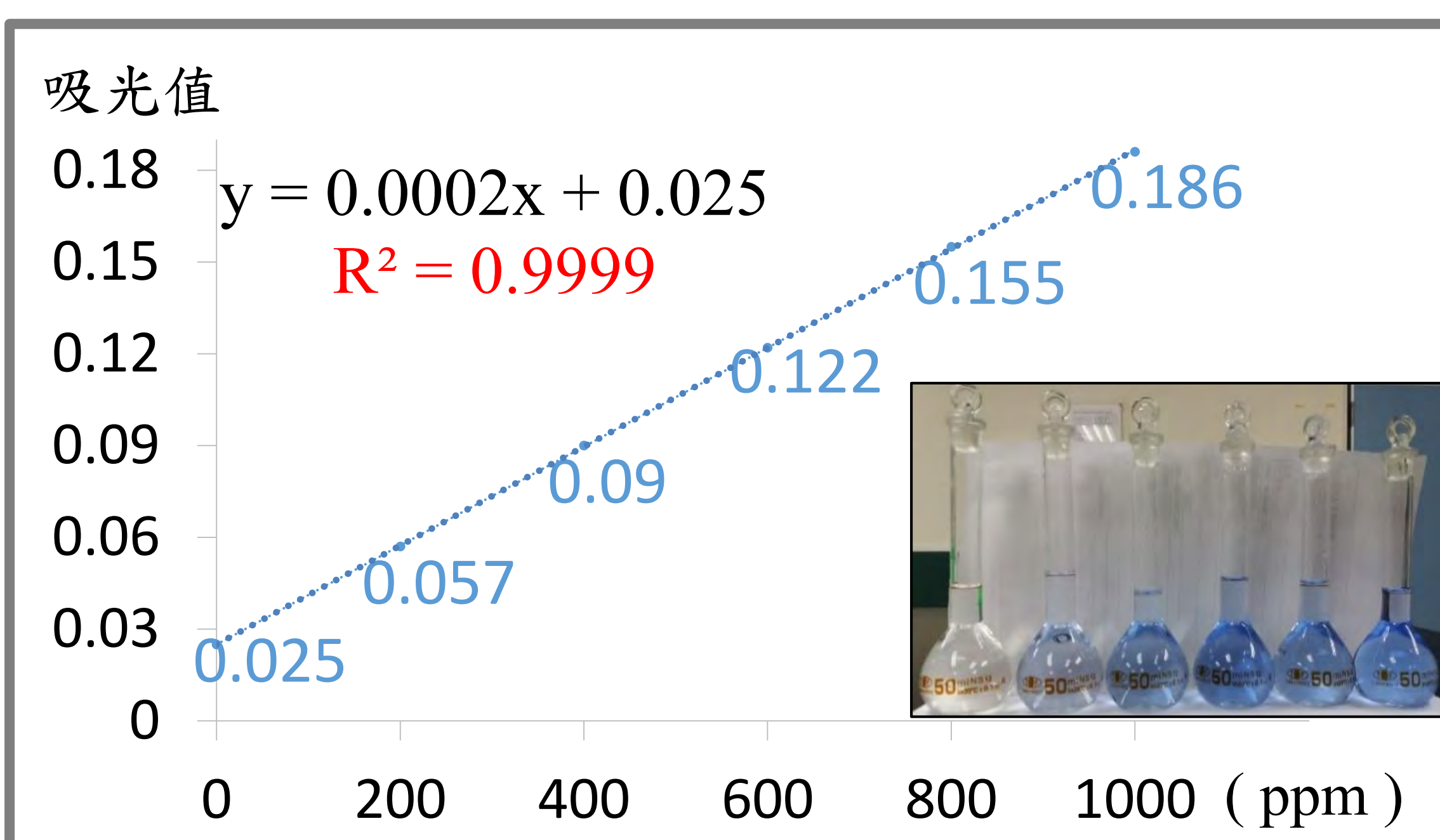
最大吸收波長為 600 nm

## 原子吸收光譜檢量線



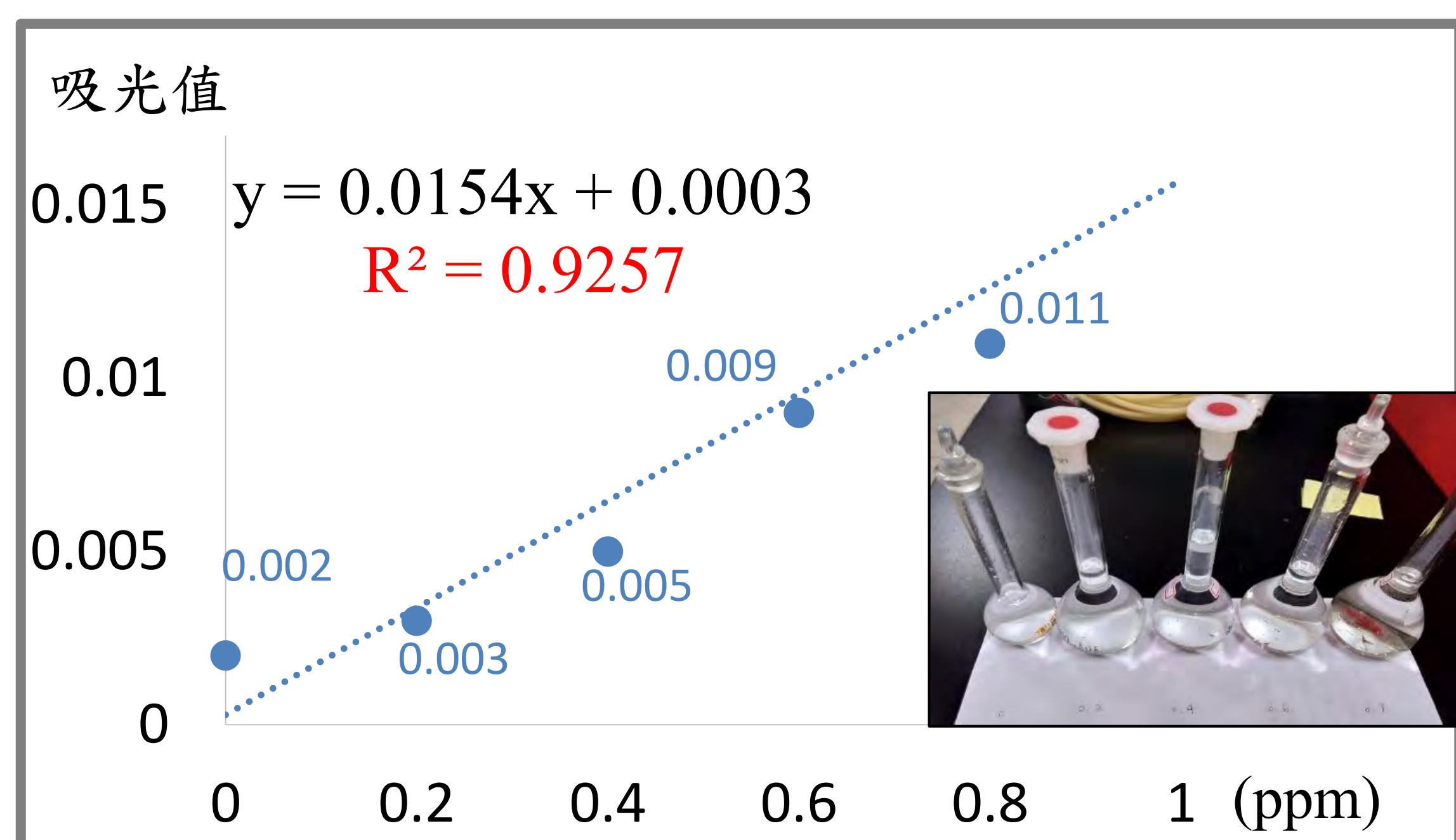
## 高濃度分光光度計檢量線

R值為 0.9999 符合檢驗標準 0.995 以上



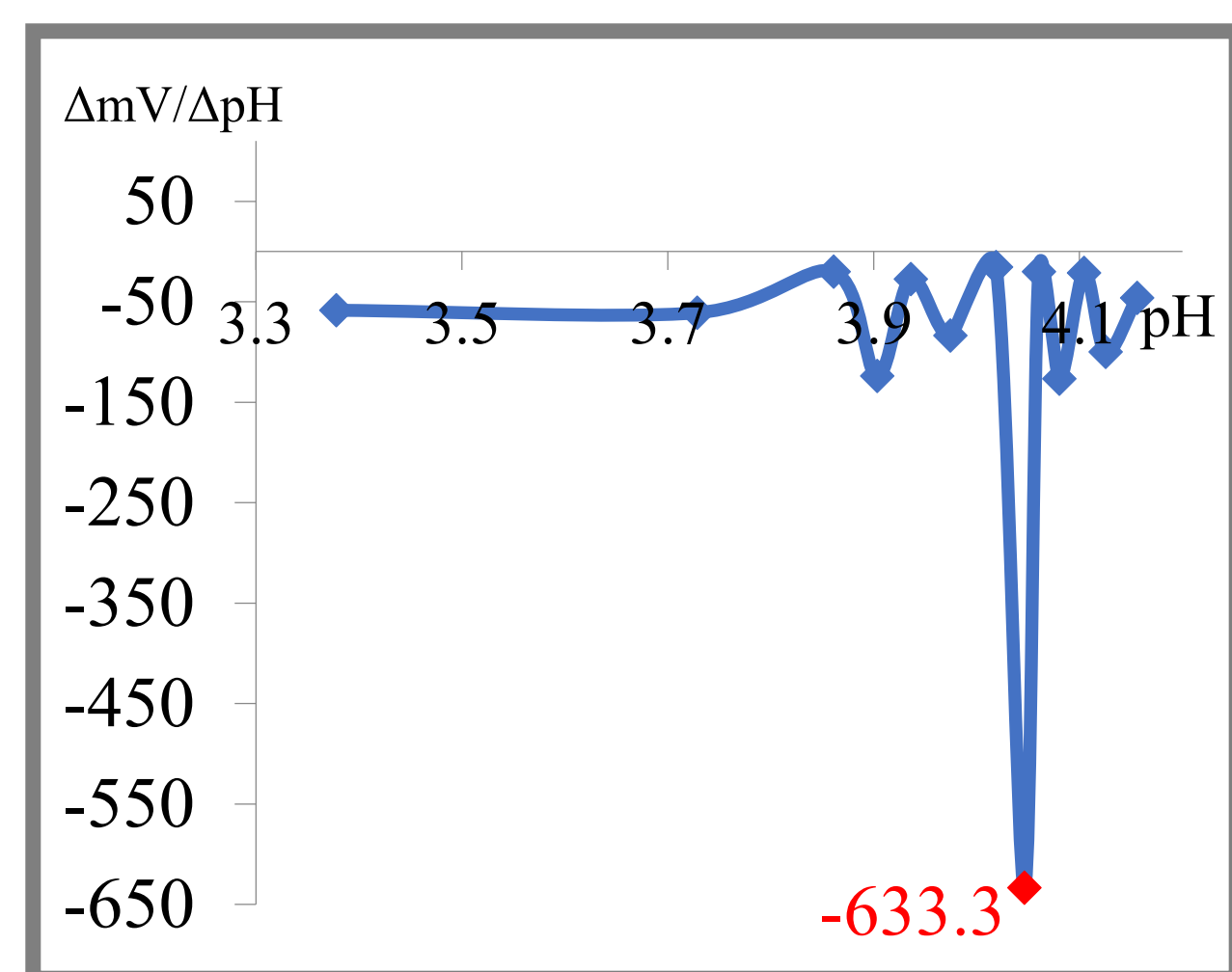
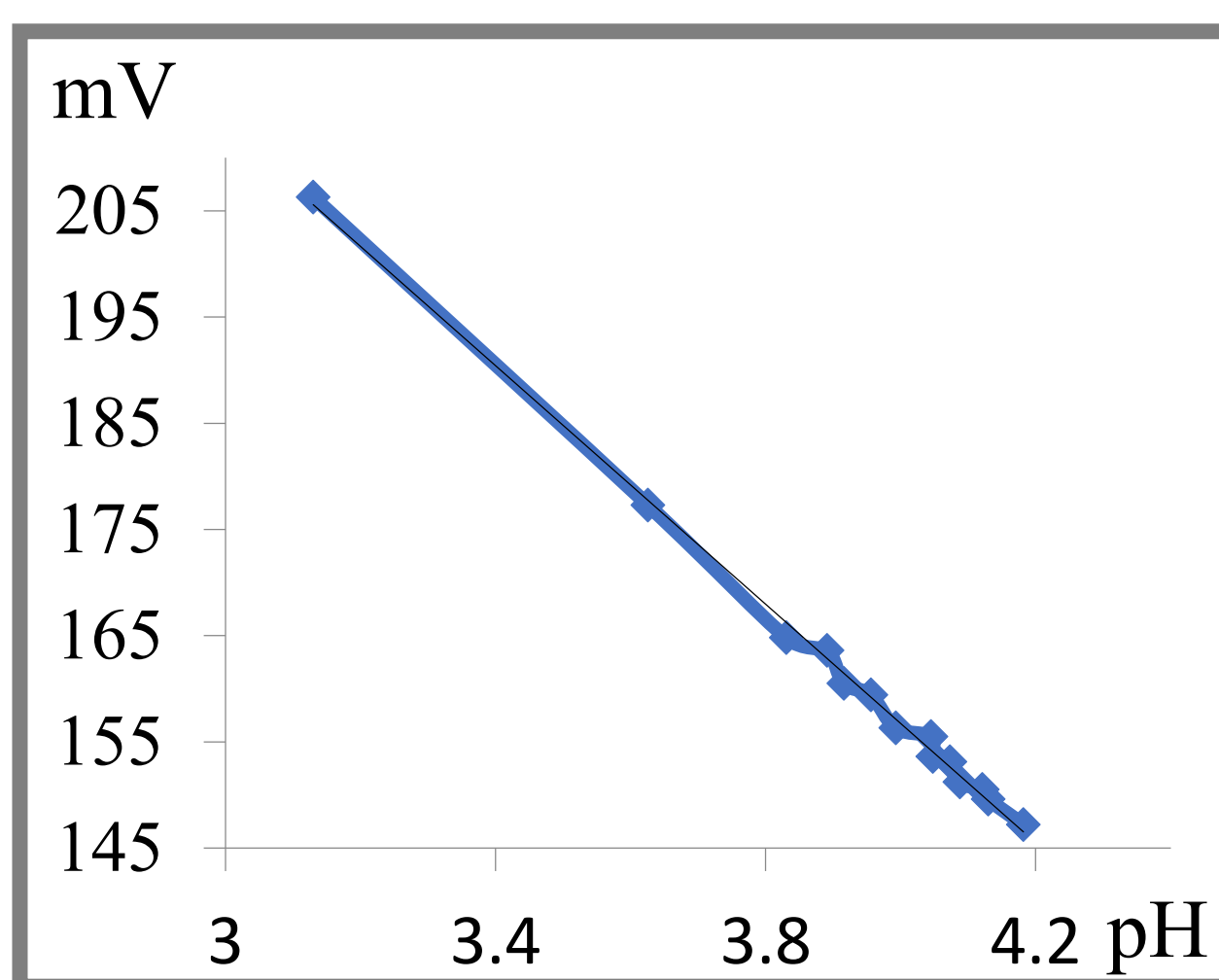
## 低濃度分光光度計檢量線

R值為 0.9257 不符合檢驗標準之 0.995 以上



# 探討銅廢液最佳 pH 值

體積 (mL)	0.00	1.00	2.00	2.20	2.40
pH	3.13	3.626	3.831	3.891	3.961
mV	206.3	177.3	164.8	163.6	160.5
體積 (mL)	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40
pH	3.956	3.993	4.045	4.048	4.073
mV	159.4	156.3	155.5	153.6	153.1
體積 (mL)	3.60	3.80	4.00	5.00	
pH	4.088	4.121	4.13	4.182	
mV	151.2	150.5	149.6	147.2	



發現 pH 為 4.121 以下可以使電池產生最佳效率