

鋅銅電池與光敏差算放大器

國中組化學科第三名

台南市立安平國民中學

作者：蘇定安、孫鳳凌、陳靖宜、陳儒樺

指導教師：鄧明聖

一、研究動機

- (一)我們在理化課本第四冊第22章第三節，實驗22-3製造鋅銅電池，要我們觀察硫酸銅顏色變化及鋅銅電極重量變化，並進而了解整個電池的化學反應式。不過全部兩小時的實驗，除了毫安培計轉了32mA，其它的觀察全叫人失望。
- (二)我們發現電解液及鹽橋的電阻實在太大，所以想到利用生物課本中透析用的半透膜來取代鹽橋，使電阻降低，且電極可更靠近，用以增加電流強度。
- (三)我們在理化第23章二極體簡介，配合工藝課本電子工部份及老師指導，設法解決了光電轉換的問題。
- (四)根據理化課本第二冊第10章靜力平衡的原理製造了微量天平，用在電池電極重量改變的探討上，再配合密度及浮力的原理，我們避免烘乾、稱重等繁雜的手續，終於讓我們電池探討之旅，得以展開了。

二、原理依據及計算方法

(一)按理化第21、22章，求電量及電子莫耳數：

1.由I-t圖面積，求電量（見表一及圖表一）當I為常數，則 $Q = I \times t$

$$2. \text{電子莫耳數} (N_e) = \frac{\text{電量}}{\text{一個電子電量} \times 6 \times 10^{23}} = \frac{Q}{1.6 \times 10^{-19} \times 6 \times 10^{23}}$$

(二)依據理化第8章莫耳及濃度概念，再配合光敏差算放大器，計算析出銅及銅離子減少莫耳數。

1.由於 $\log V_{out}$ 和 $\log C$ 成線形關係（參照儀器設計）先配製0.1M~0.01M標準液，作成表(二)及圖表(二)。

2.反應完之 $\text{CuSO}_{4(aq)}$ 、 $\text{ZnSO}_{4(aq)}$ 測 V_{out} 在圖(二)中內插得濃度。

3.銅離子反應析出銅莫耳數 (N_{Cu})

$$(1) N_{Cu} = N_{Cu-Cu} - N_{Zn-Cu}$$

N_{Cu-Cu} ：銅半電池所減少之莫耳數

N_{Zn-Cu} : 滲透至Zn半電池 Cu^{2+} 莫耳數

$$(2) N_{Cu-Cu} = \Delta C \times V_{CuSO_4}$$

ΔC : 銅半電池中 Cu^{2+} 濃度減少量

V_{CuSO_4} : 硫酸銅體積

$$(3) N_{Zn-Cu} = C \times V_{CuSO_4}$$

C : Zn半電池中滲入 Cu^{2+} 濃度

(三)利用槓桿原理製作微量天平，並以浮力原理來避免烘乾、稱重等手續。

1. 槓桿原理： $N \times W_1 + \overline{bc} = W_2 \times \overline{ac}$ 。

N : 方格紙數 W_1 : 方格重 W_2 : 電極重量變化

\overline{bc} : 方格子至支架長。 \overline{ac} : 電極至支架長

2. 浮力原理：(1) $W_2 = W - F_{\text{浮}}$

$$(2) F_{\text{浮}} = \Delta V \times de = \frac{W}{d} \times de$$

W : 電極真正重量改變 d : 金屬密度

de : 溶液密度 $F_{\text{浮}}$ = 電極體積改變所造成浮力改變。

3. 綜合 1、2 得 $N \times W_1 \times \overline{bc} = W \times (1 - \frac{de}{d}) \times \overline{ac}$

4. 但鋅電極由於體積變小，浮力減少，故 $N' \times W' \times \overline{b'c'} = W' \times (1 + \frac{de}{d}) \times \overline{a'c'}$ 。

三、儀器設計

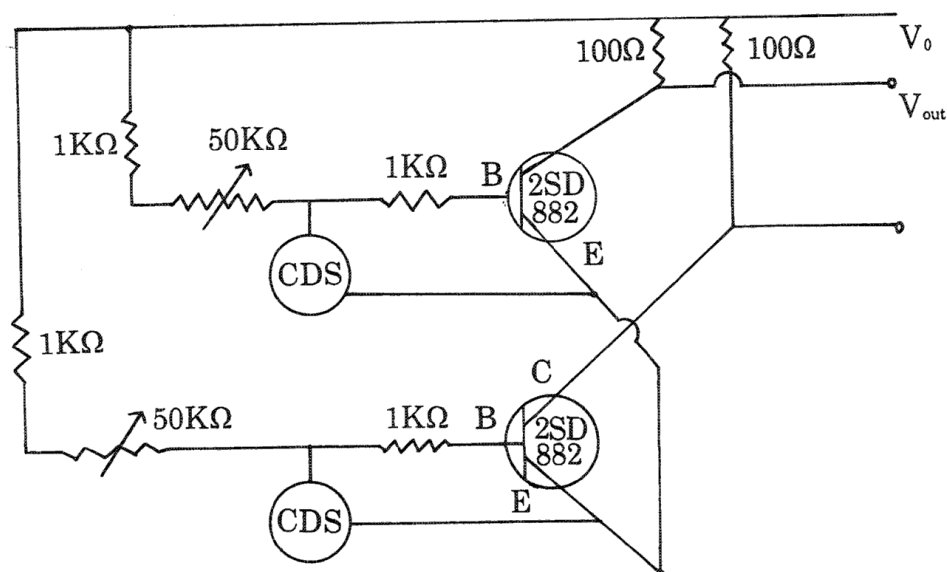
(一)光敏差算放大器 (線路及實物配製圖見A、B)

問題 1 : 如何能發現濃度些微改變所造成顏色變化?

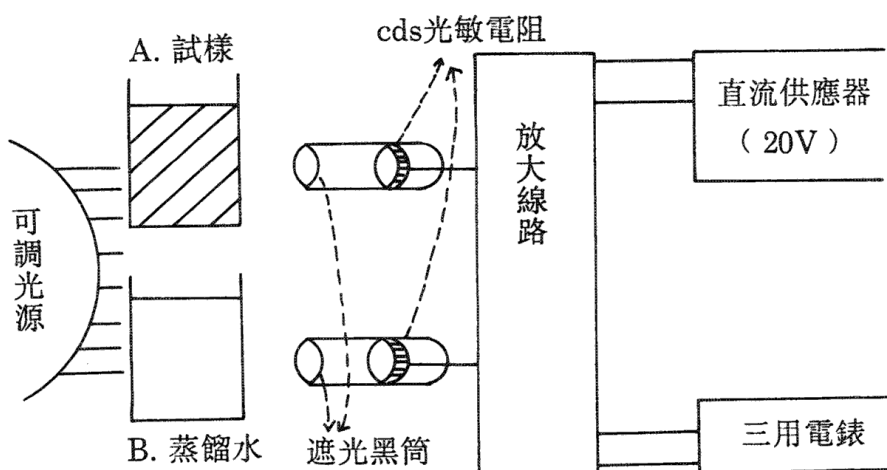
(1)由室內調光器線路，有了克服的靈感 (參考資料五)。

(2)老師指導利用電斯登電橋克服單線路不穩定的問題 (參考資料三)。

A 光敏差算放大器線路



B 實物配製圖



儀器說明

- ① V_c : 輸入電壓15V。
- ② V_{out} : 輸出電壓，接三用電錶。
- ③ 2SD882 : NPN形低週波，電力放大用三極體。
- ④ c d s 光敏電阻 : 照光強度增加，電阻變小經SD882，從射極輸出，電壓變小。
- ⑤ 遮光黑筒 : 從正前方而來，感度較好。
- ⑥ 利用輸出電壓和輻射光能量成正比。由比爾定律知 $\log V_{out} = \log C + \log k$ ，即濃度和輸出電壓有關。
- ⑦ 在AB兩處放置裝50nl蒸餾水之燒杯，並調整可變電阻至 $V_{out} = 0$ ，再把待測溶液50ml置於B處，所得 V_{out} 即可由 $\log V_{out} - \log C$ (圖B)

由內插得其濃度。

- ⑧由於這線路可去除二個輸入所共有不要部份，只要作了零點調整（如⑦）就可去除燒杯差異，溫度與時間等影響。

(二)微量天平設置之電池電極配置圖

問題 2：如何克服電流太小（小於2mA）的問題？

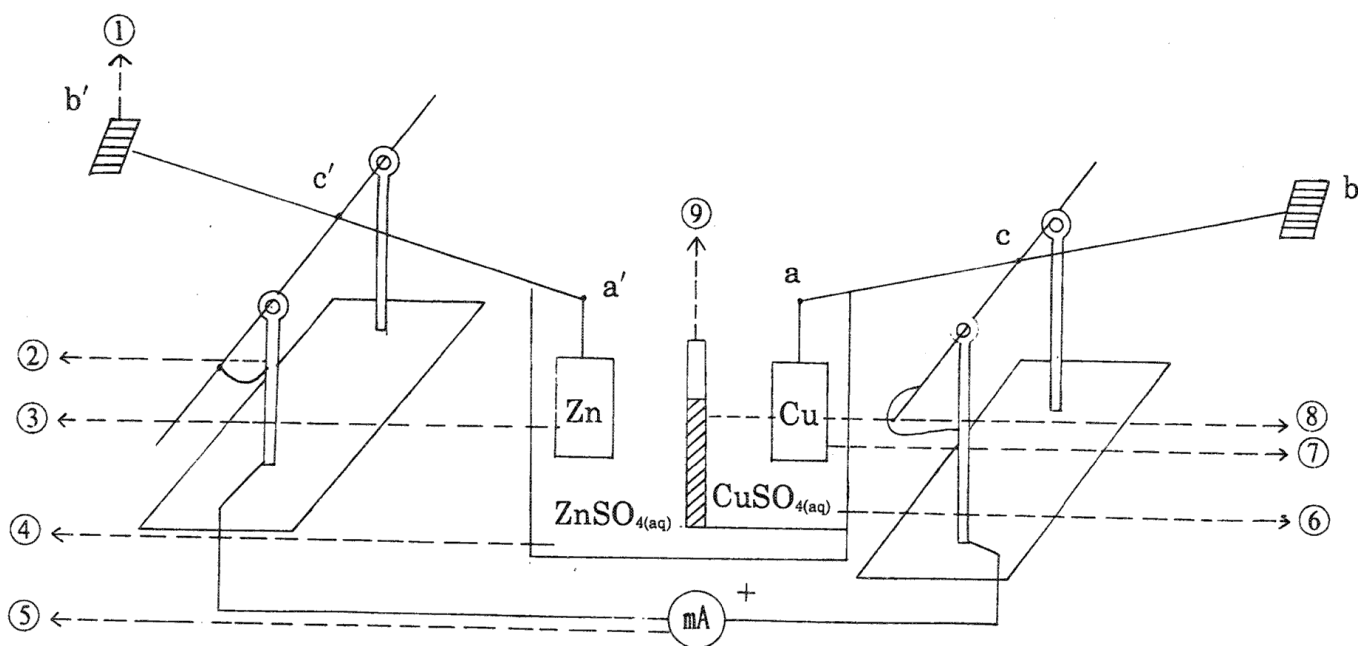
(1)設計開口靠近之鹽橋，使電極可儘量靠近結果：發現1N $\text{KNO}_{3(\text{aq})}$ 電阻太大，故雖然電極靠近，電流仍太小。

(2)以透析用半透膜代替鹽橋。結果：電流可穩定的出現40mA~80mA。

問題 3：如何避免操作手續上複雜，而能知道電極質量改變？

(1)直接在電極上焊上微量天平，用槓桿原理得知質量改變。

(2)老師指導我們注意體積改變所引起浮力改變之影響



①方格紙及夾子

②可導電金屬架

③ $3 \times 6 \text{ cm}^2$ 鋅片

④ $\text{ZnSO}_4 (0.1\text{M})$ 溶液

⑤毫安培計

⑥ $\text{CuSO}_4 (0.1\text{M})$ 溶液

⑦ $3 \times 6 \text{ cm}^2$ 銅片

⑧半透膜 $3 \times 3 \text{ cm}^2$

⑨塑膠隔板

※使用說明

①調整各天平上方格紙使天平歸零

- ②稱整張方格紙重，除以方格數得每格重
- ③電路接通後，每隔10分鐘記錄電流一次
- ④於三小時後取下毫安培計於鋅銅二微量天平增減方格紙，直至重新歸零為止。

四、實驗步驟

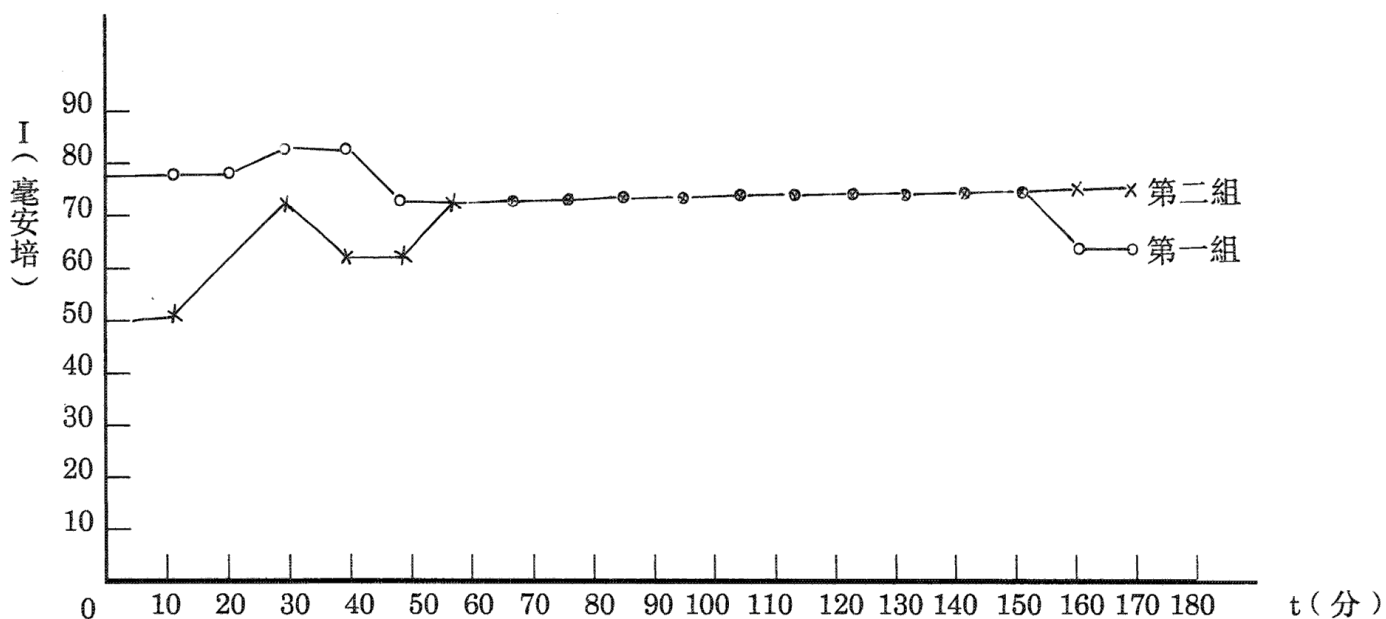
- 1.按儀器說明完成裝配
- 2.稱方格紙重進行微量天平歸零。
- 3.測量 $\text{ZnSO}_{4(\text{aq})}$ 0.1M密度記錄室溫
- 4.接通線路後記錄時間及電流強度。3小時後停止。
- 5.把微量天平重新歸零
- 6.按表(三)配製標準 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 按儀器設計(一)操作
- 7.取通電反應完之 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 及 $\text{ZnSO}_{4(\text{aq})}$ 各50ml按儀器設計(一)操作。

五、實驗結果

- 1.室溫 26°C Cu原子量=63.55. Zn原子量=65.38
2. $d_{\text{Cu}}=8.9 \text{ g/cm}^3$; $d_{\text{Zn}}=7.142 \text{ g/cm}^3$
3. $d_{\text{CuSO}_4(\text{aq})}=1.057 \text{ g/cm}^3$; $d_{\text{ZnSO}_4(\text{aq})}=1.050 \text{ g/cm}^3$
- 4.每小格方格紙質量= $2.39 \times 10^{-4} \text{ g}$

表 (一)

時間(分) 電流 (mA) 組別	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	總電量 (庫侖)	電子莫耳數 Ne^-
一	75	75	80	80	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	60	60	756	0.0078
二	50	60	70	60	60	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	726	0.0075



圖表 (一)

(二) 微量天平測量結果：

表 (二)

銅 電 極	組別	增加N	\overline{ac} (cm)	\overline{bc} (cm)	dcu (g/cm ³)	dcuso ₄ (aq) (g/cm ³)	溶液 體積 V(cm ³)	銅極重量 W _{cu} (g)	銅析出 莫耳數 N _{cu}
	一	280	5.80	19.00	8.9	1.057	200	0.245	0.0039
二	310	7.00	19.00	8.9	1.057	150	0.203	0.0031	

$$\text{例：} N \times W_1 \times \overline{bc} = W \times \left(1 - \frac{dl}{d}\right) \times \overline{ac}$$

$$280 \times 2.39 \times 10^{-4} \times 19.00 = W \times \left(1 - \frac{1.057}{8.9}\right) \times 5.80 \quad W = 0.245$$

鋅 電 極	組別	減少N	$\overline{a'c'}$ (cm)	$\overline{b'c'}$ (cm)	dcu (g/cm ³)	dzns ₄ (aq) (g/cm ³)	溶液 體積 V(cm ³)	鋅極減 少重量 W _{2n} (g)	鋅溶解 莫耳數 N _{2n}
	一	440	6.50	14.50	7.142	1.050	250	0.205	0.0031
二	650	6.50	10.40	7.142	1.050	250	0.217	0.0033	

$$\text{例：} N \times W_1 \times \overline{b'c'} = W \times \left(1 + \frac{dl}{d}\right) \times \overline{a'c'}$$

$$440 \times 2.39 \times 10^{-4} \times 14.50 = W \times \left(1 + \frac{1.050}{7.142}\right) \times 6.50 \quad W = 0.205$$

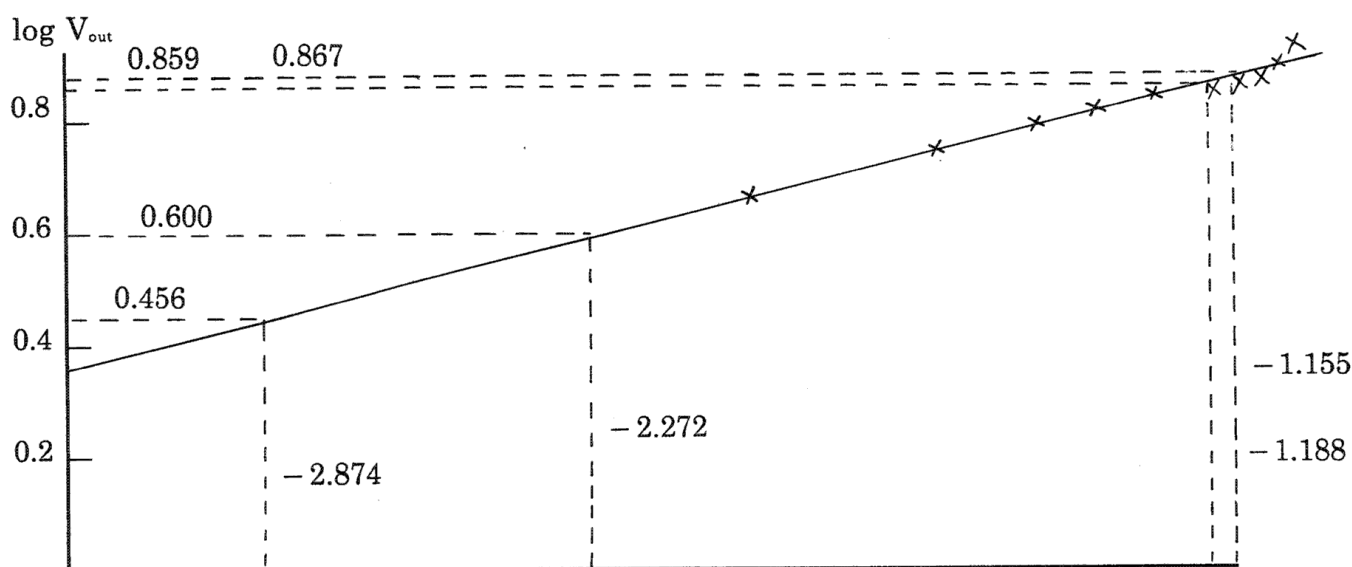
(三)光敏差算放大器測量結果：

1.標準溶液 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 之 $V_{\text{out}} - C$ 數據表

表 (三)

C(M)	1.0×10^{-1}	9.0×10^{-2}	8.0×10^{-2}	7.0×10^{-2}	6.0×10^{-2}	5.0×10^{-2}	4.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
lg C	-1.000	-1.046	-1.097	-1.155	-1.222	-1.301	-1.398	-1.523	-1.699	-2.000
V_{out}	8.02	7.84	7.58	7.30	7.08	6.76	6.43	5.99	5.39	4.52
log V_{out}	0.904	0.894	0.880	0.863	0.850	0.836	0.808	0.777	0.732	0.665

2.標準溶液 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 之log $V_{\text{out}} - \log C$ 關係圖



3.實測反應後 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 之 V_{out} 及查圖(二)得濃度C

表 (四)

組別	溶液	輸出電壓 V_{out}			平均 \bar{V}_{out}	log \bar{V}_{out}	log C	$C_{(\text{M})}$
		1	2	3				
一	$\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$	7.20	7.45	7.05	7.23	0.859	-1.188	0.0648
	$\text{ZnSO}_{4(\text{aq})}$	4.01	3.94	3.97	3.98	0.600	-2.272	0.0053
二	$\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$	7.30	7.44	7.33	7.37	0.867	-1.155	0.0700
	$\text{ZnSO}_{4(\text{aq})}$	2.88	2.84	2.86	2.86	0.456	-2.874	0.0013

4.按原理(二)校正後Cu²⁺析出莫耳數

表 (五)

組別	溶液	原來含Cu ²⁺ 濃度	後來含Cu ²⁺ 濃度	溶液體積V(cm ³)	莫耳數N	校正後莫耳數	天平測得莫耳數
一	CuSO _{4(aq)}	0.1000	0.0648	150	0.0053	0.0040	0.0039
	ZnSO _{4(aq)}	0.000	0.0053	250	0.0013		
二	CuSO _{4(aq)}	0.1000	0.0700	150	0.0045	0.0042	0.0030
	ZuSO _{4(aq)}	0.000	0.0013	250	0.0003		

六、實驗討論

1.整理表(一)(二)(五)之結果如下

組別	莫耳數	電子莫耳數	銅電極析出莫耳數N _{cu}	鋅電極減少莫耳數N _{zn}	校正後Cu ²⁺ 減少莫耳數
一		0.0078	0.0039	0.0031	0.0040
二		0.0075	0.0030	0.0033	0.0042

發現大致上符合 $N_e = 2 N_{cu} = 2 N_{zn} = 2 N_{cu}^{2+}$ ，故此結果可用來說明課本所列

三個反應式 $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ $Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$

2.由於電量測量非常穩定，信度高，故以其當標準，所得放大器測量偏差，第

一組為 $\frac{N_{cu}^{2+} - \frac{1}{2}N_e^-}{\frac{1}{2}N_e^-} \times 100\% = 2.56\%$ ，第二組為12%

3.檢討上述結果，我們發現最大的偏差在Zn溶解太多，其理由在於Cu²⁺有少量滲透至銅半電池（參見表四），而直接和鋅電極反應，並沈澱在燒杯底部及鋅電極上，修正此誤差，應把該沈澱過濾及乾燥後稱重。

4.我們使用半透膜來取代鹽橋，且使電極距離減少2cm，如此電池內電阻減少，輸出電流增加了近40倍（2mA→80mA），但沒有使用光敏放大器，仍然不易用肉眼來觀察濃度的變化。

5.我們所用半透膜電池輸出電壓及電流相當穩定，除了剛開始可能支架接觸有點問題，而略顯波動，其它則在時間內並沒有明顯波動，甚至在隔天（14小時後）電流還維持在40~50mA，故電量實際上可直接由 $Q = I \times t$ 而得。

七、結論

- 1.在整個實驗過程，它讓我們經歷了理化1~4冊各種理論及應用上的思考，非常具有挑戰性。實際上也提供我們以更快的方式，讓我們「看到」鋅銅電池在定性上的改變，如濃度及質量。更重要的是一它提供我們精密定量，求證化學反應計量上的關係，驗證了課本上的方程式。
- 2.這實驗提供我們在理化及工藝課本中，尋找出解決問題的方法，和如何去追求快速而準確的方法，這同時也符合科學實驗的要求。
- 3.另外，我們更希望以自製的光敏放大器在水質濁度，及有色物質濃度有更實際的應用。

八、參考資料

- (一)國中理化課本第一、二、四冊
- (二)電化學——基本原理與應用 田福助編 五州出版社
- (三)D.A. Skoog and D. M. West, Instrumental, Analysis, second Edition
- (四)國中工藝課本第四冊
- (五)250種電子電路實驗，黃華宏編著 無線電界雜誌社印行

評語

- 1 本研究使用半透膜代替鹽橋，具有實用性；且能應用微量天平的觀念於電池，縮減實驗時間，具有創意。
- 2 本研究並未廣泛探討，比較各種電池，半透膜的差異，應再補強。