

電化學實驗

黃建宗、王尊儀、陳錦銀、洪嘉革、蕭羽嬪、于淑君

國立中正大學化學暨生物化學系

2017.08.28 修訂

一、電化學電池

實驗目的：

學習以硫酸鹽電解質溶液製備簡易型鋅銅電化電池，並探討其中的化學變化與電池產生電流的原理。

實驗原理：

利用氧化還原化學反應將化學能轉變成電能的裝置稱之為化學電池。屬自發反應 ($\Delta E^{\circ} > 0$)。

(一) 氧化還原反應 (Redox Reaction)

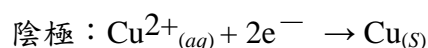
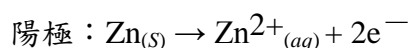
氧化反應的定義是物質在化學反應中失去電子，還原反應的定義是物質在化學反應中得到電子。在氧化還原化學反應中，有些物質會失去電子，有些物質會得到電子。本身發生氧化反應的物質稱為還原劑，本身發生還原反應的物質稱為氧化劑。

(二) 電化電池 (Galvanic Cell or Voltaic Cell)

電化電池反應屬於自發性氧化還原反應，使用適當的氧化劑與還原劑發生反應，並以電路設計將化學能轉換為電能。化學電池可視為由兩套半電池所組成，其中陽極 (anode) 半電池將電子釋放到外部電路中，發生失去電子的氧化反應，因此也稱為電池負極。同理，陰極 (cathode) 半電池從外部電路獲取電子，發生還原化學反應，也稱為電池正極。

(三) 鋅銅電池

鋅銅電池的陽極及陰極分別是以鋅、銅組成，其中銅極浸置於硫酸銅溶液中，而鋅極浸置於硫酸鋅溶液中，利用鋅的活性高於銅，鋅較銅容易失去電子，電子得以從鋅極經由外部電路轉移至銅極，產生自發性氧化還原反應而造成電位差 (電壓)。在本實驗中，鋅半電池為陽極 (負極)；銅半電池為陰極 (正極)；鋅為還原劑，銅離子為氧化劑，兩個半電池的反應式如下所列：



實驗器材及藥品：

器 材	藥 品
1. 燒杯 (100 mL) 2 個	1. 0.5 M 硫酸銅溶液 100 mL
2. U 型管 1 支	2. 0.5 M 硫酸鋅溶液 100 mL
3. 導線 (含鱷魚夾) 2 條	3. 0.5 M 硝酸鉀溶液 100 mL
4. 三用電表 1 個	4. 銅片 1 條
5. 棉花 適量	5. 鋅片 1 條

實驗步驟：

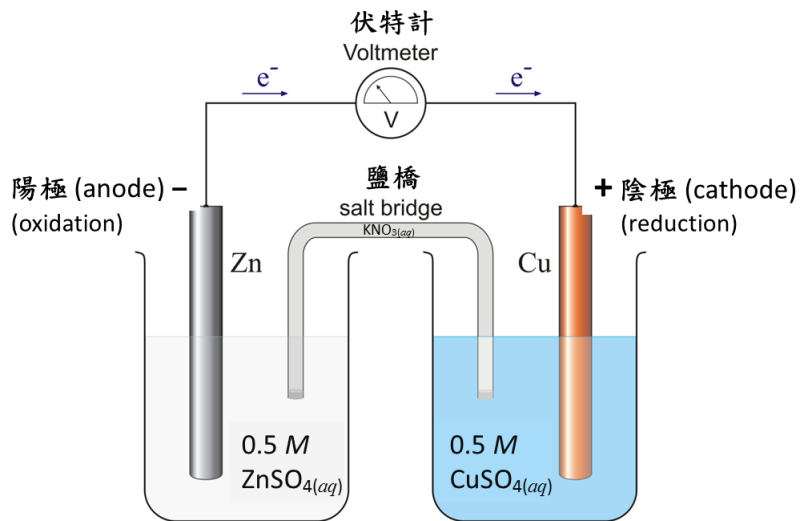
1. 製備 0.5 M 硫酸銅溶液 (燒杯 A)：秤取 8.0 g 硫酸銅倒入 100 mL 容量瓶中，加入去離子水配製成 0.5M 硫酸銅溶液 100 mL。再取 0.5 M 硫酸銅溶液 50 mL 倒入燒杯 A 中。
2. 製備 0.5 M 硫酸鋅溶液 (燒杯 B)：秤取 8.0 g 硫酸鋅倒入 100 mL 容量瓶中，加入去離子水配製成 0.5 M 硫酸鋅溶液 100 mL。再取 0.5 M 硫酸鋅溶液 50 mL 倒入燒杯 B 中。
3. 製備 0.5 M 硝酸鉀溶液 (燒杯 C)：秤取 2.5 g 硝酸鉀倒入 100 mL 容量瓶中，加入去離子水配製成 0.5 M 硝酸鉀溶液 100 mL。再取 0.5 M 硝酸鉀溶液 50 mL 倒入燒杯 C 中。
4. 製備 U 型管鹽橋 (salt bridge)：將 0.5 M 硝酸鉀溶液倒入 U 型管中至 8~9 分滿高度，兩端塞入適量棉花作為鹽橋。

5. 三用電表預設操作

使用數位式三用電表測量化學電池電壓與電流：將功能旋鈕轉至直流電壓 2.5V 的位置，三用電表的正極 (紅色探棒) 與電池正極相接，三用電表的負極 (黑色探棒) 與電池負極相接，讀取電壓數值。將功能旋鈕轉至電流 2.5 mA 的位置，三用電表的正極 (紅色探棒) 與電池正極相接，三用電表的負極 (黑色探棒) 與電池負極相接，讀取並記錄電流數值。

6. 測量電流與電壓

- (a) 取細砂紙輕拭金屬，將電極表面污染物磨淨。
- (b) 將銅片置於燒杯 A，鋅片置於燒杯 B 中，以導線連接銅片、鋅片和燒杯 A、B 及三用電表 (鋅片接負極端子)，觀察並記錄三用電表指針的變化。
- (c) 將步驟 4 所製備的 U 型管鹽橋跨置於 A、B 兩燒杯中，觀察並記錄燒杯 A 和 B、電極及三用電表指針的變化。
- (d) 觀察 10 分鐘後，紀錄燒杯 A、B 中溶液的顏色變化。



圖一、鋅銅電池裝置

實驗數據：

(一) 溶液顏色變化觀察

	反應初始時	反應 10 分鐘後
硫酸銅溶液		
硫酸鋅溶液		

(二) 電壓及電流量測

	反應初始時	反應 10 分鐘後
電流(mA)		
電壓(V)		

問題與討論：

1. 請寫下此電化電池中陽極及陰極之半反應。
2. 請解釋為何電壓及電流會隨著反應的時間增加而下降？

參考文獻：

1. http://www.periodni.com/gallery/galvanic_cell.png
2. chem.moe.edu.tw/download.aspx?attachtype=share%5C27&filename=鋅銅電池.pdf

二、濃差電池

實驗目的：

學習如何由兩個相同的半電池組成電化電池，了解濃差電池 (concentration cell) 原理及濃度對電位的影響，並探討能士特方程式 (Nernst equation) 的變因。

實驗原理：

本實驗主要應用 Nernst equation 方程式 (eq. 1)，改變電化電池中二個相同半電池的濃度差，在兩電極之間量測電壓的變化。

$$E_{cell} = E_{cell}^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (\text{eq. 1})$$

E_{cell} ：電化電池量測的電壓值 (單位：V)

E_{cell}° ：標準電極電勢，也就是陰極電位與陽極的標準電位差值

R ：理想氣體常數， $8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

n ：金屬離子的電荷數，本實驗採用 Zn^{2+} 為電解質，故 $n = 2$ 。

T ：實驗時的絕對溫度 K。

F ：法拉利常數為 $9.6485 \times 10^4 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

Q ：二半電池離子濃度比值或稱反應商數 $Q = \frac{C_x}{C_y}$ (C_x :低濃度, C_y :高濃度)。

本實驗中，兩個半電池選用相同的電解質溶液 $\text{ZnSO}_4(aq)$ 及鋅電極，因兩電極相同，其標準電位差 $E_{cell}^{\circ} = 0$ ，此時 Nernst equation 可化簡成：

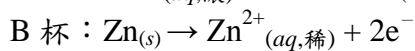
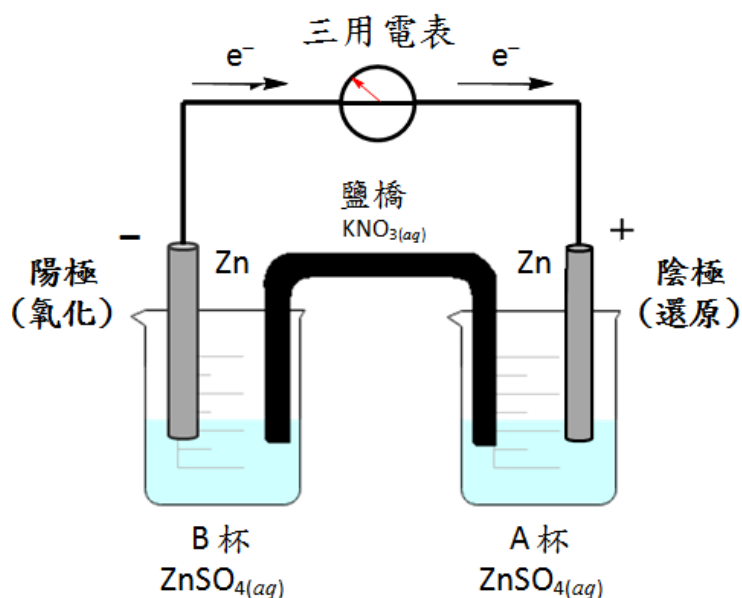
$$E_{cell} = -\frac{RT}{nF} \ln Q \quad (\text{eq. 2})$$

因此，當二半電池的電解質溶液濃度相等時，因為 $C_x = C_y$ ，所以

$$Q = \frac{C_x}{C_y} = 1, \text{ 因此 } \ln Q = 0, E_{cell} = 0$$

當兩半電池硫酸鋅溶液濃度不同時， $C_x \neq C_y$ ，且 $C_x < C_y$ ，則 $Q < 1$ ， $\ln Q < 0$ ，而此時濃度高的電極電位較高，會形成濃差電池而產生電位差 $E_{cell} > 0$ 。本單元的濃差電池的化學全反應為 $\text{Zn}^{2+}_{(aq, 0.5M)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq, 0.05M)}$ ，A 杯溶液 (0.5 M) 電

壓較高，會在電極表面進行還原反應得電子 ($\text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Zn}_{(s)}$)，作為電池陰極 (正極)；B 杯溶液 (0.05 M) 電壓較低，在電極鋅片表面進行氧化反應失去電子 ($\text{Zn}_{(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$)，作為電池陽極 (負極)。當兩杯溶液濃度差越大時，此反應趨勢越明顯，兩電極的電位差也就越大。



圖二、濃差電池裝置

實驗器材：

1. 燒杯 (100 mL)	4 個	4. 導線 (含鱷魚夾)	2 條
2. 鋅電極片	2 片	5. 三用電表	1 個
3. U 型管	1 支	6. 血清塞 (含棉花)	2 個

實驗藥品：

1. 0.5 M 硫酸鋅溶液	40 mL	3. 0.5 M 硝酸鉀溶液	100 mL
2. 0.05 M 硫酸鋅溶液	20 mL		

實驗步驟：

- 取 0.5 M 和 0.05 M 的硫酸鋅溶液各 20 mL，分別裝入兩個 100 mL 燒杯中 (A 燒杯：0.5 M $\text{ZnSO}_{4(aq)}$ ，B 燒杯：0.05 M $\text{ZnSO}_{4(aq)}$)。
- 將 0.5 M 硝酸鉀溶液倒入 U 型管中，兩端套上塞有棉花的血清塞作為鹽橋。

- 將兩鋅電極片插入 A、B 兩燒杯的硫酸鋅溶液中。
- 將三用電表“兩端”以鱷魚夾導線連接鋅片，測量電壓與電流，並紀錄之。
- 維持 A 燒杯溶液為 $0.5\text{ M ZnSO}_{4(aq)}$ (20 mL)，將 B 燒杯溶液由 $0.5\text{ M ZnSO}_{4(aq)}$ 更換成 $0.05\text{ M ZnSO}_{4(aq)}$ (20 mL)，並重複步驟 2~4，並紀錄其電壓與電流。

實驗數據

	實驗一	實驗二
A 杯硫酸鋅濃度(M)		
B 杯硫酸鋅濃度(M)		
兩杯濃度比值(B/A)		
量測電壓 (mV)		
量測電流 (mA)		

問題與討論

- 請參考本實驗所採用的溶液濃度(0.5 M 與 $0.05\text{ M ZnSO}_{4(aq)}$)，試以 Nernst equation 表示此濃差電池的電位。
- 請問除濃度外，還有哪些因素會影響電壓(E_{cell})?
- 請問濃差電池反應後，濃度高與濃度低溶液中哪一杯溶液電極的鋅片重量會較重?

參考資料

- http://www.hs.ntnu.edu.tw/~chemical/%A7Q%A5%CE%BF@%AEt%B9q%A6%C0%A8%D3%B1%B4%B0Q%AF%E0%A4h%AFS%A4%E8%B5%7B%A6%A11006_2.11.pdf.22.pdf
- www.chem.ndhu.edu.tw/ezfiles/27/1027/img/828/101-A4.pptx
- <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%83%BD%E6%96%AF%E7%89%B9%E6%96%B9%E7%A8%8B>
- sites.ccvvs.kh.edu.tw/sys/read_attach.php?id=5669

三、電解與電鍍

實驗目的：

探討電解與電鍍的化學原理，了解金屬活性，並學習使用電解法將金屬鍍在接負極的金屬基材上。

實驗原理：

電解利用電能產生化學反應，屬於非自發反應 ($\Delta E^{\circ} < 0$)，需外加電源提供足夠電壓，迫使電解溶液中的金屬離子接受電子進行還原反應而使擬鍍金屬析出在陰極(負極)電極表面上，形成金屬膜。

(一) 電鍍時將所要電鍍的基材接在負極(與電池負極相連接)，所要電鍍析出的金屬作正極(與電池正極相連接)，並選用相同金屬離子的溶液作為電鍍液。

(二) 通入直流電後，正極金屬溶解成為金屬離子，溶液中同數目的金屬離子便會在被鍍基材的表面上析出，形成一層金屬外膜，此過程稱為電鍍。

(三) 電鍍時兩電極的反應：

1. 正極反應：欲鍍的金屬，失去電子進行氧化反應而溶解為金屬離子。
2. 負極反應：電鍍溶液中的金屬離子接受電子，進行還原反應形成金屬原子，而在負極被鍍的基材表面上析出。

3. 例：石墨碳棒鍍銅的反應：

(1) 負極反應：溶液中的銅離子獲得 2 個電子，變成金屬銅而由電鍍液析出於石墨電極基材的表面，即 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$ 。

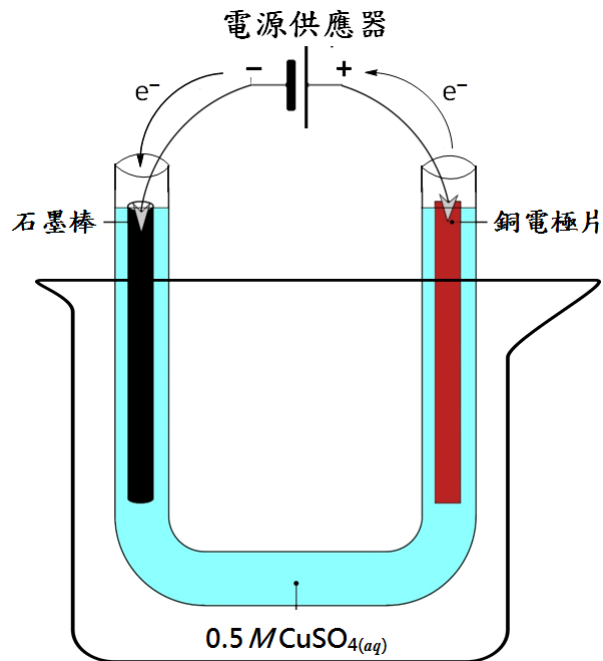
(2) 正極反應：銅片上的銅原子失去 2 個電子，變成銅離子溶於水中，而減少重量，即 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ 。

(四) 電鍍完成後：

1. 因金屬離子在負極形成金屬原子析出成膜，故負極重量增加。
2. 因正極金屬溶解，形成金屬離子於溶液中，故正極重量減少。
3. 電鍍液中的離子數目保持一定，故濃度維持不變，不增也不減。

實驗器材、藥品：

1. 燒杯 (500 mL)	1 個	5. 導線 (含鱷魚夾)	2 條
2. 銅電極片	1 片	6. 電源供應器	1 個
3. 石墨棒電極	1 支	7. 砂紙	1 張
4. U 型管	1 支	8. 0.5 M 硫酸銅溶液	50 mL



圖三、電解電池裝置

實驗步驟：

1. 分別利用兩條雙鱷魚夾導線，夾接電源供應器輸出端的正、負極接觸點。
2. 用砂紙將石墨棒、銅片電極表面輕磨擦拭乾淨，並用水洗淨，再以去離子水沖淋，擦乾後，分別秤重記錄克數。
3. 取 U 型管，注入約七分滿的 0.5 M 硫酸銅水溶液。
4. 將石墨棒夾於負極，銅片夾接於正極，分別放置於 U 型管兩端。
5. 由電源供應器外加 10 V 直流電通電約 20 分鐘，仔細觀察並記錄兩極的變化。
6. 取下兩極的銅片、石墨棒，用水洗淨瀝乾後秤重並記錄克數，完成實驗表格。
7. 將銅片、石墨棒的正負極對調後重複步驟 5~6，觀察兩極變化，並記錄數據。

實驗表格：

	反應初始 0 min	通直流電 10 V 20 min	正負極對調 通直流電 10 V，20 min
石墨棒重(g)			
銅片重量(g)			
請詳細描述所觀測到的正負極現象			
1. 電極外觀變化：			
2. 電極重量變化：			
3. 哪一個電極有氣泡產生，可能的反應為何？			

問題與討論：

1. 為什麼在電解實驗做完後交換正負極位置，反應即可從原先的電解變成電鍍？
2. 請分別寫出電解及電鍍的化學反應式。
3. 除了銅的氧化還原反應之外，電解電池中是否還有其他化學反應發生？

參考文獻：

1. <https://www.youtube.com/watch?v=PANCG4j9bpk>
2. https://www.nani.com.tw/nani/jlearn/natu/ability/a1/6_a1_4_11.htm