

電化學實驗

于淑君 教授

助教:施律倫、韓克謙、王俊霖、楊純儀

國立中正大學化學暨生物化學系

2022.08.03 于淑君教授、韓克謙增訂

一、 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。

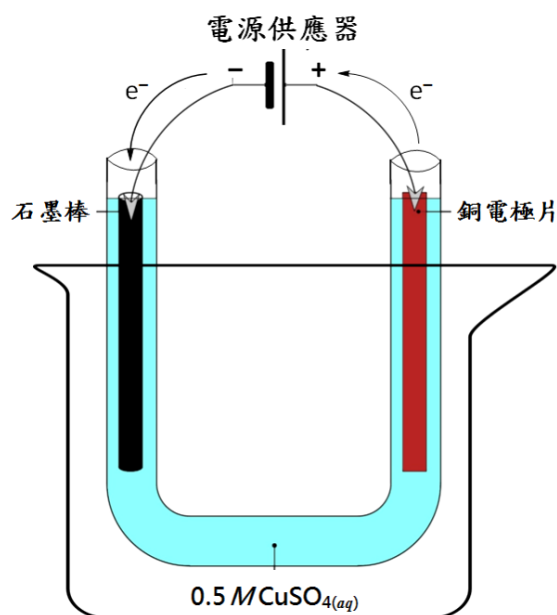
- (一) 電鍍時將所要電鍍的基材接在負極（與電池負極相連接），所要電鍍析出的金屬作正極（與電池正極相連接），並選用相同金屬離子的溶液作為電鍍液。
- (二) 通入直流電後，正極金屬溶解成為金屬離子，溶液中同數目的金屬離子便會在被鍍基材的表面上析出，形成一層金屬外膜，此過程稱為電鍍。
- (三) 電鍍時兩電極的反應：
 1. 正極反應：欲鍍的金屬，失去電子進行氧化反應而溶解為金屬離子。
 2. 負極反應：電鍍溶液中的金屬離子接受電子，進行還原反應形成金屬原子，而在負極被鍍的基材表面上析出。
 3. 例：石墨碳棒鍍銅的反應：
 - (1) 負極反應：溶液中的銅離子獲得 2 個電子，變成金屬銅而由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 |



圖一、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，注入約五~七分滿的 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 30 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。

實驗數據：

| | 反應初始 0 min | 通直流電 10 V 30 min | 正負極對調 通直流電 10 V，30 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
3. <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=136&a=6822&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=8&sid=16368>

二、電化學電池（鋅銅電池）

實驗目的：

學習以醋酸、飽和食鹽水與糖水電解質溶液製備簡易型鋅銅電化學電池，並探討其中的化學變化與電池產生電壓與電流的原理。

實驗原理：

0. 電化學電池 (Galvanic Cell or Voltaic Cell)

電化學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。

(二) 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：

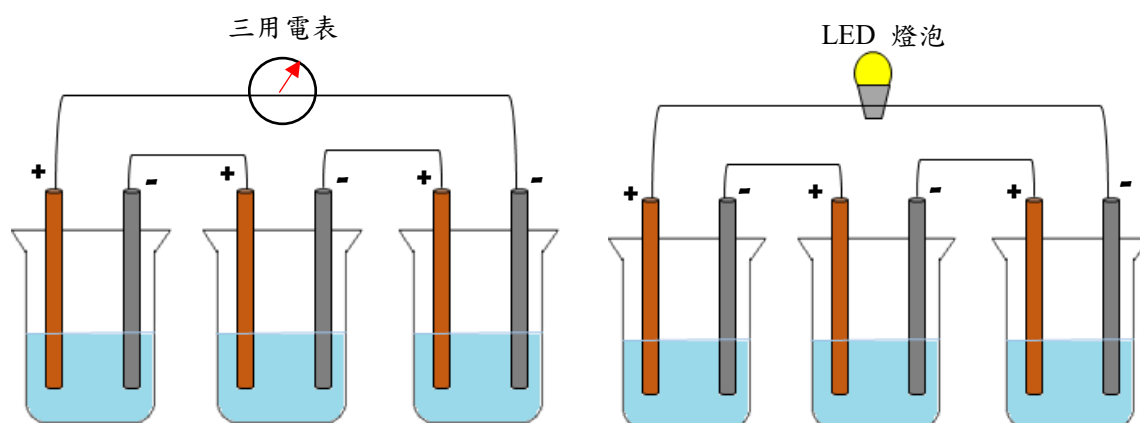
| | | | |
|-----------|-----|--------------|-----|
| 1. 銅電極片 | 3 片 | 4. 導線 (含鱷魚夾) | 4 條 |
| 2. 鋅電極片 | 3 片 | 5. 100 mL 燒杯 | 3 個 |
| 3. LED 燈泡 | 1 個 | 6. 三用電表 | 1 台 |

實驗藥品：

| | | | |
|---------------|-------|---------------|-------|
| 1. 0.1 M 醋酸溶液 | 60 mL | 3. 1 % 葡萄糖水溶液 | 60 mL |
| 2. 飽和食鹽水溶液 | 60 mL | | |

實驗步驟：

1. 量取 60 mL 0.1 M 醋酸溶液分別倒入 20 mL 至 100 mL 燒杯中。
2. 在 100 mL 燒杯中分別放入銅片與鋅片，並用鱷魚夾夾住銅片與鋅片兩端，形成串聯（如圖二）。
3. 最後利用鱷魚夾將 LED 燈泡連接上，並記錄 LED 燈泡是否會亮。
4. 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。
5. 將三用電表利用鱷魚夾連接（如圖三），並記錄指針的數據。
6. 將溶液換成飽和食鹽水並重複步驟 1~5。
7. 將溶液換成 1% 葡萄糖水並重複步驟 1~5。



圖二、鋅銅電池裝置(LED 燈泡)

圖三、鋅銅電池裝置(三用電表)

實驗數據：

| | 0.1 M 醋酸溶液 | 飽和食鹽水 | 1% 葡萄糖水溶液 |
|----------------|------------|-------|-----------|
| LED 燈泡 是否會亮 | | | |
| 電壓(V) | | | |
| 電流(A) | | | |

問題與討論

1. 請排列三種電化學電池電壓與電流大小，並解釋為何？
2. 請寫下電化學電池中陰極及陽極的半反應。

參考文獻

1. chem.moe.edu.tw/download.aspx?attachtype=share%5C27&filename=鋅銅電池.pdf
2. <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/11/2013111408311007.pdf>
3. <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=10921>

三、 微型電解實驗（電解筆）

實驗目的：

學習以碘化鉀電解質溶液製備簡易型電解裝置，並探討其中的化學變化與電解的原理。

實驗原理：

利用電能轉變成氧化還原化學反應將化學能的裝置稱之電解。屬非自發反應 ($\Delta E^{\circ} > 0$)。

(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) 電解池 (electrolytic cell)

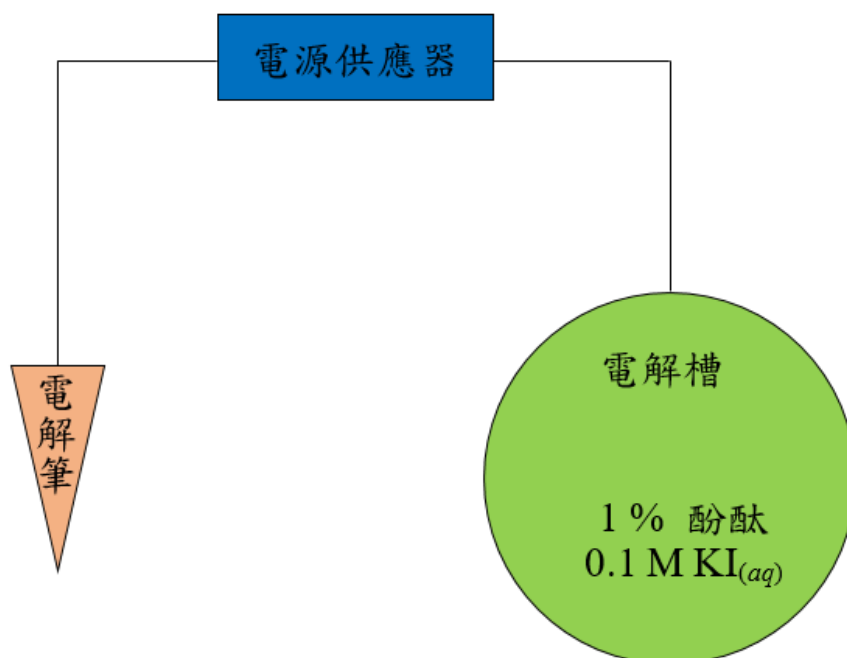
是用於電解的裝置，可以將電能轉化為化學能，使某些平常情況下無法自發的化學反應得以發生。電解池一般由電解液和兩個電極組成，電解液可以是鹽類的水溶液也可以是熔融的鹽類。當在電極上加上外加電場時，電解液中的離子會被帶相反電荷的電極所吸引，靠近該電極，進而在該電極上發生得電子或失去電子的還原或氧化反應。

實驗器材及藥品：

| 器 材 | 藥 品 |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. 塑膠滴管 1 支 | 1. 1 % 酚酞溶液 10 mL |
| 2. 鋁箔紙 1 支 | 2. 0.1 M 碘化鉀溶液 10 mL |
| 3. 導線 (含鱷魚夾) 2 條 | |
| 4. 不鏽鋼線 1 個 | |
| 5. 電源供應器 1 台 | |
| 6. 錶玻璃 1 個 | |
| 7. 濾紙 1 個 | |

實驗步驟：

1. 微型電解筆的製作 (電解筆)：長約 15 cm 的銅線(或不鏽鋼線)由滴管頂端貫穿滴管，滴管口及滴管頂部露出之銅線留約 1~3 公分之長度，以尖嘴鉗將兩端露出之字形銅線彎曲呈圓弧型，隨即完成電解筆。
2. 微型電解池裝置的製作：裁取適當大小的鋁箔紙並將錶玻璃包覆，再將濾紙放入包覆鋁箔紙的錶玻璃中，之後接著將兩端附有鱷魚夾的紅導線之一端夾在包覆鋁箔紙之錶玻璃上，而兩端附有鱷魚夾的黑導線之一端則夾在電解筆頂端露出之鐵線上，電源供應器，隨即完成了微型電解裝置部分。
3. 將電解槽內的電解質加入碘化鉀溶液，指示劑用 1 % 酚酞溶液，通電後將電壓設為 20 V 進行電解反應，並畫出圖形，重複上述的實驗，觀察電解槽濾紙的顏色是否發生變化。



圖四、電解裝置

實驗數據：

1. 請畫出電解後的圖形。

問題與討論：

1. 請寫下此電解中陽極及陰極之半反應。

2. 請解釋為何進行電解時會有顏色產生？

參考文獻：

1. <https://zh.wikipedia.org/zh-hant/電解>
2. <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=5772>
3. <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=18241>

四、氧化還原實驗（美麗錫樹）

實驗目的：

學習以氯化亞錫電解質溶液製備簡易型電解裝置，並探討其中的化學變化與電解的原理。

實驗原理：

利用電能轉變成氧化還原化學反應將化學能的裝置稱之電解。屬非自發反應 ($\Delta E^{\circ} > 0$)。

(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) 電解池 (electrolytic cell)

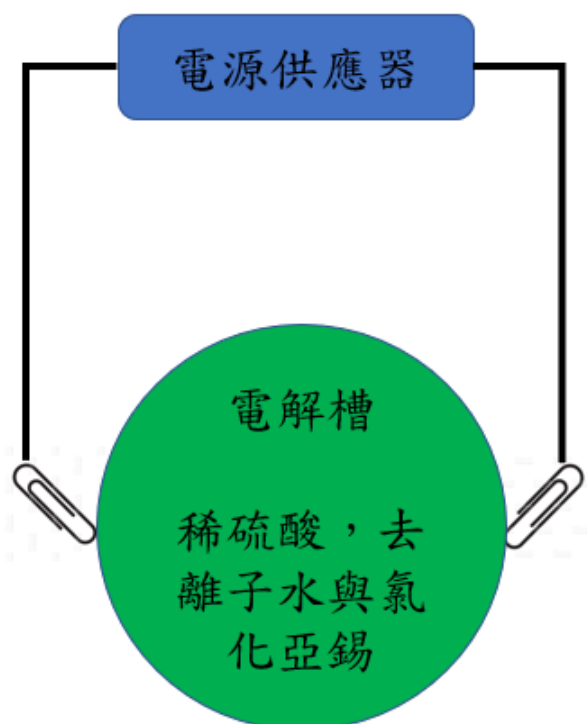
是用於電解的裝置，可以將電能轉化為化學能，使某些平常情況下無法自發的化學反應得以發生。電解池一般由電解液和兩個電極組成，電解液可以是鹽類的水溶液也可以是熔融的鹽類。當在電極上加上外加電場時，電解液中的離子會被帶相反電荷的電極所吸引，靠近該電極，進而在該電極上發生得電子或失去電子的還原或氧化反應。

實驗器材及藥品：

| 器 材 | 藥 品 |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. 塑膠滴管 1 支 | 1. 1 M 硫酸溶液 10 mL |
| 2. 迴紋針 2 個 | 2. 蒸餾水 10 mL |
| 3. 導線 (含鱷魚夾) 2 條 | 3. 氯化亞錫 4 g |
| 4. 錶玻璃 1 個 | |
| 5. 電源供應器 1 台 | |

實驗步驟：

1. 電解池的製備：秤取 4 g 氯化亞錫放在樣品瓶中並加入 10 ml 去離子水，後續加入 1 M 10 mL 稀硫酸後完成電解液製備，將樣品瓶內氯化亞錫電解質溶液倒入錶玻璃內完成電解池製備。
2. 將迴紋針設置於電解槽兩端，後續將電源供應器正極與負極分別接上迴紋針，確保迴紋針下端浸泡在電解液中，開啟電源供應器電源並設置電壓為 2 伏特後觀察電解池中的變化，持續提高電壓觀察錫樹生長情況。



圖五、電解池裝置

實驗數據：

1. 將還原的錫金屬樹照片拍下並貼上

問題與討論：

1. 請寫下此電解中陽極及陰極之半反應。

2. 請問實驗過程為何要加入硫酸?

3. 請問錫樹由哪一極生長出來?

參考文獻：

1. <https://www.youtube.com/watch?v=mSGRrZ-ujv4>
2. <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033012594765.pdf>
3. <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/04/2015040208584180.pdf>

標準還原電位表

Standard Reduction Potentials at 25°C (298 K) for Many Common Half-reactions

| Half-reaction | E° (V) | Half-reaction | E° (V) |
|--|---------------|--|---------------|
| $F_2 + 2e^- \rightarrow 2F^-$ | 2.87 | $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ | 0.40 |
| $Ag^2+ + e^- \rightarrow Ag^+$ | 1.99 | $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ | 0.34 |
| $Co^{3+} + e^- \rightarrow Co^{2+}$ | 1.82 | $Hg_2Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Hg + 2Cl^-$ | 0.27 |
| $H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$ | 1.78 | $AgCl + e^- \rightarrow Ag + Cl^-$ | 0.22 |
| $Ce^{4+} + e^- \rightarrow Ce^{3+}$ | 1.70 | $SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow H_2SO_3 + H_2O$ | 0.20 |
| $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$ | 1.69 | $Cu^{2+} + e^- \rightarrow Cu^+$ | 0.16 |
| $MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$ | 1.68 | $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ | 0.00 |
| $IO_4^- + 2H^+ + 2e^- \rightarrow IO_3^- + H_2O$ | 1.60 | $Fe^{3+} + 3e^- \rightarrow Fe$ | -0.036 |
| $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ | 1.51 | $Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$ | -0.13 |
| $Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$ | 1.50 | $Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$ | -0.14 |
| $PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Pb^{2+} + 2H_2O$ | 1.46 | $Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$ | -0.23 |
| $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$ | 1.36 | $PbSO_4 + 2e^- \rightarrow Pb + SO_4^{2-}$ | -0.35 |
| $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$ | 1.33 | $Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$ | -0.40 |
| $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$ | 1.23 | $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$ | -0.44 |
| $MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$ | 1.21 | $Cr^{3+} + e^- \rightarrow Cr^{2+}$ | -0.50 |
| $IO_3^- + 6H^+ + 5e^- \rightarrow \frac{1}{2}I_2 + 3H_2O$ | 1.20 | $Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$ | -0.73 |
| $Br_2 + 2e^- \rightarrow 2Br^-$ | 1.09 | $Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$ | -0.76 |
| $VO_2^+ + 2H^+ + e^- \rightarrow VO^{2+} + H_2O$ | 1.00 | $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ | -0.83 |
| $AuCl_4^- + 3e^- \rightarrow Au + 4Cl^-$ | 0.99 | $Mn^{2+} + 2e^- \rightarrow Mn$ | -1.18 |
| $NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO + 2H_2O$ | 0.96 | $Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$ | -1.66 |
| $ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$ | 0.954 | $H_2 + 2e^- \rightarrow 2H^-$ | -2.23 |
| $2Hg^{2+} + 2e^- \rightarrow Hg_2^{2+}$ | 0.91 | $Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$ | -2.37 |
| $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$ | 0.80 | $La^{3+} + 3e^- \rightarrow La$ | -2.37 |
| $Hg_2^{2+} + 2e^- \rightarrow 2Hg$ | 0.80 | $Na^+ + e^- \rightarrow Na$ | -2.71 |
| $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$ | 0.77 | $Ca^{2+} + 2e^- \rightarrow Ca$ | -2.76 |
| $O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$ | 0.68 | $Ba^{2+} + 2e^- \rightarrow Ba$ | -2.90 |
| $MnO_4^- + e^- \rightarrow MnO_4^{2-}$ | 0.56 | $K^+ + e^- \rightarrow K$ | -2.92 |
| $I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$ | 0.54 | $Li^+ + e^- \rightarrow Li$ | -3.05 |
| $Cu^+ + e^- \rightarrow Cu$ | 0.52 | | |

電化學歷屆版本修訂

2017.08.28 于淑君教授、蕭羽嬭編訂

2018.08.17 于淑君教授、蔡文元修訂

2019.08.14 于淑君教授、吳盈勳修訂

2020.08.04 于淑君教授、廖建勳修訂

2021.08.10 于淑君教授、施偉倫修訂

2022.08.03 于淑君教授、韓克謙修訂