

111年國立中正大學高教深耕計畫 1-5
理學院「自然科學與技術」跨領域微課程



電化學實驗操作技巧

Interdisciplinary Experimental Techniques

于淑君

國立中正大學化學暨生物化學系

2022.08.03



《電化學原理與化學電池》

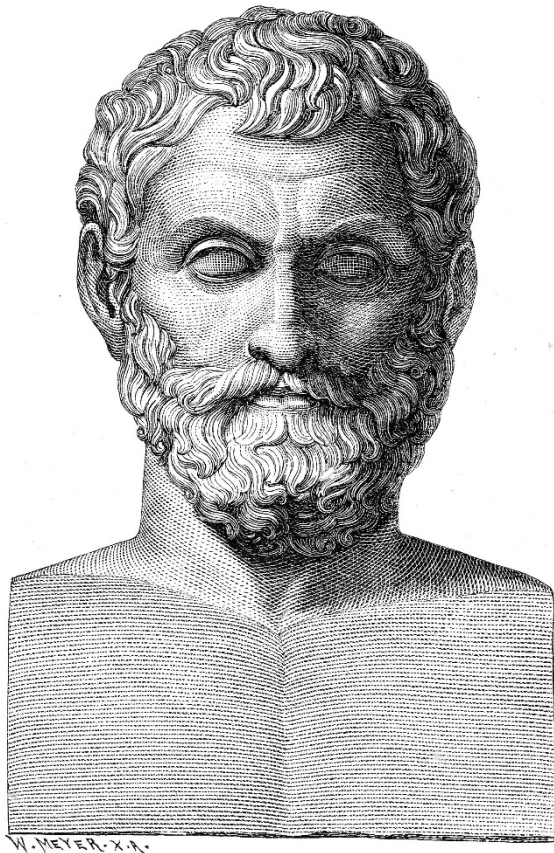
台灣是電子產業王國，電化學在電子工業上扮演著相當重要的一環，包括大家所熟悉的名詞如電解、金屬加工、電池、海水淨化和廢水處理等應用。本課程特別設計如化學電池、電位測量、電解、電鍍內容，讓學生可以熟悉學術研究與產業的實際應用面向。



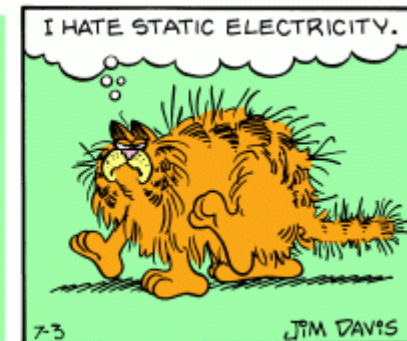
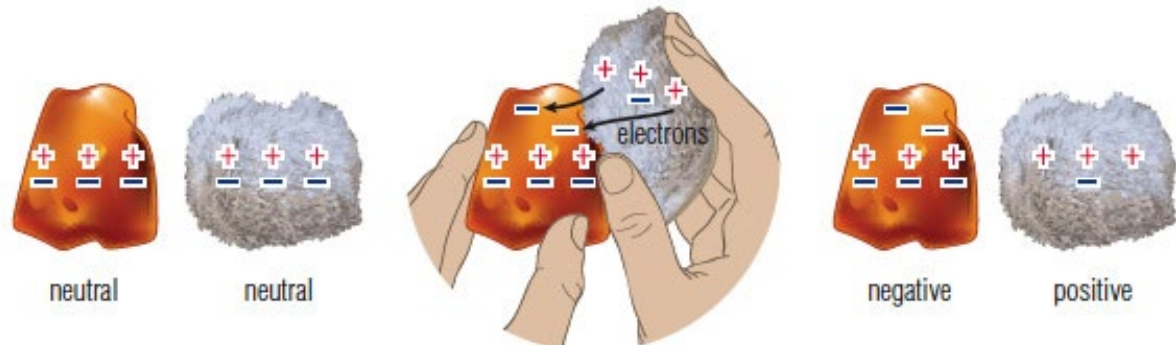
是誰發現了電？

The Greeks in 600 BC ➡ Static electricity

Rubbed amber and fur ➡ Attracted straw



Thales of Miletus (623 — 545 BC) —
Greek philosopher who discovered electricity



閃電

Benjamin Franklin in 1752, Philadelphia

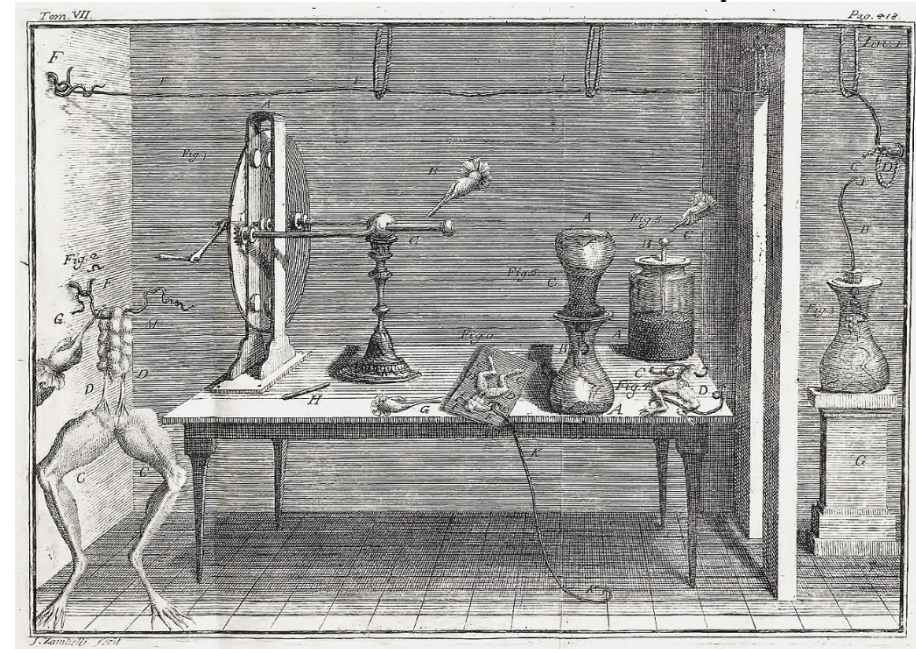
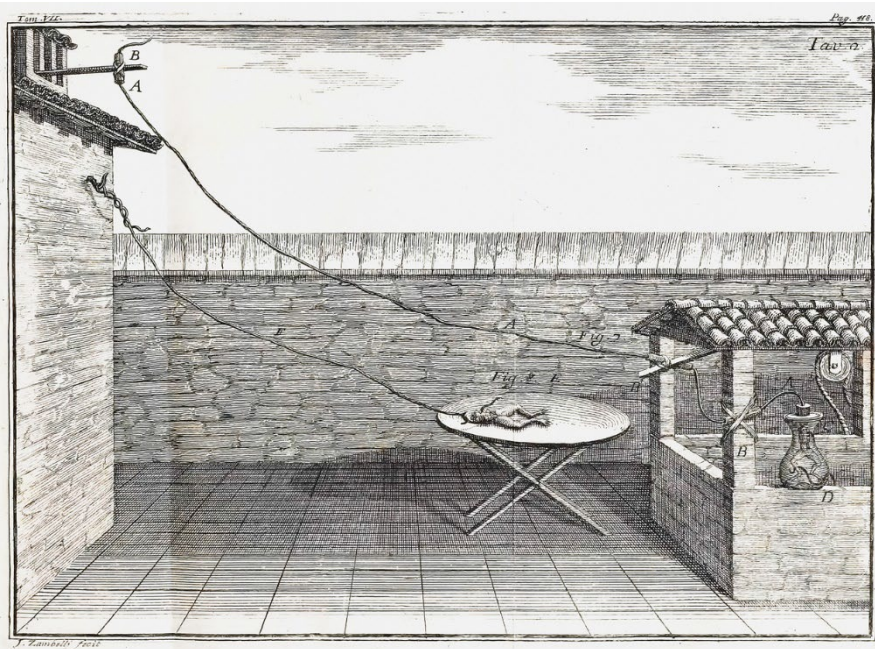
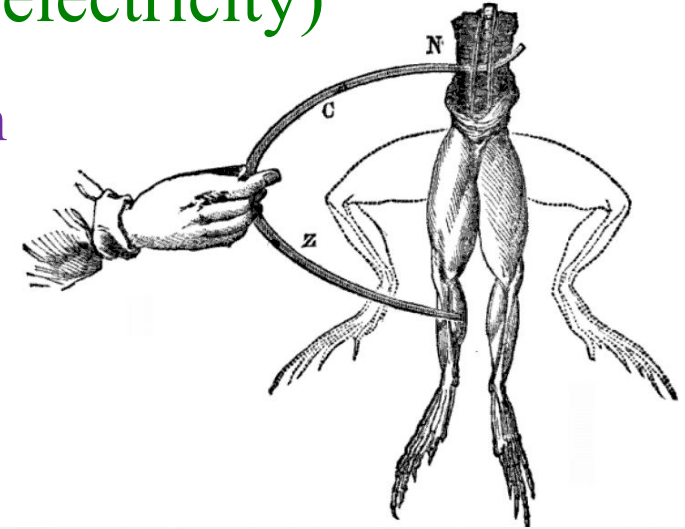




Luigi Galvani (1737–1798)

生物電 (animal electricity)

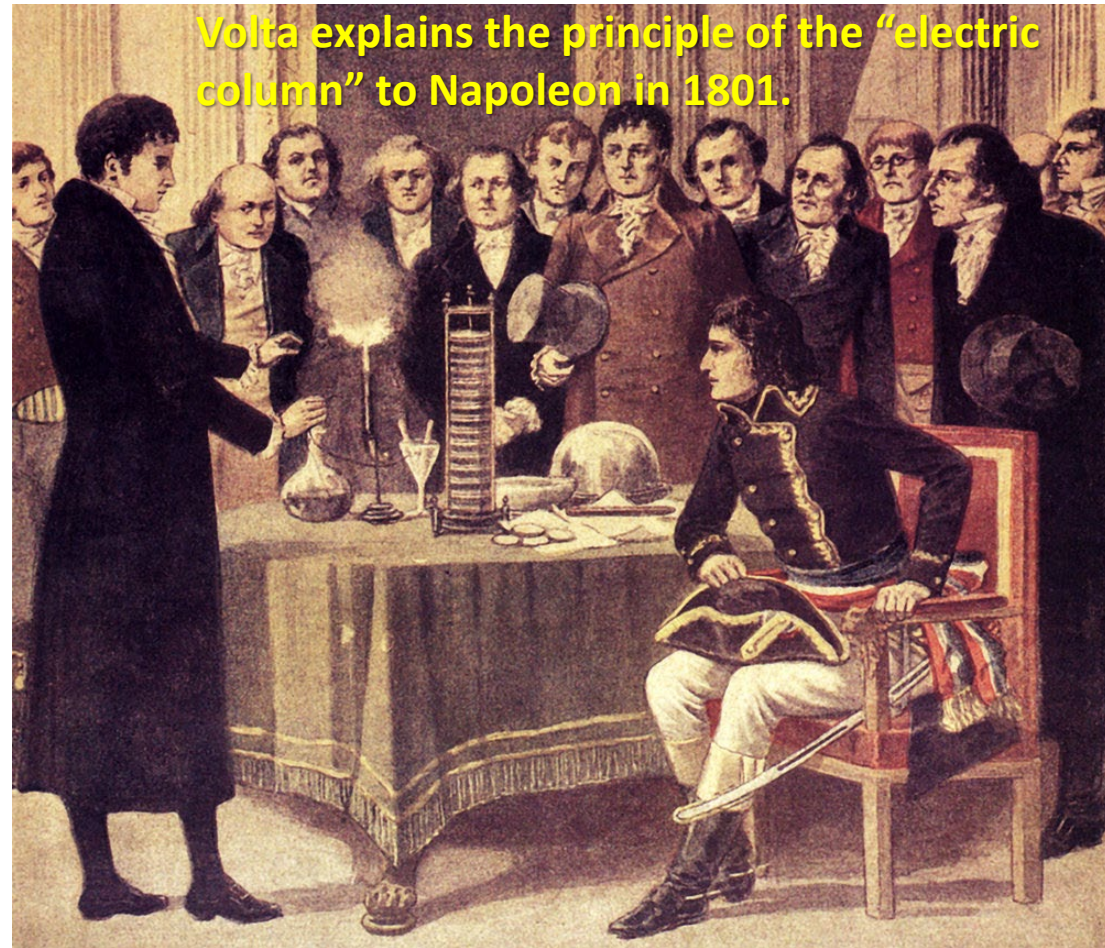
Volta coined the term "Galvanism" for a direct current of electricity produced by chemical action.



Alessandro Volta

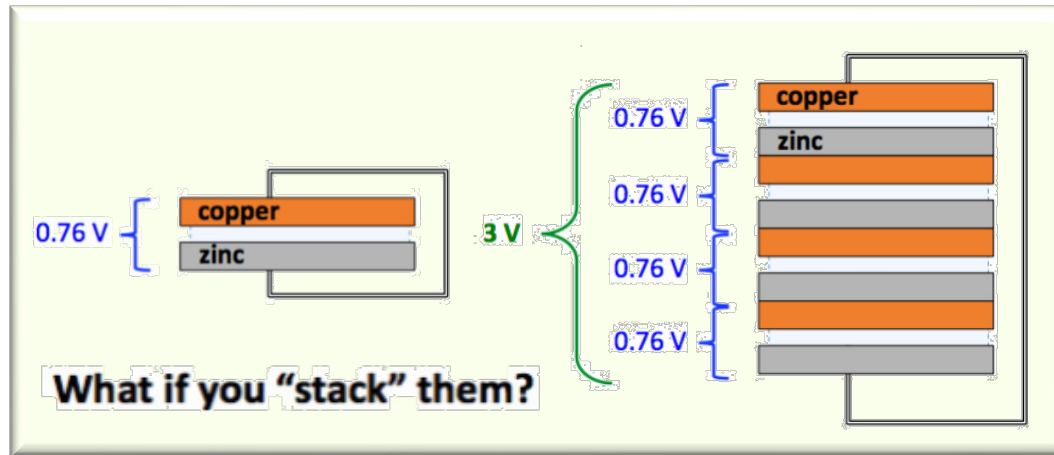
1745 – 1827

Volta was an Italian physicist, chemist and a pioneer of electrical science. He built the first battery, Voltaic Pile. In recognition of Volta's contributions to electrical science, the unit of electric potential is called the *volt*.

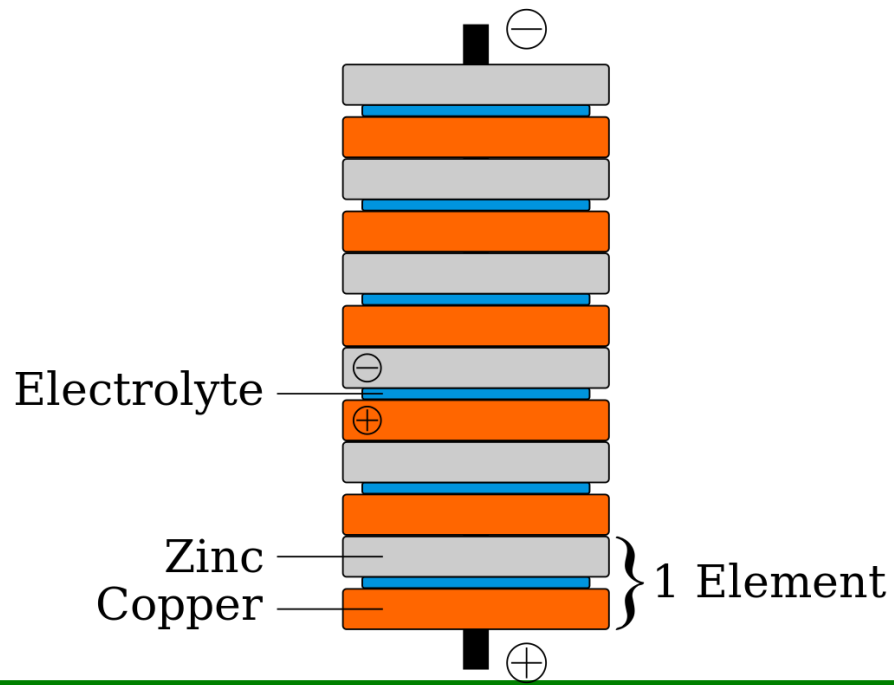


伏打電堆

Voltaic Pile in 1799

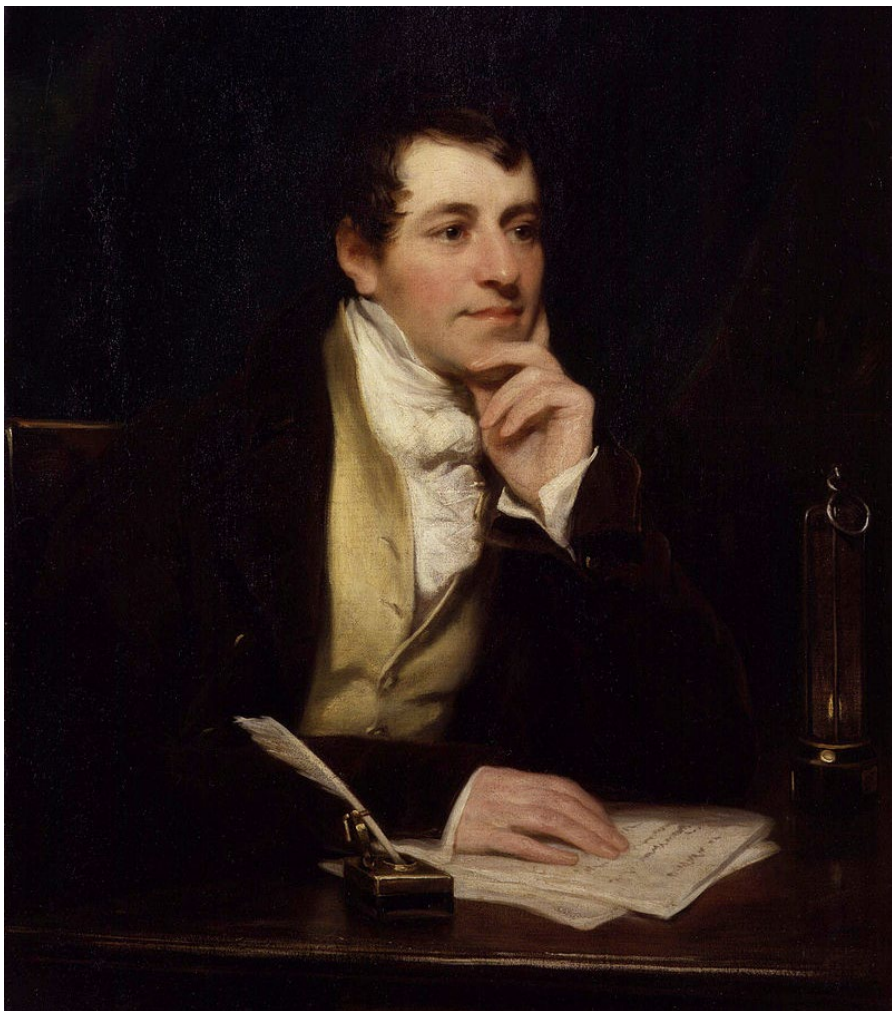


The first electric battery cell



戴維

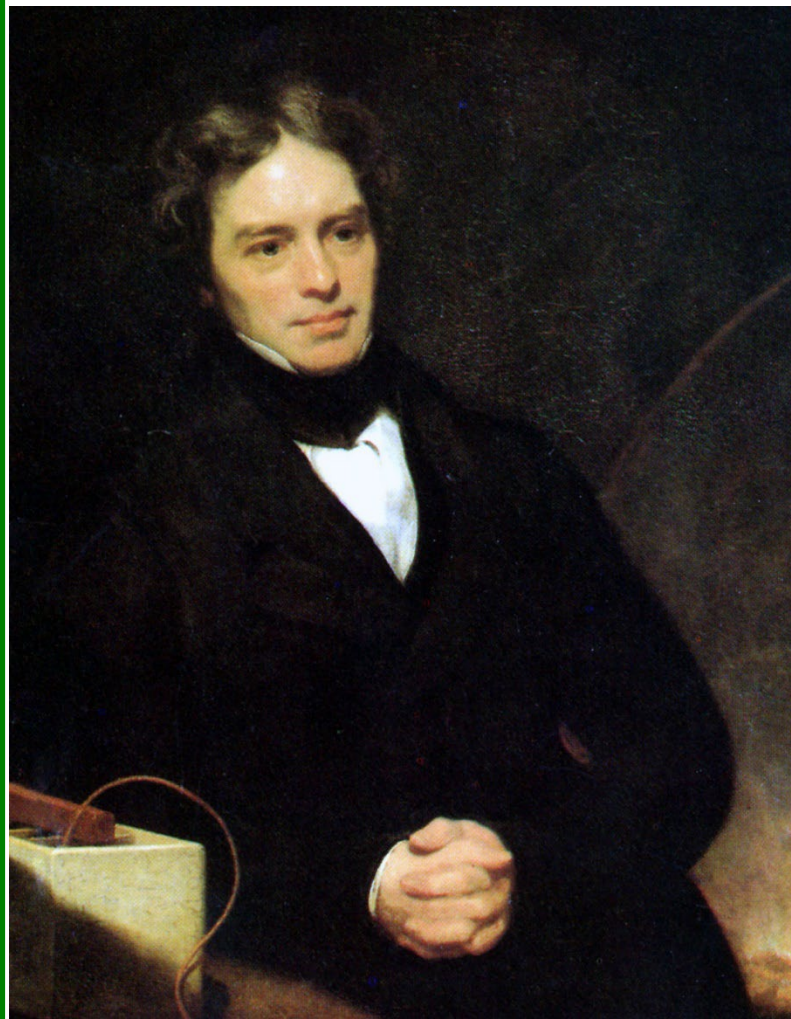
Humphry Davy (1778–1829)



英國化學家。是發現化學元素最多的人，被譽為「無機化學之父」。1799年，戴維發現了 N_2O (笑氣)具有麻醉作用。1807年用電解法離析出K和Na；1808年分離出Ca、Sr、Ba、Mg和B。1813年研究碘，指出碘是與氯類似的元素，並製備出KI和 KIO_3 等許多碘化合物。後還證實金剛石和木炭的化學成分相同。1815年發明安全礦燈。1817年發現Pt能促使醇蒸氣在空氣中氧化的催化作用。

法拉第 (1791–1867)

Michael Faraday, an English Scientist



法拉第在電磁學及電化學領域有許多貢獻，其中主要的有電磁感應、抗磁性與電解。1831年以電磁感應原理**製作出第一部直流電發電機**。

1832年於電化學試驗中發現闡述了**法拉第電解定律**，這個定律適用於所有電極反應的氧化還原過程，是電化學反應中的基本定量定律。

法拉第也推廣許多專業用語，如**陽極、陰極、電極及離子、陰離子、陽離子、離子化、電解質和電解等**，這些詞語大多由威廉·惠威爾發明。

法拉第電解定律

物質在電解過程中，物質在所析出的質量 W 與通過電極的電量 Q 成正比。不同物質的質量則正比於該物質的原子量(莫耳質量， M)。可由以下方程式表示：

$$Q = I \times t$$

Q ：通過的電量(庫倫)

通入的電子莫耳數 = Q / F

I ：電流強度(安培)

析出的原子莫耳數 = W / M

t ：通電時間(秒)

析出所需電子莫耳數 = $(W / M) \times Z$

Z ：原子價數

析出物質的質量 $W = (Q \times M) / (F \times Z) = (I \times t \times M) / (F \times Z)$

$F = 96500$ 庫倫/莫耳(法拉第常數 = 每莫耳電子所攜帶的電量)

電池

(What is a battery?)

把化學能轉換為直流電能的裝置。兩個具有電位差的金屬片在電解質溶液中，受電位差的影響，負離子從低電位極片(負極)流向高電位極片(正極)，正離子從正極流向負極，從而形成持續電流。

Battery is a chemical device that stores electrical energy in the form of chemicals and by means of electrochemical reaction, it converts the stored chemical energy into direct current (DC) electric energy.

Alessandro Volta invented the first battery in 1800. The electrochemical reaction in a battery involves transfer of electrons from one material to another (called electrodes) through an electric current.



電化學

(Electrochemistry)

電化學主要研究電能和化學能之間的相互轉換，如電解和化學電池，除了探討化學反應之外，也包含相關物理化學過程，如金屬的腐蝕，以及電解質溶液中金屬離子的置換反應等



化學電池

(Galvanic Cell or Voltaic Cell)

化學電池是一種將化學能轉換為電能的裝置，由電極、電解液、鹽橋及導線所組成。



電池組成要件-1

一. 電極

陽極—釋放電子發生氧化反應，
也稱為負極。 **ex.** $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^{-}$

陰極—得到電子發生還原反應，
也稱為正極。 **ex.** $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^{-} \rightarrow \text{Cu}$

電子流由陽極流向陰極；
而電流由陰極流向陽極。



電池組成要件-2

二. 電解液

含有參與氧化還原反應之相關離子的電解質水溶液。

三. 鹽橋

電池內部連接兩半電池之橋樑，用以溝通電路、平衡電荷，通常為U型玻璃管及多孔性材料，內裝硝酸鹽或氯化鹽類水溶液。



電池組成要件-3

四. 電極種類

活性電極—電極參與化學電池的氧化還原反應，如鋅銅電池中，鋅棒及銅棒均屬活性電極。

惰性電極—電極不參與反應，但電子可經由電極出入。通常為石墨棒電極、鉑電極或金電極。



電化學基本原理-1

一. 氧化還原反應 (redox reaction)

氧化反應 (oxidation)：失去電子

還原反應 (reduction)：獲得電子

氧化還原反應是電子轉移反應，
必須同時發生，氧化劑得到電子
被還原；還原劑失去電子被氧化



電化學基本原理-2

二. 化學電池

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

陽極(anode)——發生氧化半反應，
又稱負極。

陰極(cathode)——發生還原半反應，
又稱正極。



電化學基本原理-3

三. 鹽橋

連接兩半電池，以平衡電荷，通常選用不參與電池氧化還原反應之電解質溶液。其中陽離子往陰極移動，平衡半電池進行還原反應時陽離子的損耗。而電陰離子往陽極移動，平衡半電池進行氧化反應時陽離子的釋出。



電化學基本原理-4

四. 電池電位 electromotive force (emf) or cell potential (E_{cell})

電池位能稱為電位，單位是伏特，volt (V)。電流是由電位高的陰極(正極)經由外部導線往電位低的陽極(負極)流動，產生正值電位($\Delta E^0 > 0$)。電流與電子流方向相反。



電化學基本原理-5

電池電位

$$\begin{aligned}\Delta E &= \text{陽極氧化電位} + \text{陰極還原電位} \\ &= \text{陽極氧化電位} - \text{陰極氧化電位} \\ &= \text{陰極還原電位} - \text{陽極還原電位}\end{aligned}$$

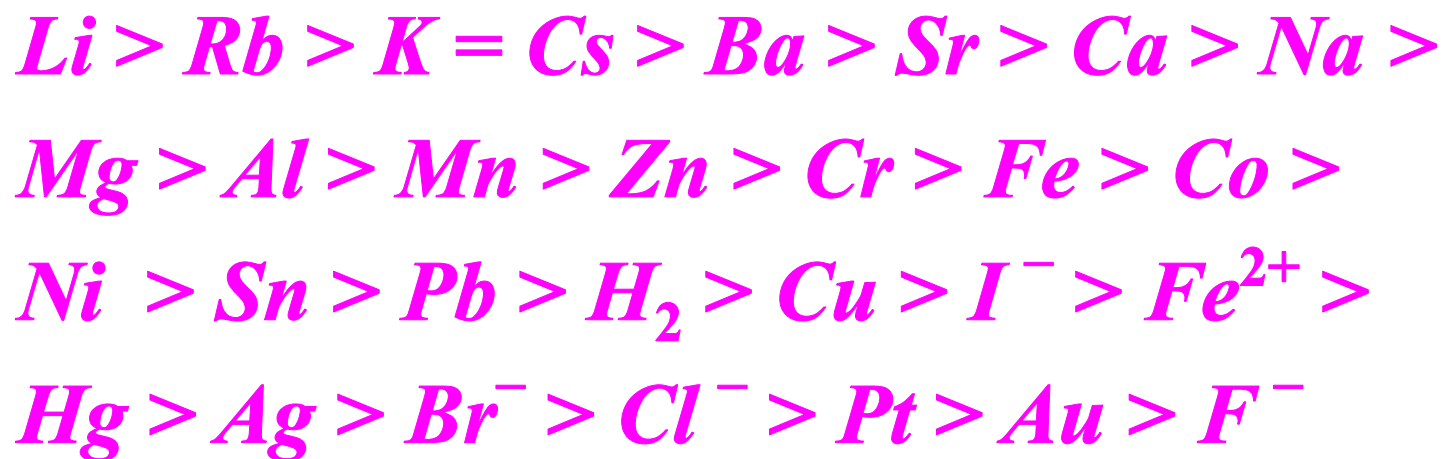
ΔE^0 為標準電位 (1 atm, 1 M, 25 °C)



電化學基本原理-6

五. 金屬氧化電位

活性大的金屬其氧化電位亦大，故
氧化電位大小：



電池記號 (Cell Notation)

化學電池可用簡單記號來表示：

陽極 | 陽極溶液 || 陰極溶液 | 陰極

| 符號：半電池中金屬與溶液的界面

|| 符號：分隔陰陽兩半電池的鹽橋

$Zn | ZnSO_{4(aq)} || CuSO_{4(aq)} | Cu$ (鋅銅電池)

陽極： $Zn | Zn^{2+}$ 陰極： $Cu^{2+} | Cu$

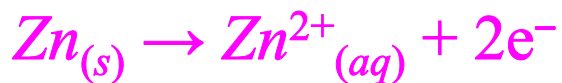


鋅銅電池



陽極半電池： $\text{Zn} | \text{Zn}^{2+}$

陰極半電池： $\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$

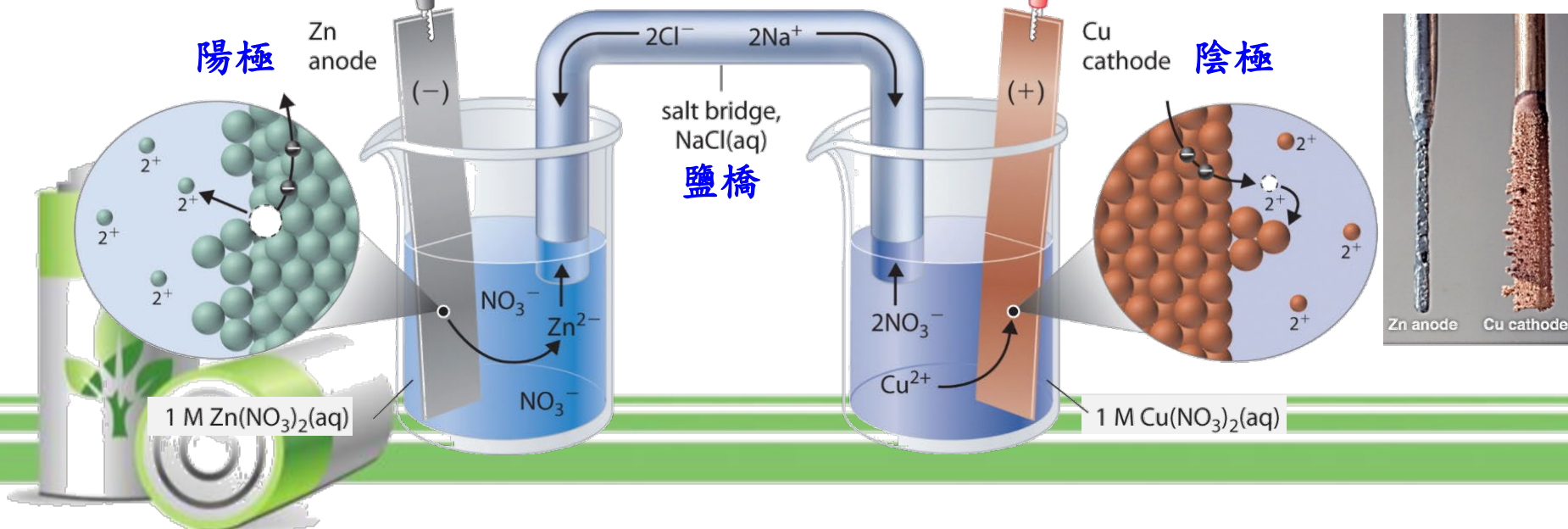


$$E_{ox} : -0.76 \text{ V}$$

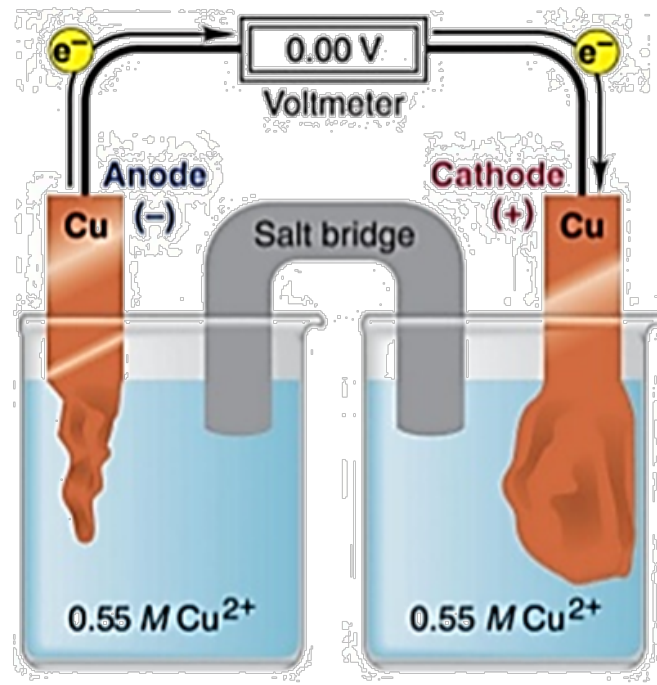
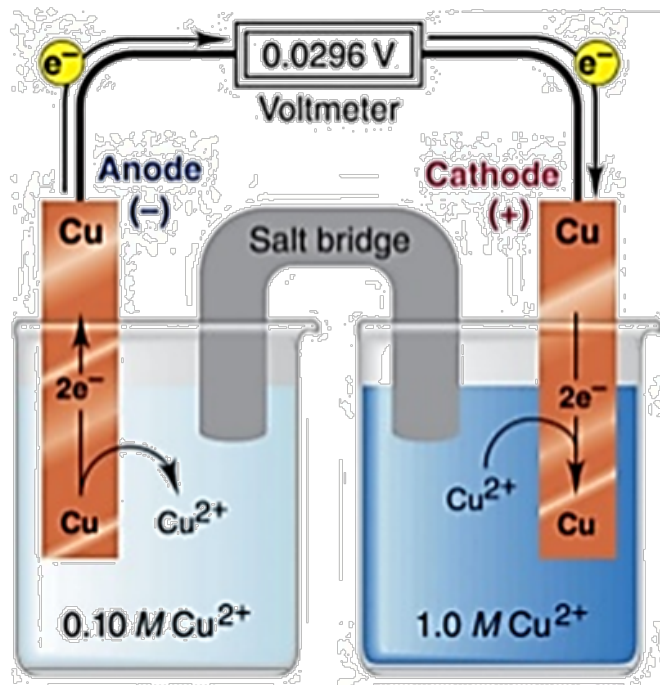
伏特計



$$E_{red} : 0.34 \text{ V}$$



濃差電池 (Concentration Cell)



陽極半反應： $Cu_{(s)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq, 0.1M)} + 2e^{-}$

陰極半反應： $Cu^{2+}_{(aq, 1.0M)} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(s)}$

電池全反應： $Cu^{2+}_{(aq, 1.0M)} \rightarrow Cu^{2+}_{(aq, 0.1M)}$



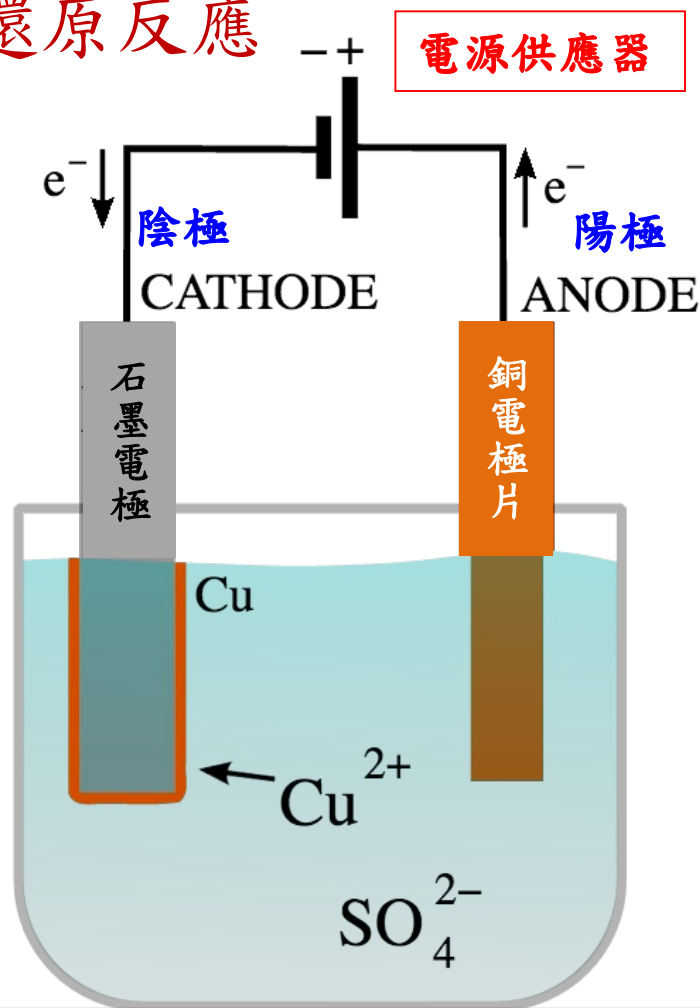
電解電池 (Electrolytic Cell)

電解屬於非自發氧化還原反應

陽極：接電源供應器正極



陰極：接電源供應器負極



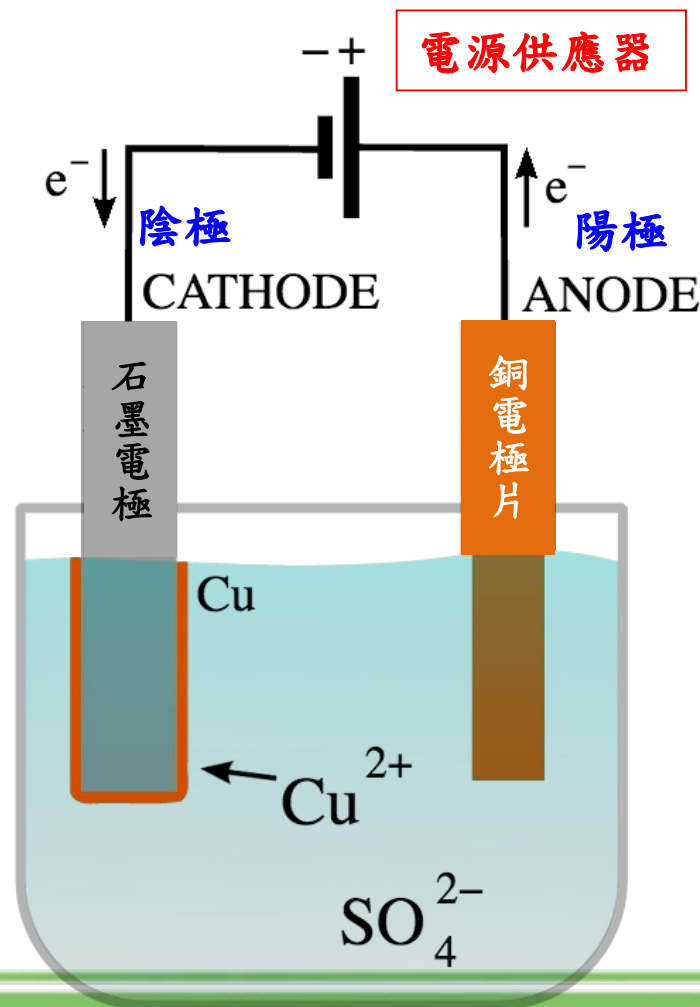
電解應用—電鍍

電鍍—利用電解反應把一種金屬鍍於另一種物體的表面，形成一層金屬外殼稱為電鍍。

陽極(電解槽正極)：擬鍍金屬

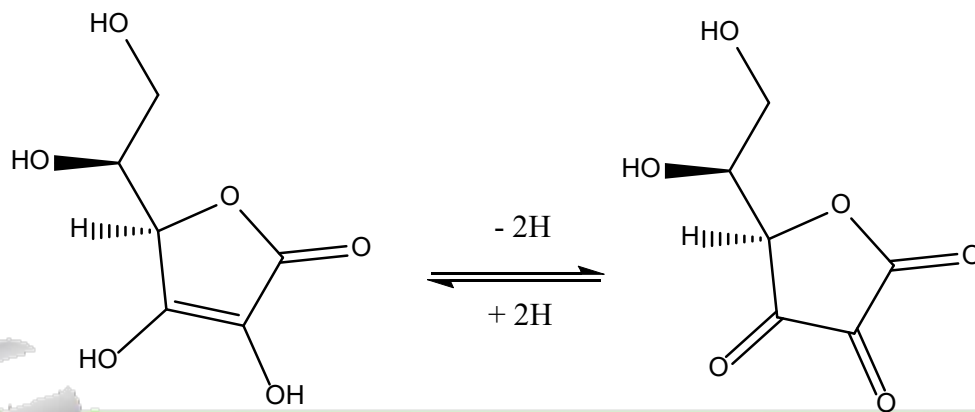
陰極(電解槽負極)：被鍍物體

電解質：含有擬鍍金屬離子的溶液



鋅銅電池示範一 (檸檬汁電解液)

檸檬含有豐富的維生素C（抗壞血酸），本實驗將利用檸檬汁酸性物質的氫離子在正極被還原成氫氣，陽極的鋅被氧化，所產生的電位差使LED燈泡發光。反應式如下：



維生素C脫氫
的可逆反應式



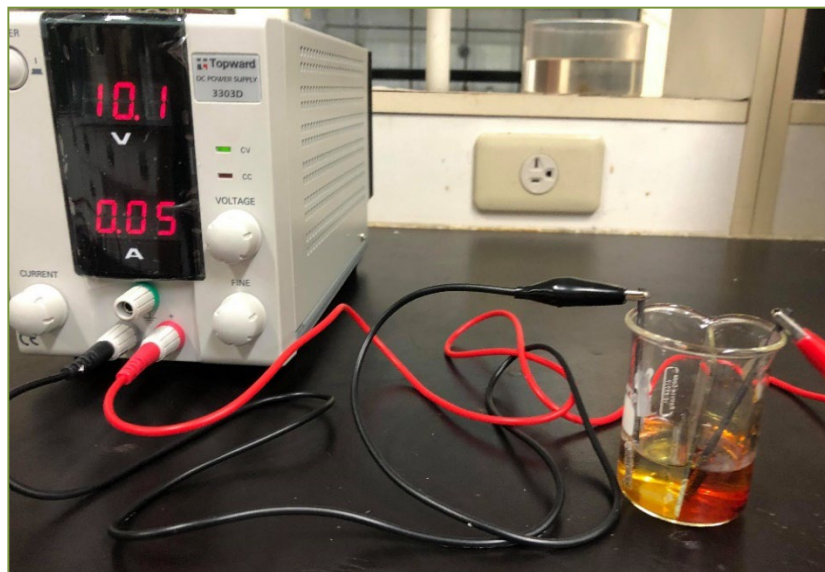
鋅銅電池示範二 (可樂電解液)

在沾滿可樂的濾紙上，接上鋅片以及銅片後，經三用電表測定發現以可樂當電解液的鋅銅電池發電量約為 1 V。

可樂當作電解液，是因含有碳酸鈉，經分解後得到 Na^+ , CO_3^{2-} 等可作為電解質之離子，而讓鋅銅電池發電。



電解碘化鉀示範三



碘化鉀溶液作為電解液，碘離子在陽極氧化成碘分子，水在陰極還原成氫氣和氫氧化鉀。

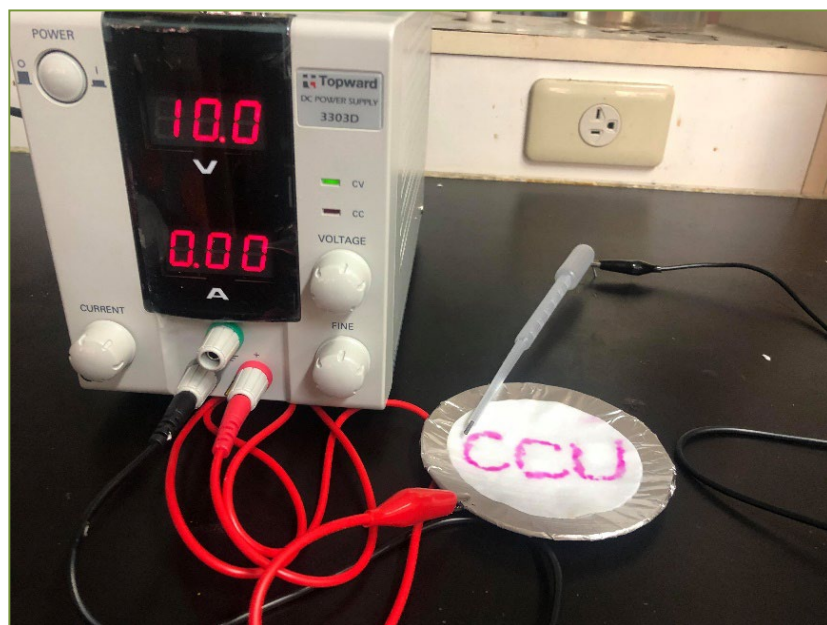
陽極半反應： $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ ($\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ ， I_3^- 為棕色， I_2 為粉紫色)

陰極半反應： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- + 2\text{K}^+ \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{KOH}$

全反應： $2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) + 2\text{K}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{KOH}(\text{aq}) + \text{I}_2(\text{aq})$



微型電解實驗示範四(電解筆)



碘化鉀溶液作為電解液時，陽極的碘離子氧化成碘分子，陰極的水還原成氫氣和氫氧化鉀。電解液中酚酞指示劑與氫氧化鉀形成紫色的錯合物。

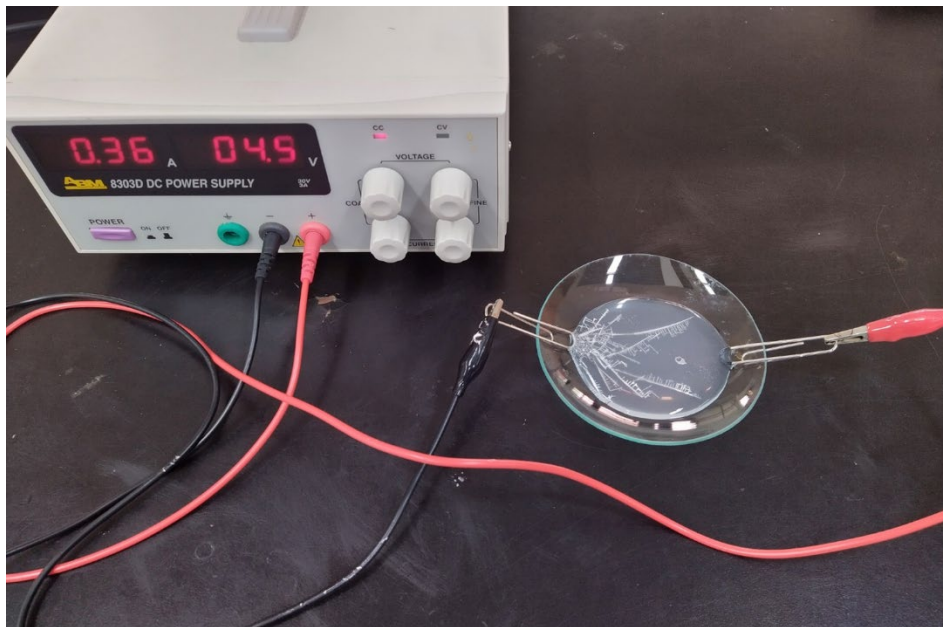
陽極半反應： $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ ($\text{I}_2 + \text{I}^- \rightarrow \text{I}_3^-$ ， I_3^- 為棕色， I_2 為粉紫色)

陰極半反應： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- + 2\text{K}^+ \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{KOH}$

全反應： $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2\text{I}^-(aq) + 2\text{K}^+(aq) \rightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{KOH}(aq) + \text{I}_2(aq)$



微型電解實驗示範五(美麗錫樹)



氯化亞錫溶液作為電解液時，陽極的二價錫離子氧化成四價錫離子，陰極的二價錫離子還原成金屬錫。金屬錫長晶石形成類似樹枝狀的延伸。

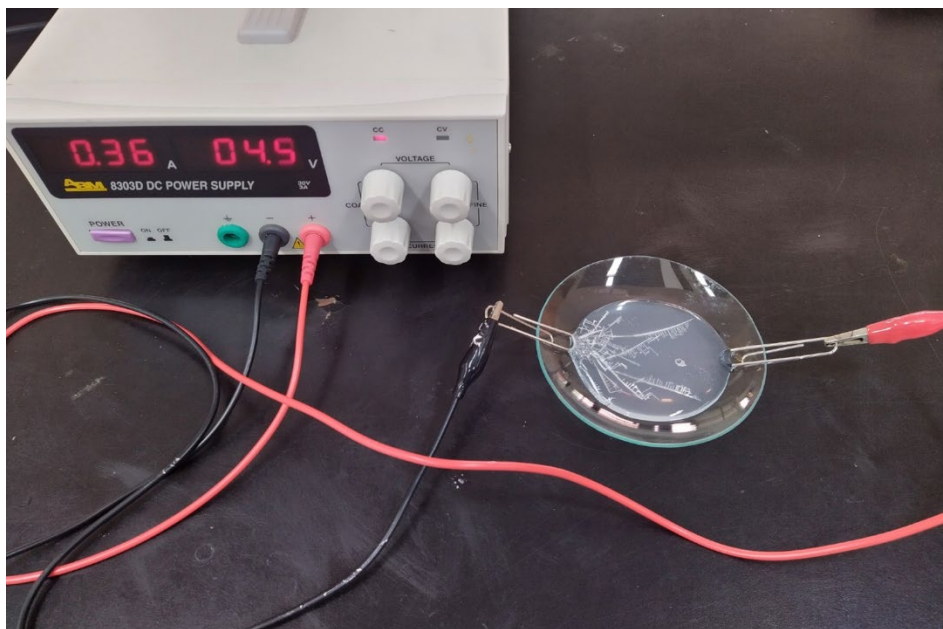
陽極半反應： $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^{-}$

陰極半反應： $\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{Sn}$

全反應： $2\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + \text{Sn}$



微型電解實驗示範五(美麗錫樹)



氯化亞錫溶液作為電解液時，陽極的二價錫離子氧化成四價錫離子，陰極的二價錫離子還原成金屬錫。金屬錫長晶石形成類似樹枝狀的延伸。

加入水： $\text{SnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Sn(OH)}_2(\text{s}) + 2\text{HCl}$

酸化溶解： $\text{Sn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Sn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$

陽極半反應： $\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + 2\text{e}^-$

陰極半反應： $\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$

全反應： $2\text{Sn}^{2+} \rightarrow \text{Sn}^{4+} + \text{Sn}$



標準還原電位表

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

Half-reaction	$\mathcal{E}^\circ$ (V)	Half-reaction	$\mathcal{E}^\circ$ (V)
$\text{F}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{F}^-$	2.87	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$	0.40
$\text{Ag}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}^+$	1.99	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.34
$\text{Co}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Co}^{2+}$	1.82	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg} + 2\text{Cl}^-$	0.27
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.78	$\text{AgCl} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{Cl}^-$	0.22
$\text{Ce}^{4+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ce}^{3+}$	1.70	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.20
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.69	$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	0.16
$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1.68	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0.00
$\text{IO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	1.60	$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.036
$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1.51	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	-0.13
$\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au}$	1.50	$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Sn}$	-0.14
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.46	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$	-0.23
$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	1.36	$\text{PbSO}_4 + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb} + \text{SO}_4^{2-}$	-0.35
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1.33	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cd}$	-0.40
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	1.23	$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}$	-0.44
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1.21	$\text{Cr}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{2+}$	-0.50
$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$	1.20	$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$	-0.73
$\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$	1.09	$\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$	-0.76
$\text{VO}_2^+ + 2\text{H}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	1.00	$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0.83
$\text{AuCl}_4^- + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Au} + 4\text{Cl}^-$	0.99	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}$	-1.18
$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0.96	$\text{Al}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}$	-1.66
$\text{ClO}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{ClO}_2^-$	0.954	$\text{H}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}^-$	-2.23
$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Hg}_2^{2+}$	0.91	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Mg}$	-2.37
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	0.80	$\text{La}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{La}$	-2.37
$\text{Hg}_2^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Hg}$	0.80	$\text{Na}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}$	-2.71
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0.77	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ca}$	-2.76
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	0.68	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ba}$	-2.90
$\text{MnO}_4^- + \text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$	0.56	$\text{K}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{K}$	-2.92
$\text{I}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{I}^-$	0.54	$\text{Li}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}$	-3.05
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	0.52		

學程名稱	永續發展與循環科技學程
開設學期	111學年度第1學期
主要開設單位(院、處、中心)	理學院
協同開設單位(院、處、中心)	工學院、通識教育中心
師資來源(系、所、中心)	化生系、物理系、地環系、機械系、 化工系、電機系、通識教育中心
學生來源	全校學生

院/系所/中心		課程屬性	課程名稱
理學院	化生系	必修	●普通化學(一)、(二)(各3學分)
		選修	●有機金屬化學(3學分,學碩博) ●無機化學(一)、(二)(各3學分) ●電分析與感測器(3學分,學碩博) ●化學儀器(3學分) ●光譜化學分析與化學計量(3學分,學碩博) ●材料化學導論(3學分)
	物理系	選修	●材料科學(3學分,學碩博)
	地環系	選修	●環境工程(一)(3學分) ●環境微生物(3學分) ●環境生態學(3學分) ●環境化學(3學分) ●全球環境變遷(3學分) ●環境規畫與管理(3學分) ●地球與環境科學概論(一)、(二)(各3學分) ●空氣污染防治(3學分)
			●循環科技專題研究(2學分,新課) ●跨領域實驗技術(一)、(二)、(三)(各1學分,學碩班)
工學院	理學院	選修	●循環科技專題研究(2學分,新課) ●跨領域實驗技術(一)、(二)、(三)(各1學分,學碩班)
	化工系	選修	●化工質能均衡(3學分) ●觸媒化學概論(3學分) ●工業觸媒(3學分,學碩博) ●材料科學(3學分) ●生物技術概論(3學分)
	機械系	選修	●氫能與燃料電池(3學分) ●工程材料(3學分)
工學院	電機系	選修	●綠色能源專題(一)、(二)(各2學分) ●能源與電力系統專題(一)、(二)(各2學分) ●再生能源導論(3學分) ●電力系統(3學分)

循環科技與永續發展學程

通識教育中心	必選 (2-3 門) ●綠色能源簡介(2學分) ●綠色建築概論(2學分) ●永續綠生活(2學分) ●永續發展(2學分) ●永續都市規劃概論環境倫理—從綠色產業談起(2學分) ●永續綠能新契機(2學分) ●氣候變遷下維生基礎調適、氣候變遷調適與防災(其中一門,2學分) ●地景欣賞與保育(2學分) ●土壤與環境生態(2學分) ●地球與環境科學(2學分) ●地球演化與資源(2學分) ●自然觀察與紀錄(2學分) ●循環科技(一)、(二)(各2學分,新課)
--------	--

助教

韓克謙、施律倫

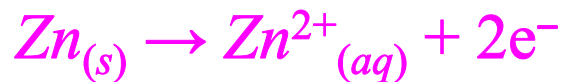
王俊霖、楊純儀



鋅銅電池



陽極半電池： $\text{Zn} | \text{Zn}^{2+}$



陰極半電池： $\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$

