

跟著科學史的脈絡做電化學活動： 從賈法尼的青蛙到微型鋅銅電池

廖酉鎮

雲林縣立麥寮高中

Email:prohamer@gmail.com

摘要：電化學是國中化學課程的重要內容，但其概念抽象，往往讓學生難以理解。本文介紹一套以科學史發展脈絡為主軸的電化學實驗教學，透過模仿賈法尼青蛙實驗、伏打電堆實作、硫酸銅彩繪活動以及微型鋅銅電池製作等四個循序漸進的實驗，讓學生親身體驗電化學反應的魅力。教學活動設計特色包括：以「人體青蛙」取代青蛙呈現賈法尼的生物電概念、再製作金屬電的伏打電堆、利用硫酸銅與鋁箔反應展示鋁箔電子轉移給銅離子的結果、採用微型鋅銅電池解決傳統實驗用量大電流小的問題。利用此一系列活動將抽象的電化學概念轉化為具體可操作的科學體驗。

■ 前言

電化學做為國中化學課程中的最後一個部分，雖與我們的日常生活息息相關，然而，對於國中學生來說，電化學的抽象概念往往難以理解。本文介紹如何透過動手操作幾個小實驗，讓學生能親身體驗電化學反應的魅力，經由直觀操作體驗這些科學史上的重要發現，同時建立對電化學基本原理的理解。

■ 設計脈絡

經由接近賈法尼青蛙實驗的操作引發動物電的迷思，再進入簡易伏打電堆實作來澄清實際上電池運作的要件並不需要生物。緊接著進行銅離子與鋁箔的反應使學生看見銅離子與鋁的反應結果，讓學生在這些基礎上了解化學電池的運作原理與反應結果，並配合銅離子吸收鋁箔電子後各自狀態的說明，輔助學生建立微觀模型。最後實做微型的鋅銅電池，讓學生一步步經由這些實作，印證電池運作的科學原理，藥品與器材如附錄。

■ 各實驗的設計與活動流程

一、呈現賈法尼實驗的動物電概念

（一）實驗背景

1780 年代，義大利生理學家賈法尼在解剖青蛙時，意外發現當使用不同金屬工具接觸青

蛙腿時，青蛙腿會抽搐。這個發現開啟了電化學的大門，後來伏打進一步研究，發現電流其實源自不同金屬之間的接觸，而非青蛙組織本身的「動物電」(姚荏富，2025)。

(二) 實驗材料

鋁箔 (每組 2 片，尺寸約 5×3 公分)、一元硬幣 (每組 2 個)、微安培計或檢流計、連接導線和鱷魚夾、眼藥瓶、鹽水溶液

(三) 實驗步驟

先經由課本或影片介紹賈法尼的蛙腿實驗，引入是不是「動物電」的討論，再發下器材，操作步驟如下：

活動 1. 人體導電實驗 (「人體青蛙」) (約 10 分鐘)

目標：讓學生代替賈法尼的青蛙，作為導電橋梁，呈現賈法尼的動物電概念。

- (1) 讓學生將微安培計的一端連接到鋁箔，另一端連接到硬幣。
- (2) 學生用兩手的手指分別捏住鋁箔和硬幣，觀察微安培計 (圖 1)。
- (3) 換另一個學生重複操作，紀錄電流。
- (4) 將微安培計的兩端都連接到鋁箔，重複實驗。
- (5) 將微安培計的兩端都連接到硬幣，重複實驗。

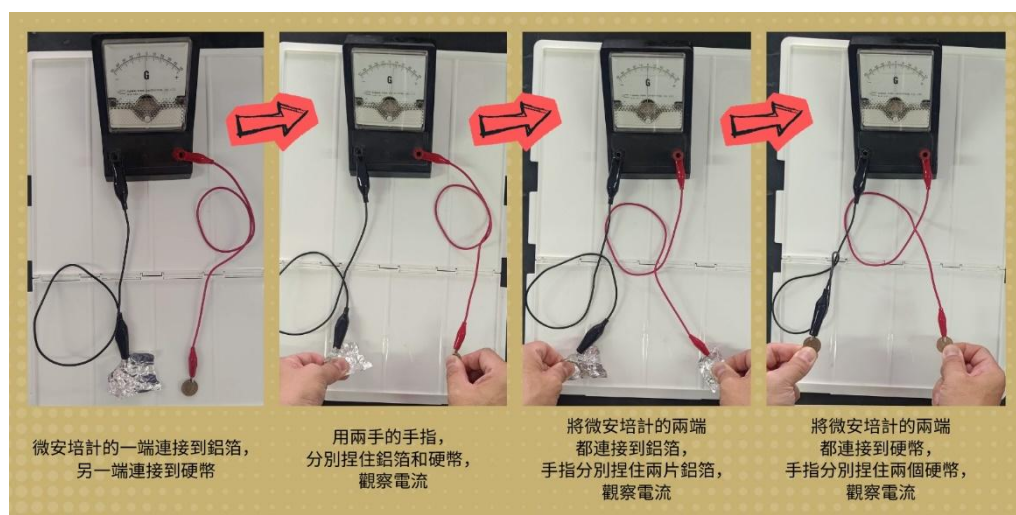


圖 1 活動 1 人體導電實驗

學生實際操作後，會發現必須要將電錶連接到不同金屬後並用手握住才會持續產生電流，筆者在學生操作過程中，也會提示學生嘗試捏緊一些，看看電流是否有變化，也提示若是電

流真的太小，可以將眼藥瓶的食鹽水塗一些在手指上再測一次。

活動 2. 不同金屬相互接觸測試 (約 5 分鐘)

目標：使學生歸納賈法尼的電池產生電流的條件

- (1)讓學生將微安培計連接到一片鋁箔和一個硬幣上，然後直接讓這兩種金屬相互接觸，觀察有沒有電流。
- (2)讓學生將微安培計分別連接到兩片鋁箔，然後直接讓這兩片鋁箔相互接觸，觀察有沒有電流。
- (3)讓學生將微安培計分別連接到兩個硬幣上，然後直接讓這兩個硬幣相互接觸，觀察有沒有電流。(圖 2)

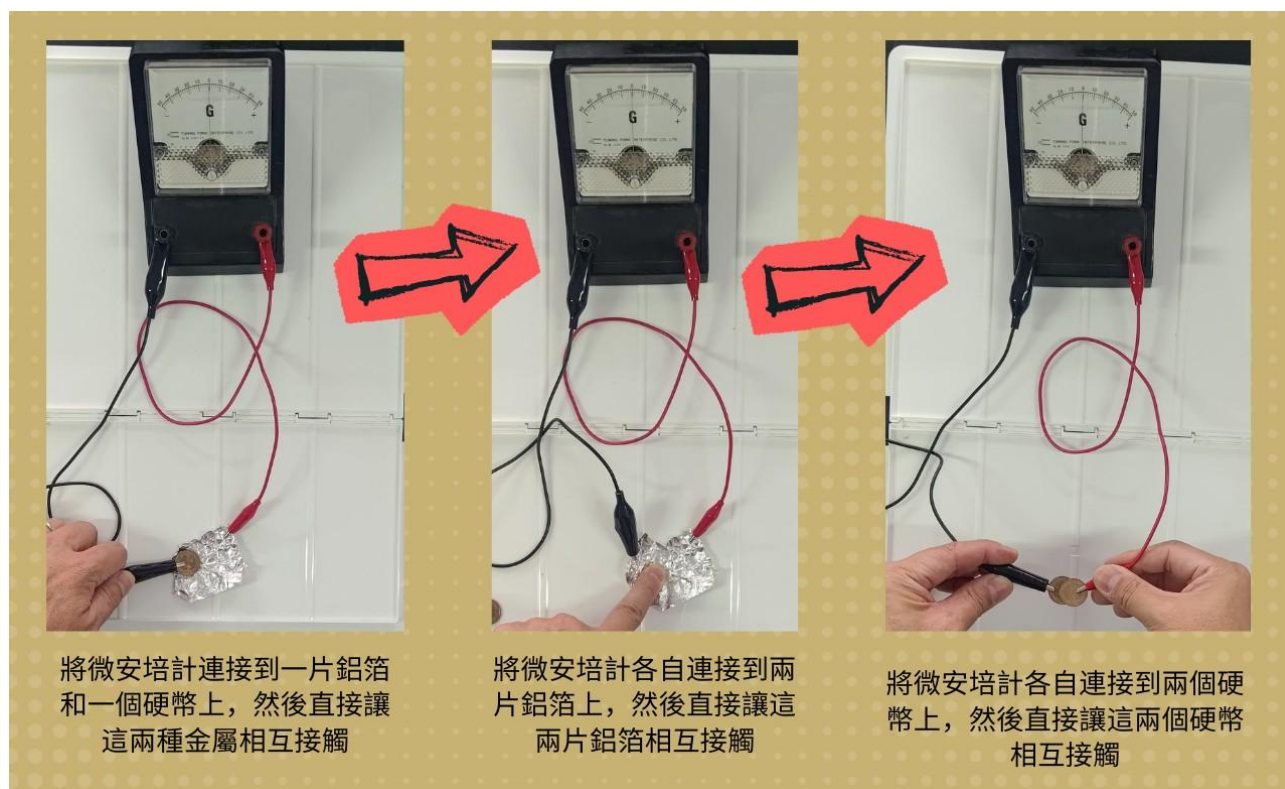


圖 2 活動 2 歸納賈法尼的電池產生電流的條件

活動 2 結束後，老師可以帶著學生依實驗結果，簡單歸納出賈法尼的電池要產生電流，需要有不同的金屬，以及中間的生物組織才行。

活動 3. 人體電路串並聯

目標：學生經由活動親身體驗作為鹽橋，初步探討鹽橋的串聯與並聯配置，如何影響電流的

大小。

- (1) 請兩位學生手牽手形成串聯，然後兩人分別接觸連接到檢流計的鋁箔和硬幣，觀察電流變化後，增加到三人串聯，觀察電流變化。
- (2) 請兩位學生分別接觸連接到檢流計的鋁箔和硬幣，形成並聯，觀察電流變化後，增加到三人並聯（圖 3），觀察電流變化。



圖 3 人體電路並聯

活動 3 提供了一個判別電流大小的任務，讓學生以人體串聯與並聯的方式，去觀察不同的方式對電流的影響，大多能很直觀的發現用人體並聯的方式能產生相對較大的電流，此部分筆者認為有利於後續解說與印證鹽橋角色與數量的作用。

做完這三個小活動後，建議教師引導學生歸納產生電流的要件，讓學生了解賈法尼的生物電需有不同的金屬與生物體，並且提出動物電理論的問題，就是動物電的產生必須使用不同的金屬才能產生，作為下一個「簡易伏打電堆實驗實作」的切入點。

二、簡易伏打電堆實驗實作

（一）實驗背景

伏打在 1800 年發明了世界上第一個化學電池——伏打電堆，這個發明徹底改變了科學發展進程。伏打電堆由交替排列的兩種不同金屬片，中間夾以浸泡在鹽水中的布或紙而組成。

（二）實驗材料

繼續使用人體導電實驗活動的器材

(三) 實驗步驟 (約 10 分鐘)

教師先點出賈法尼的蛙腿實驗的爭議，引入若是「動物電」，為何還需不同金屬的討論，並可進一步與學生討論實驗設計上如何排除動物電。先帶學生回顧前一個「人體青蛙」活動中，賈法尼提出的生物電視由生物所發出的理論，再說明伏打觀察到產生電的必需要件是不同金屬並提出金屬電的想法，請學生思考如何設計與修改賈法尼的生物電裝置，來驗證是金屬電而非生物電，最終的目標是在老師的協助下，了解移除不同金屬間的生物組織是個關鍵因素。學生能說出需要找非生物組織替代不同金屬間的生物組織，就達到實驗設計中找到操作變因的目標了，使用食鹽水代替生物組織可由教師提示即可。

之後在黑板或其他媒材展示伏打電堆的安裝如圖 4，操作步驟如下：

1. 將鋁箔用筆桿滾平，平鋪在桌上。
2. 在鋁箔上方放置一張裁剪好的衛生紙或 A4 紙 (大小略小於鋁箔，但需大於 1 元硬幣)。確保有約 0.5 公分的鋁箔露出，以利於連接或接觸鱷魚夾。
3. 用眼藥瓶向紙上滴加 2 至 4 滴食鹽水溶液，讓紙張完全濕潤即可。



4. 在濕紙張上放置一個一元硬幣，並確保硬幣不直接接觸下方的鋁箔。
5. 用鱷魚夾分別夾住露出的鋁箔部分和硬幣，連接至微安培計。

圖 4：簡易伏打電堆

藉由此簡易活動，銜接之前人體導電實驗活動，讓學生了解化學電池的電流並非來自賈法尼主張的「動物電」，而是伏打所提出的「金屬電」。

三、硫酸銅彩繪～電流動力來源解釋活動

(一) 實驗背景

鋅銅電池利用銅與鋅的氧化還原電位差異，使電子能經由導線，持續的由鋅片移向銅離子。在這個電子轉移的過程中，會有紅色的銅析出，並伴隨著的鋅的溶解，但是溶解量少到不易觀察，若要能夠明顯觀察到負極的鋅溶解，則實驗時間得拉長許多。想觀察電子轉移的結果，常見的是使用鐵片、鋅片或銅絲絨，再滴上硫酸銅，但結果如前所述，只能看到銅離子轉變成銅析出，較不容易看到鋅或鐵因釋放電子後形成離子而溶解的現象。為了讓學生觀察到活性大的金屬釋放電子後變成離子溶解的現象，以利後續能學習遷移到鋅銅電池的鋅片放電溶解，筆者設計了這個「硫酸銅彩繪的活動」。

(二) 實驗材料

簡易伏打電堆實驗實作使用過的鋁箔、眼藥瓶裝入 1M 硫酸銅 (含 3% 食鹽)、培養皿、鑷子。

(三) 實驗步驟 (約 10 分鐘)

- (1) 請學生用筆桿滾平鋁箔紙後放進培養皿
- (2) 請學生用眼藥瓶，擠出一兩滴含食鹽硫酸銅溶液在鋁箔上
- (3) 請學生開始觀察與紀錄有哪些變化
- (4) 反應結束後，請學生拿高培養皿，將鋁箔對著光源觀察
- (5) 請學生觀察培養皿中殘留液體的顏色 (圖 5)



圖 5 硫酸銅彩繪。左圖為剛滴加狀態，右圖為學生作品

此反應在 1 至 2 分鐘就會反應完畢，反應開始時學生便會看到水滴中有氫氣氣泡產生 (Flinn Scientific, 2016; Hauben, 2013)，並且有暗紅色的銅析出，反應後期會看到溶液滲到鋁箔後面，也有機會看到橘紅色的純銅出現。此時拿高培養皿對著光源觀察，會看到一個一個的小洞。配合已出現的純銅，以及培養皿中剩餘的透明液體，可以更具象的讓學生了解銅離子獲得電子而轉變成銅原子，而電子來自於鋁，實際上鋁也確實因釋放電子而變成離子溶解，才會出現一個個小洞。

關於氯離子的作用機制，目前仍無定論。文獻中提出了幾種可能的解釋，包括催化作用、氯離子作為點蝕劑局部破壞鋁表面的氧化保護層形成可溶性錯合物 (如 AlCl_4^-)，或是提升電化學反應的電位差等 (Flinn Scientific, 2016)。然而，這些解釋都存在疑點。首先，若以電位提升作為主要機制，則難以解釋為何銀離子對鋁的電位差 (2.46 V) 遠大於銅離子 (2.00 V)，理論上應更容易反應，但實際上鋁與硝酸銀仍幾乎不反應。這顯示電位高低並非決定反應能否進行的關鍵因素。其次，若氯離子作為點蝕劑，真能輕易破壞鋁的氧化保護層，則鋁製品在含氯環境 (如海水或家中烹飪情境) 中應該會快速腐蝕，但實際上鋁船在海水中或鋁鍋在鹽水中都相當穩定 (Hauben, 2013)，這與氯離子破壞氧化層的說法相矛盾。這些矛盾顯示氯離子在此反應中的作用可能涉及更複雜的機制，或需要特定條件 (如同時存在特定氧化劑) 才能發揮作用，仍有待進一步研究。教學者可視情況決定要不要介紹添加食鹽的目的，但筆者認為本活動著重在銅離子跟鋁的反應就好，並不會多作介紹。若加過多食鹽，硫酸銅溶液顏色則會開始往綠色偏移，因此筆者使用含 3% 食鹽的 1M 硫酸銅，好處是溶液顏色與未添加食鹽的 1M 硫酸銅一樣，又能使反應順利進行。

四、微型鋅銅電池

(一) 實驗背景

傳統課本中的鋅銅電池通常需要大量的化學藥品 (約 60ml 硫酸銅和硫酸鋅溶液) 且電流較小 (僅約 0.5~2mA)，這不僅浪費資源，也使得電流測量困難——電流太小無法使毫安培計明顯偏轉，卻又超過微安培計的測量範圍。傳統鹽橋的製作也存在一些失敗的可能性，也限制一些對鹽橋的探究。本實驗採用的微型鋅銅電池，僅需傳統鋅銅電池 1/10 的藥品量，卻能產生 4 倍以上的電流 (林秣妤、林宥岑，2024)，並且保有許多延伸探究的空間。

(二) 實驗材料

小型塑膠收納盒 ($4 \times 4 \times 1$ cm 或類似尺寸的雙格容器)、鋅片 (2×5 cm²)、銅片 (2×5 cm²)、化妝棉 (棉質的較優，不織布跟紗布型的較差)、0.1M 硫酸銅溶液、0.1M 硫酸鋅溶液、1M 硝酸鉀溶液、滴管、鱷魚夾和導線、毫安培計、鑷子、培養皿

教師先將微型鋅銅電池的組裝如圖 6，配合容器先折好鋅片跟銅片，然後將鋅片平放在收納盒的一格中，將銅片平放在收納盒的另一格中。

(三) 實驗步驟

1. 拿取一組微型鋅銅電池
2. 用滴管向鋅片上滴加 6ml 的 0.1M 硫酸鋅溶液
3. 用滴管向銅片上滴加 6ml 的 0.1M 硫酸銅溶液
4. 將 2×5 cm² 的兩條化妝棉放在培養皿中，滴加 1M 硝酸鉀溶液 6ml。
5. 用鑷子夾取一條化妝棉，將化妝棉鹽橋橫跨兩個小格，連接硫酸鋅和硫酸銅溶液
6. 觀察與紀錄電流
7. 再加入第二條化妝棉鹽橋，觀察與紀錄電流
8. 回收硫酸銅、硫酸鋅溶液回原藥品罐，可在下一個班繼續使用。

9. 丟棄化妝棉鹽橋，沖洗鋅銅電池裝置盒，結束實驗。

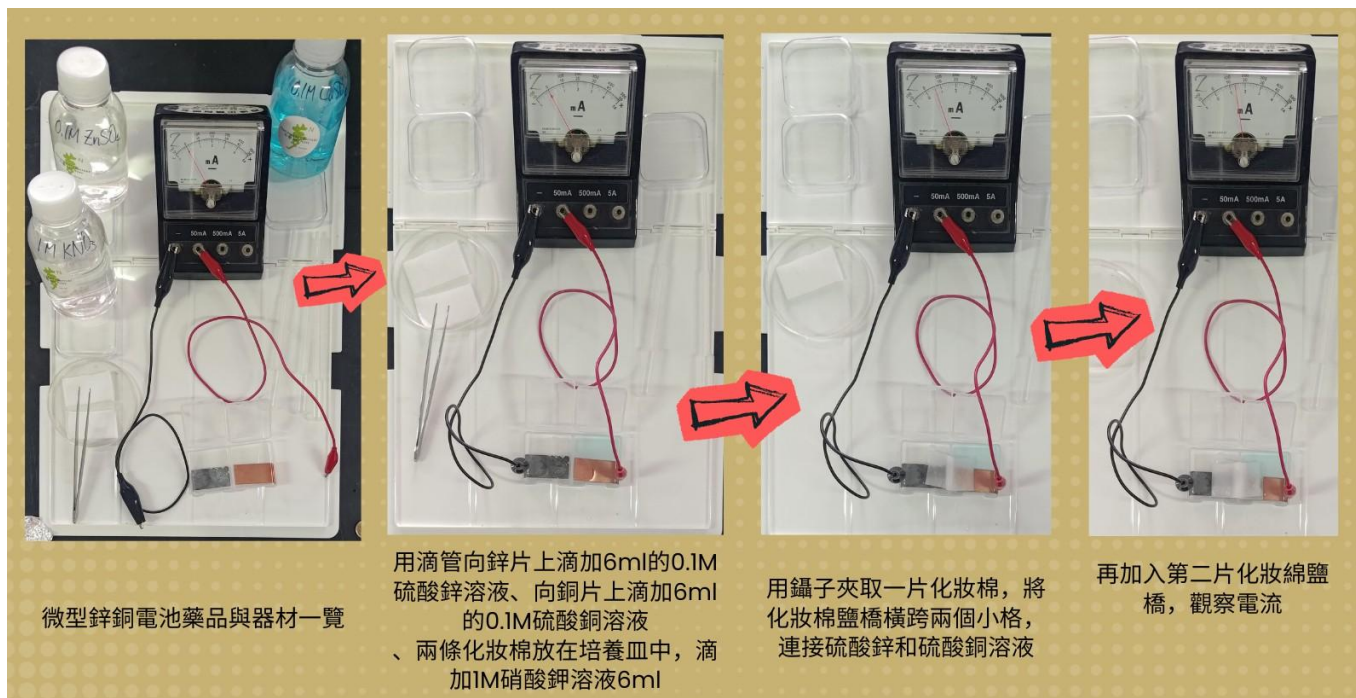


圖 6：微型鋅銅電池器材與操作步驟

利用此方式，可以大幅減少藥品用量跟實驗所需時間，實測電流都能到 6 mA 以上，效果明顯，也能進一步對照本文第一個「呈現賈法尼實驗的動物電概念」中活動 3 人體電路串並聯的結果，探討與對照鹽橋作用與鹽橋數量的影響。

課堂活動至此，大致上已經將幾個傳統電池發展的科學史以及相關的觀念，經由活動操作過一次，用實驗的結果跟課本的理論相互印證，配合動畫與相關的科學史影片，輔助學生建模與理解電化學中發生的氧化還原現象與鹽橋的作用。實驗的最後，也別忘了沖洗鱷魚夾並甩乾蔭乾，沖洗掉上面的化學藥劑，才比較不會生鏽喔。

■ 結語與限制

本系列的電化學實驗從科學史的發展脈絡出發，透過四個循序漸進的實驗活動，嘗試將抽象的電化學概念內轉化為學生可以親身體驗的具體操作。學生對於「人體青蛙」實驗特別感興趣，多人串並聯的嘗試往往都反應熱烈。硫酸銅彩繪活動則讓學生驚豔於化學反應的視覺效果，且鋁箔上出現的小洞和析出的銅成為學生理解電子有轉移概念的關鍵證據。微型鋅銅電池實驗不僅解決了傳統鋅銅電池用量過大、鹽橋製作與電流偏小等問題。透過一系列活動，讓電化學不再只是抽象難懂的概念，而是學生覺得有趣，又可以親手操作、親眼見證的科學活動。最後，筆者並未針對學生的學習表現實施前後測，未確認是否能讓學生因為實地操作過經由此一系列活動，而突破迷思或是建構了電化學知識，目前僅用於與課本內容相互

印證，期待引起學習遷移，此系列活動歡迎在教學現場的老師運用、修改與驗證成效。

■ 參考文獻

林秣妤、林宥岑 (2024)。《微型鋅銅電池》作品說明書。國立臺灣科學教育館。

<https://www.ntsec.edu.tw/science/detail.aspx?a=21&cat=65&sid=21398>

姚荏富 (2025)。《動物電原理影片 - 賈伐尼如何從蛙腿跳動中提出動物電概念？》。LIS 情境科學教材。<https://lis.org.tw/posts/81>

Flinn Scientific. (2016). *Foiled again: Single replacement reactions* (Publication No. 95000). Flinn Scientific, Inc. <https://www.flinnsci.com/globalassets/flinn-scientific/all-free-pdfs/pc2060.pdf>

Hauben, M. (2013, December/2014, January). Chemistry using minimum-cost resources, Part 1. *Chem 13 News Magazine*. University of Waterloo. <https://uwaterloo.ca/chem13-news-magazine/december-2013-january-2014/feature/chemistry-using-minimum-cost-resources-part-1>

■ 附錄

實驗材料清單與準備建議

材料名稱	規格	數量
鋁箔	廚房用錫箔紙	1 捲
一元硬幣	新台幣一元	24 個
微安培計	50 μ A	6 個
毫安培計	50mA	6 個
眼藥瓶	20ml	12 個
硫酸銅	1M 溶液	250ml
化妝棉	棉質為佳，剪成 2cm 寬	1 包
硫酸銅	0.1M 溶液	250ml
硫酸鋅	0.1M 溶液	250ml
氯化鈉	一般食鹽即可	7.5g
硝酸鉀	1M 溶液	20g
小型收納盒	4×4×1cm 雙格	12 個
鋅片	2×5cm	8 片
銅片	2×5cm	8 片
鱷魚夾導線（紅、黑各一條）	中型	12 組

材料名稱	規格	數量
滴管	塑膠滴管	12 支