

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

佳作

030204

微型鋅銅電池

學校名稱：雲林縣立麥寮高級中學(附設國中)

作者： 國二 林秣妤 國二 林宥岑	指導老師： 廖酉鎮 曾家鴻
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：鋅銅電池、減量、電流

摘要

課本中的鋅銅電池，藥品用量大，鹽橋製作也較費時，製作完成後，又會面臨電流過小以及不穩定的問題，這種傳統鋅銅電池約能產生2mA左右的電流，並無法使毫安培計有明顯偏轉，但又會超過微安培計測量範圍。歷屆科展的改良方式，是提高藥品濃度，或將鹽橋以玻璃紙代替，又或是將硫酸銅硫酸鋅做成凝膠，這樣製作較費時且較不利於回收再利用。我們嘗試在歷屆科展資料中找尋影響電流的關鍵因素，再設計微型鋅銅電池原型。最後，我們製作出用量僅傳統鋅銅電池藥品用量 1/10，但電流提升數倍的微型鋅銅電池，能讓毫安培計偏轉更明顯、藥品能回收反覆利用多次電流不衰減、能驅動LED，能在低用量低濃度即能使微安培計良好運作，又便於探討各種變因影響的電池。

壹、研究動機

在自然老師的桌上，看到了一個小小的裝置，老師說那是鋅銅電池，是國三學長姐們最近使用的實驗器材，正在思考怎麼縮小與改善電池的效果，老師問我們有沒有興趣一起來探究看看，測試哪些因素可以縮小鋅銅電池，並且改善一些既有的問題，達到電流加大但藥品用量減量，且藥品能回收再利用等等的微型鋅銅電池，看看能否讓這個縮小的電池在變得更環保的前提下，產生更強的電流。

貳、研究目的

- 一、探討微型鋅銅電池半電池電解質的用量對電壓、電流的影響。
- 二、探討微型鋅銅電池半電池電解質的濃度對電壓、電流的影響。
- 三、探討鋅片、銅片的電極面積對微型鋅銅電池電壓、電流的影響。
- 四、探討鹽橋硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電壓、電流的影響。
- 五、探討鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響。
- 六、探討微型鋅銅電池的硫酸鋅、硫酸銅回收再使用效率。
- 七、探討能使微安培計良好運作的適合條件。
- 八、測量微型鋅銅電池串接的電壓與電流，並用以點亮LED。

參、研究設備及器材

一、實驗藥品：

蒸餾水、硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀、 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 鋅片、 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 銅片、 $2 \times 5 \text{cm}^2$ 鋅片、 $2 \times 5 \text{cm}^2$ 銅片、化妝棉

二、實驗器材：

100ml燒杯、U型管、10ml量筒、滴管、玻棒、刮勺、鑷子、三用電表、毫安培計、微安培計、鱷魚夾導線、紅光LED、 $4 \times 4 \times 1 \text{cm}$ 小型收納盒

肆、研究過程或方法

一、實驗流程：研究實驗流程如下圖 1

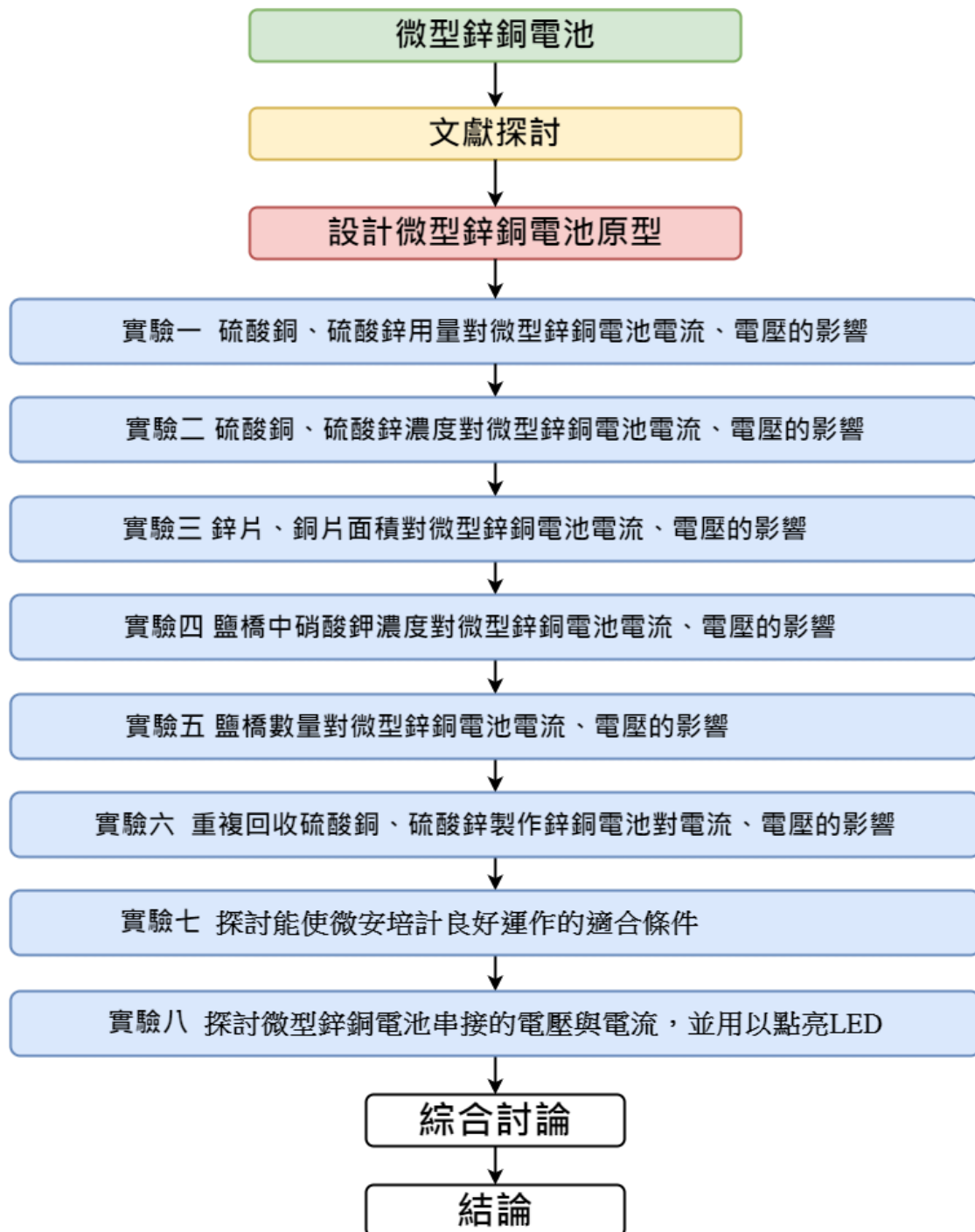


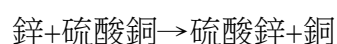
圖1. 研究流程圖（圖片來源：第一作者製作）

二、文獻探討

(一) 鋅銅電池構造：

鋅銅電池，是一種電化電池。由鋅片與硫酸鋅溶液構成負極半電池；由銅片與硫酸銅溶液構成正極半電池。兩個半電池之間以鹽橋連接（圖2）。

鋅銅電池中發生的反應如下：



連接鋅片和銅片，並且把它們浸泡在硫酸鋅和硫酸銅的溶液中，兩個半電池的氧化還原電位差，即為電池運作的動力；加入鹽橋時，就會產生電流。而鹽橋的作用是藉由鹽橋中的離子移動，使兩個半電池電荷平衡，使電池就能夠持續地產生電流。

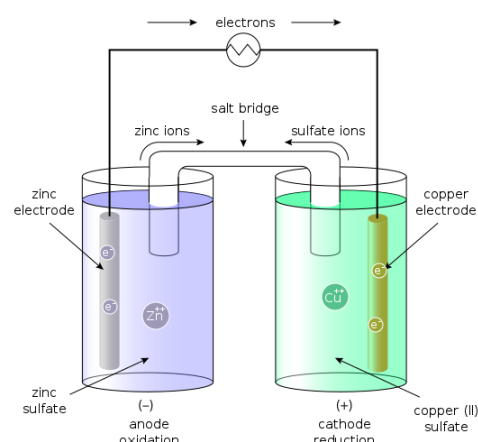


圖2. 鋅銅電池 (Wikipedia, 2023)
(圖片來源：https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanic_cell_labeled-ar.svg)

(二) 影響鋅銅電池的因素：

根據文獻與歷屆科展資料，可以歸納出來，影響鋅銅電池電壓電流的因素包含 (1)硫酸鋅、硫酸銅濃度 (2)鹽橋電解質種類、濃度與數量 (3)鋅片、銅片面積 (4)鋅片、銅片與鹽橋距離等等因素，整理如下表 1。

表1：歷屆科展相關作品中影響鋅銅電池電壓電流的因素

影響因素	條件與結果
硫酸鋅、硫酸銅濃度	硝酸鉀為1M的條件下，硫酸鋅與硫酸銅的濃度分別由 0.1M 調高10倍到 1 M，電流也由 2.6 mA增加到 2.9 mA，電壓也大約1.04V（張雅茜、林宛瑩、宋沛穎、吳欣柔，2004）
鹽橋的鹽類	在硫酸銅、硫酸鋅皆為 1M 的條件下，1M溶液的鹽橋中，產生的電流為 3.6 ~2.0 mA，依序為 氯化鉀>硝酸鉀>硝酸銨>硝酸鈉>氯化鈉（楊明杰、許凱程，1990）。
鹽橋濃度	硫酸銅、硫酸鋅皆為 1M 的條件下，鹽橋硝酸鉀濃度由 0.1M 增大 10倍到 1 M，電流由 0.9mA 增加到 2.4 mA；若鹽橋濃度增大到 2M，電流會增加到 8mA（楊明杰等，1990）。 硫酸銅、硫酸鋅皆為 0.1M 的條件下，鹽橋濃度由 0.1M 增大 10倍到 1M，電流由 0.23mA 增加到 1.41 mA（劉昱辰、林佳蓁、陳韻安，2005）。 兩篇研究中，電流皆隨著鹽橋濃度上升而變大。

鹽橋數量	鹽橋的數量與電流的增加倍數幾乎相同（劉昱辰等，2005；楊明杰等，1990）。
鋅片、銅片的面積	傳統的鋅銅電池中，鋅片銅片的面積即使增大數倍，增加的電流仍不到5%（劉昱辰等，2005；張雅茜等，2004）。

幾篇科展報告中，可以看出傳統鋅銅電池有下列特色

1. 調高硫酸鋅與硫酸銅濃度能加大電壓、電流，但影響很小。
2. 教科書使用硝酸鉀作為鹽橋，是合適的選擇。
3. 鹽橋濃度與鹽橋的數量的提升，對電流提升的效果更顯著。
4. 鋅片、銅片的面積加大，能加大電流，但影響很小。

三、本研究各實驗步驟說明

(一) 設計微型鋅銅電池原型：

依照課本製作的單組鋅銅電池，需使用 0.1M硫酸銅 60ml、0.1M硫酸鋅 60ml、鹽橋中需 1M 硝酸鉀約 30~50 ml，所產生的電流僅有 2.1mA 左右，且再現性不佳不穩定，而這樣的電流超過了微安培計的測量範圍，而使用毫安培計測量時，又幾乎沒有偏轉。溶液用量大，效果又差。

回顧文獻，要有效加大電流的方式是取消鹽橋的構造，可以利用玻璃紙隔開硫酸銅與硫酸鋅，或是將高濃度的硫酸銅與硫酸鋅做成果凍狀，這樣的設計會出現下列問題：

1. 構造與課本不同，需要重新解釋運作方式。
2. 洋菜膠或糊狀的硫酸銅，硫酸鋅，製作費時且回收後的處理較麻煩，也不利於再利用。

查閱文獻後，可以知道鹽橋的濃度與數量對於電流的影響最為明顯，其他因素次之，據此，嘗試設計一個用量省、電流大、可探討鹽橋功能、可回收硫酸銅跟硫酸鋅溶液反覆使用等目的微型鋅銅電池。裝置如圖3。因微型鋅銅電池想要儘可能的降低硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀等容易的用量，在這麼低的用量下，對電流電壓的影響，以及是否能優於傳統的鋅銅電池，皆須進一步以實驗驗證。



圖3.自行設計的微型鋅銅電池構造圖（圖片來源：第二作者拍攝）

(二) 各實驗條件與步驟

實驗一：硫酸銅、硫酸鋅用量對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

微型鋅銅電池的目的是降低硫酸銅、硫酸鋅與硝酸鉀溶液用量，5ml的量大約是使鋅片、銅片被溶液覆蓋的最低用量，因此嘗試使用3ml、5ml、10ml硫酸銅、硫酸鋅溶液測試微型鋅銅電池產生的電流與電壓。裝置連接如圖4，實驗步驟如下：

1. 取 0.1M 硫酸銅 3ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，0.1M 硝酸鉀 1.5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，化妝棉 $1 \times 5 \text{cm}^2$ ，連接後，待電流穩定，記錄電壓電流。
2. 用其他四組器材，重複上述實驗。
3. 改變用量，重複實驗。
4. 將硫酸銅體積溶液固定為0.5ml，操作變因改為硫酸鋅用量，重複實驗。

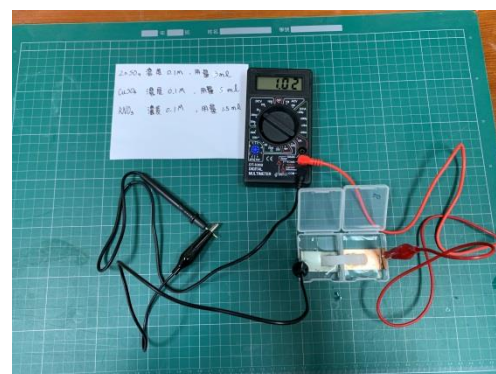


圖4. 微型鋅銅電池連接三用電表（圖片來源：第二作者拍攝）

實驗二：硫酸銅、硫酸鋅濃度對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

分別測試 0.01M、0.05M、0.1M、0.2M 等濃度的硫酸銅、硫酸鋅，微型鋅銅電池產生的電流與電壓。實驗步驟如下：

1. 取 0.01M 硫酸銅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，1M 硝酸鉀 1.5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，化妝棉 $1 \times 5 \text{cm}^2$ ，連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
2. 用其他四組器材，重複上述實驗。
3. 改變濃度，重複實驗。
4. 將操作變因改為硫酸鋅濃度，硫酸銅濃度固定為 0.1M，重複實驗。

實驗三：鋅片、銅片面積對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

文獻回顧中發現，鋅片、銅片面積大小對於傳統鋅銅電池的電壓、電流影響不大，實驗三測試不同面積的鋅片與銅片，對微型鋅銅電池的電流與電壓的影響。步驟如下：

1. 取 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 銅片 2 片、 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 鋅片 2 片， $2 \times 5 \text{cm}^2$ 銅片 2 片、 $2 \times 5 \text{cm}^2$ 鋅片 2 片，配合小收納盒底部寬度 4 cm，分別折成底部為 $1 \times 4 \text{cm}^2$ 與 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 的大小。
2. 將 $1 \times 4 \text{cm}$ 的鋅片與銅片分別置入小收納盒。
3. 取 0.1M 硫酸銅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，0.1M 硝酸鉀 1.5ml，化妝棉 $1 \times 5 \text{cm}^2$ ，連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
4. 用其他四組器材，重複上述實驗。
5. 改變鋅片、銅片面積，重複實驗。

實驗四：鹽橋中硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

本實驗測試 0.01M、0.05M、0.1M、0.2M、0.5M、1M、2M 等的硝酸鉀濃度下，微型鋅銅電池產生的電流與電壓。實驗步驟如下：

1. 取 0.01M 硝酸鉀 1.5ml，0.1M 硫酸銅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，化妝棉 $1 \times 5 \text{cm}^2$ ，連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
2. 用其他四組器材，重複上述實驗。
3. 改變硝酸鉀濃度，重複實驗。

實驗五：鹽橋數量對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

本實驗測試不同化妝棉鹽橋數量下，微型鋅銅電池產生的電流與電壓。增加鹽橋可以水平不重疊方式增加與垂直堆疊方式增加，故兩種方式都進行實驗與測量。實驗步驟如下：

1. 取化妝棉 $1 \times 5 \text{cm}$ ，1M 硝酸鉀 1.5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
2. 用其他四組器材，重複上述實驗。
3. 水平增加鹽橋數量 1 片，鹽橋間不可交疊，重複實驗直到化妝棉鹽橋 4 片。
4. 重新實驗，改為垂直增加鹽橋，鹽橋彼此交疊，重複實驗直到化妝棉鹽橋 4 片。

實驗六：重複回收硫酸銅、硫酸鋅製作鋅銅電池對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

每次做完實驗，對於硫酸銅、硫酸鋅都必須回收，回收液中也混入硝酸鉀，若能反覆使用回收液製作鋅銅電池，將會更為環保。

本實驗使用回收硫酸銅、硫酸鋅溶液製作微型鋅銅電池，測試反覆回收使用硫酸銅、硫酸鋅溶液時，微型鋅銅電池產生的電流與電壓。實驗步驟如下：

1. 配置 0.1M 硫酸銅 60ml，0.1M 硫酸鋅 60ml，1M 硝酸鉀 200ml。
2. 設置五組微型鋅銅電池，每組組成為 0.1M 硫酸銅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，1M 硝酸鉀 6 ml，化妝棉 $4 \times 5 \text{cm}^2$ 。
3. 連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓，持續放電 3 分鐘後，回收硫酸銅、硫酸鋅溶液回原燒杯。
4. 由燒杯取回收混和液重複實驗步驟 2~3，模擬使用後再用回收液製作微型鋅銅電池，總共重複五遍。

實驗七：測試適合微安培計以及能使LED發亮的實驗條件。

傳統鋅銅電池，電流約 1.5 mA，電壓約 1V，超過微安培計的測量範圍，根據前面的實驗結果可知，應該以降低濃度與縮小鹽橋兩種方式處理，本實驗最終使用 0.01M 硫酸銅，0.01M 硫酸鋅與 0.01M 硝酸鉀化妝棉鹽橋 $0.2 \times 5 \text{cm}^2$ 作為實驗條件。硫酸銅、硫酸鋅濃度為課本中條件的 1/10，硝酸鉀濃度為課本條件的 1/100，搭配 $0.2 \times 5 \text{cm}^2$ 化妝棉鹽橋，即可讓此微型鋅銅電池驅動微安培計在測量範圍內運作，改變鹽橋數量即可改變電流。實驗步驟如下：

1. 取 0.01M 硝酸鉀 0.5ml，0.01M 硫酸銅 5ml，0.01M 硫酸鋅 5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，化妝棉 $0.2 \times 5 \text{cm}^2$ ，連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
2. 增加鹽橋數量 1 條，重複實驗直到超過微安培計測量範圍。
3. 用其他四組器材，重複上述實驗。

實驗八：探討微型鋅銅電池串接的電壓與電流，並用以點亮LED。

利用串聯方式，嘗試拉高電壓電流，使找出使LED可以明顯發亮的連接方式。實驗步驟如下：

1. 取 1M 硝酸鉀 6ml，0.1M 硫酸銅 5ml，0.1M 硫酸鋅 5ml，鋅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ 、銅片 $2 \times 4 \text{cm}^2$ ，化妝棉 $4 \times 5 \text{cm}^2$ ，串接 2 組後連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
2. 增加串聯電池 1 組後連接電表，電流穩定後記錄電流、電壓。
3. 連接LED並拍照記錄亮度。
4. 重複實驗至串聯 5 組電池

伍、研究結果

實驗一：硫酸銅、硫酸鋅用量對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

一、實驗結果

(一) 不同用量硫酸銅、硫酸鋅對微型鋅銅電池電流的影響

表2：硫酸銅、硫酸鋅用量與微型鋅銅電池的電流

藥品用量	電池編號 電流(mA)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
		硫酸銅 3 ml	0.93	0.84	0.82	0.92	1.05
硫酸銅 5 ml	0.91	0.82	1.03	0.74	0.93	0.89	
硫酸銅 10ml	0.99	0.90	0.70	0.90	1.00	0.90	
硫酸鋅 3 ml	0.53	0.68	0.77	1.03	1.04	0.81	
硫酸鋅 5 ml	0.97	0.92	0.83	0.98	0.92	0.92	
硫酸鋅 10ml	0.90	0.91	0.85	0.92	1.01	0.92	

*控制變因：硫酸銅 0.1M，硫酸鋅0.1M，0.1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

(二) 不同用量硫酸銅、硫酸鋅對微型鋅銅電池電壓的影響

表3：硫酸銅、硫酸鋅用量與微型鋅銅電池的電壓

藥品用量	電池編號 電壓(V)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
		硫酸銅 3 ml	1.07	1.07	1.07	1.04	1.06
硫酸銅 5 ml	1.05	1.07	1.08	1.06	1.07	1.07	
硫酸銅 10ml	1.07	0.97	0.90	1.08	1.04	1.01	
硫酸鋅 3 ml	0.95	1.02	0.9	1.06	1.09	1.00	
硫酸鋅 5 ml	1.08	1.07	1.06	1.06	1.06	1.07	
硫酸鋅 10ml	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07	

*控制變因：硫酸銅 0.1M，硫酸鋅0.1M，0.1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

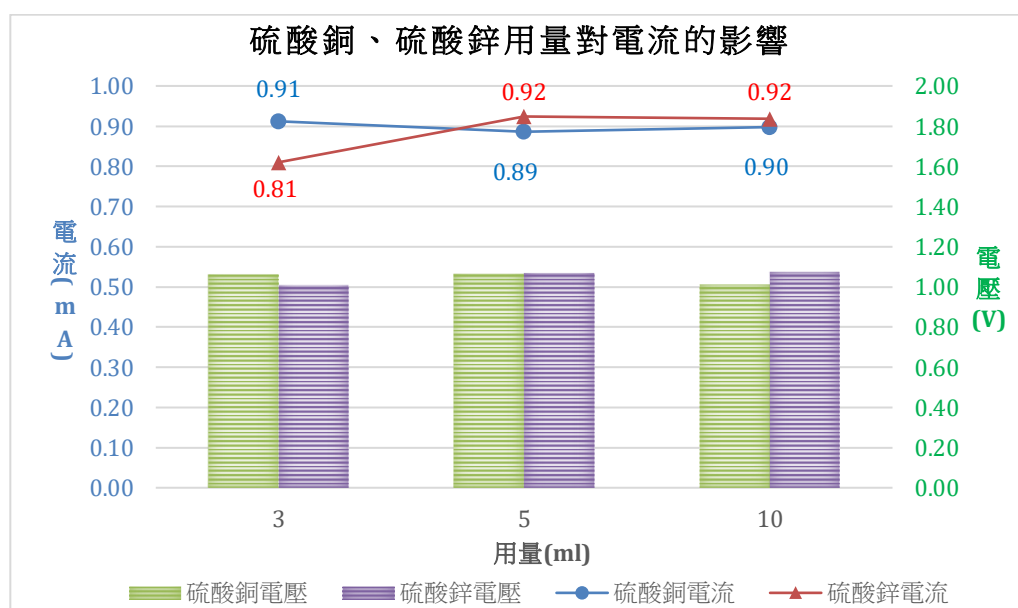


圖5. 硫酸銅、硫酸鋅用量與微型鋅銅電池的電流與電壓（圖片來源：第一作者製作）

二、討論

1. 在硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀皆為 0.1M 條件下，平均電流皆可達到 0.8mA 以上（圖 5），已優於本研究參考的歷屆科展作品中，相同條件下所製作傳統鋅銅電池的電流值。
2. 硫酸銅溶液與硫酸鋅用量僅 3ml 時，電流較不穩定。用量 5ml 時，電流大多都落在 0.9 mA 左右，相對穩定。將其中一種用量增加到 10ml，電流也沒有明顯增加。
3. 此微型鋅銅電池可在低濃度及低用量條件下運作良好，用量 5ml 以上時，五組器材數據相近。本研究的重要目的是減少藥品用量。以此組器材而言，5ml 的硫酸銅、硫酸鋅溶液是接近可覆蓋鋅片、銅片的最低量（圖 6），後續實驗以將以硫酸銅 5ml、硫酸鋅 5ml 作為後續實驗的半電池溶液用量。



圖 6. 5ml 為接近可覆蓋鋅片、銅片的最低量（圖片來源：第二作者拍攝）

實驗二：探討不同硫酸銅、硫酸鋅濃度對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

一、實驗結果

(一) 不同濃度硫酸銅、硫酸鋅對微型鋅銅電池電流的影響

表4：硫酸銅、硫酸鋅濃度與微型鋅銅電池的電流

藥品濃度	電池編號 電流(mA)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
		硫酸銅 0.01 M	0.70	0.80	0.85	0.78	0.89
硫酸銅 0.05 M		1.10	1.24	1.30	1.31	1.28	1.25
硫酸銅 0.10 M		1.83	2.58	2.27	2.50	2.46	2.33
硫酸銅 0.20 M		2.19	2.81	2.17	2.50	2.22	2.38
硫酸鋅 0.01 M		1.22	0.99	2.27	1.28	1.81	1.51
硫酸鋅 0.05 M		1.34	1.41	2.75	1.92	1.81	1.85
硫酸鋅 0.10 M		2.40	1.82	2.17	2.11	2.26	2.15
硫酸鋅 0.20 M		2.02	2.08	1.96	2.84	2.82	2.34

*控制變因：硫酸銅5ml，硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

(二) 不同濃度硫酸銅、硫酸鋅對微型鋅銅電池電壓的影響

表5：硫酸銅、硫酸鋅濃度與微型鋅銅電池的電壓

藥品濃度	電池編號 電壓(V)	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
		硫酸銅 0.01 M	0.88	0.98	0.95	0.94	0.99
硫酸銅 0.05 M		1.03	1.00	1.04	1.01	0.98	1.01
硫酸銅 0.10 M		0.90	0.94	0.96	0.96	0.95	0.94
硫酸銅 0.20 M		0.94	1.01	0.90	0.93	0.93	0.94
硫酸鋅 0.01 M		0.87	0.94	0.89	0.92	0.91	0.91
硫酸鋅 0.05 M		0.90	0.91	0.95	0.95	0.92	0.93
硫酸鋅 0.10 M		0.92	0.95	0.93	0.97	0.96	0.95
硫酸鋅 0.20 M		0.87	0.89	0.95	0.97	0.93	0.92

*控制變因：硫酸銅5ml，硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

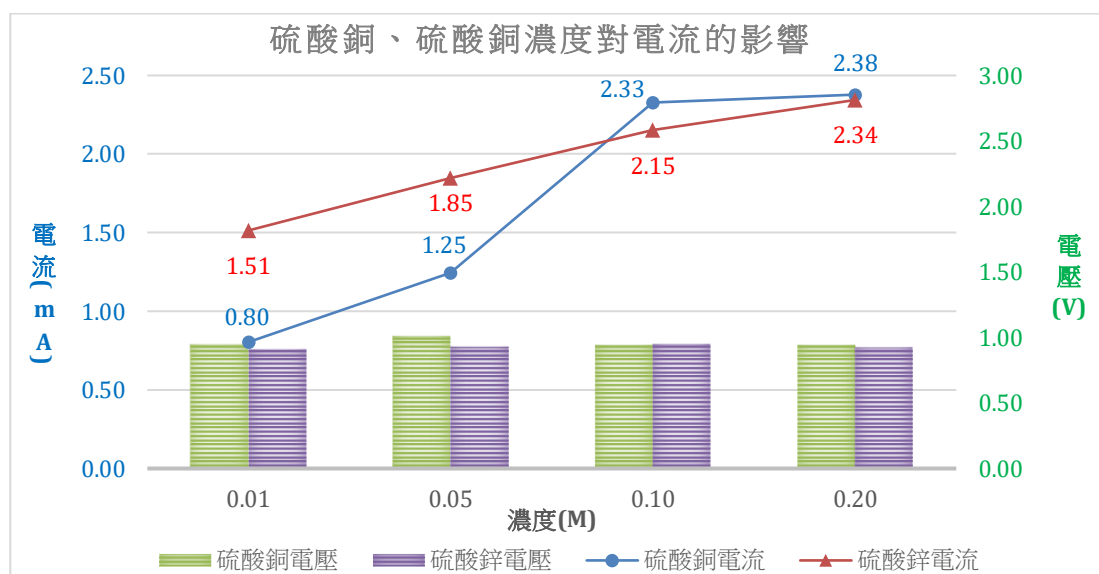


圖7. 不同硫酸銅、硫酸鋅濃度下微型鋅銅電池的電流與電壓（圖片來源：第一作者製作）

二、討論

1. 硫酸銅濃度與硫酸鋅濃度對電流的影響如圖7，可發現隨著硫酸銅、硫酸鋅濃度增加，電流也越來越大。
2. 硫酸銅濃度變化對電流的影響，大於硫酸鋅濃度變化對電流的影響。
3. 此微型鋅銅電池中，硫酸銅、硫酸鋅在低濃度(0.01M~0.2M)時，電流隨濃度的變化類似線性關係；而張雅茜等(2004)在較高濃度(0.1M~1.0M)範圍變化硫酸銅、硫酸鋅濃度時，電流幾乎不變。因本實驗的目的是減量，便不探討硫酸銅、硫酸鋅濃度高於0.2M以上的情況。
4. 圖7中可以發現，除了硫酸銅在濃度0.01M時，電壓偏低外，電壓並未因硫酸銅、硫酸鋅變濃而明顯變化。

實驗三：探討鋅片、銅片的電極面積對微型鋅銅電池電壓、電流的影響。

一、實驗結果

(一) 不同面積鋅片、銅片對微型鋅銅電池電流的影響

表6：鋅片、銅片面積與微型鋅銅電池的電流

電池編號 鋅片銅片面積	電流(mA)					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
4 cm ²	1.85	1.72	1.78	1.92	1.95	1.84
8 cm ²	2.40	1.82	2.17	2.11	2.26	2.15
12 cm ²	2.82	2.19	2.38	2.19	2.29	2.37
16 cm ²	2.96	2.90	2.95	2.89	2.88	2.92

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋

(二) 不同面積鋅片、銅片對對微型鋅銅電池電壓的影響

表7：鋅片銅片面積與微型鋅銅電池的電壓

電池編號 鋅片銅片面積	電壓(V)					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
4 cm ²	0.86	0.86	0.89	0.91	0.92	0.89
8 cm ²	0.92	0.95	0.93	0.97	0.96	0.95
12 cm ²	0.92	0.91	0.99	0.96	0.97	0.95
16 cm ²	1.00	0.96	1.15	1.14	0.99	1.05

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋

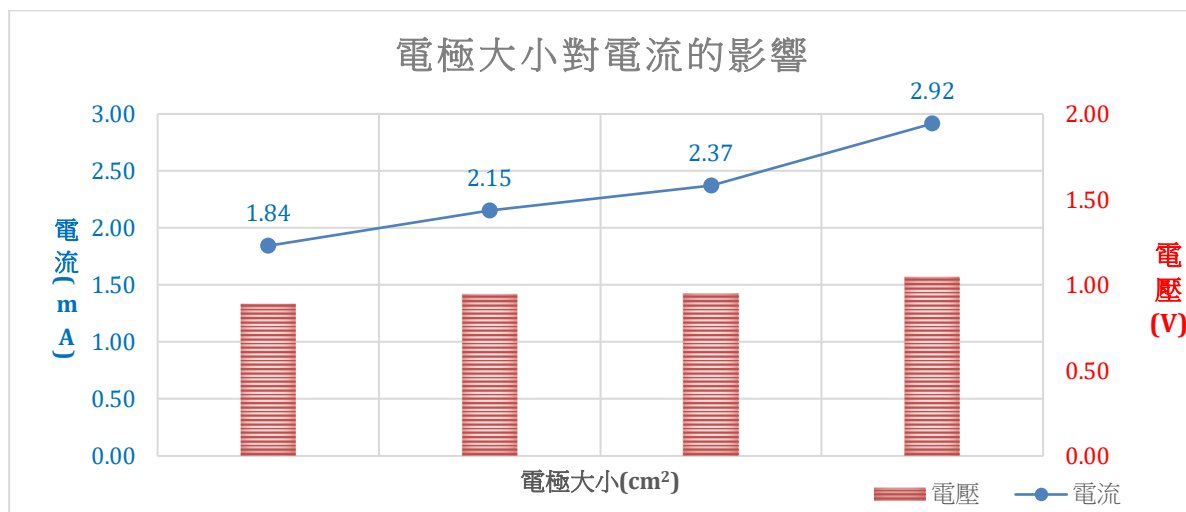


圖8.鋅片銅片面積與微型鋅銅電池的電流、電壓（圖片來源：第一作者製作）

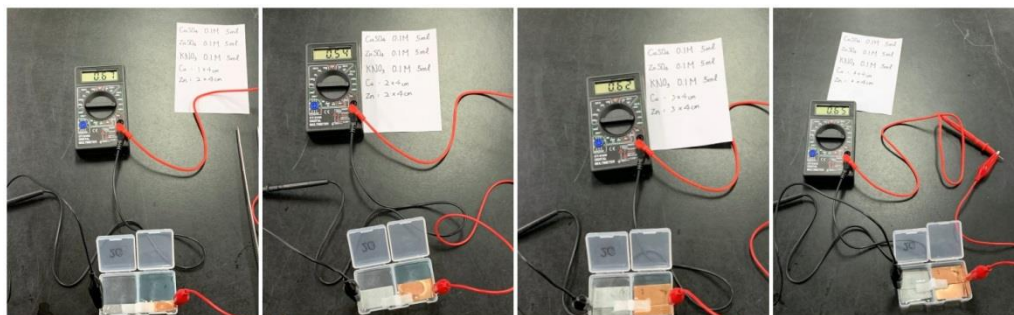


圖9. 不同電極大小的微型鋅銅電池（圖片來源：第二作者拍攝）

二、 討論

不同總面積的鋅片、銅片所構成的微型鋅銅電池如圖9。改變鋅片、銅片的總面積測得的電壓電流如上圖8，結果顯示隨著鋅片、銅片面積與微型鋅銅電池的電流呈現線性關係。

文獻中傳統鋅銅電池電流幾乎不受鋅片、銅片的總面積變化影響（張雅茜等，2004）。鹽橋面積極大時，才能測得面積與電流的正比關係（楊明杰等，1990）。

此微型鋅銅電池在0.1M硫酸銅5ml、0.1M硫酸鋅5ml、1M硝酸鉀1.5ml的條件下，配合1x5cm²化妝棉鹽橋，就能測得鋅片、銅片面積與微型鋅銅電池的電流呈現線性關係。

實驗四：探討鹽橋中硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

一、實驗結果

(一) 不同硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電流的影響

表9：硝酸鉀濃度與微型鋅銅電池的電流

硝酸鉀濃度(M)	電池編號					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
0.01	0.16	0.22	0.16	0.14	0.15	0.17
0.05	0.56	0.55	0.54	0.53	0.58	0.55
0.10	0.77	0.81	0.88	0.88	0.85	0.84
0.20	1.26	1.30	1.22	1.33	1.35	1.29
0.50	1.72	1.62	1.62	1.71	1.63	1.66
1.00	2.15	2.12	2.30	2.16	2.19	2.18
2.00	2.97	2.89	2.80	2.90	2.86	2.88

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

(二) 不同硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電壓的影響

表10：硝酸鉀濃度與微型鋅銅電池的電壓

硝酸鉀濃度(M)	電池編號					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
0.01	1.05	1.06	1.01	1.08	1.06	1.05
0.05	1.05	1.01	1.06	1.03	1.05	1.04
0.10	0.98	1.06	1.04	1.08	1.08	1.05
0.20	1.01	1.04	1.01	1.05	0.99	1.02
0.50	0.94	0.97	0.98	1.03	0.97	0.98
1.00	0.99	0.97	0.97	1.04	1.00	0.99
2.00	0.94	0.88	0.89	0.90	0.97	0.92

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

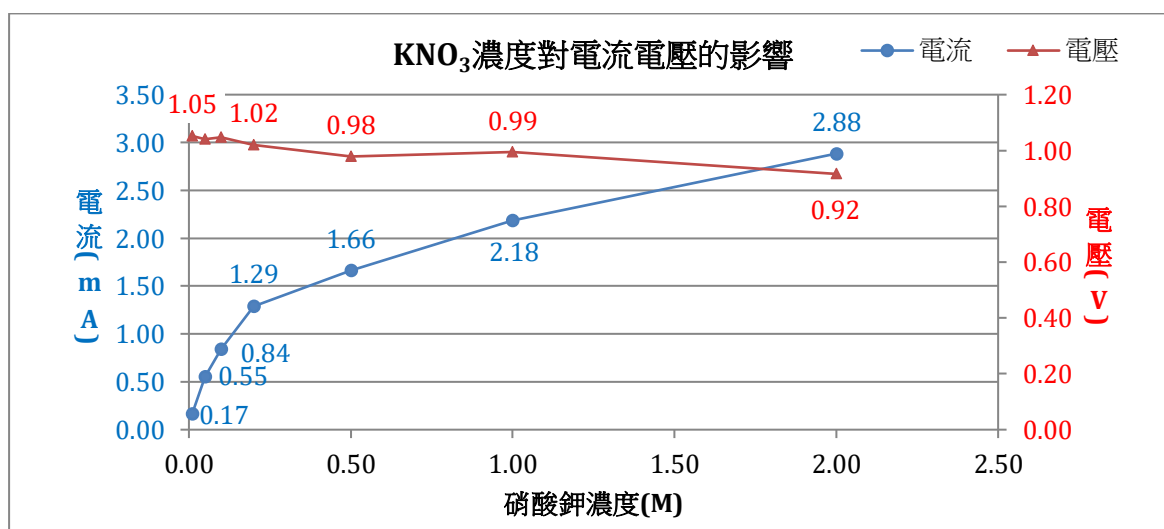


圖10. 硝酸鉀濃度與電壓 (圖片來源：第一作者製作)

二、 討論

1. 硝酸鉀濃度與電壓關係如圖10，相較於硫酸銅或硫酸鋅的濃度提升而言，鹽橋的硝酸鉀濃度提升，電流增加的幅度更大，但隨著硝酸鉀濃度的提升，電流增加的幅度有趨緩趨勢。
2. 此微型鋅銅電池可在藥品大幅減量的情況下，搭配1公分寬化妝棉鹽橋，即可產生傳統鋅銅電池的電流值（圖11）。
3. 微型鋅銅電池在硝酸鉀濃度提升，電壓卻微微下降（圖10），與傳統鋅銅電池中硝酸鉀濃度高電壓也提升的狀況相反，因此懷疑是硝酸鉀濃度越來越高所造成。因此額外測了以1M的硝酸鉀取代硫酸銅、硫酸鋅的測試，發現電壓會掉到0.5-0.6V左右（圖12），由此可以確認溶液中若硝酸鉀越濃，電壓越低。



圖11. 藥品大幅減量的情況下即產生2.34mA的電流值（圖片來源：第二作者拍攝製作）

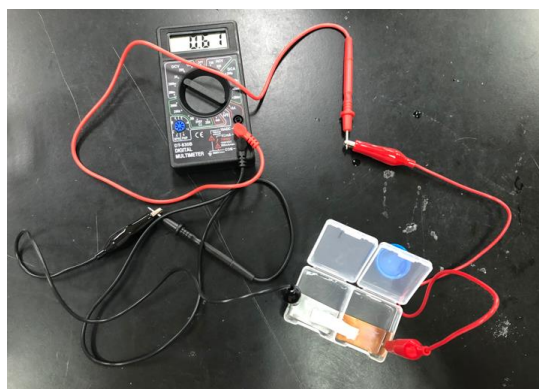


圖12. 以1M的硝酸鉀取代硫酸銅、硫酸鋅的電壓僅0.61V（圖片來源：第二作者拍攝）

實驗五：探討鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響。

一、實驗結果

(一) 垂直堆疊不同鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響

表11：垂直堆疊鹽橋數量與微型鋅銅電池的電流

垂直堆疊鹽橋	電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
	電流(mA)						
1片		2.54	2.78	1.40	1.88	2.78	2.28
2片		3.29	3.24	3.71	3.89	4.20	3.67
3片		5.03	6.56	5.00	5.80	4.96	5.47
4片		6.47	7.28	6.07	6.68	6.11	6.52

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

(二) 水平增加鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響

表12：水平增加鹽橋(鹽橋彼此不交疊)數量與微型鋅銅電池的電流

水平增加鹽橋	電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
	電流(mA)						
1片		2.68	2.70	2.22	2.32	2.65	2.51
2片		4.45	4.17	4.51	3.83	4.74	4.34
3片		5.12	6.46	4.63	5.32	5.90	5.49
4片		6.79	7.57	5.50	6.68	6.55	6.62

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，1x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

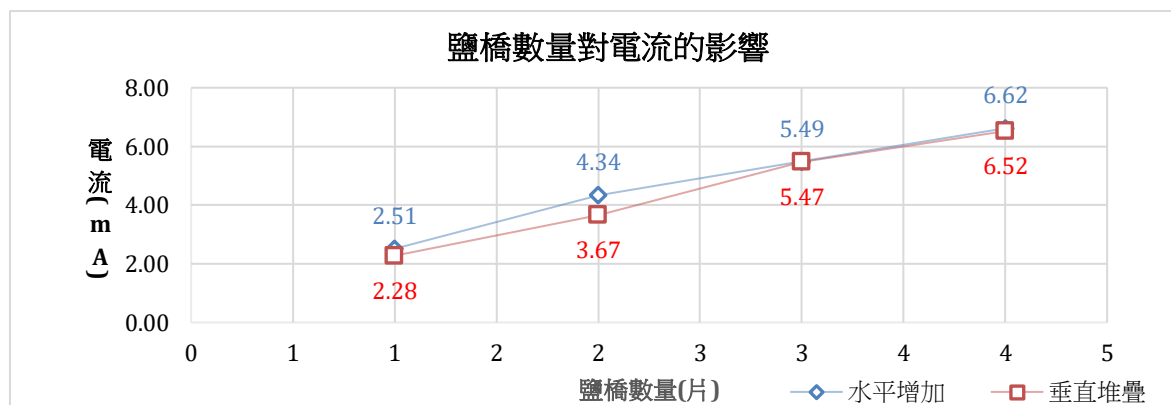


圖13. 不同方式增加鹽橋的電流 (圖片來源：第一作者製作)

二、討論

1. 垂直堆疊跟水平增加的方式增加鹽橋的數量如圖14，電流量都是接近線性增加的趨勢（圖13）。
2. 垂直堆疊跟水平增加兩種方式，在相同鹽橋數量時，電流值都相當接近。
3. 增加到4片化妝棉鹽橋，電流可達到6.5mA，已是課本傳統鋅銅電池的3倍以上的電流。

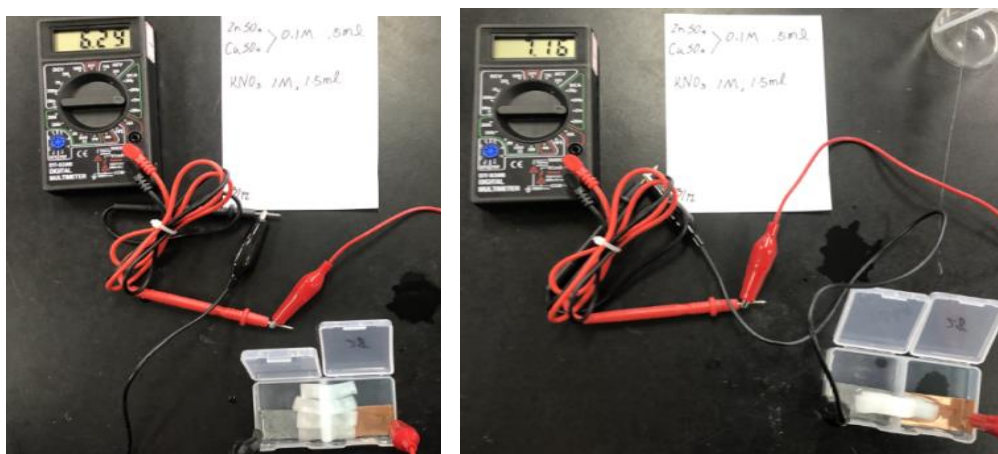


圖14.水平增加(上圖左)跟垂直堆疊(上圖右)的方式的4片鹽橋（圖片來源：第二作者拍攝）

實驗六：重複回收硫酸銅、硫酸鋅製作鋅銅電池對微型鋅銅電池電流、電壓的影響。

一、實驗結果

(一) 重複回收硫酸銅、硫酸鋅回收溶液再利用，對微型鋅銅電池電流的影響

表13：利用回收硫酸銅、硫酸鋅溶液重新製作微型鋅銅電池的電流

電池編號 回收重製次數	電池編號					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
原始電池	6.86	6.95	7.11	7.04	6.03	6.80
第1次回收液重製電池	6.87	5.74	4.13	6.83	6.87	6.09
第2次回收液重製電池	8.49	7.12	8.40	8.16	10.66	8.57
第3次回收液重製電池	9.63	9.93	6.46	6.48	6.10	7.72
第4次回收液重製電池	5.45	6.26	5.89	5.15	6.83	5.92
第5次回收液重製電池	7.26	6.76	5.89	6.53	7.20	6.73

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀6ml，4x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

(二) 重複回收硫酸銅、硫酸鋅回收溶液再利用，對微型鋅銅電池電壓的影響

表14：利用回收硫酸銅、硫酸鋅溶液與微型鋅銅電池的電壓

電池編號 回收重製次數	電池編號					
	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
原始電池	0.87	0.89	0.88	0.90	0.89	0.89
第1次回收液重製電池	0.85	0.86	0.80	0.85	0.86	0.84
第2次回收液重製電池	0.85	0.82	0.84	0.83	0.85	0.84
第3次回收液重製電池	0.84	0.83	0.85	0.85	0.79	0.83
第4次回收液重製電池	0.85	0.80	0.78	0.86	0.86	0.83
第5次回收液重製電池	0.87	0.86	0.85	0.84	0.86	0.86

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀6ml，4x5cm²化妝棉鹽橋，鋅片、銅片2x4 cm²

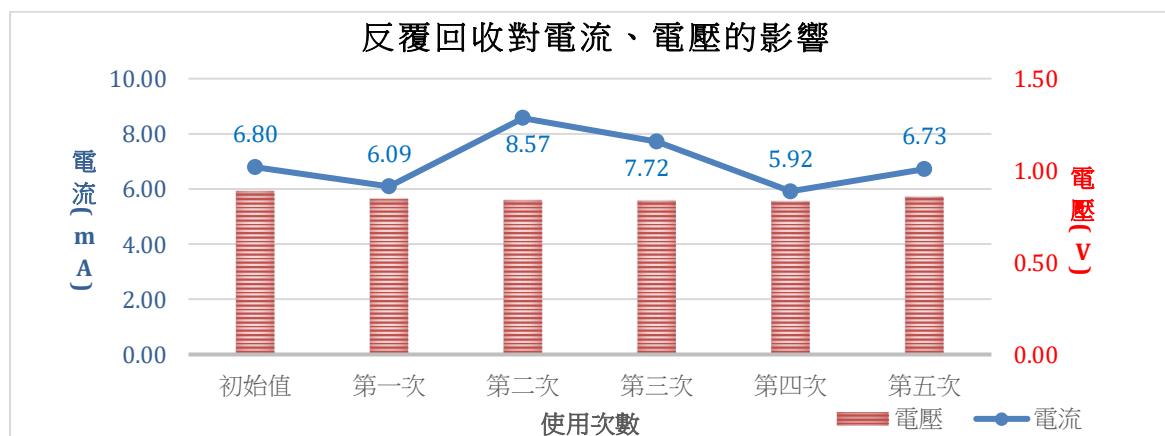


圖15.重複回收硫酸銅、硫酸鋅溶液再利用與微型鋅銅電池的電壓（圖片來源：第一作者製作）

二、 討論

1. 多次回收再利用後，硫酸銅顏色稍淡，硫酸鋅溶液外觀上與初始使用時沒有明顯差異，但量會變少，以本次實驗為例，每次製作5組微型鋅銅電池，反覆回收製作5次後，硫酸銅、硫酸鋅溶液的總量都只剩下約一半。
2. 每次的回收液都會混入鹽橋滲出的1M硝酸鉀，多次回收會造成回收液硝酸鉀變多，符合實驗四中，硝酸鉀濃度高時，電壓反而下降的狀況。
3. 在每次放電3分鐘後回收硫酸銅、硫酸鋅溶液回原燒杯，再取出回收液製作的微型鋅銅電池，電流都能夠維持在5.9mA以上，也達到相同濃度下傳統鋅銅電池3倍以上的電流，代表回收硫酸銅、硫酸鋅溶液再利用是可行方式。

實驗七：探討能使微安培計良好運作的適合條件

根據前面實驗二的實驗結果，已經知道了微型鋅銅電池的電流在硫酸銅0.01M時，仍能產生0.8mA的電流，遠高於微安培計0.05mA的上限；在實驗四中，將硝酸鉀濃度降至0.01M，仍能產生0.17mA的電流，一樣高於微安培計的上限。

因此我們將化妝棉鹽橋由原來的1cm寬降到 0.2 cm寬，將硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀濃度降到0.01M，接上電表後，發現此低濃度微型鋅銅電池終於能夠讓電流降到0.05mA以下。

一、實驗結果

(一) 低濃度微型鋅銅電池的鹽橋數量與電流

表15：低濃度微型鋅銅電池的電流

鹽橋數量	電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
	電流(μA)						
1片		20	15	18	14	20	17
2片		40	30	32	40	37	36
3片		>50	48	>50	>50	>50	48

*控制變因：0.01M硫酸銅5ml，0.01M硫酸鋅5ml，0.01M硝酸鉀0.5ml，0.2x5cm化妝棉鹽橋

(二) 低濃度微型鋅銅電池的鹽橋數量與電壓

表16：低濃度微型鋅銅電池的電壓

鹽橋數量	電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
	電流(μA)						
1片		0.96	0.97	0.97	1.01	0.96	0.97
2片		0.95	1.00	0.97	0.98	0.97	0.97
3片		0.97	1.00	0.96	1.02	0.97	0.98

*控制變因：0.01M硫酸銅5ml，0.01M硫酸鋅5ml，0.01M硝酸鉀0.5ml，0.2x5cm²化妝棉鹽橋

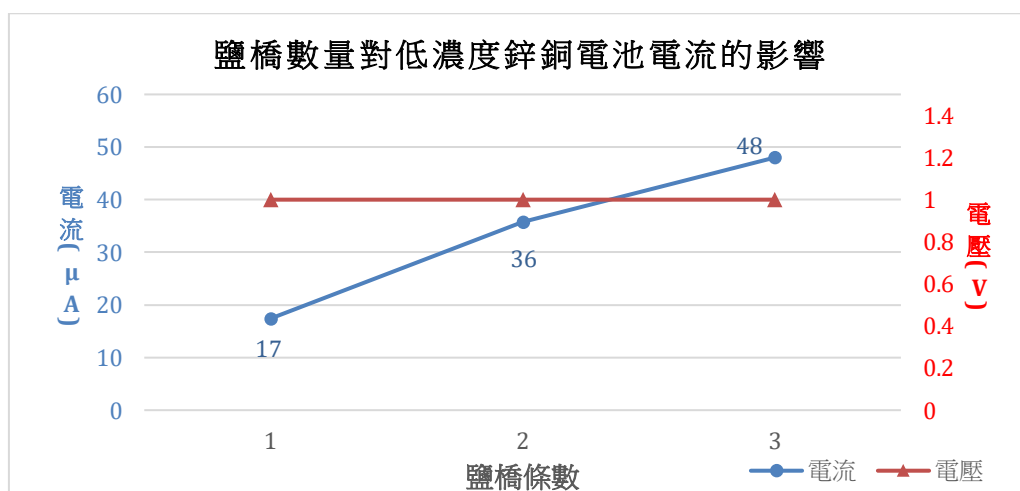


圖16. 低濃度微型鋅銅電池鹽橋數量與電壓 (*大於50 μA數據未納入) (圖片來源：第一作者製作)

二、討論

1. 經測試，在硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀皆降到0.01M的低濃度下，且化妝棉鹽橋寬度降到0.2公分以下時，能使微安培計的在測量範圍內運作（圖17）。
2. 在0.01M低濃度下，低濃度鋅銅電池電壓因硝酸鉀濃度與硫酸銅、硫酸鋅溶液相近，因而較使用高濃度鹽橋高。
3. 在0.01M低濃度下，增加化妝棉鹽橋的數量對電流的增加，效果與1M時相仿，皆有線性增加的趨勢（圖16），此低濃度微型鋅銅電池的鹽橋數量與電流變化幾乎成正比。



圖17. 低濃度與小鹽橋使微安培計能在測量範圍內運作良好

（圖片來源：第二作者拍攝）

實驗八：探討微型鋅銅電池串接的電壓與電流，並用以點亮LED

一、實驗結果

表17：串聯微型鋅銅電池的電流與電壓

項目	串聯數量	二組	三組	四組	五組
	測量值				
電流(mA)		4.29	4.70	4.72	4.72
電壓(V)		1.94	2.72	3.63	4.54

*控制變因：0.1M硫酸銅5ml，0.1M硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀1.5ml，4x5cm化妝棉鹽橋

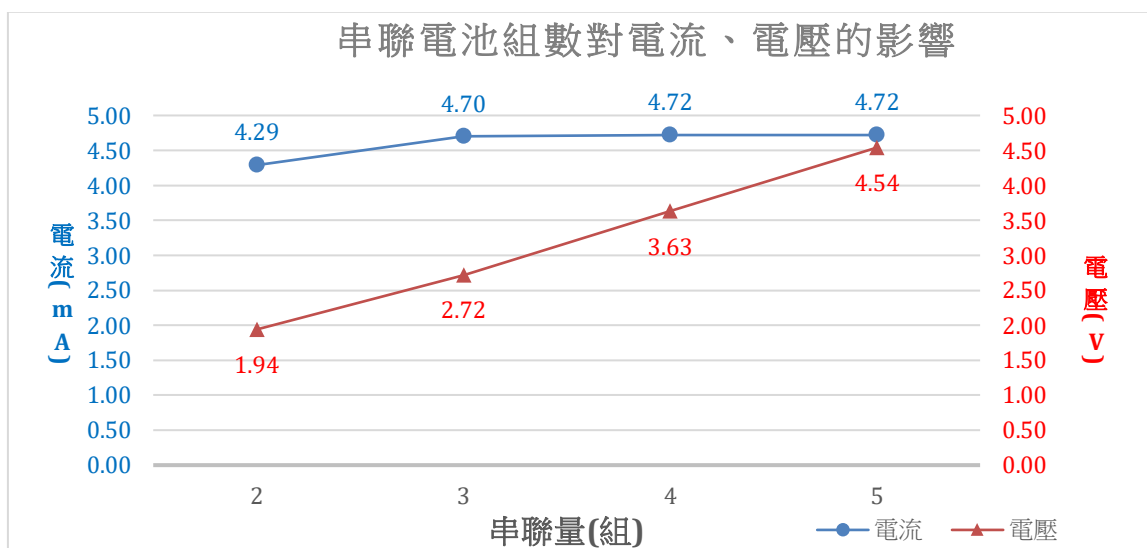


圖18.串聯電池的電流 (圖片來源：第一作者製作)

二、討論

1. 增加微型鋅銅電池串聯數量，能提升電壓，但是電流並不會明顯提升 (圖18)，串聯兩個微型鋅銅電池，即可達到LED的啟動電壓，串聯3到4個微型鋅銅電池，電壓進一步線性提升，電流雖未增加，但功率變大，LED也隨之更亮 (圖19)。

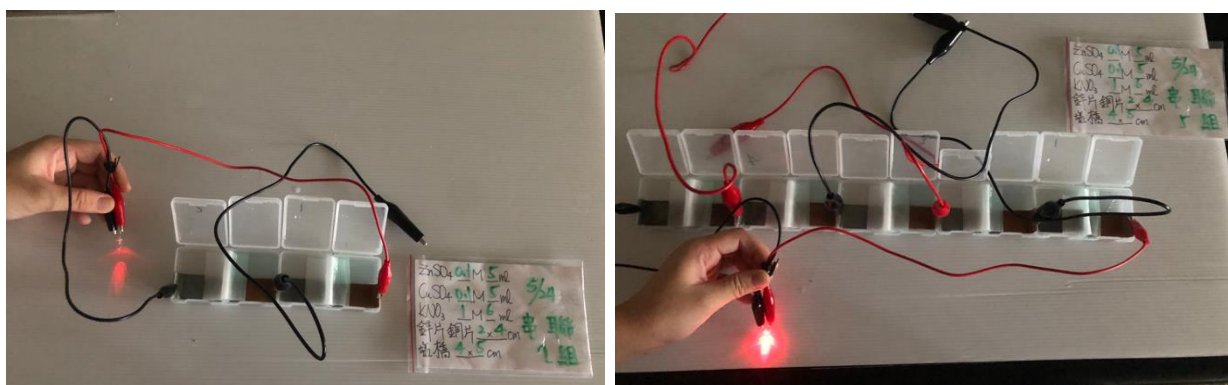


圖19. 串聯2組、5組微型鋅銅電池與LED的亮度 (圖片來源：第二作者拍攝)

陸、綜合討論

1. 本微型鋅銅電池，在使用 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 鹽橋時，僅需使用硫酸銅、硫酸鋅5ml，電流即可優於本研究參考的歷屆科展作品中傳統鋅銅電池的電流值。
2. 微型鋅銅電池的硫酸銅溶液與硫酸鋅溶液用量僅需覆蓋鋅片與銅片。以本器材來說，硫酸銅、硫酸鋅各只需5ml、鹽橋每片只需1.5ml硝酸鉀即可，再增加用量也不會使電流明顯增加。
3. 濃度的提升對電流的影響程度大小，分別是鹽橋硝酸鉀>硫酸銅>硫酸鋅。
4. 此微型鋅銅電池，在0.01M~0.2M之間的硫酸銅、硫酸鋅濃度，呈現電流隨濃度的變化的線性關係，這是傳統鋅銅電池較不明顯的。
5. 結合硫酸銅濃度變化（實驗二）與硝酸鉀濃度變化（實驗四）的影響，可以推測圖7中，硫酸銅0.1M升高到0.2M時，電流沒有線性提升的原因，是鹽橋效能限制了最大電流。若是要探討大於0.2M硫酸銅與硫酸鋅對電流的影響，僅需增加化妝棉鹽橋即可。
6. 微型鋅銅電池與傳統鋅銅電池的電壓，受硫酸銅、硫酸鋅濃度影響都不大。
7. 硝酸鉀濃度越高，微型鋅銅電池電壓越低，但傳統鋅銅電池的電壓越高，這個現象應該肇因於微型鋅銅電池的化妝棉鹽橋，硝酸鉀較容易滲出混入硫酸銅或硫酸鋅溶液中，而傳統鋅銅電池的封閉式鹽橋不會。
8. 此微型鋅銅電池僅需使用 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 化妝棉鹽橋，就能測得鋅片、銅片面積與微型鋅銅電池的電流呈現線性關係，此為傳統鋅銅電池難以做到的，傳統鋅銅電池需要極大的鹽橋面積，才能測得面積與電流的正比關係。
9. 隨著硝酸鉀濃度提升，微型鋅銅電池的電流也會提升，但電流增加的幅度在濃度高時有趨緩趨勢。而電壓則隨著鹽橋的硝酸鉀濃度而下降。
10. 垂直堆疊跟水平增加的方式增加鹽橋的數量，電流量都是接近線性增加的趨勢，相同鹽橋數量時，電流值都相當接近，且可達課本傳統鋅銅電池的3倍以上的電流。
11. 此微型鋅銅電池可多次回收再利用，利用回收液製作的微型鋅銅電池，電流能夠維持傳統鋅銅電池3倍以上的電流，但電壓會略低。
12. 微型鋅銅電池在低濃度配合0.2公分以下化妝棉鹽橋，即能使微安培計的測量範圍內運作，電壓接近一般微型鋅銅電池，且鹽橋的數量對電流的增加變化幾乎成正比。
13. 此微型鋅銅電池串聯時，電壓線性提升但電流不變，配合LED的亮度變化，適合作為功率變化的教具。

柒、結論

- 1、與課本相同濃度的條件下，此微型鋅銅電池的硫酸銅、硫酸鋅溶液的用量，僅有課本的1/10，硝酸鉀溶液用量也僅有課本用量的1/6，但產生的電流最大可達到以課本條件製作的鋅銅電池的3倍以上。
- 2、本微型鋅銅電池，在不同實驗的多次測量中，相同條件下，電流數據都有良好的再現性，是相當穩定的電池。
- 3、微型鋅銅電池使用化妝棉作為鹽橋，除了方便快捷之外，較傳統鋅銅電池而言，更便於探究鹽橋的數量與電流變化的線性關係。
- 4、微型鋅銅電池的鋅片、銅片面積與電流，較之傳統的鋅銅電池，有更明顯的線性關係。
- 5、反覆回收利用測試顯示，此微型鋅銅電池除了用量省之外，反覆放電再回收利用的能效也相當良好。
- 6、本微型鋅銅電池可以調配不同濃度與化妝棉鹽橋寬度，產生的電流可以使毫安培計、微安培計在測量範圍內產生明顯的偏轉，改善了課本鋅銅電池產生的電流不上不下的問題，讓傳統的毫安培計、微安培計都能在鋅銅電池的實做實驗中使用。
- 7、此微型鋅銅電池在極低濃度下能使微安培計良好運作，僅需用0.01M的硫酸銅、硫酸鋅5 ml，0.01M硝酸鉀1.5ml，鹽橋0.2x5cm以上的低濃度微型鋅銅電池；而毫安培計運作條件是0.1M的硫酸銅、硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀6ml，鹽橋4x5cm以上即可，想要電流更大，就加大化妝棉鹽橋即可；能用以點亮LED的條件是0.1M的硫酸銅、硫酸鋅5ml，1M硝酸鉀6 ml，搭配鹽橋4x5cm²，再串聯兩組微型鋅銅電池以上即可。
- 8、在硫酸銅濃度、硫酸鋅濃度、硝酸鉀濃度、電極面積、鹽橋數量等項目，此微型鋅銅電池都較傳統鋅銅電池有更明顯的線性關係，用量更省且電流也更大，是較傳統鋅銅電池更適合作為探究化學電池各項變因的裝置。
- 9、此類型鋅銅電池製作簡易且操作簡便，只要使用小型培養皿或小塑膠盒便能輕易製作。
- 10、本微型鋅銅電池主要目的是在教育應用上，也確實達到一開始所設定的藥品減量、回收再利用與加大電流的目的。

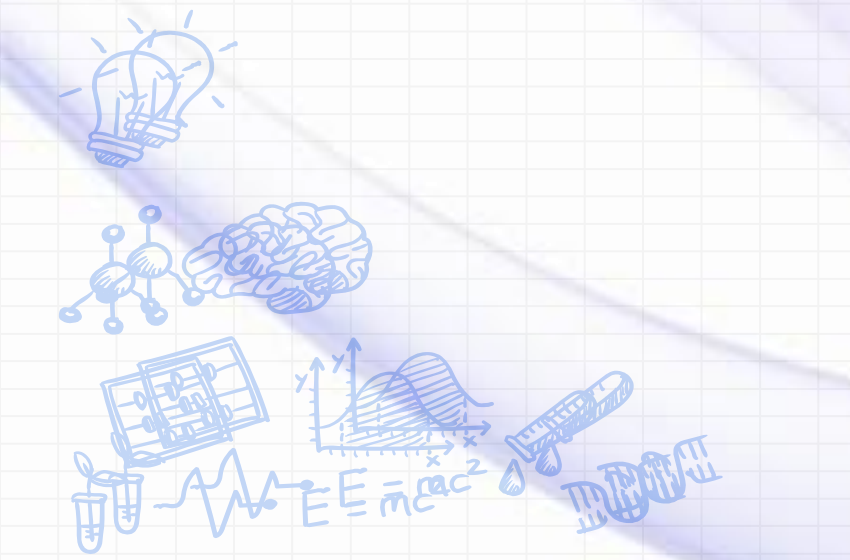
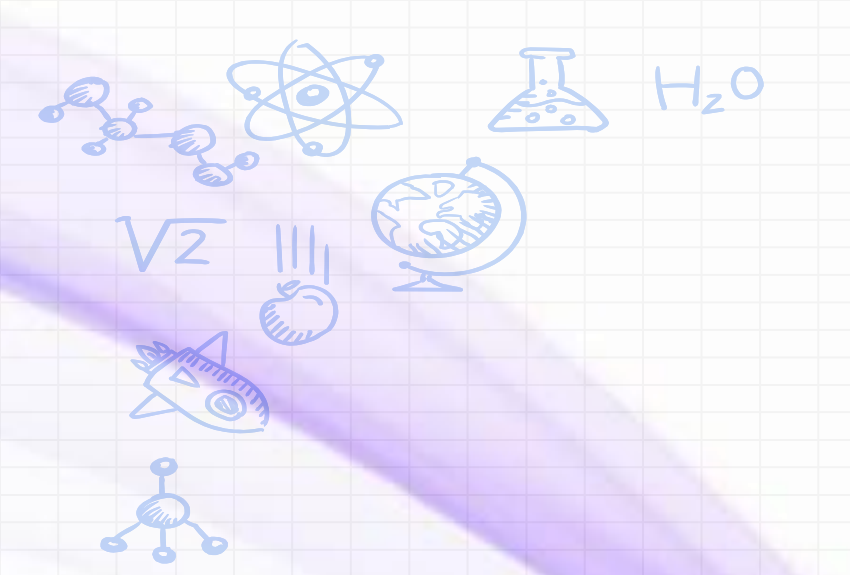
捌、參考資料及其他

1. 張雅茜、林宛瑩、宋沛穎、吳欣柔(2004)。小而省的高效率鋅銅電池。中華民國第四十四屆中小學科學展覽會。
2. 楊明杰、許凱程(1990)。改進鋅銅電池的電流至一千倍！。中華民國第三十屆中小學科學展覽會。
3. 董奕鍾、洪紹勛、陳浩凱、趙鎮民(1989)。鋅銅電池的探討。中華民國第二十九屆中小學科學展覽會。
4. 劉昱辰、林佳蓁、陳韻安(2005)。鋅銅電池延伸探索之旅。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會。
5. 自然與生活科技，第六冊。1-5電流的化學效應。南一書局。
6. 自然與生活科技，第六冊。1-5電流的化學效應。康軒書局。
7. 自然與生活科技，第六冊。1-5電流的化學效應。翰林書局。

【評語】 030204

將銅鋅電池微型化(降低硫酸銅、硫酸鋅溶液體積、濃度，以及改變鹽橋材料)，符合綠色環保之宗旨。透過文獻與過去科展成果的探討，製作出用量僅傳統鋅銅電池藥品用量 1/10，但電流提升數倍的微型鋅銅電池，實屬不易。從課本實驗出發，加以改進，是一個值得鼓勵的方向。

作品簡報



微型鋅銅電池

摘要

課本中的鋅銅電池，藥品用量大，鹽橋製作也較費時，製作完成後，又會面臨電流過小的問題，僅有0.5mA左右的電流無法使毫安培計有明顯偏轉，但又會超過微安培計測量範圍的窘境。歷屆科展的改良方式，是提高藥品濃度，或將鹽橋以玻璃紙代替，又或是將硫酸銅硫酸鋅做成凝膠，這樣製作較費時且較不利於回收再利用。我們嘗試在歷屆科展資料中，找尋影響電流的關鍵因素，製作用量僅傳統鋅銅電池藥品用量 1/10，但電流提升數倍的微型鋅銅電池。最後我們找出藥品能回收反覆利用多次、在低用量低濃度即能使微安培計能良好運作、跟課本的條件相同時能讓毫安培計明顯偏轉，且能用以驅動LED的微型鋅銅電池

研究動機

在自然老師的桌上，看到了一個小小的裝置，老師說那是鋅銅電池，是國三學長姐們最近使用的實驗器材，正在思考怎麼縮小與改善電池的效果，老師問我們有沒有興趣一起來探究看看，測試哪些因素可以縮小鋅銅電池，並且改善一些既有的問題，達到藥品用量減量但電流加大，且藥品能回收再利用等等的微型鋅銅電池，看看能否讓這個縮小的電池在變得更環保的前提下，產生更強的電流。

研究目的

- 一、探討微型鋅銅電池半電池電解質的用量對電壓、電流的影響。
- 二、探討微型鋅銅電池半電池電解質的濃度對電壓、電流的影響。
- 三、探討鋅片、銅片的電極面積對微型鋅銅電池電壓、電流的影響。
- 四、探討鹽橋硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電壓、電流的影響。
- 五、探討鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響。
- 六、探討微型鋅銅電池的硫酸鋅、硫酸銅回收再使用效率。
- 七、探討能使微安培計良好運作的適合條件。
- 八、測量微型鋅銅電池串接的電壓與電流，並用以點亮LED。

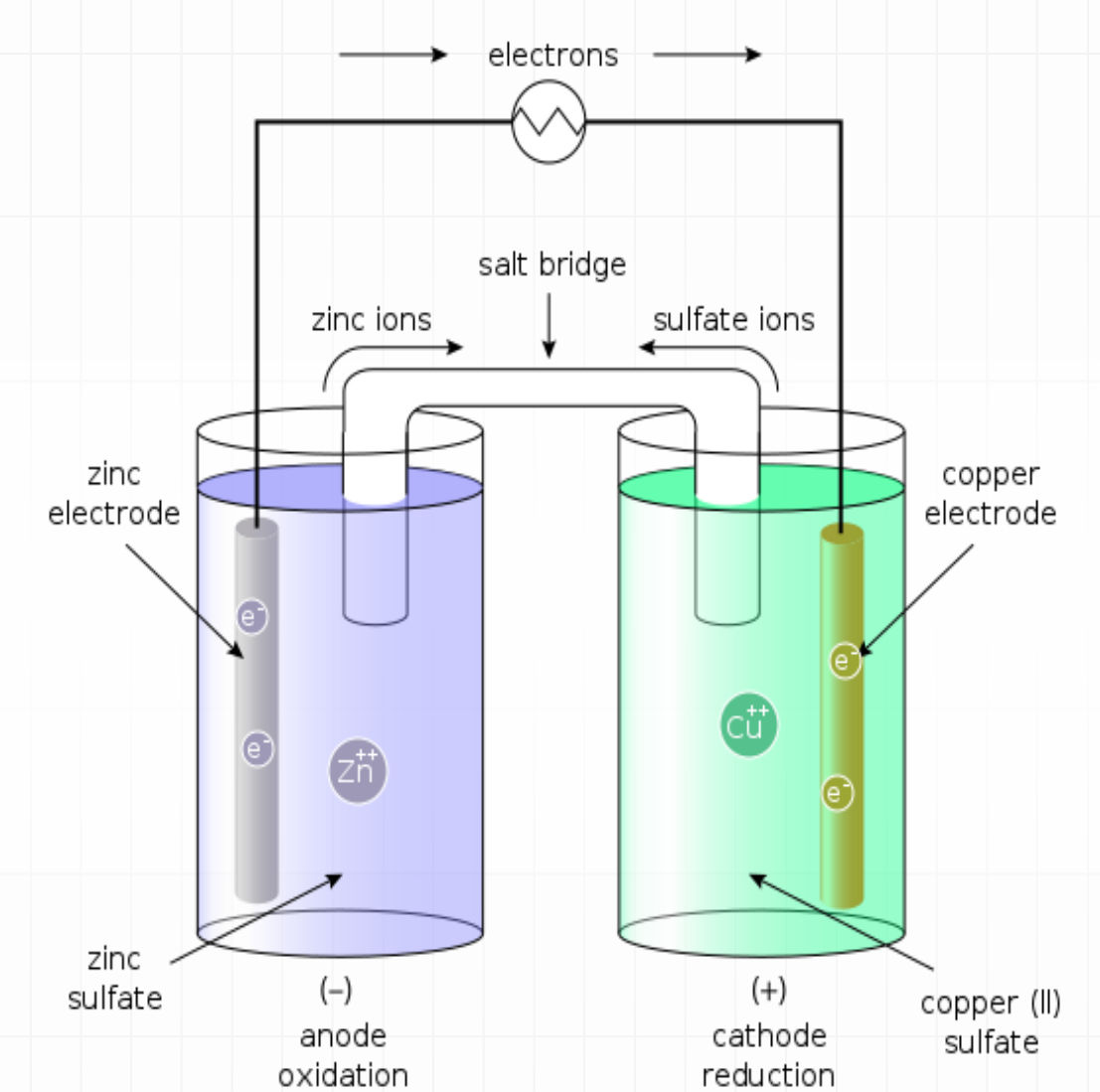


圖1. 傳統鋅銅電池 (Wikipedia, 2023)
(圖片來源：
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galvanic_cell_labeled-ar.svg)

藥品與器材

- 一、實驗藥品：
蒸餾水、硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀、1x5cm²鋅片、1x5cm²銅片、2x5cm²鋅片、2x5cm²銅片、化妝棉
- 二、實驗器材：
100ml燒杯、U型管、10ml量筒、滴管、玻棒、刮勺、鑷子、三用電表、毫安培計、微安培計、鱷魚夾導線、LED、4x4x1cm小型收納盒

實驗架構與實驗流程



圖2. 研究流程圖 (圖片來源：第一作者製作)

設計微型鋅銅電池原型

依照課本製作的單組鋅銅電池，需使用 0.1M 硫酸銅 60ml、0.1M 硫酸鋅 60ml、鹽橋中需 1M 硝酸鉀約 30~50 ml，所產生的電流僅有 2.1mA 左右，且再現性不佳不穩定，而這樣的電流超過了微安培計的測量範圍，而使用毫安培計測量時，又幾乎沒有偏轉。溶液用量大，效果又差。

回顧文獻，要有效加大電流的方式是取消鹽橋的構造，可以利用玻璃紙隔開硫酸銅與硫酸鋅，或是將高濃度的硫酸銅與硫酸鋅做成果凍狀，這樣的設計會出現下列問題：

1. 構造與課本不同，需要重新解釋運作方式。
2. 洋菜膠或糊狀的硫酸銅，硫酸鋅，製作費時且回收後的處理較麻煩，也不利於再利用。

查閱文獻後，可以知道鹽橋的濃度與數量對於電流的影響最為明顯，其他因素次之。

據此，嘗試設計一個用量省、電流大、可探討鹽橋功能、可回收硫酸銅跟硫酸鋅溶液反覆使用等目的微型鋅銅電池。

裝置如圖2

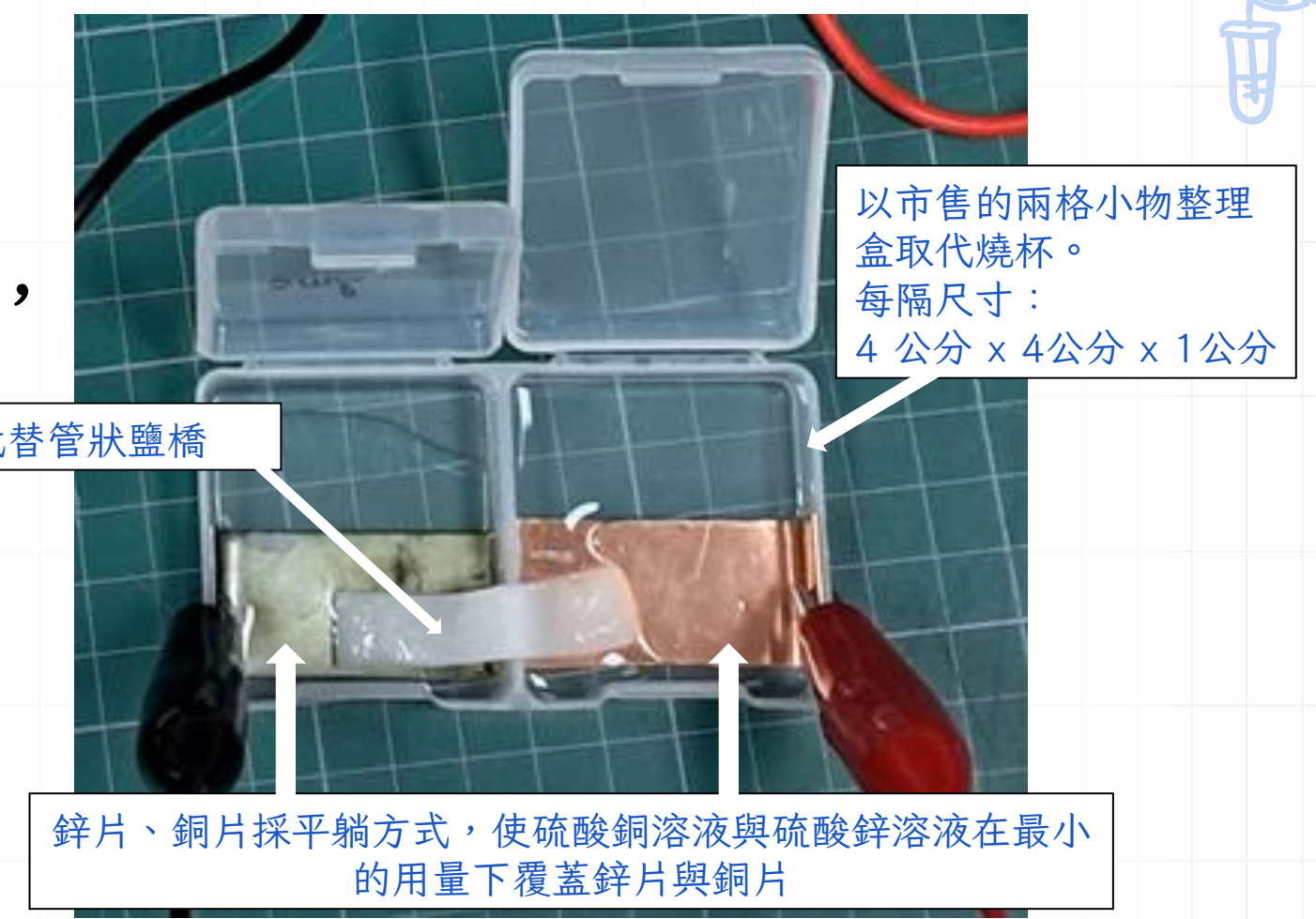


圖2. 微型鋅銅電池原型構造 (第二作者拍攝)

實驗結果與討論

實驗一、硫酸銅、硫酸鋅用量對微型鋅銅電池電流、電壓的影響

(一) 硫酸銅、硫酸鋅用量對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
硫酸銅 3 ml	0.93	0.84	0.82	0.92	1.05	0.91
硫酸銅 5 ml	0.91	0.82	1.03	0.74	0.93	0.89
硫酸銅 10ml	0.99	0.90	0.70	0.90	1.00	0.90
硫酸鋅 3 ml	0.53	0.68	0.77	1.03	1.04	0.81
硫酸鋅 5 ml	0.97	0.92	0.83	0.98	0.92	0.92
硫酸鋅 10ml	0.90	0.91	0.85	0.92	1.01	0.92

(二) 硫酸銅、硫酸鋅用量對微型鋅銅電池電壓的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
硫酸銅 3 ml	1.07	1.07	1.07	1.04	1.06	1.06
硫酸銅 5 ml	1.05	1.07	1.08	1.06	1.07	1.07
硫酸銅 10ml	1.07	0.97	0.90	1.08	1.04	1.01
硫酸鋅 3 ml	0.95	1.02	0.9	1.06	1.09	1.00
硫酸鋅 5 ml	1.08	1.07	1.06	1.06	1.06	1.07
硫酸鋅 10ml	1.07	1.08	1.07	1.07	1.07	1.07



圖3. 硫酸銅、硫酸鋅用量對電流的影響

實驗二、硫酸銅、硫酸鋅濃度對微型鋅銅電池電流、電壓的影響

(一) 硫酸銅、硫酸鋅濃度對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
硫酸銅 0.01 M	0.70	0.80	0.85	0.78	0.89	0.80
硫酸銅 0.05 M	1.10	1.24	1.30	1.31	1.28	1.25
硫酸銅 0.10 M	1.83	2.58	2.27	2.50	2.46	2.33
硫酸銅 0.20 M	2.19	2.81	2.17	2.50	2.22	2.38
硫酸鋅 0.01 M	1.22	0.99	2.27	1.28	1.81	1.51
硫酸鋅 0.05 M	1.34	1.41	2.75	1.92	1.81	1.85
硫酸鋅 0.10 M	2.40	1.82	2.17	2.11	2.26	2.15
硫酸鋅 0.20 M	2.02	2.08	1.96	2.84	2.82	2.34

(二) 硫酸銅、硫酸鋅濃度對微型鋅銅電池電壓的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
硫酸銅 0.01 M	0.88	0.98	0.95	0.94	0.99	0.95
硫酸銅 0.05 M	1.03	1.00	1.04	1.01	0.98	1.01
硫酸銅 0.10 M	0.90	0.94	0.96	0.96	0.95	0.94
硫酸銅 0.20 M	0.94	1.01	0.90	0.93	0.93	0.94
硫酸鋅 0.01 M	0.87	0.94	0.89	0.92	0.91	0.91
硫酸鋅 0.05 M	0.90	0.91	0.95	0.95	0.92	0.93
硫酸鋅 0.10 M	0.92	0.95	0.93	0.97	0.96	0.95
硫酸鋅 0.20 M	0.87	0.89	0.95	0.97	0.93	0.92

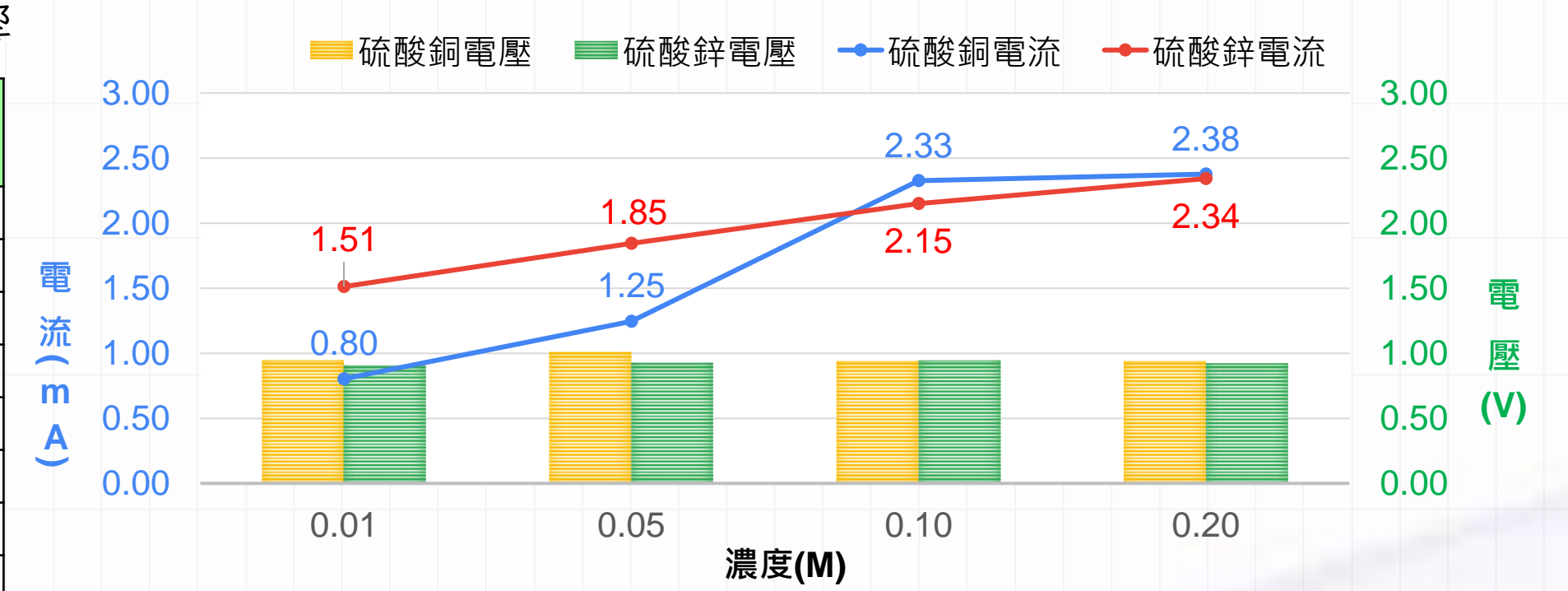


圖4. 硫酸銅、硫酸鋅濃度對電流、電壓的影響

實驗三 鋅片、銅片的電極面積對微型鋅銅電池電壓、電流的影響

(一) 鋅片、銅片面積對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
4 cm ²	1.85	1.72	1.78	1.92	1.95	1.84
8 cm ²	2.40	1.82	2.17	2.11	2.26	2.15
12 cm ²	2.82	2.19	2.38	2.19	2.29	2.37
16 cm ²	2.96	2.90	2.95	2.89	2.88	2.92

(二) 鋅片、銅片面積對微型鋅銅電池電壓的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
4 cm ²	0.86	0.86	0.89	0.91	0.92	0.89
8 cm ²	0.92	0.95	0.93	0.97	0.96	0.95
12 cm ²	0.92	0.91	0.99	0.96	0.97	0.95
16 cm ²	1.00	0.96	1.15	1.14	0.99	1.05

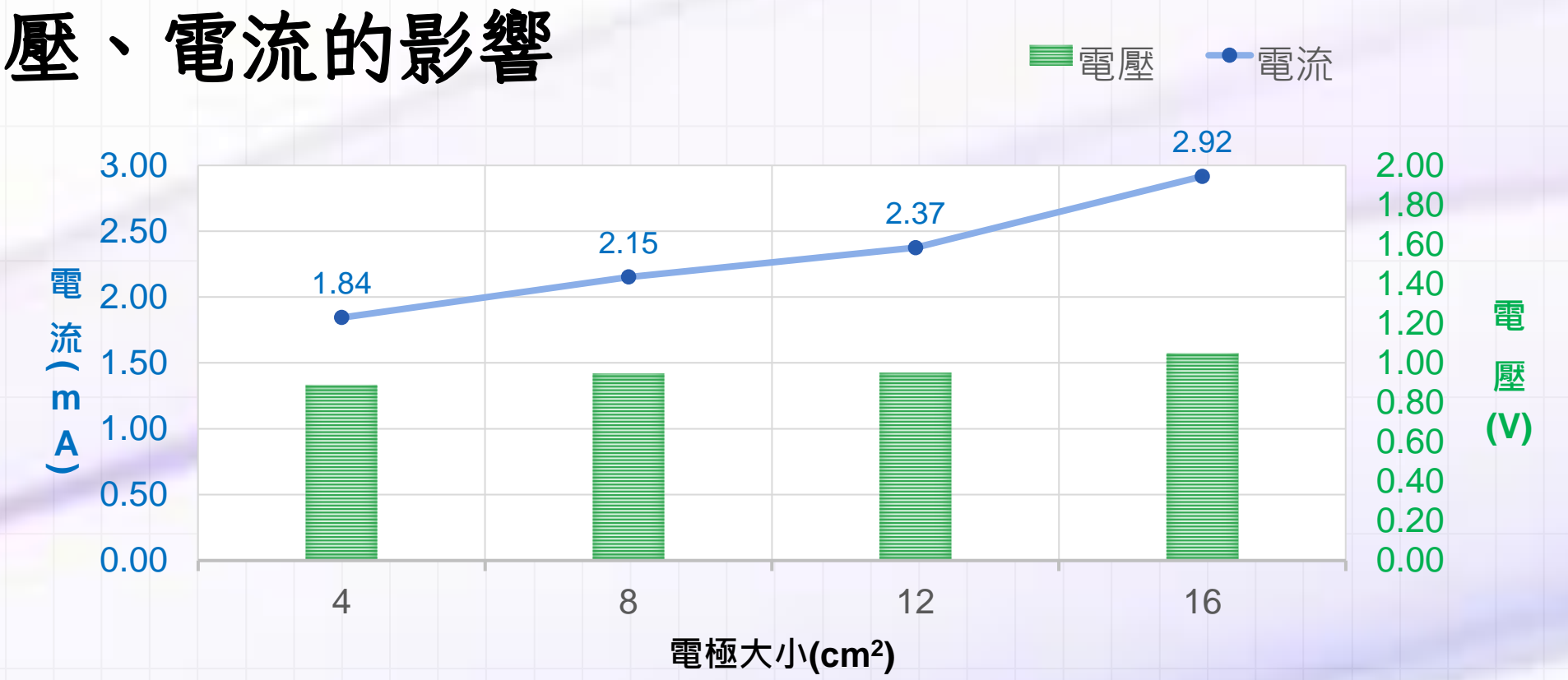


圖5. 電極大小對電流、電壓的影響

實驗四 鹽橋中硝酸鉀濃度與鹽橋數量對微型鋅銅電池電流、電壓的影響

(一) 硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
0.01 M	0.16	0.22	0.16	0.14	0.15	0.17
0.05 M	0.56	0.55	0.54	0.53	0.58	0.55
0.10 M	0.77	0.81	0.88	0.88	0.85	0.84
0.20 M	1.26	1.30	1.22	1.33	1.35	1.29
0.50 M	1.72	1.62	1.62	1.71	1.63	1.66
1.00 M	2.15	2.12	2.30	2.16	2.19	2.18
2.00 M	2.97	2.89	2.80	2.90	2.86	2.88

(二) 硝酸鉀濃度對微型鋅銅電池電壓的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
0.01 M	1.05	1.06	1.01	1.08	1.06	1.05
0.05 M	1.05	1.01	1.06	1.03	1.05	1.04
0.10 M	0.98	1.06	1.04	1.08	1.08	1.05
0.20 M	1.01	1.04	1.01	1.05	0.99	1.02
0.50 M	0.94	0.97	0.98	1.03	0.97	0.98
1.00 M	0.99	0.97	0.97	1.04	1.00	0.99
2.00 M	0.94	0.88	0.89	0.90	0.97	0.92

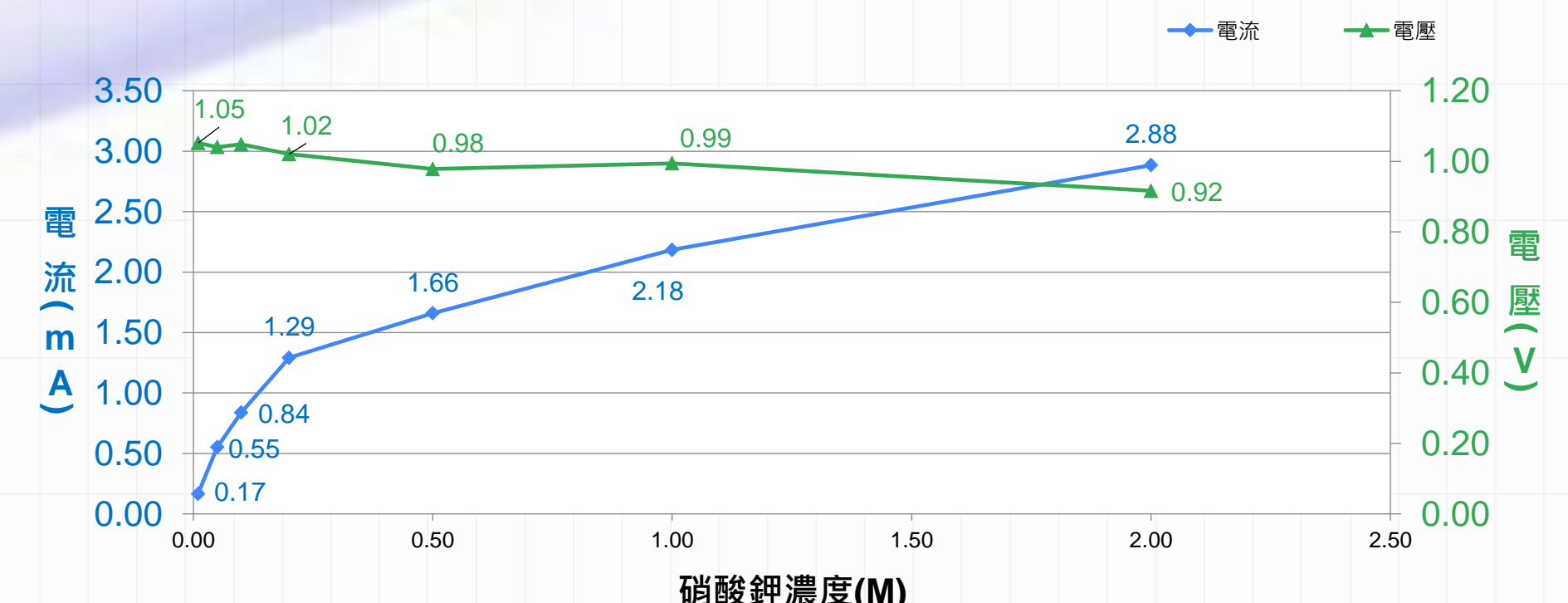


圖6. KNO3濃度對電流電壓的影響

實驗五 鹽橋數量對微型鋅銅電池電流的影響

(一) 垂直堆疊鹽橋對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
1片	2.54	2.78	1.40	1.88	2.78	2.28
2片	3.29	3.24	3.71	3.89	4.20	3.67
3片	5.03	6.56	5.00	5.80	4.96	5.47
4片	6.47	7.28	6.07	6.68	6.11	6.52

(二) 水平增加鹽橋量對微型鋅銅電池電流的影響

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
1片	2.68	2.70	2.22	2.32	2.65	2.51
2片	4.45	4.17	4.51	3.83	4.74	4.34
3片	5.12	6.46	4.63	5.32	5.90	5.49
4片	6.79	7.57	5.50	6.68	6.55	6.62

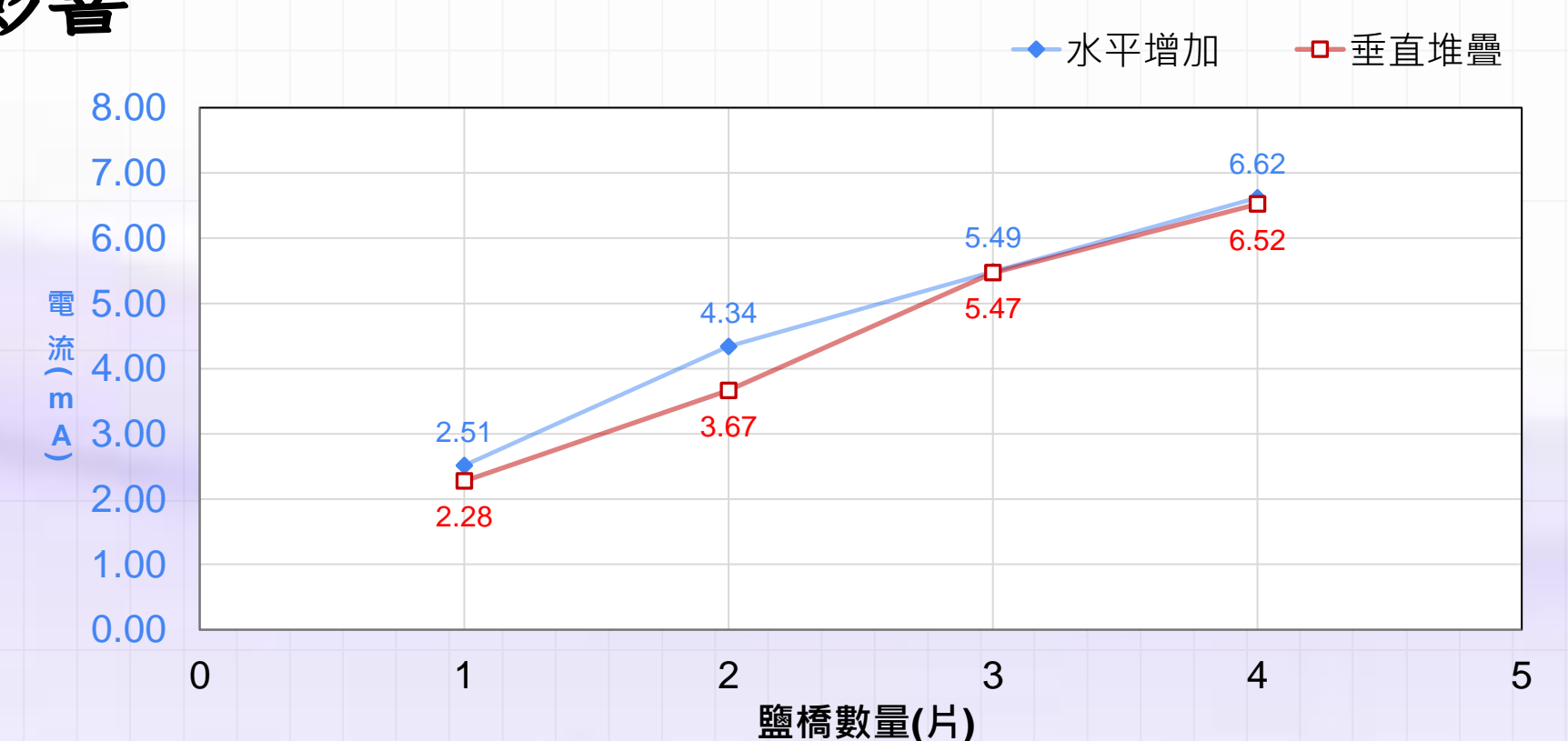


圖7. 鹽橋數量對電流的影響

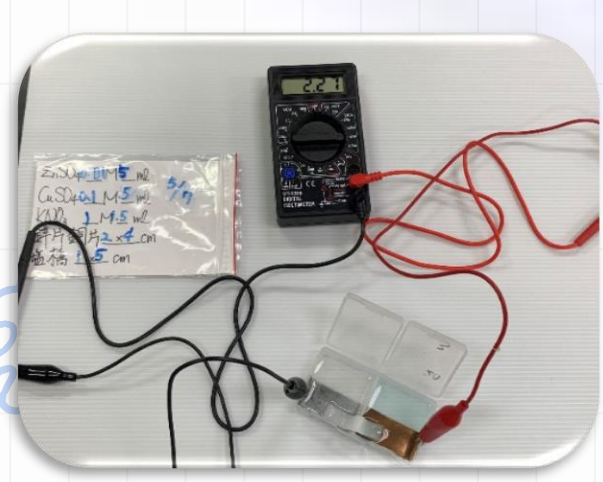


圖8. 硫酸銅、硫酸鋅皆為 0.1M，硝酸鉀 1M 條件下，電流可達 2mA 以上 (第二作者拍攝)

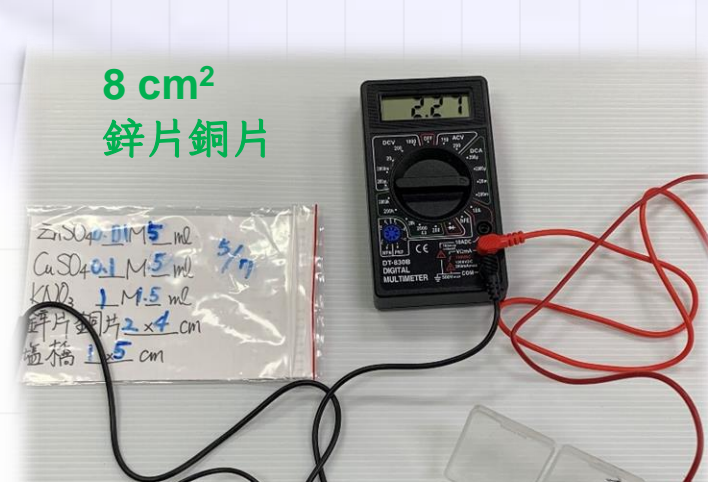


圖9. 電極加大，電流也加大 (第二作者拍攝)

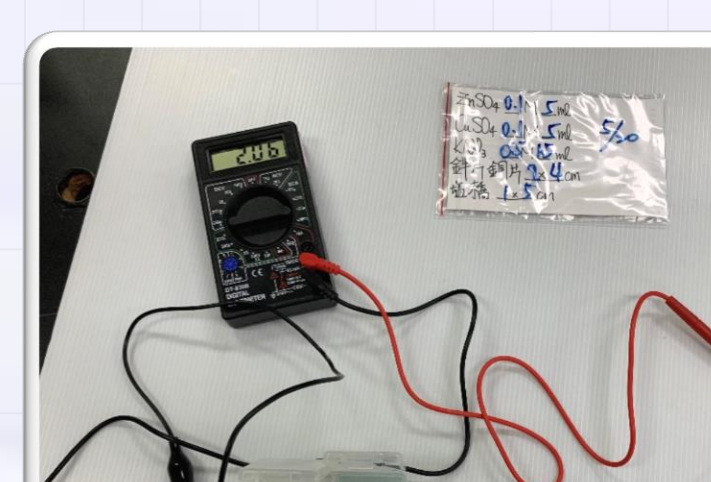
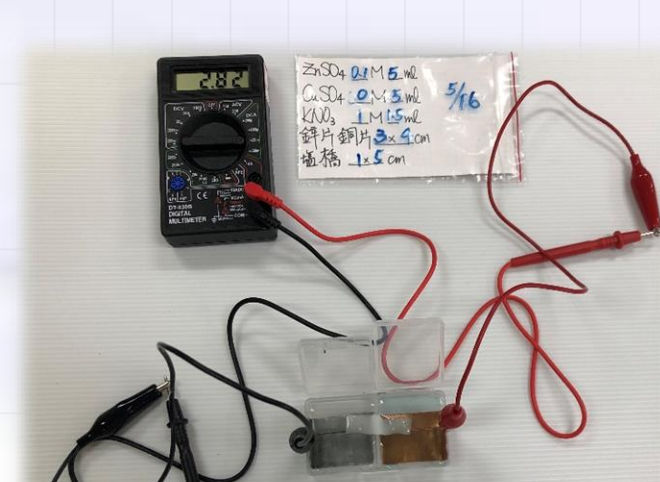


圖10. 電流隨硝酸鉀濃度提升而提高 (第二作者拍攝)

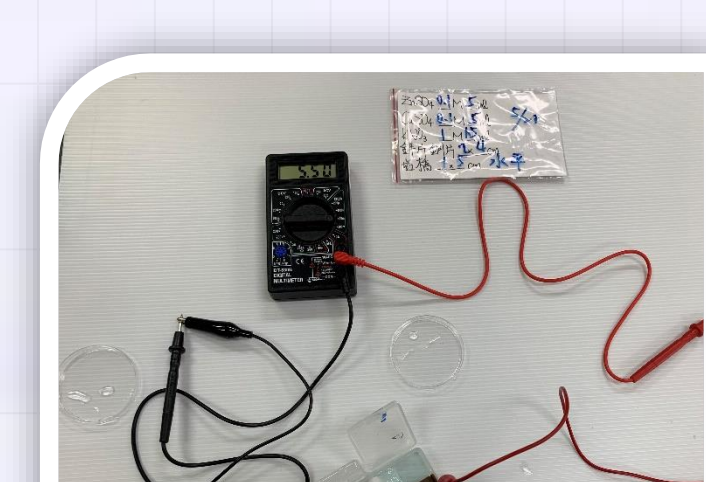
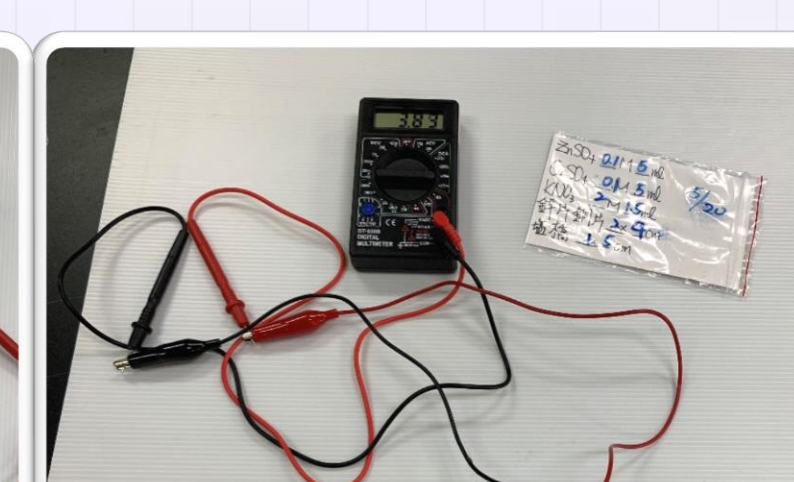
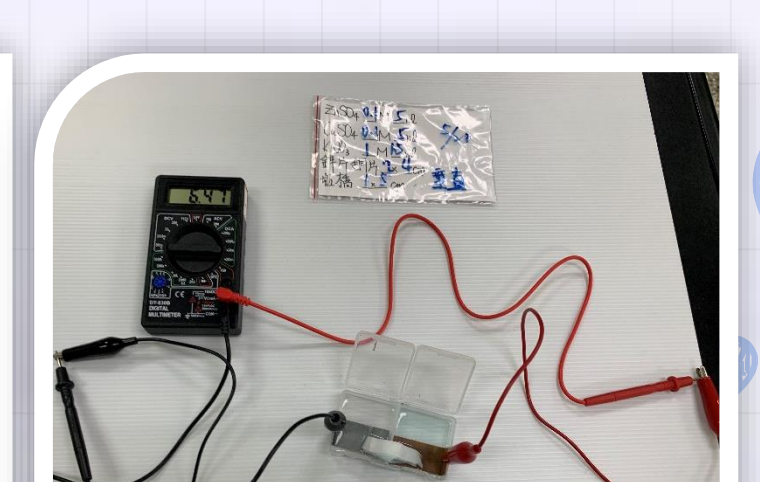


圖11. 以4片化妝棉鹽橋加大電流 (第二作者拍攝)



實驗六 重複回收硫酸銅、硫酸鋅製作鋅銅電池對微型鋅銅電池電流、電壓的影響

(一) 重複回收硫酸銅、硫酸鋅溶液再製微型鋅銅電池的電流

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
原始電池	6.86	6.95	7.11	7.04	6.03	6.80
第1次回收液重製電池	6.87	5.74	4.13	6.83	6.87	6.09
第2次回收液重製電池	8.49	7.12	8.40	8.16	10.66	8.57
第3次回收液重製電池	9.63	9.93	6.46	6.48	6.10	7.72
第4次回收液重製電池	5.45	6.26	5.89	5.15	6.83	5.92
第5次回收液重製電池	7.26	6.76	5.89	6.53	7.20	6.73

(二) 重複回收硫酸銅、硫酸鋅溶液再製微型鋅銅電池的電壓

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
原始電池	0.87	0.89	0.88	0.90	0.89	0.89
第1次回收液重製電池	0.85	0.86	0.80	0.85	0.86	0.84
第2次回收液重製電池	0.85	0.82	0.84	0.83	0.85	0.84
第3次回收液重製電池	0.84	0.83	0.85	0.85	0.79	0.83
第4次回收液重製電池	0.85	0.80	0.78	0.86	0.86	0.83
第5次回收液重製電池	0.87	0.86	0.85	0.84	0.86	0.86

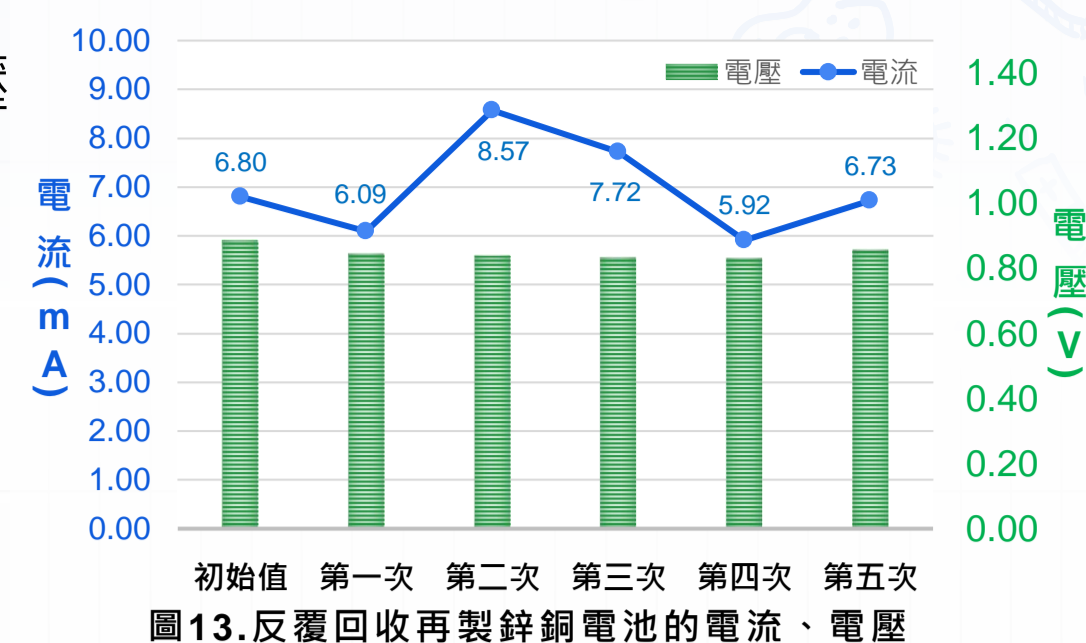


圖13. 反覆回收再製鋅銅電池的電流、電壓

實驗七 探討能使微安培計良好運作的適合條件

(一) 低濃度微型鋅銅電池的鹽橋數量與電流

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
1片	20	15	18	14	20	17
2片	40	30	32	40	37	36
3片	>50	48	>50	>50	>50	48

(二) 低濃度微型鋅銅電池的鹽橋數量與電壓

電池編號	第一組	第二組	第三組	第四組	第五組	平均值
1片	0.96	0.97	0.97	1.01	0.96	0.97
2片	0.95	1.00	0.97	0.98	0.97	0.97
3片	0.97	1.00	0.96	1.02	0.97	0.98

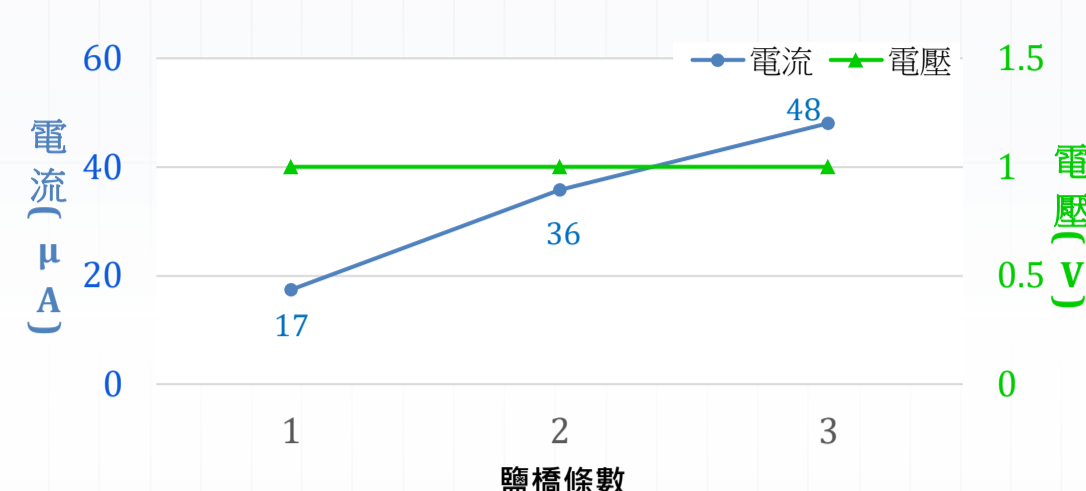


圖14. 鹽橋數量與低濃度鋅銅電池電流、電壓

實驗八 探討微型鋅銅電池串接的電壓與電流，並用以點亮LED

(一) 串聯微型鋅銅電池的電流與電壓

項目	二組	三組	四組	五組
電流 (mA)	4.29	4.70	4.72	4.72
電壓 (V)	1.94	2.72	3.63	4.54

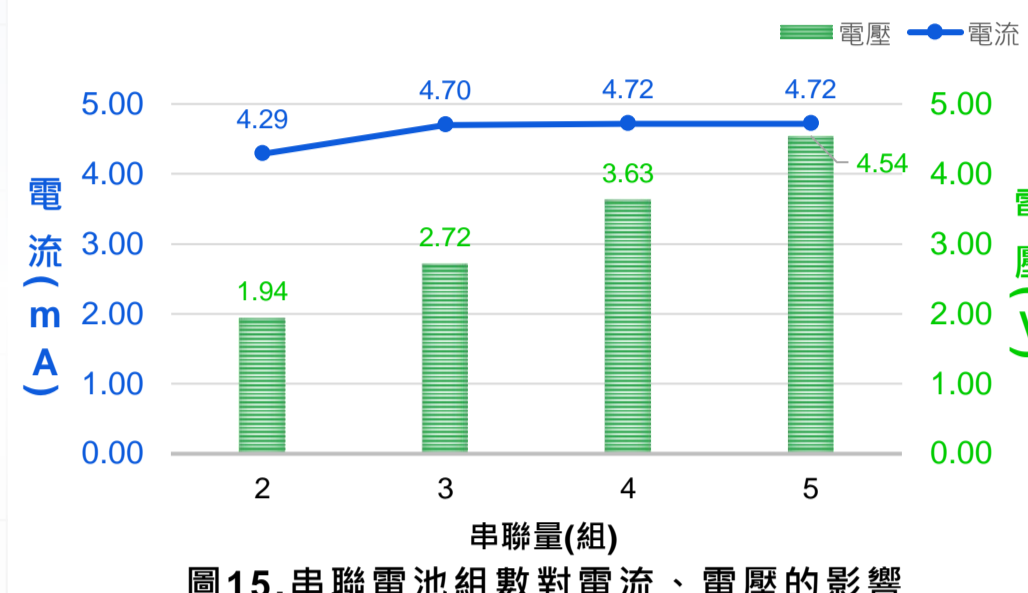


圖15. 串聯電池組數對電流、電壓的影響

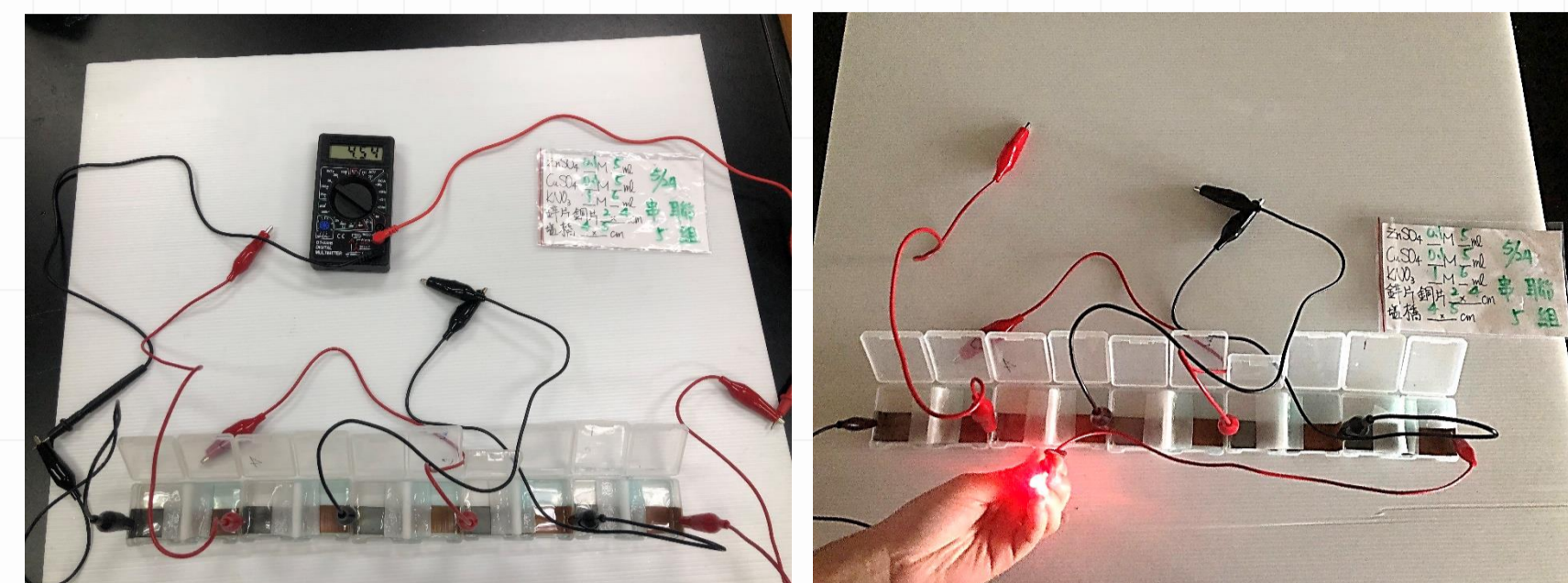


圖16. 電流隨硝酸鉀濃度提升而提高 (第二作者拍攝)

綜合討論

1. 本微型鋅銅電池，在使用 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 化妝棉鹽橋時，僅需使用硫酸銅、硫酸鋅 5ml ，電流即可優於歷屆科展作品中傳統鋅銅電池。
2. 微型鋅銅電池的硫酸銅溶液與硫酸鋅溶液用量僅需覆蓋鋅片與銅片。以本器材來說，硫酸銅、硫酸鋅各只需 5ml 、鹽橋每片只需 1.5ml 硝酸鉀即可，再增加用量也不會使電流明顯增加。
3. 濃度的提升對電流的影響程度大小，分別是鹽橋硝酸鉀 > 硫酸銅 > 硫酸鋅。
4. 此微型鋅銅電池，在 $0.01 \text{M} \sim 0.2 \text{M}$ 之間的硫酸銅、硫酸鋅濃度，呈現電流隨濃度的變化的線性關係，這是傳統鋅銅電池較不明顯的。
5. 結合硫酸銅濃度變化（實驗二）與硝酸鉀濃度變化（實驗四）的影響，可以推測圖7中，硫酸銅 0.1M 升高到 0.2M 時，電流沒有線性提升的原因，是鹽橋效能限制了最大電流。若是要探討大於 0.2M 硫酸銅與硫酸鋅對電流的影響，僅需增加化妝棉鹽橋即可。
6. 微型鋅銅電池與傳統鋅銅電池的電壓，受硫酸銅、硫酸鋅濃度影響都不大。
7. 硝酸鉀濃度越高，微型鋅銅電池電壓越低，但傳統鋅銅電池的電壓越高，這個現象應該肇因於微型鋅銅電池的化妝棉鹽橋，硝酸鉀較容易滲出混入硫酸銅或硫酸鋅溶液中導致電壓降低，而傳統鋅銅電池的封閉式鹽橋不會。
8. 此微型鋅銅電池僅需使用 $1 \times 5 \text{cm}^2$ 化妝棉鹽橋，就能測得鋅片、銅片面積與微型鋅銅電池的電流呈現線性關係，此為傳統鋅銅電池難以做到的，傳統鋅銅電池需要極大的鹽橋面積，才能測得面積與電流的正比關係。
9. 隨著硝酸鉀濃度提升，微型鋅銅電池的電流也會提升，但電流增加的幅度在濃度高時有趨緩趨勢。而電壓則隨著鹽橋的硝酸鉀濃度而下降。
10. 垂直堆疊跟水平增加的方式增加鹽橋的數量，電流量都是接近線性增加的趨勢，相同鹽橋數量時，電流值都相當接近，且可達課本傳統鋅銅電池的3倍以上的電流。
11. 此微型鋅銅電池可多次回收再利用，利用回收液製作的微型鋅銅電池，電流能夠維持傳統鋅銅電池3倍以上的電流，但電壓會略低。
12. 微型鋅銅電池在低濃度配合 0.2 公分以下化妝棉鹽橋，即能使微安培計的測量範圍內運作，電壓接近一般微型鋅銅電池，且鹽橋的數量對電流的增加變化幾乎成正比。
13. 此微型鋅銅電池串聯時，電壓線性提升但電流不變，配合LED的亮度變化，適合作為功率變化的教具。

實驗結論

1. 與課本相同濃度的條件下，此微型鋅銅電池的硫酸銅、硫酸鋅，僅有課本的 $1/10$ ；硝酸鉀溶液用量也僅需課本用量的 $1/6$ ，產生的電流最大可達到以課本條件製作的鋅銅電池的4倍以上。
2. 本微型鋅銅電池，在實驗的多次測量中，電流數據都有良好的再現性，是相當穩定的電池。
3. 微型鋅銅電池使用化妝棉作為鹽橋，除了方便快捷之外，較傳統鋅銅電池而言，更便於探究鹽橋的數量影響。
4. 反覆回收利用測試顯示，此微型鋅銅電池除了用量省之外，反覆放電再回收利用的功效也相當良好，反覆以回收液製作的微型鋅銅電池電流不會降低。
5. 本微型鋅銅電池可以搭配不同濃度溶液與化妝棉鹽橋寬度，產生的電流可以使毫安培計、微安培計在測量範圍內產生明顯的偏轉，改善了課本鋅銅電池產生的電流不上不下的問題。
6. 此微型鋅銅電池能使微安培計運作的條件是 0.01M 的硫酸銅、硫酸鋅 5ml ， 0.01M 硝酸鉀 1ml ，鹽橋 $0.2 \times 5 \text{cm}^2$ 以上即可；毫安培計運作條件是 0.1M 的硫酸銅、硫酸鋅 5ml ， 1M 硝酸鉀 6ml ，鹽橋 $1 \times 5 \text{cm}$ 以上即；能用以點亮LED的條件是 0.1M 的硫酸銅、硫酸鋅 5ml ， 1M 硝酸鉀 6ml ，鹽橋 $4 \times 5 \text{cm}$ 的微型鋅銅電池，串聯兩組以上即可。
7. 本微型鋅銅電池確實達到藥品減量與改進鋅銅電池放電效果的目的。

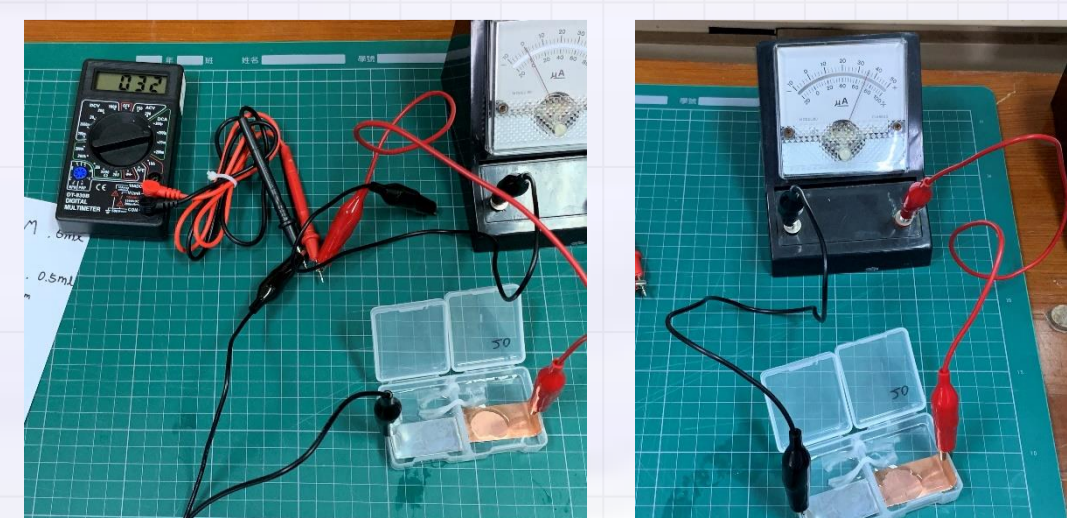


圖17. 兩條鹽橋的低濃度鋅銅電池 (第二作者拍攝)

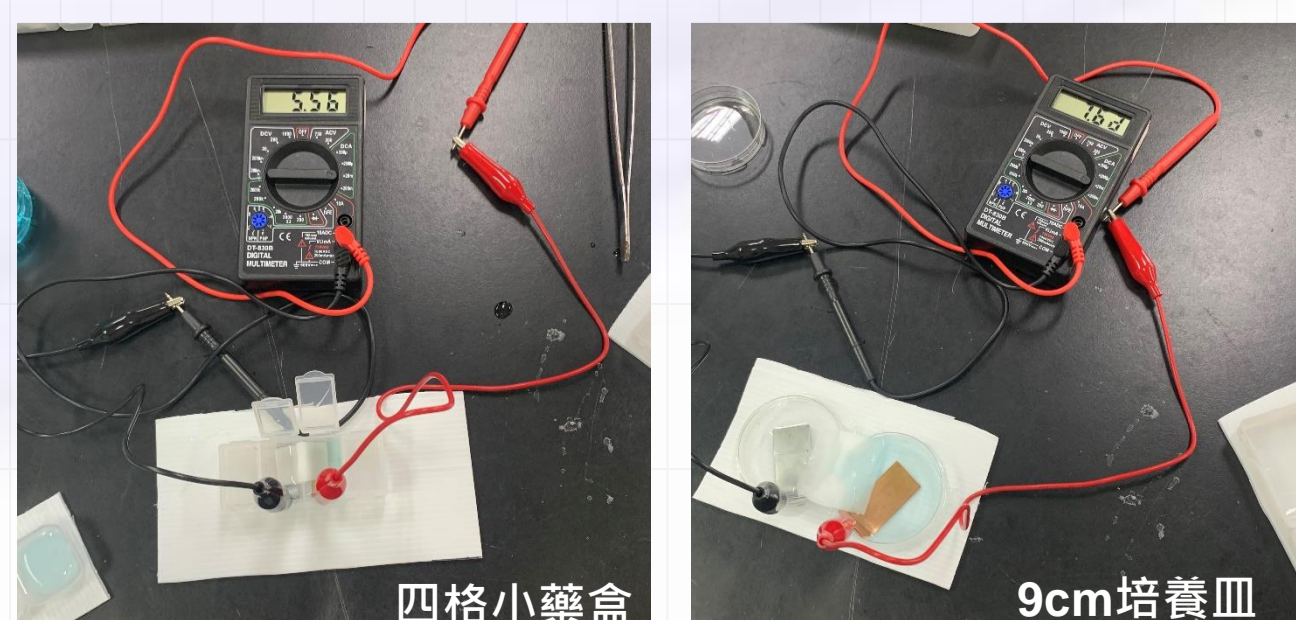


圖18. 其他容器製作的微型鋅銅電池 (第二作者拍攝)