

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：磁電場中金屬的鍍鑄

關 鍵 詞：電化學、氧化還原、金屬樹

編 號：040213

學校名稱：

國立嘉義女子高級中學

作者姓名：

呂悅安、洪宛襄

指導老師：

莊淑雀



磁電場中金屬的鍍鑄

壹、摘要

電化學單元在化學領域佔有重要的地位，本研究利用氧化還原反應析出金屬樹，將本單元內容趣味化、實驗試藥減量及操作簡化，符合當今環保生活之要求，更開拓學習視野，在未涉及艱深或精密儀器之使用下，將學習領域深入碎形理論及實作的探討。

貳、研究動機

日常生活用品常看見電鍍或電鑄物品，當我們化學課講到氧化還原的章節時，才知道它和各種電池同屬於電化學，我們由此聯想到這個領域所涉及的理論，實驗教材應該可以用操作簡易的方法驗證，於是嘗試探討研究其可行性。

參、研究目的

- 一、氧化還原反應觀測實驗的再減量與簡化。
- 二、簡易電化電池電位差之研究。
- 三、磁、電場中析出銅樹維數研究。
- 四、濾紙上還原析出金屬的回收探討。

肆、文獻探討

- 五、莊淑雀老師刊載在科學教育月刊 145 期 P38—45，「濾紙上開展化學反應」的著作文獻，在培養皿內置入直徑 9 cm 濾紙，滴入約 25 滴 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 潤濕濾紙，再於濾紙正中央放上 1 cm^2 鋅片，會析出銅樹，簡便清晰觀測氧化還原反應，並比較金屬活性。經反覆研討發現，作氧化還原定性觀測，只要看見金屬析出即可，因此，實驗操作的方法可以再精簡方便與器材生活化。
- 六、莊淑雀老師指導，刊載在三十二屆全國科展高中組優勝作品專輯 P42-50，「金屬的氧化還原再探討」文獻中，研究分析得知：析出金屬樹實驗裝置是一個電化電池，濾紙正中央金屬片是陽極，與潤濕濾紙的溶液之間存有電位差。未詳細研究電位差大小與電化電池內電阻、各種金屬之關係。
- 七、有關討論碎形維數的參考資料，論述自我相似、自我仿射、自然界碎形之維數，未見利用氧化還原反應析出金屬樹的維數研究。

八、有關研究濾紙上析出之金屬樹的研究，未見討論如何回收金屬樹方法。

伍、研究設備及器材

一、設備：

赫姆赫茲線圈磁場	1 組	電源供應器	2 組
鱷魚夾導線	4 條	培養皿	1 個
濾紙(9cm)	1 盒	滴管	2 支
100cc 量筒	1 個	縫衣針	1 支
蝴蝶夾	1 個	打洞機	1 個
銅線	1 捆	砂紙	1 張
游標尺	1 支	石磨棒	2 隻
平行電場	1 組	伏特計	1 臺

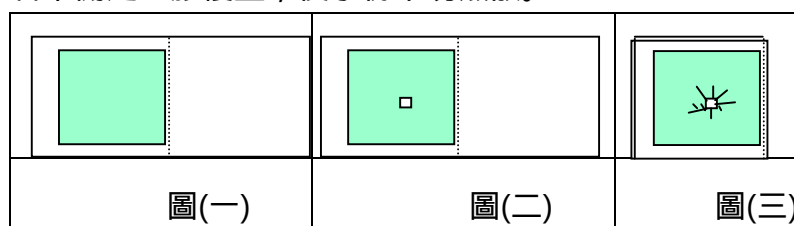
二、試藥：

硫酸銅、鋅金屬片、硫酸、硝酸、鹽酸、硝酸鉛、硫酸鐵、硝酸銀、
錫粒、銅金屬片、鋁金屬片

陸、研究過程(步驟)

一、氧化還原反應觀測實驗的再減量與簡化。

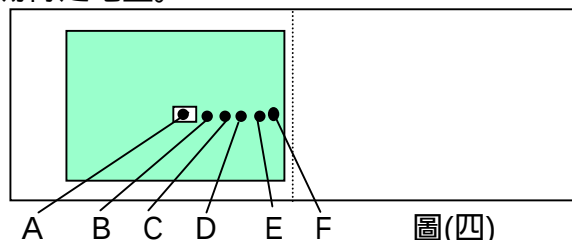
- (一) 從塑膠袋上剪取長 5 公分、寬 3 公分的薄膜；剪取 2cm^2 的單層面紙 1 張，放置如圖(一)。
- (二) 在面紙上滴入 1 滴 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ (約 0.05mL)，即可潤濕面紙。
- (三) 取約 0.2mm^2 的磨亮鋅片放在面紙正中央。如圖(二)所示。
- (四) 右半側之塑膠覆蓋，使水份不易蒸散。



二、簡易電化電池電位差之研究。

(一)重覆研究一之步驟(一)~(三)，然後將接伏特計之導線，一端接觸 Zn 片之中央(A 點)，另一端依次間隔 1 公分，如圖(四)之 B、C、D、E、F 五點。

(二)記錄測得之電壓。



圖(四)

(三)依次以金屬 Al、Sn 代替 Zn 重覆步驟(一)~(二)。

(四)分別以硝酸鉛、硫酸銀、硝酸鐵 0.5M 溶液代替硫酸銅溶液，重覆步驟(一)~(三)。

三、析出銅樹的維數研究：

(一)在析出銅樹並以洗淨晾乾的濾紙上，以鋅片的中心點為圓心，分別取適當長為半徑，畫出半徑分別為 R_1 、 R_2 、 R_3 ($R_1 < R_2 < R_3$) 的同心圓。最內層半徑為 R_1 的面積是 A_1 ；半徑分別為 R_1 、 R_2 的兩圓面積差標示為 A_2 ；半徑分別為 R_2 、 R_3 的兩圓面積差標示為 A_3 。

(二)分別測出 A_1 、 A_2 、 A_3 三者銅樹的重量，分別標示為 W_1 、 W_2 、 W_3 (其中面積比即為重量比)。

(三)在座標平面上標出三點 $(\log R_1, \log W_1)$ 、 $(\log R_2, \log(W_1 + W_2))$ 、 $(\log R_3, \log(W_1 + W_2 + W_3))$ 並將三點連成一線。

(四)求出此線斜率，此值即為銅樹理論上的維數。

四、濾紙上還原析出金屬的回收

(一)含有析出銅樹之濾紙放在 50 毫升的燒杯中。

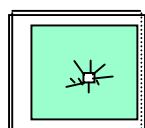
(二)以硫酸溶液 2ml 加入(一)之燒杯。

(三)觀察記錄。

(四)分別以硝酸、磷酸、王水代替硫酸，重覆(一)~(三)步驟。

柒、結果

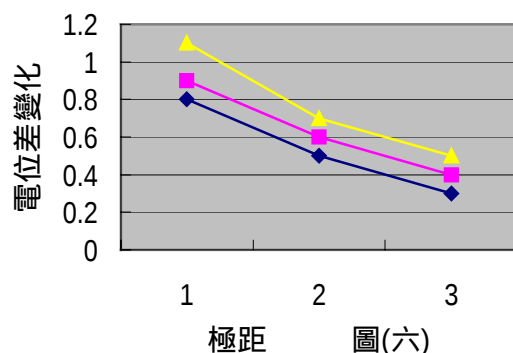
一、氧化還原反應觀測實驗的再減量與簡化。



圖(五)

二、簡易鋅銅電化電池電位差之研究。

不同濃度下的簡易電化電池的電位差

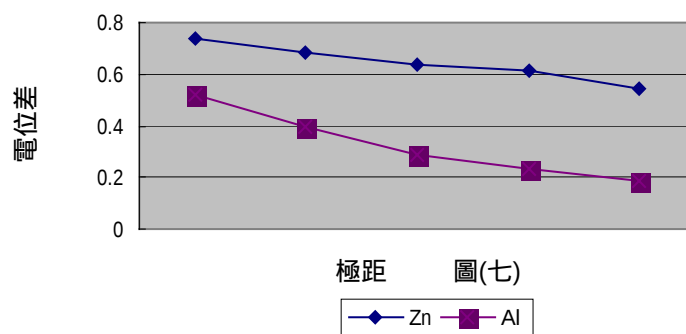


圖(六)

三、不同金屬在同種溶液下電位差變化

(一) 各種金屬/ Fe^{3+} 電位差變化

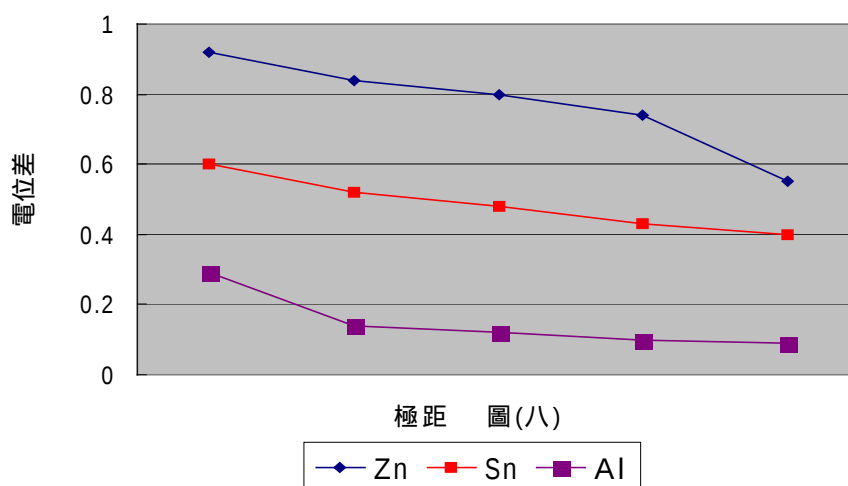
各種金屬/ Fe^{3+} 離子



圖(七)

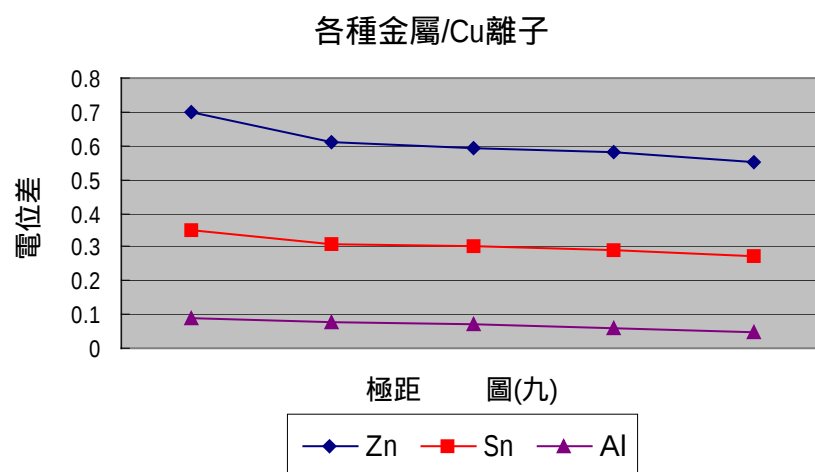
(二) 各種金屬/ Pb^{2+} 電位差變化

各種金屬/ Pb^{2+} 離子

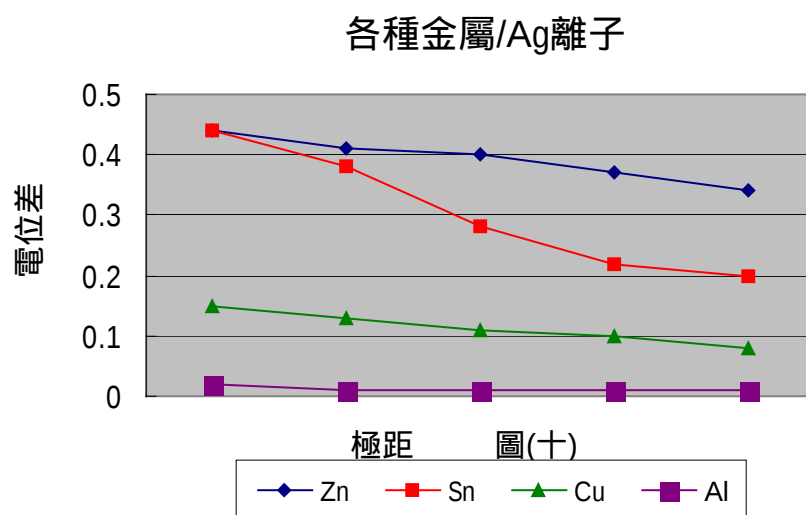


圖(八)

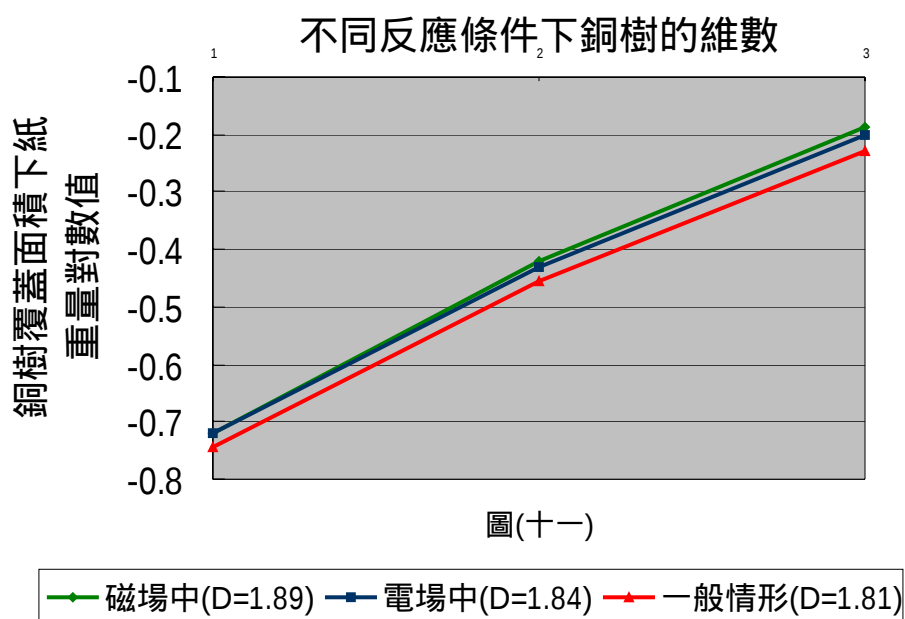
(三) 各種金屬/ Cu^{2+} 電位差變化



(四) 各種金屬/ Ag^+ 電位差變化



四、磁電場中析出銅樹維數研究。



五、濾紙上還原析出金屬的回收

	溶液			
	硝酸	硫酸	王水	磷酸
銅樹溶解與否	是	是	是	否
紙張碎裂與否	是	是	否	是
溶液顏色	淡藍色	褐色	橄欖綠色	褐乳白

捌、討論

- 一、在面紙上滴入 1 滴(約 0.05mL)硫酸銅液，放入 Zn 片，用塑膠薄膜防水份滲流及蒸散進行氧化還原反應，可見銅金屬析出。使氧化還原的實驗觀測，可在一般教室隨手取材進行，並達成減量目的。
- 二、本研究的裝置進行氧化還原反應，陽陰極間的電位差與極距的大小有關，極距越大，電位差越小。電位差變化梯度很明顯，說明本研究所用的電化電池內電阻很大，可以讓學習者清楚的看出電化電池具有內電阻；還可更換氧化反應的金屬種類(鋁例外)，在等極距下測量電位差大小，作為比較一般常見金屬鋅、錫、銅金屬活性大小的另一種實驗方法。由實驗測得之數據可發現鋁超常低，詳細原因有待後續研究，故若欲將本研究裝置觀測電位差大小作比較金屬活性大小，列入實驗教材的觀測方法，必須先暫時排除鋁金屬。
- 三、在無電磁場的普通環境下析出的銅樹維數一般為 1.81，電、磁場中

維數明顯增加。電、磁場皆為能量場，能量會增加維數，故本研究所得電、磁場維數差異，很有可能為實驗過程提供能量高低之差所致。此點有待後續繼續研究探討。在本研究得知下列數項具體事實：

(一) 磁場中的反應必須採用赫姆赫茲線圈磁場的理由：

1. 已知通電流的導線會場生磁場 將兩個電流方向相同且相同大小的線圈一上一下置放，線圈半徑 r 。放置時使兩線圈相距 $2r$ ，則在兩線圈中央可產生一個比較均勻的磁場。

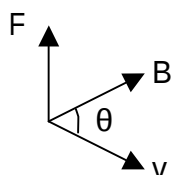
它是由兩個半徑相同皆為 r 的 N 匝線圈，同軸相距 r 所構成。若兩線圈上的電流同向，均為 I 時，其對稱軸上中點的磁

場強度為
$$B = \frac{8\mu Ni}{\sqrt{125}R}。$$

2. 帶電質點在磁場中的運動：

在磁場 B 的空間中，置一靜止知帶電質點，由實驗的知此點不受力。電若質點以速度 v 在磁場中運動，則有磁力 F 作用於質點。由理論推測，且經實驗發現：

- (1) 作用力 F 重直於速度向量 v 和磁場 B ，力 F 的方向依照右手定則而定



- (2) 磁力 F 的量值為： $F = qvB\sin \theta$ 。

式中 q 為質點所帶電量， θ 為速度向量 v 與磁場 B 的夾角。

電荷 q 的單位為庫侖，速度 v 為公尺/秒，磁場 B 為特斯拉，力 F 的單位為牛頓。

- (3) 設一電荷 q ，質量為 m ，速度為 v 的質點在一均勻磁場 B 的水平面中運行，若 $\theta = 90^\circ$ ，其加速度 a 之值為

$$a = F/m = qvB/m。$$

- (二) 在濾紙上伸展的金屬樹，遠看近似平面分佈圖，推測其維數應介於 1-2 之間；實質上金屬樹在濾紙纖維縫隙之間是立體穿梭，理論維數應介於 2-3 之間；本研究資源條件極限所致，我們能作數種不同反應環境條件下的金屬樹析出，但維數的測定只限於遠看近似平面分佈圖之測量。

(三) 在計算自然界的不規則碎形時，皆是以一極小的點狀為中心，極小點並不會覆蓋到任何部分的碎形，而影響到其維數。此點與本研究利用氧化還原反應，放置鋅片在濾紙上析出銅樹有明顯的不同，我們無法預測金屬鋅片下原本可生長的銅樹面積，亦即本研究無法測得鋅片下銅樹之 W_0 。必須用別的方法來修正維數值，使其更加精確。修正方法如下：

- 2、假設精確的維數值為 D ，代入 $(W_0 + W_1)/(W_0 + W_1 + W_2) = (R_1/R_2)^D$ ，求出 W_0 。
- 3、以相同的 D 值，代入 $(W_0 + W_1)/(W_0 + W_1 + W_2 + W_3) = (R_1/R_3)^D$ ，求出 W_0 。
- 4、比較(1)、(2)所求出的兩個 W_0 值，使得兩個 W_0 值近乎相等。此時的 D 即為精確的維數。

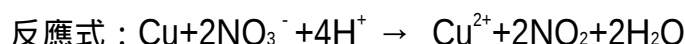
研究結果所得圖(十一)，皆為經本修訂方法修訂後之銅樹維數。

四、回收

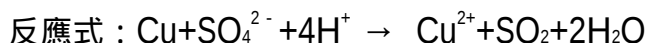
(五) 電鑄法：理論上可用電鑄法溶解回收析出的金屬樹，試驗結果顯示電鑄法速度緩慢且效果不彰。應是因為濾紙上銅樹結構較銅金屬晶體鬆散，其電阻較銅金屬大，導電性差，造成實行上的困難，耗費電能。

(六) 化學試劑：以濃硝酸、濃硫酸、王水及濃磷酸，優缺點比較如下

- 1.濃硝酸：(1).反應較快，立即反應完成，紙張碎裂成棉絮狀。
(2).產生紅棕色 NO_2 ，需在通風櫥進行實驗。



- 2.濃硫酸：(1)反應快，紙張被濃硫酸焦化，溶液成褐色，遮蔽銅離子的顏色。



- 3.王水：(1).反應較慢，需要數分鐘才完成。
(2).紙張不碎裂，銅離子定量較易。
- 4.濃磷酸：(1)紙張碎裂成綿絮狀。
(2)銅樹不溶解。

(三)王水反應濾紙不會碎裂，銅樹溶解生成顏色為橄欖綠的溶液，與氯化銅、硝酸銅、鹽酸三者混合水溶液相同，推測橄欖綠色是受到鹽酸影響所致。

玖、結論

本研究發現：

- 一、觀測氧化還原反應的實驗教材，只要溶液使用量 1 滴(約 0.05 毫升)，配合生活中常用的塑膠袋、面紙及 1mm^2 金屬片，在普通教室中，每個學習者各製一份作觀測，實驗資材減量又生活化。
- 二、除鋁之外，常見金屬鋅、錫、銅，可在等極距下測量電位差，比較電位差大小，作為辨別金屬活性大小之依據。
- 三、還原析出的金屬維數，因磁、電場而維數增加。但維數值必須經本研究所示之修正方法予以修正，提高精確度。
- 四、可用硝酸、硫酸、王水把銅樹溶解，回收再利用，仍可製得銅樹。

拾、參考資料

- 一、國立編譯館《高級中學物理》國立師範大學科學教育中心
- 二、張志三《漫談碎形》牛頓出版社
- 三、葛雷易克(James Gleick) 《混沌：不測風雲的背後》 天下文化出版
- 四、陸果 《基礎物理學第一部》 科技圖書