

金屬的氧化還原再探討

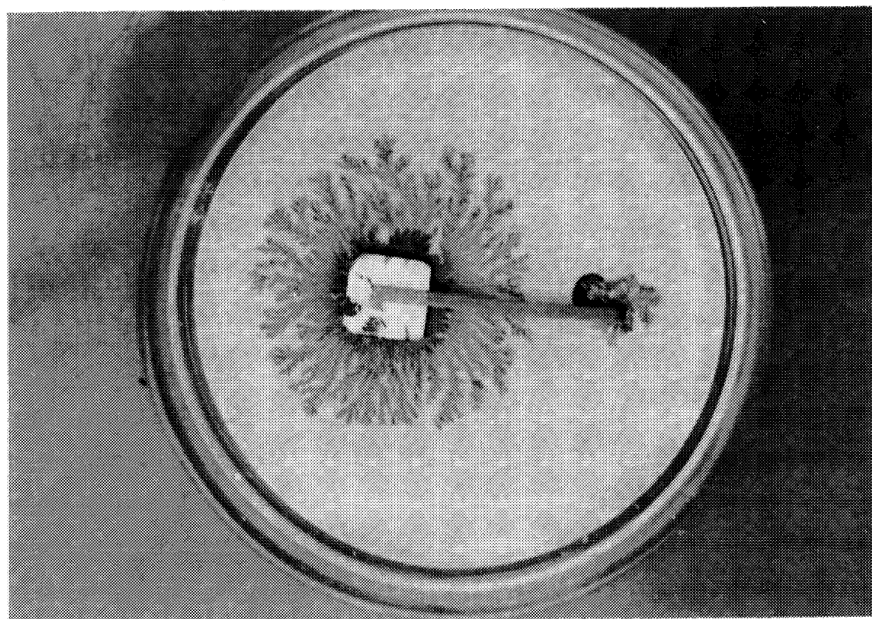
高中組化學科第三名

省立東石高級中學

作者：康峻誠、林振山

莊志源、楊奇限

指導教師：莊淑雀、陳政瑜



一、研究動機

觀玩濾紙上伸展的美麗金屬樹，令人疑惑為什麼它能仿若有生命般的生長？是反應物間的碰撞或電子傳遞？是否能用實驗方法找到證據？因此著手做連串的實驗研究來探討它。

二、文獻探討（略）

三、研究目的

- (一)設計實驗探討金屬樹向外伸展的原因。
- (二)設計兩項實驗，以驗證金屬樹的成因。

四、研究儀器及藥品

- (一)儀器：培養皿、濾紙、電源器、電解槽、電極（碳棒為正極，銅為負極）。
- (二)試藥：CuSO₄(1.0M)、ZnSO₄(1.0M)、CuCl₂(1.0M)、NH₄NO₃(1.0M)、

$\text{AgNO}_3(2.0\text{M})$ 、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2(0.6\text{M})$ 、 $\text{SnCl}_4(1.0\text{M})$ 、銅、銀、錫、鉛、鋅。

五、研究過程

(一)金屬樹向外伸展的原因探究實驗步驟：

1. 在培養皿中央滴上 20 滴硫酸銅溶液，再放上直徑 9cm 的濾紙，俟濾紙平貼於培養皿，再逐漸滴入 40 滴溶液使整張濾紙溼潤，而在濾紙與培養皿之間，儘量避免殘留氣泡，以免影響金屬樹的生長。
2. 將鋅粒鎚扁並磨亮，與長約 3.5cm 的裸銅線接合，一端用膠布固定，一端接觸濾紙，結構如上照片。
3. 放置 14 小時後，以蒸餾水洗滌濾紙，洗液倒入回收桶。
4. 洗淨後將濾紙置於衛生紙上晾乾，（若是銀樹，可在晾乾後浸亞甲基藍溶液），加護卡膠膜護卡，可作書籤長久保存。
5. 分別以 $\text{AgNO}_3(2.0\text{M})$ 接銀線， $\text{SnCl}_4(1.0\text{M})$ 接（銅或銀線）， $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2(0.6\text{M})$ 接（銅或銀線），重覆上述 1~4 步驟。

(二)設計兩項實驗，以驗證金屬樹的成因。

驗證 1：實驗步驟

- (1)在電解槽中央滴入數滴 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ ，再放上直徑 9cm 的濾紙，再滴上 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 使整張濾紙溼潤，在濾紙的一端接上濾紙條，濾紙條上接上負極，濾紙的另一端接正極，通以直流電 10V，連續 12 小時。
- (2)在濾紙中央放上磨亮的鋅片，要領如上述 1。
- (3)用衛生紙捲成條狀，沾溼後框在濾紙外圍，以塑膠片覆蓋上方，但不碰觸濾紙，這樣裝置主要是防止水分蒸發。
- (4)12 小時後，沖洗晾乾，再護貝。
- (5)分別以 $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{SnCl}_4(\text{aq})$ 、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2(\text{aq})$ 、代替 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 重覆(1)~(4)。

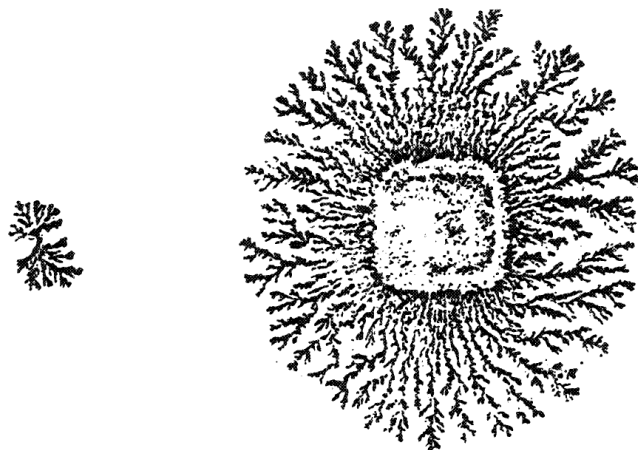
驗證 2：實驗步驟

- (1)重覆上述驗證 1 的實驗步驟(1)，通以直流電 20V，連續 2 小時。
- (2)在濾紙中央放置磨亮且已接有銀線的鋅片〔如上述(一)步驟 2 的要領〕，使銀線和濾紙接觸點在鋅和正極之間。
- (3)其餘步驟與上述驗證 1 的實驗(3)~(5)相同。
- (4)重覆(1)~(3)步驟，但銀線接觸濾紙的位置在鋅和負極間。

六、實驗結果

(一)金屬樹向外伸展的原因探究結果如下：

1. Zn 片（接銅線）+ $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 的結果。如下圖。



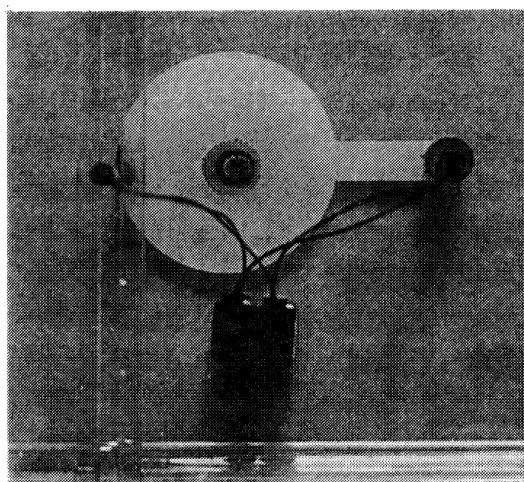
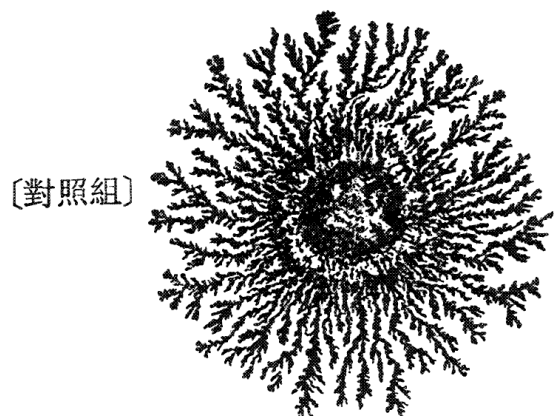
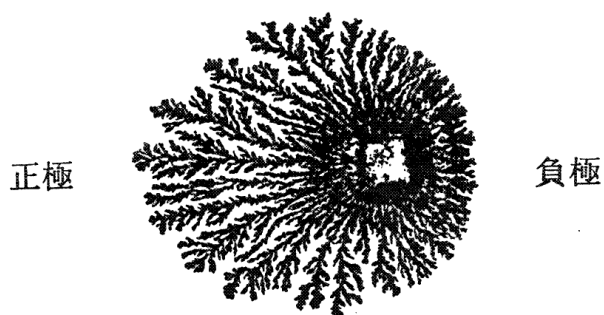
2. 以 Zn 片分別接上銅、銀導線，分別與含 AgNO_3 、 CuSO_4 、 SnCl_4 、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 的濾紙反應，所得結果均類似上圖，在導線另一端長出金屬樹。

（所得反應成品，省略）

(二)設計兩項實驗，以驗證金屬樹的成因。

驗證 1、反應裝置如右，濾紙兩端接直流電 10V

(1)Zn 片 + $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 接直流電反應結果如下：

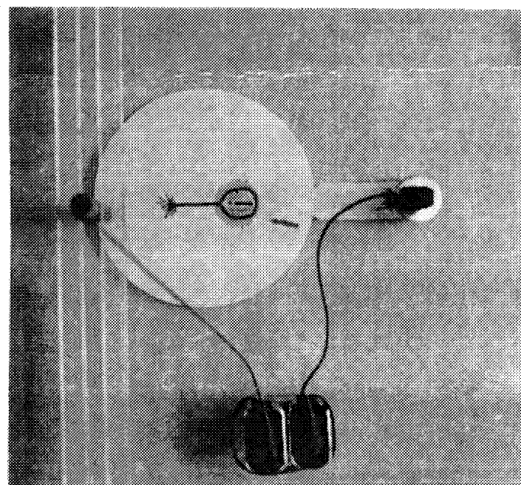
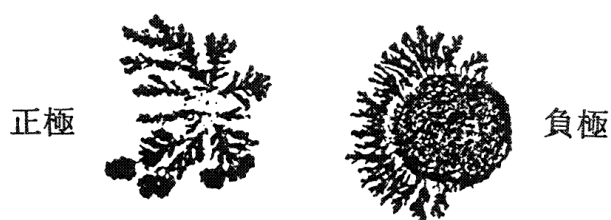


(2)將 Zn 片分別置於 AgNO_3 、 SnCl_4 、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 中，如同以上的裝置，發現所生長的金屬樹均偏向正極生長，（反應成品，省略）。

驗證 2

(1)在 Zn 片上接出銀導線，銀線接觸濾紙的位置在正極和 Zn 片之間。如下圖，兩端接直流電 20V。

↘ Zn 片（接銀線）+ CuSO_4 的反應結果



↘ 以 Zn 片（接銀線）與 AgNO_3 、 SnCl_4 、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 反應，裝置結果如上，反得結果與 ↘ 類似，均偏向正極，且在導線另一端大量長出金屬樹。

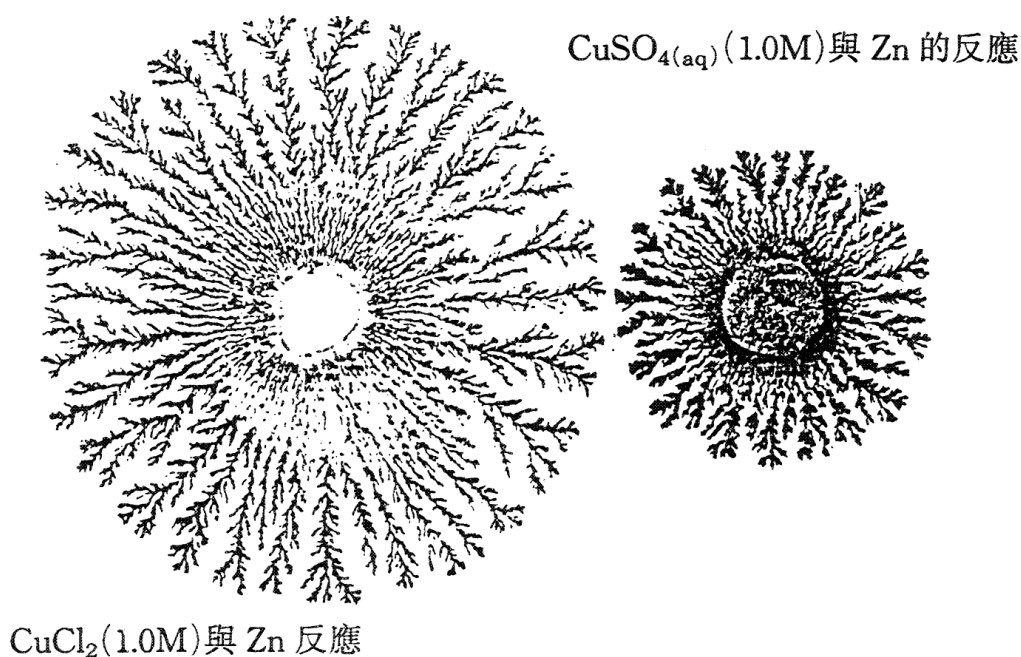
(2)裝置(1)中，將接上銀線的鋅片，轉 180° 放置，使銀線接觸濾紙位置在 Zn 片和負極之間。則反應結果如下表。

溶液種類	金屬片周圍	導線與濾紙接觸處
$\text{CuSO}_4(1.0\text{M})$	偏向“正”極伸展	沒有金屬析出
$\text{AgNO}_3(2.0\text{M})$	偏向“正”極伸展	沒有金屬析出
$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2(0.6\text{M})$	偏向“正”極伸展	沒有金屬析出
$\text{SnCl}_4(1.0\text{M})$	偏向“正”極伸展	沒有金屬析出

七、實驗討論

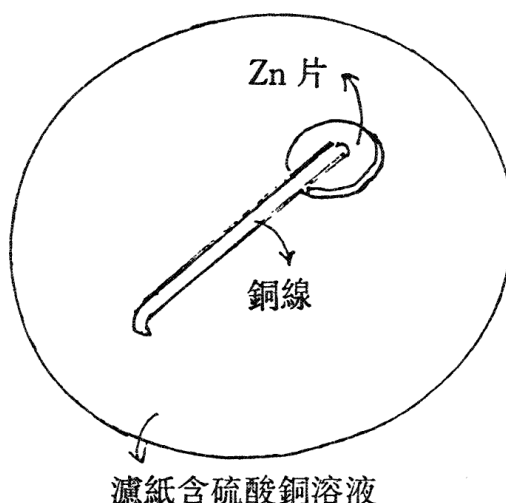
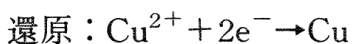
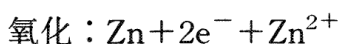
(一)由實驗結果獲知鋅片上的電子可以藉外加的 Cu 線或 (Ag、Sn、Pb 線) 傳遞到另一端在濾紙的接觸位置上析出金屬樹，所以說明了濾紙上伸展的金屬樹，是電子藉已析出的金屬作導體傳遞電子到末梢而還原金屬，堆疊出來的。

- (二)電解質溶液通以電流會導電；因此將金屬的氧化還原反應進行中通以電流，則電子流方向會和外加電路的電子流方向相同，由電源“—”極流出到陰極通過濾紙到陽極到電源“+”極，所以實驗驗證 1 結果與推論預期結果相同；金屬樹的析出有利於靠陽極這一邊，而且也有利於電子經外加導線送出在濾紙上更快析出金屬。反之，將外加導線轉 180 度，使接觸濾紙的位置落在負極和 Zn 片之間，則電子遞送遭遇阻力，而沒有金屬原子析出可視辨程度。也佐證了在濾紙上的氧化還原反應是藉電子傳遞，有別於氣相化學反應，因此溶液內的反應，尤其是金屬的氧化還原反應，碰撞並非必要的條件。
- (三)金屬導體中（如一段銅線），自由電子作無規則運動，如同盛於容器中的氣體分子。這些電子並無沿銅線內任一特定方向運動，若銅線兩端與電源連接，則線內各點均產生電場。此電場 E 作用於電子，使諸電子在一 E 方向有一合運動，就是電流 i 產生。以驗證實驗 1、2 所觀看到的現象也可以作一部分說明。
- (四)在實驗研究之初，發現(1) $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 可加速 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 與 Zn 的反應；(2)再以加 $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 作比較，發現 PH 值高低並不是影響反應速率的主因；(3)以 CuCl_2 與 Zn 反應，反應速率近似(1)的反應速率，析出之銅樹色澤相近；因此懷疑 Cl^- 有催化作用，加速 $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ 反應的作用，詳細影響有待探討。



(五)反覆端看左列反應結構；Zn 片輸出電子經導線送到另一端由 Cu^{2+} 接受，

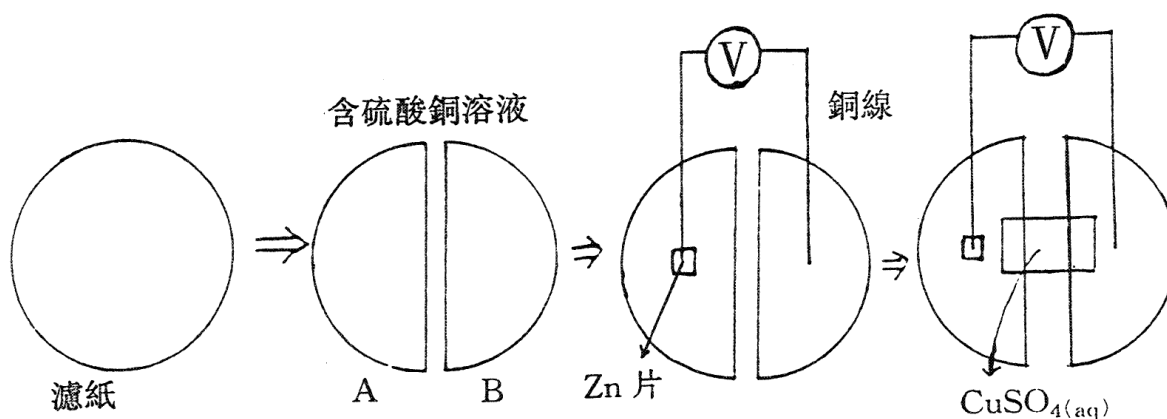
析出 Cu 反應式如下：



淨反應 $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$ ；正與一個電化電池的結構相似，反應結果相同，鹽橋是濾紙上所含溶液， ZnSO_4 或 CuSO_4 等；據此我們推想，在探討電化電池的電位差實驗，可以在濾紙上作微量觀測；懷著一份經思考、分析而獲致頓悟的喜悅心情，作如下驗證實驗，並測讀伏特計的讀數：

1. 取一張濾紙（直徑 5.5cm，其他規格均可，只是用愈大張的濾紙，實驗消耗的試藥愈多），分剪成兩等分 A、B。分別在 A、B 各滴入 13 滴的 $\text{CuSO}_4(\text{aq})$ 。
2. 在 A 濾紙上放一塊磨亮的鋅片作電極，用銅線作外電路，一端接觸濾紙上的鋅片，另一端接伏特計的“-”。
3. 取另一銅線，一端接濾紙，另一端接伏特計的“+”。

步驟和結構圖如下：



4. 剪一條長約 2cm、寬 3cm 的濾紙，滴入 5 滴 CuSO_4 溶液作鹽橋，放在 A、B 兩半張濾紙中間，並使 A、B 兩半張濾紙相距約 0.5cm，（太接近時，濾紙邊緣吸附的溶液會彼此互溶）。

5. 伏特計讀數：平均約 0.71 伏特。

(六) 電化電池的實驗，可藉由濾紙上少量溶液反應作觀測，例如： $\text{Zn} \mid \text{ZnSO}_4(1.0\text{M}) \parallel \text{CuSO}_4(1.0\text{M}) \mid \text{Cu}$ 電池，依照高中化學實驗手冊第二冊實驗十四的觀測讀得電位差平均約 0.90 伏特；以濾紙上作相同試驗，讀得電位差約 0.70 伏特；前後兩者差異是肇因於濾紙的內電阻較大，但是後者在實驗操作簡便，試藥用量少，（若以一組學生分組實驗用量，前後兩種實驗方法試藥用量莫耳數比約 1000：1）實驗經費節源等（較昂貴的試藥 AgNO_3 就有明顯的意義）方面具價值性，更重要的是減少實驗廢液的產生，就能儘量減低製造污染的機會，使環保教育的意識由事後的處理，進一步提昇為預防污染的發生。

(七) 電子的遞移，令人聯想到磁場與電場；電流周圍電磁學的概念知該有磁場產生，若外加磁場的存在，磁場間有磁力作用，是否影響金屬樹在濾紙上生長析出？製作一螺管線圈，確認為平行磁場，但長久投注心血，所得結果仍不敢確定，也弄不出個通則性而宣告暫停研究。

八、結論

1. 金屬的氧化還原析出金屬樹，在濾紙上反應的研究結果顯示：它是藉電子傳遞發生反應，因此我們認為，溶液中的化學反應，碰撞並非必要條件。也使我們領悟到：(1)科學的理論或學說大多數都具有一定的適用範圍。(2)科學領域中，須探求、待探知的空間很大。

2. 濾紙上金屬進行氧化還原的反應，外貌粗觀之似乎與一般所述電化電池的結構有一此相異，我們大膽的認為它實質上可以視為一電化電池。

3. 高中化學實驗手冊第二冊實驗十四；電化電池可以藉半量反應 (Semi-reaction) 改善實驗消耗的試藥，經費及減少廢棄液產量等效益。可參用如下兩種方法：

方法(1)：實驗步驟

(a) 取直徑 5.5cm 的濾紙剪成 A、B 兩等分，再將其中 A 再剪成 C、D 兩等分（即 C、D 為原濾紙的 $\frac{1}{4}$ 大小）；B 的部份剪下長、寬各 1cm、2cm 的濾紙條。

(b) 在 C、D 兩濾紙分別滴上 CuSO_4 和 ZnSO_4 各 8 滴放置在同一個培養皿中（相距約 0.3~0.5cm）。

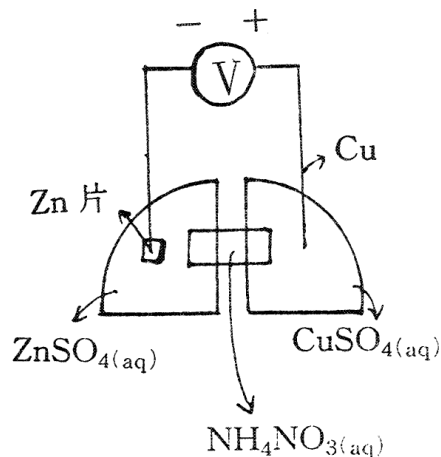
(c) 取一磨亮鋅片，放在含 ZnSO_4 溶液的濾紙上。

(d) 伏特計“+”“-”極各接銅線，另一端分別接觸 Zn 片和 C 部分含

CuSO_4 溶液的濾紙。

(f) 用鑷子夾(1)中剪好的濾紙條沾 NH_4NO_3 溶液置於 C、D 兩濾紙中間作鹽橋，讀出伏特計上的讀數、紀錄之。

反應結構簡圖如下：



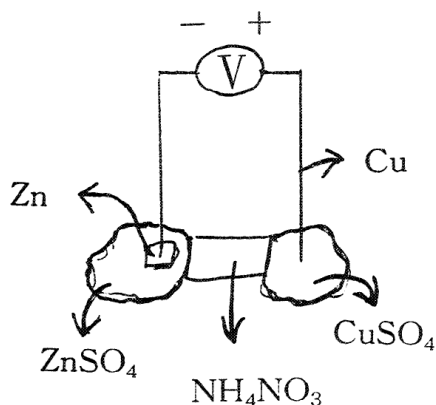
方法(2)：實驗步驟。

(v) 取一培養皿分別各滴 1~2 滴的 CuSO_4 和 ZnSO_4 相距 (0.5~1cm)。

(x) 取寬 0.5cm，長 0.5~1cm 的濾紙條，沾 NH_4NO_3 作鹽橋。

(r) 將面積約 0.5cm 的鋅片磨亮，置於 ZnSO_4 溶液中，以導線和伏特計接成通路，讀出伏特計讀數。

反應結構簡圖如下：



九、註 (略)

十、參考資料

1. 莊淑雀 科學教育月刊 145 期，P.38~46 80 年 國立師範大學科學教育中心發行。
2. 國立編譯館 高中化學第二冊 80 年 P5 及 P52~53。
3. 大學普通化學實驗 P15，民國 79 年 9 月，國立台灣大學化學系出版。

4. 田中三郎著，賴耿陽譯，「電化學實驗」，71年 P.45~39、P.124 復漢出版社。
5. 神戶德藏著，莊萬發譯，「無電解鍍金」，P.2~3 和 P.117~P.119，1989年 復漢出版社。
6. Halliday Resnick 著，曹培熙、駱劍秋譯 P.729~P.737 和 P.757~761，1986，曉園出版社。

評語

本實驗藉助在濾紙上金屬樹的成長，來闡明電子移轉的過程，實驗過程相當清楚，有相當不錯的改進，製作之成品亦相當優美。