

# 綠色法拉第-微型氣體蒐集裝置的設計與應用

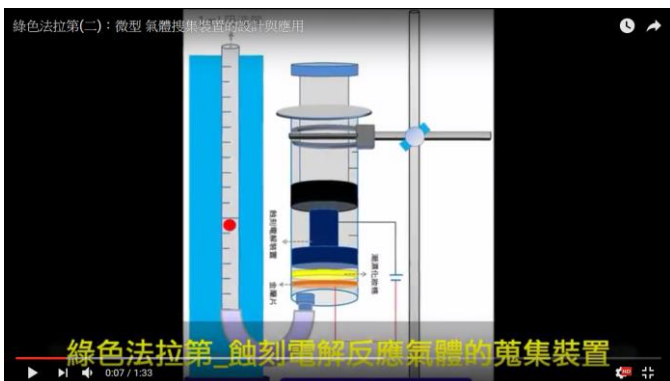
廖旭茂\*、廖心妍、林群曜

臺中市立大甲高級中等學校

\*[nacl880626@hotmail.com](mailto:nacl880626@hotmail.com)

## 影片觀賞

實驗影片「綠色法拉第(二): 微型氣體蒐集裝置的設計與應用」於 2016 年 10 月拍攝，由臺中市立大甲高級中等學校提供。



的重量  $W$  之間的線性關係，並求得法拉第常數  $F$ ，進而印證法拉第電解定律<sup>[3]</sup>；但電鍍層上的金屬晶體容易剝落加上烘乾不易，往往造成實驗結果與極可觀的誤差。本文嘗試藉由自行設計的微型氣體收集裝置，固定

電流強度  $I$  下，探討電解過程中氣體的體積變化  $\Delta V$  與通電時間  $t$  的關係，並推算法拉第常數。結果顯示，氣體體積變化量  $\Delta V$  與通電時間的相關係數達 0.999，兩者呈線性的正相關，所求出法拉第常數與理論值間的誤差約 +6.4%~-1.7%，亦相當準確。下圖為高中電鍍實驗中兩極的變化。

YouTube 影片網址：  
<https://youtu.be/X6K8FQkg8AY>

## 簡介

電鍍產品廣泛應用在日常生活中，大至汽車用的鍍鋅防銹鋼板、機車美觀用的鍍鉻飾條、雨傘鍍鎳的傘骨，小至五金業的螺絲、耳環，甚至半導體製程；但電鍍廢液也往往造成很嚴重的汙染問題<sup>[1],[2]</sup>。在高中的課本中，長久以來都是藉著電解電鍍的實驗，探討電流強度  $I$ 、通電時間  $t$  與電鍍金屬增加



格式化: 縮排: 第一行: 0 字元



圖 1 電鍍實驗中陰極電鍍層金屬剝落的

## 狀況

本實驗的微型氣體蒐集裝置，從生活的取材，僅使用數滴無毒的硫酸鈉溶液，電解時間更短、更節能，實驗所有的微量廢棄物，可利用鉛筆與一般的鑰匙，透過電解方法將化妝棉上微量的銅離子還原成銅，進行回收。

本實驗亦嘗試透過雷射切割機的輔助，超越手做極限，發揮現代 maker 的精神，將教具製作帶往更精準、更安全的方向。

## 藥品與器材

### 一、器材：

兒童塑膠積木、化妝棉、30mL 塑膠注射筒、1mL 塑膠吸量管、銅片、砂紙一張、長約 20 公分的紅與黑(或藍色)單芯線各一條、直流電源供應器、鐵架、塑膠 PP(瓦楞)板、熱熔膠與熱熔膠槍一組、80W 雷射切割機一台、5 mm 厚透明壓克力板。

### 二、藥品：

0.5 M 硫酸鈉(aq) 1 mL。

## 實驗步驟

以下介紹兩種微型氣體蒐集裝置製作，第一種是兒童積木版，第二種是雷射切割壓克力版。

### 一、微型氣體蒐集裝置製作一：兒童積木版

1. 首先取一支 30mL 塑膠針筒，拉出推桿備用。取兩片雪花狀塑膠積木片作為正、負極金屬片的載台；先將第一片積木片為負極載台(上方)，以熱熔膠將圓型金屬片黏著在一起，金屬片預計與一條黑色單芯導

線焊連在一起 (圖 2 出現的金屬片為 9V 電池外殼裁修而成，本實驗可直接用 0.5 mm 厚的銅片取代)。

2. 重複上述步驟，第二片積木片為正極載台(下方)，金屬片預計焊連一條紅色導線。
3. 分別在注射筒最前端及筒身側邊，以螺絲釘鑽出兩圓孔。紅色的單芯線從針頭前端的圓孔穿出，而黑色單芯線從針筒側邊預先鑽好的小圓孔穿出。把推桿壓回，即完成微型氣體蒐集裝置。圖 2 為微型氣體搜集裝置的裝置圖。

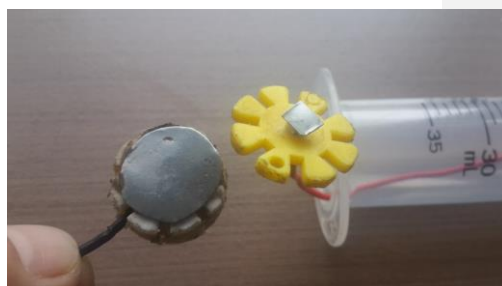
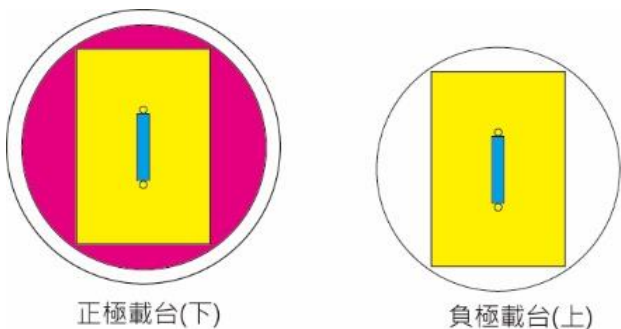


圖 2 圖左為正負極金屬載台裝置，圖右為針筒蒐集裝置圖

### 二、微型氣體蒐集裝置製作二：雷射切割壓克力版

——以游標尺測量 30 毫升注射筒的內

徑，並在 illustrator 軟體中繪製正負極金屬載台設計圖後，以壓克力



為材料，由雷射切割機輸出。下圖為正負極金屬載台設計圖。

圖 3 圖左為壓克力正極載台，圖右為壓克力負極載台

- 取長 20 公分長的單芯線，前端剝除約 5 公分長的塑膠外皮後，裸露電線尖端由兩極載台的背面的細孔穿入後，再由另一細孔穿出。長方形的雷雕區域即為金屬片黏貼處。取兩片尺寸為 10 mm×15 mm 的銅片，經水砂紙磨光後，以酒精沖洗，乾燥後以熱熔膠黏貼於壓克力載台上。下圖 4 為壓克力載台。

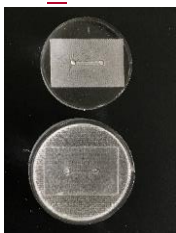


圖 4 穿線前後的壓克力載台及完成裝置圖

三、「電解產物氫氣體積的變化量可以用來印證法拉第電解定律嗎？」使用微型電解蝕刻氣體搜集裝置，在定壓、定電流強度 0.1 安培下，利用氣體體積變化量  $\Delta V$  與通電時間  $\Delta t$  的關係，並藉此推算出法拉第常數。相關氣體蒐集裝置的實驗步驟如下：

- 兒童積木版作法：取一直徑 2cm 的銅金屬片，置入 30mL 塑膠針筒內，用水砂紙磨光後，再以酒精擦拭，並放入烘箱烘 30 秒。將小銅片先放入針筒內，與第二片正極載台接觸，將一片大小與圓型金屬片相同的化妝棉，以兩滴硫酸鈉水溶液沾濕，與負極載台貼緊後，放入針筒內壓入推桿置定位後，以膠帶固定。
- 雷射切割壓克力版法：將一片大小與長方形金屬片相同的濾紙或化妝棉，以兩滴硫酸鈉水溶液沾濕，與

正極金屬載台貼緊，再將連接正極載台的紅色單芯線穿過注射筒前端的細孔，穿過細孔後由外拉緊單芯線，將正極載台拉至注射筒前端；接著將連接負極載台的藍色單芯線伸入針筒，電線尖端由側邊細孔穿出後，拉緊藍色單芯線，讓負極載台緩慢進入注射筒內，與原先的正極載台接觸，壓入推桿至定位後，讓正負極兩載台完成嵌合固定。詳細作法請參閱以下連結影片:綠色創客 2:微型氣體收集裝置，網址 <https://youtu.be/T9BsqL6hcV0>

3. 將針筒上電線穿過的孔補上熱熔膠，並在橡膠管的兩個連接處塗上凡士林，以防氣體洩漏。
4. 將連接針筒及塑膠吸量管的矽膠管裝滿水，並使水的高度超過吸量管的刻度，紀錄水面的位置  $V_1$ 。
5. 打開電源開關，固定電流強度為 0.1 安培，接著實驗開始，紀錄電解蝕刻時間分別為 10、15、20、25、30、35、40、50、60、80 秒時水面的位置  $V_2$ 。探討氣體體積的變化量  $\Delta V(V_2-V_1)$ ，與時間  $\Delta t$  的關係。並藉此印證法拉第電解定律。接著進行漏氣偵測，電解 80 秒完畢後，關掉電源，讀取水位高度，靜置 50 秒鐘後再讀取水位高度，計算漏氣率(mL/sec)為多少？相關氣體微型裝置如下圖 5 所示。

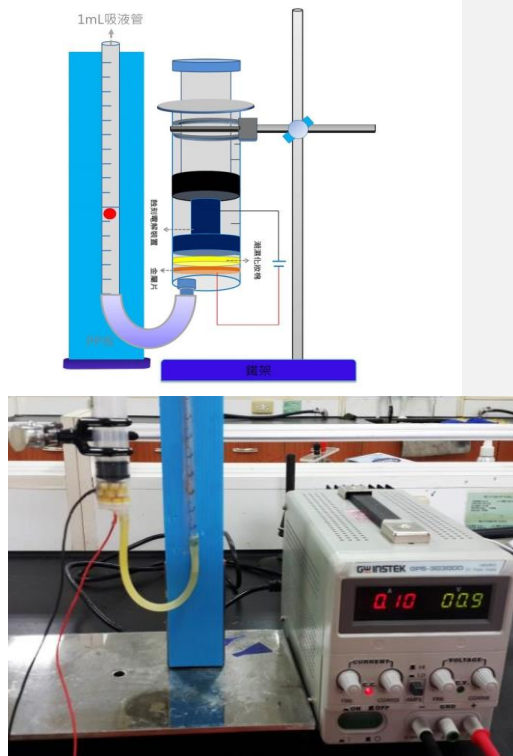


圖 5 圖左微型氣體裝置示意圖、圖右為實驗過程

### 實驗結果與討論

一、電解產物氫氣體積的變化量可以用來印證法拉第電解定律嗎？

利用微型電解蝕刻氣體搜集裝置，在定壓、定電流強度 0.1 安培下，探討氣體體積變化量  $\Delta V$  與通電時間  $\Delta t$  的關係。實驗結果顯示所得的實驗數據，與理論值相當接近，呈現相當小的誤差，約 6.4%~1.7%，大部分呈現正偏差值，而漏氣率不大，約 0.0001mL/sec。實驗數據結果如下表 1 所示：

表 1：氣體體積變化量  $\Delta V$  與通電時間  $\Delta t$  的關係

t(秒)	I(A)	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	△V	F	誤差%
10	0.1	0.795	0.665	0.130	94832	-1.7%
15	0.1	0.875	0.685	0.190	97629	1.2%
20	0.1	0.710	0.460	0.250	98595	2.2%
25	0.1	0.665	0.355	0.310	99712	3.3%
30	0.1	0.775	0.405	0.370	99917	3.6%
35	0.1	0.885	0.455	0.430	100632	4.3%
40	0.1	0.865	0.380	0.485	101620	5.3%
50	0.1	0.790	0.155	0.635	97055	0.6%
60	0.1	0.785	0.050	0.735	100591	4.3%
80	0.1	0.855	-0.105	0.960	102669	6.4%

格式化: 欄數: 1

至於△V 與是否與通電時間△t 成線性的正比關係？若以通電時間 t 為橫坐標，氫氣的生成量△V 為縱坐標作圖，經 EXCEL 數據處理探討，兩者的相關係數達 0.9989，其結果如下圖 6 所示：

銅離子與氫氧根產生難溶於水的氫氧化銅，阻礙離子、電荷的傳導。另外定電流下，電源供應器上電壓的逐漸上升，得知內阻不斷在上升，代表極化現象越明顯。

格式化: 章節起始處: 接續本頁, 欄數: 2

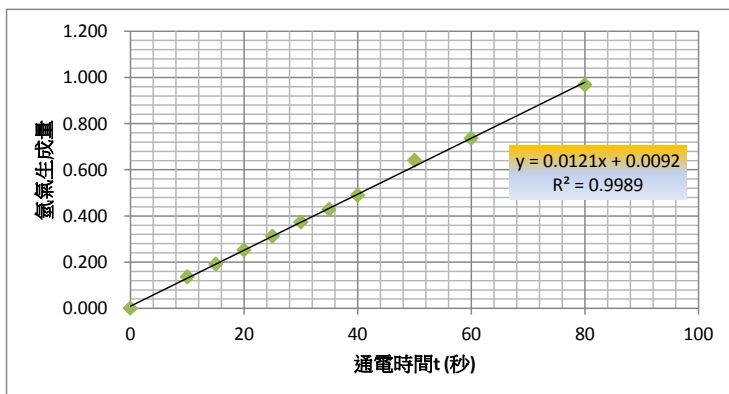


圖 6 定電流 0.1A 下，△V 與通電時間△t 的正比關係

## ■ 原理與概念

二、實驗所得的法拉第常數與理論值的偏差不大，但都是比理論值略高，而且電解的時間越長，有越大的趨勢，若由上式觀察，應該是△V 變小，合理的解釋有二，一是漏氣的發生，時間越長，漏氣越多；二是時間越長，水量越少，反應產生的

一、利用電解產物氫氣體積的生成量來印證法拉第電解定律是一件精細的工作，等於把電解蝕刻裝置微型化，搬進針筒裡頭進行反應；其中電解蝕刻載台分成正極與負極兩個，針筒中負極載台在最上層，依序是潮濕的化妝棉、最後是正極載台。通入定電流後，氣體由針頭處通過矽膠管，推動水柱上升。一定時間後，計算通電前後分度吸量管上水柱的高度差即為△V。根據當時氣溫、壓力，利用理想氣體方程式換算成氣體莫耳數，再與通入電量  $Q=I \times t$  相比較，求出法拉第常數。

相關計算式如下所示：

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$
$$n_{e^-} = \frac{I \times t}{F}, n_{H_2} = \frac{P \times \Delta V}{RT} \ominus \frac{n_{e^-}}{n_{H_2}} = \frac{2}{1}, \therefore F = \frac{I \times t \times R \times T}{2 \times P \times \Delta V}$$

### 安全注意及廢棄物處理

- 所有的經過電解法回收銅離子的化妝棉，請再沾取少量小蘇打粉後(殘餘離子可保持在鹼性的氫氧化物狀態，減少游離態銅)，依一般實驗室廢棄物回收。
- 本實驗過程會產生少許銅離子廢液，依實驗室廢棄物規定，統一回收處理。

### 參考資料

- 1.【年度調查報導】麟工廠的告白！頂番婆電鍍污染農地專題，參考上下游 News&Market 新聞市集。2017 年 8 月，取自 <https://www.newsmarket.com.tw/electroplating/>
2. 郝仁貽編著(民 79)。電池的科學(初版)。臺南市：復文出版社。
3. 葉明倉(民 105)。高中選修化學(上)。臺南市：南一出版社，頁 234~254。