

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：化學

作品名稱：金屬的盔甲

得獎獎項：大會獎第三名

候補作品:紐西蘭 2005 年科技展覽會

學 校：臺北市立民生國民中學

作 者：楊傑超、陳麒安

評語與建議事項：

利用簡單的槓桿原理自製微天平，可測量到 10^{-5} g 的重量，比較一般的分析天平的準度 10^{-4} g 更精準。作者利用自製微天平量測電解反應產生之金屬減少之重量，獲得之準確性很高。此篇作品的科學性雖普遍，但創意很高，具有應用的價值。

自我介紹



我的中文名字是楊傑超，出生於民國七十九年二月二十三日。目前就讀於台北市立民生國中數理資優班九年級。我從小就對數理方面興趣濃厚，國小三年級進入碧湖國小資優班後，在師長細心的教導下，在各項數學競賽、科展研究以及電腦的應用方面都獲得優異的成績表現。從國中開始，我一方面藉著廣泛閱讀加強實力，另一方面更積極參與各項數理競賽。七年級時我獲得台北市科展數學組佳作，美國 AMC 數學比賽八級滿分，並且通過全民英檢中級。八年級時獲得國中盃數學競賽佳作，美國 AMC 數學比賽十級特優獎，全國科展國中組化學類第一名。我希望在未來能充實自己在數理方面的知識，將自己的潛能和興趣結合，從事研究工作，發揮自己的專長。

自我介紹



我叫陳麒安，是個國三生，目前就讀台北市民生國中數理資優班。興趣是下圍棋、思考數學難題，這兩樣事情常讓我忘了時間的流逝。故而從國小到國中經常參與數學比賽，都有不錯的表現。如不久前參加九九文教基金會主辦的國中生數學競賽中榮獲台北地區個人賽一等獎。此外，國中階段在科學展覽比賽中亦有收穫；國一時榮獲台北市科展數學組佳作，國二時榮獲全國科展化學組第一名，過程中學習收集資料、設計實驗，邏輯思考、流暢表達，收穫超過一般課堂的學習，真是寶貴的經驗！希望這次國際科展也能有豐碩的收穫。

English Summary

Our aim to attend this science fair is to design an instrument that can plat and measure the mass at the same time. In hope of designing a simple, accurate and convenient apparatus, we created an electronic circuit to display our original idea. In the process of constant improvements, we finally accomplished a “Super Mass Plating Gauge”, which can be easily and widely utilized in school teaching. The production of microbalance and the arrangement of electric circuit are the most significant parts in our research. The major components of the “Super Mass Plating Gauge” include a straw, metal clips and our creativity—the well-arranged electric circuit. The idea of microbalance originated from the Internet, but we advanced it by numerous experiments. First, we attached a steel cord to one side of the cathode in the electricity supplier. Next, we fixed the other side to the negative plate. And then, on the end of the negative plate, we tied a metal clip with the metal that will be plated. Eventually a new “plating gauge” was invented. By doing so, we could use this instrument to make our experiments. Our experimental goal is to research how different kinds of metal, time, electrode and voltage can affect the reduced mass on the cathode. We made use of such metal as copper, zinc and silver to carry out the experiments. In the end, by analyzing the results, we concluded a plating formula that can be applied to metal plating.

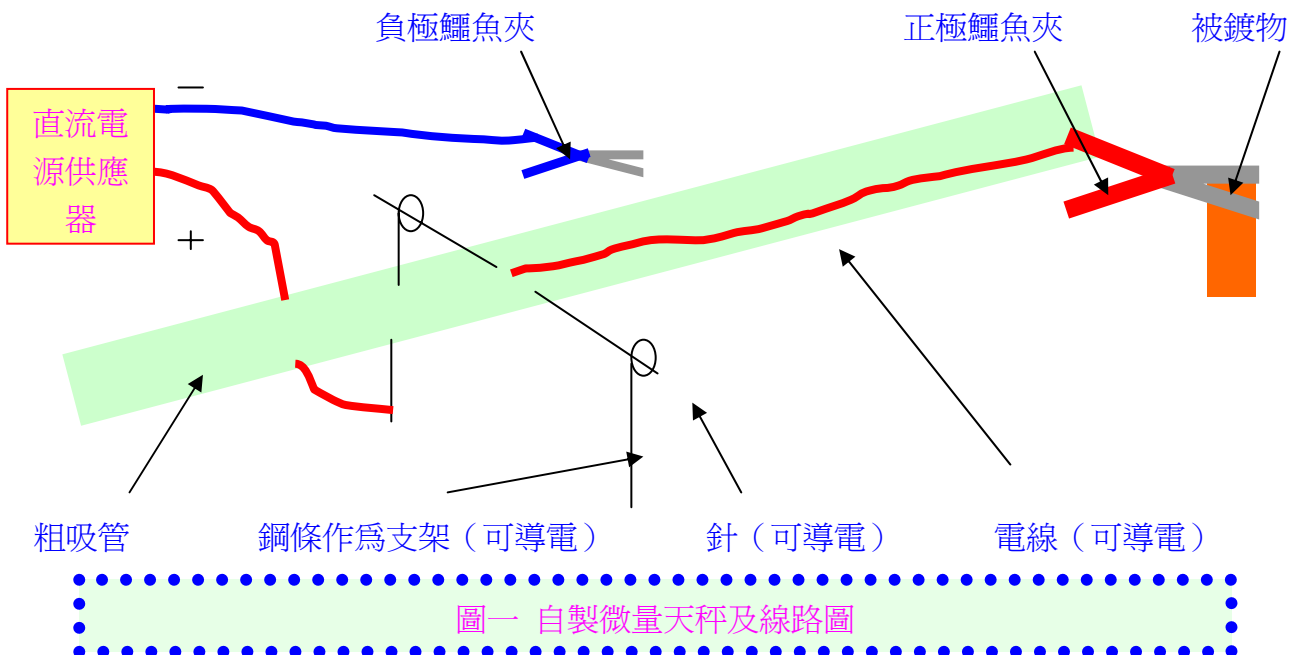
中文摘要

我們做此科展的目的，是要設計一個可以邊電鍍、邊測量質量的儀器，我們希望這個儀器是簡便、精確、且線路簡單，並且能推廣到教學的器材。經過我們不斷改良，終於完成了「便利質量電鍍器」。

其中製作微量天秤和線路的配置方法，是本研究的重要部分。微量天秤的主要結構是吸管、鱷魚夾、及線路。微量天秤的構想，是參考以前的科展作品並加以改良，可精準測量到0.00010g，而裡面的線路，則是我們的創意（如圖一）。只要把電源供應器的正極，接上左右任一鋼條，負極接到容器另一端，並加上一個鱷魚夾，夾上被鍍物，便是一個可邊電鍍，邊測量質量的儀器了！如此一來，我們就能以此儀器來作我們以下的實驗。

我們實驗目的在探討電鍍時不同金屬、不同時間、電極大小及電壓，對正極金屬片所減少質量的影響。

最後，我們推導出一個有關電鍍時正極金屬片質量變化量的實驗公式。為此，我們也要做許多次、許多種的實驗，來驗證我們的公式是否正確，並以我們所學的理论來推論。



一、前言

（一）研究動機

電鍍，是理化課本第三冊 13-6 的內容。我們之所以對這個有興趣，是因為我們上理化課時，談到有關於電解的過程。因為電鍍和電解有關，所以老師也有提到電鍍。

我們想深入了解電鍍的方法，於是我們努力去追問，終於初步的了解了電鍍的原理。剛好，這一屆的科展就要起跑了！我們可以利用這個絕佳的機會，來做電鍍的實驗並解開我們心中的疑問。

（二）研究目的

- 一、利用簡易的材料，設計出微量天秤及電鍍的電路儀器（主要的創意）
- 二、探討電鍍的時間與正極銅片減少的質量之關係
- 三、探討電鍍的時間與正極鋅片減少的質量之關係
- 四、探討電鍍的時間與正極銀片減少的質量之關係
- 五、探討電鍍中兩端銅片的表面積大小與正極銅片減少的質量之關係
- 六、探討電鍍中電壓與正極銅片減少的質量之關係
- 七、整理並推導公式



圖二 鋼條設計圖及老虎鉗

二、研究方法或過程

(一) 研究設備及器材

【器材】

- | | |
|------------------------------|---------------|
| 一、銅片、鋅片、銀片 | 八、吸管 |
| 二、硫酸銅溶液 (CuSO ₄) | 九、針 |
| 硫酸鋅溶液 (ZnSO ₄) | 十、鋼條 |
| 硝酸銀溶液 (AgNO ₃) | 十一、木板 |
| 三、電池 (四號電池) | 十二、方格紙 (3 mm) |
| 四、電線 | 十三、壓克力板 |
| 五、鱷魚夾 | 十四、開關 |
| 六、塑膠盆、杯 | 十五、電池盒 |
| 七、直流電源供應器 | 十六、安培計 |

【工具】

- | | |
|-------|------------------|
| 一、剪刀 | 七、鋸子 |
| 二、尖嘴鉗 | 八、線鋸 |
| 三、斜口鉗 | 九、電子天秤 (600.00g) |
| 四、老虎鉗 | 十、碼表 |
| 五、熱熔槍 | 十一、實驗用手套 |
| 六、手搖鑽 | 十二、數位相機 |
| | 十三、砂紙 |



圖三 鋸子

(二) 研究過程或方法

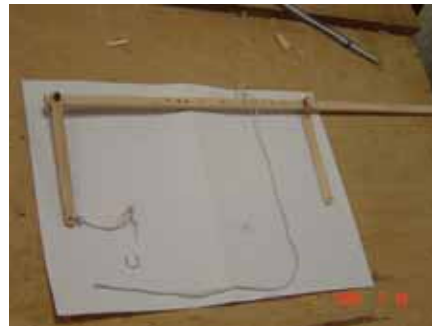
1、設計儀器

爲了做實驗，我們必須先設計出好的儀器。所以我們要設計出可以邊電鍍、邊測量微小質量變化的儀器。爲了測量微小質量，我們先設計出微量天秤，再設計裝硫酸銅的容器。最後，取兩個之中最好的，並想辦法合二爲一，再接上電路和開關，以便電鍍。

(1) 微量天秤

自製第一代微量天秤

在一支木頭上，等距離鑽洞後用棉線吊住並且畫上刻度，利用金屬的鉤子吊住物品並移動騎碼至平衡，而騎碼的位置所對的刻度就是質量（如圖四）【精確值可到 1.0 公克，但我們並不滿意】



圖四 自製第一代微量天秤

自製第二代微量天秤

在自製第一代微量天秤綁物體的另一端加上木片做爲定值再增加其刻度【精確值可到 0.10 公克，但還是無法測量到微量的變化】

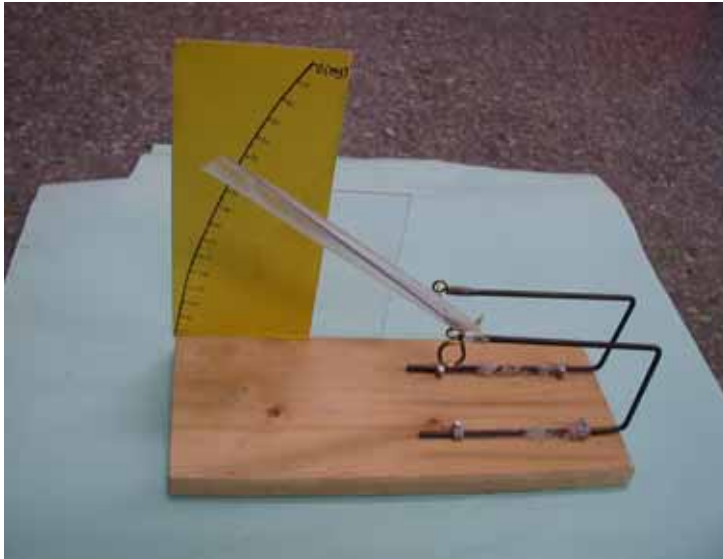
自製第三代微量天秤

將粗吸管一端剪成湯匙狀〔像思樂冰的吸管〕放置在利用鋼條做的架子，將架子黏在木板上，並畫上以吸管的角變化作為測量的刻度。這個用吸管來測量的方法是從以前科展中得來的靈感。而且可測量極微量的物品。圖五（P.8）是自製第三代微量天秤，為了不讓它受到風的影響而晃動，我們使用養魚的水族箱，倒過來。在底部挖一個洞，以便放置測量物。本儀器可精確到 0.00010 公克，即 0.10 毫克。比起學校的電子秤更靈敏。製作刻度方法：將十大張方格紙，有 100000 小格，用電子天平秤質量，為 10.00 公克，相除得一格方格紙為 0.00010 公克，也就是 0.10 毫克。我們將微量天秤放上四張，約移動 1cm，劃分成四格，每格刻度為 0.10 毫克。

製作過程：

步驟	照片	說明
一		<p>微量天秤吸管部分</p> <p>首先，將一粗吸管一側剪成湯匙狀來放置物品，在中間插入一針，最後在末尾加上重物使其平衡。調整到適當位置，就完成了！</p>

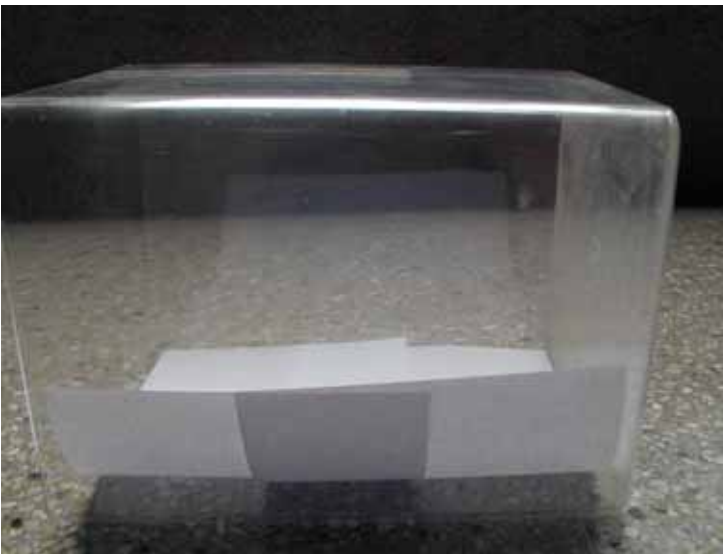
二



鋼條部分

只要將直的鋼條，使用老虎鉗（P.4 圖二）彎曲成如圖的U狀，再將微量天秤吸管放上去，即可測量微量。

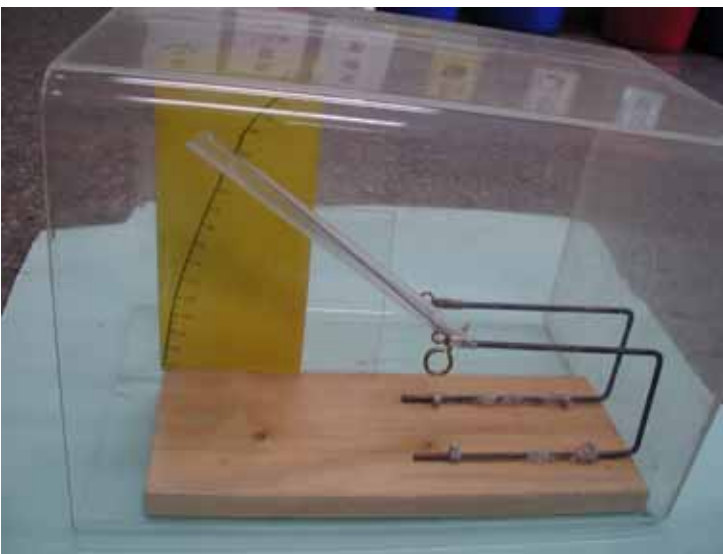
三



壓克力盒

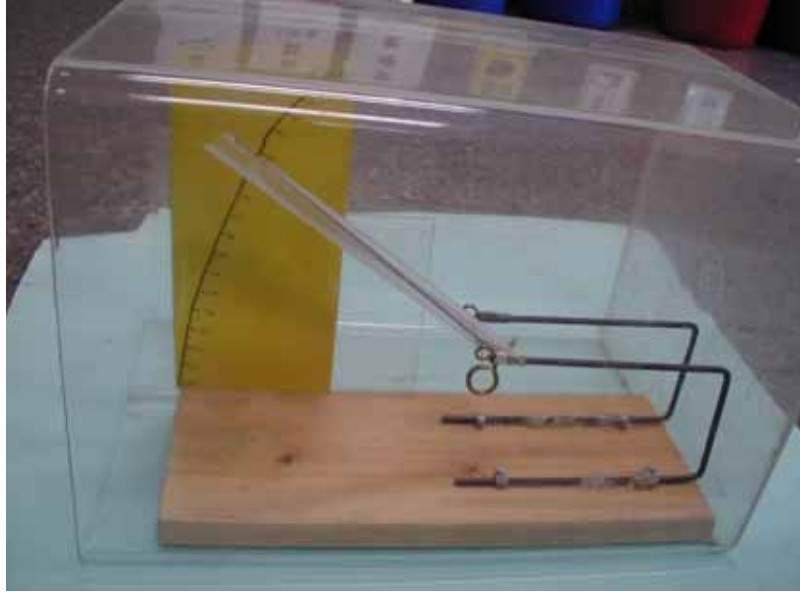
使用養魚的水族箱，倒過來。在底部挖一個洞，以便放置測量物。

四



完成

將以上三部份組合，以方格紙作為砝碼。用厚紙板畫出刻度並固定在木板上。自製第三代微量天秤



圖五 自製第三代微量天秤

本儀器可精確到 0.00010 公克，即 **0.10 毫克**。

以往進行電鍍時，欲測量質量，必須等待電鍍完成，曬乾銅片，才可測量質量，這樣非常浪費時間。我們必須做出，邊鍍邊測的儀器。

(2) 裝硫酸銅的容器

自製裝硫酸銅的容器第一代

直接以塑膠杯盛裝，容易傾倒，造成危險，且污染教室。

實驗時固定 CuSO_4 溶液的體積莫耳濃度：1.0M



圖六 自製裝硫酸銅的
容器第一代

自製裝硫酸銅的容器第二代

使用壓克力盒裁切成 V 字形，以便電鍍。

電池則貼於上端。

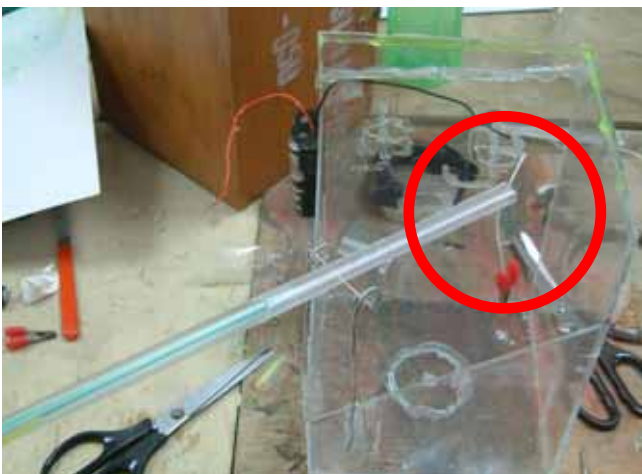


圖七 自製裝硫酸銅的
容器第二代

(3) 電鍍微量天秤：

自製電鍍微量天秤第一代（失敗品）

將自製裝硫酸銅的容器第二代裝上鋼條〔支架〕並放置吸管，把正極鱷魚夾穿過吸管，測量減少質量（如圖八）。結果發現失敗的原因，是電線會卡到壓克力盒，造成測量不精確。（如下圖紅圈處所示）



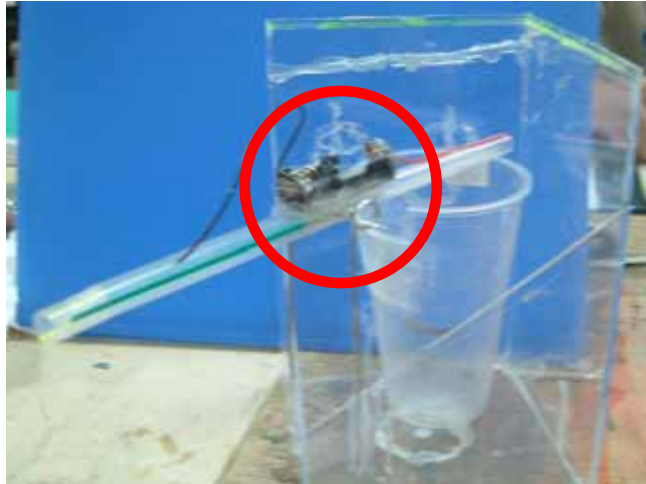
圖八 自製電鍍微量天秤一代（失敗品）

說明：

由於電線會碰撞到壓克力盒，於是微量天秤就無法測得微量。除此之外，還會造成短路及漏電的危險。

自製電鍍微量天秤第二代（失敗品）

將電池盒置於吸管上，電線就不會纏住，但仍不盡理想。分析結果，失敗的原因是因爲電池置於中間，所以還是無法成爲微量天秤。（如下圖紅圈處所示）（如圖九）



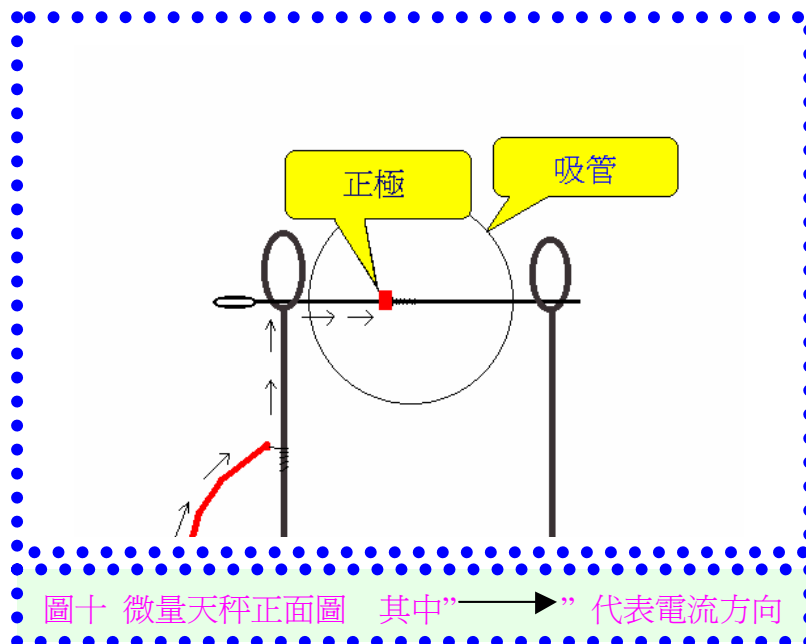
說明：

由於電池置於吸管中央，造成吸管不易平衡，因此無法測得微量。除此之外，也有和自製電鍍微量天秤第一代相同的危險，很容易因此觸電。

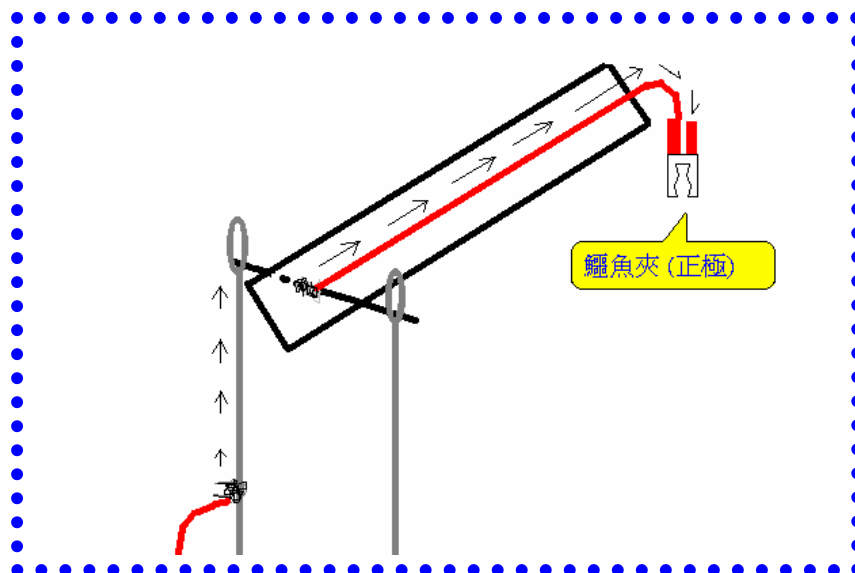
圖九 自製電鍍微量天秤二代（失敗品）

電鍍微量天秤第三代（完成品）

我們測試電表時突然發現鋼條和針可導電，因而突發奇想，於是做了下列設計：

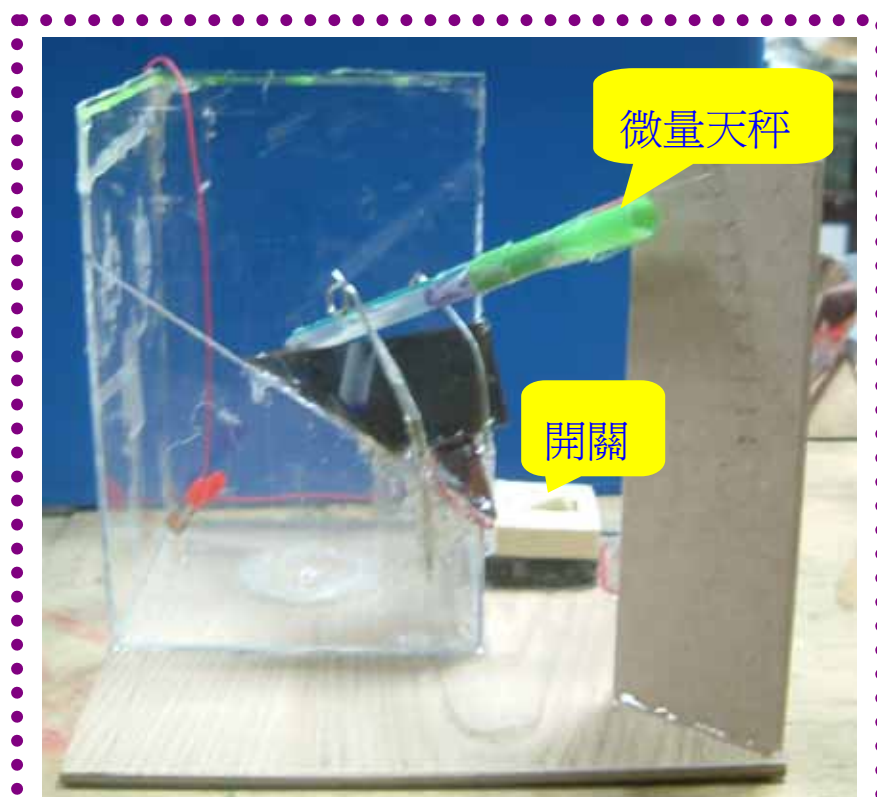


圖十 微量天秤正面圖 其中“→”代表電流方向



圖十一 微量天秤側面圖 其中“→”代表電流方向

再加上一個開關，便成爲一個好的儀器了！可以邊鍍邊測質量，是一個非常方便的儀器，我們將其取名爲「便利質量電鍍器」（如圖十二）！



圖十二 便利質量電鍍器

精準思考浮力所造成的影響

思考金屬片所受浮力的因素探討：

(一) 將正極金屬減少質量除以密度 ($d_{Cu}=8.9 \text{ g/cm}^3$ $d_{Zn}=7.0 \text{ g/cm}^3$ $d_{Ag}=10.5 \text{ g/cm}^3$)，

得體積變化量。

(二) 浮力的變化量 = 液下體積變化量 \times 溶液密度

(三) 實際減輕的質量 = 減少質量的實驗值 (在液體中測得的數據) + 浮力的變化量

其中硫酸銅的密度(如圖十三)所示，結果溶液體積為 500ml，質量為質量 501.46g，

所以密度為 1.003 g/cm^3

因 500g 的硫酸銅水溶液質量為 501.46g

因此硫酸銅水溶液的密度為 $501.46/500$

也就是 1.003 g

推導浮力公式的過程：

未校正浮力前的質量+ 浮力的大小 = 校正浮力後的質量

浮力的大小= 物體在液面下的體積 \times 液體密度 = 實際固體質量 / 固體密度 \times 液體密度

校正浮力後的質量 = 未校正浮力前的質量 + (校正浮力後的質量 \times 液體密度) / 金屬密度

浮力校正法：未校正浮力前的質量 / [1 - (液體密度 / 金屬密度)] = 校正浮力後的質量



三、研究結果與討論

(一) 研究一

探討電鍍的時間與正極銅片減少的質量之關係：

首先，我們要設計一個實驗，來研究電鍍的時間與正極銅片減少的質量之關係，填寫表格，並且畫出關係圖。

控制變因： 硫酸銅水溶液濃度(1.0M)、銅片大小 (2.0cm×2.00cm)、電壓 6.0V、
兩極距離 (13.00cm)。

操縱變因： 電鍍的時間 10.0 秒、20.0 秒、30.0 秒、...、90.0 秒。

安培計讀數：平均 0.185 (A) (以四十秒實驗時測量電流)

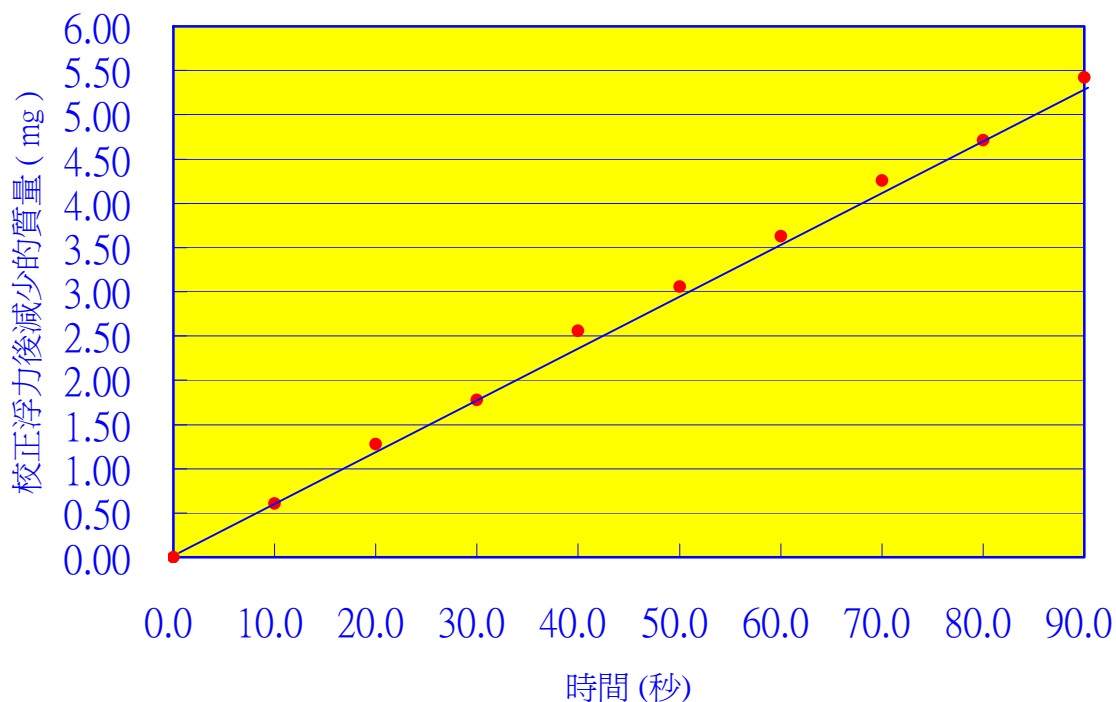
電鍍的時間與正極銅片減少質量之關係 (四捨五入至小數第二位)：

時間 (秒)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
第一次實驗 (mg)	0.50	1.20	1.60	2.30	2.80	3.30	3.90	4.24	4.88
第二次實驗 (mg)	0.56	1.15	1.65	2.20	2.70	3.30	3.90	4.33	4.85
第三次實驗 (mg)	0.60	1.10	1.55	2.40	2.76	3.20	3.70	4.12	4.88
平均減少質量 (mg)	0.55	1.15	1.60	2.30	2.75	3.27	3.83	4.23	4.87
校正浮力後減少質量(mg)	0.61	1.28	1.78	2.56	3.06	3.63	4.26	4.71	5.42

表一 電鍍時間與正極銅片減少質量之關係

(使用 p13 浮力校正法，來校正實驗測得減少質量)

電鍍的時間與正極銅片減少質量之關係圖：



圖十四 時間與正極銅片所減少的質量之關係圖

說明：

由上表中可以明顯看出，正極銅片所減少的質量與電鍍的時間呈正比。

(此實驗誤差值極小，相關係數約為 0.996， 為高度正相關)

40 秒誤差較大 30 秒誤差較小 令電鍍時正極金屬每秒平均減少質量= $r(\text{金屬})$

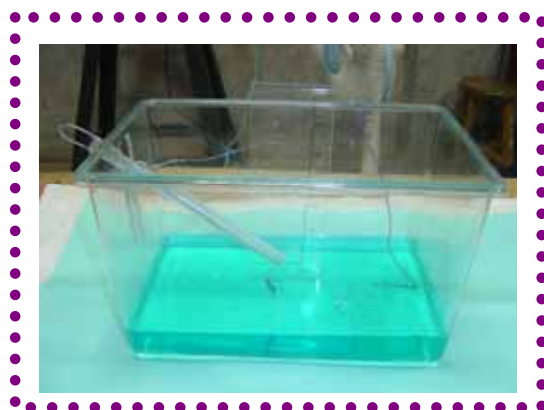
x_n 為第 n 個數據 ; $r(\text{Cu}) = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_9) / (10 + 20 + \dots + 90) = 0.0606$

$30r = 1.818$; $(1.818 - 1.78) / 1.818 \times 100\% = 2\%$

$40r = 2.424$; $(2.56 - 2.424) / 2.424 \times 100\% = 5.6\%$

平均誤差約為 3.8%

圖十五 鍍銅過程
鍍銅使用硫酸銅水溶液 CuSO_4 ，呈藍色。



(二) 研究二

探討電鍍的時間與正極鋅片減少的質量之關係：

首先，我們要設計一個實驗，來研究電鍍的時間與正極鋅片減少的質量之關係，填寫實驗數據，並且畫出關係圖。

控制變因： 硫酸鋅水溶液濃度(1.0M)、鋅片大小 (2.00cm×2.00cm)、電壓 6.0V、
兩極距離 (13.00cm)

操縱變因： 電鍍的時間 10.0 秒、20.0 秒、30.0 秒、...、90.0 秒。

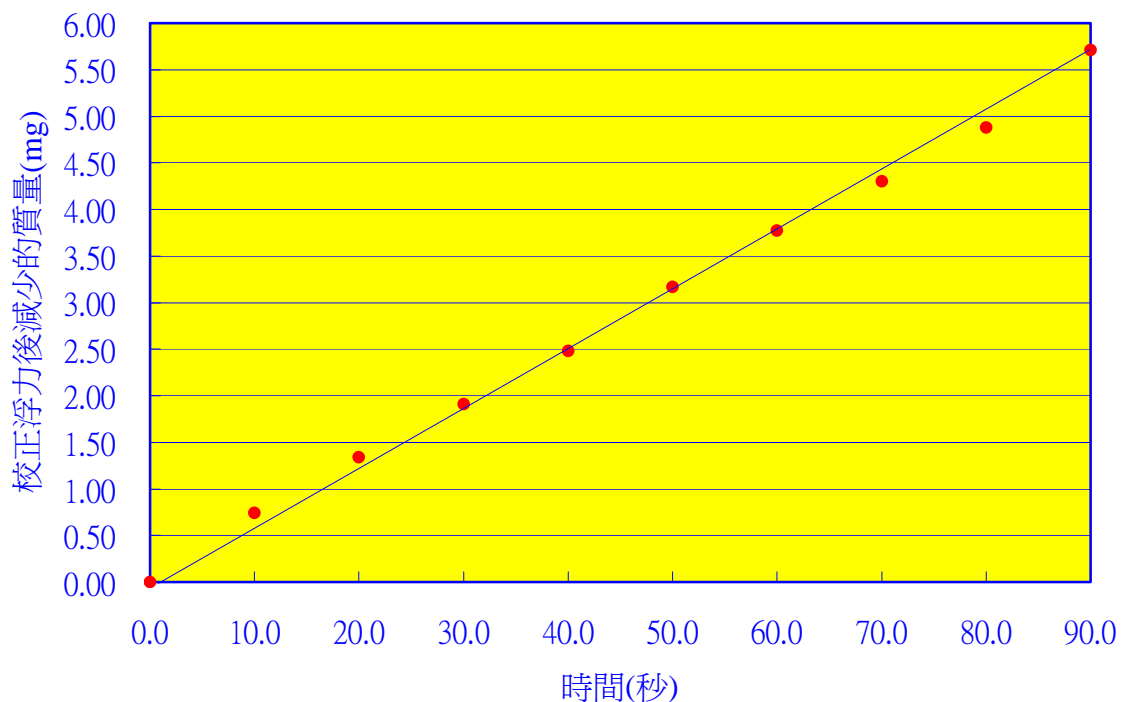
安培計讀數：平均 0.170 (A) (以四十秒實驗時測量電流)

電鍍時間與正極鋅片減少質量之關係實驗數據：

時間 (秒)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
第一次實驗 (mg)	0.60	1.20	1.70	2.20	2.50	3.20	3.70	4.10	5.20
第二次實驗 (mg)	0.70	1.30	1.60	2.20	3.00	3.60	3.90	4.40	5.10
第三次實驗 (mg)	0.65	1.00	1.70	2.10	2.80	3.10	3.70	4.30	5.00
平均減少質量 (mg)	0.65	1.17	1.67	2.17	2.77	3.30	3.77	4.27	5.00
校正浮力後減少質量(mg)	0.74	1.34	1.91	2.48	3.17	3.77	4.30	4.88	5.71

表二 電鍍時間與正極鋅片減少質量之關係實驗數據

電鍍的時間與正極鋅片減少質量之關係圖：



圖十六 電鍍的時間與正極鋅片減少的質量之關係圖

說明：

由上表可知，正極鋅片所減少的質量與時間呈正比

(此實驗相關係數高，0.9997，高度正相關)

相對誤差以 40 秒為例

$$r(\text{Zn}) = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_9) / 10 + 20 + \dots + 90 = 0.0628 \quad r = 0.0628$$

$$40r = 2.512; (2.512 - 2.48) / 2.512 \times 100\% = 1\%$$

平均誤差約為 1%

圖十七 鍍鋅過程

鍍鋅使用硫酸鋅水溶液 ZnSO_4 ，呈無色。



(三) 研究三

探討電鍍的時間與正極銀片減少的質量之關係：

首先，我們要設計一個實驗，來研究電鍍的時間與正極銀片減少的質量之關係，填寫數據，並且畫出關係圖。

控制變因：硝酸銀水溶液濃度(1.0M)、銀片大小(2.00cm×2.00cm)、電壓 6.0V、
兩極距離(13.00cm)

操縱變因：電鍍的時間 10.0 秒、20.0 秒、30.0 秒、...、90.0 秒。

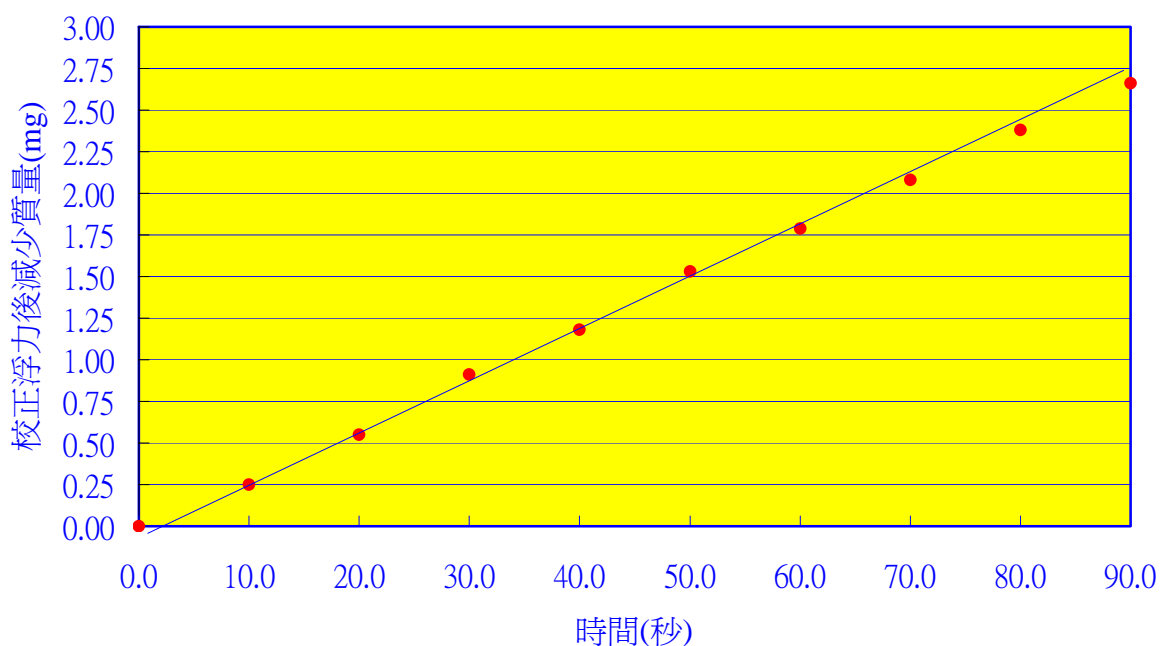
安培計讀數：平均 0.025 (A) (以四十秒實驗時測量電流)

電鍍的時間與正極銀片減少質量之關係：

時間(秒)	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
第一次實驗 (mg)	0.20	0.50	0.85	1.00	1.30	1.70	2.00	2.20	2.50
第二次實驗 (mg)	0.20	0.40	0.90	1.10	1.40	1.60	1.90	2.10	2.30
第三次實驗 (mg)	0.30	0.60	0.75	1.15	1.50	1.60	1.80	2.20	2.50
平均減少質量 (mg)	0.23	0.50	0.83	1.08	1.40	1.63	1.90	2.17	2.43
校正浮力後減少質量(mg)	0.25	0.55	0.91	1.18	1.53	1.79	2.08	2.38	2.66

表三 電鍍時間與正極銀片減少質量之關係實驗數據

電鍍的時間與正極銀片減少質量之關係圖：



圖十八 電鍍的時間與正極銀片減少質量之關係圖

說明：

由上表中可以明顯看出，正極銀片所減少的質量與電鍍的時間呈正比。(此實驗誤差值極小，相關係數約為 0.996，為高度正相關)

相對誤差以 40 秒為例

$$r=0.03 \quad r(\text{Ag}) = (x_1+x_2+x_3+\dots+x_9) / 10+20+\dots+90=0.03$$

$$40r=1.2; \quad (1.2-1.18) / 1.2 \times 100\% = 1.6\%$$

平均誤差約為 1.6%

圖十九 鍍銀過程
 鍍銀使用硝酸銀水溶液 AgNO_3 ，呈混濁。



(四) 研究四

探討電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之關係：

爲了探討電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之關係，我們設計了下列實驗。

控制變因：時間（2.00 分鐘）、硫酸銅水溶液濃度（1.0M）、電壓大小 12.0V、

兩極距離（13.00cm）

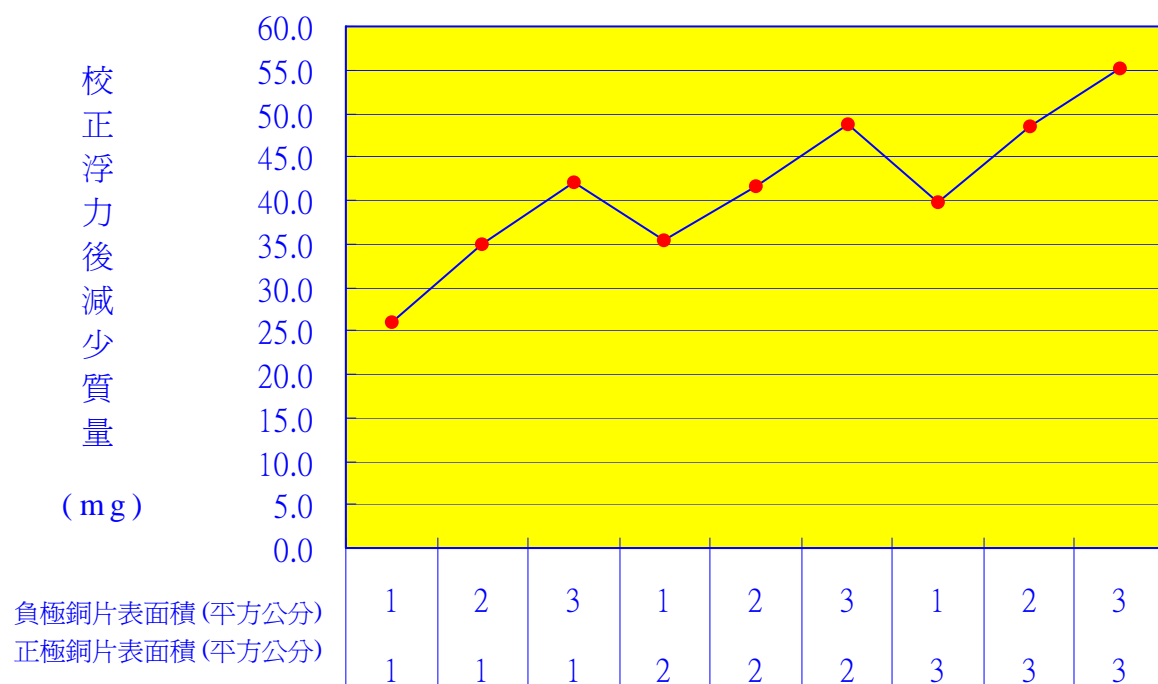
操縱變因：正負極銅片大小.....

電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之關係實驗表：

正極銅片表面積(cm^2)	1	1	1	2	2	2	3	3	3
負極銅片表面積(cm^2)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
第一次實驗 (mg)	23	30	36	28	38	44	38	44	50
第一次實驗 (mg)	21	31	37	32	34	46	35	42	48
第一次實驗 (mg)	25	32	39	34	39	40	33	43	49
平均減少質量 (mg)	23	31	37.3	31.3	37	43.3	35.3	43	49
校正浮力後減少質量(mg)	25.9	34.9	42.1	35.3	41.7	48.8	39.8	48.5	55.2

表四 電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之實驗數據

電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之關係圖：



圖二十 電鍍中兩端銅片的表面積與正極銅片減少的質量之關係圖

說明：

理論上，鍍銅時的接觸面積，雖然會影響正極銅片減少的質量，但是因為實驗時使用表面積極小的銅片，所以影響小到可以忽略。

(此實驗結論為無相關，故不討論相關係數)

(五) 研究五

探討電鍍時的電壓與正極銅片減少的質量之關係：

爲了探討電鍍時的電壓與正極銅片減少的質量之關係，我們使用可調式整流變壓器，來改變實驗時所需的電壓。

控制變因：時間（2.00 分鐘）、硫酸銅水溶液濃度（1.0M）、銅片大小、電阻、

兩極距離（13.00cm）

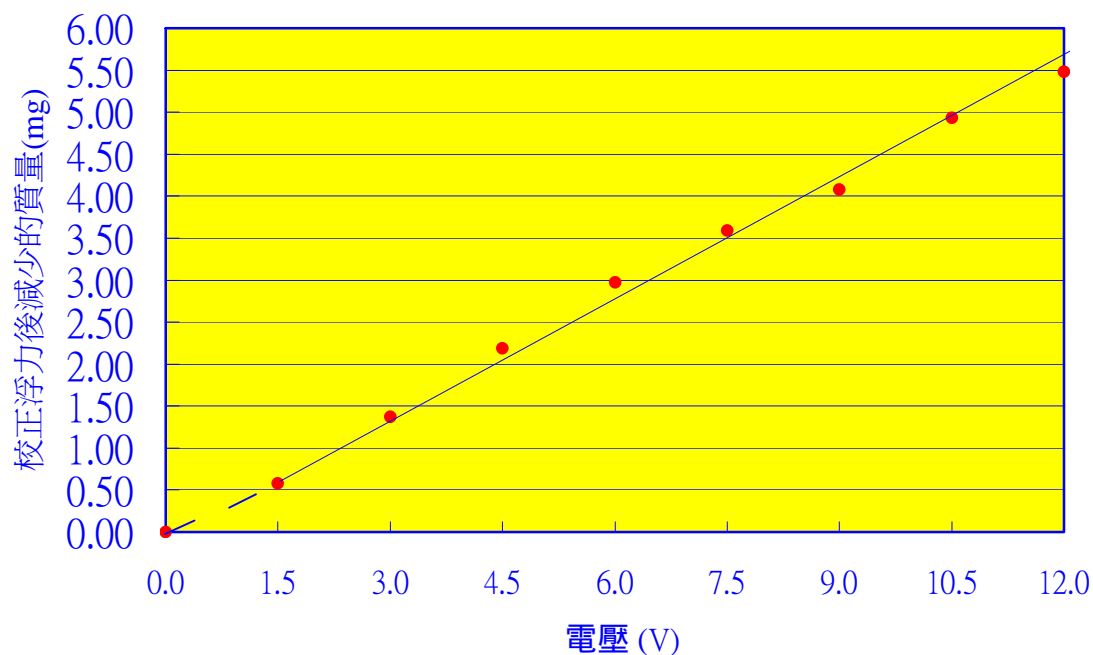
操縱變因：電池電壓 1.5V、3.0V、4.5V、6.0V、7.5 V、9.0 V、10.5 V、12.0 V

電鍍時電壓與正極銅片減少的質量之關係實驗表：

電壓 (V)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0
第一次實驗 (mg)	0.50	1.30	2.00	2.50	3.20	3.60	4.50	5.00
第二次實驗 (mg)	0.50	1.30	1.90	2.80	3.40	3.70	4.40	5.00
第三次實驗 (mg)	0.60	1.10	2.00	2.70	3.10	3.70	4.40	4.80
平均減少質量 (mg)	0.53	1.23	1.97	2.67	3.23	3.67	4.43	4.93
校正浮力後減少質量(mg)	0.58	1.37	2.19	2.97	3.59	4.08	4.93	5.48

表五 電鍍中電壓與正極銅片減少的質量之實驗數據

電壓與正極銅片減少質量之關係折線圖：



圖二十一 電壓對正極銅片所減少之質量的關係圖

說明：

由上表中可以明顯看出，正極銅片所減少的質量與電壓呈正比。

電壓 = 電流 × 電阻，而我們在實驗中固定電阻，所以正極銅片所減少的質量也與電流呈正比。不過從 6.0 伏特到 7.5 伏特之間，質量增加較多，應該是我們實驗的誤差。

(此實驗誤差值小，相關係數是 0.995483，為高度正相關)

四、結論與應用

(一) 結論

1、鍍銅時，我們發現會越鍍越慢。應該是乾電池的電壓會快速下降而越鍍越慢。所以我們改以用交流變直流電源供應器（如圖二十二）代替電池。

(Adapter: Input-110 Vac Output- 3/ 4.5 / 6 / 7.5 / 9 / 10.5 / 12 Vac **SWITCHABLE**)

2、儀器是我們的特色，但是我們可以再加以改良，加上更精確的刻度，或製作的更美觀。

本儀器可精確到 0.00010 公克，即 0.10 毫克。

3、我們改進儀器，更美觀，更簡便，取名簡易質量電鍍器（如圖二十三）



圖二十二 交流變直流電源供應器



圖二十三 簡易質量電鍍器之側面圖

4、我們再度改良儀器（如圖二十四）。將刻度固定於水槽內，使天秤更靈敏、準確，且刻度與容器合為一體。所以每次電鍍時的刻度位置皆相同，減少實驗的誤差。這也是最後改良到最完美的成品。此儀器最小刻度為 0.00010 公克，也就是 0.10 毫克，我們取名為「極微量極簡易質量電鍍器」。

5、推導公式（以鍍銅為例）：



莫耳數比 = 1 莫耳 : 2 莫耳

$$I (\text{電流}) = Q (\text{庫倫}) / T (\text{秒})$$

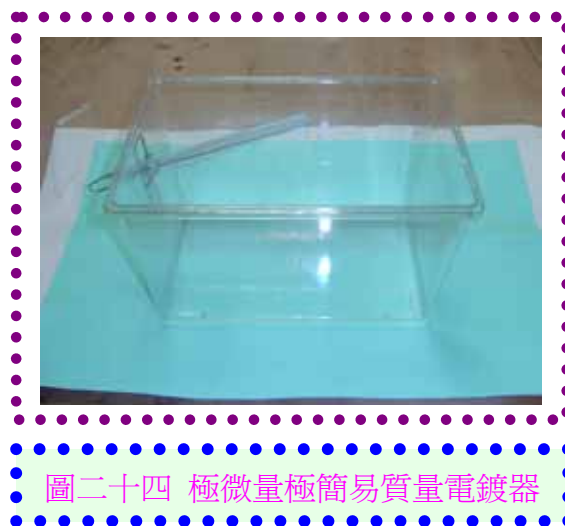
$$Q (\text{庫倫}) = [V (\text{電壓}) / R (\text{電阻})] \times T (\text{秒})$$

$$\text{一個電子電量} = 1.6 \times 10^{-19} (\text{庫倫})$$

$$W (\text{正極減少質量 mg}) = [V (\text{電壓}) / R (\text{電阻})] \times T (\text{時間}) \times m (\text{原子量}) / 96500 \times 2$$

6、電鍍時兩極銅片的變化：

電鍍時，我們發現了很有趣的現象。有一次，我們做完實驗，忘記將變壓器關閉，而發現負極銅片會變成黑色且產生粉末狀黑色物質溶於硫酸銅中。經查詢相關資料後，原來黑色物質是金屬銅快速結晶，排列不規則所致；鍍銀鍍鋅也有此情形，大部分金屬快速結晶後，都會變成黑色，而這正是原子排列方式所影響。



圖二十四 極微量極簡易質量電鍍器

7. 鍍銅、鋅、銀之相關關係 (以 40 秒為例) :

	Cu 銅	Zn 鋅	Ag 銀
正極減輕質量 (mg)	2.56	2.48	1.18
莫耳數 (mole)	0.0403	0.038	0.0109
電流 (mA)	185	165	25
通過電量 (法拉第 F)	7.6×10^{-5}	7.05×10^{-5}	1.04×10^{-5}
每法拉第 正極金屬減輕之莫耳數	0.53	0.54	1.04
正極減輕一莫耳所需之 電量	1.89	1.85	0.961

表六 鍍銅、鋅、銀之相關關係表

莫耳數 Cu = $2.56 / 63.5 = 0.0403$ mole

通過電量 $(185 / 1000) \times 40 / 96500 = 7.6 \times 10^{-5}$ F

每法拉第正極金屬減輕之莫耳數 $0.0403 \times 10^3 / (7.6 \times 10^{-5}) = 0.53$ mole / F

正極減輕一莫耳所需之電量 $7.6 \times 10^{-5} / (0.0403 \times 10^{-3}) = 1.89$ F / mole

(1) 銅、鋅在正極反應，每個原子皆失去兩個電子，且原子量接近，故減輕質量相近。

(2) 由表知正極每法拉第溶解銅 0.53 mole 鋅 0.54 mole 銀 1.04 mole，其比約為

$$\text{Cu} : \text{Zn} : \text{Ag} = 1 : 1 : 2$$

(3) 由表知正極溶解 1 mole 所需電量比約為 Cu : Zn : Ag = 2 : 2 : 1

8、研究一結論：

正極銅片所減少的質量與電鍍的時間呈正比。

研究二結論：

正極鋅片所減少的質量與時間呈正比。

研究三結論：

正極銀片所減少的質量與電鍍的時間呈正比。

研究四結論：

正極銅片的表面積與鍍銅的接觸面積有關。若表面積極小，影響則可忽略。

研究五結論：

所以正極銅片所減少的質量也與電流呈正比。

總結論：

$$W = [(V / R) \times T \times m] / (96500 \times n)$$

W= 電鍍時擬鍍物減少的質量 (mg)

V= 電壓 (伏特)

R= 電阻 (歐姆)

T= 時間 (秒)

m= 被鍍物原子量 (例如：銅 63.5)

n=每個金屬電鍍時所失去的電子數，即原子價

1 法拉第 = 96500 庫倫 = 1 mole 電子的電量

(二) 後續研究方向

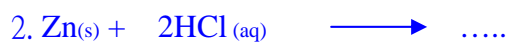
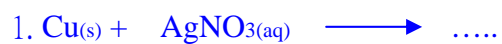
1、如何使電鍍之金屬不變黑

我們將從電壓大小調整、溶液濃度、及加入酸或其它物質，期盼能鍍出完美的金屬光澤。

2、任何一電鍍都應有一個啓動反應的最低電壓，它究竟是多少？和哪些因素有關呢？

3、我們所設計出的微量天秤相當成功，我們應該可以把它利用到其他反應上，去測量反應中的微量變化，或測量反應速率。

如：



五、參考資料及其他

- 一、 國編本國中理化（三），國立編譯館，民 88，P.77~P.85，國立編譯館
- 二、 光復科學圖鑑（第十冊）電器，林春暉，民 75，全書，光復書局
- 三、 高中選修化學（下）第六章 電池、電解與電鍍，民 92，龍騰出版社
- 四、 高中理化（第一冊）第六章 電氣磁 民 92，南一書局