

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 化學科

040207

電化學裡的藏鏡人

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 高二 許芷瑄 高二 陳彥鈞 高二 王得丞	指導老師： 鄭兆珍
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：電化學反應、置換反應、氧化還原

摘要

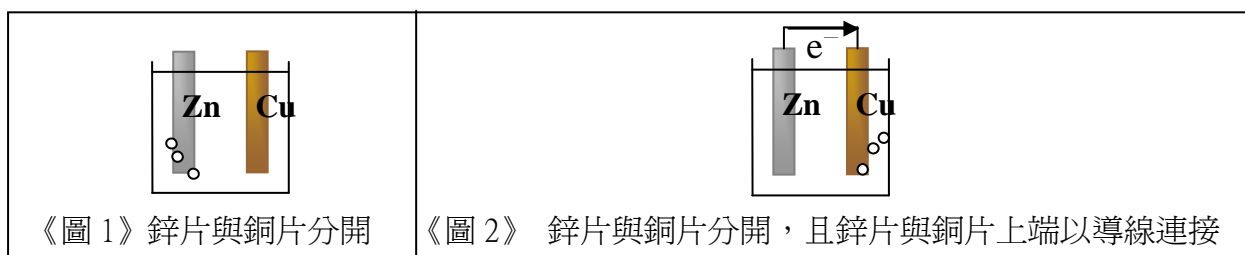
將鋅片與銅片以導線相連，放入硫酸水溶液，照以前參考書的說法，鋅極因進行電化學反應、失去電子故不產生氫氣僅銅極產生氫氣。而現在的課本改為鋅極與銅極皆產生氫氣。於是我們親自進行此項實驗，發現鋅極的產氫量、產氫速率皆比銅極快許多，因而進行以下實驗，探討置換與電化學反應。

- 一、改進集氫裝置：藉由改良自製集氫裝置，探討置換與電化學反應間產氫速率的變化
- 二、改變硫酸水溶液濃度：藉改變此溶液濃度，了解其對產氫速率之影響
- 三、更換不同的金屬片：了解不同金屬片組合的置換與電化學反應間產氫速率的變化
- 四、加入三用電錶：定時監控，並利用電流算出導線中流通的電子數
- 五、利用 pH 計：測量反應前後的 pH 值差異，計算產氫量與消耗[H⁺]的關係

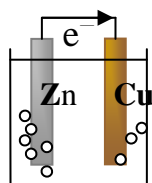
壹、研究動機

高中化學課程中，電化學的部分，有一個經典試題如下：

在一個裝有 1M 鹽酸溶液的燒杯中，同時放入鋅片和銅片：



我們發現學長三年前的參考書說明如下：當裝置如《圖 1》時，鋅片端會進行置換反應而產生氫氣，銅片端不產生氫氣，當裝置如《圖 2》時，鋅片與銅片端會進行電化學反應，因此銅片端產生氫氣、鋅片端不產生氫氣；而現在的課本做了修改，修改成為鋅片端與銅片端皆有氫氣，但是並沒有詳細說明有關其產氫量、產氫速率的關係。這點引起我們的興趣，做了相關的實驗。



《圖 3》

實驗結果顯示，鋅片端與銅片端皆會產生氫氣《圖 3》，且鋅片端產生氫氣的速率明顯比較快。讓我們想進一步的對這個實驗進行更深入的研究與探討，了解其中不同狀態下(不同金屬組合、不同濃度)電化學與置換反應所進行的比例。

貳、研究目的

爲了能更深入的探討置換反應與電化學反應，在進行氧化還原時速率之間的變化，我們做了改變不同活性大小的金屬片、不同硫酸濃度及不同雙極金屬片的實驗，進而了解置換反應與電化學反應之間的關聯與影響。實驗目的統整如下：

- 一、集氫裝置之改良。
- 二、置換反應產氫速率之探討。
- 三、置換反應與電化學反應產氫速率之探討。

參、研究設備與器材

一、儀器

自製集氫裝置、計時器、電子秤、電腦、數位相機、電算機、pH meter、三用電錶

二、器材

燒杯 100ml	燒杯 500ml	燒杯 1000ml	燒杯 2000ml
容量瓶 500ml	量筒 100ml	100ml 針筒	30ml 針筒
9 號軟木塞	11 號軟木塞	玻璃滴管	分度吸量管
安全吸球	橡皮管	鱷魚夾	導線
鐵架	鐵夾	砂紙 1000W	砂紙 1200W
砂紙 2000W	玻棒	尖嘴鉗	絕緣膠帶
塑膠尺	Silicon 耐酸膠	自製壓克力裝置 (兩種規格)	

三、藥品

鋅片 4cm^2	銅片 4cm^2	鐵片 4cm^2	鎳片 4cm^2
鋁片 4cm^2	碳棒	硫酸(H_2SO_4)	蒸餾水



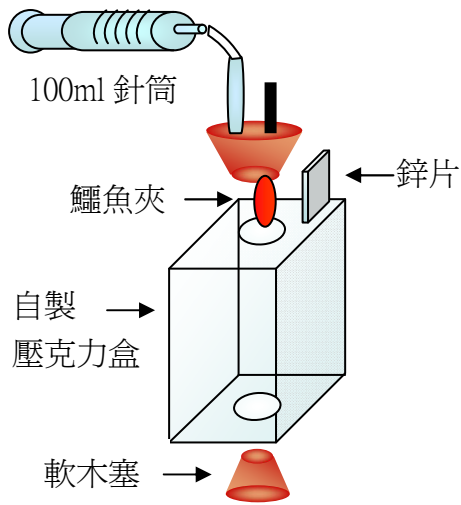
《圖 4》爲我們所使用的器材與藥品



《圖 5》爲我們所使用的儀器

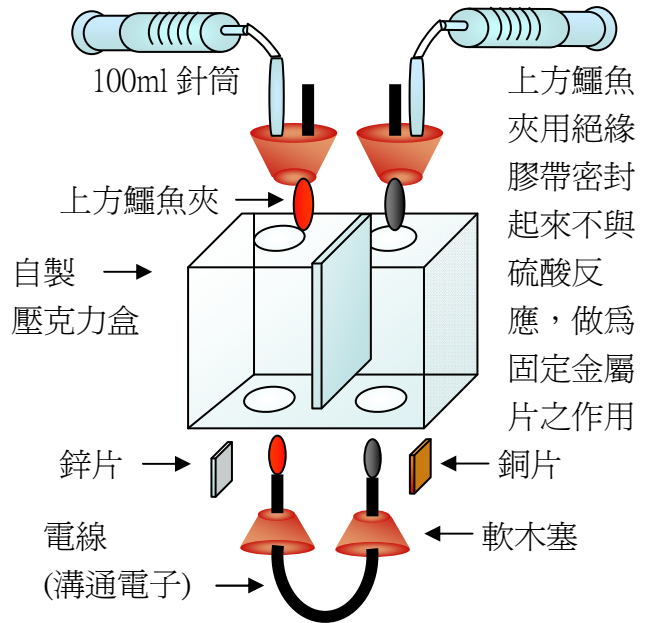
四、實驗裝置介紹

1. 單極裝置

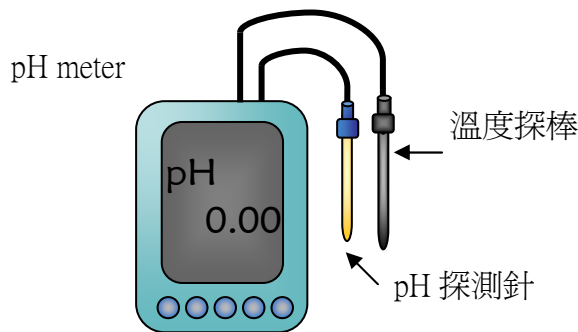


《圖 6》

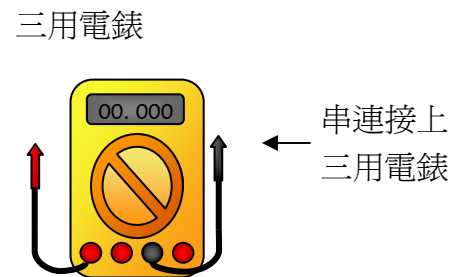
2. 雙極裝置



《圖 7》



《圖 8》



《圖 9》

肆、研究過程與方法

一、實驗原理

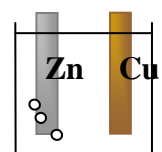
在定時的情況下觀察比較 1.在單極槽和雙極槽（自製裝置）中，產氫的比例 2.在不同濃度的硫酸水溶液中，產氫的比例。並以測量其 pH 值、電壓、電流來探討進行中的電化學與置換反應。

（一）、置換反應

陽極（活性大於氫）的金屬片在硫酸中溶解產生金屬離子並放出電子，所放出的電子會被硫酸溶液中的氫離子接收而產生氫氣。

以鋅與銅做例子：鋅極端 $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^{-}$
 $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$

如《圖 10》所示，此時鋅電極會與氫氣進行置換反應所以產生氫氣，而銅電極活性小於氫，不與硫酸產生置換反應。

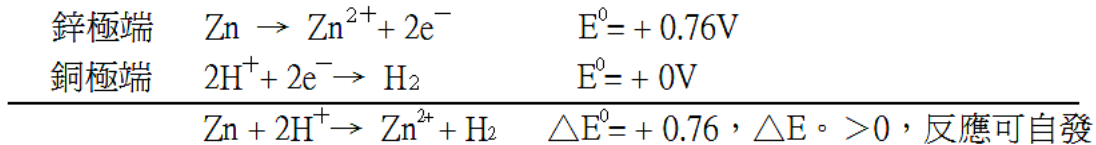


《圖 10》

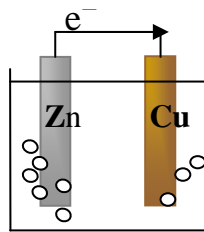
(二)、電化學反應

鋅片為陽極進行氧化反應，丟出的電子經由外電路傳至銅極，電解液中的氫離子會於銅極接收電子，在銅電極進行還原反應並產生氫氣於銅電極表面；但因鋅-氫的電動勢大於零，也因此陽極亦會與電解液中的氫離子行置換反應，產生氫氣，此時陰、陽兩極皆會產生氫氣。

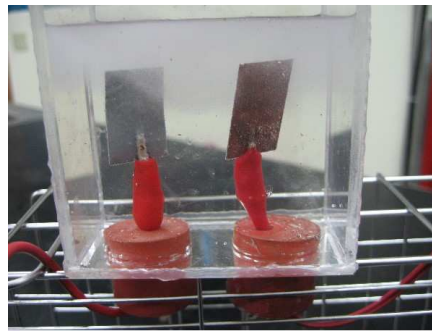
下列為鋅-銅進行的電化學反應式：



《圖 11》、《圖 12》為進行電化學反應時的示意圖，當鋅電極與銅電極以導線進行連接時，會進行鋅-氫的電化學反應，也會進行鋅-氫的置換反應，也因此我們可以觀察到：不論鋅電極或是銅電極皆有冒泡的現象。



《圖 11》



《圖 12》電化學反應時的示意圖

(三)、電化學反應定義

電化學反應是一種伴隨著電荷(通常是電子)轉移的化學反應，而我們所關心的電荷轉移行為必須發生在兩個不同的界面上，其中一相是靠離子的移動達到導電目的，此項稱為電解質；另一相是由電極所構成其導電的方式，主要是靠電子的移動來完成。

在電極上通常有兩種程序進行：一種為電荷必須跨越電極與電解質的界面促使氧化或還原反應順利進行，這類反應將會吻合法拉第定律，因此稱之為法拉第程序；另一種為電極電位未達反應可以進行的電位時，將無法觀察到法拉第程序的進行，儘管如此，在外環電路上仍然可以發現電子流動的現象，這類程序因無法以法拉第程序描述故被稱為非法拉第程序。

一般法拉第定律乃指產物(或反應物)的生成(消耗)量和反應期間的電荷使用量成正比，數學式表示如下：

$$Q = I \times t$$

Q：通過的電量，單位為庫倫

I：電流強度，單位為安培

t：通電時間，單位為秒

其中比例常數 F 為法拉第常數，即每莫耳電子所攜帶的電量為：

$$F = 96485.3383 \pm 0.0083 \text{ 庫倫/莫耳, 約為 } 96500 \text{ 庫倫/莫耳。}$$

所以得通入的電子莫耳數 = Q / F

不同物質的質量則正比於該物質的原子量（莫耳質量，符號 M ）。

可由方程式表示：

$$\text{物質所析出的原子莫耳數} = W / M$$

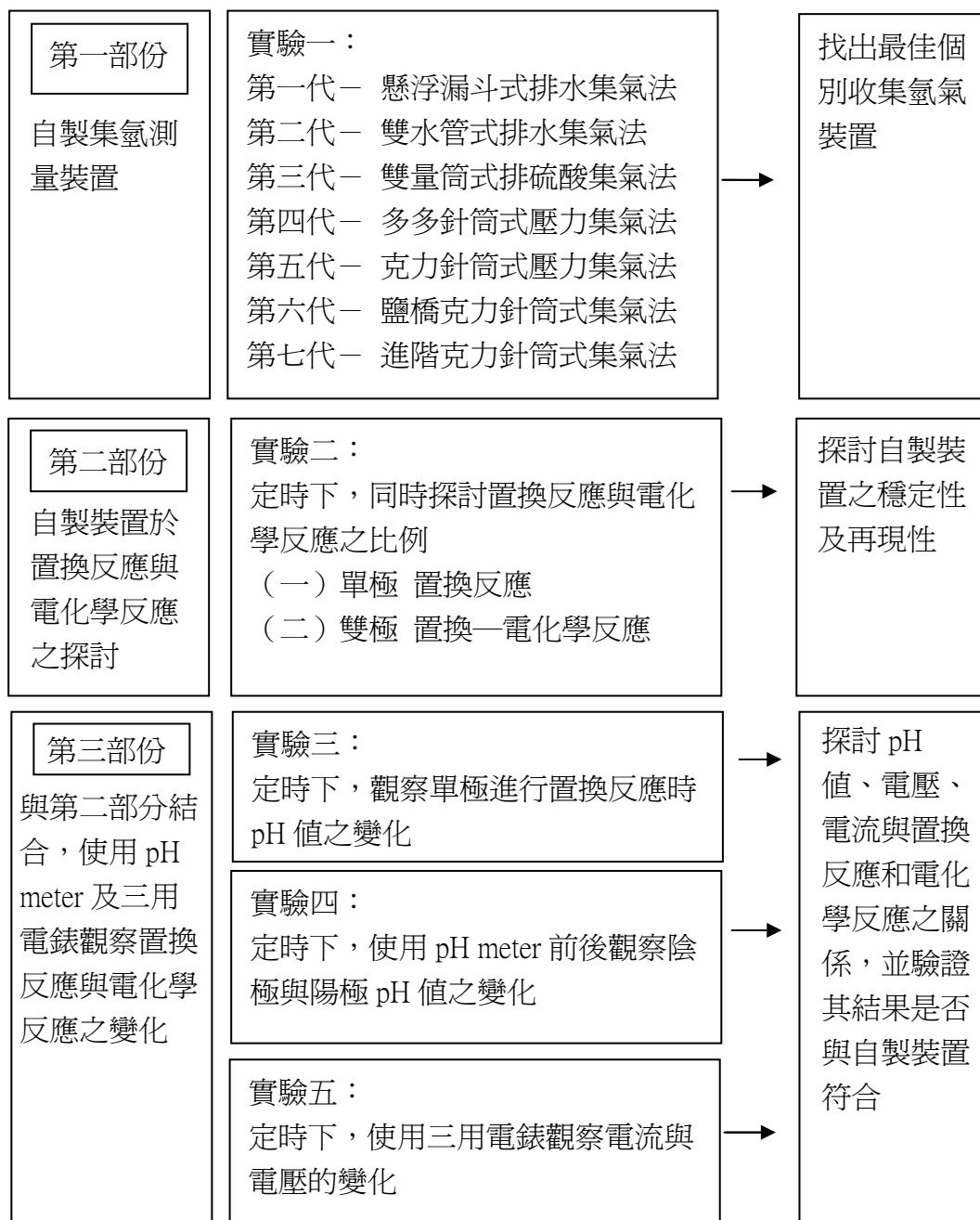
$$\text{析出物質所需要的電子莫耳數} = (W / M) \times Z \quad (Z: \text{原子價數})$$

$$\text{通入的電子莫耳數} = (W / M) \times Z = Q / F = I \times t / F$$

$$\text{析出之物質的質量} W = (Q \times M) / (F \times Z) = (I \times t \times M) / (F \times Z)$$

法拉第電解定律適用於一切電極反應的氧化還原過程，是電化學反應中的基本定量定律。

二、實驗流程



三、研究方法

我們將研究分兩種方式：

第一種：單極測量，即透過單一金屬片在硫酸溶液中的反應觀察其置換反應。

第二種：雙極之測量，為透過兩種不同金屬片組成電池組，觀察其定時下陰陽極所產生的氫氣，與單極實驗比對計算後，得其電化學與置換反應速率比，並運用三用電錶與 pH meter 檢測我們所得的數據。

【實驗一 集氫裝置之改良】

(一)、集氫裝置之改良

第一代－懸浮漏斗式排水集氣法

第二代－雙水管式排水集氣法

第三代－雙量筒式排硫酸集氣法

第四代－多多針筒式壓力集氣法

第五代－克力針筒式壓力集氣法

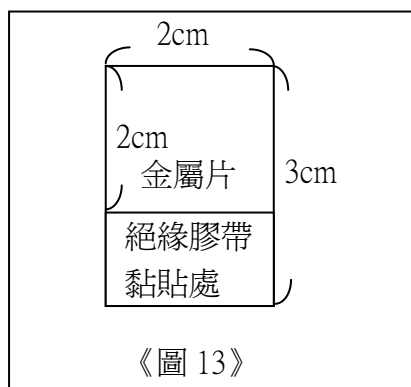
第六代－鹽橋克力針筒式集氣法

第七代－進階克力針筒式集氣法

【實驗二 ~ 五 定時下，同時探討置換反應與電化學反應之比例】

(一)、單極實驗

- 1.取一金屬片鋅片、銅片、鐵片、鋁片、鎳片各為 2cm × 2cm，《圖 14》。
- 2.用砂紙刮除待測金屬片上之氧化物。
- 3.將刮好的金屬片浸入丙酮清洗掉上面的油污。
- 4.將金屬片稱重，並記錄之。
- 5.測量硫酸溶液的 pH 值。
- 6.將清洗過的金屬片夾在電極上，並用絕緣膠帶封住(如《圖 13》)，避免讓鱷魚夾也加入反應，在自製容器下方洞口塞上軟木塞。
- 7.將量好(180±5ml)的硫酸倒入容器中，塞上上方軟木塞，並同時按下碼錶。
註:硫酸濃度取 0.1M 與 1M 作探討
- 8.定時紀錄產氫體積：
 - (1) 0.1M 硫酸，每 5 分鐘紀錄一次，共測 30 分鐘。
 - (2) 1M 硫酸，每 1 分鐘紀錄一次，共測 9 分鐘。
- 9.拆下金屬片清洗、稱重，並記錄之。
- 10.再放入 pH meter 測量硫酸的 pH 值。



《圖 13》

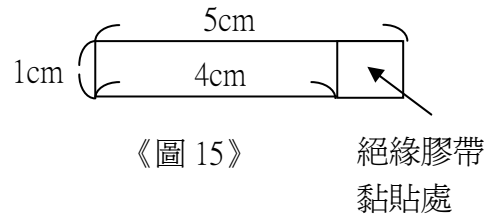


《圖 14》 金屬片從左到右:鋅片、銅片、鋁片、鎳片、鐵片

(二)、雙極實驗

表一

	第一組	第二組	第三組
陽極	鋅	鋅	鋅
陰極	銅	鐵	石墨

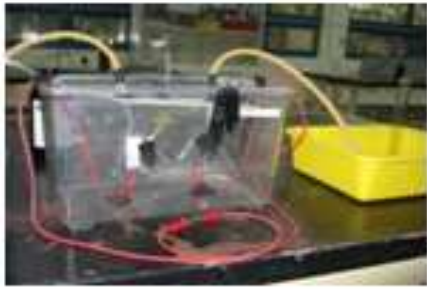


《圖 15》

1. 取金屬片 $1\text{cm} \times 5\text{cm}$ (控制表面積為 4cm^2) 或石墨棒組合成電池《表一》。
2. 用砂紙刮除待測金屬片上之氧化物。
3. 將刮好的金屬片浸入丙酮清洗掉上面的油污。
4. 將金屬片稱重，並記錄之。
5. 測量硫酸的 pH 值。
6. 將清洗過的金屬片或石墨棒夾在電極上，並用絕緣膠帶封住(如《圖 15》)，避免讓鱷魚夾也加入反應，在自製容器下方洞口各別塞上電極。
7. 串連上三用電錶。
8. 將量好($395 \pm 5\text{ml}$)的硫酸倒入容器中，將裝置上方洞口分別塞上軟木塞，並同時按下碼錶。
9. 定時紀錄產氫體積與電壓、電流：
 - (1) 0.1M 硫酸，每 5 分鐘紀錄一次，共測 30 分鐘。
 - (2) 1M 硫酸，每 1 分鐘紀錄一次，共測 9 分鐘。
10. 拆下金屬片清洗、稱重，並記錄之。
11. 再放入 pH meter 測量硫酸的 pH 值。

伍、研究結果

【實驗一 集氣裝置之改良】

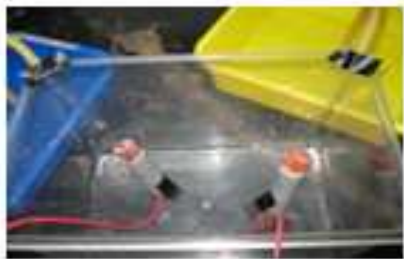


《圖 16》

第一代—懸浮漏斗式排水集氣法。

缺點：

1. 漏斗位置不固定。
2. 金屬片易跑至外面。



《圖 17》

第二代—雙水管式排水集氣法。

增加改進部分：

金屬可以密封於水管內。

缺點：

水管仍然無法固定，氫氣容易外漏。



《圖 18》

第三代—雙量筒排硫酸集氣法。

增加改進部分：

量筒可以固定於同一位置，氫氣不易外漏。

缺點：

1. 使用時容易直接觸碰到硫酸，造成危險。
2. 硫酸液面高度降至金屬片以下時便無法準確測量。
3. 金屬片因須彎曲而導致實驗數據不準確。



《圖 19》

第四代—養樂多瓶—針筒壓力集氣法。

增加改進部分：

1. 減少觸碰到硫酸的機會。
2. 不需排水或硫酸即可收集到氫氣。

缺點：

1. 做雙電極實驗時硫酸無法互相流通，影響實驗數據。
2. 實驗時不易替換金屬片。
3. 容器過於狹小，金屬片大小受到限制，導致反應不明顯。



《圖 20》

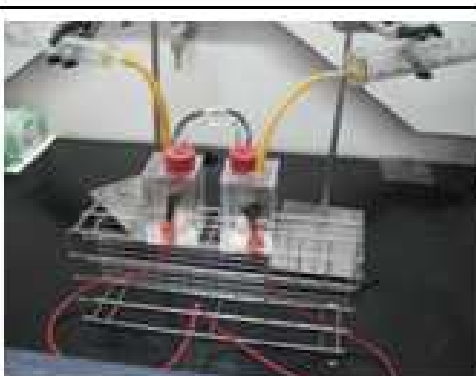
第五代— 壓克力盒—針筒壓力集氣法

增加改進部分：

1. 做雙電極實驗時硫酸能夠互相流通。
2. 容器大小增加。
3. 金屬片替換方便。
4. 容器接近完全密封，氫氣與硫酸不易跑出。

缺點：

容器底部互通，壓力互相影響，造成陰極的硫酸跑到針筒裡。



《圖 21》

第六代— 鹽橋克力針筒式集氣法

增加改進部分：

溶液分開，以鹽橋連通，壓力不會互相影響了。

缺點：

加了鹽橋，電阻上升，陰極產氫量下降，難以收集。



《圖 22》

第七代— 進階克力針筒式集氣法

增加改進部分：

排氣孔加大，並且可將金屬直接插入排氣管中，減少氣泡卡在軟木塞、管壁的機會，讓收集更有效率。

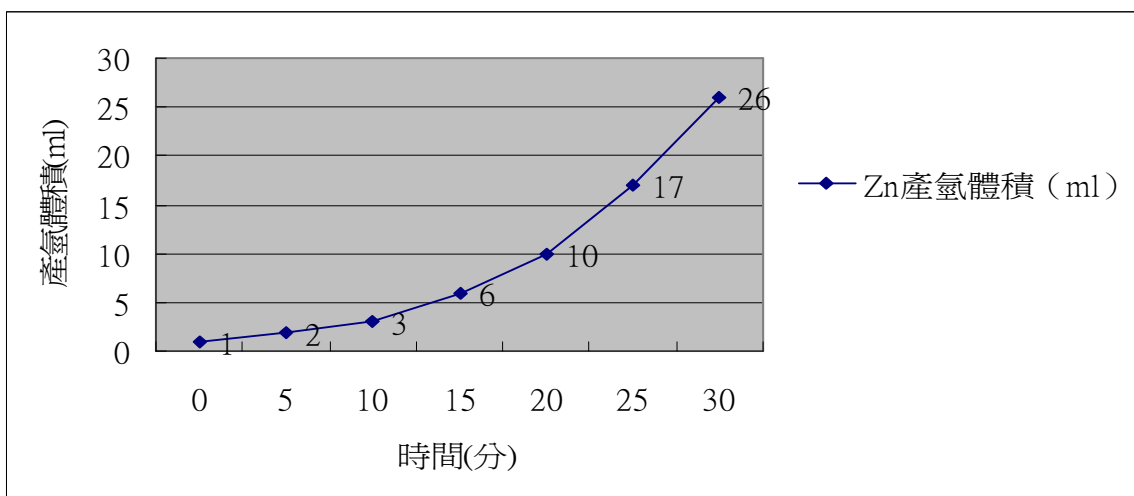
【實驗二 ~ 五 定時下，同時探討置換反應與電化學反應之比例】

一、單極置換反應

(一)、0.1M 的硫酸

《表二》定時下，每 5 分鐘單極 Zn 片與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

反應前克數：1.34g		反應後克數：1.31g		反應莫耳數：4.6×10 ⁻⁴			
反應前 pH 值：1.06		反應後 pH 值：1.09					
時間(分)	0	5	10	15	20	25	30
產氫體積 (ml)	1.0	2.0	3.0	6.0	10.0	17.0	26.0



《圖 23》定時下，每 5 分鐘單極 Zn 片與 0.1M 的硫酸之產氫速率

《表三》定時下，每 5 分鐘單極 Fe 片與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

反應前克數：2.36g		反應後克數：2.36g		反應莫耳數：0.00mol			
反應前 pH 值：1.19		反應後 pH 值：0.88					
時間(分)	0	5	10	15	20	25	30
產氫體積 (ml)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

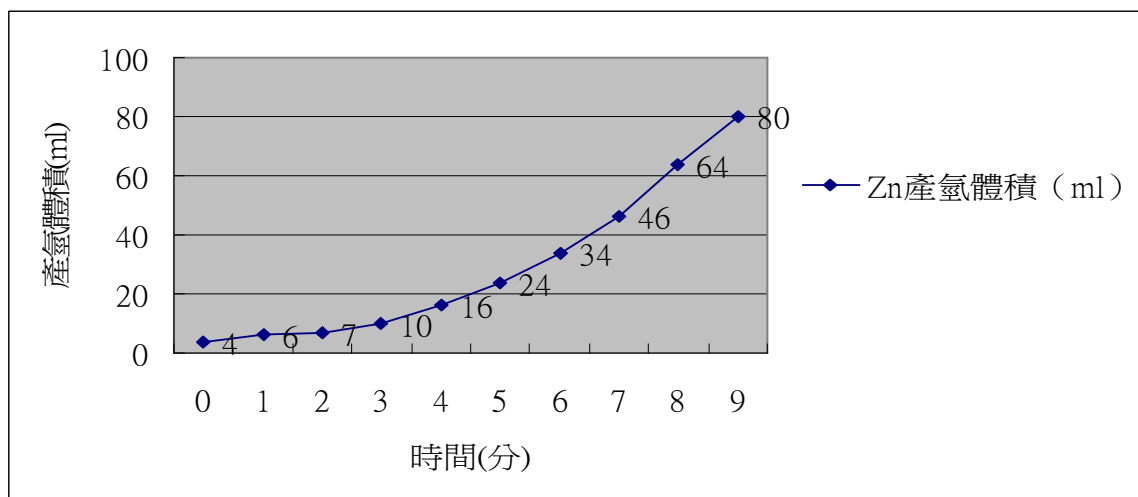
《表四》定時下，每 5 分鐘單極銅片、鋁片、鎳片與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應前克數	反應後克數	反應莫耳數	產氫體積 (ml)
Cu	2.27	2.27	0.00	0
Al	0.82	0.82	0.00	0
Ni	2.21	2.21	0.00	0

(二)、1M 的硫酸

《表五》定時下，每 1 分鐘單極 Zn 片與 1M 的硫酸之產氫速率探討

反應前克數：2.13g		反應後克數：1.9g		反應莫耳數： 3.5×10^{-3} mol						
反應前 pH 值：0.16		反應後 pH 值：0.28								
時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
產氫體積 (ml)	4.0	6.0	7.0	10.0	16.0	24.0	34.0	46.0	64.0	80.0



《圖 24》定時下，每 1 分鐘單極 Zn 片與 1M 的硫酸之產氫速率

《表六》定時下，每 1 分鐘單極 Fe 片與 1M 的硫酸之產氫速率探討

反應前克數：1.90g		反應後克數：1.90		反應莫耳數：0.00mol						
反應前 pH 值：0.08		反應後 pH 值：0.58								
時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
產氫體積 (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

《表七》定時下，每 1 分鐘單極銅片、鋁片、鎳片與 1M 的硫酸之產氫速率探討

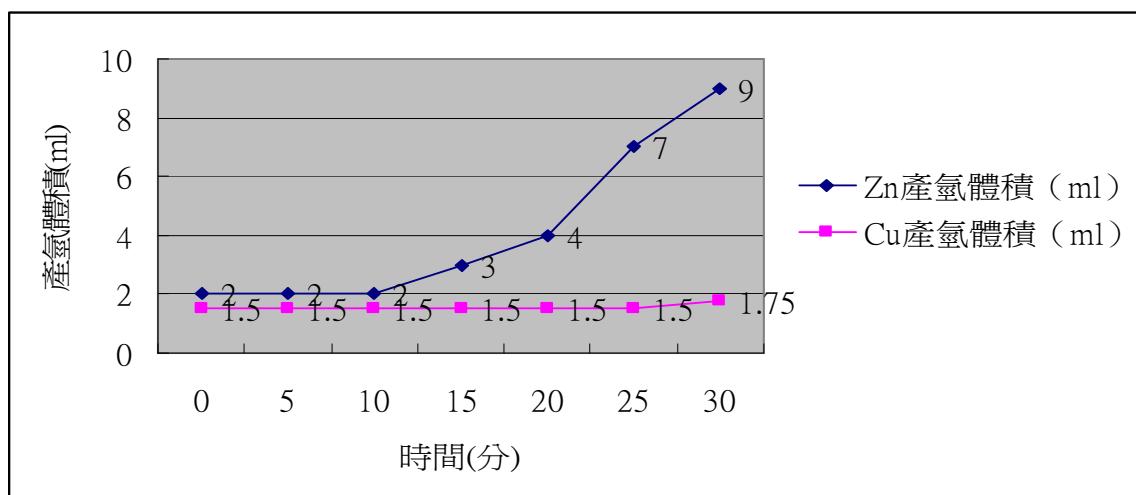
	反應前克數	反應後克數	反應莫耳數	產氫體積 (ml)
Cu	2.65	2.65	0.00	0
Al	0.80	0.80	0.00	0
Ni	2.20	2.20	0.00	0

二、雙極電化學反應

(一)、0.1M 的硫酸

《表八》定時下，每 5 分鐘 第一組：鋅-銅 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

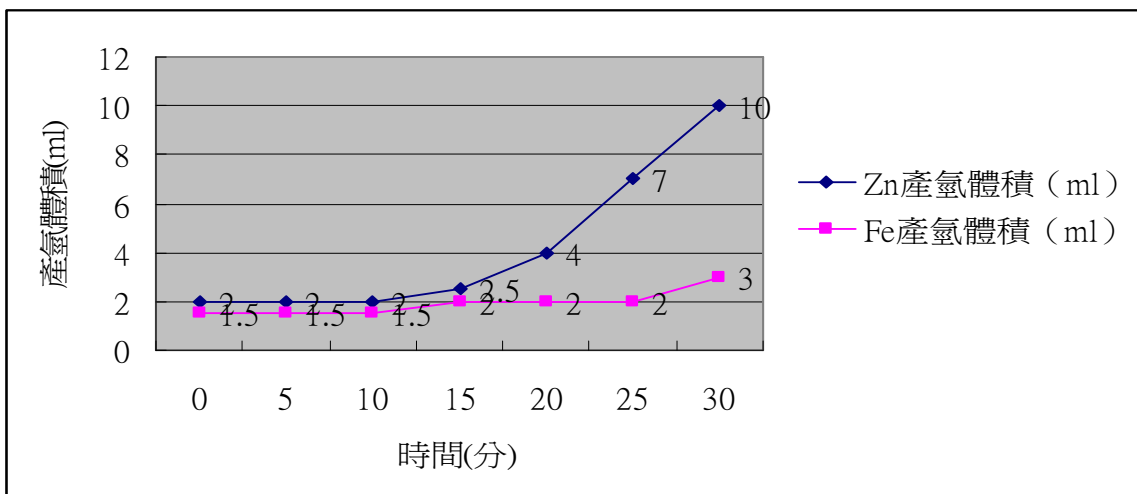
Zn	反應前克數：1.77g	反應後克數：1.73g	反應莫耳數： $6.15 \times 10^{-4} \text{ mol}$				
Cu	反應前克數：2.23g	反應後克數：2.23g	反應莫耳數：0.00mol				
反應前 pH 值：1.06		反應後 pH 值：1.13					
時間 (分)	0	5	10	15	20	25	30
Zn 產氫體積 (ml)	2.0	2.0	2.0	3.0	4.0	7.0	9.0
Cu 產氫體積 (ml)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.75
電流 (mA)	2.9		2.9		3.1		3.2
電壓 (V)		0.932		0.946		0.950	



《圖 25》定時下，每 5 分鐘 第一組：鋅-銅 與 0.1M 的硫酸之產氫速率

《表九》定時下，每 5 分鐘 第二組：鋅-鐵 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

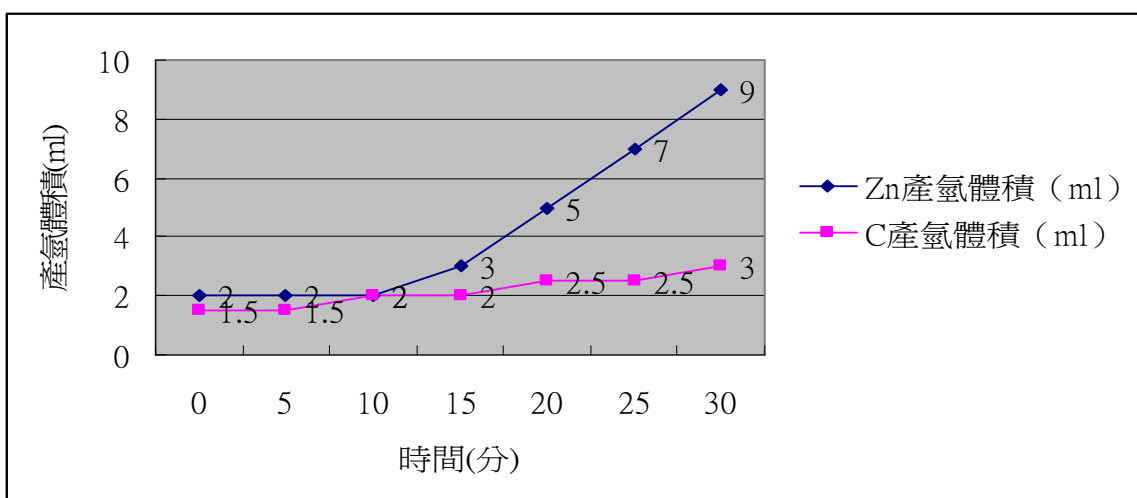
Zn	反應前克數：1.7g	反應後克數：1.66g	反應莫耳數： $6.1 \times 10^{-4} \text{ mol}$				
Fe	反應前克數：2.23g	反應後克數：2.23g	反應莫耳數：0.00mol				
反應前 pH 值：1.06		反應後 pH 值：1.14					
時間 (分)	0	5	10	15	20	25	30
Zn 產氫體積 (ml)	2.0	2.0	2.0	2.5	4.0	7.0	10.0
Fe 產氫體積 (ml)	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	3.0
電流 (mA)	4.7		4.5		4.6		4.6
電壓 (V)		0.458		0.467		0.468	



《圖 26》定時下，每 5 分鐘 第二組：鋅-鐵 與 0.1M 的硫酸之產氫速率

《表十》定時下，每 5 分鐘 第三組：鋅-碳 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

Zn	反應前克數：1.63g	反應後克數：1.60 g	反應莫耳數： $4.6 \times 10^{-4} \text{ mol}$				
C	反應前克數：3.36g	反應後克數：3.36 g	反應莫耳數：0.00mol				
反應前 pH 值：1.06		反應後 pH 值：1.12					
時間 (分)	0	5	10	15	20	25	30
Zn 產氫體積 (ml)	2.0	2.0	2.0	3.0	5.0	7.0	9.0
C 產氫體積 (ml)	1.5	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
電流 (mA)	3.5		2.2		1.9		1.8
電壓 (V)		1.097		0.986		0.966	

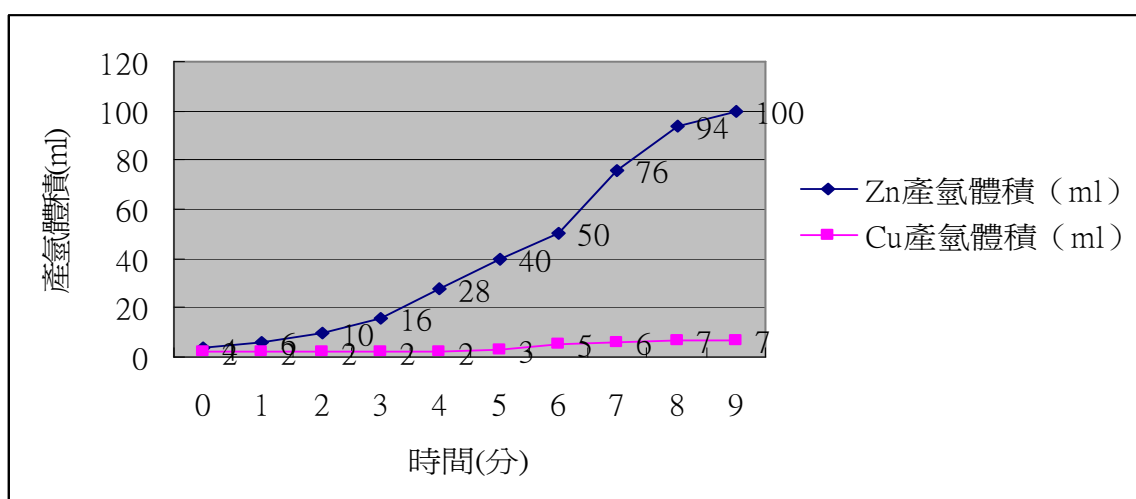


《圖 27》定時下，每 5 分鐘 第三組：鋅-碳 與 0.1M 的硫酸之產氫速率

(二)、1M 的硫酸

《表十一》定時下，每 1 分鐘 第一組：鋅-銅 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

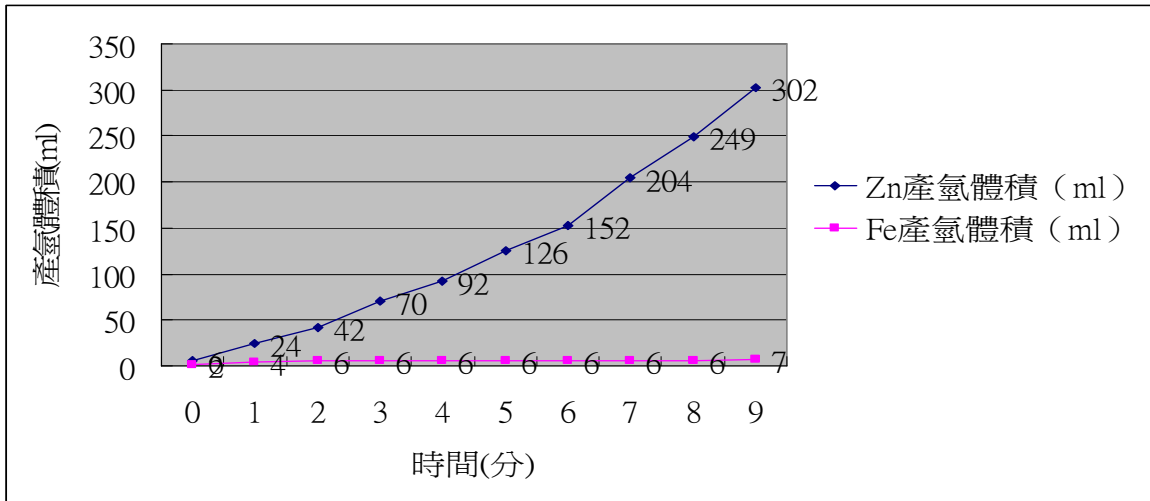
Zn	反應前克數：1.71g	反應後克數：1.29g	反應莫耳數： 6.42×10^{-3} mol							
Cu	反應前克數：1.31g	反應後克數：1.29g	反應莫耳數： 3.1×10^{-4} mol							
反應前 pH 值：0.16		反應後 pH 值：0.19								
時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zn 產氫體積 (ml)	4.0	6.0	10.0	16.0	28.0	40.0	50.0	76.0	94.0	100.0
Cu 產氫體積 (ml)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	5.0	6.0	7.0	7.0
電流 (mA)	32		31		29		27		26.2	
電壓 (V)		0.83		0.71		0.83		0.86		0.72



《圖 28》定時下，每 1 分鐘 第一組：鋅-銅 與 1M 的硫酸之產氫速率

《表十二》定時下，每 1 分鐘 第二組：鋅-鐵 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

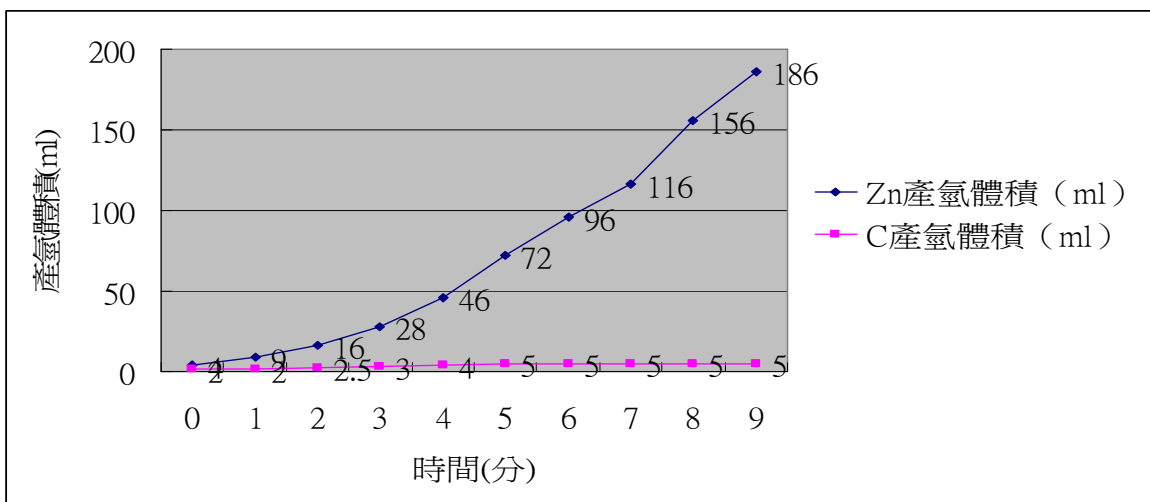
Zn	反應前克數：1.78g	反應後克數：0.85g	反應莫耳數： 1.43×10^{-3} mol							
Fe	反應前克數：1.98g	反應後克數：1.97g	反應莫耳數： 1.7×10^{-4} mol							
反應前 pH 值：0.16		反應後 pH 值：0.23								
時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zn 產氫體積 (ml)	6.0	24.0	42.0	70.0	92.0	126.0	152.0	204.0	249.0	302.0
Fe 產氫體積 (ml)	2.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0
電流 (mA)	25.6		24.4		24.4		24		23.3	
電壓 (V)		0.45		0.44		0.43		0.42		0.40



《圖 29》定時下，每 1 分鐘 第二組：鋅-鐵 與 1M 的硫酸之產氫速率

《表十三》定時下，每 1 分鐘 第三組：鋅-碳 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

Zn	反應前克數：1.54g	反應後克數：0.89g	反應莫耳數： 1.0×10^{-1} mol							
C	反應前克數：3.30g	反應後克數：3.30g	反應莫耳數：0.00mol							
反應前 pH 值：0.16		反應後 pH 值：0.20								
時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zn 產氫體積 (ml)	4.0	9.0	16.0	28.0	46.0	72.0	96.0	116.0	156.0	186.0
C 產氫體積 (ml)	2.0	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
電流 (mA)	9.2		8.6		7.7		7.6		7.2	
電壓 (V)		0.80		0.8		0.78		0.73		0.73



《圖 30》定時下，每 1 分鐘 第三組：鋅-碳 與 1M 的硫酸之產氫速率

陸、討論

【實驗一 集氫裝置之改良】

一、第一、二代裝置收集不到氫氣，其原因如下：

(一) 氫氣會從下方未密封處溢出，且漏斗因要讓電線穿出，會歪一邊。

(二) 若氫氣生成量過少，此裝置將難以收集氫氣。

(三) 氣體較容易將液面往下擠壓，而不往橡皮管通路前進。

二、第三代比第一、二代，能更有效率的收集氫氣，因為實驗時，量筒直接蓋住金屬片，所以不會有氣體外洩或與大氣接觸所產生的實驗誤差，但量筒順利蓋在金屬片上的失敗率大，且蓋上時量筒內會有微量空氣跑進。

三、第四、五代更加密封，跟前幾代比較起來，更能讓氫氣經由橡皮管通往針筒，相較於第四代，我們發現第五代有較佳的結果，因為第五代可個別收集雙極的氣體，進而比較出電化學反應與置換反應的產氫反應速率。

四、第六代排除了第五代儀器中，因壓力不平衡，陽極產生氫氣過快把溶液壓至陰極，造成硫酸跑入陰極針筒的問題，但兩杯溶液以鹽橋連通，較第五代（壓克力裝置下方開口）鹽橋的內電阻較大，且陽極反應過快，鹽橋內的陰離子來不及補充，造成短路的現象，致使陰極產氫量大幅減少。

五、第七代如《圖 31》爲了能增加並收集到陰極產生的準確氣體，我們選擇改良第五代裝置作爲集氫裝置，第五代裝置的缺點是「壓力不平衡，陽極產生氫氣過快把溶液壓至陰極，造成硫酸跑入陰極針筒的問題」我們試過將容器底部開的洞堵起來，以使兩杯溶液不相互干擾，但陽極依然會行置換反應，陰極則不行電化學反應，也沒有電流通過，所以在壓克力盒第七代的底部還是有開 0.5 公分 × 4 公分的洞，以作爲鹽橋溝通電性，維持整杯溶液的電中性。我們將集氫軟管加粗，並將陽極的集氫針筒換成 100 ml，陰極一樣用 30 ml 針筒，並在實驗之前將玻璃針筒用乳液或凡士林擦拭過，以減少針筒的磨擦力，使針筒更能集氫，在集氫軟木塞底部挖大，如《圖 32》，鱷魚夾及導線均用全新的，以減少其產生的電阻，並拉長陰、陽極金屬片的高度，使陰、陽極所產生的氣體能更快速的進入到針筒內，以減少第五代裝置會產生的問題。



《圖 31》



《圖 32》

【實驗二 ~ 五 定時下，同時探討置換反應與電化學反應之比例】

一、單極置換反應

(一)、0.1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：30min

《表十四》定時下，每 1 分鐘單極 Zn 片與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	4.6×10^{-4}	0.03
	反應前	反應後
pH 值	1.06	1.09

討論: 1.Zn 產氫體積為 13ml，由置換反應莫耳數 4.6×10^{-4} mol，

2.根據理想氣體方程式： $PV=nRT \rightarrow 1 \times V = 4.6 \times 10^{-4} \times 0.082 \times 293 \rightarrow V = 0.0147L = 11.1ml$

3.可得理論產氫量為 11.1ml。由 pH 值變化量來算，產氫量應為 25.1 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{26}{21.6} \times 100\% = 120\%$$

(二)、1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：9min

《表十五》定時下，每 1 分鐘單極 Zn 片與 1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	3.5×10^{-3}	0.23
	反應前	反應後
pH 值	0.16	0.28

討論：1.Zn 產氫體積為 80mL，由置換反應莫耳數 3.5×10^{-3} mol，根據理想氣體方程式：

$PV = nRT \Rightarrow 1 \times V = 0.0035 \times 0.082 \times 293 \Rightarrow V = 0.0841L = 84.1ml$ ，可得理論產氫量為 84.1ml。由 pH 值變化量來算，產氫量應為 925 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{80}{84.1} \times 100\% = 95.1\%$$

二、雙極電化學反應

(一)、鋅-銅 與 0.1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：30min

《表十六》定時下，每 5 分鐘 第一組：鋅-銅 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	6.15×10^{-4}	0.04
Cu	0.00	0.00
pH 值	反應前	反應後
	1.06	1.13

Zn 產氫體積(mL)	7.0
Cu 產氫體積(mL)	0.25
平均電流(mA)	3.0
平均電壓(V)	0.94

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = 4.6 \times 10^{-4} : (6.15 \times 10^{-4} - 4.6 \times 10^{-4}) \approx 3 : 1$$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{3.0 \times 10^{-3} \times 30 \times 60}{96500} = 5.59 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總 mole 數：

$$-\log[H^+]_1 = 1.06 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.0871M$$

$$-\log[H^+]_2 = 1.13 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.0741M$$

$$\Delta[H^+] = 0.0871 - 0.0741 = 0.0130M$$

容器體積=395ml，則 $\Delta H^+ \text{ mol} = 0.0130 \times 0.395 = 5.12 \times 10^{-3} \text{ mol}$

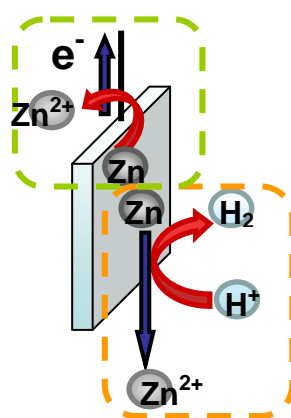
並由 2 和 3 可得知置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = (5.12 \times 10^{-3} - 5.59 \times 10^{-5}) : 5.59 \times 10^{-5} = 91 : 1$$

由 pH 值變化量來算，產氫量應為 61.5 mL。

$$\text{產率}\% = \frac{7 + 0.25}{134} \times 100\% = 5.4\%$$

4.由鋅減少的克數可算出鋅極與 0.1M 硫酸的反應莫耳數，因為鋅減少的莫耳數中，有一部份行電化學反應(《圖 33》— 綠色虛線區塊)，有一部份行置換反應(《圖 33》— 橘色虛線區塊)，並由測得的電流可算出在導線中流通的電子莫耳數，也就是電化學反應莫耳數為 $2.82 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ，當鋅反應的莫耳數為 $6.15 \times 10^{-4} - 2.82 \times 10^{-5} = 5.868 \times 10^{-4} \text{ mol}$ 與 0.1M 的硫酸的置換反應莫耳數，則置換反應：電化學反應 = $(6.15 \times 10^{-4} - 2.82 \times 10^{-5}) : 2.82 \times 10^{-5} \approx 21:1$ 。



《圖 33》

5.若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察，置換反應：電化學反應 = $7 : 0.25 = 28 : 1$

※註：以下計算過程皆為如此，故省略。

(二)、鋅-鐵 與 0.1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間（分）：30min

《表十七》定時下，每 5 分鐘 第二組：鋅-鐵 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	6.15×10^{-4}	0.04
Fe	0.00	0.00
pH 值	反應前	反應後
	1.09	1.28
Zn 產氫體積(mL)	8.0	
Fe 產氫體積(mL)	1.5	
平均電流(mA)	4.6	
平均電壓(V)	0.46	

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應：電化學反應} = 4.6 \times 10^{-4} : (6.15 \times 10^{-4} - 4.6 \times 10^{-4}) \approx 3 : 1$$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{4.6 \times 10^{-3} \times 30 \times 60}{96500} = 8.58 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總 mole 數：

$$-\log[H^+]_1 = 1.06 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.0871M$$

$$-\log[H^+]_2 = 1.14 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.0724M$$

$$\Delta[H^+] = 0.0871 - 0.0724 = 0.0147M$$

容器體積=395ml，則 $\Delta H^+ \text{ mol} = 0.0147 \times 0.395 = 5.79 \times 10^{-3} \text{ mol}$

由 2.和 3.可得知置換反應：電化學反應比例：

$$\text{置換反應：電化學反應} = (5.79 \times 10^{-3} - 8.58 \times 10^{-5}) : 8.58 \times 10^{-5} = 66.5 : 1$$

由 pH 值變化量來算，產氫量應為 69.5 mL。

4.鋅極與 0.1M 的硫酸的反應莫耳數為 $4.3 \times 10^{-5} \text{ mole}$

$$\text{置換反應：電化學反應} = (6.15 \times 10^{-4} - 4.3 \times 10^{-5}) : 4.3 \times 10^{-5} \approx 13 : 1$$

5.若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察：置換反應：電化學反應 = 8 : 1.5mL = 5.3 : 1

(三)、鋅-碳 與 0.1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間（分）：30min

《表十八》定時下，每 5 分鐘 第三組：鋅-碳 與 0.1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	4.6×10^{-4}	0.03
C	0.00	0.00
pH 值	反應前	反應後
	1.09	1.29
Zn 產氫體積(mL)	7.0	
C 產氫體積(mL)	1.5	
平均電流(mA)	2.35	
平均電壓(V)	1.01	

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = 4.6 \times 10^{-4} : (4.6 \times 10^{-4} - 4.6 \times 10^{-4}) = 4.6 \times 10^{-4} : 0 \Rightarrow 2 : 0$$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{2.35 \times 10^{-3} \times 30 \times 60}{96500} = 4.38 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總莫耳數：

$$-\log[H^+]_1 = 1.06 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.0871M$$

$$-\log[H^+]_2 = 1.12 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.0759M$$

$$\Delta[H^+] = 0.0871 - 0.0759 = 0.0112M$$

$$\text{容器體積} = 395\text{ml}, \text{則 } \Delta H^+ \text{ mol} = 0.0112 \times 0.395 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

由 2 和 3 可得知置換反應：電化學反應比例：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = (5.33 \times 10^{-3} - 4.38 \times 10^{-5}) : 4.38 \times 10^{-5} = 120 : 1$$

由 pH 值變化量來算，產氫量應為 53 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{(7+1.5)}{76} \times 100\% = 11.2\%$$

4.鋅極與 0.1M 的硫酸的反應莫耳數為 $2.19 \times 10^{-5} \text{ mol}$

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = (4.6 \times 10^{-4} - 2.19 \times 10^{-5}) : 2.19 \times 10^{-5} \Rightarrow 20 : 1$$

5.若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = 7 : 1.5 = 4.6 : 1$$

(四)、鋅-銅 與 1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：9min

《表十九》定時下，每 1 分鐘 第一組：鋅-銅 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	6.42×10^{-3}	0.40
Cu	3.1×10^{-4}	0.02
pH 值	反應前	反應後
	0.16	0.19
Zn 產氫體積(mL)	96.0	
C 產氫體積(mL)	5.0	
平均電流(mA)	29.04	
平均電壓(V)	0.79	

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = 3.5 \times 10^{-3} : (6.42 \times 10^{-3} - 3.5 \times 10^{-3}) \approx 6 : 5$$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{29.04 \times 10^{-3} \times 9 \times 60}{96500} = 1.6 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總 mole 數：

$$-\log[H^+]_1 = 0.16 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.692M$$

$$-\log[H^+]_2 = 0.19 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.645M$$

$$\Delta[H^+] = 0.692 - 0.645 = 0.0462M$$

容器體積=395ml，則 $\Delta H^+ \text{ mol} = 0.0462 \times 0.395 = 1.82 \times 10^{-2} \text{ mol}$

由 2 和 3 可得知置換反應：電化學反應比例：

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = (1.82 \times 10^{-2} - 1.6 \times 10^{-4}) : 1.6 \times 10^{-4} = 113 : 1$$

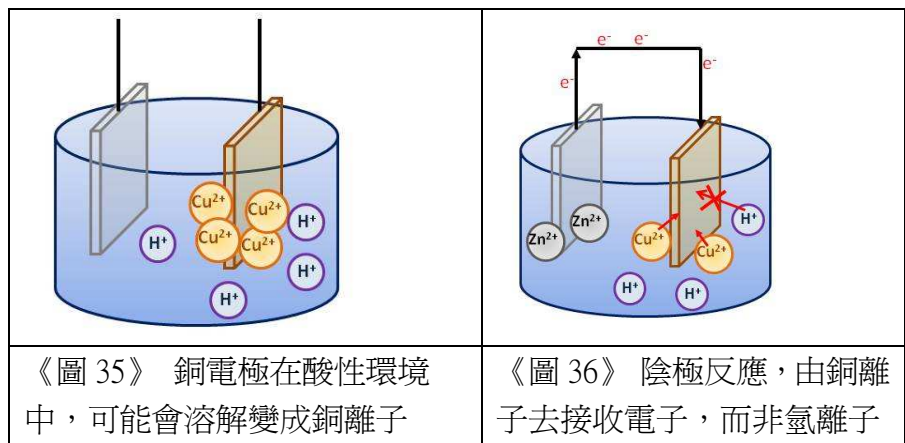
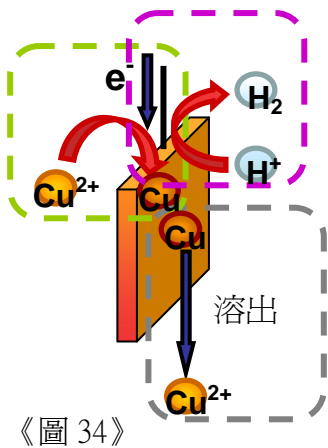
由 pH 值變化量來算，產氫量應為 438 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{96+5}{1919} \times 100\% = 5.2\%$$

4.鋅極與 1M 的硫酸的反應莫耳數為 $8.3 \times 10^{-5} \text{ mole}$

$$\text{置換反應} : \text{電化學反應} = (6.42 \times 10^{-3} - 8.3 \times 10^{-5}) : 8.3 \times 10^{-5} \approx 76 : 1$$

5.銅電極在酸性環境中有可能會溶解變成銅離子(如《圖 34》- 灰色虛線區塊)，進而造成陰極反應，而電子由導線傳遞過來，有一部分是由銅離子去接收電子(如《圖 34》- 綠色虛線區塊)，一部分是由氫離子去接受電子(如《圖 34》- 粉紅色虛線區塊)，其示意圖如下《圖 35》、《圖 36》所示。由我們實驗結果可以發現，銅的溶出量大於銅離子的析出量，推測銅離子溶出後被水流帶離銅片表面或銅離子來不及接電子，所以銅電極反應前後缺少 0.02g 就是很好的驗證。



6.若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察：

置換反應：電化學反應 = 96 : 5 = 19.2 : 1

(五)、鋅-鐵 與 1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：9min

《表二十》定時下，每 1 分鐘 第一組：鋅-鐵 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	1.43×10^{-2}	0.93
Fe	1.7×10^{-4}	0.01
pH 值	反應前	反應後
	0.16	0.23
Zn 產氫體積(mL)	296.0	
C 產氫體積(mL)	5.0	
平均電流(mA)	24.34	
平均電壓(V)	0.43	

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

置換反應：電化學反應 = $3.5 \times 10^{-3} : (1.43 \times 10^{-2} - 3.5 \times 10^{-3}) \approx 3 : 10$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{24.34 \times 10^{-3} \times 9 \times 60}{96500} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總 mole 數：

$$-\log[H^+]_1 = 0.16 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.69M$$

$$-\log[H^+]_2 = 0.23 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.589M$$

$$\Delta[H^+] = 0.69 - 0.589 = 0.103M$$

容器體積=395ml，則 $\Delta H^+ \text{ mol} = 0.103 \times 0.395 = 4.06 \times 10^{-2} \text{ mol}$

由 2 和 3 可得知置換反應：電化學反應比例：

$$\text{置換反應：電化學反應} = (4.06 \times 10^{-2} - 1.3 \times 10^{-4}) : 1.3 \times 10^{-4} = 312 : 1$$

由 pH 值變化量來算，產氫量應為 977 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{296+5}{1857} \times 100\% = 16.2\%$$

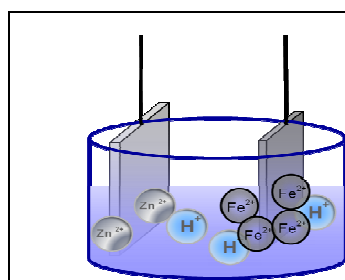
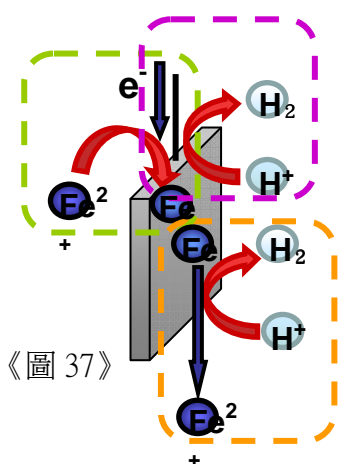
4. 鋅極與 1M 的硫酸的反應莫耳數為 8.3×10^{-5} mole

$$\text{置換反應：電化學反應} = (0.0143 : 6.8 \times 10^{-5}) : 6.8 \times 10^{-5} \approx 209 : 1$$

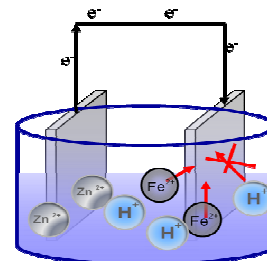
5. 鐵電極在酸性環境中有可能會溶解變成鐵離子(如《圖 37》- 橘色虛線區塊)，進而造成陰極反應，而電子由導線傳遞過來，有一部分是由鐵離子去接收電子(如《圖 37》- 綠色虛線區塊)，一部分是由氫離子去接受電子(如《圖 37》- 粉紅色虛線區塊)，其示意圖如下《圖 38》、《圖 39》所示。由我們實驗結果可以發現，鐵的溶出量大於鐵離子的析出量，推測鐵離子溶出後被水流帶離鐵片表面或鐵離子來不及接電子，所以鐵電極反應前後缺少 0.01g 就是很好的驗證。

由鐵與 1M 硫酸的反應莫耳數計算出鐵極因 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$ 根據理想氣體方程式

$$PV = nRT \Rightarrow 1 \times V = 1.7 \times 10^{-4} \times 0.082 \times 293 \Rightarrow V = 0.004084L = 4.08\text{mL}, \text{得知陰極理論產氫量爲 } 6.084\text{mL}。$$



《圖 38》 鐵電極在酸性環境中，可能會溶解變成鐵離子



《圖 39》 陰極反應，由鐵離子去接收電子，而非氫離子

6. 若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察：

$$\text{置換反應：電化學反應} = 296 : 5\text{ml} = 59.2 : 1$$

(六)、鋅-碳 與 1M 的硫酸

條件：溫度：20°C 時間(分)：9min

《表二十一》定時下，每 1 分鐘 第一組：鋅-碳 與 1M 的硫酸之產氫速率探討

	反應莫耳數(mol)	反應克數差(g)
Zn	1×10^{-3}	0.65
C	0.00	0.00
pH 值	反應前	反應後
	0.16	0.20

Zn 產氫體積(mL)	182.0
C 產氫體積(mL)	3.0
平均電流(mA)	8.02
平均電壓(V)	0.77

討論：

1.由自製裝置觀察鋅的反應莫耳數，以計算置換反應和電化學反應比例為：

$$\text{置換反應：電化學反應} = 3.5 \times 10^{-3} : (0.01 - 3.5 \times 10^{-3}) \approx 1 : 2$$

2.由三用電錶所測得的電流計算電化學反應 mole 數為：

$$\frac{Q}{96500} = n \Rightarrow \frac{8.02 \times 10^{-3} \times 9 \times 60}{96500} = 4.48 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

3.由 pH meter 的讀值計算置換加上電化學反應之總 mole 數：

$$-\log[H^+]_1 = 0.16 \Rightarrow [H^+]_1 = 0.69M$$

$$-\log[H^+]_2 = 0.20 \Rightarrow [H^+]_2 = 0.631M$$

$$\Delta[H^+] = 0.69 - 0.631 = 0.0609M$$

容器體積=395ml，則 $\Delta H^+ \text{ mol} = 0.0609 \times 0.395 = 2.40 \times 10^{-2} \text{ mol}$

由 2 和 3 可得知置換反應：電化學反應比例：

$$\text{置換反應：電化學反應} = (1.56 \times 10^{-1} - 4.48 \times 10^{-5}) : 4.48 \times 10^{-5} = 535 : 1$$

由 pH 值變化量來算，產氫量應為 577 ml。

$$\text{產率}\% = \frac{182+3}{2035} \times 100\% = 9.1\%$$

4.鋅極與 1M 的硫酸的反應莫耳數為

$$\text{置換反應：電化學反應} = (0.01 - 2.25 \times 10^{-5}) : 2.25 \times 10^{-5} \approx 443 : 1$$

5.若由陽極、陰極實際測量產氫量來觀察：

$$\text{置換反應：電化學反應} = 182 : 3 = 61 : 1$$

〈七〉、分別比較各算法中的置換與電化學反應

置換反應之比較

0.1M Zn-Cu	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	4.6×10^{-4}	2.9×10^{-4}	5.86×10^{-4}	5.1×10^{-3}

0.1M Zn-Fe	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	4.6×10^{-4}	3.3×10^{-4}	5.67×10^{-4}	5.7×10^{-3}

0.1M Zn-C	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	4.6×10^{-4}	2.9×10^{-4}	4.38×10^{-4}	5.28×10^{-3}

0.1M 的置換反應各算法 Zn-Cu、Zn-Fe、Zn-C 較相近

1M Zn-Cu	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	3.5×10^{-3}	4×10^{-3}	6.33×10^{-3}	1.8×10^{-2}

1M Zn-Fe	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	3.5×10^{-3}	1.2×10^{-2}	1.4×10^{-2}	4.1×10^{-2}

1M Zn-C	單極置換	產氫 mole	Zn 減三用	pH 減三用
	3.5×10^{-3}	7.5×10^{-3}	1×10^{-2}	2.4×10^{-2}

1. 雙極與單極的置換差異不大：0.1M 的單極置換反應 > 雙極的置換反應

1M 的單極置換反應 < 雙極的置換反應

2. 濃度對置換反應有很大的影響

電化學反應之比較

0.1M Zn-Cu	雙極減單極	產氫 mole	三用
	1.5×10^{-4}	1×10^{-5}	2.82×10^{-5}

0.1M Zn-Fe	雙極減單極	產氫 mole	三用
	1.5×10^{-4}	6.2×10^{-5}	4.3×10^{-5}

0.1M Zn-C	雙極減單極	產氫 mole	三用
	0	6.2×10^{-5}	2.19×10^{-5}

1M Zn-Cu	雙極減單極	產氫 mole	三用
	2.92×10^{-3}	2×10^{-4}	8.3×10^{-5}

1M Zn-Fe	雙極減單極	產氫 mole	三用
	1.1×10^{-2}	2×10^{-4}	6.5×10^{-5}

1M Zn-C	雙極減單極	產氫 mole	三用
	6.5×10^{-2}	1.25×10^{-4}	2.25×10^{-5}

三用電錶與產氫的算法得的值較相近

柒、結論

一、自製裝置之改良

本實驗所使用之自製裝置已可同時觀察電化學反應與置換反應，相較於傳統的三用電錶或是 pH meter 單獨觀察電化學或置換反應，本裝置具有可同時觀察上述兩種反應之優勢。相較於 pH meter 的結果，我們的自製裝置不易有酸誤差（pH meter 在較酸環境下讀值容易有誤差 pH 值介於 1.0 ~ 14.0 較準）產生，可用於較酸環境下，觀察電化學與置換反應之比例；相較於三用電表的結果，我們的自製裝置與三用電表有相同的準確度，也因此學生認為本自製裝置可用於取代 pH meter 及三用電表，來觀察電化學與置換反應之比例。

在自製裝置的修改中，我們發現集氣裝置之通路愈短愈好，且裝置愈密封氫氣洩漏的程度愈小，裝載硫酸的容器體積盡量能夠控制在與待測金屬之大小相同較佳。

二、置換反應產氫速率

- (一)、由表二和表五分別為單極鋅片，在不同濃度的硫酸下的反應，以實驗產率而言，硫酸濃度越稀的反應時間越長，其單位時間產生的氫氣量較少。
- (二)、相較於鋅片，鐵片的產氫速率較慢，顯示其置換反應速度較鋅片來得慢，其次銅片產氫量趨近於零，表示銅片不會與氫進行置換反應，且可能會有些銅離子被些微溶出的情況發生。

三、置換反應與電化學反應比較與計算方法之介紹

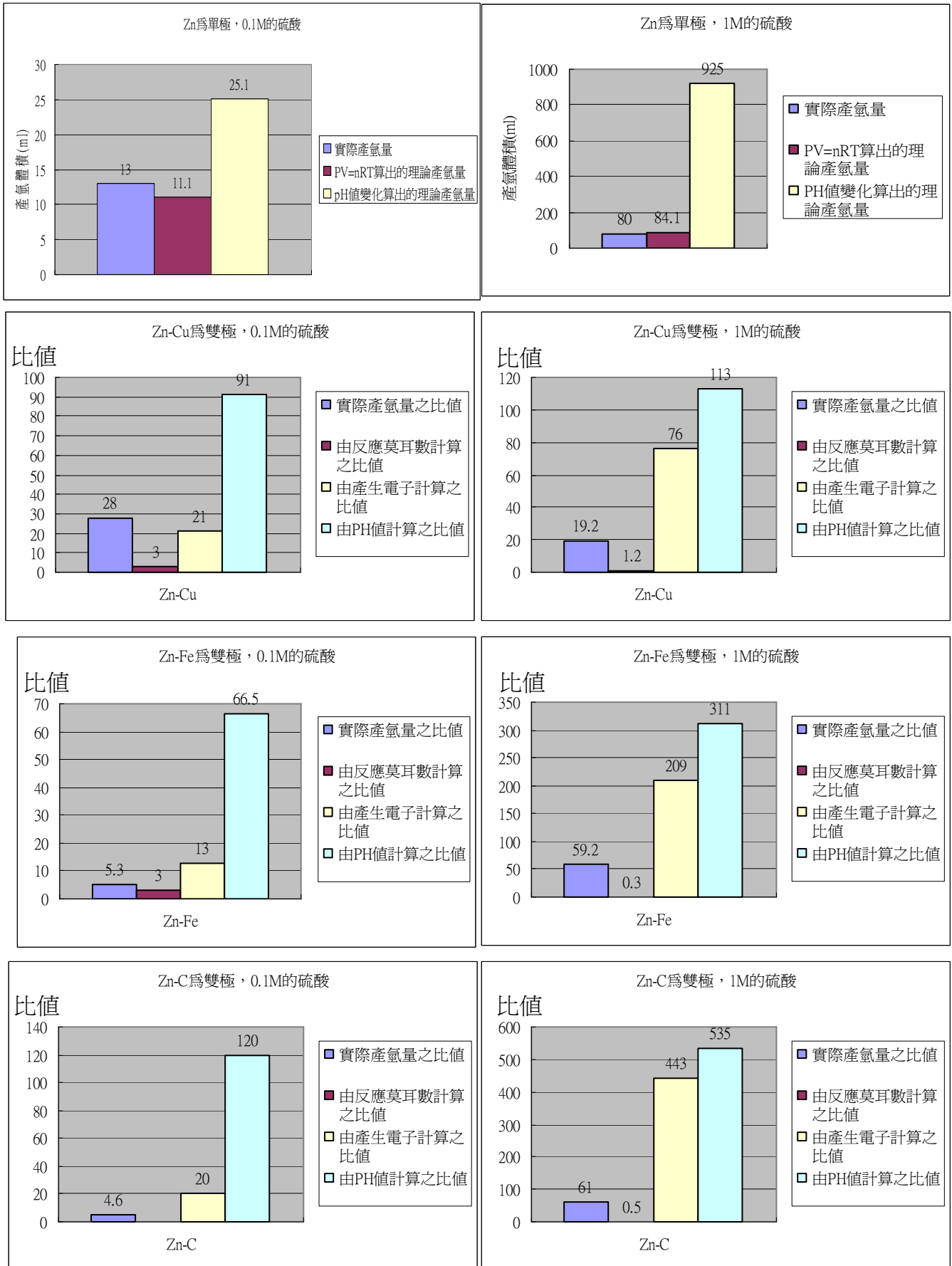
0.1M 硫酸

	Zn-Cu	Zn-Fe	Zn-C
陽極、陰極實際產氫量比例	28 : 1	5.3 : 1	4.6 : 1
由反應莫耳數計算之置換反應與電化學反應比例	3:1	3 : 1	$4.6 \times 10^{-4} : 0$
由產生電子計算之置換反應與電化學反應比例	21 : 1	13 : 1	20 : 1
由 pH 值計算之置換反應與電化學反應比例	91 : 1	66.5 : 1	120 : 1

1M 硫酸

	Zn-Cu	Zn-Fe	Zn-C
陽極、陰極實際產氫量比例	19.2 : 1	59.2 : 1	61 : 1
由反應莫耳數計算之置換反應與電化學反應比例	6 : 5	3 : 10	1 : 2
由產生電子計算之置換反應與電化學反應比例	76 : 1	209 : 1	443 : 1
由 pH 值計算之置換反應與電化學反應比例	113 : 1	311 : 1	535 : 1

由前面的實驗數據整理出這八張柱狀圖：



(一)、算法 1

置換：電化學 = 鋅單極反應莫耳數：鋅雙極反應莫耳數 - 鋅單極反應莫耳數

(二)、算法 2

置換：電化學 = 鋅產生的電子莫耳數 - 電化學反應產生電子的莫耳數：電化學反應產生電子的莫耳數

(三)、算法 3

置換：電化學 = 氫離子總反應莫耳數 - 電化學反應產生的電子莫耳數：電化學反應產生的電子莫耳數

四、置換反應與電化學反應產氫速率

- (一)、本實驗之自製裝置可同時監測置換反應及電化學反應速度之快慢，並經由陽極、陰極產氫量，來推算置換反應與電化學反應的比例。
- (二)、當兩極連接時，陽極之產氫速率遠高於陰極，此結果顯示置換反應速率大於電化學反應速率，此結果與高中化學教科書所提及相同，由於置換反應僅牽涉溶液與電極之反應，因此反應較快；但是電化學反應還須考慮電子經由外電路傳遞的問題，因此速率較慢。

五、綜合實驗二 ~ 五 定時下，同時探討置換反應與電化學反應之比例

- (一)、電流與電壓的測量原本是，定時下同時運用兩台三用電錶串聯加並聯測量到電流與電壓，但運用 1.5V 的乾電池簡單測試過，發現沒有一個線路是可以同時觀測電流與電流，同時測量時，電壓與電流會相互影響，影響測出來的結果，於是我們選擇定時下交錯測量電壓與電流，一方面能有緩衝時間將三用電錶的旋轉盤做電流、電壓互轉，一方面能測出較精準的數據。
- (二)、0.1M 證明了，我們的反應，並不會因為使用不同的電極，而有差異太大的結果。0.1M、1M 鋅-銅的證明了濃度越大電化學越多，而實際上銅及產氫量卻沒有明顯上升，可能的原因為，導線內的電阻過大，造成傳遞過程中有電子的消耗，因此銅的產氫量並無明顯上升。
- (三)、綜合上表結果可知鋅-碳組合的置換反應：電化學反應之比例相較於鋅-鐵組合與鋅-銅組合的置換反應：電化學反應之比例的比值較大，故可知鋅-碳組合進行的電化學反應較少，依照前表 1M 硫酸、0.1M 硫酸鋅-碳組合的數據推測是由於碳屬於非金屬元素，電阻較大平均電流相對變小，因而導致電化學反應的減少。
- (四)、在高電解質溶液(1M H₂SO₄)下，由自製裝置觀察，我們發現銅、鐵、石墨三者陰極的產氫量比較是：Fe = Cu > C，置換與電化學反應之比值是：C > Fe > Cu，此結果與高中教材中的活性表 C > Zn > Fe > H > Cu 一致。
- (五)、在低電解質溶液(0.1M H₂SO₄)下，由自製裝置觀察，我們發現銅、鐵、石墨三者的陰極的產氫量比較是：Fe = C > Cu，置換與電化學反應之比值是：Cu > Fe > C，此結果與高中教材中的活性表相反，顯示電解質濃度會對金屬活性有所影響。

捌、未來發展

- 一、未來可於將電解質變為膠狀(加入聚丙烯酸鈉、縮甲基纖維素鈉…等)觀察置換反應或是電化學反應是否會受到溶液黏度影響而有不同。
- 二、改變其他實驗變因對置換反應、電化學比例之影響，例如：提高溫度、增加反應面積…等，觀察提高溫度或增加反應面積對電化學或是置換反映影響較顯著，並嘗試解釋為何會有此現象。
- 三、嘗試將不同材料之電極，利用沉積或是置換方法，合成一片，希望減少電子經由外電路所產生的誤差。

玖、參考資料及其他

- 萬其超（1983）。電化學之原理與應用。徐氏文教基金會。
- 胡啓章（2002）。電化學原理與方法。五南書局。
- 洪偉倫（2010）。引航高三選修化學（下）。康寧泰順書坊。

【評語】 040207

研究主題為探討置換反應(氧化還原)與電化學反應之相關性。

研究的內容相當完整但是目的不夠明確。