

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：海格的爆尾釘蝦 - 鹼性電池的探討

關鍵詞：銀鋅電池、電極、創新

編號：040210

學校名稱：

國立屏東高級中學

作者姓名：

吳、徐志中、陳偉國、劉耀仁

指導老師：

陳國祥、林素密



海格的爆尾釘蝦－鹼性電池的探討

不久之前，風靡全球的哈利波特一書中，有間名為霍格華茲的魔法學校，這間學校傳授的是一些有關魔法世界的課程，其中有一門課程”奇獸飼養學”，講師是一位名為海格的巨人，他飼養了一種生物叫爆尾釘蝦，此種生物的特性就是具高危險性，只要你一靠近它，它就會爆出灼熱的火光 ……….

壹、摘要

鹼性電池使用的電解液均為強鹼，電池中的鋅極會與其發生腐蝕反應，使得電池放電壽命降低，並產生氫氣，而大量氫氣使得電池有爆裂的危險，為了改善上述問題，我們自行設計了氣體觀測儀器，用來檢測銀鋅電池充放電與靜置時之氣體產生量，更藉由探討影響變因的過程找出銀鋅電池最合適之使用條件，例如：電解液種類之選擇、濃度的比較、電極面積與充電電流對使用效果之影響，並改善電池腐蝕程度，進一步提高使用功率，以鋅極處理(Sn:Pb 1:1)搭配電解液添加物(KOH:Zn(OH)₄²⁻ 2:1)非常有效率地抑制氣體產生，更用氯化銀取代傳統氧化銀為正極，大大地提升放電功率至原先的數百倍。

貳、研究動機

高二化學課程提到兩性元素在鹼性溶液中會反應產生氫氣。此現象引發我們強烈的好奇心：「鹼性電池的電極不正是兩性元素之一的鋅，為何明知道會產生氫氣還要使用？」於是我們便著手調查市面上鹼性電池之相關資料，而在我們搜尋資料的過程中，得知銀鋅電池是目前市場上的明日之星，其高穩定和可充電之特色連在軍事上都被廣泛運用。高一基化課本上，也特別指出其為未來電池發展的主軸，其重要性不言可喻。故我們以銀鋅電池為對象深入探討各種變因對其特性的影響。

參、研究目的：

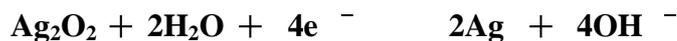
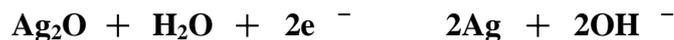
- 一、 自製氣體生成測量儀器，並測出不同變因下之氣體產生情況。
- 二、 找出可抑制電極腐蝕和提高電池功率之方法。
- 三、 自製一個高功率低危險的電池。

肆、研究過程及方法

- 一、 文獻探討
 - (一) 銀鋅電池之化學原理

銀鋅電池具有優異的放電穩定性，故本實驗以銀鋅電池作為實驗材料。銀鋅電池主要由三部分組成：以氧化銀(Ag₂O)或過氧化銀 (Ag₂O₂) 為正極，以鋅(Zn)為負極，即以鹼性溶液－氫氧化鉀或氫氧化鈉為電解液所組成，基本化學反應如下：

1. 正極：



2. 負極：



3. 全反應：



(二) 銀鋅電池的特性

1. 充電特性

銀鋅電池通常以定電流的方式充電，充電電流小於20毫安培/(吋)²。其充電曲線可分為數個步驟，都非常平坦，如圖 1 所示。在第一段時 (AB)，其充電電壓維持在 1.65 伏特左右，銀(Ag)被氧化成一氧化銀(Ag₂O)；當銀(Ag)全被轉化成一氧化銀(Ag₂O)後，電壓陡升至 1.95 伏特左右並維持不變，在這段期間(BC)，一氧化銀被氧化成過氧化銀 (Ag₂O₂)。在 AB 和 BC 充電過程中，氧化鋅 (ZnO) 同時被還原為鋅 (Zn)，且此兩段是充電效率最高的階段。因為銀鋅電池中，鋅極易流失其電容量，故設計上鋅極之電容量較銀極多，當銀極全被氧化成過氧化銀 (Ag₂O₂) 後，電壓陡升至 2.05 伏特，此時僅氧化鋅 (ZnO) 被還原為鋅 (Zn)，並釋出氧氣(O₂)；當鋅極也完全變成鋅後，若再繼續充電，電壓將驟升至 2.12 伏特，並開始分解水 (H₂O) 並產生氫氣(H₂)和氧氣(O₂)。實際運用時，充電反應終止於 C 點 (2.05 V)，通常充電終止電壓略低於 2.05 伏特，約 2.0 伏特，以避免發生「鋅滲透效應」(Zinc penetration) 而影響電池的壽命及性能，尤其在多電池串聯組中，這種影響極為嚴重。

2. 放電特性

當銀鋅電池充電完畢後或已經放電過數分鐘後，在室溫下，其開路電壓約為 1.86V，其放電情形大致可分為兩個階段，如圖 A 所示。從開路電壓到 B 點是一突降，代表銀及兩種反應的混合電壓；從 B 點開始，Ag₂O₂ 轉化成 Ag₂O，電壓呈緩和下降的曲線，直到 C 點完全轉變為 Ag₂O，並開始還原為 Ag，直到 D 點，Ag₂O 幾乎都轉變為 Ag，放電也近乎結束，其電壓 (CD 段) 約維持在 1.5V 上下，是一極為平坦的放電曲線。接著，電壓極驟下降至放電終止電壓。通常截止電壓都設定在較高值，略低於 1.5V，以避免電池發生突然的極性逆轉。

通常銀鋅電池多以銀極的電容量代表電池的電容量 (silver-limiting Cell) ，鋅極之電容量約為銀極的 1.5 至 3 倍多，這是因為 ZnO 極易溶於 KOH 溶液，致使鋅極流失電容量之故。

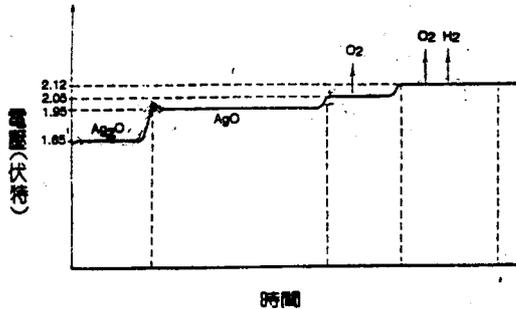


圖1. 銀鋅電池(含過量氧化鋅)之典型充電曲線。

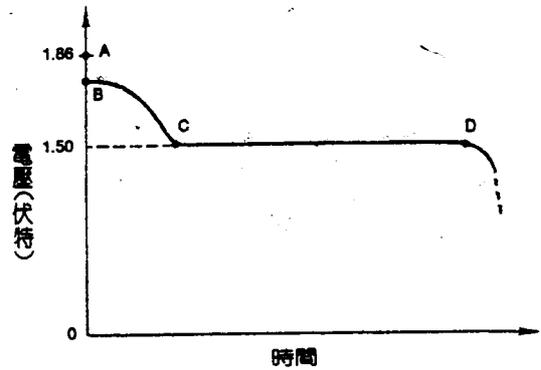


圖2. 銀鋅電池(含過量氧化鋅)之典型放電曲線。

(三) 銀鋅電池的問題

造成銀鋅電池壽命結束的原因有二：一是電容量的流失，一是電池發生短路的現象。電容量流失的情形，當深度放電時尤為明顯。部份原因是鋅的流失——氧化鋅極易溶於氫氧化鉀溶液，然主要原因是充 / 放電過程中，電流密度各處不同，使還原鋅分佈不均，導致鋅極外形改變(zinc shape change)，表面積、孔隙度等等均為之變化，而使電容量流失。如果把充電電流盡量降低，則可大為改善此現象，但極不切實際（充電時間至少需要90天）。可行之道是藉添加物來改善鋅極外形的變化，譬如：加入少量的汞，可提高氫之過電壓，以減輕鋅腐蝕和變形的現象；又當以複合金屬（鉛(Pb)、鎘(Cd)、鉍(Tl)及銻(In)等金屬中任兩種）代替汞加入鋅極時，對因為深度放電和頻繁循環所引起之電極外形變化，有很大的改善。這些添加物的適量比例，應介於 0.5% 至 5% 間，尚待深入研究。

銀鋅電池發生短路的主因是鋅和銀的滲透效應(zinc & Silver penetration)，生成樹枝狀結晶，進而刺穿隔離膜，導致短路。這種短路的現象，可經由足夠層數之主隔離膜(main separator)來延緩其發生的時間，因此，銀鋅電池的壽命和隔離膜層數有關，隔離層數愈多，電池壽命愈長，最長可至三年，如表 2 所示。銀滲透效應是隨著電池之循環次數與使用時間逐漸發生，而鋅滲透效應則可能遽然發生，立即使電池夭折，影響較為嚴重。雖然可藉控制鋅極充電來避免鋅滲透效應，但是隨著循環次數及使用時間的增加，充電的條件也隨之變化，尤其是在串聯的多電池組中更為明顯，故此法並不可行。目前，預防鋅滲透效應(zinc penetration)最安全而簡單的方法就是發展新的主隔離膜(main separator)或改良鋅電極。放電時生成的氧化鋅(ZnO)或氫氧化鋅(Zn(OH)₂)極易溶於電解液中，待充電時，再回復為鋅，如果能使鋅均勻地回復到電極或使氧化鋅僅微溶於電解液，就可以避免長成含鋅之樹狀結晶(zinc dendrite)，最有效的方法就是找出新型之主隔離膜，其孔隙小於四氫氧化鋅離子(Zn(OH)₄²⁻)，那麼放電時溶解的鋅錯離子就可均勻分佈在鋅極四周，不會滲透到主隔離膜外，則充電時，鋅就可以均勻地回復到電

極上，亦可避免樹枝狀鋅晶體之生成。另一個方法是藉添加物來改良鋅電極，當充電電流升高時，鋅極表面之電流密度並不一致，致使鋅回到電極表面的速度也不相同，通常在邊緣或頂端電流密度較高，因而加速鋅樹枝狀晶體在這些區域之生成，此時可藉添加物，例如：鐵(Fe)、鎳(Ni)或其氧化物等的加入，以降低這些特定部份氫之過電壓，從而減緩鋅滲透效應(zinc penetration)，這兩種方法都須再深入研究。

(四) 討論：

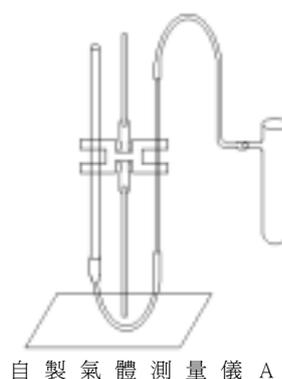
在查證過上述資料後，我們考慮到鋅滲透效應之隔離膜對高中生而言，不但難以取得且實驗方法過於精密，在往後的實驗中將不予以討論。但除此之外，我們認為銀鋅電池仍有許多地方值得探討，例如鋅極浸渡金屬的選擇、最佳浸鍍時間條件、浸鍍金屬量最佳比例、或添加物之影響及最佳調配方法、甚至可嘗試改變銀極，探討對功率有何影響，故我們決定先以可重覆充放電的銀鋅電池為研究主軸，找出在何種條件下為最佳使用情況，並綜合研究成果自製一個具高放電功率且低危險之銀鋅電池。

二、 設計儀器

氣體產生量是本次實驗討論極為重要之一環，分為充放電過程氣體測量儀及靜置氣體測儀。

(一) 充放電過程氣體測量儀(自製儀器A)：

為測量電池在充放電過程之氣體產生量，我們首先將吸量管和滴定管以橡皮管連結形成U型管設計，把水注入管中並將吸量管上端連接至電池反應槽(附側管之試管)，將橡皮塞挖洞以利內部電極接上鱷魚夾，即可用連通管原理測出使用時氣體產生量。但後來實驗過程中發現有漏氣之現象造成數據大幅度落差，於是以凡士林塗抹所有接合處，漏氣現象才得以改善。



自製氣體測量儀 A

(二) 靜置氣體測量儀(自製儀器B)：

由於靜置實驗鋅極和電解液反應之氣體產生量相當的少，用自製儀器A不易測得，不但刻度太大不易觀察，在以橡皮塞封口時，其壓力對水位的影響更是嚴重干擾實驗數據準確度。於是經我們不斷嘗試後發現，具有螺旋蓋之廣告顏料瓶搭配直徑2mm毛細管測出之數據誤差最小，便以此為測量儀器。



自製氣體測量儀 B

三、 實驗方法建立

(一). 前處理：

- 1.取適量之純銀絲和 $1 \times 4 \text{ cm}^2$ 之鎳片，置入裝有去離子水之 250ml 燒杯中。
- 2.以鱷魚夾連接電源供應器，銀接正極，鎳接負極。
- 3.定電壓為 30~32.5 V 對金屬通電
- 4.通電40分鐘，關掉電源，取出銀絲陰乾，即得表面附著過氧化銀之銀絲，定為實驗用電極。

(二). 靜置實驗 I :

1. 在自製氣體測量儀 B 倒入 30ml 之電解液 (依實驗需求決定配方)
2. 放入電極片 (規格依實驗決定)
3. 蓋上附直徑為 2mm 毛細管之瓶蓋，並使電極片不要正對毛細管口。
4. 鎖緊蓋子，使毛細管中水柱上升至超過瓶蓋，標上記號靜置。
5. 放置 30 分鐘後，計算水柱上升高度 (cm)。

(三). 靜置實驗 II — 實驗五 (溫度效應) :

1. 想法：由於本實驗是探討環境溫度對氣體生成量之影響，必須將氣體測量儀放入各種不同的環境中，又由於自製氣體測量儀 B 是精密度非常高之儀器，溫度大幅度的改變很可能會影響實驗結果，故我們便以自製氣體測量儀 A，去除掉鱷魚夾，用與鹼反應較激烈之鋁代替鋅，模擬溫度與氣體生成量之關係。
2. 做法：
 - (1). 倒 35ml 之電解液 (KOH — 6M) 入試管，放入電極片 (鋁片 — $1 \times 4 \text{ cm}^2$)，蓋上橡皮塞。
 - (2). 在所有接合處塗上凡士林。
 - (3). 放入恆溫槽 (60 °C) 或冰、水混和液 (0 °C) 中 (依實驗需求) 靜置 1 分鐘後，記錄氣體生成量。

(四). 充放電過程 :

1. 在自製氣體測量儀 A 之試管中倒入電解液 35ml (配方依實驗需求)。
2. 置入實驗用電極 (規格依實驗需求) 以鱷魚夾固定，接上電源供應器。
3. 蓋上橡皮塞，在接合處塗抹凡士林，並以自由夾加強瓶口緊密度。
4. 打開供應器電源，以定電流方式測其充放電電壓變化曲線及時間，並以充放電各一次為週期，記錄氣體生成量。

(五). 充放電記錄法 :

1. 充電時間記錄 :

根據文獻，當電池電壓充到約 2.05V 時銀極會放出 O_2 ，又根據我們本身實驗之結果，繼續充電，其放電時間也不會有多大改變，為了節省時間和便於觀察，我們便將銀極充電至冒泡定為充電結束，所需時間定為充電時間。

2. 放電時間記錄 :

根據文獻，剛開始會有一段電壓掉落期 AC，接著是平穩期 CD。這兩段期間是電池功率表現的主要關鍵，但由於 D 點後至電壓歸零所經時間只有 1~3 秒，為了便於記錄，我們以放電初始至歸零所經時間為放電時間。

3. 電壓的測定 :

在實驗過程中，因我們沒有定電流放電器，故我們是以同規格之電燈泡為電阻，搭配三用電表，測放電時間與電壓之關係。又為了確定銀極處理實驗，銀極之產物，我們測量電極尚未接上電阻時之電壓，定其為”空電壓”。

(六). 鋅極浸鍍處理：

1. 單一金屬

(4). 將電極鋅分別置入 30% 的 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{aq})}$ 和 $\text{SnCl}_{2(\text{aq})}$ 中。

(5). 依實驗需求浸入不同時間。

(6). 取出後以去離子水輕輕沖洗，再置入烘箱烘乾。

2. 先鍍Pb後鍍Sn

(1). 將鋅片置入 30% 的 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{aq})}$ 中。

(2). 取出清洗後再置入 30% 的 SnCl_2 中。

(3). 時間以 1 分鐘為基準，例：Pb:Sn 為 1:2 是在 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 先浸 1 分鐘，再浸 SnCl_2 2 分鐘，以此類推。

3. 先鍍Sn後鍍Pb

(1). 將鋅片置入 30% 之 SnCl_2 中

(2). 取出清洗後再置入 30% 之 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$

(3). 時間以一分鐘為基準，例：Sn:Pb 為 2:1 是先在 SnCl_2 浸兩分鐘，再浸入 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 一分鐘，以此類推。

(七). 添加物影響：

1. 添加不同比例含飽和鋅酸根之 KOH

(1). 在 6M $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 中加入過量的鋅粉，加熱煮沸 15~20min 至 KOH 不再與鋅粉反應生成氫氣，經冷卻過濾後之濾液即為含飽和鋅酸根之 KOH 溶液。

(2). 取 6M $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ ，和上述含鋅酸根溶液，依實驗需求調配不同溶液體積比。

2. 添加含飽和氧化鋅之 KOH

(1). 在 6M $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 中加入過量氧化鋅粉，攪拌至飽和過濾後之濾液即為含飽和 ZnO 之 KOH 溶液。

(2). 取 6M $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ ，和上述含飽和 ZnO 之 KOH，依實驗需求調配不同溶液體積比。

3. 添加含飽和 KCl 之 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$

(1). 在 6M $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 中加入過量 KCl 粉末，攪拌到飽和，過濾後之濾液即為含飽和 KCl 之 KOH 溶液，依實驗需求，調配出不同的溶液體積比。

(八). 銀極處理：

1. 以去離子水為前處理液

(1). 步驟同“實驗方法建立(一).前處理”。

2. 以飽和 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 為前處理液

(1). 在去離子水中加入過量 KCl 攪拌置飽和，過濾後即是所需之前處理液。

(2). 以飽和 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 取代去離子水，再用同“實驗方法建立(一).前處理”之步驟對銀極處理即可。

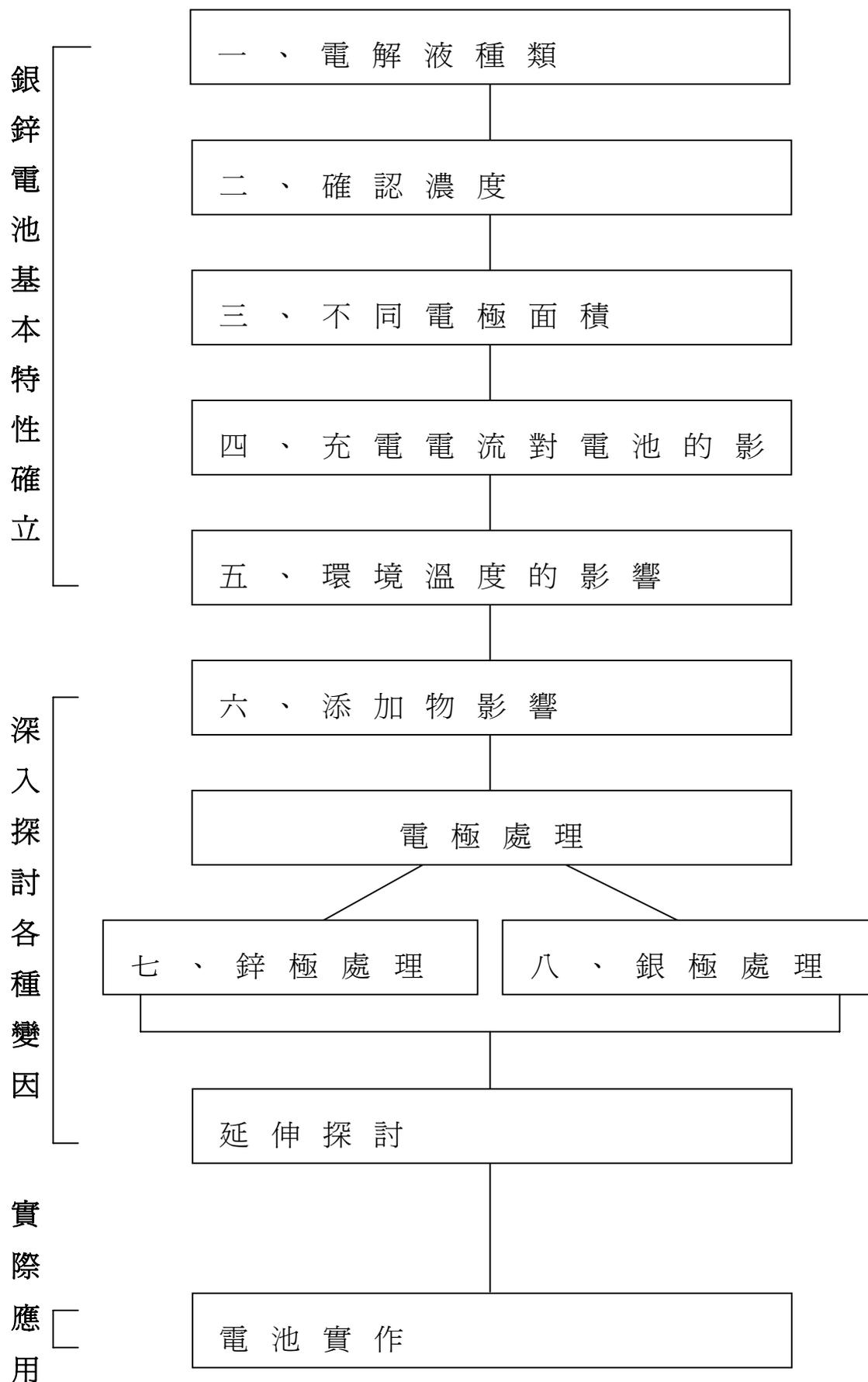
3. 先以去離子水處理，再以飽和 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 處理

(1). 依“實驗方法建立(一)-(1).(2).(3)”處理。

(2). 通電 20 分鐘取出陰乾。

(3). 再以飽和 KCl 為前處理液，經同樣步驟通電 20 分鐘，取出銀絲陰乾，即得實驗用之銀極。

四、 實驗流程圖



伍、 研究設備和器材

一、 使用藥品及器材

(一) 藥品

KOH NaCl NaOH
醋酸鉛 ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) Zn 粉 ZnO
CuO SnCl₂ MnO₂ 澱粉
KCl KI KBr AgCl AgO
多種金屬 (Al、Pb、Zn、Sn、Ag、Cu、Ni···)

(二) 器材：

1. 酒精燈、陶瓷纖維網、蒸發皿
2. 溫度計
3. 量筒、燒杯、滴管、玻棒、容量瓶
4. 微量天平、碼表、尺
5. 三用電表、電源供應器、燈泡
6. 自製氣體檢測計
7. 鱷魚夾、鑷子

陸、結果與討論

基本銀鋅電池特性之確立

一、電解液種類探討

(一) 想法：不同鹼性電解液對電池應有不同影響。

(二) 目的：確定銀鋅電池應以何種電解液為佳。

(三) 做法：

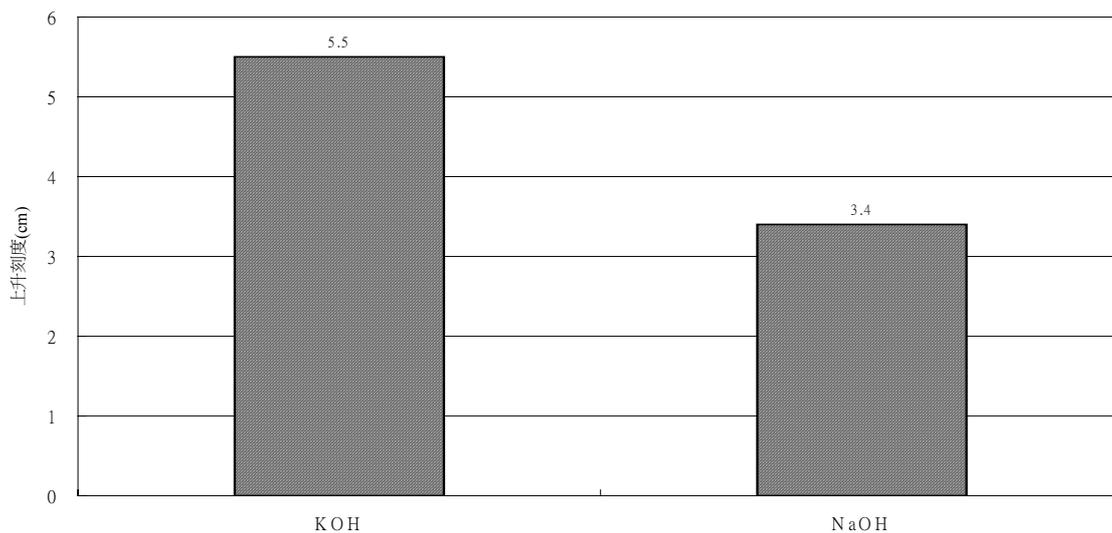
1 測出鋅極靜置在不同電解液之氫氣生成量。

2 取同規格電極，測出在不同電解液使用之差異。

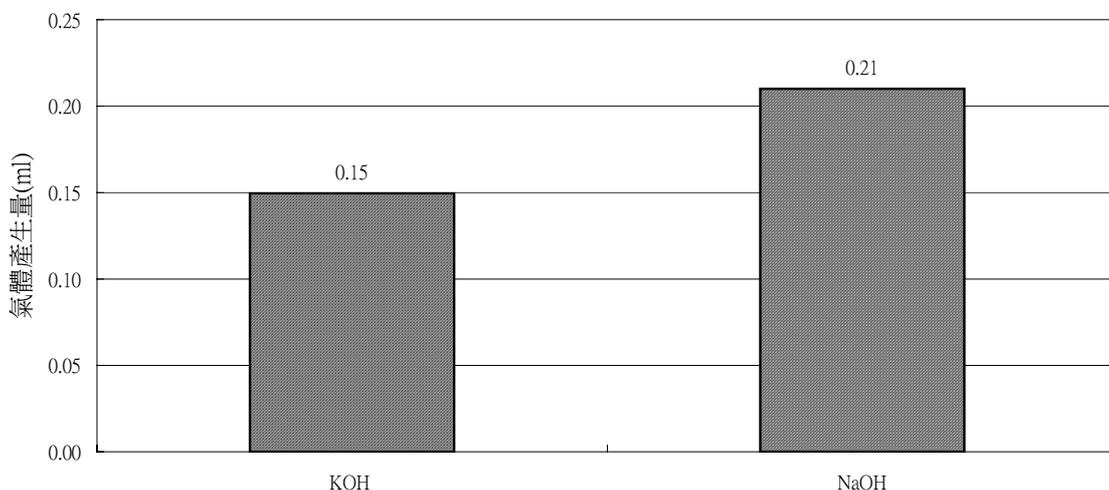
[註：45%KOH、NaOH、Zn 片(1 × 4cm²<浸入面積>)、銀絲(15cm)、充電電流 0.04A。]

(四) 實驗紀錄：

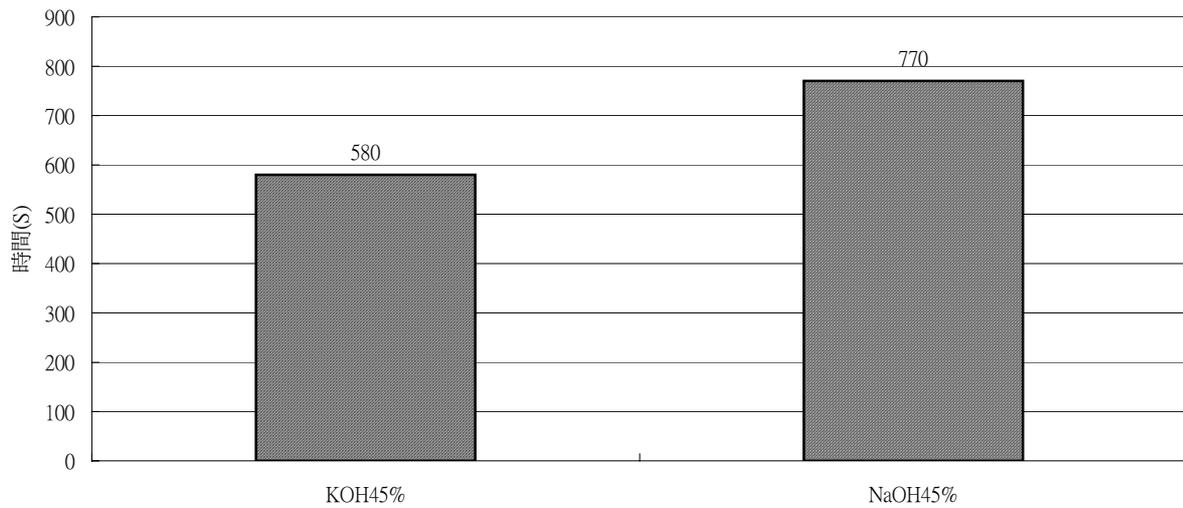
不同電解液-氣體產生量(靜置)



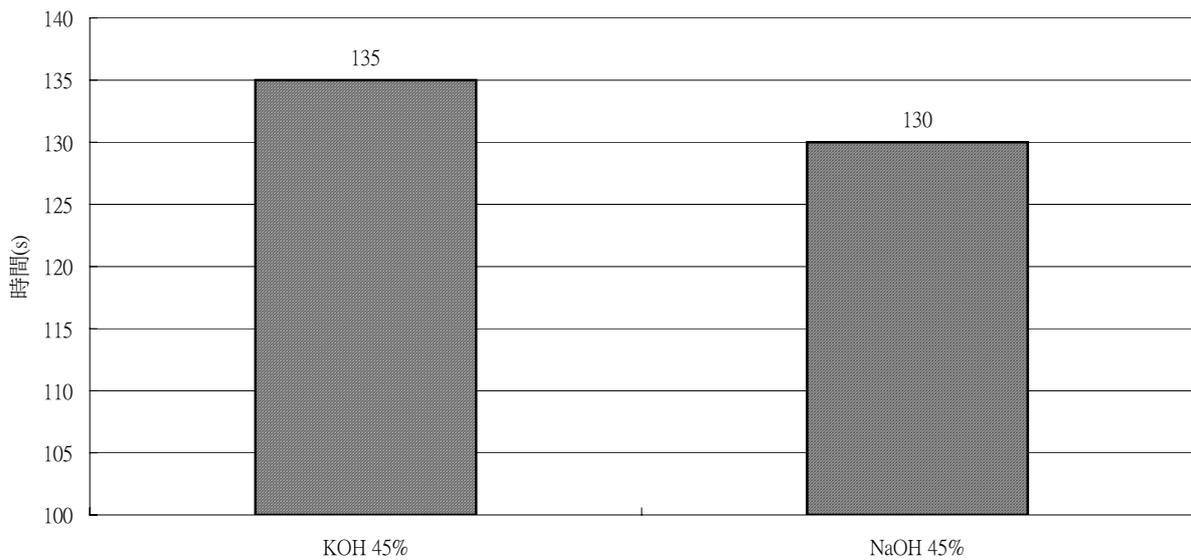
不同電解液-氣體產生量(使用中)



不同電解液-充電時間



不同電解液-放電時間



(五) 結果&討論：

- 1 根據靜置實驗得知，鋅極靜置在 KOH ，氫氣生成量（腐蝕程度）高於 NaOH 。
- 2 就功效而言，電解液 KOH 的充電時間較短，放電穩定期卻比 NaOH 高。
- 3 就充放電過程之氫氣產生量而言， KOH 主要氫氣生成期（充電過程）較短，所以氫氣生成量低於 NaOH 。
- 4 綜合以上條件，雖然 KOH 靜置之氫氣生成量高於 NaOH ，然而就其整體成效而言， KOH 實用性比 NaOH 高，所以我們在往後的實驗決定以 KOH 為電解液。

二、 電解液濃度的探討

(一) 想法：相同電解液中，所含離子數之多寡是否會造成不同影響。

(二) 目的：比較不同電解液濃度之影響。

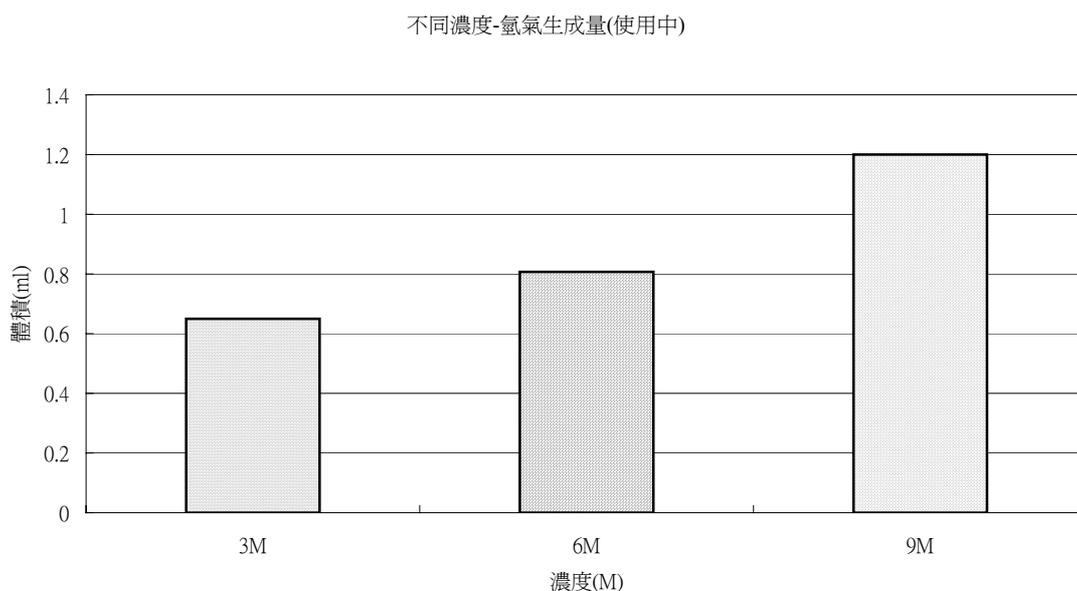
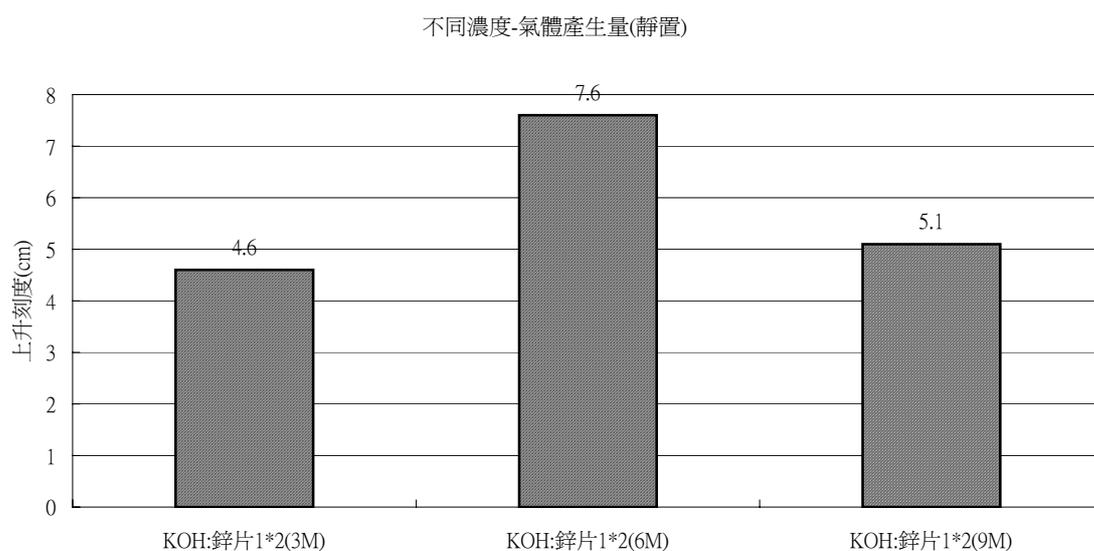
(三) 做法：

1 測出電極靜置在不同濃度電解液中的氫氣生成量。

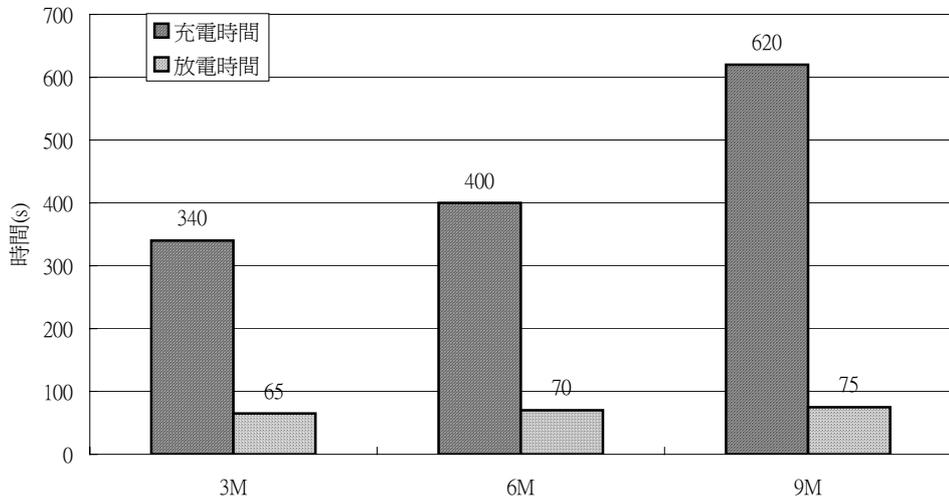
2 在相同電極和電解液的情況下測量不同濃度對電池電壓的影響。

[註： KOH 3M 6M 9M 、 Zn 極($1 \times 4\text{cm}^2$ <浸入面積>)、銀極 (15cm)]

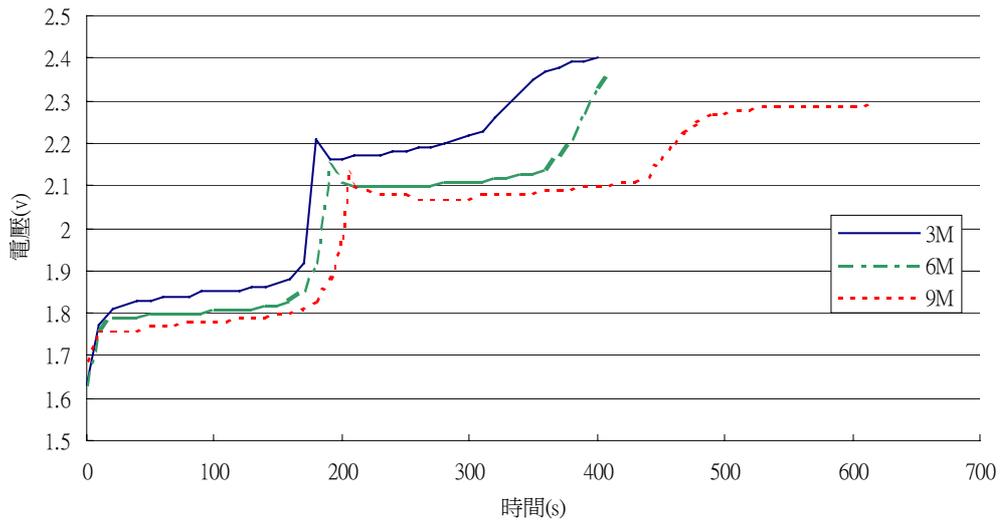
(四) 實驗紀錄：



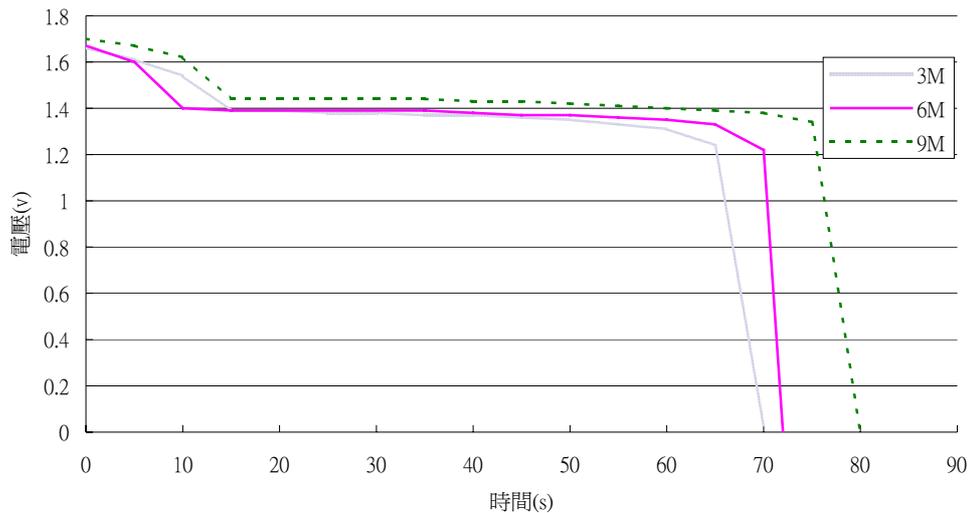
不同濃度-充放電時間



不同濃度-充電曲線



不同濃度-放電曲線



(五) 結果&討論：

- 1 經實驗證實，電解液中離子數越多，對放電時間有拉長的效果。
- 2 濃度越高，充電時間就越長，充放電過程之氣體生成量也越高。
- 3 靜置實驗中，發現氫氣生成量在 6M 達到高峰，3M、9M 均有下降的趨勢，根據文獻中對鋅的研究，鋅在鹼性溶液中反應物隨 OH^- 濃度不同而不同。在低濃度時（低於 6.5M）沉澱物為 ZnO 。可以解釋為何在 KOH 6M 時鋅的腐蝕速率有一明顯改變，即其生成物應為 ZnO 而非 Zn(OH)_2 。
- 4 證實取高濃度電解液，對電池整體效能而言，是較佳的選擇，但往後實驗為了節省時間（充電時間）和便於觀察（氫氣變化量），我們暫定 6M 為實驗用濃度。

三、不同電極面積

(一) 想法：在前實驗確立了電解液之標準，接著討論不同電極面積對電池效能之影響。

(二) 目的：討論電極面積對電池特性之影響。

(三) 做法：

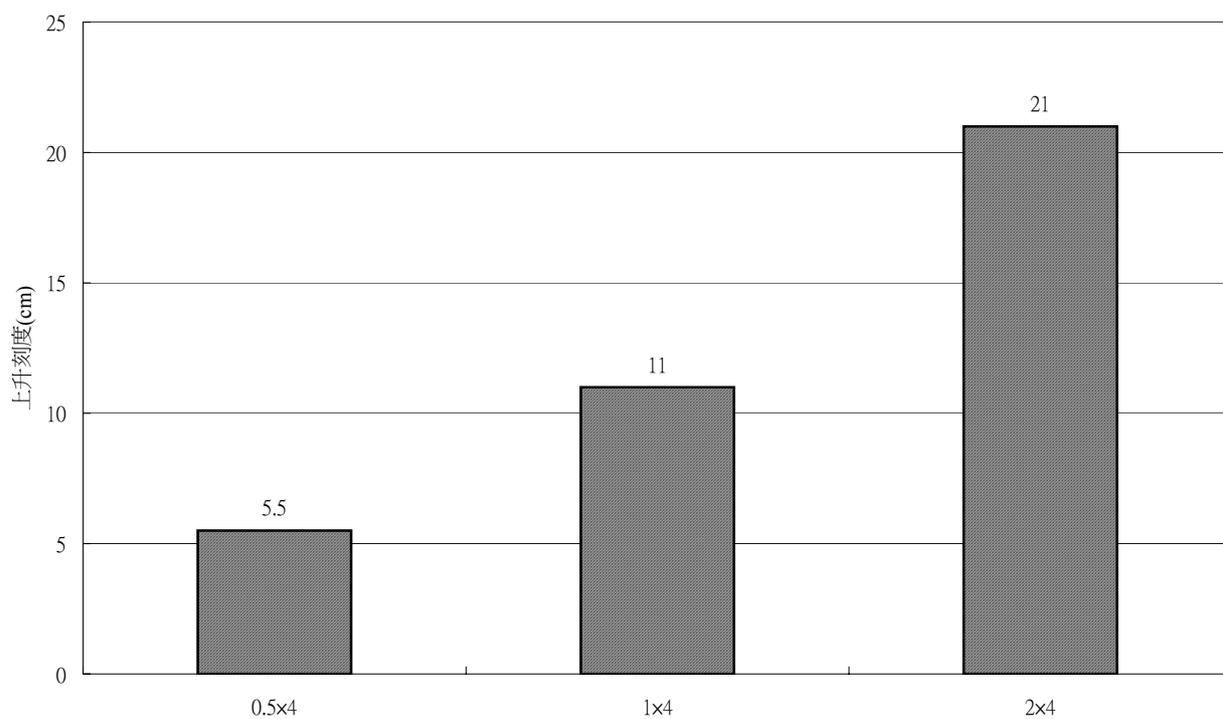
1. 測出不同面積之鋅極靜置在電池中的氫氣產生量。
2. 定銀極，測出不同鋅極面積對電池的影響。
3. 定鋅極，測出不同銀極面積對電池的影響。

[註：KOH 6M 充電電流0.04A]

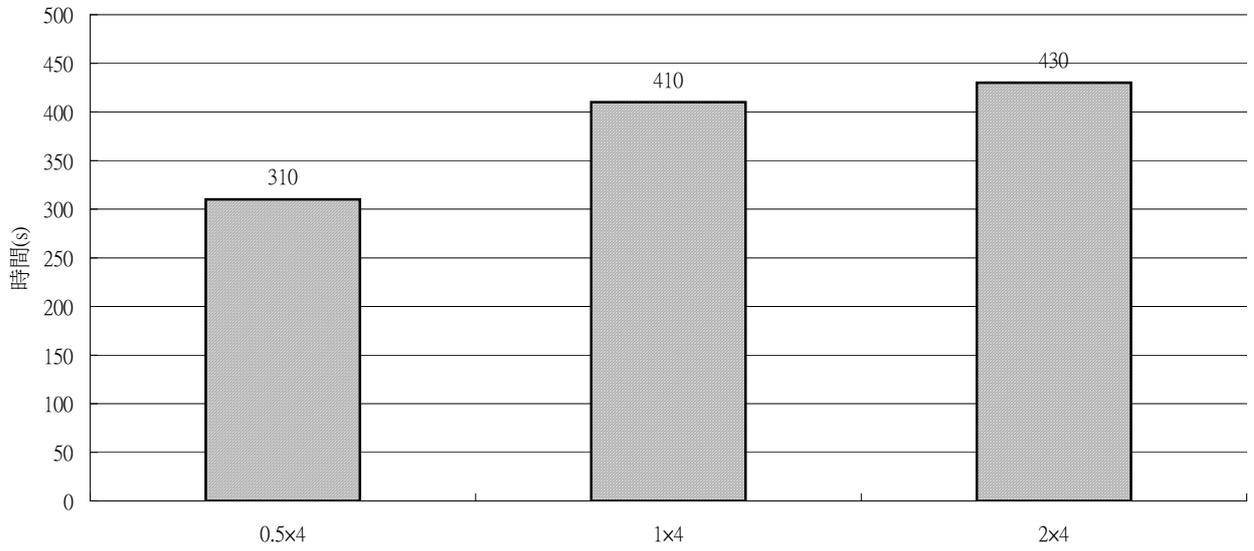
(四) 實驗記錄：

1. 不同鋅極面積對電池的影響。

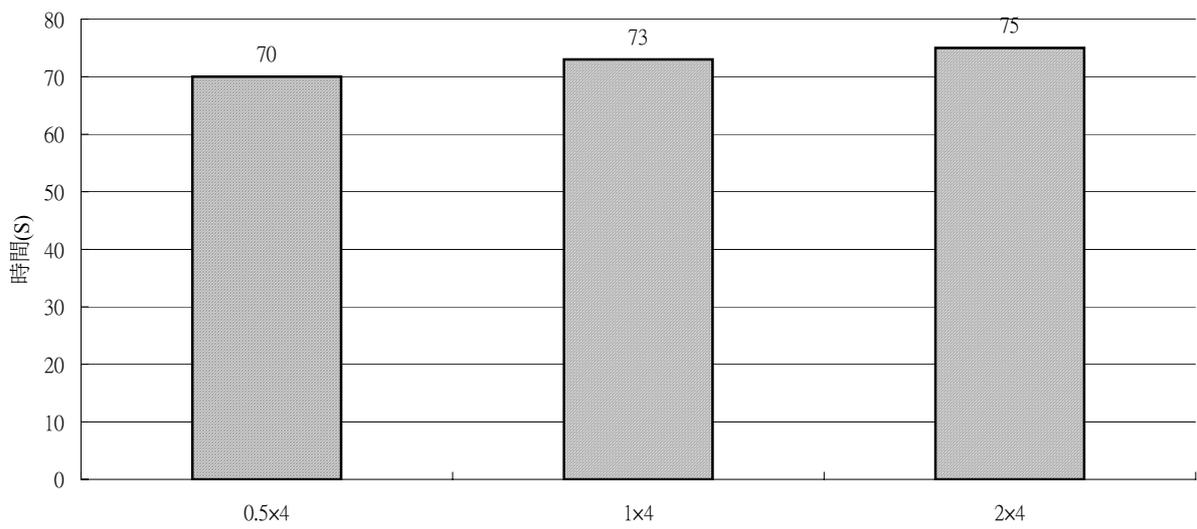
不同鋅極面積-氣體生成量(靜置)



不同鋅極面積-充電時間

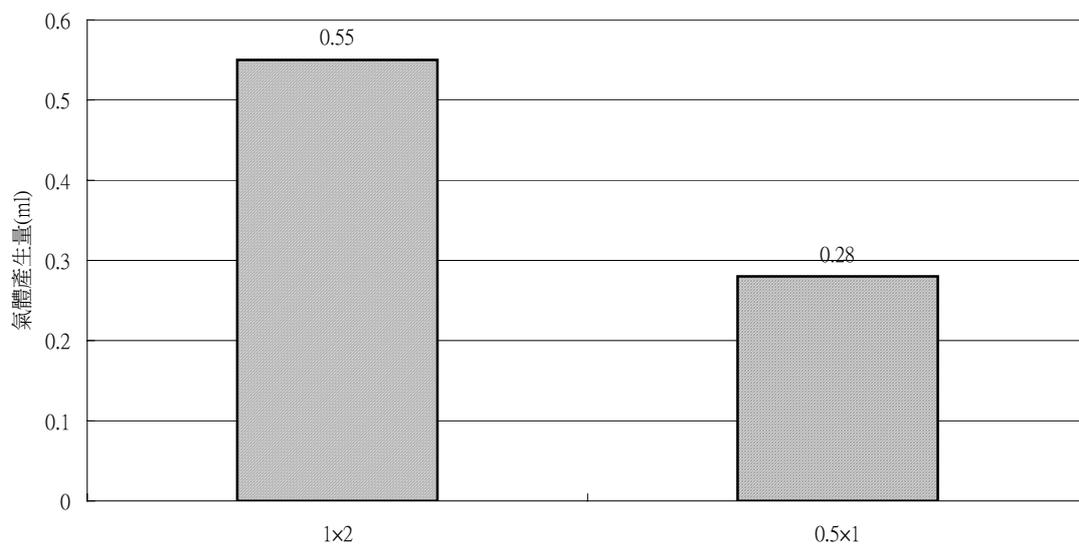


不同鋅極面積-放電時間

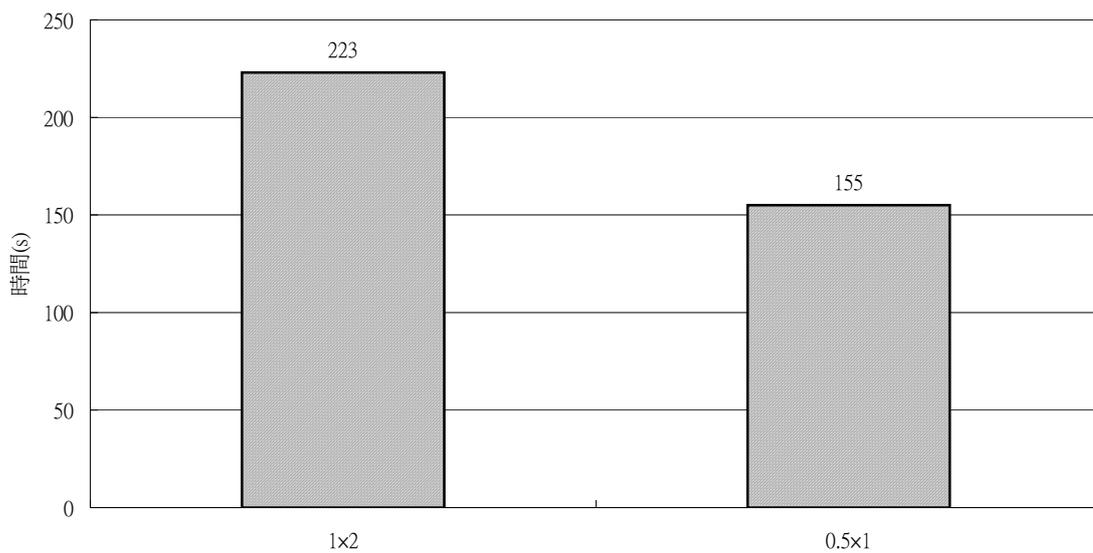


2. 不同銀極面積對電池的影響。

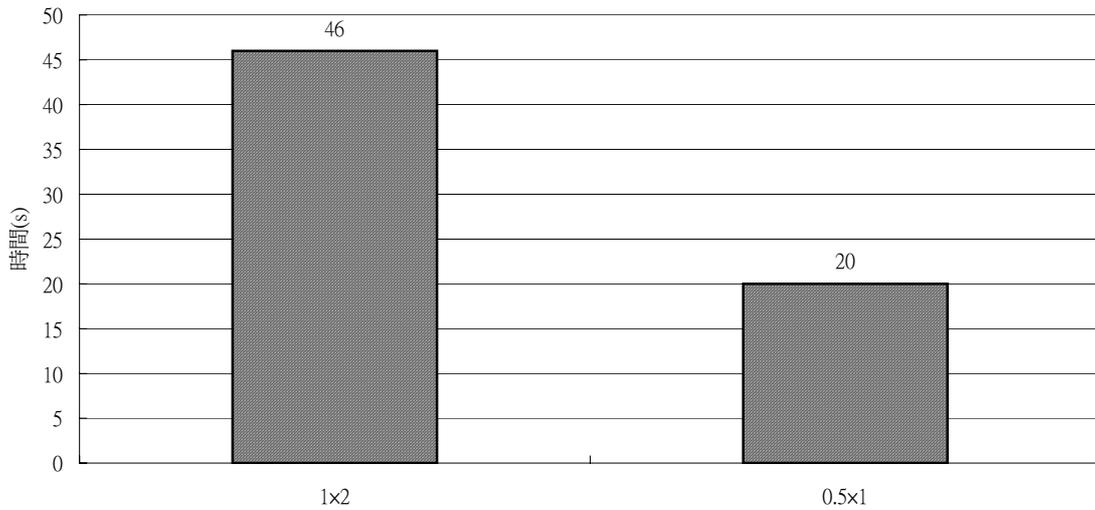
不同銀極面積-氣體產生量(使用中)



不同銀極面積-充電時間



不同銀極面積-放電時間



(五) 結果 & 討論：

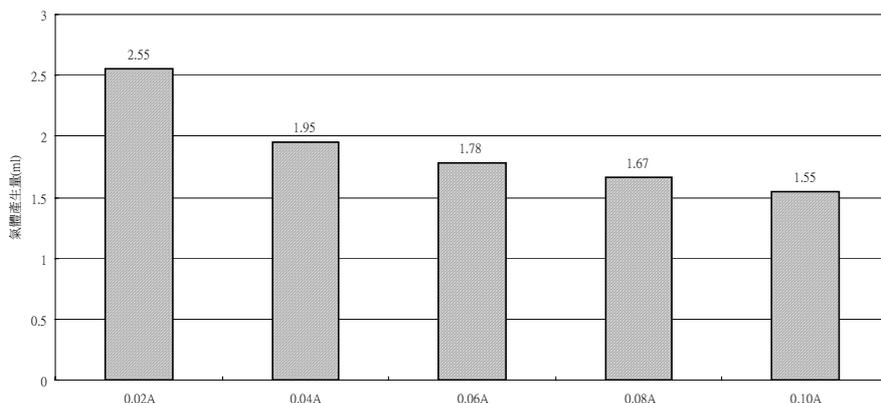
1. 不同銀極、鋅極面積對充放電所需時間，靜置、使用中之氫氣生成量成正向關係，亦即電極面積越大，充放電時間、氣體生成量越大。
2. 就放電時間而言，銀極較鋅極影響顯著，增加銀極面積能使電池功率有大幅度的提升，相較之下，增加鋅極對電池功率的影響只有微幅提升，可見只要在不使電極反應完的情況下，銀極是左右電池功率之主要因素。
3. 但因考慮到銀的價錢，我們在往後的實驗還是以15cm 的銀絲為主，至電池實作部分時，再視情況斟酌。

四、 充電電流對電池的影響

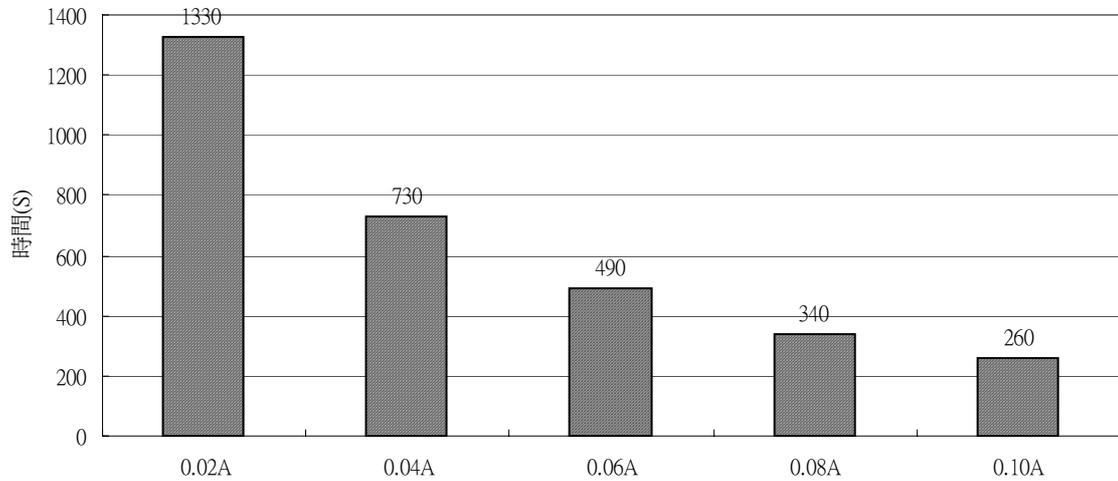
- (一) 想法：經前實驗過程，我們發現即使是同一個電池，若是以不同電流充電，表現出的特性也不同，於是決定深入探討。
- (二) 目的：測出充電電流對電池的影響。
- (三) 做法：在相同電極和電解液的情況下，測量不同充電電流對充放電時間之影響。
[註： KOH 6M 鋅極(1 × 4cm²< 浸入面積>)銀極 15cm]

(四) 實驗紀錄：

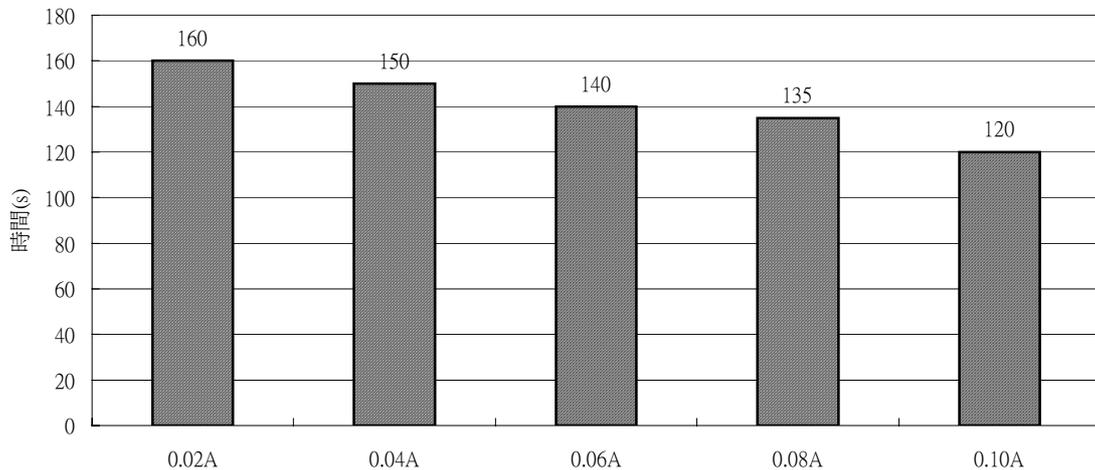
不同電流充電-氣體產生量(使用中)



不同電流-充電時間



不同電流-放電時間



(五) 結果&討論：

1. 證實充電電流越大，充電時間越短，使用過程中之氫氣生成量也隨之減少。
2. 就功效而言，高電流充電時間短，放電時間也較短，電流越高，越是如此。
3. 充電時間隨著充電電流的增加，會有逐漸平穩的趨勢（變化量減少）。
4. 綜合上述條件，又為了便於往後實驗觀察，我們選擇以 0.04A 為標準充電電流。

五、環境溫度的影響

(一) 想法：外在溫度的不同，會影響電池放電的穩定度，於是試著探討其關係。

(二) 目的：探討環境溫度對電池之影響。

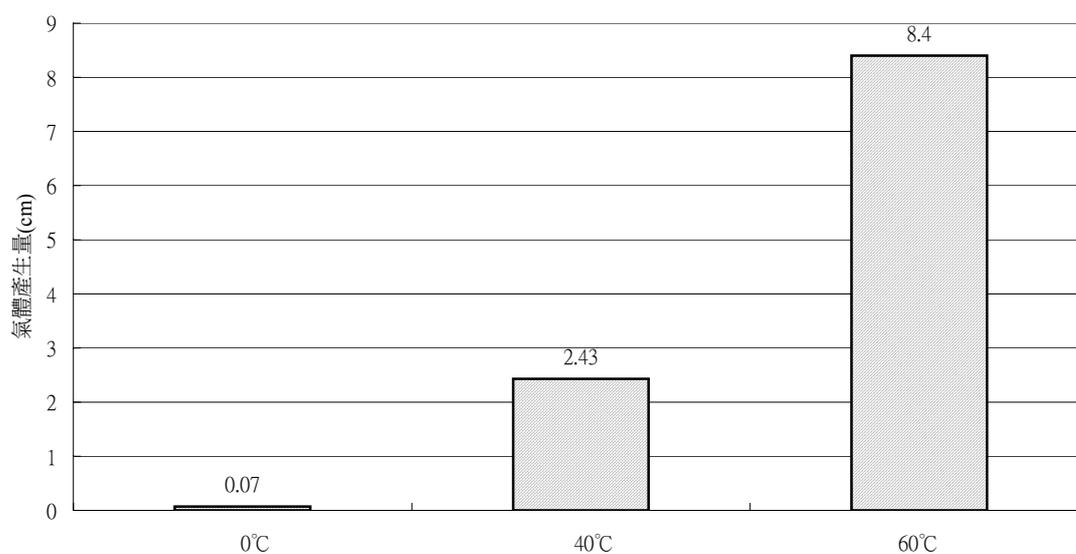
(三) 做法：

1. 以鋁片模擬鋅極在不同溫度下之氫氣產生量。
2. 以相同電池規格，測量其不同溫度下之使用特性。

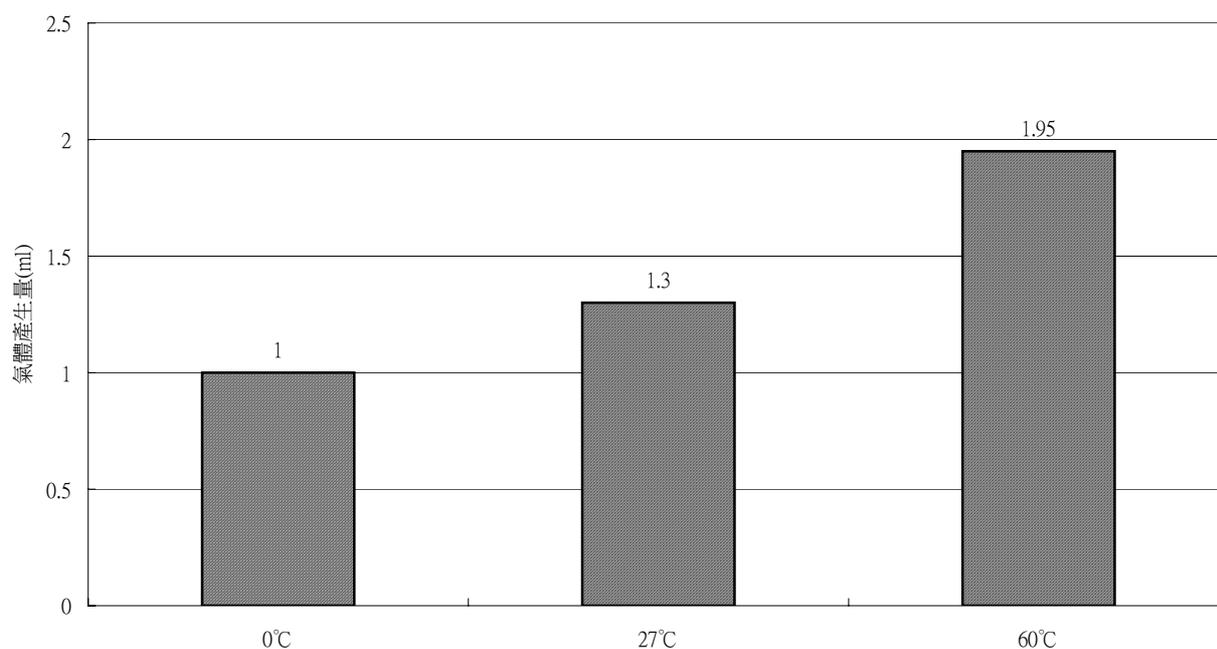
[註：KOH 6M 鋅極(1 × 4cm²<浸入面積>) 銀極 15cm]

(四) 實驗紀錄：

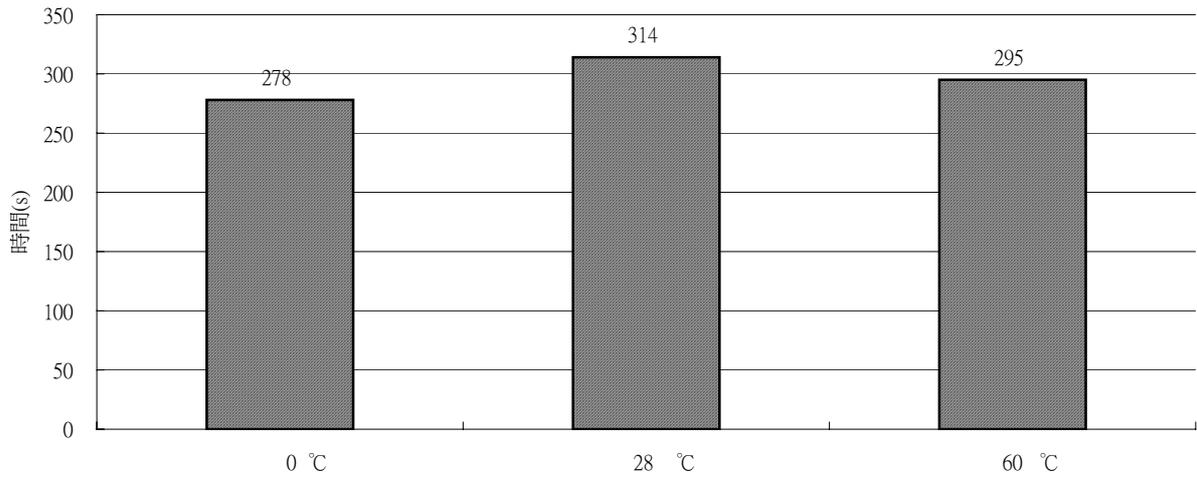
不同溫度-氣體產生量(靜置)



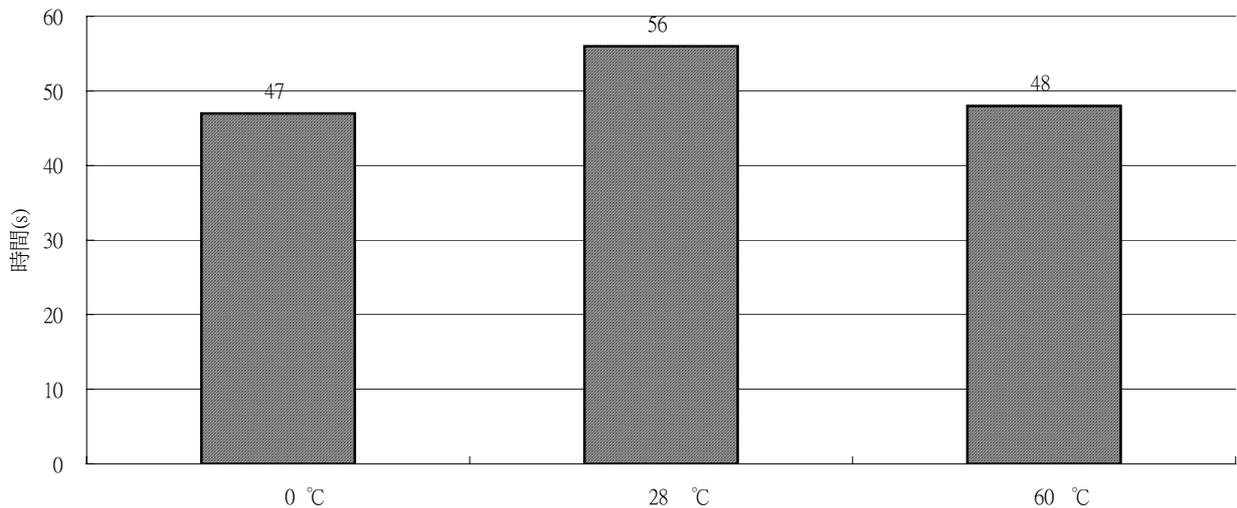
不同溫度-氣體產生量(使用中)



不同溫度-充電時間



不同溫度-放電時間



(五) 結果&討論：

1. 不論靜置或使用中，氫氣生成量皆隨溫度升高而增加。
2. 證實銀鋅電池在室溫下穩定放電時間最長（充電時間亦然），我們推論在高溫和低溫的環境下，電解液離子的動能太高或太低均對電池效能有不利影響。

(六) 對基本銀鋅電池特性確立結果：

1. 綜合上述所有實驗結果，我們訂定銀鋅電池的基本規格為：
電解液 KOH 6M、銀極長度 15cm、鋅極面積 $1 \times 4 \text{ cm}^2$ 、充電電流 0.04A、常溫下使用。
2. 基本電池使用性質如下：

	氣體生成量		充放電時間	
	靜置(30min)	充放電	充電	放電
改良前	0.85 ml	1.95 ml	730 秒	150 秒

深入探討各種條件對銀鋅電池之影響

六、添加物的影響

(一) 想法：影響電池特性的主要因素為 (1) 電解液 (2) 電極。而在確立銀鋅電池基本特性後，我們試著探討電解液中添加物之影響。根據文獻，鋅極在使用時，極易溶於電解液，造成功率降低，因此想加入含鋅物質，以改善腐蝕程度。

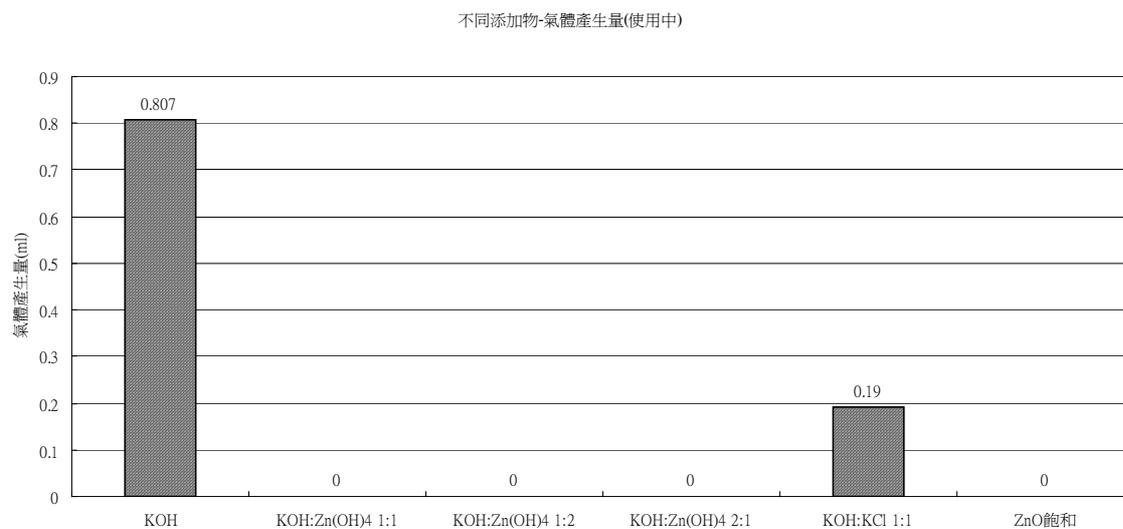
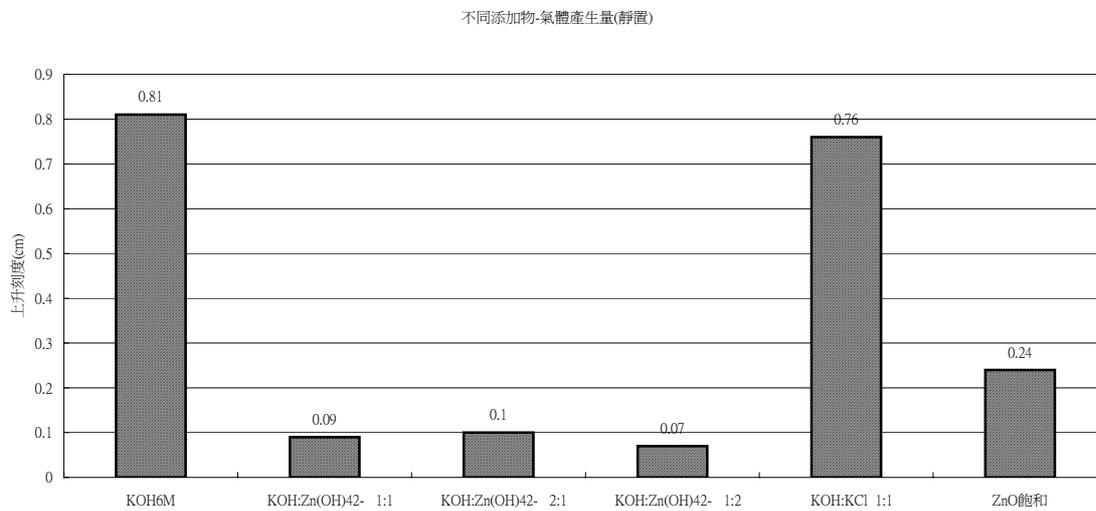
(二) 目的：討論添加物對電池之影響。

(三) 做法：

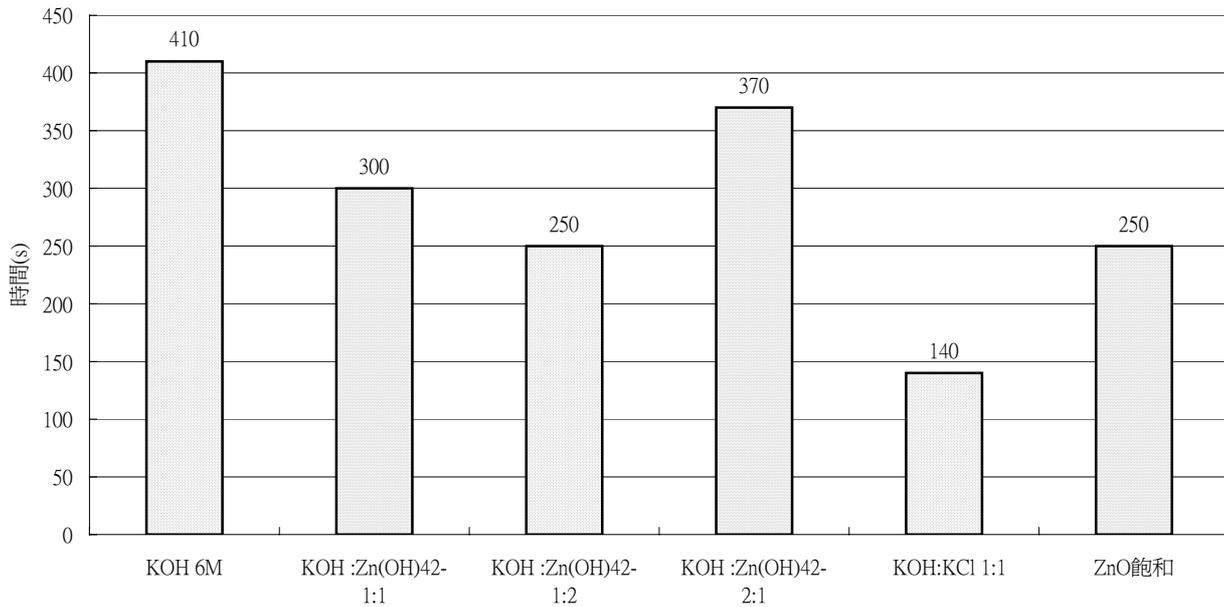
1. 模擬鋅極靜置在具不同添加物之電解液氫氣產生量。
2. 相同電極和電解液條件，混以不同種類和比例之添加物，測其使用情形。

[註：KOH 6M 鋅極(1 × 4cm²<浸入面積>) 銀極 15cm]

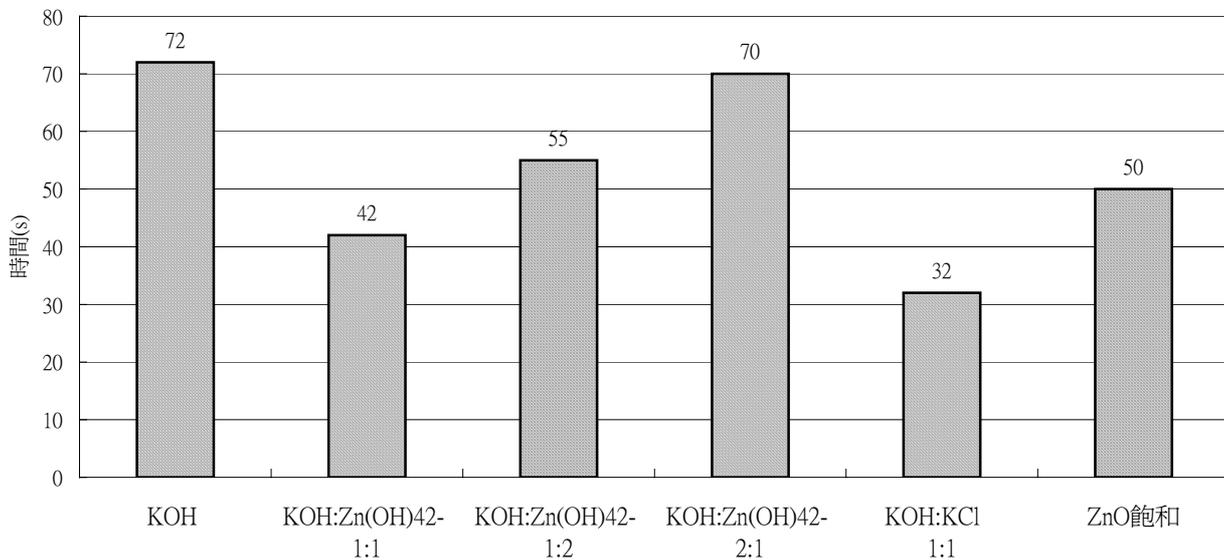
(四) 實驗紀錄：



不同添加物-充電時間



不同添加物-放電時間



※放電曲線請參照「附錄二」

(五) 結果&討論：

1. 證實電解液，無論以何種比例添加 Zn(OH)_4^{2-} 和 ZnO ，對使用中及靜置氫氣生成量均有抑制的作用，添加物佔的比例越高，抑制效果越顯著。
2. 以 $\text{KOH}:\text{Zn(OH)}_4^{2-}=1:2$ 抑制效果最佳，但放電時間以 $\text{KOH}:\text{Zn(OH)}_4^{2-}=2:1$ 最久。 [註：使用中氣體生成量為 0 的部分，若以定性觀察，仍可發現有微量

氣泡產生，且依不同比例應有不同生成量，只是儀器無法測出。]

3. 添加 KCl，雖對使用中之氣體生成有降低的趨勢，但其主要是因為充電時間短，氣體產生時間少的緣故，且因實驗結果顯示，添加 KCl 對放電時間有不利影響，故我們便不再深入討論。
4. 綜合上述，添加物雖能有效抑制使用中之氣體生成量，但其放電時間卻比原始電池短。唯 KOH:Zn(OH)₄²⁻ = 2:1- 之放電時間和原始時間較相似，故我們定其為最佳之添加物條件，在實作電池時採用之。

七、 鋅極處理

(一) 想法：承實驗 (六)，本實驗嘗試探討電極表面處理對電池特性之影響。依文獻內容，以鉛、鎘、銻、銻、汞等金屬加入鋅極，對改善電極腐蝕度有正面的幫助。於是我們決定探討易取得又低污染的鉛和元素位置與上述金屬相近之錫。

(二) 目的：探討鋅極表面處理對電池特性之影響。

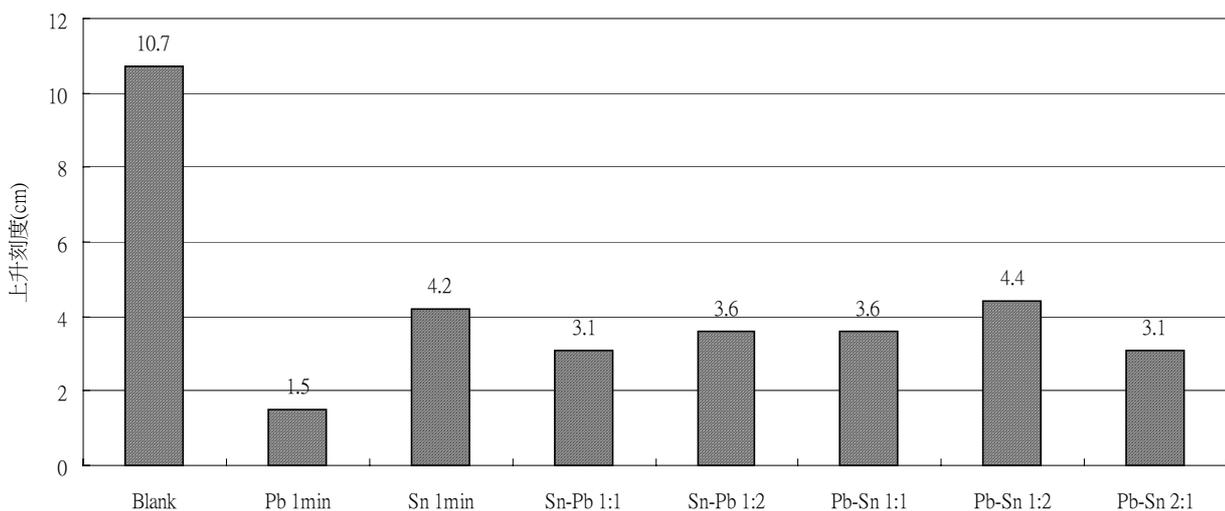
(三) 做法：

1. 測出不同表面處理之鋅極，靜置在電池中之氫氣產生量。
2. 用相同銀極和電解液，測出鋅極不同處理對電池特性之影響。

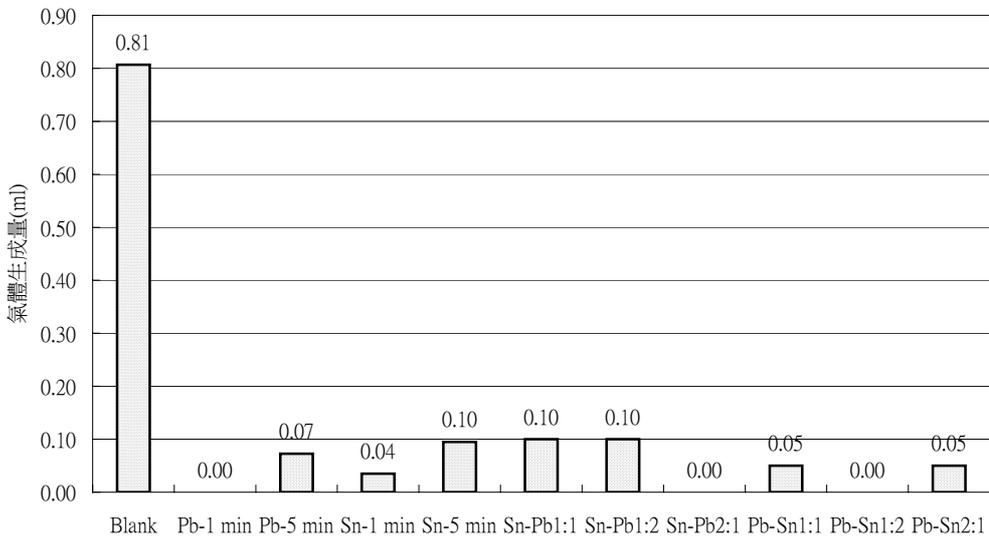
[註： KOH 6M, 鋅極(1 × 4cm²< 浸入面積 >), 銀極15cm, 刻度 1cm=0.0314ml .]

(四) 實驗紀錄：

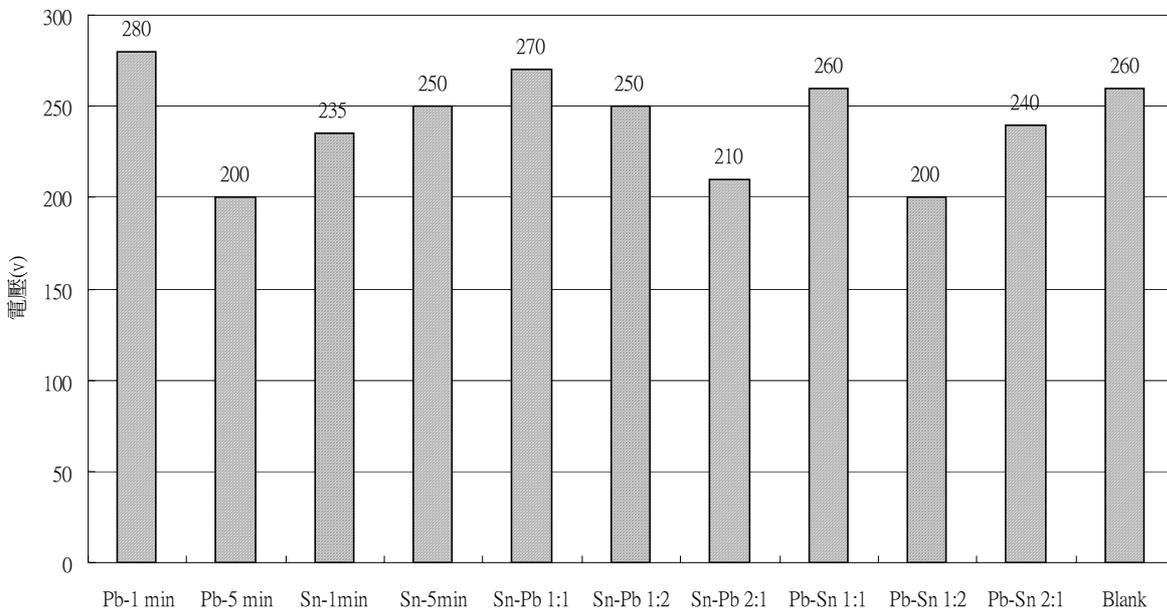
不同表面處理-氣體產生量(靜置)



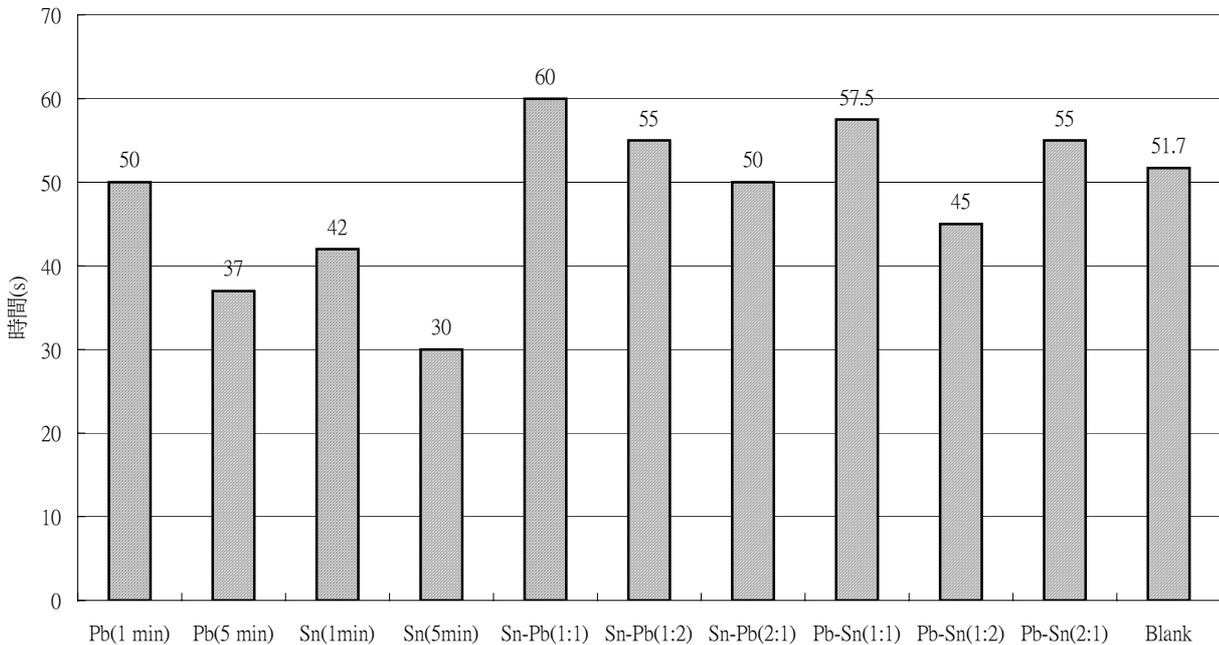
不同表面處理-氣體生成量(使用中)



不同表面處理-充電時間



不同表面處理-放電時間



※放電曲線請參照「附錄三」

(五) 結果&討論：

1. 證實先後浸鍍不同金屬時，不論以何種比例，均能大幅度降低使用中之氣體產生量，其中鍍 Pb 一分鐘、先 Sn 後 Pb 2:1、先 Pb 後 Sn 1:2 等，其氣體生成量更降至無法測出。

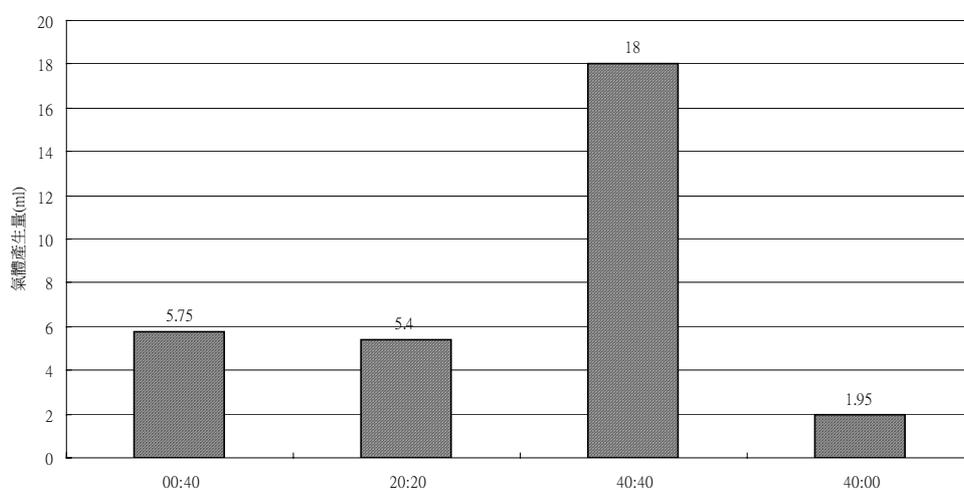
[註：使用中氣體生成量為 0 的部分，以定性觀察，仍可發現極微量氣泡產生，且不同處理應有差異，只是儀器無法測出。]

2. 於靜置實驗中，鋅極表面浸鍍處理對氫氣生成量的抑制效果，鉛比錫好，我們認為除了金屬本性的差異外，浸鍍後，表面的緊密度也是影響氫氣產生量的關鍵，就我們觀察來說，鍍鉛較鍍錫來的緊密，所以也能較有效的抑制氫氣。
3. 雖然某些比例之電極處理無法使氣體產生量減至最低，但卻可提高放電時間，同樣有使用之價值。
4. 綜合上述，我們認為先錫後鉛 1:1 雖然抗腐蝕程度沒有鍍鉛一分鐘來的好，但是放電時間卻比較多，我們認為再搭配上電解液添加物的效果，就能有效的抑制氫氣產生，故我們定此鋅極為最佳條件。

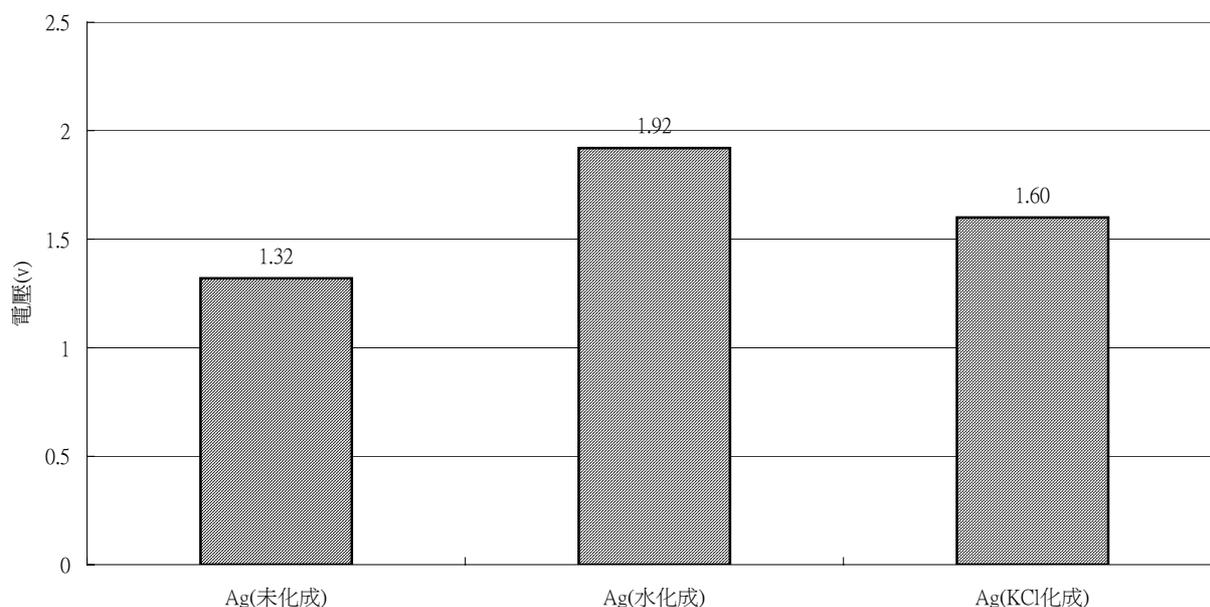
八、銀極處理

- (一) 想法：承電極處理實驗，本實驗嘗試探討銀極做不同處理，對電池使用特性之影響。又我們實驗用的銀極是以水化成氧化銀，故我們認為應有其他處理方式能使電池效能更佳。
- (二) 目的：探討銀極處理對電池特性之影響。
- (三) 做法：將純銀絲置入不同溶液中作前處理，在取回相同環境之電池槽測其充放電時間。[註：不同前處理液之處理時間表示方式（水：KCl = m分鐘:n分鐘）]
- (四) 實驗紀錄：

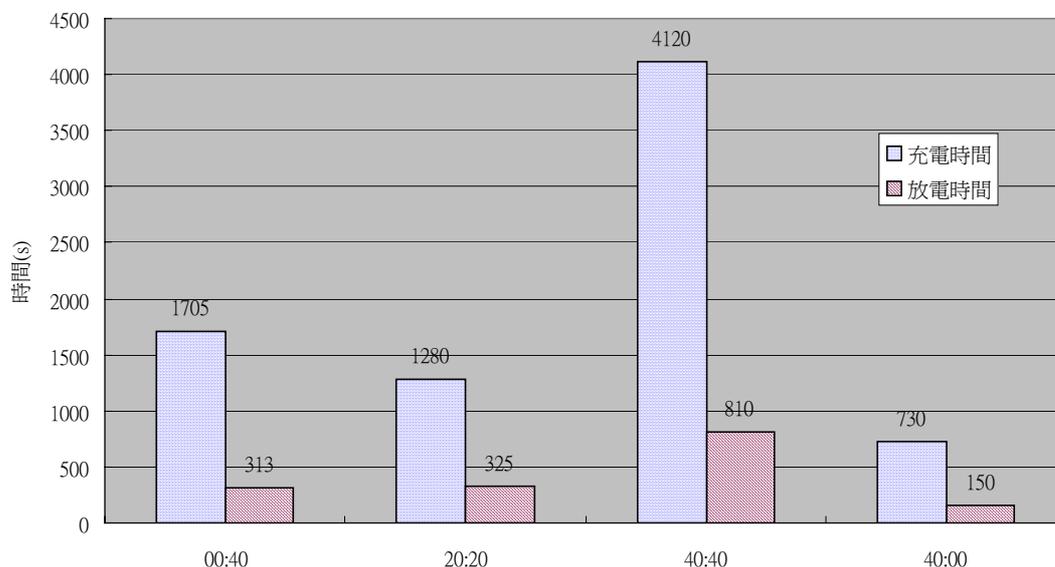
不同前處理-氣體產生量(使用中)



不同前處理銀極之空電壓



不同前處理-充放電時間



※放電曲線請參照「附錄四」

(五) 結果&討論：

1. 我們一開始製作銀鋅電池時，是直接以銀絲作為電極，因為我們認為銀絲若先置入鹼性電解液中充電，便能得到我們所需的氧化銀電極，然而經實驗結果，此種電極只能放電14秒，起初以為是電極面積的關係，為了驗證，我們以打火機直接在空氣中對銀絲加熱，認為應能同樣得到氧化銀電極，結果仍和前一次實驗相同，我們便一直視此銀極為氧化銀。
2. 後來在一次電解水實驗中，我們以銀絲充當陽極，結果不但無法產生氧氣，在銀絲表面還會跑出土黃色的離子，陰乾後表面會呈黑色，若以此種處理方式得到之銀絲作電極，能將放電時間大幅延長，經我們依此銀極各種特性判斷，我們才確定此種銀極為我們想要之銀極（應為過氧化銀）。
3. 因為銀極浸在鹼中不會產生氣體，故本實驗我們只取使用中之氣體生成量，其多寡會隨著充放電時間長短而增減。
4. 經實驗證實 Cl^- 能使銀極表面生成另一種物質，經由銀極表面生成物的顏色及來源，我們初步斷定此物質為 AgCl 。
5. 實驗中我們發現了一個很有趣的現象，同樣是經 KCl 處理過之銀極，直接用以放電和經 KOH 充電後再放電，會表現出不同的特性。直接放電能放電近一小時，經 KOH 充電後卻只能放電13分鐘。
6. 然而可以確定的是 無論是直接放電還是經充電再放電，只要是經 KCl 作過前處理，對放電時間都能有大幅度的提升，且處理時間越久效果越佳，相較於傳統的氧化銀電極，此種電極的功效值得我們作更進一步之探討。

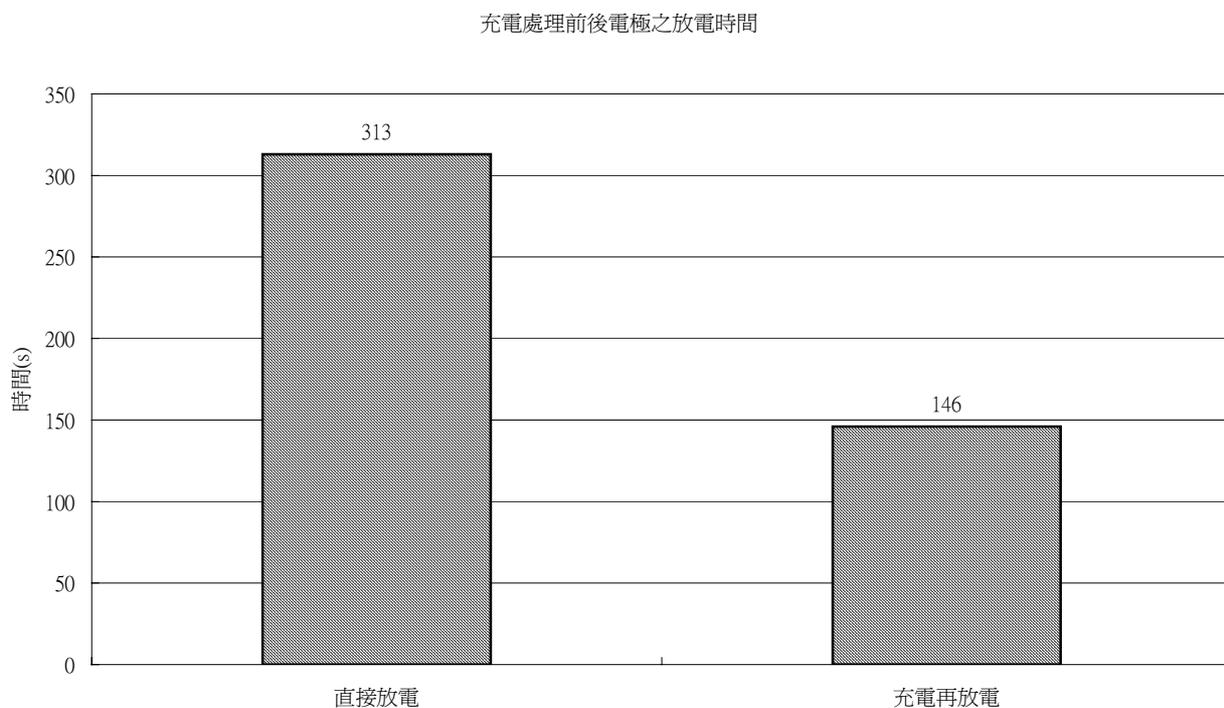
四、銀極在 KCl 中生成的物質探討

(一) 想法：經實驗證實 Cl^- 使銀極表面生成另一種物質，我們想確定銀極在 KCl 中生成的物質為何？是否為 AgCl ？並進一步探討銀極在 KCl 中生成物質直接使用與充電後使用之差異

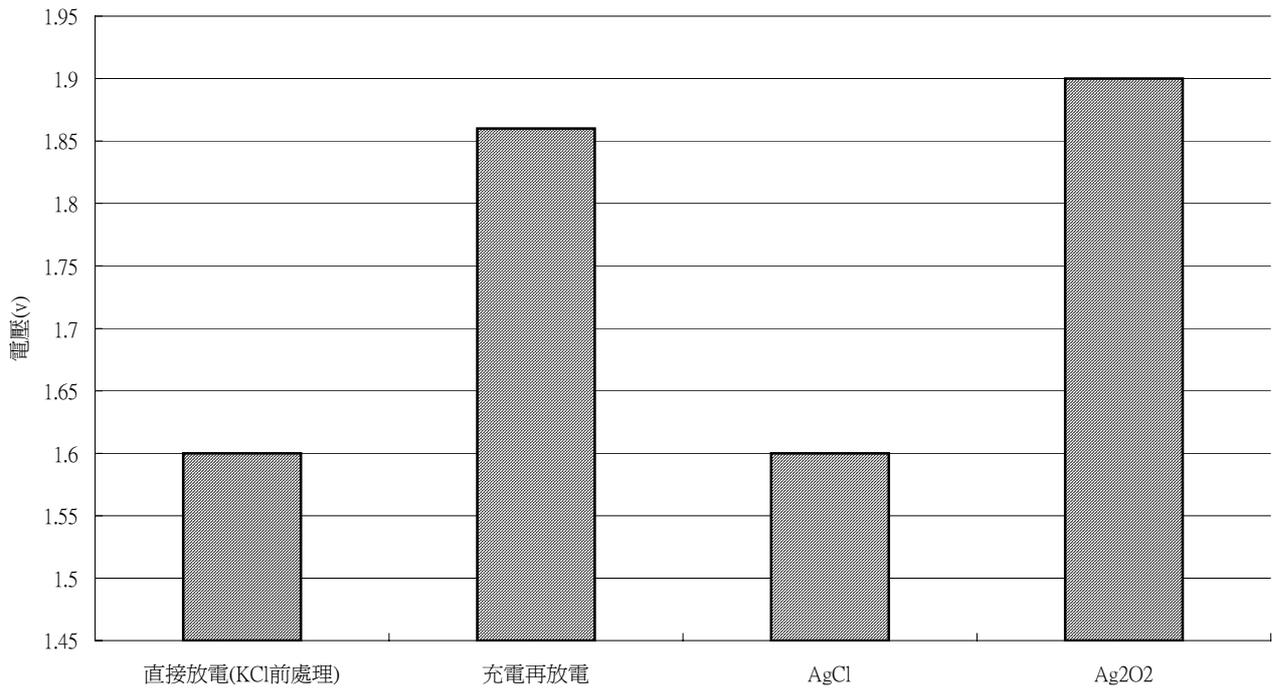
(二) 做法：

1. 比較直接放電和經充電再放電電壓關係及放電時間。
2. 以 KCl 與 AgNO_3 反應配製出 AgCl 與水化成之 Ag_2O_2 ，利用空電壓的比較，確定銀極表面生成物為何。

(三) 實驗紀錄：



空電壓比較



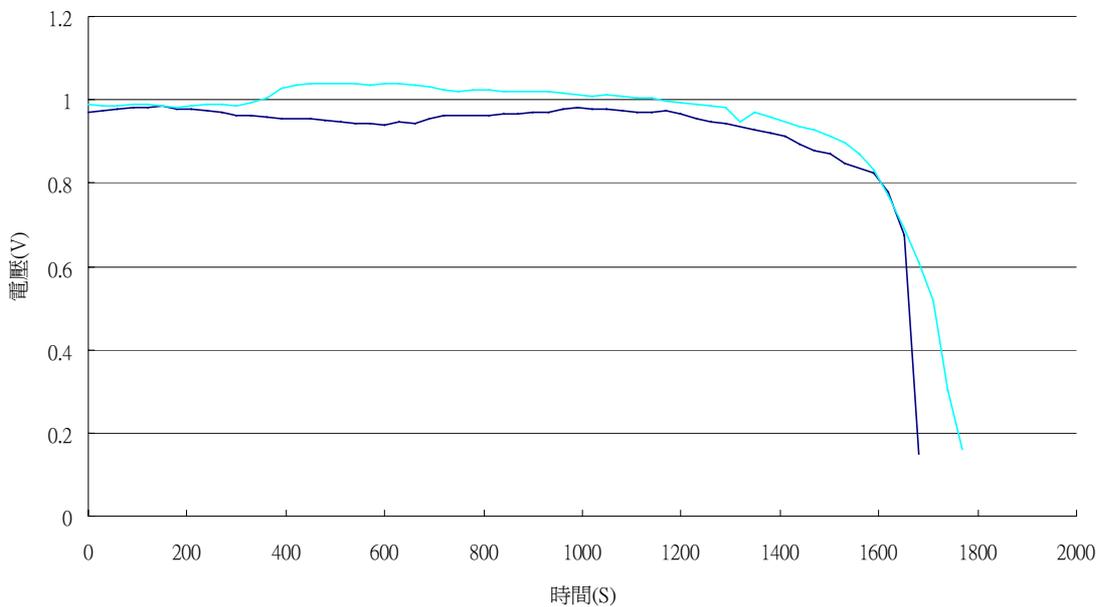
(四) 結果&討論：

1. 經充電處理的氯化銀電極空電壓與 Ag_2O_2 幾乎相同。似乎意謂著充電處理可使電極回復成 Ag_2O_2 ，且我們認為氯化銀電極經充電後，其銀極（也就是 Ag_2O_2 ）的量會比以水化成處理同時間還多，進而使放電時間較 KCl 處理前大幅增加。
2. 而未經充電處理之銀極空電壓與 AgCl 電壓相等，又將其表面生成物刮下，並加入氨水檢驗可溶解，因此確認其表面生成物為氯化銀。
3. 依據實驗結果，經充電處理的氯化銀電極其放電時間約為11分鐘，相較於未經充電處理之氯化銀電極（約53分鐘）減少了很多，然而單純氯化銀電極若在 KOH 電解液中重覆充電，便會如同上述，再次變回 Ag_2O_2 ，使得放電時間縮短。
4. 統合以上數點，我們初步假設使用氯化銀代替傳統過氧化銀為電極，對於放電的時間有著增加的作用，然而，由於本實驗有著太多不同的變因，此假設是否正確，還必須經由比較氯化銀及氧化銀粉末作電極的差異，才能有更進一步的確認。

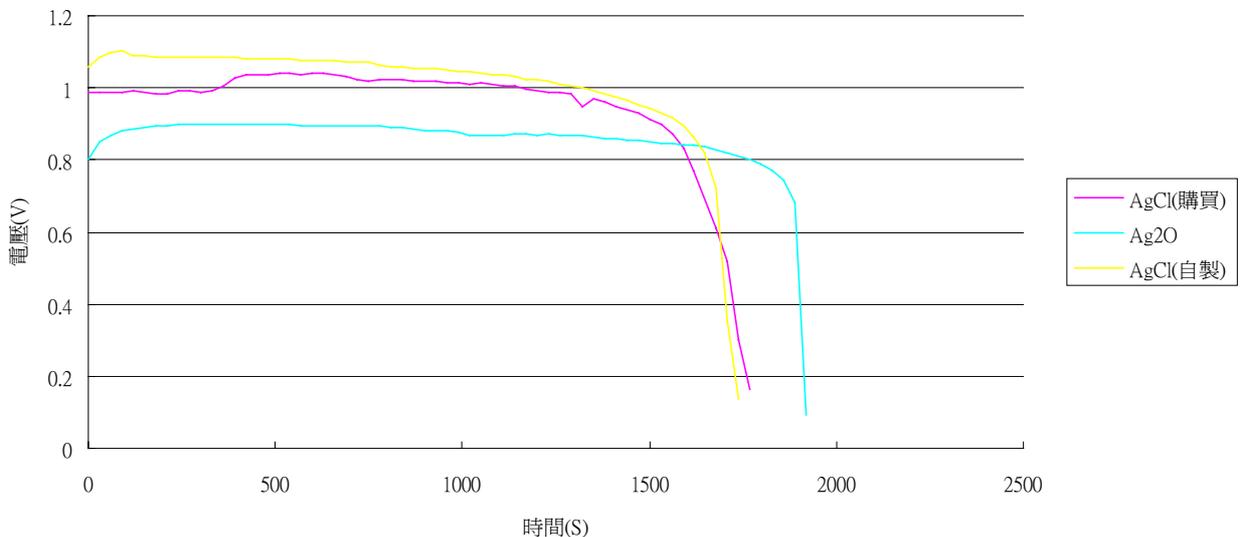
十、深入探討 AgCl 電極特性：

- (一) 想法：在經過以上各項實驗討論後，我們初步假設使用氯化銀作為電極，效果比氧化銀極好，然而，事實真的是如此嗎？爲了要驗證此項假設是否正確，我們從市面上購得氯化銀和氧化銀粉末，比較二者的差異。
- (二) 目的：比較氧化銀和氯化銀電極的差異。
- (三) 做法：將氯化銀和氧化銀粉末分別置入鍍金屬片折成的方型槽中，測其放電時間和鋅極消耗量。 [註：同重量 $\text{AgCl}=\text{Ag}_2\text{O}=0.5\text{g}$ 同莫耳銀離子 $\text{AgCl}=\text{Ag}_2\text{O}=3.484 \times 10^{-3} \text{ mole}$ (相當於 $\text{AgCl}:\text{Ag}_2\text{O}=0.5\text{g}:0.4\text{g}$) 。]
- (四) 實驗紀錄：

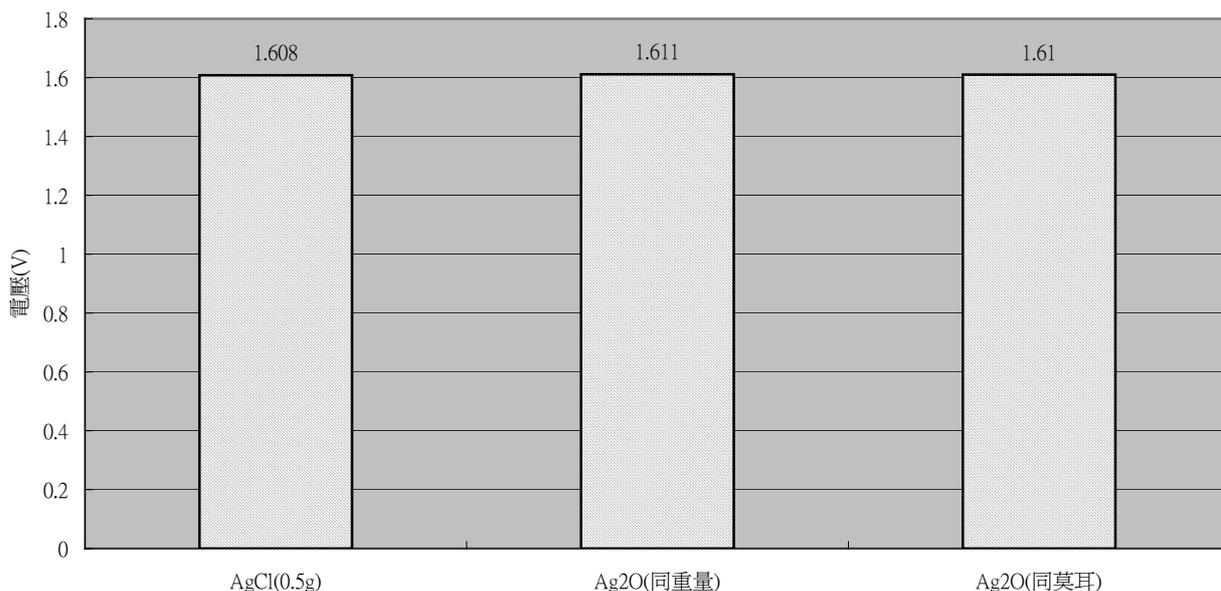
同莫耳銀離子-放電曲線



同重量銀離子-放電曲線



氯化銀氧化銀---空電壓



(五) 結果&討論：

1. 經實驗結果證實，不論是以氧化銀或氯化銀作為電極，放電時間長短都取決於銀離子含量的多寡，與重量並沒有直接的關聯。
2. 氧化銀極和氯化銀極放電時間並沒有出現如原先假設的顯著差異，且在實驗過程中，發現氯化銀粉末置入鹼性溶液中時，會從原本的白色轉變為灰黑色，和氧化銀粉末放在鹼性溶液中的顏色一樣，比較兩者空電壓，幾乎是一模一樣。
3. 由此實驗的結果，我們推論實驗九”銀極在KCl中生成的物質探討”，之所以氯化銀電極充電前後會有差異，是另有原因，可能是充電的過程中，原有的銀並沒有完全回復至Ag₂O₂，也可能是充電過程中有著不同的反應途徑。
4. 綜合以上數點，不論使用氧化銀還是氯化銀作為電極，都無太大的差異，放電時間長短主要取決於銀離子含量的多寡，然而，就成本的考量來說，氯化銀粉末的價格比氧化銀來的便宜，故我們在電池實作的部分，仍然以氯化銀電池為探討對象。

十一、比較各種鹵化銀電極特性：

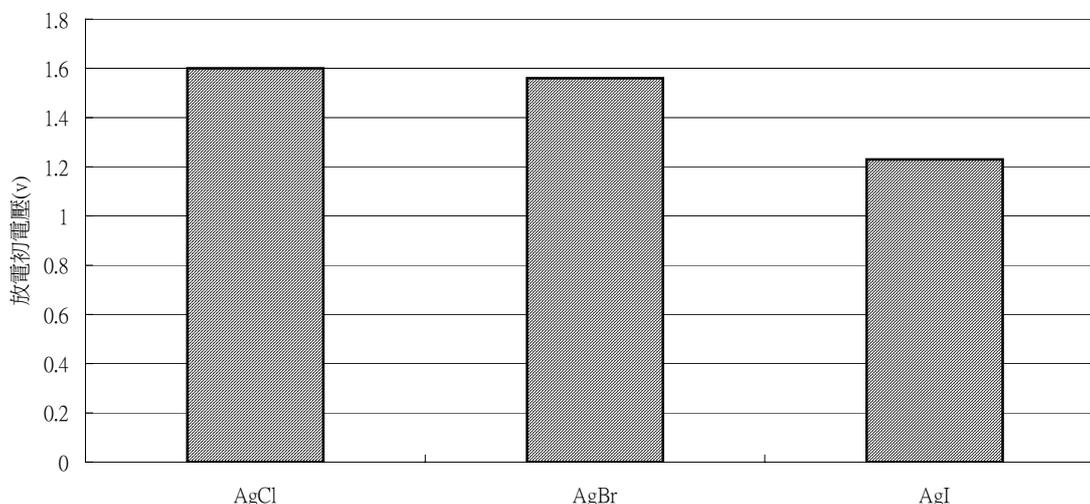
(一) 想法：上述實驗證實 AgCl 電極在銀離子含量相同的情況下，能和氧化銀有著相同的放電時間，然而我們不禁想更進一步瞭解，同是鹵素元素，AgBr、AgI 為電極是否也能達到同樣的效果？

(二) 做法：

1. 以KBr、KI 分別與 AgNO₃ 反應配製出 AgBr、AgI。因為這二種物質皆為粉狀，故將鎳片摺成方型筒狀作為容器，各放入等量的上述物質，做為新式的銀極，搭配同樣置入鎳槽的 AgCl 粉末，比較其放電反應。

(三) 實驗紀錄：

不同銀鹽電極之放電空電壓



(四) 結果&討論：

1. 就空電壓而言，AgCl 空電壓最高，AgBr 和它相似，AgI 最低，這似乎透露著 AgBr 和 AgCl 一樣，置入鹼性溶液中便會轉變為 Ag_2O ，然而，就其放電情形而言，AgBr、AgI 接在燈泡後，電壓皆會下降至 0.4V，無法使燈泡發光，如此一來，就和氧化銀極的特性不符，故在電池實作時將仍採用效果最佳之 AgCl 為電極。

電池實作之問題與討論

(一) 想法：在經過各項實驗探討之後，我們想嘗試利用所求得之各種最佳條件，自行製作一顆銀鋅電池。

(二) 各項最佳條件確立：

- (1) 電解液：以 KOH 為電解液，濃度參考市售電池 37%
- (2) 銀極：AgCl 粉末
- (3) 鋅極：以先錫後鉛 1:1 的比例浸鍍鋅片
- (4) 添加物：以 $\text{KOH}:\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 2:1 為比例

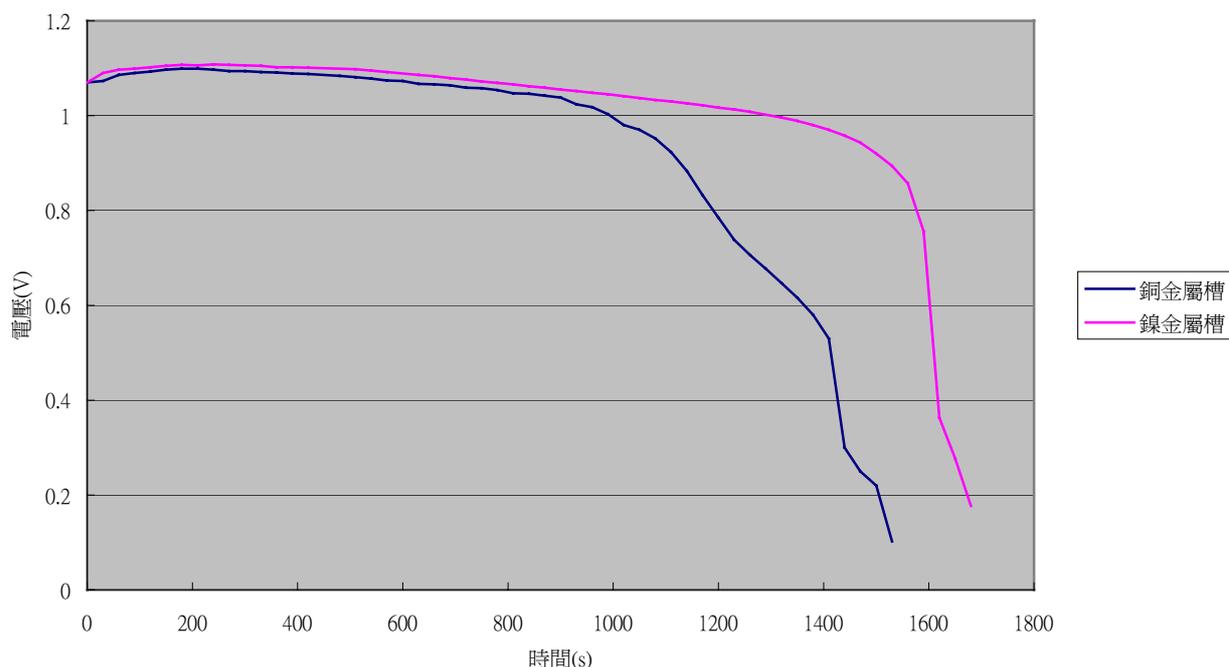
(三) 結論：雖然我們已經確定出型式上的各項最佳條件，然而在電池實作時，仍然還是不免會碰到一些技術上的問題，經我們多次討論之後，將製作電池所必須探討的問題作一個統整：

- (1) 放置氧化銀粉末的金屬槽，鎳是否為最佳選擇。
- (2) 電極使用之比例及使用效果。
- (3) 電解液之相對量。

十二、決定電極金屬槽種類：

- (一) 想法：在先前實驗中，我們是以鎳金屬製作銀極擺設槽，因為為惰性金屬，較不會干擾電池反應，然而應有更佳之金屬選擇，也許能借此提高電池效率。
- (二) 目的：探討銀極擺設槽對電池功率的影響，並找出最佳選擇。
- (三) 做法：在各種不同種類的電極槽中置入同重量氯化銀粉末，在相同的電極與電解液環境下比較放電情形。〔註：AgCl 0.5g, KOH 6M, Zn 1*4cm, 容器體積 1*1*4cm。〕
- (四) 實驗紀錄：

不同容器-放電曲線



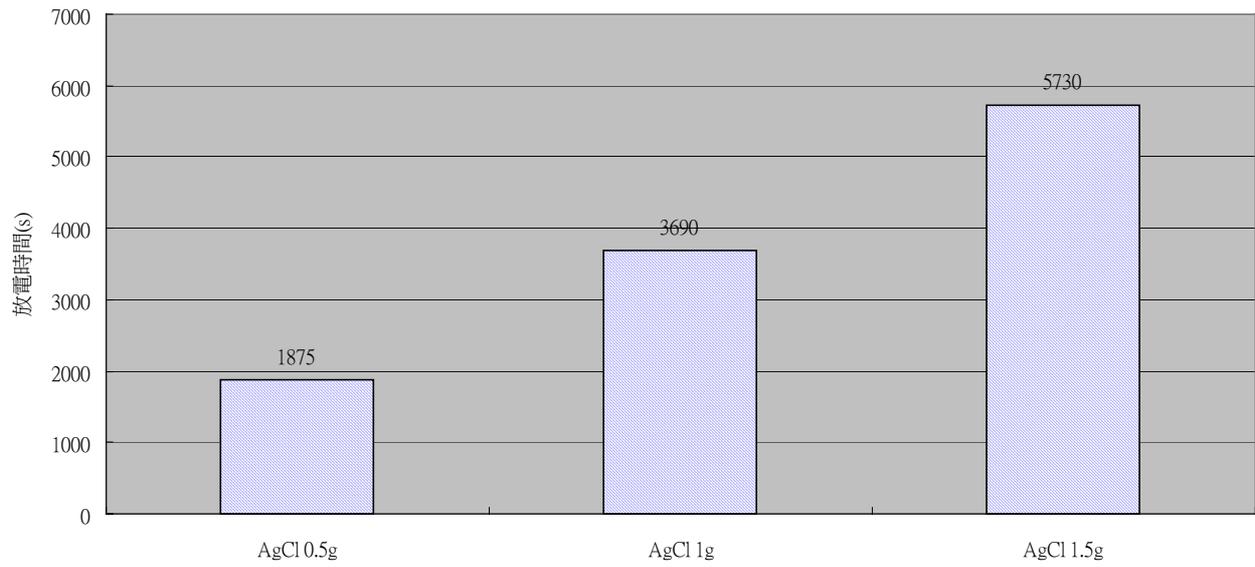
(五) 結果&討論：

1. 經比較，證實使用鎳槽盛裝銀極粉末放電效果最佳，使用銅槽不但會減少放電時間，放電過程還會產生銅離子，使整杯溶液成藍色，於是仍決定使用鎳金屬槽。
2. 對於使用金屬槽盛裝氯化銀，比起傳統銀鋅電池的電極還須經過壓製才能使用，多了一個繁複的步驟，而且高壓壓製電極片是須較高的技術和儀器，更加大了電池製作的困難度，所以我們使用這種方法製作電極。

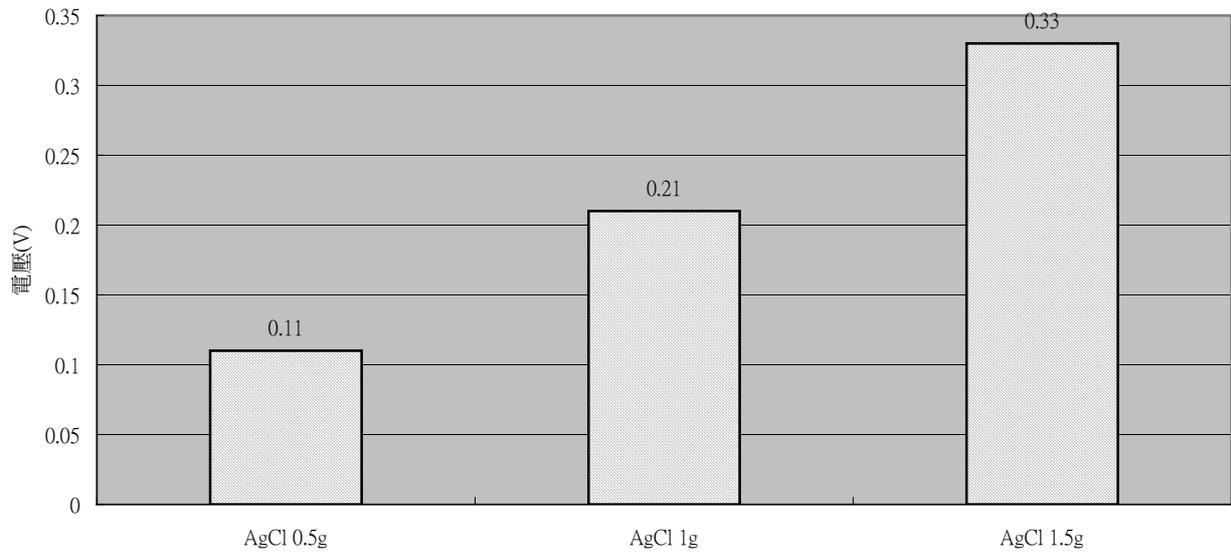
十三、找出銀鋅極適當的比例

- (一) 想法：想要做出一顆高經濟價值的電池，需符合體積小，重量輕，放電時間長久及放電穩定的特質，而為了做出又輕又小的電池，不論電極還是電解液的量都需經過仔細估計，以便作出符合自己需求且夠輕巧的電池
- (二) 目的：找出氯化銀粉末和鋅極消耗量之間的關係
- (三) 做法：將不同重量的氯化銀粉末置入鎳槽中，測量其放電時間及相對的鋅極（鍍 Sn:Pb 1:1）消耗量，並找出之間的關係。

不同重量-放電時間



不同重量-鋅極消耗量



	(1)AgCl 0.5g	(2) AgCl 1g	(3) AgCl 1.5g
放電時間 (秒)(T_n) _{n=1,2,3}	1875	3690	5730
T_n/T_1	1	1.968	3.056
鋅極消耗量 (克)(W_n) _{n=1,2,3}	0.11	0.21	0.33
W_n/W_1	1	1.9	3

(五) 結果&討論：

1. 證實電池放電時間及鋅極消耗量都和氯化銀的量成正比關係，藉此，往後實作電池時，便可以依我們的需求，計算電極的添加量。

十四、 電解液使用量的評估

- (一) 想法：在製作電池時，所採用的電解液量很少，我們考慮到若是電池放電會消耗電解液氫氧根，那就必須審慎評估添加在電池中的電解液量。
- (二) 目的：深入探討電池放電和電解液濃度的關係並確立電池最佳電解液量。
- (三) 做法：將不同重量的氯化銀粉末置入鎳槽中，測量其放電時間及相對的溶液濃度變化，並找出之間的關係。

(四) 實驗結果

	AgCl 0.5g	AgCl 1g	AgCl 1.5g
放電時間 (S)	1875	3690	5730
溶液濃度 (前)(M)	6.02	6.02	6.02
溶液濃度 (後)(M)	6.00	6.06	6.03

(五) 結果&討論：

1. 實驗結果顯示，濃度差異不大且沒有特殊關係，我們認為這在實驗的誤差範圍中，此即表示 OH^- 的消耗量非常少，所以溶液量只須能覆蓋過電極即可，必無特殊限制。

柒. 研究 成 果

(一)想法：經過一連串實驗探討，我們已經找出各種最佳電池條件，以及製作電池所需的各種材料使用量，開始自行設計出一個高功率低危險的銀鋅電池。

(二)做法：

1. 電池最佳條件：

- (1) 電解液：以 KOH 為電解液，濃度參考市售電池37%
- (2) 銀極： AgCl 粉
- (3) 鋅極：以先錫後鉛 1:1 的比例浸鍍鋅片
- (4) 添加物：以 $\text{KOH}:\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ 2:1 為比例

2. 電池製作規格參考：

- (1) 電極使用比例：添加 0.5 g AgCl 放電1875秒，放電時間和 AgCl 添加量成正比關係。且鋅極消耗量也成正比關係。
- (2) 銀極裝設槽：將Ni片摺成容器。
- (3) 電解液添加量：適量，可覆蓋電極順利導電即可。

3. 製作過程：

- (1) 我們經討論，決定利用上述條件作一顆能放電約 4 小時的銀鋅電池。
- (2) 放電四小時相當於 14400 秒，約為 0.5g AgCl 放電1875秒的 7.7 倍，所以欲作出能放電四小時的電池，至少需添加 AgCl 3.85g、 Zn 0.85 g(不考慮靜置之消耗量)，若考慮靜置之消耗量則須 1.05g 以上 (參考附錄六)。

- (3) 我們以適當大小的壓克力容器為電池槽，加入適量最佳條件電解液。
- (4) 將裝有氯化銀 4g 的鎳片槽置入電池槽中，露出適當面積以利鱷魚夾夾取。
- (5) 將浸鍍完畢之鋅極 1.5 g(指鋅金屬而言) 浸入電解液中，露出適當面積以利鱷魚夾夾取。
- (6) 將連接正負極之鱷魚夾接上燈泡，觀察並紀錄放電情形。

(三) 實作結果：

自製銀鋅電池效能如下：

放電時間	15390 sec
放電過程總氣體生成量	0 ml (無法測得)

此次科展我們所作出之成果有：發現能以氯化銀代替氧化銀為電極，放電時間取決於銀離子含量，找出以鎳金屬折成容器盛裝氯化銀粉末取代銀極片，確立鋅極之最佳浸鍍比例，找出最佳添加物種類與混合比例，有效地減少氣體生成量，自製出一顆能長時間放電且高安全性之銀鋅電池。

捌、 展 望

- 一、 氯化銀電池是否真的無法有效的充電使用，作為二次電池。
- 二、 為何使用玻璃槽盛裝氯化銀，再插入鎳片作為正極卻無法放電？
- 三、 在添加物與鋅極處理實驗中，其微量之氣體生成關係，仍須以更精密儀器測定。

玖、 參 考 文 獻 及 其 他

- 一、 周蕙芳，民82年，銀鋅電池的概況與特質分析，科儀新知，第十四卷第五期，32 頁
- 二、 曾國輝，化學下冊，第二版，台北市，藝軒圖書出版社，1149 頁，2001年 6 月
- 三、 國立台灣師範大學編著，高中化學示範實驗，煉金術的夢，97~99 頁，78年
- 四、 南一書局，高中基礎化學，第四章第三節，化學電池，110~112 頁，89年
- 五、 南一書局，高中基礎化學實驗，實驗三，化學電池，13~17 頁，89年
- 六、 龍騰書局，選修化學實驗，實驗五，電解與電鍍，29 頁，90年

附錄一 銀極處理 (KCl-KOH 交替處理)

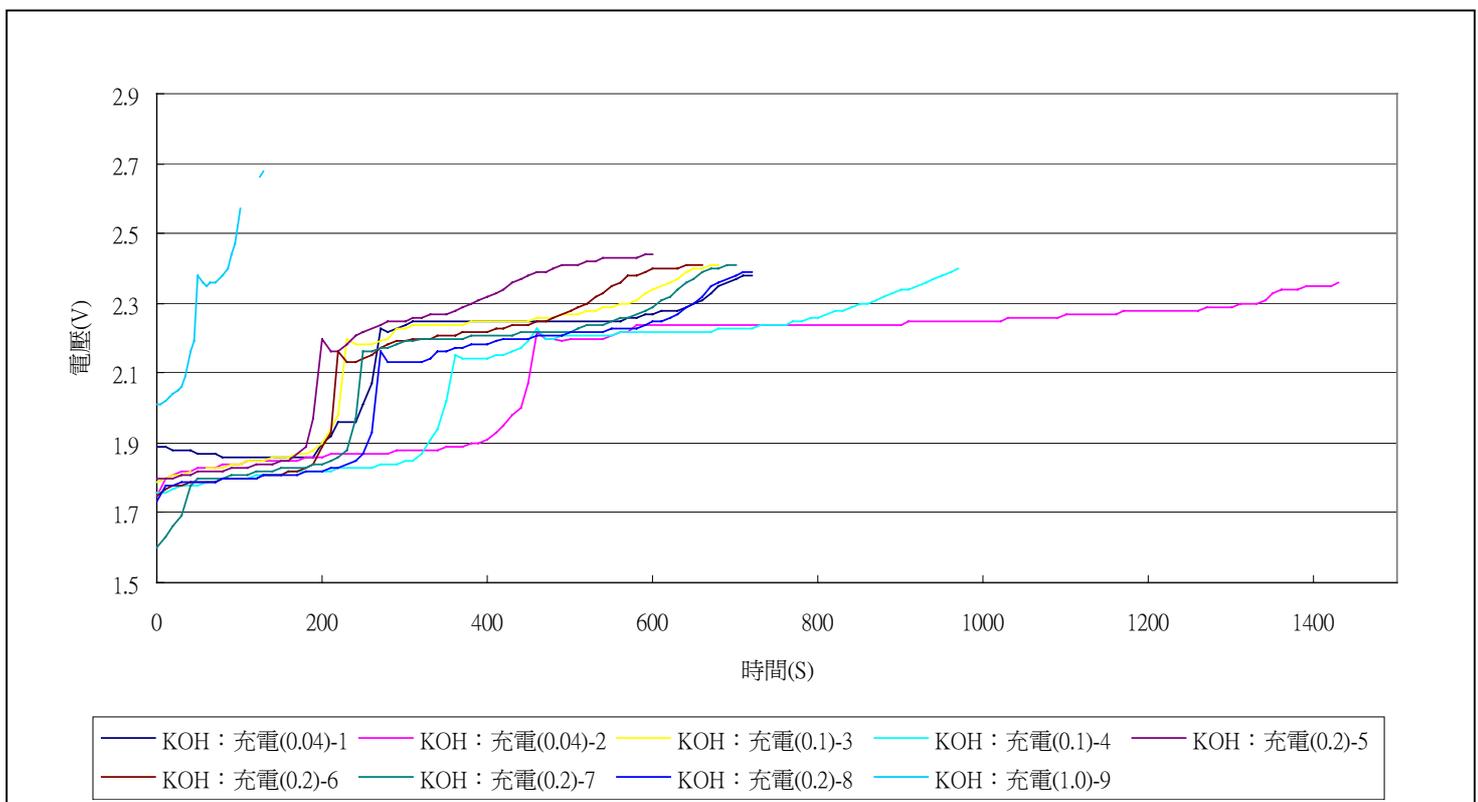
想法：先前實驗中發現了一個特性，銀極若再 KCl 中作前處理，可增加其放電時間，且此特性與次數似乎成正比，故加以探討這個特性。

做法：在 KCl 中作前處理後移至 KOH 中作充放電處理，紀錄後取回 KCl 中再做一次前處理，如此反覆此步驟，試圖找出之間的關係和極限。

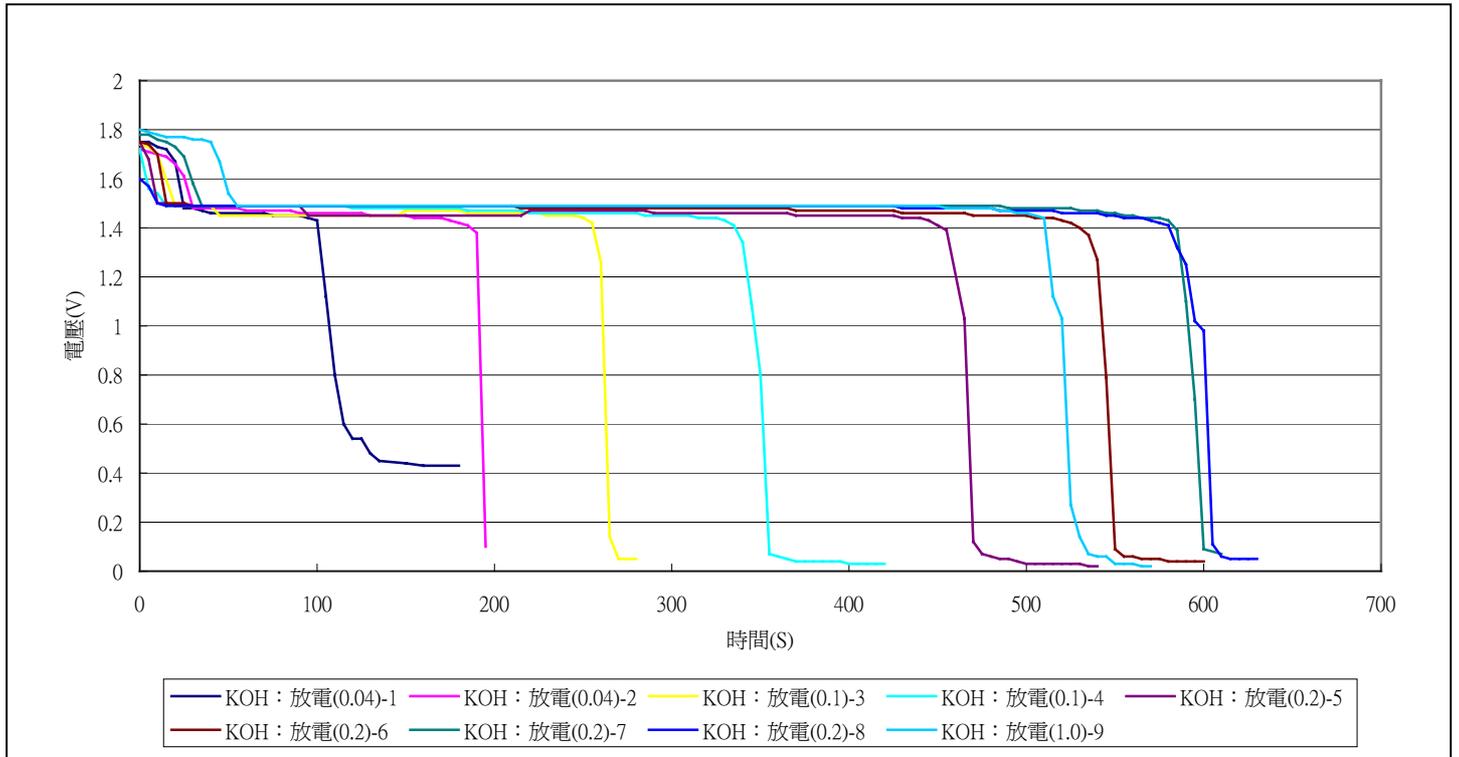
實驗紀錄：

次數	放電時間 (S)	次數	放電時間 (S)
1	135	6	545
2	190	7	595
3	260	8	600
4	315	9	570
5	435	10	520

銀極處理次數 - 充電曲線

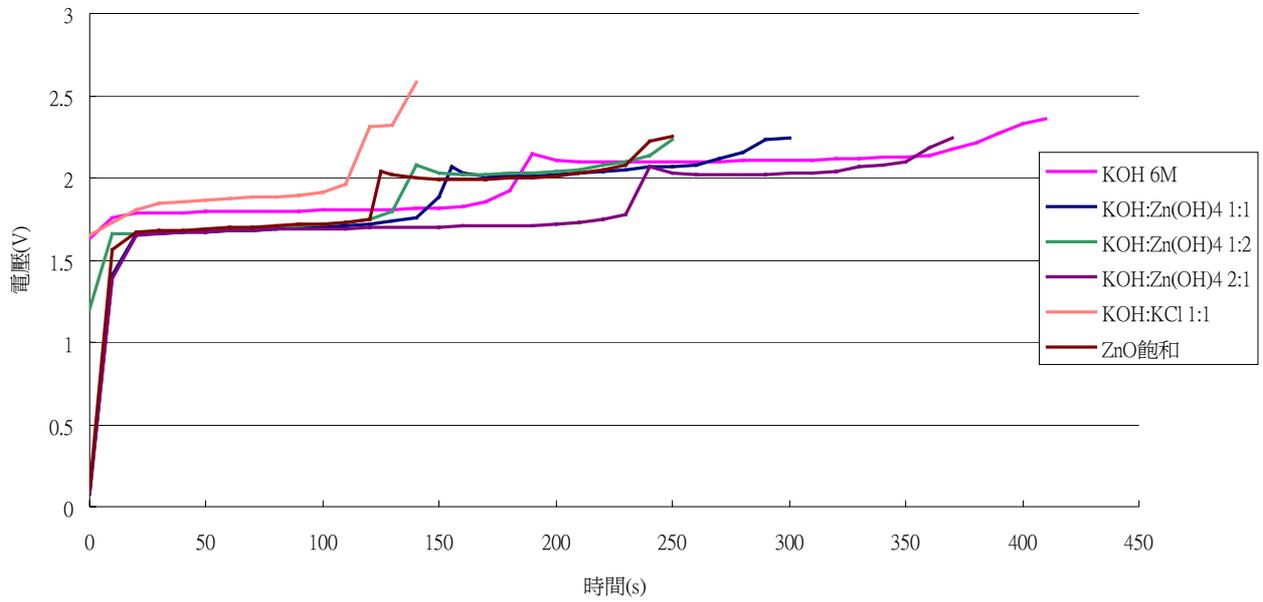


銀極處理次數 - 放電曲線

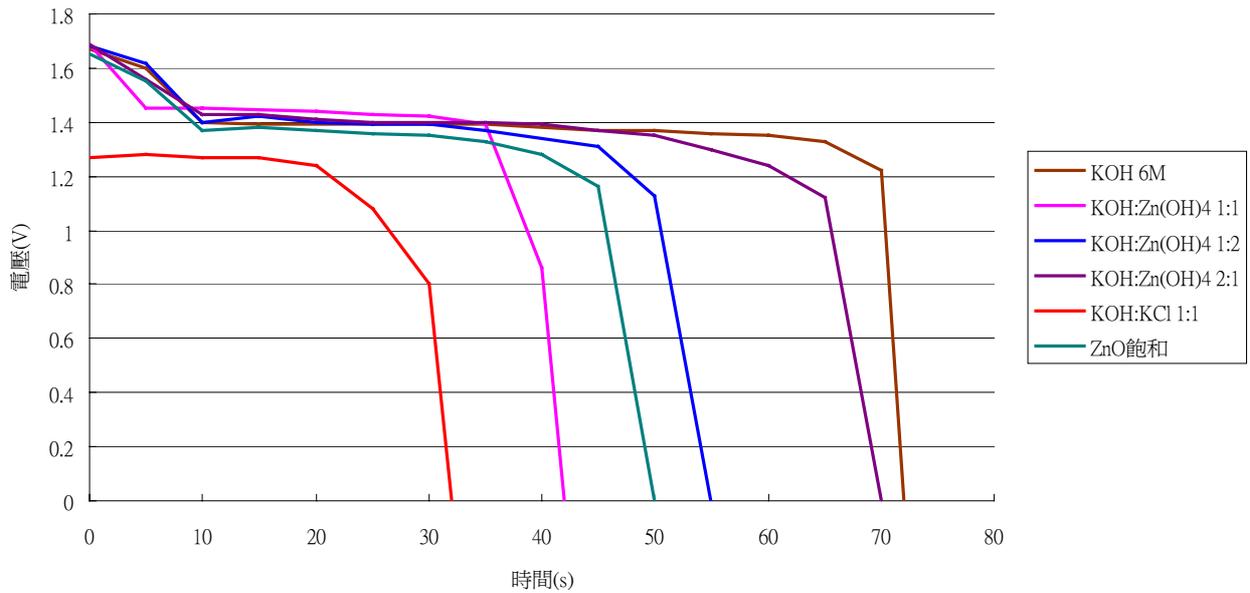


附錄二 不同添加物充放電曲線

不同添加物-充電曲線圖

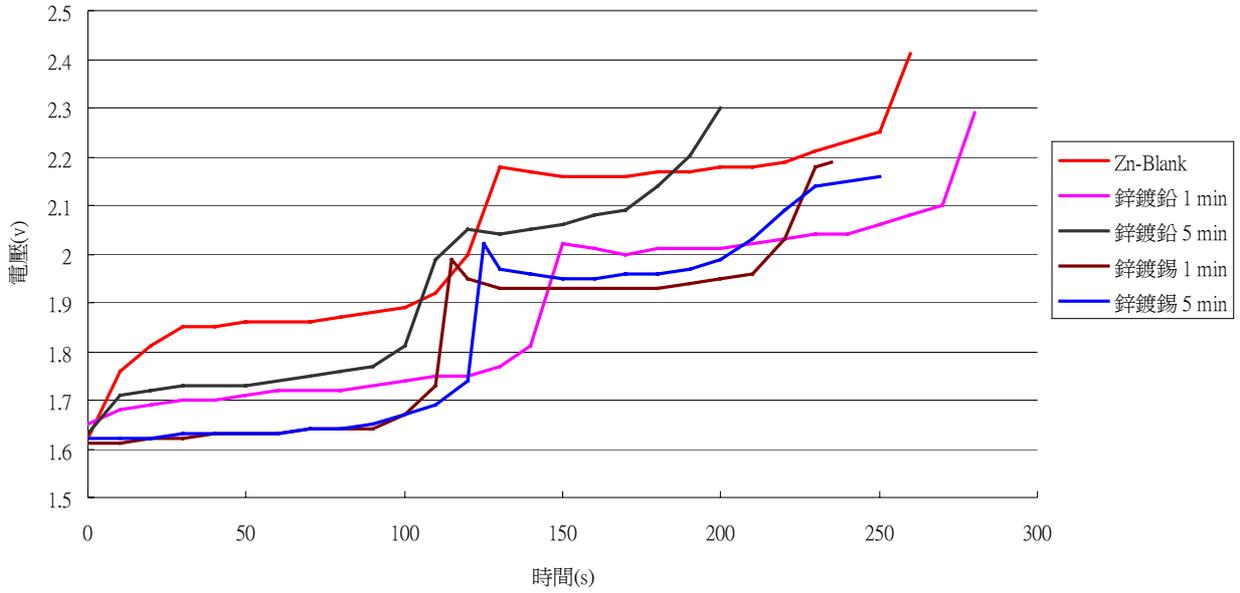


不同添加物-放電曲線圖

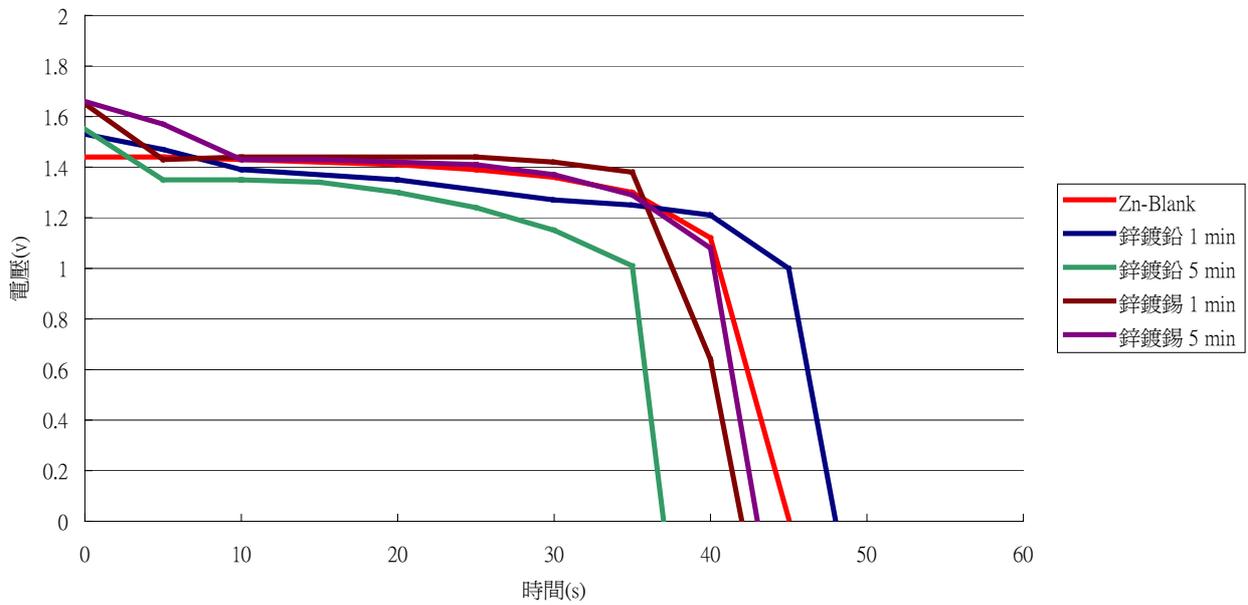


附錄三 鋅極不同表面處理充放電曲線

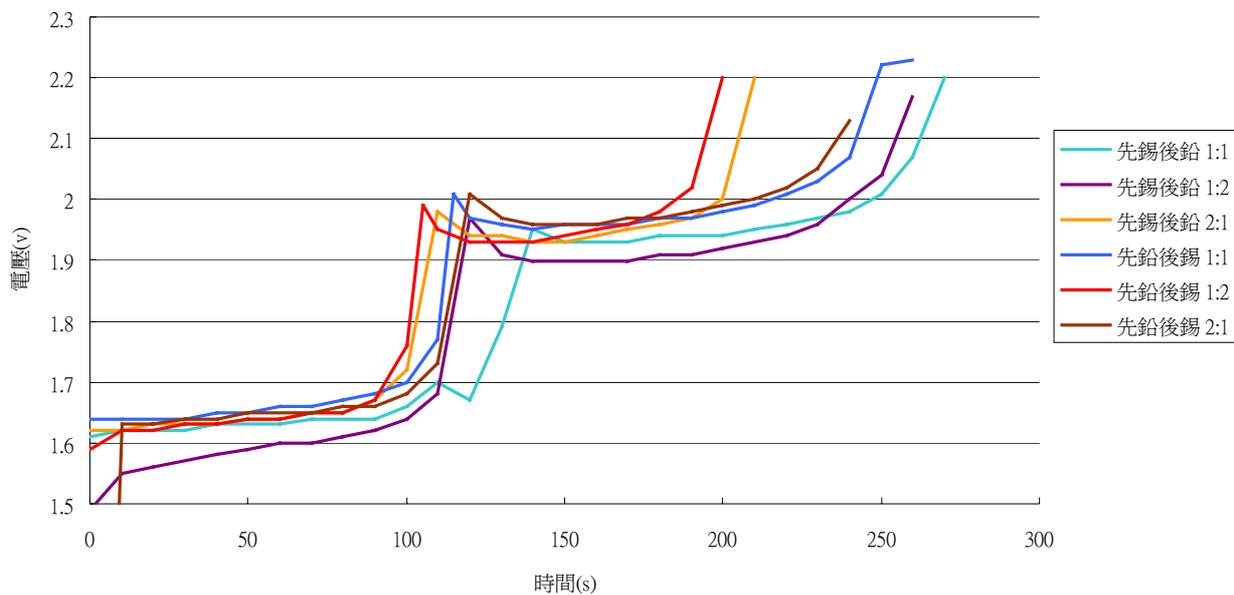
不同電極處理之充電曲線



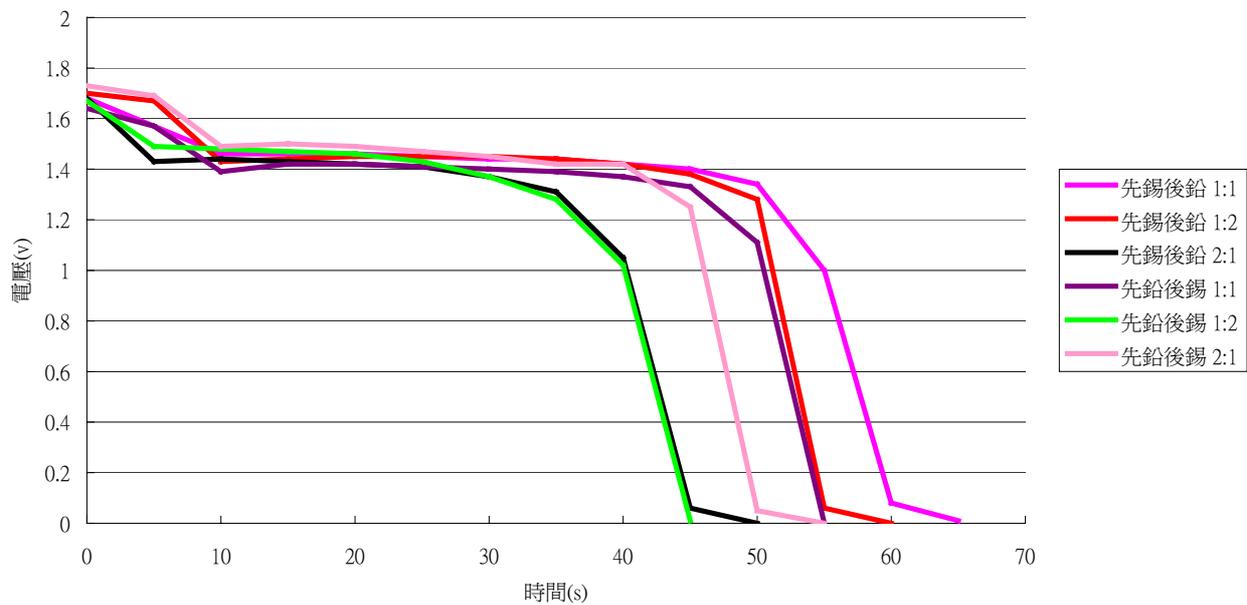
不同電極處理之放電曲線



不同電極處理之充電曲線

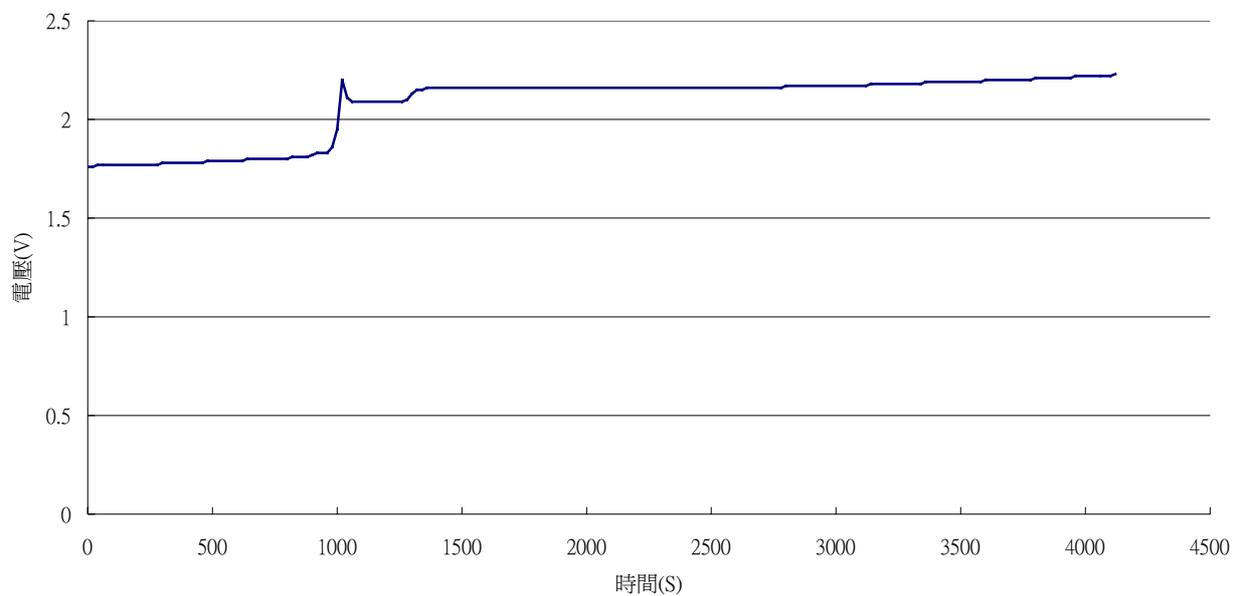


不同電極處理之放電曲線

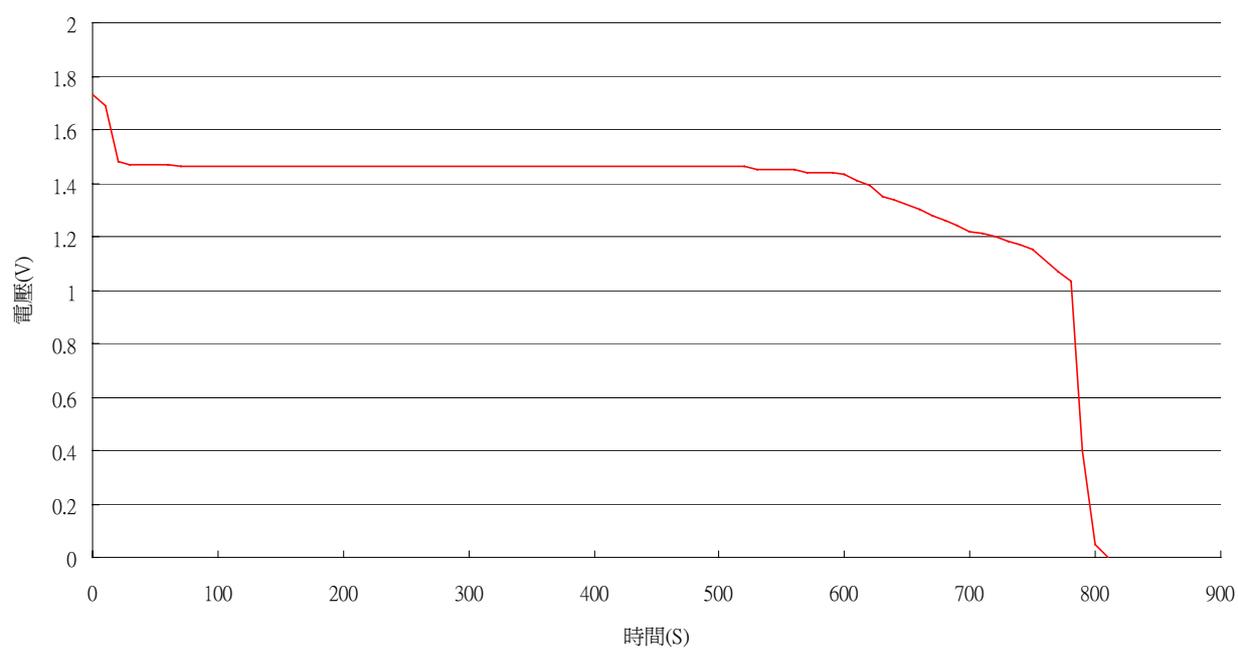


附錄四 銀極不同前處理充放電曲線

充電



放電



附錄五 定電阻實驗

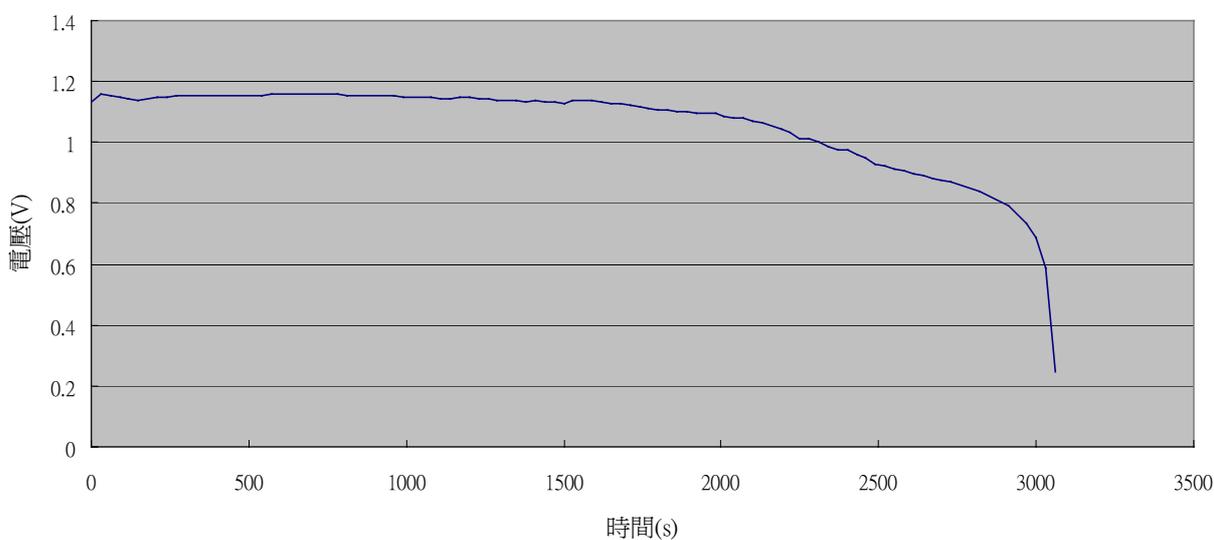
想法：起初我們認為一顆電池如果連燈泡都點不亮，那還叫什麼電池，於是我們整個實驗都使用電燈泡作為放電的電阻。不過到後來，考慮的東西越來越多，電燈泡當為電阻好像就有點不嚴謹了，於是我們拿了定電阻儀器來做相同的實驗，觀察差異有多大。

做法：實驗方法和先前的實驗完全一樣，只是將電燈泡換成固定電阻（ $8\ \Omega$ ）。

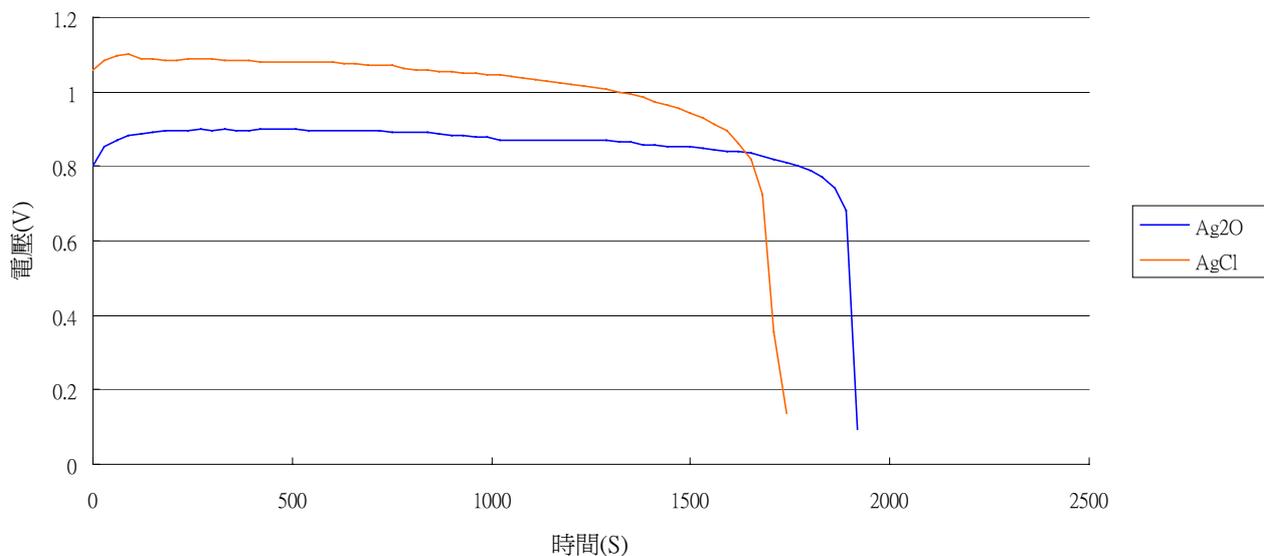
註：KOH 6M 銀極 0.5g（AgCl、Ag₂O）。

實驗紀錄：

AgCl 定電阻(8 Ω)-放電曲線



同重量銀離子-放電曲線



結論：從實驗得知，以電燈泡和固定電阻作為放電的電阻，並沒有什麼差異，只單純因為電

阻大小不同進而影響放電時間不同，於是確立電燈泡作為電阻之價值。

附錄六 鋅極大小和鹼性溶液量的討論

在實作電池中我們討論出了鋅極和鹼性溶液的使用量，但是要作一顆電池總要考慮到他的使用性質，一顆電池從完成後出場，經過大盤商、中盤商、零售業者，最後才到消費者的手中，在這過程中已不知經過了多少時間，於是電池靜置時的狀況當然也須在我們的考量中。

在先前的實驗已顯示出鋅極在鹼性溶液中的消耗程度，其中的反應式如下：



而先前的實驗表示，經過處理的鋅極，每三十分鐘會產生0.0314ml的氫氣，相當於 1.276×10^{-6} mole，於是我們預計一顆電池最少會靜置兩個月，其鋅極消耗量約為 3.67×10^{-3} mole=0.238g。所以我們通常都會加大鋅極的量，以防電池反應後造成電池液外漏的情形。

附錄七 放電完後的電池

我們常使用電池安裝在隨身聽裡，用到沒電後又忘了將電池拔掉，過一段日子後發現電池液已外露了。於是我們針對我們的電池作了一些不同狀況的討論。

	靜置	使用中	使用後 (通路)
鋅極消耗量(30min)	0.00008g	0.12g	0.04g

如此看來，電池在使用後，若未恢復斷路靜置狀態，對電池來說是非常危險的，若是一般以鋅極當外殼的電池，他的損耗程度可是差了500倍之多呢！所以市面上的電池在鋅殼外還會多包一層塑膠絕緣後，再包一層鋼殼，以防消費者的不當使用造成危險。除此之外。其實有很多種類的電池在封口處都有設計一些小洞，以便讓電池反應產生的氣體緩緩溢出，降低危險性，讓消費者使用的更安心。

(第二名) (最佳創意獎)

對鹼性電池電極的反應作了很大的改進，後續可以再對電極的反應內容過程再探討。