

作品名稱：點石成金：鋁銅電池 — 廢鋁罐的第二春

國中組 化學科 第三名

縣市：台北縣

作者： 蔡羽軒、謝東穎

丁詩紋、李東隆

校名：台北縣私立南山高級中學

指導教師： 沈慧英、何修德

關鍵詞：鋁銅電池、廢鋁罐



點石成金：鋁銅電池~廢鋁罐的第二春

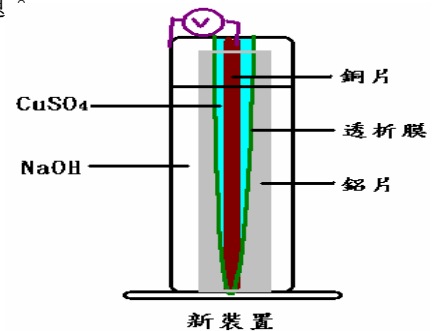
一、研究動機：

前年的九二一集集大地震，慘痛的經驗都讓我們記憶猶新。因為停電全國幾乎都籠罩在黑暗之中，電池成了最熱門的搶手貨；價格當然水漲船高，居高不下！可能是平常的二、三倍，甚至還可能有錢買不到呢！災區的人們更可憐，不但停水還斷電，沒有電~他們幾乎與外界隔絕，生活變得非常不方便，簡直是寸步難行；而電池在此時，更凸顯出它的重要，但是停電時，不一定家家戶戶都有儲備電池；於是我們便想：利用日常生活中，隨手可得的物品，製做成簡易且實用的電池；如此一來，就不必害怕沒有電池了！

在各界極力倡導資源回收的同時，3R：Reduce、Reuse 及 Recycle 還清晰地印在腦海中，某日，喝完飲料後正準備將鋁罐壓扁丟入回收筒時，突然靈光乍現~為什麼不利用廢鋁罐製作電池呢？況且，現在全球正值能源危機，油品沒幾天就漲價一次，工業發達使石化燃料及各種原料的消耗劇增，研發新能源與廢棄物的回收再利用，就是我們刻不容緩、責無旁貸的課題。

二、研究目的：

- (一) 各式鋁箔替代鋁罐對鋁銅電池的影響
- (二) 各種透析膜替代品對鋁銅電池的影響
- (三) 透析膜面積大小對鋁銅電池的影響
- (四) 電解質種類及濃度對鋁銅電池的影響
- (五) 利用廢鋁罐製作電池



三、研究設備與器材：

銅片 氫氧化鈉 硫酸銅 透析膜 燒杯 安培計 伏特計(如上圖所示)

四、研究過程、結果與討論：

(一)鋁罐內部以砂紙磨與未磨對鋁銅電池的影響

1.鋁罐內部已磨

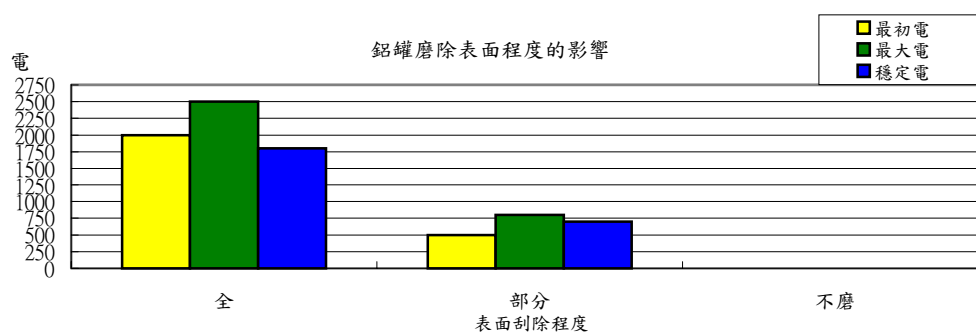
- (1)取回收鋁罐一個
- (2)用剪刀將瓶口處剪下
- (3)保留瓶身部份，用砂紙磨鋁罐內部5圈，以自來水沖洗，再以蒸餾水、丙酮沖洗，擦乾秤重
- (4)取 2M NaOH 180mL 置於鋁罐內，以鱷魚夾夾住鋁罐
- (5)取圓周長為 5cm 的透析膜 12cm 長，底部打結加入 1M 硫酸銅溶液 12mL
- (6)在硫酸銅溶液中放置 $1.5 \times 11 \text{cm}^2$ 已秤重的銅片，以鱷魚夾夾銅片
- (7)將透析膜置入鋁罐中
- (8)取伏特計接在鋁銅上，測其電壓
- (9)以安培計取代伏特計，測量電流
- (10)十分鐘後停止反應，分別沖洗鋁罐、銅片，擦乾並秤重

2.鋁罐內部未磨

另取一未磨回收鋁罐，實驗步驟如(一)之 1.(2)~(10)

表 1 鋁罐磨除表面程度的影響

	全	部分	不磨
最初電壓 (V)	1.5	1.5	0
最初電流 (mA)	2000	500	0
最大電流 (mA)	2500	800	0
穩定電壓 (V)	1.5	1.5	0
穩定電流 (mA)	1800	700	0
銅片使用前 (g)	0.495	0.495	0.495
銅片使用後 (g)	0.567	0.541	0.495
鋁罐使用前 (g)	7.529	7.303	7.402
鋁罐使用後 (g)	7.526	7.300	7.402
溶液溫度 (°C)	22	22	22
反應後溫度 (°C)	27	25	22
特殊現象	冒泡、Al 變黑、 鋁罐不到 10 分鐘即漏 出溶液	冒泡、Al 變黑、	Cu 片有被洗過的痕跡



- 討論:
1. 鋁罐不刮除表面緻密的氧化鋁，反應性降低，電壓、電流為 0
 2. 鋁罐徹底刮除與只刮底部的最初電流，最大電流，穩定電流前者都較大
 3. 部份刮除與全部刮除對電壓沒有影響，均為 1.5 伏特
 4. 鋁罐全刮和未刮重量上的差值出在剪裁時的不同
 5. 反應為放熱反應

(二) 不同來源的鋁對鋁銅電池的影響

1. 替代品未磨
2. 替代品已磨

表 2 鋁片的有刮與否對鋁銅電池的影響

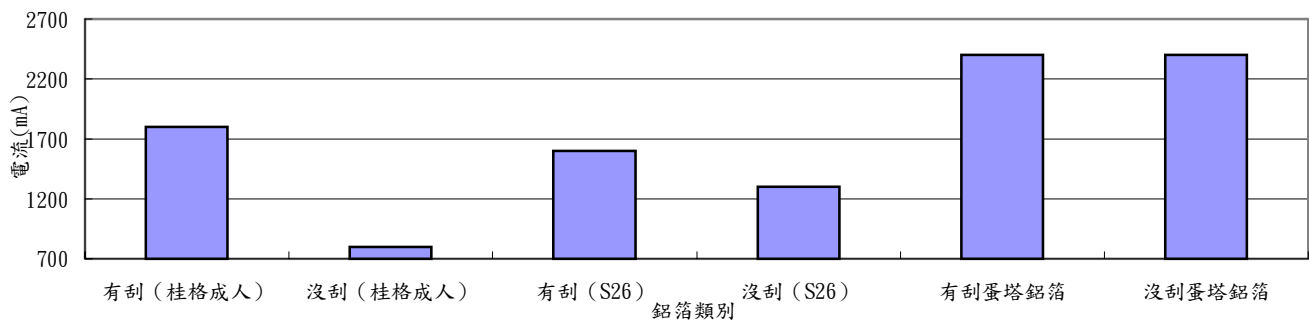
鋁箔	有刮 (桂格成人)	沒刮 (桂格成人)	有刮 (S26)	沒刮 (S26)	有刮 蛋塔鋁箔	沒刮 蛋塔鋁箔
電壓 (V)	1.6	1.5	1.7	0.2	1.8	1.8
電流 (mA)	2100	800	1600	1300	2400	2400
銅片使用前 (g)	0.6	0.74	0.681	0.638	1.505	1.505
銅片使用後 (g)	0.74	0.8	0.693	0.78	1.852	1.852

鋁片使用前(g)	1.603	1.683	2.534	2.54	1.322	1.322
鋁片使用後(g)	1.54	1.6	2.52	2.37	1.056	1.056
初溫(°C)	18	18	21	21	19	19
末溫(°C)	20.5	19.5	24	22	23	23
特殊現象	強烈冒泡	微量冒泡	強烈冒泡	微量冒泡	冒泡	冒泡

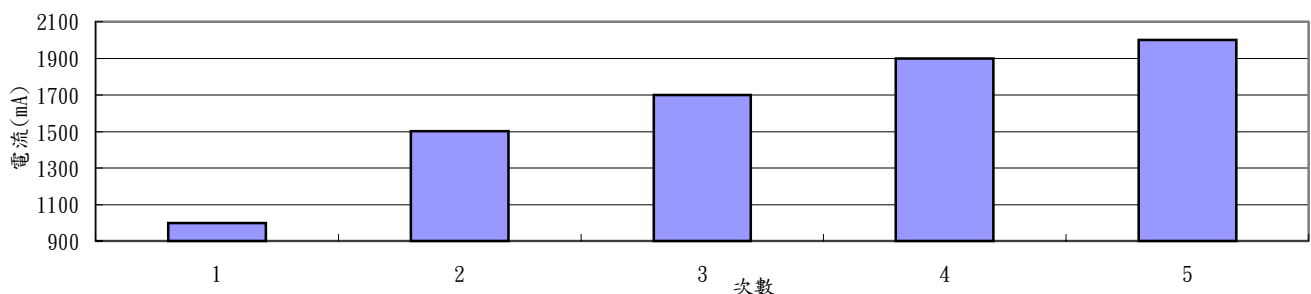
桂格成人鋁箔以砂紙
刮一次電流為 1000mA
刮二次電流為 1500mA
刮三次電流為 1700mA
刮四次電流為 1900mA
刮五次電流為 2000mA
全刮電流為 2000mA

S-26 鋁箔以砂紙
刮一次電流為 300 mA
刮二次電流為 550 mA
刮三次電流為 600 mA
刮四次電流為 700 mA
刮五次電流為 800 mA
全刮電流為 1600 mA

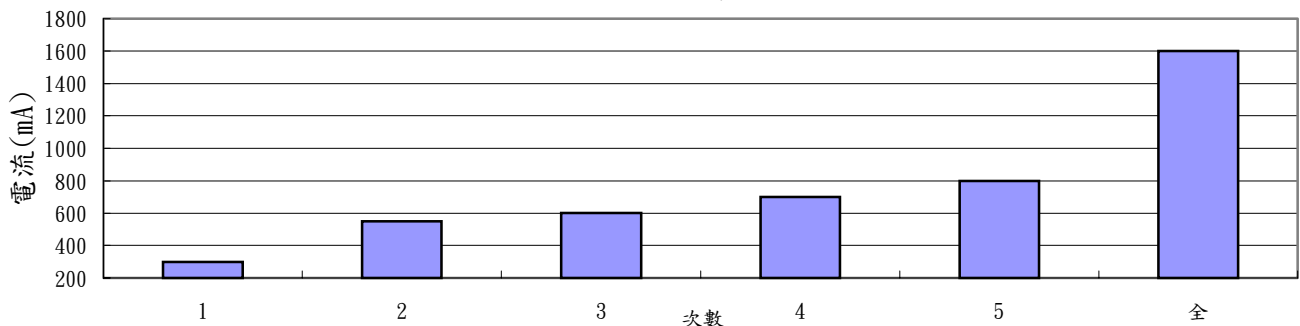
鋁箔種類



桂格成人鋁箔以砂紙刮



S-26鋁箔以砂紙刮



- 討論：1.在實驗前將鋁箔刮過所產生的電壓、電流都比沒有刮過的大(除了蛋塔的鋁箔及純鋁箔例外)因為鋁的表面會生成緻密的氧化鋁，保護內部構造，降低其活性所以實驗前需要用砂紙先磨過。
- 2.蛋塔的鋁箔與純鋁箔可能所含鋁質較高，刮除與否影響不大，純鋁箔的

反應十分激烈

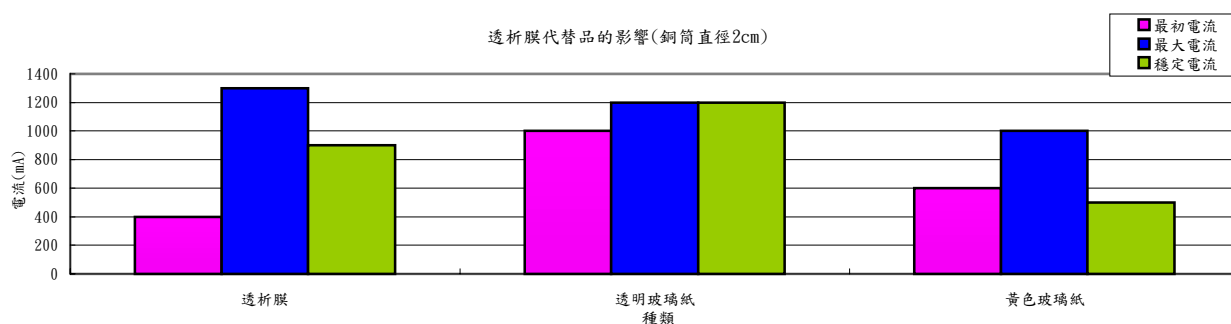
- 3.桂格奶粉罐上鋁箔，磨除與否對電壓影響較小，對電流影響較大，磨除(1800mA)是不磨(800mA)的 2.3 倍
- 4.S-26 幼童奶粉罐上的金屬薄片(可能是馬口鐵)刮除與否對電壓的影響較大，前者(1.7V)是後者(0.2V)的 8.5 倍，而對電流的影響較小，前者(1600mA)是後者(1300mA)的 1.2 倍
- 5.鋁箔包的鋁箔非常薄，刮除時要特別小心，太大力會將鋁箔刮破，不刮，電壓、電流均為 0，但刮除後，電壓、電流都比其他鋁製品來得小
- 6.反應為放熱反應

(三)透析膜與其替代品的影響

1.銅筒類

表 3 透析膜代替品的影響(直徑 2cm)

	透析膜	透明玻璃紙	黃色玻璃紙
最初電壓(V)	1.4	1.2	1.2
最初電流(mA)	400	1000	600
最大電流(mA)	1300	1200	1000
穩定電壓(V)	1.5	1.5	1.2
穩定電流(mA)	900	1200	500
銅片使用前(g)	7.612	12.312	8.434
銅片使用後(g)	7.831	12.447	9.309
鋁罐使用前(g)	9.371	10.550	10.069
鋁罐使用後(g)	9.114	10.379	9.858
溶液溫度(°C)	32	39	32
反應後溫度(°C)	39	41	38
特殊現象	冒泡且透析膜內有藍色沉澱物	冒泡、冒煙	冒泡且透析膜內有藍色沉澱物



討論：1.透析膜或玻璃紙對電壓的影響不大

2.透析膜的最初、最大電流及穩定電流皆比黃色玻璃紙好

3.蒸年糕用的透明玻璃紙，它的最初電流是透析膜的 2.5 倍，穩定電流為透析膜的 1.3 倍，只是最大電流稍差些

2.透析膜類

表 4 透析膜的取代

鹽橋材質	大透析膜	豬小腸	豬腸膜	豬大腸	未上釉陶罐	上釉陶罐	手套	汽球
最初電壓(V)	1.6	1.6	1.5	1.6	0	0	0	0
最初電流(mA)	1600	1500	1500	400	0	0	0	0
最大電流(mA)	2000	1600	2100	900	0	0	0	0
穩定電壓(V)	1.6	1.6	1.5	1.6	0	0	0	0
穩定電流(mA)	1800	1500	200	600	0	0	0	0
銅片使用前(g)	1.123	1.334	0.359	1.4	1.442	1.367	1.442	1.367
銅片使用後(g)	1.362	1.44	0.416	1.497	1.442	1.367	1.442	1.367
鋁罐使用前(g)	10.663	9.306	10.357	11.125	11.346	10.648	11.346	10.648
鋁罐使用後(g)	10.282	9.21	10.006	10.834	11.346	10.648	11.346	10.648
溶液溫度(°C)	22°	18.5	34	19	19	19	19	19
反應後溫度(°C)	25°	20.5	35	21.5	19	19	19	19
特殊現象	冒泡、銅片上有黑色附著物	冒泡	冒泡	冒泡	冒泡	冒泡	冒泡	冒泡

討論:1.透析膜、豬小腸、豬腸膜、豬大腸的電壓變化不大，電流差異較大：透膜的穩定電流最大，其次是豬小腸。豬腸膜的最大電流最高，但因為太薄易滲水， Cu^{2+} 易滲出與 OH^- 作用，在豬腸膜外形成 $\text{Cu}(\text{OH})_2$ 藍色沉澱，所以電流一直下降，不穩定，而豬大腸較厚，透析效果較差，穩定電流是豬小腸的 0.4 倍

2.陶罐可能材質緻密，透析效果很差，電壓、電流為 0，沒有多孔素瓷杯的效果(多孔素瓷杯已有人做過實驗故本實驗並未採用)

3.橡皮手套、汽球的透析效果也很差，電壓、電流為 0

4.反應為放熱反應

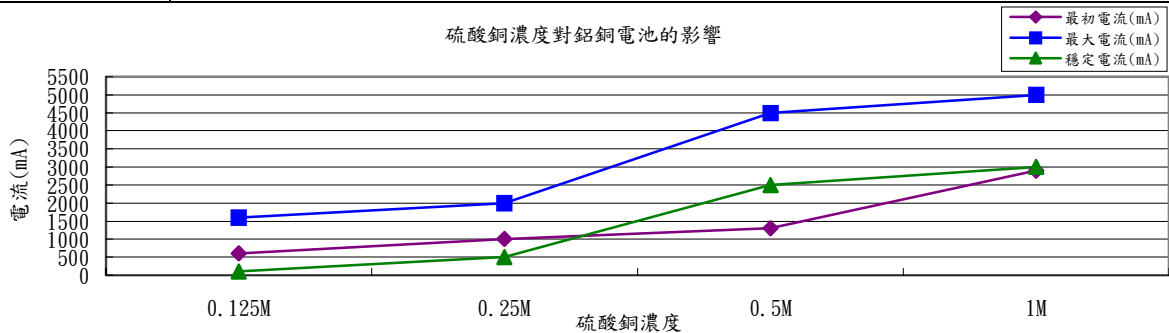
(四)電解質種類及濃度對鋁銅電池的影響

1. 硫酸銅為電解質

表 5 CuSO_4 濃度對鋁銅電池的影響

CuSO_4	0.125M	0.25M	0.5M	1M
最初電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6
最初電流(mA)	600	1000	1300	2900
最大電流(mA)	1600	2000	4500	5000
穩定電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6
穩定電流(mA)	100	500	2500	3000
銅片使用前(g)	1.289	1.245	1.325	1.321
銅片使用後(g)	1.347	1.473	1.685	1.705
鋁罐使用前(g)	10.217	10.87	10.55	10.738

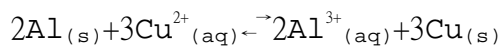
鋁罐使用後(g)	10.09	10.765	10.406	10.67
溶液溫度(°C)	20°	20°	21°	20°
反應後溫度(°C)	21°	21°	24°	26°
特殊現象	冒泡多、鋁變黑、少量氫氧化銅沉澱			



討論：1. CuSO₄ 的濃度不影響電壓

2. CuSO_{4(aq)} 的濃度越大，電流越大，以 0.125M 及 1M 的 CuSO_{4(aq)} 兩相比較：最初電流增為 4.8 倍，最大電流增為 3.1 倍，穩定電流增為 30 倍

3. 鋁銅電池的反應式如下



根據勒沙特列原理：[Cu²⁺] ↑，反應向右進行，電壓應該增加。利用能士特方程式(Nernst equation)：

$$E = E^{\circ} - \frac{2.303RT}{nF} \text{Log} \frac{[Al^{3+}]^2}{[Cu^{2+}]^3}$$

只改變 [Cu²⁺] 由 0.5M 增為 1M (濃度變為 2 倍) 電位只相差

$$\frac{2.303 * 8.314 * 294}{6 * 96320} \log 2^3 = 0.0088V。$$

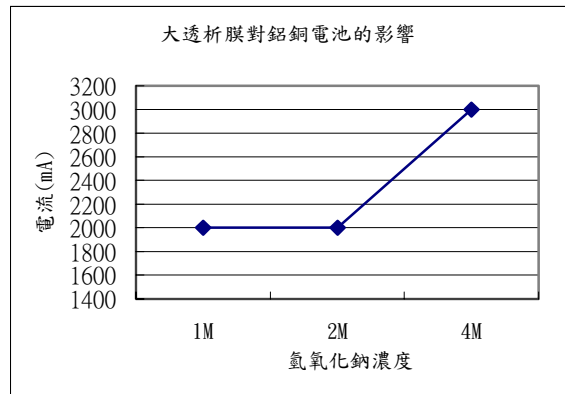
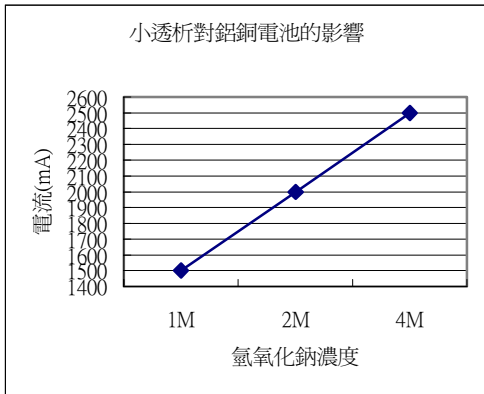
我們的伏特計測不出此微量變化！

2. NaOH 為電解質

6 透析膜大小對鋁銅電池的影響

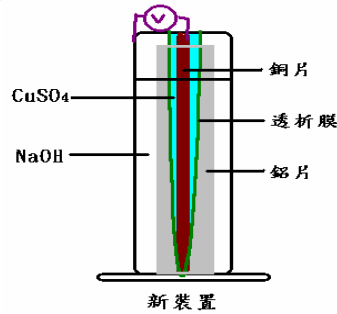
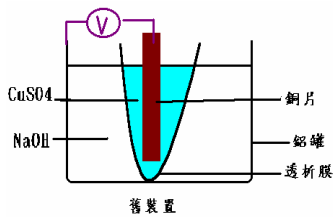
透析膜大小	小	大	小	大	小	大
NaOH	1M		2M		4M	
最初電壓(V)	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6
最初電流(mA)		1300		1600	2500	2000
最大電流(mA)	1500	2000	2000	2000	2500	3000
最小電流(mA)	1000		1500		2300	
穩定電壓(V)	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6
穩定電流(mA)		1800		1800	2500	2500
銅片使用前(g)		1.453		1.123		1.22

銅片使用後(g)		1.601		1.362		1.71
鋁罐使用前(g)		10.712		10.663		10.34
鋁罐使用後(g)		10.314		10.282		9.86
溶液溫度(°C)		22°		22°		27°
反應後溫度(°C)		23°		25°		29°
特殊現象	冒泡、銅片上有黑色附著物					



討論：1.透析膜大小(圓周 5cm 與 8cm)對電位影響不大。
2.透析膜越大，最大電流有增加的趨勢。

(五)新改良裝置對電壓、電流的影響：

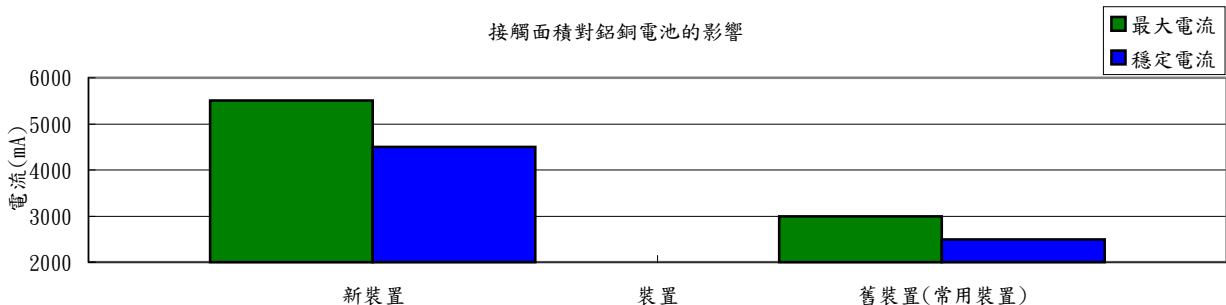


常用裝置(舊裝置)與新裝置之比較

表 7 接觸面積對鋁銅電池的影響

	新裝置	舊裝置(常用裝置)
鋁罐面積(cm ²)	180	140
銅片面積(cm ²)	20	17
透析膜面積(cm ²)	88	80
電壓(V)	1.6	1.6
最大電流(mA)	>5000	3000
穩定電流(mA)	4500	2500

接觸面積對鋁銅電池的影響



結論：1.因為接觸面積增加，電流增加，整個反應進行地快速、徹底，使得使得鋁銅電池之壽命縮為 20 分鐘左右，電流就開始下降。

2.新裝置之電流很大(大於 5000 毫安培)，為常用裝置的 1.7 倍，穩定電流也增為 1.8 倍。

我們得到下列數據：

理論值電量： $Q_1 = \text{失去的 Al 重} \times 3 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 6 \times 10^{23} / 27$

實際輸出電量： $Q_2 = I \times t$

使用效率： $Q_2 / Q_1 \times 100\%$

NaOH	0.5M	1M	2M	3M	4M	5M	6M
$Q_1 (c)$	3617	4259	4077	5062	5137	5682	9450
$Q_2 (c)$	840	1080	1080	1320	1500	1680	2040
使用效率%	23.2	25.4	26.5	26.1	29.2	29.6	21.6

結論：使用效率可達 25%以上

我們心想：若時間延長在使用效率上有何變化？我們取 3M NaOH_(aq) 進一步實驗，數據列於表 8-1、8-2，得知可提高至 35%以上。

表 8-1 持續性 (3M NaOH_(aq))

時間(分)	0	2	4	6	8	10	12	14
電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
電流(mA)	1800	1900	2200	2200	2200	2200	2200	2200
時間(分)	16	18	20	22	24	26	28	30
電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
電流(mA)	2200	2000	1900	1900	1800	1800	1800	1800
電解質			鋁罐	3M NaOH 180mL				
			透析膜	1M CuSO ₄ 24mL				
反應前	鋁罐質量 (g)	11.175	銅片質量 (g)	1.125				
反應後		10.158		2.102				

表 8-2 持續性 (3M NaOH_(aq))

時間(分)	0	2	4	6	8	10	12	14
電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
電流(mA)	1800	2000	2150	2200	2200	2200	2200	2200
時間(分)	16	18	20	22	24	26	28	30
電壓(V)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
電流(mA)	2200	1950	1900	2000	1900	1900	1900	1850
電解質			鋁罐	3M NaOH _(aq) 180mL				
			透析膜	1M CuSO _{4(aq)} 24mL				
反應前	鋁罐質量 (g)	11.172	銅片質量 (g)	1.137				
反應後		10.278		2.014				

五、結論：

1. 鋁罐表面處理得越徹底，電流越大，對電壓無影響
2. 透析膜浸入面積越大，接觸面積越大，電流越大，但對電壓影響較小
3. 蒸年糕用的玻璃紙取代透析膜的效果相當好；未來可請廠商製成圓筒狀，並加厚(2~3 層)，可取代透析膜，降低成本
4. 豬小腸取代透析膜的效果也不錯，但比蒸年糕用的玻璃紙差
5. 電解質為 NaCl 時濃度越高，電流越大，但對電壓影響較小
6. 以 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 為電解質，易使 Al 形成 $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ 之錯離子，電流會大幅增加，反應後還可再製成明礬，又可廢物利用，真是一舉數得。
$$\text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^- \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_4^-$$
7. 單獨以 $\text{NaCl}_{(aq)}$ 或 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$ 為電解質，效果比 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 差，但 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$ 與 NaOH 混合當電解質，電流有加強的效果，對電壓影響較小，但會產生 $\text{NH}_3(g)$ 令人不舒服，故不予採用
8. $\text{KOH}_{(aq)}$ 與 $\text{NaOH}_{(aq)}$ 比較：錯離子質量越大，電荷移動速度越慢，電流略為降低，但對電壓無影響
9. 加入去極劑 MnO_2 對電壓無影響，但造成電流降低，有不利的影響！
10. 將鋁罐剪鋁片，增加接觸面積，電流大幅增加，但對電壓無影響
11. 鋁銅電池反應時間延長為 30 分鐘，將電池使用效率提高至 35% 以上

鋁的熔點高(660°C)目前已知廢鋁罐的再利用方式為：熔化後再製成鋁罐，仍要耗費可觀的能源！本實驗為廢鋁罐找到第二春：以鋁罐為陽極，罐內加入 $\text{NaOH}(aq)$ ，以銅片為陰極，銅片放入透析膜中，透析膜置入鋁罐內，製成鋁銅電池；不僅電壓高(大於 1.5 伏特)，電流也很大(最高可達 5000mA)，燈泡可亮鬧鐘可響(可持續 2 小時以上)，如何參照乾電池的裝置，作一個簡易、方便可攜帶的電池，分送至災區，為他們稍解停電之苦，為社會略盡棉薄之力，這是我們想達成的目標！

六、參考資料

- 1.從廢鋁罐製備明礬---化學技術實驗 文京圖書有限公司
- 2.濾紙電池、鎂銅電池---高中基礎化學 龍騰文化事業公司
- 3.鐵銅電池之探討及改良
- 4.改進鋅銅電池的電流至一千倍
- 5.鋅銅電池與光敏差算放大器
- 6.死灰復燃的電池—乾電池的永續利用
- 7.電解質導電分析與實驗器材設計改進
- 8.氨在高溫時，具還原作用的改良實驗及一些引發問題
- 9.膠體中的化學實驗—擴散速率及環狀擴散現象之探討
- 10.思考的電池實驗
- 11.自製簡易發電電池
- 12.使用充電式電池
- 13.利用蔬菜水果製作電池的研究
- 14.水果電池
- 15.電與生活
- 16.科學與生活：電池驗電條
- 17.觸電與電擊對人體的傷害

評語：

- 一、研究主題和所學教材有密切關係，且以環保觀點切入，具有實際應用價值。
- 二、實際設計，及數據分析合宜，思考程序允當，符合科學探討之精神。
- 三、對於引用之原理，計算式仍須多加消化理解。

作者簡介

我是丁詩紋，小時候曾學過鋼琴及珠心算，且拿到心算十段及珠算六段的殊榮，也在各大大小小的比賽中拿到了多項獎盃。國小時以「台北縣議長獎」畢業；國中時，校內外大小比賽皆有不錯的成績。

蔡羽軒，生於臺北市，中華民國七十五年生(西元一九八六年)；現就讀於臺北縣立南山高級中學。平日喜歡學習新事務，在電腦、陶藝等方面，小有所成；對於自然科學有濃厚興趣，特別是化學，希望未來能朝生化科技或是醫學發展，為社會有所貢獻。

本人姓謝名東穎，為北縣中和人，國小時就已經接觸過科學實驗過程。在興南國小老師的帶領下，對生物以及實驗有濃厚的興趣，國中受化學老師的提拔，經歷了兩次的科展，終於有所成果。不管未來如何，我都會繼續帶著老師賦予我的科學精神，往科學之路前進。

我的名字是李東隆，出生於中和市，畢業於積穗國小，國小參加田徑隊，為學校爭取榮譽，升上國中，對於理化、數學有濃厚的興趣，從小常看一些有關科學的書籍，也蠻喜歡的，本身只有參加一次科展，也有不錯的成績，也因為這次的機會，讓我體會到科學的奧秘和深度，也藉此讓我學到了很多寶貴的知識。