

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031620

電池 DIY

學校名稱：臺北市立民族國民中學

作者： 國二 王盛儀	指導老師： 區婷芬 林錫源
---------------	---------------------

關鍵詞：電池 電解質 食鹽水

壹、 摘要

本實驗使用日常生活中隨時能找到的硬幣與金屬和一些電解質，希望能做到點亮燈泡的目的。經由先導試驗的電極材料測試選擇後，以銅、鋁作為陰極和陽極，廚房紙巾承載電解質，利用三用電錶測量多種電解質製成電池之電壓與電流。系統化地測量後，找出其中最安全、最具經濟效益的電池組，加以串聯點亮燈泡。

一、本實驗發現：(一) 電池電壓的大小隨電極材料而改變；(二) 電池電流量的大小與電極面積、電解質濃度、電解液厚度、電解質種類有關係；(三) 硫酸和鹽水是最具經濟效益的電解質，其中又以鹽水為最安全與最容易取得的電解質；(四) 電池串聯時，電壓能夠累計；(五) 緊密度影響毛細現象。

二、本實驗成功製作出能夠驅動小型電器的電池，並能持久使用。

貳、 研究動機

生活中往往必須用到電。現在的人，碰到天災，電塔倒塌，電池用光，幾乎什麼都不能做。而且現今市售電池貴得要命，乾脆自己 DIY 來做電池。而且大部分的人相當倚賴使用電能。不管是吃喝拉撒睡，還是食衣住行育樂，樣樣都離不開電。於是，就有電池的出現。從液態的電池，到現在的乾電池樣樣都是越來越小，越來越方便使用了。

看到市面上林林總總的電池，都像是金做的、銀做的，價格不斐。何不自己做看看，是否更經濟實惠？而且看到課本上(翰林第三單元-酸鹼鹽)寫說：只要是電解質就能夠導電，且又看到一本書寫到：只要有陰陽兩極和電解質，就能製作電池。

如果碰上天災，電池又那麼的剛好都沒有了，說不定自己就可以做個電池，以備不時之需。我想經過這次機會，就可以再增加一項求生時還能使用電子用品的能力，海上荒島飄流的魯賓遜還可以繼續聽 MP3 或新聞氣象報告。

參、 研究目的

天底下的人們在各種的天災之下電池用完，只要以一點點的成本和工作，就可以做出電池，點亮燈泡。所以本次的實驗與研究目的，就是證明身邊隨處可取的東西，可以發電。並且利用此次的電池，嘗試達到下列目的：

- 一、 點亮 LED 燈泡
- 二、 驅動小型電器

此外，更要測試其他的電解質，了解電解質不同時的差異。

肆、 研究器材

- 一、 底座：大型塑膠盤(底座)、膠帶、導線(接三用電錶)、基座用銅片(導電)、滴管、數位式三用電表(如照片 1)、鱷魚夾。
- 二、 電極：鋁片(約 2cm×1.9cm)、銅箔(約 2cm×1.9cm)(如照片 1)、銅管、鋁箔。
- 三、 電解質：
 - 1M 鹽水(NaCl)：([Na⁺]、[Cl⁻]各 1M)、
 - 1M 鹽酸(HCl)：([H⁺]及[Cl⁻]各 1M)、
 - 1M 硝酸(HNO₃)：([H⁺]及[NO₃⁻]各 1M)、
 - 1M 硫酸(H₂SO₄)：([H⁺]為 2M，[SO₄²⁻]為 1M)
 - 1M 含水氯化銅(CuCl₂)：([Cu²⁺](銅離子)為 1M，[Cl⁻]為 2M)
 - 1M 硫酸銅(CuSO₄)：([Cu²⁺]為 1M[SO₄²⁻]為 1M)
 - 1M 氫氧化鈉(NaOH)：([Na⁺]為 1M[OH⁻]為 1M)飽和食鹽水
註：1M(莫耳濃度)為 1L 體積的溶液中含有 1mole 的離子。
- 四、 承載介質：廚房紙巾(如照片 2)、布。
- 五、 燈：綠色 LED。
- 六、 小型電器：時鐘

伍、 研究方法

- 一、 調製各種離子濃度電解質：
 - (一) 鹽水(NaCl)(固體範例)，1M，250mL：
 1. 鹽的原子量為 22.99(Na)+35.45(Cl)= 58.44(NaCl)
因此，調製 1M-1L 須鹽 1mole，其質量為 58.44g
要調製 250mL 之 1M 鹽水需要鹽 14.61g(58.44*250/1000=14.61g)
 2. 先利用微量天平量出約 14.61g 的鹽
 3. 加入量筒並加入水至 250mL
 4. 攪拌均勻
 5. 完成。
 - (二) 鹽酸(HCl)(液體範例)，1M，50mL：

1. 鹽酸的分子量為 36.46(HCl)

來源：日本 Shimadzu's Pure Chemicals 之試藥一級鹽酸，濃度 35%

1M 濃度所需試藥重為 104.17g/1000mL($36.46 \times 100 / 35 = 104.17\text{g} \dots$)

因此，調製 1M-1L 須鹽酸 1mole，其質量為 104.17g

鹽酸密度為 1.18g/mL，1M 所需體積為 88.28mL($104.17 / 1.18 = 88.28\text{mL}$)

要調製 50mL 之 1M 鹽酸需要鹽酸 4.41mL($88.28 \times 50 / 1000 = 4.41\text{mL}$)

2. 將量筒加水至 35.6mL
3. 加入鹽酸至 40mL(約 4.41mL)
4. 加水至 50mL
5. 攪拌均勻
6. 完成。

- 二、 組裝電池將上層電極和下層電極之間，加入電解質承載介質。再將銅和鋁之間的電解質承載介質加入電解質。
- 三、 放置於基座上，利用三用電表測量其電壓電流，如照片 3。
- 四、 變換各種電解質(本次實驗共 7 種：食鹽、鹽酸、硝酸、硫酸、氯化銅、硫酸銅、氫氧化鈉水溶液)，重覆步驟 5.3，測量不同電極/電解質組合之電壓和電流。
- 五、 變換電解質的濃度與厚度，測量電壓、電流。
- 六、 點亮燈泡：將自己製作的電池串聯，以增加電壓，點亮 LED，如照片 4。

陸、 研究結果

一、 先導試驗

為瞭解生活中究竟有哪些金屬可以拿來作電池的電極，我找了台幣 1 元硬幣(銅)、台幣 10 元硬幣(白銅)、日幣 1 円硬幣(鋁)和鐵片，中間夾沾濕食鹽水的廚房紙巾，量測不同金屬組合後的電壓。量測結果如表 1，台幣 1 元與日幣 1 円の電極組合有最大的電壓，因此在以後的實驗就以鋁和銅為電極組合。但是因為台幣 1 元不僅是國幣損毀要受罰，而且表面不平整，在實驗上很不方便，因此往後的實驗就切取相同大小的鋁片和銅片來進行。

表 1 不同電極的電壓量測結果

電極種類	台幣 1 元/日幣 1 円	台幣 10 元/日幣 1 円	鐵片/日幣 1 円
DCV	0.5V	0.3V	0.2V

二、 電解質種類實驗

(一) 電解質：NaCl、H₂SO₄、HCl

這三種電解質的特色，是實驗後不會在電極留下任何殘留物。

在量測電流的過程中，我發現電流值在剛開始接通電路時電流都很大，然後快速的減少，之後才漸漸穩定。以 NaCl 某一次的試驗為例，見圖 1，電流值由開始的 7mA 以較快的速度減下來。而到了 4.7mA 的時候，整個變化的速度則較為緩慢，電流變化不大。在多次的的量測中都有發生這種現象，且如果電池組組合後到測量的時間愈短，初始的電流值愈高，有時可以達到 10mA。因為電池的使用，時間應該都會很長，所以本實驗，表 2 所記錄的電流值都是在約 1 分鐘時，穩定後的電流值。在 H₂SO₄ 和 HCl 的部分，則是從大約 12mA 左右，降到 7、8mA 時才減慢下來，之後穩定的維持於 5.9mA。

至於電壓的部分，三種電解質所組成的電解質，電壓都約維持在 0.6V 左右，在測量過程中沒有太大的變動(不超過 0.1V)。

表 2 銅片/鋁片電池電壓、電流量測結果

測量種類 \ 電解質	NaCl	HCl	H ₂ SO ₄	CuCl ₂	CuSO ₄	NaOH	HNO ₃
電壓(DCV, V)	0.63	0.61	0.60	0.59	0.60	1.20	0
電流(DCA, mA)	4.0	5.9	5.9	12.0	8.0	5.6	0

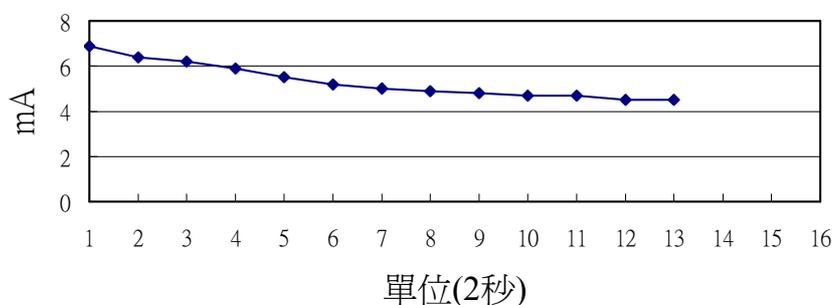


圖 1 鹽水電解質電流圖

(二) 電解質：CuCl₂、CuSO₄、NaOH

由這三種電解質所組合而成的電池，在試驗時都有發熱，發生某種化學變化。在電流方面，如表 2 所見，兩種含銅離子的電解質，在一分鐘時都有很高的電流，如 CuSO₄ 為 5.9 mA，CuCl₂ 為 12.0 mA。開始量電流的電流值也非常的高，甚至可以高達 80 mA 以上。但如果量測時間持續到 5 分鐘後，不僅電池組一直發熱，電流更降到 0 mA(沒有電流)，且在兩個電極的表面都可以發現紅色的顆粒，尤其是鋁電極的表面。

爲了確認鋁片會不會和含銅離子的電解質起化學反應，我在把鋁片分別單獨放入硫酸銅及氯化銅的電解液中，發現鋁片和電解質確實有反應。2 小時後，如照片 5 和照片 6 所見，的確可以看到大量的銅粉析出於鋁片上。

在電壓的量測方面，1 分鐘的電壓值，如表 2 所見，皆爲 0.6 V。但隨著鋁和電解質化學反應的進行，電壓也跟著下降，最後爲 0 V。

在 NaOH 電解質的試驗中，也是有電池組大量發熱的現象。1 分鐘的電流值，如表 2，約爲 5.6 mA 且在量測過程中，前期由高電流降到低電流的現象，比其他電解質緩和很多。最特別的是，這個電池組產生的電壓高達 1.2 V。但因爲電池組實在太熱了，只好結束試驗。爲了觀察鋁和 NaOH 水溶液會不會有化學反應，我將鋁片浸入 NaOH 水溶液。結果如照片 7 所見，可觀察到有激烈的化學反應，在鋁片的表面一直產生大量的氣泡。取出後，可以看到鋁片上也有許多類似木紋的凹痕。

(三) 電解質：HNO₃

此種電解質，在電池組成後的 3 秒鐘之內，電壓會由 0.5 V 降到 0.3 V，而又十秒鐘之後，再降爲 0 V，同時也測不到電流(0 mA)。

測試完的鋁片，在鋁電極表面上可發現多一層的東西，整個電極並且成爲灰灰黑黑的色澤。

三、 電解質濃度與厚度實驗

爲了瞭解電解質濃度和厚度對電壓電流的作用，本實驗使用鋁片/銅片爲電極，NaCl 爲電解質。除了原先的 1M 濃度之外，再將這個溶液加同體積的水，製成 0.5 M 的電解液，以及再次加水的 0.25 M 電解液。厚度方面，則是各以一片餐巾紙及兩片餐巾紙來量測。電壓電流的量測結果列於表 3，可以看出來，電池組的電壓似乎和電解質的濃度與厚度沒有明顯的關聯。但是在電流的方面，如果同時比較表 2 及表 3 中，可發現電流的大小幾乎和電解質中 NaCl 的濃度成正比。而愈多片的紙片中，愈厚、量愈多的電解質，所產生的電流量也越大。

表 3 銅片/鋁片電池電壓、電流量測結果

測量種類 \ 鹽水濃度 \ 介質厚度	0.5 M		0.25 M	
	1 片	2 片	1 片	2 片
電壓(DCV, V)	0.568	0.579	0.538	0.547
電流(DCA, mA)	1.8	3.4	0.9	1.7

四、 點燈實驗

在本實驗中，我利用鋁/NaCl/銅的單電池組加以串聯，以獲得足夠的電壓。綠色的 LED 燈泡原來估計在串聯八個電池組就可以點亮，但實驗發現串聯到第九個電池組之後 LED 才發亮，見照片 8。電池組串聯後，電池組個數與其產生之電壓電流如表 4 所示，隨著電池組數量的增加電壓愈來愈高，但不是正比關係，而電流則是愈來愈低，且愈不穩定。

表 4 點燈實驗結果

電池堆串聯數量	一個	兩個	三個	四個	五個	六個	七個	八個	九個
DCV, V	0.56	1.14	1.72	2.16	2.62	3.21	3.65	4.11	4.75
DCA, mA	2.0	1.7	1.7	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
綠色 LED	N	N	N	N	N	N	N	N	亮燈

五、 電池改良試驗

本實驗以分離式冷氣機的銅管為陰極(最內)，較堅固的棉布為電解質承載介質，最外則以鋁箔紙為陽極，於乾燥狀況組合後再置入已承裝飽和食鹽水的玻璃杯中。試驗時分成兩部分：(1) 有膠帶包覆、(2) 無膠帶包覆(照片 9)，再分別測量電壓電流的數據。

實驗結果顯示，此兩種的電池電壓皆為 0.5 V。由於電極面積增大且不必再手工固定，雖然電池的電流依舊是從高電流降到低電流，最後達到定值，但是比之前所製作的電池，電流更高也更穩，能夠做持久的放電。見圖二，有膠帶包覆的電池，電流從一開始的 27 mA，過了一小時仍還有 3.6 mA。而無膠帶包覆的電池，見圖二，不僅初始電流高很多，而且衰減的速度比遠小於有有膠帶包覆之電池。

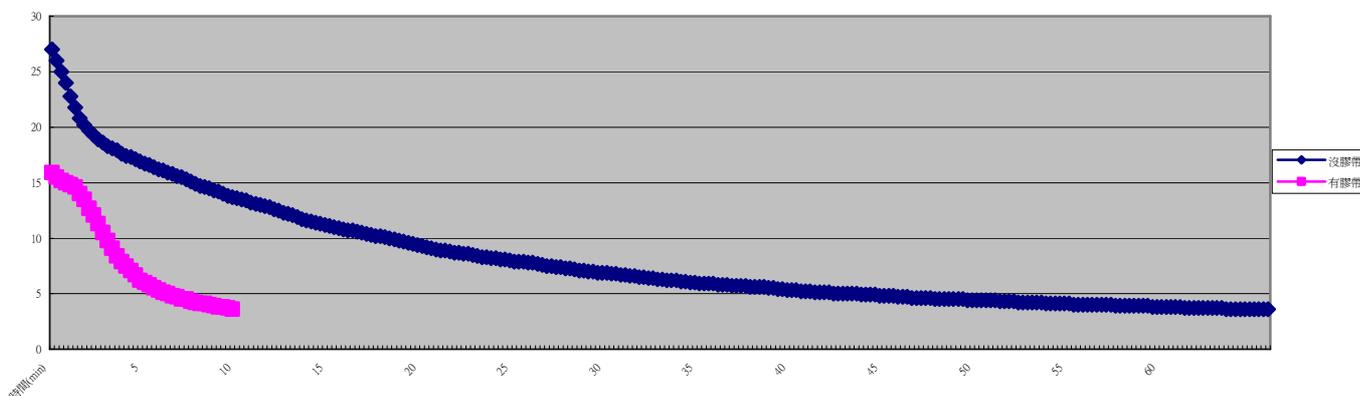


圖 2 改良電池電流圖

六、 以自製電池驅動電器

本實驗串聯前述改良後無膠帶包覆的電池，欲驅動小時鐘。

當僅有一個電池組時，時鐘的指針一動也不動；當串聯兩顆之時，秒針開始震動，但是並沒有成功驅動。直到串聯三顆自製電池時，秒針開始走動，並且能夠長時間(超過一個禮拜)驅動準時的時鐘(照片 10)。

電池組串聯後，電壓與電池組之數量成正比增加，串聯三個電池組後，電壓為 1.5 V。

柒、 討論

一、 電池的構成

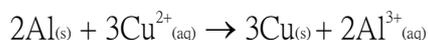
電池的構成有四個元件，為陽極、陰極、電解質和物理性的導電接觸^[1]。在電池的作用中，陽極發生解離並放出電子，陰極經由導線(電路)獲得電子並在表面使電解質中的離子發生還原，電解液則提供電解質及離子的移動環境。當兩個不同的金屬中間以電解液相隔時，高能量的金屬為陽極，較低能量的金屬為陰極^[1]，陽極和陰極的能量差為該電池理論上會產生的電壓。因此如表 1，不同電極材料產生的電壓不同；如表 2，相同的電極材料組合，即使是使用不同的電解質，只要沒有嚴重的化學反應，產生出來的電壓都幾乎相同。

為了瞭解可以產生電壓的材料組合，我去查了金屬的還原電位表^[2]，在標準氫電極的狀態，銅的電位為 +0.337V，鐵的電位為 -0.440V，鋁的電位為 -1.662V。但是查看表 1 和表 2，量到的電位差都不是上面數字的差距值。這原因可能是我用的硬幣和金屬片都不是 100%純度的金屬，另外，當電解質不同於查表的氫電極時，產生的電位差也會不一樣。如果在電池組合後有化學反應或熱的產生，能量也可能有消耗，使得量到的電壓不同於查表的數值。

二、 電解質種類的影響

在先導實驗中，量到的電流很不穩定，但後來將電解質承載介質、電極大小規格化之後，並盡可能地避免電極間的短路接觸，量測值均穩定。由表 1 所見，除硝酸電解質與氫氧化鈉外，電壓均約為 0.6V。電池組產生的電壓，似乎只取決於電極的材料，和電解質的種類沒太大的關連。但若檢查電池的電流，可發現電流的大小則和電解質的種類大大相關。反應愈激烈者，如氯化銅、鹽酸，其電流愈大；但可能也因此造成電極的損壞，無法長久使用。也因為這些反應的作用，造成剛開始量測時，都有比較高的電流，但時間愈久，電流愈小。

從表 1 可以發現所有的電解質，只有硝酸的電壓特別小。這個電壓特別小的原因為硝酸是一種強烈的氧化劑^[2]，當鋁與硝酸接觸後，鋁片表面將形成氧化鋁。氧化鋁的電阻很高，因此形成電極間的絕緣而斷路，使得電壓減少且量不到電流。此外，鋁的活性大於銅^[1,2]，當鋁與硫酸銅或氯化銅電解質接觸後，發生取代的直接化學反應：



將銅自氯化銅溶液中還原，因此試驗後可在鋁幣表面上看到偏紅色的銅顆粒析出。而在長時間，當析出的銅顆粒穿透過紙巾後，將連通陽極與陰極形成短路，造成電池失效，沒有電位差的現象。

在照片 7 可以看到鋁在 NaOH 水溶液中有很激烈的化學反應，經上網查詢^[3]，產生的氣體為氫氣。其反應式為：



再觀察表 1，鋁/銅在 NaOH 電解液產生的電壓為 1.2V，高於其他電解質的 0.6V。由此推測，鋁/NaOH/銅的電池電壓的來源，除了鋁/銅的電位差之外，應該還有其他的能量來源，例如鋁/氫電池或化學反應放出能量的貢獻。雖然鋁/NaOH/銅電池的電壓最高，但會生成高熱和氫氣，很危險，不適合應用。

一個電池能不能實際應用，除了不能造成危險之外，關鍵在於電力夠不夠，也就是 電壓×電流 的值夠不夠大。由於本試驗的電極已選擇了銅和鋁，電壓已約為 0.6V 的情況下，能提供愈大電流的電解質愈適合拿來應用。從這次試驗結果顯示：(1) 鹽酸是個很好的電解質材料，(2) 鹽水則是最安全又容易取得的電解質，(3) 硫酸銅與氯化銅皆會損害電極不宜使用。

三、電解質濃度及厚度實驗

從表 3 的實驗中可以發現，使用不同的電解質濃度和厚度，在 DCV 的部分，幾乎都沒有太大的變化。而 DCA 的部分，0.25M 電解質的電流幾乎相當於二分之一的 0.5M 電解質。而比較表 2，0.5M 電解質與 1M 電解質的電流，恰正好是又 1:2 的比例。所以推測：電流量的大小與電解質濃度，也就是電解液中離子的總數量有關係。

另外比較電解質厚度的作用，從表 3 可以看到在相同的電解質濃度時，愈厚(愈多)的電解質，電流也愈大。為了確定這個現象，我曾經使用更厚的毛巾布為電解質承載介質，確是可以得到更高的電流。但因為毛巾布太厚了，在量電性的過程中，電解液一直流掉，量到的結果不穩定。不過這些現象都再次證明：電流量的大小與電解液中離子的總數量有關係。

四、點燈實驗

在點燈的實驗當中，我利用最安全的鹽水作為電解質。在電流已固定的情況，為獲得足夠的電力(電壓×電流)輸出，就運用串聯的方式，提高電池組的電壓，

如表 4。電池和電池的連接，有一些的消耗、須要時間(電解液流掉)、電極板不容易對整齊，因此造成電流較低、電壓無法完完全全的累積上去，需要多加一組的電池才補齊其電壓。原本，一顆 4.5V 就可以亮的 LED 燈泡，只 8 顆電池就夠，但是直到串聯到第 9 顆電池後，才亮起微弱的綠光。

五、 電池改良試驗

本實驗將電池依據之前所得到的結果，改良平板實驗用電池，將電極面積增大，電解質濃度增加，承載電解質的厚度增加並增加電解質的量，製作出一個完全的電池。

無膠帶包覆的電池，電流由高至低，與前試驗的原因接近，皆是陽離子解離，殘留物附著於陰極上，造成電流降低。但是部分的陽離子會溶解在電解液之中，因陽離子濃度愈來愈高，陽離子的分解愈來愈慢，是另一個電流降低的原因。泡在電解液之中的部分電池，是維持定值的原因。附著於銅管上的鋁離子，會與水中的容氧及電子合成的氫氧根結合，成為氫氧化鋁，溶解在電解液中，而鋁離子繼續的分解釋出電子，持續反應。

而有膠帶包覆的電池，因為毛細管現象受阻，陽離子濃度太大，又無法排除掉，而陽離子分解能力降低，電流就相對較低。

六、 以自製電池驅動電器

這一次所使用的電池，即為前一個實驗所製作而成的電池，並利用鱷魚夾連結。前面點燈實驗所製作的電池，因為電解質之間短路，造成電壓的減耗。而此實驗所用的電池，將電池電解質分離，並且利用鱷魚夾減少電池間不必要的接觸，完全累加電壓。

本實驗所做之電池，能驅動時鐘(小型低耗電電器)至少長達五天以上，而此電時也能夠修正點燈實驗中的缺點，增加電流，減少消耗。

捌、 結論

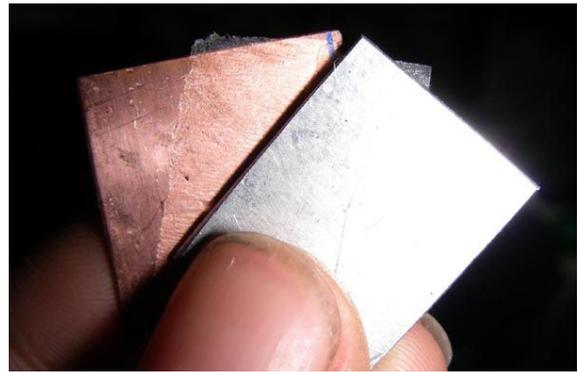
- 一、 電池電壓的大小隨電極材料而改變(電位差)，鋁/銅電池電壓約為 0.5 ~ 0.6V。
- 二、 電池電流量的大小與
 - (一) 電極面積(反應面積)
 - (二) 電解質濃度(離子的總數量)
 - (三) 電解液厚度(電解質離子的總數量)
 - (四) 電解質種類(反應速率)有關係。
- 三、 電池串聯時，電壓能夠累計，但電壓和電流的消耗也會累計；如果串聯的技術不好，要更多的電池串聯才能達到預期的目標。
- 四、 鋁的活性比銅高，鋁在含有銅離子的水溶液中，會把銅還原出來。
- 五、 鋁和 NaOH 會有激烈反應，鋁製器具不可以用在鹼性的環境。

玖、 參考資料

- 一、 洪芳州編譯，「各類電池使用指南」，全華科技圖書股份有限公司，1994 年。
- 二、 柯賢文，「腐蝕與腐蝕防制」，全華圖書 026077，1995。
- 三、 ks.cn.yahoo.com/question/?qid=1407010305580。



照片 1 實驗基座、材料



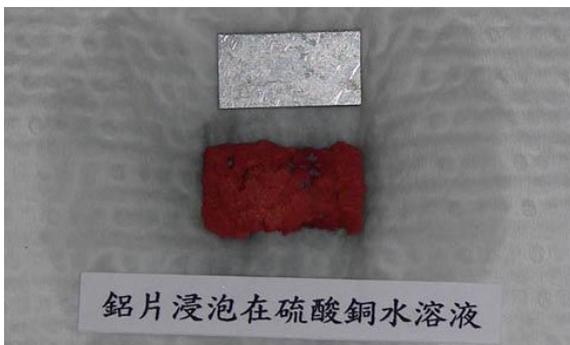
照片 2 電池結構及電解質承載介質



照片 3 電池組電性量測



照片 4 電池組的串聯



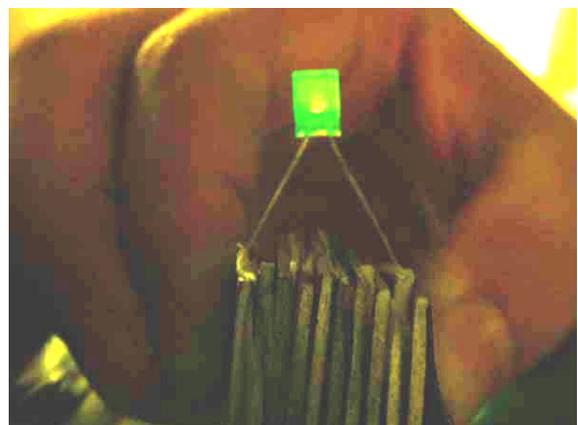
照片 5 鋁片浸泡在硫酸銅水溶液



照片 6 鋁片浸泡在氯化銅水溶液



照片 7 鋁片浸泡在氫氧化鈉水溶液



照片 8 亮燈了



照片 9 無膠帶包覆之改良電池



照片 10 改良電池驅動時鐘

【評語】 031620 電池 DIY

利用日常用品組裝電池符合環保效益，實驗由一位同學完成，針對各種參數作探討，研究成果完整。缺點為其中絕緣紙片厚度對電流大小的影響有些疑問。此外，可增加各類金屬作電極的應用。