

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-化學科

科別：化學科組別：國中組

作品名稱：醜小鴨變天鵝

—伏打電池大進化

關鍵字：電流、極板、電解液

編號：030206

學校名稱：

臺南縣立善化國民中學

作者姓名：

黃志宇、葉朝瑋

指導老師：

吳淑娟、吳政芳



壹、摘要：

上理化課實驗 14-1 製作電池時，發現燒杯中的電解液常被翻倒，弄得實驗桌上都是化學藥品；當時我想：如果電解液能由液態變成固態就好了！

跟同學逛街時，發現路邊常常有人在賣果凍蠟燭，當時靈機一動：如果能夠將課本上的伏打電池改成果凍電池那該有多好呀！

三年級學過：將不同活性大小的金屬以電解質隔開，則會產生電流。因此，隨手可得的鋁罐、鐵罐再回收利用，既環保又可創造能源的想法引起我們研究如何改良電池的興趣。

在我們創造銅－鋁電池的過程中，注意到了前人從來沒有注意到的電極反應問題、反應生成物的檢驗方法、內電阻的計算方法、果凍電池、創意電池等，真可謂站在前人的巨大肩膀上。

貳、 研究動機：

上理化課第十四章實驗 14-1 時，製作伏打電池(鋅-銅電池)時，發現燒杯中的電解液常常被翻倒，弄得實驗桌上都是化學藥品，相當麻煩；當時我想：如果電解液能由液態變成固態就好了！

跟同學逛街時，發現路邊常常有人在賣果凍蠟燭，當時靈機一動，如果我能夠將課本上的伏打電池改成果凍電池那該有多好呀！

三年級的理化曾經學過：若將不同活性大小的金屬以電解質隔開，則會產生電流。因此，隨手可得的鋁罐、鐵罐再回收利用，既環保又可創造能源的想法引起我們研究如何改良電池的興趣。

參、 研究目的：

- 一、 探討各種不同的電解質的導電性。
- 二、 探討電解液濃度與電流的關係。
- 三、 探討極板面積對電流的影響。
- 四、 探討可以取代鹽橋之隔離物質。
- 五、 電池的改裝。
- 六、 探討實驗中所發生的現象。

肆、 研究設備及器材：

- 一、 設備：學校實驗室、電腦、電子天秤、照相機、三用電表。
- 二、 器材：
 - (一) 藥品：氫氧化鈉、氯化銨、醋酸、硫酸鈉、硫酸鋁、硝酸鉀、 硫酸銅、硫酸、乙醇、愛玉粉。
 - (二) 器材：試管、滴管、玻璃棒、試管刷、刮勺、燒杯、鱷魚夾、銅箔、鋁箔、紗布、不織布、化妝棉、軟片盒、乾竭夾、濾紙、秤量紙、酒精燈、三腳架、陶瓷纖維網。

伍、 研究過程及方法：

一、 文獻探討：

- (一) 電解質濃度愈高，產生之電流值愈大。
- (二) 導電度與電解質解離所攜帶之電量、及其移動速度有關
- (三) 電極與電解質接觸面積愈大，電流值愈大。
- (四) 我們認為要讓電池產生較大之電流，除了電解質濃度與接觸面積之外，應考慮電解液種類與極板之組合。

二、研究設計：

(一) 基礎實驗一

實驗 A 電解質種類及其濃度對電流的影響

1.實驗目的：比較銅-鋁伏打電池中各種電解質之導電程度，企圖找出電流值很大、不易腐蝕電極的電解質。

2.實驗材料：

(1)藥品：硝酸鉀、氫氧化鈉、硫酸銅、氯化銨、硫酸鋁、硫酸鈉、醋酸。

(2)器材：燒杯、銅片、鋁箔、指針式三用電表。

3.實驗裝置：如圖 1-1。

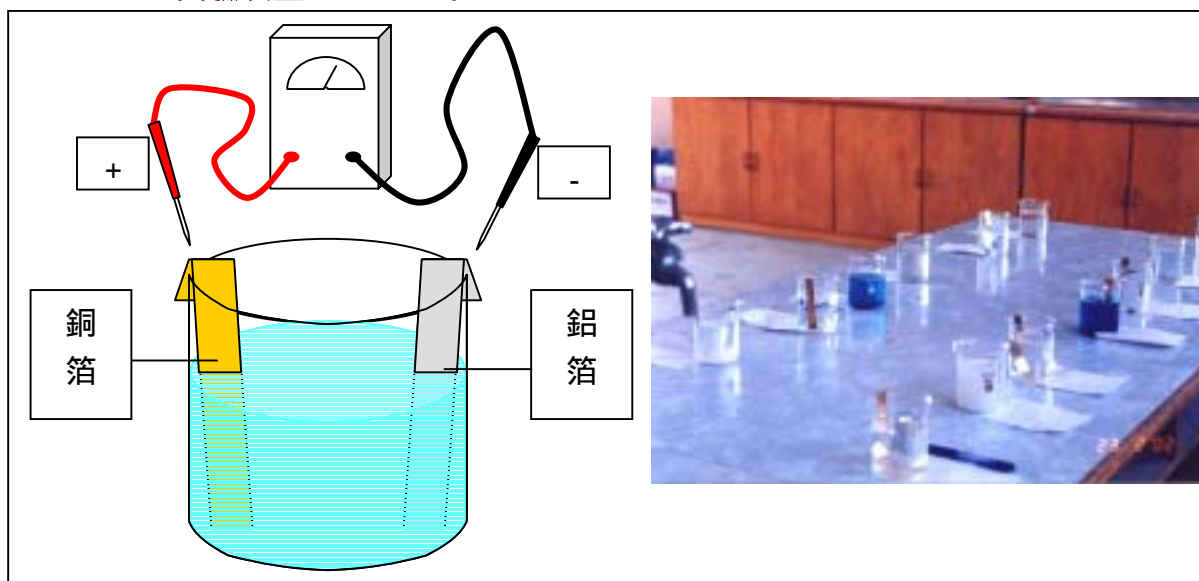


圖 1-1 裝置圖

4.實驗步驟：

- (1)分別配置七種實驗藥品 0.25M 與 1 M 各 200 毫升，置於 250 毫升之燒杯中，共十四杯。
- (2)將銅片裁成 1.0 cm ×10.0 cm之長條，並將鋁箔折三層使其形狀面積與銅片相同，各十四片，待用。
- (3)為了避免極板與電解質反應時間所造成之誤差，每兩燒杯內置入極板之時間間隔為三十秒，即第七分鐘才將極板置入最後一個燒杯並測量電流值，若間隔測量時間為十分鐘，則待三分鐘後測量第一個燒杯之電流值，第十分三十秒測量第二個燒杯之電流值，以此類推，並記錄。
- (4)測電流之裝置如圖 1-1，將露出燒杯之銅片與鋁片折出燒杯外緣，方便三用電表之接觸，並有固定極板距離之功能。

5.研究結果：

(1) 氫氧化鈉溶液

溶液 (電解質)	0.25M 氫氧化鈉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	1.300	1.050	1.010	1.000	1.000	0.950	0.950	0.920	0.900	0.200	0	0
電流 (mA)	22.00	16.50	10.50	6.00	4.00	0	0	0	0	0	0	0
結果	1. 產生大量氫氣。 2. 反應經過 50 分鐘後，鋁極板已斷裂，但杯壁上吸附有電解液，因此仍有電壓，但已量不出電流值。 3. 掉落溶液中之鋁極板產生氫氣，如圖 1-2。 4. 有部分的黃色物體沉澱。											
溶液 (電解質)	1 M 氫氧化鈉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	1.300	1.050	1.010	1.000	1.000	0.950	0.950	0.920	0.900	0.200	0	0
電流 (mA)	33.50	26.00	18.50	10.00	6.50	0	0	0	0	0	0	0
結果	1. 反應後產生大量氫氣，有聲響發出。 2. 反應經過 40 分鐘後，鋁極板斷裂，銅極嚴重被腐蝕，液體由最初的澄清變成混濁。 3. 鋁箔被腐蝕的情況比 0.25M 嚴重，如圖 1-3。											



圖 1-2
掉落至電解質的鋁
電極產生氫氣。



圖 1-3
鋁電極只剩一小塊。

(2) 硝酸鉀溶液

溶液 (電解質)	0.25M 硝酸鉀											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.450	0.500	0.550	0.550	0.550	0.450	0.500	0.500	0.450	0.450	0.450	0.450
電流 (μA)	30.00	29.00	29.50	27.50	24.00	21.00	19.50	18.00	17.80	17.00	16.50	15.00
結果	負極出現白色固態物質											
溶液 (電解質)	1 M 硝酸鉀											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.600	0.420	0.400	0.320	0.300	0.400	0.400	0.460	0.330	0.350	0.350	0.350
電流 (μA)	40.00	39.50	38.50	34.00	31.00	29.00	26.00	25.50	25.00	24.00	22.50	20.00
結果	1.兩極皆產生微量氣泡。 2.鋁極產生白色固體。 3.比較不同濃度之導電效果，1 M 有較大之電流值，如圖 1-4。 4.兩電極被腐蝕的情況並不明顯，如圖 1-5。											

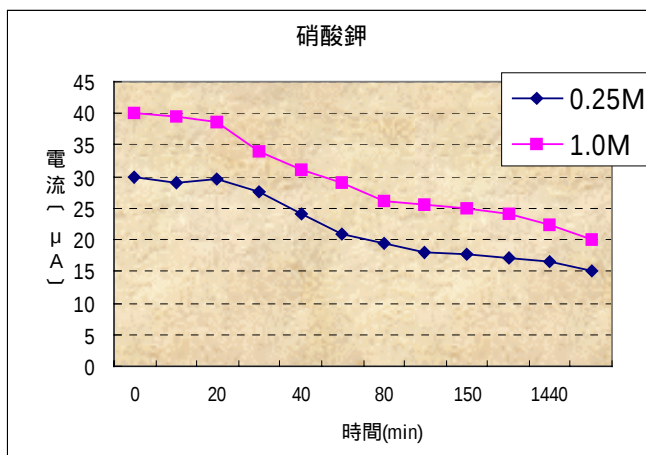


圖 1-4
電流值大小之比較



圖 1-5
兩電極被腐蝕的情況並不明顯。

(3) 氯化銨溶液

溶液 (電解質)	0.25M 氯化銨											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.550	0.520	0.520	0.540	0.550	0.550	0.520	0.530	0.550	0.520	0.520	0.520
電流 (mA)	2.00	2.00	2.00	1.90	1.90	1.80	1.60	1.50	1.50	1.40	1.30	1.00
結果	1. 電解液變成淺藍色。 2. 鋁片變成褐色。											
溶液 (電解質)	1 M 氯化銨											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.520	0.530	0.530	0.500	0.500	0.500	0.500
電流 (mA)	15.00	15.00	14.50	12.00	10.50	10.50	8.00	6.50	6.00	5.50	5.00	5.00
結果	1. 比較不同濃度之導電效果，1 M 有較大之電流值，如圖 1-6。 2. 24 小時後銅片周圍出現藍綠色固體、鋁片呈紅色，如圖 1-7。 3. 電解液呈淺藍色。											

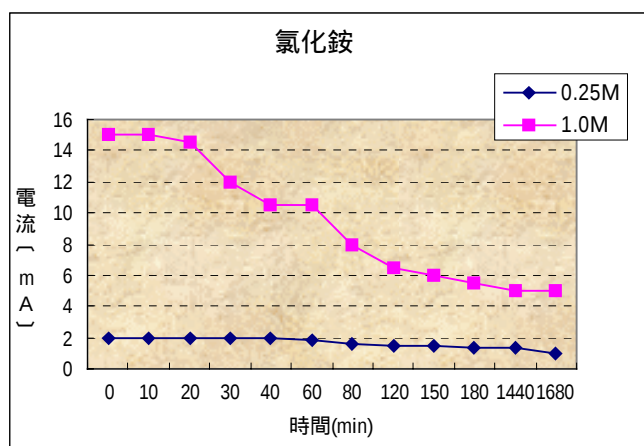


圖 1-6
電流值大小之比較



圖 1-7
鋁片呈紅色、銅片在溶液中的部分呈藍綠色。

(4) 硫酸鈉溶液

溶液 (電解質)	0.25M 硫酸鈉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.500	0.600	0.650	0.650	0.650	0.650	0.600	0.600	0.550	0.510	0.550	0.500
電流 (μA)	25.00	25.00	24.50	23.00	20.00	19.50	18.00	16.50	16.00	16.00	15.00	15.00
結果	1.產生氣泡。 2.負極出現白色物體。											
溶液 (電解質)	1 M 硫酸鈉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.500	0.380	0.550	0.600	0.600	0.650	0.620	0.620	0.550	0.600	0.600	0.600
電流 (μA)	40.00	40.00	38.00	38.50	30.00	27.50	21.00	17.50	17.00	16.00	14.50	10.00
結果	1. 產生氣泡。 2. 鋁板上析出大量的白色物質。 3. 比較不同濃度之導電效果，1 M 之電流值較大，如圖 1-8。 4. 兩電極被腐蝕的情況並不明顯，如圖 1-9。											

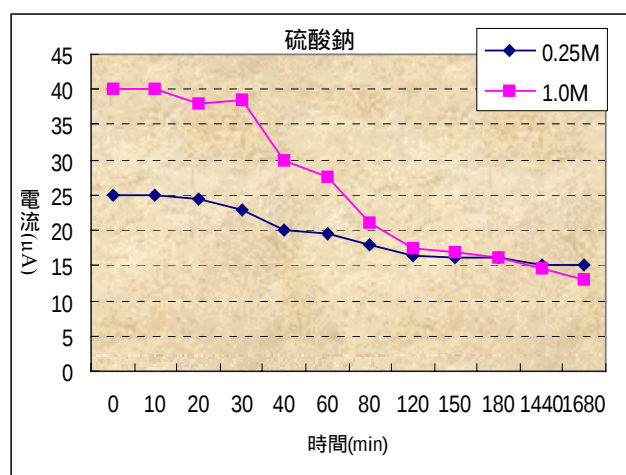


圖 1-8
電流值大小之比較



圖 1-9 兩電極被腐蝕的情況
並不明顯。

(5) 硫酸鋁溶液

溶液 (電解質)	0.25M 硫酸鋁											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.350	0.300	0.420	0.450	0.480	0.500	0.450	0.500	0.500	0.480	0.500	0.500
電流 (mA)	2.00	2.00	2.00	1.80	1.70	1.70	1.40	0.90	0.90	0.90	0.70	0.50
結果	杯底有白色物質沉澱。											
溶液 (電解質)	1 M 硫酸鋁											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.450	0.480	0.500	0.500	0.500	0.520	0.520	0.500	0.600	0.600	0.600	0.600
電流 (mA)	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90	1.00	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.70
結果	1.銅極上析出白色粉末。 2.杯底有白色物質沉澱。 3.電解液變半透明。 4.比較不同濃度之導電效果，0.25M 反有較大之電流值，如圖 1-10。 5.兩電極被腐蝕的情況並不明顯，如圖 1-11。											

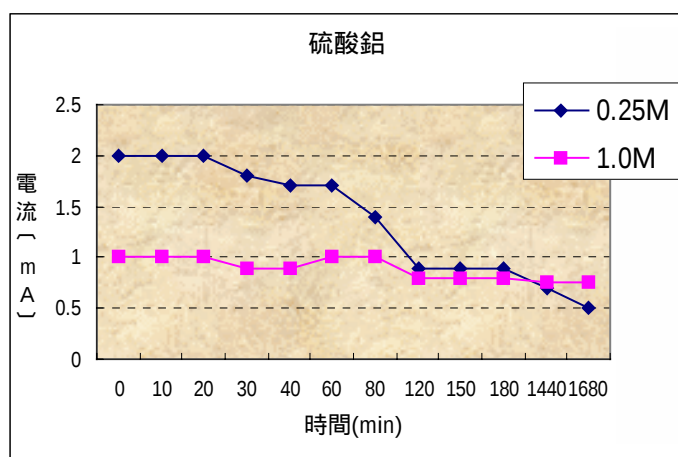


圖 1-10
電流值大小之比較



圖 1-11
兩電極被腐蝕的情況並不明顯。

(6) 硫酸銅溶液

溶液 (電解質)	0.25M 硫酸銅											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.650	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.500	0.500	0.300	0.300	0	0
電流 (mA)	5.00	5.50	5.30	5.20	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00	2.00	0	0
結果	1. 鋁片嚴重被腐蝕、浮起。 2. 反應過程中產生氣泡。 3. 反應過程中極板上剝落一層咖啡色浮懸粉末。 4. 反應經 8 小時後，極板斷裂。											
溶液 (電解質)	1 M 硫酸銅											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.650	0.650	0.600	0.600	0.600	0.500	0.500	0.400	0.300	0.200	0	0
電流 (mA)	8.20	10.20	9.20	8.00	7.50	6.00	4.50	2.30	1.00	1.00	0	0
結果	1. 鋁板被腐蝕呈蜂窩狀。 1. 極板上析出藍色物質。 2. 比較不同濃度之導電效果，1 M 有較大電流值，如圖 1-12。 3. 鋁箔被腐蝕的情況十分嚴重，如圖 1-13。											

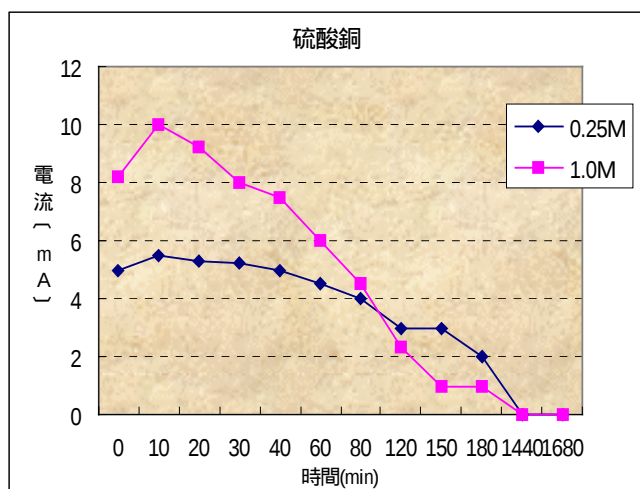


圖 1-12
電流值大小之比較

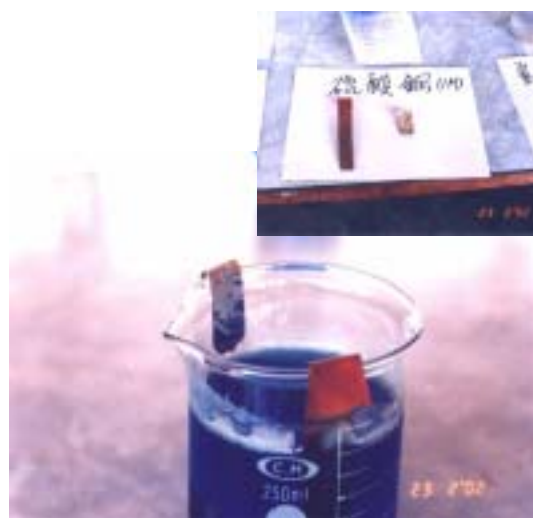


圖 1-13 鋁箔被腐蝕的情況十分嚴重

(7) 醋酸溶液

溶液 (電解質)	0.25M 醋酸											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.450	0.350	0.400	0.350	0.350	0.350	0.320	0.300	0.250	0.280	0.280	0.280
電流 (mA)	2.30	2.30	2.30	2.30	2.00	1.90	1.90	1.50	1.50	1.40	1.30	1.30
結果	負極產生藍色物質。											
溶液 (電解質)	1 M 醋酸											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.450	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.320	0.300	0.300	0.250	0.250	0.250
電流 (mA)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
結果	1. 比較不同濃度之導電效果，0.25M 反而有較大之電流值，如圖 1-14。 2. 兩電極被腐蝕的情況並不明顯，如圖 1-15。											

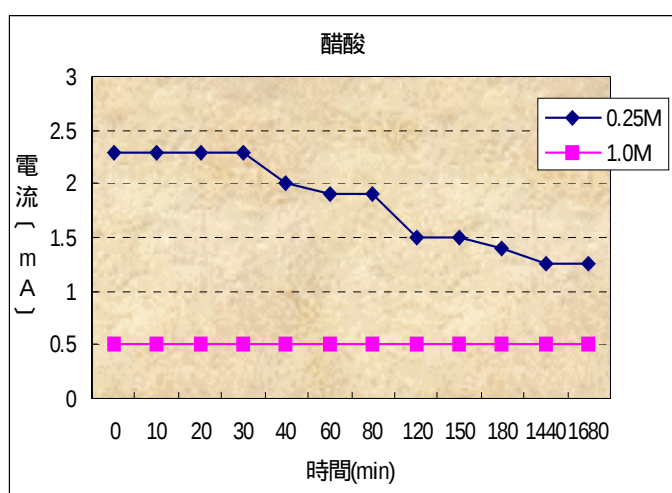


圖 1-14
電流值大小之比較



圖 1-15
兩電極被腐蝕的情況並不明顯。

實驗 B：極板面積對電流的影響

1.實驗目的：探討增大極板面積對電流的影響，企圖以此創造出較大電流電池。

2.實驗材料：(1)藥品：氯化銨

(2)器材：燒杯、銅片、鋁箔、指針式三用電表。

3.實驗裝置：如圖 1-16

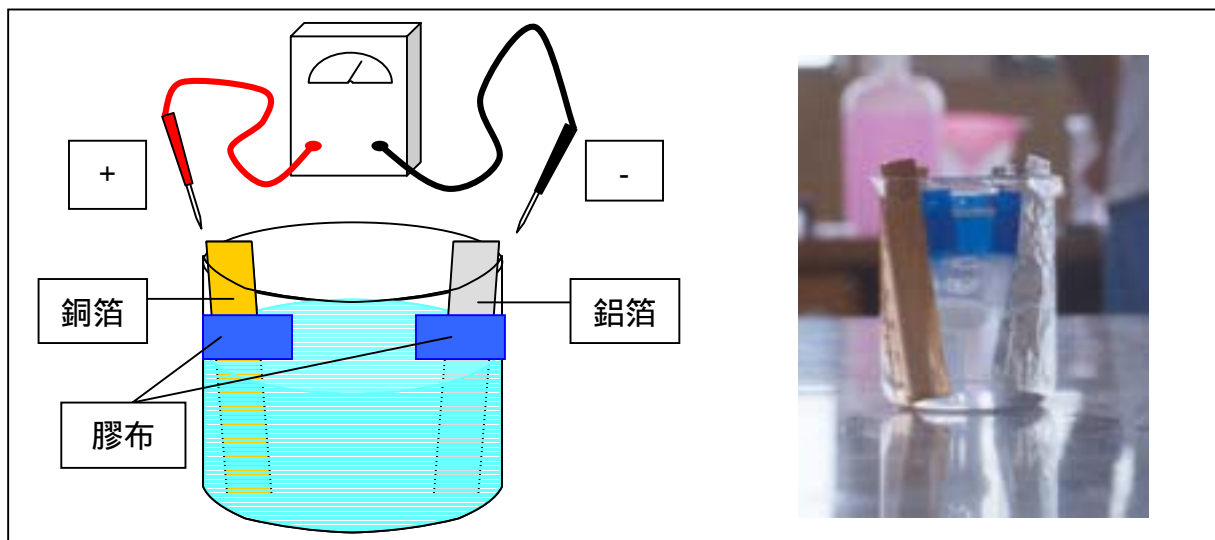


圖 1-16 裝置圖

4.實驗步驟：

- (1) 配置氯化銨藥品 1 M 共 500 毫升，置於 100 毫升之燒杯中，共五杯。
- (2) 將銅片裁成 1.0 cm × 7.0 cm、2.0 cm × 7.0 cm、3.0 cm × 7.0 cm、4.0 cm × 7.0 cm、5.0 cm × 7.0 cm 之長條，並將鋁箔折三層使其形狀面積與銅片相同，各一片，待用。
- (3) 為了避免極板與電解質反應時間造成誤差，每兩燒杯內置入電解液之時間間隔為兩分鐘，即第八分鐘才將電解液置入最後一個燒杯並測量電流值，若間隔測量時間為十分鐘，則待兩分鐘後測量第一個燒杯之電流值，第十二分測量第二個燒杯之電流值，以此類推，並記錄。
- (4) 測電流之裝置如圖 1-16，將銅片與鋁片用膠帶固定，方便三用電表之接觸，並有固定極板距離之功能。

5.研究結果：

面積	7cm X 1cm											
時間(min)	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180	1440	1680
電壓(V)	0.500	0.450	0.500	0.480	0.450	0.450	0.400	0.450	0.450	0.400	0.450	0.550
電流(mA)	20.00	5.00	3.50	3.30	1.50	1.50	1.70	5.00	2.00	5.50	8.00	2.40
面積	7cm X 2cm											
時間(min)	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180	1440	1680
電壓(V)	0.500	0.500	0.450	0.480	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450	0.480	0.600	0.500
電流(mA)	20.50	6.50	4.50	6.00	2.40	6.50	6.50	7.00	7.50	7.50	18.50	7.00
面積	7cm X 3cm											
時間(min)	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180	1440	1680
電壓(V)	0.500	0.500	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.500	0.550	0.500
電流(mA)	24.00	14.50	10.00	7.00	7.00	7.00	6.50	7.00	9.50	9.00	9.00	12.50
面積	7cm X 4cm											
時間(min)	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180	1440	1680
電壓(V)	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.550	0.500
電流(mA)	32.00	18.00	10.50	9.50	8.00	10.00	10.00	11.00	10.00	11.00	50.00	30.00
面積	7cm X 5cm											
時間(min)	0	10	20	30	50	70	90	120	150	180	1440	1680
電壓(V)	0.600	0.500	0.500	0.500	0.480	0.480	0.500	0.480	0.450	0.480	0.580	0.550
電流(mA)	50.00	16.00	15.00	13.00	14.00	16.00	13.50	11.00	12.00	11.50	60.50	50.00
結果	1.不論極板面積多大，電壓值皆在 0.50 左右，如圖 1-17。 2.極板面積越大，電流值越高，如圖 1-18。											

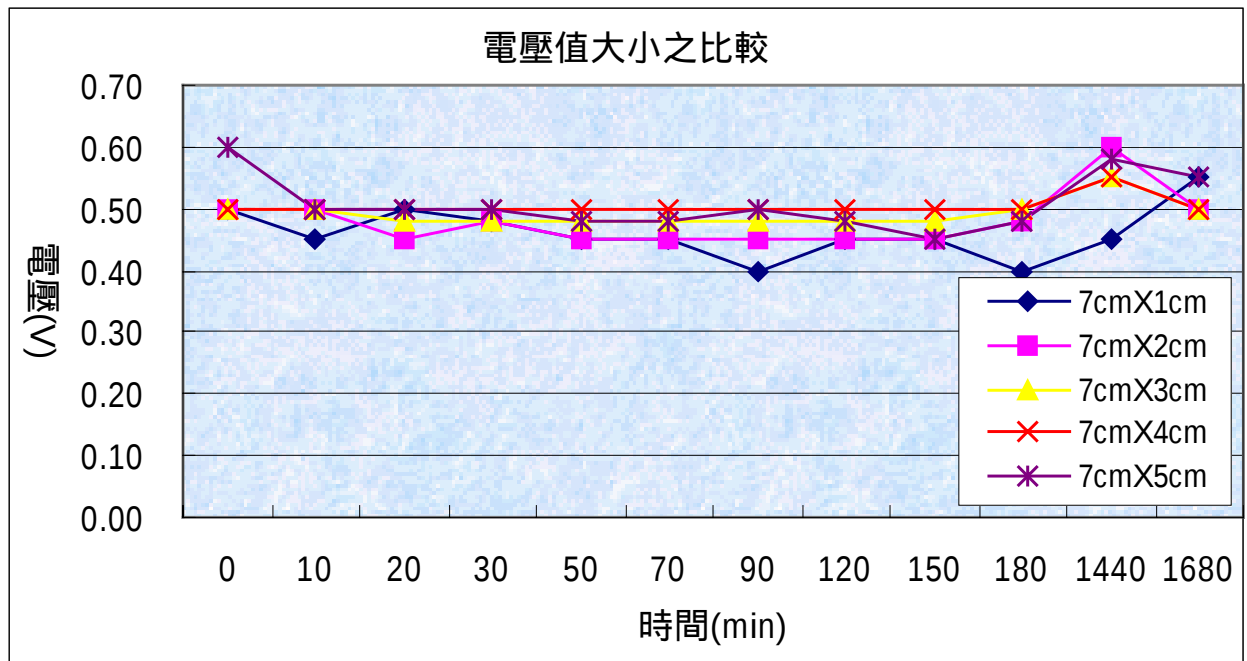


圖 1-17
電壓值大小之比較

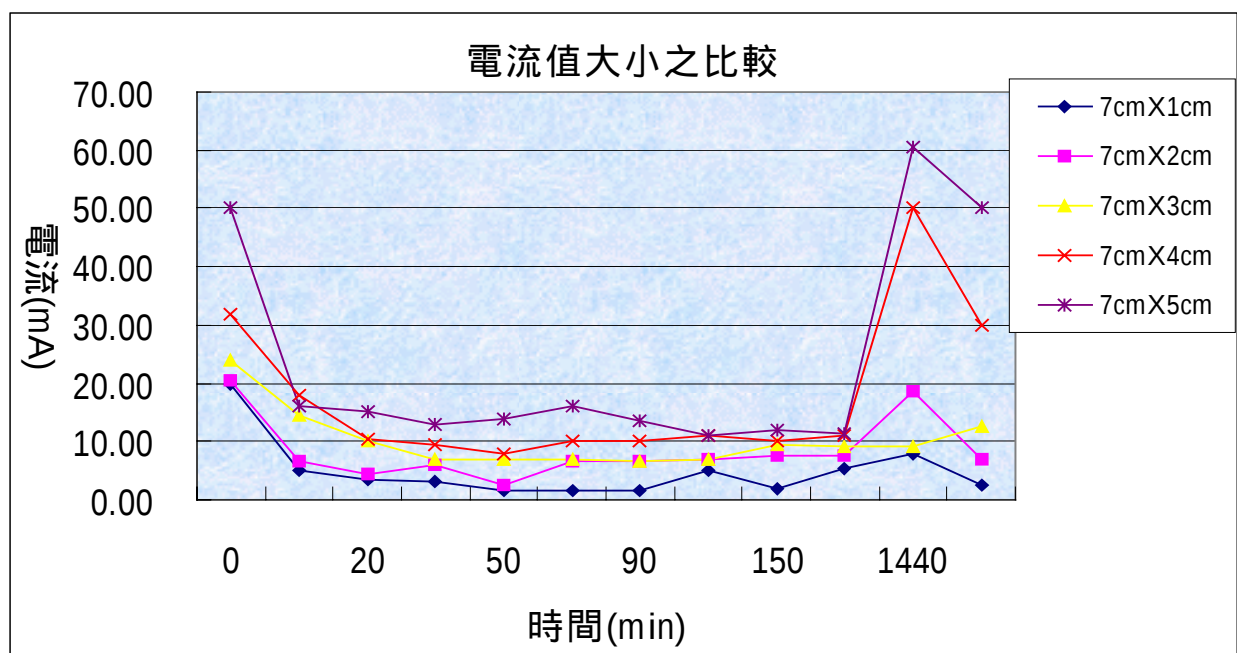


圖 1-18
電流值大小之比較

陸、 結論(一)：比較以上的實驗結果，我們可以得知：

- 一、 硝酸鉀、氯化銨、硫酸銅、硫酸鈉、氫氧化鈉於濃度高時之電流值，均較濃度低時之電流值大，而硫酸鋁、醋酸則有低濃度之電流值大於高濃度之現象。
- 二、 當醋酸濃度高至某範圍時，因濃度升高反使解離度降低；加上溶液中離子易被不同電性離子包圍，影響離子遷移，反使電流降低。
- 三、 本研究各電解質之導電性優劣排序之前五名為：氫氧化鈉 > 氯化銨 > 硫酸銅 > 硫酸鋁 > 醋酸，該結果與文獻中之記載有些許出入，我們認為是不同種類電極的關係。
- 四、 造成電流值微弱的原因可能是：兩極板產生微量的氣體，或逐漸有固態物質形成，造成極板與溶液接觸不良所引起。
- 五、 氯化銨在 24 小時之後的銅片周圍雖然出現藍綠色固體，其電流值仍是所有溶液中較大者，而且也較不容易腐蝕極板，因此我們決定使用氯化銨溶液當銅-鋁電池之電解質。
- 六、 考慮到硫酸鋁與負極有同種離子，而且硫酸鋁腐蝕兩電極板的現象並不明顯，所以也將硫酸鋁列入考慮。
- 七、 氫氧化鈉的電流值雖然最大，但使用時間卻不長。極板於 50 分鐘後斷裂。因為考慮到使用時限的問題，因此我們不採用氫氧化鈉。決定以氯化銨、硫酸鋁兩種溶液作為以下實驗之電解質。
- 八、 極板面積越大時，產生的電流越大，甚至在使用 25mA 的電流檔測量時會有破表的現象。
- 九、 在實驗二時，不論極板的面積多大，電壓總是保持在 0.5V 左右，可是按照推算，銅-鋁的電位差 $E_0=2.0V$ ，有加以討論之必要。

(二)進階實驗

實驗 A：隔離物種類對電流的影響

1.實驗目的：利用實驗(一)的結果，選擇導電電性較好之電解質，以吸水性材質隔離正負極，且盡量不影響離子流動，使創意電池有較大的電流。

2.實驗材料： (1)藥品：氯化銨、硫酸鋁。

(2)器材：底片盒、紗布、不織布、化妝棉、銅片、鋁箔、指針式三用電表。

3.實驗裝置：如圖 2-1。

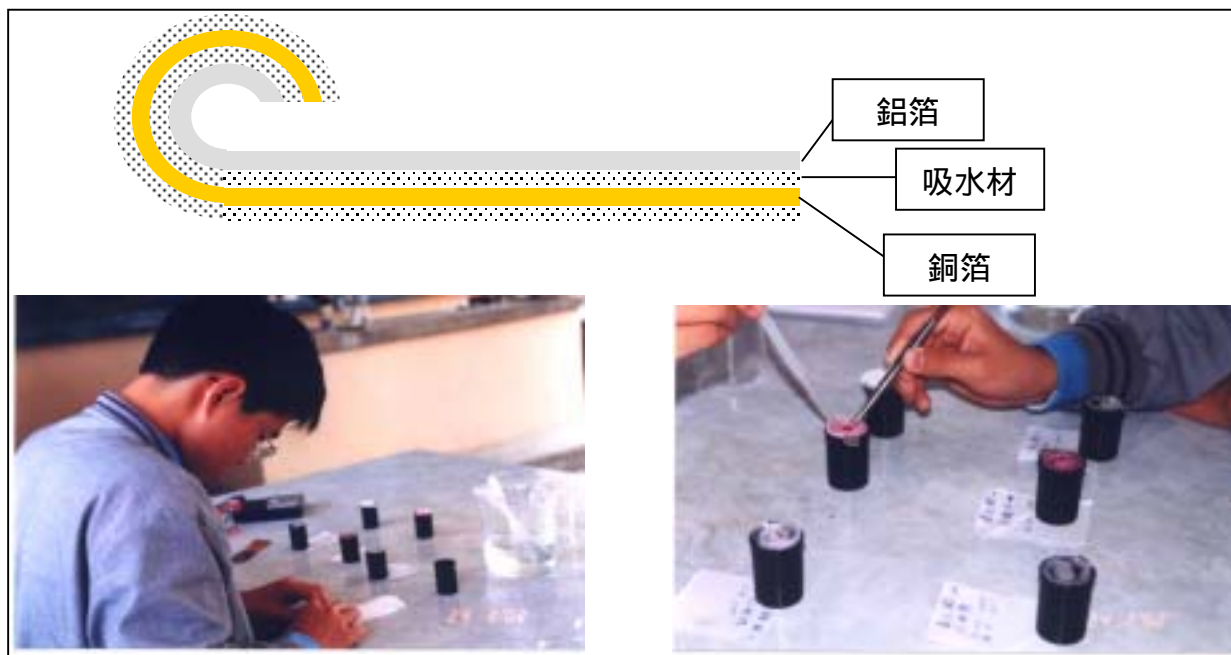


圖 2-1 製成小電池後，分別討論不同鹽橋材質下的導電性。

4.實驗步驟：

- (1) 分別配置氯化銨溶液 1 M、硫酸鋁 0.25M 溶液，各 250 毫升。
- (2) 將不織布、紗布裁成與市售化妝棉相同大小，面積均為 5.2 cm ×14.3 cm，三種材質各四片。
- (3) 將銅片與鋁箔裁成面積均為 5.0 cm ×14.0 cm大小各六片。
- (4) 裝置如圖 2-1，分別利用三種材質將銅片、鋁箔隔開相疊，並捲成圓筒狀置於底片盒中，共有六個底片盒裝置。
- (5) 如實驗一之測量方式，按照測量順序，間隔三十秒分別將電解液加入底片盒中，待各種吸水材質完全潤濕，按照加入電解液之順序，每個底片盒間隔三十秒測量電流值，並記錄。

5.研究結果：

(1)硫酸鋁 0.25M

材質種類	不織布											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.58	0.55	0.53	0.55	0.52	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
電流 (mA)	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	2.5	2.5	1.5	1.0
材質種類	化妝棉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.55	0.30	0.20	0.10	0.10	0.50	0.40	0.50	0.45	0.34	0.40	0.40
電流 (mA)	1.4	1.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	1.4	1.4	1.0	1.0	1.0
材質種類	紗布											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.55	0.55	0.52	0.53	0.55	0.50	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
電流 (mA)	7.5	7.5	10.0	10.0	15.0	15.0	6.0	2.5	2.5	2.5	2.0	2.0
結果	1. 有少量白色物體析出。 2. 以紗布為隔離物時，有較大之電流值，如圖 2-2。											

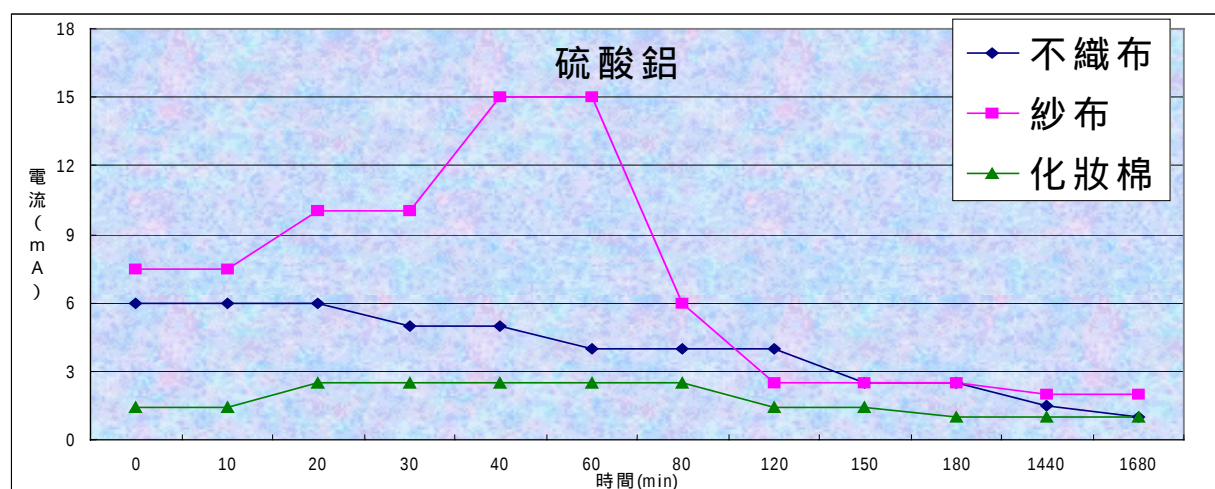


圖 2-2 不同材質下電流大小之比較

(2)氯化銨溶液 1 M

材質種類	不織布											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.48	0.52	0.55	0.57	0.60	0.65	0.68	0.68	0.50	0.50	0.50	0.50
電流 (mA)	2.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	1.5	1.5	1.0	0.5	0.5
材質種類	化妝棉											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.45	0.50	0.53	0.60	0.65	0.60	0.68	0.70	0.70	0.75	0.70	0.70
電流 (mA)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
材質種類	紗布											
時間 (min)	0	10	20	30	40	60	80	120	150	180	1440	1680
電壓 (V)	0.45	0.45	0.50	0.60	0.65	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
電流 (mA)	7.5	15.0	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	7.5	7.5	5.0	5.0	4.5
結果	1. 銅片未被浸泡電解質的部分，其頂端均有藍綠色物體析出。 2. 以紗布為隔離物時，有較大之電流值，如圖 2-3。											

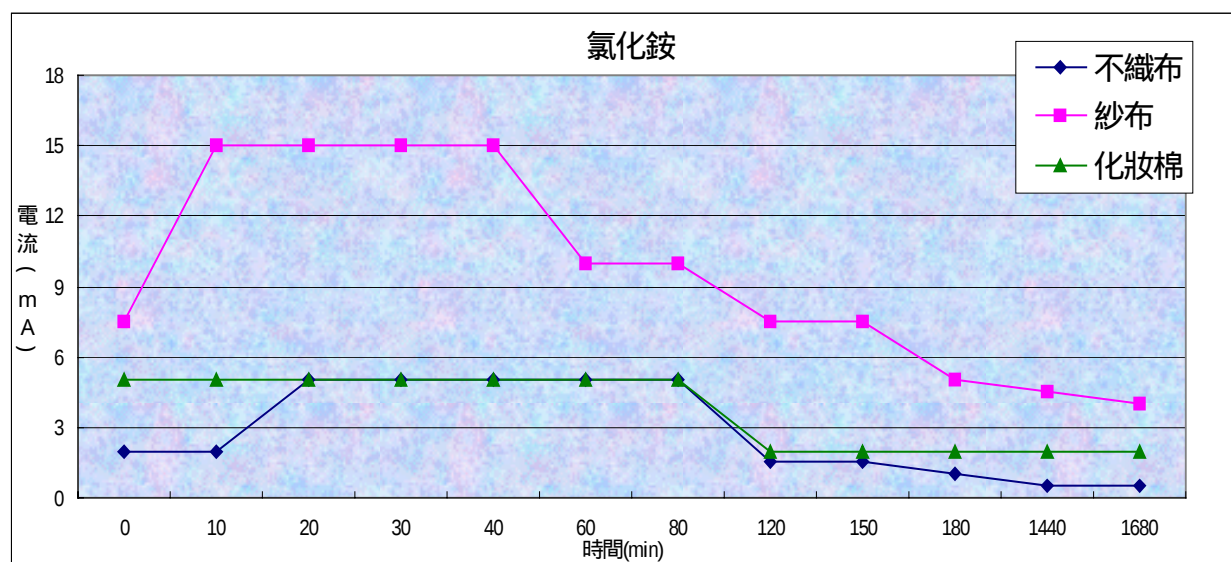


圖 2-3 不同材質下電流大小之比較

柒、 結論(二)-A：由以上的實驗結果可知：

- 一、 以紗布為隔離物，吸取電解液以取代鹽橋。
- 二、 又氯化銨溶液的電流值確實較硫酸鋁大。

因此，我們決定以紗布為隔離物，吸取氯化銨電解液以取代創意電池之鹽橋。

實驗 B 電池的改良

實驗 B-1：創意電池

1. **實驗目的：**利用實驗(一)、實驗(二)-A 之實驗結果，將導電性較好之電解質與效果較好之吸水材質，製作成極板面積較大之伏打電池，使電池有較大之電流值。

2. **實驗材料：**(1)藥品：氯化銨

(2)器材：銅片、鋁箔、紗布、指針式三用電表。

3. **實驗裝置：**如圖 2-4

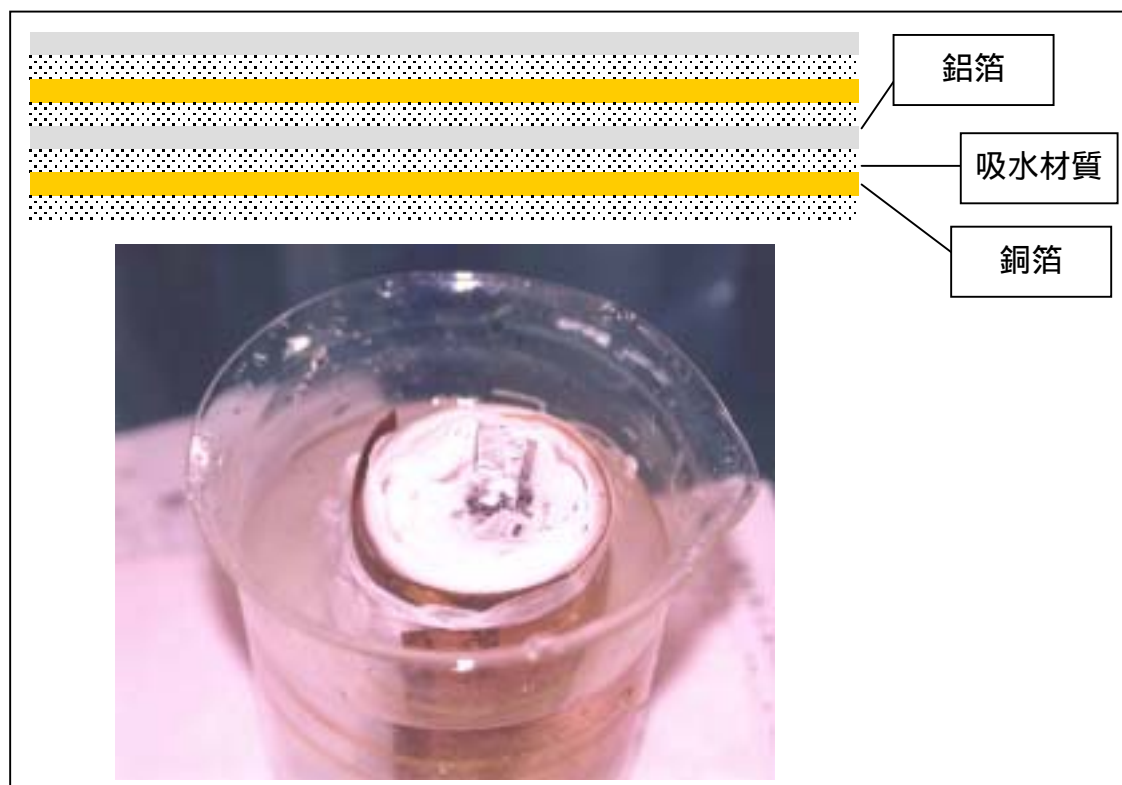


圖 2-4 創意電池

4. 實驗步驟：

- (1) 將鋁箔折三層使其形狀面積與銅片均為 15.0 cm × 90.0 cm，各兩片。
- (2) 將紗布折成兩層，拼湊紗布使其間隔銅片與鋁箔，面積約為 17.0 cm × 92.0 cm，將相疊之銅片與鋁箔捲成圓筒狀，置於 1000 毫升之燒杯中，如圖 2-4。
- (3) 配置 1 M 之氯化銨溶液 500 毫升，將溶液倒入步驟 2 之燒杯中，待紗布潤濕之後測量電流值。

5.研究結果：

	創意電池(紗布--氯化銨 1M)											
時間 (min)	0	10	20	30	60	120	180	1440	1680	2880	4320	7200
電壓(V)	0.650	0.650	0.550	0.600	0.530	0.650	0.600	0.600	0.600	0.550	0.550	0.550
電流 (mA)	250.00	250.00	250.00	250.00	195.00	225.00	175.00	110.00	75.00	65.00	40.00	35.00
結果	1. 紗布潤濕後，移開溶液與浸泡於溶液時，其電流值相同。 2. 銅片在第八天未被浸泡到電解質的部分，開始析出藍綠色物質。 3. 氯化銨溶液蒸乾後，銅片上佈滿藍綠色固體，如圖 2-5。											

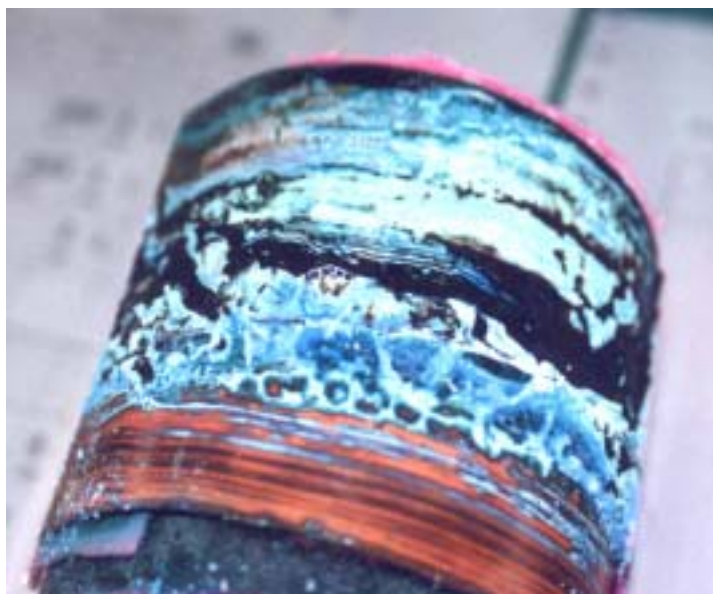


圖 2-5 銅極遭到嚴重腐蝕，產生藍綠色的晶體

實驗 B-2：果凍電池

1.實驗目的：利用實驗(一)之實驗結果，將導電性較好之電解質製作成果凍狀，成為果凍電池。

2.實驗材料：(1)藥品：氯化銨、硫酸鋁

(2)器材：銅片、鋁罐、硬式吸管、愛玉粉、指針式三用電表

3.實驗裝置：如圖 2-6。

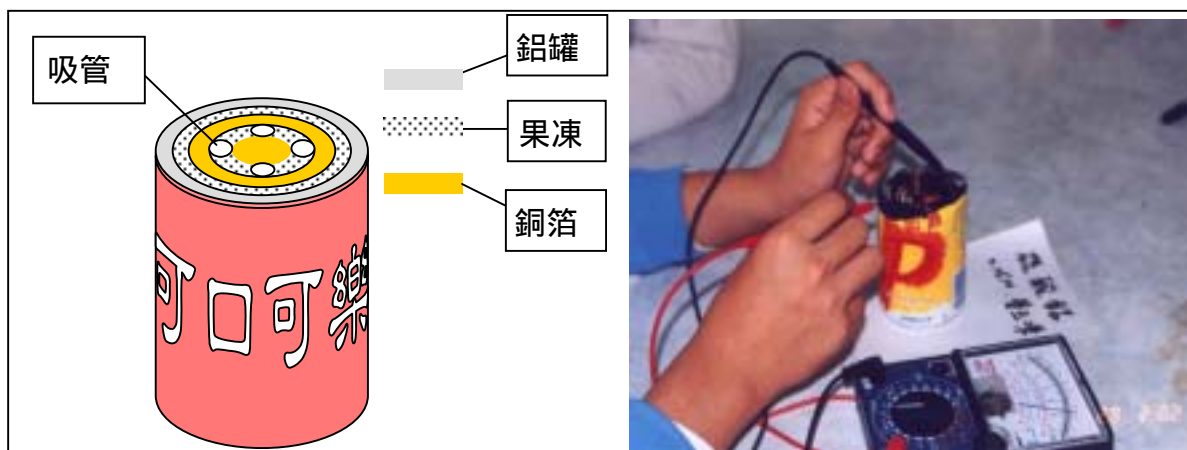


圖 2-6 果凍電池

4.實驗步驟：

- (1) 剪去鋁罐之罐蓋，使其開口與罐身一樣大，並利用砂紙將鋁罐內的表面處理層磨去。
- (2) 裁切雙層之圓形紗布，使圓形紗布面積與鋁罐之內徑相當，並將紗布置於罐底，共兩個鋁罐，待用。
- (3) 將愛玉粉按照包裝說明之比例煮沸。
- (4) 將氯化銨、硫酸鋁溶液分別加入煮沸的愛玉溶液中，使氯化銨溶液達到 1.0M 之濃度。
- (5) 待愛玉溶液稍冷(未定型)，分別將電解質倒入經過處理的鋁罐中，靜置，等待定型。
- (6) 將 9.0 cm ×30.0 cm之銅片捲成圓筒狀，層與層之間均以硬式吸管隔開，插入已定型之凍狀電解質中，並調整吸管位置，使銅片充分與凍狀電解質接觸。
- (7) 測量電流值。

5.研究結果：

(1)氯化銨果凍

溶液 (電解質)	氯化銨 1 M											
時間 (min)	0	10	20	30	60	120	180	1440	1680	2880	4320	7200
電壓 (V)	0.600	0.600	0.550	0.600	0.530	0.600	0.600	0.600	0.600	0.550	0.550	0.550
電流 (mA)	25.00	24.00	25.00	25.00	25.00	22.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	20.00
結果	1. 果凍前三天持續出水，第十天開始有乾涸之現象。 2. 鋁罐厚度於第五天發現變薄、變軟，三星期之後，鋁罐破裂，如圖 2-7。 3. 乾涸的銅片上附著了相當多的藍綠色固體，如圖 2-8。											



圖 2-7

鋁極遭到嚴重腐蝕，同時析出白色固體。



圖 2-8

三星期後鋁罐破裂，銅極上析出藍綠色的固體。

(3)硫酸鋁果凍：

溶液 (電解質)	硫酸鋁 0.25M											
時間 (min)	0	10	20	30	60	120	180	1440	1680	2880	4320	7200
電壓 (V)	0.600	0.600	0.600	0.600	0.550	0.600	0.600	0.550	0.600	0.550	0.550	0.550
電流 (mA)	21.00	20.00	20.00	23.00	22.00	20.00	24.00	22.00	23.00	20.00	14.00	5.00
結果	1. 果凍前三天持續出水，第十四天開始有乾涸現象。 2. 鋁罐之厚度於第五天發現有變薄、變軟。 3. 三星期之後，鋁罐外壁出現白色固體，如圖 2-9。											



圖 2-9 鋁罐外壁析出之白色固體。

柒、 結論(二)-B：由以上兩個實驗得知：

- 一、 以氯化銨為電解液之果凍電池與創意電池，均有較高之電流值。
- 二、 創意電池之電極板面積較果凍電池大，所以有較大之電流值。
- 三、 改良後的兩種電池，其保濕期間可以達 2 星期之久，所以可以維持較穩定之電流值。

(三) 對實驗中所發現之現象的深入探討

1.前言：

在這之前，老師告訴我們 Al-Cu 電池之電位差大約是 2.0V
($E=1.66(\text{Al})+0.337(\text{Cu})=1.997 \approx 2.0(\text{V})$)
，但幾經仔細測量，卻一直只有 0.6V 左右，所以我們開始認真考慮
是否有更複雜的反應存在。因此在一個機緣下我們請教到某大學化
學系的教授，他提供我們一些建議；特別是我們忽略了一個重要的
問題——鹽橋的作用。

他指出：鹽橋是來增加電子自行流通的困難性，使離子不易流動；
換句話說，就是避免大部分的電能因為電池本身內部所形成的電流
而消耗掉(如圖 3—1)，因此才以鹽橋區隔兩極，使電池必須有電壓驅
動內部離子，才能形成通路。

所以根據實驗時發現的種種現象和教授的建議，我們又設計了三個
實驗來滿足自己的好奇心：

- (1)Al-Cu 電池兩極所產生的化合物到底是什麼？
- (2)造成 Al-Cu 電池電位差，實驗值與理論值不符的原因是什麼？
- (3)在測量 Al-Cu 電池的電流值時，為什麼最初的電流值瞬間會極大？

實驗 A：兩電極析出物質之檢定

- 1.實驗目的：探討 Al-Cu 電池兩極所產生的化合物到底是什麼？
- 2.實驗原理：根據溶液中所含有的離子，推論並假設可能形成的化合物，再
從各種化合物的性狀差異加以分析推論。

- (1) 溶液中可能含有的離子
- (2) 兩極可能形成的化合物

正極： CuCl_2 ：黃色無定型粉末（不含水）。

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ：綠藍色潮解固體，熔點 100℃，可溶於水。

$\text{Cu}(\text{ClO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ：藍綠色潮解晶體，有毒，熔點 65℃，可溶於水及
乙醇。

負極： $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ：白色晶狀或粉末，溶於水、乙醚、乙醇。

$\text{Al}(\text{OH})_3$ ：白色無定型粉末或塊粒，不溶於水，乙醇，溶於熱鹽酸、硫
酸，或鹼類，可由氫和硫酸鋁或氯化鋁作用而成。

Al_2O_3 ：白色無定型粉末，溶於濃硫酸不溶於水。

3.實驗器材：酒精燈，乙醇，1.0M 之 NaOH，溫度計，角架， H_2SO_4 。

4.實驗步驟：

(1) 正極反應生成物：

方法 A：對正極反應之生成物加入乙醇、水看是否可溶。

結果：可溶於水但不溶於乙醇 → 得知此物非氯酸銅可能為氯化銅。

方法 B：對此物隔水加熱，並隨時注意水溫及物質變化。

結果：當水溫超過 65 到達 85 時，此物質仍未有任何變化，顯示此物非氯酸銅可能為氯化銅，如圖 3-2。

方法 C：將此物至於蒸發皿加熱。

結果：最後正極反應生成物由綠藍色變為黃色無定型粉末，證明其為氯化銅。



圖 3-2 隔水加熱的裝置圖

(2) 負極反應生成物：

方法 A：將此物加入 H_2SO_4 中看是否可溶解。

結果：負極反應生成物迅速溶於濃硫酸中，證明其非氯化鋁，可能為氫氧化鋁或氧化鋁。

方法 B：將此物加入 H_2O 中看是否可溶解。

結果：不溶解，證明其非氯化鋁，可能為氫氧化鋁或氧化鋁。

方法 C：將此物加入 1M 之 NaOH 看是否能溶解。

結果：此物溶於氫氧化鈉中，證明其為氫氧化鋁。

5.實驗討論：透過這個實驗，我們推測出了正負極可能之化合物分別為氯化銅和氫氧化鋁，似乎也顯示了溶液中另有奧秘——另一個氧化還原電位的存在。

實驗 B：電池內電阻和實際電壓的論與證

1.實驗目的：透過電路設計求得實際電壓和內電阻的大小。

2.實驗原理：根據設計之電路圖，利用歐姆定律求出實際電壓和內電阻。

3.實驗裝置：如圖 3-3

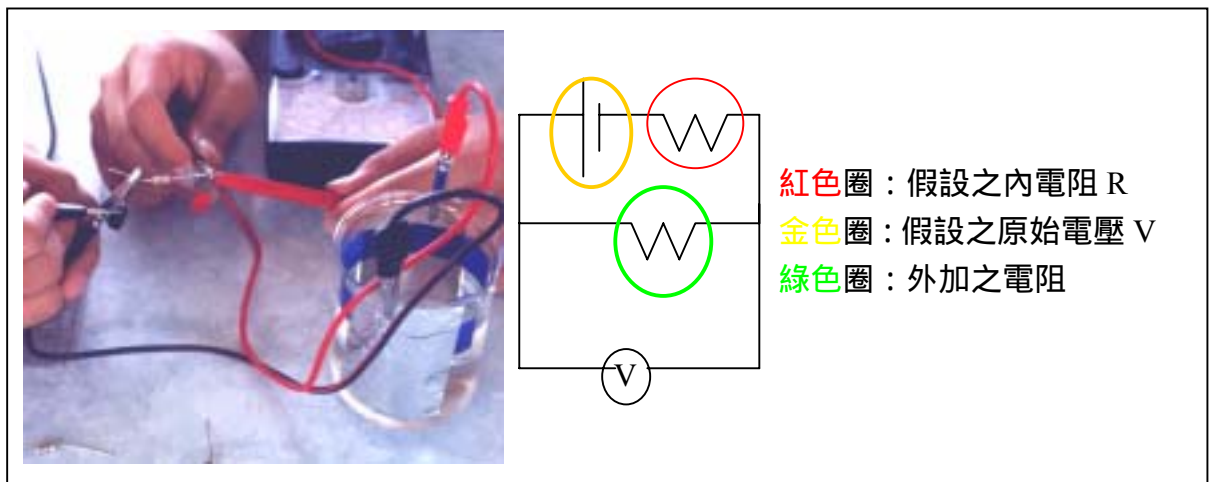


圖 3-3 電路圖裝置

4.實驗器材：68 Ω ，150 Ω ，470 Ω 之電阻，銅片（5.0 cm x 7.0 cm），鋁片（5.0 cm x 7.0 cm），1M 之 NH_4Cl 250ml，指針式三用電表，導線。

5.實驗步驟：

- （1）將製成 1M 之 NH_4Cl 銅—鋁電池依次接上 68 Ω ，150 Ω ，470 Ω 之電阻。
- （2）如實驗裝置圖般接上伏特計，並待指針進入平衡階段（當指針不再下降，且稍有回升現象）。
- （3）記下讀數，解方程式求值。
- （4）比較和假設之理論的差異。

6.實驗結果：

電阻值 (R)	電壓讀數 (V)	$I = V / R$
68 Ω	0.085V	0.00125A
150 Ω	0.150V	0.00100A
470 Ω	0.320V	0.00068A

利用公式： $V_{\text{總}} = V_{\text{分}} + IR$

方程式：設原始電壓為 V ，電池內電阻為 R

$$\begin{cases} V = 0.085 + 0.00125R \\ V = 0.320 + 0.00068R \end{cases}$$

解方程式得 $V = 0.600$ (V)， $R = 412.28$ (Ω)。

帶入第三式 $V = 0.00068 \times 412 + 0.32 = 0.600$ (V) 此方程式得證。

7.實驗討論：此方程式 $\Delta E^0 = 0.600V$ 和之前我們所推出之氧化還原反應式 $\Delta E^0 = 0.83V$ 應可說是接近，其中造成差異之原因包括：

- (1) 儀表不夠精確、有效位數不夠。
- (2) 採用的電阻有至少 5 %，甚至更大之誤差。
- (3) 判讀時之人為因素。
- (4) 溫度無法準確控制在 25 。
- (5) 濃度無法準確控制在 1M。
- (6) 氣壓並非穩定之 1atm。

因此，在和老師及教授討論後確定了我們前言的第一、第三點假設。

實驗 C：電流瞬間最大值的原因討論

1.實驗目的：透過實驗找出為何會有瞬間電流最大值的存在。

2.實驗原理：

假設：造成瞬間電流的因素為：積聚電荷或電極表面產生化學反應生成氫氣或其他物質形成電阻，所以測量之瞬間可以得到較大之電流值，反應時間越多，氫氣越多，因此電阻增大，電流逐漸降低。

證明：有否積聚電荷？有否產生氫氣？

3.實驗前提：不同時間測量電池之瞬間電流值之數據比較：

次數 電流 (mA)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次
瞬間電流值	50.00	26.00	25.00	17.00	10.50	11.00
20秒後之電流值	45.00	10.00	4.00	2.00	2.50	4.70
平衡電流值	20.00	5.00	4.00	2.00	2.50	4.70
次數 電流 (mA)	第七次	第八次	第九次	第十次	第十一次	第十二次
瞬間電流值	12.00	12.00	12.00	10.50	80.00	50.00
20秒後之電流值	2.00	2.30	2.50	4.90	40.00	35.00
平衡電流值	2.00	2.30	2.50	4.90	20.00	35.00

實驗比較如圖 3-4。

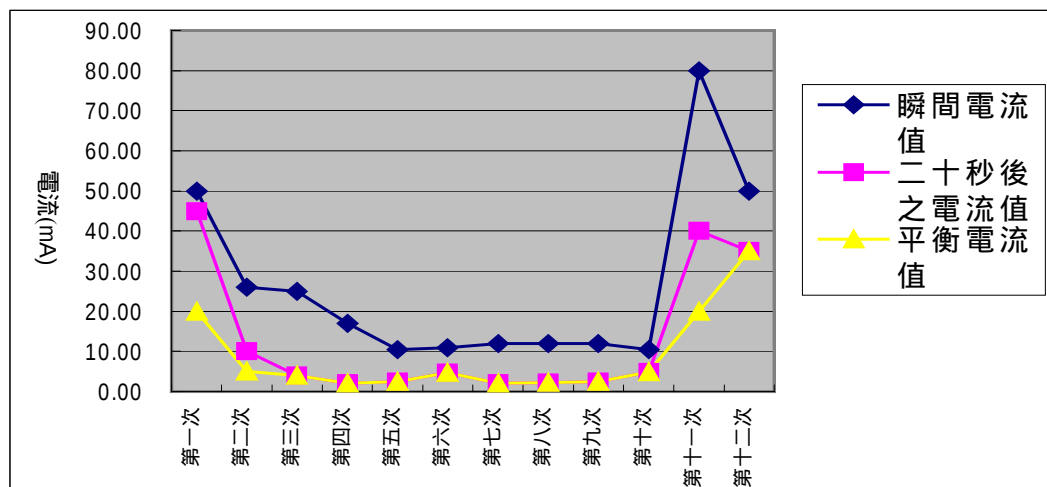


圖 3-4 電池之瞬間電流值

由上方之數據與圖 3-4 知，每次測量電流時，電池之瞬間值均較大，為了找出原因，我們將檢驗假設是否為真。

4.實驗步驟：

假設一：積聚電荷

- (1) 瞬間撕開絕緣膠布，使膠布帶電，接觸驗電瓶之金屬部分，使金箔先撐開，如圖 3-5（用以方便看出帶電物造成之微量變化）。
- (2) 將自製之電池靠近驗電瓶，看金箔是否有變化。

結果：當自製之電池靠近驗電瓶，金箔產生微量之變化，再以銅片靠近亦產生微量之變化，證實積聚電荷之檢驗與感應起電之變化相當，可能積聚之電荷相當微量，或積聚電荷不存在。



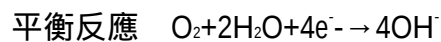
圖 3-5 積聚電荷的檢驗

假設二：電極表面產生化學反應生成氫氣形成電阻

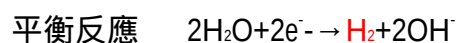
之前已提到我們忽略了鹽橋的重要性，因此導致電池內部產生內電流，消耗大部分的電能，所以推斷當導線外部尚未接通時正負極分別各有一個侵蝕反應和一平衡反應發生（即共四個氧化還原反應式）。

可能的反應：

正極：



負極：



每一氧化還原式之電位問題，導致反應發生之難易，當通路形成時，正極之侵蝕反應（ $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ ）與負極之平衡反應（ $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ ）將被迫減緩，為確定推論是否正確，我們分別做了以下之檢驗：

(1)將點燃之火柴靠近液面之氣泡，如圖 3-6。

結果：產生爆鳴聲，證實氫氣之存在。

(2)分別製做兩顆相同之電池，一顆保持未外接電路、一顆直接以鱷魚夾將其正負極直接導通正負電極。

結果：未外接電路者在靜置兩天後，銅極被大量腐蝕產生 CuCl_2 ，同時水溶液變成深

藍色，證實含有大量之銅離子；而直接用鱷魚夾將其正負極直接連接者，其銅極仍完好如初，證實：長時間以導線連接兩電極時，能減小侵蝕反應之發生。



圖 3-6 檢驗氫氣

5.實驗討論：

- 一、 經此實驗後，推測可能沒有積聚電荷之存在。
- 二、 確實有氫氣之產生影響導電性。
- 三、 實際之電位差，並非由鋁的氧化反應(釋出電子)與銅離子的還原反應(接受電子)決定，而可能是由 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ($E^0 = -0.83\text{V}$) 和 $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$ ($E^0 = +1.66\text{V}$) 之電位差決定， $\Delta E^0 = +0.83\text{V}$ 。
- 四、 未形成外部通路時，溶液中負極之 Al^{3+} 會和負極周圍之 OH^- 形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ；當形成外部通路時，負極之 Al^{3+} 亦會與由正極擴散而來之 OH^- 結合，形成 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 。
- 五、 因 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 溶於水中時呈膠狀，所以液面上會產生透明之泡沫。

捌、 討論：

- 一、 對氯化銨而言，電解液之濃度提高，其與極板之反應濃度增高，確實可提高電池電流值。但對硫酸鋁而言，0.25M 有較大電流值。因此，在實驗(一)、實驗(二)中所用的氯化銨溶液我們皆使用 1 M，而實驗(二)-B 中的硫酸鋁我們則使用 0.25M 來作實驗。
- 二、 極板之接觸面積愈大，電流值越高，所以我們在創意電池中，將銅-鋁極板交錯相疊，除了增加接觸面積，亦相當於電池之串聯，因此可增加電流值。
- 三、 理論上，鋁-銅電池應較鋅-銅電池有較大之氧化還原電位差(鋁-銅 $E^{\circ}=2.0V$ ，鋅-銅 $E^{\circ}=1.1V$)，是相當不錯的極板組合，但由本實驗結果顯示，鋁與電解液反應所產生之結晶物質、氣體均可能影響離子的移動速度，因此，鋁-銅電池並未如預期的效果好。
- 四、 也許有更好的電解質不會與鋁金屬起反應，則將鋁罐、鋁箔等資源再回收，變成方便的電池，也是不錯的做法。
- 五、 果凍電池的電流值較創意電池小的原因，除了極板接觸面積較小之外，我們所加入的愛玉粉並非電解質，且當愛玉凍凝固成膠狀物時，就像固態包裹著液態的情況，因此離子移動速度受到影響，電流值也隨之下降。
- 六、 本研究在增加電極與電解質的接觸面積方面，並未有很好的表現，在此提供給以後同類型研究者增加接觸面積的建議：將銅電極研磨成粉末狀，均勻的與電解質混合，增加電極與電解質的接觸面積，製成果凍電池，或許也能增加強大的電流值。

玖.參考資料及其他：

- 一、 利用蔬菜水果製作電池的研究，第二十一屆科展，國立台灣科學教育館
- 二、 利用溶液的導電性觀察溫度如何影響反應速率，第二十二屆科展，國立台灣科學教育館
- 三、 電解質的導電分析及實驗教具的改良，第二十二屆科展，國立台灣科學教育館
- 四、 國中化學實驗的改良研究，第二十三屆科展，國立台灣科學教育館
- 五、 國中化學實驗裝置的改進及目標，第二十四屆科展，國立台灣科學教育館
- 六、 讓我們瞧瞧有色離子移動的真面目，第二十五屆科展，國立台灣科學教育館
- 七、 離子的游動，第二十七屆科展，國立台灣科學教育館
- 八、 「鋅」姑娘一「泡」而紅，第二十七屆科展，國立台灣科學教育館
- 九、 鋅銅電池的探討，第二十九屆，國立台灣科學教育館
- 十、 科學研習第三十七卷第四期，國立台灣科學教育館
- 十一、 科學研習第三十九卷第六期，國立台灣科學教育館
- 十二、 國中理化第三冊第十三章 電解質 國立編譯館
- 十三、 高工電子學 龍騰圖書股份有限公司
- 十四、 國中理化第三冊第十四章 電與生活國立編譯館
- 十五、 電池資訊(<http://140.112.185.3/battery/basictheory.htm>)
- 十六、 金頂電池網站(<http://www.duracell.com.tw/m2-3.htm>)
- 十七、 JOHN McMURRY , ROBERT C. FAY CHEMISTRY ,Prentice-Hall International,1995