

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030205

彩虹粉筆—探討以粉筆為載體電解水之顏色變換

學校名稱：嘉義縣立朴子國民中學

作者： 國三 梁芷綾 國一 梁軒綾 國一 彭靖琿	指導老師： 周岱學 何淑貞
---	-----------------------------

關鍵詞：離子移動、電解水、水合氫離子

摘要：

我們利用粉筆為載體，筆芯為電極，進行電解水的反應。粉筆浸泡電解液後，接著在粉筆表面均勻滴上廣用指示劑，如為中性溶液，則粉筆呈綠色。電解時，正極產生 H^+ ，pH 值下降，使得顏色呈黃色；負極產生 OH^- ，pH 值上升，使顏色呈藍色。在通電過程中，黃色向負極移動，藍色向正極移動，由此可觀察到 H^+ 和 OH^- 離子的移動情形，粉筆也呈現出彩虹般的顏色變化。

由離子的移動速度，推論 H^+ 在水中會以 H_3O^+ (水合離子)的形式存在。在水中加入幫助導電之電解質，則因離子不同對 H^+ 和 OH^- 離子的移動速率有明顯的影響。

此實驗器材簡便，且將國中多種實驗進行整合，如：電解水、酸鹼中和、元素分類...等，還能結合藝術創作，讓實驗充滿趣味。

壹、研究動機

上理化課時老師介紹一種指示劑---廣用指示劑，他可以隨著溶液酸鹼性而產生多變的顏色，猶如彩虹一般。我們在想有什麼方法可以讓廣用試劑同時呈現出多種顏色呢？老師說有一種微型化學實驗是用粉筆為載體來電解水，也許可以製造出如彩虹般顏色的粉筆，因此我們展開一系列的研究。

貳、研究目的

- 一、探討不同材質粉筆何者適合當做電解液的載體。
- 二、探討電極棒對電解水實驗的影響。
- 三、探討電壓對電解水實驗的影響。
- 四、探討不同電解液對電解水實驗的影響。
- 五、應用:電解作畫---利用電解水實驗在粉筆片上作畫

參、研究設備與器材

實驗器材:

- 1.粉筆
- 2.筆芯(碳棒)
- 3.直流供應器
- 4.實驗藥品
- 5.純水
- 6.燒杯
- 7.量筒
- 8.雞精空罐子
- 9.鱷魚夾
- 10.培養皿
- 11.鑷子
- 12.計時器
- 13.照相機
- 14.白紙
- 15.奇異筆
- 16.攪拌棒
- 17.直尺
- 18.鑽頭
- 19.手機顯微鏡
- 20.酸鹼值檢測器

實驗藥品:

K_2CO_3 、 K_2SO_4 、 Na_2SO_4 、 $NaNO_3$ 、 $NaHCO_3$ 、 Na_2CO_3 、 KNO_3 、 $Sr(NO_3)_2$ 、 $MgSO_4$ 、 $Mg(NO_3)_2$ 、
 $NaCl$ 、 Na_2CO_3

肆、研究過程及方法

一、文獻探討：

(一)、粉筆的材質：

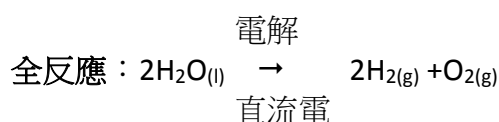
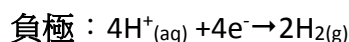
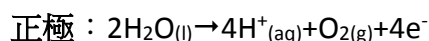
現今的粉筆可以分成兩大類型，傳統粉筆的成分是硫酸鈣($CaSO_4$)，粉筆孔隙較大，另一類型為改良式粉筆，其主要成分是碳酸鈣($CaCO_3$)。

(二)、電解水之原理：

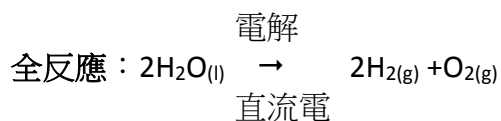
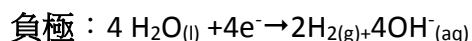
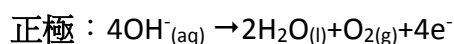
是在一電解質溶液中通入電流，使溶液中正離子會向負極移動，而在負離子會向正極流動。同時帶負電荷之負離子在正極放出電子，而帶正電荷之正離子在負極接受電子，而引起化學反應，即為電解。但純水不易導電，須加入一些電解質來幫助導電。電解質又可分為酸、鹼、鹽類，其中鹽類在水中解離後可能會出現酸性、鹼性、中性。

(三)、當酸性、鹼性、中性三種溶液進行電解時，總反應相同，但其正負兩極所發生的半反應不同。

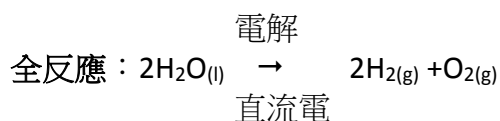
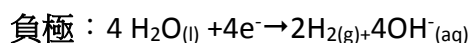
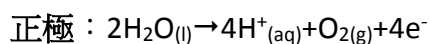
1、在酸性溶液中電解的半反應與全反應：



2、在鹼性溶液中電解的半反應與全反應：

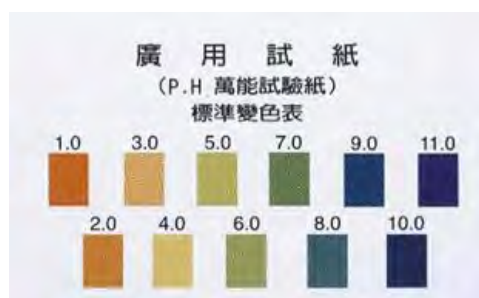


3、在中性溶液中電解的半反應與全反應：



(四) 酸鹼指示劑的原理

廣用指示劑是數種酸鹼指示劑的混合，在不同 pH 值中會呈現不同的顏色，在酸性溶液中呈紅、橙、黃色，中性溶液中呈綠色，鹼性溶液則呈藍、紫色，可依色碼表對照溶液的 pH 值。



(五) 酸鹼指示劑的顏色

常見的酸鹼指示劑的變色範圍和顏色如下：

	變色範圍(pH)	酸性顏色	鹼性顏色
酚紅	6.8~8.0	黃	紅
酚酞	8.2~10.0	無	紅
溴瑞香草藍	6.7~7.6	黃	藍
甲基橙	3.1~4.4	紅	橘黃
石蕊	5.8~8.0	紅	藍

(六)離子移動速率

電解質的導電是藉由正、負離子在兩極之間互相移動來輸送電荷，而正、負離子在溶液中移動速率是不同的。

離子的電荷數、半徑大小及溶劑性質會影響到離子遷移速率，進而影響導電度 (electrical conductivity)。一般而言，粒子帶淨電荷 (q) 多，直徑 (r) 小，即電荷密度 (q/r) 大者，離子移動速率快，反之則慢。

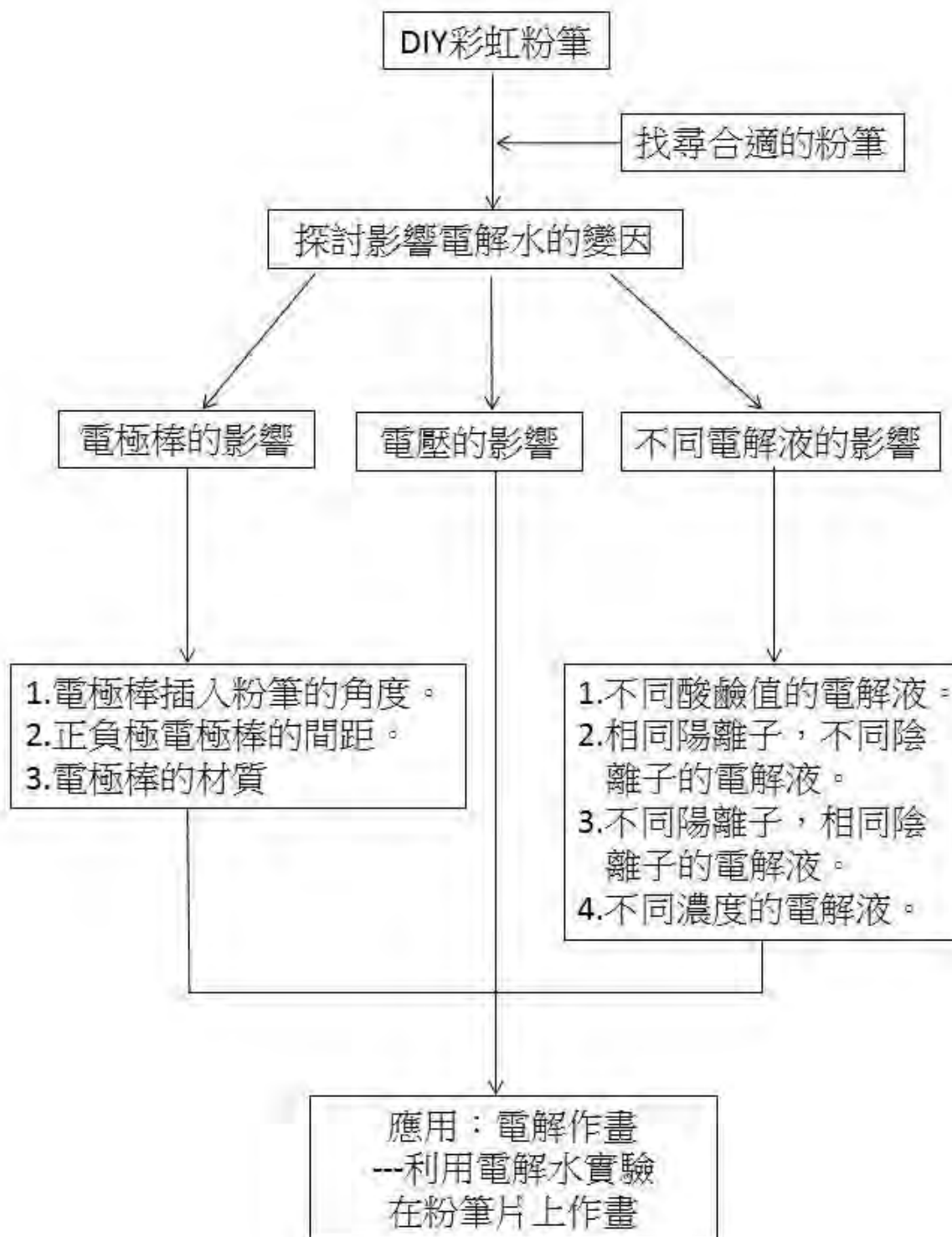
愈容易解離的物質或離子遷移速率愈快者，往往導電度愈大。導電度是測量溶液中通過電流的強度，導電度大小約與溶液中電離子的數量呈正比。

(七) H^+ 在水中會以 H_3O^+ (水合離子)的形式存在

國中階段學到的水解離反應式為 $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ ，實際上 H^+ 的離子半徑小正電荷相當集中，不易和 OH^- 解離，所以這個水解離反應式並不容易發生。

25°C 時，由實驗測出在純水中 $[H^+]$ 和 $[OH^-]$ 各為 $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 。科學家推論實際上水中的氫離子須先與水分子結合生成水合離子才能順利解離。但實際上水合離子的結構尚無定論，但在高中課程和一般對水合離子的描述則稱通稱為銍離子，化學式定義為 H_3O^+ 。

二、實驗架構：



三、實驗原理：

(一)在進行電解實驗時，為了節省實驗藥品、節省時間及降低污染，因此我們利用粉筆當作電解液的載體，以直流電源供應器控制適當的電壓。

(二)在電解過程中，利用廣用試劑當作指示劑，塗抹在浸泡過電解液的粉筆表面。當通電電解時，兩端插入電極的粉筆會開始變色，且顏色會隨著電解時間的增加，正極顏色會往負極移動，負極顏色也會往正極移動。觀察兩極顏色移動交接處，即代表正負極反應平衡，記錄 H^+ 、 OH^- 離子移動距離與移動速度。

(三)重覆實驗 3 次，取其平均值。

四、實驗流程：

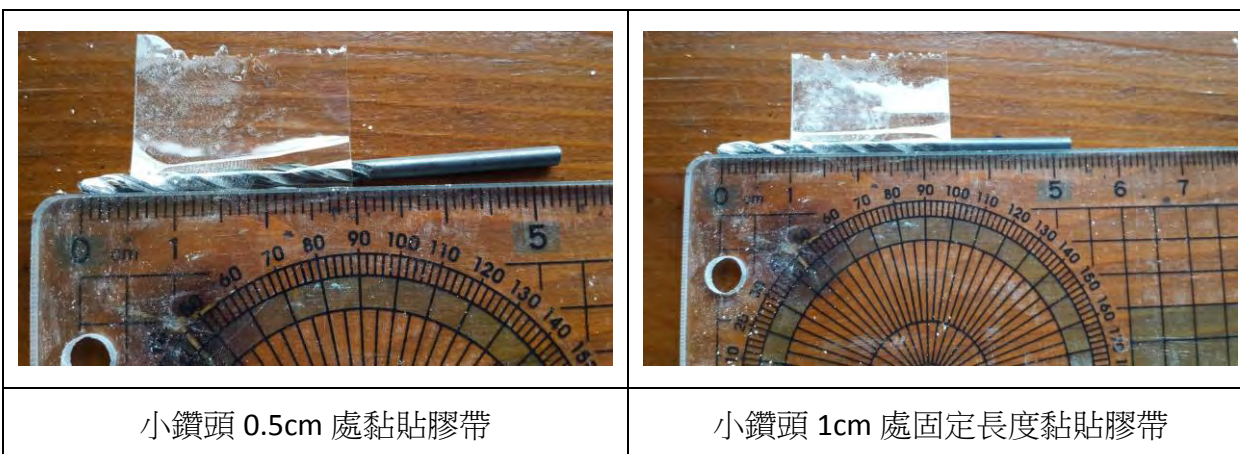
一、實驗一：

實驗一之一：不同成份粉筆吸附電解液的效果。

1. 準備兩種品牌粉筆。
2. 將粉筆 A 含有 $(CaSO_4)$ 、粉筆 B 含有 $(CaCO_3)$ 分別浸入 1cm 高 0.1M 的 KNO_3 溶液中並加入少許廣用試劑染色，觀察記錄 A、B 粉筆吸附溶液情形。

實驗一之二：用手機顯微鏡(60X)觀察 A、B 粉筆表面孔洞，並拍照記錄。

二、**實驗二：**為了能準確在粉筆上鑽出相同位置深度的孔洞，我們在小鑽頭固定長度黏貼膠帶(如照片)。



實驗二之一：電極棒插入粉筆的角度是否影響電解水的實驗。

(一) 電極棒平行插入粉筆：

1. 取兩支 $1/2$ 長的粉筆，一支在側面兩端各鑽出 0.5cm 深的小洞，另一支各鑽出 1cm 深的小洞。
2. 將鑽好洞的粉筆浸泡在 0.1M KNO_3 水溶液中，待粉筆完全吸飽 KNO_3 水溶液後取出，再將粉筆表面浸滿廣用試劑。
3. 取兩隻筆心當電極棒，插入粉筆兩端小洞中，通 15V 直流電電解。
4. 觀察記錄粉筆兩端正負極的顏色變化。

(二) 電極棒垂直插入粉筆：

同上述實驗，但將粉筆兩側的洞改鑽在粉筆表面兩端相距 3cm 處，各鑽 0.5cm 小洞，另一支鑽 1cm 小洞。

實驗二之二：兩電極棒間的距離是否影響水電解的結果。

1. 取 3 支粉筆，第 1 支粉筆在相距 6cm 處鑽 0.5cm 深的小洞，第 2 隻粉筆在相距 3cm 處鑽洞，第 3 支在相距 1cm 處鑽洞。
2. 分別浸泡 0.1M KNO_3 電解液後取出，表面塗滿廣用試劑。
3. 分別插入碳棒筆芯，通 15V 直流電，進行電解實驗，並觀察記錄。
4. 重覆實驗 3 次取其平均值。

實驗二之三：電極棒的材質是否會影響電解的效果。

1. 取 2 支 $1/2$ 長的粉筆，分別在兩端相距 3cm 處各鑽 0.5cm 深的小洞，再浸泡 0.1M KNO_3 電解液，取出後，表面塗上廣用試劑。
2. 分別取 2 支碳棒(鉛筆筆芯)、2 支鐵棒(迴紋針)當作電極棒，通 15V 直流電解。
3. 觀察記錄，粉筆兩端顏色變化及兩邊顏色相碰時間。
4. 重覆實驗 3 次。

三、**實驗三**：不同電壓是否會影響電解水的結果。

同實驗二之三，但電極棒固定使用筆芯(碳棒)，直流電壓分別使用 5V、10V、15V、20V。

四、**實驗四**：不同電解液對電解的影響

1. 接下來的實驗所有的電解液的載體(粉筆)都取 $1/2$ 長的粉筆，分別在兩端相距 3cm 處各鑽 0.5cm 深的小洞，再浸泡各種電解液後取出，並在表面塗上廣用試劑。
2. 用筆芯(碳棒)當做電極液，通 15V 電流電解。
3. 觀察記錄粉筆兩端顏色變化及兩邊顏色相碰時間。
4. 實驗 3 次測其平均值。

實驗四之一：配製不同酸鹼值的電解液，觀察是否影響電解結果。

1. 配製 0.1M 的 NaOH、 K_2CO_3 、 KNO_3 、 H_2SO_4 。
2. 利用 pH 檢測器測電解液酸鹼值。
3. 同上述步驟，進行電解實驗。

實驗四之二：不同陰離子的電解液，是否影響電解結果。

1. 取 0.1M 的 K_2CO_3 、 K_2SO_4 、 KNO_3 和 Na_2SO_4 、 $NaNO_3$ 、 $NaHCO_3$ 、 Na_2CO_3 、NaCl 和 $MgSO_4$ 、 $Mg(NO_3)_2$ 三組溶液。
2. 同上述步驟，進行電解實驗。

實驗四之三：不同正離子的電解液，是否影響電解結果。

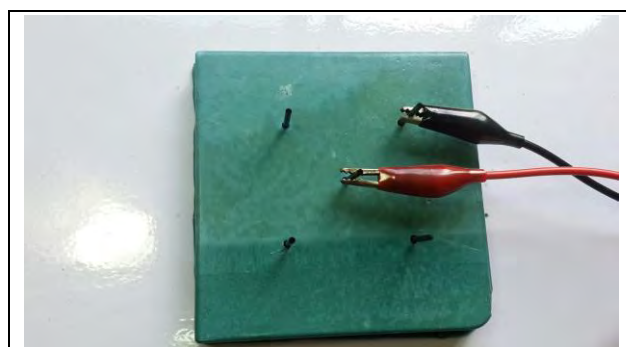
1. 取 0.1M 的 KNO_3 、 $NaNO_3$ 、 $Mg(NO_3)_2$ 、 $Sr(NO_3)_2$ 及 K_2SO_4 、 Na_2SO_4 、 $MgSO_4$ 及 K_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 $NaHCO_3$ 三組溶液當電解液。
2. 同上述步驟，進行電解實驗。

實驗四之四：不同濃度的電解液是否影響電解效果。

1. 配製 0M、0.1M、0.2M、0.3M、0.4M、0.5M、0.6M、0.7M、0.8M、0.9M、1.0M 的 KNO_3 電解液。
2. 同上述步驟，電解實驗。

五、實驗五：電解作畫---利用電解水實驗在粉筆片上作畫

1. 取一片 9cmx9cm 的粉筆片。
2. 在粉筆片上方鑽數個小洞。
3. 將粉筆片浸泡 0.1M KNO_3 電解液後，在表面均勻塗滴上廣用指示劑。
4. 將碳棒(鉛筆筆芯)分別插在小洞上，如右圖兩兩成對連接正負極進行電解。
5. 第一組碳棒電解完後再換另一組碳棒



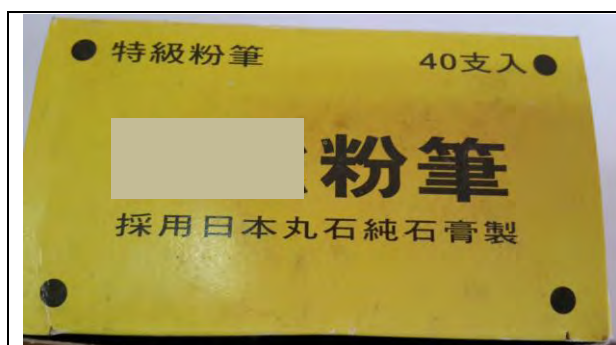
粉筆片上作畫基本裝置

電解，依序電解完後，觀察粉筆片上的顏色變化及圖形變化。

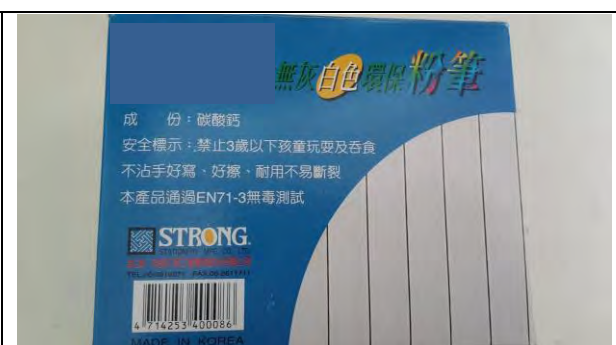
伍及陸、研究結果與討論

一、實驗一：

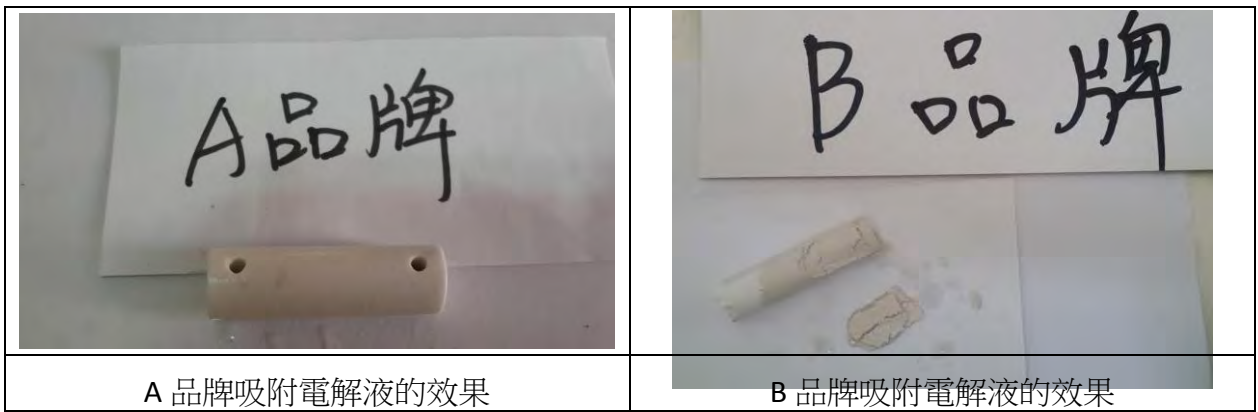
實驗一之一：不同成份粉筆吸附電解液的效果。



A 品牌粉筆



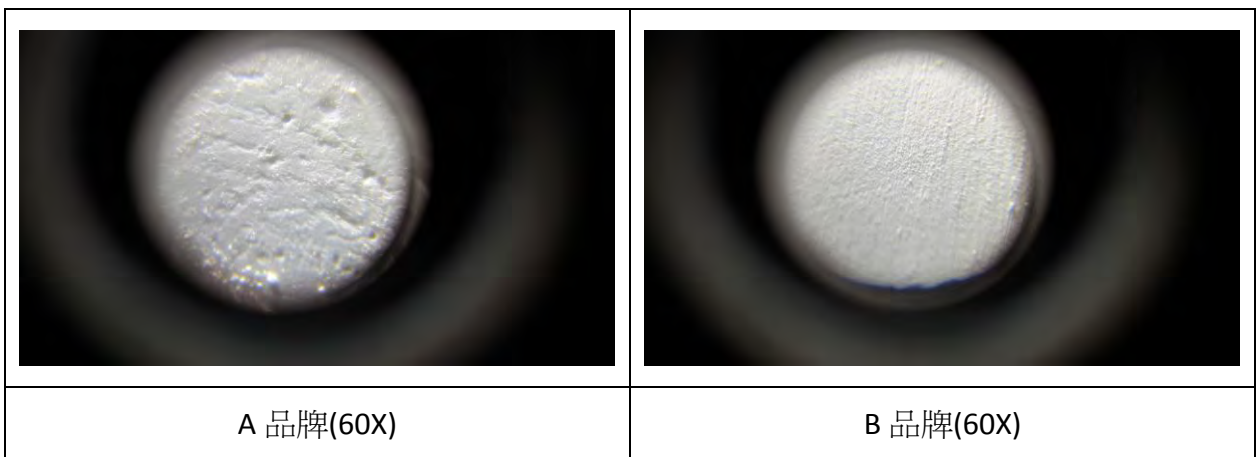
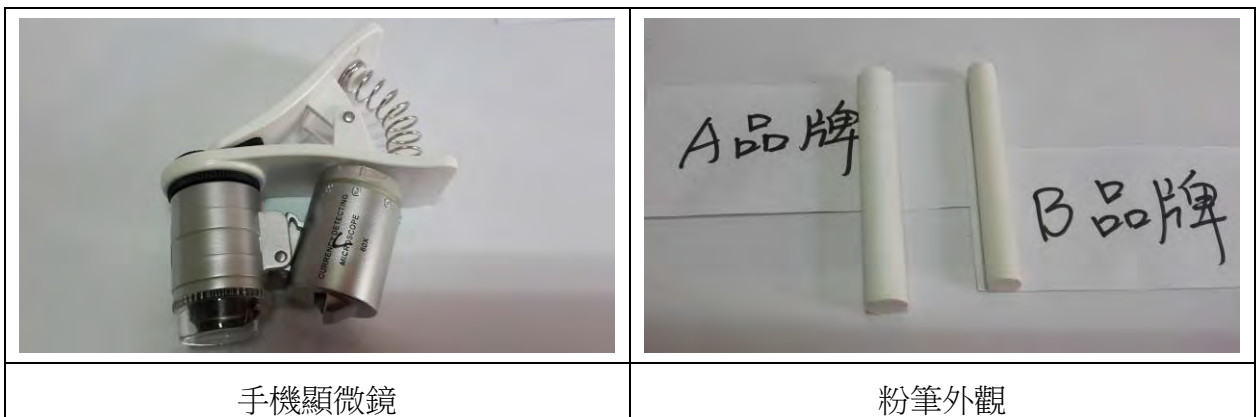
B 品牌粉筆



實驗結果與討論：

1. A 品牌的粉筆吸附電解液效果較好，B 品牌浸入電解液不久後便碎裂了。
2. 由文獻探討中知道：A 品牌的成分為硫酸鈣(CaSO_4)，而此粉筆孔隙較大，易於吸附，B 品牌的成分是由碳酸鈣(CaCO_3)所組，粉筆孔隙較小。

實驗一之二：用手機顯微鏡(60X)觀察 A、B 粉筆表面孔洞，並拍照記錄。

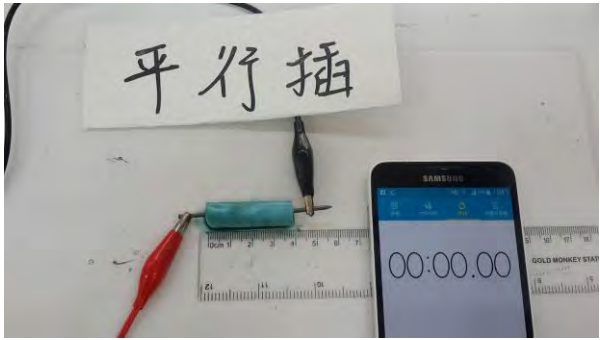

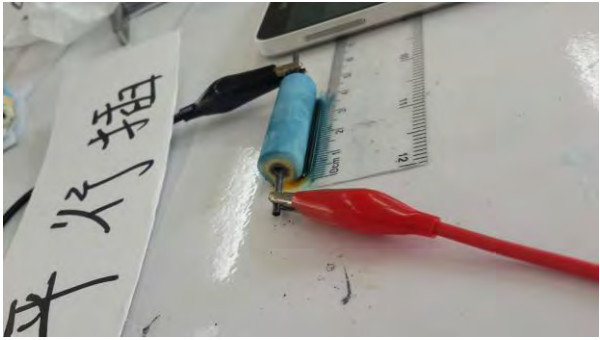






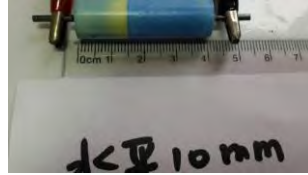
實驗結果與討論：

1. A 品牌表面摸起來較粗，書寫時較有灰；B 品牌表面摸起來較細緻，書寫時較不會產生灰。
2. 透過手機顯微鏡觀察，A 品牌孔隙大，B 品牌孔隙小。

二、實驗二：

實驗二之一：電極棒插入粉筆的角度是否影響電解水的實驗。

	
電極棒『平行』插入粉筆	電極棒『垂直』插入粉筆
	
開始電解時，兩端顏色變化	電解一段時間後，在電極棒的末端處，顏色開始變化。


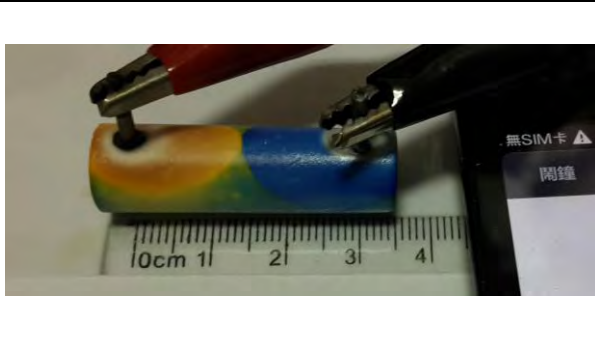
			
水平插入 5mm	水平插入 5mm	水平插入 10mm	水平插入 10mm

	
電極棒附近顏色變化	電極棒插到粉筆底端，底端顏色也會變化

實驗結果與討論：

1. 電極棒插入處有氣泡產生。
2. 電極棒平行插入粉筆，最先反應是兩端電極附近，慢慢的在粉筆中段處(電極棒插入粉筆最深層處)也開始變色。
3. 電極棒垂直插入粉筆最先反應是從筆芯周圍開始變色。
4. 電極棒垂直插入粉筆可以明顯觀察正負離子產生後的移動情形，因此接下來的實驗我們都將電極棒垂直插入粉筆。

實驗二之二：兩電極棒間的距離是否影響水電解的結果。

	
電極棒相距 1cm	電極棒相距 3cm



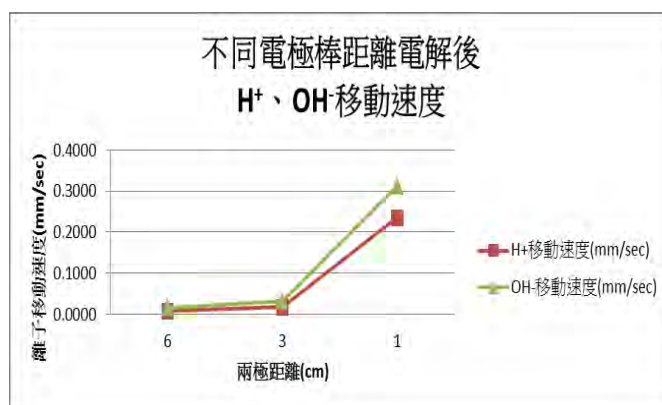
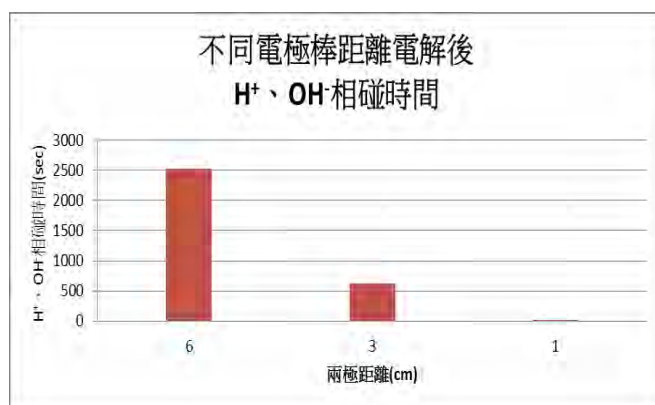
電極棒相距 6cm



電極棒相距 6cm 電解後情形

兩極距離(cm)	6	3	1
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	2530	617	18.3
H ⁺ 移動距離(mm)	20	10.8	4.3
OH ⁻ 移動距離(mm)	40	19.2	5.7
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0079	0.0175	0.2350
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0158	0.0311	0.3115

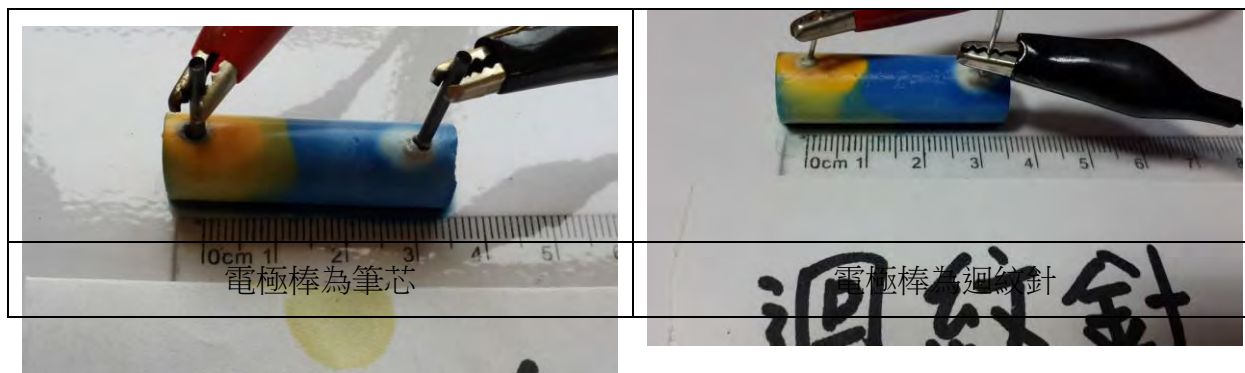
兩電極棒間不同的距離電解的結果



實驗結果與討論：

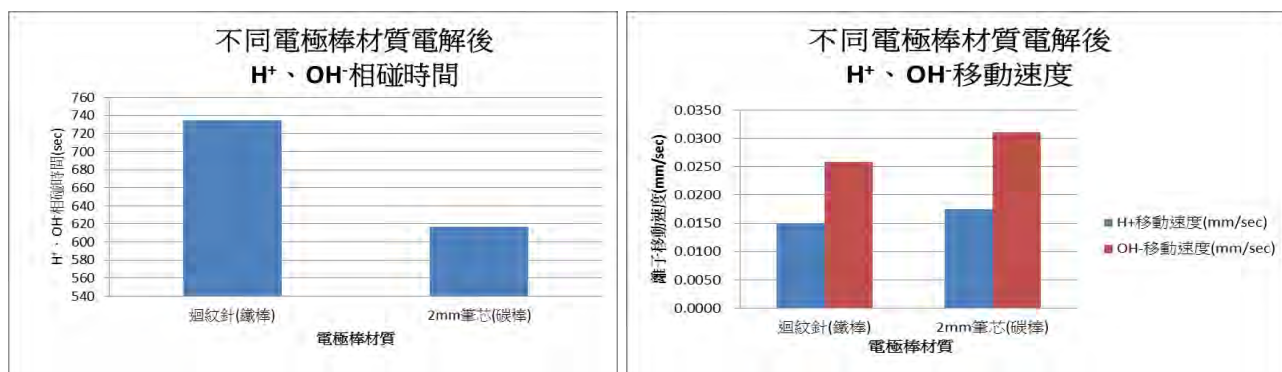
1. 正負極電擊棒距離愈近，H⁺、OH⁻離子移動速度較快，H⁺、OH⁻離子相碰時間越短。
2. OH⁻離子移動速率比 H⁺離子移動速率快。

實驗二之三：電極棒的材質是否會影響電解的結果。



電極棒材質	迴紋針(鐵棒)	2mm 筆芯(碳棒)
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	734.7	617
H ⁺ 移動距離(mm)	11	10.8
OH ⁻ 移動距離(mm)	19	19.2
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0150	0.0175
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0259	0.0311

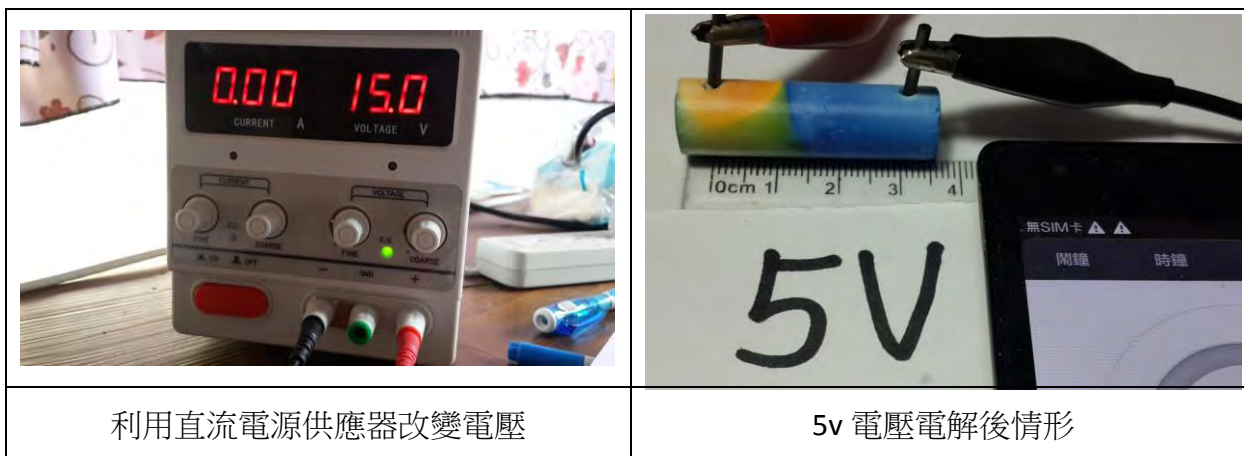
電極棒的材質與電解的結果。



實驗結果與討論：

1. 以鉛筆芯為電極棒的電解速度比迴紋針的速度還快。
2. 正極迴紋針周圍出現紅褐色，負極周圍褪色變成白色。
3. 正極迴紋針變得較沒有金屬光澤，負極則保有光澤。
4. 實驗時我們發現正極迴紋針電解完後，迴紋針前端變尖了，這代表有物質在電解反應中發生變化，這時粉筆上的顏色變化有可能不是單純的電解水反應，所以我們不以迴紋針來做此次實驗的電極。

三、實驗三：不同電壓是否會影響電解水的結果。

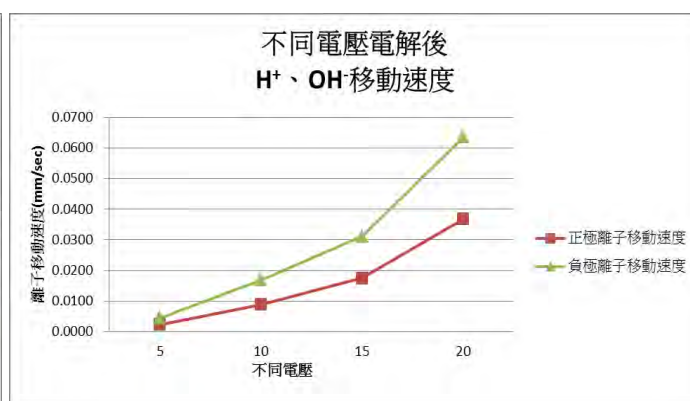
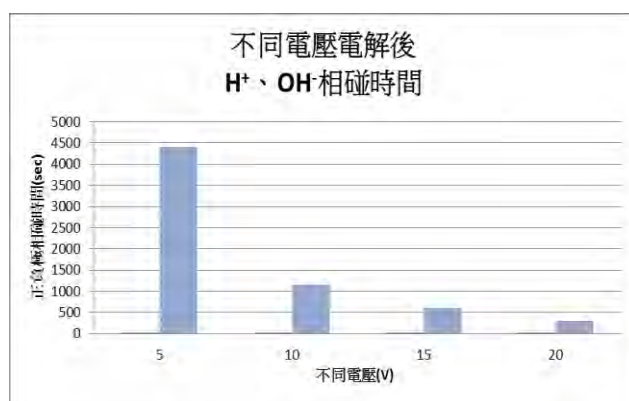


利用直流電源供應器改變電壓

5v 電壓電解後情形

不同電壓(V)	5	10	15	20
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	4403.3	1160.7	617	298.7
H ⁺ 移動距離(mm)	10.3	10.3	10.8	11
OH ⁻ 移動距離(mm)	19.7	19.7	19.2	19
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0023	0.0089	0.0175	0.0368
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0045	0.0170	0.0311	0.0636

不同電壓與電解的結果

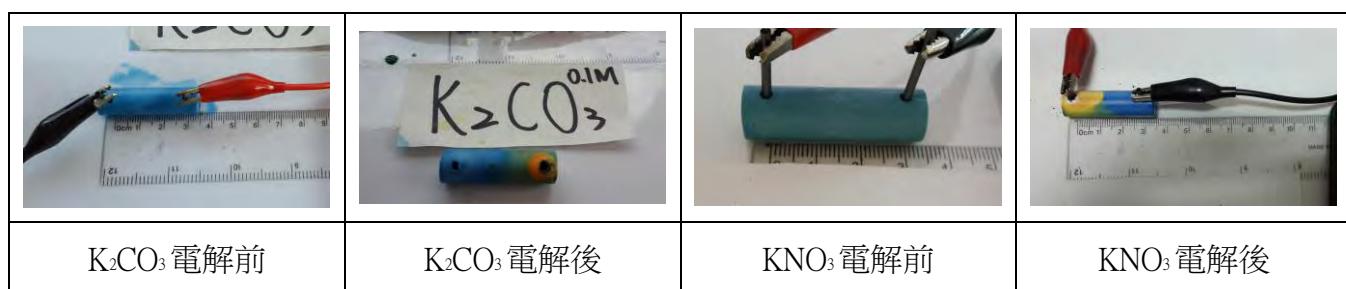
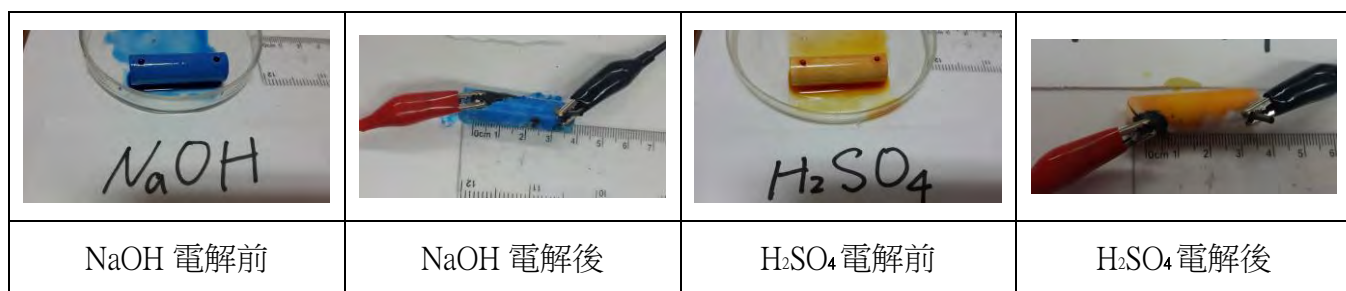


實驗結果與討論：

1. 電壓越高電解速度越快，但電壓的增加對於 H⁺、OH⁻ 離子相遇的位置並沒有太大的改變。
2. 電壓 5V 時，H⁺、OH⁻ 離子移動速度非常慢，但此時在正極處產生一圈紅褐色。

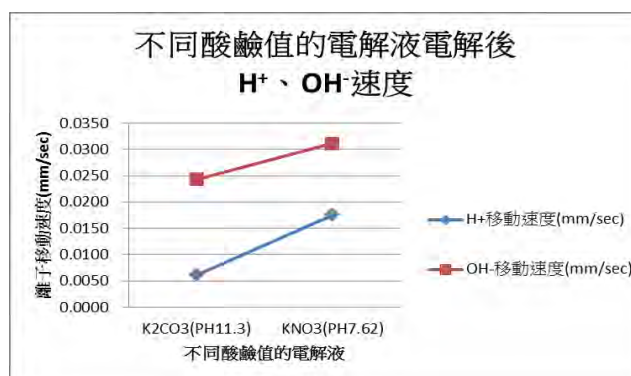
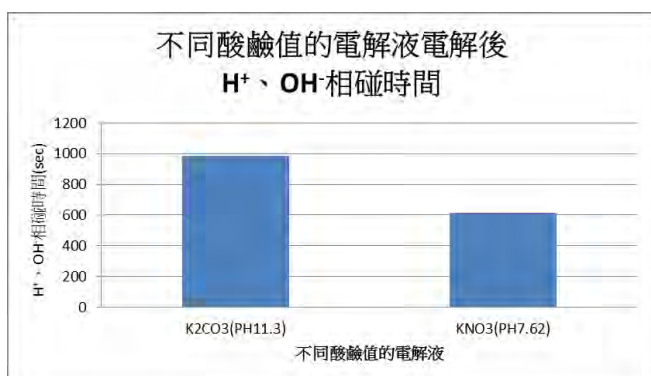
四、實驗四：不同電解液對電解的影響

實驗四之一：不同酸鹼值的電解液是否影響電解結果。



不同酸鹼值的電解液	NaOH	K ₂ CO ₃	KNO ₃	H ₂ SO ₄
酸鹼值(PH)	12.62	11.3	7.62	0.52
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	無法判讀	987.3	617	無法判讀
H ⁺ 移動距離(mm)		6	10.8	
OH ⁻ 移動距離(mm)		24	19.2	
H ⁺ 移動速度(mm/sec)		0.0061	0.0175	
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)		0.0243	0.0311	



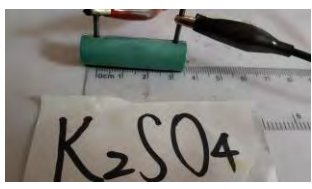

不同酸鹼值的電解液與電解結果

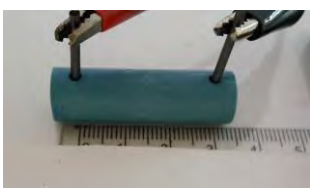



實驗結果與討論：

1. pH 值過高或過低都無法作為此次觀察離子移動情形的電解質，因為正負極顏色變化不明顯。
2. 越中性的電解液電解反應越明顯，速度越快。

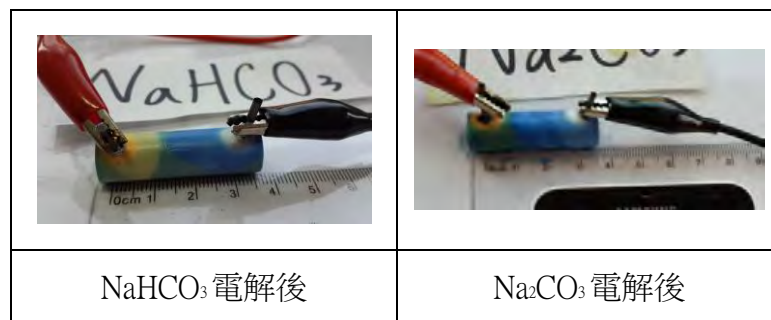
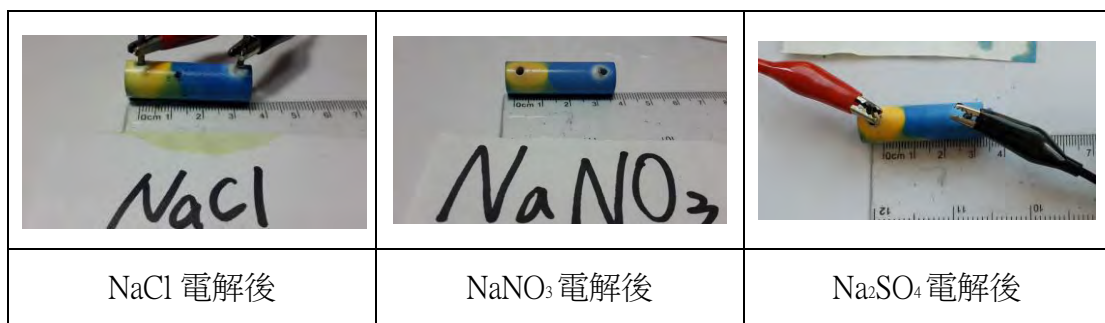
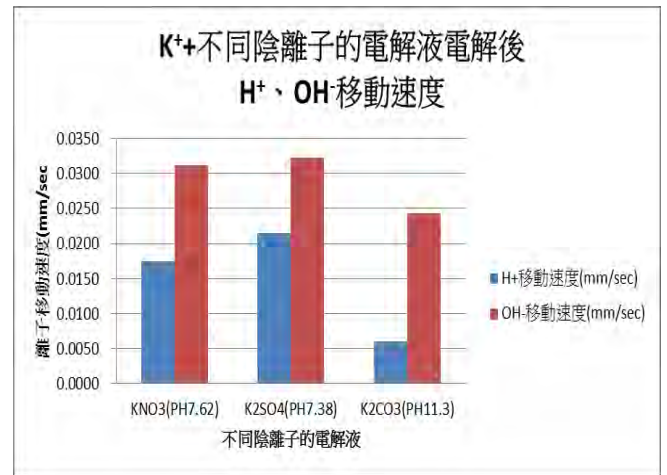
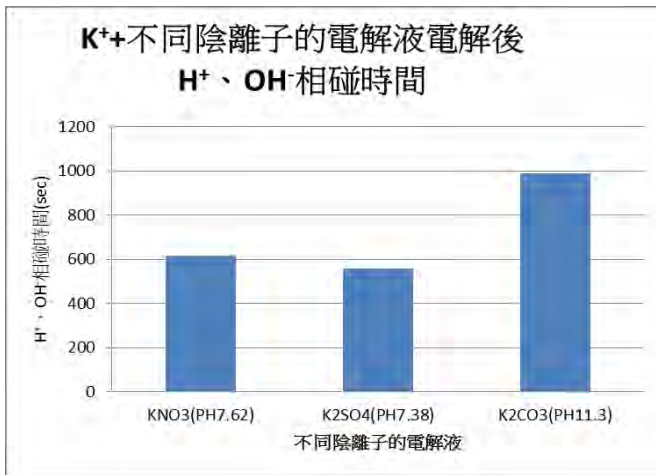
實驗四之二：不同陰離子的電解液，是否影響電解結果。

			
K ₂ CO ₃ 電解前	K ₂ CO ₃ 電解後	K ₂ SO ₄ 電解前	K ₂ SO ₄ 電解後

	
KNO ₃ 電解前	KNO ₃ 電解後

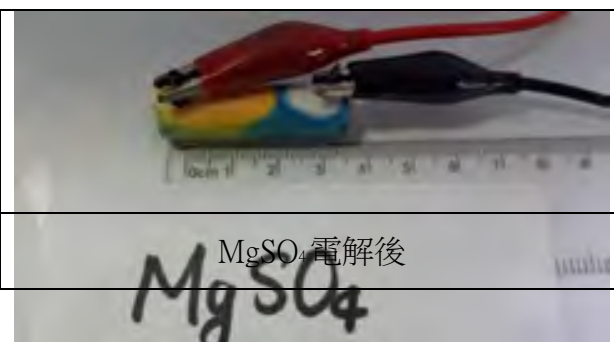
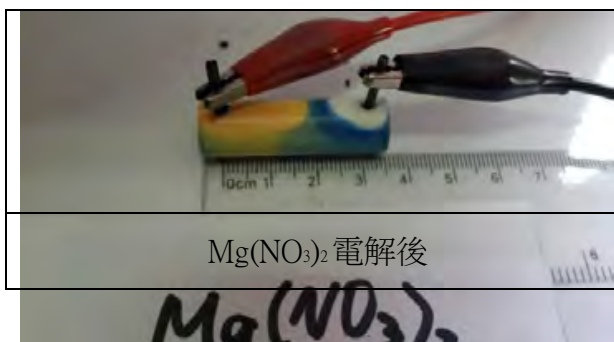
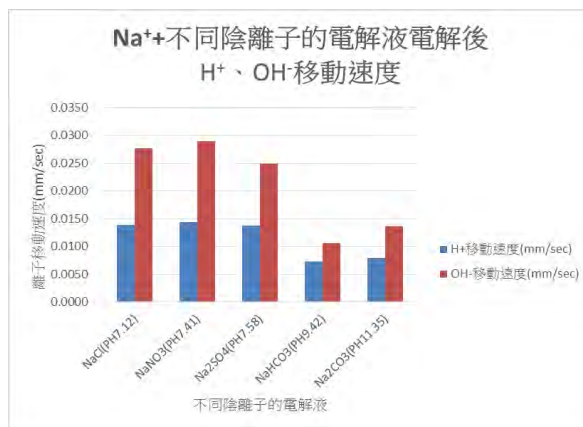
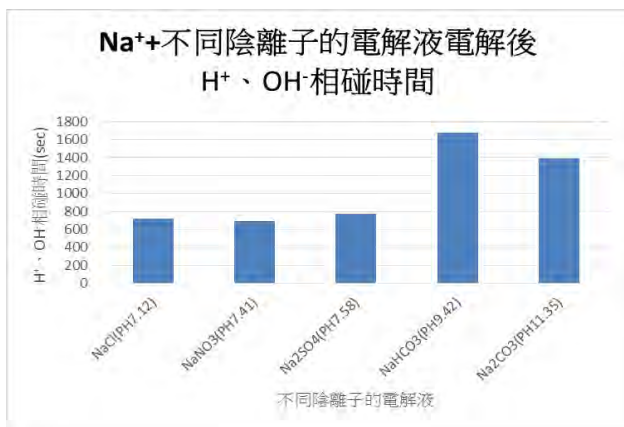
K ⁺ +不同陰離子不同陰離子的電解液	K ₂ CO ₃	K ₂ SO ₄	KNO ₃
酸鹼值(PH)	11.3	7.38	7.62
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	987.3	557.3	617
H ⁺ 移動距離(mm)	6	12	10.8
OH ⁻ 移動距離(mm)	24	18	19.2
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0061	0.0215	0.0175
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0243	0.0323	0.0311

K⁺+不同陰離子的電解液與電解結果



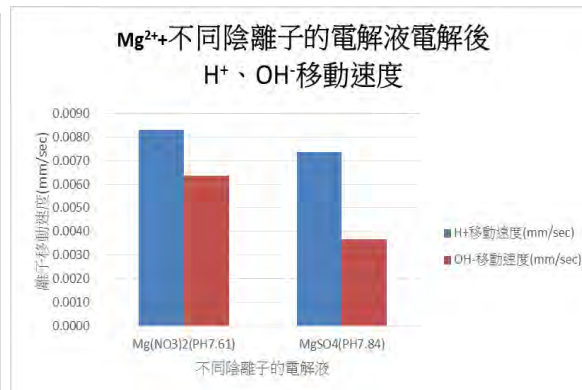
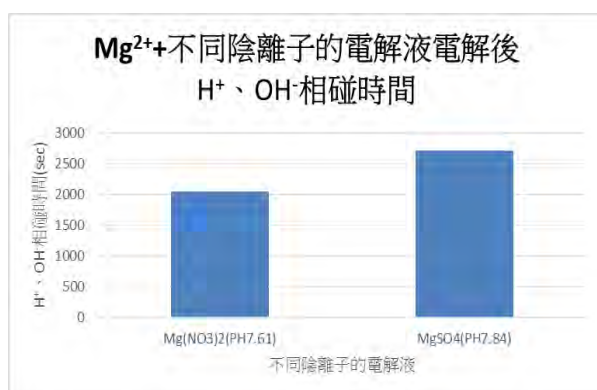
不同陰離子的電解液	NaCl	NaNO ₃	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃
酸鹼值(PH)	7.12	7.41	7.58	9.42	11.35
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	721.3	691.3	774.3	1674	1390.7
H ⁺ 移動距離(mm)	10	10	10.7	12.3	11
OH ⁻ 移動距離(mm)	20	20	19.3	17.7	19
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0139	0.0145	0.0138	0.0073	0.0079
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0277	0.0289	0.0249	0.0106	0.0137

Na⁺+不同陰離子的電解液與電解結果



不同陰離子的電解液	Mg(NO ₃) ₂	MgSO ₄
酸鹼值(PH)	7.61	7.84
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	2049.6	2712.6
H ⁺ 移動距離(mm)	17	20
OH ⁻ 移動距離(mm)	13	10
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0083	0.0074
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0063	0.0037

Mg²⁺+不同陰離子的電解液與電解結果



實驗結果與討論：

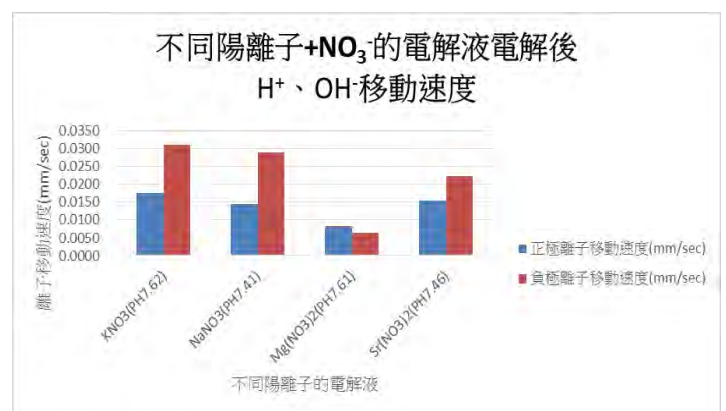
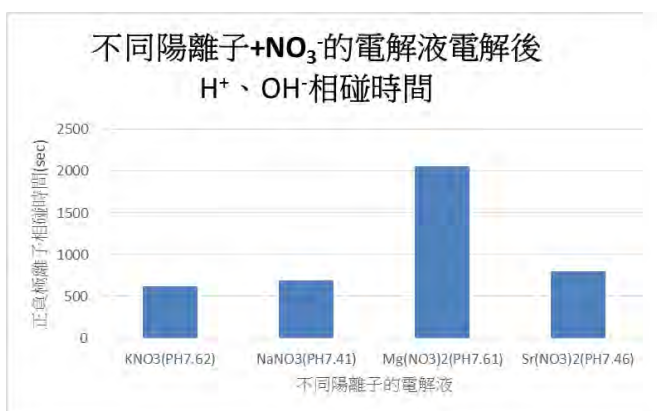
1. K^+ +不同陰離子的電解液中， K_2CO_3 的 pH 值最大， H^+ 、 OH^- 離子相遇反應時間最久，且 H^+ 離子移動速度最慢。這可能是因為 CO_3^{2-} 發生水解和水中的 H^+ 結合，而使得水中 OH^- 增加， H^+ 離子濃度降低， H^+ 移動速度也變慢。
2. Na^+ +不同陰離子的電解液， $NaHCO_3$ 、 Na_2CO_3 的酸鹼值偏鹼性，電解反應所需時間較長。這可能是因為 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 發生水解和水中的 H^+ 結合而使得水中 OH^- 增加， H^+ 離子濃度降低， H^+ 移動速度也變慢。
3. Mg^{2+} +不同陰離子的電解液電解時，不論 H^+ 、 OH^- 離子移動的速度都變慢，但 H^+ 離子移動速度都比 OH^- 離子快，和他種溶液的結果不同。這可能是 Mg^{2+} 離子和負極電解產生的 OH^- 離子結合產生沉澱，而降低 OH^- 離子的移動速率，相對的 H^+ 離子移動速率增快。

實驗四之三：不同陽離子的電解液，是否影響電解結果。

	
KNO ₃ 電解後	NaNO ₃ 電解後
	
Mg(NO ₃) ₂ 電解後	Sr(NO ₃) ₂ 電解後

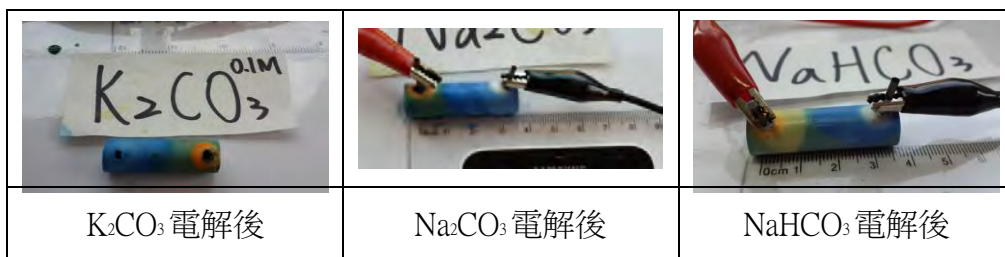
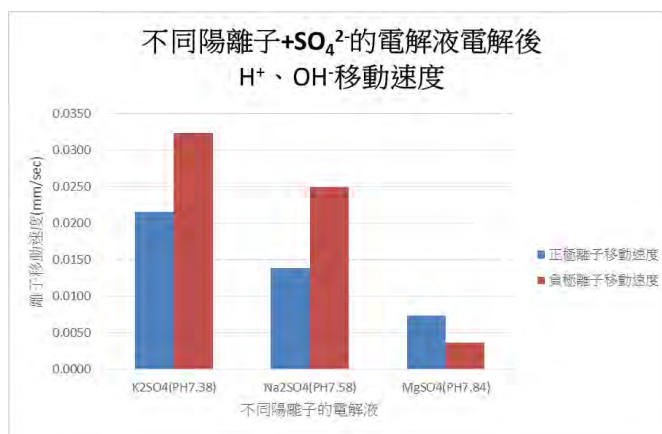
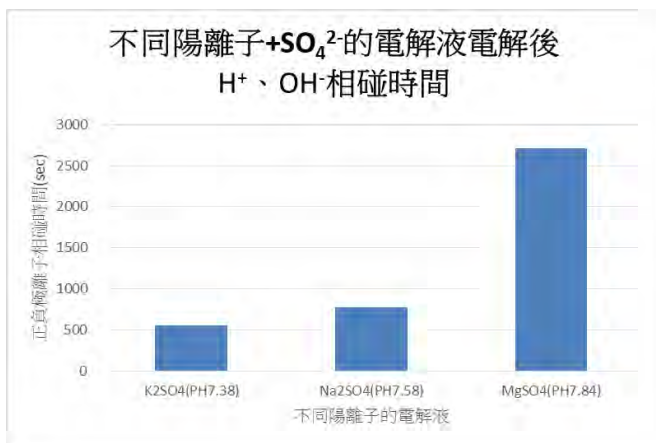
不同陽離子的電解液	KNO ₃	NaNO ₃	Mg(NO ₃) ₂	Sr(NO ₃) ₂
酸鹼值(PH)	7.62	7.41	7.61	7.46
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	617	691.3	2049.6	797
H ⁺ 移動距離(mm)	10.8	10	17	12.3
OH ⁻ 移動距離(mm)	19.2	20	13	17.7
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0175	0.0145	0.0083	0.0154
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0311	0.0289	0.0063	0.0222

不同陽離子+ NO₃⁻ 的電解液與電解結果



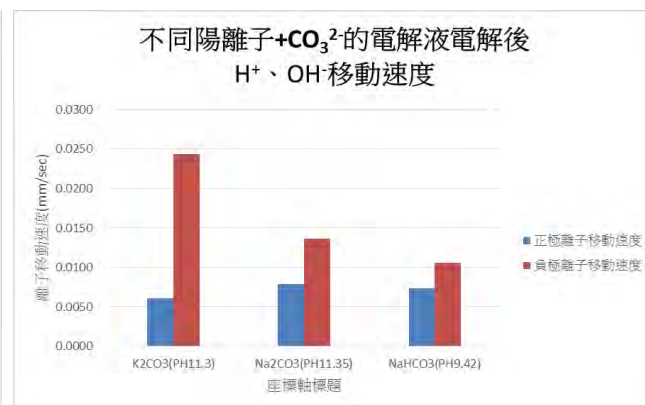
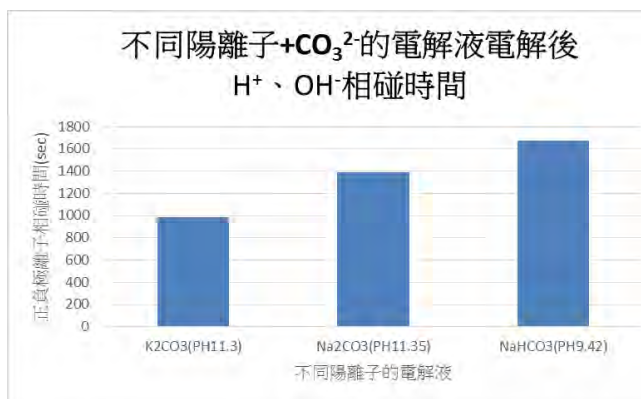
不同陽離子的電解液	K ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	MgSO ₄
酸鹼值(PH)	7.38	7.58	7.84
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	557.3	774.3	2712.6
H ⁺ 移動距離(mm)	12	10.7	20
OH ⁻ 移動距離(mm)	18	19.3	10
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0215	0.0138	0.0074
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0323	0.0249	0.0037

不同陽離子+ SO₄²⁻ 的電解液與電解結果



不同陽離子的電解液	K ₂ CO ₃	Na ₂ CO ₃	NaHCO ₃
酸鹼值(PH)	11.3	11.35	9.42
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	987.3	1390.7	1674
H ⁺ 移動距離(mm)	6	11	12.3
OH ⁻ 移動距離(mm)	24	19	17.7
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	0.0061	0.0079	0.0073
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	0.0243	0.0137	0.0106

不同陽離子+ CO₃²⁻ 的電解液與電解結果



實驗結果與討論：

1.不同陽離子+ NO_3^- 的電解液中，加入 KNO_3 電解時， OH^- 離子移動的速度最快；


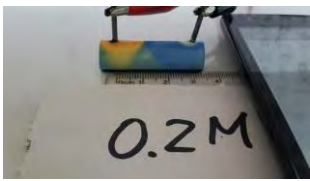
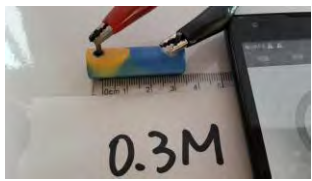
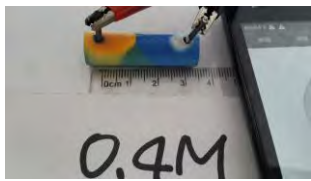
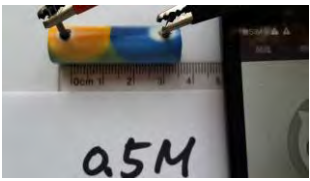

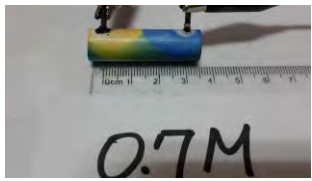

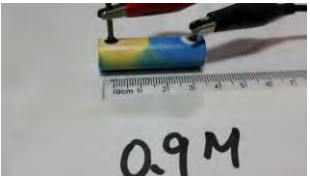

加入 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 電解時， H^+ 移動的速度比 OH^- 離子快；。可能是 Mg^{2+} 離子和水中電解產生的 OH^- 離子結合產生沉澱，而降低 OH^- 離子的移動速率，相對的 H^+ 離子移動速率增快。

2.不同陽離子+ SO_4^{2-} 的電解液中，加入 K_2SO_4 電解時， OH^- 離子移動的速度最快；加入

MgSO_4 電解時，可能是 Mg^{2+} 離子和水中電解產生的 OH^- 離子結合產生沉澱，而降低 OH^- 離子的移動速率，相對的 H^+ 離子移動速率增快。

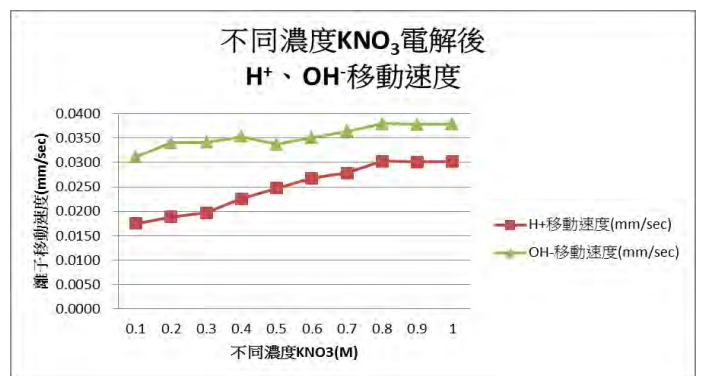
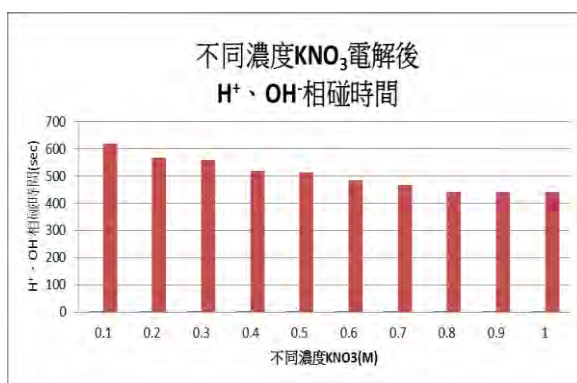
3.不同陽離子+ CO_3^{2-} 的電解液中，加入 K_2CO_3 電解時， OH^- 離子移動的速度最快。

實驗四之四：不同濃度的電解液是否影響電解結果。

			
0.1M KNO_3	0.2M KNO_3	0.3M KNO_3	0.4M KNO_3
			
0.5M KNO_3	0.6M KNO_3	0.7M KNO_3	0.8M KNO_3
			
0.9M KNO_3	1.0M KNO_3		

不同濃度 $\text{KNO}_3(\text{M})$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
H^+ 、 OH^- 相碰時間(sec)	617	567.7	558	519	512.7	485	467.7	440.3	441.7	488.3
H^+ 移動距離(mm)	10.8	10.7	11	11.7	12.7	14	13	13.7	13.3	13.7
OH^- 移動距離(mm)	19.2	19.3	19	18.3	17.3	16	17	16.3	16.7	16.3
H^+ 移動速度(mm/sec)	0.0175	0.0188	0.0197	0.0225	0.0248	0.0289	0.0278	0.0311	0.0301	0.0281
OH^- 移動速度(mm/sec)	0.0311	0.0340	0.0341	0.0353	0.0337	0.0351	0.0363	0.0379	0.0378	0.0378

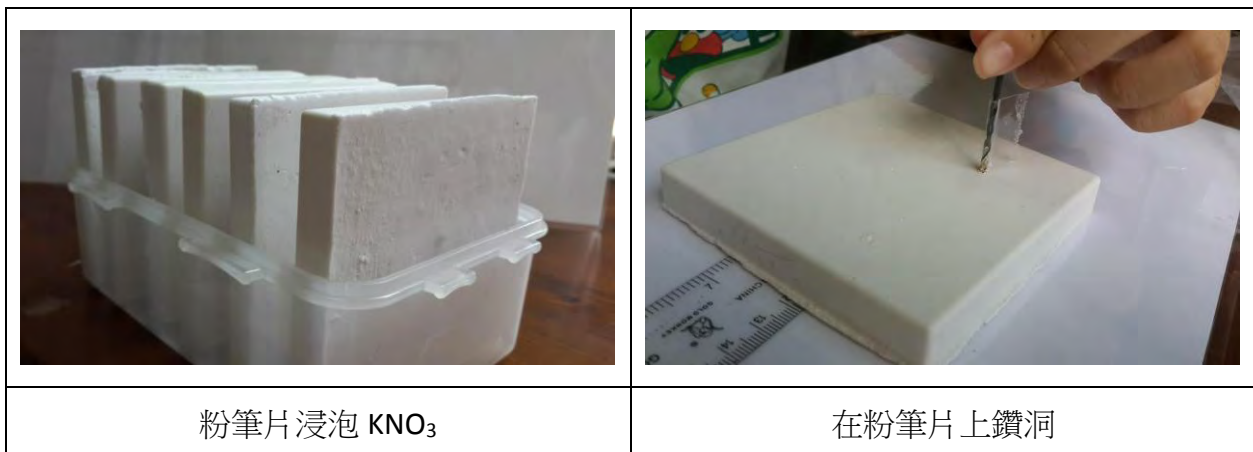
不同濃度的電解液與電解的結果

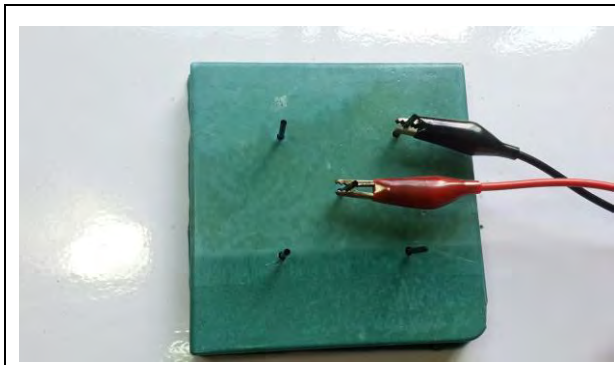


實驗結果與討論：

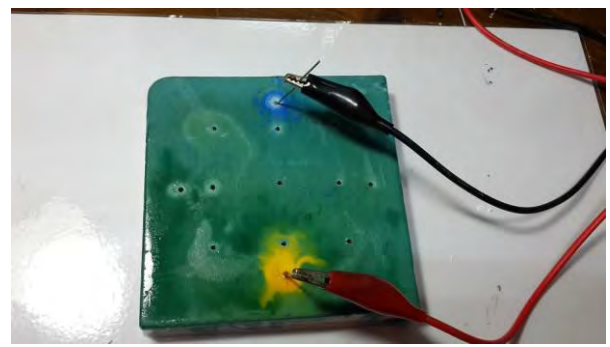
1. 電解液濃度越濃， H^+ 、 OH^- 離子移動的速度越快，但到達一定濃度就沒有太大改變。
2. 電解液濃度越濃， H^+ 離子的移動速度增加的比 OH^- 離子快，因此 H^+ 、 OH^- 離子相碰的位置會因電解液濃度而改變，但到達一定濃度就沒有太大改變。

五、實驗五：電解作畫---利用電解水實驗在粉筆片上作畫

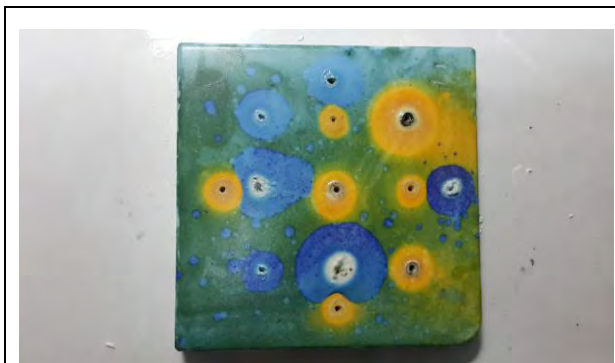




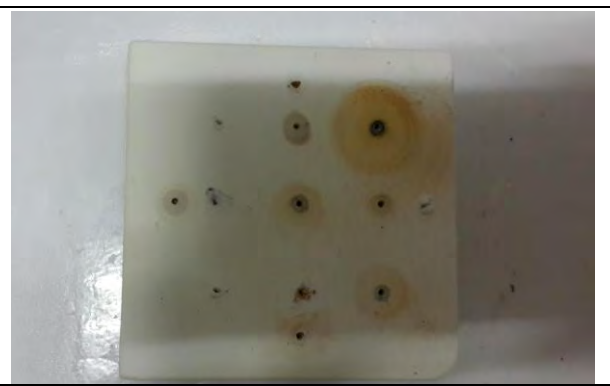
均勻滴上廣用試劑



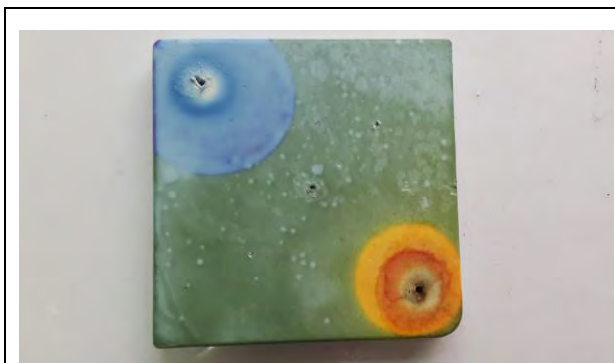
開始電解



電解作品



電解作品(放置 1 天後)

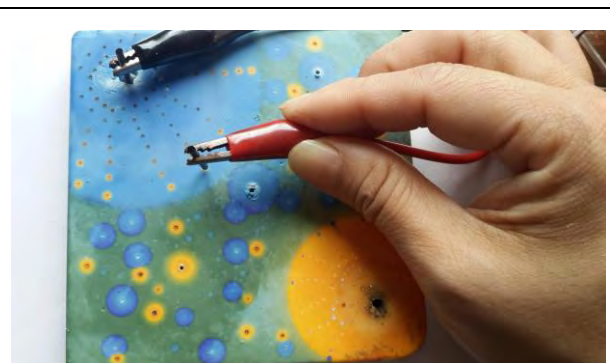


電解作品(一)



作品名稱:宇宙

操作過程:浸泡 0.1M KNO_3 溶液 電壓 15V

電解時間: 90 分鐘



兩個電極短暫接觸粉筆片，
就能創造出點點效果

	
<p>電解作品(二) 作品名稱:花團錦簇</p>	<p>作品放置 4 小時後，廣用試劑褪色了</p>

實驗結果與討論：

1. 粉筆片當作電解水的載體所得到的正負極顏色變化情形和粉筆為載體的結果一樣。
2. 每一組小洞的電解時間長短，會影響圓形圖案的大小；電解時間越久，圓形圖案越大，且正極的顏色會因為電解時間較長，呈現紅褐色。
3. 我們發現，電解時，碳棒只要碰到粉筆片，就會進行電解反應，所以只要移動碳棒的位置，就能呈現出點點圖案。
4. 電解後的圖案放置一段時間後會褪色，因此我們只能利用照相的方式保留電解後的圖案。我們還將照片印製成明信片或書籤，想不到化學實驗也能變得如此有趣。

柒、結論

一、本實驗可訓練觀察、推理和分類組織能力，和國中多個課程都能緊密結合，也能和高中課程做連結。

曾有很多為了觀察離子移動的實驗室採用粉筆或洋菜凍為載體，但都是以有色離子為觀察對象，且以洋菜凍為載體時，離子移動速度太慢，要觀察到完整的移動情形耗時太久，而且洋菜凍攜帶不便且容易因電解後溫度上升而溶解變形，只能在培養皿或燒杯使用，因此我們才會想要以粉筆做為載體，我們認為石膏內的孔洞有助於水分子散布而

能形成近似於水溶液的環境。

另外由此實驗中我們從這個實驗結果我們得到了能和國中電解水實驗相印證的結果，另外有更多是在國中電解水實驗實驗時看不到的現象，如下：

- (一) 由廣用指示劑的變化我們可以清楚看見 H^+ 和 OH^- 的移動情形及兩者在電解時濃度變化關係，我們更在實驗中看到 H^+ 在水溶液中應該是以 H_3O^+ 水合離子的形態存在，所以在大部分的實驗結果裏，都是 OH^- 移動的比 H_3O^+ 快，因為離子半徑愈大，移動速率愈慢。
- (二) 從這實驗中可以利用廣用試劑來觀察酸鹼中和時的慢動作。
- (三) 如同國中課本電解水實驗提到電壓愈大、兩電極棒距離愈近，兩電極產生氣體之速率愈快，而我們在實驗中還發現離子移動速率也會變快。
- (四) 我們發現不同的電解質對於電解水時 H^+ 和 OH^- 的移動都有著不同的影響，其中以溶於水中酸鹼值接近中性的鹽類對實驗結果之影響最小，也較能看到純水中真實的 H^+ 和 OH^- 的移動情形。
- (五) 為了幫助導電所加入之電解液，濃度愈高，離子移動速率加快，而且會影響 H^+ 和 OH^- 相遇的位置，但當電解液濃度到達一定程度時，離子的移動速率就沒有明顯之變化。
- (六) 變換各種不同的電解質，我們可以使用課本所教的元素分類實驗的觀察技巧把它們做成不同的分類，藉由實驗結果我們可以很清楚的將 IA 族的金屬離子和 IIA 族的金屬離子做出分別。更特別的事情是我們由此實驗觀察到強酸根離子 (SO_4^{2-} 、 NO_3^-) 和弱酸根離子團 (CO_3^{2-} 、 HCO_3^{2-}) 的特性，強酸根離子不會水解能完全解離，故不易影響正極電解產生的 H^+ ，弱酸根離子因發生水解和水中的 H^+ 結合而使得水中 OH^- 增加。
- (七) 由實驗整體結果發現利用粉筆為載體觀察水電解情形所需加入之電解質以 KNO_3 為最佳選擇。

二、將電解載體改成粉筆片，讓化學實驗結合藝術教育，增加實驗課程的趣味性。實驗器材容易準備、攜帶方便節省資源、操作簡單：

(一) 我們藉由簡單的文具粉筆、筆芯和廣用試劑搭配上不同的電解質水溶液就可以在粉筆表面同時呈現彩虹般顏色變化。

(二) 將粉筆大小變成 9cmx9cm 大小的粉筆片，並在表面鑽數個小孔，插入碳棒並接上電流進行電解，數分鐘後，在每個小洞附近會呈現正極或負極電解後顏色變化，組合後變成一幅個性化的抽象圖案。還能將圖案製成名信片或書籤等文創產品。

三、未來展望及建議

(一) 有關電解水產生氣體的部分，本實驗已可於正負極明顯看出有氣體的產生，但未能進一步蒐集正負極氣體是否為正極產生氧氣、負極產生氫氣。

(三) 以粉筆為載體進行實驗，能節省資源，為愛護地球盡一份心力；也能結合美學教育，以激發學生的創造力。建議出版社可以將此實驗改編放入教科書的實驗。

捌、參考資料

一、胡喬淵、韓奐宇（民 93）。百變粉筆－粉筆在國中理化實驗課程中的運用。台北市：國立臺灣科學教育館。

二、南一文教編輯委員（民 105）。國中自然與生活科技第六冊。台南市：南一文教事業股份有限公司。

三、翰林文教編輯委員（民 105）。國中自然與生活科技第四冊。台南市：翰林文教事業股份有限公司

四、化學實驗室實驗：利用粉筆進行離子遷移（Migration of Ions using Chalk）〔I〕〔II〕

〔 III 〕 國立彰化女子高級中學化學科陳琬菁老師 / 國立彰化師範大學化學系楊水平
副教授責任編輯 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?cat=79&paged=12>

五、維基百科:水合氫離子

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%B4%E5%90%88%E6%B0%A2%E7%A6%BB%E5%AD%90>

【評語】 030205

優點：

1. 題目取題於國中自然與生物科技領域，利用粉筆作為載體，並搭配廣用指示劑探討電解時的離子移動，使學生更加了解電解水的變化，內容值得嘉許。

建議：

1. 作品和歷屆科展作品有雷同之處，建議可使用加入其他物質探討顏色變化增加作品之趣味性，同時探討離子移動速率時可以考慮不同材質之基板藉此觀測其速率差異是否受其影響。
2. 離子移動除了電壓因素外，也與濃度擴散有關。單就指示劑的變色並不足以證明是氫離子氫氧根離子的移動，部分陰離子的移動也可能會造成酸鹼值改變。
3. 實驗裝置方面亦可結合生物材料進行觀測，將可提升作品之趣味性及創新性。

作品海報

摘要

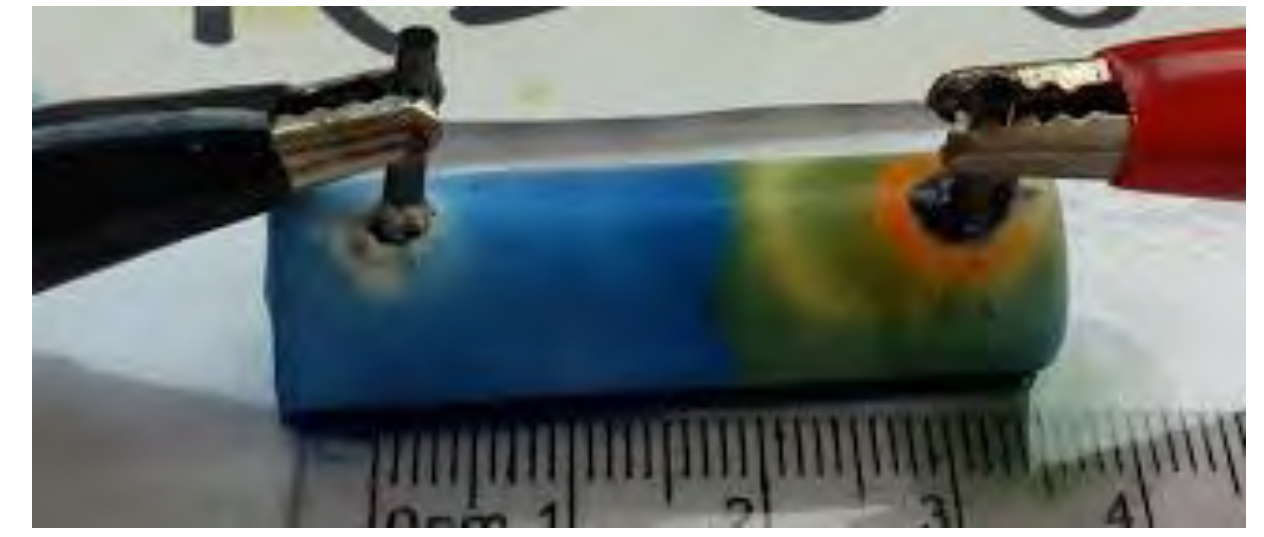
我們利用粉筆為載體，筆芯為電極，進行電解水的反應。粉筆浸泡電解液後，接著在粉筆表面均勻滴上廣用指示劑，如為中性溶液，則粉筆呈綠色。電解時，正極產生 H^+ ，pH值下降，使得顏色呈黃色；負極產生 OH^- ，pH值上升，使顏色呈藍色。在通電過程中，黃色向負極移動，藍色向正極移動，由此可觀察到 H^+ 和 OH^- 離子的移動情形，粉筆也呈現出彩虹般的顏色變化。

由離子的移動速度，推論 H^+ 在水中會以 H_3O^+ (水合離子)的形式存在。在水中加入幫助導電之電解質，則因離子不同對 H^+ 和 OH^- 離子的移動速率有明顯的影響。

此實驗器材簡便，且將國中多種實驗進行整合，如：電解水、酸鹼中和、元素分類...等，還能結合藝術創作，讓實驗充滿趣味。

壹、研究動機：

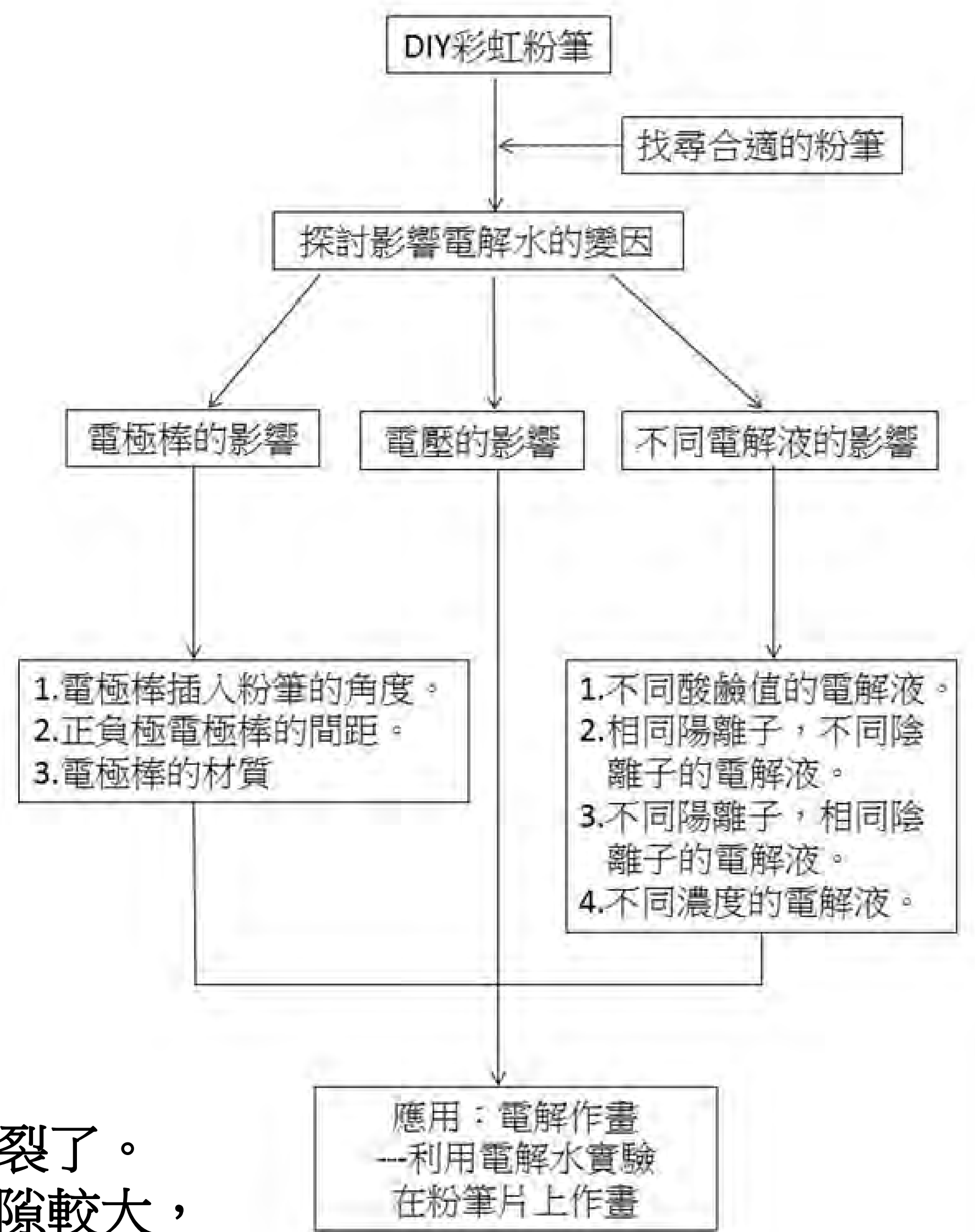
上理化課時老師介紹一種指示劑---廣用指示劑，他可以隨著溶液酸鹼性而產生多變的顏色，猶如彩虹一般。我們在想有什麼方法可以讓廣用試劑同時呈現出多種顏色呢?老師說有一種微型化學實驗是用粉筆為載體來電解水，也許可以製造出如彩虹般顏色的粉筆，因此我們展開一系列的研究。



貳、研究目的：

- 一、探討不同材質粉筆何者適合當做電解液的載體。
- 二、探討電極棒對電解水實驗的影響。
- 三、探討電壓對電解水實驗的影響。
- 四、探討不同電解液對電解水實驗的影響。
- 五、應用：電解作畫---利用電解水實驗在粉筆片上作畫。

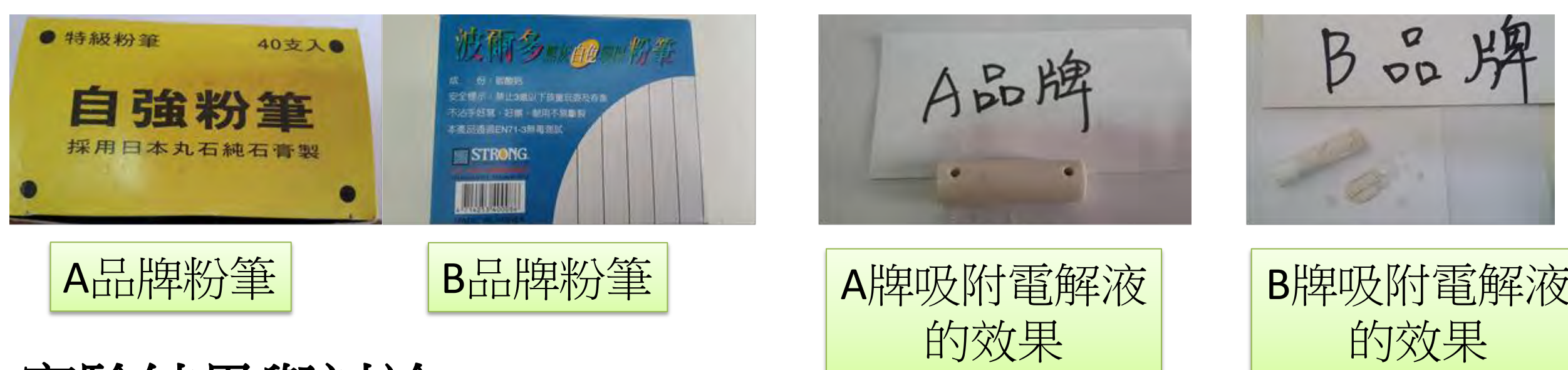
參、實驗架構：



肆、研究過程與結果：

實驗一：尋找適合的粉筆。

實驗一之一：不同成份粉筆吸附電解液的效果。



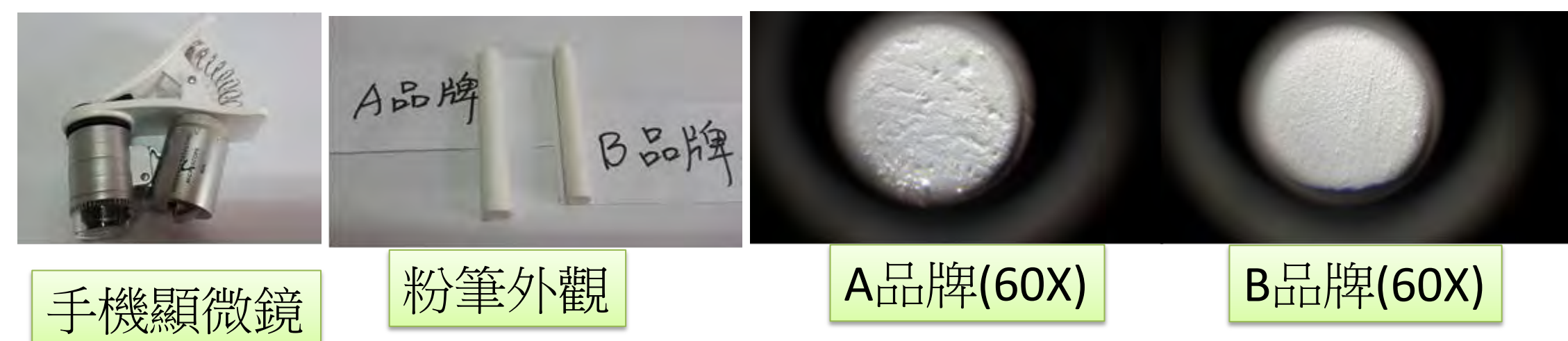
實驗結果與討論：

1. A品牌的粉筆吸附電解液效果較好，B品牌浸入電解液不久後便碎裂了。
2. 由文獻探討中知道：A品牌的成分為硫酸鈣($CaSO_4$)，而此粉筆孔隙較大，易於吸附，B品牌的成分是由碳酸鈣($CaCO_3$)所組，粉筆孔隙較小。

實驗一之二：用手機顯微鏡(60X)觀察A、B粉筆表面孔洞，並拍照記錄。

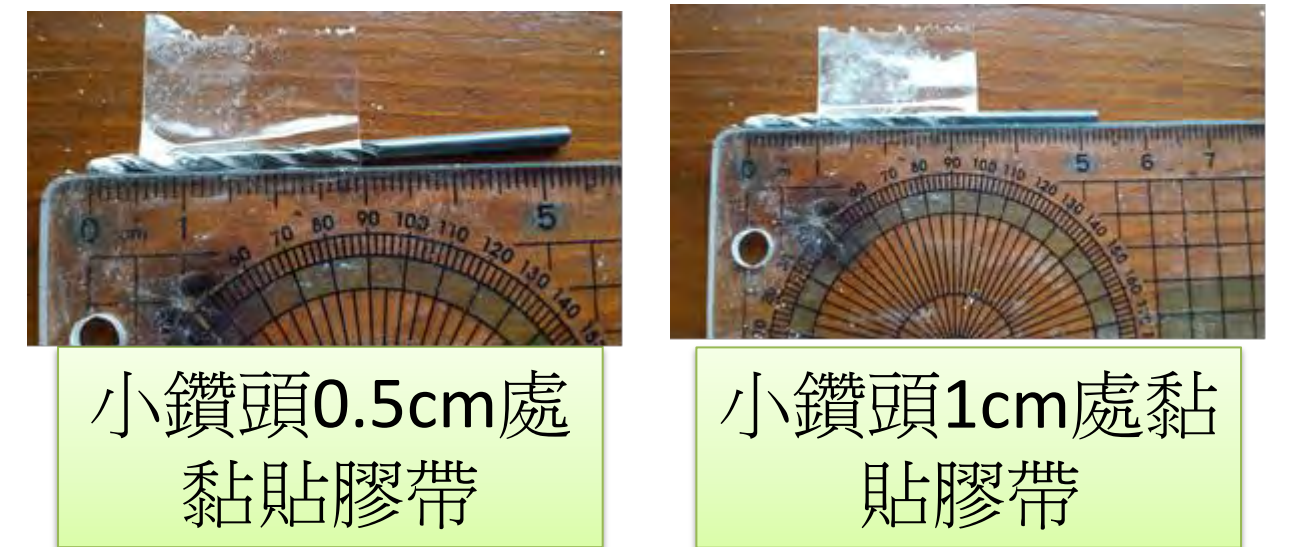
實驗結果與討論：

1. A品牌表面摸起來較粗，書寫時較有灰；B品牌表面摸起來較細緻，書寫時較不會產生灰。
2. 透過手機顯微鏡觀察，A品牌孔隙大，B品牌孔隙小。



實驗二：電極棒影響電解水的變因

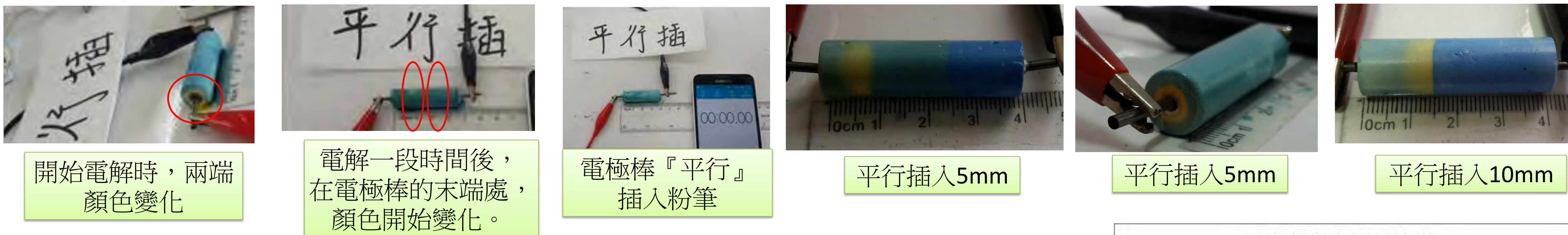
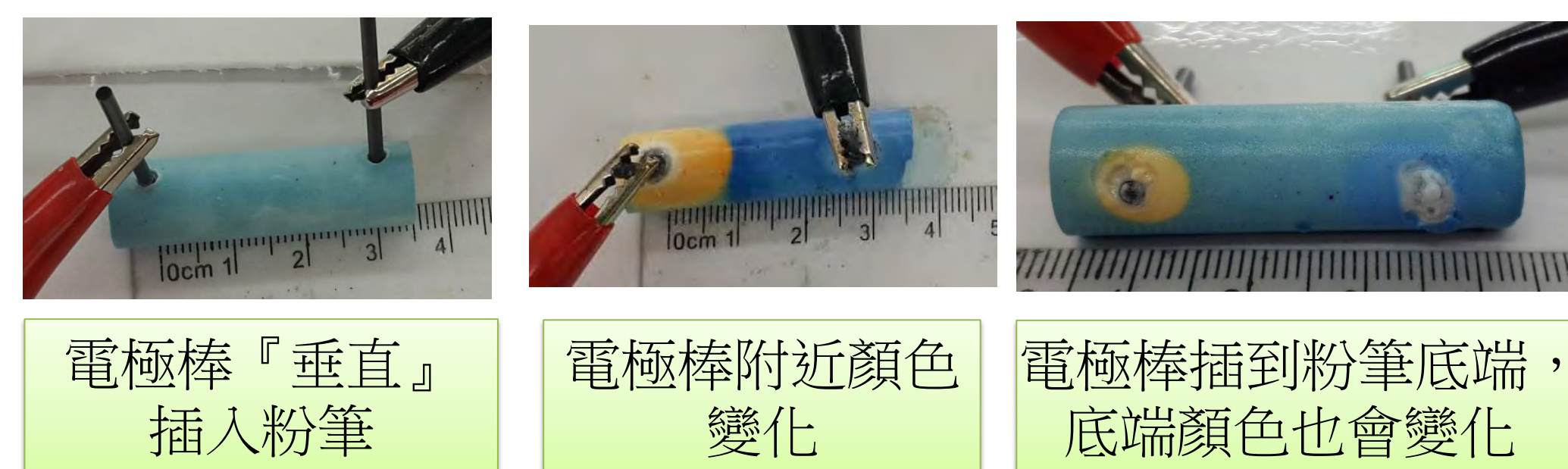
為了能準確在粉筆上鑽出相同位置深度的孔洞，我們在小鑽頭固定長度黏貼膠帶(如左圖)。



實驗二之一：電極棒插入粉筆的角度是否影響電解水的實驗。

實驗結果與討論：

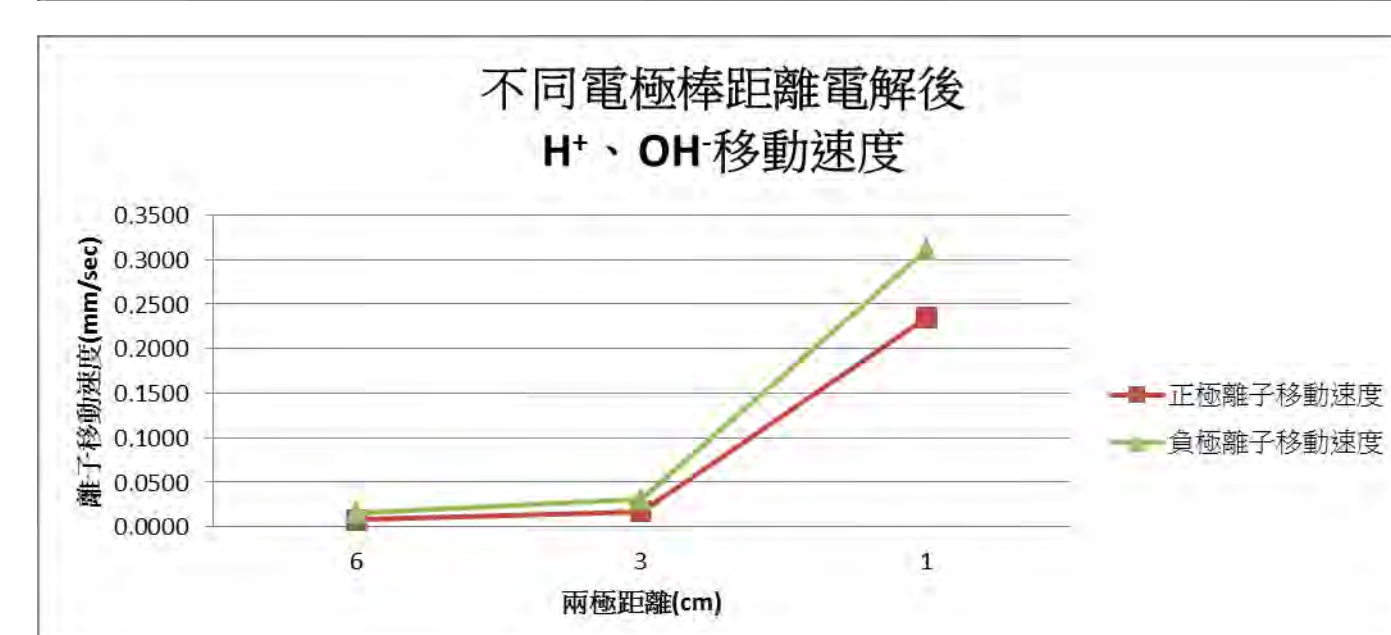
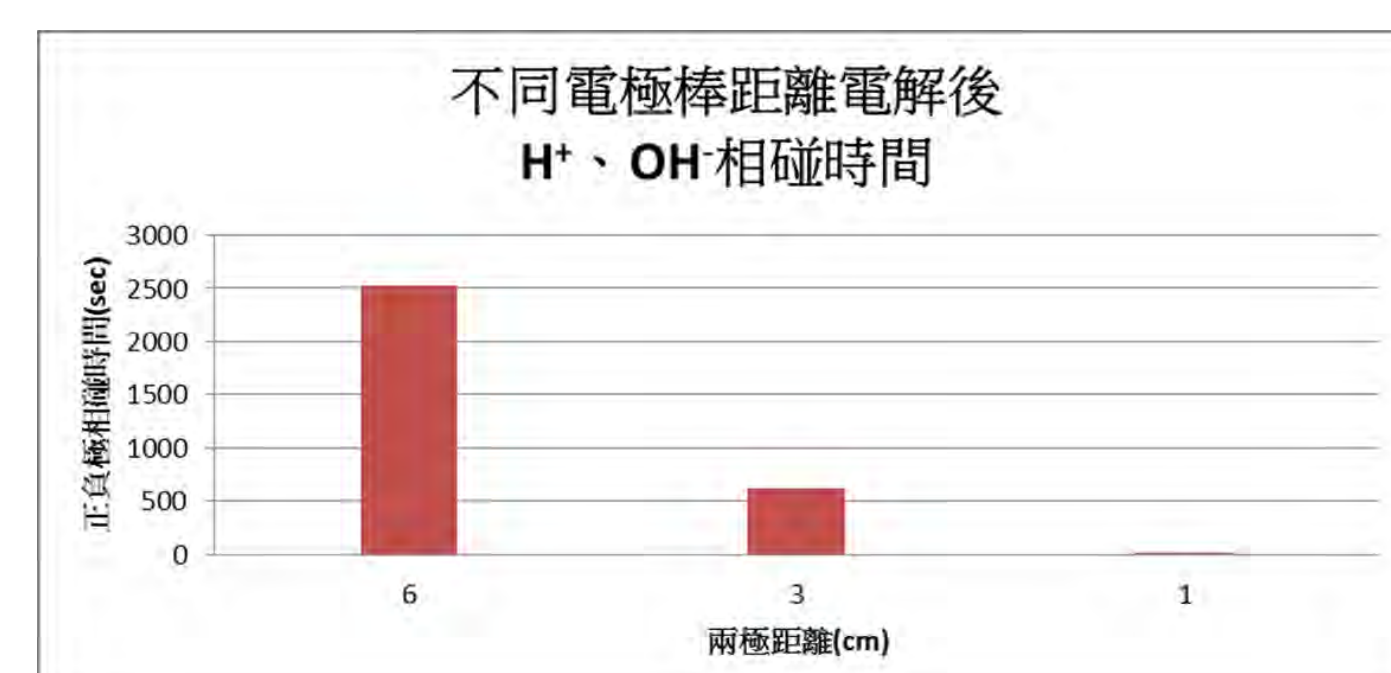
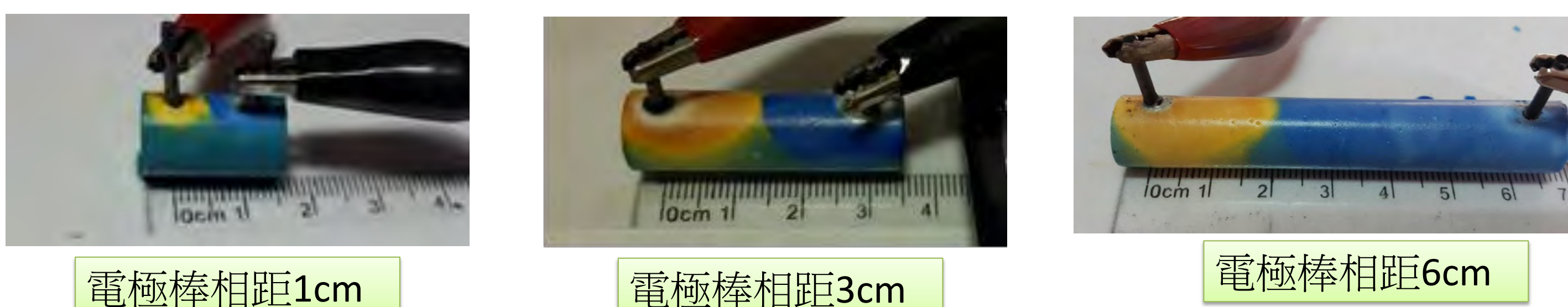
1. 電極棒插入處有氣泡產生。
2. 電極棒平行插入粉筆，最先反應是兩端電極附近，慢慢的在粉筆中段處(電極棒插入粉筆最深層處)也開始變色。
3. 電極棒垂直插入粉筆最先反應是從筆芯周圍開始變色。
4. 電極棒垂直插入粉筆可以明顯觀察正負離子產生後的移動情形，因此接下來的實驗我們都將電極棒垂直插入粉筆。



實驗二之二：兩電極棒間的距離是否影響水電解的結果。

實驗結果與討論：

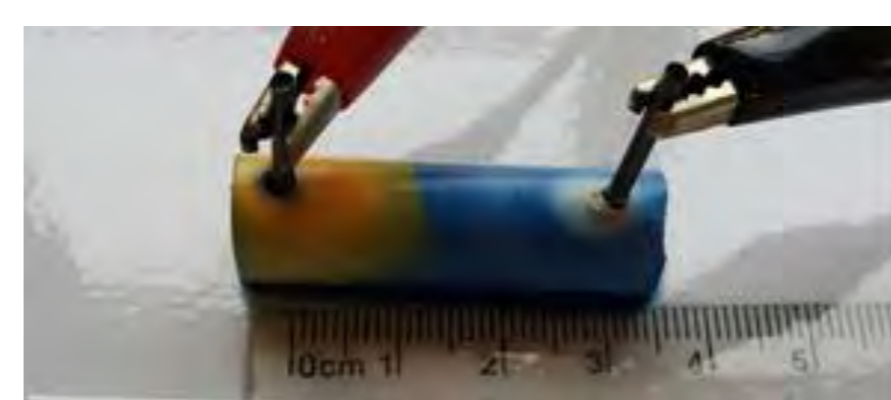
1. 正負極電擊棒距離愈近， H^+ 、 OH^- 離子移動速度較快， H^+ 、 OH^- 離子相碰時間越短。
2. OH^- 離子移動速率比 H^+ 離子移動速率快。



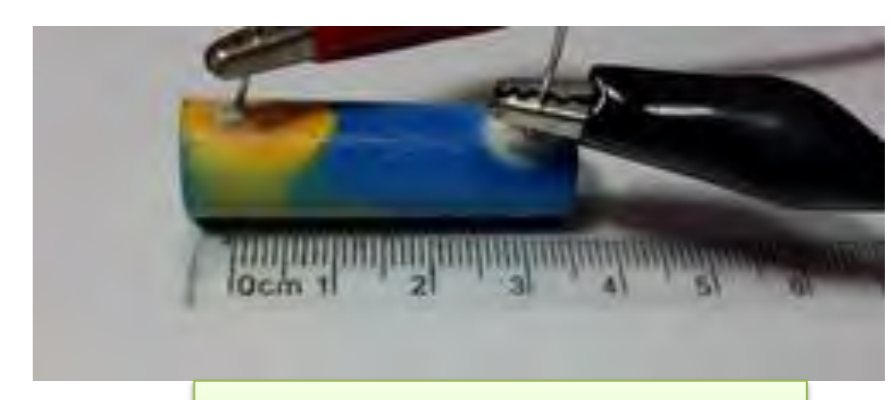
實驗二之三：電極棒的材質是否會影響電解的結果。

實驗結果與討論：

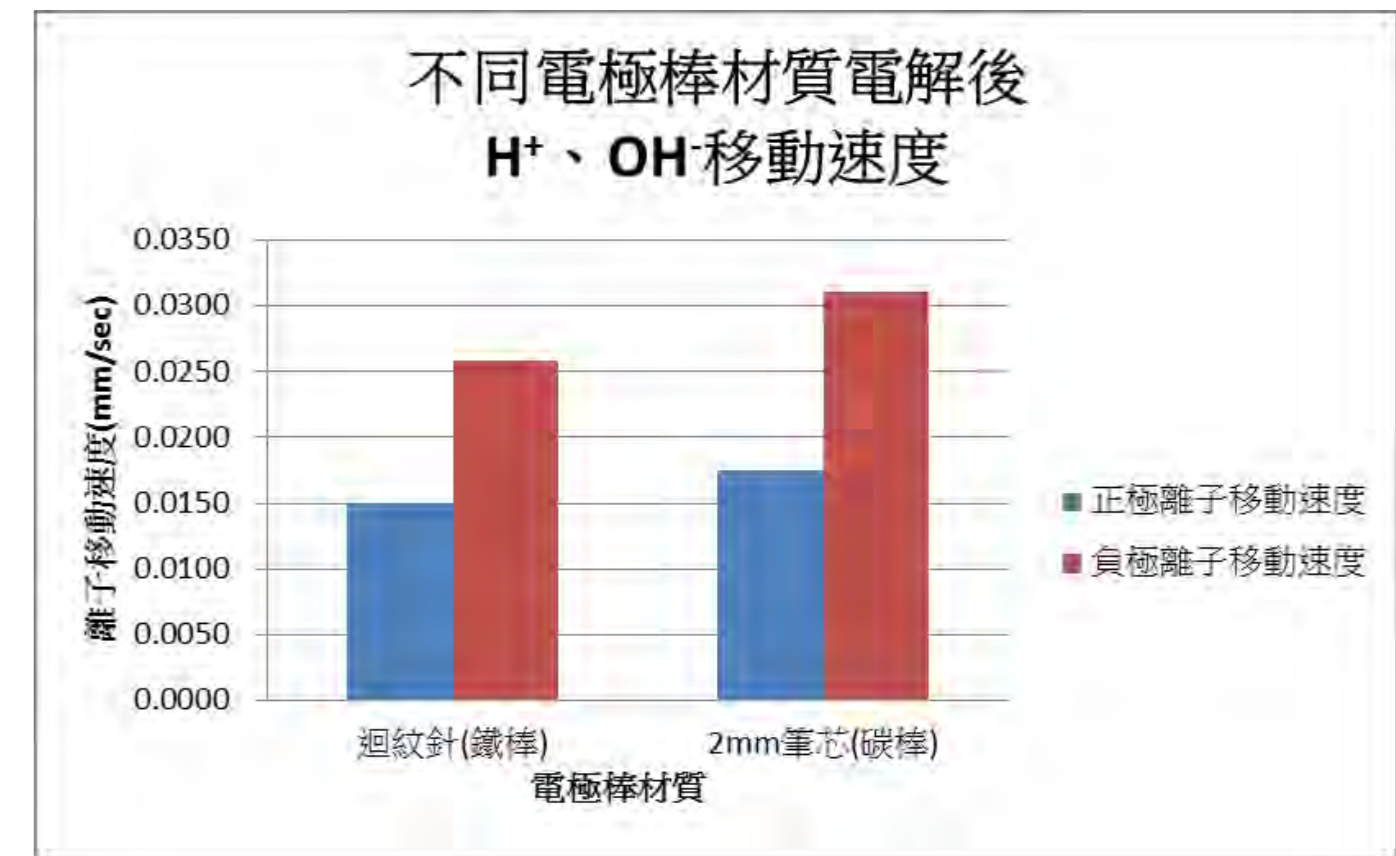
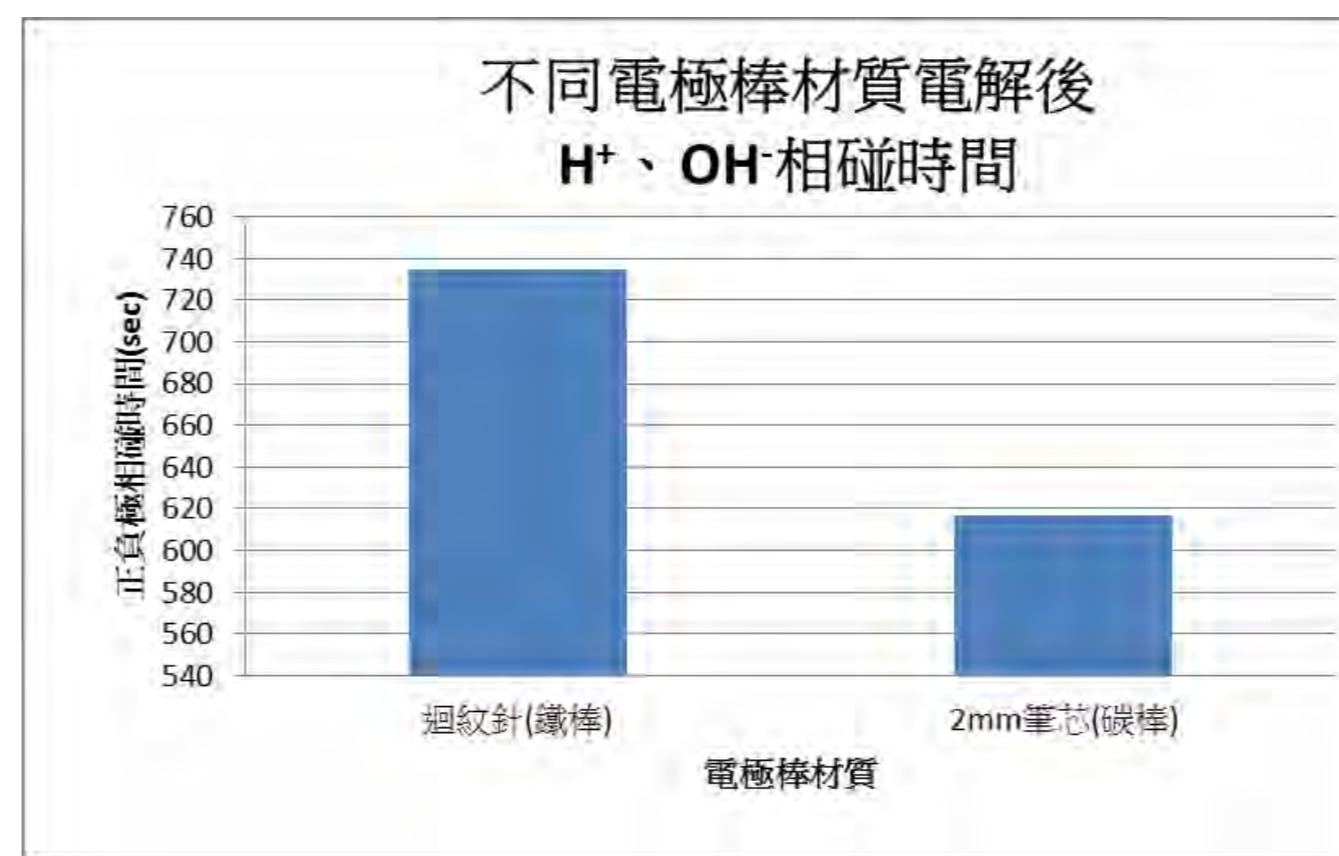
1. 以鉛筆芯為電極棒的電解速度比迴紋針的速度還快。
2. 正極迴紋針周圍出現紅褐色，負極周圍褪色變成白色。
3. 正極迴紋針變得較沒有金屬光澤，負極則保有光澤。
4. 實驗時我們發現正極迴紋針電解完後，迴紋針前端變尖了，這代表有物質在電解反應中發生變化，這時粉筆上的顏色變化有可能不是單純的電解水反應，所以我們不以迴紋針來做此次實驗的電極。



電極棒為筆芯



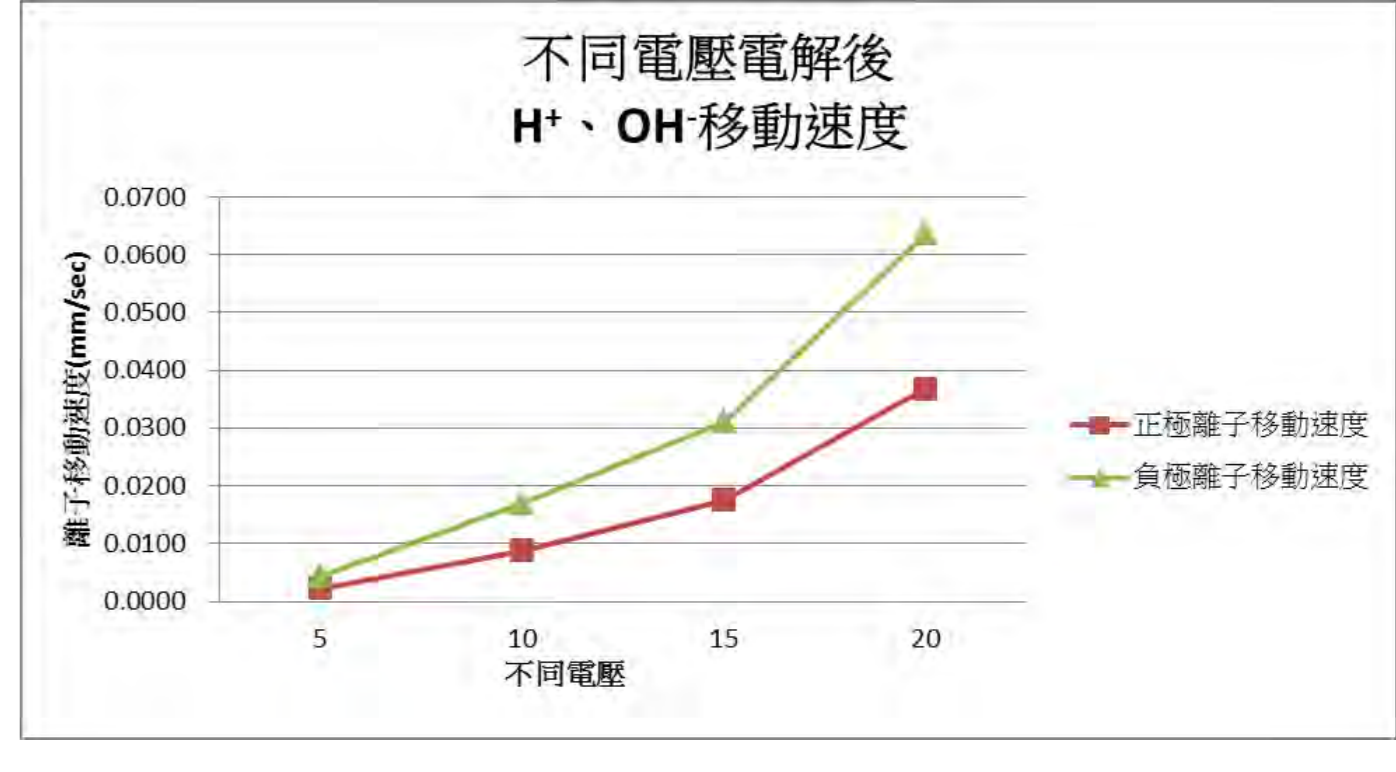
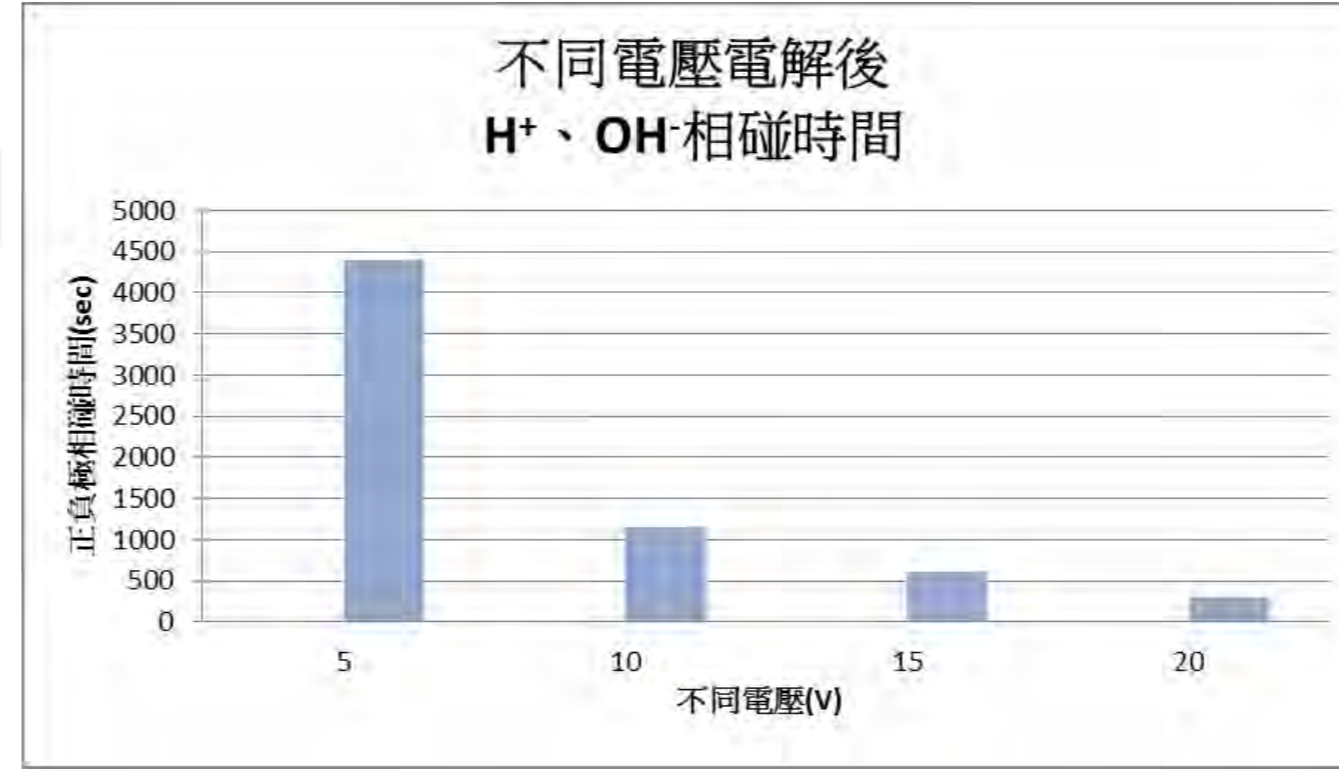
電極棒為迴紋針



實驗三：不同電壓是否會影響電解水的結果。

實驗結果與討論：

1. 電壓越高電解速度越快，但電壓的增加對於H⁺、OH⁻離子相遇的位置並沒有太大的改變。
2. 電壓5V時，H⁺、OH⁻離子移動速度非常慢，但此時在正極處產生一圈紅褐色。



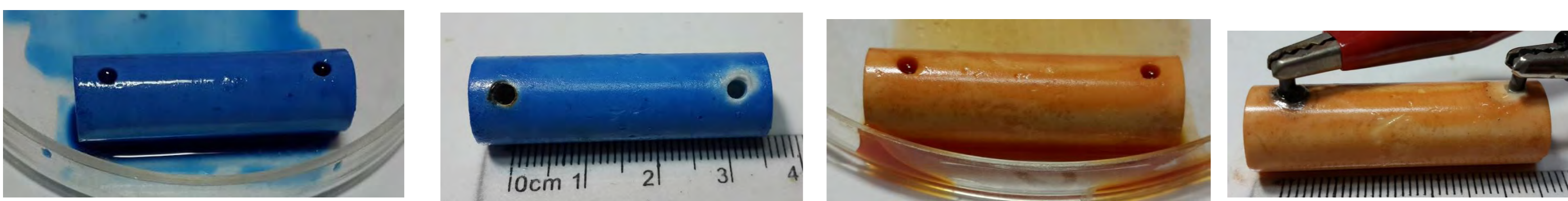
實驗四：不同電解液對電解的影響

實驗四之一：不同酸鹼值的電解液是否影響電解結果。

實驗結果與討論：

1. pH值過高或過低都無法作為此次觀察離子移動情形的電解質，因為正負極顏色變化不明顯。
2. 越中性的電解液電解反應越明顯，速度越快。

酸鹼值(PH)	NaOH	K ₂ CO ₃	KNO ₃	H ₂ SO ₄
H ⁺ 、OH ⁻ 相碰時間(sec)	無法判讀	987.3	617	無法判讀
H ⁺ 移動距離(mm)	無法判讀	6	10.8	無法判讀
OH ⁻ 移動距離(mm)	無法判讀	24	19.2	無法判讀
H ⁺ 移動速度(mm/sec)	無法判讀	0.0061	0.0175	無法判讀
OH ⁻ 移動速度(mm/sec)	無法判讀	0.0243	0.0311	無法判讀

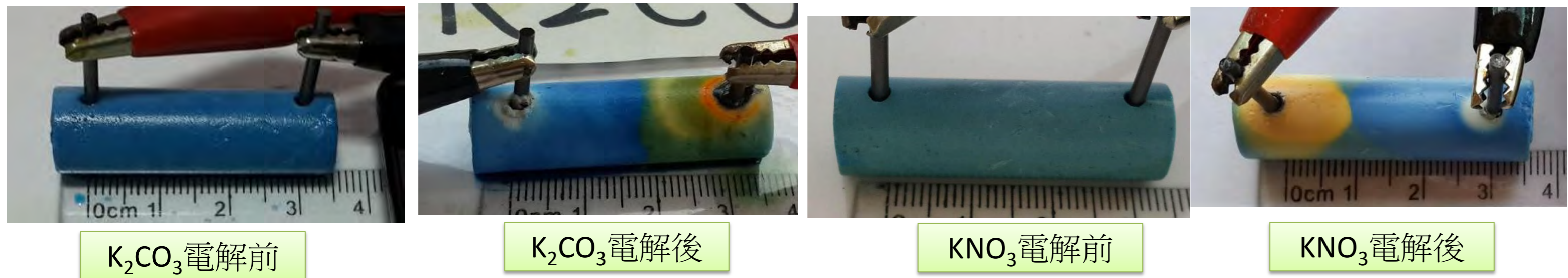
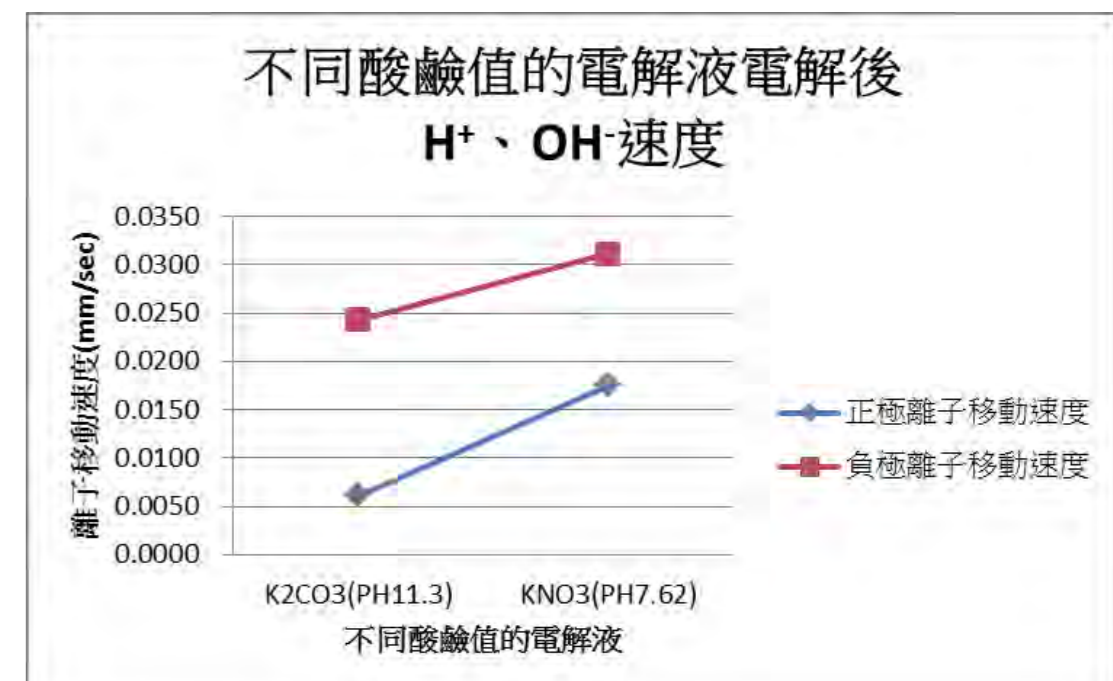
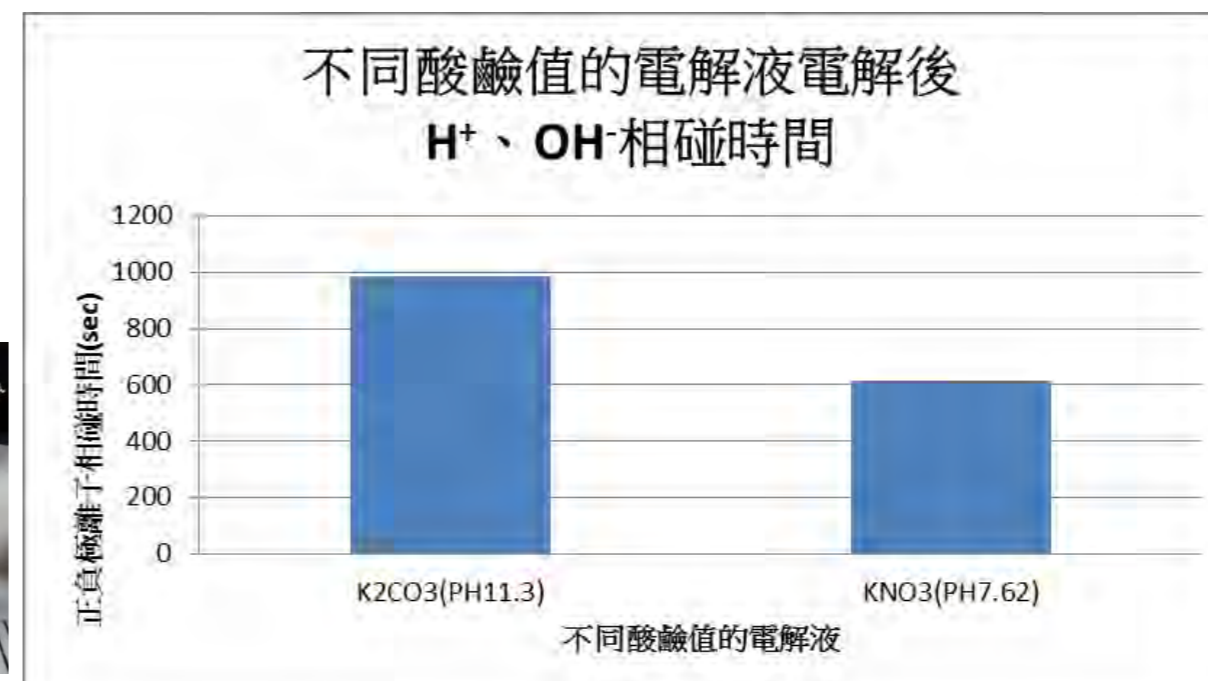


NaOH電解前

NaOH電解後

H₂SO₄電解前

H₂SO₄電解後

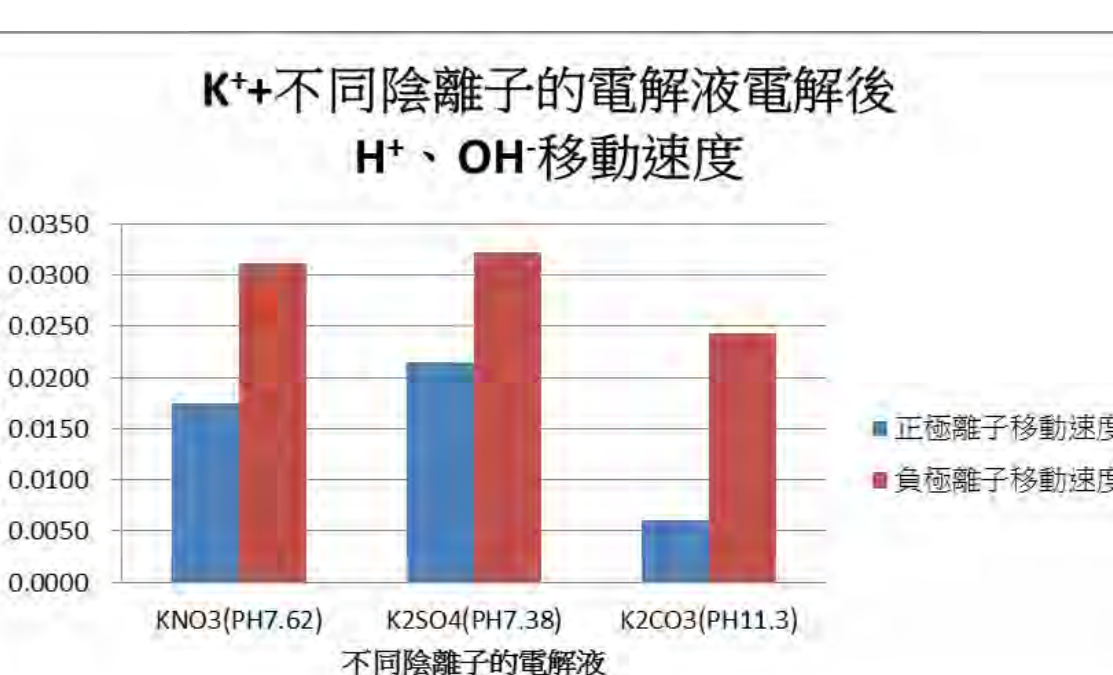
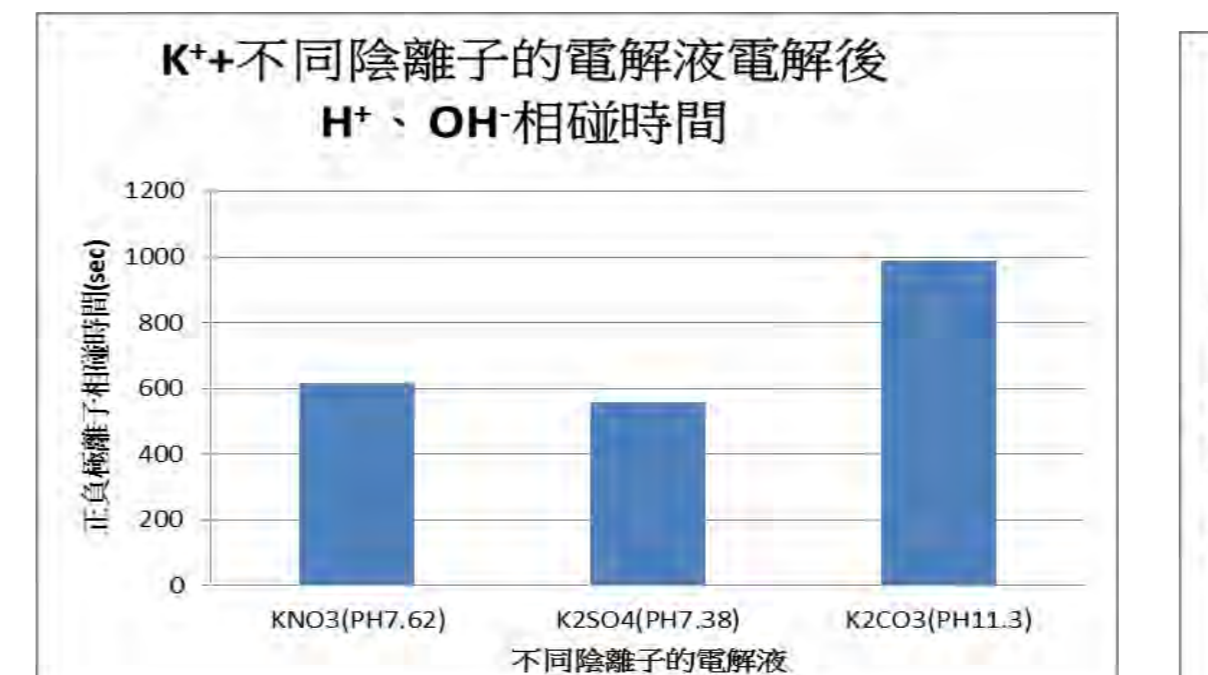


K₂CO₃電解前

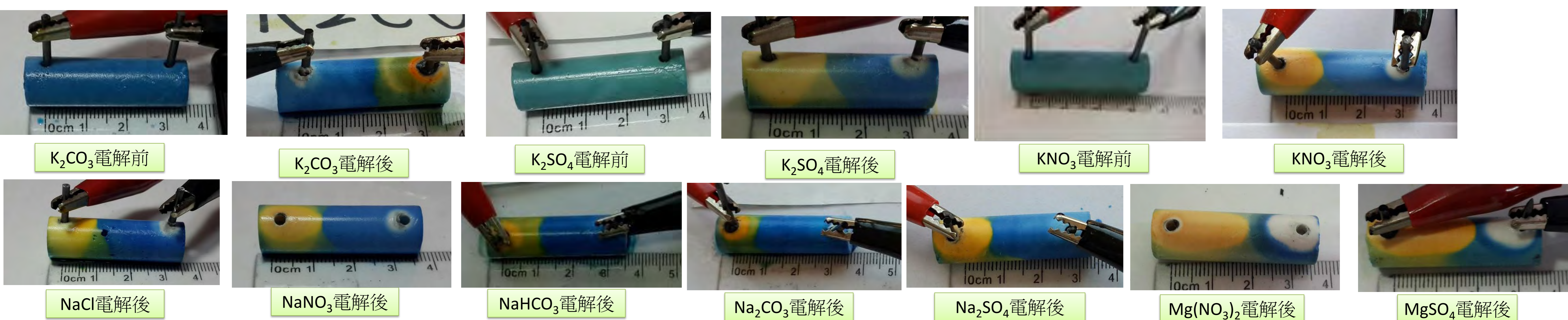
K₂CO₃電解後

KNO₃電解前

KNO₃電解後

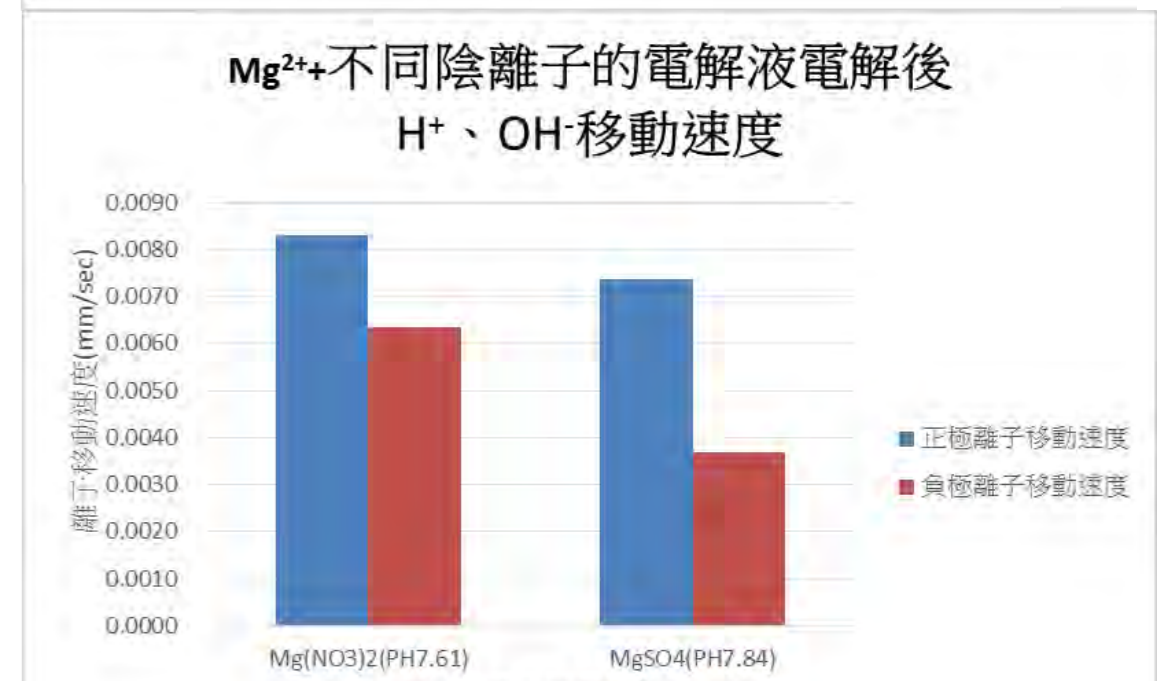
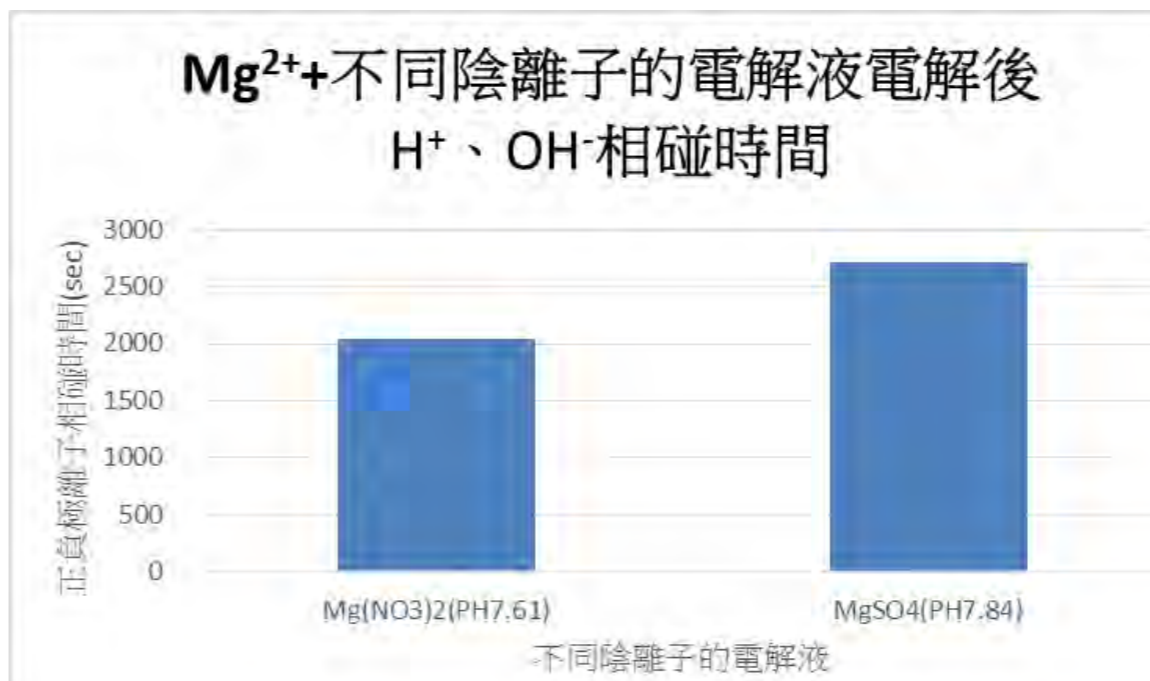
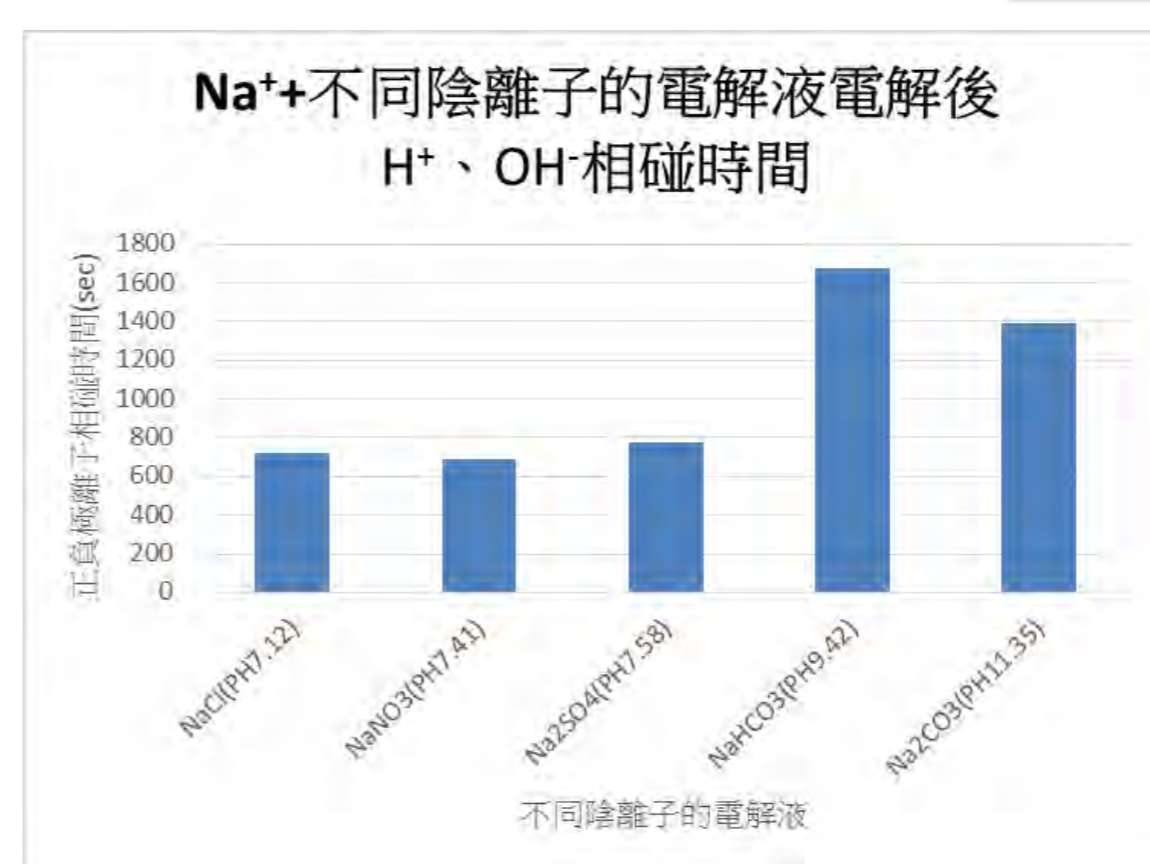


實驗四之二：不同陰離子的電解液，是否影響電解結果。

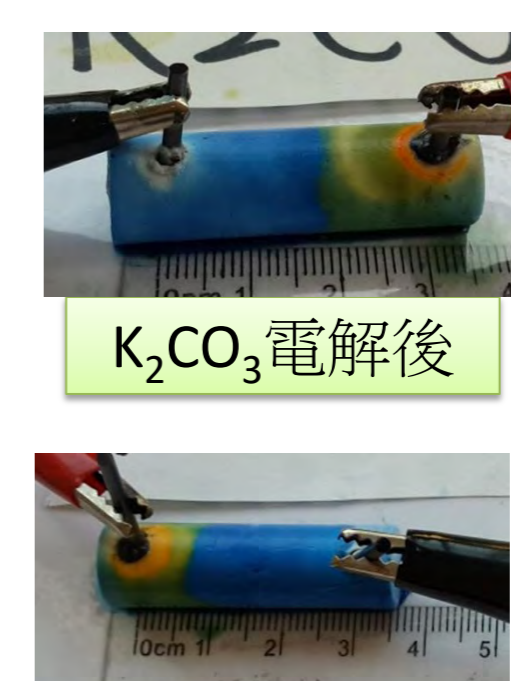
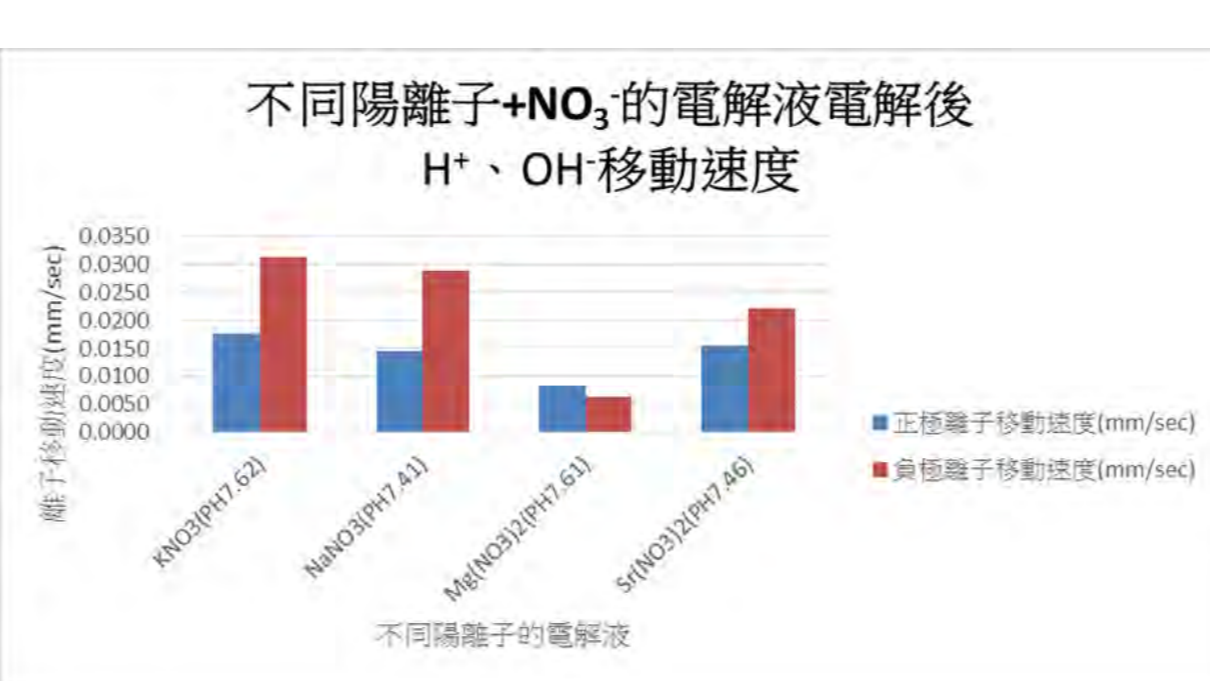
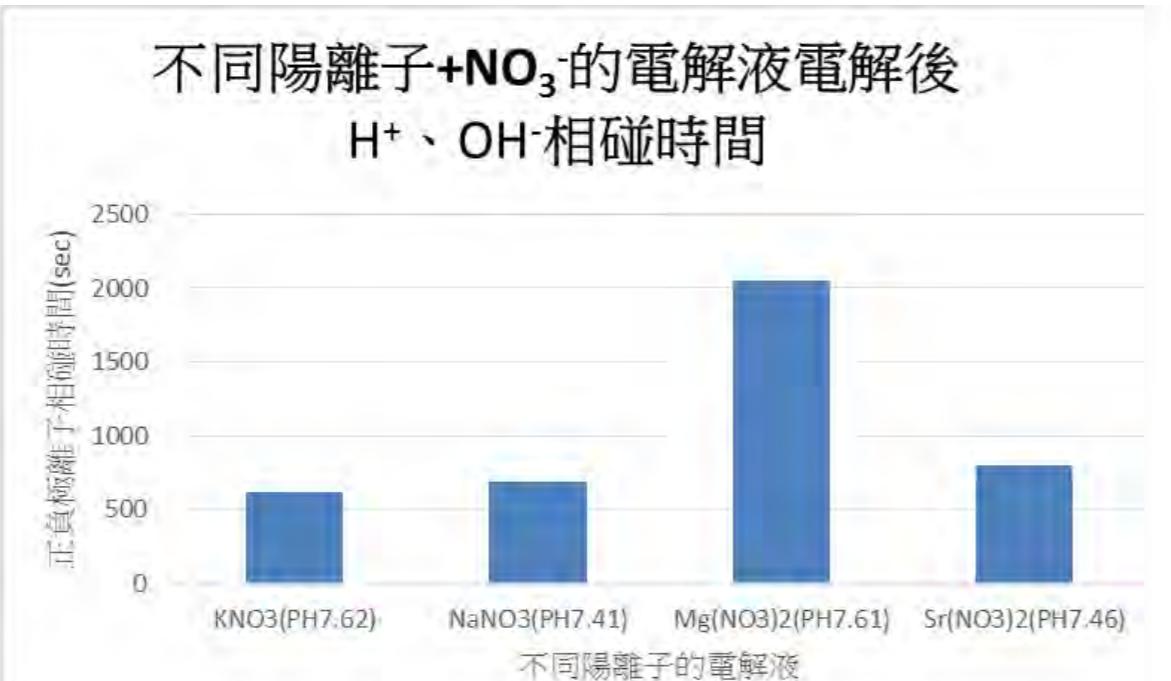


實驗結果與討論：

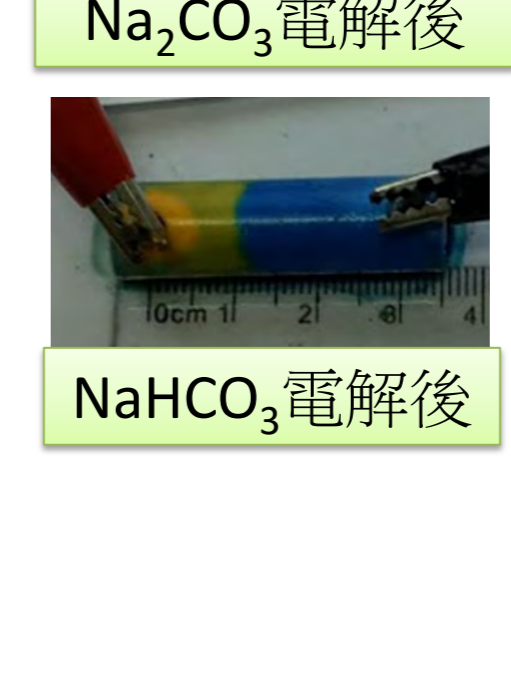
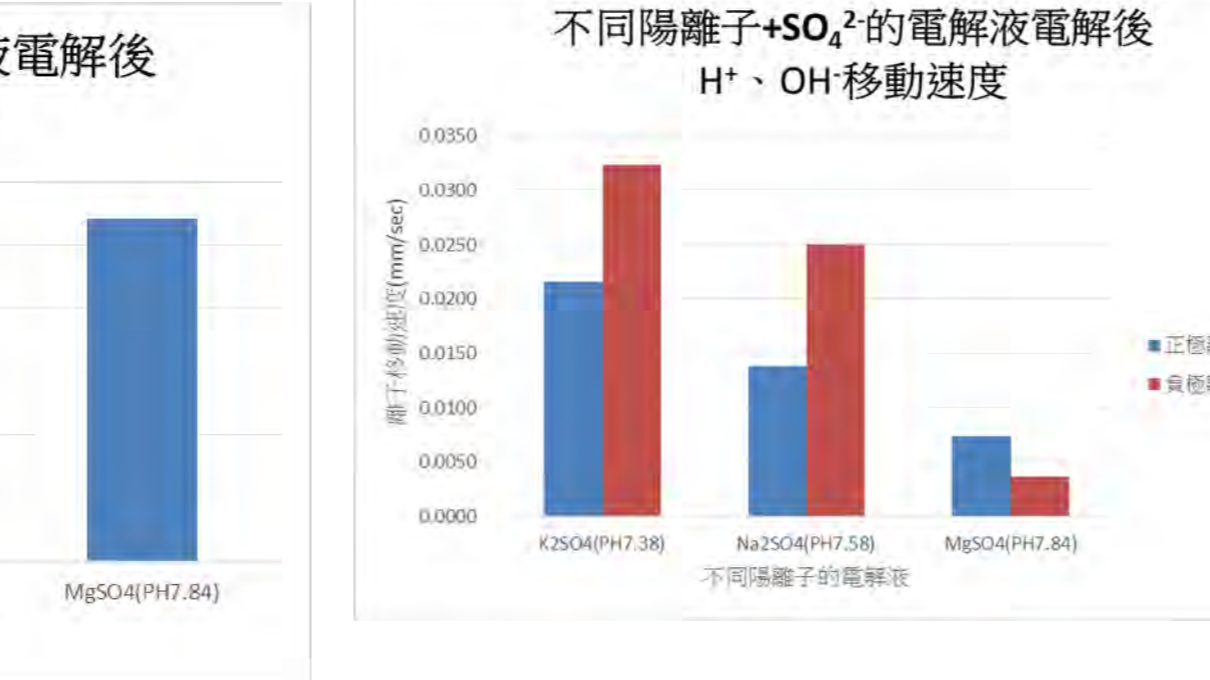
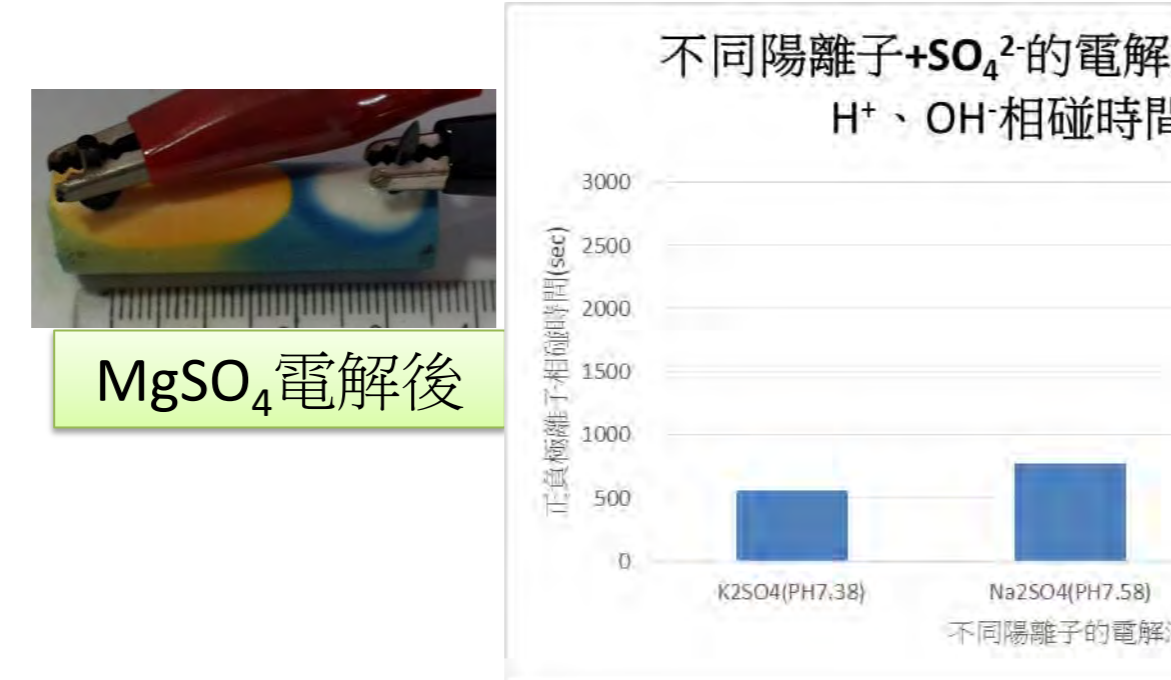
1. K⁺不同陰離子的電解液中，K₂CO₃的pH值最大，H⁺、OH⁻離子相遇反應時間最久，且H⁺離子移動速度最慢。這可能是因為CO₃²⁻發生水解和水中的H⁺結合，而使得水中OH⁻增加，H⁺離子濃度降低，H⁺移動速度也變慢。
2. Na⁺不同陰離子的電解液，NaHCO₃、Na₂CO₃的酸鹼值偏鹼性，電解反應所需時間較長。這可能是因為HCO₃⁻、CO₃²⁻發生水解和水中的H⁺結合而使得水中OH⁻增加，H⁺離子濃度降低，H⁺移動速度也變慢。
3. Mg²⁺不同陰離子的電解液電解時，不論H⁺、OH⁻離子移動的速度都變慢，但H⁺離子移動速度都比OH⁻離子快，和他種溶液的結果不同。這可能是Mg²⁺離子和負極電解產生的OH⁻離子結合產生沉澱，而降低OH⁻離子的移動速率，相對的H⁺離子移動速率增快。



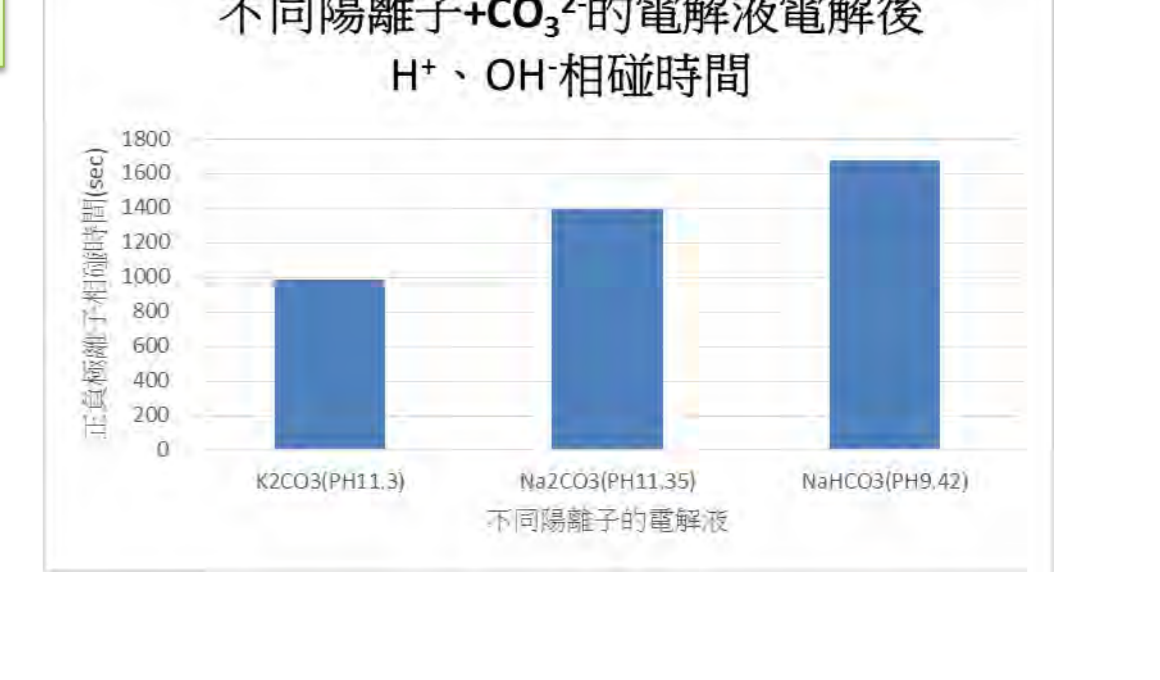
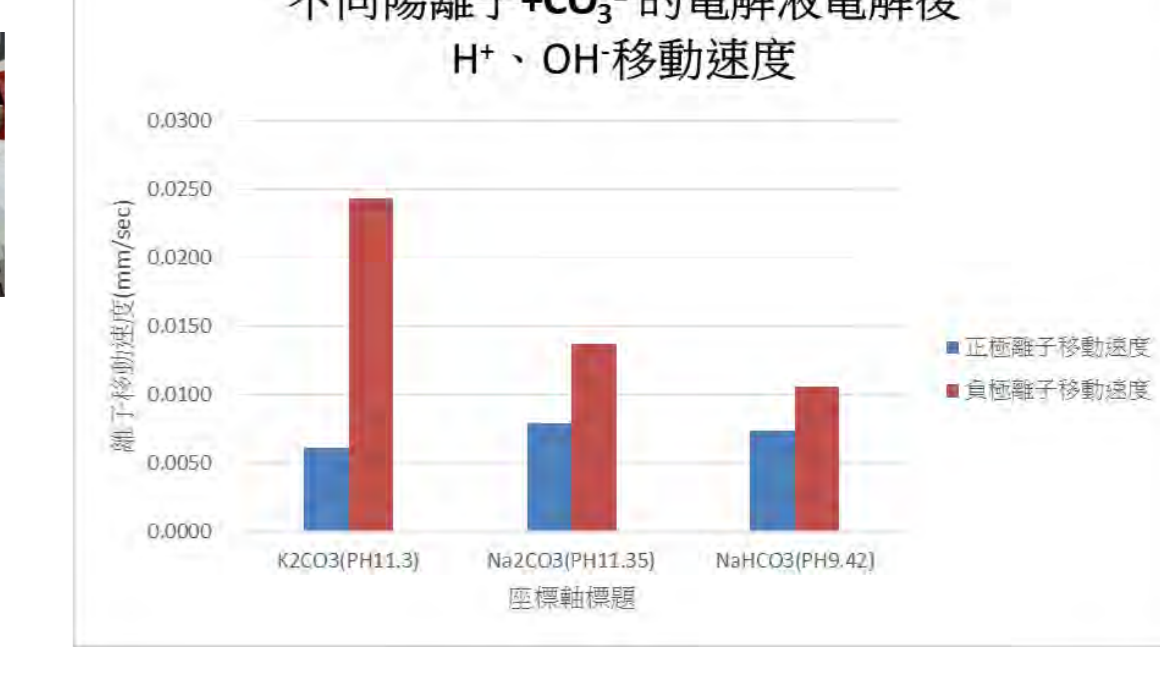
實驗四之三：不同陽離子的電解液，是否影響電解結果。



K₂CO₃電解後



NaHCO₃電解後



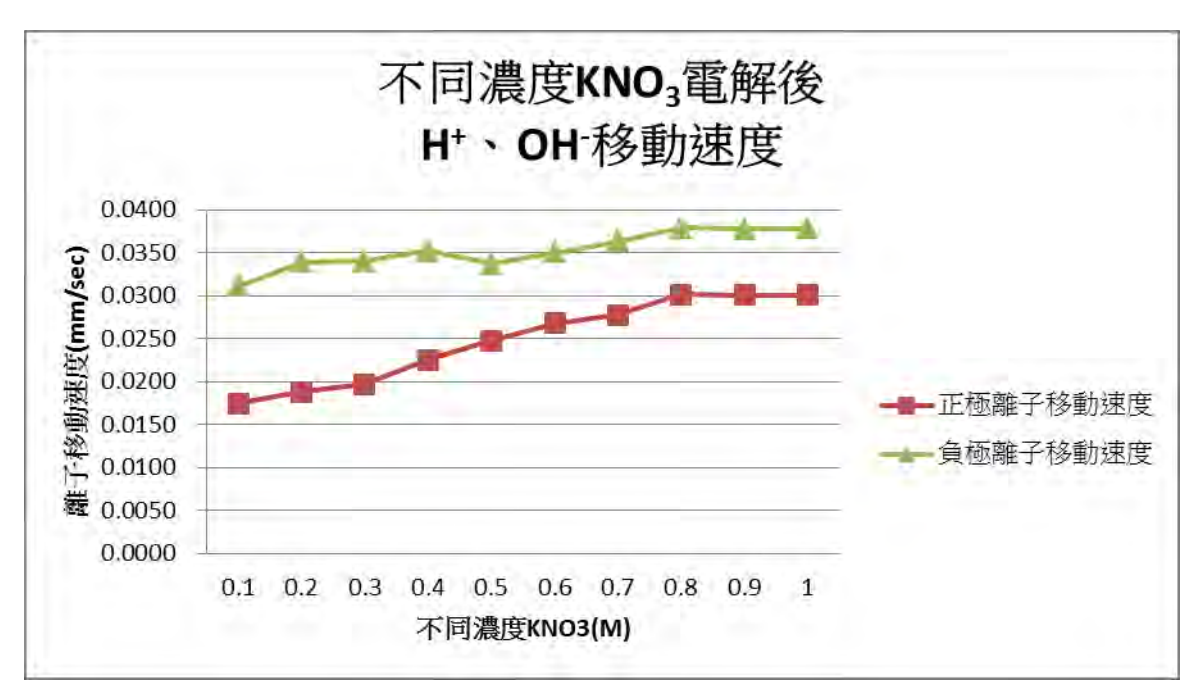
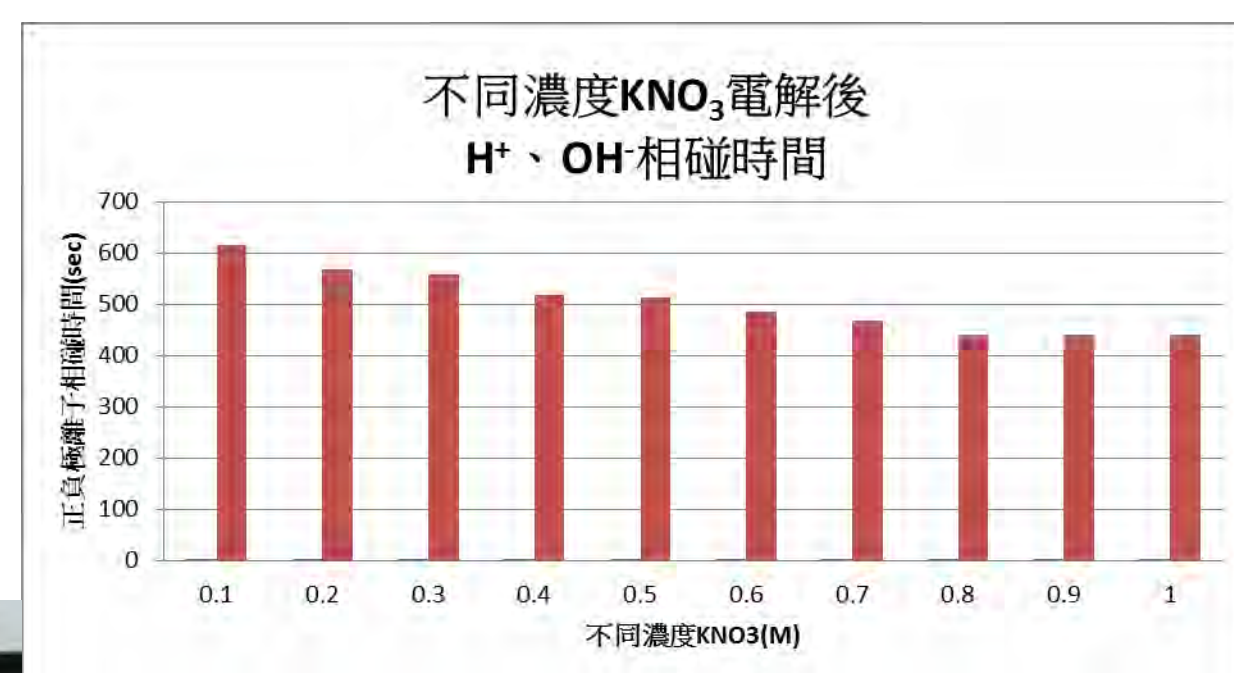
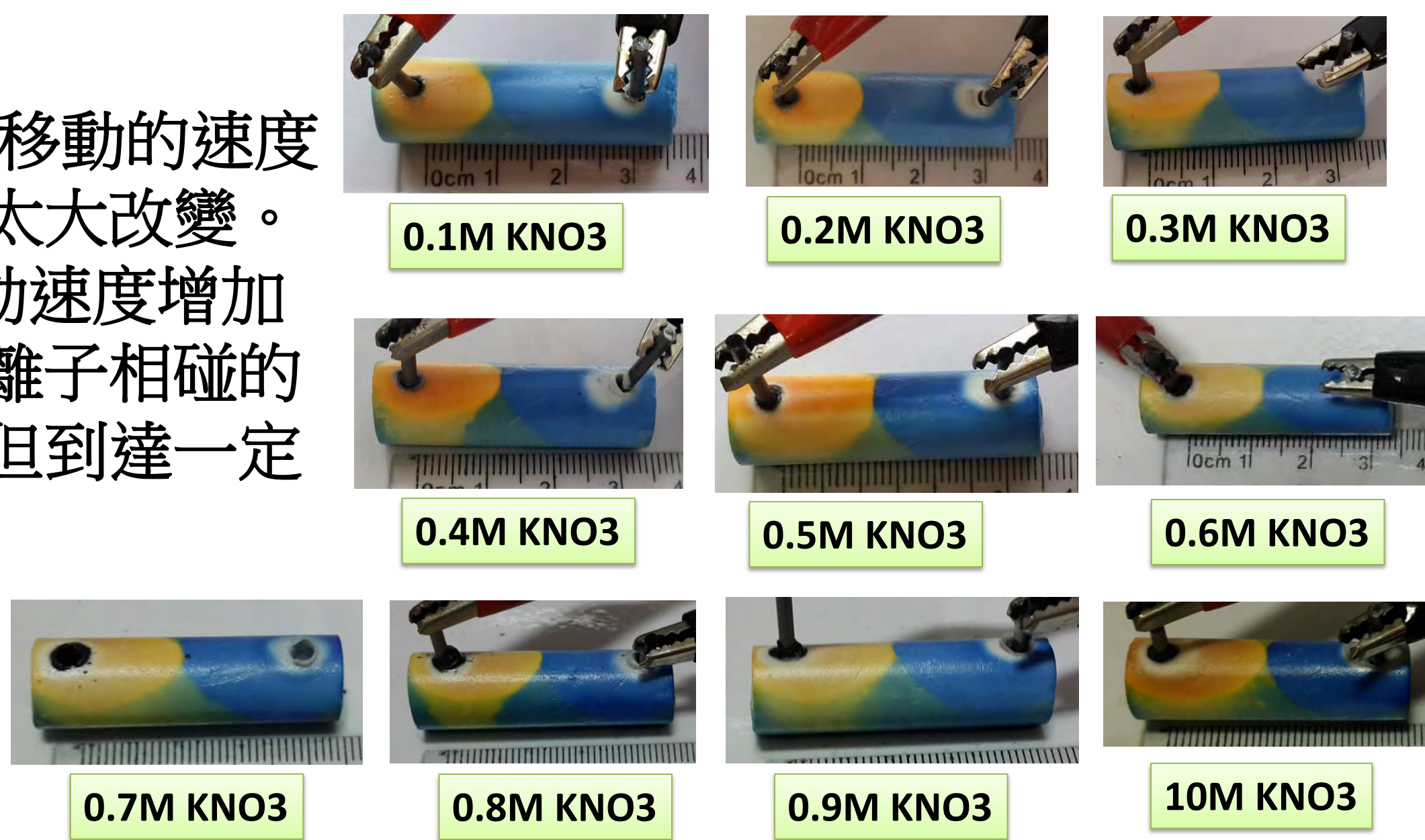
實驗結果與討論：

- 1.不同陽離子+ NO_3^- 的電解液中，加入 KNO_3 電解時， OH^- 離子移動的速度最快；加入 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 電解時， H^+ 移動的速度比 OH^- 離子快；。可能是 Mg^{2+} 離子和水中電解產生的 OH^- 離子結合產生沉澱，而降低 OH^- 離子的移動速率，相對的 H^+ 離子移動速率增快。
- 2.不同陽離子+ SO_4^{2-} 的電解液中，加入 K_2SO_4 電解時， OH^- 離子移動的速度最快；加入 MgSO_4 電解時，可能是 Mg^{2+} 離子和水中電解產生的 OH^- 離子結合產生沉澱，而降低 OH^- 離子的移動速率，相對的 H^+ 離子移動速率增快。
- 3.不同陽離子+ CO_3^{2-} 的電解液中，加入 K_2CO_3 電解時， OH^- 離子移動的速度最快。

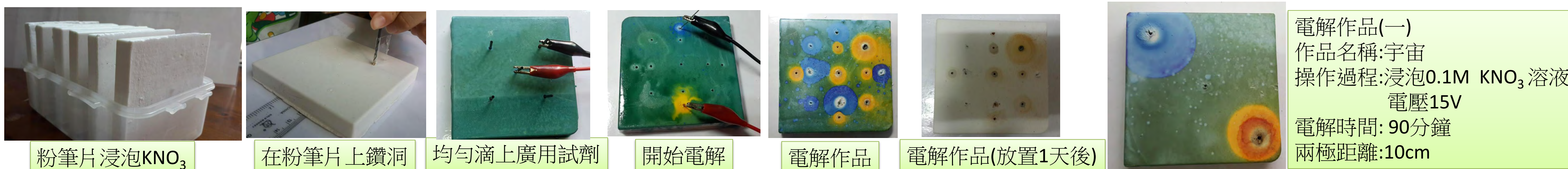
實驗四之四：不同濃度的電解液是否影響電解結果。

實驗結果與討論：

- 1.電解液濃度越濃， H^+ 、 OH^- 離子移動的速度越快，但到達一定濃度就沒有太大改變。
- 2.電解液濃度越濃， H^+ 離子的移動速度增加的比 OH^- 離子快，因此 H^+ 、 OH^- 離子相碰的位置會因電解液濃度而改變，但到達一定濃度就沒有太大改變。



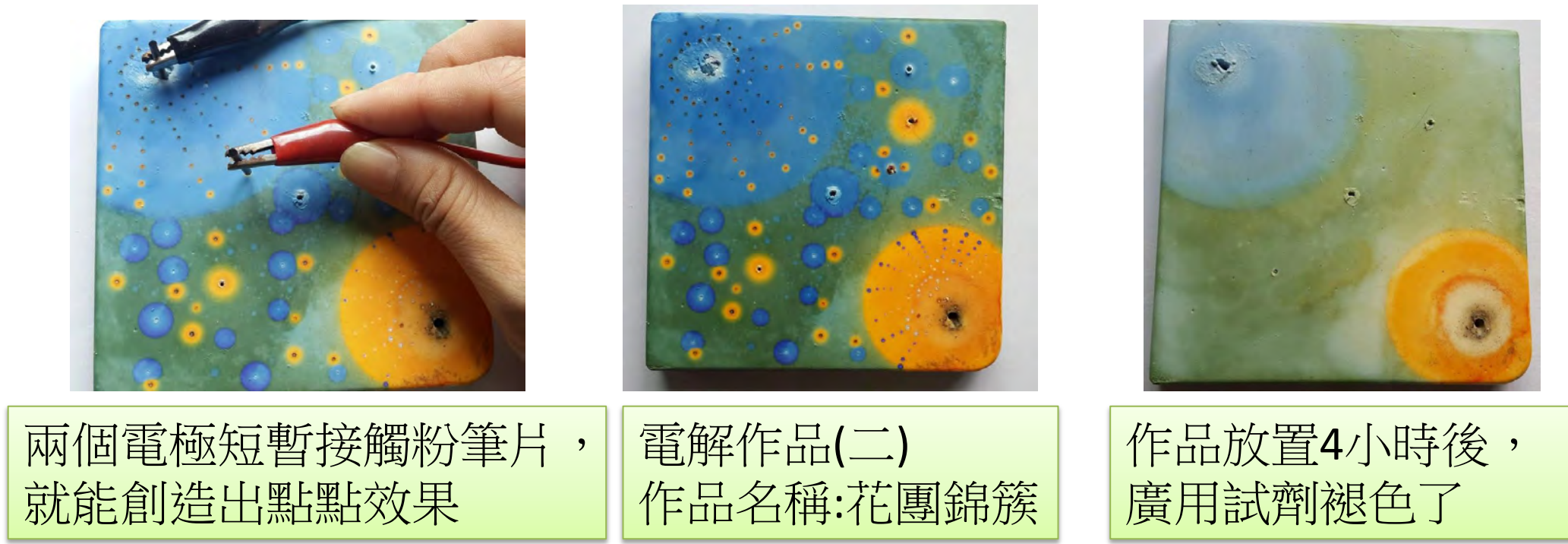
實驗五：電解作畫---利用電解水實驗在粉筆片上作畫



電解作品(一)
作品名稱:宇宙
操作過程:浸泡0.1M KNO_3 溶液
電壓15V
電解時間: 90分鐘
兩極距離:10cm

實驗結果與討論：

- 1.粉筆片當作電解水的載體所得到的正負極顏色變化情形和粉筆為載體的結果一樣。
- 2.每一組小洞的電解時間長短，會影響圓形圖案的大小；電解時間越久，圓形圖案越大，且正極的顏色會因為電解時間較長，呈現紅褐色。
- 3.我們發現，電解時，碳棒只要碰到粉筆片，就會進行電解反應，所以只要移動碳棒的位置，就能呈現出點點圖案。
- 4.電解後的圖案放置一段時間後會褪色，因此我們只能利用照相的方式保留電解後的圖案。我們還將照片印製成明信片或書籤，想不到化學實驗也能變得如此有趣。



兩個電極短暫接觸粉筆片，就能創造出點點效果

電解作品(二)
作品名稱:花團錦簇

作品放置4小時後，廣用試劑褪色了

伍、結論：

- 一、曾有很多為了觀察離子移動的實驗室採用粉筆或洋菜凍為載體，但都是以有色離子為觀察對象，且以洋菜凍為載體時，離子移動速度太慢，要觀察到完整的移動情形耗時太久，而且洋菜凍會因電解後溫度上升而溶解變形攜帶不便，只能在培養皿或燒杯使用。以粉筆做為載體，因為石膏內的孔洞有助於水分子散布而能形成近似於水溶液的環境。
- 二、由廣用指示劑的變化我們可以清楚看見 H^+ 和 OH^- 的移動情形及兩者在電解時濃度變化關係，我們更在實驗中看到 H^+ 在水溶液中應該是以 H_3O^+ 水合離子的形態存在，所以在大部分的實驗結果裏，都是 OH^- 移動的比 H_3O^+ 快，因為離子半徑愈大，移動速率愈慢。
- 三、課本提到電解水實驗時電壓愈大、兩電極棒距離愈近，兩電極產生氣體之速率愈快，而我們在實驗中還發現離子移動速率也會變快。
- 四、我們發現不同的電解質對於電解水時 H^+ 和 OH^- 的移動都有著不同的影響，其中以溶於水中酸鹼值接近中性的鹽類對實驗結果之影響最小，也較能看到純水中真實的 H^+ 和 OH^- 的移動情形。
- 五、為了幫助導電所加入之電解液，濃度愈高，離子移動速率加快，而且會影響 H^+ 和 OH^- 相遇的位置，但當電解液濃度到達一定程度時，離子的移動速率就沒有明顯之變化。
- 六、變換各種不同的電解質，我們可以使用課本所教的元素分類實驗的觀察技巧把它們做成不同的分類，藉由實驗結果我們可以很清楚的將IA族的金屬離子和IIA族的金屬離子做出分別。更特別的事情是我們由此實驗觀察到強酸根離子(SO_4^{2-} 、 NO_3^-)和弱酸根離子團(CO_3^{2-} 、 HCO_3^{2-})的特性，強酸根離子不會水解能完全解離，故不易影響正極電解產生的 H^+ ，弱酸根離子因發生水解和水中的 H^+ 結合而使得水中 OH^- 增加。
- 七、將電解載體改成粉筆片，讓化學實驗結合藝術教育，增加實驗課程的趣味性。實驗器材容易準備、攜帶方便節省資源、操作簡單。
- 八、以粉筆為載體進行實驗，能節省資源，為愛護地球盡一份心力；也能結合美學教育，以激發學生的創造力。建議出版社可以將此實驗改編放入教科書的實驗。

捌、參考資料：

- 一、胡喬淵、韓奐宇（民93）。百變粉筆—粉筆在國中理化實驗課程中的運用。台北市：國立臺灣科學教育館。
- 二、南一文教編輯委員（民105）。國中自然與生活科技第六冊。台南市：南一文教事業股份有限公司。
- 三、翰林文教編輯委員（民105）。國中自然與生活科技第四冊。台南市：翰林文教事業股份有限公司
- 四、化學實驗室實驗：利用粉筆進行離子遷移（Migration of Ions using Chalk）〔I〕〔II〕〔III〕國立彰化女子高級中學化學科陳琬菁老師 / 國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?cat=79&paged=12>
- 五、維基百科:水合氫離子 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%B4%E5%90%88%E6%B0%A2%E7%A6%BB%E5%AD%90>