

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作品名稱：以廢找廢~讓重金屬離子無所遁形~

學校 / 作者：國立臺中女子高級中學 何書慧



作者介紹：

我自小生長在一個普通的公教家庭裡，個性有點慵懶、迷糊中，卻有自己的執著。

例如：1. 我從小學到高中自己風雨無阻的上學，就是希望能拿到第三次的全勤獎。2. 從國一開始參加縣賽、全國科展，直到國三終於拿到了全國化學科第一名的殊榮。3. 從國三開始參加國際科展比賽，至今已第四次參加，這讓我生活在忙碌中又增加了不少的挑戰與成長！所以，雖然在女中忙碌的課業下，我仍堅持要將跑了好幾年實驗做個不錯的結束，希望我的環保使命能因此築夢而踏實。

以廢找廢~讓重金屬離子無所遁形~

Abstract

The preactivation process (i.e., preanodization) at very positive potentials has been accepted as the prime activating procedure. By using the preactivation process, waste cinder (from steel industry) were converted into an efficient catalyst in the determination of Pb^{2+} in cinder-modified carbon paste electrodes. The possibility of determining Pb^{2+} at trace levels was examined by square-wave anodic stripping voltammetry. Under the optimized analytical conditions, the sensitivity, linearity, and detection limit are $11.482 \mu A/ppm$, and $0.1 - 2 ppm$ ($r = 0.974$). Finally, the lighting was also used to raise the sensitivity of the determining Pb^{2+} . The practical applications were demonstrated to measure trace Pb^{2+} in natural waters.

摘要

在相對較高氧化電位下的前處理，這樣的活化步驟已被普遍接受。藉由這樣的活化步驟，廢煤渣（傳統鋼鐵業）轉變成能夠有效偵測微量鉛金屬離子的催化劑。微量鉛金屬離子的偵測是藉由方波剝除法進行。在最佳化參數下，偵測鉛金屬離子的靈敏度為 $11.482 \mu A/ppm$ (斜率??)，線性範圍為 $0.1 - 2 ppm$ 。最後，照光設備之應用亦可用來提升偵測鉛金屬離子時之靈敏度。最終實際應用則取天然的水進行實驗之驗證。

一、前言

(一)、研究動機

我們從國中以來，除了堅持實驗內容的設計仍以減量減廢的微型化學實驗為目標外，對於實驗室已產生重金屬銅離子的廢液一直在尋求更有效且可再回收利用的探究方法。但仔細想想，處理重金屬離子的廢液並不困難，而且網站、文獻上已發表的其他處理的方法相當的多，大家都在做治標而不是治本的工作，真正緩不濟急的是如何可以快速、便宜又有效的找出有污染的水源或土壤，讓它們不進入我們食用的水源或食物鏈，這才是監控環境污染上第一道把關的工作！

因此，我們將研究方向導入到重金屬離子的檢驗上，查一般的檢驗儀器大都是用貴重儀器原子吸收光譜儀(AA)，且樣品需經過濾及管柱或液相層析儀分離不同重金屬離子，再一一用不同的燈管比色出不同金屬離子的焰色情形，雖然精確，但費時價昂佔空間的檢驗，除了稍具規模的專職研究機構或大專院校外，根本無法普及！因此，檢驗設備及檢驗技術如果能普及適合到各鄉鎮的檢驗所或高中學校，融入教材且讓各校去認養各農田或養殖業等所需的水域，定期及不定期的進行把關的檢驗，這將是學以致用、回饋鄉里、利人利己的最佳典範。

最後，我們希望可以找到較簡易、便宜、省時且靈敏度可達把關放流水標準的檢驗，為了與有色離子做區隔，在所有重金屬離子中毒性最高的鉛、汞中，我們考慮汞蒸氣的安全問題而首先鎖定無色鉛離子溶液的電化學檢驗。希望我們能自製便宜有效的電極，並且找出檢驗鉛離子的最佳化條件！

(二)、研究目的

1. 自製碳填充電極的差異與比較
2. 找出自製電極檢測重金屬鉛離子的最佳化條件
3. 自製電極再現性的研究
4. 以光能提高偵測鉛離子靈敏度的可能性
5. 定量溶液中鉛離子的檢量線製作研究
6. 採樣廢水實測水中鉛離子的研究

(三)、研究設備及器材

碳粉	研鉢	PH計	藍色尖嘴管	0.1M Na ₂ HPO ₄	CV50W 電化學分析儀
礦油	量瓶	超純水	電磁攪拌器	0.1M NaH ₂ PO ₄	白金輔助電極
藥瓶	錫線	塑膠瓶	磁棒	0.2ppm 鉛離子	Ag/AgCl 參考電極
量紙	剪刀	強力膠	電子天平	0.1M 硫酸	自製碳填充工作電極
攪拌杓	牙籤	熱熔槍	微量吸管	光源箱(Xenon 光纖光源)	

(四)、名詞解釋及器材說明

1. 名詞

<氧化還原>

化學反應中，凡失去電子的物質即行氧化反應；反之，得到電子者為還原反應，兩者相伴發生，故此類的化學反應即為氧化還原反應。

<剝除伏安法>

利用類似電鍍的方式，使電極表面布滿電子(還原)，讓溶液中帶正電的離子吸附於上。再使帶正電離子剝落於溶液中(氧化)，此法是利用這過程中電流的改變，來測得溶液中是否有陽離子。

<預氧化>

使電極表面產生一些官能基，目的是為了增大電極表面的活性，使電極表面靈敏度提高。

<再現性>

再現性是指電極經過氧化還原數次後再實驗的數據(電流差)仍差異不大。

2. 器材

<測定電極—三電極>

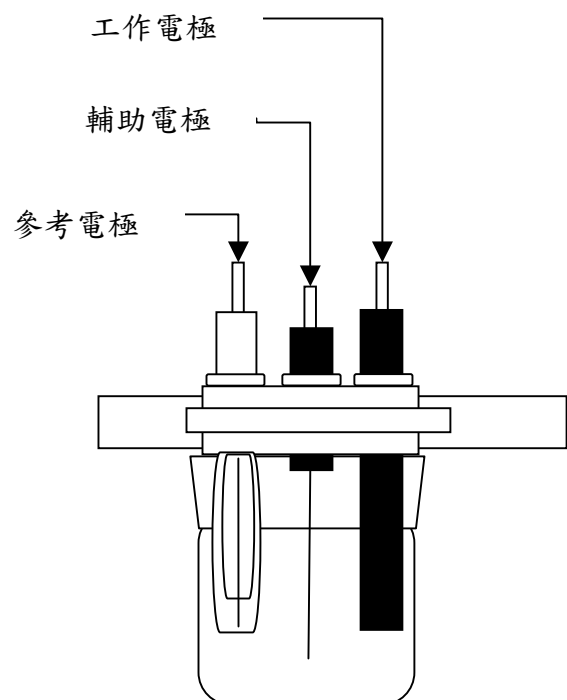
輔助電極—由鉑所製成，目的是減少實驗誤差及危險性(購得)。

參考電極—Ag/AgCl(3N NaCl)顧名思義就是作為實驗電極的參考(標準)值(購得)。

工作電極—本實驗使用碳填充電極(自製)

<電化學分析儀 BASCV50W>

實驗容槽裝置及標準三電極系統如右圖一



二、研究方法及過程

(研究一)自製碳填充電極的差異與比較

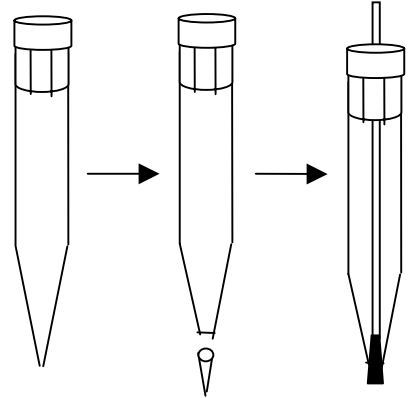
實驗一、製作碳填充電極

<材料>

碳粉、礦油(碳粉和礦油重量比為 6:4)、塑膠滴管、塑膠瓶、攪拌杓、研鉢、研磨、棒秤、量紙、電子天平秤、牙籤、藍色尖嘴管、剪刀、錫線、熱熔槍、強力膠。

<步驟> (實驗全程中帶著塑膠手套)

1. 將碳粉和礦油在塑膠瓶中混合，將其放入研鉢中確實均勻混合。
2. 將藍色尖嘴管剪成固定長度的兩半。
3. 剪一段比藍色尖嘴管長的錫線。
4. 用熱熔槍再錫線一端燃燒出球狀固體，再將錫線插入藍色尖嘴管上段。
5. 將填充材料密實地填入尖嘴管上段(可用牙籤輔助但表面要平整)。
6. 將下段藍色尖嘴管上端塗上強力膠，並組裝在一起，則完成碳填充電極。(過程如上圖所示)



【表一】各不同成分比例的碳電極

碳粉和礦油重量比	6 : 4
竹碳粉和礦油重量比	7 : 3(太稠了且顆粒狀明顯)
木炭粉和礦油重量比	6 : 4(太稠了)
碳粉和竹碳粉和礦油混和物重量比	5 : 2 : 3
碳粉和報紙灰和礦油混和物重量比	5 : 1 : 4(大多取有油墨的報紙)
碳粉和煤渣和礦油混和物的重量比	5 : 2 : 3

(竹碳片電阻太大了難以估計所以不與列入其中比較)

【表二】各不同成分電極外觀差異

成分	顆粒大小	電極表面	導電性
碳粉	最小	平滑	最佳
竹碳粉	最大(大小不一)	粗糙	次差(因接觸到油脂較多)
竹碳片	無(新切面)	粗糙	次差
木碳粉	偏大(大小不一)	粗糙且表面剝落	無
碳粉和竹碳粉	(大小不一)	不均勻且凹凸不平	差
碳粉和報紙灰	(有紙片存在)	平滑但有紙片痕跡	佳
碳粉和煤渣	最小	平滑	最佳

實驗二、配置緩衝溶液

目的：能使稍偏鹼或偏酸的溶液趨於中性

<材料>

Na_2HPO_4 (PH9)、 NaH_2PO_4 (酸 PH 小於 7)各配置 0.1M 混合、PH 計、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶。

<步驟>

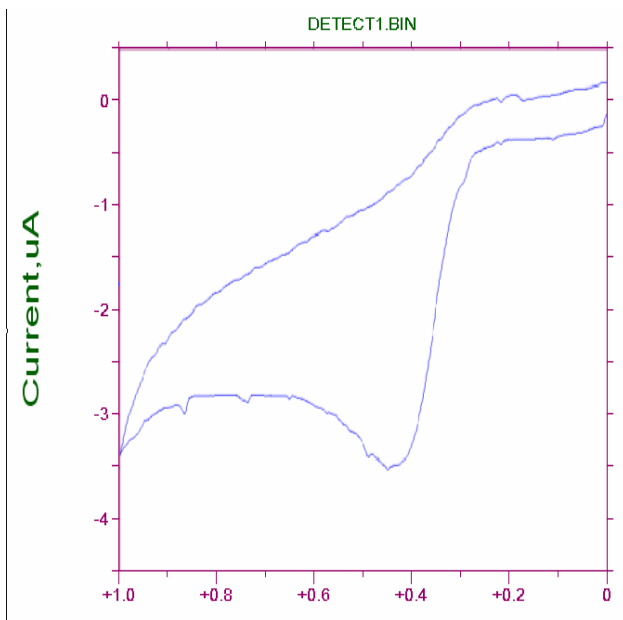
- 1、將秤好的 Na_2HPO_4 和 NaH_2PO_4 各倒入一個藥瓶。
- 2、用量瓶加入適量的水到藥瓶內，順便放入攪拌用磁鐵。
- 3、將藥瓶放在電磁攪拌器上，其內部會使攪拌用磁鐵旋轉，達到混和均勻的效果。完成後，用磁棒將磁鐵吸離藥瓶
- 4、用 NaH_2PO_4 滴定 Na_2HPO_4 並用 PH 計測量直到 PH 計顯示 7 為止。則 PH7 的 PBS 緩衝溶液就完成了。

實驗三、找最佳自製碳填充電極實驗

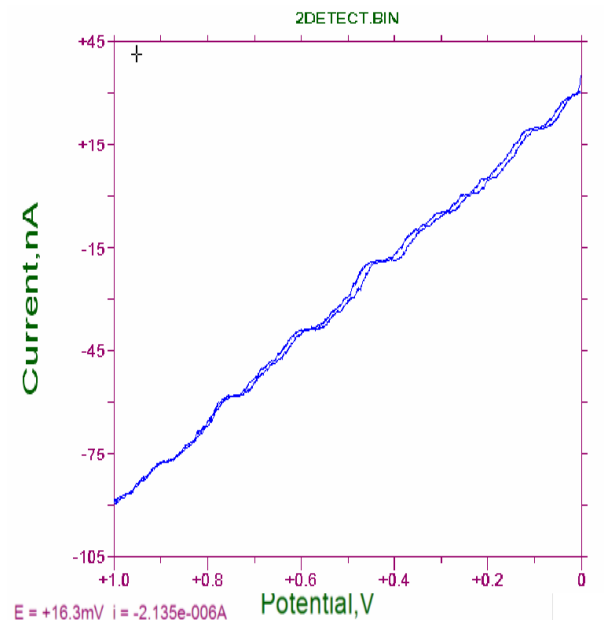
<步驟>

- 1、利用循環伏安法電解緩衝溶液，目的是使電極導電性趨於穩定。
- 2、待實驗數據圖上的曲線趨於平滑後，再利用循環伏安法電解含尿酸 200 μM 的緩衝溶液，觀察電流值是否有明顯變化。
- 3、清洗實驗電極，再將其放入緩衝溶液中利用循環伏安法使電極導電性穩定。
- 4、穩定後利用預氧化增大電極表面的活性，使電極表面靈敏度提高。(其中循環伏安法和預氧化的實驗電流電壓均參考過去文獻所提供的最佳化條件)
- 5、再重複上述步驟 1、2，觀察電流變化值。

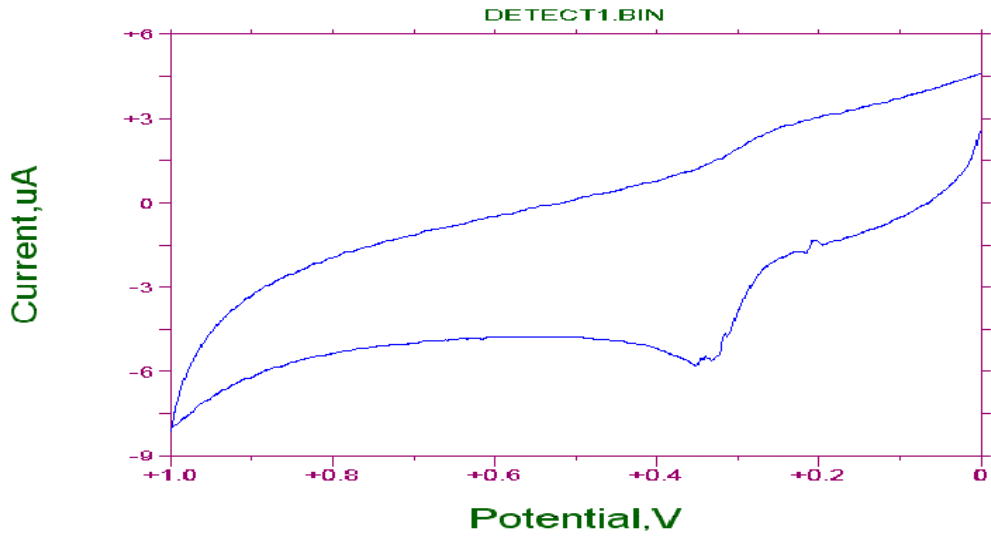
圖二、碳粉



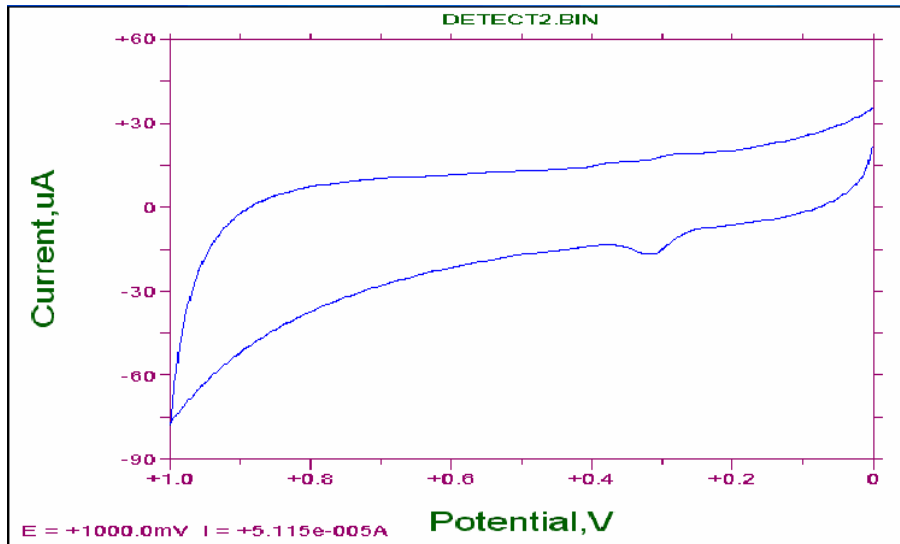
圖三、竹碳粉



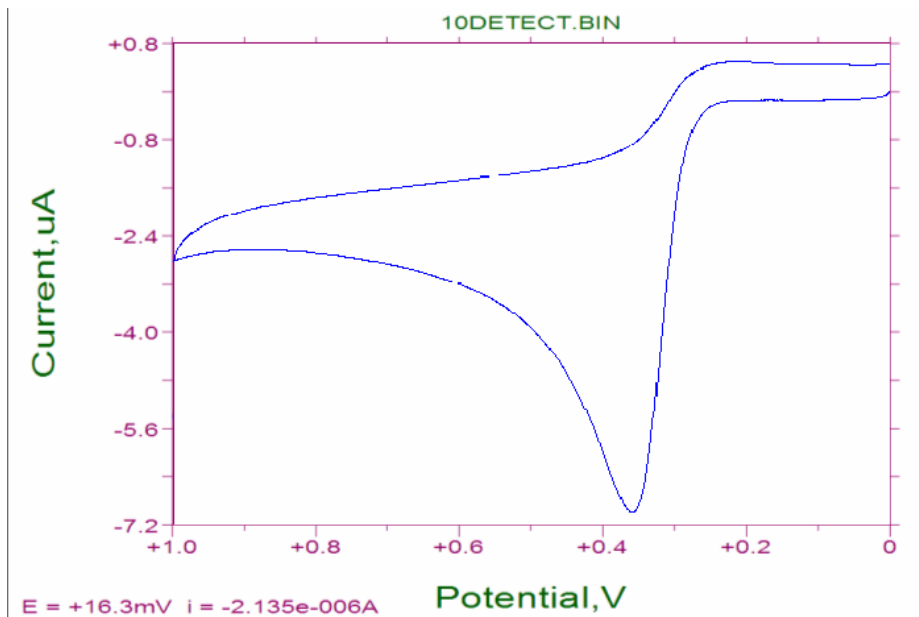
圖四、碳粉和竹碳粉



圖五、碳粉和報紙灰



圖六、碳粉和煤渣



(研究二) 找出自製電極檢測重金屬鉛離子的最佳化條件

我國現行事業. 污水下水道系統及建築污水處理設施之流放水

鎘	0.03ppm
鉛	1.0ppm
銅	3.0ppm
鋅	5.0ppm
鎳	1.0ppm
砷	0.5ppm

實驗四、找出檢驗鉛離子預氧化和剝除伏安法的最佳化條件

<需要器材>

硫酸 0.1M、鉛離子 0.2ppm、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶、cv50w、輔助電極、參考電極、工作電極(碳粉煤渣填充電極)。

(一)、找出預氧化的最佳化條件

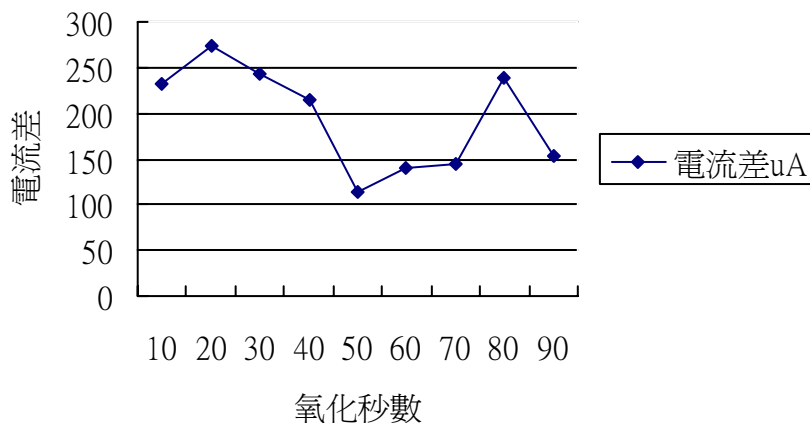
<步驟>

- 1、首先，利用預氧化電解硫酸水溶液，使電極表面活性增大，而本實驗是把氧化時間設為實驗變因（而實驗中的電壓值是參考文獻中最佳化條件）。
- 2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液。
- 3、接下來使用剝除伏安法偵測含 0.2ppm 鉛離子的硫酸水溶液，並觀察實驗結果。
- 4、最後利用循環伏安法使實驗電極趨歸於穩定。

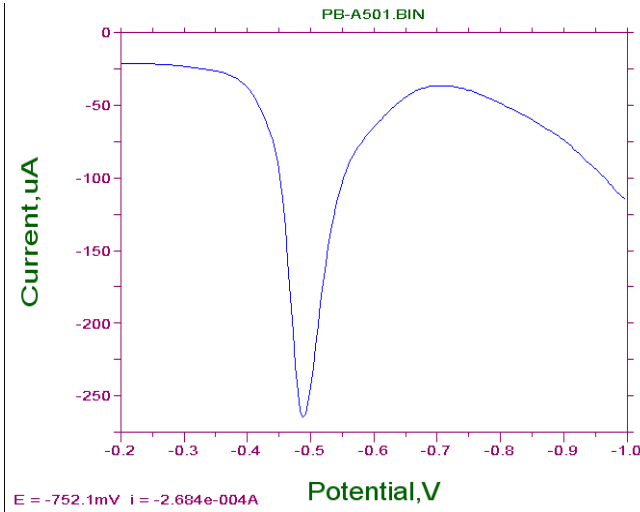
【表三】預氧化氧化時間與電流差的比較表

秒數 sec	10	20	30	40	50	60	70	80	90
電流差 uA	232	273	244	215	114	140	145	238	154

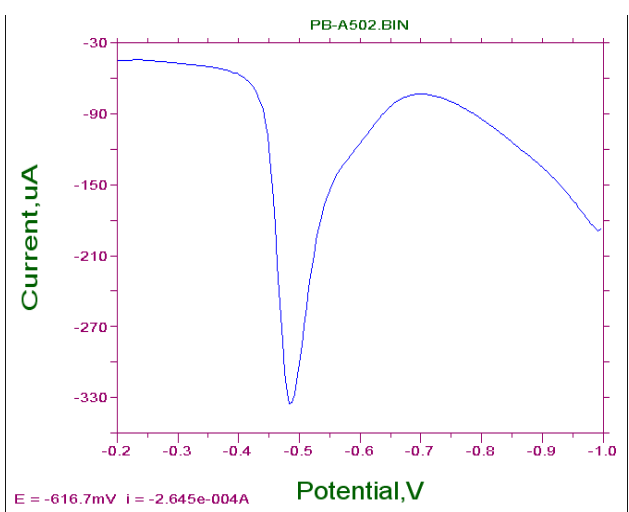
圖七、預氧化的氧化時間與電流差的比較圖



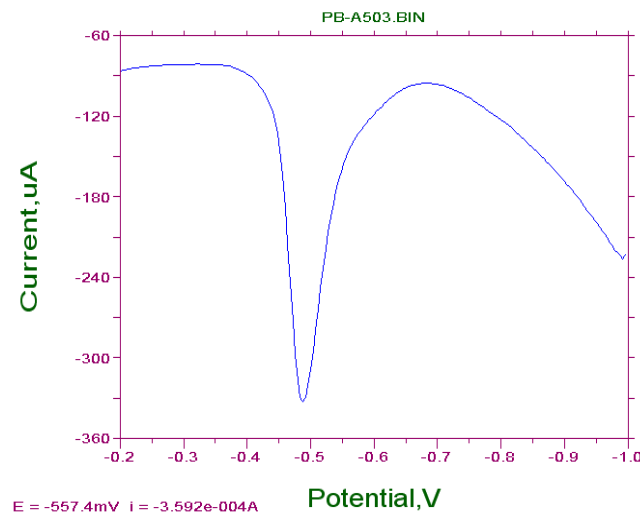
圖八、預氧化 10 秒



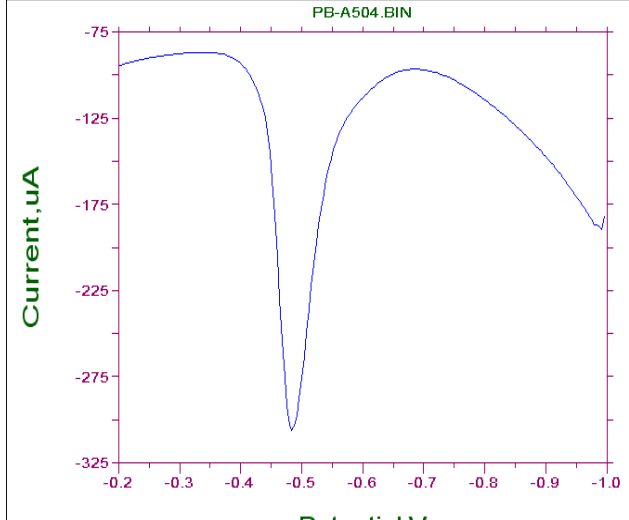
圖九、預氧化 20 秒



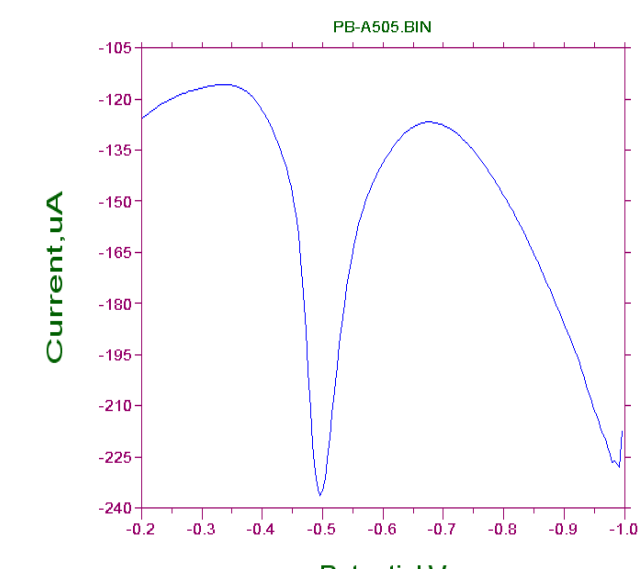
圖十、預氧化 30 秒



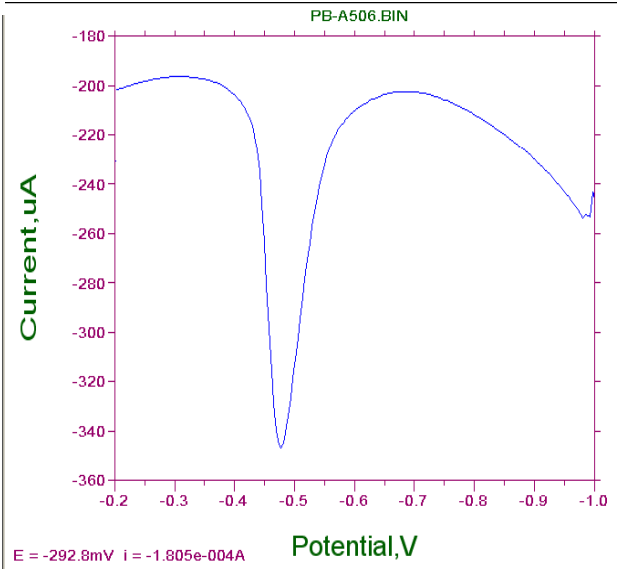
圖十一、預氧化 40 秒



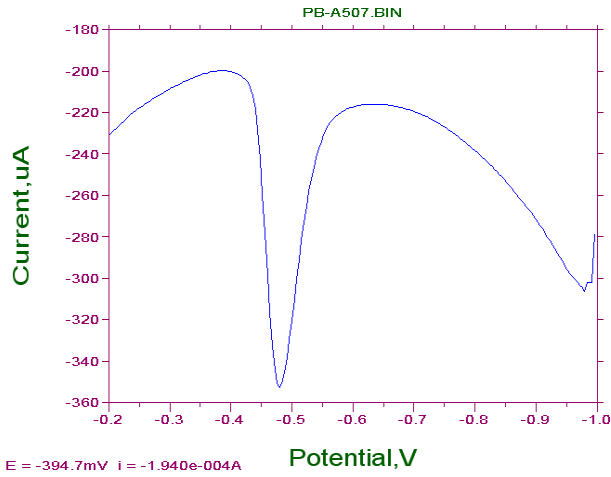
圖十二、預氧化 50 秒



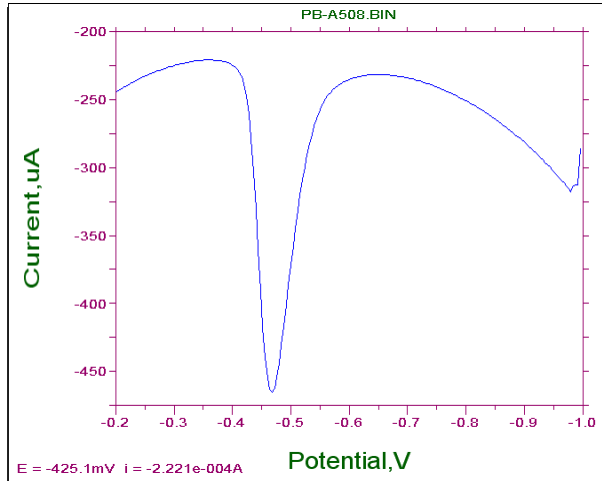
圖十三、預氧化 60 秒



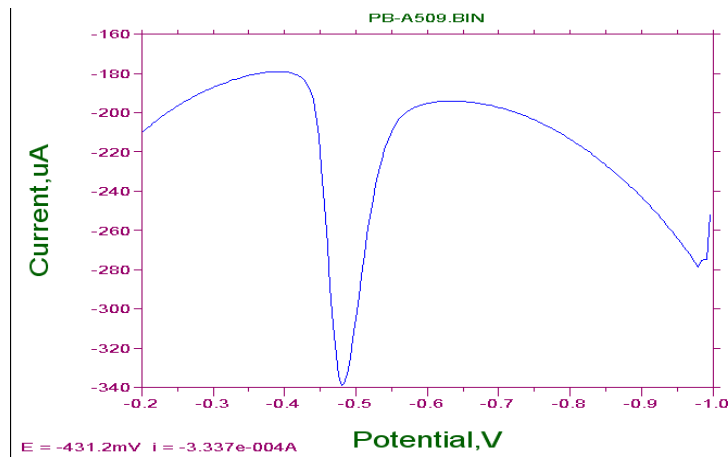
圖十四、預氧化 70 秒



圖十五、預氧化 80 秒



圖十六、預氧化 90 秒



(二)找出剝除伏安法的最佳化條件

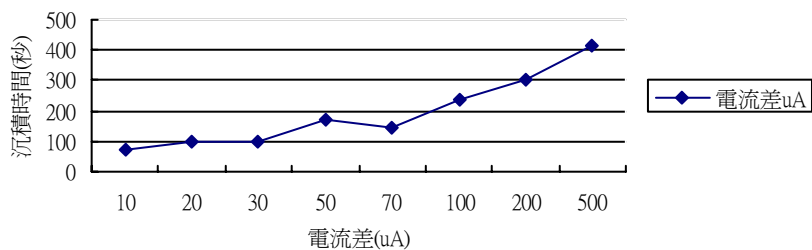
<步驟>

- 1、首先，利用預氧化電解硫酸水溶液，使電極表面活性增大。
- 2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液，而本實驗是把沉積時間設為實驗變因。
- 3、接下來使用剝除伏安法偵測含 0.2ppm 鉛離子的硫酸水溶液，並觀察實驗結果。
- 4、最後利用循環伏安法使實驗電極趨歸於穩定。

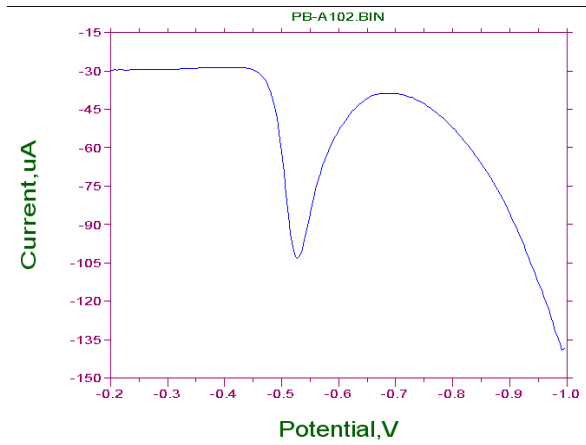
【表四】剝除伏安法沉積時間與電流差

秒數 sec	10	20	30	50	70	100	200	500
電流差 uA	70	101	97	170	145	238	303	416

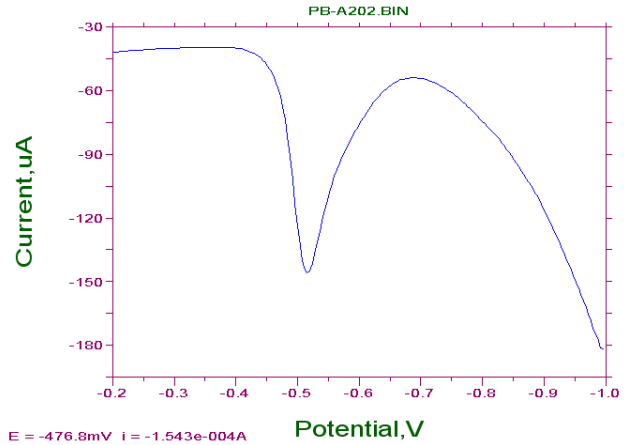
圖十七、沉積時間與電流差的比較



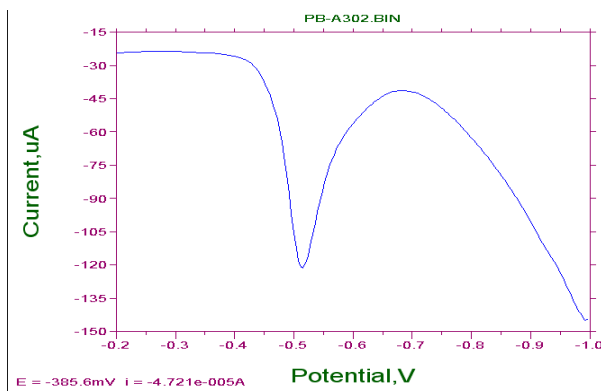
圖十八、剝除伏安法沉積 10 秒



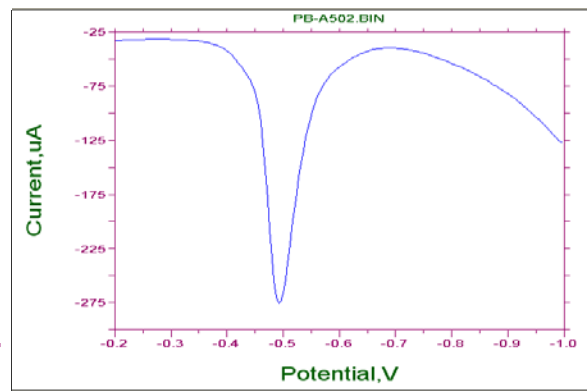
圖十九、剝除伏安法沉積 20 秒



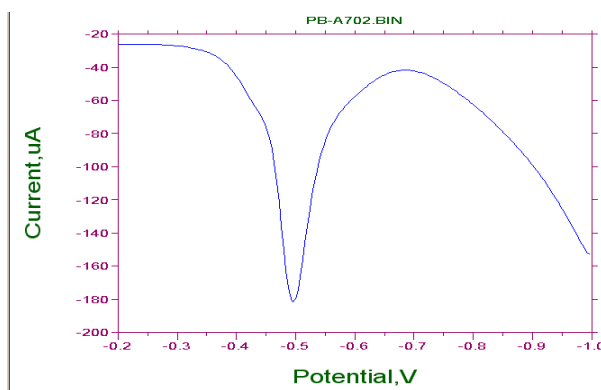
圖二十、剝除伏安法沉積 30 秒



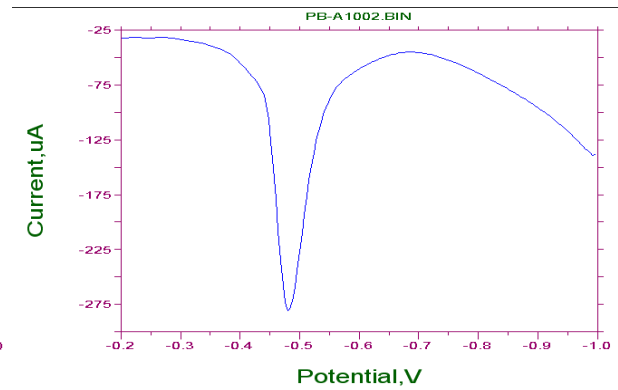
圖二十一、剝除伏安法沉積 50 秒



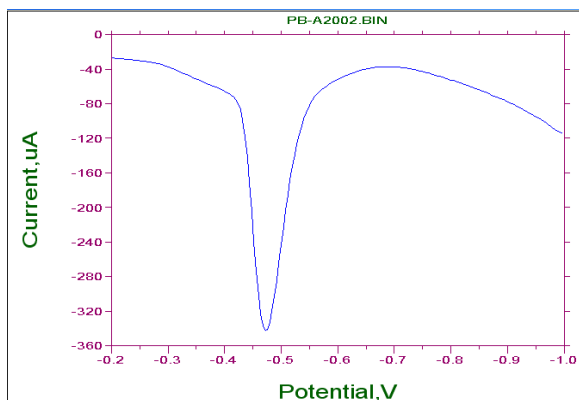
圖二十二、剝除伏安法沉積 70 秒



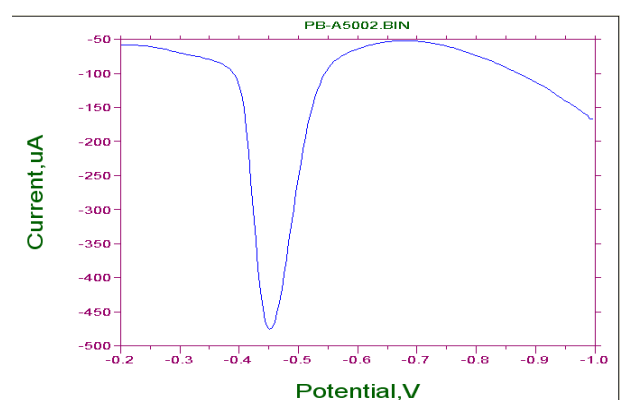
圖二十三、剝除伏安法沉積 100 秒



圖二十四、剝除伏安法沉積 200 秒



圖二十五、剝除伏安法沉積 500 秒



(研究三)自製電極再現性的研究

實驗五、電極再現性

<需要器材>

硫酸 0.1M、鉛離子 0.2ppm、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶、cv50w、輔助電極、參考電極、工作電極(碳粉煤渣填充電極)。

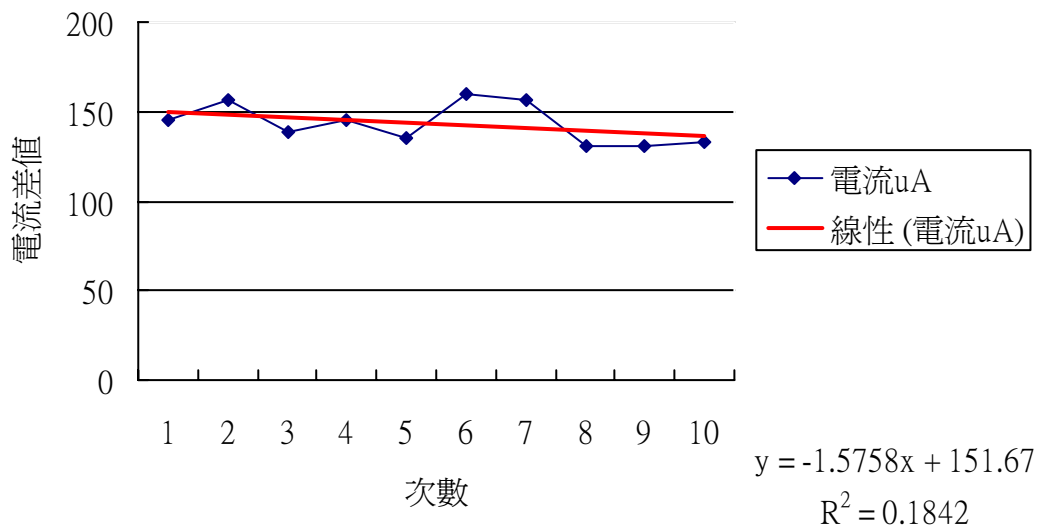
<步驟>

- 1、首先，利用預氧化偵測硫酸水溶液，使電極表面活性增大。
- 2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液。
- 3、接下來使用剝除伏安法偵測含 0.2ppm 鉛離子的硫酸水溶液，並觀察實驗結果。
- 4、最後利用循環伏安法使實驗電極趨歸於穩定，如此重複作十次。

【表五】實驗次數與電流大小

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
電流 uA	145	156	138	145	135	160	156	131	131	133

圖二十六、電極的再現性數據圖



(研究四) 以光能提高偵測鉛離子靈敏度的可能性

實驗六、以光源箱照光探討電極有無提高靈敏度的實驗

<需要器材>

硫酸 0.1M、鉛離子 0.2ppm、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶、cv50w、輔助電極、參考電極、工作電極(碳粉煤渣填充電極)、光源箱(Xenon 光纖光源)。

一、不同照光時間

<步驟>

1、首先，使實驗電極表面接觸光源再利用預氧化電解硫酸水溶液，使電極表面活性增大，而接觸光源的時間是個不定性，設為實驗變因。

2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液。

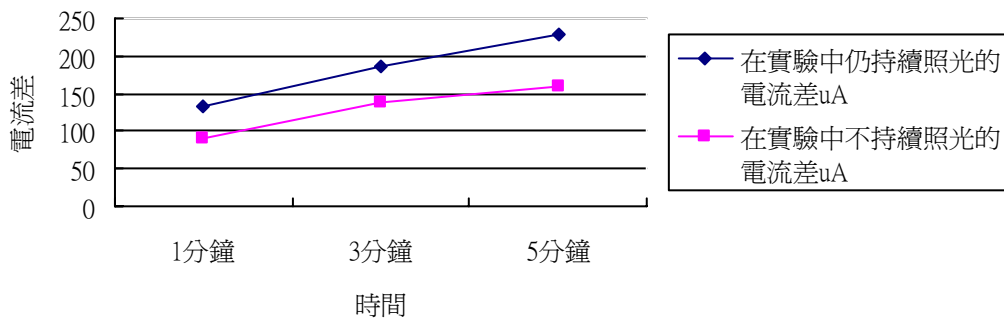
3、接下來使用剝除伏安法偵測含 0.2ppm 鉛離子的硫酸水溶液，並觀察實驗結果。

4、最後利用循環伏安法使實驗電極趨歸於穩定。

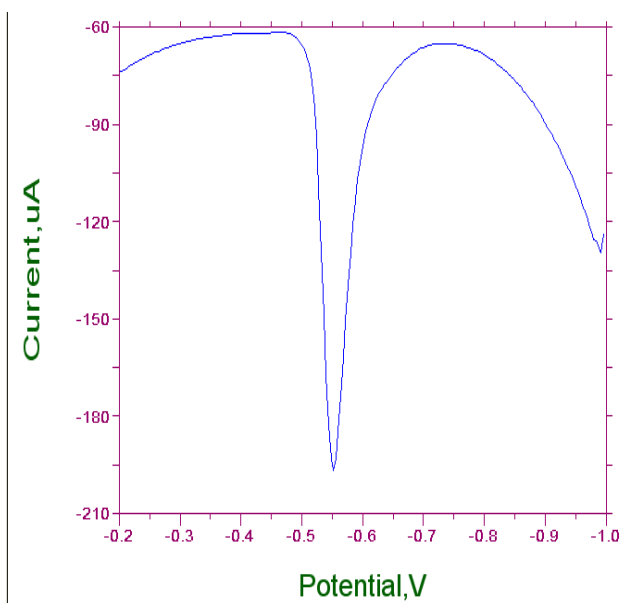
【表六】不同照光時間

時間	1 分鐘	3 分鐘	5 分鐘
在實驗中仍持續照光的電流差 uA	134	185	228
在實驗中不持續照光的電流差 uA	91	137	160

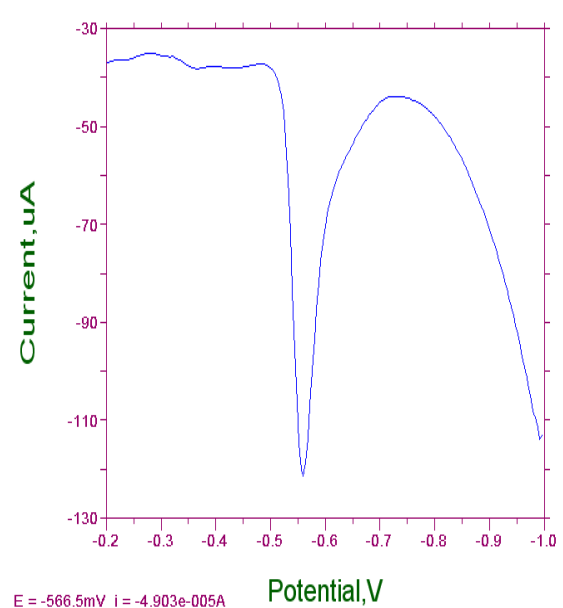
圖二十七、不同照光時間



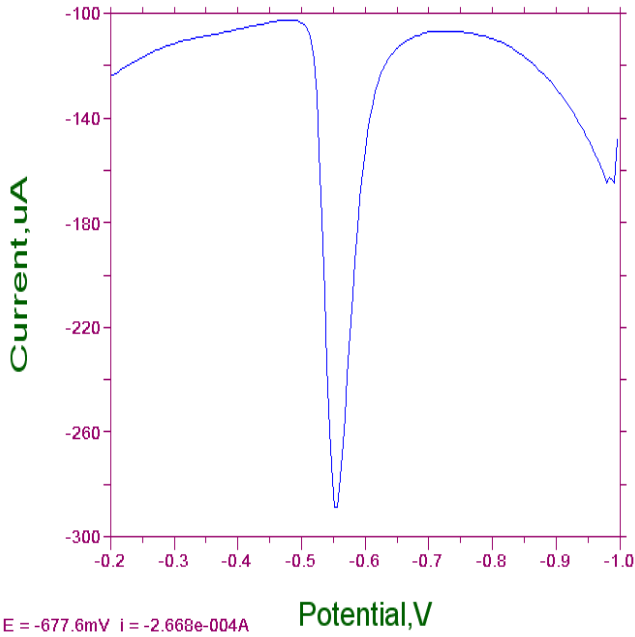
圖二十八、在實驗中仍持續照光 1 分鐘



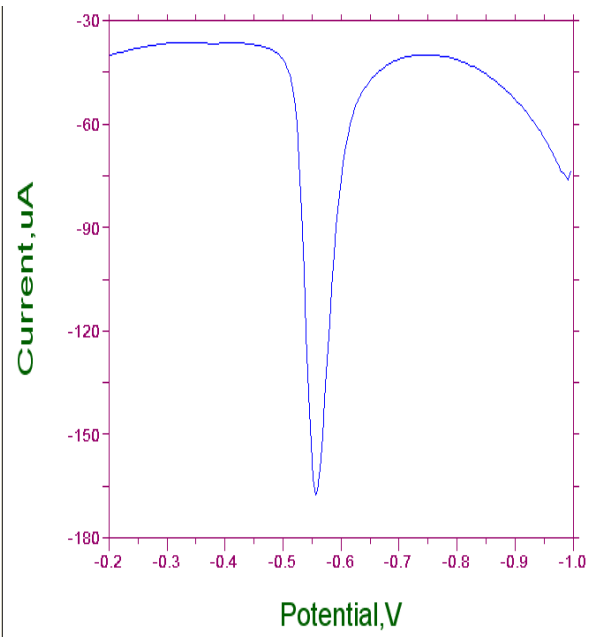
圖二十九、在實驗中不持續照光 1 分鐘



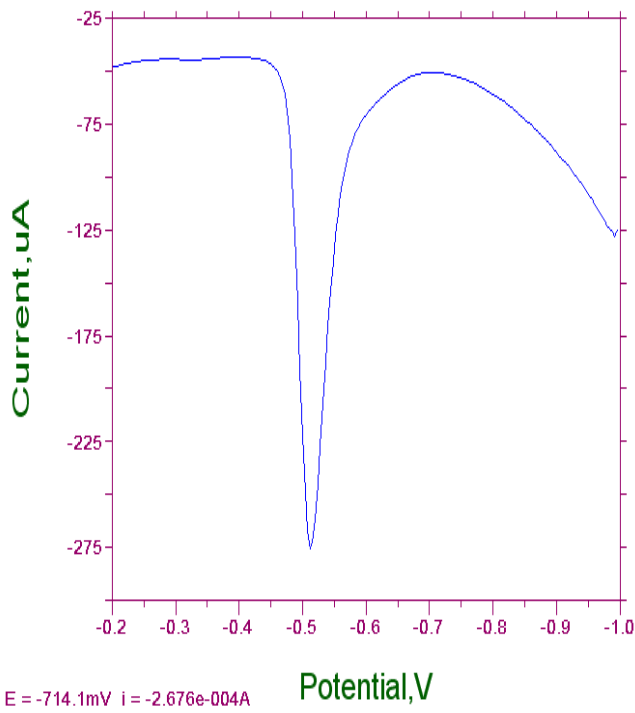
圖三十、在實驗中仍持續照光 3 分鐘



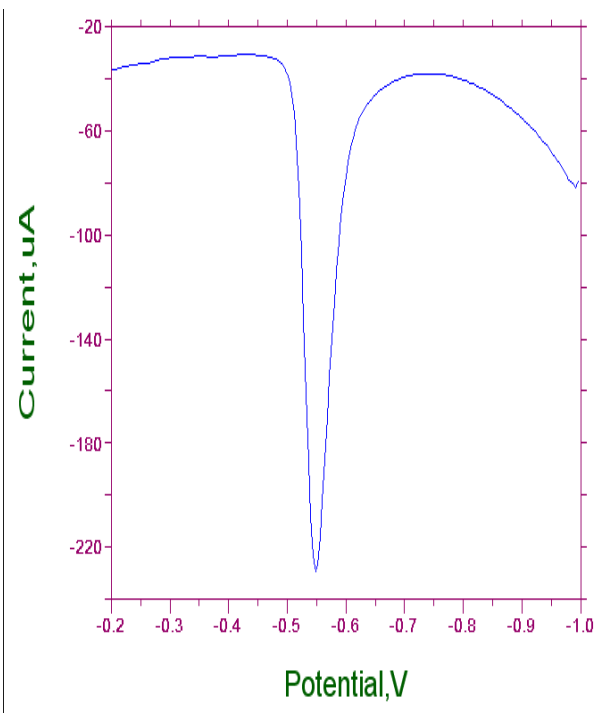
圖三十一、在實驗中不持續照光 3 分鐘



圖三十二、在實驗中仍持續照光 5 分鐘



圖三十三、在實驗中不持續照光 5 分鐘



(研究五) 定量溶液中鉛離子的檢量線製作研究

實驗七、檢量線的製作

<需要器材>

硫酸 0.1M、鉛離子 0.2ppm、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶、cv50w、輔助電極、參考電極、工作電極(碳粉煤渣填充電極)、光源箱(Xenon 光纖光源)。

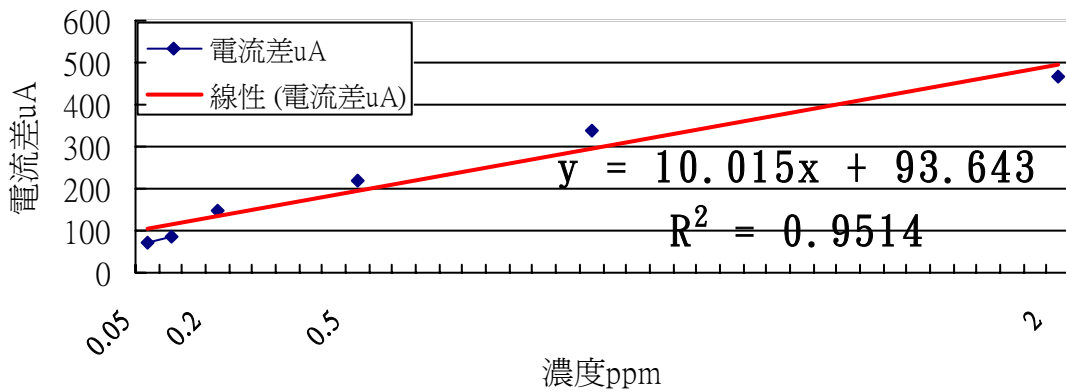
<步驟>

- 1、首先，使實驗電極表面接觸光源再利用預氧化電解硫酸水溶液，使電極表面活性增大。
- 2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液。
- 3、接下來使用剝除伏安法偵測含 0.2ppm 鉛離子的硫酸水溶液，並觀察實驗結果。
- 4、最後利用循環伏安法使工作電極趨歸於穩定。

【表七】未加光源的各濃度電流差比較

濃度 ppm	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05
電流差 uA	465	340	221	150	85	72

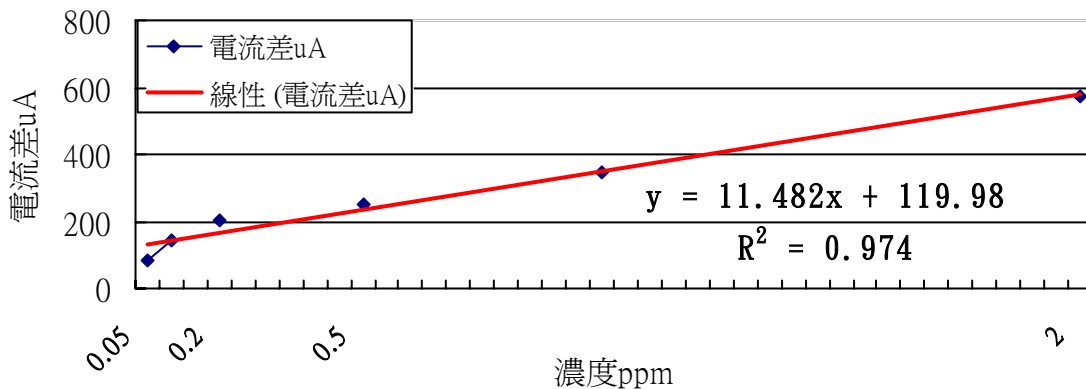
圖三十四-①、未加光源的鉛離子各濃度檢量線圖



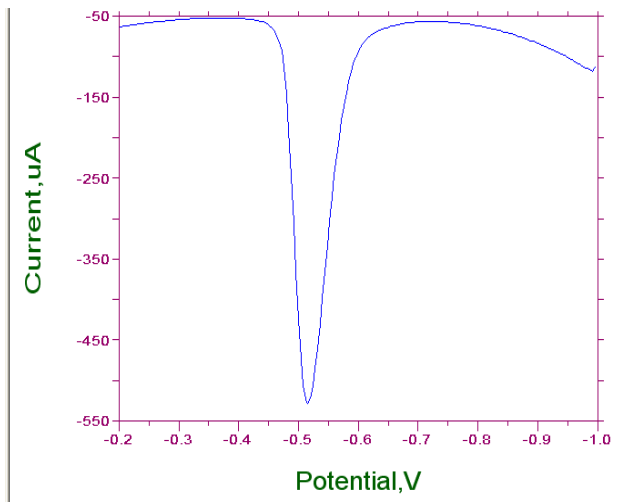
【表八】加光源的各濃度電流差比較

濃度 ppm	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05
電流差 uA	575	345	250	204	146	84

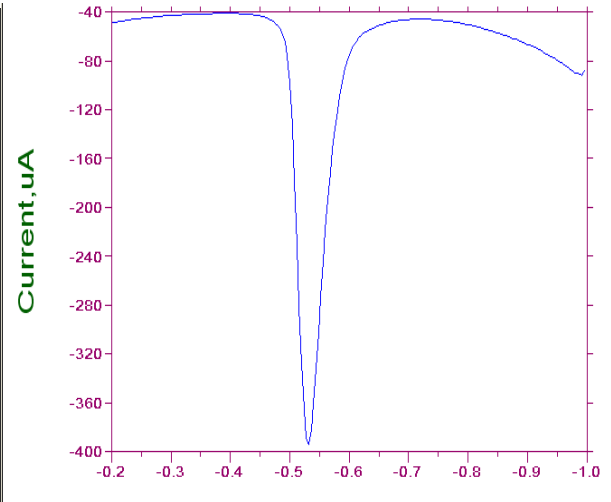
圖三十四-②、加光源的鉛離子各濃度檢量線圖



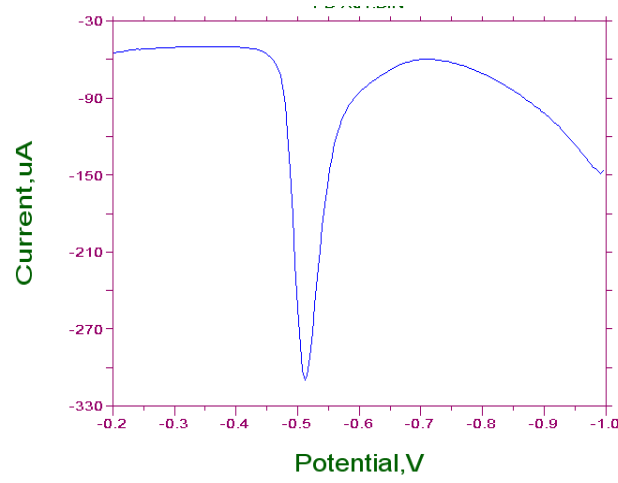
圖三十五、2ppm 未加光源



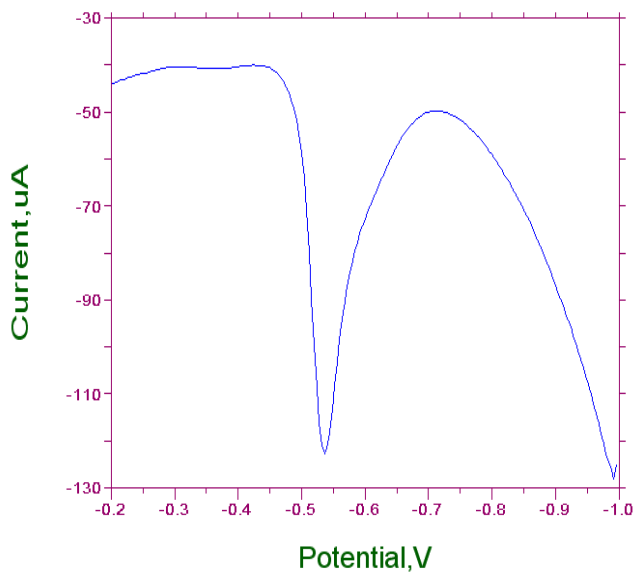
圖三十六、1ppm 未加光源



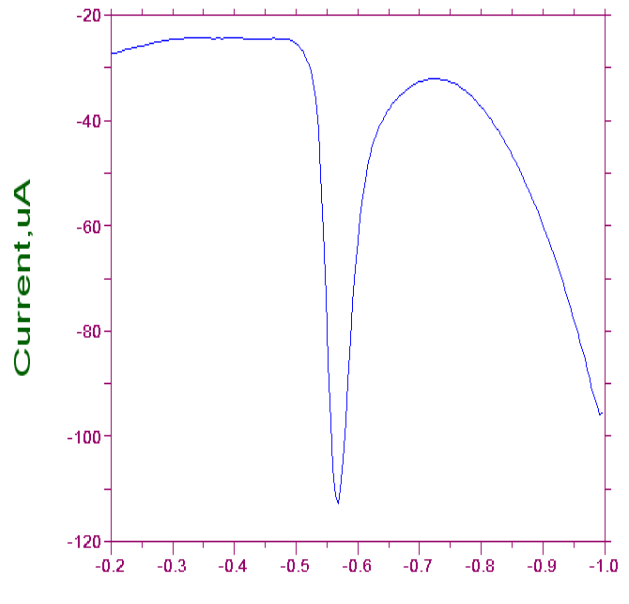
圖三十七、0.5ppm 未加光源



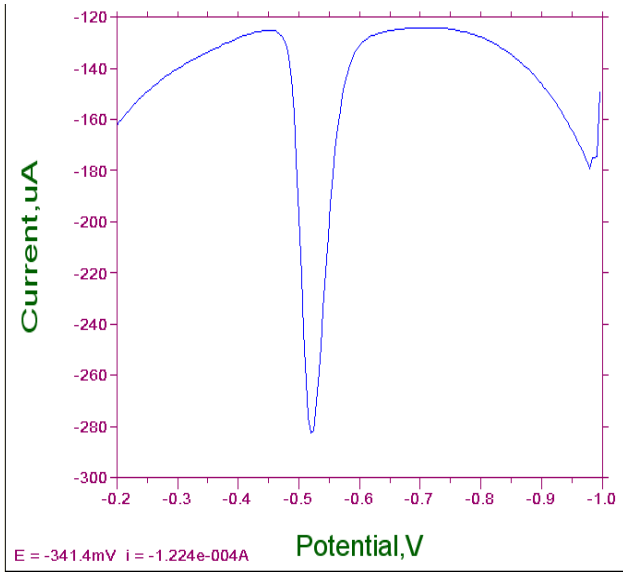
圖三十八、0.1ppm 未加光源



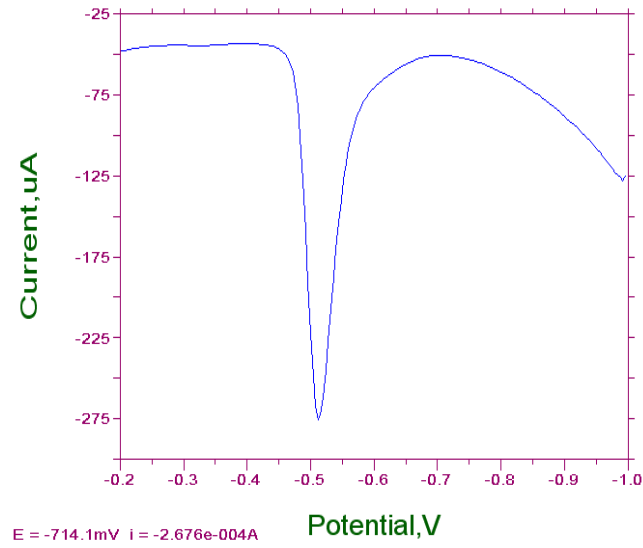
圖三十九、0.05ppm 未加光源



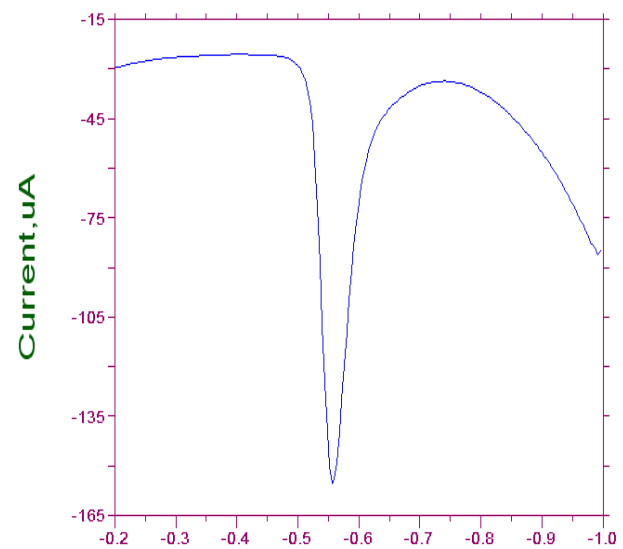
圖四十、2ppm 加光源



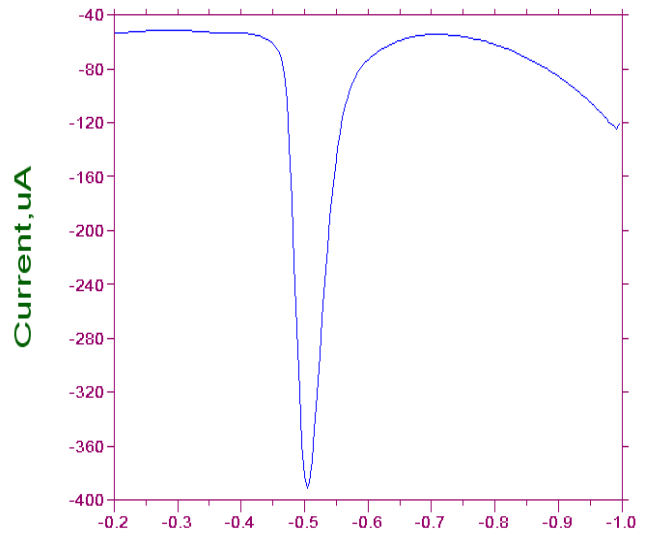
圖四十二、0.5ppm 加光源



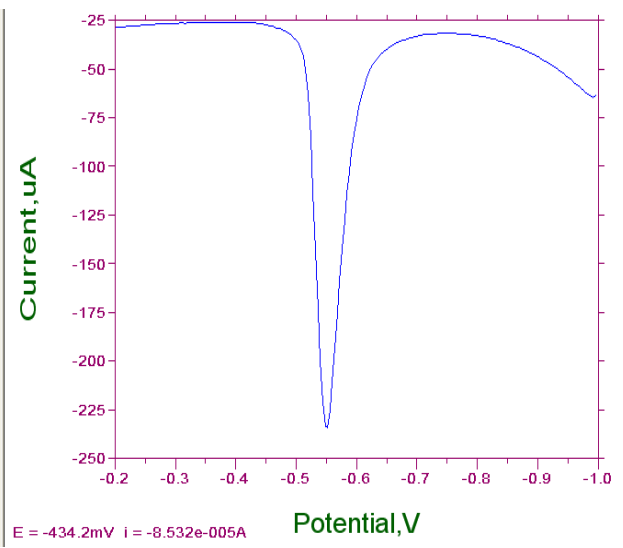
圖四十四、0.1ppm 加光源



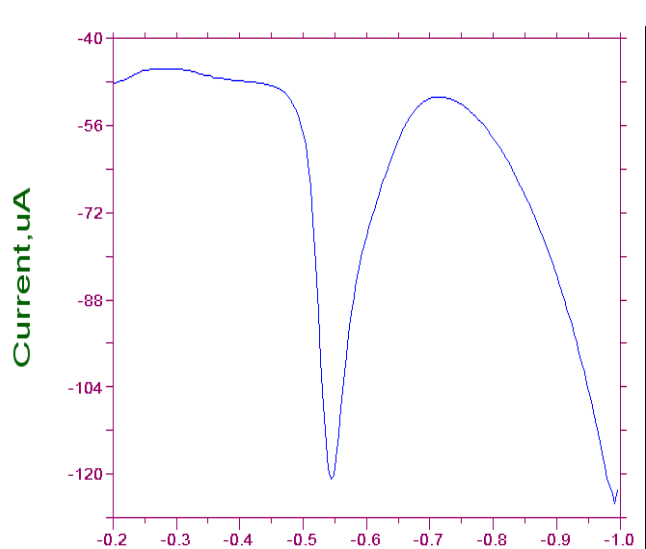
圖四十一、1ppm 加光源



圖四十三、0.2ppm 加光源



圖四十五、0.05ppm 加光源



(研究六)採樣廢水實測水中鉛離子的研究

實驗六、實測各地放流的廢水

<需要器材>

硫酸 0.1M、鉛離子 0.2ppm、超純水、藥瓶、攪拌用磁鐵、磁棒、量瓶、cv50w、輔助電極、參考電極、工作電極(碳粉煤渣填充電極)。

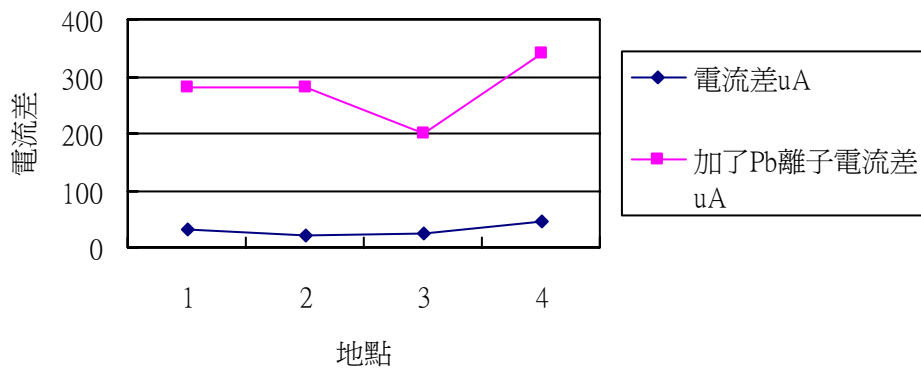
<步驟>

- 1、首先，使實驗電極表面接觸光源再利用預氧化電解硫酸水溶液，使電極表面活性增大。
- 2、預氧化跑完後，再用剝除伏安法偵測硫酸水溶液。
- 3、接下來使用剝除伏安法偵測各地流放的廢水（稀釋 10 倍），並觀察實驗結果。
- 4、最後利用循環伏安法使工作電極趨歸於穩定。

【表九】各地流放廢水比較（加光源）

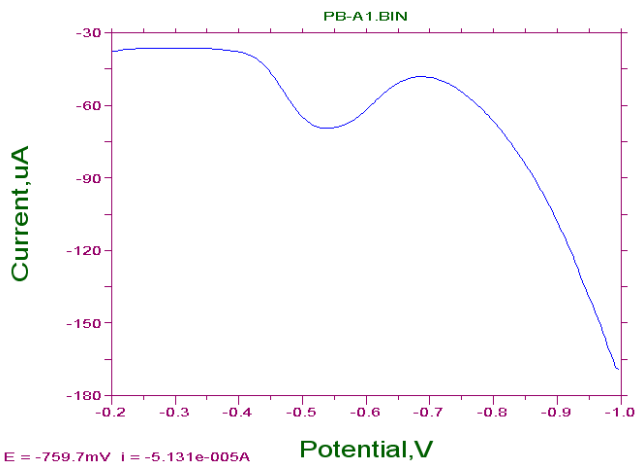
地點	葫蘆墩圳上游	豐原鑷村路農田用水	中興湖湖水	葫蘆墩圳農田用水
電流差 uA	30	20	25	45
加了 0.2ppm Pb 離子的電流差 uA	280	280	201	341

圖四十六、各地流放廢水比較（加光源）



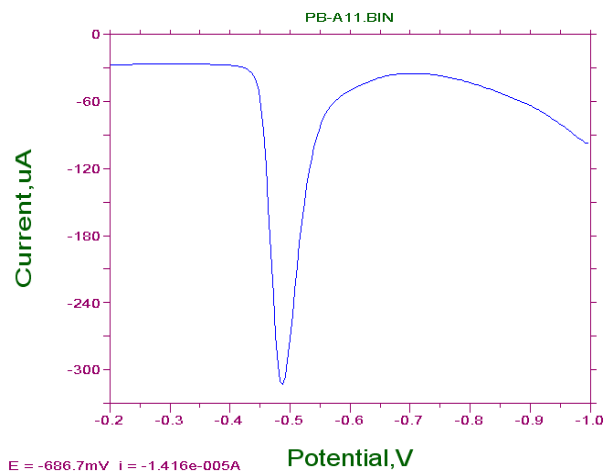
(1 為葫蘆墩圳上游、2 為豐原鑷村路農田用水、3 為中興湖湖水 4 為葫蘆墩圳農田用水)

圖四十七、葫蘆墩圳上游

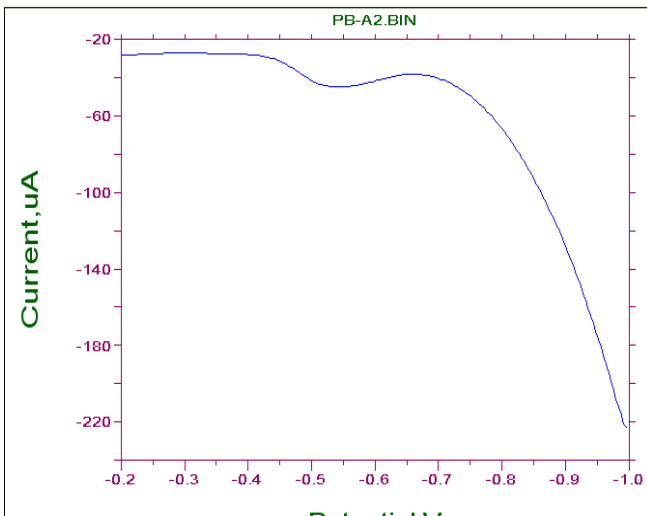


圖四十八、葫蘆墩圳上游

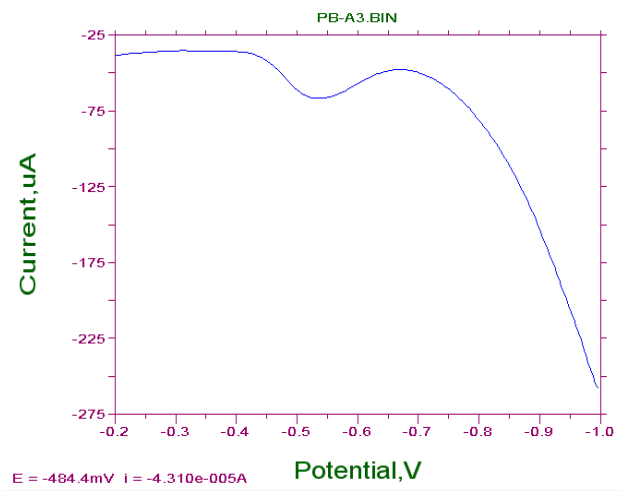
(加了 0.2ppm Pb 離子)



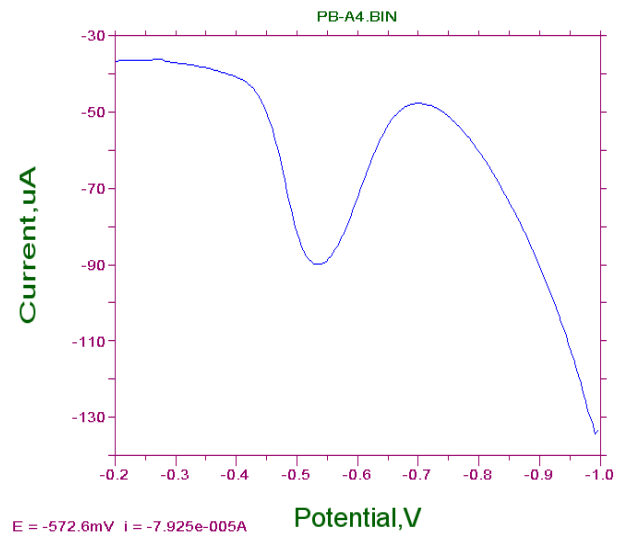
圖四十九、農田用水



圖五十一、中興湖湖水

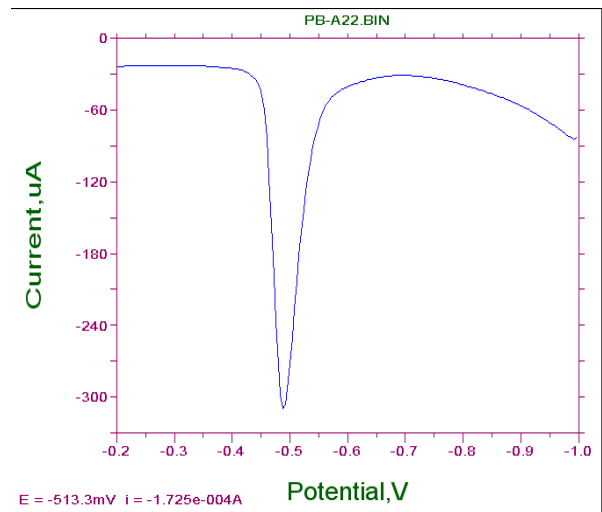


圖五十三、葫蘆墩圳農田用水



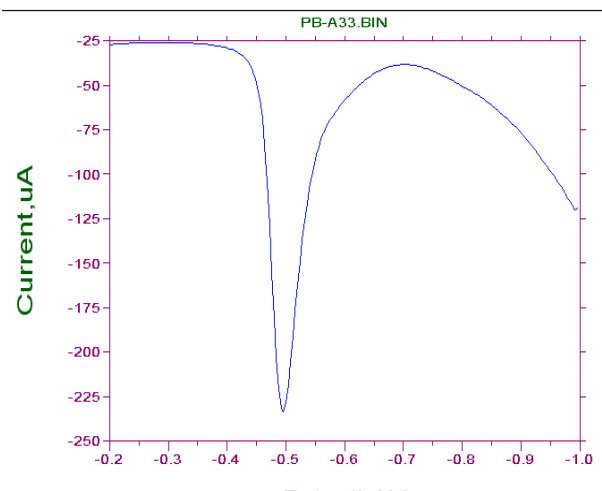
圖五十、農田用水

(加了 0.2ppm Pb 離子)



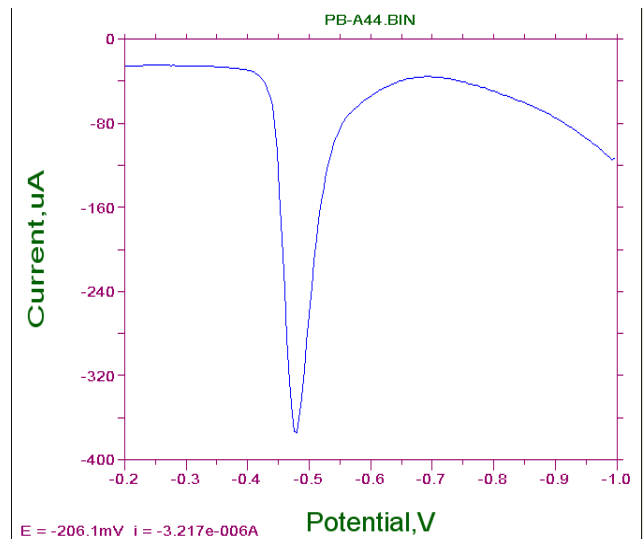
圖五十二、中興湖湖水

(加了 0.2ppm Pb 離子)



圖五十四、葫蘆墩圳農田用水

(加了 0.2ppm Pb 離子)



三、研究結果與討論

1. 自製碳填充電極的差異與比較：比較市售的竹碳粉或者是報紙上的碳粉、烤肉用的木炭、工廠裡廢棄的煤渣等由各種不同碳材質製成的碳電極，結果測出碳粉與煤渣混合製成的電極電解時電流差有明顯變化，就表示此電極的靈敏度高且導電度良好。
2. 找出自製電極檢測重金屬鉛離子的最佳化條件：
 - (1) 預氧化時間愈多，可使電極表面活性增大，但經由前面的實驗數據圖表，我們可以發現 20sec 的電流差明顯比其他時間的大許多，雖然秒數越高電流差可以看的出來偏大，但我們因為考量到能源的節省，最後選擇以 20sec 來作為最佳的氧化秒數。
 - (2) 經由前頁的實驗數據圖表，我們可以發現 50sec 的電流差明顯比附近的大許多，雖然也是秒數越高電流差可以看的出來越大，但我們因為考量到能源的節省，最後選擇以 50sec 作為剝除伏安法的最佳化條件。
3. 自製電極再現性的研究：由於我們的實驗電極是碳”填充”電極，難免會有人為的誤差，再者，再現性的定義是指電極經過氧化還原數次後再實驗的數據(電流差)仍差異不大，所以為了檢測(再度確認)碳粉煤渣填充電極的可行性而設計此實驗，結果還算理想。
4. 以光能提高偵測鉛離子靈敏度的可能性：沒照光時，電流訊號約和濃度成線性的正比圖；接著照光確實可以讓電流訊號加大，故應可提高偵測鉛離子靈敏度，不過數據還不甚穩定，以後還需改進並多加再驗證。
5. 定量溶液中鉛離子的檢量線製作研究：我們所做的實驗是採用 0.2ppm 的鉛離子，而如果我們能測得各個濃度鉛離子的電流差並將其製作成定量直線的話，那我們就可以找出未知濃度廢水所含鉛離子的量了。
6. 採樣廢水實測水中鉛離子的研究：採樣廢水實測水中鉛離子的研究結果除了葫蘆墩圳農田用水較有疑慮外，其餘三個地方的水質均達放流水的標準。為了證明此實驗背景值不具干擾性，我在原水中均加入 0.2ppm 的鉛離子，結果所測出來的電流訊號非常明顯，足以證明此檢驗法無庸置疑！

四、結論與應用

1. 在本實驗中，碳粉加煤渣廢棄物所作成的電極效果是最好的；但若全部是煤渣則因其導電性不佳，電阻太大，反而降低了電流值的訊號！因此，煤渣混合導電性良好的石墨碳粉就可以發揮電極的功用，兩者可說是相輔相成。所以，加煤渣的碳填充電極是可採用的便宜且實用工作電極。
2. 以預氧化增加自製煤渣碳填充電極內碳的活性、煤渣內含的鐵也被氧化成 Fe^{3+} 的特性，兩者均具有增強對重金屬鉛離子較強的吸附作用，若再加上以剝除伏安法先集中重金屬離子的還原作用後再行氧化，因此更可大大的提高偵測的靈敏度。因此，對於溶液中的有毒性的痕量元素(例如鉛離子)具有查驗把關的功能性，因此，儀器設備價格比 AA 儀便宜許多的電化學分析儀可在多處設定點查驗把關，以免污染的水源進入水域中。
3. 電極的再現性實驗已證明連續偵測再生十次所得到的電流訊號圖的穩定性不錯，由此可證明此自製填充電極可重覆使用多次的功能。
4. 以光能提高偵測鉛離子靈敏度的是可行的，因為照光確實可以讓電流訊號加大，可是光源來源並不十分穩定而無法能夠很有效運用，所以將來還有改進空間以確定是否如太陽能的光能和熱能可使電極表面的靈敏度提高。

5. 定量溶液中鉛離子的檢量線可對溶液中測得各個不同濃度鉛離子的電流差數據去畫出線性的直線，且其 R^2 值高達 0.9675，足證此自製煤渣碳填充電極可做到高靈敏度及可定量濃度的結果。
6. 有感於現今水質污染的嚴重，從小在污染嚴重的台灣長大的我，深切的體會到其中的可怕，所以希望藉由這個環保又簡單的實驗，去測得具代表性會危害人體的重金屬鉛離子，希望未來對其他重金屬離子也能以此方法一一偵測出來，只要有任意的重金屬離子，都可在某一電壓範圍內出現明顯的電流訊號。
7. 最後，我要感謝中興大學曾志明教授的指導、博士生陳志誠學長的大力協助、妹妹的幫忙，以及在背後盡心支持我的父母及老師，謝謝大家！

五、參考文獻

1. 博士班研究生鐘協訓撰 中華民國九十一年六月國立中興大學研究所博士論文【網版印刷電及在分析化學上的應用與發展】第一章第三節電化學分析方法的簡介 P23~24、第二章藥品與儀器第二節重金屬鉛的偵測-預氧化修飾光滑碳電極 P38
2. 研究生劉家瑞撰 中華民國九十一年六月國立中興大學研究所論文【汞薄膜網版印刷電極偵測重金屬離子之研究】第三章鉛的偵測結果與討論 P22~47
3. 研究生詹丁山撰 中華民國八十八年六月國立中興大學研究所論文【利用煤渣碳填充電極偵測多巴胺及乙醯基胺基苯酚之研究】第一章 1-5 碳填充電極簡介 P17~19、第二章 2-5 填充電極載體的前處理 P32~33、第三章 3-1 預氧化電位及時間的探討 P48~49、3-2 電極再生之探討 P78~80

評語

本作品探討碳粉與若干廢棄物自製電極之可能性，並用以測定水中鉛的濃度，找出碳粉加煤渣廢棄物所作成的電極效果是最好的。研究過程也利用到預氧化增加活性及以剝除伏安法以增加重金屬離子之偵測靈敏度，為兼具環保與教學功能之作品，若能再針對各種水樣及其背景水質及其他干擾物進行實驗探討，可再進一步確認其實用價值。