新竹市第四十屆中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：化學組

組 別：國中組

作品名稱：你來電了嗎~數位電阻測量儀探討化學反應溶液中離子濃度的連續變化與應用

關 鍵 詞：　分壓、電解質

摘要

自製的電阻測量儀可以用來測量化學反應過程中的離子濃度變化。在【實驗二】、【實驗三】中我們透過不同溶液濃度及個別的電阻變化做分析，在裝置中選用合適的固定電阻、電壓輸出和電極，可以使測量儀穩定且有效的區辨出水溶液大約在5×10^{-4}~1.96×10^{-2}M時的稀薄溶液濃度變化，我們利用此特性追蹤化學反應中的中和點，也就是A0值最低、電阻值最高的位置，並將其應用在微量離子濃度變化的連續測量中。在沉澱實驗中，我們從A0值由低點上升的反轉點，找到完全反應時反應物的體積，相較於理論值有4.17%的誤差。於酸鹼中和滴定實驗中，控制流速找到中和點的位置回推滴定終點體積與理論值誤差4.397%。

壹、研究動機

理化課在檢測電解質的化學實驗中，我們觀察到在串聯電路中接上不同水溶液與燈泡，通電後，燈泡的亮度並不一樣，查詢資料後發現此現象與水溶液中的離子濃度有關聯，當離子濃度大時，溶液的電阻小，燈泡便比較亮，這引起了我們的好奇，想要了解電解質水溶液的濃度與其電阻大小的關係。為測量電解質水溶液的濃度變化，我們決定使用Arduino自製一個電阻測量儀，利用分壓訊號所得到的電阻變化去評估化學反應的連續濃度變化過程及在化學實驗中的實際應用。

貳、研究目的

一、探討Arduino數位電阻測量儀測量電解質濃度的可行性評估

二、探討數位電阻測量儀器材設置的影響

三、探討固定電阻對數位電阻測量儀靈敏度的影響

四、Arduino數位電阻測量儀在碘化鉛沉澱實驗中的應用

五、Arduino數位電阻測量儀在酸鹼中和實驗中的應用

參、研究設備與器材

一、實驗器材及使用藥品

（一）實驗器材：

自製Arduino數位電阻測量儀	碼錶	三用電表
游標卡尺	玻棒	滴定管、滴定管夾
鐵架	滴管及微量滴管	加熱攪拌器及磁石
培養皿 (內徑8.83公分)	量筒 (10ml、 25ml、100ml)	燒杯 (50ml、100ml、250ml)
容量瓶 (100ml、250ml、1000ml)	方格紙 (格線間距為0.5cm)	電阻 (150Ω、220Ω、390Ω、1KΩ)

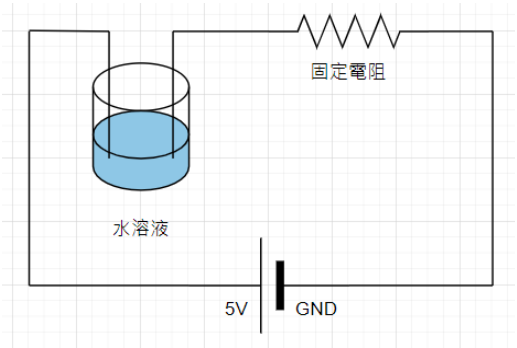
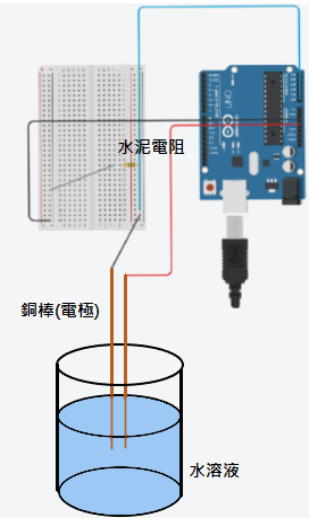
（二）實驗使用藥品：

NaCl 氯化鈉(食鹽)	$CuSO_4$ 無水硫酸銅粉末
KCl氯化鉀	H_2SO_4 濃硫酸
KI 碘化鉀	$Pb(NO_3)_2$ 硝酸鉛
NaOH 氫氧化鈉	KHP 鄰苯二甲酸氫鉀
酚酞指示液	1M HCl 鹽酸

二、實驗裝置：

（一）Arduino數位電阻測量儀：

1. 以Arduino板輸出5V直流(數位)電壓，依序連接待測水溶液、固定電阻，最後接到低電位GND的串聯電路。
2. 在電路中，水溶液與固定電阻之間與Arduino類比腳位並聯，完成如〈圖P1〉電路，測量固定電阻的分壓（裝置如〈圖P2〉所示）。

	
〈圖P1〉自製Arduino數位電阻測量儀電路圖	〈圖P2〉Arduino數位電阻測量儀裝置示意圖

裝置原理:

- Arduino類比腳位可將固定電阻至低電位的電位差轉化為類比訊號A0值回傳電腦，藉由類比訊號(範圍0~1023)之值測量固定電阻所佔分壓，固定電阻的分壓越大，待測溶液分壓越小。
- 由電壓與電阻的關係V=IR(V：電壓、I：電流、R：電阻)，因為整個串聯電路的電流都相同，當我們測量固定電阻的分壓，所測得的分壓越大，代表固定電阻的電阻值在電路的總電阻值占比越高，而待測溶液的電阻值占比越低。
- 電解質在水中解離出的離子可幫助溶液導電，使溶液的電阻降低，因此當待測溶液的濃度越高，電阻值便越低，在迴路中的分壓占比也越低。
- 固定電阻的電阻值固定不變，代表固定電阻分壓占比的A0值上升便表示待測溶液的濃度上升、電阻下降。再透過程式定時傳輸固定電阻的分壓訊號，可取得連續性的數據。我們利用此方法測量固定電阻的分壓占比，進而得知溶液的電阻變化，亦為溶液中離子濃度的變化 。

肆、研究過程及方法

實驗一 Arduino數位電阻測量儀量測電解質濃度的可行性評估

【實驗一-1】不同濃度氯化鈉水溶液與A0值的關係

實驗步驟：

1. 將58.5g氯化鈉(分子量:58.44)與少許水混合，倒入250ml容量瓶並加入純水配製濃度4M的氯化鈉水溶液。
2. 取50ml濃度4M的氯化鈉水溶液置入燒杯，以標籤紙標示出其濃度。
3. 取50ml的4M氯化鈉水溶液，倒入100ml容量瓶中並加入純水配製濃度2M的氯化鈉水溶液。
4. 利用步驟2、3方法配製出1M、0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M等濃度的水溶液，以標籤紙標示其濃度。
5. 利用數位電阻測量儀(裝置固定電阻1KΩ，碳棒電極)測量不同濃度水溶液的A0值並記錄。
6. 以測得數值繪製〈圖1-1〉。

【實驗一-2】稀薄溶液濃度變化與A0值的關係-以氯化鈉水溶液為例

實驗步驟：

1. 利用【實驗一-1】步驟4~5的方法，將濃度0.03125M的氯化鈉水溶液再稀釋成0.015625M及0.0078125M，以標籤紙標示其濃度。
2. 利用數位電阻測量儀(裝置固定電阻1KΩ，碳棒電極)測量濃度0.125M~0.0078125M氯化鈉水溶液的A0讀值並記錄結果。
3. 以測得數值繪製〈圖1-2〉。

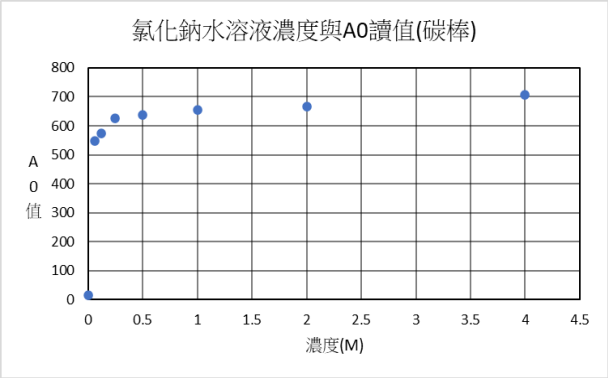
【實驗一-3】稀薄溶液連續性的濃度變化與A0值的關係

-以硫酸銅水溶液為例

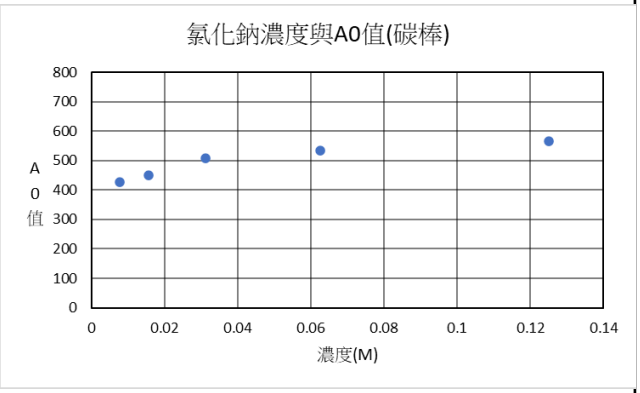
實驗步驟：

1. 將15.96g的無水硫酸銅粉末(分子量:159.60)加入少許純水溶解後，倒入100ml容量瓶並加入純水，配製濃度1M的硫酸銅水溶液。
2. 在250ml燒杯中加入100ml純水，並將銅棒電極放入(實驗裝置固定電阻1KΩ)。
3. 使用微量滴管一次吸取0.05ml硫酸銅水溶液，每十秒滴入燒杯中並記錄A0值。
4. 以測得數值繪製〈圖1-3〉。

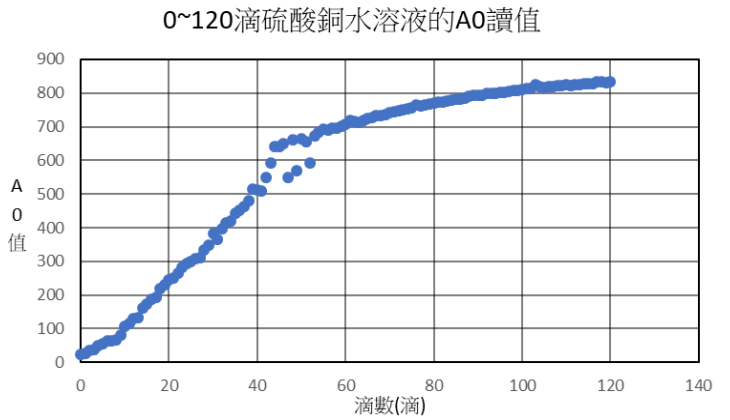
結果:



〈圖1-1〉濃度0~4M
氯化鈉水溶液 A0值關係圖



〈圖1-2〉濃度0.0078125M~0.125M
氯化鈉水溶液 A0值關係圖



〈圖1-3〉0到120滴 1M硫酸銅水溶液滴數與A0值關係圖

討論:

1. 由〈圖1-1〉，圖形在濃度0.25M~4M時斜率較小，在濃度0.0625M~0.125M時斜率較大，但其中低濃度水溶液的數據太少，難以觀察。為觀察濃度0.25M以下的氯化鈉水溶液濃度變化，接著在水溶液濃度較低的情況下進行【實驗1-2】。
2. 由〈圖1-2〉和〈圖1-1〉的結果進行比較，在濃度小於0.03125M的情況下可看出整體較為明顯的濃度變化趨勢。
3. 為進一步觀察數位電阻測量儀最適合測量的濃度範圍，接續進行【實驗一-3】，觀察在低濃度的情況下濃度變化與A0讀值的趨勢。
4. 實驗過程中，將電極置於氯化鈉水溶液中一段時間後，溶液開始產生具有刺激性的氯氣，故後續進行低濃度連續性的濃度變化實驗皆改以同為強電解質的硫酸銅進行。
5. 硫酸銅水溶液在通電過程中會產生電解反應，為避免影響溶液中銅離子濃度，故使用銅棒為正負極的電極材料。
6. 使用含水硫酸銅結晶進行實驗時，產生出較多雜質，為避免影響實驗結果，故改採用無水硫酸銅粉末進行實驗。
7. 由〈圖1-3〉得知，在100ml的純水中加入0~40滴濃度1M的硫酸銅水溶液，也就是莫耳濃度在約5×10^{-4}~1.96×10^{-2}M的範圍時，濃度越高，A0讀值越大。
8. 由〈圖1-3〉得知，在100ml純水中滴入0~40滴1M硫酸銅水溶液時，A0值變化的斜率較大，數位電阻測量儀較靈敏，可測到較明顯的濃度差異。當濃度超過1.96×10^{-2}M，A0值變化的斜率趨於平緩，數位電阻測量儀的靈敏度降低。

結論：

1. 濃度越大，A0讀值越大。
2. 濃度太大(超過1.96×10^{-2}M)時Arduino數位電阻測量儀較不靈敏，甚至無法測出A0值的變化。
3. 在低離子濃度的情況下(濃度大約5×10^{-4}~1.96×10^{-2}M)時，自製數位電阻測量儀可以較有效觀察出水溶液的A0值變化。
4. 裝置使用1KΩ固定電阻對於較高濃度溶液的電阻值變化較不靈敏，為使裝置能適用於不同濃度溶液的測量，後續將改變裝置中的固定電阻，觀察A0值變化。

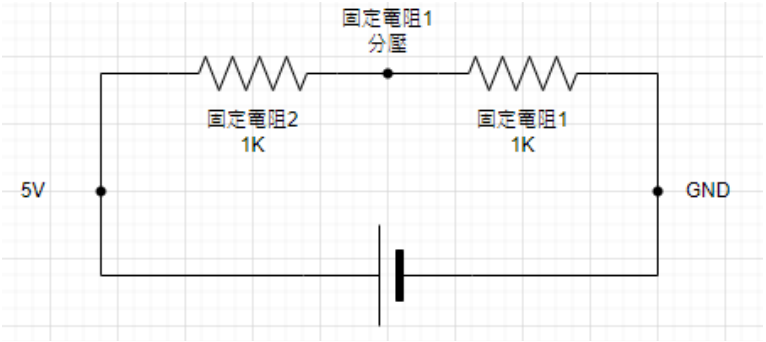
實驗二 探討數位電阻測量儀器材設置條件的影響

【實驗二-1】不同電壓輸出對數位電阻測量儀的影響

【實驗二-1-1】不同電壓輸出對A0極限讀值的影響

實驗步驟：

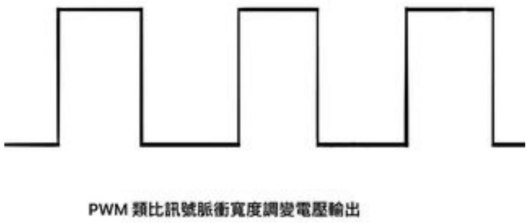
1. 設定Arduino電壓輸出2V(PWM脈衝輸出)。
2. 如〈圖P3〉，連接出通過固定電阻1、2，最後接到低電位GND的串聯電路。
3. 分別將Arduino的類比訊號腳位A0並聯於電路中點1(5V高電位)、點2(固定電阻1分壓)、點3(GND低電位)，測量A0讀值並記錄於〈表2〉。
4. 分別將步驟一的輸出電壓改為3V及5V(PWM脈衝輸出)及3.3V、5V(Arduino直流電壓輸出)，重複步驟2。



〈圖P3〉 實驗裝置電路圖

※PWM(Pulse-width modulation)：脈衝寬度調變。

我們利用PWM類比訊號調整電壓大小(脈衝頻率1000Hz)

	
〈圖P4〉5V直流電壓輸出	〈圖P5〉PWM類比訊號脈衝寬度調變電壓輸出

【實驗二-1-2】不同電壓輸出在溶液濃度變化實驗中的影響

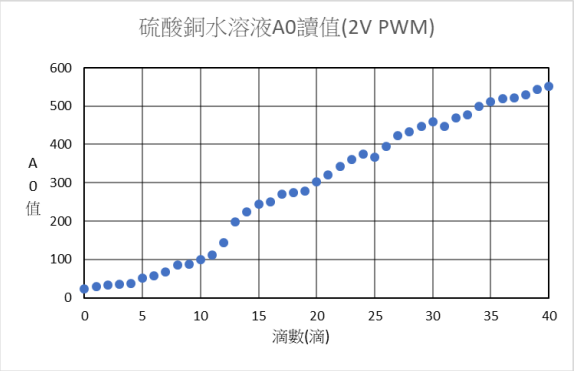
實驗步驟:

1. 設定Arduino板電壓輸出2V(PWM脈衝輸出)。
2. 進行【實驗一-3】步驟並記錄結果於〈表2〉。
3. 將步驟1的電壓輸出分別改為5V與3.3V直流電壓，重複步驟2。
4. 以測得數據分別繪製〈圖2-1-1〉、〈圖2-1-2〉。

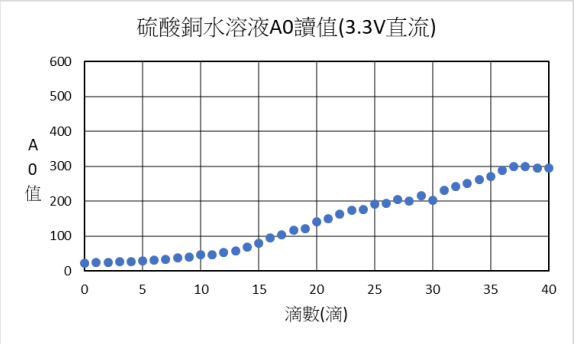
結果：

A0測點 / 電壓	正極	GND	固定電阻1分壓
2V類比(2.02V)	1012	0	505
3V類比(3.01V)	1012	0	505
5V類比(4.99V)	1012	0	505
3.3V直流	696	0	346
5V直流	1023	0	511

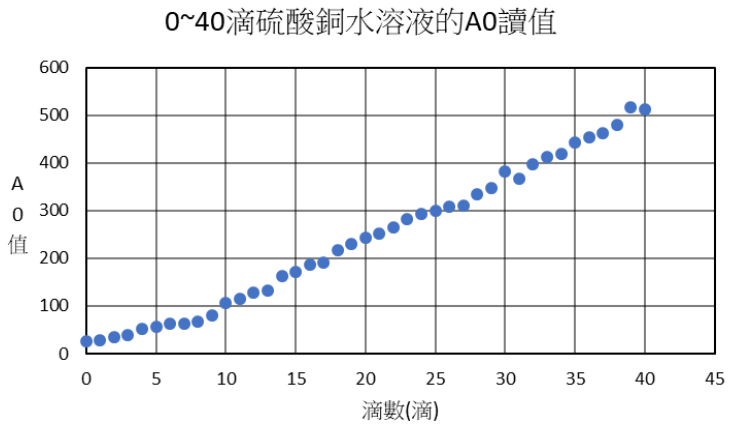
〈表2〉在不同電壓輸出下正極、GND及固定電阻1測得分壓列表



〈圖2-1-1〉2V PWM電壓輸出下硫酸銅水溶液滴數與A0值關係圖



〈圖2-1-2〉3.3V 直流電壓輸出下硫酸銅水溶液滴數與A0關係圖



〈圖2-1-3〉5V 直流電壓輸出下硫酸銅水溶液滴數與A0值關係圖

討論：

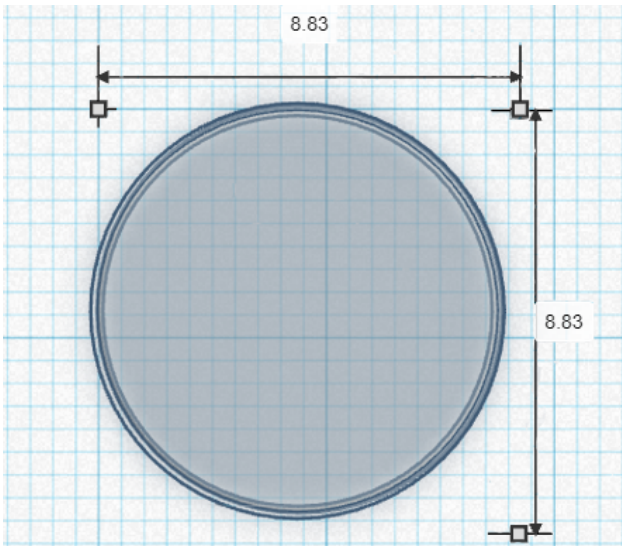
1. 由〈表2〉，改用類比電壓輸出進行測量，無論電壓為2V、3V或5V，A0值變化皆為0~1012，可測範圍較接近5V直流電壓的0~1023，可測範圍及靈敏度皆優於3.3V直流電壓輸出。
2. 由〈圖2-1-2〉、〈圖2-1-3〉，使用3.3V直流電壓輸出時，A0值範圍會從5V的0~1023變成0~696，再參照【實驗二-1-2】的實驗，同樣5×10^{-4}~1.96×10^{-2}M的水溶液濃度範圍，5V直流電壓的A0值變化可從0~500(圖2-1-3)，3.3V直流電壓只能從0~350(圖2-1-2)，電壓下降的同時，可測範圍降低。且3.3V直流電壓在濃度低時(濃度5×10^{-4}~5×10^{-3})A0變化較不明顯，不符合實驗需求。
3. 比較〈圖2-1-1〉、〈圖2-1-3〉，同樣5×10^{-4}~1.96×10^{-2}的水溶液濃度範圍，以2V PWM 脈衝電壓輸出與5V直流電壓輸出進行實驗，A0值的變化範圍都比3.3V直流電壓輸出大，且無論是數位或類比輸出，兩者在測量上並無明顯差異。但類比電壓輸出的形式會導致部分A0讀值呈現為0，只能人工選取數據，無法測定數值連續變化，故在後續需觀察連續變化的化學實驗將選擇5V直流電壓輸出進行。

結論：

1. 使用3.3V直流電壓進行實驗的可測範圍較小，不符合實驗需求，故不採用。
2. PWM脈衝電壓輸出可調整電壓，可測範圍及靈敏度皆與5V直流電壓相近，但需要人工選取數據，無法觀測連續變化，故不適用於測量化學反應的實驗中。

【實驗二-2】不同電極間距對Arduino數位電阻測量儀讀值的影響

為測量電極之間間距對Arduino數位電阻測量儀A0讀值的影響，我們設計了如〈圖P6〉的實驗裝置，藉由方格紙確認間距，電極在移動過程中不需離開液面，可減少溶液擾動對數位電阻測量儀帶來的干擾。

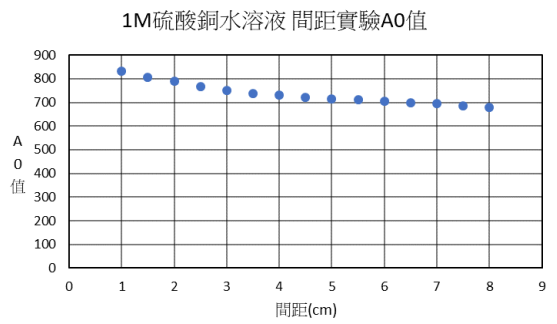


〈圖P6〉間距實驗 裝置示意圖

實驗步驟：

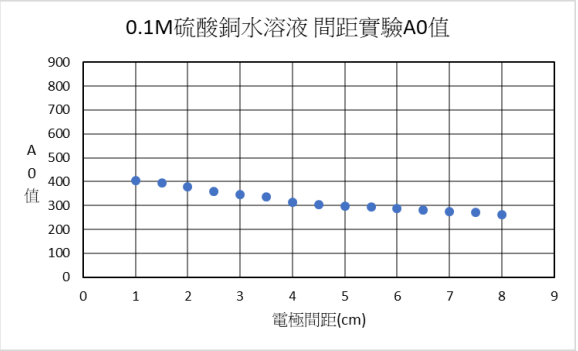
1. 取1.59g無水硫酸銅粉末(分子量:159.6)加入少許純水溶解，利用100ml容量瓶配製濃度0.1M的硫酸銅水溶液。
2. 在培養皿中加入少量濃度0.1M的硫酸銅水溶液，使其填滿培養皿底部。
3. 將培養皿置於方格紙上，並對齊紙上格線(如圖P6)。
4. 將銅棒電極放在硫酸銅水溶液中，使兩電極之間距離8cm，測量此時的A0值。
5. 一次只移動一端電極，每次向另一電極靠近方格紙一小格(0.5cm)並計時30秒，時間到紀錄A0值，重複直到電極間距為1cm。
6. 以測得數值繪製〈圖2-2-1〉。
7. 將硫酸銅濃度改為1M及0.007813M，重複步驟2到6。

結果：



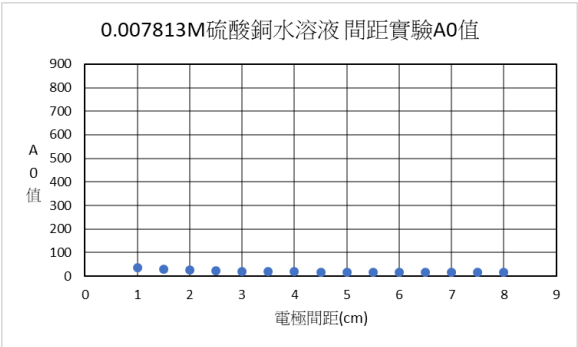
〈圖2-2-1〉電極間距與A0讀值關係圖

(濃度1M)



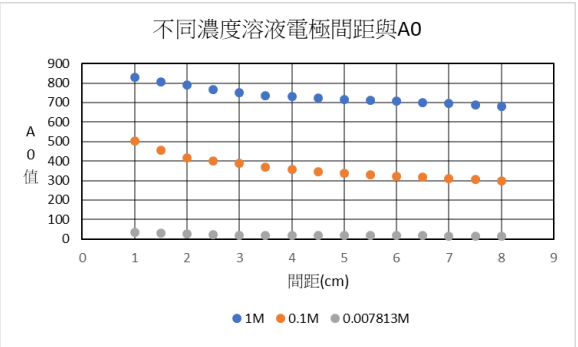
〈圖2-2-2〉電極間距與A0讀值關係圖

(濃度0.1M)



〈圖2-2-3〉電極間距與A0讀值關係圖

(濃度0.007813M)



〈圖2-2-4〉不同濃度硫酸銅水溶液

電極間距與A0讀值關係圖

討論：

1. 參照〈圖2-2-1〉，間距越大，A0讀值也越大，電阻越大。
2. 由〈圖2-2-3〉，水溶液濃度為0.007813M時，間距從1cm~8cm，其A0讀值由35降為15，變化範圍約25，相較於濃度1M〈圖2-2-1〉、濃度0.1M〈圖2-2-2〉結果，A0讀值變化範圍約100~200，且由〈圖2-2-4〉，濃度0.007813M的水溶液A0讀值變化量較小，可推知在濃度較低時，間距對導電度變化的影響較小。

結論：

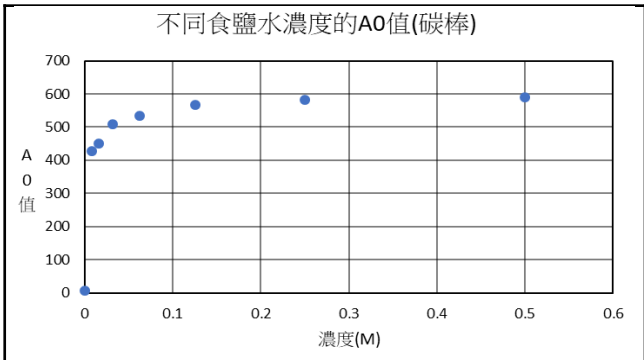
1. 間距大小會影響A0讀值，間距越小A0值越大。
2. 離子濃度較低的情況下，間距對A0讀值的影響較小。

【實驗二-3】 電極材質對數位電阻測量儀的影響

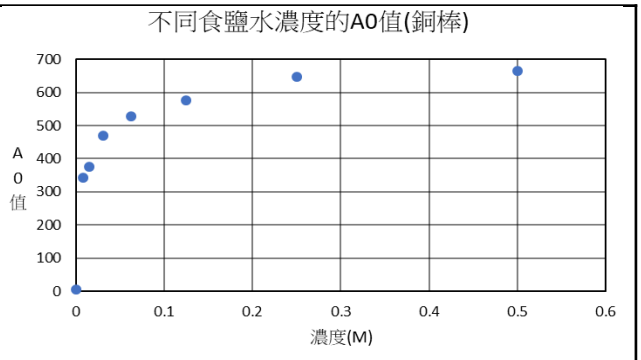
實驗步驟：

1. 進行【實驗一-1】步驟1~5，依序配製濃度0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M、0.015625M及0.0078125M的氯化鈉水溶液，以標籤紙標示濃度。
2. 以碳棒為電極，利用Arduino數位電阻測量儀(裝置固定電阻1KΩ)測量各種濃度水溶液的A0讀值並記錄其結果。
3. 將電極材質分別改為銅棒及一般筆芯，重複步驟2。
4. 以測得數值分別繪製〈圖2-3-1〉、〈圖2-3-2〉、〈圖2-3-3〉。

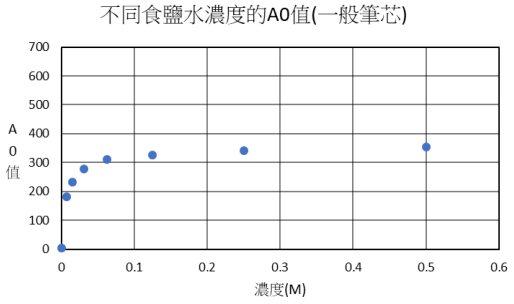
結果：



〈圖2-3-1〉以碳棒為電極的濃度與A0值關係圖



〈圖2-3-2〉以銅棒為電極的濃度與A0值關係圖



〈圖2-3-3〉以一般筆芯為電極濃度與A0值關係圖

討論：

1. 比較〈圖2-3-1〉、〈圖2-3-2〉及〈圖2-3-3〉，使用一般筆芯作為電極的A0讀值變化範圍從4~360，數值明顯較碳棒電極的7~590、銅棒電極的5~665小，無論是A0值的變化範圍或相同濃度下溶液的A0讀值都相對較小，推測原因是一般筆芯內含有除了石墨以外的成分，導電性較差，在進行實驗時可能影響A0值的測量結果，因此未來進行實驗不採用一般筆芯做為電極。
2. 使用銅棒電極進行實驗，過程中觀察到銅棒負極上有正極析出的藍色銅離子附著，且比較〈圖2-3-1〉與〈圖2-3-2〉，在濃度0.125M~0.5M的溶液，銅棒電極的A0值變化趨勢較碳棒電極大，推測可能與銅離子的析出有關。考量到溶液中若有電極析出的銅離子可能影響測量結果，而一般筆芯的導電性相對較差，故未來若使用非硫酸銅水溶液進行實驗，將以碳棒作為電極。

結論：

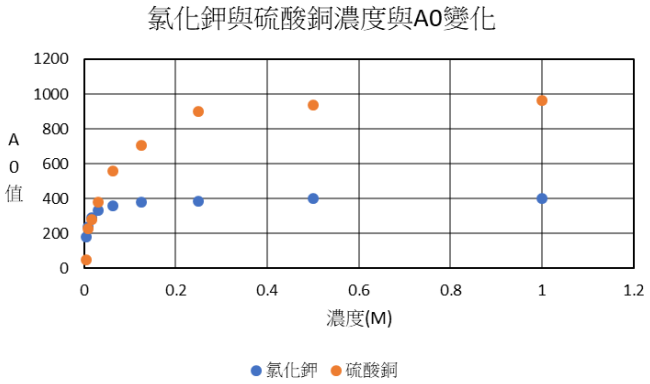
1. 為避免測量時溶液中銅離子濃度變動影響測量結果，利用硫酸銅水溶液進行實驗時將使用銅棒作為電極，反之，為避免銅棒析出銅離子影響測量，利用非硫酸銅水溶液進行實驗時將使用碳棒作為電極。
2. 一般筆芯因成分不只含有石墨，導電性較銅棒及碳棒差，較不適用於實驗中。

【實驗二-4】探討不同水溶液對數位電阻測量儀讀值的影響

實驗步驟：

1. 取7.455g氯化鉀(分子量:74.5513)與少許水均勻混合，利用100ml容量瓶配製濃度1M的氯化鉀水溶液。
2. 利用【實驗一-1】的方法，取50ml的1M氯化鉀水溶液，用100ml容量瓶加水稀釋為濃度0.5M的氯化鉀水溶液，依序配製濃度0.25M、0.125M、0.0625M、0.03125M、0.015625M、0.007813M、0.003906M的氯化鉀水溶液。
3. 利用電阻測量儀測量不同濃度氯化鉀水溶液的A0值（裝置固定電阻1KΩ）。
4. 重複步驟2配製相同濃度硫酸銅水溶液，並以硫酸銅水溶液重複步驟3。
5. 以兩種水溶液測得之A0讀值進行比較，繪製〈圖2-4-1〉。

結果：



〈圖2-4〉不同濃度氯化鉀與硫酸銅與A0變化圖

討論：

1. 由〈圖2-4〉，在相同濃度下，硫酸銅水溶液的A0值較氯化鉀水溶液高，溶液中的電阻較低，得知不同的電解質會影響溶液中的電阻變化。推測原因為硫酸銅離子為二價，而氯化鉀離子為一價，因此相同的離子數，硫酸銅水溶液的離子帶電量較高，導電效果較佳而使溶液中電阻較低、A0值較高。

結論：

1. 不同種水溶液的電阻不同，離子價數較高的電解質離子帶電量高，水溶液電阻較低而A0值較高，導電性較佳。

實驗二綜合結論:

1. 5V電壓輸出靈敏度較大且可進行連續觀測，故未來實驗將以5V電壓輸出進行。
2. 即使溶液種類、濃度相同，電極間距仍會對A0值造成影響，但在濃度較低的稀薄溶液中影響較小。
3. 一般筆芯不適合作為電極，而銅棒電極會解離出銅離子，故非使用硫酸銅水溶液的實驗以碳棒進行。
4. 不同種類的溶液離子帶電量不同，因此溶液中電阻不同，相同濃度下A0讀值也不盡相同。
5. 上述因素皆會影響A0讀值大小，因此A0讀值並不代表溶液的實際濃度，僅透過數值的大小變化觀察濃度改變時固定電阻的A0分壓變化，此數位電阻測量儀較適用於「同類實驗，固定電阻相同」時化學反應濃度變化的比較。

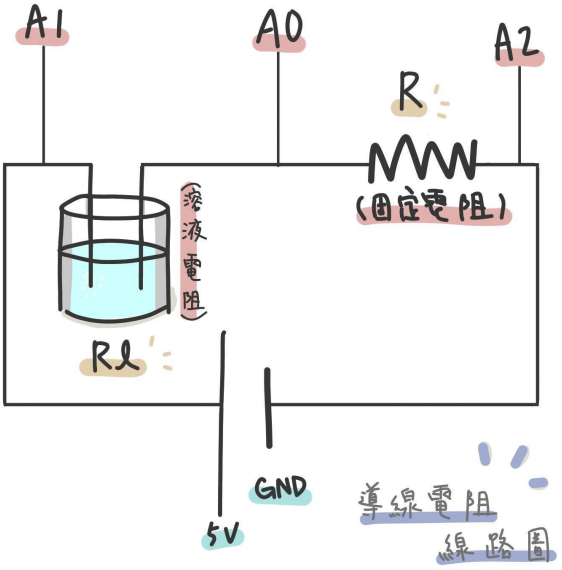
實驗三 探討固定電阻對數位電阻測量儀靈敏度的影響

【實驗三-1】導線電阻對數位電阻測量儀靈敏度的影響

由於數位電阻測量儀是利用裝置內固定電阻與水溶液的「分壓占比」變化觀察A0值的變化，因此固定電阻及水溶液的電阻值在極低的情況下，可能會出現導線電阻分壓占比高到不可忽略的情況而影響A0讀值，因此將進行【實驗三-1】，確認在不同濃度、不同固定電阻的情況下，導線電阻是否會影響裝置靈敏度與準確度。

實驗步驟：

1. 如〈圖P7〉，利用在電路中並聯偵測固定電阻分壓讀值的方法，在數位電阻測量儀裝置中5V輸出處並聯A1、GND接地處並聯A2。
2. 裝置使用1KΩ的固定電阻，測量0.001953M的硫酸銅水溶液高電位(A1)、低電位(A2)及固定電阻(A0)的分壓類比訊號值。
3. 將裝置內的固定電阻換為390Ω、220Ω、150Ω，重複步驟2。
4. 將步驟2中硫酸銅水溶液的濃度改為0.03125M、1M，重複步驟2、3。



〈圖P7〉A0、A1及A2接點

結果：

電阻(Ω)	A0	A1	A2
1000	334	1023	0
390	178	1023	0
220	119	1023	0
150	85	1023	0

〈表3-1-1〉不同電阻在三點所測得分壓(氯化鉀水溶液濃度0.003906M)

電阻(Ω)	A0	A1	A2
1000	687	1023	0
390	513	1023	0
220	404	1023	0
150	335	1023	0

〈表3-1-2〉不同電阻在三點所測得分壓(氯化鉀水溶液濃度0.125M)

電阻(Ω)	A0	A1	A2
1000	955	1023	0
390	865	1023	0
220	729	1023	0
150	605	1023	0

〈表3-1-3〉不同電阻在三點所測得分壓(氯化鉀水溶液濃度1M)

討論：

1. 由【實驗二-1-1】結果，5V電壓輸出的A0讀值變化範圍為0~1023，測量電路中溶液、高電位、低電位的分壓，若測出A1高電位的值並非1023或A2低電位的值並非0，即說明電路中部分的分壓類比訊號被導線佔去，導線的電阻在實驗中不可忽視。

2. 由〈表3-1-1〉，在離子濃度較低(濃度0.003069M)，溶液電阻較大的情況下，雖然使用150Ω電阻，但因為固定電阻與溶液的分壓差異大，導致A0值僅有85，不過無論使用何種固定電阻，高電位A1極限的值為1023，低電位A2的值也是0，說明水溶液電阻高的情況下，即使裝置內固定電阻電阻值較小，導線電阻在裝置迴路中的分壓大小不足影響固定電阻與溶液的分壓，因此可忽略。
3. 由〈表3-1-3〉，在離子濃度較高(濃度1M)，溶液電阻較小的情況下，因固定電阻的分壓較低，無論使用何種電阻A0值皆介於600~1000間，且即使在固定電阻電阻值最小的情況下(150Ω)，其極限值依舊為0~1023，說明即便溶液及固定電阻的電阻值皆較小，導線的電阻大小亦不會影響固定電阻與溶液的分壓占比。
4. 由〈表3-1-1〉、〈表3-1-2〉、〈表3-1-3〉，無論濃度高低、固定電阻大小、導線的電阻在電路中的分壓占比皆不會影響類比訊號分壓的極限值，對於固定電阻及溶液電阻的影響極小，不足以影響實驗中觀測的A0讀值，可忽略不計。

結論:

1. 無論在使用何種濃度的溶液或介於150Ω~1000Ω何種固定電阻，導線對於整個迴路的電阻分壓影響極小，不足影響實驗結果，可忽略不計。

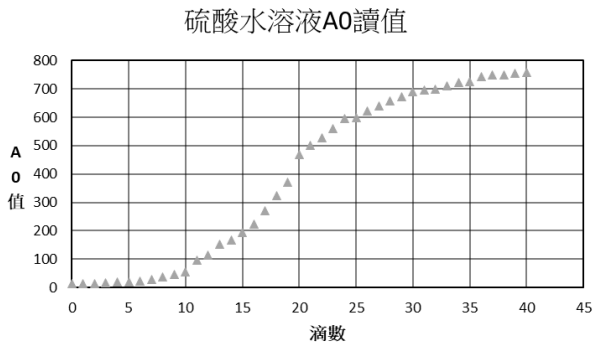
【實驗三-2】數位電阻測量儀使用不同固定電阻的可測範圍

實驗三-2-1 硫酸水溶液A0靈敏度最佳範圍的分壓比

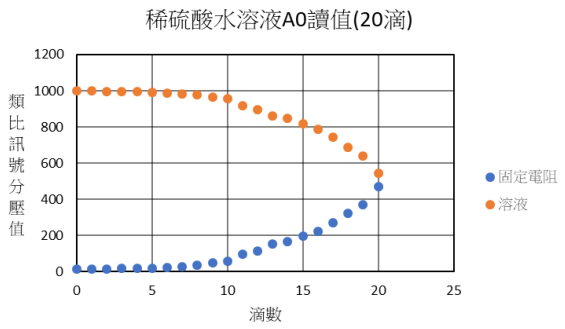
實驗步驟：

1. 取硫酸9.807g(分子量：98.07)，利用100ml的容量瓶配製濃度1M的硫酸水溶液。
2. 取純水100ml，以微量滴管一次吸取0.1ml硫酸水溶液滴入純水中，並以數位電阻測量儀測A0值(裝置固定電阻固定1KΩ)。
3. 重複步驟2，直到溶液中滴入40滴的硫酸水溶液。
4. 利用類比訊號總範圍(由實驗二-1-1得知，使用5V電壓輸出進行實驗所得A0值範圍為0~1023)，以1023扣除A0值，得水溶液的分壓訊號，並利用此分壓訊號與固定電阻A0值在不同濃度下的變化繪製〈圖3-1-2〉。

結果：



〈圖3-1-1〉滴入硫酸水溶液滴數與A0讀值變化



〈圖3-1-2〉水溶液分壓訊號與固定電阻A0分壓訊號

討論：

1. 由於硫酸銅水溶液會有銅離子析出，電解反應產生的雜質也會對A0讀值造成影響，因此實驗中選用電解產物只有氫氣與氧氣的硫酸水溶液進行
2. 由〈圖3-2-1〉可發現，在100ml純水中滴入硫酸水溶液的量在1~10滴(約0.1ml~1ml)及30滴(約3ml)以上時，觀察到的A0值變化都較不明顯，同【實驗一】結果，推測水溶液濃度極低時，水溶液的電阻遠高於裝置中的固定電阻，在此情況下分壓發生變化，兩者的占比關係變化不明顯；而在水溶液濃度極高時，其電阻值低，導致固定電阻的分壓遠高於溶液的分壓，使裝置靈敏度低。如〈圖3-1-2〉所示，溶液及固定電阻分壓比值較接近時靈敏度較高。
3. 因為上述原因，推測改變裝置內固定電阻的電阻值，將會造成分壓占比不同，影響A0值的變化，因此將進行後續實驗，探討在待測物的電阻大小不同的情況下，裝置使用不同固定電阻對於儀器靈敏度的影響。

【實驗三-3】不同固定電阻對數位電阻測量儀靈敏度的影響

實驗三-3-1 小範圍低濃度變化－不同固定電阻對裝置靈敏度的影響

實驗步驟：

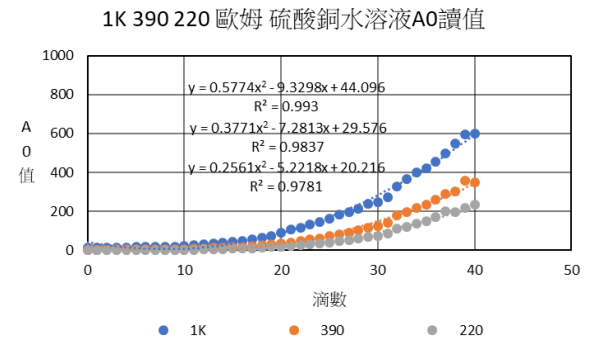
1. 將Arduino電壓輸出固定為2V濃度 PWM脈衝電壓輸出，固定電阻為220Ω。
2. 取一250ml燒杯中加入100ml純水，架設Arduino實驗裝置，固定電極間距為3.43cm，進行【實驗一-3】步驟。
3. 分別改變電路中固定電阻為390Ω、1KΩ，重複步驟3。
4. 將不同固定電阻測得離子濃度變化與A0讀值繪製成〈圖3-3-1〉。

實驗三-3-2 大範圍濃度變化下－不同固定電阻對裝置靈敏度的影響

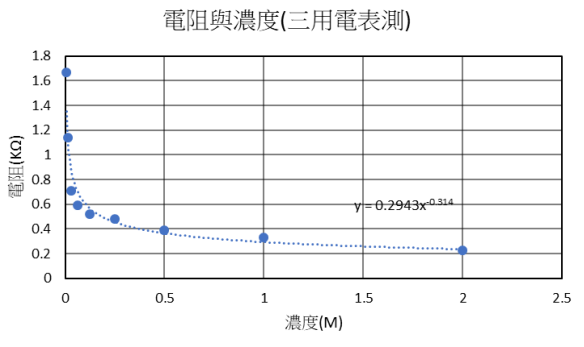
實驗步驟：

1. 利用三用電表測量各濃度水溶液的電阻值。
2. 將步驟1測得數值繪製成繪製成〈圖3-3-2〉
3. 將15.96g的無水硫酸銅粉末(分子量:159.60)加入少許純水溶解後，倒入100ml容量瓶並加入純水，配製濃度1M的硫酸銅水溶液。
4. 取50ml1M硫酸銅水溶液，以100ml容量瓶依序稀釋出濃度0.5M、0.25M、0.125M、0.0625M、0.01563M、0.03125M、0.007813M、0.003906M 的硫酸銅水溶液。
5. 利用Arduino數位電阻測量儀(裝置固定電阻1KΩ，銅棒電極)測量不同濃度硫酸銅水溶液A0讀值並記錄結果。
6. 將裝置中的固定電阻分別改為390Ω、220Ω、150Ω，重複步驟5。
7. 將不同電阻，不同濃度的A0值變化繪製為圖表，如〈圖3-3-3〉。

結果：



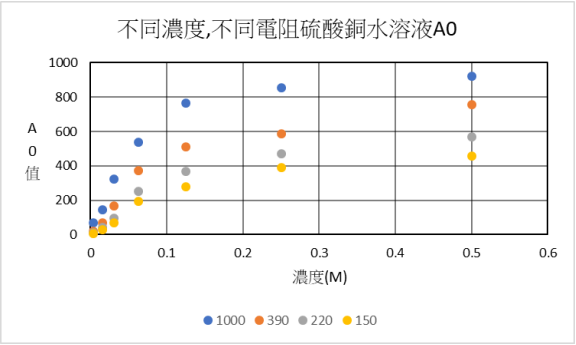
〈圖3-3-1〉固定電阻電阻值低離子濃度變化與A0讀值關係圖



〈圖3-3-2〉硫酸銅水溶液濃度與電阻關係圖

濃度(M) \ 電阻(Ω)	1000	390	220	150
0.5	921	756	567	459
0.25	856	589	470	392
0.125	767	511	367	278
0.0625	537	371	251	193
0.03125	143	71	44	31
0.003906	69	22	12	7

〈表3-3〉不同固定電阻較大範圍濃度變化與A0讀值



〈圖3-3-3〉不同固定電阻較大範圍濃度變化與A0讀值關係圖

討論：

1. 由〈圖3-3-1〉，以莫耳濃度約5×10^{-4}M~1.96×10^{-2}M的硫酸銅水溶液作為待測物時，固定電阻使用1KΩ測得硫酸銅水溶液的A0值變化趨勢較220Ω與390Ω大，故在電解質水溶液濃度低於10^{-2}M時選擇1KΩ電阻作為裝置中固定電阻最適合。
2. 由〈圖3-3-2〉，以三用電表測量濃度2M~0.003906M硫酸銅水溶液的實際電阻值，當硫酸銅水溶液濃度超過0.125M時，即使濃度提高，也無法觀察到溶液電阻明顯下降趨勢，說明當溶液內的離子濃度高過一定程度，電阻值的變化便會趨於不明顯，與我們在【實驗三-2】中的假設不同，由於溶液電阻本身變化就不大，因此並不全是固定電阻與溶液分壓差距大導致A0值變化不明顯，但由〈圖3-3-3〉，固定電阻的電阻大小對讀值變化確實會造成影響。

3. 由〈表3-3〉，比較不同固定電阻在濃度0.003906M~0.125M硫酸銅水溶液中的A0值變化，1KΩ電阻從69~767，變化範圍698，150Ω電阻A0值7~278，變化範圍271，較1KΩ電阻的變化量低427，且電阻越小，變化量越小，說明在濃度0.125M~0.003906M的稀薄溶液中，裝置使用1KΩ的固定電阻，可測得的變化範圍較大，靈敏度較高。
4. 由〈表3-3〉，在溶液濃度0.125M以上的情況下，各電阻的A0值變化量皆介於150~200，150Ω電阻A0值278~459，變化範圍181，甚至比1KΩ電阻的變化範圍154大，說明在濃度較大(0.125M~0.5M)的情況下，即使固定電阻不同，對於溶液濃度變化的靈敏度差異不大，甚至電阻值較低的固定電阻可超越1KΩ電阻。因此改變故定電阻電阻值大小可改變A0對溶液濃度變化的靈敏度。
5. 由上述討論4、5，比較不同固定電阻從濃度0.003906M~0.5M硫酸銅水溶液的整體A0值變化，電阻值最小的150Ω電阻A0值僅7~459，變化範圍452，而電阻值最大的1KΩ電阻A0值從69~921，變化範圍852，變化量明顯較150Ω電阻大，且隨著電阻值的增加，A0變化範圍越大，說明在整體濃度較低的溶液，使用電阻值較高的固定電阻測量靈敏度較高。

結論：

1. 電解質水溶液發生低濃度的濃度變化時，溶液內的電阻變化較明顯，而當濃度高到一定程度，即便濃度產生變化，電阻值下降趨勢不明顯。
2. 透過改變裝置中的固定電阻電阻值，可改變數位電阻測量儀對於相同範圍溶液濃度變化的靈敏度。
3. 在測量低濃度的電解質水溶液濃度變化時，數位電阻測量儀裝置中使用1KΩ的固定電阻，可提升測量時的靈敏度，觀察到溶液電阻細微變化。

實驗四 Arduino數位電阻測量儀在碘化鉛沉澱實驗中的應用

【實驗四-1】 硝酸鉛與碘化鉀沉澱反應(觀察沉澱高度)

※ 實驗原理： $Pb(NO_3)_2 + 2\ KI \rightarrow PbI_2 \downarrow + 2\ KNO_3$

實驗步驟：

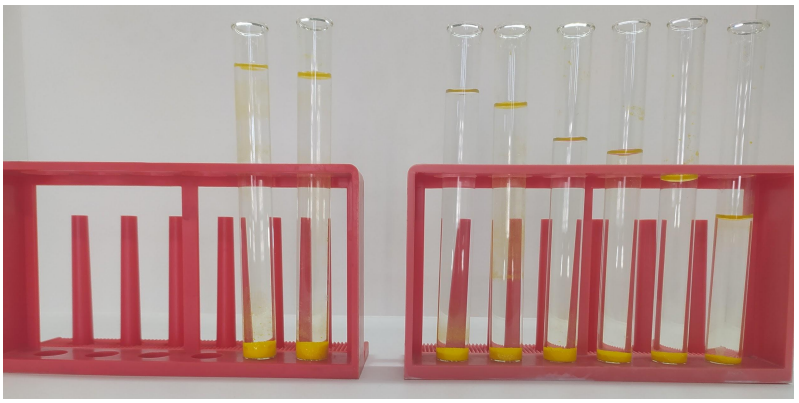
1. 取3.312g硝酸鉛(分子量：331.2)與少許水均勻混合，利用100ml容量瓶配置濃度0.1M的硝酸鉛水溶液。
2. 取1.660g碘化鉀(分子量：166.0028)與少許水混合，利用100ml容量瓶配置濃度0.1M的碘化鉀水溶液。
3. 取一個250ml燒杯，裝半杯水，以加熱攪拌器加熱備用。
4. 取8隻試管上，並於各試管內置入6ml濃度0.1M硝酸鉛水溶液。
5. 分別將3ml、5ml、7ml、9ml、10ml、11ml、12ml、13ml等體積的碘化鉀溶液以微量滴管加入各試管中。
6. 用橡皮筋捆綁8隻試管，同時放入燒杯內的熱水中，使每一隻試管都直立而不傾斜。繼續加熱約5至10分鐘，直到固體物質都沈澱在試管底部。
7. 將試管立於試管架上(圖4-2-1)，冷卻後用直尺測量沉澱物質高度，並記錄於表。

【實驗四-2】硝酸鉛與碘化鉀沉澱反應 (數位電阻測量儀)

實驗步驟：

1. 量取6ml濃度0.1M硝酸鉛水溶液置於燒杯中。
2. 量取14ml濃度0.1M碘化鉀水溶液備用。
3. 架設實驗裝置於硝酸鉛水溶液中(裝置使用1KΩ固定電阻)，測量溶液的A0值。
4. 以微量滴管一次吸取0.5ml的碘化鉀水溶液滴入硝酸鉛水溶液中，將之均勻混和後，靜置並等待生成之碘化鉛沉澱，測量A0讀值。
5. 測量加入的碘化鉀從0.5~13ml的A0值變化，並作圖，如〈圖4-2-2〉。

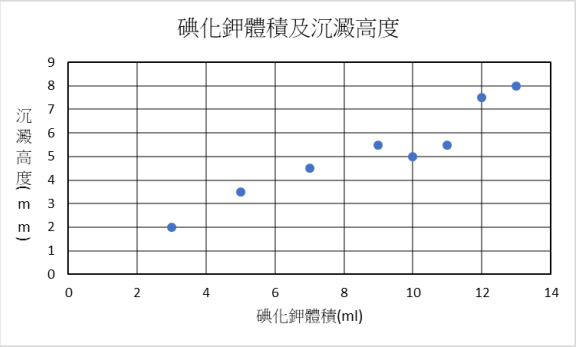
結果:



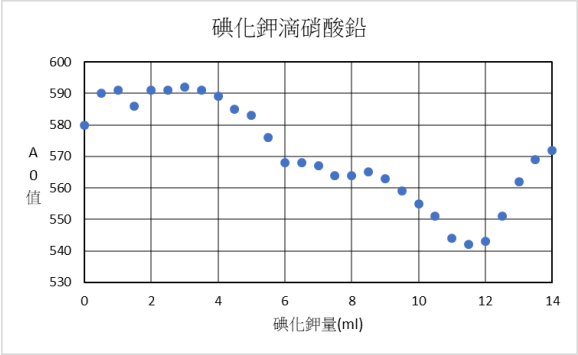
〈圖4-2-1〉碘化鉛沉澱實驗結果

硝酸鉛水溶液(ml)	碘化鉀水溶液(ml)	沉澱高度(mm)
6	3	2
6	5	3.5
6	7	4.5
6	9	5.5
6	10	5
6	11	5.5
6	12	7.5
6	13	8

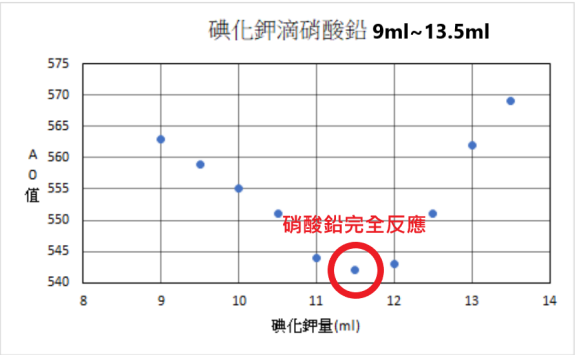
〈表4-2-1〉碘化鉀體積與沉澱高度



〈圖4-2-2〉碘化鉀體積與沉澱高度



〈圖4-2-3〉碘化鉀滴硝酸鉛



〈圖4-2-4〉碘化鉀滴硝酸鉛

(加入碘化鉀水溶液體積9ml~13.5ml)

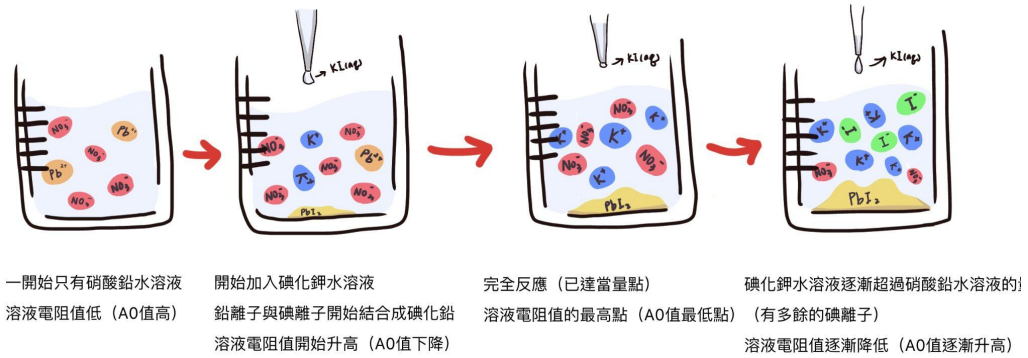
- 硝酸鉛完全反應時碘化鉀體積:11.5ml
- 實驗理論值: 12ml

實驗方式	誤差百分率
測量沉澱高度找出碘化鉀與固定量硝酸鉛完全反應的體積	無法測量
數位電阻測量儀測量碘化鉀與固定量硝酸鉛完全反應的體積	$\frac{12-11.5}{12}=4.167\%$

〈表4-2-2〉一般沉測澱高度與數位電阻測量儀濃度測定方式比較

討論：

1. 實驗中使用的水溶液濃度為0.1M，根據【實驗三-3】結果，由於溶液的濃度較低，故裝置中的固定電組選用1KΩ為佳。
2. 進行【實驗四-2-1】時，原先預期在固定6ml的硝酸鉛水溶液中加入碘化鉀，產生的碘化鉛沉澱高度會隨著加入的碘化鉀體積增加而變高，當沉澱高度不再增加，即代表碘化鉀和硝酸鉛完全反應。但如〈表4-2-1〉與〈圖4-2-2〉，並無法觀察出預期的結果，因為每支試管內沉澱物質(PbI_2)的密度有差異，無法準確測量出真實沉澱高度，進而判斷硝酸鉀與碘化鉛是否完全反應。
3. 實驗過程中離子濃度變化與A0值變化的關係：



4. 由〈圖4-2-3〉，利用數位電阻測量儀進行實驗，在滴入碘化鉀水溶液11.5ml時，A0值達到最低點，表示硝酸鉛水溶液中的鉛離子已與碘化鉀水溶液中的碘離子完全反應產生碘化鉛沉澱。若再加入碘化鉀水溶液，水溶液中的離子量再度增高使A0值上升。結果與理論值12.0ml誤差4.167%，相較於觀察沉澱高度，使用數位電阻測量儀能更準確測量實驗中完全反應的終點。

結論：

1. 將數位電阻測量儀應用在低離子濃度變化的化學實驗中，能有效區分沉澱實驗反應完全時反應物體積，更精確的推算出化學反應中反應物的係數比。

實驗五 Arduino數位電阻測量儀在酸鹼中和中的應用

※實驗原理：$HCl(aq) + NaOH(aq) \rightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

實驗五-1氫氧化鈉滴定鹽酸實驗與滴定終點

實驗步驟：

1. 取10ml濃度1M的氫氧化鈉水溶液 ，利用100ml容量瓶稀釋成濃度0.1M的氫氧化鈉水溶液。
2. 以KHP標定氫氧化鈉水溶液的濃度。
3. 取10ml濃度1M鹽酸以100ml容量瓶稀釋為濃度0.1M鹽酸，並取標準濃度0.1M鹽酸10ml置入燒杯。
4. 將磁石放入燒杯後架設Arduino實驗裝置，裝置中的固定電阻為1KΩ。
5. 取少許標定過的0.097M氫氧化鈉溶液潤洗滴定管。倒掉潤洗溶液，將適量氫氧化鈉水溶液加入滴定管中。
6. 把燒杯置於加熱攪拌器並開始攪拌，以15ml氫氧化鈉水溶液滴定鹽酸，同時以裝置測量，並記錄開始滴定至結束的總滴數和時長。
7. 將測得數據作滴定時間與A0讀值關係圖。
8. 以一般酸鹼滴定的方法，在10ml中鹽酸滴入2至3滴酚酞指示劑，進行相同實驗，記錄酚酞變色時的氫氧化鈉體積。
9. 以標定出氫氧化鈉的濃度乘以實驗滴定終點氫氧化鈉的體積，再以0.1M鹽酸的濃度作為理論值，推算一般酚酞滴定實驗與使用數位電阻測量儀進行實驗的當量點氫氧化鈉濃度和理論值的誤差百分比。

氫氧化鈉體積計算：

1. 將滴定開始到結束的總時長換算成秒數並記錄。
2. 總滴數(滴)除以總時長(s)即為此次實驗之滴定速率(v)。
3. 將本次實驗中所用到的氫氧化鈉水溶液總體積記錄下來。
4. 總體積(ml)除以總滴數(滴)即為此次實驗每滴的體積。
5. 將秒數乘以每滴的體積再乘以滴定速率，即為此次實驗氫氧化鈉水溶液體積(V)

公式：V= v(滴/s) * ml/滴 * t(s)

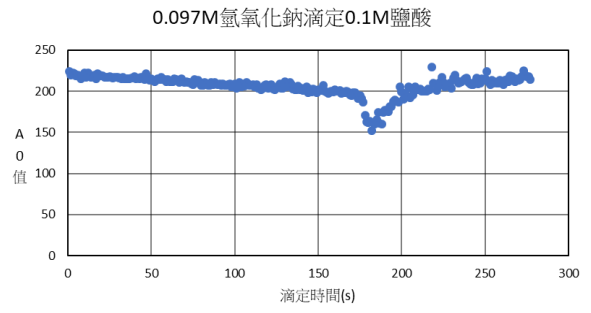
理論值與誤差百分比計算:

1. 以鹽酸的濃度作為理論值，將鹽酸的體積乘以濃度。
2. 將鹽酸濃度與體積的乘積除以氫氧化鈉的標定濃度，得氫氧化鈉的理論值體積。$V_{NaOH} \times [NaOH] = [HCl] \times V_{HCl}$
3. 以氫氧化鈉的理論值體積和實驗結果的氫氧化鈉體積之差除以理論氫氧化鈉體積，再乘以百分率，即為此實驗的誤差百分率。

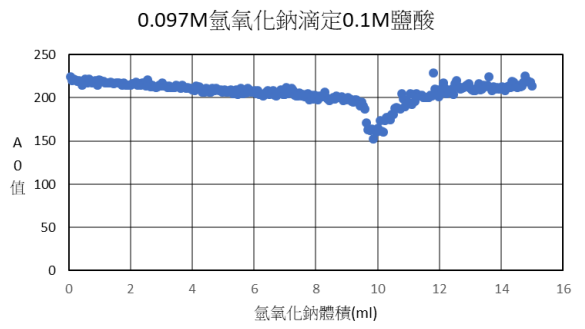
公式：

- 理論值$V_{NaOH} = \frac{[HCl] \times V_{HCl}}{[NaOH]}$
- 誤差百分率$= \frac{理論值V_{NaOH} - 實驗結果V_{NaOH}}{理論值V_{NaOH}} \times 100\%$

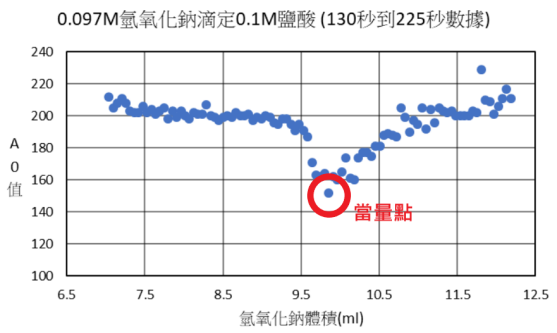
結果：



〈圖5-1-1〉滴定時間與A0讀值
(0.097M氫氧化鈉滴定0.1M鹽酸)



〈圖5-1-3〉氫氧化鈉體積與A0讀值
(氫氧化鈉360滴)



〈圖5-1-2〉氫氧化鈉體積與A0讀值(6.30ml~13.14ml的數據)

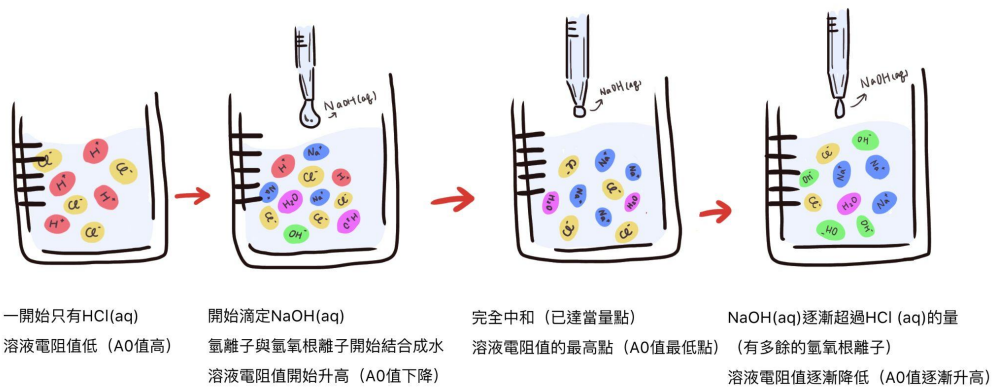
- 一般滴定實驗(酚酞)結果終點：10.0ml(氫氧化鈉標定結果:0.095M)
- 實驗理論值：10.526ml
- 氫氧化鈉滴定終點體積估算結果: 9.85603ml(氫氧化鈉標定結果:0.097M)
- 實驗理論值: 10.3ml

實驗方式	誤差百分率
傳統酚酞滴定 (氫氧化鈉標定濃度：0.095M)	理論值$V_{NaOH}=\frac{0.1\times10}{0.095}\fallingdotseq10.526$ 誤差百分率$=\frac{10.526-10.0}{10.526}\times100\%=5\%$
數位電阻測量儀 (氫氧化鈉標定濃度：0.097M)	理論值$V_{NaOH}=\frac{0.1\times10}{0.097}\fallingdotseq10.309$ 誤差百分率$=\frac{10.309-9.85603}{10.309}\times100\%=4.397\%$

〈表5-1〉一般滴定與數位電阻測量儀濃度測定方式比較

討論：

1. 實驗過程中離子濃度變化與A0值變化的關係：



2. 此實驗以0.097M氫氧化鈉滴定0.1M鹽酸，目的為確認數位電阻測量儀的可行性，與一般滴定實驗以「已知」溶液滴定「未知」溶液不同，而是在已知兩種溶液濃度的情況下，利用「$V_{NaOH} \times [NaOH] = V_{HCl} \times [HCl]$」的原理，測量滴定終點的氫氧化鈉體積，比較一般酚酞滴定與數位電阻測量儀測量滴定終點的結果和理論值的差異，進而評估數位電阻測量儀在酸鹼中和實驗的測量精準度和可行性。
3. 由〈圖5-1-1〉，滴定時間約180秒時，A0值從200急遽下降至150，A0值大約變化了50，之後再度上升。
4. 由〈圖5-1-2〉，利用滴定時長與總滴數換算出每秒鐘氫氧化鈉的滴入體積，發現圖形最低點在氫氧化鈉水溶液體積(9.5~10.5ml)的中間(約10ml)，若將6.30ml至13.14ml的實驗結果放大，接近10ml處達到最低點，計算此時的氫氧化鈉體積為9.85603ml。
5. 由〈表5-1〉，比較一般利用酚酞指示劑與數位電阻測量儀測量當量點體積的準確度，一般以酚酞測定與實驗理論值的誤差5%，而使用數位電阻測量儀的誤差約4.397%，優於使用酚酞測量的結果。確定數位電阻測量儀能應用於化學實驗中離子濃度變化的連續性測量，並測量酸鹼中和反應達滴定終點的體積。

結論：

1. 自製數位電阻測量儀具有效區分水溶液中離子濃度變化的特性，將此特性應用在酸鹼滴定實驗中離子濃度變化的連續性測量，藉由A0值由低至高的反轉點判斷出滴定終點(當量點)。
2. 相較於一般使用酚酞進行實驗，數位電阻測量儀在酸鹼中和實驗中不須使用指示劑，且可直接利用A0值的變化以數位方式測量反應的當量點，在實驗中相對簡便許多。

伍、綜合討論與結論

1. 由【實驗二-1】、【實驗二-2】、【實驗二-3】、【實驗二-4】結果，使用3.3V直流電壓輸出會使A0讀值的極限值範圍降低，且裝置靈敏度較使用5V直流電壓輸出或2VPWM脈衝電壓輸出時低，而使用2VPWM脈衝電壓輸出無法讀取連續性數據，因此以5V直流電壓進行實驗為佳。相同濃度的溶液，電極間距越大，其A0值越小，在濃度低的情況下，間距對A0的影響較小。一般筆芯作為電極測出的A0變化較不明顯，可能影響裝置靈敏度，故不適用，而銅棒電極通電會使銅離子析出，故除了使用硫酸銅水溶液進行的實驗，在化學反應的實驗中均以碳棒作為電極。比較氯化鉀與硫酸銅水溶液，即便相同濃度，由於不同電解質的離子價數與解離度等性質不同，因此不同種類溶液所測得的A0讀值不同。
2. 由實驗一，數位電阻測量儀可應用在測量水溶液中的離子濃度變化，尤其在濃度較稀薄時，A0變化量較大，再根據【實驗三-3】結果，以三用電表測量溶液電阻值，發現當濃度高到一定程度，即使濃度改變，溶液電阻變化也不明顯。
3. 由【實驗三-2】得知，固定電阻的電阻值大小會影響裝置的靈敏度，若裝置內的固定電阻與水溶液電阻分壓相差太大會難以測量濃度改變時的A0值變化。由【實驗三-3】，改變固定固定電阻值大小可提高裝置的靈敏度，在溶液濃度稀薄時(0.125M以下)，使用1KΩ電阻裝置靈敏度最高。
4. 在【實驗二】、【實驗三】中，數位電阻測量儀的A0讀值會受固定電阻、溶液種類等因素影響，因此A0讀值的大小並無法代表溶液的實際電阻大小或濃度，其主要利用於測量「相同固定電阻、相同性質實驗」的比較，以及化學實驗中觀察溶液濃度連續變化時溶液的電阻變化。
5. 由於我們在化學反應實驗中使用的水溶液濃度皆為0.1M，屬於濃度相對較低的溶液，因此使用1KΩ的電阻作為裝置中的固定電阻最為合適。
6. 【實驗四-1】中，由於硝酸鉛與碘化鉀水溶液反應產生的碘化鉛沉澱密度不一致，因此以一般測量沉澱高度的方式，難以測出碘化鉛的沉澱高度及規律，進而找出溶液完全反應時反應物的莫耳數比，相較之下，【實驗四-2】利用數位電阻測量儀測量出達反應終點時碘化鉀的體積，與理論值誤差4.167%。

7. 由【實驗五】，以酚酞指示劑進行氫氧化鈉與鹽酸的滴定實驗，測出當量點氫氧化鈉體積較理論值誤差5%，而使用數位電阻測量儀進行實驗較理論值誤差4.397%，相較於利用酚酞，數位電阻測量儀不須使用指示劑，讀取的數值A0值由下降至上升的轉折點即為當量點，在實驗中相對簡便且精確。

陸、結論

1. 電壓輸出、電極間距大小、電極材質與水溶液的電解質種類，皆會對A0讀值造成影響，所以A0讀值並非代表溶液的實際電阻或濃度，也因此數位電阻測量儀適合應用在「相同種類，相同固定電阻」的離子濃度變化實驗中。
2. 相同範圍濃度變化，固定電阻的選擇會影響裝置的靈敏度，在低濃度的情況下，以1KΩ的電阻最適合應用在裝置中。
3. 在化學實驗中，使用自製數位電阻測量儀能有效的區分水溶液中微量離子濃度變化，利用裝置讀取到的A0值由下降轉為上升的反轉點表示完全反應終點，且在沉澱實驗中不會有沉澱高度難以測量的問題。因此數位電阻測量儀可應用於有關化學反應實驗中離子濃度變化的連續性測量。

柒、參考資料與其他

1. 曾國輝(1995)。觀念叢書６-酸鹼化學。臺北市：建弘。
2. 林淑靜等(2022)國中自然科學課本第三冊。臺南市：南一書局。
3. D.R.Crow(著)，黃進益(譯)(1998)。電化學的原理及應用。臺北市：高立。
4. 李佳柔、黃柏源、林家瑜、呂子杰(2008)。中華民國 第48屆中小學科學展覽會作品 高中組 化學科 電電看就知道，110年4月10日，取自；https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/48/senior/040203.pdf