

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第二名

030202

以自組 LED 光電測定儀連續測定觀察結晶紫的
褪色反應

學校名稱：彰化縣立彰興國民中學

作者： 國二 何君郁 國二 曾筠惠	指導老師： 陳柏村 張耿嘉
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：光度計、結晶紫、反應速率

摘要

本研究自組 LED 光電測定儀，連接電腦的數據處理，可準確連續偵測結晶紫的褪色反應。研究中先以眼視觀察結晶紫在酸鹼性中之褪色變化，並以自組的 LED 光電測定儀連續測定褪色反應。除評估 LED 光電測定儀的應用性及探討影響褪色原因外，也測定褪色反應速率。結果發現，以透光度所反應的電壓以對數換算對濃度的測定符合比爾定律；結晶紫在酸鹼性中的褪色反應屬不可逆反應，中性鹽類及有機物是不會影響結晶紫的褪色反應；反應速率必須在低濃度及極短時間內測定，才能獲得準確結果。自組裝的 LED 光電測定儀，經結晶紫水溶液褪色研究後，確認它體積小、低成本、光源穩定、可連續測定等特色，可開拓為中小學科學研究的工具，提高研究層次。

壹、研究動機

在教學演示課時，藍瓶反應的周期性顏色變化，讓我們感到好奇，產生極大的興趣。在生物實驗課裡，結晶紫和藍瓶反應所用的亞甲藍常被做為染劑，產生美麗的紫色或藍色。由於藍瓶反應裡亞甲藍的周期性顏色變化，在歷屆科展中已經多次被探討，而結晶紫的褪色反應則很少被探討，因此本組就想嘗試探討結晶紫的褪色顏色變化的反應。有關顏色變化的反應，大都以眼視來觀察顏色的變化，受限於測定儀器的昂貴，無法了解其變化快慢的真相。最近幾年的科展活動，有不少的作品自製了簡單的光學測定儀器，測定了物質的濃度。在實驗中我們發現以這種克難自組的簡單光學測定儀器來測定顏色變化的反應，數據常呈現很大的變化。經請教精通電路及電腦的理化老師後，經老師解釋後，我們才知道還要有穩定的光源及光電轉換訊號，才能得到較穩定的量測數據，較準確測到顏色變化的反應。由於研究用的精密儀器都是非常貴，於是在老師指導下我們又朝向自組裝較穩定測定儀器前進，期望能組裝簡單、便宜、穩定的儀器，用於探討結晶紫的褪色反應。

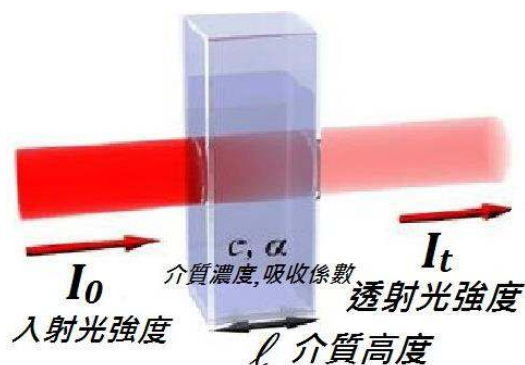
貳、文獻探討及研究原理

一、文獻探討

經文獻搜尋結果，在歷屆的科展活動裡，與本研究有關之作品，有下述幾件：在 51 屆科展，國中組化學科的『通天神「碳」—探討碳類對色素的吸附能力』的研究中，利用活性碳對龍膽紫吸附能力的研究裡，自組測定儀器中使用燈泡為光源、測定活性碳吸收結晶紫後，溶液中結晶紫褪色後之殘留量，因使用一般燈泡為光源，未使用單色光，背景訊號大，偵測感度較不靈敏，容易產生誤差。在同年(51 屆)科展，國中組化學科的『「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率』的研究中，曾利用 LED、光敏電阻、可變電阻、運算放大器等設計組裝一台簡易的光度計，設計原理簡單。然尚以人工逐筆記錄測定數據，不易準確連續取得數據。在 52 屆科展，高中組化學科的『 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 取代 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 之秒錶反應研究』的研究中，以光電計時量測探討秒錶反應，只能測到反應終點，不能測量整個過程的關係。在 53 屆科展，高中組化學科的『振盪藍色小精靈』研究中，以分光光度計的測定探討反應級數。顯示要進行精準的研究，就得有精密的儀器，正是所謂「工欲善其事就得先利其器」的道理，然而在經費資源缺乏的國中，是不可能有的經費購買精密的儀器。老師常說「窮則變、變則通」是科學發展的根源，因此我們擬參考 51 屆科展作品『「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率』的研究精神，自組便宜、穩定的光度計。在 53 屆科展高中組化學科作品『振盪藍色小精靈』測定反應級數的研究中，以測定初始時間及最終時間之兩個時間差所改變的濃度來推算反應速率，然而反應過程中濃度變化曲線並不一定是呈一直線。若能將所量測的數值與電腦連線，使能連續記錄濃度與時間的整個過程，將會使實驗取得數據的精準度更高。因此在我們擬自組裝的光度計除了以 LED 為單色光光源外，由光電二極體轉為輸出電壓的訊號也將連線傳送到電腦，便能即時連續記錄濃度與時間的整個過程。

二、比爾定律

光電比色儀器的測量，大致依比爾定律的原理來量測分析物。其儀器的測量設計是用一束平行單色光垂直照射在樣品溶液，通過一定長度的樣品溶液後，樣品溶液會吸收掉一部分的光能，會使透光強度減弱。樣品溶液中分析物的濃度越高，吸收掉的光強度也愈多。吸光度與光穿過溶液的長度及溶液濃度間之關係式為：



$$A = \log \frac{I_0}{I_t} = \log \frac{1}{T} = K \times l \times c$$

符號的意義：A：溶液的吸光度； K：吸收係數(單位為 $\frac{L}{\text{mol} \times \text{cm}}$)

I_0 ：入射光的強度(lux)； l：光穿過溶液的長度(cm)

I_t ：透射光的強度(lux)； c：溶液的濃度(mole/L)

T：透光度

三、反應速率與反應級數(參考資料九)：

反應速率即反應物消失或生成物生成的速率。從生成物濃度與時間的關係圖中的曲線上任取兩點斜切下來，其斜率即為反應速率，關係式為：

$$R = -\frac{d[A]}{dt}$$

[A]：反應物的濃度，R：反應速率，t：反應時間

反應速率常常與反應物的濃度有關，濃度越大，反應速率越快。反應物的濃度與級數可推算出反應速率。關係式為：

$$R = k[A]^a[B]^b[C]^c$$

k：反應常數

a、b、c：反應級數

分析時，令 $k \times [B]^b [C]^c = k'$ 即可得到下列式子：

$$R = \frac{-d[A]}{dt} = k'[A]^a$$

將上式兩邊取對數，得 $\log R = a \log [A] + \log k'$

從 $\log R$ 對 $\log [A]$ 作圖，從斜率即可算出 a 的反應級數，反應級數 b、c 同理推論。

四、結晶紫介紹(參考資料十)

結晶紫($C_{25}H_{30}N_3Cl \cdot 9H_2O$)，也稱甲基紫10B、甲紫、六甲基紫、六甲基苄胺鹽酸鹽，英文名稱Crystalviolet，結晶紫的結構式如圖2-1，其在光譜的吸收峰大約在590nm(圖2-2)。圖2-3為結晶紫常被表示為帶正電的共振結構圖。

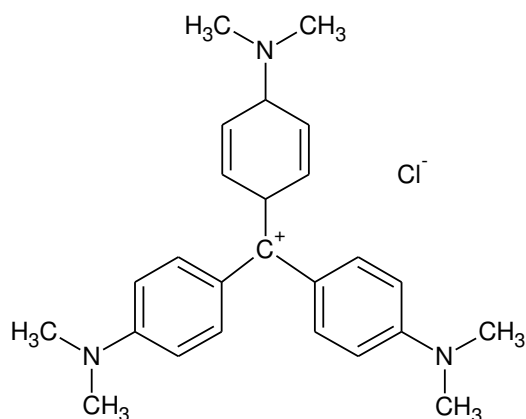


圖 2-1 結晶紫的結構式圖

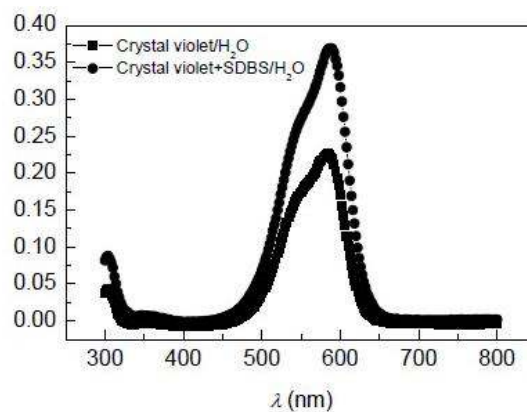


圖 2-2 結晶紫的光譜吸收峰

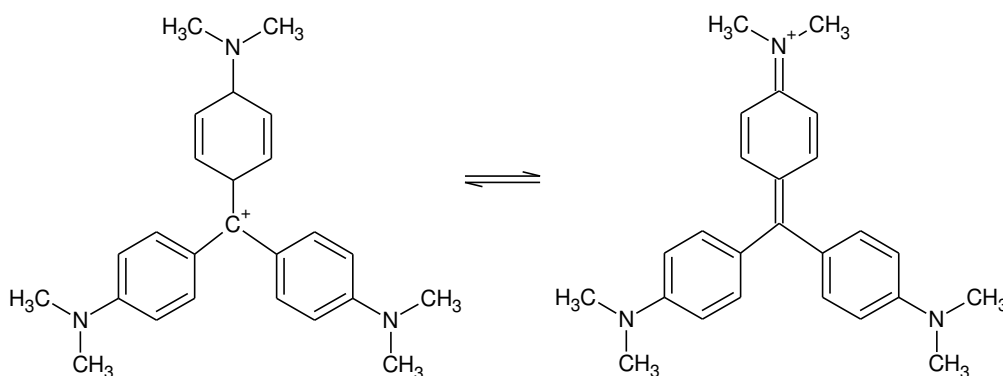


圖 2-3 帶正電的結晶紫共振結構圖

參、研究目的

- 一、自製 LED 光電測定儀
- 二、探討在不同色光下，結晶紫水溶液之濃度與測得電壓間的關係
- 三、探討結晶紫在酸性溶液中之反應
- 四、探討結晶紫在鹼性溶液中之反應
- 五、探討結晶紫在不同藥品中之影響
- 六、探討不同濃度氫氧化鈉與結晶紫之反應速率
- 七、探討不同濃度結晶紫與氫氧化鈉之反應速率
- 八、探討在鹼性下，不同濃度葡萄糖對結晶紫水溶液反應速率





肆、研究藥品及設備

一、實驗藥品：結晶紫($C_{25}H_{30}N_3Cl \cdot 9H_2O$)、鹽酸 $HCl_{(aq)}$ 、 H_2SO_4 、 $NaOH$ 、 KOH 、 $Ca(OH)_2$ 、 Na_2CO_3 、 $Na_2S_2O_3$ 、 $LiCl$ 、 $NaCl$ 、 KCl 、 $CaCl_2$ 、 $BaCl_2$ 、 KNO_3 、 $MnSO_4$ 、 $ZnSO_4$ 、葡萄糖、蔗糖、果糖、乳糖、乙酸、乙醇、丙三醇。

二、實驗器材：

(一)Arduino	(二)比色管(1cm×1cm×4.5cm)
(三)壓克力盒	(四)麵包板
(五)運算放大器OP LMC662CN	(六)發光二極體(LED)
(七)數個電阻	(八)光電二極體
(九)電阻	(十)精密可變電阻10kΩ
(十一)變壓器	(十二)連接線
(十三)電腦	(十四)電子秤
(十五)滴管	(十六)燒杯
(十七)量瓶	(十八)漏斗
(十九)秤量紙	(二十)pH計

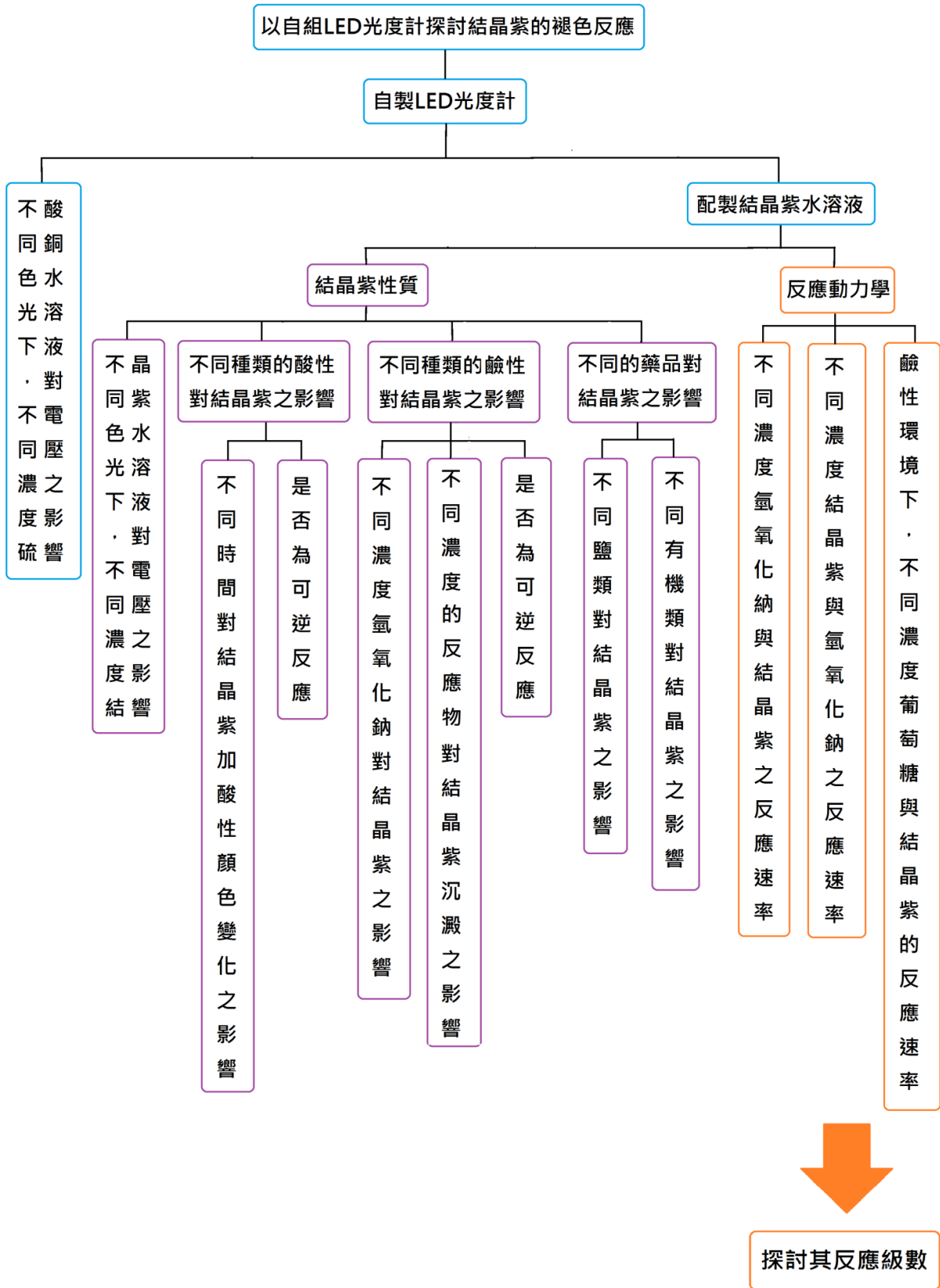
三、儀器及藥品圖片

			
Arduino	比色管	壓克力盒	結晶紫

四、使用軟體：Word、Excel、Power point、Chemsketch、ReadAnalogVoltage、AutoCAD

伍、研究過程

一、實驗架構



二、自製 LED 光電測定儀

(一) 儀器電路圖

圖 5-1 為儀器電路圖，由 USB 所提供為利用可變電阻來控制 LED 燈所發出光源，經過比色管及其內的待測液，入射光被吸收後所剩下透色光的強度，藉由光電二極體轉為輸出電壓，並利用分壓放大電路，將訊號傳送到 Arduino 的 A0 傳送到電腦。

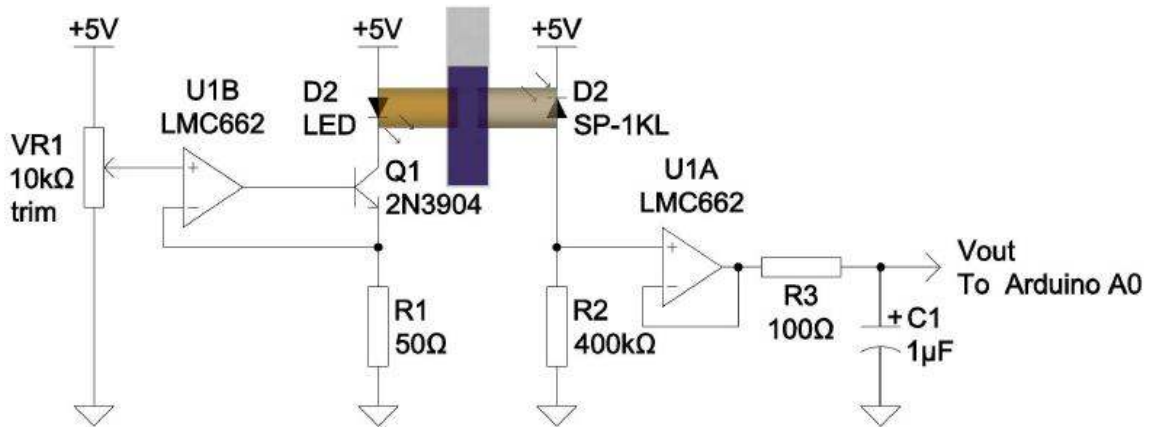
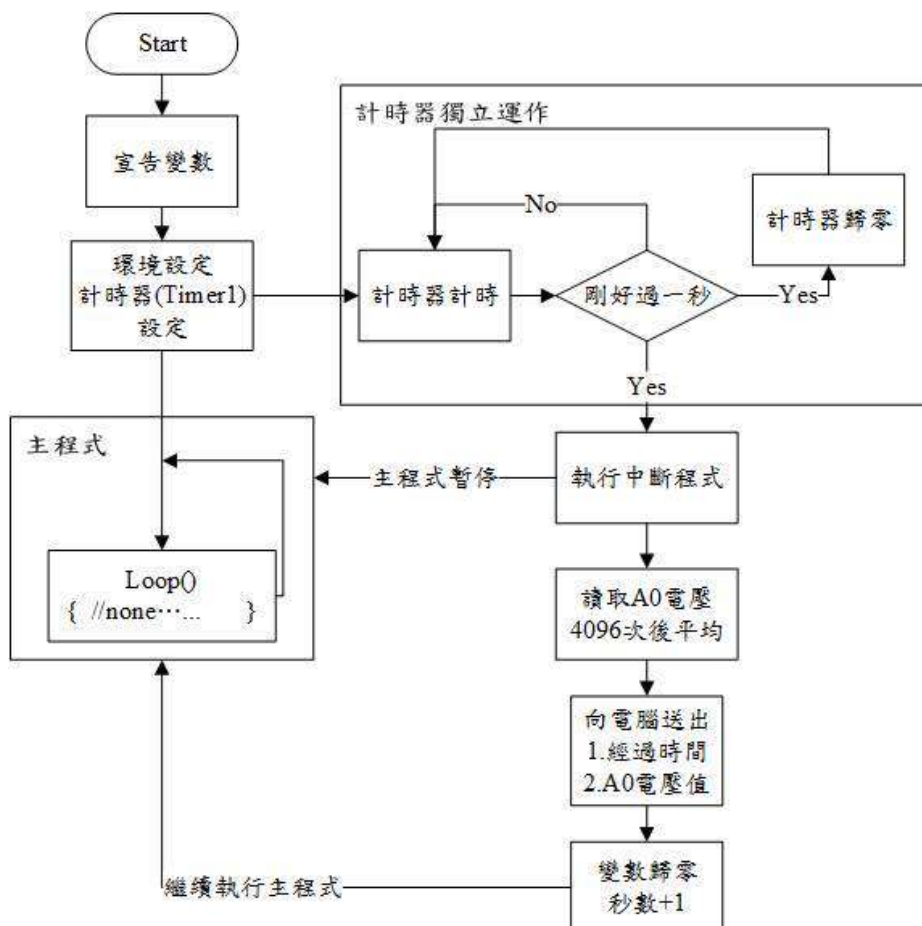


圖 5-1 儀器電路圖

(二) Arduino 程式流程圖



(二) 自製 LED 光電測定儀器模組(圖 5-2)

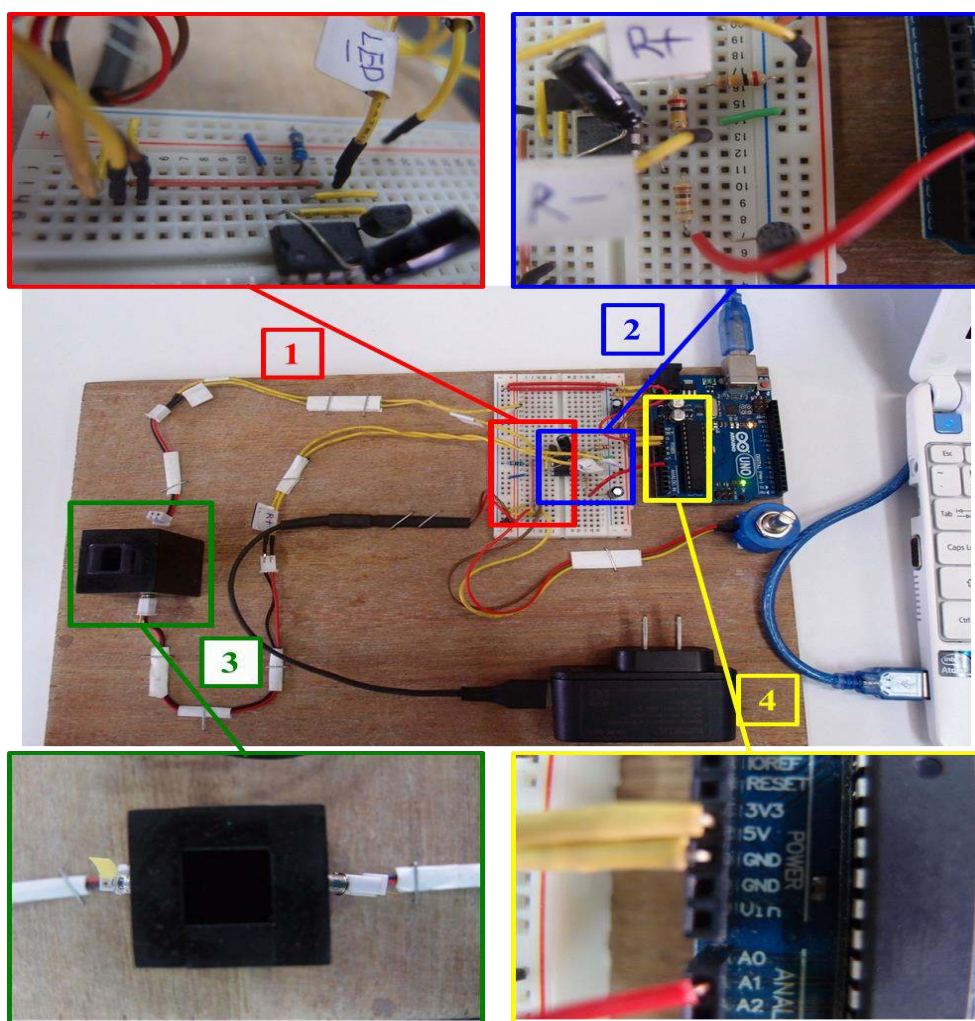


圖 5-2 儀器裝置圖

說明：1.利用精密可變電阻來控制光源的明暗程度

2.利用運算放大器將所得到的電壓值變化放大

3.比色槽放入比色管，在兩端分別為 LED 與光電二極體

4.以電壓 5V 及接地與電路板互接，並將所得到的訊號輸入 A0

(三)自製 LED 光電測定儀可靠性探討(圖 5-3)

1、配製硫酸銅標準液 1M，及配製 0.9M、0.8M...0.01M 等標準液。

2、將紅光 LED 裝到儀器上，並開起 LED 光度計的電源。

3、開啟 ReadAnalogVoltage 軟體並按下 Serial Monitor()，開始記錄數據。

4、將比色管裝入蒸餾水，放入比色槽，並合上蓋子。

5、調整可變電阻，將 Arduino 所得到的電壓調整到 3.5V。

6、將 1M 的硫酸銅溶液倒入比色管中，並放入比色槽。

7、將蓋子蓋上之後，記錄 Arduino 所得到的電壓值。

8、將 1M 的硫酸銅溶液換成其他濃度硫酸銅溶液，重複 2~3 的步驟。

9、將紅光 LED 燈換成黃光、綠光、藍光後，重複 1~7 的步驟。

註：有請廠商幫忙測量 LED，其波長分別為紅光主要為 629nm、黃光為 592nm、綠光為 531nm、藍光為 460nm，附錄有測量結果。

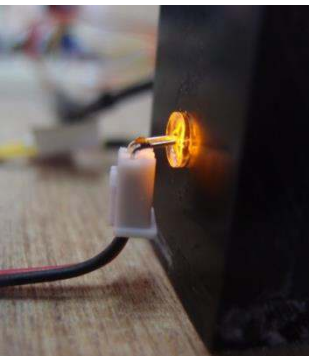

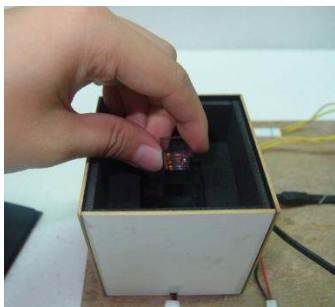
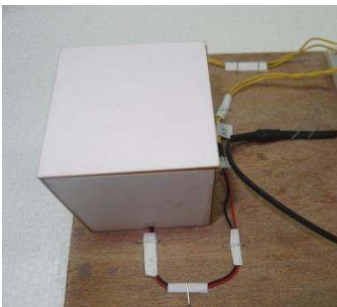
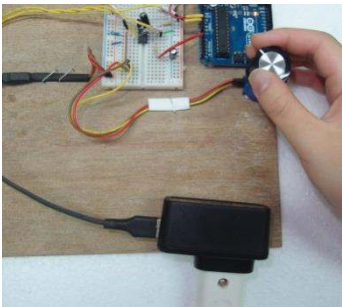

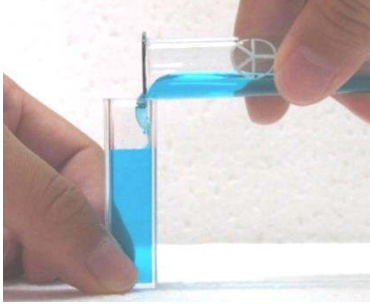
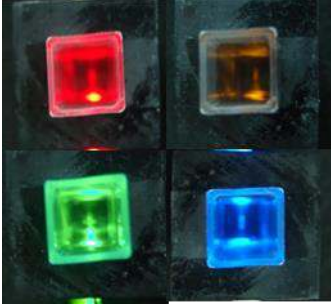
		
裝 LED 至儀器	加蒸餾水至比色管	比色管裝入蒸餾水
		
合上蓋子	調整可變電阻	打開軟體
		
調整數據畫面	將硫酸銅倒入比色管	管內各色光情形

圖 5-3 儀器操作步驟

三、探討在不同 LED 色光下，結晶紫水溶液之濃度與電壓間的關係

(一)調配結晶紫水溶液 (圖 5-4)

- 1.用 0.57 克的結晶紫(莫耳數為 0.001 mole)加入約 500 ml 蒸餾水中，攪拌溶解後倒入 1000 ml 的量瓶中，並加水至刻度線，調配出濃度為 $10^{-3}M$ 的結晶紫水溶液 1000ml。
- 2.取結晶紫水溶液($10^{-3}M$)倒入，調配出其他的濃度結晶紫水溶液。

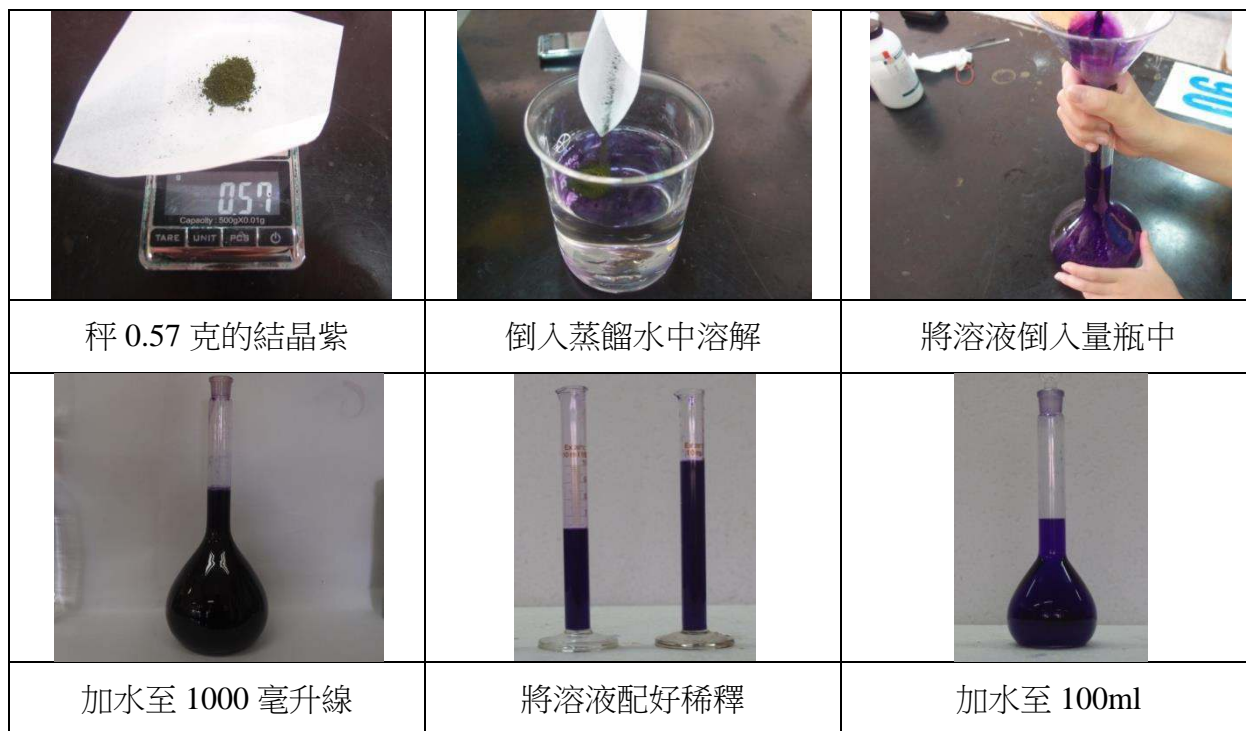


圖 5-4 調配結晶紫水溶液

(二)儀器操作

- 1.將紅光 LED 裝到儀器上，並開起 LED 光度計的電源。
- 2.開啟 ReadAnalogVoltage 軟體並按下 Serial Monitor()，開始記錄數據。
- 3.將比色管裝入蒸餾水，放入比色槽，並合上蓋子。
- 4.調整可變電阻，將 Arduino 所得到的電壓調整到 3.5V。
- 5.將 $2 \times 10^{-6}M$ 的結晶紫溶液倒入比色管中，並放入比色槽。
- 6.將蓋子蓋上之後，記錄 Arduino 所得到的電壓值。
- 7.將 $2 \times 10^{-6}M$ 的結晶紫溶液換成 $4 \times 10^{-6}M$ 、 $6 \times 10^{-6}M$...等，重複 2~3 的步驟。
- 8.將紅光 LED 燈換成黃光、綠光、藍光 LED 燈後，重複 1~7 的步驟。

四、探討結晶紫在酸性溶液中之褪色變化

1. 用量筒取 1M 的鹽酸 5 ml 及 10^{-4} M 的結晶紫溶液 5 ml。
2. 將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中，並觀察顏色的變化。(濃度各減半)
3. 將 1M 鹽酸換成 8×10^{-1} M、 6×10^{-1} M... 等不同濃度，重複 1~2 的步驟。
4. 將鹽酸換成硫酸，重複 1~3 的步驟。
5. 將相對應濃度的氫氧化鈉溶液馬上倒入酸性的結晶紫溶液中，重複 1~3 的步驟。
6. 等待酸性的結晶紫溶液變透明後，再將相對應濃度的氫氧化鈉溶液倒入，重複 1~3 步驟。



圖 5-5 結晶紫與酸性溶液中混合示意圖

五、探討結晶紫在鹼性溶液中之褪色變化

1. 用量筒取 1M 的氫氧化鈉溶液 5ml 及 10^{-4} M 的結晶紫溶液 5ml。
2. 將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中，並觀察顏色的變化。
3. 將 1M 氫氧化鈉溶液換成 10^{-2} M、 10^{-1} M... 等不同濃度，重複 1~2 的步驟。
4. 將氫氧化鈉換成氫氧化鉀，重複 1~3 的步驟。
5. 將相對應濃度的鹽酸溶液馬上倒入鹼性的結晶紫溶液中，重複 1~3 的步驟。
6. 等待鹼性的結晶紫溶液變透明後，再將相對應濃度的鹽酸溶液倒入，重複 1~3 的步驟。

六、探討結晶紫在鹽類溶液中之褪色變化

- 1、用量筒取 1M 的氯化鈉溶液 5ml 及 10^{-4} M 的結晶紫溶液 5ml。
- 2、將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中，並觀察顏色的變化。
- 3、將氯化鈉換成氯化鉀、氯化鋇... 等不同鹽類，重複 1~2 的步驟。
- 4、將鹽類換成常見的有機化合物，重複 1~2 的步驟。

七、探討結晶紫在不同濃度氫氧化鈉溶液中褪色變化的反應速率

- 1、用量筒取 10^{-2}M 的氫氧化鈉溶液 5ml 及 $8\times 10^{-4}\text{M}$ 的結晶紫溶液 5ml。
- 2、將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中。
- 3、將混合試管中的溶液倒入比色管，並放入儀器中，並蓋上蓋子。
- 4、利用電腦直接讀取電壓與時間的關係，當電壓不再改變後，即反應完成，此時記錄整個過程的數據。
- 5、將 10^{-2}M 氫氧化鈉溶液換成 $2\times 10^{-2}\text{M}$ 、 $3\times 10^{-2}\text{M}$...等不同濃度，重複 1~4 的步驟。

八、探討不同濃度結晶紫在氫氧化鈉溶液中褪色變化的反應速率

- 1、用量筒取 $4\times 10^{-2}\text{M}$ 的氫氧化鈉溶液 5ml 及 $5\times 10^{-5}\text{M}$ 的結晶紫溶液 5ml。
- 2、將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中。
- 3、將混合試管中的溶液倒入比色管，並放入儀器中，並蓋上蓋子。
- 4、利用電腦直接讀取電壓與時間的關係，當電壓不再改變後，即反應完成，此時記錄整個過程的數據。
- 5、將 $5\times 10^{-5}\text{M}$ 的結晶紫溶液換成 10^{-4}M 、 $1.5\times 10^{-4}\text{M}$...等不同濃度，重複 1~4 的步驟。

九、探討在鹼性溶液下，葡萄糖對結晶紫水溶液褪色變化的之反應速率

- 1、秤量 0.9g 葡萄糖倒入 0.02M 氫氧化鈉溶液 100ml，取 5ml 及 $8\times 10^{-5}\text{M}$ 的結晶紫溶液 5ml
- 2、將兩種溶液利用漏斗同時倒入試管中，均勻搖晃。
- 3、將混合試管中的溶液倒入比色管，並放入儀器中，並蓋上蓋子。
- 4、利用電腦直接讀取電壓與時間的關係，當電壓不再改變後，即反應完成，此時記錄整個過程的數據。
- 5、將 0.9g 的葡萄糖換成 1.8g、2.7g...等不同濃度，重複 1~4 的步驟。

陸、研究結果與討論

一、自製 LED 光電比色測定儀

本研究本以方便取得的雷射筆做為光源(如圖 6-1)，但實驗結果發現測定出的電壓常有忽上忽下之不穩定跳動，無法用於反應的研究，經與老師討論，乃來自於雷射筆本身會忽亮忽暗的不穩定光線。經與老師討論後，以外加晶片，利用電壓來穩定電流源，可達到穩定效果，但雷射筆除紅光較便宜外，其它色光成本較高及不普及以外，科展大會會場也有規定限制，因此改用 LED 與光電二極體的組合來製做成 LED 光電比色測定儀。也利用自製的黑色箱子蓋上電腦的螢幕，將螢幕使用全白來當背景(如圖 6-2)。這些都是利用現有的設備來當作實驗工具，輕巧簡單，價錢便宜，整體成本在千元以內。

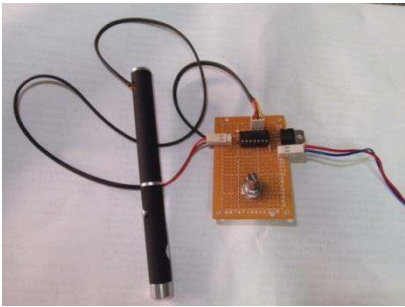


圖 6-1 電壓定電流之綠光雷射



圖 6-2 電腦螢幕加上黑色箱子做為比色計

二、自製 LED 光電測定儀測定應用適用性探討

由於自組的 LED 光電測定儀是要用於量測濃度與電壓間的穩定關係性，所以我們配製硫酸銅的水溶液濃度從為 $10^{-2}M$ 至 $1.0M$ ，在定溫下(約 $28^{\circ}C$)，測定量測不同硫酸銅濃度下所得到的電壓，並製作電壓與濃度的關係圖，如圖 6-3。

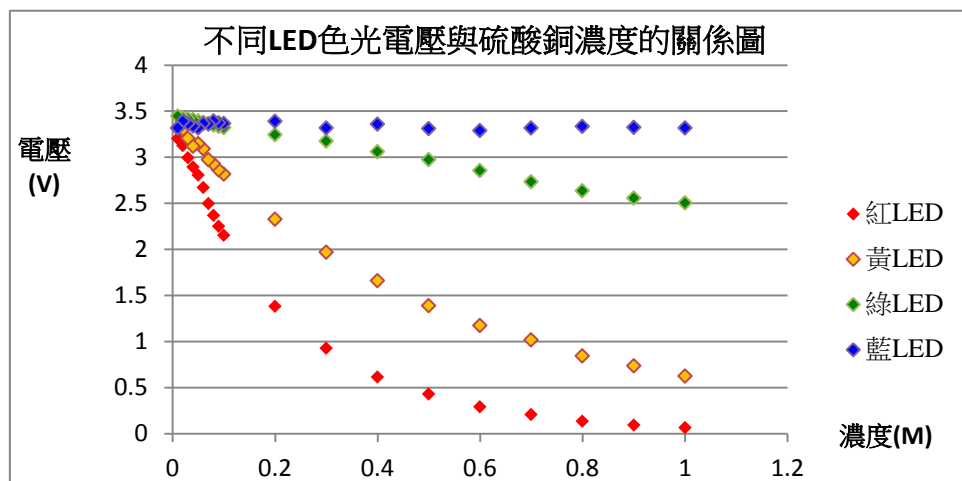


圖 6-3 各 LED 色光光源下電壓與硫酸銅濃度之關係圖

從圖 6-3 的結果得知濃度越大，所得到的電壓就會越小，也就是濃度越濃，光所透過的透光量越少，使得光電二極體所得到的電壓越小。從圖中以各色光的數據來看，電壓與濃度除非在很低濃度下可有線性關係，但不實用。若依比爾定律，將透光度對應出的電壓(V)取對數變為 $\log(1/Vt)$ 對濃度做圖，可得到很好的線性關係(如圖 6-4)。因此自製的 LED 光電測定儀適用比爾定律對濃度的測定，將用於水溶液中結晶紫褪色過程濃度變化之研究。

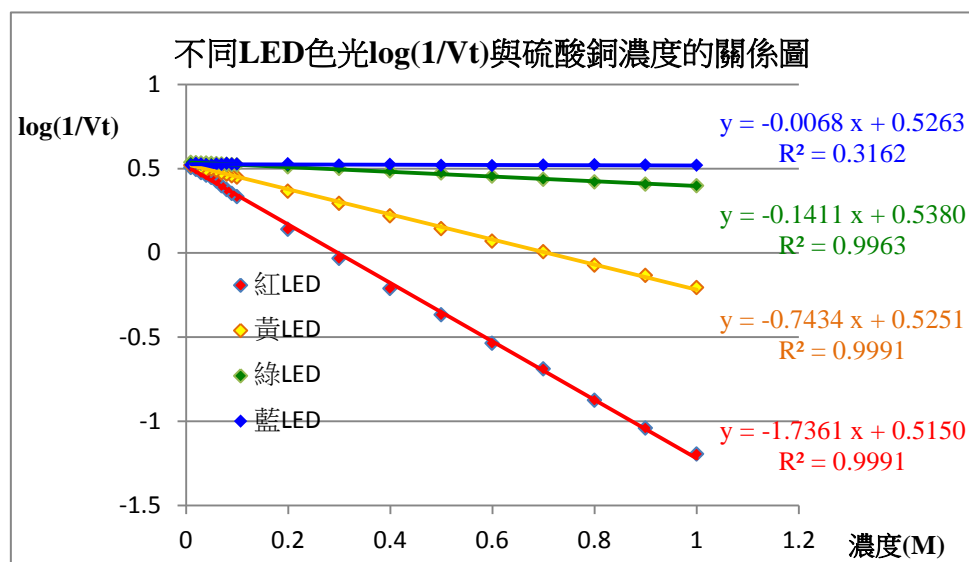


圖 6-4 不同 LED 色光 $\log(1/Vt)$ 與硫酸銅濃度的關係圖

從圖 6-3 及圖 6-4 都可看出，以紅色 LED 燈為光源測定有最好的靈敏度，黃色 LED 燈次之，但已遠小於紅色 LED 燈，綠色 LED 燈的靈敏度非常小，藍色 LED 燈則幾乎沒有電壓變化，表示硫酸銅的水溶液對藍色 LED 燈沒有吸收。根據光之十二色環互補色來看(圖 6-5)，藍色與黃色或是紅色比較偏為互補色，硫酸銅溶液看起來是藍色，是因為白光經過溶液時，藍光不太會被吸收，所以為藍色的互補色的光源紅光或黃光就很容易被吸收。然而從十二色環互補色來看，通常稱為藍色的硫酸銅水溶液，其顏色似乎為藍偏藍綠色，或是紅色 LED 燈應帶有偏橙色。



圖 6-5 光之十二色環互補色關係

三、自製 LED 光電測定儀之特色

自製 LED 光電測定儀，與現用儀器或科展常自組之測定儀器作比較，有以下特色：

- (一)可直接由 Arduino 將資料傳送到電腦，可直接顯示濃度對時間的關係。
- (二)具有內建數據平均的功能，可以提升儀器解析度。
- (三)成本低廉，不超過千元，且體積較一般分光光度計小，便於攜帶及收納。
- (四)定電流驅動電路，使發光二極體光源穩定，減少實驗之隨機誤差。
- (五)記錄時間間隔之時間解析度為 1ms，因此可測量反應速率較快的顏色變化。
- (六)輸出備有低通濾波器，可消除高頻(>1kHz)雜訊。
- (七)使用 LED 光源，大符降低暖機時間。
- (八)高準確時間，降低取樣時脈抖動的影響。
- (九)儀器耗電量低，可用行動電源攜帶。

四、不同 LED 色光下結晶紫水溶液濃度對電壓之影響

在自製 LED 光電測定儀測定應用適用性探討中，我們發現待測定分析物必須在低濃度下才能符合比爾定律，電壓與待測定分析物濃度間具有線性關係。因此在結晶紫的褪色反應實驗裡，除非特別觀察需要，我們都配製在低濃度範圍來測試。在試驗不同 LED 色光下結晶紫水溶液濃度對電壓之影響，我們測試結晶紫的濃度從 10^{-6}M 至 $4\times 10^{-5}\text{M}$ ，在定溫下(約 28°C)，在日常光照射下的所呈現的紫色深度不同如圖 6-6，由左至右濃度由低至高。將所調配結晶紫濃度以自製 LED 光電測定儀測定所得到的電壓，其電壓與濃度的關係如圖 6-7。

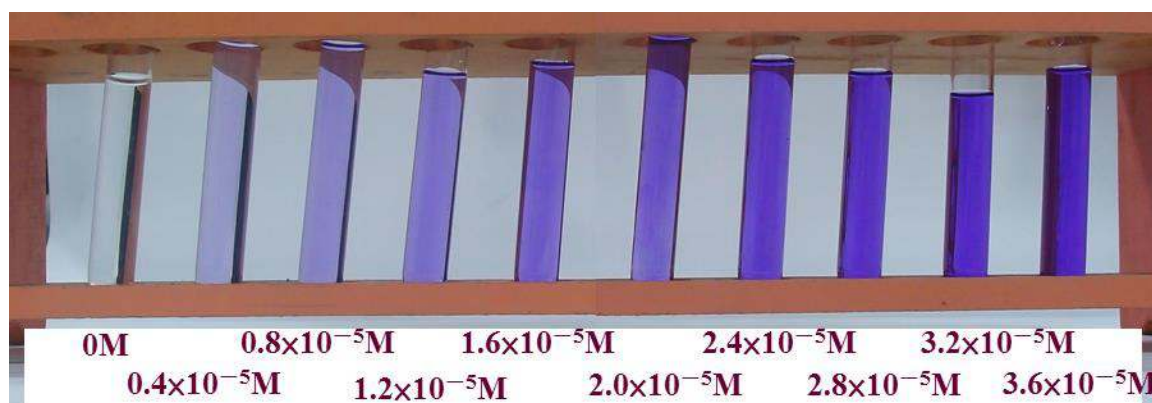


圖 6-6 不同濃度結晶紫在日常光照射下所呈現的紫色深淺度圖

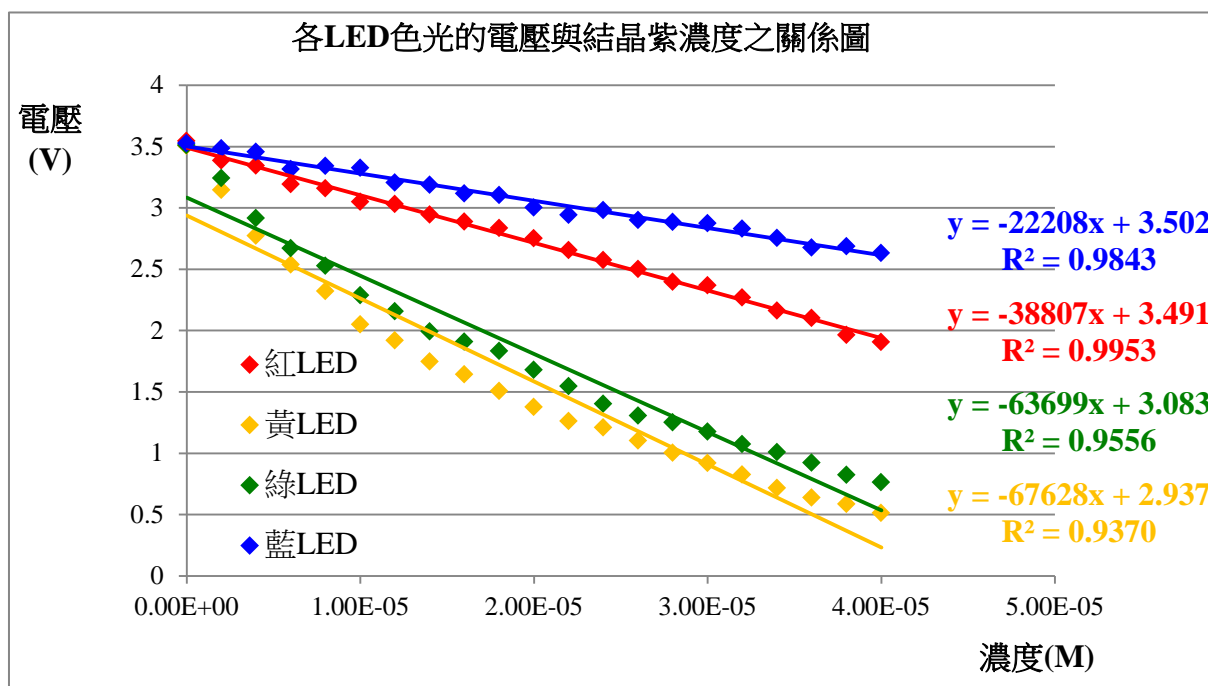


圖 6-7 以各 LED 色光量測所得電壓與結晶紫濃度之關係圖

從結果圖 6-7 可看出濃度越大，所得到的電壓就會越小，也就是濃度越濃，光所透過的量越少，使得光電二極體所得到的電壓越小。以各色光的迴歸線來看，電壓與濃度的線性關係不太理想；但若以比爾定律將電壓(V)取對數變為 $\log(1/Vt)$ ，對濃度做關係圖，就如同對硫酸銅的試驗般，可以得較佳的線性迴歸圖，如圖 6-8。

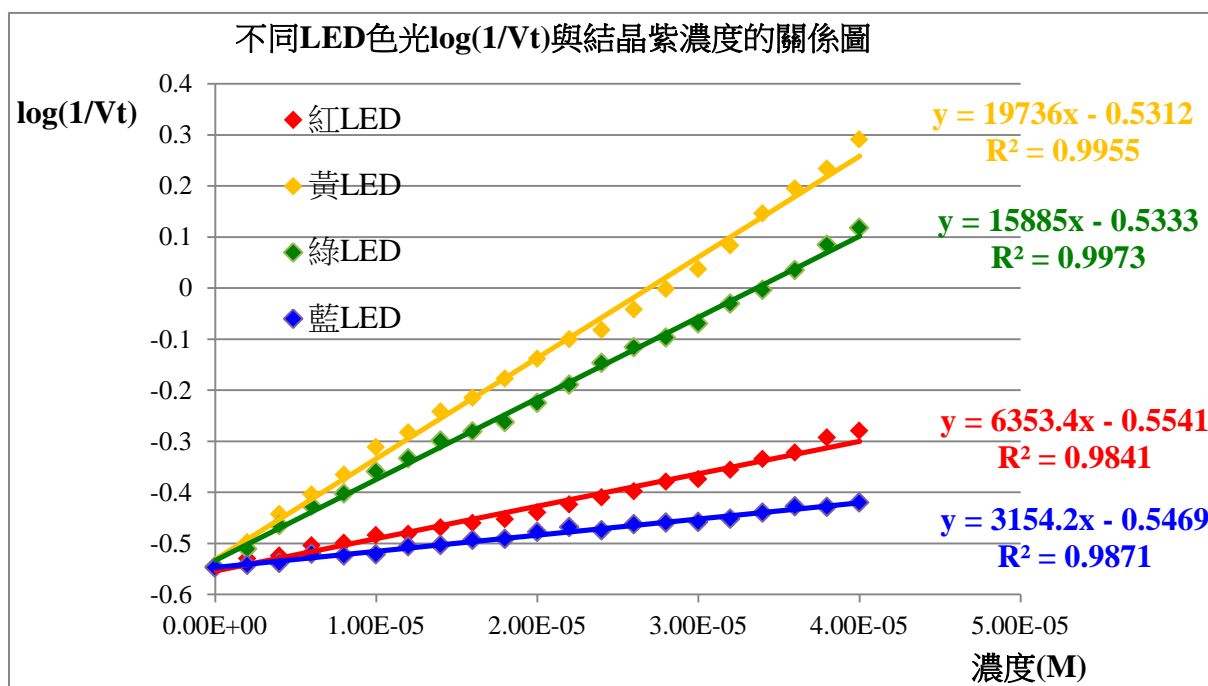


圖 6-8 不同 LED 色光 $\log(1/Vt)$ 與結晶紫濃度的關係圖

在圖 6-4 與圖 6-8 中，以電壓換成照射光強度，將 $\log \frac{1}{V_t} = k \times c - \log V_0$ (V_t 為透射光輸出

電壓， V_0 為入射光輸出電壓) 改成 $\log \frac{1}{I_t} = K \times l \times c - \log I_0$ ，與比爾定律原理相同。可以確定

此 LED 光度計對此實驗的靈敏度很高。

從圖 6-7 及圖 6-8 的結果，可看出結晶紫對黃光的吸收度最高，變化最明顯，藍光變化最不明顯，與參考文獻符合。接下來的實驗都以黃光來做實驗，將黃光與結晶紫濃度整理出

來的關係式得到溶液中結晶紫的濃度為 [結晶紫] = $\frac{0.5312 - \log V_t}{19736}$ 。


根據十二色環互補色來看，黃色與紫色為互補色，本色結晶紫看起來是紫色，是因為白光經過結晶紫時，紫光不太會被吸收，所以為紫色的互補色的光源黃光很容易被吸收。除對黃光外，結晶紫溶液對綠光也有相當高的吸收，可推測結晶紫似乎稍偏紅紫色。

五、結晶紫在酸性溶液中之褪色

(一) 不同濃度的酸對結晶紫顏色的變化

經實驗發現在酸性溶液下結晶紫會有不同的顏色變化，因此觀察結晶紫溶液在常用的硫酸及鹽酸下顏色的變化，如圖 6-9。

(A)、不同鹽酸濃度下結晶紫溶液($5 \times 10^{-5} M$)的顏色變化

顏色 變化										
濃度(M)	2	1	5×10^{-1}	2×10^{-1}	10^{-1}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}

(B)、不同硫酸濃度下結晶紫溶液($5 \times 10^{-5} M$)的顏色變化


顏色 變化										
濃度(M)	2	1	5×10^{-1}	2×10^{-1}	10^{-1}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	10^{-2}	5×10^{-3}	2×10^{-3}







圖 6-9 結晶紫溶液在鹽酸及硫酸中顏色的變化

從兩種酸對結晶紫溶液的顏色變化結果可得知，兩種酸都會使結晶紫變色，但顏色變化略有不同，在鹽酸大概都變成藍綠色，而在硫酸由 0.1M 至 1M，顏色藍綠到黃綠的漸漸變化。

(二)探討不同濃度的酸對顏色褪色變化及可逆性探討

由於結晶紫溶液在酸性下，顏色會有改變，同時結晶紫本身也會慢慢的褪色，因此觀察在不同酸性的濃度下，結晶紫溶液的顏色隨時間的變化情形，結果如圖 6-10。

(A)、0.02M 的鹽酸與 $5 \times 10^{-5}M$ 結晶紫的顏色隨反應時間之變化

顏色變化						
反應時間	0min	1min	5min	7min	10min	25min

(B)、0.2M 的鹽酸與 $5 \times 10^{-5}M$ 結晶紫的顏色隨反應時間之變化

顏色變化						
反應時間	0min	1min	5min	7min	10min	15min

(C)、1M 的鹽酸與 $5 \times 10^{-5}M$ 結晶紫的顏色隨反應時間之變化

顏色變化						
反應時間	0min	1min	5min	7min	10min	12min

圖 6-10 結晶紫溶液不同鹽酸濃度下顏色隨時間的變化

從這試驗結果，可看出當結晶紫溶液在酸性溶液後，顏色會有改變，隨時間慢慢的變淡，最後會變成透明無色，酸性的濃度愈高，顏色褪色愈快至無色，顯示結晶紫的化學結構受到酸而產生變化。將鹽酸加入 $5 \times 10^{-5}M$ 結晶紫溶液中，以紅 LED 光測定結晶紫溶液之電壓隨反應時間的變化如圖 6-11。從圖 6-11 可看出隨著時間的增加，結晶紫溶液中的電壓增加，也就是透光度增加，亦即結晶紫在溶液中的濃度降低，至 1000 秒後已接近不變化。也就是以自製 LED 光電測定儀，可用來觀察及判斷結晶紫溶液顏色褪色反應的趨勢。

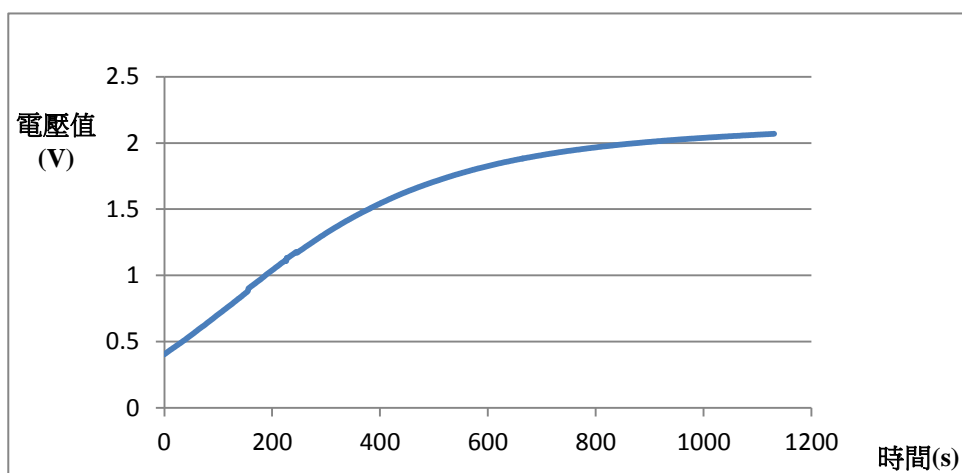


圖 6-11 以紅 LED 光測定結晶紫溶液之電壓隨反應時間變化圖

對於結晶紫的化學結構受到酸而產生的變化需要很精密的儀器來測定分析，這在國中是不容易的。為瞭解在酸中結晶紫的褪色使化學結構產生的變化是否為變為其他的化學成份，我們利用酸鹼中和方式，觀察其可逆性，是否會回到原來的顏色。

在滴加入 0.2M 鹽酸的結晶紫溶液後，顏色立即改變為綠色，隨後立即加入同體積同濃度的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溶液，顏色又恢復紫色 (如圖 6-12)，表示尚有結晶紫仍可恢復原結構。然而在滴加入 0.2M 鹽酸的結晶紫水溶液，等褪色後再加入同體積同濃度的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 溶液，顏色卻無法恢復紫色 (如圖 6-13)，表示結晶紫水溶液在加入鹽酸的褪色反應屬化學變化反應，產生結晶紫顏色的化學結構已發生不可逆的改變。

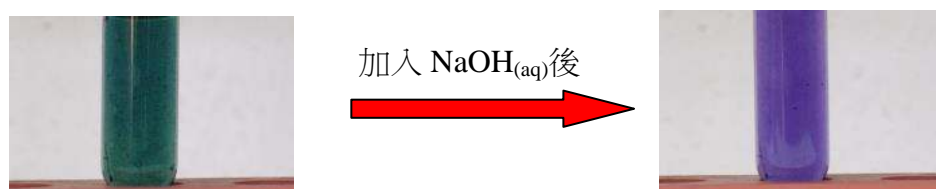


圖 6-12 將 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 倒入加鹽酸正在反應中的結晶紫加氯化氫水溶液

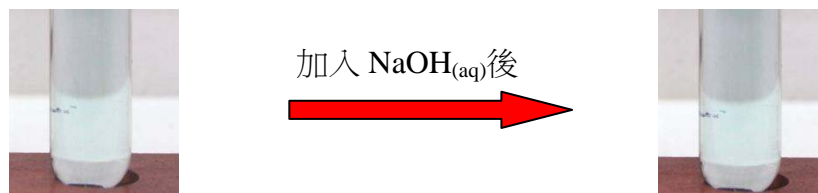


圖 6-13 將 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 倒入已完全褪色的結晶紫加氯化氫水溶液

六、結晶紫在鹼性溶液中之褪色

(一)不同種類鹼性對結晶紫之影響

1、不同鹽酸濃度下結晶紫溶液($5 \times 10^{-5} \text{M}$)的顏色變化

顏色 變化										
濃度(M)	5	2	1	5×10^{-1}	2×10^{-1}	10^{-1}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	10^{-2}	5×10^{-3}

2、不同鹽酸濃度下結晶紫溶液($5 \times 10^{-5} \text{M}$)的顏色變化

顏色 變化										
濃度(M)	5	2	1	5×10^{-1}	2×10^{-1}	10^{-1}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	10^{-2}	5×10^{-3}

從結果可得知，兩種鹼都會使結晶紫變色，表示結晶紫在鹼性溶液也會變色，鹼的濃度由小到大，所對應顏色為紫色、紫紅色，最濃也只能暗紫紅色，不會再變化。

(二)探討不同濃度的鹼對顏色褪色變化及可逆性探討

為觀察結晶紫在鹼性溶液中顏色的褪色變化，我們將 0.5M 的 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 加入結晶紫水溶液中，發現紫色隨著時間褪色，在 60 秒就全部褪色至透明，如圖 6-14。同樣地當加入 0.5M 的 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 於結晶紫水溶液中，紫色也隨著時間褪色，在 60 秒就接近全部褪色至透明，如圖 6-15。在結晶紫與鹼性水溶液的反應過程中就加入酸性水溶液，可再變回紫色，表示尚有可逆性的物質存在，為可逆反應，如圖 6-16；若在結晶紫溶液加入鹼性水溶液變透明後，才加入酸性水溶液，發現無任何反應，表示結晶紫本身結構已被破壞，導致不再具可逆性(如圖 6-17)。

顏色變化					
反應時間	0s	15s	30s	45s	60s

圖 6-14 氫氧化鈉對結晶紫顏色的變化

顏色變化					
反應時間	0s	15s	30s	60s	90s

圖 6-15 氫氧化鉀對結晶紫顏色的變化

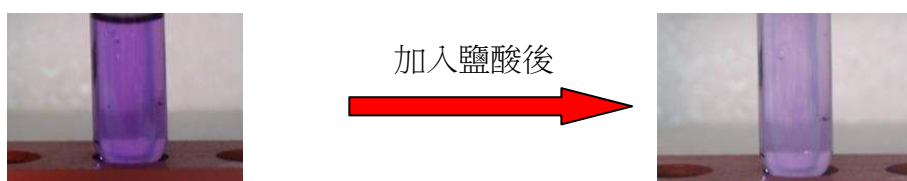


圖 6-16 將鹽酸水溶液倒入褪色中的結晶紫加氫氧化鈉水溶液

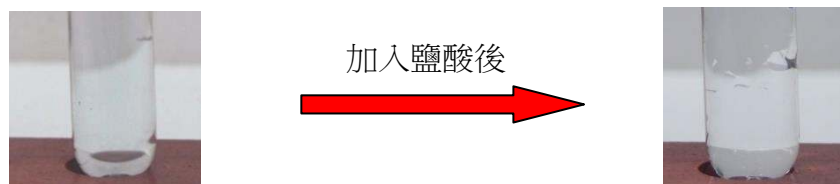


圖 6-17 將鹽酸水溶液倒入已完全褪色的結晶紫加氫氧化鈉水溶液

七、結晶紫在含鹽溶液中的顏色變化

從結晶紫的化學共振結構(圖 2-1)得知，在結晶紫的水溶液中，結晶紫的化學結構是以帶正電的共振結構存在(圖 2-3)。為了解結晶紫在酸鹼溶液中顏色的變化是否與組成酸鹼的帶負電陰離子發生作用而影響，我們在結晶紫的水溶液中分別加入氫氧化鈣、碳酸鈉、或硫代硫酸鈉，發現加入氫氧化鈣的結晶紫水溶液，紫色全褪色了，加入碳酸鈉的結晶紫水溶液，紫色部份褪色，加入硫代硫酸鈉的顏色則僅稀釋，如圖 6-18。可看出屬強鹼性的氫氧化鈣及碳酸鈉都會使結晶紫的水溶液褪色，屬中性的硫代硫酸鈉則未使結晶紫水溶液褪色。當加入含氯離子、硝酸根離子、硫酸根離子的鹽類(圖 6-19)、及多種有機化合物(圖 6-20)於結晶紫的水溶液中，均未使結晶紫水溶液褪色。

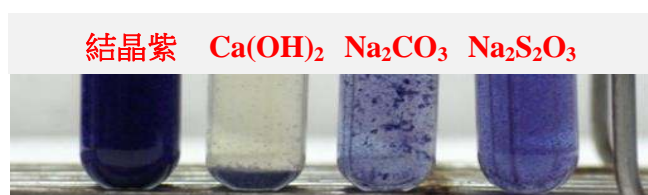


圖 6-18 結晶紫加入鹽類水溶液之變化



圖 6-19 含氯離子、硝酸根離子、硫酸根離子的鹽類加入結晶紫溶液



圖 6-20 有機化合物加入結晶紫溶液

上述的顏色是以肉眼觀察的結果，或許會有誤差。因此，我們利用自組裝的 LED 光電測定儀來測定，觀察這些鹽類或有機物於結晶紫的水溶液中，其透光度(電壓、濃度)隨時間的變化圖。圖 6-21 為結晶紫在含氯鹽類中之濃度(電壓)隨時間變化圖、圖 6-22 結晶紫在含硝酸根和硫酸根鹽類中之濃度(電壓)隨時間變化圖、及圖 6-23 結晶紫在含有機物溶液中之濃度(電壓)隨時間變化圖均表示了含這些物質的溶液中，均未使結晶紫水溶液褪色。

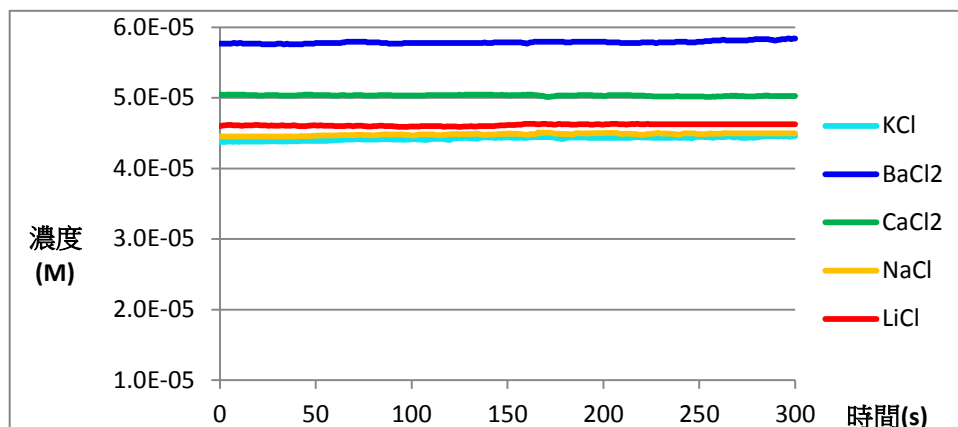


圖 6-21 結晶紫在不同含氯鹽類中之濃度(電壓)隨時間變化圖

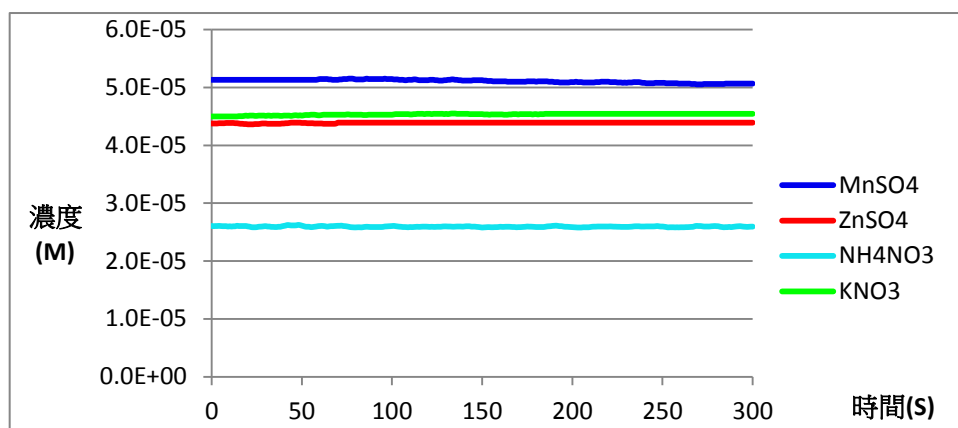


圖 6-22 結晶紫在含硝酸根和硫酸根鹽類中之濃度(電壓)隨時間變化圖

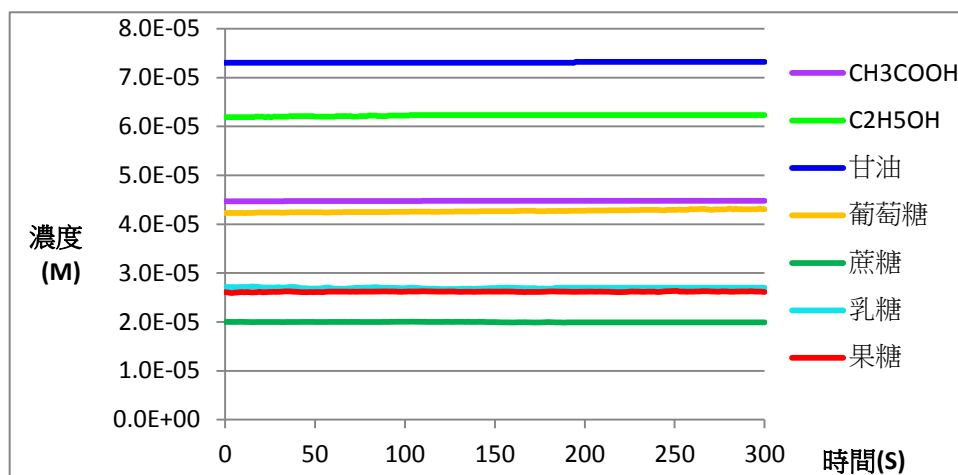


圖 6-23 結晶紫在含有機物溶液中之濃度(電壓)隨時間變化圖

從上述的結晶紫在溶液中濃度(電壓)隨時間變化圖可得結論，大多數的鹽類並不會與結晶紫產生反應，少部分的鹽類會與結晶紫產生反應而變淡或變透明，如：氫氧化鈣與碳酸鈉等，發現皆為鹼性鹽類，於是推測只要是鹼性藥品，皆可使結晶紫變淡或是變透明。從加入有機物的變化圖可發現，醋酸無法使結晶紫變色，由此可知，結晶紫只有在強酸的環境下才會產生顏色變化。

八、不同濃度氫氧化鈉與結晶紫之反應速率

為探討氫氧化鈉對結晶紫褪色之反應速率，在定溫下(約 28⁰C)分別以 0.01M 至 0.09M 之氫氧化鈉對結晶紫褪色之反應，連續追蹤結晶紫的濃度變化 300 秒，實驗結果如圖 6-24。

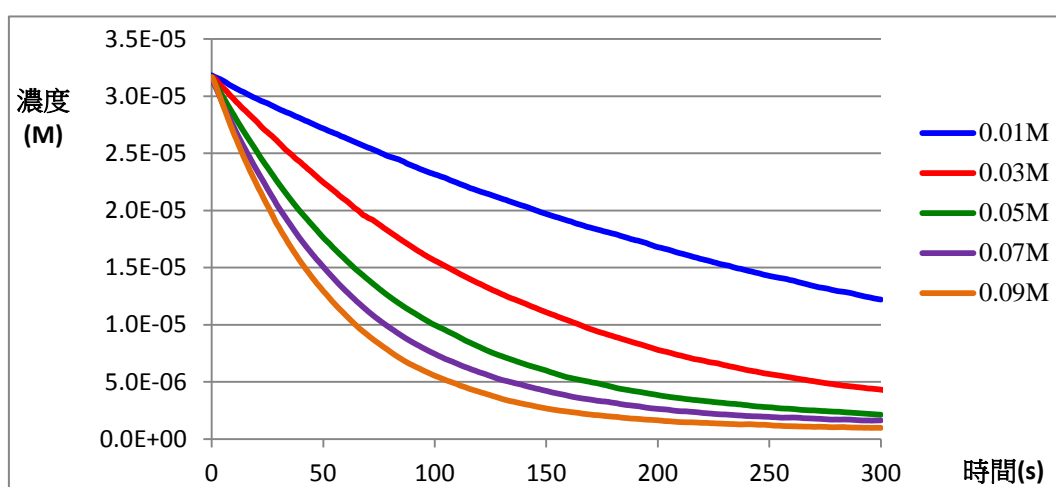


圖 6-24 不同 NaOH 濃度下結晶紫濃度與時間關係圖

由圖可得知開始的反應速率相對快速於後續至結束的反應速率，而結晶紫也漸會變為透明。因為整個反應過程中，結晶紫與 NaOH 濃度都會減少，為了得到較精確的數據，盡量取一開始的濃度與反應時間關係來分析，因此取前 10s 內的濃度與時間作線性迴歸，如圖 6-25。

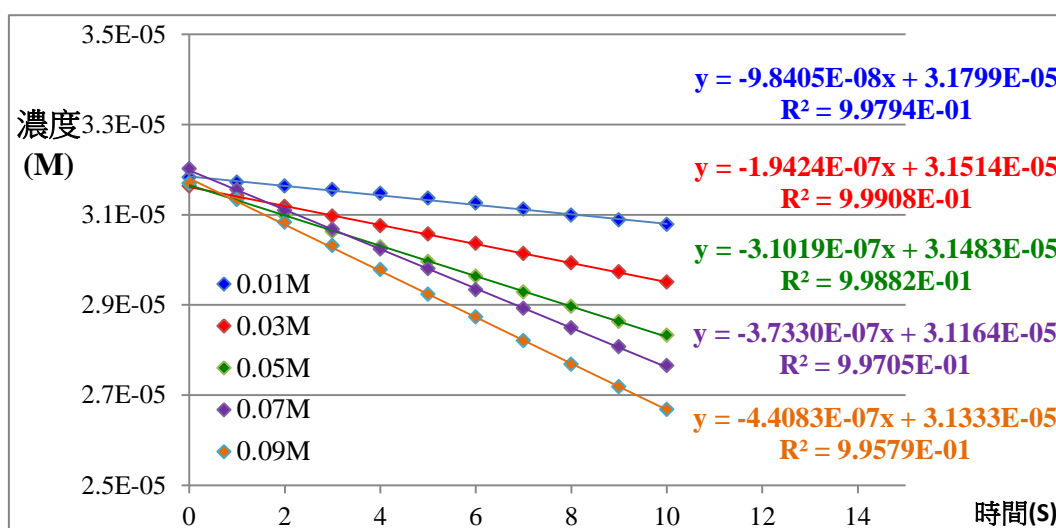


圖 6-25 不同濃度 NaOH 與結晶紫初始反應之濃度與時間關係圖

以幾個不同濃度 NaOH 來看，當 NaOH 濃度越大時，斜率會越來越小，相對的意思就是單位時間內結晶紫的消耗量變大，此斜率的負號表示消耗的意思，所以 NaOH 濃度越濃，反應速率越快。利用 $\log R = a \log[\text{NaOH}] + \log k'$ ，將 $[\text{NaOH}]$ 與反應速率 R 皆取對數後，再做線性迴歸。

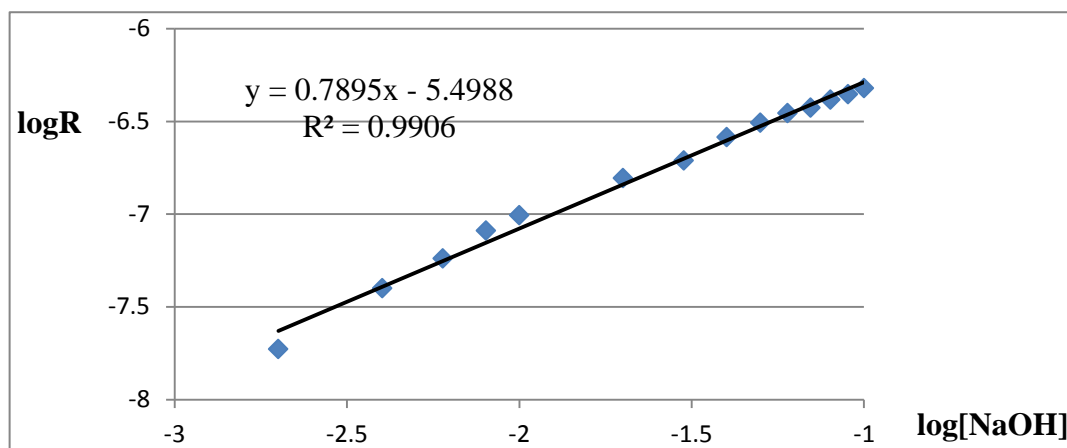


圖 6-26 不同 NaOH 濃度之 $\log R$ 與 $\log[\text{NaOH}]$ 的關係圖

從線性迴歸圖得到斜率為 0.7895，得知 NaOH 在此反應級數為 0.7895，但從圖可看到濃度越大，反應速率變化慢慢變小，應該是濃度本身也會影響反應級數，因此若分段分析，重新再做線性迴歸線。

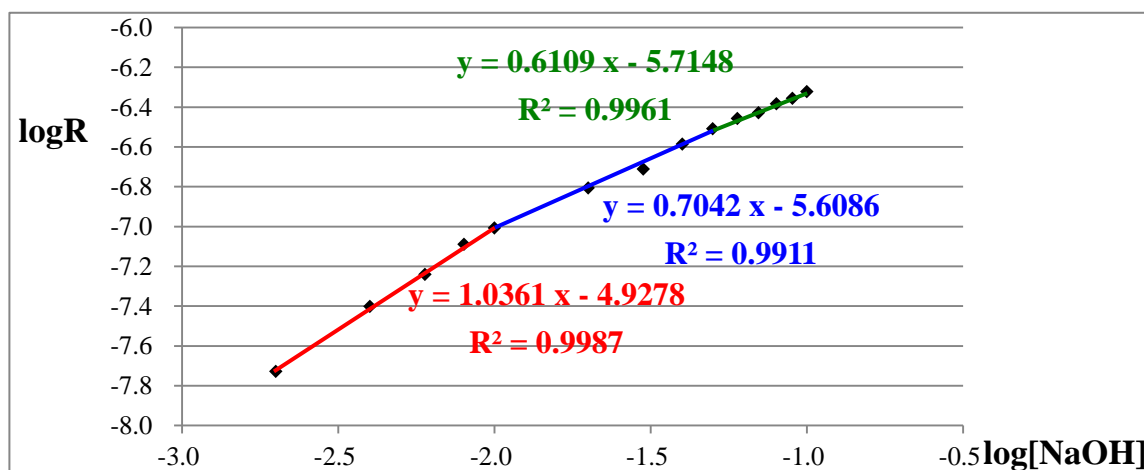


圖 6-27 不同 NaOH 濃度之 $\log R$ 與 $\log[\text{NaOH}]$ 的分段作線性迴歸圖

氫氧化鈉濃度若比較小(低於 10^{-2}M)來做此反應，反應級數可得到是 1.0361，約為一級反應，若氫氧化鈉濃度在 10^{-2}M 至 $5 \times 10^{-2}\text{M}$ 之間，測得反應級數為 0.7042，若氫氧化鈉濃度 $5 \times 10^{-2}\text{M}$ 至 10^{-1}M 之間，測得反應級數為 0.6109。從此結果得知，氫氧化鈉濃度在實驗中會影響反應級數，當濃度越大時反應級數會變小。

這現象與老師在課堂上教的原理很類似，以高濃度電解質在水中裡不是每個分子都能解離，都是在低濃度下來判斷強弱電解質，好比當一個人在跑道跑百米時能很順利的跑，若是上百個人擠在跑道上跑就沒辦法順利的跑，在此反應中濃度若偏高，就不是每個分子都會順利參與反應，所以若要做反應級數的探討，需要在低濃度下來探討。此低濃度能有幾成能發生反應，也可以說是此反應的有效濃度。

九、不同濃度結晶紫與氫氧化鈉之反應速率

為探討不同濃度結晶紫與氫氧化鈉之褪色反應速率，在定溫下(約 28°C)分別以 10^{-5}M 至 $5 \times 10^{-5}\text{M}$ 之結晶紫與 0.01M 氫氧化鈉作用之褪色反應，連續追蹤結晶紫的濃度變化 400 秒，實驗結果如圖 6-28。

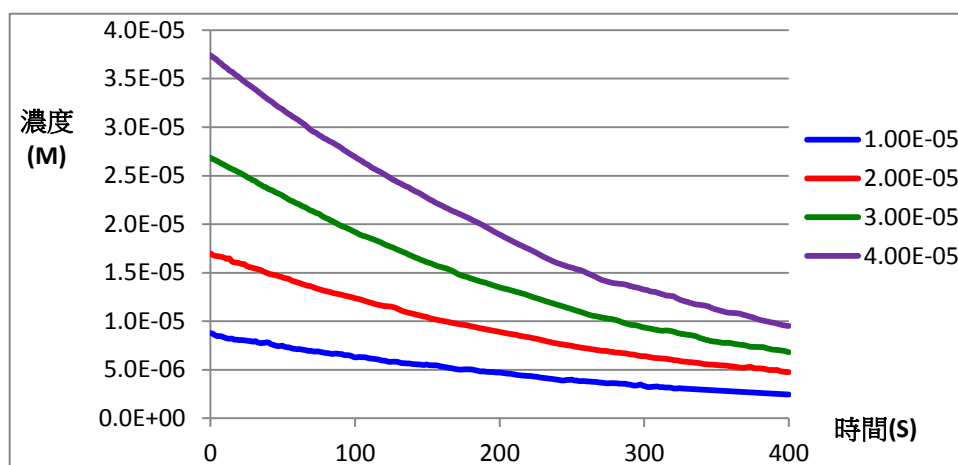


圖 6-28 不同結晶紫濃度與 0.01M NaOH 褪色反應結晶紫濃度隨時間變化圖

因為結晶紫濃度不同，因此一開始所取的濃度值就會不一樣，從圖中可看出結晶紫濃度較大時，單位時間內的濃度變化比較大，即反應速率較快。取前 10s 來做關係圖，如圖 6-29。

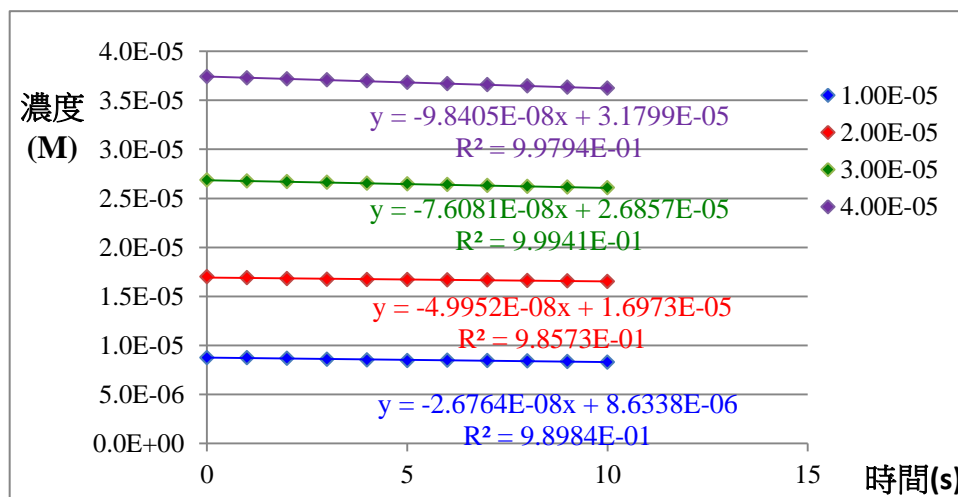


圖 6-29 固定 NaOH 濃度與結晶紫短時間反應濃度隨時間變化圖

本組改變結晶紫濃度，從 $5 \times 10^{-6} \text{M}$ 至 $4 \times 10^{-5} \text{M}$ ，並利用 $\log R = b \log[\text{結晶紫}] + \log k''$ ，並將[結晶紫]與反應速率 R 皆取對數之後，再做線性迴歸，如圖 6-30。

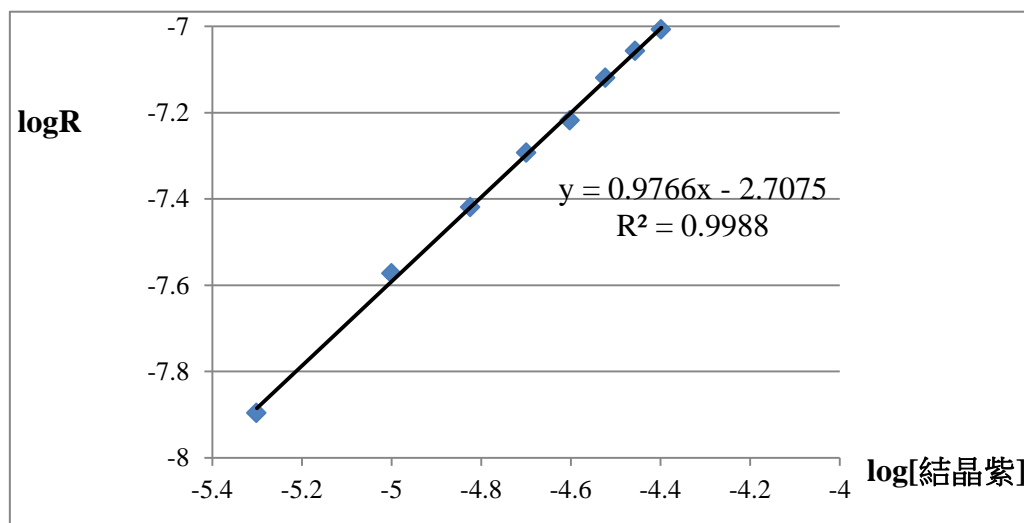


圖 6-30 不同結晶紫濃度之 $\log R$ 與 $\log[\text{結晶紫}]$ 的關係圖

在圖 6-30 中從線性迴歸圖得到斜率為 0.9766，得知結晶紫在此反應級數為 0.9766，本實驗所用的結晶紫濃度比較小，因此結晶紫會有效濃度應該會趨近於原本濃度，所以此反應結晶紫反應級數應該為一級反應。

十、探討在鹼性下，不同濃度葡萄糖對結晶紫水溶液褪色反應速率

結晶紫若沒有在鹼性溶液下，葡萄糖是不會與結晶紫產生褪色反應，但在一些文獻中得知，藍瓶反應的葡萄糖會使反應速率變慢，因此也探討葡萄糖對結晶紫與鹼性反應之影響。在定溫下(約 28°C)， $[\text{NaOH}] = 0.01 \text{M}$ ，改變不同葡萄糖濃度探討結晶紫濃度隨時間變化圖，如圖 6-31。

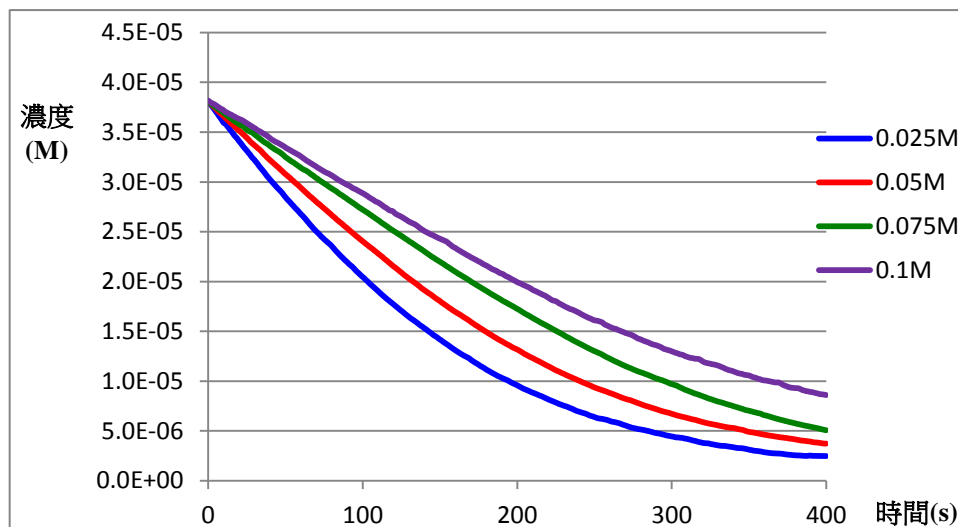


圖 6-31 不同葡萄糖濃度對結晶紫與 NaOH 反應影響之時間關係圖

從圖 6-31 可以得知，葡萄糖濃度越濃，反應速率越慢，此可能是加了葡萄糖區隔且降低了結晶紫與 NaOH 之碰撞接觸機會，使得反應速率越慢。圖 6-32 為不同葡萄糖濃度對結晶紫與氫氧化鈉短時間(10 秒內)反應影響圖，更再次反應結晶紫與氫氧化鈉於初始反應即受到葡萄糖濃度的影響。

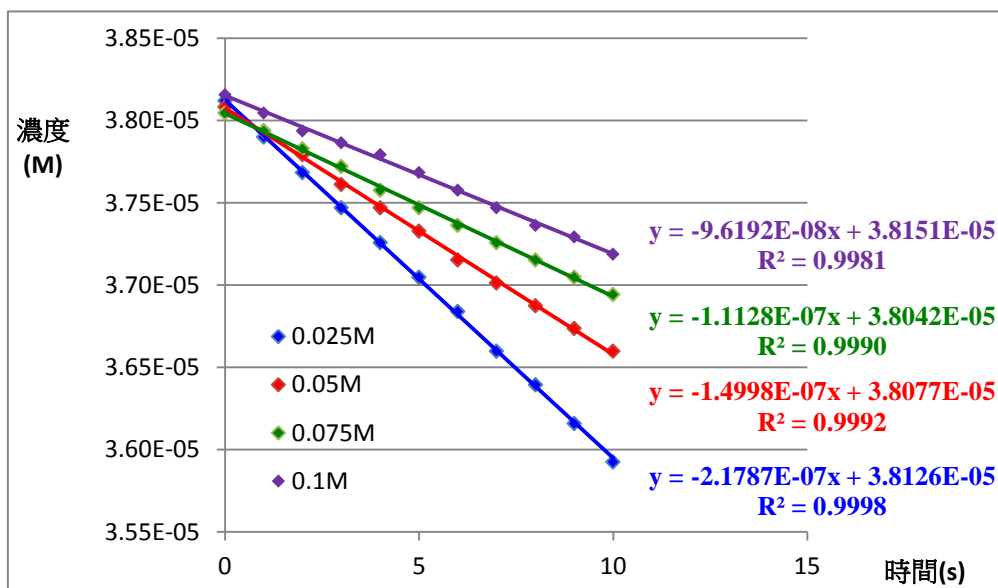


圖 6-32 不同葡萄糖濃度對結晶紫與氫氧化鈉初始短時間反應影響圖

若改變結晶紫濃度，從 0.025M 至 0.125M，並利用 $\log R = c \log[\text{葡萄糖}] + \log k''$ ，並將 [結晶紫]與反應速率 R 皆取對數後，再做線性迴歸。

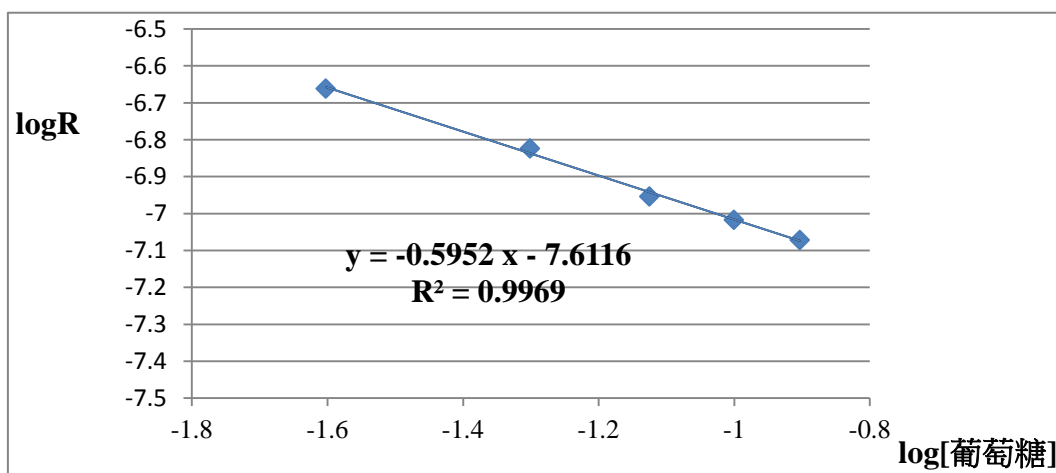


圖 6-33 [NaOH]=0.01M，logR 與 log[葡萄糖]的關係圖

從圖 6-33 線性迴歸圖得到斜率為 -0.5952，得知葡萄糖在此反應級數約為 -0.6，因為葡萄糖會影響反應速率，而且反應級數是負的，表示濃度越高越不容易反應，因此若將 NaOH 換一個濃度再做一次。結果如圖 6-34。

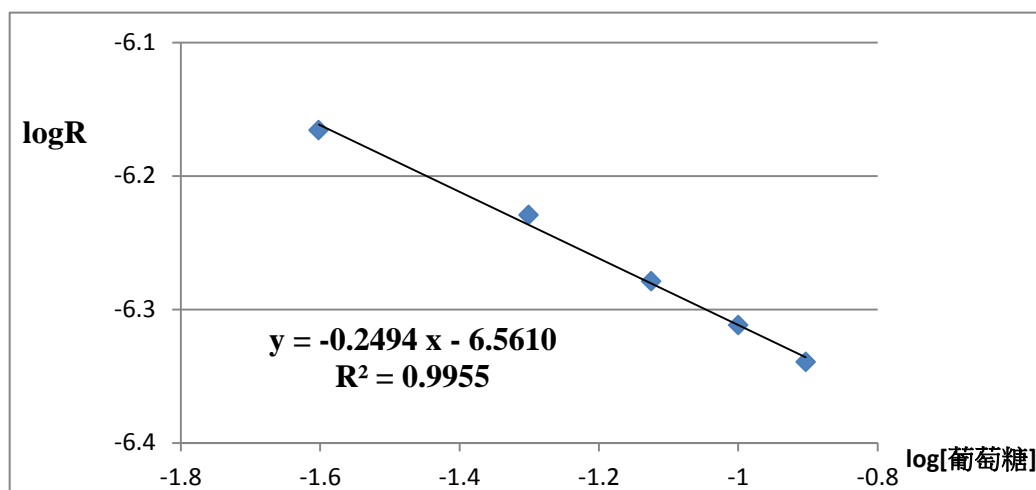


圖 6-34 [NaOH]=0.1M，logR 與 log[葡萄糖]的關係圖

從圖 6-34 線性迴歸圖得到斜率為 -0.2494 ，得知葡萄糖在此反應級數約為 -0.25 ，可知道在鹼性較強的溶液中，NaOH 反應級數會增加，致使葡萄糖對結晶紫水溶液與 NaOH 產生褪色反應速率的影響降低。

柒、結論

本研究成功地自組裝一組簡單、便宜、穩定的 LED 光電測定儀，聯接電腦的數據處理，成功地準確連續偵測觀察結晶紫水溶液的褪色反應。利用本測定儀，以透光度所反應的電壓大小以對數換算對濃度的測定可符合比爾定律之線性關係，可用於濃度的測定。研究結果發現，結晶紫在酸性及鹼性溶液中的褪色反應屬不可逆的結構變化反應，中性的鹽類化合物及有機物質是不會影響結晶紫的褪色反應。反應速率的測定必須在低濃度及極短時間內獲得資料，才能獲得準確的結果。經應用於結晶紫水溶液的褪色顏色變化研究後，確認了本自組裝 LED 光電測定儀具有體積小、成本低、光源穩定、可連續測定等功能，可作為國中小學科學研究的重要工具，提高研究層次。

在整個科展研究活動，從動機到結論，從無經費無儀器，從請教老師至到電子器材行，一步步地遇到問題到最後終於克服了問題，成功自組了可供國中小學科學研究的 LED 光電測定儀。也證實了老師常提醒我們“窮則變，變則通”的科學進步的大道理。

捌、參考資料

- 一、史家瑩等，2013 年 2 月初版，國民中學自然與生活科技第四冊(單元 3-3、3-4、4-1、4-4、8-1)，翰林出版事業股份有限公司，P66、78-79、91、99-101、201。
- 二、史家瑩等，2013 年 6 月初版，國民中學自然與生活科技第五冊(單元 4-2、4-3、4-4、4-5)，翰林出版事業股份有限公司，P102-123。
- 三、郭重吉等，2012 年 2 月初版，國民中學自然與生活科技第二冊(單元 7-3)，南一書局企業股份有限公司，P208-209。
- 四、蘇于婷、吳伶芷、陳柔菲，2011 年，通天神「碳」—探討碳類對色素的吸附能力，中華民國第 51 屆中小學科學展覽會國中組化學科，國立臺灣科學教育館。
- 五、葉亦心、葉亦修、林瑋晟，2011 年，「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率，中華民國第 51 屆中小學科學展覽會國中組化學科，國立臺灣科學教育館。
- 六、李世賢、吳祖寧、洪振嘉，2012 年， $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 取代 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 之秒錶反應研究，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會高中組化學科，國立臺灣科學教育館。
- 七、蔣皓哲、陳維浩、鄭安祈，2013 年，振盪藍色小精靈，中華民國第 53 屆中小學科學展覽會高中組化學科，國立臺灣科學教育館。
- 八、劉俊輝、舒福壽，2009 年 6 月初版，實用電子電路實作應用，台科大圖書股份有限公司。
- 九、曾國輝，1995 年 10 月，化學平衡，建弘出版社有限公司，P3-14。
- 十、張曉龍，吳兆亮，鄭輝傑，丁紅梅，2008 年 12 月，泡沫分離法處理結晶紫染料廢水的工藝，過程工程學報。

玖、附錄

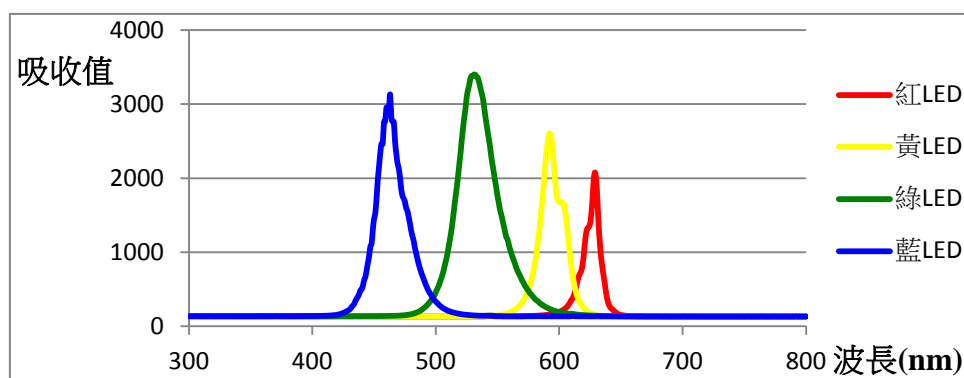


圖 9-1 各色光 LED 吸收值與波長的關係圖

表 9-1 不同 NaOH 濃度之 logR 與 log[NaOH]的數據

[NaOH](M)	反應速率 R(M/s)	log[NaOH]	logR
1.0000E-01	4.7655E-07	-1.0000	-6.3219
9.0000E-02	4.4083E-07	-1.0458	-6.3557
8.0000E-02	4.1323E-07	-1.0969	-6.3838
7.0000E-02	3.7330E-07	-1.1549	-6.4279
6.0000E-02	3.4871E-07	-1.2218	-6.4575
5.0000E-02	3.1019E-07	-1.3010	-6.5084
4.0000E-02	2.5900E-07	-1.3979	-6.5867
3.0000E-02	1.9424E-07	-1.5229	-6.7117
2.0000E-02	1.5603E-07	-1.6990	-6.8068
1.0000E-02	9.8405E-08	-2.0000	-7.0070
8.0000E-03	8.1365E-08	-2.0969	-7.0896
6.0000E-03	5.7467E-08	-2.2218	-7.2406
4.0000E-03	3.9717E-08	-2.3979	-7.4010
2.0000E-03	1.8672E-08	-2.6990	-7.7288

表 9-2 不同結晶紫濃度之 logR 與 log[結晶紫]的數據

[結晶紫](M)	反應速率 R(M/s)	log[結晶紫]	logR
5.0000E-06	1.2712E-08	-5.3010	-7.8958
1.0000E-05	2.6764E-08	-5.0000	-7.5724
1.5000E-05	3.8143E-08	-4.8239	-7.4186
2.0000E-05	5.0952E-08	-4.6990	-7.2928
2.5000E-05	6.0576E-08	-4.6021	-7.2177
3.0000E-05	7.6081E-08	-4.5229	-7.1187
3.5000E-05	8.7723E-08	-4.4559	-7.0569
4.0000E-05	9.8405E-08	-4.3979	-7.0070

表 9-3 [NaOH]=0.01M 之 logR 與 log[葡萄糖]的數據

[C ₆ H ₁₂ O ₆](M)	反應速率 R(M/s)	log[C ₆ H ₁₂ O ₆]	logR
0.0250	-2.1787E-07	-1.6021	-6.6618
0.0500	-1.4998E-07	-1.3010	-6.8240
0.0750	-1.1128E-07	-1.1249	-6.9536
0.1000	-9.6192E-08	-1.0000	-7.0169
0.1250	-8.4820E-08	-0.9031	-7.0715

表 9-4 [NaOH]=0.1M 之 logR 與 log[葡萄糖]的數據

[C ₆ H ₁₂ O ₆](M)	反應速率 R(M/s)	log[C ₆ H ₁₂ O ₆]	logR
0.0250	-6.8240E-07	-1.6021	-6.1660
0.0500	-5.8960E-07	-1.3010	-6.2294
0.0750	-5.2590E-07	-1.1249	-6.2791
0.1000	-4.8750E-07	-1.0000	-6.3120
0.1250	-4.5760E-07	-0.9031	-6.3395

【評語】 030202

能自製 LED 光度計及電路設計和加 Arduino 程式碼所製成電
測定儀，能準確測量硫酸銅及結晶紫的褪色反映及與氫氧化鈉的反
應速率，有相當創意且實驗結果良好。