

第四屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA4-260

作品名稱：自製多功能光度計之研究

姓名：林育任

關鍵字：溶液濃度、光度計、光敏電阻

自製多功能光度計之研究

壹、研究動機

在目前的溶液濃度分析中，有許多簡單的方法，像是 UV-VIS(紫外光-可見光光譜儀)就可輕鬆的達到了測量溶液濃度的目的，但購買光譜儀金額動輒數十萬，我想試試能否設計一簡單而便宜的儀器來取代昂貴的光譜儀？更希望人人可以自製，因此日常用品便是我最佳的素材。

相較於滴定法，比色計是一個方便的裝置，不但沒有指示劑的誤差，也省去標準液的配置，是化學研究的利器。

於是就想試試看，看能不能以一些簡易的材料，綜合比色法和 UV-VIS 的原理，做出一個便宜又簡易，穩定性高的理想工具。

首先想到的是如何測量光的強度呢？有一天家裡的小夜燈自動亮起，讓我靈機一動，其中的光敏電阻就解決了我的問題。

接下來光源應該用什麼呢？根據互補光的原理，如果是藍色或紫色的溶液，應該選用偏紅色或黃色的光源，光被吸收的變化量應該比較大，但如何取得此光源呢？喔！現在到處可見 LED(發光二極體)，有各種顏色且亮度又穩定，應該可以試一試。於是開始了我的研究。

貳、研究目的

因為化學上常用來做氧化還原滴定的試劑，主要有氧化劑如過錳酸鉀呈現紫色，還原劑如亞鐵離子 Fe^{2+} ，被氧化後會變成黃色的 Fe^{3+} ，如能測得其含量，便能利用此兩種試劑，間接去測量其它物種的濃度，如 H_2S 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、 H_2O_2 ...。可大大提高其應用價值。

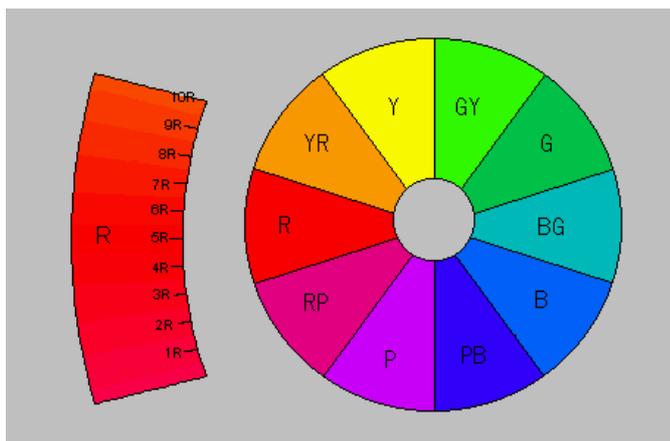
本實驗以簡單便宜的日常用品為素材，設計一簡單而便宜的儀器來取代昂貴的光譜儀。並且以簡單的步驟，準確的測出過錳酸鉀溶液與鐵離子溶液的濃度。

參、研究過程

一、原理探討

1. 光的吸收

當光經過物體時，由於物體吸收了部分可見光的能量，致使光強度變弱，並使物體呈現出未經吸收可見光混合而成的顏色，例如：綠色溶液之所以呈現綠色，是因其互補光（紫紅光）被吸收(如右圖)。如果所有的光都被吸收了，那麼這種物體便是黑色的。



左邊是大致上色光譜圖

【圖 1 可見色光環圖】

2. 朗伯—比爾定律

而光的吸收作用是受朗伯（Lamber）定律和比爾（Beer）定律這兩個物理定律支配的。朗伯定律指出，在一定的波長下，光的吸收量與吸光材料的厚度成正比。比爾定律指出，在一定的波長下，光的吸收量與吸光材料的濃度成正比。朗伯-比爾定律可以寫成下面的數學形式：

$$D\tau = \log \frac{\phi_i}{\phi_\tau} = a_\lambda \cdot l \cdot C$$

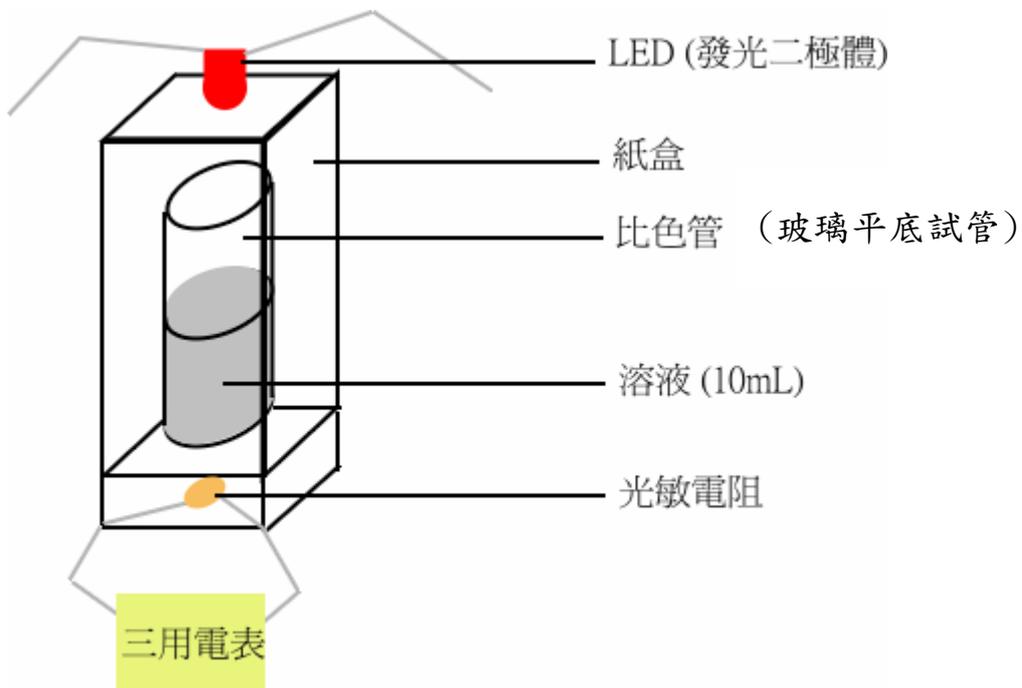
式中 l 為介質（如透明膠片、印刷油墨膜層等）的厚度； C 為介質的濃度（單位體積內含色料的數量）； a_λ 稱為吸收物體的分子消光指數或吸光指數，它與吸收物體的分子結構有關， a_λ 與照射光的波長有關。 a_λ 對於一般的吸收（如中性灰色），近似於常數；而在部分吸收的情況下（如彩色物質）， a_λ 隨波長不同而有顯著變化，對於不同波長的色光，其值差異很大。

3.光敏電阻

本實驗中所利用的光敏電阻為隨著外在環境的亮度提升，而電阻值隨之下降之器材。

二、研究器材架設

1.裝置甲



【圖 2 裝置示意圖】

2.裝置乙

將裝置甲中的 LED 與光敏電阻位置互換，並替換以另一市售之 CdS 光敏電阻。

三、實驗數據

1. 對 KMnO_4 的濃度測量值

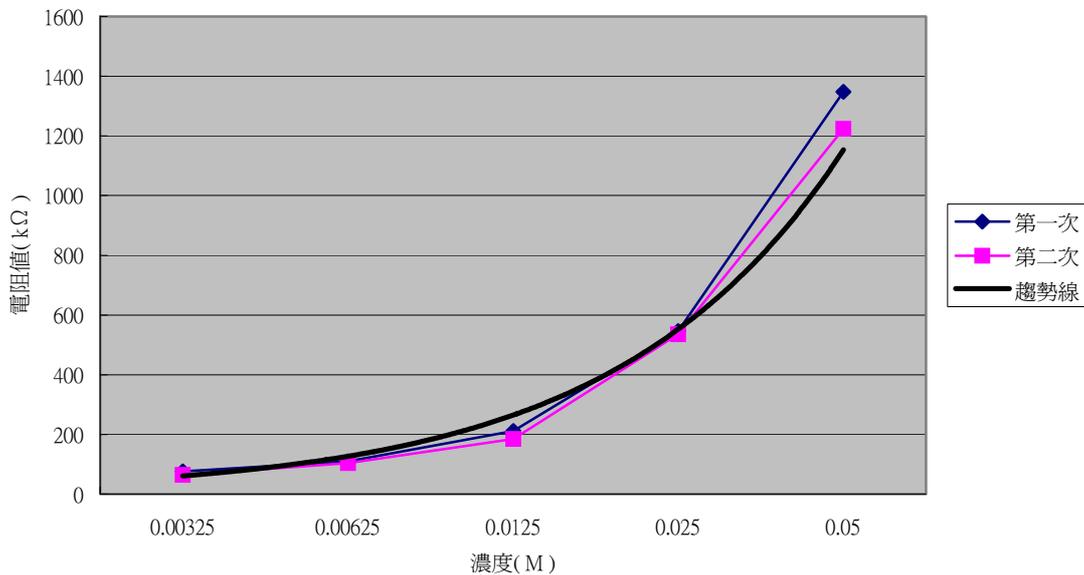
<1>嘗試將 KMnO_4 溶液濃度以倍數關係配製，求其數值(以紅 LED 測試)

(P.S. 只此實驗採取 20mL KMnO_4 溶液實驗)

【表 1 KMnO_4 溶液濃度與光敏電阻值(以紅 LED 測試)的關係】

| 次數 濃度(M) | 第一次 ($\text{k}\Omega$) | 第二次 ($\text{k}\Omega$) | 平均 ($\text{k}\Omega$) |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 0.00325 | 76 | 64 | 70 |
| 0.00625 | 110 | 104 | 107 |
| 0.0125 | 212 | 185 | 198.5 |
| 0.025 | 546 | 535 | 540.5 |
| 0.05 | 1348 | 1224 | 1286 |

轉換成如下圖



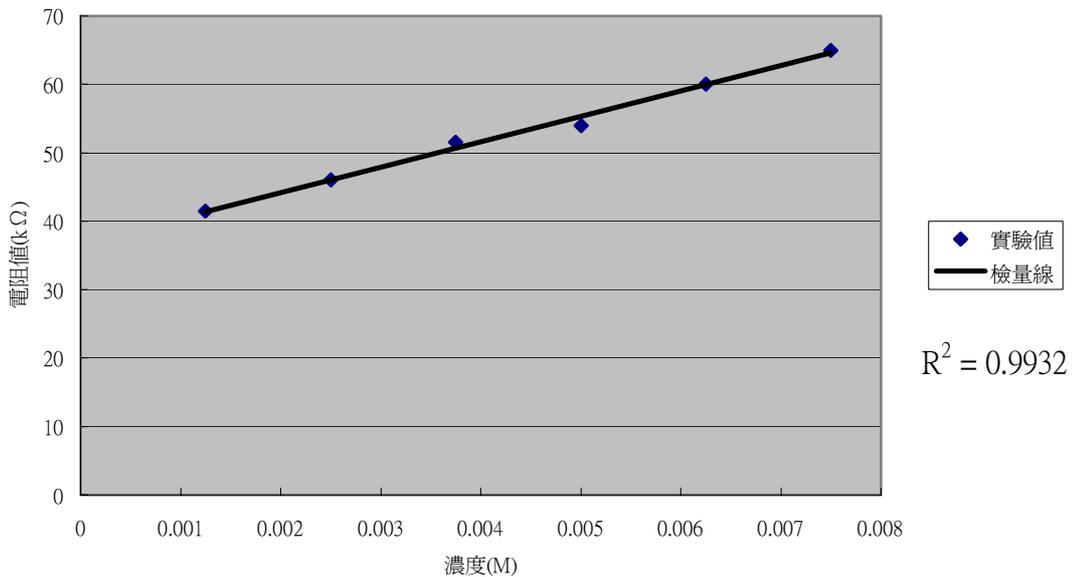
【圖 3 KMnO_4 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

<2>配置不同濃度的 KMnO_4 溶液(以紅 LED 測試)，但佐以 UV 光譜儀

【表 2 KMnO_4 溶液濃度與光敏電阻值的關係】

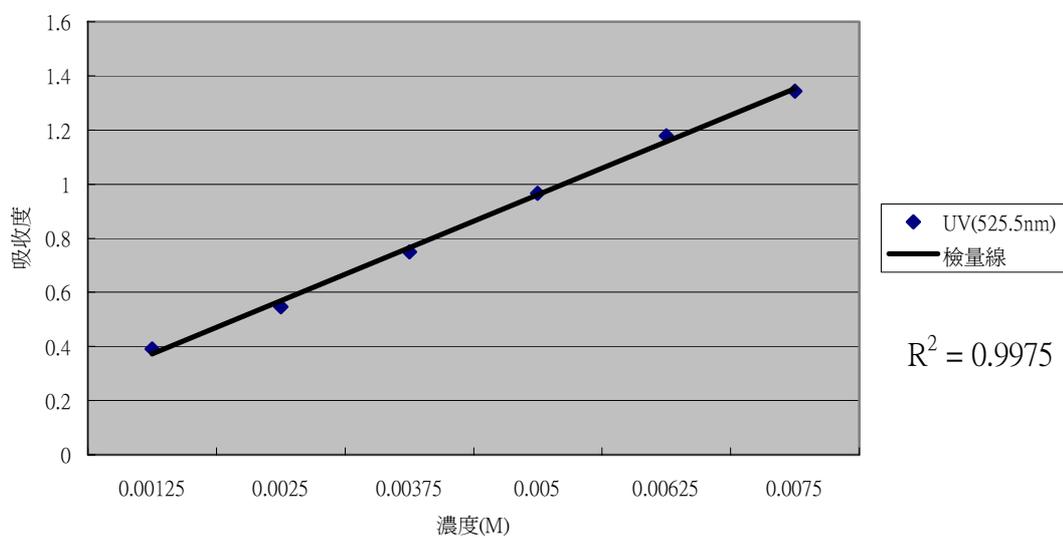
| 濃度(M) \ 次數 | 實驗值 ($\text{k}\Omega$) | UV(525.5nm) |
|------------|-----------------------------|-------------|
| 0.00125 | 41.5 | 0.392 |
| 0.0025 | 46 | 0.547 |
| 0.00375 | 51.5 | 0.749 |
| 0.005 | 54 | 0.967 |
| 0.00625 | 60 | 1.178 |
| 0.0075 | 65 | 1.344 |

轉換如下圖



【圖 4 KMnO_4 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

與 UV-VIS 光譜儀測量值對照



【圖 5 KMnO₄ 溶液濃度與 UV 吸收度的關係圖】

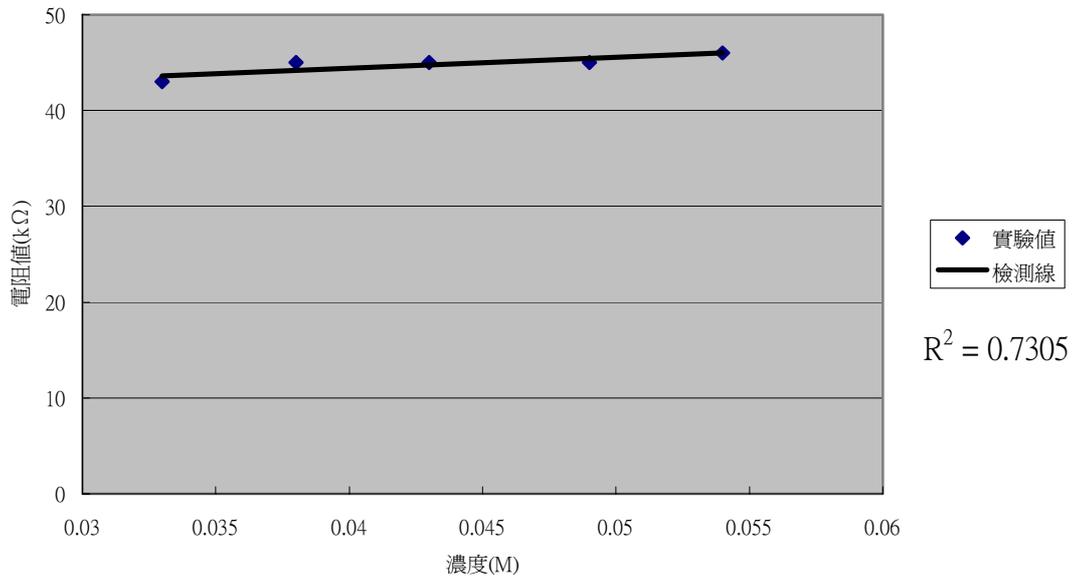
2. FeCl₃ 溶液濃度測量值

<1>改成以 FeCl₃ 溶液濃度測試實驗(以紅 LED 測試)

【表 3 FeCl₃ 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

| 濃度(M) | 數據 | 實驗值 (kΩ) |
|-------|-------|-------------|
| | 0.033 | 43 |
| | 0.038 | 45 |
| | 0.043 | 45 |
| | 0.049 | 45 |
| | 0.054 | 46 |

轉換如下圖



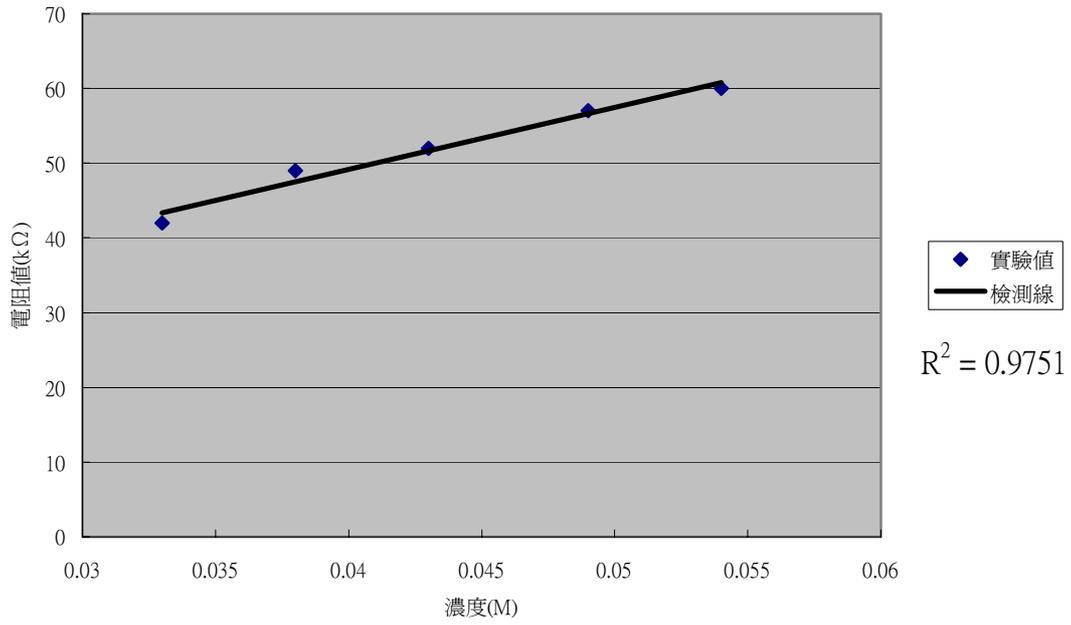
【圖 6 FeCl₃ 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

<2>同濃度 FeCl₃ 溶液濃度實驗(改以綠色 LED 測試)

【表 4】

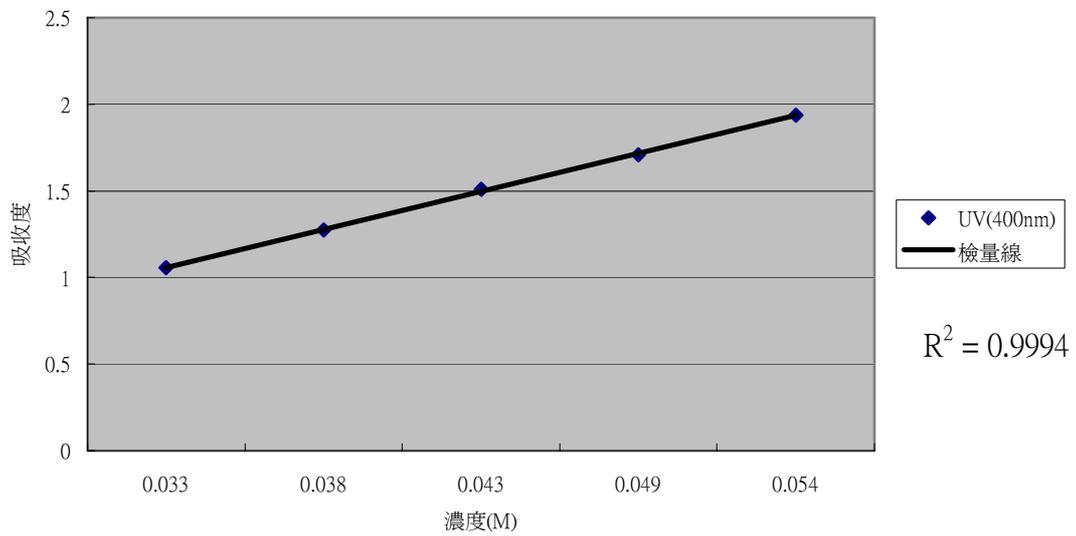
| 濃度(M) | 數據 | 實驗值 (kΩ) |
|-------|----|-------------|
| 0.033 | | 42 |
| 0.038 | | 49 |
| 0.043 | | 53 |
| 0.049 | | 57 |
| 0.054 | | 60 |

轉換成如下圖



【圖 7 FeCl₃ 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

與 UV-VIS 光譜儀測量值對照



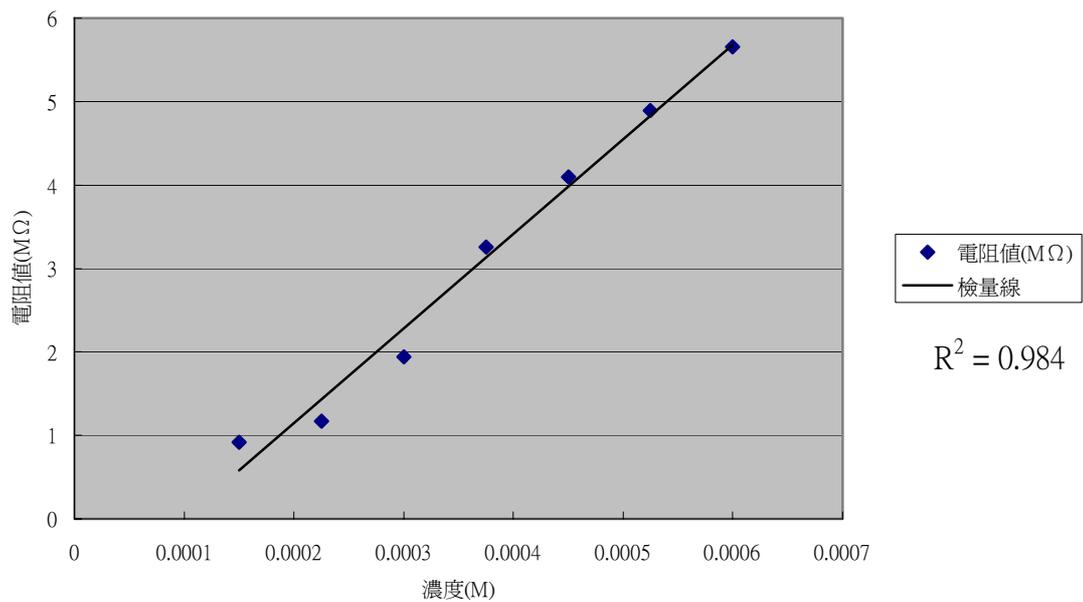
【圖 8 FeCl₃ 溶液濃度與 UV 吸收度的關係圖】

3.以裝置乙測定

KMnO₄ 的實驗數值(以綠 LED 測試)

【表 5 KMnO₄ 溶液濃度與光敏電阻值的關係】

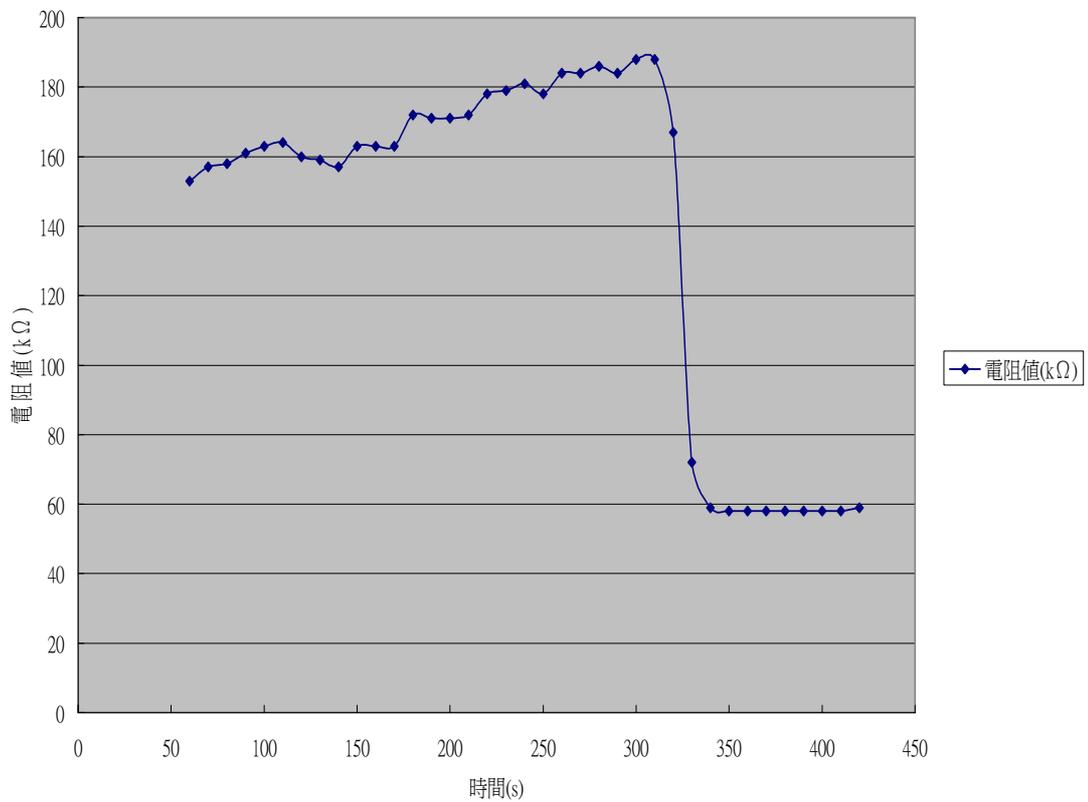
| 濃度(M) | 電阻值(MΩ) |
|----------|---------|
| 0.00015 | 0.920 |
| 0.000225 | 1.173 |
| 0.0003 | 1.943 |
| 0.000375 | 3.253 |
| 0.00045 | 4.093 |
| 0.000525 | 4.891 |
| 0.0006 | 5.653 |



【圖 9 KMnO₄ 溶液濃度與光敏電阻值的關係圖】

4.光度計之應用—氧化還原實驗的觀察

將 0.02M 過錳酸鉀 3mL(紫紅色)與 1M 硫酸 1mL 混合，再加入 0.05M 草酸(無色)，反應生成 Mn^{2+} (趨近於無色)，測其反應過程中的電阻值與時間的關係圖如下：



【圖 10 所測得電阻值與時間的關係圖】

肆、討論及應用

1. 在 KMnO_4 溶液濃度測量的實驗<1>中，實驗數據的確如預期的，依照所調配的指數關係而呈現指數關係。
2. 此實驗數據可觀察出 KMnO_4 溶液濃度與光敏電阻值成線性正相關，與 UV-VIS 光譜儀測量值比較，實驗值為成功的，並與比爾定律是相符的，可證明此裝置為可行的。
3. 根據本實驗所設計出測定未知 KMnO_4 溶液濃度的步驟如下：
 - a. 先測量未知 KMnO_4 溶液(20mL)的光敏電阻值，參考圖 3，估計 KMnO_4 溶液概略濃度。
 - b. 取未知 KMnO_4 溶液稀釋至圖 4 的濃度區段，測量稀釋後未知 KMnO_4 溶液(10mL)的光敏電阻值，利用內插法從圖 4 即可得求得其精確濃度值。
4. 在 FeCl_3 溶液濃度的檢測中，發覺只要挑選適合色光的 LED 照射(通常以接近互補光較佳)，就可以適當的將數據區間分散，而對於未知溶液濃度的測量到更精準的數值。
5. 在本實驗中，運用了生活中的小夜燈，與平常實驗室中易尋找的裝置—像比色管(玻璃平底試管)和三用電表，這些物品組合而成的裝置測量了溶液濃度。
6. 在目前測量的數據中，的確成功的以自製器材，測量出了一個穩定的數據，在實驗室中常使用到氧化劑 (KMnO_4) 和還原劑的產物 (FeCl_3)，得出了一个線性關係。依照討論 3 的方法，就可成功的推算出溶液濃度了。
7. 不同色 LED 與不同溶液之間的搭配，的確會影響到數值。要如何才能使數值適度的調控至更精準，仍要做更多的實驗來觀察，但就目前的猜測，應是要利用與溶液顏色互補的色光，才能得到較適當的直線關係，。

8. 但就 LED 顏色調配方面，只要利用固定在不同蓋子上之不同 LED 的互換，就可以成功達到測量不同溶液的需求，也就是一樣的裝置，只要換上不同的光源，便可測量不同的有色溶液之濃度，至於色光的選擇，可改由製作三原色(紅、綠、藍)的燈光，再依據原理中所示的可見色光環圖，在三者中挑其一即可。
9. 在裝置乙方面，原意是打算嘗試將 LED 光先經由溶液吸收，避免再空氣造成的光度的佚散，以提升數據區間的分散程度，意即交換光敏電阻與 LED 之位置，但卻發覺如此產生的數據值較高，因而造成無法測量較高濃度的情況，就這點而言，還是裝置甲較恰當。
10. 利用自製光度計於氧化還原過程的觀測中，可以發現顏色吸收度是先呈現微微上升的趨勢，在 250s 至 280s 之間開始急速下降至 59 k Ω ，可明顯的看出反應過程中的吸收度變化，以推測其反應過程。或許可應用在化學動力學的過程探討。

伍、結論

- (一)此實驗證明了：的確可以以易取得且便宜之器材，用簡單的原理及方法自製器材，並且利用其測得溶液濃度。
- (二)目前大致上的數據都呈現線性關係，可推斷出此為一可行之方法。
- (三)挑選適當的 LED 色光可以提高電阻值數據的變化區間，提高測量的準確性與測量極限。
- (四)以測量溶液廣度方面，明顯的是裝置甲較好。
- (五)本裝置可用於觀察溶液反應過程時所產生的顏色變化，並轉化以一確切訊號表達，進一步推知其反應過程，或可當作一訊號偵測元件使用。

陸、參考資料

(一) 經濟部工業局工安環境報導，環安 Q&A，

<http://she.moeaidb.gov.tw/topic/qa.asp>

(二) Skoog West Holler。基礎分析化學（下）第七版，方嘉德等譯。台灣。
美雅書版股份有限公司。P528~P534。