

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

佳作

052307

簡易型分光光度計實作及驗證

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者： 高二 何之苓 高二 林芸平 高二 沈庭瑜	指導老師： 王裕德 陳玉珊
---	-----------------------------

關鍵詞：波長、大腸桿菌、Arduino

摘要

目前教學界對於實驗的重視度提高，但由於市面上的分光光度計本身過於昂貴，導致許多校園無法提供資源，為了讓學生以不影響實驗及金錢的前提下，本研究以 **Arduino** 取代，搭配 3D 列印製造出分光光度計，以不同顏色的光，相異波長的透光性測出細菌的數量，將得到的數值對比市面上分光光度計所測得的數據，以辨識出哪一種波長最適合用來檢測。

主題上大致分為研究與實驗兩個部分：(一)研究如何使用 **Arduino** 微控制器和 **CJMCU101** 光感測器組裝出分光光度計；(二)培養大腸桿菌，作為實驗對象再以相異顏色的光照射，並將實驗結果與市面上的分光光度計的數據相比對。而經由實驗結果所得的數據對比可以得知，我們所製造的儀器可以一定程度上的取代市售的分光光度計。

壹、研究動機

教育部的實驗改革，主要重視於培養眾多學生的自主思考能力，但通常必須花費許多時間及金錢，最後真正能讓學生體驗實驗的學校少之又少，實驗大多需要互相配合，儀器不足也造成組別人數過多，動手機會減少，因此我們想讓稀有成為普遍，相同用處但簡便的材料代替分光光度計，讓學校實驗器材更加廣泛運用，也使教育目的能夠達成，滿足學生們對於動手做實驗的期待。



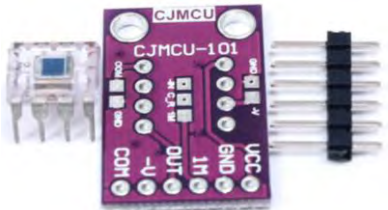


為了計算時間間隔中細菌生成的數值，就需要使用到分光光度計，但想到機器本身過於昂貴，未來若私底下需要使用時會相當不便，因此我們想到要用簡單、低價的器材，**Arduino** 微控制器、**CJMCU101** 光感測器組裝出光色檢測器，改善儀器昂貴、不易取得的問題，以利學生不拘束於學校等場所，於何時何地都能做實驗與研究。

貳、研究目的

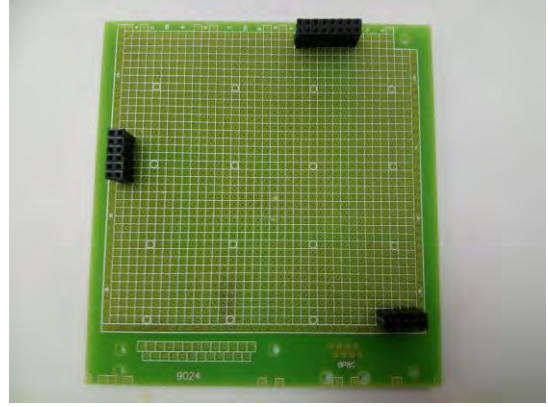
- 一、低價的材料做出機器
- 二、確認與市面上的分光光度計的功用符合
- 三、找出最適合的光波長
- 四、探討數值最為接近的光波長

參、研究設備與器材

本作品使用：

<p>一、Arduino UNO R3 開發板 優點:(1)使用 Atmega 16U2 晶片替代 8U2，意味著更高的傳輸速率和記憶體空間 (2)在 Mac 和 Linux 系統中無需安裝驅動。(在 windows 系統中需要 IDE 驅動)(3)增加了 SDA 和 SCL 介面。)</p>	
<p>二、ADS1015 類比數位轉換器(ADC) 工作電壓為 2V 到 5V。能提供 12 位元的解析度(相對於 Arduino 中內建的 ADC 僅有 10 位元的解析度)。</p>	
<p>三、CJMCU-101 OPT101 光照/光強度感測器模組 是集成光電二極管和芯片內置的跨阻放大器，輸出電壓隨著光強線性增大。工作電壓為 2.7 到 36V。</p>	
<p>四、cuvette 長 12.4mm 寬 12.4mm 高 44mm</p>	
<p>五、LCD WH1602D 16x2 LCD 字元型液晶模組， WH1602D 內建 ST7066 IC，5V 電壓驅動</p>	

六、洞洞板



七、Arduino IDE

A screenshot of the Arduino IDE software interface. The window title is "sketch_sep04a | Arduino 1.6.11". The menu bar includes "檔案", "編輯", "草繪板", "工具", and "說明". The main editor area shows a sketch named "sketch_sep04a" with the following code:

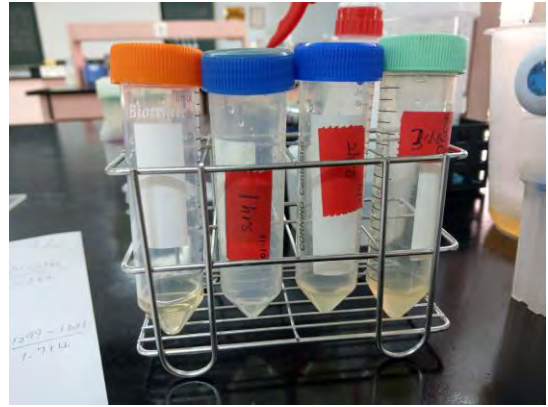
```
void setup() {  
  // put your setup code here, to run once:  
}  
  
void loop() {  
  // put your main code here, to run repeatedly:  
}
```

The status bar at the bottom indicates "Arduino/Genuino Uno on COM7".

八、微量吸管(gilson pipetman)



九、大腸桿菌(*Escherichia coli*)



十、分光光度計



肆、研究過程及方法

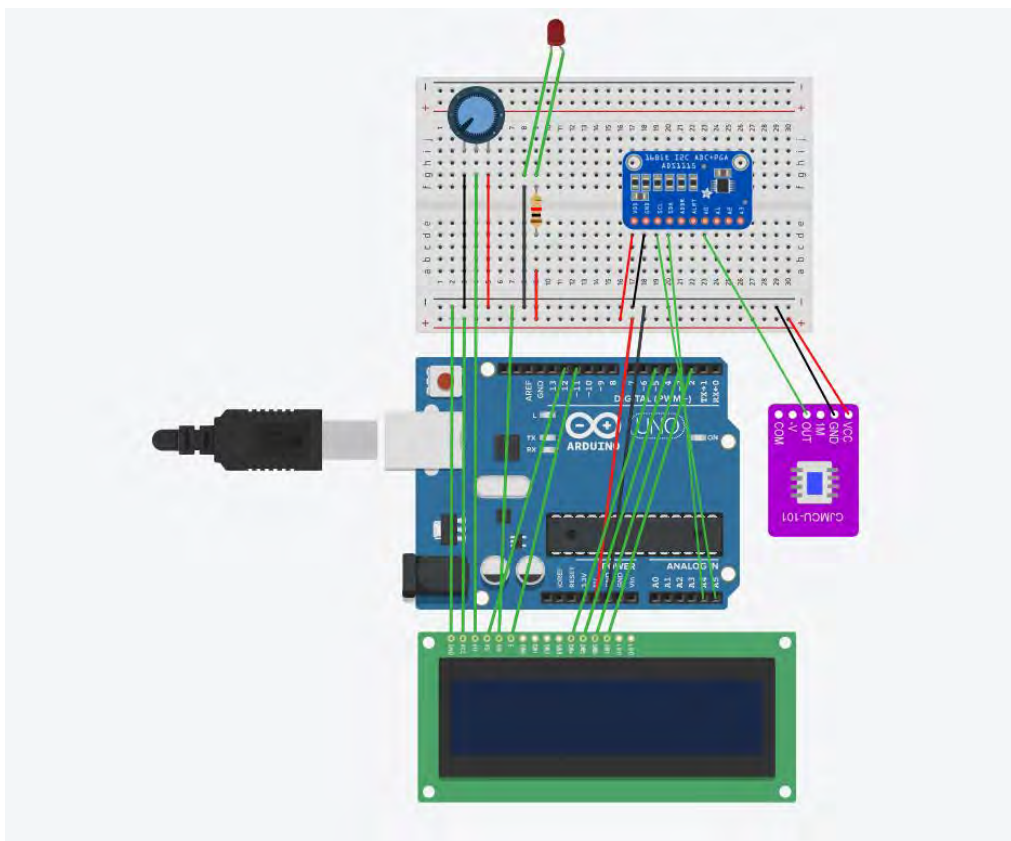
一、在學校培養大腸桿菌，必須計算時間間隔中細菌生成數值，一開始我們採取計算菌落的方式，但由於菌落太過密集，因此製作簡易分光光度計測量細菌數量。

二、研究裝置的架構及製作

利用分光光度計不同波長照射細菌，用光感測器測得其透光性，並用類比數位轉換器將其輸出的類比訊號轉換為介於 0 至 4096 的數值，以換算菌落數量。

製作分為以下幾步驟：

(一) 電路配置(圖一)



(圖一)

(二)程式碼撰寫

我們每隔 0.5 秒讀取一次 ADS1015 的數值並更新 LCD 螢幕上的顯示。

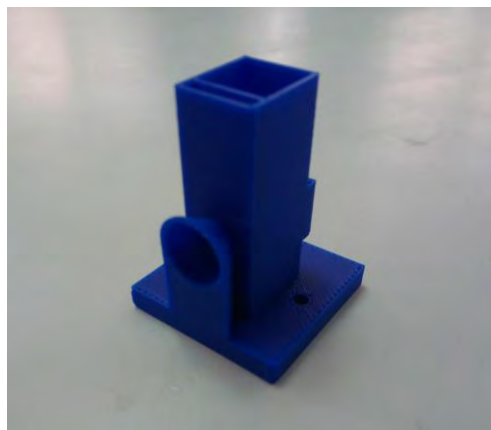
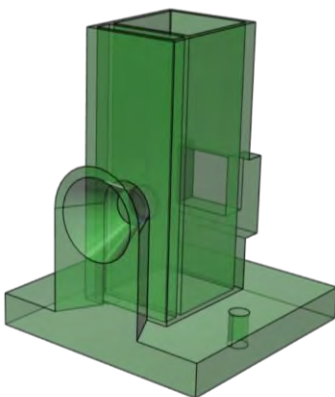
```
int num;
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
Adafruit_ADS1015 ads1015;

void setup() {
  lcd.begin(16,2);
  ads1015.begin();
  lcd.print("Light Detector");
}

void loop() {
  num=ads1015.readADC_SingleEnded(0);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Light Detector");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Light:");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(num);
  delay(500);
}
```

(三)3D 列印 cuvette 放置架

我們在 cuvette 放置架的一側做了放置 CJMCU101 的支架(圖 1)，並在另一側設計方便替換 LED 燈的凹槽(圖二)。



(圖二)

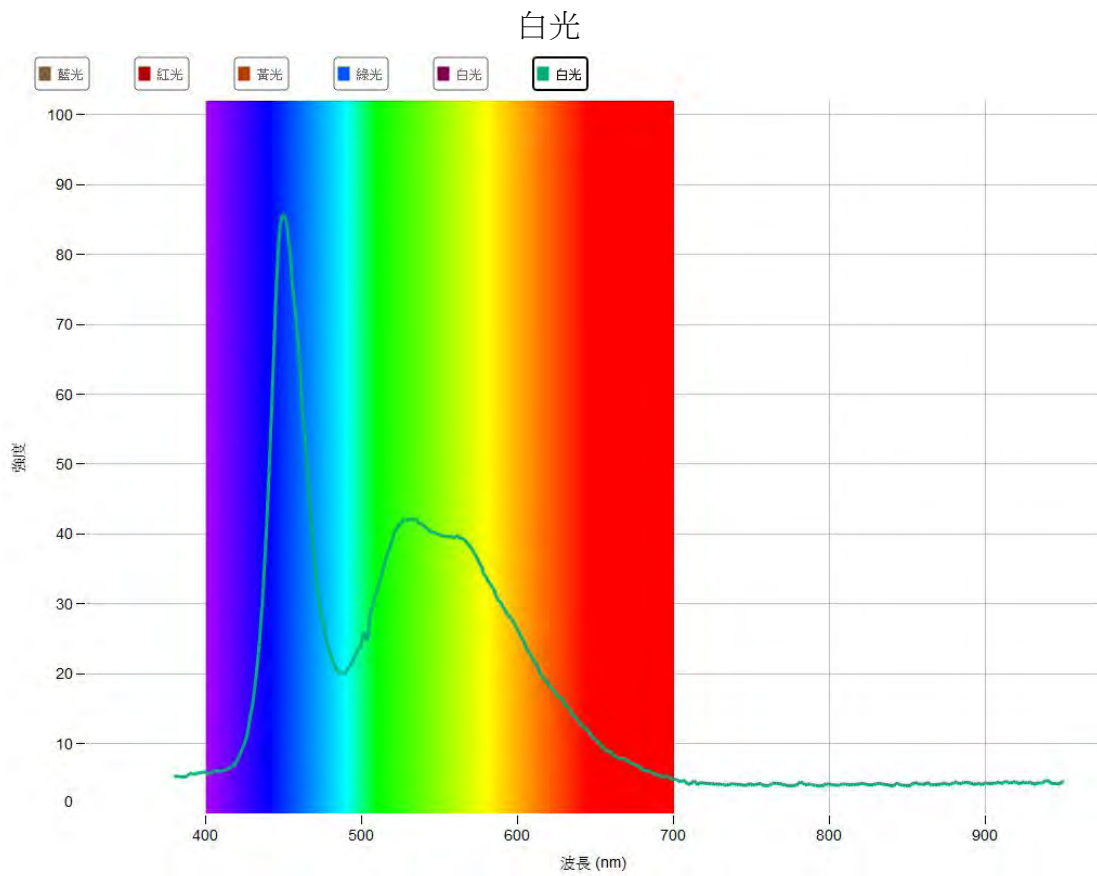
(四)用玻璃紙分離色光

3D 列印製作的夾板搭配各顏色玻璃紙(如圖三)

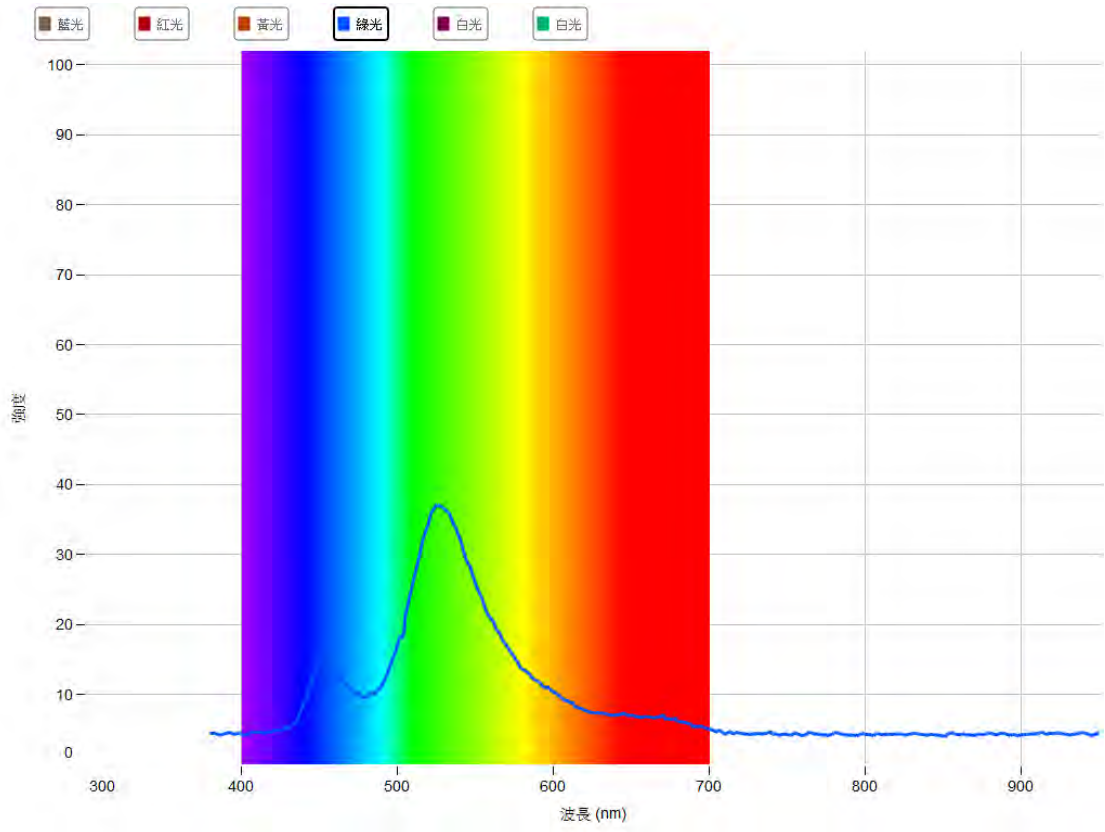


(圖三)

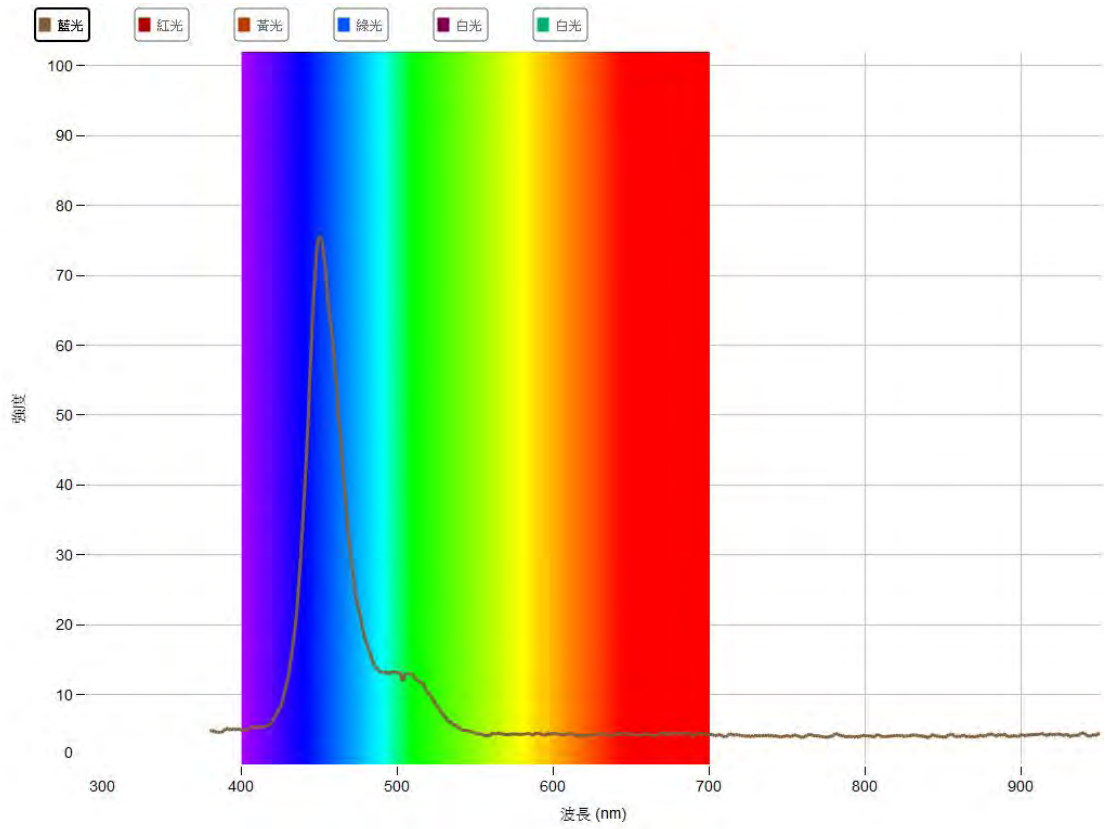
以下為光譜儀測量出的波長範圍圖



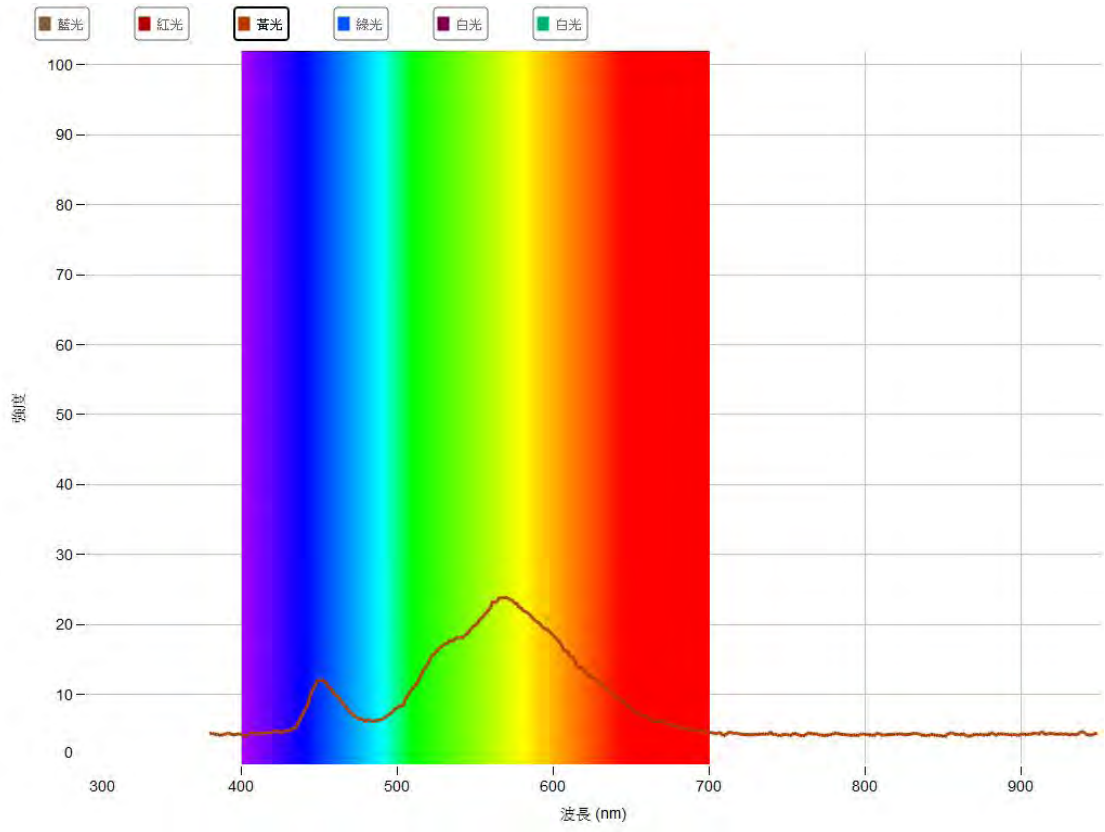
綠光



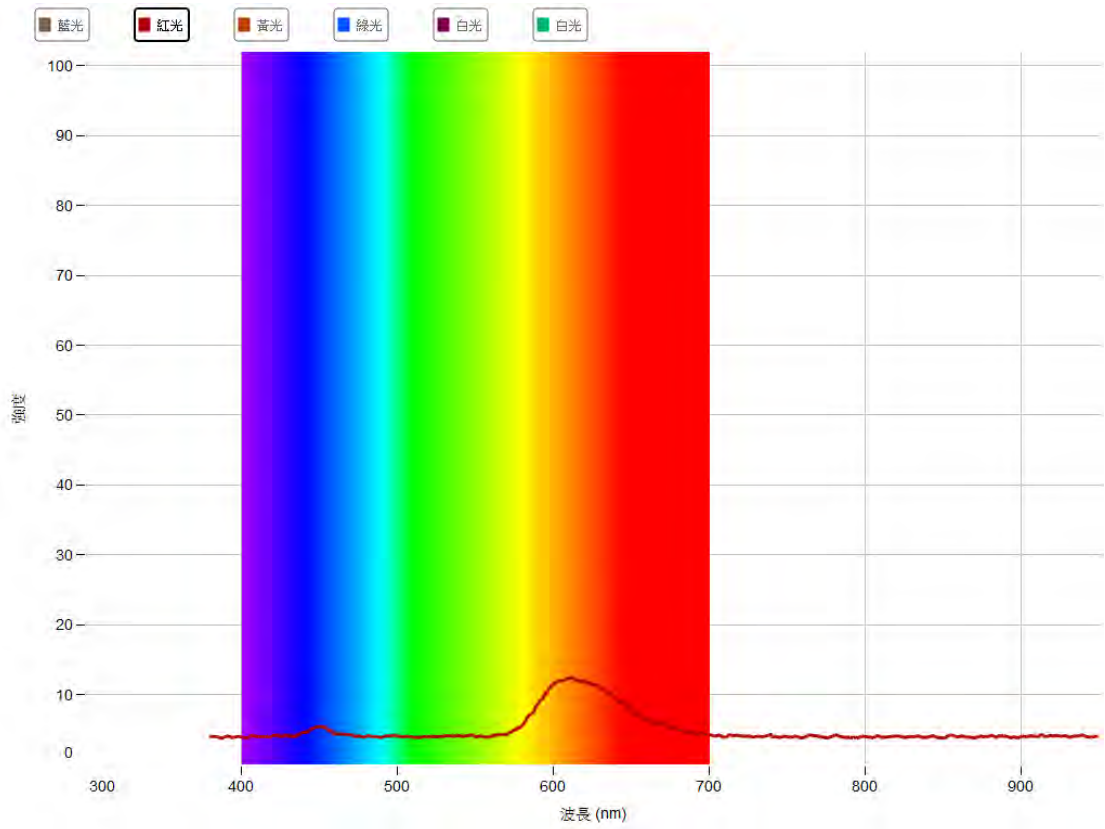
藍光



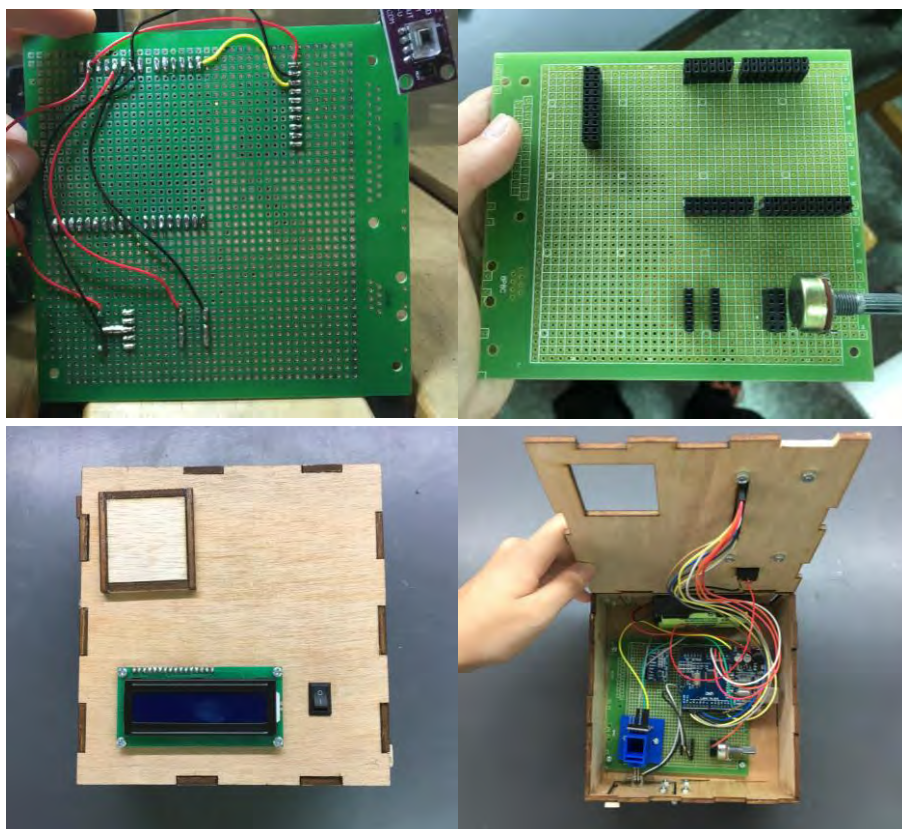
黃光



紅光



(五)焊接並組裝所有元件(如圖四)



(圖四)

三、實驗過程

培養各間隔一小時的大腸桿菌，使用 pipetman 將細菌移入兩個 cuvette，各放入自製跟市面上的分光光度計，分別記錄白、綠、藍、紅、黃光所得數值，加以與市面上器材得出數值作比較，找出最適合用來檢測的波長的光。

(一)培養細菌

(二)將細菌移入 cuvette 並同時用市面上和自製的裝置檢測

(三)紀錄並比對兩種數值所得數據

伍、研究結果

白光

儀器/時間	Blank	1 小時	2 小時	3 小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1471	1467	1504	1481
Y	1629	1624	1608	1600
Z	1529	1527	1520	1499

紅光

儀器/時間	Blank	1 小時	2 小時	3 小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1455	1455	1454	1452
Y	1493	1484	1473	1467
Z	1472	1471	1470	1468

黃光

儀器/時間	Blank	1 小時	2 小時	3 小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1480	1472	1467	1459
Y	1565	1557	1546	1514
Z	1490	1488	1484	1478

藍光

儀器/時間	Blank	1 小時	2 小時	3 小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1460	1459	1457	1454
Y	1502	1504	1494	1478
Z	1477	1475	1474	1470

綠光

儀器/時間	Blank	1 小時	2 小時	3 小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1459	1457	1455	1453
Y	1508	1496	1489	1473
Z	1475	1474	1472	1469

陸、討論

經過本實驗，所測得數據與市面上昂貴的分光光度之比較：

一、簡單的材料

本實驗所用材料便宜，以玻璃紙分離白光，取得各種波長。Arduino 開發板也容易取得並修改，高中生研究用途。

二、功用符合

市面上的分光光度計採用一個可以產生多個波長的光源，通過系列分光裝置產生特定波長的光線，此光線透過測試的樣品後，部分光線被吸收。計算樣品的吸光值，能換算成樣品的濃度。樣品的吸光值與樣品的濃度成正比。

以下數值(表一)可呈現自製分光光度計與市面上相比皆有一標準值，並且會因波長不同而產生差異，光感測器確實有因透光率不同而接收到不一樣的差值。

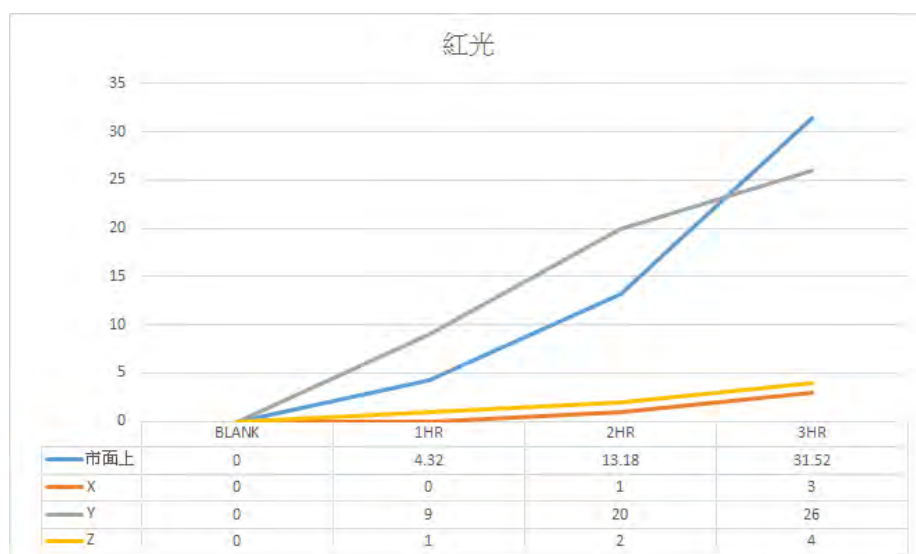
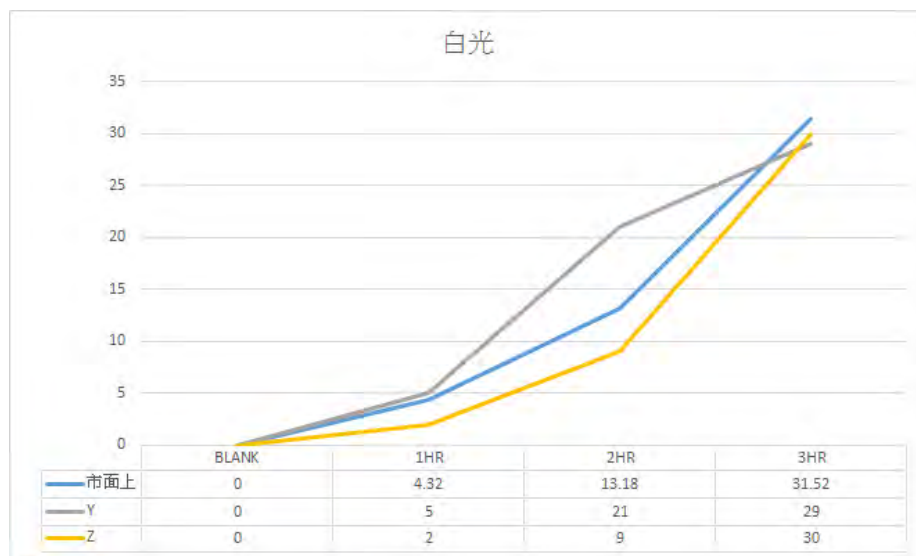
		BLANK	1HR	2HR	3HR
市面上		0	0.432	1.318	3.152
		0	4.32	13.18	31.52
白	X	1471	1467	1504	1481
		0	4	-33	-10
	Y	1629	1624	1608	1600
		0	5	21	29
	Z	1529	1527	1520	1499
	0	2	9	30	
紅	X	1455	1455	1454	1452
		0	0	1	3
	Y	1493	1484	1473	1467
		0	9	20	26
	Z	1472	1471	1470	1468
	0	1	2	4	
黃	X	1480	1472	1467	1459
		0	8	13	21
	Y	1565	1557	1546	1514
		0	8	19	51
	Z	1490	1488	1484	1478
	0	2	6	12	
藍	X	1460	1459	1457	1454
		0	1	3	6
	Y	1502	1504	1494	1478
		0	-2	8	24
	Z	1477	1475	1474	1470
	0	2	3	7	
綠	X	1459	1457	1455	1453
		0	2	4	6
	Y	1508	1496	1489	1473
		0	12	19	35
	Z	1475	1474	1472	1469
	0	1	3	6	

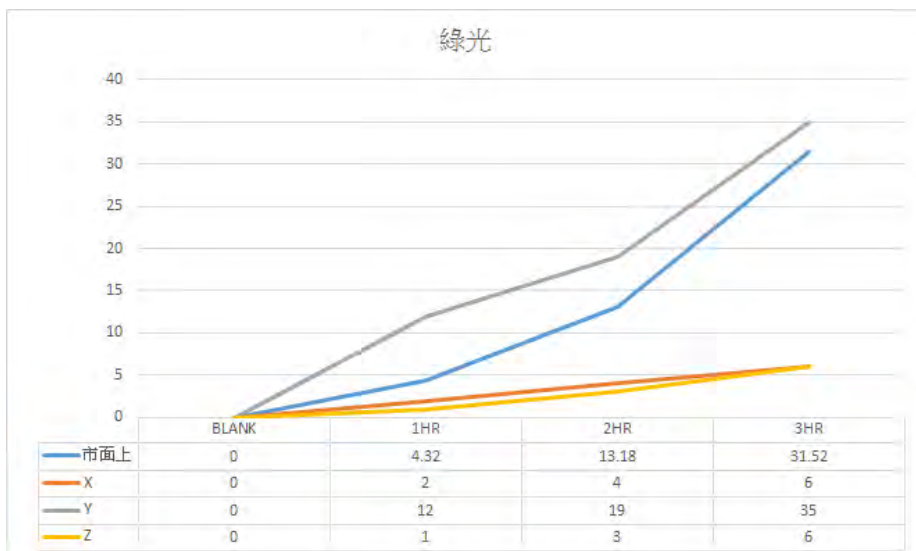
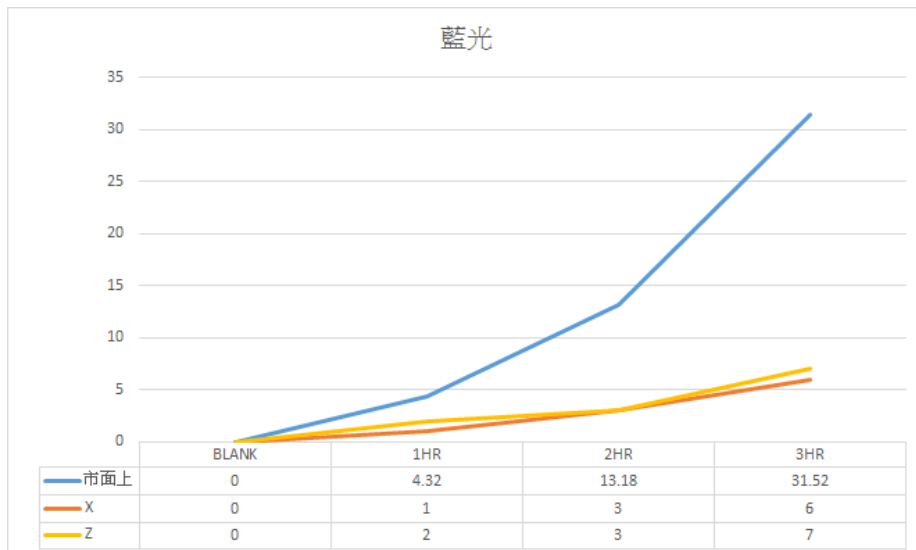
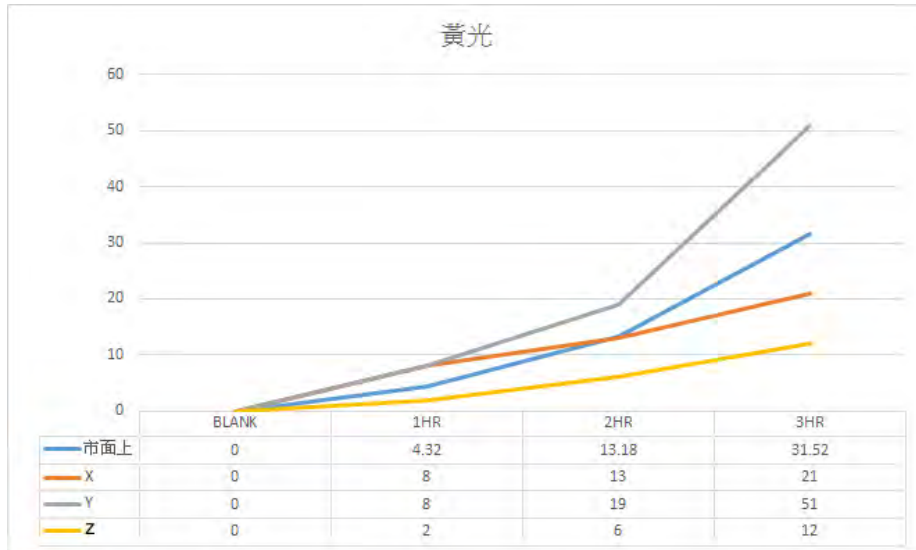
(表一)

三、找出最精準波長

市面上的分光光度計使用波長 600nm 的可見光檢測數據的透光度，因 600nm 的光是橙色光，大多數細菌培養物的顏色隨著培養物的密集程度提高而趨於接近暗橙色。當測量細胞群隨時間的生長時，此方法優於 UV 光譜法，因為在這個波長下，細胞數量不會因暴露在 UV 光下而減少。

每小時所得數據與澄清液標準值相減後，與市面上分光光度計數據相比較，發現其數值增遞趨勢相符，以下為運算後圖表，由此可得白光數值變化與原裝置最相符。





四、實驗誤差之原因探討

(一)推測可能原因為：不同機器的光感晶片對於光線變化的敏感度不一，如編號 Y 的機器所測得數據與編號 X,Z 有所差距(與 blank 差值明顯較大)，即此因素造成。

(二)編號 X 機器使用白光檢測時，測得培養 2 和 3 小時的細菌數值、編號 Y 機器使用藍光檢測時，測得培養 1 小時的細菌數值皆遠小於空白液體，與原本預期的更高數值不符，因此不採計此數據。推測其可能原因為(a)細菌濃度過高造成培養液顏色大幅改變，影響實驗結果。

柒、結論

一、白光所得數據與市面上分光光度計最為接近，由此實驗可得證白光波長在此實驗中是最為合適的。

二、在數據的對比之下，證明自製裝置不但達成低價格的期望且能一定程度上與市面裝置相符合。

三、若有機會更新實驗，我們也想將實驗數據時間增長，以三小時延長至十小時所得數據再加以抽出比對以及使用更多不同波長測試，增加數據廣泛度。四、本儀器實驗結果與參考文獻提供之波長有誤差：黃光波長較接近分光光度計的 600nm，由實驗卻證實出最適合使用的光線為白光。造成此結果的可能原因：白光涵蓋的波長範圍較廣，自然包含所有最適合檢測的色光波長；而相較之下，通過玻璃紙的單色光波長範圍小，無涵蓋最合適的波長，無法測出精準數據。

捌、參考資料及其他

[1]<https://learn.adafruit.com/adafruit-4-channel-adc-breakouts/overview>

[2]<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>

[3]台中女中 eclass 網路教學平台

[4]https://baike.baidu.com/item/%E5%88%86%E5%85%89%E5%85%89%E5%BA%A6%E8%AE%A1#1_3

[5]https://www.researchgate.net/post/Why_is_bacterial_density_measured_at_OD_600

[6]<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%90%B8%E5%85%89%E5%BA%A6>

【評語】 052307

1. 以 Arduino 搭配 3D 列印製造出分光光度計，以不同顏色的光測出細菌的數量，將得到的數值對比市面上分光光度計所測得的數據，以辨識出哪一種波長適合用來檢測。
2. 作品創新性佳，研究過程及方法明確，有系統地收集數據及分析。
3. 研究過程及方法說明可再精進，如編號 X、Y、Z 機器一差異性，研究結果只列表未有說明，結果差異性可進一步深入探討。
4. 可加強理論與分析之論述。
5. 若能加上較定量的校正與機器學習的方法，結果會更好。
6. 玻璃紙的穿透頻譜應校正。

摘要

108課綱強調探究與實作課程，但器材往往過於昂貴，導致許多學校無法提供相應的資源。本研究旨在使用相對便宜的材料(Arduino微控制器、光強度感測器等)，自行組裝出高中生物實驗常用的分光光度計，證明其功能與市售裝置相符，並找出最適合進行檢測的色光波長。我們自製的裝置應用分光光度計的原理，採特定波長的色光照射待測物，檢測其透光性以換算成細菌數量。本研究分為製作分光光度計與實際檢測細菌菌液二部分，利用各色玻璃紙分離出不同波長的光，對大腸桿菌的數量進行檢測後，再與市售裝置測得的數據相比對，找出數值變化趨勢最相近者。

壹、研究動機

108課綱，重視培養學生的自主思考能力，空有此理念但難以實行。諸多科學實驗的相關儀器價格昂貴，學校能提供的儀器數量有限，導致分組實驗中組員人數過多，大多數學生沒有實作的機會。例如：生物實驗中為了計算細菌在特定時間內的成長，經常使用分光光度計檢測細菌數量，因一臺分光光度計價格五萬至數十萬，由於價格昂貴，大多數學校無法購置。

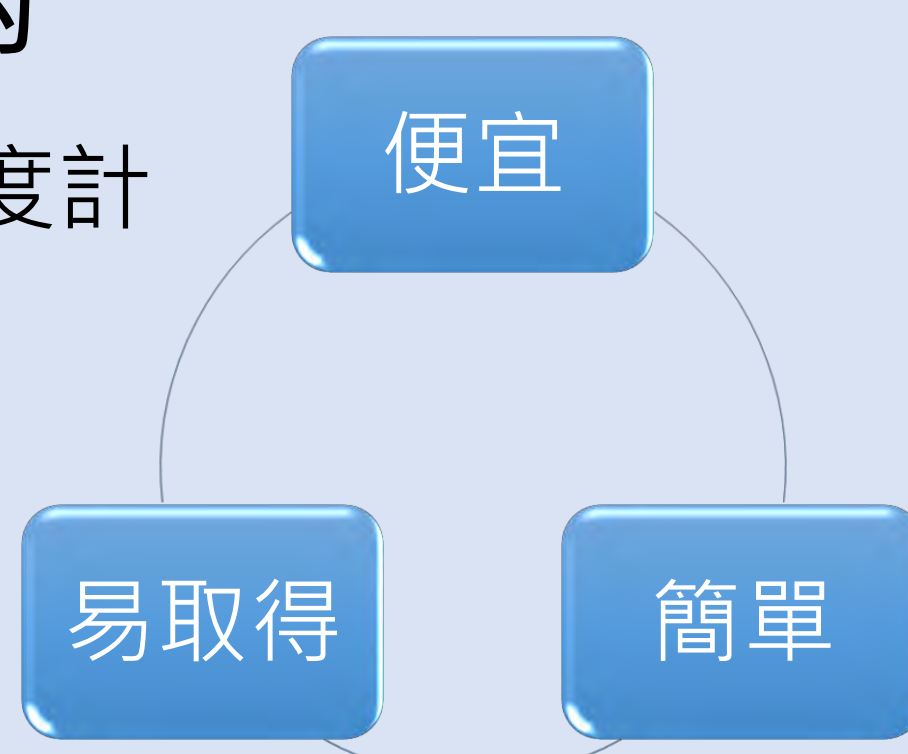
本研究是利用簡易的材料：Arduino微控制器和光強度感測器等，自行製作分光光度計，使其能發揮市售裝置的效用。此成本低廉的裝置有望讓每一位學生都得以動手操作實驗，不再受儀器數量不足所苦，也以此達成實驗改革的教育目的。此外，由於所設計儀器輕巧便於攜帶，學生實驗場所不再受限於學校，於任何時間、地點都能進行研究；親自組裝分光光度計的過程，也能讓學生更加了解儀器的原理並提升實作的的能力。

貳、研究目的

一、使用便宜的材料自製分光光度計

二、確認自製分光光度計與市售裝置的功能符合

三、找出最適合檢測細菌數量的光波長

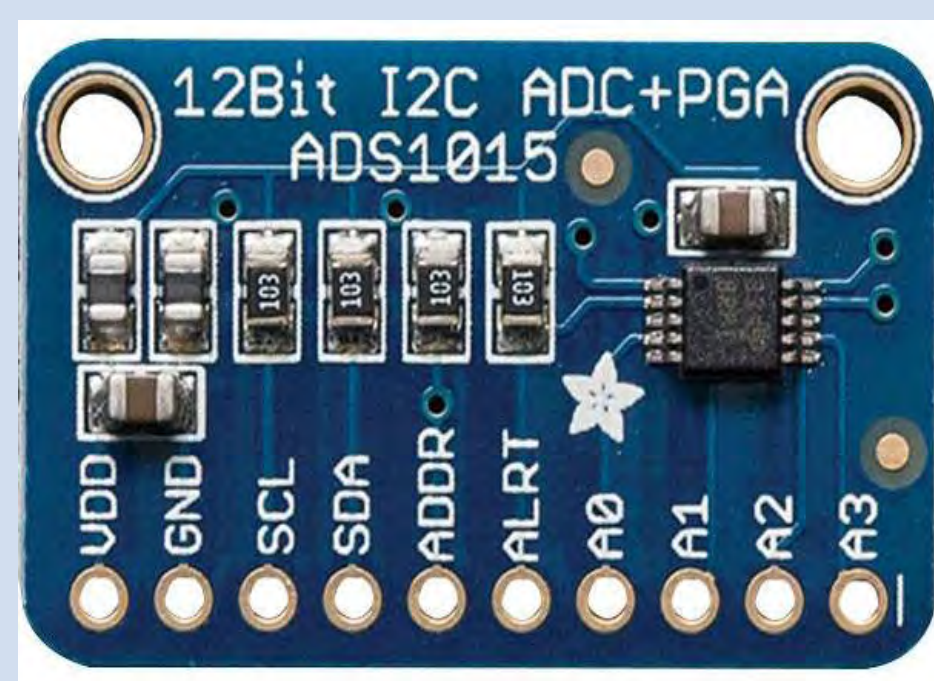


參、研究設備與器材

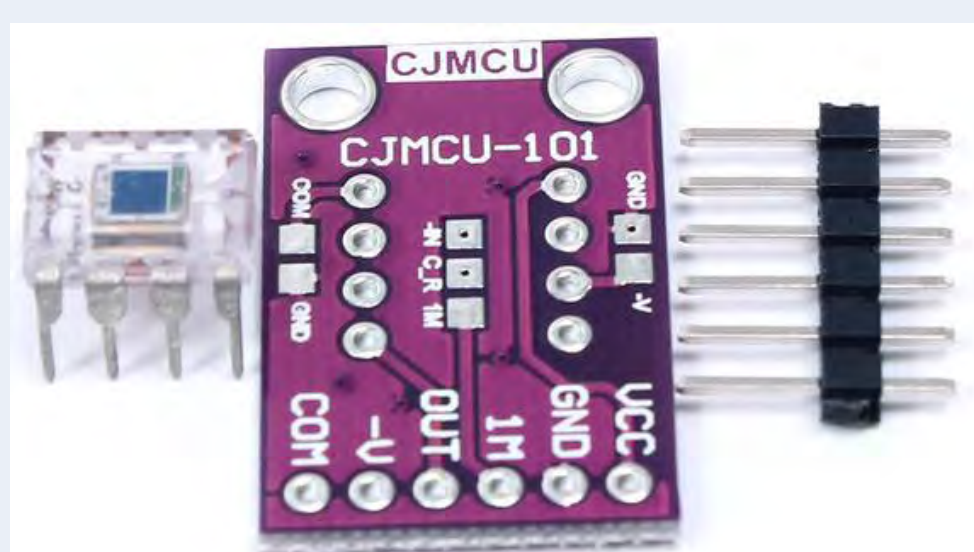
Arduino UNO R3 開發板
優點:(1)使用Atmega 16U2 晶片替代 8U2，意味著更高的傳輸速率和記憶體空間 (2)在Mac和Linux系統中無需安裝驅動，(在windows系統中需要IDE驅動)(3)增加了SDA和SCL介面



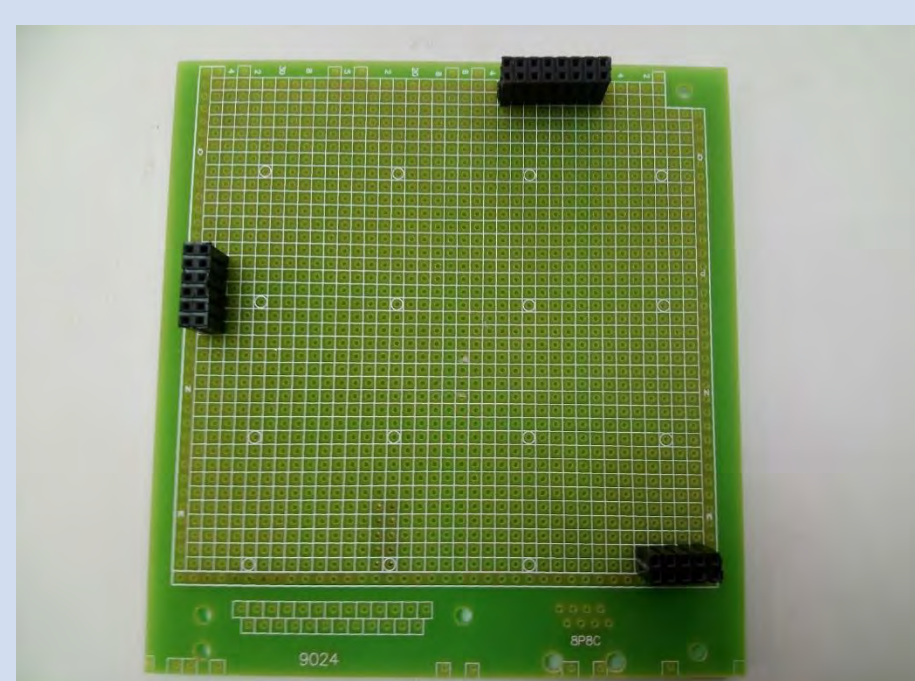
ADS1015類比數位轉換器(ADC)
工作電壓為2V到5V。能提供12位元的解析度(相較於Arduino中內建的ADC僅有10位元的解析度)。



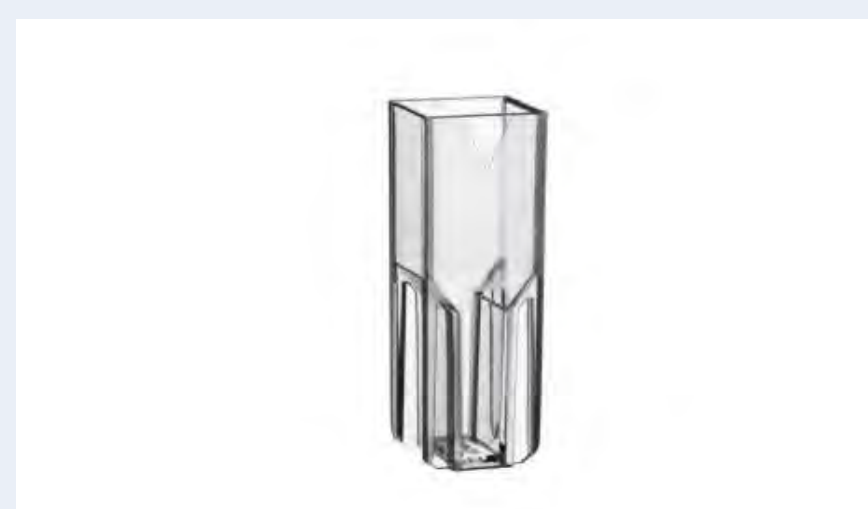
CJMCU-101 OPT101光照/光強度感測器模組
是集成光電二極管和芯片內置的跨阻放大器，輸出電壓隨著光強線性增大。工作電壓為2.7到36V。



洞洞板



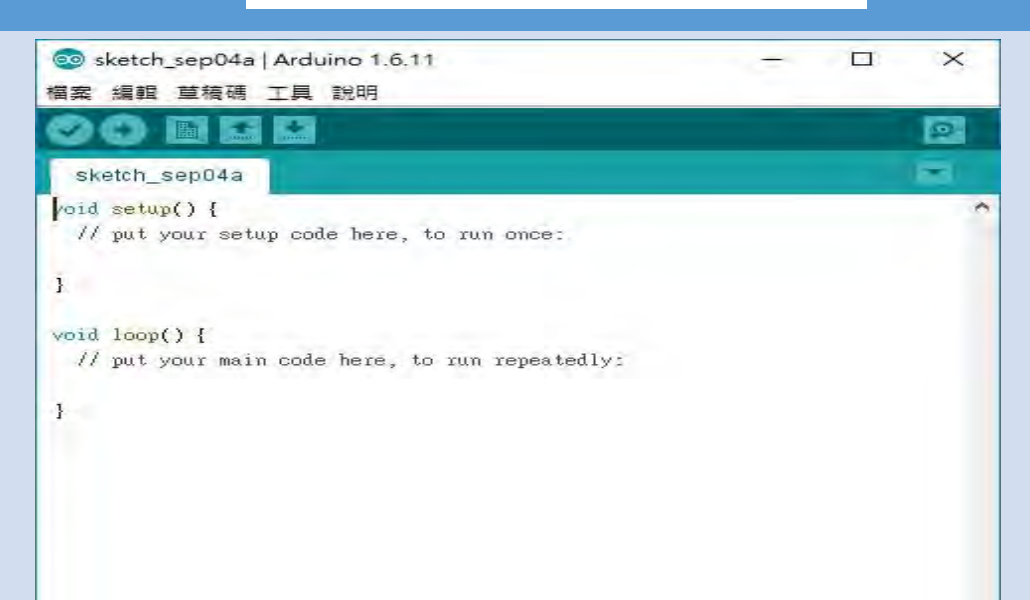
cuvette
長12.4mm 寬12.4mm 高44mm



LCD WH1602D
16x2 LCD字元型液晶模組
WH1602D內建ST7066 IC，5V電壓驅動



Arduino IDE



微量吸管(gilson pipetman)



大腸桿菌(Escherichia coli)



分光光度計

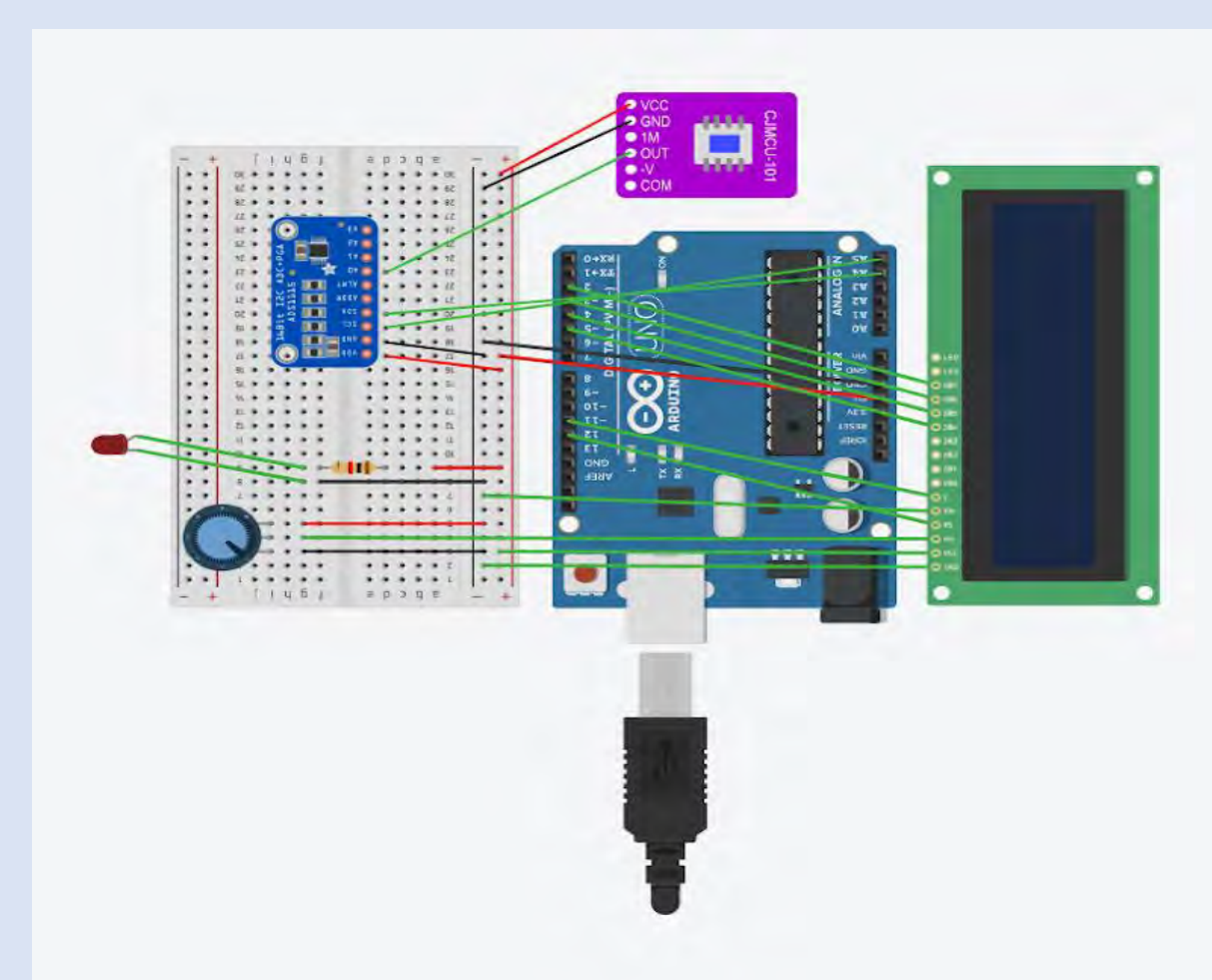


肆、研究過程及方法

一、製作分光光度計

使用不同波長的光照射含有細菌的培養液(簡稱菌液)，依據光感測器所偵測到的透光性，用類比數位轉換器將輸出的類比訊號轉換為介於0至4096的數值，以換算細菌數量。

(一)電路配置(圖一)



(圖一)

(二)程式碼撰寫

我們每隔0.5秒讀取一次ADS1015的數值並更新LCD螢幕上的顯示。

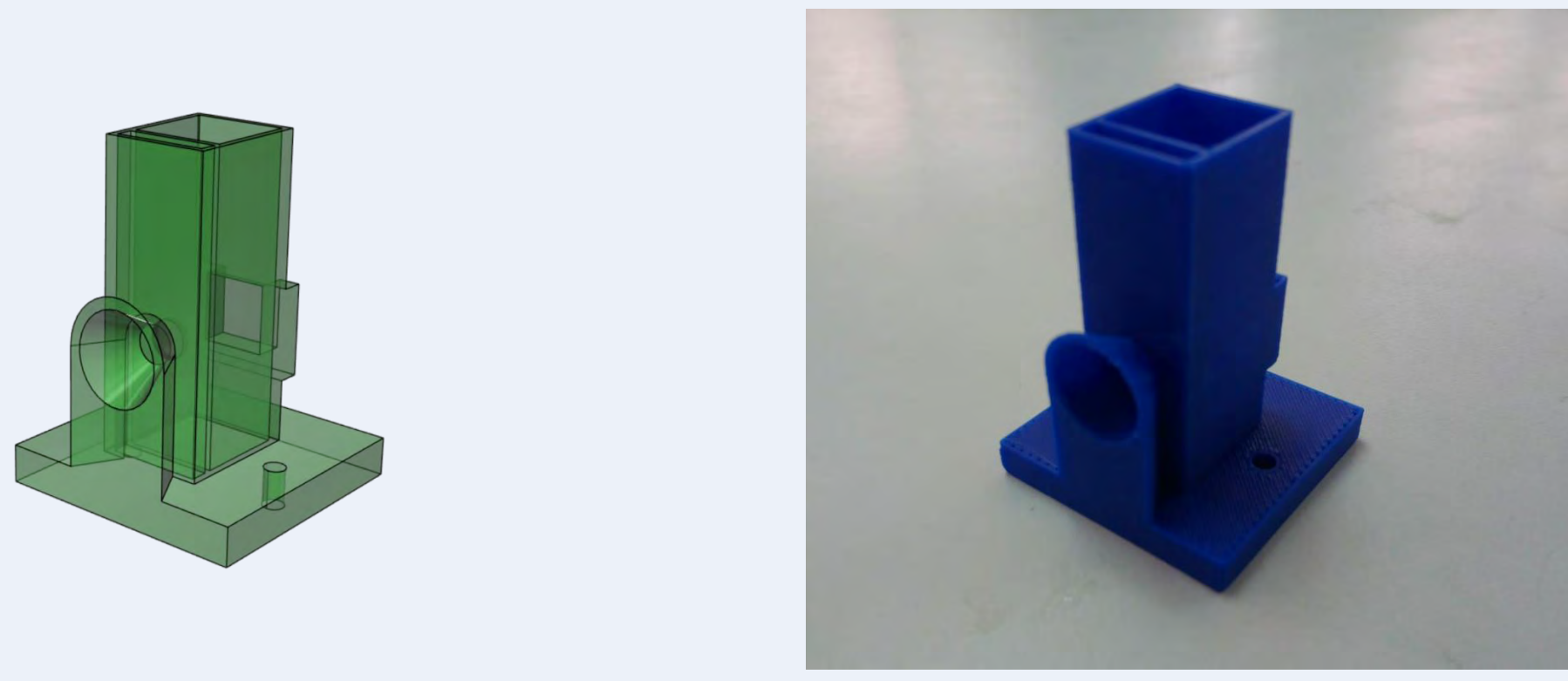
```
int num;
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
Adafruit_ADS1015 ads1015;

void setup() {
  lcd.begin(16,2);
  ads1015.begin();
  lcd.print("Light Detector");
}

void loop() {
  num=ads1015.readADC_SingleEnded(0);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Light Detector");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Light:");
  lcd.setCursor(7,1);
  lcd.print(num);
  delay(500);
}
```

(三)3D列印cuvette放置架

本研究以3D建模設計長型的cuvette放置架，並在兩端分別設計CJMCU101的支架和放置LED燈的凹槽；LED燈與待測物之間的細縫可插入玻璃紙的夾板，以切換不同波長的色光(圖二)。



(圖二)

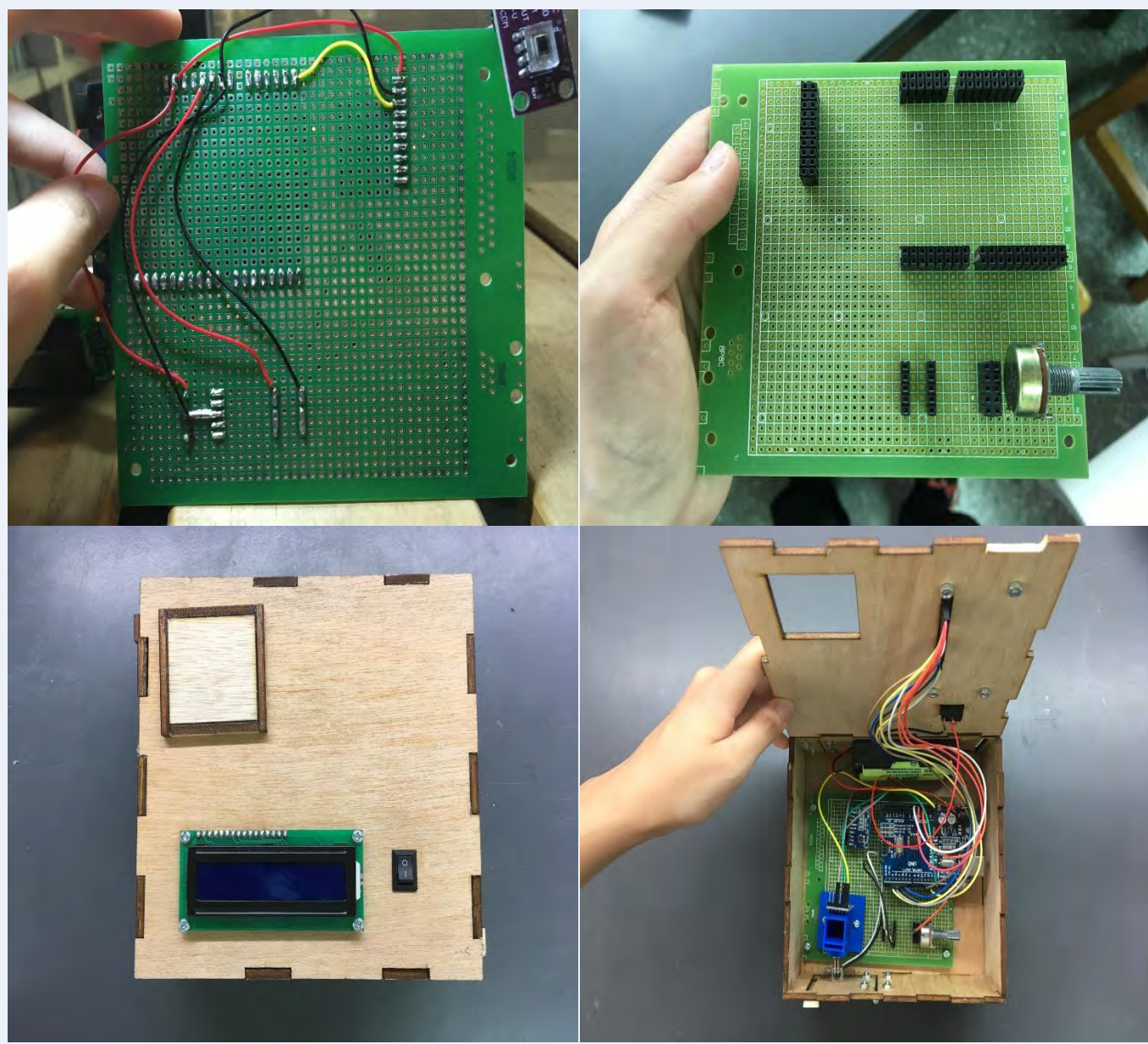
(四)利用各色玻璃紙分離白光LED

將玻璃紙固定於3D列印出的夾板內，以取得各種色光(如圖三)



(圖三)

(五)焊接並組裝所有元件(如圖四)



(圖四)

二、檢測菌液濃度

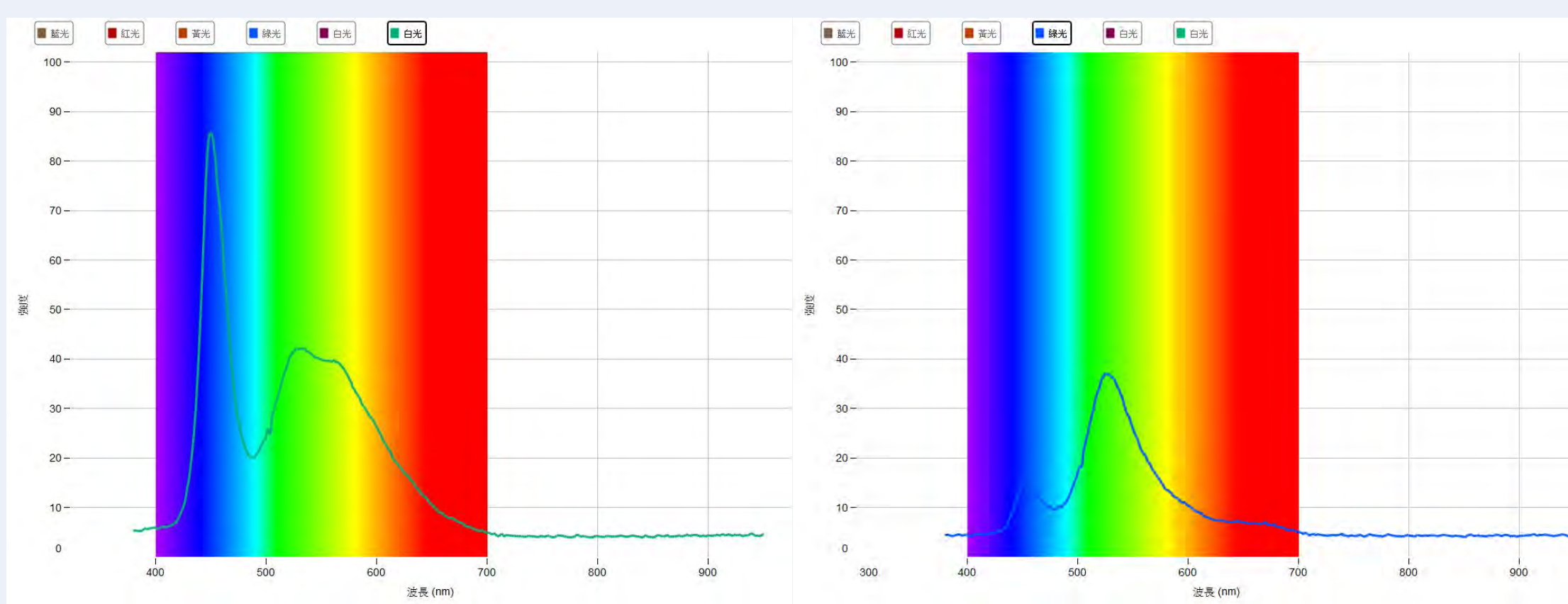
本研究為證明自製分光光度計跟市售儀器的功能相符，並找出最適合檢測細菌數量的波長，進行了三次相同的實驗(實驗一至實驗三)：

(一)培養不同濃度的大腸桿菌

(二)使用微量吸管將細菌移入cuvette內，同時用市售儀器和自製分光光度計檢測在不同光波長下(白、綠、藍、紅、黃光)所測得的數值並相互比較

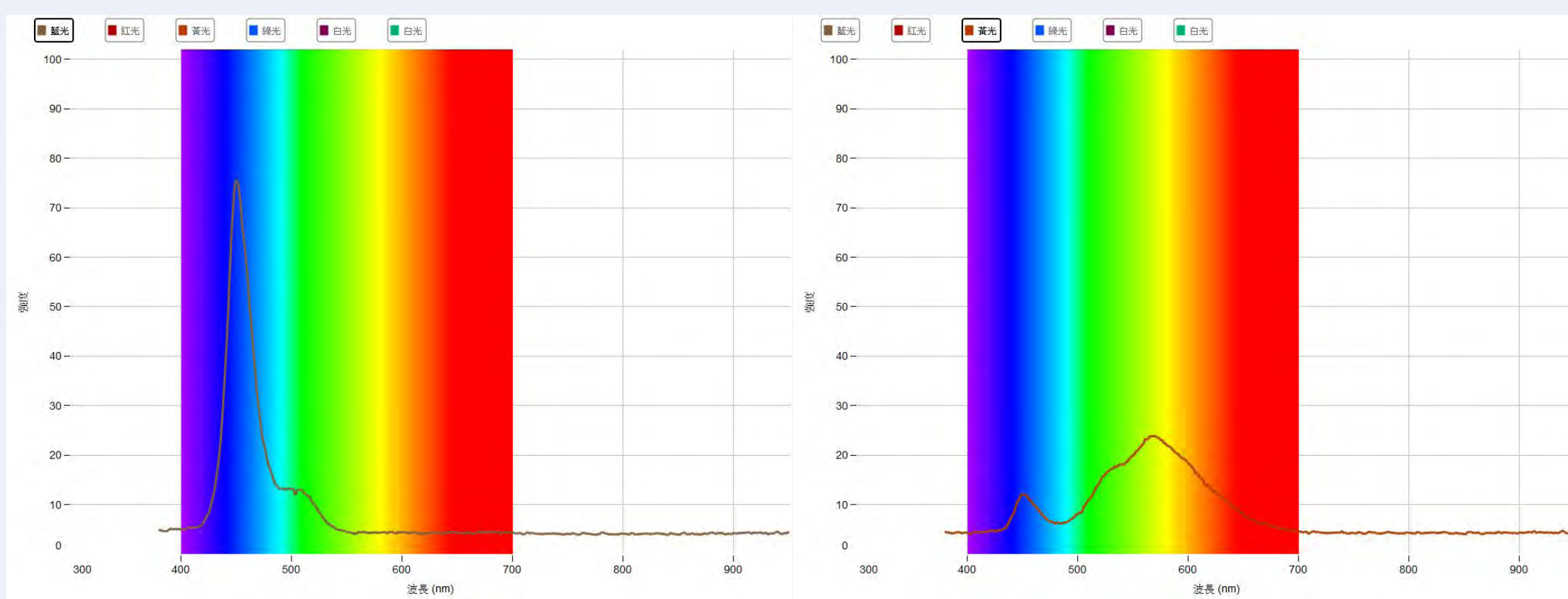
伍、研究結果

一、利用玻璃紙分離白光LED



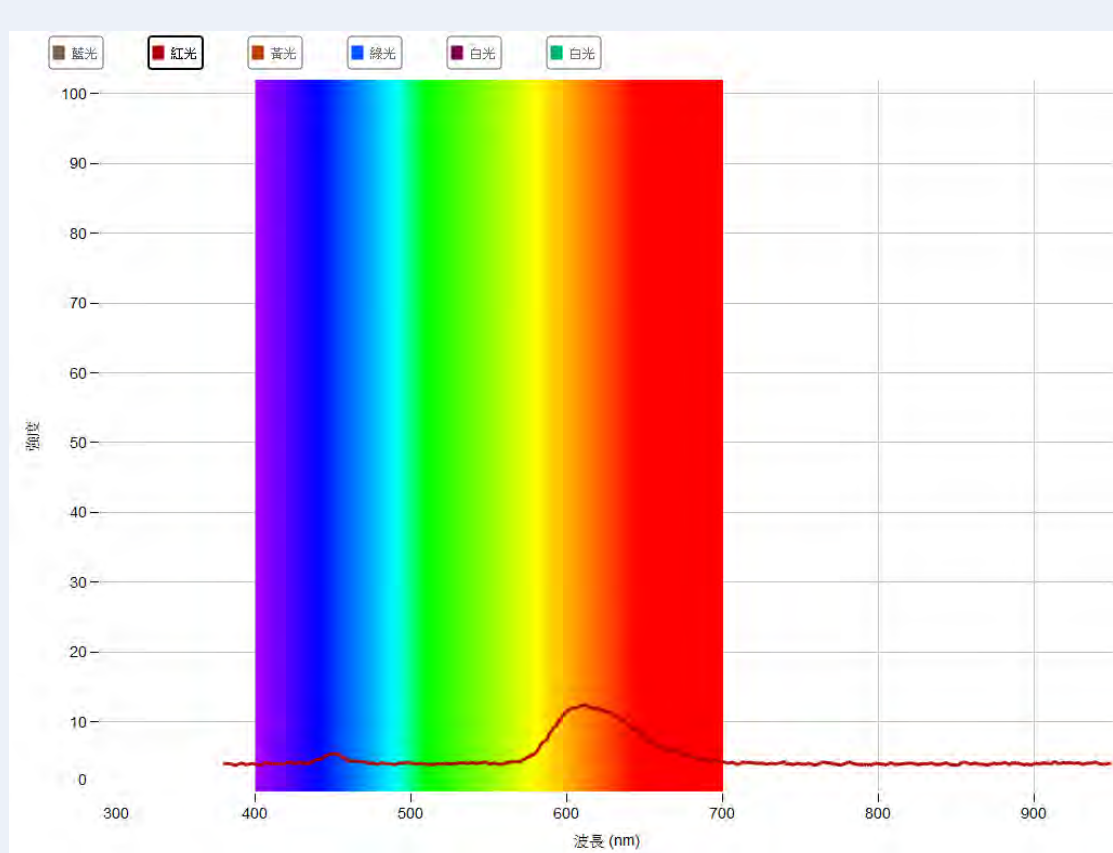
白光LED

白光LED和綠色玻璃紙



白光LED和藍色玻璃紙

白光LED和黃色玻璃紙



白光LED和紅色玻璃紙

實驗一

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152	市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1471	1467	1504	1481	X	1455	1455	1454	1452
Y	1629	1624	1608	1600	Y	1493	1484	1473	1467
Z	1529	1527	1520	1499	Z	1472	1471	1470	1468

白光LED

白光LED和紅色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152	市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1480	1472	1467	1459	X	1460	1459	1457	1454
Y	1565	1557	1546	1514	Y	1502	1504	1494	1478
Z	1490	1488	1484	1478	Z	1477	1475	1474	1470

白光LED和黃色玻璃紙

白光LED和藍色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.432	1.318	3.152
X	1460	1459	1457	1454
Y	1502	1504	1494	1478
Z	1477	1475	1474	1470

白光LED和綠色玻璃紙

實驗二

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.276	0.93	2.392	市面上儀器	0	0.276	0.93	2.392
X	1525	1518	1512	1487	X	1452	1451	1450	1449
Y	1483	1488	1489	1487	Y	1450	1450	1449	1448
Z	1555	1554	1545	1525	Z	1472	1472	1471	1467

白光LED

白光LED和紅色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.276	0.93	2.392	市面上儀器	0	0.276	0.93	2.392
X	1478	1472	1466	1458	X	1459	1455	1455	1451
Y	1474	1471	1468	1466	Y	1454	1453	1453	1451
Z	1504	1500	1496	1483	Z	1480	1479	1477	1472

白光LED和黃色玻璃紙

白光LED和藍色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.276	0.93	2.392
X	1456	1456	1453	1451
Y	1452	1453	1452	1451
Z	1477	1476	1474	1470

白光LED和綠色玻璃紙

實驗三

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.266	1.116	2.794	市面上儀器	0	0.266	1.116	2.794
X	1523	1522	1509	1487	X	1452	1452	1451	1446
Y	1607	1606	1601	1581	Y	1464	1463	1461	1457
Z	1554	1549	1542	1524	Z	1473	1471	1471	1468

白光LED

白光LED和紅色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時	儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.266	1.116	2.794	市面上儀器	0	0.266	1.116	2.794
X	1468	1469	1462	1457	X	1455	1455	1453	1450
Y	1508	1503	1505	1499	Y	1475	1471	1471	1466
Z	1504	1502	1495	1485	Z	1479	1478	1476	1472

白光LED和黃色玻璃紙

白光LED和藍色玻璃紙

儀器/時間	Blank	1小時	2小時	3小時
市面上儀器	0	0.266	1.116	2.794
X	1455	1455	1453	1450
Y	1472	1471	1470	1462
Z	1477	1477	1474	1470

白光LED和綠色玻璃紙

陸、討論

一、材料便宜

本研究所用材料便宜，以各色玻璃紙分離白光LED，取得各種色光。因Arduino 開發板容易取得，能依實驗需求修改程式，符合高中實驗探究的精神也解決實驗器材因昂貴而不易取得的困擾。

二、功能符合

市售裝置的原理是以光源通過系列分光裝置產生特定波長的色光穿透待測物後，檢測待測物的吸光值，再根據標準曲線換算成濃度。理論上，待測物的吸光值與其濃度成正比。

根據以下數據可知自製分光光度計與市售裝置測量空白培養液(不含細菌的培養液)皆有一標準值且兩種裝置測得原始數據與標準值相減後變化趨勢相近。

實驗一

	BLANK	1HR	2HR	3HR	
市面上	0	0.432	1.318	3.152	
	0	4.32	13.18	31.52	
白	X	1471	1467	1504	1481
		0	4	-33	-10
	Y	1629	1624	1608	1600
	0	5	21	29	
Z	1529	1527	1520	1499	
	0	2	9	30	
紅	X	1455	1455	1454	1452
		0	0	1	3
	Y	1493	1484	1473	1467
	0	9	20	26	
Z	1472	1471	1470	1468	
	0	1	2	4	
黃	X	1480	1472	1467	1459
		0	8	13	21
	Y	1565	1557	1546	1514
	0	8	19	51	
Z	1490	1488	1484	1478	
	0	2	6	12	
藍	X	1460	1459	1457	1454
		0	1	3	6
	Y	1502	1504	1494	1478
	0	8	24	24	
Z	1477	1475	1474	1470	
	0	2	3	7	
綠	X	1459	1457	1455	1453
		0	2	4	6
	Y	1508	1496	1489	1473
	0	12	19	35	
Z	1475	1474	1472	1469	
	0	1	3	6	

實驗二

	BLANK	1HR	2HR	3HR	
市面上	0	0.138	0.465	1.196	
	0	1.38	4.65	11.96	
白	X	1525	1518	1512	1487
		0	7	13	38
	Y	1483	1488	1489	1487
	0	-5	-6	-4	
Z	1555	1554	1545	1525	
	0	1	10	30	
紅	X	1452	1451	1450	1449
		0	1	2	3
	Y	1450	1450	1449	1448
	0	0	1	2	
Z	1472	1472	1471	1467	
	0	0	1	5	
黃	X	1478	1472	1466	1458
		0	6	12	20
	Y	1474	1471	1468	1466
	0	3	6	8	
Z	1504	1500	1496	1483	
	0	4	8	21	
藍	X	1459	1455	1455	1451
		0	4	4	8
	Y	1454	1453	1453	1451
	0	1	1	3	
Z	1480	1479	1477	1472	
	0	1	3	8	
綠	X	1456	1456	1453	1451
		0	0	3	5
	Y	1452	1453	1452	1451
	0	-1	0	1	
Z	1477	1476	1474	1470	
	0	1	3	7	

實驗三

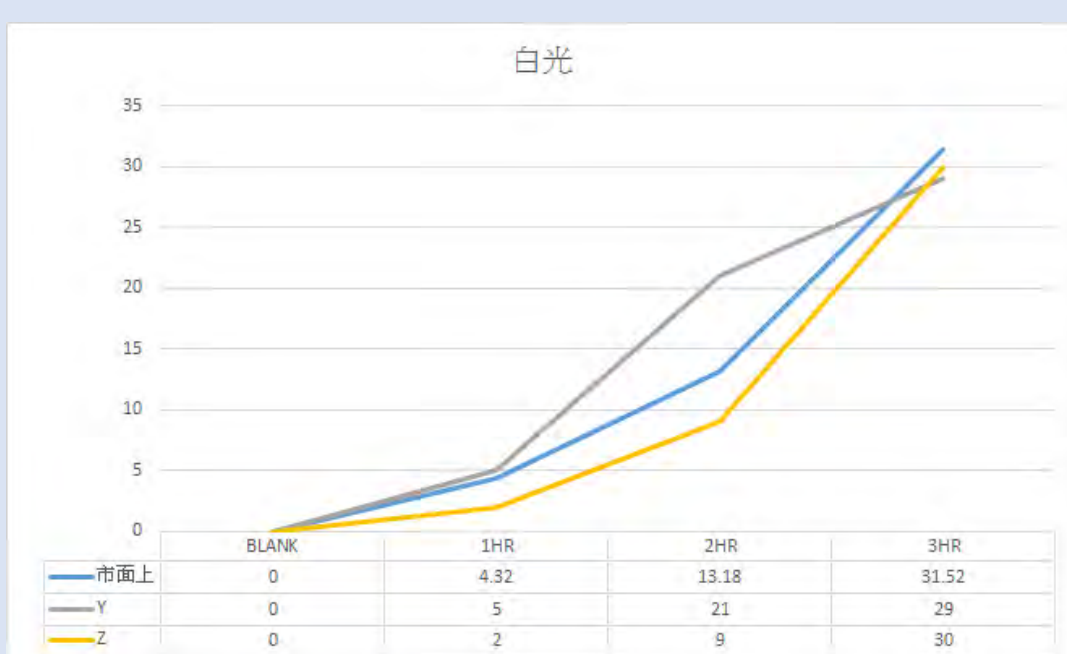
	BLANK	1HR	2HR	3HR	
市面上	0	0.266	1.116	2.794	
	0	2.66	11.16	27.94	
白	X	1523	1522	1509	1487
		0	1	14	36
	Y	1607	1606	1601	1581
	0	1	6	26	
Z	1554	1549	1542	1524	
	0	5	12	30	
紅	X	1452	1452	1451	1446
		0	0	1	6
	Y	1464	1463	1461	1457
	0	1	3	7	
Z	1473	1471	1471	1468	
	0	2	2	5	
黃	X	1468	1469	1462	1457
		0	-1	6	11
	Y	1508	1503	1505	1499
	0	5	3	9	
Z	1504	1502	1495	1485	
	0	2	9	19	
藍	X	1455	1455	1453	1450
		0	0	2	5
	Y	1475	1471	1471	1466
	0	4	4	9	
Z	1479	1478	1476	1472	
	0	1	3	7	
綠	X	1455	1455	1453	1450
		0	0	2	5
	Y	1472	1471	1470	1462
	0	1	2	10	
Z	1477	1477	1474	1470	
	0	0	3	7	

三、找出最適合檢測細菌的光波長

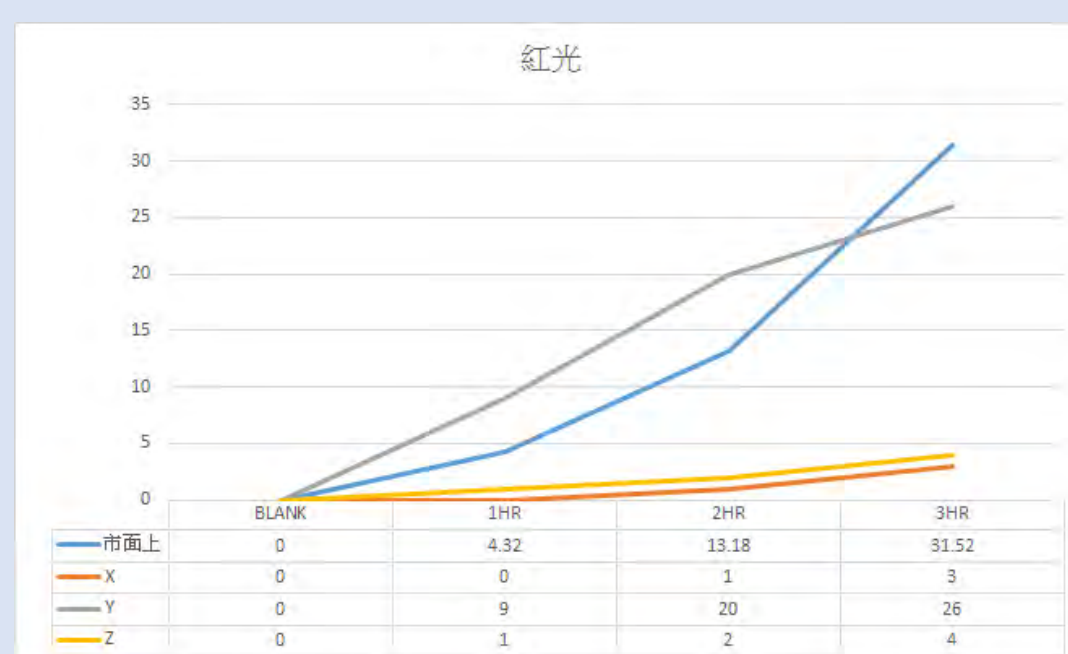
市售裝置常使用波長600nm的光檢測細菌培養液的濃度，當菌液中細菌數目增加，整個培養液的顏色會接近暗橙色，即600nm的色光之顏色。

每小時所得數據與空白培養液數值相減後，與市售裝置相比較，發現數值增遞趨勢相符，以下為趨勢圖表。

實驗一



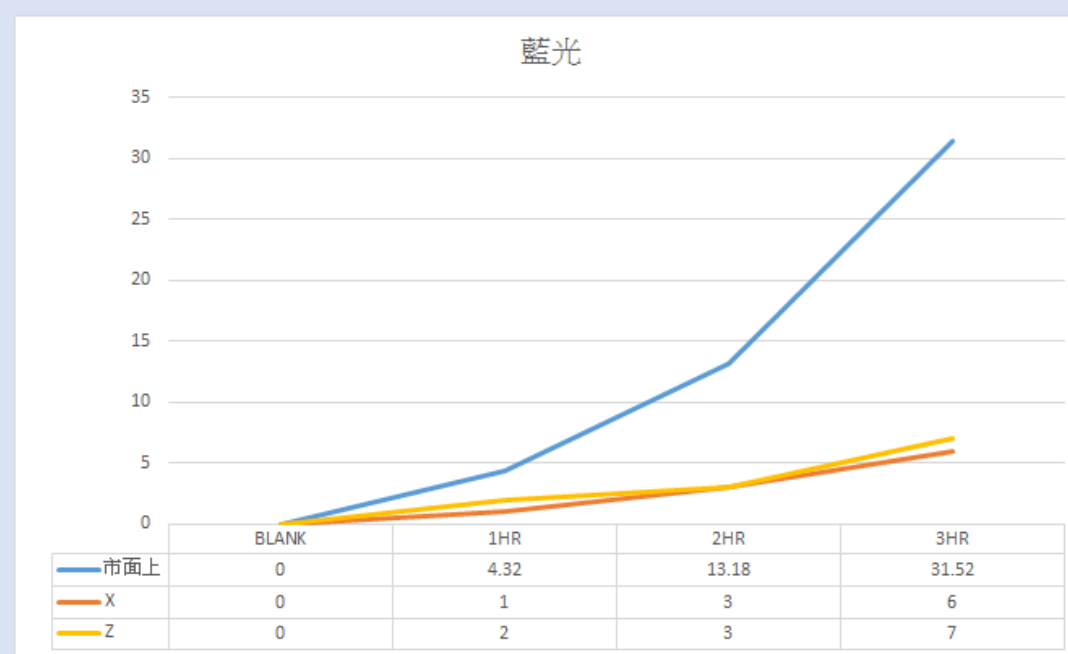
(白光LED)



(白光LED和紅色玻璃紙)



(白光LED和黃色玻璃紙)



(白光LED和藍色玻璃紙)



(白光LED和綠色玻璃紙)

實驗二



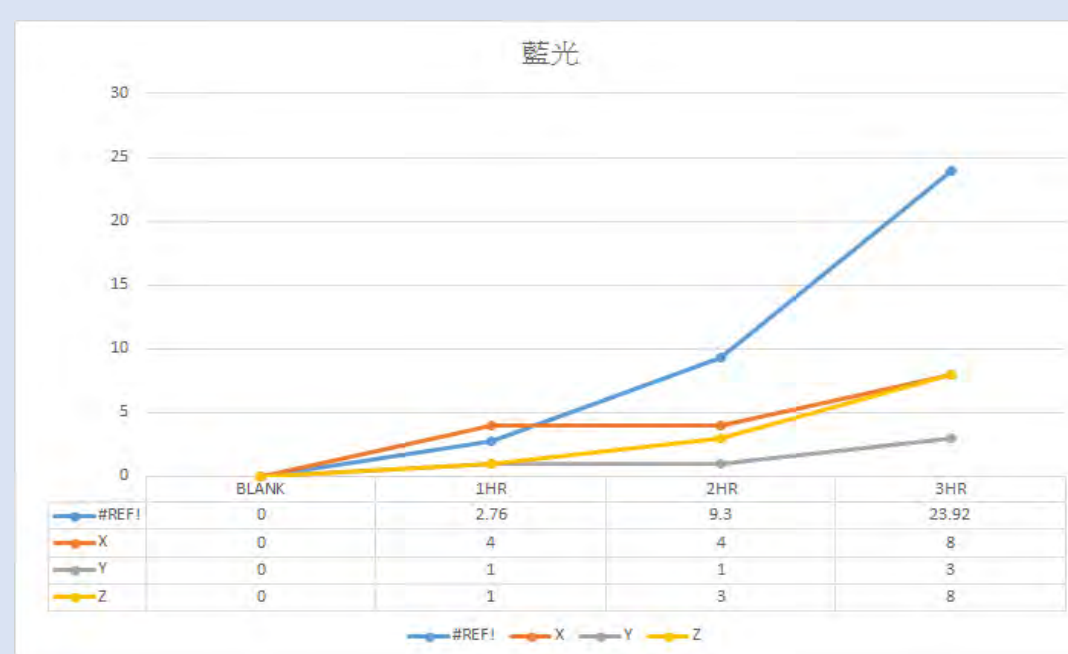
(白光LED)



(白光LED和紅色玻璃紙)



(白光LED和黃色玻璃紙)



(白光LED和藍色玻璃紙)

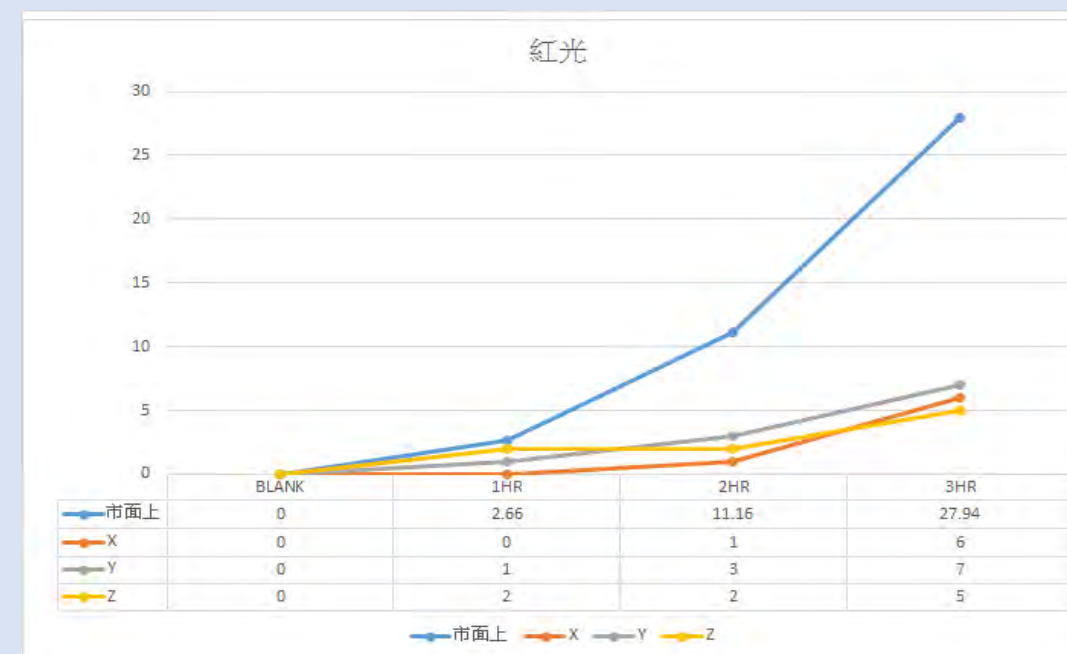


(白光LED和綠色玻璃紙)

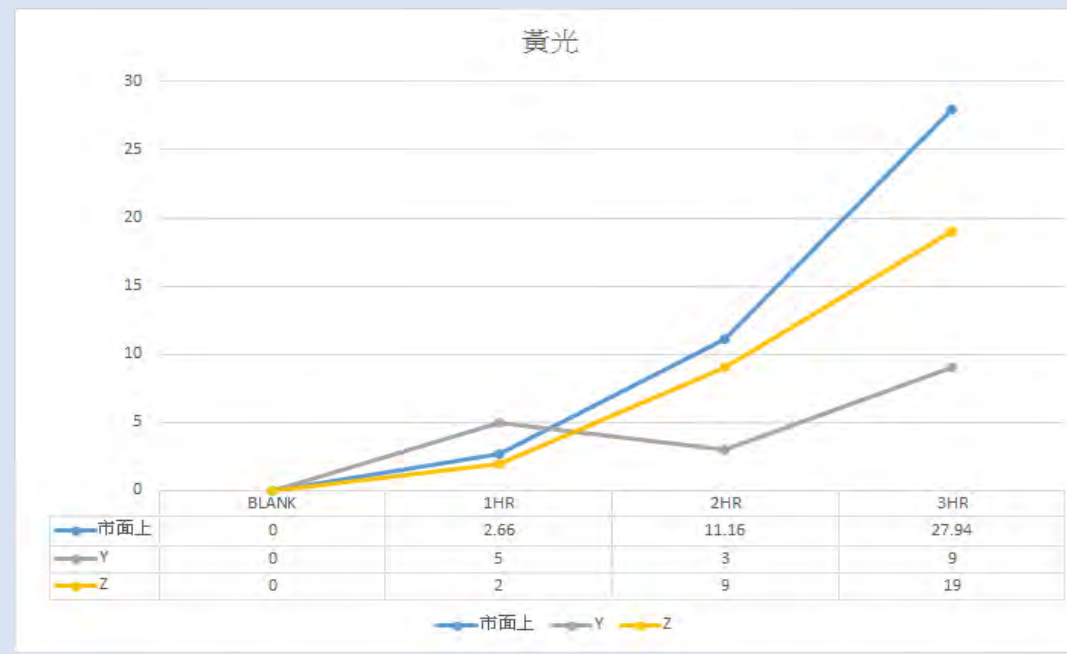
實驗三



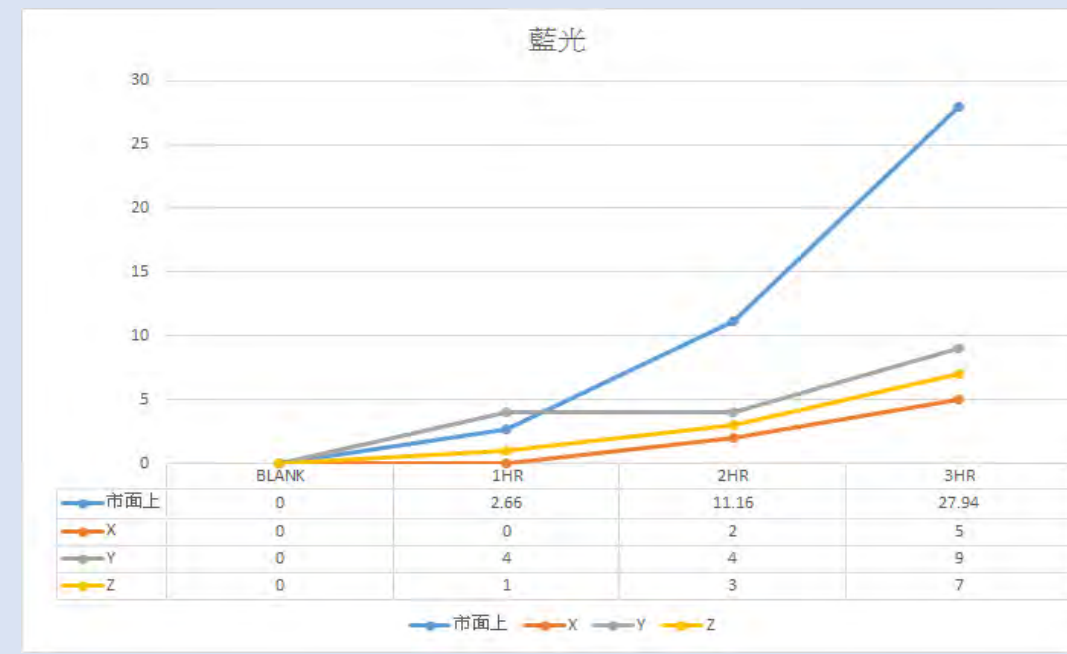
(白光LED)



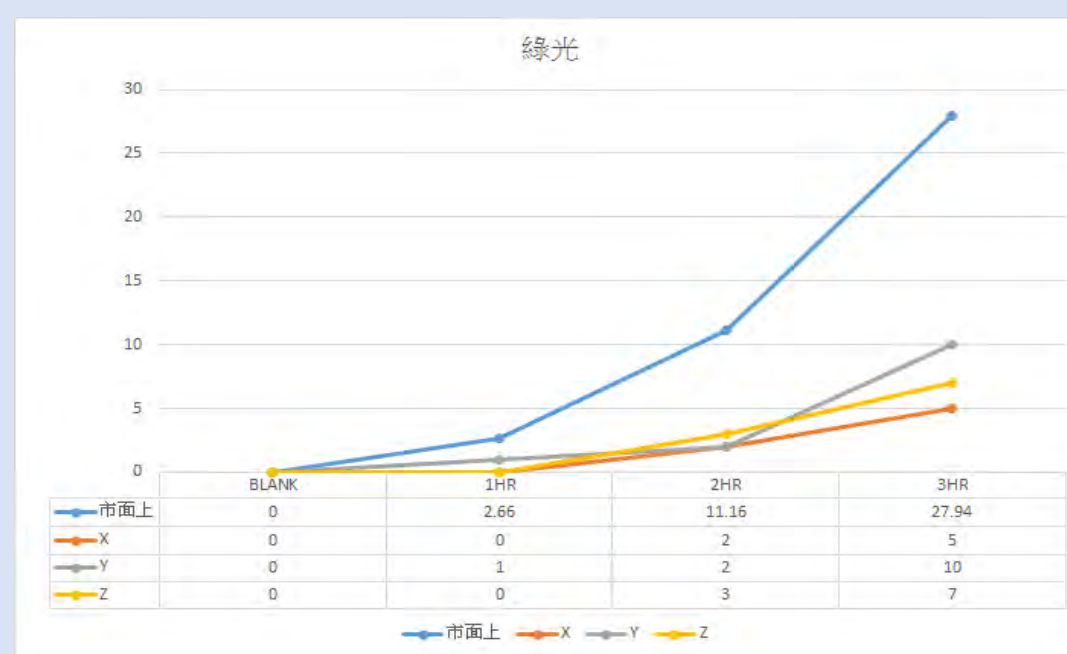
(白光LED和紅色玻璃紙)



(白光LED和黃色玻璃紙)



(白光LED和藍色玻璃紙)



(白光LED和綠色玻璃紙)

四、實驗誤差之原因探討

(一)本研究自製的三臺分光光度計測得數據趨勢不一，推測可能原因為：不同機器的光感晶片對於光線變化的敏感度不一，如編號Y的機器所測得數據與編號X跟編號Z有所差距(與空白培養液差值明顯較大)，即此因素造成。

(二)自製分光光度計在實驗結果表格中以紅色標出的數據，數值皆遠小於空白培養液，與原本預期的趨勢不符，因此不採計此數據。推測其可能原因為光感晶片造成之誤差。

柒、結論

一、利用白光LED燈所得數據與市售裝置最為接近。

二、自製分光光度計不但達成便宜的期望且功能與市面裝置相符合。

三、市售分光光度計通常使用600nm的光進行檢測，由實驗卻證實出自製裝置最適合使用的光線為白光。造成此結果的可能原因：白光涵蓋的波長範圍較廣，自然包含所有最適合檢測的色光波長；而相較之下，通過玻璃紙的單色光波長範圍小，無涵蓋最合適的波長，無法測出精準數據。

捌、參考資料及其他

[1]Bill Earl, (2017). *Adafruit 4-Channel ADC Breakouts. A guide to the ADS1115 and ADS1015 analog converters*. Retrieved February 22, 2018, from <https://learn.adafruit.com/adafruit-4-channel-adc-breakouts/overview>

[2]Texas Instruments, (2015). *OPT101 Monolithic Photodiode and Single-Supply Transimpedance Amplifier*. Retrieved February 22, 2018, from <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opt101.pdf>

[3]分光光度計_百度百科。分光光度計。2018年2月22日，檢自 https://baike.baidu.com/item/%E5%88%86%E5%85%89%E5%85%89%E5%BA%A6%E8%AE%A1#1_3

[4] Raghvendra Ashok Bohara, (2015). Why is bacterial density measured at OD 600? Retrieved February 22, 2018, from https://www.researchgate.net/post/Why_is_bacterial_density_measured_at_OD_600