

光譜分析

蔡政男、謝政廷、何尉仲

正修科技大學電子工程系

摘 要

現今光電產業的蓬勃發展，產生了許多種類的可見光光源。在分析光源的頻譜時，一般都借助貴重的頻譜分析儀，因此使學生較不易接觸進而瞭解光譜的特性。

本研究利用光柵作演示教學，成功分析出雷射二極體的波長，其誤差值小於 2 % 以內；亦可利用光柵來分析各種 LED 的波長並得到白光 LED 的波長範圍約為 421 nm 至 668 nm。

關鍵字：光譜、光柵、雷射二極體。



Spectral Analysis

Cheng-Nan Tsai、Cheng-Ting Hsieh、Wei-Chung Ho

Department of Electronic Engineering, Cheng-Shih University

ABSTRACT

The fast expansion and development of optoelectronic industry produce many types of visible light sources. Using spectrum analyzer to analyze the light source spectrum is easy but expensive. Thus making it difficult for students to understand the spectral features.

In this study, we successfully use grating to analyze the wavelength of laser diode, the wavelength percentage error is less than 2%; grating can also be used to analyze wavelength of different LEDs, getting white LED wavelength ranging from 421 nm to 668 nm.

Keywords: Spectrum, Grating and Laser Diode.



一、前言

光是我們觀看自然界的主要工具，雖然人類眼睛看到約 700 nm 到 380 nm 之間的紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等七種可見光，但卻難以判別其產生顏色的波長長短到底是多少？

一般科技大學學生想接觸到頻譜分析儀觀看光源顏色不容易，所以本研究利用光柵的原理製作一簡單的光譜分析儀，使學生在操作實驗之際隨手可測得 LED 光源之波長，加深學生對光學的基礎概念。

本實驗主要以光的繞射現象來進行研究，分別利用光柵片與光碟做分析。以光柵片計算出 LED 光的波長，架構如圖1。依我們自己設計的光譜分析儀，來觀察狹縫及距離對光的影響，再藉由頻譜分析儀精密的分析出各種光源的波長來作比較，從中探討經由這兩種方法所測得數據的誤差值。

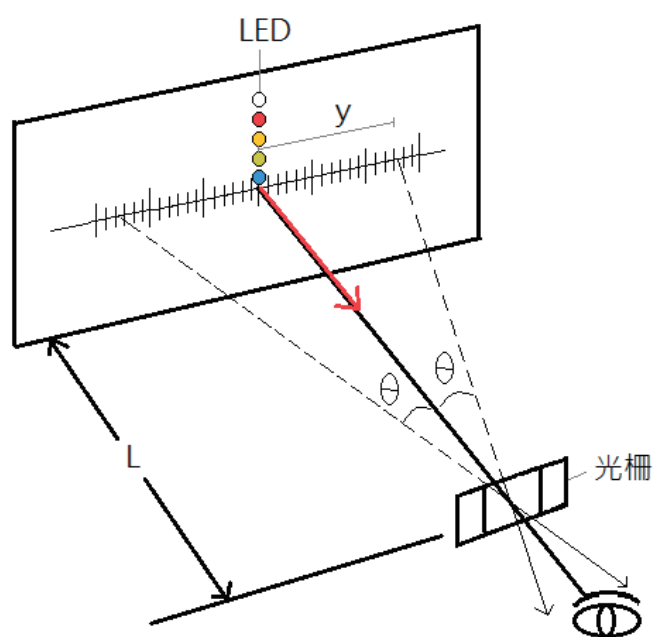


圖1：測量LED的波長

二、相關文獻探討

1. 光的產生

光的歷史發展中有兩派學說互相爭論，一說光是「粒子」、另一說光是「波動」。此微粒說很容易解釋光的直線性和反射現象，因為粒子與光滑平面發生碰撞的反射定律與光的反射定律相同，但卻無法解釋一束光射到兩種介質分界面處會同時反射和折射，以及幾束光交叉相遇後彼此毫不妨礙的繼續向前傳播等現象。波動說認為光是一種介質的運動，該運動從介質的一部分以有限速度依次向其他部分傳播，並把光的傳播方式與聲音在空氣中的傳播作比較。若以波動說卻很



容易能夠解釋微粒說不能解釋的問題，更能從中證實光有干涉的現象[1]。

太陽的光線卻能穿越宇宙的真空傳達到地球表面，這是因為光在行進間並不需要傳遞介質，所以我們會說光的行為像是一種波動現象。若把光當成是一顆顆的粒子，當太陽光照射到地球上，光粒子進入眼中而刺激眼球形成視覺，此時我們又把光束看作是一連串進行中的粒子。因此光不僅具有波動性、又具有粒子性的「波粒二重性」[2]。

而馬克士威在研究電磁場理論時發現了電磁波的存在，其傳播速度等於光速。20 多年後赫茲用實驗證實了電磁波的存在，測得電磁波的傳播速度的確與光速相同，同時電磁波也能夠產生反射、折射、干涉、繞射及偏振等現象，證明了光是一種電磁波。

電磁波又稱電磁輻射，按照頻率分類，從低頻率到高頻率包括有無線電波、微波、紅外線、可見光、紫外線、X射線、伽瑪射線等等。其中可見光為人的肉眼可接收到的電磁波範圍，波長大約在380 nm至700 nm之間[3]。

2. 光的干涉與繞射

繞射是指波(無論是水波、聲波、光波、電磁波)在傳播過程中經過障礙物邊緣或孔隙時所發生的展衍現象。繞射現象是波的特性，可以用惠更斯原理解釋。

若被一個大小接近於或小於波長的物體阻擋，就繞過這個物體，繼續進行；若通過一個大小近於或小於波長的孔，則以孔為中心，形成環形波向前傳播[4]。

至於干涉現象就是利用光的「波動說」，來解釋，當光以正弦波的波形前進時，這種具有相同波長與相位的光波相遇時，會產生波峰與波峰和波谷與波谷重疊的現象，這時就會有光波能量增強的產生，這就是所謂的「建設性干涉」，而形成明暗對比度很大的條紋。反之，若這兩種光波相遇時，產生波峰與波谷和波谷與波峰重疊的情況，兩光波就會互相干涉而產生抵消的情況，就是所謂的「破壞性干涉」，而形成明暗對比度很小的條紋[5]。

若以單一波長(λ)入射寬度為 d 的狹縫， L 為狹縫至壓克力板的距離，則第 n 個繞射點距離中心點的距離為 y_n (如圖 2)，其繞射方程式推導如下[7]：

狹縫寬度為 d ，中心點為 B 點狹縫口被均分成若干點。

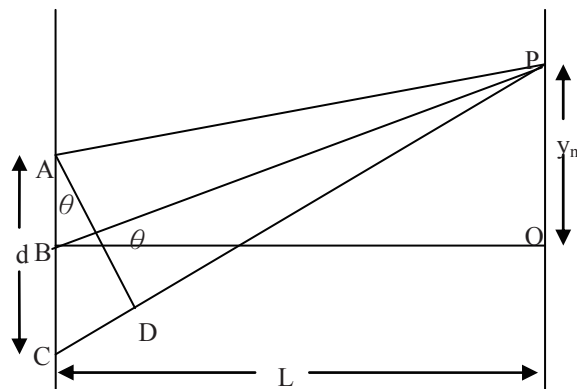


圖2：單狹縫繞射



$$\sin \theta = \frac{CD}{AC} = \frac{CD}{d}, \quad \tan \theta = \frac{PO}{BO} = \frac{y_n}{L}$$

當 $\theta \rightarrow 0$ 時 ($d \ll L$)， $\sin \theta \cong \tan \theta \cong \theta$ ，若 $CD = n\lambda$ 時 ($n=1, 2, \dots, N$)，此時之 P 點為暗區，所以可求得繞射之波長公式(1)。

$$\lambda = \frac{dy_n}{nL} \tag{1}$$

3. 光柵

光柵是一種非常重要的光學元件。廣義的光柵定義為：可以使入射光的振幅或相位（或兩者同時）受到周期性空間調製的光學元件。只能使光受到振幅調製或相位調製的光柵，分別稱為振幅光柵和相位光柵。按工作方式分，光柵又可分為透射光柵（透射光受調製）和反射光柵（反射光受調製）。通常所說的光柵，是指利用繞射效應對光進行調製的繞射光柵。但也存在利用其它原理對光進行調製的光柵，如晶體折射率光柵[6]。其原理就是利用光的繞射現象產生光譜和測定波長的裝置，通常在玻璃、金屬等材料上，用鑽石刻上大量平行細紋而製成，典型值如每公分內刻六千條，光透過它或被它反射時就形成光譜。

而生活中最常見的就是光碟片。因為CD和DVD的磁軌軌道非常密，所以本研究又以光碟片做光柵來觀看繞射現象。

光碟由於製造技術不同，CD的軌距約為 $1.6 \mu\text{m}$ ，DVD的軌距約為 $0.74 \mu\text{m}$ ，故單位面積上DVD紀錄資料的密度就遠大於CD(如圖3)。

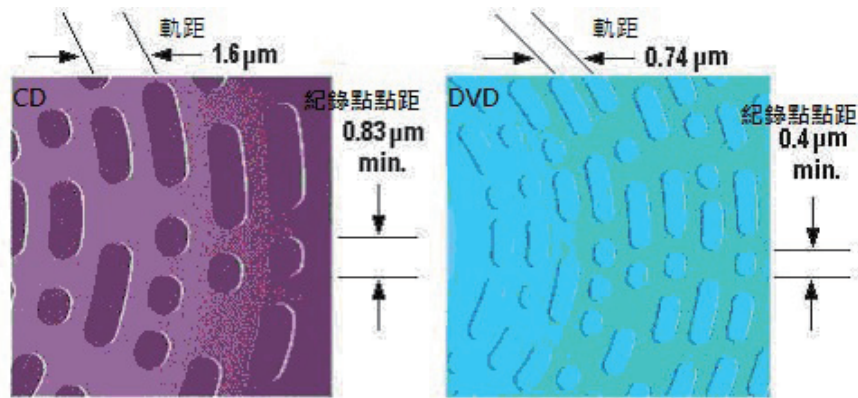


圖 3：CD 與 DVD 的軌距



三、實驗流程

我們分別將紅光雷射、綠光雷射及白、紅、橙、綠、藍五種顏色的 LED 經過頻譜分析儀求出各種光源之理論波長。利用光柵片測光源波長，首先固定好光柵片與要成像的壓克力板間距離為 65 cm，在壓克力上畫上間格皆為 1 cm 的線條，將光源發出之光通過光柵成像於壓克力，利用公式(1)將繞射光源波長求出，架構如圖 4，並與理論值比較分析百分誤差。

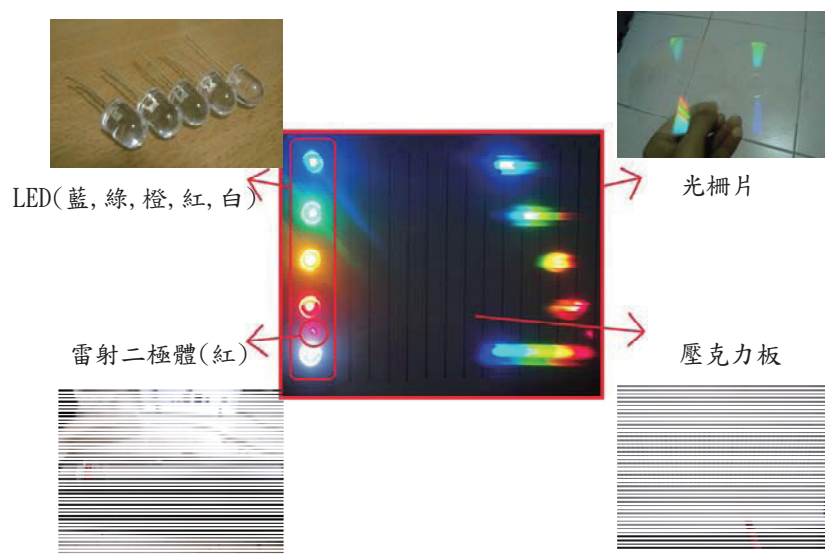


圖 4：光柵求光源波長架構圖



四、實驗結果與討論

紅、綠、橙、藍四種顏色的 LED 經過頻譜分析儀所求出的光源之理論波長(如圖 5)。

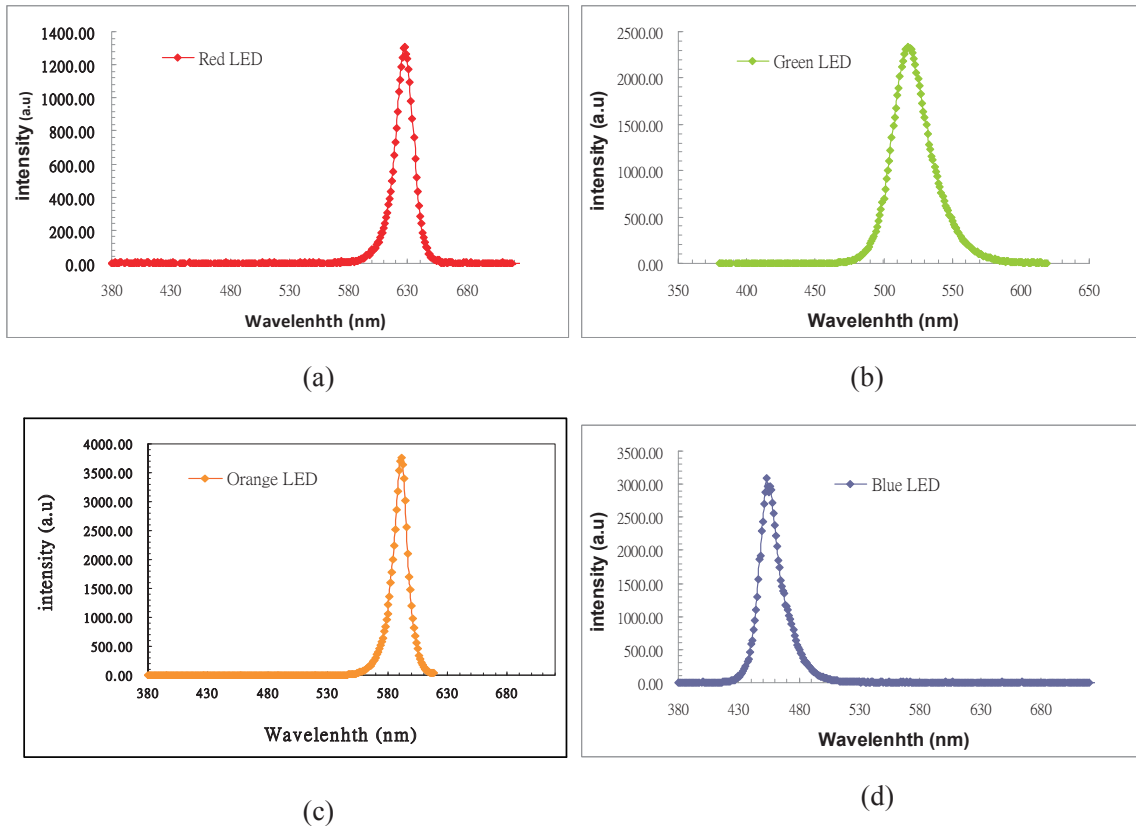


圖 5：LED 經過頻譜分析儀所求出的光源波長(a)紅光 LED 頻譜峰值在 628 nm，半高寬波長約為 619 nm 至 636 nm、(b)綠光 LED 頻譜峰值在 518 nm，半高寬波長約為 505 nm 至 534 nm、(c) 橙光 LED 頻譜峰值在 592 nm，半高寬波長約為 584 nm 至 598 nm、(d) 藍光 LED 頻譜峰值在 453 nm，半高寬波長約為 446 nm 至 465 nm

經由頻譜分析儀測量之白光 LED 波長為 421 nm 至 668 nm(如圖 6)，我們利用 origin 軟體分析可知此白光 LED 由三種輻射光源所組成，各為藍光峰值 451.21 nm、綠光峰值 535.74 nm、紅光峰值 631.40 nm，由此我們也可以驗證白光是由紅、綠、藍三原色光所組成。



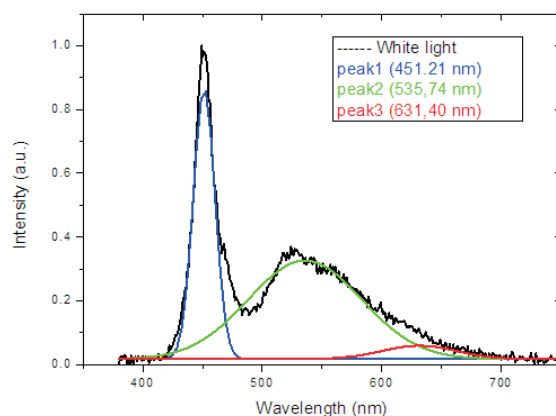


圖 6：白光 LED 波長

紅、綠雷射經過頻譜分析儀所求出的光源之波長為 656 nm 與 533 nm(如圖 7)。

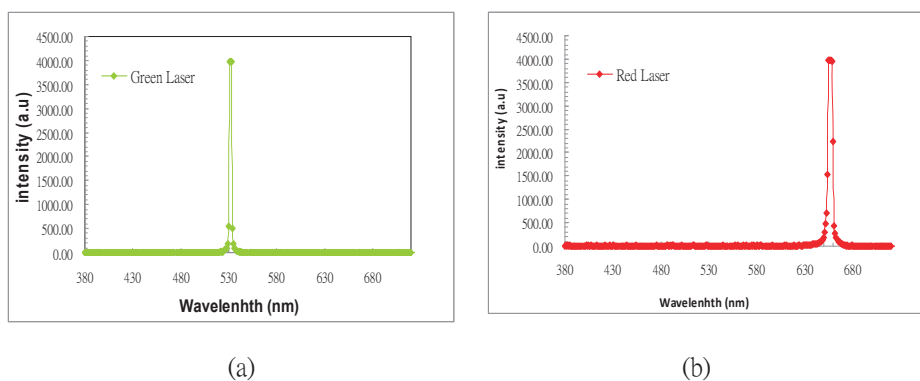


圖 7：雷射經過頻譜分析儀所求出的光源之波長(a) 綠光雷射為 533 nm、(b) 紅光雷射為 656 nm

將白光與紅光、綠光雷射經光柵投射至壓克力屏幕上，讓學生可以清楚看出光譜並觀察紅光雷射與綠光雷射之主要亮點與第一亮點的距離(如圖 8)。利用光柵片(530 格/mm)求二極體雷射波長，當光柵與壓克力屏幕距離為 65 cm 及所測得綠光與紅光雷射之第一亮點各為 18.5、22.9 cm。

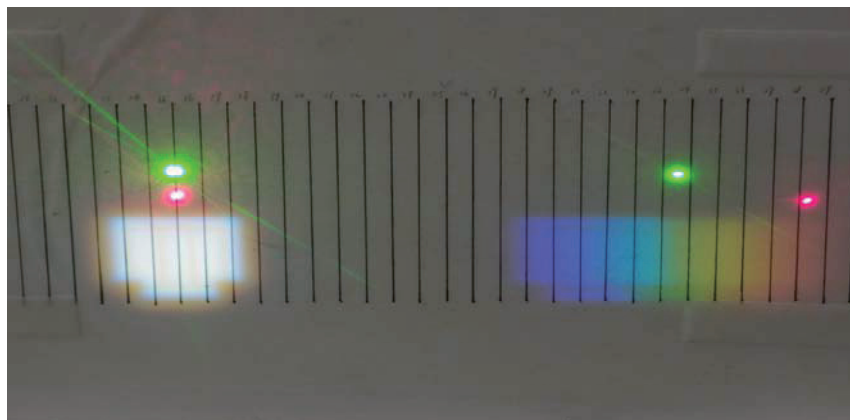


圖 8：白光與紅光、綠光雷射經光柵投射至壓克力屏幕上光譜的比較



將上述數據帶入公式(1)為實際值，與經過頻譜分析儀所測得的理論值做比較，可知光柵所求出之誤差值小於 2%以下，如表 1。

表 1：二極體雷射波長由光柵與頻譜分析儀所測出之波長實際值與理論值之比較

光源	實際值(nm)	理論值(nm)	誤差百分比
紅光雷射	665	656	1.37%
綠光雷射	537	533	0.75%

本研究重點在於讓學生透過演示教學瞭解光譜並藉由光譜之呈現求出波長。所以將白光與各種光源 LED 與紅光二極體雷射經光柵投射至壓克力屏幕上，並將數據帶入公式(1)可得光譜波長位置圖(如圖 9)，學生經由目測即可得知光譜波長。

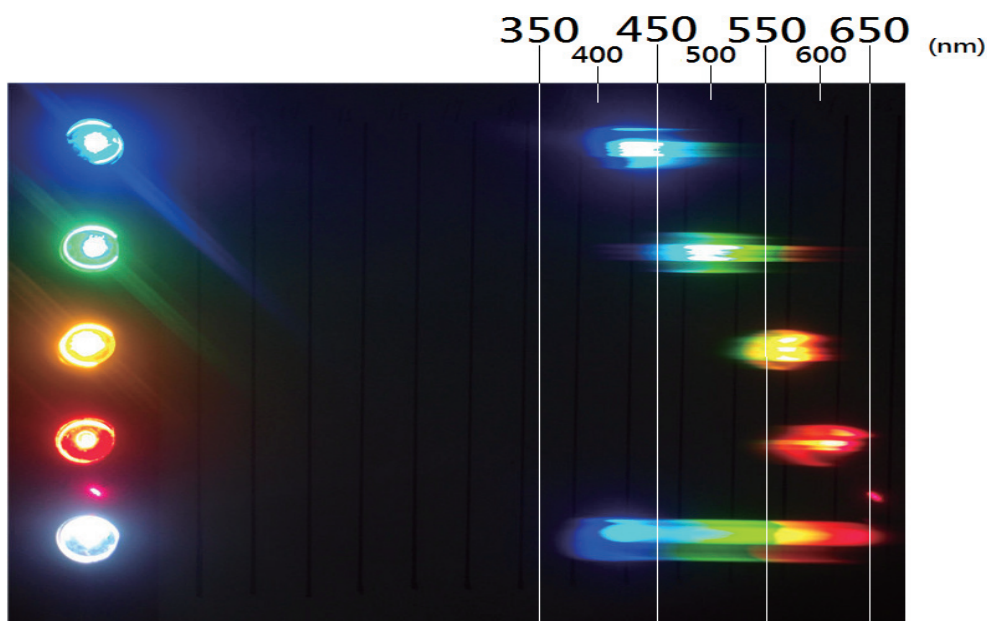


圖 9：白光與各種光源 LED 與紅光二極體雷射經光柵投射至壓克力屏幕上之簡易光譜圖

由圖 5 所得之光譜圖與頻譜分析之光譜比較如表 2。

表 2：LED 波長近似值

光源	λ	實際測量值(nm)	頻譜分析結果(nm)
藍光 LED		443-507	446-465
綠光 LED		496-565	505-534
橙光 LED		592-603	584-598
紅光 LED		603-656	619-636
白光 LED		427-666	421-668



將透明 DVD 擺放在距離壓克力板 10 cm 處，以雷射光垂直照射時亦可簡單看出繞射現象(如圖 10)。

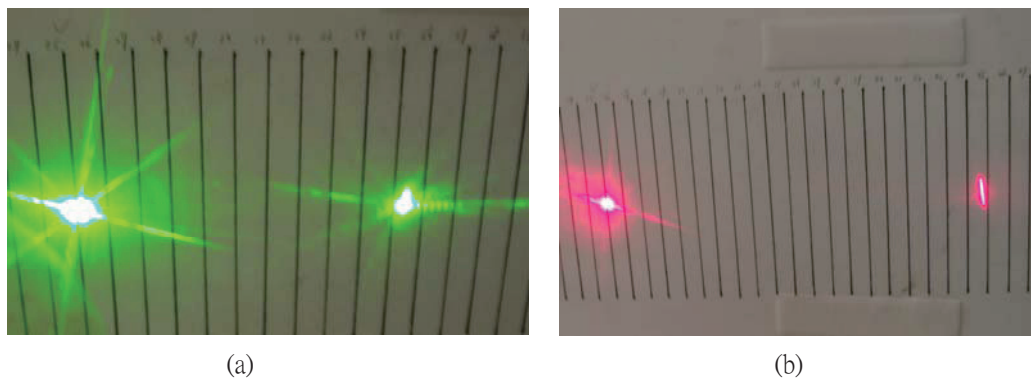


圖 10：(a)綠光雷射穿透 DVD 的成像(b)紅光雷射穿透 DVD 的成像



五、結論

本研究我們探討了光的產生、干涉與繞射，以及簡易分光系統『光柵』。光柵片是屬於較特殊的光學元件，在生活中較頻譜分析儀還要容易取得。事先我們已知光柵片的規格，其狹縫間隙是平行且固定的，因此可以使用光柵片來測量多種光源的波長。而 DVD 光碟的軌距呈圓弧狀排列，所以對於光打入光碟的角度一定要垂直，才可看到對稱繞射。

我們成功利用光柵求出紅、綠雷射二極體之波長為 665 nm、537 nm，與頻譜分析儀測出之波長為 656 nm、533 nm，誤差率在 2% 以內。我們利用光柵觀看光譜之演示教學，成功製作出發光二極體(白、紅、橙、綠、藍)等光譜並順利分析出其波長範圍。更利用 DVD 作出光譜分析，讓學習者對光碟構造有更深的認識。

利用光柵材料，來製作低成本之光頻譜分析儀，再利用目測加以計算，在教學、實務應用上是非常簡單且可行的。在未來若能利用此簡易光譜分析儀配合電腦與偵測器來量測，則可將距離與目測造成的誤差降低，大幅提高測量波長的精確度。

參考文獻

1. 林三寶，雷射原理與應用，全華科技,pp. 2
2. 光的產生 <http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?htm=txt/light>
3. 林三寶，雷射原理與應用，全華科技 pp. 2~3
4. 維基百科，繞射 <http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B9%9E%E5%B0%84>
5. 物理教育學刊，中華民國物理教育學會，Vo.11 No1,pp. 70~71 (2010)
6. 繞射光柵實驗 http://www.isu.edu.tw/upload/52/35/files/dept_35_lv_2_4419.doc
7. 蔡政男、林燈河、陳國昭、莊偉勳，大學物理實驗，高立圖書，pp. 243~247 (2009)

