

一、光譜儀器原理及操作

1. 光譜儀器原理

1-1. 光譜儀原理

光譜儀是在特定波長範圍來測量來源光線的設備。先就結構說明再描述其原理。他的構成包括五個部分

1. 入口狹縫：通常由一個長狹縫組成的入口。
2. 一個校準元件，用來將所有通過入口狹縫的光保持平行。這個元件可能是一個透鏡或是一個色散元件(dispersing element)的少數或整體部分，例如在凹面光柵光譜儀中便是使用這類裝置。
3. 一個色散元件，用來改變通過系統的光強度。通過系統的光路徑由其波長決定，如光柵、稜鏡。
4. 一個聚焦元件，可將 the entry field-stop 成像於適當的焦平面(focal plane)上。
5. 一個出口狹縫。

光譜儀最主要的元件是色散元件，它扮演著將入射光依波長之不同進行空間路徑分佈。在一般的光譜儀而言，此元件為光柵，現介紹光柵的原理。

最基本的光柵方程式如下：

$$\sin\alpha + \sin\beta = 10^{-6} \times K \times n \lambda \quad (1)$$

α : 入射角(degrees)。

β : 繞射角(degrees)。

K : 繞射級數(diffraction order)。

n : 光柵溝槽密度(gr/mm)。

λ : 光波長(nm)。

大部分的光譜儀中，入口與出口狹縫的位置都是固定不動的，而光柵則是沿著通過其表面中心的平面轉動。因此，偏向角 D_v 為一常數，並可由下式取得：

$$D_v = \beta - \alpha \quad (2)$$

假設在波長已給定的條件下，且 α 與 β 之值均可被取得，光柵方程式(1)可表示成：

$$10^6 \times K \times n \lambda = 2 \sin[(\beta + \alpha)/2] \times \cos[(\beta - \alpha)/2] \quad (3)$$

因此，若 D_v 之值已知， α 與 β 之值即可經由(2)、(3)式取得。

角色散(ANGULAR DISPERSION)

角色散是指在兩個相差 $d\lambda$ 的輻射下，所得到的角度分離量(angular separation) $d\beta$ 。

$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{K \times n \times 10^{-6}}{\cos \beta} \text{ rad / nm} \quad (4)$$

$d\beta$: 兩波長間的角度分離量。

$d\lambda$: 兩波長間的微分差量(differential separation)。

線色散(LINEAR DISPERSION)

光柵系統的線色散等於角色散與等效焦距之乘積的倒數。它可測量到奈米的等級，而奈米正是光譜長度的單位。

線色散決定儀器在解析精細光譜結構方面的能力。

中央波長下，與繞射光束垂直的線色散可以下式表示：

$$\frac{d\lambda}{d\beta} = \frac{10^6 \cos \beta}{K \times n \times L_B} \text{ nm / mm} \quad (5)$$

其中

L_B : 等效出口焦距(mm)。

$d\lambda$: 單位間距(mm)。

詳見圖 1。

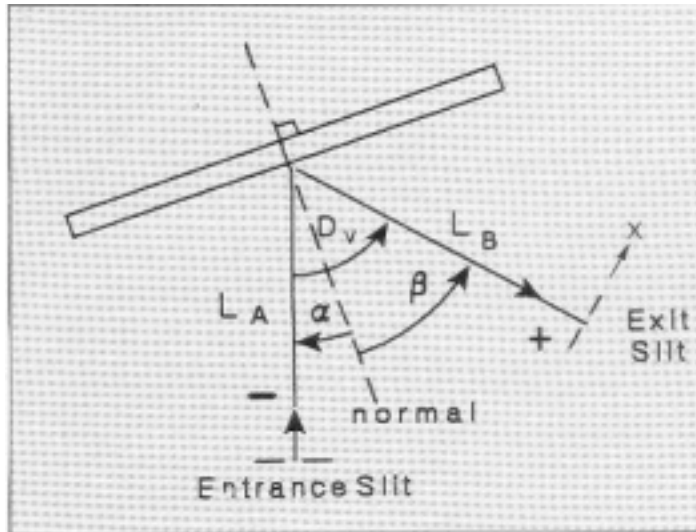


圖 1 繞射光柵
 L_A : 入口臂長。

在 SPECTROGRAPH 中， L_B 是指從焦面鏡(focusing mirror) 至出口狹縫間的臂長。若光柵為凹面型式，則為光柵至出口狹縫之間。

因此線色散與 $\cos\beta$ 成正比，而與出口路徑長度 L_B 、繞射級數 K 及光柵溝槽密度 n 成反比。

在 SPECTROGRAPH 中，除了與光譜平面(spectral plane)垂直的波長外，任意波長之線色散均會被修改，多乘上波長等於 λ_n 時之傾斜角 γ 的 \cos 值之修正。圖 2 顯示一個使用線性二極體陣列之((flat field)) spectrograph。

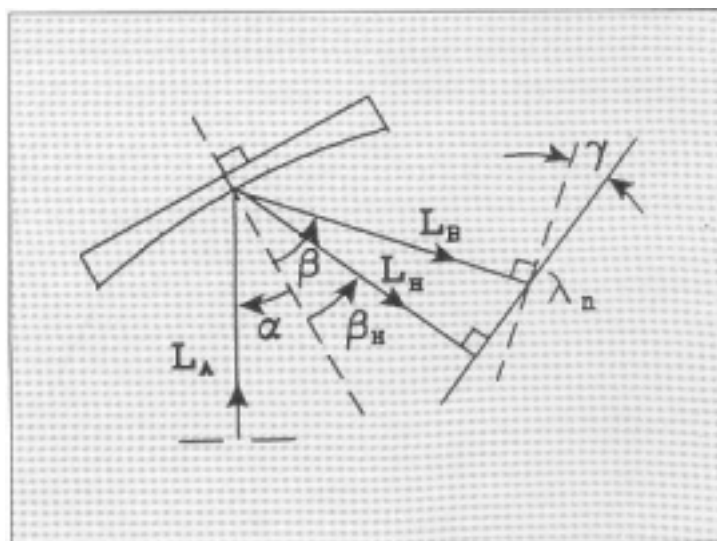


圖 2 色散關係

$L_{B\lambda n}$: 波長 λ_n 之出口臂長。

β_H : 光柵法線與光譜面法線之夾角。

L_H : 光譜面與光柵間的垂直距離。

在波長 λ_n 下，線色散變為：

$$\frac{d\lambda_n}{d\beta} = \frac{10^6 \cos \beta \cos^2 \gamma}{k \times n \times L_H}$$

$$\gamma = \beta_H - \beta \tag{6}$$

波長與繞射級數(WAVELENGTH AND ORDER)

圖 3 顯示在 spectrograph 結構中，波長經由 focal field 延展成 200~1000 nm 間的第一級光譜。

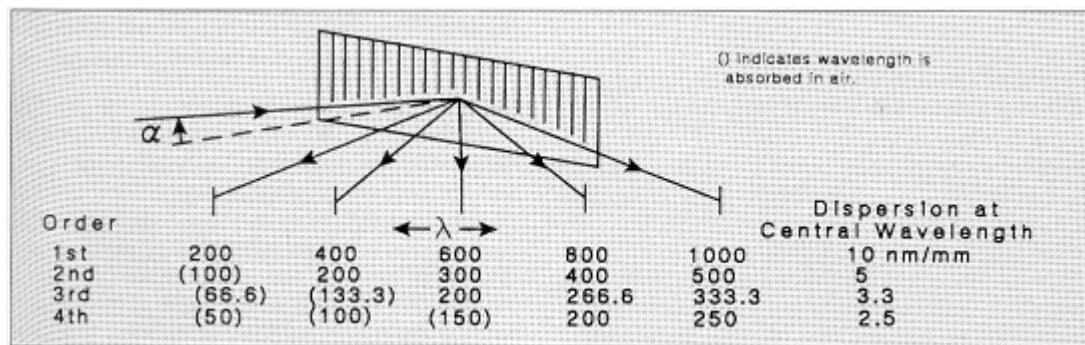


圖 3 色散與繞射級數

由(1)式可知，若光柵溝槽密度以及 α 、 β 之值均已知，則：

$$K\lambda = \text{constant} \tag{7}$$

因此當繞射級數 K 加倍時， λ 就會減半。

舉例來說，假設有一個光源發射 200~1000 nm 之連續波長，在波長 800 nm 之第一級光譜的物理位置上(圖 3)亦會出現波長 400 nm 與 200 nm 的光，並在同一個偵測器上被量測出來。若我們只想觀測 800 nm 的光，就必須使用濾光鏡來消除更高級數的光譜。

波長介於 200~380 nm 的第一級光譜可以直接觀測而不需濾光鏡，因為波長小於 190 nm 的光會被空氣吸收。然而，若儀器的操作環境被抽成真空或經過 N_2 淨化，就仍需要高級數的濾光鏡。

RESOLVING <<POWER>>

Resolving <<power>>是一個理論上的概念，可以下式表示：

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} \text{ (無單位)} \quad (8)$$

其中 $d\lambda$ 是兩條強度相同之譜線的波長差。解析度是(Resolution)儀器分辨兩相鄰譜線的能力。若兩個 peak 間的距離剛好使得其中一個最大值的位置落在另一個之第一最小值的位置上，便稱為恰可分辨，這就是所謂的 Rayleigh 準則。

這可以表示為：

$$R = \frac{\lambda}{d\lambda} = K \times n \times W_g = KN \quad (9)$$

λ : 欲被分辨之譜線的中央波長。

W_g : 光柵被照亮的寬度。

N : 光柵的總溝槽數。

注意 numerical resolving power <<R>>不該與解析度或儀器系統的 bandpass 搞混。

光柵的選擇

何時該選擇一個全像光柵(holographic grating)

1. 當光柵為凹面型式時。
2. 當雷射光已經存在，例如 Raman 雷射、螢光雷射等。
3. 當光柵的溝槽密度在 1200 gr/mm 以上(大至 6000 gr/mm 於 120 mm×140 mm 的面積上)，使用於近紫外光、可見光及近紅外光的範圍中。
4. 當工作於 200~3 nm 的紫外光中。
5. 對於較高級數($K>1$)之光譜，高溝槽密度之光柵的解析度優於低溝槽密度。
6. 無論何時，離子蝕刻之全像光柵均可適用。

何時該選擇一個標準光柵

1. 當工作於波長大於 $1.2 \mu\text{m}$ 之紅外光中。(當離子蝕刻的全像光柵無法使用之時)
2. 當使用溝槽密度非常小的光柵之時，例如少於 600 gr/mm 。

記住，鬼影與被干擾的光強度正比於繞射級數及溝槽密度的平方。

使用高溝槽密度之標準光柵，或在較高級數光譜下使用標準光柵時，請務必小心謹慎。

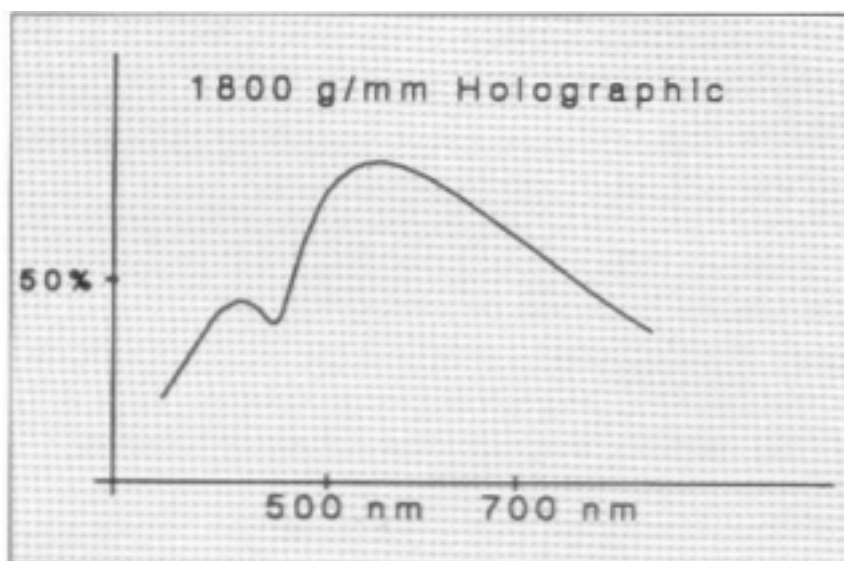


圖 4 全像式光柵的效率曲線(non-blazed)

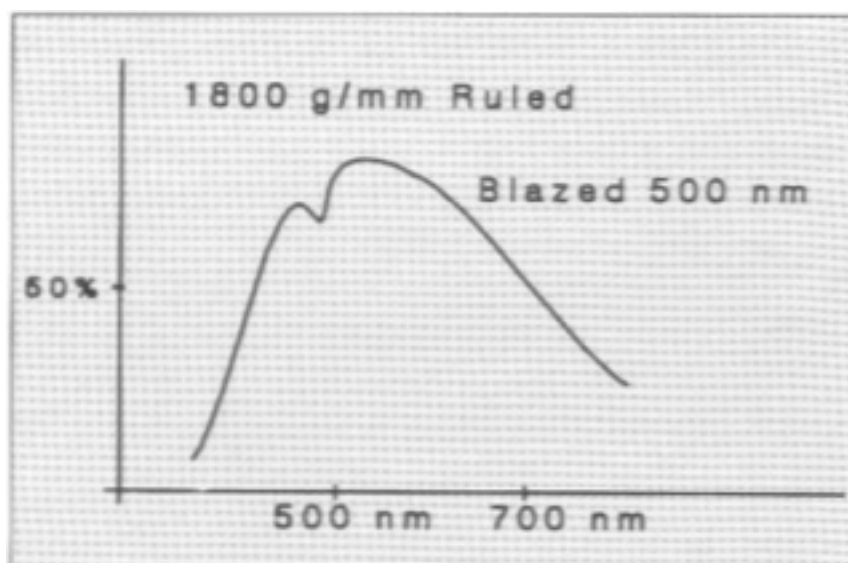


圖 5 標準光柵的效率曲線(blazed)

MONOCHROMATORS 與 SPECTROGRAPHS

Monochromator 與 spectrograph 系統會依照光源的波長，將入口狹縫之像呈現於出口平面上。目前已經有許多架構被發展出來，但我們在這裡只討論最常用的形式。

定義

L_A : 入口臂長。

L_B : 出口臂長。

α : 入射角。

β : 繞射角。

D_v : 偏向角。

CZERNY-TURNER 架構

Czerny-Turner(CZ) monochromator 是由兩個凹面鏡以及一個平面繞射光柵所組成(圖 6)。

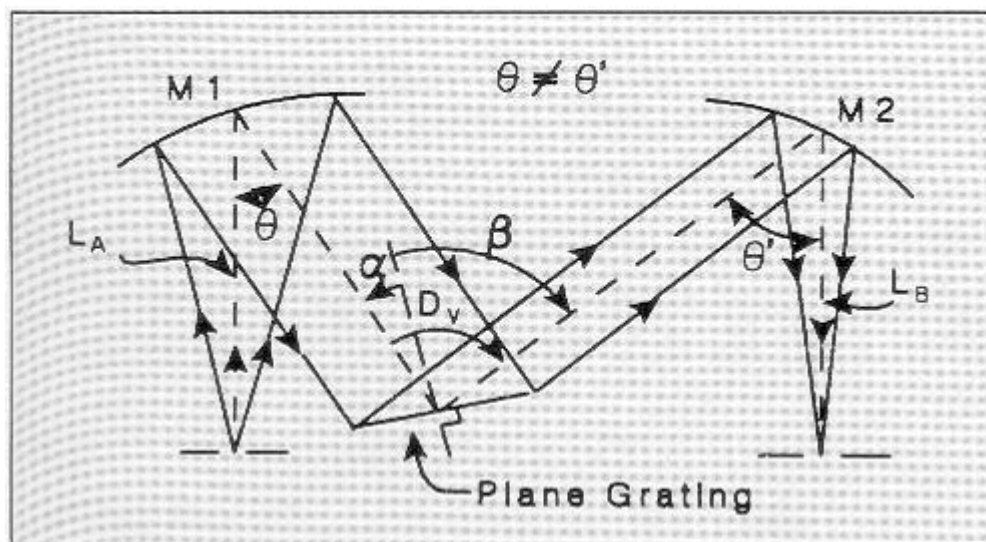


圖 6 Czerny-Turner 架構

BANDPASS 與解析度

大部分的基礎觀念中，bandpass 與解析度均是用來衡量儀器在辨別相鄰譜線的能力。

假設一個連續的光源，儀器的 bandpass (BP)是指其所測得光譜之間距，且有可能是被隔離的。Bandpass 大小與許多因素有關，包括光柵的寬度、系統的像差、偵測器的空間解析度以及入口與出口狹縫寬度。

假若有一光源發射出單色光譜(圖 7)且經由一台完美的光譜儀分析，則輸出光譜將會與發射光譜相同(圖 8)，是一條發生在 λ_0 的完美直線。

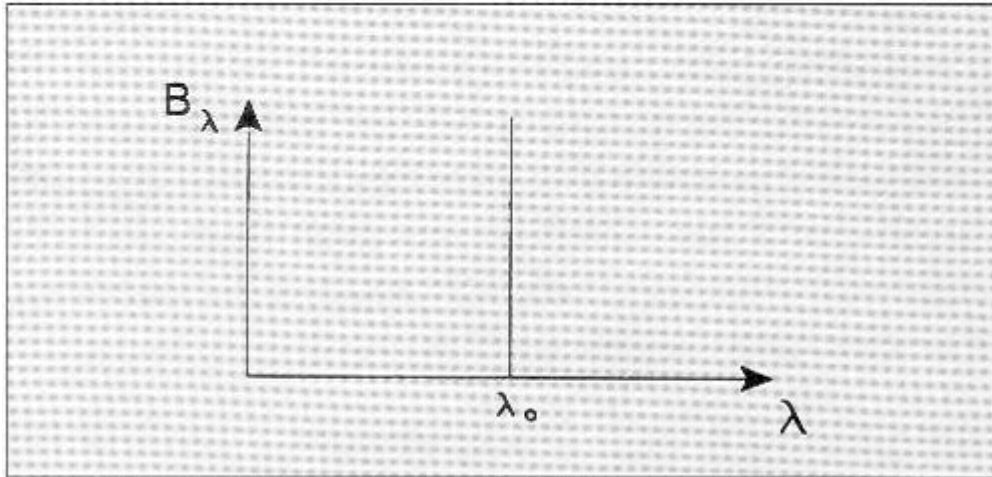


圖 7 使用完美儀器所記錄之單色光源光譜

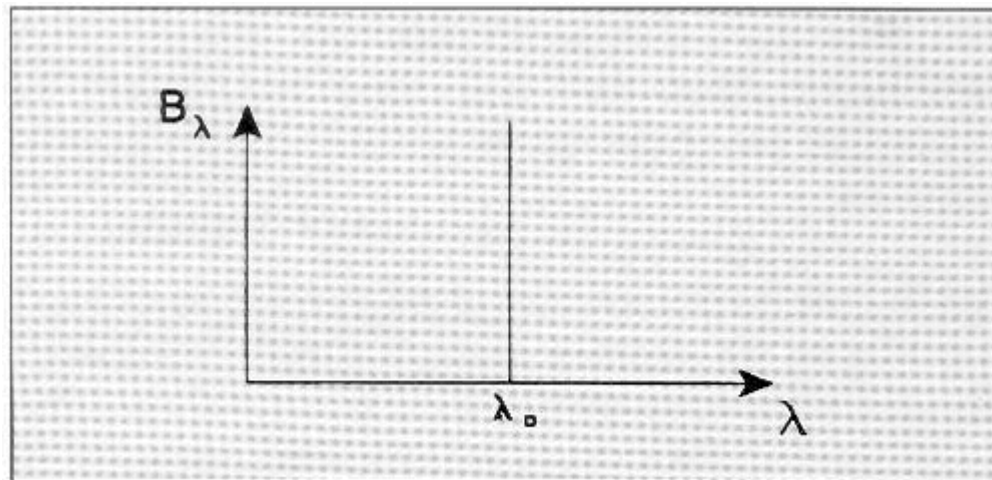


圖 8 單色光源之真實光譜

真實的光譜儀並非如此完美，對於純單光波長會產生一段明顯的頻譜寬度，如圖 9 所示：

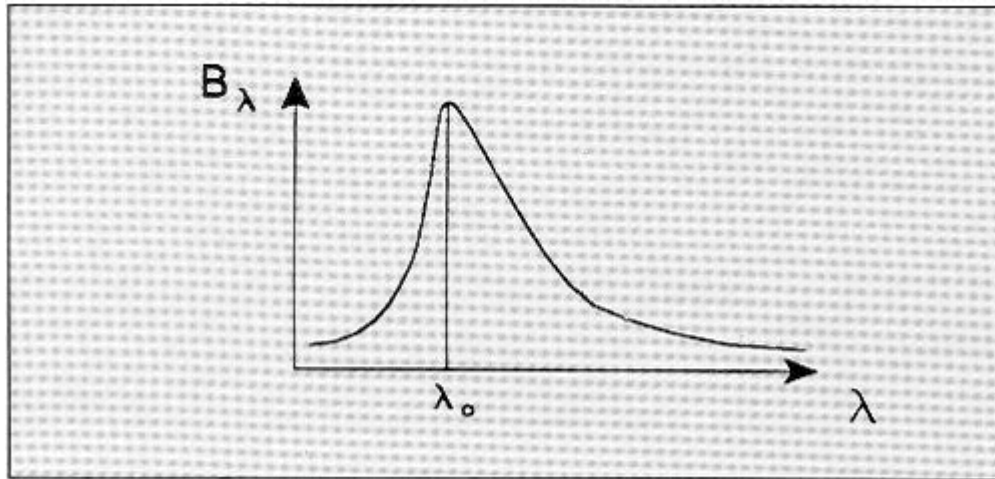


圖 9 使用真實儀器所記錄之單色光源光譜

1-2. 光電管原理

光電管依使用目的，可分成連續之直流式接收，以及脈衝式交流接收兩種，在直流式中由於負荷會造成屏極輸出電流與強度不成線性比例之關係，因此一般要求有較大之次陽極（dynode）並聯電流，以獲較大之偏向（Bias），其值約為 1mA 。但對脈衝光子計數（photon counting）而言，則需減少次陽極電流，以抑制電阻之發熱而產生不必要之暗計數（dark count）。故電流的限制在 50 至 $100\ \mu\text{A}$ 間；為使陰極射出之光電子聚焦及有較穩定之放大率，可在第一個次陽極與陰極間跨接一穩壓二極體及並聯 $0.01\ \mu\text{f}$ 之電容以保持該極之電壓為常值。若在最末三個次陽極跨接磁質扁平（ceramic disc）小電容器 $0.01\ \mu\text{f}$ ，則可避免高頻信號之干擾。交流和直流測定時，光電管之線路設計如圖 10 所示

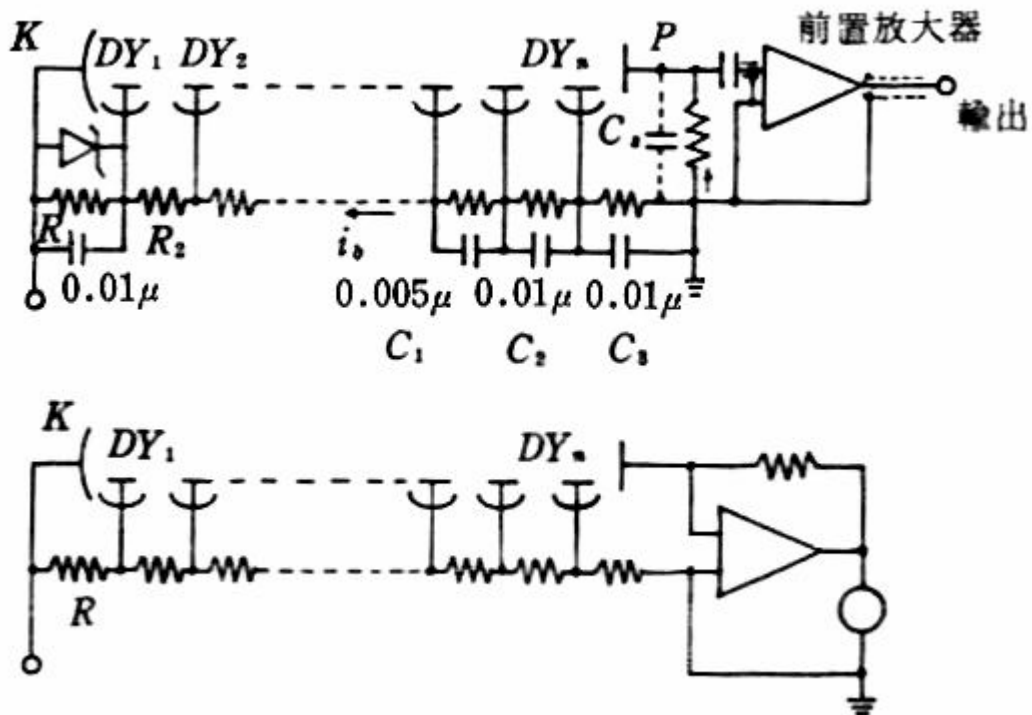


圖 10：交流和直流式光電管電子線路

在圖中 i_a 表有信號輸入時之屏極電流， i_b 為與次陽極並聯之電流，約等於光電管電壓除以 nR ，其中 R 可以選擇 $100K\Omega$ 至 $100M\Omega$ 間，以使 $i_b < 1mA$ 。又電容器及電阻隻接腳要儘量短以避免殘存之電感，使信號延遲。整個光電管可包於一隔磁場（高磁化率之鎳鐵合金）之圓柱形管內。管內在陰極附近可加冷卻設備，以抑制暗電流。一般可用 Seeback 效應製成之半導體材料冷卻系統，也可以用冰箱壓縮機冷卻系統。

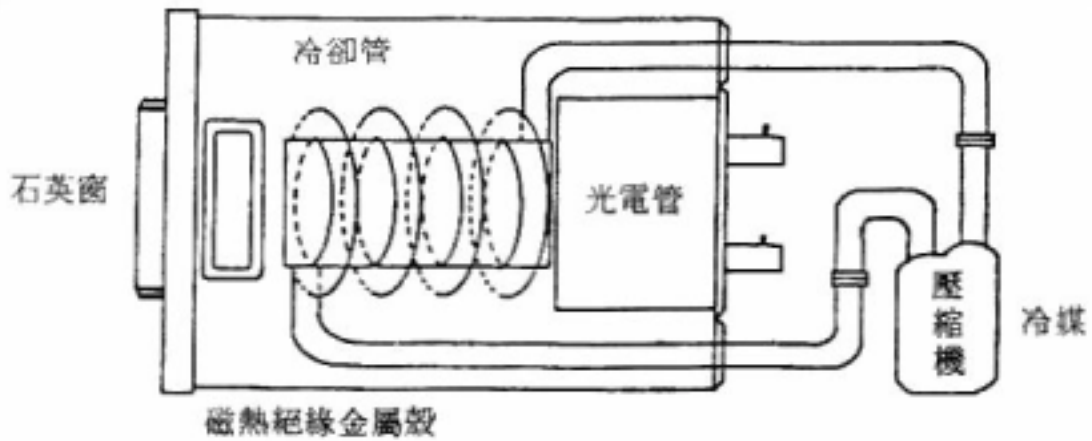


圖 光電管冷卻系統

光電管以冷卻銅管繞於周圍，在用保麗龍薄片包紮後，藏於軟鐵殼內。光電管之陰極窗口需以石英製成空心腔 (cell) (內抽真空) 緊貼，以免濕空氣凝結於窗口而阻礙光線的通過。光電管溫度與陽極暗電流之關係如圖 11：

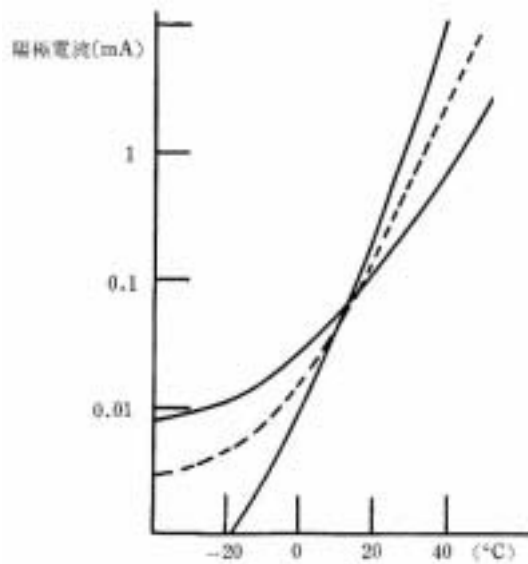


圖 光電管暗電流與溫度之關係 (11)

如光電管冷卻至 $-20^{\circ}C$ 時，可抑制其暗電流至約室溫時之 $1/100$ 。由於磁場影響電子流之偏向，對其光電管放大被率影響亦甚大，尤以管徑粗且由前入射

(head on) 者之影響最大，僅需約 10 奧斯特（比地磁略大），其放大率即衰減約一百倍，此可由圖 12 觀察出

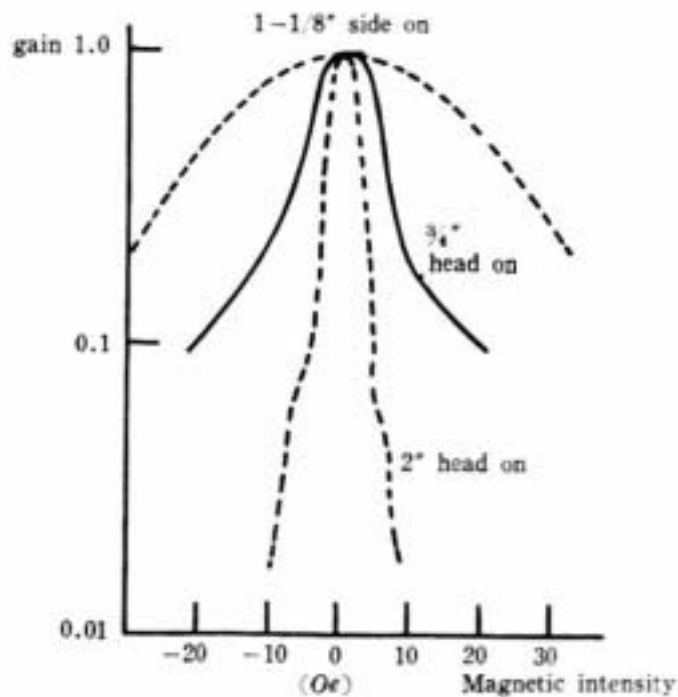


圖 12：光電管在弱磁場下之增益

光電管本身是一電流放大器，其輸出一般皆接一很高輸入阻抗之前置放大器 (preamplifier)，故光電管僅需輸出一甚小之電流 i_L ，此電流經負載電阻 R_L 以轉換成電壓 $V_s = i_L R_L$ 。原則上 R_L 可以儘量大，以便有較大的信號 V_s 。但由於光電管及接腳所殘存之漂蕩電容 C_s ， R_L 太大則信號時間延遲 $R_L C_s$ ，會迫使光電管對快速信號之響應不夠快。另外如 R_L 太大，當入射光較強時，在最後次陽極與前次陽極間之壓降減低，而無法有效的將空間電荷 (space charge) 拉開，造成電荷聚積產生排斥電子流之現象。因之光電效率較低無法與低照度時成線性之關係，一般 R_L 皆選擇與前置放大器輸入組抗稍低之數值以獲取最大之功率輸出，並較好之頻率響應，又一般高頻用同軸線接設為 50Ω 或 75Ω ， R_L 很難與同軸線匹配，此時光電管與前置放大器間之接線要儘量短，以減少因阻抗不匹配所造成之反射波波形繞曲。

1-3. 低溫偵測器裝置

由於光電檢會隨這實驗過程中，環境溫度的影響而產生暗電流效應，因此不論是否有使用冷卻裝置，光電管都必然會有相關的問題發生。根據實驗經驗可知，實驗者在使用光電管的過程中，常常利用控制光電管溫度，以克服溫度所產生的相關效應，近而達到實驗的最佳效果。

在使用降溫裝置過程中，需注意到兩個重要事項：

第一點：必需觀察光譜曲線，所有光電管製造商都會出版他們的各種各樣光電管的光譜回應曲線，從而使光陰極選擇相當明確的。

第二點：需要的與信號層次有關。答案可以透過實驗、過去經驗或者是其他來源來。然而一旦確認了，則可決定該問題是否需要冷卻裝置。

如果選擇要冷卻，下一個問題是冷卻多少可達最佳狀況。為了解決這個問題，必須考慮兩個項。第一是在暗電流方面冷卻的影響，第二是觀察根據光譜在回應冷卻的影響。

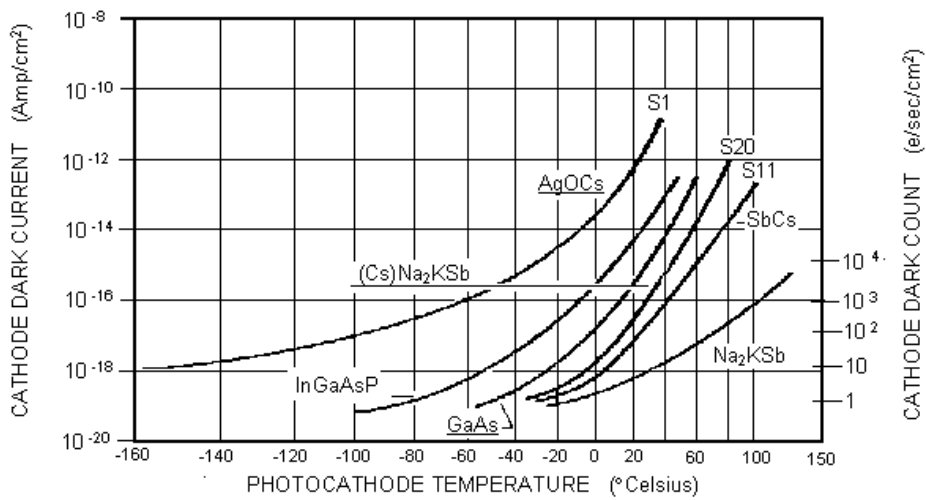


FIGURE 1

圖 13：陰極管暗電流密度 VS 陰極管溫度

1-4. 鎢絲燈及 D₂ 燈

目前實驗室常用的光源有（如表 1）

		Types of Light Sources Available																
		Ultraviolet (UV)			Infrared (IR)													
		Vacuum UV	Far UV	Near	Visible	Near IR	Middle IR	Far IR										
		Wavelength (nm)																
		500	350	200	300	400	500	600	800	1000	1500	2000	3000	5000	50	15	20	
										μm		μm		μm		μm		
Cathode Spectra	氘光源	DEUTERIUM LAMP			氫光源													
		KENDRICK LAMP																
		TUNGSTEN HALOGEN LAMP																
		鎢光源								GLOBAR SOURCE								
Excimer Spectra		LOW PRESSURE MERCURY LAMP																

The table above is to help you choose the best source for your particular application.

表 1

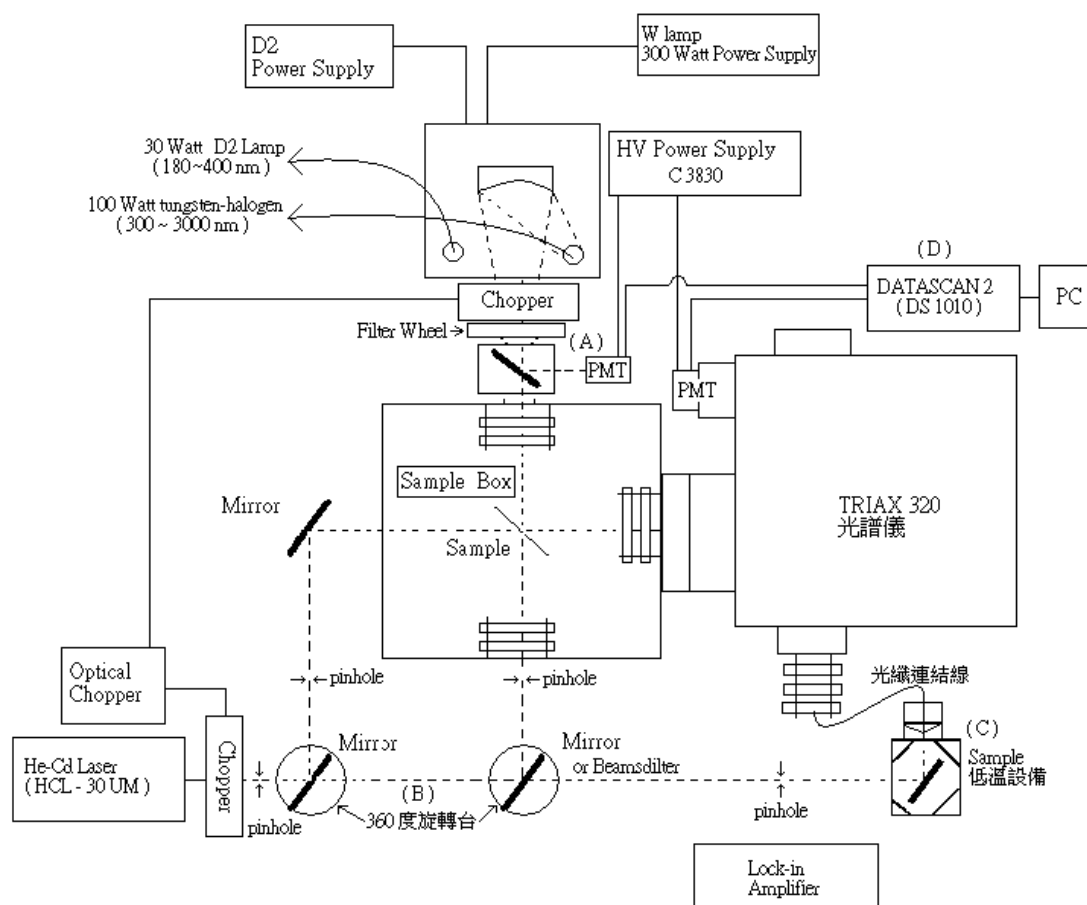
本實驗為求得更好更完整之光譜實驗數據，因此採用雙光源的光源裝置器，其裝置中包含有鎢燈(波長:350nm~2600nm)光源以及氘燈(波長:180nm~500nm)光源。

來源的類型		
類型 .	波長範圍.	Notes .
氘光源	180-500 nm	能夠提供比氘燈光源更好的紫外光
鎢光源	250-2600nm	能夠提供比氘燈光源更穩定更好的連續光譜。

TYPES OF LIGHT SOURCES AVAILABLE

Source	Application	Spectral Range	Power
Deuterium	UV spectroscopy Continuous UV output	180-500 nm	30 W
Tungsten-halogen	VIS-IR spectroscopy Continuous output	350-2600 nm	70 W
ALSO AVAILABLE: Sample compartment - Chopper - Filters - See «Accessories» section			

2. 光譜量測儀器架設



3. 實習步驟

1. 實際瞭解每一個儀器的功能及原理，並針對未來要進行的實驗寫出各儀器的使用極限與使用範圍。
2. 光譜儀的解析度為何？如何確認？
3. 入口狹縫與出口狹縫的大小對於光強度與解析度有何影響？
4. 比較有無開啟低溫量測系統時，光電管產生暗電流之大小。並比較在不同高壓下的情況，試著比較講義中的圖表。

4. 討論

1. 本系統光譜儀量測極限為何？如果你要量測 300-1000nm 的資料你要如何設計操作流程？
2. 由於鎢燈光譜會隨溫度飄移，如何來校準你的資料正確性。
3. 反射光譜如何取的正確的絕對值，而不是相對值。請更改實驗步驟來完成。

4. 各種光譜相關儀器都有其限制，請分析如果要提高該系統的靈敏度，你要改進哪一些規格或執行方式。

附錄

A. 儀器規格介紹

1、He-Cd laser ， 35mW ， 325 nm

Features :

Weavelength : 325nm

Power : 35mW

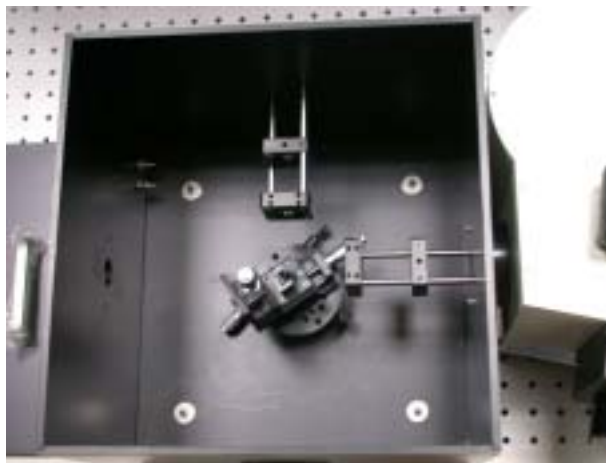
Spatial mode : TEM_{mn}

Divergence : 2.5mrad

Polarisation : 100 : 1



2、SAMPLE COMPARTMENT



樣品量測箱：此特製樣品箱，總共有四個光源出入口，由 2-1 裝置圖設計配置，可以再不拆動設備的情況下進行多項光學性質量測實驗，例如光的穿透反射係數量測、螢光光譜量測…等等。

樣品基座：位於樣品箱中央的樣品固定基座，此基座可以調整樣品的打光角度、基座高度、基座深度。

3、DETECTOR (TRIAX 320) <http://www.jobinyvon.com/jy/mono/t320.htm>

MSL-TSHCCD Shutter

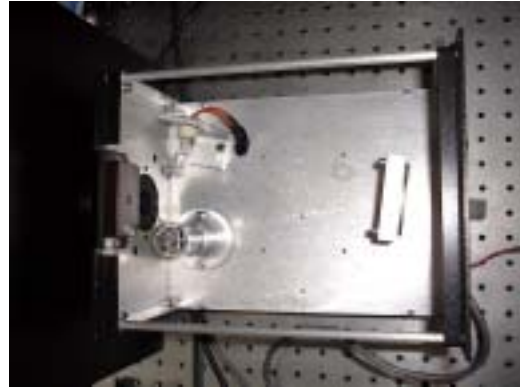


Focal Length : 320mm
Spectral Range : 0-1400nm mechanical range (1200g/mm grating)
0-40 μ m spectral range with appropriate gratings
Aperture : F/4.1
Dispersion : 2.64nm/mm
Resolution : 0.06nm (single channel)
0.2 nm (CCD 3x25 μ m pixel)
Flat Field : 30 x 12mm
Grating Turret : Triple automated on-axis grating turret
Accuracy : +/- 0.3nm
Repeatability : +/- 0.06nm
Slits : High precision motorised
Optional motorised side exit slit
Dimensions : 387 x 425 x 190mm
Control : Motorised with built in RS232/IEEE488 interfaces
Windows or DOS software

4、LSH-SERIES LAMP HOUSINGS (LSZ-1682A)

<http://www.jobinyvon.com/jy/osd/sources.htm>

FILTER WHEEL <http://www.jobinyvon.com/jy/osd/filterwheel.htm>



4-1 LSH-SERIES LAMP HOUSINGS

氙燈：光源範圍 200~400 nm

30 Watt power supply

鎢絲燈：光源範圍 300~2500 nm

100 Watt power supply

5、光源電源供應器

a. 鎢燈 POWER SUPPLY (AL 924A)



VOLATGE : adjustable from (-3mV~+3mV) to 30V

fine setting (about 2.5V)

floating outipts

CURRENT : two ranges : adjustable from 0 to 1A

adjustable from 0 to 10A

Automatic operating at constant current

b. D2 燈 POWER SUPPLY



6 - MULTIOUTPUT DC POWER SUPPLY (MODEL C3830)
DATASCAN 2 (DS1010)



6-1 MULTIOUTPUT DC POWER SUPPLY (MODEL C3830)

[HIGH VOLTAGE SECTION]

Output voltage rangapprox. - 200 to - 1500V dc
 (Variable)

Maximum output current 1mA

Output receptacle..... SHV type

[5V DC SECTION]

Output voltage..... 4.75 to 5.25V dc (fixed)

Maximum output current 500mA for each polarity

Output receptacle..... HIROSE SR 30- 10R- 4S

[15V DC SECTION]

Output voltage..... 14.25 to 15.75V dc (fixed)

Maximum output current 200mA for each polarity
Output receptacle..... MIYAMA MC- 032

6-2 The DataScan includes the following capabilities:

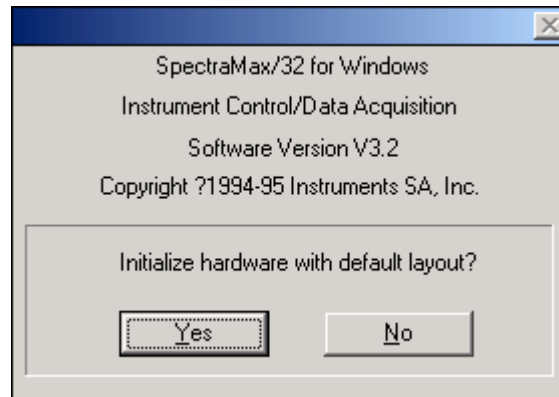
- Complete control of one or two Jobin Yvon spectrometers
- Data acquisition from 2 input channels
- 4 programmable gain settings and autoranging
- Internal storage of up to 5000 data points
- Communication via RS-232C & optional IEEE-488
- High Voltage for 2 detectors (optional 0-1200V)
- 8 output and 6 input lines (TTL)
- External Trigger input
- Control of 2 shutters
- Analog output for a strip chart recorder
- Can be computer controlled or via a HandScan
- Software (<http://www.jobinyvon.com/jy/osd/software.htm>)

B. 軟體操作介紹

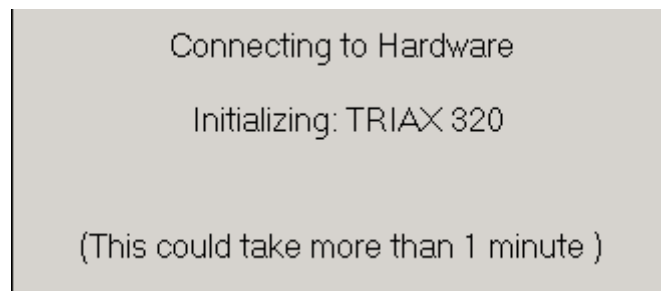
C. 開啟高壓電源，電壓不可超過 1200V。選擇你要用的光源，開啟之。



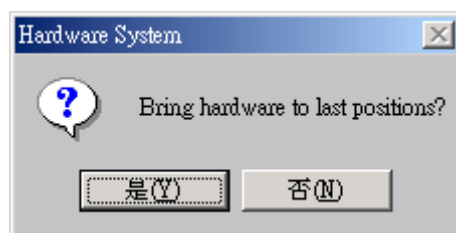
D. 按下桌面上的捷徑” ”。會跑出下面那個視窗：



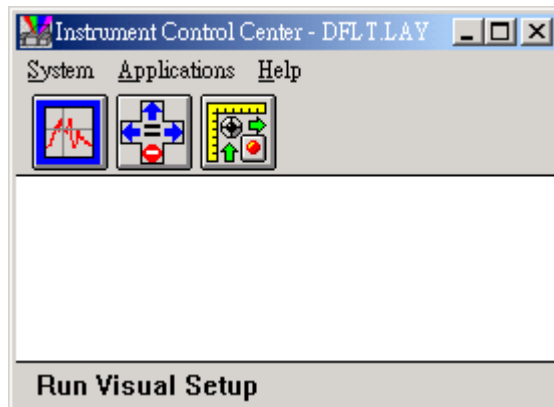
當中表示是否要將 TRIAX320 初始化。選擇” Yes” 。跑出





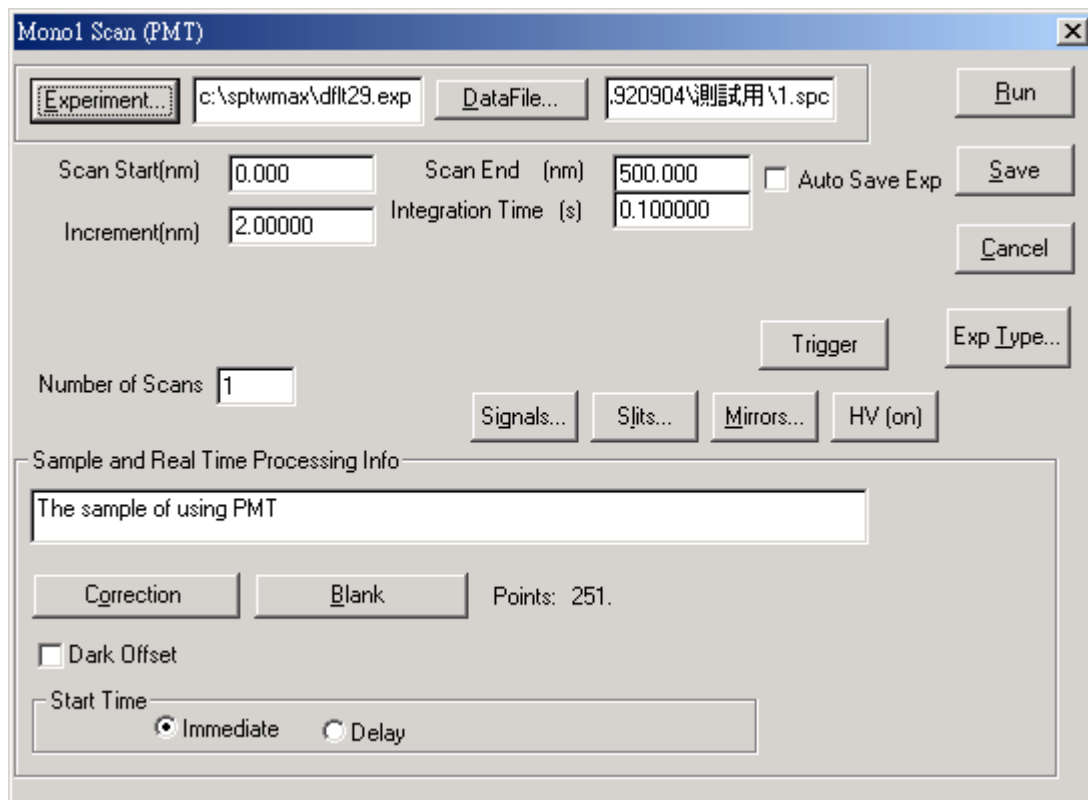
此時正在進行初始化，會聽到 TRIAX 發出嘶嘶嘶的聲音，這是正常的。接著，



意思是問說是否要將狀態設在上次最後操作所設的一樣。按下否，跑出此視窗：



E. 最左邊的視窗是我們實驗當中最主要的作業視窗。開啟後，找到, 在裡頭我們可以做各樣的設定來進行操作。



F. 介紹這個視窗內的一些主要功能：

Experiment：在裡頭有很多設定檔，那都是公司設好的，可以選取你要的，一般都是用 df1t29.exp。

DataFile：決定你現在要掃的這張圖之後要放在哪個位置。

Scan Start：量測的起初波長位置

Scan End：量測的末了波長位置

Increment：每積分時間改變的距離

Integration Time：每隔幾秒轉動一下鏡子。所以這個數值越大，數據就跑的越慢，但也越精確。

Slits：調整出口及入口狹縫的寬度，由 0 至 2nm。我們在此實驗用到的只有 Front Ent. 和 Side Exit.。

Run：啟動