

# 麥克森 (Michelson) 干涉儀

## 實驗題目舉例

1. 試進行調整得到直線條紋
2. 試進行調整得到圓形條紋
3. 試進行調整得到雙曲線條紋

## 進階實驗題目舉例

1. 試進行光源同調長度之量測。
2. 試進行溫度場之量測。
3. 試進行工作系統穩定性之量測。

### 一. 前言

所謂干涉，乃指兩個有週期性或規則性的波相遇而形成的現象。如果我們想利用這個干涉現象，就必須希望這個干涉現象能夠讓觀測者清楚分辨並且能夠持續一段時間。我們可以疊紋(Moire)來瞭解麥克森干涉儀兩個的光場疊加在一起產生干涉條紋的原因，就二組直線狀的光柵 (grating)之 Moire 條紋而言，兩光柵間有少量角度差或有少量頻率差（兩個並不完全相同但非常近似的訊息），都可以產生 Moire，用這原理可以量測兩光柵間之微細位移現象。通常在主尺表面刻劃上一組光柵而在此尺之前擺上一參考光柵作為副尺，當副尺產生位移而與主尺光柵會產生 Moire 干涉條紋移動之現象，而將小的位移量放大成大信號。麥克森干涉儀之干涉條紋千變萬化，視其所分出之兩個的光場而有所不同，有直線形狀、圓圈形狀、雙曲線形狀、橢圓形狀．．．等，因此我們模擬麥克森干涉儀之兩個的光場疊加時必須使用各種形狀的光柵來合成疊紋。廣義的來說，疊紋也稱得上是一種干涉，但在此我們的討論範圍侷限於光的干涉方式。

我們可以把干涉儀的兩道光場予以剖析，前面一道光場，與後面第二道光場只有極微細的差異，當兩個以上的光場疊加在一起，即產生了干涉條紋，也就能夠將微小的差異量放大成大信號。總而言之，光學干涉量測技術就如同一般的許多量測行為一般，將兩個並不完全相同但非常近似的訊息疊加在一起，這時我們不會去留意訊息中相同的部份，反而是訊息中那些細微的不同之處在疊加時顯現出來，因而使得訊息中極細微的不同變化量成為很明顯的信號，麥克森干涉儀因此十分靈敏，正由於麥克森干涉儀的靈敏特性，因此極微小的量也可以察覺。甚至我們可以說，越是微小的量，越能得到精確的測量結果，如果待測值太大，反而因干涉條紋過密，得不到正確的測量值呢！

干涉儀是利用所使用之光的特性，將來自具有相同特性的兩個或多個光源的光波，在空間某點相互會合，因相位之間的差異而產生光強度變強或弱的現象，我們稱之為干涉。所謂有相同特性的光源，是指具有相同頻率和穩定的相位關係的光源（例如有相同的相位差）。在使用兩道光作干涉時，有時必須注意到兩者的偏極性，以免雖然兩道光交會了，卻沒有干涉條紋產生。通常比較容易出現光束偏極特性偏轉的情形，是利用面鏡將光束之水平面高度上升或下降時引起的，如果將光束分光後即保持在同一水平面，便比較沒有這一層顧慮。在組合各種類型的實驗時，無論是太曼格林（Twyman Green）干涉儀、麥克詹達干涉儀（Mach-Zender）、菲索（Fizeau）干涉儀、剪像（shearing）干涉計、法布里－派洛（Fabry-Perot）干涉儀和麥克森（Michelson）干涉儀，皆屬於一種以光的干涉方式進行的量測技術，必須留意到光束偏極特性的問題，這點是常為眾人所忽略的地方。

光的干涉方式可按波動說的解釋：光以正弦波的波形前進，因此兩相同頻率及相同相位的光波向同一方向前進，即波峰對波峰，波谷對波谷時，會產生光波增強的現象，該處即得明亮條紋。若兩相同頻率，相位差 180 度，即波峰對波谷，波谷對波峰時，兩光波會互相干涉而抵銷，該

處即得黑暗的條紋。利用條紋數及其分佈情形即可進行待測物之物理量差異的定量分析。

## 二. 干涉儀之分類

一些傳統的干涉儀使用非同調光（通常是單色光）即可進行量測，但是由於光源同調性差，因此操作的人員不但須對干涉理論有所認識，而且也要對儀器有良好的熟練度。1960 年高強度同調性(Coherence) 光源的雷射問世後，干涉儀才開始蓬勃地發展；干涉儀可按照形成干涉的光束數目分為雙光束及多光束兩大類，雙光束干涉儀所產生的條紋其亮度多呈正弦曲線的分佈情形，例如太曼格林 (Twyman Green) 干涉儀、菲索 (Fizeau) 干涉儀、麥克詹達干涉儀 (Mach-Zender)、剪像(shearing)干涉計及麥克森 (Michelson) 干涉儀，皆屬於此種雙光束干涉方式，而多光束干涉儀之條紋亮度分佈情形也是週期性的，但卻呈狹窄的亮帶，如梳狀脈衝波形 (Dirac comb)，有名的法布里—派洛 (Fabry-Perot) 干涉儀即屬此類。多光束干涉儀通常是由非常多的光束干涉而形成，至於三光束或四光束的干涉儀通常視為雙光束干涉儀的同類，因為它們的干涉條紋特性很相近。干涉儀的另一種分類方式是依據光波分割的情形，亦即分為波前分割與振幅分割兩種型式。波前分割是指光束的波前經過了同一平面的一系列狹縫而產生分割，例如以雙稜鏡或光柵來把一道光分成二部分。振幅分割則是以部分反射裝置來區分其振幅大小成二部分，例如光束經過了類似分光鏡的界面而分成兩道光。

## 三. 干涉儀之構成的主件

在此我們對這些量測用途的干涉儀作整理性的簡介，並對其構成的主件特性加以說明。

### A. 雷射及其台座：

雷射干涉儀採用之雷射，其輸出頻譜為 632nm 之氦氖雷射。其總輸出功率為 0.3W 以上。氦氖雷射由激勵系統提供能量給活性工作介質以產生

光子，這些光子在雷射共振腔內來回振盪數十次至數百次，最後穿出雷射共振腔，形成雷射光束，其中氬活性介質便是能將入射光放大的物質。某些活性介質加以適當的攙雜或混合時，可以使原子在躍遷到較高能階時停留的生命期（transition life）較長，這樣便更能累積在較高能階的原子數量，而得到更高的雷射效率。氬氬雷射波長為 $632.8\text{ nm}=0.6328\ \mu\text{m}$ ，產生雷射光時，高電壓達 8000 伏特以上，有點類似日光燈起動時，需要較高的電壓，至於平常雷射運作時，也須 1500 伏特左右之高壓，其冷卻系統常採氣冷式，因為它們的功率不高。

一般氬氬雷射使用低能量的可見光雷射，對於皮膚，衣物，任何物質的測量物件均無傷害性，同時，發射的光束並不夾雜不可見光或其它具有傷害性輻射。

雷射台座需使用具有微調螺絲之鏡片台座來微調，微調螺絲功能有二：一用來控制雷射光點左、右移動，一用來控制雷射光點上、下移動，如圖 1。

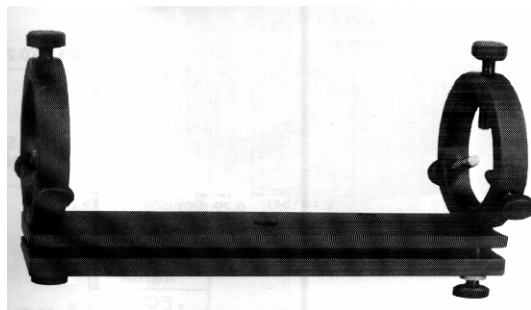


圖 1 雷射台座

雷射光導引台座可用來控制雷射光束上、下移動至一適當高度，如圖 2。

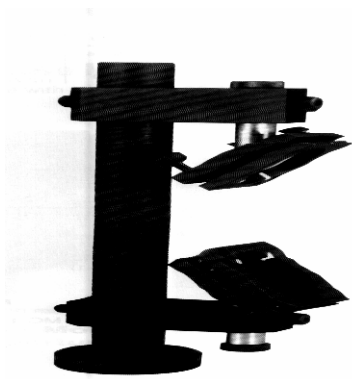


圖2 雷射光導引台座

### B. 反射鏡及分光鏡：

反射鏡最好為前鍍膜之反射鏡（ FRONT COATING MIRROR），表面平坦度（FLATNESS）為每 5cm 在  $\lambda/10$  到  $\lambda/2$ 內。如在經濟考慮下使用普通鏡片，反射光點會增多，須能分辨何者為所需之信號（輕微搖動干涉儀系統，所需之干涉圖形將因此而變化，干涉條紋的位置會移動）。反射鏡片台座需使用具有微調螺絲之鏡片台座來微調，微調螺絲功能有二：一用來控制反射光點左、右移動，一用來控制反射光點上、下移動，如圖3。

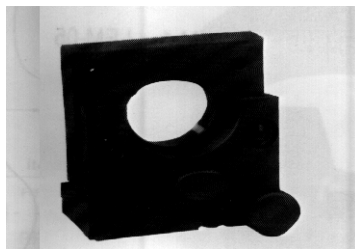


圖 3 反射鏡片台座

在分光鏡方面，太曼格林（Twyman Green）干涉儀、菲索（Fizeau）干涉儀、麥克詹達干涉儀（Mach-Zender）、剪像（shearing）干涉計及麥克森（Michelson）干涉儀等雙光束干涉儀使用比例為 1:1 之固定式分光鏡。而法布里—派洛（Fabry-Perot）干涉儀使用比例為 20:1 以上之固定

式分光鏡，分光鏡片台座亦需使用具有微調螺絲之鏡片台座來微調，可使用反射鏡片台座，或是專用分光鏡片台座，如圖4。



圖 4 分光鏡片台座

### C. 空間濾波器

空間濾波器 (SPATIAL FILTER) 為物鏡與針孔所組合而成的，如圖5，它可以擴大雷射光束並且達到濾波的效果。

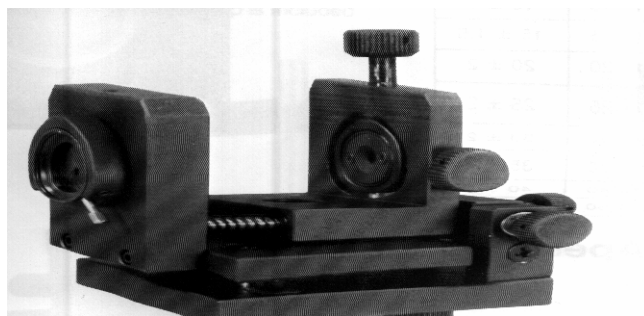


圖 5 空間濾波器

空間濾波器的原理很簡單，雷射光經物鏡(圖6)後先是聚焦於焦點上，而後擴束放大，我們在透鏡的焦點上放置一個針孔，所謂濾波，指的是對光場空間頻率過濾行為。而非過濾雷射之頻率。一道接近平行的光束，它

的空間頻率很低，甚至是零，而它經透鏡後將聚焦於光軸焦點上，換句話說，它能很容易的通過置於焦點上的針孔。至於光束中混入的雜訊，通常它的空間頻率較高，因此經透鏡後將聚焦在離光軸焦點較遠的周圍，而無法通過置於焦點上的針孔。空間頻率一定具有 x、y、z 三軸的微動機構，以便將針孔的位置調整到透鏡的焦點處。好一點的空間濾波器還有水平俯仰及左右偏擺的調整功能。

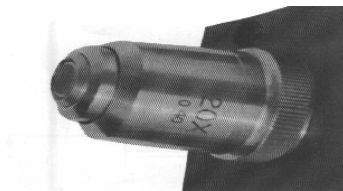


圖6 物鏡

可以想見，物鏡的品質越好，針孔的孔徑越小，光場的品質越好。物鏡的倍率通常視照物光場及參考光場之需求而定，一般規格是 20 倍物鏡配 20  $\mu\text{m}$  的針孔，針孔之電子顯微檢視如圖7。

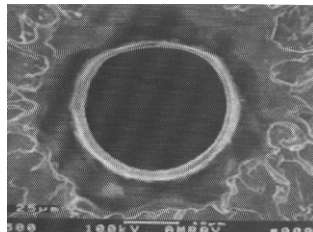


圖7 針孔之電子顯微檢視

#### D. 台架與固定座：

防震桌可以消除曝光時之外界震動之干擾，各式支柱、磁力座、固定座與放置架可將光學元件及雷射光束作高度及方向調整，如圖8。要注意整個台架與固定座之剛性，台架不可太高。

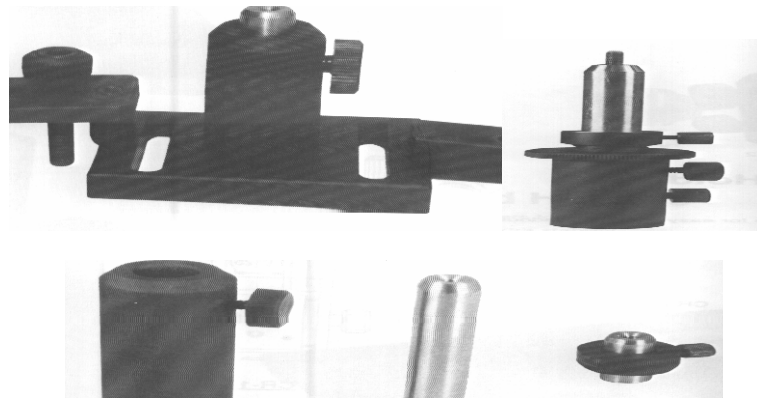


圖8 各式支柱固定座與放置架

## 五. 麥克森干涉儀

麥克森干涉儀(圖9) 是利用光波的干涉，而使量測的精度提高到  $1/2$



個波長以內，是許多干涉儀的始祖，可先作為光干涉現象於量測上應用之探討。麥克森干涉儀，係以部分反射平面鏡使光束振幅區分成兩束，所得的兩光柱進行的方向及相位不完全相同，當其再相遇時便形成干涉條紋。吾人如能瞭解麥克森干涉儀的基本原理和調整方法，便可進一步利用麥克森干涉儀來作一些量測實驗。因此將麥克森干涉儀稱之為利用光波干涉進行量測工作之敲門磚並不為過。由於麥克森干涉儀的出現，使得人類開始以光的波長為長度測量的基準。

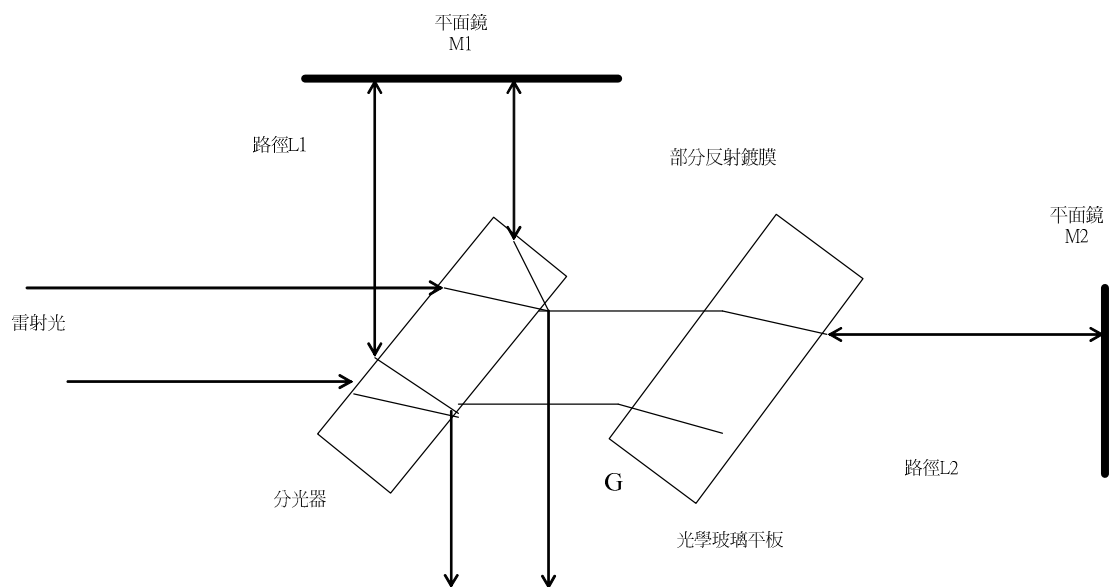


圖 9 麥克森干涉儀

麥克森干涉儀是以振幅來區分的干涉儀之要例，麥克森 (Michelson) 干涉儀，係以部分反射平面鏡使振幅區分所得的兩光柱進行的方向完全不同，當其再相遇時便形成干涉條紋。部分反射平面鏡又稱分光鏡 BS，分光鏡之反射膜鍍於偏靠於 M1 反射鏡之一側，使來自光源之光分成強度相等之一反射及一透射光柱。光從鏡 M2 正向反射，第二次通過 BS 而達圖下的屏風 S，光從鏡 M1 反射，二次通過 C，再由 BS 反射而至屏風 S，從鏡 M1 反射之光束並未穿透分光鏡，這一點使得它與從鏡 M2 反射之光束有位置及光程之偏移，加入玻璃板 C 之目的在使二線路在玻璃

中之光程及路徑相等，故 C 稱為補償板( compensation plate )。此不僅是使單色光產生條紋的基本儀器，當用白光時亦是不可缺少的。

在傳統的麥克森干涉儀中，如果採用的光源是雷射，同調長度即能拉長，也就是待測光和參考基準光兩通光的光程即使拉長，仍然會有干涉的現象，此原理即被用來作微小距離檢測之用，因此叫作雷射干涉儀。通常機械位置檢出器的精度需為機械精度的 10 倍，而工具機的控制精度目前已提高到  $0.2 \mu\text{m}$  左右，換句話說，工具機檢出器的精度必須在  $0.02 \mu\text{m}$  以下，這已非尋常量測儀器與設備能力所能及了，因此雷射干涉儀目前廣泛被應用在工具機校正工作上。

至於雷射干涉儀之反射鏡都採用立方角反射鏡 (cube coner) 這是為了對準各道光束之中心，立方角反射鏡可以將入射的光線以平行於入射角度的方向將光線反射回去。原理就如同高速公路兩旁的反光交通設施一般，因此便不須去費心考慮反射鏡片中心是否對準、反射鏡片是否傾斜等問題了。雷射干涉儀所使用的光源為氦氖穩頻雷射，這是為了避免當雷射光源強度及波長有變化時，將使光干涉的結果產生不良的誤差，因此必須要有穩頻裝置。因此雷射干涉儀比 Michelson 干涉儀複雜的多，但從 Michelson 干涉儀的基本原理和調整方法中，吾人仍可進一步利用 Michelson 干涉儀來作一些微小距離檢測量測實驗。

#### a) 干涉圖形

以雷射光為光源，麥克森干涉儀很容易就可以得到下列三種圖形：

##### (1) 直線條紋：

將雷射光束直接經過分光鏡及兩反射鏡後，先不擴束，而將屏風上的兩點加以重合，此時即得直線的條紋(圖10)。

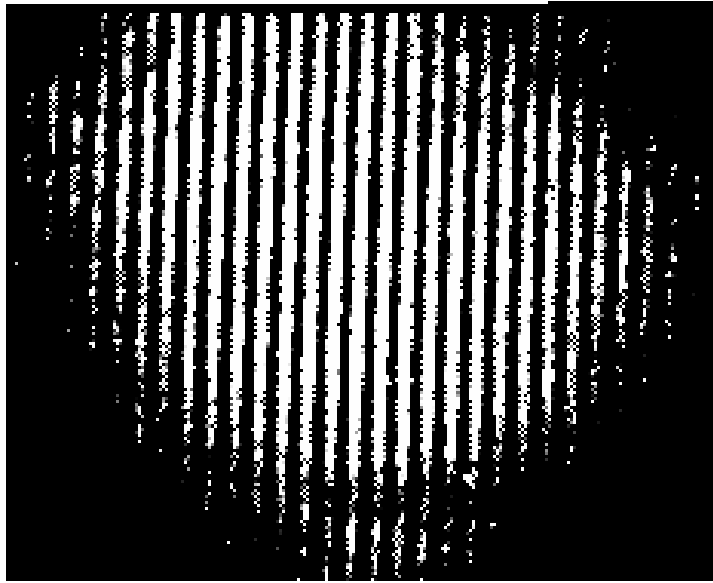


圖10 麥克森干涉儀之直線的條紋

由於雷射光束甚小，因此必須將干涉條紋用放大透鏡放大來看。欲將光點重合，可先鬆開磁力座作大調整，並確定光點能循原路返回分光鏡再入射至屏風，等屏風上出現的兩個光點距離相當接近時，即鎖住磁力座，而以微調螺絲來微調，微調螺絲有二：一用來控制光點左、右移動，一用來控制光點上、下移動。設分光鏡與 M1 的距離  $L_1$ ，分光鏡與 M2 的距離  $L_2$ ，則兩道光束分開後，所走的光程差大約為  $2(L_1-L_2)$ 。設雷射光在空氣中行走，其折射率為 1，且分光鏡很薄，(其厚度可忽略)因此如果反射面鏡 M1 固定不動，而 M2 移動了  $1/2$  個波長時，我們將發現干涉條紋，將由明而暗，再回復到明，亦即走了一個條紋數，我們可由條紋的變化量來計算 M2 到底走了多少距離。通常如無適當的移動機構或檢測器，將很難觀察到條紋變化量，與 M2 移動位移的關係，因為輕微的移動量即導致條紋劇烈的變化。從這點也可看出麥克森干涉儀的敏感程度。當環境不穩定時，例如有輕微的震動，干涉條紋即顯出猶如走馬燈一般的移動現象。

(2) 圓形條紋：

直線條紋為兩平行光束干涉的結果，而圓形條紋則為兩球面波光互相干涉的結果。若考慮反射鏡與反射鏡虛像的夾角  $\alpha$ ，光入射角  $\theta$ ，如圖17。前面的干涉條紋公式可改寫為  $2d \cos\theta = m \lambda$ ，其中

$$d = d_0 + x \tan\alpha$$

$$\text{而 } \cos\theta = \frac{h}{\sqrt{x^2 + y^2 + h^2}}$$

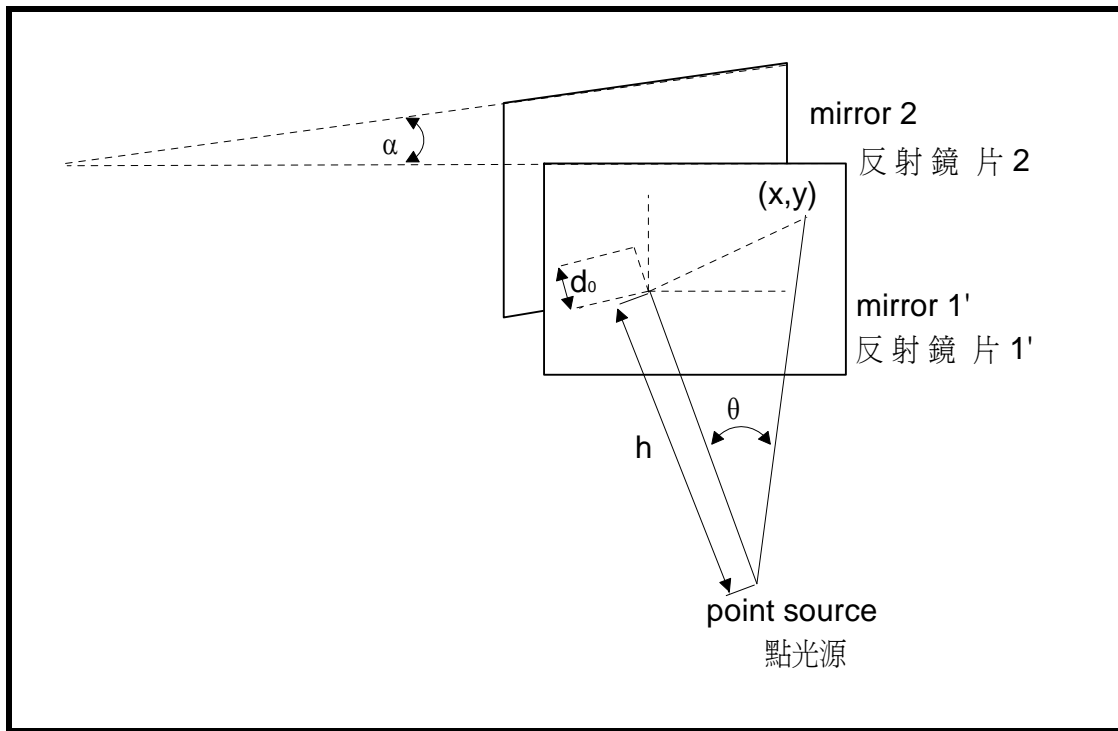


圖13 反射鏡與反射鏡虛像的幾何關係

進一步可將干涉條紋公式轉化為

$$m^2 \lambda^2 (x^2 + y^2 + h^2) - 4h^2 (d_0 + x \tan \alpha)^2 = 0$$

當  $\alpha$  近於 0 時，由干涉條紋公式干涉條紋可以看出干涉條紋為圓形。當  $\alpha$  很小， $h$  比  $x$ 、 $y$  大很多時，從干涉條紋公式干涉條紋可以看出干涉條紋為直線形狀。當  $\alpha$  較大， $h$ 、 $x$ 、 $y$  相近時，從干涉條紋公式干涉條紋可以看出干涉條紋為雙曲線形狀。

欲形成圓形條紋（圖 11），可將雷射光束經透鏡後造成球面波。此時須先注意雷射光點是否在反射鏡及分光鏡的中央位置，只要直線條紋得出來後，將透鏡移至雷射窗口前，即易得到圓形條紋，當看不到圓形條紋時，可先將 L1 與 L2 儘量接近，如果看不到條紋，則應將透鏡移開，先將光點確實重合，再裝入透鏡。不可盲目胡亂調整，否則光點會越調越偏，看到圓形條紋時，可能圓中心點不在中間位置，此時應先只動一個調整螺絲，當確定此螺絲再調整也不能改善干涉條紋位置時，即不動此螺絲，改調另一螺絲，如此反覆調整，最後即可得到優美的圓形條紋了。

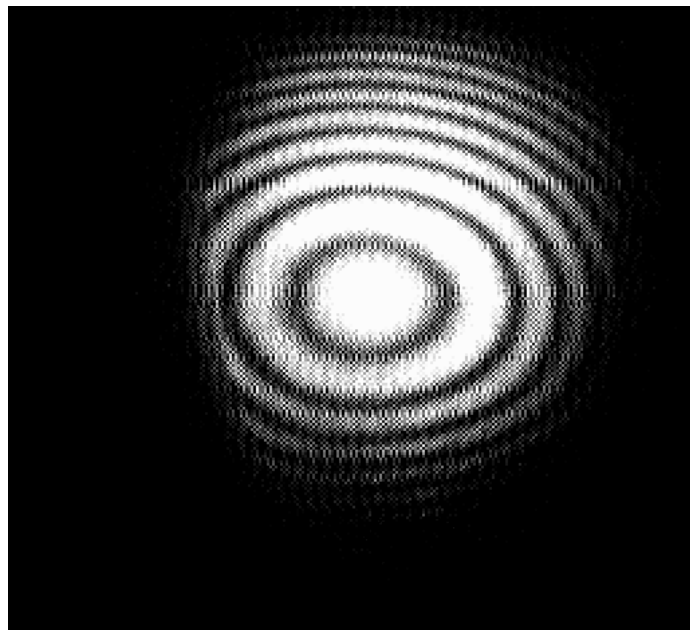


圖 11 麥克森干涉儀之圓形條紋

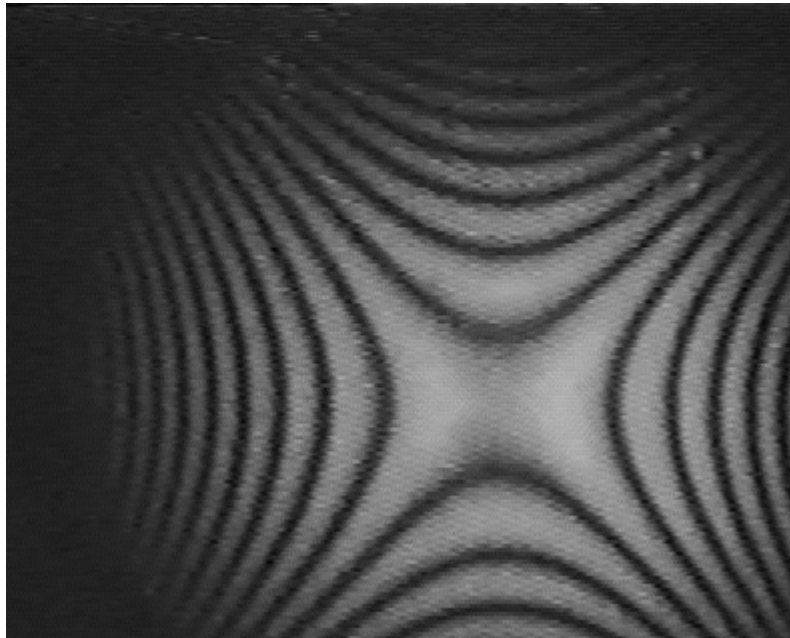


圖 12 麥克森干涉儀之雙曲線條紋

### (3) 雙曲線條紋：

雙曲線條紋（圖12）通常發生於兩個面鏡所呈之像不互相平行，但 L1 與 L2 極接近之時，其光學佈置與圓形條紋相同，但困難度稍高，須有耐心才能成功。其出現之主因則為未使用補償板之故。

#### b) 麥克森干涉儀於量測上之應用

##### (1) 平面度之數位化影像處理：

使用麥克森干涉的量測工作雖然簡單，但要利用干涉條紋來計算

待測面之平面度、平行度及高度卻是一件相當累人的工作。因此在工廠中的一個趨勢便是使用干涉條紋分析器，由照相機將干涉的條紋攝入電腦中，利用電腦來作空氣楔間隔及傾斜面之補償，最後可得到平面度或其他所需的數據，並可以將待測物表面狀況直接利用繪圖機輸出圖形。

麥克森干涉之平面度之數位化影像處理優點在於干涉條紋較清晰，而且影像處理可以任意取出分析，使檢驗不受限制。

## (2) 微小距離或角度之檢測

在長度量測方面，傳統的麥克森干涉儀有很大的貢獻，由於麥克森干涉儀的出現，使得人類開始以光的波長為長度測量的基準。由於雷射技術迅速的發展，因此目前世界上在長度測量的基準中，採用雷射作為光源。

假設麥克森干涉儀二片反射鏡的調整非常精確，二道光束幾乎平行重合，也因此明紋移向暗紋之方程式變為  $2d=m\lambda$ ， $m$  變更 1， $d$  必變更  $\lambda/2$ 。當反射鏡  $M$  接近於反射鏡  $M'$  時，條紋變得很寬，如反射鏡  $M$  在反射鏡  $M'$  外幾厘米，則條紋呈很密的圓形。如將反射鏡  $M$  慢慢移向反射鏡  $M'$ ，因之  $d$  逐漸減小，由方程式知因此圓紋漸縮小而消滅於中心，當  $2d$  減小  $\lambda$ ，或  $d$  減小  $\lambda/2$ ，即有一圓紋消失。利用這個條紋變動量便可去計算反射鏡  $M$  的改變量。如果考慮自行組裝麥克森干涉儀距離量測的實驗機構，便須注意到推動反射面鏡的裝置，市面上一般的微動分釐卡大都只提供到  $10\ \mu\text{m}$  的刻度，少數能夠達到  $1\ \mu\text{m}$  的解析度，但是仍然不能提供觀察者能仔細的觀察微小距離移動與條紋之間的變化。如果想要能夠清楚的數條紋變化量的話，必須設法使微動量減少到  $0.2\ \mu\text{m}$  左右。最簡短的一個方法，便是在機構中加裝一個槓桿，利用分釐卡輕微的推動槓桿，而槓桿將此  $1\ \mu\text{m}$  的移動量，依 5 比 1 到 6 比 1 的比例減小至  $0.2\ \mu\text{m}$  左右。槓桿的作用，除了能夠將位移依比例縮小外，尚有吸震的作用，如果反射面鏡直接裝上分釐卡裝置，我們將發現條紋很容易會一直動個不

停，這是由於分釐卡螺紋的間隙所造成的，如果加上槓桿及彈簧來吸震，便可消除這方面的困擾。

除了微小距離外，麥克森干涉儀尚可進行微小角度之檢測，如圖13所示，除了橫搖度(ROLL)無法檢測外，其他偏轉度(YAW)及俯仰度(PITCH)之微小角度之檢測，麥克森干涉儀皆能提供很高的精度。

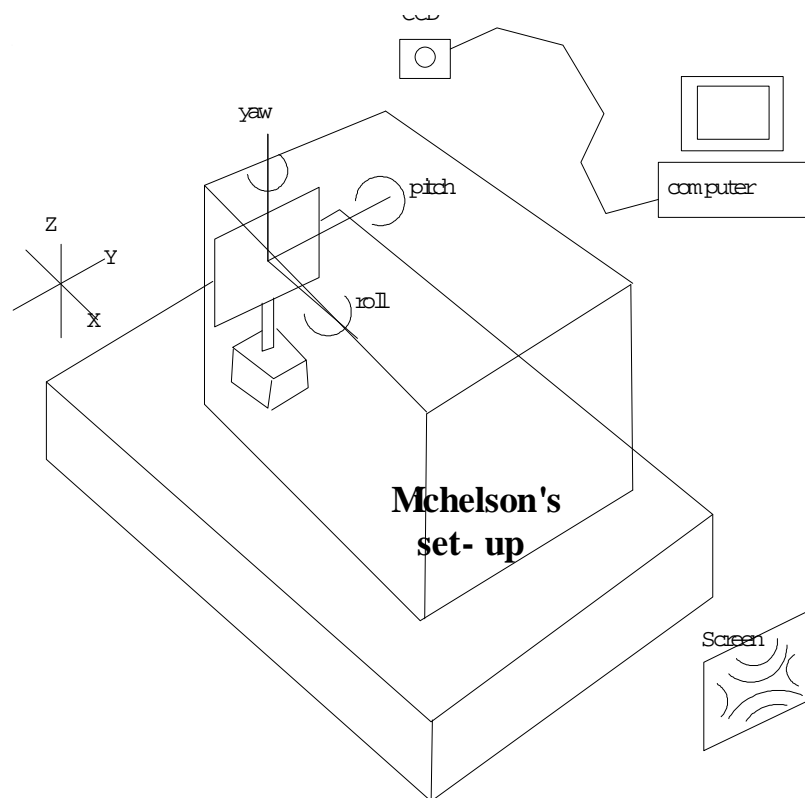


圖13 麥克森干涉儀微小角度之檢測

### (3) 非同調的單色光源波長校驗

非同調的單色光之干涉條紋會出現多道彩色的現象，可見非同調的單色光如氬氣燈及鈉燈光源其實頻寬仍然很大，現將非同調的單色光之波長列出如下：



汞	(MERCURY)	光源波長	0.546 $\mu$ m
氦	(HELIUM)	光源波長	0.588 $\mu$ m
鈉	(SODIUM)	光源波長	0.598 $\mu$ m
氬	(KRYPTON)	光源波長	0.606 $\mu$ m
鎘	(CADMIUM)	光源波長	0.644 $\mu$ m

#### (4) 光源同調長度之量測：

利用麥克森干涉儀做同調長度之檢驗的原理很簡單，因為麥克森干涉儀就是利用二片反射鏡的位置調整二道光束的路徑差，同一光源分出的二道光束，在經M1及M2二片反射鏡反射後，若其路徑差小於其同調長度（Coherent length），則重疊時會產生干涉而形成條紋，亦即如它們是相干的話，將形成干涉條紋。逐漸移動M，使干涉條紋對比為零，亦即二道光束此時已無相干之作用，也就不同調了。設此時M1及M2相隔一距離D，則光路徑差為一距離2D，而此路徑差2D恰為光源之同調長度。一般單色光如汞光源、氬光源，等同調性差，2D之值只有幾毫米（Hg燈同調長度20—30mm，Cd燈200mm）。

若以雷射為光源，由於雷射光的同調長度較長，如氬氬雷射同調長度通常約為數十公分，有些甚至可達數十公尺（提供工具機校正之用）。若使用點光源進行干涉時，二道光束的路徑差愈大或是夾角愈大，則條紋愈密，因此此時最好使用未經擴束的雷射光束作干涉，再將干涉後的雷射光束予以放大觀察。

在此要附帶的提醒一點：

麥克森干涉儀當兩道光光程差較大時，條紋對比會變差，有兩個原因，一是雷射同調性的問題，另一則是常為大家所忽略，就是雷射光擴束角的問題，由於雷射光嚴格說來很難是一平行光束，因此走得較遠的一束光，被擴束得較大，致使兩道光的亮度不一樣，自然干涉條紋的對比會較差了。

### (5) 工作系統穩定性之量測

觀察干涉條紋，用筆於牆上記錄下明紋與暗紋相互位置，當工作系統不穩定時，明紋將慢慢移向暗紋，因之可依此而得工作系統之穩定性。一般而言，干涉條紋的位置之所以會移動，最主要是因為二片反射鏡的位置有相對位移所引起，至於雷射、擴束器之相對位移則影響不大。許多防震系統穩定性之量測用探針（如圖14）位置感測器來檢測都相當困難，但使用麥克森干涉儀會將問題簡化許多。

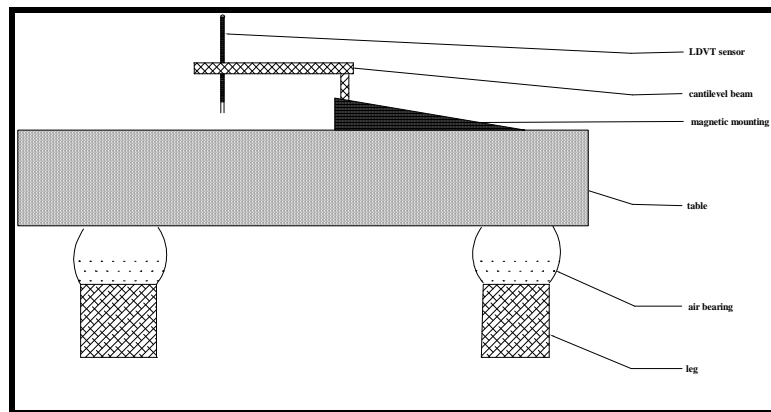


圖14 使用探針量測防震系統之穩定性

### (6) 空氣壓力場、溫度場、濕度場之量測

利用麥克森干涉儀的原理，讓光束分成兩路，一為參考光，一為待測光。其中待測光經過待測空氣壓力場、溫度場、濕度場，而與參考光會合後產生干涉，當待測場改變時，參考光因光波波長變化而產生相位變化，干涉條紋也會有變動，利用這個條紋變動量便可去計算溫度的改變量。如前所言，干涉條紋的位置及形狀，完全取決於二道光束的相位關係，如其中一道光束的相位有了變化，就會使干涉條紋偏移，雷射光波長受到空氣壓

力、溫度、濕度的改變而產生改變，因此會造成光束的相位的變化，相位改變量愈大，干涉條紋偏移量也就愈大。簡單的說，光波因空氣壓力改變 2.5 mmHg、溫度改變 1 °C、濕度改變 100 % 而產生的波長變化為一百萬分之一。

如將一支電阻棒加熱，放在其中一道光的路徑上，並使電阻棒造成之分隔線垂直於干涉條紋，則干涉條紋在該分隔線左右，會出現錯開的現象，從條紋錯開的程度，便可以約略判斷分隔線左右兩端的相位差，從而校驗出電阻棒的溫度場了。

### (7) 光學薄膜檢驗

依上述的方法，也可以從事光學薄膜之檢驗工作，因為光束會通過光學薄膜二次，如果二次的方向正好相差 180 °C，干涉條紋會出現從亮紋移向暗紋的錯開情形。

#### c) 實際操作：

- 架起雷射光及麥克森干涉儀、使雷射光形成干涉圖譜。
- 記錄分釐卡位置及微調待測螺絲之微調距離。
- 微小距離檢測，利用  $d=m/2 \lambda$  公式，以求出待測尺寸。
- 記錄雷射光所形成之干涉光點所在位置。
- 進行光源同調長度之量測。
- 進行空氣壓力場、溫度場、濕度場之量測。
- 進行工作系統穩定性之量測。
- 進行調整得到下列三種圖形：

a. 直線條紋：將雷射光束直接經過分光鏡及兩反射鏡後，先不擴束，而將屏風上的兩點加以重合，此時即得直線的條紋。

b. 圓形條紋：直線條紋為兩平行光束干涉的結果，而圓形條紋則為兩球面波光束互相干涉的結過果。欲形成圓形條紋，可將雷射光束經透

鏡後造成球面波。

c·雙曲線條紋：雙曲線條紋通常發生於兩個面鏡所呈之像不互相平行，但 L1 與 L2 極接近之時，其光學佈置與圓形條紋相同，但困難度稍高，須有耐心才能成功。

## 空間濾波器

空間濾波器(Spatial Filter)為物鏡與針孔所組合而成的，如圖 9-1-5，它可以擴大雷射光束並且達到濾波的效果。

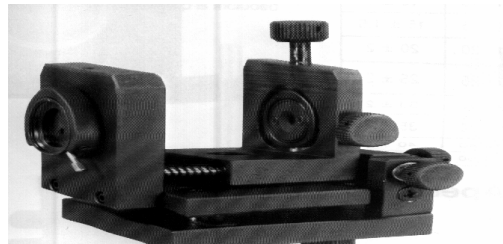


圖 9-1-5 空間濾波器

空間濾波器的原理很簡單，雷射光經物鏡(圖 15)後先是聚焦於焦點上，而後擴束放大，我們在透鏡的焦點上放置一個針孔，所謂濾波，指的是對光場空間頻率過濾行為。而非過濾雷射之頻率。一道接近平行的光束，它的空間頻率很低，甚至是零，而它經透鏡後將聚焦於光軸焦點上，換句話說，它能很容易的通過置於焦點上的針孔。至於光束中混入的雜訊，通常它的空間頻率較高，因此經透鏡後將聚焦在離光軸焦點較遠的周圍，而無法通過置於焦點上的針孔。空間頻率一定具有 x、y、z 三軸的微動機構，以便將針孔的位置調整到透鏡的焦點處。好一點的空間濾波器還有水平俯仰及左右偏擺的調整功能。

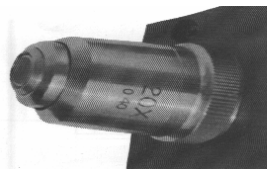


圖 15 物鏡

可以想見，物鏡的品質越好，針孔的孔徑越小，光場的品質越好。

物鏡的倍率通常視照物光場及參考光場之需求而定，一般規格是 20 倍物鏡配 20 $\mu\text{m}$  的針孔，針孔之電子顯微檢視如圖 16。

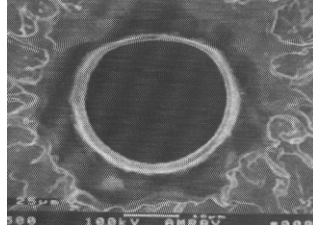


圖 針孔之電子顯微檢視

### 參考文獻

1. 林宸生，"光電精密量測"，全欣資訊書局，民國 82 年 7 月
2. 林宸生，全像干涉術的檢測原理及實務，機械技術雜誌，民國 79 年 1 月 1 月
3. 胡錦標、林宸生、謝宏榮等"精密光電技術" 高立書局，民國 79 年 1 2 月
4. 林宸生、陳億成、林文豐、謝宏榮，"精密量具與機件檢驗" 全欣資訊書局，民國 83 年 3 月
5. 胡錦標，曹培熙，"雷射光學實驗—雷射光電系列(一)" 台大慶齡，民國 75 年
6. Francis A. Jenkins "Fundamentals of Optics"  
4th Edition , Holt, Rinehart and Winston, CH3 (1975)
7. W. H. A. Fincham "Optics" , 8th Edition, CH5 (1934)