

EE110300 電機資訊工程實習

Lecture 12 光電簡介與實驗展示

電機工程學系 光電組

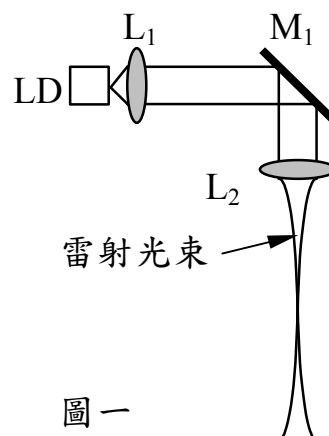
電機與資訊科學領域中，光學或光電科技具有絕對的重要性，尤其近年來半導體技術的飛快進步，數據的產生、處理、儲存與傳送速率急遽成長，傳統電機以處理電訊號為主的系統功能，逐漸趨於飽和，而光電的高速、高解析度、與高容量特性，開創出另一無限發展的空間，光電科技無疑是未來高科技研發與工業生產的重點。

光學與光電科技遠景明確可期，要投入此領域的電機資訊學生，除了基本的電機課程，例如工程數學、電子學、電磁學、近代物理之外，必須多充實有關光學的課程，例如光電工程導論、雷射原理與應用、光波導概論、光纖通訊、高等電磁理論、非線性光學等學科，這些科目，同學們在以後的大學或研究所歲月，將有機會逐步的學習，我們今天的課目，只簡單介紹與展示雷射光的一些特性與應用。

一、雷射光束特性

1.主旨：讓學生觀察雷射光束的形狀，瞭解一些簡單的特性參數。

- 2.設備：
- (1)二極體雷射(可見光)：LD
 - (2) x5 物鏡：L₁
 - (3)反射鏡：M₁
 - (4) f = 150 mm 凸透鏡：L₂
 - (5) f = 50 mm 凸透鏡：L₂



圖一

(6)雷射驅動電源

(7)鏡架與紙片

3.裝置架構：

依照圖一，將雷射 LD、物鏡 L_1 、凸透鏡 L_2 、反射鏡 M_1 架設於光學桌，連接 LD 與雷射驅動電源。

4.實驗觀察：

打開雷射驅動電源，用紙片沿著雷射光束的傳播路徑攔截，我們可看到雷射光束截面的形狀與大小，隨著光束行進的距離而改變，這種雷射光束在我們日常生活可說是時常見到的，例如舞台秀的各色雷射光束，演講用的紅色雷射光筆，一點都不稀奇，可是，要深入瞭解雷射光束的傳播特性，必須經過精密的實驗測量與理論的推導計算，這些過程可留待以後進一步學習。

我們可觀察在凸透鏡 L_2 之後的雷射光束變化情形，知道雷射光束先聚焦，之後又擴散開來，一般我們可用函數 $I(x,y,z)$ 描述雷射光束強度在空間的變化情形，其中， z 是光束進行的方向， x, y 是光束截面的座標軸，經過理論推導， $I(x,y,z)$ 可被寫為

$$I(x,y,z) = \frac{2P}{\pi w^2(z)} \exp\left\{-\frac{2(x^2 + y^2)}{w^2(z)}\right\} \quad (1)$$

其中 P 是雷射功率[單位：瓦(watt)]， w 稱為雷射光點半徑，它隨光束進行的距離而改變，可寫為

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_0)^2} \quad (2)$$

其中 $z_0 = \pi w_0^2 / \lambda$ ， λ 是波長， w_0 是光束的特性參數。

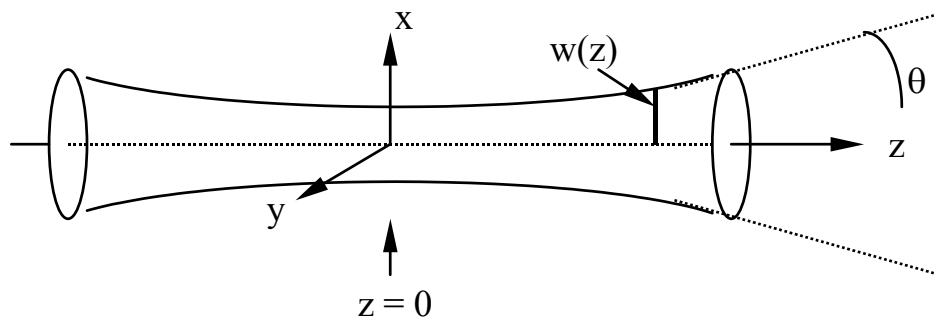
式(2)告訴我們以下幾點：

- (1) 雷射光束是以 $z = 0$ 為基準的對稱形狀，光點半徑最小之處被定義為 $z = 0$ ，稱為光束的腰部，腰部光點半徑 w_0 以及波長 λ ，決定了雷射光束的所有空間分佈形狀。
- (2) z_0 代表光束聚焦或擴散速率， $z = z_0$ 之處，光點半徑變成腰部的 $\sqrt{2}$ 倍，亦即， $w(z_0) = \sqrt{2} w_0$ 。
- (3) z_0 與 w_0 之間的關係決定於波長，對於相同波長的光束， w_0 愈小則 z_0 愈小，也就是說，腰部愈細，光束擴散愈快。相對的，對於波長不同的光束，若腰部半徑 w_0 相同，波長愈大則 z_0 愈小，也就是說，波長愈大，光束擴散愈快。
- (4) 在 $z \gg z_0$ 之處， $w(z)$ 可估算為 $w(z) = \lambda z / \pi w_0$ ，光點擴大的速率正比於行進的距離，通常定義光束的半發散角 θ 為

$$\theta = \frac{dw(z)}{dz} = \lambda / \pi w_0 \quad (3)$$

也就是說，波長愈大或腰部愈細，光束發散角愈大。

- (5) 光束的形狀可繪如圖二



圖二

(6) 圖一的裝置架構中，我們可藉使用各種焦距的凸透鏡 L_2 ，獲得各種不同特性參數的雷射光束。

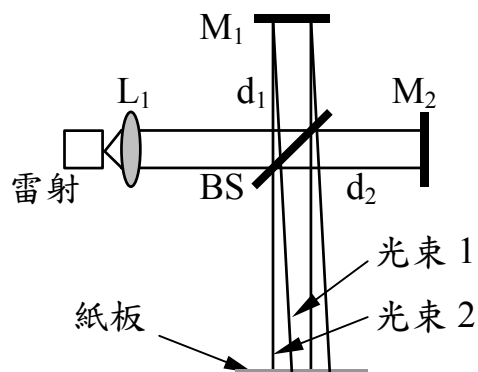
5. 進階應用

在各種光電系統中，雷射光束必須被設計成適當的光點大小、聚焦或擴散狀態，時常需要配合雷射波長，使用一個或多數透鏡組合，達到所需的光束特性，例如，將雷射投射到人造衛星的雷射通訊系統，將雷射聚焦到眼球角膜的視力矯正手術等等，需要精細設計所需的雷射光束參數，並且尋找可行的透鏡組合，這些工作有賴高深的雷射光學訓練與研究。

二、光波干涉

1.主旨：讓學生觀察光波干涉現象，瞭解基本光學干涉原理。

- 2.設備：
- (1)雷射(可見光)：
 - (2)凸透鏡： L_1
 - (3)反射鏡： M_1, M_2
 - (4)分光反射鏡：BS
 - (5)鏡架與紙板



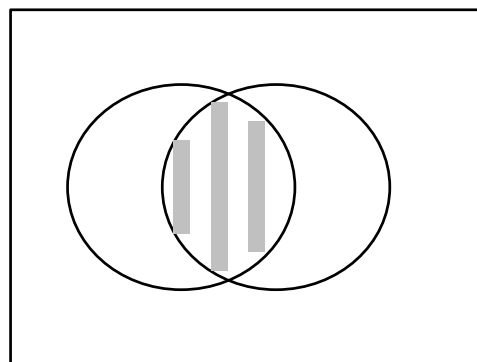
3.裝置架構：

圖一

依照圖一，將雷射、透鏡 L_1 、分光反射鏡 BS、反射鏡 M_1 與 M_2 架設於光學桌，連接雷射驅動電源。

4.實驗觀察：

打開雷射驅動電源，調整反射鏡 M_1 與 M_2 ，使光束 1 與光束 2 在紙板上有一部分重疊，於是我們可看到有如圖二的明暗干涉條紋，出現在光束重疊之處。



圖二

干涉現象是波的重要特性，水波、聲波、電磁波都可產生干涉，無線電波與光波屬於電磁波，無線電波的波長很大，我們不易觀測它的干涉，而可見光波能在很小的範圍呈現干涉條紋，並且用眼睛可直接觀察。

干涉的基本原理很簡單，以圖一的架構為例，光源發出的光波被分成兩個光束，光束 1 是經分光鏡 BS 與反射鏡 M_1 反射到紙板，光束 2 則經反射鏡 M_2 與分光鏡 BS 反射到紙板，在重疊處的兩光波因行進路線不同而有

光程差 $\Delta d = 2(d_2 - d_1)$ ，於是兩光波之間有相位差 $\delta = 2\pi\Delta d/\lambda$ ，當 δ 等於 2π 的整數倍時，亦即 $\delta = 2q\pi$ (q 為任意整數)，兩光波形成建設性干涉而出現亮紋，當 $\delta = (2q+1)\pi$ 時，則為破壞性干涉的暗紋。

兩光波重疊處的光強度 I ，可經由理論推導而得下式

$$I = I_1 + I_2 + 2(I_1 I_2)^{1/2} \cos(\delta) \quad (1)$$

其中， I_1 、 I_2 分別是二光波的強度，由式(1)得知， I 隨相位差 δ 而變，最亮處的光強 $I_{\max} = I_1 + I_2 + 2(I_1 I_2)^{1/2}$ ，最暗處則為 $I_{\min} = I_1 + I_2 - 2(I_1 I_2)^{1/2}$ ，我們可定義干涉條文的明暗對比為

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{2(I_1 I_2)^{1/2}}{I_1 + I_2} \quad (2)$$

由式(2)得知，兩光波強度相近時，明暗對比最大，相反的，若兩光波強度差異太大，則不易看到干涉現象。

圖一的實驗裝置中，仔細觀察可發現干涉條紋在移動，若用手輕推反射鏡 M_1 或 M_2 ，則干涉條紋迅速移動，此乃因光程差 Δd 或相位差 δ 改變之故，由式(1)得知， Δd 每變化 $\lambda/2$ ，則 δ 變化 π ，干涉亮的地方將變為暗，因此，光學干涉對距離變化非常敏感，細微的震動，就可能使干涉條紋模糊而不易辨別。

5. 進階應用

前面的敘述僅考慮簡單的情形，深入討論光學干涉現象時，尚須考慮的因素有(1)光源的同調性，(2)光波的偏極方向，(3)兩光波的行進方向夾角，(4)光波的橫向光場分佈，這些因素，均可用物理與數學理論的計算加

以描述，有興趣的同學，可在最近的未來，修習工程數學、向量分析、複變函數、電磁學與光學方面的課程。

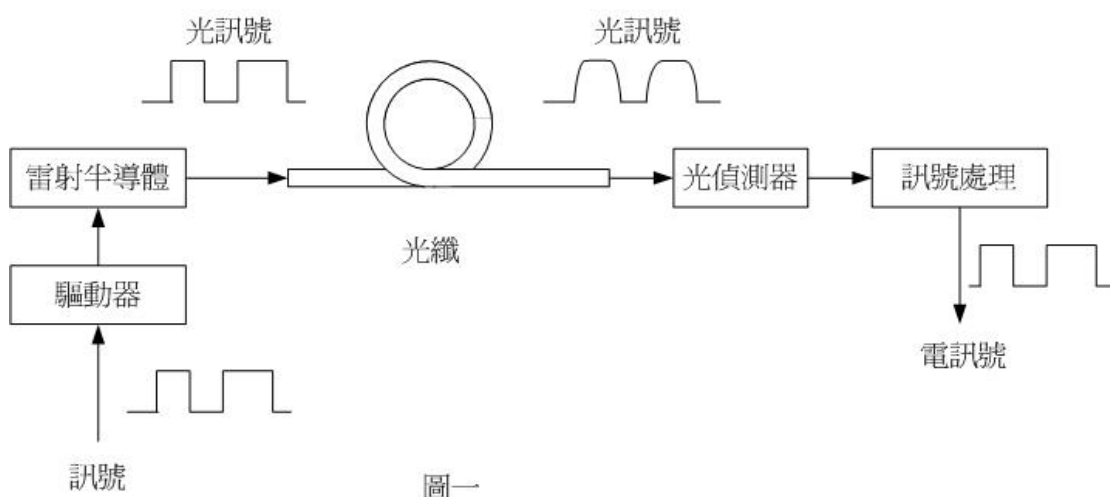
光學干涉在光電科技中有廣泛而重要的應用，例如，雷射干涉儀用於精密的長度或厚度測量，鏡像干涉儀用於鏡片表面的細微粗糙偵測，全象干涉技術用於光學資訊儲存以及非接觸材料檢測，麥克森干涉儀用於紅外光譜研究，等等，有關光學干涉的工業應用與科學研究，需要基礎優秀而訓練有素的科技人才，也是年輕理工學者可深入學習的領域。

三、光通訊示範

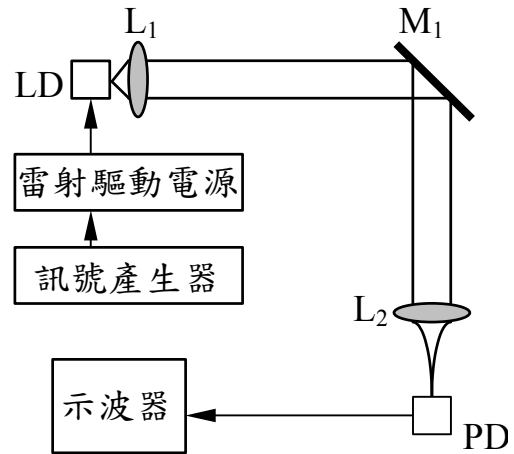
1.主旨：讓學生瞭解簡單的光通訊原理與系統。

2. 通訊原理：

現階段光通訊一般指的是光纖通訊，即使用光纖作為傳播介質而將光的訊號傳送至目的地的技術。光訊號一般為數位訊號（有些系統傳送的是類比訊號，像有線電視系統即是；不過將來可能改為數位系統），可以以高速率的方式傳送，例如每秒可傳 10^9 個位元（bit），甚至數十倍。與傳統同軸線的資料傳送速度來比，可謂大幅度的改善。數位光訊號是以有光和無光的方式來代表位元“1”和“0”，而產生有光和無光的時序就要靠驅動雷射了。圖一是一般光通訊的系統方塊圖。



- 3.設備：
- (1)二極體雷射(可見光)：LD
 - (2) x5 物鏡：L₁
 - (3)反射鏡：M₁
 - (4)雷射驅動電源
 - (5)訊號產生器
 - (6)聚焦透鏡：L₂
 - (7)光偵測器：PD
 - (8)示波器



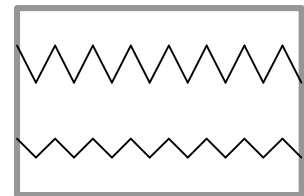
圖二

4.裝置架構：

依照圖一，將雷射 LD、物鏡 L₁、透鏡 L₂、反射鏡 M₁、光偵測器 PD 架設於光學桌，連接雷射 LD 與雷射驅動電源，連接訊號產生器與雷射驅動電源，連接示波器與光偵測器 PD。

5.實驗觀察：

打開雷射驅動電源、訊號產生器、光偵測器 PD 與示波器，調整 M₁ 與 L₂ 使雷射光射入光偵測器 PD，此時，示波器的螢幕可反應出 PD 所接收的訊號，調整訊號產生器的輸出波形、頻率與振幅，觀察示波器的訊號變化，有如圖二的波形。



圖三

與一般無線電通訊一樣，光通訊是將訊號載乘于光波之中，經空間傳

播到接收器，再把訊號還原，因此，發射端包含光源與訊號調制電路，接收端包含光偵測器與訊號解調電路，發射端與接收端之間為傳播介質，通常是自由空間或光纖，以及一些瞄準追蹤設備。

一般光通訊使用類似 AM 收音機的調幅方式，發射端的雷射光強度 I 有某些分量正比於訊號 $f(t)$ ，亦即

$$I(t) = I_0 + \beta_1 f(t) \quad (1)$$

其中， I_0 是雷射功率， β_1 是一常數，接收端的聚焦透鏡將雷射光收集到光偵測器 PD，而 PD 的輸出電壓 V_{PD} 正比於所收集的光強度，亦即，

$$V_{PD}(t) = \beta_2 I(t) = \beta_2 I_0 + \beta_1 \beta_2 f(t) = V_{PD0} + kf(t) \quad (2)$$

其中 β_2 是決定於傳播過程與接收效率的另一常數，於是我們可用一些電子線路，從 $V_{PD}(t)$ 中還原訊號 $f(t)$ 。

從圖一的實驗裝置，我們可瞭解下面幾點，

(1) 頻率低時，示波器顯示 $kf(t)$ 中的 k 值是一常數。

(2) 頻率高時， k 值變小，而且波形有些失真。

(3) 由於環境的背景光線也會被偵測器收集， V_{PD} 中存在一些雜訊。

自由空間光通訊的 β_2 值很小，雜訊大，不容易獲得良好的通訊品質，因此，通常遠距離光通訊使用光纖波導傳遞光波，不但訊號損耗很小，而且幾乎無雜訊干擾。

6. 進階應用

光通訊的科技中，提高偵測靈敏度、提高響應頻率、克服雜訊干擾以及降低系統成本，是研究發展的重要課題，使用各種訊號調制方式，例如

調頻(FM)、調相(PM)、調脈寬(PCM)，可得較佳的通訊品質，使用高速雷射與光偵測元件，可得更高的數據傳播速率，使用多波長的光纖傳輸元件(即所謂的 WDM 元件)，可得極寬的訊號傳輸頻道，這些研究發展，牽涉相當深入的光電與通訊原理，不但提供光電科技無限成長空間，也是同學們可追求的極佳目標。

參考資料：

1. Hecht and Zajac, “Optics 3rd ed.”
2. M. Young, “Optics and Lasers”