

實驗二十 微波實驗 I

實驗目的：

探討微波性質，如波長 λ 、能量衰減、反射與折射現象。利用麥克森干涉原理計算微波波長 λ 與塑膠板折射率 n 。

實驗儀器：

微波發射器，微波接收器，旋轉刻度尺(含角度計)，L型刻度尺，稜鏡模型(含聚苯乙烯顆粒)，轉動基座，基座，旋轉平台，反射板，分波板(木板)，塑膠板，游標尺

實驗原理：

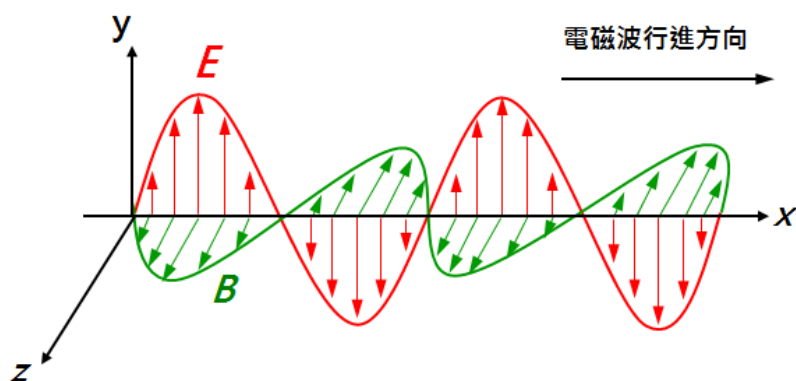
電磁波是由電場 \vec{E} 與磁場 \vec{B} 所組成的波動，可於真空中傳遞電能和磁能。而微波屬於電磁波的一種，其波長介於 $10^0\text{ m} - 10^3\text{ m}$ ，行進方向可由馬克斯威爾方程式(Maxwell Equation)來決定。電磁波其電場 \vec{E} 與磁場 \vec{B} 相互垂直，且分別與波行進方向垂直，而波的行進方向係由 $\vec{E} \times \vec{B}$ 決定。如圖一所示，若電場振動方向為 \hat{y} ，磁場振動方向為 \hat{z} ，則電磁波行進方向為 \hat{x} 。

電磁波在真空中的傳播速率相當於光速 c ，而光速 c 可表示為 $c = f\lambda$ (f 為頻率， λ 為波長)。若使電磁波於折射率為 n 的介質中傳遞，其傳播速率 v 可表示為 $v = c/n$ 。

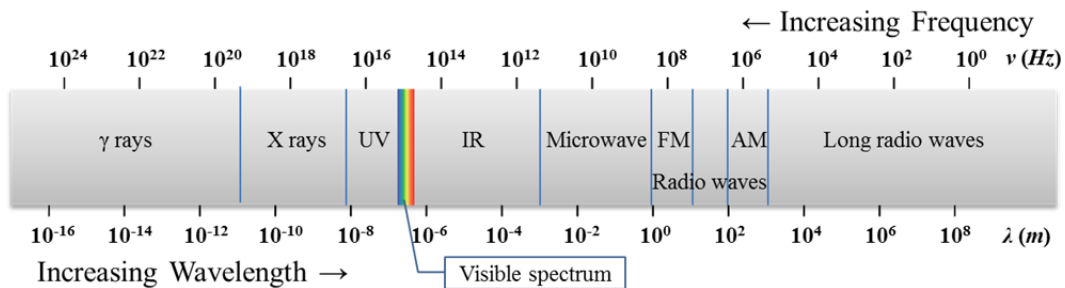
[註] 光速 $c = 3 \times 10^8\text{ m/s}$ 。

圖二為電磁波頻譜圖。微波為波長介於 $1\text{ m} \sim 1\text{ mm}$ 且微波頻率介於 $300\text{ MHz} \sim 300\text{ GHz}$ 電磁波。

[註] 本實驗中，微波波長為 2.85 cm 。



圖一 電磁波行進方向示意圖



圖二 電磁波頻譜圖

在本實驗中，微波發射器與接收器前端金屬罩設計為喇叭型，用以增加微波的方向性。微波發射器是由二極體元件所構成，用以發射微波訊號；微波接收器是由晶體檢測器元件(軸向二極體)所構成，可將接收到電訊號以電流方式呈現於讀數表內。

A. 駐波現象

微波接收器並非完美接收器，當發射器與接收器相向放置時，接收器並無法完全接收微波訊號，因此會有部分微波被反射。如此一來，微波便會於發射器與接收器間來回反射形成駐波。

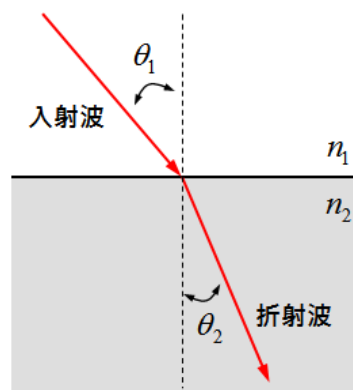
由駐波原理可知，相鄰兩波節(或波腹)距離為半波長。因此可藉由測量駐波相鄰兩波節(或波腹)距離計算微波波長與微波頻率。

B. 以斯乃耳定律測量介質折射率

如圖三所示，當電磁波入射至兩個不同介質時，其行進方向將會產生偏折，即折射現象，而其入射角與折射角的關係可由斯乃耳定律(Snell's Law)。

假設兩介質折射率分別為 n_1 及 n_2 (折射率為電磁波在真空與介質中傳遞速率的比值)，當電磁波以 θ_1 入射至介質時，電磁波偏折為 θ_2 ，則

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad \Rightarrow \quad \theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{n_1 \sin \theta_1}{n_2} \right)$$

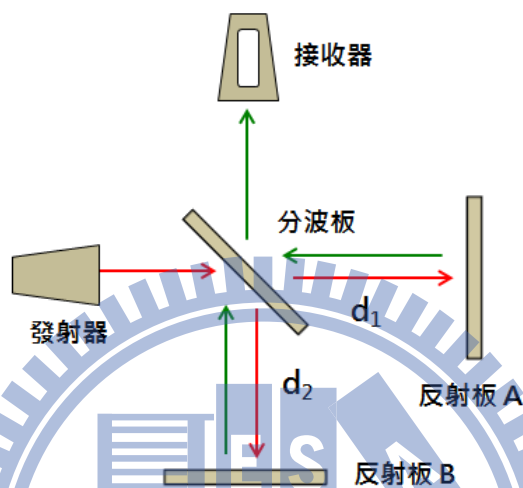


圖三 斯乃耳定律示意圖

C. 應用麥克森干涉原理

(a) 測量微波波長 λ

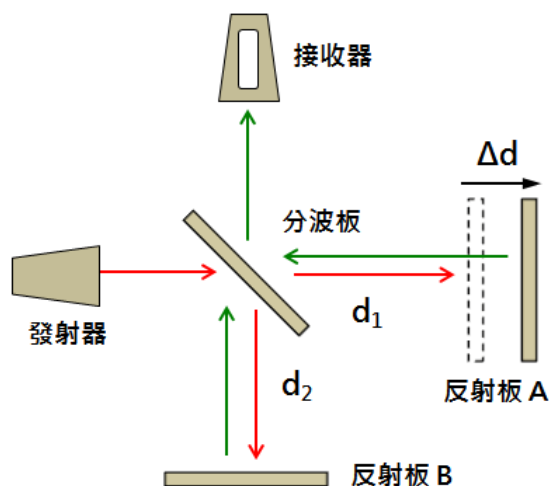
如圖四所示，由微波發射器發射微波入射分波板(木板)時，分波板會將微波分為兩部分，其中一部分微波會穿透分波板入射至反射板A，而後再依序經由反射板A與分波板反射至接收器；另一部分微波會經由分波板反射入射至反射板B，而後再經由反射板B反射並穿透分波板至接收器。如此一來，經由反射板A與反射板B反射至接收器的電訊號即會產生干涉現象。



圖四 麥克森干涉示意圖 I

當反射板 B 距離固定為 d_2 時，前後移動反射板 A，使接收器測量到某極大值訊號時，即表示經由反射板 A 與反射板 B 反射至接收器的電訊號形成建設性干涉。若此時分波板與反射板 A 距離為 d_1 ，則兩波波程差可表示為 (其中， λ 為微波波長)

$$2(d_1 - d_2) = m\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$



圖五 麥克森干涉示意圖 II

如圖五所示，若再將反射板 A 向後移動 Δd ，使接收器測量到下一個極大值訊號（仍為建設性干涉）。此時，分波板與反射鏡 A 距離為 $d_1 + \Delta d$ ，則兩波波程差可表示為

$$2(d_1 + \Delta d - d_2) = (m+1)\lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

將公式(2)代入公式(1)，即可求得微波波長 λ

$$\lambda = 2\Delta d$$

承如上述亦可由破壞性干涉方式求取微波波長 λ 。

(b) 測量介質折射率 n

實驗架設如圖四，調整反射板 A 的位置使接收器訊號為某一極大值，即產生建設性干涉。若將厚度 t 且折射率 n 的待測介質置於分波板與反射板 A 之間時，兩波波程差可表示為 $2[(d_1 + nt - t) - d_2]$ 。在此狀態下接收器所收到的訊號非極大或極小值，並不滿足建設性或破壞性干涉。此時，若將反射板 A 向前移動 Δd ，使接收器測量到某一極大值，則兩波即會滿足建設性干涉，則兩波波程差可表示為

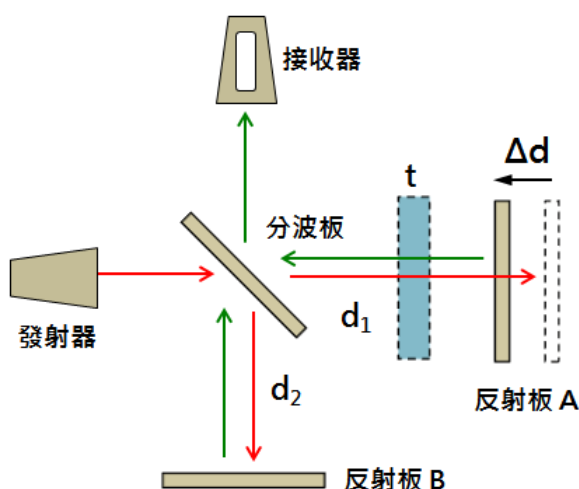
[註] 微波於待測介質內所形成的波程為 nt 。

$$2[(d_1 + nt - t - \Delta d) - d_2] = m\lambda \quad (3)$$

將公式(3)代入公式(1)，即可求得待測介質折射率 n

$$(n-1)t - \Delta d = 0$$

$$\Rightarrow n = \frac{t + \Delta d}{t}$$



圖六 麥克森干涉示意圖 III

注意事項：

1. 因微波對人體有害，故眼睛不可直視微波發射器。
2. 實驗時應減少桌面上物品，以防微波反射影響實驗結果，尤其是金屬物品。
3. 開啟微波接收器前，應先確認準位調整旋鈕已逆時針轉至最小。開啟電源後應注意讀數表內數值是否超過 1.00 mA，若超過 1.00 mA，應立即關閉電源並通知助教。
4. 每組實驗操作前後皆應將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小，同時應移除發射器電源。

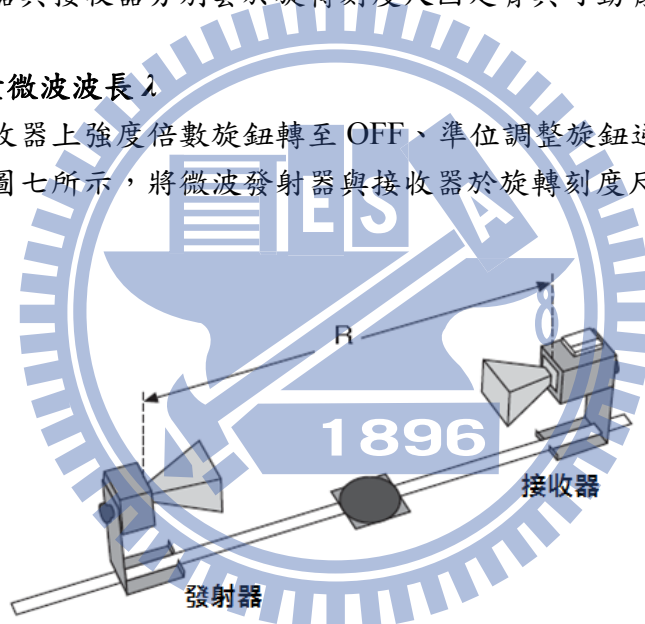
實驗步驟：

➤ 實驗前準備

1. 將微波發射器與接收器後端角度設為相同角度(例 0.0°)。
2. 將微波發射器與接收器分別套於旋轉刻度尺固定臂與可動臂上。

A. 以駐波現象測量微波波長 λ

1. 先將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小。
2. 實驗架設如圖七所示，將微波發射器與接收器於旋轉刻度尺上相向放置。



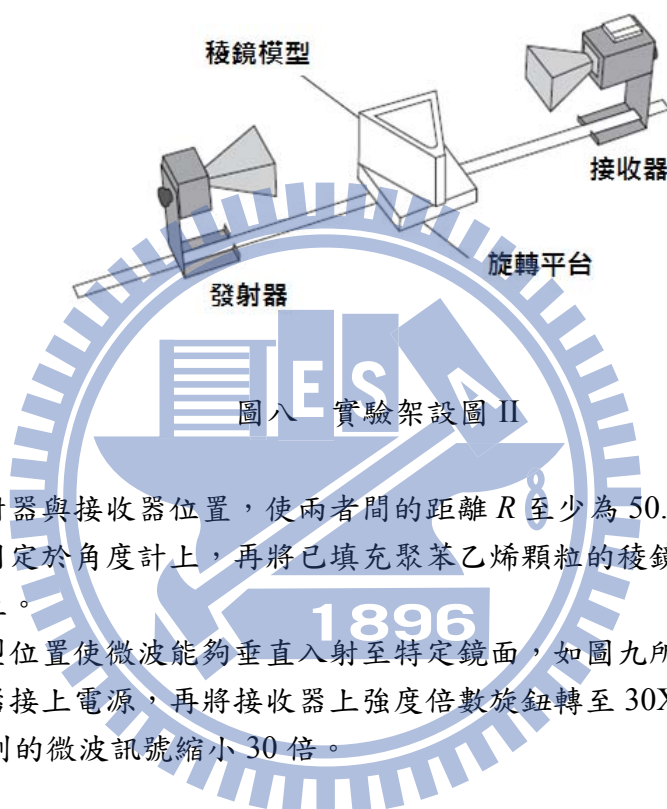
圖七 實驗架設圖 I

3. 調整微波發射器與接收器位置，使兩者間的距離 R 至少為 50.00 cm。
4. 將微波發射器接上電源，再將接收器上強度倍數旋鈕轉至 30X。
[註] 將所收到的微波訊號縮小 30 倍。
5. 前後微調微波接收器位置，使讀數表內數值為一極大值 (Local maxima)。
6. 調整準位調整旋鈕，使讀數表內數值(極大值)等效放大至 1.00 mA。記錄微波接收器位置與讀數表內數值(1.00 mA)。
7. 緩慢**向後**移動微波接收器，當讀數表內數值降到某一極小值時，記錄微波接收器位置與讀數表內數值。
8. 繼續**向後**移動微波接收器，當讀數表內數值升到某一極大值時，記錄微波接收器位置與讀數表內數值。

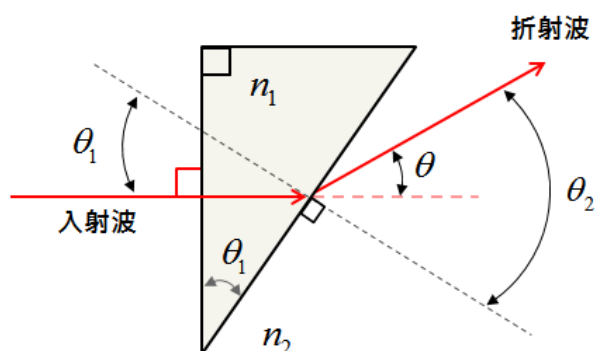
9. 重覆上述步驟，依序記錄微波接收器達極大值、極小值、極大值與極小值...時，接收器位置與讀數表內數值。
10. 計算微波波長 λ 與微波頻率 f 。
11. 作 $I-R^{-1}$ 與 $I-R^{-2}$ 關係圖，觀察微波屬於平面波或球面波。

B. 以斯乃耳定律測量聚苯乙烯折射率 n

1. 先將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小。
2. 實驗架設如圖八所示，將微波發射器與接收器於旋轉刻度尺上相向放置。



3. 調整微波發射器與接收器位置，使兩者間的距離 R 至少為 50.00 cm。
 4. 將旋轉平台固定於角度計上，再將已填充聚苯乙烯顆粒的稜鏡模型(封口朝上)置於旋轉平台上。
 5. 調整稜鏡模型位置使微波能夠垂直入射至特定鏡面，如圖九所示。
 6. 將微波發射器接上電源，再將接收器上強度倍數旋鈕轉至 30X。
- [註] 將所收到的微波訊號縮小 30 倍。



圖九 微波入射稜鏡模型示意圖

7. 於微波折射方向轉動可動臂，當微波接收器所測得訊號達最大值時，記錄可動臂對應角度 θ 。

8. 已知稜鏡模型中 $\theta_1 = 22.0^\circ$ ，代入公式即可計算折射角 θ_2 。

$$\theta_2 = \theta_1 + \theta$$

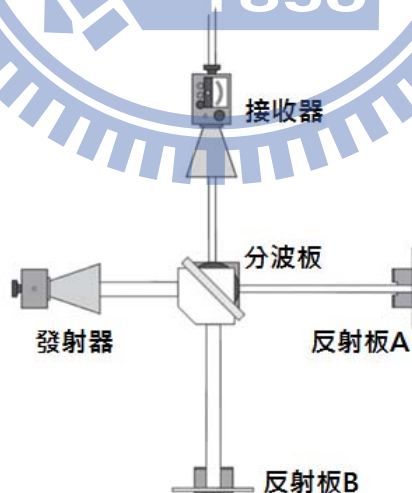
9. 由斯乃耳定律，計算聚苯乙烯顆粒折射率為 n_1 。

$$n_1 = \frac{n_2 \sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_2 \sin(\theta_1 + \theta)}{\sin \theta_1}$$

C. 應用麥克森干涉原理

(a) 測量微波波長 λ

1. 先將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小。
2. 實驗裝置如圖十所示，將 L 型刻度尺置於旋轉刻度尺上方。
3. 將微波發射器、接收器與基座分別套於四臂上，再將金屬板吸附於基座上作為微波反射板。
4. 將旋轉基座置於角度計上，再將分波板(木板)板吸附於旋轉基座上，轉動旋轉基座使微波以 45.0° 入射分波板。
5. 將微波發射器接上電源，再將接收器上強度倍數旋鈕轉至 30X。
[註] 將所收到的微波訊號縮小 30 倍。
6. 固定反射板 B 位置，再前後微調反射板 A，使讀數表內數值為一極大值，記錄反射板 A 位置為 d_1 。
7. 調整準位調整旋鈕，使讀數表內數值(極大值)等效放大至 1.00 mA。



圖十 實驗架設圖 III

8. 向後移動反射板 A，當讀數表內數值出現極大值時，記錄反射板 A 位置為 d'_1 。
9. 計算產生兩極大值時，反射板 A 移動距離 $\Delta d = d'_1 - d_1$ 。


10. 計算微波波長 λ 。

$$\Delta d = d'_1 - d_1$$

$$\Rightarrow \lambda = 2\Delta d$$

(b) 測量塑膠板折射率 n

1. 先將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小。
2. 以游標尺測量塑膠板厚度 t 。
3. 固定反射板 B 位置，再前後微調反射板 A，使讀數表內數值為一極大值，記錄反射板 A 位置為 d_1 。
4. 將待測塑膠板置於半透板與反射板 A 之間。
5. **向前**移動反射板 A，當讀數表內數值出現極大值時，記錄反射板 A 位置為 d'_1 。
6. 計算產生兩極大值時，反射板 A 移動距離 $\Delta d = d'_1 - d_1$ 。
7. 計算塑膠板折射率 n 。


$$n = \frac{t + \Delta d}{t}$$

實驗問題：

1. 理想的平面波與球面波其強度與距離的關係為何？是否可由實驗結果推測微波是屬於平面波或球面波？試說明之。
2. 本實驗是將聚苯乙烯顆粒裝填於稜鏡模型中再去計算聚苯乙烯折射率，若改用完整聚苯乙烯模型進行實驗，所得實驗結果是否相同？試說明之。
3. 以麥克森干涉方式測量塑膠板折射率 n 時，依實驗步驟是將反射板 A 向前移動進而取得實驗結果。倘若是將反射板 A 向後移動是否可得相同實驗結果？試說明之。
4. 是否可利用微波來進行狹縫實驗？若可行，此狹縫有什麼限制，試說明之。