

實驗二十一 微波實驗 II

實驗目的：

探討微波偏振現象並驗證馬呂士定律與布魯斯特角。

實驗儀器：

微波發射器，微波接收器，旋轉刻度尺(含角度計)，金屬柵欄，轉動基座，旋轉平台，塑膠板，游標尺

實驗原理：

A. 偏振

偏振(或稱偏極化 polarized)為橫波才有的特性。光波的電場的振動方向又稱為偏振方向，若一道光波前進時，其電場振動方向(偏振方向)並無規律性，稱為未偏振波或任意偏振波。一般常見到的光，包含太陽光、日光燈與燈泡所發出的光均屬於未偏振光。反之，若電場振動方向固定，即為偏振波。電視站或廣播站所發出的電磁波均屬於未偏振波。

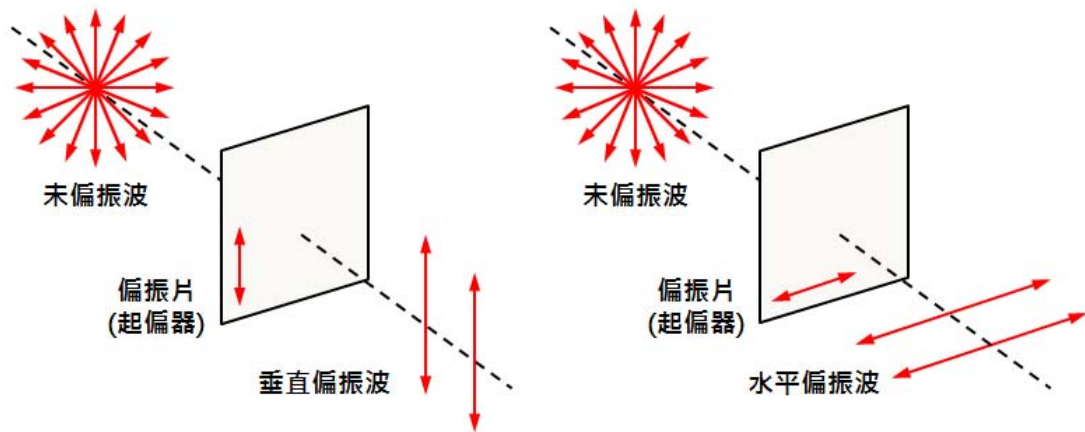
依電磁波其電場振動方向可分為三類，如下所示

1. 線偏振波-電場振動方向不隨時間改變。
 - (a) 垂直偏振波 (Trans Electric, TE)-電場振動方向與入射面平行，即磁場振動方向與入射面垂直。
 - (b) 水平偏振波 (Trans Magnetic, TM)-電場振動方向與入射面垂直，即磁場振動方向與入射面平行。
2. 圓偏振波-電場振動方向隨時間改變，即橢圓形旋轉。故可將電場振動方向分為二個相位不同但振幅相同的正交分量。
3. 橢圓偏振波-電場振動方向隨時間改變，即橢圓形旋轉。故可將電場振動方向分為二個相位與振幅皆不同的正交分量。

B. 偏振片 (Polarizer)

偏振片是利用聚乙烯醇製成具有方向性的薄膜材料，若薄膜分子排列呈垂直方向則為垂直偏振片，反之薄膜分子排列呈水平方向則為水平偏振片。偏振片可對入射的電磁波振動方向進行選擇，僅讓特定方向的電磁波通過，即電場振動方向會與偏振軸相同。

圖一(a)為當未偏振光通過垂直偏振片後，其電場(偏振方向)沿垂直方向振動；圖一(b)為當未偏振光通過水平偏振片後，其電場(偏振方向)沿水平方向振動。



圖一 未偏振波通過偏振片示意圖

C. 馬呂士定律 (Malus's Law)

已知電磁波的強度 I_0 與電場強度 E_0 ，又知電磁波的強度與電場強度平方成正比關係，則

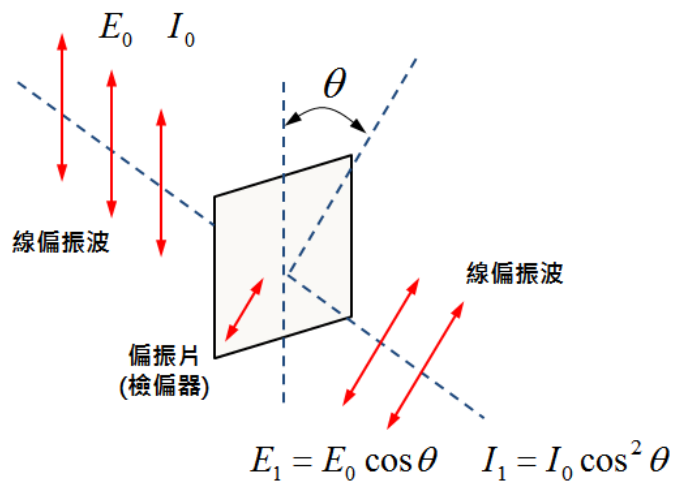
依據馬呂士定律，當電磁波通過與其振動方向夾角為 θ 之偏振片後，其電場強度 E_1 可表示為

$$E_1 = E_0 \cos \theta$$

承上，電磁波通過偏振片後電場強度 E_1 可表示為(如圖二所示)

$$I_1 \propto E_1^2 = (E_0 \cos \theta)^2 = E_0^2 \cos^2 \theta$$

$$\Rightarrow I_1 = I_0 \cos^2 \theta$$

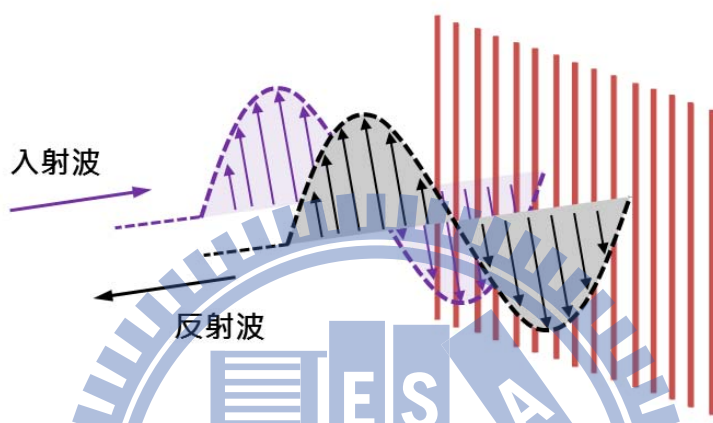


圖二 偏振波入射偏振片示意圖

D. 微波通過金屬柵欄

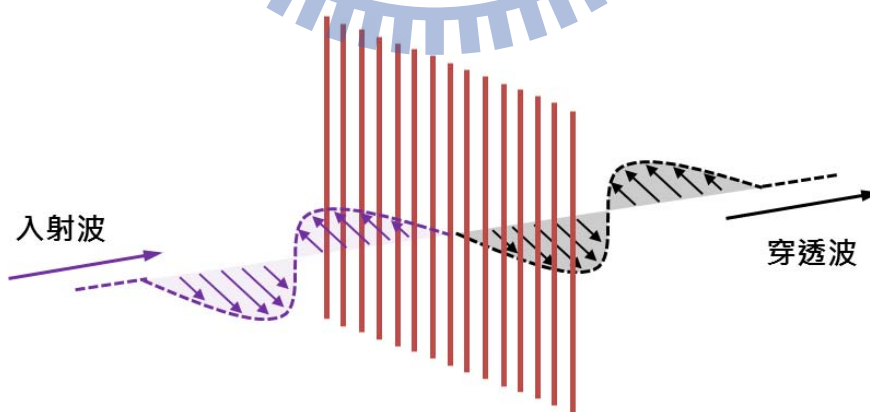
一般偏振片所表示的偏振方向為電磁波可以通過的方向並非內部結構的方式。對微波而言，最好的偏振片為金屬柵欄。當微波通過金屬柵欄時，會受到柵欄上的電子移動影響，進而產生偏振的效果。

如圖三所示，當微波電場振動方向與金屬柵欄平行時，金屬柵欄會產生感應電流，進而產生新的感應電場，此新的感應電場大小與原入射波電場大小相等但方向相反，故電場強度經疊加後為零。因此，當微波電場振動方向與金屬柵欄平行時，微波是無法穿透金屬柵欄。



圖三 微波入射金屬柵欄示意圖 (振動方向與金屬柵欄平行)

如圖四所示，當微波電場振動方向與金屬柵欄垂直時，因金屬柵欄限度很小，無法使電荷在金屬柵欄累積而產生感應電流。因此，當微波電場振動方向與金屬柵欄垂直時，微波幾乎不會受到任何影響而穿過金屬柵欄。

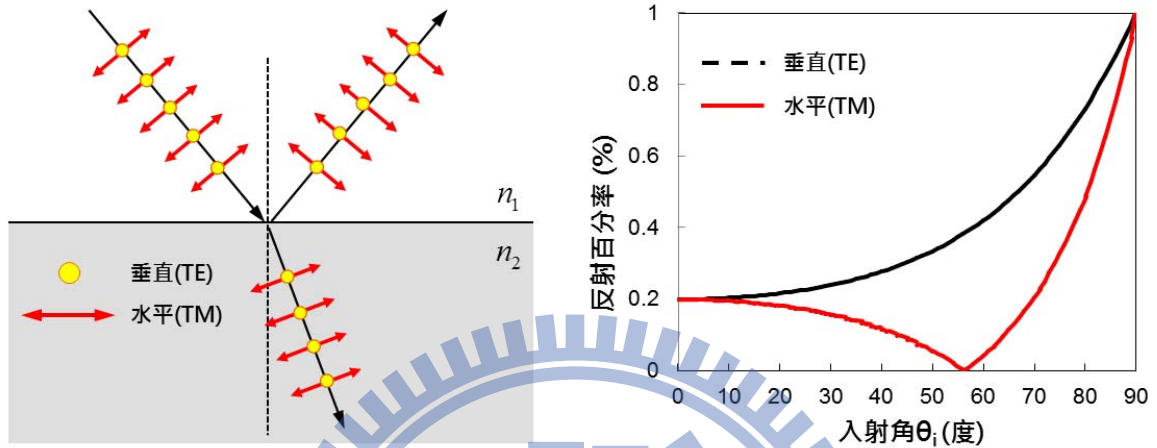


圖四 微波入射金屬柵欄示意圖 (振動方向與金屬柵欄垂直)

E. 布魯斯特定律 (Brewster's Law)

如圖五(a)所示，將未偏振波電場振動方向分解為垂直(TE)與水平(TM)偏振方向入射至介質時，其反射波與折射波之電場振動方向皆包含垂直與水平偏振。

當未偏振波入射至介質角度改變時，反射波垂直(TE)與水平(TM)方向的電場強度會隨入射角度不同而有所變化，如圖五(b)所示。



(a) 反射與折射波電場振動方向

(b) 反射百分率與入射角關係圖

圖五 未偏振波入射介質示意圖

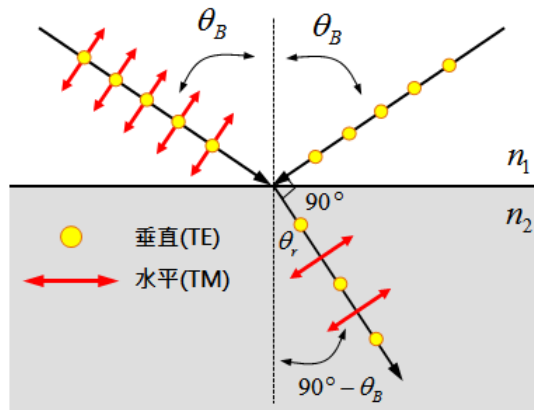
如圖六所示，當電磁波以布魯布魯斯特角 θ_B 入射介質時，反射波方向僅有垂直(TE)方向振動的電場會被反射，稱為完全偏振波；折射波方向仍包含部分垂直(TE)與水平(TM)方向振動的電場，稱為部分偏振波。

根據實驗可知，當電磁波以布魯布魯斯特角 θ_B 入射介質時，反射波與折射波夾角為 90° 。由反射定律可知，反射角為 θ_B 且折射角為 θ_r 。已知兩介質折射率 n_1 及 n_2 ，即可由斯乃耳定律(Snell's Law)，求得布魯斯特角 θ_B ，表示如下

$$\begin{aligned} n_1 \sin \theta_B &= n_2 \sin \theta_r \\ n_1 \sin \theta_B &= n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) \\ n_1 \sin \theta_B &= n_2 \cos \theta_B \\ \Rightarrow \tan \theta_B &= \frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B} = \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

則

$$\theta_B = \tan^{-1} \frac{n_2}{n_1}$$

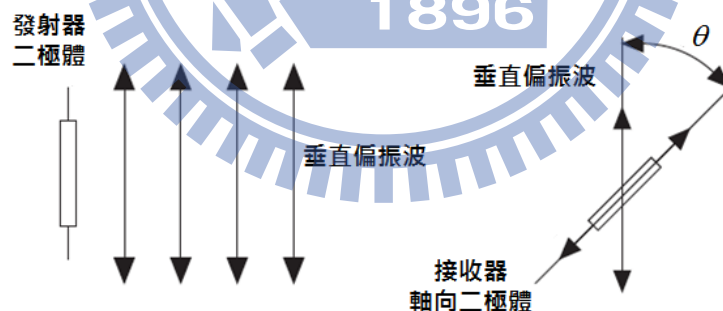


圖六 未偏振波以布魯斯特角入射介質示意圖

[參考] 微波發射器與接收器構造(如圖七所示)

實驗所使用的微波發射器為二極體元件所構成，其所發出微波為沿著二極體軸向振盪的線偏振波。當微波發射器後端角度設為 0.0° 時，其振盪方向與y軸平行(即電場沿垂直方向振動)；當發射器後端角度為 90.0° 時，所發其振盪方向與x軸方向平行(即電場沿水平方向振動)。

承上，微波接收器係由晶體檢測元件與所二極體所組成。當微波發射器發射出的微波方向與接收器內二極體軸向平行時，微波可完全被接收器接收；若兩者間有一夾角 θ ，則會依據馬呂士定律，僅有與二極體軸向平行的微波分量可被接收器所接收，如圖七所示。



圖七 微波發射器與接收器內部二極體軸向示意圖

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。

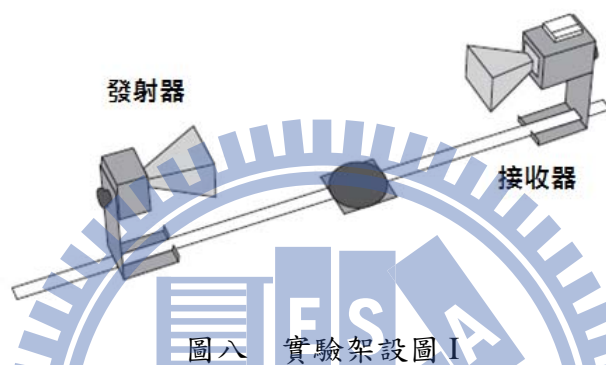
實驗步驟：

➤ 實驗前準備

1. 將微波發射器與接收器分別套於旋轉刻度尺固定臂與可動臂上。

A. 微波偏振現象觀察

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. 將微波發射器與接收器後端角度皆設為 0.0° 。
3. 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。
4. 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。



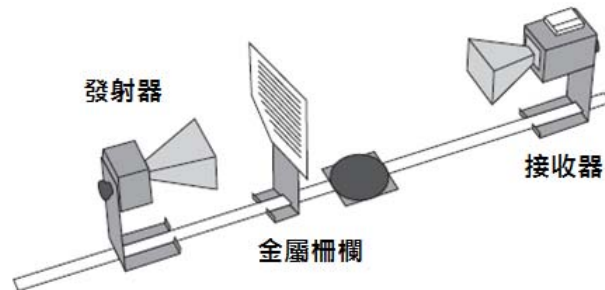
5. 將微波發射器接上電源，再將接收器上強度倍數旋鈕轉至30X。
[註] 將收到的微波訊號縮小30倍。
6. 前後微調微波接收器位置，使讀數表內數值為一極大值 (Local maxima)。
7. 調整準位調整旋鈕，使讀數表內數值(極大值)等效放大至1.00 mA。
8. 改變微波接收器後端角度，並記錄不同角度下微波接收器上讀數表數值 I 。
9. 作 $I - \cos^n \theta$ 關係圖。其中， θ 為接收器後端角度。
[註] 請以馬呂士定律判斷 $n=1、2、4$ 。

B. 微波入射偏振片現象觀察

(a) 同時改變發射器與接收器角度，觀察微波強度變化

1. 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. 將微波發射器與接收器後端角度皆設為 0.0° 。
3. 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。
4. 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。
5. 如圖九所示，將旋轉基座置於角度計上，再將金屬柵欄以水平(0.0°)方向吸附於基座上。
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] 將收到的微波訊號縮小30倍。
7. 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)。
8. 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。

9. **同時**改變微波發射器與接收器後端角度，並記錄不同角度下微波接收器上讀數表數值 I 。
10. 作 $I - \cos^n \theta$ 關係圖。其中， θ 為發射器與接收器後端角度。
[註] 請以馬呂士定律判斷 $n=1、2、4$ 。



圖九 實驗架設圖II

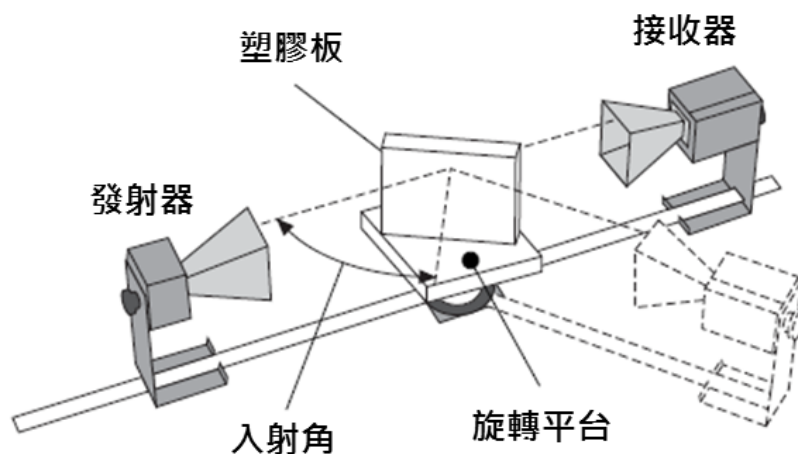
- (b) 微波發射器後端角度設為 0.0° ；接收器後端角度為 90.0° ，改變金屬柵欄條紋方向，觀察微波強度變化
1. 將微波接收器上強度倍數旋鈕轉至 OFF、準位調整旋鈕逆時針轉至最小。
 2. 分別將微波發射器與接收器後端角度設為 0.0° 與 90.0° 。
 3. 實驗架設如圖八所示，將微波發射器與接收器於旋轉刻度尺上相向放置。
 4. 如圖九所示，將旋轉基座置於角度計上，再將金屬柵欄以水平 (0.0°) 方向吸附於基座上。
 5. 將微波發射器接上電源，再將接收器上強度倍數旋鈕轉至 30X。
[註] 將收到的微波訊號縮小 30 倍。
 6. 改變金屬柵欄條紋的方向，分別記錄金屬柵欄於水平 0.0° 、 45.0° 、垂直 90.0° 時，微波接收器上讀數表數值 I 。

C. 測量布魯斯特角

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. 將微波發射器與接收器後端角度皆設為 90.0° 。
3. 實驗架設如圖十所示，將微波發射器與接收器於旋轉刻度尺上相向放置。
4. 承上，將旋轉平台固定於角度計上，再將塑膠板置於旋轉平台上。
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] 將收到的微波訊號縮小 30 倍。
6. 轉動旋轉平台，使微波以 70.0° 入射至塑膠板。
7. 轉動可動臂使微波接收器位於微波反射方向 (即反射角 70.0°)。
8. 前後微調微波接收器位置，使讀數表內數值為最大值。
9. 調整準位調整旋鈕，使讀數表內數值等效放大 (不可超過 1.00 mA)。記錄此時微波接收器上強度倍數旋鈕 (縮小) 倍數值與讀數表數值 I 。

10. 計算微波實際強度值 I' 。

[註] $I' = \text{強度倍數旋轉鈕數值} \times I$ 。



圖十 實驗架設圖 III

11. 將微波發射器與接收器後端角度同時調整至 0.0° ，記錄此時微波接收器上強度倍數旋轉鈕(縮小)倍數值與讀數表數值 I 。

[註] 微波發射器與接收器前後位置不可改變。

12. 改變微波入射角，重覆上述步驟，每隔 5.0° 記錄微波發射器與接收器後端角度同為 90.0° 與同為 0.0° 時，微波實際強度 I' 。

[註] $I' = \text{強度倍數旋轉鈕數值} \times I$ 。

13. 作 $I' - \theta_i$ 關係圖。

[註] 關係圖應包含垂直偏振 TE (微波發射器與接收器後端角度同為 90.0°) 與水平偏振 TM (微波發射器與接收器後端角度同為 0.0°)

14. 依實驗原理於關係圖中找出布魯斯特角 θ_B 可能範圍。

15. 承上，於布魯斯特角 θ_B 可能範圍內，每隔 1.0° 記錄微波發射器與接收器後端角度同為 90.0° 與同為 0.0° 時，微波實際強度 I' 。

[註] $I' = \text{強度倍數旋轉鈕數值} \times I$ 。

16. 同上，作 $I' - \theta_i$ 關係圖。

[註] 關係圖應包含垂直偏振 TE (微波發射器與接收器後端角度同為 90.0°) 與水平偏振 TM (微波發射器與接收器後端角度同為 0.0°)

17. 依實驗原理於關係圖中找出布魯斯特角 θ_B 實驗值。

18. 計算塑膠板折射率 n 。

實驗問題：

1. 在 A 與 B-(a)兩部分中，是否可利用對數作圖取得 n 值？試說明之。
2. 微波波長是否會受到金屬柵欄條紋寬度與其間距限制？試說明之。
3. 布魯斯特角與全反射臨界角是否能同時存在？試說明兩者間的差異。

