

# 光電實驗(十)

## 聲光調變(Acousto-optic modulation)

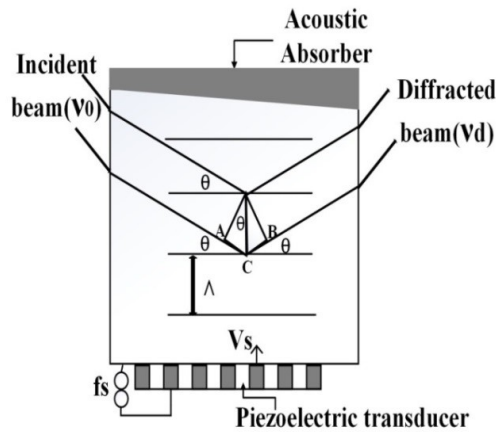
### (一)目的:

基於聲光效應所設計的聲光調變器，可應用於作為光開關、光強度調變、光偏折器、光移頻器、與光帶通濾波器等用途。藉此實驗可了解：

1. 聲光效應的現象與原理。
2. 聲光調變器的使用。

### (二)原理:

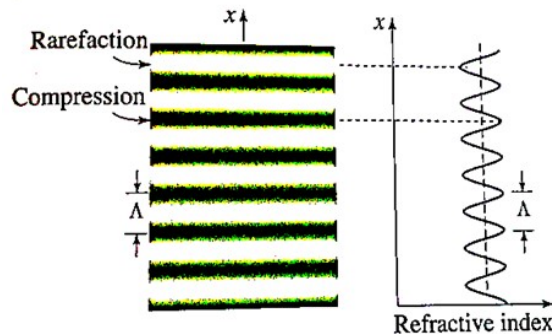
聲波在晶體內傳播時，晶體的折射率會因聲波震動產生週期性變化而在晶體內形成繞射光柵，當光束入射此隨時間移動的繞射光柵時，光束會發生偏折，上述的現象為聲光效應。圖(1)所示為一般聲光調變器的內部結構，包含聲光晶體、產生超聲波的壓電轉換器(Piezoelectric Transducer)、與可避免聲波反射的聲波吸收器(Acoustic Absorber)。



圖(1)

常見用於聲光調變的晶體有 Fused Silica、Quartz、TeO<sub>2</sub>、Germanium，當以 RF 信號產生器驅動壓電轉換器，可在聲光晶體內產生頻率數十 MHz 或至數百 MHz 的超聲波。

超聲波會壓縮與伸張晶體，晶體壓縮處的折射率會增加而晶體伸張處的折射率則變小，如圖(2)所示。



圖(2)

聲光晶體的折射率  $\tilde{n}(z,t)$  可表示成:

$$\tilde{n}(x,t) = n - \Delta n \cos(\omega_s t - k_s x) \quad (1)$$

其中  $n$  為聲光晶體的原始折射率， $\Delta n$  為超聲波所引起的折射率變化， $\omega_s$  為超聲波的頻率， $k_s$  為聲波的波數。超聲波波數  $k_s$  與聲波波長  $\Lambda$  的關係為

$$k_s = \frac{2\pi}{\Lambda} \quad (2)$$

而當以越強的 RF 信號驅動壓電轉換器時，可得到越大的折射率變化  $\Delta n$ 。

如同 X-ray 在晶體中發生 Bragg 繞射一般，在圖(1)中當下列建設性干涉的條件成立時，入射光會被聲光調變器所繞射：

$$\overline{AC} + \overline{BC} = 2\Lambda \sin \theta = m \frac{\lambda}{n} \quad (3)$$

在上式中， $\theta$  為入射光波前(或繞射光波前)相對於聲波波前的角度， $\frac{\lambda}{n}$  為入射光在聲光晶體內

的波長 而  $m$  為繞射階數(Diffraction Order)。因此滿足式(3)的  $\theta$  值稱為 Bragg angle  $\theta_B$ 。

另一方面，因為聲光調變器中的光柵以聲速移動，經聲光效應偏折的繞射光不僅方向改變，繞射光的頻率也會因 Doppler 效應而紅移或藍移，且其頻率改變量  $\Delta \nu$  正好為超聲波的頻率  $\nu_s$ ，即等於驅動壓電轉換器的 RF 信號頻率  $\nu_s = f_{RF}$ 。在圖(1)中對於以聲速  $V_s$  往 +X 方向移動中的繞射光柵而言，入射光的頻率因會 Doppler 效應從  $\nu_0$  改變至

$$\nu' = \nu_0 \sqrt{\frac{c/n + V_s \sin \theta}{c/n - V_s \sin \theta}} \quad (4)$$

而繞射光是由移動的繞射光柵所產生，因此對於實驗室的觀察者而言，以聲速  $V_s$  往 +X 方向移動光柵產生的繞射光頻率為

$$\nu_d = \nu' \sqrt{\frac{c/n + V_s \sin \theta}{c/n - V_s \sin \theta}} = \nu_0 \frac{c/n + V_s \sin \theta}{c/n - V_s \sin \theta} \quad (5)$$

因此在聲速遠小於光速的條件下，繞射光頻率  $\nu_d$  的與入射光頻率  $\nu_0$  之差為：

$$\Delta \nu = \nu_d - \nu_0 = \nu_0 \left( \frac{c/n + V_s \sin \theta}{c/n - V_s \sin \theta} - 1 \right) = \left( \frac{2V_s \sin \theta}{c/n + V_s \sin \theta} \right) \nu_0 \cong \left( \frac{2V_s \sin \theta}{c/n} \right) \nu_0 \quad (6)$$

若我們將式(3)的 Bragg 條件帶入式(6)中，則可得到繞射光的頻率位移量為：

$$\Delta \nu = \left( \frac{2V_s \sin \theta}{c/n} \right) \nu_0 = m V_s = m f_{RF} \quad (7)$$