

起偏器、檢偏器

- 將自然偏振光變為線偏振光的器件叫起偏器。檢驗平面偏振特性的器件叫檢偏器。
- 在光電子技術中經常採用的偏振器有：
 - 玻璃堆偏振器
 - 雙折射偏振稜鏡

玻璃堆偏振器

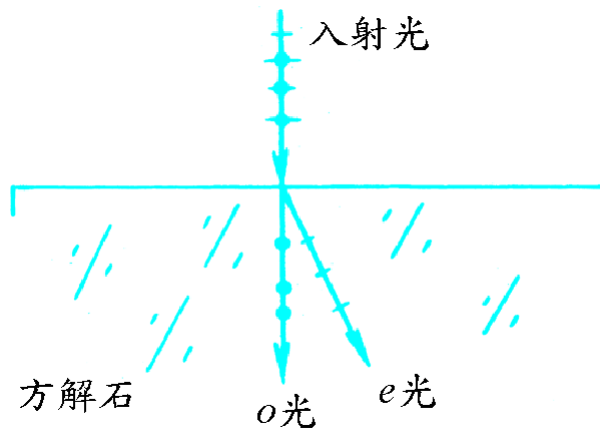
- 玻璃堆是獲得偏振光的最簡單器件。
- 當光以布魯斯特角入射時，反射光是振動方向與介質界面平行的線偏振光，透射光是部份偏振光。
- 當以布魯斯特角入射到玻璃堆上時，所產生的反射光和透射光都是較好的偏振光。
- 例如，在紅外光區，若用六片氯化銀疊在一起，將自然光以63度入射，所產生的透射光即為相當好的偏振光。

雙折射偏振稜鏡

- 在可見光區和紫外光區，有透明度很好的天然雙折射晶體，用它們可以製成特殊的稜鏡產生偏振光。
- 這類器件可以分成兩類：
 - 一類能給出兩個振動平面相互垂直的平面偏振光，渥拉斯頓稜鏡
 - 一類只給出一種平面偏振光，尼科耳稜鏡
- 自然雙折射
 - 當光進入某些晶體時，會發現折射光線不是一條，而是兩條，這種現象稱為雙折射現象。
 - 方解石(CaCO_3)是一種很透明的自然晶體，人們發現即是光從空氣垂直入射到方解石表面是，也可能出現兩條光線。
 - 一條光線遵守折射定律，跟一般折射光一樣，稱為尋常光或常光，簡稱o光。
 - 另一條光線則不同，在光垂直晶體表面時，它也可能產生偏折，且當改變入射角時，它不遵守折射定律，稱為非常光或異常光，簡稱e光。

雙折射偏振稜鏡

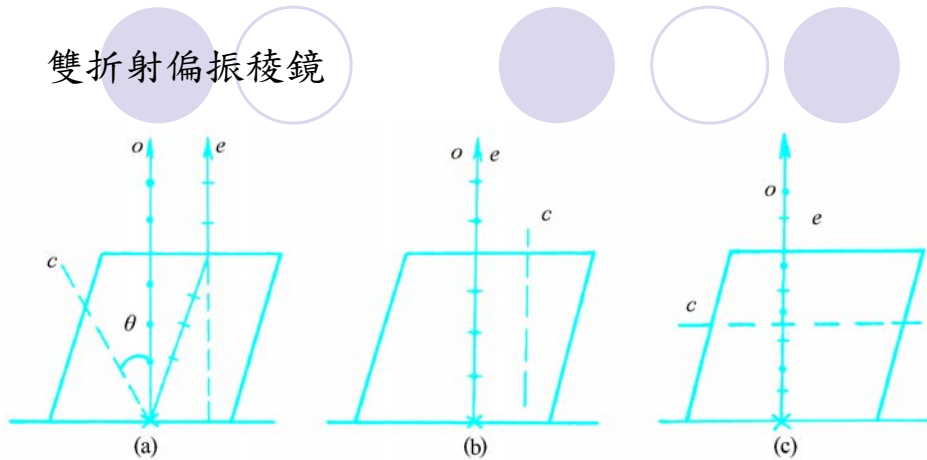
- 尋常光和異常光



雙折射偏振稜鏡

- 入射到方解石晶體的光是否發生雙折射現象與入射光和晶體晶軸或光軸(C表示)方向夾角有關。
- 當光線平行光軸入射時，不發生雙折射。
- 當光線垂直光軸入射時，也不發生雙折射。
- 當光線既不平行也不垂直光軸入射時，一定發生雙折射，雙折射的大小與光線與光軸的夾角有關。
- o光和e光一定是偏振光，且偏振方向互相垂直。
- 如果把入射光線與光軸C所成的平面稱為雙折射晶體的主截面(這種主截面有無窮多個)，則o光的電向量一定垂直主截面，e光的電向量一定平行主截面。

雙折射偏振稜鏡

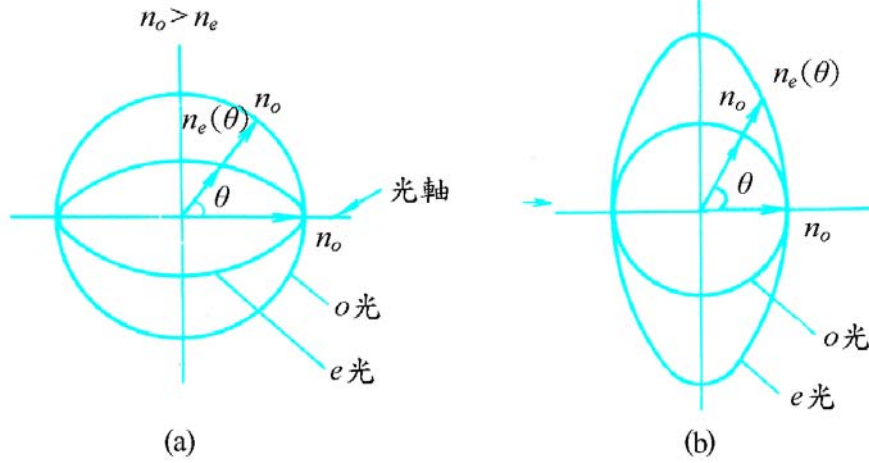


- 雖然圖(b)、(c)兩種情況都沒有雙折射現象，但兩種情況下光在晶體中傳播的規律是完全不同的。
- 人們發現，產生雙折射的原因是由於晶體內部的原子、分子在不同方向上排列不同，而使晶體在個方向上的光學性質不同，稱為晶體的各向異性。

雙折射偏振稜鏡

- 從光學性質上來說，晶體對o光和e光所呈現的折射率 n_o 和 n_e 是不同的。
- 方解石、石英，它們只有一個光軸方向，稱為單軸晶體。
- 雲母、石膏，有兩個光軸方向，稱為雙軸晶體。
- 單軸晶體，有正、負晶體之分， $n_e > n_o$ 的晶體稱為正晶體， $n_o > n_e$ 的晶體稱為負晶體。
- 圖(a)是負單軸晶體， n_o 在各個方向是不變的， n_e 隨著角增大而變小， $n_e(\pi/2)$ 最小。例如方解石， $n_o=1.653$ ， $n_e(\pi/2)=1.486$ ，所以 $n_o > n_e$ ，是負單軸晶體。
- 圖(b)是正單軸晶體， n_o 與方向無關， n_e 與光的傳播方向有關，即 $n_e(\theta)$ 是 θ 角的函數。
 - 當光沿著光軸方向傳播時， $n_e(0^\circ) = n_o$ ，當光的傳播方向逐漸偏離光軸時， θ 角逐漸增大， $n_e(\theta)$ 逐漸增大，到垂直光軸處($\theta = \pi/2$)時， $n_e(\pi/2)$ 最大，形成一個橢圓。
 - 例如石英， $n_o=1.543$ ， $n_e(\pi/2)=1.552$ ，所以 $n_e > n_o$ ，是正單軸晶體。

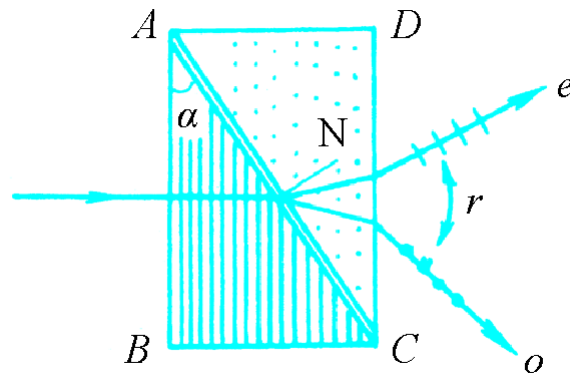
雙折射偏振稜鏡



雙折射偏振稜鏡

● 渥拉斯頓稜鏡 Wollaston prism

- 由兩個直角方解石稜鏡沿著兩直角稜鏡斜面膠合而成。
- 稜鏡ABC的光軸平行於直角邊AB，稜鏡ACD的光軸平行於斜邊AC。



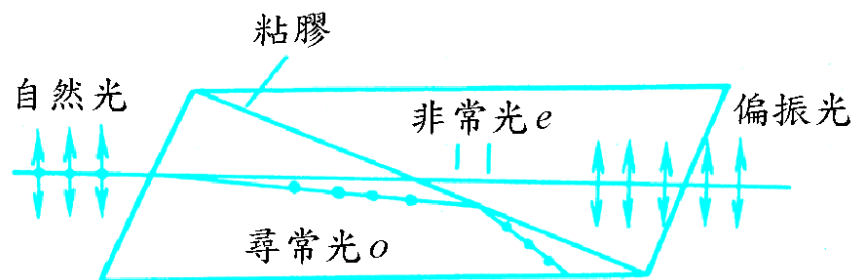
雙折射偏振稜鏡

- 自然光垂直射在AB面上，由於雙折射現象，在晶體內將產生o光和e光，在第一個稜鏡中o光和e光不分開，但兩者傳播速度不同。在方解石中，e光的傳播速度大於o光的傳播速度。
- 由於第二個稜鏡ACD的光垂直於第一個稜鏡的主軸，所以光向量振動方向平行於主截面的e光。振動方向垂直於圖面的o光，在膠合面上的折射，是由光密介質向光疏介質的折射，而振動方向在圖面內的e光，則是由光疏介質向光密介質折射。
- 前者使第二個稜鏡內的折射光線遠離法線，而後者則使第二個稜鏡內的折射光線靠近法線，結果使o光和e光在第二稜鏡內分開。
- 第二稜鏡內的這兩束光在CD面上還要產生一次由光密到光疏的遠離法線的折射。
- 最後，由渥拉斯頓稜鏡出來的光，是由第一稜鏡中的o光和e光相對應的兩束平面偏振光，它們之間的夾角 γ 取決於所用的材料及稜鏡折射角 α 。
- 當 $\alpha = 45^\circ$ 時，由方解石製成的渥拉斯頓稜鏡，兩出射偏振光夾角約20度。

雙折射偏振稜鏡

● 尼科耳稜鏡 Nicol prism

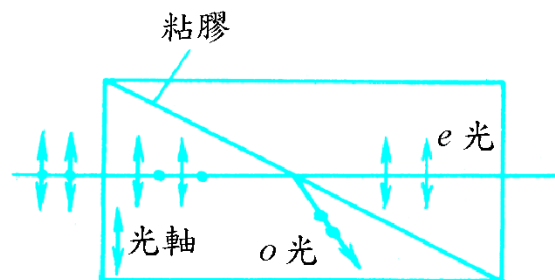
- 由兩塊磨成一定角度的方解石稜鏡用折射率比其尋常光折射率 n_o 小，比其非常光折射率 n_e 大的透明膠(加拿大樹膠)黏合而成。
- 當自然光入射到稜鏡上，將被分成o光和e光，由於方解石中的，所以o光的偏轉大。因此o光射到膠合面上時，其入射角大於臨界角，發生全反射，反射光到達邊界後被吸收掉。e光則由於入射角小於臨界角且折射率小於透明膠的折射率，所以不發生內部反射，順利通過第二稜鏡，故射出為偏振光。



雙折射偏振稜鏡

● 格蘭-湯姆遜稜鏡 Glan Thompson prism

- 是由兩塊光軸與入射面平行的方解石直角稜鏡組成，其間通過折射率介於方解石雙折射率的樹膠膠合。
- 在膠合面上，入射角大於一定值時，振動方向垂直於紙面的光發生全反射，不能通過稜鏡，而振動方向平行於紙面的非常光則能夠通過稜鏡。
- 這種稜鏡的優點是入射光孔徑較大(約40度)



二向色性偏振片

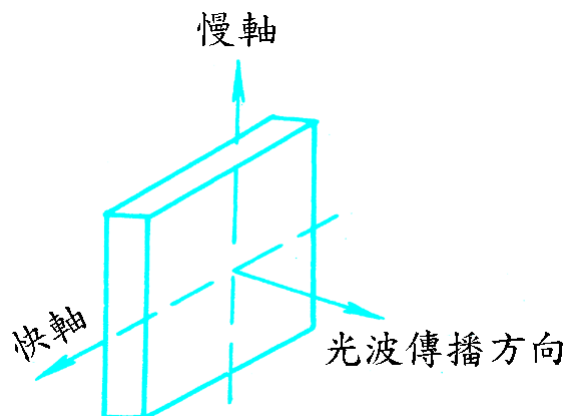
- 二向色性是指有些材料對某一振動方向的平面偏振光幾乎完全沒有吸收。
- 例如，有機晶體碘化硫酸奎寧就有強烈的二向色性，如將它們沈澱在聚氯乙稀膜或其他塑料膜中，則將膜經過一定方向的拉伸後，二向色性多晶體便會按拉伸的方向排列整齊，能在膜的垂直方向表現出和單晶一樣的二向色性，吸收o光，通過e光。
- 這種薄膜夾在兩片透明塑料片或玻璃片之間，便可製成偏振片，輕便、便宜，且容易獲得大面板。

波片

- 兩個同頻率，有固定相差，相互垂直的振動同時作用於一點時，其合成振動軌跡在一般情況下，是橢圓形。
- 在光學中，通過雙折射晶體的o光、e光就是頻率相同，振動方向相互垂直的偏振光。
- 假若能使它們之間有一固定的相差，則它們在相遇點處的合成光電向量的末端軌跡呈橢圓狀，稱為橢圓偏振光。
- 當二光的振幅相同且相位差為 $\pi/2$ 時，合成光為圓偏振光。
- 當光線通過厚度為 l 的晶體後，其相位延遲 $2\pi l/\lambda$ ，這裡 λ 是光線在晶體中的波長。
- 尋常光波長 $\lambda_o=c/n_o v$ ，非常光的波長 $\lambda_e=c/n_e v$ ，由於尋常光和非常光的折射率不同，所以離開晶體時，兩種光將產生相位差：

波片

$$\delta = \frac{2\pi l}{\lambda_o} - \frac{2\pi l}{\lambda_e} = \frac{2\pi l v}{c} (n_o - n_e) = \frac{2\pi l}{\lambda} (n_o - n_e)$$



波片

- 選擇晶體厚度使 $\delta = (2k+1)\pi$ ， $k=0,1,2\cdots$ ，則由晶體出射的兩光束合成光為平面偏振光，但是振動方向相對入射光的振動方向轉了 2θ 角，此 θ 角為入射光的振動面與光在晶體內的主截面夾角。
 - 若 $\theta = 45$ 度，則出射光的振動面與入射光的振動面成 90 度。
 - 我們把能使尋常光和非尋常光產生相差為 π 及其奇數倍的晶體薄板，稱為 **二分之一波片**。
- 選擇晶體厚度使 $\delta = (2k+1)\pi/2$ ， $k=0,1,2\cdots$ ，則由晶體出射的兩光束合成光為橢圓偏振光。
 - 當入射光的振動面與光軸夾角 $\theta = 45$ 度時，出射光為圓偏振光。
 - 能使 o 光和 e 光產生相差 $\pi/2$ 及其奇數倍的晶體薄板，稱為 **四分之一波片**，其最小厚度為：

$$\frac{\pi}{2} = \frac{2\pi d}{\lambda} (n_o - n_e) \Rightarrow d = \frac{\lambda}{4(n_o - n_e)}$$

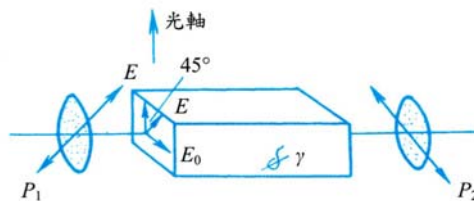
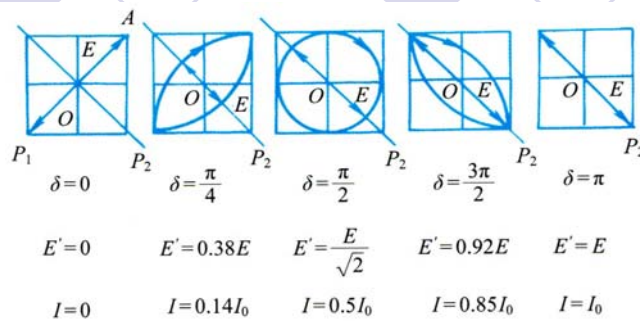
光調製器

- 可變阻抗調製，是利用調製信號電壓在調製器中產生的電場或超聲波場改變器件的折射率，從而改變通過器件光的相位(因而屬於阻抗型)，達到調製的目的。
- 根據機理不同，有 **電光調製器** 和 **聲光調製器**。

電光調製器

- 利用電光效應實現光調製的器件稱為電光調製器。
- 電光效應有線性電光效應(普克爾效應)和非線性二次電光效應(克爾效應)。
- 根據產生線性電光效應的結構不同，可以分為：
 - 縱向電光效應：外加電場方向和通光方向一致，並且沿晶體的光軸方向。
 - 橫向電光效應：外加電場方向和通光方向垂直。
- 橫向電光效應
 - 使用自然雙折射晶體和偏振鑑別電路($P_1 \perp P_2$)構成，並假定雙折射晶體對o光和e光產生的相位差 δ 可以任意變化。
 - 沿 P_1 通光方向的線偏振光垂直於晶體光軸入射到雙折射晶體後，雖然不發生雙折射，但其正交分相o光和e光離開晶體時，卻累積了相位差 δ ，因此o光和e光的合成光向量的方向(即偏振狀態)，將因 δ 的不同而發生變化。

電光調製器



電光調製器

- 如果 δ 相位差從0變到 π ，則偏振狀態將從直線經橢圓變成圓，從圓再經橢圓到直線的變化，然後再經過檢偏器 P_2 ，就轉化為光強的變化。
- 圖中OA是入射光的振動方向(P_1 方向)，入射光的振幅是E，光強為 $I_0=E^2$ 。 P_2 是檢光器的通光方向，與入射光振動方向垂直(即 $P_1 \perp P_2$)。
- 當 $\delta=0$ 時，透射光與入射光的直線偏振光一樣，幅度也為E，振動方向不變。由於檢偏器只讓 P_2 方向振動分量E通過，而透射光在 P_2 上投影為0，即通過檢偏器的光振幅 $E'=0$ ，所以通過檢偏器 P_2 的光強 $I=0$ 。
- 當 $\delta=\pi/4$ 時， $E'=0.38E$ ， $I=0.14I_0$ 。
- 當 $\delta=\pi/2$ 時，圓偏振光在 P_2 上投影 $E'=E/\sqrt{2}$ ， $I=0.5I_0$ ，有一半光強通過。
- 當 $\delta=3\pi/4$ 時，圓偏振光變為橢圓偏振光，且 $E'=0.92E$ ， $I=0.85I_0$ 。
- 當 $\delta=\pi$ 時，雙折射晶體就是一個 $\lambda/2$ 波片，入射線偏振光的偏振面轉過90度，正好通過，所以 $E'=E$ ， $I=I_0$ 。
- 總之，當相位差 δ 從0變到 π 時，通過檢偏器的光強則從0變到 I_0 。因此，利用 δ 的變化，通過檢偏器就可以實現光強調製。

線性電光效應

- 普克爾發現，有些雙折射晶體，如ADP(磷酸二氫鉀)、 LiNbO_3 (鉍酸鋰)，在外加電場E之後，晶體的折射率將發生變化，稱為補克爾效應。
- 理論分析發現，在某方向上加電場之後：

$$\begin{aligned} n_o \rightarrow n'_o &= n_o + \Delta n_o & \text{且} & & n'_o &= n_o + \frac{1}{2}n_o^3\gamma E \\ n_e \rightarrow n'_e &= n_e + \Delta n_e & & & n'_e &= n_e - \frac{1}{2}n_e^3\gamma E \end{aligned}$$

$$\Rightarrow n'_o - n'_e = (n_o - n_e) + (\Delta n_o - \Delta n_e) = (n_o - n_e) + n_o^3\gamma E$$

式中第一項為自然雙折射，由晶體決定。第二項中稱為線性電光係數，由晶體及外加電場方向決定，E為外加電場強度。
因為第二項與外加電場強度成正比，故稱為線性電光效應。

線性電光效應

- 相位差

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l(n'_o - n'_e) = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \cdot [(n_o - n_e)] + n_o^3 \gamma E$$

- 自然雙折射項產生固定相位差，在使用中需想辦法消去，於是 $\delta \propto E$ ，即相位差將正比於外加電場變化。
- 假定外加電場是橫向電壓，且晶體厚度為 d ，則：

$$E = \frac{V}{d} \text{ (V/m)}$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \cdot n_o^3 \gamma \cdot \frac{V}{d} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_o^3 \gamma \cdot V$$

晶體長度 $l=d$

線性電光效應

- 當 $\delta = \pi/2$ 時，要求外電壓為 $V_{\pi/2}$ ：

$$V_{\pi/2} = \frac{\lambda}{4} \cdot \frac{1}{n_o^3 \gamma}$$

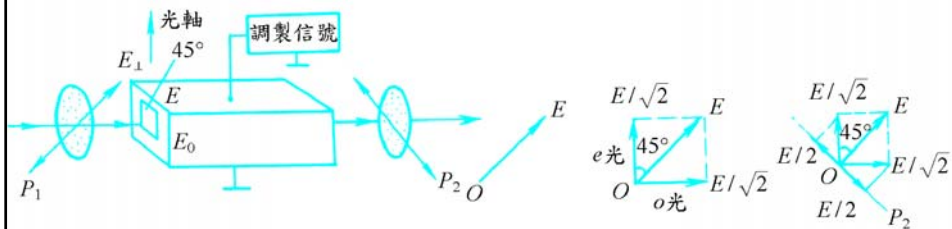
- 電壓加到雙折射晶體上，雙折射晶體就起一個 $\lambda/4$ 波片作用。

- 當 $\delta = \pi$ 時，要求外電壓為 V_{π} ：

$$V_{\pi} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{1}{n_o^3 \gamma}$$

- 雙折射晶體就起一個 $\lambda/2$ 波片作用，稱為半波電壓。

光強度電光調製器



- 跟上一個相比，只是相位差 δ 用電光效應來實現變化而已。
- 令入射光通過 P_1 後的光電場為：

$$E = \sqrt{2}Ae^{i\omega t}$$

- 這裡的 $\sqrt{2}$ 是計算方便而引入的。
- 相應的入射光強為：

$$I_0 = E^2 = 2A^2$$

光強度電光調製器

- 當 E 入射到晶體表面時，因與光軸方向成 45° ，所以可將它分解為 o 光與 e 光，於是：

$$E_o = E_e = \frac{\sqrt{2}A}{\sqrt{2}}e^{i\omega t} = Ae^{i\omega t}$$

- 入射光強又可表示為：

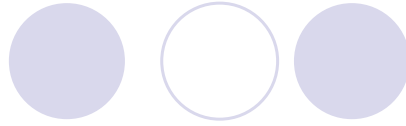
$$I_0 = E_o^2 + E_e^2 = 2A^2$$

- 經過晶體長度 l 後，以 E_e 分量的相位為參考， e 光與 o 光的場強可表示為：

$$E_e = Ae^{i\omega t}$$

$$E_o = Ae^{i\omega t} \cdot e^{-i\delta}$$

光強度電光調製器



- 經過檢偏器 P_2 作用，在 P_2 透光方向的光電場投影為：

$$E'_e = \frac{E_e}{\sqrt{2}} = \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\omega t}$$

$$E'_o = \frac{E_e}{\sqrt{2}} = \frac{A}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{-i\delta}$$

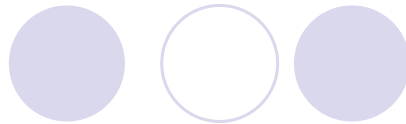
- 由右邊向量分解圖可知，雖然 E'_e 與 E'_o 方向相反，但不能抵銷，因為它們相位不同。於是出射光的合成振動為：

$$E' = E'_e - E'_o = \frac{A}{\sqrt{2}} e^{i\omega t} (1 - e^{-i\delta})$$

- 利用關係式：

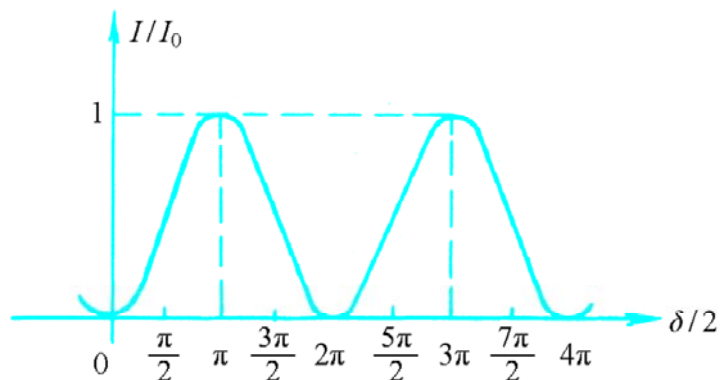
$$\cos \delta = \frac{e^{i\delta} + e^{-i\delta}}{2}, 1 - \cos \delta = 2 \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

光強度電光調製器

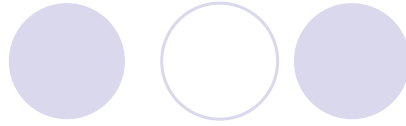


- 輸出光強為： $I = E' \cdot E'^* = 2A^2 \sin^2 \frac{\delta}{2} = I_0 \sin^2 \frac{\delta}{2}$

- 透射率為： $\frac{I}{I_0} = \sin^2 \frac{\delta}{2}$



光強度電光調製器

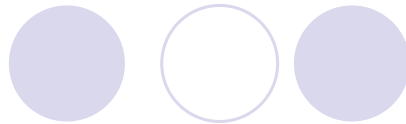


- 可改寫為：

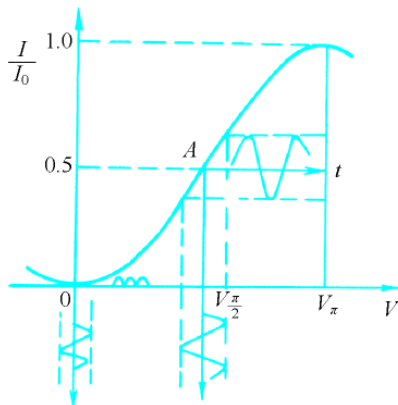
$$\frac{I}{I_0} = \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{V_\pi}\right)$$

- 式中 $V_\pi = V_{\lambda/2}$ 稱為電光晶體的半波電壓，是個由電光晶體性質決定的常數。
- 當外加電壓 $V = V_\pi$ 時， $I = I_0$ ，透射率為1。
- 當外加電壓 $V = 0$ 時， $I = 0$ ，透射率為0。
- 這樣的兩電壓狀態就構成了一個光開關。
- 外加電壓在 $0 \sim V_\pi$ 之間變化，實現光強度的調製。

光強度電光調製器



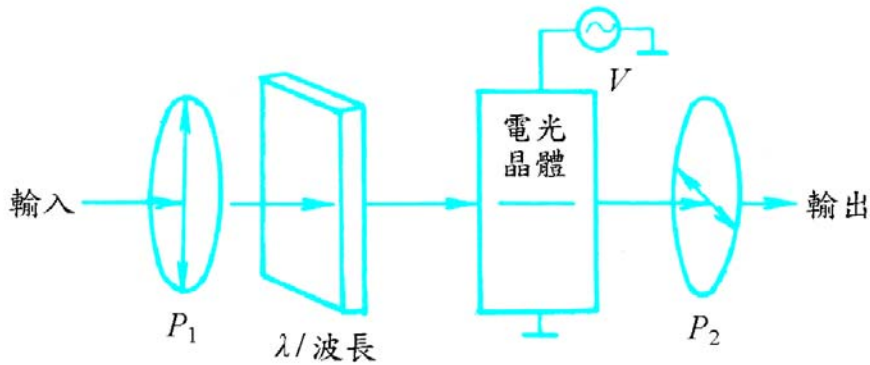
- 調製器的光強透過率與外加調製電壓呈**非線性關係**。
- 如果工作點選在 $V = 0$ 點，得不到線性調製效果。
- 如果工作點選在 $V = V_{\pi/2} = V_{\lambda/4}$ 點，則有近似很好的線性調製效果



光強度電光調製器

- 把工作點選在 $V_{\pi/2}$ 點，有兩個辦法：

- 在調製器上加一個固定直流偏壓 $V_{\pi/2}$ 。
- 在調製器中插入一個 $\lambda/4$ 波片，稱為光學偏置，其效果與 $V_{\pi/2}$ 一樣。



光強度電光調製器

- 假定調製信號為： $V_s = V_0 \sin \omega_m t$
- 考慮到偏壓 $V_{\pi/2}$ ，則電光晶體上的等效電壓為： $V = V_{\pi/2} + V_0 \sin \omega_m t$

- 於是：
$$\frac{I}{I_0} = \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{V_{\pi}} (V_{\pi/2} + V_0 \sin \omega_m t) \right]$$

- 利用關係式：
$$1 - \cos \varphi = 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

- 並考慮 $V_0 \ll V_{\pi}$ ，因為 V_{π} 通常是很高的電壓值，由近似關係 $\sin \varphi = \varphi$ (φ 很小)可得：

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} + \frac{\pi V_0}{V_{\pi}} \sin \omega_m t$$

- 在這種情況下可獲得良好的線性電光調製，輸出光強正比於調製信號，這樣就將調製信號調製到光強度的變化中。
- 對輸出光強實施光電檢測，又將信號從光強度變化中提取出來。

聲光效應

- 利用聲光效應實現光調製的器件叫聲光調製器。
- 超聲波是一種**縱向機械應力波**(彈性波)，它在聲光介質中傳播時會引起介質密度的疏密變化。
- 由於聲光效應，這種密度變化將引起折射率的變化，密的部份折射率大，疏的部份折射率小。
- 在超聲波作用下的那部份介質，可以看作等效的相位光柵，光柵的條紋間隔等於聲波波長 λ_a ，當光波通過該介質時，就被等效光柵繞射。
- 根據聲光作用理論，因超聲頻率和聲光作用的長度不同，可將繞射分成兩種形式：
 - 拉曼-奈斯繞射
 - 布拉格繞射

拉曼-奈斯繞射

- 當超聲波頻率較低，聲光作用長度較短，光線平行於聲波波面入射(即垂直於聲場傳播方向入射)時，產生拉曼-奈斯繞射。
- 在這種情況下，超聲光柵的作用與普通的光學條紋光柵(平面光柵)類似，頻率為 ν_0 的平面光通過聲光介質時將產生多級繞射，而且各級繞射光的極值對稱地分佈在零級極值的兩側，其強度依次遞減。
- 理論分析顯示，多級繞射光的繞射角 θ_m 滿足：

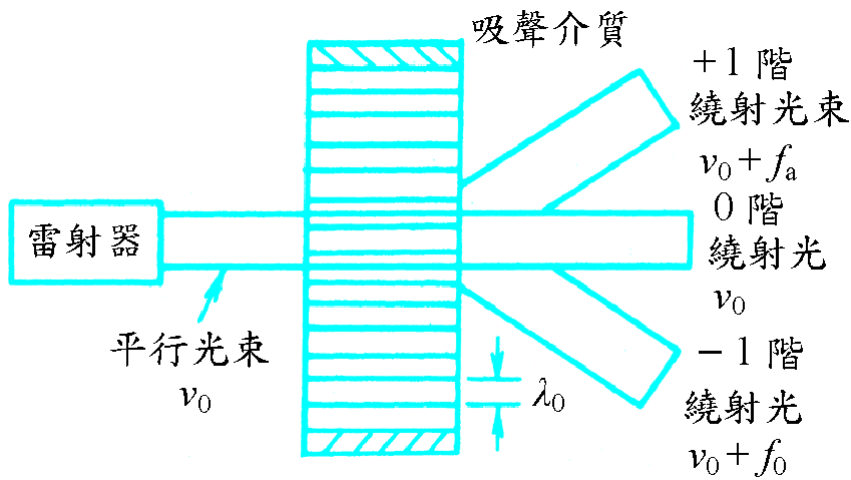
$$\lambda_a \sin \theta_m = m \lambda_0 \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

- 相應第 m 級繞射光的極值光強為：

$$I_m = I_i J_m^2(\delta)$$

- 式中 I_i 為入射光強，為光通過介質時，由折射率的變化引起的附加相移，各級繞射光的頻率分別為 $\nu_0 + m\nu_a$ 。
- 通過調製信號改變超聲波場，就可以調製輸出光的光強和頻率。

拉曼-奈斯繞射



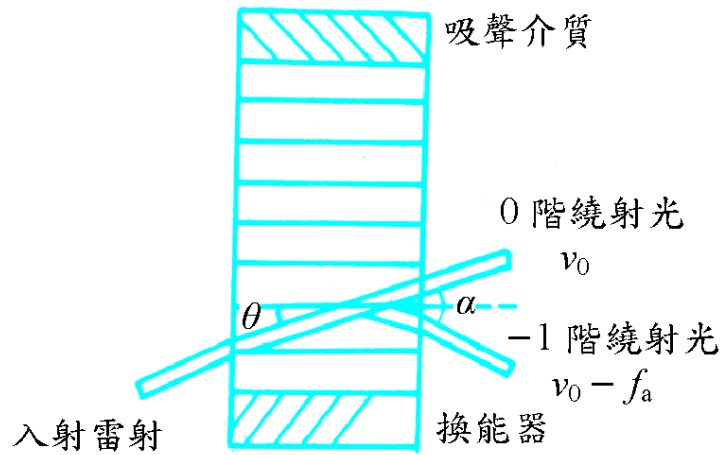
布拉格繞射

- 在超聲波頻率較高，聲光作用長度較長，並且光線與聲波波面有一定角度斜入射時，將產生布拉格繞射。
- 此時光通過介質時的繞射必須考慮介質厚度的影響，其超聲光柵應視為體光柵。
- 這時的繞射光份不是不對稱的，只有0階和+1階(或-1階)繞射光(視入射光的方向而定)。
- 如果合適地選擇參數，並且超聲波足夠強，可以使入射光能量幾乎全部轉移到-1階或+1階繞射極限方向上，因此雷射能量可以得到充分的利用。
- 由理論，產生布拉格繞射的條件是布拉格條件：

$$2\lambda_a \sin \theta_B = \lambda_0$$

- 式中的 θ_B 是布拉格入射角。相應於0階和1階繞射光間的夾角是 $\alpha = 2\theta_B$ 。

布拉格繞射



布拉格繞射

- 在一定布拉格角入射的情況下，改變超聲波頻率，能產生布拉格繞射的光頻率也相應發生變化。
- 如果入射光頻不變，則隨著超聲頻率變化，布拉格角要相應變化，從而1階繞射光相應0階繞射光的方向要發生變化。
- 由理論，0階和1階繞射光強為：

$$I_0 = I_i \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

$$I_1 = I_i \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

- 如果控制超聲功率使得 $\delta = \pi$ ，則有 $I_1 = I_i$ ，即入射光能量全部轉到1階繞射光中。

聲光器件結構

- 聲光器件包括四部份：驅動電源、換能器、聲光介質、吸收介質(或反射介質)。
- 驅動電源是超高頻信號產生器，它所產生的調製高頻變信號加到換能器上，因壓電晶體(石英、氧化銻等)或壓電半導體(硫化鉛、氧化鋅等)的反壓電效應，產生機械振動，該振動在聲光介質中將產生超聲波。
- 聲光介質是聲光作用的場所，通常為玻璃、熔石英、鉬酸鉛、氧化銻等。
- 在聲光介質的另一側安放的是吸聲介質，它將吸收超聲波，避免其反射，構成了行波式超聲波調製，也可以安放超聲波反射介質，將超聲波全反射，以形成駐波式超聲調製。

聲光器件結構

吸聲介質



聲光介質

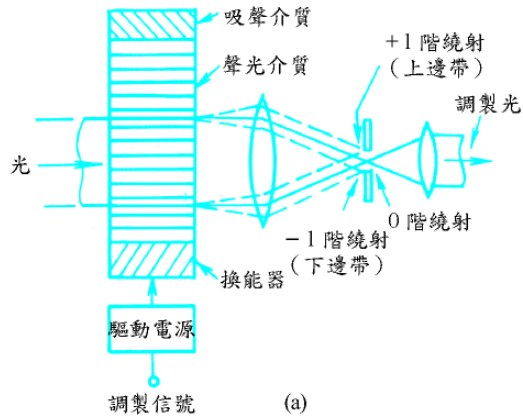
換能器

驅動
電流

聲光調製器的工作原理

- 拉曼-奈斯型調製器。

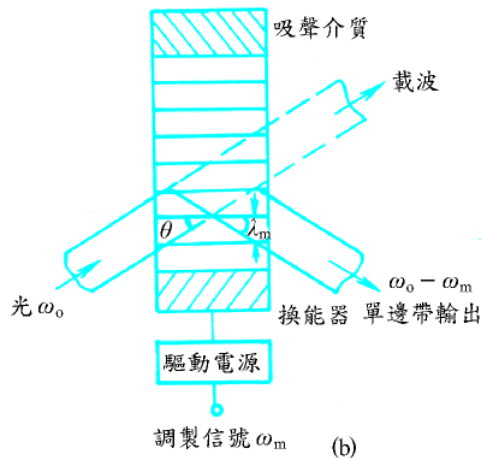
- 由於調製信號發生變化，導致繞射光強發生變化，因而通過光束的0階繞射光強發生變化，達到調製光輸出之目的。



聲光調製器的工作原理

- 布拉格調製器。

- 其輸出光頻率隨調製信號的頻率變化，從而對傳輸光起到調製作用。



調製盤

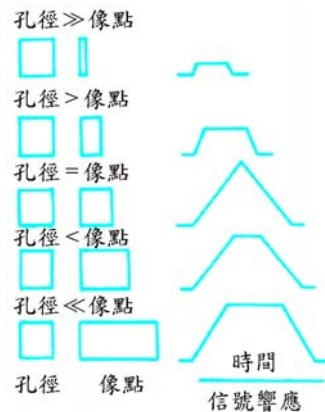


- 機械調製器
- 目標的溫度一定時，它所發射的熱輻射通量保持不變，因此，位於一定距離上的接收系統所接收到的輻射通量也將不變。
- 如果利用這種不變的接收能量進行目標探測、搜索及跟蹤，是不可能的，必須要對其進行調製。
- 將系統接收到的恆定輻射能量轉換成隨時間變化的斷續輻射能量，並使這斷續輻射能量的某些特徵(幅度、頻率、相位等)隨目標的空間方位變化。
- 這樣經過調製後就含有目標的空間方位資訊，使系統接收到的輻射能量中含有目標的方位資訊，可用調製盤來實現。
- **調製盤**是在能透過紅外輻射的基板上，覆蓋一層塗層，然後用光刻的方法把塗層作成透輻射和不透輻射的柵格，不同的柵格根據需要組成不同的花紋圖案。
- 在紅外系統中，調製盤被放在接受光學系統焦平面上，當目標像點與調製盤有相對運動時，透輻射和不透輻射的柵格要切割像點。

調製盤

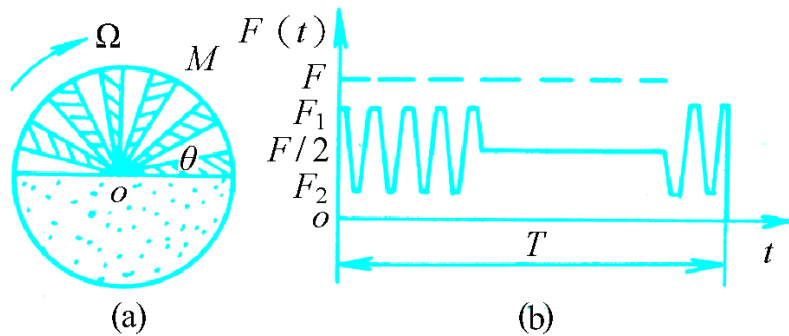


- 由於這種柵格對像點能量的切割作用，使得通過調製盤的輻射能量變成斷續形式，調製後的波形由像點尺寸與調製盤中柵格孔徑決定。
- 例如：孔徑為一正方形，像點為一長度與孔徑相同，但寬度是變化的長方形，則當相同的孔徑掃過不同尺寸的像點時，所得到的信號波形為：



調製盤

- 調製盤的種類很多，從位置編碼的基本原理(即調製方式)這一角度考慮，可以分為調幅式(AM)、調頻式(FM)、調相式(PM)、調寬式(WM)及脈衝編碼式。
- 調幅式(AM)調製盤：



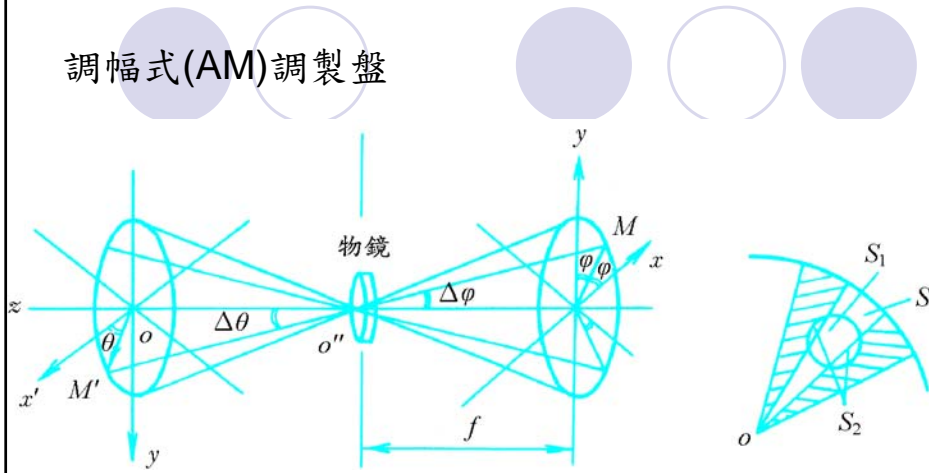
調幅式(AM)調製盤

- 初開太陽式的AM調製盤：
 - 上半圓是木飄調製區，由透射與不透射扇形條交替成輻射狀。
 - 下半圓是半透區，呈半透射特性
 - 將這一調製盤置於接收光學系統的焦平面上，使調製盤中心O位於主軸上，調製盤繞O以角速度 Ω 順時針旋轉。
 - 假設像點位於M點不動，則像點能量由於相對調製盤運動而交替的通過透輻射和不透輻射扇區及半透區，因此透過的像點能量被調製成等幅波。
- 分析該調幅波形包含目標空間方位資訊的原理：
 - 假設經光學系統成像的關係如圖。
 - 目標 M' 與像點M在物平面及像平面上的位置分別為 (ρ', θ') 和 (ρ, θ) ，則根據幾何關係有：

$$\rho = f \tan \Delta\varphi$$

$$\theta = \theta'$$

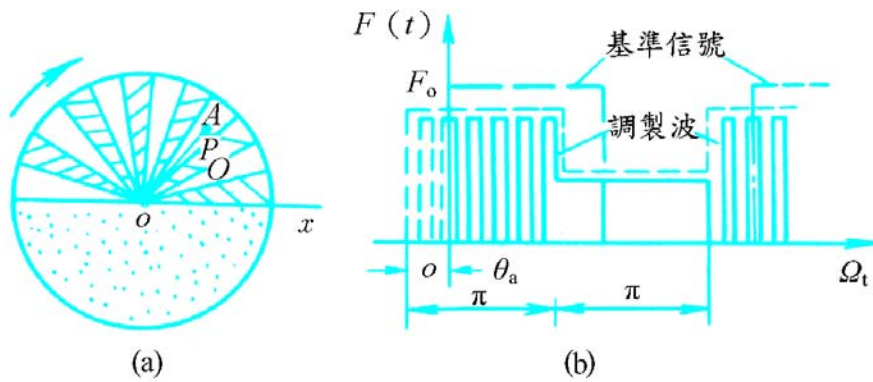
調幅式(AM)調製盤



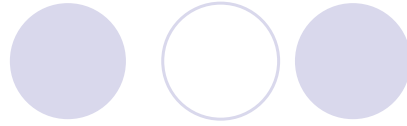
- 其中， f 為光學系統的焦距。
- ρ, θ 可以反應目標偏離光軸的大小和方位。
- 假設像點上輻照度均勻分佈，像點面積為 S ，可透過調製盤的像點部份面積為 S_2 ，則像點透過能量為 $F_1 \propto S_1$ 。

調幅式(AM)調製盤

- 隨著調製盤的旋轉，透過調製盤的能量週期變化。



調幅式(AM)調製盤



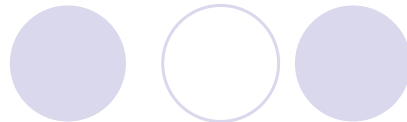
- 調製信號的調製度D為：

$$D = \frac{|F_1 - F_2|}{F} = \frac{|S_1 - S_2|}{S}$$

- 其中F為像點總能量， $F \propto S$ 若像點面積S不變，則隨著像點偏離光軸量 ρ 的增大，調製度D逐漸增大，調製信號幅值也逐漸增大。反之， ρ 減小時，調製信號幅值逐漸趨近為0。
- 調製信號幅值的大小可表示出像點偏離量 ρ 的大小。
- 若像點面積S也發生變化，則信號調製度將隨 ρ 和S兩個量變化，應有：

$$D = f(\rho \cdot S)$$

調幅式(AM)調製盤



- 實際上，像點面積在整個視場內是變化的。如果能控制像點面積S使其偏離量 ρ 按一定規律變化，如： $S = g(\rho)$

- 則：

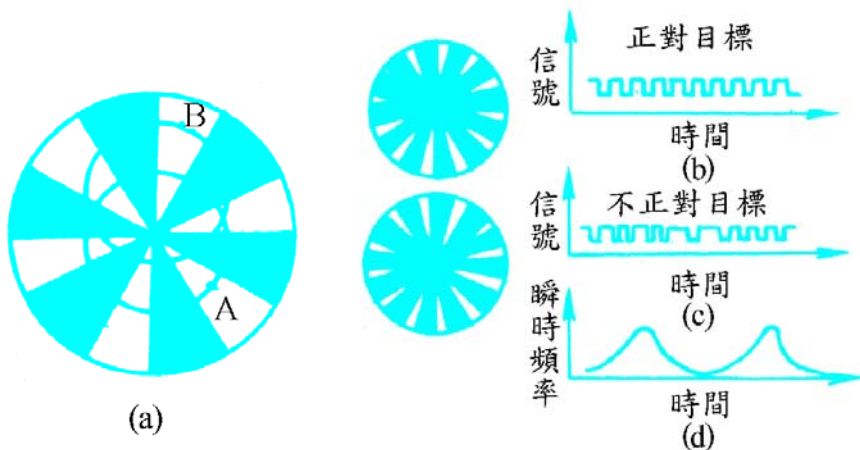
$$D = f(\rho, g(\rho))$$

- 在考慮上式後，調製信號的特徵便包含了目標偏離量的資訊。
- 為了討論調製信號包含的立方信息，我們忽略像點大小的影響，設其為一個幾何點，這時所得到的一系列矩形脈衝，如圖。
- 假定用以與調製信號進行比較的基準信號的起始相位取OX軸，則在調製盤旋轉1周(2π)時，對應的調製信號包絡變化1周，包絡的初相位等於目標像點在空間方位角，即圖中的 θ_a 角，因此調製信號與基準信號的相位差 θ ，即為目標在空間的方位角 θ_a 。

調頻式調製盤

- 圓錐掃描調頻調製盤，它是一種扇形輻條式調製盤。
- 如果讓調製盤不動，而使光學系統通過次鏡偏軸旋轉作圓錐掃描，則在調製盤上得到一個光點掃描圓。
- 當目標位於光軸上時，光點掃描圓A的圓心與調製盤中心重合，所得信號波形如圖，載波頻率為一常數值。
- 當目標偏離光軸時，掃描圓心B與調製盤不同心，光點掃描1周所掃過的扇形輻條寬度有了變化，掃描靠近調製盤中心的那部份載波信號的頻率升高，掃頻軌跡遠離調製盤中心部份的載波信號頻率降低。
- 調頻信號與基準信號進行比較，就可以確定目標的偏移量和方位角。

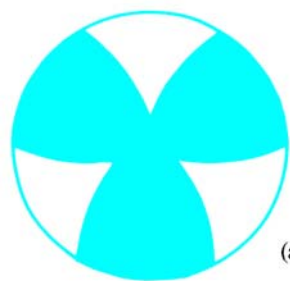
調頻式調製盤



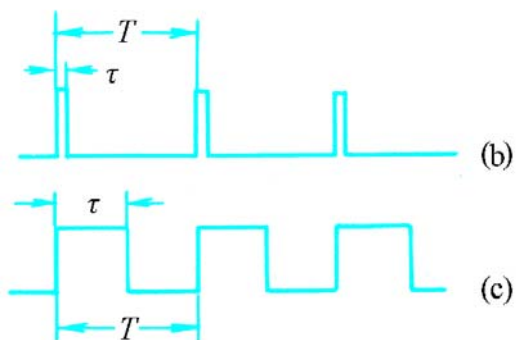
脈衝式調寬式調製盤

- 白色區為全透射區，調製盤繞中心O旋轉，目標像點不動。
- 當目標像點落於中心O附近時，透射輻射的波形如圖b，當目標像點靠近調製盤邊緣時，透射輻射的波形如圖c。
- 當目標像點沿徑向偏離中心時，透射輻射脈衝的週期 T 不變，而脈寬 τ 逐漸變大，脈衝占空比 τ/T 相應地變大。
- 在脈衝占空比的變化中包含了目標沿徑向偏離光軸的位置信息。
- 調製盤這類機械調製器件的結構簡單、調製度大(可達100%)，但是調製頻率低(在100 kHz以下)。

脈衝式調寬式調製盤



(a)



(b)

(c)