



2010 台北科技大學先進製程實驗室工作坊

電子束蒸鍍機的原理與應用

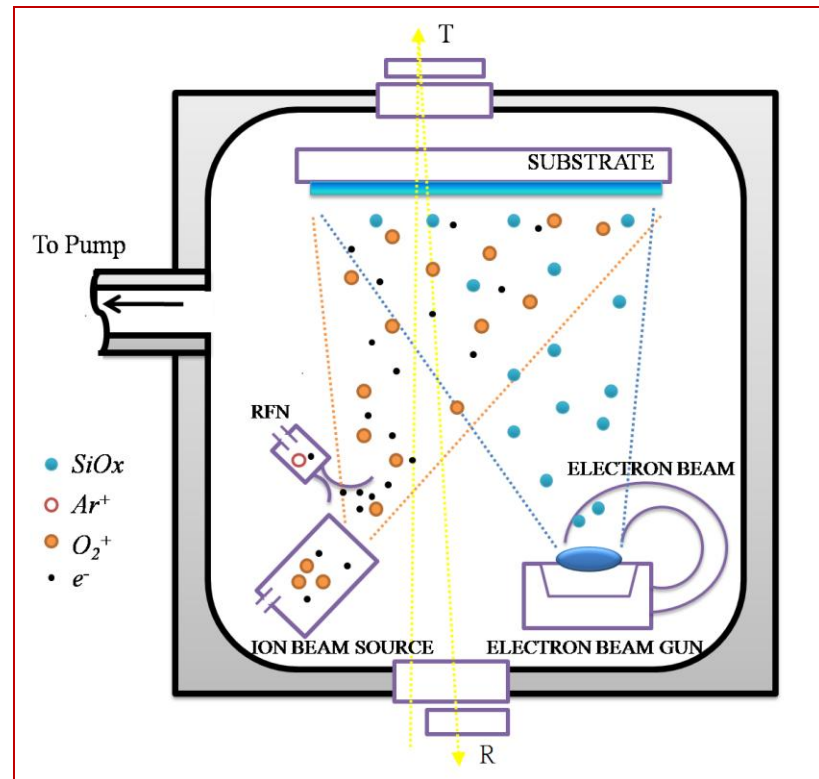
郭倩丞 博士

國立中央大學薄膜技術中心/光電科學與工程學系

生活中的光學薄膜

- 眼鏡
- 相機
- 螢幕
- 投影機
- 顯微鏡
- 望遠鏡
- 光纖通訊
- 雷射
- 干涉儀







簡介

- 生活中的光學薄膜
- 物理沉積法
- 平均自由路徑
- 熱蒸發蒸鍍法
- 電子束的產生
- 電子束的加速
- 坩鍋的型式
- 蒸鍍系統參數
- 光學監控系統
- 膜厚監控系統
- 影響均勻性的原因
- 電子束蒸鍍的應用

物理沉積法 (Physical Vapor Deposition)

其成膜過程可分為三步驟，在這三步驟過程中都可能有化學變化或物理碰撞而影響膜的特性、純度及均勻性：

- (1) 將薄膜材料由固體變成氣態
- (2) 薄膜的氣態原子或分子或離子穿過真空抵達基板表面
- (3) 薄膜材料沈積在基板上漸漸形成薄膜

平均自由路徑

平均自由路徑”L”是指氣體粒子在真空中飛馳經過“此距離”後才會碰到其它粒子的距離。

$$L = \frac{kT}{\pi\sqrt{2}D^2P}$$

式中k為Boltzmann 常數，D為分子直徑，T為絕對溫度，P為氣體壓力。



假設環境為空氣，空氣分子直徑約0.372nm，則在室溫時(300°K)，L與抽真空後之真空腔內的氣壓之關係為

$L \approx 0.65 / P(\text{Pa})$ 或 $L \approx 5 * 10^{-3} / P(\text{torr})$ ，單位為cm

$(1\text{Pa} \approx 7.5 \times 10^{-3} \text{ torr})$

一般蒸發源到基板的距離大約在30到50cm以上，因此P值必須小於 10^{-2} Pa。

熱蒸發蒸鍍法

利用升高薄膜材料之溫度使其熔解然後氣化(或是由固體昇華為氣體)，氣態薄膜材料之原子或分子因具有加溫後之動能，至基板形成固體的薄膜。

- 熱電阻加熱法
- 電子槍蒸鍍法
- 雷射蒸鍍法
- 弧光放電
- 分子磊晶成膜法



電子束的產生-熱電子發射

當高熔點金屬(W)被加熱到高溫度時，其表面電子之動能將大於束縛能而逸出，其電流密度可以Richardson方程式表示

$$J = AT^2 \exp(-ef/kT)$$

式中T為金屬之絕對溫度，e為電子電荷，f為功函數，k為Boltzmann常數，A為Richardson常數。

電子束的加速

由於電子帶有電荷，利用電場加速，則電子束所擁有的動能為 $1/2 m_e v^2 = eV$

m_e 為電子質量， v 為電子之速度， V 為電位差

一般 V 為 5kV 到 15kV，假設 V 為 10kV，則電子速度可高達 $6 \times 10^4 \text{ km/sec}$

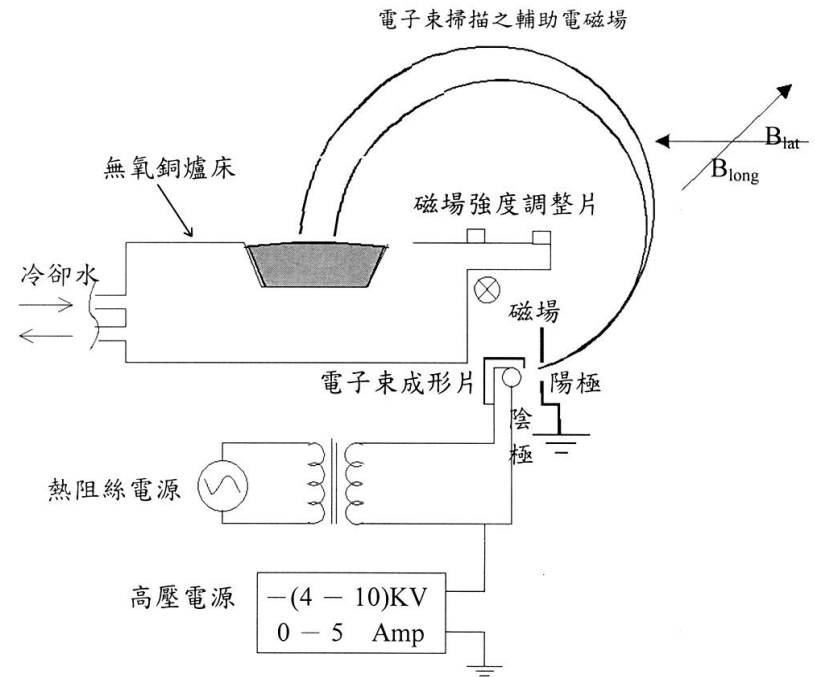
如此高速電子撞擊在膜材料上將轉換成熱能，溫度可高達數千度而把薄膜材料蒸發成氣體。

磁場 \otimes 的作用是將被加速之電子轉彎270度打在爐床上之鍍膜材料。

設磁場強度為 B ，則電子受磁力 $F=ev \times B$ 而轉彎，依圓周運動向心力公式 $F=m_e v^2/r$ ， m_e 為電子質量。因此轉彎曲率半徑為

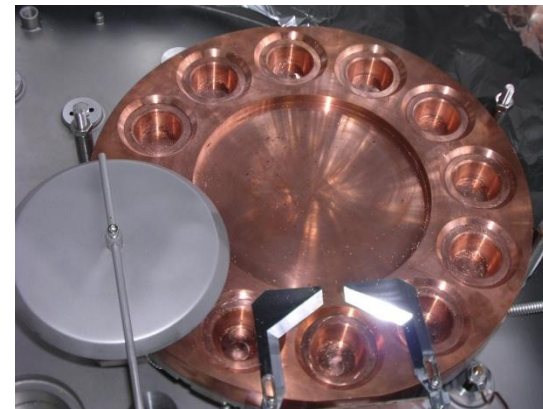
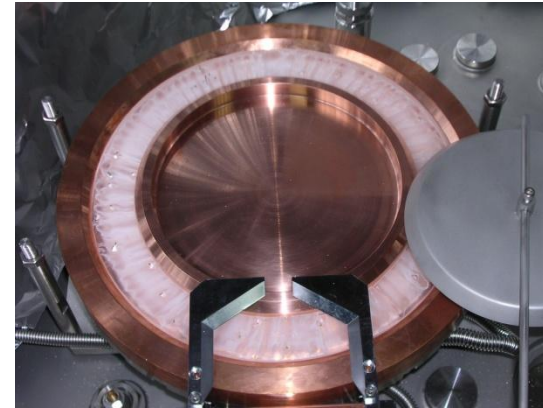
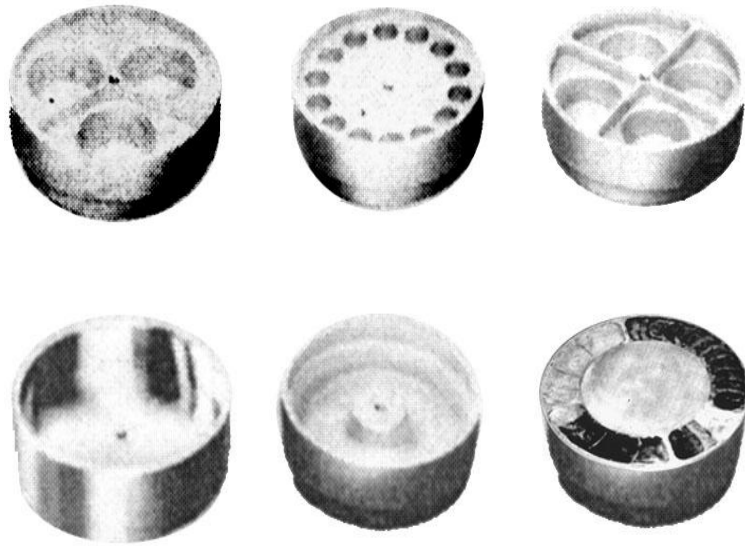
$$r = \left(\frac{m_e}{e} \right) \frac{v}{B}$$

B_{long} 及 B_{lat} 為可調電磁場，用來調整電子束打在膜材料之位置、掃描之幅度與頻率。

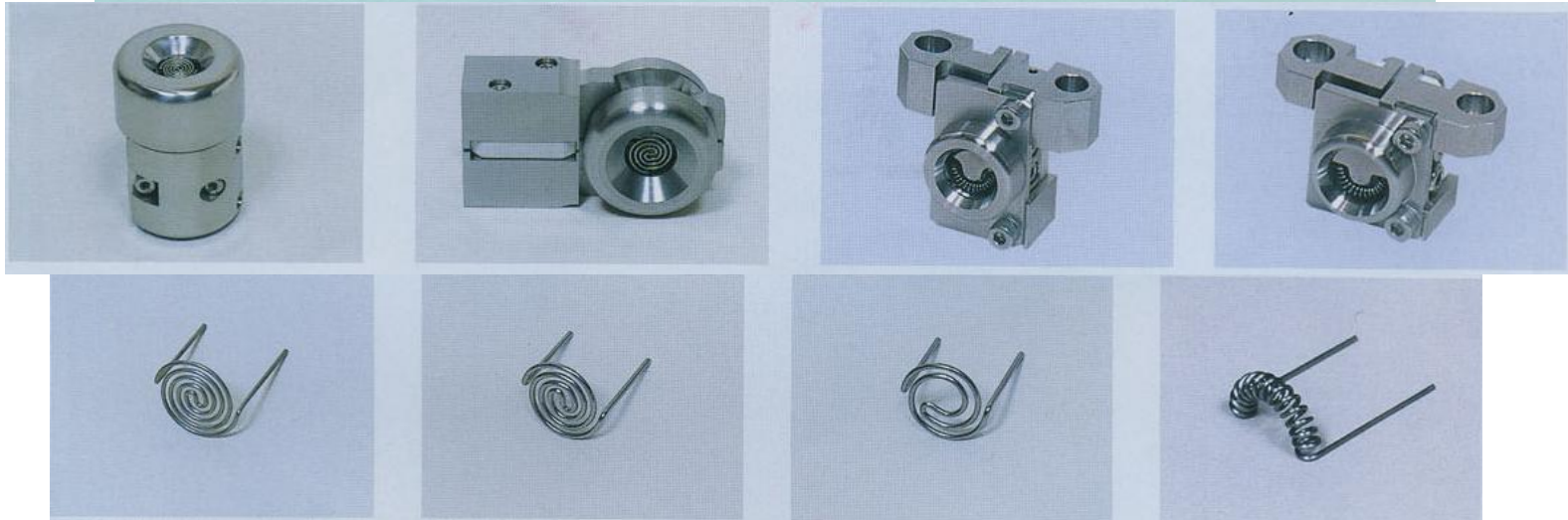
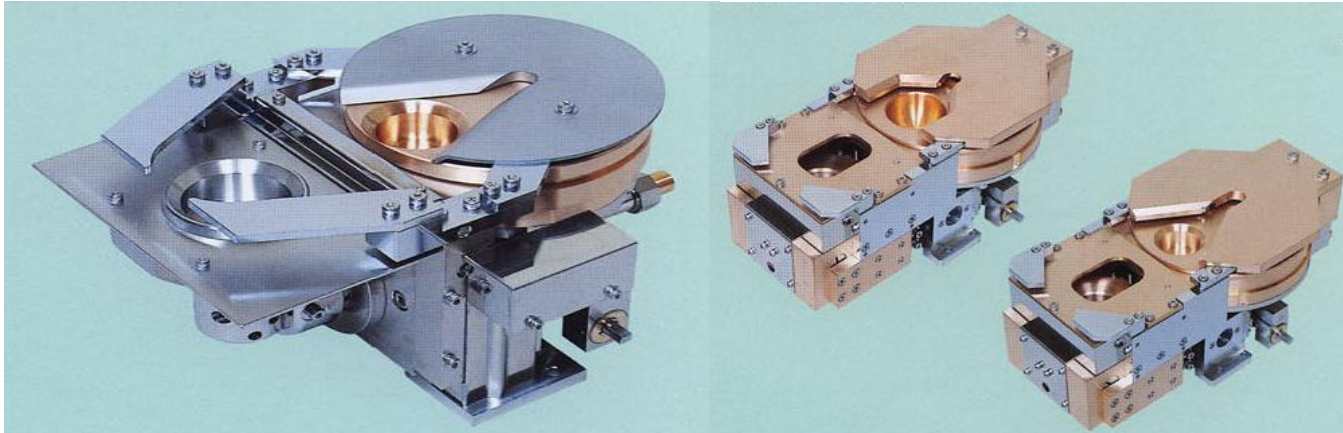


- 利用強力磁場將電子束轉彎 180° 或 270° ，可以減少蒸發原子或分子污染電子源。
- 電子束可加速到很高能量，可以鍍一些在熱電阻加熱法中不能蒸鍍的膜性良好的氧化膜。
- 擴大電子束之掃描範圍，即增大蒸發源面積，有助於提高鍍膜厚度分佈的均勻性。

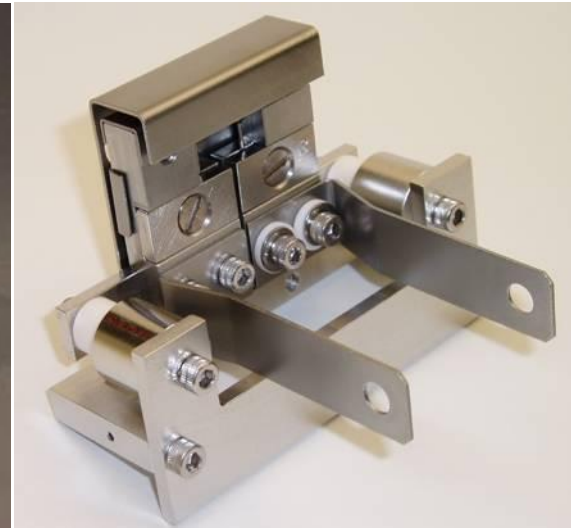
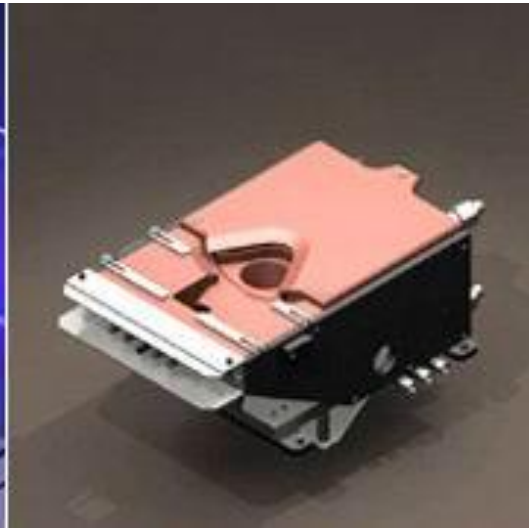
坩鍋的型式



JEOL



Temescal





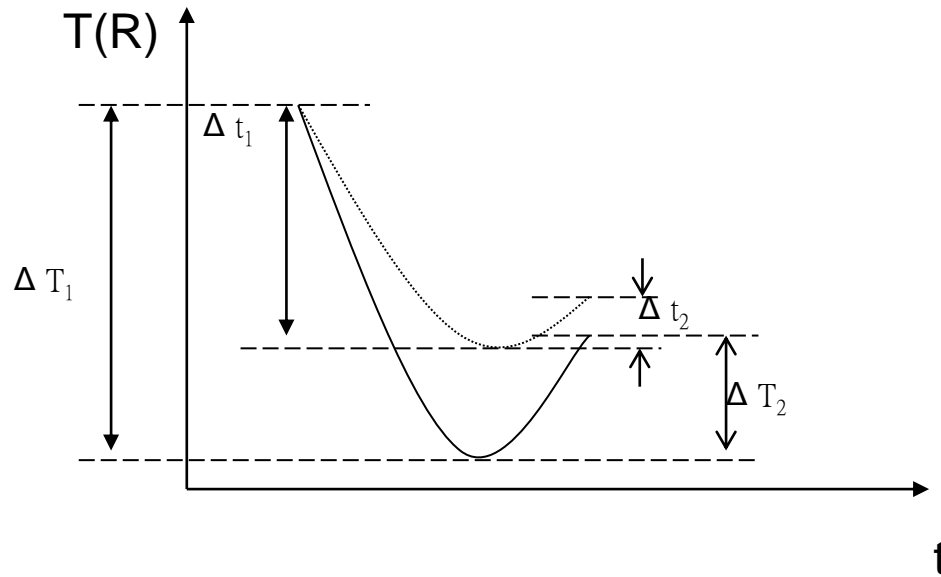
蒸鍍系統參數

- 真空度(提高平均自由路徑)
- 溫度(提供能量)
- 鍍率(氧化物之氧化程度)
- 氧壓(氧化物之氧化程度)
- 預熔材料(需預熔之材料如TiO₂,Ta₂O₅....)

光學監控系統(Optical Monitor System)

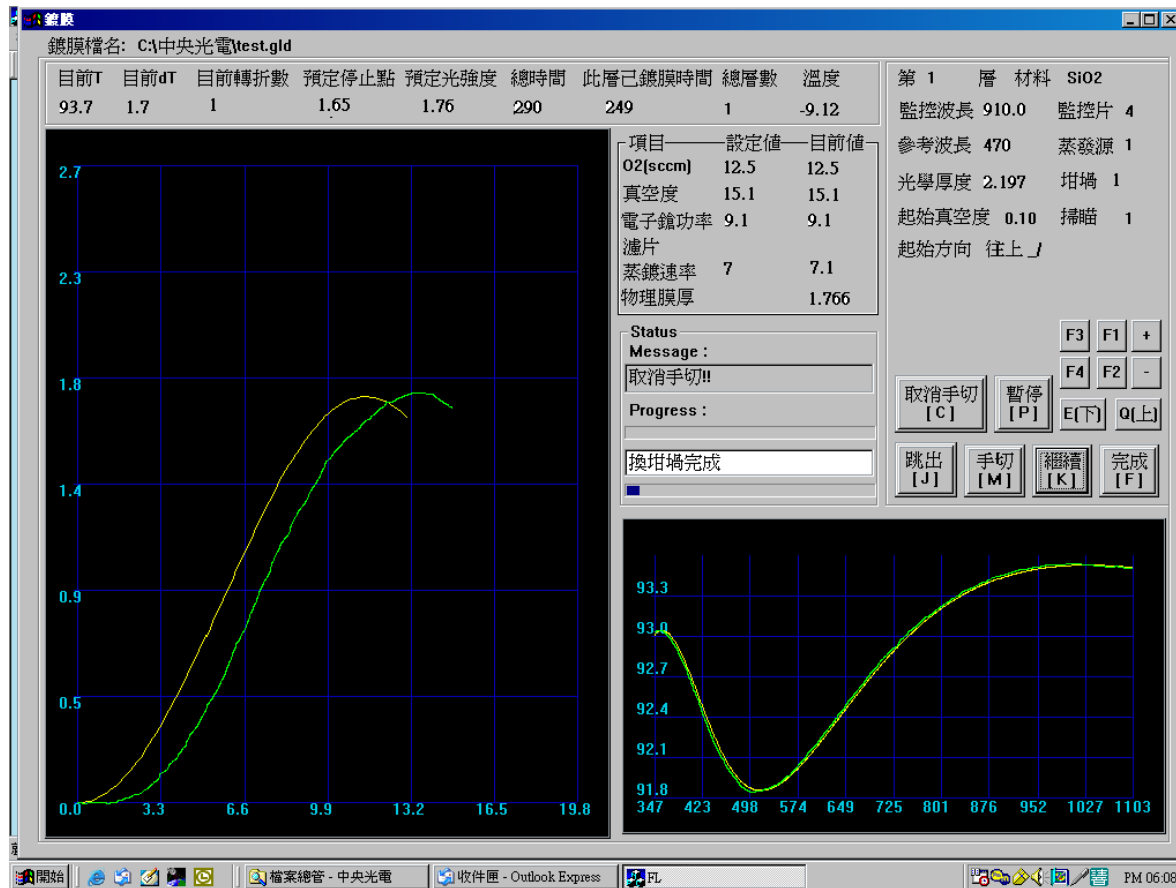
(如極值點法、定值監控法、廣波域掃描監控法)

定值監控法可以藉由比例的方法掌握切點的穿透率(反射率)位置



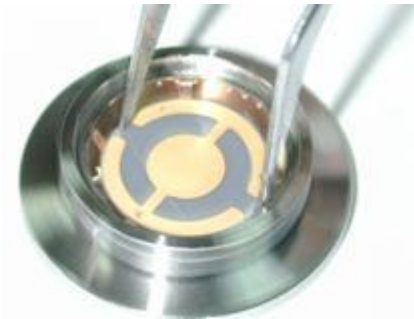
$$\frac{\Delta T_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta T_2}{\Delta t_2}$$

光學監控系統(Optical Monitor System)



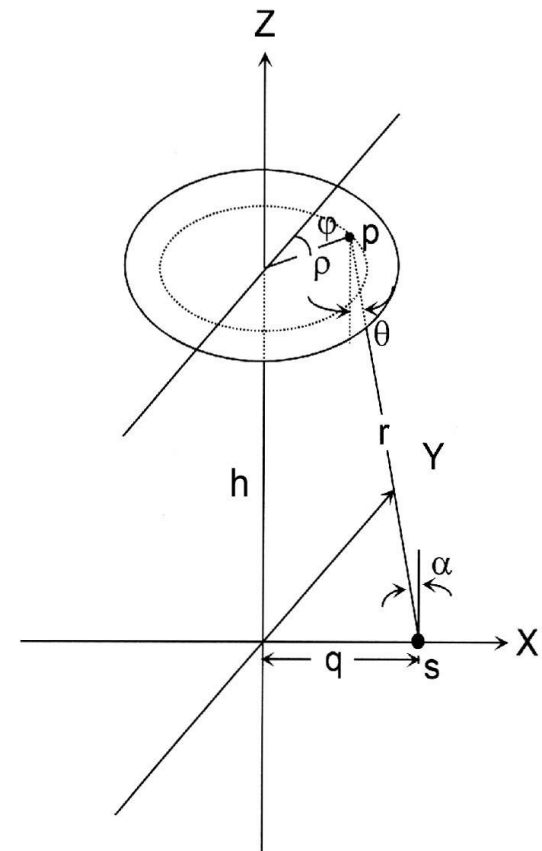
膜厚監控系統 (Quartz Monitor System)

- 利用石英晶體振盪頻率的改變，將頻率飄移量轉換成膜厚變化量來監控鍍膜厚度。
- 不同材料的薄膜，必須輸入不同薄膜的校正參數。



影響均勻性的原因

- 蒸發源的發射特性
- 基板支撐架形式
- 蒸發源與基板的相對位置
- (遮板的形狀)



不同發射特性其蒸氣雲密度分布

$$t = \frac{\cos^n \alpha \cos \theta}{r^2}$$

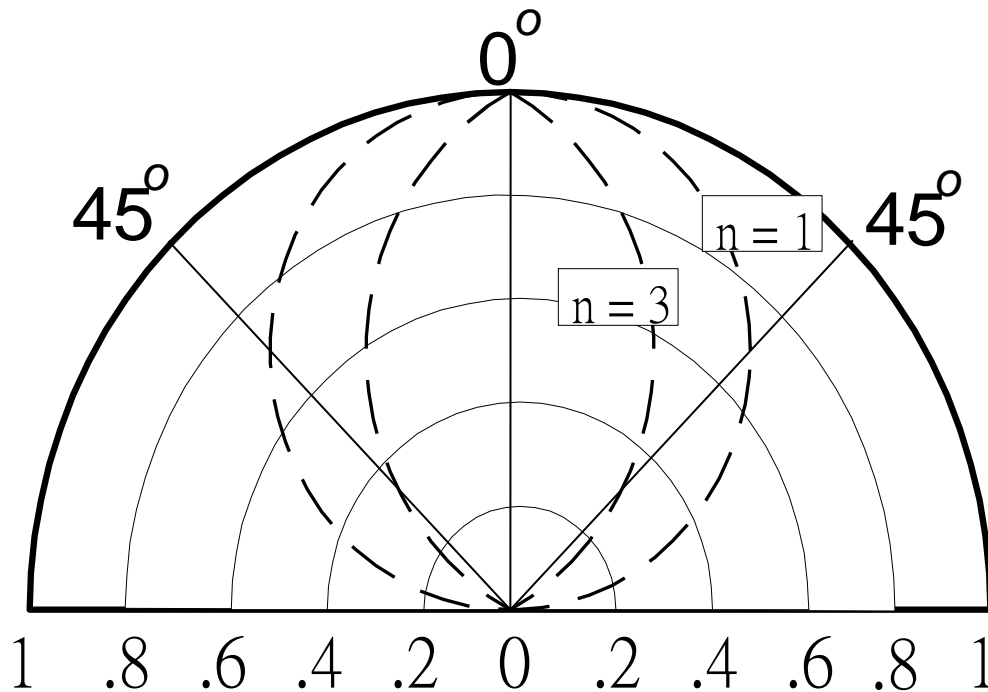
t 為基板上任一點的膜厚

r 為蒸發源與基板的距離

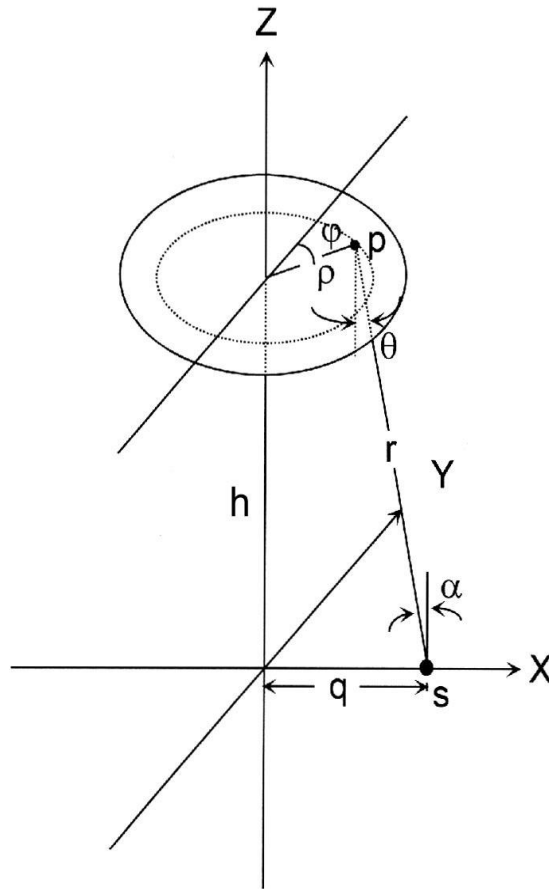
θ 為r與基板法向量的夾角

α 為r與蒸發源法向量的夾角

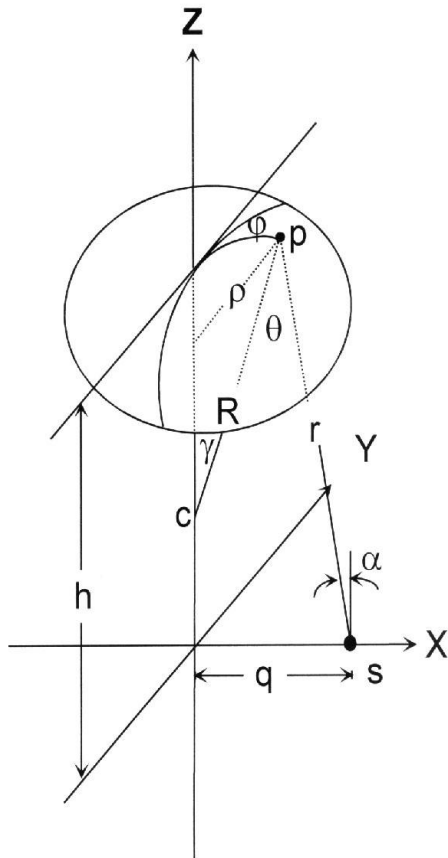
n 為一數學上的描述，其值的大小與靶材的特性、蒸鍍氣壓、蒸鍍時所添加的氣體、電子鎗的能量...等有關



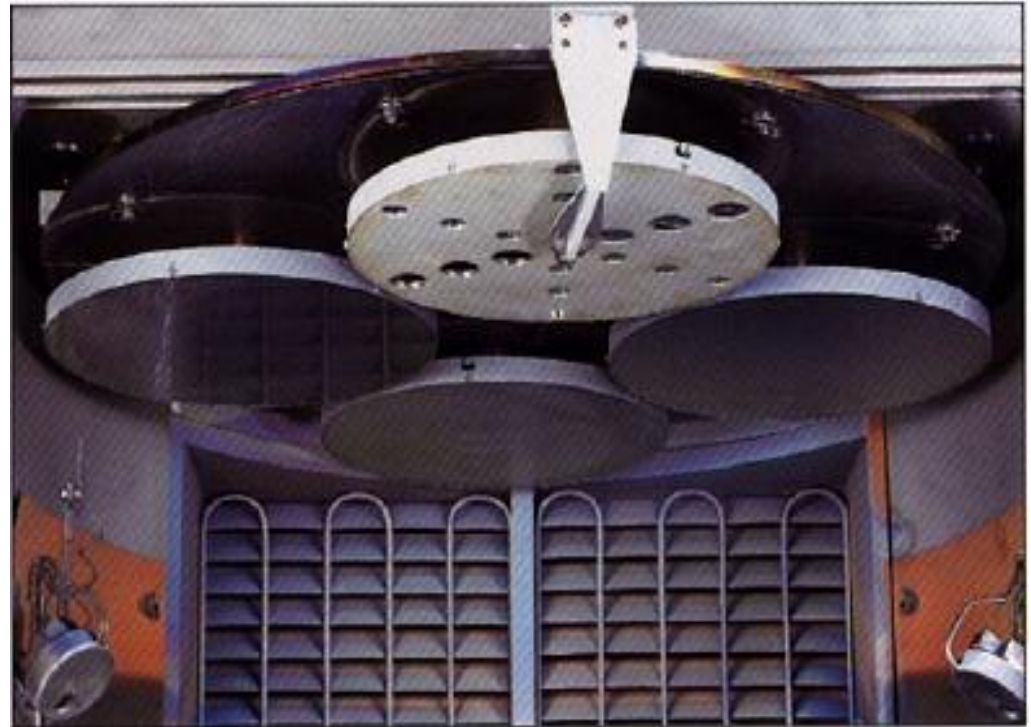
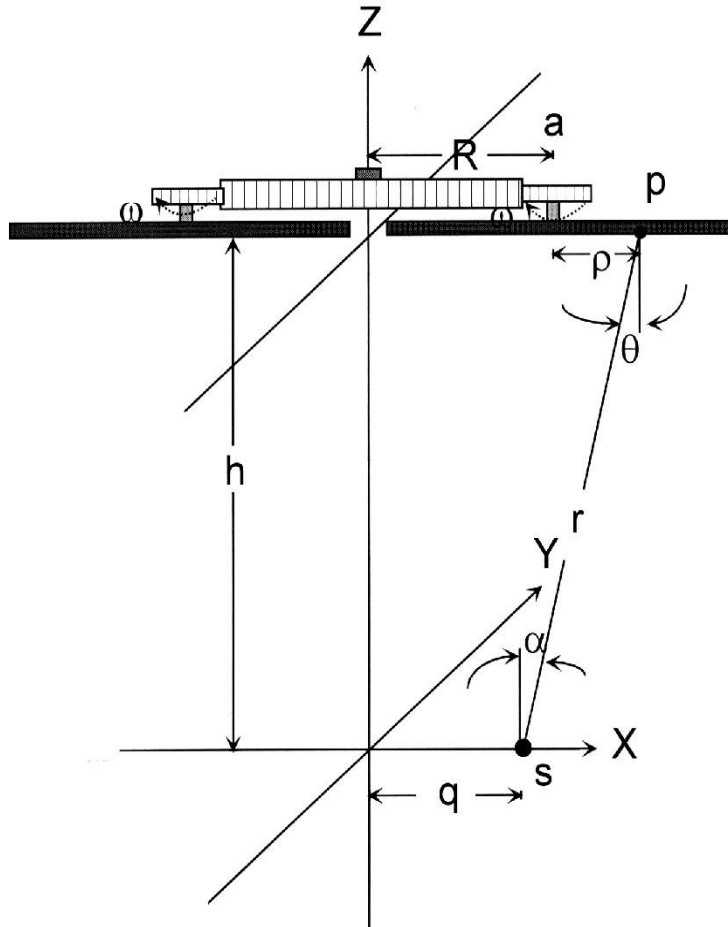
平面型基板支撐架



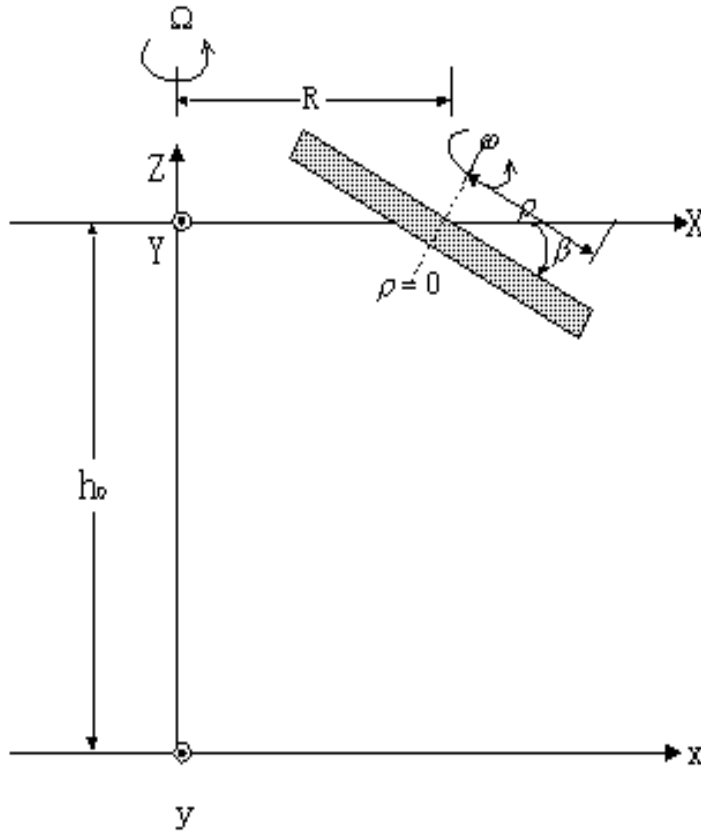
圓頂型基板支撐架 (Domo)



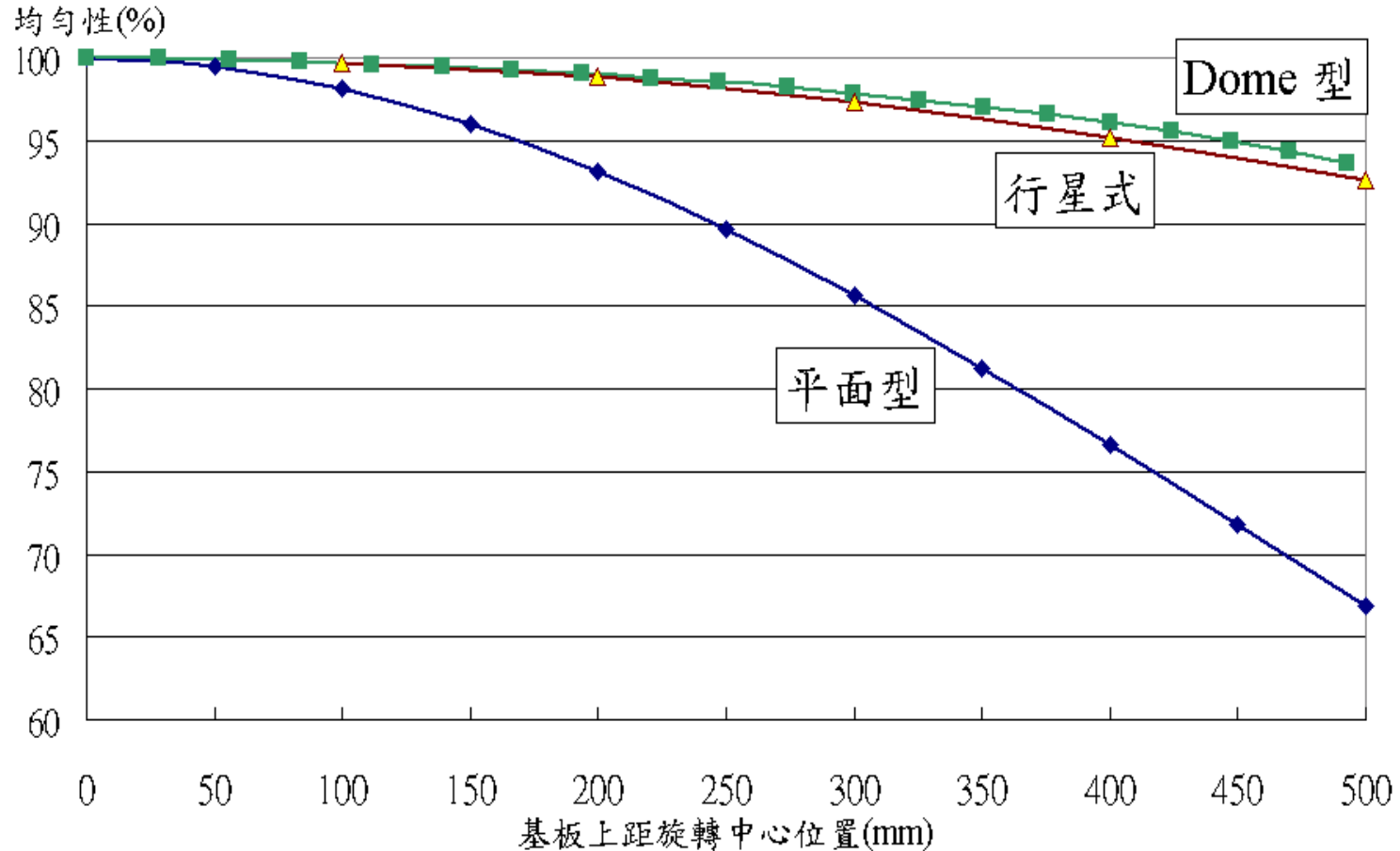
行星式平面基板支撐架



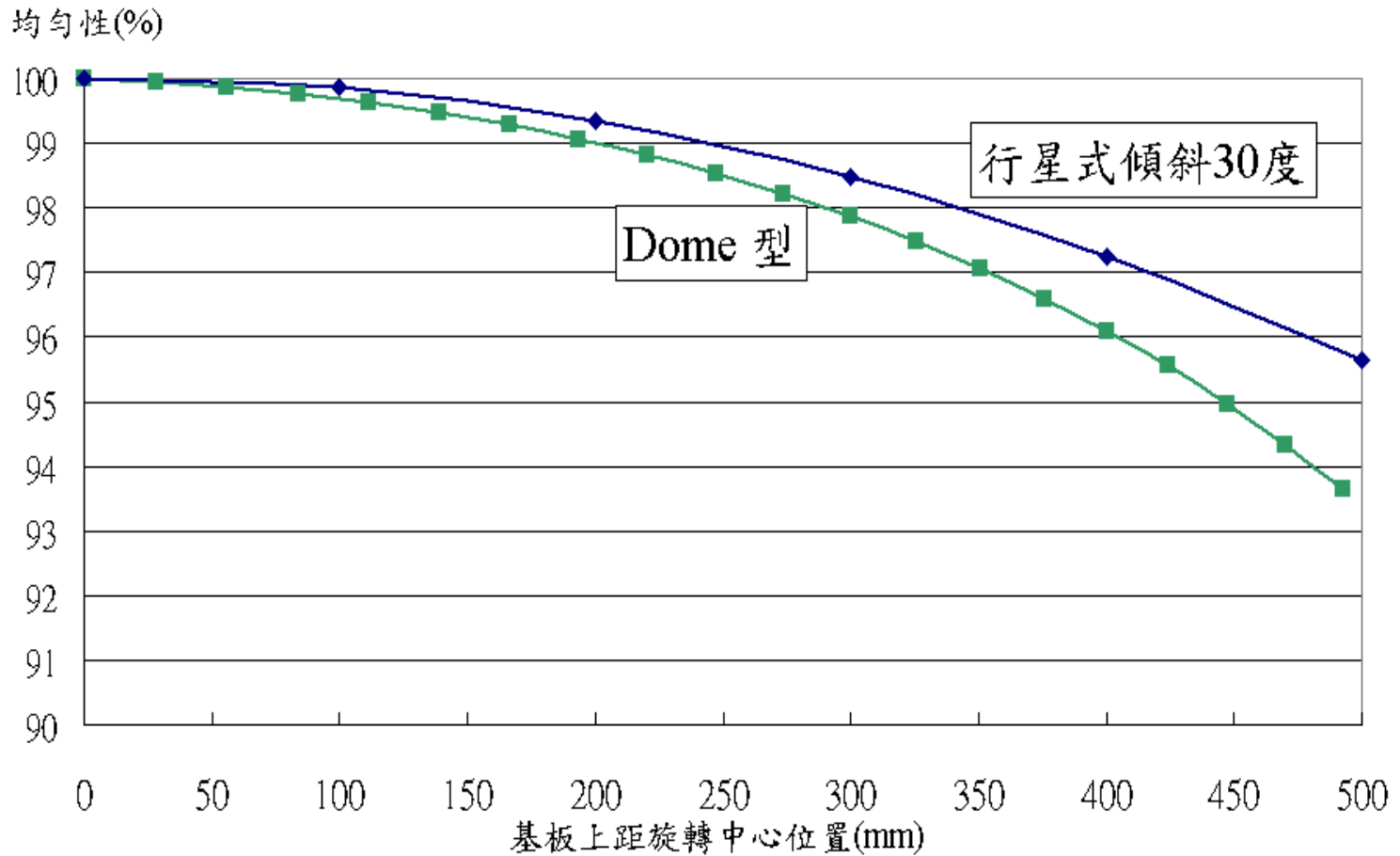
傾斜行星式基板支撐架

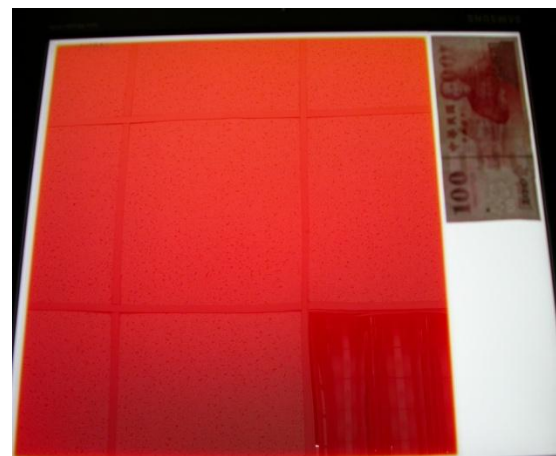
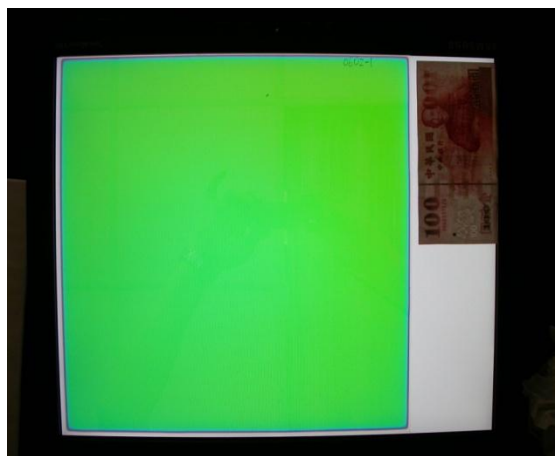
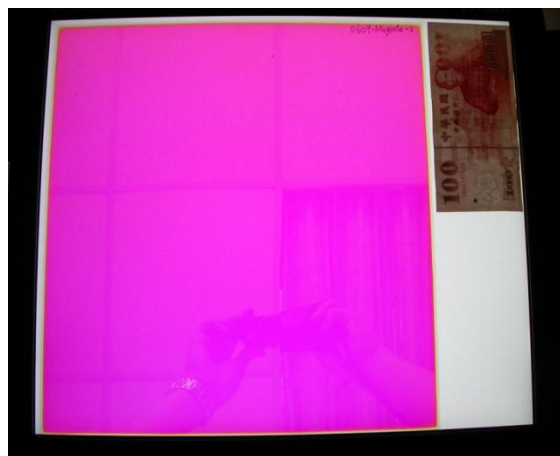
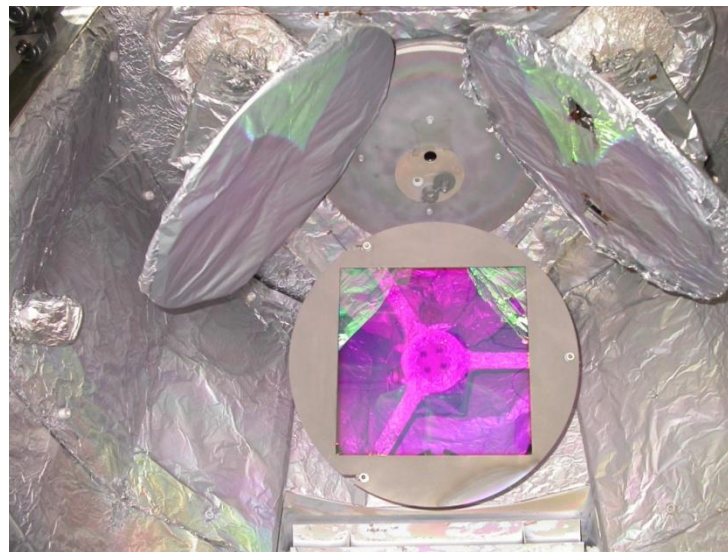


三種基板支架均勻性的比較

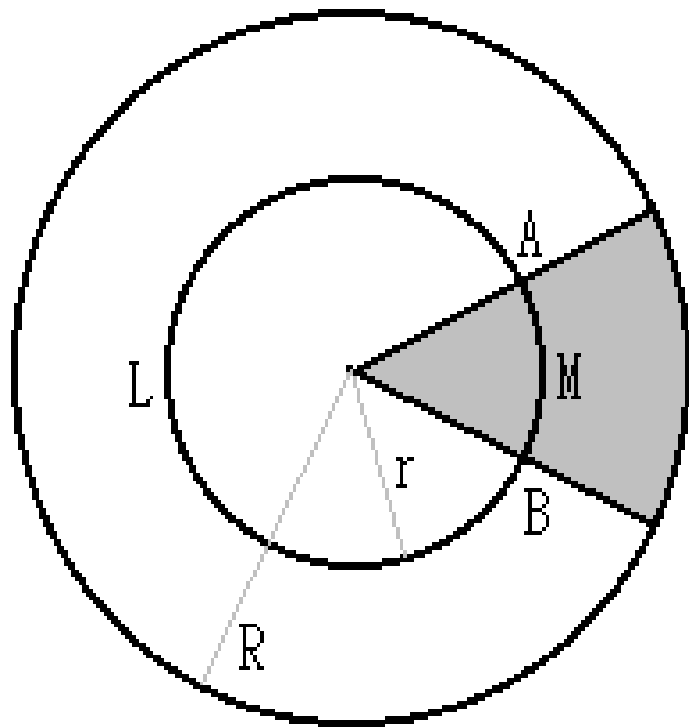


行星式傾斜角與Dome型支撐架對均勻性的比較





如何計算遮板的形狀



- 半徑為R的圓形基板，距離基板旋轉中心r所形成的軌跡為半徑r的同心圓
- 假設未加遮板且基板旋轉時，Circle(r)的膜厚為D；加入遮板且基板旋轉時，Circle(r)的膜厚為 D_m

$$D_m = D \cdot \left(1 - \frac{M}{L}\right)$$

電子束蒸鍍的應用

- 氧化物
(TiO_2 , Ta_2O_5 , Nb_2O_5 , ZrO_2 , Al_2O_3 , SiO_2 , MgF_2 , ZnS , Na_3AlF_6 , Si , Ge)
- 金屬 (Au , Ag , Cu , Fe , Cr , Ti , Cd , Mo , Al)

LED



Solar Cell & DRAM & Touch Panel



抗反射膜

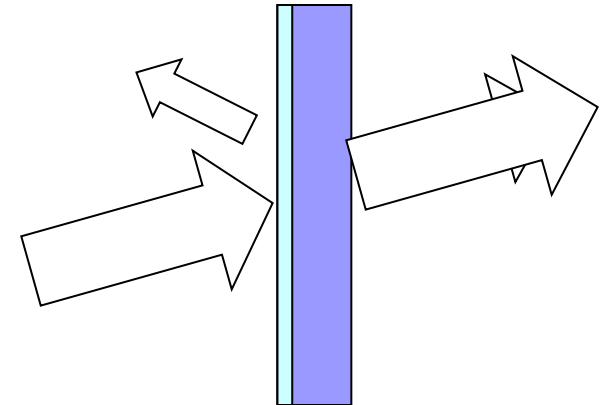
反射率降低或穿透率提高



← 光學系統無抗反射膜

→ 光學系統有抗反射膜

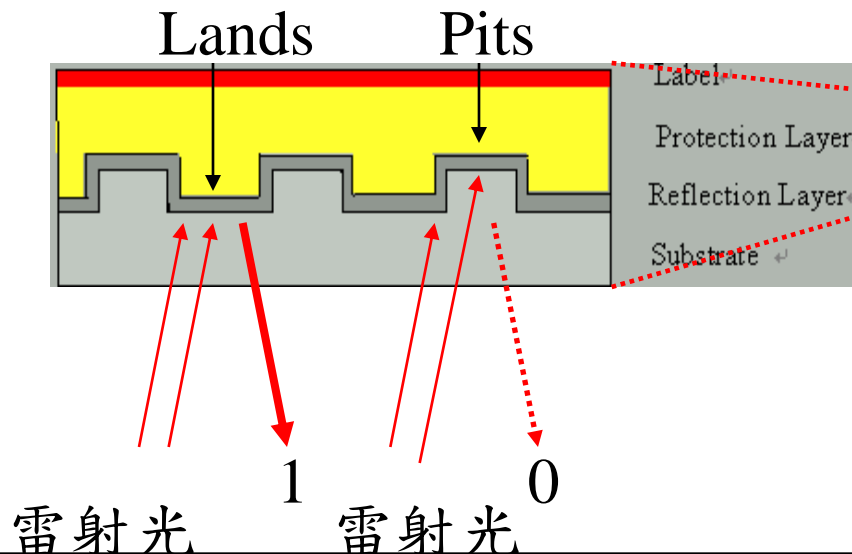
抗反射膜



光學元件

光資訊的記存

光學薄膜在光資訊的記存上，如常見的光碟片，藉由不同薄膜厚度改變碟片上的反射光反射率或相位，雷射光射到Lands(平地)的部分反射回來強度不會變弱，而射到Pits(訊洞)的部分在反射回來強度則會變弱。

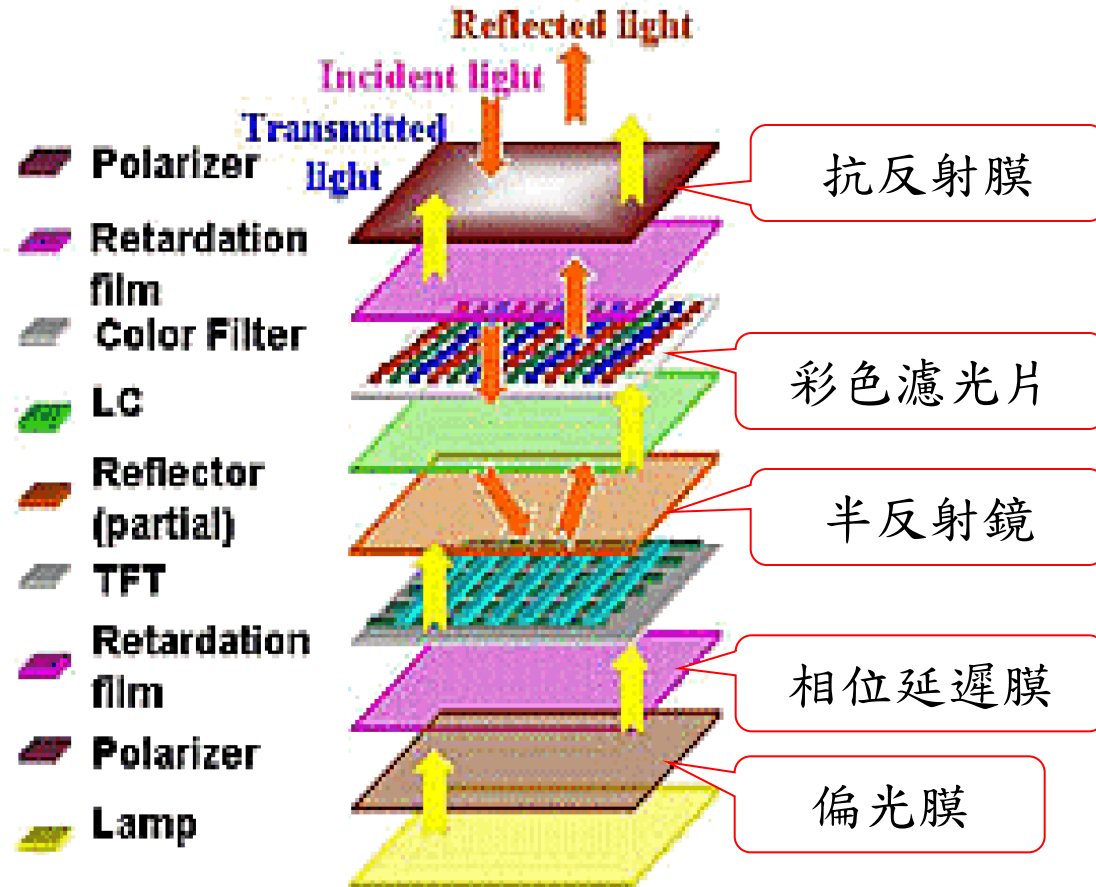


色光顯示、色光反射、鈔票及有價證券之防偽

光學薄膜在色光顯示、色光反射、鈔票及有價證券之防偽上，如圖所示，藉由對鈔票視角不同多層光學薄膜在色光反射上產生不同顏色，這種顏色變化無法以印刷方式達成且以平面掃描方式亦無法複製，由此可得到極高的防偽功能。

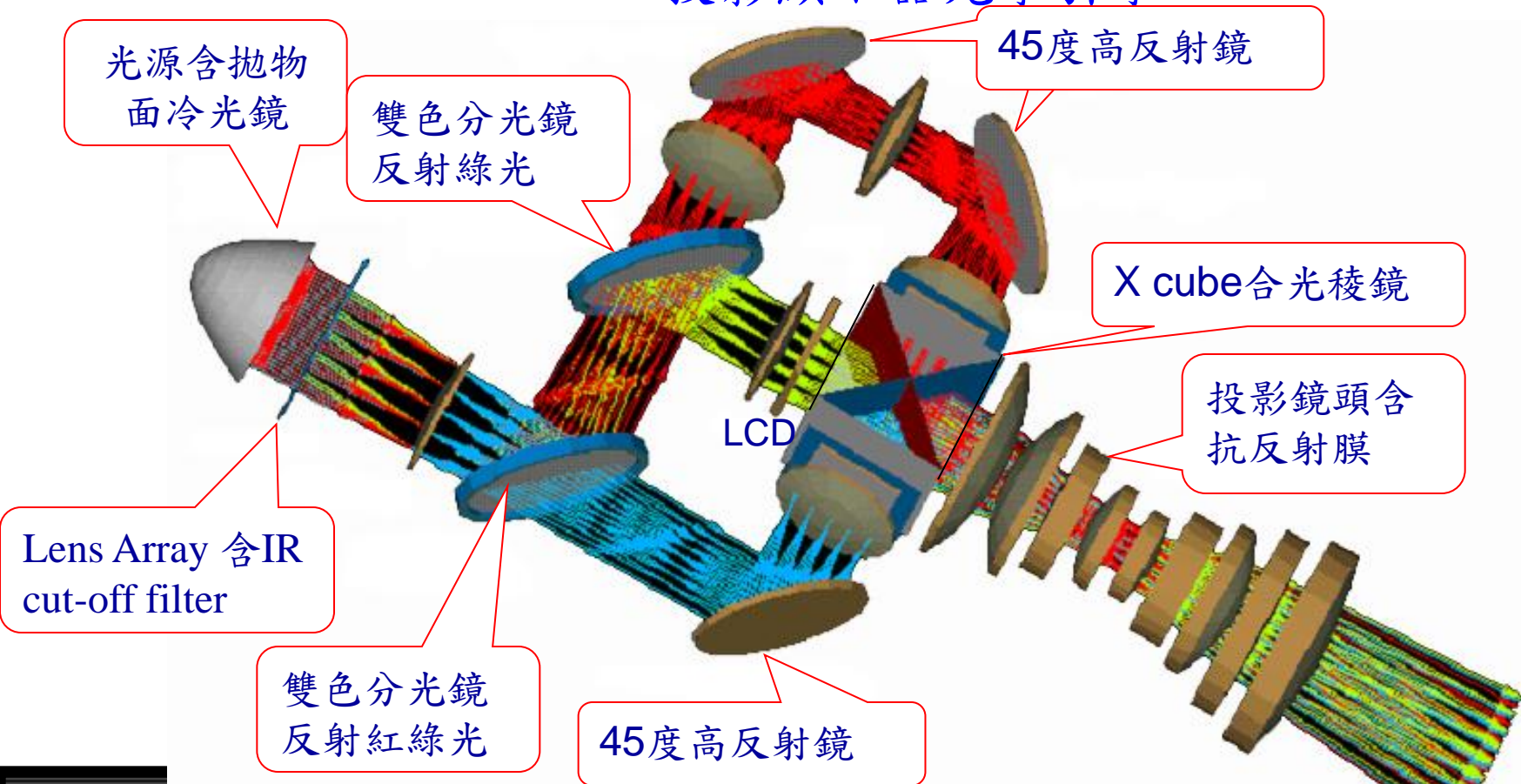


平面顯示器



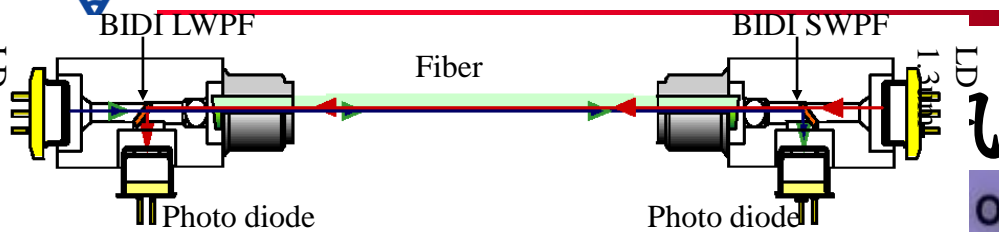
投影顯示器

LCD投影顯示器光學引擎

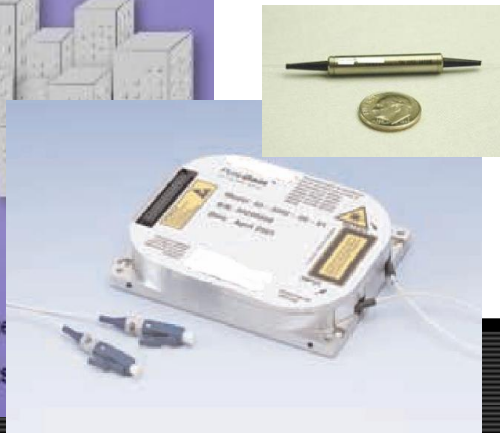
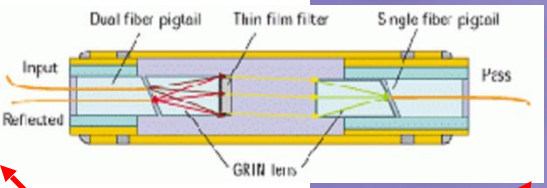
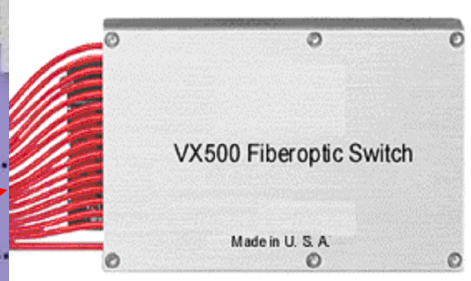
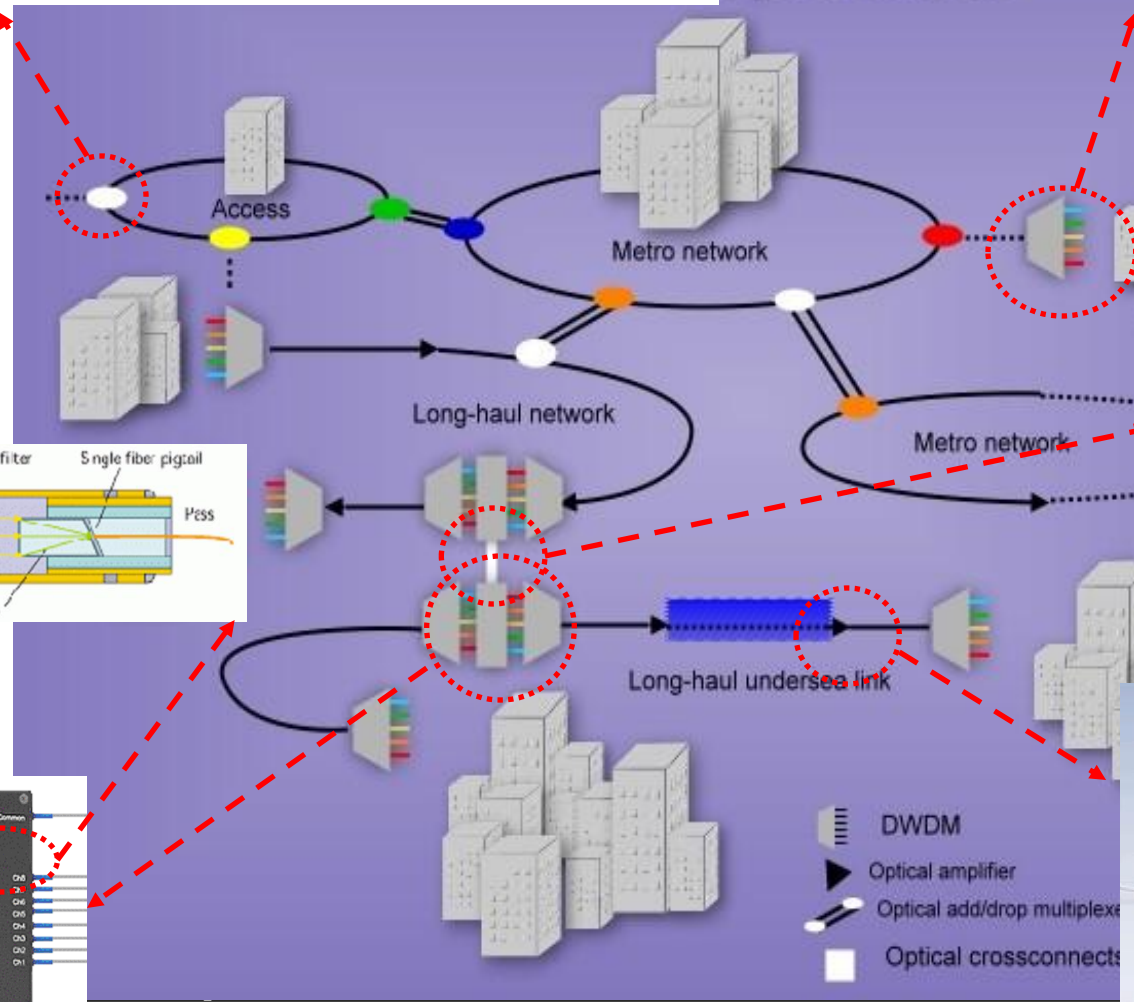




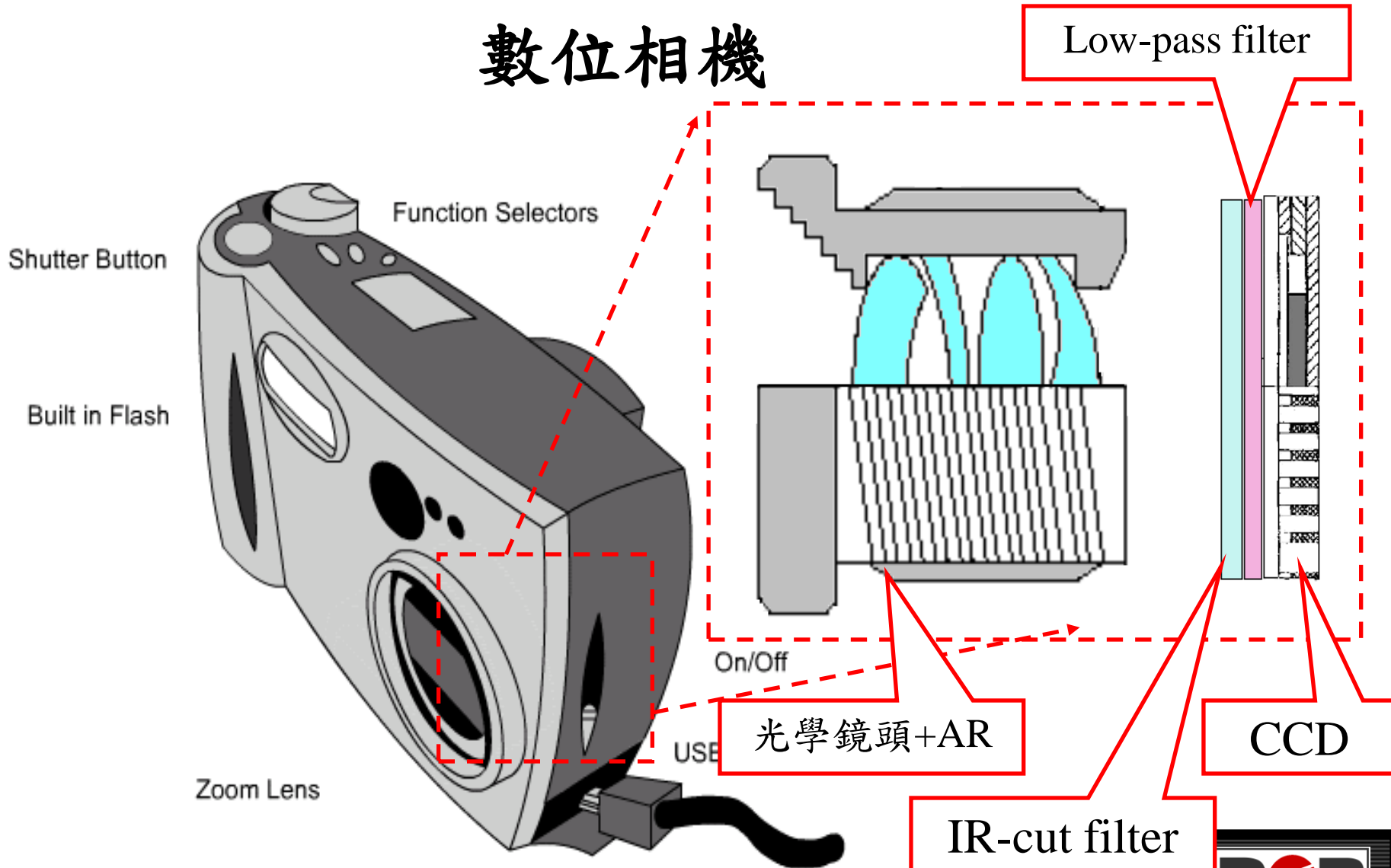
1.5um



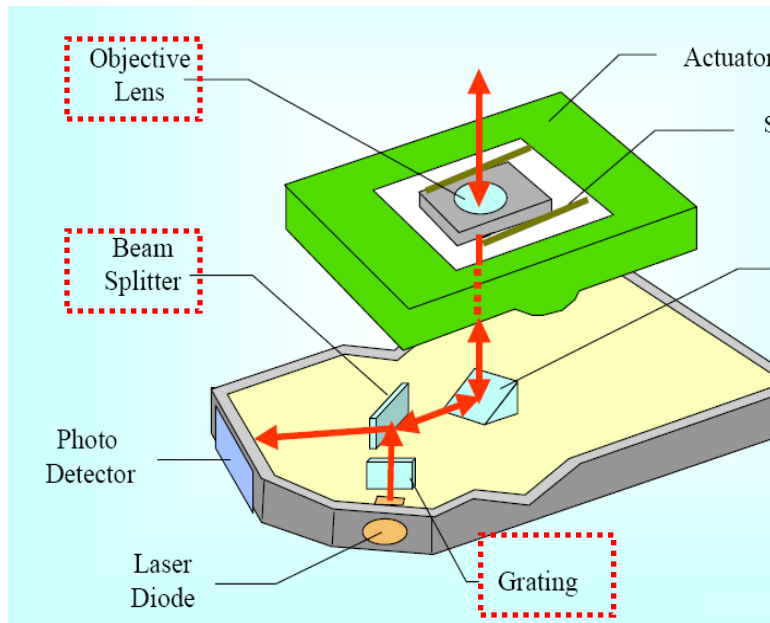
Optical network



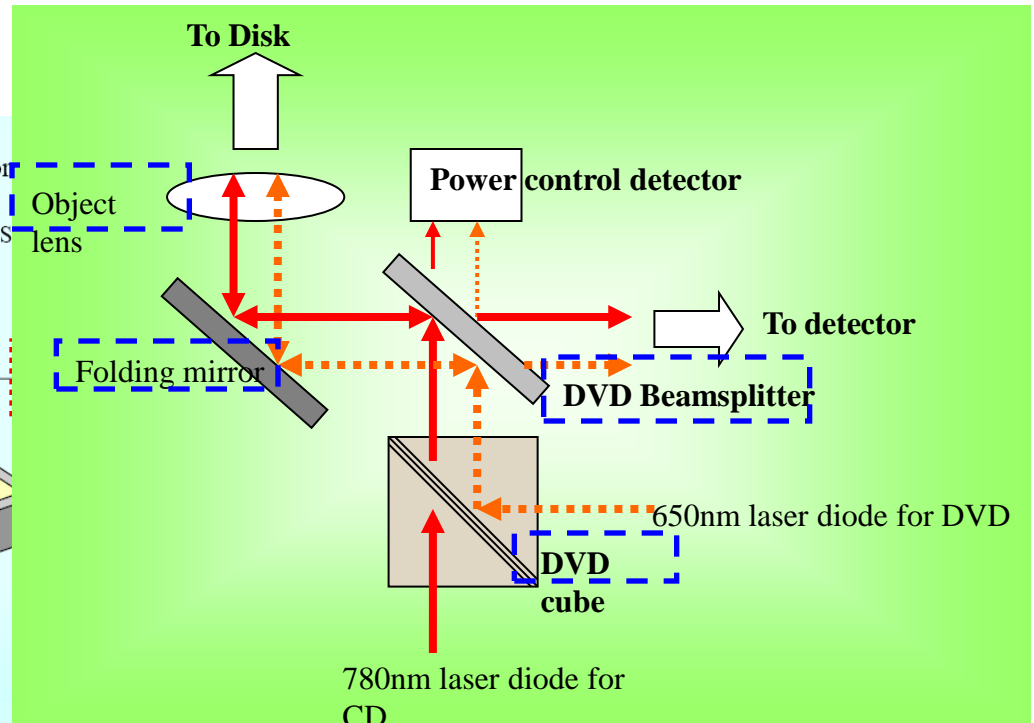
數位相機



CD與DVD



CD



DVD

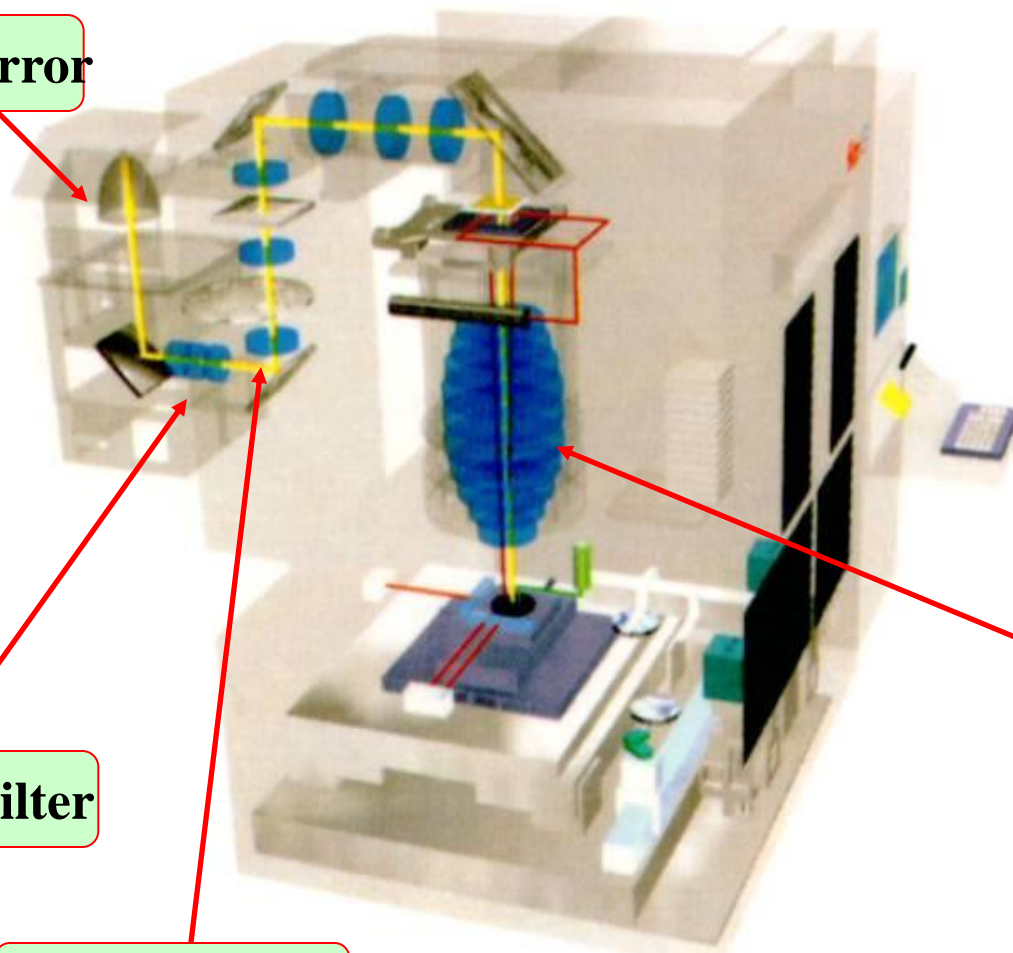
半導體製程微影曝光機

Ellipsoidal Mirror

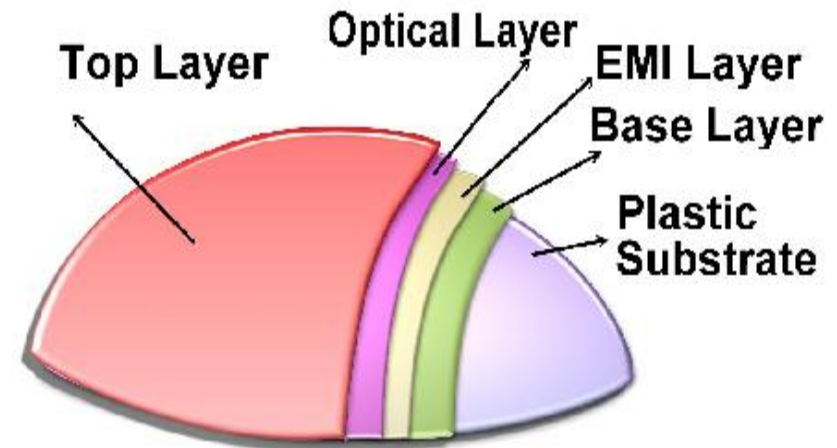
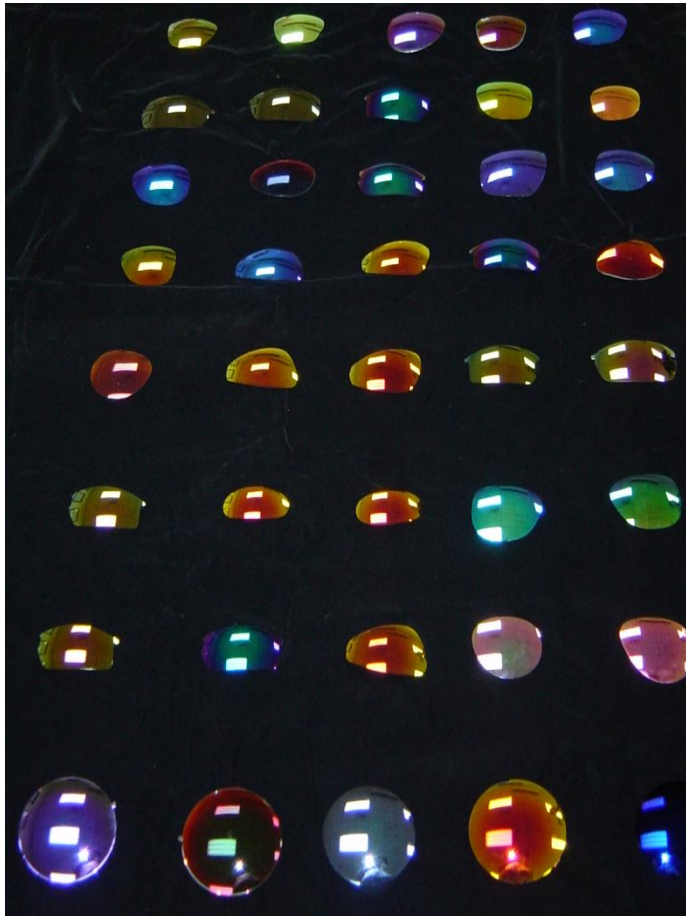
Interference Filter

Fly's Eye

Projection Lens



眼鏡與太陽眼鏡



太陽眼鏡結構圖



Thanks for your attention

