

低損耗線極化器

組員：四光三 100650313 洪啟超

四光三 100650316 洪進忠

四光三 100650320 林瑞晟

目錄

目錄	1
研究動機與目的	2
第一章 文獻探討	
1.1 物理氣相沉積法製鍍非均向柱狀薄膜	3
1.2 遮蔽效應與奈米柱的產生	4
1.3 奈米斜柱的光學現象	5
1.4 偏極分光鏡原理	6
1.5 偏極轉換膜原理	7
第二章 實驗流程	
2.1 鍍膜系統架構	8
2.2 鍍膜流程	10
第三章 實驗結果與討論	
3.1 實驗操作	11
3.2 實驗結果	16
3.3 討論	17

研究動機與目的

(1)研究動機:

顯示器產業日益精進，傳統的陰極射線管(CathodeRay Tube; CRT)螢幕，具有重量重、體積尺寸大、高輻射量等缺點，因此各種平面顯示技術便持續開發成長，發展技術成熟的電漿顯示器(Plasma Displays; PDPs)、液晶顯示器(Liquid Crystal Displays; LCD)…等等

其中液晶顯示器是所有平面顯示器中最為廣泛應用的顯示器，由於其本身並非是自發光性的顯示器，需要倚靠背光源及搭配多種光學膜如偏光膜、擴散膜或是增亮膜等，以達到高畫質、高精細及高亮度的光學特性。然而現在市面上大多都使用 3M 的 DEBF 加在背光模組裡面來提高發光的效率，而我們這次研究的題目「低損耗線極化器」利用分光鏡與偏極轉換膜來達到回收光線在利用提高背光模組發光效率。

(2)研究目的:

利用偏極分光鏡將白光光源的白光分成橫向電場(TE)偏極化(S 偏極)；另外還有橫向磁場(TM)偏極化(P 偏極光)兩道偏極光，在透過(S→P)偏極轉換膜將其 S 偏極光偏極轉換成 P 光達到相同線偏振光回收之目的即可提高發光效率。

第一章 緒論

1. 物理氣相沉積法製鍍非均向柱狀薄膜

一般來說，製鍍薄膜方法有很多，其中一種方法為沉積技術，沉積技術又可分為兩種，一種為物理氣相沉積 (Physical Vapor - Deposition methods, PVD)，而另一種為化學氣相沉積 (Chemical Vapor-Deposition methods, CVD)，而我們是以物理氣象沉積來製鍍非均向光學薄膜。

在鍍膜之前，先將玻璃基板 (BK7) 置於蒸鍍源正上方，使玻璃基板的法線方向與蒸鍍源蒸鍍的 flux 方向夾一角度 θ_f (θ_f 為沉積角)，如圖 1.1.1，固定住基板，並且盡量保持高真空狀態，再開始製鍍，而在薄膜成膜期間由於在低原子移動率 (adatom mobility) 與遮蔽效應 (self-shadowing effective)，使薄膜呈現傾斜柱狀的微觀結構，同時也具有近似單軸 (uniaxial) 晶體雙折射 (birefringence) 的光學現象，即 $n_x = n_y \neq n_z$ ，此種製鍍膜的方法稱為斜向沈積技術 (Oblique Angle Deposition, OAD)，其中 θ_f 為柱狀傾角，定義為奈米柱的生長方向與基板法線方向的夾角。

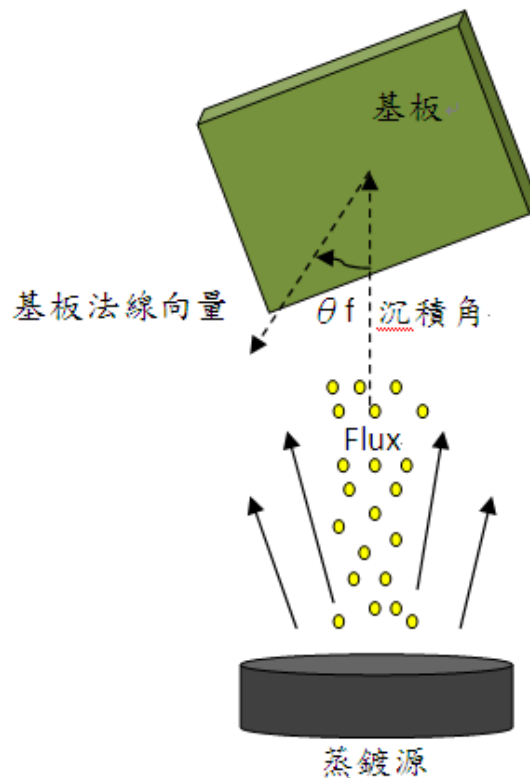


圖 1.1.1 物理氣向沉積示意圖

2. 遮蔽效應與奈米柱的產生

欲形成奈米斜柱最主要的成因就是因斜向製鍍所產生的遮蔽效應，當製鍍的靶材因不斷對其增加能量（例如電子槍或者熱能轟擊靶材）而氣化時，氣態的材料將會產生一向上的動力，因此靶材的氣態原子會不斷向上移動，並且附著於基板上，這就是物理氣相沉積的鍍膜原理。

然而在成膜初期，氣體原子會附著於基板上，呈現一顆顆島狀晶核的狀態，但由於我們將基板傾斜一個角度 θ_f ，使得蒸鍍的flux 斜向附著於基板表面，因為前一個島狀晶核會遮蔽到下一個，且下一個又遮蔽到下下一個，一直周而復始，陰影區卻都無法鍍到，這個現象一直持續的發生，經過一段時間後，每個結晶會漸漸結合，並且逐漸往蒸鍍源方向一直沉積，奈米斜柱就形成了，這就是遮蔽效應產生奈米柱之成因。

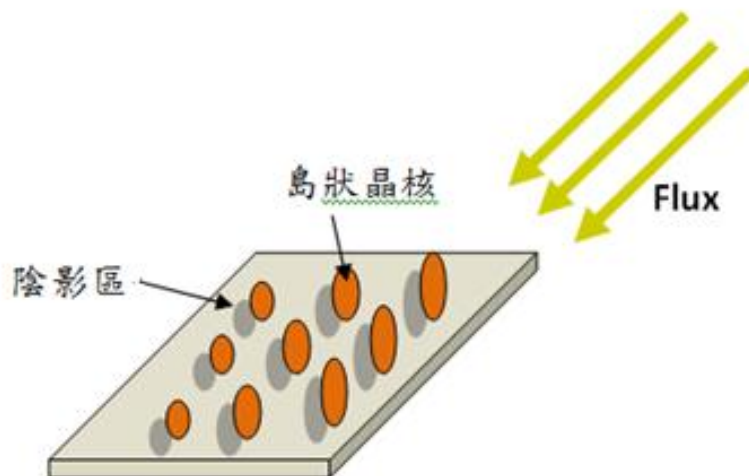


圖1.2.1遮蔽效應示意圖

3. 奈米斜柱的光學現象

當材料具有非均向奈米斜柱特性時，由於各個軸向有著不同的折射率，即可考慮Horowitz 所提出薄膜的柱狀結構雙折射模型，此模型所描述光學特性與均向材料完全不同，主要是利用座標軸映射的原理，而傳統的均向材料沒有三主軸折射率，因為三個軸態折射率都一樣，即 $n_x = n_y = n_z$ 。

經Horowitz 模型的描述，非均向奈米斜柱具有三主軸折射率，並且光在膜層中的行徑行為具有雙折射現象，並且又可分為兩種形式：(1) 單軸 (uniaxial) 晶體，即 $n_x' = n_y' \neq n_z'$ 與 (2) 雙軸 (biaxial) 晶體，即 $n_x' \neq n_y' \neq n_z'$ ，當我們去改變柱子的傾斜角度或薄膜的厚度及會改變整體薄膜的光學特性，同時也產生出各種不同的新奇材料，例如柱子越斜，則孔隙率越大等等…，有助於設計更多新穎的光學元件，同時也是均向材料所辦不到的。

為了分析斜柱薄膜的光學特性，會先定義座標系統，原空間座標系統為 (x, y, z) ，且奈米柱座標為 (x', y', z') ，且沿著奈米斜柱薄膜生長方向之軸向為 z' 軸，且為求方便分析，會限定一空間座標的主軸與傾斜圓柱座標的主軸相同方向，即平行 $(y = y')$ ，並且兩組座標系統所夾之角度即為柱狀傾角 θ_c 。

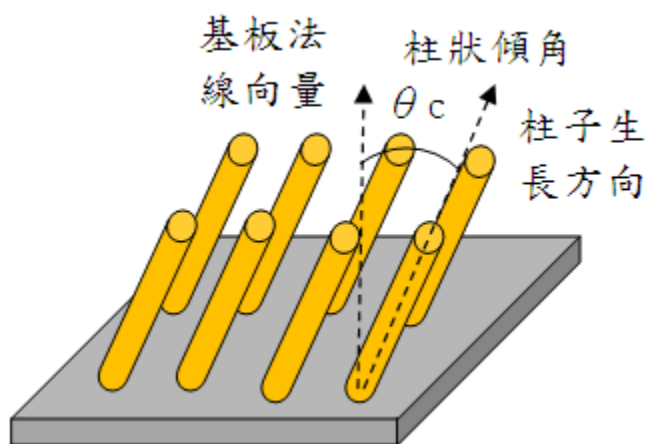


圖 1.3.1 奈米斜柱與柱狀傾角示意圖

4. 偏極分光鏡 (Polarizer Beam splitter) 原理

偏極分光鏡是由兩個 45 度角的等腰直角形稜鏡底邊粘合而成的稜鏡，當非線性偏極化光入射 PBS 時，PBS 會反射入射光的 S 偏極光（垂直入射線平面），並且讓 p 偏極光（平行入射線平面）通過。

在使用上偏極分光鏡時要注意，入射光線要垂直入射，避免夾角造成光線的色散以至於分光效果不佳。

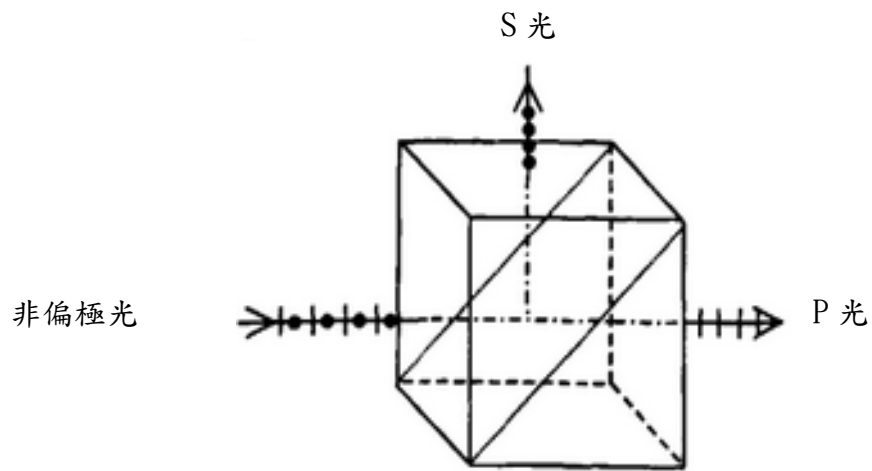


圖 1.4.1 偏極分光鏡示意圖

5. 偏極轉換膜(S→P)原理

所謂偏極轉換膜是指將一線偏極態的光在非均向膜中反射達到線偏極態的改變。本次我們使用是將S光轉換成P光的偏極轉換膜，當S光入射到非均向膜，因為非均向膜三主軸折射率不同產生的兩個偏振分量的光e、o，兩分量的光在非均向膜的上邊界與下邊界不斷產生反射與穿透使，兩光束之間最後耦合產生 180° 的相位差，達到S轉換成P的效果。

在這次實驗中我們使用的 Ta_2O_5 作為蒸鍍非均向膜之材料，並以相位差公式 $\Delta\delta=(2\pi/\lambda)d | n_x-n_y |$ ，決定其膜厚d以及三主軸折射率。

而憑藉經驗及擬合測量的角頻譜，可建立其三主軸折射率與蒸鍍傾角的關係式(在 $\lambda=632.8\text{nm}$ 時所建立的):

$$n_x=-0.117+1.107\times 10^{-1}\alpha+1.820\times 10^{-3}\alpha^2-8.711\times 10^{-6}\alpha^3$$

$$n_y=-1.996+2.014\times 10^{-1}\alpha+3.258\times 10^{-3}\alpha^2-1.577\times 10^{-5}\alpha^3$$

$$n_z=3.387-6.497\times 10^{-2}\alpha+1.044\times 10^{-3}\alpha^2-6.658\times 10^{-6}\alpha^3$$

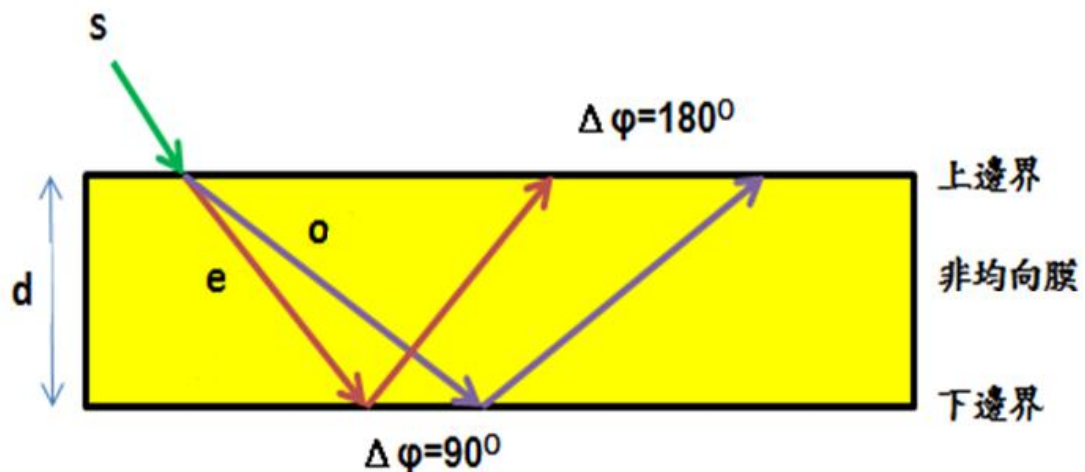
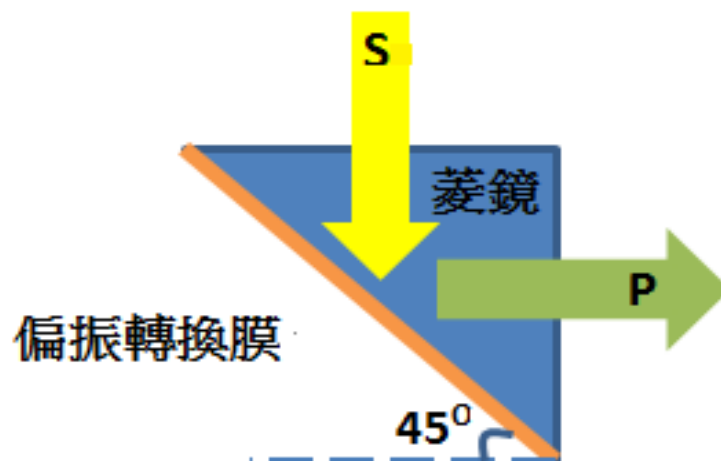


圖 1.5.1 非均向薄膜內部示意圖



1. 鍍膜系統架構

鍍膜機 (coator) 的系統架構主要有(1)真空抽氣系統(2)基板旋轉系統(3)鍍膜系統(4)薄膜厚度監控器，描述如下：

(1)真空抽氣系統，包含機械幫浦 (Mechanical Pump)、渦輪幫浦 (Turbo Pump)，而抽氣流程主要是先利用機械幫浦將腔體內部抽到粗略的真空 (10^{-2} 等級)，再利用渦輪幫浦對腔體抽至高真空 (最高 10^{-7} 等級)，此步驟是為了避免鍍膜時，材料分子與空氣中的分子碰撞過當影響到鍍膜的品質。

(2)基板旋轉系統，是由兩組步進馬達所構成的雙軸轉台，而兩組馬達可分別控制兩個軸向，其一為斜向製鍍的角度 $\pm\theta c$ ，另一個為沿基板法線自轉的軸向，並可由電腦程式控制其轉台的轉速與周期性旋轉，即可製鍍出多種不同結構的非均向薄膜。

(3)鍍膜系統，為電子束蒸鍍法 (Electron Beam Evaporation)，主要是以電子束的高能量直接轟擊材料，當材料蒸發為氣體後，氣態材料的 flux 向上附著於基板的製鍍方式。

(4)薄膜厚度監控器，主要是利用石英振盪晶片的振盪頻率不同，監控薄膜沈積厚度與蒸鍍速率，稱為石英晶體振盪器監控法。

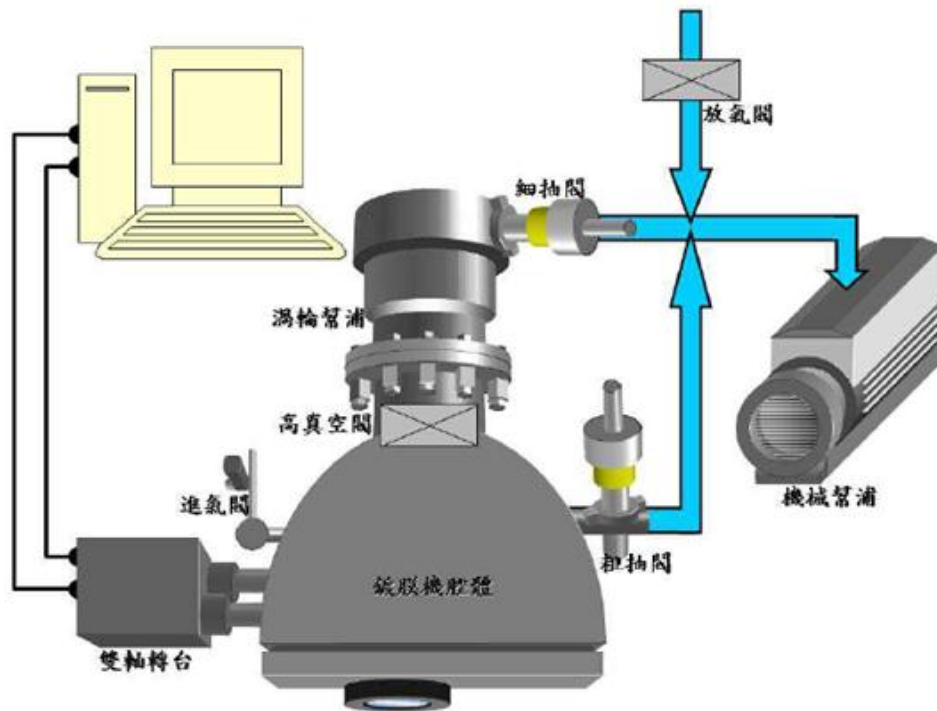


圖 2.1.1 鍍膜系統架構圖

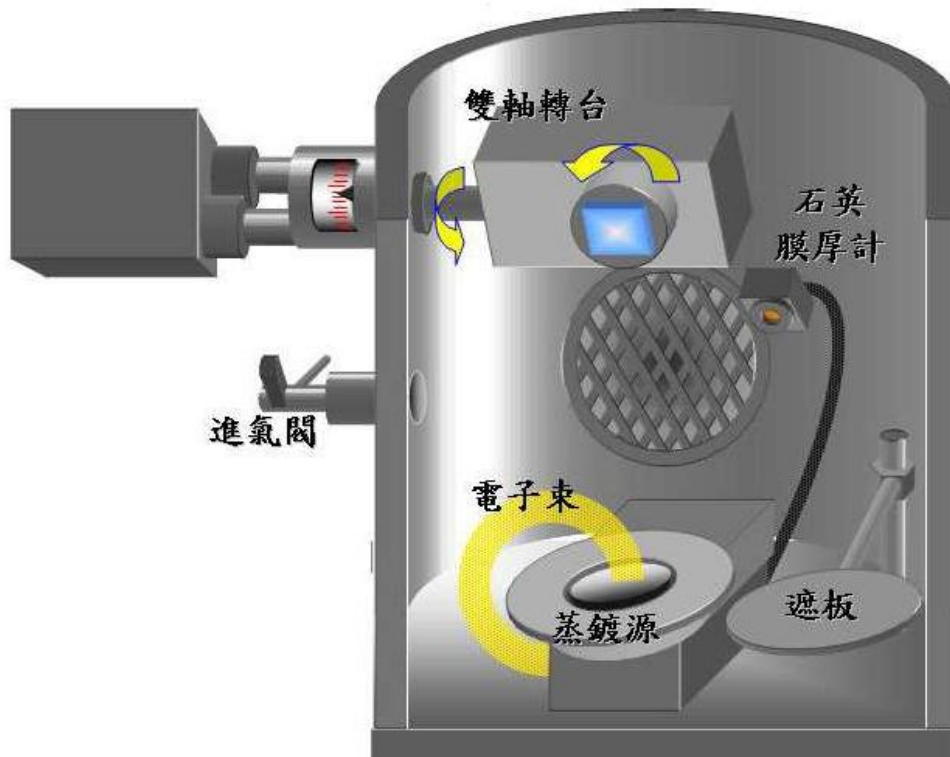


圖 2.1.2 鍍膜機腔體內部構造圖

2. 蒸鍍流程

(1) 基板的清潔

基板的清潔度，會影響製鍍出來的薄膜品質，所以清洗基板在實驗中顯得格外的重要。實驗室以BK7 的玻璃基板為主，玻璃基板如果曝露在空氣中過久會被水與潮氣還有灰塵所影響而發霉，所以基板表面上的清潔度是老師特別要求的，清潔基板可先以氣槍將表面的大顆粒吹走，再以脫脂棉花加上清潔劑並用大量清水對玻璃基板反覆刷洗，以確保玻璃基板上沒有顆粒附著在基板上，最後再以去離子水沖洗，並以氮氣吹乾玻璃基板，最後在到強光下檢查玻璃基板的清潔度是否達到要求。

(2) 前置作業

將蒸鍍機的載台拆下，使用不要的基板做出一個口字型的凹槽，讓放置基板時比較好放，也比較不會有誤差，接著將載台固定於垂直坩鍋的正上方，將乾淨的玻璃拿出放在載台上，用耐熱膠帶將玻璃基板固定好，並確定玻璃基板各邊的高度都等高，這樣在蒸鍍時才不會因為遮蔽效應而影響到實驗結果。接著將腔體內部黏上鋁箔紙，以方便清潔腔體內部。接著校正三維薄膜雕刻轉台，使基板平面法線與坩鍋蒸鍍法線夾角為 0° ，即為沈積傾角在於零度角($\theta_v=0^\circ$)，再以程式控制所要旋轉的沈積傾角。

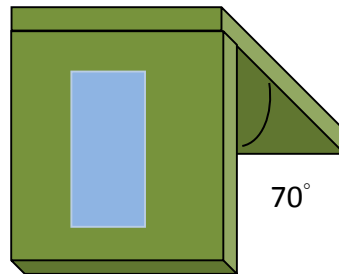
在本次實驗上使用所使用的材料為 Ta_2O_5 ， Ta_2O_5 容易受熱不均，為了避免電子束擊穿坩鍋，務必將把材料撲滿於坩鍋，最後確認薄膜厚度監控器中的石英晶片使用率是否良好，以及遮板是否有確實遮住基板。

(3) 抽真空

開啟電子鎗需要在高真空環境下，所以要先對腔體進行抽氣，首先使用機械泵浦對腔體粗抽至 5×10^{-2} Torr 以下，再使用渦輪泵浦精抽到 8×10^{-6} Torr，則可達到高真空狀態，就可以開始進行薄膜的製鍍。

(4) 非均向斜柱的製鍍

利用電腦控制基板旋轉系統，將基板旋轉 70° ，如圖3.2.1，在旋轉的時候要隨時矯正基板的方位角，每旋轉 10° 基板就要矯正 1000° 的方位角，矯正完畢後重複先前步驟，將 Ta_2O_5 預熱到氣化，蒸鍍欲製鍍的厚度即可。**注意：方位角固定不旋轉。**



非均向薄膜 角度為 70°

圖2.2.1非均向斜柱製鍍示意圖

(5)破真空

由於鍍膜時腔體內的溫度相當高，所以先散熱約 15 分鐘，散熱後要確定周遭環境的溫度，如有冷氣就要關閉，避免腔體內和室溫溫差太大影響到膜的品質，接著關閉主閥，稍微打開進氣閥讓空氣進入腔體內，等到腔體內的壓力約為 1×10^{-0} Torr 時，即可將進氣閥打開約 60%，破真空的速度越慢越不會破壞的膜的結構，當腔體內壓力和大氣壓力相等時即可打開腔門，取下玻璃基板，放置到防塵箱中，避免水氣去影響到成品。

(3)實際鍍製出的非均向膜

利用前面第一章的偏極轉換膜原理，我們以蒸度傾角 70° 所鍍出的三主軸折射率為($n_x=1.871$, $n_y=1.421$, $n_z=1.598$)、膜厚為 700nm ，代入相位差公式，得到 $\Delta\delta$ 約 1π (180°)。

第三章 實驗操作與討論

一. 實驗操作：

實際系統架構：



圖 3.1.1 整體架構



圖 3.1.2 方孔後方的 PBS 與 PCR

1. 自然白光光源-手電筒：

我們使用白光 LED 可變焦手電筒(T8459B)且波長範圍 420nm~680nm 做為系統光源，但其手電筒在經過變焦後，無法實際聚成平行光，因此我們加上透鏡的輔助，打算自行調整光路(平行光)，經過透鏡的調整後，發現手電筒本身的透鏡會使調整上產生誤差，所以最後決定拆除手電筒本身的透鏡，單純使用透鏡來達到平行光之目的。



圖 3.1.3 手電筒拆解照片



圖 3.1.4 手電筒正面照

2. 光圈：

由於拆除手電筒本身的透鏡，而使其有發散的雜光，因此我們加上光圈來擋住其雜光以利系統光源的準直。



圖 3.1.5 光圈

3. 透鏡：

我們使用焦距 10cm 的透鏡，以手電筒的 LED 發光晶片做為點光源與透鏡間距 10cm，達到平行光之效果。



圖 3.1.6 焦距十公分透鏡

4. 方孔：

利用 1.77cm×1.77cm 的方孔使投射出去的兩道光為正方形。



圖 3.1.7 方孔

5. 偏振分光鏡與偏振轉換鏡：

為了實現一道光束的投射，偏振分光鏡與偏振轉換鏡的擺放就極其重要，尤其偏振分光鏡與偏振轉換鏡是向下圖一樣耦合在一起的。

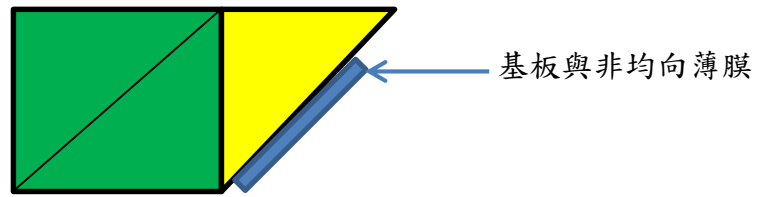


圖 3.1.8 偏振分光鏡 偏振轉換鏡

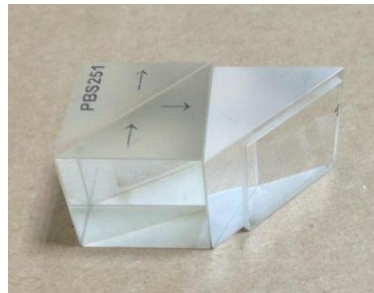


圖 3.1.9 偏振分光鏡與偏振轉換膜實品圖

在不能移動偏振轉換鏡的情況下，只移動光進入的位置無法縮小間距。

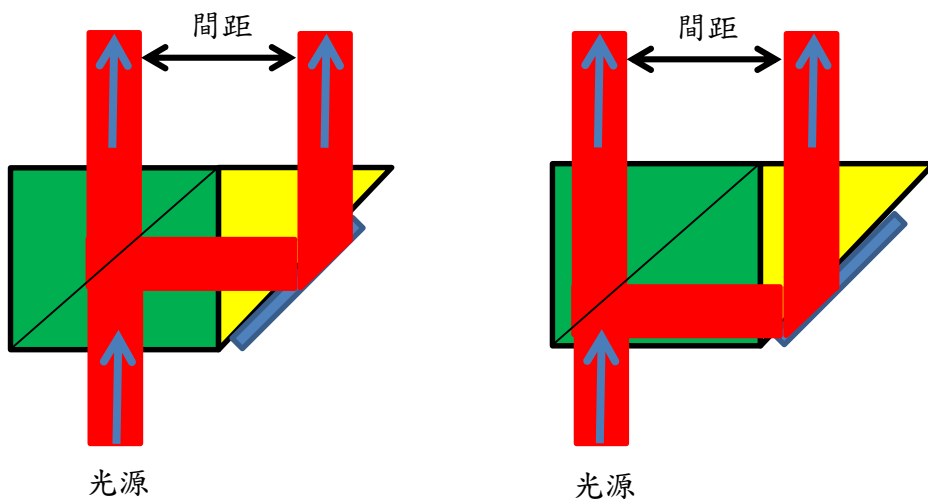


圖 3.1.10 光路示意圖

唯一的辦法是增加光束的大小，間接縮小間距但範圍不可超過非均勻膜，否則會使部分光無法被轉換。

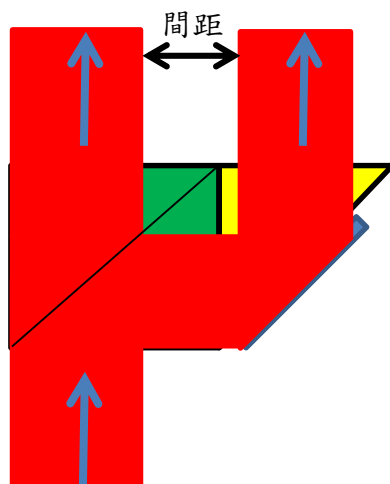


圖 3.1.11 擴束後光路示意圖

6. 偏極板與觀測屏幕：

讓光照射在觀測屏幕上，先用偏極板擋住經偏振分光鏡發出的光，再轉動偏極板至其光消失，再用其轉動角度的偏極板擋住經偏振轉換鏡發出的光，理論上光也會消失。



圖 3.1.12 偏極板

二. 實驗結果

1. 兩道線極化光之間距

使用偏極轉換膜最大範圍之方孔(1.77cm×1.77cm)，實際光束間距為

0.73cm:

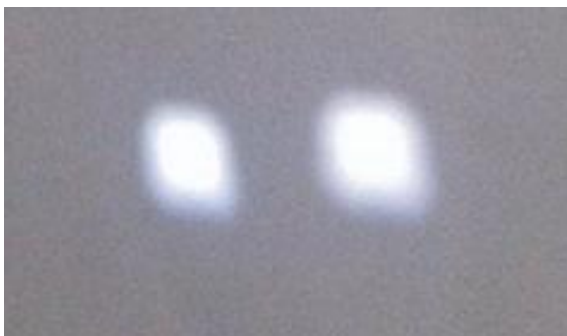


圖 3.2.1 經低損耗線極化器發出的光

2. 實際偏極轉換之效果

使用偏極板遮光:



圖 3.2.2 經偏振分光鏡發出的光



圖 3.2.3 經偏振轉換鏡發出的光

三. 討論:

1. 改善兩道線極化光之間距與未來可能之優化

在我們原本的低損耗線極化器架構中，偏振分光鏡與偏振轉換鏡是以耦合液耦合的，隨便移動的話有可能產生氣泡而影響偏極轉換，但若能夠前後移動偏振轉換鏡，理論上可以如下圖將其間距縮得更小。

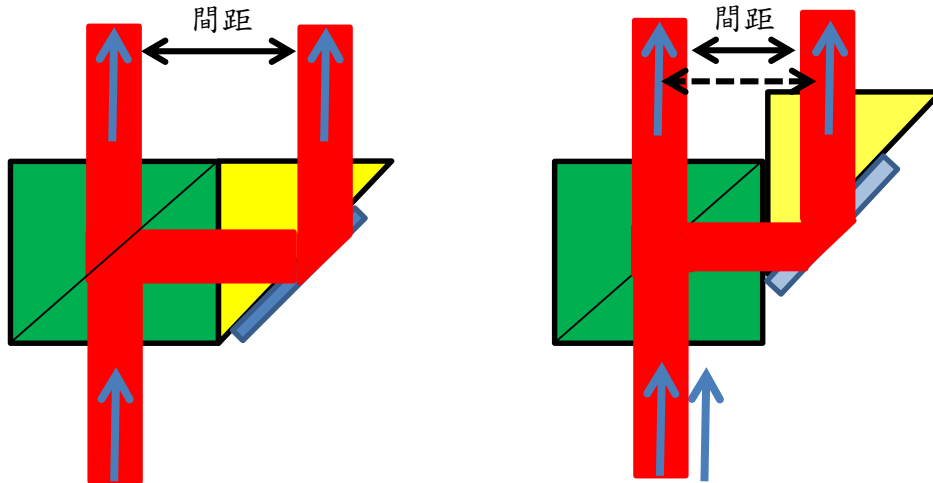


圖 3.3.1 光路示意圖

但還是因為偏振轉換鏡的反射是在非均向膜與空氣的介面進行的，這使得兩道光束還是無法完全貼近，但未來若能夠將間距消除，此低損耗線極化器將能夠藉由方孔、整體的左右移動與偏振轉換鏡的前後移動，使一道光以低損耗且均勻的轉換成線極化光。

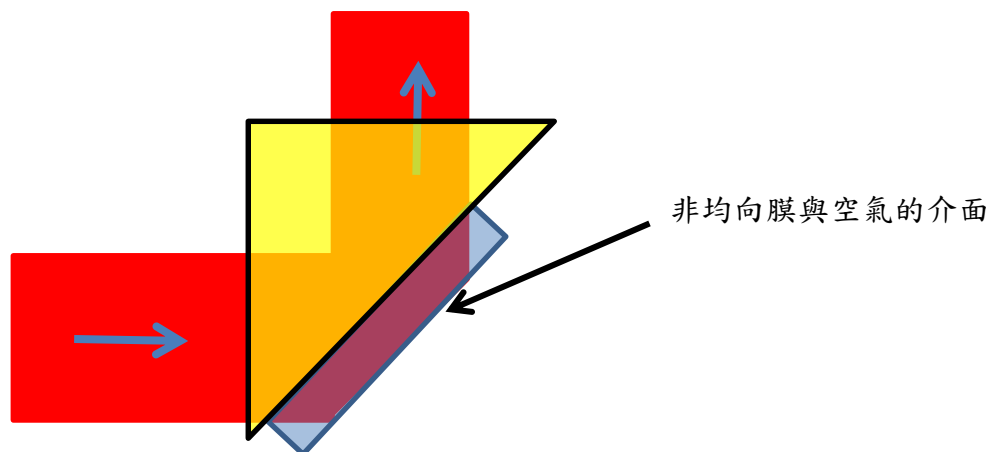


圖 3.3.2 偏振轉換膜光路示意圖

2. 偏極轉換之效果

就實驗結果而言，我們的偏極轉換效果並不好，有可能是膜厚、蒸鍍傾角、蒸鍍操作之精度的誤差使光的相位差無法達到預期，導致偏極

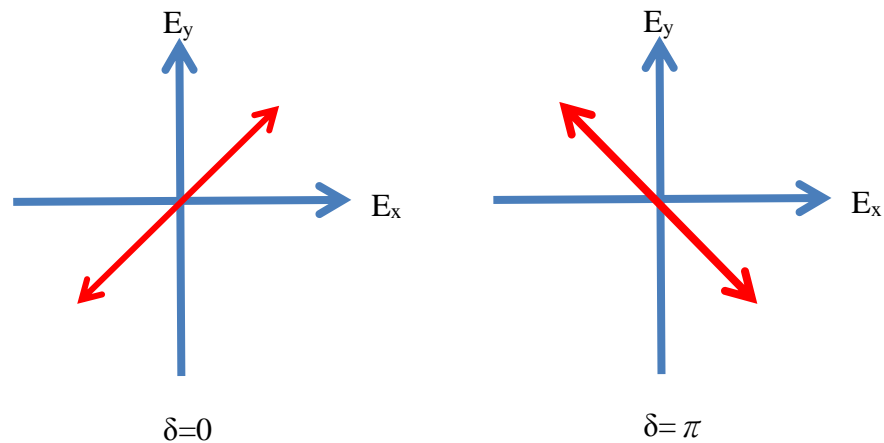
轉換的效果下降，但仍然看得出來有其偏振轉換的功能，證實讓光在非均向膜產生相位差理論上是能行的。

3. 非均向膜與 1/2 波板

波板能使互相垂直的兩分量光振動間產生附加相位差的光學器件。通常由具有精確厚度的石英、方解石或雲母等雙折射晶片做成，其光軸與晶片表面平行。以線偏振光垂直入射到晶片，其振動方向與晶片光軸夾 θ 角， $\theta \neq 0$ ，入射的光振動分解成垂直於光軸（o 振動）和平行於光軸（e 振動）兩個分量，它們對應晶片中的 o 光和 e 光。

晶體中的 o 光和 e 光沿同一方向傳播，但因光線在晶體中傳播速度不同（因折射率不同），穿出品片後兩種光間產生 $(n_o - n_e)d$ 的相位差， d 為晶片厚度， n_o 和 n_e 為 o 光和 e 光的折射率，兩垂直振動間的相位差為 $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_o - n_e) \times d$ 。兩振動一般合成為橢圓偏振（見光的偏振）。 $\Delta\delta = k\pi$ （ k 為整數）時合成為線偏振光； $\Delta\delta = (2k+1)\pi/2$ ，且 $\theta = 45^\circ$ 時合成為圓偏振光。凡能使 o 光和 e 光產生 $\lambda/2$ 附加光程差的波片稱為二分之一波片。所以我們的非均向膜類似於反射式的 1/2 波板。

線偏振光穿過二分之一波片後仍為線偏振光，但與其原本之偏振方向垂直。



4. 低損耗線極化器未來之展望

現階段低損耗線極化器還是一個算理論上的東西，但若能夠改善其上述缺點、規格化、縮小化、減少鍍製難度，此低損耗線極化器將可能成為新一代的光學薄膜技術產品。