

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

光學薄膜厚度量測技術之研究

作者：許宏輝

系級：電機系四年乙班

學號：D9156839

開課老師：田春林

課程名稱：薄膜光學

開課系所：電機所光電組

開課學年：九十三學年度 第二學期



摘要

由於近代薄膜技術的快速發展，使得原本三維空間的塊材縮減至二維空間的平面，大大的縮小了各類儀器系統的體積，也帶動各種科技產業的進步，例如光纖通訊、半導體工業的發展。由於對薄膜品質要求越來越嚴格，因此發展出許多可量測不同光學常數的測量技術。市面上販售一堆琳瑯滿目測量薄膜各種光學常數的儀器，各有其優缺點，這一篇報告就是針對其中幾項常見的儀器來徹底的分析討論，把其工作原理、各方面的優缺點作詳盡的分析，使研究單位能物盡其用，發揮各種量測儀器的最大效用。



關鍵字：干涉儀，橢圓偏振儀，薄膜厚度量測。

目錄

摘要	1
圖檔目錄.....	3
表目錄.....	4
第一章 緒論	5
1-1 研究動機	5
1-2 研究目的.....	5
第二章 薄膜量測技術.....	7
2-1 Michelson干涉儀原理	7
2-1-1 Michelson 干涉實驗架構.....	10
2-1-2 膜厚測量	12
2-2 Fizeau 干涉原理[7].....	13
2-2-1 Fizeau 干涉實驗架構.....	13
2-2-2 膜厚測量	14
2-3 橢圓偏振術(Ellipsometry)	15
2-3-1 原理	15
第三章 應用	21
第四章 結論	23
參考文獻.....	25

圖檔目錄

FIG2- 1 MICHELSON干涉儀結構圖	7
FIG2- 2 MICHELSON內部結構圖	8
FIG2- 3 MICHELSON內部光路圖	9
FIG2- 4 干涉條紋圖	10
FIG2- 5 MICHELSON干涉儀結構圖	10
FIG2- 6 薄膜樣本干涉條紋圖	11
FIG2- 7 FIZEAU干涉儀結構圖	13
FIG2- 8 FIZEAU 干涉條紋.....	14
FIG2- 9 平面極化反射	15
FIG2- 10 入射波和反射波相位移的比較關係圖	16
FIG2- 11 三種材料的入射角和相位改變的關係圖	16
FIG2- 12 R_P 和 R_S 的關係圖	17
FIG2- 13 橢偏儀結構圖	17

表目錄

表 2-1 AP@和AA@的關係表.....	19
表 3-1 MICHELSON干涉儀量測數據比較表.....	22
表 3-2 FIZEAU干涉儀量測數據比較表	22



第一章 緒論

1-1 研究動機

在光學系統中，薄膜的厚度會影響光程差的大小，只要差距四分之一個波長，對基板的反射，透射率就會造成相當大的影響；而薄膜表面的平整度會影響光束散射的情形，散射越嚴重，能量流失的就越多。而市面上販售的檢測儀器少則數十萬，多則上百萬，對於一般學校的研究室來說，這是一筆數目頗大的金額。所以發展一套價格低廉，準確度又高的量測儀器，對於經費有限的研究單位來說，將是一大福音。

1-2 研究目的

比較各種不同結構的儀器，針對其原理、準確度、解析度、實驗架設的方便性和操作容易度來進行討論及比較。

Michelson技術是使用Michelson干涉儀，用樣本取代干涉儀其中一面鏡子，把樣本放在基準鏡面上測量。Fizeau技術是使用Fizeau干涉儀，將Fizeau平鏡和樣本緊密的接合在一起，先使其維持小角度的空氣楔(air wedge)，進而量測在Fizeau平鏡和樣本之間的干涉圖樣位移。兩個實驗皆需要膜層中的步階高度(step height in the film)、薄膜和樣本必須要能反射才有辦法進行實驗。

另一個要探討的技術不用藉由膜層中的步階高度(step height in the film)即可測量薄膜厚度，也就是橢圓偏振術(ellipsometry)。這個技術是在薄膜和基板

介面之間使用反射光線極化現象的改變量測膜厚。這個過程更複雜並且將在這篇報告裡說明。



第二章 薄膜量測技術

在這章，將會把Michelson干涉儀、Fizeau干涉儀和橢圓偏振儀的工作原理及量測方法做詳細的解說，報告的順序分別為第2-1節的Michelson干涉儀，第2-2節的Fizeau干涉儀跟最後一節2-3的橢圓偏振儀。其中橢圓偏振儀的工作原理不同於前面兩項儀器，在2-3節會有詳細的原理推導。

2-1 Michelson干涉儀原理

麥克森干涉儀如 Fig2-1 所示，圖中的 S 為燈源，L 為毛玻璃，G1 為分光鏡，G2 為與 G1 平行，且材料、厚度均為與 G1 完全相同的平行平面透明玻璃；M1 與 M2 為平面鏡。由 S 所發出的光經 L 而形成一個擴展光源再經 G1 而形成二部分其中一部份的光程為 $G1 \Rightarrow M1 \Rightarrow G1 \Rightarrow E$ ；另一部份的光程為 $G1 \Rightarrow G2 \Rightarrow M2 \Rightarrow G2 \Rightarrow G1 \Rightarrow E$ 。在此 G2 稱為補償片，其主要功能是保證兩部分的光線均穿過相同厚度的玻璃，但對單色光而言，光線經分光鏡不會有色散產生，故可以不加此補償片。

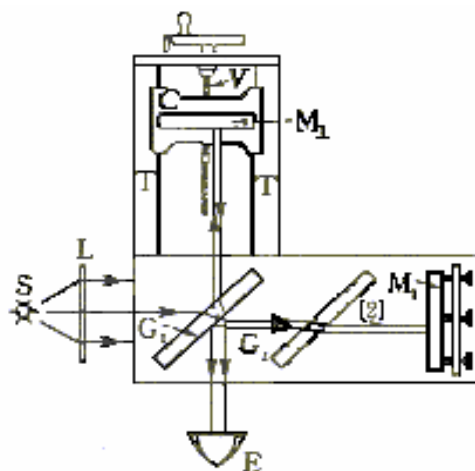


Fig2- 1 Michelson 干涉儀結構圖

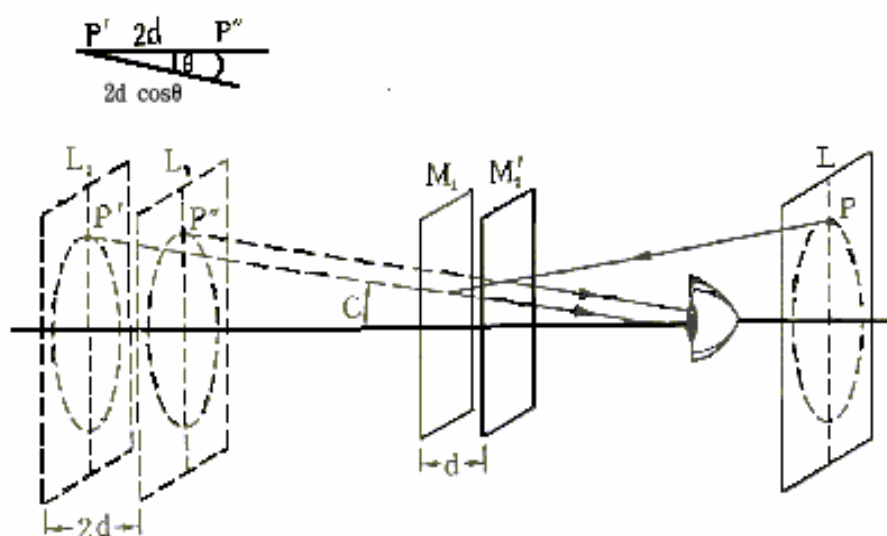


Fig2- 2 Michelson 內部結構圖

使光源 L、鏡片 M1，鏡片影像 M2'和偵測器等均在同一方向，（如 Fig2-2）

M1 和 M2'面互相平行，即兩者相距均為 d，則我們由前面之討論可得到一組同心圓干涉條紋（等傾角環紋），其中亮紋滿足的條件是

$$\delta = k\Lambda + \pi = 2m\pi$$

或
$$2d\cos\theta = (m-1/2)\lambda$$

δ 是相位差， Λ 是光程差（ $\Lambda = 2nrd\cos\theta$ ），d 為玻璃的厚度， λ 為光線的波長，m 為條紋數。加 π 的原因是兩條光程中經反射面時，其中一條多經過一個反射面（說明：光由光疏介質射至光密介質時，相位加 π ）。

而暗紋滿足的條件是

$$2d\cos\theta = m\lambda$$

（1）當 $d=0$ 時，則對所有 θ 角， δ 均為 π ，所以應得到全黑的干涉結果。

（2）自 $d=0$ 開始移動，在觀察中心點（ $\theta=0$ ）明暗的變化。則會發現，當 d 移動

$\lambda/4$ 時，光程差改變 $\lambda/2$ ，則相位改變了 π 值，所以干涉條紋由暗變亮；若 d 再移動 $\lambda/4$ 時，則中心點又變成暗點，所以當 d 一直增大時，中心點一直作明暗的變化，由這些變化量，可得知光源波長。

(3) 在某一 d 值時，環紋的半徑可計算如下：若產生之平行光經透鏡（眼睛或望遠鏡）。聚在網膜或屏障上，則 $\theta = y/f$ （如 Fig2-3）， y 為環紋半徑， f 為透鏡焦距，對於第 m 條暗紋滿足（ θ 很小時）

$$2d \cos \theta = m \lambda$$

$$\text{或 } 2d(1 - \sin^2 \theta)^{1/2} = m \lambda \sim 2d(1 - \theta^2)^{1/2}$$

$$\text{而中心點滿足 } 2d = m_{\max} \lambda$$

$$\therefore m_{\max} = 2d / \lambda$$

將 $\theta = y/f$ 代入 $m \lambda \sim 2d(1 - \theta^2)^{1/2}$ 中，得

$$ym = f [(m_{\max}^2 - m^2) / m_{\max}^2]^{1/2}$$

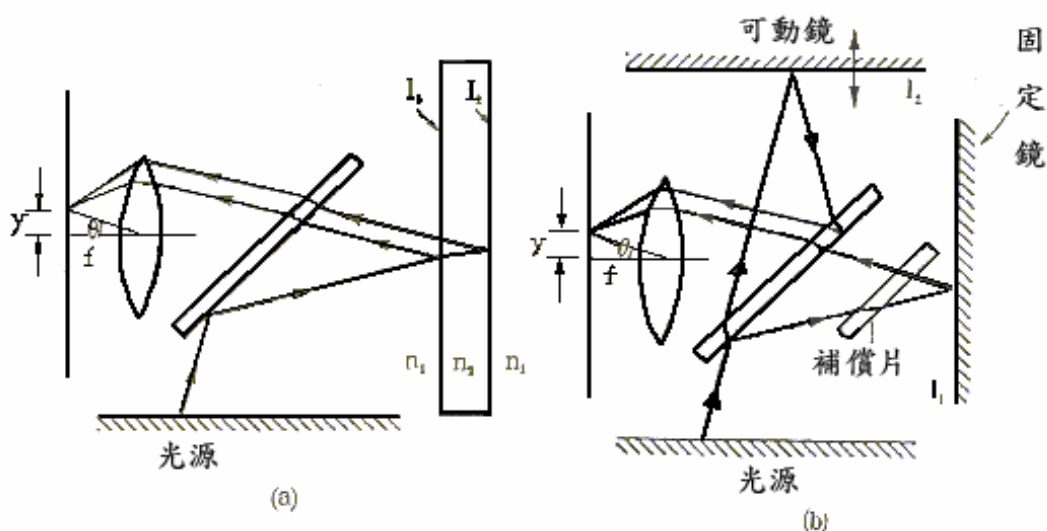


Fig2- 3 Michelson 內部光路圖

若 $M1$ 和 $M2'$ 不平行，則會觀察到類似 Fizeau 的干涉條紋，如 Fig2-4。

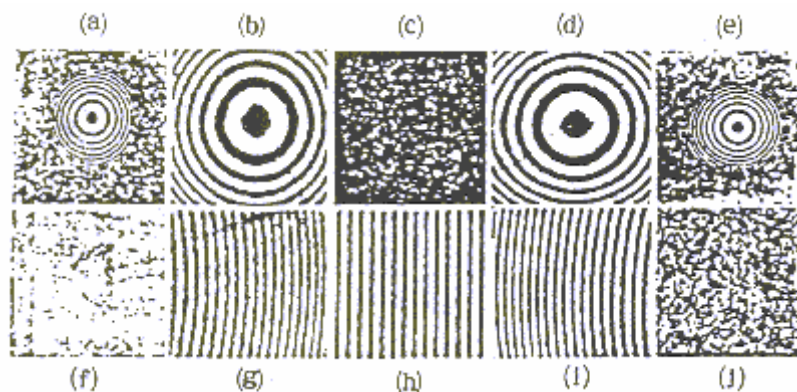


Fig2- 4 干涉條紋圖

2-1-1 Michelson 干涉實驗架構

在此篇報告討論，我們是使用人工架設的Michelson干涉儀來測量，而非使用市售現成的干涉儀。

第一：先使用鏡子上的測微器量測有鍍薄膜和無薄膜之間零路徑長度（zero path length）的差別。

第二：使用在干涉條紋中步階高度（step height）的改變。建構出實驗架構如 Fig 2-5。

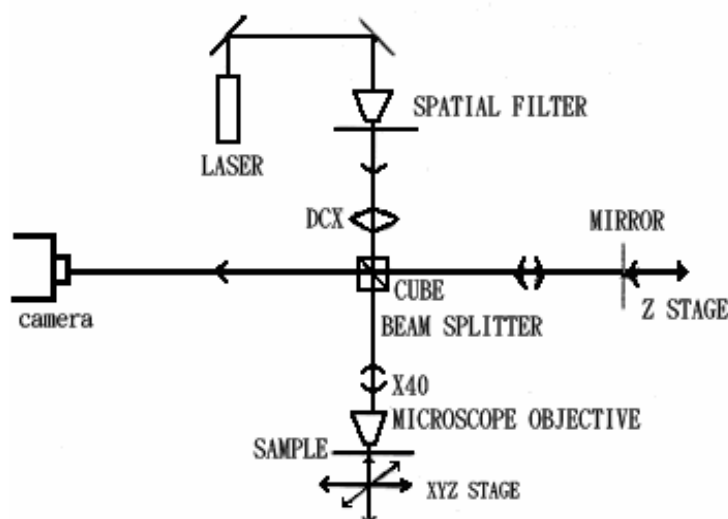


Fig2- 5 Michelson 干涉儀結構圖

實驗結構的校正是非常重要的。所有的鏡面一定要盡可能的垂直。也就是說，鏡子，立體分光鏡，和顯微物鏡表面一定要互相的垂直彼此的法線。放置 DCX 透鏡的目的是要讓投射在螢幕上的分光鏡中之影像集中並且放大到最大，其距離分光鏡表面大概是 3.5 到 4 公分。調整樣本的微調器和顯微物鏡的距離進而可以透過分光鏡在螢幕上看到一個約 3 公分的光斑。從立體分光鏡內的物體影像調整鏡子的螺栓使影像在正中間。干涉條紋圖像應該可以在立體分光鏡的影像中看見。

調整放置樣本的平台位置使其盡可能的接近零路徑長度（zero path length）（可能必須調整鏡子的位置以便物透鏡圖像的尺寸不至於改變太多），干涉條紋圖像將會明顯的變大然後再一次變小。繼續調整鏡子，使干涉條紋可以水平的通過立體分光鏡，這樣做是為了補償在立體分光鏡的頂端及底部條紋中間的干涉條紋。Fig 2-6 是干涉影像的圖片。

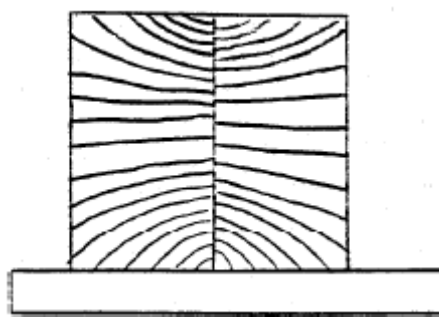


Fig2- 6 薄膜樣本干涉條紋圖

在樣本平台上使用 X 和 Y 軸座標系，用物鏡來掃描晶片，當發現薄膜時停止。在螢幕上量測薄膜的寬度，並和實際寬度做比較，定義出放大係數。現在，不要移動 Z 位置（會改變放大係數），使用 Y 方向的微調器來移動樣本直到薄膜樣

本容易被發現。在干涉圖像中間的垂直邊緣位置把水平線垂直分成一半。因此干涉圖案一半會經過薄膜後在反射，另一半會直接由鏡面反射。

2-1-2 膜厚測量

現在有一個在底部沒有經過薄膜路徑長度的干涉圖樣和一個穿過有薄膜路徑長度的干涉圖樣。小心校正鏡子使其在同一直線上，並盡可能使直線和水平線平行。移動鏡子直到一邊到達零路徑長度（zero path length）（此時直線會完全水平且有最大的空間）。讀取微調器的刻度位置。調整鏡子的位置使另一邊在零路徑位置並且讀取微調器新的刻度位置。由下列公式計算氧化層厚度：

$$\text{thickness} = \frac{\text{change in micrometer position(meters)}}{\text{magnification} \times n_{\text{oxide}}} \quad \text{where } n_{\text{oxide}} = 1.46 \quad (2-1)$$

重複上述的步驟以確保測量的精確度。測量的精確度主要是靠每個邊緣端是否能有效發現零路徑長度。零路徑長度點是很難定義清楚的，所以必須做好幾次的測量，之後再取平均值。Michelson 干涉儀經上述方法校準後，其測量結果能得到 4，5 位的有效數字，測量的相對誤差最大可降至 0.1%[1]。

2-2 Fizeau 干涉原理[7]

本實驗所採用的Fizeau干涉儀結構如Fig 2-7。雷射光經由顯微物鏡擴束，在經由透鏡轉換成平行光。之後光入射到分光鏡分光，其光會分別投射到參考端面跟待測端面。由兩個端面反射回來的光會形成干涉現象，最後入射到攝影機中，由攝影機擷取影像。就實驗結構和原理而言，第二個量測技術和Michelson相似。藉由放大干涉條紋，能夠應該看見條紋向上或向下彎曲，然後再次回到水平（見Fig 2-8）。藉由物理量測並且比較條紋之間地量測間隔，然後計算膜厚度

2-2-1 Fizeau 干涉實驗架構

Fizeau 的原理和 Michelson 的差異並不大。用一張紙擋住先前結構的鏡子。用 X4 物鏡取代 X40 顯微物鏡。在物鏡和樣本之間取一個適當的地方來增加一面 Fizeau 平鏡 (Fizeau flat)，使樣本可以和光學平面相接觸。實驗結構圖如 Fig 2-7。

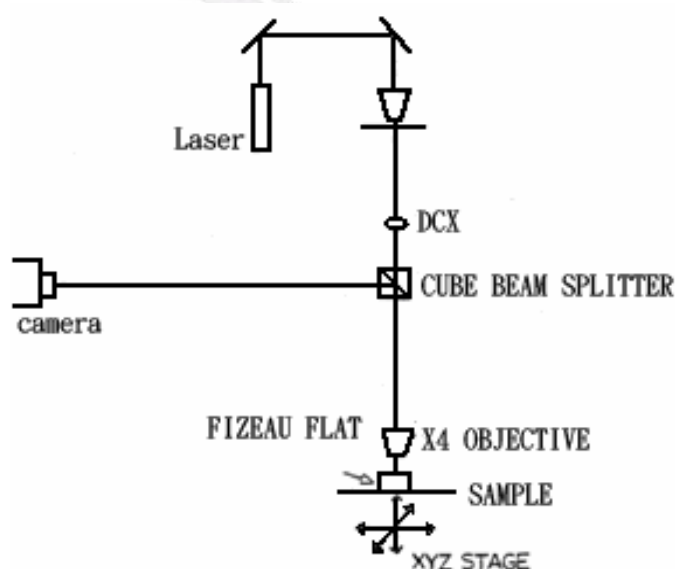


Fig2- 7 Fizeau 干涉儀結構圖

從樣本平台上移除薄膜樣本，並且用玻璃鍍鋁的載波片來取代，其高度有梯度變化。使用 Z 軸的微調器，沿著 Fizeau 平鏡（Fizeau flat）慢慢小心的移動玻片。把物透鏡移到適當的位置，確保樣本上梯度線的影像清晰可見，並把物鏡固定在此處。使用固定在樣本平台上的螺栓，可以調整空氣楔（air wedge）使得平坦且距離相同的水平線干涉條紋得以完成。

2-2-2 膜厚測量

Fig 2-8 是干涉條紋圖。薄膜中的梯度步階高度(graded step height)會產生條紋線的位移，位移的總量即表示步階高度（即薄膜厚度）。干涉條紋間的距離正好是光波長的一半。因此，膜厚可由下列公式求得：

$$\text{film thickness(nm)} = \frac{\lambda}{2} \times \frac{\text{step height}}{\text{fringe spacing}} \quad (2-2)$$

條紋彼此的間隔可以由螢幕上干涉線條之間的距離來測得，而步階高度則是測量由條紋的底部到同一條線的最高處距離。以上兩者的測量動作都可以經由干涉圖形投射在攝影機，經由訊號轉換把圖形呈現在螢幕上進行，膜厚單位定義成微米。

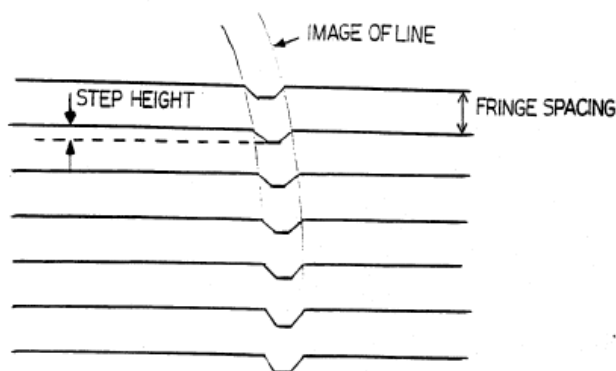


Fig2- 8 Fizeau 干涉條紋

2-3 Ellipsometry

參考橢圓偏振儀的實驗步驟。在開始進行實驗時，必須先讓儀器暖機最少十分鐘（可利用這段時間進行校正動作）。

2-3-1 原理

橢偏儀是量測反射光 and 其在偏振光上影響的儀器。當反射材料以薄膜的形式鍍在基板上，由測量所得的薄膜厚度和光學常數等訊息增益可以解釋反射材料產生的光學常數。當光線由材料反射後會發生什麼事呢？一束平面偏振光由表面反射後會變成橢圓偏振光(見Fig 2-9)。

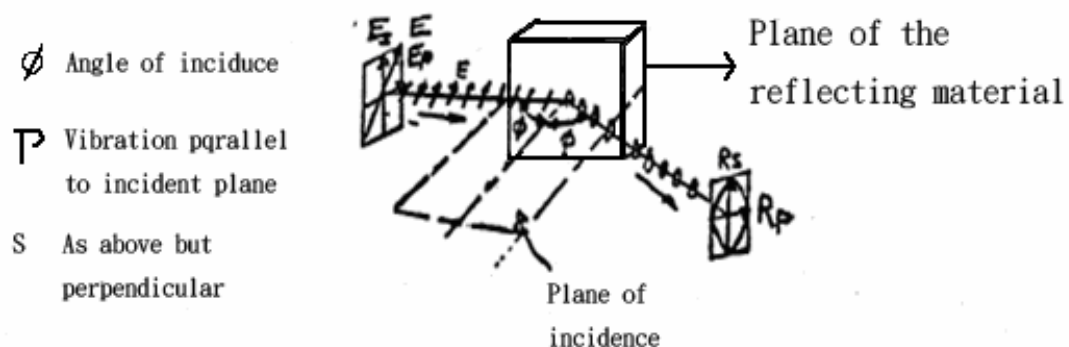


Fig2- 9平面極化反射

定義：

AP@：一個位於傳播偏振片平面之間的角度，其角度大小和材料表面（入射平面或是表面平面）有關。

AA@：根據AP@是否為一個在傳播偏振片平面和入射平面或是材料表面之間的角度，AA@可細分成 $A_s@$ 和 $A_p@$ 。(s:垂直入射面方向，p:平行入射面方向)

橢圓率是介於Ap@和As@反射光元件中所產生的相位變化(δ)和振幅比值改變的結果，以Ψ表示(見 Fig 2-10)。

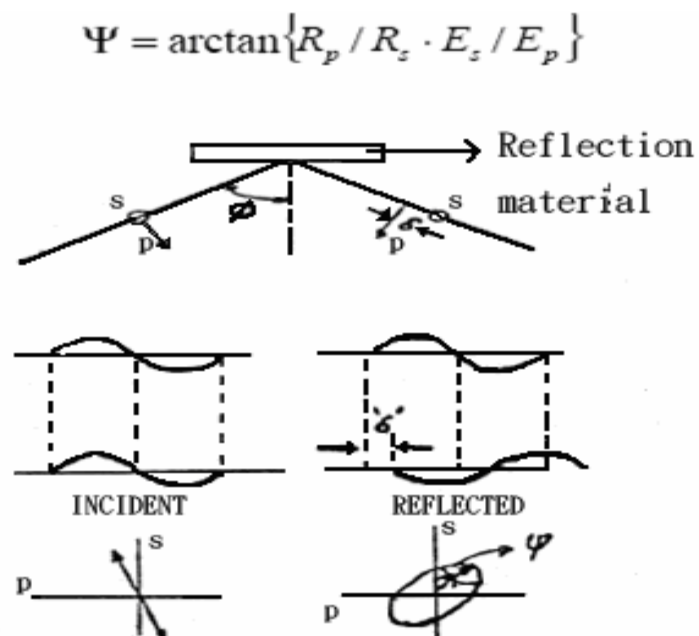


Fig2- 10 入射波和反射波相位移的比較關係圖

相位改變會隨著不同的材料和不同的入射角 $\phi(\Psi)$ 而有不同(見 Fig2-11)，相位角在橢偏儀中的改變可以參考定義為 Δ 。

$$(\delta_p \cdot \delta_s)_{reflec} \cdot (\delta_p \cdot \delta_s)_{incident}$$

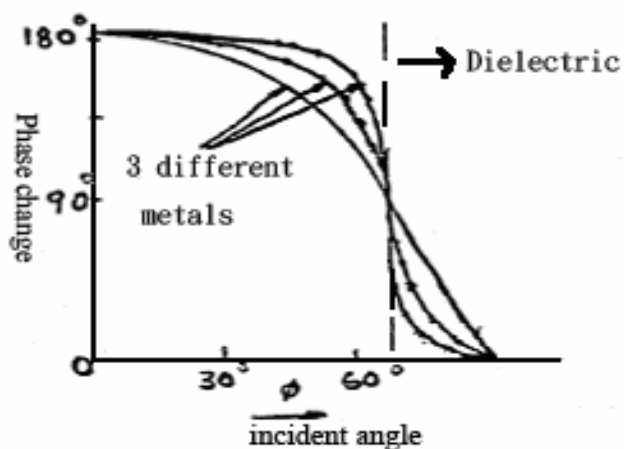


Fig2- 11 三種材料的入射角和相位改變的關係圖

介於元件 R_p 和 R_s 中的方位角 Ψ ，是兩個反射材料成分的相關消耗的量測。

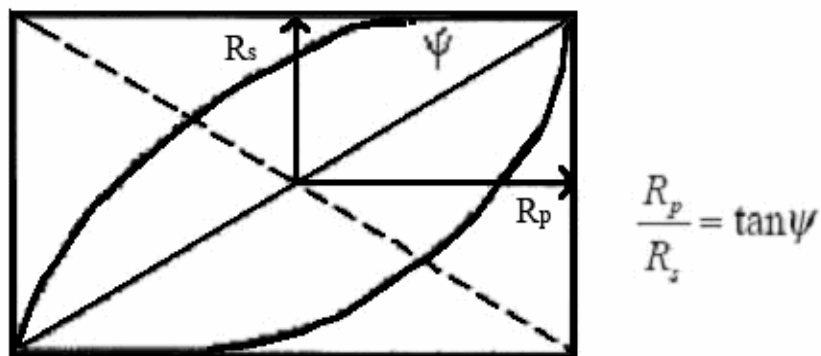


Fig2- 12 R_p 和 R_s 的關係圖

在完整的三階觀點的表達中，必須考慮的不只 $\psi(\Psi)$ 的值，還要把相位差也一起考慮進去。因此，完整的公式變成：

$$\frac{R_p}{R_s} = (\tan \psi)(\exp i\Delta) \quad (2-3)$$

{absorbtion change} & {phase change}

橢偏儀的運作原理和上敘現象的相反，顛倒。Fig 2-13是橢偏儀的基本元件。

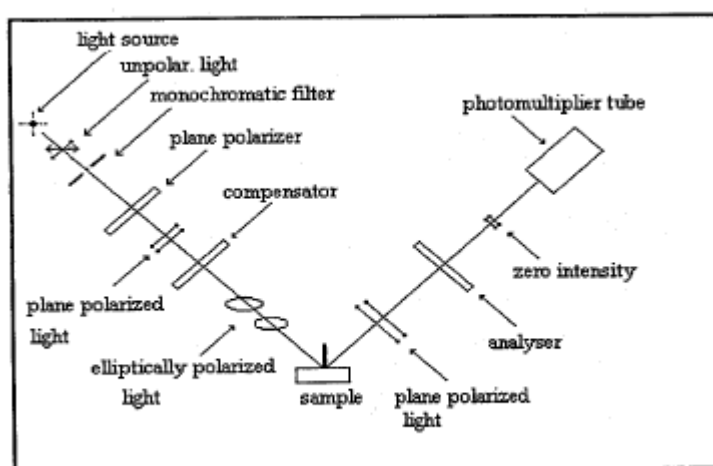


Fig2- 13 橢偏儀結構圖

準直單色光，通常是使用綠光光源(5460.73 Å)。架設偏振片是為了極化光源發出的光，使其變成偏振光。補償片通常是一片厚度為1/4波長的薄板。補償片的功用是把線性偏振光轉換成橢圓偏振光。因此，從偏振片跟補償片出射並入射到樣本的光有一個方位角 Ψ 和可預測的橢圓率。方位角由位在反射光束路徑上的偏振片定義之。因此，任何光的橢圓率的改變和由樣本反射的方位角都是可以控制的。任何抵達檢偏片的光中，其橢圓率無法只透過調整檢偏片而移除。必須從偏振片或補償片中選出一個元件來移除橢圓率。當此裝置完成，從樣本反射的光是平面偏振光而且可以經由調整檢偏片輕易的使其消失。用檢偏片來做點的消除（point of extinction），最後並使用光電管和光度計來增加精確度。在黃毓中所發表的論文中有提到利用光彈調製器(Piezo-optic modulator, PEM)或稱壓光調變器(Piezo-optic modulator)來取代原本的補償片，這個方法不但可以節省許多的時間，而且實驗的結果比原先的結構更為精確[5]。

由讀取橢偏儀上的刻度 $AP@$ 和 $AA@$ 來定義 Δ 和 Ψ ，（假設使用一個完美的1/4波長的補償片）其相關方程式為：

$$\Delta = 1/2 \pi - 2P \quad (2-4)$$

$$\Psi = -A_p = A_s \quad (2-5)$$

但是對不同表面的偏振片、檢偏片和補償片刻度結構（scale settings），用其定義可產生隔離作用的 Ψ 角度是非常麻煩的。然而此結構還可以細分為四個主要的部分，（通常參考文獻資料當作其區間）。雖然在此無法詳盡的定義這些區間，

但是已足夠記得相關AP@和AA@的值。

總結這些關係如下表 2-1。

表 2- 1 AP@和 AA@的關係表

ZONE	COMPENSATOR	P	A
1	$-\pi/4$	P	Ap
		$P+\pi$	Ap
		P	$Ap+\pi$
		$P+\pi$	$Ap+\pi$
2	$+\pi/4$	$\pi/2-P$	As
		$3\pi/2-P$	As
		$\pi/2-P$	$As+\pi$
		$3\pi/2-P$	$As+\pi$
3	$-\pi/4$	$P+\pi/2$	$\pi-As$
		$P+3\pi/2$	$\pi-As$
		$P+\pi/2$	$2\pi-As$
		$P+3\pi/2$	$2\pi-As$
4	$+\pi/4$	$\pi-P$	$\pi-Ap$
		$2\pi-P$	$\pi-Ap$
		$\pi-P$	$2\pi-Ap$
		$2\pi-P$	$2\pi-Ap$

Fresnel反射係數可以表示成 Δ 、 Ψ 和一些薄膜的光學參數 n 、 k 和 d 之間的關係式。反射係數是反射波的電場向量 E_r 和入射光波電場 E_i 的比值。由於反射，所以把兩個波的振幅項和相位變化結合在一起。

$$r = \left(\frac{E_r}{E_i} \right) e^{i\delta} \quad (2-6)$$

任何極化光的反射都是由合成波的兩個參數 R_p 和 R_s 所定義。比值為，

$$\frac{r_p}{r_s} = \left(\frac{E_{rp}}{E_{rs}} \right) \left(\frac{E_{is}}{E_{ip}} \right) e^{i(\delta_p - \delta_s)} \quad (2-7)$$

由先前 Δ 和 Ψ 的定義，方程式可變成，

$$\frac{r_p}{r_s} = (\tan \psi) e^{i\Delta} \quad (2-8)$$

鍍有薄膜的基板的Fresnel反射係數是，

$$(\tan \psi) e^{i\Delta} = \frac{r_{p01} + r_{p12} e^{-2i\delta}}{1 + r_{p01} r_{p12} e^{-2i\delta}} \times \frac{1 + r_{s01} r_{s12} e^{-2i\delta}}{r_{s01} + r_{s12} e^{-2i\delta}} \quad (2-9)$$

因此完整的Ellipsometry方程式為，

$$r' = \frac{r'_{01} + r'_{12} e^{-2i\delta}}{1 + r'_{01} r'_{12} e^{-2i\delta}}, \text{ where ' is p or s} \quad (2-10)$$

沒有鍍膜的Fresnel反射係數為，

$$r_{pab} = (n_a \cos \Phi_2 - n_b \cos \Phi_1) / (n_a \cos \Phi_2 + n_b \cos \Phi_1) \quad (2-11)$$

$$r_{sab} = (n_a \cos \Phi_1 - n_b \cos \Phi_2) / (n_a \cos \Phi_1 + n_b \cos \Phi_2) \quad (2-12)$$

a 和 b 分別表示周圍的介質和基板。相位變化 δ 可以由方程式定義為，

$$\delta = \left(\frac{360}{\lambda} \right) \times d \times (n_1^2 - \sin^2 \Phi)^{1/2} \quad (2-13)$$

將方程式(2-11)、(2-12)、(2-13)代入方程式(2-10)， d 可以由 Δ ， Ψ ，入射角，薄膜和基板的折射率和光的波長定義出來。做此運算時必須謹記 n_1 ， n_2 ，反射角，薄膜和基板的反射吸收是相當複雜的，所以計算是不需要在意的。我們將使用 δ 值的圖表來計算鍍在矽基板上可穿透薄膜的 n_1 ， Δ 和 Ψ 的值。 δ 的值將會代入方程式(2-13)中與 n_1 一起計算 d 。

第三章 應用

Michelson和Fizeau顯微干涉儀就性質而言，仍屬於顯微鏡的一種，只不過它觀測的是樣本所產生的干涉圖形。有了樣本的干涉圖形，再利用推導出來公式運算把靜態的薄膜厚度求出來。

除了求膜厚之外，還可以利用已知熱膨脹係數的基板，鍍上代測熱膨脹係數的薄膜，然後對基板加熱，由於基板的熱膨脹係數已經知道，所以現在未知數只有薄膜的熱膨脹係數。經由計算變動的干涉條紋數，可以求得薄膜跟基板加熱後整體增加的厚度，用其減去基板加熱後增加的厚度，如此一來可求得出薄膜加熱後增加的厚度 Δd ，再把這個參數代入 $\Delta d = d \times \Delta T \times \alpha$ ， d 為薄膜室溫下原本的厚度， ΔT 為溫度變化量， α 是薄膜的熱膨脹係數，我們可以算出薄膜的熱膨脹係數。

干涉儀還可以用來檢定薄膜表面的平整度是否夠好，膜層是否夠均勻。檢測的方法跟量膜厚的技巧差不多，都是利用靜態干涉條紋來判斷，只是兩個樣本擺放的位置不同，量測膜厚的樣本位置是薄膜基板各佔一半照射雷射光源；測量平整度則是要把整片薄膜都讓雷射光源照射。如果薄膜的平整度不夠好，會造成干涉條紋有彎曲的現象。如此一來，就可以利用這方法來大略的判斷薄膜表面均勻性的好壞。

橢偏儀的工作原理完全不同於干涉儀架構，能求的光學常數也不盡相同。現在橢偏儀最常見能求的薄膜光學常數有，薄膜厚度、折射率、消光係數等等。

接下來舉幾個之前學者做過的實驗來佐證實驗架構的可靠性。

表 3- 1 Michelson 干涉儀量測數據比較表

Method of interferometer	Thickness (μm)	Accuracy of the measured t_f
Air wedge	16.5	± 0.4
Michelson	17	± 1

表3-1是由Hwee-Ming Shabana在2004年於Elsevier發表的資料[12]。

表 3- 2 Fizeau 干涉儀量測數據比較表

Film		Talystep		Interferometry	
		Unaluminized	Aluminized	photoelectric	Fizeau
Magnesium fluoride	1	94	96	99	103
	2	408	411	405	405
	3	775	784	786	794
	4	1742	1726	1727	1729
Aluminium	1	115	108	109	114
	2	400	401	403	409
	3	799	794	800	797
	4	1919	1920	1925	1921

這篇文獻參數所使用的膜厚單位為 $\text{\AA}$ ，為Reginald Johnston King在1972年發表於
Journal of Physics E: Scientific Instruments。

由文獻的資料可以得知Michelson和Fizeau干涉儀的誤差小於 10^{-6}m ，其中
Fizeau干涉儀誤差值經由計算，最小可小到 $15\text{\AA}$ ，就量測儀器而言，可以說是
非常的精準。



第四章 結論

就放大倍率而言，Michelson 顯微干涉儀屬於低倍率，其放大範圍約為 1.5 倍到 5 倍之間；Fizeau 顯微干涉儀屬於中倍率，其放大範圍為 10 倍到 50 倍之間。而橢圓偏振儀使用的技術完全不同於上述的兩種架構，所以無法跟兩者做比較。此外。能用於量測膜厚的技術還有 Linnik 顯微干涉技術，此為高倍率的干涉儀，其放大倍率為 100 倍以上[7]。

最常見的橢圓偏振儀分別有三種：

1. 歸零式橢偏儀。
2. 旋轉光度式橢偏儀。
3. 調變式橢偏儀。

詳細的介紹可以去參考黃毓中的碩士論文“利用調制式橢圓偏光術於研究光學參數、薄膜厚度與光學性質” [5]。

就方便及實用性而言，橢圓偏振儀原理、構造較前面敘述的兩種干涉儀複雜，而且架設不易。干涉儀的可調整性、變化性高，能用於不同材質的測量（固體液體皆可）。而且其構造原理簡單，較適合一般實驗室架設測量樣本，價格也比橢偏儀便宜許多。可是就量測膜厚的精準度而言，橢偏儀仍比上述兩種干涉儀高上許多。

參考文獻

- [1] 楊之昌、馬秀芬, “物理光學實驗”, 第一版, 中國復旦大學出版社, 1993.
- [2] Theo Tschudi, “Thin Film Optics”, SPIE , 1989.
- [3] Leslie I. Ward, “The Optical Constants of Bulk Material and Film”, A.Hilger, 1988.
- [4] Lumdmila Eckertova, “Physics of Thin Films”, Plenum Press, 1986.
- [5] 黃毓中, “利用調制式橢圓偏光術於研究光學參數、薄膜厚度與光學性質”, 逢甲大學電子研究所, 碩士論文, 2002.
- [6] Zden Knittel, “Optics of Thin Films”, Wiley, 1976.
- [7] 黃文孝, “Fizeau 顯微干涉儀研製與應用”, 中原大學機械工程學系, 碩士論文, 2003.
- [8] 王志峰, “利用調制極化式橢圓儀研究光學參數及薄膜厚度”, 逢甲大學電子研究所, 碩士論文, 2001.
- [9] Dipankar Bhattacharyya, “Direct measurement on transparent plates by using Fizeau interferometry”, Elsevier, 2001.
- [10] Canan Karaalioglu、Yani Skarlatos, “Measurement of thin film thickness by electronic speckle pattern interferometry”, Elsevier, 2001.
- [11] Ahmed Amin Hamza, “Refractive index and thickness determination of thin-films using Lloyd’s interferometer”, Elsevier, 2003.

[12] **Hwee-Ming Shabana** ,” Determination of film thickness and refractive index by interferometry” , Elsevier ,2004.

