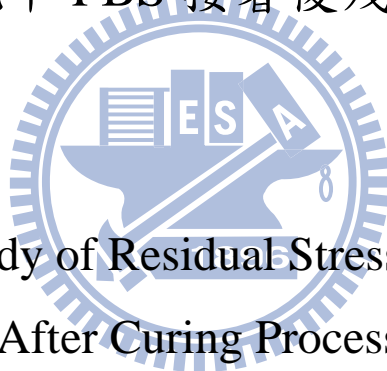


國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

投影顯示系統中 PBS 接著後殘留應力之研究



The Study of Residual Stress In PBS
After Curing Process

研 究 生：葉 雅 芳
指 導 教 授：周 長 彬 教 授

中 華 民 國 一 百 年 一 月

投影顯示系統中 PBS 接著後殘留應力之研究
The Study of Residual Stress In PBS After Curing Process

研 究 生：葉 雅 芳

Student : Ya-Fang Yeh

指導教授：周 長 彬

Advisor : Chang-Pin Chou

國 立 交 通 大 學

工學院精密與自動化工程學程



Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Automation and Precision Engineering
Jan 2011
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 一 百 年 一 月

投影顯示系統中 PBS 接著後殘留應力之研究

學生：葉雅芳

指導教授：周長彬

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

摘 要

隨著光學工業及光電科技的發展，各式各樣的光學元件與光電系統依不同的需求孕育而生，而光學鏡片即為各種光學系統中不可或缺的零組件之一。一般光學玻璃材料的光學性質要求項目：折射係數、色散率、透光性、Abbe 數、內應力、均質性。除了材質本身的因素，在使用加工過程也會對鏡片品質造成影響，都無可避免的使材料本身產生暫時性應力及殘留應力。這些應力變質層的存在會破壞材料的均質性，進而使鏡片的光學性質發生變化，造成鏡片之雙折射現象而影響到成像的品質，對要求高精度的光學系統而言，應儘可能讓此影響品質之因素降至最低。

本研究首先運用光譜儀量測黏著UV膠的偏振分光器(PBS)，在一溫度梯度場中通過PBS的偏振光，其穿透率變化程度；另外並建立一組內含PBS的LCoS光學系統進行實驗，檢視因溫度分佈不均勻造成之雙折射效應；將投影畫面亮度均勻度分佈對應至PBS偏振光的穿透率變化結果，可求得PBS黏著UV膠在不同的位置與使用不同硬度UV膠的雙折射效應；上述實驗結果顯示，運用本研究建立之模型，可在產品設計初期即可先得知，PBS在黏著製程因殘留應力造成的暗場漏光與顏色不均勻的狀態，加以合理的改善對策，提高光機產能及改善色彩品質。

關鍵字：偏振分光器、應力雙折射、LCoS 光學系統

The Study of Residual Stress In PBS After Curing Process

Student : Ya-Fang Yeh

Advisor : Dr. Chang-Pin Chou

Degree program of Automation and Precision Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Coming with the developing electro-optic technology and continuously growing optics industry, ranges of optical devices and electro-optic systems have been built to fulfill varieties of market needs. Optical lens plays a crucially role amongst all of the indispensable components to these applications. Refractive Index, Dispersion, Transmittance, Abbe Number, Internal Stress and Homogeneity are the most well-known key factors that dominated the optical characters of lens. However, besides the factors of material consistence, Temperatory Stresses and Residual Stresses generated through manufacture process would also impact the quality of lens. The existence of the stress would damage the homogeneity of glass and gradually change the optical characters of the lens. These changes would cause the pheromone of Birefringence which impacts the quality of image. For the high precision optical system, the elimination of the birefringence is essential.

In this thesis, a spectrometer is used to measure the transmittance spectra when polarized light passes through the PBS covered with UV glue under a designed temperature gradient field. At the same time, a LCoS optical system with PBS is constructed to examine the state of birefringence due to the non-uniformity temperature. Comparing the brightness uniformity of projection and the changes of transmittance of polarized light, the birefringence effect can be found with factors, the location of UV glue on the PBS and hardness of UV glue. Above-mentioned experiment shows, using the model in this study, the defects of light leakage in a dark field and non-uniformity of color caused by residue of stresses from curing process in PBS can be examined at the very beginning of design phase. With proper and effective solutions, production capacity and color quality can be improved.

Keywords: PBS, Stress Birefringence, LCoS optical system.

誌 謝

在交大的研究生生涯，首先要感謝指導教授周長彬博士細心與不厭其煩的教導，老師對於教學的熱忱以及不斷的鼓勵我完成研究工作，使我獲益良多，在此獻上最誠摯的感謝。

謝謝淑真姊姊，謝謝你的邀約與相伴一同在職進修，並從旁鼓勵與鞭策我向上，你認真的態度一直是我學習的典範；同時要感謝我的上司與大哥-勝雄，在論文研究上的協助與指導，以及工作上的包容與支援。

感謝口試委員尹慶中教授與學長吳信達博士，對於論文的費心審核以及提供寶貴意見，使本論文更趨完備。

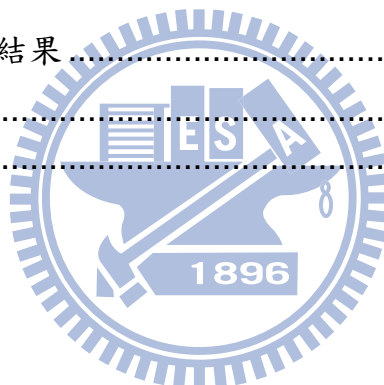
最後感謝我的家人，謝謝老公在這期間給予溫暖的支持，讓我順利完成論文的研究工作，將此論文獻給我可愛的寶寶-鴻鴻。



目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌 謝.....	iii
目 錄.....	iv
圖 目 錄.....	vi
表 目 錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的	2
第二章 文獻回顧.....	3
2.1 LCoS微顯示投影系統液晶面板技術.....	3
2.2 偏振分光器PBS.....	4
2.3 LCoS微顯示投影系統架構說明	6
2.4 系統技術指標的訂定與量測	14
2.5 光的偏振	17
2.6 偏振片	21
2.7 應力雙折射.....	22
2.8 熱應力與光學理論關係式	29
2.8.1 溫度與折射率的關係式	29
2.8.2 熱應力與快慢軸折射率的關係式	30
2.8.3 熱應力與光程差的關係式.....	30
2.8 UV膠	31
第三章 PBS穿透率光譜量測分析	36
3.1 實驗設備	36
3.2 實驗資料	36

3.3 實驗方法與流程.....	37
3.3.1 光譜量測架構.....	37
3.3.2 光譜量測方法與流程	38
3.4 光譜量測結果	40
3.5 熱應力模擬分析.....	42
第四章 LCoS光學系統影像品質驗證.....	47
4.1 實驗設備	47
4.2 實驗資料	47
4.3 LCoS光學系統架構.....	48
4.4 LCoS光學系統實驗方法與流程.....	49
4.5 投影畫面量測結果	49
第五章 結論.....	53
第六章 參考文獻.....	54



圖目錄

圖 2.1.1 LCoS面板工作原理	4
圖 2.1.2 反射式與穿透式面板的光出入路徑	4
圖 2.2.1 LCoS面板的反射原理	5
圖 2.2.2 偏振分光器工作原理	5
圖 2.3.1 IBM 4-Cube架構.....	7
圖 2.3.2 3M Vikuiti Optical Core.....	8
圖 2.3.3 ColorSelect工作原理	8
圖 2.3.4 ColorQuad分合光模組.....	9
圖 2.3.5 CQ3 分合光模組.....	10
圖 2.3.6 LMS-XT KERNEL工作原理	10
圖 2.3.7 LMS-XT KERNEL	11
圖 2.3.8 為LMS光機之架構簡圖	12
圖 2.3.9 3-PJ Lens外合光架構.....	12
圖 2.3.10 off axis LCoS合光工作原理	13
圖 2.3.11 off axis LCoS光機工作概念圖	14
圖 2.4.1 ANSI 投影系統初始調校圖像.....	15
圖 2.4.2 ANSI 13 點位置圖.....	15
圖 2.4.3 ANSI 對比量測用圖像.....	17
圖 2.5.1 線性偏振光	19
圖 2.5.2 圓狀偏振光	20
圖 2.5.3 合成偏振光	21
圖 2.7.1 方解石的結晶.....	23
圖 2.7.2 方解石主截面.....	23
圖 2.7.3 方解石的雙折射現象.....	24
圖 2.7.4 方解石切割截面	25
圖 2.7.5 方解石折射截面	25
圖 2.7.6 偏振光在礦物的應用	26
圖 2.7.7 干涉圖	27
圖 2.7.8 光源向量進入負載試件的分量圖	28
圖 2.7.9 光源向量穿透分析器的分量圖.....	29
圖 3.3.1 光譜量測架構圖	37
圖 3.3.2 光譜量測架構照片	38
圖 3.3.3 光譜儀內部架構圖	38
圖 3.3.4 P光光譜量測架構	40
圖 3.4.1 P光-穿透率	40

圖 3.4.2 S光-穿透率	41
圖 3.5.1 PBS熱源設定與剖切面圖.....	43
圖 3.5.2 溫差 10°C PBS熱應力分佈	43
圖 3.5.3 溫差 15°C PBS熱應力分佈.....	44
圖 3.5.4 PBS熱源設定與剖切面圖.....	45
圖 3.5.5 溫差 10°C PBS熱應力分佈	45
圖 3.5.6 溫差 15°C PBS熱應力分佈	46
圖 4.3.1 LCoS光學系統架構圖	48
圖 4.3.2 LCoS光學系統照片	48
圖 4.4.1 著膠位置.....	49
圖 4.5.1 PBS漏光說明	52



表 目 錄

表 2.1.1 微面板技術比較	3
表 2.3.1 常見之三片式LCOS光機合光技術及特性	6
表 2.8.1 UV膠的種類比較表	32
表 3.2.2 PBS規格	36
表 3.3.1 鋁片加熱均勻度量測值	39
表 3.4.1 溫度梯度P光的穿透率	41
表 3.4.2 溫度梯度S光的穿透率	41
表 4.2.1 UV黏著劑規格	47
表 4.5.1 均勻度記錄表格式	50
表 4.5.2 均勻度量測值	50
表 4.5.3 均勻度量測值	51



第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

隨著光學工業及光電科技的發展，各式各樣的光學元件與光電系統依不同的需求孕育而生，而光學鏡片即為各種光學系統中不可或缺的零組件之一。除了一般大眾所熟知的天文望遠鏡與攝影機之外，在數位相機、雷射印表機、影印機及投影機等產品上的應用亦已普及化，對光學鏡片的品質與精度的要求亦愈來愈高。

光學鏡片產品一般可分為以下數種：透鏡（包含球面鏡與非球面鏡）、稜鏡、反射鏡、Fresnel 鏡片、分光鏡及光柵等，光學元件的材料依各種不同製造方式而有所不同；除了以射出成型為主要製作方式之塑膠材質外，就屬非晶態玻璃為最廣泛使用的材料。

一般光學材料的光學性質要求項目：折射係數(Refractive index)、色散率(Dispersion)、透光性(Transmittance)、Abbe 數(Abbe number)、內應力(Internal stress)、均質性(Homogeneity)。除了材質本身的因素，在使用加工過程也會對鏡片品質造成影響，都無可避免的使材料本身產生暫時性應力(Temporary Stresses)及殘留應力(Residual Stresses)。此些應力變質層的存在會破壞材料的均質性，進而使鏡片的光學性質發生變化，造成鏡片之雙折射現象(birefringence)而影響到成像的品質，對要求高精度的光學系統而言，應儘可能讓此影響品質之因素降至最低。

單矽晶背投影顯示系統(LCoS)能結合 DLP 與 HTPS 的優點，是由 IBM 與 JVC 於 1990 年代所開發出的技術，其主要製程可分為兩大部分，分別為 CMOS 製作及液晶封裝，基本上是同時結合了台灣半導體與液晶顯示器兩大產品的製造技術，因此一般認為在價格上有極大的競爭優勢，非常適合台灣發展的微顯示面板技術。LCoS 技術與其他投影技術比較，更具有高解析度、色彩飽和自然優點，過去因面板製程技術的問題無法順利導入量產，現在則因為光學引擎的合光技術困難與運用光學元件:偏振分光器

(PBS) 衍生出色彩均勻性難以控制，無法迅速地將該技術導入大量商品化生產。

偏振分光器(PBS)為單矽晶背投影顯示器(LCoS)中重要的光學元件之一，裝置 PBS 一般會使用 UV 黏著劑，但不當的接著方式會因內應力造成雙折射

現象，而嚴重影響到投影系統的影像品質，同時也為光機系統帶來了光學效能上的限制。

本研究即針對 LCoS 光學引擎中偏振分光器（PBS）黏著製程改善，進行理論及實務研究，除了提供現況外，並擬具體規劃方案，以裨益台灣 LCoS 技術的推動。

1.2 研究目的

因 PBS 材質的不同，黏膠的特性與著膠方式的不同，PBS 產生內應力大小也有差異，進而影響到光機在暗場時的表現。PBS 黏著時會因為膠的收縮、拉扯、膨脹係數的不同而產生內應力或位移。膠的強度越高，位移會越小，但伴隨的是 PBS 承受的內應力也越大，暗場漏光會越明顯。膠的強度降低時，暗場漏光情形會有改善，但卻可能產生 PBS 位移問題。著膠的位置與數量也有相同的問題，點膠數量越多，PBS 應力拉扯越嚴重，暗場漏光越明顯。

本研究將以 ColorLink CQ3 合光架構為實驗主軸，將針對不同的膠與不同的著膠位置進行測試，建立出一套可靠有效率的模型，以輔助產品設計在暗場漏光與位移兩大問題間取得平衡點。

第二章 文獻回顧

2.1 LCoS微顯示投影系統液晶面板技術

投影顯示技術因微顯示面板技術不同而分成三大類，其中 HTPS TFT LCD 及 DLP 二者解析度大多為 XGA(1024 x 768)或 SVGA(800x600)，面板尺寸為 0.9”或 0.7”。但近來解析度需求越來越高，HTPS TFT-LCD 與 DLP 已漸漸無法滿足市場需求。隨著 HDTV 時代的來臨，欲求於經濟尺寸(0.7”)的基板上達到如此多畫素的投影顯示器，只有 LCoS 面板的技術才能達到。這是由於 LCoS 擁有 Small Pixel size 的能力(8 um pixel size)且價位低，將成為未來高解析度、大畫面電視最有可能實現的載具之一，表 2.1.1 列出了三種微面板技術之比較。

	HTPS	DLP	LCOS
Cost	Middle	High	Low
Contrast	400	1000	1000
Native Resolution	720P	720P	1080P
Pixel Size	15um (0.87”)	13.86um (0.7”)	8um (0.7”)

表 2.1.1 微面板技術比較

LCoS 的全名為 Liquid Crystal on Silicon，係以 CMOS 晶片為基板及反射面，塗佈液晶屏後，再以玻璃基板封裝，見圖 2.1.1。LCoS 採用與 HTPS TFT LCD 相同之液晶偏轉偏振光束的原理，但是面板是反射式，而 LCD 是利用光源穿過 LCD 面板作調變動作。LCoS 的特色是可輕易達高解析度以及面板結構易於小型化等，最重要的是台灣所擁有的晶圓技術可以支援這項產品。但 ASIC 設計問題及液晶封裝之標準製程尚未確定，導致目前仍無法充分展現其低成本化的潛力。未來若面板液晶封裝技術能力能提升，加上光機及元件供應商的緊密配合，將有很大的空間可切入投影市場。

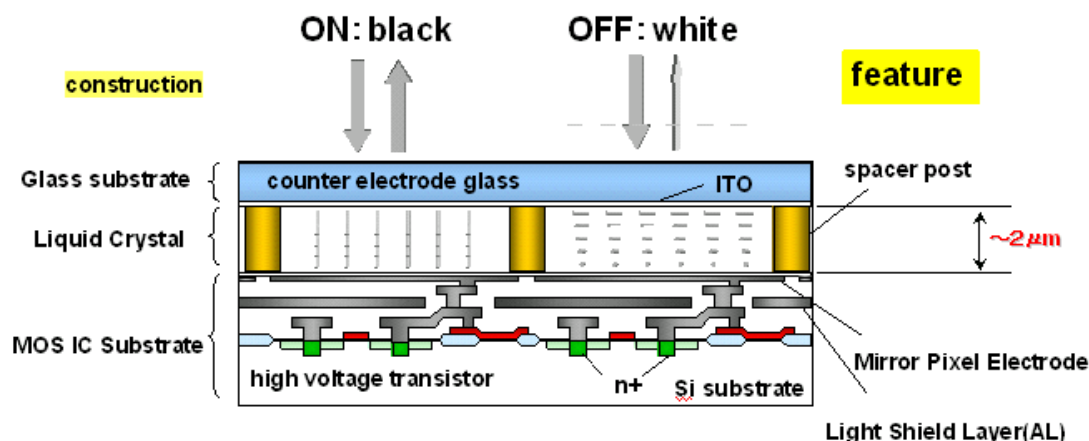


圖 2.1.1 LCoS 面板工作原理

LCoS 投影系統的基本操作原理因其為反射式而有所不同，這是因為入射與出射面板的位置是在面板的同一側，圖 2.1.2。這樣的設計會使得面板有極高的開口率，使面板的光利用效率得以大大的提升，可以有較高效能的光輸出。且畫素間距可以拉近，適合發展高解析度、小面積的面板。

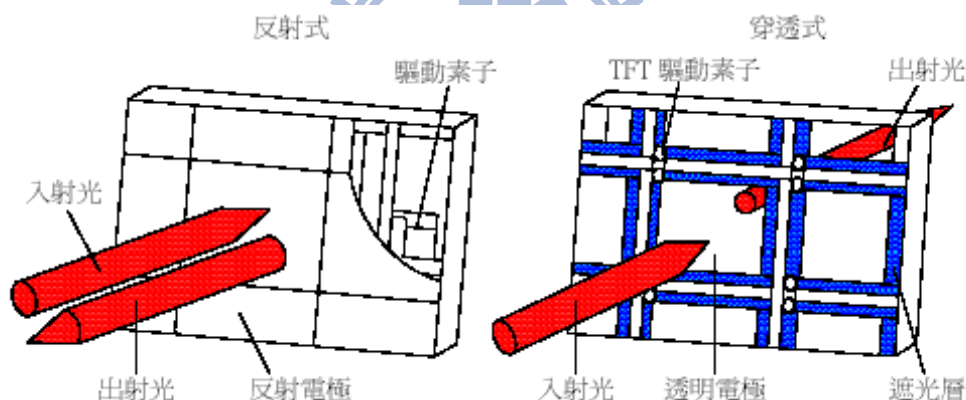


圖 2.1.2 反射式與穿透式面板的光出入路徑

資料來源：Hitachi/PIDA

2.2 偏振分光器PBS

偏振分光器 PBS (Polarization Beam Splitter) 主要功能是依照光偏振方向的不同來進行分光，其結構是由兩個 45 度等腰直角形狀的光學玻璃底邊黏合而成的矩形稜鏡，黏合面鍍有多層膜，用來分離 P 偏振光和 S 偏振光，通常偏振方向平行入射線平面的稱為 P 偏振光，垂直入射線平面的稱為 S 偏振光，一般 PBS 的設計是讓 P 偏振光穿透、S 偏振光反射。

反射式 LCoS 光機設計上必須使用到 PBS 來分離入射及出射光束，見圖(2.2.1)。當系統光源入射到 PBS 時，S 偏光會在三角稜鏡之介面反射入 LCoS 面板內，P 偏光則直接穿透三角稜鏡。當液晶為暗態時，入射於 LCoS 面板的 S 偏光將被反射回來，無法進入合光稜鏡，而當液晶顯示為亮態時，S 偏光將改變成 P 偏光穿過 PBS 進入投影鏡頭，見圖 2.2.2。

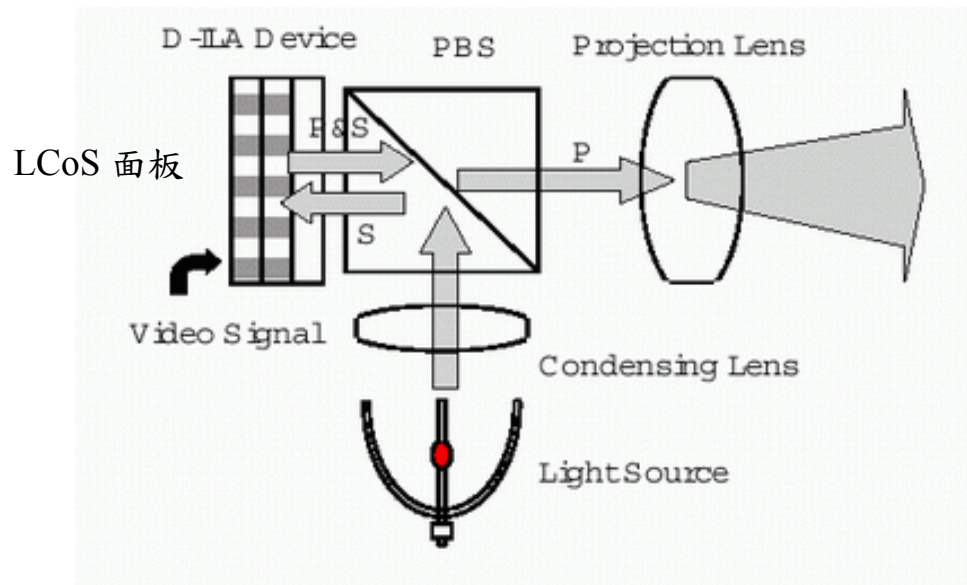


圖 2.2.1 LCoS 面板的反射原理
資料來源：JVC

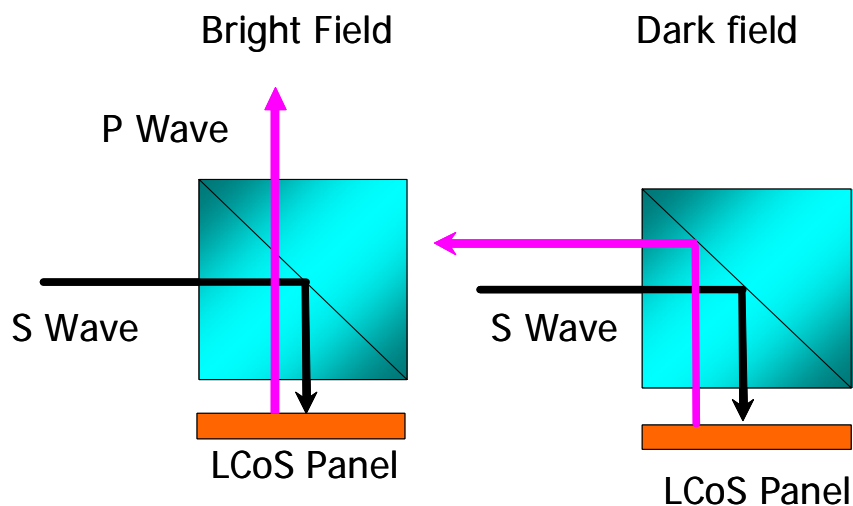


圖 2.2.2 偏振分光器工作原理

高效率的 PBS 對 S 偏振光須具有高的反射率，同時對於 P 偏振光須具有高穿透率，而由於在光機系統裡，偏振分光器最接近液晶面板，並負責控制光線的進入、進出光閥與成像系統，因此任何應力問題都將會限制了光學引擎的效能，尤其 PBS 經常是處於強光照射下，熱應力的問題尤其會影響畫面品質。

2.3 LCoS微顯示投影系統架構說明

LCoS 除三片式系統架構外亦有單片式及兩片式系統架構。單片式及兩片式 LCoS 光學引擎的色彩處理需要切換速率較快的液晶分子，相對地也會產生更多的散熱問題；又因為液晶的選擇，而且還有產品壽命需要克服，其發展進度落後於三片式面板。

LCoS 面板來源紛呈，各面板廠商供應的產品規格不一，而光學引擎系統的設計式樣也不下十種。以現狀而言，主流設計尚未產生，投入 LCoS 投影顯示器製作的廠商必須面對多樣的研究方向，再加上穿透式 3LCD 與 DLP 的產品開發壓力。因為每一類的投影顯示技術都有其獨特性，在多樣式開發之下將成為考驗投影顯示器製作廠商的研發能力、人力與經費的投入。將現在常見之三片式 LCoS 光機合光技術及特性列表如表 2.3.1。

光學架構	PBS 數	光機複雜程度	體積	光學元件成熟	亮度	對比	色彩表現
IBM 4-Cube	4	X	X	◎	◎	◎	◎
ColorQuad	4	◎	◎	X	△	△	◎
CQ3	3	◎	◎	◎	△	△	◎
LMS	4	◎	◎	X	△	△	◎
3-PJ Lens	3	△	X	△	△	◎	◎
Nova Off-axis	0	△	△	◎	△	◎	△

◎：優 △：普通 X：劣

表 2.3.1 常見之三片式 LCOS 光機合光技術及特性

資料來源：工研院經資中心 ITIS

1. IBM 4-Cube：第一台商用前投影機由 IBM、Nikon 和 JVC 設計。而使用三片式 LCoS 面板的光機設計則大致類似於 3LCD 的光機構設計，只是用 LCoS 面板來代替 3LCD 系統的 HTPS 面板，使用分色鏡分開三色光，每色光由單獨的 PBS 傳輸給相應的 LCoS 面板，見圖 2.3.1。入射光可藉由 PBS 和 LCoS 面板之間的 QWP（Quarter Wave Plate）調整偏光狀態。反射圖像在一個 X 形正六面體稜鏡中被合成為一幅全彩的圖像，然後投射到投影透鏡組。這種設計概念簡單，允許每種基色通道單獨最佳化，圖 2.3.2 為合光模組架構簡圖，由 3M 推出商品名：3M Vikuiti Optical Core。SONY 最近發佈的最新的 LCoS 背投電視產品也使用了這種類型光學架構設計。

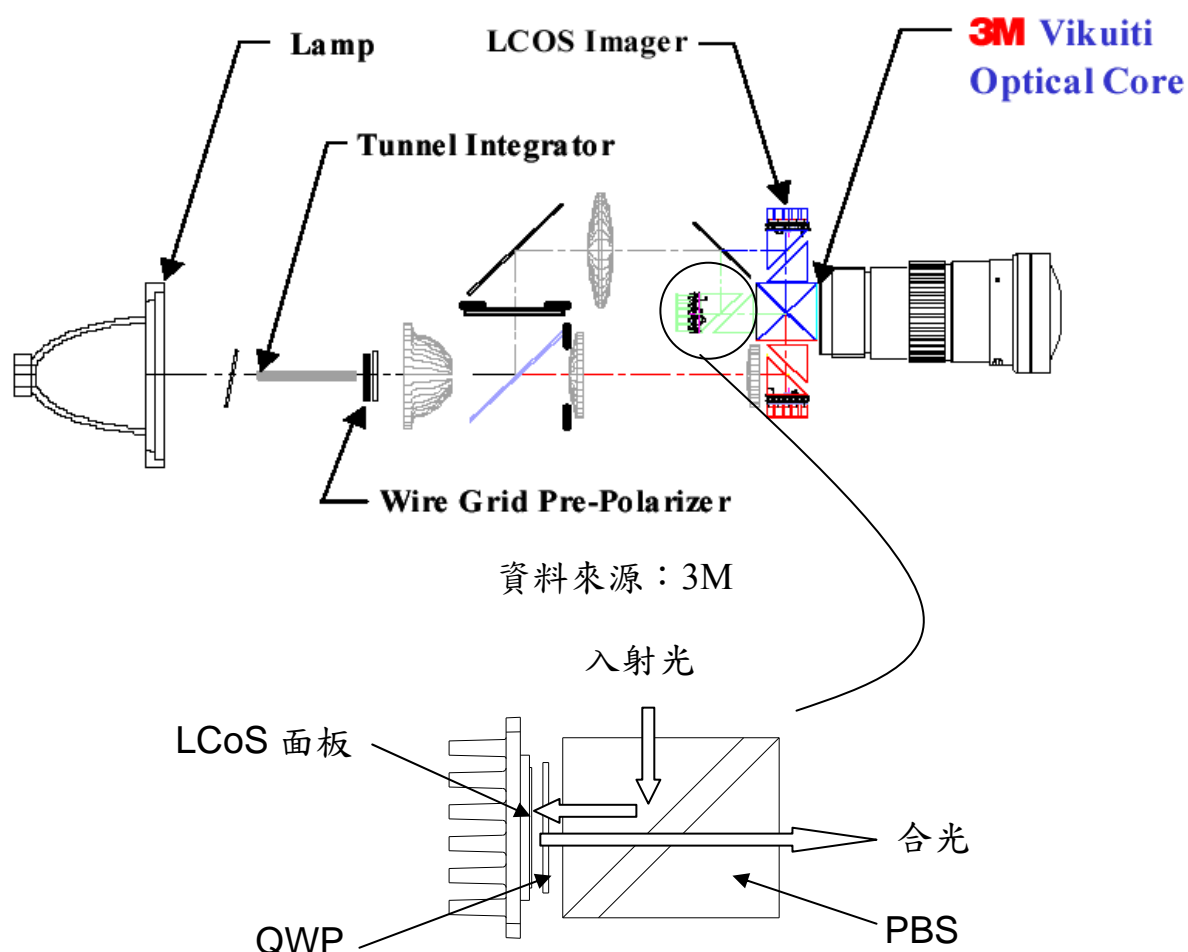


圖 2.3.1 IBM 4-Cube 架構

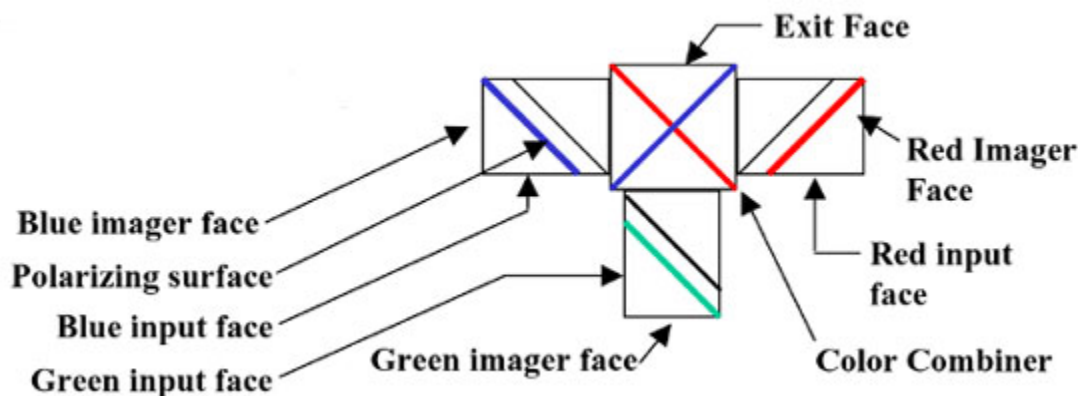


圖 2.3.2 3M Vikuiti Optical Core

2. ColorQuad：為美國 ColorLink 開發的 LCoS 面板用的分合光模組，這種設計利用 4 個 PBS 和 5 片濾色片(ColorSelect)組成一個單元。

“ColorSelect”的濾色片，此種技術不是採用薄膜干涉或吸收而是通過控制偏振態而獲得色彩控制，它是採用了堆疊延遲膜專利技術。堆疊延遲膜能高效率地使主帶光的偏振狀態旋轉 90° 同時保持補色帶光偏振狀態不變。可用於製造高性能非色性旋轉器，應用到 LCoS 投影系統上，如圖 2.3.3 所示。

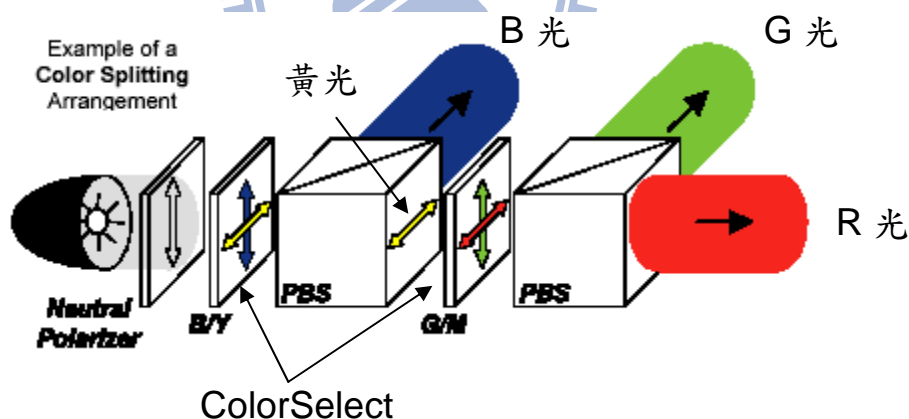


圖 2.3.3 ColorSelect 工作原理

ColorQuad 是一種光學架構完整而有效的彩色管理系統，將系統分光及合光完整地設計在一個模組內。工作原理是 ColorSelect 和 PBS 將彩色分開，分別投射至各個對應的 LCoS 面板上，在它們進入投影透鏡前再重組圖像，見圖 2.3.4。此種設計光學引擎在光源端的設計上，不需要額外的分色鏡，使用這種方法的系統結構非常簡潔。但是稜鏡的貼合與薄膜設計，玻璃的雙折射性質都會影響到系統的對比，同軸設計的系統對比較難

控制，雖然同軸設計可以有效縮減產品體積，但色彩與偏極化元件都仍有改善的空間。

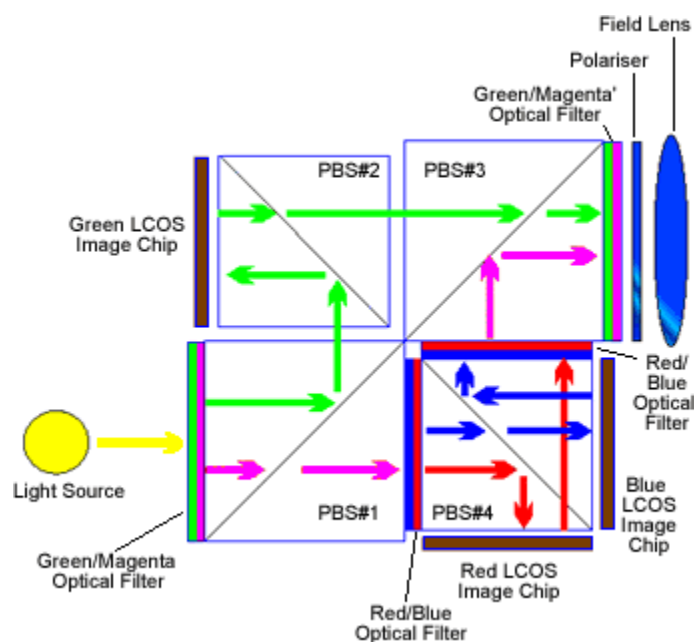


圖 2.3.4 ColorQuad 分合光模組

資料來源：ColorLink

3. CQ3：ColorLink 為改良前一代合光模組—ColorQuad 在對比及產品可靠度上的瓶頸，研發出一種改良式分合光模組架構稱為 CQ3。ColorLink 取消一片出光偏振片及使用一片分光鏡（Dichroic Mirror）替換一個 PBS 並減少 ColorSelect 的數量為 3 片，除了改善光學元件貼合的問題外，CQ3 顯著地減少了元件成本，見圖 2.3.5。JVC 於西元 2004 年在美國市場推出之 D-ILA 背投影電視即採用與 CQ3 相似架構。

LMS-XT KERNEL 工作原理與 ColorQuad 及 CQ3 相似，但在光學元件的補償及 LCoS 面板機構夾持上有極大不同：

—使用光學油（Laser Liquid）補償光學元件熱膨脹之變化。

—將 LCoS 面板以顯微鏡加上 CCD 取像，不使用投影鏡頭投出影像的方式在 LMS-XT KERNEL 內合光，並將 LCoS 面板膠合在 KERNEL 表面，圖 2.3.7。

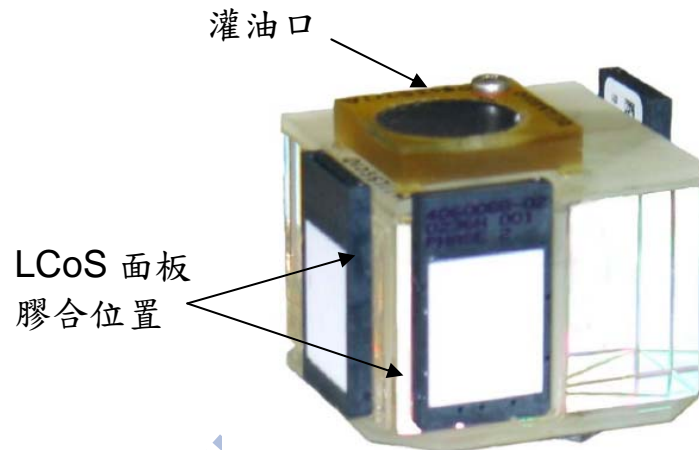


圖 2.3.7 LMS-XT KERNEL

資料來源：LMS

以上三種架構—ColorQuad、CQ3 及 LMS-XT KERNEL 皆沿用 ColorQuad 的光學架構，在分合光的架構整合的技術優勢下，光機內光學元件大幅減少，並有量產良率高及組裝速度快之優點，圖 2.3.8 為 LMS 光機之架構簡圖。但 LMS-XT KERNEL 仍有一些未知之變數有待觀察，如：

- Reliability 穩定性；
- 溫度變化對不同材質之折射率影響；
- 注入 Laser Liquid 真空技術；
- LMS LCoS 面板膠合生產技術；
- 光學元件之定位及生產技術；

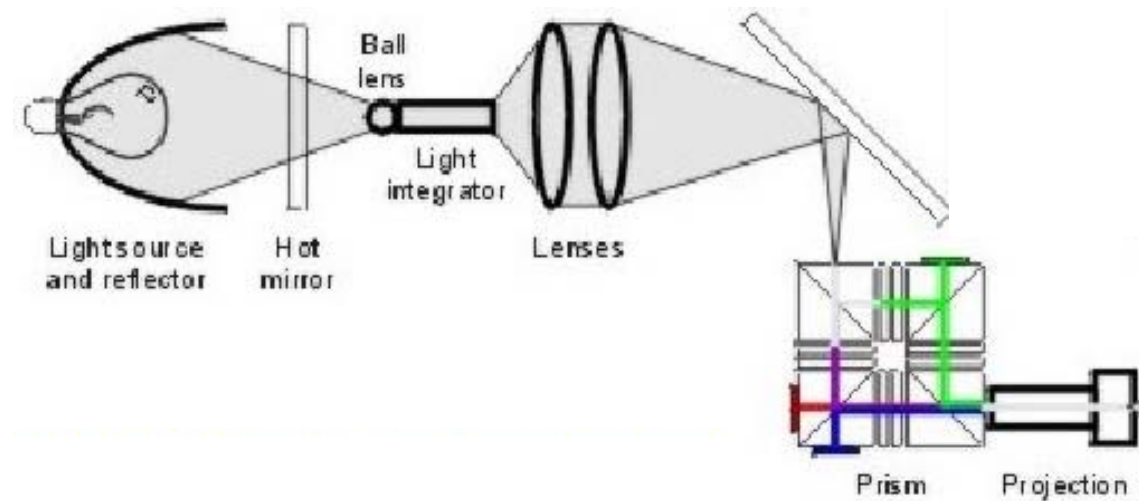


圖 2.3.8 為 LMS 光機之架構簡圖

5. 3-PJ Lens：台灣的 Prokia 公司的一台背投電視中，把三個 PBS 改成使用三個獨立的投影透鏡，代替了 X 形正六面體稜鏡如圖 2.3.9 所示。在這種情況下，三色圖像重新組合出現在背投螢幕上，與標準的三槍 CRT 的背投工作方式類似。

這種系統的優點是淘汰了 X 形正六面體稜鏡，使用了更簡單的投影透鏡。雖然有三個投影透鏡而不是一個 X 形正六面體稜鏡，但是每片透鏡的光譜要求更窄，後焦距更短。而且因為 RGB 三道光線在合光架構中是獨立運作，因而熱量亦被分散，在合光架構中不易產生常見的散熱問題使用。這種設計方法的 LCoS 背投電視已在西元 2003 年由 Kolin 發表上市。

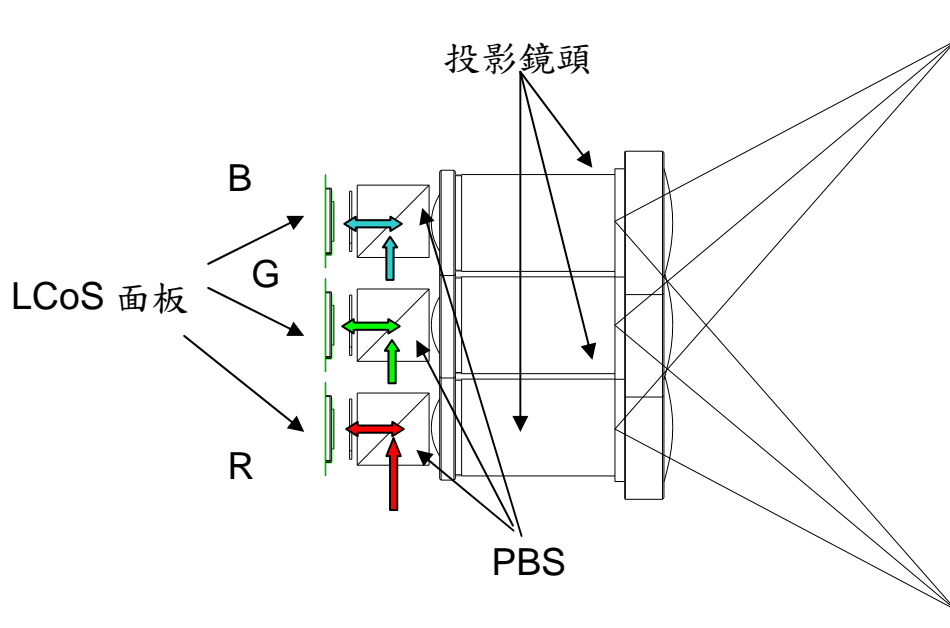


圖 2.3.9 3-PJ Lens 外合光架構

6. Off-Axis: S-Vision 和 Aurora 開發了一種離軸設計方法，用這種方法，光斜著照射到 LCoS 面板。因此入射光和反射圖像沒有 PBS 也能分開。這種簡化設計的傾斜光照，導致許多傾斜角出現，使得彩色的分離和複合變複雜，需要一個更完善的非球面投影透鏡，如圖 2.3.10 所示。離軸的設計有著較高對比的優勢，系統設計是將分光、合光元件分開，但仍在面板的同一邊，系統對比較高，但是離軸的設計比較少見，因為必須要使用昂貴的非球面鏡。三片式 LCOS 結構的體積、重量及價格都不符合未來趨勢，並且分光合光時難避免光量的漏失，而如何準確地聚焦將各色光聚合，並對準到投影鏡頭，都是影響影像品質甚大的因子。圖 2.3.11 為 S-Vision 所提出離軸光機的概念，台灣三洋於西元 2003 年進行量產，但因合光精度極高，RGB 三色對位困難，投影鏡頭量產不易，LCoS 面板不夠成熟等因素，目前已停止生產。

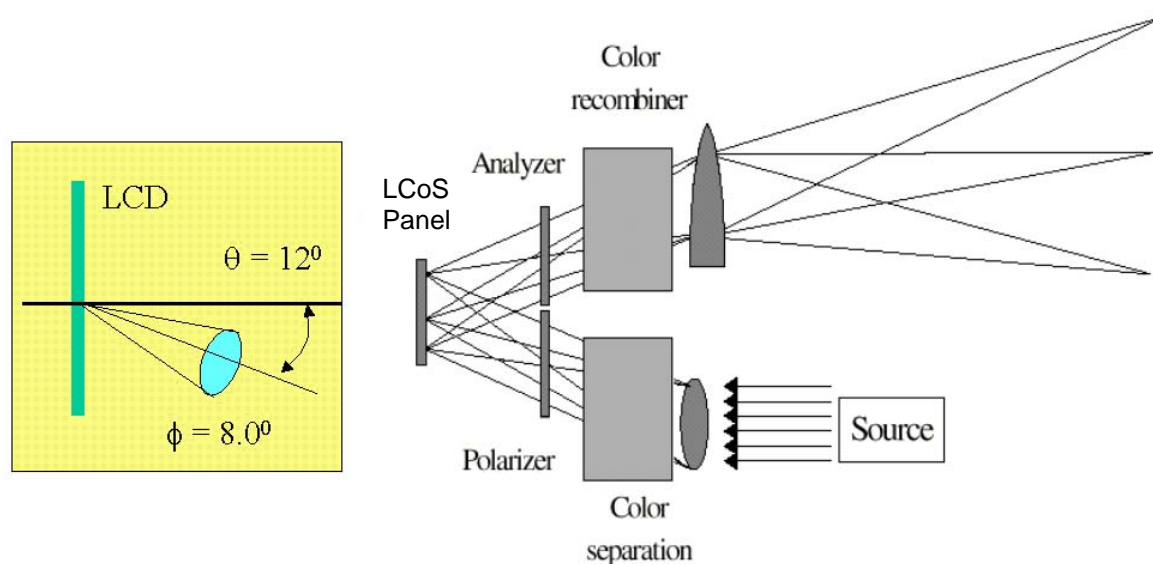


圖 2.3.10 off axis LCoS 合光工作原理

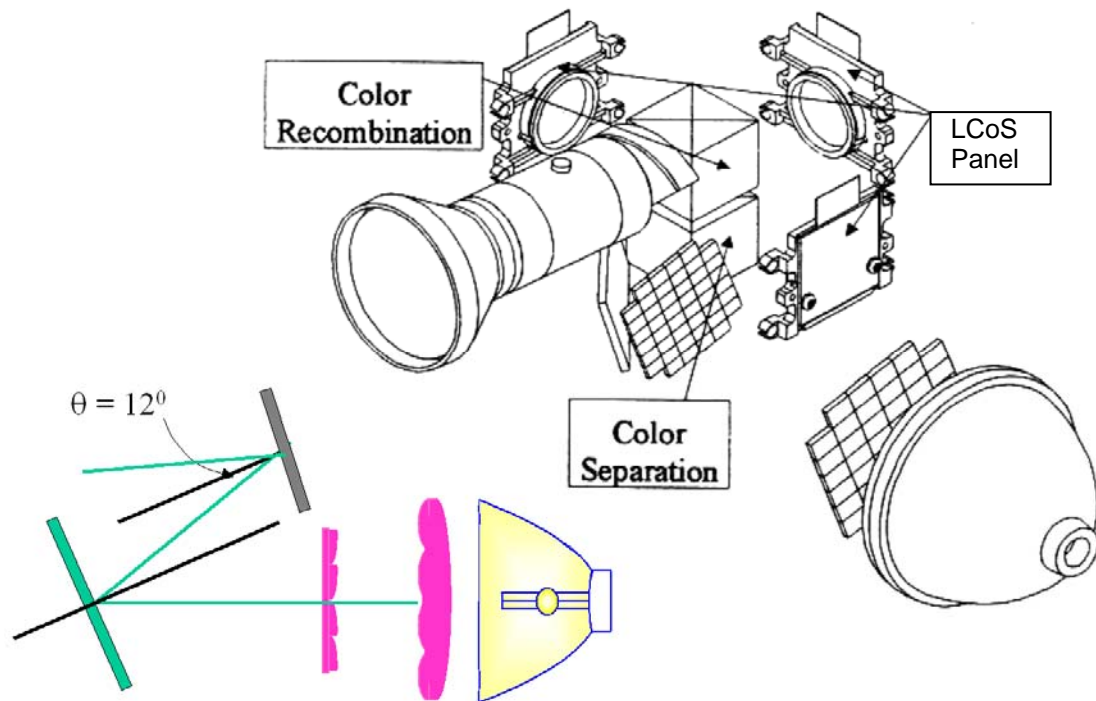


圖 2.3.11 off axis LCoS 光機工作概念圖

2.4 系統技術指標的訂定與量測

本節針對西元 1996 年美國國家標準 (ANSI/NAPM IT 7.228-1997) 規範內容作一整理介紹。

1. 量測前的調整：

首先該標準對量測的方式訂有一些基本的共通規範。由於投影系統的亮度及對比可做局部的調整，為了避免不正常的調整造成量測基準的偏差，因此在標準中便有一套設計調整投影機亮度及對比的方法，使各個受測位置能夠在相近的基準上接受測試與比較。對於投影機亮度與對比的調校，是以一個標準圖像做為參考。投影機輸出畫面以全白為背景，並由上下兩排各四格互相連接的方格所構成。每個方格的投影面積為整面投影面積的 5%，且長寬比與整體投影畫面相同，但在各個方格內有不同的灰階輸出，如圖 2.4.1 所示。

以全白訊號為 100% (與背景訊號同)，全黑為 0%，依著由右至左的順序，上排四方格內的灰階輸出分別設定為 15%、10%、5%、以及 0%，下排四方格的輸出則為 100%、95%、90%、85%。在調整投影機的亮度時，

為確保不犧牲其對比表現能力，應使 5%與 10%的灰階訊號可以從 0% 和 15%的訊號中分辨出來。同時也必須使 95%與 90%的灰階訊號與 100%與 85%的有所不同，循序作亮度與對比的調整直到符合條件才可開始量測數據，並且在進行測試時亦要一直保持相同的狀態。

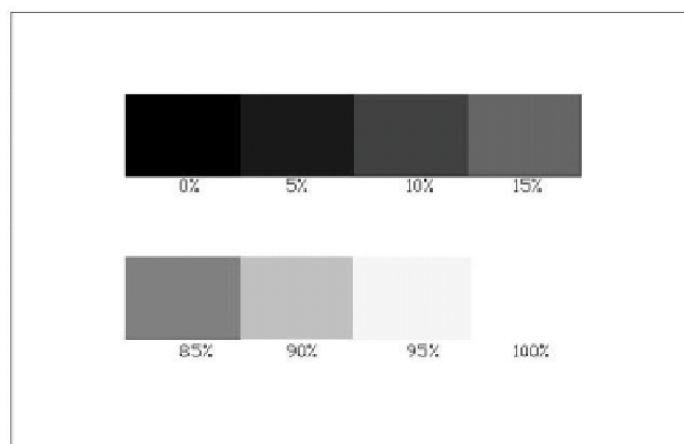


圖 2.4.1 ANSI 投影系統初始調校圖像

在投影顯示器的量測規定是以 ANSI 13 點位置圖為量測為基準，色度計必需垂直光軸分置於成像面之九個均等矩形之中心點以及螢幕四個固定的角落，角落四點位於成像頂角與螢幕中心之連線上，靠近頂角且為對角線半長之 10% 距離的位置，如圖 2.4.2 所示，量測單位為照度，使用的量測儀器之感測範圍至少需包含 3×3 像素。量測設備須為國家標準認定之標準儀器，其照度準確度需在 $\pm 5\%$ 以內，色度準確度在 $\pm 8\%(x, y)$ 之內，同時亦可顯示 u', v' 及相關色溫 CCT 值，並具餘弦校正功能。

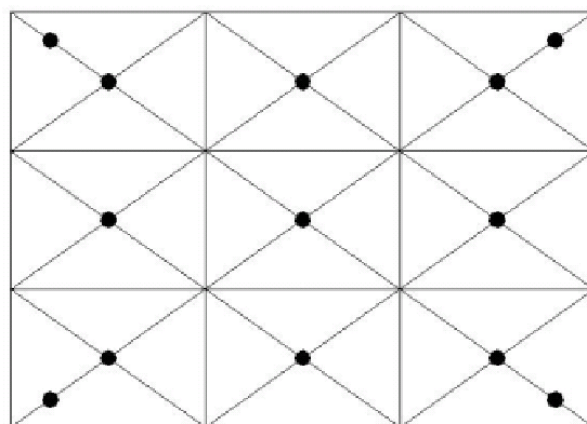


圖 2.4.2 ANSI 13 點位置圖

2. 亮度白場量測規定：

根據 ANSI 的定義，投影機亮度的計算方式為，是在 100% 之全白圖像輸出量測圖 2.4.2 的九個方格中心點照度值，單位為勒克斯 (Lux=lumen / meter²)，然後將九點量測值平均，再乘上投影面積(單位為平方公尺)，所得到的即為投影設備的光輸出流明值(ANSI Lumen)。公式如下所示：

$$L_{ave} = (L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_9) / 9$$
$$FLUX_{total} \text{ (ANSI Lumen)} = L_{ave} \times \text{Area (m}^2\text{)}$$

3. 均勻度的量測：

則是在全白圖像輸出下，取圖 2.4.2 的 13 點量測值之最大與最小點，並分別計算最大及最小點與內 9 點平均值之差異，再分別計算該差異值與平均值之比。

$$\Delta L^+ = [\text{Max of } [L_1, L_2, \dots, L_9, L_{10}, \dots, L_{13}] - L_{ave}] \times 100 / L_{ave}$$
$$\Delta L^- = [\text{Min of } [L_1, L_2, \dots, L_9, L_{10}, \dots, L_{13}] - L_{ave}] \times 100 / L_{ave}$$

4. 色座標的量測：

使用色度計分別量 R/G/B/W 四色在 13 點位置圖，圖 2.4.2 中的內九點色座標值(x, y)，再分別取平均而得。

5. 色度均勻度：

投影機的色彩表現能力，是以其投影成像面整體之色彩偏離情形來加以評估，稱之為色彩均勻度 (Color Uniformity)。其測試是利用色度計量測投影設備於輸出三原色光 (R、G、B) 及全白影像時各測試點之色度座標值，再以九中心點量測得之 u' v' 計算其平均值，並求得全部 13 點量測之 u' v' 值與九個中心點量測平均值之最大色偏差量，即得 W、R、G、B 各色之色彩均勻度。其計算公式如下所列

$$u'0 = (u'1 + u'2 + u'3 + \dots + u'9) / 9$$
$$v'0 = (v'1 + v'2 + v'3 + \dots + v'9) / 9$$
$$\text{Color Uniformity} = \text{Max of } [(u' - u'0)^2 + (v' - v'0)^2]^{1/2}$$
$$u' v' = [u'1v'1, u'2v'2, \dots, u'13v'13]$$

6. 對比度的量測 (ANSI Contrast Ratio) :

必須採用不同的圖像，如圖 2.4.3 所示。該圖像是一個 4x4 大小相同之黑白棋盤式的影像訊號，使用照度計測量各方格中心點的照度值來進一步計算。黑白棋盤中全白部分之輸出為 100%，全黑部分之輸出為 0%，將棋盤中 8 個白方格取光照度平均值，再與 8 個黑方格之光照度平均位相除得之比值，即為 ANSI 規範之對比度，表示為

$$L_{\text{wave}} = (L_{w1} + L_{w2} + L_{w3} + L_{w4} + L_{w5} + L_{w6} + L_{w7} + L_{w8})/8$$

$$L_{\text{bave}} = (L_{b1} + L_{b2} + L_{b3} + L_{b4} + L_{b5} + L_{b6} + L_{b7} + L_{b8})/8$$

$$\text{ANSI Contrast Ratio} = (L_{\text{wave}} / L_{\text{bave}}) : 1$$

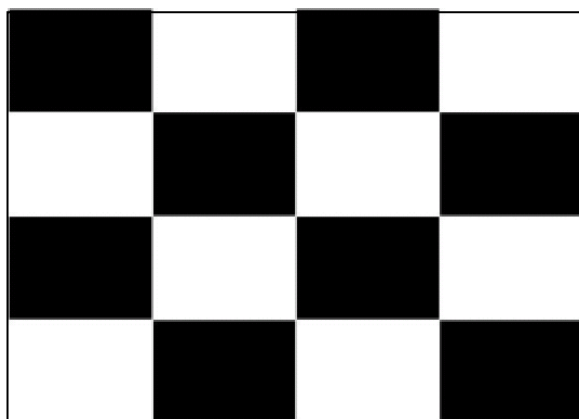


圖 2.4.3 ANSI 對比量測用圖像

2.5 光的偏振

就先前對光的認識而言，光是具有二相性的，從整體上來看，波的性质較為顯著，但從細微的角度來看，粒子性則顯得較為重要。

一般光源含有大量的發光原子或分子，他們所發出的光的振動方向彼此毫不相關。但由於發光原子和分子的數量相當龐大，因而在與光波傳播方向垂直的平面上，與任何一個振動方向相聯繫的原子或分子數目基本上是相等的。換言之，這樣的光源在一切可振動方向上的光振動機率是相等的。從能量的角度上來看，光振動平面內任何方向上都具有相同的能量，或者說光振動的功率密度都相同，這種振動方向漫無規律的光波就是自然光。

由於光是電磁波的一種，到目前為止我們僅考慮在固定平面上的電場向量；而此電場向量所在之平面也稱為電場振動平面；而此時在固定平面振動傳播之光波稱為偏振光。若光波的波向量總是沿著一條直線作反覆振動，則稱為線偏振光(linearly polarized light)。線偏振光的振動面是固定的平面，故也稱為平面偏振光。

若線偏振光與自然光相摻雜，則為部分偏振光(partially polarized light)，這時發出沿線偏振方向光振動的原子或分子比發出沿其他方向光振動的原子或分子要多，因而這個方向光振動的功率密度比其他方向的光振動的功率密度要大。通常用偏振度(degree of polarization) P 來量度線偏振的程度，仿照可見度的定義，偏振度定義為

$$P = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$$

式中 I_M 和 I_m 是部分偏振光在兩個特殊方向上的功率密度，分別對應於最大和最小的功率密度。若 $P=1$ ，是線偏振光； $P=0$ 是自然光；而 $P<1$ 是部分偏振光。

與一切振動相同，光振動也可分解成兩個方向相垂直的振動。自然光中的每一個光振動都可分解成這兩個互相垂直的光振動。由於自然光中各方向上的光振動都相等，因而他們在這二方向上的分振動之和也相等，即自然光可用功率密度相等、振動方向互相垂直的兩個線偏振光來表示。且每個線偏振光的功率密度都是自然光功率密度的一半，而且這兩個線偏振光之間無周相聯繫。以下我們就幾種不同的偏振光分別來加以討論：

1. 線性偏振光(linearly Polarization)：

若考慮兩同頻率垂直光波，其電場如下：

$$\vec{E}_x = A \cos(kz - \omega t) \vec{i}$$

$$\vec{E}_y = B \cos(kz - \omega t + \varepsilon) \vec{j}$$

ε ：兩向量之相對相角差

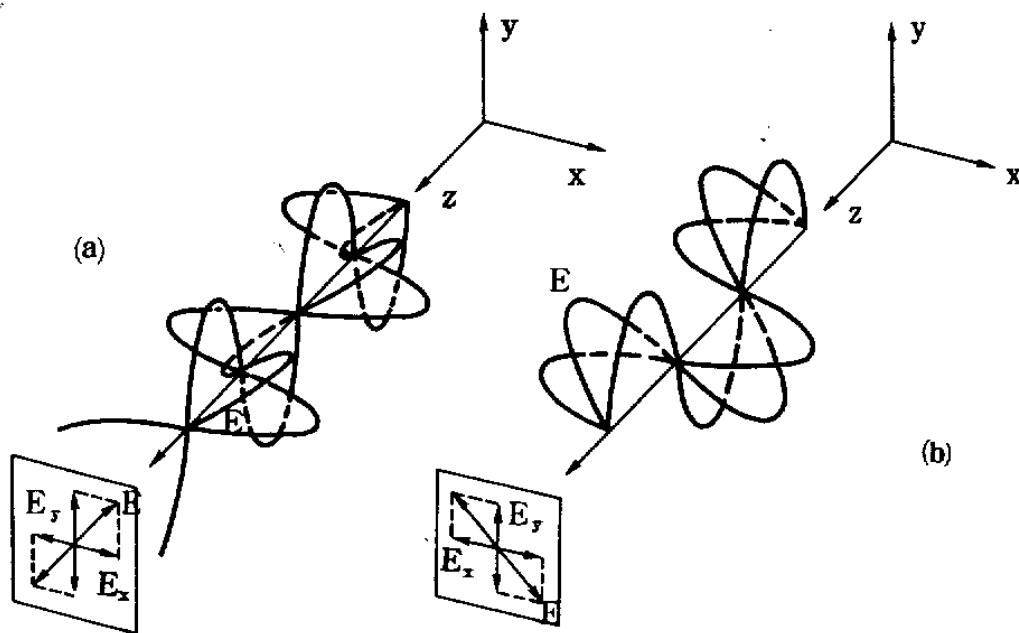


圖 2.5.1 線性偏振光

當此兩光波相互作用後，有兩種情況：

- (1) ε 為 $\pm 2\pi$ 之整數倍時，合成向量 \vec{E} (圖2.5.1-(a))

$$\vec{E} = (A\vec{i} + B\vec{j})\cos(kz - \omega t)$$

由於 A, B 為常數，可知合成向量 \vec{E} 為固定方向之向量。

- (2) ε 為 $\pm \pi$ 之整數倍時，合成向量 \vec{E} (圖2.5.1-(b))

$$\vec{E} = (A\vec{i} - B\vec{j})\cos(kz - \omega t)$$

由於 A, B 為常數，可知合成向量 \vec{E} 為固定方向之向量。

由以上可知，兩光波相 互作用欲得到線性偏振 光必須符合下列兩點：

- (1) 兩光波之頻率必須相同。
- (2) 兩光波之相位角差 (ε) 須為 $\pm n\pi$ ，其中 $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

2. 圓狀偏振光(Circular Polarization)：

若考慮兩同頻率之垂直光波，其電場如下：

$$\vec{E}_x = A\cos(kz - \omega t)\vec{i}$$

$$\vec{E}_y = A\cos(kz - \omega t + \varepsilon)\vec{j}$$

ε 為相對相角差

此兩波相互作用後，有兩種情況：

圓狀偏振光與線性偏振光最大的差異乃在於相對相角差。前者相對相角差為 $\frac{\pi}{2}$ 之奇數倍，後者則為 π 之整數倍。

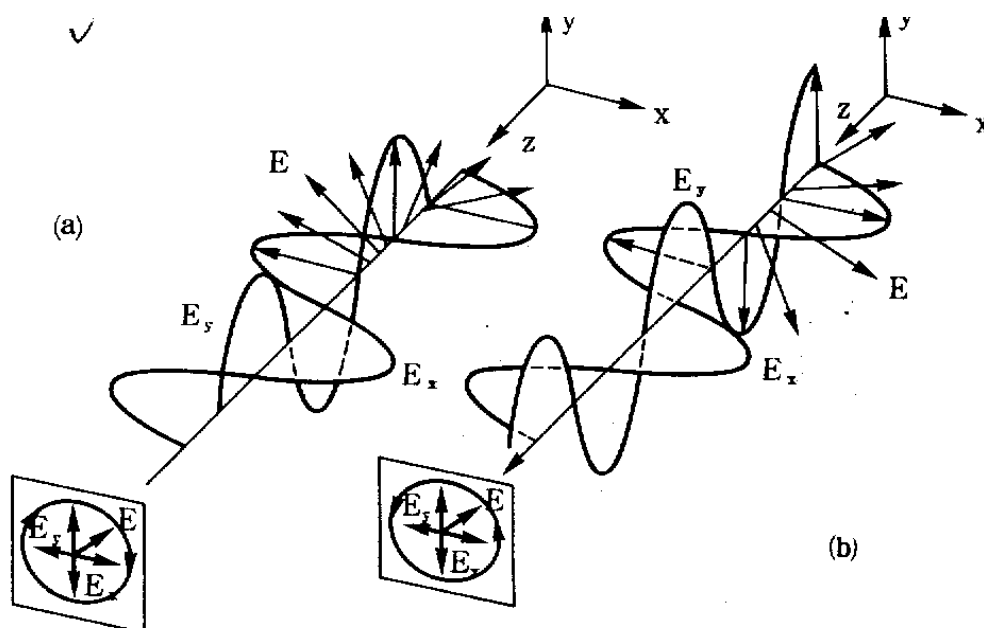


圖 2.5.2 圓狀偏振光

- (1) ε 為 $-\frac{\pi}{2} \pm 2m\pi$, m 為整數時，合成向量 \vec{E} 為

$$\vec{E} = A(\cos(kz - \omega t)\vec{i} + \sin(kz - \omega t)\vec{j})$$

由於 A 為常數， $\vec{E} = \vec{E}(z, t)$ 為一順時針旋轉之圓狀螺旋向量。
(圖 2.5.2 - (a))

- (2) ε 為 $\frac{\pi}{2} \pm 2m\pi$, m 為整數時，合成向量 \vec{E} 為

$$\vec{E} = A(\cos(kz - \omega t)\vec{i} - \sin(kz - \omega t)\vec{j})$$

由於 A 為常數， $\vec{E} = \vec{E}(z, t)$ 為一逆時針旋轉之圓狀螺旋向量。
(圖 2.5.2 - (b))

由以上可知，兩光波相互作用欲得到圓狀偏振光必須有下列二條件：

- (1) 兩光波必須有相同的頻率。

- (2) 兩光波之相對相角差 (ε) 須為 $\pm \frac{\pi}{2} \pm 2m\pi$, $m = 1, 2, 3, 4, \dots$

3. 橢圓偏振光(Elliptical Polarization):

橢圓偏振光發生之原理與圓狀偏振光相類似，其不同處為：

(1) 兩光波之振動純量不同，即下式中 $A \neq B$

$$\vec{E}_x = A \cos(kz - \omega t) \vec{i}$$

$$\vec{E}_y = B \cos(kz - \omega t + \varepsilon) \vec{j}$$

(2) 兩光波之相對相角 ε ，並沒有特別限制，圖 2.5.3 說明不同之合成偏振光。

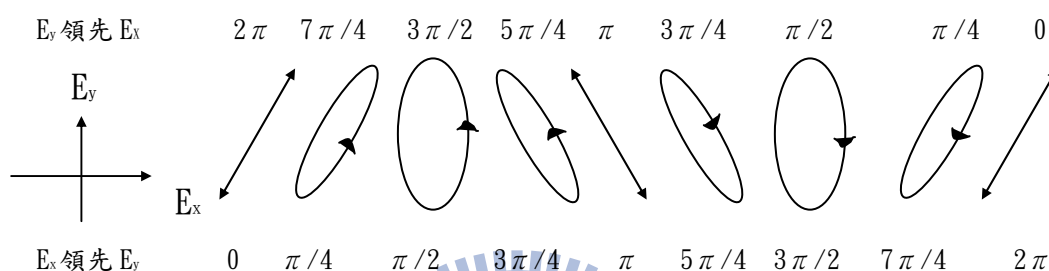


圖 2.5.3 合成偏振光

2.6 偏振片

有些晶體對入射光的兩個互相垂直的光振動的吸收程度不同，這種特性叫作晶體的二向色性(dichroism)。具有二向色性的晶體內部有一個特殊方向，叫作主軸或光軸。入射光波中垂直於光軸的電場分量會被強烈地吸收，而沿光軸方向的光軸分量則可以透過晶體。當自然光入射到足夠厚度的這種晶體片上時，與光軸方向垂直的光振動可以被全部吸收，透射光中只剩下沿光軸方向的光振動，這樣就得到了線偏振光。因此稱這種晶體片為偏振片(Polaroid)，稱光軸方向為偏振片的偏振化方向或主方向，又可稱為偏振片的透光方向。

自然光入射到偏振片上，透射的是線偏振光。從自然光得到偏振光的過程叫作起偏。起偏作用的光學元件叫作起偏器(polarizer)。偏振片就是一種起偏器，除此之外還有圓起偏器和橢圓起偏器。

如果入射到偏振片上的是線偏振光，則當偏振片的偏振方向與線偏振光的振動方向一致時，出射光最強；旋轉偏振片，當這兩個方向互相垂直時，則沒有透射光。

入射到偏振片上時，旋轉偏振片，透射光的功率密度不發生變化。而

當部分偏振光入射時，旋轉偏振片，透射光的功率密度要發生變化，但不存在功率密度為零的情況。總之，旋轉偏振片，觀察透射光功率密度的變化特點，可以確定入射光的偏振特點。確定光的偏振特點的過程叫作檢偏，起檢偏作用的光學元件叫作檢偏器(analyzer)。偏振片也可以作為檢偏器。

線偏振光入射到偏振片上時，旋轉偏振片，當偏振光振動方向與偏振片偏振化方向的夾角為 θ 時，透射光的功率密度 I 為

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

式中 I_0 是入射線偏振光的功率密度。這是 Malus 在 1809 年得到的，被稱為 Malus 定律。從振動的分解可以理解這一定律，入射線偏振光的振幅為 E_0 ，他在偏振化方向上的分量為 $E_0 \cos \theta$ ，這就是透射光的振幅，他的平方就是功率密度。

2.7 應力雙折射

在 Malus 發現利用反射獲得偏振光的方法前，Bartholinus 在 1669 年就觀察到，當光線通過方解石時會分解為兩條光線的現象。許多晶體，諸如石英、電氣石、雲母和冰等都具有這樣的特性。此外，光線通過這些晶體時光的性質還隨著方向不同而有明顯的差別。與光的性質不隨方向改變的各向同性介質相比，可把這些介質叫作各向異性(anisotropism)介質。光通過各向異性介質所發生的上述現象叫作雙折射(double refraction 或 birefringence)。發生雙折射得晶體可分為單軸晶體和雙軸晶體兩種。在單軸晶體裡有一個特殊方向，這個方向叫作晶體光軸(optical axis)，當光軸垂直於晶體表面時，若光線沿著光軸方向入射，則不發生雙折射現象。在雙折射晶體裡有兩個這樣不發生雙折射現象的方向，即有兩個光軸。

方解石的結晶形式是斜平行六面體，在其中的兩相對頂角處，三晶面的二面角都等於 102° ，在其他六個頂角處三晶面的三個二面角中，一個是 102° 的鈍角，另外兩個是 78° 的銳角。過前兩頂點並與三晶面夾成等角的一條直線便是光軸。應該注意，光軸並不只是某一直線，而是指某方向，晶體內部與這條直線平行的線都是晶體的光軸，方解石則是單軸晶體。

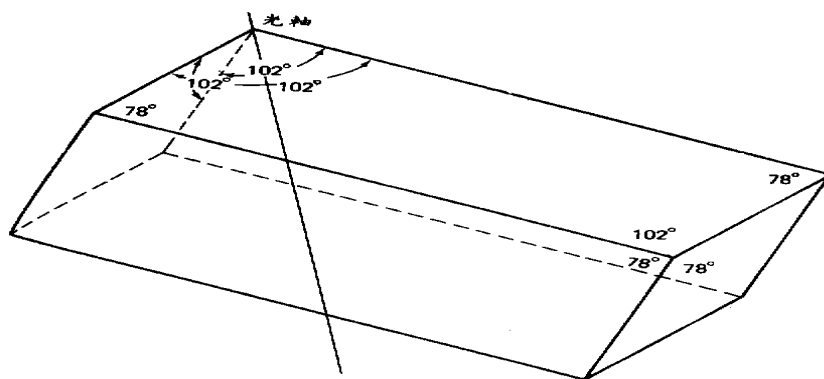


圖 2.7.1 方解石的結晶

通過光軸與晶體表面正交的平面，或說光軸和晶面法線所在的平面，叫作晶體的主截面(principal section)。天然方解石的主截面被晶體截成一個頂角分別為 71° 和 109° 的平行四邊形。

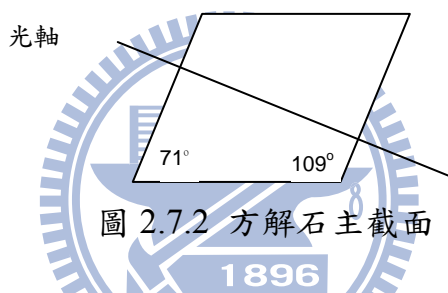


圖 2.7.2 方解石主截面

當自然光進入方解石內，就要分解成兩條折射线，其中一條遵守 Snell 定律，叫作尋常光线(ordinary ray)，用 O 表示之，簡稱 O 線，另一條不遵守 Snell 定律，叫作非常光线(extraordinary ray)，用 E 表示之，簡稱 E 線。這就是命名為雙折射的原因。

圖 2.7.3 之(a)示出光線垂直於方解石的一個晶面入射時，所發生的雙折射現象，這時入射线與晶面法線重合，即入射线在主截面內，或者說光軸在入射面內。 O 線沿入射光線的方向透射，而 E 線在晶體內卻要偏折(顯然不滿足折射定律)。由於方解石的前後晶面互相平行，從方解石透射的 O 、 E 兩線互相平行，且都與入射线平行，只是透射的 E 線有側向位移。如果以入射光線為軸旋轉方解石，便能在方解石之後的屏幕上看到 E 線的光點圍繞著 O 線的光點旋轉。(圖 2.7.3 之(b))

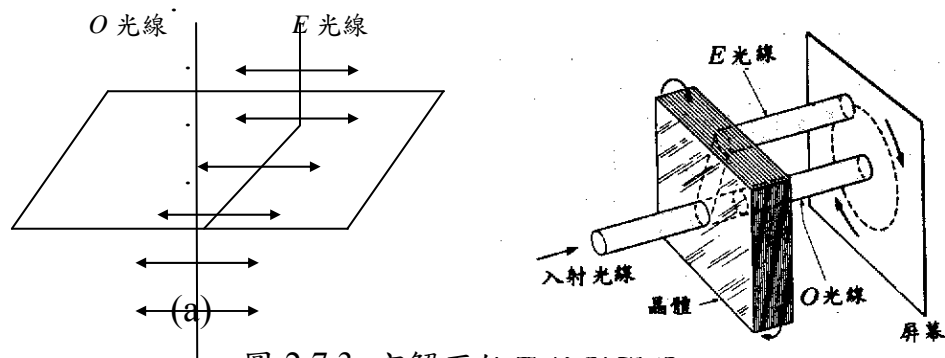


圖 2.7.3 方解石的雙折射現象

若在方解石和屏幕之間放入偏振片，旋轉偏振片，可以看到兩光點的亮度交替發生變化，旋轉一週時，觀察到每個光點出現兩次最亮和兩次完全消失的現象。這表明 O 線和 E 線都是線偏振光。當 O 線的光點最亮時， E 線的光點完全消失；而 E 線的光點最亮時， O 線的光點完全消失，這表明他們的光振動方向互相垂直。

如果擴大入射光束，使光點變成光斑，而且兩光斑有部分重疊，再把偏振片移到光源和方解石之間，這時入射的是線偏振光，轉動方解石，可以看到兩光斑的亮度也會交替變化，然而重疊部分的亮度始終不變，這說明 O 線和 E 線的功率密度是互補的，入射線偏振光的光振動分解成 O 線光振動和 E 線光振動。

通常把 O 線方向和光軸所決定的平面叫做 O 線的主平面(principal plane)，而把 E 線方向和光軸所決定的平面叫做 E 線主平面。 O 線的光振動方向總垂直於 O 線的主平面，而 E 線的光振動方向總在 E 線的主平面內。當光線的入射面和晶體的主截面相重合，即光軸在主入射面內時， O 線和 E 線都在入射面內，及 O 線和 E 線的主平面均與主截面重合，此時 O 線光振動和 E 線光振動互相垂直，我們主要討論這種情況。當入射面和晶體的主截面不重合時， O 線仍在入射面內，而 E 線卻不在入射面內。

為了研究 O 、 E 兩線隨著入射線與光軸夾角不同而有所改變的情形，把方解石切割成如圖 2.7.4 所示出的三種情形(光軸方向各不相同)。P 是一物點，例如一個黑點， Q_o 和 Q_e 分別是尋常光速和非常光速所成的像點。

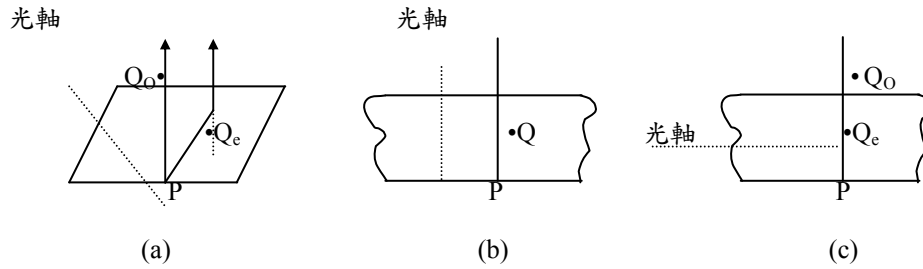


圖 2.7.4 方解石切割截面

在圖 2.7.4 之(a)中，光線沿著光軸成一角度的方向入射，上方的觀察者可發現 Q_o 比 Q_e 離眼略近一些；在圖 2.7.4 之(b)中，光線沿著光軸入射方解石，觀者只能看到一個像點 Q ；在圖 2.5.4 之(c)中，光線沿著光軸垂直的方向入射方解石，觀者眼睛稍微傾斜，便能發現 Q_o 位於 Q_e 的上面。若圖中三塊方解石的厚度 t 相同，就能發現像 Q_o 離眼睛的距離相同，但像 Q_e 離眼睛的距離卻因入射光線與光軸方向的關係不同而有所差別。在圖 2.7.4 之(c)裡， Q_e 離眼睛的距離最遠。

顯然在圖中 Q_o 和 Q_e 都是物 P 經方解石上下表面二次折射所成的像。由圖 2.7.5 可求出像 Q 的位置。

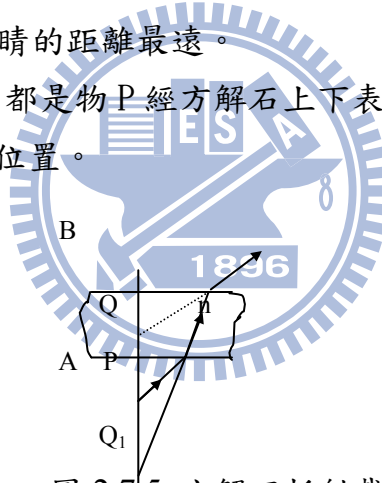


圖 2.7.5 方解石折射截面

物點 P 經 A 面折射所成像點 Q_1 (只有在孔徑很小的情況下才能成清晰的點像)，由 snell 定律得

$$AQ_1 = nAP$$

像 Q_1 又經 B 面折射成像於 Q 點，故得

$$BQ = \frac{1}{n}BQ_1$$

於是像點 Q 從物點 P 向上移動的距離為

$$PQ = BP - BQ = \left(1 - \frac{1}{n}\right)t$$

可見 PQ 值取決於折射率 n 和厚度 t ，而與 P 點位置無關。在 t 一定時， PQ 值單獨地決定於 n 。此式證明， n 越大， PQ 值就越大，即像點離眼睛越

近。

用上式分析圖 2.7.5 所示的實驗我們得出關於光波在雙折射晶體裡傳播速度的結論： O 線沿各方向的傳播速度都是相同的；而 E 線的傳播速度則因方向而異，沿光軸方向的速度與 O 線的傳播速度相同，沿垂直於光軸方向的傳播速度與 O 線的傳播速度的差值最大，對方解石來說，沿光軸方向的傳播速度最小，而沿垂直於光軸方向的傳播速度最大；對石英來說，恰好相反。若 O 線的傳播速度為 v_o ， E 線沿垂直於光軸方向的傳播速度為

V_e ，引入 $n_o = \frac{c}{v_o}$ ，稱之為 O 線的折射率，引入 $n_e = \frac{c}{V_e}$ ，稱之為 E 線的折射

率。實驗測得，當 $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ 時，方解石的 O 線折射率 $n_o = 1.65836$ ， E 線折射率 $n_e = 1.48641$ 。 E 線沿不同方向傳播時，相應的折射率是不同的，沿與光軸垂直的方向傳播時， O 、 E 兩線的折射率差最大。通常把這最大的折射率差 $n_o - n_e$ 叫做重折射率，這個數值表徵雙折射性能的強弱。

單軸晶體有正、負之分，若 $n_o > n_e$ ，是負晶體，如方解石，若 $n_o < n_e$ ，是正晶體，如石英。正晶體的重折射率為 $n_e - n_o$ 。

偏振光在礦物的研究非常廣泛，通常是將礦物和晶體的透明材料切割成薄板，並置於偏光顯微鏡的鏡架上。如圖 2.7.6 在鏡架下有起偏器 N_1 ，而在物鏡上有分析器 N_2 。鏡架下的聚光透鏡 L_2 將偏振光聚焦在試料 C 上，再由試料發散光線到物鏡 L_3 上。

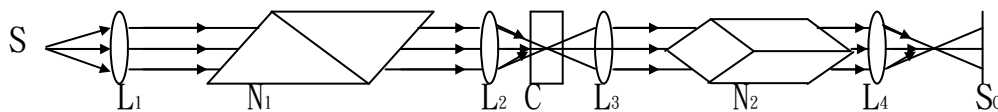


圖 2.7.6 偏振光在礦物的應用

平行的線偏振光柱干涉時，晶體厚度的不同引起 O 線和 E 線的周相差不同。如果晶體的厚度不變，而令會聚的線偏振光束入射，那麼 O 線和 E 線的周相差將要因光束內各光線的入射方向不同而發生變化。

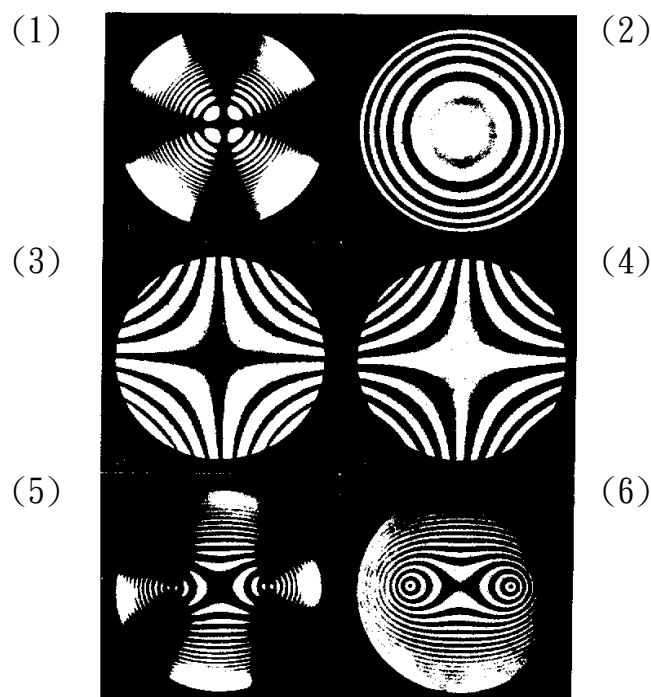


圖 2.7.7 干涉圖

在圖 2.7.7 這些花樣中，出現的黑十字，通常稱為”刷(Brushes)” ，此乃起偏器和分析器偏振的方向互相垂直所致。如果使用圓偏振光(1/4 波片)就可消除此黑十字。如果將單軸晶體沿著垂直於光軸方向切開，所得之干涉條紋為一同心彩色圓環。如果晶體之切割並非垂直於光軸而是平行光軸，則條紋變成雙曲線而不是圓環，如圖 2.7.7-(4)所示。雙軸晶體所產生的干涉圖如圖 2.7.7-(6)所示，兩個眼狀點表示光軸與晶體面之交點。

當各向同性介質受到外界作用時，例如：受到壓力或張力的固體，受到電場作用或磁場作用的液體或氣體，都可能使介質結構原有的各向同性特徵遭受破壞，成為各向異性介質。會產生雙折射現象。這種由外因引起的雙折射現象稱為人為的應力雙折射(Stress Birefringence)現象。

一般具有此現象的材料稱為光彈性材料。在 1853 年，Maxwell 發現在光彈材料的線彈性範圍內，材料的折射率變化量會與材料所承受之應力或應變呈線性關係，因此提出了應力-光學定律之應力關係式。當只觀察應力 σ_1 與 σ_2 所形成之平面時，在兩個應力方向上對應之折射率為 n_1 與 n_2 ，也就是在平面應力下相對關係式可簡化成：

$$n_1 - n_2 = C (\sigma_1 - \sigma_2)$$

C :應力光學係數

從上式可以知道在相同的應力差情形下，應力光學係數越低的材料，所造成的折射率值差異也會較低。

圖 2.7.8 為一般光測彈性學的實驗裝置，其原理為把光彈材料置於正交的偏光器(Polarizer)和分析器(Analyzer)之間，光通過 Polarizer 後產生一光場向量 E_{py} 平行 Y 軸，材料上無負載時光場向量不受影響，因此在 Analyzer 的極化方向 X 軸上沒有光線通過而呈現暗場。

如果光進入具雙折射性之受力試件時，光場向量會沿著主應力方向分成兩個 E_1 和 E_2 分量，同時由於兩光場向量在受力試件中的傳遞速度不同因此會有一相對相角差，最後光進入分析器後如圖 2.7.9 所示， E_1 和 E_2 分量在分析器極化軸也就是 X 軸上產生 E_{1x} 和 E_{2x} 分量，其合成的光場向量為 E_{ax} 。

由於在分析器主軸方向上有光場向量 E_{ax} 形成，因此會有光線通過分析器，從上述的光彈實驗可以解釋當投影畫面受到雙折射效應後的影響結果，假設經過偏振器後的光線為完全的 P 偏振光，P 光在穿過受應力影響的試件後，會在垂直方向產生部分的光場分量，也就是有部分的 P 光強度下降而形成 S 光，當分析器換成 PBS 後，原本應該穿透的 P 光會在某些應力集中部分退化成 S 光而被反射造成亮度衰退，相對來說如果通過偏極器後的是 S 光，那麼受到雙折射效應後會有部分 S 光在振動的垂直方向產生 P 光分量，因此原本應該被 PBS 反射的 S 光由於產生部分 P 光，在沒有光透過的那一面就會有漏光現象，這樣的情形對於需要有良好的偏振場的投影機來說，會產生很大的影響。

由於在分析器主軸方向上有光場向量 E_{ax} 形成，因此會有光線通過分析器，從上述的光彈實驗可以解釋當投影畫面受到雙折射效應後的影響結果，假設經過偏振器後的光線為完全的 P 偏振光，P 光在穿過受應力影響的試件後，會在垂直方向產生部分的光場分量，也就是有部分的 P 光強度下降而形成 S 光，當分析器換成 PBS 後，原本應該穿透的 P 光會在某些應力集中部分退化成 S 光而被反射造成亮度衰退，相對來說如果通過偏極器後的是 S 光，那麼受到雙折射效應後會有部分 S 光在振動的垂直方向產生 P 光分量，因此原本應該被 PBS 反射的 S 光由於產生部分 P 光，在沒有光透過的那一面就會有漏光現象，這樣的情形對於需要有良好的偏振場的投影機來說，會產生很大的影響。

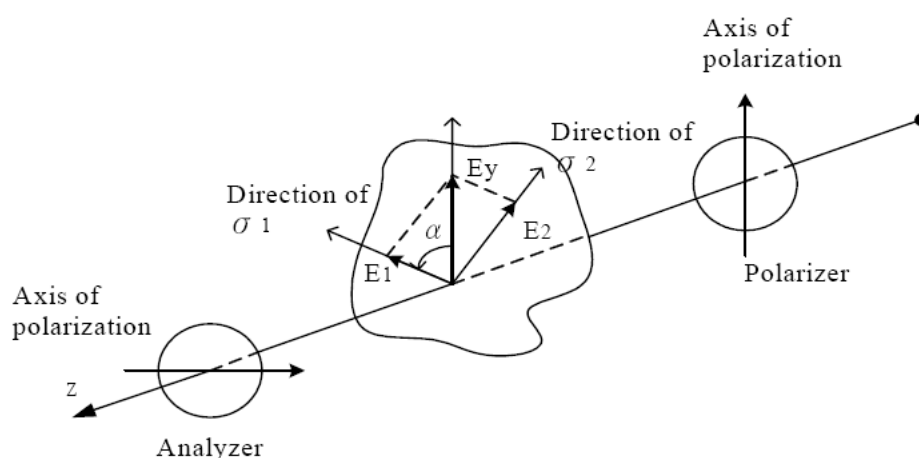


圖 2.7.8 光源向量進入負載試件的分量圖

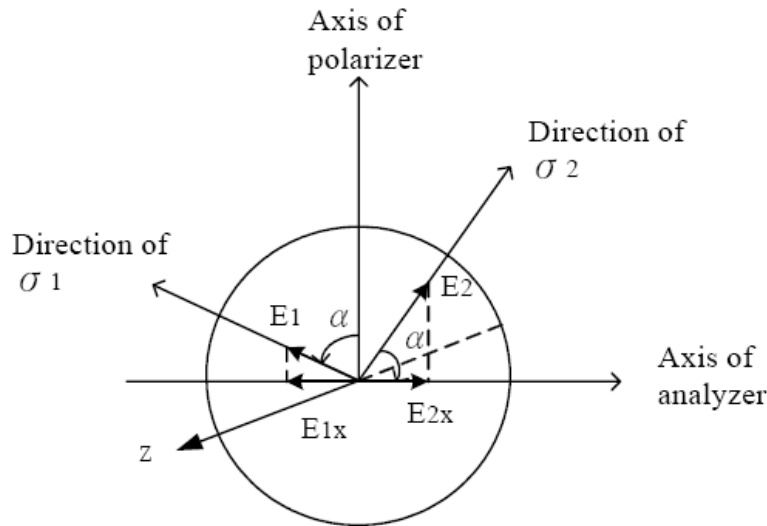


圖 2.7.9 光源向量穿透分析器的分量圖

2.8 熱應力與光學理論關係式

熱應力造成折射率改變的原因乃是在於熱應力會造成光學元件的曲率變化及光學元件膨脹或收縮導致體積產生變化所致，本研究將應用射率與溫度、熱應力的公式，及光程差變化與熱應力之間的關係式來討論光學系統的成像品質。

2.8.1 溫度與折射率的關係式

玻璃鏡片折射率的改變不但是依據光波長的改變而有所變化，也會依據溫度的改變而有所變化，而折射率改變的值不一定是正的或者是負的，是根據每塊玻璃的材質有關，其關係式如下：

$$\frac{dn_{abs}(\lambda|T)}{dT} = \frac{n^2(\lambda|T_0) - 1}{2 \cdot n(\lambda|T_0)} \cdot \left(D_0 + 2 \cdot D_1 \cdot \Delta T + 3 \cdot D_2 \cdot \Delta T^2 + \frac{E_0 + 2 \cdot E_1 \cdot \Delta T}{\lambda^2 - \lambda_{TK}^2} \right)$$

上式中的六個玻璃的參數 D_0 、 D_1 、 D_2 、 E_0 、 E_1 、 λ_{TK} ，以及玻璃的折射率 n 都可由 SCHOTT GLASS 公司所提供的各種玻璃資料中查得，而 T_0 的參考溫度為 20°C 。

2.8.2 熱應力與快慢軸折射率的關係式

等向性的光學玻璃會受到熱應力的影響而成為非等向性，熱應力造成光學玻璃折射率的變化從電磁輻射的角度及極化的方向來看，可以分成與光的入射面成垂直方向的折射率變化及與光的入射面成平行方面折射率變化兩種，而其折射率的表示方法為：

$$n_{\perp} = n_0 + \Delta n_{\perp}$$

和

$$n_{\parallel} = n_0 + \Delta n_{\parallel}$$

其中 n_0 是玻璃(等向性) 在未受熱應力前的折射率，而與光的入射面成垂直方向的折射率變化 Δn_{\perp} 及與光的入射面成平行方向的折射率變化 Δn_{\parallel} 跟熱應力的大小是成正比的，所以用一個光學應力常數來表示，其表示方法如下：

$$K_{\perp} = \frac{dn_{\perp}}{d\sigma} \quad \text{和} \quad K_{\parallel} = \frac{dn_{\parallel}}{d\sigma}$$

總體來說，鏡片因為熱應力增加所造成快慢軸折射率差值的關係式，根據SCHOTT GLASS 公司所提供的資料，其表示方式為：

$$\Delta n_{\text{abs}} = n_{\parallel} - n_{\perp} = (K_{\parallel} - K_{\perp}) \Delta \sigma$$
$$K = K_{\parallel} - K_{\perp}$$

2.8.3 熱應力與光程差的關係式

當整個光學系統受到熱應力影響時，其光學系統中，光所走的路徑也會因此而有所變化，由前面所述可以清楚地了解到，一旦快慢軸的折射率發生變化的話，光走的角度也會跟系統快慢軸折射率未變化前有所不同，因此接下來則介紹因為鏡片的熱應力增加所造成光程差之間的關係式，其表示方法如下：

$$\Delta s = (n_{\parallel} - n_{\perp}) \cdot d = (K_{\parallel} - K_{\perp}) \cdot d \cdot \Delta \sigma = K \cdot d \cdot \Delta \sigma$$

式中 Δs 代表光程差、 d 代表鏡片的厚度

2.8 UV膠

UV (Ultraviolet Rays) 即紫外光，是肉眼看不見的，是可見紫色光以外的一段電磁輻射，波長在 10~400nm 的範圍，通常按其性質的不同細為 5 項：

- 真空紫外線 (Vacuum UV)，波長為 10--200nm
- 短波紫外線 (UV-C)，波長為 200--290nm
- 中波紫外線 (UV-B)，波長為 290--320nm
- 長波紫外線 (UV-A)，波長為 320--400nm
- 可見光 (Visible light)，波長為 400--760nm

紫外光(UV)用於工業生產，國際上一般使用的是長波紫外線(UV-A)。

UV 紫外線硬化膠 (UV 膠) 顧名思義，必須以紫外線照射才能將其固化；固化過程：在樹脂中加入光引發劑 (或光敏劑)，經過吸收紫外線 (UV) 固化設備中的高強度紫外光後，產生活性自由基或離子基，從而引發聚合、交聯和接續反應，使樹脂 (UV 塗料、油墨、黏合劑等) 在數秒到幾分由液態轉化為固態。

UV 膠性能特點：

- 固化快、反應可控制；無溶劑、無污染；適合自動化作業
- 黏接材料廣泛、黏接強度高，可結構黏接、應用面廣
- 光學性能優、膠液無色透明、固化后透光率>90%，有無影膠之稱
- 耐候性優，不黃化
- 缺點是被黏物必須一面透光，固化時需要設備才能完全固化；

UV 膠可分為兩大類，一是壓克力系，一是環氧樹脂系。兩者各有優缺點，比較如表 2.8.1。

	環氧樹脂系	壓克力系
反應速度	較慢	較快
硬化深度	較低	較高
照光後的反應性	有	沒有
硬化收縮率	較低，3~5%	較高，8~10%
表面乾燥性	極佳	視配方而定
揮發物含量	較低	較高
揮發刺激性	沒有	有
耐溶劑性	較佳	較差
耐鹼鹼性	較佳	較差
耐水性	較佳	較差
耐熱性	較佳	較差
成品價格	較貴	較便宜

表 2.8.1 UV 膠的種類比較表

資料來源：DYMEX UV 膠供應商

以下就兩者的主要成份，反應機制及特殊制程來說明。

1. 壓克力系 UV 膠

(1.1) 組成：

壓克力系 UV 膠是由壓克力寡聚合體或單體，起始劑及其它添加劑所構成。

(1.2) 反應機制：

寡聚合體和單體均具有壓克力官能基，當光線誘發起始劑產生自由基時，壓克力官能基可以和自由基反應，達到光硬化的目的，其反應方程式如下：

反應階段	反應方程式
起始反應	$I \longrightarrow 2R \cdot$
成長反應	$R \cdot + M \longrightarrow M_X \cdot$
	$M_X \cdot + M \longrightarrow M_{X+1} \cdot$
終止反應	$M_X \cdot + M_Y \cdot \longrightarrow M_{X+Y}$
	$M_X \cdot + M_Y \cdot \longrightarrow M_X + M_Y$

(1.3) 自由基的特性：

自由基的壽命很短，大約只有數十個 ns(10^{-9} 秒)。換名話說，壓克力系的光硬化劑在照光時會產生自由基來聚合，停止照光時自由基會馬上消失殆盡，無法再進一步反應。

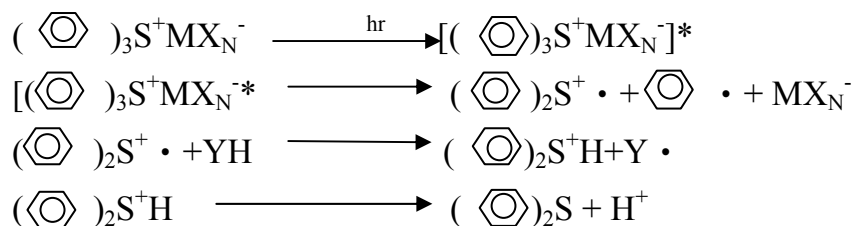
2. 環氧樹脂系 UV 膠

(2.1) 組成

環氧樹脂系 UV 膠主要由樹脂、光起使劑、填充劑與其他添加劑所構成的。

(2.2) 反應機制

光起始劑在吸收光線能量後，會進行一連串複雜的反應，最後生成質子酸，起始整個光硬化反應。這一類的質子酸有時被稱為光酸(Photoacid)或者超強酸(Super acid)。其反應方程式如下：



(2.3) 陽離子的特性

質子酸即是陽離子，環氧樹脂系 UV 膠在照光時會產生陽離子聚合，停止照光時陽離子不會馬上消失。陽離子在停止照光後的壽命可以長達兩三天。照光時產生的陽離子在停止照光後的兩三天內會繼續反應，提高硬化的各項性質，也可以升高溫度來達到後硬化的目的。

(2.4) 後硬化制程

對環氧樹脂系 UV 膠而言，後硬化制程有兩個目的，一是提高樹脂反應率，一是消除光硬化時的收縮應力。

提高樹脂反應率：不同於其他光硬化劑，光硬化的環氧樹脂曝光後還可以加熱提高反應率，其原因在於光硬化的環氧樹脂是一種活性聚合的系統(陽離子聚合)，照光產生的陽離子不會在照光後馬上喪失活性，仍會持續反應一段時間，不斷提高成品的物性。就紅外線光譜來看，80°C/1hr 的後硬化制程可以提高反應率 5% 以上。

消除光硬化時的收縮應力：光硬化劑 曝光反應時，分子鏈很快就被凍結住，沒有堆疊到位能最低的型態。若是能利用後硬化制程來退火，讓分子鏈排列到最整齊穩定的位置，就能夠把這一種內應力消除。

3. 影響光硬化反應的因素

(3.1) 起始劑的吸收波長

光起始劑的種類繁多，吸收光線波長的位置也各不相同。以 BP 為例，其吸收波長在 315nm 以下，適用於提高光硬化樹脂的表面硬化速率。TPO 的吸收波長約達可見光的藍光附近(430nm)，應用於材質透明但是紫外線無法穿透的情況。

(3.2) 起始劑的吸收感度

起始劑的吸收感度也是影響光硬化反應的一項重要因素。高感度的起始劑有較高的起始效率，能夠在光線強度較弱或者是光線能量較低的情況下達到相同效果。添加增感劑可提高起始劑吸收感度。

(3.3) 光線的放射波長

相對於起始劑對光線波長的吸收為連續光譜，光源的放射波長多呈現一邊疆分佈。以低成本水銀燈(10^{-2} ~ 10^{-3} Torr)為例，其放射波長以 185nm 和 254nm 為主。由於波長低於 300nm 的紫外光對皮膚的傷害較大，又會和空氣中的氣氛產生臭氣，所以廣泛用於光硬化系統的光源是高壓水銀燈(10^2 Torr)，其最大的放射波長位於 365nm。在高壓水銀燈中摻雜部份金屬鹵化物可以把光源的放射波長往可見光方向偏移，俗稱鹵素燈，其最大的放射波長會出現在藍光附近的 400~450nm 間。

(3.4) 需要的照射能量

光硬化樹脂反應條件的敘述是以：特定波長下，單位面積的照射能量

(mj/cm^2)來做標準。舉例來說：一般壓克力系的光硬化劑在 365nm 下反應所需要的能量約 1500~2000 mj/cm^2 ，環氧樹脂系的光硬化劑約需 3000~6000 mj/cm^2 ，部份感度較高的壓克力系統在 254nm 下反應只需要 800 mj/cm^2 。照射能量的多寡主要是視反應率的需求而定，過少的照射能量會導致膠體硬化不完全，性質未達最適化，過多的照射能量會造成樹脂黃化、劣化。

(3.5) 光源的強度

樹脂所接受到的照射能量(mj/cm^2)是以光源強度(mw/cm^2)乘照射時間(sec)來表示。以反應需要 2000 mj/cm^2 的系統為例，若使用強度 2000 mw/cm^2 的集束點光源來照射，僅需耗費 1 秒。若使用強度 100 mw/cm^2 的平面光源來照射，需要 20 秒。若使用晴天的太陽來固化(照度約 1~2 mw/cm^2)，則要曝曬 15~30 分鐘以上。

光源強度的選擇和制程條件、成品性質、成本因素密切相關。以 DVD 的接著為例，制程上使用非常強的光源，讓接著劑在 2 秒內曝光完畢，以滿足快速量產的需求。不過，太強烈的照度對成品性質有負面影響，舉例來說，提高 n 倍的自由基，使得成本速率提高 n^2 倍。換句話說，太強的照度會使接著劑的分子量下降，分子鏈端變多，從而沒有得到最佳強度。

(3.6) 光硬化反應的環境

光硬化接著劑會受到環境因素的影響。以陽離子型環氧樹脂為例，其反應速率很容易受到濕度的影響，因為空氣中的水氣會終止陽離子的活性，遲滯反應速率。再以壓克力系的光硬化劑為例，其反應速率很容易受到空氣中的氧氣反應，產生過氧化物的自由基，其反應速度比新自由基的生成快數百倍。

第三章 PBS 穿透率光譜量測分析

3.1 實驗設備

1. PENTIUM PC1 台
2. Spectrometer : Hitachi U-4100
3. 電源供應器 Power Supply
4. 溫度計錄器

3.2 實驗資料

1. 合光模組 CQ3 設計規範及產品規格
2. 光學引擎介面及設計資料
3. PBS 材質規格：如表 3.2.1 所示;

材質	BK7
尺寸	22×22×33mm
光譜特性	AOI=±11.5° For 420~680 nm
衰退率	$T(p-pol.) / T(s-pol.) (ave) > 200$
特效/效益	高對比度、高亮度、高分光比 P 光穿透、S 光反射

表 3.2.2 PBS 規格

3.3 實驗方法與流程

3.3.1 光譜量測架構

光譜量測架構如圖3.3.1、圖3.3.2所示，光譜量測儀為Hitachi 公司生產，型號為U-4100 的光譜儀，光譜儀的作用是用來量測光學元件之光頻譜穿透率、光頻譜反射率的光頻譜量測儀器；其量測波長範圍為190-1100nm，涵蓋所有的可見光區，內部元件配置架構如圖3.3.3所示，量測方式採用雙光束，即有一道物光，一道參考光，其雙光束分光器為消除像差型的全形光柵，並使用一般的個人電腦來執行光譜儀的操控軟體。

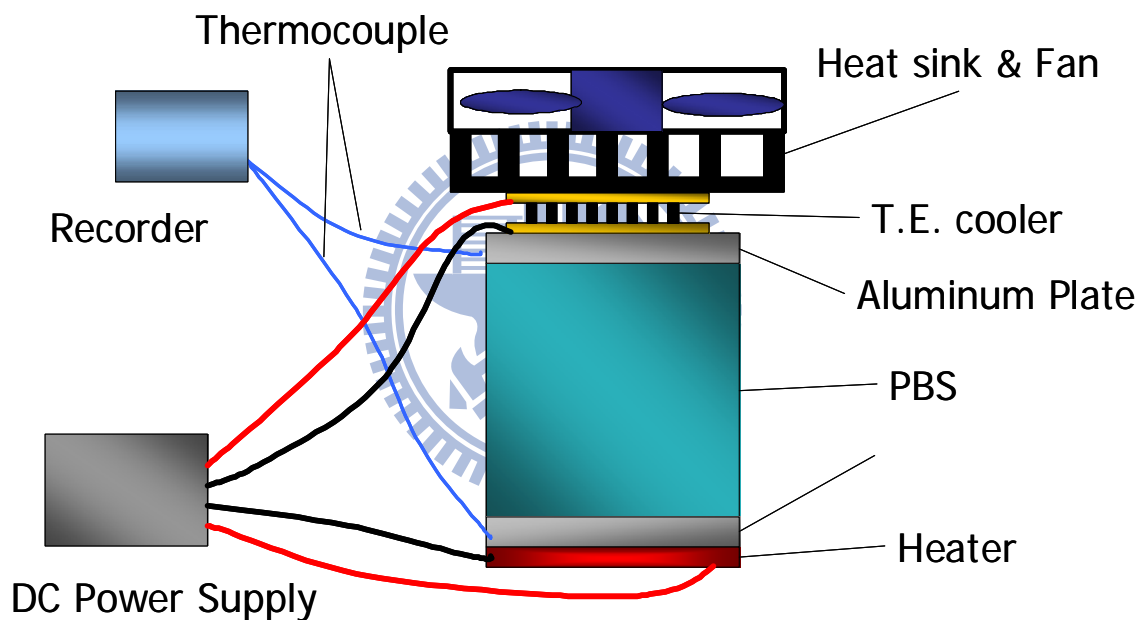


圖 3.3.1 光譜量測架構圖

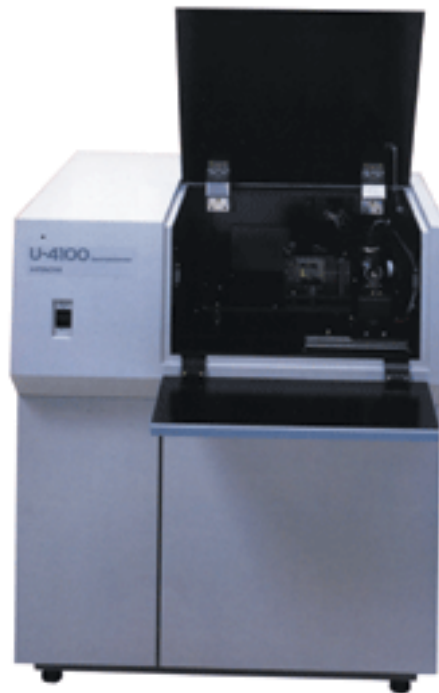


圖 3.3.2 光譜量測架構照片

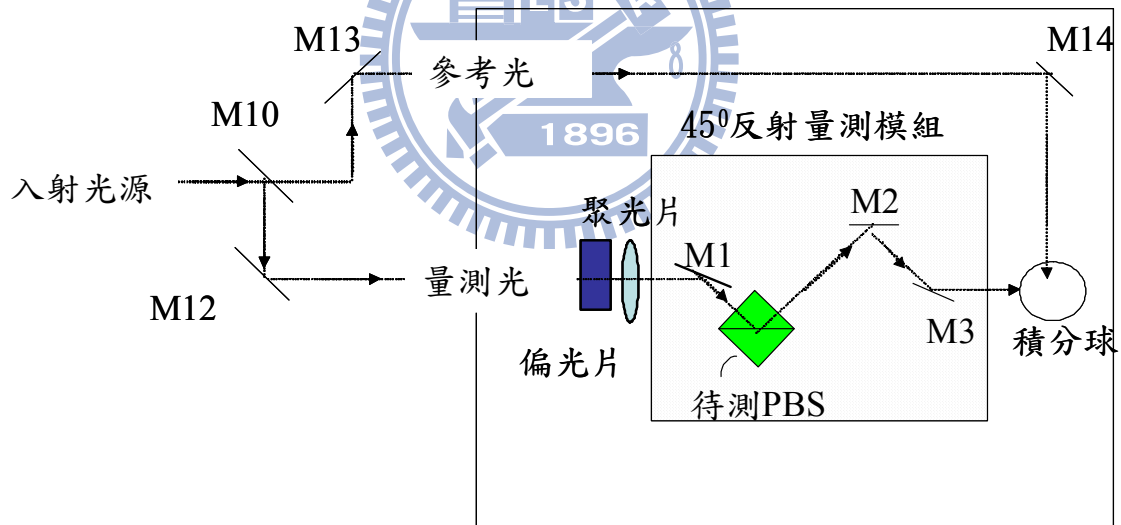


圖 3.3.3 光譜儀內部架構圖

3.3.2 光譜量測方法與流程

為了模擬PBS在光機內部受熱的狀態，於是在PBS 的上下方各貼附1片鋁片，經Power Supply 提供電源使鋁片受熱；並裝置一溫度感測器來量測目前的溫度狀態，以便調整加熱器到達實驗所要求的溫度場。實驗前首先針對鋁片的加熱均勻度做量測，量測點為鋁片邊緣4點及中心點共5處，

結果如表3.3.1 所示，以鋁片中心處的量測點5為基準，當量測點5達到所需的三個不同加熱溫度後紀錄量測值，從表3.3.1可知各量測點的溫度誤差值皆在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 之內，顯示實際對PBS 進行實驗時加熱面可以達到均勻的傳熱效果。

	30 $^{\circ}\text{C}$	50 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$
量測點1 (邊緣)	30.2	50.1	70.1
量測點2 (邊緣)	29.8	50	70
量測點3 (邊緣)	30	50.2	70.2
量測點4 (邊緣)	29.9	50	69.9
量測點5 (中心)	30.1	50.1	70

表 3.3.1 鋁片加熱均勻度量測值

為了量測P 光和S 光的穿透率光譜，必須讓參考光及物光同時只能產生P 偏振或S 偏振的光束，在待測物端的目的是為了量測PBS對兩個不同偏振方向的穿透光譜，因此必須只能產生單一偏振方向的光，而在參考端的光束則是為了要跟待測物端的量測光束條件相同，才能讓光譜儀進行比較，方法如圖3.3.4 所示，在實驗中採用了兩片同樣的Polarizer，將兩片各放置在光譜儀光源發射口，首先使偏振片的方向只讓待測光束及參考光束的P 光穿透，此時先讓光譜儀歸零及進行自動校正(Baseline Measurement)，並在沒有任何待測物時量測校正結果，穿透率為100%時代表校正完成，為量測加熱溫度，在PBS 的頂端和底部四點貼上 Thermocouple，位置如圖3.3.4 上PBS 的圓圈處。首先針對P 光穿透率進行實驗，為了較接近光機實驗時的溫度，將PBS 上下加熱至50 $^{\circ}\text{C}$ ，從 Thermocouple 讀取溫度值，確定到達穩態後進行第一次量測，第二步將PBS 底部加熱溫度升高3 $^{\circ}\text{C}$ 後進行量測，依此類推直到溫差達15 $^{\circ}\text{C}$ 後停止量測，總共量測6 次。量測S 光穿透率時，移除PBS 並改變兩片偏振片角度，重新進行歸零及校正，其餘量測步驟和P 光量測方式相同。

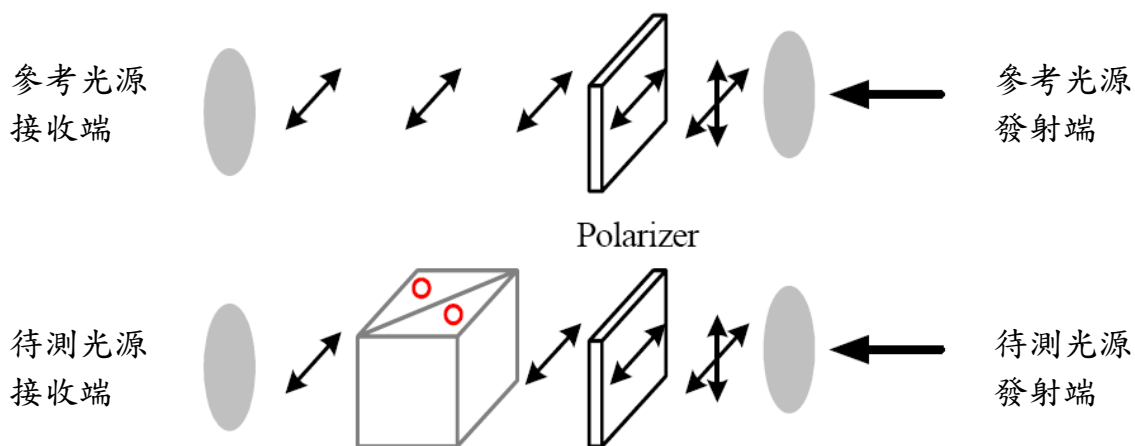


圖 3.3.4 P 光光譜量測架構

3.4 光譜量測結果

依前一節所述的實驗方法進行實驗，量測不同溫度差下的穿透率光譜，並將軟體所產生的結果輸出，實驗針對PBS 邊緣處量測P 光及S 光之光譜，量測結果如圖3.4.1、圖3.4.2，縱軸為穿透率(%)，橫軸為波長(nm)。

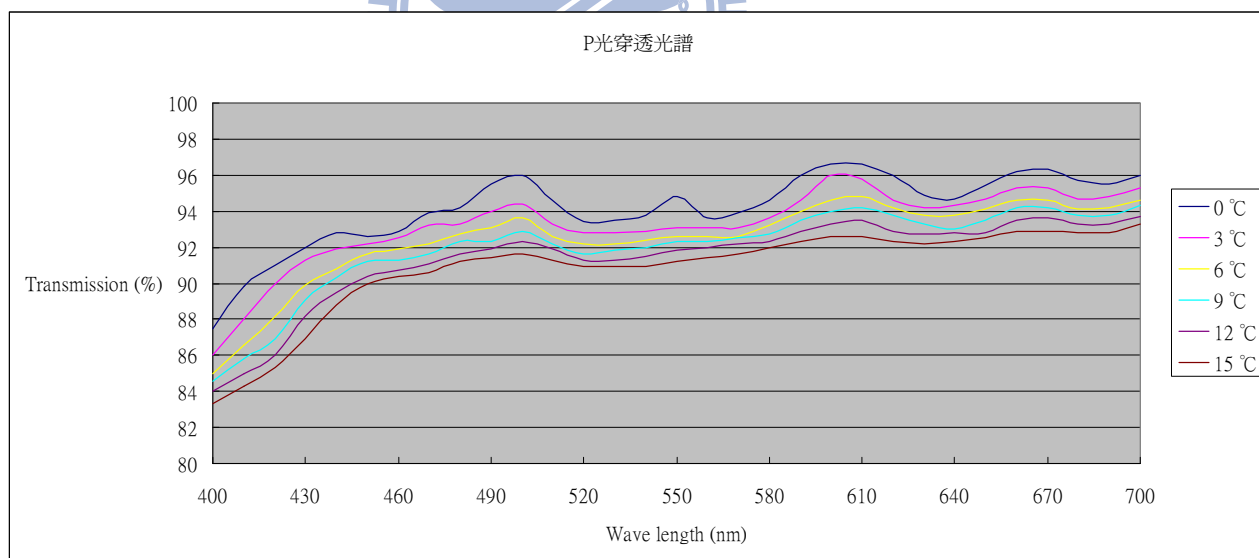


圖 3.4.1 P 光-穿透率

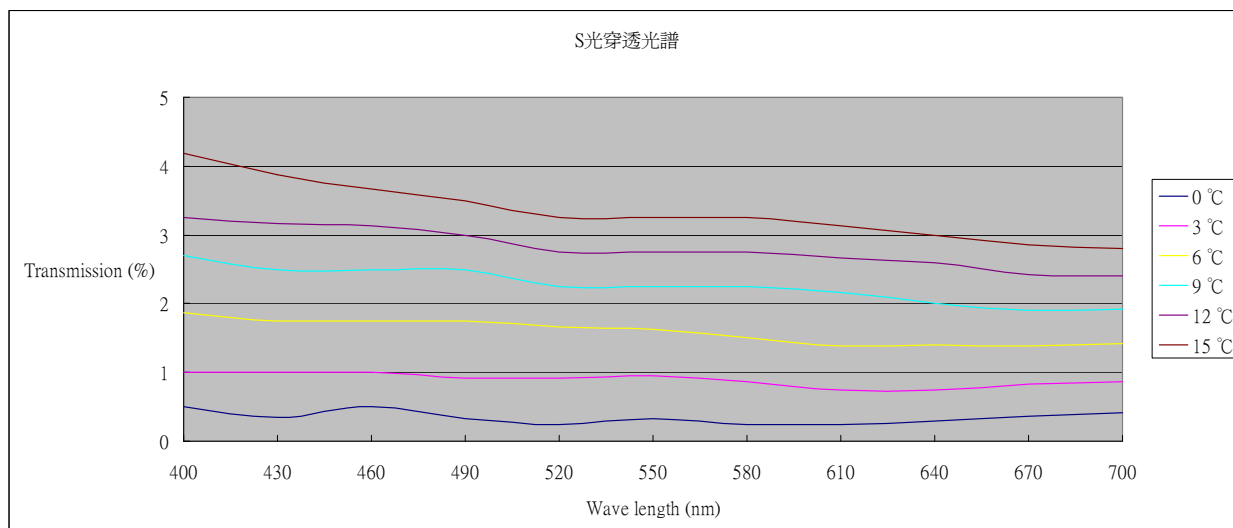


圖 3.4.2 S 光-穿透率

取450nm、550nm 及650nm 三個波段，整理出在各個溫度差下的穿透率值，其結果如表3.4.1、表3.4.2 所示:

波長 溫度差	650nm	550nm	450nm
0°C	95.5%	93.8%	92.6%
3°C	94.8%	93.1%	92.2%
6°C	94.1%	92.9%	91.8%
9°C	93.7%	92.2%	91.0%
12°C	93.1%	91.7%	90.5%
15°C	92.7%	91.1%	90.1%

表 3.4.1 溫度梯度 P 光的穿透率

波長 溫度差	650nm	550nm	450nm
0°C	0.3%	0.3%	0.3%
3°C	0.7%	0.9%	0.8%
6°C	1.3%	1.6%	1.7%
9°C	2.0%	2.3%	2.5%
12°C	2.5%	2.6%	3.2%
15°C	2.8%	3.3%	3.7%

表 3.4.2 溫度梯度 S 光的穿透率

在穿透率的曲線圖中可發現，PBS 對P 光為高穿透達90%以上，對S 光為高反射因此穿透率低於0.5%，當PBS 開始產生溫度梯度場時，P 光的穿透率有下降的趨勢，從表3.4.1 可知當溫差達15℃時穿透率下降了2.5%，反映在實際投影畫面時可能造成亮度不均的情形；而在S 光部分則是呈現上升的情形，表3.4.2 顯示溫差達15℃時穿透率上升了3%，此時則可能造成投影畫面暗場漏光，當波長愈小穿透率的變化值也愈大；光譜量測的結果符合在2-7節中所述的情形，原本P 光對PBS 為高穿透，而有部分光線退極化成S 光，因此造成穿透率的下降，反之亦然，原本為高反射的S 光有部分光線退極化成P 光，因此使得穿透率有上升的情形，偏振光穿透率的變化更可能造成整體均勻度的大幅下降，在第四章中進行光機系統實驗以驗證上述情形。

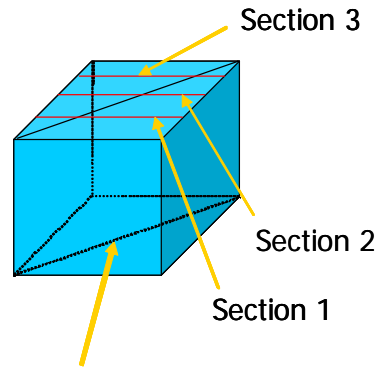
3.5 熱應力模擬分析

應用 I-DEAS 分析軟體之模擬步驟，可分為前處理(Preprocessor)、求解(Solution)與後處理(Postprececcor)三部分。前處理由選用是當的元素，定義元素特性與材料性質之後，建立幾何模型，將幾何模型作網格分割，得到有限元素模型。設定邊界條件，外力、熱對流、熱源等邊界條件後，求解。最後則是後處理，將分析結果進一步作處理，然後將分析結果之溫度或者應力相關數據作圖型顯示與列印。

本節將分別模擬 PBS 在溫差 10℃與 15℃條件下的熱應力狀況，用以輔助確定 3.4 節實驗數據之趨勢為正確的。

1. 溫差 10°C 熱應力分佈狀況(熱源設定在 PBS 底部)：

如圖 3.5.1 所示，設定 PBS 熱源在底部，分三段剖切面觀察模擬結果，請見圖 3.5.2，顯示邊角已出現較大值之熱應力。



This face is heated
and kept fixed

圖 3.5.1 PBS 熱源設定與剖切面圖

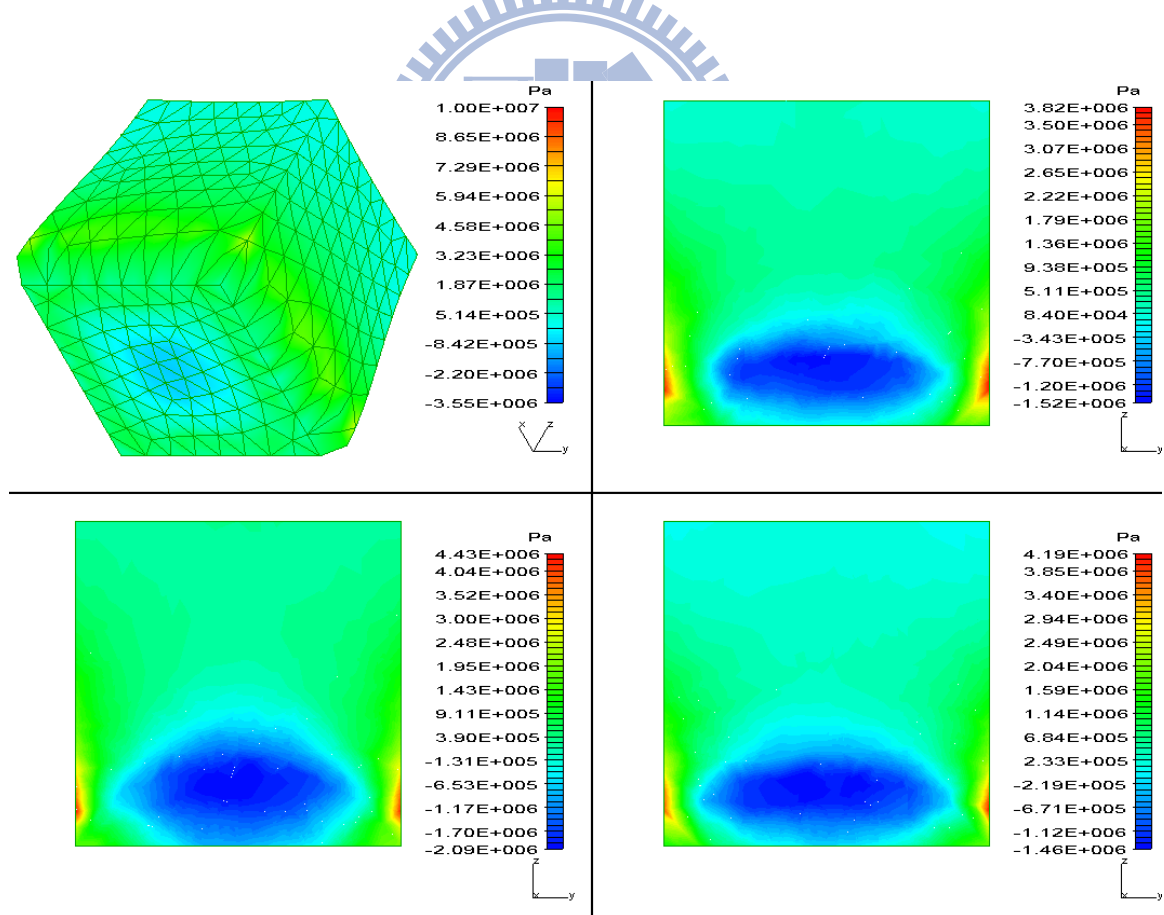


圖 3.5.2 溫差 10°C PBS 熱應力分佈

2. 溫差 15°C 熱應力分佈狀況(熱源設定在 PBS 底部)：

請見圖 3.5.3，邊角熱應力較大值的區域已往內擴大範圍。

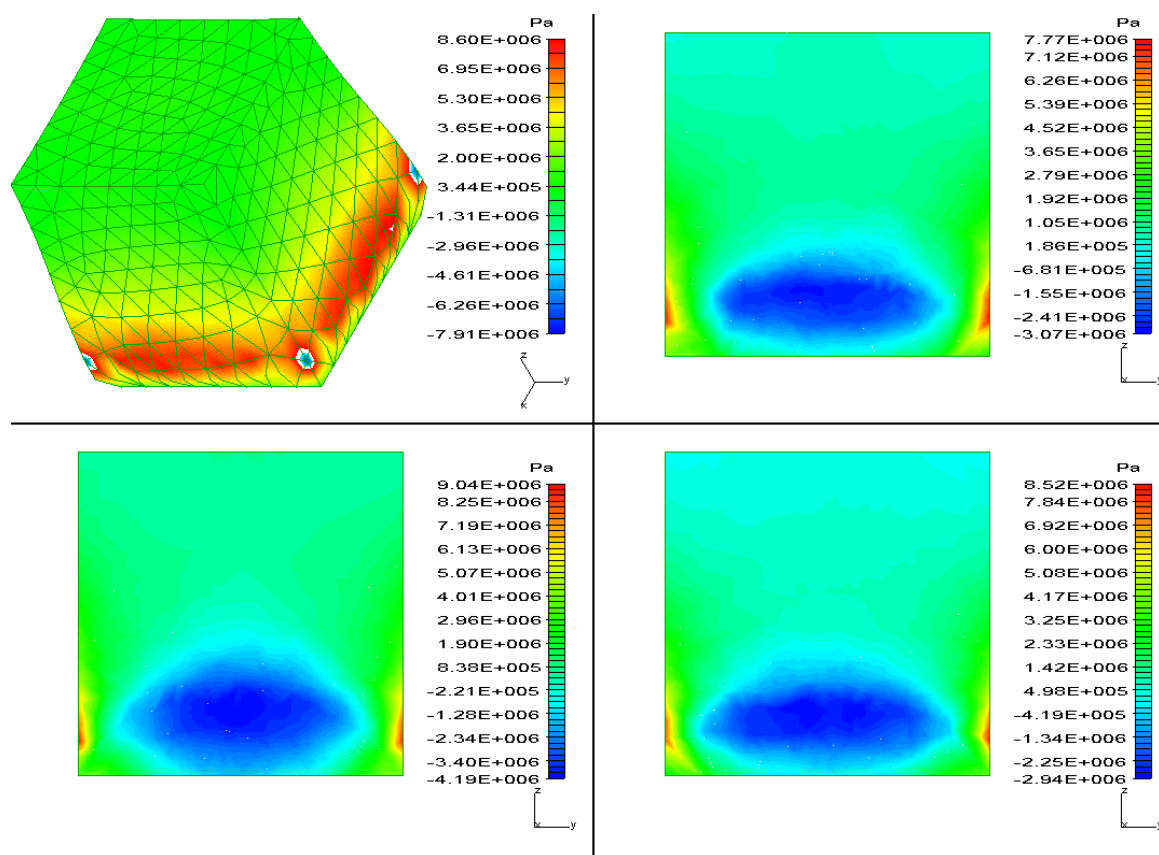


圖 3.5.3 溫差 15°C PBS 熱應力分佈

3. 溫差 10°C 熱應力分佈狀況(熱源設定在 PBS 側邊)

如圖 3.5.4 所示，設定 PBS 熱源在側邊，分 3 段剖切面觀察模擬結果，請見圖 3.5.5，顯示四個邊角已出現較大值之熱應力。

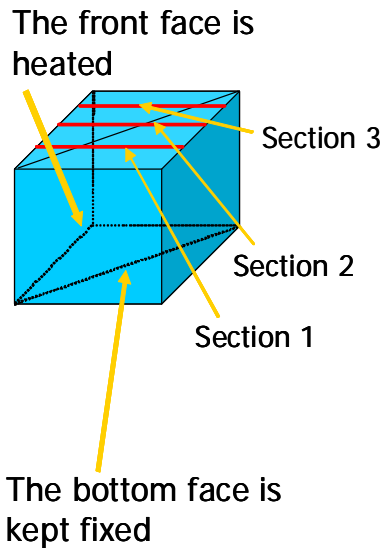


圖 3.5.4 PBS 熱源設定與剖切面圖

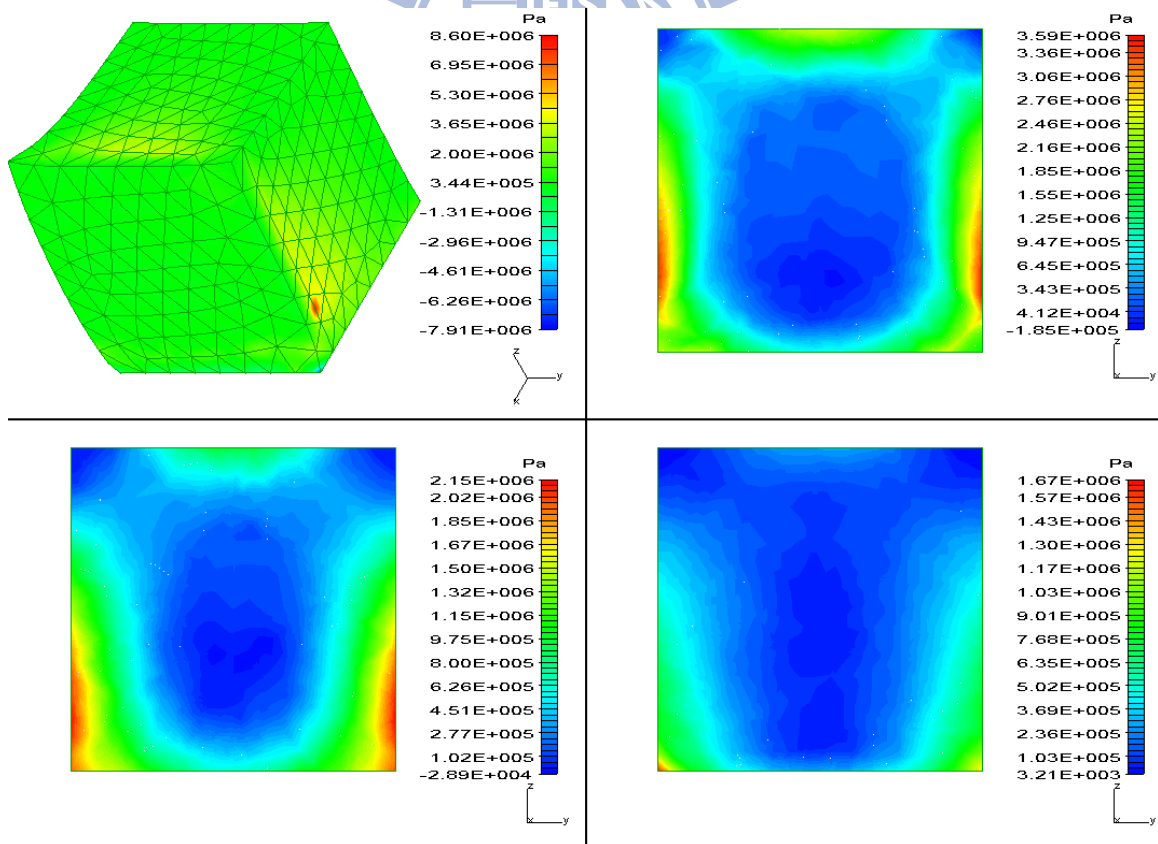


圖 3.5.5 溫差 10°C PBS 熱應力分佈

4. 溫差 15°C 熱應力分佈狀況(熱源設定在 PBS 側邊)

如圖 3.5.6 所示，熱應力產生狀況比熱源設定在底部的狀況還嚴重。

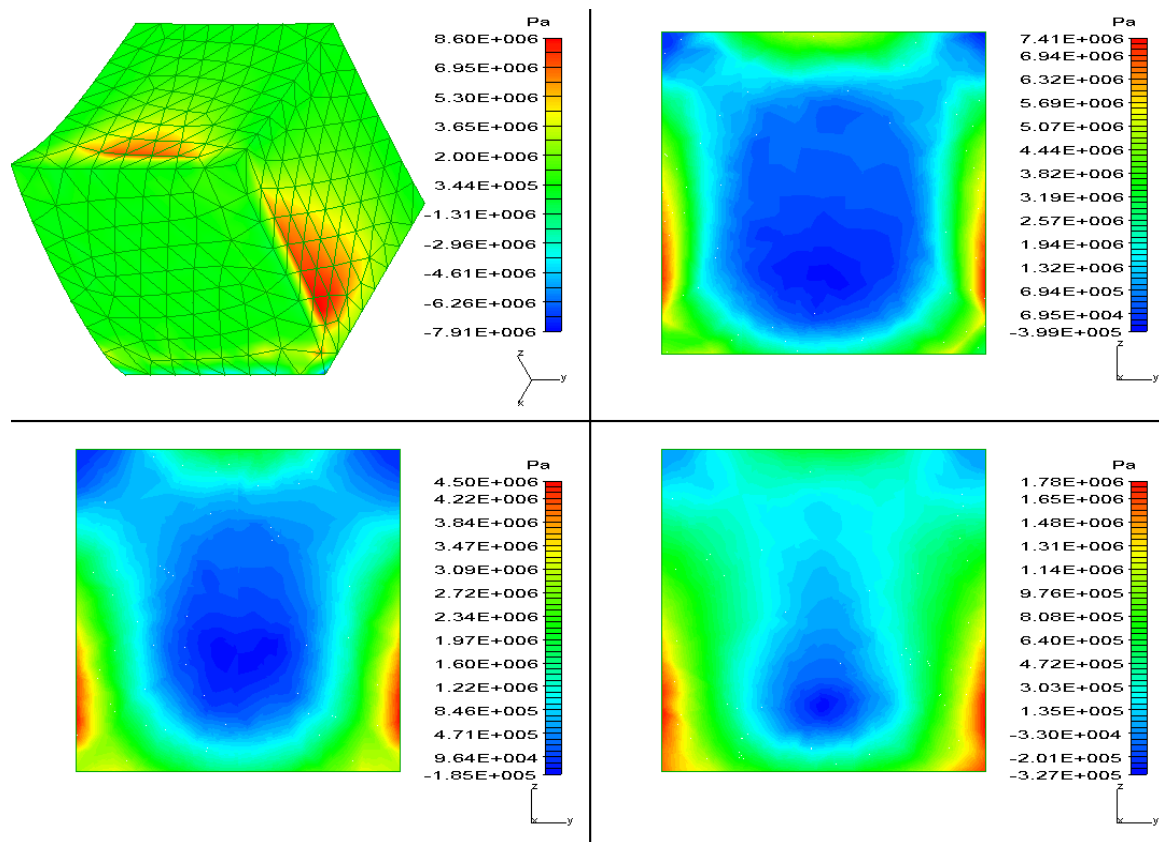


圖 3.5.6 溫差 15°C PBS 熱應力分佈

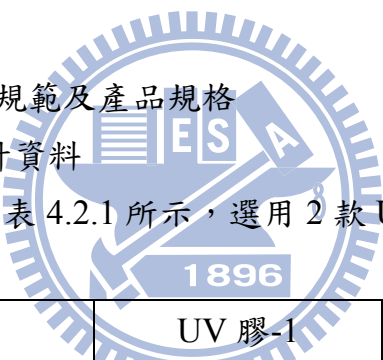
第四章 LCoS光學系統影像品質驗證

4.1 實驗設備

1. PENTIUM PC1 台
2. Pasa 參調軟體
3. Minolta 色彩照度計 CL-200 (Chroma Meter / Light Meter)
4. Chroma 訊號產生器 2326(Pattern generator)
5. 電源供應器 Power Supply
6. 光學平台
7. UV 光源機

4.2 實驗資料

1. 合光模組 CQ3 設計規範及產品規格
2. 光學引擎介面及設計資料
3. UV 黏著劑規格：如表 4.2.1 所示，選用 2 款 UV 膠，主要差異規格在於收縮率與硬度。



	UV 膠-1	UV 膠-2
Fixture time(sec)	50m W/cm ² <5	100mW/cm ² <5
Tensile strength N/mm ²	ASTMD 882 19	ASTMD 882 12
收縮率	0.5 %	0.8 %
Hardness ASTMD 2240 Shore D-2	53	73

表 4.2.1 UV 黏著劑規格

4.3 LCoS光學系統架構

本研究為了解LCoS投影機中的PBS受到熱應力後，對於投影畫面的亮度、對比度及均勻度的改變情況，因此設計了可以投射亮場和暗場畫面的光學投影系統。圖4.3.1與圖4.3.2為光學投影系統的結構與實體照片，使用的燈源為Philis公司生產的UHP燈，功率為120W，在燈泡光源發光處放置UV-IR 濾光鏡，過濾大部分的紅外光及紫外光，再經由兩片透鏡陣列式積分器(Lens Array Integrator)將光源能量均勻化，最後利用聚光鏡將光源面積聚焦到適合PBS 的大小範圍，並經由投影鏡頭投射到量測系統上；依照2.2節ANSI所規範的量測位置，使用CL-200 照度計量測亮度值，最後計算出各項量測數值結果。

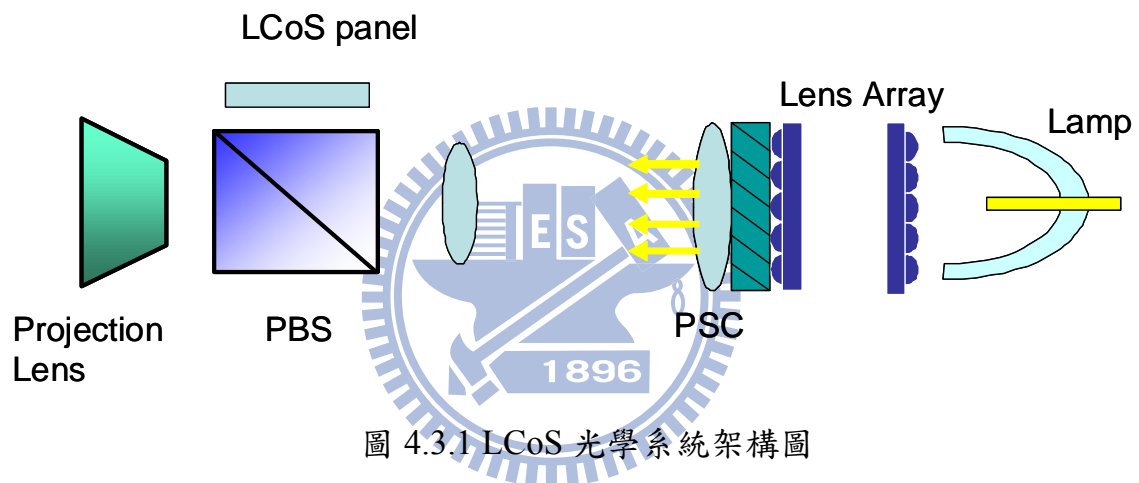


圖 4.3.1 LCoS 光學系統架構圖

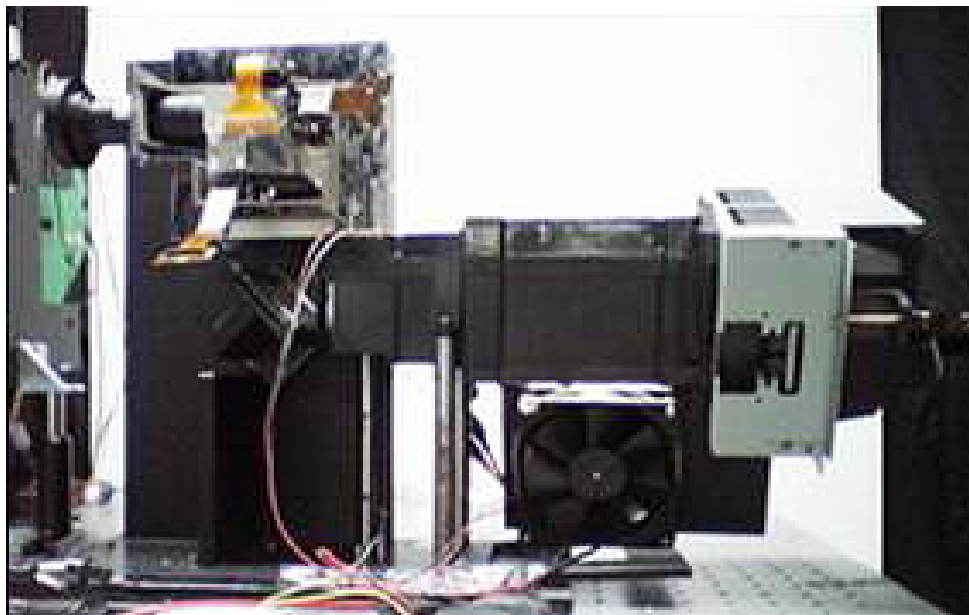


圖 4.3.2 LCoS 光學系統照片

4.4 LCoS光學系統實驗方法與流程

從 3.4 節得知 PBS 受到熱應力後，其穿透率會改變，所以在此實驗中準備了 2 款 UV 膠，透過因熱應力產生的應力雙折射現象影響投影畫面品質的變化，分析 PBS 在接著 UV 膠後的內應力分佈狀況。

首先在固定 PBS 的塑膠(材質：PC)基座上鑽孔，孔的位置對應在 PBS 上如圖 4.4.1，此孔的功用為點膠區域，UV 膠點在此限制區域中膠合 PBS 與固定基座；然後將取得的 2 種 UV 膠依 type A 與 type B 位置分別作固化，並裝置到光學引擎上觀察暗場漏光情形並量測 9 點暗場的亮度，另外也量測一組沒有著 UV 膠的 PBS 作為比對基準。

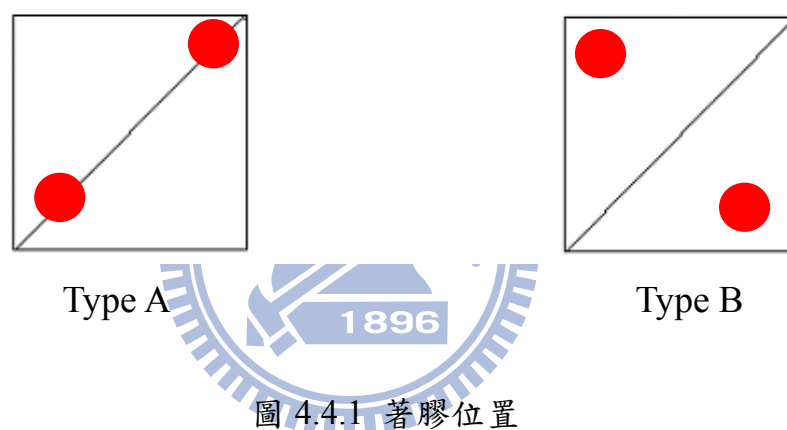


圖 4.4.1 著膠位置

實驗開始前須等待燈泡暖機達到最高功率並呈現穩態，量測前調整 9 點量測面板使投影畫面與面板上的量測面積相符合並進行量測，待量測 PBS 共 5 組。

4.5 投影畫面量測結果

在投影系統實驗中，量測的環境必須在完全的暗室中進行，外來的光線和光機本身的漏光都必須排除以避免影響量測結果；本實驗的環境溫度為 25°C，環境光照度值為 0.1Lux，不影響投影畫面的量測，暗場量測記錄方式如表 4.5.1 所示，表中 9 格代表暗場亮度照度值 (Lux)，下方欄為均勻度計算結果，因暗場的照度變化幅度較顯著，所以實驗取暗場亮度值作分析，量測統計結果如表 4.5.2 所示。

膠的種類 / 黏著形式		
暗場亮度	暗場亮度	暗場亮度
暗場亮度	暗場亮度	暗場亮度
暗場亮度	暗場亮度	暗場亮度
均勻度(%)		

表 4.5.1 均勻度記錄表格式

UV 膠-1 / Type A		
4.21	4.24	3.91
3.94	4.66	4.15
3.92	4.42	4.38
82.2 %		

UV 膠-1 / Type B		
3.9	3.68	4.63
3.8	3.86	3.28
3.33	3.52	3.51
63.7 %		

UV 膠-2 / Type A		
4.27	3.76	4.89
3.39	4.09	3.63
3.58	3.85	4.05
62 %		

UV 膠-2 / Type B		
3.87	3.01	4.12
2.31	3.28	3.28
2.56	3.17	3.79
44.5 %		

標準樣本		
4.19	4.2	4.23
4.34	4.55	4.3
4.22	4.32	4.2
91 %		

表 4.5.2 均勻度量測值

	UV 膠-1 Type A	UV 膠-1 Type B	UV 膠-2 Type A	UV 膠-2 Type B	標準樣本
均勻度 (%)	82.2	63.7	62	44.5	91

表 4.5.3 均勻度量測值

把上列各表的均勻度統一整理於表4.5.3 中，觀察投影畫面的中心部分及邊緣處，可發現四個角落各有不同程度的漏光現象，如圖4.5.1所示，數據高者代表漏光程度較高，熱應力產生的應力雙折射效應較大，漏光的原因如圖4.5.2所示，原本在暗場狀態下S光須反射回系統中不可穿透出來，但因為熱應力造成的PBS局部位置體積膨脹收縮導致PBS折射率改變，使得局部區域的S光反射角度產生變化與原始角度不同，因此漏光現象即產生。

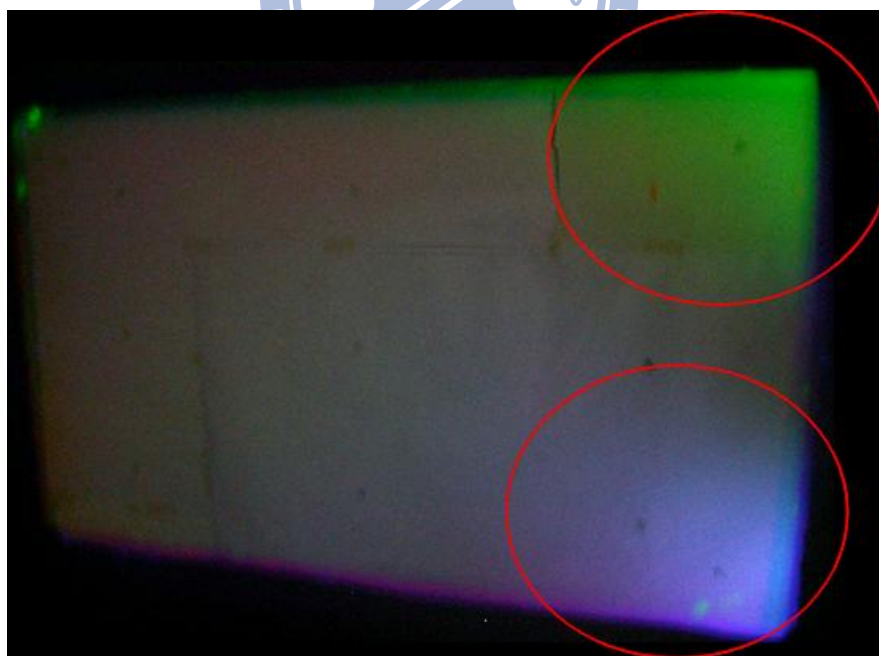


圖 4.5.1 投影畫面漏光照片

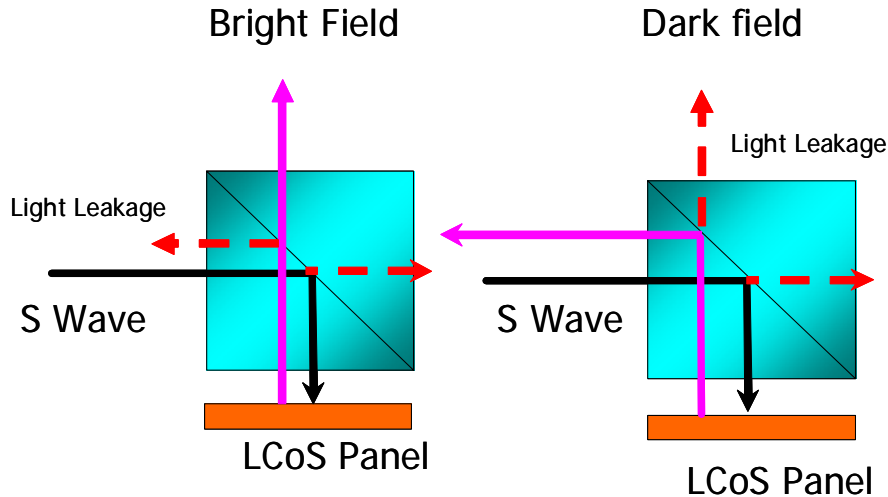


圖 4.5.2 PBS 漏光說明

歸納實驗數據結果共 4 點：

1. 標準樣本 PBS 在不受 UV 膠黏著因素下，投影畫面均勻度達 91%，且無漏光現象產生，可假設 PBS 在此光機架構中無熱應力存在，確認可擔當標準樣本以提供其他條件樣本作比對。
2. 4 組受測 PBS 中，UV 膠-1/Type A 樣本均勻性最高，從 UV 膠特性中發現，其固化後硬度與固化收縮率皆比 UV 膠-2 低。
3. UV 膠固化位置 Type A 比 Type B 均勻度較高，分析 2 者的位置，Type A 靠近 PBS 鍍膜層，而 Type B 遠離 PBS 鍍膜層，從熱應力與光程差的關係可得知，Type A 熱應力造成的光程差較短，光行進角度相對變化較小，漏光現象即會較小；Type B 熱應力造成的光程差較長，光行進角度相對變化較大，漏光現象即會較大。
4. UV 膠-1 / Type B 與 UV 膠-2 / Type B 有一個共同趨勢，即 9 點量測位置左上角與右上角這 2 個位置的數據皆分別為各自 9 點量測值的第一高與第二高值，而且投影畫面這 2 個角落正是對應到 PBS 著膠的位置，此結果證明 UV 膠所產生的內應力，可由應力雙折射原理顯示出來。

第五章 結論

本論文運用光譜儀量測在一溫度梯度場中通過PBS的偏振光，其穿透率變化程度，以及使用模擬分析軟體分析溫差所產生的熱應力分佈狀況，藉此印證熱應力所產生的應力雙折射現象；另外並建立一組內含PBS的LCoS光學系統進行實驗，檢視投影畫面亮度均勻度分佈，並對應至PBS黏著UV膠在不同的位置與使用不同特性UV膠的雙折射效應；上述2種實驗結果顯示，PBS在黏著UV膠後的殘留應力可由應力雙折射效應得知。由於各廠商的光學系統分合光模組及光學機構設計皆不相同，偏振場的結構愈複雜，則選擇的材料或結構稍有不當，都會造成不良結果，因此在光機的設計上必須要注意到包括：避免散熱效率不良產生嚴重的熱應力、光學引擎中的挾持機構不能導入應力、光學元件在製作過程應減少殘留應力的產生、玻璃的材料可以使用低光彈係數的材質等。

1. 運用本研究建立之模型，可在產品設計初期即先以量測PBS穿透光譜的架構測出PBS在黏著製程因殘留應力造成的暗場漏光與顏色不均勻的狀態，並加以合理的改善對策，提高光機產能及改善色彩品質。
2. 選用UV膠須注意的特性值為a. 固化後硬度值較低與 b. 固化收縮率，這2數值越低，則固化後殘留應力值較小。
3. 點膠位置應選擇光程差較短的地方，如此產生的應力雙折射現象較輕微，在投影畫面上漏光的現象亦較輕微。

建議在未來的研究方向，可再深入的將UV膠固化位置作熱應力的模擬分析，以求得應力的實際分佈與數據。

第六章 參考文獻

- [1] 田中豪，趙中興，顯示器原理與技術，全華圖書
- [2] S. Shikama, H. Kida, A. Daijogo, Y. Maemura and M. Kondo, "A Compact LCD Rear Projector Using a New Bent-lens Optical System", SID Intl. Symposium Digest, pp.295-298, 1997
- [3] 楊建人，光學原理，徐氏基金會，1997 年
- [4] 張國平、張銘峰，光電工程導論，高立出版社，1996 年
- [5] 張德群，"LCD 投影技術的影像泉源-HTTPS LCD 面版技術綜觀"，零組件雜誌，第 162 期，民國九十四年四月。
- [6] Epson, "3LCD 極致投影科技，創造完美影像的秘密武器"
http://w3.epson.com.tw/imaging/Product/I0/Learn_02.asp
- [7] 黃宣宜，"LCOS 投影顯示器產業發展課題"，光連雙月刊，第 39 期，民國九十四年三月。
- [8] 劉大鵬，"各種 LCOS 投影機光學引擎技術比較"，工研院經資中心，民國九十二年四月。
- [9] Robert L. Melcher, "LCoS for Rear-Projection HDTV", Information Display, 2003 (8)
- [10] Stephen Eckhardt, Charles Bruzzone, David Aastuen, James (Jiaying) Ma, "3M PBS for High Performance LCOS Optical Engine White Paper"
- [11] ColorLink, "ColorSelect® turning monochrome into color",
<http://www.cocorlink.com/products/pdfs/select.pdf>, 06-Oct-2005
- [12] Louis Desmarais, Applied Electro-Optics, Upper Saddle River, 1998
- [13] S.G. Lipson and H. Lipson, Optical physics, Cambridge University Press, 1981
- [14] 柯信賓，"單矽晶背投影顯示器中偏振分光器的熱效應研究"，中原大學機械工程學系碩士學位論文，2004
- [15] 何璨佑，"液晶投影顯示器"，國立中央大學光電科學研究所碩士論文，2001
- [16] 潘平光，"液晶投影顯示機"，國立中央大學光電科學研究所碩士論文，1998