

第一章 緒 論

1.1 前言

近年來由於受到數位科技的推昇，計算(Computing)、通訊(Communication)、消費性電子產品(Consumer Electronics)已漸漸整合為一3C產業的趨勢，此一趨勢造成全球數位產品的需求量快速成長，同時也彰顯出光學鏡片(Optical Lens)供應量不足的窘境，亦帶動了光學鏡片材料的開發和製程技術的提昇。

數位產品諸如數位相機、投影機、光碟機、掃描機等產品中，光學鏡片是必備且不可或缺的零組件，任何光電或影像產品，皆必需藉由各種光學鏡片的組合與搭配，方可達到其所需求之功能與目的。光學鏡片的製造技術一向是光電業從屬但重要的產業，藉由3C產業的快速成長與數位科技產品大量的需求，進而展現出光學鏡片製造技術的存在與技術提昇之重要性。

光學鏡片的用途不僅是使用於攝影器材鏡片組，亦是天文望遠鏡及普通望遠鏡、顯微鏡、放映機、投影機與其他各類光學儀器或設備上所使用的光學系統之零組件。光學鏡片應用十分廣泛且重要，包含國防用途上的雷射測距儀、雷射光束武器、太空攝影機以及潛望鏡等；工業用途上的光學量測儀器、雷射、自動化設備、資訊系統以及光纖通信等；民生用途上的各類攝影器材、影印事務設備、閉路監視系統、各式眼鏡以及醫療用胃鏡或雷射刀等，處處都不可缺少光學鏡片。光學鏡片亦是尖端科技的靈魂之窗，我國已將「光電科技」列為策略性工業之一，光學鏡片製造技術就是其中重要的一環。

1.2 光學鏡片簡介

1.2.1 光學鏡片的功用與材料

光學鏡片大量的運用在國防科技、工業技術、民生用品，其主要之功能為聚焦、準直、反射、折射及成像等，光學鏡片若依照用途來區分，大致可分為下列四種：

1. 透鏡 (Lens)：用於光波前 (Wavefront)或聚焦，藉由透鏡本身之收斂與發散的特性，能使物體生成實像與虛像，加工時著重於厚度與曲率的控制。
2. 反射鏡 (Mirror)：用於改變光路的方向，由於反射鏡會產生兩倍於崎曲率角度的變化，故加工時精度會要求比透鏡還高。
3. 稜鏡 (Prism)：透明三角柱狀光學元件，至少具有兩面拋光面可提供光束之分光、集光或改變光路的方向，稜鏡的加工重點在於兩相鄰界面角度的精度。
4. 光柵 (Grating)：在透明或不透明的光學元件上刻畫出均勻條狀間隔之繞射光柵條紋，用於將不同波長的光束分離。

依使用的材質可以區分為光學玻璃 (Optical Glass) 與高分子材料 (Polymer Material) 兩大類；高分子材料所製成的塑膠鏡片產品中，常見的有高分子有聚甲基丙烯酸甲酯 (Polymethylmethacrylate, PMMA) 俗稱壓克力、聚苯乙烯 (Polystyrene, PS)、聚碳酸酯 (Polycarbonate, PC)、TPX (Polymethylpentene)、CR-39 (Columbia Resin 39) 等五種光學高分子材料；其中TPX是屬於結晶性高分子材料，而CR-39是二甘醇雙烷基碳酸酯樹脂 (Diethylene Glycol Diallyl Carbonate Resin, PEDC) 的商品名。

光學高分子材料之優缺點比較如表1-1所示，目前光學用高分子材料尚不斷的開發，以降低材料成本、降低製程成本、提高光學性質(Optical Property)為主要目標；玻璃鏡片的製造程序較繁複，且材料與製程成本較塑膠鏡片為高，但玻璃鏡片具有較佳的機械性質(Mechanical Property)、熱穩定性(Thermal Stability)、光學性質等特性，所以在要求高精密度的光學儀器設備中，玻璃鏡片仍保有塑膠鏡片所無法完全取代的優勢。光學玻璃與光學塑膠之一般特性比較如表1-2，其優劣比較如表1-3所示。

表 1-1 常見的光學高分子材料優缺點比較表 [1]

材料 \ 優缺點	優點	缺點
PMMA	極佳透明性與耐候性，成形性良好，光學同向性佳，高阿貝數 (Abbe Number)。	吸水率較大，表面硬度低，耐溶劑性差。
PS	成形性與機械特性均佳，吸水率低，高折射率。	耐候性差，且容易產生雙折射現象。
PC	耐熱性與耐衝擊性極佳，吸水性小	雙折射率大。
TPX	比重小，低吸水性，耐化學藥品性佳，近紫外光波長透過範圍最廣。	成形收縮率過大，且鍍膜密著性差。
CR-39	耐磨耗性極佳，透光性佳，耐熱性及耐溶劑性極佳。	成形收縮率極大，成形時無法完全聚合，殘餘烷基含量達 10%。

表 1-2 光學玻璃與光學高分子材料性質比較表 [1]

性質 \ 材料	光學玻璃	光學高分子材料
折射率	1.5~1.9 以上	1.3~1.7
阿貝數	20~65 以上	25~55
雙折射	不產生雙折射	會產生雙折射
全光線透過率	85~95	90 以上
光譜範圍	370~1500nm 以上	400~1100nm
玻璃轉移溫度 (T _g)	500~700°C	70~130°C
線性膨脹係數	70~130 X 10 ⁻⁷	玻璃的 10 倍
比重	2.2~7.3	1.0~1.5

表 1-3 玻璃鏡片與塑膠鏡片優缺點比較表 [1]

優缺點 \ 材料	優點	缺點
玻璃鏡片	良好的光學特性(透光率、波長穿透範圍寬)、光學玻璃種類眾多(300多種)、耐磨損、耐高溫、耐潮溼、抗靜電。	研磨費時、製程成本高、重量重、大尺寸製作較難、非球面玻璃鏡片製作困難。
塑膠鏡片	材料成本較低、重量輕、較高的耐衝擊性不易破裂、生產流程簡單快速可量產、非球面鏡較易製作。	表面硬度低不耐刮、折射率隨溫度改變、易因產生雙折射、具親水性、鍍膜不易。

1.2.2 光學鏡片製造方式

光學鏡片的製造主要是以透光性佳的光學材料為主，常見的光學材料有兩種；一為由高分子材料所製成的鏡片稱為光學塑膠鏡片，另一為由玻璃所製成的鏡片稱為光學玻璃鏡片；基於光學鏡片的使用的材質不同，其加工的方式亦有所不同，光學塑膠鏡片製造方式以鑄型法(Casting)、熱壓成形法(Hot Embossing)、射出成形法(Injection Molding)、射出壓縮成形法(Injection Compression Molding)等技術為主，多用於非球面透鏡的產品；玻璃材料相較於高分子材料則由於具有較高的成形溫度與高硬度等特性，其成形方式係先以透鏡成形機(圖 1-1)進行外形切削成形，成形後的玻璃毛胚距目標尺寸尚約有 0.3~ 0.1mm 的預留量，然後再進行光學玻璃多道次的研磨(Grinding)與拋光(Polishing)製程；本研究將僅針對光學玻璃製成的光學鏡片加工方式進行介紹。

目前已知最早的光學玻璃研磨技術始於 16 世紀的歐洲，此項技術延續至今已五個世紀之久，傳統的光學玻璃球面透鏡加工方式主要以研磨、拋光方式生產，其加工流程如圖 1-3 所示。

傳統的球面透鏡藉由研磨、拋光加工成形，即使同一模碗的球面透鏡也無法很精準的控制鏡片尺寸的均一性，且無法對非球面透鏡進行加工，已經無法滿足市場的需求，故改良其製造方式勢在必行，近年來球面透鏡的加工，也有使用極細的鑽石顆粒取代研磨、拋光，如以單點鑽石(Single Point Diamond)為刀具，對玻璃進行超精密加工，即在成型機完成玻璃球面透鏡，然而超精密成形機的設備費用昂貴，且刀具成本高，目前尚未被廣用於鏡片的加工。

玻璃的熱壓成形技術具有材料流動距離短、成形精度高、設備簡單等特性，任何一種製程所製作出來的模仁皆能經由熱壓成形技術來達到批量複製地目的，以降低鏡片生產成本及穩定品質，因此被認為是提升光學透鏡製造的一項重要技術，用以達到降低成本、提高產量之關鍵技術。雖然目前模造技術已經運用在光學鏡片成形，但根據文獻資料顯示，在進行玻璃模造之前，需先將玻璃做成特定形狀的預型體(Preform)，預型體在製造時便要有光學等級的表面，通常要求表面粗糙度(Ra)小於 100\AA ，可用冷拋光(Cold-Polishing)或火拋光(Fire-Polishing)方式達成，且預型體的重量誤差需控制在0.5%之內，以確保成品的厚度及光學特性，此外目前預型體仍需仰賴國外進口，在材料的取得方面受到很大的限制。



圖 1-1 透鏡成形機外觀圖



凸透鏡

平面透鏡

凹透鏡

圖 1-2 成形示意圖



圖 1-3 傳統光學鏡片研磨製程圖

1.3 文獻回顧

M. Hecke [2] 等人認為熱壓成形是適於光學元件微結構的理想技術，其優點是材料流動率低，可避免由內應力引起的散射中心（Scattering Centers）誤差，熱壓成形是可製造出高精度、高品質、大面積的光學元件技術，由於成形步驟簡明，若能將熱壓成形過程更改為自動化成形製程，將有效的降低成本。

Saotome [3]等人使用 T_g 點分別為 390°C 與 343°C 的光學玻璃K-PSK100與K-PG375在 T_g 點到 $T_g+30^{\circ}\text{C}$ 的溫度範圍條件下進行壓縮實驗，得到不同溫度下的真實應力（True Stress）與應變率（Strain rate）的關係，在應力與應變率圖形上可以得知應變率敏感性（Strain rate sensitivity）等於1，證實了在該溫度區間玻璃可視為牛頓黏滯流（Newtonian viscous flow）亦即表示黏度係數（Viscosity Coefficient）為一常數；再以單晶矽為模具進行V形溝槽的模造實驗，實驗結果發現由於V形溝槽的尖角與溝槽表面粗糙度的因素，導致玻璃無法完整的填充模穴。

Shishido[4]等人針對玻璃熱壓時玻璃與模仁間之貼合程度進行研究，發現貼合程度將隨著玻璃表面張力的變化而改變，而貼合度的變化也會影響成形後的複製精度。

游[5]等人認為玻璃基材擁有較高的生物相容性，除了有較佳的親水性、較高之解析度之外，還有較佳的光學穿透性等特性。所以利用熱壓技術成形微流道以及UV Epoxy 光阻製程達到密封（Sealing）之效果，來完成玻璃微流道製程。實驗中成功地驗證利用電鑄的鍍金屬母模，熱壓成形於玻璃材料 PSK-100 上，並使用負型厚膜光阻當做接合的密封，並用以做接合玻璃與微流道之間的介質。

王[6] 以陣列式 V 形槽結構（寬 $50\ \mu\text{m}$ 、深 $25\ \mu\text{m}$ ），分別對 FCD1 及 SF2 光學玻璃材料進行微熱壓成形實驗，並探討製程中的各種參數對玻璃微熱壓成形特性的影響，且對成形中產生的缺陷進行原因及改進方法的探討。由實驗結果得到下述結論：比較 SF2 與 FCD1 兩種不同玻璃材料的微熱壓結果可以得知，FCD1 玻璃材料是較適合於應用在微熱壓成形製程的玻璃材料，適合的壓印溫度介於轉移點與軟化點之間而接近軟化點。當玻

璃材料具有流動性並施加壓力迫使其充填模穴，材料需要足夠的壓印時間方能充填完全。因此壓印深度會隨著時間成正比，而充填完全後，壓印時間再增長也不會使壓印深度增加。

1.4 研究動機與目的

以光學元件的需求而言，光學玻璃相較於光學塑膠具有較佳的光學特性、耐磨損、耐高溫、耐潮溼、抗靜電等較佳的特性；但其成形條件亦較為困難，如較高的硬度、較高的 T_g 點、脫模困難等問題；傳統的玻璃球面透鏡製造方式以研磨、拋光的方式進行生產，不僅花費較高的人力成本，且在產能與產品的均一性也有相當程度的限制。

熱壓成形設備簡單且適合大量生產，在成本與精度的考量上具有相當的優勢。熱壓成形技術在光學元件的製造上已相當成熟，但目前仍以 PMMA、PC 等光學塑膠為主要材料，而以光學玻璃為材料的透鏡研究則不多見，雖然目前國內有廠商已經投入光學玻璃的模造成形，其模造所需的預形體仍需仰賴國外進口，若可以使用平面透鏡進行球面透鏡的製作，將可以有效改善原料受限的問題。

到目前為止，根據文獻資料顯示，有關玻璃透鏡成形技術的研究，主要還是以研磨、拋光的機制與參數為主，對於模造玻璃透鏡或熱壓玻璃透鏡的相關文獻則十分缺乏。本研究之動機與目的有三：

1. 嘗試將玻璃透鏡成形的研磨與拋光技術運用在模仁的製作。
2. 希望將玻璃透鏡的成形以熱壓成形技術來增加均一性，使達到一付模仁大量轉印之目的。
3. 以平面透鏡熱壓製作球面透鏡，而不以預形體製作球面透鏡。

1.5 研究方法

本研究為了使光學玻璃在模仁內可以完整充填、脫模情況良好及瞭解光學玻璃透鏡熱壓過程中所造成的影響，將分成三個階段進行，第一階段將參考現有的玻璃熱壓文獻，再以兩不同表層條件的鏡面板為膜仁，進行光學玻璃的平板熱壓，藉由平板熱壓的結果，選取適當的熱壓參數及較易的脫模的模仁表面鍍層條件。

第二階段將完成光學玻璃平面透鏡熱壓前之準備，包含光學玻璃毛胚的圓整、倒角、磨砂、拋光、清潔與模仁的設計、製作。

第三階段將以第一階段所得到的參數，決定模仁的表面鍍層條件，再進行光學玻璃透鏡熱壓實驗，同時也將進行光學性質的檢測，包含表面品質、殘留應力等檢測。

本論文所使用的設備包含研磨機、輪廓儀、干涉儀、光彈性儀等設備，均為國科會精密儀器發展中心所提供，論文中將以光學玻璃的基本性質(第二章)、光學玻璃平板熱壓實驗(第三章)、光學玻璃毛胚前處理與球面透鏡模仁製作(第四章)、球面透鏡熱壓實驗(第五章)、球面透鏡檢測(第六章)等六大主題，分項完成上述三個階段的實驗。