

# 第一章 緒論

## 1.1 前言

平面顯示器(Flat Panel Display)在科技不斷提升的時代下，從早期的陰極射線管(Cathode Ray Tube, CRT)發展至今的液晶顯示器(Liquid Crystal Display, LCD)或電漿顯示器(Plasma Display Panel, PDP)等，表 1-1 為 CRT 與液晶顯示器的比較。平面顯示器的種類包含液晶顯示器(LiquidCrystal Display, LCD)、電漿顯示器(Plasma Panel Display, PDP)、有機電激發光顯示器 (Organic Light-Emitting Diode, OLED) 及場發射顯示器(Field Emission Display) 等，其產品特性皆以輕、薄、短、小、省電、高亮度、高解析度、高品質為導向，其中以薄膜電晶體液晶顯示器 (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display, TFT-LCD) 技術為國內主要發展重點，在政府積極推動及各廠商積極投入與量產實績下，從小尺寸之彩色手機、PDA 到大尺寸之平面電視應用，顯示著高品質顯示器的時代已經來臨。

液晶顯示器種類有扭轉向列型(Twisted Nematic, 簡稱 TN)、客主型(Guest-Host, 簡稱 GH)、強誘電型(Ferro Electro Liquid Crystal, 簡稱 FLC)、固態薄膜型(Nematic Curvilinear Aligned Phase, 簡稱 NCAP)、超扭轉向列型(Super-Twisted Nematic, 簡稱 STN)和薄膜電晶體型(Thin Film Transistor, TFT)，若以驅動方式來區分，則如樹狀表 1-2 所示，以 TN、STN、DSTN 三種與 TFT 而言，前三種之製造基本原理皆相同，為被動式矩陣液晶，而 TFT 則較為複雜，因具有記憶性，而稱為主動式矩陣液晶。由於液晶顯示器具有佔空間小、面板厚度薄、重量輕、可平面直角顯示、耗電量低、無電磁波輻射、無熱輻射等優越性。隨著電子工業的快速發展，LCD 的技術更為精進，新一代的產品也不斷的推陳出新，目前以超轉扭轉向列型(STN-LCD)與薄膜電晶體(TFT-LCD)為市場主流，TFT-LCD 結構包括：背光模組(Back light Module)、偏光板(Polarizing sheet)、透光電極(Transparent Electrodes)、對準層(Alignment Layer)，液晶(Liquid Crystal)、彩色濾光片(Color Filter)和間隔裝置(Spacer)等零件，如圖 1-1 所示。TFT-LCD 的顯示原理為由背光模組發出之光源照射在偏光板上，當光線在穿過偏光板後會產生偏極化現象，使每一個光線分子在能量、相位、頻率和方向上的特性都相同，偏極化的光線繼續傳遞至液晶層，此時將玻璃基板上的電晶體施以電流通過而產生電場變化，造成液晶分子偏轉，改變偏極化光線的偏光角度，因上偏光板僅允許特定偏

光角度的光同過，所以不同的偏光角度的光所造成的光線強度會不同，藉此控制每個畫素(Pixel)的明暗狀態，如圖 1-2 所示，而其中的背光模組中，控制光線均齊的導光板，對於背光模組佔有一相當比例的厚度，顯而易見的，減少導光板的厚度，成為目前重要的研發項目之一。此外 TFT 也有較好的畫質，反應時間可在 40ms 以下，觀賞角度(視角)可達 160 度，對比率也可超過 150:1 以上，應用範圍包括數位相機、液晶投影機、高階筆記型電腦、液晶顯示器等高階產品如圖 1-3 所示。背光模組(backlight)是提供液晶顯示器光源亮度之組件，為液晶顯示器中關鍵零組件，面對市場大增的趨勢下，顯示器勢必朝著具有低成本、高產量的方針，與輕量化、高效能與薄型化的發展，來滿足產業與市場之需求，保持未來市場的競爭力。

## 1.2 背光模組簡介

由於液晶顯示器本身不發光，為非自發性光源的顯示裝置，必須藉由其外部裝置提供光源，一般皆使用背光模組又稱背光板，其功能在於提供液晶面板的光線來源，基本原理是把採用的線光源或點光源，透過導光板將有效光轉化成高亮度且均齊性良好的光源，背光模組的構造如圖 1-4 所示，主要由發光源、導光板、反射板、擴散片、增亮膜與外框所組成，而其組件功能如表 1-3 所示。目前使用的光源有冷陰極燈管(Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)，熱陰極管(Hot Cathode Fluorescent Lamp, HCFL)，發光二極體(Light Emitting Diode, LED)及電激發光片(Elector Luminescent, EL)，其中冷陰極管具有高輝度、高效率、高可靠度與良好的演色特性，與發光二極體具有小體積，壽命長與低耗電的特性下，目前以這兩種為主要採用的光源，表 1-4 為冷陰極管與 LED 的比較。但隨著歐盟環保法規制定，具有高污染源的冷陰極管在未來勢必將被其他光源所取代。一般而言，背光模組可分為前光式(Front Light)與背光式(Back Light)兩種，其中背光式以光源位置的區別，有側光式(Edge lighting)與直下式(Bottom lighting)兩種，依據不同需求有不同的應用。

### 1. 側光式

側光式背光模組，是將發光源擺放於顯示器側邊，一般常用於中小型顯示器，結構如圖 1-5 光源的使用上以冷陰極管與發光二極體為主，側邊入光

在設計上，有輕量化、薄型化，低耗電率的特色，在側邊的入光的條件下，邊緣光源必須經過導光板內部的全反射原理將光導向光源遠端，內部全反光線在經過導光板的擴散點擴散或利用微特徵的疏密分佈使光線擴散均勻的分佈，破壞全反射條件再將光線導向正向視線方向出光，對於側光式背光模組而言，導光板掌控了的光源的輝度與均齊性的好壞，因此必須利用導光板的設計，來加強對光源分佈的控制。

## 2. 直下式

直下式背光模組為 19 吋以上大尺寸液晶顯示器的光源技術主流，結構如圖 1-6 所示，其設計概念為滿足更高亮度的需求，將光源放置於液晶面板的下方，大多採用冷陰極管為光源，藉由直下式的線光源打到擴散板與雜散光的反射後，使光線打散並均勻的分佈為面光源，進入液晶面板，直下式背光模組具有均齊性低、模組厚度增加、發光效率高與組裝零件減少的特性，在直下式的設計上，高亮度的需求與模組的厚度、重量、耗電量成了相對犧牲的考慮，而因直下式的燈管所造成的明暗條紋，影響了均齊度，但也因為燈管的分佈，使得邊緣不足光源的部分得以改善，提升了整體的發光效率，除此之外，直下式背光模組少了側光式背光模組中所使用的導光板，其光源的平面化只需要擴散膜來完成，在大尺寸液晶顯示器要求高亮度、高對比度與視角大的需求下，直下式背光模組在未來的發展下依然具有必然的優勢，在推出新式產品中，可以發現薄形化與低工作溫度的概念應用，直下式背光模組的冷陰極管，已被發光二極體所取代，但體積小的 LED 在大尺寸的應用上必須使用更多的 LED 模組，提高了製造成本，而且 LED 使用溫度的上升，將會影響其發光效能，降低了模組的使用壽命，因此目前在直下式光源使用的考量上，還有很大的設計空間。

### 1.3 導光板的種類與製造方法

導光板(Light guide plate)為將光源引導為平面正向之面光源的塑膠組件，導光板的聚光與出光機能表現與導光板表面的擴散結構設計有關，不論是光的利用率與光射出的均齊性都是導光板上擴散特徵的設計重點，對於小尺寸之液晶顯示器，其背光模組一般皆採用點光源，同常是指發光二極體

LED，於導光板的側邊放置光源，光線由導光板側端進入，導光板的原理是利用光的全反射特性，將光導引至光源遠端，再利用導光板上的微結構，破壞光線的全反射或干涉，造成擴散效果使整各背光模組之光線柔和且輝度均勻，在光線打到擴散點或微結構後，將光線導引向上，使光線由顯示面的法線方向射出；導光板必須具備優異的光學性質，足夠的加工特性與良好的加工特性，由上述三種特性決定導光板的品質與良率，考量下是以高透光率及低折射的塑膠材料，經過射出成型機充填成形，一般使用的塑料為壓克力 (PMMA)、聚碳酸樹脂(PC)或新世代工程塑膠(COC)，大型尺寸導光板目前以 PMMA 為主流，而中小尺寸則為 PC，一般成形的導光板有楔形板或平板，分別應用在不同的產品上，由於輕薄短小的潮流，導光板的厚度在設計上會減少，由楔形板厚度 2.2mm~0.6mm 改變為均一厚度的薄形板，在未來薄形板將會成為導光板發展的重要方向；而導光板上的微特徵，有印刷式及非印刷式及擴散式三種如表 1-5 所示，以下分別介紹；

#### 1. 印刷式導光板

為傳統導光板製程，是以網板印刷的方式，將二氧化鈦或二氧化矽這些具有及高散射效果的材料，印刷在導光板底面，藉著印刷材料對光源吸收在擴散的性質，破壞全反射效應，使光線在導光板內傳播，均勻分佈發光區域並於正面射出，如圖 1-7 所示，其印刷網點大小尺度在 200~300 micro 之間，而印刷網點導光板因為其網點較大，輝度的表現並不理想，但卻有不錯的均齊性，印刷式導光板同常印用在大尺寸的背光模組中，由於印刷式的製程在光學設計的變更上快速，所以開發成本低，且生產快速，但印刷製程必須在生產導光板後，且必須經過烘烤過程，在整各導光板的製程時間會增長，因此發展出了非印刷式導光板的技術。

#### 2. 非印刷式導光板

非印刷式導光板係利用外形的變化或機械加工方式等，將導光板設計為楔形如圖 1-8，或在模具入子加工出設計的幾何形狀，經過射出成型機後，將幾何形狀轉寫至導光板上，直接產出具有光學特徵的導光板，對光路的效果如圖 1-9 所示；對印刷式而言能減少導光板製程，此加工方式適用在中小尺

寸 17 吋以下的導光板，但由於專用加工機台的產生與技術的提升，也有 17 吋以上的導光板應用非印刷加工技術，來增取時間成本，而在非印刷式導光板中，重要關鍵為精密模具的開發與射出成形技術的精度，對於導光板上的光學微特徵，目前有機械加工、蝕刻、Stamper 三種製造方法，分別介紹如下：

#### (1) 機械加工法

以超精密加工機，藉由精度高的加工方式，在金屬模仁上，利用銑削、鉋削的方式，加工出設計的幾何特徵，再經過射出成形後產出導光板。其導光板的光學特徵在輝度上較為優異。

#### (2) 蝕刻

以曝光顯影製程形成網點，尺度為  $200\sim 300\ \mu\text{m}$ ，將金屬模仁以咬花的方式進行表面的蝕刻，再經過射出成形後產出導光板，其咬花網點大於印刷的網點，全反射被破壞的程度不如印刷式，輝度亦不如印刷成型的導光板。

#### (3) Stamper

以模具射出形成網點尺度為  $40\sim 50\ \mu\text{m}$ ，反射面設計能破壞光源之全反射並控制光源射出導光板面角度的分布，其網點的數量多寡對光源作有效率的控制技術較純熟，網點可隨模具任意設計形狀，若網點設計為極小的平滑鏡面，可使光在網點及導光板內部的損失減至最小。

### 3. 擴散式板光板

將具擴散性質的顆粒材料添加進塑膠中，在射出成型時直接注入導光板內部，利用濃度的不同對光源作有效率的射出調制，如圖 1-10 所示，光線擴散級 PMMA 是最新的方法，它與傳統添加二氧化鈦或二氧化矽的區別很大。把超大分子量的 PMMA 顆粒植入 PMMA 之中，利用分子量與其他性質的差異使 PMMA 的折射率改變，藉此產生擴散效果，此方式對光的率用率可提高，但均齊性不易控制。

## 1.4 研究動機

目前對於廣泛的應用液晶顯示器，不論是行動電話、數位像機與其他常見可

攜式的電子資訊產品，隨著其產品功能不斷的提升，與訴求輕便性，使的產品內部的零件不斷的增加，但輕薄的訴求使其內部的空間也日趨減少，這樣的趨勢下，對於液晶顯示器而言，導光板為主要的模組厚度與材料成本的主要掌控零件，且在整各背光模組中重要光學元件，所以導光板勢必朝著薄型化與輕量化的方向發展。薄型化的導光板可以使背光模組的厚度降低，並減少材料的使用，在製程上還可以縮短成形的週期，然而在薄型化的條件下，卻也影響光的使用率，降低背光的輝度，在成形上則因厚度的減少，使塑料不易充填，微結構成形困難，成形品易翹曲及殘留應力的問題。

本研究結合光學設計、模具設計、射出壓縮成型，並檢測微結構與光學品質，進行超薄形導光板之設計開發技術之研究，以非續列式光學模擬軟體進行光學模擬設計，分析導光板在減少厚度上微結構設計對光路走向與背光模組輝度與均齊性的關係。模具設計上以模流分析軟體 MOLDFLOW 模擬射出壓縮搭配變換模具溫度成形，考慮超薄型導光板成型視窗與模具設計。討論導光板減少厚度在模具設計上以射出壓縮成形不同模溫的製程比較 V-溝微結構之轉寫性，探討成型條件對 V-溝轉寫性的影響，藉由此研究期望針對超薄型導光的趨勢下，改善薄型導光板的光學品質與薄件成形品質的缺陷，以增加超薄型導光板光學品質。

## 1.5 文獻回顧

背光模組的主要目的是提供光源，而其設計重點在使特定光源達到高輝度與高均齊性的目標，在導光板的光學設計上，早期的方式是利用 Try & Error 的方式進行光學設計，其設計上必須經過不斷的嘗試與錯誤修改，因此耗費相當長的時間，不過由於講求效率的須由下，目前已有光學套裝軟體的產生，因此對於光學設計上，已經可以迅速並準確的設計出良好的光學元件。

### 1.5.1 導光板光學設計文獻

目前業界在導光板上設計的光學特徵有網點式及 V 溝式，在網點設計上一般皆考慮網點分布的最佳化，藉著網點的分布達到高均齊性的光學效果。

【1】交大光電所，施以柔在 1998 年提出「背光模組光學模擬技術」，以實驗產出導光板後，實際量測輝度分佈，並經過數值方法將量測數據加以分析，得到網點分佈對光射散的分佈函數，在經過光學計算後，計算出導光板上的輝度值。

【2】中華大學，蘇紹安在 2000 年對於導光板楔形角度，以光學模擬軟體建立網點分布函數，探討其光學效果。

【3】Kalantar 在 2001 年，提出在背光模組的新式設計於小尺寸的顯示器上，完整的說明背光模組的光學設計與原理，並利用的光學模擬設計導光板上的光學特徵，在經過導光板上下兩面分別為 V 溝與網點的特徵設計，發現在其結果上可以減少一張 TIR 稜鏡片仍然可以達到光學需求，在輝度上更比傳統單面設計提高了 1.44 倍。

【4】中原機械所，蔣宗樹在 2002 年，以光學模擬軟體 tracepro 在導光板上設計的 V 溝特徵，在產出導光板後實際量測其輝度，將模擬數據和實際量測數據做比較，驗證模擬結果。並考慮射出成形殘留應力對光學特性的影響。

【5】成大機械所，方育斌在 2003 年，以 ASAP 光學模擬軟體，推倒出最佳化的設計準則，以調整導光上不同區塊的網點密度分佈，得到最佳的設計光學均齊性在 90%以上。

【6】大葉大學，詹展昌在 2003 年對於導光板入光面的表面進行結構分析，利用不同結構的溝槽設計，使光線進入導光板的光路分佈改變，解決了背光模組中亮紋及光暈現象的問題。

【7】Kalantar 在 2004 年對於具有雙面顯示之雙螢幕提出雙面發光的導光板，利用導光板的楔形結構配合雙面的光學為特徵之設計與稜鏡片，節省了一組背光模組於雙面顯示器的應用，也減少了手機的厚度與重量。

【8】高雄應用科大，黃俊欽在 2004 年對導光板的光學設計、模具設計、射出成形與光學檢測上做完整的探討，研究結果發現射出成形對於微結構的轉寫性而言，熔膠與保壓壓力為影響導光板光學特徵品質的主要因素。

【9】高雄應用科大，黃彥文在 2005 年對於導光板的薄型化作一系列的分析，在光學設計上於導光板的入光面出及光面建立微結構，並於反射面上設計部等間距的 V 型溝槽微特徵，並以田口方法找出導光板成形最佳參數，並以實驗方式產出導光板，檢測其光學特徵的成型轉寫性與輝度表現，提高了導光板的薄型化在光學輝度與均齊性。

【10】高雄應用科大，宋昱廷 2007 年對超薄型導光板光學設計與模內成型分析在光學設計上於導光板的入光面出及光面建立微結構，並於反射面上設計不等間距的 V 型溝槽微特徵，並以實驗方式產出導光板，檢測其光學特徵的成型轉寫

性與輝度表現，提高了導光板的薄型化在光學輝度與均齊性。

### 1.5.2 導光板成形文獻

導光板在尺寸及光學特性上有著極高的精度需求，在目前導光板的產出以射出成形方式成形，一般在傳統射出成形上，必須克服在尺寸上的差異與射出的毛邊、翹曲、短射與縫合線的問題。因此在目前的業界與學界單位，紛紛以精密射出之研究，以提升產品精度，而精密射出必須考慮尺寸精度、外形精度、翹曲、分子配向，與光學性質等問題。依照塑膠製品定義流動長度與壁厚之比值(L/T比)，截面厚度以 1mm 來說，至少要大於 150，即稱為薄件，因此對於薄化的導光板在射出製程上有著許多重要的考慮因素。

【11】Johannaber 在 1985 年以實驗方式發現在射出成形製程的成品中，當成形品後度越薄，成形的壓力則會越高，而隨著模具溫度的提高，射出壓力的壓損則會降低。

【12】Greener 在 1986 提出傳統射出成形與精密成形的比較，在傳統射出成形上成形重點在充填階段，開模的溫度必須低於塑料的玻璃轉移溫度，品質上必須考慮短射與縫合線的產生，成品以厚件為主，精密成形則注重後充填階段，開模溫度除了低於玻璃轉移溫度外，也必須達到熱平衡，品質則考慮內部應力、均質、收縮等顯微組織，成品也以薄件為主。

【13】Friedrichy 在 1988 年對射出壓縮成形應用於薄壁的成品上，有減少射出壓力、成形快速等優點，且此製程適合各類熱塑性塑膠，該文並指出射出壓縮重要製程參數的控制在於模溫、塑膠溫度、壓縮壓力、壓縮延遲位置與壓縮距離。

【14】Yoon and Wang 在 1991 根據分子定向的產生，發現融膠溫度、模具溫度、充填溫度與保壓壓力為使產品翹曲的主要因素。

【15】交通大學，杜俐芊在 1998 年以實驗方式對長薄平板成形品研究，發現在提高射出速率，熔膠溫度與模具溫度，成形上有較長的充填效果。但由於增加射出速率的因素，隨著殘留應力的增加，成形品的表面缺陷會更劇烈。

【16】Despa 在 1999 年以具有高深寬比的微結構做探討，以模流與熱傳的理論分析，指出提高模溫的情況下，微結構的成形視窗會增大。

【17】成功大學，黃東鴻在 2001 年發現在減少保壓壓力、提高模具溫度與融

膠溫度可以減少薄殼成品射出製程中的殘留應力，減少成品的翹曲變形。

【18】長庚大學，林昆華在 2001 年對楔行導光板以射出壓縮方式，實驗探討發現適當的壓縮壓力可以有效的減低殘留應力，若施加過大的壓縮力，則會使分子定向增加，造成不良品。

【19】大葉大學，蘇義豐在 2002 年利用田口方法搭配射出與射出壓縮製程，對於導光板的品質要求，找出最佳製程參數。

## 1.6 論文架構

本文分為六章以下分別簡述之

第一章：緒論，簡介平面顯示器 TFT-LCD 液晶顯示器以及背光模組的結構與種類，背光模組並介紹導光板的種類與製程，針對導光板的相關文獻做探討，最後說明本文的研究動機。

第二章：光學理論與光學設計，介紹基礎光學理論，進一步延伸至導光板的光學設計，利用光學模擬軟體，進行導光板光線追跡設計薄型導光板的光學特徵參數。

第三章：成形理論與模具設計，根據設計的導光板，配合模流分析軟體，根據模擬進行模具設計，與模具加工，並決定射出的參數。

第四章：成形實驗與檢測，本章介紹論文的實驗流程、設備與實驗方法，並對射出壓縮實驗探討及產出導光板的光學性質、光學特徵、轉寫性進行檢測。

第五章：結果與討論。說明實驗結果與討論，探討射出壓縮搭配變換模溫成形轉寫的影響，驗證光學模擬使實驗光學量測結果，並以射出壓縮製程搭配變換模溫探討成型視窗、機台參數，討論導光板的品質水準。

第六章：結論，結論與未來發展，對導光板的光學設計與相關實驗總結，並探討未來的方展趨勢。

表 1-1 CRT 與 LCD 的比較

	優點	缺點	應用
CRT 映像管顯示器	亮度高 有較好的對比 色彩能力高 壽命長	佔空間 幾何失真大 重量 電子束會受地磁影響	電視 電腦螢幕 監視器 投影儀
LCD 液晶平面顯示器	輻射少 無靜電 省電 體積小 不閃爍	價格高 有亮暗壞點 視角差 解析度範圍低	電視 手機 電腦螢幕

表 1-2 驅動方式對液晶顯示器的分類

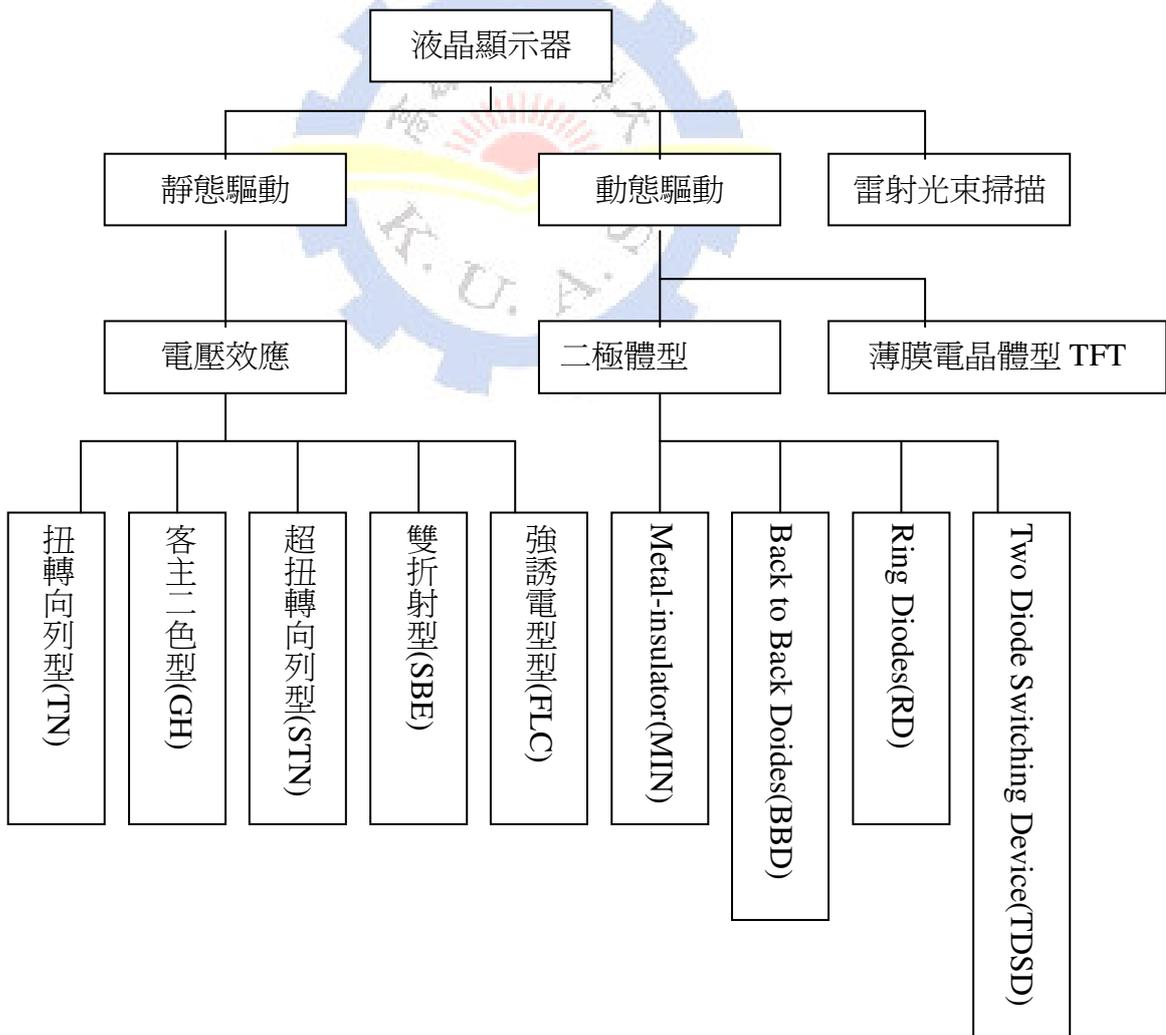


表 1-3 導光板組件功能

組件名稱	功能 / 要求	材料
光源	高輝度、高效率、色再現性、壽命	熱陰極陰極螢光燈 (HCFL) / 冷陰極螢光燈 (CCFL) ; LED
導光板	控制光的方向、提高輝度，且使面板輝度均一化。	板面上施予光學特徵之壓克力板或 PC 板
擴散板	將來自導光板之光源加以擴散	PET 或 PC 樹脂
稜鏡片	將經擴散板之散漫光，透過稜鏡之折射使光向垂直向上，亦即有聚光作用	透鏡材料、3M 專利"BEF"光學膜
反射板	防止冷陰極螢光燈光源外漏之遮蔽板	PC 樹脂、鋁板、發泡 PET 膜

表 1-4 冷陰極管與發光二極體的比較

	優點	缺點
CCFL 冷陰極管	亮度較高	位置比較受到限制 長度跟角度受限 跟 LED 比起來較耗電
LED 發光二極體	耗電量比較低 角度跟長度限制比較小 壽命短 溫度與效能成反比	亮度較低

表 1-5 各類導光板之比較

	生產方式	優點	缺點
印刷式	利用射出成型法，成型後的壓克力內面利用印刷方式，印出點形狀。	可輕量化，可改善微細的光，可任意設計構造、形狀。	須要成形模具費用。
非印刷式	利用精密模具技術，直接在模具上產生精密溝槽或球狀，產生光線均勻分布的效果。	高效率，低成本，可達輕量化，可任意設計構造形狀。	初次費用高，須耗時模具開發時間較長。
擴散式	在壓克力材料上使含有高分子聚合物，依內部光擴散方式，讓面產生發光。	不用印刷。	改善困難，須花費成形模具費用。

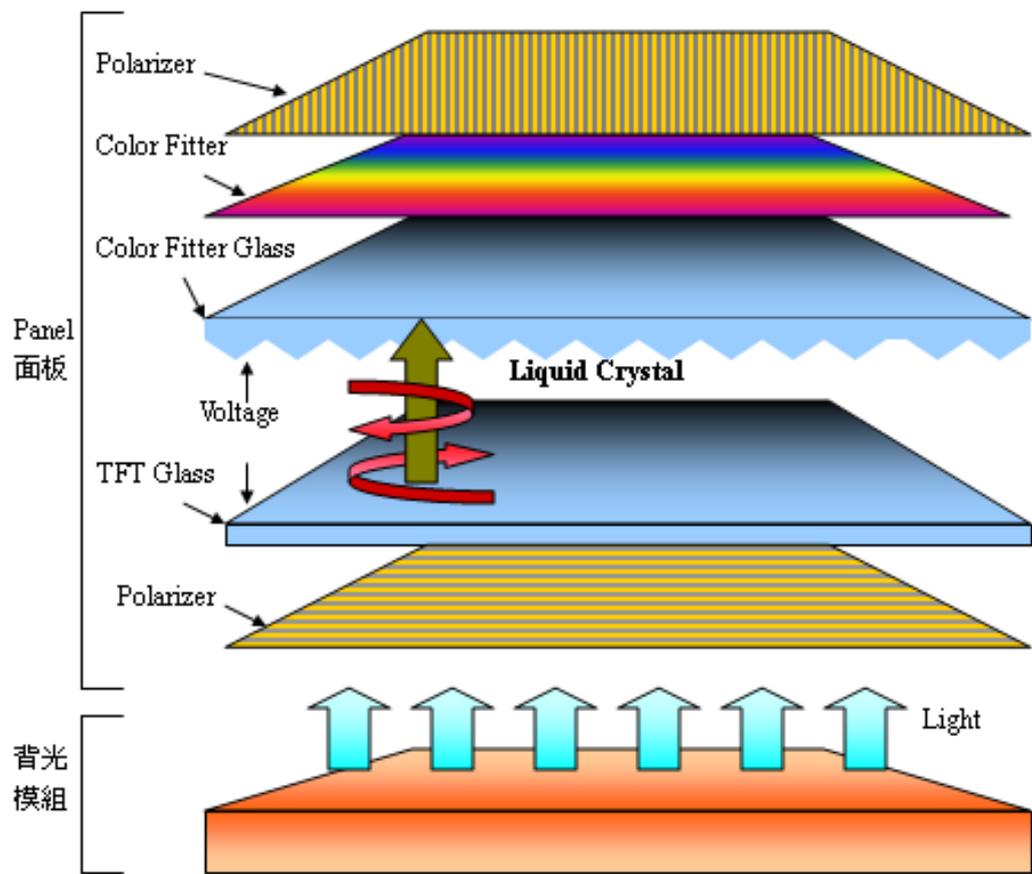


圖 1-1 TFT-LCD 結構圖

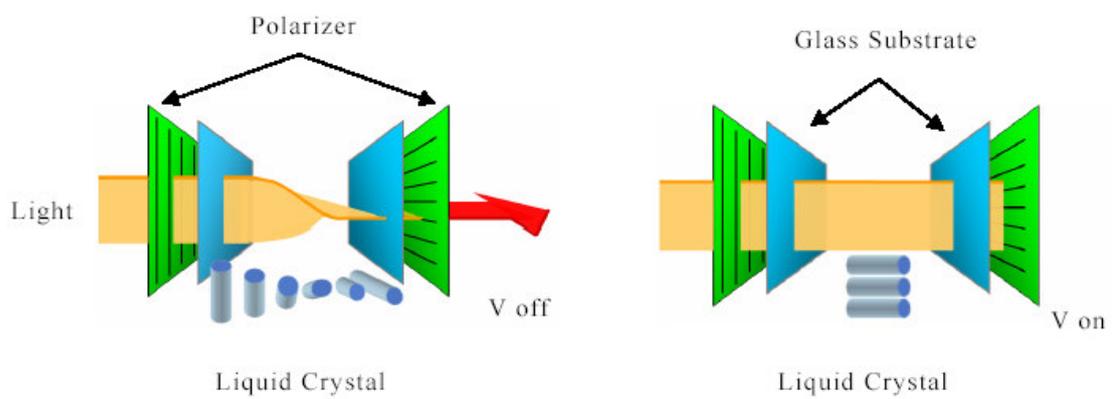


圖 1-2 TFT-LCD 光的偏極



圖 1-3 TFT-LCD 的應用

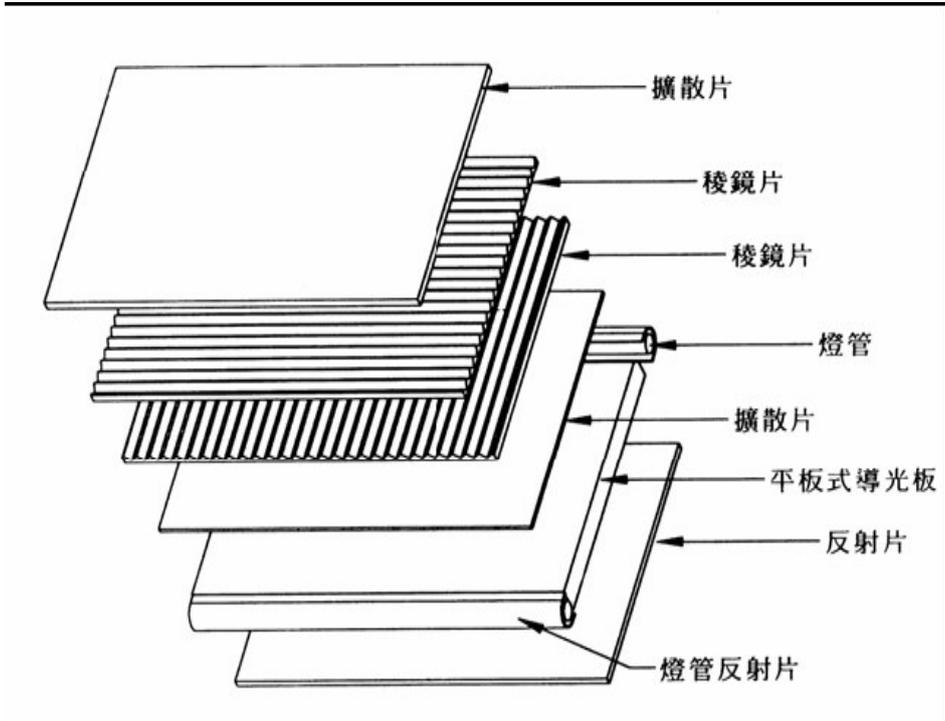


圖 1-4 背光模組結構圖

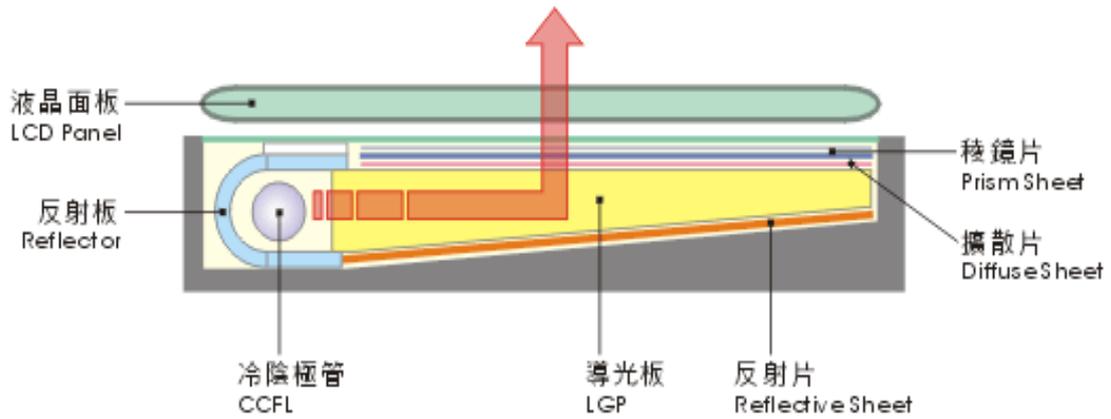


圖 1-5 側邊光源背光模組(來源：大億科技)

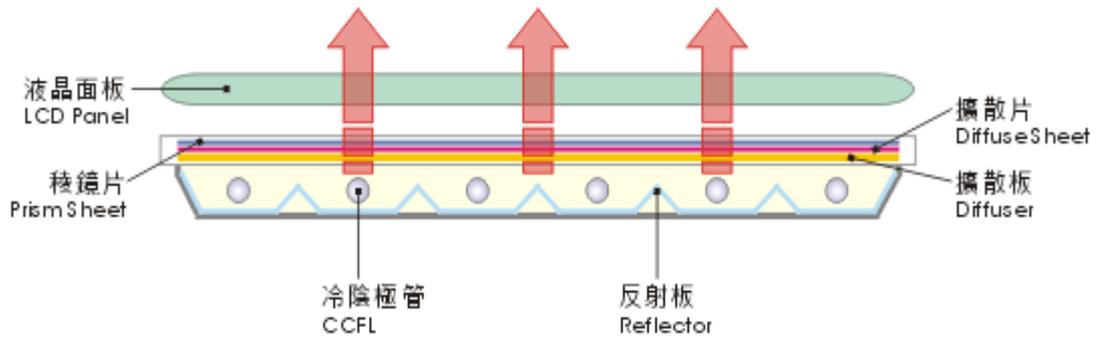


圖 1-6 直下式光源背光模組(來源：大億科技)

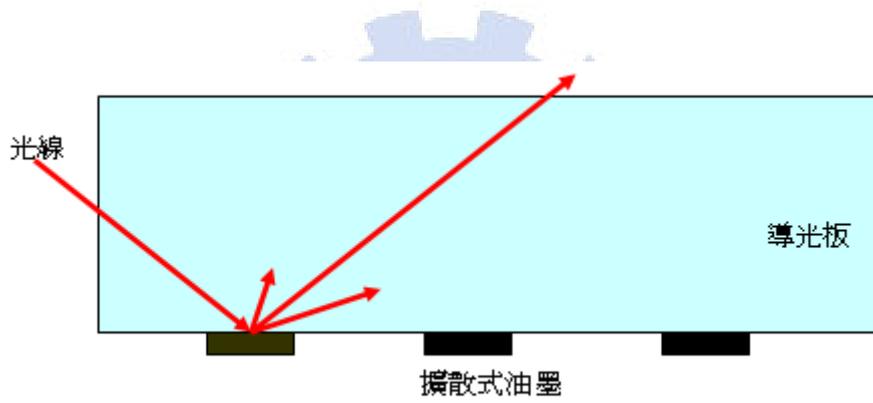


圖 1-7 印刷式導光板

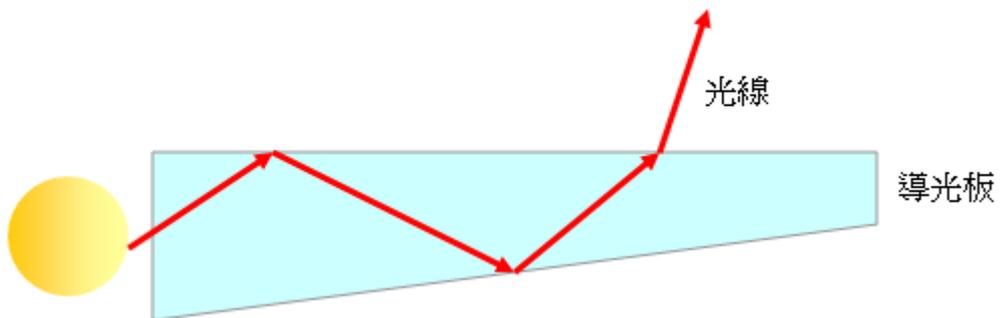


圖 1-8 非印刷式楔形導光板

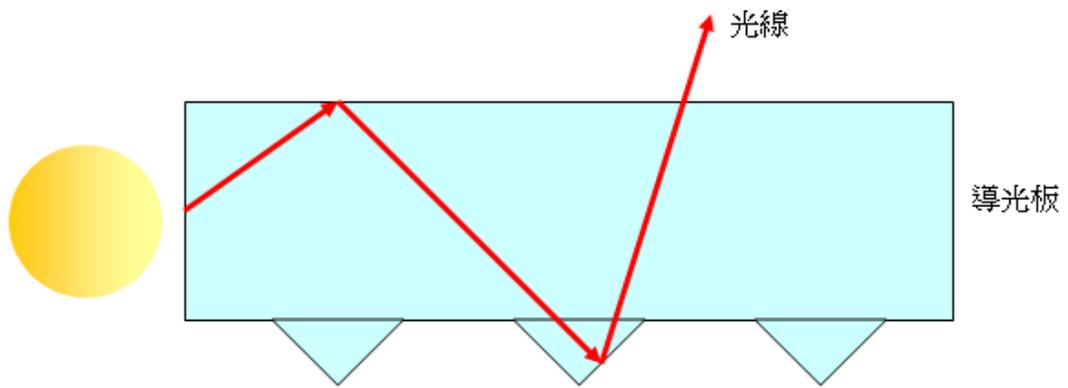


圖 1-9 非印刷式微結構導光板

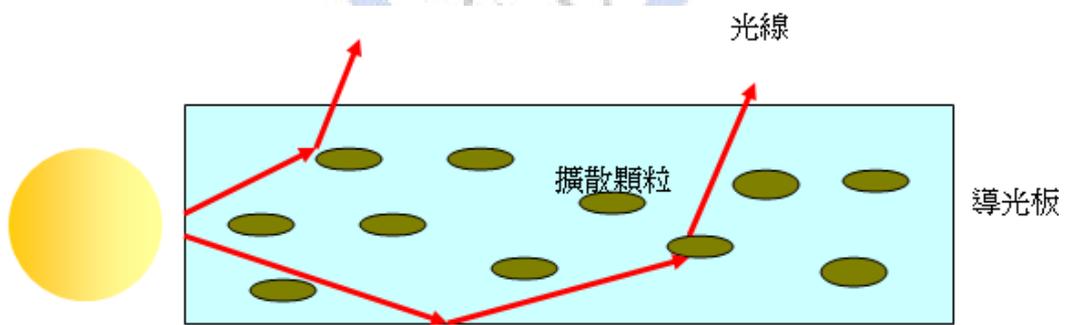
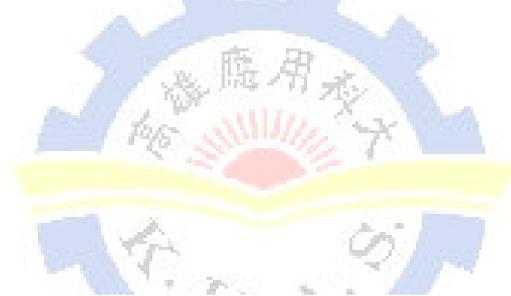


圖 1-10 擴散式導光板

## 第二章 光學理論與光學設計

### 2.1 幾何光學

光學的基礎理論可分為幾何光學、物理光學、量子光學等，幾何光學(Geometrical Optics)是將光視為光線和光線的集合，以光束(Light Beam)、物點、像點等概念表示的光學理論。導光板是利用光的幾何原理如反射、折射、全反射及漫射等，進行設計與分析，在討論幾何光學時，一般會用光束或者光線的概念敘述及分析光的行為。光線可認為是由許多光子所成的集合，由一粒粒的光子串成一條長線，而光束則可視為一條條的光線所成的集合。

在假設一個均勻介質中，光的前進方式是以直線的方式前進，例如燈光下的陰影，或日光下的影子，說明光線在直線前進的過程中，遇到障礙物所造成的現象，或者針孔(pinhole)成像，可以證明光線直線前進的例證，因此在導光板光學設計中，其光學基本理論即為光以直線方向前進，藉著光線直線前進的論點，進一步的探討光線前進遇到另一個介質或表面所會產生的現象。

#### 2.1.1 折射率

在光線直線前進中，由一介質進入另一介質，會改變光的行進路徑，產生折射現象，在光學中折射率是一個非常重要的量，通常以符號  $n$  來表示。介質折射率的大小，是定義成光在真空中的速率與光在介質中速率的比值，其方程式表示如下：

$$n = \frac{c}{v}$$

其中  $c$  為真空中的光速； $v$  為介質中之光速，以日常中常見物質為例，水的折射率約為  $n=1.33$ ，玻璃為  $n=1.5$ ，而空氣可視為  $n=1$ ，其他物質折射率如表 2-1，而折射率除了在真空中外，介質中的折射率又會隨著光波波長而改變，這種現象就會引起色散(dispersion)，但通常光在傳播時，隨著光波波長而導致折射率改變的量非常小，只有在很長的距離，常能觀察到色散現象，因此在導光板中並不加以探討其色散現象。對於任何介質而言，折射率可定義為其光學密度(optical density)，因此對於較大的折射率介質，可以說其具有較高的光學密度，一般稱為光密介質(optical dense medium)，而對於折射率較小的物質，則說其具有較低的光

學密度，一般成爲光疏介質(less dense medium)。

### 2.1.2 反射(reflection)與折射(refraction)定律

法國科學家 Fermat 提出光的行進路徑所應遵循的原則，稱爲 Fermat 定理，其定理說明光線傳遞過程必須遵守時間最少的原則，即光線必須遵守時間爲極值的原則來進行，換句話說，光從某 A 點傳至 B 點，總是沿著光路的極值路徑傳播，所謂的極值，是指光行進路徑函數曲線的極大值或極小值，或爲一個反曲點。因此由 Fermat 定理可知，光直行的概念是一個必然的結果，而光線所走的路線都是滿足路徑爲最小值的結果，也就是光在所選取的路徑行進時，所需花費的時間爲最少之光路程。

而 Fermat 定理也推導出光遇到兩種不同介質介面時，會產生反射與折射行爲。反射定律的定義爲光遇到障礙物時有一部分或全部返回原入射介質之現象。

其反射歸納爲三點原則：

1. 入射光、反射光和法線在入射面上。
2. 入射光、反射光在法線的兩測。
3. 入射角等於反射角， $\theta_i = \theta_r$

反射種類種類有兩種：

1. 單向反射：平行的入射光線，照射在光滑平面後，其反射光線亦爲互相平行的現象，稱爲單向反射，如圖 2-1
2. 漫射：平行的入射光線，照射在粗糙平面後，其反射光線四向分散之現象，稱爲漫射，如圖 2-2

而反射定律說明爲當光由 n 介質進入 n' 介質中，於 MM' 處有部分光線產生反射(Reflection)現象如圖 2-3，而其中反射現象的產生有三種條件：

1. 入射光、反射光和法線在入射面上。
2. 入射光、反射光在法線兩側。
3. 入射角恆等於反射角。

而折射定律的定義爲光從一介質進入另一介質時，改變進行方向之現象稱光的折射。因爲光自一物質進入他物質時其速度改變故產生折射。如銅幣在水中似

乎浮起，與米尺在水中似乎彎曲的現象為光的折射行爲；其折射現象說明為當光由n介質進入n'介質中於MM'處有部分光線會經由介面穿透到b介質中，如圖2-3，其折射現象的產生有三種條件；

1. 入射光、折射光和法線在入射面上。
2. 入射光、折射光在法線的兩側。
3. 入射角與反射角遵守 Snell's Law。

其中 Snell's law 的關係式表示如下：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

### 2.1.3 臨界角與全反射

在幾何光學中，討論光遇到平面上的反射或折射行爲，也可運用於曲面上，因為曲面也可以視為由無限多各平面所組合而成，當一光線由光疏介質進入光密介質如圖2-4，根據折射定律，其折射角會隨著入射角的增加而增加，然而折射角都比入射角來的小，這種現象稱為外反射(external reflection)。

若光線由光密介質進入光疏介質時如圖2-5，根據折射定律，折射角亦會隨著入射角的增加而增加，然而折射角卻都比入射角來的大，這種現象稱之為內反射(internal reflection)。

在內反射現象中，當入射角在某特定角度時，折射角為 $90^\circ$ ，而入射角持續增加時，折射現象不再產生，因而沒有折射光，全部的光線都被反射回原來的介質中，簡單的說，當光自光密介質( $n_2$ )進入光疏介質( $n_1$ )時，折射線偏離法線，即 $\theta_2 > \theta_1$ ，如圖2-6。故當入射角增加到某一角度時( $\theta_c$ )，折射角為 $90^\circ$ ，入射角再增加，光線不再折射而全部反射，稱為全反射(Total Internal Reflection)現象。而折射角為 $90^\circ$ 時之入射角稱為臨界角，如圖2-7之 $\theta_c$ 。其推倒關係式如下：

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\therefore \theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1} = \sin^{-1} n_{12}$$

## 2.2 導光板的光學設計

導光板的是利用其對光的幾何特性，包含了光線的折射、反射與全反射現象，主要的目的是希望將側邊的點光源或線光源，在進入導光板後可以將光線均勻的由出光面導出，提供液晶顯示器照明的面光源，在期望點光源轉換成均勻面光源的目的下，必須探討光線進入導光板後的路徑，如圖2-8，在側邊入光下，燈管提供一線光源、LED提供點光源，在光源產生的光線經過空氣介質進入導光板內，可視為光線由光疏介質進入光密介質，以入光面的法線為基準，光線由法線角度範圍 $0^\circ \sim \pm 90^\circ$ 進入導光板，根據 Snell's Law，當入射光線接近 $90^\circ$ 時，其進入導光板內的折射角會等於全反射之臨界角，根據臨界角的公式推導出進入導光板的折射光線分別以法線兩側形成椎狀分佈之角度為

$$2 \sin^{-1} \left( \frac{\text{空氣折射率 } n_1}{\text{導光板折射率 } n_2} \right)$$

因此可知當導光板的折射率越高，其進入導光板的光線越集中，而進一步推導出當導光板以 PMMA 為例，其折射率為 1.49，因此其臨界角為  $42.15^\circ$ ，根據光線進入導光板的角度計算，光線與導光板出光面法線的夾角為  $47.85^\circ$ ，如圖 2-9，故導光板內部的光幾乎皆會產生全反射，不斷的在導光板內部傳遞；依照這樣推論，要使導光板由出光面出光，導光板必須先破壞光在內部的全反射，增加光線由出光面導出的機會，所以導光板的設計上有外型的變化或在面上增加特殊結構，由於這些結構的目的是增加光學的效果，所以我們稱這些特殊結構為導光板的光學特徵，在目前導光板的光學特徵上，有下列三種設計方式：

### 1. 楔形板

利用導光板的外形變化，破壞光線的全反射，將導光板的反光面也就是底面，由入光源至光源遠端，設計其厚度由厚到薄，如同一楔形板如圖 2-10，只要將楔形角度設計大於  $42^\circ$ ，在光線進入導光板後依然遵照著全反射定理在

內部做全反射，直到變窄的遠端，其入射角也著變小，直到入射角小於全反射臨界角時，光線會由出光面產生折射出光，其楔形窄化的方式，就是希望遠光源端的出光增加，而近光源端的出光減少為主要設計要領，達到均勻出光的照明效果。

## 2. 網點擴散

此方法是傳統導光板的光學特徵製程，以高反射率的油墨，網點印刷方式印刷，並以不同密度的點狀分佈印在導光板的反射面，其原理是利用光的散射現象，使光線碰到網點時，改變反射角後再由出光面出光，如圖 2-11 所示，光線進入導光板後，依照全反射原理，不斷的產生全反射現象，直到光線射到網點後，光線發生擴散與散射現象產生多條光線，直到散射光線的入射角小於全反射角時，即導出出光面，反之，光則在導光板內持續反射傳播與散色，直到再次射至網點，導出導光板。其製程概念是將網點在近光源端，有較少的網點密度分佈，是希望近光源端的出光機會減少，而遠光源端則有較高密度的分佈，以增加光線出光的機會，簡而言之，分佈密度與距光源的距離成正比關係，其設計亦有改變網點的大小，在近光源端設計較小網點的分佈，而遠光源端，則設計為較大的網點，不論是密度上的分佈或是網點大小的不同，主要設計目的都是希望可以使光線導出導光板時為均勻的面光源。

## 3. 微結構

這類的方式為非印刷式製程主要設計概念是直接對導光板的表面，改變其幾何形狀，利用精密加工在導光板模具的模仁，直接做材料移除，經過射出成形，把設計的幾何形狀轉寫至導光板的表面上，藉著表面的幾何形狀，改變導光板內部光線的入射角，再導出導光板，而其幾何形狀的設計，有圓點狀與 V 型溝兩種。

圓點狀式係用蝕刻、微影製程或電鑄方式加工導光板的模仁，使模仁上產生圓點狀的表面，成形的微結構又稱 DOT 或 SPOT，如圖 2-12 所示，其設計參數有圓點的半徑、深度和分佈密度，而其對光學的概念，基本上與網點印刷的設計是一樣的，藉著圓點的特徵，破壞光線的全反射，以蝕刻製程的光學特徵，其表面為粗糙面，會使光線呈現漫射，當導光板內漫射的光線之

入射角小於臨界角時，光即被導出導光板由出光面出光；而利用微影製程的光學特徵，會較蝕刻的光學特徵平滑，藉著外形的變化改變光線的折射角，直到入射角小於臨界角，光即被導出導光板。

而 V 型溝的微結構又稱 V-CUT，又以加工方式的差異，有內 V 與外 V 形式，如圖 2-13 所示，當進入導光板的光線遇到 V-CUT 時，改變了光的路徑，也就是改變了入射角，當入射角小於臨界角，產生折射，即導光導光板，而當入射角大於臨界角時，光線會被其幾何形狀，反射偏向至出光方向，直到在導光板內不斷全反射的入射角度小於臨界角時，將光線導出導光板的出光面。其 V-CUT 的設計參數有角度、V 溝的間距(pich)與溝深度，在角度與深度設計上，主要是將光線導引至出光面法線方向，盡可能避免光線能量在導光板內損失，間距設計則是利用 V 溝的排列密度，使光線達到均勻出光的效果，當排列間距大時，入射角的改變較小，導出的光線較少，當排列間距小時，入射角較改變大，導出導光板的光線就多，因此在近光源端，V-CUT 的間距設計較大，隨著增加遠離光源端的距離，其間距則會變小。其 V-CUT 的出光效益數學式如下：

$$\eta' \propto \left( \frac{w}{w + p} \right) \cdot f(\theta) \cdot g(\phi) \cdot \varepsilon$$

其中 W 為 V-CUT 底面寬度，p 為間距， $\theta$  為導光板內入射光和正向法線之夾角， $\phi$  為導光板內出光和正向法線之夾角， $\varepsilon$  為出光率。

## 2.3 設計方法

本研究導光板設計一 2.5 吋，厚度為 0.3mm 的薄形平板，側邊光源為 4 顆 LED 點光源，光學特徵則為 V-CUT 微結構，針對以上的設計條件進行模擬，在光學設計上，以 Trace Pro 光跡追蹤軟體進行光路模擬分析與光學特徵的參數設計，其導光板的尺寸如圖 2-14 所示，而背光模組結構如圖 2-15 所示。

### 2.3.1 Trace pro 光學模擬

Trace pro 為美國 Lambda Research 公司所開發的光跡追蹤軟體，也是首套符合 ACIS 固體模型標準所發展出來的光機軟體，可做一般傳統光學分析、照明系統

分析、輻射度以及光度分析，屬非序列描光軟體(Non-Sequential Ray Tracing)，所謂的序列描光如圖 2-16 所示，是指以表面(Surface)為單位，光線從表面 1 到 2...7 會依順序做計算，而且每一表面只運算一次，而非序列則是以物件(Object)為單位，而光線在一個表面上並不只做一次計算，所以會較接近真實世界如圖 2-17 所示，Trace pro 是以蒙地卡羅(Monte Carlo)方式進行描光，Monte Carlo 是一種採隨機方式計算的數值方法，一開始以亂數決定光線在物體的位置及射出方向，當光在物件表面上運算時，又隨機的決定光線的散射，只要設定的光線數越多，並進行光線對不同材料對光學特性的吸收、折射、反射與全反射現象，就越接近真實系統。

### 2.3.2 超薄型導光板光學模擬設計

在導光板的光學特徵設計上，本研究將在入光面、出光面與反光面設計具有光學微特徵，在不同表面的光學特徵有著不同的設計目的，光學設計流程如圖 2-18，入光面的光學特徵主要是希望利用表面上的微結構增加受光面積，增加光線的利用率，並使光線均勻的進入導光板，減少光源所產生的亮暗帶，如圖 2-19，而反光面則利用光學特徵的疏密分佈來使光線均勻分佈於導光板的發光區域達到高均齊性的光學效果，出光面的微結構則是使出光的光線更集中於正式方向，以提高導光板的整體輝度如圖 2-20。由圖可看出在出光面無微結構的導光板在光路模擬上，對於出光面的法線有較大的角度，而在俱有微結構的導光板的出光表現則有較為集中，因此出光面表面上的微結構，可以有效的提高正向光源，增加背光模組的整體輝度。本研究中入光面及出光面延用黃彥文[9]的設計參數，入光面的 V-cut 設計角度為  $110^\circ$ 、深度為  $31.5 \mu\text{m}$  以連續等間距分佈，出光面的 V-cut 設計角度為  $120^\circ$ 、深度為  $14.4 \mu\text{m}$  以連續等間距分佈，導光板上入光面與出光面的微結構的設定尺寸與分佈如圖 2-21 所示，而反光面的設計則使用光學模擬軟體來設計光學特徵不等間距的分佈參數。

反光面的光學微特徵設計參數有 V-CUT 的角度、深度和 V-CUT 分佈的間距，針對角度的設計，考慮在射出成型的塑膠充填特性，在越小的特徵角度下，熔膠進入特徵的成形不易，且太小的特徵在高充填壓力下會增加對鍍銅的磨損，設定角度為  $120^\circ$ ，而 V-CUT 的深度設定為  $6 \mu\text{m}$ ，以在結果討論中對於  $0.3\text{mm}$  厚度，V-CUT 深度相同為  $6 \mu\text{m}$  的導光板作成形上的比較。因此在本研究中，主要的設計

為 V-CUT 的分佈間距，反光面的 V-cut 微結構尺寸如圖 2-22 所示。

首先在 tracepro 軟體建立 2.5 吋的背光模組模型，分別定義材料特性與光源性質後，進行光學模擬分析，以光照圖的模擬結果，進行九點分析，九點位置為圖 2-23 所示，計算出背光模組光學效果的好壞，其均齊度的九點計算公式如下：

$$(\text{最小輝度值}/\text{最大輝度值})\times 100\%$$

本研究把導光板的反射面劃分為 5 個區塊，10 各區域與 15 個區域，依照實際產出導光板後，組裝成背光模組進行輝度量測，發現 15 分段的光學效果表現最好，以此本實驗設定反光面上分割為 15 個等區域；

依據先前的說明，了解微結構的功用在於破壞光的全反射，並將光線導引向上，因此在近光源側應設計較少的微結構分佈，而遠光源端則盡量高密度的分佈，以提高遠光源側的出光率，在設計上從光源側到遠光源側，微結構分佈以疏到密的方式進行主要的設計方向，設定的特徵密度說明如表 2-2 所示，基本上，在密度的設計以 V-cut 的 PITCH 長度為一單位，設計值如表 2-3 所示，表中顯示 A、B、C、D、為延用宋昱廷【10】的設計參數，依照相同條件設計新參數 E，比較模擬五種設計如圖 2-24 新設計 E 有較高的輝度直較低的標準差較前四種設計佳，將設計值整理以折線圖表示，如圖 2-25，由圖可觀察出，這五種設計中，在光源端的密度都很低，在靠近遠光源側密度分佈變化則越趨劇烈。

超薄形導光板的表面微結構設計，其入光面 V-CUT 設計角度為  $110^\circ$ 、高度  $31.5\mu\text{m}$ 、Pitch  $90\mu\text{m}$ ；出光面 V-CUT 設計角度為  $120^\circ$ 、高度為  $14.4\mu\text{m}$ 、Pitch  $50\mu\text{m}$  V-CUT 溝槽方向與光線前進方向平行，入光側與出光面 V-CUT 皆為等間距連續 V-CUT 的設計；而反射面 V-CUT 其設計角度為  $120^\circ$ 、高度為  $6\mu\text{m}$ 、Pitch  $20.78\mu\text{m}$  且 V-CUT 溝槽方向與光線前進方向垂直，而 V-CUT 分佈為不等間距的設計。其模擬後各設計的光照圖結果分別如圖 2-26 所示，其九點位置的光學表現如表 2-4 所示，由九點計算出均齊性 A 設計為 62.1%、B 設計為 61%、C 設計為 70%，D 設計為 71%、E 設計為 77.1%，對於小尺寸背光模組而言，本研究期望光學表現上有 70% 的均齊度，在模擬結果中，以 E 設計的結果較前四種設計佳，因此本研究選擇以 E 設計為模仁微結構的加工參數。

超薄形導光板光學設計完畢，接著就以整體背光模組進行光學分析模擬，於

導光板上方加入 1 片擴散片及 2 片稜鏡片的光學膜片，於導光板上方 500mm 的觀察面，觀察其光學性質。其分析結果如圖 2-27 所示，薄形化背光模組其最高輝度為 1914nt、輝度均齊性為 77.1%。



表 2-1 各物質的折射率

物質	折射率
空氣	1.0003
水	1.33
鑽石	1.5~1.9
玻璃	2.42
石英	1.54
PMMA	1.49
PC	1.58
PS	1.59
COC	1.53

表 2-2 V-CUT 密度表示說明

密度 (分子為 V-CUT 出現的次數， 分母為總 PITCH)	圖示
1/10	
2/7	
4/5	
1	

表 2-3 V-CUT 設計

	A	B	C	D	E
NO.1	1/70	1/70	1/75	1/80	1/80
NO.2	1/21	1/30	1/50	1/47	1/50
NO.3	1/16	1/18	1/40	1/35	1/35
NO.4	1/11	1/15	1/30	1/40	1/40
NO.5	1/8	1/11	1/20	1/30	1/30
NO.6	1/5	1/8	1/15	1/18	1/16
NO.7	1/4	1/7	1/11	1/12	1/12
NO.8	1/3	1/6	1/9	1/8	1/8
NO.9	2/5	1/4	1/7	1/7	1/7
NO.10	1/2	1/3	1/5	1/6	1/6
NO.11	3/5	2/5	1/3	1/5	1/5
NO.12	2/3	1/2	2/5	1/3	1/4
NO.13	3/4	2/3	3/5	5/9	6/9
NO.14	4/5	3/4	3/4	3/4	4/5
NO.15	2021	17/18	9/10	14/15	14/15

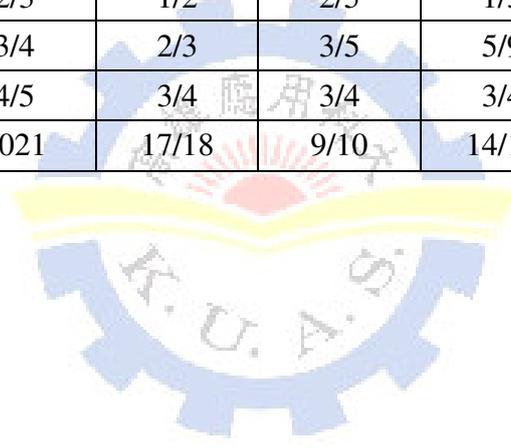


表 2-4 九點位置輝度值

<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 50px;"></td> <td style="width: 50px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">2</td> <td style="width: 50px; text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">光源側</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">6</td> </tr> <tr> <td style="width: 50px;"></td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> </table>					1	2	3	光源側	4	5	6		7	8	9
	1	2	3												
光源側	4	5	6												
	7	8	9												
			澆口側												
單位：nt															
A 均齊度：62.1%	1051	1167	1065												
	1604	1782	1644												
	1069	1147	1107												
B 均齊度：61%	1147	1208	1101												
	1681	1855	1638												
	1075	1231	1090												
C 均齊度：70%	1289	1278	1108												
	1684	1818	1747												
	1256	1265	1194												
D 均齊度：71 %	1180	1324	1288												
	1657	1823	1733												
	1139	1338	1300												
E 均齊度：77.1%	1603	1914	1662												
	1647	1857	1476												
	1749	1846	1865												

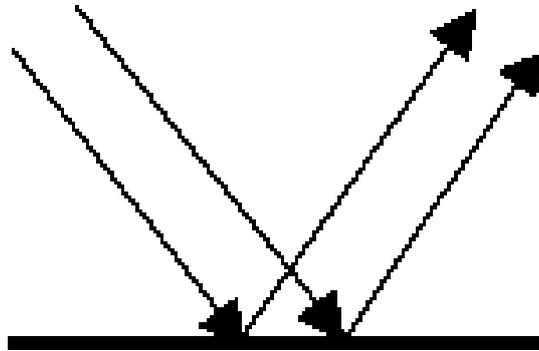


圖 2-1 單向反射

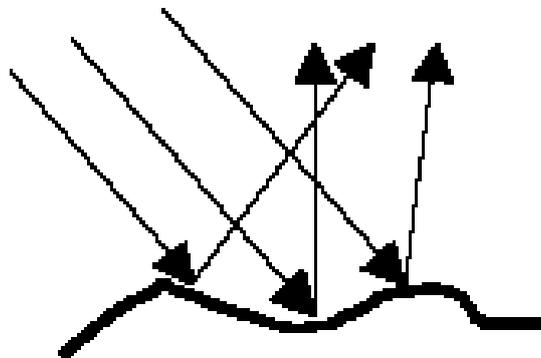


圖 2-2 光的漫射

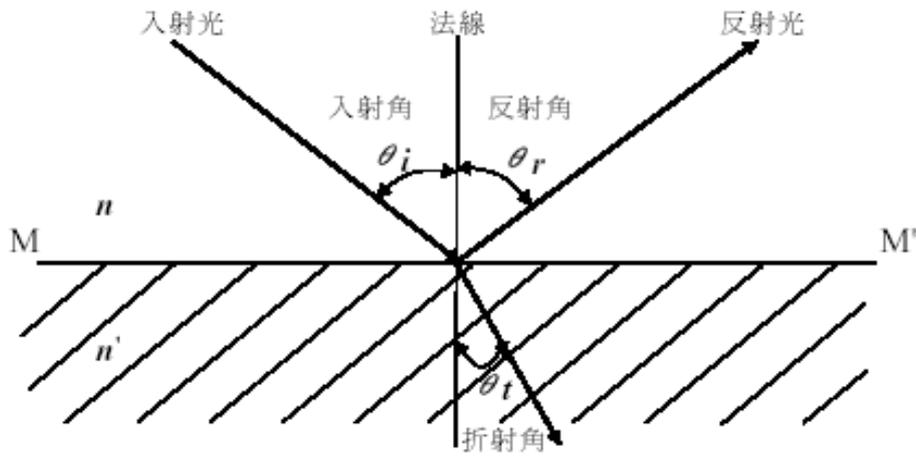


圖 2-3 反射與折射定律

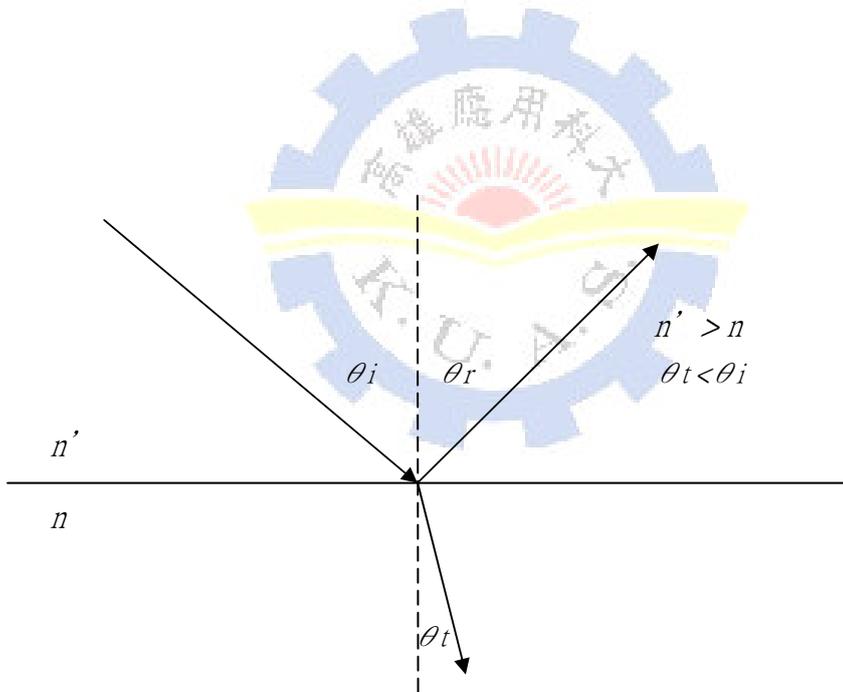


圖 2-4 外反射

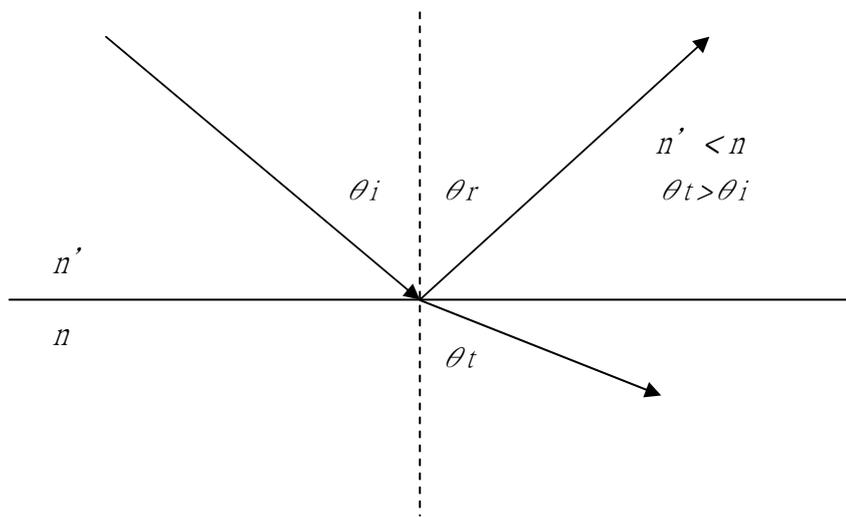


圖 2-5 內反射

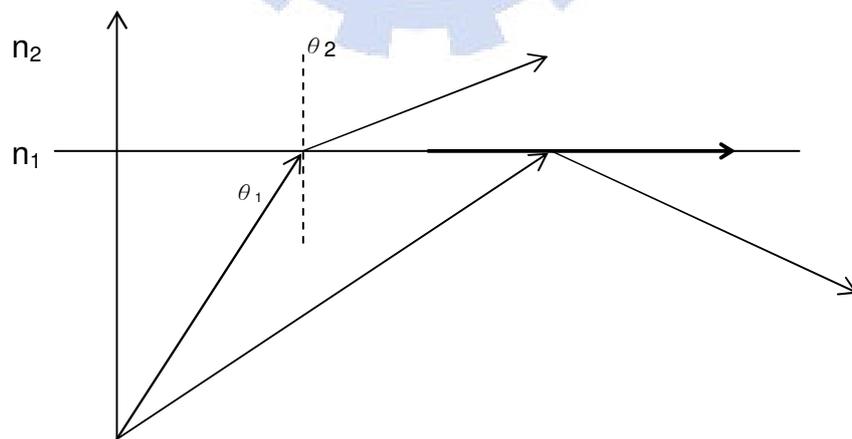


圖 2-6 全反射

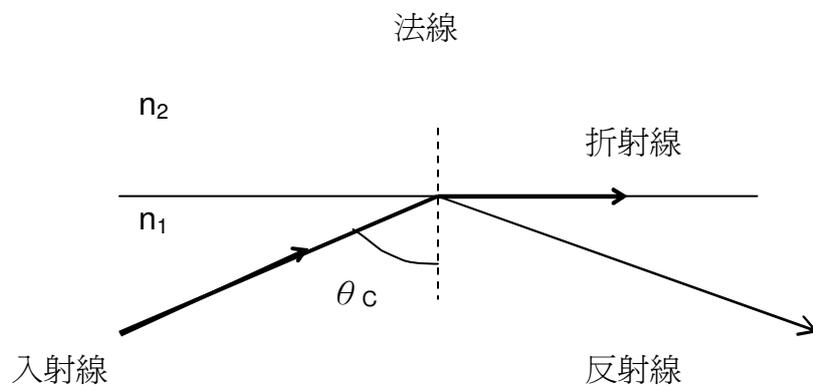


圖 2-7 臨界角

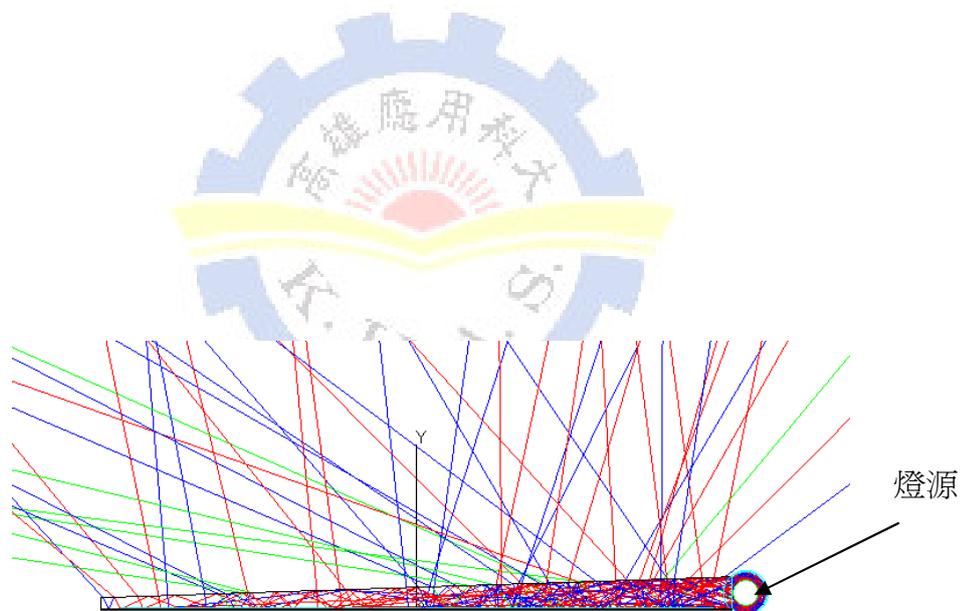


圖 2-8 導光板的光路模擬圖

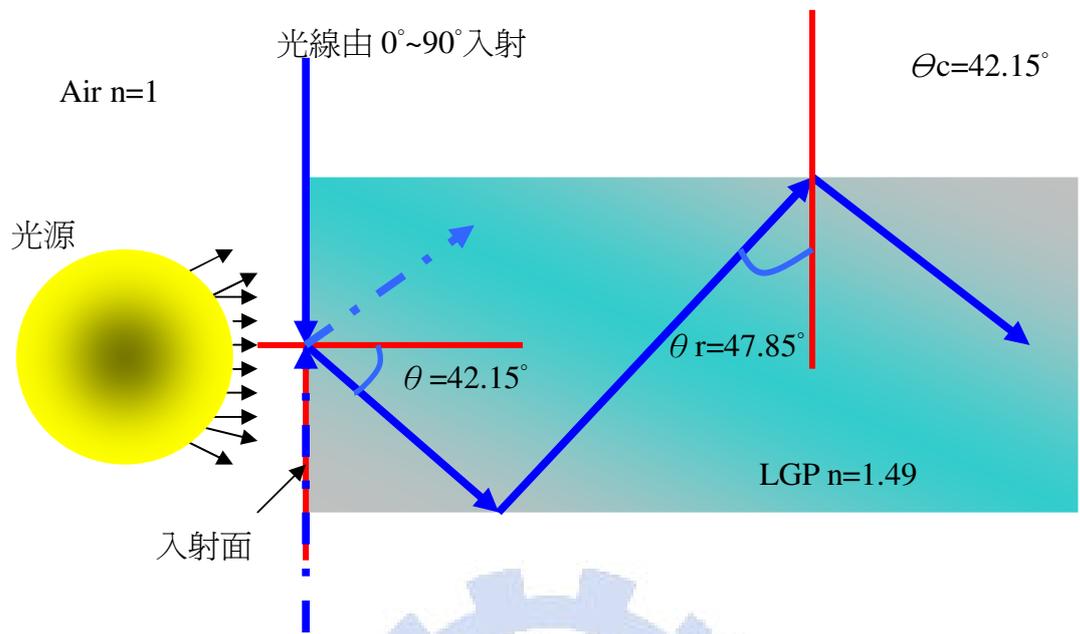


圖 2-9 光線在導光板內的路徑

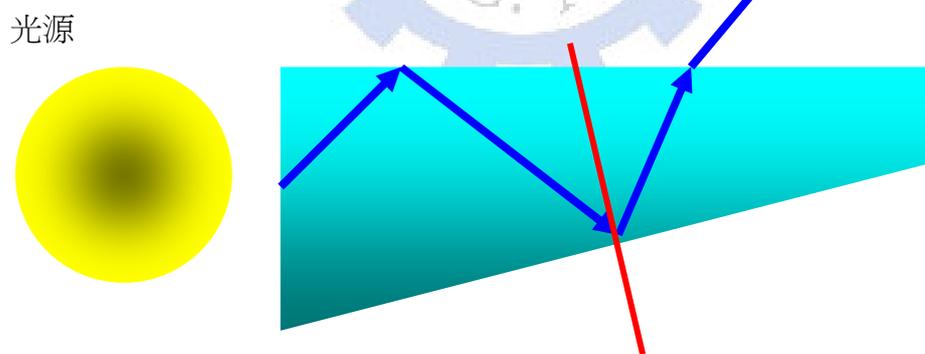


圖 2-10 楔型導光板的光線路徑

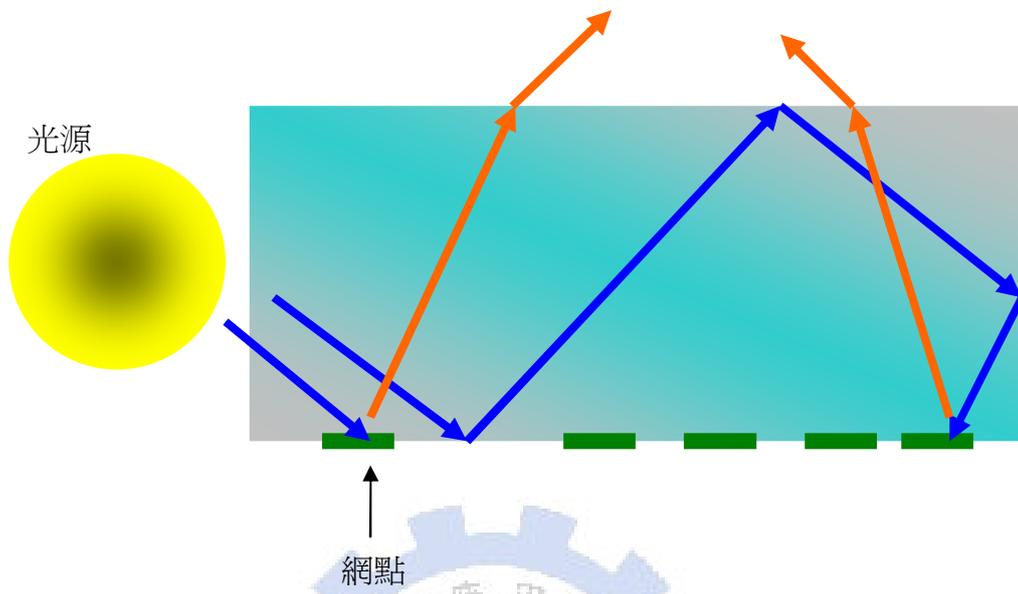


圖 2-11 網點擴散導光板的光線路徑

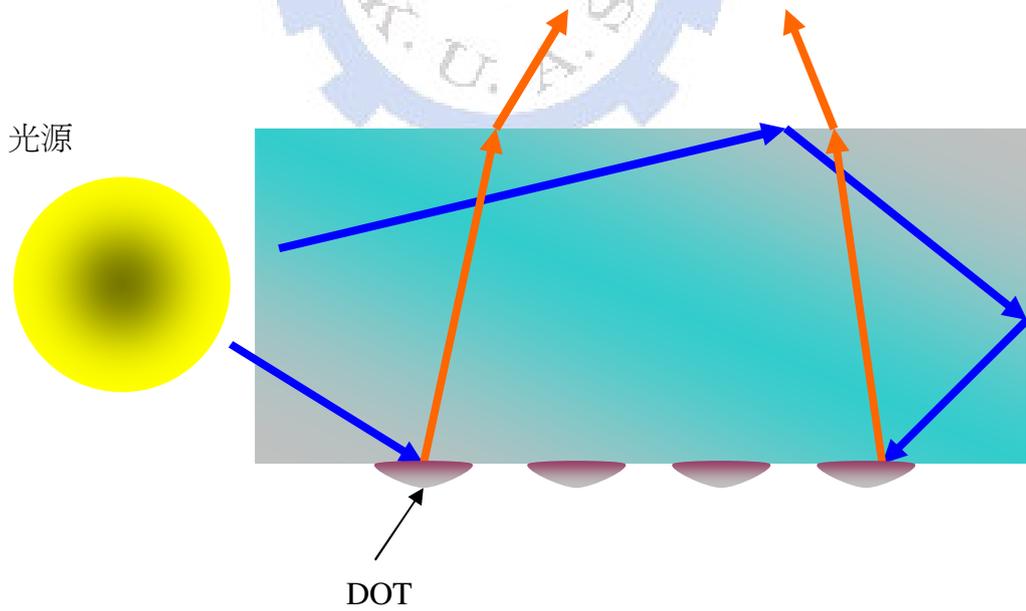


圖 2-12 DOT 導光板的光線路徑

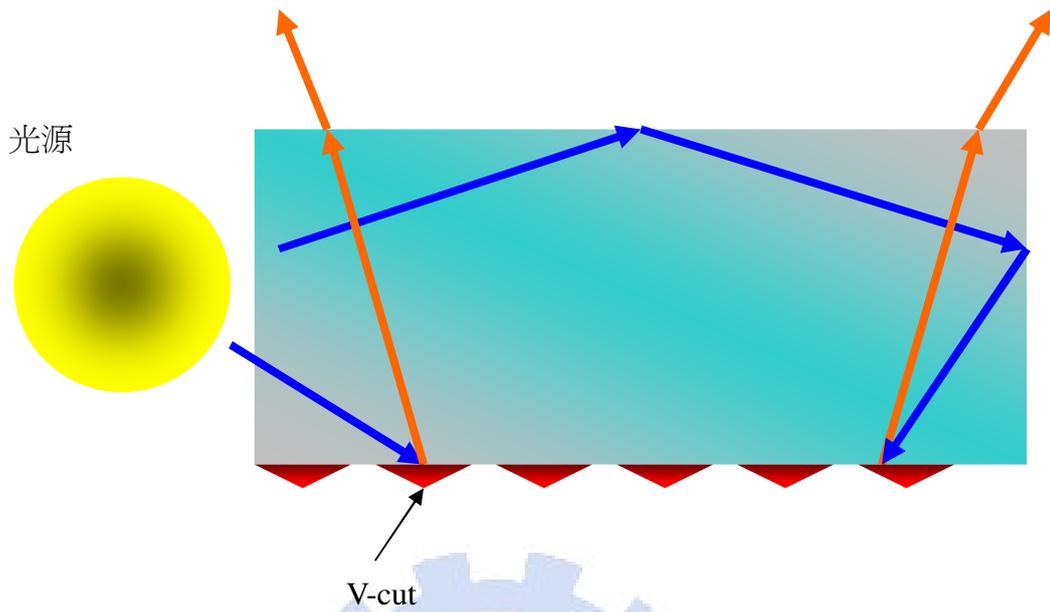


圖 2-13 V-cut 導光板的光線路徑

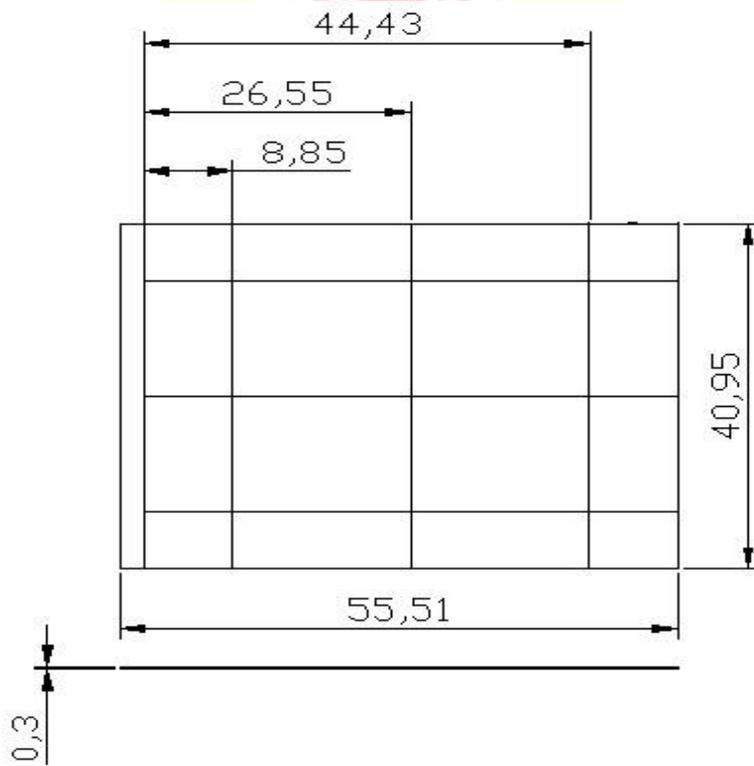


圖 2-14 導光板尺寸

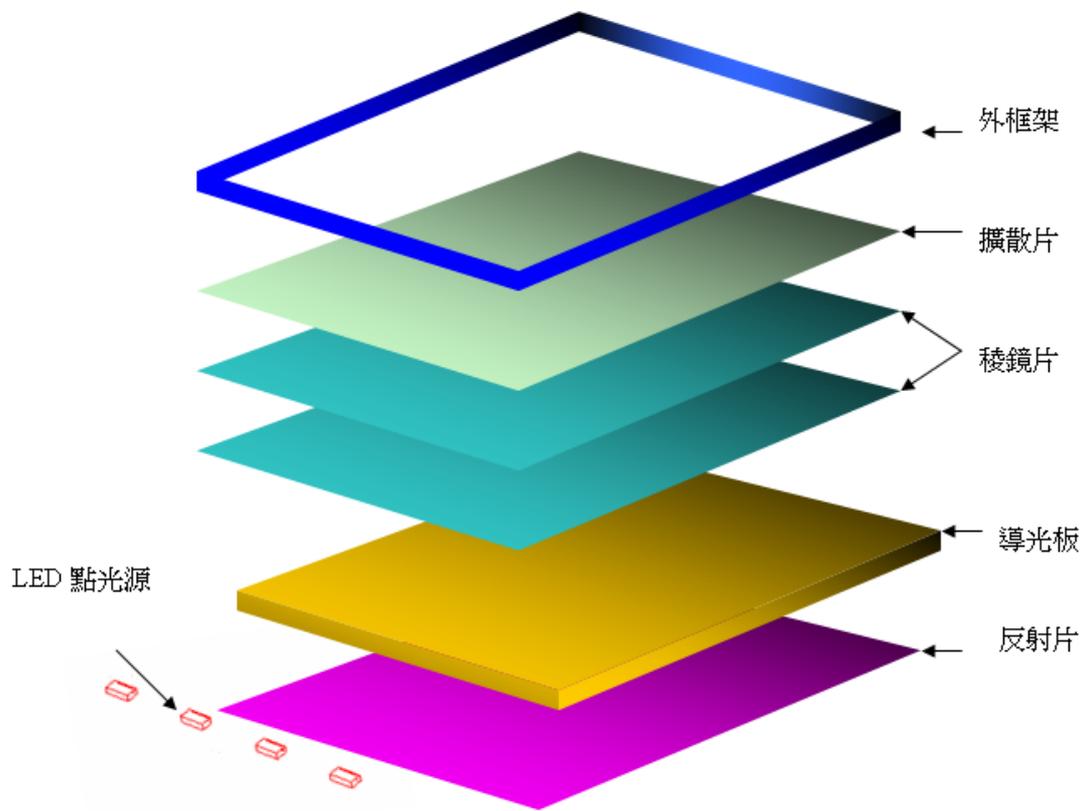


圖 2-15 背光模組結構圖

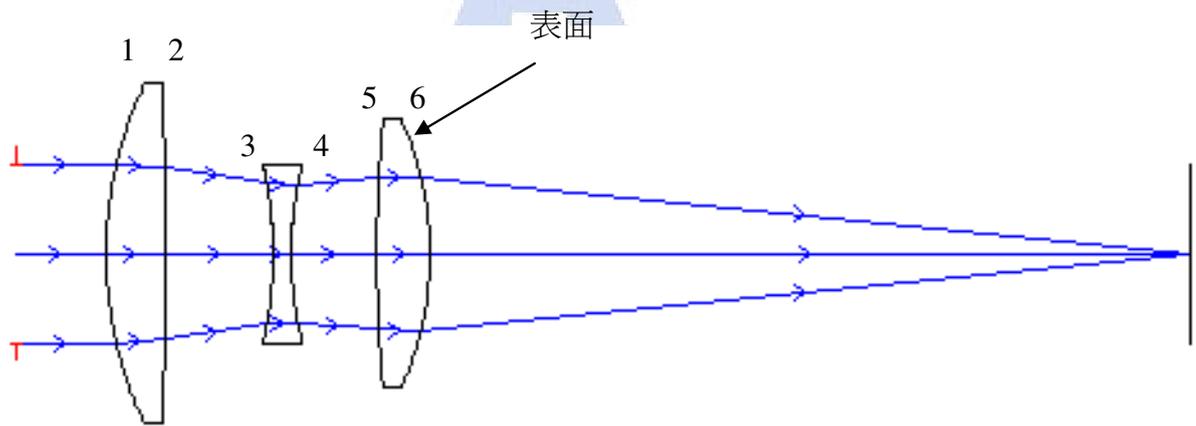


圖 2-16 序列性描光

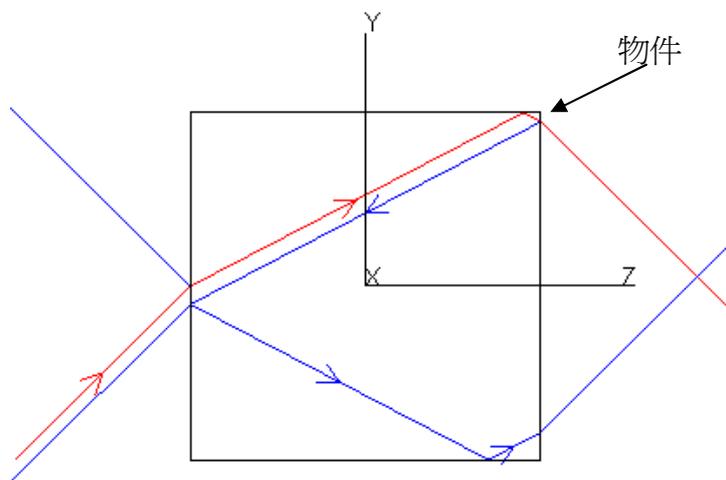


圖 2-17 非序列性描光

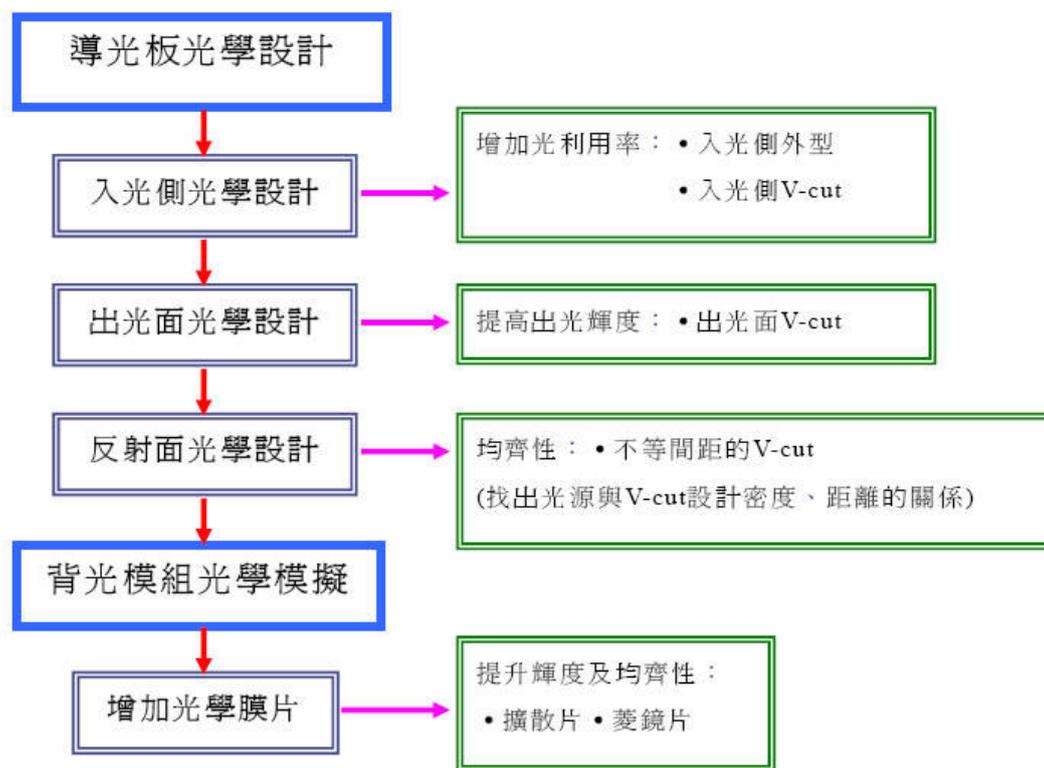


圖 2-18 超薄形導光板光學設計流程圖

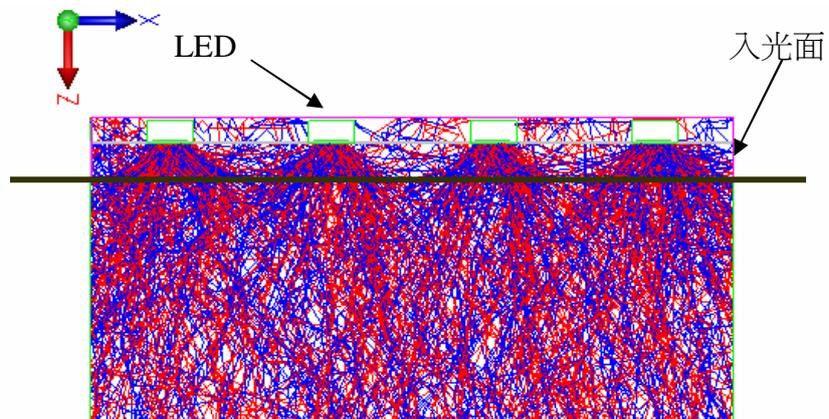
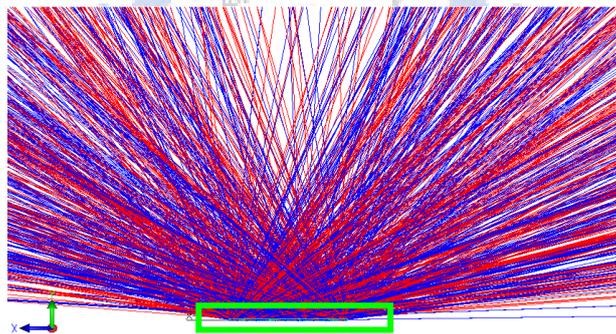
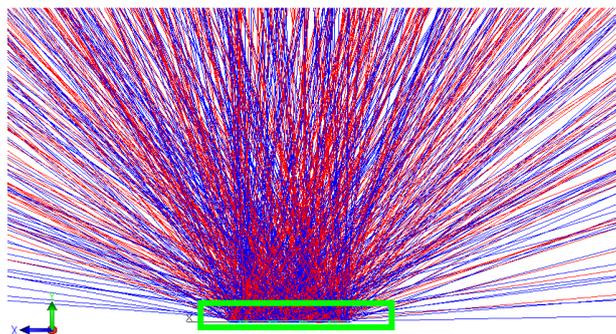


圖 2-19 入光測的光線模擬



導光板 出光面無微結構



導光板 出光面有微結構

圖 2-20 出光面微結構對光路的影響

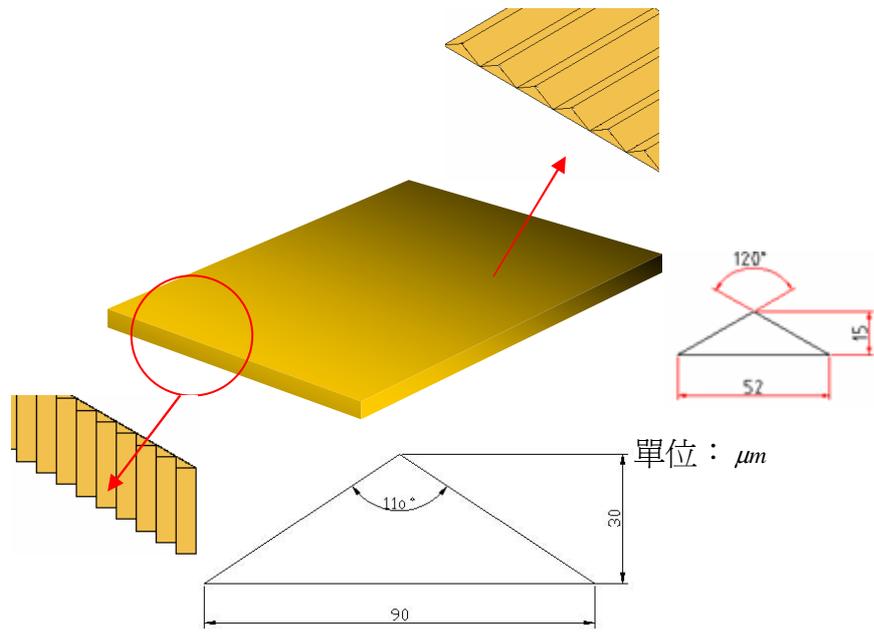


圖 2-21 導光板入光與出光微結構尺寸圖

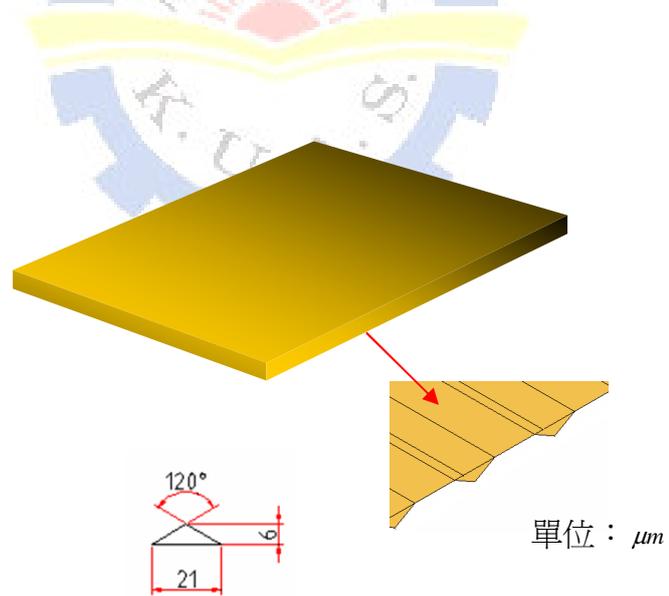


圖 2-22 導光板反光面微結構尺寸圖

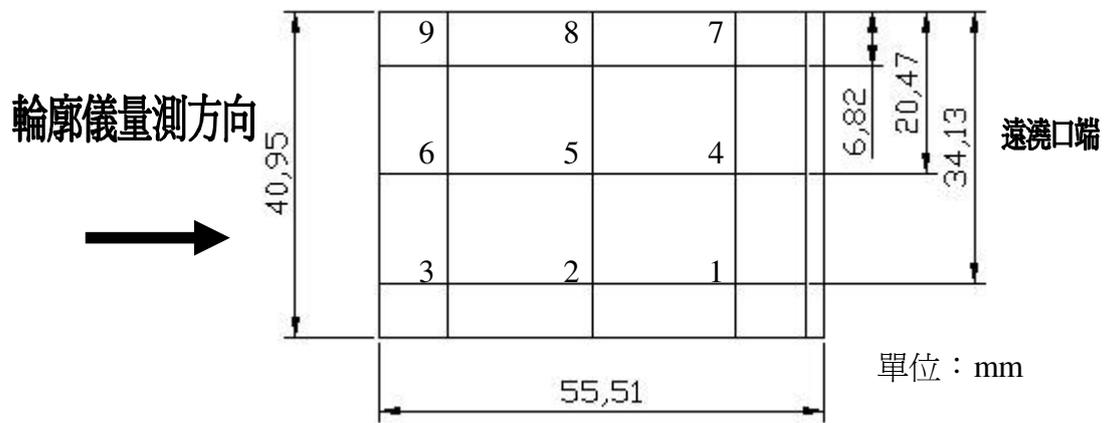


圖 2-23 九點位置圖

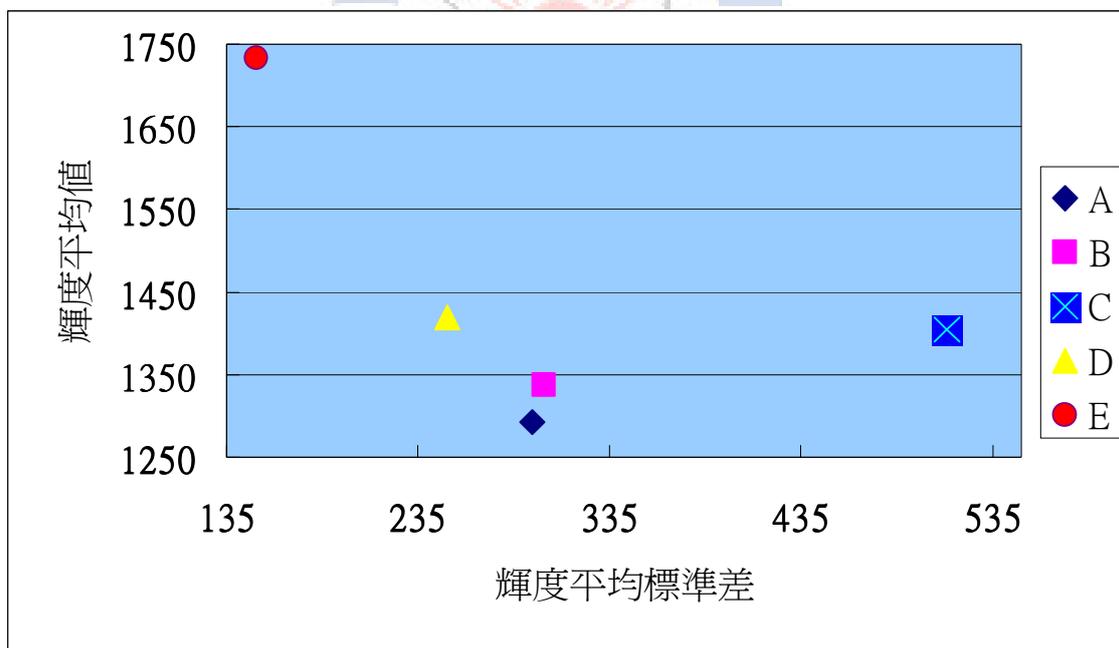


圖 2-24 五種設計輝度平均值與輝度平均標準差圖

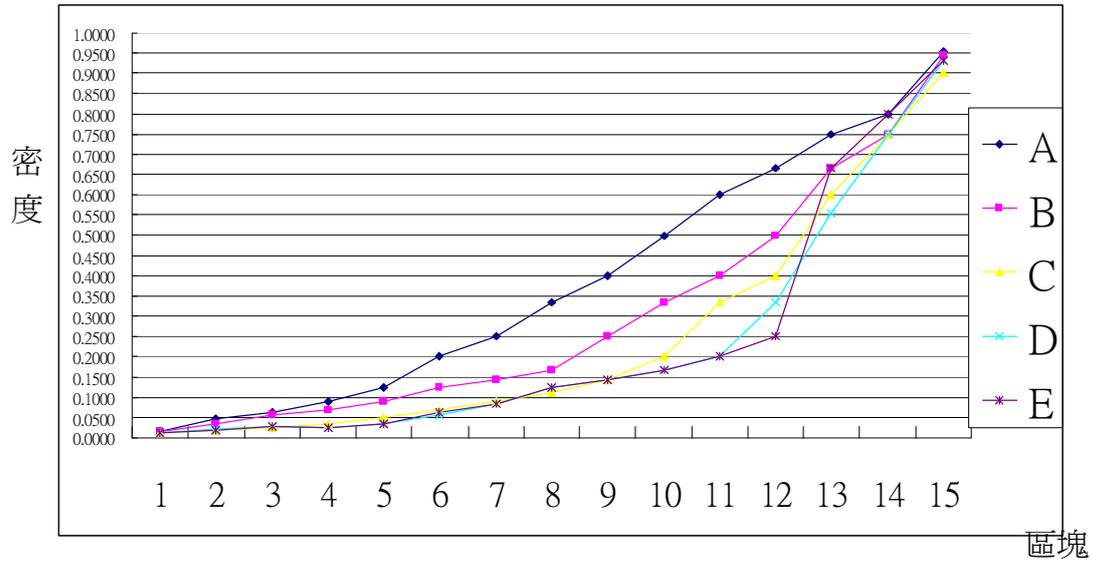
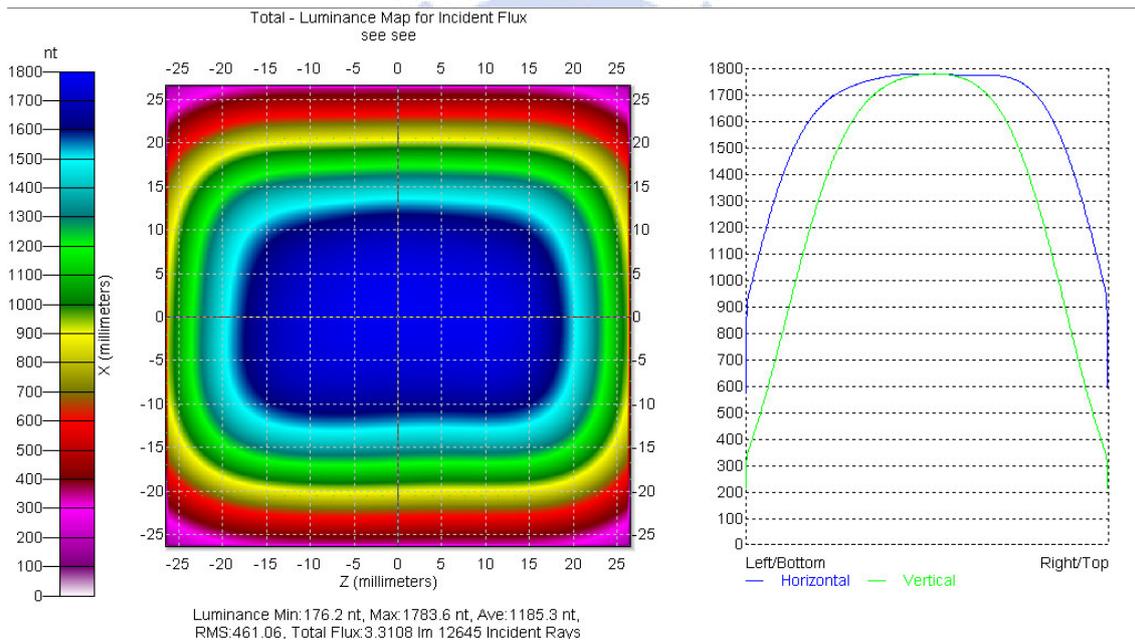
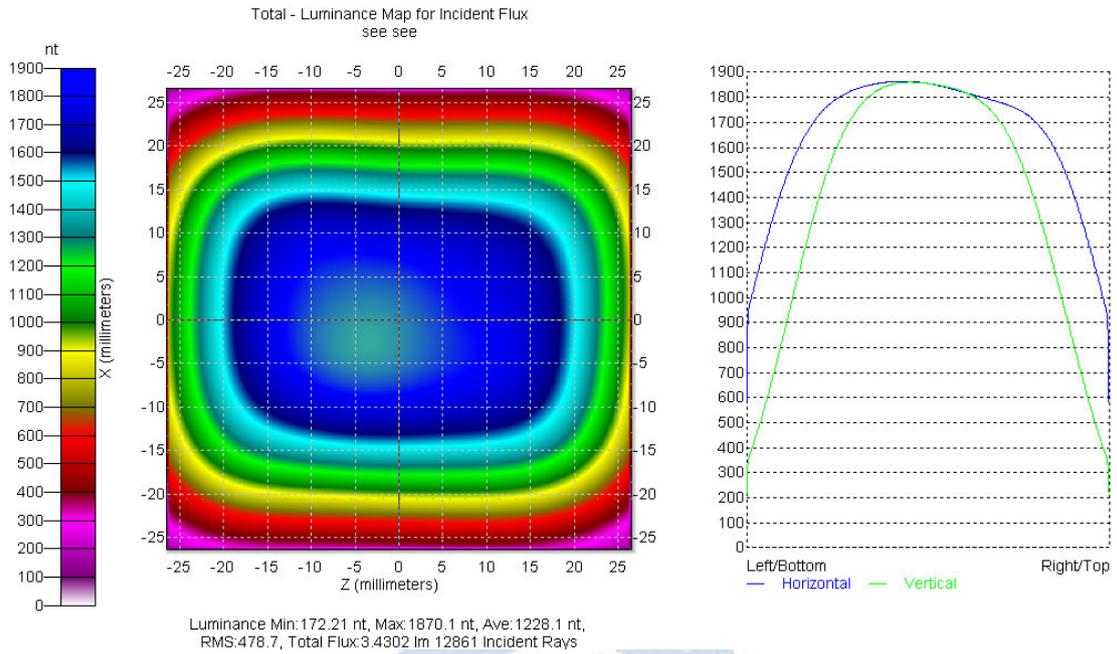


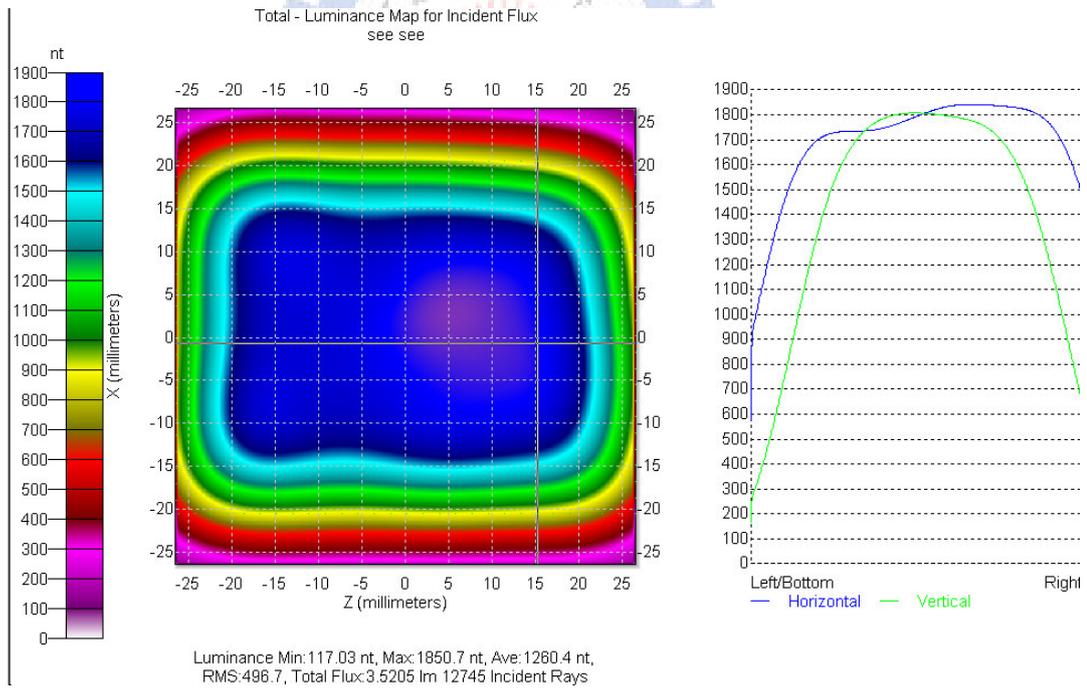
圖 2-25 微結構密度曲線圖



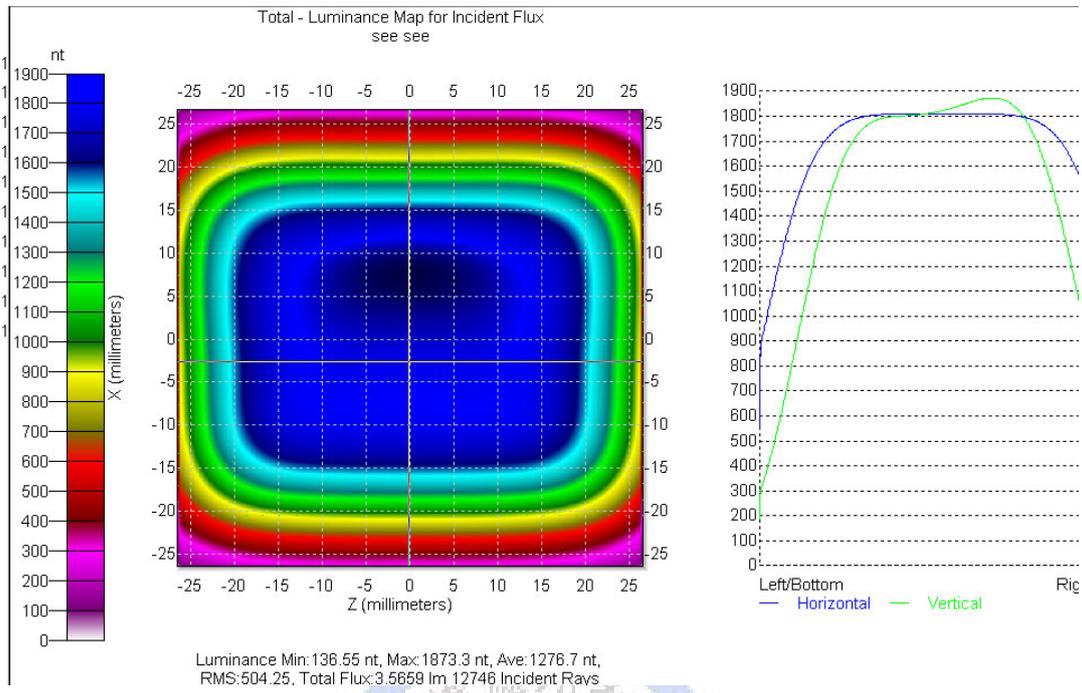
A 設計模擬光照圖



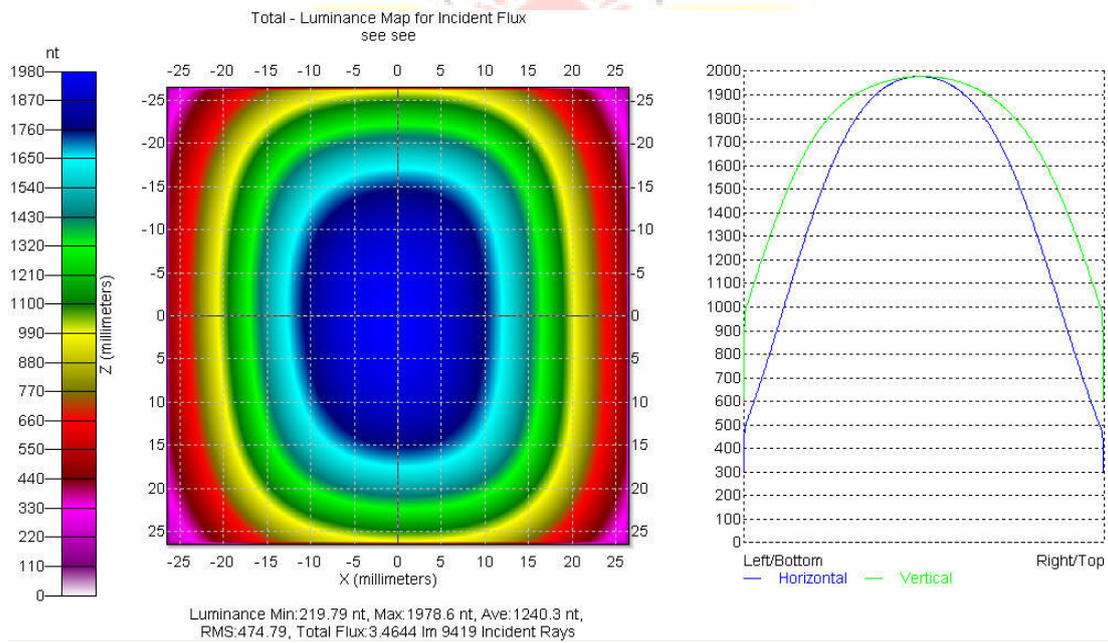
### B 設計模擬光照圖



### C 設計模擬光照圖



### D 設計模擬光照圖



### E 設計模擬光照圖

圖 2-26 各設計的模擬光照圖

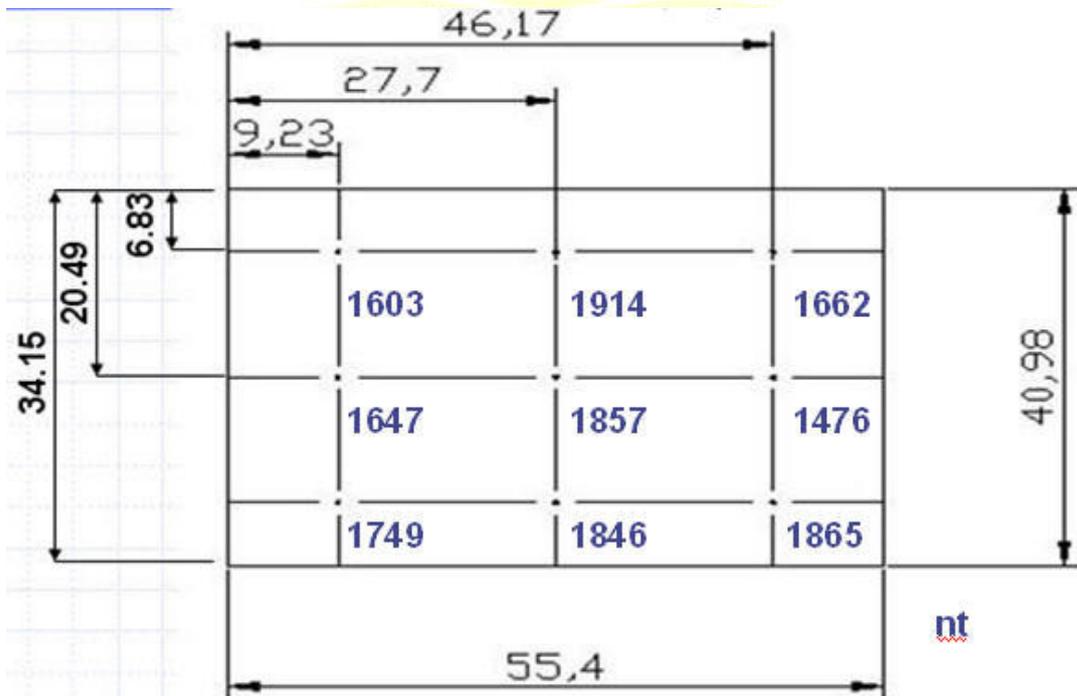
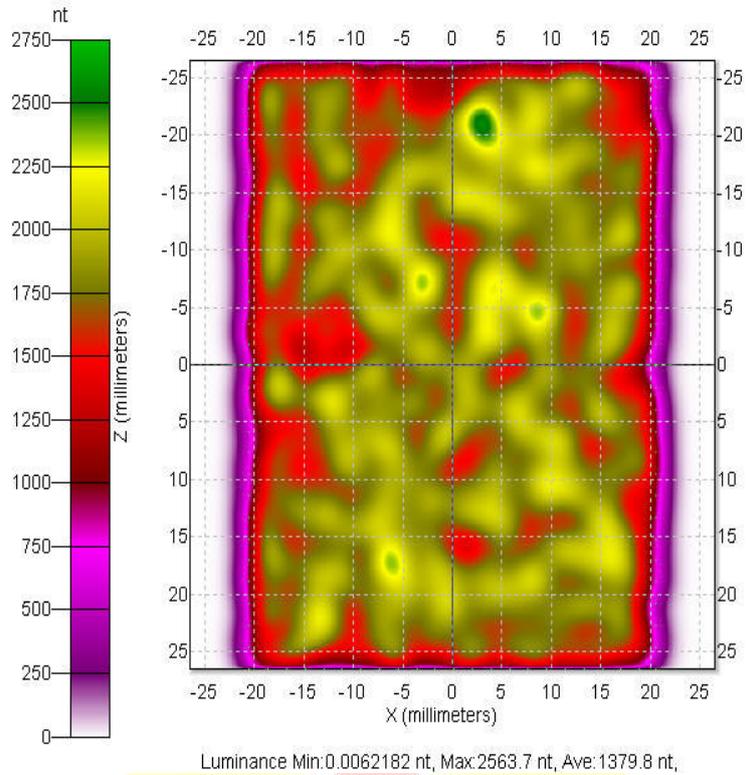


圖 2-27 模擬分析九點輝度圖

## 第三章 成形原理與模具設計分析

### 3.1 高分子加工與應用

塑膠是一種人造的高分子化合物，是由原料的單體(monomer)化合物經聚合而成的聚合物(polymer)。一般而言，塑膠原料可大分為兩大類：「熱塑性塑膠」(Thermoplastic)及「熱固性塑膠」(Thermosetting)。熱塑性塑膠在常溫下通常為顆粒狀，加熱到一定溫度後變成熔融的狀態，將其冷卻後則固化成型，若再次加熱則又會變成熔融的狀態，而可進行再次的塑化成型。因此，熱塑性塑膠可經由加熱熔融而反覆固化成型，所以熱塑性塑膠的廢料通常可回收再利用，亦即有所謂的「二次料」。相反的，熱固性塑膠則是加熱到一定溫度後變成固化狀態，即使繼續加熱也無法改變其狀態。

高分子又常被稱為聚合物，最簡易的定義為由許多單位以鏈狀組成的一個大分子，而高分子流體大多具有剪切致稀、正向力差異等特性，因此它的流動行為通常與一般的牛頓流體不同，所謂牛頓流體(Newtonian fluid)是指流體在層流時，流動行為符合牛頓黏度定律者稱之。牛頓流體的黏度不隨速度而變，而其速度分佈呈拋物線形。大部份流體如水、酒精、空氣等屬於此類。而非牛頓流體(non-Newtonian fluid)是指流體形為不符合牛頓黏度定律者，且無法使用牛頓定律來描述基本的應力和速度梯度的關係式。由於高分子流體同時具有黏度和彈性的特質，故也有人將高分子流體稱為“黏彈體”(viscoelastic fluid)。典型高分子加工程序主要包含以下三個階段：

1. 將固態高分子經由加熱使其成為融熔態，若有需要可將具有調整高分子流體特性的添加劑(additives)加入高分子流體中，使其均勻混合；
2. 高分子流體流過模口(die)成為押出物(extrudates)；
3. 將押出物導入不同的產品模型中成型固化。

因此在高分子加工技術的應用有混合、押出(extrusion)、射出、吹瓶、熱成膜(thermoforming)、壓縮及輪壓(calendering)等。以下針對本研究所應用的射壓成形，做進一步的介紹：

### 3.2 射出壓縮成形(injection compression molding, ICM)

射出壓縮成形起源於 1960 年，由英國 Rolinx 公司發明，經過長期的實驗與實務的驗證，都證明它優異的成形模式與特性，對使用者而言，使用射出壓縮成形技術除了獲得良好製品外，其他如生產循環時間降低(冷卻效率提高)、在射出壓力、鎖模力皆降低的情況下，機台電力消耗也可獲得減少。射出壓縮成形為改良傳統成型的一種方式，它克服了傳統射出成形在保壓階段所產生的應力、壓力分佈不均所造成的翹曲等問題，有效的補償不均勻的收縮，在尺寸精度、表面精度或表面平坦度，都較傳統射出成形優異，因此一製程技術目前已廣泛應用在需高精度尺寸及考慮光學性質的光學產品如 DVD、CD-ROM 或光學鏡片等的製造。

射出壓縮成型其操作結合了射出成型以及壓縮成型兩種成型技術，此種製程主要是在一般傳統射出成型製程中之外加入模具壓縮的製程(如圖 3-1 所示)，亦即在充填之初模具不完全閉鎖，當部份塑料注入模穴後，再利用鎖模機構閉鎖模具，由模心模壁向模穴內熔膠施加壓力以壓縮成型來完成模穴充填。

此種成型方式不但可以降低充填模穴所需之射出壓力，且由於均勻加壓使得整個成型製程可以在低壓的環境下完成而得到模穴內熔膠均勻的壓力分佈。射出壓縮有許多方式來達到壓縮功能，以下舉例兩種射出壓縮製程說明：

#### A. 模具不完全閉合(如圖 3-2)

不同於射出成形的地方，在於鎖模時，施加足夠但模具不完全閉合，在射出階段中因為模穴空間的增加，使融膠容易充填，射出成型完成後，再增加所模壓力，迫使模具完全閉合，隨後進入保壓階段。

#### B. 鎖模力的切換(如圖 3-3)

在射出階段，模具完全閉合，但不施以足夠的鎖模力，在射出階段的過程中，由於高射出壓力使模具撐開，使其增加融膠的充填效率，在射出完成後，在施加足夠的鎖模力，使模具閉合，隨後進入保壓階段。

從上述說明可發現射出壓縮過程，在射出階段由於較大的流動空間，流動的阻礙較少，可減少射出的壓力，而壓縮階段，屬成品表面的面壓縮，因此在成形上可以獲得較平均的壓力分佈，因此射出壓縮成型具有以下優點：(1)降低射出壓

力、(2)降低殘餘應力、(3)減少分子定向、(4)均勻保壓減少不均勻收縮、(5)克服凹陷及翹曲、(6)減少成品雙折射率差、(7)緩和比容積變化、(8)增進尺寸精度。

一般而言，射膠速度在 300mm/sec 以下歸類為傳統射出機，射出能力在 300mm/sec~600mm/sec(一種說法為 800mm/sec)歸類為高速射出機，而射出能力在 600mm/sec(或 800mm/sec)以上則稱為超高速射出機，而超高速射出成型機一般應用在薄件成型上。根據 JIS K6745 的定義，厚度 3.0mm 以上的是板，厚度介 0.2~3.0mm 的是薄板，厚度在 0.2mm 以下的稱之為薄膜(Film)，而所謂的薄壁產品定義，一般而言是指成品 L/T 比在 150 以上，或壁厚在 1.0~0.8mm 或更小者作為薄壁成品。

### 3.3 導光板模具設計

在模具設計上有下列幾項步驟：

#### 1. 產品外觀設計-

本研究設計一 2.5 吋，均一厚度為 0.3mm 的導光板，尺寸為 55.51×40.95。

#### 2. 模具形式的選定-

模具的種類有冷澆道與熱澆道兩種，冷澆道模具是指流道的融膠和模穴內的融膠一同冷卻，開模後一起取出；熱澆道模具是指流道的融膠再整個成形週期中維持著熔融狀態，不隨成品冷卻，開模只有成品取出，而冷澆道模具中，有兩板式模具與三板式模具，兩板式模具為射出製程中開模後成品與流道相連取出，而三板式模具則具有自動化生產的功能，通常配合點狀澆口，所以開模後，成品與流道會自動分離。在經濟與實用性的考量下，本研究採用冷澆道、兩板式模具。

#### 3. 成形模穴數量與配置

本研究設計單一模穴以簡化在成形上的問題，在模穴的配置上，由於考慮公模的模面受到射出壓力的位置不均一，會造成模具的變形，因此將模穴配置於模具中心，而注縮套筒則偏離模具中心；在模仁的設計上，模穴以模仁入子鑲入方式設計，以方便模穴的修改與配換，並設計兩組模仁入子，一組考慮傳熱的均一性與為結構的加工性，模仁入子選用 **BeCu40** 的高硬度銅合金作為使用的材料，母模的入子設計深入公模的模穴中如圖 3-4 所示，這樣的設計，可以使模具在射壓時模穴內留其空間避免溢料情形，搭配射出成形與射出壓縮成型兩種不同的製程來生產實驗的導光板。

#### 4. 模具大小與強度

在確定成品大小與模穴的配置後，可以選用模具的尺寸，由於射出製程中，公模會受到較大的壓力，考慮公模板的強度，選定 70mm 的公模厚度，因此本實驗採用富比特標準模座(SC1820-60-70-70S5)之標準模座。

#### 5. 流道的設計

流道的設計上有尺寸、種類和配置，設計簡單的圓形流道，流道直徑為 3mm~7mm。

#### 6. 澆口形式與尺寸

由於導光板上下兩面與入光面有微結構，因此設計側式澆口，並考慮薄型的導光板融膠不易充填，設計澆口為扇型澆口，以使射出壓縮充填過程中，融膠流動波前有平行的流動與相同的波前間距，流道澆口厚度尺寸為 0.3mm 厚度，這樣的設計是因導光板成品厚度為超薄，澆口與成品一樣厚度期望在射出壓縮過程中，塑料由於塑膠剪切的力量造成溫度上升，有助於塑料的流動，較容易充填製模穴內。

#### 7. 冷卻形式與尺寸

成品溫度對成形的效率有很大的影響，模溫高可以增加流動性，模溫低可以縮短固化時間；對成品的物性來說，高模溫可以使成品的結晶高，有較

好的表面性質，模溫太低則會使材料迅速固化，成形壓力增加，造成澆口附近有較大的殘留應力；對於冷卻的效率而言，冷卻不足會造成收縮下陷，而冷卻不均勻則會造成成品翹曲。本研究設計上下循環冷卻迴路，管徑為 6mm，如圖 3-5 所示。

## 8. 頂出型式

由於面有微結構，屬成品重要功能，因此設計導光板四個角延伸尺寸，並未使頂出過程中成品有較均勻的受力，而不破壞成品的平坦度，頂出銷設計為圓形頂出銷。

基於上述設計，CAD 模具圖如圖 3-6 所示，實體圖如圖 3-7 所示。

### 3.4 射出成形模流分析

本研究分析主要是以模流分析軟體 Moldflow MPI6.2，先模擬在不同參數時，射出機需要產生多大的射出壓力，以及導光板內部的壓力差、體積收縮率、冷卻程度找出較適當的加工參數。首先在 Pro-E 中建立成品模型，繪入 Moldflow 建立流道、澆口及水路，並以實際成形機台的參數和材料的特性設定進行模擬。模型如圖 3-8：

以單一參數法進行模擬分析，設計的參數有射出速度、融膠溫度、模具溫度、壓縮力、壓縮速度，其設定的參數如表 3-1

#### 3.4.1 參數設定對射出壓力的分析

射出成形在充填階段中，融膠進入薄型導光板的模穴後，可以預測由於溫度比膠溫低的模壁，會使得接觸模壁的融膠加速熱的損失，使接觸模壁的融膠較快固化，而形成固化層，而固化層使得融膠流動的空間減少，阻礙了融膠的充填，如圖 3-9。在射出壓縮階段中，則由於融膠的不易充填，射出機台爲了要達到我們設定的充填速度，而提高了射出壓力以滿足我們所設定的速度條件，因此，顯而易見的，在這樣的情況下所生產的成品，不足的射出速度，容易產生成品的短射

或精度缺陷，而過高的射出壓力則會造成成品有過多的殘留應力，因此在這各階段中，本研究首要的目標，是利用控制射出壓縮的參數，盡可能在固化層增厚前，完成充填，以避免固化會阻礙融膠的流動，而使射出壓力提高。

以單一參數法，模擬設定冷卻模溫為 $90^{\circ}\text{C}$ ，高溫充填溫度設定分別為 $100^{\circ}\text{C}$ 、 $110^{\circ}\text{C}$ 、 $120^{\circ}\text{C}$ 、 $130^{\circ}\text{C}$ 、 $140^{\circ}\text{C}$ 、 $160^{\circ}\text{C}$ 、 $180^{\circ}\text{C}$ ，分析射出速度、融膠溫度與不同充填模溫的設定，對射出壓力的影響，如圖3-10所示最低模溫 $100^{\circ}\text{C}$ 模擬充填壓力為 $261\text{Mpa}$ ，最高模溫 $180^{\circ}\text{C}$ 充填壓力為 $196\text{Mpa}$ ，下表3-2分別為充填模溫 $100^{\circ}\text{C}$ 、 $110^{\circ}\text{C}$ 、 $120^{\circ}\text{C}$ 、 $130$ 、 $140^{\circ}\text{C}$ 、 $160^{\circ}\text{C}$ 、 $180^{\circ}\text{C}$ 在充填結束後，充填壓力的結果，由表中可以發現，在較高的融膠溫度與高模具溫度下，會有較低充填壓力，而較高的射出速度，也有相同的結果，表3-3 為最佳參數設定值。



表 3-1 單一參數法各參數的設定

參數設定	
流率(mm/sec)	500
冷卻模溫(°C)	90
充填模溫(°C)	100、110、120、130、140、160、180
料溫(°C)	330

表 3-2 射速 500mm/s 料溫 330°C 模擬壓力

模溫(°C)	100	110	120	130	140	160	180
壓力(Mpa)	261	255	250	242	233	206	196

表 3-3 最佳參數設定值

流率	500 mm/sec
料溫	330 °C
冷卻模溫	90°C
充填模溫	180 °C
充填壓力	196 Mpa
壓縮力	99%
壓縮速度	99%

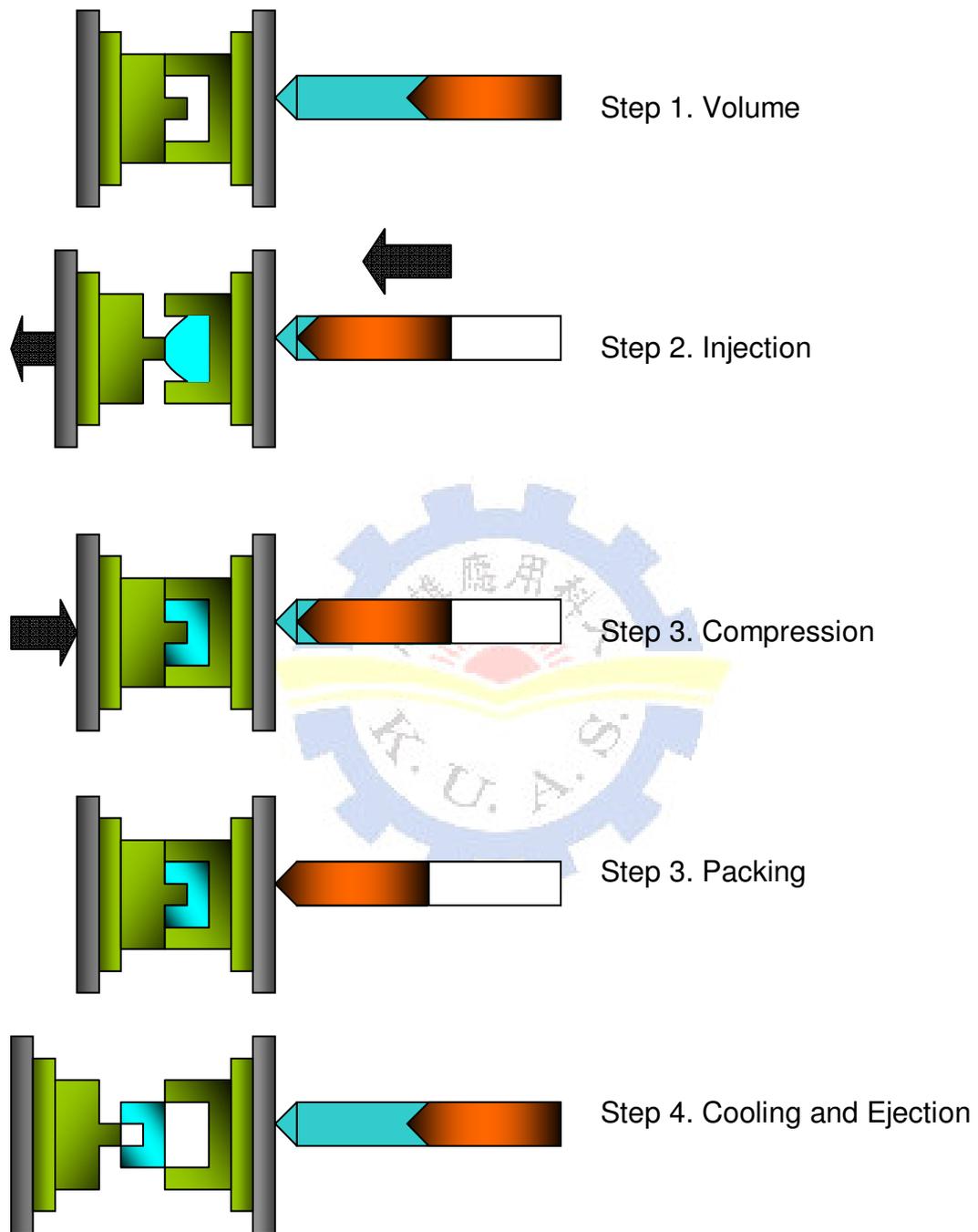


圖 3-1 射出壓縮成型的步驟

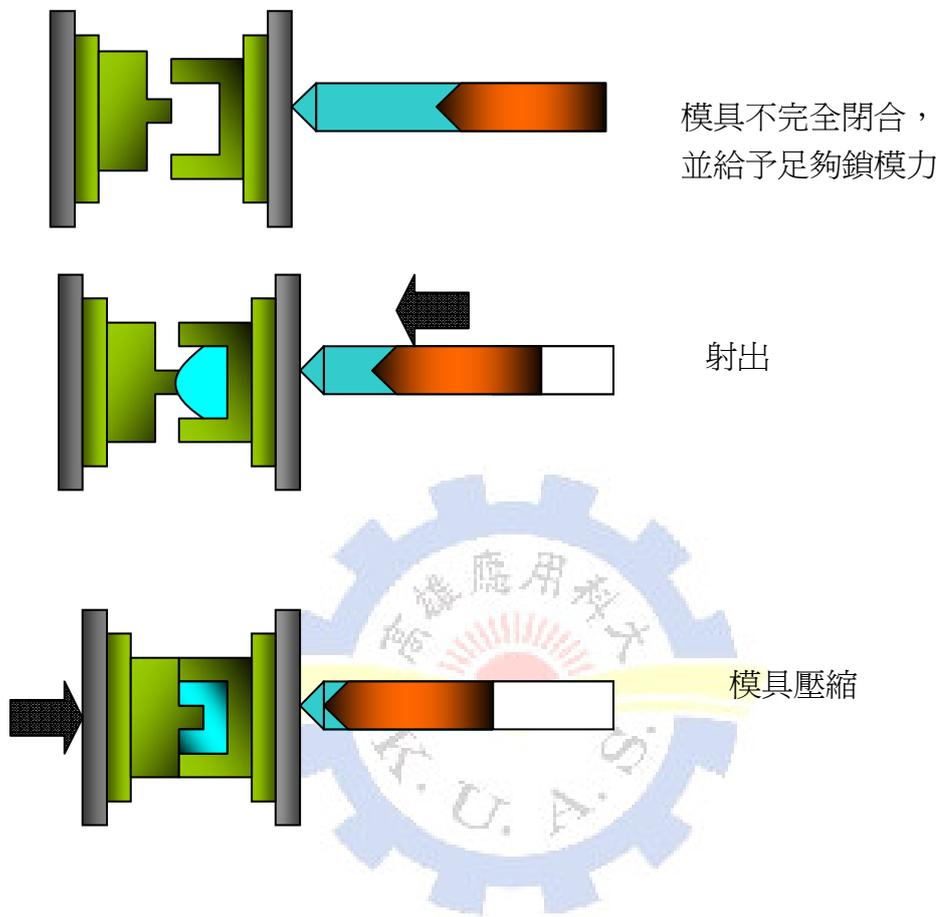


圖 3-2 模具不完全閉合



圖 3-3 鎖模力的切換

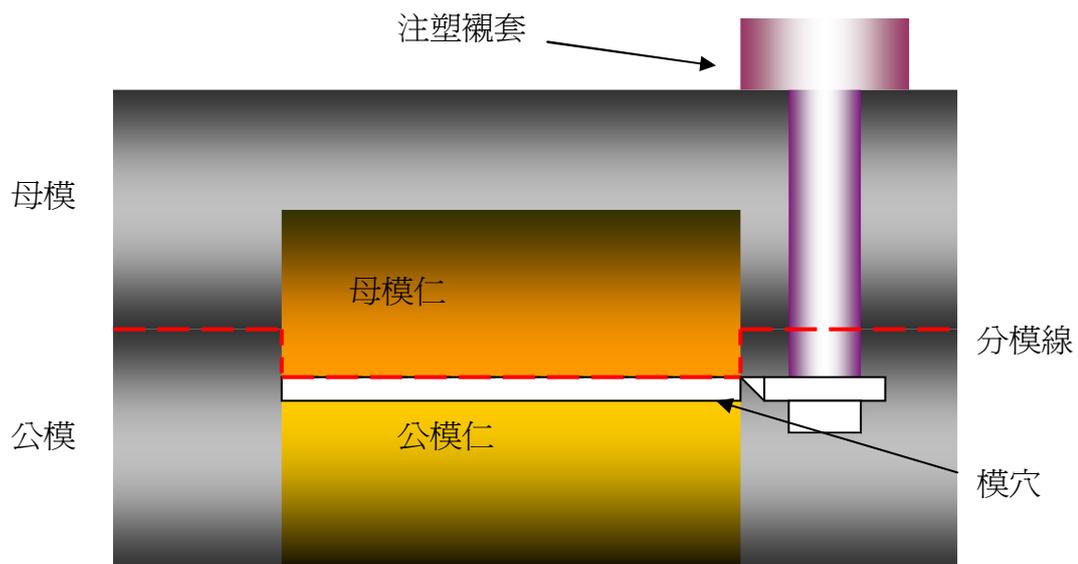


圖 3-4 模仁設計配置圖

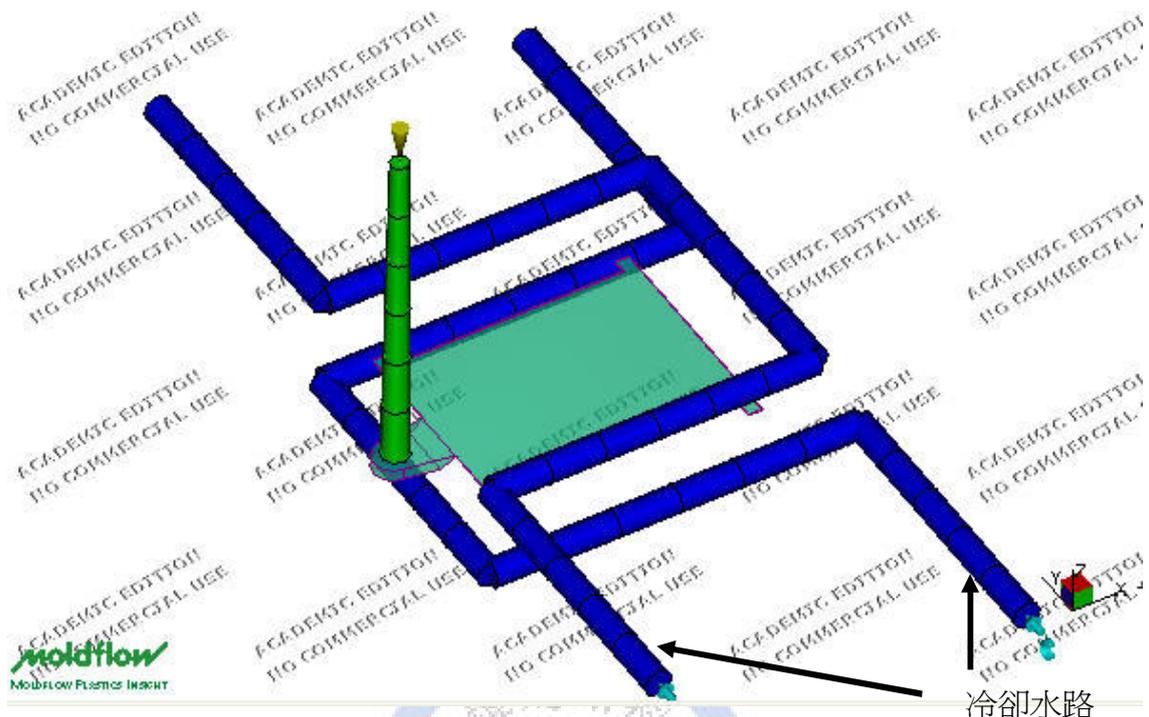
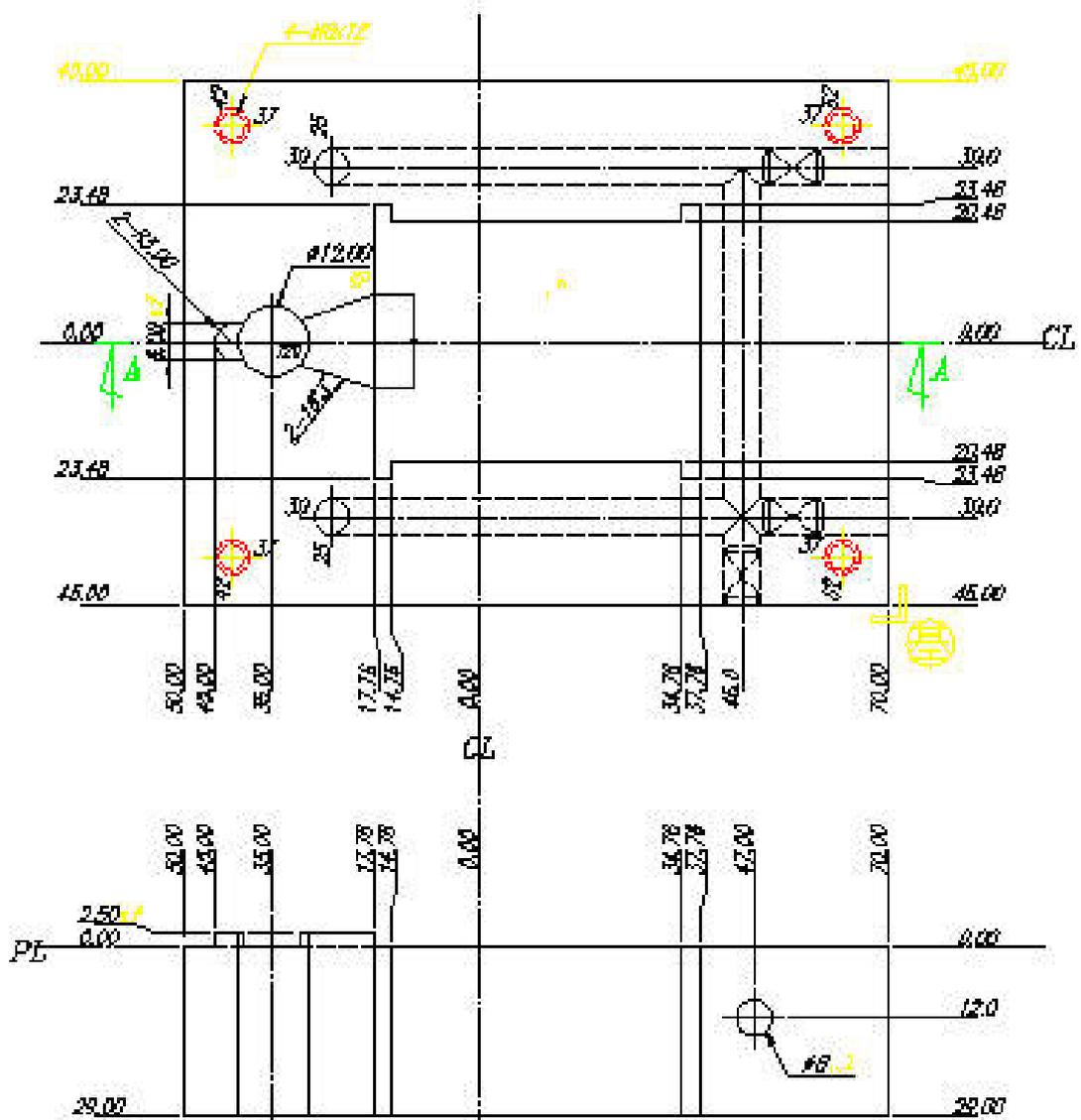


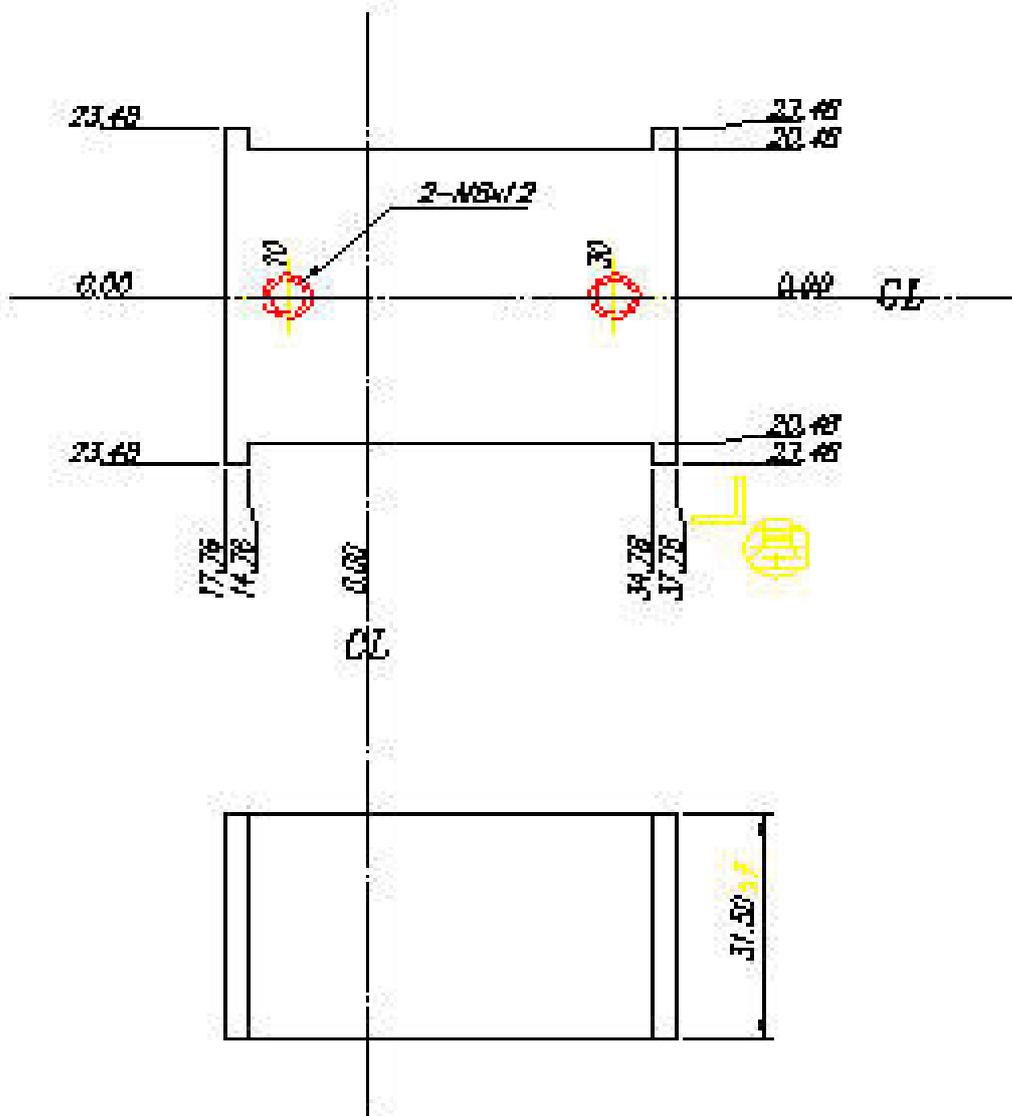
圖 3-5 冷卻水路的配置



**SECTION A-A**

01 3 37 31 31  
 HAKBO 1  
 90.00X120.00X31.50

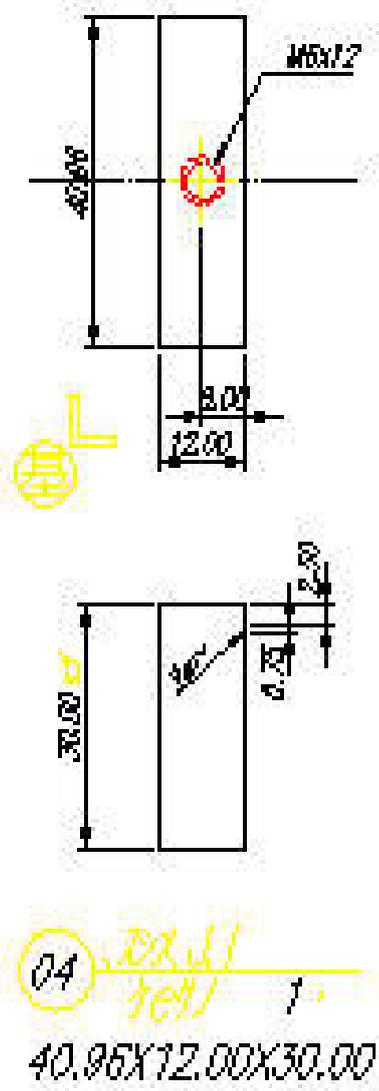
母模入子



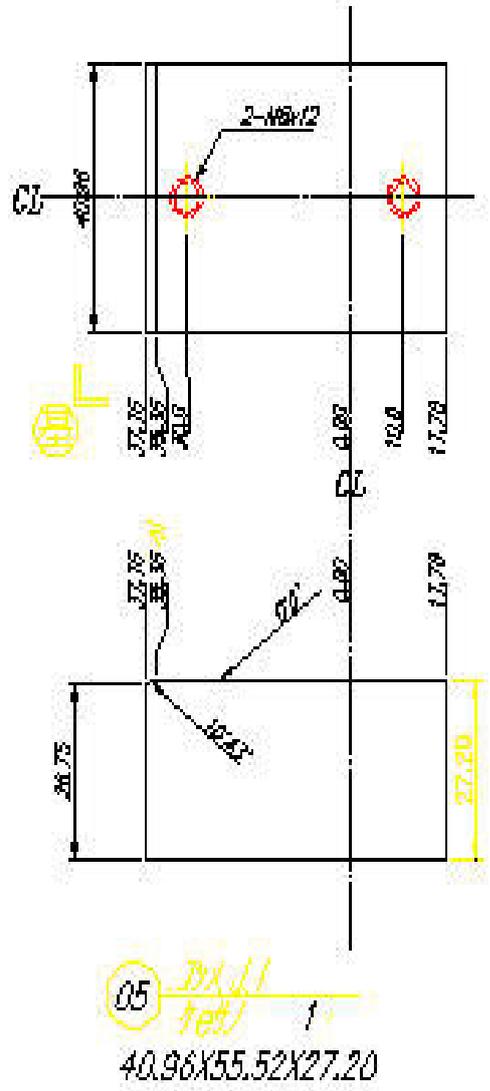
02 538.1.1  
 46.96x55.52x31.50

母模入子

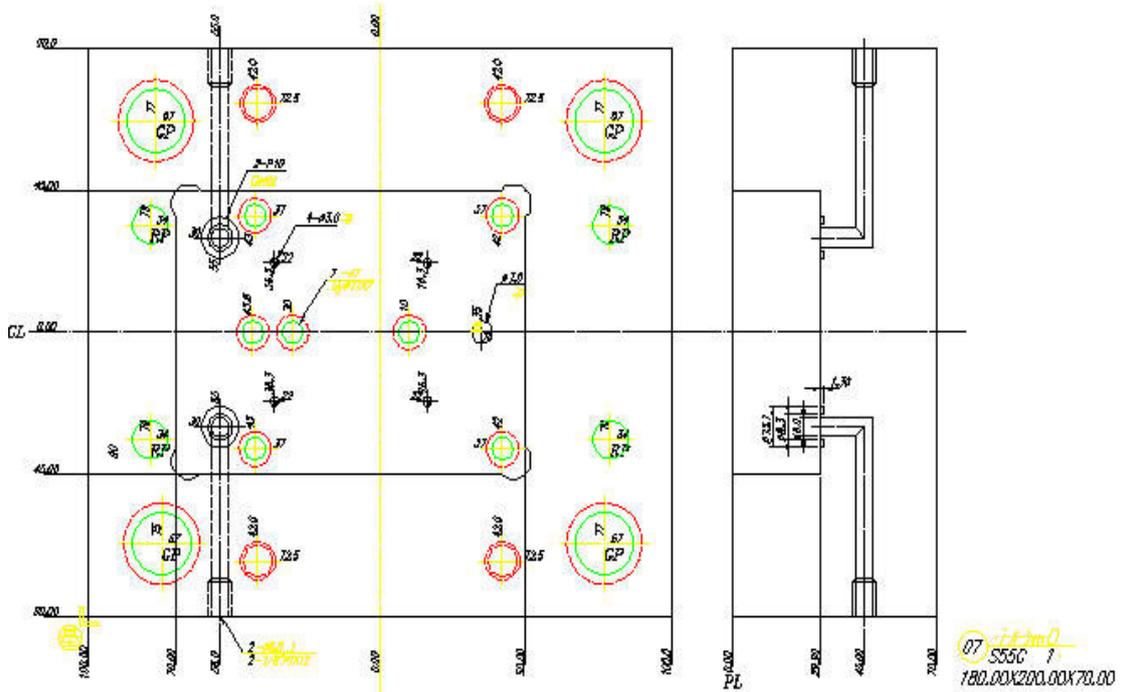
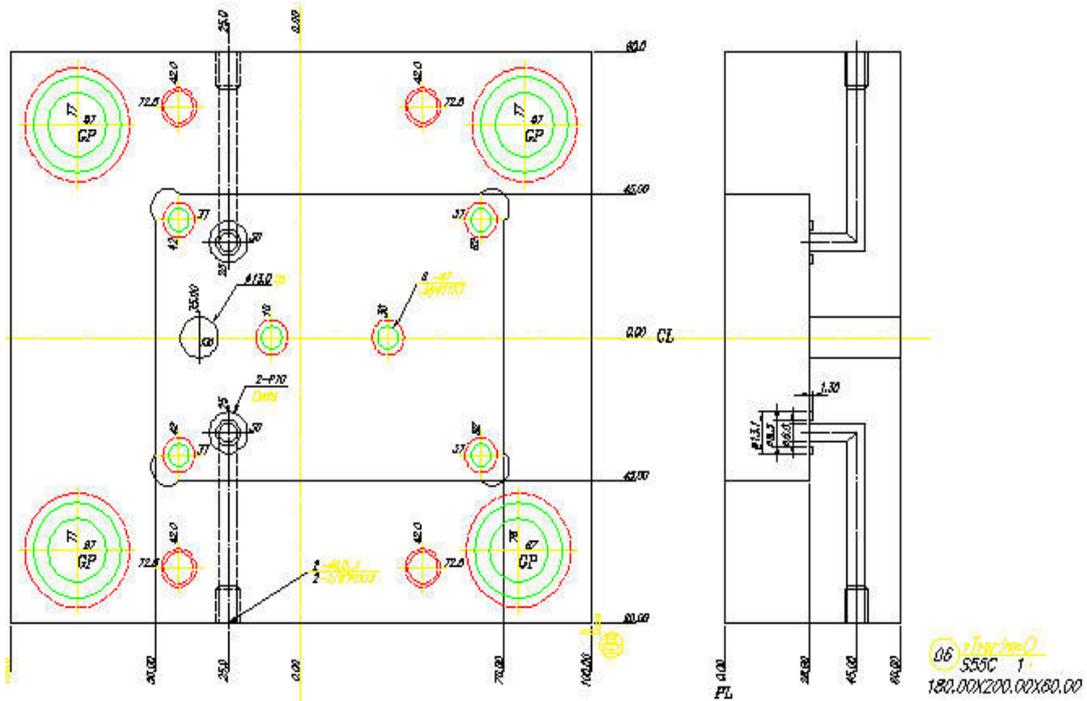




公模入子(入光側)



公模入子(出光側)



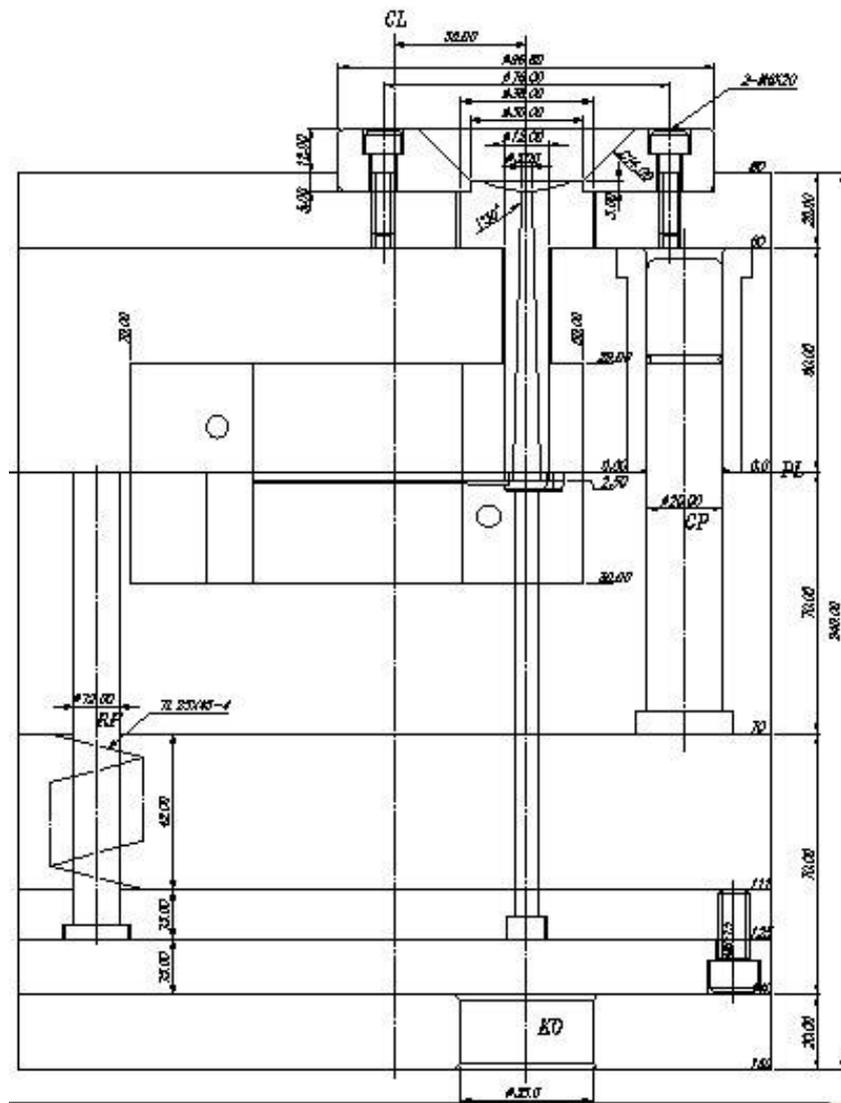
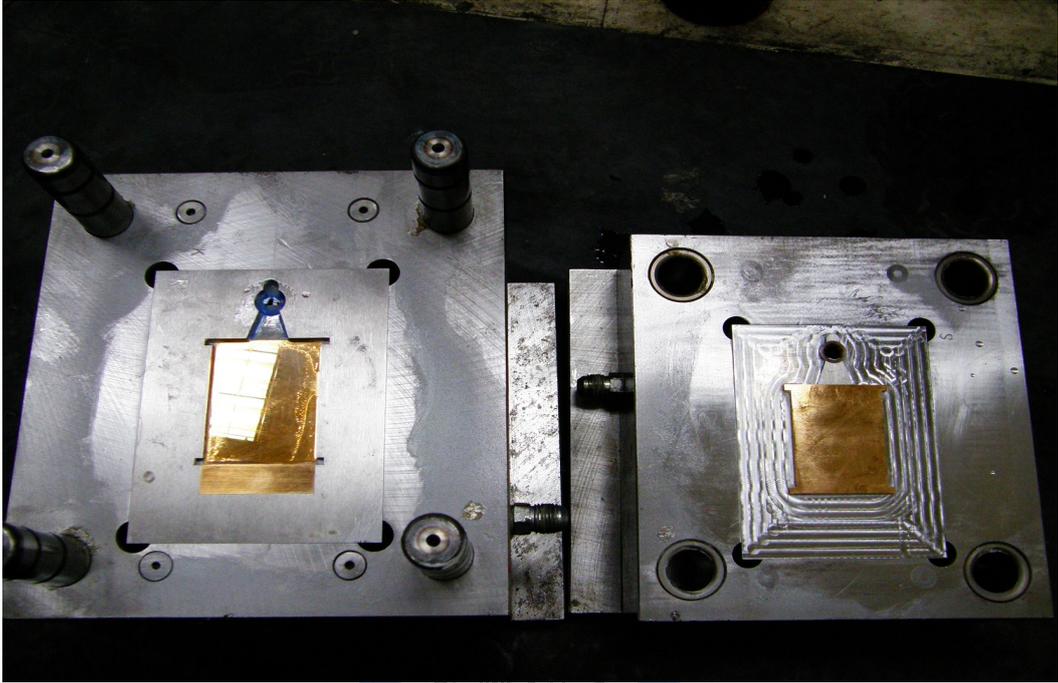


圖 3-6 導光板模具圖



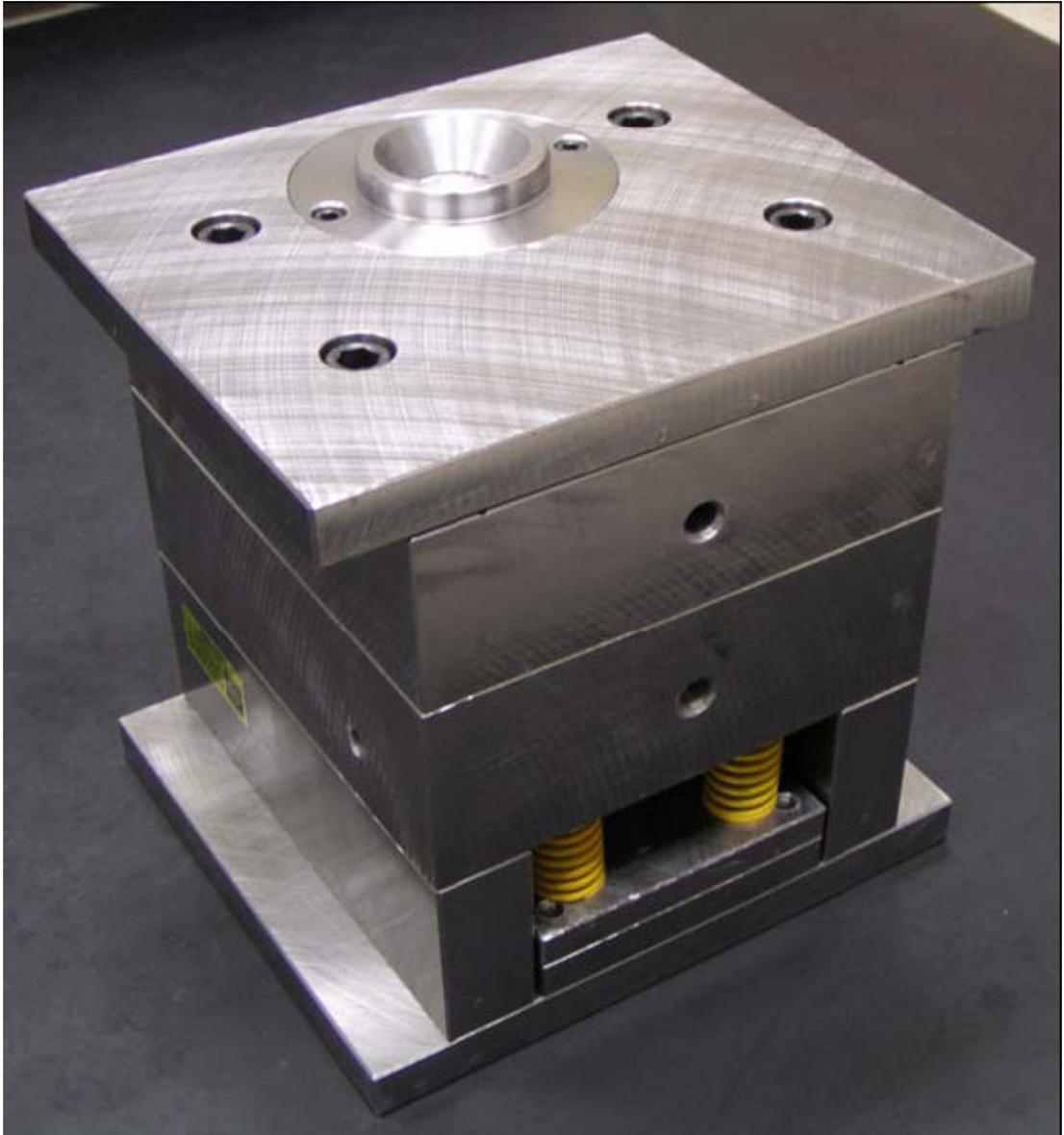
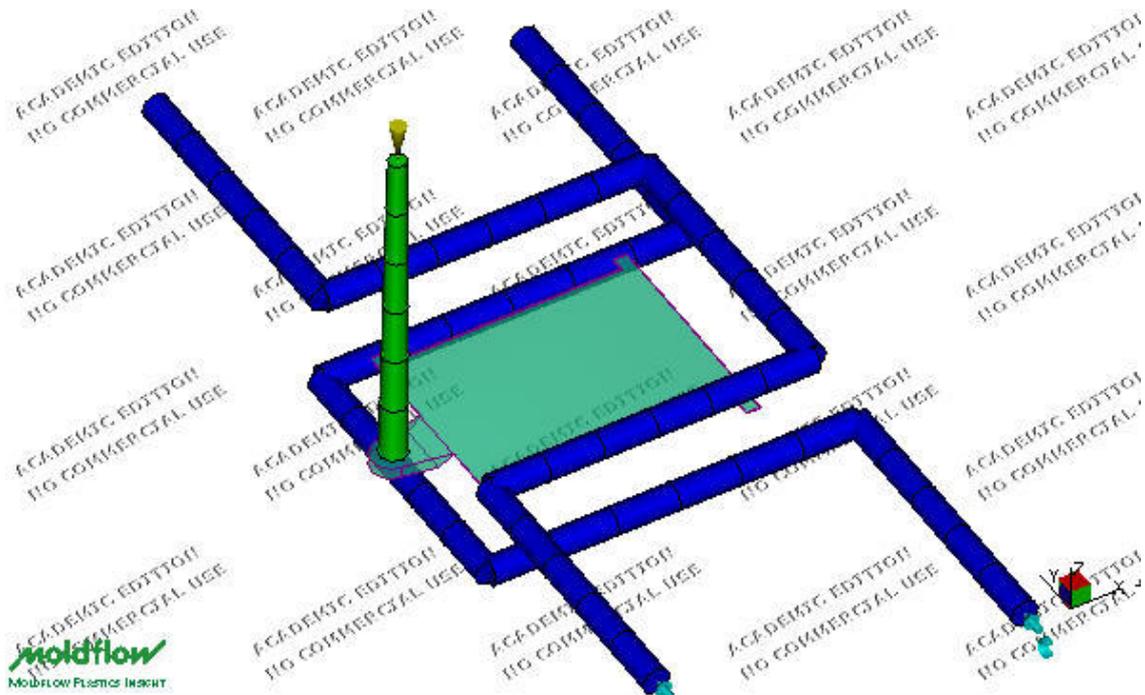


圖 3-7 模具實體圖與組立圖



**Filling control**

Injection time of 0.06 s [0:]

**Velocity/pressure switch-over**

By %volume filled at 100 % [0:300]

Switch-over to pressure control if 100% weight reached

**Pack/holding control**

%Filling pressure vs time Edit profile...

**Cooling time**

Automatic Edit ejection criteria...

Press open distance: 0.5 mm [0:50]

Press waiting time: 0.01 s [0:1200]

Press compression time: 2 s [0:1200]

Press compression force cap: 30 tonne (0:70000.2)

Press compression speed vs distance (compression is along z-direction)

	Distance mm [0:100]	Press compression speed cm/s [0:100]
1	15	49
2	0.0001	49
3		
4		
5		

Mold surface temperature: 90 C

Melt temperature: 330 C

Mold-open time: 5 s (0:600)

Cool solver parameters...

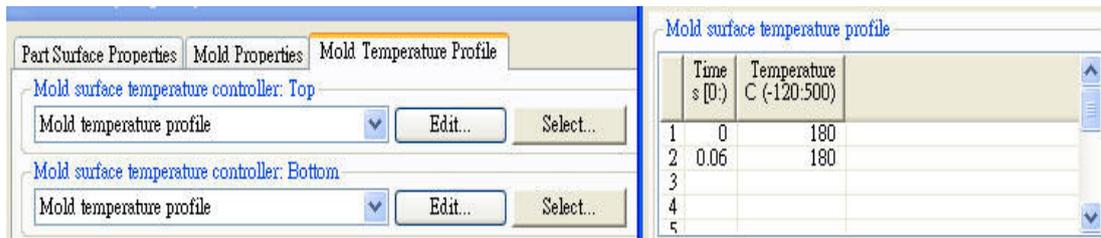


圖 3-8 機台參數模型圖

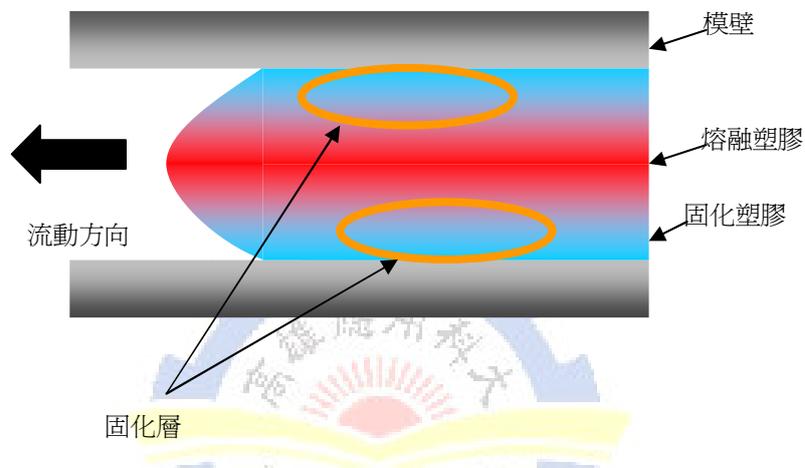


圖 3-9 充填過程中，靠近模壁的固化

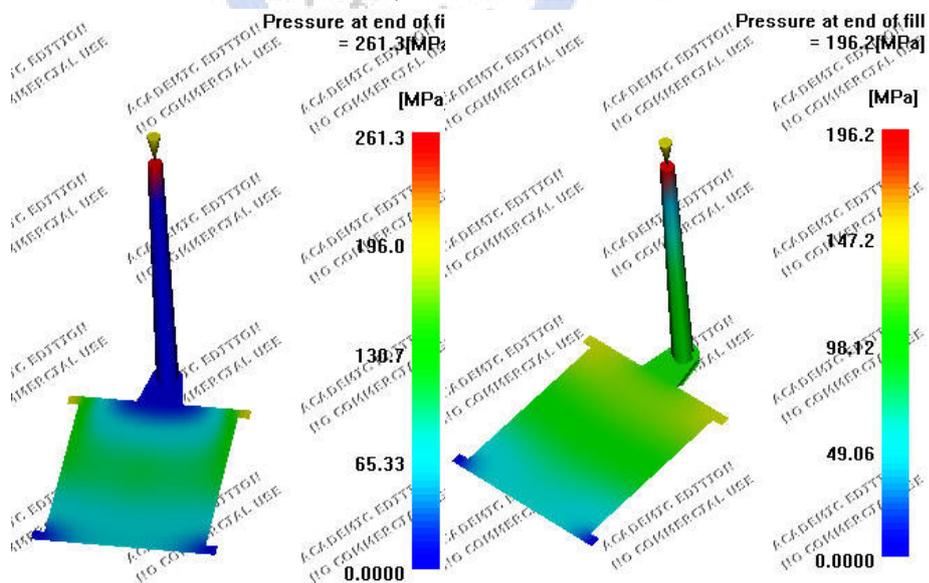


圖 3-10 模擬模溫 100°C、180°C 充填壓力圖

## 第四章 成形實驗與檢測

### 4.1 實驗步驟

本研究實驗流程如圖 4-1 所示，以 2.5 吋導光板為標的物，設計導光板的尺寸，如圖 4-2 所示(55.1mm\*40.95mm，厚度為 0.3mm)，首先進入光學設計，設計導光板的表面微結構，以 tracepro 非序列光學軟體進行設計，在建立背光模組的模型後，定義各個物件的材料與光學特性，並設計導光板反射面上微結構的 V-cut 不等間距參數，在賦予光源模擬出光學效果後，檢驗微結構的設計是否達到設定的標準，接下來進行模具設計與分析，首先對於導光板的射出成形進行 CAE 模擬，利用模流分析軟體 Moldflow，模擬射出參數的設定對成形上壓力的影響，並對找出最佳成形品質的參數設定。根據成形分析的結果，設計模具的流道、豎道、澆口和冷卻水路的尺寸配置等，並設計模具可適用射出成形與射出壓縮成形兩種製程，確定設計要點後，進行模具的加工與模仁微結構的超精密加工；模具完成後隨即進入成形實驗，成形機採用 Sodick TR30EH 油電複合 V 式結構射出機搭配兩台模溫機使用高低溫，進行射出壓縮實驗成形生產導光板，經過表面輪廓儀的檢測比較不同模溫充填下成形品質之間的好壞，以探討影響射出壓縮成形對於溫度轉換品質的轉寫差異性，之後將導光板組裝成功能完整的背光模組，利用 Bm7 光學輝度計，檢測背光模組的光學效果，最後探討其結果並對於本研究做出結論。

### 4.2 實驗設備

#### 1. 成形材料

對於導光板而言，主要是希望有良好的光學效果，因此導光板的材料必須使用光學級的塑膠原料，材料的選定上除了滿足光學特性的需求外，也必須考慮在成形上的要求，本研究使用出光 Lc1500 光學級聚碳酸酯(PC)，其材料特性如表 4-1 所示。

#### 2. 成形射出機

成形實驗使用 Sodick TR30EH 油電複合 V 式結構射出成形機如圖 4-3 所示，有使用壓縮功能的參數設定，在射出裝置為 V 式結構，意即在射出單元有螺桿與柱塞，螺桿機構負責將進料並熔融塑膠原料為塑化功能，柱塞機構則負

責計量與射出如圖 4-4，由於柱塞與射出管屬於緊密配合，因此在計量上會比使用螺桿計量來的精準、穩定，因此 Sodick TR30EH 可生產高精度的成形物件，在鎖模機構方面則為直壓式油電複合機構，對於鎖模精度較為精準且鎖模力分佈均勻，以適用於高精度的模具生產。主要規格如表 4-2、4-3 所示。

### 3. 表面輪廓儀

本研究在微結構外型尺寸的檢測上，使用 Taylor Hobson 公司所生產的 Form Talysurf PGI 635(如圖 4-5)表面輪廓儀，為接觸式的量測方式，可用來量測表面粗造度與微小外形的量測，最小精度為 3.2 nm，在其檢測原理是利用探針 (Stylus)，接觸待測物表面，並由收錄器(Pick-up)把探針在表面上的起伏過程轉成電訊號，由軟體收成點資料加以分析，探針的內部結構如圖 4-6 所示。本研究所使用的輪廓儀在接收器的形式上屬光柵干涉式(PGI)，利用雷射同調光的干涉特性，在探針起伏造成光程上的變化，將干涉打至光柵上而由後端的 Photo Diod 接收判讀，表面輪廓儀的規格如表 4-4 所示。

### 4. 輝度計

對於光學的效果驗證，本研究使用 Topcon BM-7 輝度計，搭配尼奧光科技的檢測平台(如圖 4-7 所示)，為六軸臥式的平台，量度 CRT、LED、LCD 等的輝度。用於各種照明設備的輝度、生產線上用之感應器的輝度、訊號燈、管制燈、道路照明、隧道照明、道路標識等的輝度及塑膠、紙等的反射率。可量度範圍：備有 0.2°度 (0.01 ~ 199,900 cd/m<sup>2</sup>)、1°度(0.1 ~ 1,999,000 cd/m<sup>2</sup>)及 2°度(1 ~ 19,990,000 cd/m<sup>2</sup>) 的測量角度可供選擇，在量測上 Z 軸可量測角度為±85°。

### 5. 模溫機

本研究使用科基公司兩台模溫機，作為高溫以及低溫控制，高溫模溫機最高溫可達 250°C，低溫模溫機最高可達 200°C 作為高低溫切換，切換裝置使用氣動球閥進行控制如圖 4-8 所示。

### 4.3 射出壓縮實驗

射出壓縮實驗，是在射出的過程中，加入壓縮動作，本實驗設計在射出階段，以不足的鎖模力鎖模，在充填的過程中，使模具由於高速射出所產生的壓力而撐開，在較大的模穴空間下，有助於融膠的流動，可以使融膠較易充填至澆口末端，在融膠進入模穴達到一定的計量後，開始給予足夠的鎖模壓，迫使模具完全閉合。

在射壓實驗的主要參數設定上，有壓縮切換位置、射出速度、膠溫，壓縮切換位置是指在柱塞前進注料到一位置後，開始壓縮動作，其他設定參數如壓縮速度，由於在融膠進入模穴因厚度超薄會快速冷卻，因此本實驗在壓縮速度上皆設定為最高速，預備鎖模壓力設定為 1%，鎖模壓縮力為 99%，模溫冷卻的設定低溫為 90°C，高溫充填為 100°C、110°C、120°C、130°C、140°C、160°C、180°C。

首先以 100°C 的模溫，320°C 的膠溫，射出速度為 450mm/s，進行射壓實驗，實驗結果發現成品有短射，再將射速調至 480mm/s 仍然發現成品有短射，將膠溫升高至 320°C，射速 500mm/s，不變動模溫在尾端仍然有短射，因此將膠溫提高至 330°C，在 500mm/s 的射出速度，模溫 100°C 下，可以產出導光板，而壓縮切換位置設定必須設定柱塞在 6mm 時，隨即進入保壓階段，以避免射入過多的塑料而使成品厚度增加，以本實驗機台而言，成型速度必須設定在 500mm/s 為機台最上限，膠溫設定 330°C，模溫 100°C，作為射出壓縮成型實驗的設定參數。

使用不同充填模具溫度條件下的比較，將模溫提高，以 110°C、120°C、130°C、140°C、160°C、180°C，膠溫 330°C，射出速度設定為 500mm/s 進行射壓實驗。

### 4.4 光學檢測

將導光板組立成背光模組，利用 bm7 光學輝度計，進行九點量測，量測尺寸如圖 4-9、4-10 所示，在光學檢測中，光學輝度與均齊性是主要的量測重點，由整個背光模組的光學特性表現，驗證設計的優劣，並與微結構的成型結果作比較探討。輝度最高值，會出現在整個背光模組的中心位置，而均齊性在小尺寸的規格標準，設計在 70% 為合格，計算均期性的公式如下所示：

$$(\text{最小輝度值}/\text{最大輝度值})\times 100\%$$

本實驗背光模組，在量測的規範為，Bm7 的檢測視角為 1°，背光模組與 Bm7

的量測距離為 500mm(如圖 4-11 所示)，而 LED 給予總共 20ma 的定電流。

#### 4.5 表面輪廓檢測

將射出成型與射出壓縮成型的導光板，利用表面輪廓儀進行表面微結構的外形分析，量測位置為光學輝度九點檢測，利用探針接觸導光板表面，以 0.1mm/s 的速度劃過量測區域，以得到導光板上微結構的實際成型尺寸。並比較不同參數設定的導光板，在微結構成型的差異。

#### 4.6 光彈應力量測

將射出成型與射出壓縮成型的導光板，在光彈儀下，檢測導光板上的應力分佈情況，並比較不同製程下導光板殘留應力的分佈，其原理是利用在外力作用下，會產生雙折射的透明材料製作光彈性模型，在偏振光場中，導光板在載荷作用下，能觀察到反映主應力差的干涉條紋，這些條紋和導光板的應力分佈有關，這就是光彈效應，這種技術可讓我們得到全場應力分佈情形。



表 4-1 出光 LC1500 光學級 PC 材料特性

測 試 項 目	Unit	High reflect High Flow	High reflect	High transparent		
		URZ2500	URZ2502	LC1500	IR1900WW	
比重	-	1.28	1.33	1.2	1.2	
吸水率(23℃)	%			0.23	0.23	
成型收縮率(MD)	%	0.5-0.7	0.5-0.6	0.5-0.7	0.5-0.7	
拉伸特性	破壞強度	MPa	60	60	65	65
	破壞伸長率	%	40	80	95	95
彎曲特性	彎曲強度	MPa	90	90	90	90
	彈性率	MPa	2600	2600	2300	2300
卡畢耐沖擊強度	有缺口	KJ/m <sup>2</sup>	14	50	15	70
熱變形溫度HDT	1.82MPa	℃	120	120	124	125
	0.46MPa	℃	130	130		
燃燒性UL94	-	V-0(1.5)	V-0(1.5)	V-2(0.4)	V-2(1.5)	
MVR	cc/10min	34	21	65	19	
光反射率	%	97	97.5			
光穿透率	1 mmt	%	0.6	0.3	92	90
成型加工	乾燥條件	℃ & hr.	120 & 5	120 & 5	120 & 4-8	120 & 2
	成型溫度	℃	260-280	260-280	280-300	260-280
	模具溫度	℃	80-90	80-90	80-120	80-90
備 註				高輝度,高轉寫性(MVR: 65),適用於V-Cut及薄型(0.4-0.8mm)導光板設計	良輝度,無底色PC,適用於一般級抗衝型導光板設計	

表 4-2 射出機 合模規格

合模方式	直壓式油電混合鎖模裝置
最大合模力 KN(tf)	294(30)
連桿間隔 (橫 × 縱) mm	260 x 260
壓板尺寸 (橫 × 縱) mm	390 x 390
間隙 mm	400
最小\最大模具厚度 mm	150 / 300
頂出方式	電動伺服球形螺絲驅動
頂出力 KN(tf)	7.3(0.74)
頂出行程 mm	50

表 4-3 射出機 塑化射出規格

塑化射出方式	螺桿預塑、柱塞射出
螺桿直徑 mm	18
柱塞直徑 mm	16
最大射出壓力 Mpa(kg/cm <sup>2</sup> )	262(2679)
射出量 cm <sup>3</sup>	14(0.5oz)
射出率 cm <sup>3</sup> /sec	100
柱塞行程 mm	70
最大流率 1 mm/sec	500
最大螺桿旋轉速度 rpm	400
溫度控制區數	4
加熱圈容量 kw	5.11
射出裝置移動行程 mm	230

表 4-4 表面輪廓儀主要規格表

量測長度[X 軸] Max/Min	120mm/0.1mm
量測速度：10 mm/s Max	10 mm/s Max - 0.1, 0.25, 0.5, 1 mm/s
解析度[Z 軸]	3.2 nm
量測範圍[Z 軸]	6 mm
橫向[X 軸]解析度	0.125 $\mu$ m
主軸真直度	0.5 $\mu$ m/120mm



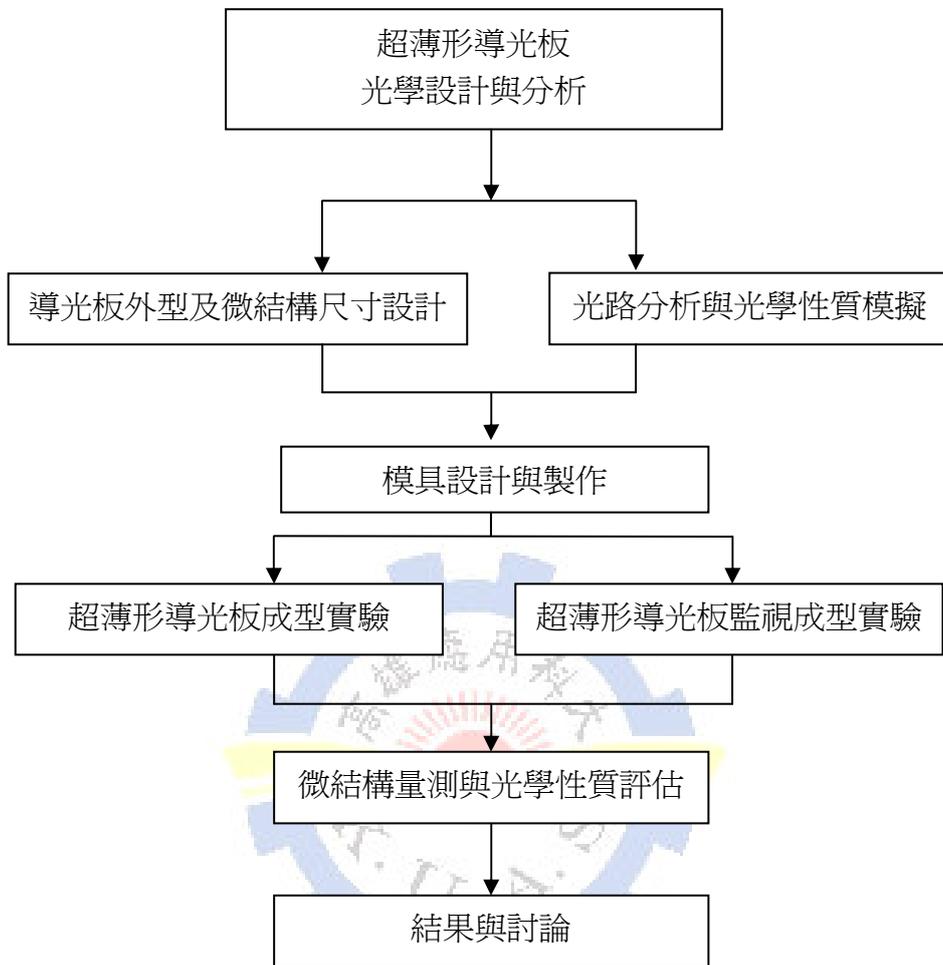


圖 4-1 研究流程圖

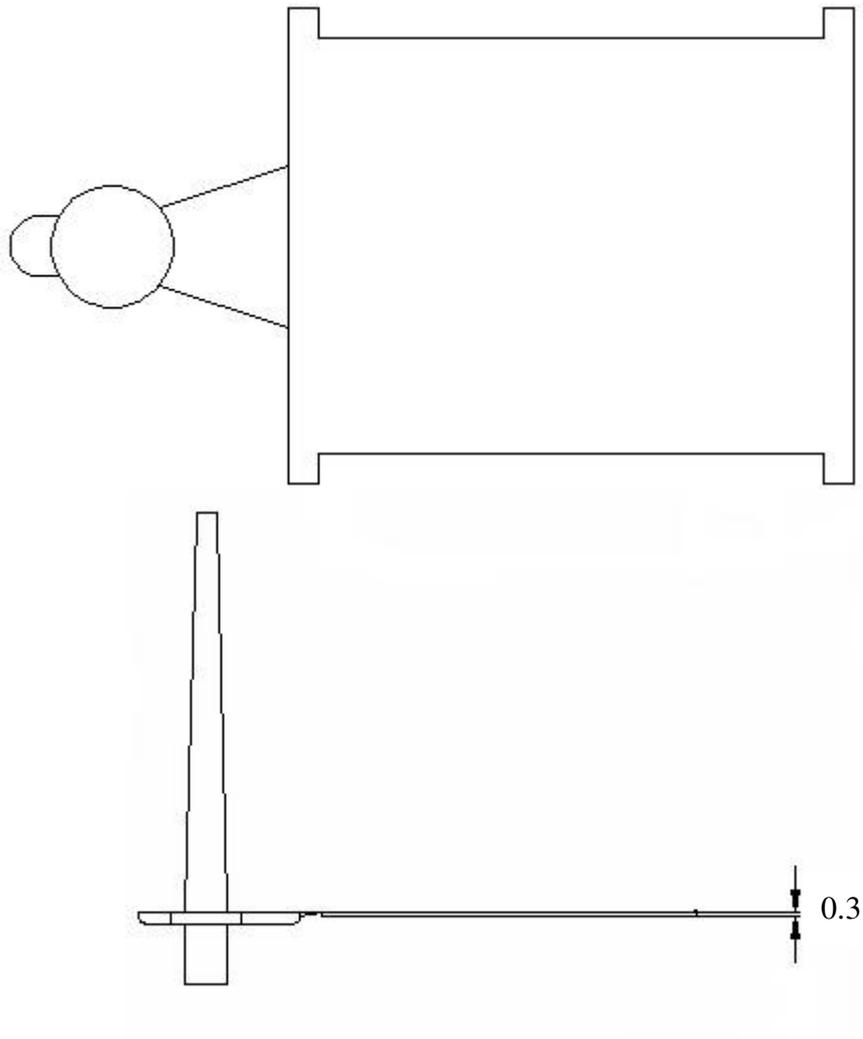


圖 4-2 導光板的设计尺寸



圖 4-3 sodick 射出成形機

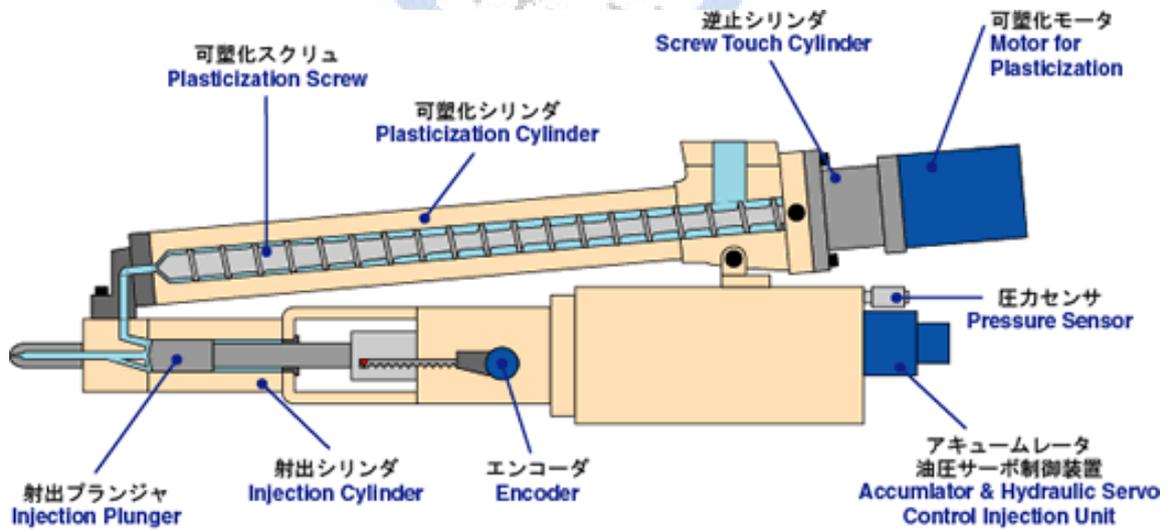


圖 4-4 V 型射出單元結構圖

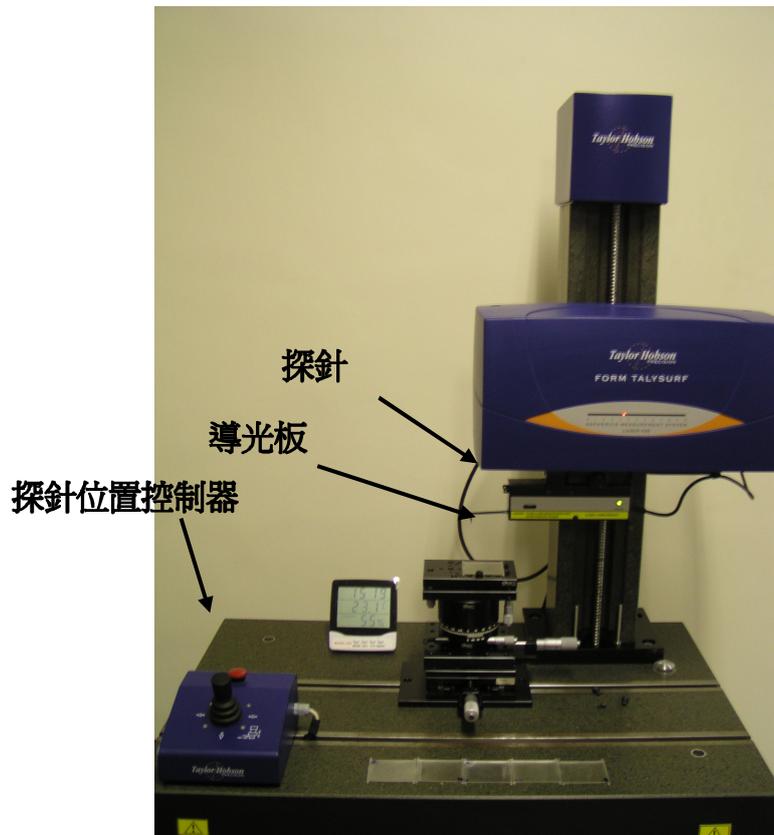


圖 4-5 Talysurf PGI 635 表面輪廓儀

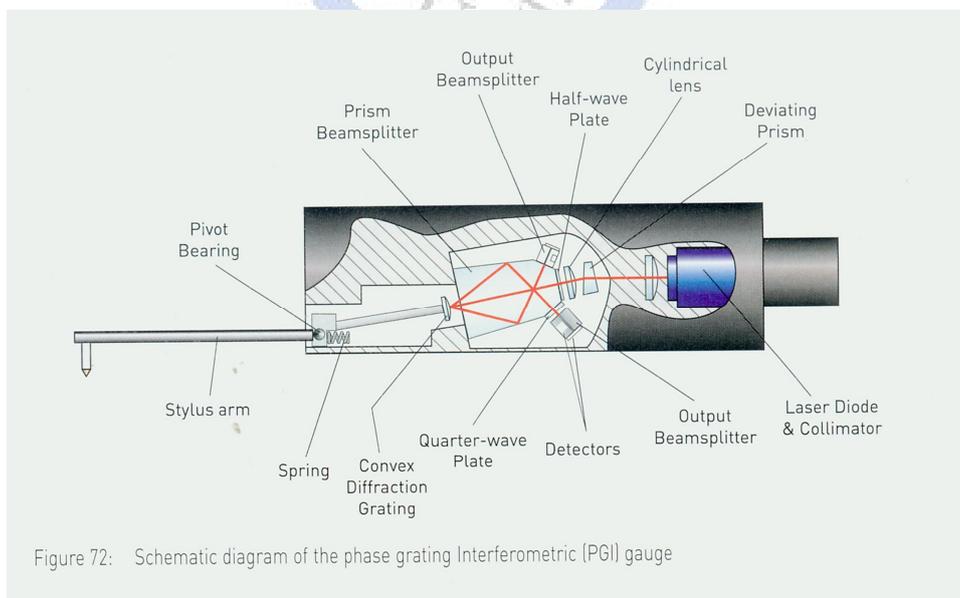


Figure 72: Schematic diagram of the phase grating Interferometric (PGI) gauge

圖 4-6 探針內部結構圖



圖 4-7 光學輝度量測儀 BM7



高低溫模溫機



氣動控制閥



圖 4-8 模溫機與氣動控制閥



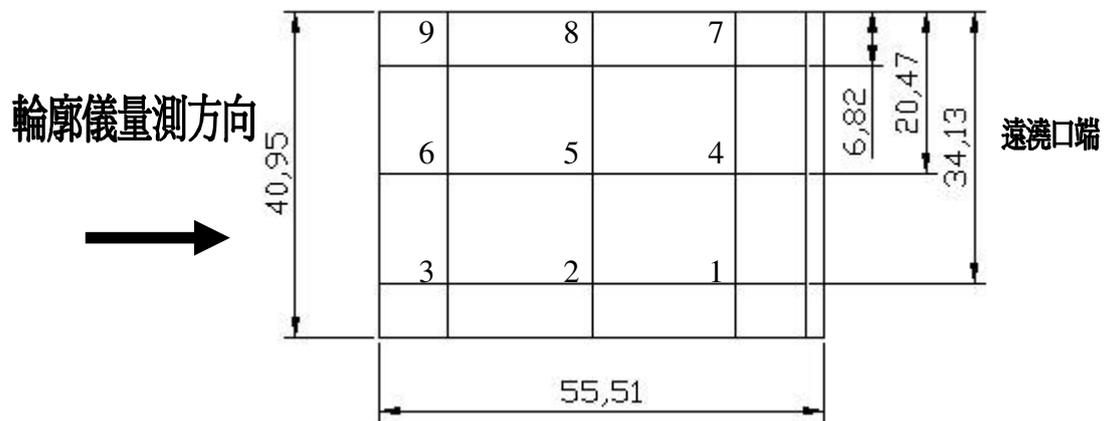


圖 4-9 反光面量測位置

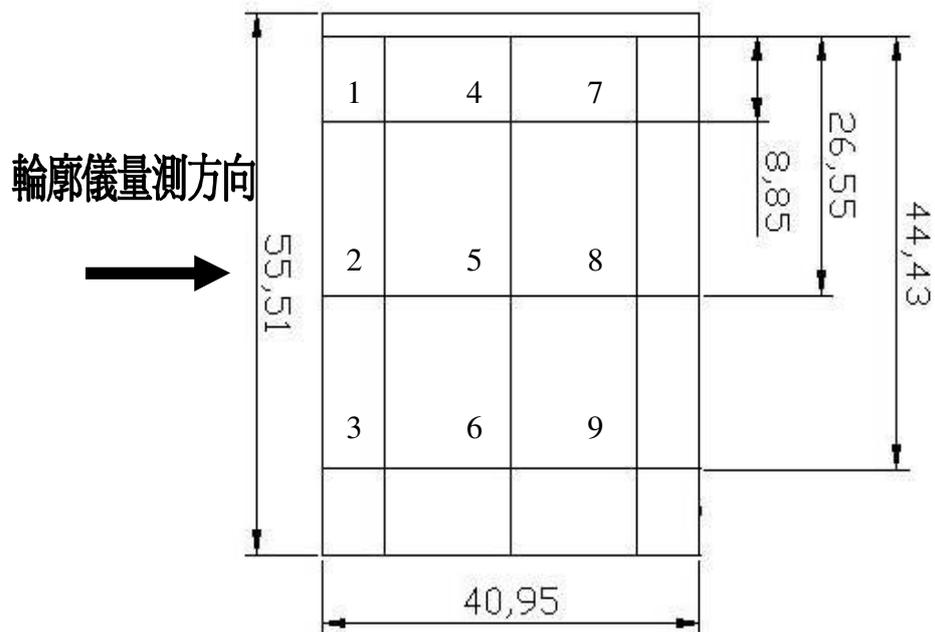


圖 4-10 出光面量測位置

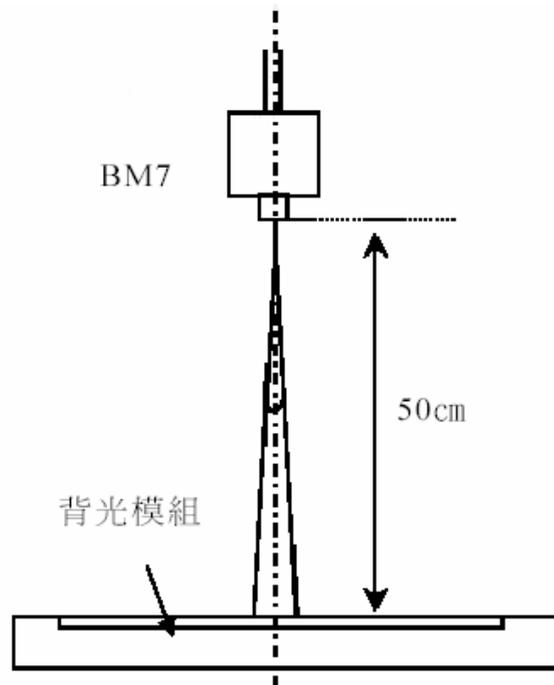


圖 4-11 光學輝度量測示意圖



## 第五章 結果與討論

### 5.1 射出壓縮成型實驗探討

超薄型導光板在進行射出壓縮實驗，必須先找出主要參數控制，對於 0.3mm 厚度的 2.5 吋導光板，屬薄壁成品，在薄件成型中，融膠溫度、射出速度與模具溫度，為主要影響的控制參數，因此以這三個參數進行實驗，在成型條件下，以不同的參數產出導光板，並以導光板上的微結構成型轉寫率來探討參數下的成型趨勢，實驗結果發現，由於 0.3mm 薄件不易成型，融膠進入模穴後，接觸到溫度較低的模溫，使進入模穴中的融膠溫度迅速下降，並在模壁形成固化層，也減少了模穴可以充填的空間，增加了融膠流動的阻礙，必須以很高的膠溫、模溫與很高的射出速度來進行充填，且在較高的射出速度下，也可以使融澆在澆口處有較高的剪切力造成該處融膠升溫，使的融膠黏度下降，增加了融膠的流動性，本論文之射出壓縮成型實驗，是在射出成型的過程中，加入一壓縮動作，在射出階段首先以低壓力鎖模給予模具不足的鎖模壓力，而使模具的公母模面撐開分離，造成在短時間內模穴空間加大，因而降低流動阻力，在融膠進入一定的計量後，利用射出機鎖模機構給予模具足夠的縮模壓力，模板移動進行壓縮使模具完全閉合，以均勻方式施壓成型導光板，並使模穴內融膠的成型厚度達到設計值。射出壓縮的操作條件如表 5-1 所示。實驗的參數有射出速度、融膠溫度、模具溫度、壓縮開始位置、壓縮力、壓縮速度和動作時間。

在射出壓縮成型實驗中因厚度 0.3mm 為超薄型，在成型實驗中成型參數極小，料溫、射速、壓縮力、壓縮速度、必須為極限值方能成型，實驗以固定膠溫 330°C 與射出速度 500mm/s 以單一參數變換模溫 100°C、110°C、120°C、130°C、140°C、160°C、180°C 的模具溫度，測量計算得，在 100°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 90.66%，反光面為 76.97%，入光面為 90.94%、在 110°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 90.74%，反光面為 80.03%，入光面為 91.36%、在 120°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 91.23%，反光面為 81.16%，入光面為 91.49%、在 130°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 92.42%，反光面為 85.50%，入光面為 91.59%、在 140°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 93.33%，反光面為 88.08%，入光面為 92.23%、在 160°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 96.42%，反光面為 94.20%，入光面為 93.30%、在 180°C 的模溫下，出光面的轉寫率為 97.19%，反光面為 96.78%，入光面為 95.24%如

表 5-2 所示，將表中數據整理由圖 5-3 表示，由圖中，可以發現，在模溫上升的條件下，轉寫率有升高的趨勢，在射出壓縮成型中模溫 100°C、110°C、120°C 時，可以發現轉寫率的大小為入光面 > 出光面 > 反光面，但在模溫上升至 130°C 以上時發現出光面 > 入光面 > 反光面相較於 100°C~120°C 的入光面的轉寫率大於出光面而有所不同，由於在射出壓縮的過程中，兩模板撐開使模穴有較大的空間，讓融膠充填至澆口末端，因此使的入光面的微結構轉寫率提高，在模溫提高至 130°C 以上時具有相同操作條件，因模溫的上升使得融膠在模穴內流動性更佳，在公模及母模面產生固化層的時間變緩，使融膠更能充填至微結構內提升公模及母模的轉寫比例，表 5-3 為射出壓縮成型各表面微結構的量測數據結果，由表中可以發現，在模溫提高的操作條件下，各表面微結構成型的標準差有下降的趨勢，顯示高溫下可以得到較好的微結構成型表現，在入光面因提高模溫，遠光側融膠在模穴內更能有較佳流動，充填入微結構有較長時間而更均一，在出光側也都有較低標準差，而在反光面機器加工微結構為變動高度，在遠離光源模仁實際高度為 6.8 $\mu\text{m}$ ，近光源模仁實際高度為 5.6 $\mu\text{m}$ ，提高模溫下融膠流動性較佳，產生固化層時間較緩在模溫 130°C 以上轉寫率達到 85% 以上，反光面微結構高度對高模溫的標準差，差異較大，入光面及出光面微結構成型的標準差顯示出射出壓縮在提高模溫成型時，有品質較為均一轉寫性較好的微結構，其原因是由於在射出壓縮製程中，融膠射入模穴使模板撐開後，縮模機構施以均勻的壓縮力於模板上，可預期在導光板上有均勻的壓力，使微結構的成型有較為一致的品質，如圖 5-4，將射出壓縮成型不同模溫下的導光板使用光彈儀進行檢測，如圖 5-5 所示，由圖中可以發現在導光板的成品上，澆口附近有殘留的應力，但在不同模溫成型的導光板光彈條紋沒有很明顯的劇烈變化，且在模溫逐漸升高導光板應力紋只有至澆口附近，在模溫 140°C 導光板應力紋只剩澆口附近有殘留，其他部分非常均勻沒有應力產生，因溫度顯示出以射出壓縮製程的導光板而言，在應力集中的現象上獲得了很大的改善，主要原因是因為融膠充填過程中較大的模穴空間，模具升溫有較好流動性，且均勻的鎖模力給予導光板全面性的壓縮，減少高速高壓所造成的分子定向及應力集中，的確使導光板上的壓力分佈較為均勻。

## 5.2 光學性質探討

將導光板組成背光模組後(如圖 5-6)，以 Bm7 輝度計進行九點量測，將射出壓

縮成型微結構成型的導光板固定(膠溫 330°C、射速 500mm/s)與變換模具溫度 100°C、110°C、120°C 進行比較。

圖 5-7 為射出壓縮成型導光板模溫 100°C、110°C、120°C 在背光模組上，Bm7 光學量測圖，表 5-4 為模溫 100°C、110°C、120°C 九點量測結果，由表中可以發現模溫 100°C 最高輝度為 1576nt，在背光模組的中心位置，而最低輝度有 1124nt，平均輝度為 1385.33nt，整體背光模組的均齊性為 70.32%，模溫 110°C 在背光模組上，Bm7 光學量測圖，由表中可以發現最高輝度為 1639nt，在背光模組的中心位置，而最低輝度有 1147nt，平均輝度為 1401.11nt，整體背光模組的均齊性為 70.98%，模溫 120°C 在背光模組上，Bm7 光學量測圖，由表中可以發現最高輝度為 1779nt，在背光模組的中心位置，而最低輝度有 1299nt，平均輝度為 1544.89nt，整體背光模組的均齊性為 73.02%，相較不同模溫背光模組光學輝度的表現，可以發現在最高輝度、平均輝度和最小輝度下，模溫 120°C 導光板光學表現較模溫 100°C 與 110°C 好，其主要原因是由於有相同射出速度 500mm/s 與相同塑料溫度 330°C，熔膠在模穴內流動時溫度的升高有較好的流動性，溫度較低較快形成固化層，減少充填流動空間，微結構在熔膠高溫有較好流動性下，成型性也較好轉寫性較高，使的背光模組的輝度可以向上提升，射出壓縮成型的導光板，由於直接使用鎖模壓縮來進行保壓，由於全面性的壓力使的射出壓縮成型的導光板在微結構的轉寫上有較低的標準差，在成型較均一的微結構情況下，均齊性就優於模溫較低條件與傳統射出成型的導光板。

表 5-1 射出壓縮成型操作條件

射出壓縮製程條件	參數
壓縮力(%)	99.0
壓縮速度(%)	99.0
壓縮開始位置(mm)	5.5
延遲時間(sec)	0.0
動作時間(sec)	3.0
預備動作壓力(%)	1.0
預備動作時間(sec)	1.0

表 5-2 射出壓縮成型不同模溫各表面微結構轉寫率(%)

溫度	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C	160°C	180°C
出光面	90.66	90.74	91.23	92.42	93.33	96.42	97.19
反光面	76.97	80.03	81.16	85.5	88.08	94.2	96.78
入光面	90.94	91.36	91.49	91.59	92.23	93.3	95.24

表 5-3 射出壓縮成型各表面微結構的量測數據

射壓成型 模溫 100°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	12.65	12.89	13.1	12.92	0.337
	12.43	12.9	13.3		
	12.5	13.31	13.22		
射壓成型 模溫 100°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	4.59	5.05	4.9	4.78	0.257
	4.47	5.02	4.44		
	4.59	5.07	4.9		
射壓成型 模溫 100°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28	28	28.3	28.1	0.235
射壓成型 模溫 110°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	12.6	13	13.2	12.93	0.354
	12.42	13	13.2		
	12.45	13.4	13.1		
射壓成型 模溫 110°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	4.98	5.1	4.9	4.97	0.138
	4.97	5.07	4.7		
	4.9	5.11	5		
射壓成型 模溫 110°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28.1	28.1	28.5	28.23	0.231

表 5-5 射出壓縮成型各表面微結構的量測數據 (續)

射壓成型 模溫 120°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	12.56	12.96	13.3	13	0.291
	12.69	12.93	13.1		
	12.86	13.5	13.1		
射壓成型 模溫 120°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	5	5.13	5.1	5.04	0.106
	4.97	5.16	4.9		
	4.9	5.17	5		
射壓成型 模溫 120°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28.1	28.2	28.5	28.27	0.208
射壓成型 模溫 130°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	12.9	13	13.4	13.17	0.233
	13	13.16	13.4		
	12.9	13.3	13.5		
射出成型 模溫 130°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	5.35	5.47	5.1	5.31	0.181
	5.5	5.4	5		
	5.41	5.43	5.15		
射出成型 模溫 130°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28.4	28.1	28.4	28.3	0.173
射壓成型 模溫 140°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	13.06	13.1	13.7	13.3	0.261
	13	13.25	13.6		
	13.06	13.44	13.46		
射出成型 模溫 140°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差

反光面九點位置	5.7	5.47	5.3	5.47	0.208
	5.63	5.5	5.15		
	5.68	5.6	5.2		
射出成型 模溫 140°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28.6	28.3	28.6	28.5	0.173
射壓成型 模溫 160°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	13.58	13.8	13.9	13.74	0.121
	13.6	13.82	13.79		
	13.6	13.7	13.85		
射出成型 模溫 160°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	6.35	5.86	5.39	5.85	0.388
	6.26	5.8	5.3		
	6.3	5.78	5.6		
射出成型 模溫 160°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	28.8	28.7	29	28.83	0.153
射壓成型 模溫 180°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
出光面九點位置	13.68	14	14.04	13.85	0.155
	13.7	14.06	13.9		
	13.74	13.7	13.85		
射出成型 模溫 180°C	近光源端	中間	遠光源端	平均轉寫	標準差
反光面九點位置	6.5	6.05	5.5	6.01	0.499
	6.5	6.12	5.47		
	6.68	6	5.3		
射出成型 模溫 180°C	上	中間	下	平均轉寫	標準差
入光面三點位置	29.5	29.3	29.5	29.43	0.116

表 5-4 射出壓縮成型模溫 100°C 導光板輝度量測結果

No	色度 x:	色度 y:	輝度 L:	色溫 Tc:	位置 X	位置 Y
1	0.2864	0.2657	1124	10684	30.12	13.86
2	0.2840	0.2632	1389	11258	30.12	26.06
3	0.2811	0.2679	1373	11256	30.12	38.26
4	0.2891	0.2695	1303	10036	18.47	13.86
5	0.2853	0.2649	1576	10910	18.47	26.06
6	0.2813	0.2675	1486	11263	18.47	38.26
7	0.2901	0.2710	1190	9811	6.82	13.86
8	0.2869	0.2681	1525	10427	6.82	26.06
9	0.2827	0.2688	1502	10952	6.82	38.26
	x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg		
	0.2852	0.2647	1385.33	10733.11		
	L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度	
	1576	5	1124	1	70.32	

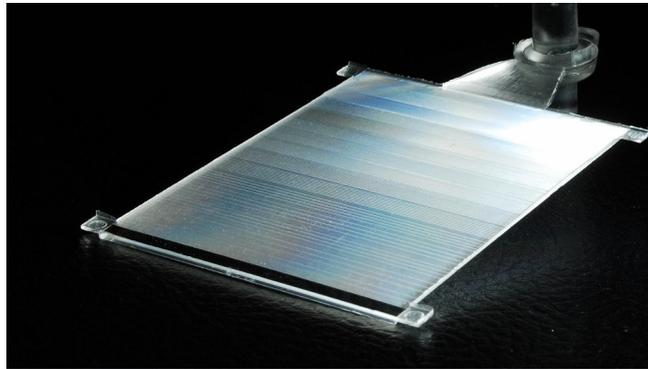
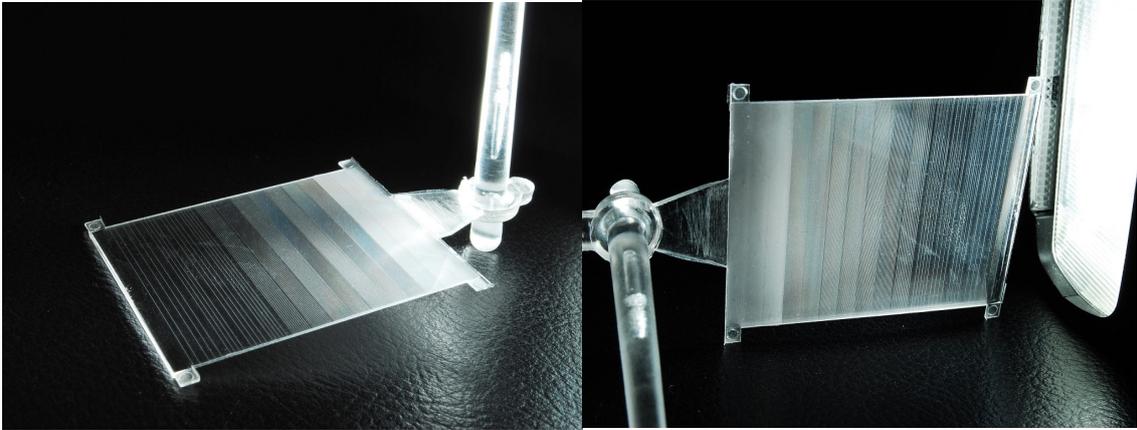
射出壓縮成型模溫 110°C 導光板輝度量測結果

No	色度 x:	色度 y:	輝度 L:	色溫 Tc:	位置 X	位置 Y
1	0.2846	0.2669	1217	10842	30.12	13.86
2	0.2816	0.2596	1502	12019	30.12	26.06
3	0.2777	0.2627	1444	12308	30.12	38.26
4	0.2870	0.2720	1323	10140	18.47	13.86
5	0.2831	0.2629	1639	11426	18.47	26.06
6	0.2783	0.2634	1506	12131	18.47	38.26
7	0.2874	0.2716	1147	10115	6.82	13.86
8	0.2839	0.2644	1467	11162	6.82	26.06
9	0.2787	0.2640	1365	12002	6.82	38.26
	x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg		
	0.2825	0.2653	1401.11	11349.34		
	L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度	
	1639	5	1147	7	70.98	

表 5-4 射出壓縮成型模溫 120°C 導光板輝度量測結果(續)

No	色度 x:	色度 y:	輝度 L:	色溫 Tc:	位置 X	位置 Y
1	0.2863	0.2699	1299	10376	30.12	13.86
2	0.2833	0.2617	1615	11515	30.12	26.06
3	0.2793	0.2651	1510	11793	30.12	38.26
4	0.2878	0.2732	1405	9962	18.47	13.86
5	0.2845	0.2637	1779	11136	18.47	26.06
6	0.2843	0.2640	1615	11891	18.47	38.26
7	0.2794	0.2716	1334	10115	6.82	13.86
8	0.2841	0.2652	1744	11060	6.82	26.06
9	0.2800	0.2637	1603	11829	6.82	38.26
	x_avg	y_avg	L_avg	Tc_avg		
	0.2836	0.2665	1544.89	11075.06		
	L_max	max 位置	L_min	min 位置	L 均勻度	
	1779	5	1299	3	73.02	

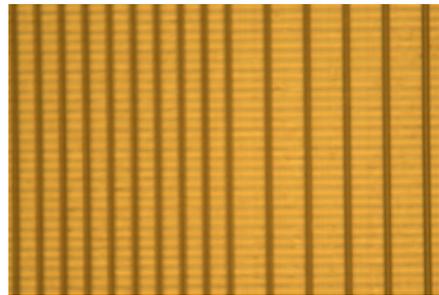




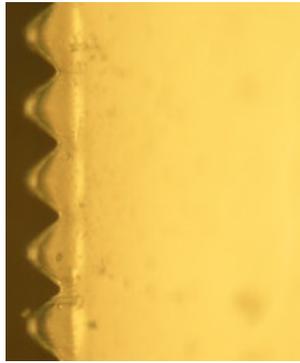
A.導光板成品



B.出光面 微結構

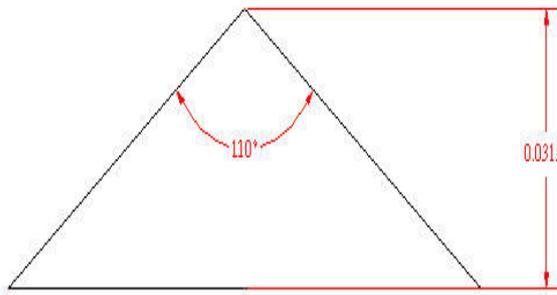


C.反光面微結構

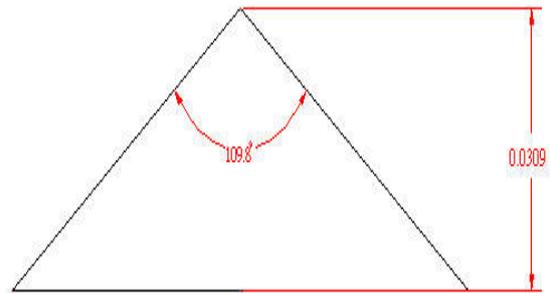


D.入光面微結構

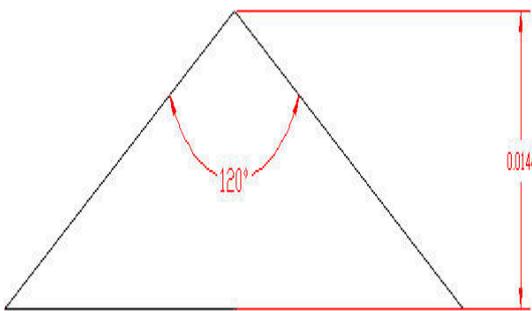
圖 5-1. 導光板成品與表面微結構



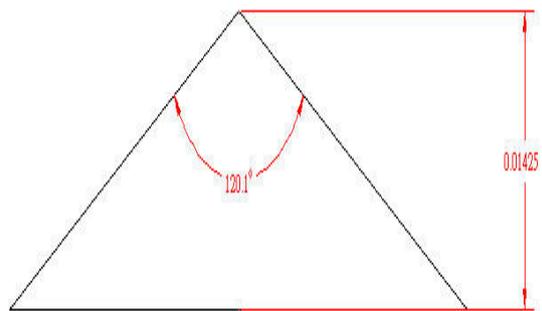
A.入光面設計尺寸



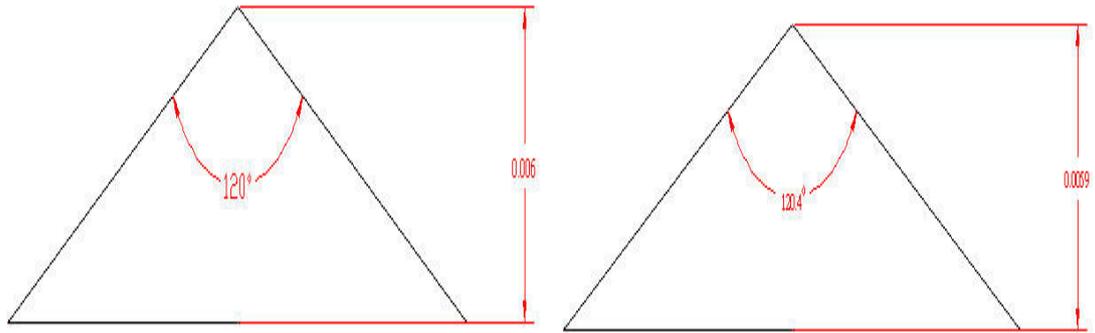
模仁加工後尺寸



B.出光面設計尺寸



模仁加工後尺寸



C.反光面設計尺寸

模仁加工後尺寸

圖 5-2 微結構設計尺寸與實際加工



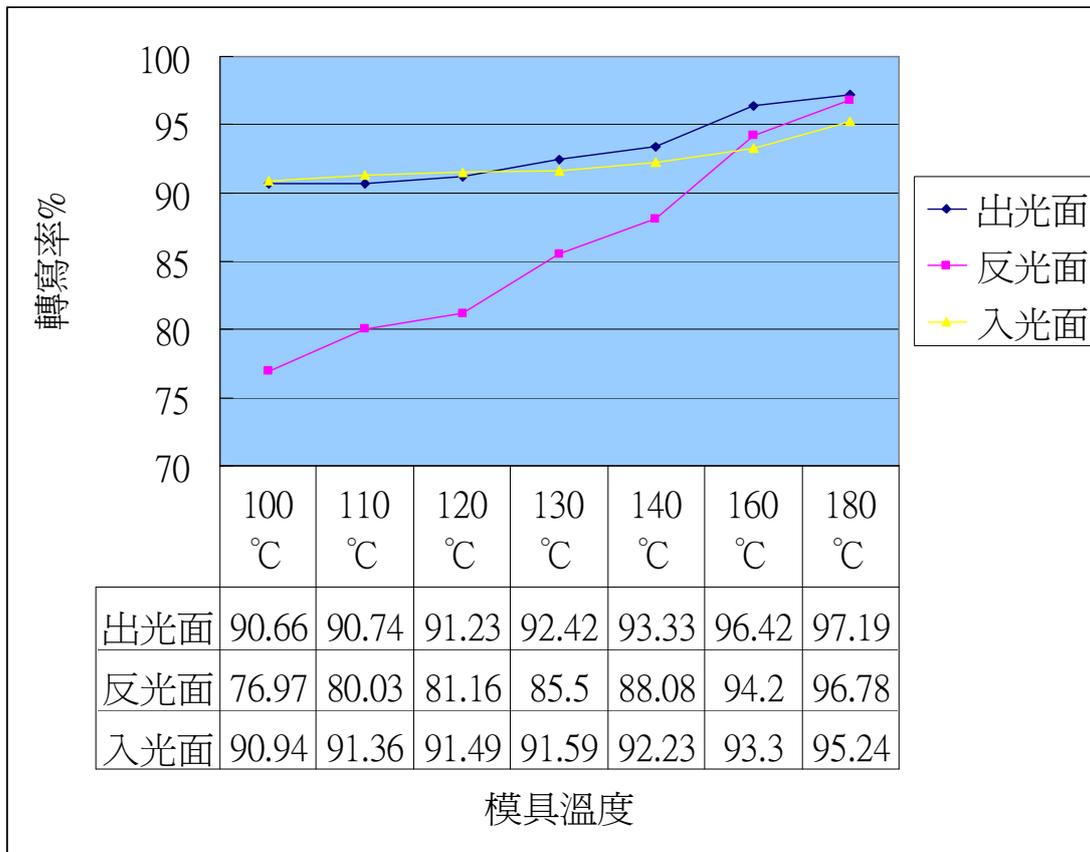
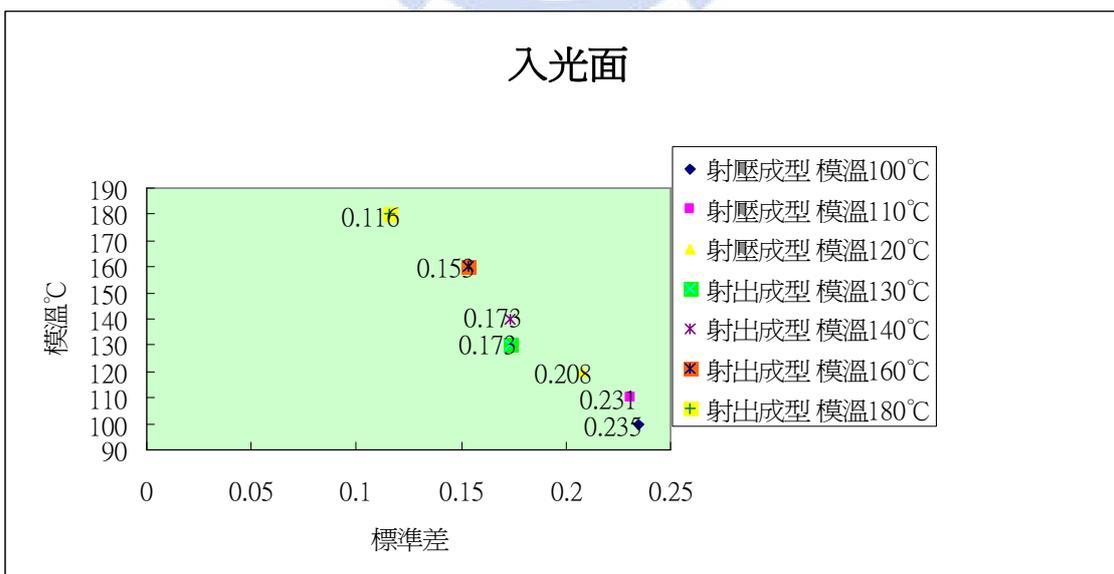


圖 5-3 射出壓縮成型不同模溫各表面微結構轉寫率



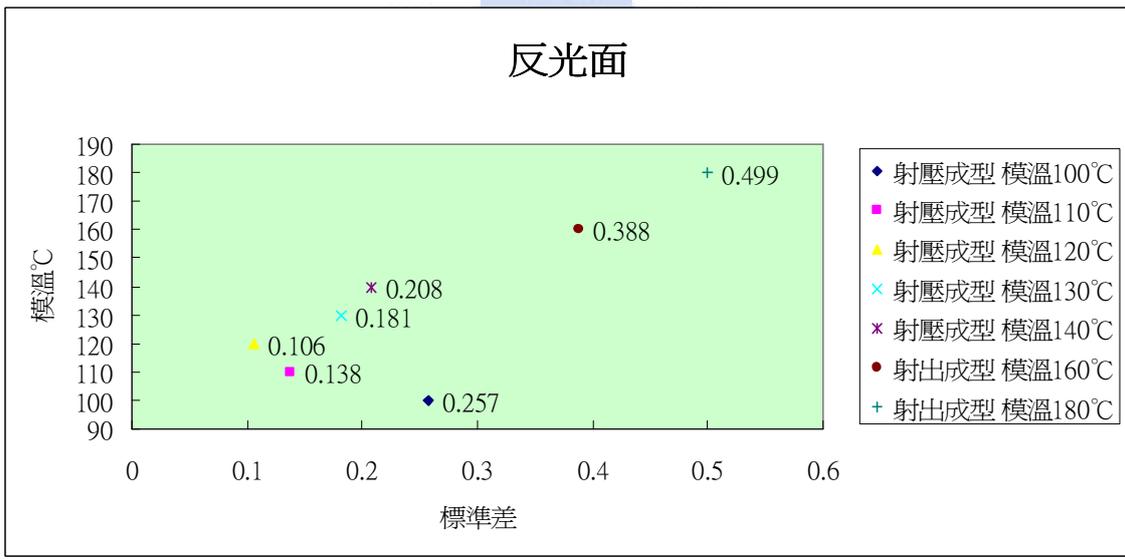
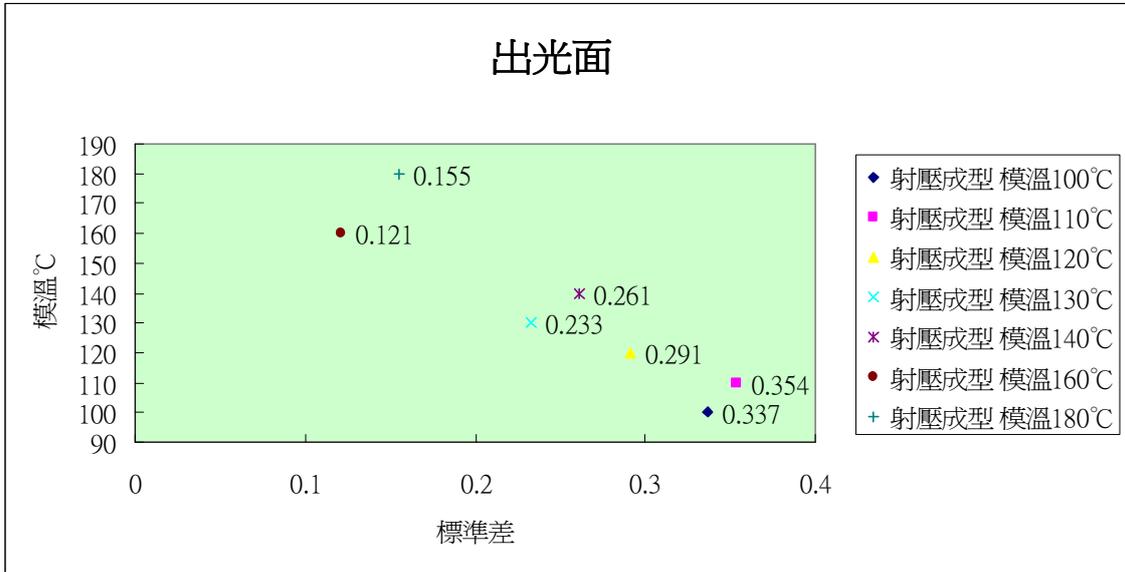
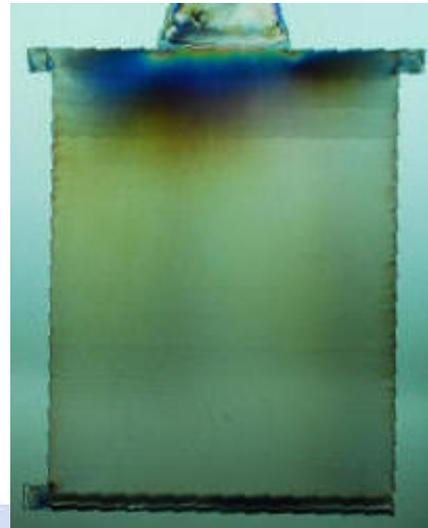


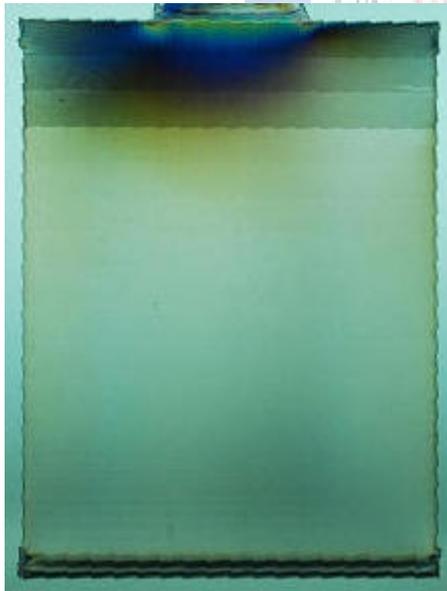
圖 5-4 表面微結構成型標準差



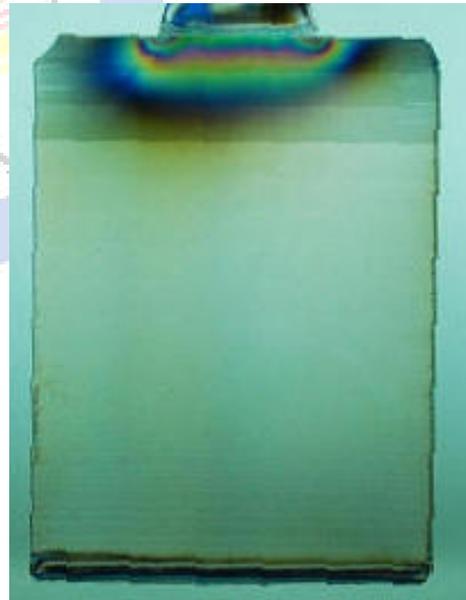
模溫 100°C



模溫 110°C



模溫 120°C

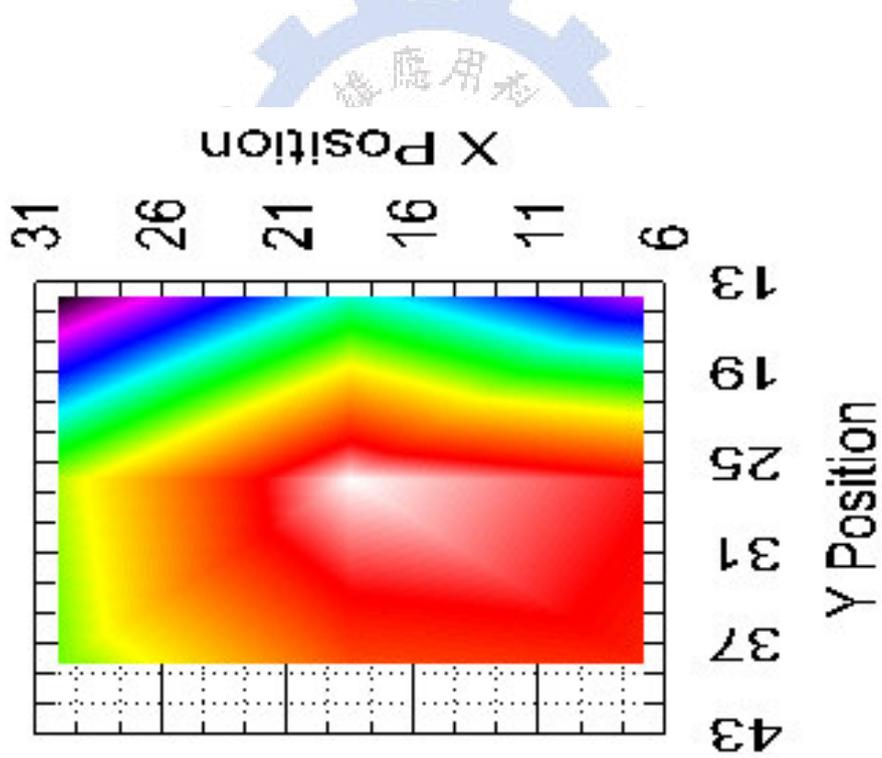


模溫 140°C

圖 5-5 射出壓縮成型導光板光彈應力圖



圖 5-6 背光模組圖



模溫 100°C

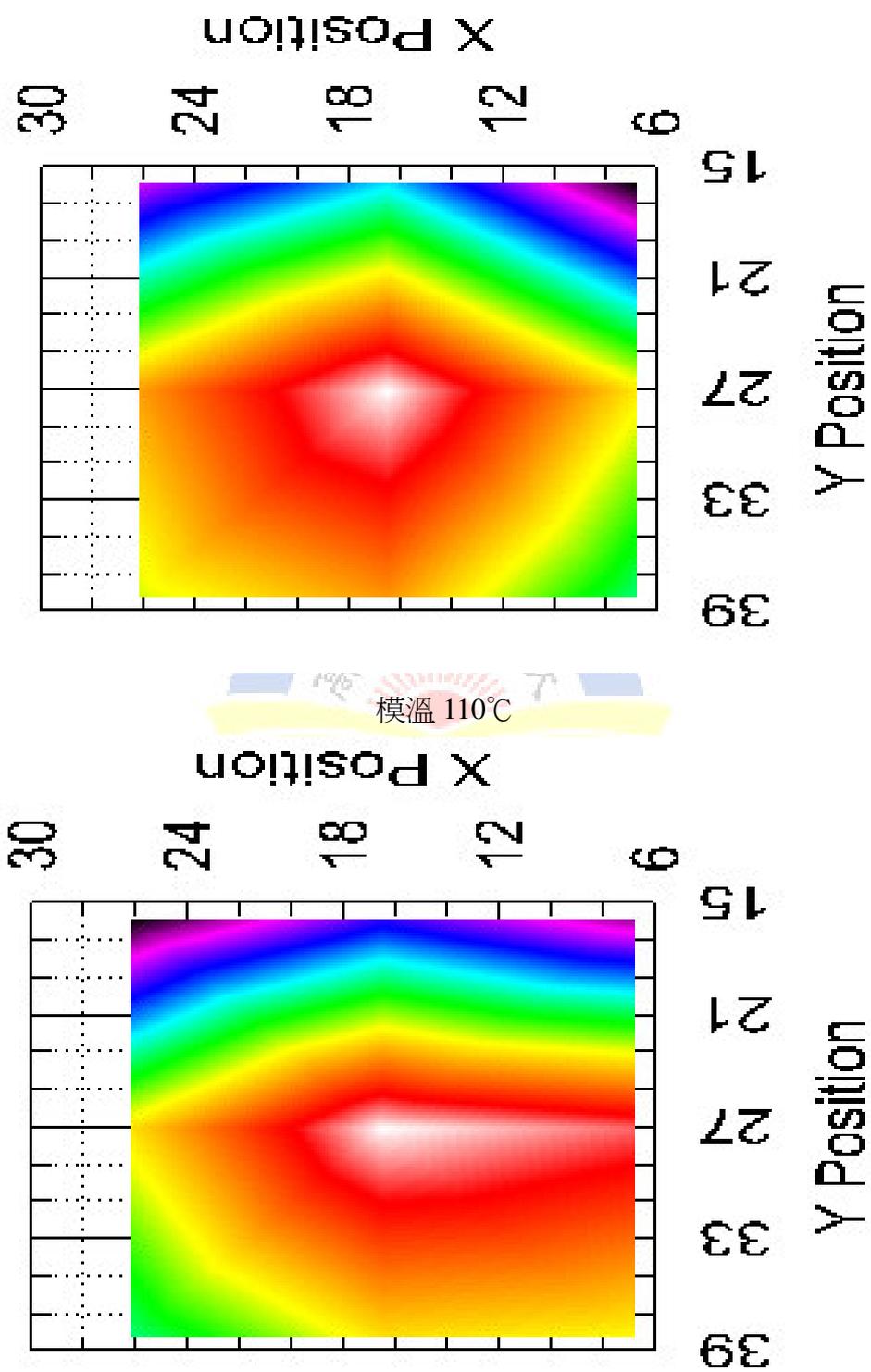


圖 5-7 射出壓縮成型導光板背光模組輝度量測

## 第六章 結論

### 6.1 結論

本研究以 2.5 吋導光板為標的物，厚度為 0.3mm，以聚碳酸樹脂(PC)成形，針對導光板的薄化進行設計，以 V 形溝的型式設計導光板上的微特徵，並使用 tracepro 非序列式光學模擬軟體，進行光學模擬，了解微結構的設計與光路的分析，以及表面微結構對光源均齊性與輝度的影響，提高薄化導光板在光源使用；在導光板製程上，使用模流分析模擬出最佳射出參數，比較一般射出成形法及射出壓縮方式成形導光板，討論不同成形條件對成形品質的影響，並搭配監控系統與模內感測器，擷取導光板上成形過程的溫度壓力，導光板經過輪廓儀檢測微結構成形結果，並實際組裝背光模組進行光學輝度的量測，進一步探討成形溫度壓力的變化對於成形轉寫性的相互關係與微結構設計對輝度影響的因子。主要目的是在較佳的微結構設計上，比較成形品質與成形模內溫度壓力的數據，了解成形的溫度壓力變化對成形的關連性，經分析整理後，歸納以下結論：

#### 光學設計

- 在導光板入光、出光、反光各設計微結構可明顯提升正向輝度效果，且出光面微結構可有代替稜鏡片聚光功效。
- 在反光面微結構的設計上，在光源端微結構分佈的密度都很低，在遠光源側則密度分佈變化則越趨劇烈，以得到較好的光學均齊性。
- 導光板反光面上，將密度分佈分割越多段，背光模組的均齊效果越容易掌控。

#### 成型實驗

- 以 0.3mm 均一厚度的導光板，在射出壓縮成型上，必須以機台上限 500mm/s 射出速度進行充填且膠溫也必須相對提高。

- 在微結構的成型上由於高速高壓的射出結果，造成應力在澆口測明顯增加，使用變換模具溫度在充填時以高溫方式有助於應力消滅。
- 射出壓縮成型在導光板的成型上，可以提高遠澆口端微結構的轉寫率，在搭配變換模溫出光、反光、入光測微結構上，可以成型較好的微結構成型品質。
- 射出壓縮成型可以得到成型品質較一致的微結構，在高模溫 180°C 微結構入光面及出光面，成型的標準差較 100°C 成型低，模溫 180°C 轉寫率也較 100°C 高，模溫 180°C 三面微結構轉寫率可達 95% 以上，也由於在成型過程，融膠在模穴凝固較慢固化層產生較晚，在轉寫率也優於較低模溫成型。

## 6.2 未來展望

在導光板薄型化的趨勢下，可以朝著厚度更薄的方向進行研究發展，除了減少厚度外，在未來的研究發展可以朝著減少成本與元件，例如導光板發展為光學膜片，或是減少 LED 用量使用單顆高亮度提高導光板對光學效果的效能，以減少背光模組體積與成本。

在製程上，對於導光板上微結構成型的問題，可以利用射出壓縮成型搭配不同模具升溫方式，進一步探討成型轉寫率的關係，例如加入表面升溫高周波遠紅外線感應加熱、火焰加熱、電阻式加熱、以冰水、乾冰氣體作為快速冷卻，研究成型週期縮短控制。

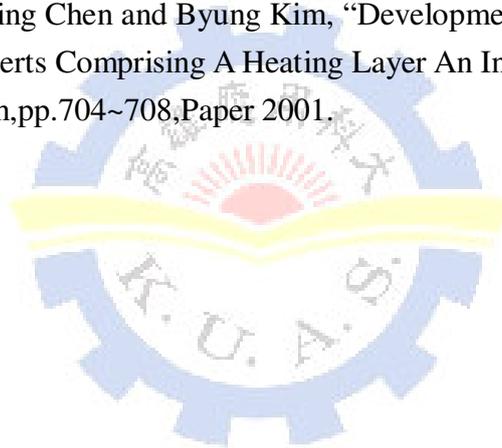
對於 0.3mm 厚度或以下的導光板，也可以探討以較高速在實驗過程中，當導光板厚度減少到 0.5mm 以下時，頂出過程可能會導致導光板的變型，因此在模具的頂出設計上，必須設計空氣頂出的機構。

射出壓縮搭配變模溫可使轉寫性達 95% 以上，在成型參數上找出一定趨勢使其最佳化，以往更薄 0.25mm、0.2mm 或更大尺寸 3.5 吋的導光板製成。

## 參考文獻

- [1] 施至柔，“背光模組光學模擬技術”，交通大學碩士論文，1998 年6 月。
- [2] 蘇紹安，“非印刷式背光模組光學模擬分析”，中華大學碩士論文，2000 年6 月。
- [3] Kalantar, Kalil; Matsumoto, Shingo; Onishi, Tomohisa, “Functional light guide plate characterized by optical micro-deflector and micro-reflector for LCD backlight”, *IEICE Transactions on Electronics*, v E84-C, n 11, p1637-1646, 2001.
- [4] 蔣宗樹，“導光板導光設計之研究”，中原大學碩士論文，2003 年6 月。
- [5] 方育斌，“背光模組之光學最佳化設計”，成功大學碩士論文，2003 年 6 月。
- [6] 詹展昌，“LCD 導光板入光面特性研究”，大葉大學碩士論文，2003 年 6 月。
- [7] Kalantar, Kalil; Matsumoto, Shingo; Katoh, Tatsuya; Mizuno, “Backlight unit with double-surface light emission using a single micro-structured light guide plate”, *Journal of the Society for Information Display*, v 12, n 4, p 379-387, 2004.
- [8] 蔡俊欽，“導光板光學設計及製程之最佳化研究”，高雄應用科技大學碩士論文，2004 年6 月。
- [9] 黃彥文，“超薄型導光板光學設計與精密成型分析”，高雄應用科技大學碩士論文，2005 年 6 月。
- [10] 宋昱廷，“超薄型導光板光學設計與模內成型分析”，高雄應用科技大學碩士論文，2007 年 5 月
- [11] Johannaber, F., “Injection Molding Machines a User’s Guide”, Hanser /Gardner Publications, Inc., Cincinnati, p33-37, 1985.
- [12] Greener, J., “General Consequences of the Packing Phase in injection Molding”, *Polymer Engineering and Science*, v26, n12, p886-892, 2001.
- [13] Friedrichs, “Injection Compression Molding of Thin-Walled Thermoplastic Parts”, *Kunststoffe German Plastics*, v80, n5, p13, 1990.
- [14] Yoon, K., Wang K.K. “The Effect of Holding Pressure on Frozen-in Birefringence in Injection-Molding Disks, ANTEC, p2221, 1992。”
- [15] 俐芊，“微米薄流路內之聚物流動特性”，交通大學碩士論文，1998 年 6 月。
- [16] Despa, M.S. ; Kelly, K.W ; Collier, J.R., “Injection Molding of polymeric

- LIGA HARMS”, *Microsystem Technologies*, v6, n2, p60-66, 1999.
- [17] 黃東鴻，“薄殼射出件翹曲變形與殘留應力研究”，成功大學碩士論文，2001年6月。
- [18] 林昆燁，“射出壓縮成型於楔型版之研究”，長庚大學碩士論文，2001年6月。
- [19] 蘇義豐，“射出成型應用於導光板之製程研究”，大葉大學碩士論文，2002年6月。
- [20] Wolfgang Schinkoethe and Thomas Walther, “Mold Temperature Control”, *Kunststoffe Plast Europe*, 2001.
- [21] D. H. Kim, M. H. Kan and Y. H. Chun, “Development of A Notebook PC Housing by Using MMSH (Momentary Mold Surface Heating) Process”, *SPE ANTEC Tech*, pp.3347~3350, Paper 2001.
- [22] Donggang Yao, Ming Chen and Byung Kim, “Development of Rapid Heating and Cooling Mold Inserts Comprising A Heating Layer An Insulation and Substrate”, *SPE ANTEC Tech*, pp.704~708, Paper 2001.



※個人基本資料

姓名	黃竹申		
性別	男		
出生年月日	73 年 04 月 27 日		
E-Mail	<a href="mailto:m87136@yahoo.com.tw">m87136@yahoo.com.tw</a>		
通訊處 (S)	高雄市三民區建工路 415 號	電話	0921079698
通訊處 (H)	台北縣八里鄉中山路一段 149 巷 5 號 7 樓	電話	0921079698
學歷	台北市立木柵高級工業職業學校模具科 國立高雄應用科技大學模具工程系 國立高雄應用科技大學模具工程研究所		
專長		得獎紀錄	
<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 射出成型</li> <li>◆ 塑膠模具設計</li> <li>◆ 模流分析</li> <li>◆ 高分子加工</li> <li>◆ 光學設計</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 2006 年影像顯示專題實作競賽 暨奇美獎 獲展示佳作獎</li> </ul>	