

國立交通大學

平面顯示技術碩士學位學程

碩 士 論 文



壓電式光學墨水應用於導光板之研究

Development of Optical Ink for Light Guide Plate

研 究 生：蕭毅豪

指 導 教 授：田仲豪 博士

中華民國九十七年九月

壓電式光學墨水應用於導光板之研究

Development of Optical Ink for Light Guide Plate

研 究 生：蕭毅豪

Student：Yi-Hau Shiau

指 導 教 授：田仲豪

Advisor：Chung-Hao Tien

國 立 交 通 大 學

平面顯示技術學位學程



Submitted to Program of Flat Panel Display Technology
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in

Program of Flat Panel Display Technology

September 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十七 年 九 月

壓電式光學墨水應用於導光板之研究

學生：蕭毅豪

指導教授：田仲豪

國立交通大學平面顯示技術學位學程



本研究利用光硬化原料如寡聚合物、單體、光起始劑等配製成光學墨水，運用光學墨水獨特的成形特性，開發出接觸角度 42 度以及折射率 1.50 的光學微透鏡陣列，並成功試製出擁有 80% 亮度均勻性的 7 吋導光板。未來若採用噴墨技術生產可以得到更佳的時間效益及成本競爭力，因為光學墨水直接在壓克力基板上被噴墨描繪而成。相較於傳統需要 35~40 天的射出成型製程，改採用噴墨製程將使開發製造時程減少為 2 天。此光學材料使用量可相對減少，更較傳統製造方式符合節能減碳標準。

Development of Optical Ink for Light Guide Plate

Student: Yi-Hau Shiau

Advisor: Dr. Chung-Hao Tien

**Program of Flat Panel Display Technology
National Chiao Tung University**

ABSTRACT



In this study, we demonstrated a 7-inch microlens backlight by means of an novel in-house optical ink which is composed of UV curable resin, photo initiator and additive. The microlens array has a 42° contact angle and 1.50 refractive index, by which the backlight can be achieved with 80% uniformity and 70% extraction efficiency. Compared with conventional fabrication process subject to 35~40 working days, proposed inkjet printing technology is cost-effective, fast, and reliable alternative scheme for light guide production.

誌 謝

指導教授田仲豪老師是我首先要感謝的，教授總會細心解釋直到我懂為止，更謝謝教授兩年多來在光學研究上、專業能力上及生活上的細心指導，並提供了良好的研究環境，使我對光學理論、微光學元件、色彩學與顯示器技術有更深入的瞭解，並順利完成人生第一本論文。

研究過程中，我要感謝余宗翰同學在噴墨製程等各方面的合作與交流，還有洪健翔博士在光學模擬上的設計指導與協助、鄭榮安博士在研究過程提供許多寶貴的建議，同時還要感謝實驗室其他學長與同學在課業上、研究上、生活上的幫助與分享，並陪伴我一起渡過兩年多碩士班的日子。我也要感謝實驗室的學長姐與吳小姐各項系辦事務的協助。

最後，更要感謝我的父親大人、母親大人與女友林美秀妳們多年來的支持與鼓勵，還有在生活上的細心照顧與關懷，使我能夠無後顧之憂的研究與學習，並順利完成碩士學業。當然，我的好友王振約及林憲鋒在我研究低潮時於品茗中給予鼓勵，將這份喜悅和幫助過我的各位分享。

目 錄

中文摘要	iii
英文摘要	iv
誌謝	v
目錄	vi
圖目錄	viii
表目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 Overview	1
1.1.1 Liquid Crystal Displays	1
1.2 Cell 材料介紹	3
1.2.1 液晶	3
1.2.2 配向膜	4
1.2.3 彩色光阻	5
1.3 背光模組	6
1.4 噴墨列印介紹	12
第二章 理論基礎	14
2.1 光學理論	14
2.2 光學樹脂材料理論	21
2.3 界面理論	31
第三章 實驗方法	33
3.1 光硬化原物料	34
3.2 實驗用儀器	37
3.3 光學樹脂墨水配製及噴製	38
第四章 結果與討論	40
4.1 光學墨水	40
4.1.1 墨水配方選擇	40

4.2 7吋導光板試製	45
4.3 光學墨水特性及信賴性測試	47
第五章 結論	51
5.1 Conclusions	51
5.2 Future work.....	52
<i>Reference</i>	53



圖目錄

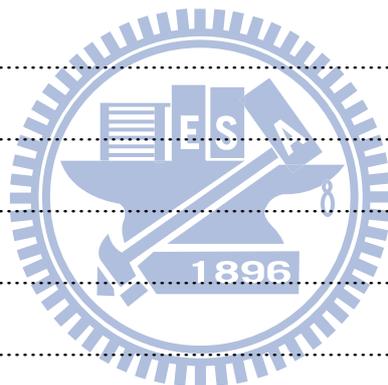
圖 1-1 TFT- LCD 斷面圖.....	2
圖 1-2 TFT- LCD 光電特性圖.....	3
圖 1-3 安息香酸膽固醇酯之化學結構.....	4
圖 1-4 配向膜位置圖.....	4
圖 1-5 彩色濾光片配置圖.....	5
圖 1-6 背光模組類型.....	7
圖 1-7 背光模組的結構.....	7
圖 1-8 導光板結構及製造方式.....	8
圖 1-9 反射板結構.....	9
圖 1-10 擴散板結構.....	10
圖 1-11 增亮膜結構.....	10
圖 1-12 偏光膜結構.....	11
圖 1-13 噴墨類型.....	12
圖 2-1 各種光束.....	14
圖 2-2 光的反射與折射.....	15
圖 2-3 全反射現象.....	16
圖 2-4 球座標系統.....	17
圖 2-5 立體角示意圖.....	17
圖 2-6 立體角的微分量與環狀椎.....	18
圖 2-7 自由基反應示意圖.....	23
圖 2-8 常見單體分類圖.....	24
圖 2-9 光聚合能階示意圖.....	28
圖 2-10 接觸角示意圖.....	30
圖 3-1 實驗步驟流程圖.....	33

圖 4-1 表面張力趨勢圖	43
圖 4-2 折射率趨勢圖	44
圖 4-3 黏度 VS 表面張力	45
圖 4-4 光學透鏡尺寸	45
圖 4-5 Luminance uniformity	46
圖 4-6 穿透率	47
圖 4-7 玻璃轉移點	48



表目錄

表 1-1 導光板製作技術比較.....	13
表 2-1 光學單位符號意義.....	20
表 2-2 光硬化樹脂.....	22
表 2-3 光硬化樹脂.....	24
表 2-4 常見單體分類.....	25
表 2-5 寡聚合物種類與特性.....	26
表 2-6 寡聚合物種類與特性.....	27
表 3-1 各類市售寡聚合物.....	34
表 3-2 各類市售單體.....	35
表 3-3 各類市售光起始劑.....	36
表 3-4 各類光源.....	39
表 4-1 光學墨水配方表.....	42
表 4-2 含水率結果.....	48
表 4-3 黃化率結果.....	49
表 4-4 硬度結果.....	49
表 4-5 接著力測試結果.....	50



第一章 緒論

液晶顯示器及噴墨技術簡介

1.1 Overview

平面顯示器方面科技在近幾年來已經慢慢普遍於各個家庭，以往的陰極射線管顯示器螢幕（CRT）漸漸被更輕薄的薄膜電晶體液晶平面顯示器（Thin Film Transistor Liquid Crystal Display）所取代，不同的顯示技術也日新月異。平面顯示器（Flat Panel Displays，FPDs）的未來趨勢就是要更輕薄便宜、畫質更好；據統計，全球平面顯示器市場規模從2001年快速成長，它包括液晶顯示器（TFT-LCD）、發光二極體顯示器（LED）、電漿顯示器（PDP）、真空螢光顯示器（VFD）、電場發光顯示器（FED）及薄膜電激發光顯示（TFEL）等。現今液晶顯示器占了大約有80%的市場，預計未來整個FPDs市場將隨著新平面顯示技術的突破，資訊科技的普遍化及網路（Internet）使用者成長而急遽增加，至2009年，預估市場可以成長三倍。

這美麗極緻的Display technology正在我們生活中展開，我們也積極投入這熱門產業，我以簡短的介紹帶給大家在TFT-LCD上有一基本認識。

1.1.1 Liquid Crystal Displays

舉例而言，薄膜電晶體液晶顯示器（Thin-Film Transistor Liquid-Crystal Display，TFT-LCD）面板可視為兩片玻璃基板中間夾著一層液晶，上層的玻璃基板是與彩色濾光片（Color Filter）結合，而下層的玻璃則有 Array 電晶體嵌於上，上下兩片玻璃的結合稱作 Cell。當電流通過電晶體產生電場變化，造成液晶分子偏轉，以改變光線的偏極性，再利用上下各貼平行與垂直交錯的偏光膜決定畫素（Pixel）的明暗（驅動電壓 ON/OFF）狀態。此外，上層玻璃因與彩色濾光片貼合，形成每個畫素各包含紅綠藍（R/G/B）三顏色，這些發出紅綠藍色彩的畫素便構成了面板上的動畫影像，三大製程進行說明如圖 1-1 所示：

一般 TFT-LCD 的三段主要的製程^[1]:

- Array (前段製程)

前段的 Array 製程與傳統半導體製程類似，但不同的是將薄膜電晶體在玻璃基板製作，而非矽晶圓上。

- Cell (中段製程)

中段的 Cell，是以前段 Array 的玻璃為基板，與彩色濾光片的玻璃基板結合，並灌入液晶 (Liquid Crystal) 在兩片玻璃基板間。

- Module Assembly (後段模組組裝)

後段模組組裝製程是將 Cell 製程後的玻璃與其他如背光板、電路、外框等多種零組件組裝的生產作業。

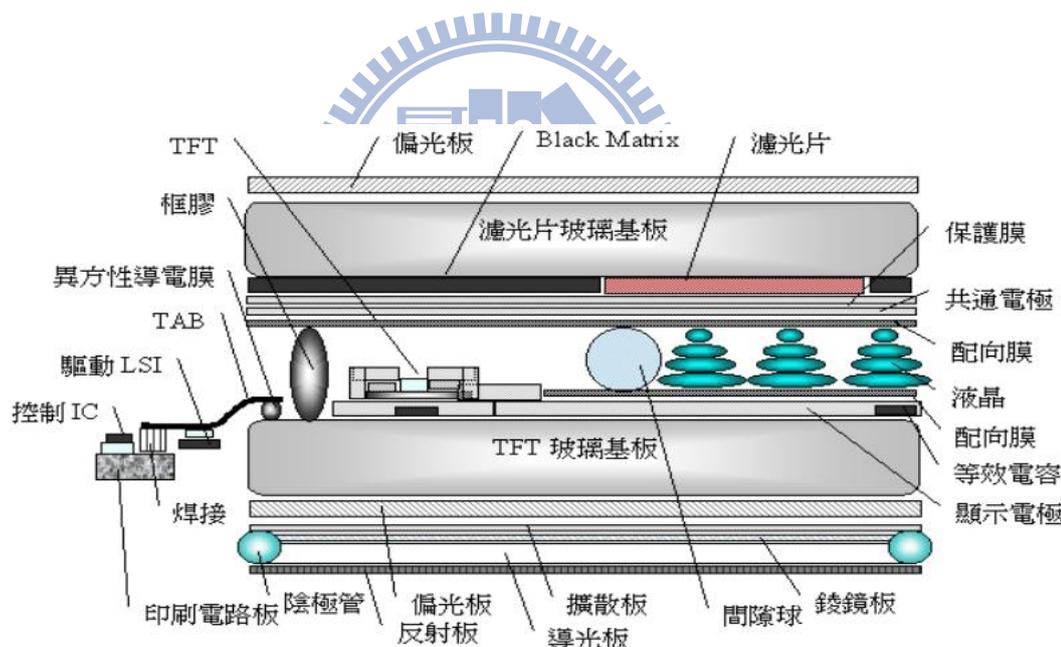


圖 1-1 TFT-LCD 斷面圖

它是一個以電信號控制的光開關裝置^[2]。液晶介於兩片透明導電之銦錫氧化物 (ITO) 電極之間，不同的液晶排列方向是經由加在 ITO 電極上的電壓高低來控制，節錄如圖 1-2 所示，液晶的排列方向與光線的穿透量有關，進而造成畫素的亮暗程度不同，這就是灰階的控制原理 (則彩色濾光片可以產生顏色)。此畫素的灰階是由資料驅動器 (Data Driver) 所能提供的分電壓數目決定。

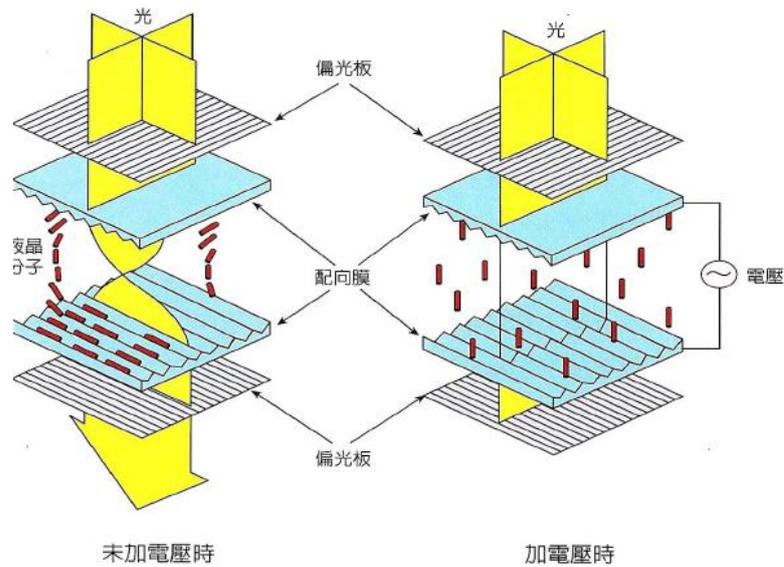


圖 1-2 TFT-LCD 光電特性圖

1.2 Cell 材料介紹

1.2.1 液晶

回溯到1888年發現了液晶型態，當時一種安息香酸膽固醇酯(Cholesteryl Benzoate)合成物被植物學者F. Reinitzer發現，此化合物在145°C時熔解，但卻呈混濁的狀態，加熱到179°C時突然成為透明的液體^[3]。

後來以偏光顯微鏡確認這混濁的狀態是具有組織方向性液體的德國物理學者O. Lehmann表示，其具有光學雙折射的現象，乃稱此狀態為Flussige Kristalle，就是今日的液晶。因其是介於等方向性液體及固體之間的中間狀態，亦稱之為中間相(Mesophase)，如圖1-3所示。

液晶就其形成原因可分為液向性液晶(Lyotropic Liquid Crystal)和熱向性液晶(Thermotropic Liquid Crystal)兩類。前者是將化合物溶入適當溶劑，因濃度條件而形成液晶狀態，此類大部分為生體的構成物質^[4]。而熱向性液晶是由於溫度效應而呈現不同的液晶相，此類液晶之電氣—光學效果、溫度—光學效果顯著，故其在基礎研究及應用分類上均令人矚目。採用此類液晶製造的液晶顯示器被稱為了Liquid Crystal Display。

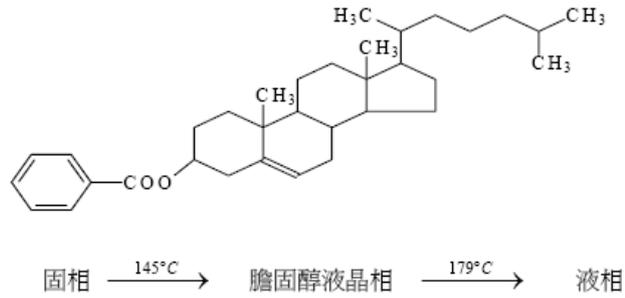


圖 1-3 安息香酸膽固醇酯之化學結構

1.2.2 配向膜

在 1911 年 Maugin 發現顯示器內使用的 Polymer film 在摩擦後會使得液晶分子往摩擦方向排列。通常配向膜是控制液晶顯示器品質的關鍵材料，用於液晶顯示器上下電極基板的內側，目的在控制液晶分子排列方向，如圖 1-4。配向膜材料主要成分聚亞醯胺 (Polyimide, PI) 樹脂，因此 PI 膜能提供 LCD 穩定顯示品質半導體級的樹脂材料^[5]。

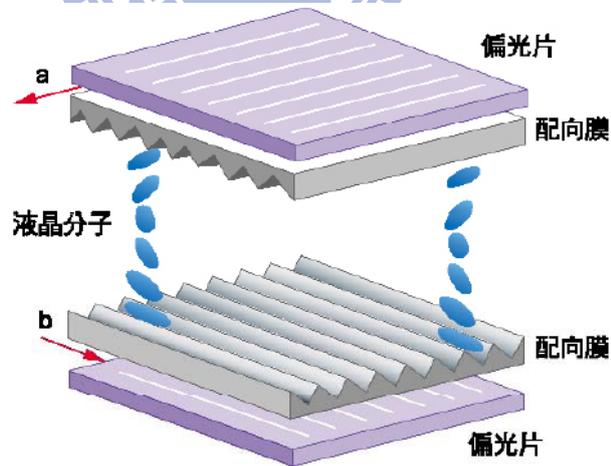


圖 1-4 配向膜位置圖

1.2.3 彩色光阻

彩色濾光片 (Color Filter) 中的彩色光阻 (Color Resist) 是彩色濾光片的關鍵材料，如圖 1-5，是各廠產品差異化的主要因素，更是控制成本的主要原料，其主要功能有兩方面^[6-7]：

1. 形成產品設計所需精確的線路或形狀
2. 達到色彩過濾的作用

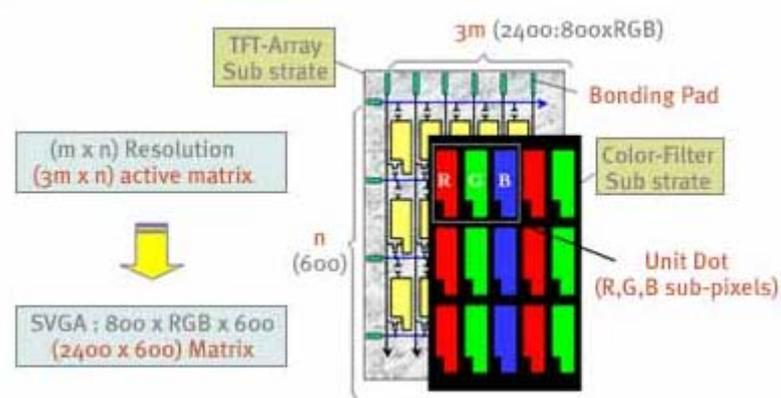


圖 1-5 彩色濾光片配置圖

好的彩色光阻，不僅在色彩的表現上，要符合最終產品的規格，更在製程面及安定性部分更有其特殊的考量，各項需求分述如下：

1. 色彩表現：高色純度、高穿透度和高對比；
2. 製程特性：高感度、塗佈均勻性、較快的顯影速度和較大顯影範圍；
3. 可靠度：儲存安定性、耐光性、耐熱性和耐化學溶劑。

1.3 背光模組

在大尺寸及低價格的趨勢下，背光模組在考量輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的市場要求，為保持在未來市場的競爭力，開發與設計新型的背光模組及射出成型的新製作技術，是努力的方向及重要課題。背光模組其主要由光源包括冷陰極螢光管(CCFL)^[8~11]、熱陰極螢光管、發光二極體(LED)、燈罩、反射板(Reflector)、導光板(Light Guide Plate)、擴散片(Diffusion Sheet 1-2片)、增亮膜(Brightness Enhancement Film 1-2片)及外框等組件組裝而成，光學膜片與導光板為最主要之技術和成本所在。

一般而言，如圖1-6所示，背光模組可分為前光式(Front Light)與背光式(Back Light)兩種，而背光式可依其規模的要求，以燈管的位置做分類，發展出下列兩大結構：

1. 側光式(Edge Lighting)結構：為擺在側邊之單支發光源，導光板採射出成型無印刷式設計，一般常用於18吋以下中小尺寸的背光模組，其側邊入射的光源設計，擁有輕量、薄型、低耗能的特色，亦為手機、個人數位助理、筆記型電腦的光源，目前亦有大尺寸背光模組採用側光式結構，光源亦包含LED Backlight或CCFL Backlight。
2. 直下型(Direct Lighting)結構：超大尺寸的背光模組，側光式結構已經無法在重量、消費電力及亮度上佔有優勢，因此不含導光板且光源放置於正下方的直下型結構便被發展出來。光源由自發性光源：例如燈管、發光二極體、有機電致發光(Electro Luminescence, EL)等射出藉由反射板反射後，向上經擴散板均勻分散後於正面射出，因安置空間變大，燈管可依TFT面板大小使用2至多之燈管，但同時也增加了模組的厚度、重量、耗電量、其優點為高輝度、良好的出光視角、光利用效率高、結構簡易化等，因而適用於對可攜性及空間要求較不挑剔的LCD Monitor與LCD TV。

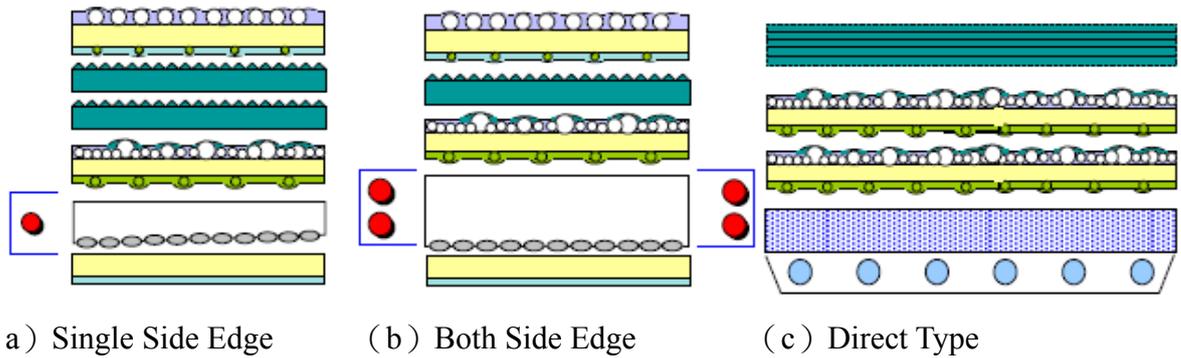


圖 1-6 背光模組類型

供液晶面板均勻、高亮度的光源為背光模組主要功能，基本原理係將常用的點或線型光源，透過有效光機構轉化成高亮度且均一輝度的面光源產品。通用結構為利用冷陰極管的線型光源經反射罩進入導光板，轉化線光源分佈成均勻的面光源，再經擴散片的散射作用與稜鏡片的集光作用以提高光源的亮度與均勻度。在此我們就背光模組的幾個基本構成組件做些介紹。圖1-7所示：

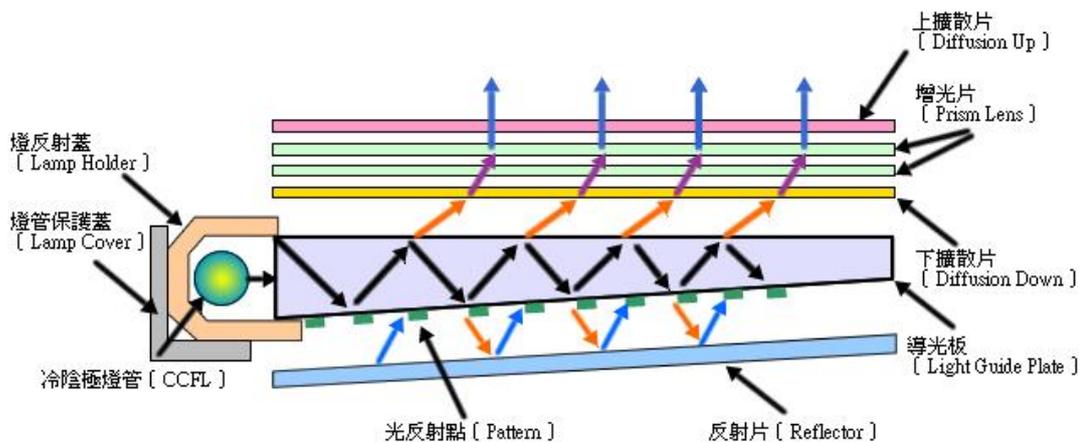


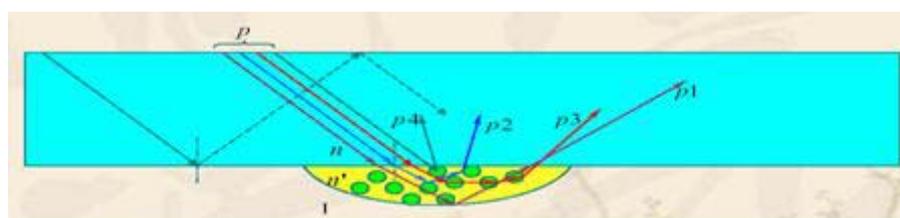
圖 1-7 背光模組的結構

1. 發光源 (Light Source)

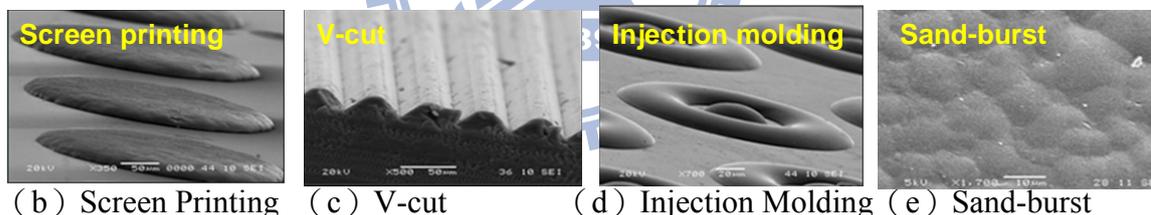
其中冷陰極燈管具有高輝度、高效率、壽命長、高演色性等特性，加上圓柱狀外形因此很容易與光反射元件組合成薄板狀照明裝置，故目前以冷陰極螢光管為市場主流。目前光源有冷陰極螢光管 (Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL) 熱陰極螢光管、發光二極體 (Light Emitting Diode, LED) 及有機電致發光片 (EL) 等具備亮度高及壽命長等特色。

2. 導光板 (Light Guide Plate)

導光板主要功能在於導引光線方向，讓平行光導正成垂直光面射出，以提高面板光輝度及控制亮度均勻。應用於側光型背光模組，是影響光效率的重要元件，用射出成型的方法將丙烯壓製成表面光滑的楔形板塊，然後用具高反射率且不吸光的材料，在導光板底面用網版印刷印上圓形或方形的擴散點。冷陰極管位於導光板厚側的端面，冷陰極管所發的光以端面照光的方式進入導光板，大部分的光利用全反射往薄的一端傳導，當光線在底面碰到光學微結構正面射出，利用疏密、大小不同的微結構圖案設計可使導光板面均勻發光。在外型上又區分為：1. 楔型板. 2. 平板。一般筆記型電腦因考慮空間關係均採用楔型板，而LCD Monitor與LCD TV則採用平板為主。



(a) 導光示意圖



(b) Screen Printing (c) V-cut (d) Injection Molding (e) Sand-burst

圖 1-8 導光板結構及製造方式

導光板材料在選擇上希望能具備以下幾項基本特性：高耐熱性、高透明性、低色散特性、低雙折射性、薄型化、易成形性、低吸水性及適當的強度特性。選用好較佳的基板材質後，導光板在設計上大多是在壓克力板上製作出各式合適的幾何結或網點圖形，形成具有光射散特性的擴散點或線面等分佈，利用疏密、大小不同的擴散圖案設計，可使導光板面均勻發光，如圖1.8所示。

導光板的分類：

一般而言導光板因功能、製作方式和形狀上都有不同的分類法，經過整理後：

(1) 形狀分為：平板和楔形板

a. 平板：從入光處來看導光板為長方形。

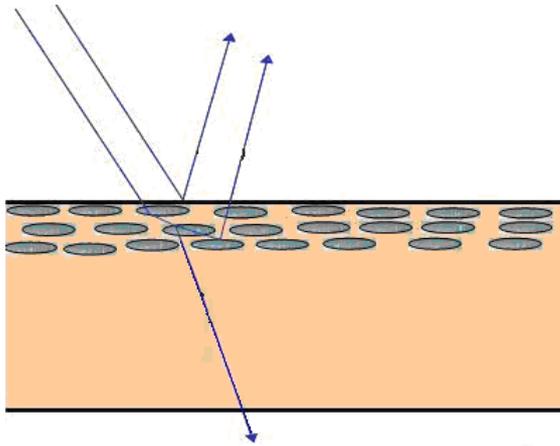
b. 楔形板：為一邊為厚一邊為薄成楔形（三角形）狀的，從入光處來看的話。

(2) 網點製作分為：印刷式和非印刷式

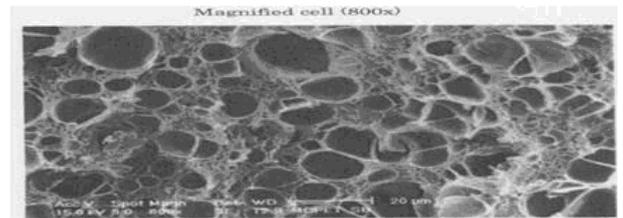
- a. 印刷式：以印刷方式將網點印在反射面，又分為 IR 和 UV 兩種。
- b. 非印刷式：又分為噴墨法 (Inkjet)、化學蝕刻 (Etching)、精密機械刻畫法 (V-cut)、光微影 (Stamper)，將網點在導光板成形時直接成形在反射面。

3. 反射板 (Reflector)

一般側光式背光模組的反射板放置於導光板底部，圖1-9所示為一反射板斷面結構，將自底面漏出的光反射回導光板中，以增加光的使用效率，防止光源外漏，而直下式背光模組則是黏貼於燈箱底部表面或置於其上，將經光源反射之光束由燈箱底部再次反射回擴散板以被利用，



(a) 反射光路徑



(b) SEM結構圖

圖 1-9 反射板結構

4. 擴散板 (Diffuser)

擴散板為乃將混有不同折射率或微小尺寸的壓克力粒子摻混在光硬化樹脂內塗佈在基板上並進行曝光等化學程序，在導光板上散射其模糊的線條或墨點。但在如此的光路架構下，由於本身化學顆粒和材料的性質，無可避免造成吸光及其對光的散射式散亂是。對於一固定距離的觀測者來說，造成光源無法有效的利用是因為將會有部分的光強被吸收或散射浪費掉。再加上他的化學製程較費時，所需的生產成本相對也較高，圖 1-10 所示。擴散板、擴散片之功能為提供液晶顯示器一個均勻的正面光源，一般傳統的擴散膜主要是加入微化學顆粒在擴散膜基材中，作為散射粒子，而現有之

擴散板其微粒子分散在樹脂之間，所以光線在兩個折射率相異的介質中穿過是經過擴散層時會不斷的，在此同時光線就會發生許多反射、折射與散射的現象。

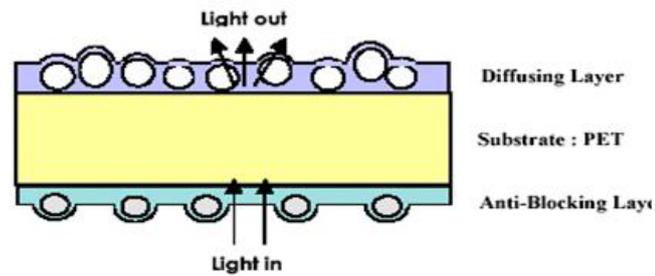


圖 1-10 擴散板結構

5. 增亮膜 (BEF稜鏡片)

BEF主要以聚碳酸酯 (Polycarbonate) 或多元酯 (Polyester) 為材料，稜形柱體或半圓柱體為其表面結構。目前擁有多項相關專利的3M為全球獨家供應商，不過專利已接近過期。通常一部背光模組會使用兩片增亮膜，彼此方向垂直，將光集中增加輝度，圖 1-11所示。光自擴散板射出後其光的指向性較差，所以必須利用稜鏡片來修正光的方向，其原理藉由光的折射與反射來達到凝聚光線、提高正面輝度的目的，以增加光線自擴散板射出後的使用效益，使能整體的背光模組的亮度提高。

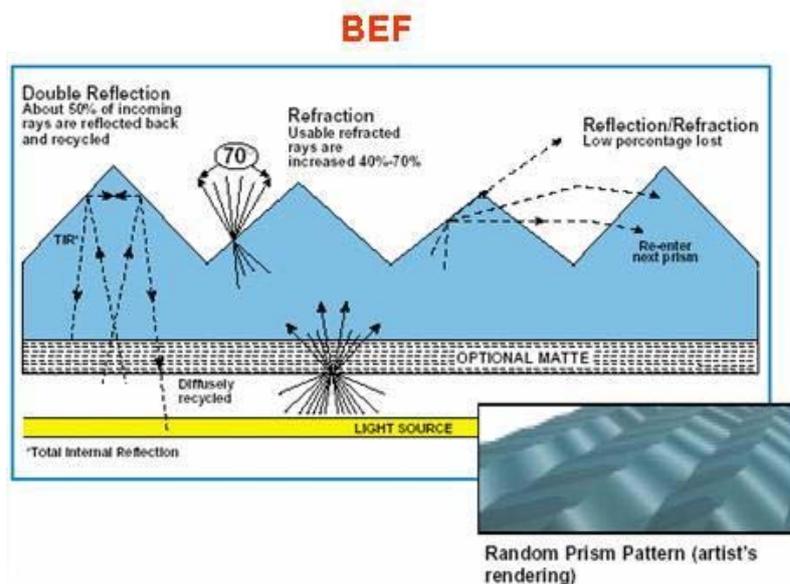


圖 1-11 增亮膜結構

6. 偏光膜 (Polarizer Film) [12].

圖1-12所示，將一般不具偏極性的自然光轉變成偏極光係為偏光板原理，當沒有偏光板時，光線可在液晶槽自由進出，不受外加電場的影響，但外加偏光板在上下層各後，就可用外加電場加以控制光線的透過，使得視覺上可以感受到明暗的變化，由此可知，偏光板將非偏極光轉為偏極光，而液晶顯示器加上液晶扭轉特性來達到控制光線的通過與否就是利用此偏極光的特性，形成明暗。偏光板基本結構是由厚度數十微米 (μm) 薄膜材料貼合製造而成，其中最主要利用透光性良好的高分子薄膜(常用PVA，聚乙烯醇)吸附上二色性物質(碘系、染料性等)當作偏光子，使染料或碘離子擴散滲入內層的PVA中，微熱後用機械或人工拉伸，直到長度增加數倍，且在變長的同時也將變得又窄又薄，原本PVA分子為無規則性分布的任意角度，拉伸後受力分子就逐漸偏轉於作用力方向上，而附著在PVA上的染料或碘離子也就隨之有方向性，因此光束可吸收平行於其排列方向的電場分量，只讓垂直方向的光束電場分量通過。

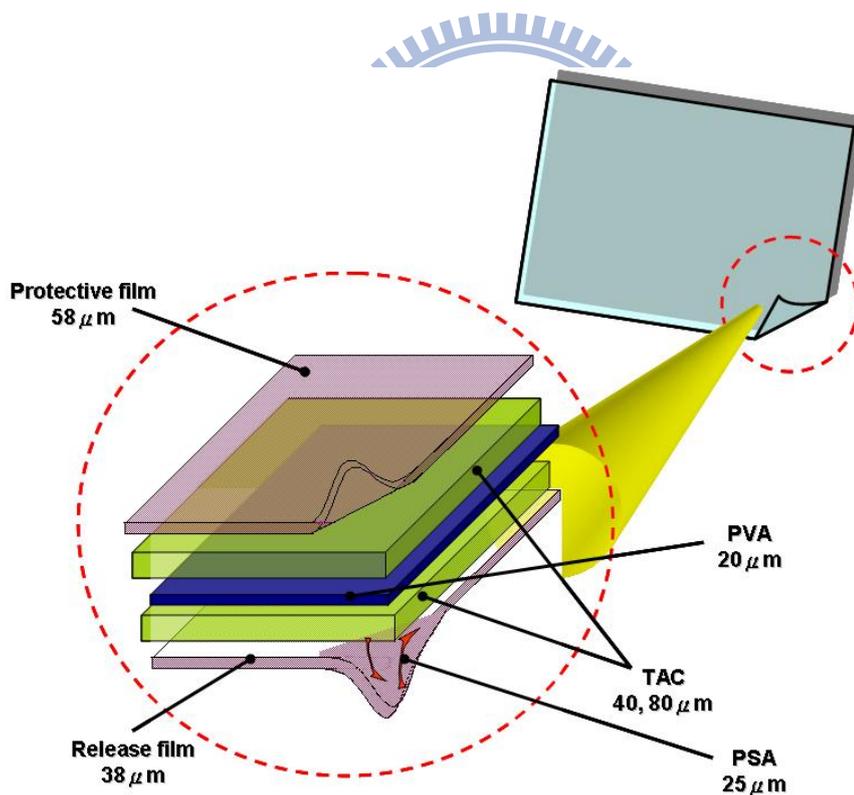


圖 1-12 偏光膜結構

1.4 噴墨列印介紹

噴墨列印 (Inkjet Printing) 方式可分為連續式及非連續式兩種^[13]，而非連續式的列印方式又可依墨水噴出動態機構的不同，分為熱氣泡式及壓電式兩種，如圖1-13所示。將熱氣泡式噴墨頭微結構放大，可發現墨水底下有一熱電阻，在幾微秒內即可迅速加熱達攝氏300~480度，而使水氣化產生微氣泡，因體積膨脹而將原來空間中的墨水擠出於噴孔外。此時加熱片又迅速冷卻使氣泡破裂，原擠出於噴孔外的墨水受到氣泡破裂力量的吸引而形成墨滴，當墨滴噴出飛行至基材上時，便在基材上形成墨點。而墨水則透過連接噴墨區與儲墨區的流道持續流入補充，每噴出一個墨滴都是上述流程協同運作的結果。這種機構的噴墨速率每秒可達3000至10000滴，目前甚至可達14000滴，表示每秒鐘可完成數千至數萬次加熱、噴墨、供墨的循環動作。

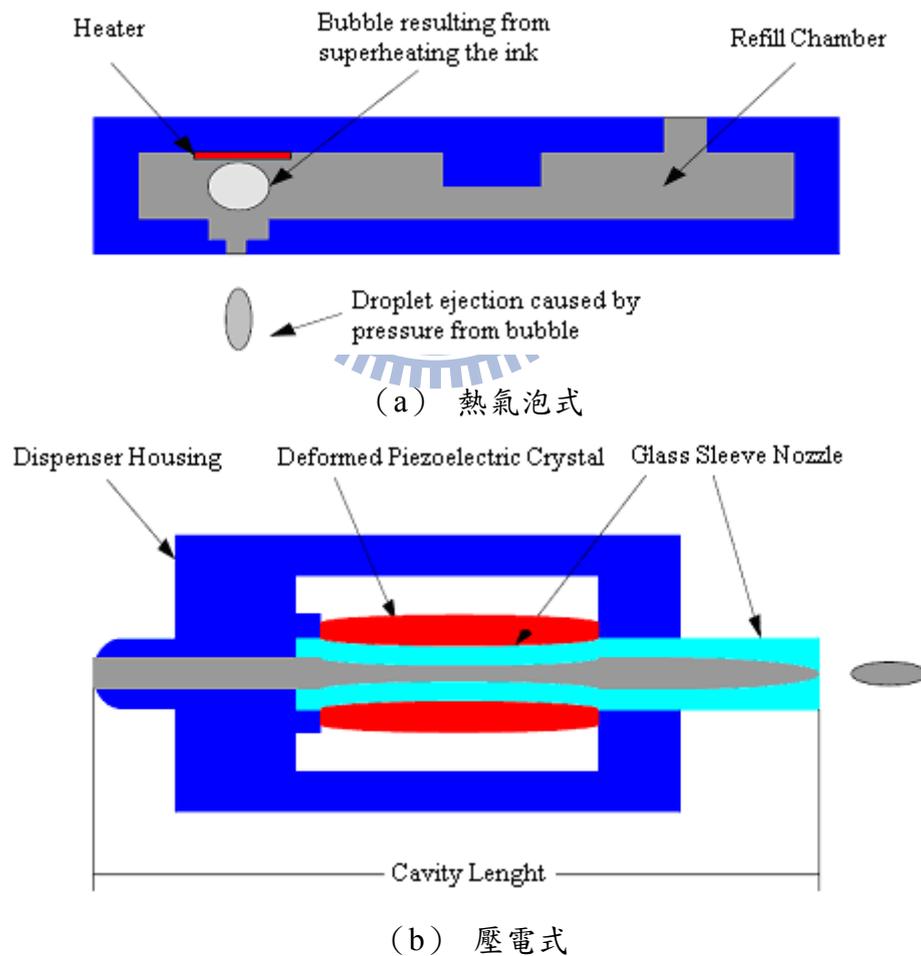


圖 1-13 噴墨類型

壓電噴墨技術則以EPSON自行研發的微針點壓電噴墨技術為代表，這種技術的關鍵在於壓電特性晶體，。EPSON便利用晶體本身的特性，以多層壓電波穩定控制施於晶體上的電壓，晶體產生膨脹將墨水噴出，當通電停止時便將墨水拉回。正因為可精準控制電壓，所以墨點本身的產生速率、大小都可以精準地控制^[14]。

列印品質的最重要關鍵因素之一是在墨點，排列越細密，墨點越小，能呈現的影像越清晰，當然提升列印解析度，色彩的層次表現也會更真實。影響噴墨列印品質的因素包括墨點大小、解析度高低、色階數多寡、噴墨電控技術和色彩轉換技術等，但以墨點大小、解析度高低最重要。

從Inkjet printer的觀點來說，由墨點的大小決定解析度，因為噴墨印表機都有網點，所以必須用非常細小的墨點搭配高解析度。點與點之間的距離相對減少，噴墨印表機噴出的墨點越細小，則可以呈現出的品質會越好。

本研究便以壓電式噴墨頭進行光學墨水噴製，利用此製程來製作光學微結構，致使形成導光板所的光學路徑。我們對導光的製作技術優略進行了比較，如表1-1所示。採用 Inkjet 技術生產以後，可縮短開發時程。與傳統射出成型需要 40 天的生產開發時間相比，採用 Inkjet 技術可大幅度地縮短至 1~2.5 天^[15]。

表 1-1 導光板製作技術比較

項目	Inkjet Printing	射出成形	芬蘭 Modilis
尺寸	1.5" 以上	最大 15"	1" ~ 32"
厚度	0.5mm / 0.65mm	0.5mm ~ 1mm	0.075mm ~ 0.5mm
生產時間	2~3 天	72 天	42 天
生產速度	12" 每小時 4000~5000 片	小尺寸 每小時 720 片	2" 為一天 10 萬片

第二章 理論基礎

光學理論及光學樹脂材料理論介紹

本章將繼續說明光硬化墨水材料所需應用的光學理論及光硬化樹脂之理論基礎。截至目前為止背光源技術所面臨到最大的問題在於對高斯配光的反應速度，及如何控制並降低成本，希望能透過應用墨水噴射技術，可盡量解決以上問題。過去的液晶螢幕被要求所有亮度必須具有一致性；但是近來，利用光學設計技術並以人類視覺的特點，讓使用者能感受到螢幕在亮度這方面有明顯地改善。

2.1 光學理論

背光模組所牽涉到的光學理論基礎以幾何光學為主^[16~21]，故將介紹幾何光學理論應用在在導光板出光的網點及微結構設計，此設計將引導我們做為均勻出光的理論基礎，已達到我們面出光均勻化的設計。

1. 光束

光束為光線的集合。平面波是無限遠處發光點發出的，對應於平行光束；球面波是有限遠處發光點發出的，對應於發散光束或會聚；其光線既互不平行，又相交於一點的光束稱為像散光束，如圖2-1 所示。幾何光學中的發光線、光點實際上是不存在的，僅是一種假設。但利用它們可以把光學中複雜的光學能量傳輸和成像問題歸納為簡單的幾何運算問題，從而使所簡化要處理的問題。

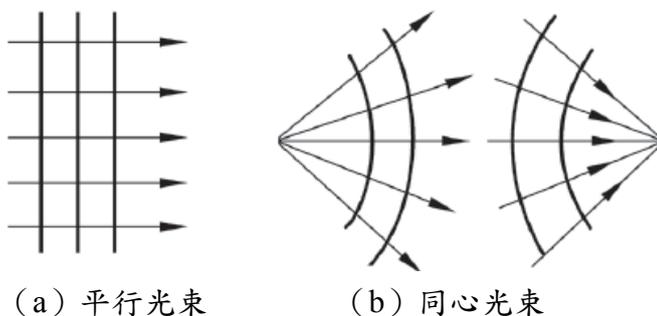


圖 2-1 各種光束

3. 光的反射定律和折射定律

當光被傳播到兩種不同介質的理想分介面時，繼續傳播的光線或進入另一介質，或返回原介質。前者稱為光的折射，後者稱為光的反射，其傳播的規律遵循折射定律和反射定律。一般而言，反射介面為拋光的金屬鏡面，兩種透明介質的光介面為折射介面。

如圖2-2 所示， AO 為入射光線， PQ 表示兩種介質的光滑介面， OB 為折射光線， NN' 為介面上 O 點處的法線，相應的 OC 為反射光線，入射光線和介面法線所構成的平面稱為入射面。按照角度符號法則的規定，入射角 $\angle AON$ 折射角 $\angle BON'$ 均應以銳角來量度。由入射光線沿銳角轉向法線，順時針轉成的角為正，反之為負。習慣上入射角以 I 表示，反射角以 I'' ，折射角以 I' 表示表示。

折射定律和反射定律可分別描述如下。

(1) 折射定律：折射角與入射角的正弦之比與入射角的大小無關，入射光線和折射光線與法線在同一平面內，僅由兩介質的性質決定，當光線、壓力和溫度的波長一定時，其比值為一常數，等於後一介質與前一介質的折射率之比。即

$$\frac{\sin I'}{\sin I} = \frac{n}{n'} \quad (2-2)$$

(2) 反射定律：入射光線與反射光線和法線在同一平面內；反射光線與入射光線分別位於法線的兩側，與法線夾角相同大小。即 $I = -I''$ (2-3)

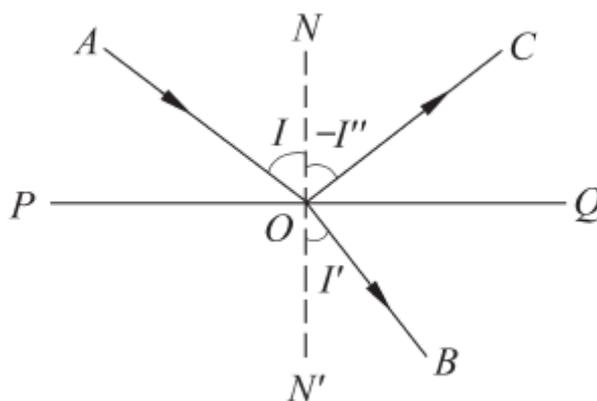


圖 2-2 光的反射與折射

(3) 全反射：一般情況下，當光線傳射至透明介質的分介面時，將同時發生折射和反射現象。但在設定條件下，將入射光線全部反射回去的介面，而無折射現象，亦稱做是光的全反射。習慣上，我們把介面兩邊折射率較小的介質稱為光疏介質，折射率較大的介質稱為光密介質。

當光線由光密介質進入光疏介質時， $n' < n$ ，由公式 $n \sin I = n' \sin I'$ ，可知 $I' > I$ ，折射光線比入射光線更偏遠法線。如圖1-3 所示，當逐漸加大入射角 I 到一定值時，折射角 I' 達 90° ，折射光線沿介面略射而出。若繼續增大入射角，則有 $\sin I' > 1$ ，這是不可能的。由實驗我們知道，這時折射入另一介質的光線是不能，而將依反射定律在介面上全部反射回原來的介質上，這就出現了「全反射現象」，導光板即利用破壞全反射方式達到正向亮度。

對應於 $\sin I' = 1$ 的入射角 I_m 我們稱為臨界角，由公式 (2-4) 可知：

$$\sin I_m = \frac{n'}{n} \quad (2-4)$$

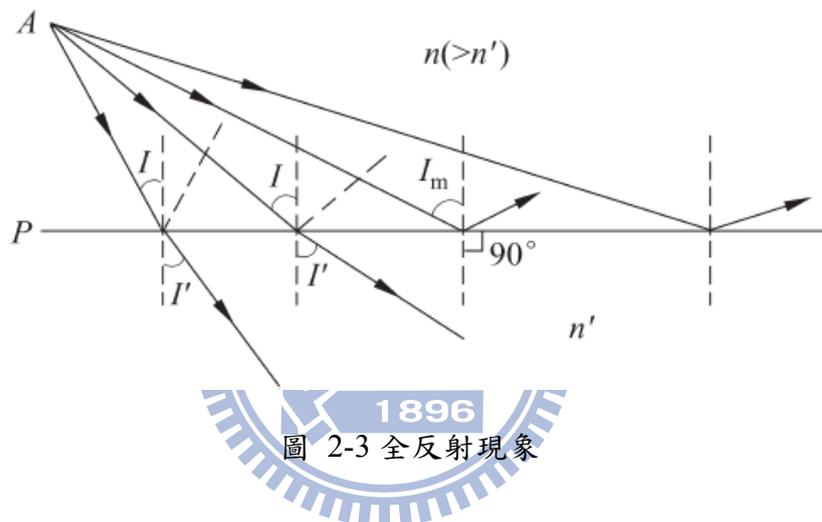


圖 2-3 全反射現象

4. 輻射學的概念與術語

接下來我們來討論輻射學的概念與術語（Radiometric Concepts and Terminology），輻射學（Radiometry）的議題通常指經過一個光學系統之光的多寡。下列我們使用一球座標系統（Spherical Coordinate System）以方便討論。輻射學中的主要術語及概念其本質是幾何模式。雖然輻射學相當廣泛，但我們只關心跟光學設計的相關幾何關係及基本定律有關的素材。

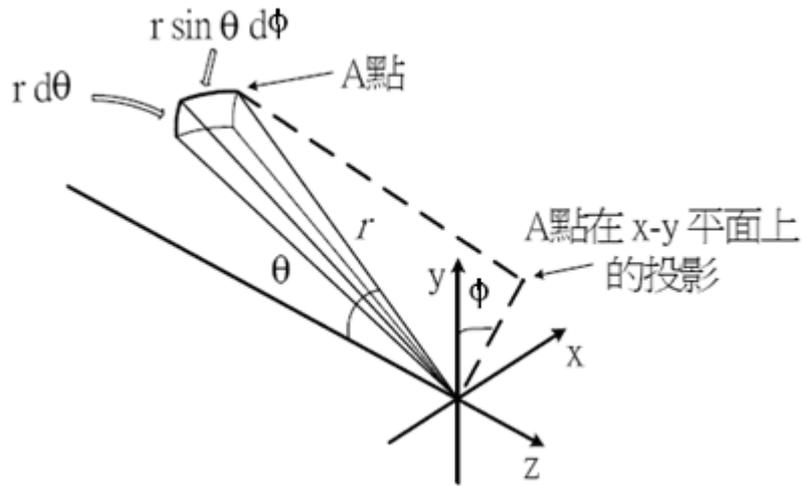


圖 2-4 球座標系統

顯示的座標系統如圖2-4，微分量後的面積為

$$dA = r^2 \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.5)$$

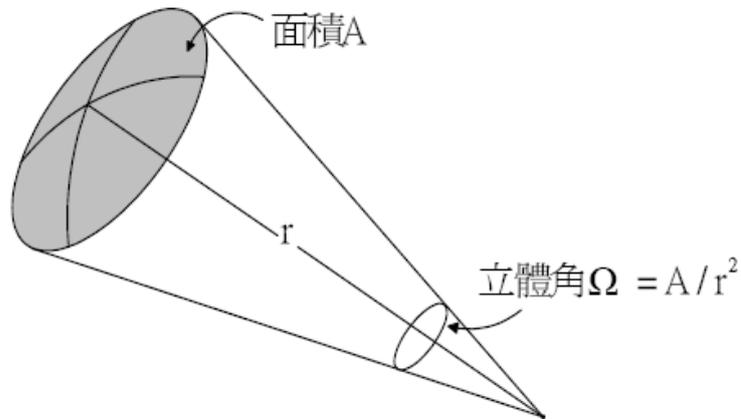


圖 2-5 立體角示意圖

如圖 2-5 所見，相對於面積 A ，其中一點的立體角 (solid angle) Ω ，被定義成以面 A 球面邊緣邊界的面積除以球半徑的平方。在球座標光學系統中，立體角的微分量為：

$$d\Omega = \frac{dA}{r^2} = \sin \theta d\theta d\phi \quad (2.6)$$

大部分光學系統或所處理的光學問題其本身具有輻角對稱 (Azimuthally Symmetry)。從這些問題中，考慮立體角的微分量，當為一個環狀椎 (annular cone) 是簡便的，如圖 2.6 所示，若此面為圓形，從 P 點看到的對應角為 θ_0 ，如此：

$$\Omega = 2\pi \int_0^{\theta_0} \sin \theta d\theta = 2\pi(1 - \cos \theta_0) = 4\pi \sin^2 \frac{\theta_0}{2} \quad (2.7)$$

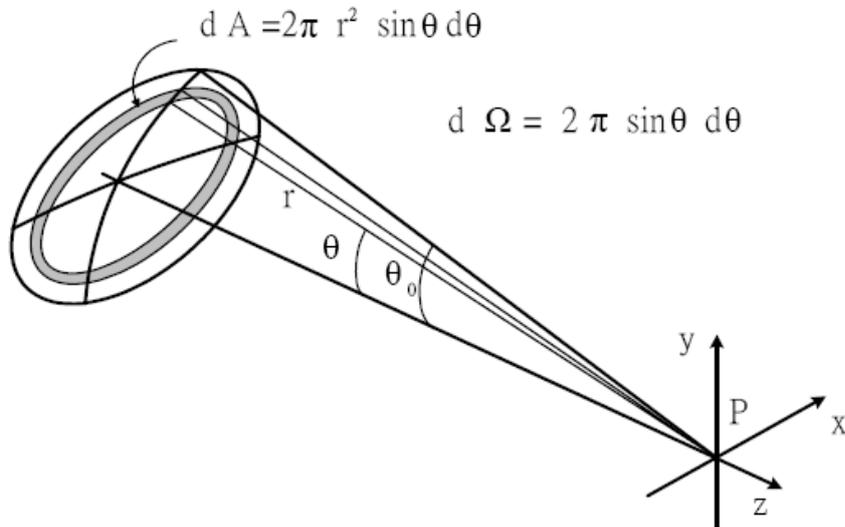


圖 2-6 立體角的環狀椎與微分量

通常輻射學考慮的是非同調光源 (Incoherence Light Source) 來的輻射之量測和傳播。在討論非同調光源之前，我們先介紹下面幾項術語：

- (1) 能量的時間變換率稱為通量 (Flux)，標示為 Φ ，公制 (MKS) 單位下，通量的單位是瓦特 (Watt)。
- (2) 發光源為由一小光源來的每單位立體角之總通量稱為強度 (Intensity)，標示為 I 。說明強度時，假設量測強度的點與光源的大小之距離相比較會很小。它的量測單位是 watts/sr。一個均勻點光源的輻射均在所有的方向上相同，這樣的光源強度為：

$$I \equiv \frac{d\Phi}{d\Omega} = \frac{\Phi}{4\pi} \quad (2.9)$$

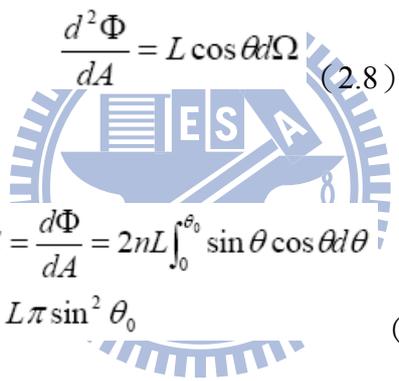
- (3) 面上的每單位面積之通量為面的輻照度 (Irradiance of the Surface)，標示為 E 。在公制 (MKS) 單位下，輻照度單位 watts/m²。

(4) 另外，定義非點光源光源 (Extended Source) 的時候，我們需要描述光源單位面積強度。此一廣義量稱為光源輻射率 (Radiance)，其投射在觀察方向上的單位立體角單位面積下輻射的通量記為 L 。其中廣義的量稱為光源輻射率 (Radiance)，其定義為投射在觀察者方向上的單位立體角單位面積下輻射的通量記為 L 。

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cos\theta d\Omega} \quad (2.10)$$

一個方向與輻射率無關的光源稱為 Lambertian 光源。黑體輻射是 Lambertian 光源，大部份漫射面 (Diffusing Surface) 其表現近似 Lambertian 光源。

接著，我們舉一個平圓光源的輻照度 (Irradiance by a Flat Circular Source) 例子，就一個平且圓 (Flat, Circular) 光源並假設其輻射率 (Radiance) 均勻分佈在對應張角為 θ_0 在一個小平面上，讓我們考慮輻照度 (Irradiance)。輻射率 (Radiance) 的定義：

$$\frac{d^2\Phi}{dA} = L \cos\theta d\Omega \quad (2.8)$$


所以輻照度 (Irradiance) 為：

$$E = \frac{d\Phi}{dA} = 2\pi L \int_0^{\theta_0} \sin\theta \cos\theta d\theta = L\pi \sin^2\theta_0 \quad (2.11)$$

$\pi \sin^2\theta_0$ 有時候稱為對應光源的投影立體角 Ω_p ，所以：

$$E = L\Omega_p \quad (2.12)$$

此結果是算一面上的輻照度的基本公式，它闡明當由面上看時輻照度等於光源輻射率乘上對應光源的投影立體角。所以，欲計算輻照度，我們想像我們在面上，並回頭看光源決定對應它的立體角。

將光學常用單位符號意義整理如表 2-1.

表 2-1 光學單位符號意義

Quantity	symbol	Definition	Typical Units
Luminous Energy	Q_v		$lm \cdot s$
Luminous Flux	ϕ_v	dQ_v/dt	<i>lumen (lm)</i>
Luminous Intensity	I_v	$d\phi_v / dw$	lm / sr
Luminous	L_v	$d\phi_v / \cos\theta dA dw$	$lm / sr \cdot m^2$
Illuminance	E_v	$d\phi_v / dA$	lm / m^2
Luminous Exitance	M_v	$d\phi_v / dA$	lm / m^2



2.2 光學樹脂材料理論

實際上，玻璃（Glass）涵蓋了多種的材料，例如從多晶（Polycrystalline）材料到反射鏡面都是。最常見的光學基板為玻璃（Glass），普遍地被應用。另外，光學系統設計也包含了選定合適的材料。這與環境、光譜範圍及其應用有關。

在理想狀態下，光學材料的折射率隨波長而改變稱為色散（Dispersion），而因為色散導引的成像光學缺陷則稱為色像差（Chromatic Aberration）。因它們可以自己獨立存在，所以分開討論色像差與單色像差（Monochromatic Aberration），當然在不同波長時也會有所不同單色像差大小。

接著，我們在光學材料選定（Specifying Optical Materials）的過程中，有幾個重要的因素決定材料特性。如上所述，最重要的通常是色散（Dispersion），但仍有其他的因子需要考慮進來。例如，溫度效應、重量、化學及物理性質、可行性及成本。有些許多條件並不直接被電腦的計算過程所影響到，有些也不太容易數據量化，一旦數據是可以量化且有利用值時，對於材料設計者而言，就可以放入計算過程加以考慮。

本節光學材料指的是光硬化樹脂（UV-Curable Resin），即具感光性高分子（Photosensitive Polymer），當照射紫外光（Ultraviolet Light）能量後，感光性高分子會因吸收能量，使得分子間或分子內產生物理化學變化，型成交聯（Cross Link），而硬化後之材料性質，亦即產生溶解度、黏著性、分子量等變化的材料。

光硬化型樹脂的組成是樹脂、單體、光起始劑、溶劑和添加劑，當塗佈後需要預烤使溶劑揮發而接續曝光硬化，因此產生嚴重的空氣污染。而本實驗所用光硬化型樹脂的成分是寡聚合物、活性單體、添加劑和光起始劑，樹脂經塗膜後直接以紫外光照射，很快的就交聯、聚合而硬化，因為不添加溶劑故沒有溶劑揮發污染空氣的問題。其中光硬化的光源使用紫外線光，紫外線波長的範圍在200~400nm，而紫外線硬化的原理乃利用紫外線的能量，使光起始劑發生光分解，或氫獲取產生離子基或自由基（Free Radical），經自由基或離子基的作用，使樹脂中的寡聚合物和單體發生大量的交聯和中大量的聚合作用。光硬化技術約於1970 年左右，由於大家對於低公害、省能源、省資源的要求日益迫切才正式為工業界所接受，其產量每年都維持一定成長。

在光樹脂中，活性單體含有單官能基（Functional Group）、雙官能基或多官能基，寡聚合物是樹脂的主體成分，隨著用途的不同，可利用添加活性單體來調整，多官能基

單體可增加交聯度而單官能基單體可增加可撓性。單體的還有一個重要功能用來降低樹脂的粘度，本次研究使用類似黏度稀釋劑，年度可低於8 cps，方便噴墨列印時順墨，也可以增加樹脂與基板間的接著性。由於硬化速度快且溫度低的緣故，更值得一題的，多官能基單體會造成內部微結構厚度的內應力，使材料接近脆性。

茲將光硬化樹脂的特性列示於表2-2。光硬化型樹脂的優點為：不含溶劑，現場操作人員傷害小，大大降低對環境污染。硬化速度快，能量所需低，效率好，可降低成本及提高生產速率。基材接著性佳、光滑的膜面無微氣泡（Micro-Bubble）。光硬化設備儀器小，生產快速，工廠空間使用率佳。

表 2-2 光硬化樹脂

	Solvent Type Resin	Without Solvent Resin	Particles Base Resin	Water Base Resin	UV Curable Resin
Cure	△	○	○	× (水分乾燥)	○
Cure Speed	5~30 分鐘	△	△	×	○~數十秒
物理性質	○	○	○	○	○
設備/成本	○~△	○~△	×	○	○
使用步驟	× (使用稀釋劑)	○	○	○~△	○

×差 ←————→ ○良好

相較於傳統樹脂，光硬化樹脂具有許多優點，如不需要溶劑系統、反應快速節省製程時間等，而逐漸有取代傳統樹脂的趨勢，光硬化反應示意圖如圖2-7，當UV光照射微結構後，光起始劑會促使其他元素單元進行結合化學反應，經過反應後，則使光硬化樹脂內產生光聚合反應。

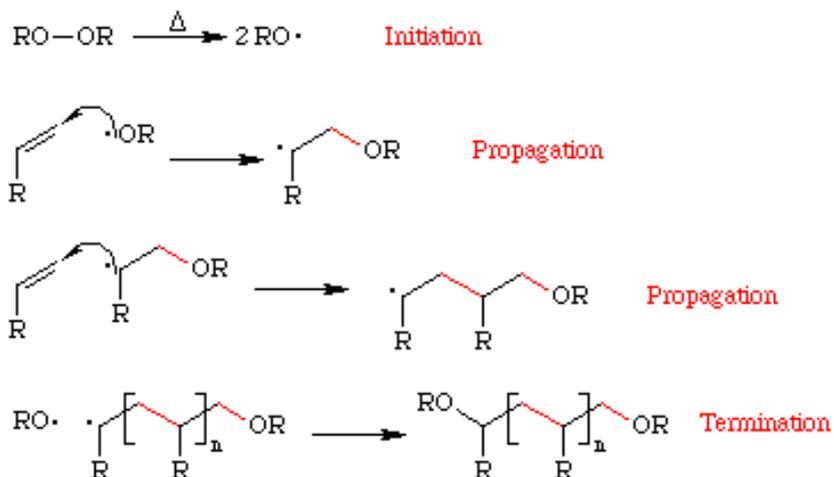


圖 2-7 自由基反應示意圖

我們將光硬化樹脂各種原物料說明如下，而本研究光學墨水使用的原物料億包含下列所述化學原料：

1. 單體 (Monomer)

一般常用單體有，DPGDA，HDDA，TMPTA，TPGDA 等丙烯酸酯及 IBMA，HEMA 等甲基丙烯酸酯單體及乙烯基單體如苯乙烯 (Styrene)，單體特性會影響化學結構外，單體官能基 (Mathacrylate Double Bond or Vinyl，Acrylate) 亦影響材料塗佈性質，單體功能如傳統塗料溶劑，加入光硬化樹脂中可降低寡聚合物 (Oligomer) 黏度使成形容易。

依需求添加單體從 1 個官能基到 6 個官能基不等，。甲基丙烯酸酯類單體(Mathacrylate) 因反應速度較慢主要是減少收縮及增加硬度。

其他如 2-HEMA，PETA 上之-OH 基，B-CEA 之 COOH 基，單體上官能基亦有助於接著。依照國內長興化工所提供之常見單體分類如圖 2-8 所示。分子量較小的單體對皮膚易造成刺激，近來偏向發展刺激性低單體，較高分子量如 TMP (EO) TA，NPG (PO) DA，TPG (PO) DA，EO，PO Modified Monomer，。

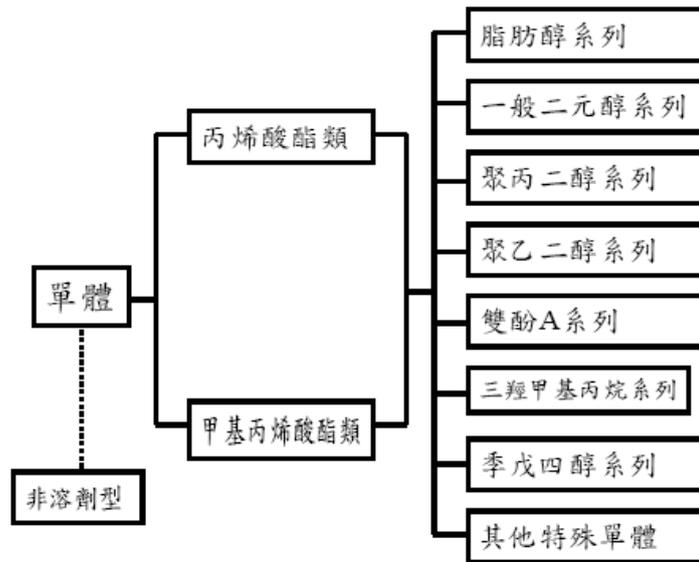


圖 2-8 常見單體分類圖

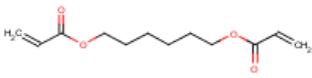
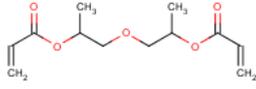
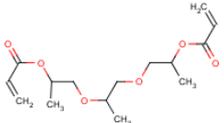
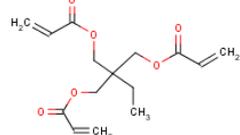
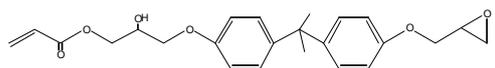
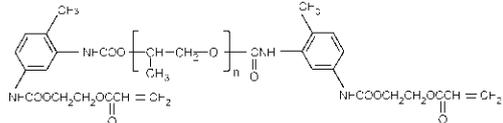
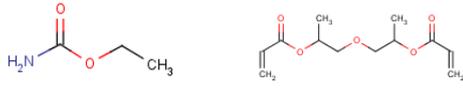
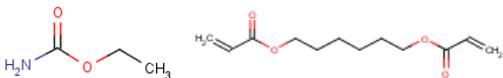
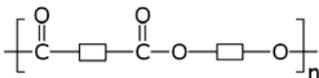
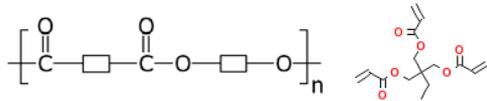
一般而言，單體的官能基數目對光硬化後之樹脂的物化性有很大的助益，如表 2-3。

表 2-3 光硬化樹脂

Item	接著力	硬度	光澤	韌性	硬化速度
官能基數目增加時→	下降	提升	提升	下降	提升
官能基數目減少時→	提升	下降	下降	提升	下降

市售常見的數支援物料如表 2-4。

表 2-4 常見單體分類

Difunctional Monomers	
1,6 Hexanediol Diacrylate	
DipropyleneGlycol Diacrylate	
Tripropylene Glycol Diacrylate	
Trifunctional Monomers	
TrimethylolpropaneTriacrylate	
Epoxy Acrylate Oligomers	
Bisphenol-A Epoxy Diacrylate, Diluted in 20% TPGDA	
Urethane Acrylate Oligomers	
Aliphatic Urethane Diacrylate, Diluted in 15 % HDDA	
Polyesterpolyol Based Aromatic Urethane Acrylate, Diluted in 20% DPGDA	
Polyester Polyol Based, Aliphatic Urethane Acrylate, Diluted in 20% HDDA	
Aliphatic Urethane Hexaacrylate	-
100% Fatty acid Modified Hexa-Functional Polyester Acrylate	
100% Tetra-funktionales Polyesteracrylat	-
Lower Viscosity Chlorinated Polyester Resin, Diluted in 40% TMPTA	

2. 寡聚合物 (Oligomer)

因為官能基會影響寡聚合物物性，以化學結構可分為以下：聚酯丙烯酸酯 (Polyester Acrylate, PESA)、聚丙烯酸丙烯酸酯 (Full Acrylic, AA)、環氧丙烯酸酯 (Epoxy Acrylate, EA)、聚氨酯丙烯酸酯 (Urethane Acrylate, UA) 及胺基丙烯酸酯 (Amine Acrylate, as additives)。其通常特性如表 2-5 所示。

表 2-5 寡聚合物種類與特性

寡聚合物種類	硬化速度 (Curing speed)	硬度 (Hardness)	黏度 (Viscosity)	可撓性 (Flexibility)	黃化 (Yellowing)
Epoxy Acrylate	1	1	1~2	2~3	1
Urthane Acrylate	1~3	1~3	1~2	2~3	1~3
Polyester Acrylate	2~3	1~3	2~3	1~3	1~2
Full Acrylic	3	3	1~2	1	3

1 : High ; 2 : Fair ; 3 : Low

另外，依照本研究可加入下列類型功能性寡聚合物樹脂，亦如表 2-6:

(1) 低硬化收縮率寡聚合物

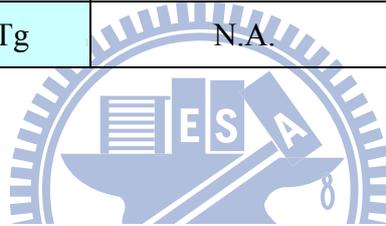
朝薄化塗層等用途進行開發，可以抑制光硬化樹脂硬化後的結構收縮現象，開發維持表面耐污染性、硬度之寡聚合物的技術，。

(2) 高折射率寡聚合物

朝光學樹脂用途適用之有機芳香族化學架構的聚合物的開發和設計。使用無鹵素材料作為高折射率材料時之限制很高。如以溴化合物為基礎的高折射率材料。

表 2-6 寡聚合物種類與特性

品 名		高折射率齊聚物	低硬化收縮率齊聚物
官能基數		4	4
稀釋劑		N.A.	N-Butyl Acetate 30%
粘 度		143Pa · s (80°C)	2,100mPa · s (25°C)
體積收縮率		N.A.	3.70%
折射率 (25°C)		1.567	N.A.
物性/化性	伸長量	3.50%	5.20%
	拉伸強度	71MPa	48MPa
	硬度	N.A.	1H
	Tg	N.A.	70°C



3. 光起始劑 (Photo Initiator)

光起始劑的選擇取決於材料配方的特性要求，如硬化速度、塗佈膜厚、黃變、曝光燈管及填充物添加量。光硬化之理論基礎：為光起始劑吸收紫外光而裂解產生自由基，造成壓克力之丙烯酸酯雙鍵 (Double Bond) 打開進行行自由基鏈結聚合反應 (Chain Polymerization Reaction)。

在光硬化樹脂中，通常加入光起始劑 (Initiator, I)，經紫外線照射的能量 (hv)。而形成激發態 (I*)，並引發自由基 (I·)，此稱起始反應。此自由基撞擊單體或寡聚合物 (以M 表示)，則引起成長反應 (Propagation)，進行一連串之交聯或聚合作用，生成固化的高分子聚合體。光硬化樹脂的紫外線的能量約在3.0~6.5 eV (電子伏特數)，可以打斷某些材料的化學鍵，然後產生自由基 (Free Radical)，或電離子 (Ions)，引發聚合反應或交連反應。但當自由基 (I·) 或含自由基的單體及寡聚合物 (M·) 碰撞時，則會鍵結而終結反應 (Termination)。其反應敘述如下：

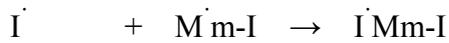
步驟1. 起始反應



步驟2. 成長反應



步驟3. 反應結束



(直到光起始劑與單體完全作用完畢，即反應結束)

紫外線硬化是結合傳統聚合反應和光化學的一種技術，其中反應理論我們進一步解釋：光起始劑吸收光子 (Photo) 後，會自基態 (Ground State) 激發到激發態 (Excited State)，移轉到單一態 (Singlet State) 或三級態 (Triplet State) 後，再生成自由基和單體進行自由基聚合反應，如圖2-3所示。

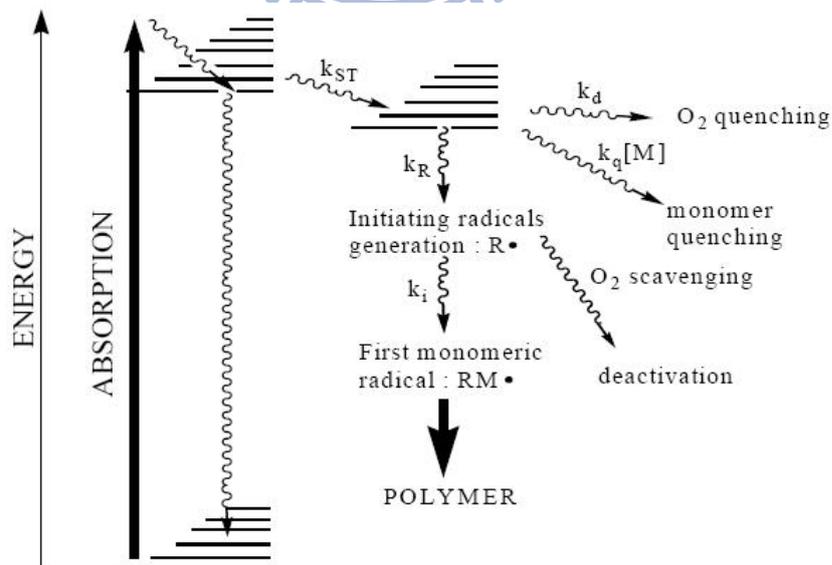


圖 2-9 光聚合能階示意圖

自三級態或單一態轉變成自由基之前即在轉移過程中，有可能與單體發生氫原子獲取 (Hydrogen Abstraction) 會降低光起始劑的效率，即單體抑制 (Monomer Quenching)

作用。

4. 添加劑 (Additive)

為達到一些特性或協助操作過程降低成形問題而加入添加劑。

(1) 平坦劑 (Leveling Agent) / 濕潤劑 (Wetting Agent)

Wetting Agent 目前發展都趨向反應型 Silicon Acrylate，一般為 silicon 產品，因 Free Silicon 將造成 Curing 後遷移至表面呈油狀。

(2) 接著促進劑 (Adhesion Promoter)

因有不同材質，需要不同 Oligomer，尤其金屬或極性較低之塑膠如 PE，PP；需要不同的添加劑，來對塑膠基板產生更佳的接著力。

(3) 觸變劑 (Thixotropical Agent)

如網版印刷，下網時流動要佳而網上需較高黏度，而平板印刷亦需要高黏度油墨，防止飛沫現象。

(4) 安定劑 (Stabilizer)

光硬化樹脂有可能因溫度過高或儲存時間較長等原因緩慢聚合，黏度因而增加，更可能膠化。此時需要加入安定劑緩和聚合作用。

另外，我們也針對影響光硬化的因素描述如下：

(1) 燈源之強度、波長：

因紫外線光波長範圍狹小之光源，所以難確認波長影響的關係。若從同能量之標準燈及無臭氧燈之硬化速度做比較後，兩種燈之波長最主要不同在於無臭氧燈之短波長範圍之能量較少，使得兩者燈之硬化速度不同。

(2) 溫度效應

溫度增加反應速度提高，所以熱可促使硬化速度增加。對於黏度低之組成物，隨溫度增加自由基運動沒有明顯改變，所以熱硬化速度也不變。黏度較高組成物因加熱而使黏度下降，自由基熱運動則顯得容易，使得硬化速度提高。

2.3 界面理論

1. 接觸角 (Contact Angle) [22]

另外，我們將研究光學墨水利用到最重要的接觸角和表面張力理論描述如下：

我們從維基百科所做的文獻，簡單描述如下：托瑪司·佯在 1805 年通過分析作用在由氣體環繞的固體表面的液滴的力量確定了接觸角 θ ，如圖 2-10。

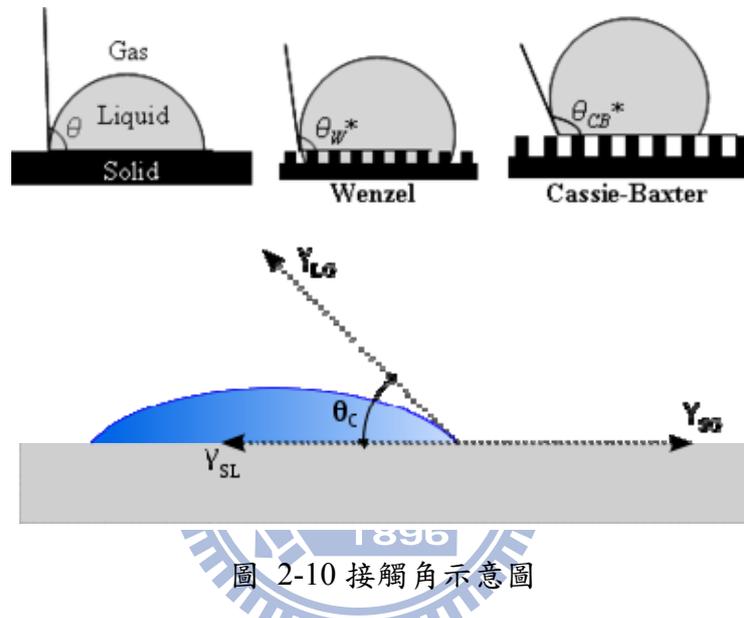


圖 2-10 接觸角示意圖

如公式 2-7 所示，當固體表面被氣體環繞的液滴，形成接觸角 θ 。如果液體只是與微結構的粗糙面接觸，此時液滴處於 Cassie-Baxter 狀態。如果液體與固體粗糙的表面直接接觸，此時液滴處於 Wenzel 狀態；

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (2-7)$$

其中

γ_{SG} = 固體和氣體界面間的表面張力

γ_{SL} = 固體和液體界面間的表面張力

γ_{LG} = 液體和氣體界面間的表面張力

其中 θ 可以用接觸角量測計來測量確認。

θ 角會轉變為 θ_W^* ，當 Wenzel 確定了當液體直接接觸粗糙的表面時，

$$\cos\theta_{\text{eff}}^* = r\cos\theta \quad (2-8)$$

微結構化一個表面將會放大表面張力可由 Wenzel 的方程來顯示。其中， r 為投影面積與實際面積的比率。疏水性表面（接觸角 $>90^\circ$ ）在微結構化下會變得疏水性，其新的接觸角將比原來的角度增加。親水性的一個表面（具有 $<90^\circ$ 的接觸角）在微結構化之後卻會變得親水性，其新的接觸角將比原來的角度降低。

當注射器（Syringe）將液體滴在固體表面（如塑膠或金屬基板）時，液體就會在基板上形成一定的接觸角。隨著滴入液體的增加，液滴的整體積會隨之增加，接觸角度也會隨之變大，但在三相邊界會保持固定直到液體整個突然滿溢。前進接觸角被解釋為在液體溢出前瞬間時的接觸角。將液體從液滴中吸出來測量可得到回退接觸角。隨著液體被吸出，當接觸角也減小即液滴的體積也隨之減小，但三相邊界同時保持穩定直到被完全吸收。回退接觸角被解釋為在液體被吸回瞬間時的接觸角。測量靜態疏水性的方法是接觸角，疏水性的動態測量法是指接觸角滯後和滑動角的量測。一種鑑定表面異質性的現象叫做接觸角滯後。

2. 表面張力（Surface Tension）^[22-24]



「表面張力」被稱做是一種物理的效應，相對另一個界面時，它令液體表面總是試著得到最小的體積、光滑的面積，類似一層彈性薄膜。這是因為液體的表面總是尋求表面能量最低的狀態。對表面張力理論做出了巨大的貢獻的幾個著名科學家有：Thomas Young 在 1805 年、在 1806 年 Pierre-Simon marquis de Laplace 及在 1830 年的 Siméon Denis Poisson。表面張力這個概念在 1629 年第一次的出現。

對廣義系統來說表面的形狀與表面張力無關。由組成一個物態的分子和原子之間的吸引力稱表面張力。物態或表面之間的界面可以被相似地看作是一個斷切面，每個面積單位上的未滿足的化學價的能量也被看做是表面張力。我們另以模型進一步解釋如下：

- (a) 由物質內部的吸引力導致的是表面張力，氣體中分子間或氣體與液體間的分子之間的吸引力比液體內部分子之間的吸引力要大。

(b) 表面張力的起因實際上是界面所造成的不對稱。

廣義地所有兩種不同物態的物質之間界面上的張力被稱為表面張力。表面張力的標示符號是 γ 或 σ ，單位是 N/m。當滴在基板膜面上液滴的接觸角度越大表示表面張力越小；當滴在基板膜面上液滴的接觸角度越小表示表面張力越大。

當向這個液體作功會擴大一個一定體積的液體表面。以功的形式來解釋，表面張力的定義為在增大一個液體表面時所作的功除以被增加的面。所以表面張力也可稱作是表面能的密度。

另外，熱力學對表面張力的廣義定義為：

溫度 T 和壓力 p 不變的情況下，表面張力 σ 是在 Gibbs 自由能函數 G 對面積 A 的偏導數；Gibbs 自由能的單位是能量單位，所以表面張力的單位是能量/面積。

水在 20°C 時的表面張力為 73 mN/m。水的表面張力隨溫度 T 變化的經驗近似方程為：

$$\sigma = 0.07275 \times (1 - 0.002 \times (T - 291)) \quad (2-9)$$

綜觀以上界面理論，本研究乃利用高表面張力的寡聚合物和單體，來調整光學墨水，使其在基板上擁有較高的接觸角度，因此得到較佳的出光效率。

第三章 實驗方法

材料配置及分析手法

本研究實驗流程示意圖 如下所示：

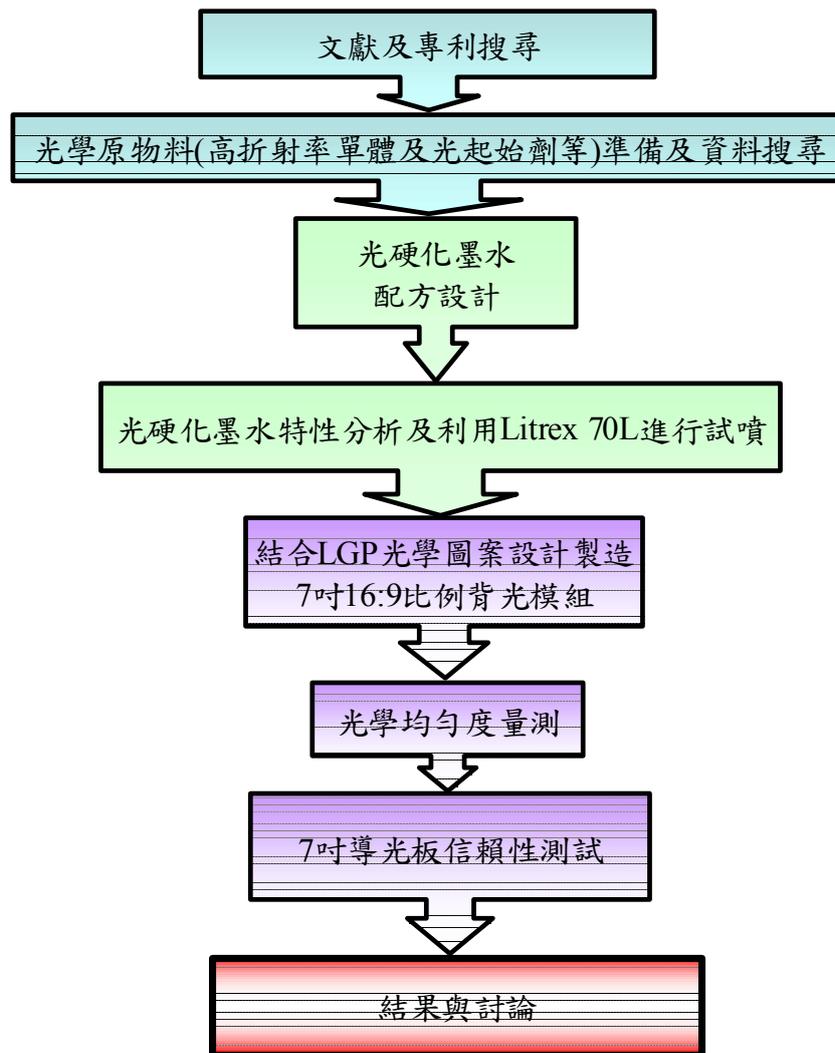


圖 3-1 實驗步驟流程圖

3.1 光硬化原物料

本研究所需的化學原料如下所示，並於表內說明各原物料（Components）化學及物理特性。

表 3-1 各類市售寡聚合物（廠商: Sartomer Company, Inc.）

表 3-2 各類市售單體（廠商: Sartomer Company, Inc.）

表 3-3 各類市售光起始劑（廠商: 朴峰實業有限公司）

另外，疏水性光學級壓克力基板 (PMMA substrate) 使用德昱興公司產品，屬 Hard coating 類型，Hard coating，來降低基板的表面張力，為的是讓其上的光學墨水擁有較高的接觸角度，穿透率99.9%，其基板表面張力為28.2~31 dynes/cm，基板厚度設計在0.7 mm。

表 3-1 各類市售寡聚合物

品名	Chemical structure	Appearance	Viscosity, cps. @ 25 °C	Refractive Index	Surface Tension, dynes/cm
Oligomer-1	Modified Epoxy Acrylate Oligomer Modified	Clear liquid	45000	1.56	45.9
Oligomer-2	Polyester Acrylate Oligomer	Clear liquid	3600	1.54	N.A.
Oligomer-3	丙烯酸單體/增粘劑共混物	Clear liquid	59000	1.55	31.9
Oligomer-4	Fluorinated Acrylate Oligomer	Clear liquid	33~40	N.A.	20

表 3-2 各類市售單體

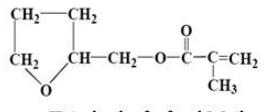
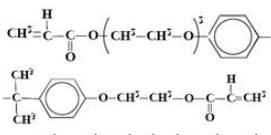
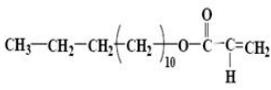
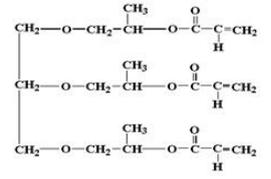
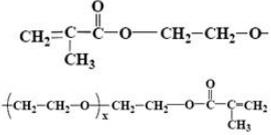
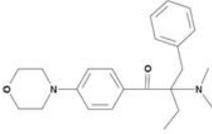
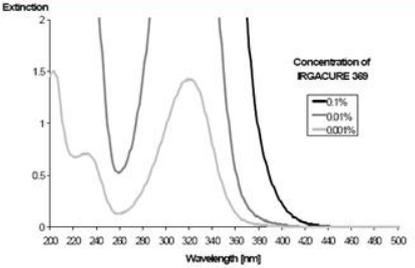
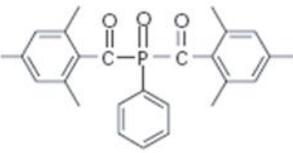
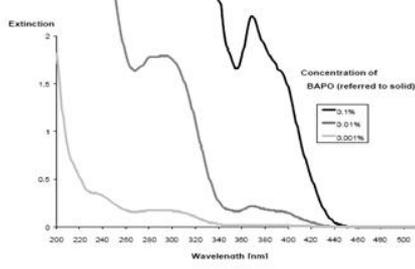
品名	Chemical structure	Appearance	Viscosity, cps. @ 25 °C	Refractive Index	Surface Tension, dynes/cm.	Molecular Weight
Monomer-1	 <p>Tetrahydrofurfuryl Methacrylate</p>	Clear liquid	3~6	1.46	36.1	170
Monomer-2	Aromatic Acrylate Modifier for Epoxy/Amine Systems	Clear liquid	331	N.A.	N.A.	N.A.
Monomer-3	Acrylic Monomer/Tackifier Blend	Clear liquid	102,000	1.57	39.1	N.A.
Monomer-4	 <p>Ethoxylated Bisphenol A Diacrylate</p>	Clear liquid	1600	1.55	43.8	468
Monomer-5	Polyethylene and Polypropylene.	Clear liquid	3000	1.49	36.9	N.A.
Monomer-6	Reactive Amine Coinitiator	Clear liquid	1448	1.50	N.A.	N.A.
Monomer-7	 <p>Tridecyl Acrylate</p>	Clear liquid	6~8	1.45	28.9	255
Monomer-8	 <p>Propoxylated Glyceryl Triacrylate</p>	Clear liquid	N.A.	1.46	36.5	428
Monomer-9	 <p>Polyethylene Glycol Dimethacrylate</p>	Clear liquid	85	1.47	40.3	598

表 3-3 各類市售光起始劑

品名	特性	Chemical structure	Absorption Spectrum (% in Acetonitrile)	Solids content: 45% (w/w)
Photo initiator-1	IRGACURE® 369: Highly Efficient UV curing agent. It's especially suitable for pigmented UV curable systems.	 <p>2-Benzyl-2-Dimethylamino-1-(4-Morpholinophenyl)-Butanone-1</p>	 <p>Concentration of IRGACURE 369</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.1% 0.01% 0.005% 	-
Photo initiator-2	Irgacure819(Ciba): 在 400NM波長有吸收. It's a versatile photoinitiator for radical polymerisation of unsaturated resins upon light exposure.	 <p>Bis-Acyl-Phosphine Oxide (BAPO)</p>	 <p>Concentration of BAPO (referred to solid)</p> <ul style="list-style-type: none"> 0.1% 0.01% 0.001% 	45



3.2 實驗用儀器

本次研究所使用的儀器設備整理如表 3-3。

表 3-3 各類儀器設備

	廠商	型號
壓電式噴墨列印機	Litrex	Litrex 70, Printing head type: SE-128 Nozzle number : 128 Nozzle diameter : 38-um Drop size:25~38 (pl)
專業精密電子天秤	日本島津天平	BL-320H
電熱攪拌器	大弘儀器公司	MNS-1000
3M 附著力測試膠帶	眾坤股份有限公司	Scotch 600
庫侖式水份儀	Metrohm	831 Karl Fischer Coulometer
高效能液相層析儀 (HPLC)	Agilent	1100series
熱示差掃描卡量計 (Differential Scanning Calorimeter, DSC)	Perkin Elmer Instruments	Pyris 1
黏度計	Brookfield	RVDVE115
接觸角儀器 (Contact Angle Meter)	精冶科技公司	Phoenix 300
表面張力計	協和界面科學	CBVP-A3
光學顯微鏡	Nikon	MM-40
鉛筆硬度測試儀	全豐精密儀器有限公司	5800
多波長 ABBE 屈折度儀	Multi-wavelength Abbe Refract meter	DR-M2

3.3 光學樹脂墨水配製及噴製

依照前述，我們已經知道如何選擇適合的原物料，光學墨水配製及光學微結構噴製步驟如下：

1. 先將單體和粉末狀的光起始劑先攪拌均勻，使其完全溶解成為均一相的光硬化樹脂。
2. 之後，加入較高黏度的寡聚合物並攪拌均勻，裝入具有遮光效果的深色瓶內。
3. 為免有機膠體或異物造成噴墨頭阻塞，裝入噴墨機的管路之前，先以過濾器 (Filter) 選用5um以下進行過濾。
4. 接著，將光學墨水裝入注射器 (Syringe) 內，並進行預吐，確認墨滴形成狀況，並利用驅動電壓 (Driving Voltage) 之振幅或頻率和脈衝時間 (Pulse Time) 等物理參數調教衛星墨滴 (Satellite Droplets)。
5. 確認無誤後，將光學模擬設計好之光學圖案檔案載入噴墨機台，進行7吋或更大尺寸的製作。
6. 迅速將噴製好的半成品置入曝光機內，此曝光機光源波段在365nm為主要波峰，曝光能量設定在3000 mJ/cm²，將光硬化樹脂為主要成分的光學墨滴完全硬化，使壓克力硬化率 (Curing Ratio) 設定在超過90%以上。
7. 將製作完成之導光板組裝成背光模組，進行出光效率及光均勻度的量測。

測試項目及手法

1. 附著力測試

將Inkjet type Light Guide Plate成品，貼上Scotch 600膠帶後，以滾筒壓過確認膠帶壓著平整，再以垂直方向撕掉膠帶，在顯微鏡底下確認光學為結構墨點破壞情形。

2. 黃化率 (Yellowness index) 測試

根據ASTM Method E313標準測試手法，其計算式為黃色指數式中，X，Y，Z為在標準C光源下用分光光度計測量的表示材料CIE顏色的三刺激值。黃色指數可用來控制某些產品品質或老化程度，公式如下所示：

$$YIE313 = \frac{100(C_X X - C_Z Z)}{Y} \quad (3-1)$$

使用測試光源為表3-4。

先將光硬化墨水全面塗佈 (Full Coating) 於壓克力機板上再經過曝光後，進行分光光度計的量測。

表 3-4 各類光源

Parameter	C/2°	D65/2°	C/10°	D65/10°
Color x	1.2769	1.2985	1.2871	1.3013
Color z	1.0592	1.1335	1.0781	1.1498

3. 含水分測試

使用 Karl Fischer Coulometer 利用碘氧化二氧化硫須要定量的水之原理，測定固體、液體、氣體樣品之含水量，常使用於高分子及溶劑之含水量測定。

4. 鉛筆硬度測試

先將光硬化墨水全面塗佈 (Full coating) 於壓克力機板上再經過曝光後，進行鉛筆硬度計劃痕硬度測試，利用鋒利的邊緣在光硬化樹脂表面上劃痕，從而測試塗層的硬度。使用 750 g 的固定壓力及 45°角來測試。



第四章 結果與討論

光學墨水特性討論

4.1 光學墨水

4.1.1 墨水配方選擇

適用於導光板光硬化之光學樹脂墨水簡單描述一些特性如下：

1. 低黏度：大約在7~15 cps，以利壓電式墨頭噴墨順暢，不易發生噴嘴（Nozzle）阻塞情形，黏度太高會降低噴墨速度造成散點現象（Scattering）或是阻塞（Clogging）現象。
2. 高表面張力：光學墨水擁有較高的表面張力容易在壓克力基板上的墨滴（Drop）形成較高的接觸角度，以利光折射所需形成的微結構，讓出光效率增加。另外，墨滴有了較高的接觸角度，不易與鄰近的墨滴相混，減少區域性墨滴尺寸不一情形。但過高的表面張力也會影響墨頭內流道的噴墨性質。
3. 無溶劑系統：一般用於導光板噴製的光學墨水，不希望裡面含有溶劑，因為有溶劑會影響到墨滴的形狀保持率，好的形狀保持率表示墨滴不會在光硬化後因為溶劑的揮發造成墨滴尺寸不一，即有接近100%的固型成分（Solid Content）可以殘留在基板上。
4. 表乾速度：由於導光板上的光學微結構墨滴尺寸大致在50um~150um左右，微小的墨滴不易因紫外線光照射後表面硬化，此時可應用有Difunctional Amine Coinitiator單體相搭配苯甲酮（Benzophenone）光起始劑來幫助光學微結構的墨滴表面快速乾燥硬化。
5. 高折射率：混入高折射材料在導光板反光側的光學微結構內，利用此高折射率可改變光路徑形成漫射效果。由Snell's Law可知，折射率大者，單位面積能量使用率較大，其臨界角 θ_c 越小（入射線與法線的夾角），出光效率高；折射率大者，單位面積有效出光角較小，所以光源能比較能將平行光轉成垂直面光。
6. 高透明性：在原物料選擇上，我們必須注意原物料的透明度，盡量捨棄近黃褐色的Monomer和Oligomer，要選擇清澈度（Clear Liquid）較高的原物料如此才能在可視

光 (Visual Light) 400 nm~720nm範圍內擁有較佳的光線穿透率，更能使導光板長期照光 (Backlight Aging) 下，黃化的程度有較大的承受空間。

7. 接著力：光學透鏡對基板有好的接著力，才能有長時間抵抗顯示器高溫作業下的能力。

依照表 3-1~表 3-3 我們選擇符合光學墨水特性的原物料，配置如表 4.1 所示，我們可從這些原物料挑選最適合光學墨水的研究，從表中原物料的基本特性亦會影響到光學墨水最終光學表現，茲將配方調整及測試結果描述於下。

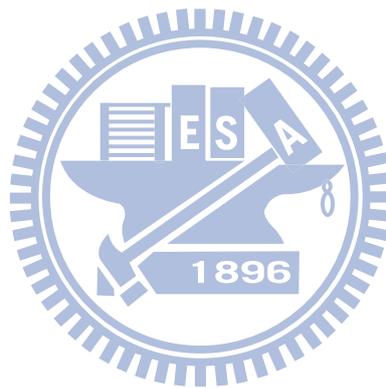


表 4-1 光學墨水配方表

	Compound 1	Compound 2	Compound 3	Compound 4	Compound 5	Compound 6	Compound 7	Compound 8	Compound 9	Compound 10
Monomer-1	60	65	72.5	70	76	69.5	74.5	67.5	69.5	57.5
Monomer-2	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0
Monomer-3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Monomer-4	0	0	0	0	3	0	0	0	5	0
Monomer-5	3	0	3	3	2	3	3	0	0	0
Monomer-6	10	10	10	10	4	5	0	0	10	0
Monomer-7	0	20	0	0	0	0	10	0	0	20
Monomer-8	0	0	12	0	0	0	0	20	13	0
Monomer-9	0	0	0	14.5	6	0	0	0	0	0
Oligner-1	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0
Oligner-2	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligner-3	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oligner-4	0	0	0	0	0	20	10	0	0	20
Photo initiator-1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Photo initiator-2	1	1	1	1	1.5	1	1	1	1	1
Total (wt%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Viscosity, cps. @ 25 °C	359.3	29.1	36.7	19.2	13.1	10.9	9.9	19.9	31.7	29.9
Contact angle(°)	37.5	34.8	36.2	37.7	42.1	28.9	29.8	30.1	34.5	27.1
Refractive Index	1.51	1.471	1.453	1.469	1.499	1.461	1.451	1.459	1.462	1.455
表乾程度(%)	98%	95%	95%	95%	95%	95%	90%	95%	99%	95%
噴墨狀況	阻塞	差	差	可	佳	佳	佳	可	差	差

我們知道導光要有較佳的出光效率，必須在基板上形成高的接觸角度（Contact Angle），故簡單將上述配方表整理成表面張力趨勢圖，如圖 4-1 所示，可以很明顯看出 Compound 5 在基板上擁有較佳的接觸角度 42.1°。對照配方表後，Compound 5 其所使用的 Oligomer 1 和 Monomer 4 的分子設計都擁有超過 43 dynes/cm 的表面張力特性，可促使 Compound 5 在基板上形成較佳的分子內聚力，接觸角度因而較高，提升導光板的正向亮度。相反的，Compound 10 因為摻合了表面張力較低的 Monomer 和 Oligomer，導致整體 Compound 表面張力下降，致使墨滴在基板上的接觸角度過小。

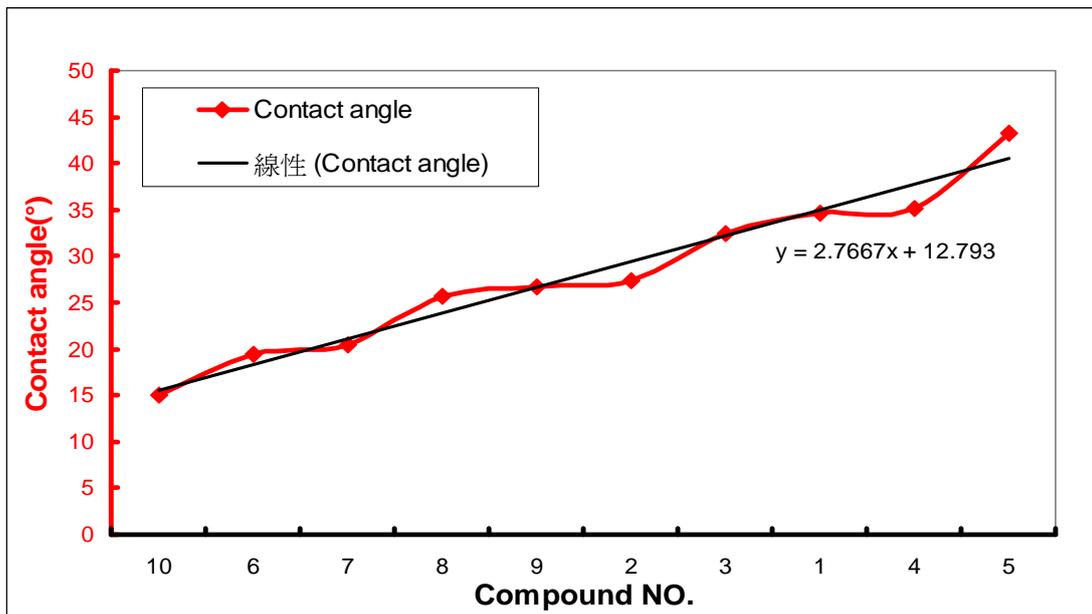


圖 4-1 表面張力趨勢圖

從光學墨水的特性安排上，我們知道混入高折射材料在導光板反光側的光學微結構內，可改變光路徑形成漫射效果，單位面積能量使用率較大使出光效率佳，故也進行各種 Compound 的折射率整理，如圖 4-2 所示。我們發現 Compound 1 擁有較高的折射率特性，確認發現 Compound 1 混入了 Oligomer 3 和 Monomer 3，他們的折射率都超過 1.55，是提高光折射特性的主要原因之一。其中，我們可以確認 Monomer 3 這種增黏添加劑（Tackifier Additives）對於折射係數是有貢獻的。

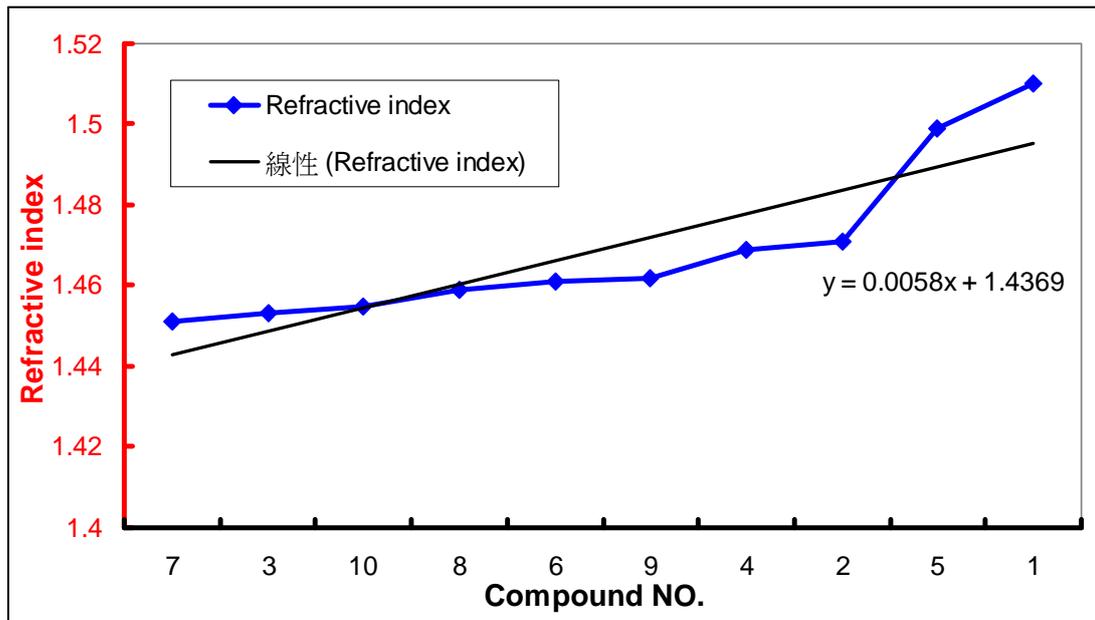


圖 4-2 折射率趨勢圖

最後，我們要知道，光學材料物理性質和化學性質如何優秀，都必須要符合機台的操作特性。本次我們所使用的 Inkjet Printing Head 所能被操控的黏度落在 7~15cps，因而從配方表 4-1 進行評價後，發現 Compound 1 雖然有最高的折射率但黏度遠遠超過可以被噴製的規格，故捨棄之。接著我們把其他 Compound 進行黏度比較整理如圖 4-3 所示，從 Y 軸上看出黏度最低的是 Compound 7 來到 9.9 cps，在我們整個試噴的結果 Compound 7 也表現最佳，但可惜的是它的接觸角度只有 30°，明顯無法讓導光板有較佳的出光效率。

黏度第二佳的是 Compound 6 但還是缺乏較高接觸角的特性。我們選擇黏度第三佳的 Compound 5，雖然黏度落 13°左右，但試噴結果是可行的，重要的是它的接觸角度最高，來到 42°左右，故 Compound 5 為本噴墨式導光板研究的主要對象，接下來我們將利用 Compound 5 來製作 7 吋的導光板並進行接著力等信賴性評估。

Compound 5 所使用的 Oligomer 1 是種改質過的 Epoxy-acryl Oligomer，也具有高的折射特性，對出光效率可望有幫助。

另外一提，本次大部分的 Compound 都有添加 Monomer 6 和 Monomer 5，Monomer 6 它具有 Difunctional amine Cointiator 功能，在光反應交聯 (Cross Linking) 後，可促使噴墨後微小的光學透鏡有較快速的表面硬化速乾的能力。而 Monomer 5 為接著促進劑，可增加對基板的接著能力。

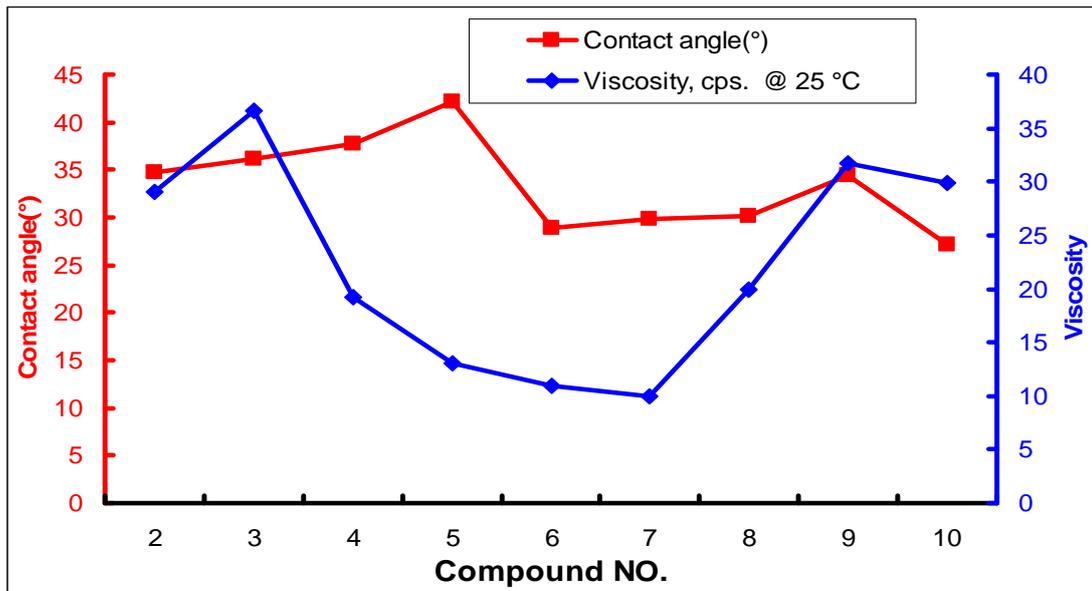


圖 4-3 黏度 VS 表面張力

4.2 7 吋導光板試製

利用 Compound 5 配方成功式製出 7 吋導光板所需的各種光學透鏡尺寸及符合光學模擬後透鏡間的排列距離，展示如圖 4-4 所示^[25~26]，其中利用 Compound 5 所製作出的光學墨水經過噴製後，分別可展示出不同墨滴間的 Pitch 為 70/80/150 un，墨滴大小 20/25/33/40 um，利用較大尺寸及 Pitch 愈緊密的 Microlens Array 配置於離 CCFL 光源較遠處的位置，以達到相同的出光效率。反之，離光源愈近就配置較小尺寸及 Pitch 愈疏鬆的 Microlens Array。

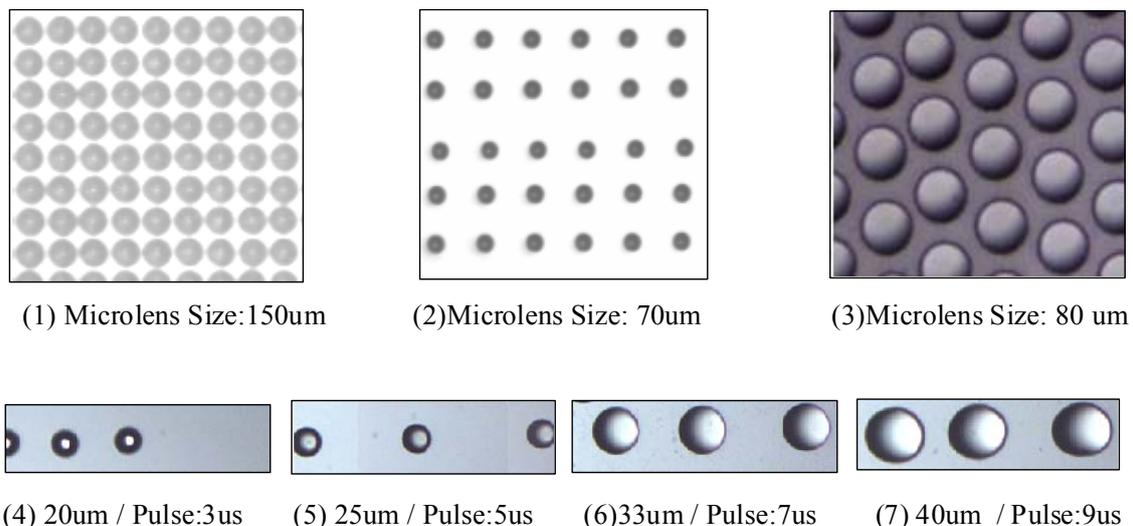


圖 4-4 光學透鏡尺寸

另外，也更進一步，針對在導光板上的光學模擬設計，最後利用 Litrex Inkjet printer 製作出 7 吋導光板，本次使用 L type CCFL 光源搭配反射片、擴散膜、BEF 組合出側光式背光模組。最後利用公式(4-1)和(4-2)所示方程式計算出亮度均勻度(Uniformity)及正向亮度(Brightness)，Inkjet 製作方式亮度為 2477nits 並在亮度均勻度 82%左右，相較傳統網印方式的亮度 2569nits 和亮度均勻度 80%差異不大。由結果可知，利用本研究之光學墨水搭配 Inkjet 技術證明可成功製作出顯示器所需的導光板，並擁有符合背光模組的產品規格。

$$Uniformity = \frac{L_{min}}{L_{max}} \times 100\%, \quad (4-1)$$

$$Uniformity = Luminance\ min / Luminance\ max \quad (4-2)$$

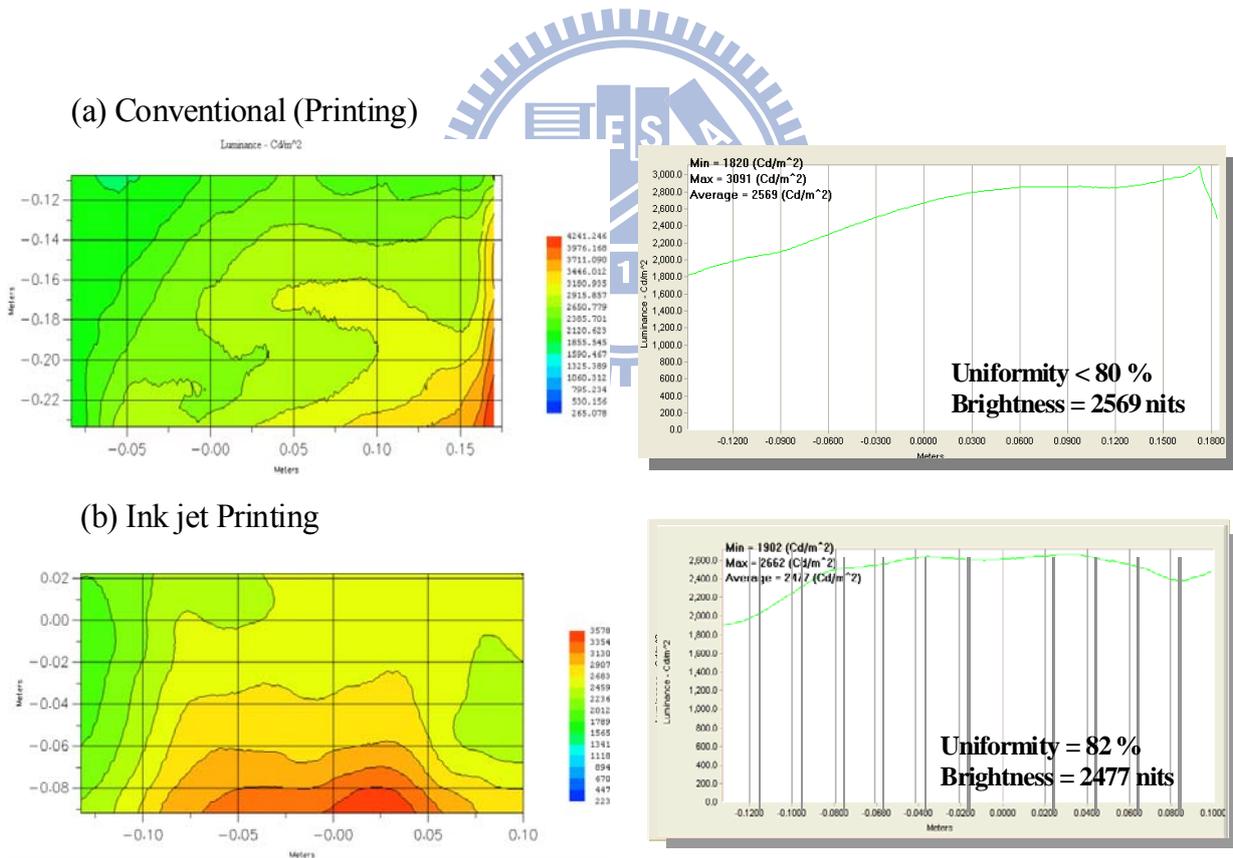


圖 4-5 亮度均勻度及正向亮度

4.3 光學墨水特性及信賴性測試

1. 可視光穿透率

使用分光光度計量測全面塗佈光硬化後的光學墨水基板，平均膜厚落在 50um 時的穿透率如圖 4-6 所示。從可見光區域 450nm~780nm，光學墨水 Compound 5 一直保持在穿透率 98%以上，擁有較少的光損失，對於站在第一線接收到光源的導光板，此任務算是達到應有水準。

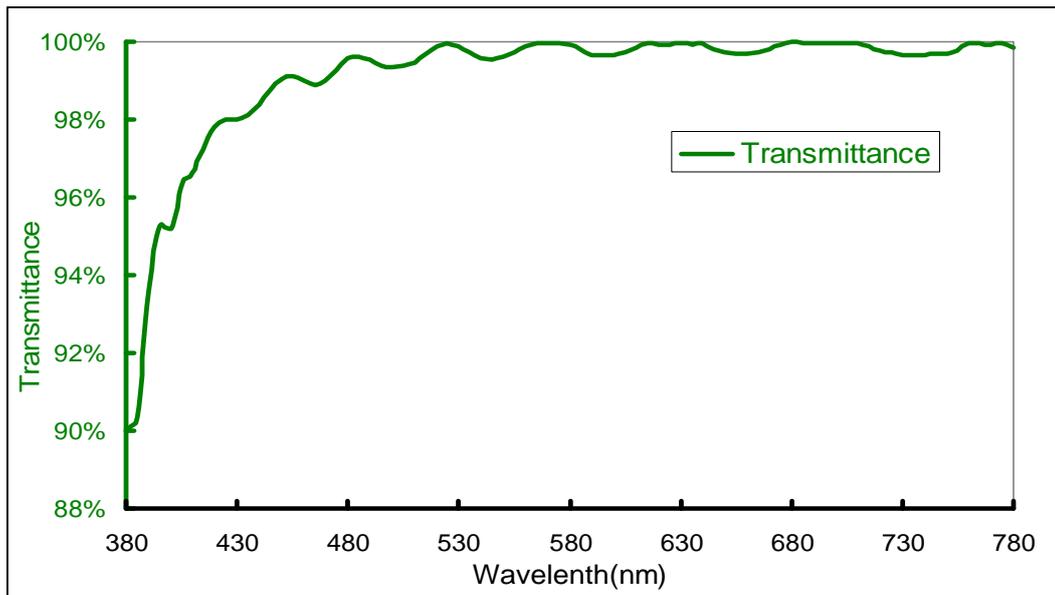


圖 4-6 穿透率

2. 玻璃轉移點 (Glass Transition Point, Tg)

使用熱示差掃描卡量計量測光學墨水 Compound 5 之 Tg 點，總共反覆測試樣品三次，樣品重量在 5.992mg，確認最後的 Tg 點為 115.92°C。背光模組在點亮穩定後平均溫度落在 60~70°C，此溫度點可以承受長期面板點量溫度的老化，但 Tg 點的設計亦容易影響到光學微透徑本身的接著力和彈性力，這跟分子鏈 (Molecular Chain) 的這點也將是未來的研究重點之一。

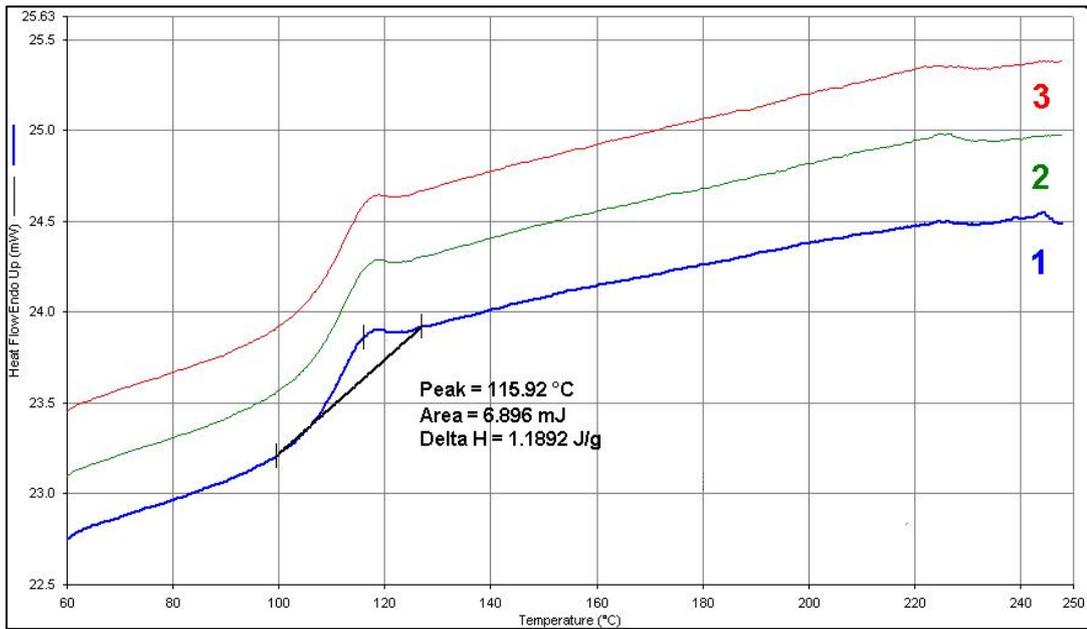


圖 4-7 玻璃轉移點

3. 含水率分析

量測含水率主要是因為我們不希望，在顯示器長期不點亮的情況下，導光板上的光學微結構因為環境中的濕氣，導致微結構的光學曲率因為吸濕問題而受影響，本次利用庫倫式水分分析儀來比較 Compound 5 和傳統 PMMA 基板的含水率，結果顯示，Compound 5 含水率在 0.6%，符合導光板含水率 1% 以下的規範。

表 4-2 含水率結果

Sample	Content/ppm	Content/%	Average (%)
Compound 5	6375.2	0.6	0.6
PMMA	204.9	0.0	0.0

4. 黃化率測定

依據 ASTM Method E313 標準測試公式算出，Conventional LGP 和 Inkjet LGP 分別為 -51.6 和 -16.9，雖然 Inkjet LGP 較差於 Conventional LGP 抗黃化效果較差，但仍有不差的高穿透率表現，未來將摻混紫外線吸收劑及光安定劑來達到更佳的抗黃化效果。

表 4-3 黃化率結果

	X	Y	Z	YI
Conventional LGP	95.34	100	163.083	-51.6
ink jet LGP	100	100	136.7	-16.9

5. 硬度測試

利用鉛筆硬度在經過UV曝光的全面塗佈有光學墨水的基板上，利用標準手法測試Compound 1~10硬化後的光學墨水表面硬度如表4-4所示。

硬度最佳者為Compound 1，經由原物料檢索確認，其所添加的皆屬高黏度且可增進硬化的官能基（Functional Group）數目較多的Oligomer及Monomer，而Compound 1落在2H，則還有改善的空間。

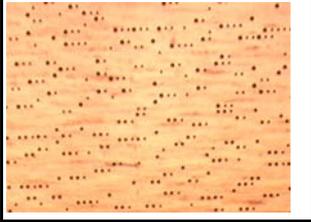
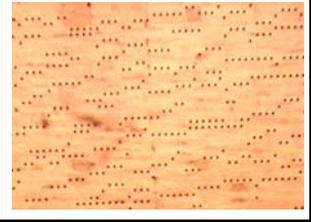
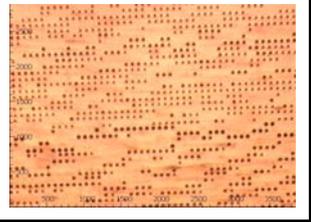
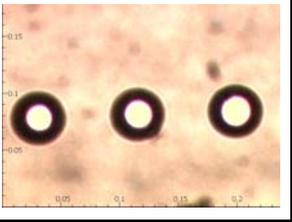
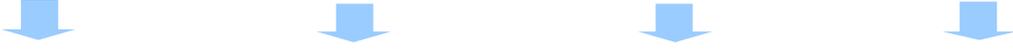
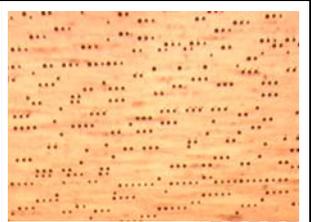
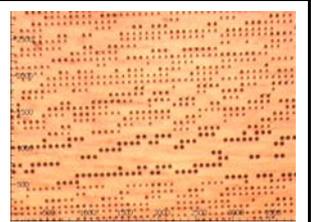
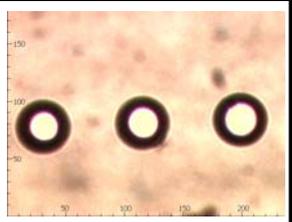
表 4-4 硬度結果

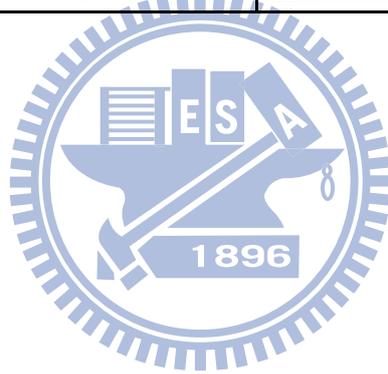
Compound 1	Compound 2	Compound 3	Compound 4	Compound 5
4H	3H	3H	2H	2H
Compound 6	Compound 7	Compound 8	Compound 9	Compound 10
2H	1H	2H	3H	3H

6. 接著力測試

利用3M 600型膠帶進行皆著力測試，放入Oven 60°C在經過10、30、60分鐘後取出，靜置5分鐘後，利用膠帶進行撕拉測試後，如表4-5所示，利用Compound 5所製作出的光學透鏡，本身在經過Thermal Aging後，30分鐘前其接著力並無太大差異，透鏡掉落的顆粒數皆為0顆，在經過60分鐘之後，光學透鏡明顯被膠帶撕落5%，初步評價光學透鏡接著力在長時間Thermal Aging下，接著力表現不差。

表 4-5 接著力測試結果

0 min	0 min	0 min	0 min(放大圖)
			
			
10 min	20 min	30 min	30 min(放大圖)
			



第五章 結論

5.1 Conclusions

1. 本研究所開發的光學墨水搭配噴墨技術我們成功試製出 7 吋的導光版，擁有 82% 的光均勻度和 2477 nits 的正向亮度。並證明導光板製造方式，噴墨技術為另一個可行的方向。
2. 材料噴墨特性：相較於傳統的導光板，需利用不同的墨滴間距、墨滴尺寸、墨滴矩陣來達到導光的均勻性和出光效率。反觀本次研究之光學墨水所形成的各種墨滴樣式，也足以說明，噴墨式的光學墨水可以勝任傳統導光板的導光任務。
3. 由研究結果顯示：原物料的選擇關係到光學墨水的噴墨特性，墨滴成型性，背光亮度提升性以及形成光學微透鏡後的接著力表現，其中進一步解釋如下：
當光學墨水黏度超過 15cps 容易造成噴墨頭阻塞。要有好的背光亮度及均勻度，光學墨滴接觸角度需超過 40°。好的光學墨滴接著力可使導光板上的光學透鏡，不易因為後端技術人員在組裝各類光學片或被上方的擴散片經由摩擦後時掉落。噴製完成的光學微結構陣列，需要具備良好的硬度，硬度最佳值須超過 3H，對於其上的擴散片的 PMMA 微粒子粗糙面才具有抗磨的效果，以免亮度損失。
4. 接著力探討：本次選用的 Compound 5 雖有較佳的接觸角度及折射率，但接著力還有改善空間，未來也許可針對基板上的無機或有機疏水層進行研究，並合成出對疏水層有強力接著官能基的 Oligomer。
5. 光起始劑的搭配效果亦是本結論重點之一：研究中所使用的光起始劑為 I369 和 I819，其中 I819 具有可見光波長範圍的吸收能力（吸收波段:400nm），從表乾結果可以看出，雖然光學微結構的尺寸小至 50~80um，但利用 Amine Cointiator 類的單體配合 I819 可使表面硬化的速度加快，讓未來產品在量產的速度加快，及半成品傳

輸帶運送的過程中，不會因為震動而引起未完全硬化的微結構接著力有所變動。

6. 材料和機台搭配性探討：本次研究所應用的噴墨頭可接受黏度範圍為 7~15cps，我們在光學墨水的原物料選擇上，大量運用低黏度的 Tetrahydrofurfuryl Methacrylate 當稀釋劑，由噴墨結果顯示，在衛星墨滴的形成、噴墨速度、噴墨頻率等也因為低黏度的墨水對應，可使機台在這些參數（Parameter）調校上，有更大的運用範圍（Process Window）。

5.2 Future work

1. 對於導光板整體亮度的提升：未來可望尋找或化學合成出超高表面張力及高內聚力的 Monomer 和 Oligomer。
2. 另外，減少光損失方面：光學微結構的堆疊及不同粒徑或折射率的奈米級粒子（Nano-Particle）摻混研究也是不可或缺的一部份，但也必須考慮到製程複雜性及微粒子分散的技術。



Reference

- [1] H. J. Cornelissen et. al., "Transflective Display Device," US Patent 6437900, (2000)
- [2] Chi Hyuck Park et. al., "Fringe Field Switching Mode LCD," US Patent 6678027, (2004)
- [3] F. Reinitzer. *Monatsh. Chem.*, 9, 421 (1888).
- [4] Z. Lehmann. *Phys et. al., Chem*, 4, 462 (1889)
- [5] 辛哲宏, "預傾角配向膜的應用與可靠度," *工業材料*, 第 89 期, P101~106, (1988)
- [6] 李政道, "彩色液晶顯示器的配向技術與材料進展," *工業材料*, 第 149 期, P115~124, (2000)
- [7] Takahashi et. al., "Liquid Crystal Display Device Provided with Pigmented Layers in a Pixel," US Patent 7443467, (2008)
- [8] K. Kashimu, et. al., "Back Lighting Device for a Panel," US Patent 5093765, (1992)
- [9] K. Kashimu, et. al., "Back Lighting Device," US Patent 5730518, (1998)
- [10] K. Yokoyama, et. al., "Surface Illiminant Device," US Patent 540234, (1995)
- [11] 陳慶偉等, "背光模組技術介紹," *電子材料*, 第一期, P104-107, (1999)
- [12] 吳宛芳, "大尺寸 TFTLCD 上游關鍵零組件產業分析," *台灣期刊研究*, 第 29 期, P29, (2003)
- [13] Hue L. P., "Progress and Trends in Inkjet Printing Technology," *IS&T*, V.42, P49, (1998)
- [14] Pimbley, W.T., "Drop Formation from a Liquid Jet: A linear One-dimensional Analysis Considered as a Boundary Value Problem," *IBM J.Res. Develop*, Vol 20, 148-156, (1976)
- [15] 陳興華, "背光模組導光板仁微結構成形技術," *工業材料*, 第 269 期, P32, (2004)
- [16] E.Hecht and A.Zajac, "Optic," *Addison-Wesley*, New York, P212, (1974)
- [17] San Jose, "LEDs and Photometry Appnote 1", *OSRAM Opto Semiconductors*, V23, P61 (2000)
- [18] Gerhard Scharf, "Behaviour of InGaN LEDs in Parallel Circuits," *OSRAM Opto Semiconductors*, Application Note, V21, P42, (2002)
- [19] Raimund Zach, "Color Stabilization of RGB LEDs in an LED Backlighting Example,"

- OSRAM Opto Semiconductors*, Application Note, P37, (2004)
- [20] Alex Ryer, "Light Measurement Handbook," *International Light*, C3, P113, (1998)
- [21] Ian Ashdown, P. Eng., LC, FIES, "Photometry and Radiometry," *Heart Consultants Limited*, P49, (2002)
- [22] Rafael Tadmor, "Line Energy and the Relation Between Advancing", *Langmuir*, 20, 7659 , ISBN 0743-7463, (2004)
- [23] B.-J de Gans, *Langmuir*, Vol. 20, 789-7793, (2004)
- [24] W. T. Pimbley, *IBM Journ. of Res. Dev.*, Vol. 20, P148-156, (2000)
- [25] 余宗瀚,"適用顯示器背光模組之微透鏡陣列的噴墨製造技術,"*交通大學光電所*, (2008)
- [26] Chung-Hao Tien *et. al.*, "Microlens Arrays by Direct-Writing Inkjet Print for LCD Backlight Applications," *Journal of Display Technology*, Vol. 5, No. 5, pp. 147-151, (2009)

