

26. 微型投影面板配向膜塗覆製程薄化後缺陷之改善研究

姚文隆 教授、張引獻
國立高雄第一科技大學 機械與自動化工程系

摘要

微型投影技術發展潛力十足，持續的開發與改良勢在必行。為使矽控液晶光閥(Liquid Crystal on Silicon, LCoS)於微型投影技術佔有一席之地，本研究主要目的為配向膜塗覆製程薄化後缺陷之改善研究，用以提升矽控液晶光閥之影像品質。本研究依據DMAIC改善程序，針對矽控液晶光閥配向膜塗覆製程之缺陷，以實驗設計法分析不同製程條件下對細胞狀缺陷之影響並予以改善，良率由改善前的2.6%~11.8%大幅提升至70.3%~78.5%，而細胞狀缺陷完全地消失，獲得了直接的改善。

關鍵字：矽控液晶光閥、微型投影。

一、前言

自微型投影機技術問世以來，除具有研發技術與生產能量的終端組裝廠商之外，包含工業設計者與品牌精品廠商等非IT產業業者，也猶如受魔法吸引般，陸續投入開發此極具潛力市場。國內研究機構DIGITIMES[3]預估，至2011年底各類微型投影機出貨量將成長至每年四百萬台以上(如圖1)。而日本TSR (Techno System Research)針對微型投影機應用產品之調查結果顯示，2015年應可望形成7,000萬台以上之市場規模，再再顯示微型投影技術發展潛力十足。

工研院[1]於2005年發表的噴墨技術平面顯示器應用報告內容中提到使用噴墨技術(如圖2)來製作顯示器內的配向膜是非常新穎的概念。另外[2]2006年提出的數位覆膜技術與系統發展報告指出噴墨法所製作配向膜膜層厚度的均勻度控制優於滾輪轉印法(如圖3)。

六標準差能持續改善組織在產品、服務與製程上的缺陷，Young Hoon Kwak等人[7]的研究報告指出，許多導入六標準差專案的組織，所處之優勢地位更為明顯，然而不論是在技術工藝或專案管理上，成功運用六標準差，所得的優勢及利益是非常巨大的。

張維昌[5]指出信號雜訊比的特性，於品質工程上可用來最佳化一個產品或製程的穩健性，而品質特性依性質可區分為望小、望大與望目特性。另外說明變異數分析法主要功能是把總變異量做垂直分割，分配到各個可歸諸的原因上，其主要流程分別為研究問題設定、選擇變數、檢查假定條件、檢定差異顯著性與解釋分析結果(如圖4)。

綜合以上所述，本研究旨在引用六標準差DMAIC法與實驗設計法分析並改善配向膜塗覆製程所產生細胞狀缺陷，提升影像品質。其研究架構如圖5。

二、微型投影相關技術與原理介紹

2.1 微型投影技術

採用LCoS及DLP技術的微型投影機已先後導入量產，現尚有較適用於微型投影機的開發中技術如1-LCD或掃描式微機電系統(Micro Electro Mechanical Systems: MEMS)等將陸續被開發，短期內將呈百家爭鳴狀態，暫不會有任何一種技術主導整個市場。

LCoS技術所配置的彩色濾光片，其單一畫素(Pixel)由三個子畫素(Sub-Pixel)構成，每個子畫素各由其相對的TFT元件，來控制著該子畫素的電場強度及液晶扭轉角度，決定通過該子畫素的光強度，其通過各子畫素之光能量，經由各子畫素所對應之三原色濾光片調階，來得到各子畫素所需之各原色光的強度，再根據視覺系統的作用，將各子畫素之原色予以混色成該畫素所欲表現之顏色(如圖6)。

DLP技術不需配置彩色濾光片，透過高速旋轉的色輪分色將白光分為紅、綠、藍三原色，投射於大量微鏡片組成的MEMS晶片—稱為數位微鏡片裝置(Digital Micromirror Device: DMD)，將各色場的畫面依時序顯示，利用人眼視覺暫留的原理，在人類大腦中重新合成其顏色(如圖7)。

2.2 配向膜塗覆相關技術

滾輪轉印法為目前面板產業最主要使用於配向膜塗覆製程的技術，配向膜材料滴至A輪後，使D輪與A輪相接觸並使配向膜材料均勻地塗覆在A輪上，再使A輪接觸版台上的APR板，使A輪上的配向材料印至APR板上，版台再滾動來讓APR板上的配向材料均勻地塗覆在基板上(如圖3)。

以噴墨塗覆技術(如圖2)來製作配向膜目前仍處於開發階段，其製程有精準的液滴控制，所製作配向膜膜層厚度的均勻度可控制在 $\pm 2\%$ 內，優於滾輪轉印法的 $\pm 4\sim 5\%$ ，而材料利用率更為塗覆製程技術中最高者，可避免材料的浪費，進而大幅度縮減材料成本，惟噴墨頭搭配各種不同黏度的PI液都不易阻塞的方法仍有待開發改善。

旋轉塗覆法(如圖8)多為微型投影面板製作配向膜所選擇的塗覆製程，製程簡易，利用旋轉基板所造成的離心力來使配向膜材料由內而外地塗覆於基板上，僅以轉速與旋轉時間兩項參數來控制膜層厚度與塗覆品質。

三、配向膜塗覆製程之改善

3.1 LCoS面板流程與配向膜塗覆製程

LCoS面板前、中段流程(如圖9)由基板清洗開始，經過配向膜塗覆，配向膜磨擦配向，在玻璃基板上塗覆框膠，將玻璃基板與晶圓基板初步對位後，利用壓合工程使兩基板完成壓合組立，由兩片獨立基板到完成組立共需六道製程。而欲改善之製程，配向膜塗覆為塗覆、預烤、硬考、膜厚量測四道子製程所組成(如圖10)。主要利用旋轉基板所產生的離心力，讓液態配向膜由內而外均勻地塗佈於基板上，而膜層厚度由轉速與旋轉時間兩參數加以控制，塗覆完成之基板先經由加熱板，使液態配向膜內溶劑初步揮發並固化，後續再經過 $^{\circ}\text{C}$ 高溫烘烤製程，使配向膜內溶劑完全揮發而硬化，待基板冷卻至常溫後利用膜厚量測系統來監控配向膜膜層厚度並紀錄之，始完成配向膜塗覆製程。

3.2 DMAIC法

在配向膜塗覆製程薄化後細胞狀缺陷改善專案中，引用六標準差手法，以系統圖法來「界定」製程問題(如圖11)。建立資料收集計畫與分析量測系統來「衡量」關鍵品質特性與量測儀器可靠度。測試材料使用區間與利用特性要因圖(如圖12)「分析」並找出關鍵控制因子。規畫23全階乘實驗設計進行「改善」細胞狀缺陷實驗，最後利用製程管制圖「控制」及維持長期製程品質。

四、實驗設計與結果討論

4.1 實驗設計

要因分析階段中得知其主要涉及配向膜塗覆品質的關鍵控制因子在於配向膜材料、硬考溫度與塗覆設備，依上述三項控制因子設計其水準值，將製程現況設定為低水準值(-1)，而改善提議設定為高水準值(+1)，採三因子兩水準值之全階乘設計，依實驗設計隨機化與重複性原則將8種因素組合重複3次隨機進行試驗，將每次試驗所取得的計數值指標轉換為計量值評價指標，輸入至實驗配置表中評價指標欄位。(如表1)。

4.2 顯著因子、效應分析與最佳化模式預測

經由縮減模式所產出之柏拉圖與常態機率圖(如圖13)看出配向膜材料及硬考溫度已超越參考線，可判斷兩控制因子為顯著項，而塗覆設備並未超越參考線，故判斷為非顯著因子。另外藉由觀察MINITAB程序視窗中所運算分析之變異數分析表(如表2)，配向膜材料及硬考溫度兩控制因子之P-value值 < 0.05 ，再一次驗證兩項因子為顯著因子。模型解釋能力 $R^2(\text{adj})$ 值為87.02% $> 70\%$ ，可解釋為本次分析結果判斷兩主效應項配向膜材料及硬考溫度為顯著因子，塗覆設備為非顯著因子具有87.02%的正確率。變異數分析表除協助判斷顯著項為何，另分析出一線性迴歸模型。

評價指標=2.875-1.375x配向膜材料-0.292x硬考溫度

分析所得之線性迴歸模型，可直接將水準值置入便可預測實驗結果，可有效節省人力、材料與時間成本。

進一步進行殘差分析來診斷模型的適當性，以確

認配置的模式符合變異數分析之假設。由圖14(a)殘差常態機率圖(Normal Probability plot of the Residuals)與(b)殘差直方圖(Histogram of the Residuals)得知，點散佈近似於一條線且直方圖大略對稱於0點，可確認殘差為常態分配，符合常態性的假設。由(c)對估計值殘差圖(Residuals Versus the Fitted Values)得知點的分佈大略是以中心線成隨機散佈，確認殘差符合變異數齊一的假設。而(d)對時間殘差圖(Residuals Versus the Order of the Data)可確認點的分佈大略是以 $e=0$ 為中心成隨機散佈形狀，符合殘差之間彼此獨立的假設。檢定結果顯示分析所得之線性迴歸模型為合理的。

主效應圖顯(如圖15)示了在配向膜材料、硬考溫度、塗覆設備三種不同條件下，其使用效應的比較，明白指出選擇PI-X，其細胞狀缺陷越輕微，而硬考溫度使用 $^{\circ}\text{C}$ 與利用塗覆設備PIC002也能降低細胞狀缺陷，惟其效果並不顯著。主要效應圖也指出，更換材料會比改變硬考溫度與機台所得之效益更為直接、顯著。

交互作用效應圖可顯示各項控制因子對於產出是否具有交互作用，如圖16所示，配向膜材料相對於硬考溫度與塗覆設備，其兩條線形近乎平行，表示配向膜材料與溫度、設備不論如何搭配，對產出沒有特別影響，視其為無交互作用。而硬考溫度與塗覆設備兩因子之線形並不平行且在延伸不遠處即相交，表示兩因子間的搭配對於產出有相當程度的影響，視其為交互作用明顯。

經由數據的分析，立體圖(如圖17)所呈現的最佳模式組成為配向膜材料PI-X，搭配硬考溫度 $^{\circ}\text{C}$ 與塗覆設備PIC002，此模式可得最佳之評價指標1，亦即無細胞狀缺陷產生。

4.3 最佳化模式驗證

為確認此最佳化模式具有再現性，以相同實驗條件執行四次並觀察結果，藉以確認此最佳參數組合確實能改善細胞狀缺陷並具有再現性。由於配向膜膜層的厚薄會直接影響到所需電位能的大小，並間接決定液晶分子的響應時間，故配向膜膜層厚度為首要確認之項目。其規格為 $1000\text{\AA} \pm 10\%$ ，膜層厚度需維持在目標值上，屬於望目特性，而本研究利用SPC製程管制圖(如圖18)來監控並分析其製程能力。如衡量階段所定義，每模量測位置共17點，四模共有68個量測樣本。如管制圖所示，膜層厚度平均值為 1026\AA ，與目標值雖有偏差但仍在其規格內，且能藉由製程參數的微調來做調整，而其製程能力分析結果 Cpk 為 $2.13 > 1.67$ ，級別為I級屬製程能力高者。而四次實驗結果，試驗1~4所得皆為評價指標1，亦即代表無細胞狀缺陷產生之結果，再次驗證了最佳化模式；配向膜材料PI-X，硬考溫度 $^{\circ}\text{C}$ 與塗覆設備PIC002三者的搭配為最佳參數組合，能有效抑制細胞狀缺陷的產生，可大幅度提升良率及改善投影品質。改善前後不良率比較如圖19、圖20。

五、結論

本研所得之最佳化模式為配向膜材料PI-X搭配硬考溫度 $^{\circ}\text{C}$ 與塗覆設備PIC002，以此新參數組合試產之良率為70.3%~78.5%，較改善前之良率2.6%~11.8%大幅提升，而細胞狀缺陷完全改善。研究至此，對於微型投

影面板配向膜塗覆製程薄化後缺陷之改善，已大致掌握其關鍵參數與因子，細胞狀缺陷在最佳化模式導入實際生產後獲得了直接的改善，其結果符合本研究之預期。

參考文獻

- [1] 工研院，噴墨技術平面顯示器應用報告，<http://www.itri.org.tw/>，2005。
- [2] 工研院，數位覆膜技術與系統發展，<http://www.itri.org.tw/>，2006。
- [3] 產業網，<http://member.digitimes.com.tw/>，2008。
- [4] 國立交通大學光電工程學系Cell製程介紹，<http://www.ieo.nctu.edu.tw/>，2008。
- [5] 張維昌，應用品質機能展開與品質工程於產品製程改善之研究，成功大學，碩士論文，2003。
- [6] 魏景明，利用 Stencil-FSC 法抑制色分離並達低功率之色序型液晶顯示器，成功大學，碩士論文，2008。
- [7] Young Hoon Kwak, Frank T. Anbari, 2006, Benefits, obstacles, and future of six sigma approach, Technovation 26 pp.708-715.

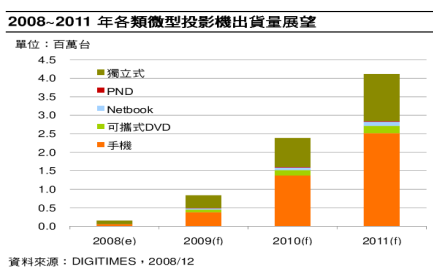


圖1 各類微型投影機出貨量展望
[資料來源: DIGITIMES, 2008]

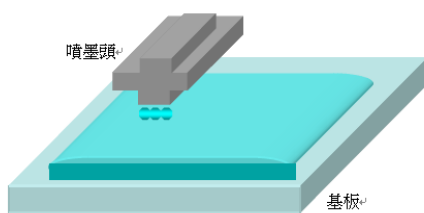


圖2 噴墨塗覆技術示意圖
[資料來源: 工業技術研究院, 2005]

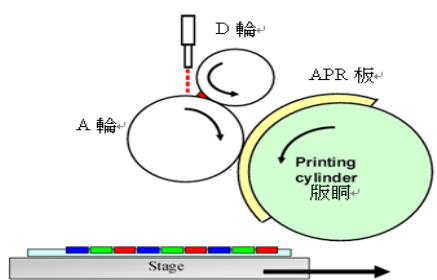


圖3 滾輪轉印塗覆技術示意圖
[資料來源: 交通大學, 2009]

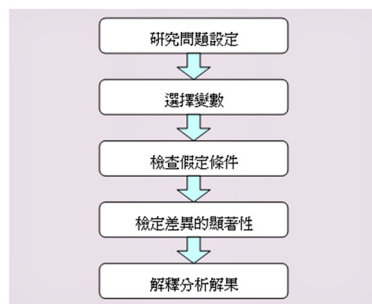


圖4 變異數分析流程圖
[參考來源: 張維昌, 2003]

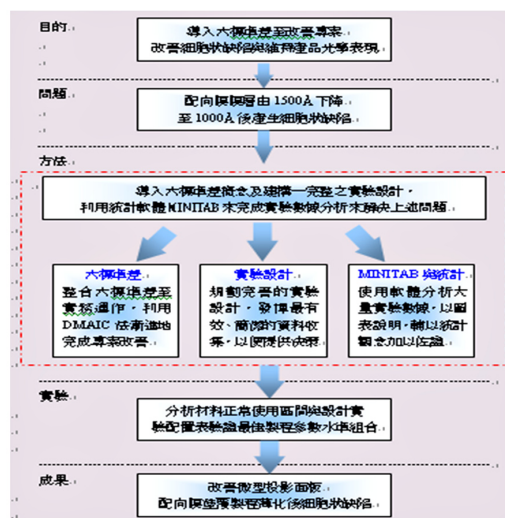


圖5 研究架構圖

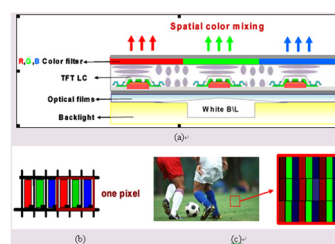


圖6 傳統顯示結構(Display mechanism of conventional LCDs)
(a)顯示結構(b)畫素排列(c)空間混色[資料來源: 魏景明, 2008]

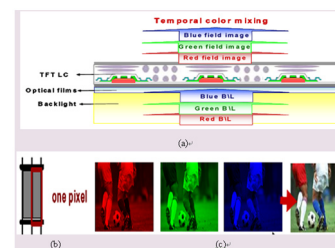


圖7 色序顯示結構(Display mechanism of FSC-LCDs)
(a)顯示結構(b)畫素排列(c)時間混色[資料來源: 魏景明, 2008]



圖8 旋轉塗覆技術示意圖
(資料來源:勝華科技, 2008)

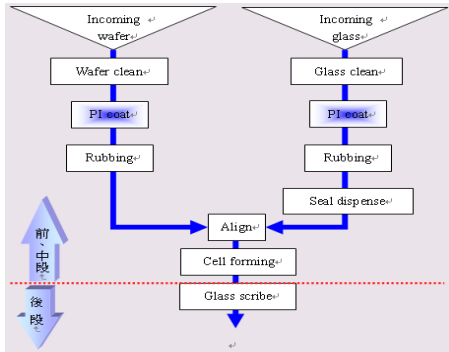


圖9 LCoS面板前、中段製程流程圖

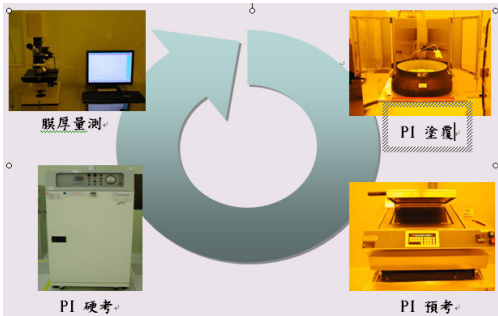


圖10 配向膜塗覆製程流程圖

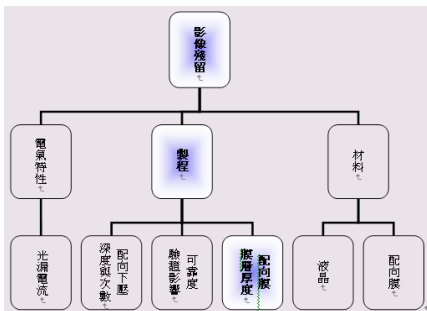


圖11 問題界定之系統圖



圖12 特性要因圖

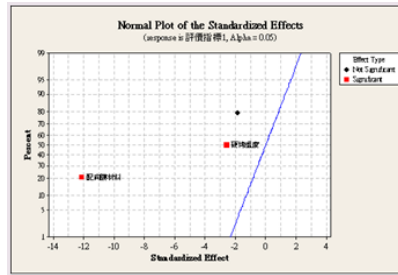
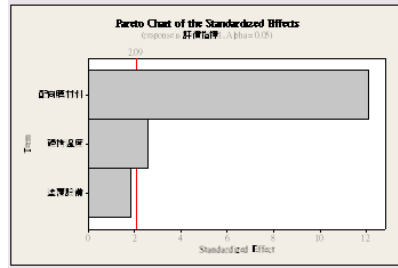


圖13 縮減模式後之柏拉圖與常態機率圖

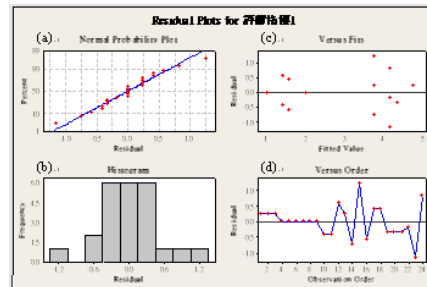


圖14 殘差分析圖

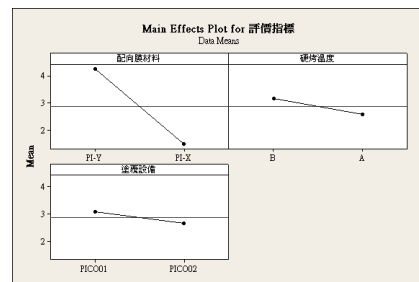


圖15 主效應圖

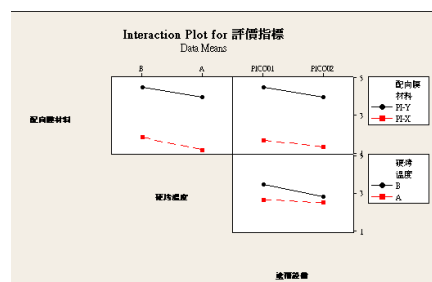


圖16 交互作用效應圖

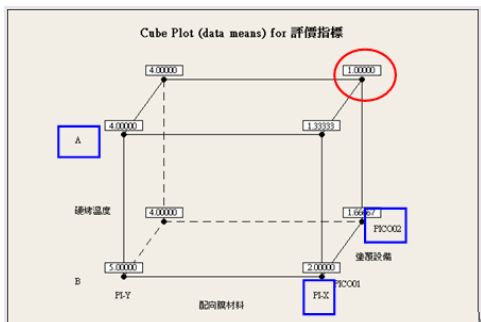


圖17 立體圖

表1 L8實驗配置與評價指標一覽表

Run Order	配向膜材料	硬考溫度	塗覆設備	評價指標		
				試驗1	試驗2	試驗3
1	PI-Y	B	PIC001	5	5	4
2	PI-X	A	PIC002	1	1	1
3	PI-X	B	PIC001	2	2	2
4	PI-X	A	PIC001	1	1	1
5	PI-Y	A	PIC002	4	4	3
6	PI-X	B	PIC002	2	2	2
7	PI-Y	B	PIC002	4	3	5
8	PI-Y	A	PIC001	3	3	4

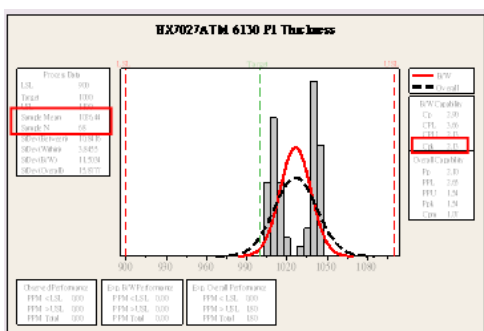


圖18製程管制圖

表2變異數分析表

Factorial Fit: 評價指標 versus 配向膜材料, 硬烤溫度, 塗覆設備

Estimated Effects and Coefficients for 評價指標 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.875	0.1133	25.36	0.000
配向膜材料	-2.750	-1.375	0.1133	-12.13	0.000
硬烤溫度	-0.583	-0.292	0.1133	-2.57	0.018
塗覆設備	-0.417	-0.208	0.1133	-1.84	0.081

S = 0.555278 PRESS = 8.88
 R-Sq = 88.71% R-Sq(pred) = 83.74% R-Sq(adj) = 87.02%

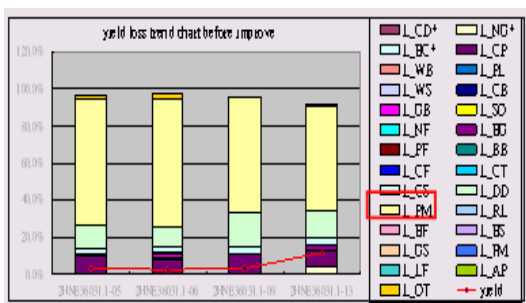


圖19改善前不良率直方圖

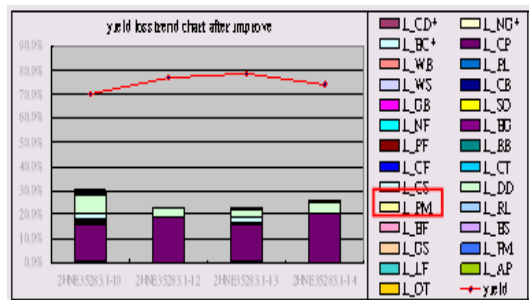


圖20 改善後不良率直方圖