

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

軟性顯示器生產製造及產業發展之研究--子計畫五:運用系統模擬建構

軟性顯示器製程品質監控系統之研究

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-029-019-MY3

執行期間：99年08月01日至100年07月31日

計畫主持人：蔡禎騰

共同主持人：邱創鈞

計畫參與人員：翁柏雅、劉勁甫、吳菡倩

執行單位：東海大學工業工程與經營資訊學系

中 華 民 國 一 百 年 九 月 三 十 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 軟性顯示器生產製造及產業發展之研究--子計畫五:運用系統模擬建構

### 軟性顯示器製程品質監控系統之研究

#### Establishing flexible display's quality performance measures using simulation

#### 中文摘要

根據工研院IEK預估，全球軟性電子產品將從2008年開始陸續成熟，而整體市場將從2010年開始成長，產值約20億美元。其中軟性顯示器(Flexible Display)將是最主要的應用產品。在軟性顯示器快速發展的趨勢下，為滿足市場大量需求，軟性顯示器勢必得走向量產階段。然而對於軟性顯示器即將邁入的量產，如何從試產的實驗過程找出中影響良率的品質要素，並將實驗製程中所面臨的問題做有系統的分析與探討，幫助軟性顯示器日後發展量產製程影響良率之困擾現象問題分析，將為未來製造及推動軟性顯示器技術普及的關鍵。

本成果報告為本研究計劃三年來總合成果。本研究透過專家訪談(Expert Interview)，應用特性要因圖結合限制理論(TOC)之現況樹，分析軟性顯示器Roll to Roll製程中可能影響良率的問題與現象，建立影響良率之關鍵要素與關鍵問題。再藉由層級分析法(AHP)之分析程序，尋找Roll to Roll製程中影響良率之核心問題。此等核心問題運用限制理論之衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹，研擬適用於軟性顯示器Roll to Roll 製造程序核心問題的解決方案。最後，運用系統模擬，建構一軟性顯示器製程品質監控系統，以供軟性顯示器量產時參考使用。本研究主要貢獻在於為新興科技產品(軟性顯示器)製程，分析其關鍵品質因素，建立一個尋求核心問題的流程，與解決製程問題之模式，有助於軟性顯示器日後量產之製程品質監控。簡言之，軟性顯示器為一新興科技產品。本研究兼具理論開發與實務問題解決模式建立雙重價值。

**關鍵字詞：**軟性顯示器、專家訪談、限制理論、層級分析法、系統模擬、品質監控系統

## **Abstract**

According to the predictions of Industrial Economics and Knowledge Center of Industrial Technology Research Institute in Taiwan, global flexible electronic products will begin to mature in 2008, and the market in its entirety is estimated to grow exponentially to a total value of two billion USD starting in 2010. Of this market, flexible displays will be one of the most widely sought after products. As flexible displays come into such prominent demand, they must go into mass production to sustain a consistent supply. Before flexible displays enter into mass production, it is crucial to go through a trial run period to find key characteristics and key problems that can significantly alter the mass production yield rate. It is of equal importance that all the problems faced during the trial production are systematically analyzed and studied, to positively influence the yield rate and perfecting the technology and skill set that is crucial to a smooth mass production process.

This research utilizes Expert Interviews, Cause & Effect Diagrams, and the Current Reality Tree within the Theory of Constraint (TOC) to analyze the effects that the key characteristics and key problems of the Roll to Roll process to be used to manufacture Flexible Displays can have on yield rates. This research further uses the Analytic Hierarchy Process (AHP) to find the core problems that Roll to Roll can cause, and uses such core problems in a Conflict Resolution Diagram, Future Reality Tree, Prerequisite Tree and Transition Tree of TOC to find applicable solutions problems of the Roll to Roll manufacturing process. System simulation is applied to construct a quality assurance system accordingly. This research is dedicated to finding a systematic flow and analytical process to create solutions in the manufacturing process of Flexible Displays, in hopes that it can stabilize the yield of production in its later stages of mass production. The research has both theoretic and practical significances as it provides findings based on theoretical observations and inferences and on empirical experimentations.

**Keywords: Flexible Display, Analytic Hierarchy Process, Theory of Constraint, Expert Interview, Systems Simulation, Quality Assurance System**

# 一、報告內容

## 1. 背景與目的

### 1.1 研究背景

近年來由於平面顯示器技術已趨成熟，且在國際產業環境快速變遷下，若想持續在顯示器領域上占有一席之地，勢必要研發出下一世代的顯示器。目前，出現了軟性顯示器(flexible display)的新產品，一個具有輕、薄、可捲曲、堅固耐用且不易破碎的顯示器，將再度掀起另一波顯示器的革命。

Roll to Roll 製程為低成本的製程方式，具有高產能、低人力成本及設備購置成本等優點，使得Roll to Roll 製程，成為軟性顯示器日後量產的主要發展之製程技術。然而對於軟性顯示器即將邁入量產，如何從試產的實驗過程找出中影響良率的品質要素，並將實驗製程中所面臨的問題做有系統的分析與探討，以幫助軟性顯示器日後順利量產，為本計劃之動機。

### 1.2 研究目的

本研究主要以分析軟性顯示器生產線 Roll to Roll 影響良率之製程問題為對象，藉以幫助平面顯示器業者跨入軟性顯示器產業發展量產模式。其主要目的如下：

1. 透過文獻及專家訪談，應用特性要因圖結合專案管理的限制理論之分析戰術樹圖 (Strategy and Tactic Tree) 之現況樹(Current Reality Tree)，分析製程中可能影響良率的製程問題，並且找出問題間的因果關係，進而建立影響良率之關鍵要素與關鍵問題。
2. 運用層級分析法專家問卷調查之手法，計算各要素之權重，尋找Roll to Roll製程中影響良率困擾現象之核心問題。
3. 結合限制理論之分析工具-衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹(Conflict Resolution Diagram、Future Reality Tree、Prerequisite Tree and Transition Tree)，研擬適用於軟性顯示器現行製程問題的解決方案。
4. 運用系統模擬，建構一軟性顯示器製程品質監控系統，以供軟性顯示器量產時參考使用。簡言之，本研究成果有利軟性顯示器未來邁入量產，提供評估一改善生產線解決核心問題的分析模式，有助於軟性顯示器量產之順利推行。

## 2.文獻探討

### 2.1 軟性顯示器

雖然軟性顯示器技術已發展多年，其成品仍多停留在試驗室製品展示階段，並未大量生產。整體來講，軟性顯示器的量產製程可以分成兩類：轉貼技術與直接製程技術，茲簡述如下。

#### 1. 轉貼技術(Transfer Technology)

利用成熟穩定的玻璃基板TFT 製程技術進行製作，再將玻璃基板完全移除，用TFT 轉貼至軟性基板上，以實現軟性IC 技術。如Sony在玻璃上先製作蝕刻阻絕層(Etching Stop Layer)，再接續TFT 製程。工研院顯示中心在AM OLED 上，運用在玻璃基板上塗布一層「離形層」，順利融合業界既有的TFT 製程，在柔軟的 PI 基板上，製作出現今面板所使用的薄膜電晶體陣列，並且能夠在不損害電晶體的情形下，順利將軟性塑膠材質取下。

#### 2. 直接製程技術(Direct Process Technology)

不同於轉貼技術將元件製作於玻璃基板上，而是直接在軟性基板進行元件製程，其可分為採用金屬薄基板進行傳統的高溫製程及塑膠基板進行低溫製程兩大類；目前如Sharp、Samsung、Kodak、Sipix 及Xerox 等組織企業為此技術之代表。且因為利用軟性基板可捲之特性，進而發展出連續性製程(Roll to Roll Process,)，使得生產更具有經濟效益。

從上述對製程技術的介紹，可知轉貼技術在

製作上，與傳統TFT-LCD 之製作相類似，而就直接製程技術中Roll to Roll製程之應用較為特殊，故以下再討論其技術。

Roll to Roll 製程其實不是新的生產方式，在過去Roll to Roll 生產被廣泛的應用於紡織業、印刷業和民生用品的相關產業，隨著半導體和光電產業的蓬勃發展，很多研究開始想把這種滾輪式的生產方式應用到高科技產業。以軟性液晶顯示器為例，從軟性基板表面進行Array 段製程，直到中段Cell製程與後段的Module 製程，都可以採用Roll to Roll 製程之生產設備來進行生產，所以這樣的生產方式與設備已受到各界廣泛注意。一般以R2R 製程技術將原本在晶圓或玻璃基板上進行薄膜電晶體製程移植到聚合網路(Polymer Webs)上。大致可分成三個程序，分別為沉積(Deposition)、圖案化(Patterning)、封裝(Packaging)，其中最關鍵的部份即為元件圖案化的製程。利用這種方式可以使用塑膠基板，以低成本製程方式，製造出輕、薄並具可彎曲性的彈性顯示產品。且由於連續式的生產方法，進而提高產能且節省人力降低生產成本，當生產不同尺寸或不同材質之基板時，不需購置生產設備，因而降低設備建置成本。

### 2.2 限制理論

限制理論(Theory of Constraint, TOC)首先由 Eliyahu M. Goldratt 於1986 年發展的最佳化生產技術 (Optimized Production Technology, OPT) 為基礎所創立的。Goldratt 曾出版「目標(The Goal)」一書，以小說的形式敘述、說明限制理論，且此獨創性的方法使得此方法在往後成為一種企業持續改善的一種方法。Blackstone 指出：「限制理論為企業持續改善的方法。有別於傳統說法認為限制為可能限制(Limit) 系統的事物。限制理論中所謂的限制(Constraint)是影響系統績效的任何事物。」，也就是限制理論運用於企業中不但是一種持續改善的方法，也是一種將資源集中運用的方式，去改善阻礙系統達成其目的之限制條

件，以達到持續改善的管理方法。Roser 也指出，每個製造系統的績效，都受系統中的各種「限制」影響，所以要改善系統績效，就必須先確認系統中的「限制」，並加以改善。所謂的「系統限制」就是「瓶頸」( Bottleneck )。瓶頸之定義為，當某機器的產出，將影響整個製造系統的產出時，該機器即為整個系統的瓶頸，瓶頸的大小則視此機器對全系統產出影響的大小而定。

### 2.3 層級分析法

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美國匹茲堡大學教授 Saaty 於 1971 年所創，經過不斷的運用與修正，整個理論於 1978 年趨於完備，並於 1980 年將理論整理成專書出版，後受到許多學者運用於各領域的研究。]層級分析法是系統分析與決策中一種有效的綜合評價方法，理論簡單且易於使用[14]，是一種以整體全盤的觀點，由上到下的方式 (top-down approach) 來分析系統，不太注重系統細節的部份。AHP 之所以受到廣泛運用，因理論簡單又具實用性；AHP 有系統的分析問題並將各個考慮層面與因素給予層級化的架構，此層級架構有助於決策者對事物的整體瞭解，在工作進行時也易於掌握與達成；Saaty & Vargas (1991)指出 AHP 可應用的範圍包括：決定優先順序、產生替代方案、選擇最佳方案、決定需求、決定成本效益、資源分配、預測結果或風險評估、衡量績效、系統設計、確保系統穩定、最佳化、規劃、衝突解決等 13 類決策問題[15]

### 2.4 系統模擬

系統模擬於生產線績效評估的應用系統模擬應用在高科技產業之生產線績效評估是相當的廣泛，其相關文獻有：蘇志浩在以限制驅導式為基之半導體最終測試廠短期生產排程模式的研究，以 DBR 方法結合動態派工模擬之並行規劃方法，來解決短期生產排程問題。其針對瓶頸資源為平行機台且具備製程迴流的 Drum 設計，提出一套啟發式方法。陳子立在以模擬為基礎之先進規劃排程法-以 TFT-LCD 模組廠為例的研究，提出的基礎模擬方法論 (Constraint based Simulation, CBS) 此方法論結合了限制與離散式模擬的概念，同時考量多重限制包括物料限制、產能限制或交期限制等，透過前推式模擬與後推式模擬，決定出可行投料時窗，再根據兩大目標：1. 滿足訂單交期和 2. 減少存貨水準包括在製品與成品存貨，在可行投料時窗中，尋找滿足目標理想投料時間點。黃建中在廠區規劃與排程—以 TFT-LCD 廠為例的研究，提出以 TFT-LCD 廠為例可同時規劃多廠區，同步考量將物料分配與各廠區主排程規劃的演算法—以限制為基礎的模擬，期能解決此生產規劃問題，並將此案例及演算法建構於模擬軟體。簡秀安在 TFT-LCD 產業陣列製程投料機制之建構與績效分析的研究，考量各種造成在製品可能堆積的情形，即全系統的在製品堆積、各迴流層級在製品堆積、瓶頸資源的堆積，以及各品項的生產數量等限制因素，提出多維度在製品控制 (Multi-Dimension WIP Control, MDWC) 的投料機制，並以業界所提供的數據做驗證，進一步分析各項生產控制績效指標。陳尚琳在高科技產品試作製程改善之績效評估-以奈米碳管背光模組為例，利用 eM-Plant 的模擬軟體技術，來建置出完整 CNT-BLU 製程的整體架構，並進行製程之績效驗證。

### 3. 研究方法與成果

#### 3.1 研究方法

本研究以限制理論邏輯思維流程與五大戰術樹圖做為找尋製程問題之分析之工具，並結合層級分析法，以解決軟性顯示器 Roll to Roll 製程中影響良率之核心問題。研究程序可分為以下四大階段：

階段 I：現況分析。以文獻探討與專家訪談法，建構軟性顯示器製造流程及關鍵製程-Roll to Roll 研發現況。以特性要因圖(魚骨圖)與現況樹做為分析描繪製程問題現況，找出製程中影響良率之困擾現象，作為分析影響品質良率要素之基礎，並探討現況中影響良率的各困擾現象之因果關係。

階段 II：核心問題之評選。接續特性要因圖及現況樹結果，利用層級分析法步驟，將困擾現象之分類結果，以層級分析法建立本論文對象 Roll to Roll 關鍵製程影響良率問題的三階層關係，確認困擾現象之關鍵要素與關鍵問題，並依其層級進行專家問卷調查及數據分析，目標在於求得各關鍵要素與關鍵問題之權重值，進一步確認影響良率現象的核心問題，擬定製程中影響品質的重要指標，共有建立層級、問卷設計、專家問卷調查、問卷數據分析、核心問題之評選等步驟。

階段 III：研擬解決方案。依據核心問題之評選結果，運用限制理論其餘四大戰術樹圖-衝突圖、未來樹、條件樹、轉移樹，探討若以「解決 Roll to Roll Laser Etching 製程核心問題為目標」，研擬的可能解決方案及達成目標過程中，了解方案中可能發生的衝突或障礙，最後克服衝突與障礙，研擬可行之解決方案。

階段 IV：品質監控系統建立。依據前列所定義之關鍵品質因素與可能解決方案，運用系統模擬，建構一軟性顯示器製程品質監控系統，以供軟性顯示器量產時參考使用。

#### 3.2 研究結果

本計劃於研究流程第一階段現況分析中，在關鍵要素的評選上，採專家訪談法，以訪談的方式進行，針對目前台灣工研院發展軟性顯示器量產的主流生產方式-連續式 Roll to Roll 捲對捲生產，了解其製程中影響製程品質之關鍵因素，並取得此製程中影響良率的眾多困擾現象之相關重要資訊，探討製造過程中的製程問題，進行關鍵要素及關鍵問題的資料蒐集及評選，主要運用常見於解決問題思考流程-特性要因圖之方法，以解決 Roll to Roll 製程中影響良率問題為目標，藉由「因」與「果」之關係，運用其架構，建構成 Roll to Roll 製程問題的原因與結果關係，將其「原因」作一個有系統的整理與分類。將相關原因歸納後，其主要要素即是大骨、次要要素即是中骨。

本研究以此流程分析在 Roll to Roll 製程問題之困擾現象，從因果關係圖中歸納列出五大主要製程問題(大骨)，而次要要素多項製程問題即為圖中的中骨所示，其因果關係如圖所示：

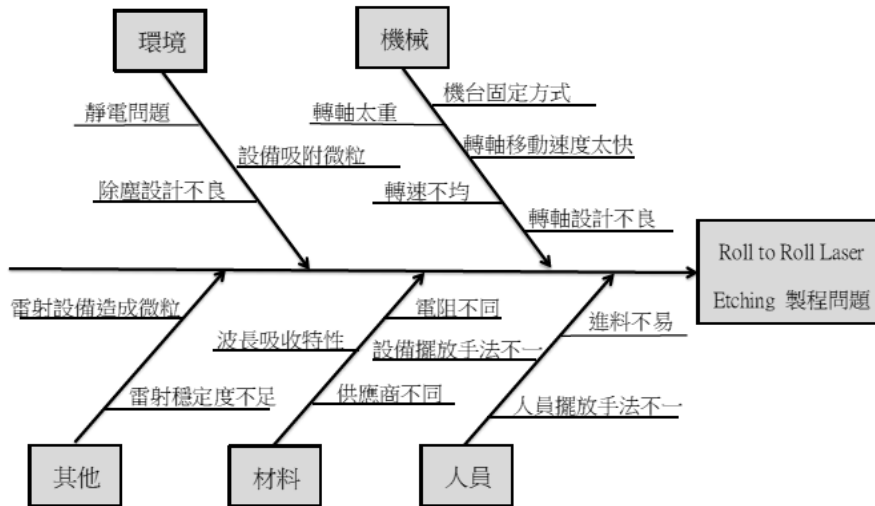


圖 1. Roll to Roll 製程問題之魚骨分析圖

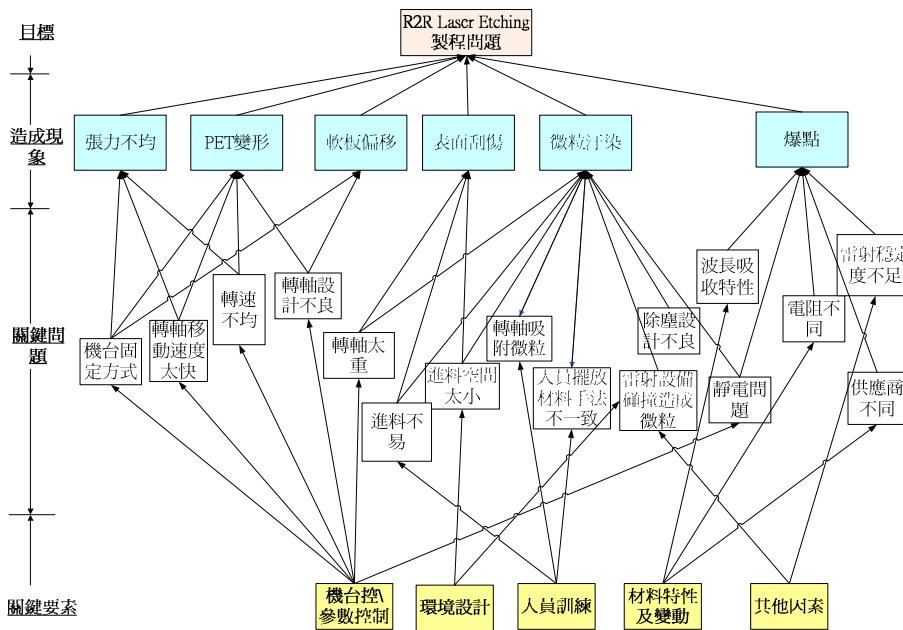


圖 2. Roll to Roll 困擾現象之現況樹

經由研究建構之問題分析程序，以特性要因圖(魚骨圖)尋求製程中影響良率之困擾現象，得困擾現象之五項主要要素與其餘次要要素，並以此為分析基礎，繪製限制理論之現況樹，了解Roll to Roll 關鍵製程所有困擾現象的問題全貌與其因果關係，研究結論如下：

1. 共歸納影響製程良率之五大關鍵要素與16項關鍵問題：

(1) 機台/參數控制：轉軸設計不良、轉速不均、機台固定方式、轉軸太重、靜電問題、轉軸移動速度太快。(2) 環境設計：進料空間太小、除塵設計不良。(3) 人員訓練：人員擺放材



料手法不一致、進料不易、轉軸吸附微粒。(4) 材料特性及變動：波長吸收特性、電阻不同、供應商不同。(5) 其他：雷射穩定度不足、雷射設備碰撞造成微粒。

2. 六項不良問題造成之現象：張力不均、PET變形、軟板偏移、表面刮傷、微粒汙染與爆點。

3. 運用層級分析法之三階層架構，並以專家問卷數據分析結果，得到五大關鍵要素之權重排序依序為：(1)環境設計。(2)機台/參數控制。(3)材料特性及變動。(4)人員訓練。(5)其他。與16項關鍵問題之權重值乘積，得前排序前五項關鍵問題依序為：(1) 機台設計-除塵設計不良。(2) 環境設計-進料空間太小。(3) 材料特性及變動-電阻不同。(4) 機台/參數控制-轉軸設計不良。(5) 人員訓練-人員擺放材料手法不一致。前兩大排序之關鍵問題為Roll to Roll 製程影響良率之核心問題(瓶頸)，作為分析改善目標。

4. 藉由限制理論之邏輯分析程序，得到繪製之四項戰術樹圖，過程中擬定兩項解決核心問題之策略方案，並透過戰術樹圖釐清達目標前可能遭遇的障礙及其解決方案。

5. 採用eM-Plant模擬軟體，依據前列所定義之關鍵品質因素與可能解決方案，建構一軟性顯示器製程品質監控系統。本系統經模擬測試，應可實際應用於軟性顯示器量產之製程監控。

#### 4. 計畫結果自評

軟性顯示器為一新興科技產品。本研究兼具理論開發與實務問題解決模式建立雙重價值。本研究計畫完成了下列的成果：

1. 透過文獻資料收集及實地訪查，彙整出軟性顯示器Roll to Roll 製造流程。此部份並提出最合理之流程，具創新意義。

2. 運用層級分析法專家問卷調查之手法，計算各要素之權重，尋找Roll to Roll 製程中影響良率之核心問題。

3. 結合限制理論之分析工具-衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹(Conflict Resolution Diagram、Future Reality Tree、Prerequisite Tree and Transition Tree)，研擬適用於軟性顯示器現行製程問題的解決方案，以利軟性顯示器未來邁入量產階段，評估改善生產線解決核心問題的問題分析模式。此部份展示限制理論於新產品量產製程開發之可用性。

4. 採用系統模擬，依據本研究所定義之軟性顯示器roll to roll製程關鍵品質因素與可能解決方案，建構一軟性顯示器製程品質監控系統。此部份發展了品質監控制度及系統，可供未來其他新產品量產時參考。

## 二、參考文獻

1. 楊智仁 (2010) : 從FPD 2009看最新軟性顯示器及軟性基板材料發展現況。材料世界網。線上檢索日期:2010 年5月24 日。網址:<http://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=8469>
2. Al-Tabtabai, H. M. and Thomas, V. P. (2004), Negotiation and solution of Conflict Using AHP: An Application to Project Management. *Construction and Architectural Management*, 11(2), 90-100.
3. Chen , K.S., Wang, C.H., Chen, H.T. (2006). An MAIC approach to TFT-LCD panel quality improvement. *Microelectronics Reliability* 46, 1189-1198.
4. DisplaySearch , <http://www.displaysearch.com/> , 於2009/05/12 擷取
5. Gregg, A., York, L., & Strnad, M. (2005). *Roll-to-Roll Manufacturing of Flexible Displays, Flexible Flat Panel Displays*. John Wiley & Sons, New York.
6. Lee, E. (2009). Simulation of the thin-film thickness distribution for an OLED thermal evaporation process. *Vacuum* 83, 848-852.
7. Lee, M., Ho, K., Chen, P., Cheng, C., Cheng, S., Tang, M., Liao, M. & Yeh, Y. (2006). Promising a-Si: H TFTs with High Mechanical Reliability for Flexible Display. *The International Electron Devices Meeting*, 299-232.
8. Templier, F., Avenirier, B., Demars, P., Botrel, J.L., Martin, P.(2007). Fabrication of high performance low temperature poly-silicon backplanes on metal foil for flexible active-matrix organic light emission diode displays. *Thin Solid Films* 515, 7428-7432.
9. Tseng, F.M., Chiu, Y.J., & Chen, J.S. (2007) Measuring business performance in the high-tech manufacturing industry: A case study of Taiwan's large-sized TFT-LCD panel companies. *Omega International Journal of Management Science*, Vol. 37(3), 686-697.