

東 海 大 學
工業工程與經營資訊研究所

碩士論文

以失效模式與效應分析為基的製程問題
分析模式-以奈米碳管背光模組為例

研 究 生：方勇盛
指 導 教 授：蔡禎騰 博士
邱創鈞 博士

中 華 民 國 九 十 五 年 六 月

**An FMEA-Based Manufacturing Process Problem
Analysis Model-Taking Carbon Nano-tube
Back Light Unit for Example**

By

Yung-Sheng Fang

Advisor : Dr. Jenteng Tsai

Dr.Chuang-Chun Chiou

A Thesis

Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise
Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2006

Taichung , Taiwan , Republic of China

以失效模式與效應分析為基的製程問題分析模式 -以奈米碳管背光模組為例

學生：方勇盛

指導教授： 蔡禎騰 博士
邱創鈞 博士

東海大學工業工程與經營資訊研究所

摘要

目前在政府重點投資的顯示器產業中，背光模組產業為最重要之下游產業。而奈米碳管背光模組更為取代現行背光模組中最具潛力的背光源選擇。但是截至目前為止，奈米碳管背光模組仍處於研發改善階段，因此會面臨到工程師在面對製程問題時只依照自身經驗判斷要因的問題，進而喪失寶貴的研發時間與成本。因此本研究以失效模式與效應分析理論為基本流程，結合故障樹分析、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論的觀念與分析手法，以奈米碳管背光模組為例，建構一個製程問題分析模式。

本研究導入奈米碳管背光模組廠商提供之製程問題案例以進行本模式之推演驗證。結果發現經本模式得到之成果與廠商提供之主觀意見相差無幾，因此可說明本研究模式之合理性，也代表本模式可提供相關人員在奈米碳管背光模組製程問題分析上之參考。

關鍵字：奈米碳管背光模組、失效模式與效應分析、故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論

An FMEA-Based Manufacturing Process Problem Analysis Model-Taking Carbon Nano-tube Back Light Unit for Example

Student: Yung-Sheng Fang

Advisor : Dr. Jenteng Tsai

Dr.Chuang-Chun Chiou

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information

Tunghai University

Abstract

Among the display industry, one of the major investment targets of Taiwanese government at the present, the back light unit manufacturing is the most important downstream sector. Carbon Nano-tube Back Light Unit (CNT-BLU) is a highly potential product which can be used as the back light source in place of the current back light unit for display product. Until now, the development of CNT-BLU is still in the research and development stage. Therefore, the production of CNT-BLU encounters various process problems that are detected by engineers based on their experience. The processes of determining the causes of the manufacturing process problems usually take considerable time and cost in the R&D stage. This study constructs a CNT-BLU manufacturing process problem analysis model on the basis of failure mode and effect analysis (FMEA) which integrates the techniques of the fault tree analysis (FTA), cause and effect diagram, fuzzy Delphi and fuzzy inference.

This study extensively reviews the literature related to the current problems of manufacturing process and showed the validity of the proposed model. After conducting a real-world case comparison, we find that the differences between the analytic result and the actual result are insignificant. From the results of this study, the capability of conducting process problem analysis of this model has been justified. The model also provides a useful tool for those who are interested in the analysis of CNT-BLU manufacturing process problems.

Keyword : CNT-BLU 、 FMEA 、 FTA 、 Cause and Effect Diagram 、 Fuzzy Delphi 、
Fuzzy Inference

誌謝

時光飛逝，響起的畢業驪歌及泛紅的鳳凰花開，提醒了這兩年絢爛的東海學涯即將劃下句點。回想當初，在選擇繼續工作或升學進修間作了升學的決定。而在幸運之神的牽引下，又重新回到系上的懷抱。

在兩年的研究所生活中，想要感謝的人有很多。首先要先感謝指導老師蔡禎騰博士、邱創鈞博士與研究室的彭泉博士、邱文志博士、林水順博士，除了在專業學術上的傳授之外，更重要的不卑不亢、待人處事態度更讓我受益良多。同時也要感謝老師們對論文的詳盡指導與寶貴的意見。

在論文口試期間，特別要感謝鄭豐聰博士、莊文傑博士給予許多寶貴的意見與指教，讓論文內容能更加完整與豐富。更感謝工研院影像顯示科技中心蕭名君經理、林明宏副理、江耀誠博士等多位頂尖研發人員在我駐廠期間的多方照顧與鼎力協助，讓我在撰寫論文時無後顧之憂，並獲得最大的支持。

另外，要感謝研究所同學凡棋、光庭、冠鶴、智鈞、哲鋒、昕煒、紹維、舒茜及博班學長姐榮華、晉照、秀鑾、子平與學弟妹們豪哲、茜雯、原豪、政益在這段期間內的打氣加油，讓我在面臨論文迷惑及低潮期時皆能順利突破並帶給我永生難忘的回憶。而系上助教雅慧、素卿的種種協助，更使我能夠順心地完成我的論文。

最後，要感謝我的雙親、姊姊、妹妹及女友雅能，在這兩年的求學生涯中，給予我在精神及物質上最大的支持與鼓勵。在此謹將這份小小的成果與所有關心我的人一同分享。

方勇盛 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊研究所

中華民國九十五年六月

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究範圍與限制.....	2
1.4 研究方法.....	3
1.5 研究步驟.....	4
1.6 論文架構.....	4
第二章 文獻探討.....	6
2.1 奈米碳管背光模組.....	6
2.1.1 奈米碳管背光模組結構.....	6
2.1.2 現行背光源比較.....	7
2.1.3 奈米碳管背光模組製程.....	9
2.2 失效模式與效應分析.....	11
2.2.1 FMEA 基本觀念.....	11
2.2.2 FMEA 歷史演進.....	12
2.2.3 FMEA 實行步驟及流程.....	14
2.2.4 失效風險評價與決策.....	18
2.2.5 FMEA 優缺點.....	21
2.2.6 FMEA 相關文獻整理.....	22

2.3	故障樹分析.....	26
2.3.1	故障樹分析概要.....	26
2.3.2	故障樹分析常用符號說明.....	27
2.3.3	文獻整理與探討.....	28
2.4	模糊相關理論.....	29
2.4.1	模糊德菲法.....	29
2.4.2	模糊推論.....	31
2.5	本章結語.....	34
第三章	構建製程問題分析模式.....	35
3.1	奈米碳管背光模組陰極板製程及其特性.....	35
3.1.1	陰極板功能及原理.....	35
3.1.2	陰極板製程.....	36
3.1.3	製程特性.....	40
3.2	奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式.....	42
第四章	案例驗證.....	62
4.1	網印奈米碳管漿料製程問題.....	62
4.1.1	網印對位性不佳問題分析.....	62
4.1.2	結果說明.....	75
4.2	活化製程問題.....	76
4.2.1	陰極線剝落問題分析.....	76
4.2.2	結果說明.....	88
4.3	傳統 RPN 與本模式之比較.....	88
4.4	小結.....	89
第五章	結論與建議.....	90
5.1	結論.....	90
5.2	未來研究方向與建議.....	90
	參考文獻.....	92
	附錄.....	98

圖目錄

圖 1.1 論文架構圖.....	5
圖 3.1 奈米碳管背光模組發光原理	36
圖 3.2 陰極板製程圖.....	36
圖 3.3 奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式	42
圖 3.4 問題分類碼編碼方式.....	45
圖 3.5 故障樹分析圖.....	50
圖 3.6 特性要因圖.....	52
圖 3.7 嚴重度歸屬函數圖.....	56
圖 3.8 發生度歸屬函數圖.....	57
圖 3.9 難檢度歸屬函數圖.....	57
圖 3.10 原因一之嚴重度歸屬函數圖	58
圖 3.11 規則庫輸出結果之歸屬函數圖.....	59
圖 4.1 網印問題故障樹.....	64
圖 4.2 網印問題特性要因圖.....	64
圖 4.3 活化問題故障樹.....	78
圖 4.4 陰極線剝落特性要因圖.....	80

表目錄

表 2.1 現行背光模組優缺點比較	8
表 2.2 各式背光源技術在關鍵指標上之比較	9
表 2.3 歷史演進表.....	13
表 2.4 失效模式與效應分析表.....	17
表 2.5 嚴重度評分表.....	19
表 2.6 發生度評分表.....	20
表 2.7 難檢度評分表.....	20
表 2.8 FMEA 文獻整理表	22
表 2.9 故障樹分析常用記號說明表	27
表 2.10 故障樹文獻整理.....	28
表 3.1 陰極板製程問題說明表.....	44
表 3.2 問題分類碼代號說明.....	46
表 3.3 製程代號說明表.....	46
表 3.4 設備代號說明表.....	46
表 3.5 地區代號說明表.....	47
表 3.6 陰極板製程分級展開表.....	48
表 3.7 陰極板製程失效模式與效應分析表	51
表 3.8 嚴重度評分表.....	53
表 3.9 發生度評分表.....	54
表 3.10 難檢度評分表.....	54
表 3.11 規則庫五種結論等級最大值表.....	60
表 4.1 陰極板網印製程問題分析表	63
表 4.2 網印問題 FMEA 分析表	65
表 4.3 網印對位性不佳之嚴重度、發生度、難檢度評分表	66
表 4.4 每一原因嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數	67
表 4.5 網印問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值	68

表 4.6 網印問題各原因之語意等級及歸屬函數值	69
表 4.7 各原因之各種推論結果.....	70
表 4.8 各原因之”Min-Max”值.....	71
表 4.9 各原因之模糊權重風險值.....	73
表 4.10 網印對位性不佳原因排序	75
表 4.11 陰極板活化製程問題分析表.....	77
表 4.12 活化問題 FMEA 分析表	79
表 4.13 網印對位性不佳之嚴重度、發生度、難檢度評分表	80
表 4.14 活化問題各原因之最小值、最大值、幾何平均數	82
表 4.15 活化問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值	83
表 4.16 活化問題各原因之語意等級及歸屬函數值	83
表 4.17 各原因之各種推論結果.....	84
表 4.18 各原因之”Min-Max”值.....	85
表 4.19 各原因之模糊權重風險值	86
表 4.20 陰極線剝落原因排序.....	87
表 4.21 與傳統 RPN 法之比較表.....	89

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

高科技產業具有高風險、快速變動、產品生命週期短、技術門檻高的特質，促使置身高科技產業中的企業必須具備更快速的因應能力，方能在競爭激烈的環境中生存[21]。其中資訊電子產業更是台灣在近20年中的主要經濟支柱[40]。然而台灣在加入WTO之後，高科技產業廠商將面臨更嚴苛的全球競爭與挑戰。因此，高科技新產品在研發速度上的提升、品質水準的要求、成本的降低，已成為高科技廠商保持優勢的必備條件。

在LG Philips LCD DigiTimes Research[48]報告中指出，背光模組成本佔液晶顯示器總成本40%以上。亦即顯示背光模組產業已成為顯示器產業中最重要之下游產業。而工研院於2003年因應此趨勢，在參考電漿顯示器厚膜網印製程後，研發出新型的背光模組。由於此背光模組乃是以奈米碳管作為發射源，因此稱為奈米碳管背光模組(Carbon Nano-tube Back Light Unit)。主要目標為取代現行的背光模組，並成為大尺寸液晶顯示器最具潛力的背光源選擇[18]。

但是截至目前為止，奈米碳管背光模組仍處於研發改善階段，因此無論是在製程、設備、物料、人員技術等各方面皆尚未完善。尤其在製程面，因為與設備、物料、人員技術間具有高度的關連性，因此當製程失效問題發生時，影響的層面將更為廣泛。

所以對於奈米碳管背光模組而言，針對研發階段常面臨的製程失效問題，如能預先考量到何者為造成製程問題失效的關鍵原因。研發人員將可把在研發時程中有限的時間及成本集中在關鍵原因上的改善上。如此將可有效縮短解決產品製程問題的時間，以達到縮短研發流程時間及成本的目的。

一般來說，工程師在面對製程問題最直接的作法是依據本身的經驗，針對發生的問題來推敲造成問題的原因，並作設備參數、物料比例及操作程序上的改變，希望能達到改善問題的目的。但是如此一來，研發階段寶貴的時間與成本可能在工程師不斷的試誤過程中，不能作最有效率的利用。

而失效模式與效應分析(Failure Mode and Effects Analysis, FMEA)自1950年發明以來，已被公認為一種可運用在研發階段作事前預防的系統分析技術。主要是強調在系統失效之前，即先行探討潛在失效模式、失效原因，並應用可靠度功能方塊圖分析子系統對主系統失效之影響程度，使工程師能在失效未發生前即採取措施以避免失效發生或減低發生的機率[42]。在過往文獻中[11][16][19][28][32]，已證明失效模式與效應分析可成功運用在汽車業、醫院、半導體產業、軍用航空工業及一般工業之成熟產業上。

因此本研究希望能藉由失效模式與效應分析的流程，建構一個系統性的製程問題分析模式。如此將可使工程師在面臨製程問題時有一標準分析步驟，以進行製程問題改善。再者，此分析模式更可使研發階段之寶貴資源作最有效的利用，並藉由降低研發時程解決問題的時間，達成增加新產品快速上市的優勢。

1.2 研究目的

基於上述之背景與動機，本研究旨在以FMEA為主體觀念，建構一個製程問題之分析模式，並以奈米碳管背光模組製程問題作為合理性之說明。更具體之主要目的可歸納如下：

- (1) 透過FMEA結合其他分析技術，提供研發人員一套步驟標準化的製程問題分析模式。
- (2) 藉由文獻探討與實際訪談找出奈米碳管背光模組的製程特性與製程問題影響原因。
- (3) 作為奈米碳管背光模組往後進入試量產階段之前導性研究。

1.3 研究範圍與限制

在研發階段與量產階段中，由於製程穩定性的不同，因此在這兩個階段中所著重的要點各有其差異性。而目前奈米碳管背光模組仍處於研發階段，就製程而言可分為三大部分，分別為陰極板製程、陽極板製程及封裝製程。

由於在此三大製程中，各自有其複雜的製程步驟與特殊的製程特性，

因此面臨的製程問題也不盡相同。其中在陰極板製程，包含了奈米碳管漿料網印的製程，亦即發光源的製作，因此對於奈米碳管背光模組整體製程的影響性更為顯著。

然而本研究主要目的是以探討方法論為主，因此在考量時間及人力之限制下，選擇在研發階段中奈米碳管背光模組中最關鍵之陰極板製程作為研究範圍與限制。

1.4 研究方法

基於前述之研究範圍與目的，本研究欲建構一個適用於奈米碳管背光模組陰極板製程問題的分析模式。而失效模式與效應分析的觀念與流程可以應用在研發階段，並對製程問題做出預防性的分析，因此本分析模式將以失效模式與效應分析作為分析模式構建之基本手法。

雖然失效模式與效應分析自1950年開始被美國軍方使用至今，已成為現代化系統工程管理中不可或缺的工具。但王振平[3]提出失效模式與效應分析是由單點失效出發，對於兩個以上原因所造成的事故較無法掌握，因此建議以故障樹分析 (Failure Tree Analysis, FTA)結合失效模式與效應分析，將可解決失效模式與效應分析上述缺點。而陳耀茂[25]指出在故障樹分析中也可以搭配品管七大手法中的特性要因圖，如此將可以使分析結果更為明確。另外，許惠玲[35]提出失效模式與效應分析在計算風險權數時，常會因為主觀意識或資料不足而導致風險優先順序不能反映真實的問題。因此導入模糊理論至失效模式與效應分析中，避免人員因主觀意識造成的誤差。Anand Pillay[64]也將模糊理論 (Fuzzy Theory) 與灰關聯理論(Grey Theory)分別導入失效模式與效應分析中，並計算出三者之風險權重值，得到模糊失效模式與效應分析較傳統失效模式與效應分析資料敏感度更高的結論。

目前奈米碳管背光模組是由專案小組人員進行研發改善，因此為避免導入失效模式與效應分析後出現上述問題。本研究將以失效模式與效應分析為主體觀念，並結合故障樹分析、特性要因圖及模糊理論中的模糊德菲法(Fuzzy Delphi)與模糊推論(Fuzzy Inference)，來建構適用於奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式。

1.5 研究步驟

STEP1：

以文獻探討法，整理以失效模式與效應分析應用在各產業的研究，並對故障樹分析、特性要因圖、模糊理論作方法上之探討。

STEP2：

透過實地訪談，蒐集奈米碳管背光模組的產品現況及製程失效問題以作為研究之基礎。

STEP3:

將失效模式與效應分析結合故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論建構出奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式。

STEP4:

透過實地訪談，將奈米碳管背光模組製程失效問題導入分析模式中進行本分析模式之合理性驗證。

1.6 論文架構

本論文架構共分為五章，依章節排列如圖 1.1。第一章說明本研究之研究背景與動機、研究目的、研究範圍、研究方法、研究步驟。第二章針對背光模組產業目前的現況與發展、失效模式與效應分析理論、故障樹分析理論及其使用手法、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論作文獻上的探討，藉以瞭解如何將這些方法應用在建構製程問題分析模式上。第三章乃是應用第二章所探討的方法建構出分析模式，並詳細說明模式的步驟與項目。第四章則是以奈米碳管背光模組陰極板中的網印製程及活化製程之問題為例，作為第三章分析架構的合理性驗證。第五章提出本研究的結論與建議。

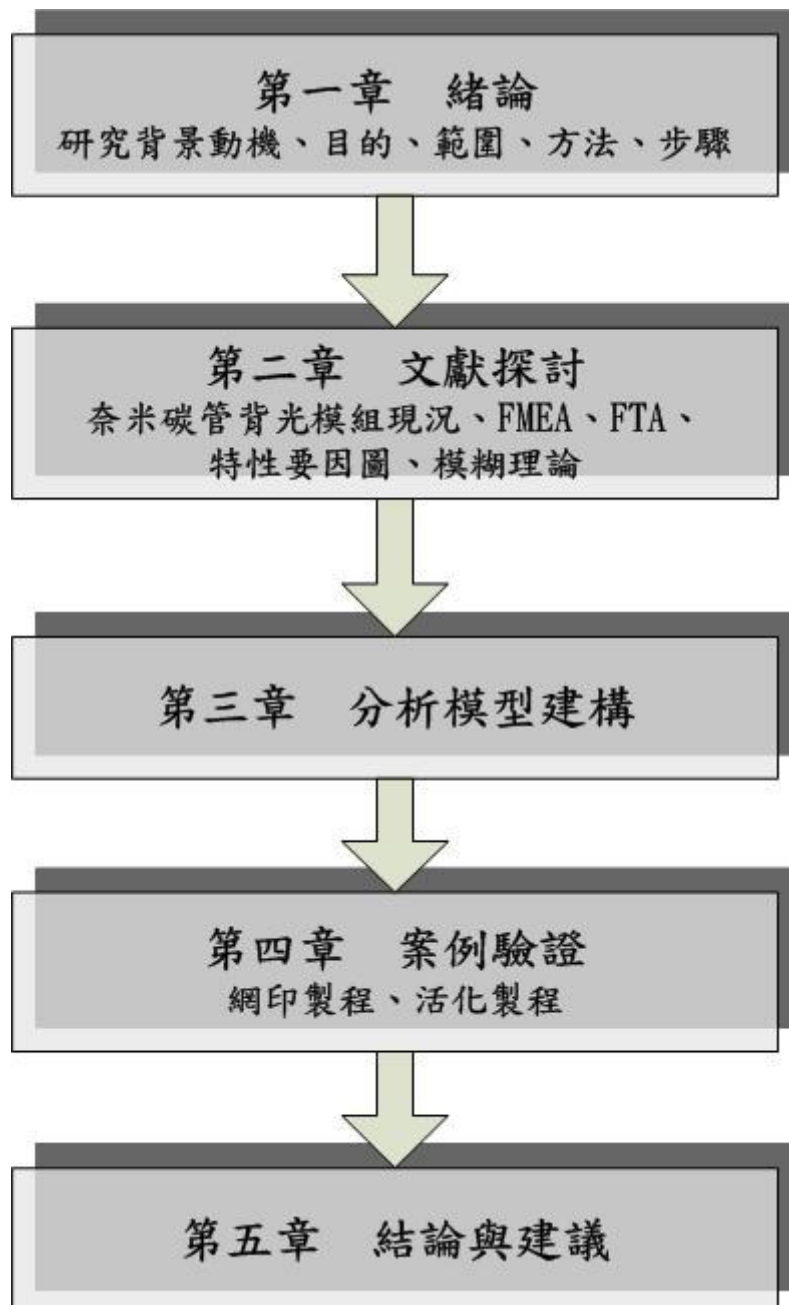


圖 1.1 論文架構圖

第二章 文獻探討

欲建構一個奈米碳管背光模組製程問題的分析模式，首先必須針對奈米碳管背光模組的產品特性、重要性、製程作一通盤了解。其次，由於本分析模式是建立在失效模式與效應分析的流程上，因此有必要對失效模式與效應分析的理論及其應用作詳盡的文獻探討與整理。另外，為補足本模式的完整性，在本章節也對故障樹分析、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論作相關的探討與介紹。

2.1 奈米碳管背光模組

由於液晶電視(Liquid Crystal Television, LCD TV)為一種非自發光之顯示裝置，與電漿電視(Plasma Display Panel TV, PDP TV)或傳統CRT(Cathode Ray Tube)電視能主動提供明亮畫面的顯像方式完全不同，因此LCD TV需要有一大面積的光源裝置以提供畫面照明之用。

而現今常用之光源技術為使用背光模組(Backlight Unit)來作為照明來源。目前在市場上使用的各項背光模組都具有各自的優缺點[49]，其中奈米碳管背光模組由於具有大尺寸、免國外技術轉移權利金、環保等多項優點被預期成為LCD TV背光模組中最具有前景的新產品[43]。以下根據文獻上的資料，對於奈米碳管背光模組的結構、其他發光源之比較、製程特性作一說明。

2.1.1 奈米碳管背光模組結構

奈米碳管，是1991年1月由日本NEC公司資深研究員飯島澄男教授在研究碳簇時，透過高解析穿透式電子顯微鏡(High Resolution Transmission Electron Microscope,HR-TEM)所發現的[22]。奈米碳管的導電率是銅的1萬倍，強度是鋼的100倍，而重量只有鋼的七分之一。另外，由於奈米碳管具有高長徑比(Aspect Ratio)、尖端曲率半徑小、高結構強度、化學性質穩定、低啟動電場的高發射電流等特性，目前被視為絕佳且最有潛力的場發射顯示器材料[6]。利用奈米碳管特殊的場發射特性所發展出的背光源即為奈米碳管背光模組。

奈米碳管背光模組的結構如圖 2.1所示。奈米碳管背光模組的設計理念主要是源自於電漿顯示器的製程結構，主要是包含了下層的陰極板 (Cathode)、中間的奈米碳管發射源(Cnt)及銀電極 (Ag)、上層的陽極板 (Anode)。而其發光原理是將陰極板通電後，驅使下方在陰極板中的奈米碳管發射源發射電子去撞擊上方陽極板的螢光粉(White phosphor)，因而產生發出亮光的效果。

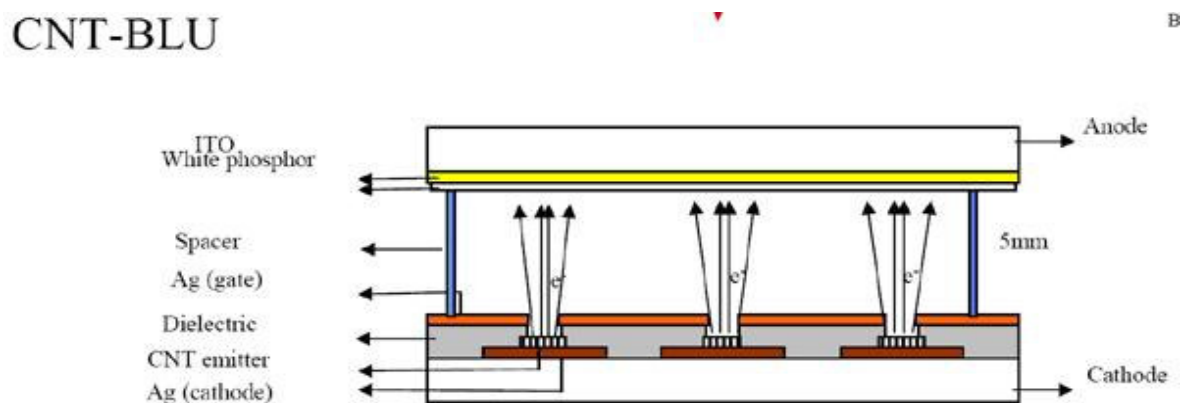


圖 2.1 奈米碳管背光模組結構圖

資料來源:工研院數位影像顯示中心

2.1.2 現行背光源比較

目前業界所使用的背光源，以冷陰極管(Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)的市佔率最高[41]。但因為CCFL中所含的汞會造成環境上的污染，引發環保問題，因此業界也研發出其他的背光模組技術用來替代CCFL。目前在發展中的背光技術包括有奈米碳管背光模組、發光二極體(Light Emitting Diode,LED)、電漿(Plasma)及外部電極螢光燈管(External Electrode Fluorescent Lamp, EEFL)，其主要比較見表 2.1及表 2.2。

由表 2.1中可發現，CCFL之最大優點為製程的穩定性高，成本低廉，但若要當作大型背光模組的背光源將會有長型化後不穩定的現象。而表 2.1中所列出的CCFL替代方案都可以避免掉因含汞而帶來的環保問題，但是相對來說，在製作技術困難度、製程穩定性、成本、專利權上都仍面臨著相當大的挑戰。因此在表 2.2中加入奈米碳管背光模組 (CNT-BLU) 將以比較。

表 2.1 現行背光模組優缺點比較

項目		優點	問題
現有產品	CCFL	<ul style="list-style-type: none"> ● 電器與光學特性安定 ● 壽命長 ● 耐震 ● 耐點滅 	<ul style="list-style-type: none"> ● 含汞 ● 長管化時有安全性及穩定性的問題
	無水銀燈管	<ul style="list-style-type: none"> ● 無水銀符合環保 	<ul style="list-style-type: none"> ● 效率較低 ● 周邊新材料需要開發 ● 製作不易
替代方案	EEFL	<ul style="list-style-type: none"> ● Inverter 數目較少 ● 壽命較長 ● 有發光效率高 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無法提升至高管電流 ● Inverter 開發不易
	平面光源	<ul style="list-style-type: none"> ● 無水銀符合環保 	<ul style="list-style-type: none"> ● Osram 掌握專利權
	ZaULas	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用電路系統減少 Inverter 數目 	<ul style="list-style-type: none"> ● 使各管電流穩定是最大課題
	LED	<ul style="list-style-type: none"> ● 混光演色性較佳 	<ul style="list-style-type: none"> ● 成本較高 ● 散熱問題 ● 壽命均齊度與輝度衰減之均齊度差

資料來源：工研院經資中心 ITIS 計畫[49]

在表 2.2 中，我們可以明顯看出奈米碳管背光模組(CNT-BLU)在成本、表面溫度、驅動電壓上的評比相較其他背光源都顯的更為突出。然而，更特殊的優勢是面對CCFL最受爭議的環保問題及大面積化問題時，奈米碳管背光模組皆可完全的克服。這也代表未來在各個背光模組的競爭下，奈米碳管背光模組將擁有最有利的競爭優勢，成為各項背光模組中最閃耀的新星。

表 2.2 各式背光源技術在關鍵指標上之比較

	CNT-BLU	CCFL	W-LED	Plasma
Cost	0.6~1.5	1	1.5~3	1~2
Surface Temp. (° C)	<40	<50	<50	<50
Color (NTSC)	95~105%	70~85%	95~105%	95~105%
環保	Vacuum device	Hq(無汞氣體效率不高)	No metal and Hg	稀有氣體
Large scale	To 80"	To 30"	Difficult for >30"	To 80"
Efficiency	20~40 lm/W	30~40 lm/W	25~30 lm/W	20~40 lm/W
技術權利金	自有	X	日亞...等	Osram
Uniformity	>85%	>85%(需導光板等元件)	>70%	>85%
Brightness	>10000nits	>10000 nits	>10000nits	>7000nits
Life	>20000hrs	>2~50000 hrs	>500000hrs	>100000hrs
Power (W) (20 inch)	<80	100~125	Data 不足	>100
Company	SDI-Corning; LG		SDI; SONY, NEC	Osram

資料來源: 工研院經資中心 ITIS 計畫[49]

2.1.3 奈米碳管背光模組製程

由於本研究主要是針對奈米碳管背光模組的製程問題提出一分析模式，因此必須先對奈米碳管背光模組製程有一通盤了解。奈米碳管背光模組製程主要可分為陽極板製程、陰極板製程、封裝製程三大部份，而陰極板與陽極版的製程互相不干擾，所以可同時製造，如圖 2.2所示。

陽極板製造流程：

1. 將玻璃基板鍍上反射層 (Reflective Layer)。

2. 利用網印的方式將螢光粉網印至鍍好反射層的另一面。
3. 在螢光粉層上裝置數十支的支架 (Spacer)，以作為與陰極板隔開的空間。
4. 放置於封合爐內進行燒結(Sintering)的動作，燒結完畢即可準備與陰極板進行封裝的製程。

陰極板製造流程：

1. 透過網印(Printing)的步驟將電極材料覆印至玻璃基板上。
2. 利用曝光顯影的方式將電極材料吃出預定的條列式圖案。
3. 將調製好的奈米碳管漿料網印至電極材料上
4. 進入燒結爐燒結
5. 將燒結後之玻璃基板作活化 (Taping) 的動作
6. 與陽極板作封裝的製程

封裝製程：

1. 在陽極板上黏著框架 (Side Frame)，並塗上黏著劑，與陰極板作黏合的動作。
2. 將完整的CNT-BLU放置在抽真空高壓台上，進行抽真空及點亮的動作。測試無誤後即完成。

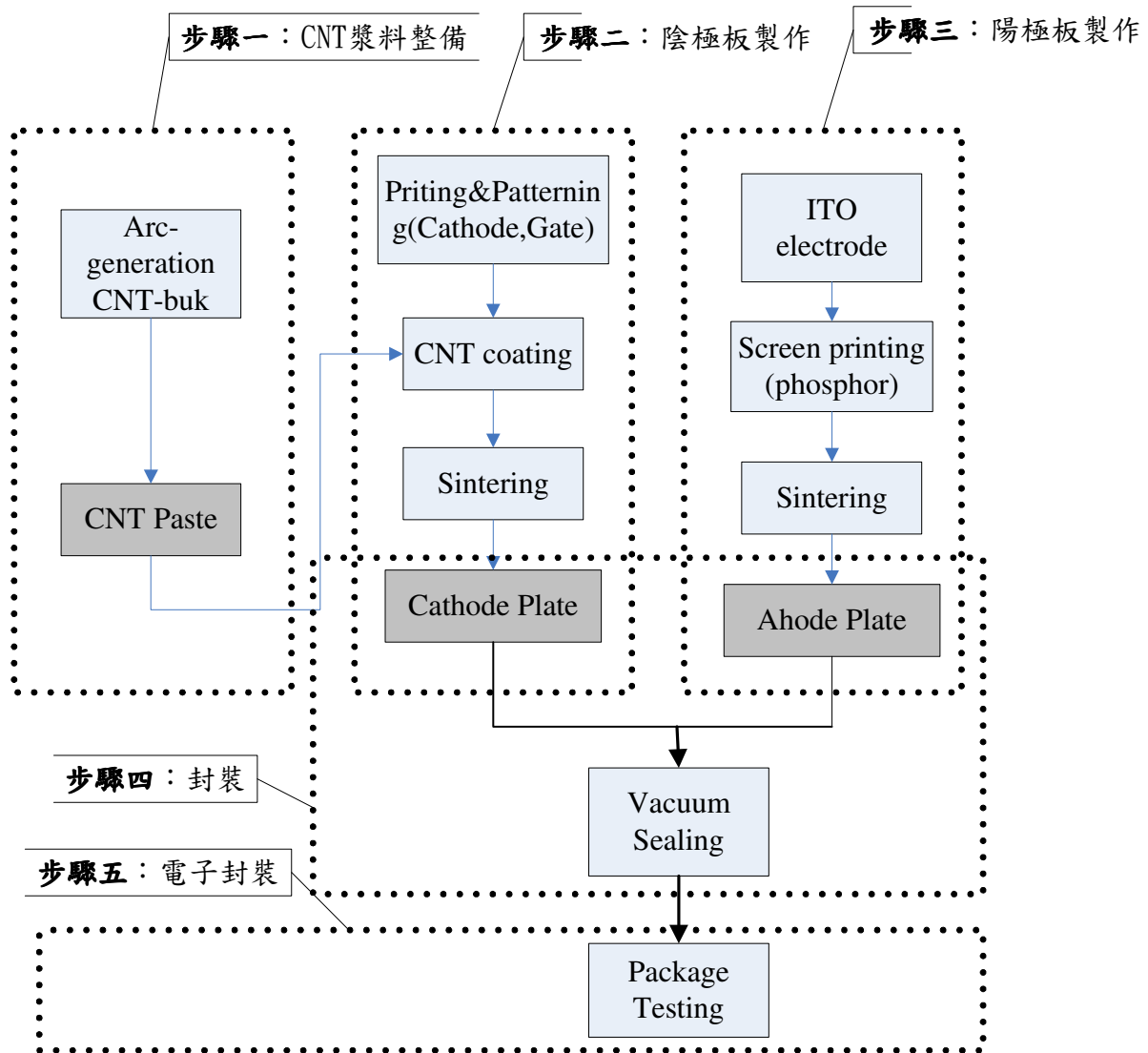


圖 2.2 奈米碳管背光模組製程圖

資料來源:工研院數位影像顯示中心

2.2 失效模式與效應分析

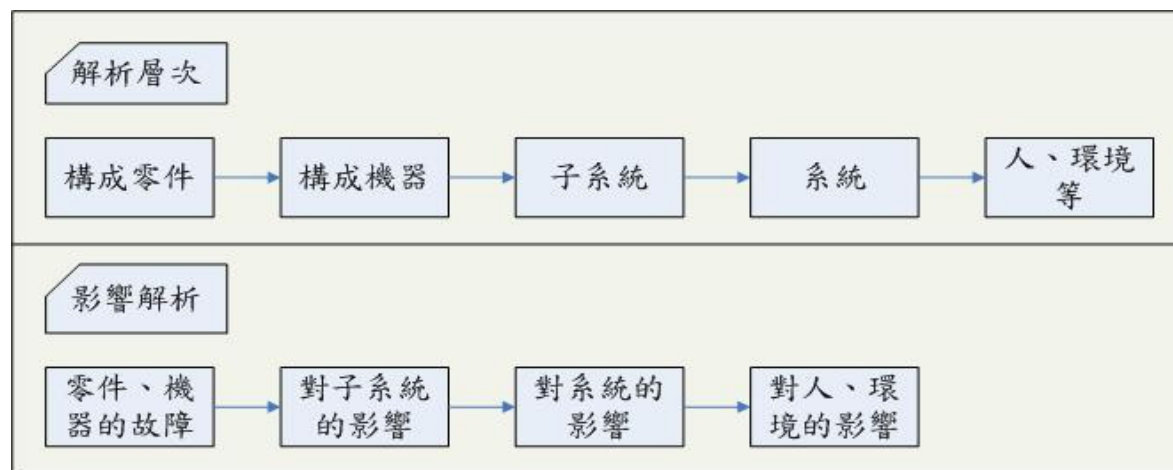
2.2.1 FMEA 基本觀念

失效模式與效應分析 (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) 是一套運用系統化分析的預防性技術。主要目的是用來確立在系統中所有可能發生的失效模式，並探討各失效模式發生的原因與造成的影響，進而採行預防性措施及謀求改進的對象，以提高產品的可靠度[3]。

在產品的研發與製造階段，面對產品缺陷問題及製程問題，文獻上已有相當多的方法，如田口式口質工程 (Taguchi's Quality Engineering)、統

計製程品管（Statistics Process Control, SPC）、故障樹分析法（Fault Tree Analysis, FTA）、事件樹（Event Tree Analysis, ETA）和失效模式與效應分析（Failure Mode and Effects Analysis, FMEA）等。而在上述的方法中，失效模式與效應分析是在產品量產前，最有效分析產品和製程可靠度的技術之一[7] [36]。其基本解析層次如圖 2.3所示。

圖 2.3 FMEA 的解析層次



資料來源: 小野寺勝重[31]

小野寺勝重[31]提出FMEA是一種指出系統或裝置等的故障要因之手法。當構成系統之機器或零件等發生故障時，此手法可用來解析該故障對系統造成何種影響，並指出何者機器或零件造成重大之影響。從圖 2.3中，我們可清楚看到FMEA是由低層次到高層次，由小系統到大系統，對整體系統進行解析的動作，因此是屬於歸納式的手法。

2.2.2 FMEA 歷史演進

FMEA自1950年代從美國起源後，因著重在風險預防的觀念上，所以最先應用在高風險工業的核能、化工、石化、海上鑽油上。然而對於產品品質與可靠度也有實質的改善，因此精密工業的航太工業、半導體工業、資訊業也已普遍使用。其演進的歷史如表 2.3所示[28][42] [53] [62]：

表 2.3 歷史演進表

時間	事件
1950年	美國格魯曼(Grumman)飛機公司為了防止飛行員喪命首先提出FMEA，應用於飛機電子操控系統上。
1957年	波音(Boeing)與馬丁(Martin Marietta)公司正式在工程手冊中列出FMEA之程序。
1963年	美國國家航空太空總署推斷阿波羅計畫時，於契約中要求供應商必須實施FMEA。
1974年	美國軍方出版軍用標準FMEA程序MIL-STD-1629。
1977年	福特公司成功利用FMEA於產品設計與製造初期，找出產品設計與製程設計的潛在問題。
1980年	FMEA程序改版為MIL-STD-1629A，成為全球重要之FMEA參考標準之一。
1985年	國際電工技術委員會IEC(International Electro technical Commission)修改MIL-STD-1629A，出版國際標準IEC-812，可將FMEA 應用於軟體及人員功能可靠度分析上。此外，ISO9000及歐盟產品CE標誌，也將FMEA視為重要的設計管計與安全分析方法。
1993年	美國汽車業實施的品質系統QS-9000，將FMEA 的技術應用於設計及製程管制上。汽車工業行動小組完成「潛在失效模式與效應分析參考手冊」，並統一失效分析的程序與表格，更加奠定FMEA的工業地位。
1995年	此份參考手冊完成修定二版，並成為SAE的正式技術文件SAE J-1739。
2003年	高科技電子產業導入FMEA。高科技電子產業的特性為產品生命週期短、交期快、風險高、製程複雜、研發需求強。因此將FMEA導入於製程技術中將有極大助益

2.2.3 FMEA 實行步驟及流程

失效模式與效應分析可應用在產品、設備或製程的開發上，但不論是設計FMEA或製程FMEA，其程序上大致上相同。實行步驟及流程整理如下[23][45][53][67]：

1. 定義所要分析之系統功能、任務輪廓與環境輪廓、及操作環境：

- (1) 系統功能以顧客指定之功能要求為依據，詳細說明系統內、外所能達到之功能。
- (2) 任務輪廓為系統對各階段進行任務描述。
- (3) 環境輪廓為對系統執行各階段任務之環境條件，加以敘述之說明書。
- (4) 操作環境是指系統在操作使用時之環境狀態，由於不同之操作環境對於環境輪廓及任務輪廓皆有不同的影響，故亦必須定義清楚。

因此專案工作小組需從上述定義，去詳細確認欲實施FMEA 之系統、分系統和展開水準的任務，才能完善達成資訊收集的目的。

2. 確定分析層次、介定系統、分系統及組件，並繪製邏輯方塊圖：

系統通常由許多不同零件層組合而成。為了明確劃分分析的界線，以及方便之後執行分析作業，在執行FMEA之前應先確認分析的層次。而FMEA實施是否有效果取決於作業的展開水準。所謂展開水準是指將系統細分的程度，如果每件設計的產品都分解至零組件，則會造成時程延誤、無法確認等問題。另一方面，如果分析水準層次過高，則會產生真正失效原因是什麼難以確認，以致無法採取適當的矯正行動，所以適當的展開水準才能收到預期的效果。

在系統之各部零件界定清楚後，即可進行繪製邏輯方塊圖的工作。邏輯方塊圖可分為功能方塊圖 (Functional Block Diagram) 與可靠度方塊圖 (Reliability Block Diagram)。功能方塊圖是說明系統各功能及各功能間互相關係，以圖 2.4為例。可靠度方塊圖係指壽命週期內系統各單元間在可靠度計算上之串、並聯關係。以輔助FMEA 作業的實施，以圖 2.5為例。

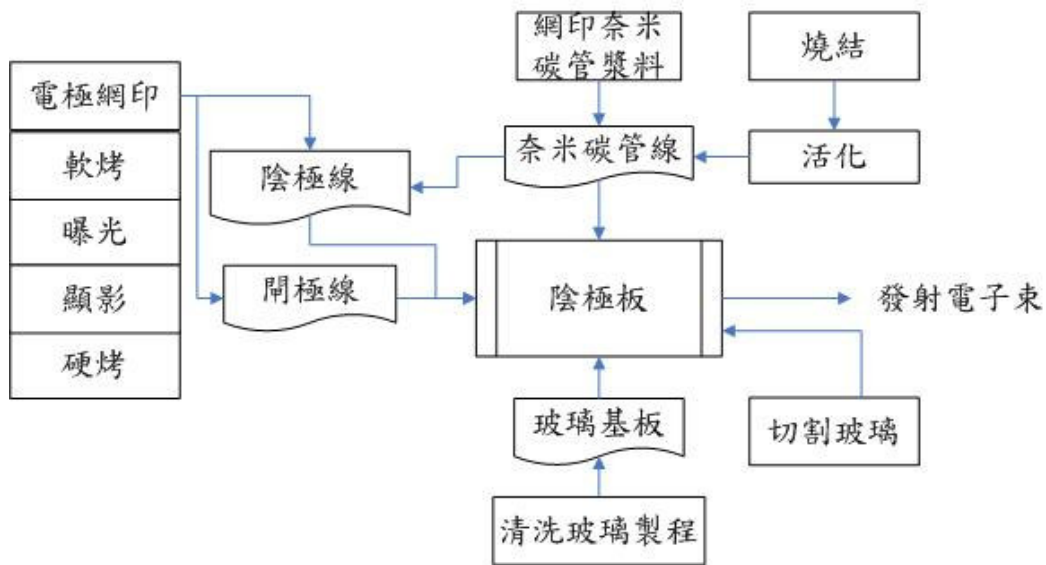


圖 2.4 奈米碳管背光模組陰極板功能方塊圖

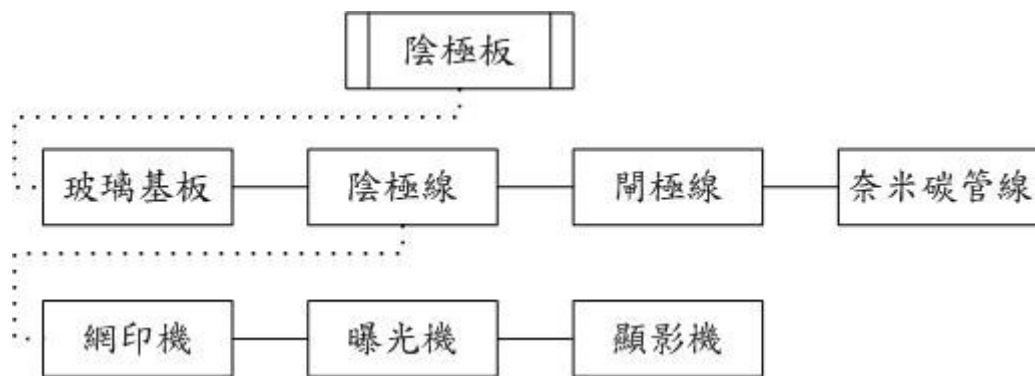


圖 2.5 奈米碳管背光模組陰極板可靠度方塊圖

3. 編定識別編碼：

識別編碼主要目的在於編訂系統各部位之號碼，才能從號碼中識別各部位之層次，從而得知其在系統之相關結構位置。在各個不同層次的功能別應如圖 2.6加以編碼，建立各展開層次的追溯標準和索引依據。將對於之後FMEA的執行有很大效益。

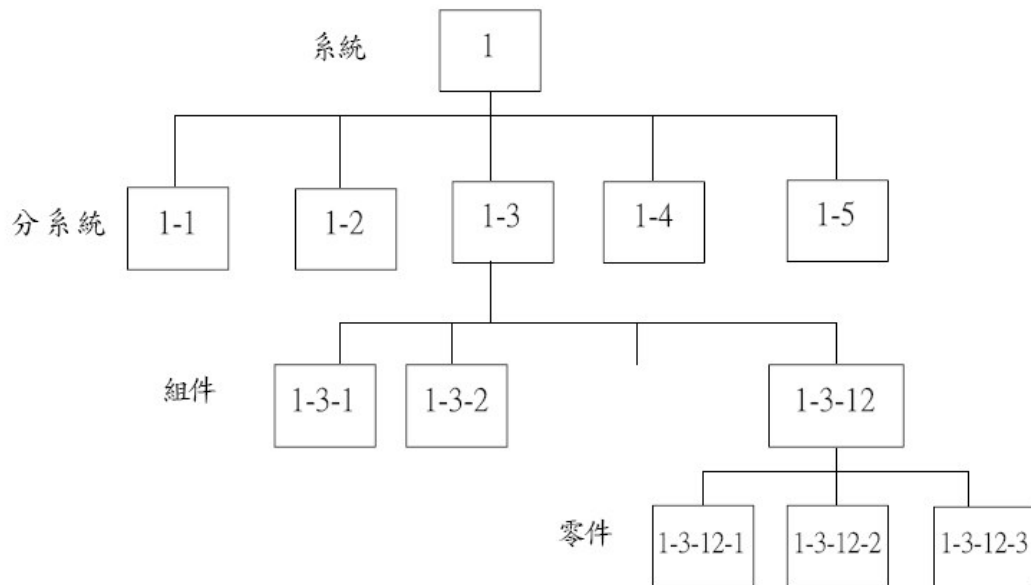


圖 2.6 系統編碼圖

資料來源：羅應浮[45]

4. 分析所有可能潛在之失效現象：

由於FMEA作業是在設計之前或正式生產前即進行失效預防的分析工作。因此在假想中的失效可以由兩方面來預想。

- (1)從相同或類似的元件曾經在其他系統中使用時所發生過的失效現象來推斷。
- (2)從操作使用之環境對於元件造成之影響來分析。

因此由專案小組成員，透過類似的工程資料與經驗，列舉出無法達到功能要求之可能失效問題。在列舉時需考慮下列因素：

- (1)參照類似的設備或零組件
- (2)參照類似的搬運作業或輸送方法
- (3)檢討因環境條件等所引起的失效或不良模式
- (4)檢討人為的作業失誤
- (5)設備與製品之間的干擾等。

5. 建立FMEA 分析表：

將失效模式內容及資訊整理，並記錄於FMEA 表中。FMEA 分析表格基本格式如表 2.4。原則上FMEA表格並沒有固定格式，可隨狀況加以調整。

表 2.4 失效模式與效應分析表

失效模式與效應分析表

系統：_____ 日期：_____

分解水準：_____ 頁：_____ 之 _____

參考圖號：_____ 分析者：_____

任務：_____ 審核：_____

編號	零組件名稱	功能	失效模式	失效原因	作業模式	失效造成的影響			失效偵測裝置	補救措施	嚴重性分類	備註
						對零組件本身	對其它零件	對整個系統				

資料來源：先鋒企管[10]

6. 找出造成失效模式的原因：

每一個失效模式的原因可能不只一種，因此，必須把相關的原因全部列出。文獻中[66]指出產生失效的原因，可分成六大面向，包括人員、設備、方法、材料、量測、環境等。在進行原因分析時，可結合特性要因圖依此六大面向進行失效原因的探討，效果將可更完善。

7. 研究失效偵檢方法及失效預防改進措施：

研究失效偵檢方法應配合設計工程師，共同研訂一套失效偵檢之途徑與方法，來有效預防失效之發生。在失效偵檢出之後，應由設計工程師研究改進對策，並建立失效預防改進制度，以確保品質的提升。

8. 改善成果評估

FMEA報告完成後，即應按研擬之改進措施付諸實施。而在經過製程重新設計或補救措施實施後，需評估系統失效率是否已達到要求之標準。若尚無達到標準則可能是因為沒有找到失效的主因，或者改正的方案選擇不當，或是FMEA 參加人員的專業知識不足，如此就應再以FMEA流程重新作檢討，使新產品的可靠度和功能得以展現最佳成果。

2.2.4 失效風險評價與決策

FMEA對於失效模式改善之優先順序，必須要有一個數值來做優先改善之參考。依據風險優先數或關鍵值的大小，來決定失效模式與發生源的改善標準和改善順序。而在風險評估和決策方法的相關文獻中，有許多計算方式被討論。而風險優先數（RPN）法被汽車產業大量的使用，同時在計算上也比較容易，因此本研究使用此法作為失效風險之評價方法。RPN的計算是以嚴重度(S)、發生度(O)和難檢度(D)等級相乘的一個數值[36][15]。

嚴重度：

所謂嚴重度是指某項缺點發生後，對客戶可能產生之嚴重情況。依程度而言，可用1~10 種分數來評比10 種情形，如表 2.5所示。評估嚴重度時，應與產品工程單位會商後決定其評分，有時為強調缺點影響之重要性，可將嚴重度評分提高[12]。

發生度：

所謂發生度，是指某項缺點之原因之發生機率；機率之估計，用1~10之計分為評估標準，如表 2.6所示。設定發生度之評分時，應與工程人員密切協商討論後決定適當的數字[12]。

此標準也有下列幾點必須考慮的[36]：

1. 如何依過去的經驗判斷組件和機能間的界限。
2. 組件是否會與先前的機能和要素水準相似。
3. 如何顯注地分別先前的機能和組件，和現程度的評估水準。

4. 現在的組件是否和先前的組件完全不同且獨立。
5. 組件是否判斷標準不一。
6. 環境因素的考量。
7. 工程師的分析標準是否可比較，是否和期望的標準符合。

難檢度：

所謂難檢度，是指在一項零件或組件已經完成，離開製造現場或裝配場所前，能否檢出其已發生之缺點而言。難檢度分數由1~10分表示，如表2.7所示。通常在隨機品管檢查中，不一定能將缺點查清楚，因此難檢度不一定可以降低，但是一般統計學抽樣檢查，應為可行之處理方法[12]。

表 2.5 嚴重度評分表

嚴重度計分說明	計分
發生缺點後，通常不至於對成品產生顯著的影響	1
發生缺點後，至多僅能造成使用客戶之少許不便	2-3
發生缺點後，可能引起使用客戶之輕微不滿	4-5-6
發生缺點後，引起使用客戶相當不滿	7-8
發生缺點後，有不符法令規定之慮;但不致影響成品安全或違規者	8-9
發生缺點極為嚴重，危及安全，並違反政府法令	9-10

資料來源：林秀雄[12]

表 2.6 發生度評分表

發生度計分說明	計分	出現於上下限以外的可能性
發生次數極低	1	1/10000
發生次數甚低	2-3	1/5000,1/2000
(4x4x4=64) RPN	4	1/1000
(5X5X5=125)RPN	5	1/500
發生次數適中。通常與過去某項偶然出現缺點之製程類似	6	1/200
發生次數甚高。(7x7x7=343) RPN	7	1/100
製程在統計學控制範圍內	8	1/50
發生次數極高。幾乎必然出現缺點	9-10	1/20,1/10+

資料來源：林秀雄[12]

表 2.7 難檢度評分表

難檢度計分說明	計分	將有缺點之品目出場之機率
可能性極小	1	1/10000
可能性很低	2-3-4-5	1/5000,1/2000,1/1000,1/500
可能性有	6-7-8	1/200,1/100,1/50
可能性高	9	1/20
可能性較高	10	1/10

資料來源：林秀雄[12]

Gilchrist[57]針對風險優先數提出幾項批評，陳永興[26]整理如下：

1. 發生度(O)為非線性關係，難檢度(D)則為線性關係，此種現象並不合理。
2. 不同的S、O、D可以組合相同的RPN值，但意義上則完全不同。

3. RPN忽略了產量的影響。
4. RPN無法估計改善方案的效果。

2.2.5 FMEA 優缺點

FMEA 是一種廣泛被採用的工程管理技術，結構化的系統程序方法，其優缺點分析如下。

FMEA的優點整理如下[33] [37]：

1. 原理簡單、方法簡便，基本上是定性分析，也可進行定量分析。
2. 適合在設計階段使用（DFMEA），也可在製造階段使用(PFMEA)，任何生產事業，如機械、航空、汽車、半導體等均可適用。
3. 可以根據顧客對產品設計與製造需求的影響性，列出失效模式的改進順序，由企業按優先順序逐一改進。
4. 提供製作故障樹 (FTA)的基礎，有助於編寫失效檢修手冊。標準之建立，有助於企業內之教育訓練成效。
5. 提供設計評估、製造現場解決問題的參考資料，用以累積工程經驗，締造「知識管理」的效果。
6. 對於硬體設備的檢核相當徹底，可兼具What-if分析法之優點。
7. 分析複雜系統的利器

FMEA的缺點整理如下[33] [37] [3] [35]：

1. 具有多功能、大量零組件的複雜性產品，將其系統分解後施以FMEA 要考慮的細節太多，執行起來就顯得繁雜而困難。
2. FMEA 主要是進行表格化、文件化並需要隨時修訂，工作量大且費時，尤其是系統末端的零件評價改變時。
3. FMEA 是探討單一因素的失效模式，若是多項失效模式同時作用或相互影響，就難以分析了。
4. 很少分析人為失誤
5. 計算風險權數時，常會因為主觀意識或資料不足而導致風險優先順序不能反映真實現象。

根據上述文獻，我們可得知失效模式與效應分析可應用定性或定量的分析面向，並在研發或量產階段提供一個系統性的分析流程。因此若將失效模式與效應分析應用在目前處於研發階段的奈米碳管背光模組上，將可提供工程師在解決製程問題時的系統性參考。不過，失效模式與效應分析因具有上述缺點，因此需輔以其他分析技術加以補強。在文獻[3][35][25]中提到使用故障樹分析、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論將可解決失效模式與效應分析的缺點，因此從下一節，開始介紹故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論之特性及使用方法，以作為本研究模式之理論基礎。

2.2.6 FMEA 相關文獻整理

本研究針對近 10 年來，蒐集失效模式與效應分析應用在各個領域中的相關文獻，列舉如表 2.8。

表 2.8 FMEA 文獻整理表

作者/年限	題目	主要貢獻
羅應浮[45] (1999)	專案管理的失效模式與效應分析	將FMEA手法運用在專案管理上，將專案內容以作業展開圖(WBS)分解成樹枝狀般的工作要項，並舉最具代表性的營建工程專案與研究發展專案實例來驗證。
方鈞[1] (2000)	建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究	利用FMEA輔助半導體製程技術研發與改善，將各個製程失效機率及失效後之成本損失計算納入分析架構中，用以定義出那些是關鍵性製程及估算製程進行改善後之成本效益。

作者/年限	題目	主要貢獻
張育維[30] (2000)	範例庫推論技術之改良及其在失效模式與效應分析上之應用	選用範例庫推論技術 (Case based reasoning, CBR) 來建立 FMEA 之輔助系統。藉由對所有產品粹取其特徵屬性來建立範例庫，然後再以推論方法由範例庫中搜尋與新產品最相似之舊產品，以作為新產品 FMEA 之參考。
周有洸[11] (2002)	彈簧式安全閥之失效分析與可靠度評估	探討導致安全閥失效機制物理化學變化之因果性，透過失效模式與效應分析 (FMEA) 評估推定失效趨勢，進行安全閥零件壽命實驗，以失效特性參數等試驗數據資料探討機率分配、預估疲勞壽命及可靠度統計特性。
林淑娟[16] (2003)	運用失效模式與效應分析於手術流程之病人安全評估-以中部某區域教學醫院為例	運用醫療失效模式及效應分析評估手術室流程潛在風險因子，並提出改善手術室病人安全之可行方案
陳俊維[27] (2003)	FMEA 應用於提昇潔淨室 H.V.A.C. 系統可靠度之研究	係利用 FMEA 來探討高科技廠房無塵潔淨室之 H.V.A.C. (暖氣、通風、空調) 系統，俾提昇系統之運轉可靠度。
何錦忠[19] (2003)	以風險分析為概念的失效模式與效應分析之發展與應用-以汽車零組件業之個案研究	用專家系統中之案例式推理技術 (Case Based Reasoning, CBR)，簡單定義為：藉由搜尋過去解決問題的方式和經驗來協助並輔助目前所發生的問題。

作者/年限	題目	主要貢獻
湯群輝[36] (2003)	以失效為基礎的設計 回饋及績效評量系統	從製造的角度去建立電子組裝 業設計單位應遵守的的設計屬 性與規範，並建立設計單位績效 表現的評量系統。
張添盛[32] (2003)	油漆桶生產線失效模 式及效應分析	應用製程失效模式與效應分析 手法，探討某個案公司油漆統生 產線的製造流程，並提出相對改 善對策。
Davidson and Labib[51] (2003)	Learning from failures:design improvements using a multiple criteria decision-making process	將層級分析法與失效模式與效 應分析作結合，以提出一個多重 指標決策流程的方法論。
王玉鳳[5] (2004)	運用FMEA 鑑別 ISO14001 顯著環境 考量面之個案研究	依風險優先指數分數之高低來 鑑定顯著環境考量面，然後再用 社會關心程度、改善技術之可行 性及改善成本等三項指標之乘 績總分進行第二次評估，以決定 優先改善順序。
鐘秋英[46] (2004)	資料挖掘應用於產品 失效模式與效應分析- 以印刷電路板業為例	針對PCB 業的品質問題採用資 料探勘技術來分析並歸納出導 致異常之製程原因的知識資 料，並利用失效模式與效應分析 尋求造成此原因之因素，以解決 失效模式之根本原因
陳道宏[28] (2004)	檢測PCBA之FMEA系 統建立	探討印刷電路組裝板在工廠端 測試開發的流程改善及FMEA系 統建立。

經由上表所列出之13篇文獻探討，可發現FMEA可運用在各式的產業中，並且證明FMEA不僅可以使用在應用層面，也可以使用在建構方法論的模式中。其中與高科技產業相關之文獻，有應用在半導體方面的”建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究”[1]、電子組裝業的”以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統” [36]、PCB產業之”資料挖掘應用於產品失效模式與效應分析-以印刷電路板業為例”[46]及”檢測PCBA之FMEA系統建立”[28]。

在方鈞[1]所提出之”建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究”中，主要是運用FMEA結合事件樹分析理論、故障樹分析理論建構一個半導體製程的分析架構。而其中最特別的部份是加入成本分析的觀念來結合故障樹分析理論，而定義出關鍵製程與改善製程後之成本效益。

而另外三篇文獻(湯群輝[36]所提出的”以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統”、鐘秋英[46]所提出的”資料挖掘應用於產品失效模式與效應分析-以印刷電路板業為例”、陳道宏[28]所提出的”檢測PCBA之FMEA系統建立”)都是使用FMEA的流程方法，導入各自的科技產業當中，並以改善後的結果與改善前的結果作比較，藉以證明導入FMEA之可行性。

由以上高科技產業使用FMEA之文獻，我們可得知FMEA可結合其他分析方法作為建構製程分析模式之用，也可單獨使用FMEA進行改善前後之工具。另外，由於奈米碳管背光模組尚處於研發階段，並無一科學化之系統分析方法以進行製程面分析改善。因此若能提供一套運用FMEA結合其他分析工具與奈米碳管背光模組製程特性的分析模式將比直接使用FMEA進行改善對現行的奈米碳管背光模組之研發階段更有意義及貢獻。所以，本研究將以建構一套科學化的分析模式為主要目的。

2.3 故障樹分析

故障樹分析(Fault Tree Analysis, FTA)是以事象記號、邏輯符號等相關記號，找尋引起主要失效的因素間之邏輯關係，並配合布爾代數計算主要故障的發生機率，在可靠度解析手法中，與FMEA手法一樣在國際上廣受應用[10]。

2.3.1 故障樹分析概要

故障樹分析可分為三個階段，如圖 2.7，以下就各階段作說明 [25]。

階段一：先決定想防止的事件。

先選出一個設想事故，並決定為何它會發生，在哪一種情形下發生，再進行檢討。當各種事情可能有各種組合時，需注意下列事項

1. 系統式的探索方法是需要的
2. 必須清楚記錄有關的「事象」與探索的內容
3. 記述常會捨去現實的型態
4. 以圖形表示結果將更容易發揮人的思考能力

階段二：製作故障樹

運用定性資料與定量數據的分析，對最初所設想之事故找出現狀系統的最弱的地方。在思考所有的弱點時，需對弱點作事先評價的動作。評價後，弱點若是非常重要的，就必須去應付處理，若是並非那麼嚴重的弱點，只需簡單的改良，可優先解決。

階段三：整理結論

重點在思考如何與現實妥協。當製作故障樹以後，需調查裝置的弱點，並分別加以評價。其結果所斟酌的改善方案通常並非一個，有時也會出現互斥的方案，因此作出決定的方式即為與現實的妥協。

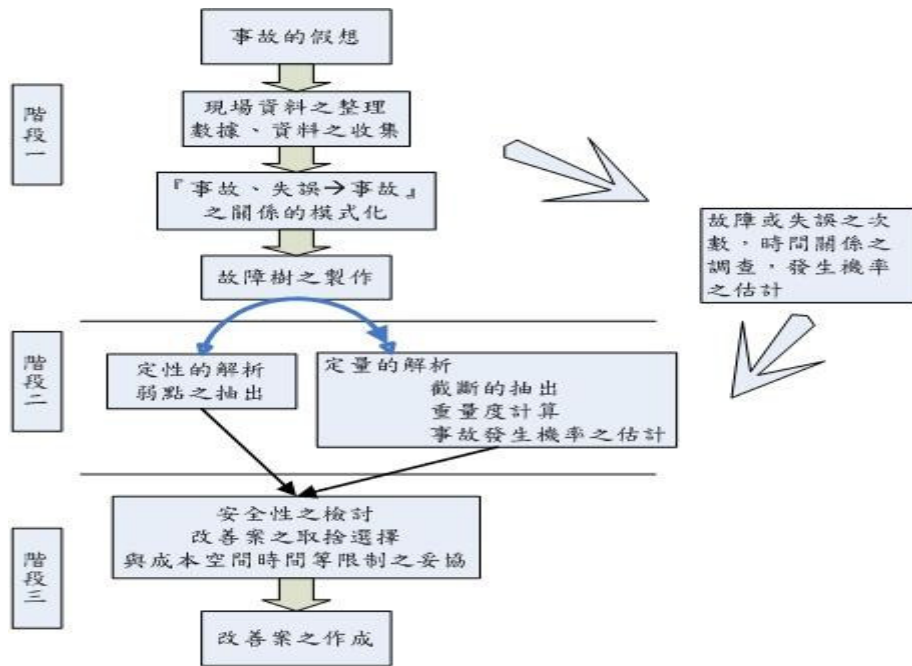


圖 2.7故障樹的解析步驟

資料來源：陳耀茂[25]

2.3.2 故障樹分析常用符號說明

由於故障樹分析是使用邏輯記號來表示各故障要因的關係。所以常必須使用記號代表事象，如表2.9[31]。

表 2.9 故障樹分析常用記號說明表

NO.	記號	名稱	說明
1		OR 閘	當輸入事件其中之一存在時，就會發生輸出事件
2		AND 閘	當所有的輸入事件都存在時，才會發生輸出事件
3		事件	表示中間事件
4		基本事件	最小水準的基本事件
5		未展開事件	可進一步展開，但因時間、資訊或必要性的緣故，而在進行途中的事件
6		一般事件	被認為平常就會存在的事件

資料來源：小野寺勝重[31]

2.3.3 文獻整理與探討

此節針對 FTA 應用在半導體製程及 FTA 與 FMEA 結合的架構作一文獻整理。

表 2.10 故障樹文獻整理

作者/年限	題目	貢獻
林雅惠[14] (1998)	FMEA與FTA技術於可靠度應用之研究	探討FMEA與FTA如何評估系統的失效、衡量系統的可靠度，以達成系統設計的目標
方鈞[1] (2000)	建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究	整合FMECA、故障樹、事件樹分析方法，建構出半導體製程改善研究架構
Krasich and Milena[58] (2000)	Use of fault tree analysis for evaluation of system-reliability improvements in design phase	在產品設計階段使用FTA針對工程評估系統中之軟硬體功能作確實且深入的分析
蔡明正[44] (2001)	半導體良率提升專家系統之故障樹建構與分析及專家系統之驗證	建構一專家系統，利用FMEA找出製程失效模式對半導體元件物理參數的影響，並以故障樹理論連結製程失效模式與半導體參數間的關係
湯群輝[36] (2003)	以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統	利用FMEA、特性要因分析、故障樹理論分析製造問題點，並以程式VBA建構設計單位績效回饋與評量系統
Bluvband and Zigmund [50] (2005)	Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology	提出一個綜合FMEA與FTA的分析方法論。目的在使單獨使用FMEA或FTA時所面臨的缺點最小化，優點最大化。

2.4 模糊相關理論

模糊理論是由美國加州大學自動控制學家Zadeh於1965年首先提出。主要是為了解決真實世界普遍存在的模糊現象而發展的一門學問。模糊理論並不需要很繁複的計算過程，就可以將不確定性的「程度」表達出。其涵蓋的範圍甚廣，包括模糊集合、模糊關係、模糊邏輯、模糊量測與概似推論等[38]。

Zadeh 教授提出模糊理論是一種定量表達工具，是用來表現某些無法精確定義之模糊概念，尤其是在表現人類語言特有的語意模糊現象方面有較佳的成果[34]。截至目前為止，模糊理論的應用領域相當廣泛，包括管理科學、決策支援、圖形辨識、醫療診斷、經濟預測、人工智慧、自動控制及投資評估等領域。

2.4.1 模糊德菲法

傳統德菲法(Delphi Method)乃一專家預測法，亦是群體決策法的一種，最早於1950年代被應用在軍事事務預測方面。主要的目的在於獲取專家們的共識，尋求專家們對特定問題之一致性意見。實施過程中藉由問卷反覆調查的方式來詢問某一領域中具有專業研究之專家，並敘述其對預測項目的看法。雖然此方法可以達到集思廣益的效果，也可以得到專家獨力判斷的品質[13][29]，但是仍具有調查次數過多、時間耗費太久、研究成本過多、專家意見被扭曲的缺點[20]。

針對以上缺點，Ishikawa等人在1993年，將模糊理論導入德菲法中並使用幾何平均數作為決策群體篩選評估準則的依據。由實證分析，得到以下結論：1.與傳統德菲法之結果相接近；2.可藉由此方法減少問卷次數；3.在時間與成本上更具有經濟效益；4.能夠充分展現專家個人特質；5.對於專家知識，經由模糊理論的處理，更符合實際情況[17][56]。

模糊德菲法的進行步驟分為三階段如下[56][9]：

1. 蒐集決策群體意見

利用問卷的方式，蒐集決策群體的意見，以取得每位專家對各個初始指標之評價值。每位專家利用群體語意變數，表達專家對於每個初始指標重要性的評價值。

2. 建立三角模糊數

將從專家問卷所蒐集到之專家評估值，依據下式，建立每項影響因素之三角模糊數。

$$\begin{aligned}\tilde{A} &= (L_A, M_A, U_A) \\ L_A &= \text{Min}(X_{Ai}) \quad i=1,2,3,\dots,n \\ M_A &= (X_{A1} \times X_{A2} \times \dots \times X_{An})^{1/n} \\ U_A &= \text{max}(X_{Ai}) \quad i=1,2,3,\dots,n\end{aligned}$$

X_{Ai} : 第*i* 個決策者對A影響因素之評價

L_A : 決策群體對A影響因素評估值之下限

M_A : 為決策群體對A影響因素評估值之幾何平均數

U_A : 決策群體對A影響因素評估值之上限

A : 影響因素

i : 決策者

\tilde{A} : A影響因素重要性之模糊數

3. 篩選評估指標

將得到之三角模糊數，再以每個影響因素模糊三角函數中之幾何平均數為其隸屬函數T，用以代表決策群體對此因素評價值之共識。最後依研究目的決定合適的門檻值S，並透過下列的方式篩選出較適當的評估準則。

(1) $MA \geq S$ ，接受A 影響因素為評估準則。

(2) $MA < S$ ，刪除A 影響因素。

其中，MA 為決策群體對A 影響因素之共識，S 為門檻值。

然而在失效模式與效應分析中的風險權重值需同時考量到3項指標，分別為嚴重度、發生度、難檢度。因此在使用模糊德菲法進行步驟三時，不能僅依照幾何平均數作為團體的評估值。必須作一調整。許惠玲[34]建議以算數平均數的觀念將三角模糊數轉成單一指標，並導入模糊推論以進行評估風險權重。因此本研究在參考許惠玲[34]後，決定導入此修正後的模糊德

菲法，使製程問題分析模式能考量到多人決策的情況，並滿足失效模式與效應分析的使用限制。

2.4.2 模糊推論

模糊系統之基本架構如圖 2.8所示，其中主要的功能包含[8]：

1. 模糊化機構 (fuzzifier)
2. 模糊規則庫 (fuzzy rule base)
3. 模糊推論引擎 (fuzzy inference engine)
4. 去模糊化機構 (defuzzifier)。

所謂模糊推論就是模擬人類思考與決策的方式,將輸入系統的語言變數經由模糊推論的方法得到一個合理的系統輸出，亦可稱為近似推論。主要的目的就是將傳統的邏輯推論運算推展至模糊推論運算。

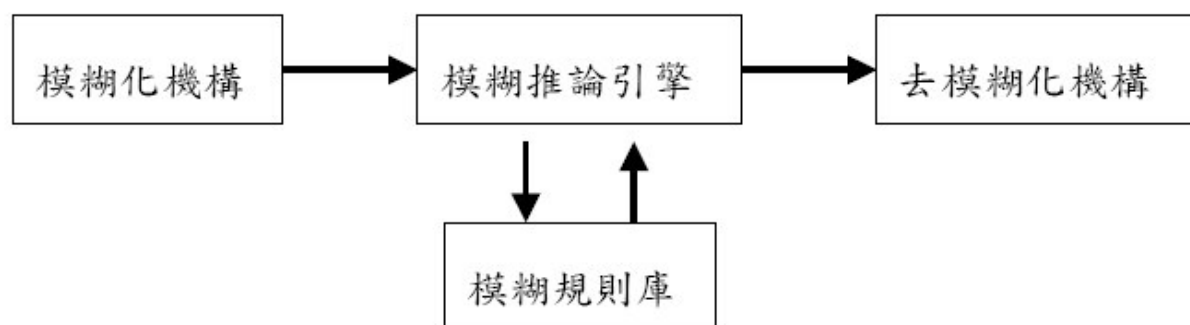


圖2.8 模糊系統架構

資料來源: 李權芳[8]

常見的模糊推論型式有下列三種[60][61][59]:

1. 廣義肯定前提式 (Generalized Modus Ponens, GMP)

前提1: x 是 A'

前提2: 若 x 是 A , 則 y 是 B

結論: y 是 B'

2. 廣義否定後論式(Generalized Modus Tollens, GMT)

前提1: y 是 B'

前提2: 若 x 是 A , 則 y 是 B

結論: x 是 A'

3. 廣義假設三段式(Generalized Hypothetical Syllogism, GHS)

前提1: 若 x 是 A , 則 y 是 B

前提2: 若 y 是 B' , 則 z 是 C

結論: x 是 A' , 則 z 是 C'

各種推論法則在應用上都各有優缺點，以下把最常被使用的最小-最大合成運算法步驟作概述[47]：

以最小-最大合成運算法進行模糊推論的步驟分成四個部分：

1. 每個輸入變數在前件部 (Premise Part) 對應歸屬函數可以對應到一個歸屬度，代表語言所表達的程度。
2. 將前件部歸屬度，透過取最小值的過程，對每一模糊規則，在前半部得到權重值。
3. 根據每一模糊規則的權重，產生對應每一模糊規則的後件部 (Consequent Part)。
4. 經由後半部的解模糊化，產生明確輸出。

解模糊化的方法有三種，如下列3種方法所示，並沒有特定那種方法為最好的方法，端視使用者的使用需求而定。進行解模糊化後產出的明確值即可作為進行判斷各項方案好壞的指標值[39]:

1. 重心法

當論域為連續型時:

$$y^* = \frac{\int_Y yB(y)dy}{\int_Y B(y)dy}$$

當論域為離散型時:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^k y_i B(y_i)}{\sum_{i=1}^k B(y_i)}$$

其中 k 代表輸出的量化數。

y_i 代表第 k 個的量化值。

$B(y_i)$ 代表 y_i 屬於模糊集合 B 的歸屬值。

2. 高度法

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^k H_i h(y_i)}{\sum_{i=1}^k h(y_i)}$$

其中 $h(y_i)$ 代表每個 y_i 的高度。

H_i 代表未經處理前最高點之 y 值。

3. 權重平衡法

$$y^* = \frac{\sum \omega_i f_i}{\sum \omega_i}$$

其中 f_i 代表前件部線性組合的函數

2.5 本章結語

經過本章對於奈米碳管背光模組、失效模式與效應分析、故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論進行深入的瞭解與探討後。我們發現失效模式與效應分析可以對研發階段的製程進行系統性的分析，而故障樹與特性要因圖可以使分析的過程中考量到更多的面向，補足失效模式與效應分析的缺點。另外，經由模糊德菲法、模糊推論與失效模式與效應分析的結合，我們可對研發過程中，常面臨的團體決策中取得客觀的共識，並計算出各個製程問題原因的風險權重值，以作為比較之用。

第三章 構建製程問題分析模式

在經過第二章的文獻探討整理後，本研究將在此章節引用失效模式與效應分析的風險權數值分析方法結合故障樹、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論的觀念與方法，構建以奈米碳管背光模組陰極板製程特性為重心的製程問題分析模式。以下各節，將針對奈米碳管背光模組陰極板之製程特性及此模式之實施步驟及要項詳加說明。

3.1 奈米碳管背光模組陰極板製程及其特性

經由第二章的文獻探討可得知，奈米碳管背光模組的製程可分為三大部分，分別為陰極板製程、陽極板製程及封裝製程。其中，陰極板製程由於包括發光源的製作，對於奈米碳管背光模組製程的影響性更為顯著。

承蒙本系與工研院影像顯示科技中心(Display Technology Center)的合作案，本人得以至工研院影像顯示科技中心進行長達半年的駐廠訓練及實作。在這其間與奈米碳管背光模組專家進行多次的訪談與討論，進而瞭解陰極板製程之特性及奈米碳管背光模組專家在面臨製程問題上的解決方式。

因此，本研究在參考工研院影像顯示科技中心所提供的資料及廠內訓練的心得，針對奈米碳管背光模組陰極板製程及其特性，加以歸納及整理，分述如下：

3.1.1 陰極板功能及原理

陰極板(Cathode Plate)的主要功能為利用奈米碳管的場發射特性，以達到將電子束射向陽極板(Anode Line)的目的，基本結構如圖 3.1。主要原理說明如下:當輸入特定電壓後，陰極線(Cathode Line)上的奈米碳管將會因為閘極線(Gate Line)上的電位較陰極線高，而將奈米碳管激發出的電子束射向閘極線。然而在同一時間，也因為陽極板的電位比閘極線更高，因此被閘極電壓吸引過來的電子束會被導引至陽極板。並且經由結構上的設計，電子束將會打在陽極板的螢光粉區域，而達到發光的目的。

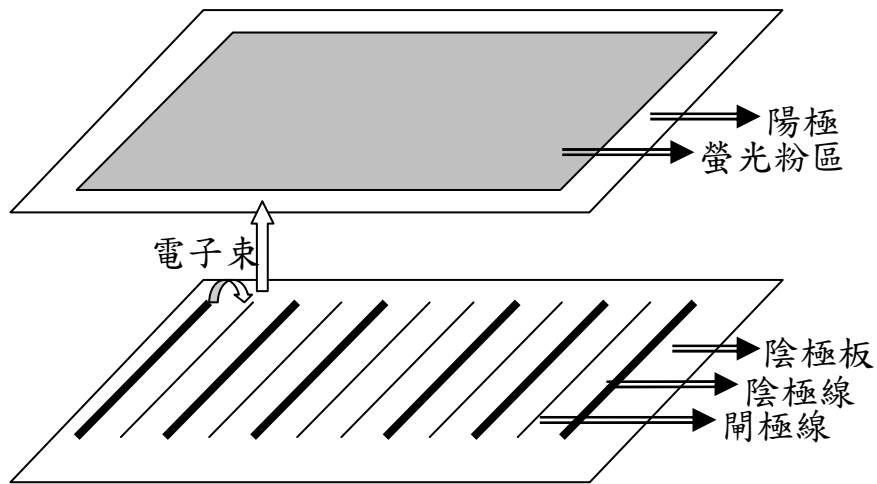


圖 3.1 奈米碳管背光模組發光原理

資料來源:工研院影像顯示科技中心(2005);本研究繪製

3.1.2 陰極板製程

陰極板製程主要可分為網印電極材料、黃光區曝顯、網印奈米碳管漿料、活化四大部分，10 個子製程。製程流程圖如圖 3.2 所示。詳細說明如下。

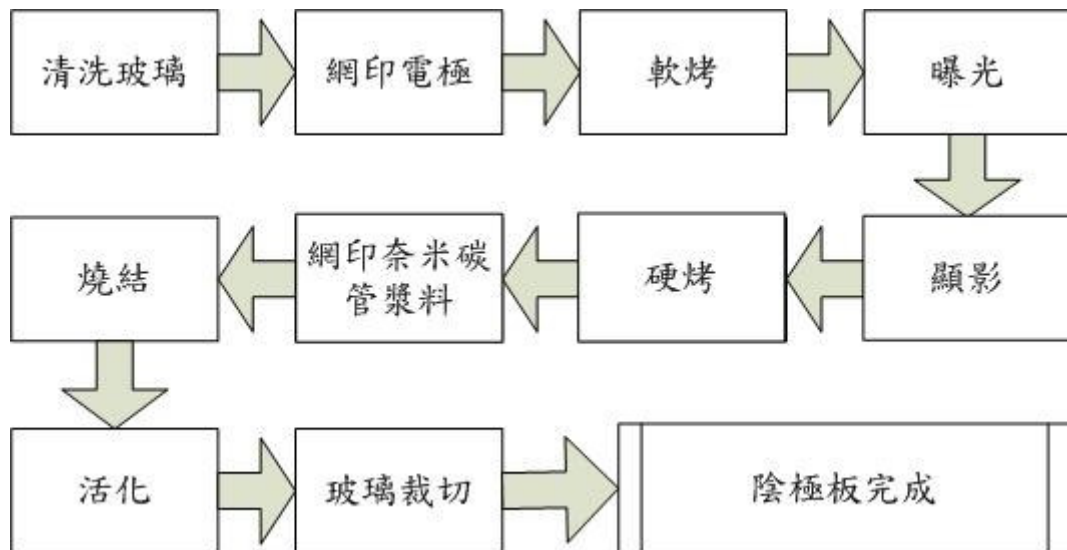


圖 3.2 陰極板製程圖

資料來源:工研院影像顯示科技中心(2005);本研究繪製

1. 清洗玻璃基板

目前玻璃基板都是向日本在台灣的玻璃基板代理商訂購，或是由台灣本地玻璃基板廠商直接供應。雖然，玻璃基板的外部已有使用透明塑膠套

及塑膠外殼加以密封。但當玻璃基板從製造廠商送出時，即有可能受到污染，因此上面或多或少都會殘留粉末與灰塵。

然而玻璃上的粉末殘留程度將會影響到後續網印電極的製程及封裝製程。所以，在此製程需利用玻璃清洗機，藉由機台中心平台的高速旋轉，並利用去離子水的沖洗，將粉末及灰塵去除殆盡。

2. 網印電極

當玻璃清洗乾淨，並加以烘乾之後，即可進行電極的網印製程。此製程的主要目的為形成一導電層來當作奈米碳管發射出電子束的媒介。而在此步驟，當站工程師會先將網印機台上的各項參數調整至預定的參數值，再把膠狀的電極材料倒入網印機的網布上。經由啟動網印機的印刷按鈕後，網印機的刮刀會透過刮刀的重力將電極材料印製在玻璃基板上。此時，網印電極的工作即宣告完成。

當網印的工作完成後，需再透過目視或顯微鏡來檢查此電極是否有因為網印過程中的失效狀況，而造成電極脫落(Peeling)的現象。若此時檢查出電極有脫落的現象，為避免後續製程受到影響，需使用酒精將網印上玻璃基板的電極材料擦拭乾淨，並再重新進行網印電極的製程。

3. 軟烤

在確認過網印製程無誤後，即可進行軟烤的製程。當站工程師會把網印上電極材料的玻璃機板送至加熱板上，藉由加熱板由下而上均勻的加熱方式，進行烘烤的動作。在此製程中最重要的動作是嚴格控制加熱板設定的溫度及加熱的時間。當玻璃基板加熱的時間未達到原先設定的時間，卻前往下一製程時，較容易產生電極材料脫落的現象。

因此，此步驟的主要目的為使電極材料能更固化在玻璃基板上。更進一步的目的為，防止在進行下一階段的黃光區曝顯製程時，電極材料因附著性不夠強而造成脫落的現象。在軟烤的工作結束後，工程師需再以肉眼針對軟烤後的電極材料作檢視的動作，觀看是否出現電極脫落的現象。如果有的話，需以酒精將電極材料擦拭乾淨，然後再重新進行網印電極的步驟。

4. 曝光

在進行過軟烤的製程以後，工程師會將玻璃機板放置在曝光機台上，

選取特定圖案的光罩，並調整曝光能量。在關上機台門後，曝光機台即會自動啟動，在曝光機台內放射出紫外線，照射在未受光罩保護的感光性電極上。而此步驟最主要的目的是使光罩圖案外的感光性電極產生化學反應而生成酸性物質。在此製程無法作檢視的動作，因此需經下一製程的顯影製程之後才能得知此曝光製程的設定或位置擺放是否出現問題。

5. 顯影

當曝光製程結束後，工程師會將玻璃基板放到顯影設備中進行顯影的步驟。而此製程主要是透過鹼性的顯影液沖洗玻璃基板上的感光性材料。利用鹼性的顯影液會與曝光後產生的酸性物質形成酸鹼中和的反應，把曝曬到紫外線的部分中和清洗掉，而形成條列式的圖案，也就形成陰極板的陰極線與閘極線。

當曝顯的工作結束後，就必須利用顯微鏡來判斷電極是否出現以下兩種失效狀態。第一種為顯影液未將該沖洗掉的部分沖洗乾淨。第二種為顯影液將預定留著的電極部分清洗掉，而造成斷線的現象。當出現第一種狀態時，可重新調整曝光顯影製程的參數，再重新作一次。而出現第二種狀態時，需使用酒精將電極材料擦拭掉，再回到網印的步驟重新開始。

6. 硬烤

當顯影製程結束後，工程師會將玻璃基板再拿到加熱板去作加熱的動作。而設定的加熱時間較第 3 步驟的軟烤還要短，主要是因為此製程之主要目的，只是為了再增加電極材料固化的效果。

7. 網印奈米碳管漿料

當硬烤製程結束後，工程師會將玻璃基板拿到專門網印奈米碳管漿料的網印機去執行網印的動作。網印奈米碳管漿料的過程與之前網印電極材料大同小異。最大的差別在於，在網印奈米碳管漿料的製程中，為了使奈米碳管的場發射特性有更佳的效果，因此必需把奈米碳管漿料準確的印製到陰極線的中央。然而，由於實驗用的奈米碳管漿料價格非常昂貴，因此在網印前都會先拿幾片控片來作預印的動作。等對位的步驟確認之後，才會真正使用之前已作好各製程的玻璃機板來執行網印奈米碳管漿料的步驟。

在此製程中，只要網印完一片玻璃機板的工作，工程師會立刻使用 3D

顯微鏡來觀察此玻璃機板網印奈米碳管漿料後的情形。主要是觀看兩方面。首先看準直性，藉由 3D 顯微鏡自動量測水平線的功能來觀看在陰極線內的奈米碳管線 (Carbon Nanotube Line) 是否呈現明顯的扭曲現象。再者，觀看對位性，儀器也是使用 3D 顯微鏡來觀察網印 CNT 的位置與原先設定位置的偏移程度。工程師會依照此兩種特性，作為網印下一片玻璃機板的網印機參數調整參考，以避免犯下同樣錯誤。

8. 燒結

當網印完奈米碳管漿料的工作完成後，工程師會將此玻璃機板放置在燒結爐中，透過多段式高溫的烘燒，目的是將奈米碳管漿料與電極材料穩固地固化在玻璃機板上。此製程需花費 8-12 小時的時間才能完成，因此為整個奈米碳管背光模組製程中最花費時間的製程。當此步驟完成之後，奈米碳管與電極材料即固化在玻璃機板上。此時若發現有明顯的製程錯誤，也已經無法使用酒精擦拭來加以重製。

9. 活化

由於燒結的過程中可能會出現一些雜質黏附在玻璃機板上，因此當工程師從燒結爐中將玻璃機板取出後，會先使用氮氣槍將黏附在表面的雜質吹除，再進行活化的製程。

活化製程的主要目的是使奈米碳管能夠裸露出表面，以增加其場發射特性 (Field Emission)。而第二個目的為，減少在奈米碳管漿料內的雜質藏氣量。如此在進行封裝製程時，以高壓測試才不會出現短路的現象。

在此製程中，主要是使用壓膜機，藉由調整壓膜機的壓力值，將一層薄膜壓附在燒結後的玻璃基板上。然後，再用人工的方式將薄膜撕掉，以達成活化的目的。而在壓膜的過程中，就必須隨時以肉眼檢查膠膜上是否有沾染異物，以避免將雜質黏附至玻璃基板上，造成污染。當活化過程結束後，需將玻璃基板拿至顯微鏡下察看奈米碳管的活化情形，以判斷是否需在進行一次活化製程。而活化的次數及壓膜機的參數設定皆為工程師在進行活化過程前即已預先設定，但工程師會依照當天的情況再加以調整。

10. 玻璃切割

當活化的工作完成後，工程師會依照預定的規格尺寸將玻璃基板進行裁切。而為了避免玻璃切割機因施力太大而對玻璃基板造成碎裂的破壞，

因此在使用玻璃切割機進行切割時，通常只劃下特定的深度，再利用裂片機來作移除多餘玻璃的動作。

3.1.3 製程特性

陰極板製程雖然在製程特性上與已發展成熟的半導體製程、液晶顯示器製程較為類似，但因目前奈米碳管背光模組仍處於實驗室原型(Pototype)的功能改善階段。因此在設備參數、材料、結構、製造方法上，常因功能上的需求異動而作改變。本研究根據上一小節所描述的陰極板製程步驟，整理陰極板的製程特性如下：

1. 此製造流程在 Hayes 和 Wheelwright[55]所提出的四種主要製造程序流程結構中，歸屬於零工式流程(Job shop)。也就是指每片陰極板都需經由不同的子製程才能完成，而且子製程間的前後順序不能更換。
2. 陰極板製程與半導體、電漿顯示器的製程具有某方面共同的製程。例如，三者皆須經由黃光區的曝顯製程製作出所需特定圖案，因此在製造技術的困難度上都較高。
3. 在每一個子製程中都有檢驗的項目，其主要目的是，避免在此製程中所發生的問題影響到後製程的製作。因此，只要某一片玻璃基板在某一製程中發現問題，就必須立即針對此問題作一通盤了解及作及時性的改善。
4. 由於奈米碳管背光模組尚處於研發的試作階段，目的是為了在少量的製作過程中，製作出符合廠商要求規格的陰極板。因此在檢驗的方式中，所有的陰極板在製作的每一過程中都是以最高標準作檢查，亦即檢驗上所謂的全檢。
5. 當檢驗出不合格的情形時，只要在燒結製程前都可以以重製 (Rework) 的方式來執行。但在燒結階段之後發生問題的陰極板，只能以丟棄(Scrap)方式，或被工程師拿來當作實驗試驗片之用途。
6. 由於試作階段與量產階段所著重的目的不同，而可蒐集到的資料量與功用也不同。目前在各子製程蒐集到的數據主要是提供工程師在進行下一批實驗時的參數改變考量。此與在量產時，著重的良率提升有較大差異

性。

7. 此陰極板的製作皆由專案小組人員負責。專案小組成員雖然負責各自特定的子製程，但對於其他各子製程也都具有一定程度的瞭解與親身實作體驗。

小結：

由特性一可以得知，各個子製程都可以看做是各自獨立的系統。因此每一子製程都可個別進行失效模式的分析。如要作全體失效的評量，也可將陰極板視為一母系統，並利用製程失效模式加以分析。

由特性二、特性三可得知，當某一製程出現問題時，確實造成問題的原因或隱形的原因並不容易直接發覺。因此若能使用故障樹及特性要因圖進行系統性的分析，將可快速找到影響問題的關鍵因素，使工程師能大大降低解決問題所花費的時間。

由特性四、特性五可得知，由於檢驗時是以高標準作檢驗，因此花費的時間相對將會較高。況且若是在燒結製程後才檢驗出問題，由於處理方式大多偏向於以丟棄方式處理，因此所花費的材料及人工成本將會大大的提升。所以，如果能有效的判斷失效原因，降低再次失敗的機率。在檢驗上，將可不需要以如此高標準作檢測，如此即可有效降低時間與成本的壓力。

由特性六、七可得知，在數據的屬性上與量產數據的意義有極大的差異，因此當進行 FMEA 進行問題分析時，定量的數據取得較困難且不具意義。所以，若能由專案小組人員進行團體式的評量，將可解決此部分所面對的問題

3.2 奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式

綜合上節所歸納整理的特性之後，並結合故障樹分析理論、特性要因圖、模糊德菲法，發展出奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式，詳見圖 3.3。

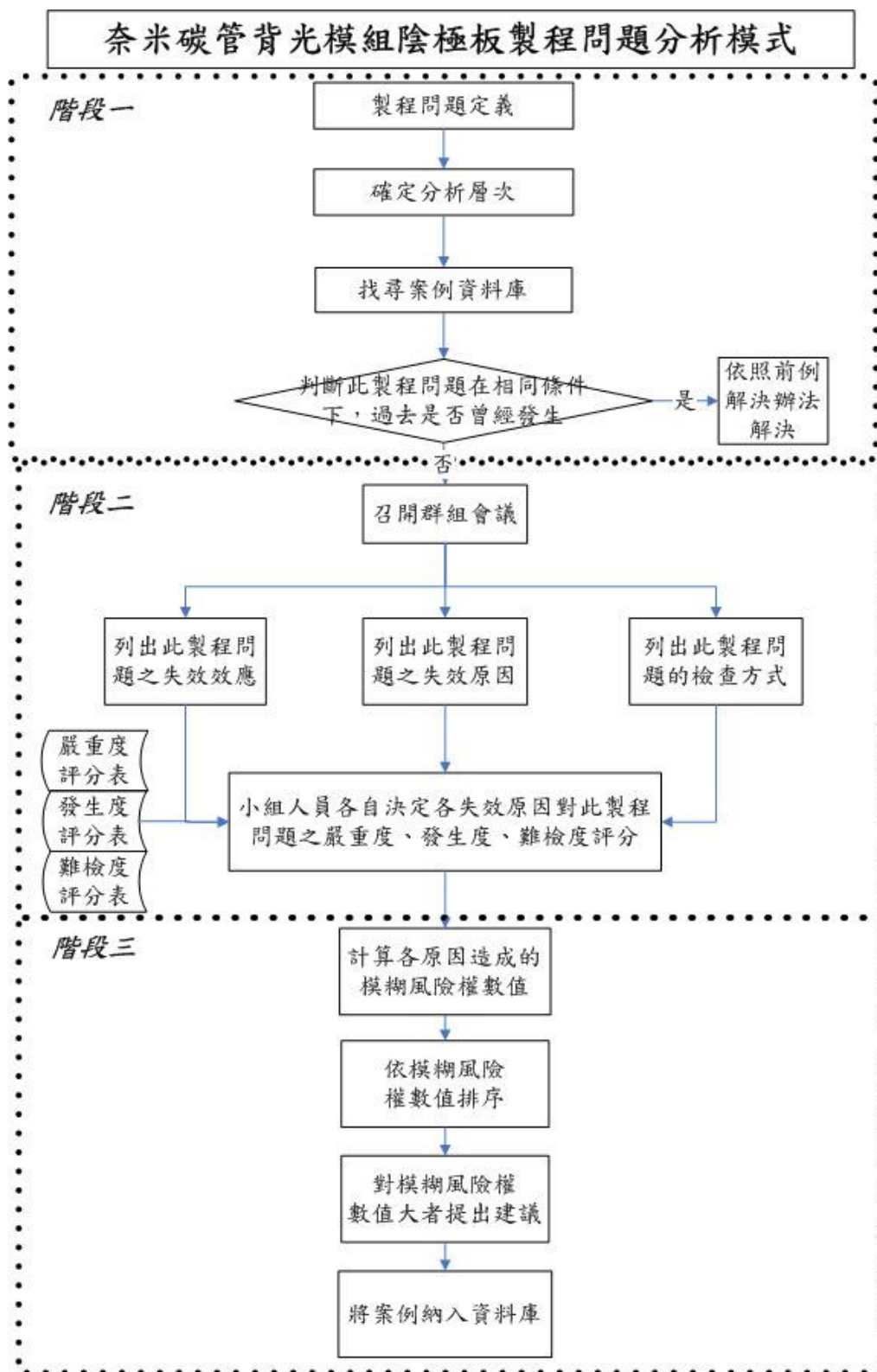


圖 3.3 奈米碳管背光模組陰極板製程問題分析模式

本研究模式的流程設計是以 FMEA 理論觀念作為主要基礎。以往 FMEA 的觀念是將產品拆解成數個子系統，並探討在各子系統中的各項失效模式之嚴重度、發生度、難檢度，藉以達到預防系統失效的目的[12]。而本研究依此觀念作延伸，以製程問題為中心，針對此製程問題發生的各項原因作嚴重度、發生度、難檢度的評比，藉此找出影響製程問題的關鍵因子。

本研究所提出的奈米碳管背光模組製程問題分析模式共分為三大階段。第一階段結合故障樹分析步驟[37]針對發生的製程問題作明確定義；第二階段製作 FMEA 表格並加入故障樹圖形及特性要因圖對問題發生之原因作清楚描述；第三階段以模糊德菲法及模糊推論將第二階段蒐集的數據加以統整及計算，求出各原因的風險權重值，以作為判斷的依據。以下就每一階段的各個步驟作一詳盡介紹。

第一階段:故障樹分析

在黃清賢[37]所著的危害分析與風險評估一書中提出的故障樹流程如下：

1. 確認並定義欲分析之頂端事件
2. 對頂端事件相關之系統、子系統、零組件進行了解與描述，並依系統流程繪製功能方塊圖
3. 訂定各事件代碼意義之規則
4. 對造成頂端事件之故障要因進行分析
5. 對造成功能喪失之各零組件故障要因進行分析
6. 經由專業人員審查後定案

因此，本研究在第一階段依照此流程之前 1-3 項流程訂定 3 項步驟分別如下，而第 4-6 項之流程則在第二階段與特性要因分析、FMEA 共同實施：

STEP 1.製程問題定義:

當各單站製程問題發生時，由各單站負責人員，針對問題利用表單進行明確的問題描述。主要目的是將引發此問題之現場條件詳加記錄與描

述，以作為工程師作後續處理的參考依據。表單內容如表 3.1 所示，而各項目詳細說明如下：

表 3.1 陰極板製程問題說明表

陰極板製程問題說明表			
問題現象: (a)			
板號	製程	步驟	設備
(b)	(c)	(d)	(e)
參數	發生地區	發生時間	操作人員
(f)	(g)	(h)	(i)
問題分類碼: (j)		備註: (k)	

(a)問題現象:

單站人員將看到的問題現象以文字或拍照加以描述;例如:電極材料剝落。

(b)板號:

代表此塊陰極板的編號;由於每週執行陰極板製程的片數約為 10 片，而每週在各製程所調整的參數也都不同，因此必需對每片進行編號。

編碼方式如下: AABCCDD

AA:年份(民國) BB:月份(01-12) CC:週數(01-04) DD:流水號(01-10)

例如:95010101 代表的編號意義為此片是在民國 95 年 1 月第 1 週時所作的
第一塊陰極板。

(c)製程:

描述此問題點是在執行哪一製程時所發生，以 3.1.2 節的陰極板製程名稱為準;例如:網印電極。

(d)步驟:

描述在執行製程中的哪一步驟發生問題;例如:刮刀刮動電極材料

(e)設備:

描述所使用的設備為何;例如:網印機。

(f) 參數:

描述當時在設備上所設定的各項參數為何;例如:刮刀速度為 10cm/s

(g) 發生地區:

描述發生製程問題時之地區;例如：黃光 PA1 區

(h) 發生時間:

描述製程問題發生的時間點，格式以年月日時分為主;例如：
9501010910 代表問題發生時間為民國 95 年一月一日早上九點十分。

(i) 操作人員:

由於產品在研發試作階段，專案團隊通常為 5-6 人左右。因此，單站的操作人員通常也扮演了檢驗人員的角色。而在這空格中，填寫操作人員的名字。

(j) 問題分類碼:

問題編碼的目的在於藉由系統性地編定這系統中各部位的號碼，使工程師能輕易從號碼中判斷出此問題所攜帶的資訊。湯群輝[36]利用編碼原則將問題點的發生時間、問題類型(失效碼)、發生處、嚴重度、負責單位以及負責人員皆予以明確的表明。他並指出此種編碼方式優點有。(1)工程師可迅速的自歷史資料中找尋以往發生的案例，協助現場問題點的解決；(2)有利企業對相關研發及製造知識的管理及再利用；(3)可作為將來智慧型衝突解決問題系統的基礎。

在製程問題點上的編碼上，本研究參考湯群輝的編碼原則，並將 (c)(e)(g)(h)(i) 的資訊以號碼方式呈現，編碼方式如圖 3.4，編碼說明如表 3.2~3.5;

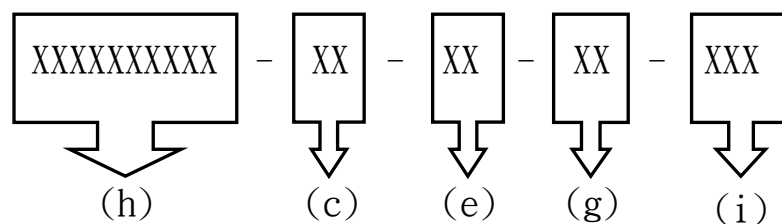


圖 3.4 問題分類碼編碼方式

表 3.2 問題分類碼代號說明

代號	說明
(h)	問題發生的時間;以年月日時分形式填寫
(c)	製程;參照表 3.3
(e)	設備;參照表 3.4
(g)	地區;參照表 3.5
(i)	操作人員;依公司員工編號末 3 碼填寫

表 3.3 製程代號說明表

代號	製程	代號	製程
01	清洗玻璃基板	06	硬烤
02	網印電極	07	網印奈米碳管漿料
03	軟烤	08	燒結
04	曝光	09	活化
05	顯影	10	玻璃切割

表 3.4 設備代號說明表

代號	設備名稱	代號	設備名稱
01	玻璃清洗/顯影機	05	奈米碳管漿料網印機
02	電極網印機	06	燒結爐
03	烘烤盤	07	壓膜機
04	曝光機	08	玻璃切割機

表 3.5 地區代號說明表

代號	地區
01	黃光 PA1 區
02	黃光 PA2 區

例如: 9501010910-02-02-01-001 代表此製程問題是發生在民國 95 年 1 月 1 日早上九點 10 分,地點在黃光 PA1 區,在網印電極材料時,由編號 001 人員發現問題。

(k)備註:

可大略描述發生問題的來源是來自人為或機器的問題,或是因天災所造成的意外;任何不在表格內中的資訊皆可在此填寫。

STEP 2.確定分析層次

系統通常由許多不同零件層層組合而成,為了明確劃分 FMEA 分析的界線,在執行 FMEA 前須先確定分析的層級[23]。因此,在本步驟中,利用分解展開表(Explosion Type BOM)繪製出陰極板製程的各階層次表,如表 3.6 陰極板製程分級展開表所示,確立製程的前後關係。而此展開表需在各製程步驟確立後,即預先建立,才能作為後續處理的參考。如此一來,當製程問題發生之後,即可藉由此展開表觀察出,此製程問題可能會對哪些製程造成影響,及哪些製程造成此製程的問題產生。

表 3.6 陰極板製程分級展開表

階層一	階層二	階層三
陰極板	清洗玻璃基板	放置玻璃
		調整玻璃機台參數
		沖洗玻璃
		清洗完畢取出玻璃
	網印電極	放置玻璃
		調整網印機台參數
		倒上電極材料
		啟動機台
		回墨刀刮動電極材料
		刮刀刮印電極材料
		網印完畢取出玻璃
		軟烤
	調整烘烤溫度及時間	
	烘烤完畢取出玻璃	
	曝光	放置玻璃
		調整曝光參數
		曝光完畢取出玻璃
	顯影	放置玻璃
		調整顯影參數
		顯影完畢取出玻璃
	硬烤	放置玻璃
		調整烘烤溫度及時間
		烘烤完畢取出玻璃
	網印奈米碳管漿料	放置玻璃
		調整奈米碳管網印機台參數
		倒上奈米碳管漿料
		啟動機台
回墨刀刮動奈米碳管漿料		
刮刀刮動奈米碳管漿料		
網印完畢取出玻璃		
陰極版	燒結	放置玻璃
		調整燒結參數
		燒結完畢取出玻璃
	活化	裝膠膜
		放置玻璃
		調整壓膜機參數
		壓膜後用手撕開
		活化完畢取出玻璃
	玻璃切割	放置玻璃
		調整玻璃切割機參數
		切割完畢取出玻璃
		裂片機裂片

STEP 3.找尋案例資料庫

藉由製程問題的編碼，工程師可在資料庫中找尋以往是否有曾經出現過相同或類似的案例。而在本研究中所指之資料庫，主要為奈米碳管背光模組廠商之工程師所架設的 FTP 站。

STEP 4.判斷此製程問題過去在相同條件下是否曾經發生

在搜尋案例資料庫(FTP 站)之後，如果發現此製程問題過去在相同的製程條件下，曾經發生過，即以過去的方式作改善，並將重點放置在為何會重新發生此問題上。如果此製程問題未曾發生過，即進入第二階段的分析。

第二階段: 故障樹圖、特性要因圖分析、FMEA

STEP 5.召開群組會議

接續第一階段的 STEP 4，由專案小組組長召集專案小組相關人員針對此製程問題進行團體討論。就專案小組而言，小組人員雖然平時只負責各自之單站工作，但在職前訓練及每週固定的團體會議討論後，皆可對所有製程問題有一定程度的認識。

STEP 6.列出製程問題的失效效應、失效原因、檢查方式

1. 專案小組人員依照自身經驗列出此種製程問題造成的失效效應、失效原因、檢查方式。
2. 將小組成員列出的失效效應、失效原因、檢查方式匯總後，匯入一張 FMEA 表格，如表 3.7 所示。
3. 將失效原因間的連結關係繪製成故障樹分析圖。

在有關安全性或可靠性的解析技法中，以圖示記述要因之相互關係，目前只有故障樹而已。所以不管是事件樹 (Event Tree Analysis,ETA) 或區塊線圖，這些都作不到[25]。因此本研究利用故障分析圖將失效原因間的關係作一說明，以圖 3.5 為例。

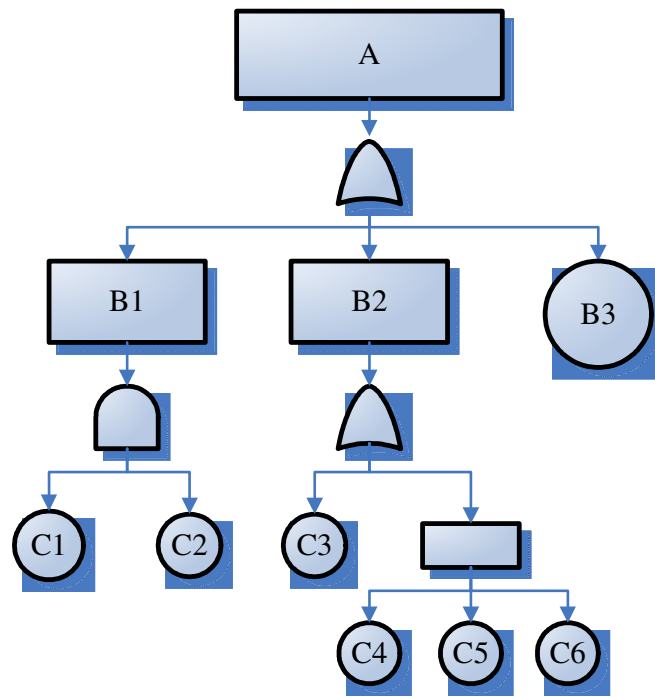


圖 3.5 故障樹分析圖[37]

A:製程問題 B:主要故障原因 C:次要故障原因

表 3.7 陰極板製程失效模式與效應分析表

陰極板製程失效模式與效應分析表(Failure Mode & Effect Analysis)

產品：_____ 板號：_____ 使用設備：_____ 負責小組：_____

問題名稱：_____ 問題分類碼：_____ 問題發生日期：_____

製程名稱	製程目的	問題點描述	失效效應	失效主原因	失效子原因	解決對策	檢驗方式	嚴重度	發生度	難檢度
		問題點圖片								
		問題敘述								

4. 將失效原因繪製成特性要因圖（魚骨圖）

當進行製程問題分析，如果故障要因間之關連已變的不明確時，使用故障樹圖形的 AND 閘及 OR 閘來表示已經變的沒有意義[25]。此時，在品管七大手法中常用的特性要因圖（魚骨圖）將可清楚描述要因間的關係，以圖 3.6 為例。

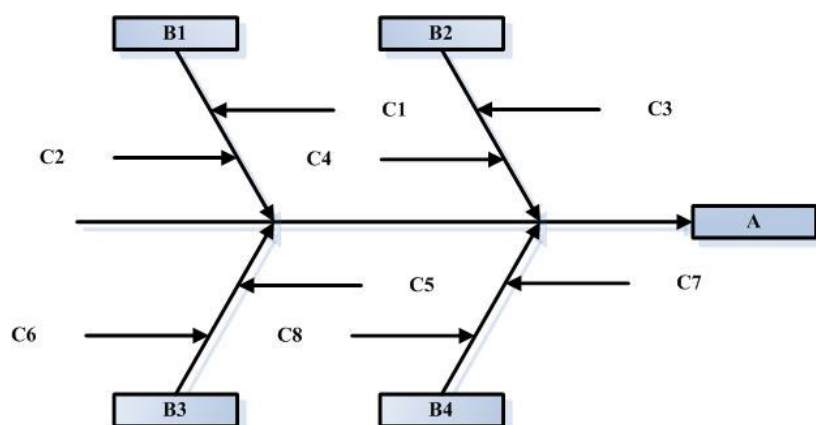


圖 3.6 特性要因圖

A:製程問題 B:主要故障原因 C:次要故障原因

STEP 7.專案人員針對各原因對製程問題的嚴重度、發生度、難檢度作評分

由於奈米碳管背光模組尚在研究室試作階段，因此在使用 FMEA 衡量尺度（嚴重度、發生度、難檢度）時，經由定量數據的考量較為困難。因此在此步驟中是依照專案人員的經驗來作定性的分析

在此步驟各專案人員需依據自身經驗及評分表（如表 3.8~表 3.10），針對在 STEP6 時匯總的 FMEA 表格中的各個子原因的嚴重度、發生度、難檢度作出各自的評分。

評分表：分別為嚴重度評分表、發生度評分表、難檢度評分表，而各評分表的尺度水準與等級皆為專家所自訂。

1. 嚴重度評分表(如表 3.8):

嚴重度定義：每個子原因造成製程問題的嚴重程度

嚴重度分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，影響程度越嚴重者分數越高

2. 發生度評分表(如表 3.9):

發生度定義：造成製程問題之每個子原因的發生機率

發生度分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，發生機率越高者分數越高。

3. 難檢度評分表(如表 3.10):

難檢度定義：在此製程問題中，各個子原因不被檢查出的困難程度。

難檢度分為 5 個等級，分別為非常低、低、中等、高、非常高，並以 1-10 分來表示，被檢查出之機率越低者分數越高。

表 3.8 嚴重度評分表

嚴重度(語意等級)	分數	評分標準
非常低	1	完全不嚴重
	2	幾乎不嚴重
低	3	很小嚴重
	4	不太嚴重
中等	5	中度嚴重
	6	中高度嚴重
高	7	嚴重
	8	很嚴重
非常高	9	非常嚴重
	10	極度嚴重

表 3.9 發生度評分表

發生度(語意等級)	分數	評分標準
非常低	1	不會發生
	2	幾乎不會發生
低	3	有微小機會發生
	4	有少許機會發生
中等	5	有中度機會發生
	6	有中高度機會發生
高	7	有高度機會發生
	8	很高機會發生
非常高	9	幾乎一定發生
	10	一定發生

表 3.10 難檢度評分表

難檢度(語意等級)	分數	評分標準
非常低	1	一定可以檢查出
	2	有非常高的機率檢查出
低	3	有很高的機率檢查出
	4	有高的機率檢查出
中等	5	有中高度的機率可以檢查出
	6	有中度的機率可以檢查出
高	7	有小的機率可以檢查出
	8	有非常小的機率可以檢查出
非常高	9	有微小機會可以檢查出
	10	完全檢查不出

第三階段:應用模糊德菲法及模糊推論計算

STEP 8.計算各原因造成的模糊風險權重值

由 STEP 7 中可發現專案小組每位組員針對製程問題的分析評分，由於工作經驗與主要負責的單站不同，因此造成各有各的嚴重度、發生度、難檢度的分數。在此為避免個人主觀意識的影響造成偏頗的情形，因此導入 Klir 與 Folger[57]提出的模糊德菲法(Fuzzy Delphi Method)，利用幾何平均數作為三角模糊數的中間值，來整合專案小組的意見，如此將可使關鍵原因的判斷能更符合事實現狀。而 Saaty(1980)[65]也認為在處理平均數一般化時，使用幾何平均數來代表專家們的決策共識，將可以得到較佳的結果。因此，本研究將使用幾何平均數作為三角模糊數的中間值。

在使用模糊德菲法將專案小組人員對各原因的嚴重度、發生度、難檢度形成模糊集合後。我們需再將模糊集合透過模糊理論將其解模糊化，得到明確的模糊風險權重值後，才能加以判斷。許惠玲[35]將此方法應用在新產品開發時之企業決策上，並計算出各失效因子之模糊風險權重值。Moss 與 Woodhouse(1999)[63]將模糊理論導入計算風險權數值中，並提出一關鍵性分析方法用來評估可靠度系統。因此，本階段參考上述文獻使用的方法，實施步驟如下：

1. 將每一位專家針對某一製程問題每一發生原因所填寫的嚴重分數、發生度分數、難檢度分數，各作其最小值(l)、幾何平均數(m)、最大值(u)的計算，並以此代表每個原因之嚴重度、發生度、難檢度的三角模糊集合。假設條件如下，並得其最小值、最大值、幾何平均數：

		A專家	B專家	最小值(l)	最大值(u)	幾何平均數(m)
原因一	嚴重度	5	4	4	5	4.47
	發生度	3	5	3	5	3.88
	難檢度	7	6	6	7	6.48
原因二	嚴重度	8	4	4	8	5.66
	發生度	3	5	3	5	3.87
	難檢度	2	6	2	6	3.46

2. 在最小值、幾何平均數、最大值所構成的三角模糊集合中，為了平衡兩個極端值造成此模糊集合的誤差。因此本步驟參考使用許惠玲[35]所提出之轉換式，將上述計算得到的每一原因之最小值、幾何平均數、最大值利用平均數法(如式3.1)轉換成單一值 (K)，作為此模糊集合之模糊

數。

$$K = \frac{[(l - m) + (u - m)]}{3} + m \quad \dots\dots\dots\text{式3.1}$$

因此，我們在此步驟可以得到各個原因的嚴重度、發生度、難檢度所對應之 k 值。在此以 k_{ij} 表之。

$i=1,2,3\dots$ 表原因項目

$j=1,2,3$ 分別表嚴重度、發生度、難檢度

例： k_{12} 表第一個原因的發生度之特定值

接續上例：

		最小值(l)	最大值(u)	幾何平均數(m)	單一值(K)
原因一	嚴重度	4	5	4.47	4.49
	發生度	3	5	3.87	3.96
	難檢度	6	7	6.48	6.49
原因二	嚴重度	4	8	5.66	5.89
	發生度	3	5	3.87	3.96
	難檢度	2	6	3.46	3.82

3. 將嚴重度、發生度、難檢度之評分表轉化為歸屬函數圖

由於在本研究中專家訂定之嚴重度、發生度、難檢度的語意等級皆相同，因此所對應出之歸屬函數亦相同，如圖3.7~3.9所示。

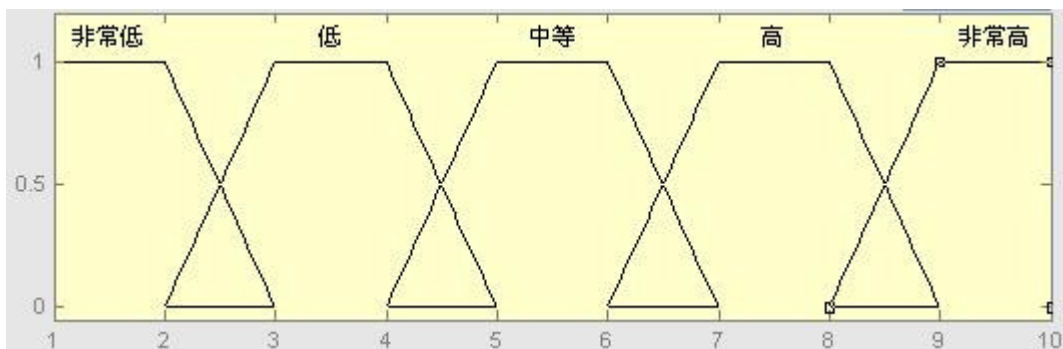


圖 3.7 嚴重度歸屬函數圖

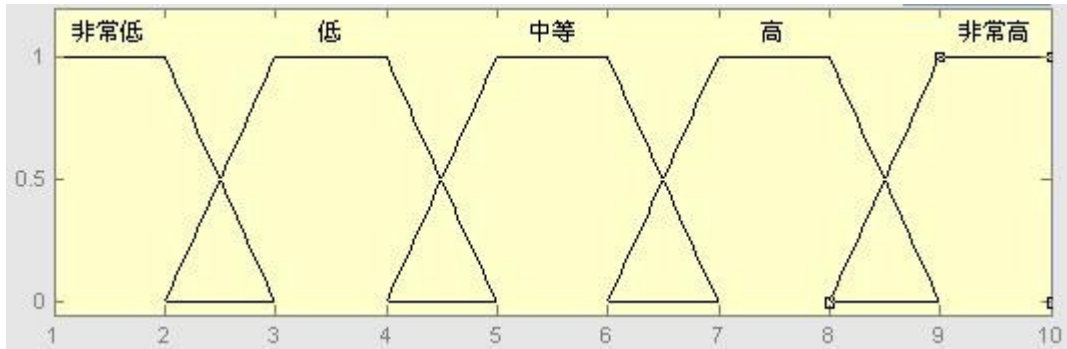


圖 3.8 發生度歸屬函數圖

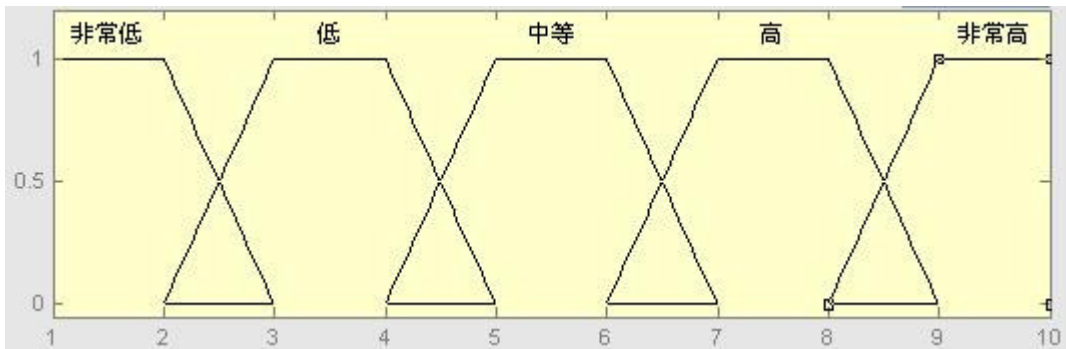


圖 3.9 難檢度歸屬函數圖

由於歸屬函數圖者皆相同，因此歸屬函數亦相同。以下列出每一尺度之歸屬函數如式3.2~3.6。

非常低:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & k < 1 \\ 1, & 1 \leq k \leq 2 \\ 3 - k, & 2 < k < 3 \\ 0, & k \geq 3 \end{cases} \dots\dots\dots \text{式(3.2)}$$

低:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 2 \\ k - 2, & 2 < k < 3 \\ 1, & 3 \leq k \leq 4 \\ 5 - k, & 4 < k < 5 \\ 0, & k \geq 5 \end{cases} \dots\dots\dots \text{式(3.3)}$$

中等:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 4 \\ k - 4, & 4 < k < 5 \\ 1, & 5 \leq k \leq 6 \\ 7 - k, & 6 < k < 7 \\ 0, & k \geq 7 \end{cases} \dots\dots\dots \text{式(3.4)}$$

高:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 6 \\ k - 6, & 6 < k < 7 \\ 1, & 7 \leq k \leq 8 \\ 9 - k, & 8 < k < 9 \\ 0, & k \geq 9 \end{cases} \dots\dots\dots \text{式(3.5)}$$

非常高:

$$u(k) = \begin{cases} 0, & k \leq 8 \\ k - 8, & 8 < k < 9 \\ 1, & 9 \leq k \leq 10 \\ 0, & k > 10 \end{cases} \dots\dots\dots \text{式(3.6)}$$

4. 將步驟2中所得 k_{ij} 值歸屬函數圖及式3.2~3.6中，即可得到各自的歸屬函數值。假若 k_{ij} 值對應到之函數不只一組，即將所得函數值皆列出。

以 $k_{11}=4.5$ 為例，對應之歸屬函數圖如圖3.10所示，並對應至式3.3及式3.4，結果如下：

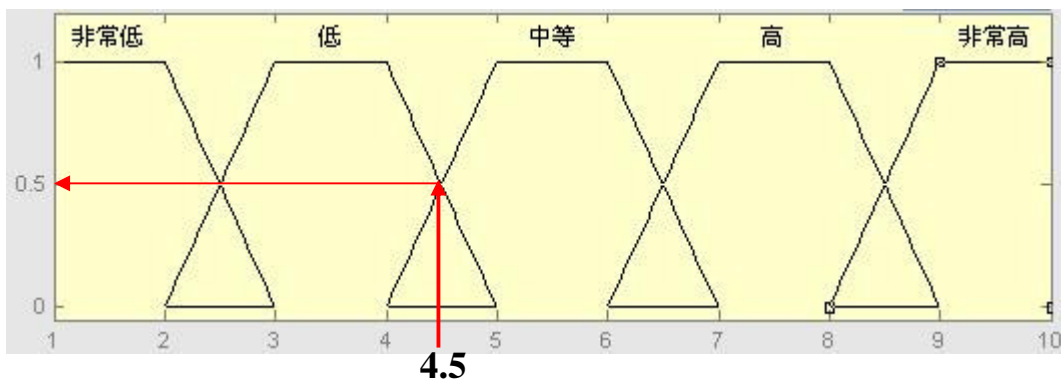


圖 3.10原因一之嚴重度歸屬函數圖

其歸屬函數值如下所示：

語意等級	歸屬函數值
低	0.5
中等	0.5

5. 建立推論規則庫

在模糊系統中,模糊歸屬函數及模糊規則庫為決定模糊推論系統性能的兩大主因,其設計之優劣對系統性能影響至深且鉅。設計者往往要借助嘗試與錯誤(Trial and Error)的經驗法則以試出較佳的規畫方式[2]。而規則庫一般是以”if...then”的方式作為輸入項與輸出項的表達方式。而本研究在嚴重度、發生度、難檢度皆各有5個語意等級，因此在規則庫方面總共有125條規則，輸出結果共分成不重要、低、中等、重要、很重要，共5種影響等級。規則庫的訂定方式需由此領域中的專家加以訂定而成[68]。本研究之規則庫詳見附錄。

例如：

if 嚴重度為”非常高”、發生度為”非常高”、難檢度為”非常高”
then 影響等級為”非常高”。

由規則庫的5種影響等級建立歸屬函數圖，如圖3.11所示，並將各等級對應之最大值列出如表3.11。

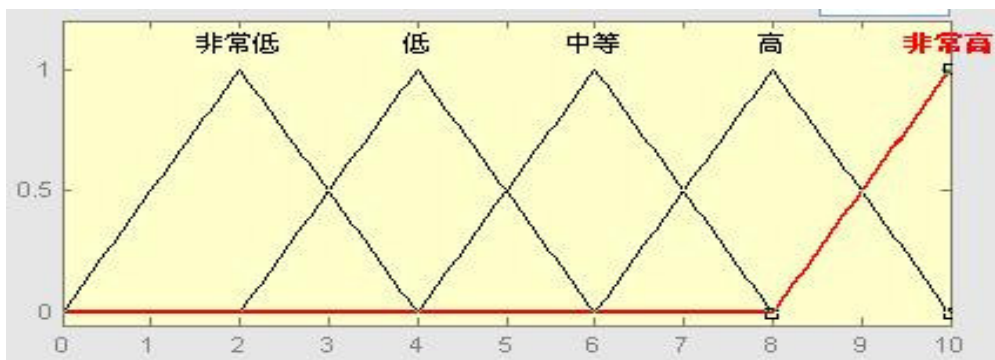


圖 3.11 規則庫輸出結果之歸屬函數圖

表 3.11 規則庫五種結論等級最大值表

等級	非常低	低	中等	高	非常高
最大值	2	4	6	8	10

6. 使用”Min-Max”理論找出各原因的模糊結論

”Min-Max”方法：

將步驟4得到的嚴重度、發生度、難檢度三個語意等級的歸屬程度取最小值，若有多個屬於同一等級的風險評估，則取這些結果中的最大值，並將結論歸屬程度設為”Degree of truth”[24][35]。

7. 將步驟6得到的模糊結論進行解模糊化，即可得各原因的模糊權重值

解模糊化的方式有許多種，一般常用的解模糊化方法有重心法

(center of gravity; COG)、平均值最大法(mean of maximum; MOM)和面積中

心法(center of Area ;COA)、最大加權平均法 (Weight mean of

maximum ;WMOM) [4]。

目前在各方法間並無好或不好之差別，只因各自的適用情況而有所差別。

而目前最大加權平均法為最常使用的方法[63][35]。由於最大加權平均法

(WMOM) 可滿足下列兩項解模糊化的策略：(1) 結果落在關鍵性順序的連續

範圍上；(2)規則評估要根據『真實程度』考慮相符的規則[35]。因此本研

究使用最大加權平均法(如式3.7)作為解模糊化的方法，以計算出各原因的

模糊風險權重明確值。

公式如下：

$$WMoM = \frac{\sum w_i X_i}{\sum w_i} \dots\dots\dots (式3.7)$$

w_i ：第 i th 歸屬函數的真實程度(Degree of truth)

x_i ：當第 i th 歸屬函數到達最大值時的假設值

$WMoM$ ：模糊風險權重明確值

STEP 9.依模糊風險權重值排序

根據 STEP 8 的計算可找出影響某製程問題中各項原因的模糊風險權

重值，在此步驟中依照由大到小進行排序的動作。

STEP 10. 對模糊風險權數值大者提出建議

根據STEP 9的結果，可以發現到權重值最大者，將是影響此製程問題最關鍵的原因，因此工程師可以將有限資源投注在此原因的探討與改善上，如此將可有效解決此製程問題。

STEP 11. 將案例納入資料庫

在解決問題之後，可將在解決此案例問題的過程中所產生的資料匯總至資料庫(FTP站)中，以提供之後相同獲類似問題之解決辦法參考。

第四章 案例驗證

由於本研究提出了一個製程問題分析模式，因此舉兩個製程問題為例以進行本研究模式之合理性說明。而在奈米碳管背光模組陰極板製程中，網印奈米碳管漿料製程與活化製程為良率最低的製程。因此，本章以這兩個製程中曾經發生過的問題為範例。運用本研究所建構出的分析模式，對製程問題進行系統性的分析，並將分析後所得到的結果與某奈米碳管背光模組廠商提供之結果作一比較，藉以說明本模式之合理性。在案例說明部分，為陰極板製程上曾經發生過的案例，分別是：(1)網印奈米碳管漿料製程中的對位性不佳問題；(2)活化製程中陰極線剝落的問題。

4.1 網印奈米碳管漿料製程問題

由於奈米碳管為奈米碳管背光模組之主要發射源，因此網印奈米碳管漿料製程為奈米碳管背光模組製程中最為關鍵的一環。在網印奈米碳管漿料製程中，最為關切的重點為，網印製程奈米碳管線的準直性及對位性。而本小節是針對網印奈米碳管漿料對位性效果不佳的問題點來加以分析。

所謂對位性不佳是指在網印後，奈米碳管線的位置與預定的位置不同，本研究依據圖 3.3 之分析架構圖，其分析過程共有 3 階段，11 步驟，分析過程如下：

4.1.1 網印對位性不佳問題分析

第一階段：故障樹分析

STEP 1. 製程問題定義：

依照表 3.1 之格式，並參考表 3.2~3.5，將對位性不佳製程問題作清楚的描述，如表 4.1。

簡要說明：

此板編號為 94120101，在民國 94 年 12 月 5 日早上 10 點 10 分時，操作人員 C302201 在執行網印奈米碳管漿料製程中的刮刀刮動奈米碳管漿料步驟後。透過奈米碳管網印機台上之顯微鏡發現奈米碳管線並非網印在原先預定的位置。

表 4.1 陰極板網印製程問題分析表

陰極板製程問題說明表			
問題現象: CNT 網印對位性不佳			
板號	製程	步驟	設備
94120101	網印奈米碳管漿料	刮刀刮動奈米碳管漿料	奈米碳管漿料網印機
參數	發生地區	發生時間	操作人員
刮刀速度為 10cm/s	黃光 PA2 區	9412051010	C302201
問題分類碼: 9412051010-07-05-02-201		備註:	

STEP 2.確定分析層次

參考表 3.6 的陰極板各階層次表發現，此問題是發生在第三階層中網印奈米碳管漿料的第六步驟，因此對於此步驟前的執行步驟以及在網印奈米碳管漿料製程之前製程均需詳細再檢視。

STEP 3.找尋案例資料庫

依照奈米碳管背光模組廠商所架設的資料庫(FTP 站)進行案例搜尋。

STEP 4.判斷此製程問題過去在相同條件下是否曾經發生

由於此問題並未在資料庫(FTP 站)中發現，因此進行第二階段。

第二階段: 故障樹圖、特性要因圖分析、FMEA

STEP 5.召開群組會議

在單站人員提供專案小組組長製程問題資訊後，由組長召開群組會議。

STEP 6.列出製程問題的失效效應、失效原因、檢查方式

1. 專案小組人員依照自身經驗列出此種製程問題造成的失效效應、失效原

因、建議解決方式，並在彙總後，匯入一張 FMEA 表格，如表 4.2 所示。

2. 將失效原因的連結關係繪製成故障樹分析圖，如圖 4.1。

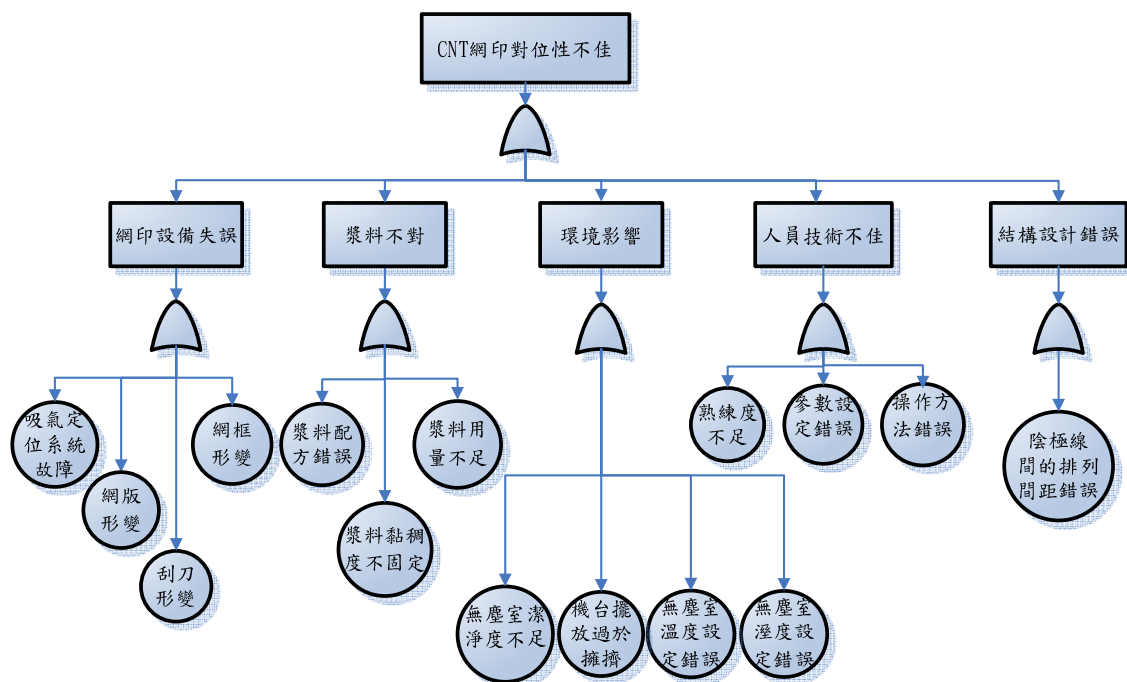


圖 4.1 網印問題故障樹

3. 將失效原因繪製成特性要因圖（魚骨圖），如圖 4.2 所示。

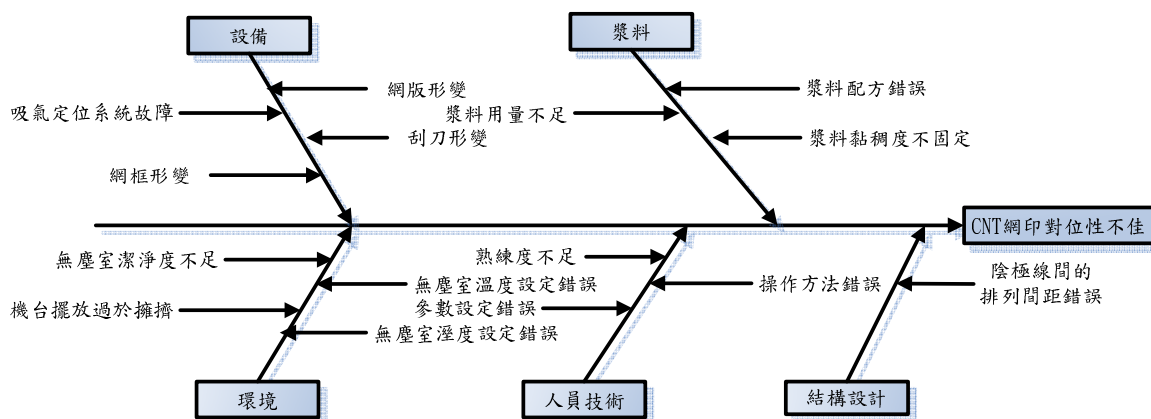
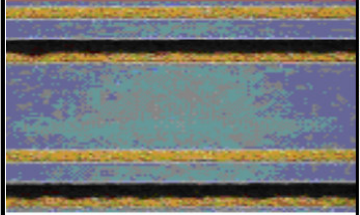


圖 4.2 網印問題特性要因圖

表 4.2 網印問題 FMEA 分析表

產品: CNT-BLU 陰極板 板號: 94120101 使用設備: 網印機 負責小組: 奈米碳管背光模組小組

問題名稱: CNT 網印對位性不佳 問題分類碼: 9412051010-07-05-02-201 問題發生日期: 94.12.05

製程名稱	製程目的	問題點描述	失效效應	失效主原因	失效子原因	解決對策	嚴重度	發生度	難檢度
網印	將 cnt 準確印製在 Cathode Line 中央	<p>網印結果偏上方，並非印在預設的位置上</p> 	場發射不均勻並導致面板均勻度不佳	設備	網版形變	請網版公司修正或更換網版			
					網框形變	請網版公司修正			
					吸氣定位系統故障	請設備供應商解決			
					刮刀形變	網印前檢查，如有缺口或扭曲立即更換			
				漿料	漿料黏稠度不固定	使用黏度計先行測試，並在一定時間內完成網印作業，避免漿料黏度因時間而改變			
					漿料用量不足	先行預估網印次數，以調整漿料使用量			
					漿料配方錯誤	以新材料取代			
				環境	無塵室溫度設定錯誤	調定網印製程適用溫度			
					無塵室溼度設定錯誤	調定網印製程適用濕度			
					無塵室潔淨度不足	管制不必要人員出入			
					機台擺放過於擁擠	將非黃光區設備及無用設備移出黃光區			
				人員技術	操作方法錯誤	參考使用手冊			
					參數設定錯誤	按下啟動鈕前，再檢查一次			
					熟練度不足	參考使用手冊			
				結構設計	Cathode Line 間的排列間距錯誤	以模擬軟體作修正			

STEP 7.專案人員針對各原因對網印對位性不佳問題的嚴重度、發生度、難檢度作評分，所表 4.3 所示。

表 4.3 網印對位性不佳之嚴重度、發生度、難檢度評分表

網印問題原因	工程師A			工程師B			工程師C			工程師D			工程師E		
	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度
網版形變	10	9	2	9	8	2	8	8	2	10	10	2	8	7	6
網框形變	4	4	3	8	5	2	6	5	3	9	6	4	8	7	2
吸氣定位系統故障	3	2	5	7	2	2	4	5	2	10	1	1	8	2	1
刮刀形變	4	7	4	5	2	2	3	2	2	9	5	1	7	7	2
漿料黏稠度不固定	7	4	8	8	2	2	2	2	2	10	2	2	8	5	7
漿料用量不足	3	5	3	2	5	2	4	3	3	8	2	2	6	6	1
漿料配方錯誤	3	5	3	8	2	2	8	2	2	8	3	4	6	3	4
無塵室溫度設定錯誤	7	3	3	3	2	2	3	3	8	4	1	2	7	2	1
無塵室溼度設定錯誤	7	3	3	3	2	2	3	3	8	4	1	2	7	2	1
無塵室潔淨度不足	2	2	2	2	6	2	2	6	2	3	9	4	2	8	1
機台擺放過於擁擠	2	2	2	2	2	2	3	7	3	4	8	5	1	1	1
操作方法錯誤	8	7	5	7	2	2	9	2	1	9	2	5	8	6	2
參數設定錯誤	6	5	5	8	3	2	8	5	2	7	5	4	7	7	2
熟練度不足	6	5	5	8	5	2	8	5	2	8	3	3	8	4	2
陰極線間的排列間距錯誤	6	5	4	8	2	2	8	3	1	7	5	4	7	4	2

第三階段:應用模糊德菲法及模糊推論計算

STEP 8.計算各原因造成的模糊風險權重值

1. 依據表 4.3 計算每一原因嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數，如表 4.4 所示。

表 4.4 每一原因嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數

	嚴重度			發生度			難檢度		
	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數
網印對位性不佳									
網版形變	8	10	8.96	7	10	8.34	2	6	2.49
網框形變	4	9	6.73	4	7	5.30	2	4	2.70
吸氣定位系統故障	3	10	5.83	1	5	2.09	1	5	1.82
刮刀形變	3	9	5.19	2	7	3.97	1	4	2.00
漿料黏稠度不固定	2	10	6.17	2	5	2.76	2	8	3.39
漿料用量不足	2	8	4.10	2	6	3.90	1	3	2.05
漿料配方錯誤	3	8	6.21	2	5	2.83	2	4	2.86
無塵室溫度設定錯誤	3	7	4.46	1	3	2.05	1	8	2.49
無塵室溼度設定錯誤	3	7	4.46	1	3	2.05	1	8	2.49
無塵室潔淨度不足	2	3	2.17	2	9	5.53	1	4	2.00
機台擺放過於擁擠	1	4	2.17	1	8	2.95	1	5	2.27
操作方法錯誤	7	9	8.16	2	7	3.20	1	5	2.51
參數設定錯誤	6	8	7.16	3	7	4.83	2	5	2.76
熟練度不足	6	8	7.55	3	5	4.32	2	5	2.61
陰極線間的排列間距錯誤	6	8	7.16	2	5	3.59	1.00	4.00	2.30

- 將表 4.4 內嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數利用式 3.1 轉換成為單一值，如表 4.5 所示。

表 4.5 網印問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值

	嚴重度	發生度	難檢度
網印對位性不佳	單一值	單一值	單一值
網版形變	9.0	8.4	3.5
網框形變	6.6	5.4	2.9
吸氣定位系統故障	6.3	2.7	2.6
刮刀形變	5.7	4.3	2.3
漿料黏稠度不固定	6.1	3.3	4.5
漿料用量不足	4.7	4.0	2.0
漿料配方錯誤	5.7	3.3	3.0
無塵室溫度設定錯誤	4.8	2.0	3.8
無塵室溼度設定錯誤	4.8	2.0	3.8
無塵室潔淨度不足	2.4	5.5	2.3
機台擺放過於擁擠	2.4	4.0	2.8
操作方法錯誤	8.1	4.1	2.8
參數設定錯誤	7.1	4.9	3.3
熟練度不足	7.2	4.1	3.2
陰極線間的排列間距錯誤	7.1	3.5	2.4

- 將表 4.5 中之單一值對應圖 3.7~3.9 並導入式 3.2~3.6 後，可得到各原因之歸屬函數值，如表 4.6 所示。
- 經由表 4.6 找出各原因之語意等級所有組合，並利用規則庫(見附錄)導出推論結果，再參照表 3.11 找出推論結果等級之最大值。將上述組合結果表列如表 4.7。
- 使用”Min-Max”法找出各原因之模糊推論值，如表 4.8。
先將每一原因所得到的歸屬函數值取最小值，再依推論結果分別取最大值。
- 將表 4.8 之結果導入式 3.7 中進行解模糊化動作，即可得到各原因之模糊權重風險值，如表 4.9 所示。

表 4.6 網印問題各原因之語意等級及歸屬函數值

網印對位性不佳	嚴重度		發生度		難檢度	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值
網版形變	非常高	1	非常高	0.4	低	1
			高	1		
網框形變	高	0.6	中等	1	低	0.9
	中等	0.4			非常低	0.1
吸氣定位系統故障	高	0.3	低	0.7	低	0.6
	中等	0.7	非常低	0.3	非常低	0.4
刮刀形變	中等	1	中等	0.3	低	0.3
			低	0.7	非常低	0.7
漿料黏稠度不固定	高	0.1	低	1	中等	0.5
	中等	0.9			低	0.5
漿料用量不足	中等	0.7	低	1	非常低	1
	低	0.3				
漿料配方錯誤	中等	1	低	1	低	1
無塵室溫度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1
	低	0.2				
無塵室溼度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1
	低	0.2				
無塵室潔淨度不足	非常低	0.4	中等	1	低	0.3
	低	0.6			非常低	0.7
機台擺放過於擁擠	低	0.4	低	1	低	0.8
	非常低	0.6			非常低	0.2
操作方法錯誤	非常高	0.1	中等	0.1	低	0.8
	高	0.9	低	0.9	非常低	0.2
參數設定錯誤	高	1	中等	0.9	低	1
			低	0.1		
熟練度不足	高	1	中等	0.1	低	1
			低	0.9		
陰極線間的排列間距錯誤	高	1	低	1	低	0.4
					非常低	0.6

表 4.7 各原因之各種推論結果

網印對位性不佳	嚴重度		發生度		難檢度		規則庫	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	推論結果	推論結果最大值
網版形變	非常高	1	非常高	0.4	低	1	非常高	10
	非常高	1	高	0.6	低	1	非常高	10
網框形變	高	0.6	中等	1	低	0.9	中等	6
	高	0.6	中等	1	非常低	0.1	中等	6
	中等	0.4	中等	1	低	0.9	低	4
	中等	0.4	中等	1	非常低	0.1	低	4
吸氣定位系統故障	高	0.3	低	0.7	低	0.6	低	4
	高	0.3	低	0.7	非常低	0.4	低	4
	高	0.3	非常低	0.3	低	0.6	低	4
	中等	0.7	低	0.7	低	0.6	低	4
	高	0.3	非常低	0.3	非常低	0.4	非常低	2
	中等	0.7	低	0.7	非常低	0.4	非常低	2
	中等	0.7	非常低	0.3	低	0.6	非常低	2
刮刀形變	中等	1	中等	0.3	低	0.3	低	4
	中等	1	中等	0.3	非常低	0.7	低	4
	中等	1	低	0.7	低	0.3	低	4
	中等	1	低	0.7	非常低	0.7	非常低	2
漿料黏稠度不固定	高	0.1	低	1	中等	0.5	中等	6
	高	0.1	低	1	低	0.5	低	4
	中等	0.9	低	1	中等	0.5	低	4
	中等	0.9	低	1	低	0.5	低	4
漿料用量不足	中等	0.7	低	1	非常低	1	非常低	2
	低	0.3	低	1	非常低	1	非常低	2
漿料配方錯誤	中等	1	低	1	低	1	低	4
無塵室溫度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1	非常低	2
	低	0.2	非常低	1	低	1	非常低	2
無塵室溼度設定錯誤	中等	0.8	非常低	1	低	1	非常低	2
	低	0.2	非常低	1	低	1	非常低	2
無塵室潔淨度不足	低	0.6	中等	1	非常低	0.7	非常低	2
	非常低	0.4	中等	1	非常低	0.7	非常低	2
	非常低	0.4	中等	1	低	0.3	非常低	2
	低	0.6	中等	1	低	0.3	低	4
機台擺放過於擁擠	低	0.4	低	1	低	0.8	非常低	2
	低	0.4	低	1	非常低	0.2	非常低	2
	非常低	0.6	低	1	低	0.8	非常低	2
	非常低	0.6	低	1	非常低	0.2	非常低	2
操作方法錯誤	非常高	0.1	中等	0.1	低	0.8	高	8
	非常高	0.1	中等	0.1	非常低	0.2	中等	6
	非常高	0.1	低	0.9	低	0.8	中等	6
	非常高	0.1	低	0.9	非常低	0.2	中等	6
	高	0.9	中等	0.1	低	0.8	中等	6
	高	0.9	中等	0.1	非常低	0.2	中等	6
	高	0.9	低	0.9	低	0.8	低	4
參數設定錯誤	高	1	中等	0.9	低	1	中等	6
	高	1	低	0.1	低	1	低	4
熟練度不足	高	1	中等	0.1	低	1	中等	6
	高	1	低	0.9	低	1	低	4
陰極線間的排列間距錯誤	高	1	低	1	低	0.4	低	4
	高	1	低	1	非常低	0.6	低	4

表 4.8 各原因之” Min-Max” 值

網印對位性不佳	嚴重度	發生度	難檢度	規則庫		Min-Max	
	歸屬函 數值	歸屬函 數值	歸屬函數 值	推論結 果	推論結果 最大值	Min	Max
網版形變	1	0.4	1	非常高	10	0.4	0.6
	1	0.6	1	非常高	10	0.6	
網框形變	0.6	1	0.9	中等	6	0.6	0.6
	0.6	1	0.1	中等	6	0.1	
	0.4	1	0.9	低	4	0.4	0.4
	0.4	1	0.1	低	4	0.1	
吸氣定位系統故障	0.3	0.7	0.6	低	4	0.3	0.6
	0.3	0.7	0.4	低	4	0.3	
	0.3	0.3	0.6	低	4	0.3	
	0.7	0.7	0.6	低	4	0.6	
	0.3	0.3	0.4	非常低	2	0.3	0.4
	0.7	0.7	0.4	非常低	2	0.4	
	0.7	0.3	0.6	非常低	2	0.3	
	0.7	0.3	0.4	非常低	2	0.3	
刮刀形變	1	0.3	0.3	低	4	0.3	0.3
	1	0.3	0.7	低	4	0.3	
	1	0.7	0.3	低	4	0.3	
	1	0.7	0.7	非常低	2	0.7	0.7
漿料黏稠度不固定	0.1	1	0.5	中等	6	0.1	0.1
	0.1	1	0.5	低	4	0.1	0.5
	0.9	1	0.5	低	4	0.5	
	0.9	1	0.5	低	4	0.5	
漿料用量不足	0.7	1	1	非常低	2	0.7	0.7
	0.3	1	1	非常低	2	0.3	

下頁繼續

表4.8 (繼續)

網印對位性不佳	嚴重度	發生度	難檢度	規則庫		Min-Max	
	歸屬函 數值	歸屬函 數值	歸屬函數 值	推論結 果	推論結果 最大值	Min	Max
漿料配方錯誤	1	1	1	低	4	1	1
無塵室溫度設定錯誤	0.8	1	1	非常低	2	0.8	0.8
	0.2	1	1	非常低	2	0.2	
無塵室溼度設定錯誤	0.8	1	1	非常低	2	0.8	0.8
	0.2	1	1	非常低	2	0.2	
無塵室潔淨度不足	0.6	1	0.7	非常低	2	0.6	0.6
	0.4	1	0.7	非常低	2	0.4	
	0.4	1	0.3	非常低	2	0.3	
	0.6	1	0.3	低	4	0.3	0.3
機台擺放過於擁擠	0.4	1	0.8	非常低	2	0.4	0.6
	0.4	1	0.2	非常低	2	0.2	
	0.6	1	0.8	非常低	2	0.6	
	0.6	1	0.2	非常低	2	0.2	
操作方法錯誤	0.1	0.1	0.8	高	8	0.1	0.1
	0.1	0.1	0.2	中等	6	0.1	0.1
	0.1	0.9	0.8	中等	6	0.1	
	0.1	0.9	0.2	中等	6	0.1	
	0.9	0.1	0.8	中等	6	0.1	
	0.9	0.1	0.2	中等	6	0.1	
	0.9	0.9	0.8	低	4	0.8	0.8
	0.9	0.9	0.2	低	4	0.2	
參數設定錯誤	1	0.9	1	中等	6	0.9	0.9
	1	0.1	1	低	4	0.1	0.1
熟練度不足	1	0.1	1	中等	6	0.1	0.1
	1	0.9	1	低	4	0.9	0.9
陰極線間的排列間距 錯誤	1	1	0.4	低	4	0.4	0.6
	1	1	0.6	低	4	0.6	

表 4.9 各原因之模糊權重風險值

網印對位性不佳	規則庫		Min-Max		模糊權重 風險值
	推論結果	推論結果 最大值	Min	Max	WMOM
網版形變	非常高	10	0.4	0.6	10
	非常高	10	0.6		
網框形變	中等	6	0.6	0.6	5.2
	中等	6	0.1		
	低	4	0.4	0.4	
	低	4	0.1		
吸氣定位系統故障	低	4	0.3	0.6	3.2
	低	4	0.3		
	低	4	0.3		
	低	4	0.6		
	非常低	2	0.3	0.4	
	非常低	2	0.4		
	非常低	2	0.3		
	非常低	2	0.3		
刮刀形變	低	4	0.3	0.3	2.6
	低	4	0.3		
	低	4	0.3		
	非常低	2	0.7	0.7	
漿料黏稠度不固定	中等	6	0.1	0.1	4.33
	低	4	0.1	0.5	
	低	4	0.5		
	低	4	0.5		
漿料配方錯誤	低	4	1	1	4
無塵室溫度設定錯誤	非常低	2	0.8	0.8	1.6
	非常低	2	0.2		

下頁繼續

表4.9 (繼續)

網印對位性不佳	規則庫		Min-Max		模糊權重 風險值
	推論結果	推論結果 最大值	Min	Max	WMOM
無塵室溼度設定錯誤	非常低	2	0.8	0.8	2
	非常低	2	0.2		
無塵室潔淨度不足	非常低	2	0.6	0.6	2.4
	非常低	2	0.4		
	非常低	2	0.3		
	低	4	0.3	0.3	
機台擺放過於擁擠	非常低	2	0.4	0.6	2
	非常低	2	0.2		
	非常低	2	0.6		
	非常低	2	0.2		
操作方法錯誤	高	8	0.1	0.1	4.6
	中等	6	0.1	0.1	
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	中等	6	0.1		
	低	4	0.8	0.8	
	低	4	0.2		
參數設定錯誤	中等	6	0.9	0.9	5.8
	低	4	0.1	0.1	
熟練度不足	中等	6	0.1	0.1	4.2
	低	4	0.9	0.9	
陰極線間的排列間距 錯誤	低	4	0.4	0.6	4
	低	4	0.6		

STEP 9.依模糊權重值排序

將表4.9中所得到的模糊權重風險值由大到小進行排序，即可得到影響網印對位性不佳問題之關鍵影響因素，如表4.10所示。我們可得知「網版形變」、「參數設定錯誤」、「網框形變」、「操作方法錯誤」、「漿料黏稠度不固定」為前五大影響原因，可針對此五項進行改善的工作。

表 4.10 網印對位性不佳原因排序

網印對位性不佳原因	WMOM	排序	網印對位性不佳原因	WMOM	排序
網版形變	10	1	吸氣定位系統故障	3.2	9
參數設定錯誤	5.8	2	刮刀形變	2.6	10
網框形變	5.2	3	無塵室潔淨度不足	2.4	11
操作方法錯誤	4.6	4	機台擺放過於擁擠	2	12
漿料黏稠度不固定	4.33	5	無塵室濕度設定錯誤	2	13
熟練度不足	4.2	6	無塵室溫度設定錯誤	1.6	14
漿料配方錯誤	4	7	漿料用量不足	1.4	15
陰極線間的排列間距錯誤	4	8			

STEP 10. 對模糊風險權數值大者提出建議

在找出前五大原因之後，可利用表4.2中此五大原因的解決對策進行改善，如此將可達成在有限的資源下，進行關鍵性的改善。

STEP 11. 將案例納入資料庫

將此案例所蒐集之資料、圖形、表格納入資料庫(FTP站)當中，以作為後續問題解決之參考。

4.1.2 結果說明

藉由實地訪談某奈米碳管背光模組研發單位，發現影響此製程問題之原因，依照關鍵性排序為「網版形變」、「網框形變」、「參數設定錯誤」、「操作方法錯誤」、「刮刀形變」。而我們將此結果與表4.10所得到之五大關鍵影響原因進行比對之後，可得到下列結果。

1. 廠商提供之製程問題影響原因與使用本模式所得到之預測原因在互相比較之後，我們可以發現只有第五項的「刮刀形變」與「漿料黏稠度不固定」是不同的，其他皆為相同。此結果代表本模式雖然不能完全準確找出問題發生的所有關鍵原因，但使用本模式作為分析方法所產生之結果仍可提供工程師作為參考之用。
2. 廠商提供之製程問題影響原因之第二項的「網框形變」、第三項的「參數設定錯誤」與本研究的排序雖有互換的現象。但因為此兩項原因都是在關鍵原因排名的前五名內，所以都是被列為需進行快速改善的目標，而順序之前後並不會造成顯著性的影響。

3. 由以上結果，我們可以知道，若將本模式應用在分析網印奈米碳管漿料製程之製程問題上時，可得到相近於廠商在研發此製程問題時的結果。所以，本研究所提出之研究模式確實可以提供研發人員在解決製程問題時之參考。

4.2 活化製程問題

由於活化製程的主要目的是使奈米碳管在燒結製程後可以裸露出表面，增強場發射的特性，因此活化製程將會直接影響到此陰極板在發光均勻度上的表現。而活化製程在執行上與其他製程有相當大的差別性，因為活化製程是先以壓膜機將膠膜覆蓋至陰極板上，再以2人為一組將膠膜撕開。因此在以人工撕開膠膜的製程部分將較容易產生問題。

本小節是針對活化製程後，陰極線剝落的問題點來加以分析。所謂陰極線剝落是指在撕開膠膜時，將原本固著於陰極板的陰極線撕離開陰極板。本研究依據圖3.3之分析架構圖，其分析過程共有3階段，11步驟，分析過程如下：

4.2.1 陰極線剝落問題分析

第一階段:故障樹分析

STEP 1.製程問題定義:

依照表 3.1 之格式，並參考表 3.2~3.5，將陰極線剝落製程問題作清楚的描述，如表 4.11。

簡要說明:

此板編號為 95010203，在民國 95 年 1 月 12 日下午 3 點整，操作人員 C302202 在執行活化製程中的壓膜後用手撕開步驟後。以肉眼觀察到陰極線已撕離陰極板表面。

表 4.11 陰極板活化製程問題分析表

陰極板製程問題說明表			
問題現象: 陰極線剝落			
板號	製程	步驟	設備
95010203	活化	壓膜後用手撕開	壓膜機
參數	發生地區	發生時間	操作人員
撕開速度約為 1cm/s	黃光 PA2 區	9501121500	C302202
問題分類碼: 9501121500-09-07-02-202		備註:	

STEP 2.確定分析層次

參考表 3.6 的陰極板各階層次表發現，此問題是發生在第三階層中活化製程的第 4 步驟，因此對於此步驟前的執行步驟以及在活化製程之前製程均需詳細再檢視。

STEP 3.找尋案例資料庫

依照奈米碳管背光模組廠商所架設的資料庫(FTP 站)進行案例搜尋。

STEP 4.判斷此製程問題過去在相同條件下是否曾經發生

由於此問題並未在資料庫(FTP 站)中發現，因此進行第二階段。

第二階段: 故障樹圖、特性要因圖分析、FMEA

STEP 5.召開群組會議

在單站人員提供專案小組組長製程問題資訊後，由組長召開群組會議。

STEP 6.列出製程問題的失效效應、失效原因、檢查方式

1. 專案小組人員依照自身經驗列出此種製程問題造成的失效效應、失效原因、建議解決方式，並在匯總後，匯入一張 FMEA 表格，如表 4.12 所

示。

2. 將失效原因的連結關係繪製成故障樹分析圖，如圖 4.3。

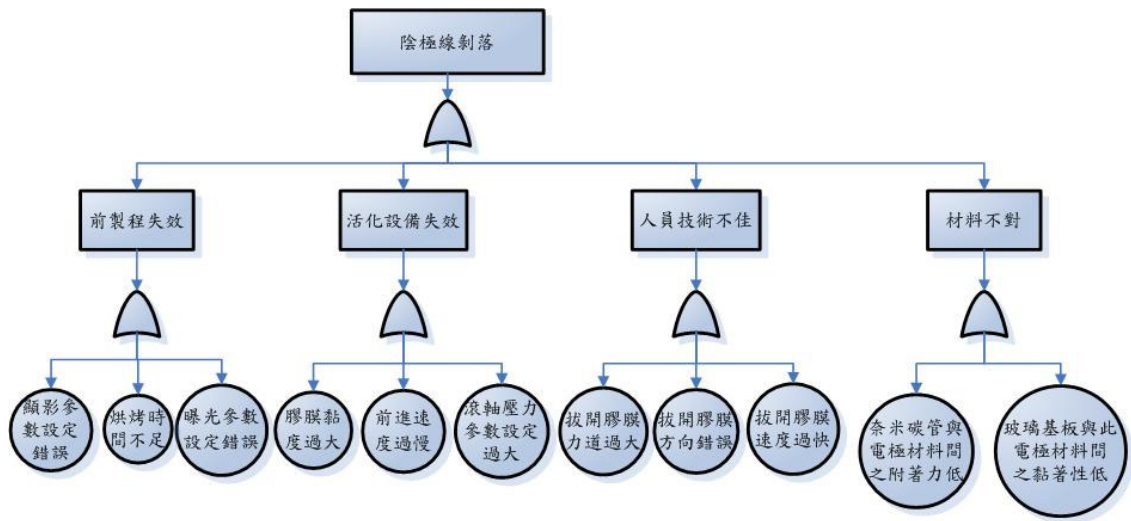


圖 4.3 活化問題故障樹

表 4.12 活化問題 FMEA 分析表

產品: CNT-BLU 陰極板 板號: 95010203 使用設備: 壓膜機 負責小組: GROUP 2

問題名稱: 陰極線剝落 問題分類碼: 9501121500-09-07-02-202 問題發生日期: 95.1.12

製程名稱	製程目的	問題點描述	失效效應	失效主原因	失效子原因	解決對策	嚴重度	發生度	難檢度
活化	將奈米碳管裸露出來並降低藏氣量	 陰極線及開極線被拉開造成剝落現象	完全無法進行後續製程，並造成此片陰極版報廢	前製程	曝光參數設定錯誤	調整曝光能量			
					顯影參數設定錯誤	檢查顯影液之濃度, 調整顯影液噴灑次數			
					烘烤時間不足	確實掌握烘烤時間			
				活化設備	滾軸壓力參數設定過大	將壓力降低			
					膠膜黏度過大	更換更低黏度之膠膜			
					前進速度過慢	調整至正常速度			
				人員技術	拔開膠膜力道過大	將力道放輕，或換另一人進行拔開膠膜的動作			
					拔開膠膜速度過快	放慢速度, 盡量以等速拔開膠膜			
					拔開膠膜方向錯誤	換方向拔開膠膜，並作保護措施			
				材料	奈米碳管與電極材料間之附着力低	更換他種電極材料			
玻璃基板與此電極材料間之黏著性低	更換他種玻璃基板								

3. 將失效原因繪製成特性要因圖（魚骨圖），如圖 4.4 所示。

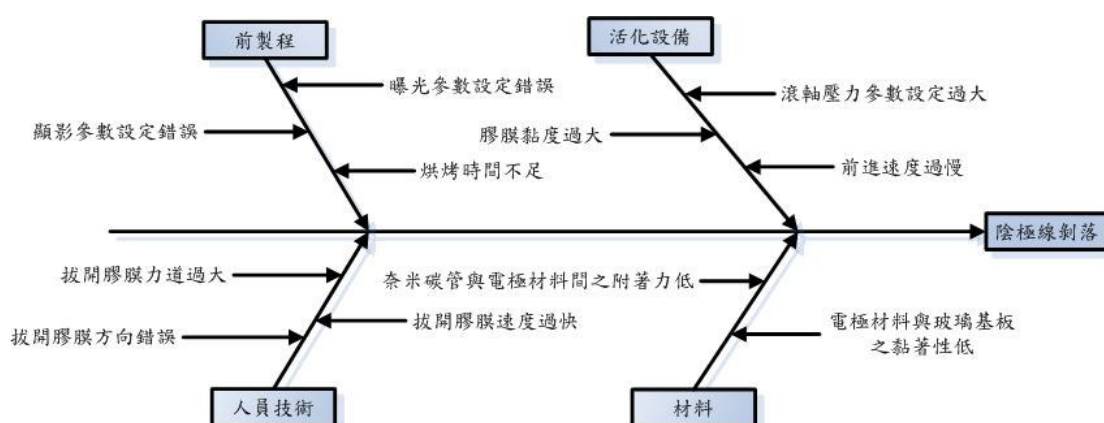


圖 4.4 陰極線剝落特性要因圖

STEP 7.專案人員針對各原因對活化陰極線剝落問題的嚴重度、發生度、難檢度作評分，所表 4.13 所示。

表 4.13 活化問題之嚴重度、發生度、難檢度評分表

	工程師A			工程師B			工程師C			工程師D			工程師E		
	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度	嚴重度	發生度	難檢度
陰極線剝落															
曝光參數設定錯誤	3	2	7	8	5	2	7	6	2	5	3	8	6	3	3
顯影參數設定錯誤	9	6	5	8	2	2	2	2	8	8	3	6	8	2	2
烘烤時間不足	7	4	8	6	3	4	8	1	1	8	1	1	8	5	7
滾軸壓力參數設定過大	3	2	9	7	6	2	3	2	2	8	3	8	7	3	3
膠膜黏度過大	1	2	9	2	2	2	4	4	2	7	3	8	8	2	1
前進速度過慢	3	2	9	2	2	1	4	5	2	4	1	2	6	2	1
拔開膠膜力道過大	8	4	8	8	2	9	5	2	2	5	2	2	9	5	2
拔開膠膜速度過快	3	2	7	8	3	2	7	6	2	5	3	8	3	3	2
拔開膠膜方向錯誤	3	2	7	8	5	4	6	4	9	4	5	9	2	2	8
電極材料與奈米碳管之附着力低	8	6	5	8	2	2	7	7	2	8	3	6	8	2	2
電極材料與玻璃基板之黏著性低	9	4	8	8	2	2	6	2	2	6	2	2	9	3	2

第三階段:應用模糊德菲法及模糊推論計算

STEP 8.計算各原因造成的模糊風險權重值

1. 依據表4.13計算每一原因嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數，如表4.14所示。
2. 將表 4.14 內嚴重度、發生度、難檢度之最小值、最大值、幾何平均數利用式 3.1 轉換成為單一值，如表 4.15 所示。
3. 將表 4.15 中之單一值對應圖 3.7~3.9 並導入式 3.2~3.6 後，可得到各原因之歸屬函數值，如表 4.16 所示。
4. 經由表 4.16 找出各原因之語意等級所有組合，並利用規則庫(見附錄)導出推論結果，再參照表 3.11 找出推論結果等級之最大值。將上述組合結果表列如表 4.17。
5. 使用”Min-Max”法找出各原因之模糊推論值，如表 4.18。先將每一原因所得到的歸屬函數值取最小值，再依推論結果分別取最大值。
6. 將表 4.18 之結果導入式 3.7 中進行解模糊化動作，即可得到各原因之模糊權重風險值，如表 4.19 所示。

表 4.14 活化問題各原因之最小值、最大值、幾何平均數

陰極線剝落	嚴重度			發生度			難檢度		
	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數	最小值	最大值	幾何平均數
曝光參數設定錯誤	3	8	5.50	2	6	3.52	2	8	3.68
顯影參數設定錯誤	2	9	6.21	2	6	2.70	2	8	3.95
烘烤時間不足	6	8	7.35	1	5	2.27	1	8	2.95
滾軸壓力參數設定過大	3	8	5.12	2	6	2.93	2	9	3.87
膠膜黏度過大	1	8	3.39	2	4	2.49	1	9	3.10
前進速度過慢	2	6	3.57	1	5	2.09	1	9	2.05
拔開膠膜力道過大	5	9	6.79	2	5	2.76	2	9	3.57
拔開膠膜速度過快	3	8	4.79	2	6	3.18	2	8	3.39
拔開膠膜方向錯誤	2	8	4.10	2	5	3.31	4	9	7.11
電極材料與奈米碳管之附著力低	7	8	7.79	2	7	3.47	2	6	2.99
電極材料與玻璃基板之黏著性低	6	9	7.47	2	4	2.49	2	8	2.64

表 4.15 活化問題嚴重度、發生度、難檢度之單一值

陰極線剝落	嚴重度	發生度	難檢度
	單一值	單一值	單一值
曝光參數設定錯誤	5.5	3.8	4.6
顯影參數設定錯誤	5.7	3.6	4.6
烘烤時間不足	7.1	2.8	4.0
滾軸壓力參數設定過大	5.4	3.6	5.0
膠膜黏度過大	4.1	2.8	4.4
前進速度過慢	3.9	2.7	4.0
拔開膠膜力道過大	6.9	3.3	4.9
拔開膠膜速度過快	5.3	3.7	4.5
拔開膠膜方向錯誤	4.7	3.4	6.7
電極材料與奈米碳管之附著力低	7.6	4.2	3.7
電極材料與玻璃基板之黏著性低	7.5	2.8	4.2

表 4.16 活化問題各原因之語意等級及歸屬函數值

陰極線剝落	嚴重度		發生度		難檢度	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值
曝光參數設定錯誤	中等	1	低	1	中等	0.6
			低		低	0.4
顯影參數設定錯誤	中等	1	低	1	中等	0.6
			低		低	0.4
烘烤時間不足	高	1	低	0.8	低	1
			非常低	0.2		
滾軸壓力參數設定過大	中等	1	低	1	中等	1
膠膜黏度過大	中等	0.1	低	0.8	中等	0.4
	低	0.9	非常低	0.2	低	0.6
前進速度過慢	低	1	低	0.7	低	1
			非常低	0.3		
拔開膠膜力道過大	高	0.9	低	1	中等	0.9
	中等	0.1			低	0.1
拔開膠膜速度過快	中等	1	低	1	中等	0.5
					低	0.5
拔開膠膜方向錯誤	中等	0.7	低	1	高	0.7
	低	0.3			中等	0.3
電極材料與奈米碳管之附著力低	高	1	中等	0.2	低	1
			低	0.8		
電極材料與玻璃基板之黏著性低	高	1	低	0.8	低	0.2
			非常低	0.2	中等	0.8

表 4.17 各原因之各種推論結果

陰極線剝落	嚴重度		發生度		難檢度		規則庫	
	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	語意等級	歸屬函數值	推論結果	推論結果最大值
曝光參數設定錯誤	中等	1	低	1	中等	0.6	低	4
	中等	1	低	1	低	0.4	低	4
顯影參數設定錯誤	中等	1	低	1	中等	0.6	低	4
	中等	1	低	1	低	0.4	低	4
烘烤時間不足	高	1	低	0.8	低	1	低	4
	高	1	非常低	0.2	低	1	低	4
滾軸壓力參數設定過大	中等	1	低	1	中等	1	低	4
膠膜黏度過大	中等	0.1	低	0.8	中等	0.4	低	4
	中等	0.1	低	0.8	低	0.6	低	4
	中等	0.1	非常低	0.2	中等	0.4	低	4
	低	0.9	低	0.8	中等	0.4	低	4
	中等	0.1	非常低	0.2	低	0.6	非常低	2
	低	0.9	低	0.8	低	0.6	非常低	2
	低	0.9	非常低	0.2	中等	0.4	非常低	2
	低	0.9	非常低	0.2	低	0.6	非常低	2
前進速度過慢	低	1	低	0.7	低	1	非常低	2
	低	1	非常低	0.3	低	1	非常低	2
拔開膠膜力道過大	高	0.9	低	1	中等	0.9	中等	6
	高	0.9	低	1	低	0.1	低	4
	中等	1	低	1	中等	0.9	低	4
	中等	1	低	1	低	0.1	低	4
拔開膠膜速度過快	中等	1	低	1	中等	0.5	低	4
	中等	1	低	1	低	0.5	低	4
拔開膠膜方向錯誤	中等	0.7	低	1	高	0.7	中等	6
	中等	0.7	低	1	中等	0.3	低	4
	低	0.3	低	1	高	0.7	低	4
	低	0.3	低	1	中等	0.3	低	4
電極材料與奈米碳管之附着力低	高	1	中等	0.2	低	1	中等	6
	高	1	低	0.8	低	1	低	4
電極材料與玻璃基板之黏著性低	高	1	低	0.8	中等	0.8	中等	6
	高	1	低	0.8	低	0.2	低	4
	高	1	非常低	0.2	低	0.2	低	4
	高	1	非常低	0.2	中等	0.8	低	4

表 4.18 各原因之”Min-Max”值

陰極線剝落	嚴重度	發生度	難檢度	規則庫		Min-Max	
	歸屬函 數值	歸屬函 數值	歸屬函 數值	推論結果	推論結果 最大值	MIN	MAX
曝光參數設定錯誤	1	1	0.6	低	4	0.6	0.6
	1	1	0.4	低	4	0.4	
顯影參數設定錯誤	1	1	0.6	低	4	0.6	0.6
	1	1	0.4	低	4	0.4	
烘烤時間不足	1	0.8	1	低	4	0.8	0.8
	1	0.2	1	低	4	0.2	
滾軸壓力參數設定過大	1	1	1	低	4	1	1
膠膜黏度過大	0.1	0.8	0.4	低	4	0.1	0.4
	0.1	0.8	0.6	低	4	0.1	
	0.1	0.2	0.4	低	4	0.1	
	0.9	0.8	0.4	低	4	0.4	
	0.1	0.2	0.6	非常低	2	0.1	0.6
	0.9	0.8	0.6	非常低	2	0.6	
	0.9	0.2	0.4	非常低	2	0.2	
	0.9	0.2	0.6	非常低	2	0.2	
前進速度過慢	1	0.7	1	非常低	2	0.7	0.7
	1	0.3	1	非常低	2	0.3	
拔開膠膜力道過大	0.9	1	0.9	中等	6	0.9	0.9
	0.9	1	0.1	低	4	0.1	
	1	1	0.9	低	4	0.9	
	1	1	0.1	低	4	0.1	
拔開膠膜速度過快	1	1	0.5	低	4	0.5	0.5
	1	1	0.5	低	4	0.5	
拔開膠膜方向錯誤	0.7	1	0.7	中等	6	0.7	0.7
	0.7	1	0.3	低	4	0.3	
	0.3	1	0.7	低	4	0.3	
	0.3	1	0.3	低	4	0.3	
電極材料與奈米碳管之附著力低	1	0.2	1	中等	6	0.2	0.2
	1	0.8	1	低	4	0.8	0.8
電極材料與玻璃基板之黏著性低	1	0.8	0.8	中等	6	0.8	0.8
	1	0.8	0.2	低	4	0.2	
	1	0.2	0.2	低	4	0.2	
	1	0.2	0.8	低	4	0.2	

表 4.19 各原因之模糊權重風險值

陰極線剝落	規則庫		Min-Max		模糊權重 風險值
	推論結果	推論結果 最大值	MIN	MAX	WMOM
曝光參數設定錯誤	低	4	0.6	0.6	2.4
	低	4	0.4		
顯影參數設定錯誤	低	4	0.6	0.6	2.4
	低	4	0.4		
烘烤時間不足	低	4	0.8	0.8	3.2
	低	4	0.2		
滾軸壓力參數設定過大	低	4	1	1	4
膠膜黏度過大	低	4	0.1	0.4	2.8
	低	4	0.1		
	低	4	0.1		
	低	4	0.4		
	非常低	2	0.1	0.6	
	非常低	2	0.6		
	非常低	2	0.2		
前進速度過慢	非常低	2	0.7	0.7	1.4
	非常低	2	0.3		
拔開膠膜力道過大	中等	6	0.9	0.9	5
	低	4	0.1	0.9	
	低	4	0.9		
	低	4	0.1		
拔開膠膜速度過快	低	4	0.5	0.5	2
	低	4	0.5		
拔開膠膜方向錯誤	中等	6	0.7	0.7	5.4
	低	4	0.3	0.3	
	低	4	0.3		
	低	4	0.3		
電極材料與奈米碳管之附著力低	中等	6	0.2	0.2	4.4
	低	4	0.8	0.8	
電極材料與玻璃基板之黏著性低	中等	6	0.8	0.8	5.6
	低	4	0.2	0.2	
	低	4	0.2		
	低	4	0.2		

STEP 9.依模糊權重值排序

將表4.19中所得到的模糊權重風險值由大到小進行排序，即可得到影響陰極線剝落問題之關鍵影響因素，如表4.20所示。我們可得知「電極材料與玻璃基板之黏著性低」、「拔開膠膜方向錯誤」、「拔開膠膜力道過大」、「電極材料與奈米碳管之附著力低」、「滾軸壓力參數設定過大」為前五大影響原因，可針對此五項進行改善的工作。

表 4.20 陰極線剝落原因排序

陰極線剝落原因	WMOM	排序
電極材料與玻璃基板之黏著性低	5.6	1
拔開膠膜方向錯誤	5.4	2
拔開膠膜力道過大	5	3
電極材料與奈米碳管之附著力低	4.4	4
滾軸壓力參數設定過大	4	5
烘烤時間不足	3.2	6
膠膜黏度過大	2.8	7
曝光參數設定錯誤	2.4	8
顯影參數設定錯誤	2.4	9
拔開膠膜速度過快	2	10
前進速度過慢	1.4	11

STEP 10. 對模糊風險權數值大者提出建議

在找出前五大原因之後，可利用表4.12中此五大原因的解決對策進行改善，如此將可達成在有限的資源下，進行關鍵性的改善。

STEP 11.將案例納入資料庫

將此案例所蒐集之資料、圖形、表格納入資料庫(FTP站)當中，以作為後續

問題解決之參考。

4.2.2 結果說明

藉由實地訪談某奈米碳管背光模組研發單位，發現影響此製程問題之原因，依照關鍵性排序為「電極材料與玻璃基板之黏著性低」、「電極材料與奈米碳管之附著力低」、「滾軸壓力參數設定過大」、「膠膜黏度過大」、「拔開膠膜力道過大」。我們將上述結果與表4.20所產生的五大關鍵影響原因進行比較之後，可得到下列結果。

1. 在本模式找出的前五大關鍵原因中，其中有四個與研發廠商提供的原因相同，而影響最關鍵的原因皆為「電極材料與玻璃基板之黏著性低」。
2. 雖然在本模式所推演出的前五大關鍵原因中，除了最關鍵的「電極材料與玻璃基板之黏著性低」及預測錯誤的「拔開膠膜方向錯誤」原因之外，另外三個的排序與實際上之排序亦不相同。但因皆列為需進行快速改善的目標，所以不會造成顯著性的影響。
3. 由以上結果，我們可以知道，將本模式應用在分析活化製程之製程問題上所得之結果，與某研發單位所提供之原因實為相近，因此可說明本研究所提出之方法可確實做為解決研發製程問題之參考。

4.3 傳統 RPN 與本模式之比較

傳統 RPN 的作法是將嚴重度、發生度、難檢度三個評分值相乘，而得到風險優先值(RPN)。表 4.21 顯示出經由使用本模式與使用傳統 RPN 方法在網印奈米碳管漿料製程上之比較。由表 4.21 可以發現兩種方法在排序上有若干不同，且傳統 RPN 的數值變化程度較大。因此若在專家意見中，出現較大的極端值時，對傳統 RPN 法所產生的 RPN 值將會產生較大的變化幅度，如此將容易造成誤差的情形。

表 4.21 與傳統 RPN 法之比較表

網印對位性不佳原因	WMOM	排序	RPN	排序	網印對位性不佳原因	WMOM	排序	RPN	排序
網版形變	6	1	265.4	1	吸氣定位系統故障	3.2	9	44.1	10
參數設定錯誤	5.8	2	113.4	2	刮刀形變	2.6	10	57.8	8
網框形變	5.2	3	103.7	3	無塵室潔淨度不足	2.4	11	30.7	14
操作方法錯誤	4.6	4	92.9	5	機台擺放過於擁擠	2	12	26.2	15
漿料黏稠度不固定	4.33	5	88.0	6	無塵室濕度設定錯誤	2	13	37.2	13
熟練度不足	4.2	6	94.4	4	無塵室溫度設定錯誤	1.6	14	37.2	12
漿料配方錯誤	4	7	55.5	9	漿料用量不足	1.4	15	37.6	11
陰極線間的排列間距錯誤	4	8	60.6	7					

4.4 小結

由於網印奈米碳管漿料製程與活化製程為陰極板製程中良率最低的兩個製程。其中這兩個製程中所引起的網印對位性不佳問題及陰極線剝落問題皆為影響性重大的問題。因此若能將這兩個關鍵製程作系統性的先期分析，將可有效提高陰極板製程的穩定性。

在比較本研究模式推演後之結果與實際問題之結果後，我們可發現本研究模式皆可找出這兩個案例中影響最關鍵的要因，並可找出其他重要性相當高的原因。雖然因為在評分計算上的差異，而造成與事實情況並非百分百吻合的情形。但從兩個案例中可得知差異情形並不大，因此在解決研發階段之製程問題時，可使用本研究模式作為解決問題之參考。

第五章 結論與建議

5.1 結論

在開發新產品的各個過程中，研發階段為此產品能否具有競爭力之高度關鍵影響階段。奈米碳管背光模組是使用奈米碳管做為發光源之高科技產品。然而目前此產品仍處於研發階段，因此在解決製程問題時大多是仰賴專業工程師的經驗與背景。而本研究提出一系統性的製程問題分析模式，可使工程師在面臨製程問題時能準確找出造成製程問題發生之原因，並減少因試誤法造成的資源浪費。

本研究進行主要可分為三個階段。第一階段首先整理問題預防分析的相關文獻及方法。第二階段透過第一階段整理的FMEA、故障樹理論、特性要因圖、模糊德菲法、模糊推論結合奈米碳管背光模組陰極板製程特性建構一個製程問題分析模式並以奈米碳管背光模組陰極板製程問題為例。第三階段以國內某奈米碳管背光模組研發單位在網印製程與活化製程中所發生的實際案例作為本研究模式的合理性驗證。

整體而言，本研究具有以下幾點的貢獻：

1. 透過文獻及訪談調查，建構出一套製程問題分析模式，並以奈米碳管背光模組陰極板為主要研究範圍。
2. 透過分析模式中詳細的步驟化程序，可使工程師在面臨製程問題時有一個可依循的步驟標準化作業程序。
3. 在學術上，提供後續學者一個建構高科技產品製程問題分析模式的範例參考。

5.2 未來研究方向與建議

本研究基於人力、保密資料、時間等因素，仍尚有未盡完備之處，以下對於未來研究方向提出幾點建議以供參考：

1. 由於本研究之研究範圍為奈米碳管背光模組的陰極板製程。因此對於奈米碳管背光模組的陽極板製程及封裝製程，本研究並未對其做深入的分析與探討。未來若能針對此兩大部分繼續發展出適合的製程分析模式，將可使奈米碳管背光模組在製程改善上能更有效率的執行。

2. 在本研究模式的執行過程中，步驟三是找尋案例資料庫中的檔案，然而目前的案例公司是以 FTP 站作為資料庫，因此若要快速找尋資料較具有困難度。所以，此步驟若能結合案例式推演的理論[52]，並發展出快速進行比對的資訊管理系統，將能使本研究模式更加完整。

3. 本研究在第三階段導入模糊德菲法及模糊推論將多位專家意見整合至 FMEA 當中，並找出風險權重值的排序。在此階段之計算，本研究是以 Microsoft Excel 作為計算的工具，但也可藉由 Minitab 的套裝軟體來進行計算。另外，此階段之步驟若能使用直接使用程式語言撰寫一個讓專案小組人員方便使用的介面，將可增進製程問題改善的效率。

參考文獻

中文文獻:

1. 方鈞(2000),「建構半導體製程改善之失效模式與效應分析架構及其應用研究」, 工業工程學刊, 第17卷, 第2期, 133-146。
2. 王信文(1995),「以模糊聚類分析法最佳化模糊系統及其應用」, 大葉工學院電機工程研究所碩士論文。
3. 王振平(2000),「失效模式暨效應分析技術於設備完整性之應用」, 化工技術, 第八卷第一期, 197。
4. 王明和(2003),「高速模糊推論處理器」, 南台科技大學電子工程研究所碩士論文。
5. 王玉鳳(2004),「運用FMEA鑑別ISO14001顯著環境考量面之個案研究」, 逢甲大學工業工程與系統管理學研究所碩士論文, 2004。
6. 化工商情網, <http://www.chemnet.com.tw/>。
7. 李樹華等(1996),「化工製程危害分析」, 化工技術, 第四卷第一期, 106。
8. 李權芳(2003),「解制電業市場區域邊際電價之預測」, 中原大學電機工程研究所碩士論文。
9. 李盈慧(2004),「模糊理論運用於中階管理人員管理才能評鑑之研究」, 義守大學 管理科學研究所碩士論文。
10. 先鋒可靠度研究小組譯(1981),「FMEA、FTA 實施法」, 先鋒企管。
11. 周有洸(2002),「彈簧式安全閥之失效分析與可靠度評估」, 交通大學 產業安全與防災學程碩士論文。
12. 林秀雄(1995),設計 FMEA 製程 FMEA 不良模式與效應分析, 初版, 新知企管顧問公司。
13. 林俊光(1997),「建構結合層級分析法與德菲法之群體決策支援環境」, 成功大學工業管理學系碩士論文。
14. 林雅惠(1998),「FMEA與FTA技術於可靠度應用之研究」, 台灣科技大學管理研究所碩士論文。

- 15.林明毅(2003)，「台灣半導體相關產業導入企業資源規劃之推動過程績效評估」，勤益科技大學生產系統工程與管理研究所碩士論文。
- 16.林淑娟(2003)，「運用失效模式與效應分析於手術流程之病人安全評估-以中部某區域教學醫院為例」，中國醫藥大學醫務管理研究所碩士論文。
- 17.柳雅瀨(2002)，「模糊德菲層級分析法應用於岩體分類之研究」，成功大學資源工程研究所碩士論文。
- 18.鄒福生(2005)等編，「電子所開發20吋奈米碳管場發射背光板」，工業技術與資訊月刊，第160期，20。
- 19.何錦忠(2003)，「以風險分析為概念的失效模式與效應分析之發展與應用-以汽車零組件業之個案研究」，大業大學資訊管理所碩士論文。
- 20.吳嘉文(2003)，「營建知識管理績效評估模式建構之研究」，台北科技大學土木與防災技術研究所碩士論文。
- 21.茹鴻英(2004)，「組織特性與新產品發展過程對新產品開發績效之影響研究—以中科院為例」，中原大學企業管理學系碩士論文。
- 22.馬遠榮(2002)，奈米科技，商周出版。
- 23.陳紹興(1988)，失效模式與效應分析作業手冊，經濟部工業局中心衛星工廠制度推動小組發行。
- 24.陳嘉仁(1996)，「模糊邏輯失效模式、效應與關鍵性分析系統之研究」，中央大學資訊管理研究所碩士論文。
- 25.陳耀茂(1998)，可靠性方法與應用，初版，雙葉書廊。
- 26.陳永興(2001)，「建構RFID監控技術應用在物流中心之風險分析」，高雄第一科技大學運輸倉儲營運所碩士論文。
- 27.陳俊維(2003)，「FMEA應用於提昇潔淨室H.V.A.C.系統可靠度之研究」，成功大學資源工程所碩士論文。
- 28.陳道宏(2004)，「檢測PCBA之FMEA系統建立」，元智大學工業工程研究所碩士論文。
- 29.張宜慶(1999)，「電腦網路德菲研究系統之建構及其可行性分析」，國立交通大學傳播研究所碩士論文。
- 30.張育維(2000)，「範例庫推論技術之改良及其在失效模式與效應分析上之應用」，朝陽科技大學工業工程與管理所碩士論文。

- 31.張書文編譯、小野寺勝重原著(2001)，實踐FMEA手法-提升產品或系統的可靠性、維護性、安全性，財團法人中衛發展中心。
- 32.張添盛(2003)，「油漆桶生產線失效模式及效應分析」，機械工業雜誌，第249期，197-205。
- 33.曹健齡、楊義明(1997)，「失效模式與效應分析的作業方式」，品質管制月刊，第三十三卷，第4期，55-59。
- 34.常大勇、張麗麗(1995)，「經濟管理中的模糊數學方法」，北京經濟學院。
- 35.許惠玲(2005)，「模糊失效模式與效應分析於企業決策之應用-以新產品開發風險為例」，機電與工業管理文彙，第268期，112-127。
- 36.湯群輝(2004)，「以失效為基礎的設計回饋及績效評量系統」，清華大學工業工程系碩士論文。
- 37.黃清賢(2003)，危害分析與風險評估操作手冊，初版，新文京開發出版股份有限公司。
- 38.楊豐松(1997)，「聚合式智慧型系統在資訊篩選上之研究-結合類神經網路與模糊理論以證券市場預測為例」，政治大學資訊管理研究所碩士論文。
- 39.楊義民(2002)，「類神經模糊在PCB壓合製程最適化之應用」，元智大學資訊管理研究所碩士論文。
- 40.經濟部資訊工業發展推動小組，<http://www.ociid.org.tw>。
- 41.電子工程專輯，<http://www.eettaiwan.com/>。
- 42.趙立隆(2003)，「失效模式與效應分析在全面生產管理之初期管理的應用-以台灣愛普生工業公司為例」，朝陽科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。
- 43.蕭名君等(2005)，「CNT-BLU for LCD TV 一奈米碳管背光源創造液晶電視降價的機會」，電子與材料雜誌，第25期，96-102。
- 44.蔡明正(2001)，「半導體良率提升專家系統之故障樹建構與分析及專家系統之驗證」，清華大學工程與系統科學研究所碩士論文。
- 45.羅應浮(1999)，「專案管理的失效模式與效應分析」，中華大學工業工程所碩士論文。

- 46.鐘秋英(2004)，「資料挖掘應用於產品失效模式與效應分析-以印刷電路板業為例」，元智大學工業工程與管理研究所碩士論文。
- 47.蘇木春、張孝德(2002)，機器學習、類神經網路、模糊系統及基因演算法則，全華出版。
- 48.Digitimes科技網，<http://www.digitimes.com.tw/>。
- 49.ITIS產業資訊服務網，<http://www.itis.org.tw>。

英文文獻:

50. Bluvband and Zigmund(2005), “Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology”, *Proceedings of the International Symposium on Product Quality and Integrity*, Alexandria, VA, United States, 463-466.
51. Davidson, G. G. and A. W. Labib(2003), “Learning from failures: design improvements using a multiple criteria decision-making process,” *J. Aerospace Engineering*, Vol.217, part G.
52. Fritz, H. G.(1993), “Case-Based Reasoning Applying Past Experience to New Problems,” *Information Systems Management*, 77-80.
53. Ford Motor Company(1988), “Potential Failure Mode and Effects Analysis,” *International manual*.
54. Gilchrist, W. (1993), “Modeling Failure Modes and Effect Analysis,” *International Journal of Quality and Reliability Management*, Vol. 10, No.5,16-23.
55. Hayes, R. H. and S. C. Wheelwright (1984), “Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing,” *New York: John Wiley and Sons*.
56. Ishikawa, A. and M. Amagasa (1993), “The Max-Min Delphi Method and Fuzzy Delphi Method Via Fuzzy Integration,” *Fuzzy Sets and System*, Vol.5, 241-253.
57. Klir, G. J. and T. A. Folger (1988), “Fuzzy sets, uncertainty and information,” *NJ: Prentice-Hall*.
58. Krasich and Milena(2000), “Use of fault tree analysis for evaluation of system-reliability improvements in design phase”, *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Los Angeles, CA,USA , 1-7.
59. Lee, C. C.(1990), “Fuzzy logic in control system : Fuzzy logic controller”, *IEEE Trans. Syst. Cybern.*, Vo1.20, No.2,1404-434.
60. Wang, L. X.(1997), “A course in Fuzzy Systems and Control,” Prentice Hall, Inc., New Jersey.
61. Mamdani, E. H. and S. Assilian(1975), “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller,” *International Journal of Man-Machine Studies*, Vo1.7,1-13.
62. MIL-STD-1692A(1980), “Military Standard Procedure for performing a

Failure Mode Effects and Criticality Analysis,” Department of Defense Washington, DC.

63. Moss, T. R. and J. Woodhouse (1999), “Criticality analysis revisited,” *Quality and Reliability Engineering International* ,Vol.15,No.2,117–121.
64. Pillay, A. and J. Wang(2003), “Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning,” *Reliability Engineering and System Safety*, **79**,69-85.
65. Saaty, T. L.(1980), “The Analytic Hierarchy Process,” McGraw-Hill, New York.
66. Stamatis, D. H. (1995), “Failure Mode and Effect Analysis FMEA from Theory to Execution,” *ASQC Quality Press Milwaukee*, Wisconsin,1995.
67. Teng, S. H.(1996), “Failure Mode and Effects Analysis - An integrated Approach for Product Design and Process Control,” *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol.13, No.5,8-26.
68. Wang, L. X.(1997), “A course in fuzzy systems and control. Englewood Cliffs,” New Jersey: Prentice-Hall, ISBN 0 13 540882 2.

附錄

附錄說明：

由於規則庫之目的為判斷各推論結果重要之依據，因此本研究請熟稔奈米碳管背光模組製程之專家進行規則庫之編纂。另外，在嚴重度、發生度、難檢度，這三個指標下都具有五種語意等級，所以在排列組合後共會產生 125 條規則庫，如下所示。

規則	嚴重度	發生度	難檢度	影響程度	規則	嚴重度	發生度	難檢度	影響程度
1	非常低	非常低	非常低	非常低	36	非常低	低	非常高	低
2	非常低	非常低	低	非常低	37	非常低	中等	高	低
3	非常低	低	非常低	非常低	38	非常低	高	中等	低
4	低	非常低	非常低	非常低	39	非常低	非常高	低	低
5	非常低	非常低	中等	非常低	40	低	非常低	非常高	低
6	非常低	低	低	非常低	41	低	低	高	低
7	非常低	中等	非常低	非常低	42	低	中等	中等	低
8	低	非常低	低	非常低	43	低	高	低	低
9	低	低	非常低	非常低	44	低	非常高	非常低	低
10	中等	非常低	非常低	非常低	45	中等	非常低	高	低
11	非常低	非常低	高	非常低	46	中等	低	中等	低
12	非常低	低	中等	非常低	47	中等	中等	低	低
13	非常低	中等	低	非常低	48	中等	高	非常低	低
14	非常低	高	非常低	非常低	49	高	非常低	中等	低
15	低	非常低	中等	非常低	50	高	低	低	低
16	低	低	低	非常低	51	高	中等	非常低	中等
17	低	中等	非常低	非常低	52	非常高	非常低	低	中等
18	中等	非常低	低	非常低	53	非常高	低	非常低	中等
19	中等	低	非常低	非常低	54	非常低	中等	非常高	中等
20	高	非常低	非常低	非常低	55	非常低	高	高	中等
21	非常低	非常低	非常高	非常低	56	非常低	非常高	中等	中等
22	非常低	低	高	非常低	57	低	低	非常高	中等
23	非常低	中等	中等	非常低	58	低	中等	高	中等
24	非常低	高	低	非常低	59	低	高	中等	中等
25	非常低	非常高	非常低	非常低	60	低	非常高	低	中等
26	低	非常低	高	低	61	中等	非常低	非常高	中等
27	低	低	中等	低	62	中等	低	高	中等
28	低	中等	低	低	63	中等	中等	中等	中等
29	低	高	非常低	低	64	中等	高	低	中等
30	中等	非常低	中等	低	65	中等	非常高	非常低	中等
31	中等	低	低	低	66	高	非常低	高	中等
32	中等	中等	非常低	低	67	高	低	中等	中等
33	高	非常低	低	低	68	高	中等	低	中等
34	高	低	非常低	低	69	高	高	非常低	中等
35	非常高	非常低	非常低	低	70	非常高	非常低	中等	中等

下頁繼續

規則	嚴重度	發生度	難檢度	影響程度	規則	嚴重度	發生度	難檢度	影響程度
71	非常高	低	低	中等	98	高	中等	高	高
72	非常高	中等	非常低	中等	99	高	高	中等	高
73	非常低	高	非常高	中等	100	高	非常高	低	高
74	非常低	非常高	高	中等	101	非常高	非常低	非常高	非常高
75	低	中等	非常高	中等	102	非常高	低	高	非常高
76	低	高	高	高	103	非常高	中等	中等	非常高
77	低	非常高	中等	高	104	非常高	高	低	非常高
78	中等	低	非常高	高	105	非常高	非常高	非常低	非常高
79	中等	中等	高	高	106	低	非常高	非常高	非常高
80	中等	高	中等	高	107	中等	高	非常高	非常高
81	中等	非常高	低	高	108	中等	非常高	高	非常高
82	高	非常低	非常高	高	109	高	中等	非常高	非常高
83	高	低	高	高	110	高	高	高	非常高
84	高	中等	中等	高	111	高	非常高	中等	非常高
85	高	高	低	高	112	非常高	低	非常高	非常高
86	高	非常高	非常低	高	113	非常高	中等	高	非常高
87	非常高	非常低	高	高	114	非常高	高	中等	非常高
88	非常高	低	中等	高	115	非常高	非常高	低	非常高
89	非常高	中等	低	高	116	中等	非常高	非常高	非常高
90	非常高	高	非常低	高	117	高	高	非常高	非常高
91	非常低	非常高	非常高	高	118	高	非常高	高	非常高
92	低	高	非常高	高	119	非常高	中等	非常高	非常高
93	低	非常高	高	高	120	非常高	高	高	非常高
94	中等	中等	非常高	高	121	非常高	非常高	中等	非常高
95	中等	高	高	高	122	高	非常高	非常高	非常高
96	中等	非常高	中等	高	123	非常高	高	非常高	非常高
97	高	低	非常高	高	124	非常高	非常高	高	非常高
					125	非常高	非常高	非常高	非常高