

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

高科技廠房本質較安全設計策略應用可行性研究
-建置本質較安全應用機制

Feasibility Study of Inherently Safer Design Strategies in High-Tech FAB:
Establishing an Inherently Safer Application Model

研究生：張國基

指導教授：陳俊瑜 教授

張 翼 教授

中華民國九十七年三月

高科技廠房本質較安全設計策略應用可行性研究
-建置本質較安全應用機制

Feasibility Study of Inherently Safer Design Strategies in High-Tech FAB:
Establishing an Inherently Safer Application Model

研究生：張國基

Student : Kuo-Chi Chang

指導教授：陳俊瑜教授

Advisor : Dr. Chun-Yu Chen

張 翼教授

Advisor : Dr. Yi Chang

國立交通大學
工學院（產業安全與防災學程）
碩士班
碩士論文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Industrial safety and Risk Management

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of science

in

Industrial safety and Risk Management

March 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年三月

高科技廠房本質較安全設計策略應用可行性研究-建置本質較安全應用機制

學生：張國基

指導教授：陳俊瑜教授
張 翼教授

國立交通大學工學院產業安全與防災碩士在職專班

摘 要

光電及半導體等高科技產業目前已成為國內最重要的經濟活動項目，這兩兆雙星產業也各自擁有完整的原物料製造、前期加工、成品製造及最終處理的完整供應鏈，在供應鏈中的任何公司都是重要一份子，因為任何火災、爆炸、氣體洩漏、電力中斷等災害，都將造成供應鏈的中斷，進而造成無法持續運作的窘境。

光電及半導體高科技產業在其製程均使用到大量的特殊氣體、化學品及製程機台設備，這些原物料及機台設備均可能因為意外或未妥善設置而發生嚴重損失或事故。

探討本質較安全設計 (Inherently Safer Design) 之策略作法有強化 (Intensification)、取代 (Substitution)、減弱 (Attenuation)、限制影響 (Limitation of Effects)、簡單化 (Simplification)、避免骨牌效應 (Avoiding Knock-on Effect)、防愚設計 (Making Incorrect Assembly Impossible)、狀態清晰 (Making Status Clear)、容忍 (Tolerance)、易於控制 (Ease of Control) 及軟體 (Software) 等，目的希望了解本質較安全設計存在的功能與價值，並且了解本質較安全設計策略精神。

本研究經由實驗與現有實際應用檢討兩階段，詳細討論本質較安全策略運用於高科技廠房的可行性，結果除了能維持現有的製程良率外，更可藉由本質較安全設計策略來提升製程、設備與廠務安全性，如此杜絕火災、爆炸、機械危害、洩漏中毒、腐蝕等危害發生，讓企業能在穩定、安全中成長。

Feasibility Study of Inherently Safer Design Strategies in High-Tech FAB:
Establishing an Inherently Safer Application Model

student : Kuo-Chi Chang

Advisors : Dr. Chun-Yu Chen
Dr. Yi Chang

Department of Industrial safety and Risk Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

High-tech industries, such as those producing semi-conductor and TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display), have recently become the most important economic activities in Taiwan. Each of these industries has a complete chain of supply from raw material production, production preprocessing, product manufacturing, to waste handling. Any company in the chain is a critical component, since any accidents of fire, explosion, gas leakage, or power outage would cut off the supply chain, causing inability of continuous operation.

In industries of semi-conductor and TFT-LCD, great amounts of special gases and chemicals with many machinery equipments are used in the production processes. In cases of accidents or improper installation, these chain of supply, from raw material production, preproduction, product manufacturing, to waste handling materials and equipments may cause severe damages or incidents.

In this study, strategies of Inherently Safer Design are explored, which include intensification, substitution, attenuation, limitation of effects, simplification, knock-on effect avoidance, incorrect assembly elimination, clear status, tolerance, ease of control, software, and so on. The purpose of the survey is to understand the function and value of inherently safer design and the essence of the strategies.

Through the two phases of experiment and practical application evaluation, the feasibilities of inherently safer design strategies in facilities of high-tech industries are discussed in detail. It is concluded that the strategies not only can maintain existing YE, but also can enhance safety in production processes, equipments, and FAB. Such improvements prevent hazards such as fire, explosion, mechanical injuries, poisoning and corroding from leaks, so as to allow high-tech industries to grow in stable and safe conditions.

誌 謝

從小走來，始終不是好學生的我，如今終於完成碩士論文，感謝交通大學工學院的各位師長，陳俊瑜教授、張翼教授、陳俊勳教授、陳春盛教授、蔡春進教授、簡弘民教授、于樹偉教授、石東生教授、徐一量博士、陳建忠博士、林元祥博士、謝明宏博士、汪禧年博士、雷明遠博士、李壽南博士、陳光漢博士、余榮彬博士、高崇洋博士、王國光博士、李文亮博士、汪禧年博士、黃奕孝博士、張承明博士、游逸駿博士，在每次課堂中，學生都見識到真正的天才思維方式，令人望塵莫及的智慧與邏輯推演能力，更感謝張翼教授的指導，讓學生得以脫胎換骨，進入高科技產業中發揮長才。

感謝陳俊瑜教授給學生第一次投稿期刊的機會，學生知道自己漏洞百出，但是經過二週的努力編撰，終於完成首部稿件，這個機會也必須感謝前長官台電公司核火工處工環課莊課長福助的鼓勵與支持，九十六年自己共投了七件稿件，這也是自己始料未及的挑戰，我勝利了！

加油…！每天都對著自己這樣說，雖然很累，但是也一步一腳印到達中繼站，回憶三年前進入交大就讀時，自願擔任班代一職，需要額外付出許多時間來服務同學，也必須兼顧課業，往返台北與新竹，從未想過的求學過程，在經歷三年終於達陣，心中萬分感激，也深感榮幸真正成為交通大學的一份子！

還記得三年前投考時，曾經想過畢業後有無用處，如果沒有考交大的衝動，消防特考不會及格，如果沒有交大產安學習過程，我無法進入台北九華補習班任教，更無法進入外商擔任主管一職，這並不只是個光環，更是自我的肯定，交大讓我更有自信，讓我更具專業能力與思維廣度。

碩士學位的完成只是個中繼站，它不是終點…加油！ 再接再厲！

讓我們朝向博士邁進吧！學海無涯，永無止境，當我們開始向前走的那天，就再也不想停下腳步，或許一路顛簸不已，但是我們仍然可以披荊斬棘，屢敗屢戰，被檢討是成長的第一步，被挑戰是茁壯的能量，卓越只獻給到達終點的人，有恆心才能戴上桂冠！

感謝陪在身邊的每個我最愛的人，曉娟、翠蓮、富翔、嘉真、老爸、老媽、小蓮、玉玲、貞雅、翰仁、老哥、老姊、老峰、老彬及爺爺、奶奶和各位敬愛的張氏祖先們，這份榮耀是屬於大家的，我終於完成囉！

國基敬上

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	vii
圖目錄	.....	ix
一、	緒論.....	1
1.1	研究背景.....	1
1.1.1	高科技產業對台灣經濟的重要性.....	1
1.1.2	高科技廠房火災原因與損失統計.....	1
1.1.3	某高科技廠房 2006 年災害事故統計.....	3
1.2	研究動機.....	8
1.2.1	災害事故對單一廠房的影響.....	8
1.2.2	災害事故對科技園區聯防救災的影響.....	10
1.2.3	災害事故對全球高科技產品供應鏈的影響.....	11
1.2.4	高科技廠房製程、設備、廠務系統可能發生之危害.....	12
1.2.5	半導體製程作業用途與使用反應材料.....	14
1.2.6	高科技廠房之危害源.....	15
1.2.7	危害種類與可能發生情境分析.....	16
1.3	研究目的.....	23
1.4	論文架構.....	24
二、	研究內容與方法.....	26
2.1	濕式蝕刻製程本質較安全取代策略實驗及應用可行性評估.....	26
2.1.1	半導體製程概述.....	26
2.1.2	濕式蝕刻製程原理.....	36
2.1.3	研究內容與方法.....	39
2.1.4	研究流程圖.....	39
2.2	製程機台本質較安全設計策略可行性評估與實證分析.....	40
2.2.1	薄膜液晶顯示器製程概述.....	40
2.2.2	製程機台安全設計探討.....	41
2.2.3	研究內容與方法.....	43
2.2.4	研究流程圖.....	54
2.3	廠務電力系統本質較安全設計策略可行性評估與實證分析.....	54
2.3.1	高科技廠房廠務系統組成概述.....	54
2.3.2	廠務電力系統安全設計探討.....	55
2.3.3	研究內容與方法.....	59

2.3.4	研究流程圖	61
三、	相關文獻探討	63
3.1	本質較安全設計策略	63
3.1.1	國外方面	63
3.1.2	國內方面	64
3.1.3	本質較安全設計 11 項策略	65
3.1.4	本質安全設計對製程經濟性影響	69
3.1.5	SEMI-S2-93 半導體製程設備安全基準彙整	70
3.2	風險評估理論	75
3.2.1	風險評估 Risk Assessment (SEMI S10)	75
3.2.2	風險控制項目決定	76
四、	可行性評估應用實例探討	78
4.1	半導體濕式蝕刻製程本質較安全取代策略可行性之研究	78
4.1.1	本研究濕式蝕刻製程說明	78
4.1.2	實驗過程	80
4.1.3	實驗結果與結論	82
4.2	製程機台本質較安全設計策略可行性評估與實證分析	83
4.2.1	乾蝕刻機台評估	84
4.2.2	剝膜及成膜前洗機台評估	87
4.2.3	軌道式搬運車評估	89
4.2.4	成效評估與結論	91
4.3	高科技廠務電力系統本質較安全設計策略可行性研究	91
4.3.1	電力系統建置	91
4.3.2	危害辨識	92
4.3.3	可能性與嚴重度評估	93
4.3.4	最高風險項目判定	94
4.3.5	風險控制與實際工程改善	94
4.3.6	成效評估與結論	97
4.4	其他可行案例探討	98
4.4.1	製程反應器的強化策略	98
4.4.2	製程化學品的取代策略	98
4.4.3	製程反應的減弱策略	99
4.4.4	製程特殊氣體及化學品供應的限制影響	99
4.4.5	機台設備及附屬設備的本質較安全設計策略應用案例探討	100
4.4.6	成效評估與結論	106
4.5	建置本質較安全應用機制彙整表與討論	106
五、	結論與後續研究方向	108
5.1	結論	108
5.2	本研究應用機制完整性擴充	110

5.3	後續研究方向.....	117
參考文獻	.....	121
自傳	.....	124

表目錄

表 1、高科技廠房歷年火災原因與損失統計彙整	1
表 2、某高科技廠房 2006 年事故統計	3
表 3、高科技廠房製程、設備、廠務系統可能發生之危害	12
表 4、半導體製程作業用途與使用反應材料彙總表	14
表 5、高科技廠房可燃物、助燃物、發火源彙整表	16
表 6、高科技廠房危害種類與可能發生情境分析彙整表	16
表 7、論文架構表	24
表 8、本質較安全應用機制架構表	26
表 9、半導體材料所用之濕式蝕刻液彙整	37
表 10、安全防護分類說明	49
表 11、控制類別分類要求摘要表	51
表 12、高科技廠房電力設備彙整	57
表 13、高科技廠房用電機台機構彙整	58
表 14、電力系統設計細部流程說明	59
表 15、本質安全設計對製程經濟性影響	69
表 16、SEMI-S2-93 半導體製程設備安全基準彙整表	70
表 17、本質較安全與半導體製程設備安全基準彙整表	74
表 18、嚴重性分類說明	75
表 19、可能性分類說明	76
表 20、濕式蝕刻作業時間	80
表 21、濕式蝕刻取代實驗成果對照表	82
表 22、乾蝕刻機台危害辨識成果彙整表	84
表 23、乾蝕刻機台危害源嚴重度評估成果彙整表	84
表 24、乾蝕刻機台危害源可能性評估成果彙整表	85
表 25、乾蝕刻機台最高風險項目判定評估成果彙整表	86
表 26、以氯氣危險源為例消除中度以上風險與防護對策成果表	86
表 27、剝膜及成膜前洗機台危害辨識成果彙整表	87
表 28、剝膜及成膜前洗機台危害源嚴重度評估成果彙整表	87
表 29、剝膜及成膜前洗機台危害源可能性評估成果彙整表	88
表 30、剝膜及成膜前洗機台最高風險項目判定評估成果彙整表	88
表 31、以避免剝膜機台火災為例消除中度以上風險與防護對策成果表	88
表 32、軌道式搬運車危害辨識成果彙整表	89
表 33、軌道式搬運車危害源嚴重度評估成果彙整表	89
表 34、軌道式搬運車危害源可能性評估成果彙整表	90
表 35、軌道式搬運車最高風險項目判定評估成果彙整表	90
表 36、以避免軌道式搬運車撞擊為例消除中度以上風險與防護對策成果表	90

表 37、本研究電力系統各設計階段危害情境分析.....	92
表 38、本研究電力系統各設計階段發生可能性評估.....	93
表 39、本研究電力系統各設計階段發生嚴重度評估.....	93
表 40、本研究電力系統各設計階段風險等級評估成果.....	94
表 41、本研究電力系統進行工程改善後成果彙整.....	94
表 42、本質較安全應用機制架構表.....	106
表 43、本質較安全設計策略決議成果彙整.....	110
表 44、本研究建置高科技廠房之本質較安全設計策略應用表.....	116

圖目錄

圖 1、高科技廠房火災要素	2
圖 2、某高科技廠房 2006 年事故統計圖	8
圖 3、高科技廠房本質較安全設計策略應用聯想圖	9
圖 4、內在及外在安全機會與設計階段關係	10
圖 5、高科技廠房風險控制與科技園區緊急應變機制系統圖	11
圖 6、高科技廠房供應鏈示意圖	12
圖 7、雙載子電晶體結構、電路符號及實體參考照片	27
圖 8、摩爾定律	28
圖 9、積體電路製造整合示意圖	29
圖 10、半導體製程流程示意	30
圖 11、微粒的電子顯微鏡照片	30
圖 12、NMOS 電晶體的主要截面結構圖	31
圖 13、主動區域製作流程	32
圖 14、電晶體閘極製作流程	33
圖 15、電晶體閘極製作流程圖(續)	34
圖 16、金屬接觸窗製作流程	35
圖 17、金屬連接製作流程	36
圖 18、鐳墊製作流程	36
圖 19、濕式蝕刻製程機台動作流程示意圖	37
圖 20、濕式蝕刻製程機台動作流程示意圖	38
圖 21、濕式蝕刻機台安全聯想圖	38
圖 22、易燃性液體取代為弱酸性液體示意圖	39
圖 23、本研究(濕式蝕刻製程本質較安全取代)流程圖	40
圖 24、薄膜液晶顯示器製造流程圖	41
圖 25、高科技製程機台組成構造聯想圖	42
圖 26、歐洲機台安全標準彙整示意圖	43
圖 27、本研究機台安全設計方法流程圖	44
圖 28、機台安全設計與使用風險管理彙整示意圖	44
圖 29、簡化後之機台組成構造與功能聯想圖	45
圖 30、製程機台安全設計風險管理流程圖	46
圖 31、風險評估矩陣圖	48
圖 32、機台安全對策說明示意圖	49
圖 33、EN954-1 風險評定及安全類別樹狀圖	51
圖 34、本研究(製程機台本質較安全設計策略可行性評估)流程圖	54
圖 35、高科技廠房製程、設備及廠務系統組成示意圖	55
圖 36、高科技廠房外部電力系統構成	56

圖 37、高科技廠房內部供電系統單線圖	57
圖 38、高科技廠房電力系統危害辨識示意圖	61
圖 39、本研究(廠務電力系統本質較安全設計策略可行性評估)流程圖	62
圖 40、本質較安全設計策略整體應用概念圖	66
圖 41、防愚設計之本質安全設計示意圖	68
圖 42、濕式清洗機台組成構造示意圖	78
圖 43、本研究機台管路構成圖及實驗晶圓照片	79
圖 44、濕式蝕刻製程流程示意圖	79
圖 45、晶圓表面缺陷 SEM 比對照片比對	80
圖 46、其中 2 批晶圓盒之缺陷彙整圖	81
圖 47、電性特性測試統計圖	81
圖 48、電性特性試驗及良率統計盒圖	82
圖 49、平面軌道式搬運車照片	91
圖 50、電力系統工程改善後事故統計比較	97
圖 51、製程反應器的強化策略應用	98
圖 52、由自燃性氣體取代為易燃性液體	99
圖 53、製程機台作業中顯示面板照片	99
圖 54、雙套管構成示意圖	100
圖 55、特殊氣體與化學品雙套管實際設置照片	100
圖 56、防止化學品洩漏盛液盤及洩漏探測器照片	101
圖 57、緊急停機按鈕照片	101
圖 58、氣體管路閥體防愚操作防護照片	102
圖 59、製程警示燈號	102
圖 60、製程操作與顯示面板	102
圖 61、壓力表指示範圍與反應氣體管路流向標示照片	103
圖 62、製程用特殊氣體的全自動化供應系統	103
圖 63、氣瓶櫃緊急遮斷閥照片	104
圖 64、製程管路的防震軟管設計照片	104
圖 65、特殊氣體洩漏氣體探測系統	105
圖 66、獨立機台的內部滅火設備	105
圖 67、自動灑水系統	105
圖 68、防火區劃防火填塞照片	106
圖 69、高科技廠房本質較安全設計與科技廠房緊急應變機制系統圖	109
圖 70、爐管機台反應器與製程構造圖	118
圖 71、爐管機台製程反應氣體供應系統圖	118