

一、緒論

1.1 研究背景

1.1.1 高科技產業對台灣經濟的重要性

2007年在台灣平面顯示器總產值達新台幣1兆7501億元【1】，另外2006年台灣半導體產業產值亦高達1兆3933億元【2】，半導體與光電面板等高科技產業，目前已成為國內最重要的經濟活動項目之一。

在這兩兆雙星產業中，各自擁有完整的原物料供應、倉儲與運輸、前期加工、半成品加工、成品製造、測試封裝與包裝、3C電子產品銷售及最終使用顧客的完整供應鏈系統，高科技產業的成長，除大幅度提升台灣國際知名度外，更提供數以萬計社會新鮮人憧憬的就業機會。

但是在封閉的大型高科技廠房中，隨時充斥著大量有毒、易燃的化學物品，火災、爆炸、化學品洩露事故偶有發生，高毒性與高危險性的環境及各種災害事故亦造成社會大眾對高科技產業的不安與恐懼。

1.1.2 高科技廠房火災原因與損失統計

高科技廠房因為危害物質種類繁多，製程機台構造型態複雜，所以一旦發生火災，其造成的財物損失與傷亡，極為可觀，由消防署針對高科技廠房的火災數據來看，於2005年之火災損失估計值約為新台幣28億餘元，其中所發生的2件高科技廠房火災，1件造成9人受傷的不幸，財物損失估值達10億元以上，而另一件則造成1人死亡，財物損失估值約為3億元。

另外以全國火災統計數據而言，2006年全台灣全年火災損失估值約為15億餘元，其中工廠火災共395件，佔全年火災總數之10%、建築火災(3,054件)之14%【3】。由這些火災造成的直接損失，動輒數十億元，顯見高科技廠房火災之影響程度有多嚴重。

綜觀光電及半導體高科技廠房所發生的危害，經前所述討論，以火災最為嚴重，造成的損失也最高，表1彙整統計高科技廠房歷年火災原因與損失，以發生原因來看，其中濕式蝕刻清洗製程為主要起火原因之一，其主因係濕式蝕刻清洗製程多採用如甲醇、丙酮、異丙醇(IPA)等易燃有機溶劑(solvent)。

表1 高科技廠房歷年火災原因與損失統計彙整【4】

災害種類	發生時間	公司名稱	發生原因	人員傷亡	財物損失
火災	1996.10.14	華邦電子	濕式清洗機台 易燃液體著火	無	70 億元以上
火災	1997.10.03	聯瑞半導體	矽甲烷外洩	無	100 億元以上
火災	1997.11.11	天下電子	濕式清洗機台 易燃液體著火	無	20 億元以上
火災	1999.09.22	世大積體電路	發電機過熱	無	2500 萬以上
火災	2000.03.31	聯茂電子	鍋爐間重油噴 出致易燃液體 著火	2 死 11 傷	4000 萬以上
火災	2000.06.09	麗嘉半導體	矽甲烷外洩	13 傷	2 億元以上
火災	2000.09.10	耀華電子	矽甲烷外洩	無	100 萬以上
火災	2000.12.25	聯電晶圓 8 廠	發電機過熱	無	3000 萬以上
火災	2004.05.01	日月光半導體	鍋爐爆炸	1 傷	100 億元以上
爆炸	2005.11.23	茂迪科技公司	矽甲烷外洩爆 炸	1 死	50 億元以上
火災	2006.10.12	世禾科技公司	安全閥故障	無	6000 萬以上
火災	2008.1.6	陞泰科技公司	電線走火	無	3 億元以上

又以火災學理論探討，火災、爆炸的發生主要原因係光電及半導體高科技廠房中存在有許多構成燃燒行為的物質與能量，如圖 1 所示，由圖中可清楚看出，在無塵室中可燃物、助燃物與起火源均大量存在，只要人員疏忽或是機台設備故障均可能造成火災、與爆炸的發生。

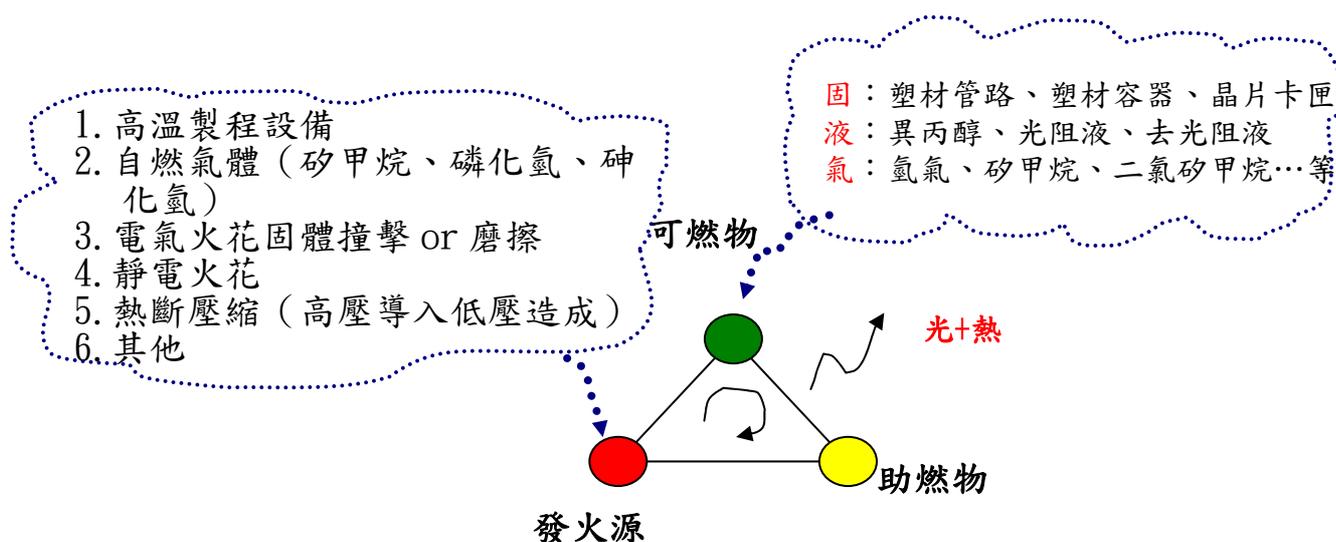


圖 1 高科技廠房火災要素【5】

1.1.3 某高科技廠房 2006 年災害事故統計

表 2 係某高科技廠房 2006 年災害事故之種類、情況及人員傷亡、損失工時、財務損失統計，圖 2 係該廠房之災害統計圖【6】。

由統計數據來看，統計項目以化學品（包含液態與氣態）洩漏、機械傷害、火警、承攬商、滑倒及其他等災害種類區分，該年度化學品洩漏災害事件最多共計 13 件，機台設備次之共為 7 件，火警事件共計 6 件為第三，其中火警事件又以電氣因素造成為最大多數達 4 件之多。

表 2 某高科技廠房 2006 年事故統計

項次	災害種類	發生時間	情況說明	人員傷亡	損失工時	財物損失	ERC 啟動
1	化學品	2006 年 1 月	製程變更拆管遭弱硫酸噴濺面部 (FAB)	面部輕微灼傷	0.5hr*1 人	醫護藥品	無
2	化學品	2006 年 1 月	供應濃硫酸管路接頭洩漏液體探測偵知 (SUB-FAB)	無	1hr*1 3 人	吸液棉、ERC 人員工時	有
3	機械危害	2006 年 1 月	PM 遭反應器上蓋蓋回時夾傷 (FAB)	中指紅腫	3hr*1 人	醫護藥品	無
4	化學品	2006 年 2 月	廠商二次配未鎖緊氣氣外洩氣體監測系統警報 (SUB-FAB)	無	1hr*5 5 人	無	有
5	火警	2006 年 2 月	真空泵內電路基板元件燒毀 VESDA 第一階段動作 (FAB)	無	1hr*1 3 人	電路基板	有
6	火警	2006 年 2 月	薄膜機台控制盤端子未鎖緊，造成絕緣材燒焦，VESDA 第一階段動作	無	1hr*1 3	無	有

			(FAB)				
7	化學品	2006 年 2 月	純水管路接頭滴漏，經確認後PH值為7無傷害之虞 (SUB-FAB)	無	0.5hr *2人	吸液 棉	無
8	其他	2006 年 2 月	設備工程師未戴妥安全帽於Sub-FAB遭FAB手工具擊中頭部 (SUB-FAB)	頭部 輕微 紅腫	3hr*1 人	醫護 藥品	無
9	化學品	2006 年 2 月	爐管廢氣管路接頭老舊ClF3洩漏氣體監測系統警報 (SUB-FAB)	無	1hr*6 8人	無	有
10	機械危害	2006 年 2 月	機台晶圓進出化貨門光柵故障，作業人員手指遭夾傷 (FAB)	食指 紅腫	1r*1 人	醫護 藥品	無
11	化學品	2006 年 2 月	酸排管路劣化接頭洩漏，廢酸滴落附屬機台 (Dry Pump) 表面 (SUB-FAB)	無	1hr*1 5人	吸液 棉、 ERC 人員 工時	有
12	承攬商	2006 年 3 月	機台設備 move in 作業人員未著安全鞋因機台滑動而壓傷腳趾 (FAB)	腳大 拇指 紅腫	5hr*1 人	醫護 藥品	無
13	機械危害	2006 年 3 月	設備工程師檢修自動輸送系統時遭自動輸送車撞及頭部 (FAB)	頭部 紅腫	2hr*1 人	醫護 藥品	無
14	滑倒	2006 年 3 月	廠務工程師小跑步下無塵室階梯不慎滑倒 (SUB-FAB)	左腳 踝紅 腫	78hr* 1人	醫護 藥品	無
15	火警	2006 年 3 月	純水洩漏，造成控制電路基板短路燒毀VESDA第一階段動作 (FAB)	無	1hr*2 5人	電路 基板	有
16	火	2006	爐管機台不斷電系	無	1hr*1	無	有

	警	年 3 月	統蓄電池老舊燒毀，VESDA 第一階段動作 (SUB-FAB)		8		
17	化學品	2006 年 4 月	濕式洗滌局部除害裝置排水管路接頭洩漏，液漏探測器警報，經 PH 值測定為弱酸性 (SUB-FAB)	無	1hr*8 人	吸液 棉	無
18	其他	2006 年 5 月	作業人員於作業走道與出黃光區作業人員迎面對撞 (FAB)	臉部 輕微 紅腫	1hr*2 人	醫護 藥品	無
19	化學品	2006 年 6 月	矽甲烷 VMB 測得氣體洩漏警報，經查為閥體老舊洩漏 (FAB)	無	1hr*1 5 人	無	無
20	機械危害	2006 年 6 月	離子植入機保養測試時，啟動迴轉靶架，設備工程師遭機械割傷 (FAB)	右手 掌緣 3 公分 割傷	5hr*1 人	醫護 藥品	無
21	火警	2006 年 7 月	薄膜機台維修區維修架壓破電纜線，造成短路跳機，VESDA 第一階段動作 (FAB)	無	2hr*5 8 人	電纜 電線	有
22	其他	2006 年 7 月	高架地板開啟後未護圍警戒，設備工程師不慎跌落，小腿嚴重擦傷 (FAB)	小腿 嚴重 擦傷	146hr *1 人	醫護 藥品	無
23	化學品	2006 年 7 月	氯化氫廢氣管路於乾式幫浦後段接頭洩漏，洩漏氣體監測系統警報 (SUB-FAB)	無	1hr*3 5 人	無	有
24	其他	2006 年 7 月	設備工程師於機台保養時，未注意上方機構，轉頭時撞	頭皮 紅腫 擦傷	5hr*1 人	醫護 藥品	無

			及頭部 (FAB)				
25	化學品	2006年8月	乾蝕製程機台之害 濕式洗滌局部除頭 裝置排水管路接頭 洩漏，液漏探測器 警報，經 PH 值測定 為弱酸性 (SUB-FAB)	無	1hr*1 2人	無	有
26	機械危害	2006年8月	薄膜鍍機台於保 養維護前未確實冷 卻完成，遭機台燙 傷 (FAB)	右手 輕微 燙傷	2hr*1 人	醫護 藥品	無
27	承攬商	2006年9月	配合機台修改有機 溶劑不鏽鋼管路注 時，搬運管才未注 意撞傷其他作業人 員 (FAB)	背部 紅腫	8hr*1 人	醫護 藥品	無
28	機械危害	2006年9月	設備工程師進行機 械手臂維修時，未 注意啟動，手指遭 夾傷 (FAB)	無名 指紅 腫	24hr* 1人	醫護 藥品	無
29	化學品	2006年9月	沖身洗眼器之給水 管路，老舊洩漏， 人員發現後迅速通 報處理 (SUB-FAB)	無	1hr*5 人	無	無
30	承攬商	2006年10月	進行機台基座安裝 微調時，作業人員 手部遭基座夾傷 (FAB)	中指 紅腫	1hr*1 人	醫護 藥品	無
31	火警	2006年10月	薄膜機台一次測電 源盤比壓器過電流 線圈燒毀，VESDA 第一階段動作 (SUB-FAB)	無	1hr*3 5	比壓 器	有
32	化學品	2006年10月	氫氟酸供應系統 VMB 閥體接頭洩 漏，人員發現後， 緊急管閉後維護完	無	3hr*1 2人	吸液 棉， PP材	有

			成 (SUB-FAB)				
33	其他	2006年11月	黃光區設備工程師高架地板開啟後未護圍警戒，造成其他設備工程師不慎跌落 (FAB)	左手手腕扭傷	26hr*1人	醫護藥品	無
34	化學品	2006年11月	爐管製程磷化氫 (PH ₃) 廢氣管路於乾式幫浦後段接頭洩漏，洩漏氣體監測系統警報 (SUB-FAB)	無	1hr*36人	無	有
35	承攬商	2006年12月	與供酸管路配置時，自行開啟高架地板未警示，而跌倒擦傷 (FAB)	小腿擦傷	4hr*1人	醫護藥品	無
36	機械危害	2006年12月	於維護無塵式空調機時，廠務工程師遭傳動皮帶夾傷 (SUB-FAB)	食指紅腫	8hr*1人	醫護藥品	無
37	滑倒	2006年12月	作業人員於著裝區快步通行，踩到置於地上之無塵衣滑倒。	臀部不適	3hr*1人	醫護藥品	無
說明：緊急應變中心 (Emergency Response Center, ERC)							

該廠房於該年度統計有提報之感電虛驚事件統計達三十七件，雖然該

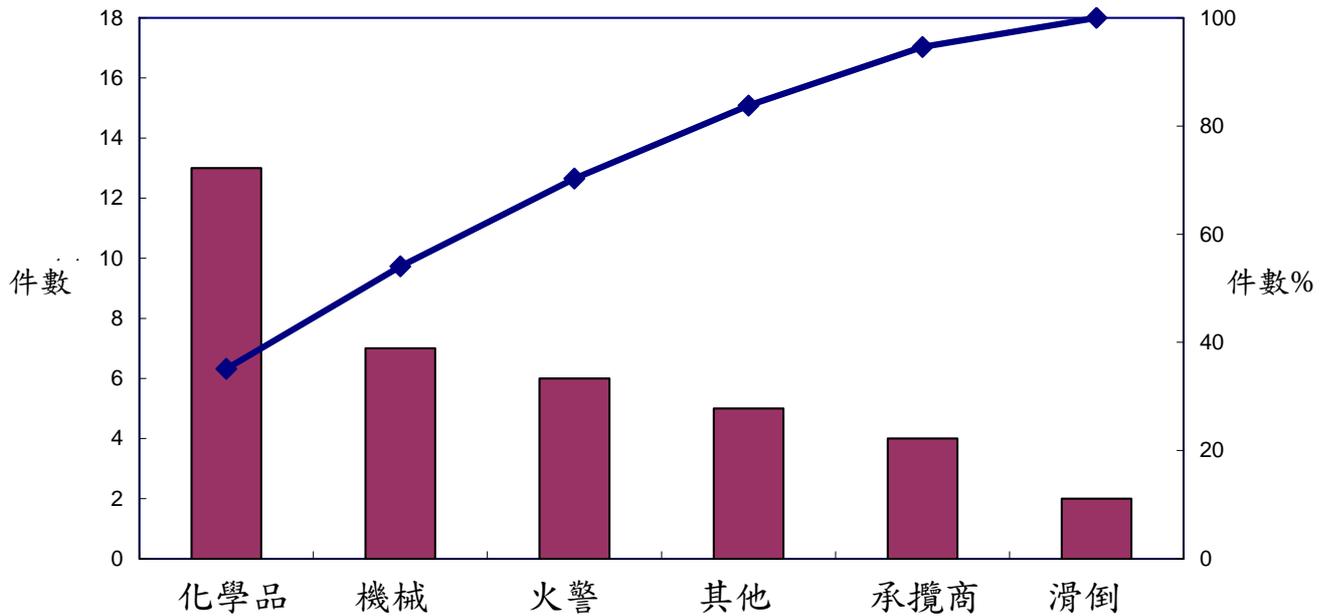


圖 2 某高科技廠房 2006 年事故統計圖

廠未發生因感電而致失能或罹災事故，但是仍可看出電氣危害源在高科技廠房中的重要地位。

另以 2004 年新竹科學園區大停電為例，旺宏力行廠於歲修期間，因電源開關故障，故導致新桃一次變電所跳電，進而造成園區八十餘家廠商無預警停電或跳電，聯電、友達等大廠皆受重大衝擊，此次電力系統故障所造成損失，經估算逾 15 億元以上【7】，電力系統對於高科技廠房運作實為重要。

所以化學品洩漏、機械危害及電力故障均屬半導體、光電面板等高科技產業應當重視的防災項目。

1.2 研究動機

1.2.1 災害事故對單一廠房的影響

高科技廠房之構成，主要分為兩大類，即硬體部份與軟體部分，圖 3 係高科技廠房本質較安全設計策略應用聯想圖，所有災害的發生起因都是因為危害能量的存在，這些能量在高科技廠房中隨處可見，尤其因為製程複雜，設備眾多，當發生能量外露或危害物質外洩時，均可能經由廠房的垂直層流、管道間、廢氣管路等各種途徑，進而使作業人員遭受傷害，另外就算能量能被局限於機台內部，由於日常或緊急的維護檢修，作業人員進入機台內部直接與能量源或危害物質接觸，而導致嚴重傷害亦時有耳聞。

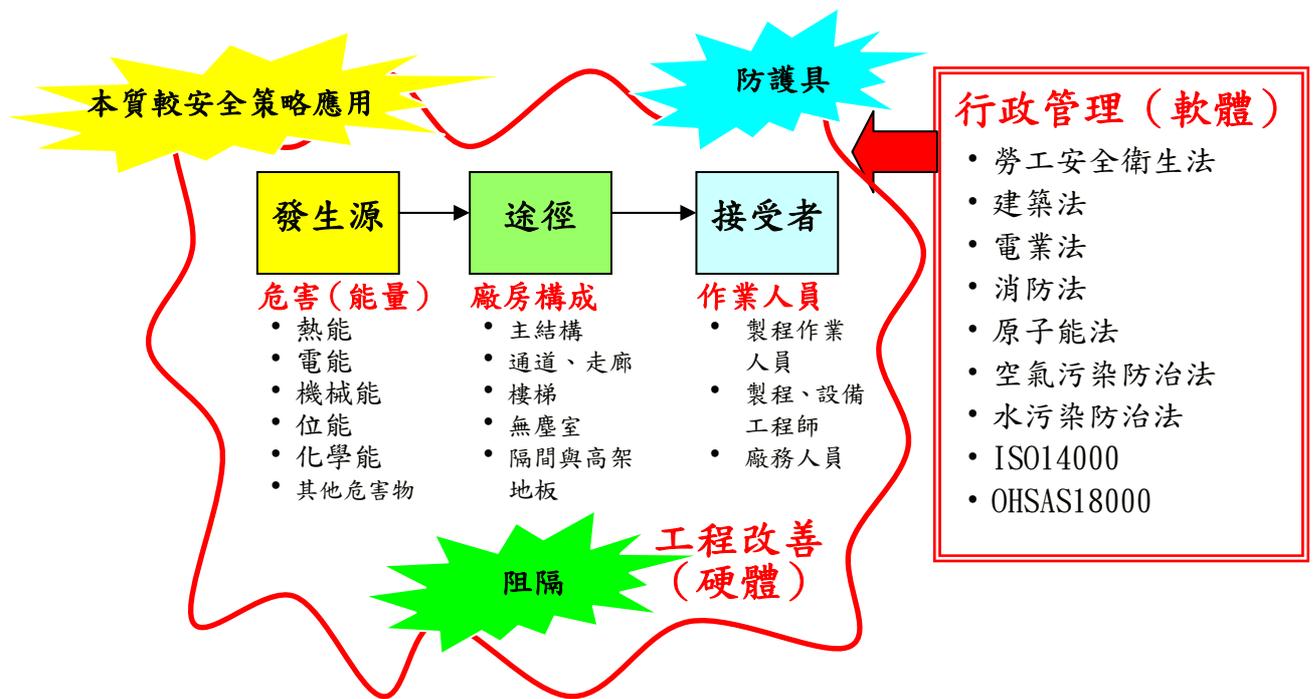


圖 3 高科技廠房本質較安全設計策略應用聯想圖【8】

所以如何根本性的杜絕災害發生，當然最好就是運用本質較安全設計策略，在建廠時就充分考慮消除各種危害源能量，除可以大幅度提升製程與機台設備安全等級，更可強化製程可靠度，災害事故必定得以大幅降低。

不過為了製程的需要我們無法根本性的消除能量或危害物存在時，我們仍必須另外考慮適當的途徑阻隔，或是進行最後一道防線的個人防護具穿戴。

由過去經驗發現，不安全設備造成職業災害比率達 24%，而 73% 多屬不安全行為所造成【9】，人員在作業中可能因為疏忽、遺忘、錯誤認知、違反規定等情況而導致事故發生，此情況於半導體產業由六吋演進為十二吋晶圓（線寬 65nm）及光電面板產業由六代提升為七代玻璃基板尺寸達 2000mm*2100mm，產品尺寸大幅成長後，情況更形顯助，製程機台變大、複雜，如此人員更容易因為維護、保養而進入機台內部，提升與化學品、機械構造及電力等危害源接觸的機會，如果沒有盡力消除危害源，那不安全行為的發生也就極為可能造成災害事故的擴大。

對於不安全行為的預防，我們當然可以運用完善的行政管理措施，如較法令高的管理標準或是採用國際先進的管理模式 OHSAS18000 等，來提昇作業人員素質與安全意識，但如何確實達成製程可靠度，並完成作業安全性，可能就不僅依靠『教育訓練』、『工作教導』等行政管理措施來預防災害事故發生。

但是最根本、有效的方式，應該自製程機台設備於規劃、設計、採購、裝置、維護等階段，就考量降低風險等級，竭盡所能的使機台設備達到『本質較安全 (inherently safer) 』程度。

圖 4 為內在及外在安全機會與設計階段關係，可清楚看出如要達成內在本質安全的機會，最好是在發展及企劃與程序設計等時期就進行考慮，對光電及半導體高科技製程而言更是如此。

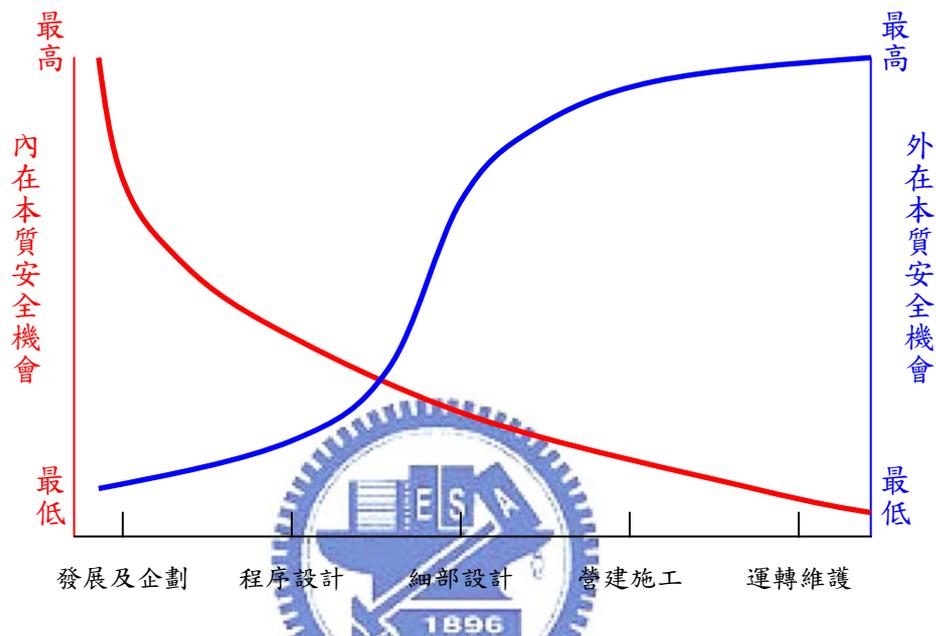


圖 4 內在及外在安全機會與設計階段關係【10】

1.2.2 災害事故對科技園區聯防救災的影響

高科技廠房因為危害源眾多、廠房面積大，內部動線複雜，所以當不幸發生災害事故時，救災時間往往耗時甚久，以近期發生於三重市生產監視設備的陞泰科技為例，該棟大樓每層樓地板面積約為 2300 平方公尺，其他樓層尚有藍天電腦公司生產廠房，悶燒樓層於 10 層等共計 3 層廠房，自凌晨傳出火警後，台北縣府消防局合計出動百餘名警義消及 20 個消防分隊，逾 40 輛消防車前往搶救，但是仍耗費十餘小時才得以撲滅火勢【11】；如發生火災之廠房為面板七代廠，其無塵室面積即高達六萬平方公尺以上，救災困難度必定更加艱鉅。

另外許多廠房均會依據都市計劃共同設立於工業區或科技園區中，無論從近期陞泰科技火災或是由過去的福國化工爆炸、中油煉油廠爆炸等重大工業災害事故來看，做好防災工作絕非單獨某間高科技廠房的責任，因為身處鄰廠的我們，輕則遭受製程穩定性影響，嚴重時極可能因為受波及而導致廠房或生產線嚴重損害，如此也說明了高科技園區聯防的重要性。

圖 5 係高科技廠房風險控制與科技園區緊急應變機制系統圖，對任何高科技廠房而言，平時即應藉由風險控制來落實工程改善，以消除硬體危害源，並且應建置完善的建廠、營運及維護管理機制，由危害情境分析開始，逐步建立整備與救災的應變行為，這些均為廠房防災的重要手段之一。

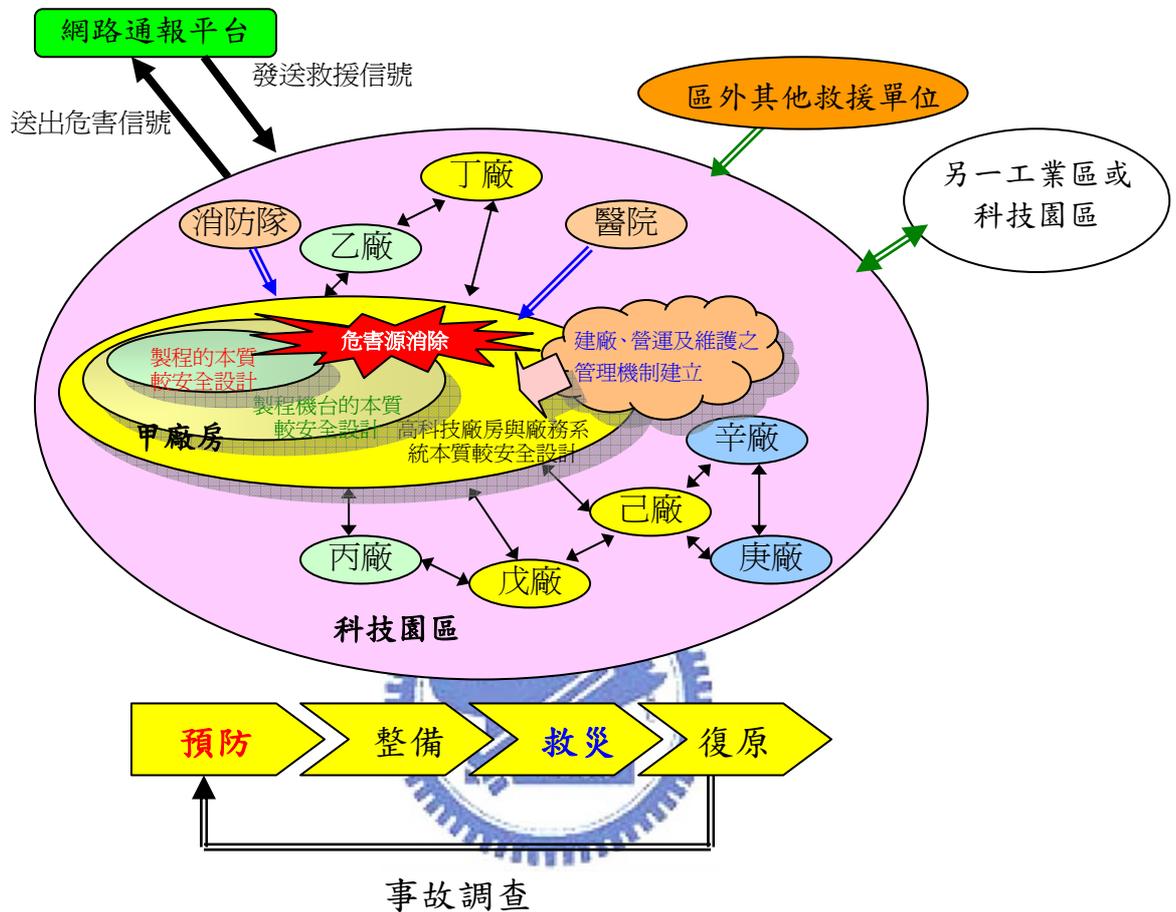


圖 5 高科技廠房風險控制與科技園區緊急應變機制系統圖【12】

1.2.3 災害事故對全球高科技產品供應鏈的影響

無論是半導體製造或是光電面板產業中，均各自擁有完整的原物料供應、倉儲與運輸、前期加工、半成品加工、成品製造、測試封裝與包裝、3C 電子產品銷售及最終使用顧客的完整供應鏈 (supply chain)，由於全球生產管理為追求最小存貨量，所以即時管理 (just in time, JIT) 當然成為眾所競逐的管理方式之一，但是在最小存貨量要求下，在供應鏈中的任何公司、廠房或倉庫都是極為重要的一份子，因為任何火災 (fire)、爆炸 (explosion)、氣體洩漏 (gas leakage)、電力中斷 (power interrupted) 等災害，都將造成供應鏈的中斷，進而造成無法持續營運的窘境，圖 6 係高科技廠房供應鏈示意圖。

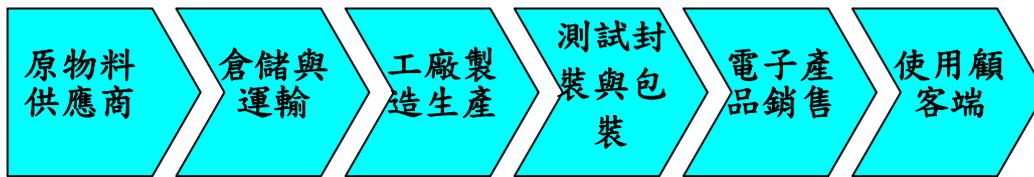


圖 6 高科技廠房供應鏈示意圖【13】

1.2.4 高科技廠房製程、設備、廠務系統可能發生之危害

在光電及半導體高科技廠房製程所需由製程、設備到廠務各個製程階段可能發生危害彙整成表 3，火災、感電與機械傷害為普遍的發生原因，所以如何利用本質較安全設計的各種策略來提升高科技廠房製程安全性，也就成為光電及半導體高科技廠房製程必須重視的課題。

表 3 高科技廠房製程、設備、廠務系統可能發生之危害

製程階段	設備構造	可能危害
晶塊成長 (Polycrystalline Growth)	結構體、散熱裝置、壓力表、控制閥、馬達、配管、配線、監控	高溫、毒氣洩漏、火災、爆炸、感電、捲夾
晶圓切割 (Polycrystalline Cutting and Polish)	反應器、顯示器、控制盤、驅動裝置、機殼構造、研磨輪、線切割裝置結構體、配管、配線、監控	有機溶劑中毒、酸鹼液腐蝕、感電、捲夾、撞擊、切割
氧化(Oxide)及熱處理 (Thermal Process)	晶圓傳輸裝置、結構體、散熱、空氣濾清、加熱器、電源、配管、配線、監控	高溫、火災、爆炸、感電、夾壓
擴散 (diffusion)	晶圓傳輸裝置、結構體、散熱、空氣濾清、加熱器、電源、配管、配線、監控	高溫、洩漏中毒、火災、爆炸、感電、夾壓
物理氣相沉積 (Physical Vapor Deposition, PVD)	晶圓傳輸裝置、反應器、電源供應器、隔離閥、冷凍閥、機械泵、配管、配線、監控	高溫、洩漏中毒、火災、爆炸、感電、夾壓、捲入
化學氣相沉積 (Chemical Vapor	晶圓傳輸裝置、反應器、控制器、原物料供應、真	高溫、洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾

Deposition CVD)	空系統、接地系統、配管、配線、監控	壓
微影 (photolithography)	晶圓傳輸裝置、旋塗室、光阻噴塗、機械手臂、真空系統、設備結構、接地、旋轉器、軟烤機、配管、配線、監控	高溫、洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、捲夾
蝕刻 (etching)	晶圓傳輸裝置、反應器、電極板、晶座、線圈磁鐵、真空裝置、射頻(RF)產生器、氣體控制及供應、接地、冷卻水系統、配管、配線、監控【14】	高溫、洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾壓、輻射
離子植入 (ion implantation)	晶圓傳輸裝置、設備構造、離子源裝置、過濾器、解析孔隙、4極聚焦器、靜電偏束器、掃瞄器、磁鏡、加速器、晶座、法拉第杯、低溫泵、接地、冷卻水系統、配管、配線、監控	高溫、洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾壓、輻射
化學機械研磨法 (Chemical Mechanical Polish)	晶圓傳輸裝置、研磨裝置、機械裝置、磨光站裝置、刷洗裝置、機組結構、配管、配線、監控	洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾壓
洗淨製程設備 (Wafer Cleaning Processing Equipment)	晶圓傳輸裝置、清洗室、載具傳送、蒸氣烘乾裝置、機械手臂、機組結構、配管、配線、監控	洩漏中毒、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾壓、輻射
封裝製程 (Package)	晶圓工作台、晶圓輸出機構、視覺鏡組、頂出機構、導線架、導線架傳送機構、塗膠機構、取放機構、導線架輸出機構、機組結構、配管、配線、監控	洩漏中毒、高溫、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾壓、捲入、衝撞、倒塌
廠務系統	無塵室、辦公室、原物料儲存室、通道、化學品	洩漏中毒、高溫、腐蝕、火災、爆炸、感電、夾

(facility system)	室、電氣室、通風換氣設備、管路管架、室外儲槽、廢水處理設施	壓、捲入、衝撞、倒塌、溺水、缺氧
-------------------	-------------------------------	------------------

1.2.5 半導體製程作業用途與使用反應材料

表 4 為光電及半導體高科技廠房製程所用到的反應原物料種類及其各種物理特性，其中以自燃、燃燒、爆炸、中毒、腐蝕等較具危害性，尤其是會造成廠房火災、爆炸的原物料更是不容管理者輕忽。

表 4 半導體製程作業用途與使用反應材料彙總表

製程	反應氣體名稱	作業用途	危害性	廢氣/液種類	三態
CVD Chemical Vapor Deposition 化學氣相沉積	矽甲烷 SiH4	介電材質, SiO2	中毒、爆炸、自燃	毒性氣體	氣
	硼乙烷 B2H6	BPSG	中毒、燃燒、爆炸	毒性氣體	氣
	氨 NH3	Si3N4	中毒、腐蝕	毒性液體	液
	氫 H2	氧化層	燃燒、爆炸	可燃氣體	氣
	四氧乙基矽 TEOS	SiO2, 矽玻璃	中毒	毒性液體	液
	二氯矽烷 SiH2Cl2	Si3N4	中毒、燃燒、爆炸、腐蝕	毒性氣體	氣
	四氯化碳 TiCl4	Tin/Ti	中毒	毒性液體	液
蝕刻 Wet Etching Dry Etching	六氟化鎢 WF6	Si or W	中毒、腐蝕	毒性氣體	氣
	四氟化碳 CF4	SiO2, Si3N4, Al	微毒、不燃、窒息	毒性氣體	氣
	三氯甲烷 CHF3	SiO2, Si3N4	中毒、不燃	毒性氣體	氣
	氧 O2	Dry Etching	助燃	一般氣體	氣
	六氟化硫 SF6	SiO2, Poly, Tin, W	中毒、不燃	毒性氣體	氣
	硫酸 H2SO4	Wet Etching	腐蝕	酸性液體	液
	硝酸 HNO3	Wet Etching	腐蝕	酸性液體	液
	氯化氫(鹽酸) HCL	Wet Etching	腐蝕、中毒	酸液/毒氣	液/氣
甲醇 Methanol	Wet Etching	燃燒、揮發	有機溶劑	液	

離子植入 Ion implantation	磷化氫 PH ₃	N 型 3 價	中毒、燃燒、 爆炸、自燃	毒性氣體	氣
	三氟化硼 BF ₃	P 型 5 價	中毒、燃燒	毒性氣體	氣
	砷化氫 AsH ₃	N 型 3 價	中毒、燃燒、 爆炸、自燃	毒性氣體	氣
	三氯化硼 BC ₁₃	P 型 5 價	腐蝕、中毒	毒性液體	液
微影 Photolithography (光罩 Mask)	AZP4620	光阻	中毒、揮發	有機溶劑	液
	S1813	光阻	中毒、揮發	有機溶劑	液
	六甲基乙矽氫 烷 HMDS	塗底	中毒、揮發	有機溶劑	液
	乙酸正丁酯	顯影	中毒、揮發	有機溶劑	液
	氫氧化鈉 NaOH	顯影	腐蝕	鹼性液體	液
	丙酮 ACETONE	去光阻	中毒、揮發	有機溶劑	液
	硫酸 H ₂ SO ₄	去光阻	腐蝕	酸性液體	液
	雙氧水 H ₂ O ₂	去光阻	腐蝕	酸性液體	液
化學機械研磨 CMP Chemical Mechanical Polish	氫氧化鉀 KOH	S ₁₀₂ ,	腐蝕	鹼性液體	液
	雙氧水 H ₂ O ₂	Cu, W	腐蝕	酸性液體	液
	氫氧化銨 H ₅ NO	後 CMP, S ₁₀₂	腐蝕	鹼性液體	液
	三氯乙烯 Trichlorethylene	清洗	中毒、揮發	有機溶劑	液
	氫氟酸 HF	後 CMP	腐蝕	酸性液體	液
	丙酮 ACETONE	清洗	中毒	有機溶劑	液
	硫酸 H ₂ SO ₄	清洗	腐蝕	酸性液體	液
其他 (Carrier Gas)	N ₂ 、Ar、He	載氣	不燃、窒息、 助燃	惰性氣體	氣

1.2.6 高科技廠房之危害源

依據 EN ISO 12100-1，一般而言機器所造成的危險情形可分為以下幾類：【15】

1. 機械性危害：壓碾、夾入、刺入、切剪、捲入、摩擦、切斷、撞擊等。
2. 電氣性危害：與帶電部分接觸、絕緣不良、靜電等。
3. 熱源危害：火災、爆炸、放射熱、燙傷等。
4. 噪音危害：聽力降低、耳鳴等。
5. 震動危害：造成手、腕、腰等全身重大傷害。
6. 放射線危害：低頻、高頻、紫外線、紅外線、X 光等。

7. 原物料所造成的危害：有害物質或刺激、粉塵或爆炸等。
8. 人體工學危害：不健康的姿勢、人為錯誤等。

表 5 為高科技廠房可燃物、助燃物、發火源彙整表。

表 5 高科技廠房可燃物、助燃物、發火源彙整表

燃燒要素	相關物質或設備
可燃物	固態：機台構材、反應槽體、塑膠管材、晶圓載器、晶片卡匣 液態：可燃性化學品（異丙醇、光阻液、甲醇）、可燃性廢溶液、柴油 氣態：可燃性反應氣體（H ₂ 、SiH ₄ 、AsH ₃ 、PH ₃ 、CH ₄ 、LNG、LPG）及可燃性反應廢氣
助燃物	O ₂
發火源	高溫製程設備、自燃性氣體（SiH ₄ 、AsH ₃ 、PH ₃ ）、電器火花（短路、過載）、化學反應與熱蓄積、熱斷壓縮現象、固體磨擦、靜電火花

1.2.7 危害種類與可能發生情境分析

表 6 為高科技廠房危害種類與可能發生情境分析，無論是何種危害發生，我們均應能確認發生的情境，並且評估出該危害影響程度範圍，這也就是嚴重度分析。

表 6 高科技廠房危害種類與可能發生情境分析彙整表

危害種類	可能發生情境分析	影響程度範圍評估（嚴重度分析）
火災	火災係人類不希望也無法掌握的燃燒現象，所以火災發生首重燃燒四要素成立，首先會有單一或少量可燃物著火，如果未立即撲滅，則將造成多種或多量可燃物著火，火場熱釋率提升，最後則突破防火區劃，而向廠區其	火災爆炸指數（Dow's Fire & Explosion Index） 【16】 $F = MF \times (1 + Ghetto) \times (1 + SPH_{tot})$ MF：物質係數（0~40） Ghetto：一般製程危害點數（0.25~1.5） Shot：特殊製程危害點數（0.25~1.5）

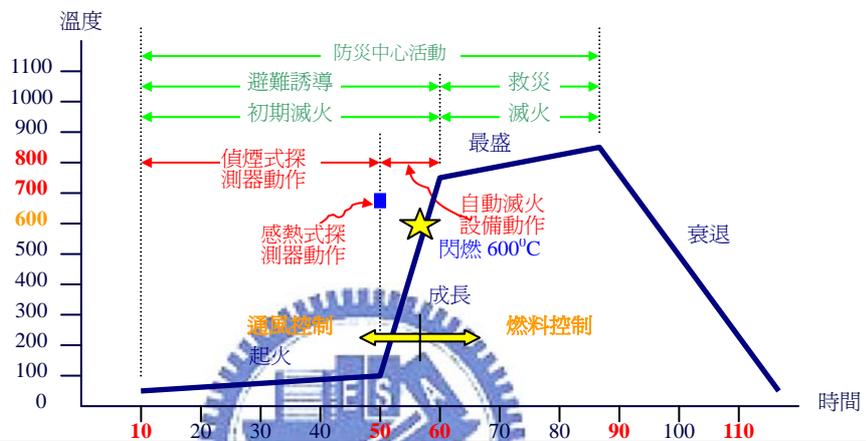
他區劃或鄰廠擴大延燒。

判定：

危害等級	火災爆炸指數	毒性指數
第一級	F < 65	T < 6
第二級	65 ≤ F < 95	6 ≤ T < 10
第三級	F ≥ 95	T ≥ 10

※其中以第三級危害性最高

高科技廠房的燃燒四要素及火災歷程構成：



引火性液體之蒸氣及可燃性氣體洩漏，當與空氣充份混合達爆炸下限時，如有適當引燃能量，則產生劇烈的爆炸化學反應，產生大量熱量、強光與爆震、爆壓，隨著四周途徑傳遞而擴大成火災或更大範圍爆炸，主要危害有爆炸壓力與破片衝擊。

爆炸

火災爆炸指數 (Dow's Fire & Explosion Index)

【16】

$$F = MF \times (1 + GP_{Htot}) \times (1 + SP_{Htot})$$

MF：物質係數 (0~40)

Ghetto：一般製程危害點數 (0.25~1.5)

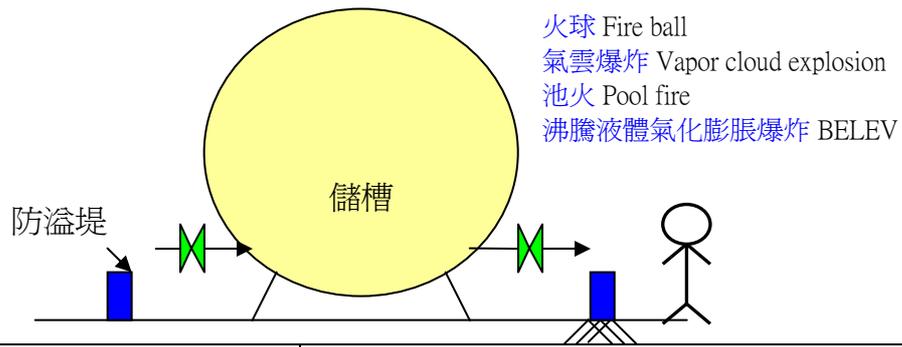
Shot：特殊製程危害點數 (0.25~1.5)

判定：

危害等級	火災爆炸指數
第一級	F < 65
第二級	65 ≤ F < 95
第三級	F ≥ 95

※其中以第三級危害性最高

高科技廠房的可燃性液體儲槽爆炸構成：【17】



因為管路斷裂或儲槽破洞，而使有毒氣體外洩至密閉室內作業空間或室外開放空間的情況，此時會因氣流而逐步擴散，風速與地形將影響毒氣擴散範圍。

火災爆炸指數 (Dow's Fire & Explosion Index) 【16】

$$T = Th + Ts / 100 (1 + Ghetto + Shot)$$

Th：毒性係數

Ts：危害點數，依物質最大容許濃度而定

判定：

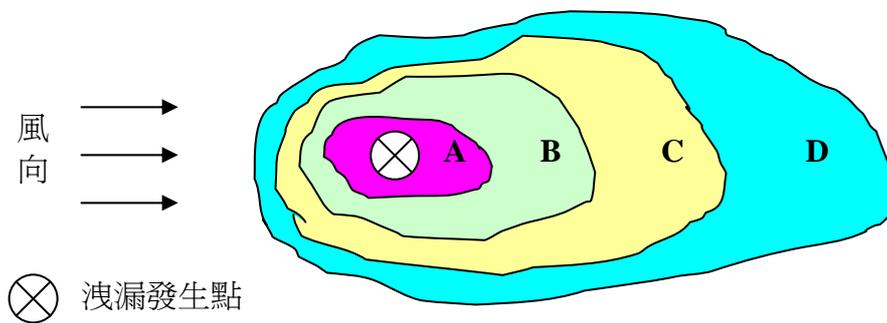
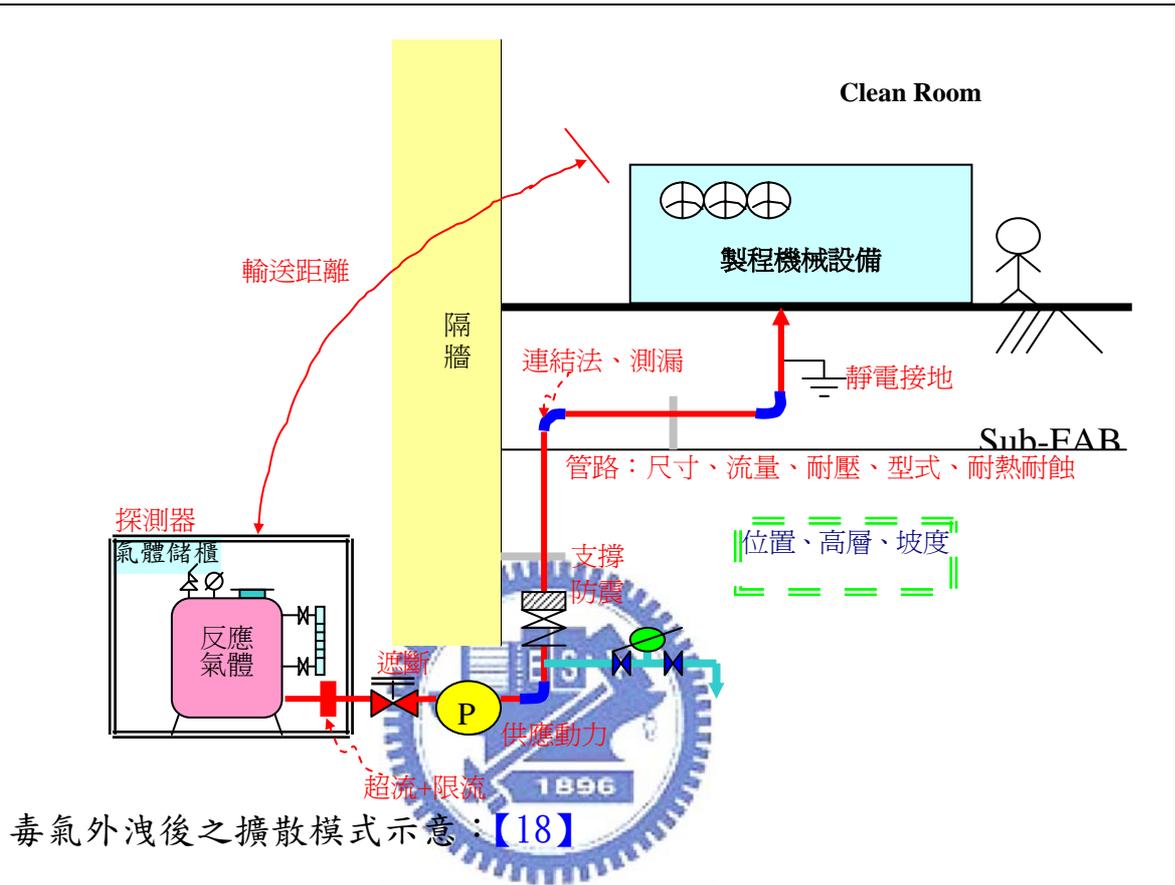
危害等級	毒性指數
第一級	$T < 6$
第二級	$6 \leq T < 10$
第三級	$T \geq 10$

※其中以第三級危害性最高

※當火災爆炸指數與毒性指數均有時，先考慮危害性高者。

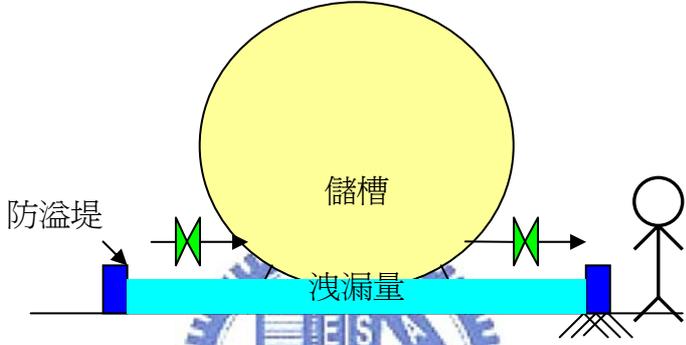
有毒氣體外洩

高科技廠房的毒氣外洩之構成：

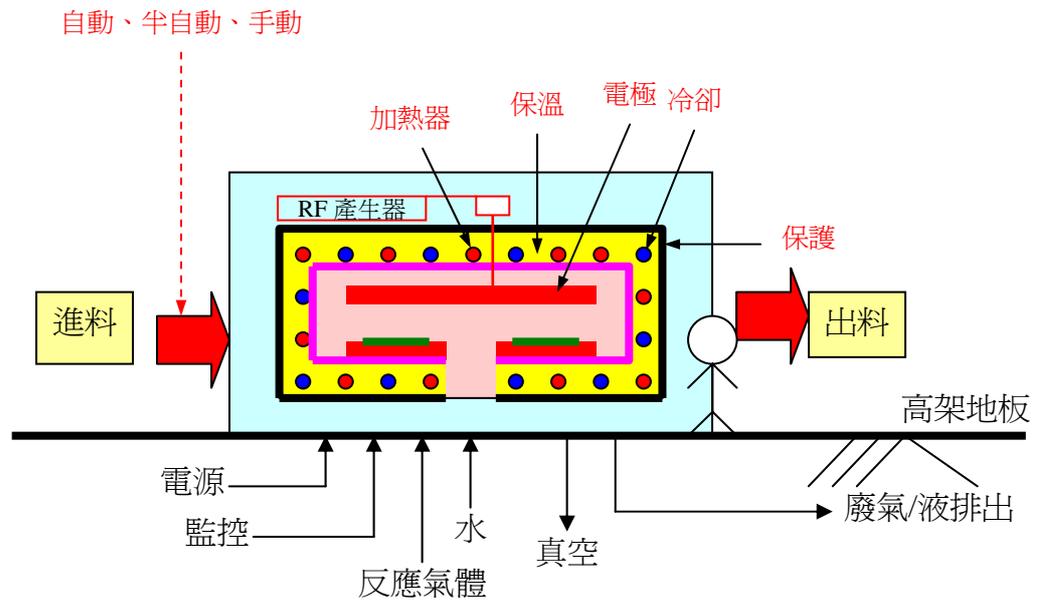


- A** 洩漏發生 10min 時，災害擴大範圍
- B** 洩漏發生 30min 時，災害擴大範圍
- C** 洩漏發生 1hr 時，災害擴大範圍
- D** 洩漏發生 2hr 時，災害擴大範圍

<p>化學品洩漏</p>	<p>因為管路斷裂或儲槽破洞，而使有化學品洩漏至密閉室內作業空間或室外開放空間的情況，此時會因地形而</p>	<p>求得洩漏點之質量流率【19】</p> $\Delta m / \Delta t = \rho_2 A_2 v_2$ <p>再求得洩漏擴散面積 A、擴散速度 v、化學品揮</p>
--------------	--	---

	<p>逐步擴散或蓄積，四周管路設備將遭受腐蝕傷害而擴大危害範圍。</p>	<p>發速度及洩漏量 $Q=VA$ 等相關數值來綜合討論。</p> <p>判定：</p> <table border="1" data-bbox="724 360 1485 705"> <thead> <tr> <th>危害等級</th> <th>擴散面積</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第一級</td> <td>已設防溢堤可全數承受洩漏量者</td> </tr> <tr> <td>第二級</td> <td>已設防溢堤但無法全數承受洩漏量者</td> </tr> <tr> <td>第三級</td> <td>未設防溢堤且具高毒性（50ppm 以內）及易燃性者</td> </tr> </tbody> </table>	危害等級	擴散面積	第一級	已設防溢堤可全數承受洩漏量者	第二級	已設防溢堤但無法全數承受洩漏量者	第三級	未設防溢堤且具高毒性（50ppm 以內）及易燃性者
危害等級	擴散面積									
第一級	已設防溢堤可全數承受洩漏量者									
第二級	已設防溢堤但無法全數承受洩漏量者									
第三級	未設防溢堤且具高毒性（50ppm 以內）及易燃性者									
<p>高科技廠房的化學品洩漏之構成：</p> 										
<p>高溫</p>	<p>製程機台內設置之反應器、加熱器、電漿產生器、離子加速器等設備，均會應製程需要產生數百度之高溫，除提供火災、爆炸能量外，亦可能透過直接接觸而危害作業人員。</p>	<p>以溫度計確認實際接觸表面溫度及可能接觸面積，除成為火災、爆炸能量外，否則僅造成少數或僅一位作業人員傷害，故尚不至於擴大成為緊急聯防危害源。</p> <p>判定：</p> <table border="1" data-bbox="724 1536 1337 1780"> <thead> <tr> <th>危害等級</th> <th>高溫判定模式</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>第一級</td> <td>可能造成 30% 輕度灼傷者</td> </tr> <tr> <td>第二級</td> <td>可能造成 30% 中度灼傷者</td> </tr> <tr> <td>第三級</td> <td>可能造成 30% 深度灼傷者</td> </tr> </tbody> </table>	危害等級	高溫判定模式	第一級	可能造成 30% 輕度灼傷者	第二級	可能造成 30% 中度灼傷者	第三級	可能造成 30% 深度灼傷者
危害等級	高溫判定模式									
第一級	可能造成 30% 輕度灼傷者									
第二級	可能造成 30% 中度灼傷者									
第三級	可能造成 30% 深度灼傷者									

高科技廠房製程機台的溫度危害源示意：



製程機台與廠務系統為正常運轉所需的電源，當絕緣能力下降或人為失誤操作時，即可能接觸帶電體，致作業人員發生感電危害。

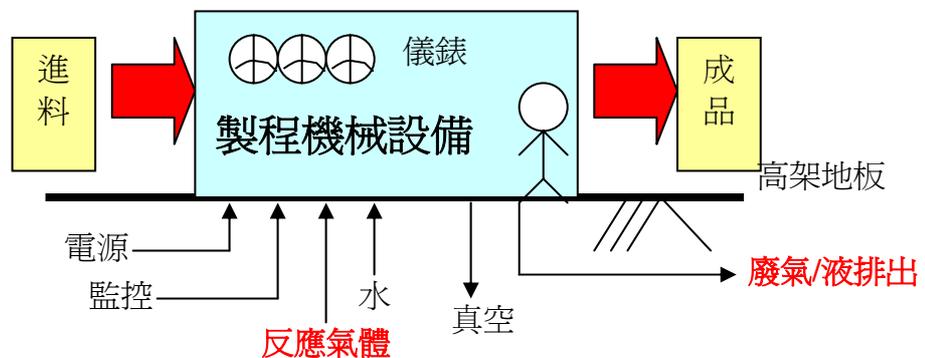
量測使用電壓值及迴路電流值，因為感電多僅造成少數或僅一位作業人員傷害，故尚不至於擴大成為緊急聯防危害源。

判定：

危害等級	感電危害判定模式
第一級	使用電壓 150V 以下者
第二級	使用電壓 150V~300 V 者
第三級	使用電壓 300 V 以上者

感電

高科技廠房製程機台的感電危害源示意：



機械性夾

由製程機台的機械手臂、傳輸裝置、自動搬

作業人員可觸及之最遠距離與安全裝置的功能性，機械性危害僅造成少數或僅一位作業人員

運設備等，因作業人員的接近，而造成人員與機台的接觸。

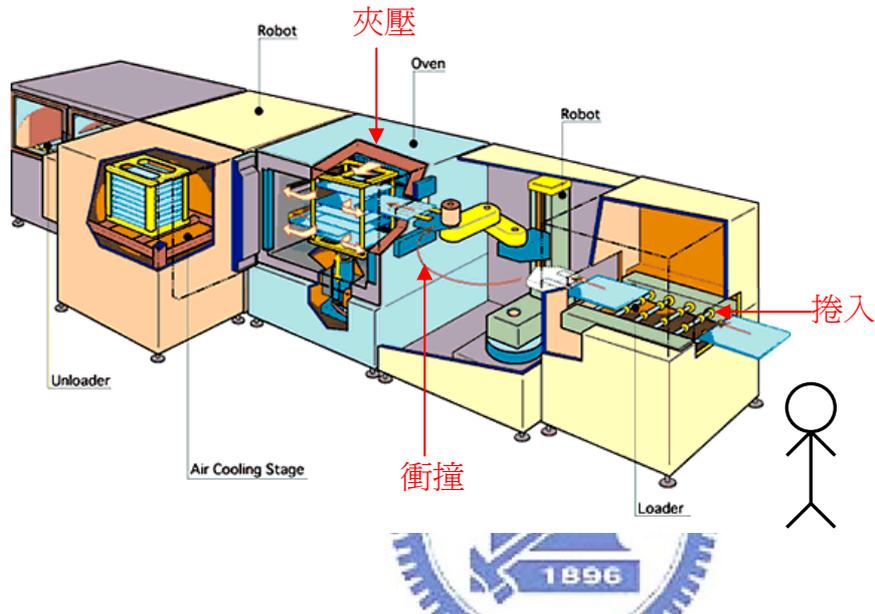
傷害，故尚不至於擴大成為聯防危害源。

判定：

危害等級	機械性危害判定模式
第一級	造成失能傷害者
第二級	造成部份永久失能傷害者
第三級	造成死亡或永久全失能傷害者

壓、捲入、衝撞

高科技廠房製程機台的機械性危害源示意：



由原物料、製成機抬或廠務設備等，因儲存、搬運、堆置等作業，人員的接近，倒塌後傷及人員的危害情況。

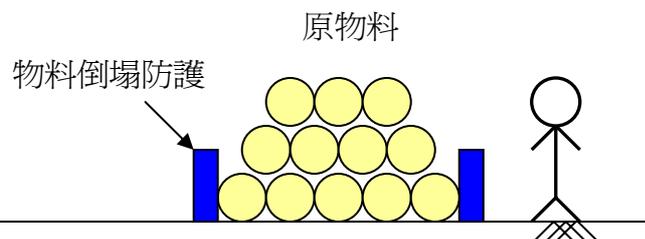
依物料的尺寸、重量等，核算作業人員可接近之最遠距離，物料倒塌危害僅造成少數或僅一位作業人員傷害，故尚不至於擴大成為聯防危害源。

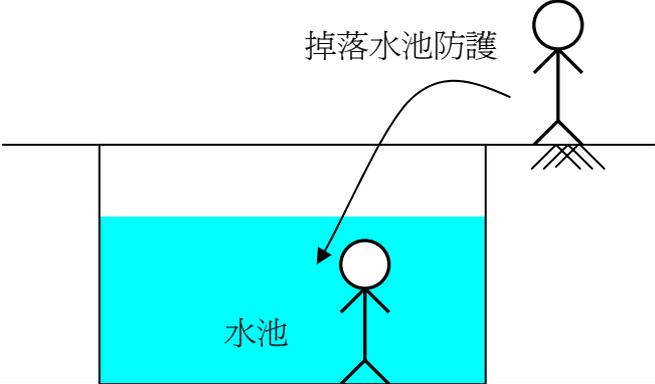
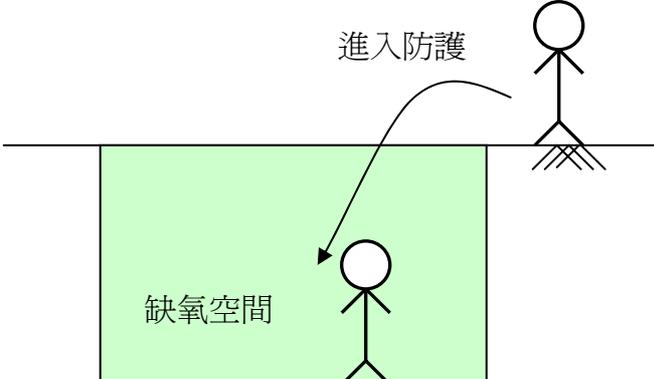
判定：

危害等級	物料倒塌危害判定模式
第一級	造成失能傷害者
第二級	造成部份永久失能傷害者
第三級	造成死亡或永久全失能傷害者

物料倒塌

高科技廠房的物料倒塌危害示意：



	<p>由原物料儲槽、廢水處理設施、純水儲槽等，因作業人員的接近墜落槽中，而造成人員溺水。</p>	<p>核算儲槽內之水位高度，溺水危害僅造成少數或僅一位作業人員傷害，故尚不至於擴大成為聯防危害源。</p> <p>判定：</p> <table border="1" data-bbox="724 456 1337 607"> <tr> <th>危害等級</th> <th>溺水危害判定模式</th> </tr> <tr> <td>第一級</td> <td>無溺斃可能者</td> </tr> <tr> <td>第二級</td> <td>會造成人員溺斃者</td> </tr> </table>	危害等級	溺水危害判定模式	第一級	無溺斃可能者	第二級	會造成人員溺斃者
危害等級	溺水危害判定模式							
第一級	無溺斃可能者							
第二級	會造成人員溺斃者							
<p>溺水</p>	<p>高科技廠房的溺水危害示意：</p> 							
<p>桶槽缺氧</p>	<p>由原物料儲槽、廢水處理設施、純水儲槽等，因作業人員的進入，而造成人員的接觸缺氧。</p>	<p>測定氧氣濃度並且評估是否設置通風換氣裝置，桶槽缺氧危害僅造成少數或僅一位作業人員傷害，故尚不至於擴大成為聯防危害源。</p> <p>判定：</p> <table border="1" data-bbox="724 1330 1337 1480"> <tr> <th>危害等級</th> <th>溺水危害判定模式</th> </tr> <tr> <td>第一級</td> <td>無缺氧可能者</td> </tr> <tr> <td>第二級</td> <td>會造成人員缺氧者</td> </tr> </table>	危害等級	溺水危害判定模式	第一級	無缺氧可能者	第二級	會造成人員缺氧者
危害等級	溺水危害判定模式							
第一級	無缺氧可能者							
第二級	會造成人員缺氧者							
	<p>高科技廠房的溺水危害示意：</p> 							

1.3 研究目的

本研究主要希望透過半導體製程、機台設備與廠務系統，深入探討本質較安全設計策略的可行性；對於製程部分亦將運用實際驗證方式，來確認本質較安全策略成果；而機台設備則是運用實際採購評估、裝機的安全運轉時數統計，來比較運用前後的績效；另外對於廠務系統部分則選定對高科技廠房影響較大的電力系統為研究項目，由危害情境開始，分析其風險等級，最後進行工程改善，並進一步統計分析改善前後之成效，以證明運用本質較安全設計後之高科技製程、機台與廠務系統能有效提升安全等級，進而印證本質較安全設計策略應用可行性。

本研究研究目的說明如下：

1. 獲得半導體製造之濕式蝕刻製程原理及本質較安全取代策略實驗成果，以實證本質較安全設計策略應用可行性。
2. 獲得面板製程機台之本質較安全設計策略實務成果，以實證本質較安全設計策略應用可行性。
3. 獲得高科技廠務電力系統之本質較安全設計策略實務成果，以實證本質較安全設計策略應用可行性。
4. 獲得高科技製程、製程、廠務之各種實例成果，以輔助實證本質較安全設計策略應用可行性。
5. 建置本質較安全應用機制彙整表，以供高科技產業從業人員參酌使用。



1.4 論文架構

表 7 論文架構表

章節	名稱	內容
一	緒論	1.1 研究背景
		1.2 研究動機
		1.3 研究目的
		1.4 論文架構
二	研究內容與方法	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
		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
		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
三	相關文獻探討	3.1 本質較安全設計策略
		3.2 風險評估理論

四	應用實例探討	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
		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
		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
		4.4 其他可行案例探討
		4.5 建置本質較安全應用機制彙整表與討論
五	結論與後續研究方向	5.1 結論與可行性討論
		5.2 本研究應用機制完整性擴充
		5.3 後續研究方向



二、研究內容與方法

本研究主要希望能藉由理論及實務上的驗證，以確認本質較安全設計策略於高科技廠房中的應用可行性，並且運用驗證結果，以支持及建置本質較安全應用機制架構表，如表 8 所示。

表 8 本質較安全應用機制架構表

		安全設計										
		危害辨識										
		風險評估										
		本質較安全設計策略→風險控制→工程改善										
		強化	取代	減弱	限制影響	簡單化	避免骨牌效應	防愚設計	狀態清晰	容忍	易於控制	軟體
高科技廠房	製程	濕式清洗製程										
	設備	製程機台安全設計										
	廠務	電力供應系統										

本研究主要研究內容與方法說明如下。

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

2.1.1 半導體製程概述

半導體製程主要產品即稱為積體電路 (Integrated Circuit, IC)，積體電路的主要功能係運用在邏輯運算 (logic operating)、記憶體 (memory)、微電腦晶片 (chip)、控制器 (controller)、被動元件 (device) 等，而為達成前述功能，積體電路製程就必須在晶圓 (wafer) 表面，製作出電晶體元件 (transistor device) 來模擬開關 (switch)、電阻器 (resistor)、電容器 (capacitor) 等功能，最後再與金屬層連線 (metal line) 所構成的特定功能電路。【20】

半導體材料自發明以來，最重要的一種基本元件就是電晶體

(transistor)，而首先由貝爾實驗室科學家發明的是雙載子接合電晶體 (Bipolar Junction Transistor，即BJT)，其典型結構如圖7所示，其功能可做為電路裏的開關外，更可做為放大器用。

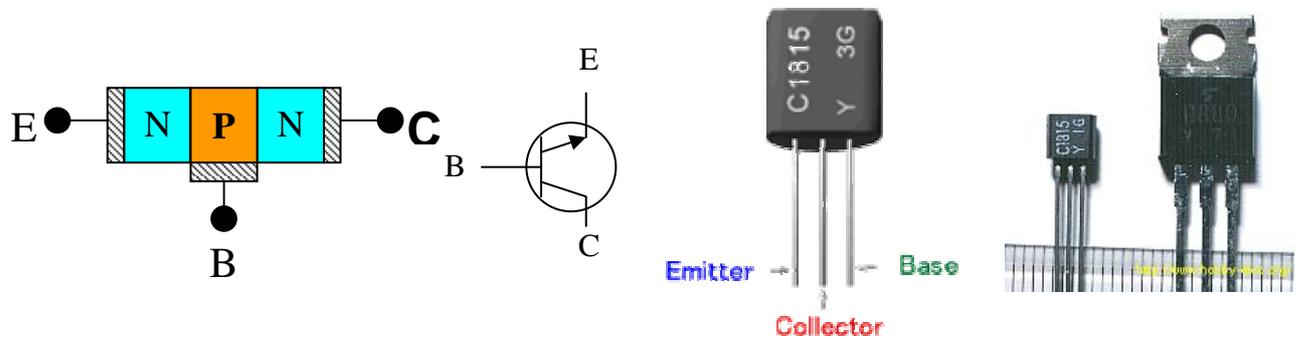


圖7 雙載子電晶體結構、電路符號及實體參考照片

積體電路發展至今，最重要的元件即是金屬氧化半導體電晶體 (Metal-Oxide-Semiconductor Transistor，即MOSFET) 的有關製程，又MOSFET 其功能除可做為前述BJT的開關及放大器功能外，更可模擬電容器、電阻器 (被動元件) 的功能，如此才得以實現在極小的晶片上，放入數億個電子元件，並實現出數以萬計的電子電路功能，尤其是邏輯運算電路及開關電路，因為半導體材料即可模擬電容器功能，故在相同製程中，只要適當改變微影圖樣佈設，即可製作出不同功能的電子電路，其變化性與靈活性，就是使MOS站上舞台成為主角的主因。

在1965年Intel公司的摩爾 (Moore) 先生在一次演說即發表預測，約18~24個月，積體電路晶片上的電晶體密度會以兩倍的速率成長，此即為有名的摩爾定律 (Moore's Law)，目前積體電路的發展也依此速度前進中，如圖8所示。

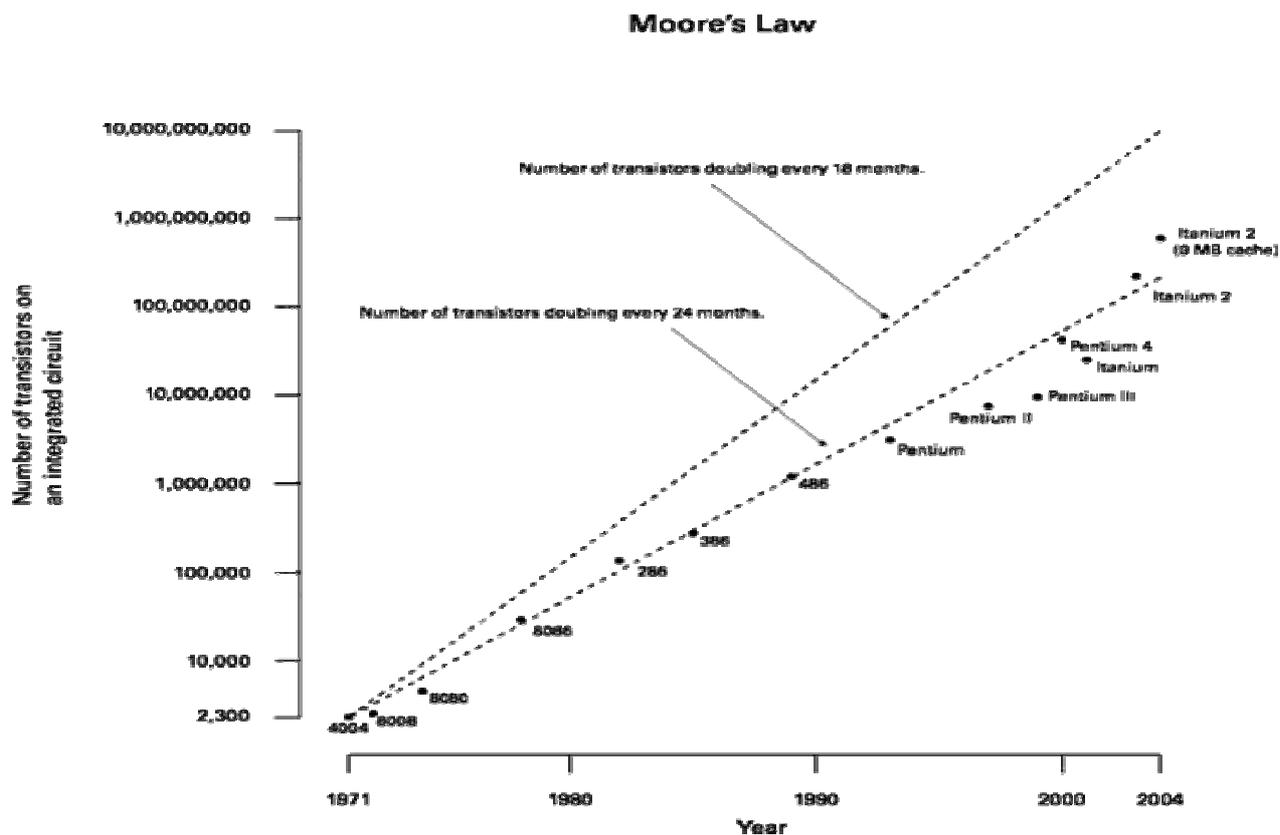


圖 8 摩爾定律【21】

在目前積體電路的用途，大致來說，就是使用於記憶體（Memory）及邏輯電路（Logic System）。

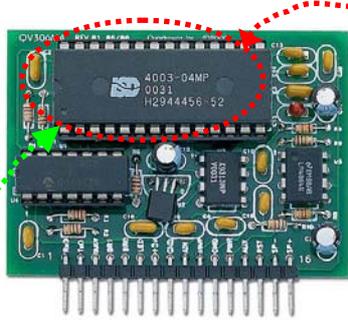
其中記憶體部份的實務應用有快取記憶體、暫存記憶體…等，因為半導體製程的進步，DRAM 規格已達 10Gbyte 以上，並且這個容量的提升，仍追隨摩爾理論飛快的速度前進。

另外在邏輯電路部份一般則利用在運算處理器（CPU）或控制（control）單元，這也是電腦裏的核心，因為 MOS 的體積縮小，伴隨著操作電壓的降低及通道的縮短，如此直接提升了運算處理的反應速度，因速度的提升，在單位時間內更可大幅增加處理資料量，目前已有高達每秒 518Gbyte 平行浮點運算的驚人能力【22】，目前全球各地網際網路的盛行，這也正是拜半導體製程細微度提升所賜。

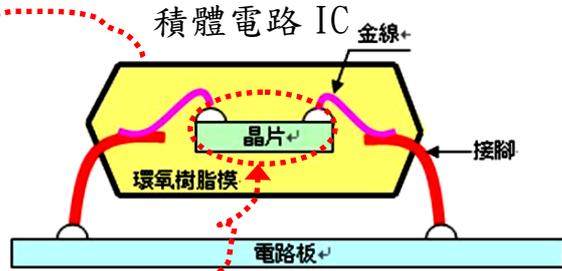
圖 9 係積體電路製造整合示意圖，為達成民生需要的特定電力電子產品，就必須由最原始的電子元件特性思考，以達成開關、電阻器、電容器、線路等功能，並且透過電路學原理來進行邏輯運算、記憶、控制等電子電路設計，最後運用高科技廠房進行半導體製程，以實現我們真正需要的積

體電路構造。

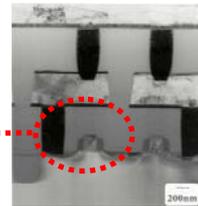
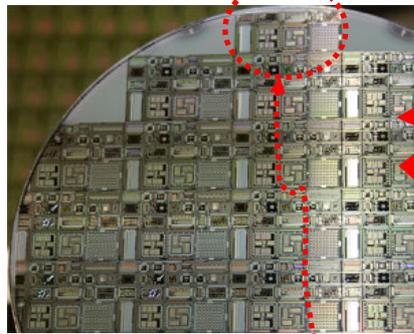
實際電路



積體電路 IC

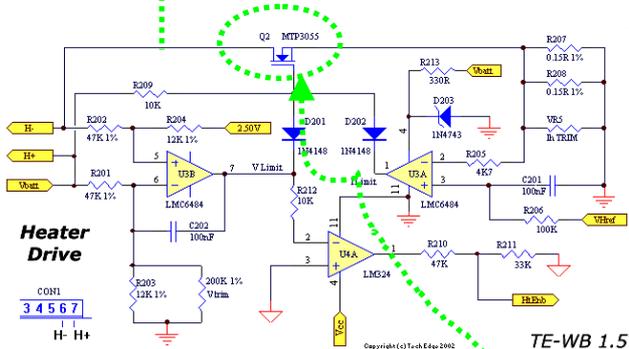


晶圓 wafer 與晶片 chip

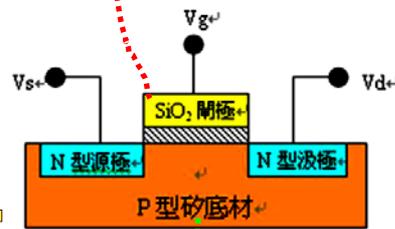


製程與製造

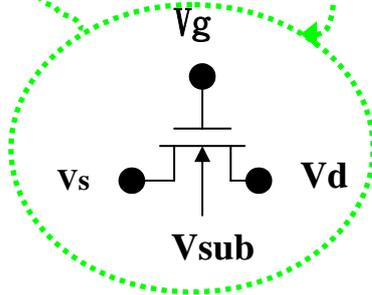
設計電性功能



電子電路



電晶體元件 device



元件符號

圖 9 積體電路製造整合示意圖

可想而知要將數億顆極小型電晶體元件製作於晶圓上，必須使用到許多細微的製程步驟（如圖 10 半導體製程流程示意圖所示），如物理氣相沉積（Physical Vapor Deposition, PVD）、化學氣相沉積（Chemical Vapor Deposition, CVD）、黃光微影（Photolithography）、乾濕式蝕刻（Etching）、

熱擴散 (Diffusion)、離子植入 (Ion Implantation)、氧化 (Oxidation) 等技術，如此細微的電子元件，需要使用到電子顯微鏡 (SEM) 才可看見，其製程十分精細困難，並且須在無塵室 (clean room) 中進行，才能避免微粒對電路的影響，尤其是製程技術已推進到 45nm 線寬的現在，微粒對電路結構的影響更是顯著，圖 11 微粒附著於線路上的 SEM 照片。

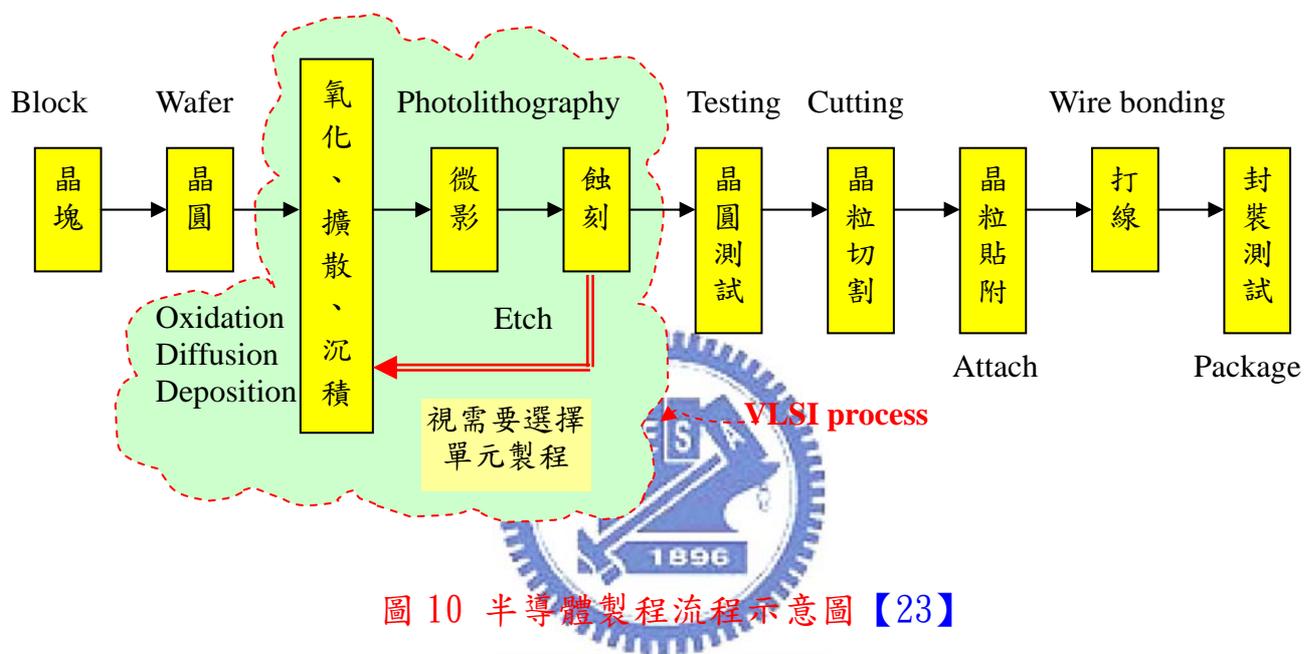


圖 10 半導體製程流程示意圖【23】

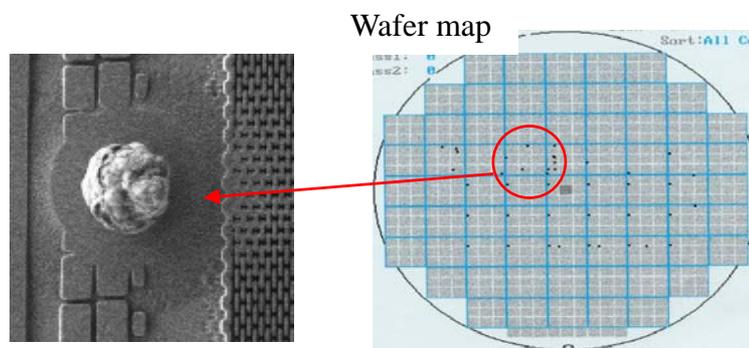


圖 11 微粒的電子顯微鏡照片

詳細之積體電路製程，可由最簡單之 NMOS 電晶體製作為例，來具體說明其製作流程為何。

圖 12 係 NMOS 電晶體的主要截面結構圖，無論是記憶體或微處理器，甚至是平面顯示器等，都是利用類似這樣的元件來組成，目前主要構造為 CMOSFET，而半導體製造就是依本結構圖，逐層製作，然後最後再進行金屬連線，以完成整個電路。

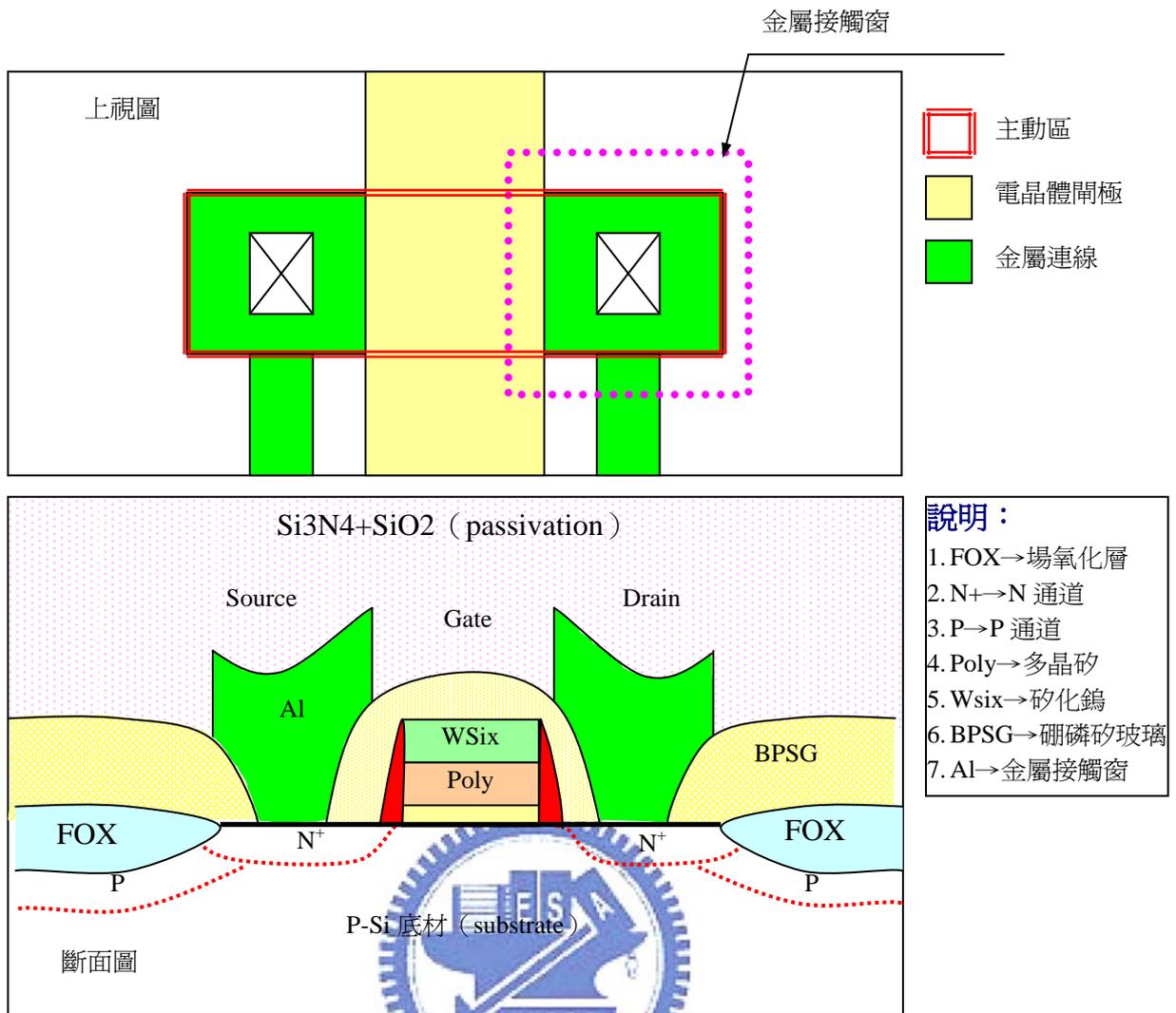


圖 12 NMOS 電晶體的主要截面結構圖【24】

本研究彙整 NMOS 電晶體之製程流程如下：

1. 圖 13 主動區域製程彙整流程圖
2. 圖 14 電晶體閘極製程彙整流程圖
3. 圖 15 電晶體閘極製程彙整流程圖(續)
4. 圖 16 金屬接觸窗製程彙整流程圖
5. 圖 17 金屬連接製程彙整流程圖
6. 圖 18 鍍墊製程彙整流程圖

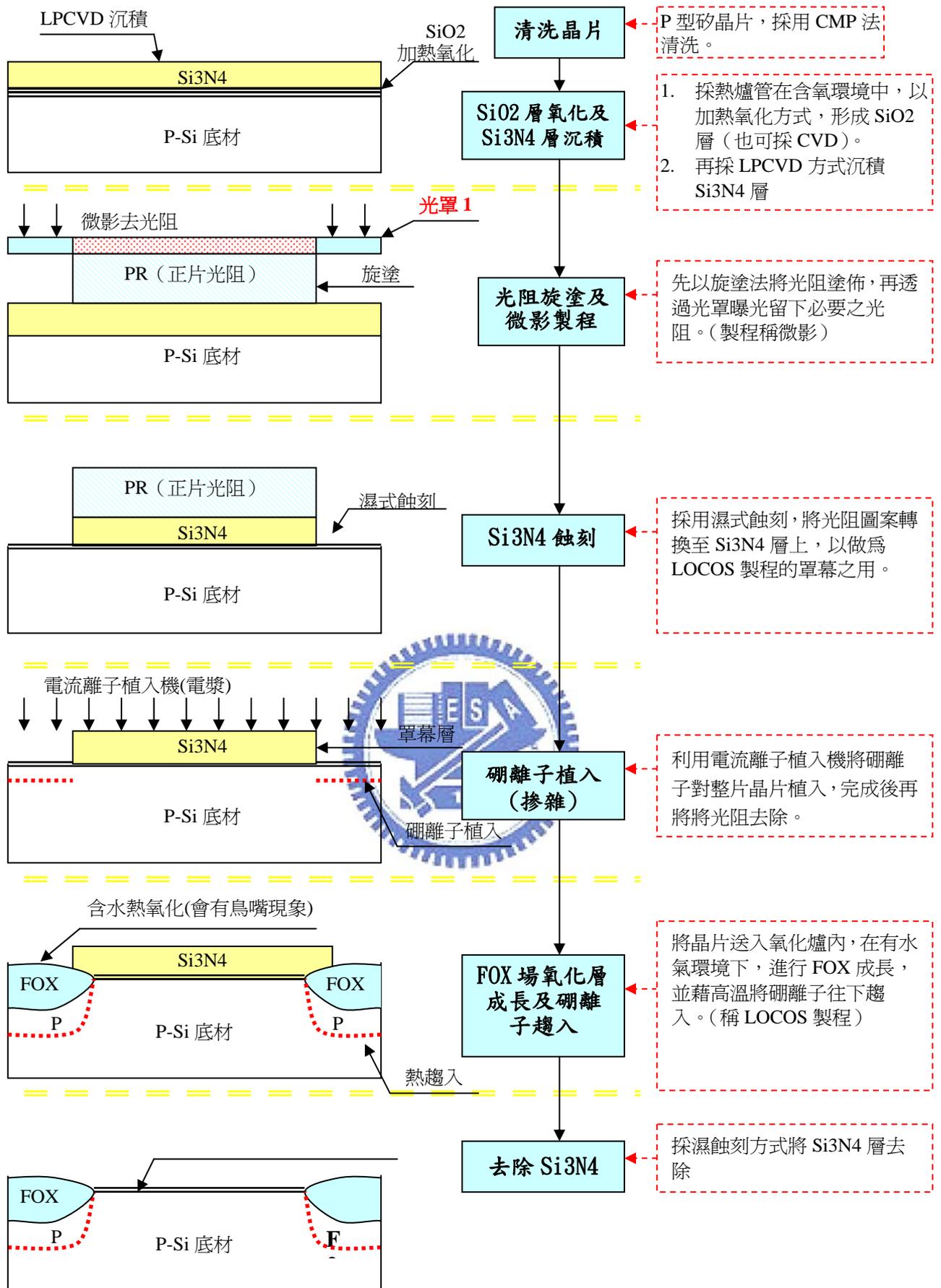


圖 13 主動區域製作流程

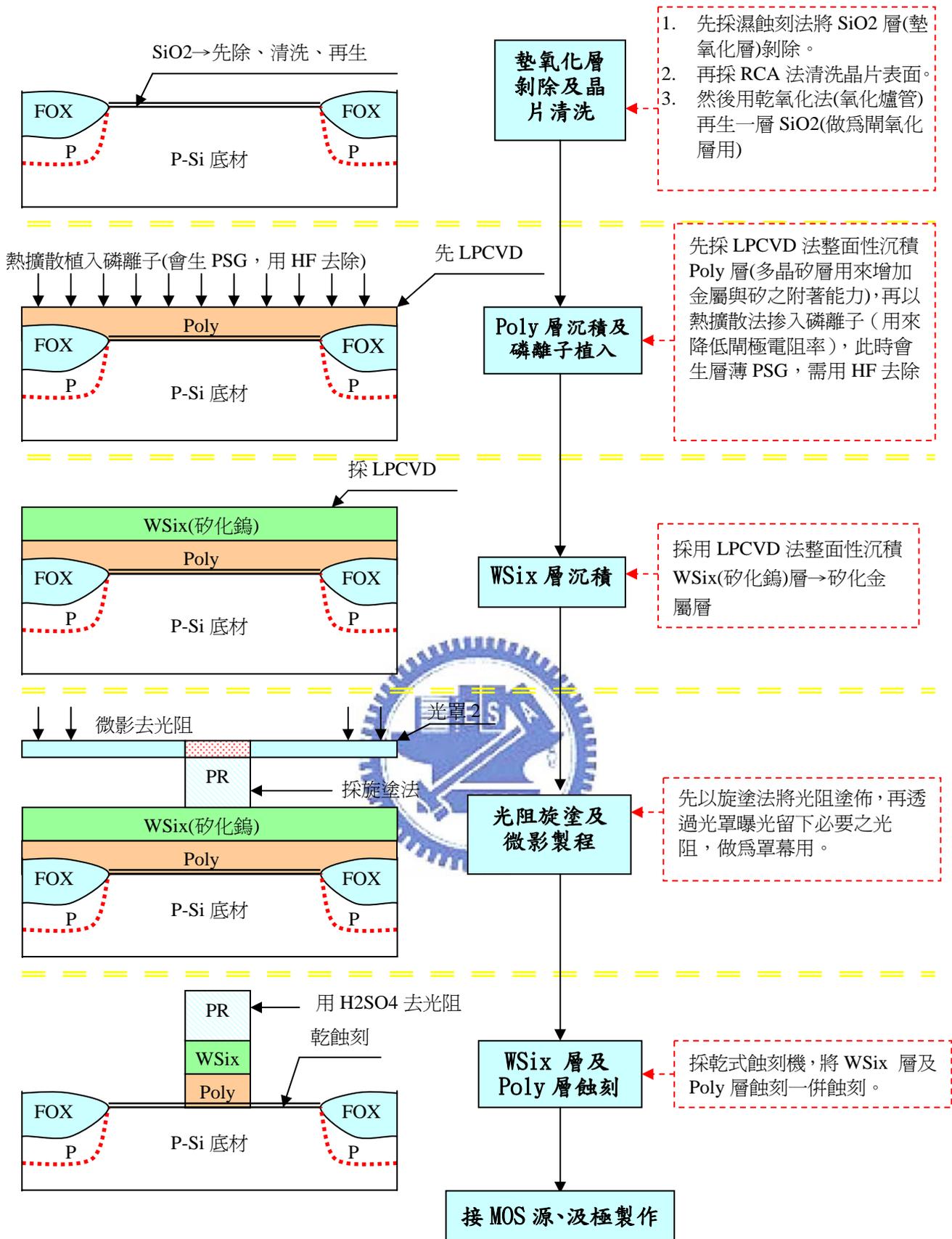


圖 14 電晶體閘極製作流程

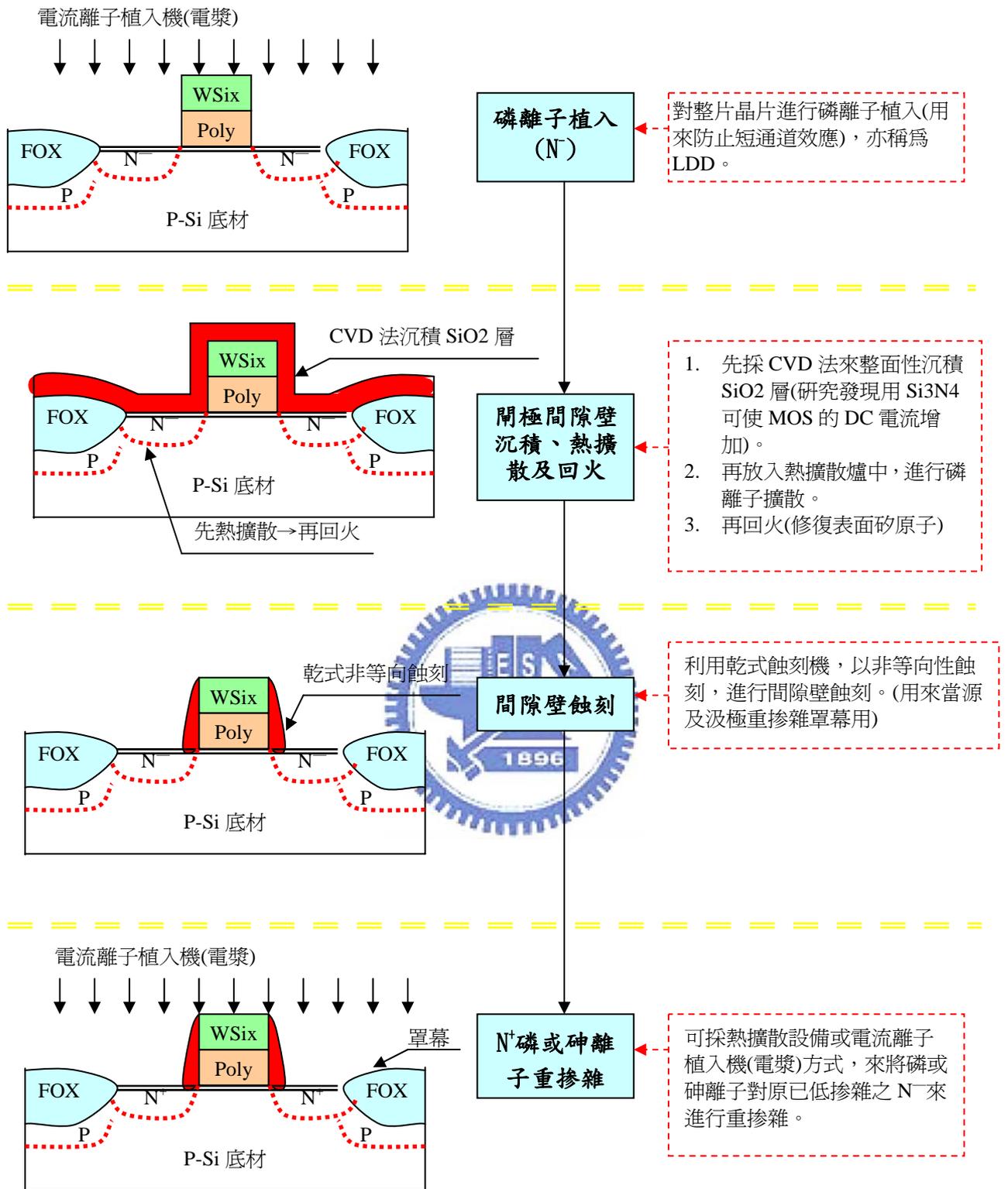


圖 15 電晶體閘極製作流程圖(續)

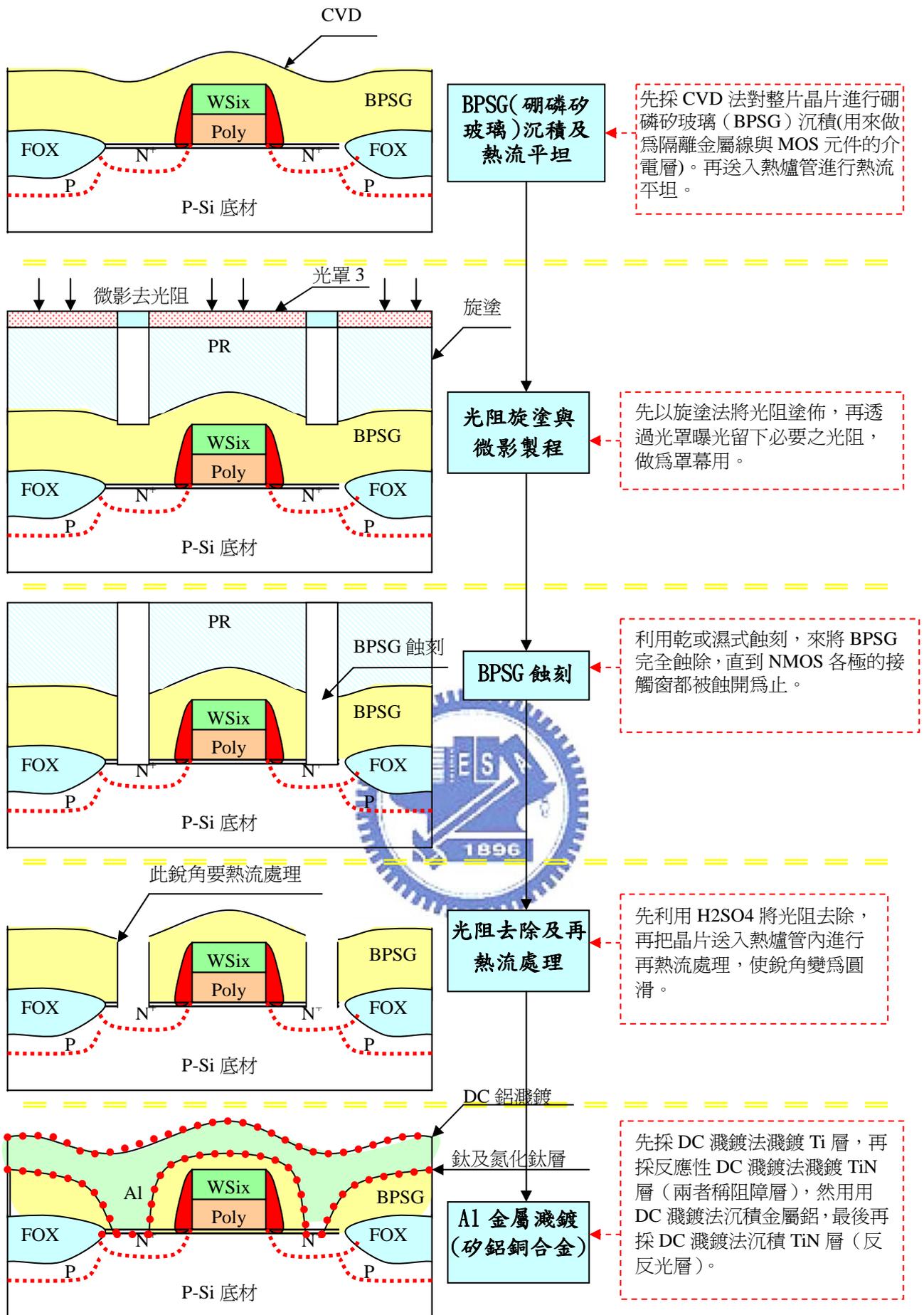


圖 16 金屬接觸窗製作流程

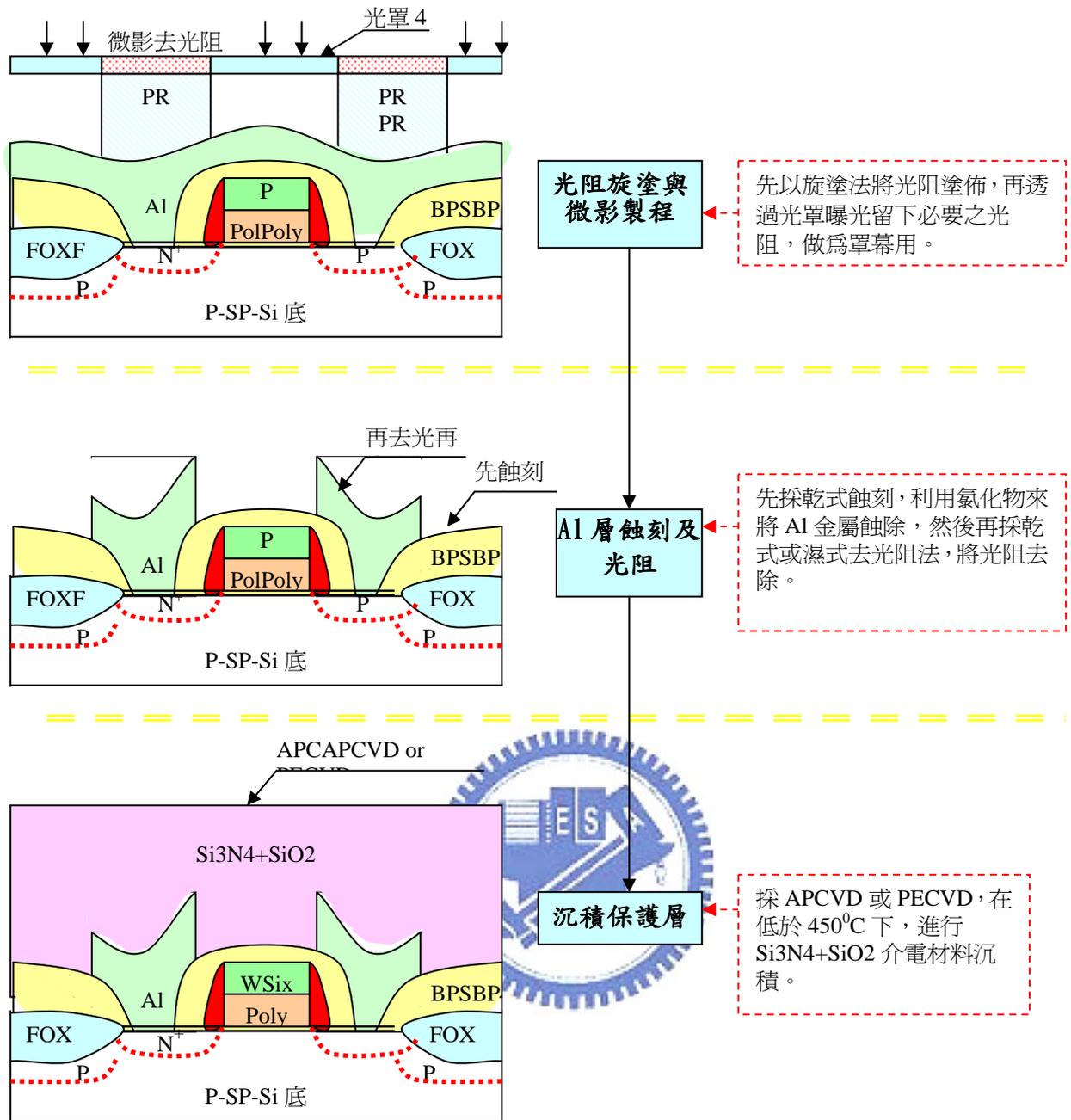


圖 17 金屬連接製作流程

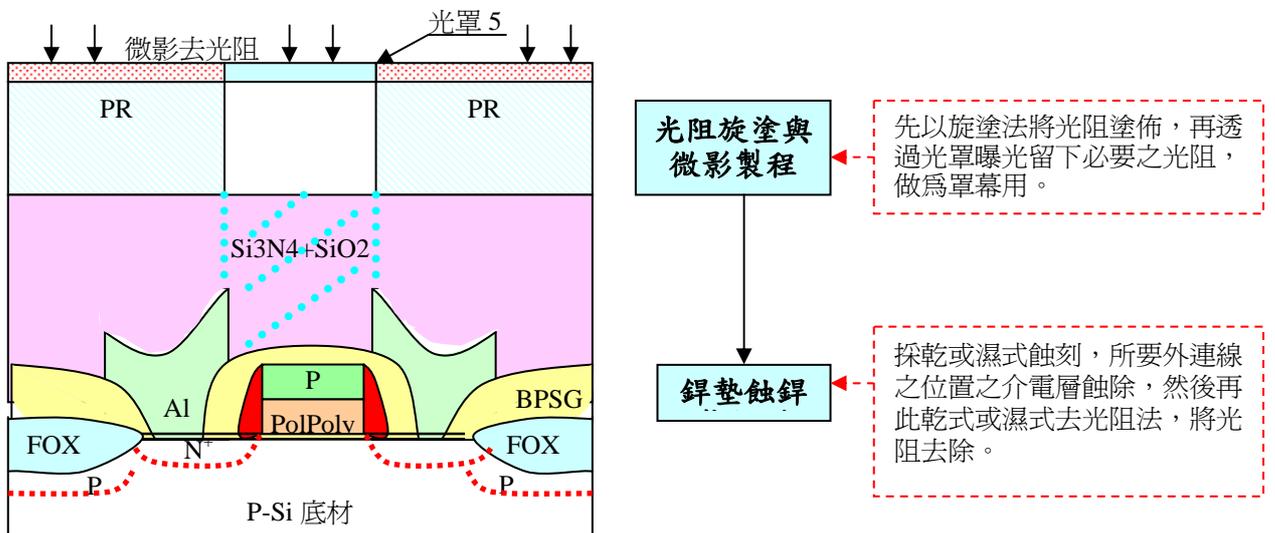


圖 18 錫墊製作流程

2.1.2 濕式蝕刻製程原理

濕式蝕刻製程目的就是要去除經沉積及黃光定位 完成之不需要的薄膜部分，另外對於蝕刻後所殘留的金屬雜質、有機物污染及微塵及加強表面平整度，及可能形成的自然氧化物等非製程必須的物質，均可採取濕式蝕刻製程來達成目的。

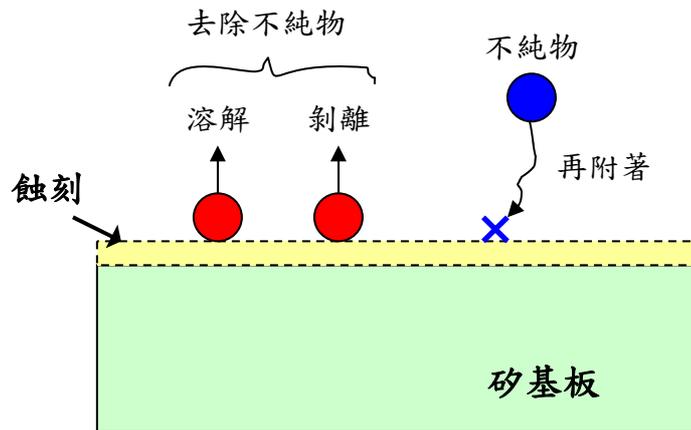


圖 19 濕式蝕刻製程機台動作流程示意圖【25】

圖 19 係濕式蝕刻製程示意圖，利用不同的化學品將不需要之不純物溶解、剝離，並且運用超音波震盪及適當之加溫效果，以加速溶解、剝離之反應速率，同時亦可防止再附著之情況發生，表 9 係半導體材料所用之濕式蝕刻液彙整【24】。

表 9 半導體材料所用之濕式蝕刻液彙整

材料	蝕刻液
二氧化矽	HF、NH ₄ F
鋁	H ₃ PO ₄ 、CH ₃ COOH、HNO ₃
多晶矽	HF、HNO ₃ 、CH ₃ COOH、KOH
氮化矽	H ₃ PO ₄
矽	HF、HNO ₃ 、H ₂ O
銀	NH ₄ OH、H ₂ O ₂
金	HNO ₃ 、HCL
鈷	HNO ₃ 、HCL
銅	HNO ₃ 、H ₂ O
鎳	CH ₃ COOH、HNO ₃ 、HCL
白金	HNO ₃ 、HCL、H ₂ O

鎢	HNO ₃ 、HF
---	----------------------

濕式蝕刻製程機台動作流程如圖 20 示意，由機台夾具手臂，依序置入不同之蝕刻與清洗槽中，最後經過晶圓乾燥，即告完成，主要之濕式蝕刻機台構成可運用圖 21 思考。

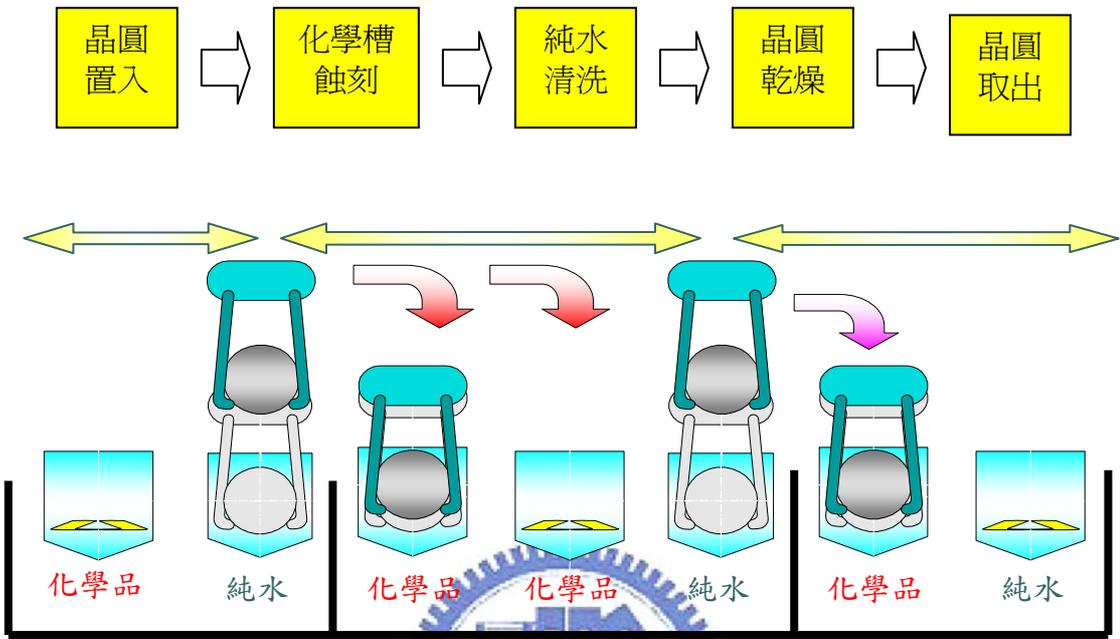


圖 20 濕式蝕刻製程機台動作流程示意圖

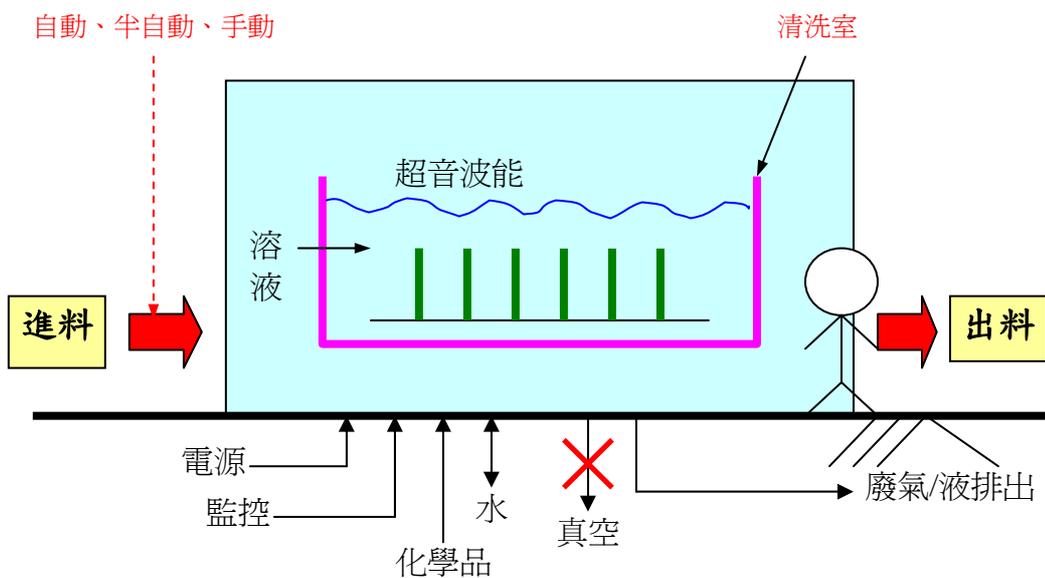


圖 21 濕式蝕刻機台安全聯想圖

2.1.3 研究內容與方法

本研究將於廠房之實際生產線上，選定 12 批晶圓盒進行試驗，每盒計有 25 片晶圓，在先採用甲醇 (Methanol) 與 N-396 為蝕刻化學品，完成後即進行良率等相關數據測試，然後更換製程機台蝕刻化學品為弱酸混合液 (Dilute sulfuric acid and hydrogen peroxide, DSP)，並且再行選定另 12 批晶圓盒，完成後亦進行良率等相關數據測試。

本研究最後將製作取代前後對照表，以核對原本使用易燃液體甲醇 (Methanol) 與 N-396 為蝕刻化學品的製程，在能維持既有製程良率的要求下，得改換為較無火災爆炸風險的 DSP (Dilute sulfuric acid and hydrogen peroxide) 化學品時之可行性。

其中 DSP 為硫酸 H_2SO_4 與過氧化氫 H_2O_2 的弱酸混合液，主要成分為 90% 的水與 10% 的酸液混合，化學反應特性與結果，希望能取代甲醇與 N-396，且維持或提升既有產品良率，如果實驗結果產品良率能維持原本要求良率以上，那也代表此次實驗的成功，如圖 22 取代示意圖。

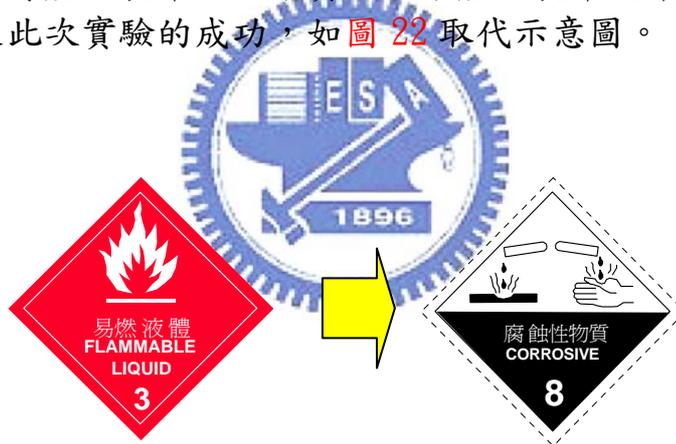


圖 22 易燃性液體取代為弱酸性液體示意圖

2.1.4 研究流程圖

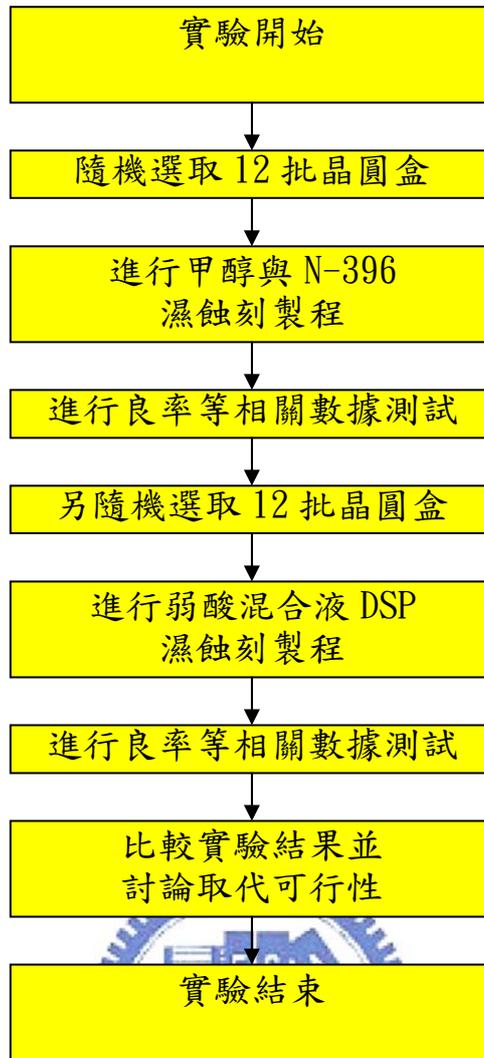


圖 23 本研究（濕式蝕刻製程本質較安全取代）流程圖

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

2.2.1 薄膜液晶顯示器製程概述

薄膜液晶顯示器（Thin Film Transistor Liquid Crystal Display，TFT-LCD）為目前高科技製程中機台最為大型者，以第 7 代的玻璃基板為例，當 20 片滿載時，其輸送卡匣（cassette）重量就達 300 公斤【26】，其機台設備所有傳動、轉動、升降等機構，均較過去大型且強固，機械運動之動能當然相對大幅增加，對於作業人員潛在危害亦相對增大，並且依據前述（詳圖二）為機台設備傷害次數於高科技廠房中為第二多數，所以機台危害實在不容輕視。

薄膜液晶顯示器的製程主要分為陣列（Array）製作、面板（Cell）製

作及模組 (Module) 製作三個階段。

陣列製程與半導體製程相似，但製程時間較短，製作方法較簡單，約經過四、五道光罩 (Mask) 即可，主要製程可分為洗淨、成膜、曝光、顯影、蝕刻、剝膜。面板製程是將前段陣列製程之玻璃基板與彩色濾光片 (Color Filter, CF) 玻璃基板結合，並在兩片玻璃基板間灌入液晶，進行液晶面板組裝。模組製程是將面板製程後的玻璃基板與其它多種零組件如背光模組、電路、外框、底盤等進行組裝。

薄膜液晶顯示器製造流程如圖 24 所示。

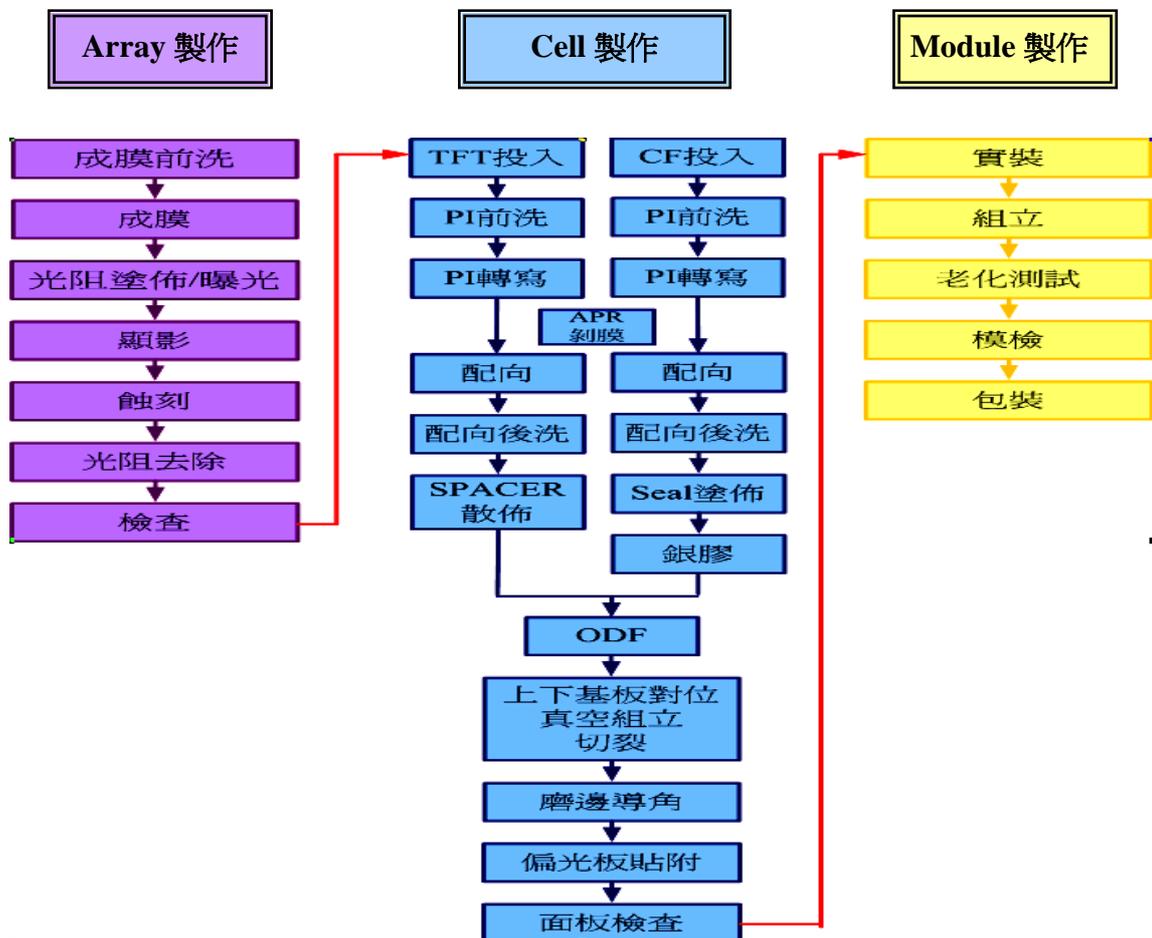


圖 24 薄膜液晶顯示器製造流程圖【27】

2.2.2 製程機台安全設計探討

圖 25 為高科技製程機台組成構造聯想圖，以乾蝕刻機台為例，由

圖中達成製程機台主要為達到蝕刻功能為機台主體，所以需有反應器 (chamber)，其餘部分為機台附屬配件，如顯示器 (Monitor)、控制盤 (Control panel)、加熱器 (Heater)、冷卻器 (Cooler)、射頻產生器 (RF generator)、機殼 (Equipment cover) 保護等構造，最後是與機台有關的環境措施，這也就是無塵室裡的溫度、溼度條件、微粒數量，由這些組成構造與功能，我們即可分析思考得到危害源，如機械性危害、電氣性危害、熱源、噪音、震動、輻射源、原物料危害及人體工學因素等。

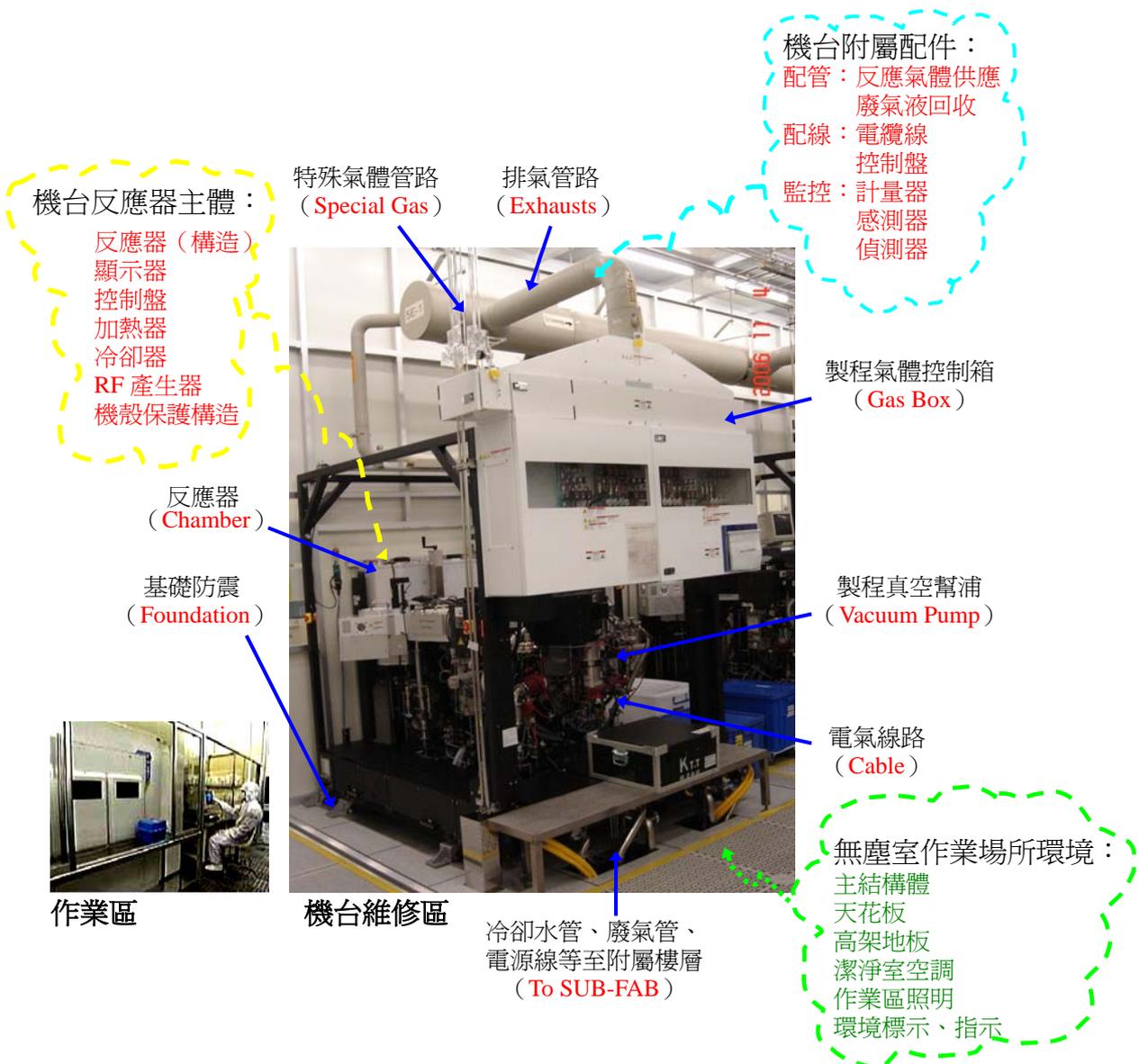


圖 25 高科技製程機台組成構造聯想圖

此種觀念尤重於面板製程機台，由於現今玻璃基板尺寸甚大，機台尺寸也同樣增大數倍，以第七代而言，單就反應器本體至少能置入尺寸為 2000mm*2100mm 的玻璃基板，其餘機台附屬配件部分尺寸亦大幅提升，另外對於傳輸用之機械手臂當然為了支承如此大型玻璃基板重量，也就較半導

體製程所使用之機械手臂大數倍，製程機台動作時迴轉半徑、運動空間、驅動動力等，亦大幅提升，就連維護保養時，甚至需要使用到大型固定式起重機，才得以吊舉起反應器或其他附屬配件。

2.2.3 研究內容與方法

本研究將以歐洲實施之機台安全指令 98/37/EEC 為基礎，來進行機台安全設計方法建立，而該指令也認為由於使用機台所產生之意外事故，可經由機台安全設計、製造、適當安排及維修來減少停機、事故等損失情況。機台安全指令中廣泛列出設計與操作可能發生的潛在危害，並提供設計及製造機台應注意的安全規範，據此要求設備製造者負起安全的責任，在設計階段就必須考量如何降低危害源風險，或加裝完善的防護裝置，這十分符合內在本質安全機會原則的精神。

目前全球各經濟組織或先進國家大多制定與製程機台有關的安全標準和安全規範，如歐盟就將機台安全訂定了三類標準，如圖 26 歐洲機台安全標準彙整示意圖所示，並且歐盟已經把對機台的安全要求提升至法律層級，任何進入歐盟的機台、設備，都必須符合機台安全指令及其他相關指令的基本要求，由此可知機台安全已受先進國家及產業所重視。

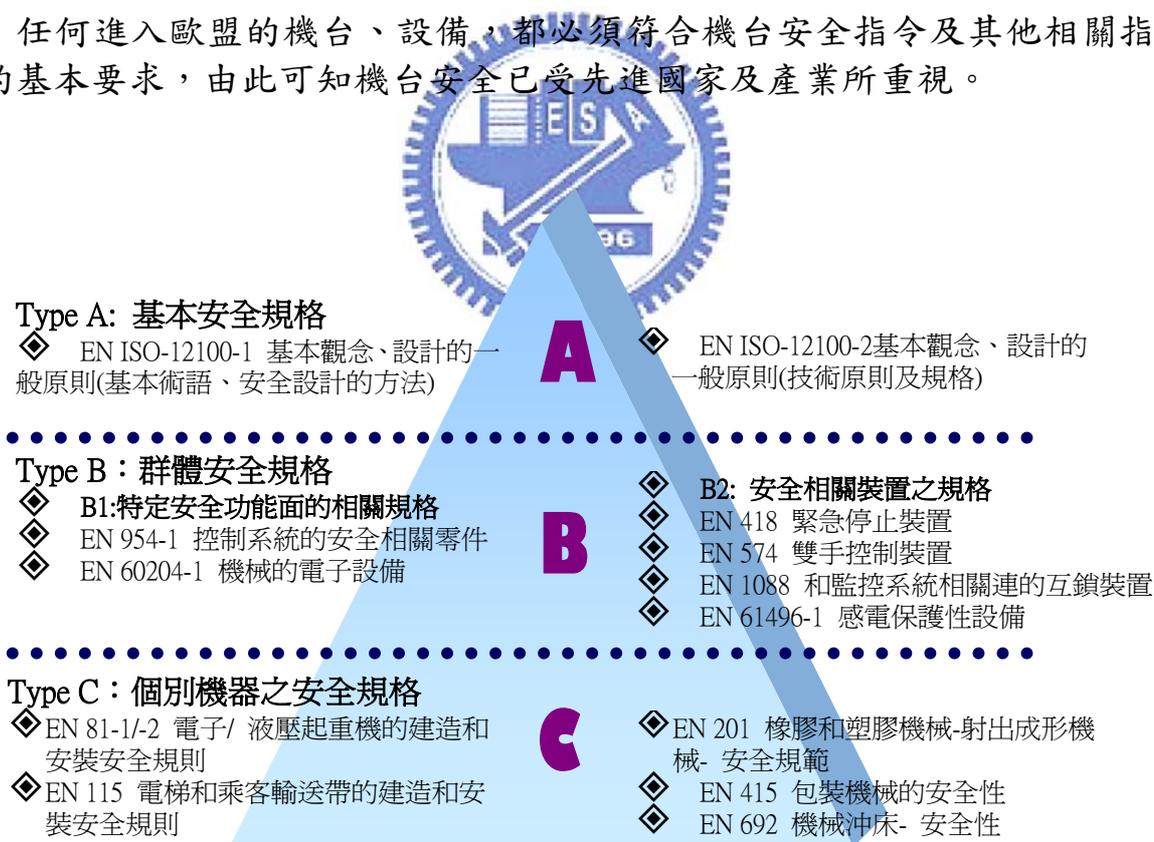


圖 26 歐洲機台安全標準彙整示意圖【15】

製程機台的功能性規劃完成後，著手設計時安全性應列為第一優先考

慮，但為了確保機械能夠連續安全運轉，所採取的安全對策必須不能破壞機台的使用簡易度及預定使用功能，如果對此考慮不周，在最大限度使用機械時，有可能使安全對策無效化。

根據 EN ISO 12100-1 的建議，為了達到機械安全設計之目的，必須遵循下圖的步驟和對策【28】，以確保安全，圖 27 本研究機台安全設計方法

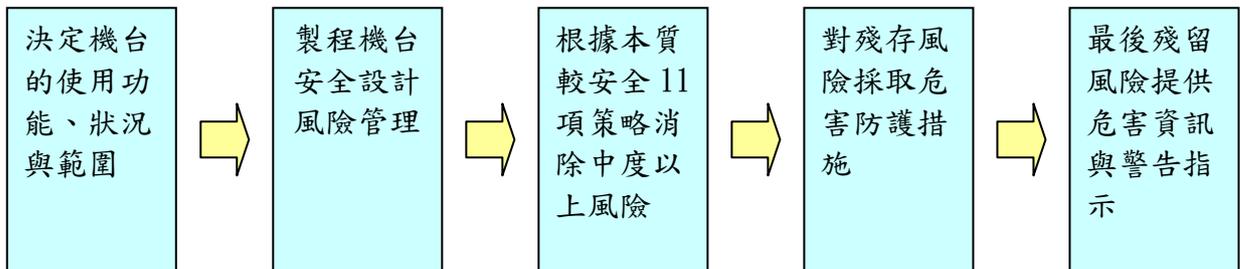


圖 27 本研究機台安全設計方法流程圖

流程圖。

圖 28 為機台安全設計與使用風險管理彙整示意圖，製造者由實施風險評估至安全對策的建立，可將事故風險降低至使用者接受程度，當製程機台於使用者作業現場組裝、試機完成後，再依現場情況增加環境上安全防

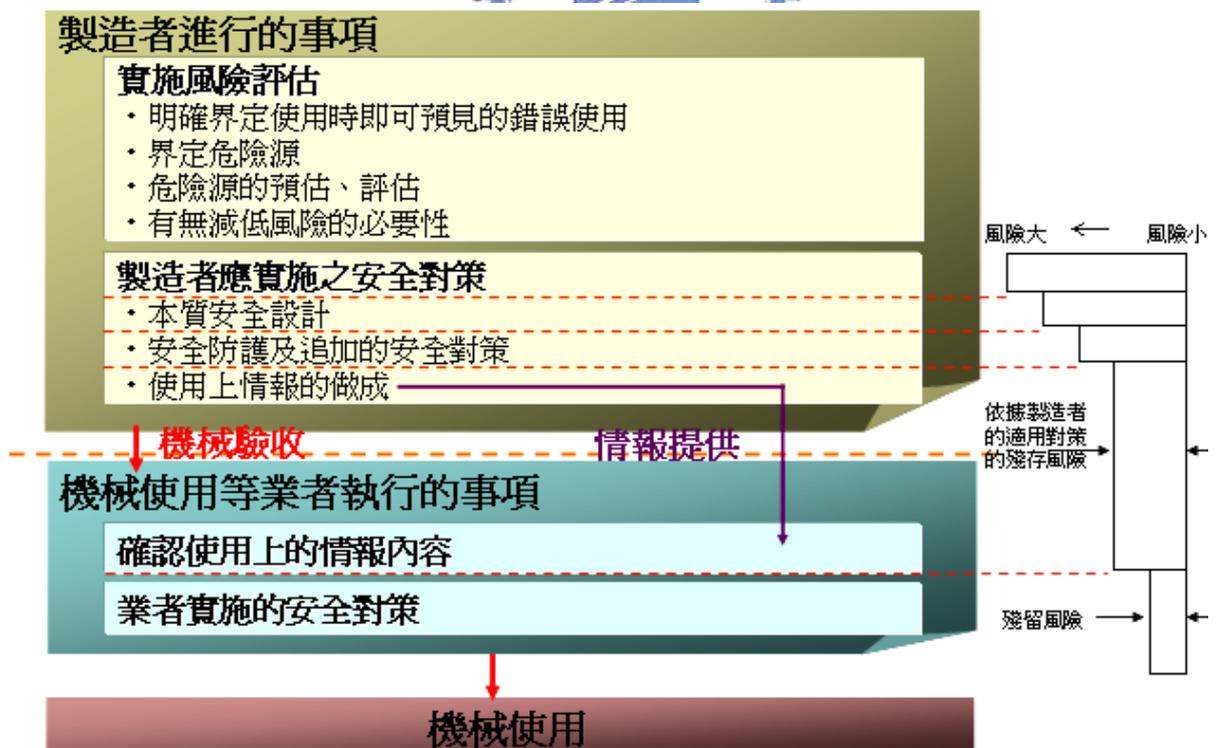


圖 28 機台安全設計與使用風險管理彙整示意圖【28】

護裝置，如此也可將殘留風險降至最低。

本研究機台安全設計方法與內容，說明如下：

1. 決定機台的使用功能、狀況與範圍

這包括機台預期使用壽命、可預測的錯誤使用、錯誤操作等情況，但無論是何種製程機台，會被設計、製造、使用，一定是希望達成某特定『功能』，薄膜液晶顯示器製程機台也是，例如玻璃基板乾蝕刻機台，其主要製程功能為完成 TFT 元件結構裡介電層或金屬之電路圖形刻除，主要係利用電漿方式 (plasma) 激發質量較重的物質，使其衝撞玻璃基板表面，最後逐漸蝕刻出我們想要的圖形，這就是主要功能性，當了解機台主功能後，也才能分析危害源及危害發生情境，後續也才能進行風險評估與安全對策的制定。

圖 29 為簡化後之機台安全設計聯想圖，平時設計思考順序可由內而

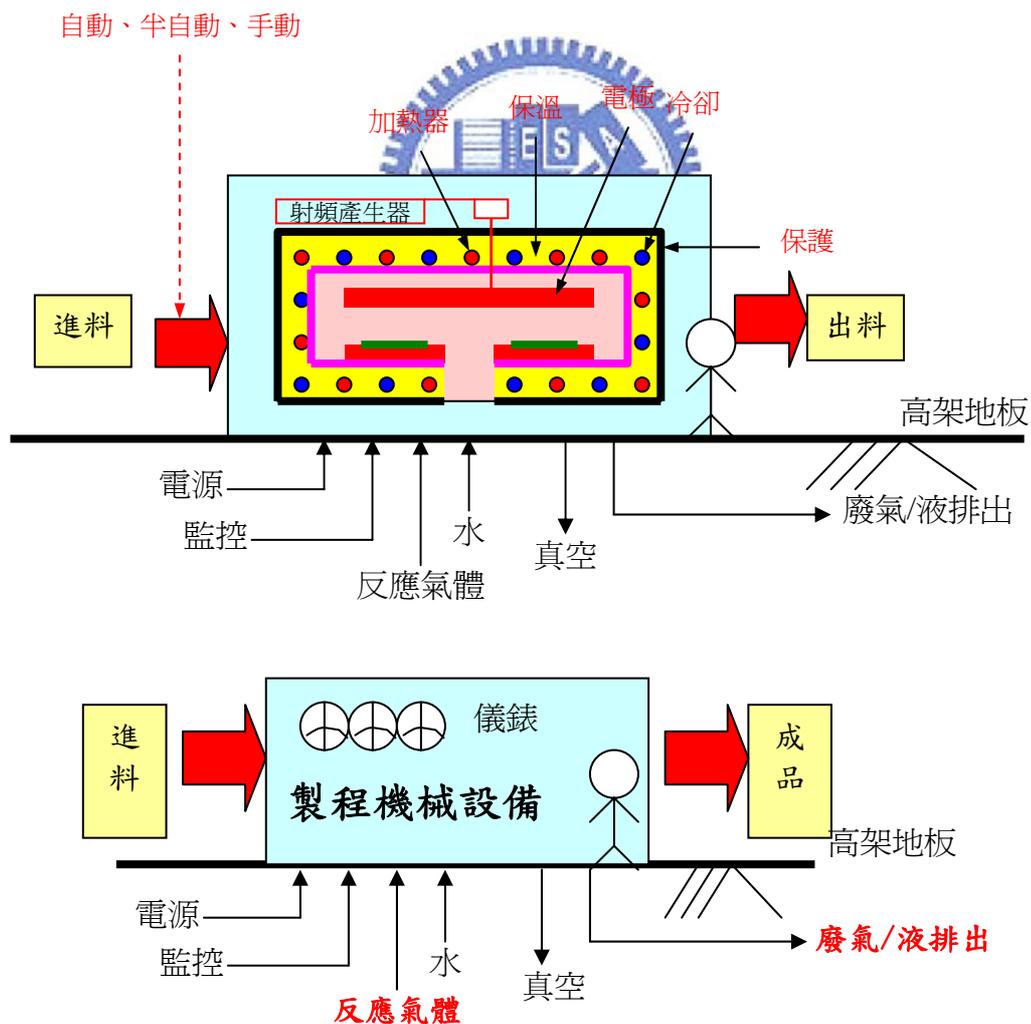


圖 29 簡化後之機台組成構造與功能聯想圖

外，先考慮主體功能構造，然後再規劃機台附屬配件，最後當然可以往外延伸到原物料供應端源頭及廢氣液處理端終點。

2. 製程機台安全設計風險管理

製程機台風險管理主要目的係希望能提供機台安全設計人員，於機台安全設計階段有依評估風險並能確認風險已控制在可接受等級內的一項工具，製程機台風險管理程序如圖 30 製程機台安全設計風險管理流程圖所示。

當初步規劃好預定功能性及組成架構後，細部設計前必須先對機器進行風險評估，以確認使用者所能承受的風險等級，然後根據風險等級結果，採取相關的安全的措施來降低或消除危害源風險，進而達到可接受的安全要求。

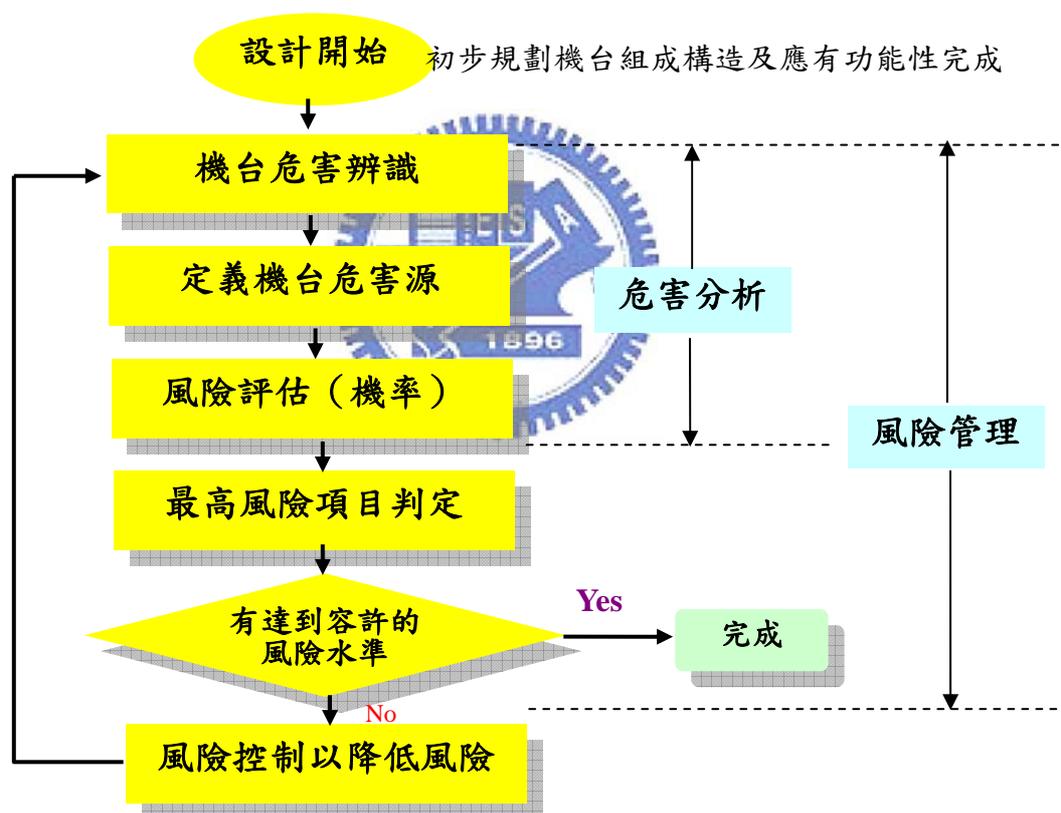


圖 30 製程機台安全設計風險管理流程圖【29】

(1) 機台危害辨識

逐項且全面地識別機械於壽命週期內，設備操作者、維修人員、設備商等人員，於例行性（產品製程）及非例行性（維修保養、清潔、換料）作業、設備故障異常，甚至人員不安全操作等情況下，可能遭遇的所有危

害。例如人員於清潔軌道式搬運車時，手部可能遭受捲夾；人員於維修薄膜液晶顯示器製程機台機械手臂時，可能遭受撞擊，或是從事乾蝕刻機台反應器清潔保養時，可能吸入、接觸有毒反應氣體、微粒等情況。

(2) 定義機台危害源

依據 EN ISO 12100-1，一般而言機器所造成的危險情形可分為以下幾類：【15】

- (A) 機械性危害：壓碾、夾入、刺入、切剪、捲入、摩擦、切斷、撞擊等。
- (B) 電氣性危害：與帶電部分接觸、絕緣不良、靜電等。
- (C) 熱源危害：火災、爆炸、放射熱、燙傷等。
- (D) 噪音危害：聽力降低、耳鳴等。
- (E) 震動危害：造成手、腕、腰等全身重大傷害。
- (F) 放射線危害：低頻、高頻、紫外線、紅外線、X光等。
- (G) 原物料所造成的危害：有害物質或刺激、粉塵或爆炸等。
- (H) 人體工學危害：不健康的姿勢、人為錯誤等。

當分析出危害源後，再深入分析使用之能量因子，評估設備各種能量因子於最壞情況下所釋放出的能量程度，並模擬能量釋放的情境與過程。

(3) 風險評估（機率）

在完成危害源及能量程度後，即針對危害可能發生的機率及嚴重性進行評估，公式如下：【30】

$$\text{風險（機率）} = \text{傷害嚴重度} * \text{傷害發生頻率}$$

危害發生的機率通常由人員曝露在此危害下的頻率和時間、發生危害事故的可能性、避免或限制危害發生的技術及人為因素（如降低操作速度、裝設安全圍籬、張貼危害標示、人員對機械之熟練度）等因素決定，一般重大事故可接受風險為 $1*10^{-6}$ ，其他輕微事故則可略為提升。由於機台仍屬設計階段，尚未實際裝置完成，所以上述考量無法準確的定義，不過我們仍然可藉由過去類似機台的傷害事故統計資料大致估算發生機率與嚴重度，最後推估出事故發生機率。

(4) 最高風險項目判定

此階段即將風險評估結果，來衡量風險可接受程度，以決定所採取安

全措施之等級及優先順序。目前已有許多適合的標準可供運用，如 SEMI-S10、ISO13849、EN954-1、BS8800 等標準，均提供了最高風險項目判定工具。

本研究將運用 SEMI-S10 風險評估表來進行薄膜液晶顯示器製程機台機械安全設計之最高風險項目判定，如圖 31 風險評估矩陣圖。

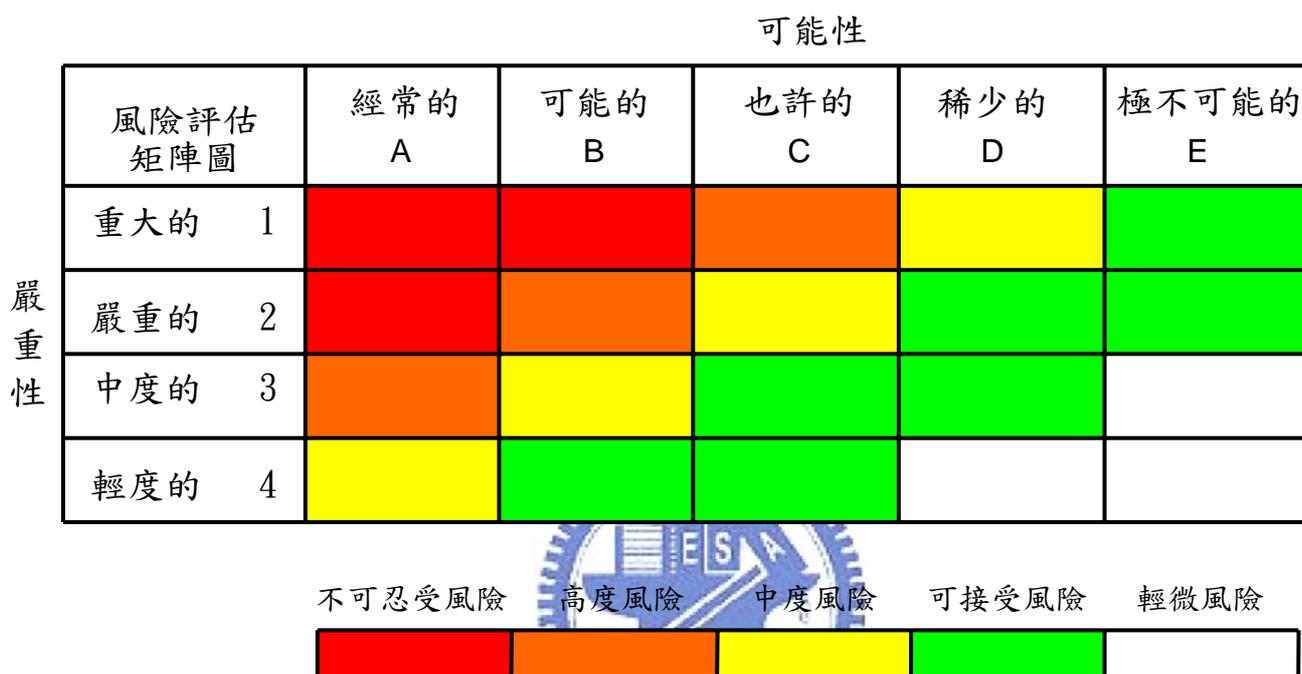


圖31 風險評估矩陣圖【31】

3. 根據本質較安全11項策略消除中度風險等級以上之項目

無論如何精密的設計，都難以完全杜絕危害發生，而無法達到「零風險」、「零危害」的絕對安全境界。因此，『安全』可以解釋為『沒有無法承受的風險』【32】。所以機台安全對策最重要的就是不論機台發生何種故障，都應確保使用者的安全，也就是製程機台應具備『相對安全』功能。

針對機台的危害，EN ISO 12100 所提出的四種安全對策，如圖 32 所示，分別為本質安全、安全防護、增加之預防對策、使用注意事項提供等，其中進行風險控制的安全對策，我們則可以運用本質較安全設計策略來達成。



圖 32 機台安全對策說明示意圖【15】

4. 對殘存風險採取危害防護措施

當運用本質較安全策略將大部分之危害風險消除後，尚未排除之危害風險就必須由機台主體四周途徑來防阻或消除，其中機台災害多發生於作業人員與機台作業空間重疊的危險區域中，所以仍需使用其他適當安全防護裝置，目地就是不讓人與機台危害源接觸。

安全防護之種類可分為兩大類，即空間性分離與時間性分離，其設計思考方法如表 10 所示。

表 10 安全防護分類說明

空間性的分離	時間性的分離
--------	--------

手段	<p>隔離的原則：</p> <p>使人與機械的運轉部位隔離，可採取柵欄的安全防護。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 完全涵蓋並隔離危險。 ◎ 做到必要的最小開口。 	<p>停止的原則：</p> <p>採取連鎖（interlock）的安全防護，當人員或防護裝置未處在正常狀態時，可藉由連鎖安全功能達到阻止機台運轉的目的。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 如果無法確認為安全應立即停止。 ◎ 已組裝可以確認停止的裝置。
方法	固定柵欄	<p>可動柵欄</p> <ul style="list-style-type: none"> ◎ 柵欄打開時即停止 ◎ 到停止為止，柵欄不會打開

一般而言，固定式之防護具，例如柵欄、圍籬等，可提供較高的防護等級，但在需頻繁進出危險區域，例如入料、出料口，則無法以固定式防護具的方式提供防護，在此情況下，可選擇光柵、安全地毯等安全控制系統為安全防護。

另外製程機台的安全控制系統通常由安全輸入設備、安全控制電氣元件和安全輸出控制來組成。安全輸入設備有急停按鈕、安全門限位元開關或連鎖開關、安全光柵或光幕、雙手控制按鈕以及需要進行安全監控的輸入信號（如上定位點，下定位點監視訊號等）。安全控制電氣元件包括有安全繼電器、監控繼電器、安全可程式控制器和安全匯流排。安全輸出控制通常則是主迴路中的接觸器、繼電器或閥等。但實現安全保護功能的控制迴路，若因缺陷或外界原因導致功能失效（如觸電熔焊、電氣短路、處理器紊亂等故障），就會失去安全保護功能，引起事故的發生。因此需採取本質上結構的安全措施，以確保控制迴路就算在故障的情況下，工作人員也能得到保護。

所以控制迴路及各項安全元件種類之需獨立加強判定，判定方法可依照 EN-954-1 風險評定及安全類別樹狀圖決定，如圖 33 所示。

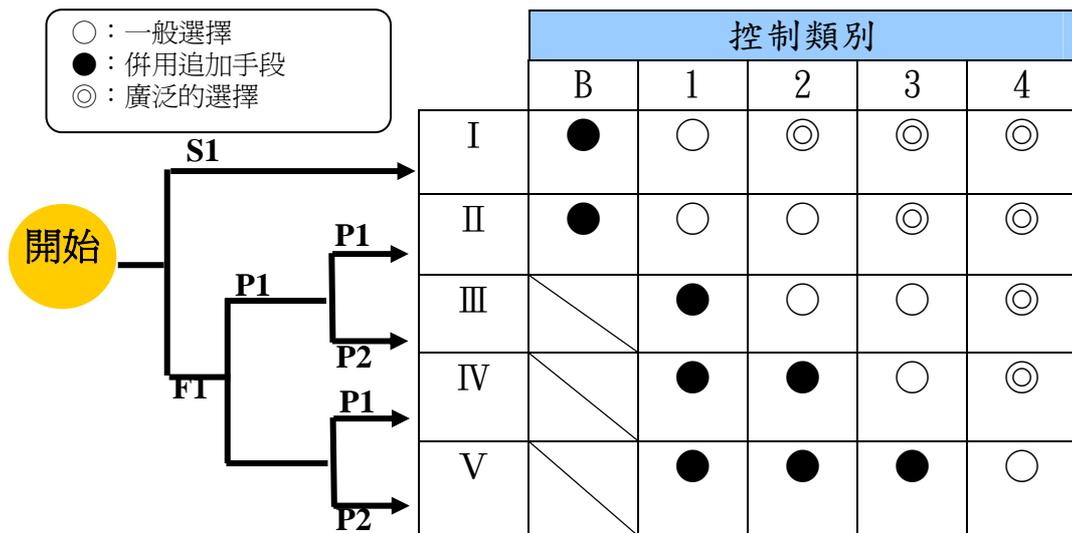


圖 33 EN954-1 風險評定及安全類別樹狀圖【15】

圖中各英文字母代表意義說明如下：

(1) 受傷的程度 (S)：

S1：輕傷(身體傷害等)；S2：重傷(手腳截斷、死亡等)

在美國的 Robot 規格內，殘留後遺症的即為重傷；在歐洲，如果是輕微擦傷的程度為輕傷，其餘為重傷。

(2) 暴露於危險的程度 (F)：

F1：偶爾發生或短時間；F2：頻繁發生或長時間

美國為一小時一次以上；歐洲為一天一次以上即稱為頻繁。

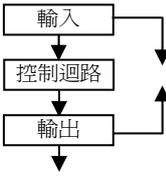
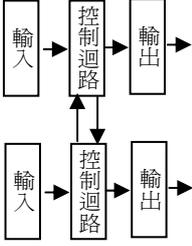
(3) 迴避危險程度 (P)：

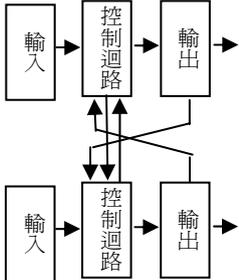
P1：可能；P2：無法迴避

在美國機械手臂 (Robot) 規格內，運轉速度達250mm/sec以上為不能迴避，歐洲是以過去的事故案例等綜合判斷來決定，而高科技廠房中當然我們得救過去事故案例或是由各部門專家來討問決定，各類別所需達到之安全需求如表11所示。

表 11 控制類別分類要求摘要表

控	安全要求摘要	系統的行為	範例：EN954-1 之
---	--------	-------	--------------

制類別			安全迴路
B	控制系統的安全相關零件及(或)安全裝置和他們的模組必須依據相關的安全標準進行設計、建造、選擇、組合和組裝，以便能承受預期的影響。	當故障發生時，可能導致安全功能的喪失。	
1	必須符合 B 的要求。且應使用測試良好的模組和安全準則。	當故障發生時，可能導致安全功能喪失，但機率小於 B。	Catagory1 
2	必須符合 B 的要求。應使用測試良好的模組和安全準則。安全功能應由機器控制系統在適當的期間內進行檢查。	故障發生時，可能導致安全功能於兩次自我檢查期間喪失，但安全功能的喪失，可於檢查時被偵測出來。	Catagory2 
3	必須符合 B 的要求。應使用測試良好的模組和安全準則。安全相關零件應依下列規範設計： <ol style="list-style-type: none"> 1. 任何零件的單一故障均不會造成安全功能喪失。 2. 在合理的使用下，可偵測到單一故障。 	單一故障發生時，安全功能尚可被執行。 不是所有的故障都可被檢測出。 未被檢測出來的故障之累積，可能導致安全功能喪。	Catagory3 
4	必須符合 B 的要求。應使用測試良好的模組和安全準則。安全相關零件應依下列規範設計： <ol style="list-style-type: none"> 1. 任何零件的單一故障均不 	當故障發生時，安全功能尚可被執行；故障會被及時的檢測出來，以防止安全功能的喪失。	Catagory4

	<p>會造成安全功能喪失。</p> <p>2. 在下一個安全功能需求期間或之前，即可偵測到此單一故障；若無法偵測，故障的累積也不至於導致安全功能喪失。</p>	
--	---	---

5. 最後殘留風險提供危害資訊與警告指示

製程機台依前述程序設計完成後，最後未能排除之危害風險，應以書面方式將危害資訊提供予使用者，並利用貼紙、印製或張貼等方式，以圖形配合文字，明顯標示於機台危害源四周，如果也一同將已排除之危害風險一併提供，將更能有效確保相關人員安全。

本研究選定某薄膜液晶顯示器面板製造廠，依其製程機台設備之主要危害特性作分類，大致可分為以下四種：

1. 使用到特殊氣體及射頻(Radio Frequency, RF)之機台

如化學氣相沉積機台 (Chemical Vapor Deposition, CVD)、乾蝕刻機台 (Dry etcher)、乾式剝膜機等。

2. 使用到易燃化學品或有使用加熱裝置之機台

如濕蝕刻機台、剝膜及成膜前洗機台、自動 APR 版洗淨機等。

3. 自動化搬運系統(AMHS)

如機械手臂 (Robot)、軌道式搬運車 (RGV)、光罩櫃 (stocker) 等。

4. 一般非使用化學品之機台

如檢查測試機台。

本研究將選定前三種目前經統計危害性較高之機台，進行機台安全設計分析，並運用該廠房過去歷年來發生事故統計資料，以鑑別機台設備之風險等級，當評估後，風險等級達中度以上，則配合廠房之機台變更與歲修，進行風險控制改善，最後則評估改善前後之安全運轉工時與災害事故率比較，以驗證機台設備採取本質較安全設計策略之可行性與有效性。

2.2.4 研究流程圖

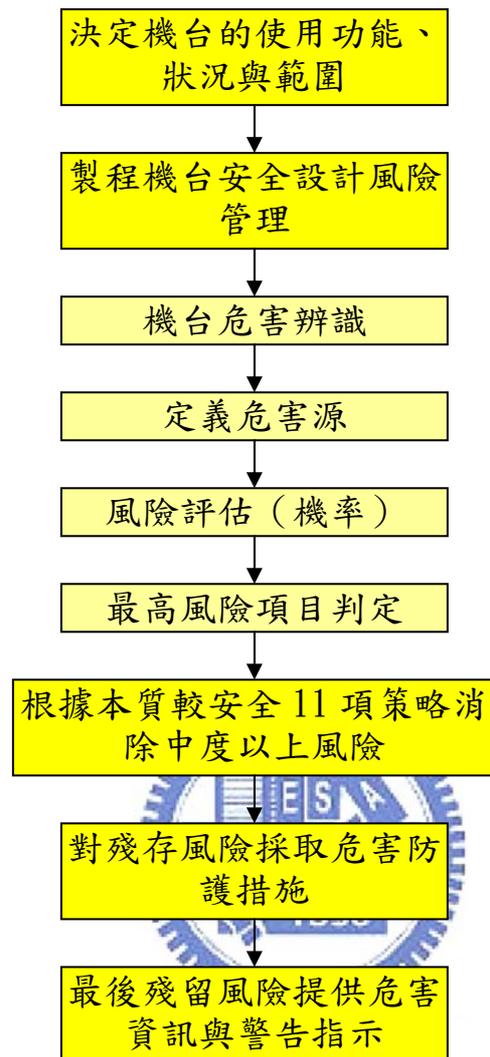


圖 34 本研究（製程機台本質較安全設計策略可行性評估）流程圖

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

2.3.1 高科技廠房廠務系統組成概述

光電及半導體高科技產業主要生產廠房就是無塵室，在無塵室裡設置各種必要的製程設備，並且為了製程需要當然必須投入相關原物料，如化學品、反應氣體、純水、電力、壓縮空氣（Compressed Dry Air）等，另外製程尾氣與廢液、廢棄物（waste）也會透過真空（vacuum）、排氣（exhaust）、排水（drain）等系統送至空氣污染防治設備（scrubber）及污水處理設備處理，圖 35 為高科技廠房製程、設備及廠務系統組成示意圖。

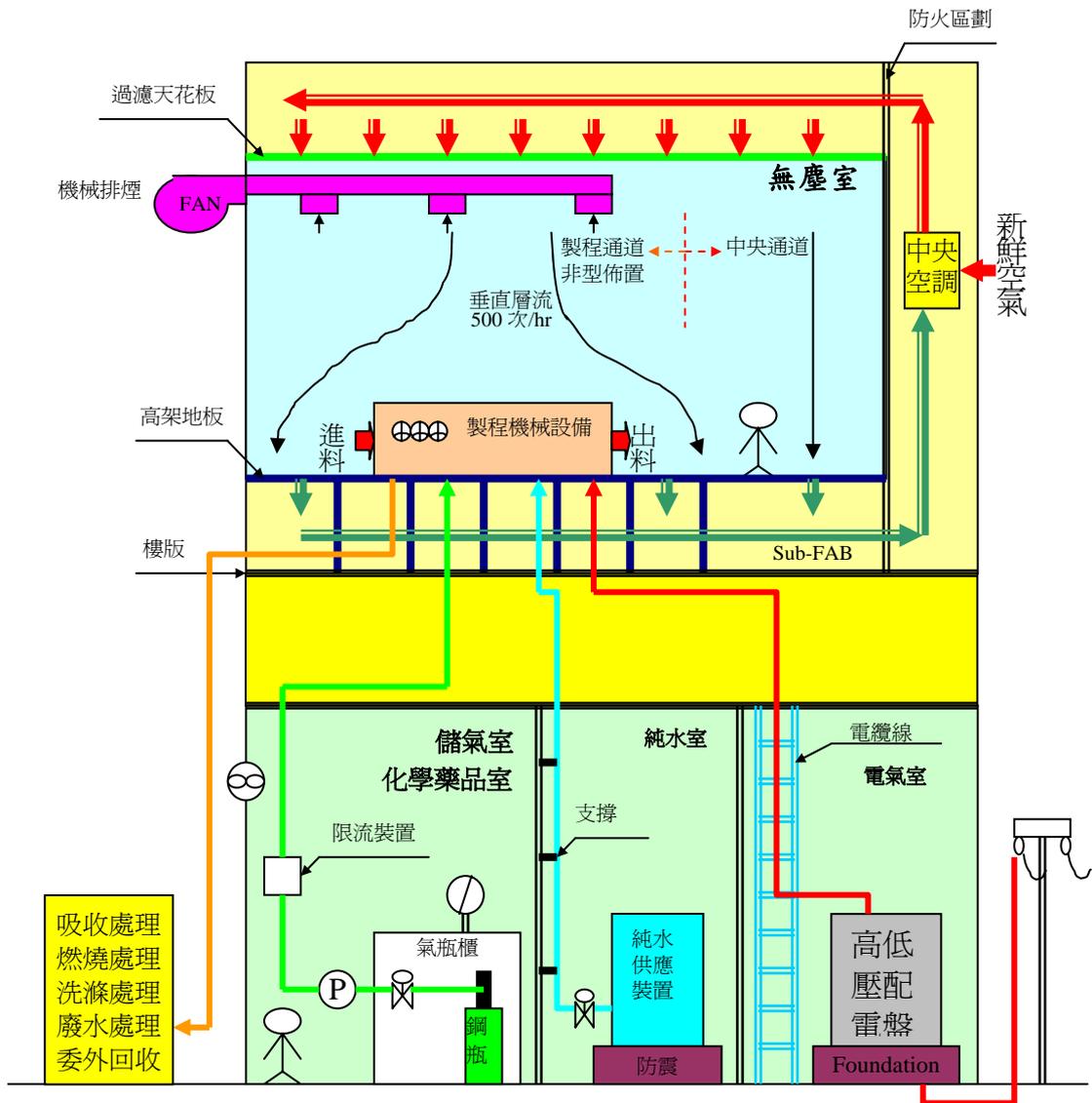


圖 35 高科技廠房製程、設備及廠務系統組成示意圖【33】

2.3.2 廠務電力系統安全設計探討

我們已於前述強調電氣危害源在高科技廠房中的重要地位，另外以全國來看，勞委會所公佈之統計資料，自 89 年至 93 年共計五年期間，因感電而罹災之職災事故，合計達 100 件【34】，雖然該廠未發生因感電而致失

能或罹災事故，但是仍可看出。

高科技廠房電力系統構成，如圖 36 高科技廠房外部電力系統構成所示，自發電廠到廠房用戶端途中須透過輸變電系統，由於目前高科技廠房因為機台設備及廠務設施眾多，所需電力容量大，所以自半導體八吋廠或光電面板四代廠以上等級之高科技廠房目前均採 161KV 供電。

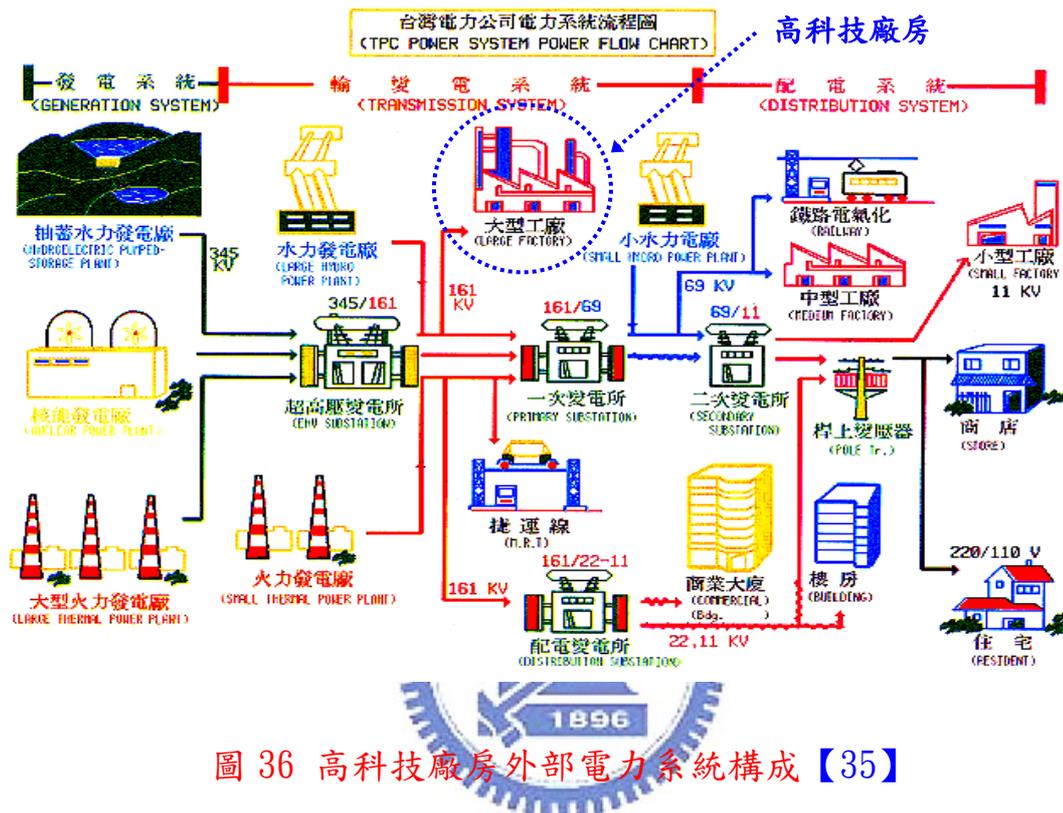


圖 36 高科技廠房外部電力系統構成【35】

當電力系統進入廠房後，自台電受電端至機台設備內部電力系統構成，如圖 37 所示，高科技廠房為確保外部供電穩定性，目前多設計雙迴路供電，並且基於系統安全，於電力系統中依電氣設計原理亦設置降壓設備、保護設備等，目前高科技廠房為了製程需要所使用的電壓有 3ϕ 161kV、 3ϕ 22.8KV、 3ϕ 6.6KV、 3ϕ 4.16KV、 3ϕ 480V、 3ϕ 208V、 1ϕ 277V、 1ϕ 120V、 1ϕ 105V 等，目前而言一座廠房總耗電量約計一千五百萬仟瓦小時，每月所支付電費高達五千萬元以上。

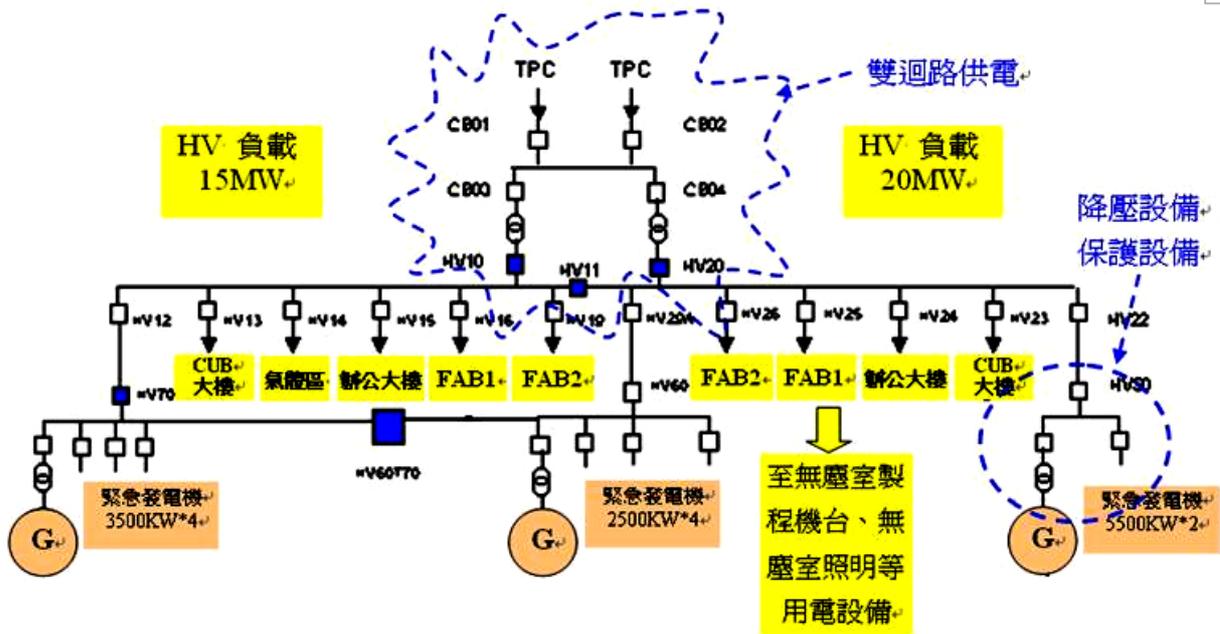


圖 37 高科技廠房內部供電系統單線圖

廠務電力供應系統中，其包含之各項設備項目及功能彙整如表 12。

表 12 高科技廠房電力設備彙整

設備類別	項目	功能	安全設計必要性
升壓降壓設備	變壓器	將使用電壓升高或降低	適當電壓等級可節省電力費用、並會影響絕緣等級
過電流保護	斷路器 (ACB、GCB、VCB、OCB)、控制連動電驛、配電盤	各用電回路保護用	迴路未妥善保護，則易發生過載、短路、漏電流等情況
避雷設備	避雷器	防止雷擊突波傷害迴路中用電設備	防止突發性感電或突波短路
線路	匯流銅排 (BUS Way)、電纜線架 (Cable Tray)、固定、支撐	傳輸電能至各製程機台中	有效且順暢的傳輸電能，並防止電能於途中外洩而造成感電
接地系統	系統接地、設備接地	確保非帶電體之電中性	未確實接地時，可洩除三項不平衡電

			流，如有設備外殼漏電流亦可能造成人員感電
電力監測與自動化控制	電力監測系統 (SCADA)	隨時掌握各段用電迴路之運轉狀態	運用軟體的速度及自動化，連續確認電力系統安全性，減少人員與系統接觸機會
感電防止	電纜線與設備之設置位置	方便操作、防止感電或短路	符合人體工學，減低人為失誤 (Human error) 機會

電力系統供電品質對高科技廠房極為重要，尤其是造成製程中斷、製程機台設備誤動作、廠房耗能、機台設備利用率降低、設備過載運轉損失增加及造成作業人員不舒適的環境等情況發生頻率過高，必定造成廠房產能降低，損失自然增加。

通常在高科技廠房中影響電力品質因素有電力諧波、電壓閃爍、三相不平衡、電磁場感應、電壓突波與電流突波、電壓驟降與電壓昇與電力中斷、保護協調設計不良、保護設備選設錯誤、設備線路品質不良等因素，電力系統的安全設計了避免前述情況發生外，亦可提升電力系統供電可靠度，那系統不故障自然安全等級也就提升。

高科技廠房用電機台機構彙整如表 13，當了解用電機構的負載特性後，才能確實分析有效功率 (real power)、無效功率 (reactive power) 及複功率 (complex power)，進而防止影響電力品質因素發生。

表 13 高科技廠房用電機台機構彙整

用電機構	負載特性	主要功能
製程機台反應器	電阻性、電感性	進行擴散、薄膜沉積、離子植入、蝕刻、清洗、研磨
直流、交流電動機	電感性	用以產生轉動、水平移位、垂直移位等功能，以利產品傳送、貨物吊運等
加熱設備	電阻性	用以產生製程需要之溫度，目前多採電阻式加熱帶形式，例如在爐管製程溫度可能達 800°C 以上
冷卻設備	電感性	用以降低製程反應溫度，包含冷卻器、熱交換器、壓縮機等

傳輸用幫浦	電感性	製程所需之氣態、液態原料之泵送或加壓（如氣動幫浦、加壓幫浦），或是製程廢氣液的抽除（真空幫浦、排水幫浦）
控制、監測及顯示裝置	電阻性、電容性	必要的控制電路之電源、監試設備之電源及顯示器螢幕、燈號等
廠房照明	電感性	作業場所或機台內部之全面或局部照明
其他必要設施	電感性	如臨時性作業工具等

2.3.3 研究內容與方法

電力系統設計流程須由用機台設備開始，先決定各製程機台之用電容量、使用電壓、使用電流、頻率及運轉時間等，並彙整成為負載表，當負載決定後再依屋內線路裝置規則選擇足夠承載電流與絕緣耐壓的電纜線，並依導線數決定足夠尺寸的導線管，此時如有使用到導線架者，應依電纜線重量選擇足夠強度之導線架，然後再依迴路電流量，決定第一級保護裝置容量，後續類推設至台電受電端，詳細之系統設計內容與原則如表 14 電力系統設計細部流程說明。

表 14 電力系統設計細部流程說明

設計步驟	設計內容	安全設計原則												
1	決定負載種類	依製程用途、作業空間等要素，選擇適合之用電機構，並確認負載特性。內部機台構造目前多由設備廠商依據 SEMI-S2 規範設計基本機型規格，以供高科技製造廠商選用，不過我們仍可以依此規範進行安全審核。												
2	確認製程機台用電內容資訊	<p>如使用電壓(V)、運轉電流(I)、使用頻率(Hz)、機台功率(KW)、相序等資訊，並依迴路編制為負載表，各項資訊影響說明如下表：</p> <table border="1"> <tr> <td>電流</td> <td>用以決定電纜線徑</td> </tr> <tr> <td>電壓</td> <td>用以決定絕緣耐壓</td> </tr> <tr> <td>相序</td> <td>用以決定電動機轉向</td> </tr> <tr> <td>絕緣材質</td> <td>決定防腐蝕、耐熱、耐燃能力</td> </tr> <tr> <td>電線</td> <td>採用導線管，流通電流為數十安培以下</td> </tr> <tr> <td>電纜</td> <td>採用導線架、導線槽，流通電流為數百安培以下</td> </tr> </table>	電流	用以決定電纜線徑	電壓	用以決定絕緣耐壓	相序	用以決定電動機轉向	絕緣材質	決定防腐蝕、耐熱、耐燃能力	電線	採用導線管，流通電流為數十安培以下	電纜	採用導線架、導線槽，流通電流為數百安培以下
電流	用以決定電纜線徑													
電壓	用以決定絕緣耐壓													
相序	用以決定電動機轉向													
絕緣材質	決定防腐蝕、耐熱、耐燃能力													
電線	採用導線管，流通電流為數十安培以下													
電纜	採用導線架、導線槽，流通電流為數百安培以下													

		匯流銅排	當流通電流為數千安培以上
3	決定各迴路電纜線	依屋內線路裝置規則選擇電纜線徑、導線管尺寸、導線架（槽）規格、匯流銅排規格等	
4	確認環境能量源	依製程機台本體與四周環境可能能量種類（如電能、熱能、化學能（腐蝕）、機械能（夾壓、衝撞）等），決定電纜線、絕緣體材質、導線管、導線架（槽）、匯流銅排材質及必要之機械強度	
5	迴路保護裝置決定	依迴路電流決定過電流保護之跳脫容量（AT）、框架容量（AF）、極數（相數）、短路電流（IC）等值，並依負載表決定各相序之負載平衡	
6	決定配電盤（控制盤）箱體尺寸	依過電流保護裝置及控制電驛之數量及尺寸，決定配電盤尺寸、深度及佈置方式（layout）	
7	由低壓側至高壓受電室線路設計	自機台配電盤（控制盤）至台電端，重複前述3~6設計步驟，以決定上游各迴路電纜線之電壓、電流、導線管、導線架槽、匯流銅排等尺寸	
8	決定盤體及線路設置方式	依廠房建築規劃，決定配電盤（控制盤）、電纜線、導線管、導線架（槽）、匯流銅排等之裝置位置、高程、距離及是否設置防護措施	
9	緊急電源容量	考慮必要的緊急電源容量，以維持最基本的安全防護電力	

本研究選定某高科技廠房，由製程機台之負載設備開始，逐步由配線、分電盤（power consule）、最後至廠房受電室，如圖 38 所示，由電力系統開始進行安全設計分析，並運用該廠房過去歷年來發生事故統計資料，以鑑別電力系統各設備之風險等級，當評估後，風險等級達中度以上，則配合廠房預算與歲修，進行風險控制改善，最後則評估改善前後之安全運轉工時與災害事故率比較，以驗證電力供應系統採取本質較安全設計策略之可行性與有效性。

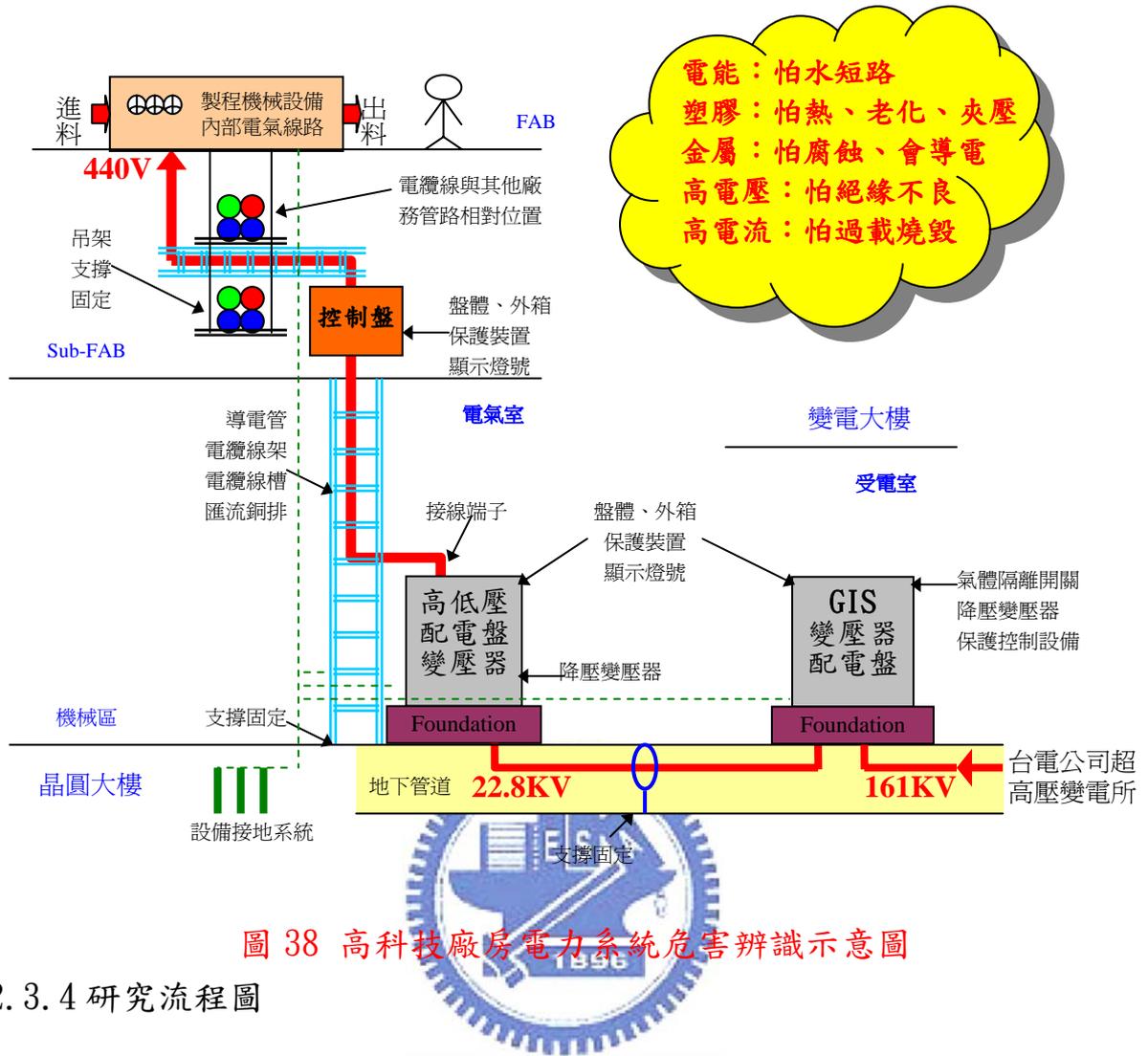


圖 38 高科技廠房電力系統危害辨識示意圖

2.3.4 研究流程圖

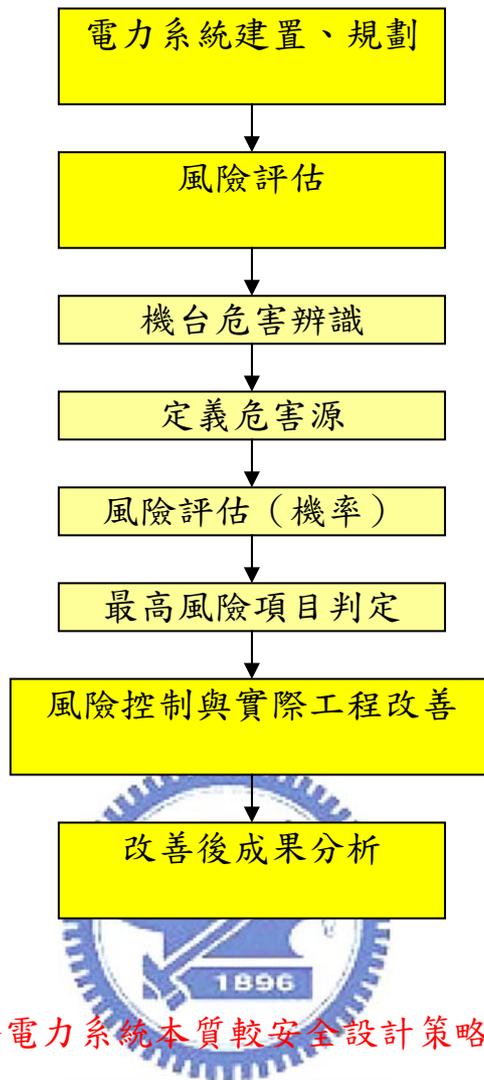


圖 39 本研究（廠務電力系統本質較安全設計策略可行性評估）流程圖

三、相關文獻探討

3.1 本質較安全設計策略

本質安全的觀念係由國外學者 Kletz 所提出，強調化學製程應著重於製程本質上的強化、取代、減弱、限制影響等製程上，如此反應過程得以減少反應量及相關的危害能量，進而可使得製程設備縮小尺寸，就算發生事故，危害情況也就能大幅降低。不過如此的本質安全觀念目前在高科技製程中，卻尚未有深入研究探討。

3.1.1 國外方面

1. Chemical process and integration

Kletz Trevor 先生於 1984 年 12 月印度 Bhopal 發生毒氣外洩，造成二千人死亡事件後，隨即提出本質安全設計觀點，其主要提出所有化工製程應重視製程之強化(Intensification)、取代(Substitution)、減弱(Attenuation)、限制影響(Limitation of Effects)等本質安全設計，在設計階段即先妥善考慮，如此才不至於在次發生嚴重傷害事故。**【36】**

2. Inherently safer plants, an update

Kletz Trevor 先生持續提出化工製程之友善廠房 (Friendly plants) 的觀念，他擴大了本質安全設計理念，除了根本性的消除化工廠之可能危害源外，更指出藉由完善的設計，可以根本性的預防人員失誤操作，此觀念如今也廣泛擴展於軟體設計領域中。**【37】**

3. Inherently safer plants, an update

Kletz Trevor 先生於多年深入進行本質安全設計策略應用研究後，將其研究成果彙集成冊，其針對化工廠之化工製程提出本質安全設計指引，內容包含了評估方式與他多年來的研究可行成果與結論。**【38】**

4. Chemical process and integration

Robin Smith 先生編撰了化工製程與整合一書，此出中談論有關化學製程之火災、爆炸、毒氣洩漏及本質安全之洩漏模式，本書對於化工製程之重要危害深入探討其嚴重度與事故情境，並結合 Kletz Trevor 先生所提出之本質安全理念，詳盡說明化工製程之安全預防設計方法。**【39】**

5. Inherent safety and computer aided process design

Edwards 及 Lawrence 先生提出化學工程之本質較安全及軟體程式設計法則，軟體的應用，對於本質安全來看，可主動確認各項製程參數與製程狀態，並且配合各種指示信號或聲響，即早讓操作人員得知危害情況，對於安全等級的提升，有重大貢獻。【40】

3.1.2 國內方面

目前國內高科技廠房對於本質較安全設計的研究並不多見，以下為目前國內本質較安全設計相關研究。

1. 插銷離合器衝床的本質安全化設計

本研究針對插銷離合器衝床的本質安全化設計進行研究，機械式衝床乃是利用儲存於飛輪之慣性潛能瞬間釋放於模具間的工件，以進行剪切、引伸、打印及彎曲之作業。其加工具有成型速率快、工件尺寸精確、可大批生產及減少廢料的產生等特質。由於衝床使用的普遍性及危險性，而使得衝床的職業災害發生率遠遠的高於製造業中其他的各種發生媒介。

插銷離合器衝床，是衝壓機械中最普遍使用且價格最低廉的機型。此種衝床滑塊一旦向下衝壓，須待滑塊重新回到上死點才可使其停止，故又稱為全轉式衝床。由於該衝床具有插銷一經嚙合就無法在下衝行程脫離的特性，所以在安全防護上有其困難性。

本研究利用互鎖控制的理論，設計一組可瞬間將插銷拔出並使滑塊強制停止的環狀機構。原有的腳踏板啟動開關則改裝為雙手同時啟動按鈕，由雙手按鈕控制插銷離合器的嚙合與分離之動作。此機構的設計便可使插銷在下衝行程皆可隨意的脫離致動力的傳遞中斷，且可達到滑塊緊急停止的要求，而使插銷離合器衝床成為本質安全化的機械。【41】

2. 環己烷氧化製程的效率改善與本質安全化之研究

本研究主要是針對現有己內醯胺製程中環己烷進行空氣氧化生產環己醇和環己酮，其低產率之缺失以及存在反應器中的潛在爆燃危害，加以改善來提昇產率並尋求一本質較安全的操作方法。本文研究在瞭解環己烷之爆炸上限及飽和蒸氣壓對溫度之變化情形後，進行操作變數(富氧濃度、溫度以及氣體分壓等)對於產物之分佈、反應速率之影響以及在質傳上的限制，並提出一本質安全化之純氧氧化方式。

純環己烷在溫度 165°C 時之飽和蒸氣壓為 7.43bara，在進行環己烷與純水共沸時添加重量百分比 5% 及 25% 水時其飽和蒸氣壓分別可升至 12.1 及 13.1bara；另依據先前的研究在 165°C、氧氣/氮氣混合至 12barg 點火的測試結果，可以觀察到環己烷之爆炸上限(Upper flammability)為進氣氧濃度 17% 的情況下，亦即等於氣相空間氧氣濃度之上限範圍為 7.5%。另外，環己烷與水共沸並加入純氧，在相同條件下點火後並未有任何升溫升壓之狀況發生，證明水蒸氣可以彌補氮氣之惰性功能，降低爆炸之危害，亦即可使用純氧作氧化而不會有爆然的危害。

在 160°C 添加 5% 水時，通入純氧氧化，酮醇比(K/A ratio)最高可高達 4，這是所有文獻中的最高值，可大幅降低環己醇脫氫之負載，並且利用水蒸氣彌補氮氣惰性功能亦是本質較安全之操作，對於整個製程效率實為一大突破。【42】

3. 液晶面板製造廠溼蝕刻機台設備之本質安全化提升對策探討

本研究主要針對液晶面板製造廠溼蝕刻機台設備之本質安全化提升對策進行研究，以 SEMI-S10 之風險分析與風險評估方法分析機台設備潛在之危害，並依所鑑別出之高風險單元，探討如何藉由 ISO-13849 之安全設計及其他相關安全指引，降低機台設備危害之風險並提高設備本質安全。

分析結果發現 Array 之溼蝕刻機台其分析前後之風險危害等級由 Low 降低至 Very Low 共計十二件、Medium 降低至 Low 共計四件、High 降低至 Medium 共計一件、High 降低至 Low 共計兩件；此外風險危害等級之前後鑑別皆為 Low 及 Very Low 各為四件，其風險危害等級雖無變動，但經由風險危害鑑別後採取之防護措施後確實有效的降低其危害之暴露頻率。另外本研究再將 A 光電公司中兩座未實施本研究之第 5 及 5.5 世代廠與實施本研究之第 5 及 7.5 世代廠之職災事故進行相互比較，研究結果發現其職災事故削減率高達 86%。因此透過危害鑑別風險評估並進行機台本質安全設計之改善，確實可以降低危害之風險並減少機台設備職災事故之發生。【43】

3.1.3 本質較安全設計 11 項策略

本質較安全設計包含 11 項策略【44】，圖 40 為本質較安全設計策略整體應用概念圖，各種策略之設計原則說明如下：

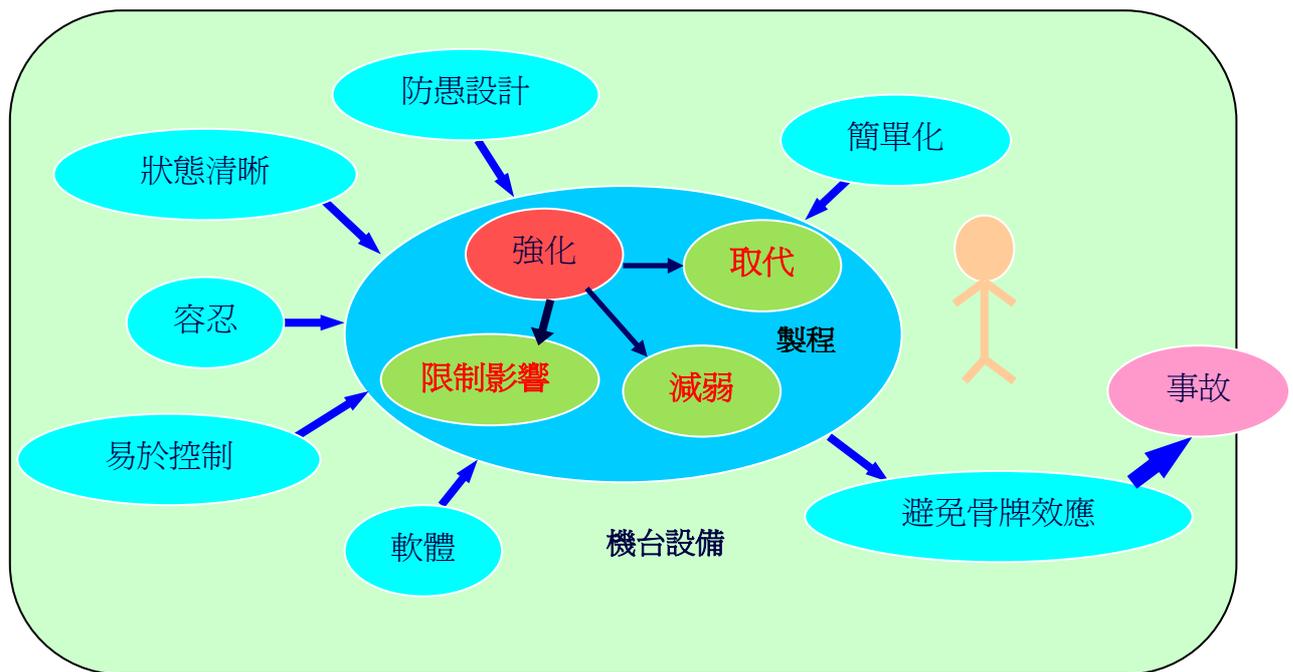


圖 40 本質較安全設計策略整體應用概念圖【45】

1. 強化(Intensification)

本質較安全設計理念原則上為「儘可能採取製程必需的最小使用量」，即使用量減少，所以投入的反應氣體、化學品也將減少，這也代表可以試著將反應器尺寸或截面積縮小，例如在爐管製程中多採用整批製造，改換為單片製造等方式來達成策略。例如採用使用較低電能量的機台設備，使電流與電壓下降，進而使整廠用電降低。

2. 取代(Substitution)

本質較安全設計理念原則上為「儘可能用較安全的化學物質來替代原先較危險的物質」，例如以弱酸取代強酸、以不燃材料取代易燃材料、無毒物質取代高毒性物質等方式，因為就算發生洩露、碰觸也不至於造成太嚴重的危害，另外亦有利用高速氣流或含氣膠微粒的高速氣流，雷射輔助清除晶圓上的微粒的技術，可減少腐蝕、火災等風險，對於電力系統而言，採用乾式變壓器來取代油浸式變壓器、以匯流同排取代電纜線，因為就算發生短路、過載也不至於造成太嚴重的危害。

3. 減弱(Attenuation)

本質較安全設計理念原則上為「最好在最低危害條件下使用危險性物質」，以半導體製程而言，反應參數可選擇低溫度、低壓力、低耗電、低機械動力等方式，如此危害性也會較低，以電力系統而言，降低使用電壓、使用電流是最好的方式，這必須配合機台設備的用電機構選擇，如此危害性也會較低，或是在平面輸送不要在高空輸送，將可減少不必要的落差能量，如此危害性也會較低。

4. 限制影響(Limitation of Effects)

本質較安全設計理念原則上為「採用較佳的設備、改變反應條件等方式，來限制洩漏、反應失控等危害發生的機率或限制其影響範圍與程度」，良好機台設計可能在機體部分會利用金屬材質而非易燃的塑膠材質，或是採用密閉製程也優於開放製程。例如選擇耐燃、耐熱、耐腐蝕的絕緣材質，而非均採用 PVC 塑膠材質，或是採用完整密閉保護的配電盤、控制盤也會優於將操作開關裸露的方式，另外對於玻璃基板搬運用機械手臂，如迴轉作業採用密閉方式，將優於開放式平時作業人員減少接觸機會。

5. 簡單化(Simplification)

本質較安全設計理念原則上為「減少產生複雜度高的工廠」，當機台設備組成或操作變為複雜時，容易造成錯誤或故障，所以非必要情況下應避免過多的預留氣體管路或電器迴路等，均可提升廠房的簡單程度。當電力系統未確實分區設置或為了日後擴充設備而多迴路並聯設置，容易造成操作錯誤或接點故障，所以非必要情況下應避免過多的預留，如此可提升廠房的簡單程度。

6. 避免骨牌效應(Avoiding Knock-on Effect)

本質較安全設計理念原則上為「即使發生故障也不致產生連鎖的骨牌效應」，藉由加裝各種探測裝置於故障發生時，能於第一時間停止或中斷危害點動作的安全互鎖裝置，另外亦可由適當的屏蔽措施讓危害侷限於固定區域範圍內，如電力系統的保護協調設計極為重要，當迴路故障發生時(如過載、相間短路、遭雷擊等)，能於第一時間跳脫保護迴路及後端的所有機台設備，另外亦可利用適當的屏蔽措施讓危害侷限於固定區域範圍內，如用電設備的控制盤保護或是護圍等方式。

7. 防愚設計(Making Incorrect Assembly Impossible)

本質較安全設計理念原則上為「在不正確的操作情況下，設備不會或非常困難發生危害」，對製程而言最好是全面性的自動化作業，如自動輸送

晶圓系統、自動供應化學品系統等，操作者僅需於操作面板上簡單按鍵即可動作，對電力系統而言最好是全面性的自動化，如自動保護裝置、自動避雷裝置，另外也可以考慮設置防止撥弄裝置、上鎖等，或是縮小機械運動的可動範圍間隙，亦可縮小間隙讓手指根本無夾壓機會，達到本質上安全，如圖 41 所示。

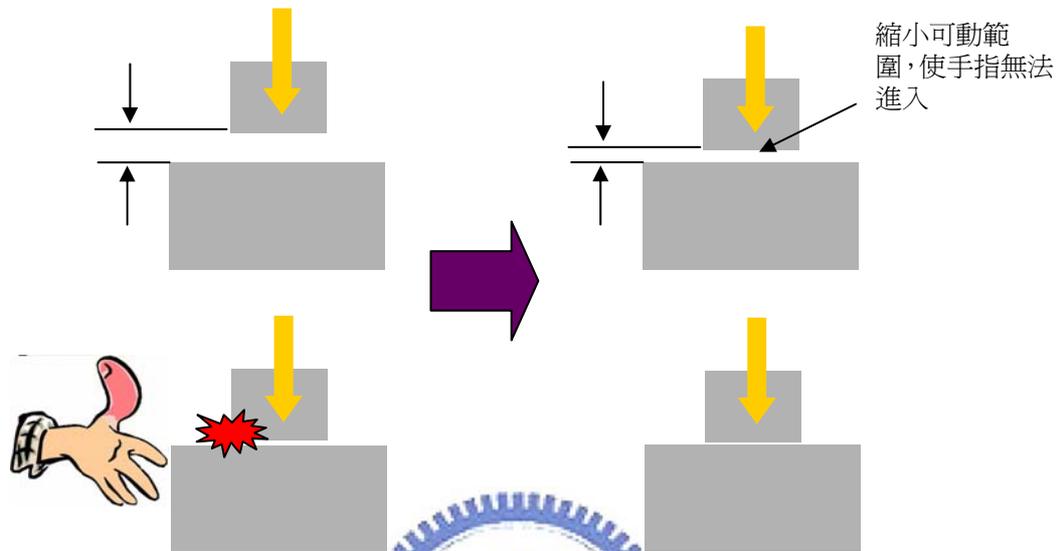


圖 41 防愚設計之本質安全設計示意圖

8. 狀態清晰(Making Status Clear)

本質較安全設計理念原則上為「能讓操作者在未經思考情況下，可以輕易的看出製程不正常情況發生」，可多利用顏色管理，各種按鈕、按鍵、標示燈號、標識符號、區畫範圍或產品外盒等，讓操作員第一眼就能辨識現況，甚至是危害情況。

9. 容忍(Tolerance)

本質較安全設計理念原則上為「在沒有失常情況發生時，系統可以忍受較差的安裝或操作」，對危險性高的特殊氣體或化學品供應，可以採用柔性管材於應力較大位置，或是氣體鋼瓶為防止劇烈震動而採取防震措施與連動遮斷裝置等都是適合的設計，對電力系統裡的變壓器、保護裝置之線路接續，可採用具彈性固定的螺栓，如此可防止長期震動而接觸電阻變大的情況。

10. 易於控制(Ease of Control)

本質較安全設計理念原則上為「運用物理定律來執行製程控制或操

作」，例如機台的反應器啟閉方向、真空幫浦的拆卸方向應該盡量不需人員出力承接，又氣瓶櫃的緊急遮斷閥亦可採用重力關閉方式較為安全。例如電力系統中的大型過電流保護裝置，其操作多利用輔助工具或滑導輪，人員可迅速且不費力操作。

11. 軟體(Software)

本質較安全設計理念原則上為「在某些可程式電子系統中，錯誤易被偵測及矯正，如此將優於其他未設置的系統」，完整的製程軟體並連動各種探測裝置，於發生製程偏異或洩漏時，能自動發出警報與指示燈號，並適時互鎖停止，完善的軟體可以補助硬體的不足，且反應速度更快，其他如完整的電力監視系統（SCADA），可於電力系統發生異常時，能自動發出警報與指示燈號，並適時連動跳脫停止，完善的軟體可以補助硬體的不足，且反應速度更快。

大多數廠房早已設置完成，反應器尺寸多以固定，由強化策略切入很難加以改變，但是在固定的反應機構下，仍然可以經由調整製程反應參數、自動化製程改善、安全互鎖（interlock）、明顯警示燈號等外加方式，來達成外在本質較安全機會。

3.1.4 本質安全設計對製程經濟性影響

又據過往經驗（見表 15 本質安全設計對製程經濟性影響）本質較安全設計所採行策略又以強化與簡單化可大幅降低廠房建置價格，不過整體 11 項設計原則均可提升製程整體安全性。

表 15 本質安全設計對製程經濟性影響【44】

設計策略	價格影響	原因說明
強化	大	較小的設備及減少許多外加的安全設施
取代	中	減少加裝安全設施的需求
減弱	中	減少加裝安全設施的需求
限制影響	中	減少加裝安全設施的需求
簡單化	大	減少設備設置
避免骨牌效應	負面中度	需增加工廠用地，增加不需要的建築結構
防愚設計	無顯著	通常為較佳設計但不增加費用
狀態清晰	無顯著	通常為較佳設計但不增加費用
容忍	適度的	固定會較彈性便宜

易於控制	中	減少控制設備的需求，降低維修成本
軟體	無顯著	通常為較佳設計但不增加費用

3.1.5 SEMI-S2-93 半導體製程設備安全基準彙整

目前光電及半導體高科技廠房之製程設備多依據 SEMI-S2 指引進行安全設計，其規範內容重點彙整如表 16，其制定理念主要希望製程設備在其運轉或維護階段，就能將可能存在的危害源，在規劃、設計時就能評估與確認，如果為了製程而無法消除時，也必須做到失效安全 (fail safe) 或故障容許度 (fault tolerant) 的原則。

表 16 SEMI-S2-93 半導體製程設備安全基準彙整表【31】

設備基本規格	
安全連鎖裝置 (safety-related interlock)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 關鍵性之安全互鎖定義為由風險評估鑑認為極高 (Critical)、高(High)、中(Medium)風險的安全互鎖防護裝置，皆屬於關鍵性之安全互鎖。 2. 關鍵性之安全互鎖應是由硬體型式裝置(Hardware-based device)如繼電器 Relay 所構成，而非由韌體裝置韌體型式裝置(Firmware-based device)如 ROM、IC 或軟體裝置(Software-based device)如 PLC、PC 所構成。
化學物質 (chemicals)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有危害性氣體的設備必須裝設氣體偵測器，以及說明其採樣位置。 2. 設備維護時所需相關防護如工程控制(如氣罩、圍堵體)、作業程序、個人防護具等。 3. 若是設備有化學品或冷卻水時，必須有洩漏偵測器，且在設備下方應有一圍堵體以避免漏出。
游離輻射 (ionizing radiation)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 游離輻射線須限制於最低量。 2. 所有危害點之防護遮蔽需裝置安全互鎖，不可任意拆除，並且此連所裝置，絕不可失效。

<p>非游離輻射 (non ionizing radiation)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 游離輻射線須限制於最低量。 2. 雷射設備需視等級設置下列保護項目： <ul style="list-style-type: none"> • 保護外殼。 • 外殼安全連鎖裝置。 • 門扇安全連鎖。 • 分離式控制盤。 • 電源控制鎖。 • 發射警告指示。 • 光束衰減器或停止板。 • 設立管制區。 • 危害等級標示。 • 光閘標示。 • 使用手冊。 • 互木裝備。 • 保護衣罩。 • 警告標示。 • 操作訓練指引。
<p>噪音 (audio noise)</p>	<p>噪音量不得大於 80 分貝。</p>
<p>通風與排氣 (ventilation and exhaust)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 必須提供排氣風量連鎖裝置(一般使用壓差偵測器)，能發出可看到且聽到的警報，建議警報下限設定點為正常操作值的 1/2 或 1/3。 2. 排氣管路請使用不鏽鋼材質(除預防導電而有部份需使用非金屬材質以外)，若可能有腐蝕性氣體，則管路內部需有防腐蝕之處理。

<p style="text-align: center;">電氣設計 (electrical)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 下列狀況要提供非導電性或是接地導電之防護實體屏障： <ul style="list-style-type: none"> • 危害的附近上下或是周圍。 • 墜落物導致短路或電弧。 • 設備元件因失效而造成設備內液體流入電器元件。 • 主斷路器電線側的上方。 • 可能與未絕緣的帶電部份（潛在大於 30 伏特均方根值、42.2 伏特峰值、60 伏特直流電，或是 240 伏特安培的電力）接觸時的維護或是服務工作。 2. 重要組件如不斷電系統(UPS)、泵浦(Pump)、冷卻器(Chiller)、熱交換器(Heat Exchanger)、RF 產生器(RF generator)、加熱控制系統(Heat Controller)必須有國家認可測試實驗室(NRTL)的認證。 3. 線路應該有顏色碼，或是在電線的頭尾兩側使用容易辨識的標示。 4. 應該提供過電流保護元件及至少 10,000 rims 等級 AIC 的主要切斷裝置。 5. 主斷路器應該有能量阻斷(例如上鎖 lockout) 之設計。 6. 漏電電流 ≤ 3.5 毫安培(am)。 7. 接地電路之電阻 ≤ 0.1 歐姆(Ω)。 8. 設備內如有易燃性氣體或易燃性蒸氣存在之空間若設置有電器元件時需使用防爆電器元件。
--	--

<p>緊急關機 (emergency shutdown)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. EMO 啟動時應使設備內所有危害性電壓及大於 240 伏特-安培的電力除能。 <ul style="list-style-type: none"> • 例外 1：非危害性的電壓(基本是 24 伏特)仍可維持電力。 • 例外 2：安全相關的元件(例如；偵煙器、氣體/水的洩漏偵測器、壓力量測元件等)等由非危害電源供應者仍可保持通電。 • 例外 3：如果所有電能斷電器、插座及電力供應導體端子等皆有明顯標示，則電腦系統可以保持供電。EMO 啟動後仍然有電力供應的危險性能量部份，應該加以隔離或是圍阻以防止維護人員不經意的接觸。 2. 電路必須是硬體型式(Hardware-based)裝置。 3. 必須是手動重設的。 4. 必須是紅色草菇形狀，周圍以黃色背景。 5. 必須有明確中英文標示。 6. 必須是易於碰觸，其大小應可用手掌後根啟動之。 7. 按鈕的周圍可適當圍住以避免誤動作。 8. 任一人員所在位置的 3 公尺內必須有 EMO 按鈕。
<p>機器人和自動化 (robotics and automation)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 晶圓盒(Cassette)進出處的門必須有防護，以防止手被夾傷。 2. 機械手臂(Robot)必須有防護，門打開時必須將機械手臂停止。
<p>危害警告標示 (hazard warning)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 機台內、外部皆必須貼有中文及英文危害警告標示。 2. 標示需符合 SEMI S1 標準。

地震防護 (earthquake protection)	<ol style="list-style-type: none"> 設備若是有危害性物質，則必須能承受作用於設備質量中心上的設備重量 94%的水平負荷；沒有危害性物質的設備，則必須能承受作用於設備質量中心上的設備重量 63%的水平負荷。 機台本體及附屬設備需可承受 0.35g 之地震而無傾倒、位移之情形。 機台內有危害性物質之管路容器需可承受 0.35g 而無破裂洩漏之虞。 若有提供連結物(tie-ins)、附著物(attachments)、或是地震固定點(seismic anchorage points)等物品，則其位置必須明確的標示。
消防 (fire protection)	<ol style="list-style-type: none"> 可燃物質與潛在點火源不得接觸。 應考慮火災偵測及火災抑制系統的設置。

表 17 係本質較安全與半導體製程設備安全基準彙整表，由表可發現，其實本質較安全設計策略與 SEMI-S2 指引其實可以融合為一體，只不過 SEMI-S2 指引針對機台的特定功能的安全設計原則，而本質較安全設計策略則是如何讓這些功能原則於設計時能更達成預期的本質安全目標，兩者並不衝突，反而有相輔相成的功效。

表 17 本質較安全與半導體製程設備安全基準彙整表【46】

較佳應用時機		本質較安全設計策略										
		強化	取代	減弱	限制影響	簡單化	避免骨牌效應	防愚設計	狀態清晰	容忍	易於控制	軟體
半導體製程設備安全基	安全連鎖裝置				●		●	●		●		●
	化學物質	●	●	●								
	游離輻射	●	●	●			●					
	非游離輻射	●	●	●			●					
	噪音				●							
	通風與排氣						●		●			
	電氣設計				●	●	●	●		●	●	
	緊急關機						●				●	●

準 指 引	機器人和自動化					●						
	危害警告標示							●	●			
	地震防護										●	●
	消防				●	●	●		●	●	●	●
說明： 1. ●係指 SEMI-S2 指引內容可應用考慮的本質較安全設計策略時機。 2. 時機點之決定係由廠內專家會議討論決議。												

3.2 風險評估理論

高科技科技園區防災整備與緊急應變計畫流程，前半段為危害風險管理，目的就是希望確認目前危害現況，後半段則是防災整備與緊急應變計畫階段，當各廠房均有效採行危害控制措施時，那危害發生嚴重度與頻率將會降低，投入防災整備與緊急應變的人力、物質或動員範圍也就相對降低。

3.2.1 風險評估 Risk Assessment (SEMI S10)

依據 SEMI S10-風險評估安全指引 (Safety Guideline for Risk Assessment) 為基礎，來進行半導體風險評估與風險控制項目判定，為目前高科技廠房普遍使用的評估工具之一。



1. 名詞解釋

- (1) 危害 (hazard): 災害的必要條件。
- (2) 可能性 (Likelihood): 災害發生的或然率，通常以發生頻率來表示 (例如每年、每個產品、每個製程晶圓所發生的事件)
- (3) 災害 (mishap): 一件非預期的事件或一系列事件，會造成死亡、傷害、職業疾病、設備或財產的損壞或損失、或環境的損害。
- (4) 風險 (risk): 災害所預期的損失，用嚴重度和可能性來表示。
- (5) 嚴重性 (Severity): 因一件特定的危害所造成災害之最壞的可靠損失程度。

2. 嚴重性分類定義

嚴重性分類定義如表 18。

表 18 嚴重性分類說明

嚴重的	人	設備/設施	財產
-----	---	-------	----

重大的	一人或多人死亡	系統或設施損失	化學品釋放，具有立即及持續的環境或公眾健康的衝擊
嚴重的	殘廢傷害/疾病	主要的次系統損失或設施損壞	化學品釋放，具有暫時的環境或公眾健康的衝擊
中度的	醫療處理或須限制其工作活動 (OSHA 可以記錄的)	次要的次系統損失或設施損壞	化學品釋放，有需要對外報告
輕度的	僅需一般醫療處理	不嚴重的設備或設施損壞	化學品釋放，只需要例行的清除，不需要報告

3. 可能性分類定義

可能性分類定義如表 19。

表 19 可能性分類說明

可能性分類	預期的發生率
經常的	每年超過五次
可能的	每年一次以上，但每年未超過五次
也許的	五年內超過一次，但五年內未超過一次
稀少的	十年內超過一次，但五年內未超過一次
極不可能的	十年內未超過一次

4. 風險評估矩陣

風險評估矩陣（詳見圖 31）最後可分成五個風險等級，由高至低分別為不可忍受風險、高度風險、中度風險、可接受風險、輕微風險，高科技廠房可視情況選定需進行工程改善之風險等級，目前在 SEMI S10 規範中，則是建議由中級開始進行工程改善，而低於中級的小的或輕微則為可接受風險等級，不過最好方式是漸近式的進步調整目標，從不可接受風險開始進行改善，直到全部風險均得以消除。

3.2.2 風險控制項目決定

本研究建議可利用廠房歷年事故調查結果，以建立量化之評估指標，或藉由召開廠內專家會議來決定公司之可接受風險等級，不過仍建議不應低於中級較佳。

對於廠房內的各項硬體設備與系統，內容複雜且範圍廣泛，應掌握哪些重點才能有效提升安全等級，首重的當然就是危害分析，藉由危害分析將整個系統有危害的項目詳盡列出，並評估其發生頻率與發生嚴重度，進一步核算出風險等級，過高的風險等級就是必考慮風險控制的目標，並且藉此運用本質較安全的十一項設計策略進行工程改善，改善項目當然由發生頻率與發生嚴重度最高項目開始。



四、可行性評估應用實例探討

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

4.1.1 本研究濕式蝕刻製程說明

圖 42 係本研究濕式清洗機台組成構造示意圖，圖 43 係該機台管路構成圖及實驗晶圓照片。

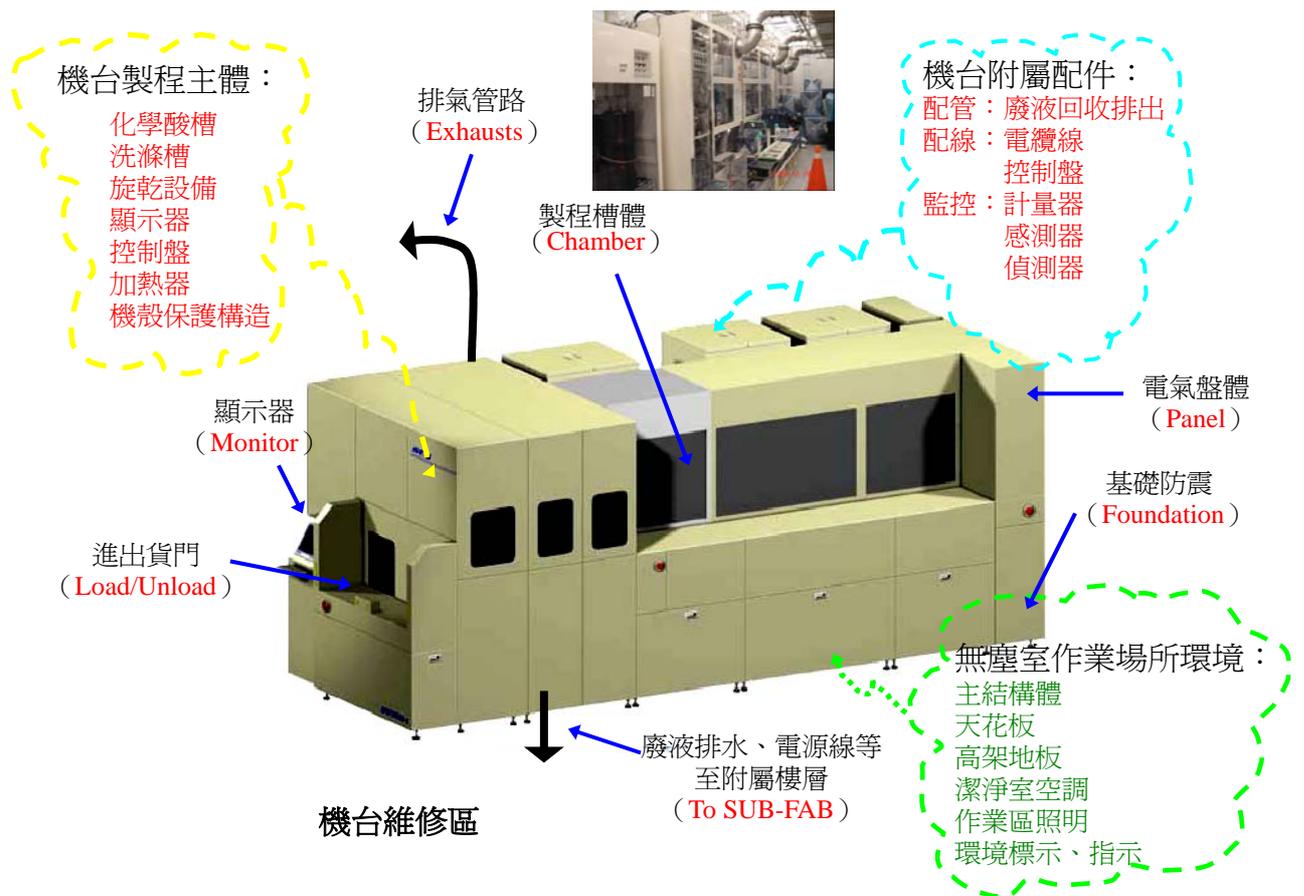


圖 42 濕式清洗機台組成構造示意圖

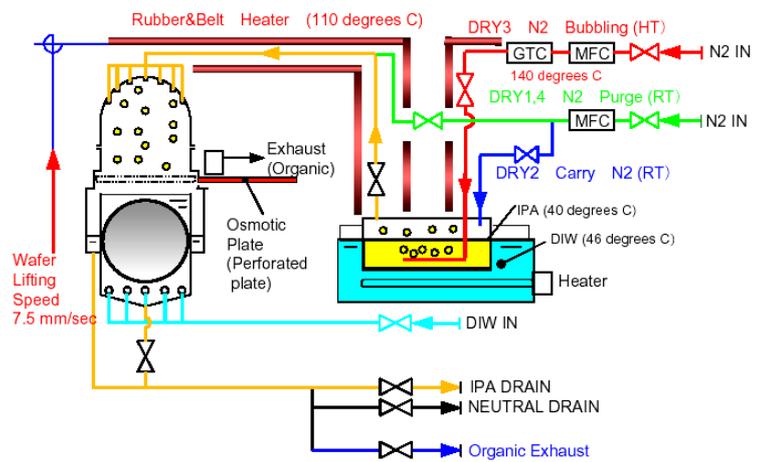
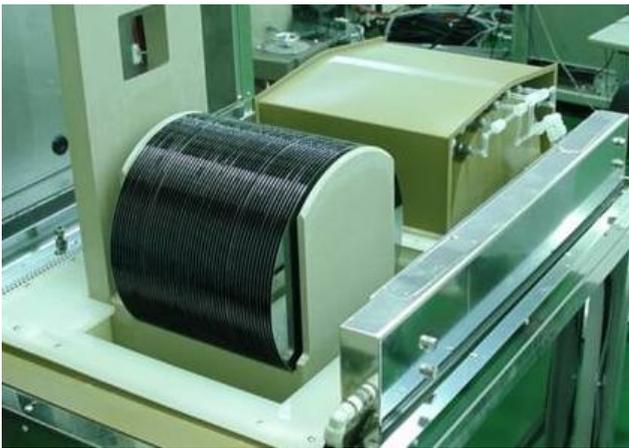


圖 43 本研究機台管路構成圖及實驗晶圓照片

取代的本質較安全設計理念原則上為「儘可能用較安全的化學物質來替代原先較危險的物質」。本研究濕式蝕刻 (wet bench) 化學品的取代為例，說明如何由原本使用易燃液體甲醇 (Methanol) 與 N-396 為蝕刻化學品的狀態，在維持原有製程良率的要求下，改換成較無火災爆炸風險的 DSP (Dilute sulfuric acid and hydrogen peroxide) 化學品。

濕式蝕刻係用來去除薄膜沉積後不屬於電路部份的製程，並且藉由此製程順便完成晶片清潔的功能，其流程如圖 44 流程示意圖所示。

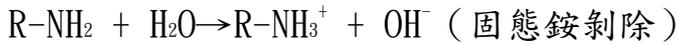


圖 44 濕式蝕刻製程流程示意圖

首先先說明各種新舊化學品的特性。甲醇係具芳香的無色透明液體，比重為 0.791，引火點為 11°C，爆炸界限則介於 6.0~36.5%之間，如果人體大量吸入可能會引起暈眩、失明、甚至死亡，甲醇也可能會經由皮膚吸收，其揮發性大，易引火，蒸氣與空氣約略等重，易廣範圍擴散形成爆炸性混合氣體。

N-396 為蝕刻溶劑 (Solvent)，其主要成分為 60%的 Solvent 與 20%的水及部份其他化學品混合液，因為含有水，所以為不可燃液體，在製程特性上對水溶性的多分子聚合物 (Polymer) 溶解性強，尤其對於金屬連接線上凸出的多分子聚合物去除效果佳，另外清除 (Stripper) 的反應機制是

將側壁的多分子聚合物 (Side Wall Polymer, SWP) 溶解於中，以提升後續薄膜沉積的覆蓋接着能力。反應化學式如下：



DSP 為硫酸 H₂SO₄ 與過氧化氫 H₂O₂ 的弱酸混合液，主要成分為 90% 的水與 10% 的酸液混合，本研究目的是希望能取代甲醇與 N-396，且維持或提升既有產品良率；如果實驗結果產品良率能維持原本要求良率以上，那也代表此次實驗的成功。

4.1.2 實驗過程

本案例實驗條件說明如下：

1. 選取 12 批晶圓盒 (編號由 A~L) 進行試驗，每盒計有 25 片晶圓。
2. 取代前對照組化學槽使用甲醇及 N-396，取代後化學槽使用 DSP。
3. 本實驗各槽作業時間如表 20 所示。

表 20 濕式蝕刻作業時間

	化學槽蝕刻	靜置純水清洗	流動純水清洗	晶圓乾燥
處理時間	120 sec	300 sec	300 sec	600 sec

各批晶圓盒皆於蝕刻完成後進行晶圓表面缺陷比對與電性特性測試，圖 45 為其中一批晶圓盒晶圓表面缺陷比對之 SEM 照片，由圖中可清楚看見取代前晶圓缺陷點數較多，而取代後之晶圓明顯的缺陷較少，所以對於晶圓表面缺陷部分已達允收標準。

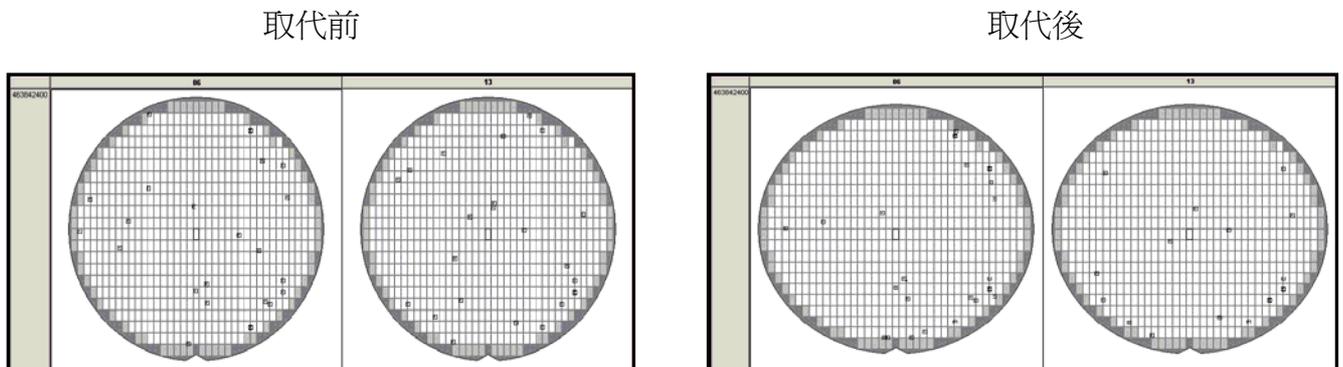


圖 45 晶圓表面缺陷 SEM 比對照片比對

圖 46 為本實驗其中 2 批晶圓盒之缺陷照片彙整。

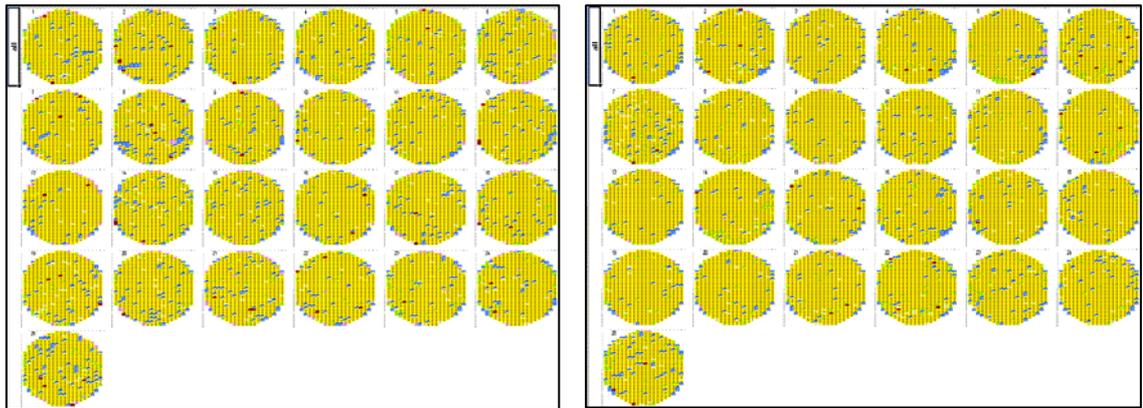


圖 46 其中 2 批晶圓盒之缺陷彙整圖

圖 47 為電性特性測試之統計圖 (trend chart)，目的係確認蝕刻製程結果能符合原本要求的電性特性能力，本實驗經直流電性測試、頻率響應測試、剝離能力測試及產品良率測試統計為盒圖 (Box plot) 方式呈現，圖 48 即為電性特性試驗及良率統計盒圖。

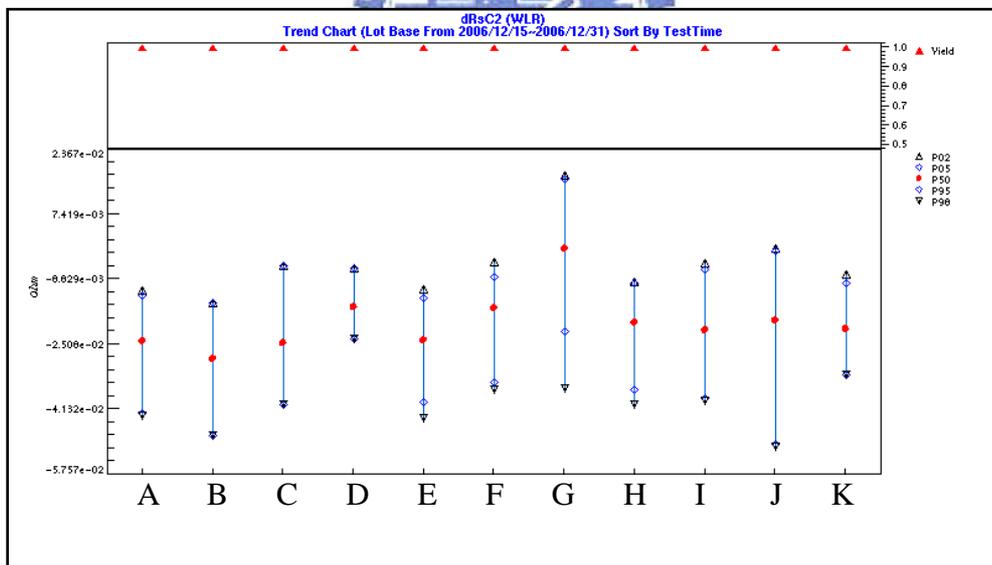


圖 47 電性特性測試統計圖

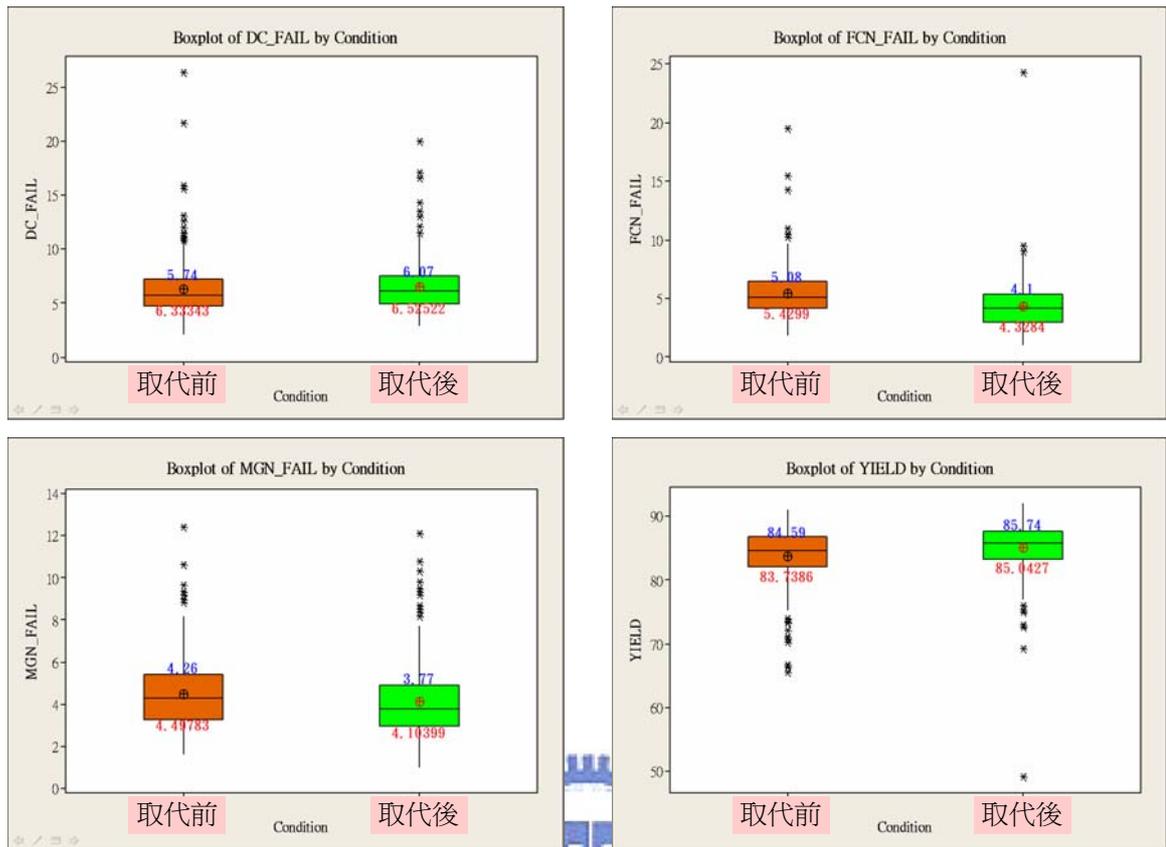


圖 48 電性特性試驗及良率統計盒圖

4.1.3 實驗結果與結論

本實驗 12 批晶圓盒於取代前及取代後之實驗成果彙總如表 21，經過實驗後我們得到產品良率由取代前的 83.74% 提升至 85.04%，直流電性則由 6.33% 提升至 6.53% 有小幅提升，另外頻率響應則由 5.43% 降低至 4.33% 有不錯的改善，剝離能力也同樣的由 4.50% 降為 4.10%。

表 21 濕式蝕刻取代實驗成果對照表

實驗項目	晶圓盒編號	產品良率	直流電性	頻率響應	剝離能力
取代前	A	86.36	5.60	4.58	3.46
	B	86.13	5.86	3.72	4.29
	C	85.80	6.37	3.84	3.99
	D	81.22	6.66	6.06	6.07
	E	82.83	7.11	6.69	3.38
	F	83.57	6.41	5.76	4.26
	G	83.86	6.03	5.90	4.22
取代後	A	85.04	6.53	4.33	4.10
	B	85.12	6.45	4.25	4.05
	C	84.98	6.48	4.35	4.08
	D	85.01	6.51	4.31	4.09
	E	85.03	6.52	4.32	4.07
	F	85.05	6.54	4.34	4.06
	G	85.07	6.56	4.36	4.04

	H	84.77	5.48	5.67	4.08
	I	80.10	7.69	5.27	6.94
	J	81.20	5.71	7.85	5.24
	K	85.33	7.42	4.17	3.08
	L	83.69	5.66	5.67	4.98
取代前平均值		83.74	6.33	5.43	4.50
取代後	A	85.70	6.14	3.81	4.35
	B	83.35	5.69	3.98	6.98
	C	82.16	6.85	4.99	5.99
	D	82.47	7.69	6.45	3.40
	E	86.56	5.87	3.67	3.90
	F	82.18	7.77	6.24	3.81
	G	85.71	6.86	3.69	3.74
	H	86.41	6.85	2.80	3.93
	I	85.02	8.13	3.46	3.39
	J	85.72	5.15	4.97	4.16
	K	86.45	6.30	4.15	3.10
L	88.14	5.14	3.88	2.84	
取代後平均值		85.04	6.53	4.33	4.10

經由本次實驗結果，可以確定原本濕蝕刻製程所使用易燃液體甲醇與 N-396，能在略為提升原有製程良率的情況下，改換成較無火災爆炸風險的 DSP (Dilute sulfuric acid and hydrogen peroxide)，並且此製程的取代，而降低購置甲醇與 N-396 的成本，既安全又經濟，所以經由實驗可證實本質較安全策略在濕式蝕刻製程中之應用可行性。

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

本研究將選定前三種目前經統計危害性較高之機台，即乾蝕刻機台、剝膜及成膜前洗機台及軌道式搬運車，進行機台本質較安全設計策略可行性評估。

本研究係以某 TFT-LCD 六代廠為例，召集製程單位、設備單位及廠工安單位，開會投票表決認定，共計 23 人與會，並由廠工安單位，提供 2004 年至 2006 年，二年期間類似機台事故統計成果並配合運轉工時核算，計算公式如下，以供與會人員參考判斷。

$$\text{發生頻率 (次數)} = \text{事故發生次數} / \text{總運轉工時}$$

4.2.1 乾蝕刻機台評估

1. 決定機台的使用功能、狀況與範圍

在 TFT-LCD 製程中的乾蝕刻乃利用低壓放電將反應氣體電離成電漿，並藉由反應性電漿離子和基板表面原子之間的化學反應，進行薄膜移除的蝕刻技術。乾蝕刻機台依其功能可分為六個部份：(A)進出貨門 (Load/Unload) (B)基板移轉機構 (transfer module) (C)製程反應器 (Chamber process module) (D)真空系統 (Vacuum System) (E)氣體供應系統 (Gas supply system) (F)射頻產生器 (RF system)。

2. 製程機台安全設計風險評估

(1) 機台危害辨識

乾蝕刻機台危害辨識成果如下表表 22 所示。

表 22 乾蝕刻機台危害辨識成果彙整表

功能機構	危害源	可能受害者
進出貨門	機械危害 (夾傷、撞擊) 人體工學危害 (重複動作)	設備工程師 製程作業人員
基板移轉機構	機械危害 (夾傷、撞擊)	設備工程師
製程反應器	熱能危害 (燙傷) 原物料危害 (中毒、火災、爆炸)	設備工程師 設備工程師
真空系統	原物料危害 (中毒、火災、爆炸)	設備工程師、作業人員、附近人員
氣體供應系統	原物料危害 (中毒、火災、爆炸)	全廠人員
射頻產生器	電磁危害 (心臟)	設備工程師
電源、控制迴路	電能危害 (感電)	設備工程師、製程作業人員

(2) 危害源嚴重度評估

乾蝕刻機台危害源嚴重度評估成果如下表表 23 所示。

表 23 乾蝕刻機台危害源嚴重度評估成果彙整表

功能機構	危害源	發生嚴重度
------	-----	-------

進出貨門	機械危害（夾傷、撞擊）	中度的
	人體工學危害（重複動作）	輕度的
基板移轉機構	機械危害（夾傷、撞擊）	中度的
製程反應器	熱能危害（燙傷）	嚴重的
	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	重大的
真空系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	中度的
氣體供應系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	重大的
射頻產生器	電磁危害（心臟）	中度的
電源、控制迴路	電能危害（感電）	重大的

（3）危害源可能性評估

乾蝕刻機台危害源可能性評估成果如下表 24 所示。

表 24 乾蝕刻機台危害源可能性評估成果彙整表

功能機構	危害源	發生風險機率	發生可能性
進出貨門	機械危害（夾傷、撞擊）	1.578×10^{-2}	經常的
	人體工學危害（重複動作）	1.200×10^{-3}	也許的
基板移轉機構	機械危害（夾傷、撞擊）	3.540×10^{-5}	稀少的
製程反應器	熱能危害（燙傷）	2.210×10^{-2}	經常的
	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	6.880×10^{-4}	也許的
真空系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	0.785×10^{-3}	可能的
氣體供應系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	2.650×10^{-3}	也許的
射頻產生器	電磁危害（心臟）	5.060×10^{-4}	可能的
電源、控制迴路	電能危害（感電）	4.791×10^{-2}	經常的

（4）最高風險項目判定

依圖 31 風險評估表進行最高風險項目判定，結果如下表 25 所示。

表 25 乾蝕刻機台最高風險項目判定評估成果彙整表

功能機構	危害源	風險等級
進出貨門	機械危害（夾傷、撞擊）	高度風險
	人體工學危害（重複動作）	可接受風險
基板移轉機構	機械危害（夾傷、撞擊）	可接受風險
製程反應器	熱能危害（燙傷）	不可忍受風險
	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	高度風險
真空系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	中度風險
氣體供應系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	高度風險
射頻產生器	電磁危害（心臟）	中度風險
電源、控制迴路	電能危害（感電）	不可忍受風險

3. 根據本質較安全 11 項策略消除中度以上風險與防護對策

以氯氣危險源為例，利用圖 33 之 EN954-1 風險評定及安全類別樹狀圖評估安全控制系統等級，成果如下表 26 所示。

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

設備名稱	危險源	作業名稱	危險現象	風險等級	安全對策等級	安全對策	電氣控制類別等級
乾蝕刻機台	氯氣	乾蝕刻	氣體洩漏	不可忍受風險	最高	1. 輸送管路採用雙套管 2. 流量控制（MFC） 3. 裝設氣體洩漏偵測器 4. 管路結點以箱體保護 5. 氣體盤門打開連鎖停機 6. 氣體盤排氣失效連鎖停機 7. 機台外蓋開啟連鎖停機 8. 過流量關閉裝置	— 4 4 — 4 4 3 4

4.2.2 剝膜及成膜前洗機台評估

1. 決定機台的使用功能、狀況與範圍

TFT-LCD 製程中的剝膜製程位於蝕刻製程後端，乃加熱前洗機台 (stripper) 至 70°C，藉以剝除光阻，由於 stripper 屬可燃性化學藥液之，因此若防護不周，極可能導致火災發生，此機台一般常見構造包含：加熱槽、泵浦 (Pump)、基板傳送單元及藥液噴嘴 (Nozzle) 等。

2. 製程機台安全設計風險評估

(1) 機台危害辨識

剝膜及成膜前洗機台危害辨識成果如下表 27 所示。

表二十七 剝膜及成膜前洗機台危害辨識成果彙整表

功能機構	危害源	可能受害者
加熱槽	熱能危害 (燙傷)	設備工程師
化學品供應系統	原物料危害 (中毒、火災、爆炸)	設備工程師、製程作業人員
基板傳送單元	機械危害 (夾傷、撞擊)	設備工程師、製程作業人員
電源、控制迴路	電能危害 (感電)	設備工程師、製程作業人員

(2) 危害源嚴重度評估

剝膜及成膜前洗機台危害源嚴重度評估成果如下表 28 所示。

表 28 剝膜及成膜前洗機台危害源嚴重度評估成果彙整表

功能機構	危害源	發生嚴重度
加熱槽	熱能危害 (燙傷)	中度的
化學品供應系統	原物料危害 (中毒、火災、爆炸)	重大的
基板傳送單元	機械危害 (夾傷、撞擊)	嚴重的
電源、控制迴路	電能危害 (感電)	嚴重的

(3) 危害源可能性評估

剝膜及成膜前洗機台危害源可能性評估成果如下表 29 所示。

表 29 剝膜及成膜前洗機台危害源可能性評估成果彙整表

功能機構	危害源	發生風險機率	發生可能性
加熱槽	熱能危害（燙傷）	3.250×10^{-3}	可能的
化學品供應系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	2.010×10^{-2}	經常的
基板傳送單元	機械危害（夾傷、撞擊）	1.540×10^{-3}	可能的
電源、控制迴路	電能危害（感電）	4.791×10^{-2}	經常的

（4）最高風險項目判定

依圖 31 風險評估表進行最高風險項目判定，結果如下表 30 所示。

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

功能機構	危害源	風險等級
加熱槽	熱能危害（燙傷）	中度風險
化學品供應系統	原物料危害（中毒、火災、爆炸）	不可忍受風險
基板傳送單元	機械危害（夾傷、撞擊）	高度風險
電源、控制迴路	電能危害（感電）	不可忍受風險

3. 根據本質較安全 11 項策略消除中度以上風險與防護對策

以避免剝膜機台火災例，利用圖 33 之 EN954-1 風險評定及安全類別樹狀圖評估安全控制系統等級，成果如下表 31 所示。

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

設備名稱	危險源	作業名稱	危險現象	風險等級	安全對策等級	安全對策	控制類別等級
化學加熱	加熱器	藥液加熱	火災	中度風險	中級	1. 加熱槽採用不燃性材質 2. 自動溫度控制器 3. 過溫保護連鎖停機 4. 設置機台消防設施	— 3 4 3

槽				5. 過電流保護裝置(熔絲斷路開關或電路斷路器)	3
				6. 排氣失效連鎖停機	4
				7. 接地及接地失效保護	—

4.2.3 軌道式搬運車評估

1. 決定機台的使用功能、狀況與範圍

TFT-LCD 製程中的面板廠之軌道式搬運車走行速度可達 150m/min，走行加速度 1.47m/s^2 ，若人員遭受撞擊，可能導致挫傷、紅腫、骨折等危害。一般常見構造包含：車體、軌道、電源及控制單元等。

2. 製程機台安全設計風險管理

(1) 機台危害辨識

軌道式搬運車危害辨識成果如下表 32 所示。

表 32 軌道式搬運車危害辨識成果彙整表

功能機構	危害源	可能受害者
車體	機械危害(撞擊)	設備工程師、製程作業人員
軌道	機械危害(夾傷、撞擊、拌倒)	設備工程師、製程作業人員
電源、控制迴路	電能危害(感電)	設備工程師、製程作業人員

(2) 危害源嚴重度評估

軌道式搬運車危害源嚴重度評估成果如下表 33 所示。

表 33 軌道式搬運車危害源嚴重度評估成果彙整表

功能機構	危害源	發生後果程度
車體	機械危害(撞擊)	重大的
軌道	機械危害(夾傷、撞擊、拌倒)	中度的
電源、控制迴路	電能危害(感電)	重大的

(3) 危害源可能性評估

軌道式搬運車危害源可能性評估成果如下表 34 所示。

表 34 軌道式搬運車危害源可能性評估成果彙整表

危害源	危害源	發生風險機率	發生可能性
車體	機械危害（撞擊）	1.665×10^{-2}	經常的
軌道	機械危害（夾傷、撞擊、拌倒）	2.340×10^{-4}	可能的
電源、控制迴路	電能危害（感電）	4.791×10^{-2}	經常的

（4）最高風險項目判定

依圖 31 風險評估表進行最高風險項目判定，結果如下表 35 所示。

表 35 軌道式搬運車最高風險項目判定評估成果彙整表

危害源	危害源	風險等級
車體	機械危害（撞擊）	不可忍受風險
軌道	機械危害（夾傷、撞擊、拌倒）	中度風險
電源、控制迴路	電能危害（感電）	不可忍受風險

3. 根據本質較安全 11 項策略消除中度以上風險與防護對策

以避免軌道式搬運車撞擊為例，利用圖 33 之 EN954-1 風險評定及安全類別樹狀圖評估安全控制系統等級，成果如下表 36 所示。

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

設備名稱	危險源	作業名稱	危險現象	風險等級	安全對策等級	安全對策	控制類別等級
軌道式搬運車	車體	清潔	撞擊	不可忍受風險	最高	1. 安全護欄 2. 門鎖開關 3. 安全索 4. 安全光柵 5. 前後障礙物感測器 6. 載體 7. 緊停開關	— 4 4 4 4 4 3

					8. 燈號與警告音	4
--	--	--	--	--	-----------	---

4.2.4 成效評估與結論

前述三種機台使用本研究評估候，自 2007/1/20 新裝機完成，圖 49 係新裝機完成之平面軌道式搬運車照片，正式加入製程生產行列後，經統計已經歷 3684 運轉工時，無任何事故發生，較以往乾蝕刻機台每年每部平均發生 2.34 次氣體洩漏、剝膜及成膜前洗機台每年每部平均發生 3.12 次化學品洩漏及軌道式搬運車每年每部平均發生 5.60 次撞擊夾傷事件，顯見以本質較安全策略來進行機台安全設計評估與應用，可有效降低事故發生機率，確認本質較安全策略之應用可行性。



圖 49 平面軌道式搬運車照片

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

本研究於建立最佳化電力系統安全設計模式後，即選定某高科技廠房進行安全設計評估，唯一美中不足之處，因為業務因素無法參與新廠建置，所以本研究僅能就現有運轉中的廠房進行分析，部分工程改善項目亦僅得於既設系統中加強防護或採取適當防阻措施，來提升本質較安全程度，不過對於提升整個廠房之電力系統本質較安全程度，仍頗有助益。

本研究係召集設備單位、廠務單位及廠工安單位，開會投票表決認定，共計 18 人與會。

4.3.1 電力系統建置

本研究電力系統組成，依圖 38 架構，本系統將以以下七項設計階段為負載種類、用電設備內容、管線決定、材質決定、過電流保護、配電盤、設置與裝置等，來進行後續安全評估與分析。

4.3.2 危害辨識

表 37 為電力系統各設計階段危害情境分析，在高科技廠房中對電力系統進行危害情境分析，並且找出可能受害者，對後續的評估更能有效集中目標。

表 37 本研究電力系統各設計階段危害情境分析

設計階段	危害情境	可能受害者
負載種類	<ol style="list-style-type: none"> 1. 人員接觸帶電體感電 2. 冷卻器凍傷 3. 加熱器燙傷 4. 幫浦等迴轉體捲入夾傷 5. 短路電弧灼傷 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廠務工程師 2. 設備工程師 3. 製程工程師
用電設備內容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 電壓：絕緣破壞致生短路電弧或人員感電 2. 電流：過電流造成電纜線絕緣材熔毀而產生短路火花、火災、爆炸或人員感電 	設備工程師
管線決定	<ol style="list-style-type: none"> 1. 金屬導體線徑不足：過電流造成電纜線絕緣材熔毀而產生短路火花、火災、爆炸或人員感電 2. 絕緣耐壓不足：通電後造成回路外電流而產生短路火花、火災、爆炸或人員感電 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廠務工程師 2. 設備工程師
材質決定	無法支持電纜線致電纜線掉落、折斷或碰觸其他帶電、高溫、運動機械體等，而產生短路火花、火災、爆炸或人員感電	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廠務工程師 2. 設備工程師
過電流保護	未正常跳脫保護迴路系統，導致短路火花、火災、爆炸或人員感電	1. 廠務工程師

		2. 設備工程師
配電盤	1. 盤體未接地或構造不佳造成人員操作錯誤，而產生感電危險 2. 構造未修整造成人員切割受傷。	1. 廠務工程師 2. 設備工程師
設置與裝置	1. 人員接觸帶電體感電 2. 電力設備與線路絕緣材質遭受四周冷熱環境傷害、機械損壞、人員誤操作等情況，而導致短路火花、火災、爆炸或人員感電	1. 廠務工程師 2. 設備工程師

4.3.3 可能性與嚴重度評估

表 38 為本研究電力系統各設計階段發生可能性評估成果，其中顯見設置與裝置為發生可能性較高之項目。

表 38 本研究電力系統各設計階段發生可能性評估

設計階段	關鍵危害情境	量化評估	發生可能性
負載種類	人員接觸帶電體感電、短路電弧灼傷	1.678×10^{-5}	稀少的
用電設備內容	高電壓、過電流危害	1.624×10^{-3}	可能的
管線決定	電纜線過電流、絕緣耐壓短路	3.542×10^{-5}	稀少的
材質決定	受熱融化、強度不足、破壞短路	2.210×10^{-3}	可能的
過電流保護	無法正常跳脫保護	3.880×10^{-4}	也許的
配電盤	盤體未接地感電	2.475×10^{-3}	可能的
設置與裝置	四周環境傷害、人員碰觸	0.740×10^{-2}	經常的

表 39 為本研究電力系統各設計階段發生嚴重度評估成果，其中顯見負載種類、過電流保護及設置與裝置為發生嚴重度屬為較高危害之項目。

表 39 本研究電力系統各設計階段發生嚴重度評估

設計階段	關鍵危害情境	量化評估	發生嚴重度
------	--------	------	-------

負載種類	人員接觸帶電體感電、短路電弧灼傷	2.552×10^{-2}	重大的
用電設備內容	高電壓、過電流危害	1.887×10^{-3}	嚴重的
管線決定	電纜線過電流、絕緣耐壓短路	3.241×10^{-5}	中度的
材質決定	受熱融化、強度不足、破壞短路	7.005×10^{-4}	嚴重的
過電流保護	無法正常跳脫保護	2.650×10^{-2}	重大的
配電盤	盤體未接地感電	0.758×10^{-5}	輕度的
設置與裝置	四周環境傷害、人員碰觸	9.330×10^{-2}	重大的

4.3.4 最高風險項目判定

依表 31 進行風險等級評估，表 40 為本研究風險等級評估成果，屬中度風險等級以上之項目，應於電力系統設計時，特別注意，尤其列為不可忍受風險的設置與裝置及高風險的過電流保護等。

換言之針對中度風險以上項目最好能進行風險控制，也就是本質較安全設計策略的投入時機。

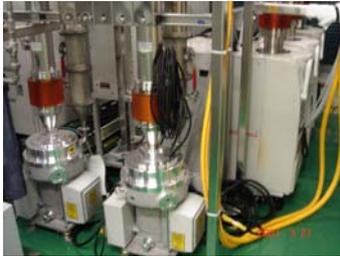
表 40 本研究電力系統各設計階段風險等級評估成果

設計階段	關鍵危害情境	風險等級
負載種類	人員接觸帶電體感電、短路電弧灼傷	中度風險
用電設備內容	高電壓、過電流危害	高度風險
管線決定	電纜線過電流、絕緣耐壓短路	可接受風險
材質決定	受熱融化、強度不足、破壞短路	高度風險
過電流保護	無法正常跳脫保護	高度風險
配電盤	盤體未接地感電	可接受風險
設置與裝置	四周環境傷害、人員碰觸	不可忍受風險

4.3.5 風險控制與實際工程改善

表 41 為本研究經安全分析後針對風險等級較高項目，所進行的實際工程改善案例，並配合管理措施來進行風險控制之成果。

表 41 本研究電力系統進行工程改善後成果彙整

設計階段	工程改善參考照片	說明
負載種類		<p>選擇製程溫度較低之反應器，如此既能達成製成目標，又可縮小加熱器容量，這是強化策略的運用。</p> <p>註：僅薄膜機台新購 1 台改善。</p>
用電設備內容		<p>在相同處理能力下，高效率乾式真空幫浦可採用較低電壓及較低電流值，電纜線徑亦可縮減，並且較容易採用單一線材的電纜線，這是強化與取代策略的運用。</p> <p>註：乾蝕刻汰舊換新共計 15 部幫浦，規格由 380V 降為 220V。</p>
管線決定		<p>因電纜線徑縮小，所以選擇設置之電纜線架尺寸亦可縮小，施工與裝置位置均可以輕鬆調整，這是強化與容忍策略的運用。</p> <p>註：更換拆除部份大型導線架，更換為小型尺寸導線架，配合乾蝕刻真空幫浦工程，計 35M。</p>
材質決定		<p>非機台端線路選用 PE 等級電纜，而非 PVC 電纜，並且電纜線價亦採用全面粉體烤漆，這是取代與限制影響策略的運用。</p> <p>註：部分分電盤採塑材封板，仍有漏水疑慮，全面採防火矽利康填縫。</p>

<p>過電流保護</p>		<p>除了充分考慮保護能力外，設置亦採用具有護蓋保護之型式，而非裸露後再外掛保護蓋型式，這是強化與防愚設計策略的運用。</p>  <p>註：僅薄膜機台新購 1 台改善。</p>
<p>配電盤</p>		<p>具有堅固構造可防止內外部的破壞，並且於開關部設有明顯危害標示，在盤面也運用軟體顯示系統狀態，這是減弱、狀態清晰及軟體策略的運用。</p> <p>註：於歲修時增設純水系統 SCDA，並傳送至廠務控制室。</p>
<p>設置與裝置</p>	 	<p>機台設備電力控制最好設置於不受高溫、化學品等危害之最高點，以避免環境的破壞影響，這是限制影響策略的運用。</p> <p>註：廠內多數機台已符合此原則。</p> <p>當環境限制仍無法避免液態影響時則可採取密閉式的電纜線槽，並考慮適當之洩水坡度，這是容忍策略的運用。</p> <p>註：電力線路上方曾有發生液體洩漏位置，於歲修時配合更新為密閉電纜線槽，計 50M。</p>

<p>行政管理的輔助</p>		<p>除了工程改善外，為確保電力系統運轉安全仍需要後續人員確認，例如紅外線熱顯像檢測，如此配合電力檢測系統，更能確保電力系統運轉安全。</p> <p>註：此為廠內電力系統安全管理措施。</p>
----------------	---	--

4.3.6 成效評估與結論

本研究於 2007 年 1 月進行工程改善（配合裝機與歲修）完成後，即由 2 月開始進行工程改善部分之電力系統事故統計，截至 7 月底止，因電力系統而造成之危害事故僅二件，分別為老舊乾蝕刻真空幫浦燒毀（原因：機台老舊）及額定容量 200 安培無熔絲斷路器一次側接點未鎖緊電弧融斷事故（原因：人員紅外線感熱儀檢測不確實），比較各月份與前年度差異，如圖 50 電力系統工程改善後事故統計比較所示。

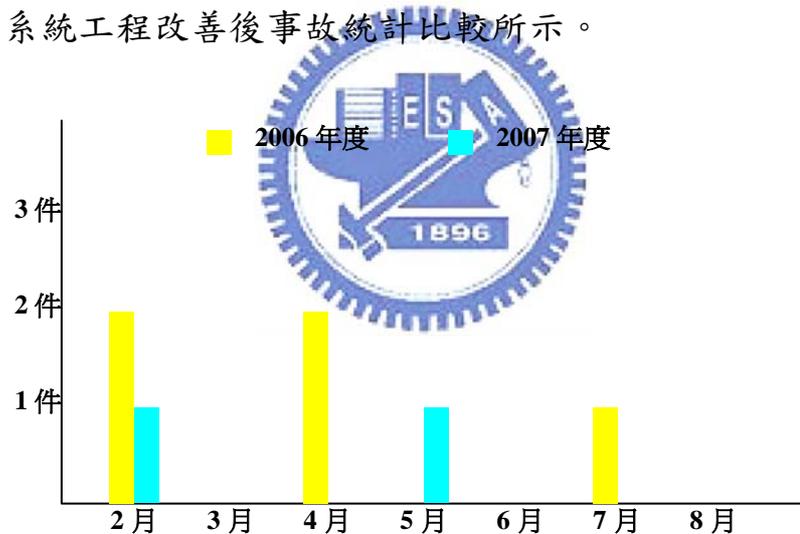


圖 50 電力系統工程改善後事故統計比較

本研究針對工程改善部分進行安全運轉時數統計，已達連續 4322 運轉工時，無任何電力事故發生，其中於歲修時配合更新為密閉電纜線槽部分於三月中旬，再次發生濕式蝕刻機台管路爆裂，氫氟酸洩漏事件，唯電力系統完全未受影響，正常運作，此次事故紀錄為化學品洩漏，而非電力事故。

經由實際評估與應用，我們可確認高科技廠房電力系統運用本質較安

全設計策略來進行電力系統安全設計評估，可降低事故發生機率。

4.4 其他可行案例探討

4.4.1 製程反應器的強化策略

對薄膜沉積製程 (Chemical Vapor Deposition, CVD) 由原先採用爐管多片反應器製程，於採購機台設備時直接選擇單片多反應器的形式，如圖 51 所示，單片反應器置成反應速度較快，較易維持製程良率外，並且無須一次投入大量反應氣體，大幅降低火災爆炸的風險，對風險控制的損害防阻而言，有本質較安全化的根本性改善，目前已有許多低壓薄膜沉積 (LPCVD) 機台改善案例。

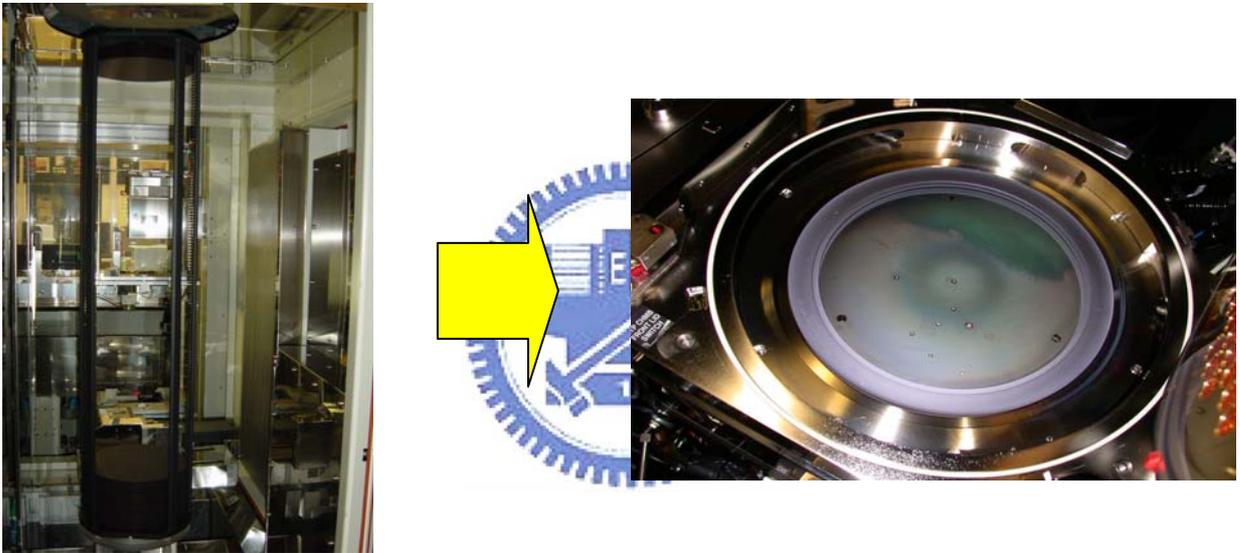


圖 51 製程反應器的強化策略應用

4.4.2 製程化學品的取代策略

對於做為半導體元件介電層的硼磷矽玻璃薄膜沉積 (BPSG CVD) 製程，在未採取代策略前係利用氣態且具自燃性的矽甲烷 (SiH₄)、磷化氫 (PH₃) 及乙硼烷 (B₂H₆) 作為反應氣體，但在仍可維持既有良率情況下，改由液態的三甲基磷酸鹽 (PO(OCH₃)₃) 及三乙基硼酸鹽 (B(OC₂H₅)₃) 為反應材料，反應式如下：



取代完成後也同樣能降低火災、爆炸風險，本質安全性亦同樣較為提升，如圖 52 所示。【23】

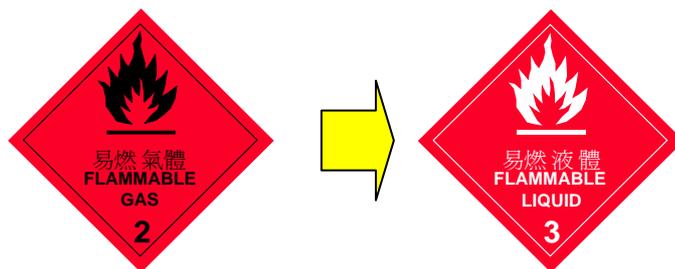


圖 52 由自燃性氣體取代為易燃性液體

4.4.3 製程反應的減弱策略

在固定機台設備情況下，藉由調整反應參數，選擇較低反應溫度、較低供應壓力、較低程度真空要求等方式，可以將降低能量的產生，也可以減低機台設備因溫度過高而造成長期性保護材質劣化情況，以提升本質安全程度，圖 53 為製程機台作業中顯示面板照片。

4.4.4 製程特殊氣體及化學品供應的限制影響

製程特殊氣體及化學品供應也有本質較安全策略的良好應用實例，以薄膜沉積製程而言經常使用矽甲烷 (Silane, SiH₄) 作為反應氣體，主要目的就是希望於晶片上沉積出二氧化矽 (SiO₂) 薄膜，反應式如下：

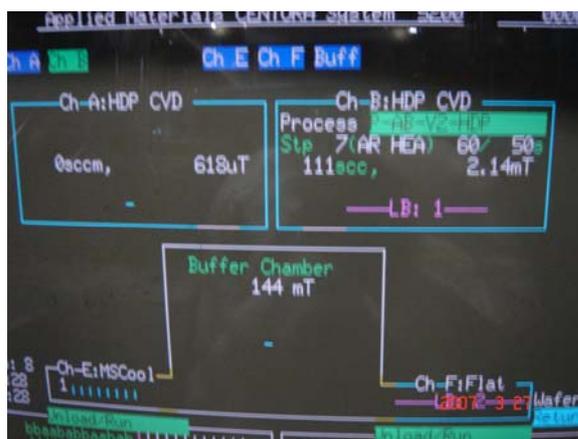
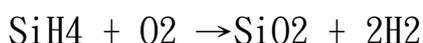


圖 53 製程機台作業中顯示面板照片



但是矽甲烷的自然性卻是不得不防備的重點，所以為了預防矽甲烷洩漏接觸空氣而自燃，所以目前製程用配管均採雙套管供應，圖 54 為雙套管

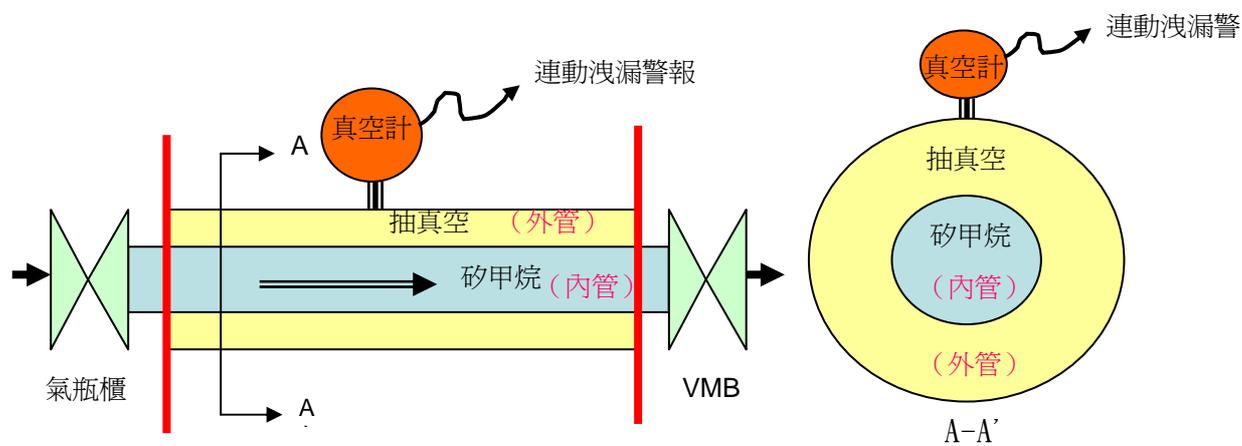


圖 54 雙套管構成示意圖

構成示意圖，內管為流通矽甲烷管路，為防洩露直接接觸外氣，所以設置外管，並將內外管間空間抽真空，當矽甲烷洩漏，真空度將喪失，此時洩漏警報動作，人員得迅速處理，並且矽甲烷會先儲於外管內而非直接接觸



圖 55 特殊氣體與化學品雙套管實際設置照片

外氣，圖 55 為雙套管實際設置照片。

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

除了由製程切入外，由機台設備及附屬設備觀點來看，高科技廠房中

已有許多良好的本質較安全設計策略應用案例，例如製程廢氣的局部除害裝置為防止廢液洩漏，於機台下端設置洩漏盛液盤，並且會於盤中設置液體洩漏探測器系統，於洩露第一時間發出警報，這是限制影響策略及軟體策略的良好應用實例。(如圖 56 所示)



圖 56 防止化學品洩漏盛液盤及洩漏探測器照片

另外防止製程發生突發性危害而擴大，主機台及附屬機台會設置緊急停機按鈕 (EMO)，以便緊急停止機台運作，並僅供應 24V 以下的安全監視電力，平時製程運轉時，為防止人員誤觸緊急停機按鈕，而造成製程可靠度降低，緊急停機按鈕四周會設有防護擋片，這是避免骨牌效應及防愚策略的良好設計。(如圖 57 所示)

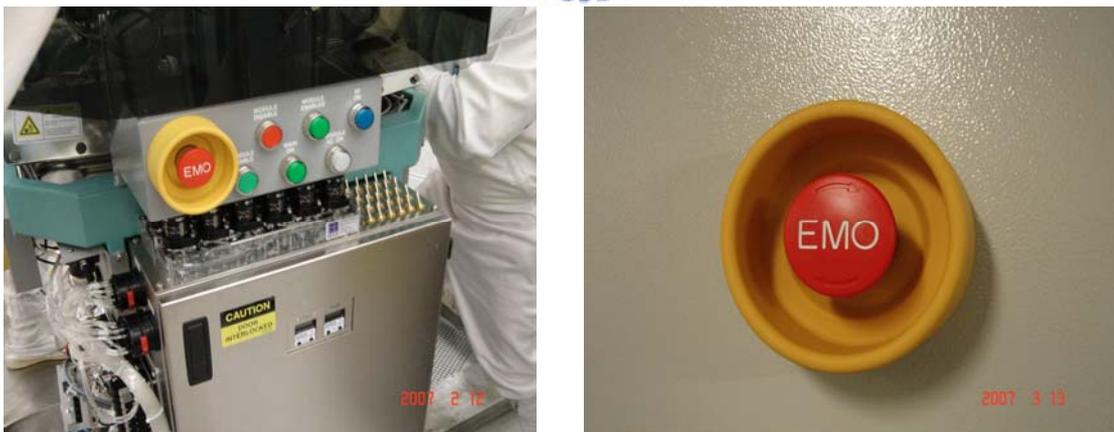


圖 57 緊急停機按鈕照片

另外對於氣體管路閥體防愚策略亦有良好設計。(如圖 58 所示)



圖 58 氣體管路閥體防愚操作防護照片

製程進行中也可利用最簡單的警示燈號（如圖 59 所示）並配合警告聲響來初步顯示機台情況，這是狀態清晰策略的良好設計；而製程操作時反應器、反應參數變化及機械手臂動作等均會顯示於製程操作與顯示面板（如圖 60 所示），此這需要有完善的軟體系統並配合各種探測裝置才能達成，



圖 59 製程警示燈號



圖 60 製程操作與顯示面板

這是軟體策略良好的應用實例，另外廠務供應端的壓力表標示正常運轉界限，反應氣體標示管路流向讓有關人員能輕易辨識，這是狀態清晰策略的良好設計。（如圖六十一所示）

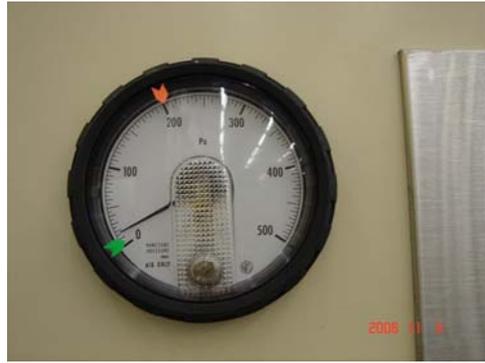


圖 61 壓力表指示範圍與反應氣體管路流向標示照片

化學品供應為了維持壓力、流量穩定並且避免減少人員接觸供應系統而造成不必要的傷害，所以設計上會採取全自動化供應系統（如圖 62 所示），此系統綜和了簡單化策略、軟體策略等，除非管路老舊損壞或遭受人員意外破壞，否則平時人員不需與系統接觸，可根本的防止危害發生。

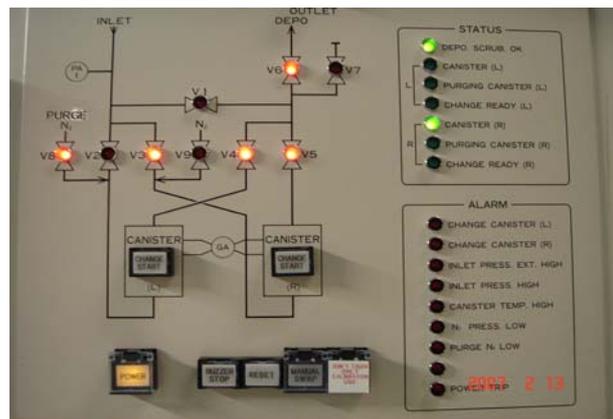


圖 62 製程用特殊氣體的全自動化供應系統

特殊反應氣體為確保發生意外情況時，能於第一時間有效閉鎖，所以在氣瓶櫃中會設置緊急遮斷閥，原理係採自重方式，當發生地震或是緊急情況，於立即關斷，這也是易於控制的應用實例。（如圖 63 所示）



圖 63 氣瓶櫃緊急遮斷閥照片

純水供應系統未防止與振動設備間，因長期運轉而造成鬆動或管材損傷，所以會於銜接處，採取軟管銜接，這是容忍的應用實例。(如圖 64 所示)



圖 64 製程管路的防震軟管設計照片

當本質安全較設計的 11 項策略都應用於製程上，我們對於特殊氣體洩漏亦可設置氣體探測系統 (如圖 65 所示)，於洩漏的第一時間就可以立即進行疏散與搶救，這也是狀態清晰與軟體策略的應用實例。



圖 65 特殊氣體洩漏氣體探測系統

對於風險控制的損害防阻最後一道防線，當然也就是消防安全設備的設置，我們可以先考慮獨立機台的內部滅火設備（如圖 66 所示），或是整體廠房內部的自動灑水系統（如圖 67 所示），配合防火區劃的完整性（如



圖 66 獨立機台的內部滅火設備

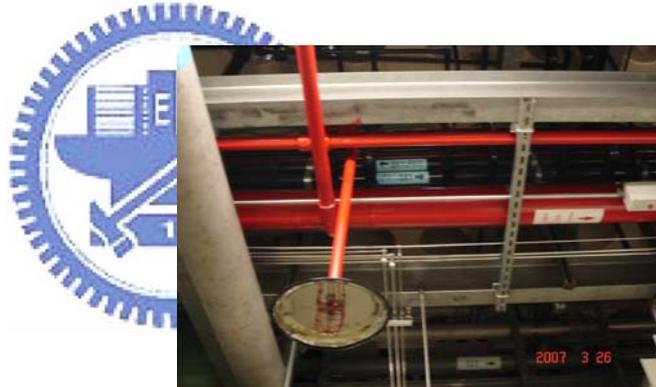


圖 67 自動灑水系統

圖 68 所示)，如此可達到抑制火災、爆炸的蔓延，這也符合本質較安全設計中避免骨牌效應策略的精神。



圖 68 防火區劃防火填塞照片

4.4.6 成效評估與結論

本研究經目前已有的案例分別探討，我們得以確認高科技廠房無論是製程、設備或廠務系統，均可採行本質較安全設計策略，本質較安全設計策略在於高科技廠房中之可行性亦無庸置疑。

4.5 建置本質較安全應用機制彙整表與討論

本研究經由前述實證我們可以確定，高科技廠房採取本質較安全策略的可行性，表 42 係針對前述實證與探討製程、設備、廠務等項目後，針對濕式蝕刻製程、機台安全設計及電力系統安全設計所建置之本質較安全應用機制架構表。

表 42 本質較安全應用機制架構表

		安全設計										
		危害辨識										
		風險評估										
		本質較安全設計策略→風險控制→工程改善										
		強化	取代	減弱	限制影響	簡單化	避免骨牌效應	防愚設計	狀態清晰	容忍	易於控制	軟體
高科技廠房	製程	濕式清洗製程	▲	●								
	設備	製程機台	▲			●	●	●	●	●	●	●
	廠務	電力供應系統	▲	●		●	●	●	●	●	●	●

說明：

- 係經前述評估與討論已實證為應用可行性項目。
- 係指進行危害辨識之評估項目。
- ▲ 係指適宜風險評估之評估項目。

以表中之濕式清洗製程而言，本研究經由實驗 12 批晶圓盒於取代前及取代後得到產品良率由取代前的 83.74% 提升至 85.04%，直流電性則由 6.33% 提升至 6.53% 有小幅提升，另外頻率響應則由 5.43% 降低至 4.33% 有不錯的改善，剝離能力也同樣的由 4.50% 降為 4.10% 等改善，所以可以確定 DSP 取代甲醇與 N-396 之應用可行性，故我們得於取代欄位標註為 ● 符號。

再由表中之製程機台來看，本研究以某 TFT-LCD 六代廠之乾蝕刻機台、剝膜及成膜前洗機台及軌道式搬運車，進行機台本質較安全設計策略可行性評估，經本研究評估後，自 2007 年 1 月 20 日前述機台各新裝機一台正式加入製程生產行列後，經統計已經歷 3684 運轉工時，無任何事故發生，較以往乾蝕刻機台每年每部平均發生 2.34 次氣體洩漏、剝膜及成膜前洗機台每年每部平均發生 3.12 次化學品洩漏及軌道式搬運車每年每部平均發生 5.60 次撞擊夾傷事件，顯見以本質較安全策略來進行機台安全設計評估與應用，可有效降低事故發生機率，確認本質較安全策略之應用可行性，並且本研究於安全設計評估時即考慮相關本質較安全設計策略，所以於前述應用機制架構表得於限制影響、簡單化、避免骨牌效應、防愚設計、狀態清晰、容忍、易於控制及軟體等欄位標註為 ● 符號。

另外對於廠務電力供應系統而言，本研究以某半導體廠之電力系統進行安全設計檢討，並於 2007 年 1 月開始進行工程改善並針對改善部份進行事故統計，截至 7 月底止，因電力系統而造成之危害事故僅二件，較 2007 年同期間減少三件，並且由安全運轉時數統計來看，進行工程改善部份之電力系統已達連續 4322 運轉工時，無任何電力事故發生，其中在三月中旬，已改善密閉線槽處，再次發生濕式蝕刻機台管路爆裂，氫氟酸洩漏事件，唯電力系統完全未受影響，正常運作，此次事故紀錄為化學品洩漏，而非電力事故，經過本研究於電力系統安全設計評估時即考慮相關本質較安全設計策略，所以於前述應用機制架構表得於強化、減弱、限制影響、簡單化、避免骨牌效應、防愚設計、狀態清晰、容忍、易於控制及軟體等欄位標註為 ● 符號。

最後本研究亦討論各種本質較安全設計策略目前在高科技廠房中的實例，這些結果也支持驗證前述研究之應用可行性。

五、結論與後續研究方向

5.1 結論

本研究主要目的質較安全設計策略對光電及半導體高科技廠房有顯著的成效，目前也有許多良好的應用，不過想要全面性的達成整個廠房本質安全，除了製程外，機台設備與廠務系統，甚至是廠房構造均要於規劃初期就融入本質較安全的設計，其順序應由製程的反應機構開始，逐步由內而外討論，當製程已無法更本質化安全時，再朝向機台設備設計，最後當然就是連廠務系統也融入其中，不過有好的廠房仍須配合完善管理機制，當軟體硬體兼備時，將可建立完整的半導體產業本質較安全的設計及管理機制，如圖 69 所示。

本質較安全設計策略在新建廠房前的規劃與設計階段就詳加考慮運用，將是最容易提升安全可靠度的機會，並且可能降低建置廠房成本，並降低日後營運的風險，如此亦可強化產業競爭力。

針對製程而言，經由本研究實驗成果，可以確定原本濕蝕刻製程所使用易燃液體甲醇與 N-396，能在略為提升原有製程良率的情況下，改換成較無火災爆炸風險的 DSP (Dilute sulfuric acid and hydrogen peroxide) 之應用可行性。

另外對於機台安全設計評估，自 2007/1/20 新裝機完成後，經統計已經歷 3684 運轉工時，無任何事故發生，亦確認本質較安全策略之應用可行性。

對於廠務電力供應系統而言，經配合製程換機及歲修改善，改善部分安全運轉時數統計，亦達連續 4322 運轉工時，無任何電力事故發生，尤其是密閉電纜線槽的更換阻擋氫氟酸洩漏影響，展現本質較安全設計策略的優良功效。

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。

當各個高科技廠房都能儘量達成本質較安全程度，對整體科技園區的聯防救災，以及災變的預防、整備、應變及復原，將有顯著幫助，因為高科技廠房本質較安全化，危害事故不易發生，當然平日整備所需資源也就

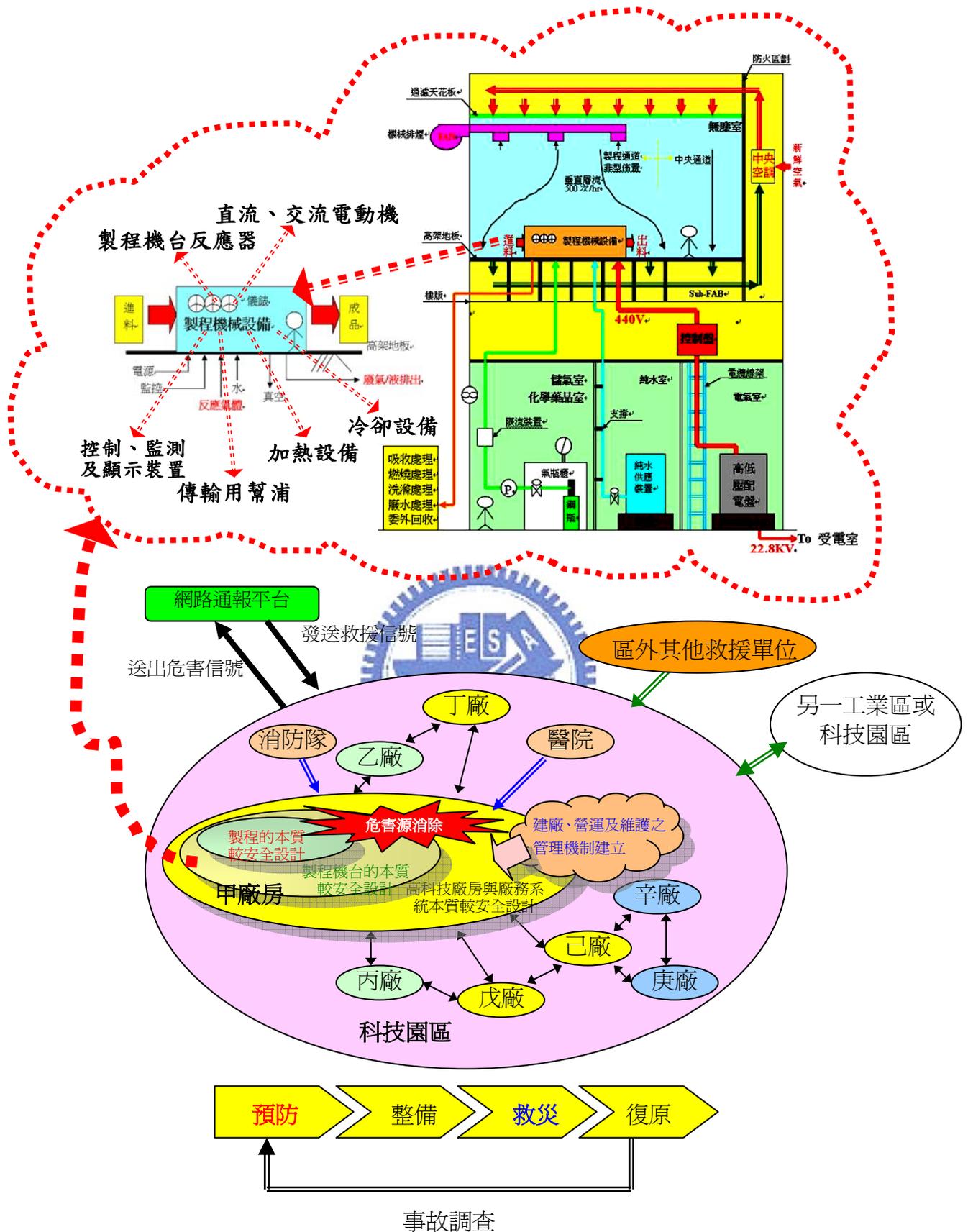


圖 69 高科技廠房本質較安全設計與科技廠房緊急應變機制系統圖

可大幅降低，各個廠房的聯防也就可以減輕壓力，如此全體人員可全力投

入生產行列，製程產能、品質均可大幅提升，企業競爭力亦將增加，也就更加強企業永續發展的實力。

5.2 本研究應用機制完整性擴充

本研究為求完整提供高科技廠房得應用參考的完整架構表，遂於前述研究後，於現任半導體設備製造商中，召開高科技廠房之本質較安全設計策略評估會議，出席人員共有製程工程師 8 位、設備工程師 17 位、機台操作員 5 位、業務人員 2 位及環安衛人員 1 位，合計 33 人，針對高科技廠房之本質較安全設計策略應用可行性進行表決，決議成果如表 43 彙整。

表 43 本質較安全設計策略決議成果彙整

評估項目	同意	不同意	無意見	決議
擴散製程強化策略	30	1	2	●
擴散製程取代策略	26	4	3	●
擴散製程減弱策略	10	16	7	X
擴散製程限制影響策略	1	3	29	◇
擴散製程簡單化策略	1	5	27	◇
擴散製程避免骨牌效應策略	0	3	30	◇
擴散製程防愚設計策略	2	1	30	◇
擴散製程狀態清晰策略	1	3	29	◇
擴散製程容忍策略	1	1	31	◇
擴散製程易於控制策略	2	2	29	◇
擴散製程軟體策略	3	3	27	◇
薄膜製程強化策略	26	2	5	●
薄膜製程取代策略	31	2	0	●
薄膜製程減弱策略	29	1	3	●
薄膜製程限制影響策略	2	2	29	◇
薄膜製程簡單化策略	2	1	30	◇
薄膜製程避免骨牌效應策略	7	6	20	◇
薄膜製程防愚設計策略	1	1	31	◇
薄膜製程狀態清晰策略	5	3	25	◇
薄膜製程容忍策略	1	4	28	◇
薄膜製程易於控制策略	3	0	30	◇
薄膜製程軟體策略	2	1	30	◇
黃光製程強化策略	9	17	7	X
黃光製程取代策略	21	6	6	●

黃光製程減弱策略	19	3	11	●
黃光製程限制影響策略	2	1	30	◇
黃光製程簡單化策略	1	3	29	◇
黃光製程避免骨牌效應策略	3	5	25	◇
黃光製程防愚設計策略	3	3	27	◇
黃光製程狀態清晰策略	3	6	24	◇
黃光製程容忍策略	2	3	28	◇
黃光製程易於控制策略	2	1	30	◇
黃光製程軟體策略	3	2	28	◇
蝕刻製程強化策略	26	4	3	●
蝕刻製程取代策略	19	11	3	●
蝕刻製程減弱策略	21	10	2	●
蝕刻製程限制影響策略	4	6	23	◇
蝕刻製程簡單化策略	2	0	31	◇
蝕刻製程避免骨牌效應策略	5	3	25	◇
蝕刻製程防愚設計策略	2	3	28	◇
蝕刻製程狀態清晰策略	0	3	30	◇
蝕刻製程容忍策略	3	6	24	◇
蝕刻製程易於控制策略	3	5	25	◇
蝕刻製程軟體策略	3	1	29	◇
清洗製程強化策略	22	3	8	●
清洗製程取代策略	27	2	4	●
清洗製程減弱策略	26	3	4	●
清洗製程限制影響策略	7	9	17	◇
清洗製程簡單化策略	4	5	24	◇
清洗製程避免骨牌效應策略	2	3	28	◇
清洗製程防愚設計策略	4	4	25	◇
清洗製程狀態清晰策略	2	3	28	◇
清洗製程容忍策略	2	1	30	◇
清洗製程易於控制策略	3	1	29	◇
清洗製程軟體策略	2	0	31	◇
研磨製程強化策略	20	3	10	●
研磨製程取代策略	24	1	8	●
研磨製程減弱策略	27	3	3	●
研磨製程限制影響策略	2	1	30	◇
研磨製程簡單化策略	4	6	23	◇
研磨製程避免骨牌效應策略	0	2	31	◇

研磨製程防愚設計策略	4	4	25	◇
研磨製程狀態清晰策略	1	4	28	◇
研磨製程容忍策略	11	3	19	◇
研磨製程易於控制策略	4	2	27	◇
研磨製程軟體策略	3	6	24	◇
擴散設備強化策略	7	6	20	◇
擴散設備取代策略	7	3	23	◇
擴散設備減弱策略	2	1	30	◇
擴散設備限制影響策略	25	3	5	●
擴散設備簡單化策略	20	3	10	●
擴散設備避免骨牌效應策略	19	7	7	●
擴散設備防愚設計策略	20	3	10	●
擴散設備狀態清晰策略	26	4	3	●
擴散設備容忍策略	21	8	4	●
擴散設備易於控制策略	31	0	2	●
擴散設備軟體策略	29	1	3	●
薄膜設備強化策略	2	0	31	◇
薄膜設備取代策略	4	4	25	◇
薄膜設備減弱策略	7	6	20	◇
薄膜設備限制影響策略	22	4	7	●
薄膜設備簡單化策略	23	7	3	●
薄膜設備避免骨牌效應策略	26	3	4	●
薄膜設備防愚設計策略	19	5	9	●
薄膜設備狀態清晰策略	21	7	5	●
薄膜設備容忍策略	19	11	3	●
薄膜設備易於控制策略	18	7	8	●
薄膜設備軟體策略	27	2	4	●
黃光設備強化策略	3	1	29	◇
黃光設備取代策略	3	3	27	◇
黃光設備減弱策略	7	6	20	◇
黃光設備限制影響策略	26	4	3	●
黃光設備簡單化策略	27	1	5	●
黃光設備避免骨牌效應策略	26	3	4	●
黃光設備防愚設計策略	19	7	7	●
黃光設備狀態清晰策略	21	2	10	●
黃光設備容忍策略	10	17	6	X
黃光設備易於控制策略	19	9	5	●

黃光設備軟體策略	32	0	1	●
蝕刻設備強化策略	6	6	21	◇
蝕刻設備取代策略	12	6	15	◇
蝕刻設備減弱策略	2	3	28	◇
蝕刻設備限制影響策略	22	7	4	●
蝕刻設備簡單化策略	5	20	8	X
蝕刻設備避免骨牌效應策略	19	6	8	●
蝕刻設備防愚設計策略	21	3	9	●
蝕刻設備狀態清晰策略	19	8	6	●
蝕刻設備容忍策略	18	2	13	●
蝕刻設備易於控制策略	20	5	8	●
蝕刻設備軟體策略	23	6	4	●
清洗設備強化策略	9	6	18	◇
清洗設備取代策略	5	3	25	◇
清洗設備減弱策略	4	1	28	◇
清洗設備限制影響策略	20	4	9	●
清洗設備簡單化策略	26	1	6	●
清洗設備避免骨牌效應策略	20	3	10	●
清洗設備防愚設計策略	21	2	10	●
清洗設備狀態清晰策略	27	2	4	●
清洗設備容忍策略	19	5	9	●
清洗設備易於控制策略	19	7	7	●
清洗設備軟體策略	26	1	6	●
研磨設備強化策略	7	6	20	◇
研磨設備取代策略	8	3	22	◇
研磨設備減弱策略	4	4	25	◇
研磨設備限制影響策略	26	2	5	●
研磨設備簡單化策略	19	6	8	●
研磨設備避免骨牌效應策略	20	3	10	●
研磨設備防愚設計策略	19	7	7	●
研磨設備狀態清晰策略	21	4	8	●
研磨設備容忍策略	18	5	10	●
研磨設備易於控制策略	20	6	7	●
研磨設備軟體策略	30	0	3	●
電力系統強化策略	22	3	8	●
電力系統取代策略	4	22	7	X
電力系統減弱策略	21	4	8	●

電力系統限制影響策略	24	3	6	●
電力系統簡單化策略	19	4	10	●
電力系統避免骨牌效應策略	25	5	3	●
電力系統防愚設計策略	20	5	8	●
電力系統狀態清晰策略	24	3	6	●
電力系統容忍策略	22	3	8	●
電力系統易於控制策略	26	3	4	●
電力系統軟體策略	21	6	6	●
監控系統強化策略	8	16	9	X
監控系統取代策略	4	23	6	X
監控系統減弱策略	5	20	8	X
監控系統限制影響策略	21	5	7	●
監控系統簡單化策略	11	7	15	◎
監控系統避免骨牌效應策略	5	20	8	◇
監控系統防愚設計策略	21	4	8	●
監控系統狀態清晰策略	26	4	3	●
監控系統容忍策略	18	5	10	●
監控系統易於控制策略	7	5	21	◇
監控系統軟體策略	20	3	10	●
氣體供應系統強化策略	24	2	7	●
氣體供應系統取代策略	8	8	6	●
氣體供應系統減弱策略	21	4	8	●
氣體供應系統限制影響策略	25	4	4	●
氣體供應系統簡單化策略	20	5	8	●
氣體供應系統避免骨牌效應策略	26	4	3	●
氣體供應系統防愚設計策略	19	5	9	●
氣體供應系統狀態清晰策略	4	8	21	◇
氣體供應系統容忍策略	21	2	10	●
氣體供應系統易於控制策略	21	3	9	●
氣體供應系統軟體策略	19	2	12	●
化學品供應系統強化策略	25	1	7	●
化學品供應系統取代策略	27	3	3	●
化學品供應系統減弱策略	26	5	2	●
化學品供應系統限制影響策略	25	4	4	●
化學品供應系統簡單化策略	19	7	7	●
化學品供應系統避免骨牌效應策略	31	2	0	●
化學品供應系統防愚設計策略	27	2	4	●

化學品供應系統狀態清晰策略	16	7	10	●
化學品供應系統容忍策略	18	7	8	●
化學品供應系統易於控制策略	20	3	10	●
化學品供應系統軟體策略	26	2	5	●
純水系統強化策略	27	1	5	●
純水系統取代策略	7	18	8	X
純水系統減弱策略	6	22	5	X
純水系統限制影響策略	20	1	12	●
純水系統簡單化策略	18	7	8	●
純水系統避免骨牌效應策略	21	5	7	●
純水系統防愚設計策略	19	8	6	●
純水系統狀態清晰策略	10	9	14	◇
純水系統容忍策略	19	7	7	●
純水系統易於控制策略	24	5	4	●
純水系統軟體策略	19	5	9	●
廢氣處理系統強化策略	18	2	13	●
廢氣處理系統取代策略	10	15	8	X
廢氣處理系統減弱策略	19	8	6	●
廢氣處理系統限制影響策略	26	4	3	●
廢氣處理系統簡單化策略	25	4	4	●
廢氣處理系統避免骨牌效應策略	19	5	9	●
廢氣處理系統防愚設計策略	23	7	3	●
廢氣處理系統狀態清晰策略	12	3	18	◇
廢氣處理系統容忍策略	19	6	8	●
廢氣處理系統易於控制策略	20	3	10	●
廢氣處理系統軟體策略	19	8	6	●
廢水處理系統強化策略	21	2	10	●
廢水處理系統取代策略	17	7	9	●
廢水處理系統減弱策略	20	3	10	●
廢水處理系統限制影響策略	21	4	8	●
廢水處理系統簡單化策略	26	3	4	●
廢水處理系統避免骨牌效應策略	18	2	13	●
廢水處理系統防愚設計策略	26	2	5	●
廢水處理系統狀態清晰策略	27	1	5	●
廢水處理系統容忍策略	21	4	8	●
廢水處理系統易於控制策略	19	8	6	●
廢水處理系統軟體策略	21	4	8	●

消防系統強化策略	25	4	4	●
消防系統取代策略	6	19	8	X
消防系統減弱策略	12	14	6	X
消防系統限制影響策略	19	7	7	●
消防系統簡單化策略	20	6	7	●
消防系統避免骨牌效應策略	8	4	21	◇
消防系統防愚設計策略	4	4	25	◇
消防系統狀態清晰策略	19	4	10	●
消防系統容忍策略	7	8	18	◇
消防系統易於控制策略	18	2	13	●
消防系統軟體策略	21	4	8	●

說明：

※ 每位與會人員對於各評估項目均有 1 票參與舉手表決，未舉手者視為無意見。

※ 本表決前已先行說明本質較安全設計 11 項策略之原理與判定方式，並經隨機抽問與會人員 10 名，已充分了解本質較安全設計策略之內容與意義。

本研究依表 43 決議結論建置高科技廠房之本質較安全設計策略應用表，如表 44 所示，表中已明顯指出本質較安全設計策略於實際應用時，可直接提供予高科技廠房參考與考慮本質較安全策略來進行廠房之風險控制措施。

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

		安全設計										
		危害辨識										
		風險評估										
		本質較安全設計策略→風險控制→工程改善										
		強化	取代	減弱	限制影響	簡單化	避免骨牌效應	防愚設計	狀態清晰	容忍	易於控制	軟體
高科技廠房	製程	▲	●	●	X	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	擴散	▲	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	薄膜	▲	X	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	黃光	▲	X	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇

設備	蝕刻	▲	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	清洗	▲	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	研磨	▲	●	●	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	擴散	▲	◇	◇	◇	●	●	●	●	●	●	●	●
	薄膜	▲	◇	◇	◇	●	●	●	●	●	●	●	●
	黃光	▲	◇	◇	◇	●	●	●	●	●	X	●	●
	蝕刻	▲	◇	◇	◇	●	X	●	●	●	●	●	●
	清洗	▲	◇	◇	◇	●	●	●	●	●	●	●	●
	研磨	▲	◇	◇	◇	●	●	●	●	●	●	●	●
	電力系統	▲	●	X	●	●	●	●	●	●	●	●	●
廠務	監控系統		X	X	X	●	◇	X	●	●	●	◇	●
	氣體供應系統	▲	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	●	●
	化學品供應系統	▲	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	純水系統	▲	●	X	X	●	●	●	●	◇	●	●	●
	廢氣處理系統	▲	●	X	●	●	●	●	●	◇	●	●	●
	廢水處理系統	▲	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	消防系統		●	X	X	●	●	◇	◇	●	◇	●	●

說明：

- 係經表決為同意者。
- X 係經表決為不同意者。
- ◇ 係經表決為無意見者。
- 係指進行危害辨識之評估項目。
- ▲ 係指適宜風險評估之評估項目。



5.3 後續研究方向

為提高本研究所建置之高科技廠房之本質較安全設計策略應用表得以更精準之量化評估方式，如此更可提高使用性，本研究已規劃選定爐管機台為目標，由學理推導開始，運用數學模式探討本質較安全之定量評估方式，圖 70 為爐管機台反應器與製程構造圖，圖 71 為爐管機台製程反應氣體供應系統圖。

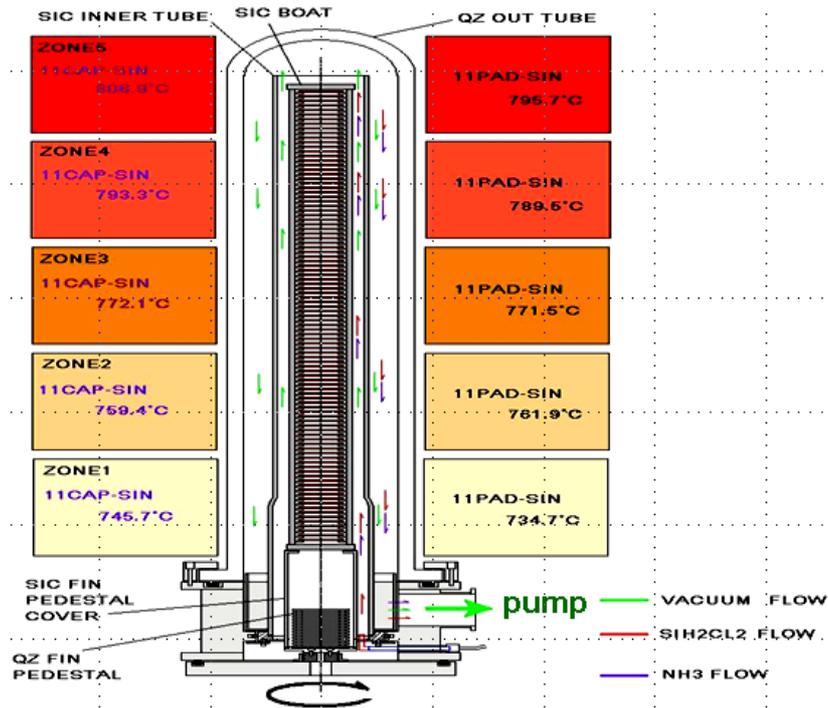


圖 70 爐管機台反應器與製程構造圖

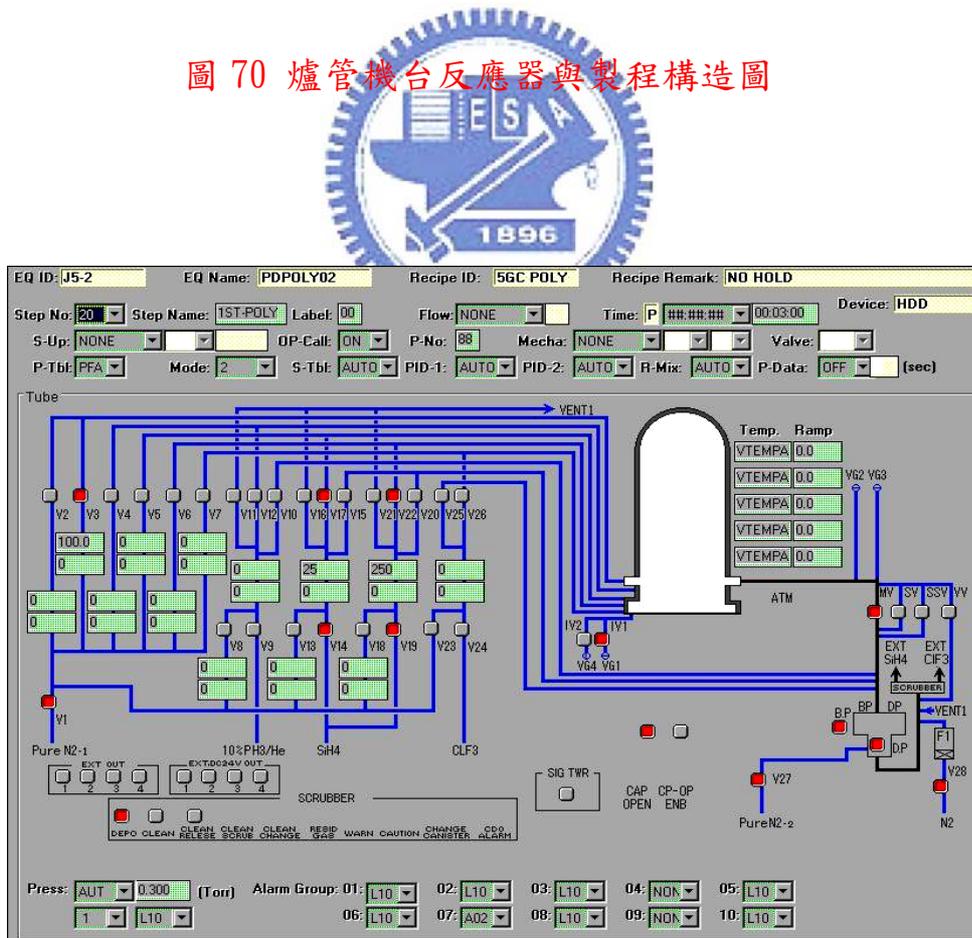


圖 71 爐管機台製程反應氣體供應系統圖

以下本研究就相關爐管機台之熱擴散理論，簡略探討如下：

擴散法係指分子或原子從高濃度區往低濃度區移動的一種自然現象，其理論基礎為擴散熱力學（Thermodynamics）及擴散動力學（Kinetics），分述如下。

1. 擴散熱力學（Thermodynamics）

當考慮熱力學第一及第二定律時可得擴散熱力方程式：

$$\Delta S = \Delta Q / T \geq 0$$

$$\Delta G = \Delta E + W - T \Delta S$$

其中 S 為商（Entropy），T 為環境溫度，Q 為系統獲自環境的熱量，E 為系統內能（Internal Energy），W 為系統對外部所做的功（Work），G 為自由能（Free Energy）。

2. 擴散動力學（Kinetics）

當系統內的粒子分佈尚未達到熱力學的平衡狀態時，高濃度區的粒子將會不斷的向低濃度區擴散，穩定狀態之反應如下式所示。

$$J = -D \cdot dC / dx \quad \text{cm}^2 / \text{sec}$$

其中 C 為粒子含量濃度，J 為系統內局部濃度差所導致的粒子擴散流量（Flux），D 為粒子在主材質內進行擴散的擴散係數（Diffusion Coefficient），dC/dx 表示粒子在某一固定距離下的濃度差。

非穩定狀態將簡化擴散方程式如下式：

$$dC / dt = D \cdot d^2 C / dx^2 \quad \text{cm}^2 / \text{sec}$$

（1）固定表面濃度

固定表面濃度的擴散模型第一個邊際條件

$$C(x, t) = C(0, t) = C_s \quad \text{其中 } t \text{ 為擴散所執行的時間}$$

假設僅考慮再某一有限擴散時間內時

$$C(x, t) = C(\infty, t) = 0$$

$$C(x, t) = C(x, 0) = 0$$

$$C(x, t) = C_s \operatorname{erfc} \left[\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right]$$

其中 erfc 為互補誤差函數 (Complementary Error Function)

(2) 固定整體濃度

高斯分佈 (Gaussian Distribution)

$$\int C(x, t) dx = Q_0$$

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi Dt}} \exp \left[-\frac{x^2}{4Dt} \right]$$

本研究希望未來能運用數理推導方式，得到強化（縮小反應器本體）之可行方程式，如有機會更希望能再實際的製作出適合的反應機構，當然本質較安全設計策略不僅有強化而已，其餘的各項策略均可以深入探討其定量之分析評估模式。



參考文獻

1. 「2007年我國FPD產業回顧與未來展望」，化合物半導體、光電技術雜誌電子周報，2008
2. 「行政院長向立法院第6屆第6會期提出之口頭施政報告專題資料綱要」，行政院經建會，2007
3. 廖為昌，「高科技廠房防火管理」，內政部消防署消防影音新聞台，96年12月27日
4. 林利國，科技廠房防災與知識管理，一版，台北，科技圖書，民國九十二年
5. 陳弘毅，火災學，六版，台北，鼎茂圖書，民國九十二年
6. 張國基、陳俊瑜，「高科技製程機台電力系統本質較安全設計最佳化應用研究」，2007安全衛生技術輔導成果發表會暨論文研討會，台北，96年11月2日
7. 「台灣半導體產業對國家的貢獻」，台灣半導體產業協會會報，95年3月16日
8. 陳俊瑜、張國基，「高科技產業製程風險控制與本質較安全設計應用」，化工，Vol. 54，No. 3，pp. 33-48，96年6月
9. 中國勞工安全衛生管理學會，勞工安全管理師訓練教材，台北，民國九十五年
10. 張一岑、徐啟銘，化工製程安全設計，台北，揚智文化，民國八十五年
11. 「三重大樓火災陞泰部分生產線及存貨受影響」，中央日報，97年1月5日
12. 張國基、陳俊瑜，「高科技廠房危害情境分析與科技園區聯防緊急應變機制研究」，工業安全科技季刊，64期9月號，p25，96年9月
13. Handfield Robert B. and Ernest L. Nichols, Jr, Introduction to Supply Chain Management, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999
14. 張勁燕，半導體製程設備，三版，台北，五南圖書，民國九十四年
15. European Union directives - Technology and safety, "Machinery Directive: 98/37/EEC".
16. Dow's company, Fire & Explosion Index Hazard classification Guide 6th edition, Dow's company, American Inst, 1987
17. 蔡鳳英、談宗山、孟赫、蔡仁良，化工安全工程，一版，滄海書局，台中，民國九十二年
18. 蔡嘉一，工業安全與緊急應變概論，一版，台北，歐亞書局，民國九十年

19. 黃立政，流體力學原理與應用，二版，台北，全華科技，民國八十九年
20. 劉人傑，最新電子學寶典，三版，台北，鼎茂圖書，民國九十五年
21. 「摩爾定律」，維基百科，<http://zh.wikipedia.org/wiki/>
22. 陳資緯，「NVIDIA® TESLATM 推出高效能運算(HPC)處理系統」，台灣商務網，97年1月19日
23. 莊達人，VLSI 製造技術，六版，台北，高立圖書，民國九十六年
24. 李明達，矽元件與積體電路製程，一版，台北，全華科技，民國九十三年
25. 小川洋輝. 堀池靖浩，半導體潔淨技術，一版，普林斯頓國際，民國九十二年
26. 「面板製造技術」，友達光電 <http://www.auo.com/auodev/technology>
27. 顧鴻壽等，平面面板顯示器基本概論，二版，台北，高立圖書，民國九十四年
28. 「Safety of machinery – Basic concepts – General principles for design – Part 1: Basic terminology, methodology」，EN ISO 12100-1:2004
29. 陳俊瑜、廖雁亭、張國基，「以本質較安全策略進行機台安全設計實例分析—以 TFT-LCD 廠為例」，勞工安全衛生研究季刊，16期3月號，97年3月
30. 鄭燦堂，風險管理理論與實務，初版五刷，台北，五南圖書，民國九十六年
31. SEMI facilities standards and safety guideline，SEMI Taiwan committee，2002
32. 安全衛生績效管理實務手冊，經濟部工業局，2008
33. 張國基、陳俊瑜，「高科技產業製程本質較安全設計與應用之研究」，工業安全科技季刊，63期6月號，p18，96年6月
34. 邢治宇、蘇慧倚，「由職災數字統計分析談工安問題」，工業安全衛生月刊，207期9月號，95年9月
35. <http://www.taipower.com.tw>，台電公司企業網頁
36. Kletz, Trevor, 「Friendly plants」，*Chemical Engineering Progress*, pp18-26(July, 1989)
37. Kletz, Trevor, 「Inherently safer plants, an update」，*Plant Operations Progress*, 10, No. 2, pp18-26(April , 1991a)
38. Trevor Klutz, process plants : a handbook for Inherently Safer Design，Taylor Francis，1998
39. Robin Smith，Chemical process and integration，John Wiley & Sone，2005.

40. A. G Rushton, D. W. Edwards, D. Lawrence, 「Inherent safety and computer aided process design」, Trans IChemE, Vol 72 Part B, May 1994
41. 許宏德,「插銷離合器衝床的本質安全化設計」,高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系,碩士論文,民國八十九年
42. 陳政任,「環己烷氧化製程的效率改善與本質安全化之研究」,高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系,碩士論文,民國九十年
43. 張銘坤,「液晶面板製造廠溼蝕刻機台設備之本質安全化提升對策探討」,雲林科技大學環境與安全衛生工程系,碩士論文,民國九十一年
44. 王世煌, 工業安全風險評估, 一版, 台北, 揚智文化, 民國九十一年
45. 張國基、陳俊瑜,「以本質較安全設計探討火力發電廠汽力機組鍋爐設備操作之危害預防」, 化工技術, 157期4月號, p195, 95年4月
46. 張國基、陳俊瑜,「高科技廠房製程風險管理與本質較安全設計應用」, 2007 整合風險管理學術研討會, 高雄, 96年12月7日



自傳

作者：張國基

1974 年生於嘉義縣大林鎮

手機：0933037741 信箱：e203117@xuite.net



現任：ASM 

荷蘭商台灣先藝科技公司台灣區環安室工安專員兼業務主管
台北九華補習班「消防法規」、「避難系統設計」專任講師

經歷：

新元工程公司工務部副經理
臣成消防專業檢修機構消防設備士
華邦電子股份有限公司環安衛工程師
吉興工程顧問駐台電公司核火工處工環課工安管理師兼業務主管
駱鈴工程顧問駐台電公司核火工處工環課工安管理師兼業務主管
台安電機股份有限公司機電工程師
同開科技股份有限公司機電工程師
飛龍水電股份有限公司衛生下水道推進工程專案主任

學歷：

私立明志技術學院經營管理系工學士
私立華夏工商專校電機工程科副工學士
省立淡水商工電機工程科畢

證照：

勞委會勞工安全管理甲級技術士及格
勞委會勞工衛生管理甲級技術士及格
勞委會勞工安全衛生管理乙級技術士及格
勞委會自來水配管丙級技術士及格
考選部消防特考消防設備士及格
台灣省政府自來水管承裝技工及格
中國生產力中心公共工程品管工程師及格
營造業施工安全危險性工作場所評估人員及格
製程安全危險性工作場所評估人員及格
五公噸以上固定式起重機操作人員及格
缺氧作業主管安全衛生教育訓練及格
台北市政府污水下水道用戶排水設備裝置技術講習及格