

國立交通大學

工學院產業安全與防災學程

碩士論文

某晶圓廠區域洗滌設備異常事件之風險評估  
與改善對策



The Risk Assessment And The Improvement For Abnormal Events  
Of The Local Scrubber System In A Semiconductor Foundry

研究生：張勝祈  
指導教授：陳春盛 教授

中華民國九十七年七月

某晶圓廠區域洗滌設備異常事件之風險評估  
與改善對策

The Risk Assessment And The Improvement For Abnormal Events  
Of The Local Scrubber System In A Semiconductor Foundry

研究生：張勝祈  
指導教授：陳春盛

Student : Sheng-Chi Chang  
Advisor : Chun-sung Chen



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  
June 2008  
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十七年 七月

# 某晶圓廠區域洗滌設備異常事件之風險評估與改善對策

學生:張勝祈

指導教授:陳春盛

國立交通大學產業安全與防災碩士班

## 摘要

高科技產業一直被視為台灣經濟龍頭的產業，半導體產業更是當前的經濟發展重要指標，並被行政院列為兩兆雙星產業之一(半導體及光電業)，根據經濟部工業局估計，台灣半導體在 2008 年總產值可達到 1.7 兆元，可望再創新高。然環保意識抬頭，半導體製程所衍生的廢氣廢液等問題，在全球暖化的今天，引起了高度重視。製程尾氣處理設備 (Local Scrubber)，已是當今處理製程廢氣的重要一環，以往許多研究均是探討其處理的效率問題，並未著墨於其本身機台的風險危害評估。

有鑑於此，本研究將以國內某半導體晶圓廠區域洗滌設備之異常事故為樣本，審視其本體之安全設計及消除降低危害之情況，進行初步的危害評估，鑑認出各單元之相對的危害等級，發現區域洗滌設備元件及管路的部分，確實具有較高之危害風險。針對此高潛在的危害設施，以 HazOp (Hazard And Operation Study)分析法評估危害原因並著重改善對策的議題加以探討，並提出工程控制的改善方案。

最後根據改善後當年與未改善前一年之異常事件做比較，檢視其結果，發現確實有效降低系統風險危害的等級。此方法將可提供後續擴廠的借鏡與方針，以提供此區作業人員安全的工作環境。

關鍵字:半導體、異常事故、風險評估、Local Scrubber、HazOp

The Risk Assessment And The Improvement For Abnormal Events Of The  
Local Scrubber System In A Semiconductor Foundry

Student: Sheng-Chi Chang  
Chen

Advisor: Dr. Chun-sung

Submitted to Degree Program of Industrial Safety and Risk management  
College of Engineering  
National Chiao Tung University

**Abstract**

High-tech industry has been viewed as the lead industry in Taiwan. The semiconductor industry is also an indicator of current economic development and is listed as “Two Trillion and Twin Star Industries Development Plan” by Executive Yuan. The output value of the semiconductor industry in Taiwan is estimated to 1.7 trillions and will hit the all-time high in 2008. However, the environment protection has been awakened and the problem on flare gas or waste liquid derived from the production process of semi-conductor has been taken seriously along with the issue on global warming. The local scrubber equipment is one of the important parts of the production process. There have been many researches on the processing efficiency other than the risk assessment of the local scrubber equipment.

Accordingly, this research is sampling on the abnormal events of local scrubber in some foundry to examine the safe design of the equipment and to reduce the condition of the damage. We made the initial evaluation with regard to the damage and found out the relative degree of the damage for each unit. The result showed that the identity of the local scrubber and its piping were under relative high risk of damage. For high potential risk of damage, we used “Hazard And Operation Study” to analyze the damage factors and focus on the

issue on improvement, especially on action plan of engineering control.

Finally, we compared the abnormal events occurred during the year when the action plan is implemented with last year when no action plan was carried out. Then it was resulted that action plan was actually efficiently reduced the degree of the damage for the system risk. This method can be carried into effect for further expansion and to provide a safe environment for the operators.

Key words : Semiconductor 、 Abnormal Events 、 Risk Assessment 、  
Local Scrubber 、 HazOp



## 致謝

工作幾年後重拾書本，回到校園接受學術的洗禮，終於到了最後的階段，順利地完成了論文的撰寫。回想剛考上的當初，本想藉著考上的氣勢趁勝追擊，一股作氣先行把論文完成，但是每每夜晚坐在電腦桌前，腦中卻沒有任何靈感，亦完全不知從何開始下筆。這才發現，有衝勁，不代表有能力！沒有接受過論文撰寫技巧及專業的知識獲取，是無法完成好的著作！

經過一年半載的扎根訓練，並在陳老師一步步的耐心教導與提攜下，讓我在撰寫的技能上獲益良多，此論文才得以如期完成。心中之澎湃，是無法以言語形容！所以，最先要感謝的人當然是我的指導教授陳春盛老師。

接著感謝與我一起 Meeting 的好同學麒元及兩位可愛的學妹文慈及雁亭，要不是大伙的相互督促與扶持，才讓我有毅力跟著大家的腳步一起堅持到最後。另外，還要謝謝在我這段承受壓力的辛苦日子裡，提供我週遭生活無慮及心靈導師的父母親。最後則是這求學期間，給予我精神上的最大支柱，我的女友小雲！謝謝妳的鼓勵與體諒我這段時間的忙碌，而忽略了原本該陪伴妳的時光！

以此論文獻給所有要感謝的人，希望我的努力，能夠讓你們感到欣慰與驕傲！

張勝祈 謹致 中華民國 97 年 6 月 17 日 卯時

# 目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iv
目錄	.....	v
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vi <sup>i</sup>
第一章	緒論	1
1.1	研究背景與動機	1
1.2	研究目的	2
1.3	預期成果	3
1.4	研究範圍與流程	4
第二章	文獻回顧	7
2.1	半導體產業概述	7
2.1.1	我國半導體產業現況	7
2.1.2	半導體產業製程簡介	8
2.1.3	半導體製程氣體與尾氣危害特性	15
2.2	半導體製程尾氣減量控制技術	21
2.2.1	管末削減處理設備	24
第三章	風險評估方法與改良	42
3.1	風險及風險評估之定義	42
3.2	風險分析技術之選擇	44
3.2.1	假如分析法/腦力激盪	46
3.2.2	查核表	48
3.2.3	工作安全分析	49
3.2.4	初步危害分析	49
3.2.5	危害與可操作性分析	49
3.2.6	失誤模式與影響分析	51

3.2.7	故障樹分析.....	53
3.3	事故頻率與嚴重度分析表.....	55
3.4	改良前後之評估方式比較.....	57
3.5	製程尾氣區域處理設備風險評估.....	59
第四章	案例分析與改善實例.....	61
4.1	Scrubber Parts腐蝕/損壞之HazOp分析表.....	61
4.1.1	Scrubber Parts腐蝕/損壞改善實例.....	65
4.2	Exhaust結晶/阻塞之HazOp分析表.....	70
4.2.1	Exhaust結晶/阻塞之改善實例.....	75
4.3	加熱帶燒毀之HazOp分析表.....	81
4.3.1	加熱帶燒毀改善實例.....	83
第五章	結論與建議.....	87
5.1	結論.....	87
5.2	建議.....	90
參考文獻	.....	91
附錄一	該晶圓廠異常事故表單範本.....	93
附錄一	物質安全資料表MSDS十六大項摘要說明.....	94
附錄三	該晶圓廠使用之氣體標示與特性.....	95

## 表 目 錄

表 1-1	半導體廠排氣體種類及製程來源.....	2
表 1-2	半導體製造業空氣污染管制及排放標準.....	3
表 1-3	安全監控系統異常事故年度分布統計表.....	5
表 1-4	氣體偵測系統異常事故來源分佈表.....	5
表 2-1	VLSI DRAM 環境要求.....	11
表 2-2	半導體PFCs製程氣體與尾氣對照表.....	18
表 2-3	半導體製程中常用之PFCs.....	19
表 2-4	台灣半導體產業PFCs使用量和WSC統計資料.....	20
表 2-5	竹科某晶圓廠之製程尾氣區域處理系統設備.....	25
表 2-6	各類型管末削減技術優缺點比較.....	36
表 2-7	乾式吸附式各機型規格比較.....	37
表 2-8	燃燒水洗式各機型規格比較.....	39
表 2-9	電熱水洗式Local Scrubber比較表.....	40
表 3-1	各種評估方式使用時機.....	45
表 3-2	Local Scrubber PM作業安全觀察查核表.....	48
表 3-3	FMEA分析表.....	52
表 3-4	建立故障樹時所使用符號與名詞說明.....	54
表 3-5	可能性等級區分.....	55
表 3-6	嚴重性等級區分.....	56
表 3-7	風險等級區分.....	56
表 3-8	改善建議執行原則.....	56
表 3-9	事故頻率等級區分與本案例分析比較表.....	57
表 3-10	本案例嚴重性等級區分.....	58
表 3-11	本案例改善建議執行原則.....	58
表 3-12	製程尾氣區域處理系統設備風險評估分析結果.....	60
表 4-1	Heating Jacket 改善前改善後差異比較表.....	61

表 5-1	96 年度 Local Scrubber 改善後風險矩陣分析表.....	87
表 5-2	異常事件 95、96 年度統計表.....	87



## 圖 目 錄

圖 1-1	研究流程圖.....	6
圖 2-1	半導體產業製造流程圖.....	9
圖 2-2	矽晶圓的製造.....	10
圖 2-3	晶圓積體電路製程四大模組.....	11
圖 2-4	黃光製程流程圖.....	12
圖 2-5	等向性及非等向性蝕刻.....	13
圖 2-6	晶圓廠特殊氣體供應及排放流程圖.....	17
圖 2-7	TSIA PFCs排放減量目標值設定原則.....	20
圖 2-8	PFCs氣體製程減量方法.....	21
圖 2-9	PFCs 排放減量活動 - 替代化學品.....	22
圖 2-10	製程尾氣管末削減處理技術流程圖.....	24
圖 2-11	乾式吸附劑使用情形.....	26
圖 2-12	乾式吸附式-CLEAN-S Z-13.....	27
圖 2-13	CDO-863 構造圖.....	28
圖 2-14	ECS-2250 電熱水洗Chamber.....	29
圖 2-15	電熱水洗式- ECS2250 電熱腔室及洗滌塔外觀圖.....	29
圖 2-16	燃燒水洗Local Scrubber.....	30
圖 2-17	TPU 燃燒腔室及多孔透氣性燃燒室壁.....	31
圖 2-18	TPU燃燒水洗式Scrubber填充式拉希環洗滌塔.....	31
圖 2-19	Unisem-UN2004A架構圖.....	32
圖 2-20	觸媒分解方式.....	33
圖 2-21	觸媒氧化式Scrubber外觀.....	33
圖 2-22	電漿Scrubber破壞技術方法.....	34
圖 2-23	Edwards-Zenith Local Scrubber外觀圖.....	35
圖 3-1	風險評估模式及流程圖.....	43
圖 3-2	風險評估方法之適用性分析.....	44

圖 3-3	製程危害評估方法選擇	46
圖 3-4	HazOp分析程序	51
圖 4-1	單層 316 SUS設計之Quench	65
圖 4-2	改善後之雙層 316 SUS Quench	66
圖 4-3	原設計之Water Mill	66
圖 4-4	新設計之Cooling Tank	67
圖 4-5	原設計之Buffer Tank	67
圖 4-6	Scrubber 本身之Damper	68
圖 4-7	Drain Tank增加Vent Piping改善圖	69
圖 4-8	Cyclone Damage照片圖	69
圖 4-9	Exhaust Flange及Clamp結晶腐蝕狀況	75
圖 4-10	Acid Exhaust積水問題及水封改善照	76
圖 4-11	原管路位置已拆除，移至右下圖中位置	77
圖 4-12	Unisem Scrubber 水氣改善圖例	78
圖 4-13	Hydro Cyclone取代原先的WRU module照片	79
圖 4-14	Service Module取代原先WRU Module圖	79
圖 4-15	WESP靜電處理系統構造圖	80
圖 4-16	加熱帶燒毀之異常事故照片	83
圖 4-17	主電線過熱造成電線走火照	84
圖 4-18	溫控器內SSR 遭電流過大而擊穿電線且過熱照片	84
圖 4-19	溫度控制器與布包間採通風設計圖例	85
圖 4-20	整場運轉監控系統圖例	85
圖 5-1	95 年度與 96 年度異常統計比較圖	88
圖 5-2	SUS與FRP材質之Exhaust結晶狀況	88

## 第一章 緒論

### 1.1 研究背景與動機

由於產業政策的轉型，半導體產業新的製程產品不斷的被開發，新的設備需求不斷的更新下，晶圓廠也由以前的 8 吋廠持續發展至現今的 12 吋廠，台灣已是全球晶圓廠密度最高的地區，在全球的晶圓供應鏈上扮演舉足輕重的角色。我國半導體產業可以說是起步稍晚，但進步的速度卻飛快，已直逼先進國家水平，然而在工業安全的議題上則尚待加強與努力。

近年來隨著社會的變遷及國民生活的改善，已到達不容許有重大災害事故的發生來影響經濟水準的提升，故半導體產業的工安問題已是不容忽視的問題，再者全球暖化的問題日趨嚴重，使得環保意識逐漸高漲，由於半導體製程製造技術愈趨複雜，所潛在的環境破壞與職業災害也越來越不能被輕忽。

以晶圓廠為例，製程中使用到的化學物質種類繁多，所用到的原物料或副產物含有多種有害性氣體(表 1-1)，其中包括多種特殊金屬與氫化物如  $\text{SiH}_4$ 、 $\text{WF}_6$  等物質；同時為了保持機台的溫度控制、抗化學反應的潤滑與特殊需求，也會使用較高分子的 PFCs 等溫室氣體。這些有害性氣體及全氟化合物，有很多是具有兩項以上之特性，如酸鹼性氣體，一般而言亦同時具有毒性；又如  $\text{PH}_3$  則具有腐蝕性和毒性外，亦具有可燃性，且對環境及人體的危害相當大。依據高壓氣體勞工安全規則第四條之規定爆炸下限在百分之十以下或爆炸上限與下限之差在百分之二十以上之氣體，在半導體廠使用的有： $\text{AsH}_3$ 、 $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{GeH}_4$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2\text{Se}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等；依據高壓氣體勞工安全規則第六條之規定容許濃度在百萬分之二百以下之毒性氣體在半導體使用者有： $\text{AsH}_3$ 、 $\text{AsCl}_3$ 、 $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{BF}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiF}_4$ 、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{HBr}$ 、 $\text{HF}$ 、 $\text{PCl}_3$ 、 $\text{POCl}_3$ 、 $\text{GeH}_4$ 、 $\text{PF}_3$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{H}_2\text{Se}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等【1】。這些製程後殘存的氣體如果於管線中反應，輕者可能造成風管堵塞、管路腐蝕等問題，嚴重者甚至發生洩漏及火災爆炸，停止生產的後果。

製程尾氣區域處理設備(Local Scrubber)設置之目的，就是為了處理諸如此類的有害性氣體，讓其在無塵室機台端(POU)反應被排放出後，即由真空 Pump 抽至 Local Scrubber 做處理，避免在冗長的排氣過程中引發非預期的氣體洩漏，局部聚積或相互反應。待處理過後的氣體再接續至廠務端做第二道處置，以減少廠務端污染物處理上的負荷，達到表 1-2 環保署對半導體業空氣污染管制及排放的標準。倘若其一旦有故障進而發生洩漏的問題，很可能會導致各種危害如火災爆炸、人員中毒、環境破壞等傷害，嚴重時更可能造成人員傷亡或生產中斷等巨大損失，所以國內各晶圓廠莫不藉由各種管理方式，來達到製程尾氣區域處理設備的危害控制。

表 1-1 半導體廠排氣體種類及製程來源

廢氣種類	污染物成份	污染源
酸鹼廢氣	酸氣：HF、HCl、HNO <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、CH <sub>3</sub> COOH、H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 、H <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> 鹼氣：NH <sub>3</sub> 、NaOH	氧化、光罩、蝕刻、反應爐(氧化爐、擴散)之清洗、CVD
有機溶劑廢氣	二氯甲烷(CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )、氯仿(CHCl <sub>3</sub> )、丁酮、甲苯、乙苯、丙酮、苯、二甲苯、4-甲基-2-戊酮 [(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> COCH <sub>3</sub> ]、乙酸丁酯、三氯乙烷、異丙醇、四甲基胺、氯醛、四氯乙烯、乙基苯、亞甲基二氯、丁基苯、Trans-1,2-Dichloroethene	光阻液清洗、顯像液清除、蝕刻液清除、晶圓清洗
毒性氣體	AsH <sub>3</sub> 、PH <sub>3</sub> 、SiH <sub>4</sub> 、B <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 、B <sub>4</sub> H <sub>10</sub> 、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、SiF <sub>4</sub> 、CCl <sub>4</sub> 、HBr、BF <sub>3</sub> 、AlCl <sub>3</sub> 、B <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 、As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、BCl <sub>3</sub> 、POCl <sub>3</sub> 、Cl <sub>2</sub> 、HCN、SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	氧化、光罩、蝕刻、擴散、CVD、離子植入
燃燒性氣體	SiH <sub>4</sub> 、AsH <sub>3</sub> 、PH <sub>3</sub> 、BF <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> 、SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	離子植入、CVD、擴散

## 1.2 研究目的

環顧國內相關論文，均是對其處理效率的探討，但並未有對其之安全效能評估的相關研究，遂本文將選擇適當之風險評估技術，建立日後針對製程尾氣區域處理設備做具體可行之風險評估，並經眾人以腦力激盪來擬定改善對策，以降低風險並提升其機台之安全效能。本研究是利用風險評估的方式，以半導體業晶圓廠的製程尾氣區域處理設備為例，探討氣體管件、機台本體設備的故障以及人為的錯誤操作等，使用 HazOp 風險評估法加以分析，了解所存在之風險，並加改善，減少異常事件的發生次數。

### 1.3 預期成果

異常事件的發生與產業的穩定性及作業人員安危息息相關，本文之研究目的及預期成果可歸納成下列四項：

1. 將製程尾氣區域處理設備的異常事故的資料收集與分析，並對危害的預防以及提出改善對策，達到晶圓廠防災減害之貢獻。
2. 發展半導體產業製程尾氣區域處理設備適當之風險評估工具，並將執行的經驗，傳承為日後廠內的相關評估方式，並根據風險評估後的資料，檢討該廠內之製程尾氣區域處理設備是否符合廠內之要求。
3. 建立廠商及新進作業人員於機台操作時能清楚了解所需的防護措施及危害等級的區分。亦可提供日後該廠於園區三五路新建廠房的參考指標。
4. 參與本研究之工作同仁，預期可藉著此次研究相關工安之事件的認知，並藉著教育訓練，可提供後續擴廠的借鏡與方針。

表 1-2 半導體製造業空氣污染管制及排放標準

空氣污染物	排放標準
揮發性、有機性	排放削減率應大於 90%或工廠總排放量應<0.6kg/hr(以甲烷為計算基準)
三氯乙烯	排放削減率應大於 90%或工廠總排放量應<0.02kg/hr
硝酸、鹽酸、磷酸及氫氟酸	各污染物排放削減率應大於 90%或各污染物工廠總排放量應<0.6kg/hr
硫酸	排放削減率應大於 95%或工廠總排放量應<0.1kg/hr

資料來源:行政院環保署

## 1.4 研究範圍與流程

本研究對象於 1994 年成立於新竹科學園區，目前擁有三座 12 吋晶圓製造廠及一座 8 吋晶圓代工廠，另於 2006 年與日商爾必達(Elpida)於台中科學園區合資成立一座全球最大 12 吋晶圓製造廠，並於 2008 年底規劃興建第四及第五座 12 吋晶圓製造廠。其業務範圍涵蓋動態隨機存取記憶體製造及晶圓代工兩大類別，其 DRAM 製程技術可達到 70 奈米，並朝向 58 奈米目標前進。

本文以該半導體廠風險控制部門的安全監控系統為範圍，將 2003 至 2006 四年間之異常事故紀錄為樣本加以整理，以統計異常事故資料分布的情形，由統計結果顯示，氣體偵測器發報之異常事故為最大宗(如表 1-3)，占全體異常事故之 46%。再將氣體偵測器發報事件統計結果逐一篩選發現，製程尾氣中的區域洗滌設備(Local Scrubber)為本廠異常事件發生頻率最多，占有氣體偵測器發報總數的 41% (如表 1-4)。

先將異常事件最多的製程尾氣區域處理設備做初步危害風險評估，將機台作出危害指數高低等級，待篩選出危害等級較嚴重之項目，再遴選出相關之製程、設備、廠務人員以及設備廠商，並與該廠資深工安衛人員，共同參與討論進行細部危害與可操作分析，分析出其機台設備的危害可能原因與可能造成的後果，相關之防護措施並提出改善建議，於歲休時適當時機進行改善方案，達到降低風險等級的目標。

表 1-3 安全監控系統異常事故年度分布統計表

System	2003	2004	2005	2006	總計	百分比
火災警報系統	21	27	23	26	97	13%
化學漏液偵測系統	45	50	61	75	231	30%
氣體偵測系統	69	84	91	108	352	46%
極早期偵煙系統(VESDA)	21	29	21	16	87	11%
總計	156	190	196	225	767	100%
百分比	20%	25%	26%	29%	100%	

安全監控系統偵測發生異常事故分佈特性如下：

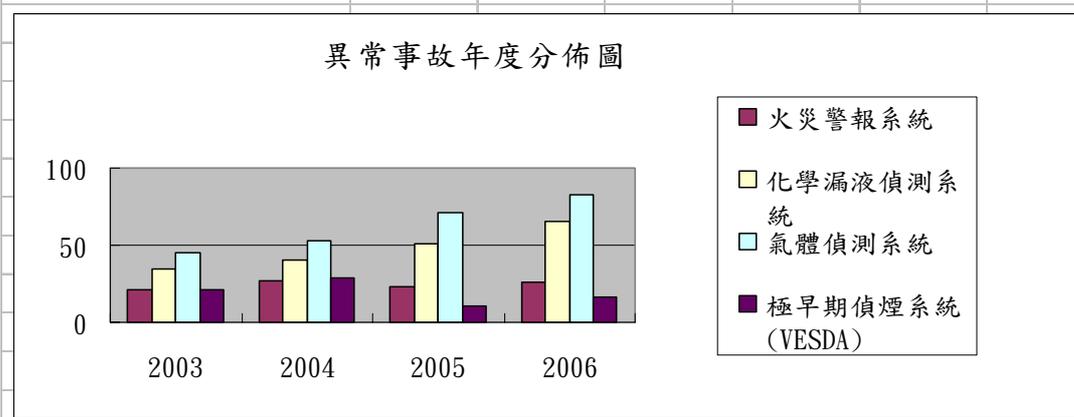
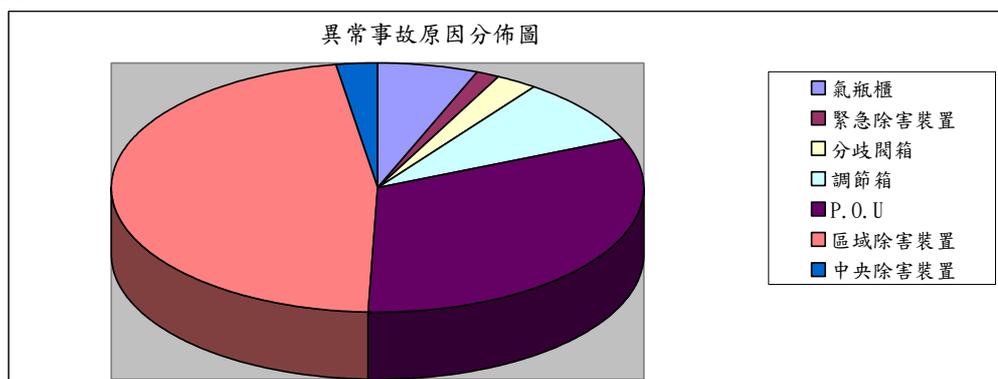


表 1-4 氣體偵測系統異常事故來源分佈表

Gas Supply System	氣瓶櫃	緊急除害裝置	分歧閥箱	調節箱	P. O. U	區域除害裝置	中央除害裝置	總計
人為造成	5	1	2	7	26	38	2	81
Exhaust Piping造成	1	0	0	2	11	22	6	42
偵測器異常/干擾	15	4	17	21	42	43	4	146
閥件故障	2	1	2	1	10	26	1	43
其他	4	1	3	3	13	13	3	40
總計	27	7	24	34	102	142	16	352
百分比	8%	2%	7%	10%	29%	40%	5%	100%

氣體偵測系統異常事故來源分佈特性如下：



本論文的研究流程請參閱圖 1-1。

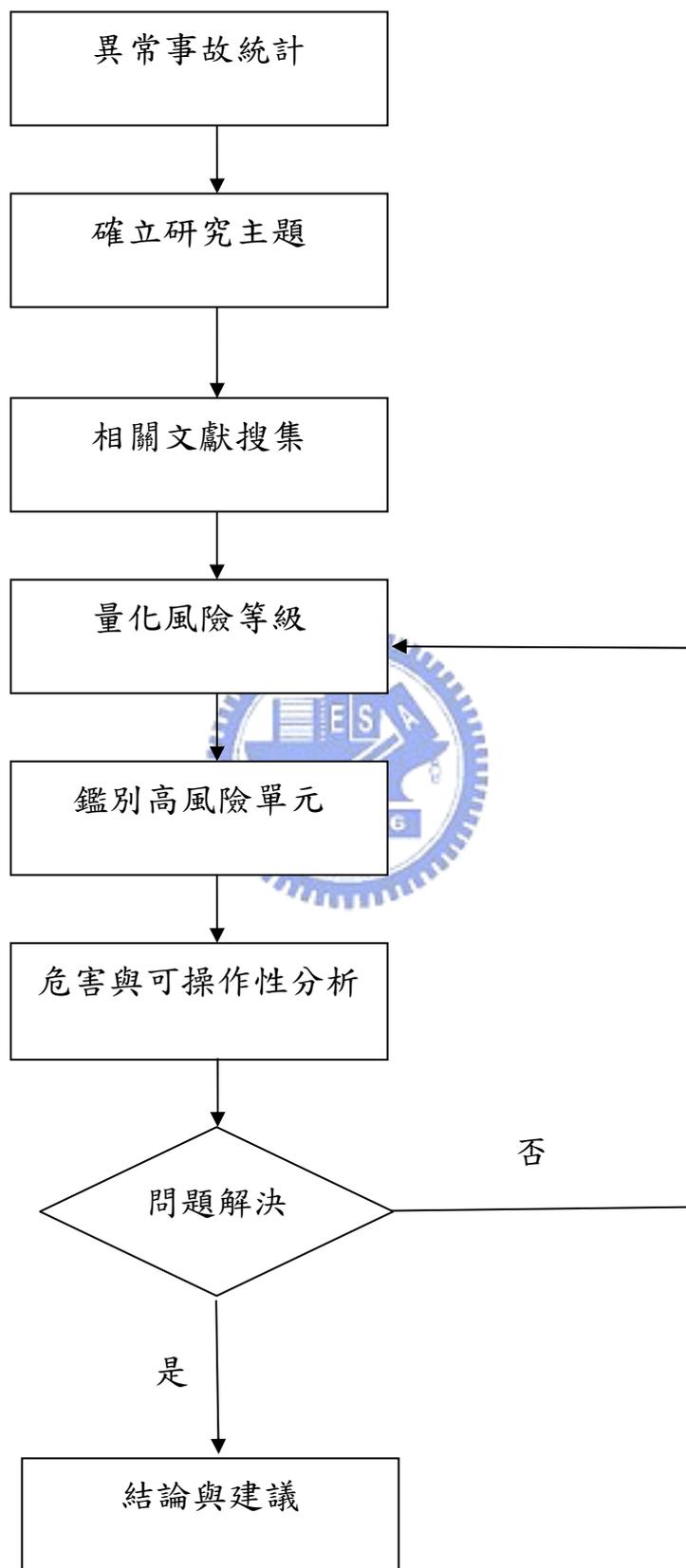


圖 1-1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 2.1 半導體產業概述

半導體產業是集合電子、電機、光學、物理、化學、機械及材料科技之整合產業，亦是電子工業的上游技術產業，因此，一國半導體產業之盛衰，代表其電子產業興盛與否，半導體產業強大者，即表示其電子產品也立於不敗之地。半導體產業是高技術密集及高資本密集的產業，故半導體技術能力，也展現了一個國家在科技產業上之地位；這就是為什麼美、日、韓及歐洲工業化國家各國政府每年均大幅支援其國內半導體產業研發，將其列為優先發展產業主要原因【2】。

#### 2.1.1 我國半導體產業現況

近幾年來，我國半導體產業在完整的專業分工體系的有效運作，輔以 12 吋晶圓廠產能及成本效益發酵等助力推進下，使得我國 2007 年半導體產業整體產值預計可達新台幣 15.5 兆元以上的新高水準，並在晶圓代工及封裝業的產值維持全球排名第一。

面對當前全球半導體產業的快速變動與激烈競爭，廠商若能掌握成本優勢，就可有效提升本身的市場競爭力。以 DRAM 製造廠商為例，擁有較高比重 12 吋晶圓廠之 DRAM 業者即因產品單位成本的降低，而有較高之獲利能力。我國 DRAM 大廠如力晶半導體(PSC)、茂德科技(ProMOS)之產品採用 12 吋廠的比重均高於國際 DRAM 大廠-海力士(Hynix)、美光(Micron)等，使我國廠商在市場上的競爭力更加提升。因此，12 吋晶圓廠的建置，遂已成為當前全球半導體製造廠商提升競爭優勢之重要發展策略。而政府在近幾年，也大力推動 12 吋晶圓廠之建置，協助廠商排除投資障礙(如土地、水電等基礎建設的提供)，以鼓勵國內外廠商持續在台投資。例如，為滿足國內半導體廠商之投資需求，於 2007 年底協助解決竹科園區三五路的土地徵收案，以促成台積電(TSMC)、力晶(PSC)及世界先進(Vanguard)，得以順利取得建廠用地。展望未來，在所有建置及規劃中之 12 吋晶圓廠產能陸續到位後，我國將可望成為全球 12 吋晶圓廠產能最大

之國家，若再結合國內廠商成本控制與製程管理等產業優勢，必能有效提升我國半導體產業因應競爭日趨嚴峻之全球市場的競爭優勢。

相對於前述之代工及製造能力外，國內半導體產業在研發支出上，尚且落後全球先進國家或大廠許多，可是在資本支出方面，卻領先全球，因此，我們可清楚的發現到，我們的競爭優勢存在於成本結構，製程技術與良率穩定度，與製造能力有關的項目上，而這些領域，都是因為我們不斷大手筆投注在資本支出下的結果。反觀在產品設計、智權、創新與應用等與研發能力有關的項目上，我們就相對落後許多。在此情形下，代工事業的茁壯，乃至位居全球領導地位，而自有產品的發展卻無法和先進大廠競爭，只能走利基產品，也就有跡可尋了。

目前我國晶圓代工製程技術已下探至 45 奈米製程，國內 DRAM 廠商亦已導入 70 奈米製程，未來將朝向下探至 58 奈米製程為目標。在全球半導體產業庫存逐步調整之際，許多國際整合元件製造廠(IDM)已經開始進行資產輕減的計畫，使得全球整合元件製造廠趨向「輕晶圓廠」(fab-lite)經營策略，其中，包括德儀(TI)已將 45 奈米以下製程轉與台積電、聯電合作，恩智浦(NXP)、意法半導體(STMicroelectronics)、英飛凌(Infineon)、SONY 等大廠，則開始縮減產能、擴大委外代工。另一方面，鑑於終端產品對於高效能與節能的需求，也將促使半導體產業持續朝向「製程微縮」與「高度系統整合」兩大技術趨勢發展。台灣半導體廠商如能充分運用我國人才管理優勢，掌握前述之全球產業發展走勢的商機，藉以強化與美、日、歐廠商的聯盟關係，以提升全球地位及市場占有率，如此將為我國半導體產業發展注入一股新的成長動能。【3】

### 2.1.2 半導體產業製程簡介

如圖 2-1，半導體產業製造類別可概分為上游的矽晶圓製造程序、中游的積體電路製造程序、下游的 IC 晶片構裝、測試製程等幾個步驟。其內容如下：

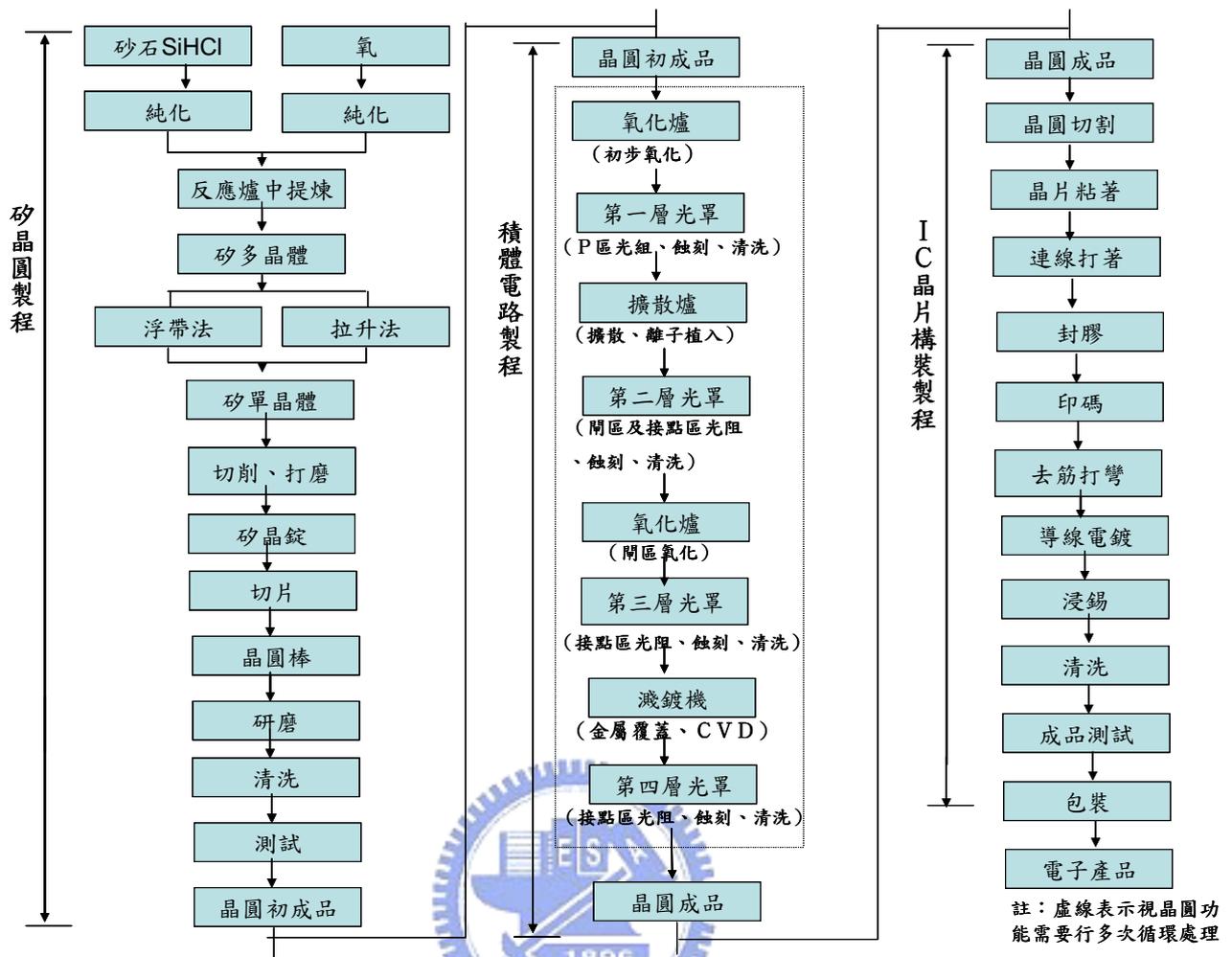


圖 2-1 半導體產業製造流程圖。資料來源:工安衛中心 ITIS 調查報告

(一) 矽晶圓製造程序:

一般晶圓乃是指矽半導體積體電路製作所用之矽晶片，由於其形狀為圓形，故稱為晶圓；晶圓是製造積體電路(Integrated Circuit, IC)的基本材料，通常是由矽(Silicon, Si)或砷化鎵(Gallium Arsenide, GaAs)等半導體(Semiconductor)所組成，在晶圓上加工製作各種電路元件連線結構，後即可成為有特定電性功能之 IC 產品。而晶圓製作過程為，先將矽晶圓利用特殊的拉晶(Crystal Pulling)裝置將熔化的純矽，緩慢旋轉逐漸拉升冷卻以獲得單晶(Crystal)結構的晶棒(Ingot)，如圖 2-2 (a)所示。矽晶棒再經過研磨、拋光、切片，即成矽晶圓，如圖 2-2 (b)所示。矽晶圓的表面光滑明亮如一片圓鏡，需要經過積體電路製造技術在晶圓的表面上製作電路元件，才能成為可用的積體電路。

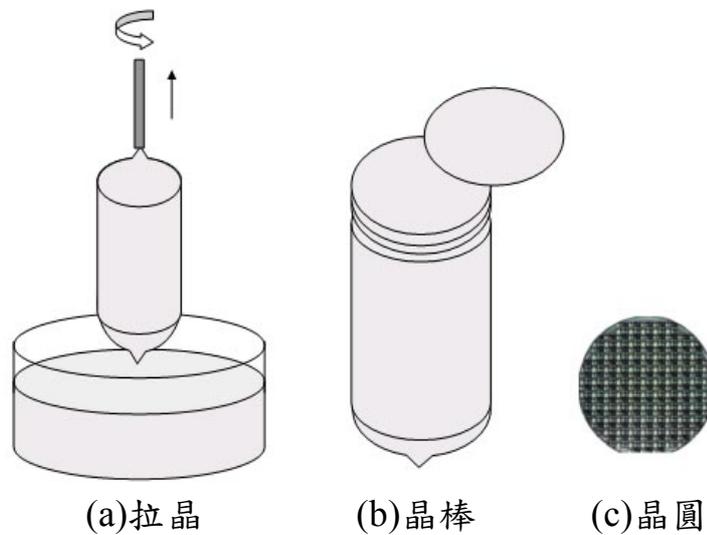


圖 2-2 矽晶圓的製造

(二) 積體電路製造程序:【4】

積體電路製程之主要工作為在矽晶圓上製作電路與電子元件（如電晶體、電容體、邏輯閘等），為上述各製程中所需技術最複雜且資金投入最多的過程，其所需處理步驟可達數百道，而其使用的機台昂貴，密集且更新替換迅速，其所需製造的環境為一溫度、濕度與含塵量（Particle）均需控制的無塵室（Clean-Room），原因是 VLSI 集積度越高，線寬越小，大約線寬十分之一的塵埃即會對產品的良率產生影響。以 DRAM 製造之晶圓廠為例，表 2-1 為其無塵室潔淨度之要求。

表 2-1 VLSI DRAM 環境要求

環境要求 VLSI 集積度	最小 線寬	高潔淨度	溫溼度	振動	靜電
16k bit	5 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m 100 個/ft <sup>3</sup>	21~25 $\pm$ 0.5 $^{\circ}$ C 35~60%R.H.	以全周數帶 (3~100Hz) 5~6 $\mu$ m	--
64k bit	2 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m 10 個/ft <sup>3</sup>	21~25 $\pm$ 0.2 $^{\circ}$ C 45 $\pm$ 5%R.H.	以低周數帶 (30Hz以下) 2 $\mu$ m以下	靜電 中和
256k bit	1.5 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m 100 個/ft <sup>3</sup>	21~25 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C 45 $\pm$ 5%R.H.	以低周數帶 (30Hz以下) 2 $\mu$ m以下	靜電 中和
1M bit	0.8 $\mu$ m	0.3~0.5 $\mu$ m 100 個/ft <sup>3</sup>	21~25 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ C 45 $\pm$ 3%R.H.	以低周數帶 (30Hz以下) 1 $\mu$ m以下	靜電 中和

雖然詳細的處理程序是隨著產品種類與所使用的技術有關，不過其基本處理步驟可分為下列四大製程模組(圖 2-3)。



圖 2-3 晶圓積體電路製程四大模組

## 1. 黃光製程

光學顯影是將 IC 設計圖形轉換至矽晶上的重要步驟。光學顯影主要步驟包括光阻塗佈、烘烤、光罩對準、曝光及顯影等程序如圖 2-4 所示，一般來說，在光阻經過了曝光及顯影程序之後，便可將 IC 設計轉換至矽晶上，而光學顯影便是在這個時候，將光罩上的 IC 設計圖形轉換到光阻下的薄膜層或矽晶上，使矽晶成為可用 IC。同時由於此階段製程均採用黃色燈光作為照明，因此此項步驟又稱之為黃光。

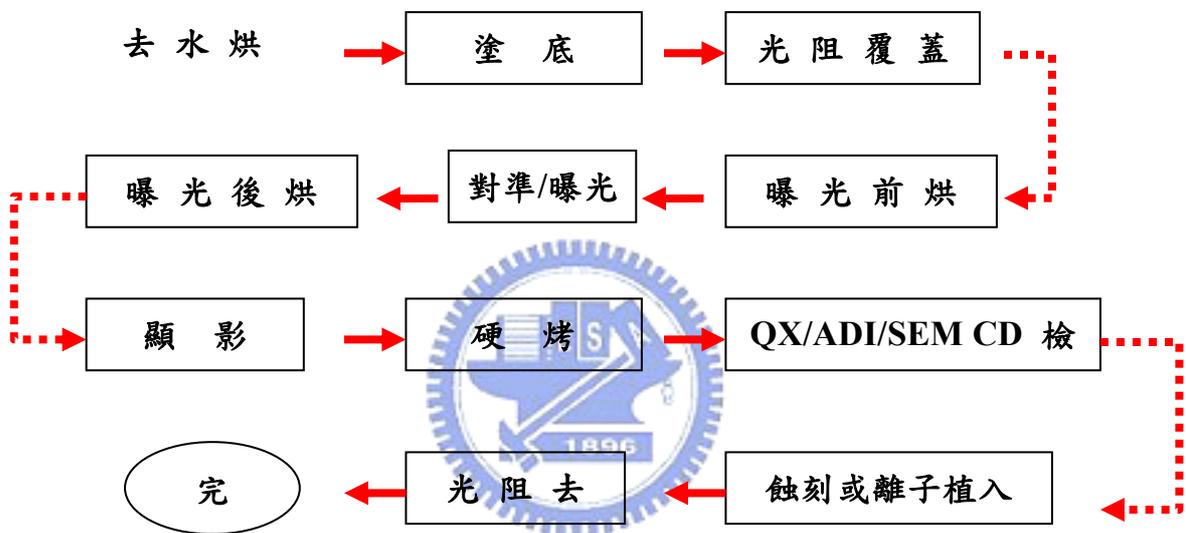


圖2-4 黃光製程流程圖

## 2. 蝕刻製程

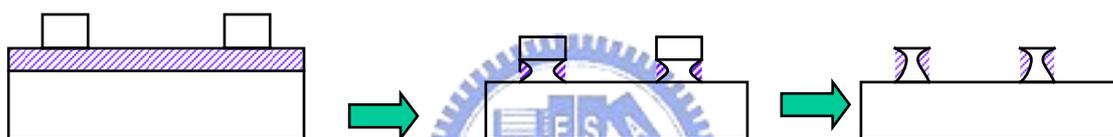
在半導體製程中，蝕刻(Etch)被用來將某種材質自晶圓表面上移除。蝕刻技術可以分為『濕蝕刻』(Wet Etching)及『乾蝕刻』(Dry Etching)兩類。在濕蝕刻中是使用化學溶液，經由化學反應以達到蝕刻的目的，而乾蝕刻通常是一種電漿蝕刻(Plasma Etching)，電漿蝕刻中的蝕刻的作用，可能是電漿中離子撞擊晶片表面的物理作用，或者可能是電漿中活性自由基(Radical)與晶片表面原子間的化學反應，甚至也可能是這兩者的複合作用。

乾蝕刻是以氣體作為主要蝕刻媒介，使氣體在電場中解離，產生具有反應及方向性的離子。

- a. 濺擊蝕刻 (Sputtering Etch)，具備極佳的非等向性，圖 2-5。
- b. 電漿蝕刻 (Plasma Etching)，具備極佳的選擇性。
- c. 反應式離子蝕刻法 (Reactive Ion Etch)，此為同時具備高選擇性及非等向性之蝕刻法。

濕蝕刻為最早被使用的蝕刻技術。利用薄膜與特定溶液間所進行的化學反應，來除去未被光阻覆蓋薄膜。其優點為製程單純，速度快。缺點則為只有等向性蝕刻。

### 1. 等向性蝕刻



### 2. 非等向性蝕刻

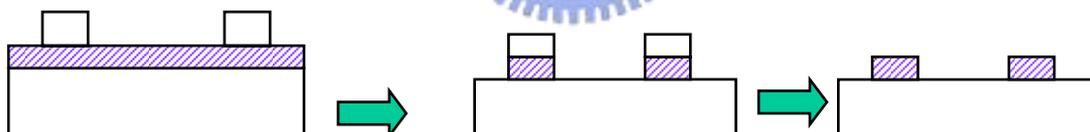


圖 2-5 等向性及非等向性蝕刻

### 3. 擴散製程

為一種描述一材料移入另一材料的基本特性問題，擴散之發生係從相對高濃度區進入到低濃度區，其係由於原子、分子或離子間的運動而引起者。在半導體製程中，高溫擴散係被用以說明摻質移入矽晶格的機制，擴散能以氣態、固態或液態的方式發生。

#### a. 爐管 (Furnace) : 高溫

擴散主要都是在爐管中進行，在高溫的爐管中放入晶片，使擴散源得以擴散入晶。

b.濕蝕刻 (Wet):高腐蝕

使用化學溶劑進行晶片表面清潔。

c.離子植入 (Implant):高電壓、高毒性、輻射區

當具有一定初始能量的入射離子射入固體靶 (Target) 時，會與靶中的原子核或電子發生碰撞，在碰撞過程中把部份能量傳給靶材中的原子核或電子，入射離子的能量因而減小，運動方向發生偏折。爾後，此入射離子又與另外的靶材中的原子核或電子發生碰撞。這個過程一直不斷下去，直到入射離子停下來為止，因此，具有一定初始能量的入射離子射到靶中後，將走過一個十分曲折的路徑，同時不斷損失能量，最後在靶中的某一點停止下來。

#### 4.薄膜製程

薄膜沈積依據沈積過程中，是否含有化學反應的機制，可以區分為物理氣相沈積 (Physical Vapor Deposition, 簡稱 PVD) 及化學氣相沈積 (Chemical Vapor Deposition, 簡稱 CVD)。其涵蓋金屬導線技術、介電層技術以及平坦化技術等三項子技術，就金屬導線技術而言，目前以銅導線沈積技術研發為主，依據半導體製程發展趨勢將開發高電漿密度物理性金屬沈積技術、電化學沈積技術以及化學氣相沈積技術。以介電層技術而言，主要分為先進介電質沈積技術及低介電常數薄膜成膜技術，先進介電質沈積技術為開發高密度電漿化學氣相沈積，介電質抗反射層氟摻雜玻璃蝕刻阻擋層等應用於 0.18 微米之介電層沈積技術；而低介電常數薄膜主要應用於高速元件傳遞延遲、功率消耗及干擾。本區機器操作時，機器中都需要抽成真空，所以又稱之為真空區，真空區的機器多用來做沈積暨離子植入，也就是在 Wafer 上覆蓋一層薄薄的薄膜，所以稱之為「薄膜區」。

#### (三)晶圓針測

經過積體電路製程後，晶圓上即形成一格格的小格，我們稱之為晶方或是晶粒 (Die)，在一般情形下，同一片晶圓上皆製作相同的晶片，但是也有可能在同一片晶圓上製作不同規格的產品；這些晶圓必須通過晶片允收測試，晶粒將會一一經過針測 (Probe) 儀器以測試其電氣特性，而不

合格的晶粒將會被標上記號 (Ink Dot)，此程序即稱之為晶圓針測製程 (Wafer Probe)。然後晶圓將依晶粒為單位分割成一粒粒獨立的晶粒，接著晶粒將依其電氣特性分類 (Sort) 並分入不同的倉 (Die Bank)，而不合格的晶粒將於下一個製程中丟棄。

#### (四)IC 晶片構裝

IC 晶片構裝製程 (Packaging) 是利用塑膠或陶瓷包裝晶粒與配線以成積體電路 (Integrated Circuit；簡稱 IC)，此製程的目的是為了製造出所生產的電路的保護層，避免電路受到機械性刮傷或是高溫破壞。最後整個積體電路的周圍會向外拉出腳架 (Pin)，稱之為打線，作為與外界電路板連接之用。

#### (五)測試製程

半導體製造最後一個製程為測試，測試製程可分成初步測試與最終測試，其主要目的除了為保證顧客所要的貨無缺點外，也將依規格劃分 IC 的等級。在初步測試階段，包裝後的晶粒將會被置於各種環境下測試其電氣特性，例如消耗功率、速度、電壓容忍度等。測試後的 IC 將會依其電氣特性劃分等級而置入不同的 Bin 中 (此過程稱之為 Bin Splits)，最後因應顧客之需求規格，於相對應的 Bin 中取出部份 IC 做特殊的測試及燒機 (Burn-In)，此即為最終測試。最終測試的成品將被貼上規格標籤 (Brand) 並加以包裝而後交與顧客。未通過測試的產品將被降級 (Downgrading) 或丟棄。由於最終測試是半導體 IC 製程的最後一站，所以許多客戶就把測試廠當作他們的成品倉庫，以避免自身工廠的成品存放的管理，另一方面也減少不必要的成品搬運成本。

#### 2.1.3 半導體製程氣體與尾氣危害特性

半導體產業因製程的需求，不論是在矽晶圓、積體電路製造、或是 IC 晶片構裝，所使用到的化學物質種類相當繁雜，而這些化學物質或溶劑的使用即是為半導體生產之主要空氣污染源，也因此使得其產業空氣汙染呈

現量少但是種類繁多的特性，尤其以機體電路 IC 製程，幾乎每個步驟皆分別使用各式各樣的毒性氣體、酸鹼物質及有機溶劑，而各種物質經過反應後又形成種類頗為複雜之產物，且由於製程的特性，大量的原料氣體並未在製程中完全反應而是以製程尾氣的型態排出，各製程不同，使用的化學物質亦不同，故所有製程幾乎都可能是空氣汙染源，且皆為連續排放【5】。倘若這些尾氣處理設備處理效能不佳，危害性氣體就會沿著煙道排放進入廠區周界，影響空氣品質，甚至部分會經由 MAU 進入廠內，影響作業環境及製程良率。

由於積體電路製造之晶圓廠為整個半導體工業的廢氣汙染產生的最大來源，其他半導體產業如晶圓包裝程序，是將積體電路與導線架等組構物件製成積體電路電子組件，以構裝導線架等組件與後續清洗作業為主，其所產生的酸鹼與揮發性有機廢氣，由於排放量相對於積體電路製造可說微乎其微，所以並不作多述。

晶圓廠的廢氣成分中  $CF_4$ 、 $C_2F_6$ 、 $NF_3$ 、 $F_2$ 、 $CLF_3$  來自化學氣相沉積(CVD)製程以及所屬機台的 Chamber Clean， $SF_6$ 、 $CL_2$  來自乾蝕刻(Dry Etching)製程， $SiH_4$ 、 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $SiH_2Cl_2$ 、 $O_3$  為擴散爐管製程， $HF$  則來自機械研磨、晶圓清洗或 CVD 製程所產生的製程廢氣，有機廢氣的產生則以黃光製程的光阻劑等溶劑為主。在危害方面，其危害性如  $SiH_4$ 、 $TMA$ 、 $TEOS$  發生洩漏時與空氣混合會發生自然現象，毒性化學物質如  $NH_3$ 、 $CL_2$ 、 $Hbr$ 、 $NH_3$  等氣體具有強烈毒性及腐蝕性，而製程載氣  $H_2$  具有火災爆炸的危險，氧化物質  $NF_3$ 、 $N_2O$  等與不相容物則會產生爆炸的風險性。而酸毒性排放管路的廢氣排放量在半導體廠排放氣體的總量的比例為最高，廢氣排放的程序也最為複雜，相對的環境衝擊亦是最大。

一般而言，半導體製程的尾氣可依據其中所含的殘餘原料氣體化學特性和副產物的影響範圍，可分為：(1)腐蝕性氣體、(2)燃燒性氣體、(3)有機化合物、(4)全氟化合物四種形式。大部份製程尾氣可直接經由管線輸送至末端的中央處理系統(Central Scrubber Systems)處理。而少數高反應性氣體在其排出製程機台(POU)後，應立即以適當的區域洗滌設備(Local Scrubber)，將其轉化為比較安全的型態，圖 2-6 為晶圓廠特殊氣體供應及

排放流程圖。而後才能繼續輸送至中央處理系統做二次處理。也因此製程尾氣區域處理系統成為廠內廢污毒害匯流而成的系統設備，適當的尾氣處理設備可有效降低工業發展對環境的衝擊，然而，不當的尾氣處理系統不僅無法達成環境保護的目的，甚至會引起廠內工安的意外事故，造成不必要的損失【6】。

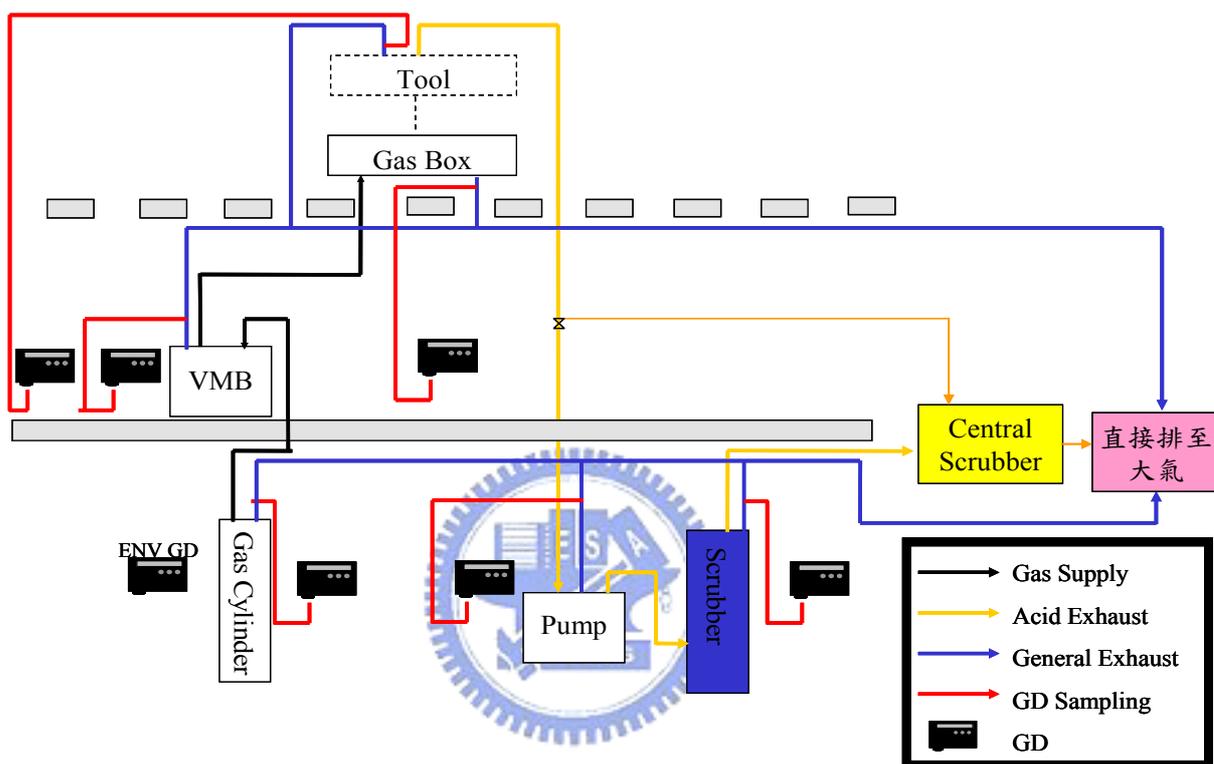


圖 2-6 為晶圓廠特殊氣體供應及排放流程圖

晶圓廠典型的氣體危害來源包括機台或管件的洩漏等，另 Local Scrubber 在處理製程尾氣時，如果發生洗滌塔或 Water Tank 破裂情形，造成毒性或可燃性氣體外洩或空氣進入洗滌塔，可能導致爆炸或毒氣外洩意外發生，另製程尾氣的酸鹼排氣管件阻塞、加熱溫度控制失效、亦可能造成化學氣體在環境中累積，當濃度超過爆炸下限時，若遇火原即會產生火災爆炸等風險。例行性或緊急機台維修保養人員的操作不當也會使一些化合物溢散出來，這些有害性氣體藉著空調系統的循環作用回流至無塵室內，導致人員吸入性的危害，根據資料顯示，從事半導體作業之員工多易罹患各種慢性或急性之職業疾病，如腦部及中樞神經系統障礙、腎臟炎、眼疾、皮膚炎、肝臟代謝障礙症、窒息性溶血症、骨骼壞死、肺水腫、並

導致畸胎不孕等生殖性疾病。

另外，半導體業使用廣泛的全氟化物 PFCs (表 2-2)，其的 C-F 鍵能量穩定，不容易分解，且其氟原子和碳、氮硫的分子具有很強的紅外線吸收力及熱穩定，尤其是化學結構愈對稱的化合物對溫室效應的影響愈大，可在大氣中存留至數萬年時間，因此它們被認為是最強的溫室氣體。

如表 2-3 所示，PFCs 主要被用於半導體化學氣相沉積(CVD)及乾蝕刻(Dry etching)機台反應腔體的電漿清潔和電漿蝕刻。使用氣體包括四氟甲烷(CF<sub>4</sub>)、六氟乙烷(C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)、八氟丙烷(C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>)、八氟環丁烷(C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>)、三氟化氮(NF<sub>3</sub>)、六氟化硫(SF<sub>6</sub>)和氟氫碳化物(HFCs)如三氟甲烷(CHF<sub>3</sub>)。上述的 PFCs 和 HFCs 在業界均被統稱為 Perfluorinated Compounds(PFCs)。

表 2-2 半導體 PFCs 製程氣體與尾氣對照表

排放氣體 製程氣體	CH F <sub>3</sub>	CF <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	NF <sub>3</sub>	SF <sub>6</sub>	SiF <sub>4</sub>	OF <sub>2</sub>	CO F <sub>2</sub>	SO F <sub>2</sub>	HF	F <sub>2</sub>
CHF <sub>3</sub>	★	★	★	★				★	★	★		★	★
CF <sub>4</sub>	★	★	★	★				★	★	★		★	★
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	★	★	★	★				★	★	★		★	★
C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>		★	★	★				★	★	★		★	★
C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	★	★	★	★	★			★	★	★		★	★
NF <sub>3</sub>						★		★	★	★		★	★
SF <sub>6</sub>							★	★	★	★	★	★	★

註：★表可能測得之尾氣種類。資料來源:工研院環安中心 ITIS 計畫

國際上自 1992 年地球高峰會議中訂定永續發展的議題後，至今已有近 200 項相關的國際公約及協定依此理念頒佈，且已有 20 項具有貿易制裁條款，而備受矚目的蒙特婁議定書、巴塞爾公約及聯合國氣候變化綱要公約的京都議定書，分別針對溫室氣體及有害廢棄物之用量級排放，訂定相關之減量標準及管制條例。而世界半導體協會(World Semiconductor

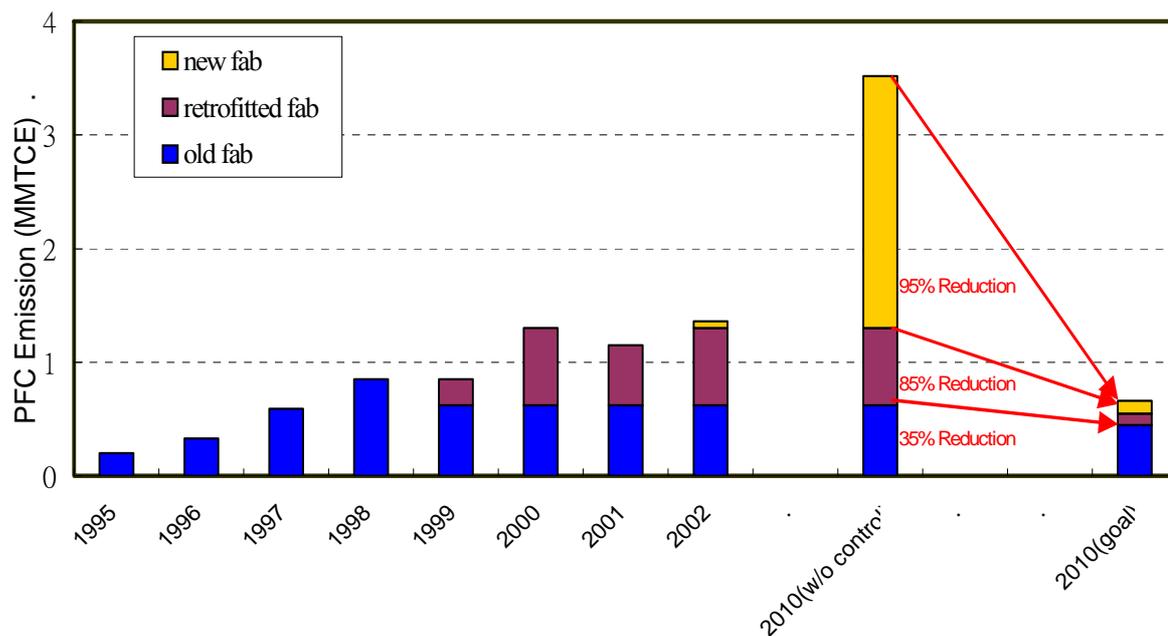
Council, WSC) 決議以 1995 年做為 PFCs 減量的基準年，規定各國家之會員必須在 2010 年時將其國內之 PFCs 的排放量削減至 1995 年的 90%【7】，台灣半導體協會(TSIA)目前亦已加入 WSC 協會，為了符合 WSC 的精神，TSIA 以 1997 和 1999 年之排放量平均值做基準(表 2-4)，期許在 2010 年確實達到 PFCs 減量控制的目標(圖 2-7)。

半導體業唯有在完善的工業安全衛生工作及相關環保政策配合下，才可使得半導體作業員工之健康安全獲得適當地保障，並使得國內半導體工業趕上世界潮流，在國際市場上爭得一席之地。

表 2-3 半導體製程中常用之 PFCs

IC 製程所使用之 PFCs	
Etch Metal	CF <sub>4</sub> , CHF <sub>3</sub>
Polysilicon	SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub>
Oxide	CHF <sub>3</sub> , NF <sub>3</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub> C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>
CVD	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub> , NF <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>
Silicon	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub>
Silicon Oxide	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>
Silicon Nitride	CF <sub>3</sub>
Tungsten	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub>

資料來源:工研院環安中心 IT IS 計畫



註：MMTCE (Million Metric Tons Of Carbon Equivalent)

圖 2-7 TSIA PFCs 排放減量目標值設定原則。資料來源:台灣半導體產業協會)

表 2-4 台灣半導體產業 PFCs 使用量和 WSC 統計資料

化合物	1995(Kg)	1996(Kg)	1997(Kg)	1998(Kg)	1997 全球 (Kg)	97 台灣佔比率 (%)
CF4	52388	76944	116856	89503	800,000	14.6
C2F6	41746	71098	126329	118985	1,100,000	11.5
SF6	16964	31019	47973	83130	190,000	25.2
C3F8	0	0	3060	0	N/A	-
NF3	4128	6578	9568	8752	160,000	6
CHF3	6879	7951	14658	22902	200,000	6
合計	119,994	191,162	318,444	308,545	2,450,000	12.3

資料來源:台灣半導體協會

## 2.2 半導體製程尾氣減量控制技術

相較於其他WSC會員協會，台灣的半導體產業仍然快速成長，相對地所承擔之廢氣污染減量壓力也比較大，由此看來，台灣半導體業在溫室氣體的排放控制上，將需要投入更多的人力及經費。目前業者採取了一些措施來減少PFCs之排放，而現有之排放減量技術依製程前端至後端可分為四個方向(圖2-8)的策略方針加以探討：包括(1)替代化學品 (Alternative Chemicals)、(2)製程最佳化(Process Optimization)、(3)回收再利用(Resource Recycling) (4)管末削減處理技術(Abatement Systems)。下列幾點為半導體產業執行這四種減量控制技術的說明：

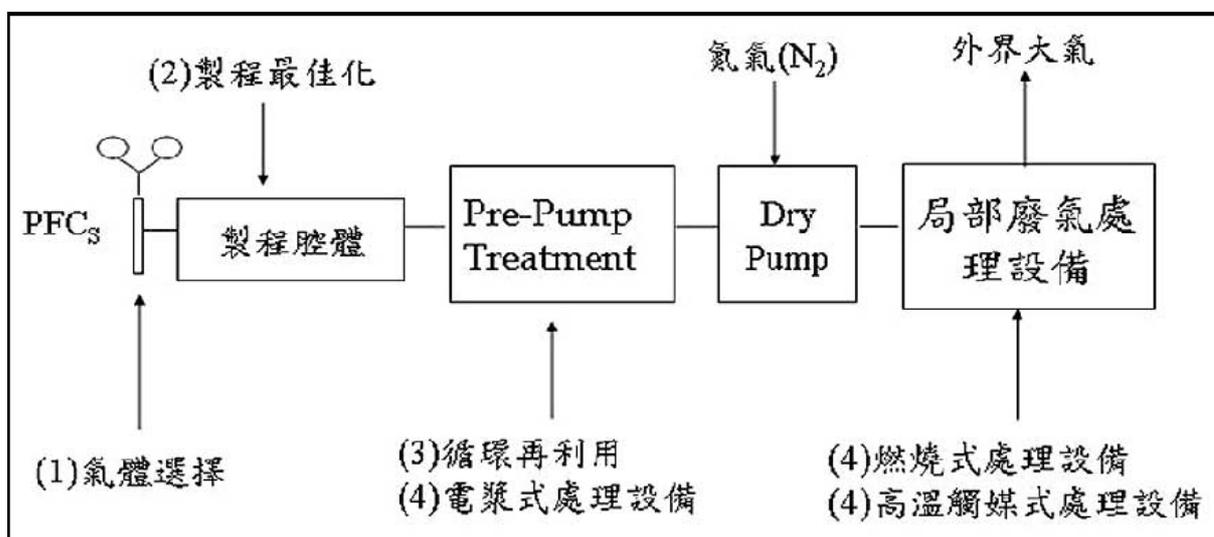


圖2-8 PFCs氣體製程減量方法。資料來源:經濟部工業局環保產業資訊網

### (一) 替代化學品

替代化學品的目的是選用及評估測試不相同的化學物質取代現有之原料來達到降低PFCs的排放標準，如CVD製程使用的C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>和C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>取代C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>及CF<sub>4</sub>(圖 2-9)，NF<sub>3</sub>取代C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>等。其原理為使用較低之溫室效應潛勢(GWP)的化學品來取代PFCs。此技術亦包括電漿程序內所用之效率更高的高GWP氣體，而這可使整個溫室氣體排放減少。當評估替代化學品時，其標準需包含程序性能、環安衛風險的檢討、材料來源和成本、以及程序排放物和副產物的特性。電漿程序內所用的氟碳化物會產生CF<sub>4</sub>與C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>

和C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>的副產物，其必須定量輸入化學品轉變成PFCs副產物的量，以確保能精確計算PFCs排放物的量。此外，在有碳存在之電漿程序內使用任何含氟化合物時，將會產生一些如CF<sub>4</sub>和C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>之PFCs的量【8】。

當半導體工業在發展替代化學時，任何會減少PFCs排放的替代化學，亦會產生F<sub>2</sub>、HF和其他副產物的排放。氟碳化合物會產生其他PFCs和COF<sub>2</sub>，而NF<sub>3</sub>會增加F<sub>2</sub>、HF、和NO<sub>x</sub>的排放。所以如果只專注於減少PFCs的排放，其最後亦可能會造成額外的問題，而且替代性氣體的成本則是CF<sub>4</sub>和C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>的好幾倍價錢，且操作時的風險危害又增加許多。

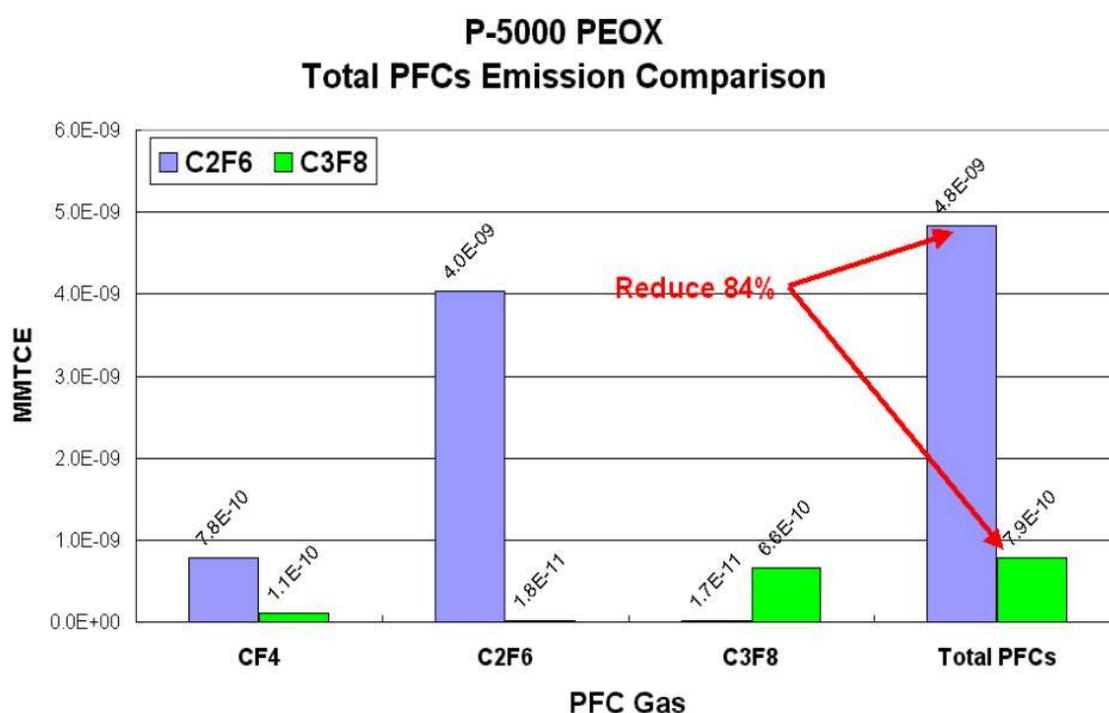


圖 2-9 PFCs 排放減量活動 - 替代化學品 (CVD 製程 C<sub>3</sub>F<sub>8</sub> 取代 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)  
資料來源:林俊男，台灣半導體協會

## (二) 製程最佳化

此技術利用製程參數的調整、製程的改善等措施，藉著調整不同氣體進出反應腔室的流量或濃度參數、系統壓力值、增加能量等級以提升PFCs的利用率，達到PFCs完全反應，減少排放之目的。然而，此減量控制技術本身並無法使PFCs的排放大量減少，由於包含降低成本和污染防制的其他

效益，所有CVD反應腔室的清潔還是需利用它來減少化學品的消耗和廢棄物的產生。例如Remote清洗機制的替代程序可減少PFCs的排放。此外，它們提高COO效益的程序。在舊廠內，用Remote 清洗機制來取代C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>清潔是減少PFCs排放之最經濟有效的方法。在設計排放系統和廢水處理系統時需了解其所增加之F<sub>2</sub>排放的影響【8】。

### (三) 回收再利用

回收技術主要是由氣體公司所發展，其原理是將製程尾氣之不純物濾除後，再利用薄膜分離濾除微粒，然後以吸收劑吸除酸性副產物，最後將剩下的尾氣收集起來，進行處理。另一種方式則直接在線上做處理後，送回製程反應腔室。以日本企業所使用的一套 PFCs 回收系統為例，設計先將機台的反應腔壁加熱後，使其反應物不會殘存於腔壁內，以提升這些 PFCs 收及效能，並利用薄膜去除 N<sub>2</sub> 及 SiF<sub>4</sub> 等不純物後，再將可繼續使用的反應物送回反應腔室內【9】。

### (四) 管末削減處理技術

上述部分減量技術如回收再利用、替代化學品等，屬於尚在研發評估的階段，其控制技術還未達成熟階段，且受限於解決方案的經濟規模因素，雖然管末削減處理設備並不是最佳的選擇，但卻是目前在半導體業界用來處理危害性氣體排放最廣泛且技術成熟有效的方法(圖 2-10)，所以本文另以一章節加以探討。



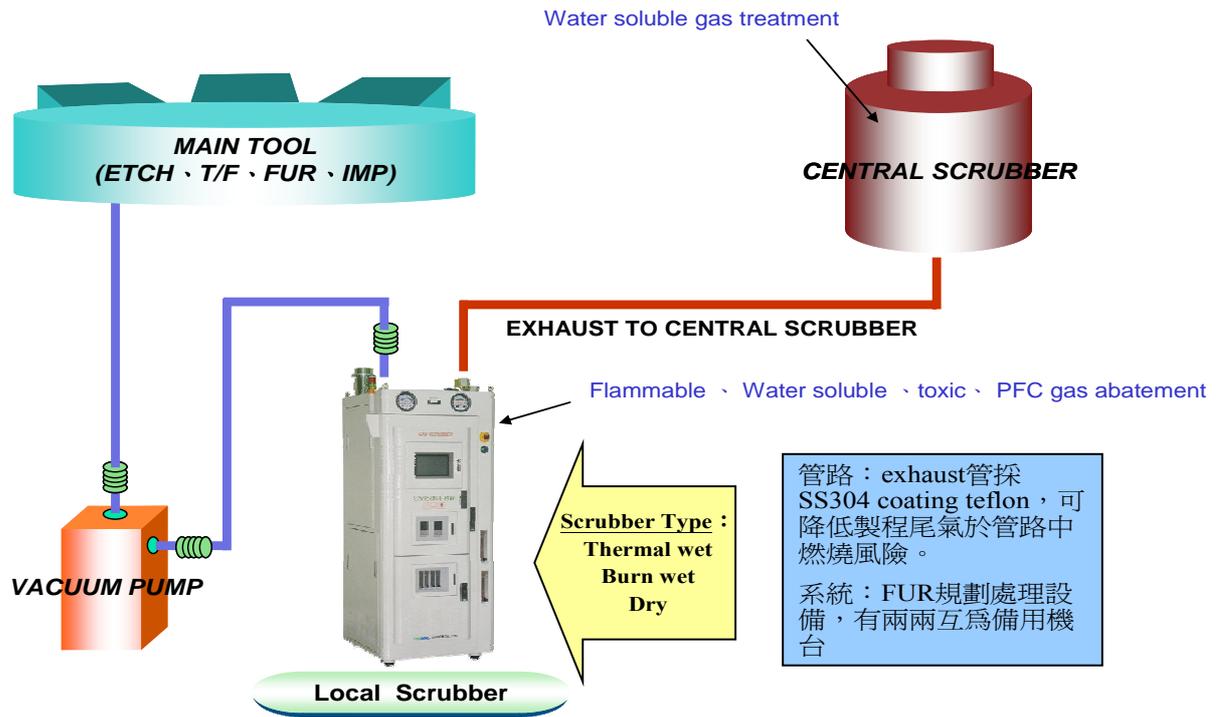


圖 2-10 製程尾氣管末削減處理技術流程圖

### 2.2.1 管末削減處理設備

製程尾氣若只有酸氣存在，廠務端的濕式水洗中央處理系統便是非常經濟有效的一種選擇，但通常製程尾氣常伴隨許多危害性氣體一起產出，所以半導體廠通常將酸、毒、易燃性、腐蝕性及溫室效應氣體全部納入酸/毒性廢氣系統進行處理，所以酸/毒性區域洗滌設備是晶圓廠內最大的廢氣處理系統，不但投資的金額最多，處理方式也趨多元性。依處理原理常用的有(1)乾式吸附、(2)電熱水洗、(3)燃燒水洗、(4)電熱觸媒(5)電漿處理等方式。本章節以新竹科學園區某晶圓廠為例，介紹該廠管末減量處理系統設備(表 2-10)。

表 2-5 竹科某晶圓廠之製程尾氣區域處理系統設備

製程	處理型式	廠牌	特性
蝕刻	Dry、Plasma (電熱觸媒)	Showa、Ebara、 Zenith、ICS、Z- 13	以吸附劑、觸媒吸附有害 氣體、PFC、CO等 以電將產生光輝放電
離子植入	Dry	Clean tech、 ICS、日本酸素	以吸附劑吸附毒性氣體
薄膜	Burn wet	Edwards、Ebara	高溫/燃燒分解有害氣體、 PFC，再經水洗去除粒狀 物及水溶性氣體
	Thermal wet	Unisem	
爐管	Burn wet	Edwards	高溫/燃燒分解有害氣體、 PFC，再經水洗去除粒狀 物及水溶性氣體
	Thermal wet	ECS2000、 Techarmonic	



### (一) 乾式吸附

此類型 Local Scrubber 可去除水溶性不高的氣體、毒性氣體、PFC 等廢氣，其方式有常溫操作及高溫觸媒反應吸附，主要應用於尾氣量較少的製程(如 Implantation 及 Dry Etching)，其原理是將高毒性之氣體採用不可逆的化學吸附反應(圖 2-11)，藉著附著於載體上的化學物質與廢氣中的毒性物質產生反應，以降低廢氣中汙染物濃度之處理裝置。一般使用矽藻土作為載體，而載體上附著之化學物質則隨著所欲去除之汙染物而有所差異，而且使用飽和後可依照廢棄物處理程序，請政府核可之處理廠商運離廠區處置，再做新的吸附材料更新使用。常用的化學吸附材料為乾式的鹼劑和氧化劑，較著名的有 Rikazole 和 KS 兩種吸收劑。

Rikazole 為酸性吸收劑，其發明於 1941 年，主要的成份是矽藻土浸漬於  $FeCl_3$  內，一般可吸收氧化之毒物性質包括  $ASH_3$ 、 $H_2Se$ 、 $B_2H_6$ 、 $PH_3$  等氫化物氣體(Hydrides)。其可藉著  $FeCl_3$  轉變成  $FeCl_2$  而逐漸失去吸附效能，將其還原  $FeCl_3$  後便可恢復功效，但其效能會隨著再生的次數而逐漸

降低，一般至多重複使用六次後就需更換。

KS 吸附劑顏色呈現紫色，屬於鹼性吸收劑，其發展於 1982 年，作用機制與 Rikazole 類似，成分亦是使用矽藻土作為載體，並跟 NaOH、KMnO<sub>4</sub> 等氧化劑浸漬在一起，由於 KMnO<sub>4</sub> 的氧化能力較強，所以除了能去除 ASH<sub>3</sub> 及 PH<sub>3</sub> 外、更可以去除 Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub> 等有機金屬化合物，以及 HCl 等酸性氣體和 SiH<sub>4</sub>、B<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 等水解氣體【5】。

其他吸收劑如 Gassmith 系統之吸附劑，可在常溫下將製程廢氣轉換為穩定的鹽類等方式。一般大部分的吸收劑可藉由其顏色改變情形加以判斷使用狀態，操作時應注意吸附劑破出的時機。該廠使用較多吸附式型態的 Local Scrubber 廠牌如 Ebara、SHOWA、ICS、Clean-S-Z-13 等，但因早期舊廠買進之機台如 Ebara 的每桶吸附劑成本過於昂貴，遂後續新廠逐漸採用其他較便宜的產品如 Clean-S-Z-13(圖 2-12)等廠牌。

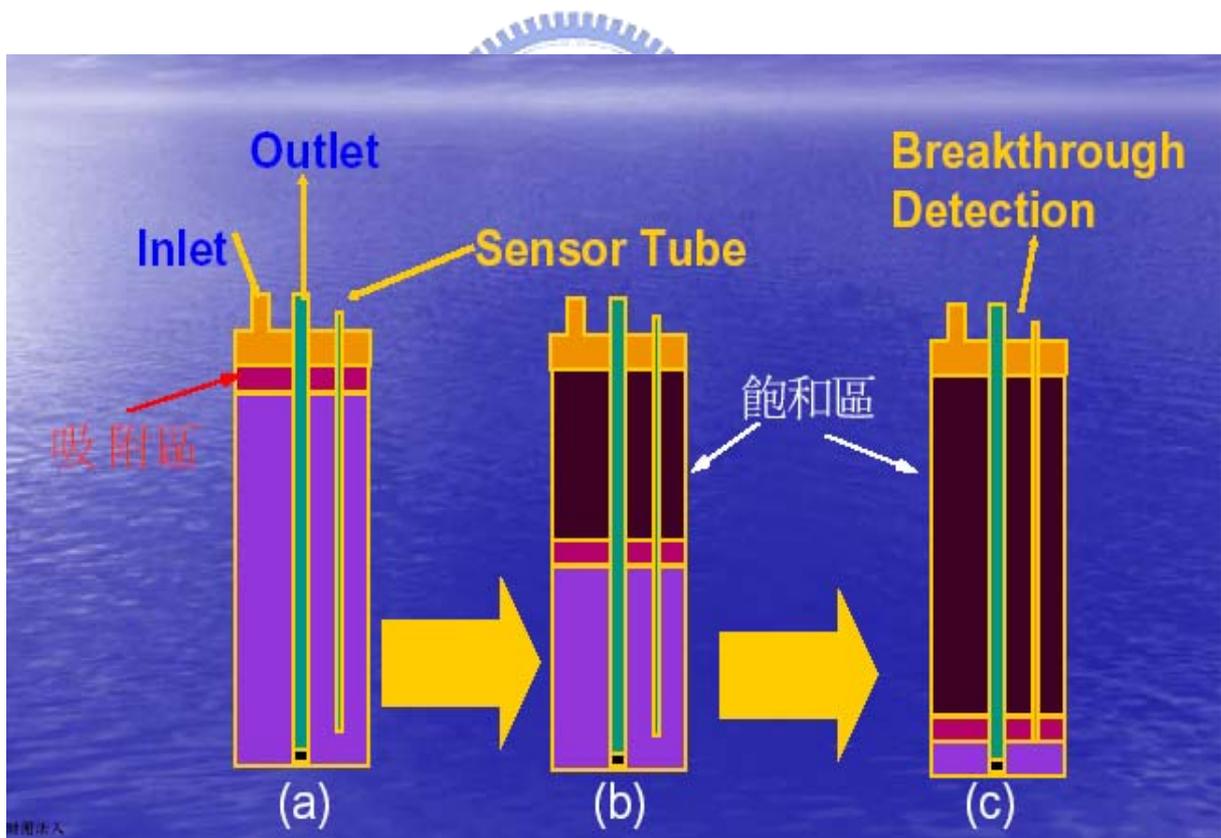


圖 2-11 乾式吸附劑使用情形。資料來源: FY90 產業安全衛生應用技術發展計畫報告



圖2-12乾式吸附式-CLEAN-S Z-13

## (二)電熱水洗

由於多數 HFCs 及 PFCs 等氣體在高溫環境下均會熱裂解並進而氧化，如 AsH<sub>3</sub> 加熱至 700°C 以上即可分解毒性。控制式熱解氧化器(Controlled Decomposition/Oxidation Reactor, CDO)是近幾年來半導體廠普遍採用的尾氣處理設備之一，此類型 scrubber 的原理是利用電熱的方式讓製程尾氣於高溫環境下，迅速氧化成穩定的化合物。加熱單元主要以矽碳棒組成，並利用電能來提高細碳棒的溫度至 900°C，讓氣體通過加熱單元，遇高溫後氧化裂解。以電熱水洗 scrubber CDO-863 為例，其構造如圖 2-13 所示，製程尾氣進入 CDO 後與系統提供的乾空(CDA)混合，混合後再進入電熱腔中進行高溫氧化或還原反應，反應後的氣體粉末經過多階拉希環填充的洗滌管進行水洗過程以去除其中的微粒或水溶性高的氣體，最後才排出製廠務端做處理。

由於此類型 Local Scrubber 電熱部分是採用電熱棒的方式加熱，但於反應過程常會發生因 Powder 附著造成加熱棒發出的溫度無法均勻散佈於反應室中，導致處理效率不佳的問題。一般腔內溫度控制於 600°C 左右，如果為了將 Powder 去除而將溫度毅然提升，則會縮短加熱棒的壽命，另外 CDO

型式Scrubber 對PH<sub>3</sub>等氣體處理效果亦較差，但對於一般可燃性氣體如SiH<sub>4</sub>、ASH<sub>3</sub>，酸鹼性氣體NH<sub>3</sub>、Cl<sub>2</sub>及部分的PFCs氣體如NF<sub>3</sub>，均有極佳的處理效率。圖2-14為該廠內爐管製程的ECS Local Scrubber電熱反應腔室構造圖，圖2-15為電熱反應腔室及洗滌塔外觀圖。

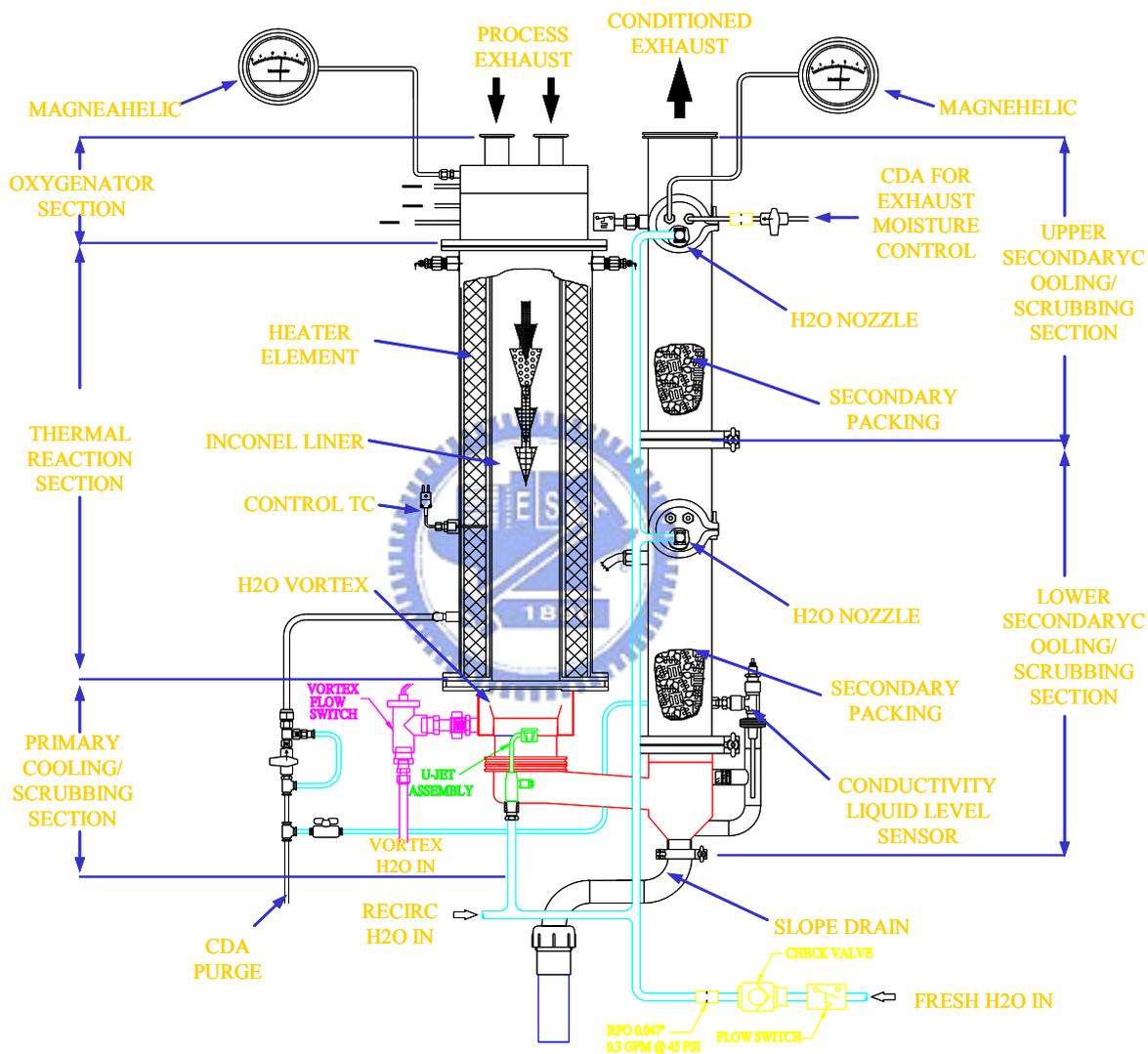


圖 2-13 CDO-863 構造圖。資料來源: ATMI 簡報

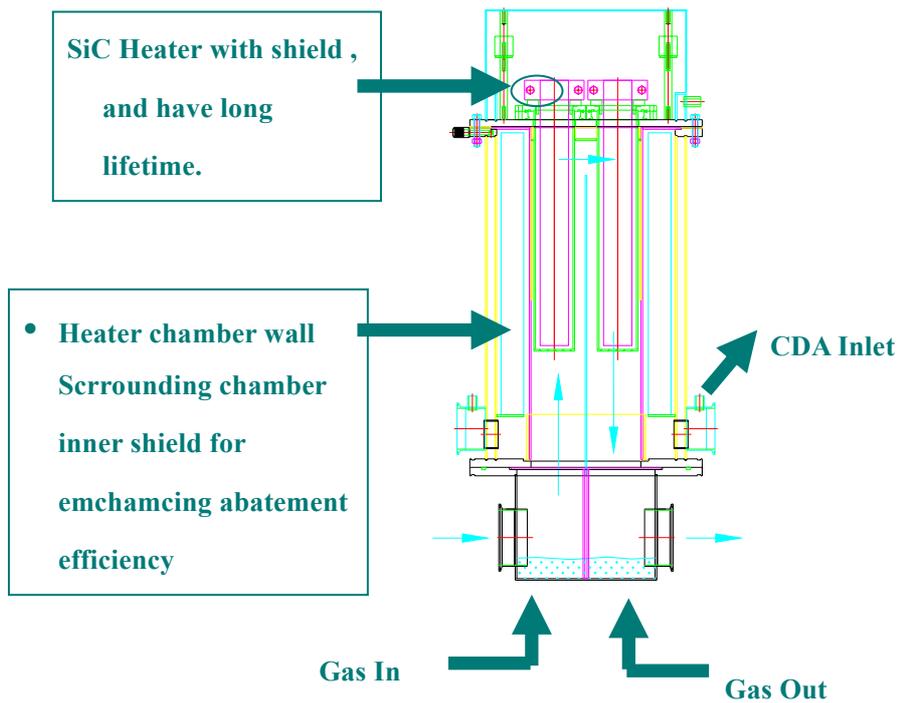


圖 2-14 ECS-2250 電熱水洗之 Chamber 構造圖。資料來源: Integrated Plasma Inc 簡報



Heater Chamber



Water Scrubber



圖2-15電熱水洗式- ECS2250 電熱腔室及洗滌塔外觀圖

### (三)燃燒水洗

目前發展最完整的製程尾氣處理技術，莫過於燃燒破壞法，其原理與電熱水洗相似，但操作的溫度更可達到 1200°C 以上，有效解決電熱水洗因加熱棒常會發生 Powder 附著，導致加熱棒的溫度無法均勻散佈於反應室中，造成處理效率不佳的問題。此類設備是利用燃料(H<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub>)與空氣，將進入燃燒室的低極性製程尾氣經高溫燃燒，轉換成低分子量且具親水性之極性化合物(如 HF, HCL)，再以水洗、吸附等方法去除危害性尾氣，圖 2-16 為 BOC EDWARDS 所生產 TPU (Thermal Process Unit)燃燒式 Local Scrubber 機型，其主要的特色在於其燃燒室的設計，為避免燃燒 SiH<sub>4</sub> 所產生的 SiO<sub>2</sub> Powder 附著於燃燒室的表面，燃料與空氣穿過多孔性的室壁而進入燃燒室，當燃料空氣穿過室壁時，已將 SiO<sub>2</sub> Powder 吹向燃燒室的中央(圖 2-17)，而後在利用後方的多階填充洗滌塔(圖 2-18)將之去除【10】。

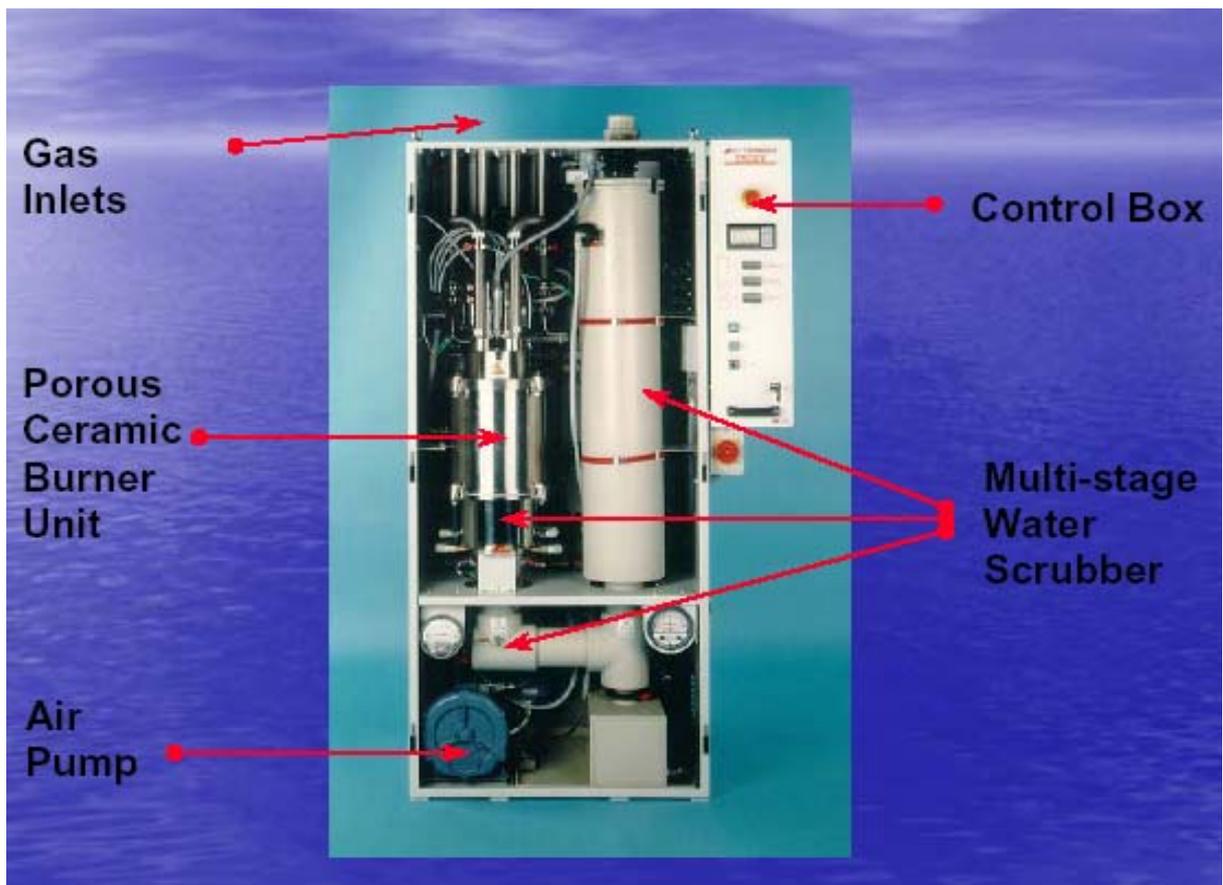


圖 2-16 燃燒水洗 Local Scrubber 。資料來源: Edwards TPU 構造圖

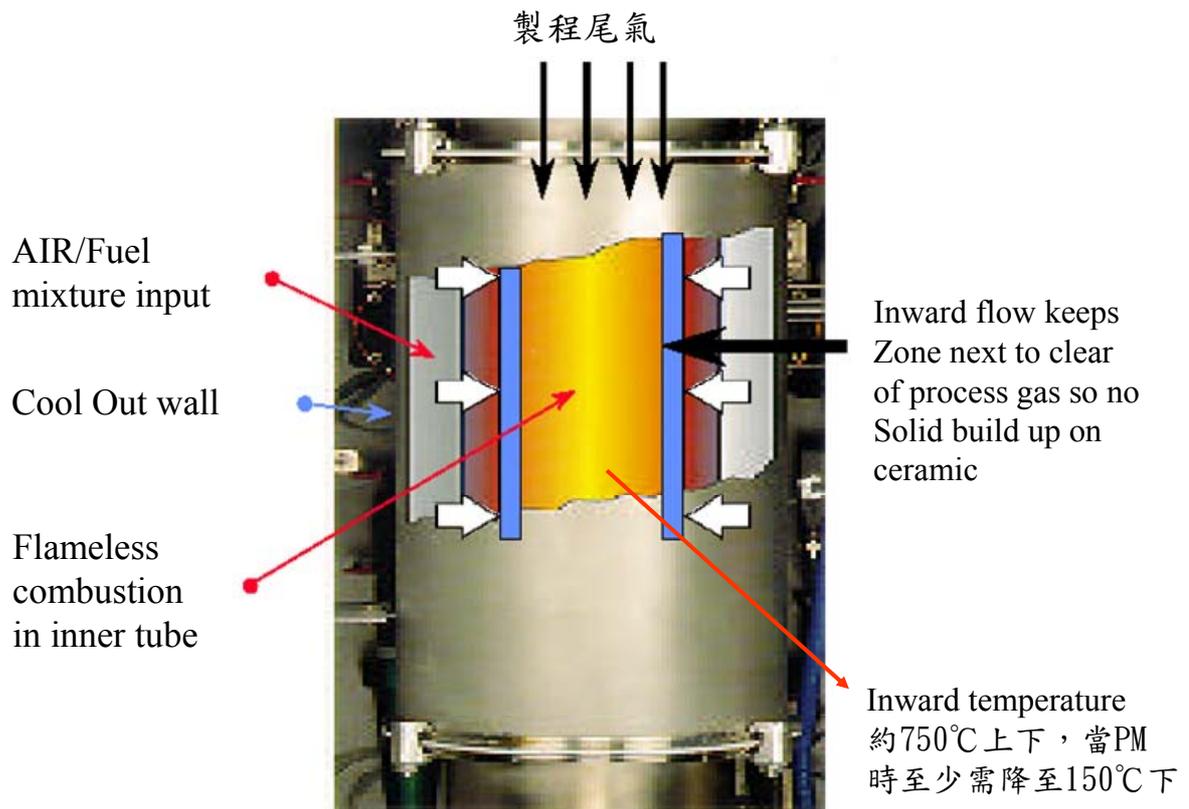


圖 2-17 TPU 燃燒腔室及多孔透氣性燃燒室壁

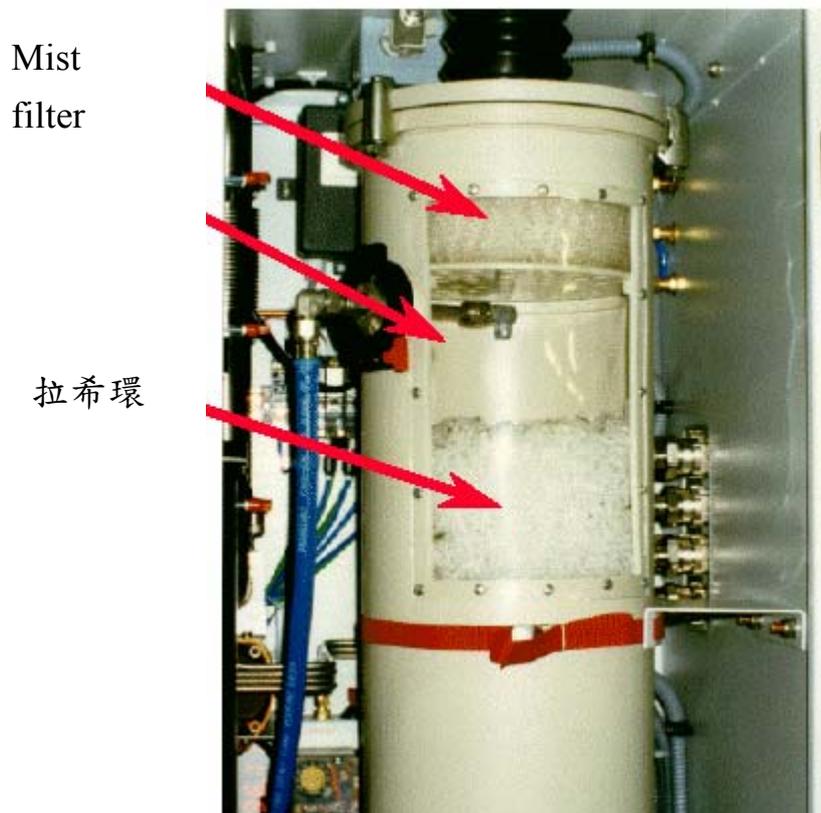


圖 2-18 TPU 燃燒水洗式 Scrubber 填充式拉希環洗滌塔

另以該晶圓廠薄膜製程廣泛使之燃燒熱水洗式 Local Scrubber 廠牌 Unisem-UN2004A 為例介紹，其構造如圖 2-19 所示，主要由 Burner、Manifold、Burning Chamber、Quench、Drain H、Drain Tank、Wet Column 及 Air Hole 八大部分所組成，其原理為製程機台(Main Tool)在 Process 生產時所排出的有毒製程廢氣，經由 Manifold 進入 Burning Chamber 利用 Burner 所產生之高溫燃燒(約 1200~1600°C)，火焰由上往下燃燒可將有毒製程廢氣分解或氧化成無毒害之化合物，反應後的化合物經由 Quench 所形成的水幕做第一階段冷卻，並再藉由 Drain H 內的多向灑水系統做第二階段的冷卻與粉塵萃取。經過兩次階段性的冷卻的氣體與化合物，會通過 Wet Column 內的拉西環做粉塵萃取及洗滌塔內的灑水做降溫處理。處理後之氣體再藉由 Air Hole 導入較低溫的外部空氣做冷凝處理後，由酸排管抽到廠務之 Central Scrubber 處理後排入大氣之中。反應過程中的廢水及粉塵會集中導入 Drain Tank 中做酸鹼中和，並由 Chemical Pump 將廢水排出，以及 Circulation Pump 將廢水循環做灑水之用。

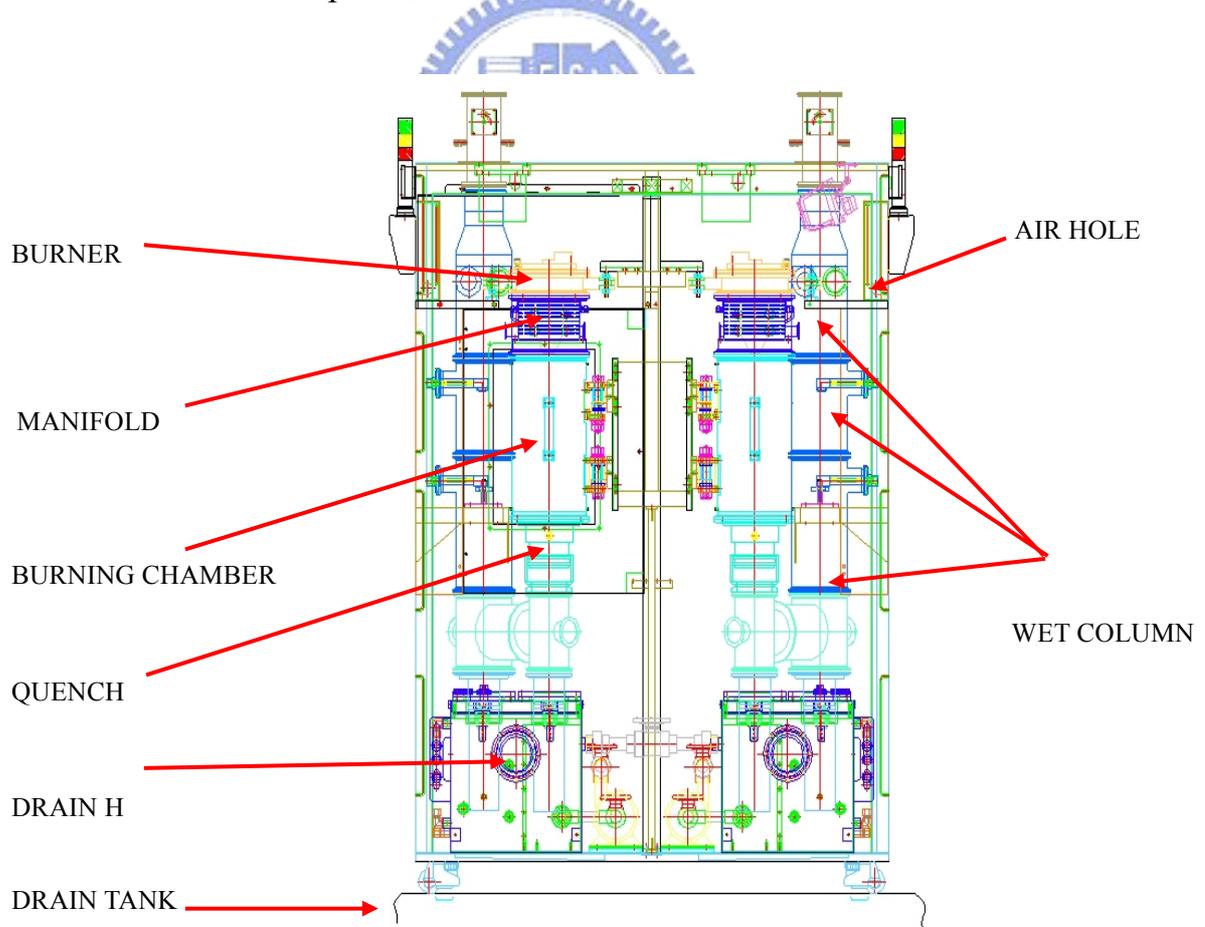


圖 2-19 Unisem-UN2004A 架構圖。資料來源: Unisem-UN2004A 操作規範



(五) 電漿破壞

電漿破壞技術是以高週波電漿(RF Plasma)在 400 托爾(torr)的壓力下解離 CF 鍵，並提供 H+ 以形成 HF，部份解離的氣體及等量的帶正、負電荷粒子所組成，其中所含的氣體具高度的活性，它是利用外加電場的驅動而形成，並且會產生輝光放電(Glow Discharge)現象(圖 2-22)。其中心溫度可達到 3000 度以上，且具低耗能的特點，主要可處理 CF<sub>4</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>6</sub>、C<sub>5</sub>F<sub>8</sub> 等穩定性較高的氣體，電漿解離過後的離子，與水反應產生低濃度的酸系廢水，並經 Drain Pump 帶到廠務端進行下一步處理。其雖具有極高的去除效率，但其所能處理的廢氣量較少，況且後端產生的副產物，仍需使用廠務端的水洗式之廢氣處理設備處理，較不具經濟效應。該廠使用於乾蝕刻(Dry Etching)部門，使用的廠牌為 Edwards-Zenith，圖 2-23 為其 Scrubber 外觀。

【11】

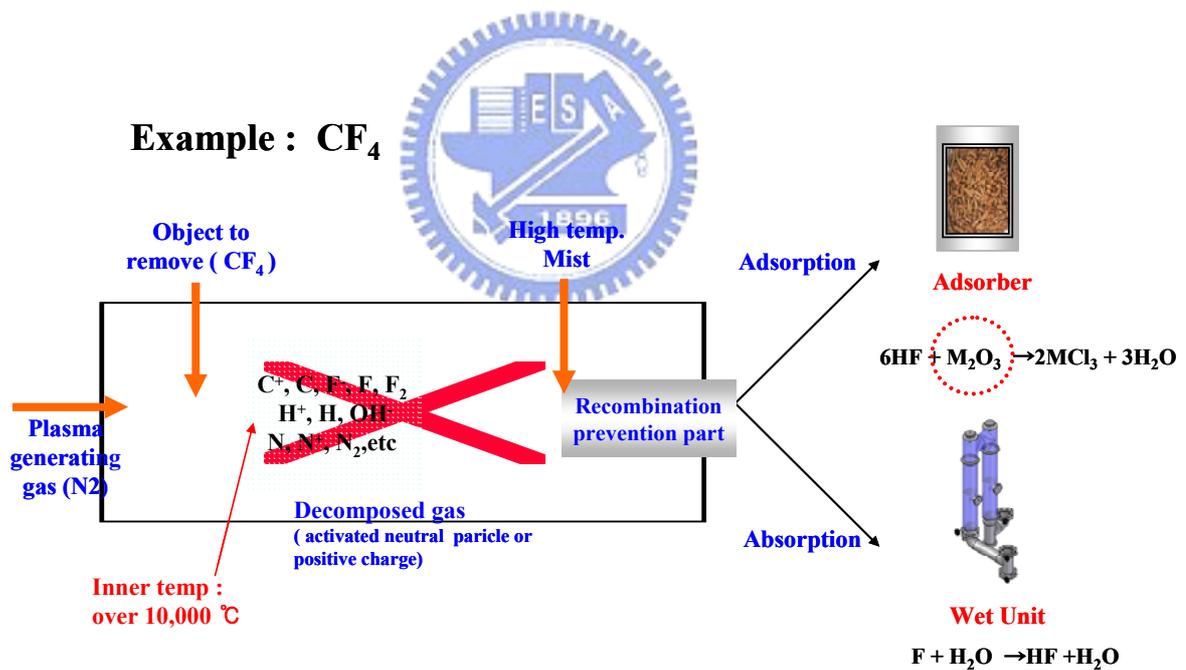


圖2-22 電漿Scrubber破壞技術方法。資料來源: NANO-BIO Particles Technology



圖2-23 Edwards-Zenith Local Scrubber外觀圖

各類型之廢氣處理方式皆有其優缺點及其適用範圍，如表2-6 所示。其中廠務端所使用的水洗式廢氣處理機是最便宜、簡單的處理方式，但只能用在處理水溶性之氣體，所以此類型機台目前並無使用在區域廢氣處理系統上。觸媒氧化式應用範圍雖較水洗式廣泛，但建造成本及運轉成本上也較水洗式高；吸附式系統的廢氣處理效率佳，但由於吸附材上讓氣體通過的通道有孔隙大小的限制，以及每組吸附材皆有其吸附處理的極限流量，因此不適用於容易堵塞或是氣體流量較大的製程中，而導致吸附材需時常更換，使運轉成本更高；電漿解離系統，其廢氣處理範圍最廣，處理效率佳，唯獨其處理量較少且成本較高，而且同樣不適用於粉塵過多之製程；電熱於反應過程常會發生因Powder附著造成加熱棒發出的溫度無法均勻散佈於反應室中，導致處理效率不佳；燃燒式的Scrubber以一般瓦斯做為燃料，設置時需考量瓦斯洩漏燃燒對週遭環境的影響，設置時應選擇遠離無塵室有防火區劃。下列表2-7、2-8、2-9是將該晶圓廠內較廣泛使用之廠牌的尾氣處理設備整理後之比較表。

表2-6 各類型管末削減技術優缺點比較

Local Scrubber 類別	優點	缺點
乾式吸附式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.修保養次數少</li> <li>2.能源損耗少</li> <li>3.較無工安問題</li> <li>4.成本高</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.有廢棄物處理之環保問題</li> <li>2.不適用在大量廢氣處理</li> </ol>
觸媒氧化	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.能源利用率較高</li> <li>2.可在相對低溫作處理</li> <li>3.選用式到之觸媒之控制效率甚佳</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.無法證明轉化機制是否為觸媒效果</li> <li>2.老化效能降低與回收處理等問題</li> <li>3.觸媒費用昂貴</li> </ol>
電熱水洗式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.電力為主要加熱來源</li> <li>2.適用在大量廢氣處理</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.酸氣易流至酸排管路</li> <li>2.加熱棒易損壞</li> <li>3.水分含量高時易浪費能源</li> </ol>
燃燒水洗式	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.有效處理PFCs全氟碳化物，較無環境污染顧慮</li> <li>2.適用在大量廢氣處理</li> <li>3.對各種可燃性污染物可同時去除</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.粉塵凝結或阻塞造成維修保養次數多</li> <li>2.有回火造成爆炸之危險</li> <li>3.水分含量高時易浪費能源</li> </ol>
電漿破壞	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.能源損耗少</li> <li>2.極高之處理效能</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.處理氣體量較低</li> <li>2.副產物需要廠務端處理</li> </ol>

表 2-7 乾式吸附式各機型規格比較

Maker	SHOWA	SHOWA	UNISEM	UNISEM
Model	PFC	Clean S Z-13	UN2000A-DD	UN2000A-DDI
Type	<b>Dry for Oxide</b>	<b>Dry for Etching Poly / Metal</b>	<b>Dry for Etching Poly / Metal</b>	<b>Dry for Ion Implanter</b>
出產國	Japan	Japan	Korea	Korea
代理商	昭和	昭和	旭裕科技(股)公司	旭裕科技(股)公司
Dimension(mm)	2250X 850 X 1650(mm)	1199 X 450 X 400(mm)	1200x780x1725(WxDxH)	1200x780x1725
Capacity(LPM)	100L/min	60L/min	<b>200LPM</b>	<b>200LPM</b>
Up-time(%)	99.00%	99%	99%	98%
MTBF	>1.5month	>2month	>3month	>3month
MTTR	<4 hour	<30 min	<30 min	<30 min
SEMI Certification (Safety, FTIR, Fire, 有無提供廢氣物處理之相關認證證明)	SEMI S2-0200	SEMI S2-0200	SEMI S2-0200	SEMI S2-0200
	-	-	工研院 FTIR Qualified	工研院 FTIR Qualified
	-	-	Korea S Mark	Korea S Mark
Time(Weeks)	36	36	48	48
Lead Time (Weeks)	6~8	6~8	6~8 weeks	6~8 weeks
Manpower Support	5 h/year	5 h/year	30	30
藥劑價格 / 容量	<b>55,000 / 110L</b>	<b>48,000 / 110L</b>	<b>42,000 / 120L</b>	<b>145000 / 140L</b>
Warranty (year)	5	5	5	5
List Price(NT\$)	NT\$3,330,000	NT\$828,000 / NT\$930,000	NT\$820000 / NT\$900000	NT\$2,500,000
Profit	1. 24 hr Emergency Call	1. 24 hr Emergency Call	1. CMS free	1. CMS free
			2. Over 20sets purchase, 1 set free.	2. Over 20sets purchase, 1 set free.
			3. 24 hr Emergency Call	3. 24 hr Emergency Call

表 2-7 乾式吸附式各機型規格比較(續)

Maker	Clean Technology Co., Ltd.	Clean Technology Co., Ltd.	ICS	ICS
Model	TCS09	NW010X2	GASSMITH180SC	GASSMITH360DC
Type	<b>Dry for Etching Poly / Metal</b>	<b>Dry for Ion Implanter</b>	<b>Dry for Etching Poly / Metal</b>	<b>Dry for Ion Implanter</b>
出產國	Japan	Japan	Taiwan	Taiwan
代理商	Astro Clean Technology	Astro Clean Technology	愛迪亞科技公司	愛迪亞科技公司
Dimension(mm)	1150×600×1500mm(1.035m <sup>3</sup> )	970×550×2000mm(0.98m <sup>2</sup> )	900*900*1800(SC)	1650*900*1800(DC)
Capacity(LPM)	120	120	200	200
Up-time(%)	95%	98%	99%	99%
MTBF	>300 hours	>7200 hours	7000hrs	7000hrs
MTRR	>3 hours	>2 hours	<4hours	<4hours
SEMI Certification (Safety, FTIR, Fire, 有無提供廢氣物處理之相關認證證明)	SEMI S2-93	SEMI S2-93	SEMI S2	SEMI S2
Time(Weeks)	36	48	36	36
Lead Time (Weeks)	8	8	10~12	10~12
Manpower Support	3 workers on Call	3 workers on Call	<b>未提供</b>	<b>未提供</b>
藥劑價格 / 容量	<b>95000 / 120L</b>	<b>140000 / 120L</b>	<b>65,000/100 L</b>	<b>360,000/100L</b>
Warranty (year)	1	1	<b>未提供</b>	<b>未提供</b>
List Price(NT\$)	NT\$1,500,000	NT\$3,066,667	NT\$1,850,000	NT\$3,250,000
Profit	1. 24 hr Emergency Call	1. 24 hr Emergency Call		

表 2-8 燃燒水洗式各機型規格比較

Maker		BOC Edwards	UNISEM	EBARA	
Model		TPU	UN2004A-PG	GDC250SA-Low	GDC250SA-High
Type		Burner-Wet	Burner-Wet	Burner + Wet	
出產國		UK	Korea	JAPAN	
代理商		BOC Edwards	旭裕科技(股)公司	台灣荏原	
Dimension (mm)		925*600*1830	850X850X1800(WxDxH)	1350(W)*2300(D)*2250(H)	
Capacity (LPM)		200	380	320SLM	320SLM
Up-time(%)		99%	99%	99%	
MTBF		>2 months	>3 month	>1.5 months	
MTTR		<4 hours	<1.5 hours	<4 hrs	
SEMI Certification (Safety, FTIR, Fire)		SEMI S2-0703	SEMI S2-0200	SEMI S2-0200	
			工研院 FTIR Qualified	SEMI S8-0701	
			Korea S Mark		
PM Cycle Time (Weeks)		規格比較 8	4~16 weeks	24	6
Power	Phase	1	1P	1Phase or 3phases	1Phase or 4phases
	Voltage	110	208V, 30A	110V or 220V	110V or 221V
	Frequency (Hz)	60	60 Hz	50/60 Hz	50/61 Hz

表 2-8 燃燒水洗式各機型規格比較(續)

Maker		BOC Edwards	UNISEM	EBARA	
Facility	CDA (l/min)	N/A	120~180 LPM	155	155
	N2 (l/min)	15 (for valve actuate)	10 LPM	23	23
	DIW (l/min)	N/A	N/A	9.8	9.8
	PCW (l/min)	25 (for cooling usage)	6	3.0	3.0
	Watt (kw /hr)	1	1	1.55	1.55
	O2 (l/min)	N/A	14~20LPM	21	58
	Others1	37 (for low fire)	LNG:14~20LPM	14	26
	Others2	65 (for High fire)	N/A	N/A	N/A
Lead Time (Weeks)		6~8 weeks	6~8 weeks	12 Weeks	12 Weeks
Warranty (year)		2	2	15Months	15Months
List Price(NT\$)		NT\$3,485,000	NT\$3,000,000	NT\$4,833,333	NT\$4,833,333
Profit	1..Auto scraper unit clean chamber SiO <sub>2</sub> °		1.在 PSC 8A FAB 的有實績.	1.使用 scraper unit clean chamber內之 SiO <sub>2</sub> ，處理 powder 能力達 90%。	
	2.TPU可自動切換 low fire/high fire mode，以提高反應溫度。		2.CMS free. 95% parts stock in PSC field, 3 sets of all parts stock in Taiwan SCH	2.Chamber 採用 Al-ceramic 材質，具有耐高溫及抗腐蝕之特性。	
			3. Free 加裝 TMS from Pump or Machine to Scrubber for TEOS or TiTiN CVD Process.	3.經測試此機型對 SiH <sub>4</sub> 、SiF <sub>4</sub> 、HF 與 NF <sub>3</sub> 具有相當良好之處理效果且其後端經吸附後除了 H <sub>2</sub> O 與 CO <sub>2</sub> 外，未發現有其他的化合物出現，顯示其處理效果相當完全。	

表 2-9 電熱水洗式 Local Scrubber 比較表

項目	廠商	BOC Edwards HoX Type	Clean Technology SS003A1 Type	UNISEM UN9500A-BW Type	IPI ECS-2000 Type
Dimension (mm) (W)*(D)*(H)		600*800*1830	1000*800*1900	790*820*2062	1000*600*2080
Weight(kg)		400	550	300	450
Lead Time(month)		3~3.5	3	1.5	2
Reaction Temp(C)		750	650	700~900	850
Inlet Port		Max.4	1	Max.4	Up to 4 inle
Reaction Flow Rate(l/min)		200	300	500(Not include dilution gas)	250
PM Cycle Time(month)		1	>3	1.5~2	6~12
Power	Phase	3	3	1Ø3W	1Ø3W
	Voltage	208	208	220	220
	Frequence(Hz)	60	60	60	60
Facility	CDA (l/min)	N/A	15	30~40	180
	N2 (l/min)	15	N/A	30~40	60
	DIW (l/min)	N/A	N/A	4	N/A
	PCW (l/min)	25	N/A	N/A	5
	Watt (kw/hr)	5.5	16	4.2	6
	Fuel (l/min)	N/A	N/A	N/A	N/A
	O2 (l/min)	N/A	N/A	N/A	N/A
Consumption parts price(NT\$)/5 year		NT\$529,240.00	NT\$1,199,050.00	NT\$892,500.00	NT\$617,500.00
Manpower Support		25	6	9	15
Maintance Price(NT\$)/year		90750 [ 1500 person/hr ]	0 [ free person/hr ]	72000[ 2500 person/hr ]	0 [ 1500 person / hr ]
Warranty (year)		1	1.5	1	1
List Price(NT\$)		NT\$2,275,000.00	NT\$3,200,000.00	US\$68,000.00	NT\$1,800,000.00
Worldwide		UMC,GCT,VIS,Altis,Linera Technology	Japan,Taiwan	Korea,Japan,America	MXIC,NAN- YA,TSMC,UMC,ProMos,VIS,Herme s,Winbond( total >240 set)

## 第三章風險評估方法與改良

### 3.1 風險及風險評估之定義

風險的定義，簡單來說是指對於一特定的危害事件，其發生之可能性與後果的組合，可能會造成人員傷亡或財產損失的可能性(The Possibility Of Loss Or Injury To People And Property)。而這「可能性」係指造成傷亡損失的那個事件或活動所發生的機率或頻率（單位時間內發生的機率）。因此，風險包含兩個基本要素，(1)人員傷亡或財產損失 (2)事件或活動所發生的機率【12】。

凡事都有風險，世界上沒有絕對安全或零風險的狀況，風險通常是一體兩面的，想要有較高的利潤或收穫，相對的就須承受較高的風險。所以說，當企業在追求高利潤的同時，所面對風險情境也就相對升高，此時就必須採取適當的防範措施，以降低意外事件發生的機會，能降低意外事件的發生，也就降低了風險。以管末減量技術設備的發展為例，使用區域處理設備，必須承受機台本身及管路可能發生事故的風險，但卻可以減少暖化危機對國家經濟帶來的衝擊、與環境生態的污染風險。

風險評估的定義，係指估計風險的規模與決定風險是否為可忍受的整個過程。一般認為，風險的基準是一般人普遍可接受的程度，其風險上限也是本身經過計算及評估過後所自願承受的風險。而在進行風險評估時，至少應考量其範圍及下列主要工作項目【12】：

1. 對危害的認知。
2. 分析意外事故發生的因果關係。
3. 估計危害所帶來之不良影響的程度大小。
4. 估計事故及不良後果的可能性。
5. 對以上各項分析結果做判斷，並對估計的風險之重要性做判斷。
6. 採取改善措施或決策時，決策者應以第五項的判斷風險評估的不確定性，並權衡成本效益做最適當的決策。

待執行風險估算之後，即進入風險評量階段，以決定所選定之機械設備是否已達到安全的要求，或是尚未達到安全的要求，而必須進行危害消除。如果必須進行危害消除，則必須選擇和應用適當的安全對策，並重復進行上述的風險評估。另一方面也需要注意，不可因為增加了安全對策，而引發二次危害，同時也應將此項納入風險評估的範圍內【13】。

本文則是以上述之風險評估定義，針對某半導體晶圓廠之製程尾氣區域洗滌設備所遭遇過之異常事故進行估算，並提出風險矩陣評估方法，對危害風險程度加以量化，以獲得較客觀之數據後，再加以改善高風險之項目。本文風險評估的模式及流程可用下列圖 3-1 表示：

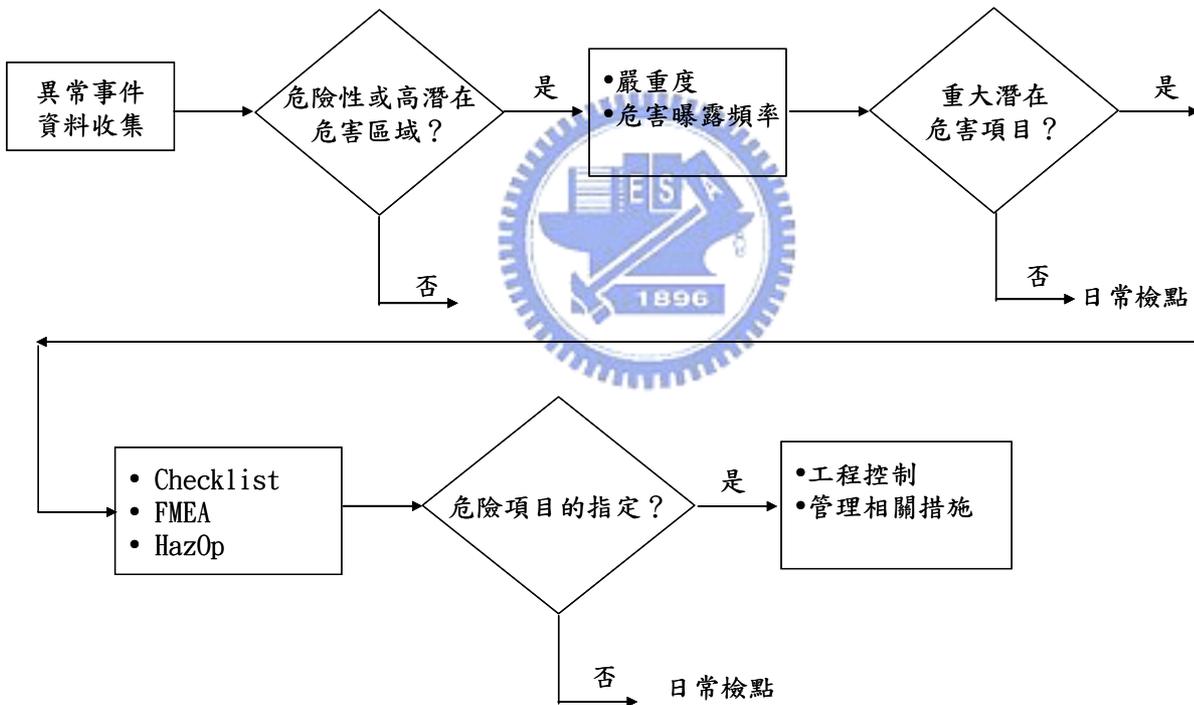


圖 3-1 風險評估模式及流程圖

### 3.2 風險分析技術之選擇【13】【14】

風險評估方法有定性評估、半定量評估和定量評估法，有由上而下的(Top Down Assessment) 如 FTA、ETA 等;也有由下而上的(Bottom Up Assessment) 如 FMECA 等。對於任何一個問題，必須考量事件的特性及大小、嚴重程度、發生頻率、影響程度、可取得的資訊、可投入的資源等等的因素，決定所要採用的評估方式。原則上沒有最完美的評估方法，只有最恰當的評估方法，端視系統的特性、操作/使用的狀態、預期分析的目的等因素而定。圖 3-2 為風險評估方法的適用性分析。

分析方法	定性	定量	人力資源	分析時間	複雜度	人員失誤	設備完整	嚴謹度	適用性	可落實性
類似OHSAS18001 危害鑑別風險評估	★		★	★	★	★	□	□	□	□
初步危害分析 (PHA)	★		★	★	★	□	□	□	□	□
假設狀況分析 (WHAT-IF)	★		★	★	★	★	□	□	□	□
作業安全分析 (JSA)	★		○	★	★	★	□	□	□	□
修正之作業安全分析 (JSA)	★		○	○	○	★	★	○	★	★
危害及可操作分析 (HazOp)	★		□	□	□	□	★	★	★	○
失誤模式影響分析 (FMEA)	★	○	□	□	□	□	★	★	★	□
失誤樹分析 (FTA)		★	□	□	□	□	★	★	□	□

註：★表分析人力較少、分析時間較短、複雜度較低，○表次之，□表反之  
圖3-2 風險評估方法之適用性分析。資料來源:工研院能環所

目前常使用的分析方法甚多，除可由過去的勞工職災紀錄評估風險外，風險分析的方法還可採用失誤模式與影響分析 (Failure Modes And Effects Analysis,FMEA)、初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis,PrHA)、如果-會怎麼樣(What-if)、危害與可操作性分析(Hazard And Operability Study,HazOp)、工作安全分析(Job Safety Analysis,JSA)、或是任何其他的適用方法。重點是風險分析的完整性，各種評估方法的使用時機如表 3-1 所列。上述各種方法只是風險分析的工具而非目的，切勿為了適合工具的格

式而犧牲其目的或完整性。

表 3-1 各種評估方式使用時機

評估方法	使用時機
工作安全分析(JSA)	藉觀察、討論、修正等方法，逐分析作業方法，以發現作業環境佈置、規劃設計中潛在的危害，並找出機械設備和製造過程中可能產生的危害。
初步危害分析(PrHA)	針對危害性物質的易燃性、易爆性、反應性、毒性等本質危害(Inherent hazard)進行辨識；及針對製程操作條件、溫度、壓力、液位、組成異常或失控時之系統作用危害(Inherent hazard)進行評估。
失效模式分析與影響分析(FMEA)	評估製程中設備可能失效或不當操作之途徑及其影響的分析方法。
危害及可操作性分析(HazOp)	評估具高潛在危害之製程，其特色是利偏離引導字(Guidewords)與製程參數組合後發展出有意義製程偏離(Process Deviation)，以檢驗製程區段之異常偏離是否會發生？發生的原因為何？發生後的後果是什麼？有什麼危害？並辨識系統既有的防護措施和設計，是足以保護？風險是否可接受？
如果—會怎樣分析(What-if)	以經驗為導向的危害分析方法，由評估小組成員對各自的專長提出許多“如果.....會怎樣？”的問題來挑戰製程或系統的設計或操作方式，以發掘潛在性的問題。

資料來源：郭今玄，勞工安全衛生研究季刊第 14 卷第 3 期

在這些方法中包括了定性分析法和定量分析法，有些分析方法如 FTA、ETA 和 FMECA 可適用於定性和定量分析方式，甚至適用於半定量分析法；然而有些分析方式如 What-If 和 Checklist 多使用在定性分析方面。一般而言，定性分析所使用的人力、經費、時間和資源較少，相對的所得到的結果較不完整和深入。定量分析可得到完整而深入的量化結果，可提供決策者充實的資料與數據，做為政策決定的判斷依據，然而相對的，所投入的人力、經費、時間和資源也需要相對的增加。決定使用定性或是定量分析方法的依據，在於可投入的人力、時間和相關的資源與系統的危害度和關鍵程度(圖 3-3)。若是系統的危害度和關鍵程度都很高，則應實施定量分析法。反之，定性分析法即已足夠提供所需的資訊了。

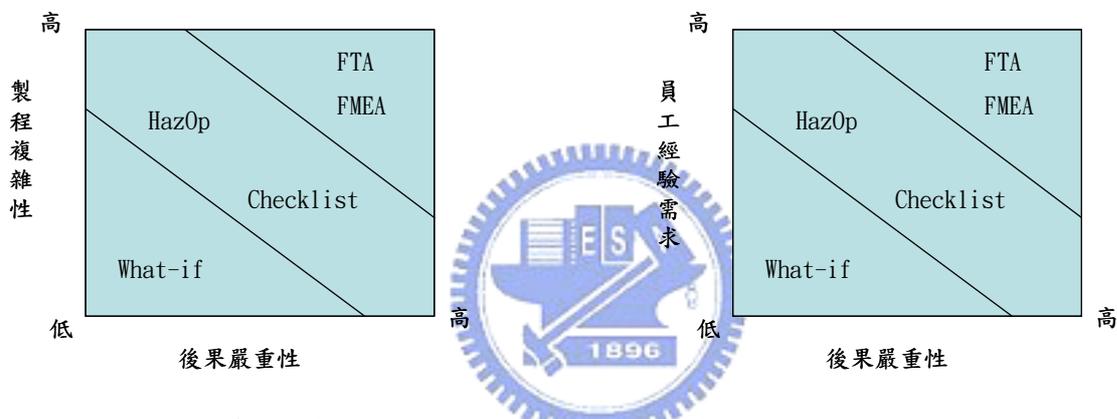


圖 3-3 製程危害評估方法選擇。資料來源:工研院環能所

### 3.2.1 假如分析法/腦力激盪(What-If Analysis/Brainstorming)

此種分析方式是最簡單，也最經濟的分析方法。屬於非結構性的腦力激盪，而且須由小組來完成，由小組成員交換彼此間的專業經驗，好處是可由不具太多經驗的成員來執行，但每小組成員的判斷結果將會影響分析結果。此方法的優點是可以激發出更多平時被忽略的潛在性危害，缺點則是難以引導與規範危害分析的進行。其做法是將系統(或次系統、子系統)內可能發生的危害情況列出，接著決定這些危害可能產生的影響及其嚴重程度，系統內是否有適當且足夠的保護裝置或措施，訂定對系統現況的改善建議或應採取的行動。本文以製程尾氣處理系統為例，說明 What-If 分析法如下：

Local Scrubber 設備故障

- 1.加熱反應腔室停止或操作故障會如何?
- 2.電磁閥故障會如何?a.故障位置在設定之全開或全關位置會如何?b.故障位置在非設定位置會如何?
- 3.Water Tank 故障會如何?洩漏物會流往何處?
- 4.熱夾克故障會如何?
- 5.Exhaust 的工程設計是否已去除了所有腐蝕與振動之可能?

#### Local Scrubber 設施失效

- 1.EMO 裝置失效會如何?
- 2.冷卻水(CDW)失效會如何?
- 3.CDA 空氣失效會如何?
- 4.惰性或吹除氣體故障會如何?
- 5.氣體偵測器失效會如何?

#### 製程尾氣進入或排氣失常

- 1.Inlet 端 Dry Pump 停止抽氣會如何?
- 2.廢氣無法排出本體會如何?

#### 特殊不正常狀況

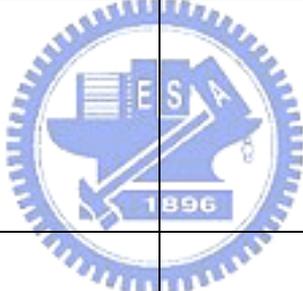
- 1.管路發生阻塞現象會如何?
- 2.CDO 加熱棒發生碳化現象會如何?
- 3.Exhaust 高風速，高、低溫，過量沉澱會如何?
- 4.地震發生會如何?
- 5.上方製程機台發生 Shut Down 會如何?



### 3.2.2 查核表(Checklist Analysis)

查核表的分析方式，屬於政府推行多年的事業單位安全衛生自動檢查辦法裡面，在安全衛生組織管理及危險性機械設備的部分，廣為使用的一種分析方式。其特性是應用在定性分析時使用，所以分析的品質高度依賴查核表的設計。其優點與缺點和假如分析法類似，可應用於大部份的設計或操作，且可由個人就可完成其查核表內的相關檢查內容，並可以很容易的由沒有經驗的人員來執行，其作法為將系統內可能發生的所有危害，以結構化的檢查項目及問卷回答列出。常見的查核表分析法，以表 3-2 製程尾氣處理設備人員 PM 作業檢查為例。

表 3-2 Local Scrubber PM 作業安全觀察查核表

評核項目	不安全行為描述	改正措施	如何防止再發生
1.作業的位置 <input type="checkbox"/> 撞擊、被撞(擊) <input type="checkbox"/> 跌倒 <input type="checkbox"/> 墜落 <input type="checkbox"/> 被夾、捲 <input type="checkbox"/> 切、割傷 <input type="checkbox"/> 高溫、低溫 <input type="checkbox"/> 感電 <input type="checkbox"/> 吸入 <input type="checkbox"/> 皮膚滲入或吞入 <input type="checkbox"/> 用力過度			
2.人員的動作 <input type="checkbox"/> 改變位置 <input type="checkbox"/> 改變作法 <input type="checkbox"/> 停止工作			
3.工具和設備 <input type="checkbox"/> 不符合工作所需 <input type="checkbox"/> 使用方式不正確 <input type="checkbox"/> 不安全、不可用			
4.程序和整潔 <input type="checkbox"/> 不適當 <input type="checkbox"/> 不熟練、不瞭解 <input type="checkbox"/> 現場內務差			
5.個人防護具 <input type="checkbox"/> 眼、面部 <input type="checkbox"/> 耳部 <input type="checkbox"/> 頭部 <input type="checkbox"/> 呼吸系統 <input type="checkbox"/> 四肢、軀幹			

### 3.2.3 工作安全分析(Job Safety Analysis,JSA)【15】

JSA 是一種程序性的分析方法，旨在藉由觀察、小組討論、修正等方式按步驟分析作業方法，以發現存在作業環境中潛在的危害因子，並找出機械設備和製造過程中可能產生的危害風險。其在分析作業的危害時，須考慮下列六個單元：

1. 機械設備:任何使用到的機械設備及工具組。
2. 原物料及材料:使用在作業流程內的原物料及工具材料。
3. 人員:所有會進出作業場所機會的人員，只要有進入工作場所，就已可能有受傷的風險。
4. 方法:作業流程中的工作程序及作業方式。
5. 工作場所:工作廠所應該符合勞工安全衛生法的規範。
6. 防護措施:包括個人防護具及機台自身的防護，且人員要依規定穿著。

### 3.2.4 初步危害分析(Preliminary Hazard Analysis,PrHA)

PrHA 初步危害分析一般可從兩方面來解釋其功能和意義：

1. 在系統還處於規劃初期或設計階段時的一種安全評估法，目的在於及早發現潛在的危害並加以改善，以避免於系統完成後才發現問題，而增加了維修作業的負擔。因為此階段的系統設計上未能清晰定義，故 PrHA 的評估重點在於本質危害分析，例如系統軟硬體是否相容、人機介面等問題分析。
2. 針對已建造完成的既有系統而言，PrHA 則是在發掘系統中之重大潛在危害，以便在對重大危害的區域或子系統進一步的安全評估。因此，此分析法亦可作為系統風險排序的一種工具。其分析結果可應用為損害防阻等安全系統的安全設計;亦可作為安全管理及緊急應變等制度上研擬的依據。

### 3.2.5 危害與可操作性分析(Hazard and Operability Studies,HazOp)

HazOp 起源於英國 ICI 公司，為了解決除草劑製造過程中產生的危害，於 1960 年代發展出一套引導詞為軸心的分析方法，用來檢視設計的安

全性以及危害的因果機制。此方法是一種強調腦力激盪，集眾人智慧產生新知識、新觀念的分析方法。藉由引導詞與製程參數的組合，發掘製程上的一些缺失，更明確的知道危害所在。

由於是屬於集體創作，危害與可操作性分析需要運用大量的時間和一群不同背景的專家以一種創造性、系統性的方式相互交換意見，研討設計及操作上的問題，以提供工廠再設計或生產時各個作業人員之參考，並將所得到的結果整合起來，作為日後消除或控制危害之依據。

其執行的基本條件必須有清晰明確的設計或操作程序的定義，分析小組設法找出故障或偏離的原因，以及可能造成的後果，並有效的紀錄檢討結果。藉由檢討結果之結論的評估，可進一步實施量化風險分析。

其操作方法是將系統分為一系列的節點，並將系統的設計基線作為參數，再將偏離設計基線的狀況用引導語(如高、低、無、反向、錯誤等)來表示，從而推論出導致這些偏離狀態的原因、可能引起之影響、系統內的保護裝置或措施是否足夠等因子，進而訂定改善措施或行動，以達到保障人員與設備安全的目的。進行危害與可操作性分析時首先需決定節點，通常是將系統內特定適用的參數及其產生的影響相類似的一部份劃分為同一節點。例如在製程尾氣處理區內，可以將一組 Local Scrubber，其連結的 Dry Pump 和連結的 Exhaust，當做一個節點。必須注意的是在進行分析時，若發現同一節點可能導致不同的影響時，應將該節點的分析範圍再確定，不可混淆或模糊。

HazOp 分析法之所以會被廣泛應用在工廠中，主因在其可適用於全廠或工廠內某一部分之單元設備，單元設備之子系統等。特別是用於機械設備或其管線等相關設施，可經由系統化地毯式分析討論，尋找出操作及設計安全上之盲點，減少危害分析之遺漏，更可因各專家間彼此討論所交換之安全設計或操作經驗及觀點以提昇工廠整體之安全。危害與可操作性分析實施的程序，包括分析前的準備評估、執行評估、撰寫報告及後續追蹤考核。圖 3-4 說明危害與可操作性分析技巧的概念。

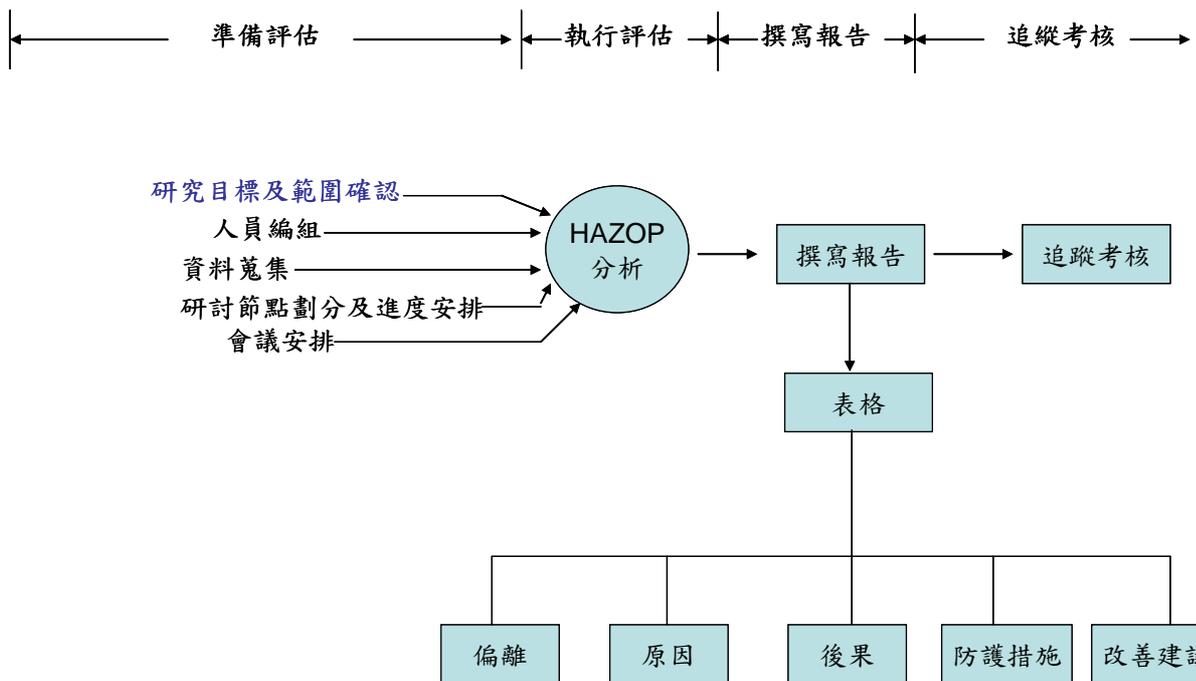


圖 3-4 HazOp 分析程序。資料來源: 王世煌，工研院環能所

### 3.2.6 失誤模式與影響分析(Failure Modes and Effects Analysis,FMEA)

此技術的發展始於 1950 年代初期，首先由格魯曼（Grumman）飛機公司將 FMEA 的觀念運用在飛機主操控系統設計的失效分析，到了 1960 年代，此技術則轉移至航太工業之系統可靠度設計分析與安全風險評估，1980 年代中期，汽車工業也開始應用到 FMEA 技術，做為可靠度及安全性的保證，直到 1994 年，FMEA 成為了 QS-9000 的認證要求。

FMEA 可說是一種預防性可靠度分析法，為確認、分析和記錄系統內可能存在的失效模式，主要在探討系統內潛在失效原因及發生時對系統、次系統所造成的影響，並針對系統潛在問題提出適當的預防措施或改進方案。其分析法具有詳細的格式，對設備清單內的每一設備／零組件一一分析，以故障模式出發，細究造成原因，探討其將導致的後果，賦予關鍵等級或嚴重等級，並由各資料庫查得發生的可能性，最後是提出改善意見或檢測建議。

此分析法可作為評估製程中設備可能失效或不當操作之途徑及其影響

之分析方法。分析人員可依據這些失誤之描述，作為改善系統設計之基礎資料。分析人員在進行 FMEA 時會對設備可能產生的失誤與其潛在的影響作一詳細的描述，如果不針對這些失誤進行改善或對其可能的影響進行預防，則系統雖然順利運轉，但這些潛在的失誤仍有可能會發生，進而造成財產損失或人員傷亡。

FMEA 內所指的失誤模式，旨在描述設備的失誤情況(如：全開、關閉、啟動、停止運轉、洩漏等等)，而失誤模式的影響則由系統對設備失誤的回應狀況來決定，因此，人為操作上的錯誤通常不直接由失誤模式及影響分析技術來檢討，不過，因人為錯誤所導致操作之結果通常是一設備的失誤模式。至於要無遺漏的列出會導致事故發生之設備失誤的結合模式，失誤模式及影響分析並不是一個很有效的分析技術，因為 FMEA 是以設備元件的失誤模式來引導危害分析之進行，不似 HazOp 是利用製程偏離(Process Deviation)來進行危害分析，故 HazOp 所探討的空間較 FMEA 來得大，除了設備元件故障外，更廣及於人為失誤、材料劣化、上下游製程單元之影響、公用系統失常、操作程序設計不當等。

此外，在 FMEA 中所探討的每一種失誤皆為獨立事件(Independent)，與其它失誤並無關係。FMEA 之結果通常會依設備逐項記入一特定的表格中，如表 3-3 所示。

表 3-3 FMEA 分析表

項次	失效因子	失效模式	失誤機率					失效影響	嚴重性					預防措施 (可複選)	改善後再發生頻率				
			很高	高	中等	很低	幾乎不可能		重大	高度	中度	低度	輕微		很高	高	中等	很低	幾乎不可能
			5	4	3	2	1		5	4	3	2	1		5	4	3	2	1

### 3.2.7 故障樹分析(Fault Tree Analysis,FTA)

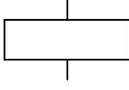
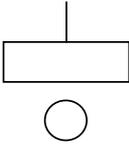
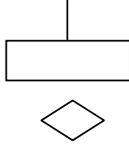
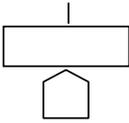
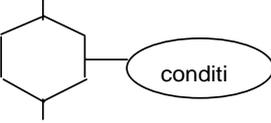
FTA 分析法係早期美國空軍委託貝爾實驗室 (Bell Lab.) 發展一套能夠在事故發生前，預估其發生之原因和發生機率的定量、定性二合一的風險分析方法。由於此種分析方法分析出來的圖形有如樹枝一般，所以此種方法就被稱為故障樹分析。此分析法是從系統的失效現象做出發，再根據這些失效現象，配合系統的作動原理或操作條件等因素，分析失效發生的原因及造成系統失效的可能部位、失效後的影響、系統內的偵測裝置、隔離裝置及保護裝置是否足夠，從而決定是否需要進行系統的安全改善。

在執行 FTA 時可將系統失效現象不斷向下展開，直到無法繼續展開為止。對系統進行 FTA 分析時包括下列步驟：

1. 掌握實施 FTA 對象的作動原理、操作環境、操作條件等基本資料。
2. 確定系統的頂層事件為何。
3. 分析頂層事件的次一層要件，並將這些要件以邏輯符號連結之。
4. 對各項次層要件，分析其更次層要件，並以邏輯符號連結。
5. 重複(4)的分析，直到底層要件(基礎階層)為止。
6. 檢討 FTA 結果，提出改善建議。

在進行故障樹分析的時候有需要用到一些專有名詞、符號及邏輯運算閘，例如 OR Gate、AND Gate 等。針對這些專有名詞、符號及邏輯運算閘，於表 3-4 中作簡單的介紹。

表 3.4 建立故障樹時所使用符號與名詞說明

<p>頂端事件 (TOP EVENT)</p>  <p>指重大危害或嚴重事件，如火災、爆炸、外洩、塔槽破損等，是失誤樹分析中邏輯演繹推論的起始。</p>	<p>中間事件 (INTERMEDIATE EVENT)</p>  <p>失誤樹分析中邏輯演繹過程中的任一事件。</p>
<p>基本事件 (BASIC EVENT)</p>  <p>失誤樹分析中邏輯演繹的末端，通常是設備或元件故障，或人為失誤</p>	<p>未發展事件 (UNDERVELOPED EVENT)</p>  <p>失誤樹分析中因系統邊界或分析範圍之限制，未繼續分析下去之事件；或總括指人為失誤，而不再深究人為失誤的原因。</p>
<p>“或”邏輯閘 (OR GATE)</p>  <p>失誤樹分析中兩個或兩個以上原因其中之一發生，就會導致某一中間事件或頂端事件發生。</p>	<p>“且”邏輯閘 (AND GATE)</p>  <p>失誤樹分析中兩個或兩個以上原因同時發生，才會導致某一中間事件或頂端事件發生。</p>
<p>外部事件 (EXTERNAL EVENT/HOUSE EVENT)</p>  <p>不期望發生的事件，但並非製程系統定義邊界內的失誤或故障，如冷卻水系統失常。可當作是切換符號 (Switch device)，不需要在本失誤樹中分析，如冷卻水系統失常可以另一失誤樹分析之。</p>	<p>轉頁號 (TRANSFER SYMBOLS)</p>  <p>失誤樹的結構很大，在一張報表紙上印不下，可轉接其他報表。TRANSFER OUT 為由其他報表轉下來的事件，對應—TRANSFER IN 為轉出至其他報表的事件，對應—TRANSFER OUT 編號。</p>
<p>抑制邏輯閘 (INHIBIT GATE)</p>  <p>描述異常事件與其他非操作因素的關係，輸入事件如滿足某些條件才會導致輸出事件。如極端之天氣條件。</p> <p>分割集合 (CUT SET)</p>	<p>“逆向/否定”邏輯閘 (REVERSE GATE)</p>  <p>當某一個輸入事件不發生時，才會導致輸出事件。</p> <p>最小分割集合 (MINIMAL CUT SET)</p>

資料來源:黃清賢，危害分析與風險評估

### 3.3 事故頻率與嚴重度分析表

由上一章節可知風險分析技術理論相當多元，但單要以晶圓廠製程尾氣區域處理設備來評估特定危害發生的機率，其實並不容易。尾氣處理設備整體上歸類為半導體業內，在各類的評估工具中，半導體製程以 HazOp 評估較為適切【16】。因此本文即先將該工廠所使用到之眾多尾氣處理設備施以初步危害分析，將機台危害指數之高低等級篩選是否為高潛在危害等級，再針對高險部份使用細部 HazOp 分析方法，對該晶圓廠製程尾氣區域洗滌設備進行風險評估與危害分析。

HazOp 分析方法常用執行表格與事件「發生機率」與「嚴重程度」作風險矩陣分析作為判定基準，藉以量化風險並作為後續改善措施訂定與推動之考量依據。美國半導體協會風險評估規範(SEMI S10- 1296)【17】中建議採取可能性等級區分(表 3-5)、嚴重性等級區分(表 3-6)、風險等級區分(表 3-7)及改善建議執行原則(表 3-8)。

表 3-5 可能性等級區分

可能性分類		預期發生機率
A	經常	每年超過五次
B	可能	每年超過一次，但未超過五次
C	也許	五年內超過一次，但未超過一年一次
D	稀少	十年內超過一次，但未超過五年一次
E	極不可能	十年內未超過一次

表 3-6 嚴重性等級區分

嚴重性分類		人員	設備/損失	洩漏
1	重大	一人以上死亡	系統或設施損失	化學物質洩漏，會立即或持續對環境或大眾造成傷害
2	高度	永久失能	主要次系統損失或設施損壞	化學物質洩漏，會暫時性對環境或大眾造成傷害
3	中度	醫療傷害或暫時失能	次要次系統損失或設施損壞	化學物質洩漏，需對外界說明事故調查報告
4	低度	僅需一般性治療	非重要設備或設施損壞	化學物質洩漏，僅需例行性的清除

表 3-7 風險等級區分

風險評估矩陣		可能性				
		A	B	C	D	E
嚴重性	1	1	1	2	3	4
	2	1	2	3	4	4
	3	2	3	4	4	5
	4	3	4	4	5	5

表 3-8 改善建議執行原則

風險等級	改善建議執行原則
1	需立即改善 (一週內完成)
2	需限期改善 (三個月內完成)
3	加強管理控制措施
4~5	視需要改善，可不列入追蹤

### 3.4 改良前後之評估方式比較

風險矩陣的設計並無絕對的標準，視需要量端賴各工廠在決定風險等級立場上之考量。但是，晶圓廠製程尾氣處理設備，不能夠容許有長時間停止運轉而造成停止生產的事件發生，因此在分析頻率表的定義上應該更加嚴謹。(表 3-9)及參考 SEMI-10 所設立之表格，重新對系統發生異常事件的可能性等區分重新定義。同樣的也對系統衝擊及影響嚴重性大小之標準重新規劃定義(表 3-10)，做為本案例系統風險等級判斷之參數。(表 3-11)則為本案例改善建議執行原則。

表 3-9 事故頻率等級區分與本案例分析比較表

可能性分類	SEMI-10 預期發生機率	案例之預期發生的頻率
A- 經常	每年超過五次	每月發生一次以上
B- 可能	每年超過一次，但未超過五次	每季發生一次以上
C- 也許	五年內超過一次，但未超過一年一次	每年發生一次以上
D- 稀少	十年內超過一次，但未超過五年一次	四年內超過一次以上，但未超過兩年一次
E- 極不可能	十年內未超過一次	五年內未超過一次

表 3-10 本案例嚴重性等級區分

嚴重生分類		人員	設備/損失	洩漏
1	重大	醫療傷害或暫時失能	主要系統或設施損失	製程某一區生產中斷或復原時間需 24 小時以上
2	高度	需一般性治療	次要系統損失或設施損壞	兩組以上之機台受影響或機台復原時間需 12 小時以上
3	中度	具刺激性/過敏危害	次要閥件損失或原件損壞	單一機台當機可立即復原
4	低度	無顯著危害	設備機台警報	無明顯損失

表 3-11 本案例改善建議執行原則

風險等級	改善建議執行原則	備註
1	不能接受，需立即檢討並完成改善(立即停機)	不可接受風險，應將其風險降至 4 或 5
2	在風險未降低前，不宜作業，應儘速進行風險降低措施(一周內完成)	
3	需執行改善措施或應變能力，在一定時間內，(一個月內完成)使風險等級降至 4 以下	
4	列入長期觀察，但在不增加成本條件下，可考慮增加更符合成本效益的解決方案	可接受風險
5	現況可接受，以現有方式監控，不需保留紀錄	

### 3.5 製程尾氣區域處理設備風險評估

首先收集機台設備構造圖、管線配製圖及主要操作程序條件等基本資料，然後依據該廠尾氣區域處理系統設備的氣體異常事件報告，從 2003 至 2006 年的統計值進行事故頻率與嚴重度分析。初步風險評估的結果(表 3-12)顯示，多數單元及子系統發生危害的可能性低(風險等級 4 以下)，大多是屬於低風險性，若有適當之控制與安全連鎖裝置並輔以標準作業程序，其風險等級都在接受範圍內；而依據風險等級高的選項(風險等級 3)有 Scrubber Parts 腐蝕、酸排管結晶/阻塞漏氣、熱夾克(Heater Jacket)燒毀等三個選項；值得慶幸的是，目前該廠並未出現風險等級達到 1 或 2 的選項。

待風險等級判定後，由廠內資深工安人員招集相關操作人員、廠商、設備與廠務工程師，組成研討小組，召開研討會議，逐一了解上述三種高風險危害狀況，進行危害與可操作性分析，以闡明各種危害發生之邏輯關係。另外，在進行風險評估工作的同時，除從各種正常及非正常機台設備運作情形及操作條件與步驟探討其危害外，也一併考慮各機台設備既有之防範措施(安全連鎖、氣體偵測系統等)及危害控制方式，針對不足之處加以補強或者研討危害改善對策。HazOp 細部分析及改善對策於下章節敘述。

表 3-12 製程尾氣區域處理系統設備風險評估分析結果

項次	風險評估項目	發生頻率	嚴重性	風險等級
1	Scrubber Parts 腐蝕/失效	B	3	3
2	Exhaust 結晶/阻塞漏氣	B	3	3
3	Heater Jacket 燒毀	D	1	3
4	PM 操作不當	B	4	4
5	Gas Detector 受干擾	B	4	4
6	人員誤動作	B	4	4
7	Filter 效能不良	B	4	4
8	Dry pump shut down	C	3	4
9	元件老化	C	3	4
10	地震	C	4	4
11	Dry Pump 背壓值過高	C	3	4
12	機台訊號異常	C	4	4
13	電磁閥件失效	C	3	4
14	Chamber 溫度超過安全範圍	D	3	4
15	燃燒式 LNG 燃料洩漏	D	2	4
16	觸媒失效	D	4	5
17	PCW 水量不足	D	4	5
18	Gas Detector 佈點錯誤	D	4	5

#### 第四章案例分析與改善實例

本章針對該廠之八吋廠及十二吋晶圓廠曾經發生之異常事故，並根據本文第一章所敘述之研究方法與流程，將 Scrubber Parts 造成氣體洩漏問題與改善方案，製作成 HazOp 分析表格如下：

##### 4.1 Scrubber Parts 腐蝕/損壞之 HazOp 分析表

危害事件/狀況： Local Scrubber Parts 腐蝕或損壞造成漏氣		發生頻率:B	嚴重度:3	風險等級:3
可能原因	可能危害/後果	改善建議/施行方式	防護措施/補充說明	
1. Quench 容易因內部表面水流不平均造成溫度過高及內部表面積無法完全水流覆蓋。	•造成 Quench 直接接處製程氣體及 Powder 而腐蝕漏酸漏氣。	•Quench 改為雙層 316 SUS，內表面積改為 Double wall 設計。 •調整 Quench 水流量，以完全覆蓋其表面。 •增加 Quench 出水口數量，以提高水覆蓋面機率。	•Scrubber 設置於非無塵室區域，當異常發生時可避免有害物質殘留，造成人員吸入。 •加強人員此區域機台巡檢	

<p>2. Water Mill 處 Fog Nozzle 設計只有一組，捕捉酸性 Powder 的水溶解效果較差。</p> <p>3. 10" Water Mill Body 體積過大，內部水冷卻效果較差不易散熱。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 造成 Water mill 腐蝕，漏水及漏氣。</li> <li>• 易造成高溫破壞槽體。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SUS-316 材質內部 Coating Teflon，防止金屬接觸酸性氣體。</li> <li>• 蓋板改為 Double Wall，內注滿冷卻水流，並採 Nozzle 式將水流入 Tank 內，提高水與酸性氣體接觸面積、增加冷卻效率。</li> <li>• 增加 Fog Nozzle 及 Spray Nozzle 設計，提高降溫效率，增加 Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解的效果提高。</li> <li>• Cooling Tank 內部增加隔板設計，使製程氣體滯留時間增長，以達到 Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解效果。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 目前此區熱排管線及環境點皆有裝設相關氣體之氣體偵測器，並連結至監控中心。</li> <li>• Scrubber 本體機台亦有裝設氣體偵測器。</li> <li>• 此區有設置化學洩漏處理車/ 個人防護裝備(PPE)</li> <li>• 定期進行原件更換保養，並使用相容材質之原件，並定期保養測漏。</li> <li>• Scrubber 本體設有 EMO 裝置。</li> <li>• 各機台皆設有共管 By Pass 機制。</li> <li>• 機台設有連鎖關閉裝置。</li> </ul>
<p>4. CDO scrubber 金屬加熱棒材質因長時間高溫產生脆化。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 氣體由加熱棒腔室溢散。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 原為金屬材質之加熱棒，將改為陶瓷材質。</li> </ul>	

<p>5.在 Self-cleaning 時發生泡沫使 High/Lower Sensor 異常。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•造成 Scrubber 當機，機台程式 Abort。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Drain Tank 增加 Vent Piping 防止在 Self-cleaning 時發生泡沫。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•全區毒氣洩漏及火警疏散廣播。</li> <li>•全區為負壓設計。</li> </ul>
<p>6.機台內之 Damper 因腐蝕後脫落堵住 Exhaust，導致大量製程氣進入時，卻無法正常排出。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•機台呈現正壓狀態</li> <li>•氣體由 scrubber 本體溢散出來。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•廠務將在 scrubber 後端之酸排加裝 Damper，並全面將 Scrubber 內部所有 Damper 閥片及連接桿拆除。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•危害標示及危害警告訊息。</li> <li>•MSDS 物質安全資料表設置以供查詢。</li> <li>•依照消防法設置各種火警探測器，部分區域回風口有設置 VESDA。</li> </ul>
<p>7.管路水氣過重，水氣附著於 Inlet 端 Bellow 凹陷處，長期附著後腐蝕鐵材質的 Bellow，導致龜裂氣體外漏。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bellow 龜裂導致氣體外洩。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•建議 Bellow 皆更換鐵氟龍材質，避免因腐蝕而破裂，而管路內水氣過多之問題，則在 Inlet 端喇叭口處加裝 HOT N2 以減少水氣淤積於 Bellow 處造成腐蝕。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•定其實施設備人員教育訓練，每次作業須依規定之 SOP 作業。</li> </ul>
<p>8.燃燒式 Scrubber O2 流量控制閥失效，測漏失效。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•機件長期操作疲乏。</li> <li>•燃燒不完全，降低處理廢氣的能力。</li> <li>•增加後端管路阻塞風險。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•定期施行樓量控制閥及 O2 Detector 零點校正作業。</li> <li>•機台加設溫度偵測氣，並設有連鎖反應機制。</li> <li>•定期進行氬氣測漏。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•緊急應變流程及定期防災演練。</li> <li>•洗滌塔除霧用之 JW 供應電磁閥及乾燥用之 CDA 均有安全連鎖</li> </ul>

<p>9. TEOS 機台曾發生 Powder 經 Combustor 燃燒後，Byproduct 造成 Cyclone Damage。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 有害氣體從破損處洩漏，造成作業人員吸入性危害。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 將 PP 材質更改為耐高溫 PVDF 材質。</li> <li>• 在 Pump Exhaust 到 Scrubber Inlet 端安裝 Tape Heater。</li> </ul>	<p>機制。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 遵守 PM 的 SOP 作業順序，於作業終了時需 Double Check。</li> </ul>
<p>10. 來自廢氣中所吸入的粒狀物之沉澱或化學反應所產生之結晶造成洗滌塔之噴淋嘴阻塞。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 流量劑流量不正常，洗滌流量變小。</li> <li>• 洗滌效率變差。</li> <li>• 機台成正壓情形，氣體易外洩。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 循環水槽中增設柵欄以阻隔粒狀物之沉積，設計時應選用適當之噴淋嘴及管線口徑，並定期 PM。</li> </ul>	
<p>11. 由於製程 Self-Clean 中大量使用 NF3 時，產生 F2(HF) 造成腐蝕現象。另 LP-CVD 製程之 CDO Scrubber 處理 PFC 類氣體，後段殘留高濃度之 F2 及 F-。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要為 Thermal-Wet Type 造成，導致管路中含水氣易沈積粒狀物。</li> <li>• 閥件處易腐蝕累積固體結晶，造成氣體溢散。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 減少使用 NF3(尋求替代物質)。</li> <li>• 增加 Thermal/Burn-Wet Type 對水氣的去除效果。</li> <li>• 加 lye 中和處理 HF，可避免管路腐蝕。</li> </ul>	
<p>12. 乾式 Scrubber 吸附劑和氣體中的水分反應產生發熱或引起腐蝕現象。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 除害筒發熱並反應生成物導致廢氣處理能力降低。</li> <li>• 配管及除害筒腐蝕。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 人員 PM 時須完全去除水分的存在，並於終了時特別檢查水分殘留。</li> <li>• 避免 Clamp 裝設錯誤造成空氣中水分持續性吸入。</li> </ul>	

#### 4.1.1 Scrubber Parts 腐蝕/損壞改善實例

該廠各 Module 使用的 Scrubber 廠牌屬 Unisen 及 Edwards 為大宗，經由上表將可以很快透過徵兆的發現，明白問題產生的原因，進而針對問題改善。表中較大項之危害問題，將以圖例詳細說明：

(一)原 O-Ring 為 Viton 材質，Centering 為 SUS-316，因 BPSG 及 HDP 製程關係容易造成腐蝕,建議貴廠 Local scrubber 之 O-Ring 及 Centering (KF-40 & KF-50)全改為白色 Teflon 材質進行安裝，每次 Scrubber PM 時進行更換 O-Ring 及 Centering。

(二)Unisem 機台的 Quench 原設計為單層 316 SUS，如圖 4-1 所示。

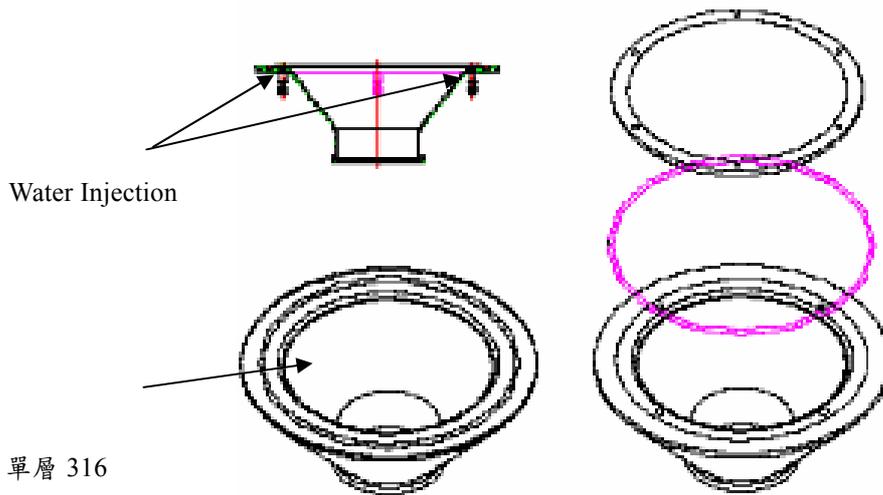
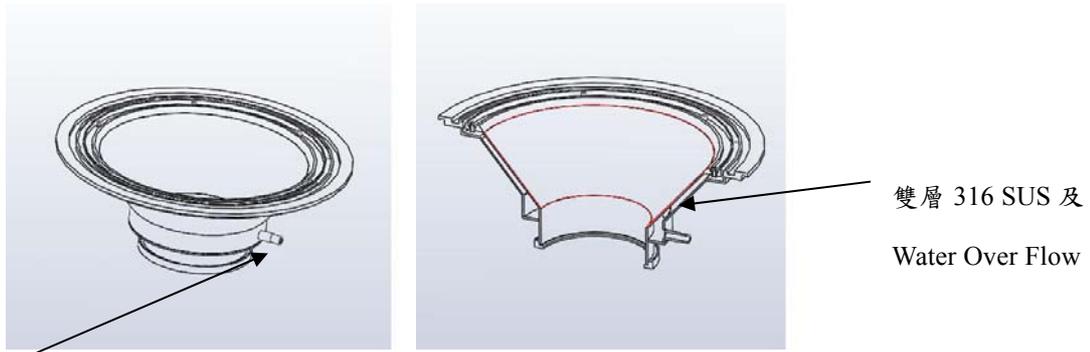


圖 4-1 單層 316 SUS 設計之 Quench

單層 316 SUS 設計之 Quench 容易因 Quench 內部表面水流不平均造成溫度過高及內部表面積無法完全水流覆蓋，造成 Quench 直接接觸製程氣體及 Powder 而腐蝕。Quench 改善方案為雙層 316 SUS，如圖 4-2 所示。



Water Injection

圖 4-2 改善後之雙層 316 SUS Quench

新設計 Quench 為雙層 316 SUS，並採用 Double Wall 方式，讓水完全溢滿後自動溢出 Quench 內部表面積，此設計可：

1. 降低 Quench 工作溫度。
2. 水溢流覆蓋面積均勻度高, 避免製程氣體接觸 Quench。
3. 避免 Powder 接觸 Quench, 造成堵塞及腐蝕。
4. 提高 Trap 水溶解性酸。

(三) Water Mill 原設計為 316 SUS 內 Lining Teflon，如圖 4-3 所示。

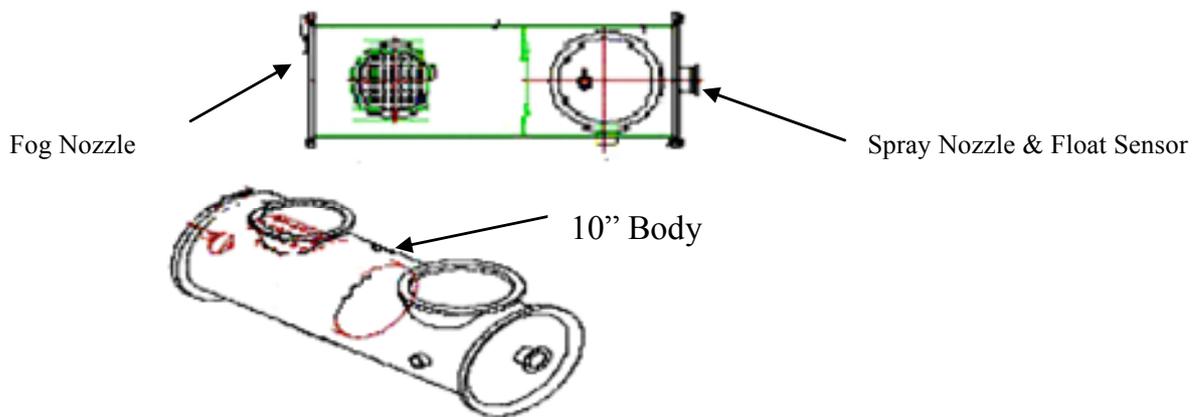
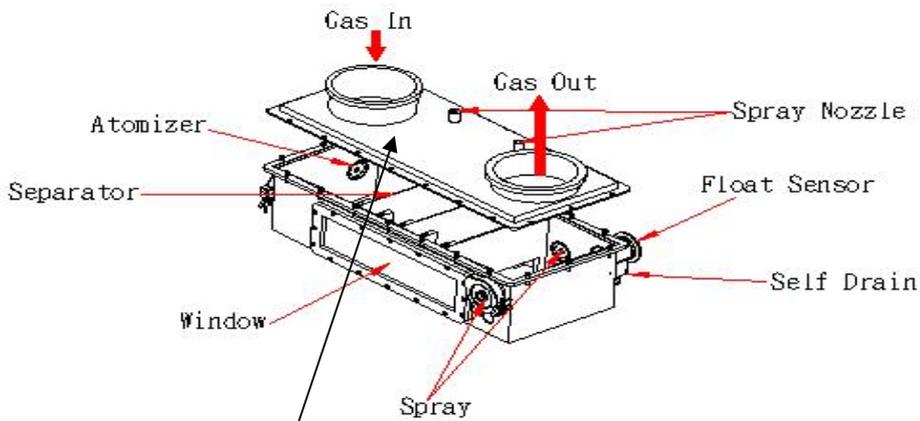


圖 4-3 原設計之 Water Mill

造成 Water Mill 腐蝕問題為：

1. Fog Nozzle 設計一組，Trap 溫度，Powder，酸性水溶解效果差，容易造成高溫破壞 Teflon 保護層。

2. 10" Water Mill Body 體積過大，又內部水冷卻效果比較差不易散熱。  
Water Mill 改為新設計 Cooling Tank 如圖 4-4 所示



上蓋 Double Wall 設計

圖 4-4 新設計之 Cooling Tank

新設計 Cooling Tank 為:

1. SUS-316 材質內部 Coating Teflon 防止金屬接觸酸性氣體。
2. 上蓋板為 Double Wall，內注滿冷卻水流，並採 Nozzle 式將水流入 Tank 內，此設計可提高水與酸性氣體接觸面積，並增加冷卻效率，防止 Teflon Coating 失去效應。
3. 增加 Fog Nozzle 及 Spray Nozzle 設計，提高降溫效率，增加 Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解效果提高。
4. Cooling Tank 內部增加隔板設計，目的為增加製程氣體滯留時間增長，以達到 Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解效果。

(四) Unisem 的 Buffer Tank 設計為 SUS 材質內部 Coating Teflon 如圖 4-5。

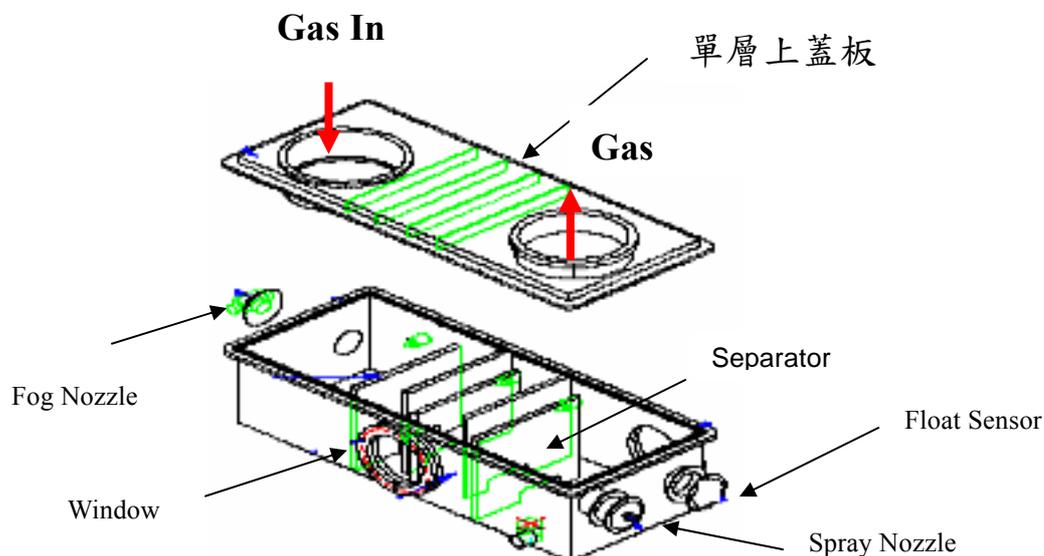


圖 4-5 原設計之 Buffer Tank

造成 Buffer Tank 問題為:

- 1.上蓋板無冷卻水設計，造成溫度過高影響 Teflon Coating 保護層。
  - 2.Fog Nozzle 安裝一組，製程氣體無法充分發揮降溫，Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解效果較差。
  - 3.Spray Nozzle 安裝一組，影響 Trap Powder 及 Trap 酸性水溶解效果。
- 建議 Buffer tank 改為新設計 Cooling Tank，相關功能及材質請參考如上述圖 4-4 所示。

(五)機台 Damper 閥片(圖 4-6)掉落之主因，為該 Damper 連接桿並非抗酸材質，Scrubber 雖有 Air Hole 常開之狀態來冷卻及降低酸排水氣，但仍腐蝕掉沒有抗酸的 Damper 連接桿，連接桿腐蝕後，閥片掉落至洗滌塔，堵住了排氣出口，使氣體排出流量受到擠壓，氣體便從 Air Hole 處擠壓排出，造成機台呈現正壓並有溢散情形發生。目前的改善方式為將所有機台 Damper 的閥片拆除，使未來不在有相同情形發生，並且請廠務在每台 Scrubber 酸排後皆加裝 FRP 抗酸鹼材質的 Damper，此方式將沒有腐蝕性的問題，遂機台所附加的 Damper 便無實際功能，拆除後並不會影響廠務及 Scrubber 壓力。



圖 4-6 Scrubber 本身之 Damper

(六)在 Edwards 機台 Drain Tank 增加 Vent Piping，以防止以往在 Self-cleaning 時發生泡沫使 High/Lower Sensor 異常造成 Scrubber Shutdown 機台程式 Abort 目前使用在 Poly / SIN 製程機台，目前加裝 Vent Piping 後就沒有發生 Self-Cleaning Abort 情形，使程式能順利執行完畢。改善照片如圖 4-7。

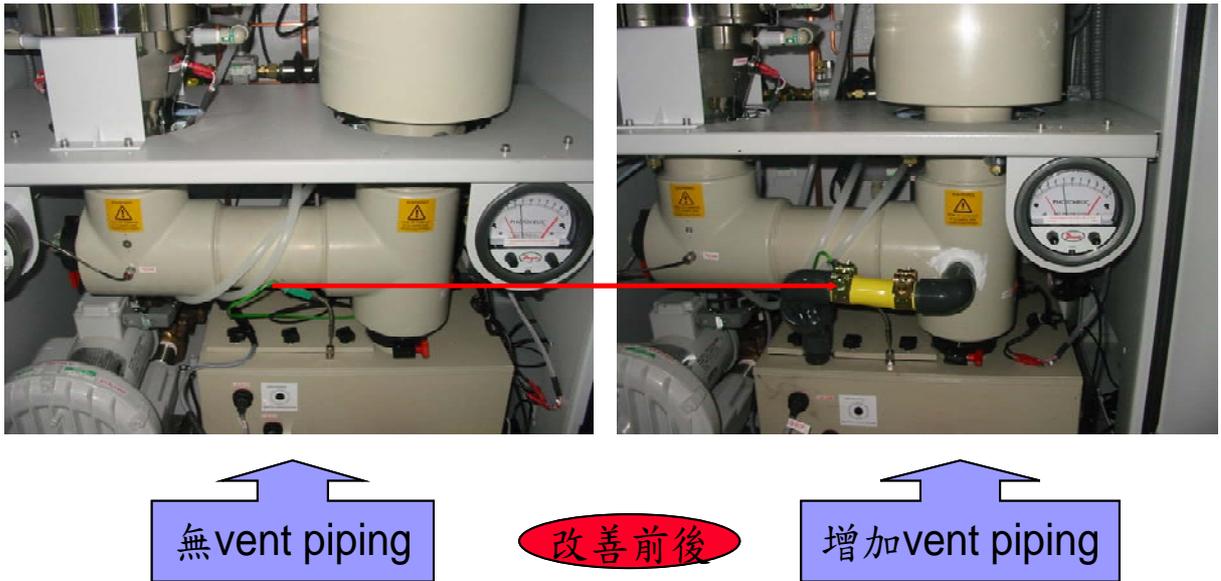


圖 4-7 Drain Tank 增加 Vent Piping 改善圖

(七)針對 TEOS 機台曾發生 Powder 經 Combustor 燃燒後，Byproduct 造成 Cyclone damage 如圖 4-8 所示，目前已在 Pump Exhaust 到 Scrubber Inlet 端安裝 Tape Heater 以解決此問題。並且為了提昇系統的安全性，亦將 PP 材質更改為耐高溫 PVDF 材質。



圖 4-8 Cyclone Damage 照片圖

#### 4.2 Exhaust 結晶/阻塞之 HazOp 分析表

危害事件/狀況: Scrubber Exhaust Piping 結晶或 Powder 阻塞		發生頻率:B	嚴重度:3	風險等級:3
可能原因	可能危害/後果	改善建議/施行方式	防護措施/補充說明	
<p>1.Exhaust 抽風量太大，導致將 Scrubber 內的 Column Nozzle 噴灑出的水氣帶入風管中，而間接造成酸排管腐蝕。</p> <p>2.Unisem 的 Scrubber Wet Column Spray Nozzle 噴水量比較大，尤其是第三段灑水為主要問題，造成水霧直接排放到 Demister 及酸排管。</p> <p>3.Demister 冷卻水效率無法完全達到設定值要求。</p>	<p>•Scrubber Exhaust 內易因水氣問題而產生腐蝕結晶情形。</p>	<p>•將洗滌塔之 Demister 500mm 改為 810mm，以增加水氣與 Demister 接觸面積、停留時間。</p> <p>•Wet Column 第三段原為灑水裝置，更改成 Air Purge，以減少水氣。</p> <p>•利用 Exhaust 上的 Damper 控制抽風量大小。</p>	<p>•加強人員此區域管路巡檢</p> <p>•對於管路施工人員增加危害通識宣導，廠內 6S 記點。</p> <p>•此區熱排管線及環境點皆有裝設相關氣體之氣體偵測器，並連結至監控中心。</p> <p>•此區下方地板有設置 Leak Sensor 偵測器，並將訊號傳回監控中</p>	

<p>4.二廠 T/F 之電熱水洗設備，加熱棒發生 powder 附著，溫度無法均勻散佈於腔室，導致處理效能過低。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•T/F 管路阻塞漏氣情形偏多。</li> <li>•機台設備當機，加熱棒損毀，生產中斷。</li> <li>•增加 PM Loading。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•後續新廠一律改為燃燒水洗式 Scrubber。</li> <li>•於二廠新增一組 Central Scrubber(HF)，獨立處理 T/F Scrubber 後之製程尾氣。</li> </ul>	<p>心。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•此區有設置化學洩漏處理車/ 個人防護裝備(PPE)。</li> <li>•定期 Check Dry Pump 之背壓值。</li> </ul>
<p>5.Metal Etching 製程如 AlCl<sub>3</sub>、WCl<sub>3</sub> 等廢氣由氣體變固體時，產生生成物之累積。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Metal Etching 製程入口 Exhaust 阻塞。</li> <li>•機台設備當機損毀，生產中斷。</li> <li>•增加 PM Loading。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•加裝 Heater Jacket，其 Heater Jacket Temp 控制於 130°C 以上避免 Waste Gas 再度 Condense。</li> <li>•依製程時間長短來規劃更換 Scrubber filter 時間。</li> <li>•氣體管路增加 Hot-N<sub>2</sub>-system 及防止 H<sub>2</sub>O 滲入等混入方式。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•各機台皆設有共管 By Pass 機制。</li> <li>•機台設有連鎖關閉裝置。</li> <li>•全區毒氣洩漏及火警疏散廣播。</li> <li>•全區為負壓設計。</li> </ul>
<p>6.風管組裝或維修時，Flange、Clamp 或熱熔接處施工不確實，導致酸氣洩漏。 7.設備人員 PM 後，未將 Flange、Clamp 等銜接處鎖緊。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•氣體由管路接合處溢散。</li> <li>•有害物質殘留造成接觸及吸入性危害。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•改善施工工法</li> <li>•修補或新增風管管件使用熱風槍與聚合物材質(PP、PE 等)時，注意焊接條與焊接物為相同材質，熔接後檢查是否有孔隙。</li> <li>•施工後由工安人員使用 PGD 檢查是否漏氣。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•依照消防法設有各種火警探測器，部分區域回風口有設置 VESDA。</li> <li>•Exhaust 穿孔須做防火填塞保護。</li> </ul>

<p>8.Scrubber 產生水氣凝結於 Acid Exhaust 無法順利排除，而間接造成酸排管腐蝕，影響現場。</p> <p>9.Acid Exhaust 之 Drain 管傾斜度不佳或排水閥關閉，導致 Drain 管內沉積之液體倒流回 Exhaust 內導致結晶。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Exhaust 腐蝕/結晶/阻塞導致漏酸漏氣。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•分段加設 Drain Port 數量，並增設水封透明管觀視窗監測風管內水氣。</li> <li>•將酸排的 Drain 管連接至 Scrubber，利用 Scrubber 內之 Drain Pump 抽至廠務端廢水場。</li> <li>•於 Exhaust 下游處裝設壓力平衡管。</li> <li>•Drain 管設製呼氣閥，使廢水能順利以重力流方式向下流，同時避免回灌時影響 Scrubber。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•定期實施設備人員教育訓練，每次作業須依規定之 SOP 作業。</li> <li>•緊急應變流程及定期防災演練。</li> <li>•平時加強巡視設置於風管之 Drain Port，適時排放管內廢液。</li> <li>•此區管路增設氮氣吹驅及旁路電磁閥，避免可燃性氣體蓄積情形。</li> </ul>
<p>10.Edwards 的 Filter 處理 Powder 效率不佳，Pump 背壓值偏高。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•造成後端 Exhaust Piping 發生大量 Powder 阻塞情形。</li> <li>•在 Backup 時如果兩台機台同時 Deposition 有 Shutdown 的可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•更換 Hydro Cyclone 取代原先的 WRU Module(Filter),能移除大量 Powder 避免阻塞 Exhaust。</li> <li>•D-Poly System FDT01~FDT10 更換成 Service Module。</li> <li>•Drain Tank 增加 Vent Piping 防止在 Self-Cleaning 時發生泡沫使 High/Lower Sensor 異常。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•增設另一組負壓之風扇(Blower)做 Bake Up 用途。</li> <li>•設置 Exhaust 低硫量勁爆裝置。</li> <li>•Exhaust 閥件掛牌並標示內容物流向。</li> <li>•PUMP 過高壓連鎖系統。</li> </ul>

<p>11.施工人員更換新管時未保護好風管壁上 Coat 的 Teflon，導致保護層被破壞，或風管管件 (Flange) 密合度不夠;配管時強行施工，導致管路變形 (保護層破壞);複合材料黏貼技術不足造成剝離現象等問題。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•導致帶有 Powder 的酸性廢氣長時間附著於該處導致鏽蝕。</li> <li>•結構物強度不足。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•施工時避免風管受到撞擊變形，組裝時勿強行安裝。</li> <li>•複合材料於層與層之間的黏貼性物為品質要求重點。</li> <li>•風管之綠色結晶物清除後並將熔接處重新熔接補強防漏。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Exhaust 進行防震支撐保護。</li> <li>•定期作 Exhaust 耐壓及洩漏測試。</li> <li>•Exhaust 材質須為 FMRC 或同等級防火認證。</li> <li>•10 英吋以上之管路須裝設灑水頭。</li> </ul>
<p>12.吸附式 Scrubber 的溫度、壓力或色相感應器失效。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•溫度達到 150°C 有立即危險，吸附劑會燃燒。</li> <li>•壓力或色相感應偵測器失效過久會導致 Exhaust 阻塞。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•關閉藥劑筒進出口斷絕反應物或通入大量 N2 稀釋。</li> <li>•吸附劑未變色但超過平均值使用期間過長，須檢討製程有無異常或藥劑有效期限是否已到期。</li> <li>•偵測器定期維修保養。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Exhaust 維修時須防止吸入及接觸性危害。</li> <li>•Exhaust 增加一台 Back Up 用途之排風機並有緊急備用電源供應。</li> </ul>
<p>13.部分 scrubber 之 pumping line 與 main exhaust 銜接處，僅以 silicon 塗抹銜接處，導致氣體溢散。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•SUS-Exhaust 銜接 Main 管處結晶漏酸漏氣。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•增設基座改善氣密接頭。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•水平之管路斜率至少每 10 英尺下降 1 英吋為原則。</li> <li>•Exhaust 排氣速率須足夠稀釋風管中不會</li> </ul>

<p>14. 燃燒式 scrubber 氣體進入機台 Inlet Buffer 之後的溫度不足。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 導致氣體皆從 Manifold 入口處開始阻塞至 Inlet Buffer，無法正常進入 Chamber 燃燒處理。</li> <li>• 氣動閥因 Powder 阻塞，導致氣動閥轉動異常而損壞，雙缸式 Chamber 無法正常切換。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 在機台 Inlet Buffer 處加裝 Hot N2，使 Pump 至 Scrubber 所有管路保持一定熱度，使氣體能順利進入 Chamber 燃燒處理，不至於氣體再 Manifold 先行冷卻塞至入口處，導致 PM 週期過短。</li> </ul>	<p>累積可燃蒸氣。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設備完成 PM 後須依 SOP 作業復歸，並由公安同仁持 PGD 檢查確認。</li> <li>• 落實點檢制度、定期進行 PM 檢查。</li> <li>• 使用超音波測漏技術。</li> </ul>
<p>15. 一廠 Exhaust 使用 PVC 的管路材質，組裝(熱熔接)品質不良。T/F 區 Local Scrubber 因 O3 氣體腐蝕 PVC 管路，造成管路破裂。</p> <p>而二廠 T/F 區之 SUS 的管路 Flange 處也有被腐蝕導致漏氣情況。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acid Exhaust 結晶漏酸漏氣。</li> <li>• 防火 Loading 增加。</li> <li>• 保險成本增加。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 將 PVC 材質之風管逐漸改為 FRP 材質。</li> <li>• 先將既有的 SUS 管 Flange 處 Coating Teflon，於日後逐漸改為 FRP 之材質。</li> </ul>	<p>累積可燃蒸氣。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設備完成 PM 後須依 SOP 作業復歸，並由公安同仁持 PGD 檢查確認。</li> <li>• 落實點檢制度、定期進行 PM 檢查。</li> <li>• 使用超音波測漏技術。</li> </ul>
<p>16. Fur 製程使用 SiH4，致燃燒後產生大量 SiO2 副產物，並由於 Edwards 的 Water Tank 過小，處理 Powder 能力較差。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 造成後端 Exhaust Piping 發生大量 Powder 阻塞情形。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 在機台本體加裝靜電集塵器 WESP 改善。</li> </ul>	<p>累積可燃蒸氣。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 設備完成 PM 後須依 SOP 作業復歸，並由公安同仁持 PGD 檢查確認。</li> <li>• 落實點檢制度、定期進行 PM 檢查。</li> <li>• 使用超音波測漏技術。</li> </ul>

#### 4.2.1 Exhaust 結晶/阻塞之改善實例

Local Scrubber 的 Exhaust Piping 氣體溢散的問題有時發生處就像針孔一般的小，要查到漏源實屬不易，但是許多無色無味的氣體，吸久了對人體的傷害也是相當大。機台及管線的設計不良導致管路的結晶阻塞，是造成漏氣的最主要因素。本章節將分為兩部分進行改善案例探討。

(一)由於 CDO 類型的 Local Scrubber 內含有濕式洗滌塔，故經過 CDO 處理後之廢氣，通常帶有較多的水氣，當含有水氣的廢氣通過管路的低處 Flange 時，通常會聚集並凝結成液態產生酸性積水的現象，導致閥件及 Flange 處腐蝕，並產生結晶現象，如圖 4-9 所示。

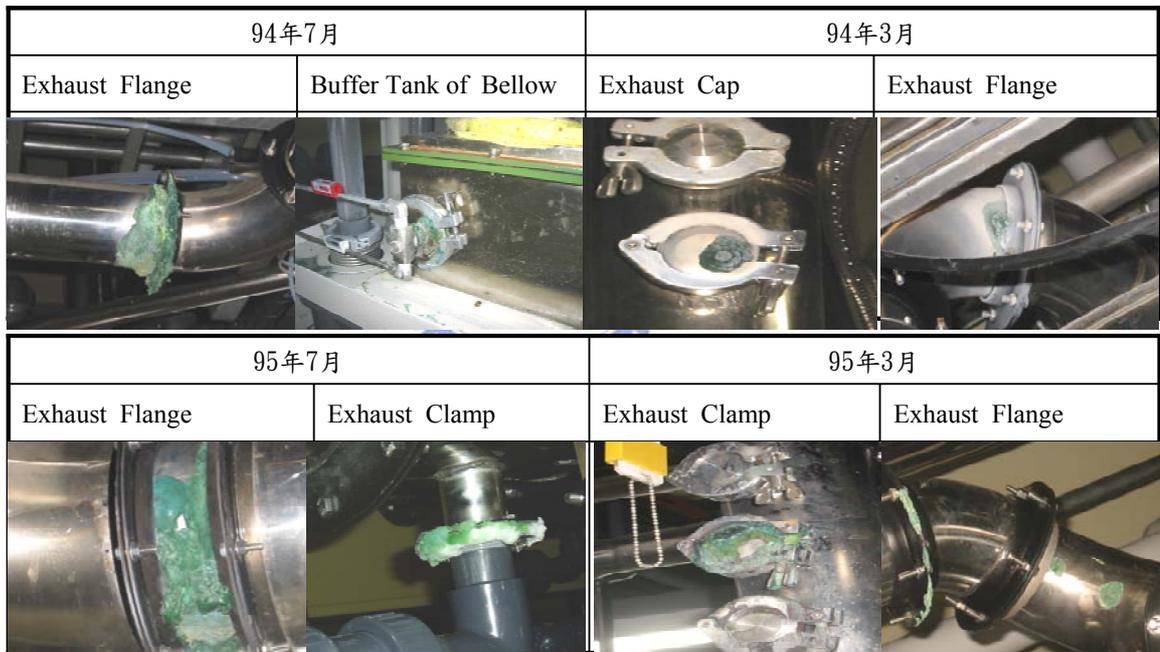


圖 4-9 Exhaust Flange 及 Clamp 結晶腐蝕狀況

改善方式為將該區域 Exhaust Piping 相對低處分段加設 Drain Port 數量，並增設 Drain 管水封(透明管)方式加以監測 Exhaust 內水氣，再將增設之 Drain 管連接至 Local Scrubber 的 Over Flow Port，利用 Scrubber 內 Drain tank 的 Drain Pump 抽至廠務端廢水場，最後在 Drain 管設製呼氣閥，使廢水能順利以重力流方式向下流，同時避免回灌時影響 Scrubber。改善圖例如 4-10 所示。



由此可以看出管內的液位，及目前管內廢水水量，同時，由液面高低可以判斷酸排風管抽負壓狀況。

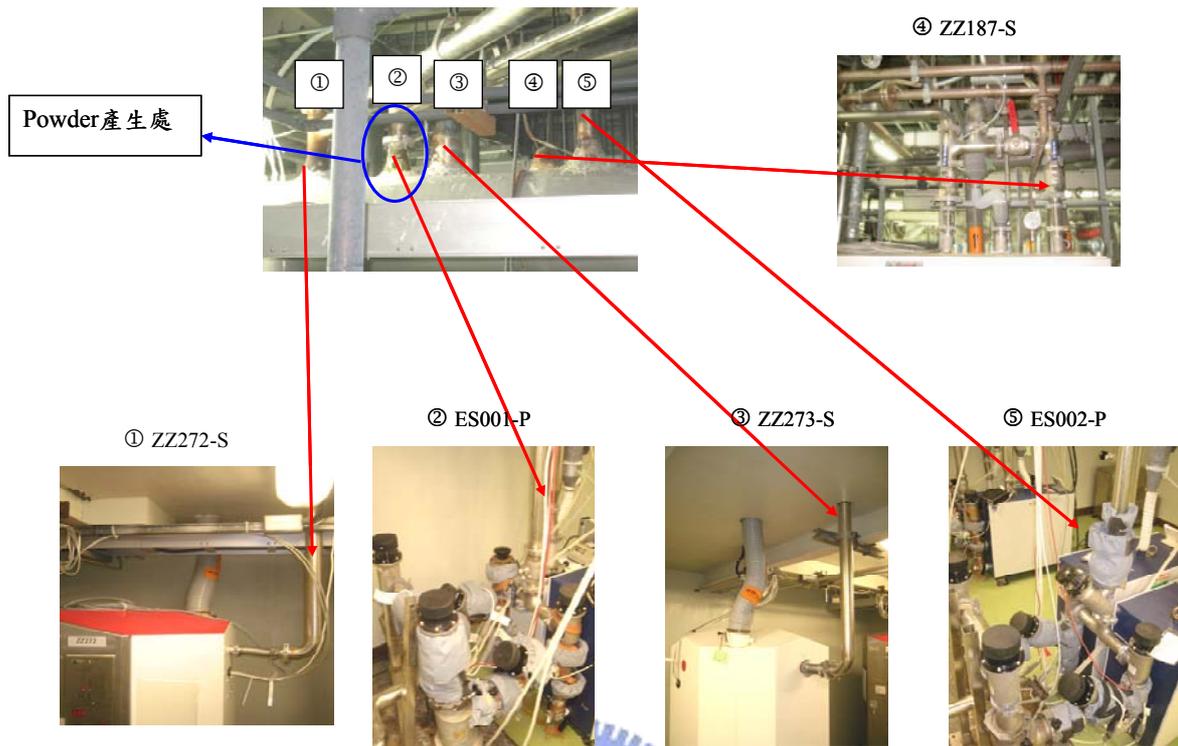


從此處可以看出廢液是否正正常排入廢水管內，前端水封有無阻塞情形

圖 4-10 Acid Exhaust 積水問題及水封改善照片

(二)另針對部分 Scrubber 之 Pumping Line 與 Main Exhaust 銜接處，僅以 Silicon 塗抹銜接處，導致 SUS-Exhaust 銜接 Main 管處結晶，氣體溢散至環境中情形。其改善方案為在每個管路銜接處增設基座，予以改善氣密接頭，後續觀察結果效果良好。圖 4-11 為增設基座圖例。

**改善前** ZZ272、ES002、ZZ273、ES001、ZZ187的Acid Exhaust管路銜接處



**改善後** ZZ272、ES002、ZZ273、ES001、ZZ187的Acid Exhaust

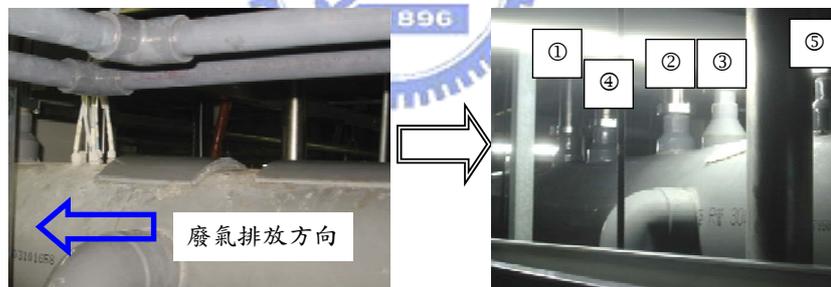


圖 4-11 原管路位置已拆除，移至右下圖中位置

上述改善案例均以探討 SUB-Mail 及 Acid Exhaust 為主，下列改善對策則是直接針對源頭加以改善，以減少氣體洩漏的風險。

(三)Unisem Scrubber 後段水氣問題改善方案，如圖 4-12 所示：

對於 Wet Column 部份改善灑水問題，尤其是第三段灑水為主，將其改為 Air Purge 方式降低水霧直接排放到 Demister 及 Acid Exhaust，又利用 Air Purge 方式降低 Wet Column 之內部溫度以降低相對濕度，達到水氣凝結效

果減少水氣問題。而對於 Demister 部份則有兩種改善方式：

- 1.增加水氣與 Demister 接觸面積，將 Demister 原高為 500mm 改為 810mm，此高度尺寸不影響機台安裝。
- 2.增加水氣與 Demister 滯留時間，Demister 底部放置 Packing 增加卻水效應。

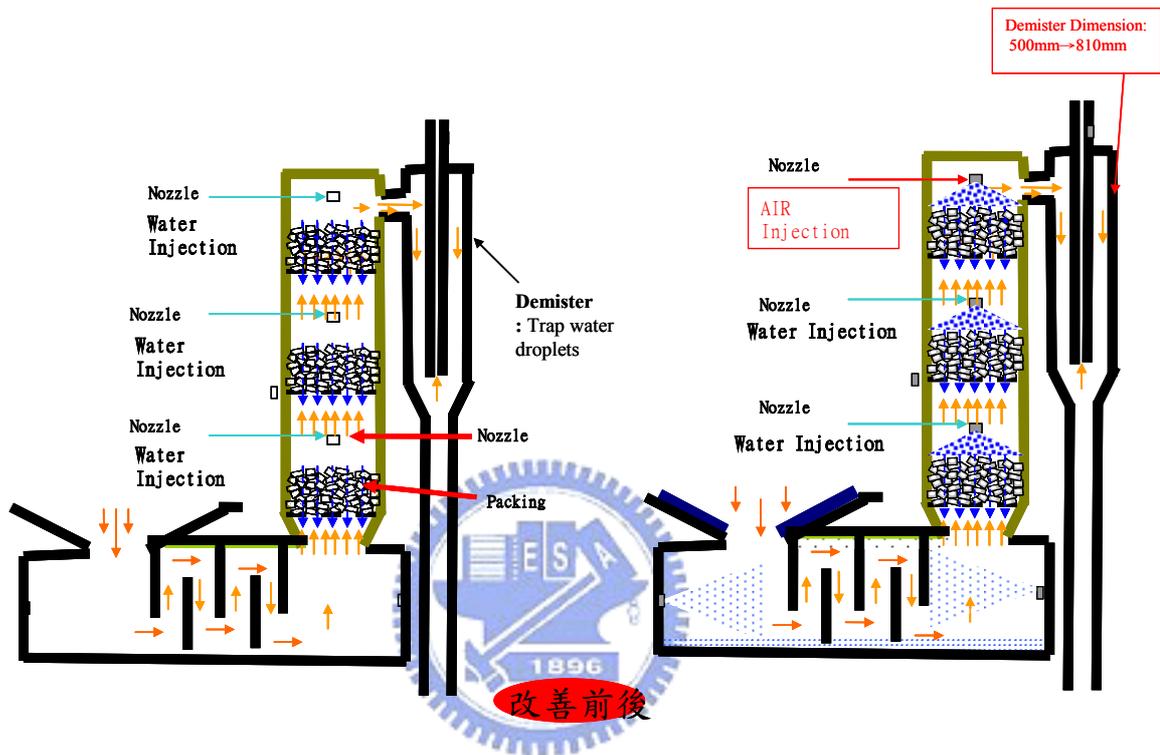
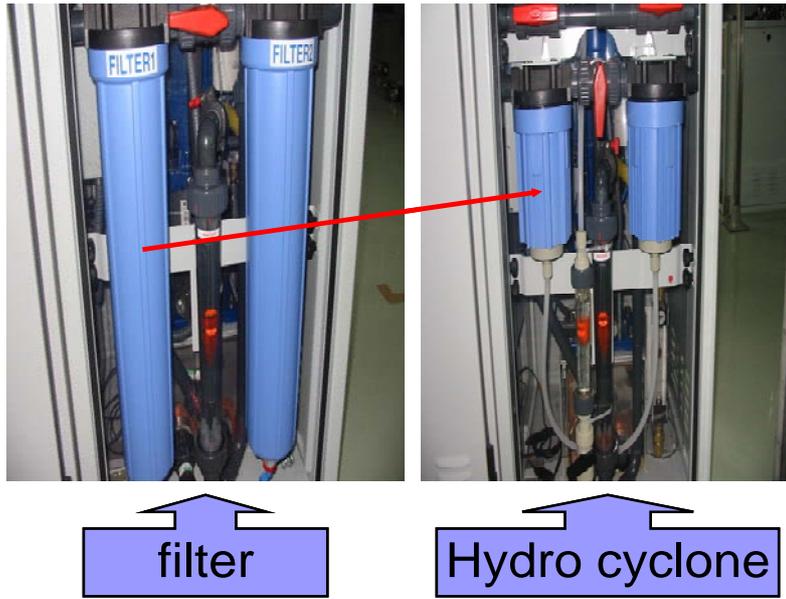


圖 4-12 Unisem Scrubber 水氣改善圖例

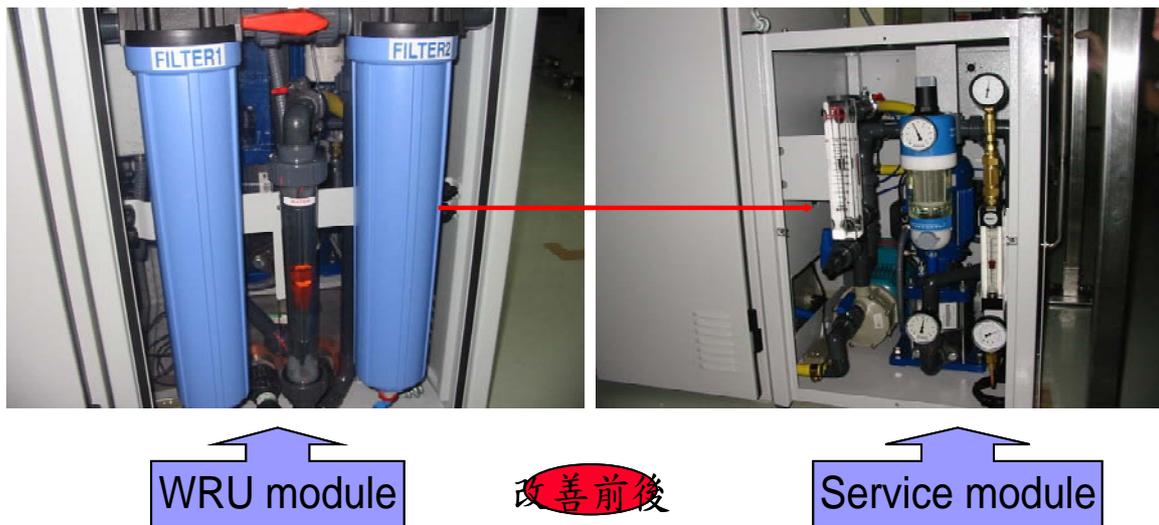
(四)針對 Diffusion Furnace 而言，目前 Edwards Scrubber 使用的 Filter 屬於 WRU(Water Re-Circulation Unit)裝置，其是利用離心力的原理，將 Powder 集中在中間，再由下方水管將 Powder 及少部分的水，排至廠務端，而大部分的水則循環到機台內部繼續使用。但目前使用於 SIN 與 TEOS 製程時，Filter 阻塞問題嚴重，遂進行更換為 Hydro Cyclone 取代原先的 WRU Module (filter)，更換後發現 Hydro Cyclone 能有效移除大量 Powder，避免阻塞 Exhaust Piping 和延長 PM 周期，目前使用在 TEOS / SIN / Poly 製程機台。改善情況如圖 4-13。其優點為不需使用 Filter 可省下 Filter 一年 2 萬 6 千費用，阻塞機率很小只要定期 PM，用水量只需 liter/min。



改善前後

圖 4-13 Hydro Cyclone 取代原先的 WRU module 照片

(五)而在 D-poly System 方面，則更換成 Service Module 取代 WRU Module，優點是可去除 SiH<sub>4</sub> 所產生大量 Powder，Self-Cleaning 時不會因泡沫而造成當機，但其缺點則是用水量增加，一台 25 liter/min (等於 5 台 Hydro Cyclone 用水量)，圖 4-14 改善前後之照片。



改善前後

圖 4-14 Service Module 取代原先 WRU Module 圖

(六) Edwards Scrubber 在 D-Poly System Powder 殘存在 Exhaust Piping 的問題嚴重，造成 Acid Exhaust 處理效能不佳，平均三個月就需要清潔 Acid Exhaust 一次，造成人力的浪費。目前安裝靜電處理系統 (WESP, 如圖 4-15) 能有效將 Powder 抓下，以杜絕 Acid Exhaust Piping 易阻塞 Powder 的問題。

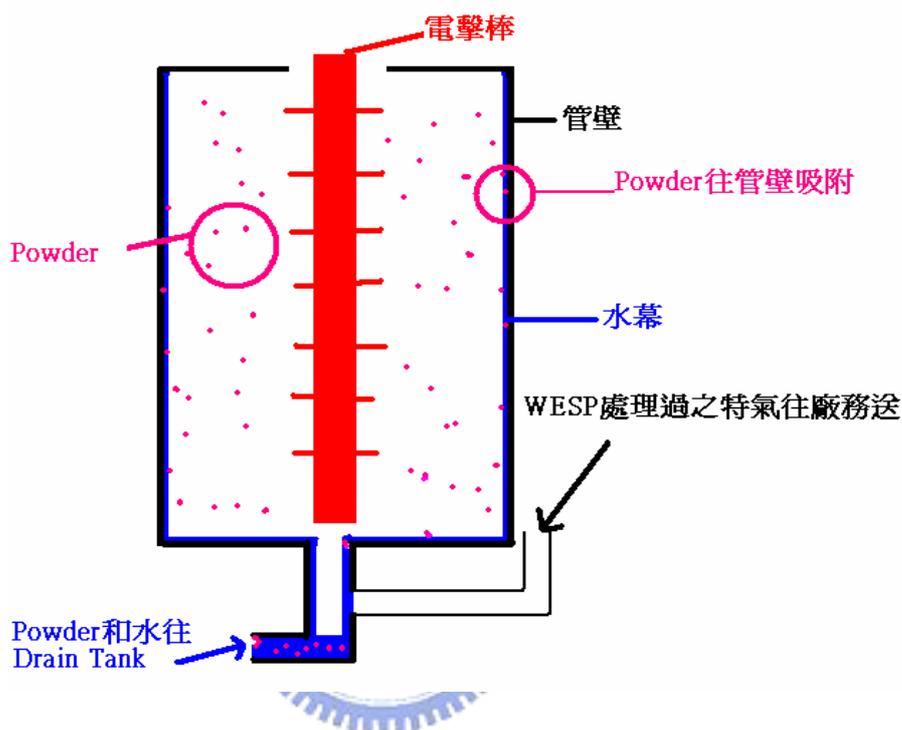


圖 4-15 WESP 靜電處理系統構造圖

(七) 依據 HazOp 的分析結果，可以歸納出管路異常診斷的基本原則：

1. Exhaust Piping 上下游兩端監測點之間竟壓變化方向不同，則其間必有局部阻塞(風門角度變小)或疏通(風門角度變大)的動作發生。若 Inlet 端負壓變小，Outlet 端負壓變大，為阻塞的動作，反之則為疏通。
2. Exhaust Piping 上下游兩端監測點之間竟壓變化方向相同，則在兩端監測點更上游或更下游必有局部阻塞或疏通的動作發生，若兩監測點負壓變大，則更上游或更下游發生阻塞。反之若兩監測點之負壓變小，則為更上游發生阻塞或更下游發生疏通情形。

### 4.3 加熱帶燒毀之 HazOp 分析表

危害事件/狀況: 加熱帶燒毀導致火災及氣體洩漏		發生頻率:D	嚴重度:1	風險等級:3
可能原因	可能危害/後果	改善建議/施行方式	防護措施/補充說明	
1.A 段加熱帶加熱線斷線，導致 B 段加熱帶過溫工作。 2.B 段加熱帶加熱線短路，造成過電流擊穿 SSR。	• 短路將造成阻抗減低，SSR(電流控制裝置) 超過最大工作電流時會被擊穿，當 SSR 被擊穿時加熱器將持續並以最大功率加溫，導致電線或 SSR 起火，加熱帶燒毀，該區發生火災，氣體洩漏。	• 氣體管路增加 Hot-N2-system、防止 H2O 滲入等混入方式，減低加熱帶 Loading。 • 重新規範加熱線圈之設計阻抗、功率、最大電流、最大加熱溫度等限制功能。 • SSR Box 更換為不燃材質。 • 增加電源線工作電流安培數。 • 加熱帶系統單機監控設計。	• 減少 90 度彎管的使用，以減低加熱帶的使用區域。 • 加強人員此區域有加熱帶包覆管路之巡檢。 • 依製程時間長短來規劃清管及加熱帶檢察的時間。 • 依照消防法設置各種火警探測器，並連結至監控中心。	

<p>3.加熱帶裡布(內層)材質使用不當及加熱線圈設計功率過大。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•加熱帶耐溫材毀損。</li> <li>•持續的過電流造成線路走火，導致加熱帶燒毀，該區發生火災，氣體洩漏。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•增加 Fuse (保險絲)於加熱帶中。</li> <li>•全面安裝 Over-Temp Switch (過溫保護裝置)。</li> <li>•全面安裝 Thermal Couple (溫度偵測裝置)。</li> <li>•增強 Control Box Body 材質及耐火溫度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•加熱系統設有連鎖關閉裝置。</li> <li>•加強品質管制作業及施工填寫裝機前後確認表。</li> <li>•每支 Heater Jacket 均須寫上編號，依照管件 Chamber 由上至下編號。</li> </ul>
<p>4.加熱帶安裝及施工錯誤。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•加熱帶無法正常加熱升溫。</li> <li>•加熱帶溫控異常造成工安事故。</li> <li>•造成斷線或短路情形發生。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•包覆安裝時不可將加熱帶重疊包覆。</li> <li>•確實緊覆於管路上，避免兩者間有間隙產生。</li> <li>•嚴禁任意變更控制盒與加熱器串接順序。</li> <li>•勿將電纜線包覆於加熱布內。</li> <li>•加熱器升溫至設定溫度，須在現場等待 30 分鐘後始可離去。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•確認施工安裝之 SOP 及廠商教育訓練。</li> </ul>

### 4.3.1 加熱帶燒毀改善實例

加熱帶(Heater Jacket)一般在 Dry Etching 及 T/F 製程尾氣排放處理時均會使用到。當製程廢氣從機台端在 Chamber 內高溫狀態之下，以 Pump 抽氣至 Local Scrubber 時，若溫度低於氣體特性，很容易在 Pump Line 造成 Condense 狀況。例如 T/F 製程中使用的化學品 TEOS、TMPO、TEB 等三種化學物質，在反應之後若溫度不能維持在 120°C 以上的話，便會形成硼磷矽玻璃結晶體，造成聚合物的產生，故需在管路上包覆 Heater Jacket，以使溫度維持在 130 °C 以上，才能避免發生微粒阻塞管路的情況。該廠 Local Scrubber 之 Heating Jacket System，曾經發生燒毀並導致漏氣之異常事故發生，所幸經現場正在執行機台維修的同仁，發現火苗時，立即以乾粉滅火器撲滅火勢，才未釀成大災。圖 4-16 為當時加熱帶燒毀的情形。



圖 4-16 加熱帶燒毀之異常事故照片

進一步分析此 Heating Jacket 異常事故，主要的原因為溫控器內 SSR 遭電流過大擊穿，主電線過熱造成電線走火引起火苗所造成，如圖 4-17 所示。

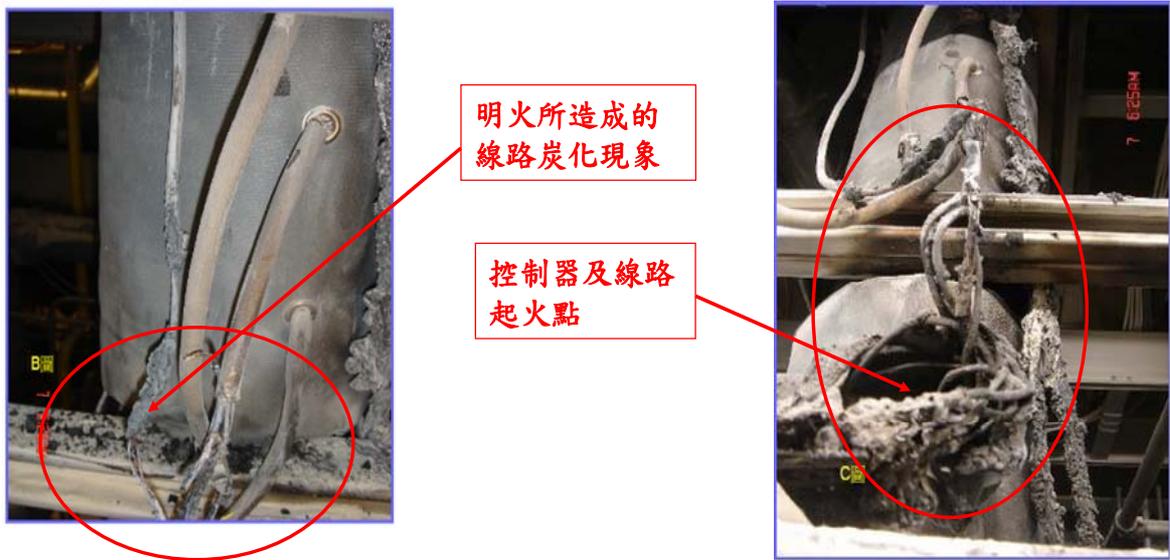


圖 4-17 主電線過熱造成電線走火照

而次要原因則是加熱帶裡布(內層)材質使用不當，造成內部加熱線圈短路，引起加熱器電流過大，使得溫控器內 SSR 遭電流過大而擊穿電線且過熱，導致電線走火引起火苗如圖 4-18 所示。

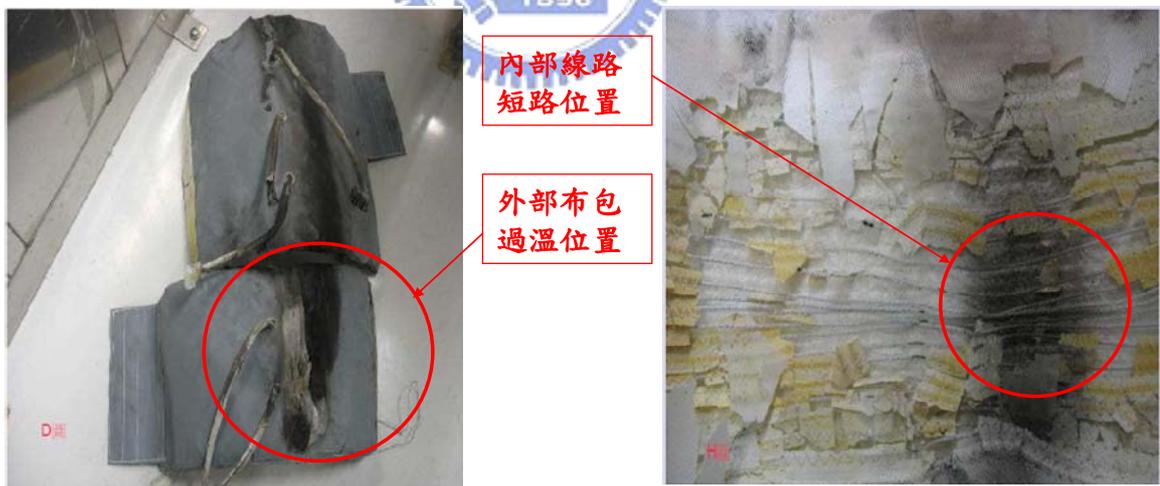


圖 4-18 溫控器內 SSR 遭電流過大而擊穿電線且過熱照片

針對此事件開會討論後，未來之改善方案及預防措施如表 4-1 所示：

1. 加熱線圈設計: 最大功率以不超加溫 220°C 度為限。
2. 過溫保護裝置: OVER TEMP SWITCH 165°C。

- 3.過電流保護裝置:控制器內含 200 °C FUSE。
- 4.溫控器規格: SSR 240V 3A。
- 5.加熱帶規格:手工繞線式矽膠加熱帶，線徑 0.08mm 最大工作電流 2A。
- 6.安全設計規格:溫控器與布包間採取通風設計如圖 4-19 所示，使接觸面將不聚熱。
- 7.漏電保護裝置:最大漏電流為 30mA，如超過將自動斷電。
- 8.整場運轉監控系統:該廠內部 Office 建構 CMS 監控系統以能即時監控 Heating Jacket 工作溫度及現場狀況，其 CMS Concept 如圖 4-20 所示。

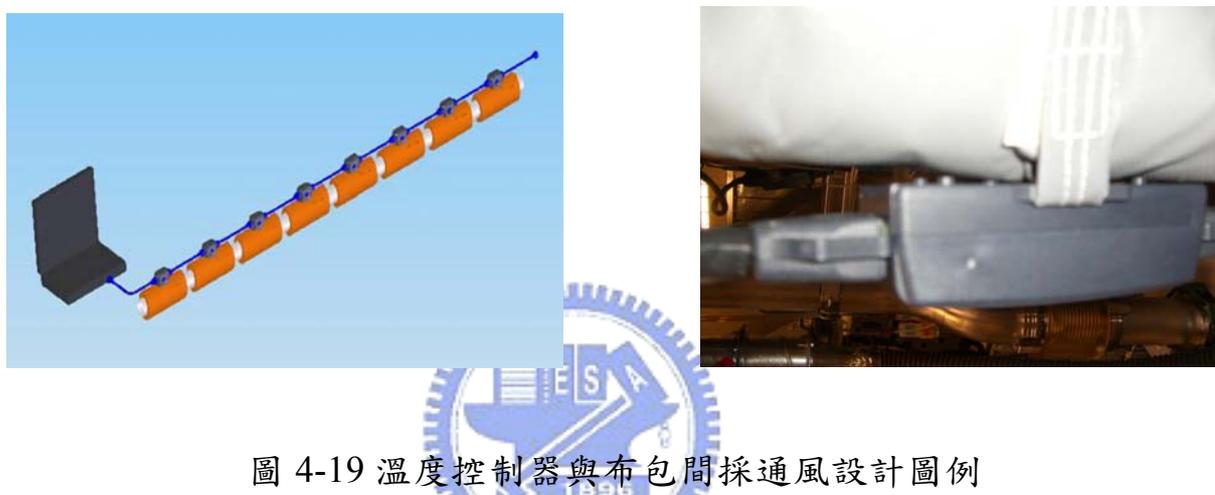


圖 4-19 溫度控制器與布包間採通風設計圖例

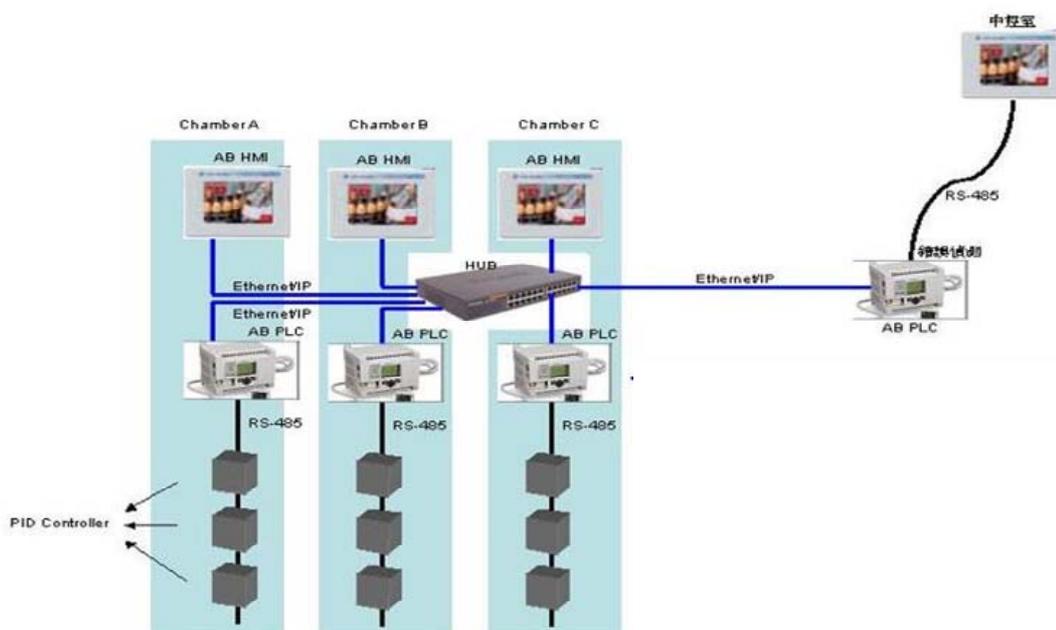


圖 4-20 整場運轉監控系統圖例

表 4-1 Heating Jacket 改善前改善後差異比較表

	改善前		改善後	
Heating Jacket 裝設區域	Chamber to pump		Chamber to pump	
Module使用設定溫度	Temp 1: 180°C		Temp 1: 150°C	
Heating Jacket 表面溫度	50-60		45-48	
控溫裝置方式 (單點控制 or 非單點控制)	非單點控制		單點	
Heating jacket 材質? 耐溫?	矽膠	260°C	矽膠	260°C
外襯布包材質? 耐溫?	鐵氟龍	500°C	鐵氟龍	500°C
內襯布包材質? 耐溫?	KAVLA	400°C	KAVLA	400°C
保溫棉材質? 耐溫?	陶瓷棉	1200°C	陶瓷棉	1200°C
Control Box body 材質? 耐溫?	PVD	185°C~205°C	杜邦LINON	260°C
Control Box 設置方式	多支加熱器1個控制點		每支加熱器1個控制點	
Wired Heater 材質	鎳合金		鎳合金	
Thermal Couple設置方式	每個溫控器1個感溫點		每支加熱器1個感溫點	
Fuse設置方式	每個溫控器1個FUSE		每支加熱器2個FUSE	
Overtemp Switch裝置方式	每個溫控器1個Overtemp Switch		每支加熱器1個Overtemp Switch	
布包加熱溫度最大值			220°C	
Interlock功能為何?	有含溫控器之布包保護功能如下 1. 感溫器溫度回遡控制SSR。 2. 加熱器過電流時FUSE溶斷作過載保護。 3. 加熱器過溫時Overtemp Switch跳脫線路斷路		每一段加熱布包均含下列功能 1. 感溫器溫度回遡控制SSR。 2. 加熱器過電流時FUSE溶斷作過載保護。 3. 加熱器過溫時Overtemp Switch跳脫線路斷路 4. Heater本身有設計溫度最高上限, 所有加熱器最高溫只能升溫至220度	
是否CE認證通過(請提供證書)	溫控器無認證		每項元件皆有認證	
加熱線徑規格	0.1mm		線徑0.08mm	

## 第五章結論與建議

### 5.1 結論

本文的氣體異常事故數據資料雖出自某國內半導體廠之風險管理部門，因考量機密資料之適切性，因此所得統計數據僅供參考，但是本研究係以半導體廠製程尾氣處理設備系統運作的角度，利用 HazOp 分析方法，藉以有效降低此區風險危害的程度與範圍，並建立製程尾氣區域處理系統危害分析參考指標與改善方案，提供日後建廠人員的設計規劃參考，以提升機台運轉的穩定性及作業人員的安全性。

經由該廠最新統計的圖表資料顯示(表 5-1、表 5-2、圖 5-1)，原本具高風險等級的危害項目，經各專家意見的整合及具體的改善方案，已達成降低到其風險等級 4 的目標。

表 5-1 96 年度 Local Scrubber 改善後風險矩陣分析表



項次	風險評估項目	發生頻率	嚴重性	風險等級
1	Scrubber Parts 腐蝕/失效	C	3	4
2	Exhaust 結晶/阻塞漏氣	C	3	4
3	Heater Jacket 燒毀	E	1	4

表 5-2 異常事件 95、96 年度統計表

項次	風險評估項目	95 年	96 年	備註
1	Scrubber Parts 腐蝕/失效	11	3	
2	Exhaust 結晶/阻塞漏氣	8	2	
3	Heater Jacket 燒毀	1	0	持續觀察

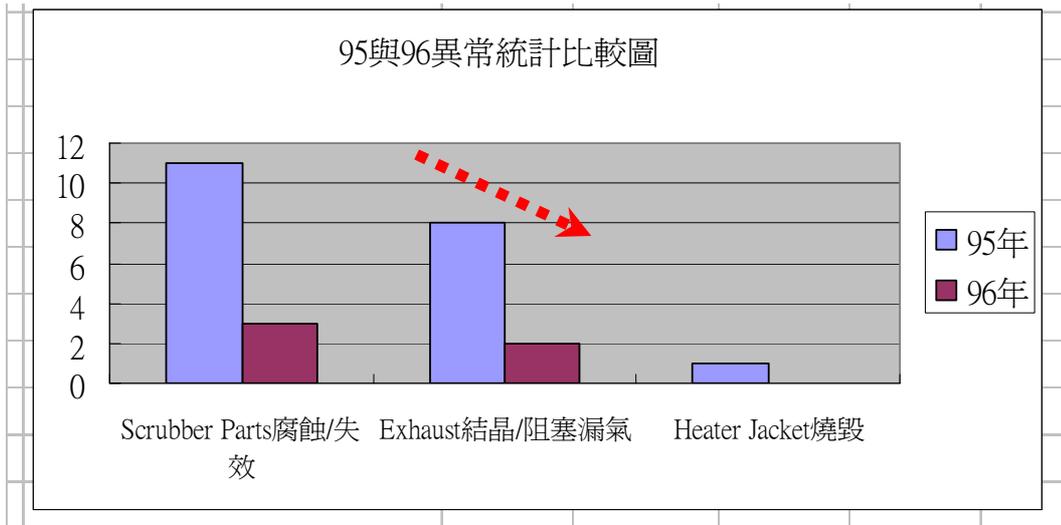


圖 5-1 95 年度與 96 年度異常統計比較圖

雖然總體資料顯示風險等級有下降的趨勢，大部份之改善方案也符合預期，但是追蹤相關細項，仍然有須要加強的地方，藉此提出做為相關人員日後參考，改善後所呈現的問題及建議如下：

1. 95 年歲修時，將 T/F 區大部分之 SUS 材質之酸排風管改成 FRP 材質，風管本體結晶、洩漏之情況有明顯減少趨勢，但是圖 5-2 顯示結晶情況並未徹底解決，仍有小部份結晶情形。



圖 5-2 SUS 與 FRP 材質之 Exhaust 結晶狀況

2. Edwards 的 Scrubber 在 D-poly system FDT01~FDT10 更換成 Service Module，改善原先 WRU Module(Filter)處理 Powder 效率不佳的情況。其

優點是可去除 SiH<sub>4</sub> 所產生大量 Powder，在 Self-Cleaning 時不會因泡沫而造成當機。但是新增的問題則是用水量增加，一台 25 Liter/min (等於 5 台 Hydro Cyclone 用水量)。

3. 燃燒式的 Scrubber 以一般瓦斯做為燃料，設置時需考量瓦斯洩漏燃燒對週遭環境的影響，設置時應有防火區劃的空間設計。且其加熱方式除溫控系統以外，須有另一套獨立的過熱保護裝置，以在溫控系統失效過溫時切斷電源或燃料供應。

4. 針對 T/F 區電熱水洗式之 Local Scrubber，加熱棒於反應過程中常因發生 Powder 附著造成 Scrubber 處理效能不佳之問題，日後將以燃燒水洗式代替，並要求設備廠商進行操作條件最佳化調整。

5. 當設備運作時，Scrubber 內部會保持一定之壓力，當管線內部壓力過高又發生 Powder 堵塞時，常會導致製程尾氣與 Powder 由管路法蘭處噴出，造成對周遭環境污染與人員的危害，所以如 T/F、DIFF 等部門常發生粉塵溢散情形。建議將 Scrubber 設置於非塵室區域當異常發生時可以將危害減至最小。

6. 如設備進行 Cost Down 時後，Dry Type 的 Scrubber 改採用非原廠之吸附劑時，應要求提供廠商重新檢測 PFCs 的處理效率。

7. 廠務配管時因空間問題，水氣無法有效排出，酸液蓄積於管路較低處，容易造成管路腐蝕。整體性排氣系統的設計及規劃攸關排氣管路使用之安全性，唯有落實排氣管路之安全管理方能改善其安全風險，遂日後在籌建新廠需預留削減設備安裝之空間及配管，並考慮相關安全因素，而舊廠的重點放在 T/F 製程進行製程最佳化改善，進一步考慮替代化學品的運用。

## 5.2 建議

日本、韓國、美國等國家的產業協會，在半導體的製程與尾氣處理技術研發的投入，每年都有幾十億美金以上的資金投入，其中來自政府資金的支援非常大。而廠商則投入人力與技術，一起開發新技術與新產品。國內雖然政府單位的資源較為有限，亦可結合幾個單位的力量一起努力，包含如環保設備公會的技术能力、奈米實驗室的硬體設備與生產技術、工研院的研究資源等，再加上對政府提出計劃的經費支援，將有機會開發出更有競爭力的半導體尾氣處理技術設備。綜合本研究上述之結論，針對製程尾氣區域處理設備系統，以減少未來異常事件發生之參考提出幾點共通性建議：

1. 爾後在選擇製程尾氣區域處理設備等，應審慎評估其處理效率及其他副作用，如安全、能源消耗、廢水和廢棄物處理等因素。並需要有經過 SEMI S2 的安全性評估的認證標準。
2. 未來可與工研院合作，藉由分析儀器分析局部廢氣處理設備之處理效率來調整局部廢氣處理設備的操作參數，達到經濟有效之最佳化操作條件，甚至可以協助調整製程機台參數，減少製程氣體的使用量，既環保又節省成本。
3. 本研究在進行風險對策改善時，以工程控制為主要探討主題，並未考慮到工作程序上人員的素質及管理問題，但在系統設備實際運作過程中，管理層面的問題卻十分重要，所以未來的研究方向，可以朝管理層面上的議題加以討論。
4. 未來除了繼續探討各項安全分析技術半導體製程尾氣區域處理設備之適用修正，以找出最佳評估方式外，將危害風險評估與成本效益分析整合並建立估算模式，也是重要的研究議題。

## 參考文獻

- [1]廖海瑞，陳文勇，半導體廠使用危害性氣體感測器認知，工業安全科技，(民 93 年 5 月)
- [2]我國半導體產業國際競爭力分析，游啟聰(民 87)
- [3]提升我國半導體產業優勢能量。網址：  
<http://www.moeaidb.gov.tw/portal.html>，經濟部工業局，(民 97 年 2 月)
- [4]莊達人，VLSI 製造技術六版修訂，台北，三民書局，(民 95)
- [5]馬榮華，廠務科技與管理，台北，揚智文化，(民 93 年 10 月)
- [6]周崇光，積體電路製程尾氣控制技術之發展與應用，產業環保工程實務技術研討會，(民 89)
- [7]Rand,S.D. (The Semiconductor Industry's Model Strategy For Global Climate Protection)，Semiconductor Fabtech，(1999)
- [8]呂慶慧，全球半導體產業 PFCs 排放減量現況技術報導，(民 96)
- [9]全氟化物 PFCs 排放減量防制技術手冊，行政院環境保護署，(民 93)
- [10]孫繼光，毒害性製程尾氣處理技術與其對國內半導體業發展政策上之研究，經濟部科技專案成果，(民 91 年 12 月)
- [11]韋厚德，Local Scrubber 系統設備教育訓練報告，力晶半導體股份有限公司，(民 97 年 4 月)
- [12]黃清賢，危害分析與風險評估操作手冊，台北，新文京開發圖書，(民 92 年 9 月)
- [13]機械設備危害評估方法，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，(民 91 年 2 月)
- [14]紡織業損害防阻評估指引，經濟部工業局，(民 89 年)
- [15]郭今玄，環境與安衛風險評估整合工具之建置與應用研究—以研究機

構為例，國立交通大學，碩士論文，(93年7月)

[16] Harris R.Greenberg And Joseph J.Gramer，「Risk Assessment And Risk Management For The Chemical Process Industry」，Van Nostrand Reinhold，New York，(1991)

[17] SEMI，Facility Standards And Safety Guidelines SEMI S10-1296，(1998)

[18] 旭裕科技，Local Scrubber 水氣問題簡報，旭裕科技股份有限公司，(民93年10月)

[19] 鄭景隆，Local Scrubber 廢氣處理系統教育訓練報告，力晶半導體股份有限公司，(民91年2月)

[20] SEMI，Semiconductor Equipment and Materials International，SEMI S2，「Safety Guidelines for Semiconductor Manufacturing Equipment」，(1996)

[21] NFPA318，National Fire Protection Association，「Flammable and Combustible Liquids Code」，(1990)

[22] 半導體產業製造流程圖。網址:

<http://www.itis.org.tw/>，工安衛中心ITIS，(民97年3月)

[23] 半導體製造業空氣污染管制及排放標準。網址:

<http://www.epa.gov.tw/>，行政院環保署，(民88年12月)

[24] 林俊男，半導體業全氟化物 PFC 減量技術，台灣半導體產業協會，(民92年7月)



附錄二：物質安全資料表 MSDS 十六大項摘要說明

標題	目的	分類
一、物品與廠商資料	確認物質基本資料，以提供諮詢管道	緊急事故時必須立刻知道的資訊
二、成份辨識資料	了解物質組成、危害成份等資訊	
三、危害辨識資料	以簡短摘要訊息，描述物質性狀與重要危害，提供緊急應變人員最立即有效的訊息	
四、急救措施	提供急救/醫護人員立即性處理建議，以減緩或降低暴露危害	危害事故發生時之處
五、滅火措施	預防起火或爆炸，作為消防隊員及緊急應變人員初步處理參考	
六、洩漏處理方法	意外洩漏及外溢狀況下的應變步驟	
七、安全處置與儲存方法	提供倉儲、使用人員在保存、處置時應了解注意事項	如何預防危害事故發生
八、暴露預防措施	提供各種方法及標準，以降低人員暴露危害	
九、物理及化學性質	提供辨別物質之外貌基本資料，作為日常處理及緊急應變參考	
十、安定性及應性	為避免引起火災或劇烈反應，要了解化學品避免的物質或狀況，提供儲存、處理、廢棄時分類參考	
十一、毒性資料	讓使用者了解接觸化學品毒性及健康危害，以達到警示與事先防範的效果	其他有用資訊
十二、生態資料	評估洩漏對生態環境造成的影響，供環保、廢棄物處理人員參考	
十三、廢棄處置方法	提供適當廢棄處理方法，供環保、廢棄物處理人員參考	
十四、運送資料	提供運輸相關資訊，以應用緊急應變指南，儘速採取因應措施	
十五、法規資料	條列相關法令規定	
十六、其他資料	加註相關資料及諮詢管道	

附錄三：該晶圓廠使用之氣體標示與特性

分子式	英文	TLV/TWA	LEL/UEL%	味道	顏色	21oC 蒸氣壓	特性
PH3	PHOSPHILE 磷化氫	0.3 ppm	自燃	臭魚	無	593Psig	毒性，遲滯反應，神經呼吸系統傷害
GeH4	GERMANE 四氫化鍺	0.2 ppm	自燃	無	無	150Psig	毒性極燃性
ASH3	ARSINE 砷化氫	0.05 ppm	4.5/64	大蒜	無	205Psig	毒性，遲滯反應，神經呼吸系統傷害
H2Se	HYDROGEN SELENIDE 硒化氫	0.05 ppm	不穩定	討厭味	無	125Psig	極燃性
DeTe/H2	DIETHYLTELLURIDE 乙碲醚(二乙碲)	Te 0.1mg/m3	自燃	—	紅黃色 液體	7.1 mmlg	極毒性，不溶於水，能溶於醇 極易產生 PARTICULARLY 於管線上
C2F6	HEXAFLUORETHANE 六氟乙烷	—	—	無	無	460Pig	窒息性氣體
CF4	TETRAFLUORIDE METHANE 四氟乙烷	—	—	無	無	2000Psig	窒息性氣體
F2	FLUORINE 氟	1.0 ppm	—	特殊味	淡黃	300Psig	強氧化極毒，肺刺痛侵蝕牙齒骨頭
CL2	CHLORINE 氯	0.5 ppm	—	窒息味	綠黃	85.3Psig	氧化性，高濃度時，呼吸困難， 琥珀色液體

CLF3	CHLORINE TRIFLUORIDE 三氟化氯	0.1 HFppm	—	些微甜	無	35.0Psig	與空氣分解感HF，遇水或有機物可能爆炸腐蝕
HF	HYDRGEN FLUORIDE 氟化氫	3.0 ppm	—	無	白煙	0.9Psig	遲滯反應，嚴重曝露可能致死
BF3	BORON TRIFLUORIDE 三氟化硼	1.0 ppm	—	刺痛酸	白煙	1800Psig	接觸脫水性灼傷，遇空氣分解成HF
HCL	HYDRGEN CHLORIDE 氯化氫	5.0 ppm	—	刺激窒息	白煙	641.0Psig	腐蝕，1500-2000 PPM/數分鐘致死
HBr	HYDRGEN BROMIDE 溴化氫	3.0 ppm	—	刺激	白煙	341.0Psig	腐蝕，1000-1300 PPM/30分鐘致死
BrF3	BROMINE Trifluoride 三氟化溴	HF	—	無	灰黃液體	0.135Psig	氧化性，遇空氣分解成HF，遇水或有機物可能爆炸與腐蝕
NH3	AMMONIT 氨	25.0 ppm	15/28	刺激	無	142.2Psig	強鹼性，易溶於水
B2H6	DIBORANE 乙硼烷	0.1 ppm	0.8/98	惡臭	白煙		溶於CS2.在水中成硼酸及H2 不穩定，必需低溫貯存.閃點-92°C
BCL3	BORON TRICHLORIDE 氯化硼	1.0 ppm	—	刺激 發辣	白煙	4.4Psig	與水反應感HCL
WF6	TUNGSTEN HEXFLUORIDE 氟化鎢	HF	—	淡黃液體	無	3.5Psig	毒性，連續，刺激腐蝕

NF3	NITROGEN TRIFLUORIDE 三氟化氮	10.0 ppm	—	無	無	1450Psig	強氧化劑，遠離油脂類
SiH2CL2	DICHLORIDE SILANE 氯化矽	5.0 ppm	4.1/98.8	刺激	無	9.5Psig	高毒性，燃性，與水接觸成 HCL
Si2H6	DISILANE 矽乙烷	5.0 ppm	10/	—	無	1250Psig	在空氣中極易燃燒
SiH4	SILANE 矽甲烷	5.0 ppm	0/	—	無	1250Psig	在空氣中極易燃燒
SiHCL3	TRICHLOROSILANE 三氯化矽	5.0 ppm	7/83	窒息	無	5-20Psig	高毒性，燃性，與水接觸成 HCL
CH3CL	METHY CHLORINE 氯甲烷	50.0 ppm	10.7/17.4	微甜美	無	26.0Psig	與鋁混合成爆炸性氣體
SiCL4	SILICON TETRACHLORIDE 四氯化矽	5.0HCLppm	—	甜美	無	5-20Psig	與水反應成 HCL，IDLH/100PPM
N2O	NITROUS OXIDE 笑氣	50.0 ppm	—	甜美	無	745Psig	氧化性，麻醉性
H2S	HYDRGEN SULFIDE 硫化氫	10.0 ppm	4.0/44	臭蛋	無	247Psig	刺激腐蝕性，遠離水源
SO2	SULFIDE DIOXIDE 二氧化硫	2.0 ppm	—	可發覺味	無	34.4Psig	與水反應成 H2SO3，毒性腐蝕性
NO	NITRIC OXIDE 一氧化氮	3.0 ppm	—	無	無	500Psig	與空氣極易形成 NO2，吸入些許會頭昏眼花疲倦
NO2	NITROGEN DIOXIDE	3.0 ppm	—	紅褐	無	0Psig	極易成 N2O4，吸入些許會頭昏眼花

	二氧化氮						疲倦
CO	CARBON MONOXIDE 一氧化碳	50.0 ppm	12.5/74	無	無	—	毒性，燃性
CH4	METHANE 甲烷	—	5.0/15	無	無	—	吸入過多造成昏厥
C2H2	ACETYLENE 乙炔	—	2.5/81	微甜美	無	250Psig	活潑，易燃氣體與丙酮共存
C2H4	ETHYLENE 乙烯	—	3.1/3.6	芳香味	無	1200Psig	微麻醉性，易昏厥
C2H6	ETHANE 乙烷	—	3.0/12.4	芳香味	無	544Psig	微麻醉性，易昏厥
C3H8	PROPANE 丙烷	—	2.1/9.5	芳香味	無	110Psig	微麻醉性，易昏厥
C3H6	PROPYLENE 丙烯	—	2.0/11	芳香味	無	136Psig	微麻醉性，易昏厥
C4H10	BUTANE 丁烷	—	1.8/8.4	喜歡味	無	16Psig	微麻醉性，易昏厥
D2	DEUTERIUM 重氫	—	5.0/75	無	無	—	易燃，與 H2 同族群
H2	HYDROGEN 氫氣	—	4.0/75	無	無	—	自燃，發火溫度 400°C
CH3F	HETHYL FLUORIDE 氟代甲烷	2.5Mg/M3	—	—	無	—	有毒性易燃，高濃度時具有麻醉性
CH3CL	METHYL CHLORIDE 氯甲烷	50ppm	10.7/17.4	淡甜味	無	59Psig	自燃溫度 632°C
CHF3	FLUOROFORM 氟仿	—	—	無	無	635Psig	不易燃 BP-84°C