

# 半導體金屬蝕刻機台於預防維修時之污染物逸散控制

學生：古坤文

指導教授：蔡春進

國立交通大學工學院產業安全與防災學程碩士班

## 摘 要

半導體金屬蝕刻製程主要使用  $\text{Cl}_2$ (氯氣)、 $\text{BCl}_3$ (氯化硼)等氣體，以高能電漿(plasma)離子化產生自由基(free radicals)後使其與晶圓表面之鋁反應將多餘之鋁蝕刻而產生溝槽。為維持晶圓生產良率須定期進行腔體的預防維修保養，主要清除反應腔壁所附著製程副產物。在打開密閉反應腔及擦拭腔壁時會產生極刺鼻味道且含有  $\text{HCl}$ 、 $\text{HCN}$ 、 $\text{CNCl}$  等毒性氣體，會逸散至潔淨室，所造成勞工健康危害。

本實驗主要目的在研究金屬蝕刻預防維修保養擦拭反應腔時，建立良好反應腔(內徑 30.5cm x 21.5cm)污染物逸散控制方法與探討其控制效率。實驗以固定流量的 1000 ppm 追蹤氣體  $\text{SF}_6$  在腔底連續釋放，以了解反應腔的氣罩效率或反應腔上方全開，在側邊視窗孔抽氣時對污染物逸散的控制效率。在氣罩的控制效率實驗時，在反應腔底  $\text{SF}_6$  流量為 5 LPM 釋放，腔面外加上本實驗所設計氣罩並與潔淨室內低真空抽氣軟管銜接抽氣控制；利用反應腔側邊抽氣的控制效率實驗時，反應腔底的  $\text{SF}_6$  以 1 lpm 5 lpm 8 lpm 10 lpm 釋放。以上兩種實驗的氣罩或側邊抽氣流率均為  $3130 \pm 68$  lpm。污染測量儀器為 FTIR，量測點包含呼吸帶與低真空抽氣軟管末端。抽氣效率定義為  $\text{SF}_6$  於腔底部釋放與低真空軟管前段釋放時，兩者在低真空抽氣軟管末端  $\text{SF}_6$  平均濃度之比值。

實驗結果顯示在反應腔於進行定期預防保養維修擦拭時，於反應腔視窗孔處進行抽氣，可有效的控制危害性的氣體逸散控制，在呼吸帶測得的追蹤氣體  $\text{SF}_6$  濃度均低於 FTIR 之偵測下限。反應腔全開之抽氣控制效率最高 98.8%，與使用氣罩時之控制效率 97.5% 不相上下。因此在反應腔全開之情況下，在側邊的視窗孔抽氣，可有效的控制氣體污染物逸散，此方法可以廣泛的應用至半導體金屬乾蝕刻機台的預防保養作業。

關鍵詞：潔淨室、半導體、金屬蝕刻、抽氣罩、污染物控制。

# Controlling Pollutant Dispersion during Preventative Maintenance of a Metal Etcher in a Semiconductor Factory

student : Kwen-wen Ku

Advisor: Chuen-Jinn Tsai

Degree Program of Industrial Safety and Risk Management  
College of Engineering  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

The main gases in metal etching are hydrogen trichloride and boron chloride in semiconductor manufacturing processes. The process gases are ionized to form free radicals by plasma, which etch off aluminum film of the wafer surface. To increase product yield, the by-product deposited on the reactor chamber must be cleaned during preventive maintenance. When we open and clean the chamber, odor as well as toxic gases(e.g., hydrogen chloride, cyanogen chloride, hydrogen cyanide, etc.) are released. These toxic gases are diffused into the clean room and pose health threat to workers.

The main purposes of this study are to develop a method to control pollutant dispersion and to measure the control efficiency during the chamber preventative maintenance of a metal etcher. The research method is to release a 1000ppm SF<sub>6</sub> tracer gas at the bottom of the chamber. The hood control efficiency was measured when the SF<sub>6</sub> flow rate was 5 LPM and the total venting flow rate of 3130±60 LPM. The control efficiency by side drafting near the opening of the chamber was measured at the SF<sub>6</sub> flow rate of 1,5,8,10 LPM. The venting flow rate was also 3130±60 LPM. The SF<sub>6</sub> concentrations at the breathing zone and the end point of the venting pipe were measured by an

extractive FTIR. The control efficiency is defined as the ratio of the measured SF<sub>6</sub> concentrations at the end point of venting pipe to that in the chamber.

The results show that the toxic gases dispersion can be controlled effectively by venting air at the window of the chamber. The SF<sub>6</sub> concentration at the breathing zone was found to be lower than the detective limit of the FTIR. The measured control efficiency by side vacuuming of a fully opened chamber is 98.8%, which is comparable to 97.5% by using a hood. Therefore, the side vacuuming method is an effective pollution dispersion control method during the preventive maintenance of the metal dry etcher in the semiconductor factory.

Key words: clean room, semiconductor, metal etching, hood, pollutant controlling.

## 誌 謝

本研究實驗與工研院環安中心 李壽南博士、施惠雅小姐合力完成，在此非常感謝。

非常感謝 謝 看經理、古叢誌副理、周主安副理及楊志光等設備同仁、學陵實業公司提供良好的資源及協助才能在論文研究上有更進一步的突破與進展。

由衷感謝指導教授 蔡春進教授細心有條理指導論文研究與寫作，才能順利完成學業並在專業領域中更上一層樓。

# 目 錄

摘要		i
誌謝		iv
目錄		v
圖目錄		vi
表目錄		viii
第一章		1
1.1	研究緣起	1
1.2	研究目的	2
第二章	文獻回顧	3
2.1	金屬蝕刻製程污染物的形成機制	3
2.2	局部抽氣罩與效率評估	24
第三章	研究方法	37
3.1	FTIR 應用	37
3.2	實驗方式	37
3.3	量測儀器與工具	39
3.4	污染物逸散控制效率評估	41
第四章	結果與討論	43
4.1	抽氣罩污染物逸散控制	43
4.2	反應腔全開 PM 污染物逸散控制	44
第五章	結論	46
參考文獻		47
附錄		75

## 圖目錄

圖 2.1	D 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCl 濃度變化圖	7
圖 2.2	B 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖	10
圖 2.3	C 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖	11
圖 2.4	C 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCl 濃度變化圖	12
圖 2.5	D 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖	13
圖 2.6	局部排氣罩評估濃度變化圖	32
圖 2.7	密閉抽氣罩圖	34
圖 2.8	FTIR 採樣點	35
圖 2.9	密閉抽氣罩效能評估圖	36
圖 3.1	T 型機台氣罩示意圖	51
圖 3.2	P 型機台氣罩示意圖	52
圖 3.3	T 型機台抽氣罩	53
圖 3.4	P 型機台抽氣罩	53
圖 3.5	機台外加抽氣罩抽氣示意圖	54
圖 3.6	真空管末端採樣點	54
圖 3.7	P 型機台反應腔全開抽氣控制示意圖	55
圖 3.8	追蹤氣體 SF <sub>6</sub> 在反應腔底部氣體分散管	55
圖 3.9	追蹤氣體 SF <sub>6</sub> 管伸入反應腔壁之真空管內	56
圖 3.10	呼吸帶採樣點與反應腔相對位置圖	57
圖 4.1	氣罩與反應腔全開抽氣效率圖	59
圖 4.2	T 型機台 SF <sub>6</sub> 釋放 5 lpm 時的 SF <sub>6</sub> 濃度變化圖	60
圖 4.3	P 型機台 SF <sub>6</sub> 釋放 5 lpm 時的 SF <sub>6</sub> 濃度變化圖	61
圖 4.4	T 型機台氣罩效能評估圖	62
圖 4.5	T 型機台氣罩效率評估圖	63
圖 4.6	P 型機台氣罩效能評估圖	64
圖 4.7	P 型機台真空管伸入視窗孔抽氣效率評估圖	65
圖 4.8	P 型機台氣罩效率評估圖	66

圖 4.9	SF <sub>6</sub> 釋放流量 1 lpm 時的 SF <sub>6</sub> 濃度變化圖	67
圖 4.10	SF <sub>6</sub> 釋放流量 5 lpm 抽氣效率評估濃度變化圖	68
圖 4.11	SF <sub>6</sub> 釋放流量 8 lpm 抽氣效率評估濃度變化圖	69
圖 4.12	SF <sub>6</sub> 釋放流量 10 lpm 抽氣效率評估濃度變化圖	70
圖 4.13	SF <sub>6</sub> 釋放流量 1 lpm 效能評估圖	71
圖 4.14	SF <sub>6</sub> 釋放流量 5 lpm 效能評估圖	72
圖 4.15	SF <sub>6</sub> 釋放流量 8 lpm 效能評估圖	73
圖 4.16	SF <sub>6</sub> 釋放流量 10 lpm 效能評估圖	74

## 表目錄

表 2.1	半導體廠金屬蝕刻機台預防保養作業量測結果表	9
表 2.2	典型低壓離子反應電漿的特性表	16
表 2.3	金屬蝕刻機台在工作區域環境人員曝露表	18
表 2.4	半導體金屬蝕刻預防保養作業環境空氣中有害物表	20
表 2.5	鋁金屬蝕刻反應腔排放固態廢棄物分析表	22
表 4.1	量測數據總表	58

# 第一章 前言

## 1.1 研究緣起

半導體金屬蝕刻製程主要使用  $\text{Cl}_2$ (氯氣)、 $\text{BCl}_3$ (氯化硼)、 $\text{CF}_4$ (四氟化碳)、 $\text{N}_2$ (氮氣)、 $\text{Ar}$ (氬氣)、 $\text{He}$ (氦氣)，以高能電漿(plasma)離子化產生自由基(free radicals)後使其與晶圓表面之鋁反應將多餘之鋁蝕刻而產生溝槽。在正常生產操作時，所有氣體管線與生產設備機台均在密閉狀況下，但在進行預防維修保養時必須將原有之密閉製程系統予以解除。預防保養作業之機台週期約為 10 至 13 日，主要清除反應腔壁所附著製程副產物之乳白色聚合物，以避免晶圓生產良率下降。預防保養方式為停機打開密閉反應腔，以去離子水或異丙醇擦拭反應腔壁。在打開密閉反應腔及擦拭腔壁時會產生刺鼻之味道並伴隨白色煙霧，而進行此作業人員均必須依據標準作業程序穿戴全罩式輸氣管面罩，以避免吸入化學污染物而影響身體健康。而此時機台反應腔所殘存之危害性化學污染物及電漿(plasma)製程中所產生之副產品，便會擴散至預防維修作業區域並由潔淨室迴風系統輸送至潔淨室影響空氣品質。在潔淨室可能的主要影響為作業勞工身體健康、廠區安全、晶圓生產良率等。

在半導體製程設備於預防維修中產生逸散之氣體，有些副產物氣體很難從製程所使用之原物料中去推知，但可藉由霍氏紅外光譜偵測儀(FTIR)即時檢測預防維修保養時所逸散之化學污染物或以不鏽鋼筒(canister)採樣及氣相層析質譜法分析作業環境空氣中的有害物。一座半導體廠金屬蝕刻機台數量約為 15~25 台，其反應腔約為 30~40 個，每個月進修行預防保養機台反應腔次數為 60~90 次，其所逸散化學污染物量應是相當可觀的。因此為有效降低於預防維修時所逸散之氣體污染物濃度，以維護潔室空氣品質與保護維修保養工程師及在潔淨室工作人員之安全及衛生，必須要有一個良好的控制方法。

## 1.2 研究目的

本研究的目的為改善金屬蝕刻製程於進行預防維修保養時之標準作業程序，以有效抑制並控制化學污染物的逸散，工作項目包含：

- (1) 設計一組適合於機台反應腔擦拭時之局部抽氣罩，並評估污染物逸散的控制效率。
- (2) 機台反應腔全開時，於靠近上方之視窗孔抽氣，並評估其對於污染物逸散之控制效率。

## 第二章 文獻回顧

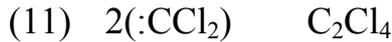
### 2.1 金屬蝕刻製程污染物的形成機制

在半導體鋁薄膜金屬蝕刻製程中所使用之蝕刻劑為氯氣( $\text{Cl}_2$ )、氯化硼( $\text{BCl}_3$ )， $\text{Cl}_2$  做為主要蝕刻劑， $\text{BCl}_3$  則普遍用在蝕刻蝕凹槽側壁純化作用。於電漿蝕刻製程中會伴隨著一些沉積產生，因此必須要有例行電漿乾式清洗來移除反應室內的沉積物。而在經過數千微米的薄漠蝕刻後，在反應室壁的薄漠會沉積而逐漸變厚並造成微粒剝落污染的問題，因此必須要有定期預防維護(Preventive Maintenance, PM)反應室的溼式清洗(羅和張，民國 92 年)。

Bauer et al. (1996) 以製程氣體  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、四氯化碳( $\text{CCl}_4$ )、三氯甲烷( $\text{CHCl}_3$ )、四氯矽烷( $\text{SiCl}_4$ )、四氟甲烷( $\text{CF}_4$ )、三氟甲烷( $\text{CHF}_3$ )、六氟乙烷( $\text{C}_2\text{F}_6$ )、六氟化硫( $\text{SF}_6$ )、三氯氟烷( $\text{CFCl}_3$ )、三氟氯烷( $\text{CClF}_3$ )等，使用 Radio Frequency (RF) energy (13.56MHz) 使這些製程氣體產生離子化與自由基(Free Radicals) 而進行電漿蝕刻 (Plasma Etching)。在半導體廠正常生產狀況下以氣相層析質譜儀(GC/MS)及氣相層析儀/Fourier transform infrared

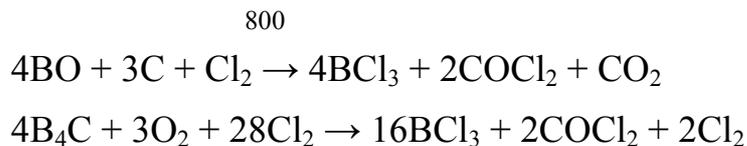
spectroscopy(GC/FTIR)進行電漿蝕刻製程之取樣分析,取樣對象包括製程尾氣、真空泵油及其後面廢氣管線之固體廢棄物。在氣態污染物分析結果發現有很多不同含 C、H、N、Cl 的有機化合物包含 CCl<sub>4</sub>、CHCl<sub>3</sub>、氯化氰(CNCl)、氯化苯(C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>)。Bauer et al. (1996) 人相信在高能量電漿場中,在最初步驟形成之有機化合物是破壞製程氣體而產生高反應性之化學物種,如氯化氰(cyanogen chloride, CNCl)、二氯化碳烯(dichlorocarbene, :CCl<sub>2</sub>)、氯自由基(chlorine radicals, Cl·)。在高能量電漿場中提供化學反應所須之活化能(active energy),而具有熱動力的性質加強產生較高分子量之有機化合物。Bauer 等人推測一些可能的化學反應如下:

- (1) 3ClCN → ClCNCICNCICN
- (2) CNCl+2ClCCCl → C<sub>5</sub>NCl<sub>5</sub>
- (3) C<sub>5</sub>NCl<sub>5</sub>+ ClCN → C<sub>5</sub>NCl<sub>4</sub>CN+ Cl<sub>2</sub>
- (4) 2ClCN +ClCCCl → C<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>NCCIN
- (5) 3ClCCCl → C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>
- (6) C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>+ ClCN → C<sub>6</sub>Cl<sub>5</sub>NCCl<sub>2</sub>
- (7) 2C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub> → C<sub>6</sub>Cl<sub>5</sub>C<sub>6</sub>Cl<sub>5</sub>+ Cl<sub>2</sub>
- (8) C<sub>6</sub>Cl<sub>6</sub>+ ClCCCl → C<sub>6</sub>Cl<sub>5</sub>C<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>
- (9) ClCCCl+ ClCN → CCl<sub>2</sub>CCICN
- (10) CCl<sub>2</sub>CCICN+ ClCN → Cl(CN)C=C(CN)Cl + Cl<sub>2</sub>



固態廢棄污染物來自於鋁反應離子蝕刻(reactive ion etching, RIE)所產生，在反應腔(Reactor Chamber)、反應腔與真空泵之間的管路、廢氣排放管均有固態廢棄污染物的存在。

Herb et al. (1983) 提出氯化硼的生成，由氧化硼、氯氣及碳混合並加熱至 800 來反應產生，而會產生不純物之副產物氯化碳醯 (phosgene,  $\text{COCl}_2$ )，因此在電漿化學  $\text{COCl}_2$  會出現在  $\text{BCl}_3$  氣體中。用於製程且純度較高的  $\text{BCl}_3$  是由碳化硼( $\text{B}_4\text{C}$ )、氧化、氯氣反應產生，但還是會存在有氯化碳醯 300~1000 ppm 的存在。其反應式如下：



$\text{BCl}_3$  並無特定之偵測器可以有效使用，而以偵測氯化氫 (HCl) 代替，但會有其它化合物干擾偵測功能。

張振平等人(2000)以霍氏紅外光譜偵測儀(Close Cell FTIR)量測不同

半導體晶圓廠(A、B、C、D、E、F 廠)金屬蝕刻機台之維修保養作業，以去離子水或異丙醇(IPA)進行維修保養作業，FTIR 設定解析度為  $1\text{cm}^{-1}$ ，採樣氣量為  $6\text{ l/min}$ ，每一圖譜設定為 16 次掃描平均，每個量測點約 1 分鐘，採樣點的位置在機台上方至工作人員呼吸帶之間，採樣時間則為預防保養作業全程；檢測結果發現 HCl、HCN、 $\text{CCl}_4$ 、甲酸( $\text{HCOOH}$ )、一氧化碳( $\text{CO}$ )、異丙醇(IPA)等化學物質的存在，其濃度值最高分別為 195 ppm、220 ppm、5.4 ppm、5.18 ppm、5.93 ppm、291 ppm。而在進行金屬蝕刻預防保養量測時發現許多場合之 HCN 氣體濃度趨勢圖呈現規律性的出現兩次濃度的高峰，打開反應腔蓋時出現第一次濃度高峰之濃度較低，而以去離子水擦拭反應腔時出現第二次濃度高峰之濃度較高。許多事業單位 HCl 濃度趨勢圖與 HCN 濃度趨勢圖很類似，如 D 廠 HCl 濃度變化圖如圖 2.1，也是規律性出現兩次濃度的高峰。第一次濃度高峰是因為機台的反應腔打開，在空氣中之水蒸氣進入反應腔後和附著在反應腔內部的沉積物發生反應而釋放氣體。第二次濃度高峰是因為保養人員用去離子水擦拭時所產生。張、宋、朱和林(2000)推論 HCN 產生的原因為含氮原子的反應性氣體經由電漿(Plasma)加速後撞擊碳原子而產生氰根離子，再與金屬結合。經由兩次實驗驗證其推論，第一次依照正常作業程序打開腔蓋時進行量測 HCN 濃度，在工作人員的呼吸帶附近測得的最高濃度為 21 ppm；第二次則在反應腔進行擦拭作業前將氮氣通入反應腔，並以電漿加速反應，在依照正常程序進

行預防保養作業，在呼吸帶附近所測得 HCN 濃度最高為 220 ppm。

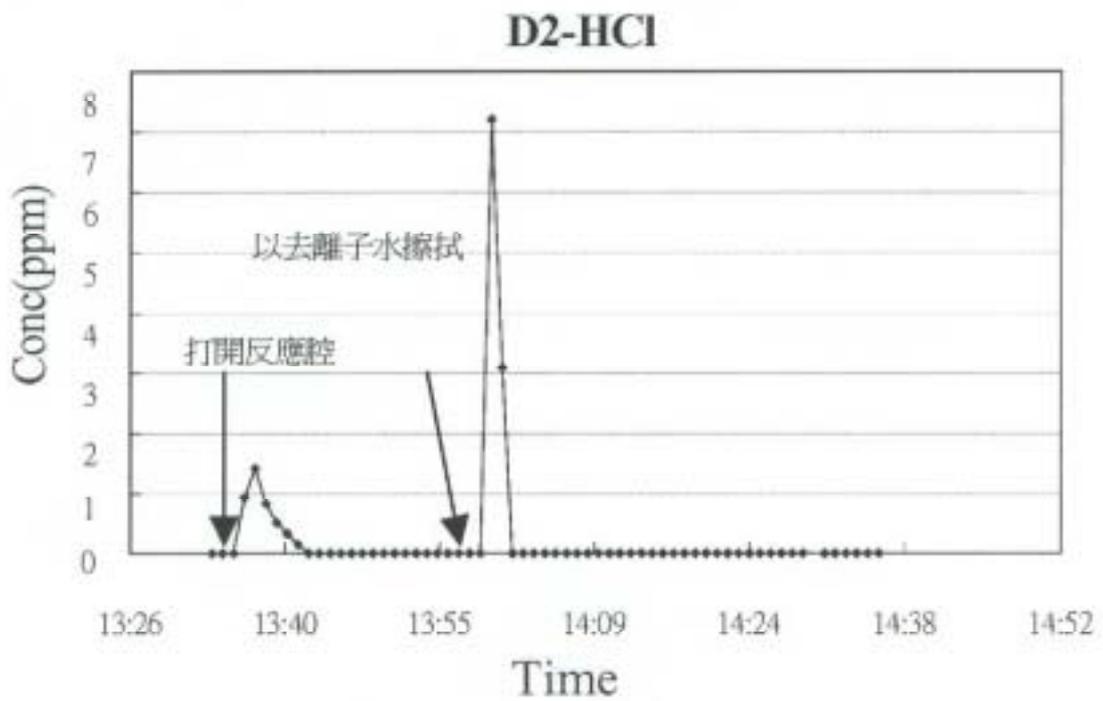


圖 2.1 D 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCl 濃度變化圖  
資料來源：張、宋、朱和林，民國 89 年。

張振平(2000)以霍氏紅外光譜偵測儀量測不同半導體晶圓製造廠(A、B、C、D、F 廠)金屬蝕刻機台以去離子水或 IPA 進行維修保養作業，量測數據總表，如表 2.1。A 廠 A4 為蝕刻機台，使用原料氣體為氯氣、三氯化硼、六氟化硫、氫氣，其中六氟化硫為作業環境中一直存在的污染物，而甲酸、氯化氫、異丙醇並不是原料氣體。當反應腔開啟時甲酸、氯化氫即開始產生而異丙醇為擦拭溶劑，此機台氯化氫濃度最高將近 15 ppm，異丙醇濃度最高將近 67 ppm。B 廠 B2 機台氯化氫濃度最高約 2 ppm，氰化氫濃度最高 2.3 ppm，濃度變化圖如圖 2.2。C 廠 C1 及 C2 機台量測時亦可看出當反應腔開啟時，有低濃度之氰化氫、氯化氫出現，而使用去離子水擦拭反應腔壁，此兩種污染物立即大幅提昇，C1 機台氰化氫與氯化氫濃度變化圖如圖 2.3 與圖 2.4，氰化氫最高濃度可達 63 ppm，氯化氫濃度最高可達 28 ppm。D 廠 D2 機台所使用原料氣體為氯氣、三氯化硼、氮氣，進行預防保養作業量測時發現氰化氫、氯化氫、異丙醇、四氯化碳、一氧化碳、四氟化矽，其中氰化氫與氯化氫濃度最高分別為 22 ppm 及 7.2 ppm，氰化氫濃度趨勢圖如圖 2.5。F 廠 F1 機台進行預防保養作業量測時，亦發現四氯化碳、氯化氫、氰化氫、甲酸等污染物，其中氯化氫最高濃度可達 195 ppm。

表 2.1 半導體廠金屬蝕刻機台預防保養作業量測結果表

廠別	原料氣體	擦拭溶劑	測出物質	Cmax (ppm)
A4	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 SF <sub>6</sub> 、 Ar	IPA	HCl HCOOH IPA	14.88 0.60 66.90
B1	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 NH <sub>3</sub> 、 CF <sub>4</sub>	DI Water IPA	HCN IPA	3.50 170.00
B2	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 CHF <sub>3</sub> 、 CF <sub>4</sub>	DI Water IPA	HCN IPA	2.34 228.70
C1	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 N <sub>2</sub> 、 CF <sub>4</sub>	DI Water	CCl <sub>4</sub> HCl HCN HCOOH	2.57 28.00 63.00 2.78
C2	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 CHF <sub>3</sub> 、 CF <sub>4</sub>	DI Water IPA	CCl <sub>4</sub> HCl HCN HCOOH	5.40 91.00 7.20 5.18
D2	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 N <sub>2</sub>	DI Water IPA	CCl <sub>4</sub> HCl HCN IPA	1.23 7.20 22.00 464.00
F1	Cl <sub>2</sub> 、 BCl <sub>3</sub> 、 CHF <sub>3</sub> 、 CF <sub>4</sub> 、 N <sub>2</sub> 、 O <sub>2</sub> 、 SF <sub>6</sub>	DI Water	HCl HCN HCOOH	195.00 9.30 1.06

資料來源：張振平，民國 89 年。

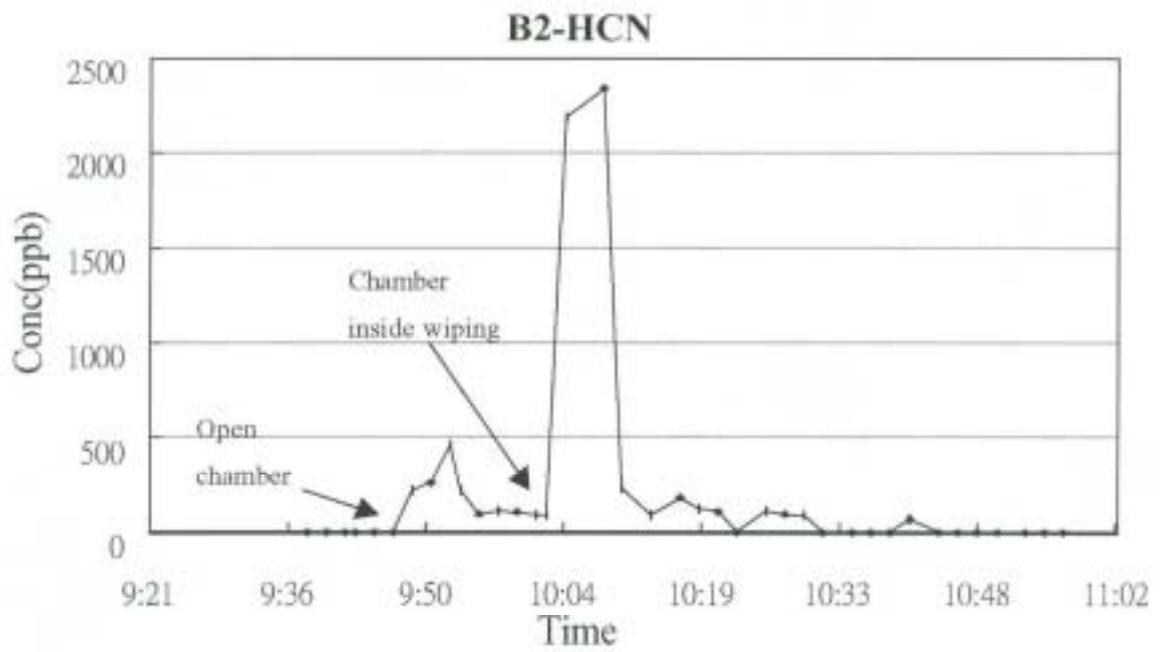


圖 2.2 B 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖  
 資料來源：張振平，民國 89 年。

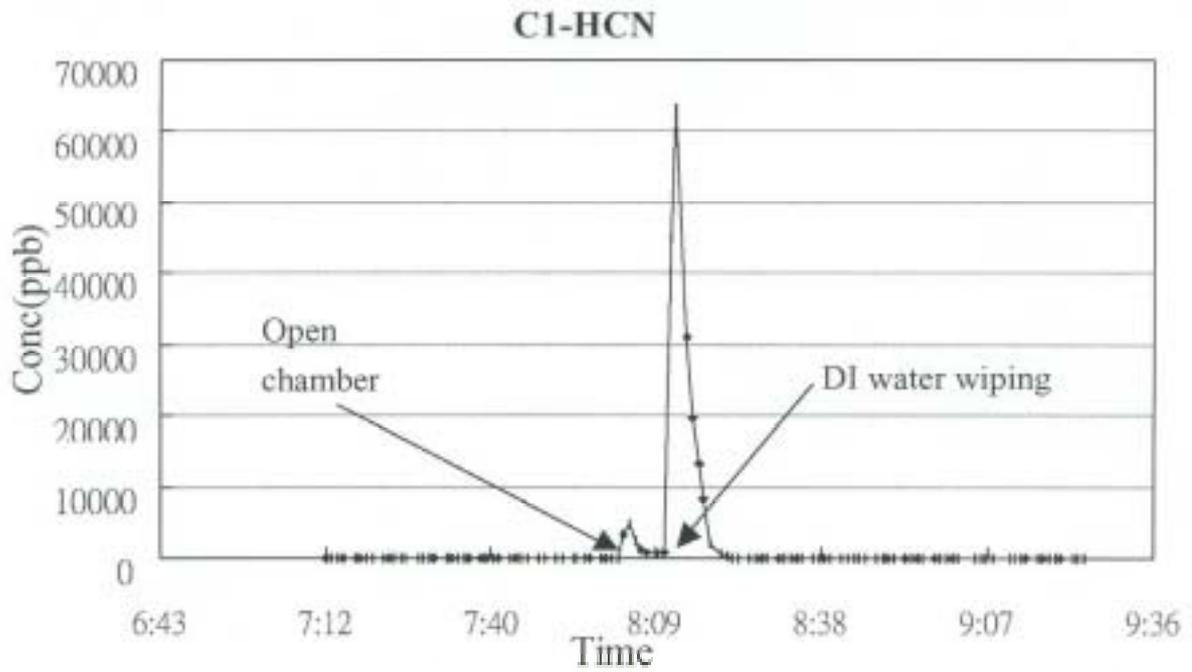


圖 2.3 C 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖  
 資料來源：張振平，民國 89 年。

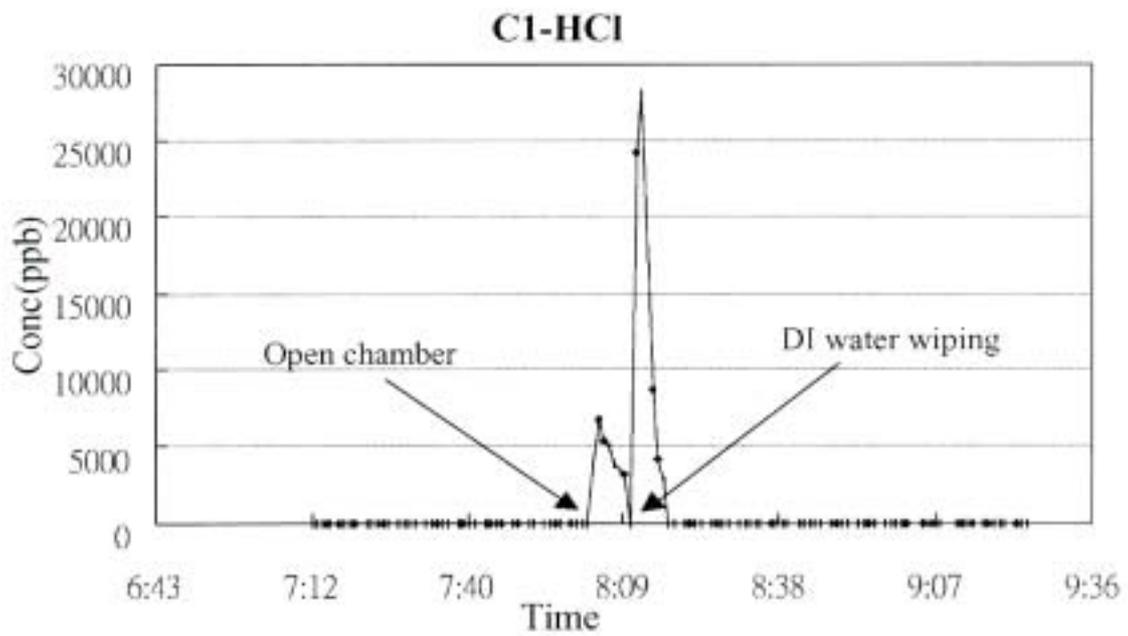


圖 2.4 C 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCl 濃度變化圖  
 資料來源：張振平，民國 89 年。

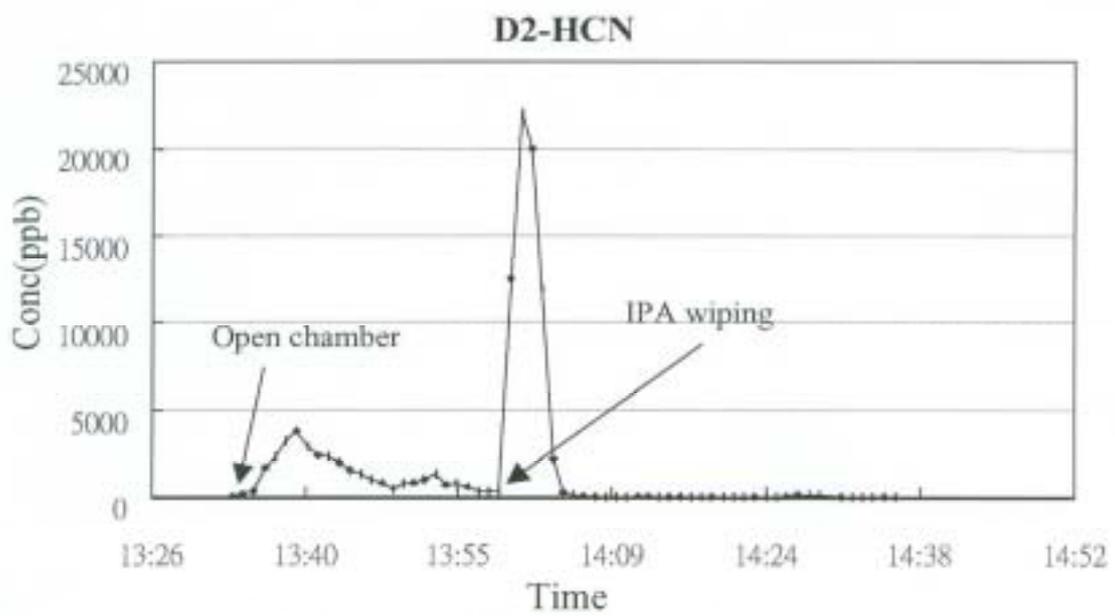
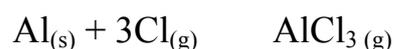


圖 2.5 D 廠金屬蝕刻機台反應腔預防保養 HCN 濃度變化圖  
資料來源：張振平，民國 89 年。

葉銘鵬等人(2000 A)亦以密閉式 FTIR 量測在某 8 吋半導體廠蝕刻製程 P5000 型機台尾氣發現  $\text{CF}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{SiF}_4$  等化學物質，而在金屬蝕刻機台尾氣連續監測發現  $\text{HCl}$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{CClF}_3$  等副產物，而選擇監測  $\text{CF}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{CCl}_4$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{CClF}_3$  等五種氣體， $\text{BCl}_3$  瞬間濃度最高在 55~125 ppm、 $\text{HCl}$  瞬間濃度最高在 25~50 ppm、 $\text{CCl}_4$  瞬間濃度最高則在 6~8 ppm。在金屬蝕刻機台預防保養作業(PM)連續量測中，機台所使用製程氣體為  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{NH}_3$ ，進行 PM 前以  $\text{N}_2$  迫淨(Purge)一小時，量測點於機台反應腔體內； $\text{HCN}$  主要發生於以去離子水擦拭及括除反應腔上之薄膜動作時所產生，於剝離薄膜時  $\text{HCN}$  持續產生約 9 分鐘，在工作人員的呼吸帶測得最高濃度可達 7 ppm，並推論  $\text{HCN}$  應與附著於反應腔上之物質與水反應有關。

莊達人(2003)提出在半導體金屬蝕刻製程中會使用氯化物( $\text{BCl}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ )來進行鋁的反應性離子蝕刻(reactive ion etching, RIE)。鋁原子將經由反應式而生成具揮發性



的三氯化鋁( $\text{AlCl}_3$ )。在三氯化硼( $\text{BCl}_3$ )與氯氣( $\text{Cl}_2$ )進行鋁的 RIE 蝕刻反應所需要的氯原子主要來自氯氣，加入  $\text{BCl}_3$  可減少  $\text{Cl}_2$  電漿內的  $\text{O}_2$  與  $\text{H}_2\text{O}$  之

含量並在電漿內可形成  $\text{BCl}_x$  原子團及  $\text{BCl}_3^+$  正離子。當鋁-矽-銅合金經過氯化物電漿蝕刻後，合金的表面將殘留氯或未被真空系統排除的  $\text{AlCl}_3$ ，當晶片從反應腔取出後，空氣中的水分子將與殘留在鋁合金表面的氯或  $\text{AlCl}_3$  而生成  $\text{HCl}$ 。

Rossnagel et al. (1983) 提出典型低壓離子反應電漿的特性如表 2.2，鋁經氯氣電漿 RIE 蝕刻而產生在室溫具有高揮發性的  $\text{AlCl}_3$ 。鋁蝕刻時，首先  $\text{BCl}_3$  氣體所產生的大量離子會將三氧化二鋁 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 的氧化層轟擊蝕刻，在再進行鋁蝕刻，反應腔有水氣時會使氧化層蝕刻變得非常緩慢或無法蝕刻，為消除這種問題在半導體廠會使用 Load Locks 設備。

Herb et al. (1983) 分析使用  $\text{CCl}_4$  之鋁金屬蝕刻反應腔的排放廢氣，發現有  $\text{CCl}_4$ 、 $\text{C}_2\text{Cl}_3$ 、 $\text{C}_2\text{Cl}_4$ 、 $\text{C}_3\text{Cl}_4$ 、 $\text{C}_2\text{Cl}_6$ 、 $\text{C}_4\text{Cl}_6$ 、 $\text{C}_4\text{Cl}_8$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Al}$  的存在；在反應腔清潔時會產生臭味，其中以無色固體狀的六氯乙烷 ( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ) 所產生的類似樟腦味為臭味主要來源。

表 2.2 典型低壓離子反應電漿的特性表

Quantity	Typical Values
RF Power Density	0.05~1.0 W/cm <sup>2</sup>
RF Frequency	10 kHz~27 MHz(commonly 13.6MHz)
Pressure	0.01~0.2 Torr
Gas Flow	10~200 scc
Wafer Temperature	-120 up to 300
Gas Temperature	300~600K
Electron Energies	3-30 ev(bulk of plasma)
Ion Energies	0.05 ev(bulk of plasma) 10-500 ev(after traversing cathode sheath)
Gas Number Density	3.5x10 <sup>14</sup> - 7x10 <sup>15</sup> /cm <sup>3</sup>
Ion Density	10 <sup>9</sup> - 10 <sup>10</sup> /cm <sup>3</sup>
Electron Density	Similar to Ion Density
Ion Flux	10 <sup>14</sup> - 10 <sup>15</sup> /cm <sup>2</sup> sec
Radical Flux	10 <sup>16</sup> /cm <sup>2</sup> sec
Neutral Flux	3.6x10 <sup>18</sup> - 7.2x10 <sup>19</sup> /cm <sup>2</sup> sec

資料來源：Rossnagel et al., 1989.

Baldwin (1993) 研究鋁金屬  $\text{CCl}_4$  電漿蝕刻時，發現在維修清潔反應腔會產生氯化氰 (Cyanogens Chloride,  $\text{CNCl}$ ) 及氯化氫 (Hydrogen Chloride,  $\text{HCl}$ )， $\text{CNCl}$  濃度最高為 3.3 ppm， $\text{HCl}$  濃度最高為 68 ppm。Mueller et al. (1989) 在研究乾蝕刻 (dry etching) 之安全衛生情況時，發現鋁蝕刻使  $\text{BCl}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{CHCl}_3$ 、 $\text{N}_2$  製程氣體，在反應腔清潔時會產生  $\text{HCl}$  (最高 0.47 ppm)、 $\text{HCN}$  (最高 0.91 ppm)、 $\text{CNCl}$  (最高 0.35 ppm) 等毒性氣體逸散至清潔區域，造成工作人員高曝露之風險。

Ohlson (1986) 以  $\text{BCl}_3$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{He}$  為製程氣體之 A、B 兩台金屬蝕刻機台反應腔尾氣為採樣對象，並以離子層析儀 (Ion Chromatography) 分析，A 台分析結果氯化氫 (Hydrogen Chloride,  $\text{HCl}$ ) 濃度為 99%，四氯化碳 (Carbon Tetrachloride,  $\text{CCl}_4$ ) 濃度為 1%；B 台  $\text{HCl}$  濃度為 95%、 $\text{CCl}_4$  濃度為 0.3%、氯化物濃度為  $25 \mu\text{g/cc}$ 、有機物濃度為 1.7%。在廢氣排放採樣分析結果，A 台  $\text{HCl}$  濃度為 90%，B 台  $\text{HCl}$  濃度為 1%、氯化物濃度為  $0.23 \mu\text{g/cc}$ 。由分析結果並未發現  $\text{COCl}_2$  的存在。Ohlson (1986) 推論金屬蝕刻最主要副產物為  $\text{HCl}$ 。在金屬蝕刻機台在工作區域環境人員曝露採樣則以活性碳採樣管採樣，由二氧化硫取並由氣相層析儀器分析之結果如表 2.3。

表 2.3 金屬蝕刻機台在工作區域環境人員曝露表

Situation	Chemical	Description	Results
打開管線	HCl	Personal	< 1% TLV-C
	HCl	Worst Case Area	13% TLV-C
清潔反應腔	HCl	Personal	< 11% TLV-C
使用抽氣罩清潔反應腔	HCl	Personal	< 2% TLV-C
更換 Vacuum Pump filter(室溫潤滑油)	HCl	Personal	< 14% TLV-C
更換 Vacuum Pump filter(攪拌潤滑油)	HCl	Worst Case Area	17% TLV-C
	Organics	Worst Case Area	< 1 mg/m <sup>3</sup>

TLV-C: Threshold Limit Value-Ceiling

資料來源：Ohlson, 1986.

葉銘鵬等人(2000 B)以不鏽鋼採樣筒(GRASEBY 6L Canister)採樣，並以氣相層析質譜儀檢測半導體金屬蝕刻預防保養作業環境空氣中有害物，以了解工作人員之暴露狀況。採樣點為工作人員之呼吸帶，在預防保養作業過程中反應腔開啟、拆卸及擦拭機台等三步驟之採樣，經 GC/MS 分析之結果如表 2.4。在反應腔開啟時測得 HCN、CNCl、CCl<sub>4</sub>；於拆卸過程會以 IPA 等溶劑擦拭，可測得 IPA 及丙酮；在反應腔擦拭主要以 IPA 及去離子水進行擦拭，檢測出 CNCl、HCN、CCl<sub>4</sub>、氰化物及氯化物之化合物，但沒有濃度之檢測值發表。

First et al. (1996) 在鋁/鎢金屬蝕刻每季之 PM 時在反應腔上方 1 公尺處採集個人及作業環境樣品，分析結果發現機台於打開反應腔時，腔內中未反應氣體及副產物會快速逸散；整個 PM 過程中，個人採樣部份 Cl<sub>2</sub>、HCl 均低於偵測下限；作業環境中 Cl<sub>2</sub> 濃度為 0.1 ppm，HCl 濃度則低於偵測器之偵測下限。First et al. (1996) 推論電漿 (plasma) 進行蝕刻會產生鏈狀碳氫聚合物沉積在反應腔及其零件表面，碳氫聚合物可能會與潔淨室空氣中濕氣反應而產生毒性或腐蝕性副產物逸散。

表 2.4 半導體金屬蝕刻預防保養作業環境空氣中有害物表

化合物	作業別	開啟	拆卸	擦拭
HCN				
CNCl				
Isopropanel				
Chloroprpane				
Aceton				
C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> NO				
Formic acid, 1-methylethyl esyer				
Chloroform				
CCl <sub>4</sub>				
Trichloroacetonitrile				
Drichloropropane				
Drichloroacetonitrile				
Tetrachloroethene				
C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>				

：測得之化合物

資料來源：葉、吳、余，民國 89 年。

Schmidt et al. (1995) 以鋁金屬蝕刻 RIE (reactive ion etching) 製程為研究對象，反應腔型式為 Plasma Therm C 反應器，製程生產使用  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{CHCl}_3$ 、 $\text{N}_2$  等氣體，製程壓力 0.125 至 0.75 torr，反應腔溫度約 65 °C。未反應製程氣體及副產物經由真空泵排至廢氣管並，少部分被潤滑油吸附，採樣時反應腔已連續生產約 1000 片晶圓，樣品為連續使用 5 個月的真空泵潤滑油 (sample A) 與反應腔廢氣排放管固體沉積物 (sample B and C)，樣品分析結果如表 2.5，結果發現氯化碳氫化合物 (Chlorinated hydrocarbons) 結構在電漿蝕刻反應中所產生的典型副產物，A 樣品濃度較低於 B 及 C 樣品。Schmidt et al. (1995) 將 A、B 及 C 樣品以不同劑量餵食懷孕中的老鼠以了解對胎兒期老鼠毒性的影響，研究結果發現 A 樣品並無跡象顯示對胎兒期老鼠有毒性的行為，但 B 及 C 樣品具有對胎兒期老鼠會產生生長遲緩及畸形基因的現象。此研究結果說明女性工作人員曝露於電漿蝕刻所產生之副產物的環境對健康可能會有風險，並確認半導體廠在安全及衛生要努力並確定在製程生產上有最高的安全水準。

Bauer et al. (1995) 亦研究金屬蝕刻製程所使用真空泵潤滑油之慢性口食毒性與基因毒性，製程生產使用  $\text{Cl}_2$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{CHCl}_3$ 、 $\text{N}_2$  等氣體，而未反應製程氣體及副產物經由真空泵排至廢氣管並被潤滑油吸附，研究以老

表 2.5 鋁金屬蝕刻反應腔排放的固態沉積物質分析表

Formula	Name	Sample A	Sample B	Sample C
C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	Tetrachloroethene	0.12	87.66	26.30
C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub>	Hexachloroethane	0.30	10.95	4.57
C <sub>3</sub> NCl <sub>3</sub>	Trichloroacrylonitrile	3.57	7689.29	12.10
C <sub>3</sub> NCl <sub>5</sub>	Pentachloropropionitrile	3.93	4588.88	11.24
C <sub>3</sub> N <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub>	Trichlorotriazine	ND	438.44	ND
C <sub>3</sub> Cl <sub>6</sub>	Hexachloropropene	0.06	12.84	1.65
C <sub>3</sub> Cl <sub>8</sub>	Octachloropropane	0.27	7.47	5.31
C <sub>4</sub> Cl <sub>6</sub>	Hexachlorobutadiene	0.03	10.71	5.97
C <sub>4</sub> Cl <sub>8</sub>	Octachlorobutene	ND	ND	1.98
C <sub>4</sub> N <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	Tetrachloropyrimidine	ND	422.24	ND
C <sub>5</sub> NCl <sub>5</sub>	Pentachlorocyclopentadiene	0.02	ND	7.01
C <sub>5</sub> Cl <sub>6</sub>	Hexachlorocyclopentadiene	1.26	38.16	19.32
C <sub>5</sub> OCl <sub>6</sub>	Hexachlorocyclopentenone	ND	34.01	ND
C <sub>5</sub> Cl <sub>8</sub>	Octachlorocyclopentene	1.57	72.32	11.36
C <sub>6</sub> HCl <sub>5</sub>	Pentachlorobenzene	ND	ND	6.23
C <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>	Hexachlorobenzene	1.49	2191.65	40.89
C <sub>7</sub> NCl <sub>5</sub>	Pentachlorobenzonitrile	0.01	79.47	40.89
C <sub>8</sub> Cl <sub>8</sub>	Octachlorostyrene	0.01	15.47	3.09

說明：1. A sample : vacuum pump oil, B and C sample: 反應腔排放固態廢棄物。

2.A 樣品單位：mg/kg oil；B 與 C 樣品單位：mg/kg solid

3.ND：Not Detect

資料來源：Shields et al., 1987.

鼠為實驗對象，餵食樣品為連續使用 5 個月的真空泵潤滑油，研究結果發現有明確的基因毒性作用。Bauer et al. (1992) 研究金屬蝕刻製程反應腔所產生廢氣之吸入毒性與基因毒性，以製程氣體  $\text{Cl}_2$  (11  $\text{cm}^3/\text{min}$ )、 $\text{BCl}_3$  (35  $\text{cm}^3/\text{min}$ )、 $\text{N}_2$  (carrier gas, 60  $\text{cm}^3/\text{min}$ ) 在反應腔進行電漿蝕刻，而未參與反應氣體及副產物之廢氣稀釋 1000 倍即成為動物試驗之廢氣。在動物試驗時，使老鼠曝露於稀釋過之廢氣濃度，研究結果顯示老鼠在吸入已稀釋過廢氣中並無明顯毒性效果，但對骨髓細胞有明顯的基因毒性。Bauer et al. (1992) 研究鋁電漿金屬蝕刻製程所產生固體廢棄物之口食毒性時，發現固體廢棄物中硼酸 (boric acid) 為主要化合物，在動物毒性實驗結果顯示有多種毒性危害，而在設備清潔、維修及故障時可能會嚴重污染工作區域及環境。

Shields et al. (1987) 以活性碳臂章採樣半導體潔淨室空氣，以氣相層析質譜儀 (GC-MS) 分析出許多化合物，包括含氯化合物如三氯乙烷 (trichloroethane)、三氯乙烯 (trichloroethylene)、四氯乙烯 (tetrachloroethylene)、二氯苯 (dichlorobenzene) 與脂肪族碳氫化合物 (Aliphatic hydrocarbons)、異丙醇、丙酮等污染物，並推論這些污染物由潔淨室中材料所產生。

## 2.2 局部抽氣罩與效率評估

洪銀志(2000)提出控制風速(control velocity)就是將飛散或擴散之有害物質或污染空氣自某點位置有效地導入氣罩開口面所需得最小流速或抑制其不致從氣罩開口逸失之最低風速。影響局部排氣裝置性能最重要的參數是控制風速。對包圍式氣罩或崗亭式氣罩而言，控制風速為不使污染物逸失氣罩開口面最低風速；對外裝式氣罩為足以捕集污染物在污染源最低吸氣速度。控制風速主要決定於氣罩型式、有害物質物理特性(如粒徑、比重)、發生源及捕集點附近之氣動條件(包括大小與方向)、捕集點與氣罩之相關位置。若污染物以較緩之速度發散，其控制風速為 0.5~1.0 m/s；若在氣體流動較高之作業場所，污染物飛散較活躍時，控制風速為 1.0~2.5 m/s。

勞工安全研究所(1997)在研究噴漆作業所使用崗亭式氣罩之控制風速與勞工個人暴露濃度的相關性時，發現控制風速並不能真實反應且有效表現出氣罩性能；而影響氣罩性能除了控制風速以外，尚有干擾氣流的方向大小、補充空氣量、氣罩內部污染源位置、污染物散發量及其速度方向、氣罩開口幾何形狀等。

Fuller et al. (1979) 以 R-12 作為追蹤氣體來評估實驗室抽氣櫃之效能

時，發現抽氣櫃內固定位置的污染源，在氣罩面抽氣速度提高所產生的效能與抽氣速度為 0.3 m/s 時，只能提昇一些效能。他並提出良好抽氣罩設計時須將抽氣櫃開口大小與污染源距氣櫃開口面之距離等參數列入設計參數中且比氣罩面之抽氣速度較為重要。

HAMPL (1984) 評估工業使用之局部抽氣罩效率時，建議以具有化學與熱穩定性、對人體無害、較低偵測極限、與污染物相似之狀態、不受其它排放物干擾及有商業經濟之 SF<sub>6</sub> 當追蹤氣體來評估局部抽氣罩效率，其效率定義為抽氣罩所捕集之 SF<sub>6</sub> 單位時間流量與 SF<sub>6</sub> 100% 被捕集之 SF<sub>6</sub> 單位時間流量比值，而 SF<sub>6</sub> 流量計算方式如 2.1 式。在距抽氣罩不同距離量測 SF<sub>6</sub> 濃度，研究結果顯示在直管中距

$$Q = AV \cdot C \quad (2.1)$$

其中

- Q： 追蹤氣體釋放流率
- A： 風管截面積
- V： 風管空氣平均風速
- C： 在風管中追蹤氣體濃度

抽氣罩 15 倍管徑所量測 SF<sub>6</sub> 濃度有 16 % 的標準偏差 (standard deviation)，而在距抽氣罩 25 倍管徑所量測 SF<sub>6</sub> 濃度則有 7 % 的標準偏差；HAMPL (1984) 建議在直管 SF<sub>6</sub> 量測點，距抽氣罩之距離大於 25 倍管徑。

Hampl et al. (1986) 研究以追蹤氣體 SF<sub>6</sub> 來評估工業廢氣抽氣罩之抽氣效率，實驗方式則以不同管線的種類與不同量測追蹤氣體點，進行評估，實驗結果發現在直管中追蹤氣體量測點應至少距 SF<sub>6</sub> 釋放處有 50 倍管線直徑的距離，才能使 SF<sub>6</sub> 在該量測點前形成完成發展流 (fully developed flow) 而混合成均勻的濃度，才能有效地評估抽氣罩效率。

Williams et al. (1995) 提出局部排氣罩之有效與否，直接與排氣罩和污染源逸散工作區之緊密度相關，並建議 4~6 吋排氣罩之煙霧捕集速度為 0.25 m/s；而在工作臺之抽氣捕集速度則建議最好設計為 100 fpm (0.5 m/s)。所設計之局部排氣系統形成該區域為負壓環境包圍污染逸散源，以捕集污染物並安全地輸送危害性與毒性物質至處理設施。局部排氣罩可以運用追蹤氣體 (tracer gas) 來評估效率，而所使用之偵測器偵測靈敏度則需要至 ppb 級。

Sik et al. (1990) 在評估麻醉病床上病人頭部區笑氣局部排氣設施的排氣效率，以 Infra-red gas analyzer 量測抽氣風扇管中笑氣濃度方式進行，當 5 l/min 固定流量的笑氣直接在抽氣盤以被抽氣之抽氣效率為 100%，而在頭部呼吸點與直接在抽氣盤內釋放相同固定流量的笑氣，而在抽氣風扇管中兩者

笑氣濃度的比值來定出抽氣效率；實驗之抽氣盤銜接直徑 10 cm 抽氣管，抽氣量為 365 cm<sup>3</sup>/h，實驗結果顯示笑氣被捕集之效率為 84.5%、笑氣背景空氣中濃度為 34 ppm。

Ellenbecker et al. (1993) 評估局部抽氣系統捕集效率時，其所運用捕集效率定義為局部抽氣系統所捕集空氣污染量與空氣污染物產生量之比值；將污染產生器置入最接近排氣管之局部抽氣罩內部，在此處所釋放污染物而被捕集之總量則定義為 100 % 的捕集效率。

Peck (1982) 研究抽氣罩性能，以污染物逸散至工作人員呼吸帶之濃度與污染物釋放濃度之比值來進行評估。Flynn et al. (1986) 則以 900 ppm 六氟化硫(SF<sub>6</sub>)當追蹤氣體來評估局部排氣罩之捕集效率，實驗方式以 SF<sub>6</sub> 在排氣罩面釋放，捕集效率評估方式為連接排氣罩之排氣管中 SF<sub>6</sub> 濃度與排氣罩面 SF<sub>6</sub> 濃度比值。Qingyan et al. (1988) 評估室內排氣效率時，其方式以釋放固定流量的氬氣並量測室內控制點及排氣至室外的氬氣濃度，其濃度減去進氣氬氣濃度之比值定義為室內排氣效率。

Heinonen et al. (1996) 在長 4.8 m、寬 3.6 m、高 3.6 m 的房間之工作桌上所產生粉末之局部排氣效率評估，則以設置側向與垂直向局部排氣時房間內所降低之粉末濃度與未設置前之粉末濃度比值為評估方式，研究結果顯示工作桌之側向與外側垂直向局部抽氣量  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$  並在工作桌上方局部提供向下空氣流量  $0.14 \text{ m}^3/\text{s}$  時局部排氣效率可達 99.8 %。

Geissert (1995) 在半導體爐管機台之危害氣體排氣效率評估時，於抽氣口外側釋放液態氮或乾冰來目視觀察其捕集效率；若所觀察之現象為層流時，則其抽氣效率為不良。

黃榮芳(2000)等人研究外裝型抽氣罩在不同寬長比的矩形開口氣罩在不同抽氣量與側風干擾時的捕集區範圍研究時，其實驗結果顯示側風速度對氣罩抽氣速度比值越大，則捕集區範圍越小；不同寬長比之相同開口面積之氣罩，只要在側風速度對氣罩抽氣速度比相近，都會得到相近之捕集區範圍。

Ivany et al. (1989) 研究實驗室抽氣罩抽氣效率評估，以  $\text{SF}_6$  4lpm 固定

流量在抽氣罩內釋放並在抽氣罩下方左右兩邊人員呼吸帶量測抽氣罩所洩漏之 SF<sub>6</sub> 濃度。所評估抽氣罩效率共有四種狀態 (1) 無干擾活動、(2) 加入熱負載：抽氣罩開口處放置 1 公升燒杯且已沸騰之水、(3) 加入空氣擾動：以風扇吹向抽氣罩、(4) 手臂重複自抽氣罩內外移動；實驗參數為抽氣罩開口面之風速、SF<sub>6</sub> 釋放點距抽氣罩開口面之距離、抽氣罩開口大小、補助供應空氣流量。研究結果發現在有加入空氣擾動時需要較高之抽氣速度來克服擾動；SF<sub>6</sub> 釋放點距抽氣罩開口面 10cm 時之呼吸帶 SF<sub>6</sub> 濃度為距抽氣罩開口面 20cm 3~4 倍，並建議工作人員應在氣罩開口面之後面；當抽氣罩開口由 74cm 降低至 36cm 時呼吸帶 SF<sub>6</sub> 濃度低於偵測下限 (< 5 ppb)；在固定抽氣速度 0.5m/s 時，補助供應空氣流量佔總排氣量 50% 以下時呼吸帶 SF<sub>6</sub> 濃度接近偵測下限，但若將補助供應空氣流量由 50% 提高至 65% 時 SF<sub>6</sub> 會自抽氣罩洩漏而造成呼吸帶 SF<sub>6</sub> 濃度快速上升，這個發現支持補助供應空氣流量應在總排氣量之 65% 以下。其研究結果推論抽氣罩開口接近最小開度時，會對抽氣罩內之穩定渦漩流產生足夠擾動，而可能會導致氣態污染物自抽氣罩內洩漏出來，而降低氣態污染物自抽氣罩內洩漏量之方式，則可將抽氣罩開口調整至接近最大開度時，對呼吸帶之濃度有則有降低之效用。在手臂自抽氣罩內外移動之影響部份，當手臂自抽氣罩抽出時會產生高濃度氣態污染物自抽氣罩內洩漏出來。

Orcutt (1989) 在危害性氣體洩漏模擬中，以 SF<sub>6</sub> 為追蹤氣體進行實驗；SF<sub>6</sub> 在密閉抽氣空間或廢氣風管中定量釋放時，定義出稀釋因子：

$$\text{稀釋因子} = G \div (\text{SF}_6 \text{ 測量值} - \text{背景值}) \quad (2.2)$$

G：SF<sub>6</sub> 釋放濃度(%)

在區段時間內 SF<sub>6</sub> 停止釋放後，SF<sub>6</sub> 濃度降低所需之時間則為去除速率 (clearing rate)。在 Intel 晶圓製造廠之 CVD (chemical vapor deposition) 製程中以 1 % SF<sub>6</sub> 進行模擬製程氣體洩漏狀況試驗，結果在 3 倍及 10 倍風管直徑之風管處稀釋率為 7.5x10<sup>7</sup>。並認為在半導體製造廠中運用追蹤氣體之技術可以有效地找出危害性氣體洩漏特性、洩漏點及危害性氣體之控制方式；於污染物去除率、廢氣風管量測、流動中氣體都可以運用追蹤氣體來找出其特性及特徵，對於任何氣體濃度及分佈在動態變動時亦可以使用追蹤氣體進行模擬與量測。

張振平(2000)所設計抽氣罩，以透明壓克力為材質，厚度為 5mm 之環型氣罩，高 7 英吋，內徑為 13 英吋，內環開口直徑為 6 英吋，利用螺絲及一片同材質環寬 1 英吋之壓克力固定破碎片，破碎片作法係將一片 7 英吋厚 2mm 之透明 PVC 圓片中心切一個直徑 2 英吋的圓孔，再由圓心向邊緣以放射狀的方式切成 10 片，但不要完成切斷再固定於氣罩之內環上。抽氣

罩效率評估則以全程使用抽氣罩、擦拭反應腔前段未使用抽氣罩與後段使用抽氣罩、前段使用抽氣罩與後段未使用抽氣罩等方式，來驗證勞工呼吸帶污染物濃度有效降低並低於 FTIR 偵測下限。在某半導體廠 C4 機台全程加上氣罩進行預防保養作業，在勞工呼吸帶之所有可能的污染物濃度均低於偵測下限；C5 機台則先以未使用此抽風氣罩進行預防保養作業，在以去離子水擦拭反應腔後立即加上抽氣罩後在勞工呼吸帶之污染物濃度明顯下降，濃度變化圖如圖 2.6。

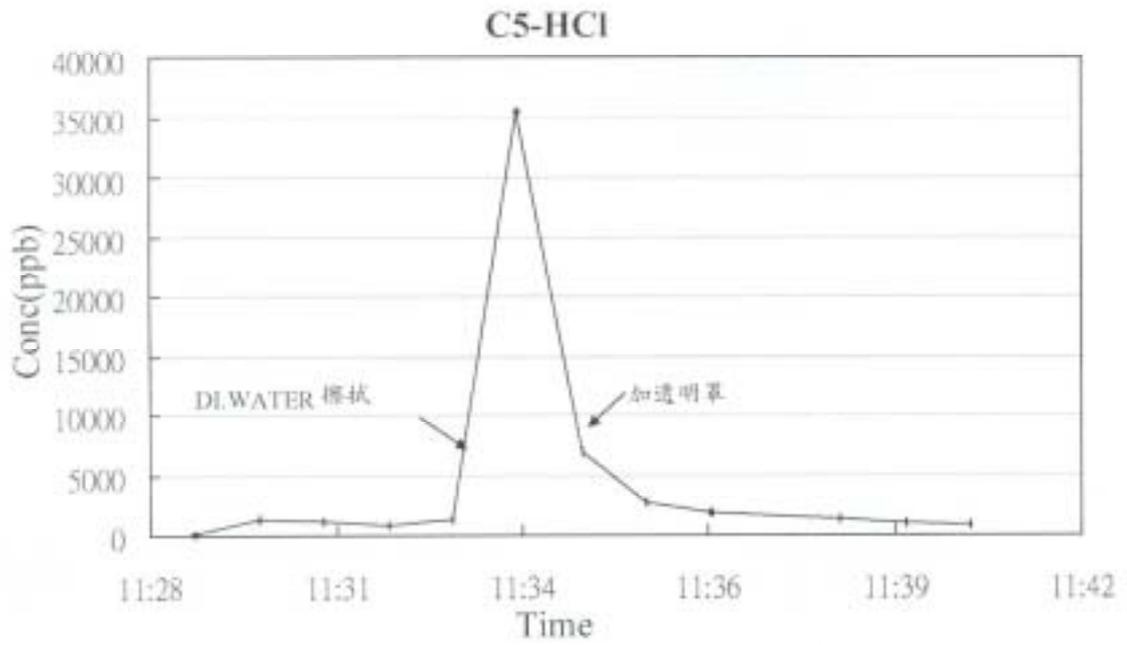


圖 2.6 局部排氣罩評估濃度變化圖  
資料來源：張建新，民國 92 年。

高馨儀(1999)在半導體廠離子植入機的離子源室反應腔於保養時使用抽氣罩來控制擦拭反應腔所使用之雙氧水、異丙醇的逸散；離子源室反應腔有兩個開口，一個開口由保養人員使用，另一開口則以抽氣罩密封並以地板上所設置之移動式抽風管抽氣，抽氣速度約 1.8~2.4 m/s；以 FTIR 檢測在未使用抽氣罩時維修區異丙醇濃度最高為 139 ppm，使用抽氣罩後維修區異丙醇最高濃度則降低為 9 ppm。

張建新(2003)在半導體廠所設計使用金屬蝕刻機台及外裝抽氣罩圖如圖 2.7。評估抽氣效率方式為機台裝上抽風氣罩進行維修保養時，使用 FTIR 來分析量測反應腔擦拭所用異丙醇在抽風氣罩外部與抽風氣罩內部的濃度比值來驗證抽風氣罩抽氣效率，FTIR 量測點如圖 2.8。研究結果顯示槽外呼吸區的 IPA 濃度最高值 12.6 ppm，槽內 IPA 濃度最高時可達到 1707.5 ppm，抽氣效率達 99%以上，抽氣罩系統可以明顯有效降低氣罩外部的濃度，並證實氣罩可以有效的帶走內部的殘留有危害性的氣體，量測結果濃度趨勢圖如圖 2.9。



圖 2.7 抽氣罩圖

資料來源：張建新，民國 92 年。

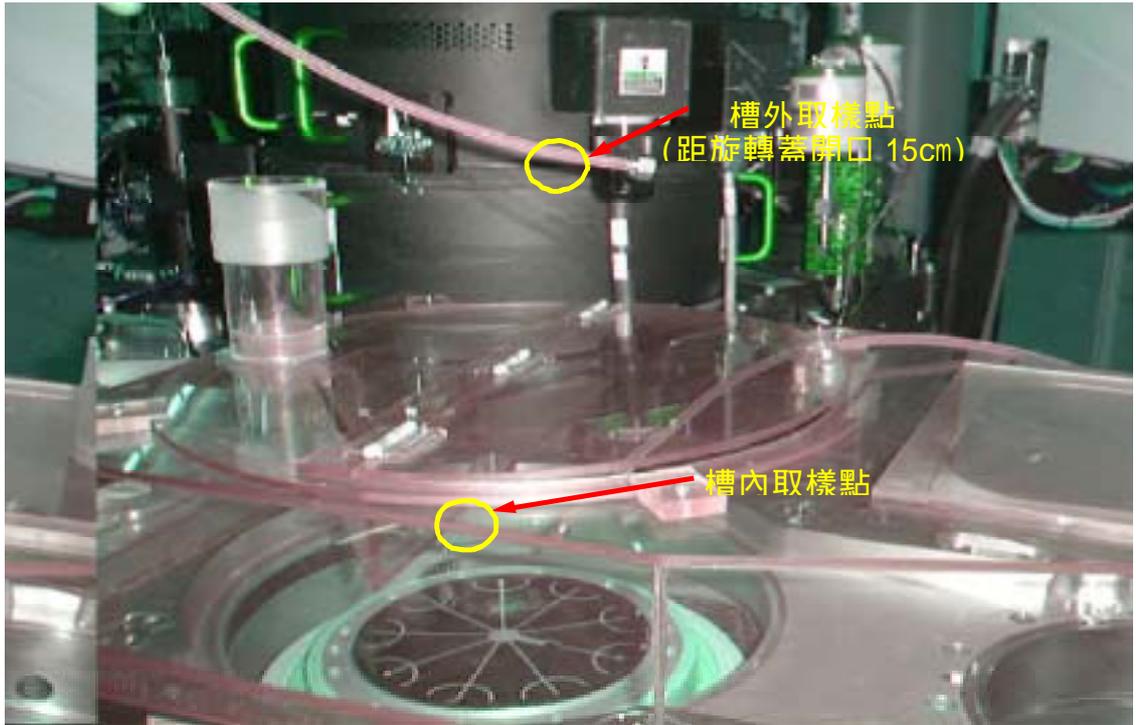


圖 2.8 FTIR 採樣點圖：抽氣罩內部與抽氣罩外部  
資料來源：張建新，民國 92 年。

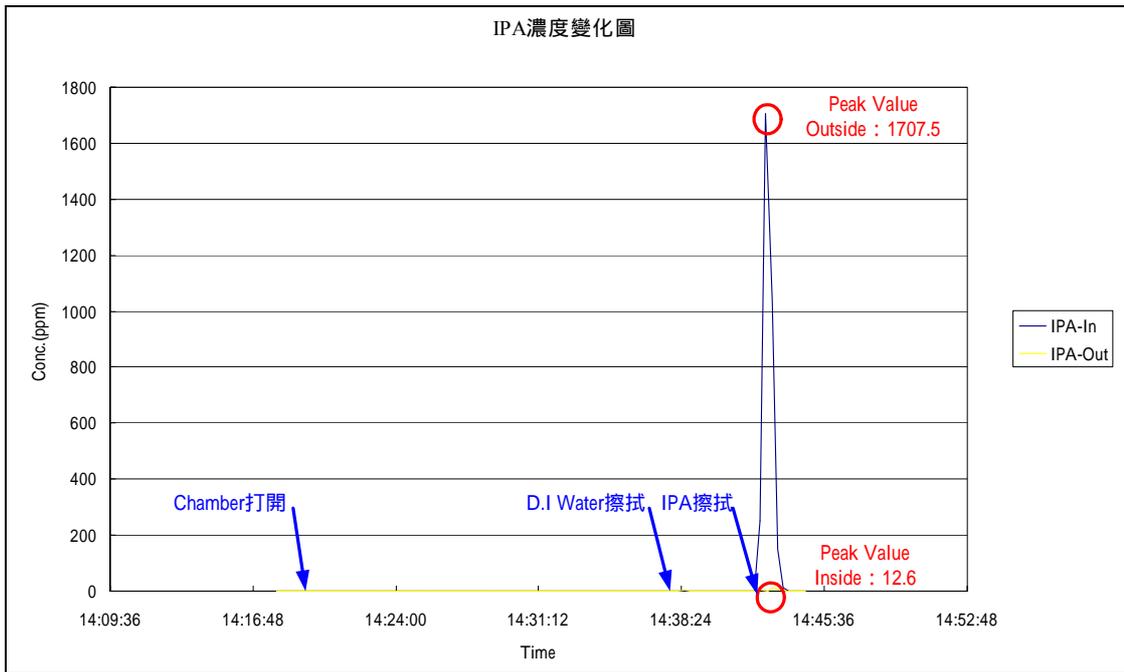


圖 2.9 抽氣罩效能評估圖：內部與外部異丙醇濃度趨勢圖  
 資料來源：張建新，民國 92 年。