

第二章 研究方法與流程

2.1 製程最佳化參數調整研究

製程機台於鍍膜完成以 NF_3 做為 Clean Gas，而於蝕刻製程中以 SF_6 做為製程反應氣體，為使製程反應得以完全，且確認於安全無疑的狀況下，操作反應參數時間設定，有其一定的要求。本文將利用四台製程機台進行一系列之實驗，於製程機台正常操作條件下，即於正常製程操作溫度及壓力，做一實場的研究。

於實驗所得數據及圖表可得知，反應時間的長短是影響製程反應完全的重要因素，但反應時間太長並不一定可形成最佳的製程效果。本次研究將機台清潔或反應時間降低 20~40 秒，並驗證產品在良率上的表現，以減少 NF_3 或 SF_6 用量，達到溫室氣體減量之目的。

2.2 製程尾氣研究

目前對於 Scrubber 的最佳評估方式是採用世界半導體委員會(WSC)所認定的兩種製程尾氣分析儀器，FTIR(霍氏紅外光譜儀)與 QMS(四極柱質譜儀)，即時量測製程尾氣的組成成份和濃度。其中 FTIR(Fourier transform infrared spectrometers)偵測原理是利用氣體分子吸收紅外光區特定波長的能量來改變分子的震動或轉動狀態，而產生特定的紅外光吸收圖譜(不同氣體分子對不同的波長吸收相異)。透過紅外光吸收圖譜和標準圖譜的比對就可以了解其物種，即為定性分析。而物種的濃度則遵循比爾定律(Beer's Law)來計算，即吸收度 $A=abc$ ，其中 a 是吸收係數， b 是光徑長度， c 是物種的濃度，利用這個關係就可以利用已知的標準圖譜求得固定光徑內物種的濃度變化，即為定量分析⁽⁷⁾。

FTIR 重要特點如下：

- (1)即時監測，避免取樣時段不當所造成的錯誤結果。
- (2)能同時監測多種化合物，符合光電、半導體尾氣監測的需求。
- (3)FTIR 測得的紅外光譜可長期保存、重複分析。

FTIR 在製程尾氣量測的主要限制在於無法偵測同原子雙原子分子，如 F_2 與 Cl_2 ，因此，必要時可使用“製程尾氣分析儀”(RGA,為 QMS 的一種)來彌補此一不足。

RGA 是利用四極柱質譜儀的原理辨識氣體的種類及其濃度，待測氣體先經過高能電子(70eV)區而陽離子化，帶正電的氣體離子緊接著進入四極柱區，

藉由調整四極柱區電場的頻率，不同的陽離子群因其質荷數(m/z)的差異而分離，對於每個電場頻率，僅特定質荷數的陽離子能通過四極柱區而為後端的離子偵測器所測得，經由不斷地調整四極柱區電場的頻率，所有氣體之質譜圖便可獲得。

為評估製程尾氣處理設備 Local Scrubber 的處理效率，應同時使用兩台 FTIRs(必要時再輔以 RGA)量測 Scrubber 前、後端氣體的體積濃度，其採樣配置如圖 2.1 所示。製程尾氣(如 SiH₄, NF₃...)經機台後方的 Dry pump 抽氣並以 N₂ purge 後進入製程尾氣處理設備 Local Scrubber，經製程尾氣處理設備 Local Scrubber 處理過的尾氣再排到廠務風管。位於製程尾氣處理設備 Local Scrubber 前、後端的 FTIRs 分別利用一台抽氣馬達將製程尾氣引進 FTIR 的氣體腔(Gas cell)，經紅外光照射後，尾氣再排至同類製程之製程尾氣處理設備 Local Scrubber。為避免尾氣中的微粒污染氣體腔，尾氣在進入氣體腔之前先用一孔徑為 1μm 的鐵弗龍(Teflon)濾紙過濾。

一般而言，因製程尾氣處理設備 Local Scrubber 前端尾氣的濃度極高，所以前端 FTIR 的氣體腔其光徑通常使用 1 或 10 公分，本研究使用 1.33 公分，而後端濃度通常較低，故 FTIR 使用的氣體腔其光徑為 1 或 10 公尺，本研究使用 10 公尺⁽⁸⁾。

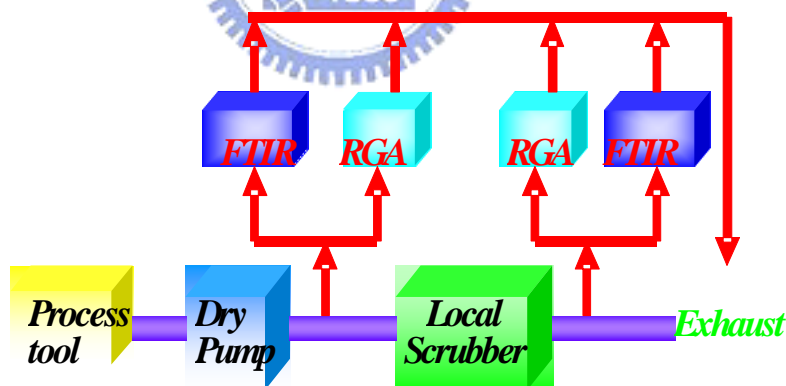


圖2.1 Local Scrubber效率評估採樣系統圖

除了 FTIR 測得的體積濃度外，欲正確的求得製程尾氣處理設備 Local Scrubber 的處理效率，仍需以製程尾氣處理設備 Local Scrubber 前、後端化合物的進出質流量來計算。若量測點的條件接近常溫(25°C)常壓(1atm)，可以下列方法來表示 Scrubber 的處理效率：

$$A_{ij} = Q \times C_i \times (10^{-3}) / 24.5 \times Mw_i \quad (1)$$

$$W_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \times t_{scanj} \quad (2)$$

$$\text{Efficiency} = (1 - W_{i \text{ out}} / W_{i \text{ in}}) \times 100\% \quad (3)$$

其中

假設氣體為 25°C 之理想氣體，1 gmol 佔有之體積為 24.5 公升

A_{ij} 為第 j 次掃描時氣體 I 之質流量(mg/min)

Q 為氣體流量(l/min)

C_i 為氣體 I 之濃度(ppm)

Mw_i 為氣體 I 之分子量(g/gmol)

W_i 為氣體 I 之質量總合(mg)

t_{scanj} 為第 j 筆數據之掃描時間(min)

若氣體 I 在製程尾氣處理設備 Local Scrubber 入口端有測得而出口端未測得，則以 FTIR 對氣體 I 之偵測下限(L.D.L)作為氣體 I 在 Scrubber 出口端最大可能濃度來做效率評估。

圖 2.2 為 Local Scrubber 處理效率與製程機台解離率評估作業流程。在決定採樣的日期 (D day) 之後，部分工作必須事前預作準備，包括現場勘查、資料收集與採樣條件評估、行前會議等。採樣完成後，亦必須接續定性定量分析等工作，整個評估工作需耗時 3 至 5 週方能完成。

本測試如圖 2.3 所示，有 P1 至 P5 等 5 個採樣口，尾氣處理設備的前、後端各留兩個採樣口及廢氣排氣口(P5)，以便測定流量。

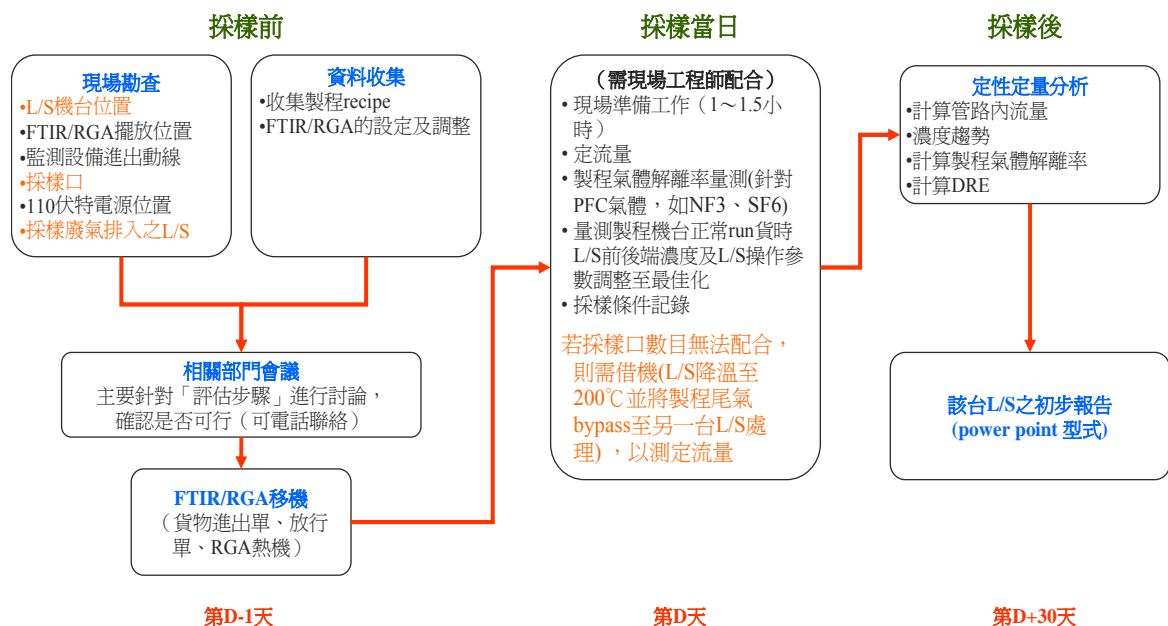
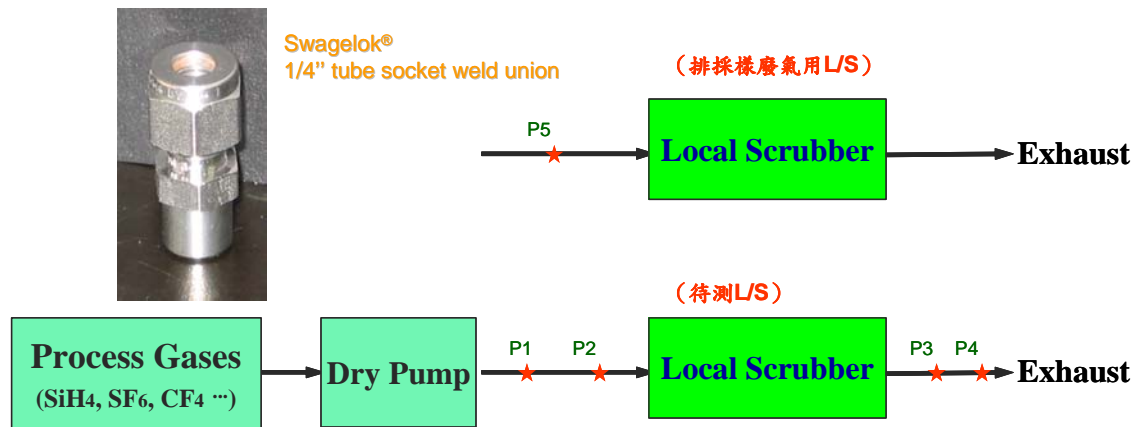


圖 2.2 Local Scrubber 處理效率及製程機台解離率評估流程



說明：P1~P4為採樣口；P5為採樣廢氣排放口

P1與P2相距約1公尺；P3與P4的距離由現場勘查決定。

圖 2.3 採樣口位置及接頭型式

另外，由於廠內排定的生產時程非常緊湊，因此在採樣日當天現場工程師的配合與協助極為重要，採樣當日現場作業程序及相關配合工作如圖 2.4 所示。

採樣之 FTIR 及 RGA 現場量測流程如圖 2.5 所示⁽¹¹⁾。製程尾氣(如 Cl₂、NF₃、SF₆...)經機台後方的 dry pump 抽氣並以 N₂ purge 後進入製程尾氣處理設備 Local Scrubber，經處理過的尾氣再排到廠務風管；位於製程尾氣處理設備 Local Scrubber 前、後端的兩台 FTIR 及一台 RGA 各利用一台抽氣馬達將製程尾氣引進至 FTIR 及 RGA 中進行氣體濃度即時偵測，之後尾氣再排到廠務風管。尾氣在進入 FTIR 及 RGA 之前會先用一孔徑為 1μm 的鐵弗龍(Teflon)濾紙過濾以避免尾氣中的微粒污染 FTIR 及 RGA。

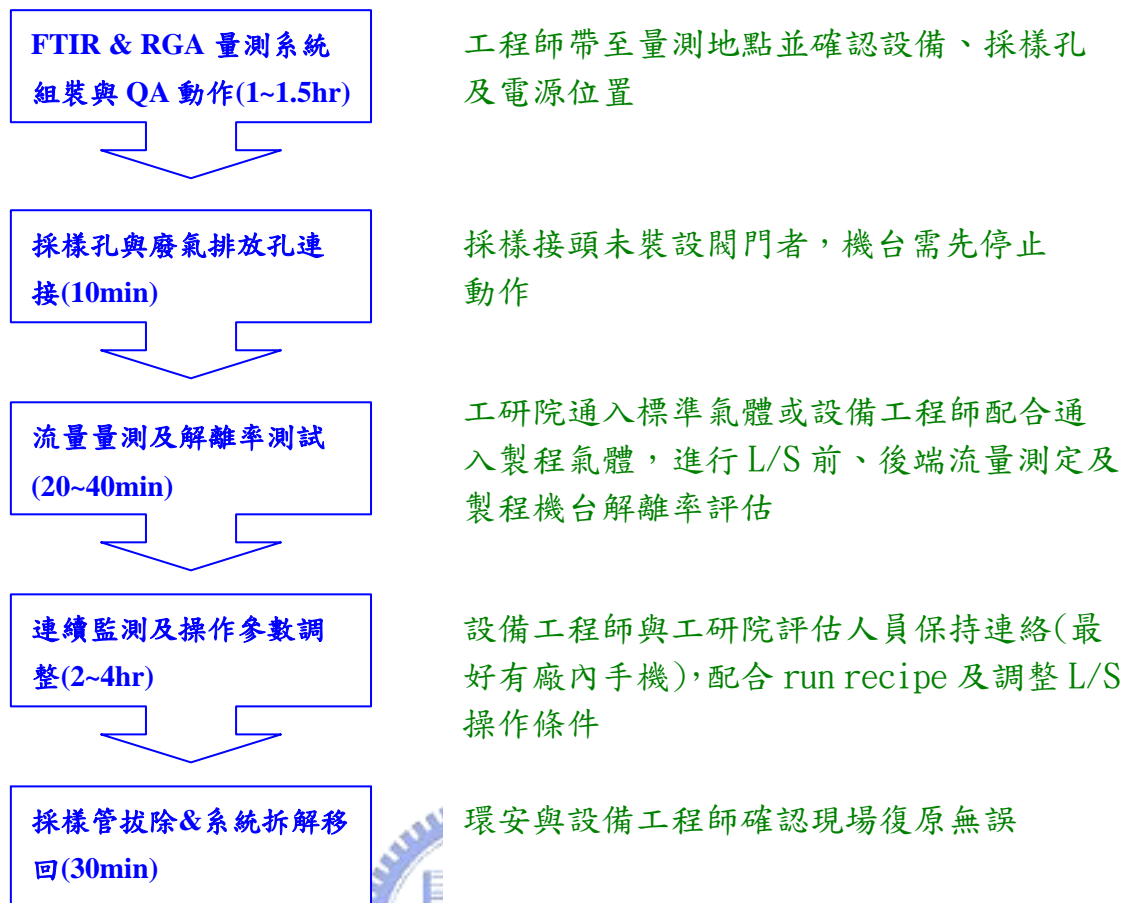


圖 2.4 現場作業程序及相關配合工作

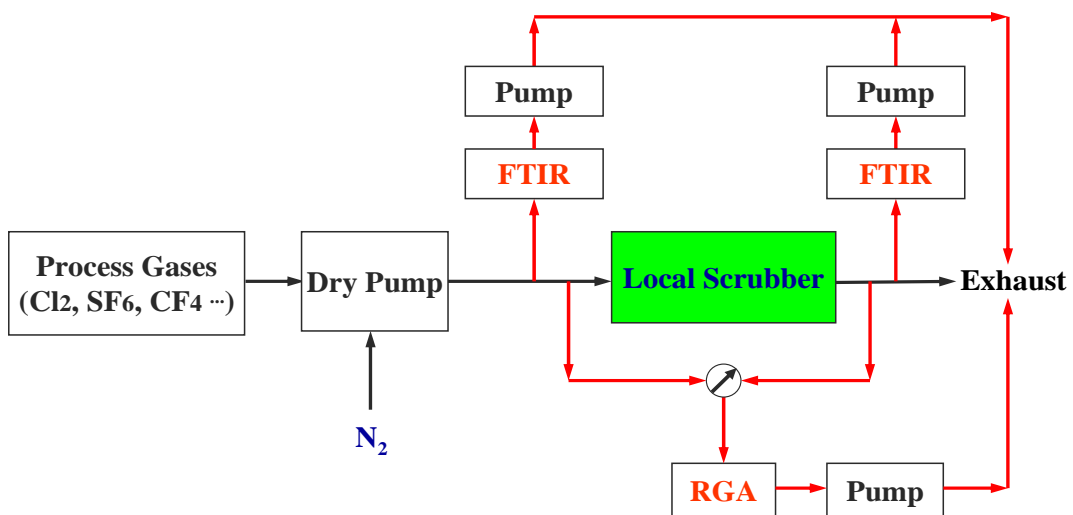


圖 2.5 採樣現場 FTIR 及 RGA 量測示意圖

除了以 FTIR 及 RGA 量得氣體體積濃度外，為了正確地獲得 Local Scrubber 的處理效率(DRE 值)，則必須知道 Scrubber 前、後端氣體的質量流率，

DRE 的計算方式如下⁽¹²⁾：

$$DRE = 1 - (M_{out} / M_{in}) \quad (4)$$

若 $T_{in} \sim T_{out}$, $P_{in} \sim P_{out}$

則

$$DRE = 1 - [(C_{out} \times Q_{out}) / (C_{in} \times Q_{in})] \quad (5)$$

其中

M_{in} : 某一製程尾氣於 Scrubber 進口端的質量流率(mg/min)

M_{out} : 某一製程尾氣於 Scrubber 出口端的質量流率(mg/min)

T_{in} : Scrubber 進口端的氣體溫度(°C)

T_{out} : Scrubber 出口端的氣體溫度(°C)

P_{in} : Scrubber 進口端的氣體壓力(kPa)

P_{out} : Scrubber 出口端的氣體壓力(kPa)

C_{in} : 某一製程尾氣於 Scrubber 進口端的體積濃度(ppm)

C_{out} : 某一製程尾氣於 Scrubber 出口端的體積濃度(ppm)

Q_{in} : Scrubber 進口端的氣體體積流量(lpm)

Q_{out} : Scrubber 出口端的氣體體積流量(lpm)

關於製程機台使用率(C_i)方面，其計算公式如下所示：

$$C_i = 1 - (C_{p-on} / C_{p-off}) \quad (6)$$

其中 C_{p-on} 與 C_{p-off} 分別為製程機台運轉(plasma-on)、關閉(plasma-off)時 FTIR 於 Local Scrubber 前端所測得之 PFCs 氣體的體積濃度。