

行業製程減廢及污染防治技術－半導體業介紹

一、半導體業定義

依據行政院環保署公告半導體製造業之定義，係屬晶圓製造及半導體製造業：以從事拉晶、晶柱生長、切割、研磨、拋光、蝕刻、清潔等晶圓製備程序，或以氧化、微影、蝕刻、摻配、氣象沉積、磊晶、蒸鍍、濺鍍等半導體製造及封裝之事業。

二、產業現況

半導體製造業是集合物理、電子、電機、光學、化學、機械、材料及管理科學的高科技工業，為電子工業的上游技術產業，電子業產品之競爭力強弱，受半導體技術的發展影響頗大。隨著電子資訊工業的蓬勃發展，使得該產業成長更加快速，對我國經濟發展有很大的貢獻，並且受到政府工業主管單位相當的重視。

半導體工業的製造方法是在矽半導體上製造電子產品，包括動態記憶體、靜態記憶體、微處理器…等，而電子元件之完成則由精密複雜的積體電路 (Integrated Circuit，簡稱 IC)所組成；IC 之製作過程是應用晶片氧化層成長、微影技術、蝕刻、清洗、雜質擴散、離子植入及薄膜沉積等技術，所須製程多達二百至三百個步驟。隨著電子資訊產品朝輕薄短小化的方向發展，半導體製造方法亦朝著高密度及自動化生產的方向前進；而 IC 製造技術的發展趨勢，大致仍朝向克服晶圓直徑變大、元件線幅縮小、製造步驟增加，以及製程步驟特殊化，以提供更好的產品特性等課題下所造成的良率控制方向上前進。半導體業主要區分為材料（矽品棒）製造、積體電路晶圓製造及積體電路構

裝等三大類，範圍甚廣。目前國內半導體業則包括了後二項，至於矽晶棒材料仍仰賴外國進口。國內積體電路晶圓製造業主要分佈在新竹科學園區，而積體電路構裝業則遍佈於台北縣、新竹縣、台中縣及高雄市，尤以加工出口區為早期半導體於台灣設廠開發時之主要據點。

由於半導體元件製程中，使用多種酸鹼溶液、有機溶劑及特殊毒性氣體，其產生的廢水、廢氣及毒性物質不但污染強度大，且污染特性隨產品層次的提昇而趨於複雜。

三、製程污染來源與污染特性

3.1 製程介紹

半導體工業所使用之材料包含單一組成的半導體元素，如矽(Si)、鍺(Ge)(屬化學週期表上第四族元素)，以及含二至三種元素的多成分組成半導體，如鎵砷(GaAs)半導(由第三族的鎵與第五族的砷所組成)。在 1950 年代早期，鍺為主要半導體材料，但鍺製品在不甚高溫情況下，有高漏失電流現象，因此，1960 年代起矽晶製品取代鍺成為半導體製造主要材料。半導體產業結構可區分為材料加工製造(如圖 1 所示)、晶圓之積體電路製造(如圖 2 所示) (wafer fabrication)(中游)及晶圓切割、構裝(圖 3 所示) (wafer package)等三大類完整製造流程。其中材料加工製造，是指從矽晶石原料提煉矽多晶體(polygonal silicon)直到晶圓(wafer)產出，此為半導體之上游工業。此類矽晶片再經過研磨加工及多次磊晶爐(Epitaxial reactor)可製成研磨晶圓成長成為磊晶晶圓，其用途更為特殊，且附加價值極高。其次晶圓之體積電路製造，則由上述各種規格晶圓，經由電路設計、光罩設計、蝕刻、擴散等製程，生產各種用途之晶圓，此為中游工業。而晶圓切割(如圖 4)、構裝業係將製造完成的晶圓，切割

成片狀的晶粒(dice)，再經焊接、電鍍、包裝及測試後即為半導體成品。

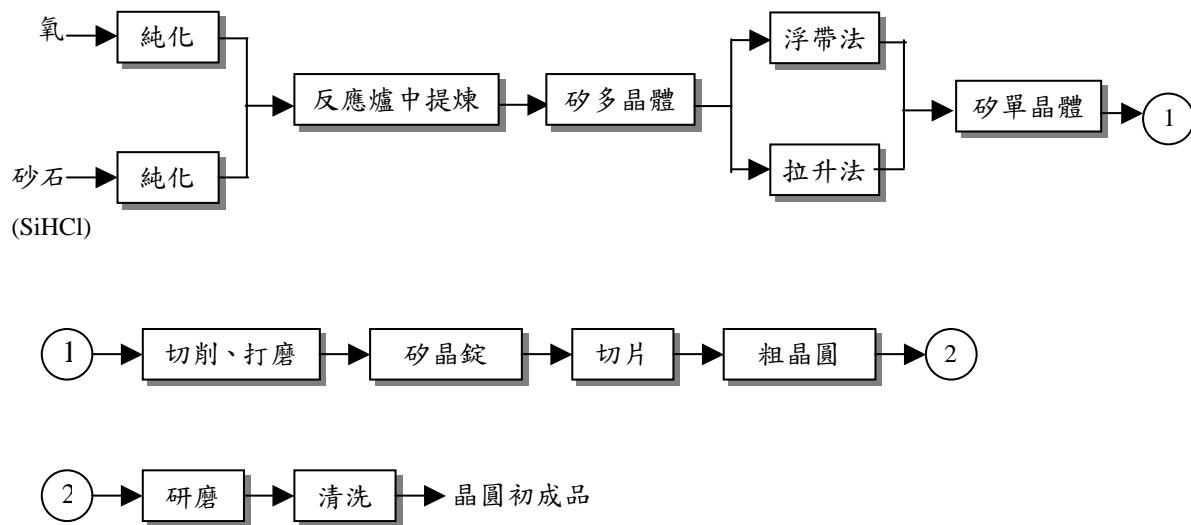
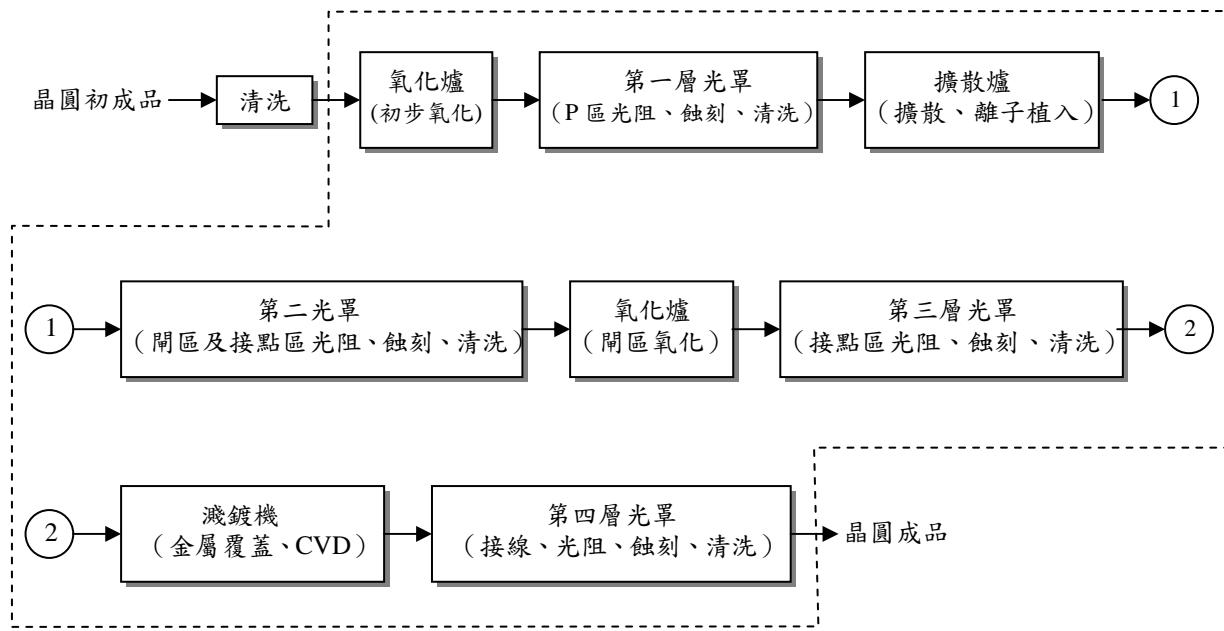


圖 1 半導體產業製造流程圖(I)-上游矽晶圓製造



註： -----虛線表示該晶圓功能需要行多次循環處理

圖 2 半導體產業製造流程圖(II)-中游積體電路製程

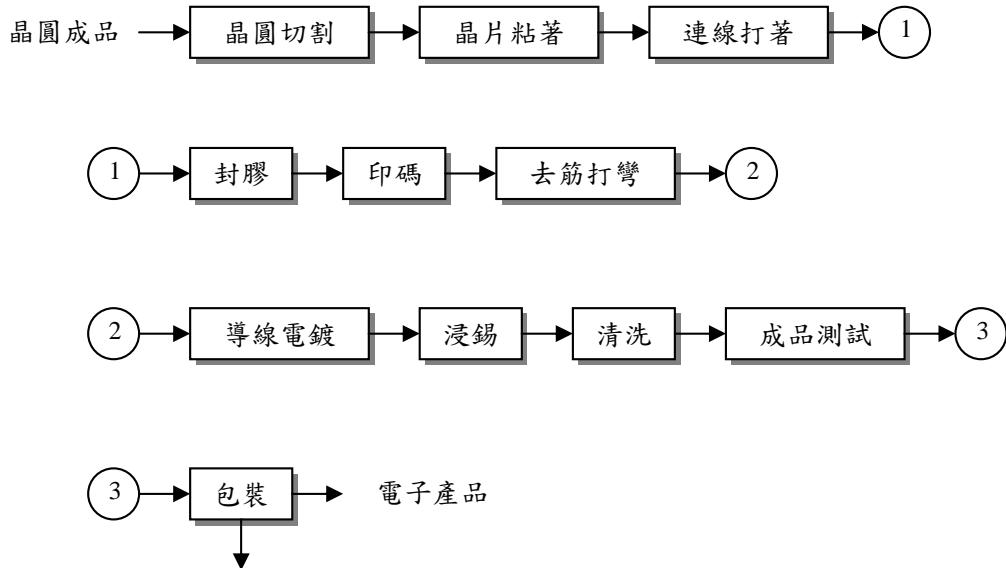
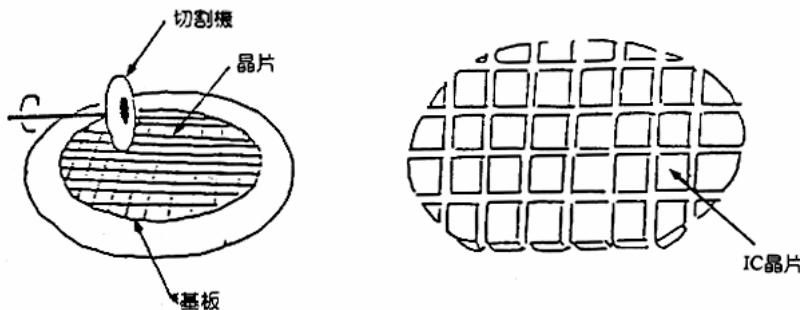


圖 3 半導體產業製造流程圖(III)-下游 IC 片封裝製程



晶圓成品之切割程序

圖 4 晶圓成品之切割程序

3.2 污染物種類及其來源

半導體工業因產品不斷研發而製程亦隨著更改，從以往所採用之濕式製程到現在採用減壓後之氣體乾式製程，及目前興起之化合物半導體研究也正迅速發展中。隨著這些技術之革新，半導體製造時所使用之酸鹼溶液、有機溶劑、特殊氣體材料之種類及數量均在增加之中，而這些製程原料大部份都具有毒性，所以應特別注意並加以防範與控制。以下乃針對此產業各類生產流程，說明廢氣、廢水污染來源，以期能掌握各項污染物之排放。

3.3 污染特性

1. 廢水污染來源與污染特性

廢水污染源分為 IC 製造廠及構裝製造作業，各有不同，說明如下：

- (1) IC 製造廠廢水來源多且造成污染之化學物質相當繁雜，廢水主要為超純水清洗晶片、去光阻及蝕刻等程序所排出之廢水，如圖 5 所示。各股廢水來源及其所包含的化學物質如下說明：

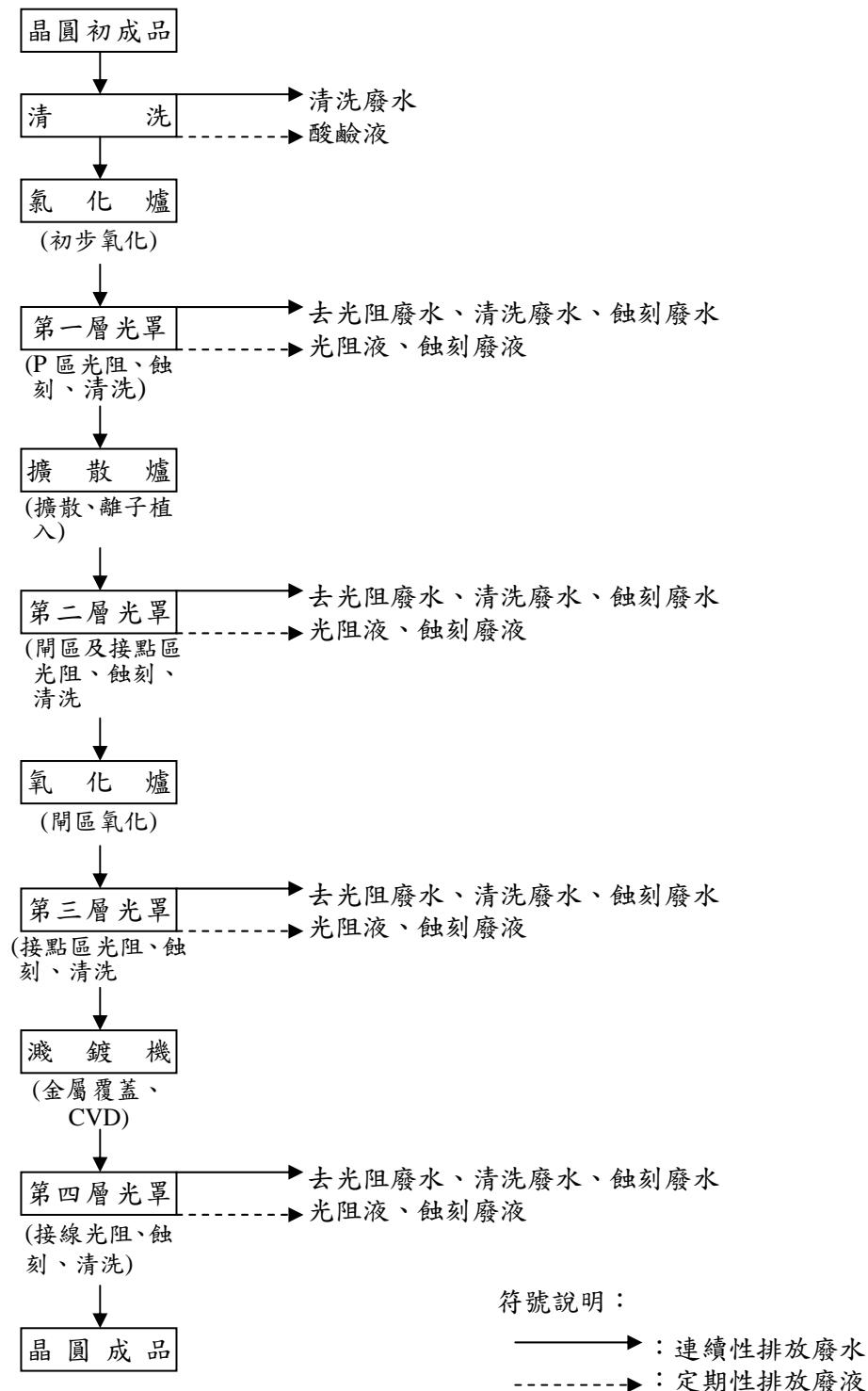


圖 5 IC 製造廠製程中廢水污染物發生源

- (A) 晶片清洗廢水： H_2SO_4 、 H_2O_2 、HF、 NH_4OH 、 HCl 。
- (B) 去光阻廢水：二甲苯、乙酸丁酯、甲苯、ABS。
- (C) 濕式蝕刻廢水：HF、 NH_4F 、 HNO_3 、 H_2O_2 、 HCl 、 H_2SO_4 、HAC、 H_3PO_4 、HBr、Al、Si。
- (D) 洗爐管廢水：HF。
- (E) 純水設備再生廢水： $NaOH$ 、 HCl 、 H_2SO_4 。

(2) 濕式洗滌塔廢水：洗滌廢氣所含之污染質。

IC 構裝製造作業主要污染源為切割、電鍍、浸錫、清洗等廢水，如圖 5.1-6 所示。各股污染源所包含的化學物質列示如下：

- (A) 切割廢水：晶片切割研磨廢水。
- (B) 電鍍廢水：脫脂過程之有機物及電鍍程序的 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Ag^{2+} 、氰化物、氟化物等。
- (C) 浸錫廢水：助焊劑。
- (D) 清洗廢水： H_2SO_4 、 HNO_3 、 H_2O_2 、HAC、 H_3PO_4 。
- (E) 純水設備再生廢水： $NaOH$ 、 HCl 。
- (F) 濕式洗滌塔廢水：洗滌廢氣所含之污染質。

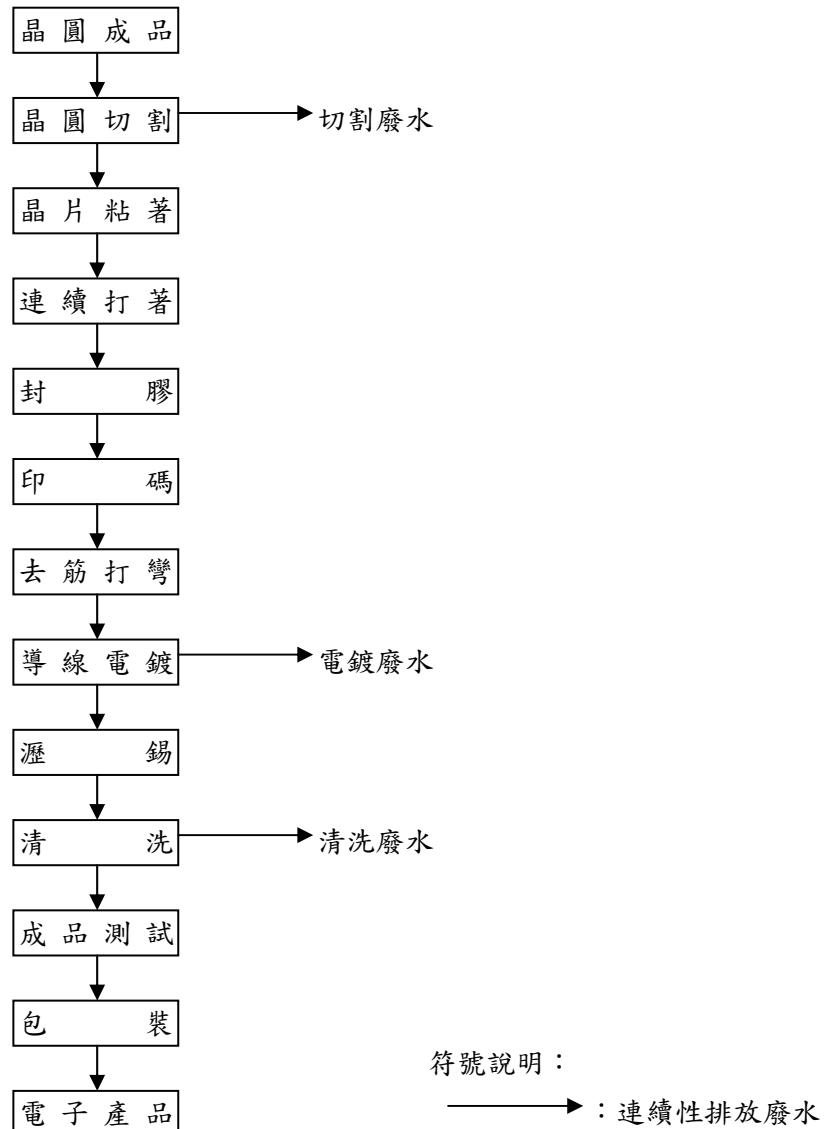


圖 6 IC 晶片構裝製程中廢水污染物發生源

由於積體電路製造業之製程須依據產品設計需求而決定，故廢水水質水量隨製程改變而有相當大的變化，又由於積體電路產品之多元化，乃致廢水之水質水量經常變動，尤以電鍍程序之鍍液種類最明顯，各 IC 構裝廠之電鍍程序大不相同，產生之重金屬及氰化物種類相差甚大，其中主要使用程序為鍍錫鉛，而氰化物及其他重金

屬之整體污染則較微量。大體來說，半導體業廢水污染特性可由 IC 製造廠及構裝製造作業之廢水種類來說明：

(1) IC 製造廠

IC 製造廠由於產品類型及規格相當多樣化，製程單元組合多不相同，因此製程排出之廢水種類及造成污染之化學物質多且繁雜，而廢水絕大多數為超純水清洗晶片、去光阻及蝕刻等程序所排出之廢水，依照廢水成份特性大致上可區分為酸鹼廢水及含氟廢水兩大類：

A. 酸鹼廢水：含有 H_2SO_4 、HAC、 HNO_3 、HF、 H_3PO_4 、NaOH、 NH_4F 、 H_2O_2 、 NH_4OH 、HCl、二甲苯等成份，污染質為 pH、COD、SS 及微量 F^- 。

B. 含氟廢水：含高濃度 HF，污染質為 pH、COD、 F^- 。

(2) IC 構裝廠

IC 構裝廠主要污染源為電鍍程序產生的廢液及廢棄水洗水。其電鍍程序依產品差異而有不同，包括鍍錫鉛、鍍鎳、鍍銀等。綜合其廢水種類可依污染性及廢水來源區分為研磨廢水、脫脂廢水、酸鹼廢水、氰化物廢水、重金屬廢水等五類。

(A) 研磨廢水：含矽晶粉末，污染質為 SS。

(B) 脫脂廢水：電鍍前處理程序產出，含 SS、油脂、COD 以及鰲合劑。

(C) 酸鹼廢水：電鍍前處理程序產出，含 H_2SO_4 、HCl、NaOH 等，污染質為 pH、COD、SS。

(D) 氰化物廢水：污染質為 CN^- 、pH。

(E)重金屬廢水：電鍍程序產出，包括底材溶出、鍍液帶出，而溶入水洗水，污染質包括 pH、Zn、Pb 等重金屬。

2.廢氣污染來源與污染特性

半導體製造不管在矽晶圓、積體電路製造，或是 IC 晶片構裝，其生產製程相當繁雜，製程中所使用之化學物質種類亦相當多，而這些化學物質或溶劑的使用是為半導體生產之主要空氣污染源，也因此使得半導體製造空氣污染呈現量少但種類繁多的特性。

晶圓及積體電路製造過程中幾乎每個步驟皆分別使用各式各樣的酸鹼物質、有機溶劑及毒性氣體，而各種物質經過反應後又成種類頗為複雜之產物，各製程使用的化學物質亦不相同，故所有製程幾乎都可能是空氣污染源，且皆為連續排放。圖 7 中說明晶圓及積體電路製程中可能之污染源及其排放之污染物。依污染物特性予以歸類，可將晶圓及積體電路製程空氣污染區分為下列三處：

- (1)氧化擴散及化學蒸著沉積製程中所使用具有毒性、可燃性之氣體以及反應後所生成之氣體。
- (2)蝕刻及清洗製程中所產生之酸鹼氣體。
- (3)黃光室製程中所產生之有機溶劑氣體。

至於晶圓切割成晶片，再經過一連串之構裝作業後，可能之空氣污染源包括：電鍍區產生之酸鹼廢氣、浸錫區產生之錫燻煙，以及清洗過程產生之酸氣與有機溶劑蒸氣等三大類，圖 8 中標示 IC 晶片構裝作業程序可能產生之空氣污染源及其排放之污染物。

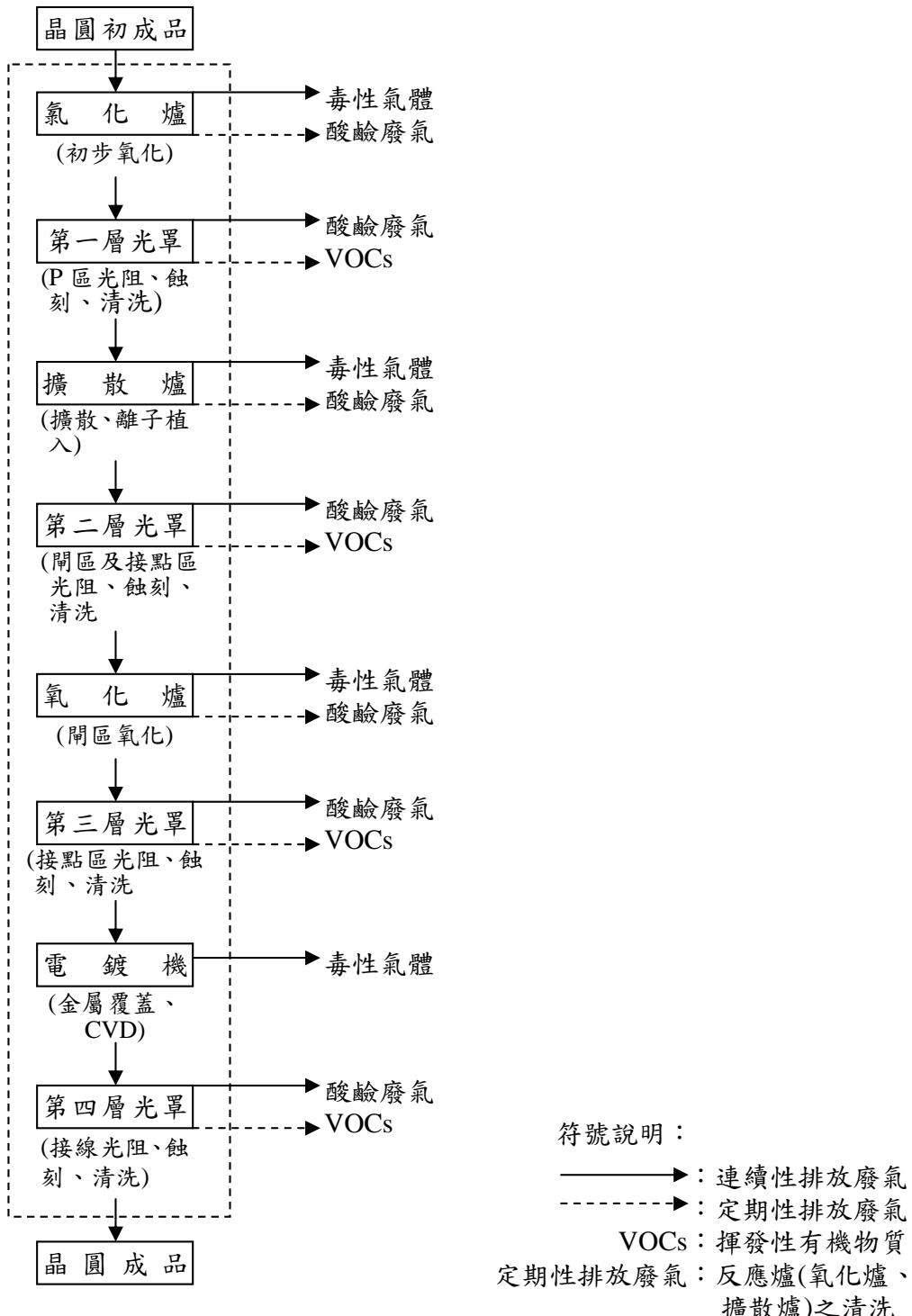


圖 7 晶圓及積體電路製程中空氣污染物發生源

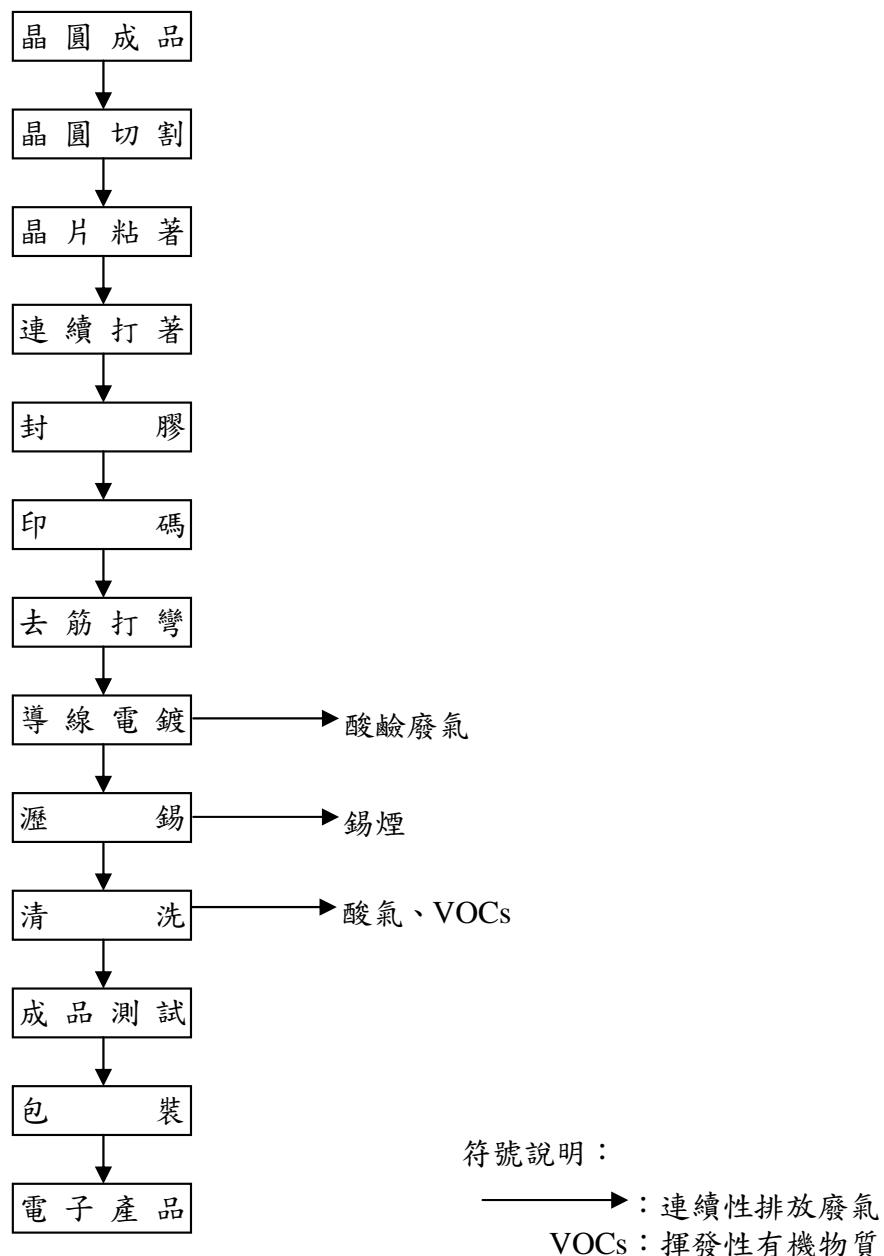


圖 8 IC 晶片構裝製程中空氣污染物發生源

積體電路製造隨著其製程使用不同的化學物質，所產生的空氣污染物種類與特性亦不相同，可歸納為酸鹼廢氣、有機溶劑逸散蒸氣、特殊毒性及燃燒性氣體，表 1 為 IC 製造所產生之空氣污染物種類與成份。

表-1 半導體製造業廢氣污染特性

廢氣種類	污染物成份	污染源
酸鹼廢氣	酸氣：HF、HCl、HNO ₃ 、H ₂ SO ₄ 、CH ₃ COOH、H ₃ PO ₄ 、H ₂ Cr ₂ O ₇ 鹼氣：NH ₃ 、NaOH	氧化、光罩、蝕刻、反應爐（氧化爐、擴散爐）之清洗、CVD
有機溶劑廢氣	二氯甲烷 (CH ₂ Cl ₂)、氯仿 (CHCl ₃)、丁酮、甲苯、乙本、丙酮、苯、二甲苯、4-甲基-2-戊酮【(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COCH ₃ 】、乙酸丁酯、三氯乙烷、異丙醇、四甲基胺、氯醛、四氯乙烯、乙基苯、亞甲基二氫、丁基苯、Trans-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 ₃ 、PH ₃ 、SiH ₄ 、B ₂ H ₆ 、B ₄ H ₁₀ 、P ₂ O ₅ 、SiF ₄ 、CCl ₄ 、HBr、BF ₃ 、AlCl ₃ 、B ₂ O ₅ 、As ₂ O ₃ 、BCl ₃ 、POCl ₃ 、Cl ₂ 、HCN、SiH ₂ Cl ₂	氧化、光罩、蝕刻、擴散、CVD、離子植入
燃燒氣體	SiH ₄ 、AsH ₃ 、PH ₃ 、BF ₃ 、H ₂ 、SiH ₂ Cl ₂	離子植入、CVD、擴散

至於 IC 晶片構裝製造業產生之污染物計有電鍍區產生之酸鹼廢氣、浸錫區產生的錫煙氣及清洗過程產生之酸氣、有機溶劑逸散蒸氣。採用之酸液主要為硝酸、硫酸，有機溶劑為三氯乙烷及丙酮。

四、廠內管理與製程減廢

減廢目的在於有效率地使用製程物料，減少污染物的排出，達到降低生產成本及節省污染防治費用的雙重目標。以往業者在解決污染問題時，較著重於如何將污染物處理至符合環保法令標準，僅是一種只求免於遭到環保單位取締的處理方式，若能積極從廠內管理及製程減廢中做

到污染源減量及有價物質回收工作，則不僅能節省原物料及污染物的處理成本，更因污染強度的降低，將使管末處理趨於單純。工廠在執行減廢工作時可依循如圖 9 之程序，以達事半功倍之效。

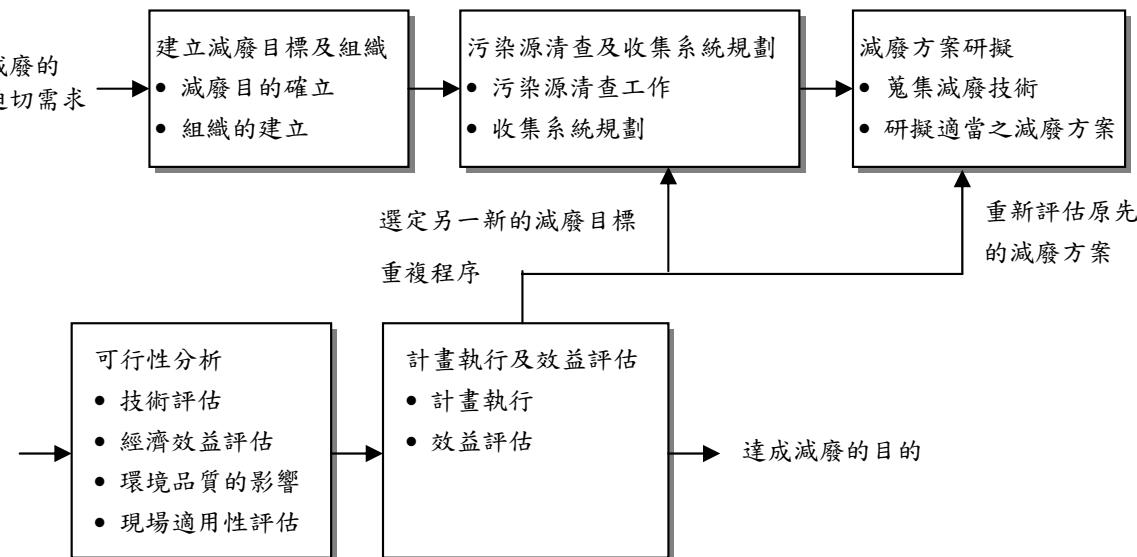


圖 9 減廢工作之執行程序

1. 廢內管理

半導體製造業工廠廠內管理措施之項目主要為：

(1) 原料管理

原物料的貯存管理，應符合先進先出(first in first out)的原則，以減少發生存貨過期，造成不良品之問題，減少浪費。另外，採購是所有使用原物料，及產生之廢棄物的進出關卡。所以，工廠之污染預防政策，也要注意採購程序。

(2) 廢水水流

(A) 雨水、廢水分別收集。

(B)依照製程廢水污染物特性，區分為含氟廢水、酸鹼廢水、重金屬廢水、氰化物廢水等類。應依污染種類、高濃度廢液及低濃度廢水分別收集，以減少廢水處理場設置容量，可降低建造成本、佔地面積及操作費用。

(3)人員的訓練

(A)加強人員之管理、減廢及在職教育。

(B)改善操作習性。

(C)輔以獎懲辦法的約束。

(D)加強特殊事件之應變處理能力。

2. 製程減廢

半導體製造業常見之製程減廢技術主要為：

(1)合理用水

(A)採用自動控制清洗系統，以減少用水量

(B)設置流量指示器或其他節水控制設施

(2)回收再利用或循環使用

(A)濃硫酸回收：廢棄濃硫酸可回收外賣。由於半導體製造廠所使用之硫酸純度極高，使用後之廢棄濃硫酸，提供為其他業別如鋼鐵業、金屬表面處理業等使用，仍屬高純度硫酸。

(B)廢酸、鹼液回收：超純水製造之離子交換樹脂再生廢酸、鹼應先收集，避免各自排出，造成廢水 pH 時而偏高或偏低，且多餘之廢鹼可供廢水處理場調節其他酸性廢水之 pH 使用。

(C)處理水回收再利用

- A. 濕式蝕刻清洗去離子水使用之純水電阻係數為 18m-ohm.cm (25°C)，但清洗晶片後流出之清洗水及電鍍前處理純水水洗水仍有 10m-ohm.cm (25°C)之潔淨程度，因此清洗廢水部份可予處理回收。
- B. 積體電路封裝工廠，大多有電鍍 IC 基腳作業，可設置金屬回收槽回收帶出液、鎳鍍液過濾機、採用反應性清洗法等，以減少用水量及廢水量。

五、污染防治處理技術

5.1 廢水處理技術

1. 常見廢水處理方法

半導體製造業廢水來源眾多，在處理時，主要為去除有機物， F^- 、重金屬等污染物。以處理方法分類，則可分為預先處理、物化及後續處理。

(1) 預先處理

預先處理係指工廠經由調查、評估、瞭解各階段製程所產生之污染性質、污染量及污染來源等問題後，針對各種問題於廢水處理前採用一些措施，以減輕污染強度、污染量等，致使污水處理成本降低、處理效果提昇。

(A) 預先處理一般包括物理及化學方式，如調勻、pH 調整等，各種處理方式之設計與操作原理說明如下：

A. 調勻槽

調勻槽目的在調勻水質、水量並兼具降溫的功能。由於廢

水因水量水質變化極大，各製程單元排出廢水量及其污染濃度一日之間可能時時不同，且變化大，因此需藉由調勻來使流入廢水處理設施之水質、水量得以穩定，並具有部份降低水溫之功能。常用之調勻方式以曝氣攪拌為主，可採分散器攪拌、表面曝氣機、沉水式曝氣機等。

B. pH 調整槽

工業廢水 pH 值隨加工種類及製程而改變，其範圍從強酸至強鹼皆可能發生，故藉由添加酸、鹼中和劑以使廢水之 pH 調整至適宜後續處理條件。pH 調整設備計有水躍式、空氣攪拌、機械攪拌及管線攪拌等數種，其中空氣攪拌及機械攪拌較能達到良好之調整效果，此外在調整槽宜設置 pH 控制器，以便有效控制酸、鹼之加藥。

(2)化學處理

(A)化學混凝單元

混凝之主要功能係於廢水中添加混凝劑及助凝劑，使廢水中無法沉降之細小固體物質產生凝聚作用，形成之膠羽 (floc) 則藉由沉澱或浮除去除之。一般而言，化學混凝處理包含快混池及慢混池，快混池中係經由混凝劑的加入及快速攪拌，以破壞粒子的穩定性，慢混池則藉緩慢的攪拌使粒子相互碰撞而凝聚，形成可沉降之粗大膠羽。目前廢水處理常用之化學混凝藥品計有多元氯化鋁(PAC)、硫酸鋁、氯化鐵及高分子凝集劑等。

(B)沉澱單元

沉澱池係藉由重力沉降方式去除廢水中可沉降之有機物及懸浮固體，以降低後續處理之負荷。在規劃設計上需有足夠之表

面溢流率、良好之污泥收集刮除設備及可調整之溢流堰板。而操作上需適當的排泥以維持污泥床之深度，避免污泥層太厚，影響出水水質。

(C) 浮除單元

化學混凝形成之膠羽以加壓浮除來進行固液分離，最大之特點在於將 $3 \sim 6\text{kg/cm}^2$ 壓力之空氣打入廢水中，使大量空氣溶於液相中（在空氣溶解槽中反應），再將之導入浮除槽。在大氣壓下，空氣自液相中溶出，形成小氣泡附在膠羽上，由於氣泡之上浮，將污泥一併帶至液面處形成浮渣，再以刮板刮除。其主要目的在去除不易沉降分離之懸浮固體物及油脂，近年來已為不少業者採用，然操作上應注意氣水之混合狀況、進流水之分配等問題。

(3) 後續處理

一般而言，廢水生物處理技術包括活性污泥法、接觸曝氣法、旋轉生物盤法、滴濾池法等。其中活性污泥法及接觸曝氣法為染整廠普遍採用之生物處理單元，各種處理方法其技術原理說明如下：

(A) 砂濾

過濾之目的為分離水中懸浮性固體物，為目前廢水處理常用之後續處理單元。於過濾程序中，廢水流經如細砂或無煙煤之類的濾料，形成阻流作用，可去除懸浮性及膠體性粒子。與沉澱單元相比，過濾法所需費用較高，但設備體積較小，操作迅速，經過濾後之固體物含水量亦小。廢水處理上過濾法可分為重力、加壓及減壓等三種方法。

(B) 活性碳吸附

活性碳吸附法為藉活性碳的吸附作用吸附處理水中所含之

溶解性或難分解性之有機物或無機物。

通常為生物處理及物理化學處理設施之後所附加之設施，為上述處理設施未能處理達到之水質或處理水擬再用時所需之處理設施。

(C)離子交換法

所謂的離子交換即為在一固體(樹脂)和液體(水溶液)間，進行可逆的相互交換反應，即不溶解性的固體樹脂顆粒可從電解質水溶液中將正電荷或負電荷的離子吸收，同時將等當量的相同電荷之其他離子釋入水溶液中，以達到離子與水溶液分離的目的，而此種反應的發生並不會改變樹脂本身的結構。採用離子交換系統處理氟離子的操作一般有四種方式：回分式(batch)、固定柱床式的 fixed-bed)、流體床式(fluidized-bed)和連續式(continuous)，其中以固定柱床式為最普遍採用的方式。典型固定柱床離子交換的步驟為：交換(service)、反洗(backwash)、再生(regeneration)，和洗滌(rinse)。

2. 典型廢水處理流程

IC製造廠製程排出之廢水包括酸鹼廢水及含氟廢水。酸鹼廢水因污染單純，處理方式僅先予調勻水質、水量後，再調節pH即可放流。含氟廢水部份目前常用之處理方法包括化學沉澱法、化學沉澱／混凝法、離子交換法，其處理流程如圖10 所示。

IC晶圓封裝(參考圖 11)廠產出廢水分類為研磨廢水、酸鹼廢水、重金屬廢水、氰化物廢水以及脫脂廢水。各類廢水應予以分流收集，並置於貯槽中，再以定量泵定量送至廢水處理場處理。各類廢水之處理流程，如圖11 所示。

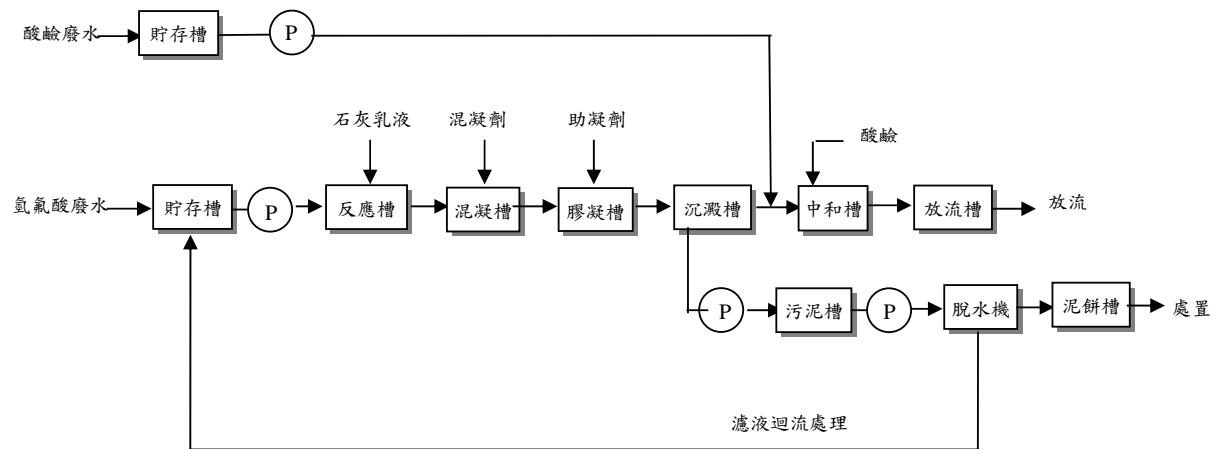


圖 10 IC 晶片製造廠廢水處理流程

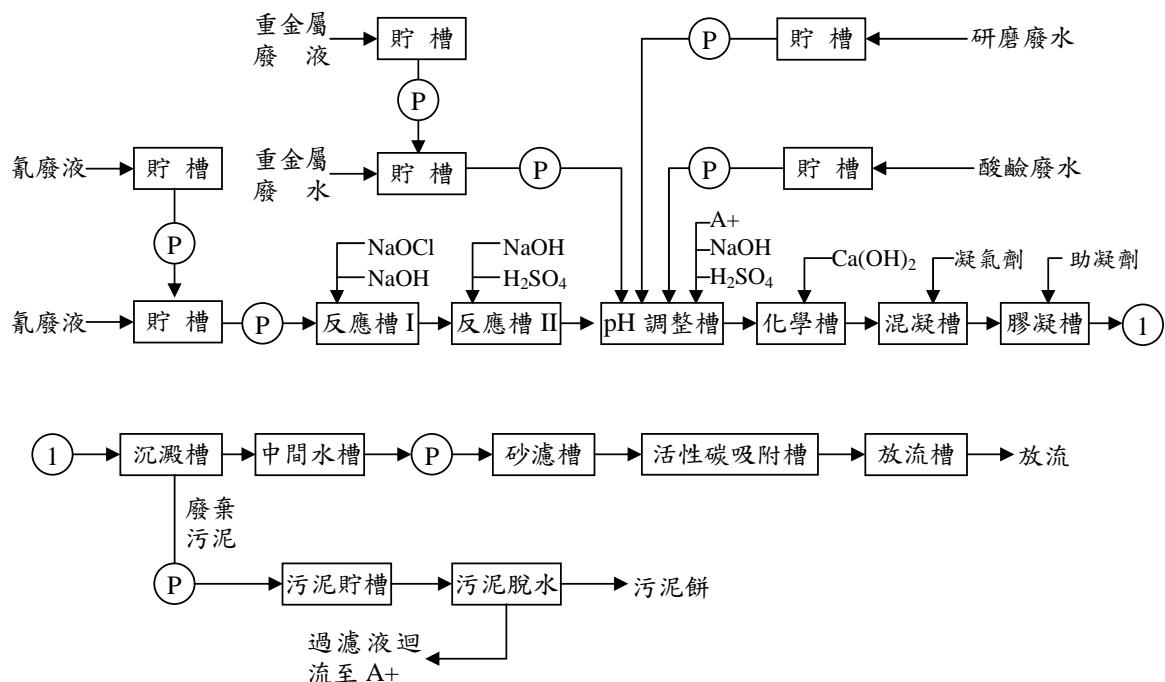


圖 11 IC 封裝廠廢水處理流程

3. 廢水處理設施常見缺失

半導體製造業工廠廢水污染防治工作上之共同缺失。係分下述幾

點：

(1) 製程減廢方面缺失

未能由製程採取減廢措施，減少高濃度廢液、廢水排出量或降低污染濃度，以減輕廢水處理系統之處理負荷。

(2) 分類收集系統缺失

(A) 製程清槽或更槽時所產生的各股高濃度廢水、廢液，未能單獨貯存再定量納入廢水處理系統進行處理，當高濃度廢液瞬間排放時，因無緩衝調節作用，使用綜合廢水水質污染濃度變化劇烈，處理系統超過負荷，易造成處理水水質無法符合放流水標準。

(B) 因各股廢水、廢液未能妥善分類收集，再依一定比例納入廢水處理系統進行處理，所以無法確保穩定之綜合廢水水質，造成操作上極大的困擾，例如加藥量及 pH 值等，均難以有效控制，進而影響處理後放流水質的穩定性。

(3) 處理設施缺失

(A) 部分半導體製造業工廠調整槽容積不足以均勻水質或調節流量，以致綜合廢水水質、水量經常變動，無法建立穩定且正確的操作參數，造成操作上極大困擾。

(B) 混凝單元中的加藥種類、加藥 pH 值、加藥位置、加藥量、攪拌速度、停留時間不正確，造成混凝反應效果不佳。

(C) 沉澱池設計簡單且多未依學理設計，造成溢流率過高，膠羽沉降不良。

(D) 污泥處理設備功能不完善以致脫水效果不良，無法有效減少污泥體積及重量，降低污泥處理及處置成本。

(4)操作維護管理缺失

- (A)因未能掌握各股廢水、廢液水量水質資料，以致無法建立穩定操作參數。
- (B)部份半導體工廠未能建立完善之操作維護管理制度，並對處理設備操作運轉狀況及處理水質進行監測記錄。

5.2 廢氣處理技術

就半導體製造生產特性而言，因其使用之化學品種類繁雜，必須特別著重勞工安全之維護，且其生產過程常須在無塵室中進行，污染物排放型態較一般工業特殊。本章節將介紹行業空氣污染物之收集系統，以及半導體製程中經收集之各類空氣污染物處理原則與處理技術。

1. 空氣污染物收集系統

由於半導體製造工業產品之高度精密化，因此製程均要求在嚴格控制的無塵室中操作，無塵室之構造採層層過濾，以去除微粒存在，並控制室內一定之溫度與濕度，故基本上無塵室為密閉空間。IC 製造過程中污染源均發生於無塵室內，為避免大量使用之化學物質於作業環境中影響人員安全，故污染物的收集愈加顯得重要。一般對於空氣污染物的收集，大都使用局部排氣系統 (local exhaust system)。局部排氣系統基本上包含氣罩、風管、風車、空氣清靜裝置及煙囪等，其設計之良窳將影響局部排氣系統效率。

依業界習慣，一般將廢氣收集管線區分為兩類，亦即製程廢氣排氣 (scrubber exhaust, SEX) 及一般排氣 (general exhaust, GEX)。製程廢氣排氣係指製程設備中反應槽所剩餘或未反應之原料以真空泵抽出，抽氣時以氮氣來稀釋廢氣濃度以保護真空泵，各個廢氣性質相似

之廢氣則合併先經區域性吸附或洗滌處理後，再與其他廢氣合併，最後送至中央洗滌塔作二次處理後排入大氣中。至於一般廢氣系統乃指將自反應槽逸散之空氣污染物，以局部排氣系統捕集，以維護無塵室中之空氣品質。

製程廢氣之排放與處理設備，一般均視為製程設備的一部份，其設置依製程作業之不同而異。一般排氣系統採用氣罩予以收集污染物。因此，氣罩設計之良窳，影響廢氣處理效率甚鉅。氣罩的形式很多，若依氣罩與污染源的相對位置及適用範圍，可將氣罩分為密閉式氣罩、箱型氣罩、捕集型氣罩及接受型氣罩共四類。

(1) 密閉式氣罩

密閉式氣罩是將污染源局部或整體密閉起來的一種氣罩，其操作原理是使污染物的擴散局限在一個密閉空間內，並利用抽氣使空間內保持負壓，達到防止污染物外逸的目的。其特點是與其他型式氣罩相比所需抽風量最小，控制效果最好，且不受室內橫向氣流的干擾。所以，在設計中應優先考慮選用。

一般IC製造廠使用之密閉式氣罩均設於製程設備(如金屬濺鍍機、化學蒸著沉積(CVD)等)之上，即製造設備中反應室所剩餘或未反應之原料藉密閉室氣罩以真空泵抽出，抽氣時並以N₂氣來稀釋廢氣濃度以保護抽氣泵。

(2) 箱型氣罩

由於生產操作的需要，在氣罩上開有較大的操作孔。操作時，通過孔口的氣流來控制污染物外逸。其捕集原理和密閉式氣罩一樣，可視為開有較大孔口的密閉式氣罩，化學實驗室的通風均屬於密閉集氣罩的典型代表。其特點是效果好，所需抽氣風量較密閉式

較大，而小於其他型式氣罩，最常用者為層流排氣罩(Laminar flow hoods)。

(3) 捕集型及接受型氣罩

由於工廠條件的限制，有時無法對污染源進行密閉，則只能在其附近設置捕集型及接受型氣罩，如溶劑清洗或濕蝕刻製程。捕集型及接受型氣罩的型式相當多樣，包括頂蓬式氣罩(camopy)、下抽式氣罩(down-dwaf hood)、側吸式氣罩(side drafthood)、狹縫式氣罩(slot hood)及推拉式氣罩(push-pull hood)。由於捕集型氣罩吸氣方向與污染源氣流運動方向不一致，因此捕集型氣罩比接受型氣罩需要較大抽氣風量，才能控制氣流的擴散，而且容易受室內橫向氣流干擾。

2. 廢氣處理系統

半導體製造所產生之空氣污染物經收集後，需再經妥善處理，始能予以排放。由於半導體製造業可能排放之污染物相當多樣，各項不同特性污染物之處理方法亦不盡相同，因此廢氣收集系統須針對各種不同廢氣特性分類收集處理。以下僅簡述半導體製造各類廢氣可行之處理原則與處理流程。

半導體製造的生產設備皆在嚴格控制的無塵室中操作，主要有氧化爐、擴散爐、清洗槽、顯影機、離子植入機及金屬濺鍍機(CVD)等。而各類製程可能產生污染物，依據其處理特性區分，可區分為酸鹼性氣體、有機溶劑及特殊毒性氣體三類，針對此三類廢氣處理，依目前國內外業界處理經驗，其處理原則如下：

(1) 各類污染源所排放之污染物，可能包含多項不同特性廢氣，因此各股廢氣需先依其特性經一次處理後，再進入中央廢氣處理系統處

理。中央廢氣處理系統以洗滌塔為主。

- (2)擴散、化學蒸著製程中產生之毒性氣體，主要為 Cl_2 、 PH_3 、 AsH_3 、 SiH_4 、 B_2H_4 等。其中離子植入機、化學蒸著沉積所產生廢氣為常溫，因此需先經燃燒管燃燒可燃毒性氣體，再以乾式吸附塔吸附未完全燃燒之毒性氣體。至於氧化/擴散爐所產生之可燃性毒性氣體，大部份已在爐內氧化，因此廢氣經收集後，備以乾式吸附塔吸附之。
- (3)蝕刻、清洗製程所產生之酸鹼性氣體，如 H_2S_4 、 NH_3 、 HCl 、 HF 、 HNO_3 、 CH_3COOH 、 H_3PO_4 。等，以填充式洗滌塔為預處理設備。
- (4)黃光室製程中所產生之廢氣則以有機溶劑蒸氣為主，例如甲苯、二甲苯、丙酮、三氯乙烷等，因不具特殊毒性，以活性碳吸附塔吸附之；若廢氣為大風量、低濃度時則以濃縮轉輪處理之。

綜合上述半導體製造業常用之空氣污染控制設備，包含可燃毒性氣體燃燒管、乾式吸附塔、活性碳吸附塔、填充式洗滌塔等，其中氣體燃燒管及乾式吸附塔(Local scrubber)均緊跟在製程設備後面就地處理排放之廢氣，因此這些處理設施均安置於廠房內；由於考量廢氣之劇毒性，之後再將其收集至廠房外之中央廢氣處理系統(填充式洗滌塔)實施二次處理，以確保安全。半導體製程廢氣可行處理流程如圖 12 所示。

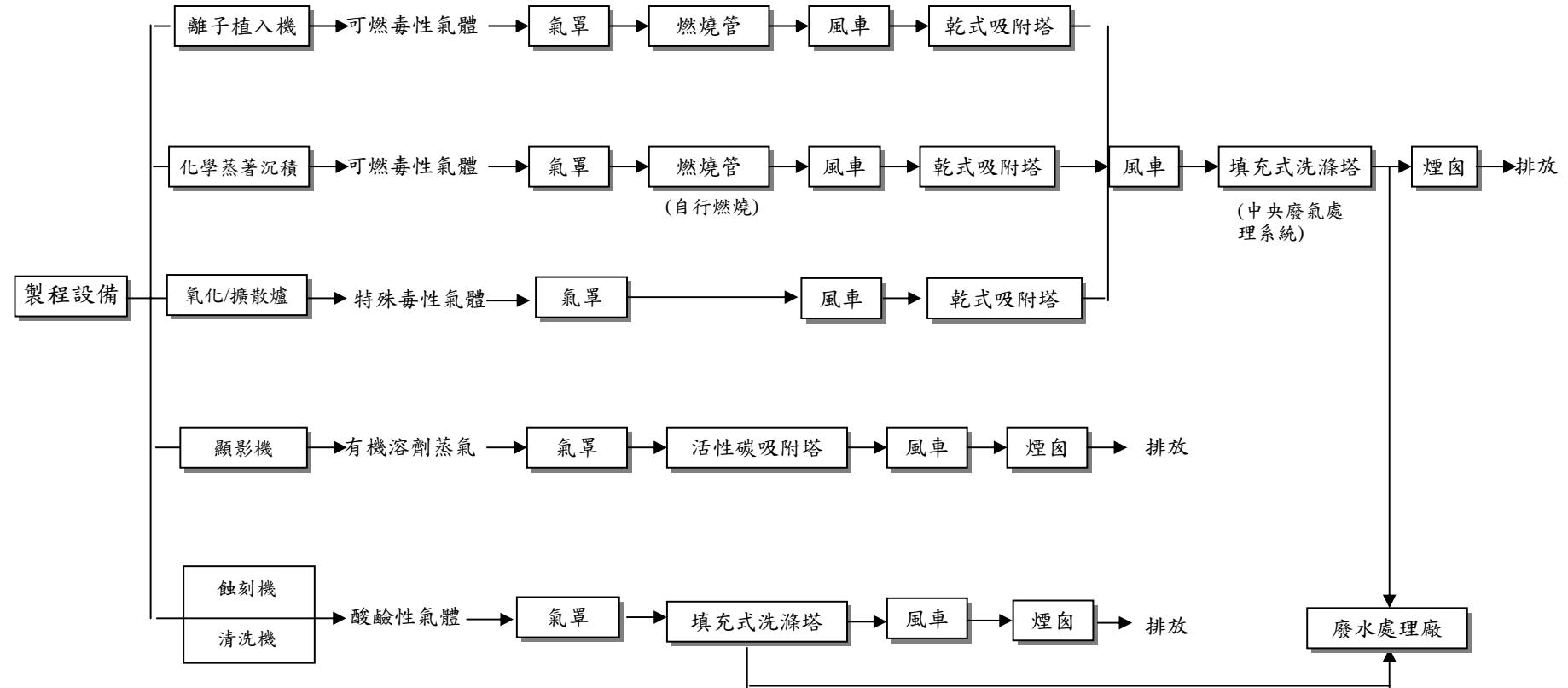


圖 12 半導體製程廢氣可行處理流程

3.酸廢氣濕式洗滌技術

半導體製程中酸鹼性廢氣處理，乃至於中央廢氣處理系統，一般均採用濕式洗滌設備，以吸收廢氣中污染物質。吸收法係利用液體(吸收液)之溶解作用以去除氣體中可溶解之成分。當吸收液中氣體濃度低於平衡濃度時，即可對氣體發生吸收作用。而吸收速率是決定於這氣體/液體本身的物理與化學特性，及吸收系統的操作條件(如溫度、氣體與液體的流量)，通常可藉由降低溫度、加大接觸面積、提高液體/氣體比值、提高氣流中被去除氣體之濃度等以增進吸收效率。

吸收作用包括有物理性及化學性。當被吸收成份溶解於吸收劑係屬於物理性吸收作用。當被吸收成份與吸收劑間有反應發生時，則為化學性吸收作用。溶劑可為有機性或無機性成份，包括有水、礦油、非揮發性碳氫油及水溶性（如氫氧化鈉）等。

4.特殊毒性氣體控制技術

半導體製程單元，可能排放之特殊毒性氣體種類繁多，針對此類廢氣處理需因應各單元所排放廢氣特性，結合多種不同型式廢氣處理設備，階段性地處理各種不同特性污染物質，以確保處理效率。目前常應用於處理半導體製程中特殊毒性氣體之處理技術，大體上可分為乾式吸收或吸附法、濕式洗滌法、熱解法及燃燒法等四種方法。以下說明各種處理方法原理：

(1)乾式吸附法

乾式吸附法主要乃藉附著於載體上的化學物質與廢氣中的毒性物質產生反應，以降低廢氣中污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

隨所欲去除之污染物質而異。乾式法之優點為去除效率高，幾乎可高達 100%，吸著劑之使用可因應氣體種類不同而加以改變，且使用達飽和後可丟棄另再更新，甚為方便。例如 Rikasole 氧化及清除法、KS 吸附劑法(反應和吸收法)。

(2)濕式洗滌法

濕式洗滌法處理原理乃藉水溶液洗滌廢氣，以吸收污染 物質，由於欲去除之污染物質毒性高，因此，洗滌塔型式一般採用填充式洗滌塔，以加大液氣接觸面積，至於洗滌溶液之選擇，則應視污染之特性，使用不同吸收劑或氧化劑，以吸收或氧化分解污染物。濕式洗滌法主要優點在於比乾式吸附法處理量要大，可同時處理多個污染源所排放廢氣，然處理含多種不同污染物廢氣時，可考慮串聯使用不同洗滌液之洗滌塔，以多段洗滌確保不同特性污染物之去除效率。

(3)熱解法

許多有害氣體能輕易地被熱分解，例如，將 AsH_3 加熱至 700°C 以上即可分解毒性，但仍有部份不反應的 AsH_3 固體，能以Rikasole去除。所以此種方法適用於小型設備，在熱反應區內填充金屬觸媒更能提高效率。

需注意的是，如果熱解氣體是 B_3 ，可能在加熱區加熱至燃點時會產生粉末，以致於阻塞管路，造成空氣不能進入等困擾。

(4)燃燒法

燃燒法包含利用具自燃性(SiH_4)氣體自燃及使用燃油產生火焰燃燒有害氣體等二種方法，此兩種方法分別說明如下：

(A) SiH_4 自燃法

SiH₄與氧接觸後，被氧化成粉末狀SiO₂。因此，導入大量的氧到排放氣體內，將SiH₄轉換成SiO₂，然後利用濾網、洗滌塔或文氏洗滌塔清除SiO₂。

(B)強迫燃料燃燒法

此法是將煙道氣體導引至燃燒器火焰，將氣體燃燒並轉換成有害的粉末而收集之。此法也適合大量處理使用，但因使用燃料，所以運轉成本較高。

(5)揮發性有機物(VOCs)控制技術

半導體 IC 製造工業於黃光區製程使用大量之光阻液、顯影液，這些溶液均由種類繁多之有機溶劑組成，另於晶圓之清洗及機台之清潔工作也使用大量之有機溶劑，較常見者如二甲苯、三氯乙烷、丙酮、苯等，因而造成有機溶劑蒸氣逸散於作業環境中，影響員工身體健康甚鉅。一般工業有機溶劑廢氣的處理方法計有吸附、焚化及回收法(或冷凝法)等三種，分別介紹如下。

(A)吸附法

吸附法係藉由流體和固體(吸附劑)表面之接觸去除有機物或其他物質。氣流中之氣狀、液狀或固狀微粒被吸附劑吸附者，稱為吸附質(adsorbate)，常用的吸附劑包括有活性碳、矽膠粒(silica gel)或活性鋁(alumina)。吸附程度決定於接觸面及吸附氣體物理性質，吸附劑具有較大的表面積/體積比，對吸附成分具有較大的親和力時，則能有較良好的吸附能力。例如：活性碳為最常用的吸附劑，對於揮發性有機物，若具備較大的分子量，較低的蒸氣壓及環狀結構(cyclical compound)者，將有利於吸附作用，在較低的

操作溫度及較高的濃度狀態下，亦可增強吸附容量。

(B) 焚化法

在空氣污染控制領域中，廢氣焚化設備主要包括有直燃式焚化(Incineration)及觸媒焚化(catalytic incineration)兩種。目前直燃式焚化爐之處理效果可達到 90% 到 99%。焚化爐中所產生高溫之煙道氣，具有較高之熱能，因此可在煙道氣(或燃燒空氣)之間裝置熱交換器以做熱交換，利用這些熱能產生熱蒸氣而做熱能回收。而觸媒焚化控制技術，乃藉由觸媒作用以氧化廢氣中之 VOCs。一般而言，增加觸媒焚化爐之燃燒溫度或減低其空間速度，可增加破壞去除效率達 98%。

(C) 冷凝法

冷凝處理常和其他空氣污染控制系統合併使用，通常冷凝器置於較昂貴的控制設備(如焚化處理設備、活性碳吸附床及吸收塔)之後。冷凝處理係利用廢氣成分中凝結溫度之不同而將較易冷凝之成份分離出。冷凝作用可包括兩種方式①在定溫下增加系統之壓力②在定壓下，降低系統之溫度。做為控制廢氣排放用之冷凝器可藉由使用冷凝劑來達成。最常用的冷凝器型式包括有表面式及接觸式冷凝器(surface and contact condensers)。管殼式(shell and tube)熱交換器為常用之冷凝器，冷凝劑從管中流過，凝結下來之蒸氣附著管外殼上。蒸氣可在管外凝結成一層薄膜後，再排至儲存槽，或排出後做適當之處置。在接觸式冷凝器中，則噴灑冷的液體以冷凝廢氣中之揮發性成份。