

半導體廠綜合性廢水節水實例分享 - 生物薄膜系統

旺宏電子晶圓二廠廠務處水處理空調部 ■ 黃炳森

一、前言與概要

旺宏電子以污染預防、持續改善及珍惜資源理念，長期致力於製程、空調、民生等用水進行水質/水量的檢討與投資改善，晶圓二廠設置已10餘年，近年包含純水系統2B3T樹脂塔再生延長使用、離子交換及混床樹脂沖洗水回收再利用、DI Reclaim回收、儀器排水回收...等，回收率已達75%以上，為更進一步挑戰製程水回收率達科學園區新設廠之標準85%，投資建設針對全廠回收具高效率的生物回收處理系統。

本文目的為舊有半導體廠房，進行一般綜合廢水回收再利用，在不影響現有生產製造，克服水質複雜問題進行全廠水質分析分流，克服既有廠房最艱難的問題”空間”，利用生物處理、浸漬式生物薄膜(MBR)技術及RO回收技術，達成半導體8吋廠回收率世代轉換之挑戰，並且整體自來水用水量下降約達30%。

半導體業其製程中需使用大量之用水，其主要廢水可以依使用的製程化學用品分為氟系、一般酸鹼無機廢水、有機廢水、奈米顆粒廢水、與生活污水等。

晶圓二廠為一8吋廠，歷年來已完成之回收措施與處理系統包含純水系統2B3T樹脂塔再生延長使用、離子交換及混床樹脂沖洗水回收再利用、DI Reclaim回收、儀器排水回收、Local scrubber水回收...等，但若製程回收率欲提升至85%，需大幅提升回收率，經評估必需由製程排水進行回收，才能達成85%回收之目標。

1.1 廢水成分複雜

綜合酸鹼廢水內包含之物質有氨水(NH₄OH)、硫酸(H₂SO₄)、磷酸(H₃PO₄)、硝酸(HNO₃)、雙氧水(H₂O₂)、氫氟酸(HF)、顯影液(developer)、氫氧化四甲基銨(Tetra-Methyl Ammonium Hydroxide, TMAH, (CH₃)₄NOH)、醋酸(CH₂COOH)、異丙醇(Isopropyl Alcohol)、EKC、NMP，及界面活性劑等無機/有機物質，再加上純水再生時產生之清洗(rinse)廢水及CMP (Chemical Mechanical Polishing) 化學機械研磨廢水，其中成分復

雜，含有高濃度無機氮、有機氮、氧化劑及有機化合物。對於製程廢水之處理與設計參數如僅能遵循傳統廢水處理程序，將會衍生出許多處理上之困境。

1.2 既設廠房擴充空間不足

既設廠房之半導體廠的可利用之空間極少，原規劃生物系統需求空間約490m²，經計算包含現有綠地及舊設備拆除後之空間，仍需要270m²空間供生物回收系統使用，廢水站周遭已無大面積綠地可供使用，必須全面性評估現有空間使用狀況，如何尋找更有效率的系統及更有效率的應用各類空間，也變成相當重要的議題。

廢水生物處理回收系統相對用地較大，利用高效能的生物技術也是勢在必行。廢水生物處理系統，自活性污泥法處理程序發展至今生物薄膜處理系統Membrane Bioreactor (MBR)，薄膜分離單元優良的固液分離性質，因而使廢水水質處理效率上升，生物薄膜處理程序可以較小體積之生物處理單元體積，達到與傳統生物處理程序相同之效果。故薄膜處理系統近年來極受重視。

1.3 環保法規日趨嚴格

以園區為例，排放中的異丙醇及其衍生物丙酮必須小於3ppm，而放流水氨氮管制依據「晶圓製造及半導體製造業放流水標準」草案，既有事業氨氮管制採兩階段執行、第一階段限制值75mg/L，第二階段限制值30mg/L，勢必將以生物系統進行一般酸鹼廢水之回收，若欲以傳統活性污泥法程序欲獲得更佳之處理水質及更經濟之操作成本，仍然面臨許多問題。

傳統活性污泥法處理程序雖經一再之改良與修正，及相繼研究出各種量測方法及控制指標，一直以處理程序為有機及氨氮廢水處理之主流。然而隨著水污染問題日趨嚴重、處理對象物質複雜化及放流水標準日益提高之情況下，勢必面臨挑戰。

另外，若以目前新設廠環評要求，欲達成回收率85%以上之目標，則有機廢水及無機氨氮廢水回收再

利用將勢在必行，而回收再利用之技術應積極的研究與開發。

二、執行方式及突破

2.1 廢水水質確認及分流處理

本廠廢水系統之來源水主要依化學藥品與製程區分為三股：含氟廢水、CMP製程廢水、與一般酸鹼廢水，水量以一般酸鹼廢水為最大，但其含有之化學成分也是最為複雜，含大量陰陽離子、有機物質及氨氮等法規管制之水質項目，應為處理及回收之主要目標。本廠廢水系統為化學凝澱沉澱及pH調整，對有機物質及氨氮完全無處理能力，評估以綜合性酸鹼廢水進入生物處理系統，將可同時處理放流水氨氮、COD、IPA及丙酮等問題，故以此為回收水之主要來源。

既有廠區的排水分類較簡化，導致無機類與有機類物質混雜在一起，但對設計生物處理回收系統時，需同時面對上述物質與欲處理對象(COD、IPA、Acetone及氨氮等)的互相抑制，必需進一步進行分流或增加處理程序來完成。

(1) 導電度高

一般酸鹼廢水的導電度相當高，過高導電度將會對COD處理之處理程序造成生物的抑制。

進行廢水水質檢測中確認水中無機離子濃度過高：包含製程使用的酸鹼藥品及超純水系統的再生廢水。超純水再生廢水進入時，導電度變化極大，同時又含有大量離子及鈣鎂硬度，容易對回收處理系統中後段的RO膜管造成阻塞，故排除純水再生時之廢水進入生物回收系統。

全面性對各類廢水及可回收之廢液確認分流狀態，並將高導電度之廢水進行隔離。原導電度16,300~110,000,000 μs/cm，經再次分流處理後導電度降至800~1,200 μs/cm。

(2) 無法分離H₂O₂

水中H₂O₂濃度高，將造成生物系統受衝擊，當長時間過多H₂O₂進入生物系統，會使生物受到抑制，可明顯觀察到硝化作用產生pH下降趨勢消失，含氧量不斷上升，即表示硝化菌遭受抑制，硝化作用效率不佳。但由於製程中會直接混合H₂O₂，故於廢水中無法直接將H₂O₂進行分離。為降低H₂O₂對生物系統之影響，以添加亞硫酸氫鈉進行還原，其方程式為(1)。

亞硫酸氫鈉還原過氧化氫反應式：

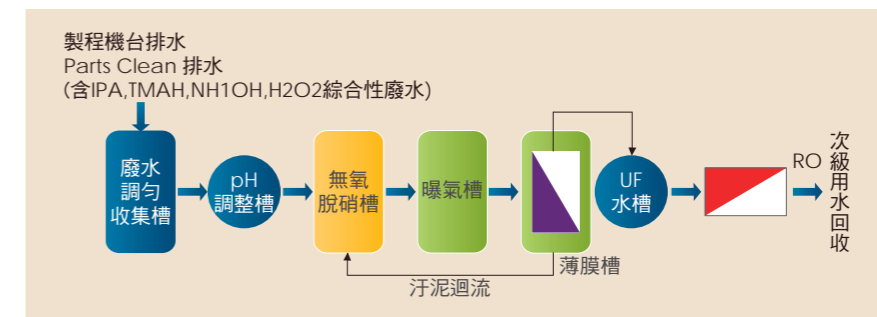


2.2 更有效率的利用空間

如何尋找更有效率的系統及更有效率的應用各類空間，一直是既設廠進行設備評估重要的一環，建廠時間越長可利用的空間越少，造成往往評估案能否進行空間成為關鍵因素。

2.2.1 高效率處理系統--生物薄膜系統

系統流程規劃如圖一，廢水經由調勻槽，進行水質與水量調整，使廢水的變異性減至最小以利後續處理設備能穩定操作，再經由pH調整槽，調整pH至適當處理範圍，接著進入生物處理系統之主軸，以無氧槽(A)及好氧槽(O)分別將氨氮物質進行脫硝及硝化反應，同時將有機物分解去除，其後採用UF薄膜系統將SS攔截，而UF過濾水則經由RO單元將水中無機離子、細菌、病毒、有機物及膠質等雜質去除後進入次及用水水池。

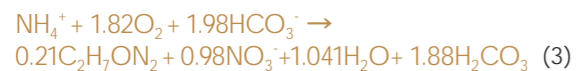


圖一、系統流程圖

(A) A/O生物反應槽(A/O Reaction Tank)，本廠廢水含生物可分解之有機物與含氮(N)之有機化合物，其處理之困難點主要為氮的去除。先藉菌之作用將有機氮(org-N)轉換為氨氮(NH₄⁺-N)，在藉由硝化菌與脫氮菌之作用去除之，同時利用好氧菌分解BOD污染物。

基本上氮的去除可分為硝化(Nitrification)與脫氮(Denitrification)兩部份。硝化作用為自營菌將氨氮先氧化為亞硝酸鹽氮(NO₂⁻)，再氧化成硝酸鹽氮(NO₃⁻)而釋出能量。其硝化反應方程式為(2)，細胞合成反應質過程如(3)。

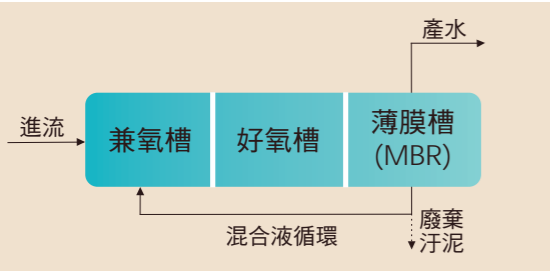
其總反應為：



至於脫氮作用發生在沒有氧的條件下，脫硝菌以硝酸根為氫之電子接受者，將硝酸鹽氮還原為氮氣，其作用方程式為(4)：



傳統生物處理常將脫氮槽置於硝化槽後，往往廢水中碳源不足而需另外添加碳源如甲醇(CH₃OH)。但本廠採用Anoxic-Oxidation(A/O)生物處理程序，以循環迴流形式，將脫氮槽置於硝化槽前，而以原廢水中含有之COD作為碳源，一般認為COD/T-N比值需在4.5以上，除可提供後段硝化所需鹼度外，亦可節省化學藥劑添加費。如圖二生物脫氮硝化處理程序示意圖。



圖二、生物脫氮硝化處理程序示意圖

(B) 以沉浸式生物薄膜取代傳統沉澱池



圖三、沉浸式薄膜外觀圖

沉浸式生物薄膜其特點如下表1：

表1 活性污泥法與生物薄膜法比較表

項目	活性污泥法	生物薄膜法
污泥濃度 (mg/L)	2,000~4,000	8,000~10,000
體積負荷 (Kg-BOD5/M3)	0.3~0.6	1~3
用地需求	1	1/2~1/3
固液分離去除效率	85%	>99%
廢棄污泥量 (kg SS/kg BOD)	0.6	0.2~0.3
設置費用	低	高

(1) 高效率的污泥攔截技術

本廠使用之薄膜系統孔隙僅0.036μm，透過水之固液分離狀況極為良好，依濁度計online量測讀值低於0.1NTU(約0.04 NTU±0.01)以下及SDI<3，薄膜系統利用細小孔徑使之固液分離特性，不僅可省卻沉澱池需考慮重力沉降效果之困擾，還能得到更佳之水質。

(2) 增加生物單元之處理效能

生物薄膜程序中之薄膜分離單元能有效的阻截生物污泥，故可增加生物處理單元中MLSS濃度，生物薄膜處理程序之MLSS濃度一般均維持8,000~10,000mg/L，較傳統生物處理程序2,000~4,000mg/L為高。

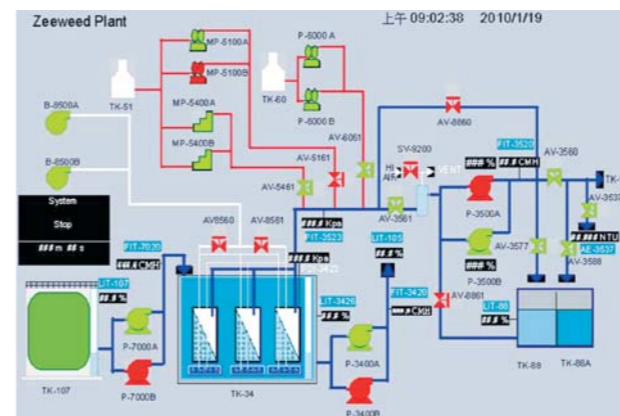
(3) 大幅降低用地需求

由於污泥濃度之提高，可縮短曝氣槽內之水力停留時間。其相較傳統處理法節省1/3~1/2之空間，可大大

的節省用地面積。雖初期設置費用較高，但目前各半導體廠地更難取得，故可更有效的利用空間一直是各廠努力的方向。

(4) 易於透過監控儀器，進行自動化控制整合

生物薄膜處理程序可透過各階段壓力、流量、液位及水質進行有效監控，確保單元作動正常並提供系統運轉狀況分析達到自動控制之目標。本廠薄膜監控系統如圖四，可避免傳統生物處理程序中許多不確定之因素，如沈澱池之效率會因溫度、風吹、污泥沉降性及入流水性質之變化而影響產水，對於放流水水質無法做有效之控制，另對於傳統生物處理程序中常見之污泥異常現象，如污泥膨化、上浮等問題均可忽視，減少了廢水處理程序上之問題與突發狀況。

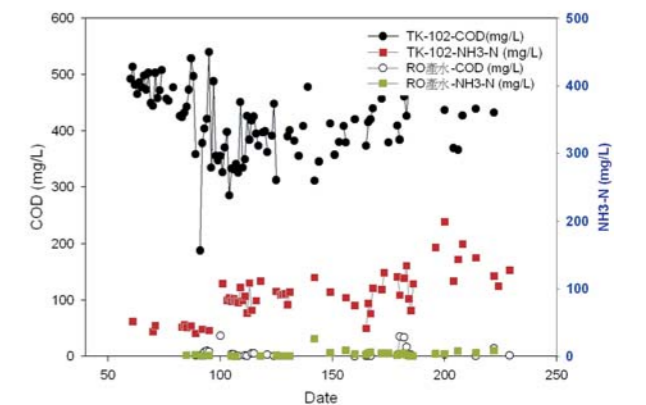


圖四、MBR人機控制系統

三、運轉成效

2010年3月~至今，水質狀況維持極佳，生物薄膜系統產水無法測得SS濃度，於有機碳之去除上，COD之平均去除效率則可達97.6%，出流水COD濃度小於30mg/L。對於TOC及BOD之去除上平均去除效率高達分別為96.2%及85.8%；IPA < 8.47 ppb、Acetone < 4.99 ppb (皆小於偵測極限)。至於有機氮之去除效能，生物薄膜程序對於總凱氏氮之去除效率亦可達99.9%。生物薄膜程序處理水直接進入RO處理。RO

處理後之產水COD低於偵測極限(<5mg/L)，TOC小於0.5mg/L，NH₃-N小於0.05mg/L，導電度亦小於174 μs/cm，長期運轉水質穩定，如圖五，其處理水優於自來水水質，目前回收至廠區之次級用水，其主要供冷卻水及洗滌用水使用。



圖五、COD與氨氮水質變化圖

四、結論

本案於2008年完成評估、2009年開始動工2010年1月試車，期間經歷金融海嘯，但本公司以永續發展為經營理念，仍持續推動各項節水節能方案。

於既設廠完成製程綜合性廢水回收，建置困難度高，需要進行全面性製程排水評估與規劃，空間問題更是嚴重。廢水欲進行處理或回收，最終的還是必須要有良好的分流規劃，若以增加控制程序不但增加成本亦增加系統失效之風險。

為維持生物系統穩定效能，不論水質變化、生物態的變化、生物池環境控制及各操作參數...等皆須持續觀察與調整。