

工研力晶攜手挑戰 90%水回收標準

節水服務團 陳效禹

國內半導體、薄膜液晶顯示器等高科技產業，已發展成為台灣科技之主體，雖半導體晶圓廠及液晶面板製造廠等業者其用水量較大，但每公噸用水所創造之產值約為鋼鐵業的 15 倍、石化業的 10 倍。為增加單位用水之產值，業者投入大量的資金與人力來積極進行節水方案與製程廢水回收技術之開發，目前園區大部分廠商的製程用水回收率已達 70% 以上，而對整體供水則將採取總量管制，也就是趨向固定總供給量之管理。

日前台灣持續乾旱，國內高科技產業面臨嚴重缺水可能引發減產之瓶頸；因國內水資源嚴重缺乏、水源取得困難，以及工業製程廢水回收率提高等法令要求下，半導體等高科技業如何透過提高廢水回收率，甚至排放水質提升回用至純水系統，進而達到節約用水之環保政策目標，可謂是國內高科技半導體晶圓廠當前提高營運競爭力之重要課題。而科技重鎮新竹科學園區管理局特要求廠商提高廢水回收率，在今年 4 月底，召集了產官學研各界學者與專家共 11 人，成立一節水輔導團隊，以利園區高科技產業投資環境整體發展。工研院能資所於高科技產業節約用水與廢水再利用方面，已有多年實際輔導工廠之經驗，在一片缺水、限水限制中，致力協助高科技產業解決無水可用的難題。

力晶半導體股份有限公司位於竹科 3 期的 12 吋晶圓廠，於 5 月 14 日正式落成，為台灣第 1 座專為生產 DRAM 而量身訂做的半導體 12 吋晶圓廠，並率先耗資新台幣 10 億元以上資金，設置廢水分類再利用以及節約用水等相關規劃，並建立先進的節約用水處理設備。目前與擁有多家半導體廠超純水系統問題診斷經驗的工研院能資所合作，共同進行「力晶二廠 12 吋晶圓廠生產用水規劃」，為台灣在大力發展新興科技、推展環境保護、推動節約用水政策上，發揮帶頭示範作用，為國內科技業兼顧高精密製程的研製，以及積極推動回收處理設施的節約用水，達到科技與環保「兼籌並顧」之國際競爭目標。

跨入 12 吋晶圓製造領域，製程技術的創新及複雜程度更高，在工業用水的減量、回收、再利用及再生等方面，均是一項重大考驗。8 吋晶圓廠的節水回收經驗與模式並無法完全有效適用於 12 吋的水純化及水回收處理，對於超純水的水質要求及穩定度，與新式製程排出之廢水特性，均為 12 吋晶圓廠進行節水回收時之技術瓶頸。

就力晶 8 吋與 12 吋晶圓廠之用水分析來看（如表 1），單位面積之耗水量，12 吋晶圓較 8 吋晶圓低，其用水量並未明顯提昇，主要原因在於該廠對於製程及全廠之水回收再利用之投入，使其用水產值於 8 吋晶圓廠每噸用水約有 3.5 萬元之利潤，而 12 吋晶圓廠每噸用水則創造 4.7 萬元之產值。

晶片尺寸 (in)	8	12
面積 (in ²)	64	144
純水耗用量 (m ³ /hr)	250	500
單位面積用水量 (m ³ /in ² hr)	3.9	3.5
耗水率 (%)	100	89 ⁽¹⁾

註 (1)：用水量 89%、省水量 11%

▲ 表 1 8 吋與 12 吋晶圓廠之用水分析

根據「美國半導體製造技術發表協會」的 roadmap 顯示，水於製程微污染控制與環保工安方面佔首重之研究地位，積極研究及持續開發用水技術，是確保我國朝向綠色矽島一個重要的基盤架構；不論是 12 吋晶圓廠，或是我國未來重點發展之高科技產業，包括奈米電子、TFT-LCD、微奈米機具加工、奈米材料、生物科技等，這些產業製程皆朝向精微化之趨勢發展，而水在這些產業中扮演著不可或缺的地位。

根據許多研究結果顯示，當高科技產業進入奈米製程時，水中的超微量雜質（包含有機物、矽、金屬、顆粒、氧氣等）對產品的良率有著極大的關聯，舉例說明，將水中有機物濃度為 1 ppm 的水進行純化，當去除效率分別為 98% 及 99% 時，其差異不大，但對晶圓而言，其所遭受的有機污染濃度則有 2 倍之差異，而影響 IC 良率及品質穩定度；且水中有機物質種類與組成不同時，純化效率亦有差異，因此水的回用技術首重於超純水水質的維持與穩定，以避免因大量廢水的回用，而使得產品良率降低。

本次工研院能資所與力晶 2 廠為提昇 12 吋晶圓廠水回收率，並確保水質是否於安全限值內，特根據過去從事多家半導體廠水回收處理系統問題診斷之經驗，規劃工作項目大致如下：

一、機台排放水質資料建立與分類分流建議

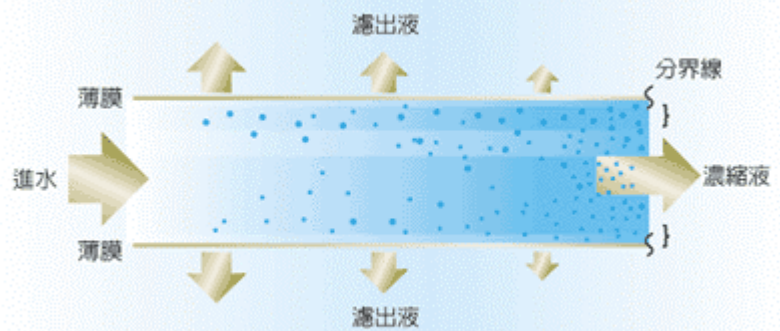
要提昇製程水回收率，必須由製程機台排水分流基礎開始，不僅可以減少回收水質對製程良率之影響，且降低回收設備之投資，提高回收設備之使用年限。以力晶 2 廠製程排放廢水分類為例，是將排放水依其水質之電導度、TOC、酸鹼值、NH₄⁺、Na⁺、K⁺、硬度、SiO₂ 及 H₂O₂ 等項目規範，將排放水分成 7 大類，分別經過適當之回收設備處理後，將其送回超純水製造系統前端再製成超純水供製程使用。目前針對大用水點並極具回收價值之部分機台排水端裝設選別回收器，可即時監測排放水導電度值之高低，將可回收的水送至回收處理設備或廢水處理廠處置，以保障回收水之穩定性。

二、TOC analyzer 之量測值與實際值之判定

目前力晶二廠回收水質自動監測項目主要為導電度與 TOC 值，其它水質規範項目，也必需透過預先人為分類作業，以確保純水系統使用壽命與水質的良窳。然而根據工研院過去之半導體製程排放水回收經驗，因製程使用之有機化學藥品種類繁多，當水樣經 TOC 線上分析儀分析後，量測值與物種真實濃度經常有 2~10 倍之誤差值，常會造成回收規劃上之誤判。因此，工研院將協助其建立造成 TOC 判讀誤差物種之資料表，此結果將可作為分流參考依據，藉由適當分流後，可提升回收水 TOC 分析值之準確性，降低回收水對於超純水系統水質之衝擊。

三、次級用水規劃

次級用水為全廠用水之第二大類，其中以冷卻水 (cooling water) 及洗滌塔 (scrubber) 用水為主；因此，如何有效降低冷卻水塔、洗滌塔之用水量增加循環縮倍率，將對於減少整廠自來水用量有直接的助益。此外，



▲ 圖 1 橫流式薄膜過濾系統

亦可將製程排放水質較差部分經適當水回收處理後，再導入冷卻水塔或洗滌塔，但需注意冷卻水塔或洗滌塔操作上之問題，因回收水經常造成冷卻水塔系統之腐蝕 (corrosion) 及結垢 (scaling) 等問題；腐蝕將導致設備損壞而甚者造成停工之損失，設備使用壽命降低，及腐蝕產生之氧化物造成熱傳導不良等；至於結垢(廣稱為沉積物)則與設備正常運轉或增加設備耗能有直接關係，同時也會造成泵浦的輸送費用。另外，對於洗滌塔用水，須注意排放氣體可能造成的環保問題。因此，在回用水使用上，雖可降低自來水用水，卻另需審慎考量回用點(point of use)之風險性，及環保排放上之顧慮。

根據目前力晶二廠次級用水規劃，次級用水之主要補充水來自含氟廢水 (FW)、酸排放水(AW)及 CMP 排放水，經不同處理後回用至冷卻水塔及洗滌塔，因各排放水所含物質不同造成衝擊也不同，回收程序之處理效能更顯重要，須進一步對回收系統進行功能評估及水質鑑定。

四、CMP 排放水回收處理規劃

針對 CMP 排放回收水，國外半導體大廠(如 Intel)皆投入大量資源從事 CMP 排放水回用至超純水系統的研究，在國內因水資源嚴重缺乏，水源取得困難及製程回收率提高的法令要求下，CMP 排放水質若能再提升回用至純水系統，對力晶二廠的水回收效率將有很大的助益，因此本計畫除進行現階段陶瓷過濾薄膜處理 CMP 排放水之評估工作外，也將進行 CMP 回收水回用至超純水系統之可行性方案評估。

根據力晶二廠目前 CMP 排放水回收規劃，是依介電膜及金屬層研磨製程的排水分為 Oxide CMP Wastewater 及 Metal CMP Wastewater 兩類，分別收集後以陶瓷過濾膜來濾除水體中的微顆粒，並視過濾後水質狀況決定是否需再進一步通過活性碳、Mixing Bed，以去除其它來自研磨液、清洗過程添加液與晶圓研磨下來的有機及無機物質；回收後的處理水，目前設計處理後排放水品質尚無法回收至超純水系統前段，將作為冷卻水 (cooling water) 及洗滌塔 (scrubber)的等次級用水使用。

陶瓷過濾薄膜處理 CMP 排放水，具有高機械強度及化學耐受度等優點，對於過濾系統操作上有較大的彈性，理論上可以較高的操作壓力及流速減少阻塞的發生。然而影響橫流式薄膜過濾系統(圖 1)處理效果之因素，除了薄膜本身性質因素外，研磨製程中使用的研磨液的種類與性質也是重要的變因。工研院規劃針對未來力晶二廠研磨製程將使用的 5 種研磨液與其排放水特性，進行陶

瓷薄膜過濾系統處理效能評估，對於可能造成阻塞的研磨排放水種類與濃度加以分流，以減少陶瓷過濾薄膜清洗頻率，並建立薄膜過濾時的水力特性曲線，提供廠務工程師作為判斷薄膜是否阻塞的依據。

五、UV/ozone 程序氧化處理有機排放水評估

製程排放回收水中的有機物質來源主要為製程中光阻、顯影液、去光阻劑、有機清洗溶劑等化學藥品，與自來水中天然有機物質種類明顯不同，故回收製程排放水挑戰著超純水系統的處理能力，也同時造成超純水水質不穩定的風險。

傳統處理有機雜質的方式可分為兩類：一類為物理分離方式，包括離子交換樹脂、逆滲透過濾及活性碳吸附，另一類為化學氧化方式，主要有紫外線光氧化與臭氧氧化，以化學氧化能將有機物質完全氧化成二氧化碳與水。目前力晶二廠的製程排放廢水之處理設備包含離子交換樹脂、活性碳、逆滲透及生物過濾床等元件，以物理分離處理方式為主；並設置針一套 UV/ozone pilot 系統進行有機化學藥品之氧化處理。

工研院亦將配合 Ozone/UV 系統測試其化學藥品之處理分解能力；同時，於測試結果中，當發現難氧化降解之有機藥品時，可再藉由機台分流之機制，將其排至其他回用水系統或排至污水處理廠處置，而不回至超純水系統。

結語

根據工研院能資所從事多家半導體廠超純水系統問題診斷之經驗，對於力晶二廠所提出之水回收技術需求項目及水系統設計架構資料之觀察與瞭解，研判現存設計系統於實廠操作上可能產生的問題，未來工研院能資所將以 8 吋晶圓廠之水回收處理經驗，協助其進行 12 吋晶圓廠相關水回收處理系統效能驗證、性能改善與提升等措施，以確保製程回收率達科學園區回收標準 85% 以上，並邁向 90% 水回收率之挑戰。工研院能資所透過此次合作計劃，不僅將過去水回收處理經驗充分發揮應用，並奠定國內未來 12 吋晶圓廠之水回收處理技術與規劃。

目前世界科技產業製程之研究潮流在於精微化及兼顧環境友善生產，工研院能資所為了協助國內高科技產業製程提昇及研發之目的，於 1998 年即加入美國國家科學委員會所支持籌組的半導體產業環境友善生產技術中心 (NSF/SRC ERC)，透過與該工業會員之交流互動，進而獲得美國最新的高科技產業製程技

術研發資訊，進行國際性合作研究計劃，協助國內廠商取得先進製程技術及培植人才，以確保我國高科技產業競爭優勢。