

Local scrubber 酸排水回收 (Acid Drain Reuse)系統節水研究

台灣積體電路三廠廠務部 / 李岳峰 工安環保部 / 林義凱

一、前言

台積三廠為目前世界產量最大的半導體8吋晶圓製造廠，除了致力於先進製程技術的研發外，更期望於環境保護及工業安全的工作上，發揮拋磚引玉的效果。尤其目前台灣面臨水資源缺乏的問題，因此，對於節約用水及提昇水資源回收率的工作，一直是本廠努力不懈的目標。

本公司於建廠初期即花費鉅資，針對廠區內純水供應及廢水之處理進行妥善規劃，並建立完整的節約用水系統，再輔以ISO-14001持續改善的精神，自發性地針對廠區內水資源再利用持續地進行改善，不斷提昇廠內水回收率。

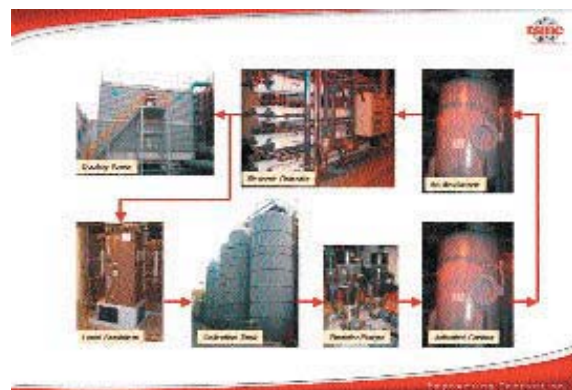
台積三廠目前自來水用水量為6500~7500CMD，而廠內Local Scrubber用水量約2000~2200CMD，藉由ROR Tank(Reverse Osmosis Reuse)收集約1000 CMD RO濃縮水，自來水仍須補水約1000~1200 CMD，因此增設ADR(acid drain reuse)回收系統可將Local Scrubber排水收集，預計可處理1400CMD水量，可以有效減少廠內自來水用水量。本文將深入介紹藉由ADR(acid drain reuse)回收系統有效加強節約用水回收再利用。

二、Local scrubber 廢水回收系統介紹

針對廠內 Local Scrubber 廢水水質採樣

檢測，可知水質範圍約為pH值3~9、Conductivity(電導度)值270~1300 μ S/cm、氟離子0~300 mg/l，經由回收系統處理後水質可達到pH值7~10、Conductivity值< 350 μ S/cm、氟離子<5mg/l。

針對廠內Local Scrubber廢水，此股廢水回收處理的機制主要是過濾，樹脂交換及RO系統，並依各單元將 Acid Drain Reuse System 介紹說明如下：



▲ 圖1 Acid Drain Reuse System 流程圖

1. ADR Collection Tank

廠內二區域各有一 ADR Collection Tank，此Tank為舊有廢水AD收集槽，Local Scrubber回收水收集到此Tank後再傳送到後續處理系統。而目前ADR原水則以Local Scrubber Drain為主，其中因Local Scrubber 水源包括約有1000 m³/day為UPW RO濃縮水，而此濃縮水pH約為8.0，因此ADR回收水原水水質pH約為3~9。

ADR Tank Transfer Pump共有二台，設有

流量保護與低電流保護動作，Pump運轉受液位控制，若液位持續上升到舊有AD pump設定液位則將啟動廢水AD Pump以避免液位持續上升。

2. ADR Holding Tank：

ADR回收水從Facility Sub-Fab傳到CUP(Central Utility Plant)時會經過sensor監測Conductivity、ORP(氧化還原電位)，當Conductivity < 1200 μ S/cm且ORP < 250 mV時，回收水將會進入Holding Tank，若不符合標準則將會切換到廢水管路排放。

3 .ACF Tank(Activated Carbon Filter) 活性碳過濾塔：

回收水進入ADR Holding Tank後，經由Pump打入ACF Tank，主要為去除回收水中的TOC以及氧化性物質如H₂O₂等。

ACF入口設有Na₂SO₃注藥系統，出口設有ORP meter，Na₂SO₃注藥量將隨ORP meter而調整加藥量，此功能主要是保護後續樹脂及RO system運轉的安全，避免處理單元遭到氧化物破壞。

活性碳過濾塔濾料一年更換一次，以確保活性碳的效用，採水時ACF Tank Backwash以壓力差及service時間做為控制條件，壓差設定主要為避免ACF Tank阻塞造成後續水壓不足，時間設定則可以確保ACF Tank固定的Backwash動作。

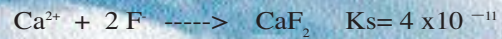


▲ 圖3 ACF Tank 外觀圖

4. 陽離子樹脂塔：

回收水自活性碳塔後則進入樹脂塔，主要目的為去除水中所含的鈣鎂離子，因為鈣鎂離子與水中的氟離子易形成氟化物固體，此部份將容易造成RO membrane的阻塞。

4.1.鈣離子與氟離子形成固體物反應程式如下：



$$K_s = [\text{Ca}^{2+}] \times [\text{F}^{-}]^2$$

當 F = 20 mg/l時，

$$20 / (19 \times 1000) = 1.05 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = K_s / (1.05 \times 10^{-3})^2 = 4 \times 10^{-11} / (1.05 \times 10^{-3})^2$$

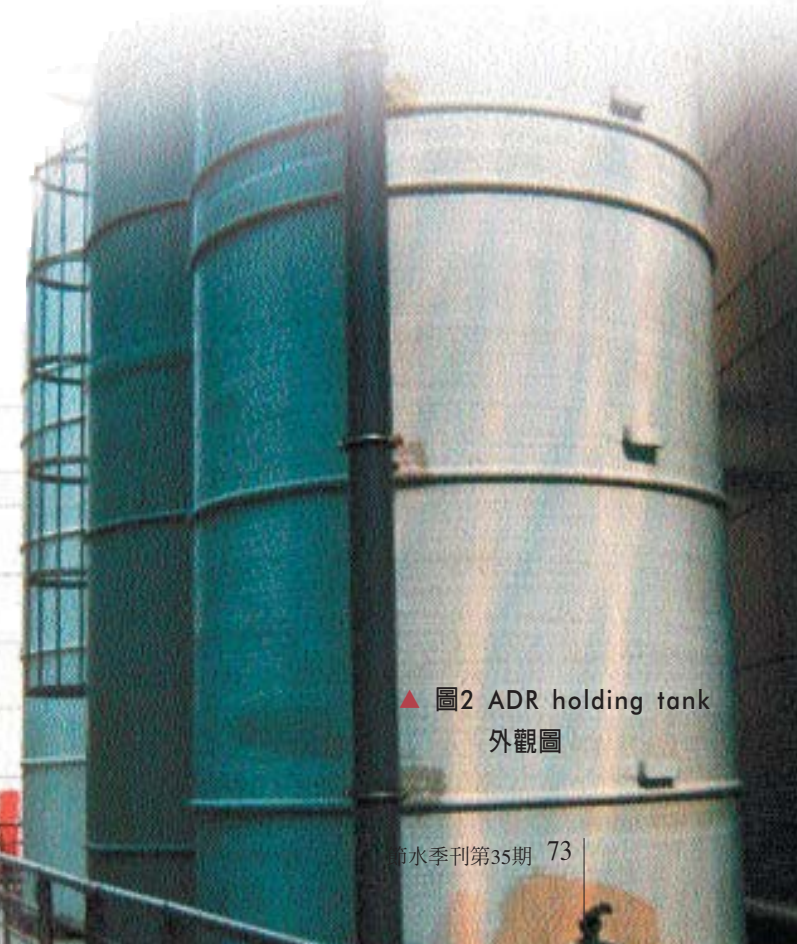
$$= 3.6 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$3.6 \times 10^{-5} \text{ M} = 3.6 \times 10^{-5} \times 40 \times 1000 =$$

$$1.44 \text{ mg/l}$$

在 F為20 mg/l時，當Ca²⁺洩漏到達 1.44 mg/l 以上時，就容易有CaF₂產生並造成RO membrane 阻塞，若membrane阻塞嚴重時則必須做清洗動作。

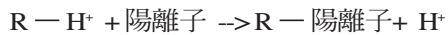
4.2.當離子交換樹脂飽和後則必須予以4~6%的HCl再生以回復樹脂的交換能力。



▲ 圖2 ADR holding tank 外觀圖

陽樹脂 Tank再生條件，依據原廠的設計為系統運轉累積流量超過設定值後執行再生，但是為了顧及陽離子若有滲漏將會與陰離子的氟離子反應產生固體物(例如氟化鈣)，而此固體物的形成有可能會造成 RO membrane的阻塞而無法正常運轉。為了確保樹脂 Tank不會造成陽離子洩漏，因此在 SAC(Strong Acid Cation、強酸性樹脂)Tank 出口增設 pH meter監控，主要是酸性樹脂置換陽離子後樹脂的氫離子被置換到水中而偏酸性，若水中pH漸趨於中性則表示樹脂置換能力已經耗盡而必須再生，如此可以有效防止陽離子樹脂交換能力下降或再生不完全等因素造成陽離子洩漏的問題。

當樹脂與陽離子反應後:



R - H⁺ 代表具交換能力的樹脂, R - 陽離子:表已經置換陽離子的樹脂。

此時 H⁺ 被釋放出來造成pH 降低, 因此當樹脂置換能力耗盡後, H⁺減少造成 pH 逐漸上升。



▲ 圖4 陽離子樹脂 tank 外觀圖

5. HERO System (High Efficiency Reverse Osmosis) 高效率逆滲透系統：

回收水自樹脂塔出水後進入 HERO System，經處理後產水則進入 ROR tank再回到 Local Scrubber 使用，此部份包括 pre-filter，加壓pump及RO 主系統。

Pre-filter主要為過濾樹脂塔後的較大粒狀物質，如樹脂碎片及其他前處理未去除的粒狀物質，可避免RO membrane被粒狀物質阻塞，減少RO system的負荷。Filter進出口設有壓差計，當壓差超過1kg/cm²時則必須更換Filter 濾心。

加壓pump主要將回收水壓力提升到RO system運轉的條件11~14 kg/cm²，而HERO為 High Efficiency Reverse Osmosis的簡寫，與傳統式RO差別在於pH的加藥控制不同，HERO在RO之前加入液鹼可以有效提高RO去除鹽類的效果。

HERO system可以有效去除回收水中的鹽類，離子與其它不純物質，經過此系統後回收水質可以達到Conductivity < 350 μ S/cm。而此股回收水則可適用於Local scrubber水源使用，可以有效節省廠內自來水用水量。此外當ROR Tank液位到達Hi時，ADR產水將切換到Cooling Tower使用，一般Cooling Tower用水必須pH偏鹼性，Conductivity須< 1200 μ S/cm，ADR產水則符合用水水質。



▲ 圖5 HERO system 外觀圖

三. ADR system運轉效能改善實務

1. SAC resin 再生時機之實驗

針對ADR system 運轉初期，陽離子樹脂乃是採用強酸性樹脂，經試驗並採樣監測 pH、conductivity及Na⁺作分析比較，採樣間隔

為1小時依序採樣，分析結果如下表：

由下表分析結果可知，SAC 採水量到達 525 m³時，Na離子即開始洩漏，682 m³時鈣離子開始洩漏，且因為樹脂中的 H⁺ 離子已經置換耗盡，因此H⁺ 離子不再置換到水中而造成pH 值開始上升。

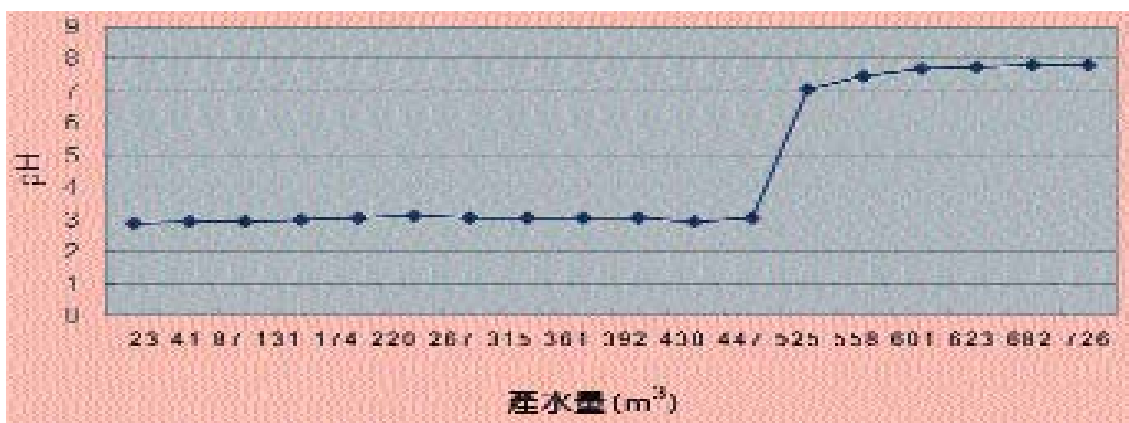
2.樹脂槽樹脂由SAC改為WAC(Weak acid

Cation、弱酸性樹脂)之實驗

SAC Tank再生條件依據廠商設計為系統運轉固定流量後執行再生，但是為了顧及陽離子若有滲漏將會與陰離子的氟離子反應產生固體物(例如氟化鈣)，而此固體物的形成有可能會造成RO membrane的阻塞而無法正常運轉，因此為了確保SAC Tank不會造成陽離

▼ 表1 SAC 出口運轉水量與水質檢測表

時間	採水累計 流量約,m ³	入水導電度, μS/cm	產水導電度, μS/cm	導電度差, μS/cm	入水 pH	產水 pH	出水		
							Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)
17:00	23	628	810	182	7.23	2.84	1.21	0.93	2.78
18:00	41	602	741	139	7.33	2.93	0.01	0.41	3.25
19:00	87	644	764	120	7.45	2.9	1.85	0.89	2.42
20:00	131	598	669	71	7.54	2.97	1.55	0.65	2.12
21:00	174	573	566	-7	7.53	3.02	1.19	1.2	1.58
22:00	220	546	472	-74	8.59	3.11	1.86	0.63	2.4
23:00	267	603	574	-29	7.45	3.04	0	0	2.52
00:00	315	608	579	-29	7.4	3.03	1.97	0.15	2.22
01:00	361	650	611	-39	7.43	3.03	1.47	0	2.24
02:00	392	643	583	-60	7.34	3.03	0.47	0	2.33
03:00	430	650	652	2	7.46	2.95	0.07	0.05	2.56
04:00	447	598	583	-15	7.16	3.05	1.48	0.29	2.95
05:00	525	650	577	-73	7.35	7.05	2.42	0.68	102
06:00	558	619	608	-11	7.36	7.47	0.57	0.36	101.8
07:00	601	680	672	-8	7.5	7.67	0.18	0.01	102.2
08:00	623	649	652	3	7.48	7.75	0.88	0.47	103.4
09:00	682	626	628	2	7.56	7.78	3.12	0.01	103.2
10:00	726	595	599	4	7.5	7.8	3.08	0	104.2

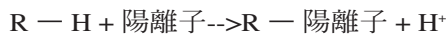


▲ 圖6 產水量與pH 變化圖

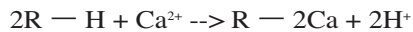
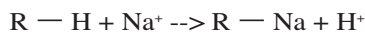
子洩漏，因此在SAC Tank再生條件將產水量從1500 m³減少到600 m³，如此可以有效防止SAC Tank 樹脂交換能力下降或再生不完全等因素造成陽離子洩漏的問題，相對的亦造成再生成本增加的問題。

由於ADR系統運轉造成membrane阻塞的主要物質為氟化鈣，而樹脂槽主要功用為去除的陽離子，因此若將SAC樹脂改為WAC樹脂並只針對二價鈣鎂離子作置換，一價的鈉離子則由後續RO section作處理，如此可以有效延長樹脂再生的週期。

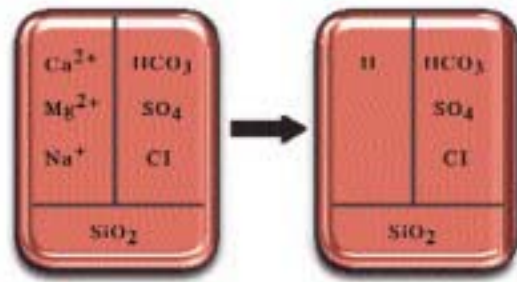
2.1 SAC樹脂與WAC樹脂去除水中離子的交換機制:



R - H⁺: 代表具交換能力的樹脂, R - 陽離子: 代表已經置換陽離子的樹脂.



強酸性之陽離子交換樹脂，可同時交換水中所有之金屬離子，含Na⁺、Ca²⁺被交換後會釋出H⁺，而弱酸性陽離子交換樹脂對Na⁺交換能力極弱，主要為去除Ca²⁺、Mg²⁺，相對的Na⁺不會消耗弱酸性樹脂的離子吸附能力，因



▲ 圖7 樹脂去除水中所含的硬度示意圖

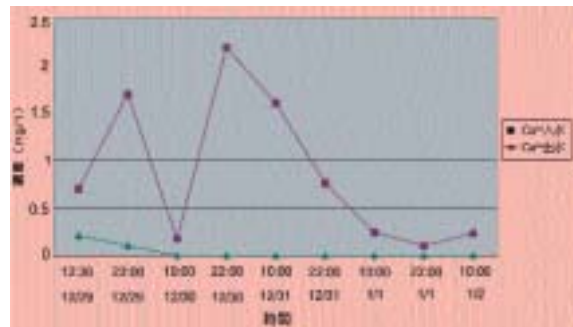
此可延長樹脂產水的時間。

2.2 WAC實驗採樣結果及討論：

以WAC樹脂作去除陽離子的實驗，經採樣試驗結果如表2所示.

由圖8之曲線中發現，出水鈣離子有很明顯的去除效果，並且鈣離子於實驗過程中未有洩露情形發生。

3.樹脂槽樹脂由SAC改為WAC之實際狀況



▲ 圖8 WAC累計流量之進出水Ca²⁺ 濃度折線圖

▼ 表2 94hrs WAC pilot之進出水質採樣結果

採樣時間		pH		導電度(μS/cm)		WAC入水(mg/l)		WAC出水(mg/l)	
日期	時間	入水	出水	入水	出水	Ca ²⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺
12/29	12:30	8.6	4.4	611	228	0.7	213	0.21	204
12/29	22:00	8.3	5.4	659	329	1.69	205	0.1	183
12/30	10:00	7.9	6.1	617	430	0.17	234	0	215
12/30	22:00	8.2	6.5	653	534	2.18	210	0	208
12/31	10:00	7.6	6.5	589	498	1.6	205	0	196
12/31	22:00	8.8	6.5	691	594	0.76	205	0	215
1/1	10:00	8.2	7.1	551	486	0.24	223	0	204
1/1	22:00	7.5	7.1	641	599	0.1	292	0	208
1/2	10:00	7.8	7.1	583	496	0.23	206	0	210

▼ 表3 WAC樹脂實際運轉狀況

編號	採水果計量 (m ³)	入水			出水		
		Ca ²⁺	Na ⁺	Fe ³⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	Fe ³⁺
1	1800	NA	NA	NA	ND	180	0.153
2	3000	NA	NA	NA	ND	192	0.185
3	4000	1.89	172	0.15	ND	192	0.187
4	5000	1.09	159	0.124	ND	161	0.13

3.1經實驗發現將SAC 樹脂改為WAC 樹脂可以有效延長樹脂產水週期。

3.2更換樹脂後依採水累計流量作採樣分析，如表六所示，發現當採水量到5,000m³ 時鈣離子仍未洩漏，因此再生條件控制流量可設定為5,000 m³。

3.3以SAC樹脂槽產水在系統可正常運轉下，流量達600m³時即必須開始再生，而WAC樹脂槽產水流量達到5,000m³，時仍未有明顯的 Ca²⁺ leaking，如此樹脂產水流量可以從 600m³ 延長到5,000m³以上，樹脂的再生頻率則明顯減少。平均每年可節省費用約為，1,500,000 元

四. 結論

為了有效減少廠區自來水用量，本文介紹Local Scrubber酸排水回收系統(ADR)之節水績效，Local Scrubber酸排水經由Collection tank、Holding tank、ACF、WAC、HERO、ROR tank處理可達到100% Local Scrubber用水回收。陽離子樹脂部份則將SAC樹脂更換為WAC樹脂，如此可使樹脂產水累積流量由600m³ 延長到5,000m³以上，可有效減少再生頻率。

相信 in ADR系統良好操作運轉經驗下，除了對於樹脂再生使用酸性藥劑成本能有效減少外，對廠內也具有節約用水良好之績

效，並確實落實綠色企業、永續發展之目標。

REFERENCES

- [1] Toray Reverse Osmosis Membrane Elements Introduction.
- [2] Ultraclean Technology Handbook ~ Ultrapure Water edited ,by Tadahiro Ohmi
- [3] Filmtec Reverse Osmosis Membrane Elements Introduction .



本篇文章為讀者投書，為鼓勵相關領域之民衆分享節水經驗，原稿照刊。

悠游水世界 發現水產業

因應21世紀水資源極限化的來臨
 多元化水資源利用的大勢所趨
 將使傳統水利事業等基礎建設
 轉變為「服務」與「商品」
 兼具的新興水利產業

水利產業育成資訊網

<http://www.wiii.itri.org.tw>
 【立即加入會員好處好多】



浩瀚豐沛的網站內容

國內水利產業入口網站

水利產業七大發展主軸

- 深層海水產業
- 溫泉產業
- 用控水器材設備產業
- 雨/中水系統及設備產業
- 海水淡化產業
- 工業水再生利用產業
- 水文觀測儀器設備產業

線上學習

1. 完整之研討會、訓練班及國外參訪資料提供
2. 專題演講之視訊播放
3. 線上試算軟體提供

產業訊息

1. 產業訊息、新聞/活動報導提供
2. 歷史產業訊息提供

水利產業介紹

1. 水利產業發展趨勢介紹
2. 水利產業相關技術/產品手冊提供
3. 國內水利產業相關成果展示

產品櫥窗

國內最大水利產業
 相關產品廣告園地

技術諮詢

國內水利產業相
 關專家資料庫

輕鬆入會探索知識殿堂.....

水利產業知識庫--汲取新知

凡網站會員者均可從水利產業知識庫中，獲取水利產業相關之專業知識，包括：市場與產業環境分析、技術資訊、knowledge map、工程圖、作業/流程典範與標準、設計規格與紀要、智權產出等知識，讓您收穫滿行囊。

電子報發送--訊息在握

凡網站會員均可透過發送之電子報，獲得水利產業相關新聞與活動訊息，並可享有免費在電子報上，刊出產品新訊或特定訊息之權利。

享受學習的成就與優惠--樂在學習

凡網站會員參加水利產業知識化育成中心所主辦的研討會或訓練課程，均可享八折優惠。

經濟有效的銷售管道--行銷利器

透過本網站，您可以最經濟、最直接、最有效的方式，將企業簡介、公司產品或相關廣告完整呈現，絕對是最精確、有效的行銷管道！

專業技術水利菁英相互交流--分享平台

水利產業知識管理交流平台是每位會員技術諮詢切磋的園地，讓大家都能有機會與各個專家，透過資訊與經驗的交流分享，達到互惠共榮的願景。