半導體廠節水策略與效益分析

文／王宜新、馬世廣、姜智興、黃振浪、楊名宏、吳惠名、廖政一、陳鍾坡、蕭銘召、蔡俊宏

節水推動背景

圖1爲地球上水資源的分布圖。地球共含有1,400,000,000 km³的水，其中有97%爲鹽水，只有3%爲淡水。在這3%之淡水中又可細分爲:冰(2.25%:31,500,000 km³):地下水(0.55%:7,700,000 km³):地表水(0.2%:2,800,000 km³)及蒸汽(0.002%: 28,000 km³)[1]。能夠被人類正常使用的水源只有地表水與地下水，僅佔全球總水量的0.75%，由此可看出實際上能被人所利用的水資源非常有限。

圖2爲統計78至87年間台灣地區的用水分布[2]，在總用水量181.26億噸中，工業用水僅佔所有用水的9.47%(9.47億噸)，而農業用水佔了總用水的75.62%(137.06億噸)。半導體工業的蝕刻與清洗製程必須使用大量的超純水，若乾旱持續水源枯竭時，往往就需面臨限水與停水的威脅。如何對用水開源與節流，關係著公司是否能順利營運，對半導體業界是十分重要的課題。

本文分析典型的半導體廠用水狀況與節水策略，針對開源、節流與用水管理三方面探討可行的技術與方法，並以聯華電子的某

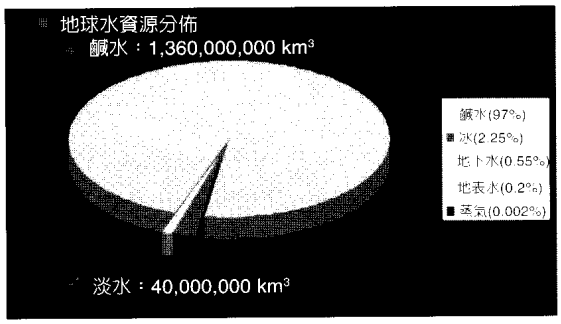

圖1　地球上水資源的分布圖

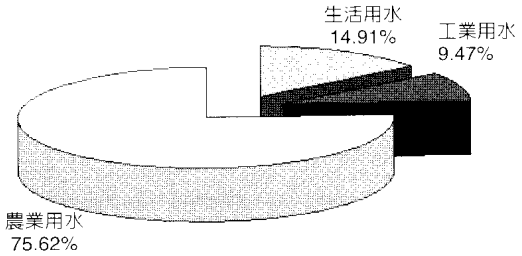

圖2　78至87年間台灣地區的用水分布

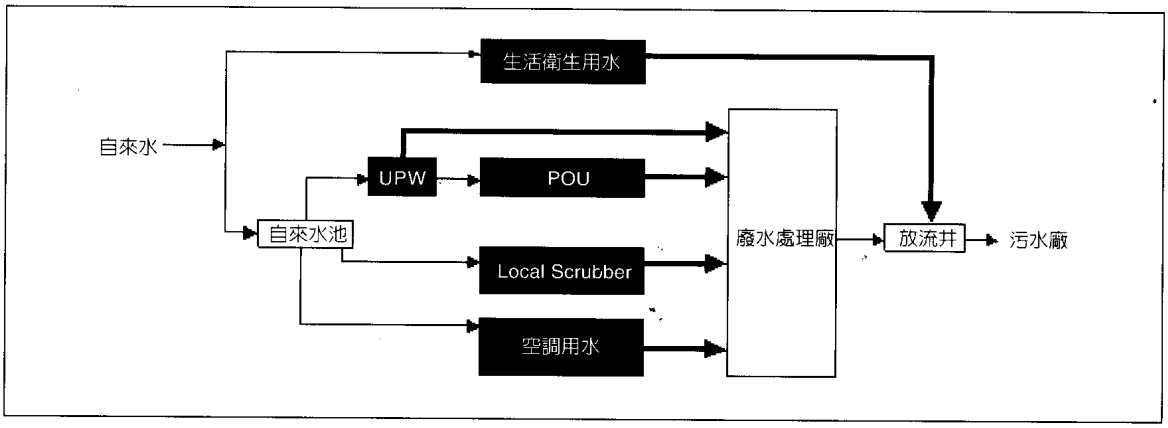

圖3　半導體廠用水分布

廠爲例子，將節水計劃的成效作一介紹。

半導體廠用水與排放水質分析

圖3爲一典型半導體廠的用水狀況。自來水有一部分供生活與衛生使用，使用後則排至放流井送到園區污水處理廠。自來水消耗量最大的部分是超純水的製造，超純水製造過程的濃縮廢水與再生廢水因離子濃度過高被排放到廢水處理廠，而經過精製後的超純水送入潔淨室的機台(POU, Point of use)使用，當這些超純水混合了化學品及參與晶圓製造後，同樣排放到廢水處理廠處理後排出廠外。另外，製程設備所產生的廢氣，需經由廢氣洗滌器(Local scrubber)處理後方能排出，廢氣洗滌器也會用到大量的水，而這些水在吸收了排氣中的廢氣成分後也被排放到廢水處理系統。除了製程與生活用水外，廠務設備的空調系統與廢氣處理系統也同樣用到大量的水，其中使用量最大的是冷卻水塔的用水，每天約需使用1000噸的耗水，同時經冷卻水塔與廢氣處理系統濃縮過後的水同樣排放到廢水系統經處理後排出廠外。

表1　超純水系統排水單元與水量

排水單元	水量(CMD)
RO 濃縮液	336
UF 濃縮液 樹脂再生廢水	480 262
過濾塔逆洗廢水	110
線上分析儀器排水	52

節水計劃要能順利推展，不論是開源或是節流方面，第一步需要對這些水源的使用點作詳細分析，瞭解其需求的水質與排放水的水質，如此方能針對不同的使用點擬定出上當的節水措施。

超純水系統的排水大致可分爲：RO 濃縮液、UF 濃縮液、離子交換樹脂再生廢水、過濾塔逆洗廢水與線上分析儀排水等，排水量的比例約如表1所示。RO 濃縮排放水的水質爲軟水，UF 爲超純水系統的最後步驟，其濃縮排放水的水質優良可回到純水系統繼續使用。樹脂再生廢水導電度比自來水低，但含有微量的酸鹼及離子。

表2　製程排水單元與排水量

排水單元	水量(CMD)
製程清洗水	1445
一般酸性廢水 低濃度氫氟酸廢水	988 100
其他	124

表3　廠務區的空調系統排水量

排水單元	水量(CMD)
外氣空調箱冷凝水	110
MAU 清洗水 冷卻水塔排水	72 280
中央洗滌塔排水	180

製程排放水大致可分爲製程清洗水、一般酸性廢水、低濃度氫氟酸廢水及其他排水，排水量的比例約如表2所示。製程清洗水的總有機碳(TOC)約小於800ppb，而導電度約小於750μS。一般酸性廢水導電度約小於1500μS，低濃度氫氟酸廢水的氟離子濃度約小於150ppm。另外，廢氣洗滌器(Local scrubber)的排水可能含有較高的氟離子，且含有較多的微粒。

廠務區的空調系統排水有外器空調箱(MAU)冷凝水、MAU清洗水(Air Washer)、冷卻水塔排水與中央洗滌塔排水等，排水量的比例約如表3所示。外器空調箱冷凝水的水質乾淨，Air Washer一般使用RO水因此排水的水質也算乾淨，但其中所含的微粒數會稍高。冷卻水塔的排水導電度約在1000μS，中央洗滌塔的排水導電度也約在1000μS，但有時會含有氟離子的成分。

節水策略

在分析半導體廠的用水需求與排水特性後，就可以依照這些特性來設立節水的策略。在開源的策略上，採取將可以回收再使用的排水收集並處理，使其可以再次利用以減少自來水的消耗。回收水的方法是依照排水的特性設置適合的回收水系統，並將處理後的水供應到可以滿足需求的使用點。一般而言，超純水製造過程的排放水、製程使用點的排放水與空調系統排水都是適宜回收再利用的。

在節流的策略上，則要檢討目前的用水量是否合理，有哪些可以節省的空間？常用的手法爲檢討機台用水與排水是否過大，廢氣洗滌器的排水是否設定過高，民生用水的消耗量加以減少等方法。

除了技術上的開源與節流外，對用水的加強管理與教育宣導、都是爲了確保節水成效不可或缺的方法。管理上的方法如水平衡圖的繪製與追蹤、各用水點用水量的追蹤管制、計算並公佈相關的節水指標、加強技術交流與教育訓練都是基本的運用手法。

在開源、節流與管理策略中，以開源的回收系統建立的技術難度與複雜度較高，以下針對回收水系統設置的考量與設計加以探討。

回收水系統的設計考量與架構

針對各排水特性不同，擬定不同的回收策略，以下列出不同特性水源所考慮的回收方式，如此就可以大致架構出回收水系統的輪廓。

(i)水質穩定，來源易控制，TOC，Conductivity在一定限度以下，經簡單處理後

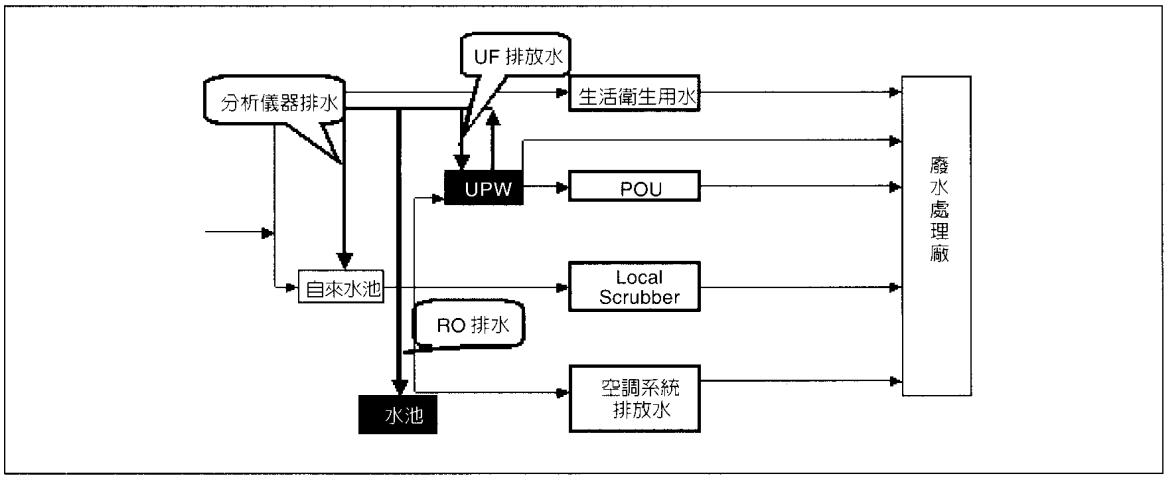

圖 4　超純水系統排放水的回收示意圖

或直接導回純水系統

(ii) TOC 較高，離子爲主要污染物，則經處理系統後提供給次級使用點

(iii) 氟離子爲主要污染物，則經處理系統後提供給次級使用點

(iv) 水質優於自來水，但有被污染顧慮，則導入回收處理系統產水池

回收水系統的設計目前有兩種主要的技術：❶ 離子交換樹脂、❷ 滲透膜(RO)。其目的都是將水中的離子或雜質去除得到乾淨的回收水。離子交換樹脂的優點在於處理過程不會消耗水，可完全回收。但當樹脂飽和後需要以化學藥劑再生及以清水沖洗。逆滲透膜的缺點在於回收過程會有一部分濃縮水需要排除，無法百分之百回收，但其優點在於額外使用的化學藥品較少，相較於離子交換樹脂而言是比較環保的方法，且 RO 膜的要求比純水系統的 RO 膜低，可以使用純水系統汰換下來的 RO 膜，可以節省相當高的運轉成本。基於以上考量，本廠的回收水系統是以逆滲透膜的方式設計。

在考量回收系統的處理水中，有部分排水來源含有氟離子，由於 RO 膜對是否去除含氟離子的操作條件不同，且 RO 濃縮排水的處置方法也不同，因此需針對含氟與非含氟的排水各自設置一套回收系統(一般酸回收系統與低濃度氫氟酸回收系統)，二者的產水排入相同的產水池供給次級用水點。此二套回收水系統的架構下文有詳細的介紹。

(一)超純水系統排放水的回收

超純水系統排放水的回收示意圖如圖 4，(i) UF 濃縮水可由切換閥選擇讓這股濃縮水流至 RO 產水池或前處理水池。正常情況下 UF 濃縮水可完全回收。(ii) RO 濃縮水導入緩衝池，由泵浦定量輸送至回收系統產水池，統一調配供給冷卻水塔或設備排氣洗滌塔使用。正常情況下 RO 濃縮水可完全回收。(iii) 純水系統線上(on-line)分析儀器用水經管路收集後導入自來水池。這三股水除了 RO 濃縮水排到回水收產水池直接供給次級用水點使用外，另外兩股水都回到超純水系統

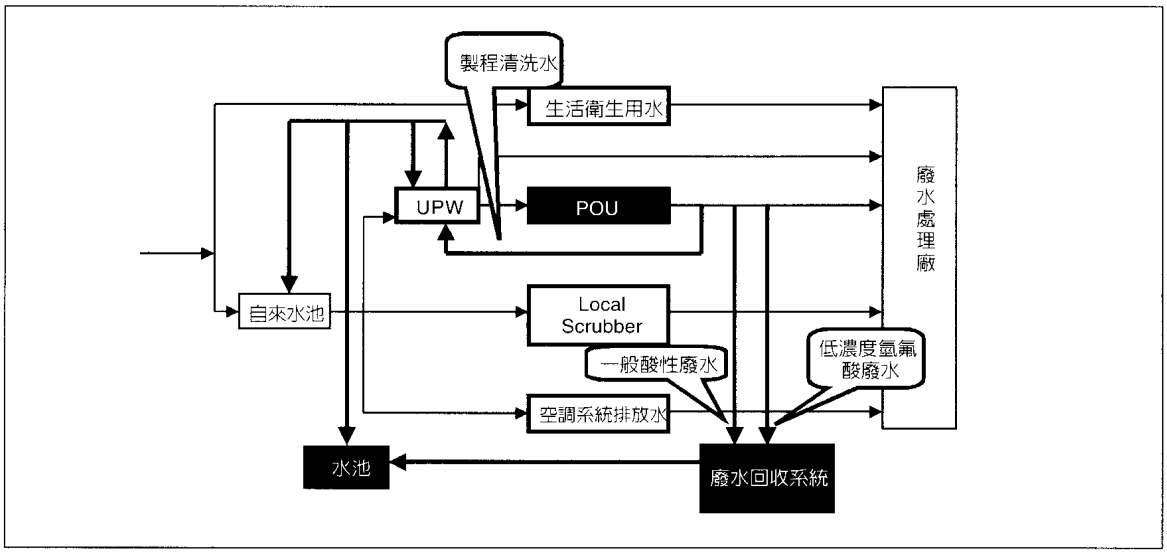

圖5　製程排放水回收示意圖

中繼續使用。

(二) 製程排放水的回收

製程排放的廢水中，依污染程度的差異及污染物種類的不同，分別設置不同的回收設備。圖5爲製程排放水回收示意圖，概述如下：

(i)製程清洗水：經篩選後合乎標準的水經過活性碳塔去除TOC之後回到純水系統，與前處理系統產水混合，再利用陽離子交換樹脂塔／脫氣塔／陰離子交換樹脂塔及RO去除水中污染物，重新進入純化精鍊系統製成超純水，供Fab內設備使用。

(ii)一般酸性廢水：針對一般酸性廢水中，污染源爲晶片清洗時所溶解之酸，鹼及氧化劑等污染物的特性，設置一套由多層過濾塔，活性碳及RO組成之回收系統，去除水中主要污染物並達到使用點之水質需求。

(iii)低濃度氫氟酸廢水：製程排放水中含有少量氫氟酸的部份，以管線分開收集後，匯流至緩衝槽。針對低濃度氫氟酸廢水獨立設置一套亦由多層過濾塔，活性碳及RO組成之回收系統，利用不同pH值時，RO對氟離子去除率不同之特性，將水中主要污染物－氟離子去除，並達到使用點之水質需求。

(iv)設備排氣洗滌塔排水：由於部份設備排氣洗滌塔排水中氟離子濃度亦偏高，故分別量測其排水氟離子濃度，低於20ppm者以管線收集後，合併於一般酸性廢水回收系統;高於20ppm者以管線收集後，以低濃度氫氟酸廢水回收系統處理。

(三)空調系統排放水

空調系統排放水中，亦可依水質之良窳，分別導入不同之回收系統。圖6爲空調系統排放水回收示意圖，概述如下：

(i)外氣空調箱冷凝水：冷凝水水質已達使用點水質需求標準，故以專管收集後，直接納入回收系統產水池統一調度使用。

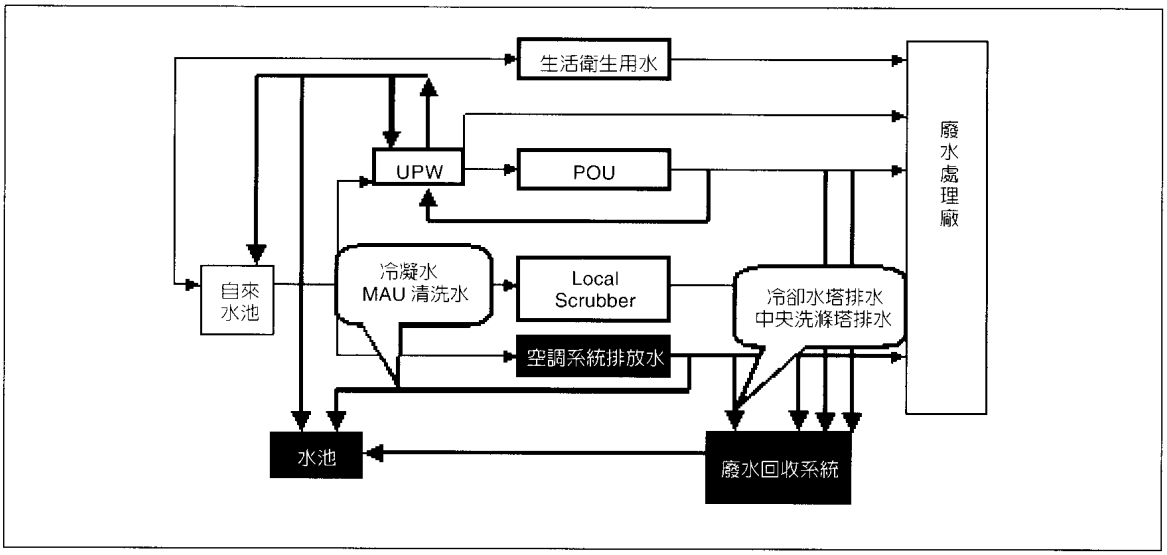

圖 6　空調系統排放水回收示意圖

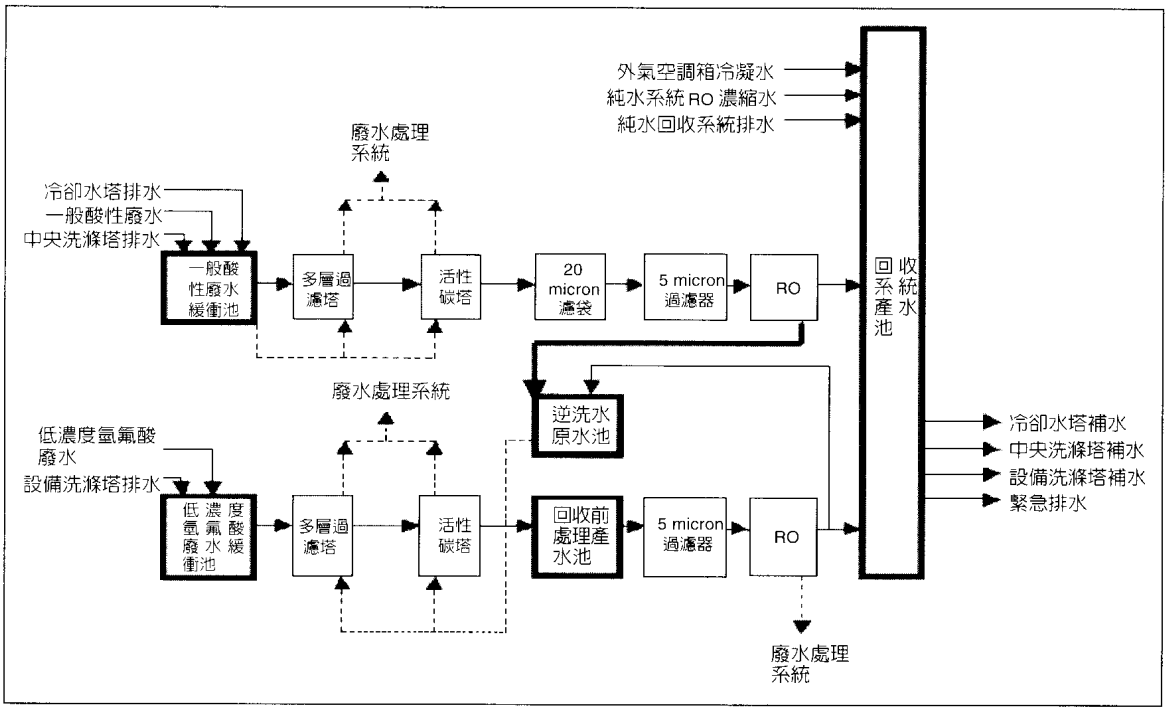

圖 7　廢水回收系統示意圖

(ii)MAU Air washer 清洗水：MAU 清洗水回收水質已達使用點水質需求標準，故以專管收集後，直接納入回收系統產水池統一調度使用。

(iii)冷卻水塔排水：冷卻水塔排水其主要污染源爲水經過蒸發濃縮之後，濃度逐漸上升的離子。基於其特性與一般酸性廢水相同，故以管線收集並以導電度進行篩選，合格者一併導入一般酸性廢水緩衝槽，進行回收。

(iv)中央洗滌塔(Central Scrubber)排水：中央洗滌塔排水中主要污染源爲排氣中被刷洗下來的離子，其特性與一般酸性廢水相同，故以管線收集後並以導電度進行篩選，合格者一併導入一般酸性廢水緩衝槽，進入一般酸性廢水回收系統。若洗滌塔的排水中含有氟離子，則這股排水就需排放到氟系回收水系統中處理。

(四)廢水回收系統架構

圖7爲廢水回收系統示意圖，針對含氟與非含氟的排水各自設置一套回收系統(一般酸回收系統與低濃度氫氟酸回收系統)，二者的架構基本上都是一樣，均由多層過濾塔、活性碳、過濾器及RO膜所組成，產水也是排入相同的產水池供給次級用水點。一般酸性廢水回收系統處理的是機台排放的一般酸性廢水、冷卻水塔排水與中央洗滌塔的排水，低濃度氫氟酸廢水回收系統處理的是機台排放的含低濃度氫氟酸廢水與設備洗滌塔的排水。外氣空調箱的冷凝水、純水回收系統的排水、超純水系統RO的濃縮水及MAU Air Washer的排水均直接排放到回收系統的產水池，供給冷卻水塔、中央洗滌塔及設備洗滌塔等對水質要求比較不高的次級用水點使用。

低濃度氫氟酸回收系統的RO濃縮水，因爲含有高濃度的氟離子，必須排放到氟系廢水系統處理，以CaC12將氟離子結合壓製成氟化鈣污泥後清運；一般酸廢水回收系統的RO濃縮水，因不含氟離子故可以直接排到廢水系統調整pH值後直接排放。

這兩套回收系統的多層過濾塔與活性碳塔都需要定期逆洗以保持處理效率，逆洗後的排水直接送到一般酸廢水系統調整pH後排放。一般酸廢水回收系統的逆洗用水可以取自一般酸廢水緩衝池，然而，爲了防止含氟廢水進入一般酸廢水系統，低濃度氫氟酸回收水系統的逆洗用水就不能取自其緩衝池，爲了避免浪費用自來水當作逆洗水源，另外設置了一個逆洗水池，接納來自一般酸回收水系統的RO濃縮水，作爲低濃度氫氟酸回收水系統的逆洗用水，如此每日大約可以節省40噸的自來水量。

其他省水與管理方案

針對設備機台、民生用水各方面執行可行的省水方案，以執行的方案略述如下：

1.設備洗滌塔

由於設備back-up需求，部份設備需同時安裝兩套洗滌塔。其中一套爲使用中，負責處理設備廢氣洗滌；另一套爲完全備用，並沒有實際處理廢氣的負荷。經與設備人員檢討之後，停止供應備用設備洗滌塔供水，並調整運轉中之設備洗滌塔供水量。估計每天可節省151立方米之用水量。

2.民生用水

廠區廁所水龍頭全面加裝省水裝置，以某一廠區爲例共70個。每個省水器可將自來水龍頭水量由8.4 1pm降至2.4 1pm。以某廠區人數約630人，每天使用5次水龍頭，每次5秒鐘計算，每天可減少衛生用水1.6立方米。雖然這部份省水量比較之下顯得不明顯，但卻明

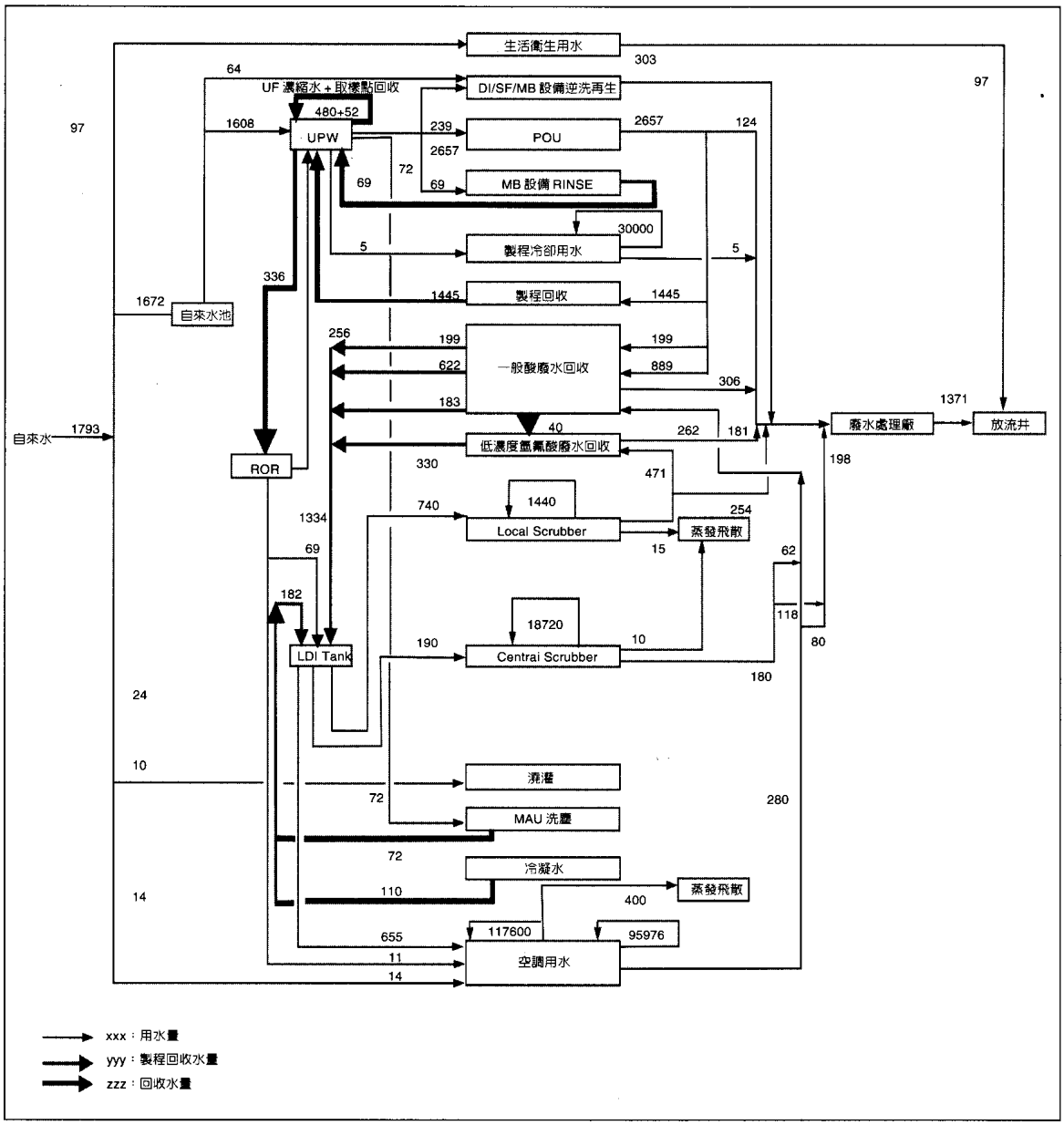

圖 8　2001 年 12 月的用水平衡圖

確表達了公司對節水決心的貫徹。

3.用水管理

爲求有效管理用水效率，廠區內將所有用水點之用水量納入廠務監控系統，以 24 小時長期連續監測，建立各水源及用水點的基本參考資料。一方面以監測所得之數據每月繪製用水平衡圖，檢視用水管理成果，另一方面，藉由長期監測所收集之資料予以比對，以便及時發現不正常的用水，避免浪費。

藉由以上各主要廢水回收設備及節約用水的方法，本廠區之自來水需求量控制在相當低的範圍，在缺水期間因水源短缺而導致

對生產的影響將可降至最低。可參考2001年12月之用水平衡圖(見圖8)。一般用水管理時，利用合理的定量考核指標，諸如製程用水回收率、排放率等，可以表示出水的使用效率。但計算回收率時，因全廠冷卻循環水量相當高，若將其併入計算，雖然可以得到相當高的回收率，但卻無法表示出實際情形，故計算時皆先行將冷卻水循環量扣除[3]。依2001年12月之用水平衡圖，各項指標計算如下：

全廠回收率:

(52+480+69+336+1445+1004+330+40)/((52+480+69+336+1445+1004+330+40)+1793)

=3938/5731=68.7%

製程用水回收率:

(1445+199+622)/2657=85.3%

全廠排放率:

1468/1793=81.9%

廠內並設置節水網站，公佈家庭用水節水常識及工業節水相關文章，提昇員工的環保理念，希望員工皆能了解與善盡環境保護之責任。

節水成效

以本公司一個廠區爲例，經由設立廢水回收系統，回收水再利用設備及省水措施，廠區平均每日節省用水4090.6立方米，其中含回收水3938立方米。以2001年12月爲基準，比較節水措施實施前後之差異如表4：

而經由節水措施所產生之經濟效益爲每日新台幣107093.6元。各系統相關費用，

表4　節水措施實施前後自來水用量與單位晶圓用水比較

	自來水日用量(CMD)	每片晶圓消耗自來水量(m^3/wafer)	排放率(%)	廢水排放量(CMD)
節水措施實施前	5883.6	10.38	94.5	5558.6
節水措施實施後	1793	3.16	81.9	1468

表5　節水措施所產生之經濟效益

系統	設備費用(元)	處理水量(m^3/天)	操作費用(元/ m^3)	回收/節省水量(m^3/天)	回收淨效益(元/天)
製程清洗水回收系統	5600000	1445	0	1445	40561.2
一般酸性廢水回收系統	21150000	1350	7	1004	21987.6
低濃度氫氟酸廢水回收系統	7700000	471	8.78	330	6639.6
低濃度氫氟酸廢水回收系統逆洗用水	na	40	na	40	1156
空調冷凝水及MAU清洗水回收系統	320000	182	na	182	5259.8
RO濃縮水回收	na	336	na	336	9710.4
UF濃縮水回收	45000	480	na	480	13872
樹脂再生清洗水回收	na	69	na	69	1994.1
取樣點用水回收	30000	52	na	52	1502.8
設備洗滌塔節水	na	151	na	151	4363.9
水龍頭省水器	9100	na	na	1.6	46.24
合計	34854100	4576	na	4090.6	107093.6

水量及效益詳見**表5**。節水成效除了以節省水量或金額表現外，也可由製造單位純水所需消耗的自來水量來表示。如果完全沒有回收水系統，因爲超純水的製造過程有RO、UF膜的濃縮排水與離子交換樹脂的再生消耗，造成超純水所需要的自來水勢必大於純水的產出量。本廠區因爲節水措施執行後，製造一單位的超純水僅需0.62單位的自來水，比較園區其他公司的狀況，本廠區使用在純水製造的自來水量可算是非常少的。

本廠區在執行節水計劃後，製程用水回收率已可達到85%以上，就一個在設廠時管路分流並未完整規劃的舊廠區而言，此成就是非常可貴的，也因此在91年度本廠區榮獲經濟部頒發『節約用水績優廠商』的榮譽。

結論

半導體廠的高耗水量，使得節約用水成爲十分重要的成本考量。本廠由不斷嘗試中，得到了一系列的具體做法，也達到了相當具有經濟效益的成果。

半導體廠要執行節約用水計劃，必須先瞭解廠區所有用水點的需求與排放特性，由此爲基準，設計出適合的回收水系統。在建廠時期如果廢水分流規劃完善，對於回收水系統的規劃與效果可達事半功倍的成效。

回收水系統目前常用的有離子交換樹脂與逆滲透膜兩種主要的技術。逆滲透膜因爲有化學藥劑使用量小的環保優勢與可使用超純水系統汰換的RO膜管的經濟優勢，因此被本廠評估採用在回收水系統的設計上。

未來本廠也將對CMP廢水回收系統加以評估，本廠區已進行小規模工廠(pilot plant)之測試，然仍需要較長期的運轉資料以證明此架構是否確實有效。

節省水資源及環境保護是一項沒有止境，也不可能達到完美的永續性工作。我們期待以此爲開始，繼續將節約能源、資源，環境保護的概念落實在工作之中，朝向建立綠色企業之目標努力。

參考文獻

[1] Striekwold, R."Water Conservation in the Microelectronics Industries",ULTRAPURE WATER, pp.44-50, December 1996.

[2] 台灣地區水資源開發綱領計劃(草案),經濟部水利署,2002

[3]「工業用水合理用水量指標體系研究說明」,經濟部水資源局,節約用水資訊網

作者簡介

王宜新，任職於聯華電子股份有限公司。馬世廣，任職於聯華電子股份有限公司。
姜智興，任職於聯華電子股份有限公司。黃振浪，任職於聯華電子股份有限公司。
楊名宏，任職於聯華電子股份有限公司。吳惠名，任職於聯華電子股份有限公司。
廖政一，任職於聯華電子股份有限公司。陳鍾坡，任職於聯華電子股份有限公司。
蕭銘召，任職於聯華電子股份有限公司。蔡俊宏，任職於聯華電子股份有限公司。