

# 國立交通大學

工學院碩士在職專班產業安全與防災組

## 碩士論文

探討半導體業之水資源回收再利用及處理分析—NDL

為例

Study on the Water Management and Recovery for  
Semiconductor Industry—NDL as an Example

研究生：李豫弘

指導教授：柯富祥博士

中華民國九十六年三月

# 探討半導體業之水資源回收再利用及處理分析—NDL 為例

學生：李豫弘

指導教授：柯富祥

國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災組

## 摘 要

本論文之研究目的在於探討半導體業之水資源回收再利用及處理分析之重要性，由於台灣需要的是建立一個整合國內奈米相關設備環境及提供對先進奈米製造和系統整合技術的機制，以增進國家研究資源的有效運用，因此國家奈米元件實驗室（NDL）提供國內學界所需之奈米尺度半導體製程與奈米元件技術實驗室研究環境，亦提供學界包含奈米電子、奈米光子、奈米生物元件，奈米功能性材料，以及與晶片系統整合技術的研究使用，技術諮詢和各類合作，提升我國科學技術的研發能量，增強台灣在此重要奈米科技領域的國際競爭力。

NDL 為提供良好的研究環境不論空調、純水、一般氣體、製程冷卻水供應方面，除應付日益增加的需求量外，並加強研究所需品質；在工安方面，增添毒氣偵測系統，以保障人員安全；在廢水、廢氣等之排放方面，為免污染環境，則特別加強環保處理。為達上述要求更需可觀的運行、維護及維修開銷與支援，為保證高質量的運行，亦必須培養穩定的具有高水準研發維護能耐的團隊，以達到與業界相同規格潔淨室之目標。

半導體製程進入奈米尺寸後其程序變得更繁瑣，相對所需之超純水規格更是嚴格且用水量甚大，就台灣之水資源缺乏現況來說，更突顯水資源之可貴與重要性，期藉由此論文研究進行水資源之回收再利用及處理分析，針對半導體製程需求面，依水的用途、用量及系統流程等各方面，進行分析探討如何能節省水資源及降低運轉經費，將廣泛推廣技能知識並與學、業界分享成果，一同為台灣水資源盡一份心力，不讓下一代子孫為水資源不足問題而煩，更讓台灣走向全世界之奈米科技發展，並佔有一席領先地位。

# Study on the Water Management and Recovery for Semiconductor Industry

## - NDL as an Example

Studebt : Yue-Hung Lee

Advisor : Fu-Hsiang Ko

Department of Industrial Safety and Risk Management and Institute of Engineering

National Chiao Tung University

### Abstract

The objective of this paper is to study the importance of water-recovery/waste and water resources analysis and management for semiconductor industry. We need an organization which could provide integrated nano-related facility environment, advanced manufacturing and system integration to enhance the usage of national resource. NDL (National Nano Device Laboratories) provides below services to academic communities such as Laboratory environment with nanometer scale of semiconductor process and device - including nano-electronic, nano-photonic, nano-biological device and material, research in the system-on-chip, technical consultants and other cooperation. Thus, NDL could raise our research and design capabilities of our own country and be more competitive in nano-technology globally.

In order to provide better research environment, such as air conditioner, water purification, ordinary gas and cooling water supply. NDL manages the boosted inquiries and emphasize better quality. Such as installing the toxic gas detector system to ensure the safety of employees; enhance the environmental protection when dealing with waste water and gas to prevent pollution. To achieve above goals, a professional team with better research and design capability to handle cost and service is needed, and also to meet the same standard of clean room is important too.

Semiconductor processes become more complicated as it scales down to nanometer. Pure water spec for its usage has to be with higher standard and larger amount. The water resource becomes more and more important due to the insufficient resources in Taiwan. In this thesis,

water-recovery/waste and water resources analysis and management of the semiconductor industry would be studied and researched. We will do more analysis to find out how to save the water and reduce the operation cost in different purposes, amount and flow charts. . etc.. Also, we would like to share the knowledge with academies and enterprises to solve the shortage of water supply for the next generations. If we succeed in it, then Taiwan will play an important role and lead the world to nano-technology.



## 誌 謝

俗話說：「活到老學到老。」人生就該秉持著學無止盡去努力。兩年多的研究所求學之路，對我這個四十歲的中年人而言備感艱辛，往往受限於體力與腦力的競爭，為了兼顧家庭、事業與學業，更是挑戰了我的極限。所幸有了老婆、孩子及家人的支持；親友、同事及同儕之間的鼓勵；恩師、上司及周遭朋友的鼎力相助，讓我一路走來滿懷感激，更加全力以赴。

此番論文能夠順利完成，心中要感謝的人何其多：首先要感謝我的指導教授柯富祥博士，在研究撰寫期間的悉心指導，給予我最適切的方向，若沒有您的激勵，我想我是無法如期完稿的，在此衷心的表達本人的謝意。另外，在研究實驗階段，特別要感謝國家奈米元件實驗室的長官與同仁們，不辭辛勞的協助彙整資料，使我得以用最精闢的數據推算出結果。謝謝曾經助我一臂之力的廠務弟兄們，再則要感謝內人瑞玲，願意充當我的專屬校稿員，不厭其煩的一遍又一遍地幫我訂正錯別字，親愛的老婆，真是辛苦妳啦！

兩年的求學生涯中，甘苦參半，用心做學問方知箇中奧妙，也才能領略出知識的領域何其廣泛，日後我將繼續追求新知，好讓自己更上層樓，不負眾望。謝謝我敬愛的父母，謝謝我親愛的兒女，你們是我的驕傲，希望你們也能以我為榮。

本文是我的苦心之作，願與所有關心我、愛護我的親友，共享之。



李豫弘 謹誌  
國立交通大學  
中華民國 96 年 3 月

# 目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iv
目錄	.....	v
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	viii
一、	緒論	1
1.1	研究目的	1
1.2	研究方法	2
二、	文獻回顧	3
2.1.	水資源回收再利用之現況	3
2.2.	水資源回收之技術與成本	10
三、	研究水資源回收再利用理論依據及策略	26
3.1	逆滲透原理	26
3.2	離子交換樹脂	29
3.3	化學混凝	34
3.4	活性炭	35
3.5	TOC 儀器原理	36
3.6	製造流程改善措施	39
3.7	水資源回收利用種類	41
3.8	放流水之水質	42
3.9	自來水危機與開源節流	45
3.10	廢水回收再利用之相關法令	48
3.11	廢水回收再利用之相關優惠獎勵措施	53
四、	節水方案規劃與探討	56
4.1	真空脫氣塔冷卻水	56
4.2	逆滲透膜濃縮水	56
4.3	空調冷凝水	56
4.4	化學機械研磨廢水	57
4.5	限外濾膜濃縮水	58
4.6	離子交換樹脂再生廢水	58
4.7	半導體製程機台廢水排放	59
4.8	延長機台再生反洗時間	60
五、	結果與討論	61
5.1	台灣地區自來水資源比較統計	61
5.2	水平衡圖、製程回收率、全廠回收率及全廠排放率	61
5.3	實驗室各項節省措施與水量彙整統計	65
六、	結論、建議與展望	66
6.1	結論	66
6.2	建議	66
6.3	未來展望	67
參考文獻	.....	68

## 表 目 錄

表 2-1-1	半導體潔淨室等級區分	3
表 2-1-2	自來水中不純物去除設備一覽表	5
表 2-1-3	半導體 DRAM 要求水質規格	6
表 2-1-4	新竹縣市 94-95 年自來水質平均統計表	7
表 2-1-5	廢水園區納管及處理排放標準	8
表 2-1-6	一般半導體廢水處理及成分表	8
表 2-1-7	各行業與回收處理技術之關連性	10
表 2-2-1	新竹工業科學園區回收率定義	11
表 2-2-2	新竹工業科學園區回收率區分	11
表 2-2-3	各單元水回收處理應用與汙染物去除分析	13
表 2-2-4	台灣省自來水公司水價及水費速算表	14
表 2-2-5	台灣省自來水公司各口徑基本費	14
表 2-2-6	環保單位核定代徵清潔處理費每度之單價	15
表 2-2-7	台北市用水量級別及累進計費價格表(每戶每月)	17
表 2-2-8	台北市基本水費表(每戶每月)	17
表 2-2-9	台北市清除處理費費率表	18
表 2-2-10	下水道費率表	18
表 2-2-11	分段加壓維護管理費收費標準	18
表 2-2-12	水污染防治費之汙染物項目、汙染當量換算值	19
表 2-2-13	新竹科學工業園區污水下水道收費標準	20
表 2-2-14	水資源回收成本、用途與投資設備分析表	24
表 3-1-1	逆滲透膜依材質性能之比較表	26
表 3-1-2	薄膜對物質分離範圍比較表	28
表 3-2-1	離子交換樹脂之特性比較一覽表	30
表 3-2-2	合成離子交換樹脂之主要製造廠商	31
表 3-3-1	化學混凝常用化學藥品之特性表	34
表 3-4-1	活性碳孔隙結構分類表	35
表 3-6-1	真空脫氣塔與脫氧模組特性比較	41
表 3-7-1	冷卻水塔水質建議表	42
表 3-7-2	灌溉用水水質一覽表	42
表 3-8-1	事業、污水下水道及建築物污水處理設施之放流水標準	43
表 3-8-2	依各事業單位類別放流水之標準	44
表 3-9-1	92-93 年水資源概況	45
表 3-9-2	台灣主要水庫蓄水情形	45
表 3-10-1	廢污水排放與再利用之相關法規與標準	48
表 4-1-1	真空脫氣塔之冷卻水進口水質	56
表 4-2-1	逆滲透濃縮水水質	56
表 4-3-1	空調冷凝水水質	57
表 4-5-1	限外濾膜濾透過水與濃縮水之水質	58
表 4-6-1	離子交換樹脂再生之回收水質	59
表 4-7-1	半導體製程回收之水質標準與其處理方式	59



表 5-1-1	台北市、新竹市及高雄市自來水費比較表·····	61
表 5-2-1	NDL 實驗室規劃水平衡圖之符號說明及水量表·····	62
表 5-2-2	NDL 實驗室運轉水平衡圖之符號說明及水量表·····	64
表 5-3-1	NDL 實驗室節水方案彙整表·····	65





## 圖 目 錄

圖 2-1-1	半導體製程主要流程圖	4
圖 2-1-2	NDL 超純水製造流程圖	6
圖 2-1-3	NDL 廢水處理流程圖	9
圖 2-1-4	工業廢水水質分析處理方式	12
圖 3-1-1	逆滲透膜原理示意圖	27
圖 3-1-2	逆滲透膜剖面示意圖	26
圖 3-2-1	離子交換樹脂塔結構圖及再生步驟示意圖	33
圖 3-4-1	活性炭再生步驟示意圖	36
圖 3-5-1	電磁波波譜圖	37
圖 3-5-2	氧化反應曲線圖	37
圖 3-5-3	總有機碳儀器原理曲線圖	38
圖 3-5-4	總有機碳分析儀器結構圖	38
圖 3-6-1	離子交換樹脂再生用水改善成果	40
圖 3-6-2	研磨製程廢液處理改善成果	41
圖 3-9-1	世界各國之平均降雨量	46
圖 3-9-2	世界各國之平均每人每年使用量	47
圖 4-3-1	空調箱內部結構配置圖	57
圖 4-4-1	化學機械研磨示意圖	57
圖 4-5-1	限外濾膜之結構與其流向圖	58
圖 4-7-1	NDL 製程機台廢水回收再利用流程圖	59
圖 5-1-1	NDL 實驗室規劃水平衡圖	62
圖 5-1-2	NDL 實驗室運轉水平衡圖	64

## 一、緒論

### 1.1 研究目的

位於太平洋西緣、花綵列島中段與中國大陸以台灣海峽相隔的台灣，為歐亞大陸板塊與太平洋板塊、菲律賓板塊所擠壓抬昇隆起的新生海島，面積為三萬六千平方公里，南北狹長，長約四百公里、寬約為二百公里，地跨熱帶與副熱帶兩個氣候帶，年平均溫度為攝氏 25 度屬於亞熱帶海島型氣候，其自來水來源受到大自然之限制與地形影響甚鉅，春冬之際久旱不雨，夏秋之際則遭颱風狂雨肆虐往往造成水庫為了安全需進行調節性之洩洪，而無法將豐沛雨水儲存於缺水時使用。故台灣之水源供應儲存及水資源回收與利用，是現今奈米科技產業不斷發展研發生產進步下，水資源需求愈來愈多情況下，最重要之研究與推廣課題之一。就目前新竹科學工業園區之用水量，每日高達一十二萬六千噸<sup>[5]</sup>，據廠商初步估計如因缺水導致停工，再復工每一日損失將高達新台幣百億之上，而此是繼電力短缺之後，投資廠商不論國內外最重要之投資風險評估之考量因素。

水是生命的源泉，工業的血液，城市的命脈，也是人類生活與生產活動不可或缺的重要物質，更是維繫自然生態平衡一項不可替代的重要資源。隨著經濟發展人口增加與人們物質文明的日益提升，世界各地對水的需求與日俱增，許多國家或都會城市已出現嚴重的水資源供需矛盾，缺水與爭水等問題甚至引發了地域與地域間、族群與族群間、標的與標的間，甚至國度與國度間的紛爭，因此水資源危機已引起當今世界各國的普遍關注。臺灣水資源天然條件不良，然而，因應邁向現代化國家，今後面臨社會與經濟持續發展、都市化及人口壓力，需水日增，可用水源減少，增闢新水源之成本增高，加以社會維護環境及生態環保意識抬頭，水資源建設日益艱難。如何以有限之水資源，充份滿足未來長期性之需求，未來水資源規劃工作將更為艱鉅，更具挑戰性；必須以創新之觀念，動態之遠見，結合先進之資訊科技與水資源技術，掌握水資源規劃開創新紀元之契機，期使此攸關民生經濟之重要資源，達成合理分配充分利用與永續經營。

同時半導體業已進入奈米科技，故在製造過程中不論是環境或原料均不容許有微塵粒子或是污染物存在，因此經常使用超純水來進行生產元件之洗滌之用，所以其使用量是龐大的。而為求臺灣水資源環境之永續經營與利用，在環境限制面上，政府應依據環境中水資源之總量，於各需求面中合理且有效的彈性調配及分派水資源，並提高用水及回收利用效率。在水資源的開發方面，摒除具高度破壞生態環境與影響水文循環的開發方式，並積極研發多元化的水資源替代開發方式，加強河川逕流開發使用效率，減緩地下水源之超量抽取，保護原有大自然美麗景觀。

就經濟部水利署「台灣地區各標的目標年用水量估計報告」92 年台灣地區總用水量約為 176 億立方公尺，工業用水約佔 9.14%、生活用水 20.19%及農業用水 70.67%。預估 100 年台灣地區總用水量約為 200 億立方公尺，工業用水約佔 12.45%、生活用水 21.21%及農業用水 66.34%，工業用水成長 3.31%約 9

億立方公尺。半導體產業依水資源用途與其需求大致可以分為製程用水、空調用水、生活用水及其他用水等四類，而如何在此四類中進行水資源回收或再利用，依其水質標準應用甚廣，在廠區中如：廁所用之水、廢氣處理用水、景觀灑水、空調冷卻水等。面對缺水的壓力下如何達到原設計甚至超過，雖利用工業廢水回收再利用技術較適合使用量較大之產業，節省水資源及永續經營的路徑。而本實驗室將依其特殊性考量來就其技術、成本進行水資源之回收再利用，回收時並採用適當設備達到所需水質要求。

## 1.2 研究方法

在了解水資源與回收再利用之重要性之後，就以實驗室來進行分析統計與探討，首先由於實驗室之特殊性與一般業界之差異性，進行規劃與設計時一大學問如何在使用量不多又要回收符合設置規定，是一個很嚴肅的課題。目前已進入研究運轉維護階段，因需進行多方面不同性質研究開發，所以在水資源管制與回收均須非常慎重仔細方可達到所需之設計標準。

綜合實驗室之水資源可以從製程上、廠務供應系統（超純水、空調、廢氣等）及廢水處理上來進行水資源之利用與回收再利用。就製程上來說使用最多超純水的是濕蝕刻清洗機台（Clean Bench），為將晶圓（Wafer）經由製程機台過程後之多於物品以化學藥品去除，來達到原設計需求之厚度，如何利用清洗之水來回收利用是一個課題。廠務超純水製造系統中，除了是將水中之不純物去除所產生之各種不同類型之廢水進行處理利用，及各設備單元在製造過程中所需要的水資源進行回收涵蓋系統分析儀器，潔淨室空調由於是全年運轉同時又將維持恆溫、恆濕、高潔淨度等相關規範之環境，所使用之冷卻水塔亦是一個耗用水資源極大設備。廢水處理是將實驗室所有製程廢水，經由分類回收處理再利用到各個不同場所或設備。也在此前提之下如何在空間、技術、成本間進行最佳之資源與回收再利用評估亦是一個研究課題。

經由原有之設計規劃實際運轉後發現，雖然工業廢水回收再利用技術較適合使用量較大之產業，既可節省水資源亦是永續經營的必然路徑之一，仍有一些改善措施過後不僅機台運轉更佳平順穩定，又可以將水資源進行回收再利用。

## 二、文獻回顧

### 2.1 水資源回收再利用之現況

#### 2.1.1 半導體業製程概述<sup>[1]</sup>

所謂半導體 (semiconductor) 是一種介於導體 (conductor) 與絕緣體 (insulator) 之間的一種材料，而半導體、導體和絕緣體之間最大的不同就是半導體中有兩種帶電載子同時存在來傳導電流，電子 (electron) 帶負電，電洞 (hole) 帶正電，而半導體的特性決定於摻雜 (doping) 離子種類來決定 (n 型—磷，p 型—硼)。材料導電之性質以導電性 (conductivity) 來定義，導電性愈高是良導體，導電能力也可以用導電能力來判斷，也就是阻抗係數的倒數來量測，材料的阻抗係數愈小導電能力愈強。IC (Intergrated circuit) 積體電路就是將許許多多的二極體或是電晶體整合於一個非常小的晶片 (chip) 上，其具有體積小、功能強、變化性大等特性，其應用範圍不論是國防、交通、通訊、電腦、家電甚至是隨身物品，其功能主要是控制、運算和記憶等，是電子資訊產品最重要之零組件。

IC 的製造通常是以矽 (silicon) 和鍺 (germanium) 為底材，從材料準備、長晶及晶圓製造、切割測試封裝後，再將已設計完成的電路經由光學顯影 (Photo)、快速高溫製程、化學氣相沉積 (CVD)、離子植入 (Implanter)、蝕刻 (Etching)、化學機械研磨 (CMP)、多層金屬連線等製程，主要流程<sup>[1]</sup> 如圖 2-1-1。而在半導體之製程中如：濕蝕刻、化學機械研磨皆使用到水資源來作為製程中之必須過程之一，也由於半導體由毫微米 (um) 進展到奈米 (nm)，這些製程與研發均須在潔淨室中進行，導致潔淨室等級要求愈來愈嚴格其各項規定<sup>[6]</sup>，如表 2-1-1 所示。

表 2-1-1 半導體潔淨室等級區分

▪ Summary of U.S. Federal Standard 209E

Clean Room Class		Particles Size Number Of Particle										Pressure	Temperature			Humidity			Air Velocity	Lightly Intensity
公制	英制	0.1 μm		0.2 μm		0.3 μm		0.5 μm		5 μm		mmAq	Range °C	Recom-Mended Value °C	Dis-tribution °C	Max %	Min %	Dis-tribution °C	M/S Recycle Number	Lux
		(m <sup>3</sup> )	(Ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(Ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(Ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(Ft <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(Ft <sup>3</sup> )									
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-	Not less than 1.25	19.4-25	22.2	± 2.0	45	30	± 10	Laminar flow	1,080-1620
M1.5	1	1240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-									
M2		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-									
M2.5	10	12400	350	2650	75.0	1060	30.0	353	10.0	-	-									
M3		35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	-	-									
M3.5	100	-	-	26500	750	10600	300	3530	100	-	-									
M4		-	-	75700	2140	30900	87.5	10000	283	-	-									
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7.00									
M5		-	-	-	-	-	-	100000	2830	618	17.5									
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353000	10000	2470	70.0									
M6		-	-	-	-	-	-	1000000	28300	6180	175									
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3530000	100000	24700	700									
M7		-	-	-	-	-	-	10000000	283000	61800	1750									

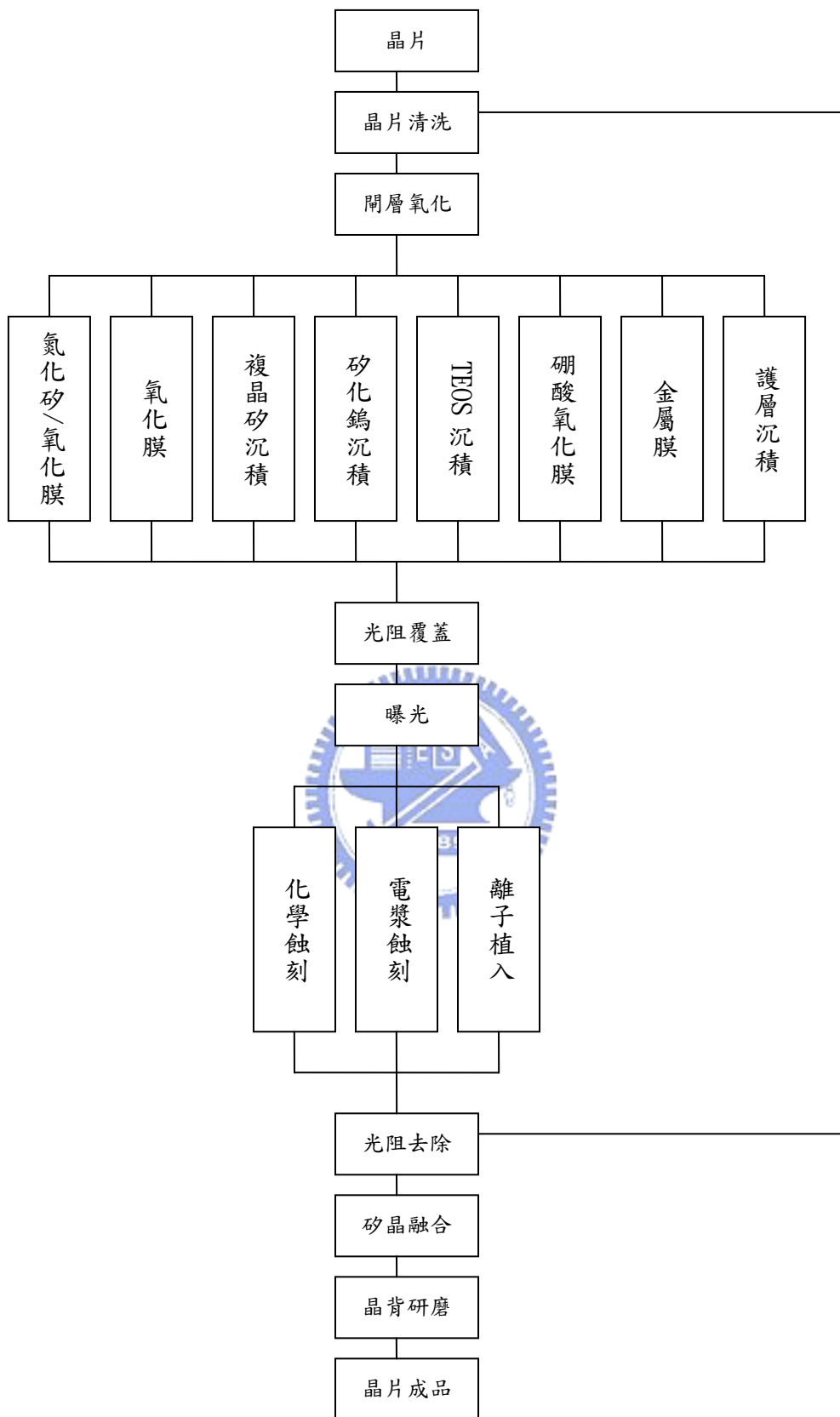


圖 2-1-1 半導體製程主要流程圖



### 2.1.2 超純水製造處理流程

超純水是半導體業、生化業、薄膜電晶體(TFT)、製藥業、食品業、核電廠等在製造過程中扮演著相當重要的角色，就其定義<sup>[2]</sup>而言：水中的蒸發殘留物數以ppb為單位即稱為超純水，若水中有離子、微粒子、微生物、有機物等，對晶片製程中的氧化膜、多結晶膜、金屬連線等均對半導體製造造成巨大影響，使IC的電氣特性受到嚴重破壞。超純水之水質通常依照DRAM來制定其水質標準如表2-1-3<sup>[4]</sup>。如何將自來水質中之所有雜質<sup>[3]</sup>如表2-1-4，依水中各種不同物質採用各式方法將其去除，已獲得高純度之超純水來做為半導體奈米製程之研究與開發，而超純水之標準亦隨著邁入奈米時代其水質要求日益嚴苛，不僅其水質佳更須能穩定供應方能應付製程所需，半導體製程由4吋、6吋、8吋進而到現今的12吋相對超純水之用量亦隨之增加。在台灣水資源不足之情況之下，如何利用現有資源來供應工廠大量自來水及水資源回收再利用，對政府及產業界是一個很重要的管理研究課題。

以實驗室而言，超純水之製造流程如圖2-1-2來說明，而就一般製造超純水各單元設備功能<sup>[2]</sup>匯整如表2-1-2。前處理裝置由砂及活性碳組合而成濾除水中的懸浮微粒及吸附水中之有機物，此裝置在使用一段時間後，須進行水質檢測反洗再生維持原有之功能。逆滲透膜是將水中之微生物、有機物、微粒子以高壓方式將水經由薄膜加以濾除雜質。脫氣裝置乃利用真空原理將水中之空氣去除。離子交換塔是將水中之離子藉由陽離子之官能基之H與水中的Ca、Mg等離子進行交換，陰離子之官能基之OH與水中的Cl、SO<sub>4</sub>等離子進行交換，已達到將水純化之目的，若樹脂吸附飽和可以使用NaOH及HCL來進行樹脂還原重複使用。紫外線燈UV利用波長254nm，進行微生物之殺菌動作。紫外線燈TOC-UV所產生的紫外光線約90%波長為254nm，10%波長為185nm藉由此波長將水中有機物之分子鍵結構破壞，而成為小分子之物質。核子級離子樹脂吸附是將純水經前段處理之後，為確保超純水水質要求，進行最後一階段之離子吸附過程。限外濾膜是為超純水進入潔淨室使用點之前最後一個處理單元設備將水中所有之大顆粒之粒子均將以濾除，維持水質進行高科技之奈米技術元件研發。

表 2-1-2 自來水中不純物去除設備功能一覽表

項目 單元設備	懸濁物	微生物	有機物	微粒子	離子	氣體
前處理過濾裝置	◎	○	○	○		
逆滲透膜		◎	◎	◎	◎	
脫氣裝置						◎
離子交換塔			○	○	◎	
紫外線燈 UV		◎				
紫外線燈 TOC-UV			◎			
核子級離子樹脂		○	○	◎		
限外濾膜		◎	○	◎		

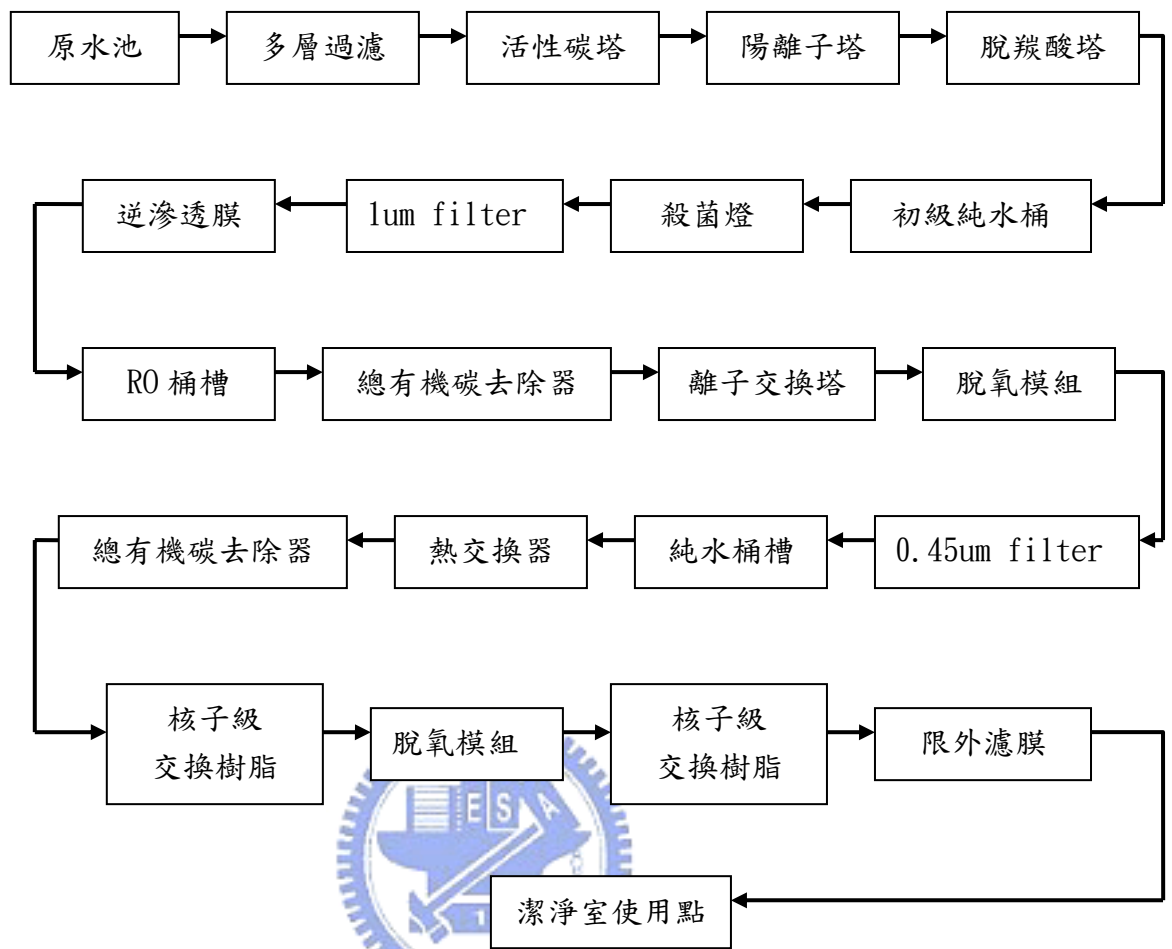


圖 2-1-2 NDL 超純水製造流程圖

表 2-1-3 半導體 DRAM 要求水質規格

成份		DRAM 密集度					
		1M	4M	16M	64M	256M	1G
水阻質	MΩ-cm	≥18	≥18.1	≥18.1	≥18.2	≥18.2	≥18.2
微粒子粒徑	um	0.1	0.08	0.05	0.05	0.05	0.03
微粒子數目	Pcs/ml	≤10	≤10	≤10	≤5	≤1	≤3
細菌	CFU/L	≤10	≤5	≤1	≤1	≤1	≤0.5
總有機碳	ppb	≤30	≤10	≤2	≤1	≤1	≤0.5
總矽量	ppb	≤10	≤5	≤0.5	≤1	≤0.1	≤0.05
溶解氧	ppb	≤50	≤20	≤10	≤5	≤2	≤1
鈉離子	ppb	≤0.5	≤0.1	≤0.05	≤0.02	≤0.01	≤0.01
鉀離子	ppb	≤0.5	≤0.1	≤0.05	≤0.02	≤0.01	≤0.01
氯離子	ppb	≤0.5	≤0.1	≤0.05	≤0.02	≤0.01	≤0.01



表 2-1-4 新竹縣市 94-95 年自來水質平均統計表

項次	檢驗項目	飲用水水質標準	單位	新竹第一淨水場	新竹第二淨水場	寶山淨水場
1	水溫	---	°c	21.7	21.4	22.8
2	濁度	2	NTU	1.1	1.0	0.40
3	色度	5	鉑鈷單位	<5	<5	<5
4	總鹼度	---	mg/L	94.9	86.8	100
5	pH 值	6.0-8.5	---	7.5	7.5	7.5
6	氯鹽	250	mg/L	11.4	16.4	3.9
7	硫酸鹽	250	mg/L	55.1	52.0	77.3
8	氟鹽	0.8	mg/L	0.16	0.17	0.15
9	氨氮	0.1	mg/L	0.01	0.03	ND
10	亞硝酸鹽氮	0.1	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01
11	硝酸鹽氮	10	mg/L	1.11	0.91	0.29
12	總溶解固體量	500	mg/L	226.8	227.8	225.7
13	總硬度	300	mg/L	150	158.3	159.1
14	鐵	0.3	mg/L	0.05	0.06	0.04
15	錳	0.05	mg/L	ND	0.01	ND
16	大腸桿菌群	6	CFU/100mL	<1	<1	<1
17	總菌落數	100	CFU/mL	2	1	3
18	總三鹵甲烷	0.1	mg/L	0.00363	0.00539	0.0112
19	鉛	0.05	mg/L	0.0027	0.0039	0.0018
20	硒	0.01	mg/L	0.0010	0.0007	0.0038
21	砷	0.01	mg/L	ND	ND	ND
22	汞	0.002	mg/L	ND	ND	0.0001
23	鋅	5.0	mg/L	ND	ND	ND
24	銀	0.05	mg/L	ND	ND	ND
25	銅	1.0	mg/L	ND	ND	ND
26	鉻	0.05	mg/L	ND	ND	ND
27	鎳	0.1	mg/L	ND	0.0021	ND
28	鎘	0.005	mg/L	ND	ND	ND
29	鉍	2.0	mg/L	0.0220	0.0214	0.0205
30	銻	0.01	mg/L	ND	ND	ND
31	水質合格否(Y/N)	---	---	Y	Y	Y

時間：94/01/01-95/11/30

### 2.1.3 廢水處理流程

就實驗室來說，其廢水處理種類大致可分成製程廢水、廠務廢水、生活廢水等三大部份，不論是何者廢水排放均須處理以符合科學工業園區污水處理廠之納管標準<sup>[7]</sup>如表 2-1-5，方可排入園區下水道進入污水處理廠進行最終端處理，再排放至溪流中。半導製程產生廢水為蝕刻廢水、爐管清洗廢水、化學機械研磨廢液及銅製程廢液等，廠務廢水則包括活性碳反洗、逆滲透濃縮水、離子交換廢水、前處理反洗水、單元設備泵之冷卻水、限外濾膜濃縮水、管路清洗水、空調冷卻水及廢氣處理器用水等，生活廢水如：廁所、廚房等。如表 2-1-6<sup>[8]</sup>所示。

表 2-1-5 廢水園區納管及處理排放標準

Unit :  $\mu\text{g/L}$

項目	pH 值	氟離子	COD	BOD5	SS
科學園區納管標準	5-10	<15	<500	<300	<300
科學園區污水處理廠處理後排放標準	6-9	<15	<23.2	<14.9	<18.9
國家放流水標準	6-9	<15	<100	<30	<30

表 2-1-6 一般半導體廢水處理及成分表

廢水來源	廢水種類	主要水質成分	處理方式
製程廢水	氫氟酸廢水	HF	混凝處理
	酸性廢水	HCL、HNO <sub>3</sub> 、H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、	酸鹼中和
	鹼性廢水	NH <sub>4</sub> OH	酸鹼中和
	CMP 廢水	研磨細粉粒	混凝、回收利用
	銅製程廢水	Cu	吸附、回收利用
	有機廢液	光阻液、丙酮、顯影劑、異丙醇 (IPA)	委外處理
廠務廢水	前處理設備	砂、一般水	回收利用
	離子再生廢液	NaOH、HCL	回收利用
	逆滲透濃縮液	濃縮液	回收利用
	限外濾膜濃縮	濃縮液	回收利用
	空調冷凝水	一般水	回收利用
	冷卻水塔	濃縮液	回收利用
	廢氣處理循環水	酸鹼廢水	酸鹼中和
	機台冷卻水	一般水	回收利用
生活廢水	廁所、廚房	一般水	沉澱處理排放

實驗室製程廢水處理種類大致可分成酸鹼廢水、廠務廢水、氫氟酸廢水、銅製程、研磨廢水等，就其製程廢水種類依其特性進行處理，系統處理流程如圖 2-1-3 所示。

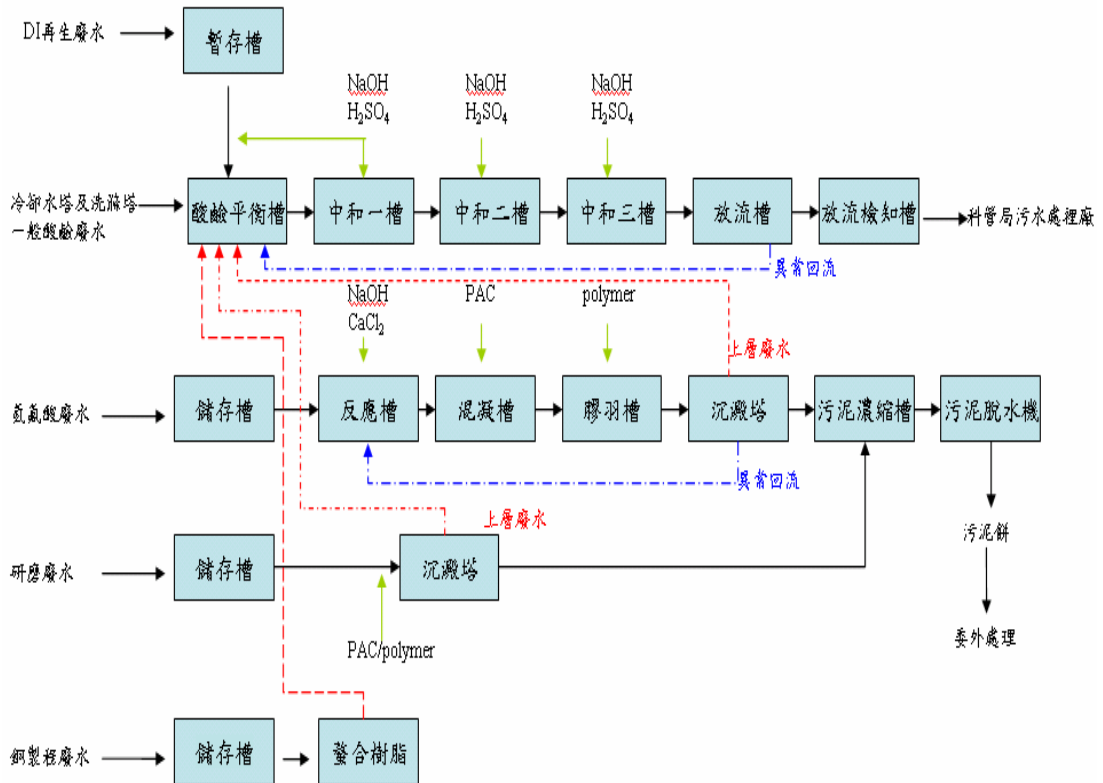


圖 2-1-3 NDL 廢水處理流程圖

#### 2.1.4 回收現況

水資源回收再利用，就廣義而言可以分為水回收處理再利用 (recovery)、直接利用、綜合利用三種。水回收處理再利用是將廢水經過其他設備將廢水初步處理後進行另一種用途。直接利用好比逆滲透膜之濃縮水或是設備泵之冷卻水不需處理，直接進入原水池回收再使用。綜合使用例如超純水製造過程中，離子交換樹脂在使用過一段時間後，當陰陽樹脂吸附離子飽和後須以化學藥品 (NaOH、HCl) 進行再生，重複使用排出之酸鹼廢水讓其自動中和調整 pH 值，再利用來中合一般酸鹼廢水，不僅可節省化學藥品同時亦達到水資源回收再利用之目的。

依各項水質回收標準需求，可以獲得回收技術將去除廢水中應去除之雜質種類，回收設備與技術應用範圍均不同，舉例來說溶解性固體物可用化學沉澱、活性炭吸附、超濾、臭氧氧化來達到目的；離子性污染物可以用陰陽離子樹脂交換、電析、薄膜處理等。現今國內外之水回收應用技術相當廣泛，如何應用在各行各業經整理<sup>[34]</sup>如表 2-1-7，如需處理特殊廢水處理及回收，可以將各項回收處理單元組合應用，將有意想不到的結果出現。

表 2-1-7 各行業與回收處理技術之關連性

產業別	廢水種類	回收處理技術								用途
		加藥混凝	過濾	超濾	活性炭	生物轉盤	逆滲透	離子交換	電析	
造紙業	製程白水	×	◎	○	○	◎	×	○	○	調漿稀釋
棉紡織業	清洗廢水	◎	◎	○	◎	◎	×	○	○	清洗
製糖業	綜合廢水	◎	◎	○	○	◎	×	×	×	清洗
印刷電路板	清洗廢水	○	×	◎	○	○	◎	○	○	清洗金屬回收
尼龍紡織	綜合廢水	◎	◎	◎	◎	◎	×	○	○	清洗
聚脂纖維	清洗廢水	◎	◎	○	○	○	×	×	×	清洗
聚氣乙烯	製程廢水	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	製程
染整業	製程廢水	◎	◎	○	○	◎	◎	×	○	染色製程
紙漿製造	製程白水	◎	◎	○	○	◎	×	○	○	製程
軋鋼業	去垢及冷卻水	○	◎	×	○	×	×	×	×	冷卻
冷凍食品	冷凍廢水	◎	◎	◎	○	○	×	◎	◎	製程清洗
積體電路	製程廢水	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	清洗、冷卻
鋼材加工	冷卻廢水	○	◎	×	×	×	×	×	×	冷卻

註：×代表不適用，○代表可適用，◎代表非常適用

## 2.2. 水資源回收之技術與成本

### 2.2.1 回收技術

針對半導體產業製程而言，其廢水主要來自超純水製造、空調冷卻水塔、製程酸鹼廢水、氟離子廢水、CMP 研磨廢水、銅製程廢液等。其回收處理再利用通常可以為 pH 調節、化學混凝沉澱、離子交換樹脂、逆滲透、活性炭等設施來進行，由於科學園區內高科技產業以半導體廠居多且用水量龐大，所以廠商在進駐申請時多會要求製程回收率、全廠回收率及全廠排放率，來節省自來水資源的運用，在奈米科技研究發展的催化下，也一同共同為台灣盡一份心力。就以新竹科學工業園區來說，針對水資源回收再利用其製程回收率、全廠回收率及全廠排放率定義<sup>[25]</sup>如表 2-2-1。

表 2-2-1 新竹工業科學園區回收率定義

指標類別	計算公式	符號說明
製程回收率	$= \frac{R}{P} * 100\%$	A: 冷凝水及雨水回收量 C: 自來水用水量 D: 總排放廢水量
全廠回收率	$= \frac{A+R+S+K}{C+A+R+S+K-V} * 100\%$	K: 總回收利用水量 P: 製程機台用水量 R: 製程用水回收量
全廠排收率	$= \frac{D}{A+C} * 100\%$	S: 洗滌塔循環水量 V: 冷卻水塔蒸發水量

經過科管局長期回收政策宣導與執行的努力，並依照實務經驗所得之參考值，科管局與園區同業公會水電委員會討論，新竹工業科學園區內所有進駐廠商，按各廠商之建廠時程有所不同，協助其達成下列標準<sup>[29]</sup>如表 2-2-2。

表 2-2-2 新竹工業科學園區回收率區分

項 目	製程回收率	全廠回收率	全廠排放率
83 年以前	>50%	>30%	<80%
83 年-88 年	>70%	>50%	<80%
88 年以後	>85%	>60%	<70%

廢水回收再利用技術，不論是在工業、農業、商業甚至是日常生活中皆可以進行，其目的就是將水與其他物質分離，其原理可分為物理、化學、生物處理三類。水再生利用就程序可分為預處理、初級處理、二級處理、三級處理或是高級處理，但由於回收水再利用之種類繁多，在考量許多因素之下，可以充分利用初級處理、活性污泥法、生物旋轉盤、硝化處理、脫氮處理、化學混凝處理、過濾沉澱處理、離子交換法、活性碳法、逆滲透及臭氧、生物處理等，同時亦可因其排放水質之特殊性將其處理方式組合運用如圖 2-1-4，其方式變化無窮是在設計回收系統時應考量重點，表 2-2-3 為各單元水回收處理應用與污染物去除分析<sup>[26]</sup>。

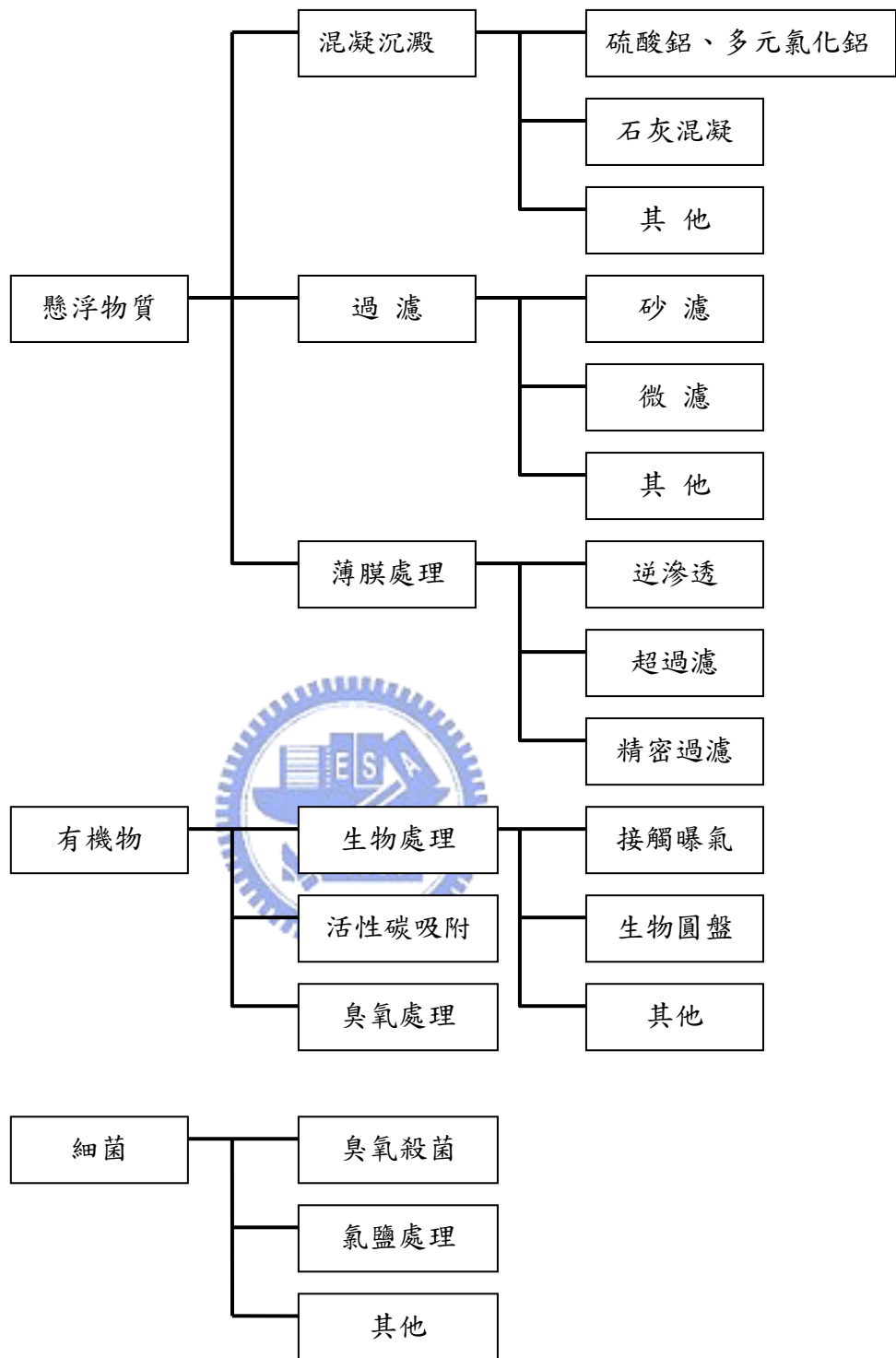


圖 2-1-4 工業廢水水質分析處理方式

表 2-2-3 各單元水回收處理應用與污染物去除分析

項目	初級處理	活性污泥	硝化處理	滴濾池	生物轉盤	混凝沉澱	過濾	活性碳	離子交換	逆滲透	沖洗	臭氧處理
BOD	▲	★	★	★	★	★	▲	★	▲	★	★	●
COD	▲	★	★	★		★	▲	▲	▲	★	★	★
SS	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	
NH <sub>3</sub> -N	●	★	★		★	●	▲	▲	★	★	★	
NO <sub>3</sub> N							▲	●				
磷	●	▲	★			★	★	★		★	★	
鹼度		▲				▲	★					
油脂	★	★	★			▲		▲			★	
大腸菌		★	★	●		★		★			★	★
總溶解固體										★		
砷	▲	▲	▲			▲	★	●				
鋇		▲	●			▲	●					
鎘	▲	★	★	●	★	★	▲	●				
鉻	▲	★	★	●	★	★	▲	▲				
銅	▲	★	★	★	★	★	●	▲				
氟						▲	●					
鐵	▲	★	★	▲	★	★	★	★				
鉛	★	★	★	▲	★	★	●	▲				
錳	●	▲	▲	●	★	▲	★	▲		★		
汞	●	●	●	●	★	●	▲	●				
硒	●	●	●			●	★	●				
銀	★	★		▲	★							
鋅	▲	▲	★	★	★	★		★				
色度	●	▲	▲	●		★	▲	★		★	★	★
發泡劑	▲	★	★	★		▲		★		★	★	●
濁度	▲	★	★	▲		★	★	★		★	★	
TOC	▲	★	★	▲		★	▲	★	●	★	★	★

去除率：●≤25%、25%<▲<50%、★≥50%



## 2.2.2 回收成本

針對半導體產業製程而言，自來水需求極大，大部份皆取自於水庫及部份採用地下水，目前依「科學工業園區污水處理及污水下水道管理辦法」第三條規定，園區事業單位應將所產生之廢污水先行處理符合園區污水下水道納管標準後，才能排入園區污水下水道，再進至園區污水處理廠處理，其納管標準為pH值、BOD、COD、SS、氟離子濃度等。如何進行水資源回收首要考量就是經費需求，在經費需求許可情況下同時回收年限亦短，維護運轉成本低廉，投資廠商意願才會高，其回收成本分析可以分為購水成本、污水處理費、設備成本等，就各項分述如下。

### 2.2.2.1 購水成本

#### 2.2.2.1.1 台灣省自來水公司

由於台灣四面環海及受到地形地物影響，造成水資源之短缺，如何將工業用水來源除了自來水、地下水、地面水、其他水源外能增加回收再利用來彌補水資源短缺現象，取決於購水成本，而自來水費又區分為水費、清潔處理費及附徵水源保育保護及回饋費。以現今台灣省自來水公司水費標準<sup>[27]</sup>如表 2-2-4、表 2-2-5 及表 2-2-6，因採用地表水或是地下水取水免費，僅需前處理費用即可使用，台灣整個產業用水成本有偏低之現象，若無缺水危機或是獎勵政策，廠商投資廢水回收利用之計劃與執行意願應不是很高。

表 2-2-4 台灣省自來水公司水價及水費速算表

段別		第一段	第二段	第三段	第四段
每度單價		7.00	9.00	11.00	11.50
每月抄表	實用度數 (立方公尺)	1~10 度	11~30 度	31~50 度	51 度以上
	累進差額(元)	0	-20	-80	-105
隔月抄表	實用度數 (立方公尺)	1~20 度	21~60 度	61~100 度	101 度以上
	累進差額(元)	0	-40	-160	-210

表 2-2-5 台灣省自來水公司各口徑基本費

水表口徑(公厘)		13	20	25	40	50	75	100	150	200	250	300
每月抄表	基本費 (元)	17	34	63	187	340	918	1819	5049	10030	17714	27795
隔月抄表	基本費 (元)	34	68	126	374	680	1836	3638	10098	20060	35428	55590

用水費、營業稅、清除處理費計算方式：

- (1) 基本費＝依上表各口徑基本費標準計收。
- (2) 用水費＝(每度單價 ×實用水量－累進差額)
- (3) 營業稅＝(基本費＋用水費)×5% (角以下四捨五入)，如屬非營業用戶，該稅額分別併入各項費用欄內，依法不另列示。
- (4) 清除處理費＝依照環保單位核定各採掩埋或焚化處理方式之每度單價 ×實用水量(角以下四捨五入)代徵。

表 2-2-6 環保單位核定代徵清潔處理費每度之單價

一、台灣省：	垃圾採焚化方式處理地區（實際用水量每度 3.7 元）。 垃圾採掩埋方式處理地區（實際用水量每度 2.9 元）。
二、台北縣：	板橋市、樹林市、鶯歌鎮、三峽鎮、新莊市、中和市（部分供水區）、土城市、五股鄉、新店市（屬北水處供水區）、永和市（屬北水處供水區），坪林鄉、石碇鄉、八里鄉、林口鄉、淡水鎮、三重市（部分供水區）、蘆洲市、汐止市、泰山鄉、瑞芳鎮、三芝鄉、石門鄉、萬里鄉、深坑鄉、平溪鄉、雙溪鄉、金山鄉、貢寮鄉、烏來鄉等計 29 個鄉鎮市（內含二個市，沒代徵）每度 3.7 元。
三、台中市：	每度 3.5 元。
四、嘉義市：	每度 3.7 元。
五、台南市：	每度 3.7 元。
六、高雄市：	每度 4.1 元。
七、新竹市：	每度 3.7 元。
八、新竹縣：	每度 4.0 元。
九、苗栗縣：	每度 2.9 元。
十、台中縣：	每度 3.7 元。
十一、雲林縣：	每度 2.9 元。
十二、台東縣：	每度 2.9 元。
十三、澎湖縣：	每度 2.9 元。
十四、高雄縣：	鳳山市、岡山鎮、美濃鎮、林園鄉、大寮鄉、大樹鄉、仁武鄉、大社鄉、鳥松鄉、燕巢鄉、彌陀鄉、梓官鄉、六龜鄉、阿蓮鄉、路竹鄉、甲仙鄉、永安鄉、旗山鎮計十八個鄉鎮市，每度 3.7 元。
十五、彰化縣：	彰化市、和美鎮、溪湖鎮、田中鎮、秀水鄉、花壇鄉、大村鄉、埔鹽鄉、埔心鄉、永靖鄉、社頭鄉、二水鄉、田尾鄉、埤頭鄉、大城鄉、竹塘鄉、北斗鎮、溪州鄉、員林鎮、鹿港鎮、芬園鄉（未徵收）二林鎮計廿二個鄉鎮市，每度 3.7 元。
十六、台南縣：	西港鄉、關廟鄉、下營鄉、七股鄉、永康市、東山鄉、佳里鎮、安定鄉、新市鄉等九個鄉鎮市 3.7 元。將軍鄉、歸仁鄉、山上鄉等三鄉每度 2.9 元。
十七、基隆市：	為回饋天外天垃圾掩埋場外圍十二個里，自來水用戶減徵百分之四十，每度

	2.9 元 × (100% - 40%) 等於每度 1.74 元。
十八、嘉義縣：	太保市、朴子市、布袋鎮、大林鎮、民雄鄉、溪口鄉、新港鄉、六腳鄉、東石鄉、義竹鄉、鹿草鄉、水上鄉、中埔鄉、竹崎鄉、梅山鄉、番路鄉、大埔鄉、阿里山鄉等十八鄉鎮市每度 3.7 元。 (水上鄉之南鄉村掩埋每度 2.9 元)
十九、屏東縣：	屏東市、東港鎮、枋山鄉、車城鄉、新園鄉、恆春鎮、高樹鄉等七鄉鎮市每度 3.7 元。
二十、桃園縣：	中壢市、平鎮市、八德市、大溪鎮、楊梅鎮、龍潭鄉、大園鄉、新屋鄉、觀音鄉、蘆竹鄉、龜山鄉、桃園市計十二鄉鎮市每度 3.7 元。復興鄉調回 2.9 元。
二十一、花蓮縣：	吉安鄉為回饋垃圾場附近居民，部分免徵、部分減半每度為 1.45 元。
二十二、南投縣：	草屯鎮、水里鄉、國性鄉、信義鄉、仁愛鄉、埔里鎮、鹿谷鄉等七鄉鎮每

#### (5) 附徵水源保育保護及回饋費

- I、為維護水源涵養與保育，政府劃設水質水量保護區，惟保護區內居民卻因全體國民用水之公益，土地利用受到限制，故為落實「受益者付費、受限者得償」原則，中央乃制定法律徵收水源保育與回饋費。
- II、本公司隨水費附徵水源保育與回饋費依據：依自來水法第十二條之二規定，承中央主管機關（經濟部）委託，自 95 年 1 月起附徵「水源保育與回饋費」，本公司將於用戶 95 年 3 月份起之水費單上列出該附徵項目及金額，併隨水費收費。
- III、附徵對象及附徵百分比：除本公司供水範圍之少數區域用戶因使用水源均非取自水質水量保護區而依「水源保育與回饋費收費辦法」第二條第四項規定不納入附徵外，其餘用戶均需附徵。95 年度附徵百分比（%）：依「水源保育與回饋費收費辦法」第四條及第五條規定計得之附徵百分比 = 5% 計算式如下：公用事業平均費用（元/m<sup>3</sup>）= 93 年度附徵對象之總售水金額 17,675,350,148 元 / 總售水量 1,849,677,061m<sup>3</sup> = 9.56 元 附徵百分比 = 0.5 / 9.56 元 \* 100% = 5.23% ≈ 5%，每戶附徵水源保育與回饋費 = 用水費 × 附徵百分比（%）。
- IV、水質水量保護區內非營利之家用自來水水費優惠：位於水質水量保護區內之非營利家用自來水用戶，依自來水法第十二條之二第五項規定，其水費減半收取（部份保護區因附徵之水源保育與回饋費不敷減半，則調降其減收比例），而減收費額由附徵之水源保育與回饋費支應。
- V、水源保育與回饋費：本公司隨水費附徵之水源保育與回饋費，每月收費後，依「水源保育與回饋費收費辦法」第六條第二項規定期限繳交中央主管機關（經濟部水利署），納入其水資源相關基金管

理運用，專供水質水量保護區內辦理水資源保育與環境生態保育基礎設施、居民公共福利回饋及受限土地補償之用為維護水源涵養與保育，政府劃設水質水量保護區，惟保護區內居民卻因全體國民用水之公益，土地利用受到限制，故為落實「受益者付費、受限者得償」原則，中央乃制定法律徵收水源保育與回饋費。

#### 2.2.2.1.2 台北市自來水事業處<sup>[40]</sup>

由於台北市地形是受一典型之盆地影響，造成水資源之短缺，又受到地域之區分其收費標準與台灣省自來水公司不同，以現今台北市自來水事業處水費標準如表 2-2-7 及表 2-2-8。

表 2-2-7 台北市用水量級別及累進計費價格表(每戶每月)

用水量級別	基本費	使用水量及累進單價				
水量及水價		一	二	三	四	五
用水量(立方公尺)	照下表計算	1~20	21~60	61~200	201~1,000	1,001 以上
每立方公尺單價 (元)		5.00	5.20	5.70	6.50	7.60
累進差額(元)		—	4.00	34.00	194.00	1,294.00

表 2-2-8 台北市基本水費表 (每戶每月)

水表口徑 (mm,公釐)	13	20	25	40	50	75	100	150	200	250	300 以上
基本費(元/月)	17	68	126	374	680	1,836	3,638	10,098	20,060	35,428	55,590

政府基於使用者或污染者付費原則，為有效清除、處理廢棄物，改善環境衛生，依廢棄物清理法規定，應向指定清除地區內居民徵收費用。本處依據「一般廢棄物清除處理費徵收辦法」第 11 條規定，接受臺北縣政府委託，代徵清除處理費，並依同法第 3 條規定向自來水供水區內用戶代徵清除處理費，依其實際用水度數計算之。代徵費用係由行政院環保署視實際清除、處理成本變動情形公告調整之。※ 清除處理費=實際用水度數\*3.7 元。自 89 年 7 月 1 日起，為配合臺北市政府環境保護局推動垃圾費隨袋徵收政策，原來隨自來水費附徵之垃圾費同時停徵，如表 2-2-9。

表 2-2-9 台北市清除處理費費率表

代徵地區	臺北市	新店、永和、中和	三重、汐止
代徵費用 (元/度)	89年7月1日起垃圾費隨袋徵收，詳說明(3)	3.7	3.7
備註		88年7月份起	90年12月份起

水源保育與回饋費=用水費(不含營業稅)\*附徵百分比%(水源保育與回饋費自 95 年 1 月 1 日起實施，95 年附徵百分比為 10%)。

本處係依「臺北市污水下水道使用費徵收自治條例」接受臺北市政府工務局衛生下水道工程處委託，接用本市污水下水道系統之用戶由本處代徵下水道使用費，代徵下水道費自民國 72 年元月起施行，如表 2-2-10。下水道費=總用水度數(實際用水度數+分攤總表差額)\*代徵費用。

表 2-2-10 下水道費率表

代徵地區	一般用戶	事業用戶
代徵費用	一律每度 5 元	
備註	89 年 11 月起	

本處接管集合社區及配合市辦山坡地重劃區之自來水用戶應繳自來水加壓設備管理維護費，一段加壓每度 3.5 元，每增一段加收 3 元，94 年 1 月 1 日起施行，如表 2-2-11。

表 2-2-11 分段加壓維護管理費收費標準

	一段加壓	二段加壓	三段加壓	四段加壓
臺北縣 臺北市	3.5 元	6.5 元	9.5 元	12.5 元

## 2.2.2.2 污水處理費

2.2.2.2.1 環保署 82 年發布「事業廢水污染源管理制度之建立-廢(污)水排放收費辦法」依排放總污染當量計算<sup>[28]</sup>如表 2-2-12。事業與污水下水道方面，中央機關依水污染防治法第 11 條第二項規定其排放水質及水量，對排放入污水下水道之事業單位或住戶，徵收水污染防治費用。一般來說污水處理費對有合於排放於污水下水道之廠商而言，其污水處理費約為自來水費之 30%。

表 2-2-12 水污染防治費之污染物項目、污染當量換算值

污染物項目	污染當量換算值		適用對象	
化學需氧量	五〇公斤	一污染當量	<p>一、事業：印染整理業、製革業、紙漿製造業、醱酵業、礦油煉製業、石油化學業、造紙業、毛條業、化工業、藥品製造業、農藥業、食品製造業、金屬基本工業、屠宰業、船舶建造修配業、橡膠製品製造業、製粉業、紡織業、製糖業、修車廠、其他工業、廢水代處理業、畜牧業、肉品市場、魚市場、水肥處理廠(場)、廢棄物掩埋場、廢棄物焚化廠或其他廢棄物處理廠(場)、照相沖洗業、製版業、洗染業、船舶解體業、清艙業、水產養殖業、學校、學術、研究機構之實驗(研究室)或其他實驗(研究室)、醫院、醫事機構、動物園、環境檢驗測定機構、餐飲業、觀光旅館(飯店)、遊樂園(區)、貨櫃集散站經營業、其他經中央主管機關指定之事業。</p> <p>二、污水下水道系統：專用下水道、公共下水道及社區下水道。</p> <p>三、家戶。</p>	
懸浮固體	一公噸	一污染當量	<p>事業：發電廠、水泥業、採礦業、陶窯業、土石加工業、土石採取業、玻璃業、自來水廠、洗車場、貯煤場、其他經中央主管機關指定之事業。</p>	
總汞	二〇公克	一污染當量	<p>事業：金屬表面處理業、電鍍業、印刷電路版製造業、其他經中央主管機關指定之事業。</p>	
鎘	一〇〇公克	一污染當量		
總鉻	五〇〇公克	一污染當量		
鉛	一公斤	一污染當量		
鎳	一公斤	一污染當量		
銅	一公斤	一污染當量		
砷	五〇〇公克	一污染當量		
氰化物	一〇〇公克	一污染當量		
總磷	三公斤	一污染當量		<p>適用對象由中央主管機關會商目的事業主管機關定之。</p>
總氮	二五公斤	一污染當量		
有機鹵化物	二公斤	一污染當量		
酚類	一〇〇公克	一污染當量		



事業及污水下水道系統應繳水污染防治費之費額，依下列公式計算之：

$$\text{費額} = \text{總污染當量} \times \text{費率}$$

$$\text{總污染當量} = \sum (\text{污染當量})_i$$

$i$  = 徵收水污染防治費之污染物項目

$$\text{污染當量} = \text{排放水質} \times \text{排放量} \times \text{污染當量換算值}$$

2.2.2.2 新竹科學工業園區污水下水道使用費收費項目、單價、計量、水質分級、分級費率及計算公式<sup>[5]</sup>如表 2-2-13

表 2-2-13 新竹科學工業園區污水下水道收費標準

中華民國92年10月30日新竹市政府府工水字第0920087115號令訂定發布

新竹科學工業園區污水下水道使用費收費項目、單價、計量、水質分級、分級費率及計算公式表					
條	文	內	容	說	明
第一條	依據科學工業園區污水處理及污水下水道使用辦法第十四條規定訂定本	計算公式。		明述計算公式	訂定依據
第二條	無製程廢水廠商及機關之污水下水道使用費收費項目為水量，其污水下	水道使用費收費計算公式如下： 污水下水道使用費=Q ×U <sub>0</sub> Q為污水量，U <sub>0</sub> 為污水量收費單價=12.9元/m <sup>3</sup> 。 本局為園區下水道機構，處理區內廢污水，免收使用費，園區宿舍區住宅因徵收成本不符效益，免收使用費。		明定無製程廢水廠商及機關之污水下水道使用費收費計算公式	
第三條	具製程廢水廠商之污水下水道使用費收費項目為水量、化學需氧量、懸浮固體及有害性污染物質(依本局當次採樣分析檢測項目)，其污水	下水道使用費收費計算公式如下： 污水下水道使用費=Q×(C <sub>0</sub> +C <sub>c</sub> +C <sub>s</sub> )+(Q <sub>II</sub> × C <sub>II</sub> ) Q為總污水量，C <sub>0</sub> 為污水量收費單價=6.0元/m <sup>3</sup> ，C <sub>c</sub> 為化學需氧量收費級距單價，C <sub>s</sub> 為懸浮固體收費級距單價，C <sub>II</sub> 為有害性污染物質或異常水質(COD或SS)收費級距(異常水質第4,5級)單價。Q <sub>II</sub> 為管理局通知廠商異常日起至廠商報請管理局複驗日止之有害性或異常水質(COD或SS)之污水量，如經管理局複驗檢驗水質不合格，由管理局再通知廠商改善、廠商再次改善後報請複驗，Q <sub>II</sub> 異常污水量則累計至複驗改善完成當次之廠商報請管理局複驗日止。流量以當季日平均用水量為計算單位。		明定具製程廢水廠商之污水下水道使用費收費計算公式。 九十二年版依照公會意見，將異常水量另計，不再將異常水量以季算。	



<p>第四條 前二條廠商及機關之污水量(Q)依下列方式計算：</p> <p>一、使用自來水水源者，其污水量依自來水用水量百分之八十計算。</p> <p>二、使用非自來水水源者，其污水量依實際用水量計算。</p> <p>三、同時使用自來水水源及非自來水水源者，其污水量以第一款及第二款污水量合併計算。</p> <p>前項第一款自來水用水量由科學工業園區管理局每月十至十五日派員至台灣省自來水公司抄錄各廠商及機關之用水量。</p>					<p>明定廠商及機關之污水量計算方式。</p>
<p>第五條 化學需氧量收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式如下：</p>					<p>明定化學需氧量收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式。</p> <p>C5原依九十一年分級費率2.5，經試算合理收費，擬比照八十九年收費標準改為2.0。</p>
級距	水質分級(mg/L)	分級費率	單價(元)	收費單價(C <sub>c</sub> ) 計算公式	
C1	0 < COD ≤ 150	0.86	21.9	C <sub>c</sub> = 21.9元 × COD / 1000 × 0.86	
C2	150 < COD ≤ 250	0.93	21.9	C <sub>c</sub> = 21.9元 × COD / 1000 × 0.93	
C3	250 < COD ≤ 500	1.00	21.9	C <sub>c</sub> = 21.9元 × COD / 1000 × 1.00	
C4	500 < COD ≤ 750	1.6	21.9	C <sub>c</sub> = 21.9元 × COD / 1000 × 1.60	
C5	750 < COD	2.0	21.9	C <sub>c</sub> = 21.9元 × COD / 1000 × 2.0	
<p>前項化學需氧量之濃度以該季水質之化學需氧量算術平均數為準。</p>					
<p>第六條 懸浮固體收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式如下：</p>					<p>明定懸浮固體收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式</p> <p>S5參考公會建議已將4倍之分級費率刪除，原S5值為2.5，經試算，分級費率調整為2.0，以反應合理收費。</p>
級距	水質分級(mg/L)	分級費率	單價(元)	收費單價(C <sub>s</sub> ) 計算公式	
S1	0 < SS ≤ 100	0.80	24.7	C <sub>s</sub> = 24.7元 × SS / 1000 × 0.80	
S2	100 < SS ≤ 150	0.93	24.7	C <sub>s</sub> = 24.7元 × SS / 1000 × 0.93	
S3	150 < SS ≤ 300	1.00	24.7	C <sub>s</sub> = 24.7元 × SS / 1000 × 1.00	
S4	300 < SS ≤ 450	1.6	24.7	C <sub>s</sub> = 24.7元 × SS / 1000 × 1.60	
S5	450 < SS	2.0	24.7	C <sub>s</sub> = 24.7元 × SS / 1000 × 2.0	
<p>前項懸浮固體之濃度以該季水質之懸浮固體算術平均數為準。</p>					
<p>第七條 有害性污染物質收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式如下：</p>					<p>明定有害性污染物質收費級距、水質分級、分級費率及收費單價計算公式</p>
級距	水質分級	分級費率	收費單價(C <sub>H</sub> ) 計算公式		
H1	(P <sub>d</sub> /P <sub>sd</sub> ) ≤ 1	0	C <sub>H</sub> = 0		
H2	1 < (P <sub>d</sub> /P <sub>sd</sub> ) ≤ 2	1.60	C <sub>H</sub> = U <sub>H</sub> × (10P <sub>d</sub> / P <sub>sd</sub> ) / 1000 × 1.60		
H3	2 < (P <sub>d</sub> /P <sub>sd</sub> )	2.50	C <sub>H</sub> = U <sub>H</sub> × (10P <sub>d</sub> / P <sub>sd</sub> ) / 1000 × 2.5		

<p><math>P_i</math>為排放水水質濃度(mg/L)，以每次採樣分析抽驗水質單獨計算，<math>P_{sd}</math>為進廠容許限值(mg/L)，<math>U_h</math>為有害性污染物收費單價。各種有害性污染物收費單價每公斤1,000元，收費項目如下：陰離子界面活性劑、油脂、酚類、銀、砷、鎘、六價鉻、銅、總汞、鎳、鉛、硒、鋅、總鉻、氟化物、氰化物。</p>	<p>1. 依公會建議刪除4倍之分級費率並將公式無因次化，以合理反應有害物水質分級，並經試算收費，決定比照九十一年收費費率修訂。 2. 本次依公會建議，單價調整統一為1,000元，新增有害性污染物收費項目：酚類、總汞、硒、總鉻。</p>
<p>第八條 第五條至第七條之化學需氧量、懸浮固體及有害性污染物質之水質由科學工業園區管理局派員每月不定期檢驗水質測定。</p>	<p>明定化學需氧量、懸浮固體及有害性污染物質之水質檢測方式。</p>



<p>第九條 廠商或機關之廢（污）水處理設施、生產設備或貯存設施發生故障時，於故障發生二十四小時內，每單項異常以參萬元加計於污水費中，超過二十四小時以後，則依第三條水質異常計費方式計價，如有造成損害，並負責修護設備所需費用。</p> <p>前項所指故障應符合下列規定：</p> <p>（一）因不可抗力原因發生意外事故，或因廢（污）水處理設施（或設備）一部份或全部失去功能，致不符合容許標準者。但廢（污）水處理設施因操作失當、未執行預防性維修操作或曾經發現並經限期完成改正之設計不當所引起者，不在此限。</p> <p>（二）立即於故障紀錄簿中記錄故障設施（或設備）名稱及故障時間，並向科學工業園區管理局污水處理廠電傳報備，電傳報備應有報備人姓名、職稱。</p> <p>（三）於故障發生二十四小時內恢復正常操作或於恢復正常操作前減少、停止生產及服務作業。</p> <p>（四）於五日內向科學工業園區管理局提出書面報告。</p> <p>（五）故障與所違反之該項排放水質有直接關係者。</p> <p>（六）不屬六個月內相同之故障。</p> <p>前項第四款書面報告內容應包括下列事項：</p> <p>（一）設施（設備）名稱及故障時間。</p> <p>（二）發生原因及修復方法。</p> <p>（三）故障期間所採取之污染防治措施。</p> <p>（四）防止未來同類故障再發生之方法。</p> <p>（五）前項第一款及第二款有關之證據資料。</p>	<p>明定廠商污水意外事故排放之污水下水道使用費收費處理方式。</p>
<p>第十條 本計算公式自發布日起施行。</p>	<p>明定計算公式之施行日期。</p>

### 2.2.2.3 設備成本費

設備成本大致來說，包含了設備主體、運轉電費、水費、化學藥品、更換耗材及維護成本、人力資源等，首先要考量回收水量與再利用之用途，進而決定水質種類標準，再決定投資使用設備之種類來配合現場置放。在現今大多數是以薄膜來進行分離回收水資源，不論國內外均有許許多多成功的案例，但綜合而言其單價大於自來水費，對任何電子、石化、農業、造紙、染整等產業仍構成不了設置回收誘因，所以如何有相關配套措施（獎勵方案、環保標準）是一個重要指標。

一般來說去除污染物 SS 或 pH 值之初設費及運轉成本較低；去除污染物 COD 初設費高其運轉成本尚可接受；去除導電度或是陰陽離子則須採用薄膜處理或是離子交換樹脂來進行，其初設成本與運轉費較前二者高。

台灣之產業類別太多，而新竹科學園區又是科技重點，園區內又以電子廠佔多數，因此設備成本分析大部份以電子公司進行說明<sup>[31][32]</sup>如表 2-2-14，由表可以發現電子廠大部份水資源回收再利用，其水源主要是超純水製造流程濃縮水、反洗水及製程成排放出來之廢水，也因此如何在半導體製程上進行調整或改善，亦是影響水資源回收之重要因素。

表 2-2-14 水資源回收成本、用途與投資設備分析表

公司行號	節水方法與用途	節水用量 m <sup>3</sup> /年	投資成本 萬元	節省金額 萬元/年	備註
M 電子公司 1997 年建 廠至今	1. 純水設置回收單元 2. 多層介質反洗水經沉澱回收純水用 3. 逆滲透濃縮水增設離子交換數之處理 4. 高低濃度有機廢水增設活性碳過濾，供純水及回收系統用 5. 低濃度 HF 廢水經處理，供給冷卻水塔及廢氣處理器 6. CMP 研磨廢液供 CaCl <sub>2</sub> 配藥用水 7. CDO 洗滌水改成循環式 8. CMP 及濕蝕刻機台製程修改參數減少廢水排放 9. 冷卻水塔提高濃縮倍數節省排放量 10. 外氣空調冷凝水收集至回收系統 11. 雨水回收至筏基回收系統再利用	186000 584000 182500 912500 292000 110000 30000 88000 14400 91000 20000	11260	4646	
T 電子公司 2000 年至 今	1. 混床再生後用清洗水回收至前段過濾水槽 2. 逆滲透及超過濃縮水回收供次級用水 3. 製程機台晶片清洗水回收 4. 潔淨室空調用水排放回收冷卻水塔用 5. 機台洗滌水回收再導入機台重複使用 6. 爐管 HF 清洗水篩選在合併處理使用 7. Cu&CMP 經處理上澄液回收供次級使用	25374 638750 1606000 36500 438000 36500 182500	5600	4210	
M 電子公司 2000 年至 今	1. 在不影響水質下，延長超純水砂濾、活性炭塔、樹脂塔等運轉時間，減少再生反洗次數 2. 修改製程參數增加回收水 3. 水龍頭出水方式修改 4. Cu&CMP 經處理上澄液回收供次級使用 5. 活性炭反洗水回收至冷卻水塔 6. Local Scrubber 洗滌水回收重覆使用	23916 5004 1095 36500 6480 146000	425	518	
F 塑膠公司	1. 乾燥機自動清洗頭改善及工業廢水回收	39000	11082	9244	

2004 年	2. 放流水取代工業廢水，作為終沈池作業	80000			
	3. 製程蒸汽管冷凝水回收	31764			
	4. 冷卻水塔濃縮倍數提高	360000			
F 汽車公司	1. 防止管路洩漏造成水資源浪費	224000	1132	311	
	2. 汙泥脫水機清洗水改善	8976			
	3. 延長製程用水使用時間	3920			
	4. 提高水質減少用量	148056			
	5. 空壓冷卻水回收廁所用	576			

由上統計表發現廢水水資源回收與投資設備，以科學園區電子公司來說其廢水回收再利用所投資設備成本，以其大量生產晶圓所產生之廢水，設備回收年限扣除電費、耗材及人員維護平均仍約需 1-2 年方可回收，在現今有規定之園區來說可能必須投資執行，而非設在園區廠商對此政府並無強制要求，因此更須加強宣導推廣與執行。





### 三、理論依據

#### 3.1 逆滲透膜

##### 3.1.1 逆滲透膜之發展由來<sup>[14]</sup>

1959年 Reid 及 Breton<sup>[15]</sup> 首先證明藉薄而密實之對稱醋酸纖維半透膜，可以從鹽水中將純水分離出來。1960年 Loeb 及 Sourirajan 發展出非對稱醋酸纖維半透膜 (Asymmetric Cellulose Membrane)。這種薄膜是經由特殊之浸置溶液浸置成型，在薄膜表面形成一特別之表層 (Skin Layer)，為緻密微孔結構 (Dense Microporous Structure)，厚度約  $10^{-6}$  in，孔徑小於 50Å；支持層 (Supply Layer) 因其材質多為海綿多孔結構 (Spongy Porous Structure)，孔徑約在 4000 Å 左右，在操作過程中會因壓實作用 (Compaction) 而使得清水透過率 (Permeate Flux) 減少。此種膜因具有良好的除鹽效率 (Salt Rejection) 及較高之清水透過率，故大量被應用在海水淡化之用途上。

1960年代初期 Westmoreland 和 Bray 發展出螺旋捲式模組 (Spiral Wound Modules)，提高了薄膜之填充密度。1967年 Merten<sup>[16]</sup> 等在醋酸纖維及硝酸纖維 (CA/CN) 支持層外覆上 (Casting) 三醋酸纖維 (Cellulose Triacetate)，而形成 CTA 複合膜 (Cellulose Triacetate Composite Membrane)，可以減少因壓實作用而導致清水透過率降低之現象，然而膜之化學穩定性甚差，亦受 pH 值及溫度之影響。

1971年 Dow 和 DuPont 公司分別以三醋酸纖維 (Cellulose Triacetate) 和芳香烴聚醯胺 (Aromatic Polyamides) 為材質，發展出中空纖維模組 (Hollow Fiber Modules)。此後，逆滲透方法被大量利用於濃縮、純化及廢水處理，為了處理性能不同之水溶液，已達到更高之去除率、清水透過率及抗化性，開始使用合成聚合物如聚醯胺 (Polyamides)、聚磺 (Polysulfone)、聚亞胺 (Polyimide) 等，製造非對稱薄膜 (Asymmetric Membrane)，並且針對非分離機制之膜層與支持層兩部份，分別利用不同的材質研究出多種形式之薄膜複合層 (Thin Film Composite Membrane) 簡稱 TFC 膜<sup>[17]</sup>。

1977年 Cadotte 利用混合三甲磺醯氯 (Trimesoyl Chloride, TMC) 及間苯二胺 (Meta-phenyl-diamine, MPD) 兩種單體，開發出歸類為聚醯胺膜之 344 複合膜，目前以商業化應用之高去除率螺旋捲式 RO 膜，幾乎以此膜為設計基準，但與傳統薄膜比較仍有氣容忍度低及產生不可逆積垢之兩大缺失。

1992年 Trisep 公司向 Dupont 購買一種屬於聚醯胺尿素 (Polyamide-urea) 膜之 X-20 複合膜專利，並經由該公司持續不斷的研究改良後，在 1995年 X-20 複合膜已成為一種商業化產品，此膜不僅具備不易積垢、較高之除鹽率及流通量之優點，並且對於溶解性物質、SiO<sub>2</sub> 及某些低分子量有機物質之去除率更是顯著<sup>[18]</sup>。

理想逆滲透膜之必備條件<sup>[19]</sup>：

(1) 極佳化學抗力 (Chemical Resistance)，應用於高 pH 值之進流水及

- 當利用化學藥劑去除表面積垢物 (Foulants) 時，對膜沒有影響。
- (2) 應用於高溫時沒有衰化現象 (Deterioration) 並能抵抗微生物分解。
  - (3) 於低溫及低進流水之進流條件下，能有較高之流通量及去除率。
  - (4) 不會與氧化劑作用而使薄膜呈現衰化現象及膜表面不平而造成積垢 (Fouling)。

### 3.1.2 逆滲透膜原理<sup>[9]</sup>

逆滲透 (Reverse Osmosis) 係利用半透膜 (Semi-permeable Membrane) 來依水之濃度將之分離。當低濃度與高濃度之溶液以半透膜隔開，由於其溶液濃度不同導致低濃度溶液流向高濃度溶液，此現象稱為滲透，如圖 3-1-1-a。當滲透發生一段時間後，自然達到平衡並停止滲透，此時低濃度與高濃度之壓力差  $\Delta P$  即稱為滲透壓，如圖 3-1-1-b。反之，如在高濃度溶液施一大於  $\Delta P$  壓力，改使高濃度溶液流向低濃度溶液，藉此特性可將高濃度水過濾成低濃度之水，此時壓力為逆滲透壓，如圖 3-1-1-c。

一般逆滲透膜使用依材質大致可區分成醋酸纖維膜 (Asymmetric Cellulose Acetate Membrane) 與聚醯胺膜 (Polyamides Membrane) 二類。通常逆滲透膜容易受到溫度、操作壓力、流入濃度、pH 值之影響，由於膜之材料相異導致其特性亦不相同，如何將其組合運用在純水製造、廢水回收或是其他用途上，是一個須審慎判斷之因素，二類逆滲透膜比較整理如表 3-1-1，其剖面圖<sup>[8]</sup>如圖 3-1-2。

表 3-1-1 逆滲透膜依材質性能之比較表

項目	pH 值	操作壓力	微生物	濃度	透過率
醋酸纖維膜 CA	2-8	大	弱	高	小
聚醯胺膜 PA	4-11	小	強	低	大

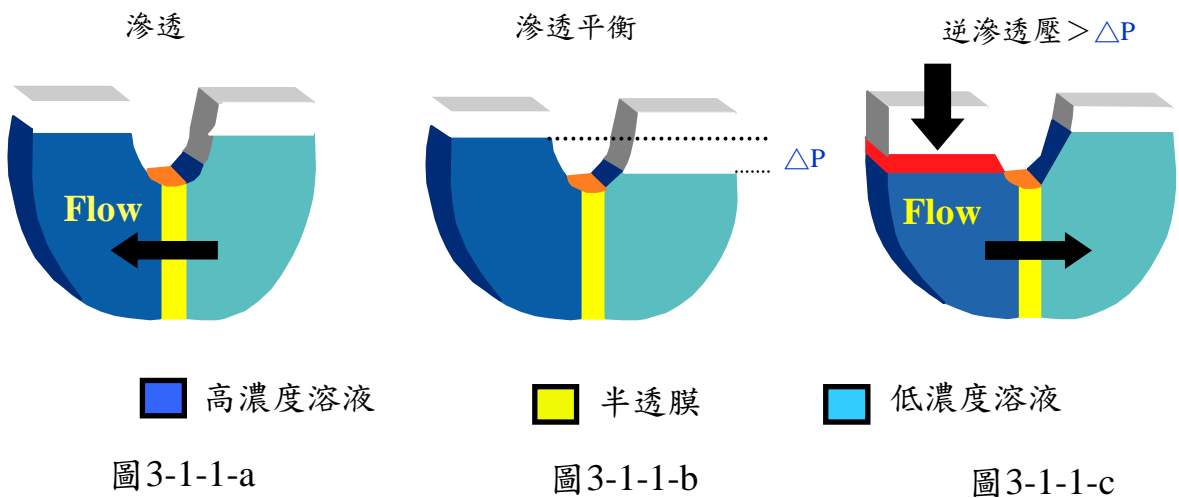


圖 3-1-1 逆滲透膜滲透原理示意圖



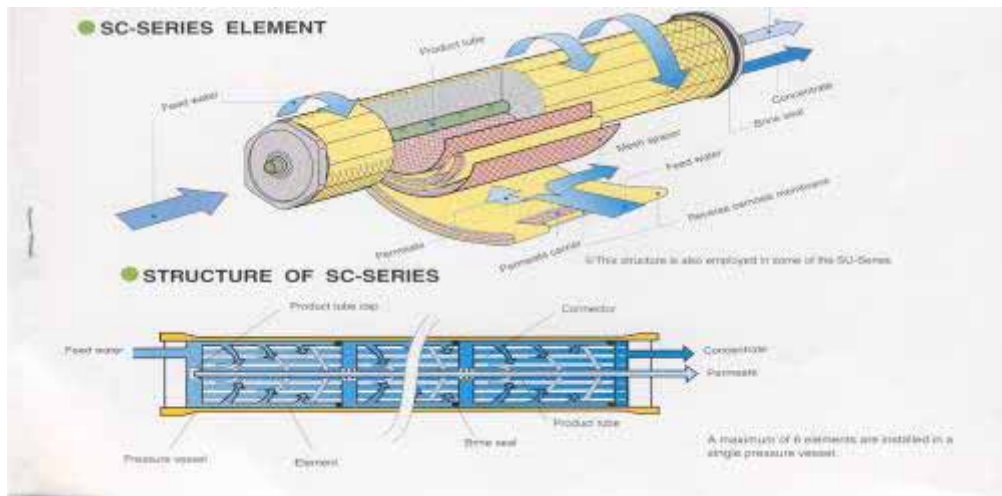


圖 3-1-2 逆滲透膜剖面示意圖

### 3.1.3 逆滲透膜種類

逆滲透膜已經廣泛應用於超純水製造及廢水回收再利用之用途上，其目的主要是為了分離水中之不純物質，然而薄膜又以粒徑大小可以區分為逆滲透 (Reverse Osmosis RO)、微過濾 (Microfiltration, MF)、超過濾 (Ultrafiltration UF)、奈米級過濾 (Nanofiltration, NF) 等，不論是何者對超細微顆粒的去除、回收均能展現其特殊表現，將其整理成下表 3-1-2。

表 3-1-2 薄膜對物質分離範圍比較表

項目	粒徑大小 $\mu\text{m}$	分子量 Daltons	物質類別
傳統過濾	> 1.0	> 500000	細菌、砂礫、泥沙、藻類、囊包、石棉纖維
微過濾	0.1-10	100000-500000	腐質酸、石棉纖維、黏土
超過濾	0.01-0.1	20000-100000	病毒、腐質酸
奈米級過濾	0.001-0.01	100-2000	溶解鹽類、金屬離子
逆滲透	0.001-0.01	100-2000	溶解鹽類、金屬離子

### 3.1.4 逆滲透膜沈澱積垢現象<sup>[36]</sup>

逆滲透膜表面沈澱積垢原因，是溶質或添加化學物質造成沈積於逆滲透膜表面，形成一層膠狀體，此膠狀體如形成嚴重甚至無法以添加化學藥品來清除。一但形成將造成逆滲透膜之採水效率下降、操作壓力上升、水質變差、其壽命減短，也就因此在運轉成本更需投資更多經費以解決此項問題，現就沈澱積垢現象原因與防止對策說明如下：

#### 3.1.4.1 懸浮固體之沈澱積垢

經由逆滲透膜處理之水質，因其處理粒徑較小，而較大顆粒之溶液是

造成懸浮固體之沈澱積垢最大原因，只需在逆滲透膜前面加上 1-10  $\mu\text{m}$  濾芯，即可防止此情況發生。

#### 3.1.4.2 逆滲透膜表面結垢

此積垢是由  $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{NaSO}_4$  及  $\text{SiO}_2$  等造成，為防止表面結垢造成，可採以下方式來避免：降低逆滲透膜之採水率，避免離子過度溶解而產生膜面；將鈣等離子軟化；加入酸調整 pH 質，將  $\text{CO}_3^{2-}$  去除；亦可水中加入適量防垢劑來防止結垢發生。

#### 3.1.4.3 金屬氧化物沈澱

因各種金屬氧化物沈澱效果不佳而造成沈澱現象，可以利用混凝、過濾來防止此種情形，加入 PAC 及 Polymer 或調整 pH 值來去除，若是調整 pH 值應特別注意，其酸鹼濃度需在逆滲透膜之操作範圍，避免破壞其逆滲透膜特性。

#### 3.1.4.4 油性物質之沈澱

一般來說逆滲透膜可能需高壓泵配合使用，往往高壓泵其軸承使用液態油類冷卻，應特別注意油類不可進入管中而覆著在逆滲透膜表面，此將嚴重影響薄膜效率，且不易清除。

#### 3.1.4.5 膠體積垢沈澱

由於膠體附著於薄膜表面上，或因膠體之電性與薄膜帶電性之差異，影響了薄膜之特性，一般來說膠體之濃度可以用沈積物指標或是濁度指標來表示 (Fouling Index)，防止對策可以使用混凝、過濾等方法。

#### 3.1.4.6 生物菌體沈澱

水中微生物細菌生長與溫度、pH、有機及無機養分、氧氣等有關，溫度高且在 pH 7-9，對微生物來說這是一個生長的最佳環境，但是微生物卻對部分逆滲透膜會有絕對性之特性影響。

### 3.2 離子交換樹脂

#### 3.2.1 離子交換樹脂發展由來<sup>[10]</sup>

英國人 Thompson 於西元 1850 年發現離子交換，一直到 1905 年此技術方應用於水質軟化，但僅適用於中性溶液。早期商業化離子交換物質是多孔砂，一般稱之為沸石 (zeolites)，但其晶體上缺乏正價原子，在毛細空隙中存有負電荷，可以吸收水中之陽離子，且沸石適用 pH 範圍狹窄，故皆使用於水質軟化的離子交換物質，但現今大容量之離子交換樹脂都被人工合成。

自 1935 年英國人<sup>[11]</sup> 發現由酚 (Pheno:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-OH}$ )，多酚 (Polyphenol)，丹寧 (Tannin) 與福馬林 (Formaline) 之縮合物可以吸收鹼；而苯胺 (Aliline:  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ )，甲基苯二胺 (Methaph-enylenediamine) 與福馬林 (Formaline) 之縮合物可以吸收酸，此時發現離子具有離子交換之特性，也就是合成離子交換樹脂的開始。1949 年發現強鹼性離子交換樹脂可得去離子水，1950 年發展陰陽樹脂混床可獲得電阻值  $18\text{M}\Omega\text{-cm}$  的超純水，1970 年各類金屬專用之高選擇性樹脂研製成功，1980 年觸媒性離子交換樹脂發明。至現今離子交換所用之樹脂

也因其用途甚廣涵蓋純水、廢水、食品、醫藥等方面，均能除去各類離子雜質至 ppt。

### 3.2.2 離子交換樹脂的種類區分

#### 3.2.2.1 陽離子交換樹脂

強酸性陽離子交換樹脂

弱酸性陽離子交換樹脂

#### 3.2.2.2 陰離子交換樹脂

強鹼性陰離子交換樹脂

弱鹼性陰離子交換樹脂

#### 3.2.2.3 多孔性樹脂

多孔性離子交換樹脂

高多孔性陰離子交換樹脂

#### 3.2.2.4 特殊樹脂

螯型樹脂

合成吸附劑

蛋白分離劑

以下就經常使用陽離子交換樹脂、陰離子交換樹脂之各項研究製表如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 離子交換樹脂之特性比較一覽表

種類 項目	強酸性陽離子交換樹脂	弱酸性陽離子交換樹脂	強鹼性陰離子交換樹脂	弱鹼性陰離子交換樹脂
材質	苯乙烯/二乙烯苯共聚物	苯烯酸/二乙烯苯或甲基丙烯酸共聚物	苯乙烯/二乙烯苯共聚物	苯乙烯/二乙烯苯共聚物
pH 值範圍	0-14	4-14	0-14	0-9
再生化學藥品		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、HCL		NaOH
交換離子	H <sup>+</sup> 及 Na <sup>+</sup> 型		OH <sup>-</sup> 及 Cl <sup>-</sup> 型	
離子化基	-SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-COOH <sup>+</sup>	第四級胺	第一、二、三級胺
親和力	H <sup>+</sup> 小	H <sup>+</sup> 大	OH <sup>-</sup> 小	OH <sup>-</sup> 大
用途	純水去離子、金屬離子分離回收、氨基酸分離等	抗生素藥物純化、酵素純化等	水質處理、氨基酸分離、鹼測定等	水質處理、糖液純化及脫色等

離子交換已經廣泛應用於純水、廢水來去除水中的陰、陽離子，一般離子交換樹脂大部分為合成的多孔性物質，成圓形顆粒狀，國內目前有樹脂製造工廠，下表 3-2-2 為世界上主要離子交換樹脂製造公司和商品<sup>[13]</sup>。

表 3-2-2 合成離子交換樹脂之主要製造廠商

國 家	製造公司	商品名
荷蘭	Akzo	Imac
法國	Bayer	Lewatit
匈牙利	Chemolifex	Varion
美國	Diamond Shamrock	Duolite
法國	Diaprosim	Duolite
美國	Dow	Dowex
美國	Ionac	Ionac
日本	Mitsubishi	Diaion
義大利	Monteatini	Kastel
捷克	Ostion	Ostion
英國	Permutit	Zeocarb、Deacidite
法國	Permutit A. G.	Orzelith、Permutit
義大利	Resindion	Relite
美國	Rohm & Haas	Amberlite
西德	Wolfen	Wofatit
羅馬尼亞	Purolite	Purolite

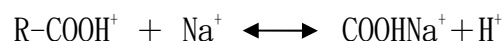
### 3.2.3 離子交換樹脂的原理<sup>[12]</sup>

離子交換是一種可逆反應，且依化學平衡定律，當含有混合物之容易通過樹脂時，此時溶液中之離子連續不斷與離子交換樹脂中之陰陽樹脂進行離子交換，溶液中之離子濃度會因而逐漸下降，反之離子交換樹脂上的離子數量會逐漸上升，而此種反應並不會影響樹脂本身的結構。如當離子交換樹脂達到飽和時，失去離子交換能力時可進行離子交換樹脂再生流程，以連續添加適量化學藥品（HCl、NaOH）讓其陰陽樹脂所吸附之離子與化學藥品再度交換，使樹脂回到原始狀態，離子交換樹脂便可以重複使用。離子交換樹脂反應式如下：

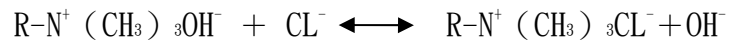
強酸型陽離子樹脂



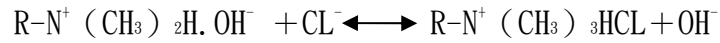
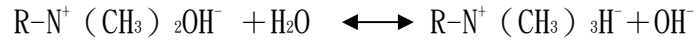
弱酸型陽離子樹脂



強鹼型陰離子樹脂



弱鹼型陰離子樹脂



### 3.2.4 離子交換樹脂的再生步驟

以NDL實驗室混床為例如圖3-2-1所示。若混床(mix-bed)陰陽離子吸附飽和時，需進行離子塔之再生，該塔在使用時陰陽離子狀態為混合，再生時首先需反洗將陰陽離子依樹脂之比重差異進行分離動作，陰離子在上層陽離子在下層，再通入酸鹼進行離子再生還原動作流程，其再生過程廢液由中間及水管排出樹脂塔，通入RO水清洗樹脂上之多餘化學藥品，接著進行陰陽離子攪拌並充分混合，再進行最後階段之測試水質至設定點，就完成離子交換樹脂之再生步驟。



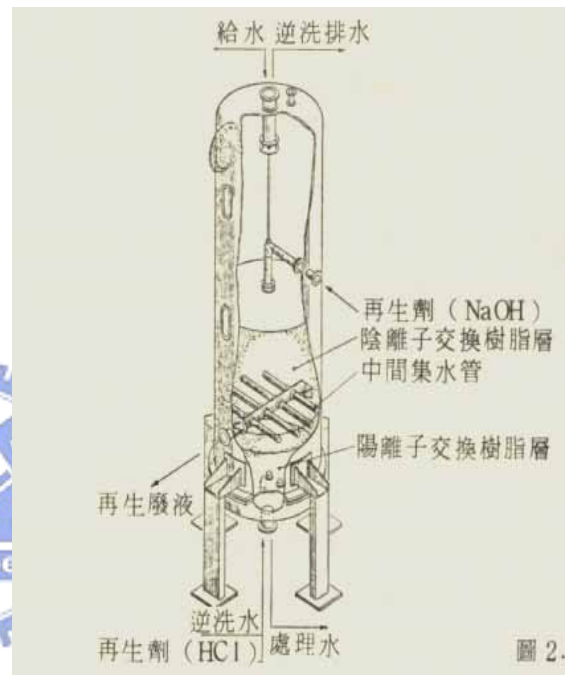
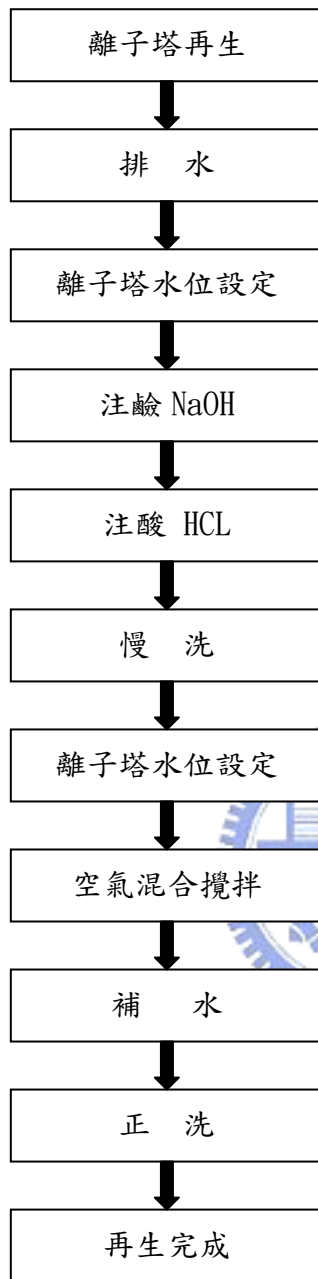


圖 3-2-1 離子交換樹脂塔結構圖及再生步驟示意圖



### 3.3 化學混凝

#### 3.3.1 化學混凝原理

在自來水淨化或廢水處理時，由於水中有膠體顆粒且體積甚小且因帶相同電荷，使得粒子間互相排斥而懸浮於水中無法自然重力沉澱，對後續水處理是一項負擔，此時如在水中添加混凝劑，破壞其顆粒之穩定化，並改變其表面電荷而互相接觸成大顆粒，再用沉澱或過濾等方式去除，已達到水質淨化目的。混凝之目的是要消除微小顆粒間彼此相排斥電位，而使其能互相接觸凝集成大顆粒，最後達到固液分離之目的，去除顆粒穩定性有以下四種機制<sup>[20]</sup>：電雙層之壓縮、吸附及電性中和、沉澱物清除作用、吸附及架橋作用。

#### 3.3.2 化學混凝用之化學藥品

通常添加來混凝之化學藥品為鐵鹽類、鋁鹽類或是高分子絮凝劑，較常使用之混凝劑，硫酸鋁(俗稱：明礬 Aluminum Sulfate)及多元氯化鋁 (Polyaluminumchloride PAC)，而水中若無充分之鹼度可以藉由添加石灰 Ca(OH)<sub>2</sub>，提高水中之 pH 值。將常使用之混凝化學藥品整理如表 3-3-1。

表 3-3-1 化學混凝常用化學藥品之特性表

	硫酸鋁	硫酸亞鐵	硫酸鐵、氯化鐵	多元氯化鋁
鹼度	OH <sup>-</sup> 或 CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	OH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
pH 值	4.5-8.0	>9.5	4-12	6-9
沉澱物	氫氧化物膠羽	氫氧化鐵	氫氧化鐵	

高分子絮凝劑常應用於自來水及廢水處理程序，助於將水中的懸浮固體物，進行沉澱或過濾之有效混凝劑。其<sup>[21]</sup>優點：1. 不會迅速降低水中之酸鹼值 2. 形成污泥量較少且改善污泥的脫水效率 3. 加速膠羽快速沉澱，使沉澱池之處理水量增加。缺點：混凝效果較鋁鹽好，但由於最佳用劑量範圍較窄，導致加藥量過多或不足皆使膠體穩定而不易去除。

聚電解質的分子量從數千到數千萬不定，但具有高分子量者，在極低劑量濃度下，即可產生有效之膠凝效果，因加入高分子而造成粒子凝聚的主要機制為<sup>[22]</sup>：1. 電荷與靜電補集中和作用：當膠體系統中，加入不同電荷之高分子絮凝劑時，因為電性中和作用，降低表面電荷亦減少分子間互斥力，使得粒子較易互相吸引接近。而當高分子鏈遠比粒子表面積小時，會吸附粒子表面並形成一錠片，不僅局部中和粒子表面電荷，並因高電荷密度將使粒子表面形成原電性相反的電荷區，當粒子互相撞擊，粒子間相反電荷之作用而產生凝聚作用。2. 架橋作用 (Bridging) 若當高分子鏈所形成之尾端或長列鏈長度大於兩各粒子間的排斥作用距離，則絮凝劑間或絮凝劑與粒子間可以相互作用，形成架橋，並結合兩個以上的粒子團成為更大的凝聚體。

### 3.4 活性碳

#### 3.4.1 活性碳之目的

活性碳已被廣泛使用於液體及廢氣處理上，由於其價格較低廉更換容易，在液體上除了淨化水質上更被應用於廢水回收再利用，在半導體中其活性碳主要目的是藉著吸附作用去除水中溶解性之有機物、水中異味及一些特定物質，對水質淨化、廢水處理是重要的一環。

#### 3.4.2 活性碳之用途及分類

活性碳 (Activated carbon) 是一種多孔性之固體，不論是氣體或液體均被應用在污染防治技術且相當廣泛。由於用途上之差異，活性碳的種類、性質及外觀亦不相同，未避免活性碳的消耗成為污染防治成本之重要負擔，如何選擇活性碳是一個重要課題。一般活性碳之特性為，高表面積、高孔隙體積及極佳的吸附能力，根據 IUPAC (國際理論與化學聯合會) 定義，依孔隙大小可分為三個等級如表 3-4-1。

表 3-4-1 活性碳孔隙結構分類表

孔隙結構分類	孔隙尺寸大小 ( $d_p$ )
大孔	$d_p > 500 \text{ \AA}$
中孔	$20 \text{ \AA} < d_p < 500 \text{ \AA}$
微孔	$d_p < 20 \text{ \AA}$

#### 3.4.3 活性碳之製造<sup>[23]</sup>

活性碳可由多種含碳物質製造完成，如：煤、木材、硬果殼、蔗渣、骨、椰殼等，其製造方法大致說明如下：

第一階段脫水：將原料加熱至  $170^\circ\text{C}$  烘乾，必要時加入  $\text{ZnCl}_2$  或  $\text{H}_3\text{PO}_4$  作為除水劑。

第二階段碳化：在無空氣供應之下，加熱至  $170^\circ\text{C}$  以上，使烘乾的原料分解，釋放出  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$  及醋酸，再加熱至  $270\text{--}280^\circ\text{C}$  進行放熱分解，加熱至  $400\text{--}600^\circ\text{C}$  將有機物分解，去除焦油、甲醇等雜質。

第三階段活化：碳化過程將去除大部份揮發物質，同時增加顆粒之表面積，形成內部多孔洞之產品，但仍有少數之殘餘物存在，因此須在  $\text{CO}_2$ 、空氣及水蒸氣存在條件下，加熱至  $750\text{--}950^\circ\text{C}$  高溫下，活化並去除殘餘物同時清除孔隙，形成孔隙或將原有孔隙變大，增加表面積提高吸附力。



### 3.4.4 活性碳之吸附<sup>[24]</sup>

活性碳吸附現象為活性碳表面對外來吸附物質分子間之親和力作用，依鍵結作用方式區分為物理吸附、化學吸附及離子吸附。

- (1) 物理吸附：吸附物質與吸附劑表面無電子交換或共用，組成方式不改變，主要作用力為凡得瓦力，在大部份情形下，London 擴散力是凡得瓦力之主要來源。依 London 理論，當原子或分子上的電子連續震盪時，將產生暫時性及迅速變動的偶極矩。當具有偶極矩之分子接近固體表面時，會導致固體表面分子電子分佈產生波動，而使固體表面分子產生暫時性偶極矩，造成吸附物質與吸附劑表面形成吸引力，即構成物理吸附 London 擴散力的主要作用。
- (2) 化學作用：由於吸附物質與固體表面之間因親和力產生分子軌域重疊作用，使吸附物質與吸附劑間產生了化學鍵結。彼此的話性與電性均會改變，且比物理吸附現象複雜。
- (3) 離子吸附：除了上述的 London 擴散力外，物理吸附之凡得瓦力包含靜電吸引力。此種作用力比 London 擴散力較具專一性，尤其在偶極矩分子與離子固體物之間更為顯著，有時亦將此類歸於物理吸附中。

### 3.4.5 活性碳再生流程

以 NDL 實驗室為例如圖 3-4-1 所示：

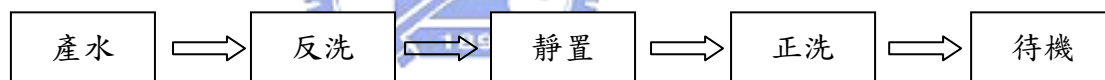


圖 3-4-1 活性碳再生步驟示意圖

### 3.5 TOC (Anatel 1000) 儀器原理<sup>[38]</sup>

#### 3.5.1 Total Organic Carbon (TOC) 之重要性

由於其影響到半導體製程之良率及電性及密度等，不論是超純水之製造完成進入潔淨室，或是廢水回收再利用之水質檢測均不能少此項目，從最早 1985 年 TOC 之 50-100ppb 降至 2006 年之 1ppb，未來可能到 ppt，由此可以得知 TOC 之重要性。

#### 3.5.2 去除 TOC 之方法

##### 3.5.2.1 真空脫氣塔 (Vacuum Degassification)

##### 3.5.2.2 脫氧模組利用 He 或 N<sub>2</sub>

#### 3.5.3 TOC 來源

##### 3.5.3.1 自來水本身供應

##### 3.5.3.2 經過各製造設備 (離子交換、逆滲透、儲存桶等) 所產生

##### 3.5.3.3 各加壓泵或管路洩漏所產生

### 3.5.4 TOC 原理

利用紫外線(U.V) 波長 185nm/254nm<sup>[41]</sup> 如圖 3-5-1 及 TiO<sub>2</sub> 照射水樣品, 並分解 H<sub>2</sub>O 為氫基 (H·) 及 OH· 基, 最重要一點它還使用 TiO<sub>2</sub> (氧化鈦) 為催化劑, 確保達到 100%完全氧化, 因單一 UV 是無法完全氧化。OH· 為一非常強的氧化劑, 水中之有機物會被氧化成 CO<sub>2</sub> 及 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 溶解於水中, 會結合成碳酸 (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 碳酸會很容易在分解成 H<sup>+</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 離子, 由於 H<sup>+</sup> 及 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 離子會導電, 因此導電度值會增加, 而這導電度的增加乃是由有機污染物被完全氧化成 CO<sub>2</sub> 所產生的, 且與有機污染物濃度成正比, 在換算成 ppb 值, 如圖 3-5-2 及圖 3-5-3 所示, 其內部分析結構如圖 3-5-4。

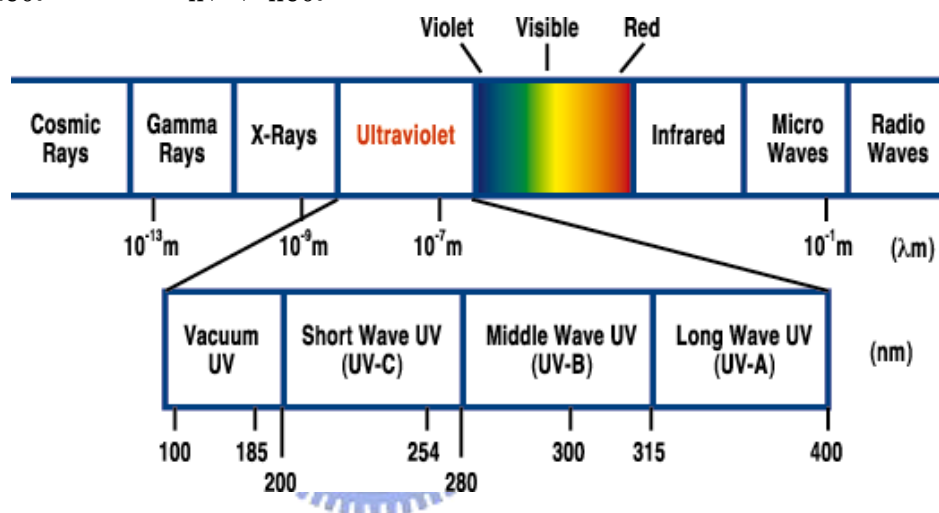
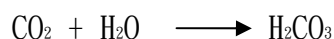
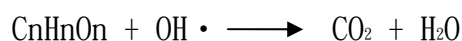


圖 3-5-1 電磁波波譜圖

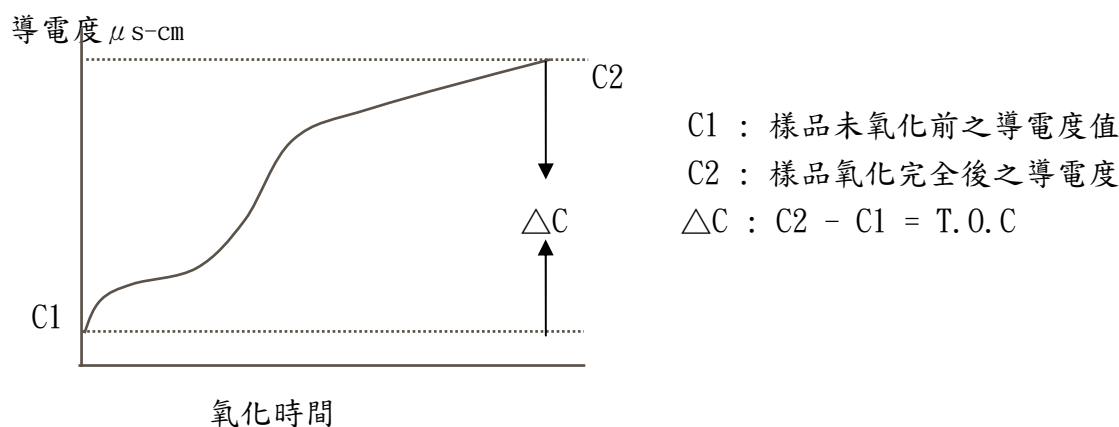
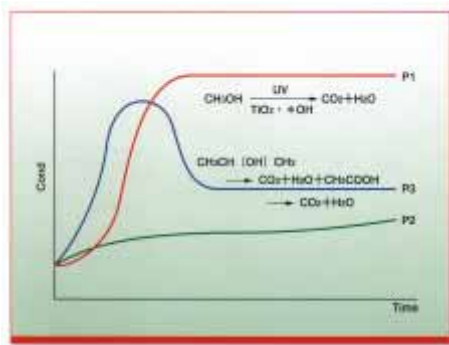


圖 3-5-2 氧化反應曲線圖



P3 Curve 1st and 2nd Derivative

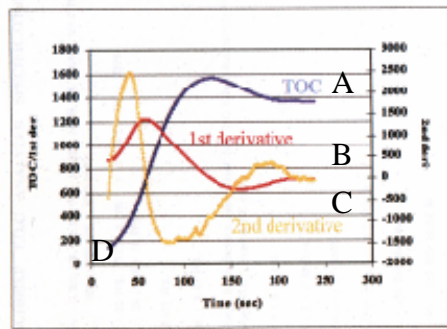


圖 3-5-3 總有機碳儀器原理曲線圖

TOC 分析儀的準確度及穩定度，TOC 濃度的高低與不同化學結構的 TOC，其被完全氧化的時間也不同，固定的分析氧化時間，非常容易造成氧化不完全，準確度差。Anatel A-1000XP 利用 Dynamic End-Point Detection 原理，確保完全氧化樣品中所有有機物(TOC)，並準確測出 TOC 濃度。請參看上圖並詳細說明如下；a. 藍色曲線：樣品中之有機物(TOC)在分析過程中，被氧化成  $\text{CO}_2$  且快速溶解於水中，造成導電度增加的曲線。b. 紅色曲線：為對藍色曲線做一次微分，尋找有機物(TOC)被氧化過程中，導電度變化率趨於穩定的點 B(即導電度不再變化)。c. 黃色曲線：為對藍色曲線做二次微分，於分析氧化過程中，除了由紅色曲線尋找導電度變化率之穩定點外，再由黃色曲線尋找出導電度值的變化加速率為零點 C(TOC 已經完全被氧化為  $\text{CO}_2$ )，且與紅色曲線上 B 點同時吻合(此點才真正是完全氧化的終點)。再相對應至藍色曲線上 A 點的導電度值，再減導電度背景值 D 點，計算出準確的 TOC 濃度。以上工作，完全由 Anatel A-1000XP 內部軟體程式執行並決定完全氧化終點。因此 Anatel A-1000XP TOC 分析儀能適用於水質檢測之分析，並準確的測試 TOC 濃度。

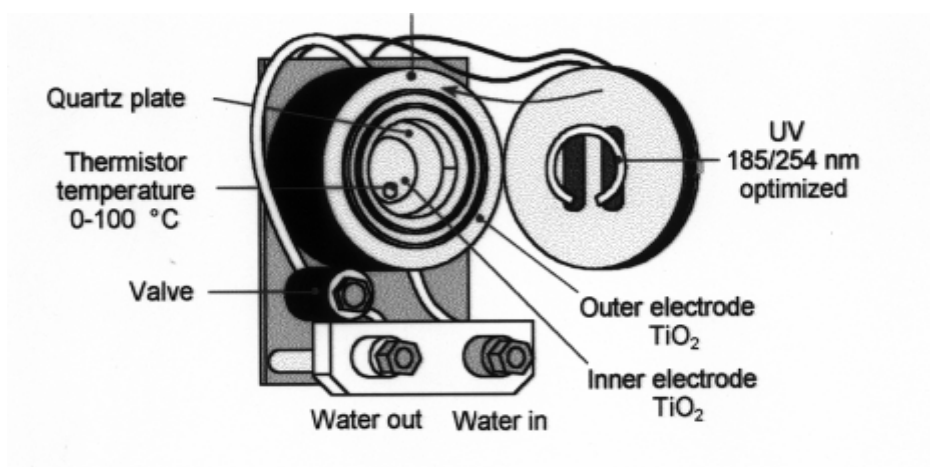


圖 3-5-4 總有機碳分析儀器結構圖

### 3.5.5 TOC 規格 (Anatel 1000)

3.5.5.1 Operating Range: 0.05 ppb ~ 1,999 ppb.

3.5.5.2 Repeatability:  $\pm 0.05$  ppb, at TOC < 5 ppb.  
 $\pm 1\%$ , at TOC > 5 ppb.

3.5.5.3 Sample Water Pressure: 0 ~ 100psig.

3.5.5.4 Analysis Time: 2 ~ 4 minutes (typical).

3.5.5.5 Readout Resolution: 0.01 ppb, TOC < 20 ppb.  
0.1 ppb, TOC < 200ppb.  
1 ppb, TOC > 200 ppb.

3.5.5.6 Resistivity: 0.04 ~ 18.2 M $\Omega$ -cm.

Conductivity: 0.05  $\mu$ S/cm ~ 25  $\mu$ S/cm.

Read Solution: 0.01 M $\Omega$ -cm, for 0 ~ 18.2 M $\Omega$ -cm.

0.01  $\mu$ S/cm, for 1 ~ 133  $\mu$ S/cm.

0.001  $\mu$ S/cm, for 0.05 ~ 1  $\mu$ S/cm.

Accuracy :  $\pm 1\%$ .

3.5.5.7 Temperature: 0 ~ 100  $^{\circ}$ C.

Accuracy :  $\pm 0.1$   $^{\circ}$ C.

### 3.6 製造流程改善措施

#### 3.6.1 離子交換樹脂再生用水

離子交換樹脂之應用是吸附溶解水中之金屬離子，製造出乾淨水質供製程使用，當樹脂吸附飽和時即將進行離子交換樹脂再生過程，而再生步驟各家雖有巧妙不同之設計，但終究是將離子交換樹脂還原成初始狀態繼續使用，由於離子交換樹脂有陰離子、陽離子與中性離子，相對再生須使用 NaOH、HCl 來還原陰陽離子樹脂，進而產生酸鹼廢水須進行處理，可做為水資源回收再利用之來源。如圖 3-6-1。

以 NDL 來說超純水製造設備 2B3T，當需再生時，所需之 NaOH(7.33m<sup>3</sup>/cycle)、HCl (5.5m<sup>3</sup>/cycle) 經過再生步驟注酸、注鹼、慢洗、快洗至再生完成後，總用水量約為 41m<sup>3</sup>/cycle 水質成分為酸鹼之廢水，總再生時間約為 110 分鐘。因實驗室之廢水處理廠設置於地下室，受限於地形及空間，由於 2B3T 瞬間排放酸鹼水量過大，是對實驗室造成了廢水來不及處理及浪費化學藥品的原因，所以利用現有之剩餘空間進行改善施作，另設桶槽將超純水製造設備 2B3T 再生廢液蒐集進行酸鹼混合再進行處理及利用，如此可以避免上述之缺失再次發生。







圖 3-6-1 離子交換樹脂再生用水改善成果

### 3.6.2 研磨廢液處理

化學機械研磨 (CMP) 其目的主要是為了晶圓之平坦化，能獲的最佳電性與線徑，而所產生之廢液其主要成分為  $\text{SiO}_2$  及  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，大致可以區分成研磨廢液及清洗廢液兩類，而此兩類廢液其主要成份大致相同，而其污染物成分有研磨液成份、研磨後晶圓顆粒、研磨墊材顆粒等。現今之處理方式有混凝沉澱、薄膜處理、注槽室空氣浮除法、混凝/電透析法等方法，均可以去除研磨廢液，因實驗室之特殊性非量產之單位，製程研究所產生之研磨廢液並不像科學園區半導體廠，排放廢水佔超純水 40%。

原設計將化學機械研磨廢液與潔淨室之氫氟酸一同處理，但由於其二者廢液之特殊性，將無法分開蒐集再混合共同處理，對二者均會產生反效果，無法達到去除氟離子與研磨廢液之結果，故重新進行製程改善方案。如圖 3-6-2。

研磨廢液與氫氟酸廢水不能同時處理原因說明如下：

- (1) HF 與  $\text{SiO}_2$  會形成液態鹽類 (離子態) 並溶解於水中，所以無法將  $\text{F}^-$  分離出來或是沉澱，如採用光譜分析儀器分析廢水水質，則溶解於水中之  $\text{SiF}_6^{2-}$  均會計算成氟離子濃度，影響廢水排放水質之真實性。同時二者將反應生成酸 ( $\text{H}^+$ )，使廢水成為酸性添加  $\text{NaOH}$  改善 pH 值效益不佳且不利 HF 之處理，其化學反應式如下：



- (2) HF 是以  $\text{CaCl}_2$  來進行化學反應，捕捉  $\text{F}^-$  形成  $\text{CaF}_2$  沉澱，再進行最終處理，且其 pH 值在 9.5 時進行去除氟離子，對  $\text{CaF}_2$  亦最容易沉澱下來，達到去除效果。 $\text{SiO}_2$  依經驗 pH 值在 7.5 時，添加混凝劑 (PAC) 及絮凝劑 (Polymer) 可使其形成膠羽而沉澱，但若加入  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  由於  $\text{SiO}_2$

為中性不帶電荷，此時石灰水將迅速凝結成顆粒。

(3) 若是 HF 與 SiO<sub>2</sub> 有足夠之反應熱時，化學式如下：



圖 3-6-2 研磨製程廢液處理改善成果

### 3.6.3 真空脫氣塔泵冷卻水

超純水製造過程中，為配合製程線徑愈來愈小相對超純水要求愈來愈嚴格，如何將超純水中溶解之空氣去除，以達最佳水質供製程研發所需，一般使用方法有真空脫氣塔及脫氧模組等，不論二者方法均須使用到真空泵進行其特性比較如表 3-6-1。以實驗室來說真空泵之冷卻方式為水冷式，可以將泵之冷卻水循環利用或是回收再利用，亦是水資源回收再利用之最佳實例之一。

表 3-6-1 真空脫氣塔與脫氧模組特性比較

項目	成本	效率	處理量	使用空間	氣體
真空脫氣塔	低	低	低	大	無
脫氧模組	高	高	高	小	有

## 3.7 水資源回收利用種類

水資源回收涵蓋非常廣泛，不論是半導體、光電業、石化業、畜牧業、染整業、造紙業等許許多多不同產業，在公司行號登記後皆需使用到許多自來水資源，在製造、日常生活等依產業之特殊性而產生不同性質的廢水，而如何回收水資源依廢水之性質及回收用途，進行規劃設計回收系統，而回收後之水資源再利用是依水質的物理、化學及生物性質而定，其種類大致可以分為三類，說明如下：

### 3.7.1 水資源回收再利用於工業用水



以半導體業來說，大部分製程回收用水仍用於工業用水上，使用最多的是冷卻水塔、中央廢氣處理系統、純水製造回收再利用等。因冷卻水塔其使用主要功能為散熱，而水中鈣、鎂易造成管路結垢、腐蝕等，故冷卻水塔水質已有其建議<sup>[33]</sup>如表 3-7-1。如是廢水回收至其他工業用途上使用則須符合各項水質需求標準，避免直接影響設備功能，進而導致產品不良如此就無達到水資源回收再利用之目的。

表 3-7-1 冷卻水塔水質建議表

單位：ppm

水質項目	建議標準	水質項目	建議標準
SiO <sub>2</sub>	<50	硬度	50-200
Fe	<0.5	鹼度	50-200
SO <sub>4</sub>	<200	pH	6.5-7.8
PO <sub>4</sub>	<1	COD	<20
DS	<500	細菌 (ml)	<100
SS	<3	Turbidity (NTU)	<10

### 3.7.2 水資源回收再利用於農業用水

農業灌溉用水對於農業經營及所生產之作物具有絕對性的影響，因其水質影響農作物之品質，進而影響人體健康問題，如是做為景觀用途，則必須考慮花草之適應性。回收再利用於農業用水，應儘量避免用於可食性或高經濟價值之農作物灌溉用水，若利用於其他農業上，但依據農田水利會灌溉排水要點第二十點之規定，須符合我國灌溉用水水質標準<sup>[30]</sup>如表 3-7-2。

表 3-7-2 灌溉用水水質一覽表

項 目	限 值	項 目	限 值
水溫	<35°C	汞	<0.002
pH 值	6.0-9.0	鉍	<0.01
電導度	<750	鎳	<0.2
懸浮固體物	<100	硒	<0.02
溶氧量	>3	鈳	<0.1
氯化物	<175	鋅	<2.0
硫酸鹽	<200	鈉吸著率	<6.0
總氮量	<3.0	殘餘碳酸鈉	<2.5
陰離子界面活性劑	<5.0	鋁	<5.0
油脂	<5.0	砷	<0.05
鈷	<0.05	鉍	<0.1
銅	<0.2	銻	<0.75
鉛	<0.1	鎘	<0.01
鋰	<2.5	鉻	<0.1

錳	<0.2	鐵	<5.0
附註： 1. 本標準適用於農田水利會事業區域內之灌溉用水。 2. 天然水之水質若超過本標準之限值，得不受本標準之限制。 3. 本標準單位除電導度為 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 25°C、鈉吸著率為 $\sqrt{\text{meq/L}}$ 、殘餘碳酸鈉為 $\text{meq/L}$ 外，其餘皆為 $\text{mg/L}$ 。			

### 3.7.3 水資源回收再利用於生活用水

在製程回收水資源進行再利用於日常生活用水，其最主要作為廁所沖洗用，須特別注意是以不影響人體健康為首要目標，而飲用水標準如表 2-1-4，同時在製程回收規劃時需留意管路設計及施工，避免回收管路與飲用水管路接錯或是混淆不清，特別注意管路顏色與標示區分。日常生活中若多用一份不必要的水，同時也產生一份不必要的污水，亦增加一份環境的污染，所以「節約用水」不僅減少不必要的用水同時節省費用，亦是做好環境保護工作，此觀念應廣泛推廣及落實。

### 3.8 放流水之水質

台灣是一個海島國家，水資源就較缺乏，如何利用水資源來從事各種行業研究開發製造生產，帶動國家經濟成長社會繁榮站穩「亞洲四小龍」的地位，從工業甚至到民生用用水都需妥善規劃，充分利用每一滴水資源。自來水資源經過工業、農業、商業、畜牧業、發電廠、染整業、化工業等使用過後成為廢水，此時可以回收再利用理應回收再利用，其次排放到污水處理廠進行終端處理，最後放流至河川匯流到浩瀚無際的大海中，因台灣四面環海漁業是不可或缺的行業，如不對放流水之水質做一規範，將影響大自然環境與生態健康，不但影響本國近海漁業進而影響人類之身體健康。

行政院環境保護署於 92 年修正放流水標準<sup>[39]</sup>如表 3-8-1，該表內容事業、污水下水道及建築物污水處理設施之廢污水共同適用，其目的就是檢測放流水水質，當廢水在離開事業單位時，需確保排放水質不能破壞大自然景觀及農漁業，由於各行業製造特殊性因此針對各產業之放流水亦有其特殊規定，特殊規定內容為生化需氧量、化學需氧量、懸浮固體物及大腸桿菌群等如表 3-8-2。

表 3-8-1 事業、污水下水道及建築物污水處理設施之放流水標準

項目	最大限值 ppm	項目	最大限值 ppm
水溫	一、放流水排放至非海洋之地面水體者：38°C 以下（適用於五月至九月），35°C 以下（適用於十月至翌年四月）	銀	0.5
		鎳	1
		硒	0.5
		砷	0.5
氫離子濃度	6-9	硼	1

氟化物	15	硫化物	1
硝酸鹽氮	50	甲醛	3
氨氮	10	多氯聯苯	不得檢出
正磷酸鹽	4	總有機磷劑	0.5
酚類	1	總氨基甲酸鹽	0.5
陰離子介面活性劑	10	除草劑	1
		安殺番	0.03
氰化物	1	安特零	0.0002
油脂（正己烷抽出物）	10	靈丹	0.004
		飛佈達及其衍生物	0.001
溶解性鐵	10	滴滴涕及其衍生物	0.001
溶解性錳	10	阿特靈、地特靈	0.003
鎘	0.03	五氯酚及其鹽類	0.005
鉛	1	毒殺芬	0.005
總絡	2	五氯硝苯	不得檢出
六價鉻	0.5	福爾培	不得檢出
有機汞	不得檢出	四氯丹	不得檢出
總汞	0.005	蓋普丹	不得檢出
銅	3	鋅	5

表 3-8-2 依各事業單位類別放流水之標準

項 目	生化需氧量	化學需氧量	懸浮固體	真色色度
印花、梭織布染整者	30	160	30	550
生皮製程成品皮者	30	160	30	550
濕藍皮製成成品者	30	200	30	550
紙漿製造業	—	150	50	550
發酵業	50	150	50	550
石油化學業	—	100	30	550
造紙業	30	100	30	160
毛滌業、化工業	30	100	30	550
藥品製造業	30	100	30	550
食品製造業	30	100	30	—
屠宰業	80	150	80	550
發電廠	30	100	30	—
橡膠製品製造業	30	100	30	—
水泥業	100	—	50	—
製粉業	50	100	80	—

紡織業	30	100	30	550
製糖業	30	100	30	—
印刷電路板製造業	50	120	50	—
廢水代處理業	30	100	30	550
畜牧業（草食性）	80	450	150	—
肉品市場	80	150	80	550
其他經中央主管機關公告之事業	30	100	30	550

### 3.9 自來水危機與開源節流

#### 3.9.1 自來水危機

由於台灣四面環海及受到地形之限制，水資源尤顯得特別重要，有東方矽島之稱的台灣在高科技奈米產業-半導體的溫床下，由晶圓 8 吋至 12 吋及毫米至奈米的進步中，不斷要求製程水質標準提升且用水量需求更大，如何能滿足產業界需求就是一大課題。以台灣來說水資源不外是地面水及地下水，而現今受到大自然環境之影響每年之降雨量愈來愈少如表 3-9-1，不僅政府甚至每個人應體會到自來水缺乏的危機即將到來，下表 3-9-2 為台灣主要水庫蓄水情形，水庫不僅因降雨量減少，更因受到大自然環境影響及人為造成淤沙愈來愈嚴重，有效蓄水量愈來愈少，如何維持水庫之有效蓄水量是另一個課題。

表 3-9-1 92-93 年水資源概況

單位：億立方公尺

項目	全島降雨量	年蒸發量	年逕流量	年滲透量
92 年	608.04	92	465.47	50.5
93 年	925.92	206.28	668.82	50.82

表 3-9-2 台灣主要水庫蓄水情形

單位：萬立方公尺

水庫名稱	有效容量		95 年 12 月 31 日	94 年 12 月 31 日	與去年同月底比較	
	計畫有效容量	目前有效容量	蓄水量	蓄水量	增減數	百分比 %
合計	233,169	197,629	149,892	168,314	-17,050	-10.13
石門	25,188	21,888	16,869	23,480	-6,611	-28.16
明德	1,650	1,325	1,030	1,186	-156	-13.15
德基	18,300	17,093	15,789	16,088	-299	-1.86
霧社	14,600	8,712	5,366	6,768	-1,402	-20.72
日月潭	15,112	8,450	6,192	6,888	-696	-10.10
烏山頭	15,416	8,085	5,575	6,591	-1,016	-15.41

曾文	60,893	59,853	41,109	43,297	-2,188	-5.05
牡丹	2,979	2,908	1,981	2,380	-399	-16.76
新山	975	975	758	828	-70	-8.45
西勢	56	44	44	44	-	0.00
寶一水庫	535	535	520	400	120	30.00
永和山	2,842	2,725	1,889	2,363	-474	-20.06
鯉魚潭	12,278	11,670	11,418	9,938	1,480	14.89
仁義潭	2,731	2,585	1,652	1,648	4	0.24
南化	14,946	13,245	8,380	11,071	-2,691	-24.31
鳳山	850	780	325	787	-462	-58.70
翡翠	40,600	33,622	30,114	32,304	-2,190	-6.78
寶二水庫	3,218	3,134	881		---	---

資料來源：水利署公務統計報表及水源經營組。

- 附註：1. 德基、日月潭、曾文水庫有效容量及蓄水量均不包括緊急備用水量。  
 2. 目前有效容量係指設計有效容量扣除最近測量高於呆水位之淤沙量。  
 3. 寶山第二水庫自 95 年 5 月開始蓄水。

世界各國之平均降雨量及每人每年使用量<sup>[31]</sup>如圖 3-9-1 及圖 3-9-2，降雨量最豐沛的是台灣 2510mm，而最乾旱的是澳洲 460mm，台灣平均降雨量卻是世界各國平均值 973mm 的 2.6 倍。但是由於台灣所處地理位置、地形與人口數的原因，造成台灣每人每年使用量 4348m<sup>3</sup>，其他世界各國的每人每年使用量 26871 m<sup>3</sup>卻是台灣的 6 倍，由此可知台灣在世界上相對是水資源平均使用量較缺乏的地方，所以生長在台灣的人們需要有「缺水的危機意識」，提早做好準備以應不時之需。

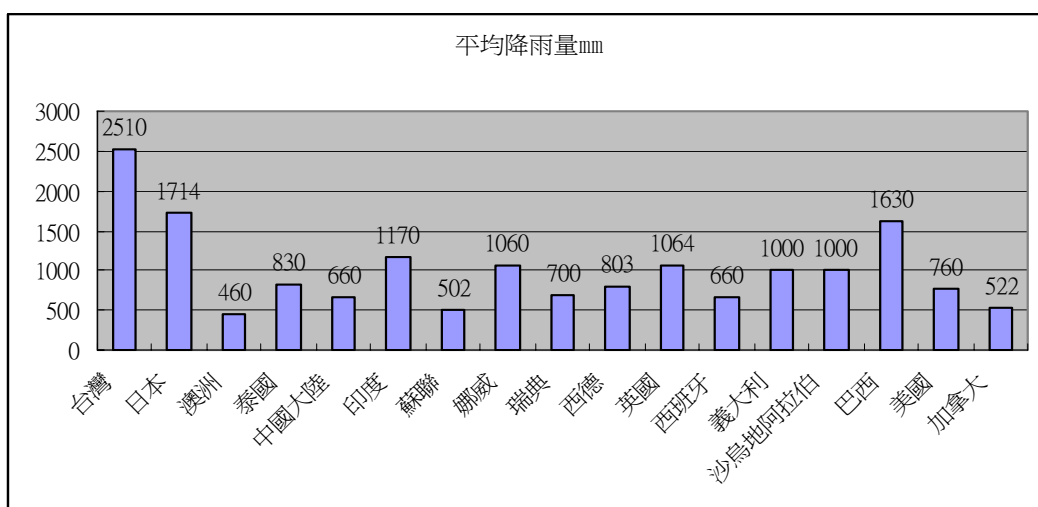


圖 3-9-1 世界各國之平均降雨量



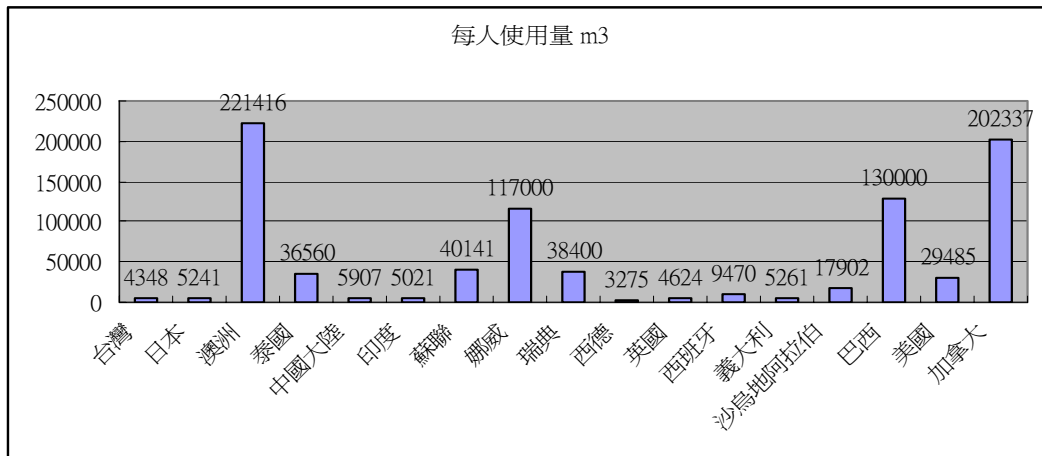


圖 3-9-2 世界各國之平均每年每人使用量

### 3.9.2 開源與節流

就新開發建設的水庫建築成本而言<sup>[37]</sup>，新竹縣寶山第二水庫其原水成本為 23 元/噸，台南縣南化水庫其原水成本為 31 元/噸，此費用不包括處理費及輸送費用等。就海水淡化而言國外研究發現若其回收率為 30% 其原水成本為 36.5 元/噸，國內澎湖海水淡化廠 2000 噸/日，其造水成本為 42 元/噸；東引海水淡化廠 500 噸/日，其造水成本為 39.3 元/噸。如利用廢水回收再利用，國外研究發現若其回收率為 60% 其原水成本為 16 元/噸。由上述可以得知，新建水庫或是海水淡化其成本大約是廢水回收再利用的二倍，如何將廢水回收再利用廣為推廣實施就顯得非常重要，所以如開源不易節流就變得更加重要且勢在必行。

經過分析探討後了解，由於台灣受到地形地物影響及人口密度太高的原因，導致隨時面臨限水危機，嚴重則水源不足而「無水可用」。因此如何開源與節流就是解決水資源不足之研究課題，以台灣來說由於地行之特殊，如何能開源與節流愈顯的重要，就開源與節流部分大致說明如下：

#### 3.9.2.1 增建水庫及清除淤泥

以台灣現有大大小小四十多座水庫，由於受到大自然及人為破壞等影響，造成水庫淤泥逐年增加，導致水庫之有效蓄水量卻逐年減少降低如表 4-4-2。以桃園石門水庫而言，不僅水庫水量不足、淤泥多、水壓不足等，常常造成當地居民或工廠用水不便，一但排放淤泥就造成原水濁度太高，自來水廠無法負荷加以處理供應生活及工業用水，就經常發生限水狀況「供一休一」嚴重則「供一休二」。

新竹科學工業園區之用水量極大，因寶山第一水庫水量不足以供應，而須其他水庫來支援（如永和山水庫）供應方勉強能度過，現已增建寶山第二水庫預計 95 年可以進行儲水，經評估正常供應後科學工業園區及新竹縣市居民較不會有限水惡夢出現，但仍須有節水之觀念，雖然增建水庫工程非常艱辛困難、施工期長、投資成本大等等，而此是解決水資源不足之重要方法之一。



### 3.9.2.2 海水淡化

水資源不足亦可以用海水淡化方式來彌補，因全世界有 3/4 是海洋，海水資源較不缺乏，但是其處理成本及輸送成本較高，對於海島國家或是無法實施興建水庫之場所，海水淡化就是產生水資源之重要方法。

### 3.9.2.3 水資源回收再利用

海島國家的台灣而言，水資源是非常重要的，雖然增建水庫與海水淡化雖能開源增加水資源，但是開源不易節流就顯的格外重要，所以水資源回收再利用也就成為解決水資源不足更重要之方法。不僅做好水資源回收再利用，同時加強宣導「缺水危機」就在我們的身邊，從大處著眼、小處著手落實執行，日常生活就能省水如淋浴取代泡澡、馬桶分段沖水、感應式水龍頭、廚房洗菜水用來澆花等等，並推廣到各行各業進行節約用水成效將不可限量。

## 3.10 廢水回收再利用之相關法令<sup>[35]</sup>

台灣地區廢水回收再利用之相關法令，如環保法規或水利法令主要以防治環境污染而進行管制為主，對於水回收與再利用並未有積極性之規定，而有關環境基本法與資源回收與再利用法中，並未提及執行面作為與施行方式，對於水回收與再利用之施行，完整之法令尚待建制。由於（廢）污水處理廠所排放之處理水因排放介質不同，而受制於不同標準管制，針對目前國內水再生利用於各標的之相關法令與標準規定，綜合整理如表 4-5-1 所示。包括水污染防治法、土壤及地下水污染整治法、水利法、飲用水管理條例、下水道法及農田水利會灌溉排水管理要點，相關之實施辦法及水質標準規定有放流水標準、地面水體分類及水質標準、土壤處理標準、污水經處理後注入地下水體水質標準、事業廢（污）水排放地面水體許可辦法、事業水污染防治措施管理辦法、地下水污染管制標準、土壤污染管制標準、飲用水水源水質標準、台灣省灌溉事業管理規則、地下水管制辦法、灌溉用水質標準及下水道工程設施標準等。以下針對各相關法規、實施辦法及水質標準之規定進行說明：

表 3-10-1 廢污水排放與再利用之相關法規與標準

主管機關	法規	實施辦法及水質標準
環保署	水污染防治法	放流水標準 地面水體分類及水質標準 土壤處理標準 污水經處理後注入地下水體水質標準 事業水污染防治措施 事業廢（污）水排放地面水體許可辦法
	土壤及地下水污染整治法	土壤污染管制標準 地下水污染管制標準
	飲用水管理條例	飲用水水源水質標準
水利署	水利法	台灣省灌溉事業管理規則

		地下水管制辦法
農委會	農田水利會灌溉 排水管理要點	灌溉用水水質標準
營建署	下水道法 建築技術規則	下水道工程設施標準 再生水利用設備

### 3.10.1 水污染防治法

在水污染防治法第一條規定，為防治水污染，確保水資源之清潔，以維護生態體系，改善生活環境，增進國民健康，特制定本法。為國內水污染防治政策及措施之母法，其依規定衍生出其他相關辦法與標準。其中與水回收再利用相關的條款有第六條規定中央主管機關應依水體特質及其所在地之情況，劃定水區，訂定「地面水體分類及水質標準」。第七條規定事業、污水下水道系統或建築物污水處理設施，排放廢（污）水於地面水體者，應符合「放流水標準」，亦即所有排放至地面水體或環境中之排放水，均必須符合「放流水標準」。因此，所有有關水再生利用之利用方式，當再生水必須與環境接觸時，首先均需符合放流水標準，且必須取得排放許可證或簡易排放許可文件。第三十二條規定，廢（污）水不得注入於地下水體或排放於土壤。但經中央主管機關核備者，不在此限，包括 1. 污水經依環境風險評估結果處理至規定標準，此規定標準即為「污水經處理復注入地下水體水質標準」，並且不含有害健康物質者，為補注地下水源之目的，得注入於飲用水水源水質保護區或其他需保護地區以外之地下水體。2. 廢（污）水經處理至合於「土壤處理標準」及依第十八條所定之辦法者，得排放於土壤。因此明確規範放流水再利用於地下水體或排放於土壤之法源依據。

#### 3.10.1.1 放流水標準

本標準依水污染防治法第七條第二項規定訂定。內容規定有關事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施三種適用範圍，以及各種產業之放流水標準項目及限值。對於各事業單位，依事業類別分別訂有 pH、BOD、COD、SS、真色、色度、總氮、總磷及大腸桿菌群等管制項目及標準，並將污水下水道系統及建築物污水處理設施所排出之放流水，併入其他事業廢水之放流水標準中。放流水標準為廢（污）水處理之最基準限值，實行水回收再利用於各標的水質標準與其具有最直接之關聯性。

#### 3.10.1.2 地面水體分類及水質標準

本標準依水污染防治法第六條第一項規定訂定。為保護水體水質，使合乎自來水、水產漁業、工業、親水等之利用，訂定各種用途所需之水體標準，劃定水區俾使保護水域水質合乎各種用途所需之標準，同時可為限制各種廢污水放流之依據。地面水體分類水質標準分為兩大類，即保護生活環境相關環境基準及保護人體健康環境基準（含重金屬及農藥兩類），並將陸域地面水體（河川、湖泊）分為甲、乙、丙、丁、戊五類，以及海域地面水體甲、乙、丙三類訂定

基準值，作為劃定水區並其適用性質。如水再生利用於注入湖泊或水庫，以作為補充飲用水源來源，須考量原水不因再生水注入而改變其水質狀況。

### 3.10.1.3 土壤處理標準

本標準依水污染防治法第三十二條第三項及第四項規定訂定。第二條明確定義土壤處理意指將廢（污）水排入非公共水域之池塘、濕地或流布、施灌、滲透於土壤以處理、利用廢（污）水污染物，或為利用水資源澆灌花木、抑制揚塵等方法之兩種主要方式，並規範兩種處理方式的適用範圍、排放及監測管理、水質標準等相關規定。本標準主要乃落實水資源再生利用的精神，以達到資源永續的目的，對於畜牧業、養殖業（以淡水養殖為限）、製糖業及動物園等所產生的有機污水，可採土壤處理以處理、利用廢（污）水污染物。廢（污）水處理放流水對環境的影響可藉由水質的管制達到無影響程度，經由嚴格的污水處理放流水應用於農業或澆灌用水，除了能使廢（污）水處理放流水有效地回收再利用外，亦可使部份廢（污）水處理放流水的排放問題得到解決。

### 3.10.1.4 污水經處理復注入地下水體水質標準

本標準依水污染防治法第三十二條第二項訂定，主要為有效避免廢（污）水注入地下水體而造成二次污染，內容係指污水經處理復注入地下水體之水質標準，不可含有害健康物質，如重金屬、農藥及特定有機毒物等，其餘規定項目須符合最大限值標準。

### 3.10.1.5 事業水污染防治措施管理辦法

本辦法依水污染防治法第十八條規定訂定。原為「事業水污染防治措施及排放廢（污）水管理辦法」，於民國 92 年 7 月 30 日行政院環境保護署修正發布全文五十三條，並修正其名稱。本辦法提供較完整之管理措施，並與水再生利用密切相關，第三條明確定義各事業廢水類別，包括作業廢水、排放廢水、未接觸冷卻水、徑流廢水等，並對各類事業廢水進行分類管制，具有廢水依其性質再生利用之精神。於第八章明訂廢（污）水回收使用專章，於第二十九條明確指示事業之廢（污）水經處理至符合放流水標準得回收使用，並應檢具載明相關事項之回收使用計畫及明確規範其內容；而對於廢（污）水排放於土壤者，規定應依「土壤處理標準」辦理，並且針對產生之廢（污）水回收至製造、操作等可不需處理至符合放流水標準。第三十條規定事業應以明顯記號及顏色標示回收管線並指示流向，用以避免誤用或錯接管線。第三十五條訂定事業自水體引水作為冷卻或循環之用，其屬未接觸冷卻水者，於水溫及氫離子濃度指數符合管限制值，且其他項目水質未超過進水水質時，得直接放流回歸原水體；此規定已符合水再生利用之作法。第四十一條對於事業廢（污）水欲排入灌溉渠道者，於未取得管理機關（構）或所有人同意前，其廢（污）水不得排入該灌溉渠道，並應依相關規定，採取排放以外之水污染防治措施。此規定可與水



利法中之台灣省灌溉事業管理規則接軌，因此事業廢（污）水欲排入灌溉渠道者亦須符合「灌溉用水質標準」。

#### 3.10.1.6 事業廢（污）水排放地面水體許可辦法

依水污染防治法第十四條第三項規定訂定，全文共十八條規定。主要為規定為事業於排放廢（污）水時，須申請取得排放許可證或簡易排放許可文件，並說明其適用對象、申請文件、辦理時間、變更程序及其他遵行事項。

### 3.10.2 土壤及地下水污染整治法

本法訂定主要為預防及整治土壤及地下水污染，確保土地及地下水資源永續利用，改善生活環境，增進國民健康。與水回收再利用之規定較無直接影響關係，相關條文有第十一條第一項，如發現有土壤或地下水污染之虞場址，有未依規定排放、洩漏、灌注或棄置之污染物時，各級主管機關應先依相關環保法令管制污染源，並調查環境污染情形。第二項規定土壤或地下水污染物濃度應符合「土壤或地下水污染管制標準」。

#### 3.10.2.1 土壤污染管制標準

本標準依土壤及地下水污染整治法第五條第二項規定訂定。規定內容適用於地下水最低水位以上之未飽和含水層之土壤。管制項目包含有重金屬、有機化合物、農藥及其他有機化合物（戴奧辛、多氯聯苯）等四大類。

#### 3.10.2.2 地下水污染管制標準

本標準依土壤及地下水污染整治法第五條第二項規定訂定。將地下水分為第一類：飲用水水源水質保護區內之地下水，以及第二類：第一類以外之地下水。管制項目包含有單環芳香族碳氫化合物、多環芳香族碳氫化合物、氯化碳氫化合物、重金屬、農藥及一般項目等六大類。

### 3.10.3 飲用水管理條例

本條例共有三十一條，目的為確保飲用水水源水質，提昇公眾飲用水品質，維護國民健康。其中第五條提及在飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區，不得有污染水源水質之行為。以及第六條明確規定地面水體及地下水體符合「飲用水水源之水質標準」者，始得作為飲用水之水源。由上述條例規定，水再生利用於回流至水庫或湖泊作為補充飲用水水源時注意規定事項及符合之標準。

#### 3.10.3.1 飲用水水源水質標準

本標準依飲用水管理條例第六條第二項規定訂定。內容為地面水體或地下水體作為自來水、簡易自來水、社區自設公共給水、包裝水、盛裝水或公私場所供公眾飲用之連續供水固定設備等之飲用水水源者，其水質應符合相關標準規定。

### 3.10.4 水利法

有關國內水利行政之處理及水利事業之興辦，均依據本法規定，所謂水利事業，意旨用人為方法控制，或利用地面水或地下水，以防洪、禦潮、灌溉、排水、保土、蓄水、放淤、給水、築港、便利水運及發展水力。條文中針對水權使用與管理具有詳細規範，因此本法對於水量之利用與管制均有明確規範制度，而對於水質管制與水再利用相關制度，則較少規範敘述。於第六十條之三中提及為促進水資源之經濟使用，冷卻用水及可循環使用之工業用水，主管機關得命水井所有人加裝設備，以供再利用。此為水利法中與水再利用及水質較為相關條文。

#### 3.10.4.1 台灣省灌溉事業管理規則

本規則主要管理國內相關灌溉事業。規則中主要與水再生利用相關者於第四章水質中有詳細規範，第二十六條規定管理機構應經常檢驗其轄區域內之灌溉用水水質，並予紀錄，其水質標準由中央主管機關訂定公告；所指水質標準即為「灌溉用水水質標準」。第二十七條規定灌排系統及灌區集水區域內未經管理機構之同意，不得擅自排放廢污水，因此將水再生排入灌溉系統及集水區域內，須先申請並取得管理機構同意。第二十九條規定流入及介入之水體應先經適當處理，不符灌溉用水水質標準時主管機關應限制或禁止。因此，對於水再生利用與灌排系統相關時，其水質須符合「灌溉用水水質標準」。

#### 3.10.4.2 地下水管制辦法

本辦法依水利法第四十七條之一第一項規定訂定。全文共八條規定，其中第三條第三項規定管制區內經主管機關同意，進行地下水人工補注及回用者，得鑿井引水，其回用水量不得超過補注水量，此部份規定提供水再利用於地下水體之法源依據。

### 3.10.5 農田水利會灌溉排水管理要點

行政院農業委員會為監督輔導農田水利會辦理事業區域內灌溉用水之引灌、營運、抗旱機制、排水、水質、蓄水、水利設施之管理養護及水路變更等業務，特訂定本管理要點。本管理要點為呼應「台灣省灌溉事業管理規則」之規定，其中與水再生利用相關者為第四章水質中有詳細規範，第二十點第二項說明「灌溉用水水質標準」由農委會訂定公告。第二十一點水利會所屬之灌排系統，未經水利會之同意，不得擅自排放廢（污）水；灌溉專用渠道則絕對禁止排放廢（污）水。第二十三點規定為有效監督各排放水之水質，水利會應於排放水之契約中，明文約定申請者應落實水污染防治法之規定。以及第二十五點規定水利會核准之排水，其水質不符放流水或灌溉用水標準時，水利會應立即通知排放者暫停排放並限期改善，期限內未改善者，終止其排放契約。由上述管理要點規定可知，水再生利用與水利會所屬的灌排系統時，須取得水利會同意許可，並水質規定須符合「水污染防治法」、「灌溉用水水質標準」及「放流水標準」。

### 3.10.5.1 灌溉用水水質標準

原台灣地區之「灌溉用水水質標準」於民國 67 年由省政府公告頒行，現行「灌溉用水水質標準」依據農田水利會之「灌溉排水管理要點」第二十點重新修正頒佈。修正頒佈規定之灌溉用水質項目共 30 項，比舊標準 28 項增列溶氣量及鐵兩項目限值標準，及降低錳、汞、鎳、釩、鉍、砷六項限值標準。農業灌溉用水屬產業用水，水質須符合產業實際要求，主要乃考量施灌復不至損害作物及農田土壤為主，因此管制項目之限值較為嚴苛。

### 3.10.6 下水道法

下水道法制定乃為促進都市計畫地區及指定地區下水道之建設與管理，以保護水域水質，內容共分七章三十五條。各地方縣市政府乃依據本法進行污水下水道建設工作，以及營建署正積極研擬「下水道法修正草案」，增列鼓勵民間參與國內下水道建設，比照大眾捷運法開放工程用地得聯合開發，下部興建污水廠，上部開發為商業使用大樓；提供下水道工程使用的土地所有權人得與下水道主管機關聯合經營該土地，以減少工程用地徵收阻力。

#### 3.10.6.1 下水道工程設施標準

本標準乃依據下水道法第十條規定訂定，內容分五章共五十八條。其中與都市污水廠放流水再生利用較相關之條文，有第三十九條第三項規定污水處理廠處理方法之選擇應考慮放流水標準及承受水體之水體分類及水質標準。第四十六條規定二級處理水回收再利用處理設施之設置，應設置二套以上回收水再利用之處理設備，依回收水用途及其對應水質要求選擇處理設備。

### 3.11 廢水回收再利用之相關優惠獎勵措施<sup>[34]</sup>

在進行廢水資源回收再利用時，先進行水質標準控制可行性、空間設置許可性、技術實施可靠性、投資成本回收年限評估，另一考量重點是衡量政府在推動回收政策時，是否對廠商提供投資抵減誘因；為全面推動我國產業升級，經濟部工業局辦理政府獎勵優惠措施中，有關污染防治設備租稅優惠、低利貸款及優惠實例等相關證明申請，以及辦理低污染事業認定之服務內容介紹如下。

#### 3.11.1 租稅優惠

##### 3.11.1.1 防治污染設備或技術投資抵減

依據「促進產業升級條例」第 6 條，公司投資於自動化設備或技術、資源回收、防治污染設備或技術、利用再生能源、節約能源及工業用水再利用之設備或技術，得在其支出金額 5 % 至 20 % 限度內，只減當年度應納營利事業所得稅。

##### 3.11.1.2 營利事業所得稅抵減

依據「促進民間參與公共建設法」，有關廢水回收再利用設施已於 91 年 6 月併入水利設施之一增修納入「促進民間參與公共建設法之重大公共建設範圍」，如每日可提供兩千立方公尺以上之水再生利用(含廢水回收再利用)設施，



均可依相關條文取得相關融資及租稅優惠。

民間機構參與重大公共建設購置自行使用之防治污染設備或技術，在同一課稅年度內購置總金額達新臺幣六十萬元者，得就購置成本按下列百分比限度內，抵減其當年度應納營利事業所得稅額；當年度應納營利事業所得稅額不足抵減者，得在以後四年度應納營利事業所得稅額中抵減之，以全新者為限。

#### 3.11.1.3 新興重要策略性產業股東投資抵減或五年免稅

依據促進產業升級條例第 8 條，為鼓勵對經濟發展具重大效益、風險性高且極需扶植之新興重要策略性產業之創立或擴充，營利事業或個人原始認股或應募屬該新興重要策略性產業之公司發行之記名股票，持有時間達 3 年以上者，得依規定自當年度起 5 年內抵減各年度應納營利事業所得稅額或綜合所得稅額。

#### 3.11.1.4 進口污染防治設備免徵進口關稅

依據海關進口稅則，符合工廠管理規定之製造業，為防治空氣污染，防治水污染，防治噪音，防治振動，監測、檢驗環境及清理廢棄物，輸入之機器、儀器設備及其零配件，經工業局證明用途屬實者，得享有進口污染防治設備免關稅優惠。

#### 3.11.1.5 進口國內無產製機器儀器設備免徵關稅

依據海關進口稅則，符合工廠管理規定之製造業及技術服務業為開發新產品、改良品質、提高生產力、節約能源、促進廢物利用或改進製造方法，經經濟部核准，輸入國內未製造之機器儀器設備者免稅。

#### 3.11.1.6 工廠用地出售移轉賦稅優惠

依據促進產業升級條例第 17 條，公司因防治污染、公共安全或維護自然景觀需要，主動申請遷廠，於工業區、都市計畫工業區或於促產條例施行前依原獎勵投資條例編定之工業用地，並經主管機關核准者，其原有工廠用地出售或移轉時，應繳之土地增值稅，按其最低級距稅率徵收，遷廠後另可接受相關工業區土地租金優惠。

#### 3.11.1.7 污染防治設備加速折舊

依據所得稅法第 51 條第 2 項規定，為防止水污染或空氣污染所增置之設備，其耐用年數得縮短為 2 年。業者向稅捐稽徵單位申報時需檢附之加速折舊證明文件，可向工業局申請。

### 3.11.2 低利融資貸款

#### 3.11.2.1 民營事業污染防治設備低利貸款

為降低業者購置污染防治設備成本，並協助其取得低利資金改善污染防治設備，工業局乃向行政院開發基金申請搭配銀行撥款，訂定「民營事業污染防治設備低利貸款要點」，提供民營企業申貸款用。

#### 3.11.2.2 振興傳統產業優惠貸款

為加強協助傳統產業改善產業結構，提升產品競爭力，以達產業升級目的，經濟部向行政院開發基金申請搭配銀行撥款，訂定「振興傳統產業優惠貸款要點」，提供傳統產業申貸款用，其中購置或改善污染防治設備亦屬貸款範圍之一。

#### 3.11.2.3 網際網路業、製造業或技術服務業低利貸款

由「促進產業研究發展貸款辦法」依據「促進產業升級條例」第二十二條之一第二項規定訂定，網際網路業、製造業或技術服務業從事研發計畫得以具體增加產品或服務之附加價值或技術能力者，可依辦法提出低利貸款申請。

### 3.11.3 優惠實例

為加強水資源之循環利用，經濟部持續推廣工業節水技術及獎勵措施，工業局於民國 90 年訂定之「新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部分獎勵辦法」，率先提出積體電路製造廠，其製程部分的廢水回收率達 85 % 以上者，始可享有 5 年免稅或股東投資抵減二擇一之租稅優惠。

國內近年來連續面臨缺水危機，工業局因此計畫全面檢討用水量之製造業，納入新興產業將須符合廢水回收率之規定，以節省工業用水，並在民國 92 年針對新興重要策略性產業中之新投資 TFT-LCD 廠進行檢討，增訂其於民國 93 年起必須達 70 % 廢水回收率，才納入新興產業而給予租稅獎勵。

為增進廠商廢水回收之意願，特將新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部分獎勵辦法加以增修，在第五條增修廢水回收等相關條文，其中增訂第六款綠色技術工業，將廢水回收及再利用設備列入獎勵範圍，及第九款技術服務業，納入廢水回收再利用處理於獎勵範圍中，大幅降低獎勵範圍門檻。針對節水之單位或個人，經濟部頒經濟部水利署表揚節約用水績優單位及個人實施要點，為鼓勵全民節約用水，促進愛護水資源之具體行動，達到水資源永續表揚對象包含單位及個人兩類。其中第六條第三項推動水循環或再生利用，有效節用水量績效卓著績優單位及個人表揚。

針對獎勵措施經濟部工業局曾將現行與工業節水之相關獎勵措施整理，顯示目前各項獎勵措施都是屬於投資設備金額的優惠抵減，或是進口免關稅等的方式，再加入表揚節約用水績優單位及個人實施要點，及研製改良省水器材及設備補助辦法，對於工廠而言，優惠抵減的折扣稅額不大，因在建制廢水回收再利用初設備投資費用高，以目前針在對工業用水再利用設備或技術之優惠獎勵措施經濟誘因不足夠，對於廠商增設廢水回收再利用誘因不大。

#### 四、節水方案規劃與探討

在NDL的製程研發由於其特殊性與一般產業界不同，相對廠務及製程所產生之廢水與數量亦有所差異，但是為了符合科學工業園區之相關規定、先進機器設備所需及世界潮流趨勢，所以針對NDL的製程上及廠務系統均進行水資源回收再利用規劃並落實執行，雖然每日使用自來水量不多而廢水量亦不多，仍對全實驗室所有用水進行全面性水資源可回收再利用規劃，並利用有限的空間與經費來進行完善評估執行，確實落實政策執行，同時節省水源與經費支出。

##### 4.1 真空脫氣塔冷卻水

將真空脫氣塔之真空泵所使用之冷卻水回收，由於進入奈米科技的時代，半導體之製程已進入到nm，相對超純水在水質要求更是嚴格，溶解於水中空氣亦需去除避免影響水質純度，因使用水冷式之真空泵故將其冷卻水進行回收至原水池供廠務其他系統使用，其進出水質經測試如表4-1-1。

表4-1-1 真空脫氣塔之冷卻水進口水質

	pH值	水溫 $^{\circ}\text{C}$	導電度 $\mu\text{S-cm}$
Inlet	6.8-8.4	15-30	350-400
Outlet	6.8-8.4	15-30	350-400

##### 4.2 逆滲透膜 (RO-1) 濃縮水

其主要目的是去除塩類及金屬離子，其濃縮水對其他廠務系統（廢氣中央處理系統、CDO等）作為其洗滌循環用補充水、廁所馬桶用水及景觀澆花用水，因此回收此項需特別注意管路修改及標示，特別針對與人體健康相關之飲用水區隔，避免水資源回收而造成身體不適，其濃縮水質如表 4-2-1。

表4-2-1 逆滲透濃縮水水質

	pH值	TOC ppm	導電度 $\mu\text{S-cm}$
透過水	5.5-6.5	3	5
濃縮水	5.5-6.5	4	25

由於超純水製造流程中逆滲透膜之配置方法不同，相對其用途亦有所差異，以實驗室純水來說新建廠之規劃將逆滲透之用水，做為回收系統之活性碳塔之再生用水及離子塔之再生用水。

##### 4.3 空調冷凝水

包含了潔淨室空調箱<sup>[8]</sup>及辦公區送風機，潔淨室等級愈高（class 1）換氣循環次數愈多，所需外氣亦多，但因台灣地區夏天溫度高乾燥，冬天氣溫低潮濕，潔淨室為了符合製程所需，製程生產須在一個恆溫、恆溼、高潔淨度的環境研究生產，因此針對所有外氣均須進行除濕與加濕的過程及去除空氣中之微粒子如圖4-3-1，方

能補充至潔淨室進行空調循環使用，如此在加濕與除濕過程中就產生大量之冷凝水，將此水回收經過粗濾即可進行下一階段再利用，空調冷凝水回收水質如表4-3-1。

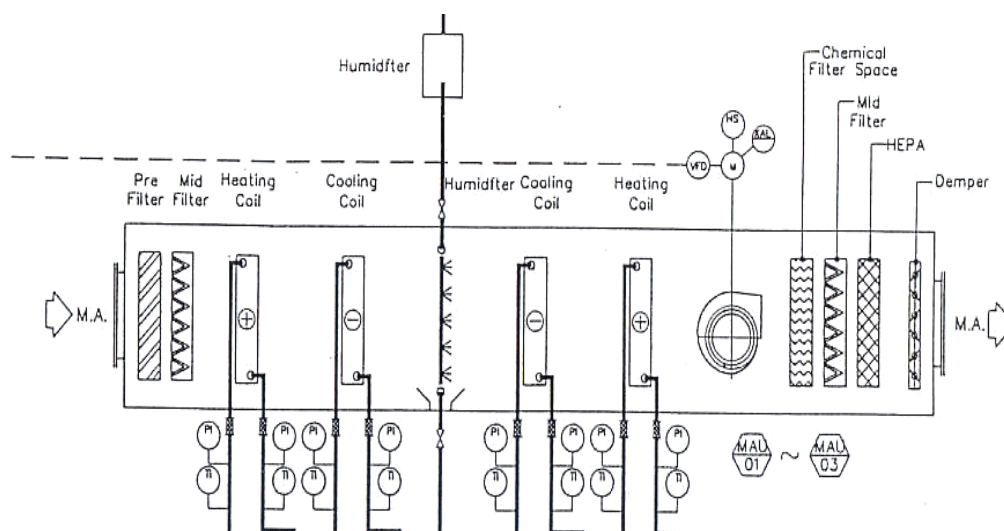


圖4-3-1 空調箱內部結構配置圖

表4-3-1 空調冷凝水水質

	pH值	TOC ppm	導電度 $\mu S-cm$
冷凝水	6.5-7.5	3.5-4.5	380-450

#### 4.4 化學機械研磨 (CMP) 廢水

研磨晶片需使用含有磨損力之研磨顆粒與弱鹼或弱酸性的化學溶液進行操作，研磨液一般為因應不同薄膜材料之研磨其主成分可分為兩大類：(1) 介電層平坦化研磨液：溶有矽土(Silica,  $SiO_2$ )之KOH或TMAH溶液(2) 金屬層平坦化研磨液：溶有礬土( $Al_2O_3$ )之 $Fe(NO_3)_3$ 或 $H_2O_2$ 溶液。之後使用大量超純水進行清潔之動作，所以須將研磨廢液上層回收再利用，當然進行研磨廢液種類有很多，就實驗室而言研磨廢液量不大，如採用逆滲透、電透析、離子交換、電場掃流過濾分離等其他方法在成本考量上暫不考慮，實驗室現處理研磨廢液採用化學混凝沉澱過濾方式，至今處理效果仍不錯。化學機械研磨<sup>[41]</sup>之示意如圖4-4-1所表示。

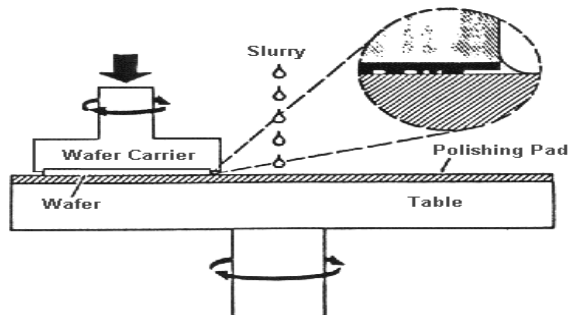


圖4-4-1 化學機械研磨示意圖



CMP製程的反應機制因牽涉到複雜之化學及機械之交互作用，在研磨的過程中，研磨液中所含之顆粒之粒徑分佈、研磨液之pH值及研磨速率等均對化學機械研磨製程成效有決定性的影響。

國內半導體業者所使用的化學研磨漿料幾乎全數仰賴美國CABOT、RODEL公司與日本FUJIMI進口。必須大費周章的以海運或空運來台，且化學機械研磨液在穩定的溫度控制下，對化學品的安定性也會有影響。目前國內已有多家半導體製程化學品廠商投入鋁導線及銅製程研磨液的研發，相信在不久的將來，將可提供台灣半導體製造廠另一個成本低廉且品質穩定的研磨液選擇。

#### 4.5限外濾膜（UF）濃縮水

國內半導體業在超純水之製造過程中，一般皆將限外濾膜做為進入潔淨室使用點前之終結者，確保在經處理過程是否有遺漏或洩漏之微粒子，作為最後捕捉設備單元。而其濃縮水質相當良好，所以將其水回收至前處理初級桶槽再利用，而限外濾膜結構<sup>[8]</sup>如圖4-5-1，其濾透過水與濃縮水水質如表4-5-1。



圖 4-5-1 限外濾膜之結構與其流向圖

表4-5-1 限外濾膜濾透過水與濃縮水之水質

	pH值	TOC ppm	導電度 $\mu\text{S-cm}$
透過水	5.5-6.5	0.5	0.055
濃縮水	5.5-6.5	0.8	0.05

#### 4.6離子交換樹脂再生用水

超純水之製造過程中，離子交換樹脂塔是不可缺少之處理單元，然而此裝置單元當吸附水中離子飽和則需進行再生，然而再生所需用化學藥品NaOH 與HCl可以回收至桶槽，使其酸鹼中和後又可以回收再利用其廢水，其再生清洗用水可以作為廢氣處理設備之循環更換用水，同時又可以解決離子交換樹脂再生過程中，瞬間大量排放酸鹼清洗液，可能造成廢水放流超過科學園區管理局之標準值，離子交換樹脂排放之廢水水質如表4-6-1。

表4-6-1 離子交換樹脂再生之回收水質

	pH值	TOC ppm	導電度 $\mu\text{s-cm}$
回收水	6-8	4-5	500-700

#### 4.7 ND L製程機台廢水排放

NDL 潔淨室進行奈米科技之製程研究與生產，產生最多之廢水機台就屬濕蝕刻，亦因機台使用之酸鹼種類太多，如何在製程機台規劃設計階段，考量排酸之動作流程來依實驗性質不同，檢測排放水質之標準設定成多階段排放，並排放不同管路進行廢水分流如圖 4-7-1，再進行最後端之回收再處理利用，製程排放回收處理再利用之水質與處理方式如表 4-7-1。如製程機台規劃設計階段已有此考量設計，同時可以將酸回收進行再回收給廢水廠酸鹼中和用之化學藥品，由於濕蝕刻機台各家半導體廠所用化學藥品均不完全相同，在回收儲存及處理再利用時應考量桶槽置放地點、材質、利用方式等。

表 4-7-1 半導體製程回收之水質標準與其處理方式

	TOC ppm	導電度 $\mu\text{s-cm}$
直接回收至原水池	<1	<500
經處理再回收	1-5	500-800
直接排放廢水廠	>5	>800

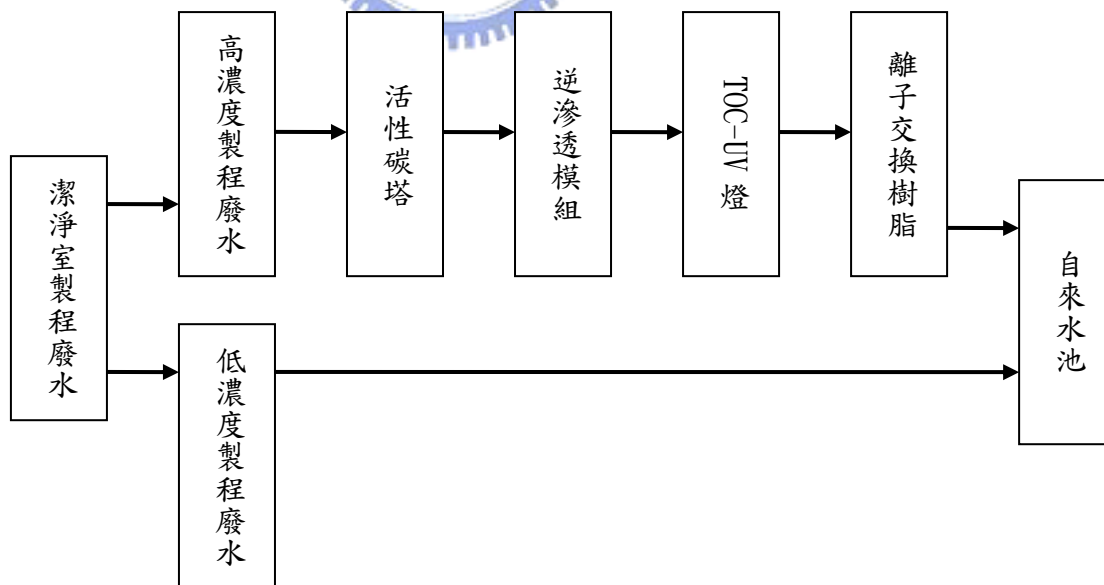


圖 4-7-1 ND L 機台廢水回收再利用流程圖



### 5.8 延長機台再生反洗時間

半導體超純水系統所使用之製造設備有許多，然而這些設備大多數在使用過後皆須反洗或是加藥再生方能再次使用，如活性碳塔、砂濾、軟水塔、離子交換樹脂、逆滲透膜等等，純水製造過程中是將自來水中之不純物去除或吸附達到水質淨化之目的，而超純水製造設備需要重新反洗再生之時間長短，往往取決於壓力差、水質或是運轉時數，如何能有效將再生反洗時間拉長，相對就可以省下許多反洗再生所需的水資源、化學藥品、電力及許多其他成本，而首要前提是不能影響超純水系統供應製程所制定水質要求下來延長再生反洗時間。



## 五、結果與討論

### 5.1 台灣地區自來水資源比較統計

雖然台灣省自來水公司及台北市自來水事業處其自來水費計算標準不同，如將基準點以平地考量不考慮加壓設備管理維護費，以台灣地區一般住家與工廠為例，試算自來水費如下表5-1-1，得知自來水水費約為13-17元/m<sup>3</sup>間不等，發現其價格與新建築水庫、海水淡化或水資源回收再利用來比較，價錢卻較便宜許多，所以政府若要鼓勵推動水資源回收再利用之政策與落實執行，共同為水資源之有效利用，自來水水費似乎有調漲之空間存在。

表5-1-1 台北市、新竹市及高雄市自來水費比較表

項目		台北市	新竹市	高雄市
一般住家	口徑 20 mm 使用量 25m <sup>3</sup> /月	126	205	205
	基本費	68	34	34
	代徵清除處理費	0	93	103
	水源保育與回饋費	12	10	10
	代徵下水道費	125	0	0
	平均 元/m <sup>3</sup>	13.24	13.68	14.08
工廠	口徑 150 mm 使用量 150000m <sup>3</sup> /月	1138706	1724895	1724895
	基本費	10098	5049	5049
	代徵清除處理費	0	555000	615000
	水源保育與回饋費	113871	86245	86245
	代徵下水道費	750000	0	0
	平均 元/m <sup>3</sup>	13.42	16.38	16.79

經由上表可知，台灣地區之自來水費由於受到北部與南部地形地物之影響、氣候的差異等，無形之下造就了水費些許的差異性，又為整個經濟發展的條件與目的，如何能就水資源整體規劃與使用調度是一個很嚴肅的話題，但是相信唯有做好水資源充分利用與回收再利用，讓水資源充分發揮其功能才是根本解決台灣水資源不足之道。

### 5.2 水平衡圖、製程回收率、全廠回收率及全廠排放率

#### 5.2.1 建廠規劃設計階段

本實驗室在經過建築師事務所、總顧問、工安顧問、工程公司等專業人員討論，將各製造設備方面依實驗室特殊研究所需求之水資源作最完善之規劃與設計，可將

製程回收率、全廠回收率及全廠排放率達到科學工業園區之設計要求標準，其設計用水平衡圖如圖 5-2-1 及水量計算如表 5-2-1。然而實驗室之特殊製程要求為符合學術界、產業界與世界潮流趨勢，製程不斷研發創新，而排放廢水水質與數量亦隨之變動，相對廠務端如何做好最完善之應變措施，與流程改變或處理設備增設是一大考驗。

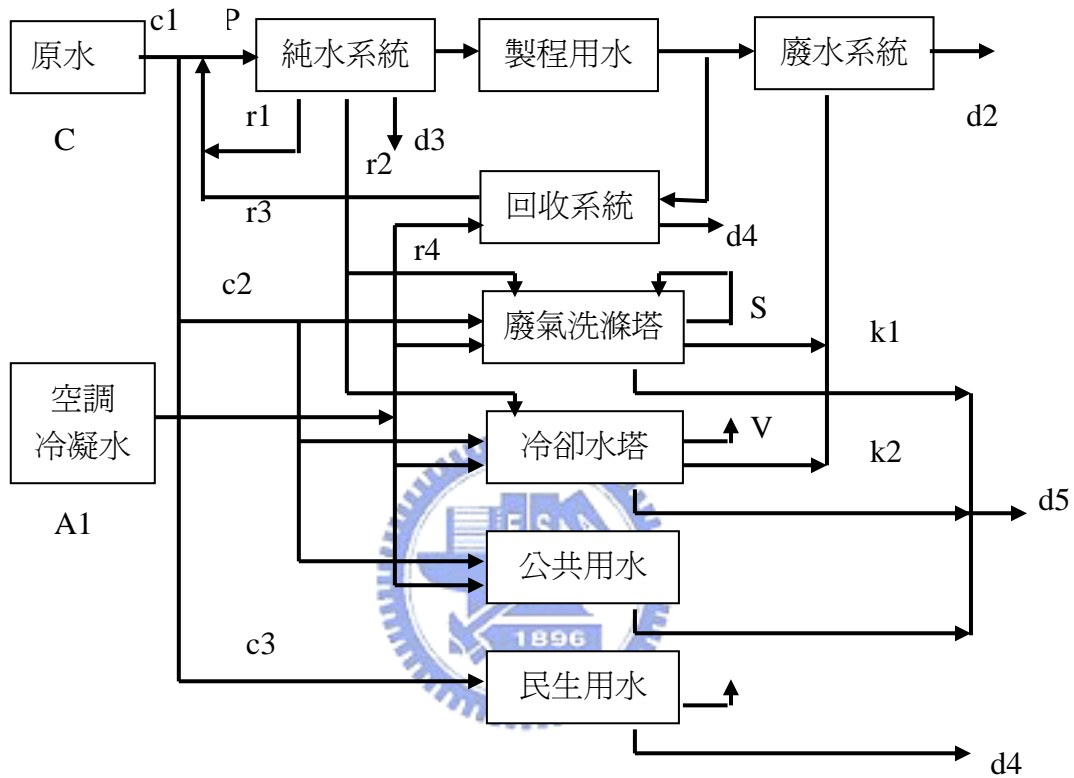


圖 5-2-1 NDL 實驗室規劃水平衡圖

表 5-2-1 NDL 實驗室規劃水平衡圖之符號說明及水量表

項 目	噸/日	項 目	噸/日
A1：空調冷凝水回收	28.8	d5：L/S, C/T 排放廢水	66
C：自來水	370	P：製程機台用水	532
c1：製程自來水	300	r1：製程用水回收	54
c2：C/T 自來水	20	r2：製程用水回收	206
c3：次級用自來水	50	r3：製程用水回收	178
D：總排放水	197	r4：製程用水回收	15
d1：次級用水廢水	42	s：洗滌塔循環水	30
d2：處理排放廢水	48.3	v：冷卻水塔蒸發水量	170
d3：純水再生廢水	24.7	k1：L/S 排放回收水	2
d4：回收再生廢水	11	k2：C/T 排放回收水	3

$$\text{製程回收率} = \frac{r1+r2+r3+r4}{P} = 85.2\%$$

$$\text{全廠回收率} = \frac{A1+r1+r2+r3+r4+S+K}{C+A1+r1+r2+r3+r4+S+K-V} = 71.9\%$$

$$\text{全廠排收率} = \frac{D}{C} = 53.2\%$$

### 5.2.2 研究運轉階段

實驗室潔淨室進行奈米科技之製程研究與生產，經過規劃設計階段進行廠房建築、廠務設備進駐運轉、製程設備遷入測試系統調整等，一個半導體實驗室就開始進行奈米計劃的執行。也就因為實驗室之特殊性，所以產生之廢水也就與一般半導體廠有所不同，在運轉開始接著計算各項水質、水量、水平衡、製程回收率、全廠回收率及全廠排放率等重新確認，觀察與原規劃設計階段之差異性隨時進行調整與適當改善，以符合科學工業園區之排放標準等各項規定。

在進行觀察之後，發現運轉有一些數據與原設計仍有進步空間，然而因為空間之限制改善就顯得較為辛苦，在侷限的空間與有限經費許可下，仍應改善工程進行之初，先做好妥善規劃與整體之風險評估與其效益，方可進行。目前已將實驗室大部份可以回收再利用的水資源逐一改善完成，當然水平衡圖、製程回收率、全廠回收率及全廠排放率隨之進行修正如圖 5-2-2 與表 5-2-2。

雖然在此階段經過審慎考量及改善過後，實驗室之製程回收率、全廠回收率及全廠排放率雖未達到原設計之標準，經過討論整理過後大致可以歸納為以下原因：原建廠時規劃以參考 8 吋晶圓廠無塵室需求之規模來評估設計，但本實驗室卻非一個固定生產流程來量產 wafer 之晶圓廠，而是一個研究開發各單元操作的實驗室，因此在純水使用量就不是很穩定；規劃設計階段時無塵室面積 880 坪包括 class 10 及 class 10000 兩種，但實際建置在研究與經費特殊考量現制下，只有建置無塵室約 610 坪；同時亦因奈米生物科技的蓬勃發展，實驗室亦進入生物科技的研究領域，亦變更設計從事生物科技的實驗室約 130 坪，因此在生物實驗室規劃設計時考量與半導體無塵室建置與需求之差異性，所以包括空調、廢水、廢氣等均須重新建置一套廠務設施，來配合此項研究任務的需求。

基於上述之改善過後發現，本實驗室在經過第一階段針對逆滲透膜濃縮水、真空脫氣塔之真空泵冷卻水、外氣空調箱及辦公室送風機冷凝水、限外濾膜之濃縮水、離子交換樹脂之再生廢水、化學機械研磨廢水之上層液、半導體機台廢水、純水製造設備再生反洗之時間等進行改善過後，雖然回收再利用有明確的進步之外，但由於任務與產業界的不同、研究種類多元化，仍需持續進行水資源回收的改善與

評估方案，相信唯有如此不僅能節約水資源及運轉經費，更希望藉此推動水資源回收應用在各行各業甚至到日常生活中，讓生活在台灣這塊美麗土地上的人們，不再有限水或缺水的惡夢發生的機會，同時更能讓台灣科技發展的研究領域，在全世界能具有領導先驅的地位。

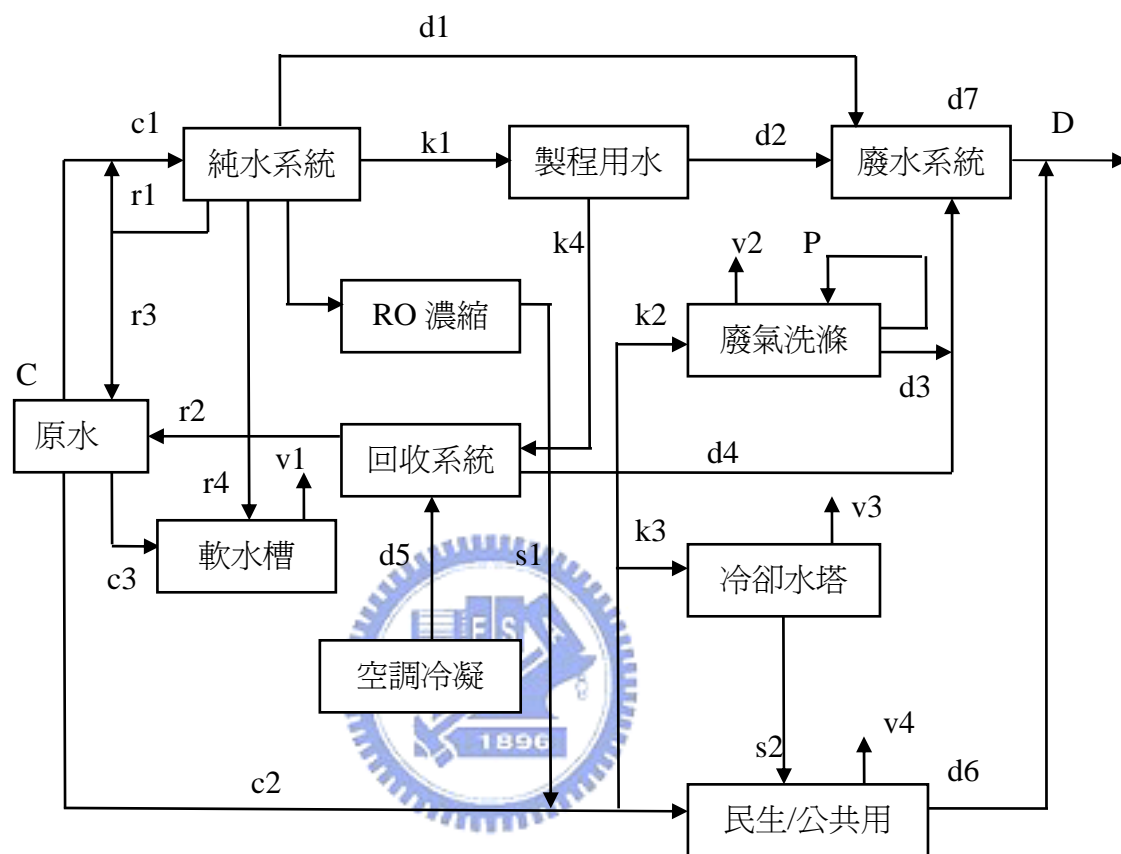


圖 5-2-2 ND 實驗室運轉水平衡圖

表 5-2-2 ND 實驗室運轉水平衡圖之符號說明及水量表

項 目	噸/月	項 目	噸/月
C：自來水	6078	P：洗滌塔循環水	1238
c1~c3：自來水	6642	r1：製程用水回收	878
D：總排放水	3494	r2：製程用水回收	220
d1：純水再生廢水	1103	r3：製程用水回收	344
d2：製程廢水	180	r4：製程用水回收	14
d3：洗滌塔排放廢水	762	v1：PCW 蒸發水量	14
d4：製程回收水	0	v2：洗滌塔蒸發水量	106
d5：空調冷凝排放水	220	v3：冷卻水塔蒸發水量	1779
d6：污水排放	1449	V4：花園用水量	905

d7: 廢水廠排放	2045	k1: 製程循環水量	180
s1: 濃縮水補公共用水	386	k2: 洗滌塔用水量	868
s2: 冷卻水塔回收水	212	k3: 冷卻水塔用水量	1991
		k4: 製程回收水量	0

$$\text{製程回收率} = \frac{r1+r2+r3+r4+s1}{c1} = 80.02\%$$

$$\text{全廠回收率} = \frac{P+r1+r2+r3+r4+s1+s2}{C+d5+P+r1+r2+r3+r4+s1+s2-v1-v2-v3-v4} = 48.5\%$$

$$\text{全廠排收率} = \frac{D}{C+d5} = 55.48\%$$

### 5.3 實驗室各項節省措施與水量彙整統計表

半導體廠不論是 8 吋或是 12 吋晶圓製造廠，以超純水的使用量「3m<sup>3</sup>/每片 12 吋晶圓」來說，月產 2 萬片晶圓廠來計算其自來水之用水量 6 萬噸/月，而實驗室之每月自來水用水量約有 6500 噸/月，相形之下真是渺小微不足道。但是實驗室卻不因為水量使用少而減少水資源回收再利用改善的意願，同時希望能將節水方案推廣，鼓勵各公司行號皆能落實執行，為台灣盡一份心力。現將實驗室之節水方案彙整如表 5-3-1。由表 5-3-1 可發現在我們分析與改善節水因子後，發現最有效益的因子包括真空脫氣塔之真空泵冷卻水、逆滲透膜濃縮水、外氣空調箱及辦公室送風機冷凝水、化學機械研磨廢水之上層液、限外濾膜之濃縮水、離子交換樹脂之再生廢水、半導體機台廢水及純水製造設備再生反洗之時間等，上述八項因子經過不斷的調整及改善後，目前累積的節水金額達到 1057056 元。

表 5-3-1 NDL 實驗室節水方案彙整表

項目	節水方法與用途	節省金額 元/年	備註
1.	真空脫氣塔之真空泵冷卻水回收	168480	
2.	逆滲透膜濃縮水回收	280800	
3.	外氣空調箱及辦公室送風機冷凝水回收	134784	
4.	化學機械研磨廢水之上層液回收	112320	
5.	限外濾膜之濃縮水回收	134784	
6.	離子交換樹脂之再生廢水回收	115596	
7.	半導體機台廢水回收	63492	
8.	延長純水製造設備再生反洗之時間	46800	



## 六、建議及未來展望

### 6.1 結論

台灣半導體廢水處理廠均具備水質與水量處理穩定特性，利用各種水資源再生技術淨化處理後，即可作為廠區各類供水水源之來源端。針對半導體水資源回收再利用實際案例、相關法令、標的水質、環境影響、技術處理與管理等議題進行探討，並依實驗室現行運轉模式及各系統製程做一統計分析，再進行水質調查分析，進而規劃其水資源回收再利用設備及操作程序，回收再利用之結論與建議如下：

6.1.1 就國內廢水回收再利用推廣可能面臨的問題建議：現有法令標準限制，廢水回收再利用相關法令標準管制的水質項目部分過於嚴格，阻礙水回收再利用；自來水之價格偏低讓民眾不知節約用水之重要性，造成水資源過度浪費，導致農業、工業或民生用戶，自然均不願建置水資源回收處理設施，因此水價的調漲與同時使水資源回收成本降低，方能有利於水資源回收再利用之推廣與落實。

6.1.2 水資源回收再利用處理方法包括生物處理、離子交換處理、活性碳、混凝及薄膜處理、消毒等方式，由於水資源回收之種類方式與使用化學藥品息息相關，因此需避免經由處理不小心接觸或意外誤用再生水而對人體健康造成危害，否則將得不償失。

6.1.3 於初期設計規劃水處理流程中放流水水質方面，一般來說考量放流水中所含 pH、F<sup>-</sup>、BOD、COD 及 SS 濃度至少應符合放流水排放標準，若放流水水質越佳者，越有利於水資源回收再利用，進而有效減少水資源回收再利用增設的處理設備及操作維護等費用，且施工難易度可大幅降低。

### 6.2 建議

6.2.1 國內水資源需求缺乏，一方面從開源去著手規劃，如考慮的地面水、地下水、增建水庫、海水淡化等，另一方面從節流來考量，同時加速從工業、農業等各行業進行推廣進行落實之外，方能真正徹底解決目前台灣地區面臨缺水之問題。

6.2.2 適度調漲合理的自來水價格，以增加工廠實施廢水回收再利用之意願，再配合政府各種鼓勵優惠等配套措施執行，可有效推動國內廢水回收再利用之業務，提高各產業對增設廢水回收再利用設備之意願。

6.2.3 政府應全面性考量各種類別公司行號，只要會產生廢水廠商均應全面實施宣導，而非只限於工業區、科學工業園區等等，不僅能落實廢水回收再利用執行成效，同時能兼顧環保要求，替後代子孫留一個美麗乾淨的寶島-台灣。

6.2.4 推廣大眾使用經過國家機構認可的省水器材，同時合格的省水器材必須在省水的效果與低價格前提下，產品的壽命與效能亦不會降低，鼓勵消費者可以放心的使用這類產品。

6.2.5 希望藉由各公司行號節水及水資源再利用的觀念，能廣泛推廣到日常生活中，若生活在寶島台灣 2300 萬的人，皆能了解水資源的重要性並妥善利用每一滴水，更能使台灣的水資源或得到最佳的效能，同時向下紮根落實教育政策上，更能確保台灣在奈米科技的催化下，不僅科技發展能在全世界佔有一席之地，亦確保台

灣水資源不虞匱乏。

### 6.3 未來展望

水資源的有效利用關係國家的競爭力，一個國家國力的指標亦可由其針對水資源之利用率來判斷。經過探討分析過後發現，實驗室在水資源回收再利用之改善項目已經略有成效，亦漸漸能達到科學工業園區針對水資源會收各項定義規定。以半導體業來說由於製程已經進入奈米科技時代，不論潔淨室或其他廠務需求「氣體、純水、廢水、廢氣、電力等」要求與需求不僅嚴苛且需求量大增，大致來說針對水資源回收再利用之方法，各家設計規劃皆有巧妙不同，但終其目的是為了能製造出品質佳的超純水來進行研究及生產，同時亦須符合環保法規之各項規定，千萬不可因為考慮到短程賺錢之目的而忽略環保，即所謂的債留子孫，我們需要給後代子孫留一片淨土且能永續經營生存。所以，水資源是國家未來發展、人民生活及經濟穩定成長的重要因素，必須全民共同珍惜使用。

現今NDL實驗室不僅可朝向回收雨水系統進行與規劃努力，再來就是製程研發上做有系統分析探討，應對實驗室節省水資源會有一大助益，更希望藉由此此次分析與探討中，能提供一些可行方案供各產業來進行水資源回收再利用作為參考之依據，共同為台灣水資源不足來努力解決。然而實驗室之特性與產業界功能相異，但是經過此次分析過後發現半導體製造業中，超純水系統是節水之最大關鍵，因此如何就超純水來節約水資源，不僅就流程來進行討論，更可在設備上來進行研究，相信不久的將來會有更佳效能又節水設備出現在世界上。

研讀過後發現水資源回收之案例，有許許多多節省用水或是廢水回收再利用方法，然而NDL雖然非像產業界作品圓量產，但是「麻雀雖小、五臟俱全」半導體廠之廠務設備或是製程所需用之需求「如空調、純水、氣體、廢氣、廢水、廢氣等」皆大同小異，因不量產品圓導致自來水用量少，但仍因朝向節水方向繼續努力，節水措施不應使用量大小而決定做與不做，也唯有在這塊土地生活的所有人民，皆貢獻一己之力，使水資源能確實發揮最大之效能利用，不讓台灣常為水資源不足而煩惱，進而影響奈米科技研究發展，需將奈米矽島-台灣的美號持續維持下去。

臺灣地區因為受到先天地理環境之限制，可利用之水資源相當稀少，在水資源需求與日俱增的壓力下，首先必須以天然環境的特質為基礎來計算水資源的總量，再配合國家與產業發展政策，尋求水資源在各個不同的用途間的最佳分配模式，以使臺灣的整體發展更具永續性與前瞻性。

## 參考文獻

1. PETER VAN ZENT 著，姜庭隆譯，李佩雯校閱，「半導體製程學」第四版，滄海書局，台北市，民國 90 年。
2. 賴耿陽譯著，純水、超純水製造法 復漢出版社，台北市，民國 79 年。
3. [http://www.water.gov.tw/sample1/news/avg\\_quality\\_show/4hsinchu.htm](http://www.water.gov.tw/sample1/news/avg_quality_show/4hsinchu.htm) 台灣省自來水公司網站
4. 經濟部技術處，「廢水薄膜處理技術應用與推廣手冊」，經濟部 台北，2000。
5. <http://www.sipa.gov.tw/WEB/Jsp/Page/frame2.jsp?thisRootID=147> 科學工業園區網站
6. 江秉芳，在回風室安裝薄板對潔淨室內流場均勻度之影響，大同大學，碩士論文，民國 91 年。
7. <http://pavo.sipa.gov.tw/wastewater/index.htm> 科學工業園區污水處理廠網站
8. 國家奈米元件實驗室，半導體設備見習班講義（新竹&南科班），民國 94 年。
9. 陳彥旻，半導體業化學機械研磨廢水回收處理再利用技術研究，國立成功大學，碩士論文，民國 92 年。
10. 曾迪華，「工業污染防治技術手冊-工業廢水離子交換處理」，經濟部工業局，財團法人中國技術服務社工業污染防治技術服務團，台北，民國 92 年。
11. 黃煌洲，以離子交換樹脂法回收導線架氟系水洗廢水之研究，朝陽科技大學，碩士論文，民國 93 年。
12. 黃仁楷，硼酸氫鈉對水溶液中重金屬離子的去除效能，元智大學，碩士論文，民國 94 年。
13. 楊岳軍，「離子交換樹脂在重金屬廢水處理之應用」，重金屬廢水處理技術研討會，工研院化工所，新竹（1989）。
14. 「工業廢水二級處理放流水再生利用技術研究-造紙綜合廢水二級處理放流水再生利用技術研究」，經濟部水資源局，MOER/WRS-8900073，2000。
15. Ried C.E. and Breton E.J.，” Water And Ion Flow Across Cellulose Membrane” ，J.of Applied Polymer Science ，Vol.1 ，pp 133-143，1959。
16. Riely R.L.，Lonsdale H.K.，Lyons C.R. and Merton U.，” Preparation of Ultrathin Reverse Osmosis Membrane and the Attainment of Theoretical Salt Rejection” ， J.of Applied Polymer Science ，Vol.11 ，pp 2143-2158，1967。
17. Gerry F. and Peter M.，” Ultra-low Pressure RO Membranes : an Analysis of Performance and Cost” ，Desalination， Vol.113 ，pp147-152，1997。
18. Mike J. and Matthew B.T.，” Operational Experience with a New Fouling Resistant Reverse Osmosis Membrane ” ， Desalination， Vol.119 ，pp243-250，1998。
19. Jack and Solvak R.，” Developments in Membrane Technology” ， Water Technology ，pp 15-25，1987。
20. Tambo N. and Kamei T.，” Coagulation and Flocculation on Water Quality Matrix” ，Water Science and Technology， Vol.37， No.10， pp31-41，1998。

21. Rout D. , Verma R. and S.K.Agarwal , ” Polyelectrolyte Treatment – An Approach for Water Quality Improvement” , Water Science and Technology , Vol.40 , No.2 , pp137-142 , 1999 。
22. Hoyer O. and H. Shell , ” Monitoring Raw Water Quality and Adujstment of Trenament Processes-Experiences at the Wahnbach Reservoir” , Water Science and Technology , Vol.37 , No.2 , pp43-48 , 1998 。
23. 張之樺，粒狀活性碳結合薄膜系統應用於自來水處理之研究，國立台北科技大學，碩士論文，民國 89 年。
24. 蘇維彬，活性碳吸附對汽車表面塗裝噴塗房含漆霧排氣之處理效能評估，元智大學，碩士論文，民國 92 年。
25. 經濟部工業局，「年度工業用水效率提升輔導與推廣計畫期末報告」，經濟部 台北，2003 。
26. Metcalf and Eddy , ” Wastewater Engineering Treatment Reuse ” , Chaper13 , New York : McGraw-Hill Companies INC. , pp1345-1445 , 2003 。
27. <http://www.water.gov.tw/sample1/service/count.asp#1> 台灣省自來水公司網站
28. <http://w3.epa.gov.tw/epalaw/search/LordiDispFull.aspx?ltype=06&lname=0200>
29. 黃俞昌，「科學園區節約用水之努力與做法」，節水季刊 37 期，15-21 頁，94 年 3 月。
30. 行政院農業委員會，「公告灌溉用水水質標準」，發文字號：農林字第 0920031524 號，發文日期：92 年 11 月 7 日。
31. 李信玄，「從國際水資源開發與利用趨勢談國內節水推動策略」，「94 年度節約用水績優單位」，節水季刊 40 期，4-47 頁，94 年 12 月。
32. 節水服務團，「94 年度節約用水績優單位- 工業組」，節水季刊 36 期，24-27 頁，93 年 12 月。
33. 經濟部技術處，「染整工程與廢水處理效能提升技術手冊」，經濟部 台北，2000 。
34. 徐毓蘭，工業廢水回收再利用策略探討，國立台北大學，碩士論文，民國 93 年。
35. 李文聖，都市污水廠放流水再生利用之潛勢分析，國立台北科技大學，碩士論文，民國 93 年。
36. 廖紋蘭，石化工業廢水二級處理出流水再生利用技術之可行性研究，國立成功大學，碩士論文，民國 91 年。
37. 工業技術研究院，台灣地區廢污水再生利用潛勢整體評估，經濟部水利署 台中，2003 。
38. <http://www.anatel.com.tw> 海州企業股份有限公司協助
39. <http://www.epa.gov.tw/main/index.asp> 行政院環境保護署網站
40. <http://www.twd.gov.tw/> 台北自來水事業處網站
41. 國家奈米元件實驗室，半導體人才師資培訓班（南科班），民國 94 年。