

# 國立交通大學

工學院永續環境科技學程

## 碩士論文

半導體業化學品供應系統抽取操作優化之研究

Optimization for the Procedure of Chemical-Sucking in Chemical Supply System in  
Semiconductor Industry



研究生：楊豐安

指導教授：周珊珊博士

黃志彬博士

中華民國九十九年七月

# 半導體業化學品供應系統抽取操作優化之研究

Optimization for the Procedure of Chemical-Sucking in Chemical Supply System in  
Semiconductor Industry

研 究 生：楊豐安

Student : Yang, FengAn

指 導 教 授：周珊珊 博士；  
黃志彬 博士

Advisor : Dr. Chou, Shanshan;  
Dr. Huang, Chihpin

國 立 交 通 大 學

工學院永續環境科技學程

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Sustainable Technology on  
Environmental Protection

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Sustainable Technology on Environmental Protection

Jul 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十九 年 七 月

# 半導體業化學品供應系統抽取操作優化之研究

學生：楊豐安

指導教授：周珊珊 博士

黃志彬 博士

國立交通大學工學院永續環境科技學程

## 摘 要

半導體產業發展數十年為兩兆雙星產業之一，對台灣的經濟成長有相當大的貢獻。晶圓半導體製造屬於高耗能產業，生產過程中需耗費大量的水、電、空調、化學品及氣體等能源及原物料，在面對金融海嘯衝擊及原物料高漲能源短缺的時代，為降低生產成本提升競爭力，企業不僅積極推動能源節約，同時也努力提升設備效能減少原物料浪費。

本研究的目的是藉由減少半導體廠化學品供應系統中空藥桶的化學品殘餘量來降低生產成本。經量測原先一桶空藥桶平均會殘留約 1.7 L(0.85%,200 L/桶)化學品，在此實驗中，我們以田口法(Taguchi Method)重新檢視系統參數設定及硬體設計，以取得最佳化的操作控制因子組合。此外並以一八吋晶圓廠為案例進行驗證。由實驗結果顯示，最佳參數組合為：墊高高度 7 cm；吸管直徑 1.1 cm；吸口高度 0.5 cm；泵氣源壓力 5 kg/cm<sup>2</sup>，約可將殘餘減量至 0.22 L 左右。但在實廠運轉上墊高高度及泵氣源壓力可由供應系統直接進行調整，而吸管直徑及吸口高度需與原物料供應商協調，由供應商修改藥桶吸管直徑及吸口高度，此部分涉及層面較廣需耗費較長時間，故本研究將先對墊高高度及泵氣源壓力進行改善。為使藥桶達到墊高傾斜的效果，我們參考工業設計流程進行藥桶自動提升傾斜裝置研發設計。同時在藥桶殘餘量分析期間發現 EKC270 及 NMP 藥桶桶面會有變凹或變凸的現象，若桶面凸起會造成吸口位移向中間移動並升高，結果將導致藥桶殘餘量增加，針對此問題點也同時進行桶面下壓裝置研發設計。

依研發設計結果在各供應系統增設自動提升傾斜裝置，EKC270 及 NMP 供應系統再加裝桶面下壓裝置，並將泵氣源壓力調至 5 kg/cm<sup>2</sup> 進行實廠運轉測試，殘餘量由平均 1.7 L/桶降至平均 0.5 L/桶，以案例廠為例，一年可減量 6270 L，約 31 桶化學品，化學品平均單價為 144 元/L，節省金額一年約 90 萬元，若在所屬公司集團全面展開將有上千萬元以上的效益。

關鍵字：半導體產業、化學品供應系統、田口法

Optimization for the Procedure of Chemical-Sucking in Chemical Supply System in  
Semiconductor Industry

Student : Yang, FengAn

Advisor : Dr. Chou, Shanshan;  
Dr. Huang, Chihpin

Institute of Sustainable Technology on Environmental Protection  
National Chiao Tung University

## ABSTRACT

In Taiwan, the semiconductor industry plays important role and create great revenue in the past decades. However, it is concerned that the high-energy-consuming issue which includes a large amount of water, electricity, air conditioning, chemical stuff and other materials during the process of manufacturing silicon wafers in semiconductor fabrication plant. While facing the impact of global environment and financial, technologists much more concern about the high price of raw materials, the shortages of energy and reducing the production cost to be more competitive. The company promotes energy conservation more actively and works hard for improving equipments to decrease the waste of raw materials.

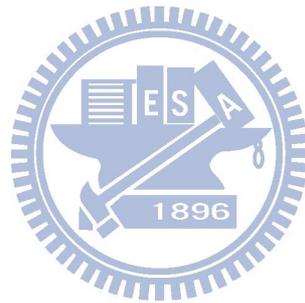
The aim of study is to optimize the operation of the chemical supply system, how to reduce the production cost by decreasing the amount of surplus chemicals in empty drums. In the study, we review the settings of parameters and hardware design of chemical supply system by using the Taguchi method so that we could get an optimum combination of different controlling factors. Besides that, we actually conducted the experiment in an 8 inch Fab. The amount of surplus chemicals in each empty drum was about 1.7 L (0.85%, 200 L/Drum). However, after we installed the drum lift-and-tilt equipment and increased the air pressure, the amount of surplus chemicals decreased to an average of 0.5L.

According to the results of experiment, the best set of optimum parameters would be drum-lift-height: 7cm, diameter of tube: 1.1cm, height of the tipped tube: 0.5cm, pump air pressure: 5kg/cm<sup>2</sup>, all could reduce the surplus of chemicals. In these factors, the drum-lift-height and the pump air pressure could be adjusted by vendors. However, the diameter and height of tipped tube have to be also concerned with vendors and it probably cost more than expected. Therefore, we only adjusted the drum-lift-height and pump air pressure in this experiment.

We have developed the drum lift-and tilt equipment by referring to the industrial design process. After analyzing the amounts of surplus chemicals, we have found that the top cover of EKC270 and NMP drums have become convex and concave. If the top cover becomes convex, the tube would be lift higher and increased the amount of surplus chemicals. To solve the issue, we have also created the cover pressing equipment at the same moment.

Once again, according to the results of experiment, we have added drum lift-and-tilt equipments in all supply systems and added top cover pressing equipments in EKC270 & NMP drums. We have also adjusted the pump air pressure to 5 kg/cm<sup>2</sup>, then found the amount of surplus chemicals to reduce from 1.7 to 0.5 L/Drum. In this case, we would save about 6,270 L and approximately 31 Drums of chemicals a year, the average unit price of chemicals 144 NTD / L, about a year to save 900,000 NTD, If in full swing in their group of companies will benefit more than tens of millions of NTD.

Key Word : Chemical Supply System · Taguchi Method



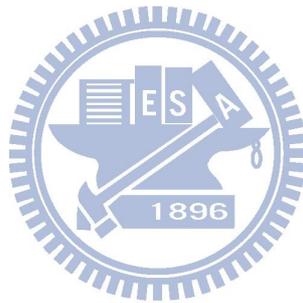
## 誌謝

經過四年的努力，終於把研究所的論文完成了，承蒙指導教授周珊珊老師與黃志彬老師於論文寫作期間的細心指導，才得以有今天的成果。對於兩位老師的諄諄教誨，在此謹致上本人最深及由衷的感謝。而口試期間承蒙袁如馨老師對於本論文提供寶貴的指教與建議，使得本論文不完美之處得以更加完整，在此亦致上對袁老師的謝意。

在研究期間，感謝研究所同學瑞明，在精神上給予相互鼓勵與支持，亦感謝公司長官與同事的協助與關心。

最後要感謝家人的支持及女朋友的鼓勵，使我能全心全意的投入在知識與學位的追求，完成碩士論文的研究與撰寫。感謝每位曾經幫助過我的貴人，因為有你們才能有今天的我，在此，衷心的謝謝你們。

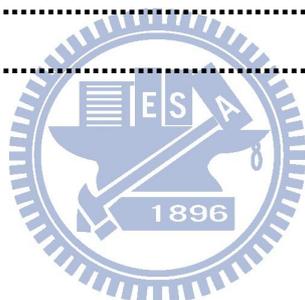
僅以此論文獻給我最親愛的家人與關心我的師長朋友，感謝你們的包容與愛護，願與你們分享這份榮耀。



# 目 錄

ABSTRACT .....	ii
目 錄 .....	v
表 目 錄 .....	vii
圖 目 錄 .....	viii
一、 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	1
1.3 研究架構 .....	2
二、 文獻回顧 .....	3
2.1 半導體晶圓製造 .....	3
2.2 半導體晶圓廠務供應系統介紹 .....	5
2.2.1 氣體及化學品供應系統 .....	5
2.2.2 化學品供應系統介紹 .....	7
2.2.3 藥桶式化學品供應系統介紹 .....	8
2.2.4 化學品空藥桶處理 .....	10
2.3 雷諾數與流動型態之關係 .....	11
2.4 田口法簡介 .....	12
2.4.1 品質損失函數 .....	14
2.4.2 直交表 .....	16
2.4.3 S/N比 .....	17
2.4.4 變異數分析 .....	18
三、 研究方法與設備 .....	21
3.1 研究方法 .....	21
3.2 實驗設備 .....	21
3.3 實驗方法 .....	23
四、 結果與討論 .....	24
4.1 化學藥桶殘餘量分析 .....	24
4.1.1 藥桶尺寸規格對殘餘量的影響 .....	24
4.1.2 各化學藥桶雷諾數分析 .....	27
4.2 以田口法探求最佳化條件 .....	28

4.2.1 設定實驗目的.....	28
4.2.2 選定實驗因子及水準.....	28
4.2.3 選定直交表.....	31
4.2.4 實驗進行和量測數據.....	31
4.2.5 數據分析與最適條件的決定.....	31
4.3 藥桶殘液減量裝置設計.....	36
4.3.1 藥桶自動提升傾斜裝置.....	36
4.3.2 桶面下壓器.....	40
4.4 實廠驗證.....	43
4.4.1 數據分析.....	44
4.4.2 效益分析.....	44
五、結論與建議.....	46
5.1 結論.....	46
5.2 建議.....	46
參考文獻.....	48



## 表 目 錄

表 1各製程用化學品及氣體種類統計 .....	4
表 2廠務化學品供應系統供應種類表.....	9
表 3各品質特性損失函數.....	16
表 4 $L_4(2^3)$ 直交表.....	16
表 5 $L_9(3^4)$ 直交表.....	17
表 6 $L_{12}(2^{11})$ 直交表 .....	17
表 7變異數分析表 .....	19
表 8藥桶規格及殘餘量量測結果 .....	25
表 9化學藥桶雷諾數分析表 .....	28
表 10控制因子及水準表 .....	30
表 11田口法實驗結果表.....	31
表 12田口法實驗結果之S/N比表.....	32
表 13田口法實驗結果之S/N回應表 .....	32
表 14以 $H_2O$ 實驗結果之變異數分析表.....	34
表 15以EKC270 實驗結果之變異數分析表.....	35
表 16以 $H_3PO_4$ 實驗結果之變異數分析表.....	35
表 17以最佳參數實驗之驗證結果 .....	35
表 18案例廠效益分析表 .....	45

## 圖 目 錄

圖 1 論文研究架構圖.....	2
圖 2 半導體晶圓製造流程.....	3
圖 3 氣體及化學品供應系統架構.....	6
圖 4 化學品供應系統架構.....	7
圖 5 藥桶式化學品供應系統.....	8
圖 6 藥桶式化學品更換流程.....	9
圖 7 晶圓產出與更換桶數的關係圖.....	10
圖 8 空藥桶處理流程.....	11
圖 9 藥桶式化學品抽取示意圖.....	12
圖 10 產品或製程的圖解.....	13
圖 11 分段損失函數.....	14
圖 12 二次方程式損失函數.....	15
圖 13 損失函數曲線圖.....	15
圖 14 變異數分析P值與F值的關係圖.....	20
圖 15 田口法步驟.....	21
圖 16 化學品供應系統charge unit.....	22
圖 17 藥桶規格說明圖.....	25
圖 18 吸管直徑>11 mm空藥桶殘液變化圖.....	26
圖 19 吸管直徑=11 mm空藥桶殘液變化圖.....	26
圖 20 研磨液供應系統出口流量圖.....	27
圖 21 雷諾數與殘餘量的關係圖.....	28
圖 22 品質分析魚骨圖.....	29
圖 23 以H <sub>2</sub> O實驗之S/N比回應圖.....	33
圖 24 以EKC270 實驗之S/N比回應圖.....	33
圖 25 以H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 實驗之S/N比回應圖.....	34
圖 26 工業設計流程圖.....	36
圖 27 自動提升傾斜裝置概念圖.....	37
圖 28 自動提升傾斜裝置初版模型圖.....	37
圖 29 自動提升傾斜裝置設置圖.....	38
圖 30 自動提升傾斜裝置完成版圖.....	38

圖 31 自動提升傾斜裝置測試圖.....	39
圖 32 吸管直徑=11 mm 空藥桶殘液墊高前後變化圖.....	39
圖 33 吸管直徑>11 mm 空藥桶殘液墊高前後變化圖.....	40
圖 34 桶面凸起及吸管位移示意圖 .....	40
圖 35 藥桶夾取圖 .....	41
圖 36 桶面下壓裝置概念圖.....	41
圖 37 桶面下壓裝置初版模型圖.....	42
圖 38 桶面下壓裝置及安裝圖 .....	42
圖 39 桶面下壓裝置安裝前後吸管位置比較圖.....	43
圖 40 桶面下壓裝置安裝前後藥桶殘液變化圖.....	43
圖 41 優化後吸管直徑=11 mm 空藥桶殘液前後變化圖 .....	44
圖 42 優化後吸管直徑>11 mm 空藥桶殘液前後變化圖 .....	44



# 一、緒論

## 1.1 研究背景

台灣半導體產業發展數十年，讓台灣這個小島在半導體產業版圖上成為不容忽略的重要角色。在面對金融海嘯衝擊及能源短缺的時代，半導體廠不僅積極推動能源節約，同時也努力提升設備效能減少原物料浪費。晶圓製造屬於高耗能產業，降低半導體製造成本的方式有線寬縮小、晶圓尺寸增大、生產良率提高及設備整體效益提升。線寬縮小的貢獻約在 12%~14%，晶圓尺寸增大佔有 2% 的貢獻，而良率提高所衍生的成本降低有 1% 效益，剩下的成本降低空間則有賴設備整體效益的提升【1】。

以一產能為 25,000 片的八吋晶圓廠為案例，滿載運轉一年約需耗用近 10,000 桶高純度化學品，經量測一桶藥桶平均約殘餘 1.7 L(0.85%, 200 L/桶)，即每年廢棄 17,000 L (85 桶) 高純度化學品。在這原物料價格伴隨著國際油價節節高漲趨勢下，每年廢棄 85 桶的高純度化學品，實在太過浪費，若能針對藥桶殘液進行減量，將對降低生產成本有相當的貢獻，也能減少藥桶廢液會對環境造成衝擊。

## 1.2 研究目的

針對半導體晶圓廠廠務化學品供應系統空藥桶的殘餘量，以田口法重新檢視系統參數設定及硬體設計，取得最佳化的操作控制因子組合，並由實廠系統進行測試驗證，以達增加每桶藥桶化學品的抽取量，減少原物料浪費降低成本及降低藥桶殘餘廢液處理費，同時並可作為藥桶式化學品供應系統改善及設計之參考。

### 1.3 研究架構

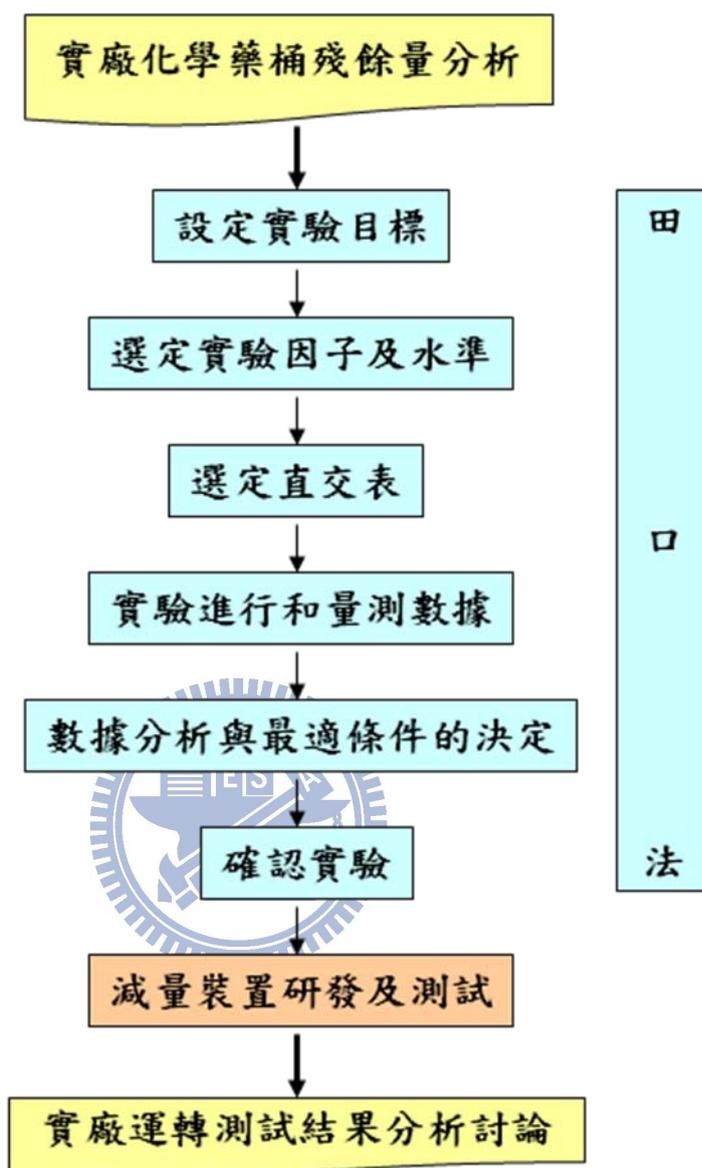


圖1 論文研究架構圖

## 二、文獻回顧

### 2.1 半導體晶圓製造

半導體製造是以矽晶片為基材，因矽晶片形狀為圓形，所以稱為晶圓，在表面形成氧化膜進行光阻劑塗佈後，以光罩進行曝光顯影，使電路複印在晶圓上，再經蝕刻及去除光阻液後，進行離子植入薄膜沉積，形成各元件的線路及電極，經過不斷的重複進行，所須步驟多達二百多個以上，此過程稱為晶圓製造，如圖 2 所示。矽晶片在經黃光、蝕刻、薄膜、擴散及清洗等製程成為晶圓，過程中需使用多種類高純度的氣體及化學品，其分類統計表如表 1 所示：

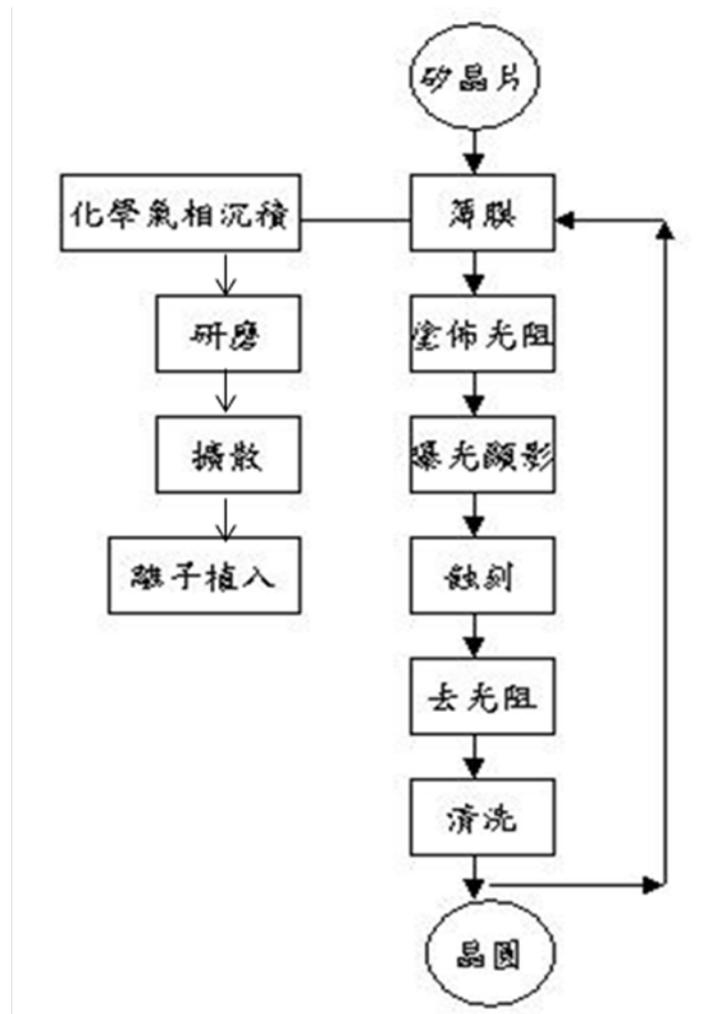


圖2 半導體晶圓製造流程

表1 各製程用化學品及氣體種類統計

製程	化學品			氣體				
	酸	鹼	溶劑	毒性	惰性	助燃性	易燃性	腐蝕性
薄膜	HF H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> HNO <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> OH NaOH	IPA SOG PSR-2	PH <sub>3</sub> ClF <sub>3</sub> SiF <sub>4</sub> TMP TMB 10% CH <sub>4</sub> /Ar TEOS WF <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> CF <sub>4</sub> 20% O <sub>2</sub> /He CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O NF <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> NF <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub> 5% PH <sub>3</sub> /N <sub>2</sub> H <sub>2</sub> TDMAT	NH <sub>3</sub>
黃光		顯影液	光阻液 EBR NMP 丙酮	F <sub>2</sub> /Kr/Ne	0.5% O <sub>2</sub> /He 1.3% Kr/Ne 1.2% He/N <sub>2</sub>			
蝕刻	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> HCl NH <sub>4</sub> F HF H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> OH	ACT935 EKC800 PF5080 IPA OK-82	Cl <sub>2</sub> BCl <sub>3</sub> HBr CO	20% O <sub>2</sub> /He SF <sub>6</sub> 4% H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> CHF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> CF <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO CH <sub>3</sub> F	Cl <sub>2</sub> BCl <sub>3</sub> HBr
擴散	HCl H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> HF HNO <sub>3</sub> CH <sub>3</sub> COOH H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> PME	NH <sub>4</sub> OH NaOH	IPA	PH <sub>3</sub> AsH <sub>3</sub> BF <sub>3</sub> NO	SF <sub>6</sub>	O <sub>2</sub>	Trans LC SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>

半導體製造主要可分為薄膜、蝕刻及黃光三個製程【2】，其概述如下：

1. 薄膜製程：在晶圓上形成薄膜的方式，因其功能而有不同，大致可分為化學氣相沉積、物理氣相沉積、擴散及離子植入等等。化學氣相沉積則是在晶圓表面利用氣體化學物質經由熱、氧化物及電場能量沈澱出絕緣膜，如Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>及SiO<sub>2</sub>非晶薄膜之技術。物理氣相沉積則如同化學氣相沉積過程，在高真空中的晶圓表面上，噴出鋁或其它金屬，形成薄膜沈積，使微粒相互結合獲得純金屬薄膜層。擴散製程是將雜質原子植入半導體晶圓的表面附近區域，

利用離子束在精確的控制半導體晶片中的電流下，可使晶片在所需要的區域內形成薄膜沈積。在薄膜形成後，因表面並未完全平整，需再進行平坦化研磨製程，化學機械研磨技術是將研磨液導入研磨墊和晶圓之間，使其表面發生化學反應產生氧化物之後，再以物理機械研磨作用，將晶圓上之介電層或金屬層平坦化。

2. 黃光製程：是利用光學顯影之技術，將光罩上的電路圖經過曝光和顯影的程序，轉印到已塗佈光阻劑的晶圓上，將曝光區的正光阻溶解洗淨，再以蝕刻去除曝光區，而未曝光區的光阻則不受蝕刻影響，最後除去剩餘光阻。
3. 蝕刻製程：可分為乾式蝕刻技術及濕式蝕刻技術，乾式蝕刻是以氣體分子或其產生的離子及自由基，對晶圓上的材質進行化學反應及物理式撞擊濺蝕，去除需蝕刻的部份，被蝕刻去除的物質形成揮發性的氣體，再經抽氣系統抽除。濕式蝕刻是利用化學溶液腐蝕晶圓上欲去除的部份，在蝕刻反應後，由溶液帶走腐蝕物。

## 2.2 半導體晶圓廠務供應系統介紹

半導體晶圓廠廠務供應系統，主要是供應無塵室與製程機台於生產時所需要的電力、空調、純水、氣體、化學品及廢氣與廢水收集處理，主要區分為四大部分：

1. 電力供應系統：負責廠內所有設備電力供應及其附屬設備。
2. 空調供應系統：負責無塵室空調、一般空調、製程廢氣與一般排氣處理。
3. 水處理系統：負責供應廠區內生產用純水及廢水收集與處理。
4. 氣體及化學品供應系統：負責供應生產所需之氣體及高純度化學品。

### 2.2.1 氣體及化學品供應系統

半導體晶圓製造主要的製程為黃光、蝕刻、薄膜、擴散及清洗，生產過程中需要耗用大量高純度的氣體及化學品，氣體及化學品供應系統需在安全及品質無虞下將其輸送至各個生產機台。為達到品質的要求，氣體管材及閥件使用的是SUS 316 EP(Stainless Steel)的材質，在化學品則是使用PFA(Teflon)的材質，而在安全需求方面，腐蝕性及自燃性氣體需以雙套管方式供應，化學品部份則皆以雙套管方式輸送，且供應系統必需設置毒性氣體偵測器或漏液偵測器，於發生洩漏時可即

時進行緊急應變。氣體化學品供應系統架構如圖3所示。

在氣體供應方面主要可分為兩大部份：

1. 大宗氣體：為耗用量較大的氣體，例如： $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、Ar、 $\text{H}_2$ 、He。
2. 特殊氣體：特殊氣體的種類一般可分為腐蝕性、毒性、可燃性、助燃性、惰性等，一般常用的半導體氣體分類如下：
  - (1) 腐蝕性/毒性氣體： $\text{HBr}$ 、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{NF}_3$ 、 $\text{SiF}_4$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{NO}$ 、F/Kr/Ne ...等。
  - (2) 自燃性/可燃性氣體： $\text{SiH}_4$ 、 $\text{PH}_3$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{B}_2\text{H}_6$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ 、 $\text{CH}_3\text{F}$ 、 $\text{GeH}_4$ 、 $\text{C}_4\text{F}_6$ 、 $\text{AsH}_3$ ...等。
  - (3) 低壓氣體： $\text{WF}_6$ 、 $\text{BCl}_3$ 、 $\text{C}_5\text{F}_8$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{ClF}_3$ ...等。
  - (4) 惰性氣體： $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{CF}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{O}_2$ 、He、 $\text{N}_2$ 、Kr/Ne、 $\text{CHF}_3$ 、Ar...等。

在化學品供應方面分為三大部份：

1. 酸性化學品：49% $\text{HF}$ 、Poly Etch、 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ ...等。
2. 鹼性化學品：29% $\text{NH}_4\text{OH}$ 、2% $\text{NH}_4\text{OH}$ 、DEV....等。
3. 有機溶劑化學品：IPA、EKC 270、REZI-38、EBR、NMP...等。

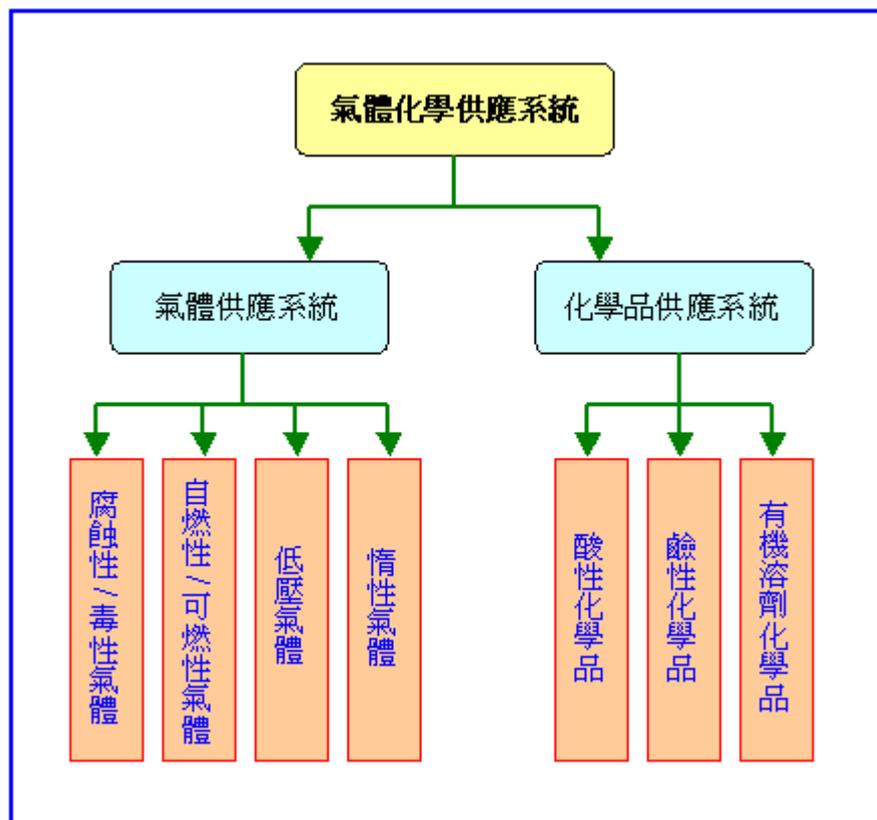


圖3 氣體及化學品供應系統架構

## 2.2.2 化學品供應系統介紹

化學品供應方式可分為以下三種，其供應架構如圖4所示：

1. 槽車灌充供應：日用量超過 1000 L 以上的化學品以槽車灌充方式進行供應，以降低操作人員每日的藥桶更換量，例如： $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{NH}_4\text{OH}$ 、IPA、DEV... 等。
2. 稀釋系統供應：因考量成本效益，用量較大之低濃度化學品則會設置稀釋系統，於廠內進行稀釋，以降低化學品費用，例如：2% $\text{NH}_4\text{OH}$ 、DHF 10:1、DHF 100:1、2.38%NMD... 等。
3. 化學藥桶供應：日用量小於 1000 L 以下的化學品，則以藥桶方式進行供應，例如：49% $\text{HF}$ 、Poly Etch、 $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_3\text{PO}_4$ 、BOE100:1... 等。

在化學品供應系統輸送的動力源主要可分為泵輸送及氮壓輸送兩種，由化學藥桶(Drum)輸送至supply tank皆是以泵進行輸送化學品，而在supply tank輸送至生產機台(Point of Use; POU)部份，則使用泵輸送或氮壓輸送，其差別在於泵輸送時供應壓力會有脈衝現象，而氮壓輸送方式的壓力穩定不會有脈衝現象。

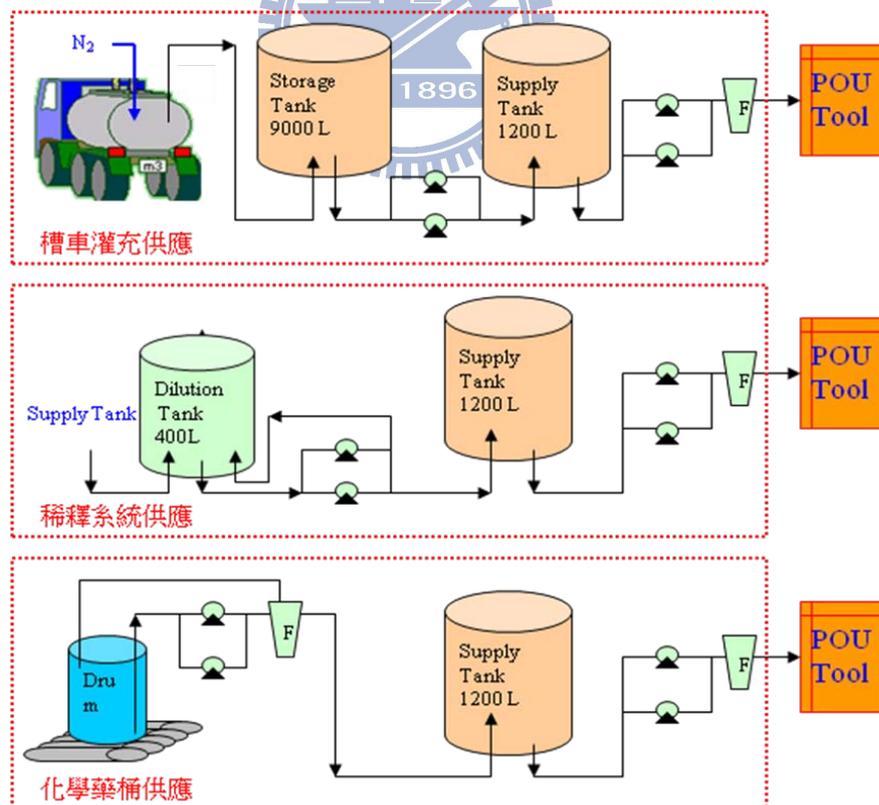


圖4 化學品供應系統架構

目前半導體廠廠務化學品供應系統的設備製造商主要有菱洋國際工程(日

商)、BOC(英商)、關東化學(日商)、迅磊科技(美商)、住友化學(日商)、帆宣系統科技(台)、亞泰半導體設備(台)...等,半導體廠化學品供應系統的設備主要是由國外引進,在近幾年因國內業者對於化學品供應系統的設計、運轉及維修等相關技術經驗已較為成熟,所以台灣的設備商開始自行開發設計化學品供應系統或與半導體廠廠務合作研發,因台製系統價格較具競爭優勢,目前已有半導體大廠開始採用。

針對化學品供應系統中空藥桶殘液減量相關措施進行業界訪察,訪察對象有台積、聯電、力晶、旺宏...等半導體大廠,設備製造商涵蓋美、日、英、台等廠商,訪察結果並未發現半導體業界目前有針對空藥桶殘液進行減量的相關措施。

### 2.2.3 藥桶式化學品供應系統介紹

藥桶式化學品供應系統主要由charge unit及supply unit組成,如圖5所示,charge unit的功能為將藥桶內的化學品利用泵輸送至supply tank內。supply unit的功能為利用泵將supply tank內的化學品輸送至生產機台。charge unit藥桶在空桶前,桶內的吸管會開始吸入空氣,當管路上的偵測器(Liquid Sensor)偵測到管路內有空氣連續30秒,系統即會判定此藥桶已抽空,將立即發出警報通知工程師進行藥桶更換。

因藥桶滿桶時其重量為200~320 kg,在更換藥桶時,需先利用夾桶車將藥桶夾到手推車上,再將手推車推至charge unit的roller前方,然後將藥桶平推進charge unit的roller上方,如圖6所示。

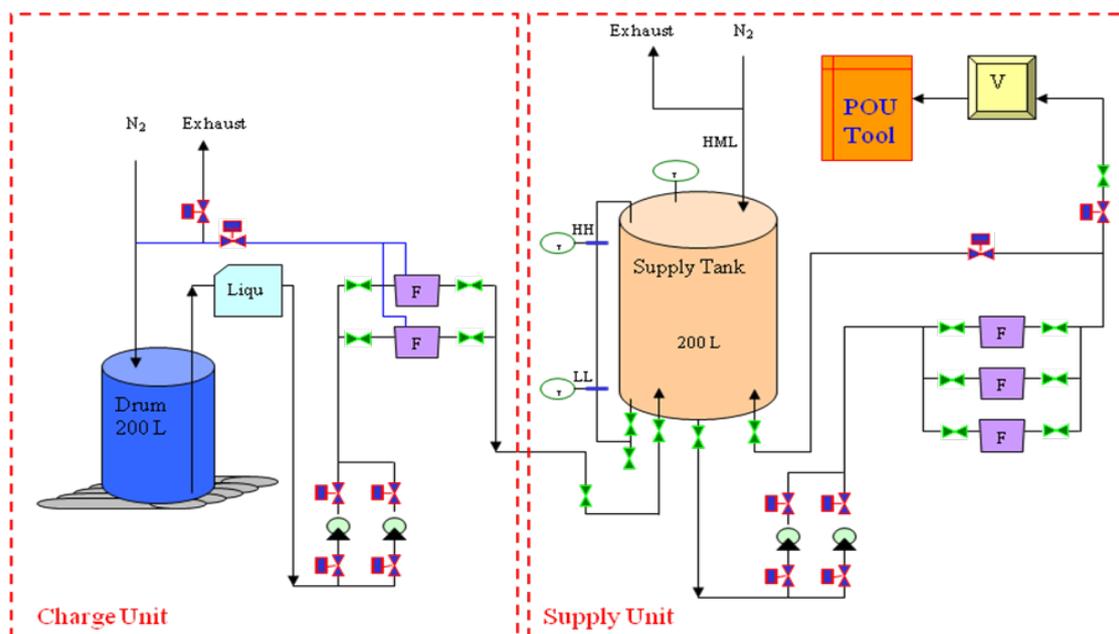


圖5 藥桶式化學品供應系統

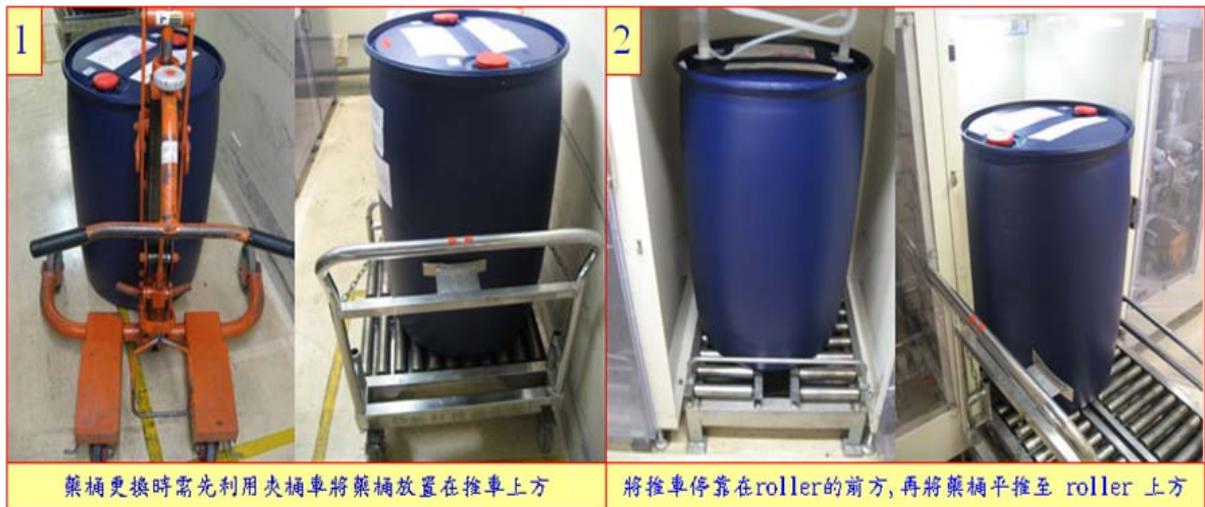


圖6 藥桶式化學品更換流程

在藥桶更換桶數部份，主要與化學品供應系統設計、製程設備設計及產能相關，以三座晶圓廠的廠務化學品供應系統資料為案例進行分析，資料整理於表2及圖9。一般在建廠時會依生產設備提出的需求量進行供應系統容量設計，用量大於1000 L/day的化學品以槽車灌充方式供應，可減少更換的藥桶數量，如表3中A廠DEV.為槽車灌充式供應，DEV.在半導體製造中屬用量大化學品，A廠約耗用250,000 L/月(1250桶)，若以槽車灌充式可以大大減低更換的藥桶數量。而在製程設備設計部分，因製程設計不同，其使用的化學品種類也不同，如A廠由廠務供應的化學品種類較B廠及C廠多許多，因A廠為12”晶圓廠，屬先進製程需較多種類的化學品。而在產能部份，圖7為晶圓產出片數與更換桶數的關係圖，由圖可明顯得知晶圓產出片數越高，耗用的化學藥桶越多，圖中2009年初時因金融風暴影響，造成晶圓產出片數下降，更換桶數也隨著下降。

表2 廠務化學品供應系統供應種類表

案例廠	產能 (片/月)	桶裝式化學品			槽車灌充化學品	
		化學品名稱	數量	滿載桶數 (桶/月)	化學品名稱	數量
A廠(12")	35,000	ST-250, ACT970, EBR, IPA, ACETONE, CH <sub>3</sub> COOH, NMP, C260, A430, EG, CuSO <sub>4</sub> , PGMEA, HMDS, Shurry-D, Shurry-E, SS-25, W2000, W-2585	18	2,200	NH <sub>4</sub> OH, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , DEV., HF	5
B廠(8")	25,000	EKC270, NMP, EBR, DEV, BOE100:1, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , HCl, HF, Poly Etch, SS-25, W2000	11	800	IPA, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> OH	4
C廠(6")	50,000	BOE6:1, HF, PME, BOE20:1, H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> OH, ST-26S, HCL, IPA, OK82, NMD-W	11	500	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2

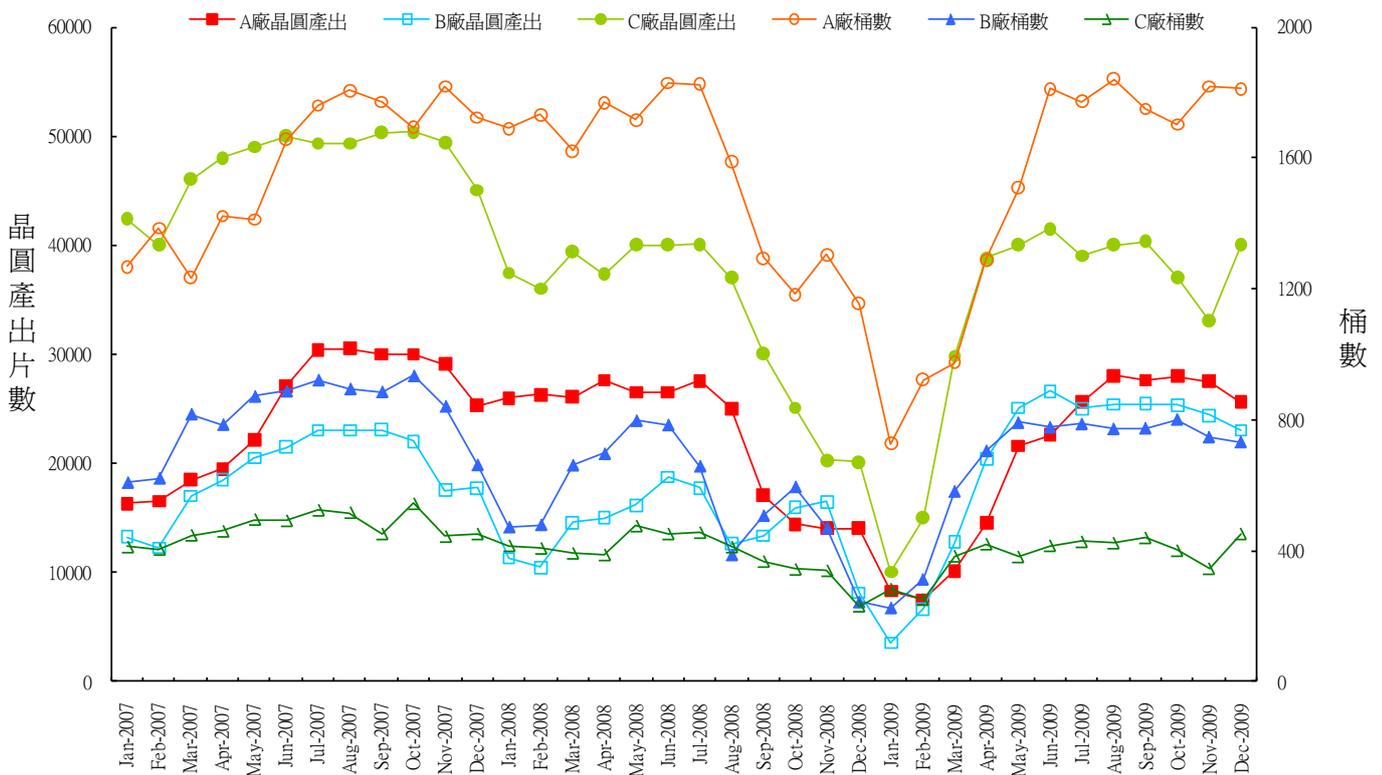


圖7 晶圓產出與更換桶數的關係圖

## 2.2.4 化學品空藥桶處理

半導體晶圓廠空藥桶的殘液一般不會集中回收再使用於製程上，其原因為，製程上所使用的化學品其潔淨度要求相當高，一般金屬離子須小於500 ppt以下，在集中收集過程化學品有被污染的疑慮，且有些化學品在接觸空氣後，品質會開始改變如EKC270，其成分中含有鄰二苯酚於接觸空氣後會逐漸氧化變為棕褐色，在回收化學品的品質上將無法達到製程上的要求，所以一般不會將空藥桶的殘液集中回收使用於製程上。

空藥桶的處理方面一般可以分為兩部分，如圖8所示，一為原物料供應商回收回廠，在排空殘液後進行藥桶清洗，待重新裝填化學品完成後，再運送至半導體廠，如49%HF、Poly Etch、HCl、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>、BOE100:1...等，而另一部分為在廠內進行處理，先將藥桶內廢液倒出，廢液暫存於廠內廢液槽，再委外進行清運處理，在空藥桶部分，則是由承攬商先於廠內將藥桶破碎後，再出廠委外處理，如EKC270、NMP、SS-25E、W2000...等。所以若是藥桶殘留的量多，不僅浪費原物料，還會增加廢液委外處理量。

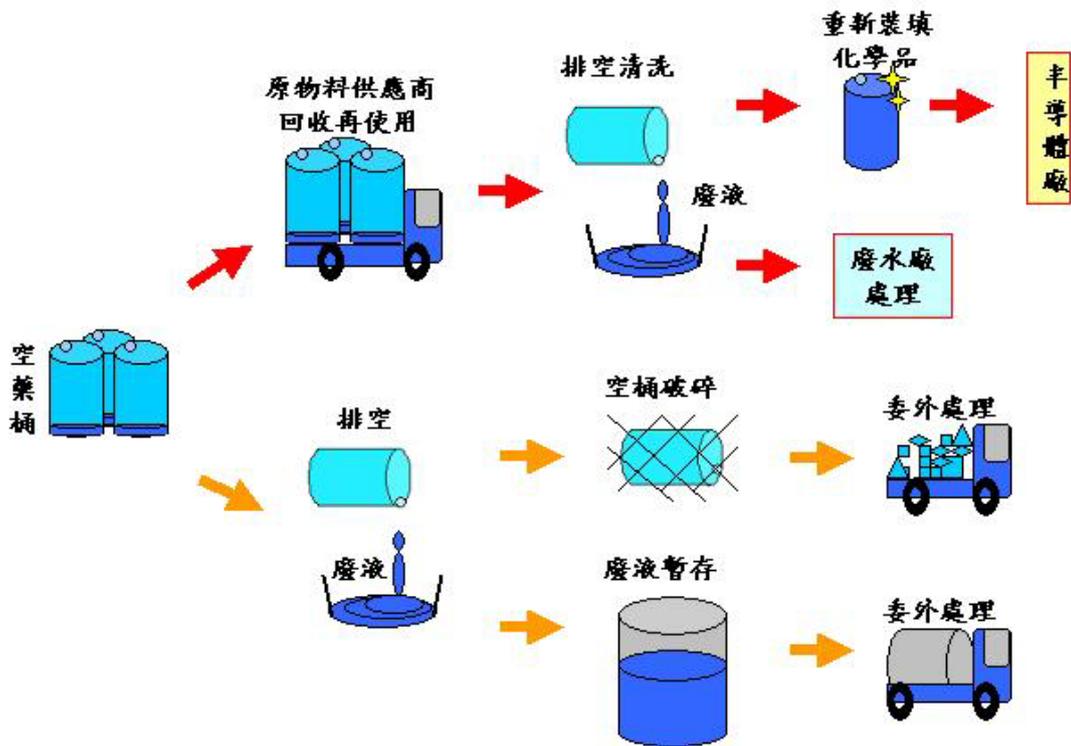


圖8 空藥桶處理流程

### 2.3 雷諾數與流動型態之關係

化學藥桶內盛裝的是高潔淨度化學品，其輸送方式為利用泵經由吸管將化學品由藥桶底部抽出，如圖9所示，化學品在管路中之流動會受到壓力、重力、黏滯力、表面張力等的影響，其中以流體的黏滯力與流體關係最大，如2.1式，將使流體的流動呈現層流或擾流兩種差異性大的型態，可由慣性力與黏滯力之比顯示此兩種流動型態之區別，關係如2.1式【3】：

$$N_{Re} = DV\rho/\mu = DV/v \quad (2.1)$$

式中D=管徑

V=液體的平均速度

$\mu$ =液體的黏度

$\rho$ =液體的密度

$v$ =液體的動黏度

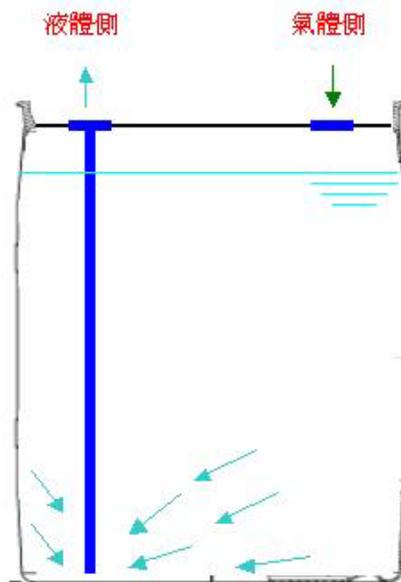


圖9 藥桶式化學品抽取示意圖

慣性力是正比於 $\rho v^2$ ，而黏滯力則是正比於 $\mu v/D$ ，而 $\rho v^2/(\mu v/D)$ 比即為 $Dv\rho/\mu$ ，流體在低流速時，其分子的動量低，黏滯力大於或等於慣性力時，流動型態為層流型態或過渡型態，而當流體流速超過臨界速度時，其分子的動量增加，黏滯力小於慣性力時，其流動型態則為亂流型態。由層流轉變成亂流的過程可在很大範圍的雷諾數內發生。層流通常發生在雷諾數小於2,100，在一般的流動情況下，雷諾數大於4,200則稱為亂流。介於2,100與4,200之間是過渡區。

## 2.4 田口法簡介

實驗設計法(Design of Experiments; DOE)是R. A. Fisher在1920年代所創始的，但因需應用到許多的統計學知識，在學習上，對一般工程人員較困難，且其需多次的實驗才能達到最佳化的參數。於1950年代田口玄一(Taguchi Genichi)提出田口品質工程，不再以統計學的概念為主軸，倡導使用直交表(Orthogonal Array)進行實驗規劃，改以簡潔的信號雜音比(Signal to Noise Ratio; S/N)進行實驗數據計算分析，可同時探討控制因子與品質特性之影響，並使製程很容易的找出最佳參數組合。於1980年田口以設計實驗協助AT&T解決當時正在研發的256K DRAM 製程問題，使得良率由18%提升至80%，震驚美國的製造業，田口式實驗計劃法從此傳入美國，由於田口法(Taguchi Method)可以大幅提升製造的品質，因此在美國田口法也被稱為「品質工程」(Quality Engineering)或「穩健設計」(Robust Design)【4】。

穩健設計的目的是要替製造業者和消費者節省更多的成本，而且也在於如何設計一件產品或是一個製程，使產品的功能與製程的能力呈現穩健性，而不受任何雜訊的干擾

影響，若產品品質具備穩健性則不會因此產生大的變異。品質特性便是實驗的反應，”反應”係指該項產品的輸出，或是產品其它的特性，對品質特性或產品反應產生影響者，有甚多不同的參數，大致可歸併為三類，圖解如圖10，簡述如下【5】：

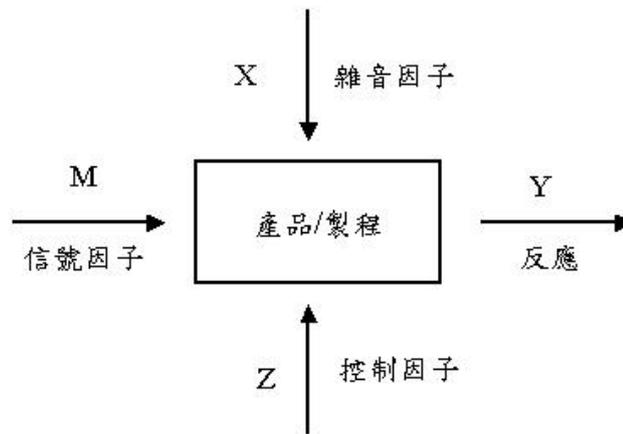


圖10 產品或製程的圖解

資料來源:【5】

1. 信號因子(M)：係由產品使用者或操作者設定的參數，產品使用者可經由調整信號因子使產品的反應(y)改變，用以表示產品反應有的值。
2. 控制因子(Z)：設計工程師可任意設定參數值稱為控制因子。控制因子通常可能有高低值的變動，稱之為水準。
3. 雜音因子(X)：非設計者可控制的參數為雜音因子，凡是參數值(水準)不容易控制，或須耗費高成本進行控制的參數，皆可視為雜音因子。

田口法依控制因子及其水準的數目選用適當的直交表，來求得最佳化，其步驟簡述如下【6】：

- (1) 實驗的目的與內容：儘量選擇可以量測、量化的品質特性。
- (2) 品質特性的決定：望大特性、望小特性、望目特性。
- (3) 因子選定：利用魚骨圖列出與目的可能有關的所有因子。
- (4) 因子水準選定：選定重要因子作為進行實驗的參數條件。
- (5) 實驗數選定：依因子數及水準數選定適當的直交表。
- (6) 實驗實施：依直交表的配置進行實驗。
- (7) 資料解析：計算控制因子的變動對品質特性及變異的效應。

- (8) 最佳條件的決定：依資料解析結果推測最佳條件參數。
- (9) 再現性的驗證實驗：按照最佳條件進行驗證實驗。

### 2.4.1 品質損失函數

當生產的產品品質不良或是不符合規定時，將對社會及生產者造成損失，傳統上對於品質損失的觀念，如圖11所示之分段損失函數 (Step Function)：

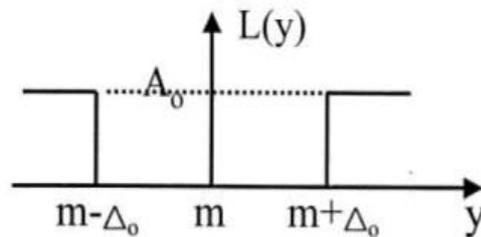


圖11 分段損失函數  
資料來源:【5】

表示式如2.2式：

$$L(y) = \begin{cases} 0, & \text{若 } |y-m| \leq \Delta_0 \\ A_0, & \text{若 } |y-m| > \Delta_0 \end{cases} \quad (2.2)$$

$L(y)$ ：損失函數

$A_0$ ：產品更換成本或維修成本

$\Delta_0$ ：產品的功能界限

$m$ ：產品品質特性的目標值

產品的規格可以  $m \pm \Delta_0$  表示，凡是產品規格在界限  $m - \Delta_0$  與  $m + \Delta_0$  範圍稱為良品，其損失等於零；倘若產品的規格超出上限或下限則屬不良品，則會產生損失，但此方式並非一個適當的描述方法。應該是以二次方程式函數曲線表示，如圖12所示，當產品符合規格值時，品質損失為零，當產品的品質特性  $y$  開始偏離目標值  $m$  時，品質損失  $L$  是以二次方程式曲線的速度增加，其表示式為2.3式：

$$L(y) = (A_0 / \Delta_0^2) (y-m)^2 = k (y-m)^2 \quad (2.3)$$

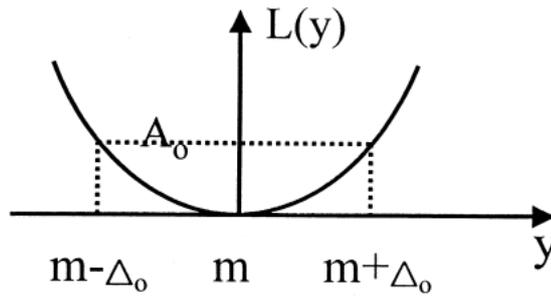


圖12 二次方程式損失函數  
資料來源:【5】

品質特性依資料的性質與資料的目的可同區分為三種特性，損失函數曲線圖如圖13所示，損失函數計算式整理於表3，三種特性簡述如下：

1. 望目特性(Nominal the Best)：品質特性愈接近目標值愈好，品質特性的理想機能即為此目標值。
2. 望小特性(Smaller the Better)：品質特性值愈小愈好，理想值是零。
3. 望大特性(Larger the Better)：品質特性值愈大愈好，理想值是無窮大。

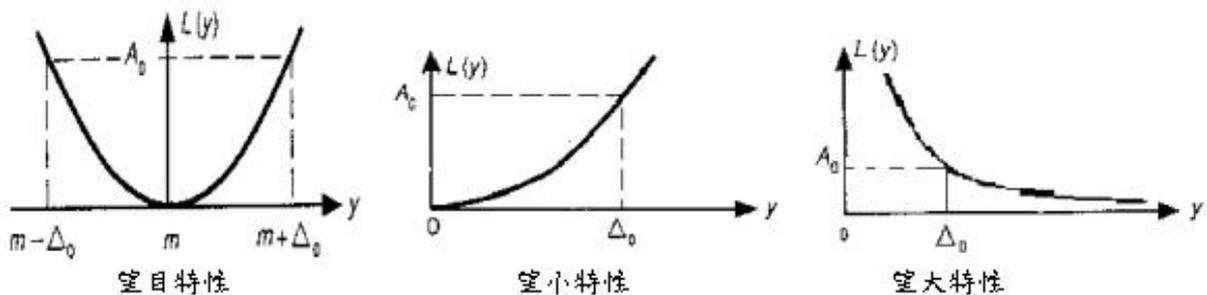


圖13 損失函數曲線圖  
資料來源:【5】

表3 各品質特性損失函數

品質特性	望目特性(NTB)	望小特性(STB)	望大特性(LTB)
損失係數	$k=A_0/\Delta_0^2$	$k=A_0/\Delta_0^2$	$k=A_0*\Delta_0^2$
均方差(MSD)	$MSD_{NTB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - m)^2$ $= [(\bar{y} - m)^2 + s^2]$	$MSD_{STB} = \bar{y}^2 + s^2$	$MSD_{LTB} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i}\right)^2$
損失函數	$L_{NTB} = k[MSD]_{NTB}$ $L_{NTB} = k[(\bar{y} - m)^2 + s^2]$	$L(y) = ky^2$ $L_{STB} = k[\bar{y}^2 + s^2]$	$L(y) = k\frac{1}{y^2}$ $L_{LTB} = k\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y}\right)^2\right]$

資料來源:【5】

備註:

1.  $S^2$  為變異數。
2.  $k$  為品質損失函數。
3.  $m$  為目標值。

### 2.4.2 直交表

直交表 (Orthogonal Array) 的構想是用較少的實驗次數來獲得較有用的統計資訊，需求不同需選用適合之直交表。直交的表示方式以  $L_a(b^c)$  表示，其意義代表共有  $a$  組實驗，最多可容納  $b$  個水準的因子  $c$  個，即直交表共有  $a$  列及  $c$  行。直交表其任何兩行的內積等於零，任何兩行因子水準出現次數相同，各因子效果之推定是在其它因子均等變化情況下，故可信度高，並具均衡特性。直交表的類型可分為三種【5】：

1. 水準直交表：實驗次數為2的次方，常用於篩選重要的實驗因子可檢驗因子間交互作用，如  $L_4, L_8, L_{16}, L_{32}, \dots$  等，如表4。
2. 水準直交表：實驗次數為3的次方，如常用於實驗因子的最佳化設計，如  $L_9, L_{27}, \dots$  等，如表5。
3. 混合型直交表(Mixed Orthogonal Array)：可有效降低交互作用對因子主效應估，如  $L_{12}, L_{18}, L_{36}, \dots$  等，如表6。

表4  $L_4(2^3)$  直交表

Expt.	Column		
	No.	1	2
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

表5  $L_9(3^4)$  直交表

Expt.	Column			
No.	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表6  $L_{12}(2^{11})$  直交表

Expt.	Column										
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

### 2.4.3 S/N 比

在通訊工程上以輸出信號雜音比(Signal to Noise Ratio; S/N 比)作為品質指標，此值愈大表示通訊品質愈佳，其定義為：

$$\eta = \log\left(\frac{\text{信號的強度}}{\text{雜音的強度}}\right) \quad (2.4)$$

$\eta$ (eta)之單位為分貝(Decibel; dB)

因此田口法借用信號雜音比定義表示品質的優劣，簡稱 S/N 比，其定義為：

$$\eta = 10 * \log\left(\frac{\text{有用的信號}}{\text{有害的信號}}\right) \quad (2.5)$$

品質特性依理想機能可區分為三種型態：

1. 望目特性：目標值m通常設為非負之有限值。

$$S / N_{NTB} = 10 \log_{10} \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (2.6)$$

2. 望小特性：當n 個品質特性值為 $y_1, y_2, \dots, y_n$  時，則S/N 比可表示為：

$$S / N_{STB} = -10 \log(MSD) = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.7)$$

3. 望大特性：當n 個品質特性值為 $y_1, y_2, \dots, y_n$  時，則S/N 比可表示為：

$$S / N_{LTB} = -10 \log_{10} (MSD) = -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.8)$$

#### 2.4.4 變異數分析

變異數分析是指將總變異區分為原因變異與誤差變異，再根據誤差之常態基礎，來檢定各原因是否在其水準間有顯著差別之方法。在實驗分析方面，常使用變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA)，如表 7 所示，並配合 P 值檢定進行分析，比較因子 P 值為判斷依據，進行多品質特性最佳組合的選擇，P 值檢定為套裝軟體中常用的檢定方法，在檢定報表中可以得到一些檢定統計量的 P 值。檢定決策時，P 值越小，表示檢定越容易顯著。

表7 變異數分析表

Source 來源	SS 平方和	df 自由度	MS 均方	F*
Treatment 處理	SSt <sub>rt</sub>	k-1	$MSt_{rt} = \frac{SSt_{rt}}{k-1}$	$F^* = \frac{MSt_{rt}}{MSE}$
Error 殘差	SSE	n-k	$MSE = \frac{SSE}{n-k}$	
Total 總和	SSt <sub>ot</sub>	n-1		

資料來源: 【6】

1. 總變異(Sum of Squares Due to Total; SStot) :  $SStot = SSt_{rt} + SSE$ 。

$$SStot = \sum_i^k \sum_j^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \quad (2.9)$$

$$T = \sum_i \sum_j X_{ij} \quad (2.10)$$

2. 處理間變異(Sum of Square Between Treatment; SSt<sub>rt</sub>) :

$$SSt_{rt} = \sum_j n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 = \sum_j \frac{T_j^2}{n_j} - \frac{T^2}{n} \quad (2.11)$$

$$T_j = \sum_i X_{ij} \quad (2.12)$$

3. 處理內變異 (Sum of Square Due to Error; SSE) :

$$SSE = \sum_i^k \sum_j^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 = \sum_i \sum_j X_{ij}^2 - \frac{T_j^2}{n_j} \quad (2.13)$$

4. 均方(Mean of Squares; MS) : 為因子的平方和與其自由度的比值。
5. P值與F值的關係如圖14 :

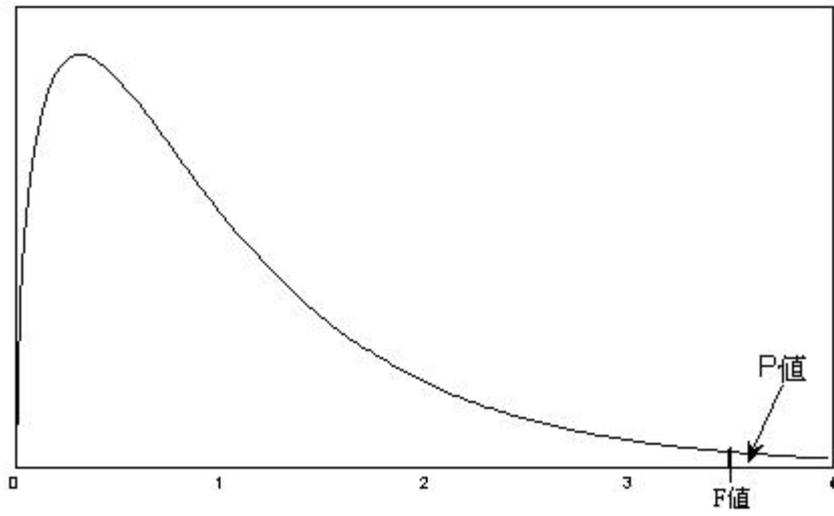
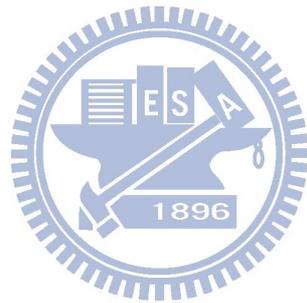


圖14 變異數分析 P 值與 F 值的關係圖



### 三、研究方法與設備

本研究以一產能為25,000片的八吋晶圓廠為案例，首先分析各種化學藥桶的規格尺寸，其包含藥桶材質、藥桶尺寸、吸管直徑、吸口形狀、吸口高度及吸管內流體的雷諾數分析，並與殘餘量進行比對分析，作為田口法進行實驗時因子選定及水準設定之參考，以利縮短實驗時間及求取最佳化的操控參數，再依最佳化操控參數以工業設計流程研發設計相關減量硬體裝置，並於案例廠進行運轉測試及效益分析。

#### 3.1 研究方法

田口法是產品與系統優化技術的穩健性手法，可以最經濟的手段有效縮短研發時間及提升技術，並能避免因設計錯誤而導致成本浪費。本文係針對半導體廠廠務化學品供應系統空藥桶的殘餘量以田口法重新檢視系統參數設定及硬體設計，取得最佳化的操作控制因子組合，並由實廠系統進行測試驗證，以達減少藥桶殘餘量降低成本的效果。本研究採用田口法進行實驗即遵循圖15所示之田口法步驟進行，再以軟體Statistica分析實驗數據。

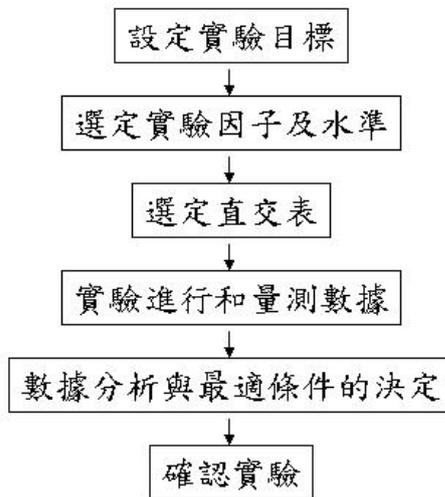


圖15 田口法步驟

#### 3.2 實驗設備

1. 化學品供應系統charge unit：以氣動式泵作為輸送化學品的動力來源，利用泵吸力經由吸管將化學品由藥桶底部抽出，輸送至supply unit。在實驗中以

charge unit模擬各參數條件進行運轉，相關設備規格如下：

- (1) charge unit設備商：LEC (菱洋)
- (2) 泵規格：40 L/min (TACMINA)
- (3) 泵氣源壓力：3~5 kg/cm<sup>2</sup>
- (4) 內部管路：PFA 6/8”

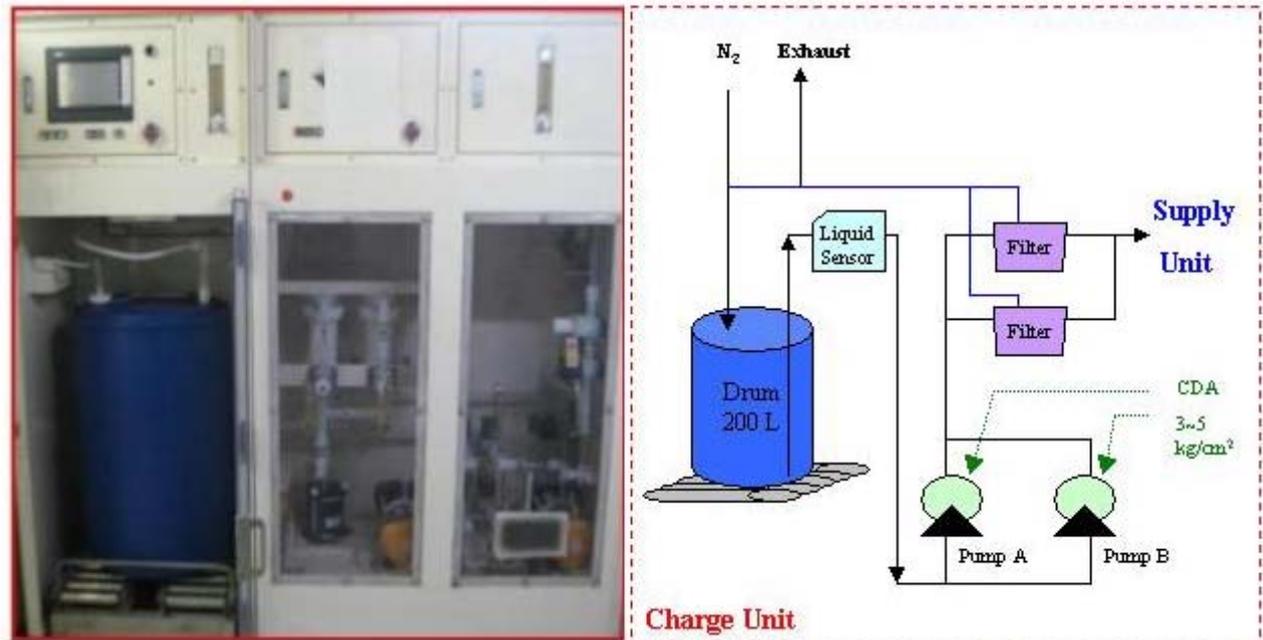


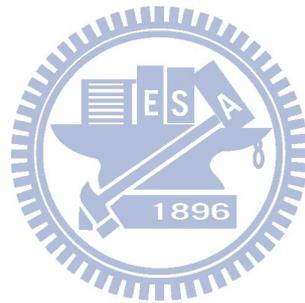
圖16 化學品供應系統 charge unit

2. 電子磅秤：量測藥桶殘液重量，再扣除空藥桶淨重後，除以化學品比重，即可得到殘液體積。因化學品皆為強酸強鹼或有機溶劑，若將化學品直接倒出量取體積，其風險甚高，故採以秤重方式進行殘餘量計量。
3. STATISTICA分析軟體：是一功能強且操作容易的統計軟體。隨著功能的不斷擴充以及完備，已經逐漸成為一項強大的旗艦等級軟體；其分析資料的功能包含基本統計方法(含估計檢定、迴歸分析、變異數分析等)、進階線性/非線性模型、多變量分析(含線性結構模式等)、工業統計應用的品質管制方法、製程分析、實驗設計、資料管理、資料視覺化以及資料挖掘等不同應用與相關主題，STATISTICA提供使用者最廣泛的選擇與組合，使用者可以依據不同的應用情況，於單一的軟體作業平臺上面，進行預測性建模(Predictive Modeling)、群集行偵測(Clustering)、分類模式推論(Classification)以及探索技巧(Exploratory Technique)。目前使用最廣泛且有效的資料挖掘工具，除了提

供滿足如銀行業、保險業或者電信業的「基本」資料挖掘工具(Data Miner)之外，STATISTICATM data mining solution更針對製造業(如半導體業、光電業、石化業、製藥業等)設計了一項工具-QC miner，以及針對未結構化(Unstructured)的文本資訊所設計的工具-text miner。STATISTICATM desktop更可以完全滿足工作上的資料分析與圖表繪製的需求【7】。

### 3.3 實驗方法

1. 藥桶殘規格量測：以游標卡尺及捲尺進行藥桶規格及吸管尺寸量測。
2. 空藥桶殘餘量量測：利用電子磅秤量測空藥桶重量，再扣除藥桶淨重後除以化學品比重，即可得到殘餘量的體積。
3. 數據計算分析：以STATISTICA軟體進行田口法之數據分析，計算S/N比、S/N回應圖、變異數分析...等。



## 四、結果與討論

### 4.1 化學藥桶殘餘量分析

藥桶殘液過多不僅會增加化學品費用也會造成廢水處理費增多，雖然藥桶殘液經過處理符合放流水標準後才會放流至河川，但其對河川生態環境還是會有衝擊，且化學品的生產、運送及殘液的處理會消耗大量的能源，所以藥桶殘液減量可降低公司的運轉成本，還可節能減碳降低生產對環境造成的污染。

#### 4.1.1 藥桶尺寸規格對殘餘量的影響

本研究係針對某半導體廠廠務化學品供應系統之空藥桶殘液量為研究對象，進行各化學空藥桶殘餘量量測及藥桶規格尺寸，以利找出影響殘液量變化的相關因子，其殘液量量測結果及藥桶規格尺寸整理如表8所示。殘液量測以隨機方式抽樣，採樣時間為98.01~98.6共計抽樣15桶次，空藥桶殘液量大部分約介於 0.8 ~ 2.7 L之間。

殘液量大於2 L以上的化學品有EKC270、NMP、EBR、SS-25E，因其使用較大直徑17 mm及15 mm的吸管，在抽取藥桶化學品時，吸管需滿管才可以持續抽取化學品，一旦吸管抽進空氣造成吸管内破真空，則化學品將無法持續抽出，大直徑吸管内體積較大需要較多的液體填滿，所以大直徑吸管殘液量較高約2.4 L左右(如圖18)，相反地小直徑吸管殘液量則較低約1.4 L左右(如圖19)。而相同地吸管吸口與桶底的距離越高時，吸管會越快抽空氣，則藥桶殘液量越多，Poly Etch吸口高度為3 mm，在吸管直徑11 mm的化學品中為最小的，所以其殘餘量為0.8 L最低。而DEV.部份因吸管長度過長約多出10 mm，造成吸口位置不定將導致殘餘量不穩定，吸口偏向藥桶中央時殘餘量增加，反之吸口偏向桶邊則殘餘量減少。

在吸口形狀部分，主要可分為平口型、斜口型及缺口型三種，將平口切割為斜口型或缺口型，其主要是避免吸口平貼在桶底造成吸口阻塞，導致無法抽取化學品，故平口型一般是使用在吸口高度(如17圖所示)較高的吸管如EKC270及EBR，因吸口較高不會有平貼在桶底造成吸口阻塞的現象發生，而斜口型及缺口型則大多用於吸口高度較低的吸管如W2000、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>、HCl等等可防止吸口貼近桶底造成阻塞，故吸口形狀對藥桶殘餘量影響並不大。

表8 藥桶規格及殘餘量量測結果

化學品	主要成分	藥桶材質	藥桶尺寸 (直徑×高)	吸口形狀	吸管直徑 (mm)	吸口高 (mm)	平均殘液量 (L)
SS-25E	二氧化矽/氫氧化鉀	單層HDPE	580 mm×883 mm	口斜	17	9	2.5
W2000	金屬氧化物/二氧化矽	單層HDPE	580 mm×883 mm	口斜	17	5	1.8
EKC270	乙醇胺/異丙醇胺/脛胺/鄰苯二	HDPE	596 mm×945 mm	口平	17	17	2.5
NMP	N-甲基-2-吡咯酮	外:HDPE, 內:PFA	596 mm×945 mm	口斜	15	23	2.7
EBR	乳酸乙酯	SUS 316	591 mm×993 mm	口平	15	15	2.6
BOE 100:1	氫氟酸/氟化銨	外層:鐵, 內:HDPE	580 mm×897 mm	口斜	11	13	1.9
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	雙層HDPE	585 mm×910 mm	口缺	11	7	1.3
HCl	HCl	雙層HDPE	580 mm×883 mm	口缺	11	7	1.6
HF	HF	雙層HDPE	580 mm×883 mm	口缺	11	6	1.8
Poly Etch	硝酸/氫氟酸	雙層HDPE	580 mm×883 mm	口缺	11	3	0.8
DEV.	氫氧化四甲銨	單層HDPE	595 mm×913 mm	口斜	11	-10	1.2

備註:

- 1.化學品名稱說明:a.SS-25E:semi-sperse 25%SiO<sub>2</sub>; b.W2000:W為Tungsten, 2000為型號; c.EKC270:EKC為公司名稱,270為型號; d.NMP: N-methyl-2-pyrrolidone; e.EBR: edge bead remover; f.BOE100:1: Buffer oxidation etchant ,100:1 為氟酸:氟化銨; g. Poly Etch:複晶矽蝕刻; h.DEV.:Developer為TMAH (Tetramethylammonium Hydroxide)原液與超純水稀釋後所製成之產品
- 2.HDPE為高密度聚乙烯材質。
- 3.SUS為不鏽鋼材質。
- 4.吸口高度=藥桶高度-吸管長度，DEV.因吸管長度大於藥桶高度所以為負值。

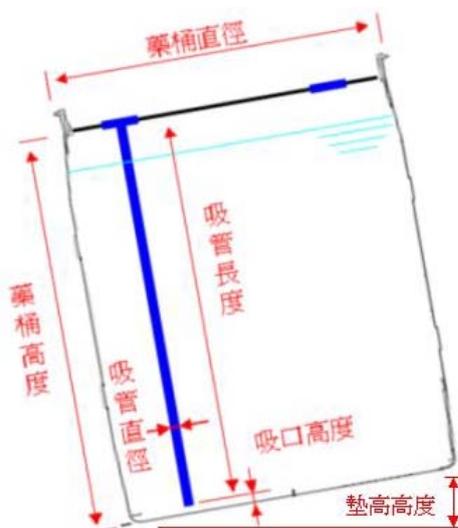


圖17 藥桶規格說明圖

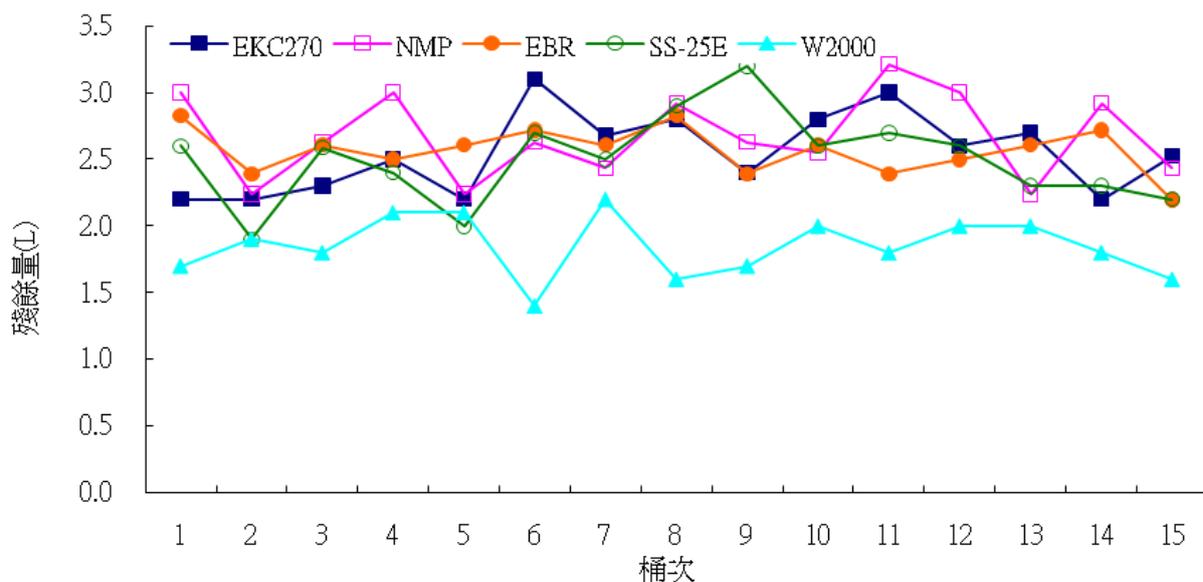


圖18 吸管直徑>11 mm 空藥桶殘液變化圖

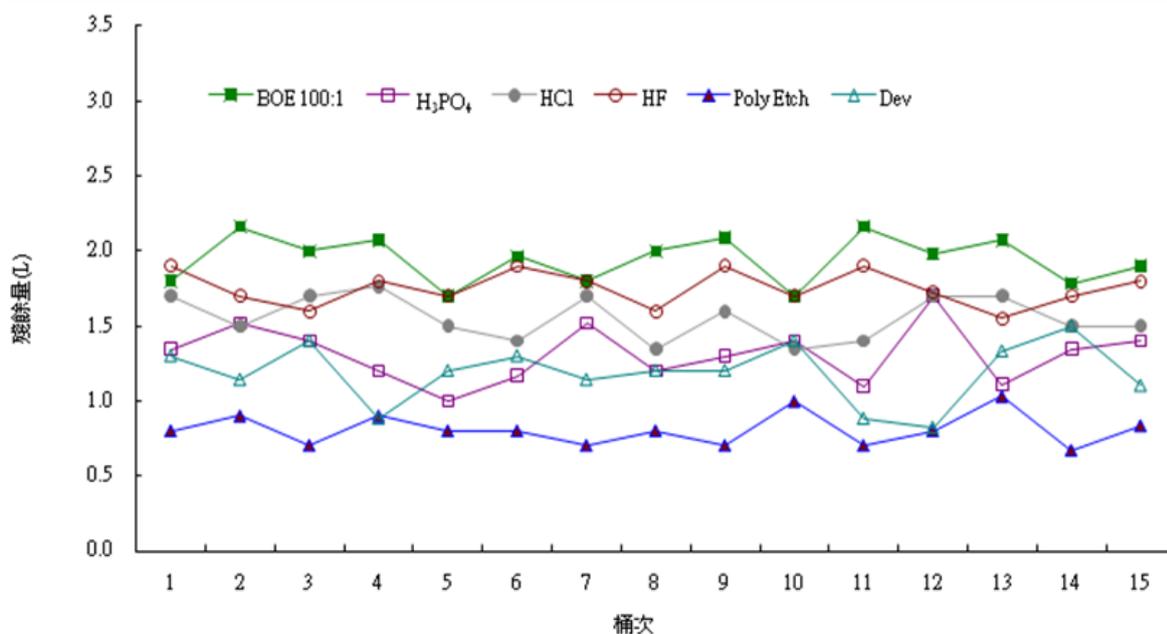


圖19 吸管直徑=11 mm 空藥桶殘液變化圖

在SS-25E及W2000研磨液部分，因CMP製程主要是利用研磨液中的SiO<sub>2</sub>進行晶圓平坦化研磨，所以在SS-25E及W2000中分別含有25%及5%的SiO<sub>2</sub>，雖研磨液中有添加分散劑，但在藥桶桶底還是會有泥狀的SiO<sub>2</sub>沉澱物，這些泥狀沉澱物為較大粒徑的SiO<sub>2</sub>顆粒，若輸送到CMP機台進行平坦化研磨，將導致晶圓刮傷(Micro Scratch)的風險增加，可能會造成良率降低或晶圓報廢，且研磨液供應系統的閥件

也會容易發生SiO<sub>2</sub>結晶累積造成阻塞的現象發生，在測試期間發現供應系統出口端的濾心也會有阻塞現象，濾心更換週期為兩週，更換前後流量有明顯的落差，如圖20，將直接影響供應流量的穩定性並縮短濾心的使用壽命，所以研磨液不建議將藥桶的殘液抽乾。

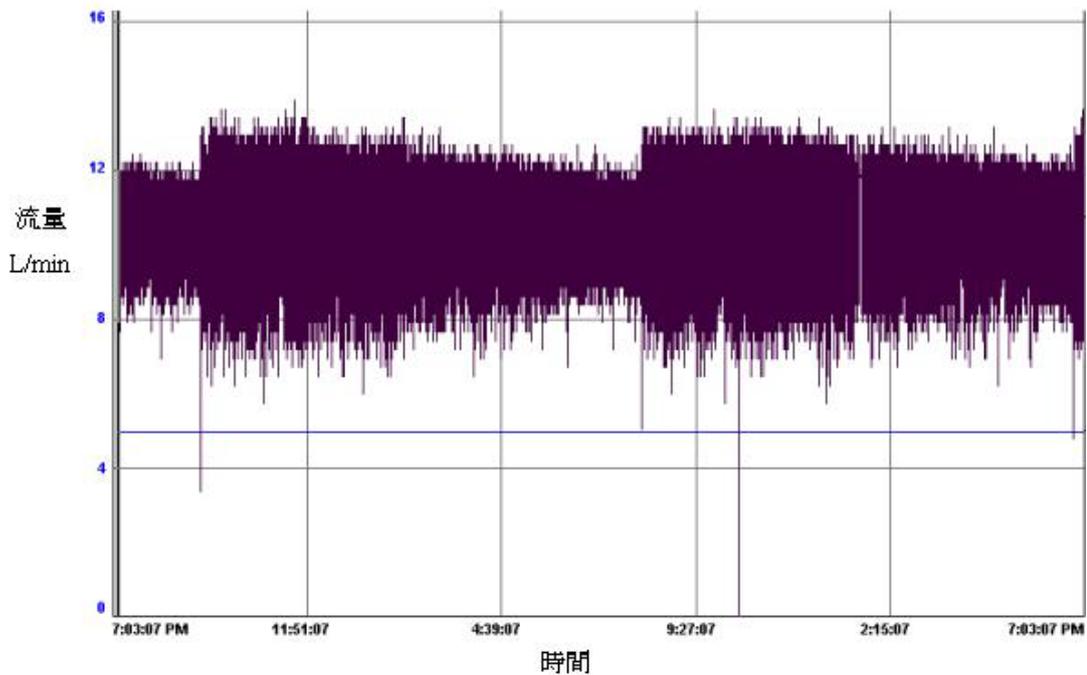


圖20 研磨液供應系統出口流量圖

#### 4.1.2 各化學藥桶雷諾數分析

雷諾數( $N_{Re}$ ) =  $Dvp/\mu$ 是流體動力或慣性力對黏滯力的比。慣性力是正比於 $\rho v^2$ ，而黏滯力則是正比於 $\mu v/D$ ，而 $\rho v^2/(\mu v/D)$ 比即為 $Dvp/\mu$ 。各化學藥桶雷諾數分析如表9，化學品在低流速時，其分子的動量低，黏滯力大於或等於慣性力時，流動型態為層流型態或過渡型態，如EKC270、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>及SS-25E，而當化學品流速超過臨界速度時，其分子的動量增加，黏滯力小於慣性力時，其流動型態則為亂流型態，如BOE100:1、HF及DEV.等等。圖21為雷諾數與殘餘量的關係圖，由圖可知在高雷諾數( $N_{Re}>10000$ )時，因化學品由桶底經吸管抽出，流體慣性力遠大於黏滯力，所以雷諾數較高時可抽出較多的化學品，而在EKC270、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>及SS-25E其 $N_{Re}<10000$ ，則可藉由縮小吸管管徑增加化學品流速以達到提高雷諾數增加化學品的抽取量。

表9 化學藥桶雷諾數分析表

化學品	D (m)	V (m/s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (Pa-s)	N <sub>Re</sub>	流動型態	平均殘液量 (L)
SS-25E	0.015	1.47	1160	0.006	4191	過渡	2.5
W2000	0.015	1.47	1033	0.001	16262	亂流	1.8
EKC270	0.017	1.47	1070	0.012	2227	過渡	2.5
NMP	0.015	1.89	1027	0.002	17102	亂流	2.7
EBR	0.015	1.89	920	0.001	23676	亂流	2.6
BOE 100:1	0.011	3.51	1110	0.001	35707	亂流	1.9
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.011	3.51	1710	0.049	1358	層流	1.3
HCl	0.011	3.51	1190	0.002	24177	亂流	1.6
HF	0.011	3.51	1150	0.001	40357	亂流	1.8
Poly Etch	0.011	3.51	1000	0.002	24127	亂流	0.8
DEV.	0.011	3.51	1100	0.001	47181	亂流	1.2

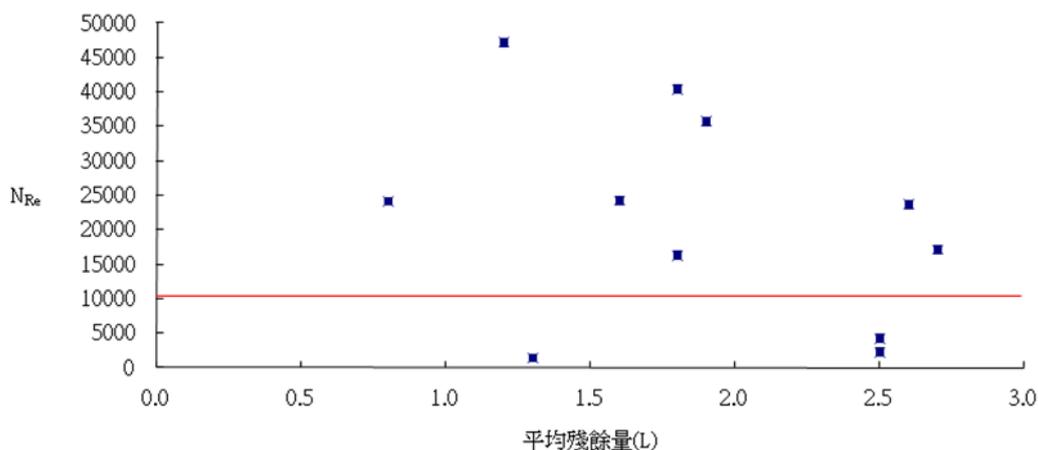


圖21 雷諾數與殘餘量的關係圖

## 4.2 以田口法探求最佳化條件

### 4.2.1 設定實驗目的

經量測分析，空藥桶平均一桶約殘留1.7 L(0.85%,200 L/桶)，即每桶空藥桶會廢棄1.7 L的化學品，因此，減少空藥桶殘餘量可降低原物料成本及降低廢液處理費用，故以殘餘量減量做為目標，其要求的特性為望小特性。

### 4.2.2 選定實驗因子及水準

利用品質分析魚骨圖的分析方法，找出可能影響藥桶殘餘量之主要參數因子，在進行水準的設定，由圖22所示的魚骨圖可知影響藥桶殘餘量的因子可分為

供應系統、化學品特性、藥桶規格、吸管規格、環境及其他等，我們先排除環境和其他方面不確定的因素，再由供應系統、化學品特性、藥桶規格及吸管規格中找出影響藥桶殘餘量的因子。

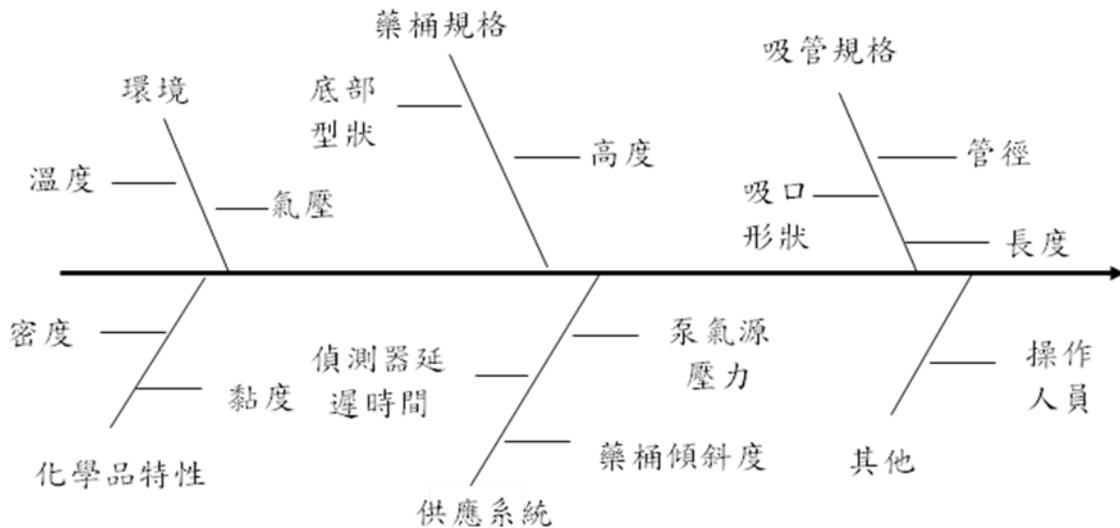


圖22 品質分析魚骨圖

由品質分析魚骨圖選出影響度較大且可控制的參數作為田口法實驗的因子，分析說明如下：

1. 化學品特性:化學品是利用泵經由吸管將化學品由藥桶底部抽出，依流體力學之雷諾數可知層流轉變成亂流中臨界速度是決定於密度及黏度，半導體使用的化學品密度大部都接近水的密度(如表10)，所以將密度排除，而黏度部分則有明顯的落差，為找出不同黏度的適用操作條件，故實驗將會以黏度最高的 $H_3PO_4$ 及次高的EKC270再加上水代表黏度與水約相同的化學品進行實驗。
2. 供應系統:系統可控制的參數有偵測器延遲時間、泵氣源壓力及藥桶傾斜度，空桶的判定是依據安裝在藥桶出口管上的liquid sensor判定(如8圖)，當藥桶空桶時管路會抽到空氣，偵測器偵測到管內第一個氣泡時開始計時，累計30秒皆持續偵測到管內有氣泡即判定為空桶，各供應系統偵測器設定延遲時間皆為30秒，且經觀察各供應系統管內第一個氣泡時開始計約20秒就無法再將化學品抽出，偵測器延遲時間30秒已可滿足需求，故將偵測器延遲時間排除。

本案例廠供應系統使用的泵皆為bellows氣動式的，利用氣源做為泵的動力來源，所以可用氣源的壓力及流量來控制泵輸出的壓力及流量，不過在系統上並無設置氣源流量控制閥件只有設置調壓閥，但可以壓力高低做為流量的控制，所以將氣源壓力列為控制因子，目前各系統泵氣源壓力設定約為4

kg/cm<sup>2</sup>，而泵原廠的工作壓力建議值為3~5 kg/cm<sup>2</sup>，所以水準設定為3 kg/cm<sup>2</sup>、4 kg/cm<sup>2</sup>及5 kg/cm<sup>2</sup>。在藥桶傾斜度部份，初步以C型鋼(高度5 cm)進行藥桶傾斜測試，確認藥桶傾斜有殘餘量減量的效果，但因供應系統藥桶放置的空間狹小，兩側空間有限，最高可墊高傾斜藥桶7 cm，所以將水準設定為5 cm、6 cm及7 cm。

3. 吸管規格:流速與吸管截面積的乘積為流量，在流量相同下可利用吸管直徑提高流速增加抽取時的吸力，故將直徑列為控制因子，目前藥桶供應商使用的吸管直徑有11 mm、15 mm及17 mm，所以將此三種直徑設定為吸管直徑因子的水準。在吸口形狀部分其主要功能是在防止吸口貼近桶底造成阻塞，故吸口形狀排除。而吸管長度則是需與藥桶高度配合，吸管長度減藥桶高度等於吸口高度，吸口高度越高殘餘量越多，反之則殘餘量越少，故將吸口高度列為控制因子，目前藥桶的吸口高度約為0~23 mm，以殘餘量為考量點吸口高度越小越好，但若太低可能會發生吸口吸住桶底造成阻塞的現象，所以吸口高度水準設定為5 mm、10 mm及、15 mm。
4. 藥桶規格:藥桶高度需與吸管長度配合，所以將其排除。而在桶底形狀部份，目前使用的藥桶桶身材質分為金屬及塑材，金屬桶身部分，其接合面在桶底的圓周上，所以桶底平整，而塑材部分，因藥桶是在高溫高壓下吹製壓合而成，所以在桶底會有接合線，約凸起1~2 mm，凸起度不高所以將其排除。

本研究選定的控制因子及水準如表 10 所示。

表10 控制因子及水準表

Factor	Description	Level 1	Level 2	Level 3
A	墊高高度 (cm)	5	6	7
B	吸管直徑 (cm)	1.1	1.5	1.7
C	吸口高度 (cm)	0.5	1	1.5
D	泵氣源壓力 (kg/cm <sup>2</sup> )	3	4	5

#### 4.2.3 選定直交表

本實驗共有四個三個水準之因子，符合需求的直交表為 $L_9(3^4)$ ，如表6所示。

#### 4.2.4 實驗進行和量測數據

本研究以藥桶殘餘量為品質特性，實驗主要控制因子為墊高高度(A)、吸管直徑(B)、吸口高度(C)及泵氣源壓力(D)，實驗以黏度最高的 $H_3PO_4$ 及次高的EKC270再加上 $H_2O$ 代表黏度與水約相同的化學品進行，實驗依直交表的配置進行，每個實驗組合進行兩次實驗，實驗結果如表11所示。

表11 田口法實驗結果表

Expt. No.	Column				H <sub>2</sub> O (L)		EKC270 (L)		H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (L)	
	A	B	C	D	Data 1	Data 2	Data 1	Data 2	Data 1	Data 2
1	1	1	1	1	0.72	0.75	0.56	0.6	0.78	0.72
2	1	2	2	2	1.48	1.52	1.22	1.18	1.46	1.35
3	1	3	3	3	2.7	2.66	2.84	2.65	3.68	3.51
4	2	1	2	3	0.92	0.89	0.88	0.87	0.78	0.7
5	2	2	3	1	1.73	1.69	2.04	2.18	2.52	2.49
6	2	3	1	2	0.7	0.68	0.78	0.81	0.92	0.91
7	3	1	3	2	1.2	1.27	1.28	1.33	1.3	1.39
8	3	2	1	3	0.49	0.51	0.52	0.53	0.62	0.71
9	3	3	2	1	1.1	1.18	1.14	1.09	1.08	1.15

#### 4.2.5 數據分析與最適條件的決定

實驗數據以statistica軟體分析計算，以望小特性分析S/N比，其結果如表12所示，S/N比較大表示較佳，為最佳的參數組，合以 $H_2O$ 進行實驗，最佳的實驗參數組合為第8項S/N=-53.98。以EKC270進行實驗，最佳的實驗參數組合為第8項S/N=-54.40。以 $H_3PO_4$ 進行實驗，最佳的實驗參數組合為第8項S/N=-56.44，由實驗結果可知不論是以 $H_2O$ 、EKC270或 $H_3PO_4$ 進行實驗，其最佳參數組合為A3(墊高高度7 cm)、B2(吸管直徑1.5 cm)、C1(吸口高度0.5 cm)、D3(泵氣源壓力5 kg/cm<sup>2</sup>)。

表12 田口法實驗結果之 S/N 比表

Expt. No.	Column				H <sub>2</sub> O (L)	EKC270 (L)	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (L)
	A	B	C	D	Eta (S/N)	Eta (S/N)	Eta (S/N)
1	1	1	1	1	-57.32	-55.26	-57.49
2	1	2	2	2	-63.52	-61.58	-62.95
3	1	3	3	3	-68.56	-68.56	-70.87
4	2	1	2	3	-59.13	-58.84	-57.37
5	2	2	3	1	-64.66	-66.48	-67.98
6	2	3	1	2	-56.78	-58.01	-59.23
7	3	1	3	2	-61.83	-62.31	-62.57
8	3	2	1	3	-53.98	-54.40	-56.44
9	3	3	2	1	-61.13	-60.94	-60.94

以表12 S/N比值計算各因子水準的回應值，將表12中A因子水準為1的實驗組所對應的S/N比值取平均即為回應值，依序進行各因子水準回應值計算，如表13所示。並依S/N回應表繪製S/N回應圖，如圖23、24及25，再以S/N回應圖找出最佳參數組合，由H<sub>2</sub>O、EKC270及H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>的回應圖可知最佳參數組合皆為A3(墊高高度7 cm)、B1(吸管直徑1.1 cm)、C1(吸口高度0.5 cm)、D3(泵氣源壓力5 kg/cm<sup>2</sup>)。

表13 田口法實驗結果之 S/N 回應表

Factor	Level	H <sub>2</sub> O	EKC270	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
		S/N		
A	1	-63.136	-61.870	-63.769
	2	-60.189	-61.109	-61.525
	3	-58.980	-59.219	-59.982
B	1	-59.429	-58.805	-59.145
	2	-60.719	-60.822	-62.453
	3	-62.157	-62.572	-63.679
C	1	-56.026	-55.891	-57.720
	2	-61.262	-60.455	-60.420
	3	-65.017	-65.852	-67.137
D	1	-61.039	-60.896	-62.137
	2	-60.709	-60.633	-61.582
	3	-60.557	-60.669	-61.558

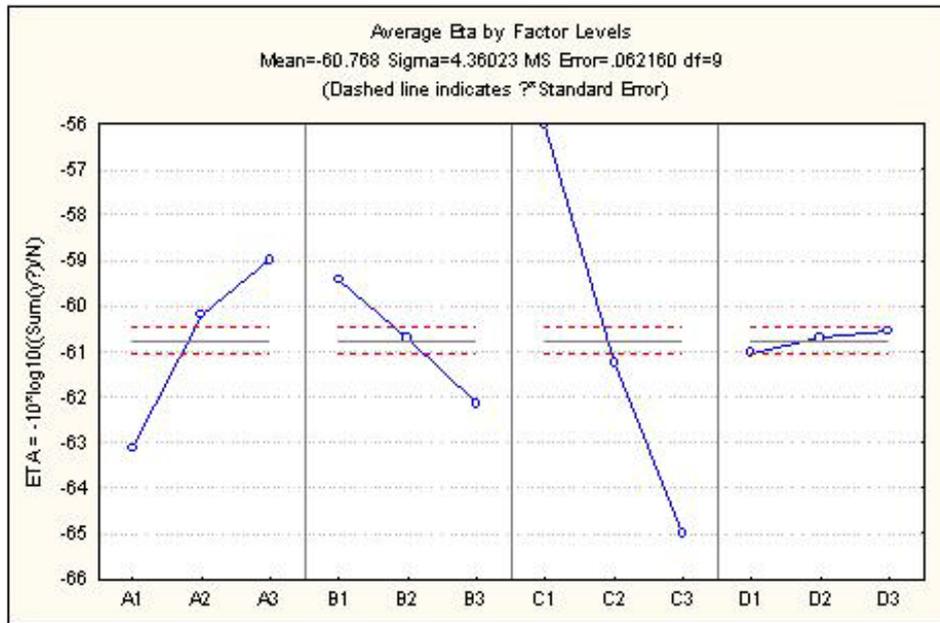


圖23 以 H<sub>2</sub>O 實驗之 S/N 比回應圖

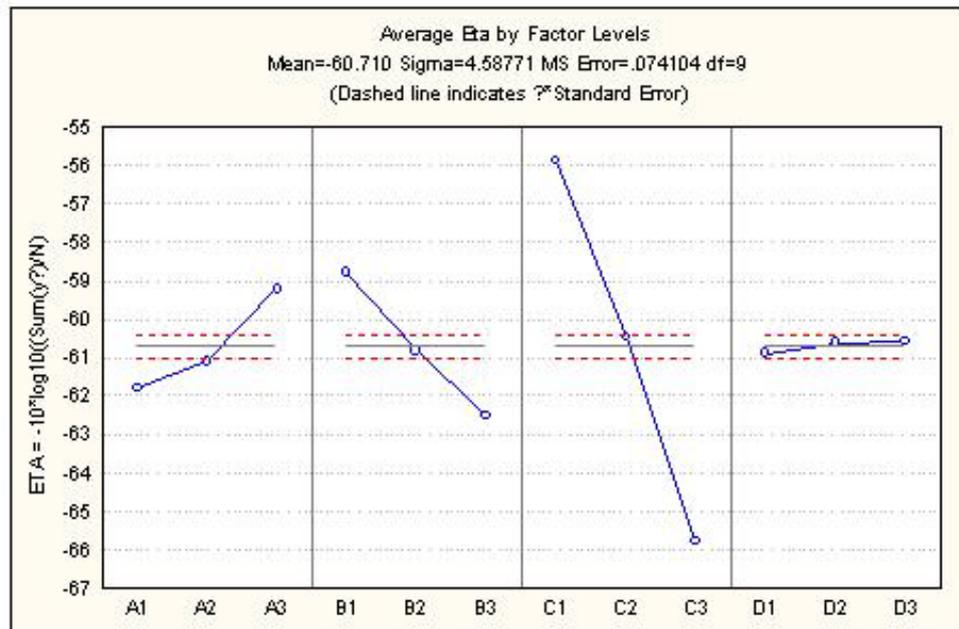


圖24 以 EKC270 實驗之 S/N 比回應圖

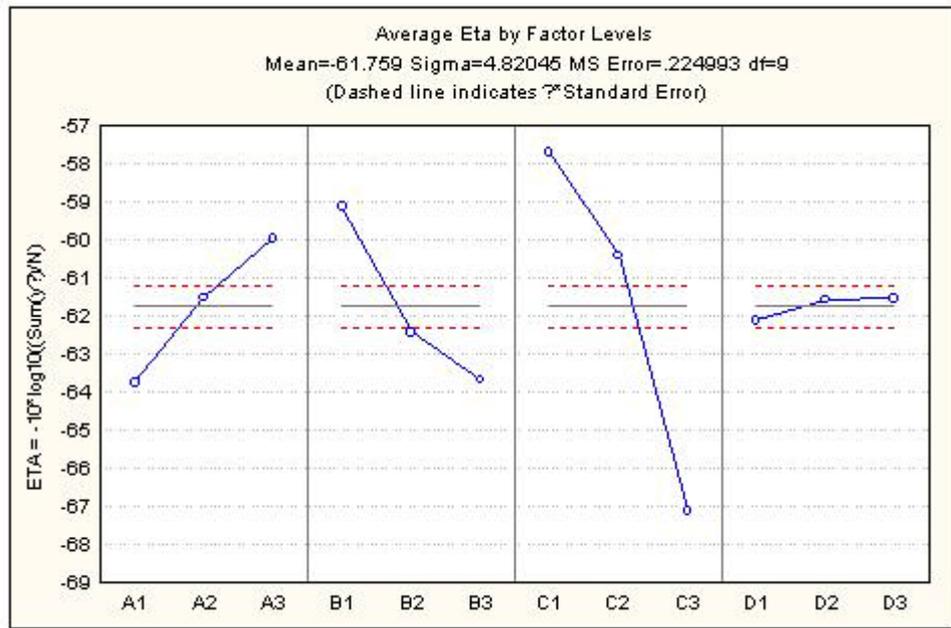


圖25 以 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 實驗之 S/N 比回應圖

直交表推算之S/N比回應圖可找出不同因子的最佳參數組合，而各因子對品質特性的影響程度大小，可由變異數分析探討，本實驗H<sub>2</sub>O、EKC270及H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>的變異數分析結果分別列於表14、表15及表16中。P值表示水準間差異的顯著度，P<0.05 表示水準間差異顯著，由三個變異數分析結果可知因子C(吸口高度)水準間差異較顯著，其次為因子A(墊高高度)及B(吸管直徑)，而D因子為四個因子中顯著較低者。

表14 以 H<sub>2</sub>O 實驗結果之變異數分析表

H <sub>2</sub> O	SS	df	MS	F	P
A	54.83	2	27.42	441.04	1.05E-09
B	22.36	2	11.18	179.83	5.55E-08
C	244.72	2	122.36	1968.51	1.29E-12
D	0.73	2	0.36	5.85	0.02
Residual	0.56	9	0.06		

表15 以 EKC270 實驗結果之變異數分析表

EKC270	SS	df	MS	F	P
A	21.45	2	10.73	144.74	1.44E-07
B	41.15	2	20.58	277.65	8.17E-09
C	294.22	2	147.11	1985.16	1.24E-12
D	0.31	2	0.16	2.12	0.18
Residual	0.67	9	0.07		

表16 以 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 實驗結果之變異數分析表

H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	SS	df	MS	F	P
A	43.51	2	21.75	96.69	8.25E-07
B	65.99	2	33.00	146.65	1.36E-07
C	282.21	2	141.11	627.16	2.17E-10
D	1.29	2	0.64	2.86	0.11
Residual	2.02	9	0.22		

綜合以上結果，不論是H<sub>2</sub>O、EKC270或H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>最佳參數組合皆為A3(墊高高度7 cm)、B1(吸管直徑1.1 cm)、C1(吸口高度0.5 cm)、D3(泵氣源壓力5 kg/cm<sup>2</sup>)，水準間顯著度較高因子為C(吸口高度)。以最佳參數組合進行實驗驗證，H<sub>2</sub>O、EKC270及H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>之結果如表17所示，約可減量至0.22 L左右。在實廠運轉上A及D因子可由供應系統直接進行調整，而B及C因子需與原物料供應商協調，由供應商修改藥桶吸管直徑及吸口高度，此部分涉及層面較廣需耗費較長時間，故本研究將先對A3(墊高高度7 cm)及D3(泵氣源壓力5 kg/cm<sup>2</sup>)因子進行實廠運轉測試。

表17 以最佳參數實驗之驗證結果

Column				H <sub>2</sub> O	EKC270	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
墊高高度	吸管直徑	吸口高度	泵氣源壓力	殘餘量 (L)		
7 cm	1.1 cm	0.5 cm	5 kg/cm <sup>2</sup>	0.22	0.21	0.24

### 4.3 藥桶殘液減量裝置設計

藥桶式化學供應系統，其更換藥桶的流程為先利用夾桶車將藥桶夾到手推車上，再將手推車推至charge unit的roller前方，然後將藥桶平推進charge unit的roller上方。因藥桶滿桶時其重量為200~350公斤，且charge unit的roller空間有限無法藉由機具或人力將藥桶墊高，故只能於藥桶空桶前重量較輕時再將藥桶墊高，雖然可達到降低殘餘量的效果，但需每2~3小時巡檢一次，檢查藥桶是否將空桶，是否重量已變輕可進行墊高作業，此方式將會加重值班同仁的工作量，在實際執行運轉會有困難。若於藥桶空後再進打斜重新上線抽取，將會有因吸入過多氣體而造成濾心氣塞，使得泵可能發生無法作動的現象，屆時需進行手動排氣才可恢復正常運轉，所以不建議使用打斜重抽的方式，故進行藥桶殘液減量裝置研發設計。藥桶殘液減量裝置參考工業設計流程【8】進行設計，其流程如圖26所示：

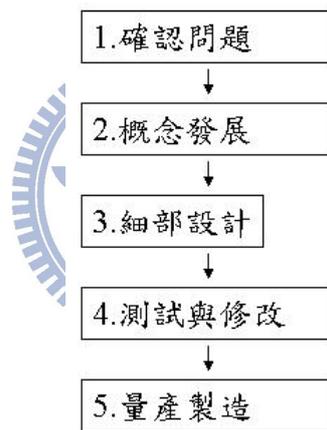


圖26 工業設計流程圖

#### 4.3.1 藥桶自動提升傾斜裝置

自動提升傾斜裝置依工業設計流程進行設計：

1. 確認問題: 因廠內生產線為24小時連續運轉，化學品供應系統也需連續運轉不能中斷，所以在藥桶殘液減量裝置的設計上就不能以電控的方式控制，若以電控方式則化學品供應系統PLC程式也需進行修改更新，屆時化學品供應系統也需停止才可進行，因將PLC程式下載至PLC時，會影響PLC間的通訊及CPU的工作效率，如此將會直接影響系統供酸及生產，且若涉及PLC程式修改，其費用將非常昂貴，所以減量裝置需為機械式的自動機構。
2. 概念發展: 利用避震器的概念如圖27所示，在原滾軸間再增設兩支小滾軸，

並於下方設置彈簧，當藥桶推入roller時增設滾輪會順勢被藥桶壓下，依彈簧的特性，當藥桶滿桶時裝置會被下壓，而當藥桶接近空桶重量變輕時，則藥桶會被撐起達到傾斜的效果，使藥桶內化學品集中於另一側，達到增加每桶藥桶的抽取量。

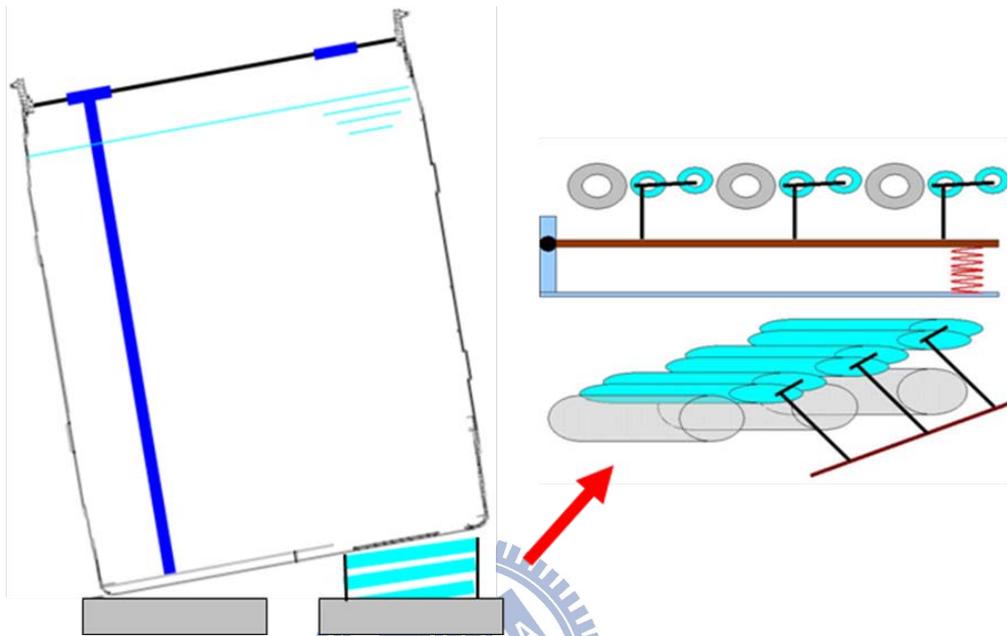


圖27 自動提升傾斜裝置概念圖

3. 細部設計: 利用AutoCAD配合原roller尺寸繪製設計圖，並依設計圖製作自動提升傾斜裝置初版模型如圖28所示。

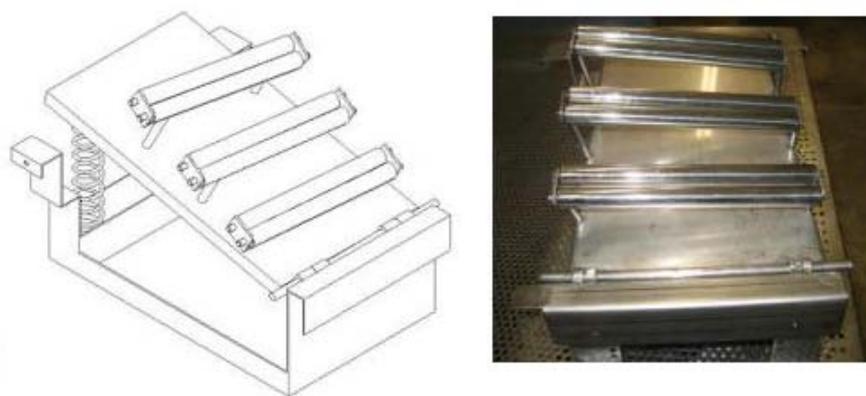


圖28 自動提升傾斜裝置初版模型圖

4. 測試與修改: 在roller左側(氣體側的下方)中間處設置自動提升傾斜裝置(如圖29)進行上線測試後發現，金屬製藥桶(BOE100:1及EBR)在操作上會發生墊高高度不足的現象，因金屬桶底部有約2 cm的邊框，所以若藥桶放置太靠旁

邊，滾輪無法頂到邊框，將會造成墊高高度不足，故在滾輪側邊加裝鐵片(如圖30)延伸支撐面，即可避免滾輪無法頂到邊框的現象。自動提升傾斜裝置修改完成後，進行上線測試，如圖31所示，測試結果如圖32及圖33所示，由結果可知自動提升傾斜裝置可明顯減低藥桶殘餘量，且在藥桶更換操作業上與原程序相同不會增加同仁的工作量。



圖29 自動提升傾斜裝置設置圖



圖30 自動提升傾斜裝置完成版圖

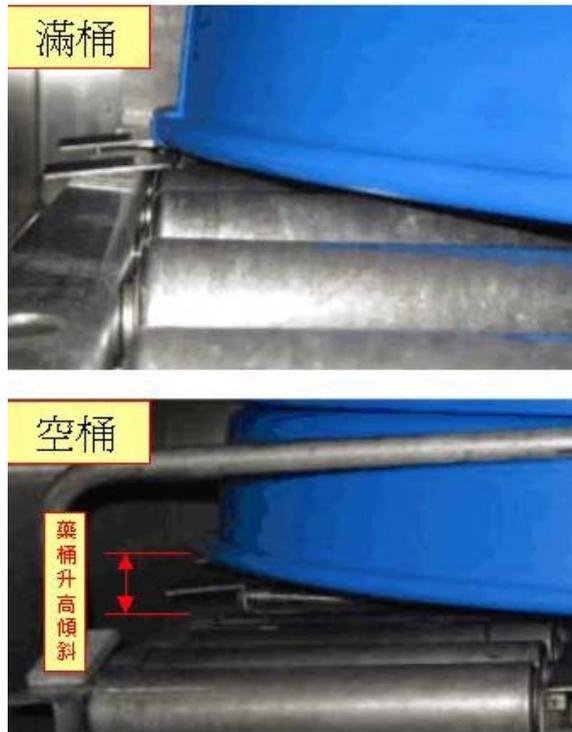


圖31 自動提升傾斜裝置測試圖

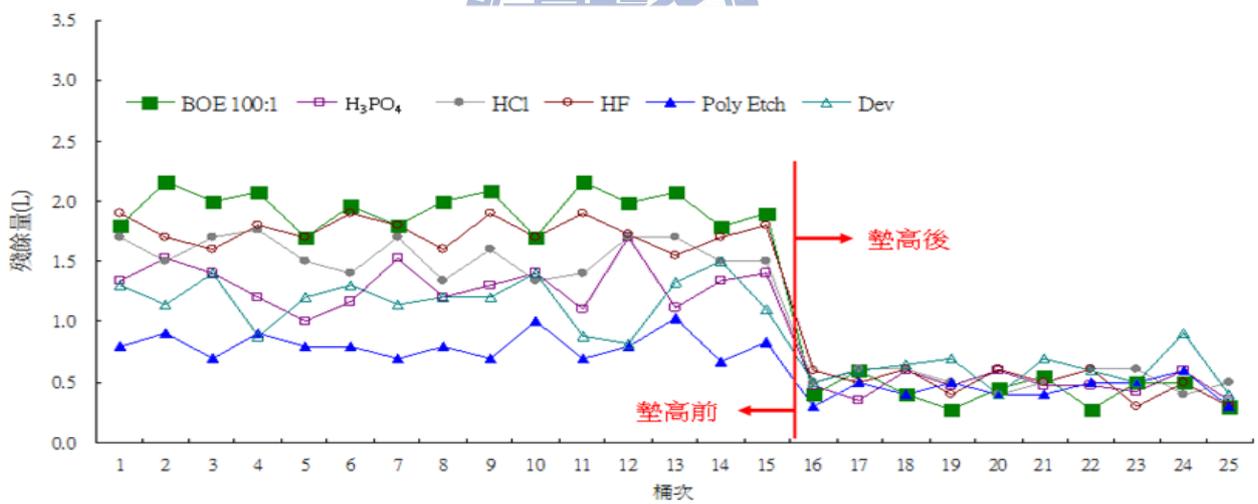


圖32 吸管直徑=11 mm 空藥桶殘液墊高前後變化圖

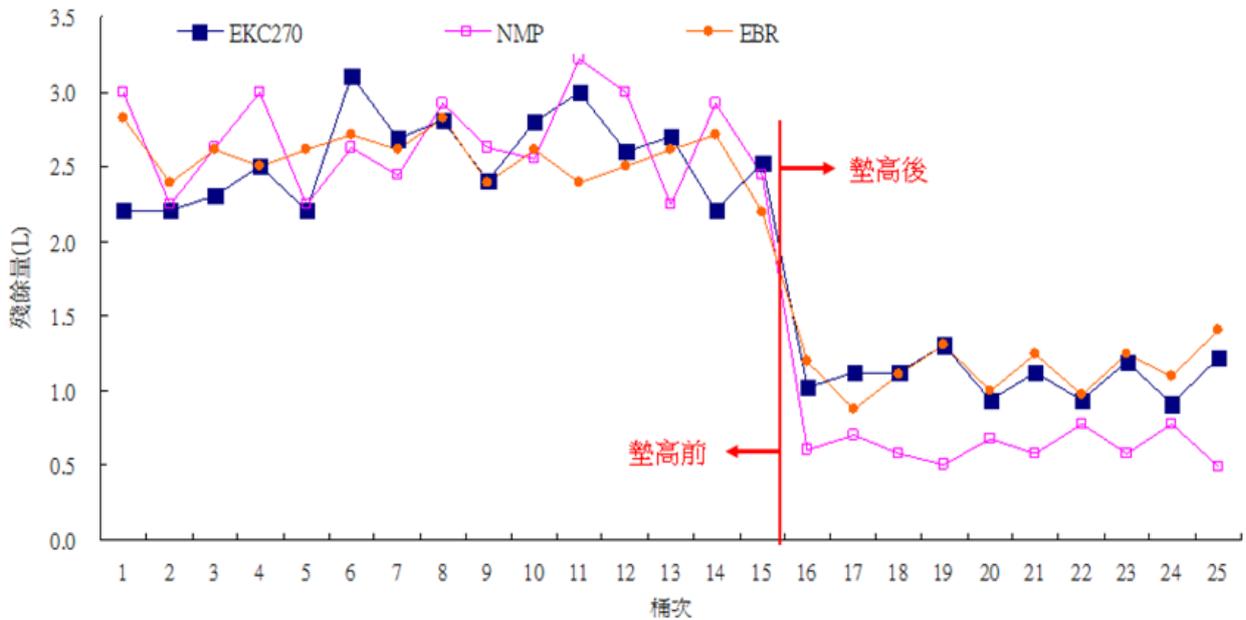


圖33 吸管直徑>11 mm 空藥桶殘液墊高前後變化圖

5. 量產製造：將修改完成之自動提升傾斜裝置設計圖交由製造商進行生產，並安裝於供酸系統上。

#### 4.3.2 桶面下壓器

1. 確認問題：在藥桶殘餘量分析期間發現EKC270及NMP的殘餘量變化量較大，經觀察發現因化學藥桶材質為塑材(HDPE)，藥桶是在高溫高壓下吹製而成，所以冷卻時間若不足，藥桶桶面會有變凹或變凸的現象，若桶面凸起將會造成吸口位移向中間移動並升高，如圖34所示，導致藥桶殘餘量增加。故針對問題點進行桶面下壓裝置研發設計。

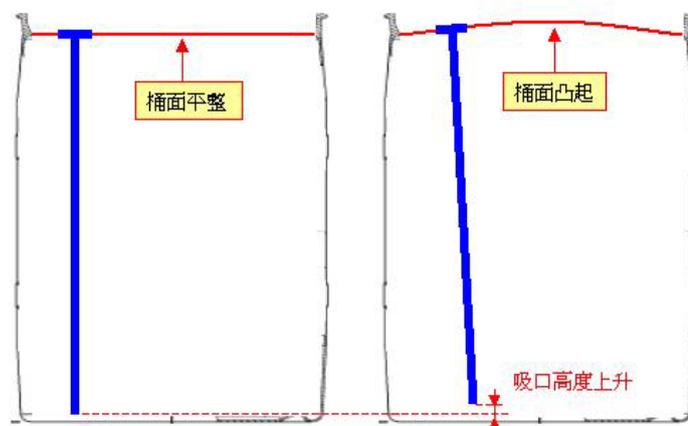


圖34 桶面凸起及吸管位移示意圖

2. 概念發展：為方便搬運化學藥桶，在每種藥桶的上方桶緣邊皆有設計一倒L型凸邊，作為夾桶推車夾運藥桶的夾取點，如圖35所示，桶面下壓裝置係是利用藥桶倒L型凸邊構造為固定支點，再加上一可上下調整的螺桿，可將藥桶桶面下壓吸管壓至桶邊及貼近桶底，如圖36所示。



圖35 藥桶夾取圖

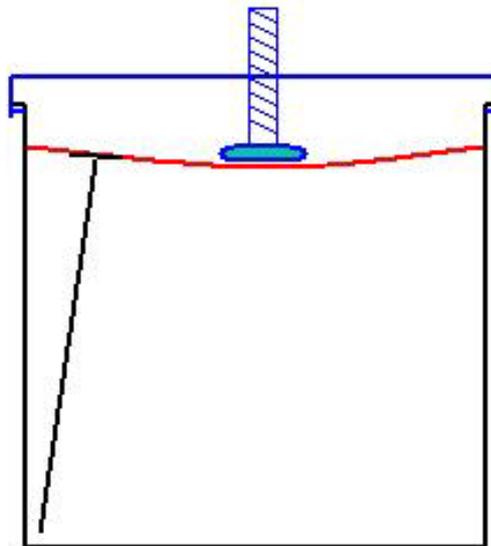


圖36 桶面下壓裝置概念圖

3. 細部設計：利用AutoCAD配合藥桶尺寸繪製設計圖，並依設計圖製作桶面下壓裝置初版模型，如圖37所示。

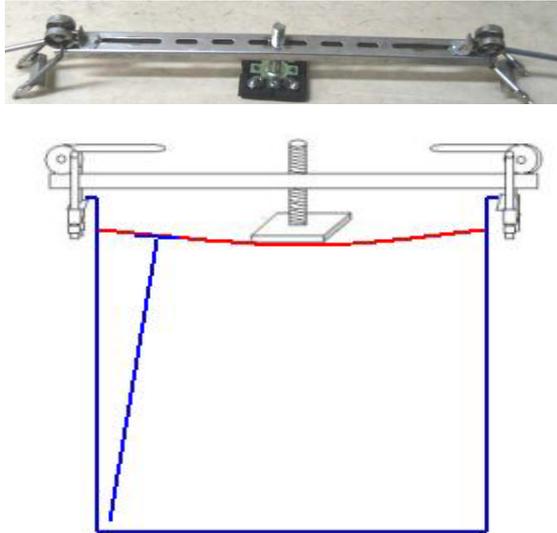


圖37 桶面下壓裝置初版模型圖

4. 測試與修改：測試時發現桶面下壓裝置兩側無法穩定固定在藥桶上，故在增設兩門字型扣環，可將裝置穩定固定在藥桶上，如圖38所示。經測試裝置可將藥桶桶面下壓吸管壓至桶邊及貼近桶底(如圖39所示)，增加化學品的抽取量，其測試數據如圖40所示。



圖38 桶面下壓裝置及安裝圖

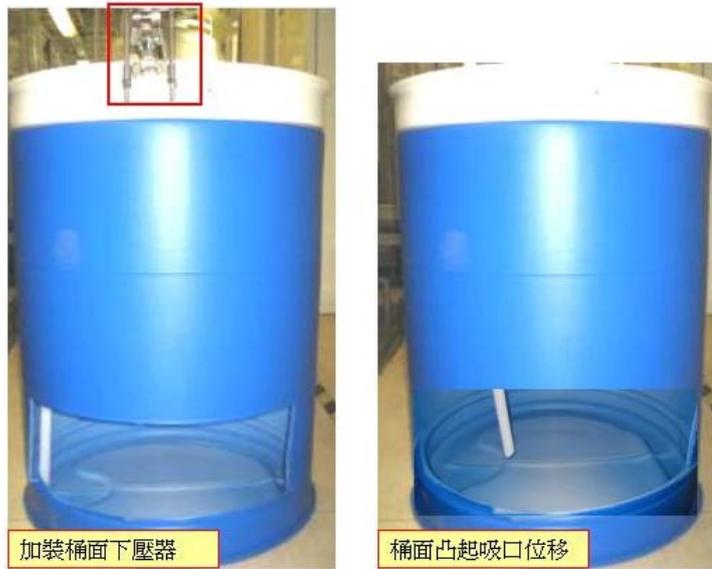


圖39 桶面下壓裝置安裝前後吸管位置比較圖

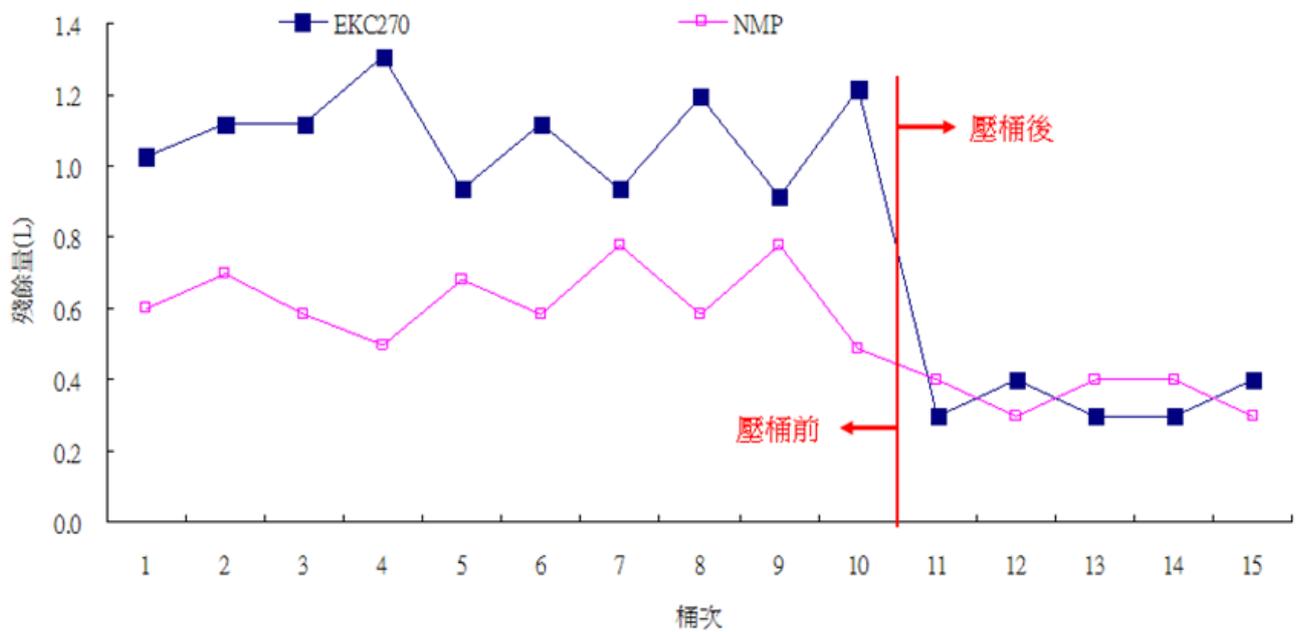


圖40 桶面下壓裝置安裝前後藥桶殘液變化圖

5. 量產製造：將修改完成之桶面下壓裝置設計圖交由製造商進行生產，並安裝於EKC270及NMP供應系統上。

#### 4.4 實廠驗證

依最佳條件A3(墊高高度7 cm)於各供應系統增設自動提升傾斜裝置，並在EKC270及NMP供應系統再加裝桶面下壓裝置，再將泵氣源壓力調至 $5 \text{ kg/cm}^2$ 進行

實廠運轉驗證。

#### 4.4.1 數據分析

每套化學品供應系統量測15桶，平均殘餘量只有EBR大於1.0L，其餘部分皆在0.3~0.6 L之間，EBR殘餘量較高的主要因為其吸口高度較高(15 mm)及吸管直徑較大(15 mm)所至。優化改善前後比較圖整理於圖41與圖42，由改善前後比較圖可知增設自動提升傾斜裝置、桶面下壓裝置及氣源壓力調升可大幅減低藥桶殘餘量。

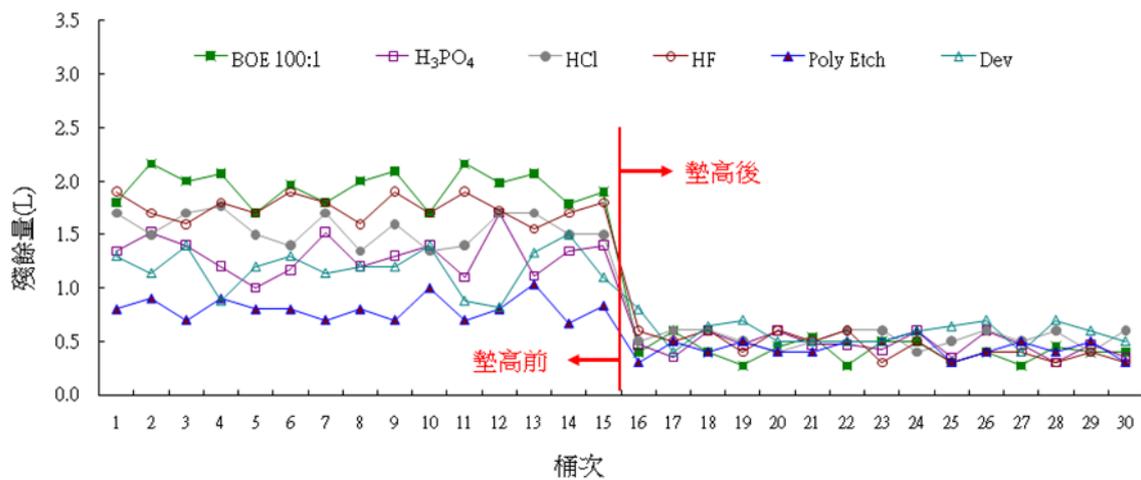


圖41 優化後吸管直徑=11 mm 空藥桶殘液前後變化圖

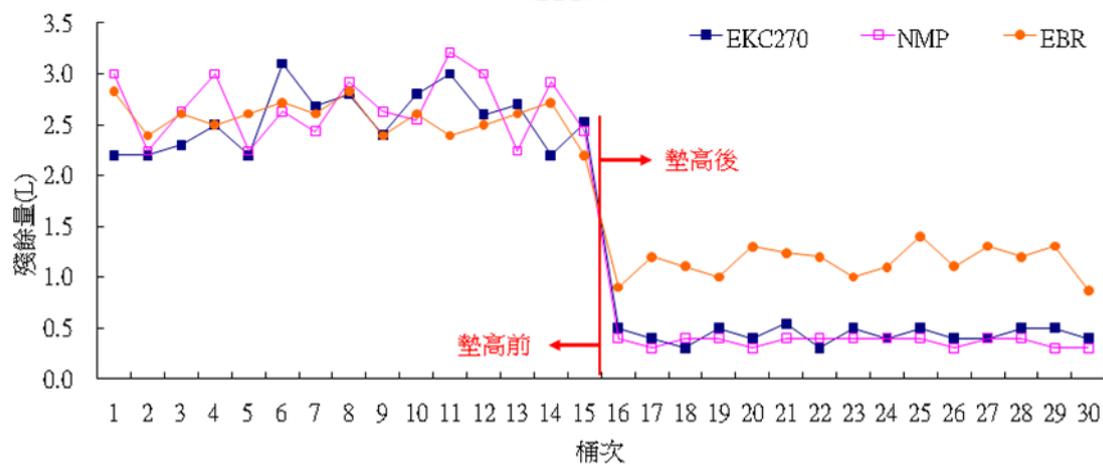


圖42 優化後吸管直徑>11 mm 空藥桶殘液前後變化圖

#### 4.4.2 效益分析

1. 以案例廠2009年更換藥桶數進行效益分析，其結果整理於表18，2009年因金

融海嘯造成產能利用率較低，使得藥桶更換數量也下降，總更換桶數為5,655桶，殘餘量由平均1.7 L/桶降至平均0.5 L/桶，每桶約可增加0.6%抽取量，一年可減量6270 L，約31桶化學品，化學品平均單價約為144元/L，節省金額一年約90萬元。

2. 在本案例廠EKC270及NMP的藥桶廢液處理部分，為將藥桶內廢液倒出，暫存於廠內廢液槽，再委外進行清運處理，於加裝減量裝置後每年可減少委外處理量2,146 L。
3. 本案例廠所屬公司集團共有一個六吋廠、六個八吋廠及三個十二吋廠，一年約化學品的費用約40億元，桶裝化學品約占七~八成，減量裝置若平行展開，每年將可節省約1680~1900萬元

表18 案例廠效益分析表

化學品	EKC270	NMP	EBR	BOE100:1	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	HCl	HF	Poly Etch	DEV.
2009年用量(桶)	536	430	677	323	381	167	184	34	2923
改善前殘餘量(L)	2.5	2.7	2.6	1.9	1.3	1.6	1.8	0.8	1.2
改善後殘餘量(L)	0.4	0.3	1.1	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6
每桶減少量(L/桶)	2.1	2.3	1.5	1.6	0.9	1.1	1.3	0.4	0.6
年減少量(L)	1145	999	999	505	332	178	243	13	1853
每年總量(L)	6270 L (約 31 桶)								

## 五、結論與建議

### 5.1 結論

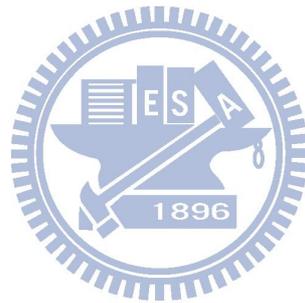
1. 供應系統最佳參數組合為：墊高高度7 cm；吸管直徑1.1 cm；吸口高度0.5 cm；泵氣源壓力5 kg/cm<sup>2</sup>，約可減量至0.22 L左右，此參數條件可作為藥桶式化學品供應系統設計或修改的參考。
2. 各供應系統增設自動提升傾斜裝置，EKC270及NMP供應系統再加裝桶面下壓裝置，並將泵氣源壓力調至5 kg/cm<sup>2</sup>可大幅減低藥桶殘餘量，殘餘量由平均1.7 L/桶降至平均0.5 L/桶，以案例廠為例，一年可減量6270.8 L，約31桶化學品，化學品平均單價約為144元/L，節省金額一年約90萬元。
3. 針對化學品供應系統中空藥桶殘液減量相關措施進行業界訪察，結果並未發現半導體業界有針對空藥桶殘液進行減量的相關措施，故自動提升傾斜裝置及桶面下壓裝可申請為專利，並推廣至相關業界，減少藥桶廢液會對環境造成衝擊。
4. 自動提升傾斜裝置為簡單的機械結構組成，所以安裝及維修容易，不易發生故障，在藥桶更換操作業上與原程序相同，不會增加同仁的工作量，且設置費用低廉約15,000元/組。

### 5.2 建議

1. 吸管直徑及吸口高度修改部分，需與原物料供應商協調，由供應商進行修改，此部分涉及層面較廣需耗費較長時間，雖然增設自動提升傾斜裝置、桶面下壓裝置及氣源壓力調升已可大幅減低藥桶殘餘量，但秉持著節省小成本，成就大未來的精神，建議持續與原物料供應商協調修改。若製程上在進行替代化學品(second source)評估時，可將吸管直徑及吸口高度列入需求條件，如此可較快達成吸管直徑及吸口高度修改。
2. 本研究研磨液藥桶部份並未進行藥桶殘液減量，因在測試期間發現在Oxide研磨液(SS-25E)藥桶桶底有泥狀的大粒徑SiO<sub>2</sub>沉澱物，在藥桶傾斜吸管加長後會被吸入供應系統，將造成供應系統出口端的濾心阻塞，導致供應流量不穩定，為避免影響生產，所以不進行藥桶殘液減量。但研磨液為高單價化學品，不同的製程使用不同的研磨液，研磨顆粒(SiO<sub>2</sub>)含量也不同，以SS-25E及W2000為例，其SiO<sub>2</sub>的含量分別為25%及5%，故建議可配合製程設備在嚴

密監控生產狀況下，由SiO<sub>2</sub>含量低的W2000研磨液逐步進行藥桶殘液減量。

3. 自動提升傾斜裝置為不鏽鋼材質，應用在腐蝕性強(如HCl)的供酸系統上時，將有腐蝕的問題，會影響裝置的使用壽命，建議可採防酸鹼材質製作。
4. 桶面下壓裝置在操作上，約會增加3~5分鐘的更換藥桶時間，雖增加時間不長，但還有改善空間，故建議可再研發改良其操作方式。



## 參考文獻

- 【1】 劉宇群，「結合田口實驗設計與半導體爐管區先進製程之最佳控制」，國立成功大學，碩士論文，民國九十五年。
- 【2】 蘇茂豐，「國內半導體製造業及光電業之產業現況、製程廢氣污染來源與排放特性」，產業環保工程實務技術研討會論文，民國九十二年。
- 【3】 徐貴新等編譯，流體力學，高立圖書，台北，民國八十五年。
- 【4】 吳復強，產品穩健設計:田口方法之原理與應用，全威圖書，台北，民國九十四年。
- 【5】 林秀雄，田口方法與品質工程，新知企業管理顧問有限公司，台北，民國八十六年。
- 【6】 楊志強，統計與研究教學網，「<http://tea.ntue.edu.tw/~cyang/>」。
- 【7】 STATISTICA 軟體官網，「<http://www.statsoft.com.tw/products/products.htm>」。
- 【8】 黃昀嬋，「設計決策模式研究 - 以工業設計專案為例」，銘傳大學，碩士論文，民國九十二年。

