

# 國立交通大學

工學院專班半導體材料與製程設備學程

## 碩士論文



標準機械化介面之晶圓微塵減量研究

Study of Wafer Particle Reduction in Standard Mechanical Interface  
Environment

研究生：張顛民

指導教授：陳家富教授

中華民國九十七年六月

# 標準機械化介面之晶圓微塵減量研究

學生：張顛民

指導教授：陳家富 博士

國立交通大學工學院專班半導體材料與製程設備組碩士班

## 摘 要

隨著半導體製程技術已經進入到奈米世代，相對地對於污染微塵粒子要求愈來愈嚴格，標準機械化介面(Standard Mechanical Interface ; SMIF)為八吋晶圓廠晶片載卸設備主流，此設計主要為了隔絕污染粒子進入到微環境，以避免污染晶片。

本研究主要探討如何降低 SMIF 微環境中，晶片載卸動作過程所發生微塵掉落問題。透過田口方法設計出最佳製程參數，並利用此結果進行微調和晶舟盒支架材質改變，使得 SMIF 微環境可以控制在更良好的潔淨度，以降低晶片被污染的機率，進而提昇產品品質與良率。

本論文研究成果彙整如下：

1. 晶舟盒當中的固定支架材質為微塵污染主要來源之一，PEEK 材質支架品質較 PC 材質支架良好，而污染粒子發生機制是發生於晶片載卸過程當中所必然的摩擦。
2. SMIF 微環境中氣流與風壓為重要影響因子，經實驗驗證 SMIF 內部機械參數由原本的風速 0.2m/s 風壓 300kPa 調整為 0.4m/s 以及 360kPa 後可以

大幅降低晶片異常率由原本 6%~10% 至 0.1% 以下。

3. 經過實驗驗證後結果顯示，最佳製程參數可以讓微環境保持在高潔淨度，以及降低晶片異常率。



Study of Wafer Particle Reduction in Standard Mechanical Interface  
Environment

Student : Yi-Min Chang

Advisor : Dr. Chia-Fu Chen

Program of Semiconductor Material and Process Equipment  
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Nowadays the semiconductor engineering technical has come to the nanometer generation, thus the demanding to the size of polluted particle has become strictly critical. Standard mechanical interface system is now the main stream in 8 inch wafer transferring device, This design is used for isolating the particle to pollute the mini-environment.



The main purpose of this research is to study the airflow's effects on SMIF carrier module and to study the problem cause on the transferring process of wafer cassette. With the Taguchi methodology to get the best precise mechanical parameter and then to control well the cleanliness of the SMIF mini-environment and reduce the pollute rate on chips by the means of amend the device parameter and change the material of wafer lock from PC to PEEK.

The summary of this thesis :

1. The material of the wafer lock in the POD is the key point to anti-pollution and the material which made of PEEK can get the better quality than PC. It's also the main pollution source when wafer lock touches the wafer edge in the movement of SMIF load/unload.

2. Air flow and wind pressure are the main factors to affect the mini-environment. Through the verification of the experiments, they affirm that can control the cleanness level in a certain way and reduce the rate of abnormal production by adjusting the SMIF parameter from 0.5m/s and 300kPa to 0.4m/s and 360kPa. Which also could reduce the failure rate of the chip production from 6%~10% to 0.1% such brilliant figure.
  
3. Through the validation of our experiment design, the results show the best set of mechanical parameter can keep the mini-environment in the highest cleanliness and reduce failure rates of processing wafers.



## 誌謝

在這離歌初上的季節裏，即將結束三年研究生的生涯，在此特別要感謝我的指導教授 陳家富博士，這些日子以來孜孜不倦的教導，尤其論文的撰寫方面，都是利用週末休息的時間為我們指導，不管在學習上或生活上都給予我們非常寶貴的經驗，可以說亦師亦友。同時要感謝 郭正次博士、潘扶民博士及 陳密博士擔任學生的畢業口試委員，並給予學生寶貴的建議。

另外要謝謝蔡毓通、高耀震、林孟君、張允武、彭徵富、蔡明光、黃仲堯及余文光學長們的大力指導以及同學林美慧、林俊杰、鍾隆泓、黃閔顯、楊學修相互鼓勵一起度過這兩年多共同學習的時光，讓我實在無法忘記這段超級美好的回憶，特別要感謝公司內的資深經理 蔡峻昫，提供本研究的大力協助及指導，尤其是先進製程概念的灌輸，另外要謝謝同事郭彥秀在我作製程實驗時遇瓶頸時給予莫大的協助。

最後將本貢獻及成果獻給我親愛的家人以及我的直屬上司吳宗奇經理和羅毓文經理，在我進修這段時間有你們的全力支持，讓我可以無後顧之憂在工作崗位及課業上衝刺。在此向我的家人及所有關心我的親友們致上我真誠的感謝。

## 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	v
目錄.....	vi
表目錄.....	x
圖目錄.....	xi
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	2
1.3 論文架構.....	3
1.4 問題概述.....	3
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	<b>5</b>
2.1 晶圓廠之晶圓製造過程中裝卸技術演進.....	5
2.2 非晶圓隔離技術.....	6
2.3 晶圓隔離技術.....	6
2.4 單一晶盒隔離技術.....	7
2.5 無塵室潔淨度定義.....	8
2.6 晶圓盒構造說明.....	9

2.7 微環境特性介紹.....	11
2.8 晶片載入機台動作原理.....	11
2.9 晶圓盒載入標準機械化介面內部氣流原理.....	12
2.10 晶圓盒載出動作解析.....	12
2.11 十二吋裝卸模組之氣流及污染粒子特性研究.....	13
2.12 實驗設計法.....	15
2.13 田口式品質定義及品質損失函數.....	16
2.14 空片量測.....	22
2.15 微塵檢測基本原理介紹.....	22
<b>第三章 實驗方法</b> .....	<b>23</b>
3.1 實驗環境介紹.....	23
3.2 SMIF 設備內部構造介紹.....	23
3.3 實驗流程.....	24
3.3.1 實驗架構.....	24
3.3.2 污染粒子數之計算方式.....	25
3.4 田口方法(Taguchi Methods)之簡介.....	26
3.4.1 控制因子.....	27
3.4.2 干擾因子.....	28
3.4.3 信號因子.....	28





3.4.4 調整因子.....	29
3.5 田口方法理論模式基礎.....	29
3.5.1 田口方法之 S/N 比.....	29
3.5.2 田口方法之四類型品質特性.....	30
3.5.3 田口方法之直交表種類以及應用.....	32
3.6 單一因子之探討.....	34
3.7 一次因子分析(三水準四因子).....	34
3.7.1 晶舟盒支架材質實驗.....	35
3.7.2 晶舟盒支架與晶片接觸次數實驗.....	36
3.7.3 晶舟盒支架年限實驗.....	38
3.7.4 SMIF 微環境內部風速流量實驗.....	40
3.7.5 SMIF 微環境內部風壓實驗.....	41
3.7.6 SMIF 機械手臂移動速度實驗.....	42
3.8 單一因子分析結果與討論.....	43
3.9 田口式因子選定.....	45
3.10 田口式直交表選用.....	45
3.11 L <sub>9</sub> 實驗設計.....	46
<b>第四章 實驗結果與討論.....</b>	<b>48</b>
4.1 實驗結果分析.....	48

4.1.1 控制因子分析.....	48
4.1.2 最佳化設計.....	48
4.2 確認實驗.....	50
4.3 產品驗證.....	51
4.4 晶片支架材質改變產品驗證.....	53
4.4.1 支架不同材質之微塵進階實驗.....	53
4.4.2 支架不同材質之產品驗證.....	54
4.5 SMIF 內部風速最佳為 0.4m/s 之分析結果.....	55
4.6 SMIF 內部風壓最佳為 360kPa 之分析結果.....	56
<b>第五章 結論</b> .....	<b>58</b>
5.1 實驗結果討論.....	58
參考文獻.....	61
自傳.....	64



## 表目錄

表 3-1 干擾因子類別.....	28
表 3-2 四種品質特性.....	30
表 3-3 二水準(Level)直交表.....	33
表 3-4 三水準(Level)直交表.....	33
表 3-5 四水準(Level)直交表.....	34
表 3-6 五水準(Level)直交表.....	34
表 3-7 單一因子實驗結果分析表.....	44
表 3-8 四因子三水準條件列表.....	45
表 3-9 L <sub>9</sub> 直交表.....	46
表 3-10 L <sub>9</sub> 實驗設計表.....	47
表 4-1 L <sub>9</sub> 實驗結果.....	49
表 4-2 S/N 比反應表.....	49
表 4-3 確認實驗最佳設計與原始設計量測結果比較.....	50
表 4-4 產品驗證最佳化效益統計表.....	52
表 4-5 SMIF 內部風速最佳為 0.4m/s 之分析結果.....	56
表 4-6 SMIF 內部風壓最佳為 360kPa 之分析結果.....	57

## 圖目錄

圖 1-1 製程線寬演進圖及微塵粒子的影響.....	2
圖 1-2 SMIF 產生之缺陷分佈與成分圖.....	4
圖 2-1 晶圓製造過程中裝卸技術演進圖.....	5
圖 2-2 SMIF 微環境裝置圖.....	7
圖 2-3 微塵尺寸相對比較圖數.....	9
圖 2-4 晶圓盒裝置圖.....	10
圖 2-5 晶片載入機台動作原理圖.....	11
圖 2-6 晶圓盒載入機台介面內部氣流原理圖.....	12
圖 2-7 SMIF 載出動作解析圖.....	13
圖 2-8 三維平均風速計算公式.....	13
圖 2-9 紊流強度計算公式.....	13
圖 2-10 FOUP/LPU 晶圓裝卸模組各部元件圖.....	14
圖 2-11 FOUP/LPU 晶圓裝卸設備之動作過程.....	14
圖 2-12 微環境出口孔板開孔率對壓差/FFU 出風速度曲線圖.....	15
圖 2-13 製程的廣義模型.....	15
圖 2-14 一階損失函數.....	17
圖 2-15 二階損失函數.....	18
圖 2-16 望目特性損失函數.....	19

圖 2-17 望小特性損失函數.....	20
圖 2-18 望大特性損失函數.....	20
圖 3-1 SMIF/POD 載入機台介面內部構造圖.....	23
圖 3-2 TENCOR 機台系統功能介紹.....	24
圖 3-3 實驗步驟流程圖.....	25
圖 3-4 各因子與品質特性關係圖.....	26
圖 3-5 非線性控制因子與品質特性關係.....	27
圖 3-6 線性控制因子與品質特性關係.....	27
圖 3-7 晶片固定支架對照圖.....	36
圖 3-8 不同支架材質微塵量測結果.....	36
圖 3-9 SMIF 載出動作解析圖.....	38
圖 3-10 晶片與支架接觸次數微塵量測結果.....	38
圖 3-11 POD 支架年限示意圖.....	39
圖 3-12 晶舟盒支架年限微塵量測結果.....	40
圖 3-13 SMIF 微環境內部風速流量微塵量測結果.....	41
圖 3-14 SMIF 微環境內部風壓微塵量測結果.....	42
圖 3-15 機械手臂速度微塵量測果.....	43
圖 4-1 S/N 比反應圖.....	49
圖 4-2 確認實驗最佳設計與原始設計 S/N 比比較.....	51

圖 4-3 產品驗證設計最佳化效益圖.....52

圖 4-4 POD 支架不同材質之微塵分布圖.....53

圖 4-5 實驗組與異常組對照說明圖.....54

圖 4-6 PC 材質以及 PEEK 材質支架微塵粒子產品驗證.....55



# 第一章、緒論

隨著半導體製程線寬微縮化已進入到奈米世代，相對地對於污染微塵粒子也愈來愈要求，標準機械化介面(Standard Mechanical Interface; SMIF)系統為八吋晶圓廠晶片載卸設備主流，此設計主要為了隔絕污染粒子進入到微環境，以避免晶片遭受污染影響良率。本文主要探討標準機械化介面載卸模組所面臨之氣流影響以及晶舟盒於微環境中動作過程所發生微塵掉落問題。透過田口方法設計出最佳製程參數以及經由設備參數微調和晶舟盒支架材質改變，使得標準機械化介面載卸模組微環境可以控制在良好的潔淨度，降低晶片被污染的機率。



## 1.1 研究背景

由圖 1-1 說明隨著半導體製程線寬越縮小進入到奈米化，對於微塵大小也越來越注重，舉例以  $0.3\mu\text{m}$  的微塵大小掉落在線寬  $1\mu\text{m}$  上，經蝕刻後並無影響，但隨著線寬越縮小同樣是  $0.3\mu\text{m}$  的微塵掉落在  $0.13\mu\text{m}$  線寬上，經蝕刻後就會造成線路橋接短路或者斷路等缺陷，所以微塵顆粒也會要求至奈米尺寸，對於品質(晶片良率)就越有保障。

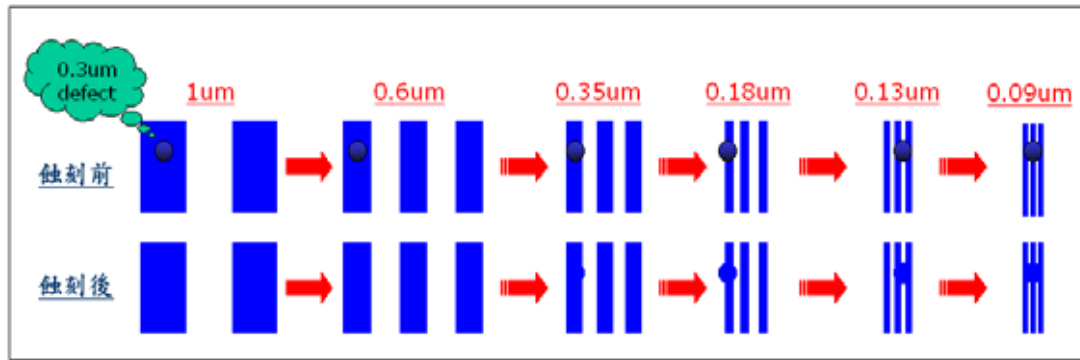


圖 1-1 製程線寬演進圖

## 1.2 研究動機與目的

半導體產業為台灣經濟發展的主要項目也是最具創新性的工業，其創新性可由 IC 製程之線寬的縮小技術突破來證明，雖然製程演進已使用到標準機械化介面(SMIF)以及晶圓晶舟盒(POD)所組成的微環境，來隔絕晶片在載卸過程避免遭受到微塵粒子污染以及維持良好的潔淨度，然而微環境的高潔淨度仍需要控制與維持。本文研究動機主要針對微環境生產過程中，標準機械化介面以及晶圓晶舟盒所組成的微環境所產生的缺陷作研究。

本研究目的主要透過實驗量測的方法，評估晶圓廠中微環境晶圓載卸模組所面臨之氣流及污染粒子問題，找尋晶片在微環境載卸運作當中所產生微塵的真因以及治具材料測試與評估實驗以尋求解決方案，另外運用田口實驗方法找出 SMIF 內部最佳製程參數。研究結果顯示最佳 SMIF 製程參數可以有效控制微環境中污染粒子，再經由晶片驗證最佳參數對於晶圓片污染異常率可有效降低。



## 1.2 論文架構

本論文架構共分成五章:

第一章、緒論：包含研究背景，研究動機與目的，論文架構及問題概述。

第二章、文獻回顧：包含實驗設計介紹，其中包含實驗設計法，晶圓裝卸模組操作原理，機械內部氣流動作原理，晶圓微塵去除製程原理等方面之相關文獻。

第三章、實驗方法：利用田口方法及微塵量測分析計算出最佳參數設計，以及找出微環境結構上的主要問題點，以改善污染粒子缺陷及降低異常率及提昇良率。

第四章、實驗結果與討論：實驗資料分析及結果，包含實驗數據分析、最適條件的決定及確認實驗及產品驗證。

第五章、結論：本實驗研究結果的討論以及總體結論。

## 1.3 問題概述

如圖 1-2 所示，我們在晶片傳輸過程發現到晶片掉落微塵，規格上限為  $0.3\mu\text{m}$  缺陷微塵數不得超過五顆，產品異常率(failure rate)不得超過 2%，但實際上檢測結果發現測量值偏高遠高於規格上限。經過檢測機台將此類缺陷初步分析發現到，微塵粒子分布趨近於晶片與 POD 支架部位，另外利用能量散射光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer; EDS)分析得知微塵成份分析主要為碳，因為 POD 支架材質為泛用工程塑膠之聚碳酸酯樹脂(PC)，初

步判斷微塵應為晶片載卸(Load/Unload)過程支架與晶片碰觸摩擦所造成。

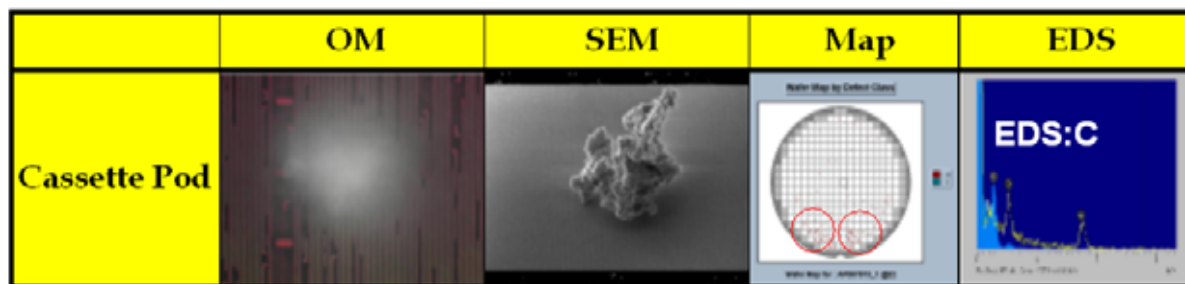


圖 1-2 SMIF 產生之缺陷分佈與成分圖表



## 第二章、文獻回顧

Kaiser[1]測試微環境隔離化學及微粒子污染之可行性，並可以得到不錯的結果，污染程度均可降至原來之半以下。

Gath,H.C.等[2]發表說明不同型式之微環境特點與設計要點，及微環境設計於半導體工業應用所必須考慮之重要設計因子，並指出於污染微粒控制以及成本經濟性之雙重考量下，採用微環境設計為一個可行之方法。

### 2.1 晶圓製造過程中裝卸技術演進

從早期六吋晶圓廠以晶片裸露在大氣當中生產方式，演變至八吋晶片是因為製程線寬以微米技術為主，相對於微塵缺陷的考量也小。隨著半導體製程進入到奈米化促使晶圓片裝載系統的演進，由早期暴露在晶圓廠一般操作區域下之裝卸作業[14]演進到標準機械化介面(Standard Mechanical Interface ;SMIF)系統。

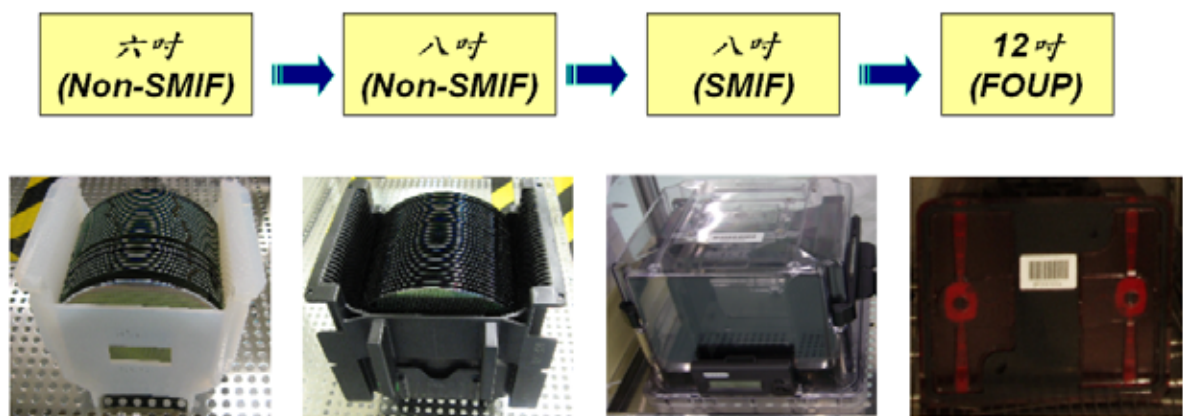


圖 2-1 晶圓製造過程中裝卸技術演進圖[3]

## 2.2 非晶圓隔離裝卸作業

自七十年代起晶圓裝載及搬運系統的演變，至 1990 年代末期這期間因半導體製程技術剛起步加上對於晶片表面微塵沒有太大的限制以及要求，早期晶片裝載設計主體為底盤及晶舟，使整個作業是暴露在晶圓廠一般操作區域下[14]。

## 2.3 標準機械化介面(Standard Mechanical Interface ;SMIF)系統

隨著元件線寬進入到奈米化，對於微塵缺陷的限制也越來越高，為了讓晶片在載入載出過程不受到大氣中微塵掉落的影響，從早期非晶圓隔離技術演變為晶圓隔離進出料技術，而「晶圓隔離進出料技術」與傳統潔淨室生產的方式相較，最大的不同在於「將生產設備置於潔淨室(Cleanroom)內」的觀念轉換成「將潔淨室置於生產設備內」，主要包括三個技術要項：晶圓盒 (POD)、標準機械介面 SMIF I/O (Input & Output) 及微環境 (mini-environment) [14]。晶圓廠內部需要維持相當高的潔淨度，以避免空氣中的灰塵影響到晶圓製程的正常運作、與維持一定的產品良率。但是要維持整個晶圓廠內部的空氣潔淨，所需的資本支出與營運成本都相當高，因而尋求低成本製程成為一項重要的課題。美商惠普公司早在 1983 年就提出一項專利，全名為 Particle Free Dockable Interface for Integrated Circuit Processing，並在具體化之後，正式定名為 Standard Mechanical Interface，此

項技術的最大效益在於大幅度降低晶圓廠對於潔淨室面積的要求，可以大幅度降低晶圓廠在潔淨室與潔淨空氣方面的設備投資。



圖 2-2 SMIF 微環境裝置圖[3]

#### 2.4 前開口式通用容器(Front Opening Unit Pod ; FOUP)

由於半導體製程技術突飛猛進，十二吋晶圓廠(300mmFAB)生產區域其潔淨度要求則必須優於 Class #1，否則將會嚴重影響到晶片品質，要達到如此嚴苛的環境控制，傳統潔淨室設計已經是力有未逮，且其運轉費用將高的嚇人，全球各大半導體廠已一致同意以微環境(Mini-environment)的設計為最佳的方式，各生產設備均必須將 Mini-environment 列為標準配備，目前已有許多八吋晶圓廠(200mm Fab)有此一設計，在十二吋晶圓廠(300mm Fab)有一重大變革那就是前開口式通用容器(Front Opening Unit Pod)，目前半導體之奈米技術製程演進在八吋晶圓廠之 SMIF 都將演變為 FOUP，而 FOUP

技術就是將 POD 以及 Cassette 結合為一由前方將 Pod 打開而 SMIF arm 則改為 Load port 功能與 SMIF arm 相似，主要作為 Pod 與設備間傳輸之介面，其實整個十二吋迷你潔淨環境之概念可以說是基於 SMIF 與 Mini-environment 同時做了一些改良[14]。

## 2.5 無塵室潔淨度定義

如表 2-3 所示，無塵室之空氣潔淨度係指潔淨空氣環境中空氣含塵量多少的程度，微塵含塵量濃度高則潔淨度差，微塵含塵濃度低則潔淨度高，用於表示潔淨度需先配合指定微塵粒徑，其單位常用 Particle/ft<sup>3</sup>，及單位體積空氣中微塵粒子所含顆粒數量。0.3 $\mu$ m 之微塵尺寸大小約為人類一般頭髮剖面直徑之約三百分之一大小(90 $\mu$ m / 0.3 $\mu$ m)如圖 2-4 所示。



表 2-3 無塵室潔淨度定義表[15]

class	Particle/ft <sup>3</sup>				
	0.1 $\mu$ m	0.2 $\mu$ m	0.3 $\mu$ m	0.5 $\mu$ m	5 $\mu$ m
M-1	9.8	2.12	0.865	0.28	
1	35	7.5	3	1	
10	350	75	30	10	
100		750	300	100	
1000				1000	7
10000				10000	70

Federal Standard 209E

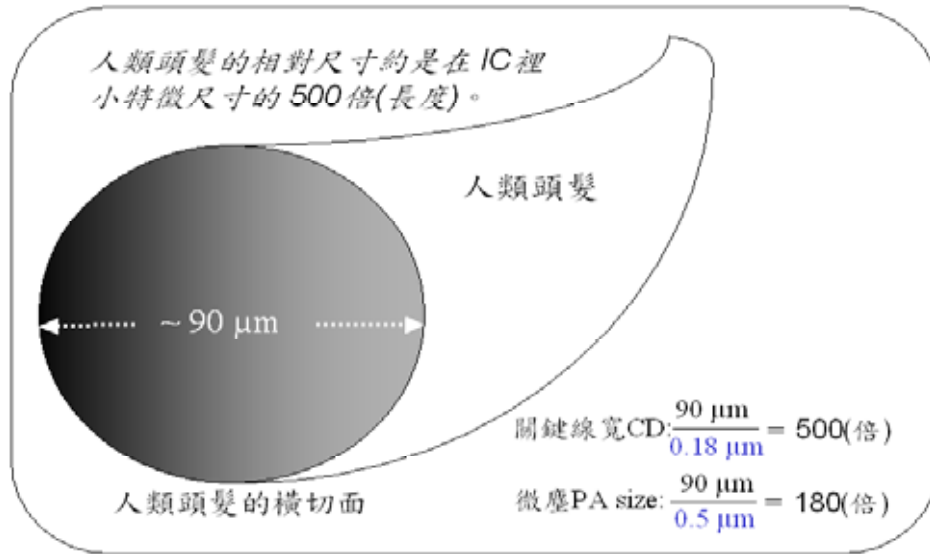


圖 2-3 微塵尺寸相對比較圖[15]

## 2.6 晶圓盒構造說明

晶圓盒 (POD) 的設計主要為微環境當中重要的一環，除了需考量到隔離技術外，更要考量到內部整個 25 片晶圓裝置的固定性，以及外部人員拿取時人因考量。而整個 POD 是由透明上蓋、內部晶片固定用支架、底盤、晶舟盒、把手等所組裝而成，晶舟盒標準尺寸如表 2-4 所示。POD 內紅色零件部分為晶片固定用支架 (Wafer lock)，材質為泛用工程塑膠之聚碳酸酯樹脂 (PC)，主要功能為在於晶片載出時可以將晶片全數固定住不會在 POD 中因搬動而晃動[15]，如圖 2-5 所示。

表 2-4 晶舟盒標準尺寸表

晶舟盒淨重	2630 公克
裝滿 25 片晶圓片之總重量	5400 公克
高度(底盤至晶舟盒頂部)	279 公吋
晶舟盒長寬尺寸	292 公吋(長)X 305 公吋(寬)
晶圓固定用之支架材質	泛用工程塑膠之聚碳酸酯樹脂 (PC)
整體材質	防護靜電材質(ESD)
內部潔淨度等級	Class1

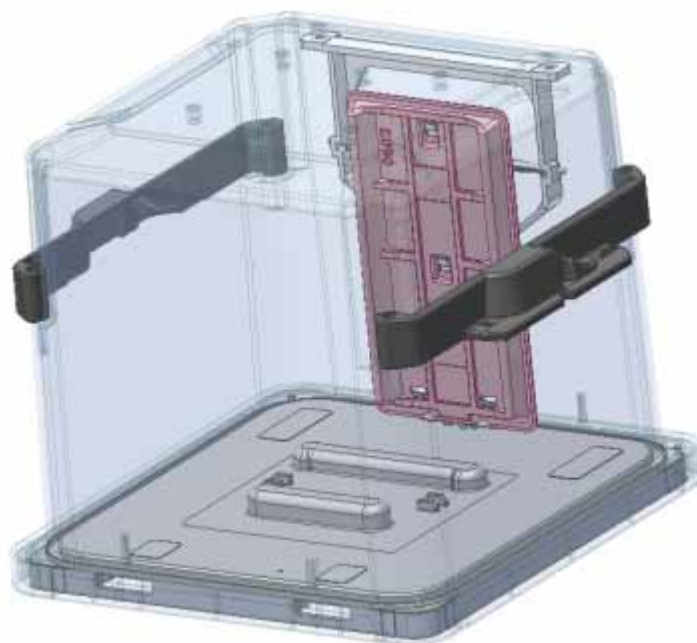


圖 2-4 POD 裝置圖及支架位置圖



## 2.7 微環境特性介紹

在隔離空間之內需要最高之潔淨度。隔離技術所採用的微環境必須阻止污染物進入隔離環境空間內，具有將產品傳入傳出隔離空間，且可在不同潔淨度的環境間傳送而不受污染的系統[19]。

## 2.8 晶片載入機台動作原理

如圖 2-6 所示，SMIF Pod 包含一個可以移動的晶舟(cassette)在裡面，晶圓水平的放置著，在被卸載到機台時，機台的搬運裝置會將 SMIF Pod 的底部打開，將晶舟垂直地卸載到機台裡，再將晶圓一片一片從晶舟中抽出以進行加工[15]。

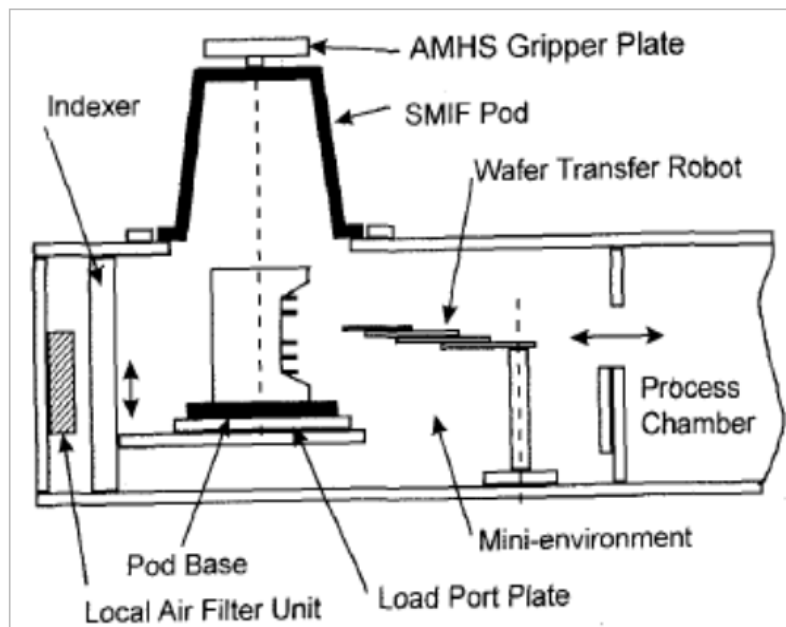


圖 2-5 晶片載入機台動作原理圖[15]

## 2.9 POD 載入機台介面(SMIF)內部氣流原理

如圖 2-7 所示，風扇(fan)和濾網(filter)是安裝在 SMIF 機械模組的最底下位置，當晶舟盒(cassette)下降時，風扇開始作動以擠壓週遭的空氣向上至整個微環境以及濾網，風扇(Exhaust Fan)作用為將 SMIF 內之空氣向下排出讓 SMIF 內部空間氣流呈向下並用濾網過濾微塵，使得微環境內部潔淨度可以維持在 class#1 的潔淨度的等級[15]。

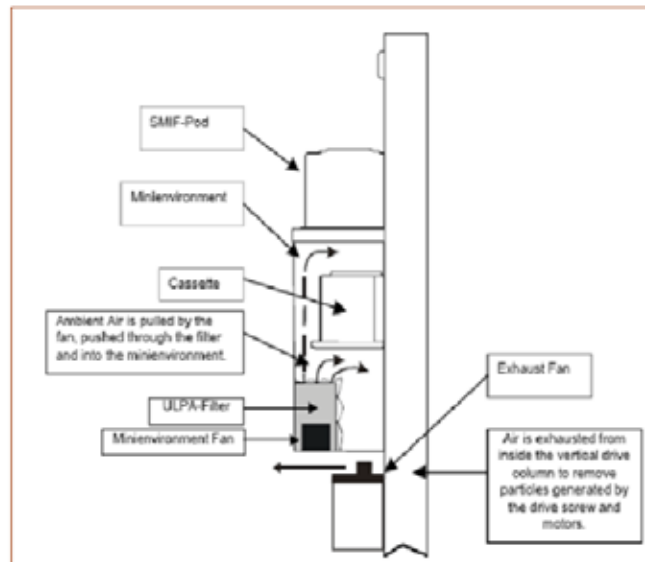


圖 2-6 POD 載入機台介面內部氣流原理圖[15]

## 2.10 SMIF 載出動作解析

如圖 2-8 所示，SMIF 微環境中晶舟與晶片載出時是為上升動作，而完全載出到 POD 中時，POD 內部支架(Wafer lock)會將其晶片作固定，此時支架會與晶片對準端(notch)作摩擦接觸。

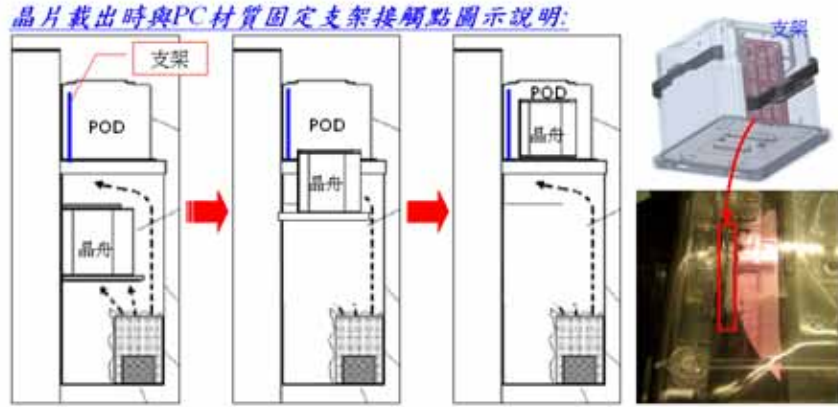


圖 2-7 SMIF 載出動作解析圖

### 2.11 300mm 裝卸模組之氣流及污染粒子特性研究

FOUP/LPU 微環境晶圓載卸模組在進行晶圓載卸動作時，FOUP 內及載入晶圓的下方皆會有渦流產生。另外模組必須與潔淨室維持適當的壓差，以防止潔淨室內之污染粒子進入至模組內，而減少微環境出口孔板開孔率，將會使微環境對潔淨室之正壓差加大(如圖 2-13)[20]。

$$\bar{V}_i = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N}$$

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{V}_x^2 + \bar{V}_y^2 + \bar{V}_z^2}$$

圖 2-8 三維平均風速計算公式[20]

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_i')^2}{N}}$$

$$T_i = \frac{\sqrt{(1/3)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)}}{\bar{V}}$$

圖 2-9 紊流強度計算公式[20]

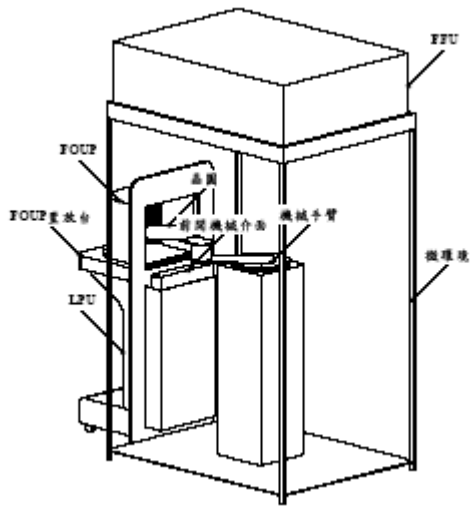


圖 2-10 FOUF/LPU 晶圓載卸模組各部元件[20]

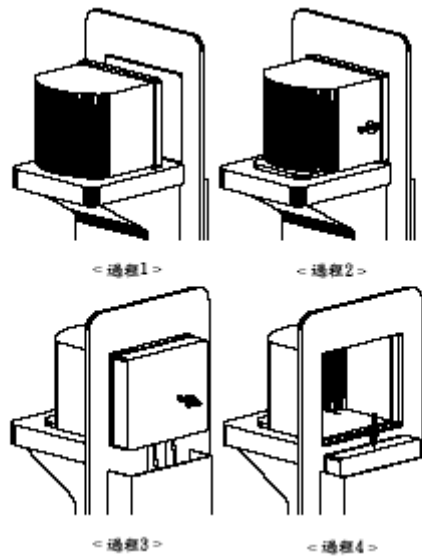


圖 2-11 FOUF/LPU 晶圓載卸設備之動作過程[20]

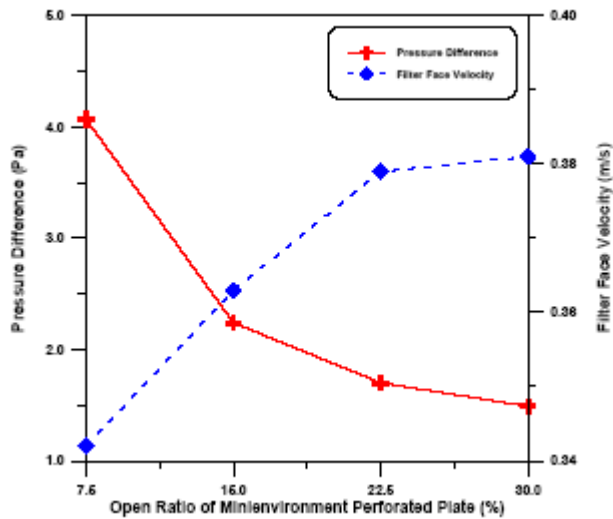


圖 2-12 微環境出口孔板開孔率對壓差/FFU 出風速度曲線圖[20]

## 2.12 實驗設計法

實驗設計是一個或一組試驗，將變數導入用以觀察及確認與結果相關的改變。如圖 2-1[1] [2]一組機器將原料投入轉換成產品，而製程中有可控制變數 ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )，不可控制變數 ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ )。

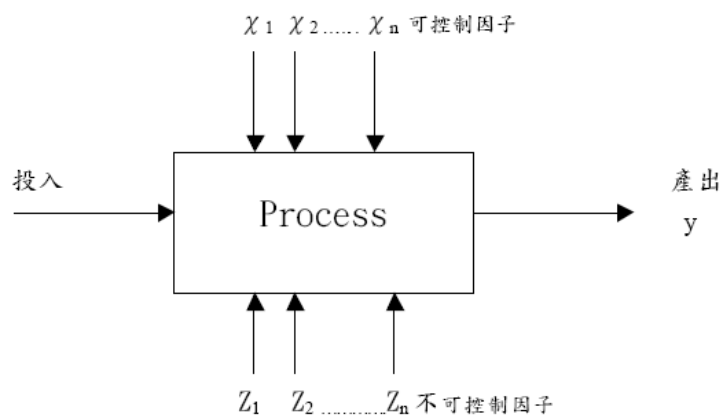


圖 2-13 製程的廣義模型[26]

1. 決定對產品最有影響的因素。
2.  $y$  在要目標下決定  $x$  的位置。
3.  $y$  在變異很小的要求下決定  $x$  的位置。
4. 在無法控制變數  $Z$  最小的要求下決定  $x$  的位置。

進行實驗設計的目的，就在於求得參數特性與特定目標值之間差異的方法，其中包括（1）試誤法（2）單因子法（3）全因子法（4）田口直交表等四種。但前面三種方式因為時間及成本的考量，當實驗的因素及水準數增大時，將會造成實驗的時間、次數及成本激增，這種做法當具效益。因此田口玄一博士所提出的實驗設計法可以有效率且低成本的來分析實驗因素組合，是一個很好的評估工具。



### 2.13 田口式品質定義及品質損失函數

一般傳統認為只要產品的品質特性在規格範圍之內即屬於良品，但產品的性能會因產品之間的差異而有所不同，也會隨著不同的使用環境而有所不同，或因劣化而提前結束其壽命。產品之品質特性應該越靠近目標值越好，偏離目標值越遠則品質越差，損失越大。這種偏離不但帶來使用者的損失，也對製造廠商造成損失，甚至對整體社會也會造成不同程度的損失。田口玄一博士對品質的定義，有相當獨特的見解。他說：「品質」是「產品出廠後」給予社會的「最小損失」，但不包含因「機能本身」原因所引起之「損失」，而損失又定義為「由於機能的變異而引起之損失及弊害項目所

引發之一系列損失」[27]。一產品在生命週期內，整個社會對它所付出的總代價或總損失，稱之為「品質損失」，品質損失越小表示有高的品質。

產品的品質水準是因為該產品無法達到既定的目標性能時和有害的副作用（包括操作成本）時對社會所造成的總損失。要量化這個損失非常困難，因為同樣的產品可以被不同的人，在不同的應用方式及不同的環境條件下使用。為了要能評估不同的產品設計和製程對顧客的影響及作出適當的工程判斷，將損失數量化是一件非常重要的工作[27]。

田口博士認為“產品的品質就是該產品售出後對社會的最小損失”，其損失包括了生產的損失、消費者損失、甚至社會的損失，而這些損失也將反映為公司的損失。一般而言傳統上認為產品其品質特性在規格範圍內即屬良品（一階損失函數）如圖 2-15 所示，不論 $y$ 值距離目標值 $m$ 多遠其損失都是 $A_0$ ；反之 $y$ 只要在規則內，不管多靠近 $m$ 其損失均為 0，這是消極的品質觀念。

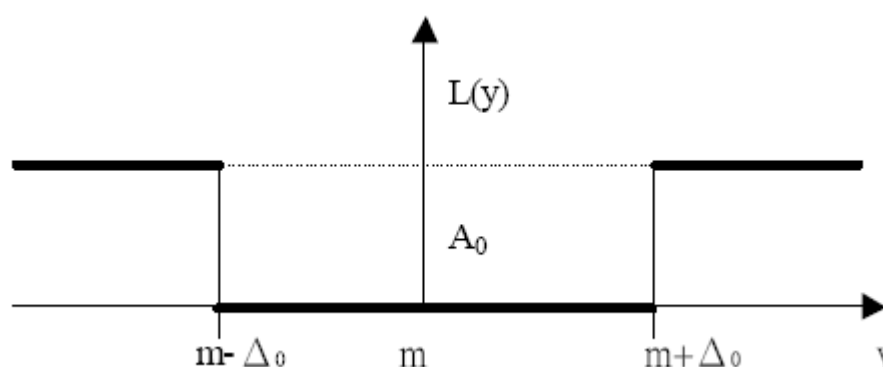


圖 2-14 一階損失函數[27]

圖 2-15 以數學公式表示為式 2-1

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

式(2-1)[27]

其中  $A_0$  為產品不合格所遭受的損失，但田口博士認為產品的品質特性應儘量接近於目標值，距離目標值越遠則損失越大（二階損失函數），如圖 2-16。

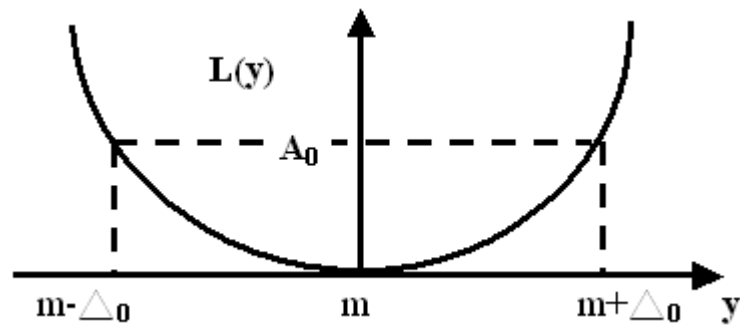


圖 2-15 二階損失函數[27]

圖 2-16 以數學公式表示為式 2-2。

$$L(y) = (A_0/\Delta_0)(y-m)^2 = k(y-m)^2 \quad \text{式(2-2)[27]}$$

$L(y)$  : 該產品造成所有消費者的平均損失。

$A_0$  : 產品失去功能，造成社會的損失。

$\Delta_0$  : 品產品的功能界限  $m$  : 產品品質特性的目標值。

$k$  : 品質損失係數。



品質特性的種類一般被分為望目特性、望小特性及望大特性等三大類。而其中望目特性是指品質特性具有一目標值，如長度，重量或薄膜沈積的厚度；望小特性是指品質特性越小愈好，如雜訊、磨損或薄膜沈積時的 Defect; 望大特性是指品質特性越大愈好，如強度、壽命或薄膜沈積時的沈積速率，以上所區分的三種品質特性，分別有不同的損失函數。

(1) 望目特性

當品質特性有一個有限的目標值（通常是非零的值），而且品質損失是對稱於目標值的狀況，這種品質特性稱之為望目特性，而式 2-3 也就稱為望目特性的損失函數。

$$L(y) = k(y-m)^2 \quad (2-3) [27]$$

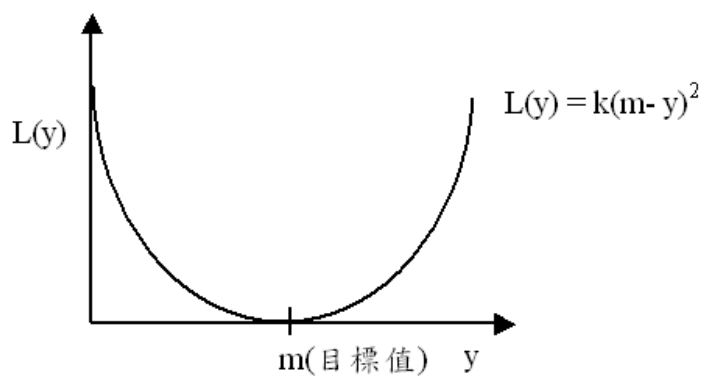


圖 2-16 望目特性損失函數[27]

(2) 望小特性

因為品質特性為望小，所以其理想值是零，而且值愈大表是產品品質愈差，故單一產品之望小品質損失函數為式 2-4。

$$L(y) = ky^2 \quad (2-4) [27]$$

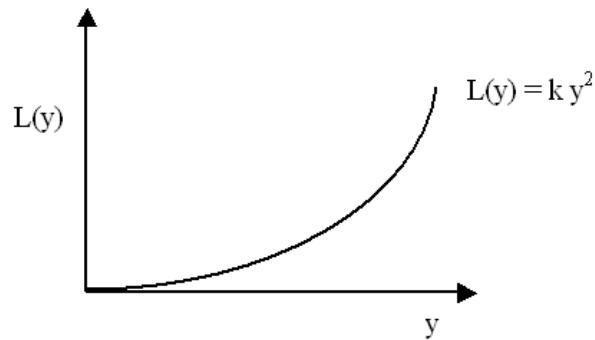


圖 2-17 望小特性損失函數[27]

### (3) 望大特性

理想的目標值是無限大，但零卻是最差的值，所以值愈大代表品質損失愈小，所以可得單一產品之望大品質損失函數為式 2-5。

$$L(y) = k(1/y^2) \quad (2-5)[27]$$

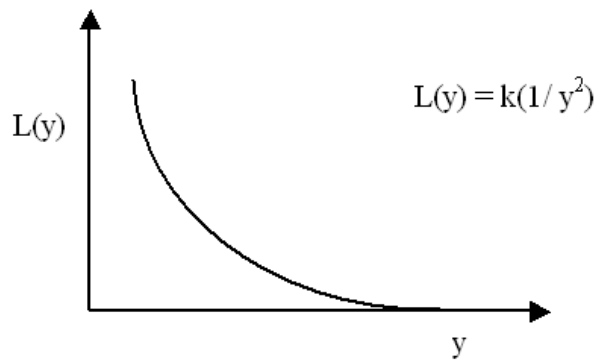


圖 2-18 望大特性損失函數[27]

實驗設計法透過統計檢定、驗證的方法，可以分析出實驗的誤差範圍及資料的可信度。可以說是運用系統化的研究方法，去解析出實驗因子對目標結果的影響。實驗設計法的創始人是 Fisher, R.F.[28]，他提出下列三大原則：

- (1) 反復之原理。
- (2) 隨機化之原理。
- (3) 局部管理之原理。

反復的原理是為了對於誤差之評價；當我們從實驗結果去下判斷時，誤差的評價是很重要的。而隨機化之原理，則是為了避免要因效果與實驗場所變化所產生的影響交絡，而將實驗順序給予隨機化。最後局部管理的原理是將所計劃的實驗分為幾小區塊，並在各區塊中的實驗場所盡量使其均一，各區塊的實驗場所均一較全實驗場所均一來得容易且可避免無謂的時間及勞力，是較為實際的做法。

因此，實驗設計的最終目的是利用這些原理對各種情形選擇最適合的實驗配置，以增加判斷的可靠度。

陳耀茂[23]提到田口方法(Taguchi Method)最大的特點在於以較少的實驗組合，取得有用的資訊，雖然不如全因子法可以真正找出確切的最佳化位置，但能以少數實驗便能指出最佳化趨勢，可行性大於全因子法。在品質工程中必須運用損失函數以選取最佳品質的參數，而在損失函數的計算中 S/N(signal to noise ratio)比愈大則品質愈佳。

田口玄一博士[25]研發新的實驗計劃法稱為「田口氏品質設計法」，其特色在於利用直交性以執行參數設計，並推廣成為內直交表與外直交表重疊之使用方法，並以此為信號雜音比(Signal to Noise) Ratio，簡稱 S/N 比的

計算依據，應用直交表分析資料可以獨立且均衡的求出每個可控因子之主效果，以便因應各種參數之設定。

## 2.14 空片量測

製造過程測量相關重要特性可確保標準之品質，因此空片量測具其重要性，為達成此目標，需有測試樣本，量測工具與資料分析等，製造過程之大部分資料係收集自監控晶圓(monitor wafer)或稱為測試晶圓(test wafer)，此晶圓為空片(無任何圖案化處理)[15]。

## 2.15 微塵檢測基本原理介紹

光學顯微鏡早已廣泛應用在製造晶圓之檢測過測中，例如觀察晶圓表面之微粒與刮痕。隨著元件幾何尺寸之縮小，致命缺陷之大小相對地縮小許多，光學顯微鏡利用反射光以偵測晶圓表面之缺陷，光學系統以及機器人晶圓處理系統與軟體介面系統整合為晶圓檢驗機，具備影像與缺陷分類等功能，對比度(contrast)係光學顯微鏡之重要參數，代表辨別物體之能力。近代之光學顯微鏡利用暗場與亮場光學偵測、共焦對比、彩色介面等技術以提昇對比度，共焦對比顯微鏡(confocal contrast microscope)使用掃描技術以觀察物體上之某一點，具有更佳之圖案對比度與視覺，共焦顯微鏡使用可見光與雷射光以偵測物體，彩色干涉對比(color interference contrast)將光束分離成直接(direct)光束與參考(reference)光束，受待測物而改變的直接光束與參考光束結合，並產生一干涉後之影像[15]。

### 第三章、實驗方法

本章將介紹實驗環境以及實驗過程，探討單一控制因子之變動對於微塵污染所造成的影響，對於實驗分析結果加以整理並且提出說明。

#### 3.1 實驗環境介紹

微環境一共分為三個區域，分別為周圍區(Ambient zone)緩衝區(buffer area)以及製程區(Process chamber)，經過空調以後之空氣先經過初級過濾器(Pre filter)以過濾較大直徑之微粒分子，隨後進入高效率空氣過濾器(High Efficiency Particulate air)過濾直徑較小的微粒子，部分的空氣再經由超低透過率空氣過濾器(Ultra Low Penetration air)過濾之後進入到製程區，將製程所產生的熱以及微粒子排出[6]，如圖 3-2 所示。

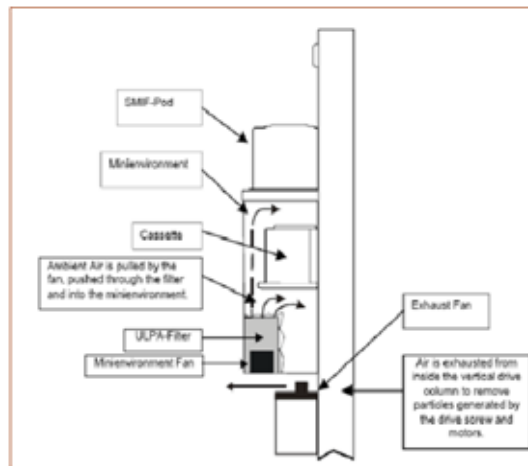


圖 3-1 SMIF/POD 載入機台介面內部構造圖

#### 3.2 缺陷檢測機台介紹

如圖 3-3 所示 TENCOR 檢驗機台為暗區模式(dark field)下的表面缺陷檢

驗，以傾斜角度的雷射光打到晶片薄膜表面，PMT 將光轉換為電子訊號，與偵測缺陷所需之訊號差值比其差異，超出設定的則視為缺陷，再呈現於晶片缺陷圖的相對位置中，而 TENCOR 機台對沉積鍍膜後的檢出率會比蝕刻有圖案的檢出率好。

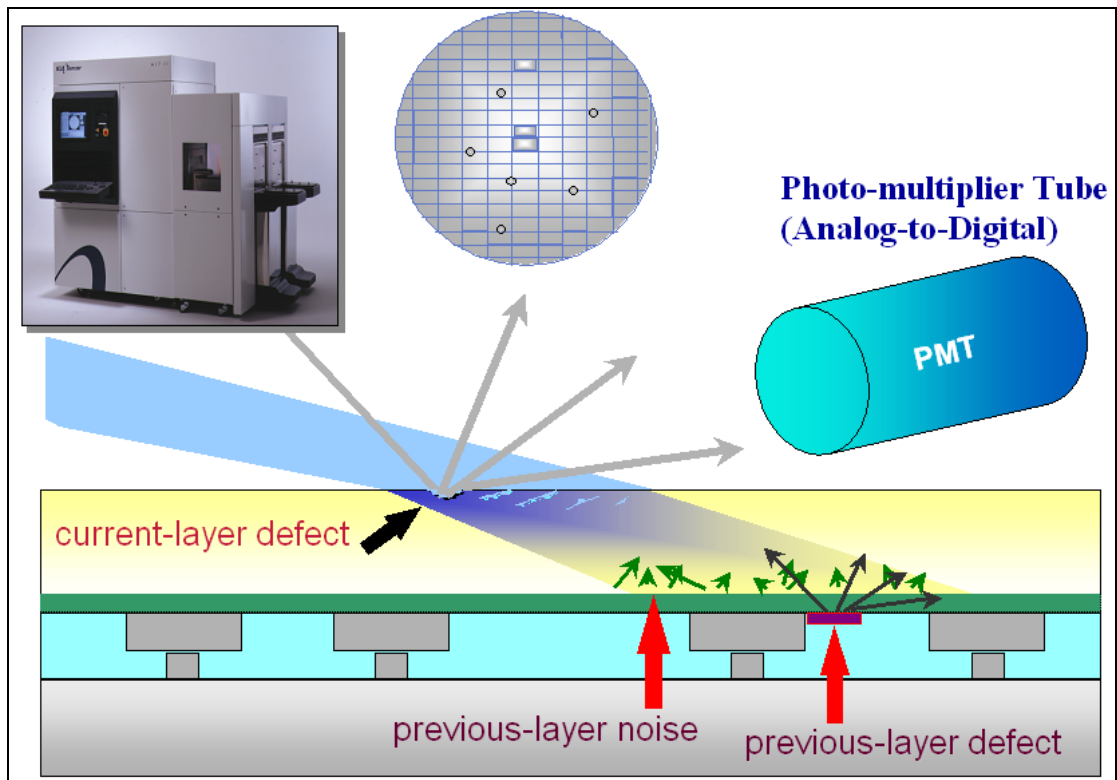


圖 3-2 TENCOR 機台系統功能介紹

### 3.3 實驗流程

#### 3.3.1 實驗架構

半導體八吋晶圓廠之所有機台(包含主要製程機台以及附屬機台)皆具備各自的微環境獨立系統，可使晶圓裝載入機台整個過程在超潔淨的可控制環境，為了使機台內部之潔淨度達到最佳狀況，本實驗先進行一次一因

子分析，以觀察各因子對於污染粒子的影響，並找出影響較大的因子，再利用田口實驗設計將機台內部的污染粒子降至最低。整個實驗架構流程，如圖 3-4 所示。

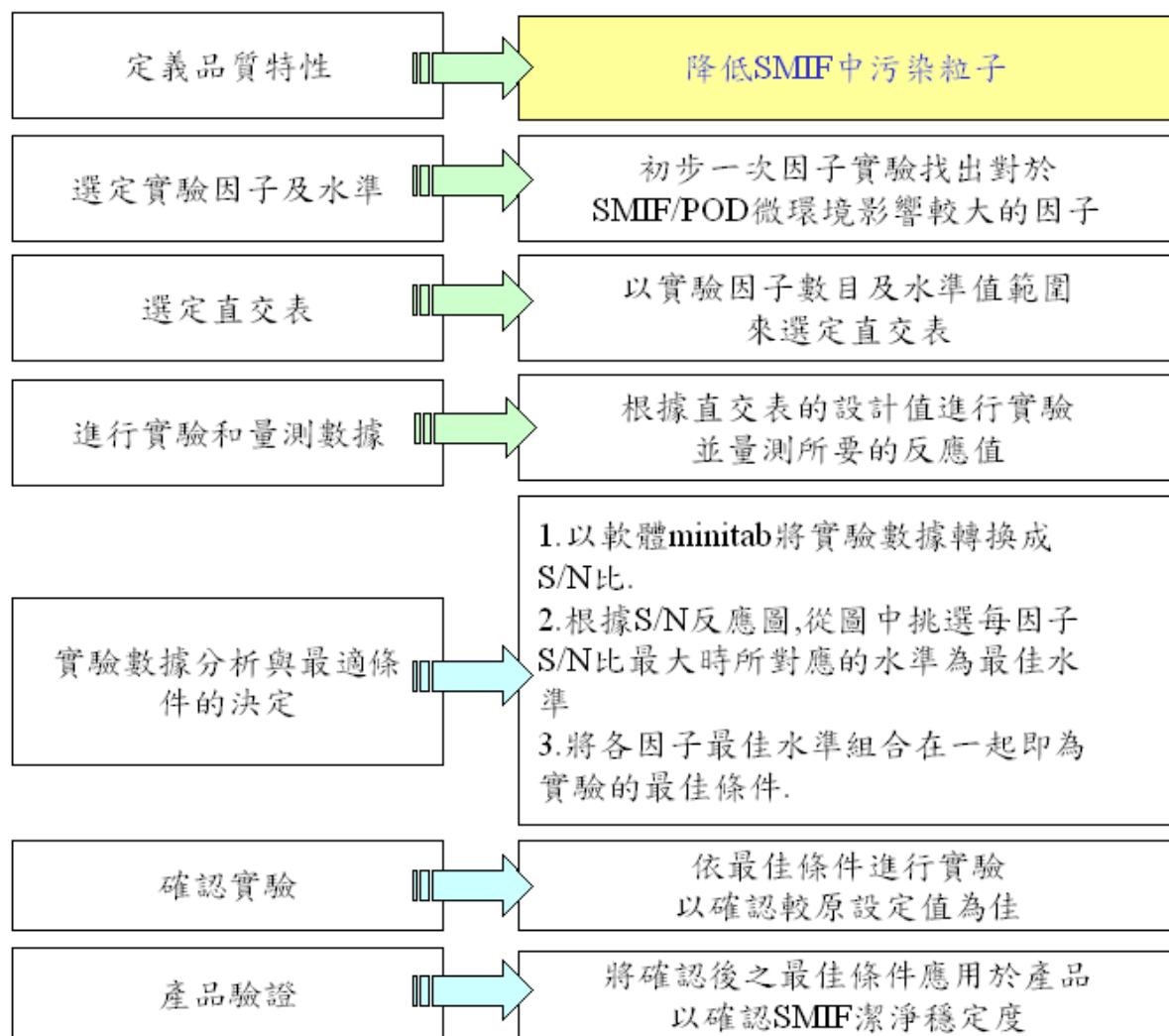


圖 3-3 實驗流程圖

### 3.3.2 污染粒子數之計算方式

污染粒子數的計算方式可以分為相減法與層疊法，分別敘述如下：

相減法：將量測後值顆數減去量測前值顆數後所增加的顆數。

層疊法：將量測後值與量測前值分佈圖形相疊後所增加的顆數，而相同位置

的污染粒子會被自動刪除，剩下不同位置的污染粒子分佈會被顯示出來，即為測試後所增加的顆數。

### 3.4 田口方法(Taguchi Methods)之簡介

田口方法係藉由實驗以決定設計參數，為了減少實驗的次數，依控制因子(Control factors)及其水準(Level)的數目選用適當的實驗直交表，其設計的目標是尋求產品或製程的理想機能，並且維持此一理想機能的穩健性(Robustness)，亦即受干擾因子(Noise factors)所引起的變異減至最小[13]，文中將依控制因子、干擾因子、信號因子及調整因子特性分別提出說明。

田口實驗是廣義的，可能是實驗室的實驗，工廠生產線上的實驗，或者是電腦模擬實驗。而設計參數可能是生產製程參數，或者是產品的設計參數，為了減少實驗次數，田口方法依控制因子及其水準的數目選用適當的直交表[13]，而各類因子之差異性關係如圖 3-5 所示。

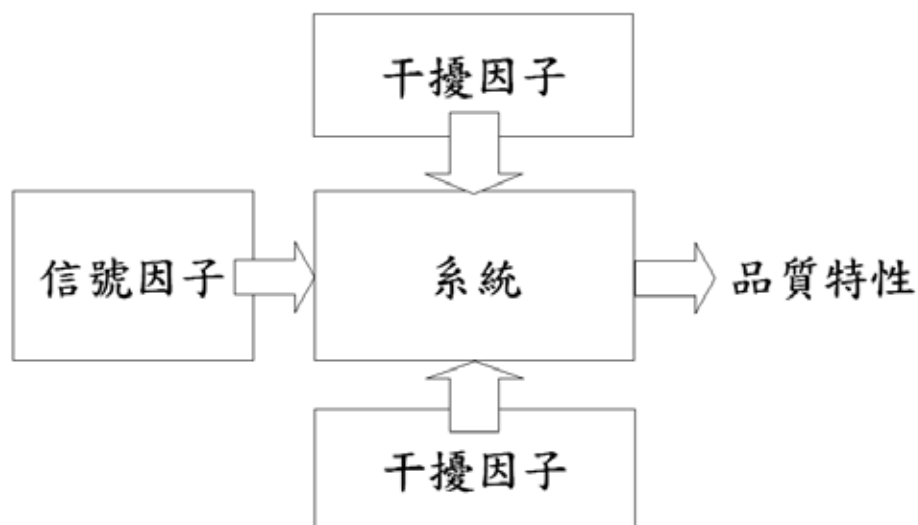


圖 3-4 各因子與品質特性關係圖[13]



### 3.4.1 控制因子(Control factors):

控制因子係指會影響品質特性的因子，一般是由工程師設計控制，如圖 3-6 圖的橫軸代表某一控制因子的水準，縱軸代表品質特性，而控制因子與品質特性間呈非線性關係，圖中顯示選擇 A2 較佳，因為在同樣的控制因子變異下，A2 所引起的品質特性變異較小，而 A1 所引起的品質特性變異較大[13]。

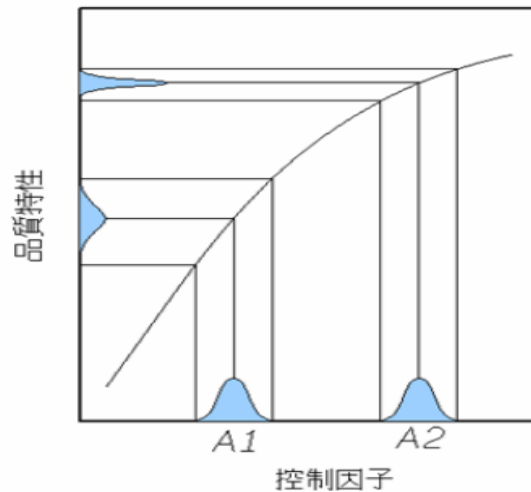


圖 3-5 非線性控制因子與品質特性關係[13]

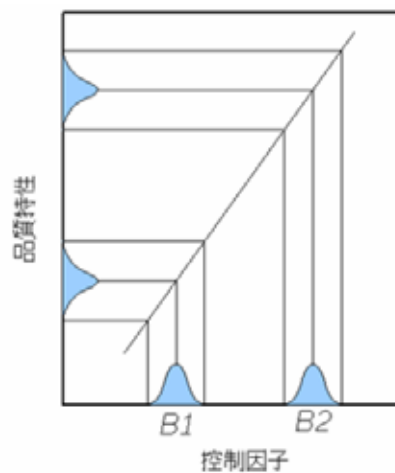


圖 3-6 線性控制因子與品質特性關係[13]

### 3.4.2 干擾因子(Noise factors):

干擾因子係指在系統中有許多不可控制的因子，或者需要昂貴代價才能控制的因子，統稱為干擾因子[13]，而干擾因子又分為內部干擾、外部干擾以及干擾三種類型，如表 3-1 所示。

表 3-1 干擾因子類別

干擾因子類別		例子
使用階段的干擾因子	外部干擾因子	使用環境(溫度、溼度)、使用者
	內部干擾因子	材料磨耗、材料老化
使用階段的干擾因子	外部干擾因子	製造環境(溫度、溼度)、製造者
	內部干擾因子	材料變異、製程參數變異
品質特性量測時的干擾因子	量測干擾因子	量測的位置、量測的時間

### 3.4.3 信號因子(Signal factors):

信號因子係指使用者自行改變的因子，即為一種系統的輸入值。由於信號因子是可以由產品使用者或製程操作者自行調整的因子，所以信號因子之水準必須考慮橫跨所有可能調整的範圍且只有動態特性的問題才有信號因子[13]。

#### 3.4.4 調整因子(Adjustment factors):

調整因子的變動只會影響到品質特性本身的大小而不會影響品質特性變異的大小[13]，大多數控制因子與品質特性呈非線性關係，因此便於進行穩健品質設計(Robust quality design).但是有些控制因子與品質特性呈現線性關係，如圖 3-7 所示，在同樣的控制因子變異下，B1 與 B2 所引起的品質特性相同，B 因子的變動只會影響品質特性的大小，而不會影響品質特性變異的大小，這種控制因子稱為調整因子[13]。

田口方法中，可以選擇此控制因子的某一水準，使得此干擾因子對品質特性的影響是最小的以達到穩健的目的，高品質強調產品或製程的穩健性，亦即品質特性受到干擾因子的影響減至最小，所以田口方法又稱為穩健品質設計法[13]。



### 3.5 田口方法(Taguchi Methods)理論模式基礎

本文採用田口方法之理論基礎包含信號與雜音比(S/N; Signal to Noise Ratio)，四種品質特性及直交表類型之相關理論提出說明。

#### 3.5.1 田口方法之 S/N 比

在通訊工程裡，常以電訊的輸出訊號(signal)與雜訊(noise)之比作為品質指標，比值越大代表通訊品質越佳.因此 S/N 比被用為品質的同義字。但是不同的工程問題有不同的品質計量方式，亦即其 S/N 比計算方式有所不同

[13]，如望大特性、望小特性以及望目特性各有其不同的計算方式。但無論是望大特性、望小特性或是望目特性，其 S/N 比值越大代表品質指標越好。

### 3.5.2 田口方法之四類型品質特性

田口方法中含四種品質特性，分別為望大特性、望小特性、望目特性以及適用於動態方面的原點直線型特性。如表 3-2 所示，其分類說明如下：

表 3-2 四種品質特性[13]

品質特性	理想機能	靜態或動態
望目特性(nominal-the-best)	$y=m$	靜態
望小特性 smaller-the-better)	$y=0$	靜態
望大特性(larger-the-better)	$y=0$	靜態
原點直線型(zero-point proportional)	$y=\beta m$	動態

(1)望大特性:望大特性是用於品質特性之理想機能為無限大時，可以將品質特性倒數(1/y)後，以望小特性處理(1/y) [13]，其公式如下：

$$SN = -10 \log \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right\} \quad (3.1 \text{ 式})$$

S/N:信號雜訊比(品質的同義字)

n:實驗數值個數； $y_i$ :實驗數值

(2)望小特性: 望小特性是用於品質特性之理想機能為零時(假設品質特性是正數), 品質特性 Y 是非負的連續隨機變數, 其值可以從  $0 \rightarrow \infty$ , 但最好的值是 0, 這種特性一般不存在調整因子, 因此只要極小化品質損失 Q 即可 [13]。

$$SN = -10\log(MSD) = -10\log\left\{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i^2\right\} \quad (3.2 \text{ 式})$$

S/N:信號雜訊比(品質的同義字)

n:實驗數值個數

S:標準偏差值

$y_i$ :實驗數值

$\bar{y}$ :實驗數值的平均值



(3)望目特性: 品質特性 Y 是從  $0 \rightarrow \infty$  的連續隨機變數, 目標值 m 通常設為非負且為有現值。此種特性的特色是當品質特性之平均值為 0 時, 其變異數也變成 0。這種特性的問題通常都存在調整因子或稱比例因子, 此種因子可以將平均數調到目標值上。一般有上、下規格的產品都可視為望目特性 [13], 我們希望極大化 S/N 比如下:

$$SN = 10\log\frac{\frac{1}{n}(S_m - V_e)}{V_e} \quad (3.3 \text{ 式})$$

其中

$$u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i, S_m = \frac{T^2}{n}, T = \sum_{i=1}^n Y_i,$$

$$V_e = \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \sigma)^2$$

S/N: 信號雜訊比(品質的同義字)

n: 實驗數值個數

S: 標準偏差值

yi: 實驗數值

y: 實驗數值的平均值



### 3.5.3 田口方法之直交表種類以及應用

田口方法中的直交表類型眾多，如表 3-3 至 3-6 所示，當實驗決定控制因子以及水準的數目之後，即須選取適當的直交表進行實驗之結果計算與分析。一般而言直交表當中橫軸代表控制因子，另外搭配各欄位數字分別代表水準一(Level1)，水準二(Level2)以及水準三(Level3)等。

(1) 二水準的直交表，如表 3-3 所示:

$$L_4(2^3), L_8(2^7), L_{12}(2^{11}), L_{16}(2^{15}), L_{32}(2^{31})$$

表 3-3 二水準(Level)直交表

二水準(Level)	實驗組數	水準數目	因子數目
$L_4(0)$	4	2	3
$L_8(0)$	8	2	7
$L_{12}(0)$	12	2	11
$L_{16}(0)$	16	2	15
$L_{32}(0)$	32	2	31

(2)三水準的直交表，如表 3-4 所示：

$L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、 $L_{27}(3^{13})$ 、 $L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$ 、 $L_{36}(2^3 \times 3^{13})$ 、 $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$

表 3-4 三水準(Level)直交表

二水準(Level)	實驗組數	水準數目	因子數目
$L_9(0)$	9	3	4
$L_{18}(0)$	18	2	1
		3	7
$L_{27}(0)$	27	3	13
$L_{36}(0)$	36	2	11
		3	12
$L_{36}(0)$	36	2	3
		3	13
$L_{54}(0)$	54	2	1
		3	25

(3)四水準的直交表，如表 3-5 所示:

$$L_{16}(4^5)、L_{32}(2^1 \times 4^9)$$

表 3-5 四水準(Level)直交表

二水準(Level)	實驗組數	水準數目	因子數目
$L_{16}(4)$	16	4	5
$L_{32}(4)$	32	2	1
		4	9

(4)五水準的直交表，如表 3-6 所示:

$$L_{25}(5^6)、L_{50}(2^1 \times 5^{11})$$

表 3-6 五水準(Level)直交表

二水準(Level)	實驗組數	水準數目	因子數目
$L_{25}(5)$	25	5	6
$L_{50}(5)$	50	2	1
		5	11

### 3.6 單一因子之探討

主要針對單一控制因子之變動對污染粒子的影響程度加以分析，進而決定出重要的控制因子，以供田口實驗設計法之參考。實驗時每次只變動一個因子以觀察各因子對於污染粒子之影響，再來決定選擇因子之水準。

### 3.7 一次因子分析(三水準四因子)

六個一次一因子分析包含 POD 支架材質、POD 支架與晶片接觸次數、支架年限、機械手臂移動速度、SMIF 內風速流量以及 SMIF 內部風壓。



### 3.7.1 晶舟盒(POD)支架材質實驗

目前實驗群組當中在 POD 的部分位於內部後方有一支架安裝來固定 POD 內中的晶圓，又因為材質主要有兩種(如圖 3-8)，一種為泛用工程塑膠之聚碳酸酯樹脂(PC)材質，另外一種為高性能工程塑膠之聚二醚酮(PEEK)材質，當晶圓下載於 SMIF 內時會與晶圓片邊緣接觸，其接觸的過程當中可能會造成污染粒子產生，本實驗希望可以驗證出不同材質的支架對於污染粒子產生的程度多寡，實驗方法描述如下：

實驗組數：兩種類型之 POD，每一種作七組實驗，一共為 14 組實驗。

實驗次數：一共七組，分別為 A 組連續 SMIF 跑(load/unload) 5 次、B 組連續跑 10 次、C 組連續跑 15 次、D 組連續跑 20 次、E 組連續跑 25 次、F 組連續跑 30 次、G 組連續跑 50 次。

所需測試控片準備：每一盒內裝 3 片，每組各 2 盒，七組共 14 盒 42 片。

實驗限制：在相同條件下，每盒一次測試 3 片，其結果分別為片數 1、片數 13 以及片數 25，污染粒子取樣單位為  $0.3\mu\text{m}$ 。

POD 種類：PC 材質支架晶舟盒以及 PEEK 材質支架晶舟盒兩種。

量測儀器限制：指定同一台。

操作人員限制：指定同一人。

注意事項：兩種支架材質不同的 POD 必須分開測試，POD 以及 SMIF 內部必須高潔淨度。

實驗步驟：(1)先量測測試控片前值。

(2)量完前值之控片裝進 PC 材質支架之 POD 然後進入機台。

(3)量完前值之控片裝進 PEEK 材質支架之 POD 然後進入機台。

(4)測量測試控片後值經計算，可以得到增加之污染顆數。

(5)其結果分別如圖 3-9 所示。

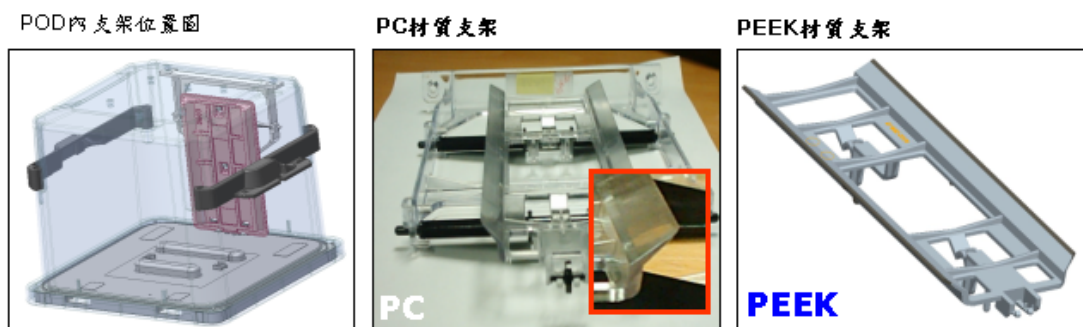


圖 3-7 晶片固定支架對照圖

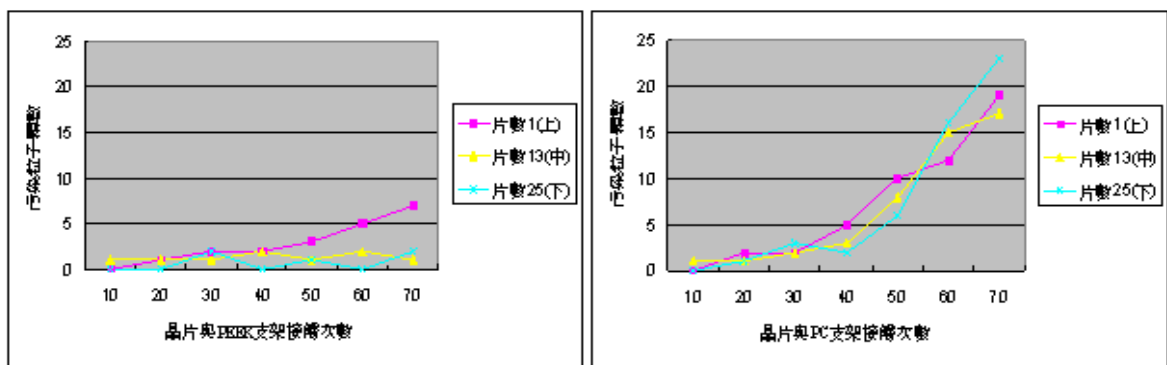


圖 3-8 不同支架材質微塵量測結果

### 3.7.2 晶舟盒(POD)支架與晶片接觸次數實驗

目前實驗群組當中在 POD 的部分位於內部後方有一支架安裝來固定 POD 內中的晶圓，當晶圓下載於 SMIF 內時會與晶圓片邊緣接觸，其接觸

的過程當中會造成污染粒子產生本實驗希望可以驗證出不同的接觸次數對於污染粒子產生的程度多寡。如圖 3-10 所示，實驗方法描述如下：

實驗組數：共為 7 組實驗。

實驗次數：分別為 A 組連續 SMIF 跑(load/unload) 10 次、B 組連續跑 20 次、C 組連續跑 30 次、D 組連續跑 40 次、E 組連續跑 50 次、F 組連續跑 60 次、G 組連續跑 70 次。

所需測試控片準備：每一盒內裝 3 片，共 7 盒 21 片。

實驗限制：在相同條件下，每盒一次測試 3 片，其結果分別為片數 1、片數 13 以及片數 25。

污染粒子取樣單位： $0.3\mu\text{m}$ 。

POD 種類：裝有 PC 材質支架之晶舟盒。

量測儀器限制：指定同一台。

操作人員限制：指定同一人。

實驗步驟：(1)先量測測試控片前值。

(2)量完前值之控片裝進 PC 材質支架之 POD 然後進入機台。

(3)量測試控片後值經計算，可以得到增加之污染顆數。

(4)結果分別如圖 3-11 所示。



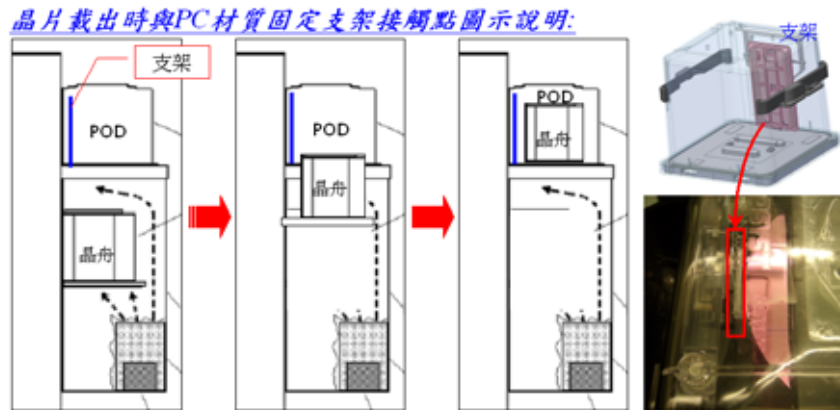


圖 3-9 SMIF 載出動作解析圖

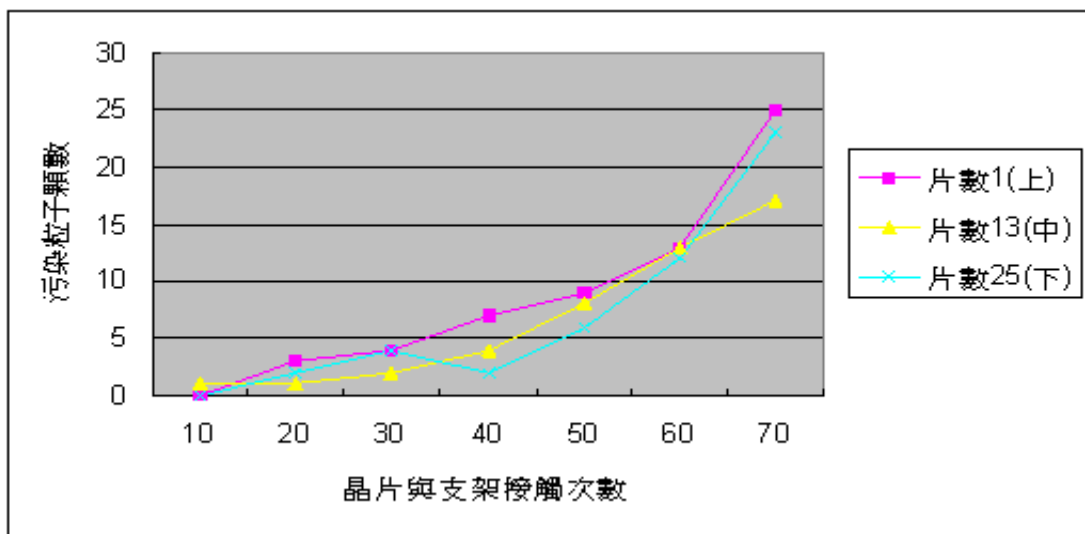


圖 3-10 晶片與支架接觸次數微塵量測結果

### 3.7.3 晶舟盒(POD)支架年限(Life time)實驗

晶舟盒中固定支架皆有製造年限(如圖 3-12)，分別有一年、兩年、三年以及三年以上的製造年份，無論如何，當晶圓下載於 SMIF 內時會與晶圓片邊緣接觸，其接觸的過程當中會造成污染粒子產生。實驗方法描述如下：

實驗組數：一共為 4 組實驗。

實驗次數：一共四組，每一組均連續 SMIF 跑(load/unload) 30 次。

所需測試控片準備：每一盒內裝 3 片，四組共 4 盒 12 片。

實驗限制：在相同條件下，每盒一次測試 3 片，其結果分別為片數 1、片數 13 以及片數 25。

POD 種類：配有 PC 材質支架晶舟盒。

量測儀器限制：指定同一台。

操作人員限制：指定同一人。

注意事項：POD 以及 SMIF 內部必須高潔淨度。

實驗步驟：(1)先量測測試控片前值。

(2)量完前值之控片裝進 PC 材質支架之 POD 然後進入機台。

(3)測量測試控片後值經計算,可以得到增加之污染顆數。

(4)其結果分別如圖 3-13 所示。

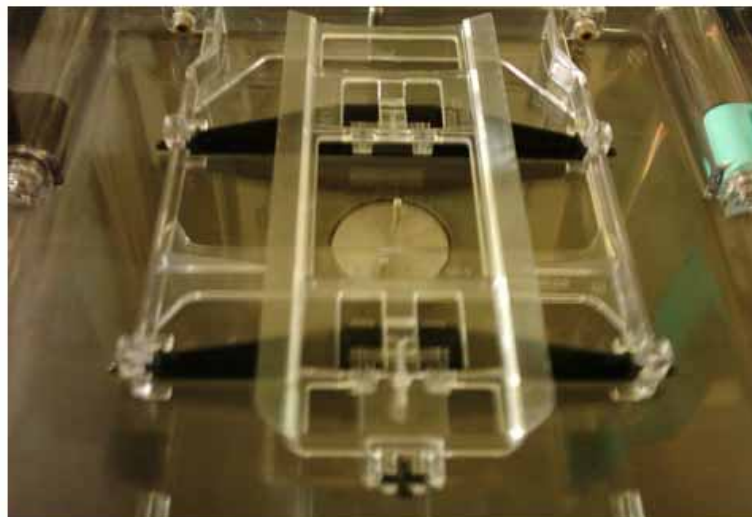


圖 3-11 POD 支架年限示意圖

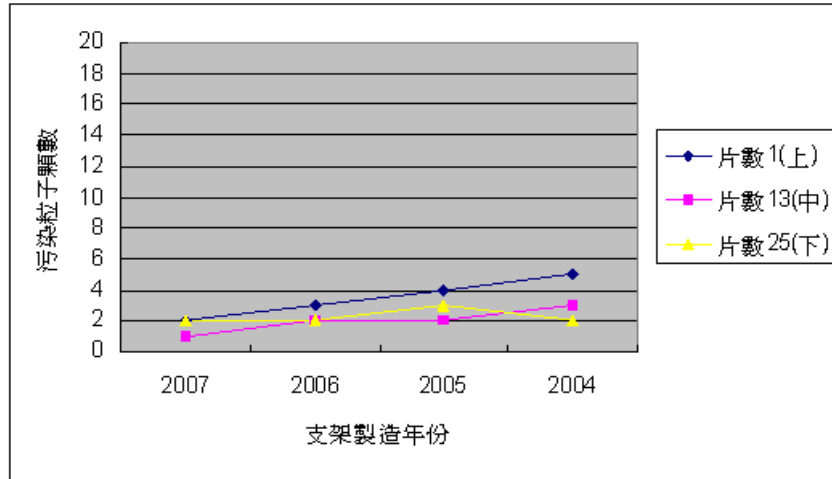


圖 3-12 晶舟盒支架年限微塵量測結果

#### 3.7.4 SMIF 微環境內部風速流量實驗

SMIF 內部風速流量大小需調整至適當的程度，而因風速流量太大而造成污染粒子的擾動，使得測試控片所測出的污染粒子顆數有增加的趨勢。反之若風速流量若太小則無法汰換高潔淨氣體進入機台內部，因此如何將 SMIF 內部風速流量控制於適當範圍內，且不易造成污染粒子之產生。茲將實驗方法描述如下：

實驗組數：一共為 10 組實驗。

實驗次數：每一組均連續 SMIF 跑(load/unload) 30 次。

所需測試控片準備：每一盒內裝 3 片，10 組共 30 片。

測試設備：三維超音波風速計。

POD 種類：PC 材質支架晶舟盒。

量測儀器限制：指定同一台。

操作人員限制：指定同一人。

實驗步驟：(1)先量測測試控片前值。

(2)調整 SMIF 風速流量至實驗設定值。

(3)測量控片後值經計算可得增加之污染顆數。

(4)實驗數據加以整理如圖 3-14 所示。

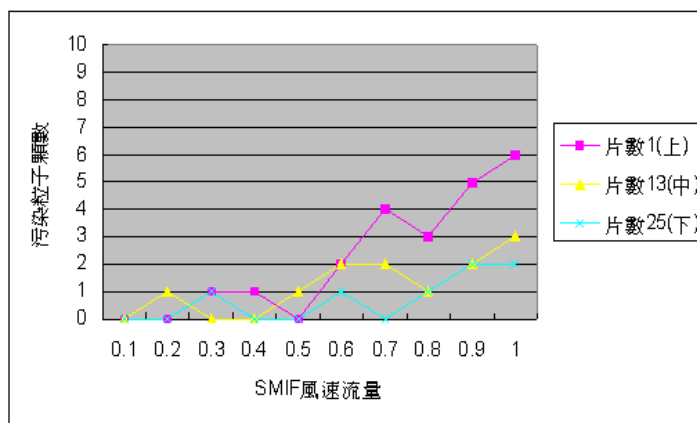


圖 3-13 SMIF 微環境內部風速流量微塵量測結果

### 3.7.5 SMIF 微環境內部風壓實驗

SMIF 本體內部風壓需大於外在環境之氣壓，因正壓較不易產生污染粒子，反之風壓為負壓較易產生污染粒子，故風壓只需調整至適當大小即可，若將風壓調整過大雖較不易產生污染粒子，但會縮短風扇模組元件之使用壽命，因此如何將內部風壓調整至適當範圍內，且不易造成污染粒子之產生。茲將實驗方法描述如下：

實驗組數：一共為 7 組實驗。

實驗次數：一共為 30 次。

所需測試控片準備：每一盒內裝 3 片，共 7 盒 21 片。

POD 種類: 為 PC 材質支架晶舟盒。

量測儀器限制: 指定同一台。

操作人員限制: 指定同一人。

實驗步驟: (1)先量測測試控片前值。

(2)調整 SMIF 風壓至實驗設定值。

(3)測量控片後值經計算可得增加之污染顆數。

(4)實驗數據加以整理如表圖 3-15 所示。

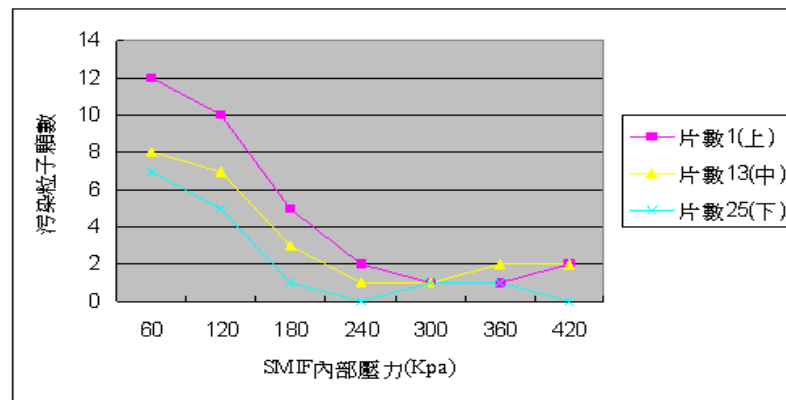


圖 3-14 SMIF 內部風壓微塵量測結果

### 3.7.6 SMIF 機械手臂移動速度實驗

探討機台內部當機械手臂作晶片傳入傳出速度變化時，與污染粒子是否會增加之關聯性。茲將實驗步驟方法描述如下:

實驗次數: 一共為 3 次。

所需測試控片準備: 每組每盒內裝 3 片，一共為 9 片。

機台限制: 均為同型之貨量滿載機台。



量測儀器限制: 指定同一台。

操作人員限制: 指定同一人。

實驗步驟 : (1)先量測測試控片前值。

(2)調整機械手臂段速至實驗設定值。

(3)測量控片後值經計算可得增加之污染顆數。

(4)實驗數據加以整理如表圖 3-16 所示。

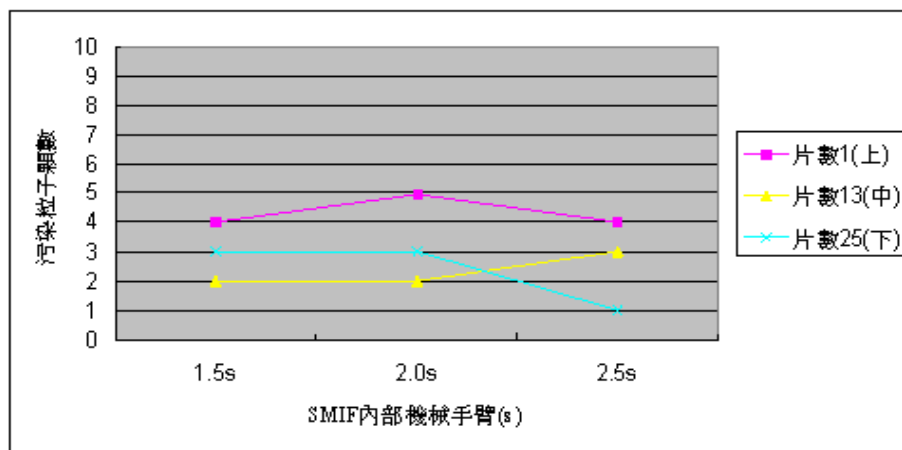


圖 3-15 機械手臂速度微塵量測結果

### 3.8 單一因子分析結果與討論

本文藉由一次一因子個別實驗分析後，對污染粒子影響效應之情況，分別以 POD 支架材質測試、POD 支架與晶片接觸測試、POD 支架年限、SMIF 微環境內部風速流量、SMIF 微環境內部風壓、SMIF 機械手臂移動速度之實驗資料所得到的結果，進行以下結果與討論，如表 3-7 所示。

表 3-7 單一因子實驗結果分析表

實驗項目	實驗結果	是否列入 田口實驗設計法
POD 支架材質接觸測試	增加之污染粒子顆數超過誤差範圍(+5 顆)，最大差距為+18	是
POD 支架與晶片接觸次數測試	增加之污染粒子顆數超過誤差範圍(+5 顆)，最大差距為+25 顆	是
POD 支架年限	增加之污染粒子顆數在誤差範圍(+5 顆)內	否
SMIF 微環境內部風速流量	增加之污染粒子顆數超過誤差範圍(+5 顆)，最大差距為+6	是
SMIF 微環境內部風壓	增加之污染粒子顆數超過誤差範圍(+5 顆)，最大差距為+10 顆	是
SMIF 機械手臂移動速度	增加之污染粒子顆數在誤差範圍(+5 顆)內	否

經上述一次一因子分析後，將決定對污染粒子影響較大的重要四個控制因子，包括支架材質(PC/PEEK)接觸影響、SMIF load/unload 接觸次數、SMIF 風速流量以及 SMIF 風壓，再採用田口方法進行分析。

### 3.9 因子水準選定

如表 3-8 所示，四個控制因子當中除第一個因子為兩水準外，其餘每一因子則分為三個水準，水準值則依據一次一因子實驗當中在污染粒子產生較穩定之範圍來選定，在直交表分析後可以取得最佳水準組合，其水準對照四個因子分述如下：

- (1) 支架材質接觸影響：聚碳酸酯樹脂(PC)材質；聚二醚酮(PEEK)材質
- (2) SMIF load/unload 接觸次數：50 次；40 次；30 次
- (3) SMIF 風速流量：分為 0.6m/s；0.5m/s；0.4m/s
- (4) SMIF 風壓：分為 360kPa；300kPa；240kPa

表 3-8 四因子三水準條件列表

因子	說明	Level1	Level2	Level3
A	晶舟盒內支架材質	PC	PEEK	
B	晶片載卸與支架接觸次數	50 次	40 次	30 次
C	SMIF 風速流量大小	0.6m/s	0.5m/s	0.4m/s
D	SMIF 風壓大小	360kPa	300kPa	240kPa

### 3.10 田口式直交表選用

本實驗決定採用 $L_9(3^4)$ 表進行實驗分析，如表 3-9 所示縱軸 1~9 代表共有 9 組獨立實驗，橫軸 1~4 行代表共有 4 個控制因子，另外陰影部分各

欄位數字 1~3 分別代表水準一(Level1)、水準二(Level2)以及水準三(Level3)。

表 3-9 L<sub>9</sub>直交表

實驗組	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	2
5	2	2	2	3
6	2	2	3	1
7	2	3	1	3
8	2	3	2	1
9	2	3	3	2

### 3.11 L<sub>9</sub>實驗設計

將L<sub>9</sub>表進行實驗設計如表 3-10 所示，其表格內容如下：

控制因子：橫軸上第 1~4 行分別填上 A~D。

實驗數值(y<sub>i</sub>)：橫軸上第 5~9 行分別填上 y<sub>1</sub>、y<sub>2</sub>、y<sub>3</sub>、y<sub>4</sub>、y<sub>5</sub> 此為 SMIF 內部潔淨度測試五次結果之實驗數值。

實驗數值的平均值(y)：橫軸上第 10 行，各組實驗數值(y<sub>1</sub>、y<sub>2</sub>、y<sub>3</sub>、y<sub>4</sub>、y<sub>5</sub>)之平均。

標準偏差(S)：橫軸上第 11 行，各組實驗數值(y<sub>1</sub>、y<sub>2</sub>、y<sub>3</sub>、y<sub>4</sub>、y<sub>5</sub>)之標準偏差。

S/N 比：橫軸上第 12 行，採用望小特性。

表 3-10 L<sub>9</sub>實驗設計表

L18	1	2	3	4	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Avg.	S	S/N
1	1	1	1	1								
2	1	1	2	2								
3	1	1	3	3								
4	1	2	1	2								
5	2	2	2	3								
6	2	2	3	1								
7	2	3	1	3								
8	2	3	2	1								
9	2	3	3	2								



#### 第四章、實驗結果與討論

## 4.1 實驗結果分析

本實驗利用田口實驗設計法進行資料分析，先進行控制因子分析，再以分析結果進行最佳化的評估與設計，隨後採用一半法則進行確認實驗，將確認實驗與預測值相互必較，以確保實驗結果於合理範圍內，最後將原始設計與最佳化設計之實驗結果提出說明。

### 4.1.1 控制因子分析

首先將實驗結果紀錄於 $L_9$ 實驗設計表(如表 4-1)，經由田口實驗設計法分析後，可得到反應表(如表 4-2)。隨後計算出各控制因子之影響效應大小(各水準之最大值減去最小值)，最後排列出效應之順序。為了讓數值可以很明顯地顯現出其效應大小，將S/N比反應表轉換成S/N比反應圖，如圖 4-1 所示。

### 4.1.2 最佳化設計

經由 S/N 比反應表以及反應圖所示，可以判斷四個控制因子之最佳水準，其最佳參數組合如下：

其效應大小依序為：接觸次數>支架材質>風速>風壓。

最佳參數組合為：A2、B3、C3、D1。

表 4-1  $L_9$ 實驗結果

L18	因子一	因子二	因子三	因子四	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Avg.	S	S/N
1	1	1	1	1	10	11	10	13	10	10.8	1.3	-20.7
2	1	1	2	2	10	9	11	10	12	10.4	1.1	-20.3
3	1	1	3	3	9	15	13	13	15	13	2.4	-22.4
4	1	2	1	2	9	12	11	13	13	11.6	1.7	-21.3
5	2	2	2	3	8	5	8	10	7	7.6	1.8	-17.8
6	2	2	3	1	6	7	8	6	8	7	1.0	-16.9
7	2	3	1	3	5	6	6	7	9	6.6	1.5	-16.5
8	2	3	2	1	3	8	7	9	7	6.8	2.3	-17.0
9	2	3	3	2	4	5	5	6	8	5.6	1.5	-15.2

表 4-2 S/N 比反應表

S/N	A	B	C	D
Level1	-21.22	-21.17	-19.55	-18.24
Level2	-16.72	-18.71	-18.41	-18.98
Level3		-16.27	-18.19	-18.93
Effect	4.5	4.9	1.36	0.75
Rank	2	1	3	4

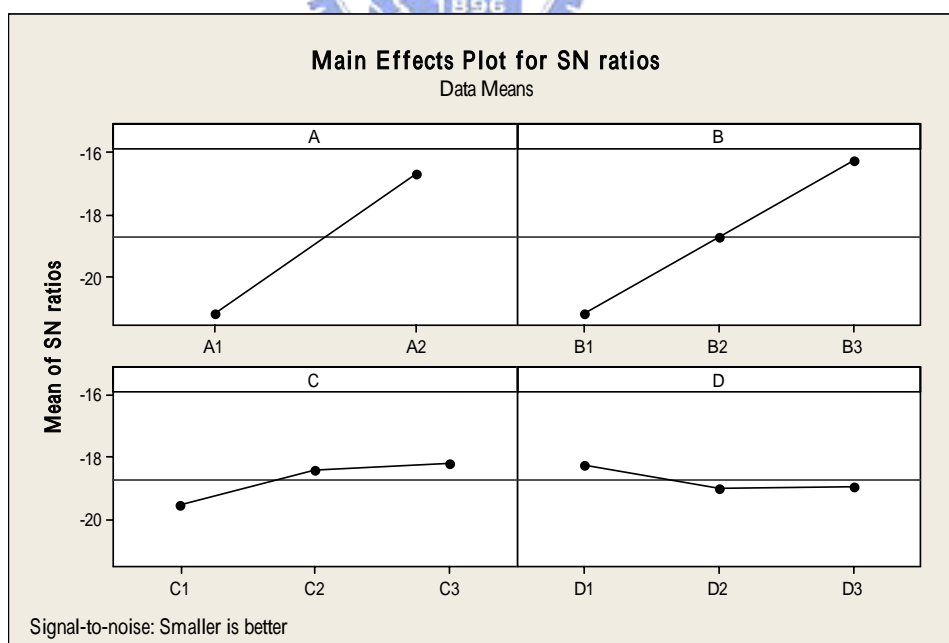


圖 4-1 S/N 比反應圖

## 4.2 確認實驗

原始設計及最佳化參數設計分別進行兩組確認實驗，由數據顯示(如表 4-3)，將原始設計與最佳化設計所計算出 S/N 比(如圖 4-2)，比較之下經由機台參數調整過後所得到的 S/N 比要比原始設計之 S/N 比要來的大，證明最佳製程參數設計可以獲得好的微環境潔淨度品質。

表 4-3 確認實驗最佳設計與原始設計量測結果比較

實驗組	實驗製程參數條件				輸出值:微塵顆數( $0.3\mu\text{m}$ )					Y 平均值	信號雜訊比
	支架材質	接觸次數	風速流量	內部風壓	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		
最佳參數組合	聚二 醚酮 (PEEK)	60 次	0.4m/s	360kPa	6	5	3	3	6	4.6	-13.7
原設定組	聚碳酸 酯樹脂 (PC)	60 次	0.5m/s	300kPa	9	8	9	10	11	9.4	-19.53



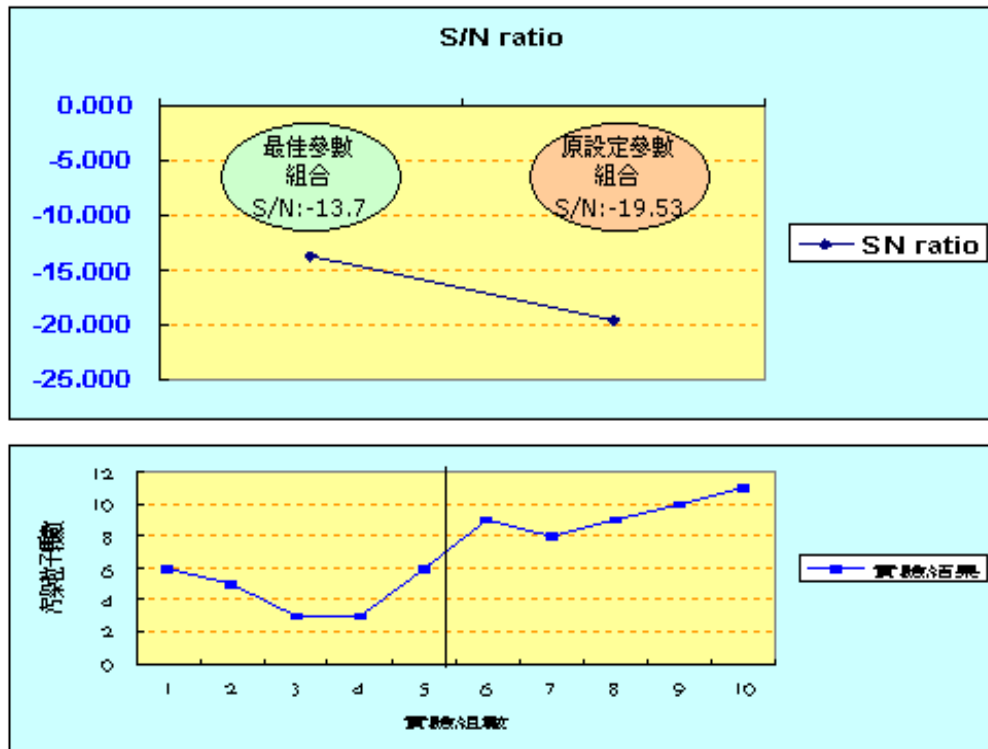


圖 4-2 確認實驗最佳設計與原始設計 S/N 比比較

### 4.3 產品驗證

經由實驗設計法分析完成後，將機台每天進行污染粒子測試，一共為期十六週，每一批裝載 25 片之產品，每批抽檢三片進行污染粒子採用後值量測，單一晶片污染粒子超過五顆視為異常。單週內污染粒子超過五顆之異常片數再去除以總檢測片數，故得到單週產品晶片異常率，如表 4-4 以及圖 4-3 所示。經最佳化設計導入 SMIF/POD 機械模組參數微調之後，其差異性為異常率由單週之 6.24% 降至 0.095%，故最佳化設計確實可以將晶片受微塵污染的機率降至最低，得到最佳改善以提高產品的良率。

表 4-4 產品驗證最佳化效益統計表

實驗週數	檢測晶片數	異常片數	異常率百分比
W01	108	8	7.41
W02	75	5	6.67
W03	81	6	7.41
W04	66	6	9.09
W05	93	7	7.53
W06	87	1	1.15
W07	81	0	0
W08	87	0	0
W09	93	0	0
W10	102	0	0
W11	87	0	0
W12	75	0	0
W13	105	1	0.95
W14	78	0	0
W15	99	0	0
W16	96	0	0

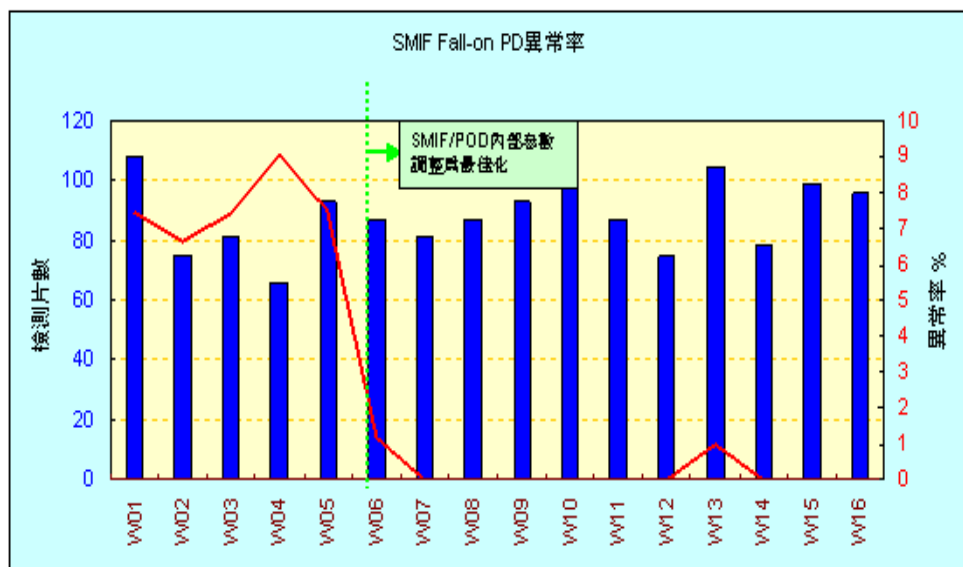


圖 4-3 產品驗證設計最佳化效益圖

#### 4.4 晶片支架材質改變產品驗證

在前面之一次一因子實驗我們發現到微塵粒子的產生與支架材質有很大的關係，再經由第二次針對支架材質我們做單獨微塵測試結果如圖 4-4 所示，經由圖發現微塵粒子的分布均接近於支架處，將此現象作進一步探討。

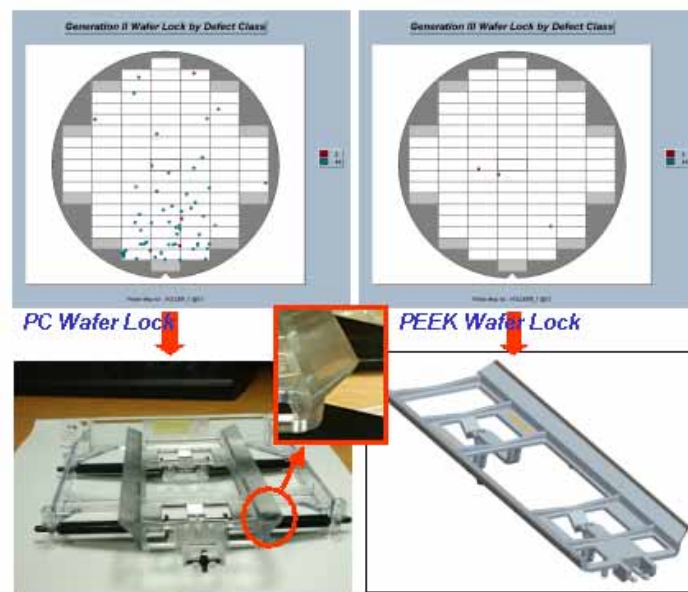


圖 4-4 POD 支架不同材質之微塵分布圖

##### 4.4.1 支架不同材質之微塵進階實驗

根據微塵分布量測結果以及微塵 EDS 成分分析，我們建立了實驗組以及異常對照組作核對，如圖 4-5 所示得到結論如下：

1. 實驗所採樣之微塵經 EDS 分析與異常晶片之微塵成分相符合，微塵粒子經分析為矽(Si)、碳(C)以及氧(O)。
2. 以構造及功能而言 POD 內支架是唯一會與晶片接觸的部分，再由微塵散

佈情形以及 SMIF 內部氣流方向作為比對。

3. 以上說明可以得知若發生此異常現象，是由晶片在 SMIF 當中經載卸過程與支架摩擦碰觸所造成。

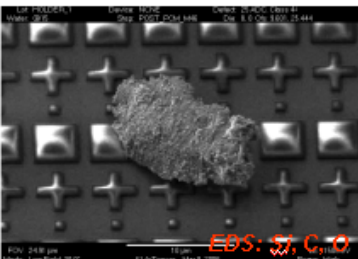
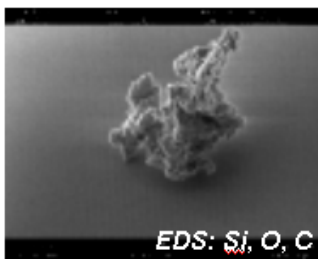
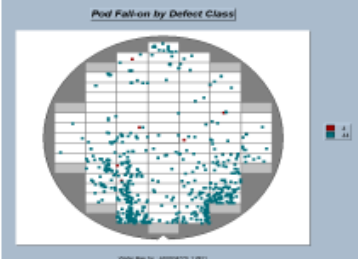
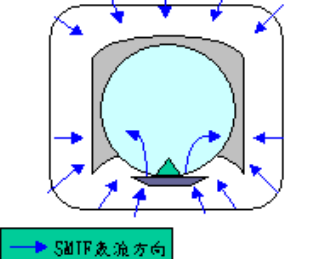
實驗組	異常及文獻對照組	結論
		<p>實驗所採樣微塵EDS成分與原異常狀況之晶片微塵EDS成分相符合。</p>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 已構造及功能而言 POD內支架是唯一會與晶片接觸的部分。</li> <li>➢ 微塵散佈情形與SMIF內氣流由外向內並透過支架成散佈情形。</li> </ul>

圖 4-5 實驗組與異常組對照說明圖

#### 4.4.2 支架不同材質之產品驗證

在初步作支架材質微塵粒子量測，以及進行實驗組與異常組對照後，為驗證支架換裝對於晶片污染情形改善是有幫助的，我們將裝有PC材質以及PEEK材質支架的產品POD分別作微塵檢測。如圖 4-6 所示，裝有裝有PEEK材質支架之產品經缺陷檢測結果異常率較PC材質支架降低許多，數據顯示PEEK平均缺陷污染粒子數為 2.75 顆，PC材質平均缺陷污染粒子數為 15.21 顆。

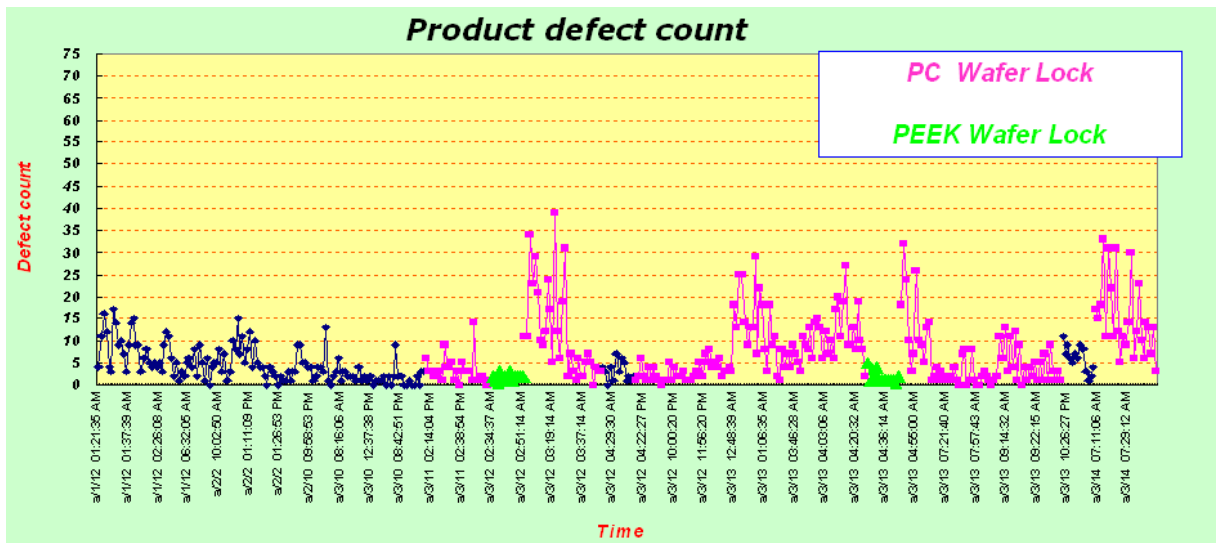


圖 4-6 PC 材質以及 PEEK 材質支架微塵粒子產品驗證

#### 4.5 SMIF 內部風速最佳為 0.4m/s 之分析結果

根據文獻理論指出微環境內部當晶片載入載出之風速流量大小會影響到微塵粒子擾動情形[20]，如表 4-5 所示得到結論如下：

1. 經初步一次一因子實驗過程發現，較低的風速流量(0.2m/s 至 0.5m/s)可以獲得較佳的微環境潔淨穩定度。
2. 風速流量過大會造成微塵粒子(Particle)的擾動。
3. 風速流量過小會造成 SMIF 內部潔淨氣體汰換效率差。
4. 以最為適當的風速流量範圍(0.3m/s 至 0.5m/s)經過田口實驗計算最佳信號雜訊比(S/N ratio)以及晶片實驗驗證，0.4m/s 之風速流量為最佳參數值，可以控制微環境良好之潔淨度以及降低異常率。

表 4-5 SMIF 內部風速最佳為 0.4m/s 之分析

實驗風速流量	0.5 m/s	0.4 m/s	0.3 m/s
產生污染粒子影響 (一次一因子實驗)	中等	較小	較小
機台潔淨穩定度	尚可	尚可	尚可
潔淨氣體汰換率	較佳	較佳	尚可
風速流量大小	需調整至適當的程度		
風速流量過大	會造成微塵粒子的擾動		
風速流量過小	汰換 SMIF 內部潔淨氣體效率差		

#### 4.6 SMIF 內部風壓最佳為 360kPa 之分析結果

根據文獻理論指出微環境內部風壓大小會影響到微塵粒子擾動情形

[20]，如表 4-6 所示得到結論如下：

1. 經初步一次一因子實驗過程發現，微環境呈正壓的條件範圍下(240kPa 至 360kPa)可以獲得較佳的微環境潔淨穩定度。
2. SMIF 內部呈正壓較不易產生微塵粒子以及減少其流的擾動。
3. SMIF 內部呈負壓則微塵粒子容易附著於晶片上。
4. 以最為適當的風壓大小範圍由 240kPa 至 360kPa 經過田口實驗計算最佳信號雜訊比(S/N ratio)以及晶片實驗驗證，360kPa 之風壓為最佳參數值，

可以控制微環境良好之潔淨度以及降低異常率。

表 4-6 SMIF 內部風壓最佳為 360kPa 之分析結果

實驗壓力	360kPa	300kPa	240kPa
產生污染粒子影響 (一次一因子實驗)	較小	中等	較大
機台潔淨穩定度	較佳	尚可	不佳
內部壓力大小	內部壓力必須大於外在環境壓力		
差壓為正	不易產生微塵粒子並且減少擾動		
差壓為負	容易產生微塵粒子		



## 第五章、結論

本文探討造成污染粒子之因素而導致 SMIF 內部潔淨度不佳的情況，藉由一次一因子分析實驗，田口實驗設計方法以及 SMIF 內部調整校正動作，使得原本 SMIF 潔淨度不佳的異常率由原本 6.5%~10% 降低至預期的 1% 以下，有相當的成效與成果。

### 5.1 實驗結果討論

經由一次一因子分析，田口實驗設計方法以及其他因素的分析後，已大幅改善 SMIF 微環境潔淨度不佳之情況，並且可以長期有效控制 SMIF 微環境當中污染粒子的減少，以維持在潔淨度不佳之異常率不超過 1% 之有效控制，將上述結果加以整理可以獲得下述結論：

1. 晶片固定支架材質、晶片與支架接觸次數、SMIF 微環境內部風速以及風壓，經一次一因子顯示均為晶片載卸過程當中，微塵污染粒子產生的四個主要因素。
2. POD 支架接觸晶片次數多寡，經實驗發現 Load/Unload 次數愈多，晶片遭受污染的情形也會愈為顯著，因為 POD 內支架與晶片接觸與摩擦所造成的污染粒子，會經 SMIF 內部機械作動所造成的氣流附著於晶片上，



經實驗結果發現經過 50 次載卸動作後微塵污染粒子數量有偏高情形發生。

3. POD 支架的材質耐磨性會影響到 SMIF 內部之潔淨度，實驗結果顯示尤其是 PC 支架在經過與晶片碰觸後所造成的污染粒子情形則較 PEEK 材質所造成的污染粒子情形來的嚴重，為造成污染粒子產生之主因之一。
4. SMIF 內部載卸動作所產生的風速會影響到 SMIF 內部潔淨度，是為造成晶片受到污染粒子附著之主因之一，經實驗及驗證後結果顯示風速維持在 0.4m/s 的效果最佳。
5. SMIF 內部壓力大小也是為晶片受污染主因之一，內部若呈正壓會降低污染粒子附著於晶片上之機率，經實驗及驗證後結果顯示風速維持在 360kPa 的效果最佳。
6. 本實驗所求得之最佳製程參數，經由產品驗證後可以顯著地降低污染粒子附著於晶片上之機率，異常率可以獲得有效改善，微環境模組內部潔淨度可以獲得有效的控制。
7. 本研究找出缺陷發生真因主要是運用材料 EDS 分析核對方法，並可將缺陷類型建立資料庫，此方法也適用在晶圓廠生產線不同區域，對產業界而言此方法相當具有貢獻。

8. 機械手臂移動速度之快慢，並非產生污染粒子之主因，對於 SMIF/POD 微環境之潔淨度無影響效應，所以我們使用移動速度較快之方式以達成產品製造效率，增加機台產能(through put) ，故以 1.5 秒手臂移動速度為最佳。



## 参考文献

- [1]. Kaiser,A.M., Achieving Chemical and Particulate Isolation Through the Use of Minienvironment, Microcontamination, April. 1994.pp.35-39.
- [2]. Gath,H.C., Honold, A. and Simon, R., A Systematic Approach to Mini-environment Complexity, Proceed. Of Symposium on Mini-Environment, Institute of Environment Science, 1993,pp.488-493.
- [3]. Ulrich Kaempf, Automated wafer transport in the wafer Fab, Hewlett-Packard Co. 1000 Circle road, Corvallis, OR 97330.
- [4]. P.L. Campbell, “On track with intrabay automation”, Proceedings of “1996 industrial automation, Integration and control conference”, Society of Manufacturing engineers, March 1996.
- [5]. SEMATECH Technology transfer document 95052811A-ENG, “Summary of material logistics in semiconductor manufacturing”, May 1995.
- [6]. P.L. Campbell, “Overhead intrabay automation and microstocking- A Fab case study”, Proceeding of 1997 IEEE advanced Semiconductor Manufacturing conference.
- [7]. Satoshi Sasaki, Hiroshi An, Yuzo Mori, Toshiyuki Kataoka and Katsuyoshi Endo, Evaluation of Particles on a Si Wafer before and after Cleaning Using a New Laser Particle Counter, pp. 317-320, 2001.
- [8]. Yuro Mori, Hiroshi An, Katsuyoshi Endo, Kazuto Yamauchi and Takashi Ide : A new apparatus for measuring particle sizes of the order of Nanometer, International Journal of JSPE, vol.25 pp.214-219, Mar 1991.
- [9]. Hiroshi An, Yuro Mori, Toshiyuki Kataoka, Katsuyoshi Endo, Koji Inagaki, Kazuya Yamamura, Karuto Yamauchi and Takashige Fukuike: A new apparatus for measuring particle sizes of the order of Nanometer(2<sup>nd</sup> Report)-Evaluation of measuring system by using standard particles- International Journal of JSPE. Vol.28, pp.356-361, Apr. 1994.

[10]. H. An, S. Sasaki, Y. Mori, T.Kataoka, K.Endo, H. Inoue and K. Yamauchi: Evaluation of Si Wafer Surface using a new apparatus for measuring particles of the order of Nanometer, Precision science and Technology for Perfect surface, Proceeding of the 9th ICPE, Osaka, Sept. 1999, pp.372-377.

[11]. Tadahiro Ohmi; Total: Room Temperature Wet cleaning for Si Substrate Surface, Journal of Electrochem. Soc. Vol. 143, pp.2957-2964, Sept. 1996.

[12]. Taguchi, G., Off-line and On-Line Quality Control System, International Conference on Quality Control, 1978.

[13].莊達人，VLSI製造技術，高立，民國九十二年。

[14].Peter Van Zant著，姜庭隆譯，半導體製程，第四版，滄海書局，民國九十年。

[15].Michael Quirk，Julian Serda原著，羅文雄、蔡榮輝、鄭岫盈譯，半導體製造技術，台灣培生教育，民國九十二年。

[16].Willian D.Callister，JR.原著，陳文照、曾春風、游信和譯，材料科學與工程導論，第五版，高立圖書出版有限公司，民國九十一年。

[17].Quirk Serda原著，羅文雄、蔡榮輝、鄭岫盈譯，半導體製造技術，滄海，民國九十二年。

[18].蕭瑞毅 自動化物料搬運系統之傳輸研究，清華大學工工系專題報告，民國九十四年。

[19].游峻安 自動化物料搬運系統在晶圓製造廠之應用，中原大學工工所碩士論文報告，民國九十年。

- [20].蕭宗容等三人 300mm晶圓載卸模組之氣流及污染粒子特性研究，國立台北科技大學冷凍空調工程系論文報告，民國九十年。
- [21].黃欣儀 300mm晶圓載卸模組FOUP/LPU之污染粒子之流場特性研究，國立台灣海洋大學機械與輪機工程學系碩士學位論文，2004。
- [22].楊欣儒 半導體量測機台減少污染粒子之方法與分析，國立成功大學工程科學系碩士學位論文，2007。
- [23].陳耀茂譯 田口統計解析法，五南圖書出版公司，2003。
- [24].鄭燕琴譯 田口品質工程技術理論與實務，中華民國品質管制學會發行，1993。
- [25].李輝煌 田口方法品質設計的原理與實務，高立圖書有限公司，2004。
- [26].林秀雄 編著，田口方法與品質工程，新知企業管理顧問有限公司。
- [27].Madhav S. Phadke原著，黎正中譯，穩健設計之品質工程，台北圖書有限公司。
- [28].Montgomery原著，黎正中譯，實驗設計與分析，高立圖書出版有限公司，民國八十七年。

## 自 傳

浩瀚無邊際的大海，萬紫千紅的晚霞，美麗又純樸的南港，是我成長的故鄉。家裡有六個成員-父親、母親、我、兩個弟弟以及一個妹妹，父親是小學老師，母親服務於高雄市政府員工餐廳，大弟即將自軍中退伍，另外較小的弟弟妹妹則都是學生。

在此完成國小與國中學業，國中前二年不知珍惜讀書機會，成績在班上敬陪末座，後經國三導師的啟發，遂將心思置於升學考試上，經過一年的努力，順利考上中華工專電機科就讀。五年的學習過程，除了將電機工程的理論熟悉與了解外，也透過與廠商的合作交流把理論與管理實務作一結合，主要合作之廠商為東元電機、歌林電器公司...等，合作期間主要應用工作研究、流程改善、工廠佈置、自動控制、排程以及品質管制、品管手法之推動...等皆有涉獵。另外在學習過程中也培養了對工廠生產線上人際關係拓展之應對。在學業方面除上述與實務結合之科目外，另外材料工程與半導體製程特別感到興趣。

退伍後在因緣際會之下應徵進入聯華電子製造部擔任生產線課長一職，主要負責生產排程安排、機台狀況掌握、產能規劃與攻堅，工作可謂既多且雜，多年來遇到過各種困難，皆能一一克服，尤其將自己視為生產線與工程部門良好之溝通橋樑。

父母的敦敦教誨加上工作多年後體認到半導體專業知識的不足，經努力以榜首之姿考進元智大學主修製造技術及材料工程，基於對半導體製程熱情不減，畢業後得知貴校招生訊息後立即決定報考貴校工學院在職專班半導體材料與製程設備組。在恩師 陳家富教授指導下，三年來讓我在半導體領域的專業知識有了更深層的認識。

期許自己順利學成取得碩士學位後可以在半導體製程領域繼續深造，不斷學習先進技術，在工作上有所貢獻。