

國立交通大學

機械工程研究所

碩士論文

化學機械研磨製程之控片與樣片之移除率及不平坦
度預測與分析

Predict and analyze removal rate and non-planarization
index of blanket wafer and pattern wafer in chemical
mechanical polishing process

研究生：袁啟文

指導教授：陳宗麟 博士

林家瑞 博士

中華民國九十七年六月

化學機械研磨製程之控片與樣片之移除率及不平坦度預測與分析

Predict and analyze removal rate and non-planarization index of
blanket wafer and pattern wafer in chemical mechanical polishing
process

研究生：袁啟文

Student : Chi-Wen Yuan

指導教授：陳宗麟 博士

Advisor : Dr. Tsung-Lin Cheng

林家瑞 博士

Dr. Chia-Shui Lin



A Thesis

Submitted to Institute of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Mechanical Engineering

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

化學機械研磨製程之控片與樣片之移除率及不平坦度 預測與分析

學生：袁啟文

指導教授：陳宗麟 博士

林家瑞 博士

國立交通大學機械工程學系

碩士論文



化學機械研磨(Cheical-Mechanical Polish, CMP)是一個極為複雜的製程，其中包括物理、化學及機械的研究領域[1]；而其研磨的過程，主要是靠機械手臂上的晶圓載具吸起晶圓置於研磨墊上，同時旋轉晶圓載具的吸盤及研磨墊來研磨晶圓。在研磨的過程中，研磨墊會因為研磨晶圓而不斷的耗損；當研磨墊耗損到一定程度的時候，就必須手動使用刷子刷研磨墊，恢復研磨墊的摩擦率；或更換新的研磨墊，使晶圓的移除率維持在一定的標準內。

目前的晶圓廠測試研磨墊的磨擦率的方法，大致為：在研磨過數

千至數萬片的樣片(pattern wafer)之後，研磨一片控片(blanket wafer)，並觀察控片的移除率，來確定研磨墊的摩擦率是否過低。

本實驗是以控片的移除率(Material Remove Rate)及不平坦度(Non-Planarization Index)的模型(Model)為基礎模型，再以最小平方法(The Least Square Method)，來求出 NDL 常用的樣片的移除率及不平坦度的模型，使可以在用同樣的條件進行研磨的時候，以控片的移除率及不平坦度，推得樣片的移除率及不平坦度；或反之，以樣片的移除率及不平坦度，推得控片的移除率及不平坦度，進而達到節省控片使用之目的。



Predict and analyze removal rate and non-planarization index
of blanket wafer and pattern wafer in chemical mechanical
polishing process

Student : Chi-Wen Yang

Advisor : Dr. Chia-Shui Lin

Dr. Tsung-Lin Chen

Department of Mechanical Engineering

National Chiao Tung University



Abstract

Chemical-Mechanical Polish is an extremely complicated process because it involves physical, chemical, and mechanical field [1]. And the process of polishing is using carrier on the mechanical arm to get wafers. Then Carrier put the wafer on the pad, and polish wafer with turning itself and pad. With this process, pad could be fewer, because of polishing wafers. When

the frictional forces of the pad is too low, we have conditioning the pad or changing another new pad.

Nowadays, when many factories want to check the pad, always after polishing thousands of pattern wafers then polish one blanket wafer. And check blanket wafer to make shore that the frictional forces of the pad is ok or not.

This experiment is used the model of the material remove rate and the non-planarization index of the blanket wafer to predict the model of the material remove rate and the non-planarization index of the pattern wafer. Then we can use the material remove rate and the non-planarization index of the pattern wafer to predict the material remove rate and the non-planarization index of the blanket wafer, and check the frictional forces of the pad is ok or not. And then we can reduce the wasting of the blanket wafer.

致謝

在交大讀了兩年書，最主要感謝的就是身為指導教授的 林家瑞老師以及在老師過世之後接著指導我的 陳宗麟老師；另外也感謝NDL內的工程師細心的指導。研究生的生活雖然比從前在當大學生時為累，但也過的比從前充實。最後感謝口試委員 鄭泗東老師以及 黃振榮博士的指教，使我的論文得以更加充實。



目錄

摘要

目錄

符號說明

| | |
|--------------------------|----|
| 第一章 序論..... | 1 |
| 1.1 研究動機與目的 | 1 |
| 1.2 文獻回顧 | 2 |
| 1.3 研究方法 | 4 |
| 1.4 本文組織架構 | 5 |
| 第二章 機台介紹..... | 7 |
| 2.1 化學機械研磨基本架構 | 7 |
| 2.2 熱場發射掃描是電子顯微鏡介紹 | 8 |
| 2.3 n&k-薄膜測厚儀介紹 | 10 |
| 2.4 化學機械研磨基本參數 | 11 |
| 2.5 研磨漿料的配置 | 13 |
| 第三章 實驗設計法與模型建立..... | 14 |
| 3.1 實驗設計法 | 14 |
| 3.2 最小平方法原理 | 17 |
| 3.3 建立化學機械研磨系統模型 | 17 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 第四章 實驗概況..... | 19 |
| 4.1 實驗設備..... | 19 |
| 4.2 實驗材料..... | 21 |
| 4.3 實驗規劃及步驟..... | 22 |
| 第五章 系統模擬與實驗數據比較..... | 23 |
| 5.1 研磨漿料的配置..... | 23 |
| 5.2 移除率下降率的模型建立..... | 24 |
| 5.3 SiO ₂ 控片的移除率模型建立..... | 25 |
| 5.4 樣片的移除率模型建立..... | 26 |
| 5.5 模型之適配度之計算..... | 27 |
| 5.6 不平坦度之研究..... | 28 |
| 5.7 模型間關係概況..... | 30 |
| 第六章 結論及未來工作..... | 31 |
| 參考文獻..... | 33 |



表目錄

| | |
|---|----|
| 表 3. 1 實驗設計步驟大綱 | 35 |
| 表 5. 1 研磨液不同比例之移除厚度 (Å) | 35 |
| 表 5. 2 連續研磨之移除厚度 (Å) | 35 |
| 表 5. 3 SiO ₂ 之控片實驗固定參數值 | 35 |
| 表 5. 4 模型DF=4 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min | 36 |
| 表 5. 5 模型DF=2 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min | 36 |
| 表 5. 6 模型DF=6 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min | 36 |
| 表 5. 7 模型DF=2 psi, SP=40 rpm, FR=150ml/min | 36 |
| 表 5. 8 模型DF=4 psi, SP=40 rpm, FR=150ml/min | 37 |
| 表 5. 9 模型DF=6 psi, SP=40 rpm, FR=150ml/min | 37 |
| 表 5. 10 模型DF=2 psi, SP=20 rpm, FR=250ml/min | 37 |
| 表 5. 11 模型DF=4 psi, SP=20 rpm, FR=250ml/min | 37 |
| 表 5. 12 模型DF=6 psi, SP=20 rpm, FR=250ml/min | 38 |
| 表 5. 13 模型DF=2 psi, SP=40 rpm, FR=250ml/min | 38 |
| 表 5. 14 模型DF=4 psi, SP=40 rpm, FR=250ml/min | 38 |
| 表 5. 15 模型DF=6 psi, SP=40 rpm, FR=250ml/min | 38 |
| 表 5. 16 模型DF=6 psi, SP=20 rpm, FR=200ml/min | 39 |
| 表 5. 17 模型DF=6 psi, SP=30 rpm, FR=200ml/min | 39 |

| | | |
|---------|---|----|
| 表 5. 18 | 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min | 39 |
| 表 5. 19 | 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min | 39 |
| 表 5. 20 | 模型DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min | 40 |
| 表 5. 21 | 模型DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min | 40 |
| 表 5. 22 | 模型DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min | 40 |
| 表 5. 23 | 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min | 40 |
| 表 5. 24 | 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min | 41 |
| 表 5. 25 | 模型DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 41 |
| 表 5. 26 | 模型DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 41 |
| 表 5. 27 | 模型DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 41 |
| 表 5. 28 | 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 42 |
| 表 5. 29 | 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 42 |
| 表 5. 30 | 模型DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 42 |
| 表 5. 31 | 樣片實驗固定參數值 | 43 |
| 表 5. 32 | 模型DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min | 43 |
| 表 5. 33 | 模型DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min | 43 |
| 表 5. 34 | 模型DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min | 43 |
| 表 5. 35 | 模型DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min | 44 |
| 表 5. 36 | 模型DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min | 44 |

| | | |
|---------|---|----|
| 表 5. 37 | 模型DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min | 44 |
| 表 5. 38 | 模型DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min | 44 |
| 表 5. 39 | 模型DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min | 45 |
| 表 5. 40 | 模型DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min | 45 |
| 表 5. 41 | 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min | 45 |
| 表 5. 42 | 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min | 45 |
| 表 5. 43 | 模型DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min | 46 |
| 表 5. 44 | 模型DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 46 |
| 表 5. 45 | 模型DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 46 |
| 表 5. 46 | 模型DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min | 46 |
| 表 5. 47 | 模型DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min | 47 |
| 表 5. 48 | 模型DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min | 47 |
| 表 5. 49 | 模型DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min | 47 |
| 表 5. 50 | 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 47 |
| 表 5. 51 | 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 48 |
| 表 5. 52 | 模型DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min | 48 |
| 表 5. 53 | 模型DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min | 48 |
| 表 5. 54 | 模型DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min | 48 |
| 表 5. 55 | 模型DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min | 49 |

表 5. 56 模型DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min 49

表 5. 57 模型DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min 49

表 5. 58 模型DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min 49



圖目錄

| | |
|---------------------------------------|----|
| 圖 1. 1 晶圓製程流程 | 50 |
| 圖 1. 2 有無化學機械研磨之晶圓切面圖 | 50 |
| 圖 1. 3 實驗流程圖 | 51 |
| 圖 2. 1 化學機械研磨機台外觀圖[8] | 51 |
| 圖 2. 2 化學機械研磨架構簡圖[7] | 52 |
| 圖 2. 3 熱場發射掃描式電子顯微鏡-TFSEM結構圖[8] | 53 |
| 圖 2. 4 影像觀測顯示圖[8] | 54 |
| 圖 2. 5 熱場發射掃描式電子顯微鏡掃出之圖 | 54 |
| 圖 2. 6 n&k-薄膜測厚儀結構圖[8] | 55 |
| 圖 2. 7 NK1500-薄膜厚度分析儀外觀[8] | 55 |
| 圖 2. 8 配置研磨將廖流程圖 | 56 |
| 圖 3. 1 製程或系統模圖 | 56 |
| 圖 3. 2 MATLAB 7.0 程式介面圖 | 57 |
| 圖 4. 1 n&k薄膜測厚儀量測之 9 點之簡圖 | 57 |

| | | |
|--------|--|----|
| 圖 5. 1 | Al_2O_3 對Cu及SiO ₂ 之移除率比較圖 | 58 |
| 圖 5. 2 | 硝酸對Cu及SiO ₂ 之移除率比較圖 | 58 |
| 圖 5. 3 | SiO ₂ 控片之移除率下降模型圖 | 59 |
| 圖 5. 4 | 樣片之移除率下降模型圖 | 59 |
| 圖 5. 5 | 總誤差 $Y_i - \bar{Y}$ 之分割圖 | 60 |
| 圖 5. 6 | SiO ₂ 之控片不平坦度 | 60 |
| 圖 5. 7 | 樣片不平坦度 | 61 |



第一章 序論

1.1 研究動機與目的

由於IC產品的尺寸日漸縮小以及層次越來越多，而黃光製程對景深(Depth of Focus)有一定的限制，故對平坦化有一定的要求，再加上晶圓的製成過程頗為繁雜，如圖1.1；特別是多層的晶圓，更是對平坦化技術有著重大的需求，而有化學機械研磨與否，則有著非常明顯的差異存在，如圖1.2。

化學機械研磨技術可提高元件產品的良率，而且在其不斷的改良之下，已可將整個拋光區域之間的平坦度差異日趨縮小；而在產品可靠性方面也有相當的有成就，雖然此技術為全面平坦化製程的一個重要過程，不過從以前到現在，仍然無法得知確切的磨耗機制仍是相當令人困擾的一個課題。

由於拋光的過程除了靠機械力之外，拋光液在晶圓表面亦產生化學作用。因為結合化學反應與機械拋光製程對現在而言，尚未完全掌握的關係；若只有單純的等向性化學作用是無法達到全面性平坦度，如果只考慮到機械拋光作用將會降低加工速率且容易刮傷晶圓表面，因此非常需要探討這種結合化學與機械作用之動態交互反應，了

解晶圓表面材料是如何被移除。

此外，化學機械研磨是半導體製程中相當重要的一道製程；。因為機制簡單，但由於大多為耗材性元件，所以製程中會有相當大的變異，而用來拋光晶圓表面的研磨墊就是其中之一。然而，目前大晶圓廠的化學機械研磨的製程部門，仍舊只是運用控片來決定是否應該更換研磨墊。但是，若能直接找出樣片與控片之間的移除率的關係，就可以在固定的製程參數下的控片移除率，推算出在同樣條件下樣片的移除率，也能夠大量減少研磨控片所浪費的時間，以及晶圓。



1.2 文獻回顧

化學機械研磨 (Chemical Mechanical Polishing, CMP) 在半導體製程技術中已經被大家公認為最有效之全面性平坦化 (Global Planarization) 的技術。關於 CMP 製程，最早起源於 IBM，大約在 1980 年代初期，最早 IBM 是為了解決製造 IC 時，因為晶圓的表面線路圖案會引起鍍膜後表面的高低起伏，進而導致微影製程聚焦不良的問題，因此 IBM 開發了此項平坦化技術。

不久後，IBM 提出了金屬鑲嵌(Damascene)的概念，促使 CMP 技術實際化[2]。此一金屬鑲嵌(Damascene)之概念亦即將介電層予以圖案化後再填入金屬層，然後再將最上層之金屬層予以回蝕刻(Etch Back)，使金屬面與介電層在同一平面上，如此反覆幾次製程即可以產生多重連線元件。

而現在，積體電路線寬不斷的縮小以及線密度不斷的提高，如此之發展趨勢使得平坦化的要求不斷提高，使得 CMP 成為平坦化技術之主流。

就一般而言，移除率是根據Preston的方程式[3]:

$$RR = \frac{\Delta h}{\Delta t} = K_p PV$$

其中 RR 為移除率， K_p 為移除係數， $P = \frac{F}{A}$ ，且 F 為研磨墊上的正向力， A 為晶圓及研磨墊的接觸面積， V 則為研磨墊及載具的相對轉速。

在樣片與控片的比較中，由於樣片有一些較高的點，會使在同壓力時的晶圓與研磨墊接觸面較小，然而在不平坦的部份研磨完後，其移除率則會與控片差不多[4]。

進而使得樣片的移除率和控片的移除率之間，只存在著一個時間函數的差距[5]:

$$RR_{patterned} = T_f \times RR_{blanket}$$

其中 T_f 為研磨時間的方程式。

而本實驗最主要的目的就是藉由 $RR_{patterned}$ 的模型，以及 $RR_{blanket}$ 的模型，來找出 T_f 所代表的方程式的模型。

1.3 研究方法

本研究的對象為樣片及控片的移除率和不平坦度之間的關係。先沉積出二氧化矽的薄膜，然後其中一部分的晶圓已黃光微影出圖形（此中的圖形使用NDL中較常使用的光柵），再以蝕刻機台在二氧化矽上蝕刻出圖形，並繼續度上銅膜，之後再以CMP機台，將薄膜的部份，研磨至同時可見到銅以及二氧化矽。

之後其中之控片以n&k-薄膜測厚儀量測二氧化矽的厚度；而樣片在研磨前先取一片破片，將其以熱場發射掃描式電子顯微鏡（TFSEM）量測二氧化矽+銅的厚度。再以CMP各自研磨晶圓，其後控片以同前之法量測而樣片則全部破片以前述之方式量測。過程如圖1.3。

而在研磨樣片之前，由於原本研磨銅以及二氧化矽所

使用的研磨漿料是不同的，其中無法使用研磨二氧化矽的研磨漿料來研磨銅，而研磨銅的研磨漿料是由三氧化二鋁以及硝酸以一定比例配置而成，而且目前不確定是否有可以同時研磨銅與二氧化矽的研磨漿料，必須從新配置。在此決定以銅的研磨漿料三氧化二鋁和硝酸在不同比例下配置出使銅以及二氧化矽的研磨率非常接近的研磨漿料來研磨樣片。

在得知控片及樣片的移除率之後，就可以最小平方法建立控片及樣片的模型，也可求出控片及各式樣片的不平坦度，最後即可瞭解控片及樣片的移除率及不平坦度之間的關係。



1.4 本文組織架構

首先在第二章提出有關於化學機械研磨機台的基本架構，以及用來量測樣片的量測機台熱場發射掃描式電子顯微鏡，和用來量測控片

的量測機台n&k-薄膜測厚儀的基本架構，晶圓與化學機械研磨之間的關係參數，以及機台的哪些製程參數是主要參數。第三章先提出最小平方法的基本原理，再以其作出預測模型來找出樣片與控片之間的關係。第四章以實驗來收集樣片及控片的移除率及不平坦度數據，和預測模型相互印證。第五章則是對此研究作出結論，並且於第六章提出未來之工作展望。



第二章 機台介紹

2.1 化學機械研磨基本架構介紹

化學機械研磨 (Chemical-Mechanical Polish) 簡稱 CMP，整體機台如圖 2.1，其中是使用含有微細研磨拋光粉粒之拋光研磨液，配合研磨墊的機械運動來進行化學蝕刻與機械拋光，以達到研磨目的 [6]。其簡圖如圖 2.2 [7]：

整個流程大致上是藉著研磨漿料與晶圓材質起化學反應，同時研磨粒也會藉著機械力磨蝕晶圓表面，而碎屑則由研磨漿料帶走。

CMP 的基本結構，如圖 2.2 [7] 所示，其主要部分包含 [1]：

(1) 晶圓載具(Carrier):

主要是用真空吸附的裝置吸住並固定晶圓，並且當晶片接觸到研磨墊時會在晶片背部施以一背壓(Back Pressure)，目的是使晶圓受力均勻，以進行研磨。

(2) 研磨平台(Platen):

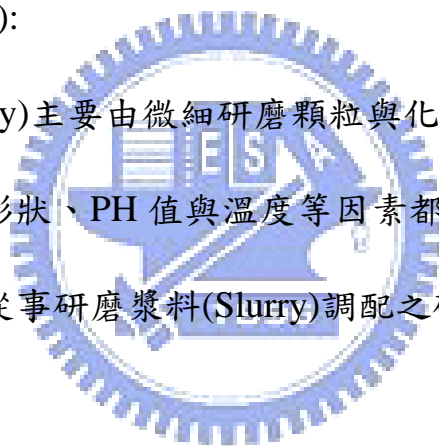
此研磨平台上黏附一研磨墊，其功能在於利用旋轉使研磨墊(pad)和欲研磨之晶片做一相對運動，以進行研磨的動作。

(3) 研磨墊(pad):

研磨墊材料的不同以及表面構造形狀的相異，會使得研磨有著不同的效果。然而研磨墊是一消耗品，隨著研磨時間的增加，研磨墊長時間受到壓力的壓擠以及與晶片之間之磨耗都會使得研磨墊產生鈍化現象，這時研磨墊的修整(Conditioning)就很重要。而本研究所探討的就是如何在不作修整(Conditioning)研磨墊條件下，來控制輸入之研磨時間，以達到相同的目標移除厚度；因此，觀察研磨墊不作修整(Conditioning)時之移除率變化情形也是本論文重點。

(4) 研磨漿料(Slurry):

研磨漿料(Slurry)主要由微細研磨顆粒與化學溶液組成。研磨顆粒的種類、大小、形狀、PH 值與溫度等因素都會對研磨的效果產生影響，亦有許多人從事研磨漿料(Slurry)調配之研究。



2.2 熱場發射掃描式電子顯微鏡介紹

熱場發射掃描式電子顯微鏡簡稱 TFSEM[8]，機台外型如圖 2.3。

其量測方式可分為二種：

SEI（二次電子影像）掃描式電子顯微鏡電子槍產生電子束後，

經電子光學系統，使電子數縮小，再照射試片表面，而激發二次電子。

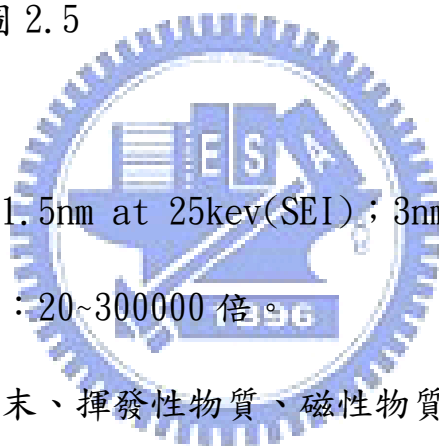
這些二次電子被偵測器偵測後，再經由訊號處理放大送到 CRT，即可看到表面形貌。

BEI (反射電子影像) 電子束照射試片表面後，亦會激發反射電子 (也較背向散設電子)。試片中平均原子序越高的區域，是放出的反射電子越多，因此利用反射電子影像來觀察表面平滑無明顯特徵，而卻有微區化學組成差異的試片特別有用。其形貌觀測圖如圖 2.4。

其量測出之圖型如圖 2.5

分析技術特性：

- (1) 解析度：1.5nm at 25kev(SEI)；3nm at 15kev (BEI)。
- (2) 放大倍率：20~300000 倍。
- (3) 限制：粉末、揮發性物質、磁性物質、高分子無法觀測。
- (4) 缺點：電荷蓄積效應，樣品需導電性良好，對導電性差的樣品，可度上導電性佳的金屬於表層，增加其導電性。



2.3 n&k-薄膜測厚儀介紹

n&k-薄膜測厚儀[8]機台外型如圖 2.6。

量測方式為，以光線打在晶圓上，藉由光線的折射及反射，量測出晶圓各層的厚度，再將資料送回電腦之 n&k 程式，並加以整理顯示。分析隻晶圓基層為 si，可量測單層至多層，N、K 量測的基礎數值包含：II-VI 化合物；III-V 化合物；Al 化合物；Ge 化合物；玻璃；金屬；Nitrides；Oxides；Oxynitrides；Silicides；Si；Si 化合物；混合物.....等。

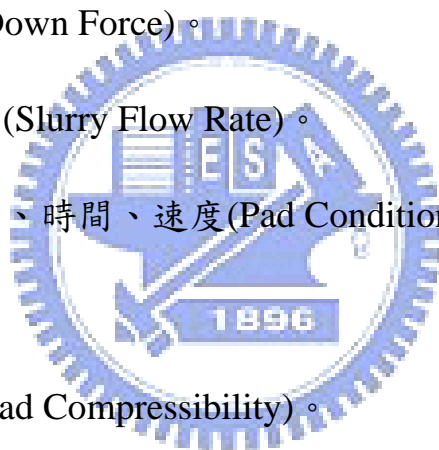
前述之 n&k-薄膜測厚儀為舊廠之機台，現新廠已有一台新的 NK1500-薄膜厚度分析儀，其可選定固定點來量測（舊廠之 n&k-薄膜測厚儀機需用手移位抓點），故較舊廠機台更為精準且方便其機台外型如圖 2.7。

2.4 化學機械研磨基本參數

由 1.1 小節可知，影響 CMP 的參數包括：(1)機械作用；(2)化學作用；分別敘述如下：

機械參數主要有[1]:

- (1) 晶圓載具轉速(Carrier Speed)。
- (2) 研磨平台轉速(Platen Speed)。
- (3) 晶片施壓大小(Down Force)。
- (4) 磨漿之供料速率(Slurry Flow Rate)。
- (5) 研磨墊清洗頻率、時間、速度(Pad Conditioning Frequency, Time, Velocity)。
- (6) 研磨墊壓縮性(Pad Compressibility)。
- (7) 研磨墊彈性模數(Elastic Modulus)。
- (8) 研磨墊硬度、厚度(Pad Hardness / Thickness)。
- (9) 拋光擺動模式(Polish Oscillation Pattern)。
- (10) 背壓(Back Pressure)。
- (11) 薄膜應力(Film Stress)。
- (12) 薄膜硬度(Film Hardness)。
- (13) 摩擦力(Frictional Forces)... 等等。



化學參數主要影響來自研磨漿料(slurry)，主要參數有[1]:

- (1) 研磨漿料之成分(Slurry Composition)。
- (2) 研磨漿料之顆粒大小分佈(Slurry particle size distribution)。
- (3) 研磨漿料之 PH 值。
- (4) 研磨漿料之黏滯性(Viscosity)。
- (5) 研磨粉體之硬度(Abrasive Hardness)。
- (6) 研磨漿料之顆粒懸浮穩定度(Stability of the abrasive suspension)。
- (7) 研磨墊材質(Pad composition)。
- (8) 晶圓薄膜之成分(Film Composition) ... 等等。

由以上可知，影響 CMP 之原因與參數之間的關係是相當複雜的，其中之研究也是相當眾多。

此外，機台本身的設計與製造也會直接或間接的影響到晶圓的平坦度。如晶圓載具一般來說有兩類抓取晶圓的方法，一類為研磨頭以真空吸覆晶圓的真空吸附抓取法(Vacuum Mounting)，另一類為研磨頭表面以製造成凹槽來抓取晶圓的研磨頭抓取法(Carrier Mounting)。因此，若晶圓載具在抓晶圓的時候不平坦，則一定會影響到晶圓的平坦度。

另外，研磨時加壓，也與機台的設計及製造結構有關，而加壓的目的在於研磨的時候，使壓力均勻分布在晶圓的表面，用以避免研磨

後產生晶圓周圍與晶圓中間不平坦的移除問題。

再加上對於不同的研磨材料，必須使用不同的研磨漿料，而如何控制研磨漿料的成分及濃度，也就成為一極需解決的問題。故不同的研磨材料，其主要的猜數就有所不同，而參數間也會產生交互作用，亦增加 CMP 製程的困難度，控制參數，進而得到最大的研磨效益也就成為值得研究的主題之一。

2.5 研磨漿料的配置



化學機械研磨機台在研磨不同的材料時，必須使用不同的研磨漿料，如：二氧化矽需用 PS2515+DI Water 來研磨，銅需用三氧化二鋁 3%+硝酸 2%+DI Water 來研磨……等，但是目前卻沒有可用以同時研磨二氧化矽和銅的研磨漿料。其中銅的研磨漿料可以研磨二氧化矽，而反之則否，因此工程師建議以銅的研磨漿料的配方加以改變比例（其中由於機台耐酸性的問題，必須將硝酸的濃度配置在 7%以下，以免造成機台毀損），使之可以在研磨銅及二氧化矽時的移除率可以極為接近，配置流程圖如圖 2.8。

第三章 實驗設計法與模型建立

3.1 實驗設計法

任何領域的研究人員進行實驗，目的是想得到有關特定過程或系統的一些訊息。一個實驗(Experiment)就是一個試驗或一系列的試驗，而在這些試驗中，對於特定的試驗過程或系統的輸入變數，我們故意變動它們的值，使得我們可以觀察到或辨認出輸出值的變動原因。一般而言，實驗是用來研究製程或系統的表現的，而製程或系統可以用圖 3.1 來表示。我們可以將製程想像成是設備、方法、人和其他資源的一個組合，透過這個組合，可以將一些輸入轉換成輸出(可以是一個或多個可觀測的反應值)。而製程變數中有一些是可控的，以 X_1, X_2, \dots, X_p 表示，有些是不可控的，以 Z_1, Z_2, \dots, Z_q 表示。則實驗的目的可能包含下列幾點：

1. 決定哪些變數對反應 y 來講最具影響力。
2. 決定這些具有影響力的 x 的值使得 y 幾乎永遠都是在所想要的目標值附近。
3. 決定這些具有影響力的 x 的值使得 y 的變異較小。
4. 決定這些具有影響力的 x 的值使得不可控變數 Z_1, Z_2, \dots, Z_q 的影

響極小。

實驗設計法是探討實驗進行的方式以及對實驗觀測值的解析，以提高獲得情報的效率且使實驗成本最低的一門學問。在此用有限的資源得出最好的結果，這對我們是相當有幫助；也就是利用事前考慮周詳的資料蒐集程序來進行實驗，而使得實驗結果的再現性很高、配置實驗的伸縮性大、實驗次數較少、實驗配置容易與解析方法較為簡便的方法。為達成以上之目標，我們必須採用科學的途徑來規劃實驗過程，使得利用統計方法來分析的合理資料可被蒐集，而得到正確的結論；當資料牽涉到實驗誤差時，統計方法是分析的唯一客觀途徑[6]。

要以統計方法來設計並分析一個實驗，相關人員必須在事前就對到底要研究什麼、資料要如何蒐集，及定性瞭解資料要如何分析等事情有一個清晰的概念。如表 3.1。

在這整個設計實驗的過程裡，還必須注意三個重要基本實驗設計原理，即重複(replication)、隨機化(randomization)、和區集劃分(blocking)。

所謂重複，我們指基本實驗的重複再作，重複有兩個重要的性質。一、它允許實驗者可以估計實驗誤差的變異數而這個誤差變異數的估計值就成為判斷所觀察到的資料中的差異是否為統計上顯著的基本衡量單位。二、如果樣本平均值(\bar{y})是用來估計實驗中因子效

應，則重複使得實驗者可以得到更精確的效應估計值。

隨機化是實驗設計中使用統計方法的背後基石。所謂的隨機化，我們是指實驗材料的配置及各個試驗的進行順序二者。統計方法要求觀測值(或誤差值)為分配獨立的隨機變數。隨機化的過程通常可以確保這個假設成立。實驗透過適當的隨機化，亦有助於(平均消除(average out))可能出現的外來因子的干擾。一般而言，隨機實驗順序可由亂數產生器(random number generator)產生。

區集劃分是一個設計技巧，它用於眾多因子比較時，改善比較的精確度。區集劃分常用於減低或者消除干擾因子(nuisance factors)形成的變異。干擾因子影響實驗結果，但是這種影響並不是我們所關心的。一般而言，區集是一組相對均齊的實驗條件，干擾因子的每一個水準為一個區集。最後，實驗者基於統計設計，將觀察值分為若干組，每一組在一個區集實驗。

以上所提的三個實驗設計的基本原理是每一個實驗必須包含的重要部份[9]。

3.2 最小平方誤差法原理

最小平方誤差法[11]是用來估計多元線性迴歸模型裡迴歸係數的方法。其為輸入數值 x 以及輸出數值 y 之間的以多項式呈現的變數關係。一般而言，這些關係的係數是未知的。假設一個有 n 個變數因子的二階模型，則如下：

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \delta$$

其中 y 為輸出值， x 為輸入值， β 為關係函數的係數，而 δ 則為誤差值。



3.3 建立化學機械研磨系統模型

在建立模型前，在經由賴明志工程師建議之下，壓力設定在 2~6psi 之間、轉速設定在 20~40rpm 之間、而流速設定在 150~250ml/min 之間，其中壓力以 2psi 為弱、4 psi 為中、6 psi 為強，轉速以 20rpm 為弱、30 rpm 為中、40 rpm 為強，流速以 150ml/min

為弱、200ml/min 為中、250ml/min 為強，以此為輸入再以 MATLAB7.0

建立模型。如圖 3.2。



第四章 實驗概況

4.1 實驗設備

此實驗於國立交通大學內之國家奈米實驗室(National Nano Device Laboratories, NDL)進行實驗，並使用內部之機台，設備簡介如下：

(1) 化學機械研磨系統 (無塵室 10K 級)

本機台 (圖 2.1) 廠牌為美國 Westech Model 372M，該機台為研磨六吋的晶片，研磨襯墊型號為 IC 1400，使用之研磨液在研磨二氧化矽時為 PS2515(Planar Surf 2515)是一種鹼性研磨液，全名二氧化矽化學機械研磨液，其主要成分有：二氧化矽、氫氧化鉀和水；而研磨銅時則使用三氧化二鋁、硝酸和水配置出之研磨液。

(2) 化學機械拋光後清洗機 (無塵室 10K 級)

本機台為美國 Solid State Equipment Corporation (SSEC)公司所生產，型號為 50 Evergreen Cleaner 機台，以 DI water 清洗然後高速旋乾研磨後之晶圓。

(3) 熱場發射掃描式電子顯微鏡 (非無塵室)

本機台（圖 2.3）量測方式如第二章所述，可量測晶圓的純粹厚度（由於折射之原因，n&k 無法標側較厚之金屬厚度），但由於必須先行破片，故量測完之晶圓無法繼續使用。

（4）n&k 薄膜測厚儀(無塵室 10 級)

本機台（圖 2.5）是利用光學波長的原理來量出薄膜之厚度，具有 3 個光學頭，機器型號為 n&k analyzer 1200，可量測 6 吋以下，單/雙層之晶圓，其缺點為量測點必須用手移動，因此研磨前後之量測，不易取到同一點，而取點法如圖 4.1。

（5）NK1500-薄膜厚度分析儀（無塵室 100 級）

本機台（圖 2.6）量測原理同前述之機台，但由於可以使用機台鎖定量測點，故較前述之機台準確。本機台未近數月新開放之機台，開放前敝人實驗已有部分完成，固本論文同時使用新舊 2 種機台。

4.2 實驗材料

本實驗所使用之材料如下：

(1) 矽晶片(p-type)

本實驗由於數據需要甚多，因此全程使用約 55 片晶圓，其中 34 片製成樣片，6 片製成純銅之控片，剩餘晶圓則製成純二氧化矽之控片。由於量測樣片及純銅之控片必須使用 TFSEM 機台且必須破片，故無法在使用；而二氧化矽之控片則可重複利用，因此使用較少。

(2) 研磨液

二氧化矽之控片使用 PS2515(Planar Surf 2515)溶液以一比一的比例來與去離子水(DI Water)混和調配來研磨，而控片之研磨則使用，原用以研磨銅之研磨液：三氧化二鋁、硝酸和去離子水以不同比例調配而成。

(3) 晶圓夾

市面上之鐵氟龍晶圓夾

(4) 晶圓盒

用以避免造成晶圓污染。



4.3 實驗規劃及步驟

在研磨前之實驗步驟（圖 1.3）完成後，先取一部份之二氧化矽控片，以完全相同之實驗參數連續研磨，接著量測移除厚度以取得二氧化矽之控片的移除率下降數據，並做成公式。而後取兩種不同之控片，在相同之物理參數下，改變研磨液中三氧化二鋁以及硝酸的濃度研磨之，並個別取得移除率數據，並將這些數據計算成公式，並找出可使同級二氧化矽有極為接近之移除率之濃度配方。再取 7 片左右之樣片，以此配方與之前二氧化矽控片相同條件下連續研磨，並取得樣片之移除率下降數據，並做成公式。最後再以調配之研磨液，在不同參數下進行研磨，並取得移除率數據。

其中，無論是銅之控片或樣片均需使用 TFSEM 來量測，因此均需破片，故在研磨之前，均必須留下一片不研磨，作為研磨前後之移除厚度取得之基礎厚度。

由於一般確定研磨墊之磨擦力是否過低時，是使用研磨二氧化矽之研磨液來研磨控片，故本實驗在以不同參數研磨二氧化矽之控片時所使用之研磨液，仍是原本的 PS2515 溶液以一比一的比例來與去離子水調配而成。

第五章 各模型製作及比較

5.1 研磨漿料的配置

由前章所述之實驗方式，所取得的數據如表 5.1。

使用數據即可求出，硝酸對銅的移除厚度方程式為：

$$R=140.75t^3 - 1266.75t^2 + 3669.66t - 147.00$$

而 Al_2O_3 對銅的移除厚度方程式為：

$$R=88.91t^3 - 400.1t^2 + 573.26t + 2993.93$$

另外，硝酸對 SiO_2 的移除厚度方程式為：

$$R=9.31t^2 - 45.22t + 77.03$$

而 Al_2O_3 對 SiO_2 的移除厚度方程式為：

$$R=11.95t^2 - 45.63t + 67.26$$

再由這些方程式相互比較，其中 Al_2O_3 對銅及 SiO_2 的移除厚度方程比較

之圖型如圖 5.1，而硝酸對銅及 SiO_2 的移除厚度方程式比較圖如圖

5.2，且硝酸濃度不可以超過 7% 為原則，則可求出，當 Al_2O_3 的濃度為

1% 且硝酸濃度為 0.616% 左右時，銅與 SiO_2 的移除率是最為接近的，因

此以此為配方調配出樣片所需之研磨液。

5.2 移除率下降率的模型建立

由前章所述，所得之實驗數據如表 5.2。

由於我假設移除率的下降方程式為一階線性方程式：

$$y = ax + b$$

因此可將研磨 SiO₂ 的移除率下降方程式設定為：

$$RR = -0.092t + 9.7869$$

其圖形如：圖 5.3。圖中之點會與圖中斜線幾乎密合的原因可能為，此移除率下降斜率與移除率本身相比過小，故不容易形成較偏離之點。

而研磨 Cu 的移除率下降方程式則為：

$$RR = -0.116t + 2.8748$$

其圖形如：圖 5.4。

其中 RR 為移除率，t 為研磨片數。

5.3 SiO₂ 控片的移除率模型建立

由前章所述之實驗方式，由於晶圓數目偏少，且重複使用，並不會影響其移除率，故重複使用。其中實驗參數如表 5.3，而不同參數之移除數據如表 5.4~表 5.30。

由於本實驗是經由連續研磨操作，中間並未使研磨墊之摩擦係數回覆，因此必須以前述之移除率下降公式加以修正，修正後所得之數據方正確數據。

以這些數據，經由最小平方法，於 MATLAB7.0 建立之模型為：

$$RR = 2.28281F + 0.10372S + 0.00988R + 0.05756F * S + 0.00006S * R - 0.00132F * R - 0.26817F^2 - 0.00368S^2 - 0.0000001R^2 - 7.31771 - 0.092t + \delta$$

在此中 RR 為移除率、F 為正壓力、S 為轉速、R 為研磨液流速而 t 為研磨之片數。

5.4 樣片的移除率模型建立

由前章所述之實驗方法，搭配新配之研磨液，再調整實驗參數如

表 5.31，所得之實驗數據如表 5.32~表 5.58。

與 SiO₂ 控片情形相同，本實驗是經由連續研磨操作，中間並未使研磨墊之摩擦係數回覆，因此必須以前述之移除率下降公式加以修正，修正後所得之數據方為正確數據。

以這些數據，經由最小平方法，於 MATLAB7.0 建立之模型為：

$$RR = 0.22706F + 0.00041S - 0.00658R + 0.00151F * S + 0.00024S * R - 0.00002F * R - 0.02097F^2 - 0.00034S^2 + 0.00005R^2 - 1.02829 - 0.116 + \delta$$

在此中 RR 為移除率、F 為正壓力、S 為轉速、R 為研磨液流速而 t 為研磨之片數。



5.5 模型之適配度之計算

每個不同的模型，都有各自的適配度，也就是此模型所計算出之輸出值，與實際實驗輸出值之擬合度[12]。而其相關公式即為：

$$\sum (Y_t - \bar{Y})^2 = \sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2 + \sum (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2$$

其中 Y_t 為實驗輸出值、 \bar{Y} 為實驗輸出值之平均而 \hat{Y}_t 則為模型的輸出

值。此式可寫成： $SST = SSE + SSR$

$SST = \sum (Y_t - \bar{Y})^2$ 稱為總平方和， $SSE = \sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2$ 稱為殘差平

方和， $SSR = \sum (\hat{Y}_t - \bar{Y})^2$ 稱為迴歸平方和，其總誤差 $Y_t - \bar{Y}$ 之分割

圖是如圖 5.5。若 X 與 Y 關係越好，則 SSR 在 SST 中所佔比例越大，

可用迴歸解釋的誤差除以總誤差得到相關程度的測度：

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

其中 R^2 即為所謂之適配度。

由此可知，適配度越接近 1 越好，而此方程式中之 Y，即為移除率模型中之 RR。在帶入公式計算後得知， SiO_2 之控片的適配度為 0.93541 即為 93.5%，而樣片的適配度為 0.95794 即為 95.8%，由此是配度可得知此二模型均為非常接近實驗之模型。

5.6 不平坦度之研究

本實驗的不平坦度，SiO₂之控片的部分可由表 5.4~表 5.30 得知，大約都是在 17.5Å 上下，其中有幾個插平均值較遠，其原因可能為化學機械研磨機台本身的誤差，或量測時使用之機台維舊型的 n&k-薄膜測厚儀，由於點比需使用手移動來量測，無法與研磨前量測完全同一點，因此造成有所誤差。其不平坦度圖形如圖 5.6。

以這些數據，經由最小平方法，於 MATLAB7.0 建立之模型為：

$$NPI = 0.00007F + 0.00008S + 0.00002R + 0.00001F * S - 0.0000003S * R - 0.000002F * R + 0.00004F^2 - 0.000001S^2 + 0.00000001R^2 + 17.8529 + \delta$$

在此中 NPI 為移除率、F 為正壓力、S 為轉速而 R 為研磨液流速。

而樣片的部分可由表 5.32~表 5.58 得知，大約都在 23Å 上下，其中差平均較遠的，其原因可能為化學機械研磨機台本身的誤差，或量測時使用 TFSEM 必須先破片，但是無法取到完全正確的點。其不平坦度圖形如圖 5.7。

以這些數據，經由最小平方法，於 MATLAB7.0 建立之模型為：

$$NPI = -0.00081F - 0.00001S - 0.00001R - 0.00001F * S - 0.000002S * R + 0.000001F * R + 0.00007F^2 + 0.000001S^2 + 0.00000004R^2 + 22.0972 + \delta$$

在此中 NPI 為移除率、F 為正壓力、S 為轉速而 R 為研磨液流速。

而兩種晶圓之不平坦度由公式可得知，除了常數項為二位數外，其餘皆為小數點後四位以後，相比之下之值極小，故可忽略。

因此可得知不平坦度與改變之變數之關係極小，因此可以忽略不計。



5.7 模型間關係概況

由前述之兩大模型可得知，由於有三種不同的變換參數，而參數間又互相影響，再加上移除率的下降，造成有十種以上不同且無方程式關係的係數存在，因此無法單純只以 T_f 之方程式來帶入兩者間之關係，無論是幾階方程均無法以單一變數來連接兩者間之關係。但是，並非無法由研磨樣片時之移除率來推算控片之移除率，可將參數及樣片移除率帶入樣片模型，以求出研磨率下降之片數 t 之值，再將 t 及參數帶回控片模型即可得知此時控片之移除率以及是否須手動用刷子刷研磨墊，恢復研磨墊的摩擦率，或者更換新的研磨墊，進而節省晶圓之消耗。



第六章 結論及未來展望

由實驗結果可以得知，由於有三個輸入值，且各輸入值均會互相影響，因此最後建立出之模型會如此長，並且得知無法只用 T_f 方程之單一變數取得不同模型之間的關係，並且可以得知晶圓材料不同，及本實驗所控制的變數，影響不平坦度的機會極小，可以忽略不計。

由於兩種不同晶圓的模型都已製作，還是可以使用研磨樣片時之移除率帶入模型，求出研磨片數 t ，在以之帶回控片模型，即可求出當時控片之移除率，因而得知研磨墊之狀況，進而達成節省控片之目的。

本實驗在未來有幾點可以發展如下：

- (1) SiO_2 之控片以及 Cu 之控片，均有各自的研磨液可以使用，而讓對方使用時之移除率卻出奇的低，又因為 SiO_2 所使用之研磨液，PS2515 是已經調配完成之研磨液，並無法分離重配，故本實驗選用可以變換成分比例之 Cu 用研磨液來調配心研磨液，也造成樣片之移除率大為降低，希望將來能調配出能同時研磨 SiO_2 以及 Cu 且有高移除率之研磨液。
- (2) 在本實驗中使用最主要可以調整的三項參數：壓力、轉速以及研磨液流速加以調整，其餘物理方面之參數也不容易完整

調整，希望將來能找出與化學參數如：研磨漿料相關參數、溫度……等相關參數有關之移除率模型，使晶圓的移除率模型更加完整。

(3) 而在國外的論文中，CMP 機台都有導入即時監測厚度的干涉儀裝置，如果未來 CMP 機台有此裝置，不僅可以作每批片的厚度控制外；還可以作每秒作厚度控制或不平坦度控制；另外，如果可以即時知道厚度，就可以即時帶入公式，並得知研磨墊的狀況。但由於國家耐米實驗室沒有在線厚度偵測器，只能將此晶圓磨完後帶去量測機台裡面量測。因此，假如有在線厚度量測，RTMS 與本研究之內容可以相輔相成；但是由於 NDL 本身並沒有這樣的設備；另一方面也是因為實驗片數之稀少，而不像大廠裡都是隨時隨地在 RUN 片，因此運用困難。但是，假如將本實驗與 RTMS 配合在一起給大廠晶圓片數多的情況下使用，就是一個更完善的研磨墊確認系統了。

參考文獻

- [1] 薛木坤，“應用模糊類神經網路於銅膜化學機械研磨之批次製程控制”，碩士論文，國立交通大學機械工程研究所，2004。
- [2] M. A. Fury, “Chemical Mechanical Planarization of Aluminum-Based Alloys for Multilevel Metallization”, *Solid State Technology*, Vol.20, P.61, 2000.
- [3] F.G. Shi and B. Zhao. Fundamentals of CMP for IC manufacturing: Recent progress. In *Proceedings of 5th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology*, pages 113-115, 1998.
- [4] S.S.P. Rao, J. Stefani, S. Comstock, J. Larsen, B. Paquette, and M. Wang. Run-to-run process control of oxide cmp using integrated metrology. In *The Ninth International Symposium on Semiconductor Manufacturing*, pages 411-414, 2000.
- [5] W. Campbell. Model Predictive Run-to Run Control of Chemical Mechanical Planarization. Ph.D. Dissertation, Univ. Texas at Austin, 1999.
- [6] 周孟賢，“化學機械研磨時製程參數最佳化技術”，碩士論文，國立中興大學機械工程研究所，1999。
- [7] 林柏勳，“含時間估測器之類神經網路式 Run-to-Run 製程控制器設計及其在銅製程 CMP 之應用”，碩士論文，國立中興大學機械工程研究所，2003。
- [8] 國家奈米實驗室網頁。
- [9] Douglas C.Montgomery, Design and Analysis of Experiment, 5th Edition
- [10] Chadi El Chemali, James Moyne and Kareemullah Khan, “Multizone uniformity control of a chemical mechanical polishing process utilizing a pre- and postmeasurement strategy” 2000 American Vacuum Society, *J. Vac. Sci. Technol. A* 18.4., Jul-Aug

2000.

[11] 實驗設計與分析，Design and Analysis of Experiments 5/e 原著

Montgomery 黎正中、陳源樹 編譯

[12] 時間數列分析與預測 三版，Time Series Analysis and Forecasting

林茂文 著

[13] 劉柏聖，“Run to Run prediction and control of ADI CD” ，

碩士論文，國立中興大學機械工程研究所，1999。



1. 問題的認知及陳述
2. 因子、水準及範圍的選擇
3. 反應變數的選擇
4. 實驗設計的選擇
5. 執行實驗
6. 資料的統計分析
7. 結論與建議

*實務上，步驟 2 和 3 通常是同時完成，或順序顛倒。

表 3.1 實驗設計步驟大綱

| | | | | | |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| Al_2O_3 ，硝酸比例 | 2%，2.8% | 2%，5.6% | 2%，1.4% | 4%，2.8% | 1%，2.8% |
| 二氧化矽 | 23.823 | 73.039 | 41.114 | 111.878 | 33.588 |
| 銅 | 3251.33 | 3271.667 | 2396.667 | 4575.667 | 3256 |

表 5.1 研磨液不同比例之移除厚度 (Å)

| | | | | | | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| SiO_2 | 587.22 | 579.35 | 571.09 | 570.64 | 555.96 | 544.21 | 542.93 |
| Cu | 5.75 | 5.68 | 5.60 | 5.53 | 5.31 | 5.12 | 4.98 |

表 5.2 連續研磨之移除厚度 (Å)

| | |
|---------------|----------------------|
| 研磨墊 | Primary Pad |
| Time | 60 sec |
| Down Force | 2~6 psi |
| Back pressure | 1/2 Down Force |
| Platen speed | 20~40 rpm |
| Carrier Speed | 20~40 rpm |
| Slurry | PS2515+DI Water(1:1) |
| Flow rate | 150~250 ml/min |

表 5.3 SiO_2 之控片實驗固定參數值

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第01片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4437.1 | 4405.66 | 4415.39 | 4438.81 | 4430.18 | 4449.88 | 4450.84 | 4435.74 | 4446.27 |
| 研磨後 | 4234.6 | 4195.9 | 4198.79 | 4213.13 | 4222.35 | 4230.93 | 4228.95 | 4224.16 | 4227.5 |
| 研磨厚度 | 202.5 | 209.76 | 216.6 | 225.68 | 207.83 | 218.95 | 221.89 | 211.58 | 218.77 |
| 平均移除率 | 3.580667 | | | 不平坦度 | | | 13.20002 | | |
| 修正後之移除率 | 3.580667 | | | | | | | | |

表 5.4 模型 DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第02片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4469.76 | 4473.67 | 4512.3 | 4451.48 | 4448.73 | 4466.08 | 4436.5 | 4457.16 | 4425.33 |
| 研磨後 | 4454.85 | 4463.66 | 4462.33 | 4423.66 | 4432.54 | 4446.57 | 4437.16 | 4457.15 | 4436.26 |
| 研磨厚度 | 14.91 | 10.01 | 49.97 | 27.82 | 16.19 | 19.51 | -0.66 | 0.01 | -10.93 |
| 平均移除率 | 0.23487 | | | 不平坦度 | | | 13.47743 | | |
| 修正後之移除率 | 0.327144 | | | | | | | | |

表 5.5 模型 DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第03片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4451.91 | 4451.33 | 4441.43 | 4443.58 | 4434.09 | 4441.25 | 4454.99 | 4458.12 | 4455.76 |
| 研磨後 | 4171.3 | 4191.97 | 4188.17 | 4152.85 | 4126.04 | 4196.77 | 4188.63 | 4193.61 | 4190.81 |
| 研磨厚度 | 280.61 | 259.36 | 253.26 | 290.73 | 308.05 | 244.48 | 266.36 | 264.51 | 264.95 |
| 平均移除率 | 4.504278 | | | 不平坦度 | | | 22.48096 | | |
| 修正後之移除率 | 4.688824 | | | | | | | | |

表 5.6 模型 DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第04片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4465.39 | 4465.38 | 4457.06 | 4447.08 | 4456.01 | 4463.4 | 4450.83 | 4459.36 | 4435.5 |
| 研磨後 | 4451.62 | 4459.41 | 4459.75 | 4451.67 | 4435.11 | 4451.28 | 4440.51 | 4435.98 | 4421.69 |
| 研磨厚度 | 13.77 | 5.97 | -2.69 | -4.59 | 20.9 | 12.12 | 10.32 | 23.38 | 13.81 |
| 平均移除率 | 0.172204 | | | 不平坦度 | | | 11.99628 | | |
| 修正後之移除率 | 0.449023 | | | | | | | | |

表 5.7 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 第 05 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4444.94 | 4457.56 | 4438.02 | 4446.55 | 4436.02 | 4440.52 | 4414.41 | 4423.92 | 4443.93 |
| 研磨後 | 4116.88 | 4120.54 | 4123.71 | 4098.2 | 4075.97 | 4094.76 | 4085.07 | 4129.21 | 4058.21 |
| 研磨厚度 | 328.06 | 337.02 | 314.31 | 348.35 | 360.05 | 345.76 | 329.34 | 294.71 | 385.72 |
| 平均移除率 | 5.635778 | | | | 不平坦度 | | | 22.8496 | |
| 修正後之移除率 | 6.00487 | | | | | | | | |

表 5.8 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 第 06 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4481.95 | 4450.66 | 4427.62 | 4454.41 | 4435.51 | 4473.04 | 4483.12 | 4462.8 | 4457.08 |
| 研磨後 | 3930.93 | 3933.15 | 3911.64 | 3897.76 | 3875.36 | 3953.75 | 3965.69 | 3896.38 | 3886.45 |
| 研磨厚度 | 551.02 | 517.51 | 515.98 | 556.65 | 560.15 | 519.29 | 517.43 | 566.42 | 570.63 |
| 平均移除率 | 9.027926 | | | | 不平坦度 | | | 29.1872 | |
| 修正後之移除率 | 9.489292 | | | | | | | | |

表 5.9 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 第 07 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4470.92 | 4458.09 | 4448.44 | 4476.69 | 4474.6 | 4499.15 | 4499.88 | 4473.63 | 4457.01 |
| 研磨後 | 4449.92 | 4438.29 | 4427.72 | 4438.61 | 4403.11 | 4445.41 | 4479.61 | 4433.75 | 4415.21 |
| 研磨厚度 | 21 | 19.8 | 20.72 | 38.08 | 71.49 | 53.74 | 20.27 | 39.88 | 41.8 |
| 平均移除率 | 0.605148 | | | | 不平坦度 | | | 20.48667 | |
| 修正後之移除率 | 1.158787 | | | | | | | | |

表 5.10 模型 DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 第 08 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4475.38 | 4489.97 | 4476.23 | 4458.37 | 4467.21 | 4474 | 4447.17 | 4472.65 | 4472.25 |
| 研磨後 | 4263.57 | 4288.98 | 4261.6 | 4246.13 | 4261.59 | 4257.87 | 4237.58 | 4268.87 | 4255.88 |
| 研磨厚度 | 211.81 | 200.99 | 214.63 | 212.24 | 205.62 | 216.13 | 209.59 | 203.78 | 216.37 |
| 平均移除率 | 3.502148 | | | | 不平坦度 | | | 13.54998 | |
| 修正後之移除率 | 4.14806 | | | | | | | | |

表 5.11 模型 DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| 第09片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 4482.81 | 4498.88 | 4488.36 | 4476.79 | 4435.76 | 4475.85 | 4480.15 | 4490.73 | 4503.05 |
| 研磨後 | 4155.93 | 4155.67 | 4137.63 | 4127.84 | 4103.92 | 4158.1 | 4133.79 | 4151.1 | 4169.1 |
| 研磨厚度 | 326.88 | 343.21 | 350.73 | 348.95 | 331.84 | 317.75 | 346.36 | 339.63 | 333.95 |
| 平均移除率 | 5.628333 | | | | 不平坦度 | | | 18.76513 | |
| 修正後之移除率 | 6.366519 | | | | | | | | |

表 5.12 模型 DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| 第10片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5034.75 | 5035.34 | 5033.78 | 5033.57 | 5030.9 | 5036.71 | 5035.61 | 5032.38 | 5030.93 |
| 研磨後 | 5009.74 | 5004.71 | 4947.29 | 5004.76 | 5015.23 | 4981.48 | 5002.13 | 5013.73 | 5021.8 |
| 研磨厚度 | 25.01 | 30.63 | 86.49 | 28.81 | 15.67 | 55.23 | 33.48 | 18.65 | 9.13 |
| 平均移除率 | 0.561296 | | | | 不平坦度 | | | 21.50246 | |
| 修正後之移除率 | 1.391755 | | | | | | | | |

表 5.13 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| 第11片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5038.73 | 5039.25 | 5038.53 | 5036.69 | 5038.67 | 5038.57 | 5039 | 5038.41 | 5035.7 |
| 研磨後 | 4702.71 | 4682.29 | 4675.05 | 4692.19 | 4699.88 | 4677.57 | 4698.35 | 4695.28 | 4692.51 |
| 研磨厚度 | 336.02 | 356.96 | 363.48 | 344.5 | 338.79 | 361 | 340.65 | 343.13 | 343.19 |
| 平均移除率 | 5.792074 | | | | 不平坦度 | | | 9.437105 | |
| 修正後之移除率 | 6.714806 | | | | | | | | |

表 5.14 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| 第12片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5047.74 | 5052.77 | 5054.94 | 5044.86 | 5040.24 | 5057.28 | 5058.14 | 5044.33 | 5040.35 |
| 研磨後 | 4461.46 | 4441.19 | 4446.07 | 4460.91 | 4467.72 | 4474.61 | 4425.63 | 4460.6 | 4420.64 |
| 研磨厚度 | 586.28 | 611.58 | 608.87 | 583.95 | 572.52 | 582.67 | 632.51 | 583.73 | 619.71 |
| 平均移除率 | 9.966333 | | | | 不平坦度 | | | 17.70962 | |
| 修正後之移除率 | 10.98134 | | | | | | | | |

表 5.15 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 13 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5022.66 | 5024.26 | 5023.89 | 5019.85 | 5017.01 | 5023.81 | 5022.97 | 5020.38 | 5019.99 |
| 研磨後 | 4800.38 | 4768.94 | 4778.67 | 4802.09 | 4793.46 | 4813.16 | 4814.12 | 4799.02 | 4809.55 |
| 研磨厚度 | 222.277 | 255.317 | 245.217 | 217.757 | 223.547 | 210.646 | 208.846 | 221.357 | 210.437 |
| 平均移除率 | 3.732227 | | | 不平坦度 | | | 14.47029 | | |
| 修正後之移除率 | 4.839505 | | | | | | | | |

表 5.16 模型 DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5016.28 | 5017.37 | 5017.65 | 5013.78 | 5011.17 | 5017.71 | 5017.91 | 5013.78 | 5010.29 |
| 研磨後 | 4640.78 | 4644.69 | 4683.32 | 4622.50 | 4619.75 | 4637.10 | 4607.52 | 4628.18 | 4596.35 |
| 研磨厚度 | 375.494 | 372.674 | 334.324 | 391.274 | 391.414 | 380.604 | 410.384 | 385.594 | 413.934 |
| 平均移除率 | 6.39944 | | | 不平坦度 | | | 23.60837 | | |
| 修正後之移除率 | 7.598990926 | | | | | | | | |

表 5.17 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4234.6 | 4195.9 | 4198.79 | 4213.13 | 4222.35 | 4230.93 | 4228.95 | 4224.16 | 4227.5 |
| 研磨後 | 4187.77 | 4123.66 | 4153.93 | 4183.74 | 4175.41 | 4189.8 | 4208.11 | 4173.55 | 4188.36 |
| 研磨厚度 | 46.8313 | 72.2413 | 44.8613 | 29.3913 | 46.9413 | 41.1313 | 20.8413 | 50.6113 | 39.1413 |
| 平均移除率 | 0.72486 | | | 不平坦度 | | | 13.49286 | | |
| 修正後之移除率 | 1.83213 | | | | | | | | |

表 5.18 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4454.85 | 4463.66 | 4462.33 | 4423.66 | 4432.54 | 4446.57 | 4437.16 | 4457.15 | 4436.26 |
| 研磨後 | 4147.01 | 4167.45 | 4175.7 | 4127.13 | 4171.51 | 4143.24 | 4102.25 | 4165.48 | 4163.13 |
| 研磨厚度 | 307.838 | 296.208 | 286.631 | 296.528 | 261.028 | 303.328 | 334.911 | 291.668 | 273.128 |
| 平均移除率 | 4.91276 | | | 不平坦度 | | | 19.84166 | | |
| 修正後之移除率 | 6.11231 | | | | | | | | |

表 5.19 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4171.3 | 4191.97 | 4188.17 | 4152.85 | 4126.04 | 4196.77 | 4188.63 | 4193.61 | 4190.81 |
| 研磨後 | 3736.49 | 3749.37 | 3745.77 | 3717.99 | 3707.74 | 3763.21 | 3764.93 | 3774.44 | 3785.93 |
| 研磨厚度 | 434.814 | 442.604 | 442.403 | 434.864 | 418.304 | 433.56 | 423.704 | 419.174 | 404.884 |
| 平均移除率 | 7.14031 | | | 不平坦度 | | | 11.87681 | | |
| 修正後之移除率 | 8.43213 | | | | | | | | |

表 5.20 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4476.14 | 4487.03 | 4502.57 | 4504.28 | 4511.64 | 4473.63 | 4485.41 | 4465.33 | 4433.04 |
| 研磨後 | 4451.62 | 4459.41 | 4459.75 | 4451.67 | 4435.11 | 4451.28 | 4440.51 | 4435.98 | 4421.69 |
| 研磨厚度 | 24.517 | 27.62 | 42.817 | 52.607 | 76.527 | 22.347 | 44.904 | 29.347 | 11.347 |
| 平均移除率 | 0.6129 | | | 不平坦度 | | | 18.49163 | | |
| 修正後之移除率 | 0.77123 | | | | | | | | |

表 5.21 模型 DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4116.88 | 4120.54 | 4123.71 | 4098.2 | 4075.97 | 4094.76 | 4085.07 | 4129.21 | 4058.21 |
| 研磨後 | 3958.66 | 3982.74 | 3993.69 | 3950.5 | 3920.58 | 3961.68 | 3932.67 | 3978.42 | 3910.19 |
| 研磨厚度 | 158.219 | 137.799 | 130.021 | 147.699 | 155.389 | 133.079 | 152.398 | 150.789 | 148.019 |
| 平均移除率 | 2.43594 | | | 不平坦度 | | | 9.417545 | | |
| 修正後之移除率 | 3.91231 | | | | | | | | |

表 5.22 模型 DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 3930.93 | 3933.15 | 3911.64 | 3897.76 | 3875.36 | 3953.75 | 3965.69 | 3896.38 | 3886.45 |
| 研磨後 | 3877.96 | 3918.88 | 3896.82 | 3866.26 | 3834.64 | 3904.45 | 3919.58 | 3853.85 | 3840.58 |
| 研磨厚度 | 52.9653 | 14.2653 | 14.8201 | 31.4953 | 40.7153 | 49.2953 | 46.1066 | 42.5253 | 45.8653 |
| 平均移除率 | 0.63259 | | | 不平坦度 | | | 13.53839 | | |
| 修正後之移除率 | 2.20123 | | | | | | | | |

表 5.23 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4449.92 | 4438.29 | 4427.72 | 4438.61 | 4403.11 | 4445.41 | 4479.61 | 4433.75 | 4415.21 |
| 研磨後 | 4146.86 | 4140.26 | 4187.11 | 4142.04 | 4094.56 | 4170.61 | 4180.95 | 4126.7 | 4100.09 |
| 研磨厚度 | 303.063 | 298.033 | 240.613 | 296.571 | 308.553 | 274.803 | 298.661 | 307.053 | 315.123 |
| 平均移除率 | 4.89033 | | | 不平坦度 | | | 21.53221 | | |
| 修正後之移除率 | 6.55124 | | | | | | | | |

表 5.24 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4305.86 | 4320.97 | 4296.41 | 4319.61 | 4326.19 | 4306.83 | 4297.56 | 4308.86 | 4316.76 |
| 研磨後 | 4263.57 | 4288.98 | 4261.6 | 4246.13 | 4261.59 | 4257.87 | 4237.58 | 4268.87 | 4255.88 |
| 研磨厚度 | 42.288 | 31.993 | 34.808 | 73.478 | 64.598 | 48.963 | 59.977 | 39.988 | 60.878 |
| 平均移除率 | 0.852 | | | 不平坦度 | | | 13.71808 | | |
| 修正後之移除率 | 0.90123 | | | | | | | | |

表 5.25 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4155.93 | 4155.67 | 4137.63 | 4127.84 | 4103.92 | 4158.1 | 4133.79 | 4151.1 | 4169.1 |
| 研磨後 | 3867.79 | 3867.26 | 3868.78 | 3872.87 | 3860.07 | 3847.14 | 3810.89 | 3897.51 | 3925.44 |
| 研磨厚度 | 288.14 | 288.414 | 268.85 | 254.97 | 243.849 | 310.96 | 322.9 | 253.59 | 243.66 |
| 平均移除率 | 4.56667 | | | 不平坦度 | | | 27.48695 | | |
| 修正後之移除率 | 6.41213 | | | | | | | | |

表 5.26 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5009.74 | 5004.71 | 4947.29 | 5004.76 | 5015.23 | 4981.48 | 5002.13 | 5013.73 | 5021.8 |
| 研磨後 | 4536.45 | 4551.69 | 4490.63 | 4532.02 | 4535.68 | 4498.52 | 4564.67 | 4541.3 | 4589.33 |
| 研磨厚度 | 473.289 | 453.019 | 456.658 | 472.739 | 479.549 | 482.961 | 437.459 | 472.429 | 432.469 |
| 平均移除率 | 7.7135 | | | 不平坦度 | | | 17.26958 | | |
| 修正後之移除率 | 9.65123 | | | | | | | | |

表 5.27 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4702.71 | 4682.29 | 4675.05 | 4692.19 | 4699.88 | 4677.57 | 4698.35 | 4695.28 | 4692.51 |
| 研磨後 | 4668.88 | 4627.79 | 4624.35 | 4676.81 | 4705.68 | 4618.27 | 4647.19 | 4639.14 | 4641.05 |
| 研磨厚度 | 33.833 | 54.503 | 50.703 | 15.383 | -5.7976 | 59.303 | 51.163 | 56.143 | 51.4626 |
| 平均移除率 | 0.67212 | | | 不平坦度 | | | 20.95533 | | |
| 修正後之移除率 | 2.70213 | | | | | | | | |

表 5.28 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4461.46 | 4441.19 | 4446.07 | 4460.91 | 4467.72 | 4474.61 | 4425.63 | 4460.6 | 4420.64 |
| 研磨後 | 4181.39 | 4192.56 | 4178.8 | 4179.13 | 4194.57 | 4179.07 | 4131.82 | 4181.89 | 4131.4 |
| 研磨厚度 | 280.074 | 248.634 | 267.269 | 281.784 | 273.154 | 295.539 | 293.814 | 278.714 | 289.244 |
| 平均移除率 | 4.6234 | | | 不平坦度 | | | 13.80371 | | |
| 修正後之移除率 | 6.74569 | | | | | | | | |

表 5.29 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 研磨前 | 4800.38 | 4768.94 | 4778.67 | 4802.09 | 4793.46 | 4813.16 | 4814.12 | 4799.02 | 4809.55 |
| 研磨後 | 4388.16 | 4353.06 | 4362.91 | 4408.55 | 4422.15 | 4423.06 | 4430 | 4374.47 | 4456 |
| 研磨厚度 | 412.227 | 415.887 | 415.766 | 393.547 | 371.317 | 390.107 | 384.118 | 424.557 | 353.557 |
| 平均移除率 | 6.59385 | | | 不平坦度 | | | 22.2527 | | |
| 修正後之移除率 | 8.8084 | | | | | | | | |

表 5.30 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| | |
|---------------|--|
| 研磨墊 | Primary Pad |
| Time | 60 sec |
| Down Force | 2~6 psi |
| Back pressure | 1/2 Down Force |
| Platen speed | 20~40 rpm |
| Carrier Speed | 20~40 rpm |
| Slurry | Al ₂ O ₃ 1% + 硝酸 0.616% + DI Water |
| Flow rate | 150~250 ml/min |

表 5.31 樣片實驗固定參數值

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第01片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4878.06 | 4855.23 | 4887.23 | 4895.66 | 4982.52 | 4886.89 | 4948.86 | 4875.13 | 4874.25 |
| 研磨後 | 4867.45 | 4851.17 | 4885.75 | 4890.65 | 4974.32 | 4883.11 | 4940.05 | 4862.65 | 4865.31 |
| 研磨厚度 | 10.61 | 4.06 | 1.48 | 5.01 | 8.2 | 3.777 | 8.81 | 12.48 | 8.94 |
| 平均移除率 | 0.117346 | | | 不平坦度 | | | 38.06793 | | |
| 修正後之移除率 | 0.117346 | | | | | | | | |

表 5.32 模型 DF=2 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第02片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4971.53 | 4935.83 | 4917.11 | 4970.45 | 4974.22 | 4968.8 | 4984.85 | 4951.31 | 4921.08 |
| 研磨後 | 4953.93 | 4919.26 | 4913.77 | 4952.57 | 4962.78 | 4954.39 | 4970.13 | 4934.95 | 4903.78 |
| 研磨厚度 | 17.6 | 16.57 | 3.34 | 17.88 | 11.44 | 14.41 | 14.72 | 16.36 | 17.3 |
| 平均移除率 | 0.240037 | | | 不平坦度 | | | 22.20606 | | |
| 修正後之移除率 | 0.356529 | | | | | | | | |

表 5.33 模型 DF=4 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 第03片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 4980.16 | 4947.06 | 4910.92 | 4981.83 | 4981.6 | 4978.55 | 4970.02 | 4965.17 | 4908.55 |
| 研磨後 | 4960.22 | 4933.14 | 4905.02 | 4964.59 | 4967.45 | 4965.91 | 4966.51 | 4943.67 | 4902.17 |
| 研磨厚度 | 19.94 | 9.13 | 3.71 | 13.28 | 8.23 | 12.94 | 10.75 | 26.49 | 15.19 |
| 平均移除率 | 0.221593 | | | 不平坦度 | | | 26.6753 | | |
| 修正後之移除率 | 0.454576 | | | | | | | | |

表 5.34 模型 DF=6 psi, SP=20 rpm, FR=150ml/min

| 第04片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4992.68 | 4953.08 | 4917.99 | 4980.21 | 4981.32 | 4983.93 | 4981.02 | 4965.5 | 4920.04 |
| 研磨後 | 4973.68 | 4952.54 | 4909.01 | 4964.03 | 4969.46 | 4972.66 | 4970.96 | 4942.45 | 4905.49 |
| 研磨厚度 | 19 | 0.54 | 8.98 | 16.18 | 11.86 | 11.27 | 10.06 | 23.05 | 14.55 |
| 平均移除率 | 0.21387 | | | 不平坦度 | | | 25.39052 | | |
| 修正後之移除率 | 0.563346 | | | | | | | | |

表 5.35 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| 第05片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4986.8 | 4953.04 | 4925.57 | 4987.61 | 4980.68 | 4985.73 | 4984.2 | 4968.86 | 4919.99 |
| 研磨後 | 4962.64 | 4936.57 | 4915.28 | 4964.58 | 4961.4 | 4956.92 | 4962.5 | 4938.3 | 4900.29 |
| 研磨厚度 | 24.16 | 16.47 | 10.29 | 23.03 | 19.28 | 28.81 | 21.7 | 30.56 | 19.7 |
| 平均移除率 | 0.359259 | | | 不平坦度 | | | 22.12424 | | |
| 修正後之移除率 | 0.825226 | | | | | | | | |

表 5.36 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| 第06片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4989.58 | 4961.4 | 4924.64 | 4990.52 | 4984.24 | 4988.45 | 4985.68 | 4966.45 | 4920.11 |
| 研磨後 | 4956.67 | 4937.69 | 4901.34 | 4965 | 4965.69 | 4954.93 | 4958.89 | 4927.45 | 4899.5 |
| 研磨厚度 | 32.91 | 23.71 | 23.3 | 25.52 | 18.55 | 33.52 | 26.79 | 39 | 20.61 |
| 平均移除率 | 0.451685 | | | 不平坦度 | | | 24.57322 | | |
| 修正後之移除率 | 1.034144 | | | | | | | | |

表 5.37 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=150ml/min

| 第07片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 4996.16 | 4961.02 | 4937.57 | 4992.11 | 4993.47 | 5000.93 | 4991.48 | 4976.99 | 4926.56 |
| 研磨後 | 4985.37 | 4959.48 | 4940.63 | 4987.39 | 4985.71 | 4993.18 | 4988.59 | 4969.4 | 4927.32 |
| 研磨厚度 | 10.79 | 1.54 | -3.06 | 4.72 | 7.76 | 7.75 | 2.89 | 7.59 | -0.76 |
| 平均移除率 | 0.07263 | | | 不平坦度 | | | 22.25611 | | |
| 修正後之移除率 | 0.888072 | | | | | | | | |

表 5.38 模型 DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| 第08片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5002.49 | 4978.33 | 4944.24 | 4996.58 | 4987.16 | 5009.94 | 5000.86 | 4977.98 | 4930.88 |
| 研磨後 | 4980.32 | 4966.46 | 4936.46 | 4980.54 | 4978.58 | 4994.26 | 4991.82 | 4963.28 | 4922.58 |
| 研磨厚度 | 22.17 | 11.87 | 7.78 | 16.04 | 8.58 | 15.68 | 9.04 | 14.7 | 8.3 |
| 平均移除率 | 0.211407 | | | 不平坦度 | | | 22.99701 | | |
| 修正後之移除率 | 1.143342 | | | | | | | | |

表 5.39 模型 DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| 第09片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5016.99 | 4993.28 | 4963.45 | 5002.86 | 4998.17 | 5016.4 | 5012.32 | 4993.01 | 4937.36 |
| 研磨後 | 4996.26 | 4982.01 | 4958.47 | 4995.26 | 4992.93 | 5002.15 | 5002.56 | 4979.61 | 4926.06 |
| 研磨厚度 | 20.73 | 11.27 | 4.98 | 7.6 | 5.24 | 14.25 | 9.76 | 13.4 | 11.3 |
| 平均移除率 | 0.182463 | | | 不平坦度 | | | 23.60609 | | |
| 修正後之移除率 | 1.230889 | | | | | | | | |

表 5.40 模型 DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=200ml/min

| 第10片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5024.89 | 4996.47 | 4973.03 | 5017 | 5010.1 | 5021.27 | 5019.68 | 4998.92 | 4946.77 |
| 研磨後 | 5009.97 | 4997.49 | 4977.03 | 5018.82 | 5000.18 | 5023.05 | 5014.37 | 4990.96 | 4934.77 |
| 研磨厚度 | 14.92 | -1.02 | -4 | -1.82 | 9.92 | -1.78 | 5.31 | 7.96 | 12 |
| 平均移除率 | 0.076833 | | | 不平坦度 | | | 25.68693 | | |
| 修正後之移除率 | 1.241751 | | | | | | | | |

表 5.41 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| 第11片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5030.05 | 5002.94 | 4982.56 | 5026.1 | 5006.52 | 5037.69 | 5021.86 | 5009.11 | 4959.79 |
| 研磨後 | 5007.51 | 4988.49 | 4972.14 | 5012.49 | 4992.17 | 5023.41 | 5013.34 | 4988.31 | 4945.97 |
| 研磨厚度 | 22.54 | 14.45 | 10.42 | 13.61 | 14.35 | 14.28 | 8.52 | 20.8 | 13.82 |
| 平均移除率 | 0.245907 | | | 不平坦度 | | | 22.64137 | | |
| 修正後之移除率 | 1.527317 | | | | | | | | |

表 5.42 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 12 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5041.68 | 5024.52 | 4996.65 | 5038.58 | 5024.54 | 5047.88 | 5033.69 | 5024.44 | 4975.28 |
| 研磨後 | 5014.03 | 5012.08 | 4980.66 | 5020.62 | 5013.03 | 5030.35 | 5012.87 | 5005.18 | 4959.11 |
| 研磨厚度 | 27.65 | 12.44 | 15.99 | 17.96 | 11.51 | 17.53 | 20.82 | 19.26 | 16.17 |
| 平均移除率 | 0.295056 | | | 不平坦度 | | | 20.66155 | | |
| 修正後之移除率 | 1.692957 | | | | | | | | |

表 5.43 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 13 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5052.12 | 5036.45 | 5012.36 | 5041.97 | 5030.41 | 5054.57 | 5046.27 | 5032.47 | 4982.27 |
| 研磨後 | 5045.62 | 5038.98 | 5001.5 | 5041.49 | 5017.56 | 5046.63 | 5033.03 | 5026.44 | 4973.97 |
| 研磨厚度 | 6.5 | -2.53 | 10.86 | 0.48 | 12.85 | 7.94 | 13.24 | 6.03 | 8.3 |
| 平均移除率 | 0.117907 | | | 不平坦度 | | | 22.70246 | | |
| 修正後之移除率 | 1.6323 | | | | | | | | |

表 5.44 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 14 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5064.32 | 5049.64 | 5025.51 | 5060.94 | 5050.41 | 5065.79 | 5066.74 | 5045.31 | 4998.22 |
| 研磨後 | 5034.66 | 5033.86 | 5010.23 | 5040.02 | 5038.34 | 5037.2 | 5043.18 | 5025.82 | 4974.15 |
| 研磨厚度 | 29.66 | 15.78 | 15.28 | 20.92 | 12.07 | 28.59 | 23.56 | 19.49 | 24.07 |
| 平均移除率 | 0.350778 | | | 不平坦度 | | | 20.66135 | | |
| 修正後之移除率 | 1.981663 | | | | | | | | |

表 5.45 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 15 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5085.1 | 5063.88 | 5043.79 | 5076.62 | 5058 | 5079.68 | 5075.69 | 5058.95 | 5000.42 |
| 研磨後 | 5069.4 | 5033.86 | 5010.23 | 5040.02 | 5038.34 | 5037.2 | 5043.18 | 5025.82 | 4974.15 |
| 研磨厚度 | 15.7 | 15.57 | 12.26 | 15.66 | 16.59 | 15.66 | 14.44 | 17.22 | 10.81 |
| 平均移除率 | 0.247981 | | | 不平坦度 | | | 22.99464 | | |
| 修正後之移除率 | 1.995358 | | | | | | | | |

表 5.46 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=200ml/min

| 第 16 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 研磨前 | 5101.33 | 5084.96 | 5068.35 | 5095.35 | 5075.02 | 5108.31 | 5093.05 | 5076.91 | 5016.39 |
| 研磨後 | 5094.38 | 5087.12 | 5071.09 | 5091.02 | 5072.03 | 5103.41 | 5086.66 | 5075.45 | 5016.91 |
| 研磨厚度 | 6.95 | -2.16 | -2.74 | 4.33 | 2.99 | 4.9 | 6.39 | 1.46 | -0.52 |
| 平均移除率 | 0.04 | | | 不平坦度 | | | 23.7155 | | |
| 修正後之移除率 | 1.903868 | | | | | | | | |

表 5.47 模型 DF=2 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| 第 17 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5117.02 | 5100.05 | 5085.5 | 5105.77 | 5087.46 | 5120.7 | 5109.32 | 5096.56 | 5032.76 |
| 研磨後 | 5102.76 | 5089.98 | 5076.38 | 5093.76 | 5082.26 | 5109.99 | 5102.44 | 5078.54 | 5023.55 |
| 研磨厚度 | 14.26 | 10.07 | 9.12 | 12.01 | 5.2 | 10.71 | 6.88 | 18.02 | 9.21 |
| 平均移除率 | 0.176815 | | | 不平坦度 | | | 24.13409 | | |
| 修正後之移除率 | 2.157175 | | | | | | | | |

表 5.48 模型 DF=4 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| 第 18 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5147.11 | 5129.22 | 5116.59 | 5133.34 | 5113.53 | 5147.83 | 5139.62 | 5120.33 | 5053.79 |
| 研磨後 | 5127.59 | 5122.71 | 5103.06 | 5166.37 | 5102.71 | 5134.86 | 5130.99 | 5105.14 | 5046.21 |
| 研磨厚度 | 19.52 | 6.51 | 13.53 | -33.03 | 10.82 | 12.97 | 8.63 | 15.19 | 7.58 |
| 平均移除率 | 0.114296 | | | 不平坦度 | | | 30.96132 | | |
| 修正後之移除率 | 2.211148 | | | | | | | | |

表 5.49 模型 DF=6 psi , SP=20 rpm , FR=250ml/min

| 第 19 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 研磨前 | 5160.29 | 5147.64 | 5140.43 | 5154.55 | 5135.31 | 5175.06 | 5160.27 | 5136.78 | 5070.11 |
| 研磨後 | 5154.82 | 5143.99 | 5133.58 | 5143.62 | 5120.25 | 5157.08 | 5146.44 | 5131.23 | 5059.65 |
| 研磨厚度 | 5.47 | 3.65 | 6.85 | 10.93 | 15.06 | 17.98 | 13.83 | 5.55 | 10.46 |
| 平均移除率 | 0.166259 | | | 不平坦度 | | | 27.91245 | | |
| 修正後之移除率 | 2.379603 | | | | | | | | |

表 5.50 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 20 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5187.72 | 5168.61 | 5160.35 | 5179.35 | 5158.53 | 5194.27 | 5186.72 | 5167.93 | 5106.68 |
| 研磨後 | 5160.13 | 5151.73 | 5145.73 | 5156.06 | 5141.19 | 5164.94 | 5168.48 | 5141.27 | 5090.81 |
| 研磨厚度 | 27.59 | 16.88 | 14.62 | 23.29 | 17.34 | 29.33 | 18.24 | 26.66 | 15.87 |
| 平均移除率 | 0.351519 | | | 不平坦度 | | | 21.81951 | | |
| 修正後之移除率 | 2.681354 | | | | | | | | |

表 5.51 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 第 21 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5203.08 | 5194.18 | 5184.48 | 5192.96 | 5164.65 | 5211.94 | 5206.81 | 5177.32 | 5125.34 |
| 研磨後 | 5172.03 | 5175.55 | 5160.94 | 5168.16 | 5144.03 | 5185.46 | 5181.27 | 5148.67 | 5105.32 |
| 研磨厚度 | 31.05 | 18.63 | 23.54 | 24.8 | 20.62 | 26.48 | 25.54 | 28.65 | 20.02 |
| 平均移除率 | 0.406167 | | | 不平坦度 | | | 23.3992 | | |
| 修正後之移除率 | 2.852494 | | | | | | | | |

表 5.52 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 22 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5210.43 | 5199.47 | 5206.01 | 5208.83 | 5188.42 | 5229.61 | 5228.1 | 5205.07 | 5165.91 |
| 研磨後 | 5209.92 | 5198.64 | 5194.82 | 5188.86 | 5161.18 | 5215.61 | 5213.38 | 5192.87 | 5145.1 |
| 研磨厚度 | 0.51 | 0.83 | 11.19 | 19.97 | 27.24 | 14 | 14.72 | 12.2 | 20.81 |
| 平均移除率 | 0.224944 | | | 不平坦度 | | | 22.46319 | | |
| 修正後之移除率 | 2.787763 | | | | | | | | |

表 5.53 模型 DF=2 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| | | | | | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 第 23 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 研磨前 | 5237.14 | 5226.95 | 5236.89 | 5233.56 | 5227.07 | 5243.46 | 5256.1 | 5232.45 | 5201.01 |
| 研磨後 | 5199.49 | 5200.06 | 5210.88 | 5198.97 | 5195.5 | 5203.44 | 5230.92 | 5193.02 | 5172.57 |
| 研磨厚度 | 37.65 | 26.89 | 26.01 | 34.59 | 31.57 | 40.02 | 25.18 | 39.43 | 28.44 |
| 平均移除率 | 0.53663 | | | 不平坦度 | | | 14.55389 | | |
| 修正後之移除率 | 3.21594 | | | | | | | | |

表 5.54 模型 DF=4 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| 第 24 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5199.49 | 5200.06 | 5210.88 | 5198.97 | 5195.5 | 5203.44 | 5230.92 | 5193.02 | 5172.57 |
| 研磨後 | 5163.07 | 5159.8 | 5171.04 | 5166.39 | 5171.64 | 5173.74 | 5199.28 | 5154.81 | 5145.12 |
| 研磨厚度 | 36.42 | 40.26 | 39.84 | 32.58 | 23.86 | 29.7 | 31.64 | 38.21 | 27.45 |
| 平均移除率 | 0.555481 | | | | 不平坦度 | | | 14.21997 | |
| 修正後之移除率 | 3.351284 | | | | | | | | |

表 5.55 模型 DF=6 psi , SP=40 rpm , FR=250ml/min

| 第 25 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5209.92 | 5198.64 | 5194.82 | 5188.86 | 5161.18 | 5215.61 | 5213.38 | 5192.87 | 5145.1 |
| 研磨後 | 5206.93 | 5193.37 | 5171.77 | 5185.66 | 5148.81 | 5210.45 | 5197.45 | 5190.79 | 5136.92 |
| 研磨厚度 | 2.99 | 5.27 | 23.05 | 3.2 | 12.37 | 5.16 | 15.93 | 2.08 | 8.18 |
| 平均移除率 | 0.14487 | | | | 不平坦度 | | | 23.86552 | |
| 修正後之移除率 | 0.377854 | | | | | | | | |

表 5.56 模型 DF=2 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

| 第 26 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5172.03 | 5175.55 | 5160.94 | 5168.16 | 5144.03 | 5185.46 | 5181.27 | 5148.67 | 5105.32 |
| 研磨後 | 5146.41 | 5148.1 | 5143.82 | 5145.79 | 5124.62 | 5162.16 | 5156.63 | 5125.49 | 5086.44 |
| 研磨厚度 | 25.62 | 27.45 | 17.12 | 22.37 | 19.41 | 23.3 | 24.64 | 23.18 | 18.88 |
| 平均移除率 | 0.374019 | | | | 不平坦度 | | | 21.58013 | |
| 修正後之移除率 | 0.607002 | | | | | | | | |

表 5.57 模型 DF=4 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

| 第 27 片 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 研磨前 | 5160.13 | 5151.73 | 5145.73 | 5156.06 | 5141.19 | 5164.94 | 5168.48 | 5141.27 | 5090.81 |
| 研磨後 | 5133.85 | 5124.53 | 5135.01 | 5133.68 | 5120.56 | 5133.11 | 5137.85 | 5113.95 | 5077.43 |
| 研磨厚度 | 26.28 | 27.2 | 10.72 | 22.38 | 20.63 | 31.83 | 30.63 | 27.32 | 13.38 |
| 平均移除率 | 0.389574 | | | | 不平坦度 | | | 17.84066 | |
| 修正後之移除率 | 0.739049 | | | | | | | | |

表 5.58 模型 DF=6 psi , SP=30 rpm , FR=150ml/min

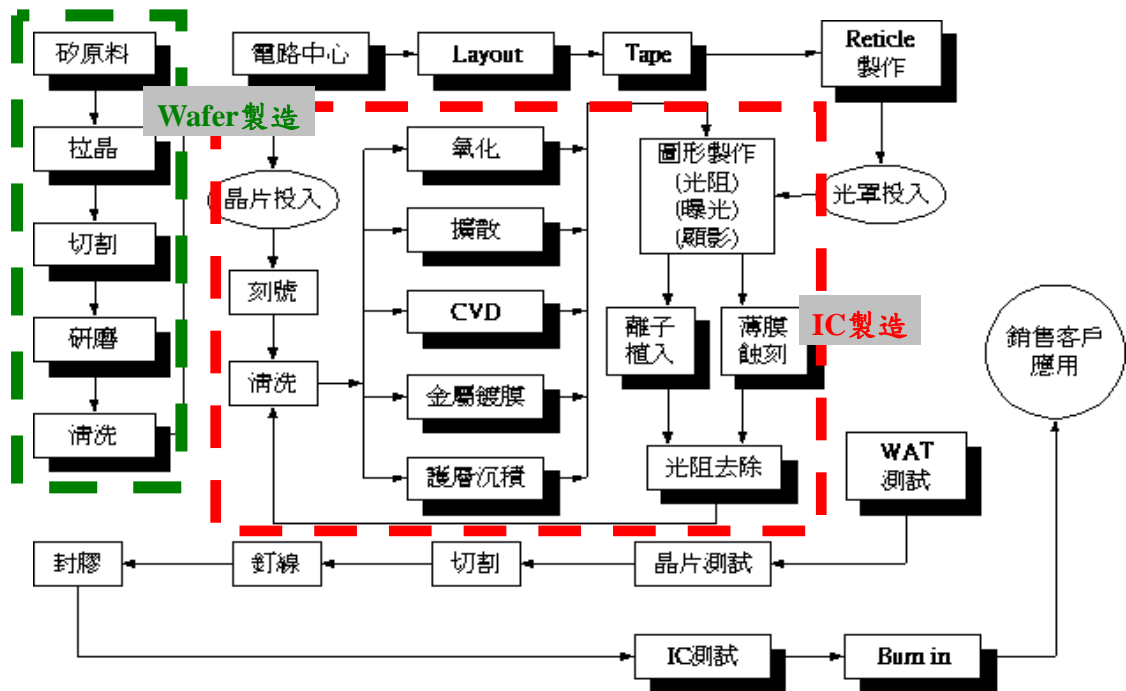


圖 1.1 晶圓製程流程[13]

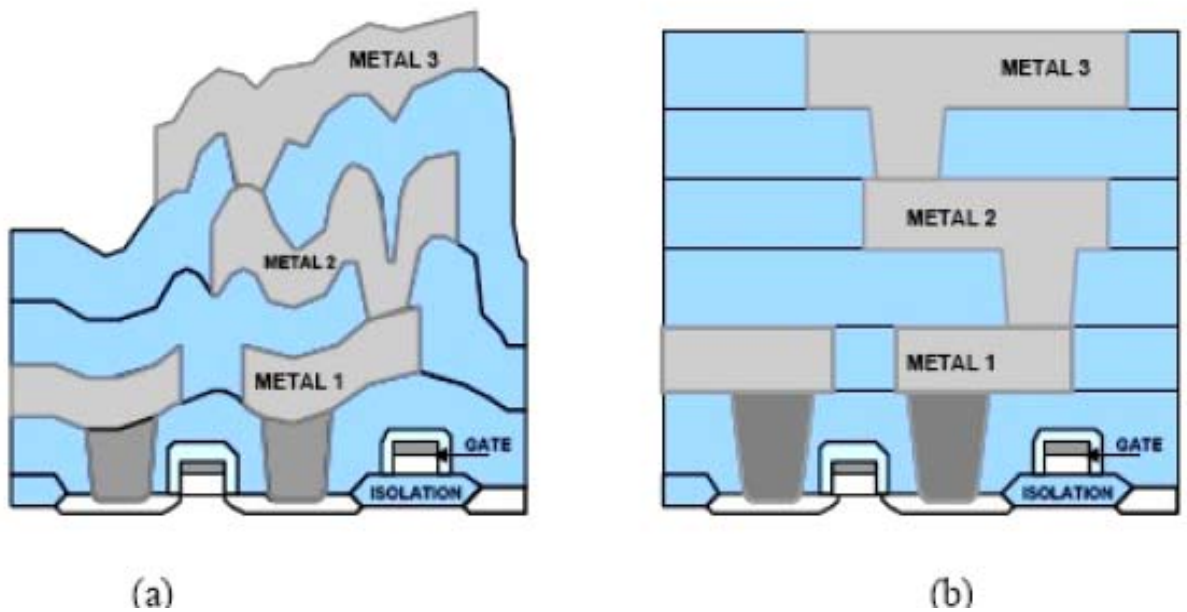


圖 1.2 有無化學機械研磨之晶圓切面圖[1]

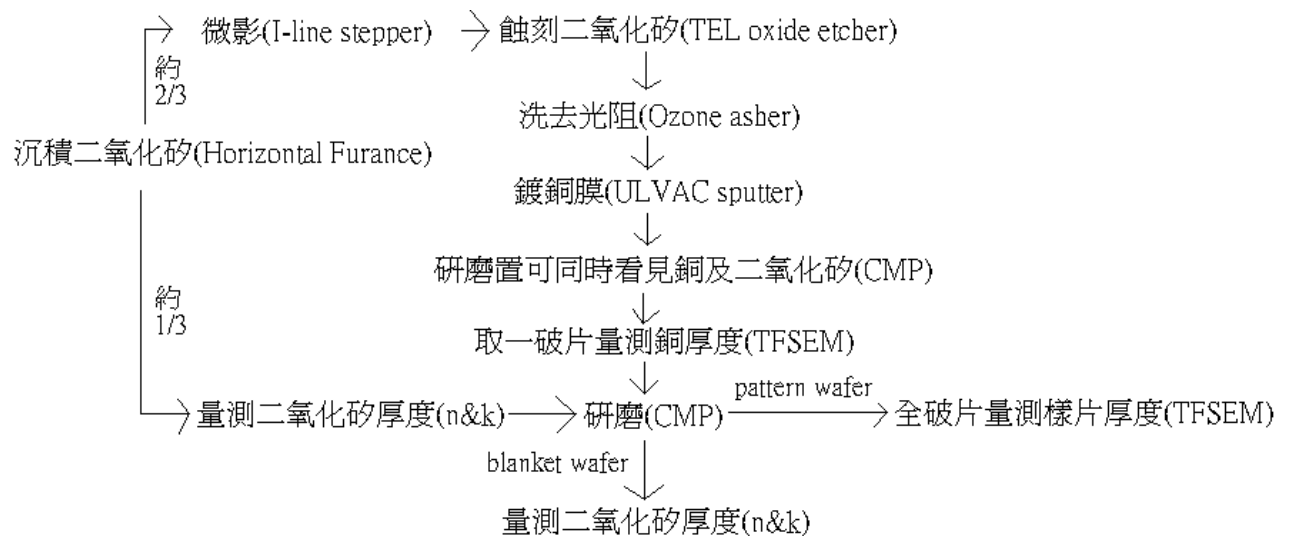


圖 1.3 實驗流程圖



圖 2.1 化學機械研磨機台外觀圖[8]

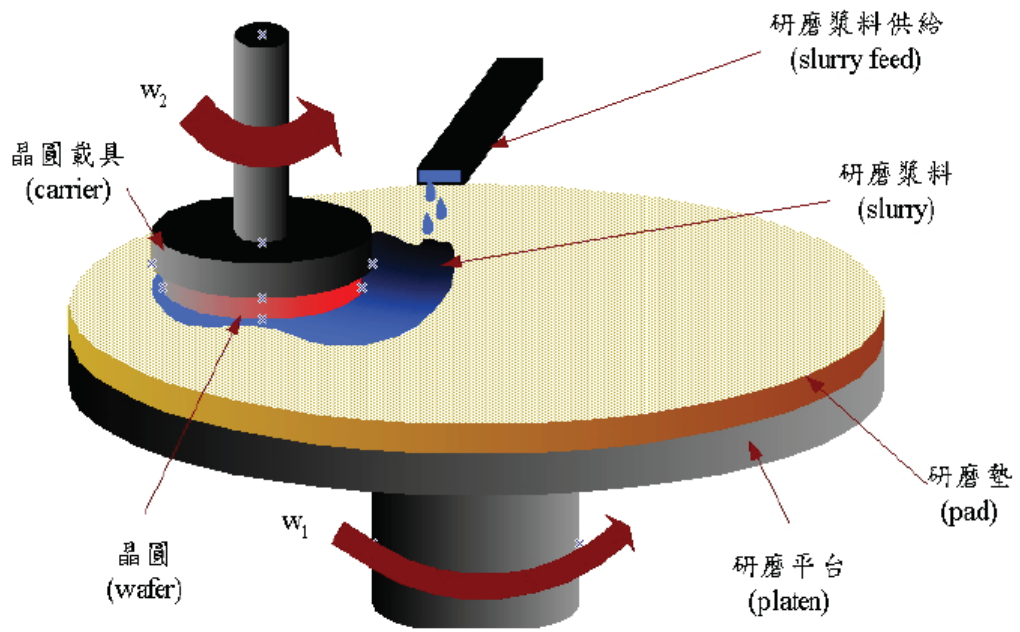


圖 2.2 化學機械研磨架構簡圖[7]



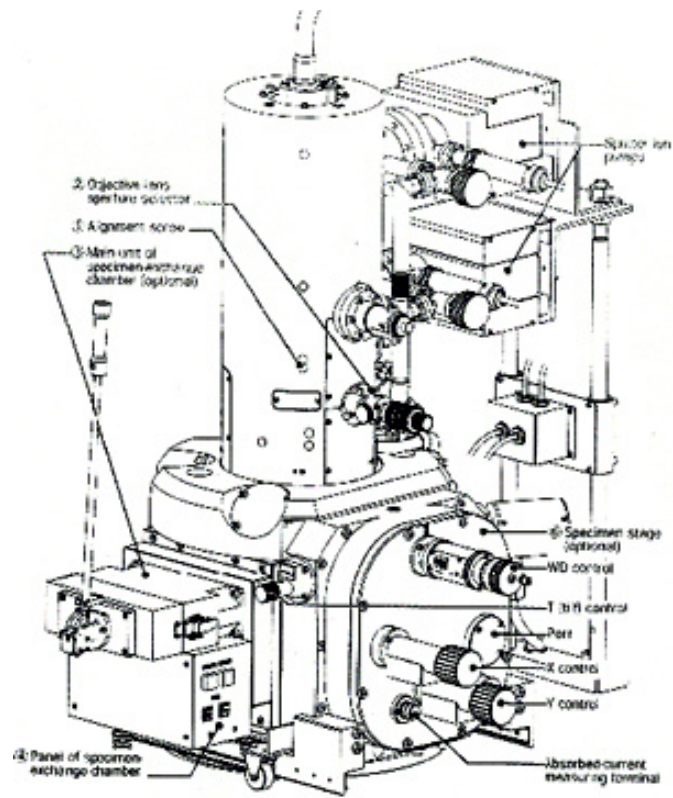


圖 2.3 熱場發射掃描式電子顯微鏡-TFSEM 結構圖[8]

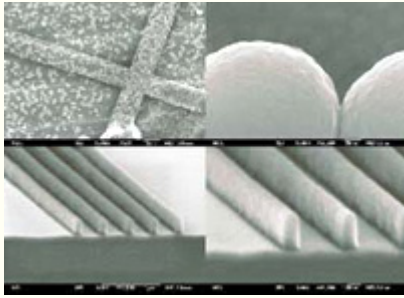

| | 分析項目 | 檢測說明 | 範例 |
|---|-----------------|------------|--|
| 1 | SEI (二次電子影像) | 檢測樣品表面形貌觀測 |  |
| 2 | BEI (反射電子影像) | 化學組成差異影像觀測 |  |

圖 2.4 影像觀測顯示圖 [8]

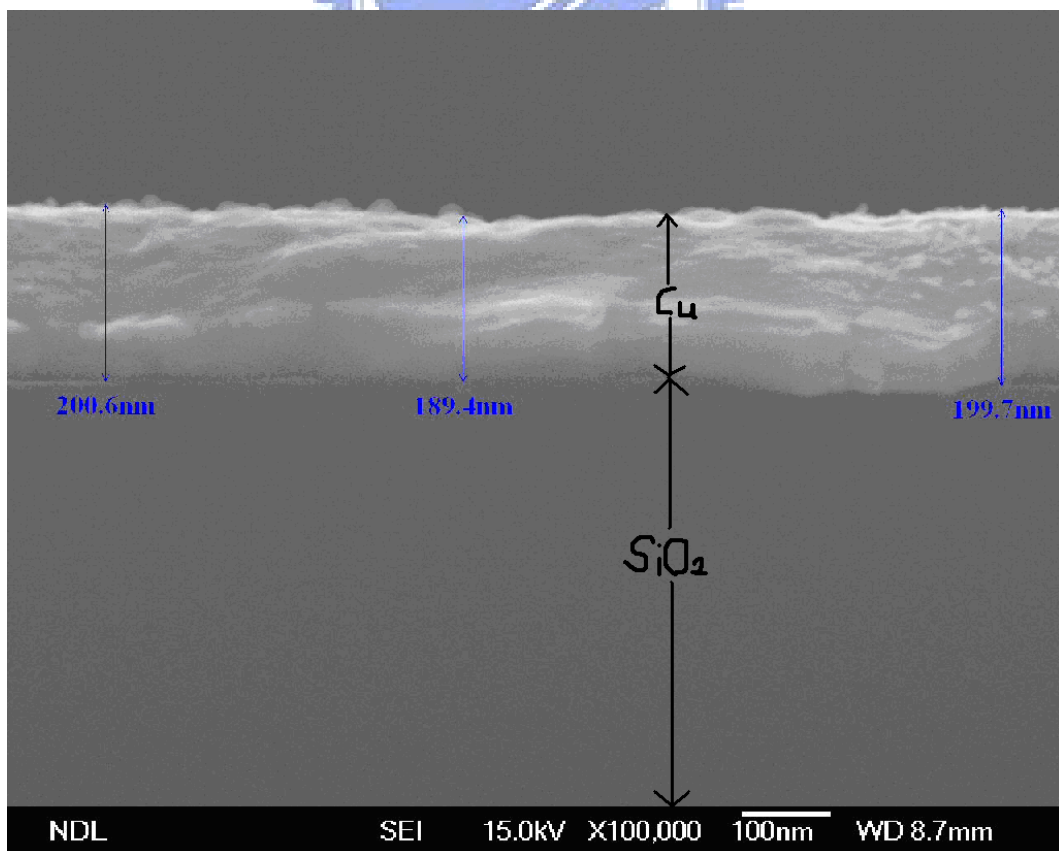


圖 2.5 熱場發射掃描式電子顯微鏡掃出之圖

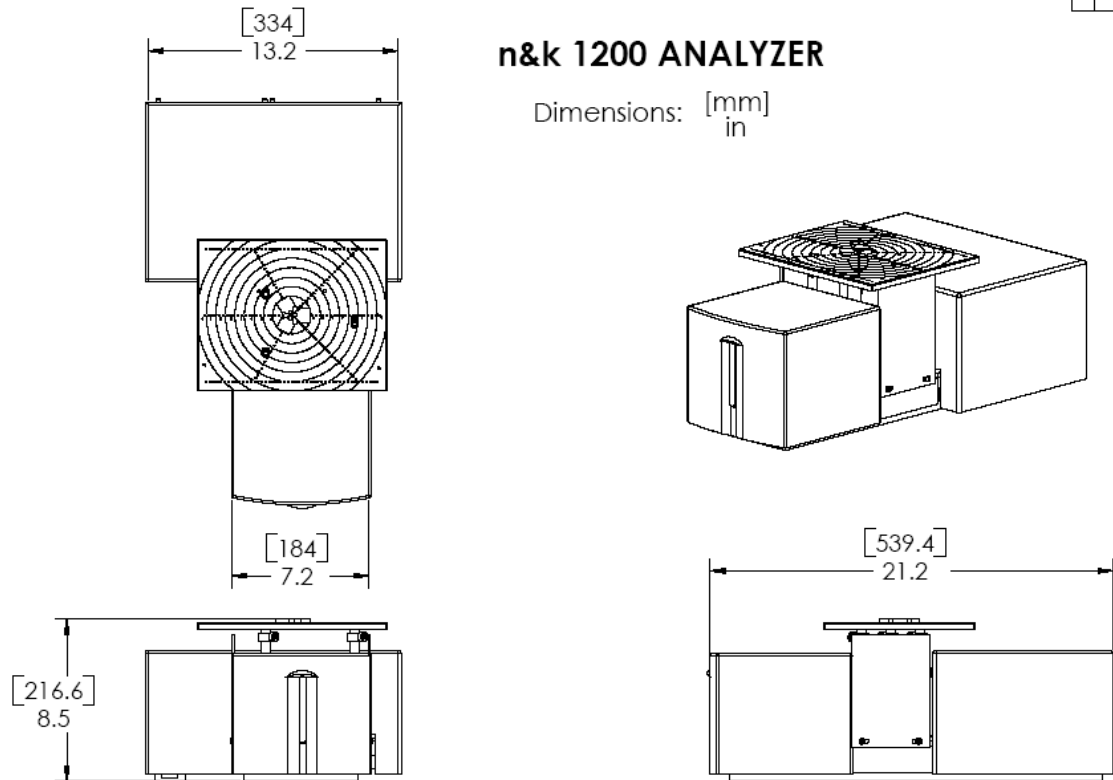


圖 2.6 n&k-薄膜測厚儀結構圖[8]



圖 2.7 NK1500-薄膜厚度分析儀外觀[8]

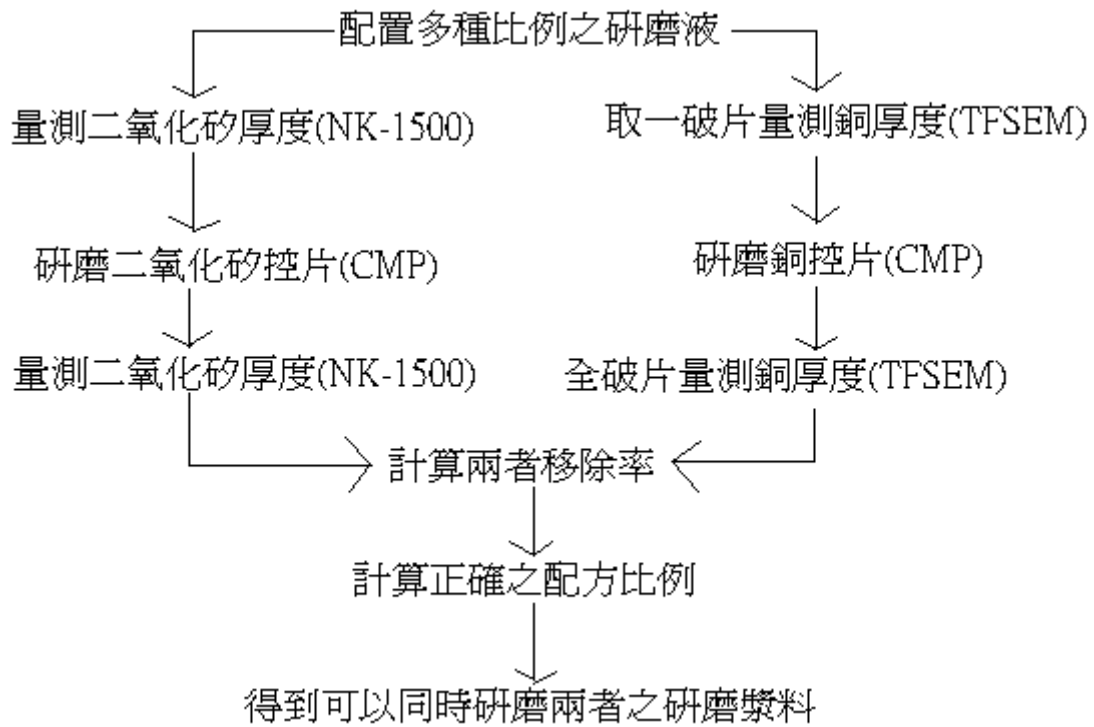


圖 2.8 配置研磨將膠流程圖

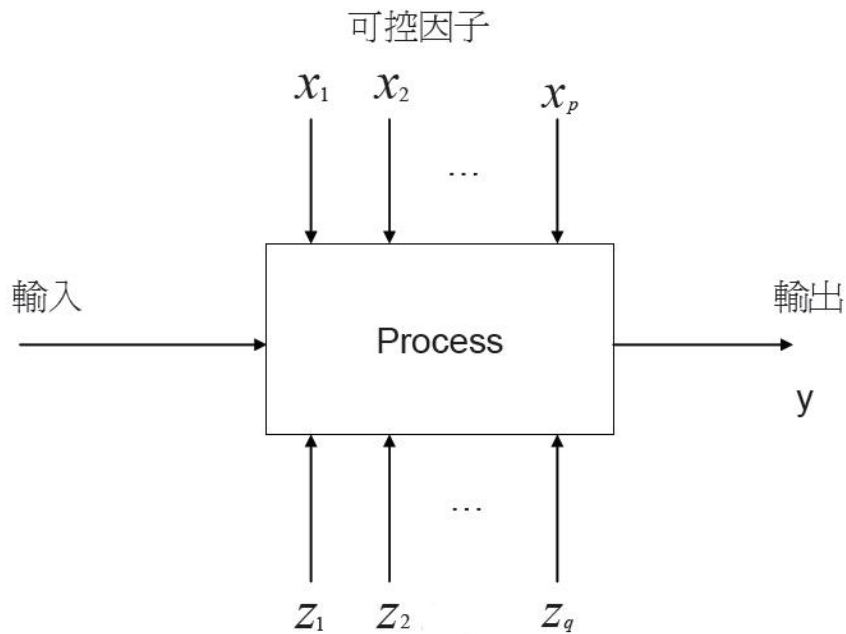


圖 3.1 製程或系統模圖[13]


```

File Edit Text Desktop Window Help
1 |clc;clear
2 |%-----CMP實驗Model的數據-----%
3 |K_eRR=6*3/100;K_eNPI=40*3/100;Disturbance_input=[3*2/100;30*2/100];
4 |Downforce=[2:2:6];
5 |Speed=[20:10:40];
6 |[Downforce,Speed]=meshgrid(Downforce,Speed);
7 |RR_actual=[5.444018519 6.8315 8.622703704;4.944925926 7.85312963 11.38218519
8 |NPI_actual=[29.69651399 31.04358263 24.19172943;39.30558007 45.43952508 28.0
9
10 |out1=[RR_actual(:)]';
11 |out2=[NPI_actual(:)]';
12 |out=[out1;out2];
13 |innin1=Downforce(:)';
14 |innin2=Speed(:)';
15 |innin=[innin1;innin2];
16 |%-----%
17

```

圖 3.2 MATLAB 7.0 程式介面圖

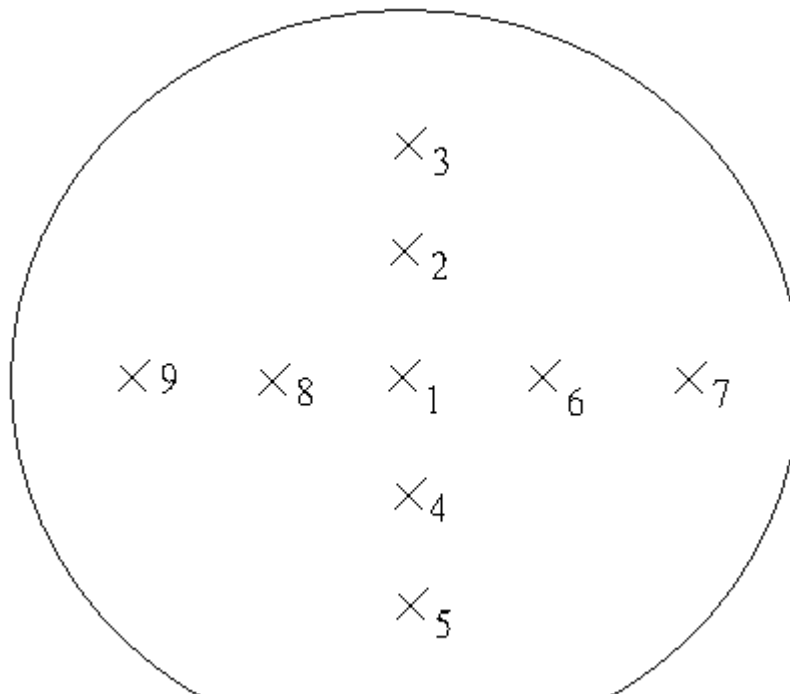


圖 4.1 n&k 薄膜測厚儀量測之 9 點之簡圖

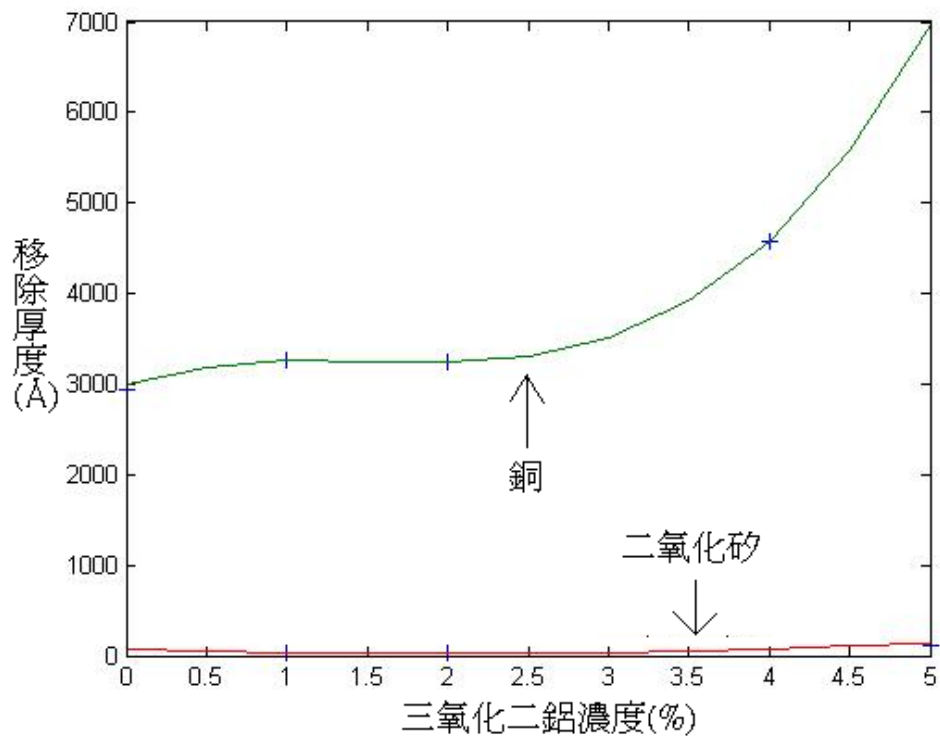


圖 5.1 Al_2O_3 對 Cu 及 SiO_2 之移除率比較圖

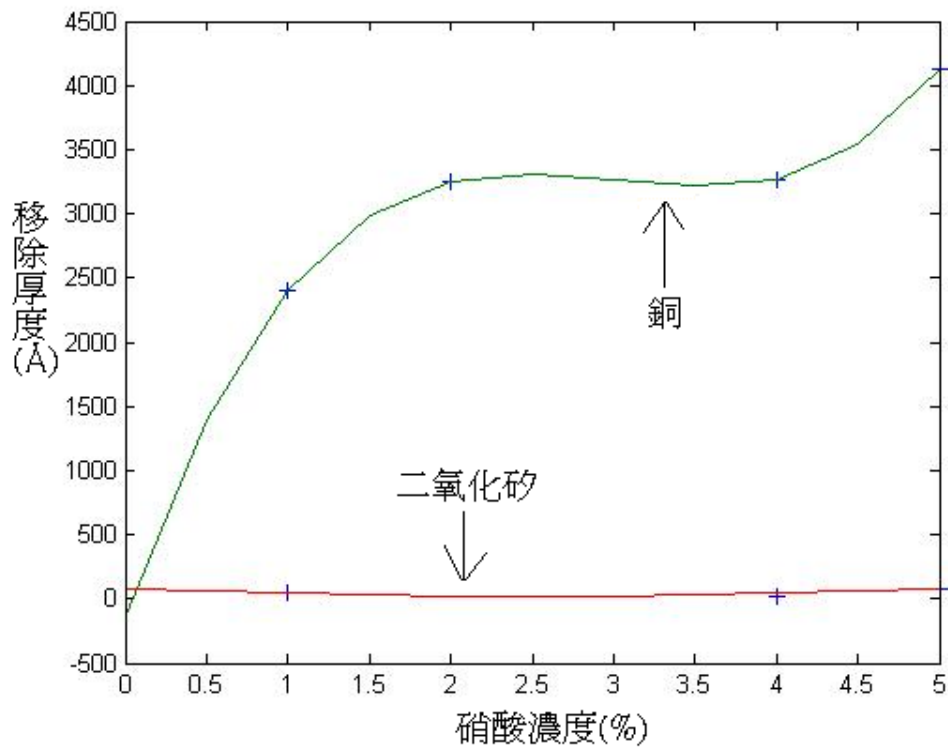


圖 5.2 硝酸對 Cu 及 SiO_2 之移除率比較圖

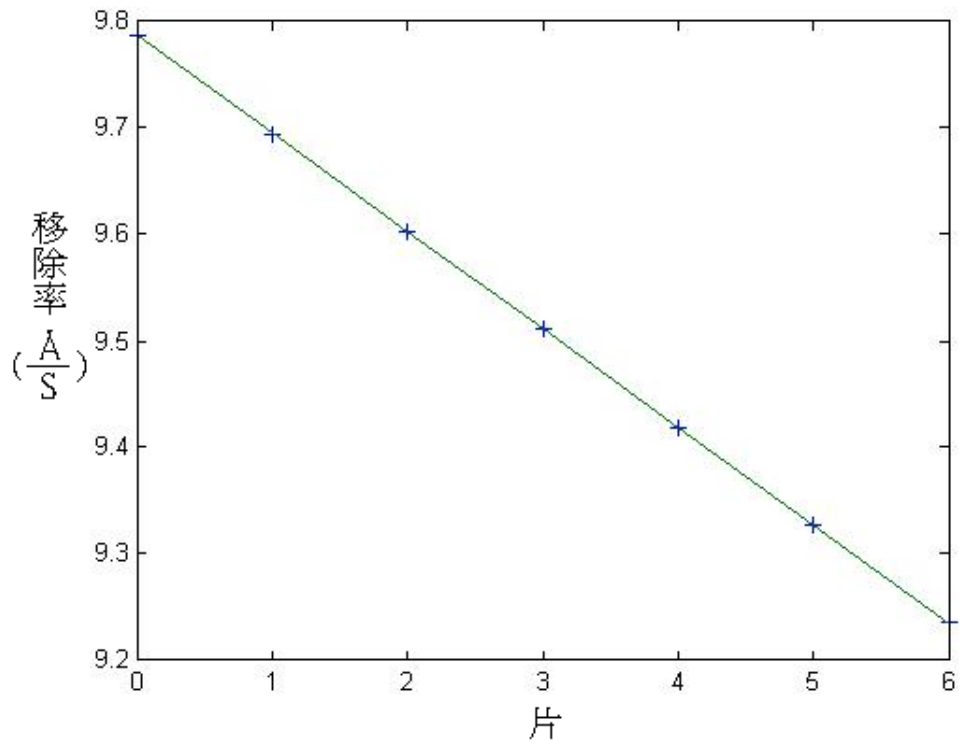


圖 5.3 SiO₂控片之移除率下降模型圖

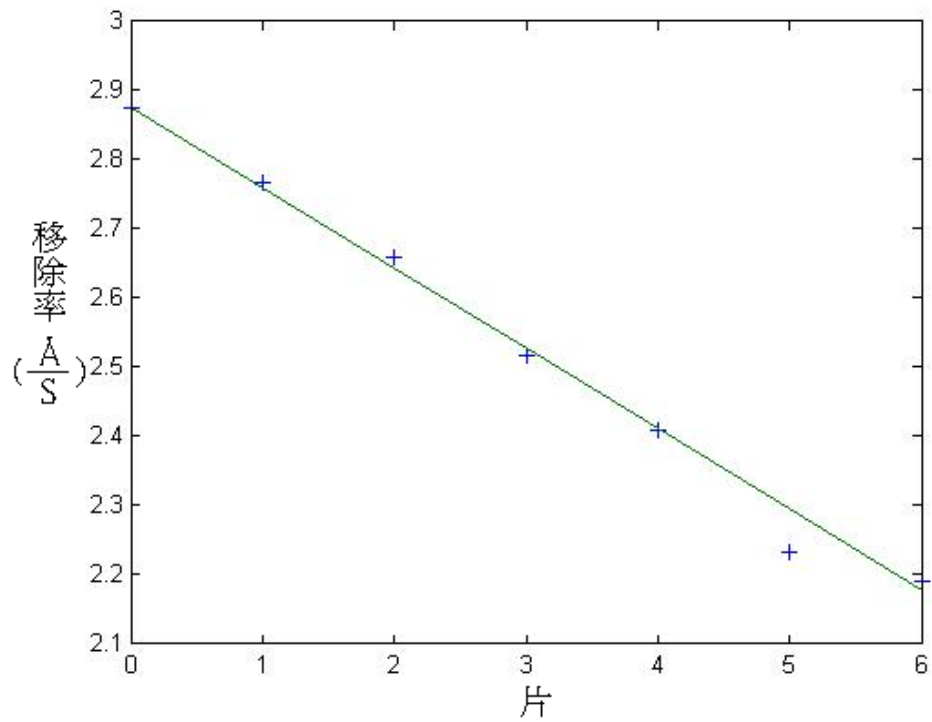


圖 5.4 樣片之移除率下降模型圖

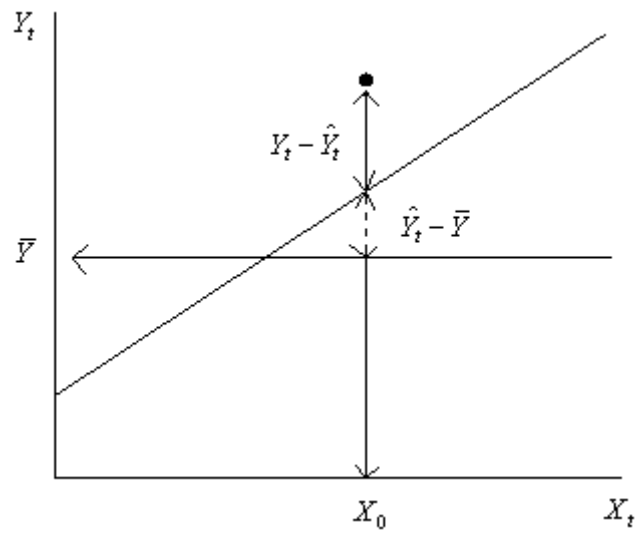


圖 5.5 總誤差 $Y_t - \bar{Y}$ 之分割圖[12]

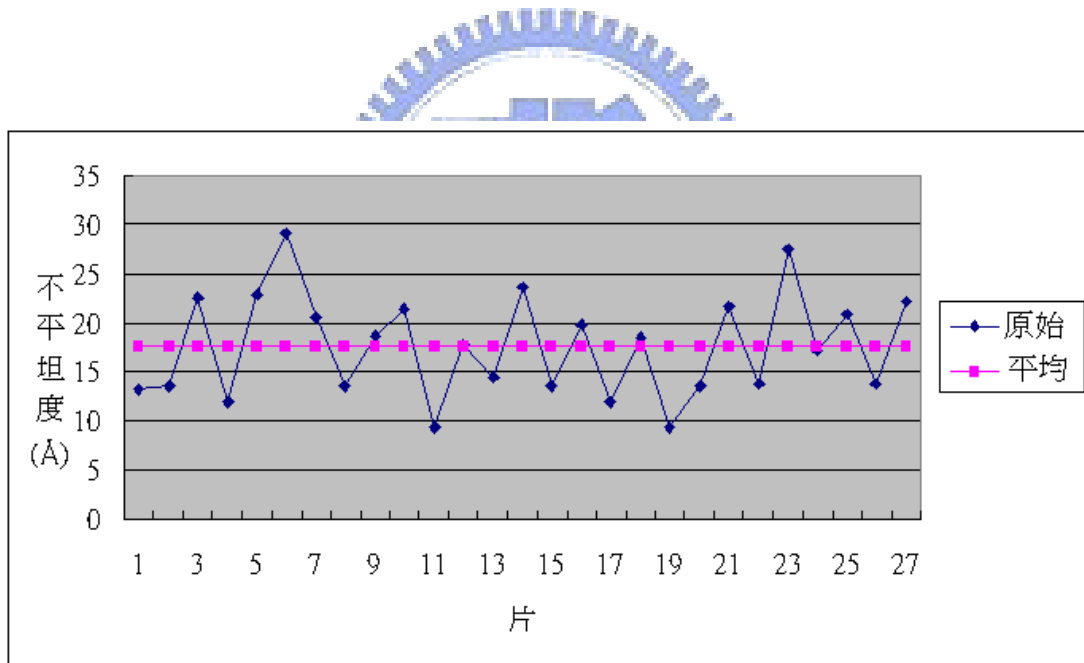


圖 5.6 SiO_2 之控片不平坦度

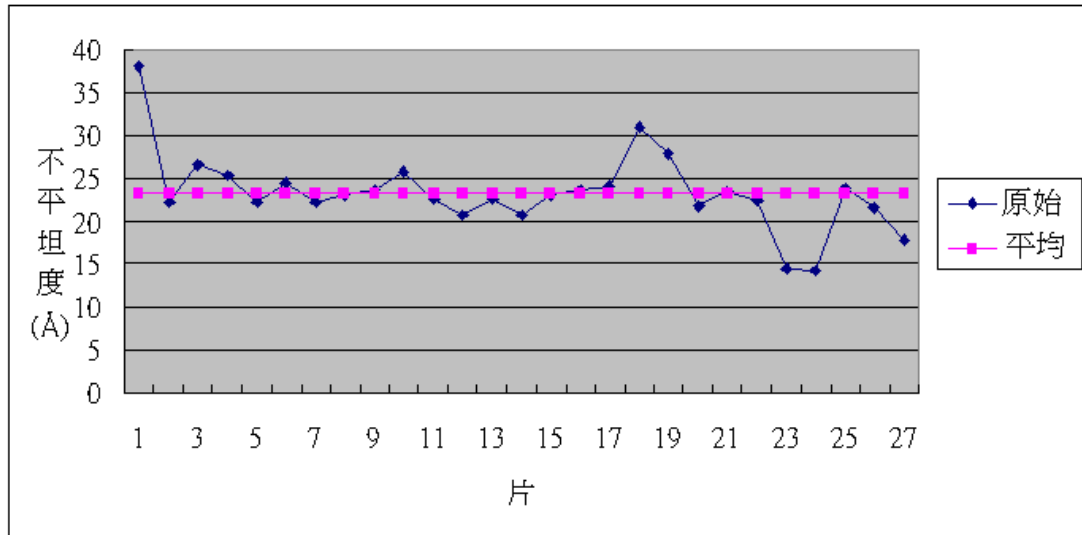


圖 5.7 樣片不平坦度

