

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## CMP 晶圓壓力分佈實測技術的研究與應用

### Study of the Wafer Pressure Distribution Measurement on CMP

計畫編號：NSC 89-2212-E-009-063-

執行期限：90 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

主持人：鄭璧瑩 國立交通大學機械工程研究所

#### 一、中文摘要

在半導體製程當中，相對於其他製程的發展 CMP（化學機械拋光）仍屬較新進的一環，且因對製程參數尚難掌握完整資料，而這些參數往往對其產量與良率關係密切，因此還有很多研究的空間。在半導體業競爭激烈與高良率的要求下，廠商亟思在現有 CMP 機台下提高其產量與良率，本計畫針對化學機械拋光機台，做些些微的調整以求能在不用更換機器下，進而達成提高產量與良率的目的。本計畫研究成果主要是提出感壓紙量測晶圓面壓力分佈法來求得其晶圓真正的受壓分佈，並結合各點研磨速率的分析，之後再分析相關的影響參數，建立有效的研磨移除率的評估模式，進而探討使晶圓上的研磨移除率更大，晶圓表面平整度更均勻的方法。由研究數據顯示，本研究所提出的方法對於 CMP 晶圓拋光效率的評估甚有助益。

**關鍵詞：**化學機械拋光、晶圓面壓力分佈量測法、研磨移除率

#### Abstract

Chemical Mechanical Polishing is still a relatively immature process in semiconductor manufacturing and as such has room to grow to get process parameters understood well enough to gain the highest productivity for existing tool sets. At the requirement of high yield, the semiconductor manufacturers want to improve the yield without buying new machines. This paper will focus on understanding process parameters and then adjust some process parameters to improve yield. This paper will promote the methods of pressure measurement to measure real distribution of pressure in wafer's surface. And by combining the analysis of polishing velocity, we can establish an efficient model to evaluate the uniformity of polishing rate.

**Keywords:** CMP, pressure distribution, removal rate.

#### 二、緣由與目的

本研究的目標乃在於改良現有的 CMP 設備，期能獲得較佳的晶圓拋光的良率。而良率和晶圓的表面狀態及製程參數相關，但晶圓研磨後表面狀態則主要還是取決於晶圓表面的研磨移除率與

表面均勻度，不過影響化學機械研磨機台研磨移除率的因子，又由文獻整理可知與研漿成分、施壓大小、研磨相對速度、研磨墊材質、研磨顆粒的大小分佈、溫度、PH 值等相關。本研究中只針對影想較明顯的晶圓面壓力分佈與施壓大小的量測技術做探討，其中晶圓表面所受的壓力分佈，將由實驗與理論進行分析與探討，而有關速度分析則是藉助純理論分析與模擬所得資料。最後再利用其壓力分佈與速度分析來調整機台設定值與研磨墊尺寸，期能得一較佳的研磨移除率。

#### 三、理論與設備

關於 CMP 設備，茲舉 IPEC/Westech Avanti 472 型 CMP 拋光機(圖 1)為例加以說明。其主要是由拋光平台、清洗平台、化學研磨液管路、及一個監測與設定的顯示器等組合而成的。但為了避免讓研磨後的晶圓在運送途中殘留的化學研磨液固化，因而影響晶圓均勻度，因此未來的機台將朝研磨機台和清洗設備合而為一，且再加一線上終點檢測器，使其能即時地監控晶圓的研磨效益，並增加生產率及製程彈性。也可減少因研磨厚度未達預期而重新研磨的次數，並可及早獲知因研磨墊耗損造成之磨除率下降及研磨不均勻性變差。本研究的部分則針對研磨機械、研磨墊、及研磨平台這部分做一些探討，由設備和運作過程來看，機台可供設計的參數應為研磨墊的材質、研磨劑、研磨平台的轉速、機械手臂的運動設定（如臂長和運動方程式等）、施壓大小、載具的轉速、研磨時間等。但由於研磨墊材質與研磨液成分影響過於複雜，所以本研究的重點是發展 CMP 晶圓壓力分佈量測法，利用所測得之壓力分佈與速度分析來評估及調整機台設定值與研磨墊尺寸，期能得一較佳的研磨移除率。

#### 壓力分佈

雖然已有眾多的文獻整理出晶圓的壓力分佈，但其中卻不盡相同，主要是理論值會隨著假設條件不同，而得到不同的結果，且理論值並不一定能真正地反映出真實的壓力分佈。所以本研究中壓力的來源，規劃了兩部分。一為由感測裝置求得真實的壓力分佈，即為實驗值；另一個則是由整理文獻而得的理論數值分析值。

文章中 [9-16]

## 壓力分析 ANSYS 數值分析理論值

晶圓壓力分佈採用有限元素分析的方法來進行晶圓、載具墊塊與研磨墊之間的接觸壓力電腦模擬分析。設接觸物為線性彈性連體 (Linearized elasticity continuum mechanism)，其組成材料具有等向性 (Isotropic) 及均質性 (Homogeneous)，依據 CMP 載具機構與晶圓之間的變位關係，建立彼此間的接觸束制條件式，利用拉葛郎奇乘子分析模式 (Lagrangian Multiplier) 法則及最小總勢能之觀念，將推得系統間的有限元素法勢能平衡方程式。利用牛頓拉普遜 (Newton Raphson) 數值積分分析法與庫倫 (Columb) 摩擦定律加以判別接觸時的摩擦型態，最後利用有限元素分析軟體求解晶圓與研磨墊之間的壓力分佈，再利用 ANSYS 分析軟體模擬分析出壓力分析如圖 2 所示。

## 研磨移除率

由理論推導出機械相對運動的速度分析，藉由實驗找出壓力的分佈情形，由參考文獻中可整理出各研磨移除率的關係式，在同一機臺下研磨，其研磨液的配方是一樣的，假設研磨液均勻分佈和其對移除率的影響很均勻，在這種假設下，吾人可把研磨液影響因子去除。而且每一次研磨並不改變研磨墊的種類，所以就固定了研磨液和研磨墊種類對研磨移除率的影響。最後只針對壓力和相對速度來求得研磨移除率，而把研磨墊、研磨液與溫度等物性和化性的影響視為一定值。本研究中所使用的移除率公式都將是在這原則下，做壓力和速度分佈的方析，並以此來闡述在那種壓力和速度分佈下，其研磨速率的分佈應為何種分佈，最後再探討其均勻性。利用參考文獻中整理出的移除率公式，較為重要的移除率公式簡介於后：

### 1. 普雷斯敦模式 (Preston equation)

$$R.R = K_p P V$$

2. Tseng<sub>[6]</sub>認為 P 和 V 並非跟移除率只是單純地成線性關係，在考慮了研磨液流場和彈性因素後，把移除率修改為

$$RR = K_m \cdot P^{5/6} \cdot V^{1/2}$$

3. NDL 模式則進一步把研磨墊的物性和研磨液的物性做初步的探討，最後得

$$R.R. = C \cdot \frac{HV_w}{HV_w + HV_p} \left( \frac{1}{E_s} + \frac{1}{E_w} \right) P \cdot V$$
 而此

模式因如機台的研磨墊與研磨液並不更換時，則可視為普雷斯敦模式 (Preston equation)。

4. Rodel 和 IPEC (國際知名半導體設備商) 的技術

$$R.R = K_r P V$$

以上的 P 指的是主軸的施壓大小，而 V 乃晶圓和研磨墊的相對速度。由參考資料可知，CMP 研磨移除率與研磨壓力與研磨相對速度和研磨墊較為相關。

## 四、壓力分佈量測實驗法

### 實驗設備

壓測實驗裝置：

耗材：感壓試片

施壓設備：CMP 化學機械研磨拋光機

影像儲存裝置：

設備：影像擷取裝置

影像轉為數位資料：

需建立一套程式與感壓薄片轉換標準

### 程式設計編寫

一般而言，要分析一實驗壓感圖時。必須經過一些程序才可數值化成壓力，並直接顯現出其壓力曲線。因為平均壓力並非很大，所以其顯現的影像顏色很淡，而無法完全直接用肉眼辨識據體差異值，如圖 3 所示。因此當我們要知道其某一截面的壓力曲線圖時，則必須經過程式把影像圖轉為壓力圖，再經過處理後轉換成平均壓力曲線，而來做初步判斷。然而平均壓力曲線又無法得知壓力分佈是否均勻，所以才有壓力截面圖、扇形壓力平均曲線和 3D 壓力影像圖，使我們能直接看出全域和局部的壓力分佈情形。如範例一說明所示。

所以綜合以上的需求，本計畫所發展的程式功能共包含了影像顯示視窗、檔案總管、繪出全圖平均壓力、截面壓力、扇形平均壓力曲線及輸出入介面等功能。此繪圖功能採多重文件視窗介面，使我們可同時瀏覽比較多個輸出圖。

### 實驗範例一

#### A. 壓力分布實測法

當主軸設定壓力為 20psi、背壓為 4.5 psi 時，晶圓壓力分布的平均壓力曲線、截面曲線、3D 壓力影像圖的實測分析。

實驗設定值為：

壓力：主軸壓力 20psi、背壓為 4.5 psi

其他機台可調值：固定研磨液、研磨墊

實驗機台：化學機械拋光機

實驗結果：晶圓表面壓力分布經實測並分析得平均壓力曲線、截面曲線、3D 壓力影像圖分別如圖 4、圖 5、圖 6 所示。

### 實驗範例二

## B. 壓力分布實測法

實驗設定值為：

主軸壓力：50psi

制壓環內徑：直徑 50mm (O5)、70mm(O7)及 0mm(Seat)

其他機台可調值：研磨液、研磨墊維持近似狀況

實驗機台：化學機械拋光機

實驗結果如圖 7 所示為制壓環尺寸變化對晶圓表面壓力分布之影響。

從圖 7 可知不管制壓環種類是 Seat、O5 或 O7，其壓力分佈曲線中距中心軸 0mm~6mm 之間會有一相較 6mm~90mm 區域的急速突起點。Seat 和 O5 的壓力分佈曲線在 0mm~6mm 都會呈現出一尖峰分佈，但 O7 在這區塊則相對平緩。之後 O5、O7、Seat 在 6mm~15mm 這區域也有一尖峰分佈，隨後在 15mm~95mm 間，其壓力則呈現一漸增的趨勢。不過曲線在 95mm 後則壓力快速上升，直到 98.5 附近才開始又轉折向下。由此實驗結果可得知實際磨耗效應發生在 95mm~100mm 這區段中。為了初步推論 O5、O7 及 Seat 到底用哪一種制壓環尺寸，其對晶圓表面壓力分佈的影響最好，因此吾人用求出其最佳參考平面方程式，並用最小平方法來評估其分佈之均勻性。

表 1. 範例一晶圓表面壓力分布趨勢比較表

| 制壓環尺寸 | 壓力分布趨勢                 | 最小平方差  |
|-------|------------------------|--------|
| Seat  | $y = 0.0223x + 12.55$  | 0.172  |
| O5    | $y = 0.0569x + 11.087$ | 0.5613 |
| O7    | $y = 0.0179x + 11.612$ | 0.1097 |

所以由最小平方差的值來看，在所使用制壓環種類 O5、O7 及 Seat 中，經實測後的統計分析知，以 O7 的晶圓壓力分佈曲線壓力較均勻。

## C. ANSYS 數值分析解

1. 幾何模型示意圖及材料參數設定，如圖 8 所示。

2. 元素設定

a. 接觸元素 (Contact48) 摩擦力設定 0.1。

b. 平面軸對稱元素 (Plane42 and Option 1)。

3. 模擬結果

在先前的條件設定下，利用有限元素法可得制壓環尺寸改變時，其晶圓表面壓力分佈曲線圖表如圖 9 所示。

由圖 9 可知不論制壓環的尺寸是 O5、O7 還是 O8，其壓力分佈在距晶圓中心軸 0mm~6mm 區域內都會有一突起的最高值，之後距晶圓中心軸 6mm~88mm 這區域，則會呈現一遞減的狀態。隨後在 88mm~95mm 這區域壓力呈現出一較緩的上

升，但在 95mm~97mm 區域壓力呈現出較陡的上升趨勢，不過到了 97mm 又快速地下降直到距晶圓中心軸 99mm，隨後 99mm~100mm 這區域壓力又快速的爬升。所以由 ANSYS 分析的結果圖可知邊緣磨耗效應發生在 95mm~100mm 這區域裡。

## C. 實驗和理論趨勢比較與分析

從感測壓力實驗曲線和 ANSYS 分析圖中，若直接觀察的話可發現幾個相似點與相異處。共通處：

1. 兩圖中的壓力分佈曲線，不管是 O5、O7 還是 Seat 其造成的壓力分佈曲線中 0mm~6mm 區域都會一相對 6mm~95mm 較高的尖峰分佈。
2. 在 95mm~100mm 區域中都會有一 edge effect(邊際效應)發生，且其壓力分佈都是在距中心軸 95mm 開始發生。

相異處：

1. 雖說 Edge effect 都發生在 95mm~100mm 區域中，但其起伏卻不太一致，在實驗的壓力分佈曲線中看不到 ANSYS 分佈圖中 97mm~100mm 區域 V 字形的分佈，而是 95mm~98.5mm 區域壓力為快速上升，直到 98.5 附近才開始又轉折向下。

## 五、結論

綜合以上的結論，吾人發現背壓的施加確實對晶圓壓力分佈有明顯的改善。且利用本研究建立的晶圓表面壓力量測分析與判讀，將可使用在更換 CMP 機臺耗材或元件時，直接得知元件是否安裝正確或有瑕疵(如壓板的平坦度等)，節省還須研磨測試片的時間。如再配合壓移除均勻度的模式，則可根據其晶圓表面壓力分佈的情形，來修改研磨墊的尺寸，使拋光機臺作用在晶圓表面每一點的研磨移除量變的更均勻。

## 六、參考文獻

1. 由化學研磨機制談化學機械研磨設備 戴寶通 電子月刊第三卷第四期
2. F. Preston, J. Soc. Glass Technol., Vol. 11, 1927, pp. 247
3. "Modeling of the wear Mechanism during Chemical-Mechanical Polishing," C. W. Liu, B. T. Tseng. and C. F. Yeh, J. Electrochem. Soc. 143(1996)716
4. Chemical Mechanical Planarization: An Analysis of Variables P. J. Parikh(IPEC)
5. Threshold pressure and its influence in chemical mechanical polishing for IC fabrication. Bin Zhao; Shi, F.G. Electron Devices Meeting, 1998. IEDM '98 Technical Digest., International, 1998, Page(s): 341 -344
6. VLSI 技術製造 莊達人編著
7. CMP profile simulation using an elastic model based on nonlinear contact analysis. Yoo-Hyon Kim; Tai-Kyung Kim; Hoong-Joo Lee; Jeong-Taek Kong; Sang-Hoon Lee Simulation of Semiconductor Processes and Devices, 1997. SISPAD '97., 1997 International Conference on, 1997, Page(s): 69 -72
8. Modeling tool for chemical-mechanical polishing design and evaluation. Runnels, S. R.; Kim, I.; Schleuter, J.; Karlsrud, C.; Desai, M. Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on Volume: 11 3, Aug. 1998, Page(s): 501 -510

## 七、誌謝

本研究承蒙國科會 NSC 89-2212-E-009-063-專題研究計畫補助得以順利完成，特此致謝。

## 八、圖表

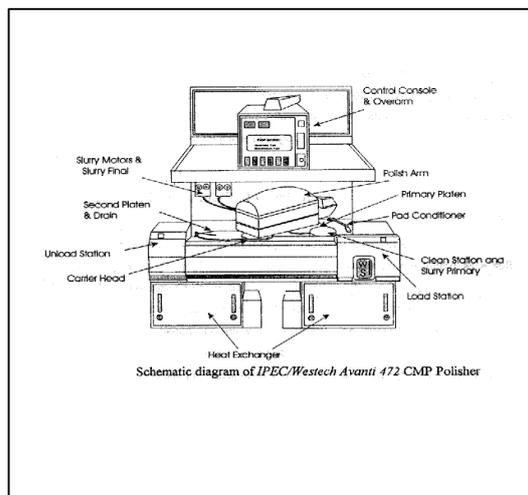


圖 1、IPEC Avanti 472 型 CMP 拋光機

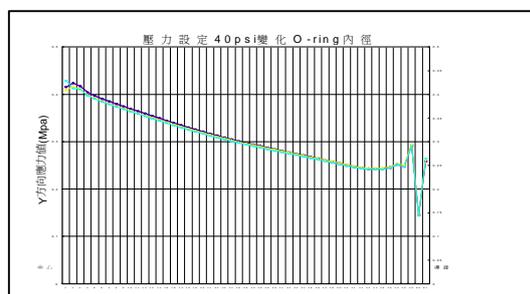


圖 2、壓力分佈圖(ANSYS 分析結果)

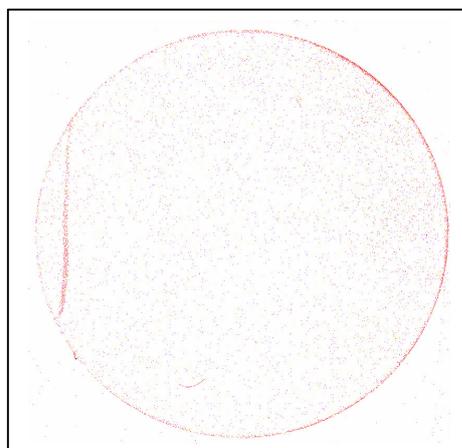


圖 3、感壓紙影像圖 (主軸壓力 10Psi、背壓 0Psi)

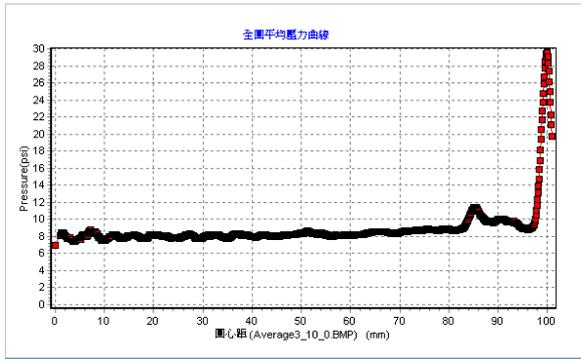


圖 4、晶圓全圓平均壓力實測曲線圖

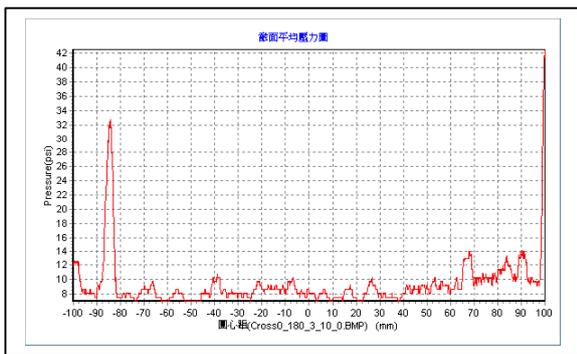


圖 5、晶圓截面壓力實測分佈圖(截面 0 度-180 度)

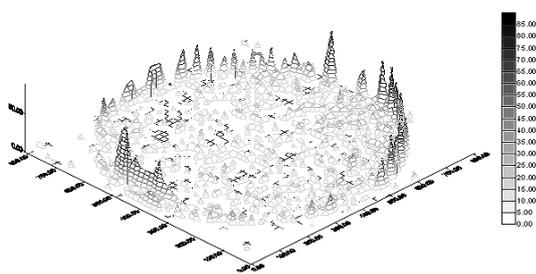


圖 6、晶圓全圓壓力分布 3D 影像圖

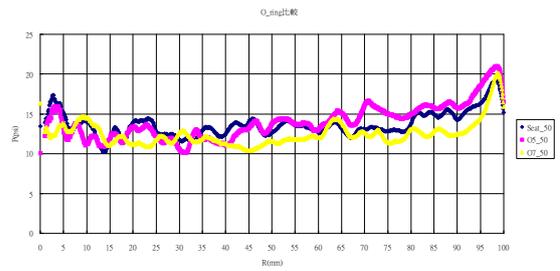


圖 7、制壓環尺寸變化對晶圓表面壓力分佈之影響(實驗)

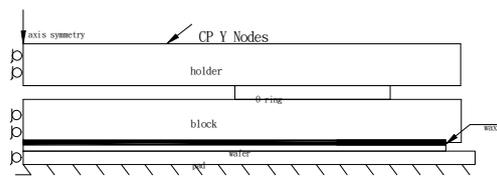


圖 8、ANSYS 模擬採用的幾何模型示意圖

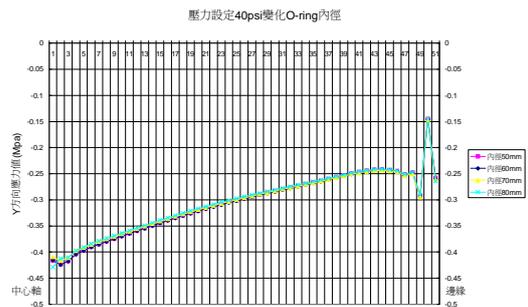


圖 9、主壓 50Psi 下制壓環尺寸變化對晶圓表面壓力分佈之影響