

國立交通大學

工學院半導體材料與製程設備學程

碩士論文

鑽石修整器修整特性對化學機械研磨

製程的細微刮傷缺陷之影響

(Effects of Diamond Disk Dressed Characteristics
on the Micro-Scratch Defect of CMP process)

指導教授：陳仁浩 教授

研究生：蔡進晃

中華民國102年01月

鑽石修整器修整特性對化學機械研磨製程的細微刮傷缺陷之影響

Effects of Diamond Disk Dressed Characteristics

On the Micro-Scratch Defect of CMP process

研 究 生：蔡進晃

Student : Chin-Huang Tsai

指 導 教 授：陳仁浩教授

Advisor : Dr. Ren-Haw Chen

國 立 交 通 大 學

工學院半導體材料與製程設備學程

碩 士 論 文

A Thesis

Submitted to Degree Program of Semiconductor Material and Process Equipment

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

in

Degree Program of Semiconductor Material and Process Equipment

June 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 102 年 01 月

鑽石修整器修整特性對化學機械研磨 製程的細微刮傷缺陷之影響

研究生：蔡進晃

指導教授：陳仁浩教授

工學院半導體材料與製程設備學程

摘要

隨著積體電路電子元件的蓬勃發展，為了有效提高產能以及降低成本，在半導體製程上會朝向提高深寬比且日趨積層化以及微細化，因此晶圓表面的平坦化就變的越趨重要。平坦化的技術包括 SOG (Spin on Glass)、Re-flow, Etch Back 等，這些方法都只能達到局部的平坦化的效果而已，在高階的製程(如 0.25 微米以下)就已經全面使用化學機械拋光的技術來達到全面平坦化的效果。

研磨墊修整器(Pad Dresser)為 CMP 製程維持長時間穩定晶圓移除率和均勻性的關鍵組件，但對於修整器上鑽石磨粒之排列、晶型、尺寸大小對磨削多孔性研磨墊材料基本磨削移除率(cutting Rate)以及研磨墊表面粗糙度(Ra & Rz)與細微刮傷缺陷(micro-scratch)的關聯，截至目前為止仍未有文獻對此基本過程進行實驗觀察。

因此本研究以自行設計的實驗深入觀察不同鑽石排列間距、鑽石尺寸以及鑽石晶型之修整器，在相同條件下犁削研磨墊,並測量研磨墊的深度以及表面粗糙度，歸納出多孔性研磨墊材料被不同研磨墊修整器來磨削時研磨墊耗損率及研磨墊表面粗糙度，及其對 CMP 製程細微刮傷缺陷率(defect rate)的影響，希望經由此一研究獲得適當且穩定的修整器，進而提升 CMP 製程能力，降低細微刮傷缺陷率，進而提升良率並降低製程成本。

Effects of Diamond Disk Dressed Characteristics

On the Micro-Scratch Defect of CMP process

Student : Chin-Huang Tsai

Advisor : Dr. Ren-Haw Chen

Degree Program of Semiconductor Material and Process Equipment College of
Engineering National Chiao Tung University

Abstract

With the vigorous development of the integrated circuit electronic components, in order to effectively increase productivity and reduce costs, the aspect ratio in the semiconductor manufacturing process is raised and the chip design become laminated and miniaturization, so the wafer surface planarization becomes increasingly important.

Planarization techniques include SOG (Spin on Glass), Re-flow, Etch Back, these methods only achieve partial flattening effect, In the order of the manufacturing process (such as 0.25 microns or less) has been full use of chemical-mechanical polishing techniques to achieve full planarization effect.

Abrasive pad dresser (Pad Dresser) maintain long stable wafer removal rate and uniformity of the key components of CMP process, but for the arrangement of diamond abrasive grains on the trimmer, crystal type, the size of grinding the porous polishing pad material the basic grinding removal rate (Cutting Rate) and the polishing pad surface roughness (Ra and Rz) of subtle scratches defects (micro-scratch) associated, so far there is no literature experimental observation of this basic process.

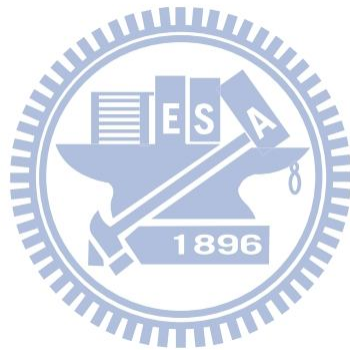
Therefore, this study own insight into the design of experimental in different dresser diamond arrangement pitch,size and polymorph plow under the same conditions the process of the polishing pad, and measuring the depth of the polishing pad and the polishing pad surface roughness summed porous grinding depletion rate pad material different polishing pad dresser to the grinding polishing pad and polishing pad surface roughness, and its CMP process micro-scratch defect rate (defect rate).Appropriate and stable dresser, hope through this study to enhance the ability of CMP process, reduce the defect rate of minor scratches, and thus enhance the yield and reduce the cost of the process.

誌謝

首先感謝指導教授 陳仁浩老師在研究過程中給予指導以及協助，使得本論文得以順利完成，在此謹獻上最誠摯的敬意與謝忱。

另外也要感謝穎傳科技和 SHIN-HAN Diamond Disk 相關工程人員，提供鑽石修整器及其他設備與資料使得本實驗研究得以順利完成。

最後感謝家人的支持與鼓勵，讓我無後顧之憂，堅持到最後完成學業，謝謝大家。



目錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
目錄	iv
圖目錄	vi
表目錄	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機與目的	4
1.3 文獻回顧	5
1.4 研究方法	9
第二章 化學機械研磨製程之介紹	10
2.1 化學機械研磨與平坦化方法	10
2.1.1 平坦化之重要性	10
2.1.2 平坦化技術	12
2.2 化學機械研磨原理	14
2.3 化學機械研磨之研磨機制與組成	16
2.4 化學機械研磨之研磨墊	17
2.5 鑽石修整器之簡介	20
2.6 鑽石修整器之種類及其特性	20
2.6.1 鑽石種類	20
2.6.2 鑽石固定方式	21
第三章 鑽石修整器的設計對化學機械研磨製程的影響之實驗	24
3.1 實驗規劃	24
3.2 實驗材料與設備	24
3.2.1 修整器之製作	24
3.2.2 研磨墊	25

3.2.3 研磨墊耗損率 PCR 實驗	26
3.2.4 長時間研磨墊耗損率 CETR 實驗	27
3.2.5 PCR 與 CETR 的差異	29
3.2.6 實際上機研磨實驗	29
3.3 量測方法	31
3.3.1 粗糙度(Ra/Rz) 量測機台和條件	31
3.3.2 細微刮痕缺陷檢測	32
3.4 表面粗糙度 Ra 與 Rz 定義	33
第四章 實驗結果與討論	35
4.1 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性	35
4.1.1 鑽石排列間距對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響	35
4.1.2 鑽石尺寸大小對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響	35
4.1.3 鑽石晶型對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響	36
4.1.4 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性與探討	38
4.2 不同設計的鑽石碟盤對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的關聯性	38
4.2.1 鑽石排列間距對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響	39
4.2.2 鑽石尺寸大小化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響	40
4.2.3 鑽石晶型對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響	40
4.3 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的關聯性與探討	41
第五章 結論與展望	45
5.1 結論	45
5.2 未來之展望	46
第六章 參考文獻	48

圖目錄

圖 1-1 單面化學機械拋光機台的基本模式圖.....	1
圖 1-2 修整器表面磨粒過高造成過高的修整率.....	3
圖 1-3 修整器表面磨粒過低造成修整不完全.....	3
圖 2-1 有無CMP平坦化之IC截面.....	10
圖 2-2 平坦化對黃光曝光之影響.....	11
圖 2-3 平坦化防止金屬導線側壁薄化.....	11
圖 2-4 平坦化對金屬導線 etch之影響.....	12
圖 2-5 回蝕刻法.....	12
圖 2-6 流動法.....	13
圖 2-7 薄膜成長法.....	13
圖 2-8 化學機械研磨法.....	13
圖 2-9 化學機械研磨配置.....	14
圖 2-10 介電質CMP研磨機制.....	15
圖 2-11 Tungsten CMP研磨機制.....	16
圖 2-12 化學機械研磨之研磨機制.....	17
圖 2-13 Erosion & Dishing 示意圖.....	18
圖 2-14 電鍍法.....	21
圖 2-15 硬焊法.....	21
圖 2-16 電鍍法表面型態.....	22
圖 2-17 硬焊法表面型態.....	22
圖 2-18 電鍍法與硬焊法表面型態與鑽石排列差異.....	22
圖 2-19 鑽石斷裂示意圖.....	23
圖 3-1 實驗規劃流程圖.....	24
圖 3-2 研磨墊溝槽示意圖.....	25

圖 3-3 研磨墊初始耗損率機台配置圖.....	26
圖 3-4 觸摸式探頭磨耗厚度量	27
圖 3-5 Bruker CETR 機台 vs. Mahr - MarSurf PSI 機台.....	28
圖 3-6 研磨墊耗損厚度與時間的關係圖.....	29
圖 3-7 研磨墊經初始修整器修整.....	29
圖 3-8 鑽石修整器移動路徑距離及擺動頻率.....	30
圖 3-9 美商應用材料AMAT 300mm Reflexion CMP機台外觀.....	30
圖 3-10 美商應用材料 AMAT 300mm Reflexion CMP 機台構造.....	31
圖 3-11 Mahr - MarSurf PSI 粗糙度量測機台外觀.....	31
圖 3-12 研磨墊粗糙度量測量測點定義描述.....	32
圖 3-13 研磨墊上粗糙度量測點.....	32
圖 3-14 Mahr - MarSurf PSI粗糙度量測過程.....	32
圖 3-15 Blanket wafer Particles 檢測(KLA-SPI)機台外觀與規格.....	33
圖 3-16 Ra: 中心線平均粗糙度定義示意圖.....	34
圖 3-17 Rz: 十點平均粗糙度定義示意圖.....	34
圖 4-1 CETR & PCR 與鑽石排列間距關係圖.....	35
圖 4-2 Ra & Rz 與鑽石排列間距關係圖.....	35
圖 4-3 CETR & PCR 與鑽石尺寸大小關係圖.....	36
圖 4-4 Ra & Rz 與鑽石尺寸大小關係圖.....	36
圖 4-5 鑽石在電子與光學顯微鏡下之型態.....	37
圖 4-6 鑽石晶型、尺寸與強度關係圖.....	37
圖 4-7 CETR & PCR 與鑽石晶型關係圖.....	38
圖 4-8 Ra & Rz 與鑽石晶型關係圖.....	38
圖 4-9 鑽石修整器移動路徑距離及擺動頻率.....	39
圖 4-10 不同的鑽石距離之修整器形成之細微刮痕缺陷.....	39
圖 4-11 不同的鑽石尺寸大小之修整器形成之細微刮痕缺陷.....	40

圖 4-12 不同的鑽石晶型之修整器形成之細微刮痕缺陷.....	41
圖 4-13 Rz 與 u-scratch 關係圖.....	41
圖 4-14 Ra與u-scratch關係圖.....	42
圖 4-15 PCR 與 u-scratch 關係圖.....	42
圖 4-16 PCR & Ra 與 u-scratch 關係圖.....	42
圖 4-17 CETR與u-scratch關係圖.....	43
圖 4-18 PCR & Rz 與 u-scratch 關係圖.....	43
圖 4-19 CETR & Ra 與 u-scratch 關係圖.....	43
圖 4-20 CETR & Rz 與 u-scratch 關係圖.....	44
圖 4-21 Ra & Rz & u-scratch 與鑽石排列間距關係圖.....	45
圖 4-22 Ra & Rz & u-scratch 與鑽石尺寸大小關係圖.....	46
圖 4-23 Ra & Rz & u-scratch 與鑽石晶型關係圖.....	46



表目錄

表 2-1 平坦化之優點與解釋.....	10
表 2-2 平坦化技術種類與優缺點.....	12
表 3-1 修整器之設計描述.....	25
表 3-2 PCR & CETR實驗與實際研磨之研磨墊物性表.....	25
表 3-3 研磨墊初始耗損率實驗條件.....	27
表 3-4 研磨墊耗損率(CETR)實驗條件.....	28
表 4-1 不同的鑽石排列間距規格.....	35
表 4-2 鑽石排列間距實驗組與對照組CETR/PCR/Ra/Rz關係表.....	35
表 4-3 不同的鑽石尺寸大小規格.....	36
表 4-4 鑽石尺寸大小實驗組與對照組 CETR/PCR/Ra/Rz 關係表.....	36
表 4-5 不同的鑽石晶型規格.....	37
表 4-6 鑽石晶型實驗組與對照組CETR/PCR/Ra/Rz關係表.....	38
表 4-7 鑽石距離實驗組與對照組缺陷關係表.....	40
表 4-8 鑽石尺寸實驗組與對照組缺陷關係表.....	40
表 4-9 鑽石晶型實驗組與對照組缺陷關係.....	41

第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著積體電路電子元件的蓬勃發展，為了有效提高產能以及降低成本，在半導體製程上提高其深寬比及日趨積層化以及微細化，半導體元件線寬縮減至0.25微米以下，金屬導電層數超過三層以上，晶圓表面的凹凸扭曲程度也加劇，故晶圓表面平坦化就變的越趨重要。平坦化的技術包括SOG(Spin on Glass)、Re-flow, Etch Back等，這些方法都只能達到局部的平坦化的效果而已，在高階的製程(如0.25微米以下)就已經全面使用化學機械拋光的技術來達到全面平坦化的效果[1]。

化學機械研磨(Cheical mechanical Polishing, 簡稱 CMP)是由 IBM 公司(International Business Machines)所開發出結合化學反應與機械研磨的製程，目前已經成為平坦化製程的主要技術。它不僅可以達成全面平坦化的目標，同時可增加元件設計的多樣性如新元件設計中的銅導線製程，而由於銅具有低電阻與耐電致遷移(Electron migration)的特性，0.13微米以下的製程使用銅作為內部連接線，可降低多重內連線的電阻/電容時間延遲(RC Time Delay)的影響，提升運算速度；但銅蝕刻不易，因此銅的平坦化技術也就更顯重要，化學機械研磨是目前最被廣為採用的全面平坦化技術[2]。

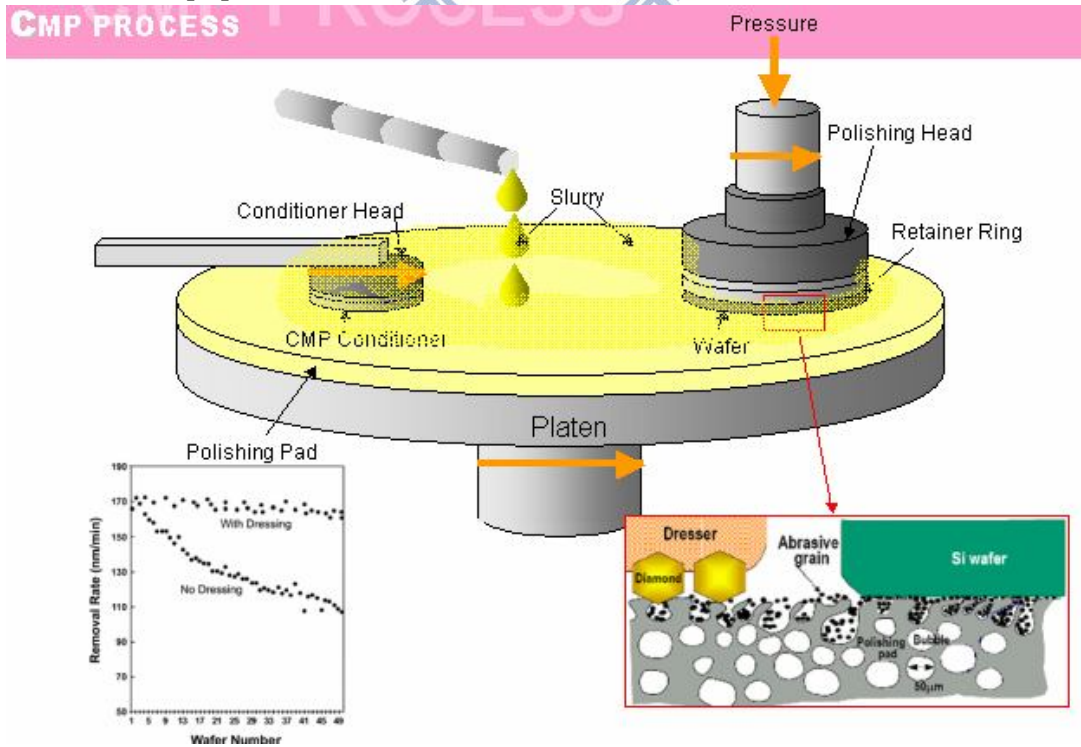


圖 1-1 單面化學機械拋光機台的基本模式圖

在化學機械研磨的製程中所使用的化學品主要包括有研磨液 (Slurry) 及研磨後清洗液。利用Carrier或Head固定住晶圓(Wafer)並施予迴轉及加壓，將晶圓向下貼附於相對旋轉工作台(Polishing Table)上的拋光墊(Polishing Pad)，其他還有用來修整再生拋光墊的修整器(Dresser)及拋光液(Slurry)供給機等，化學機械拋光作用時，拋光液會被均勻的輸送至拋光墊表面。化學機械拋光原理包含了拋光液的化學腐蝕作用與磨粒的機械式切削作用，拋光液內含有懸浮磨粒、氧化劑等酸鹼性溶液，會與晶圓表面起化學反應產生鬆散的氧化物。晶圓的表面向下接觸到拋光墊，將化學反應層利用晶圓與拋光墊的相對運動加工將之移除，機械研磨與化學腐蝕的組合效應可將晶圓之凸部進行選擇性的拋光，達到平坦化的目的[24]。

化學機械拋光時拋光墊不斷的與晶圓做相對性的摩擦及重覆使用，使得拋光墊上之溝紋逐漸消失。而作用所產生的切削、反應生成物，或是拋光液中的微粒，會積存在拋光墊表面的微細孔洞與溝槽中，造成拋光墊氣孔堵塞、鈍化(Glazing)等拋光墊鈍化的現象與原始表面的差異。鈍化的產生，會讓拋光墊和晶圓表面的接觸面積增大，因而降低了磨粒在晶圓表面的接觸壓力，使得拋光速率降低，失去該有的拋光能力使研磨特性變差，進而使得晶圓移除率降低並易對晶圓產生缺陷。所以需要修整器修整使已鈍化及氣孔阻塞之拋光墊表面恢復到良好的狀態，保持平穩的移除率。

而拋光墊的柔軟度、硬度、粗糙度等物理特性，會影響拋光液中磨粒的相互作用，在水平方向與垂直方向出現不規則關係。剛性高，在廣闊水平區域內較少變形的硬式研磨墊，對於晶圓平坦度有較好的效果，但對於均勻度卻比較不好。而較柔軟的拋光墊，因為水平區域的變形量較大，所以它加工後的平坦化效果就較不好，相對的均勻性較佳[3]。

修整率與拋光墊表面粗糙度之關係密不可分，拋光墊表面粗糙度也直接影響拋光墊本身涵養拋光液的程度，因此晶圓的拋光速率與拋光墊的修整率之間存在一定的比例關係。修整器也決定了晶圓與拋光墊之間的接觸壓力與接觸面積，影響最終的平坦化品質與修整效率[5]。

修整器的表面磨粒型態對拋光墊修整率有顯著的影響，假若修整器表面磨粒突起

的高度過高，會導致拋光墊的修整率過大，拋光墊的表面也會過度粗糙，如圖 1.2，進而影響到晶圓拋光的均勻度，使之降低。拋光墊過度磨耗，也會使得使用者的成本提高[6]。

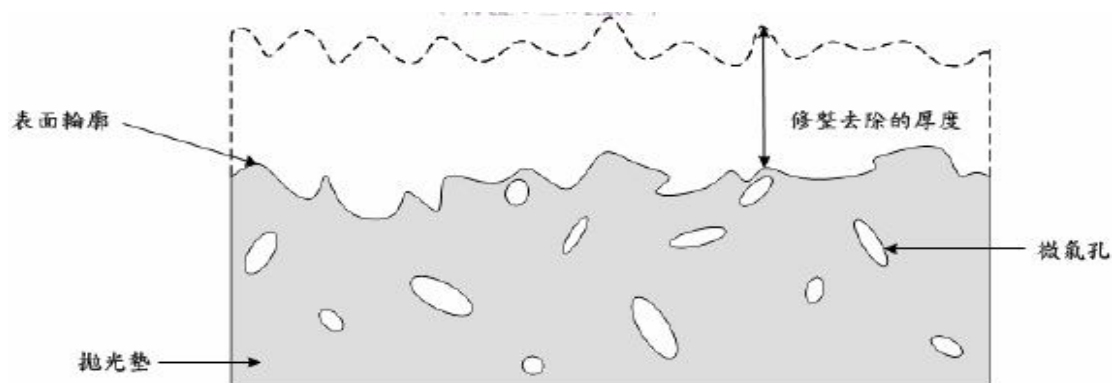


圖 1-2 修整器表面磨粒過高造成過高的修整率

反之修整器表面磨粒突起的高度過低，或分佈的間距過小，則磨粒尖點無法深入拋光墊，堵塞在拋光墊裡的雜質便無法完全移除，如圖 1.3 所示，仍有雜質殘留堵塞在拋光墊的孔洞中，拋光時不僅使拋光速率降低，也會讓晶圓表面產生更多刮痕缺陷，嚴重降低製程良率。

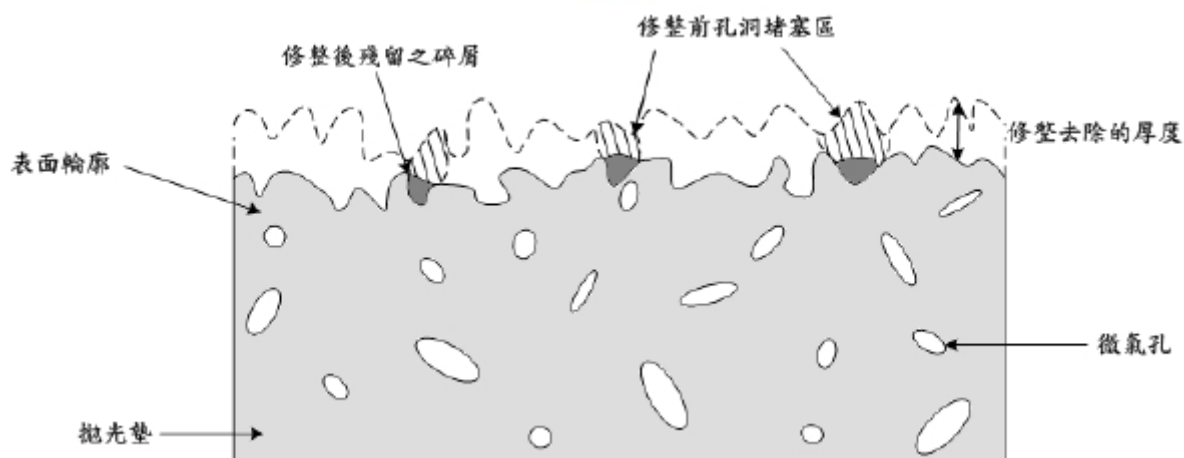


圖 1-3 修整器表面磨粒過低造成修整不完全

綜合來說，修整方法有許多不同的設計，例如毛刷 (Brush)、水刀 (Water Jet)、超音波振動法等，都是業界曾經嘗試過的修整方式，且各方法對拋光墊而言，也都有

著不同程度的清洗、表面平整效果。目前 CMP 製程中較常見的修整方式，則是利用鑲有許多小鑽石的鑽石修整器，對表面特性改變的拋光墊進行修整動作。

1.2 研究動機與目的

化學機械拋光的耗材使用種類中，以拋光墊與拋光液佔整體耗材成本的 60 % 以上，若能提高拋光液的作用率，便可減少拋光液的使用量，這也是降低成本的方向之一。在化學機械研磨的領域當中，鑽石修整器是影響整個製程穩定性以及晶圓產生缺陷的重要關鍵，然而，雖然經由鑲有鑽石顆粒的修整器去修整老化的拋光墊，的確可以大幅改善拋光墊孔洞被堵塞的不良情況，並且回復較佳的拋光墊表面形貌；但是，由於修整器是對拋光墊進行加工、刮除的動作，因此，拋光墊材料的嚴重損耗，也就成為一個無法避免的事實。

根據理論上的定義，拋光墊磨耗的速率一般稱之為修整率(cutting rate)，單位是「單位時間內拋光墊表面材料被移除的厚度」。此外，修整率與其他 CMP 參數（如材料移除率、拋光墊壽命、拋光晶圓品質、缺陷數、厚度均勻性）一樣，都是 CMP 製程的重要參考指標。至於修整率所代表的含意為何？綜合來說，修整率與拋光墊表面粗糙度之間，通常存在著密切的關係，而拋光墊的表面粗糙程度其實又直接影響到拋光墊所能涵養拋光液多寡的程度；因此，在種種因素的相互影響下，晶圓的拋光速率與拋光墊修整率之間將會存在著一定比例的關係[24]。

雖然研磨墊修整器(Pad Dresser)為CMP製程維持長時間穩定晶圓移除率和均勻性的關鍵組件，但對於修整器上鑽石磨粒之排列、晶型、尺寸大小對磨削多孔性研磨墊材料的基本磨削移除率(cutting rate)以及研磨墊表面粗糙度(Ra & Rz)與細微刮傷缺陷(micro-scratch)的關聯，截至目前為止，仍未有文獻對此基本過程進行實驗觀察。因此本研究以自行設計的實驗深入觀察不同鑽石排列間距、鑽石尺寸以及鑽石晶型之修整器在相同條件下犁削研磨墊的過程，並測量研磨墊的深度以及研磨墊表面粗糙度，歸納出多孔性研磨墊材料被不同研磨墊修整器來磨削時研磨墊耗損率及研磨墊表面粗糙度，及其對CMP製程細微刮傷缺陷率(defect rate)的影響，希望經由此一研

究獲得適當且穩定的修整器，進而提升CMP製程能力，降低細微刮傷缺陷率，進而提升良率並降低製程成本。

1.3 文獻回顧

S. Huey [7] 認為影響研磨墊的壽命的最大因素是溝槽(Groove)的尺寸和品質，例如ROHM&HAAS 所生產的IC1000和IC1010，兩種研磨墊擁有相似的品質和構造，但IC1010的上層(top Pad)的厚度較厚也有更深的溝槽，所以在使用上IC1010就比IC1000有更長的壽命(life time)。如果拋光墊溝槽有一定的深度，則溝槽的變異對研磨的結果並不會有太大的影響，但是如果溝槽已經被磨平則研磨速率會變慢和不均勻度就會變差。所以研磨墊的壽命取決於溝槽的深度及耗損的速度。溝槽的深度是研磨墊設計時決定的，耗損的速度則和修整器的種類及特性有關。

台灣大學洪佩文[8]是針對修整器上鑽石磨粒的等高度對於修整效能的影響進行研究，發現等高度差的鑽石修整器在修整一開始是由少數高度分布不集中的鑽石先與研磨墊接觸，因此刺入研磨墊的深度較深而有較高的研磨墊移除率，然而隨著時間的增加研磨墊移除率卻遞減很快，因此穩定性不足。至於等高度較佳的鑽石修整器，雖然研磨墊移除率初始值不高，但卻能保持穩定。也就是說，在研磨墊移除率與晶圓移除率大致成正比的情況下，使用鑽石等高度佳的修整器可獲得穩定的晶圓移除率，達到CMP 製程穩定的要求。

Sung[9]等學者發表的論文中也提到，在CMP 設備與製程參數確定之後，拋光墊的表面粗糙度是影響化學機械拋光效率與品質的重要因素。例如 IC1000 拋光墊，其內部含有許多微小氣孔（孔徑約 $40\mu\text{m}$ ），提供了拋光液暫時儲存的空間。但是，這些氣孔很快的就會被一些來自晶圓、拋光墊的碎屑(Debris)所填滿堵塞，因此每拋光一片晶圓，材料移除率將下降 1%左右。一段時間之後，拋光墊頂部因為碎屑的累積而鈍化，這種變得光滑(Glazing)的拋光墊已經不能保留住拋光液，拋光墊也就失去它的作用。

H. D. Jeong [10]等學者在修整時間與拋光墊表面粗糙度關係的研究中提到，以不

同粗糙度的修整器對拋光墊進行修整，會直接影響到拋光墊的表面粗糙度與後續拋光時的材料移除率。然而修整器的粗糙度也會影響修整時間，修整時間越長，生產效益越差。在修整與拋光循環五次後，修整器的粗糙度與材料移除率的關係趨向穩定。由此可知，拋光墊修整的時間必須足夠，才能使材料移除率達到穩定。

周勝尉[11]在實驗中提到，全新拋光墊因其拋光液的涵養量及表面粗糙度較高，溝槽較完整，所以呈現出的摩擦力較低，且變化較線性。隨著拋光墊的使用時間與使用程度的增加，摩擦力變化增大，這是因為拋光墊的涵養能力變差，溝槽深度減少，使拋光液的流動及傳送受阻所致，所以呈現較高的摩擦力。並經由實驗證實，拋光墊本身的壓縮性與拋光墊本身的摩擦係數呈現線性分佈，也就是說越軟的拋光墊表現出的摩擦係數越高，摩擦力越大，此現象可以用“實際接觸面積效應”(Real Contact Area Effect)和“軟質表面突出效應”(Soft Face Protrusion Effect)來解釋。

Garretson 等人[12]認為金屬圓板平坦度好的鑽石修整器能夠提供理想的研磨墊移除率，然而鑽石修整器上的鑽石由於分佈位置的不同，其工作的先後順序以及與研磨墊之間的相對速度也會有所不同。無論鑽石修整器的運動方向為何，分佈在金屬圓板外圈的鑽石理論上會是先開始工作的鑽石，並且分佈在外圈的鑽石也許會因為對研磨墊的相對速度較大而磨損得快，進而影響修整的效率。因此，本研究利用外力變形的的方式使鑽石修整器產生中凸變形，希望分佈在金屬圓板內圈的鑽石高度增加之後能改善外圈鑽石快速磨耗的負面影響，進而提升研磨墊移除率。

K. H. Park 等人[13]在文獻中提到，若拋光墊在進行化學機械拋光時未進行適當的修整，拋光墊會因為表面硬化、鈍化、平滑而使粗糙度降低，明顯影響了材料移除率。而拋光墊的修整也會影響拋光墊的表面粗糙度，降低的波峰高度(Reduced Peak Height, R_{pk})隨著修整時間與修整壓力的增加而升高。在連續拋光 30 分鐘未作修整的情況下，拋光墊的 R_{pk} 值與材料移除率比一開始的值低很多；這是因為拋光墊與晶圓接觸的磨耗，使拋光墊表面氣孔逐漸平滑，拋光墊表面粗糙度下降時，材料移除率也跟著下降。經過修整後， R_{pk} 值與材料移除率才接近初始值。

Liang[14]等人在銅化學機械拋光中氧化物對摩擦力的研究中，提到摩擦力與工件

的表面物質有關，且摩擦力的大小與摩擦力所產生的能量成正比，這些能量對拋光時的化學作用速率有極大的影響。

Sidker[15]等人在氧化矽化學機械拋光中的摩擦特性研究中發現，摩擦係數在拋光過程中是很重要的參考參數。摩擦係數會隨著壓力、轉速的增加而逐漸減少材料移除率，也會因拋光液的流量增加而隨之降低。並藉由分析 AE signal 得知，拋光若發生不均勻的現象，摩擦係數和 AE signal 互有變化。

Wang等人[16]探討研磨墊移除率 (R) 與荷重 (F) 以及轉速 (ω) 之間的關係，針對實驗數據進行數值分析建立類似 Preston 經驗式的數學模式： $R = k \omega^{-0.7}$ ， $\langle H \rangle 0.952$ ， $\langle \sigma \rangle H 0.866$ 。結果顯示文中所提出的數學模式能有效估算研磨墊移除率，並且進而利用此數學模式評估不同加工條件下鑽石修整器的表現。

Coppeta [17] 等人利用實驗設計法，針對六種 CMP 參數：研磨平台轉速、研磨液流速、荷重、研磨墊種類、研磨墊溝槽深度、研磨墊修整，探討它們對傳送以及涵養研磨液的影響。實驗結果顯示，研磨平台轉速、研磨墊種類、研磨墊溝槽深度以及研磨墊修整為顯著的因子。

清華大學何碩洋[18]以 IC 1000/SUBA-IV 為材料進行實驗，以了解不同修整參數對於此兩種拋光墊的特性之影響。發現修整壓力與修整轉速過高，會產生過度修整現象，且對拋光墊之表面粗糙度無幫助。而拋光墊浸泡在拋光液中的時間長短，除了會影響拋光墊動剪力模數之外，同時也會使修整率增加，但對表面粗糙度無甚大影響。另外，使用越久的拋光墊，其修整時修整率會提高。而拋光液酸鹼性的選擇，雖然對於拋光墊材質的影響有限，但是卻會對修整器上的鑽石顆粒造成影響；根據研究，鑽石在鹼性溶液中將會有較弱的強度出現。

Hooper[19]等學者使用程式控制修整器進行修整時自拋光墊圓周平移向圓心的速度，使其越靠近圓心則平移速度越快，以達到拋光墊上每點的修整時間相同。他們以此修整結果與一般使用的修整器定速平移修整之結果比較：就厚度均勻度而言，發現使用控制速度修整(Flat Conditioning Density Wear)的結果，較定速修整為佳。

再觀察拋光墊表面微氣孔修整後的堵塞去除情形，發現控制速度修整之堵塞去除能力也比定速修整優良。至於修整後之拋光墊表面粗糙度，以 R_k 、 R_{pk} 、 R_{vk} 為指標做觀察的結果差異不大。

楊琦婷[20]在論文中指出(1)鑽石分佈位置會對鑽石磨耗產生影響，修整器之外圈磨耗會遠比內圈磨耗來得大很多；(2)外圈有效切削刀邊的平均磨耗比內圈的平均磨耗更對原始相對高度有較高之敏感度；(3)鑽石稜邊向上比端面向上的磨耗來得大且快。

趙弘文[21]在論文中指出(1)拋光墊與修整器鑽石相對速度高時，鑽石刮過拋光墊表面所形成之刮痕深度與隆起之高度值皆會比相對速度值較慢時為小；(2)在刺入深度不同時，切痕深度也會改變，但隆起率卻維持一穩定值；(3)鑽石嵌入修整器時，嵌入角度不同時會造成拋光墊變形增加，刺入深度變少的狀況；(4)鑽石尖點朝上時會比稜線朝上之刺入深度來得更深，但隆起率卻比稜線來得較低。

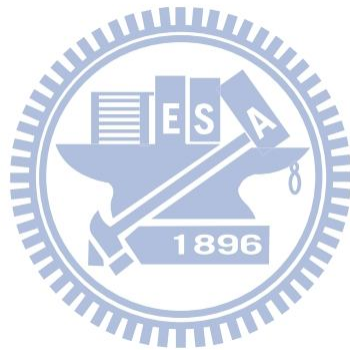
John 與 Chris[22]學者在文獻中提到，拋光墊的氣孔是用來傳送拋光液的，若拋光墊的密度過高會使拋光液傳送不良，進而使材料移除率降低。不僅如此，拋光墊的潤滑度不足也會在晶圓上產生損耗。拋光墊與晶圓的接觸時間非常短，所以拋光墊的彈力性能可能會造成晶圓變形，拋光前若先將拋光墊在水中浸泡 5 小時以上，可使拋光墊的動態剪力模數(Dynamic Shear Modulus, G)減少 30%左右，而拋光墊的彈力係數(Elasticity modulus, E)與其硬度有關，且與拋光墊的密度成比例。拋光墊表面的一些尖點與隨機分佈的氣孔佔總體積的多寡，決定了拋光墊的表面特性。拋光墊鈍化後利用修整器的尖點以刺入的方式進行修整，修整器上鑽石磨粒作用的程度會影響拋光墊的薄厚度、形狀與密度。

Malik[23]在CMP製程上，描述拋光墊種類、拋光壓力，承載器外形以及旋轉速度等對平坦度及粗糙度的影響條件，如較硬拋光墊，可得較佳之晶片平坦度，但有較差之粗糙度；較高的下壓力則晶片移除率會提高，但平坦度會下降；在10~50RPM的相對旋轉速度下旋轉速度提高則移除率會提高，以及承載器的外形是為了平衡晶圓中心與邊緣之粗糙度等。並指出，在CMP製程下，晶圓下壓力與移除率呈現線性關係，只有

在壓力接近10psi時，移除率反有下降的趨勢。

1.4 研究方法

本研究以自行設計的實驗深入觀察不同鑽石排列間距、鑽石尺寸以及鑽石晶型之修整器，在相同條件下犁削研磨墊的過程，並測量研磨墊的深度以及研磨墊表面粗糙度，歸納出多孔性研磨墊材料被不同修整器來磨削時研磨墊耗損率及研磨墊表面粗糙度，及其對CMP製程細微刮傷缺陷率(defect rate)的影響，希望經由此一研究獲得適當且穩定的修整器，進而提升CMP製程能力，降低細微刮傷缺陷率，進而提升良率並降低製程成本。



第二章 化學機械研磨製程之介紹

2.1 化學機械研磨與平坦化方法[2] [24]

CMP : Chemical Mechanical Polish (化學機械研磨)CMP 的概念很早之前就已經存在，如研磨鏡片、鏡子、研磨珠寶，製作大馬士革刀刀柄的花紋。(damascene) 但最早將 CMP 運用在半導體製程上是 IBM. 1985 年時 IBM 開始使用 CMP 作為平坦化技術，使 wafer 可以達到全面性平坦化，如圖 2-1。

Cross-section of IC Device

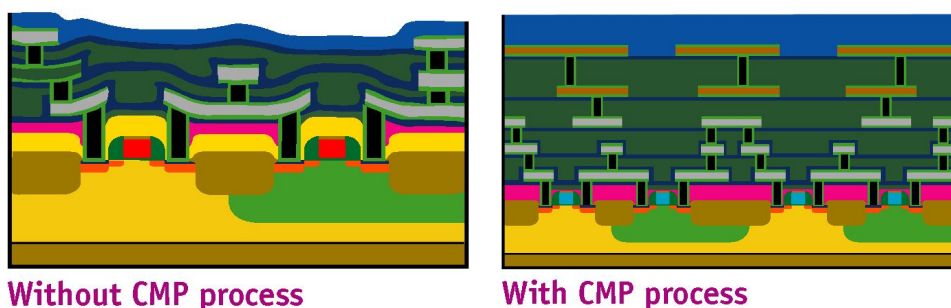


圖 2-1 有無 CMP 平坦化之 IC 截面

2.1.1 平坦化之重要性:在半導體製程上提高其深寬比及日趨積層化以及微細化的製程，平坦化更為重要。

表 2-1 平坦化之優點與解釋

No	Item	解釋
1	黃光曝光容易	線寬越小, 黃光曝光需要更佳的解析度, 提高黃光解析度的方法: a. 減小曝光的波長. b. 使用比數值孔徑大小還大的光學系統. 改善解析度的同時, 造成 DOF (depth of focus, 可聚焦深度 range) 縮小. wafer 平坦化不夠時, wafer 的高, 低部位解析不佳.
2	防止金屬導線側壁薄化	平坦化不夠, 金屬導線 depo 時容易造成側壁薄化現象, 造成斷線.
3	金屬導線 etch 容易	平坦度不夠, 在 corner 區域相對膜厚較厚, 需要增加 over etch amount 才可以將之蝕刻掉, 造成成本浪費.

(1)黃光曝光容易

要提高黃光的解析度，會使 DOF 縮小無法兼顧到 wafer 高低處的曝光，會造成 CD size 不一致，如圖 2-2。

(2)防止金屬導線側壁薄化

平坦化程度不夠，金屬導線 depo 時容易在 corner 區域形成側壁薄化，當有大電流通過時容易造成斷線，如圖 2-3。

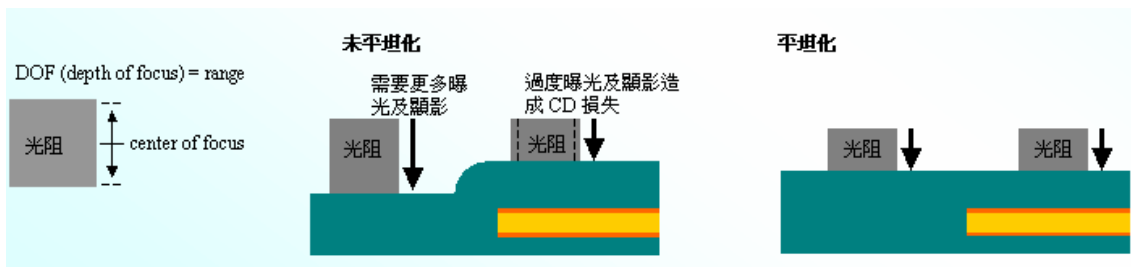


圖 2-2 平坦化對黃光曝光之影響

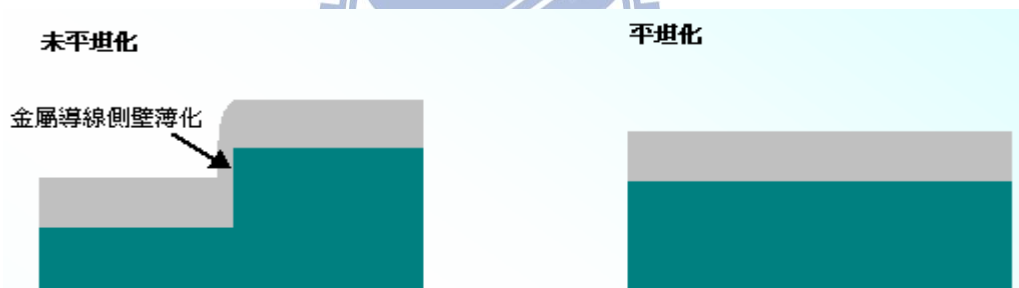


圖 2-3 平坦化防止金屬導線側壁薄化

(3)金屬導線 etch 較容易

平坦化程度不夠，在 corner 區域金屬相對厚度較厚，但是 etch 為等向性，要全部將所要 etch 的部位移除，需增加 over etch amount，否則會造成 metal residue，如圖 2-4。

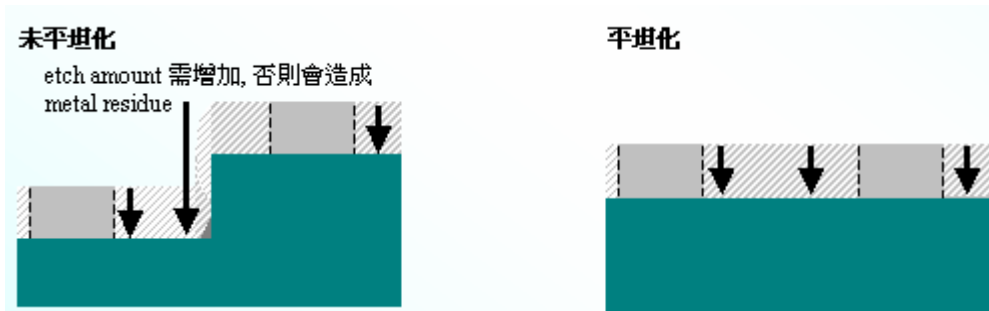


圖 2-4 平坦化對金屬導線 etch 之影響

2.1.2 平坦化技術

表 2-2 平坦化技術種類與優缺點

No	種類	流程	特性
1	回蝕刻法 (etch back)	在 wafer 表面 depo 上光阻, spin 使之平滑後, 再以 etch 法將之蝕刻到想要的膜厚.	容易進行, 但蝕刻效果不易控制.
2	流動法	PSG, BPSG, or SOG 再加以熱處理使之平坦.	成本低廉, 但薄膜疏鬆不安定.
3	薄膜成長法	薄膜 depo 過程中加入電極 RF 偏壓使之平滑. 如 HDP depo.	薄膜成長及平坦化同時進行, 容易產生 damage 及 particle 污染.
4	化學機械研磨法	使用 slurry 以化學反應及機械作用力將 wafer 平坦化.	平坦化效果最佳, 但成本昂貴. 耗材使用多, 變數多, 製程不易控制穩定.

(1) 回蝕刻法 (etch back)

在 wafer 表面 depo 光阻, spin 使之平滑, 再以 etch 將之蝕刻到想要的厚度, 可以達到稍微平坦化, 但是蝕刻效果不易控制, 如圖 2-5。

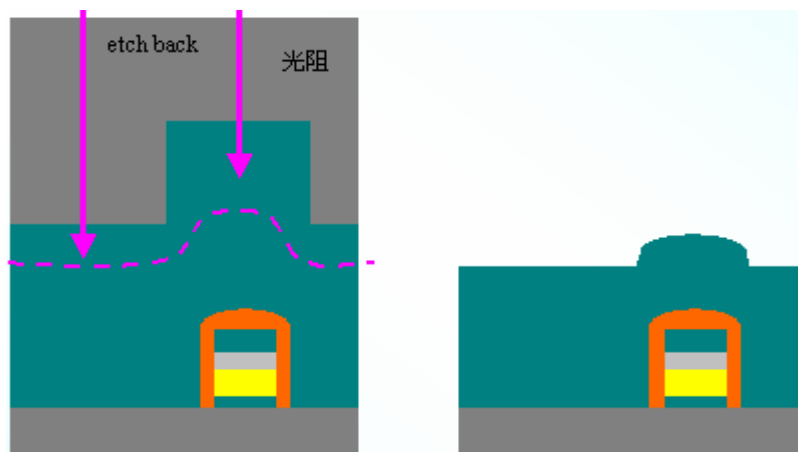


圖 2-5 回蝕刻法

(2) 流動法

在 Oxide film 內添加 B, P 使 film 流動性增加，並加以熱處理使表面較平順，如圖 2-6。

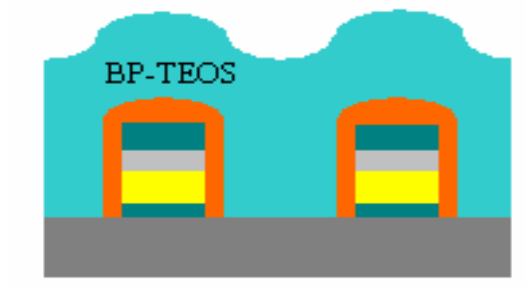


圖 2-6 流動法

(2) 薄膜成長法

CVD HDP，邊 depo 邊 sputter，可使 film 稍平滑，如圖 2-7。

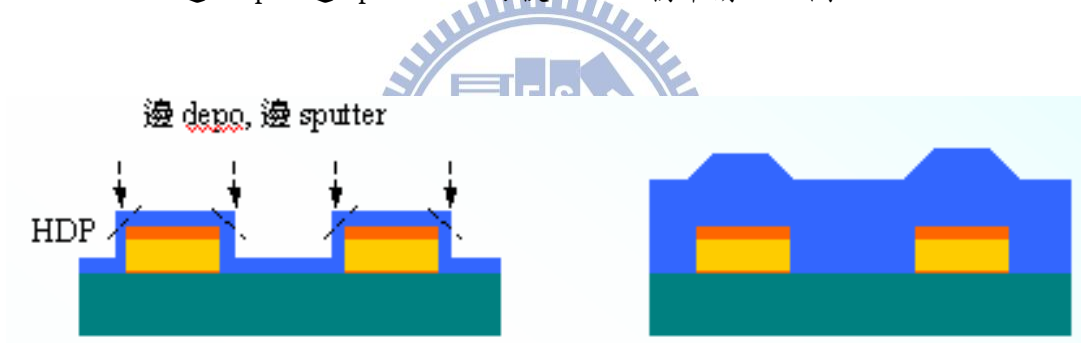


圖 2-7 薄膜成長法

(3) 化學機械研磨法

使用 slurry 以化學反應及機械作用力，將 wafer 平坦化，可以達到全面性平坦化，如圖 2-8。

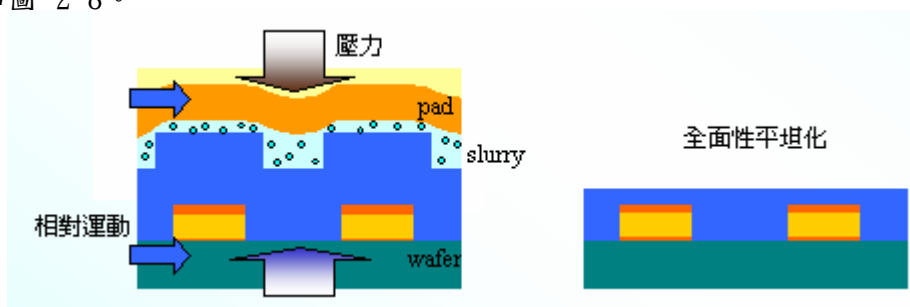


圖 2-8 化學機械研磨法

2.2 化學機械研磨原理

利用表面佈滿研磨顆粒的研磨墊 (Pad)，對表面凹凸不平的晶片表面，藉由化學助劑的輔助，拋光液內含有懸浮磨粒、氧化劑等酸鹼性溶液，會與晶圓表面起化學反應產生鬆散的氧化物。晶圓的表面向下接觸到拋光墊，以化學反應和機械式研磨等雙重加工作用，將化學反應層利用晶圓與拋光墊的相對運動加工將之移除來進行表面的平坦化，如圖 2-9。

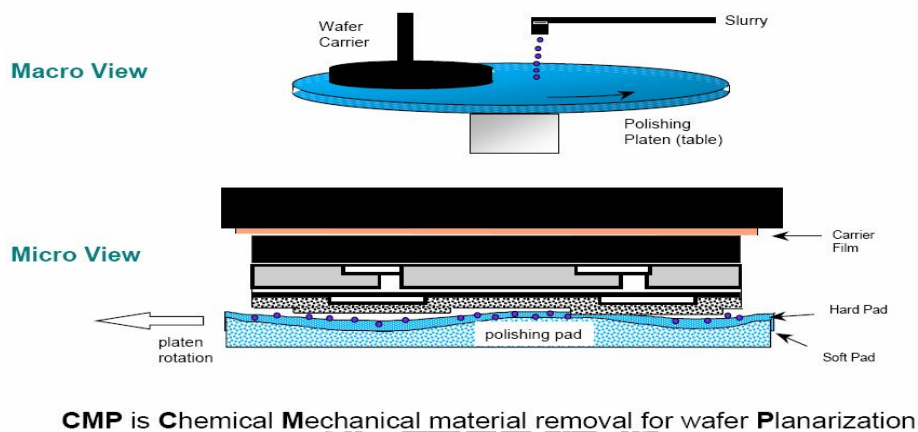


圖 2-9 化學機械研磨配置

然而影響 Oxide CMP 研磨速率 (remove rate) 的一些參數可以以 Preston equation 來表示。

Theory of polish:

RR: 研磨速率 (remove rate)

Kp: Preston coefficient (隨 application 而異)

P: 下壓力 (pressure; down force)

Vr: 相對速度 (wafer 對 pad 的相對速度)

$$RR = K_p \cdot P \cdot V_r \text{ -----(1)}$$

Preston Equation for CMP:

B: 常數

Rc = chemical removal rate

$$RR=(KpP+B) * V + Rc \text{ -----}(2)$$

故可得下壓力越大、相對速度越快 => 研磨速率越快。

(1)介電質 CMP

大部份 Oxide CMP slurry 以 SiO₂ 為 abrasive，主要成份為 SiO₂、DIW、KOH 或 NH₄OH，SiO₂ 在水中會水合形成 OH 基，Abrasive 上的 OH 基與 wafer 表面的 OH 基產生氫鍵，OH 基間脫水以氧架橋形成化學鍵，Abrasive 移動而將 wafer 表面的原子帶走。

Oxide slurry 大多為鹼性 pH=10~11，有助於 SiO₂ abrasive 穩定懸浮(界面電荷較多)，且鹼性狀況下，OH 基較易形成。

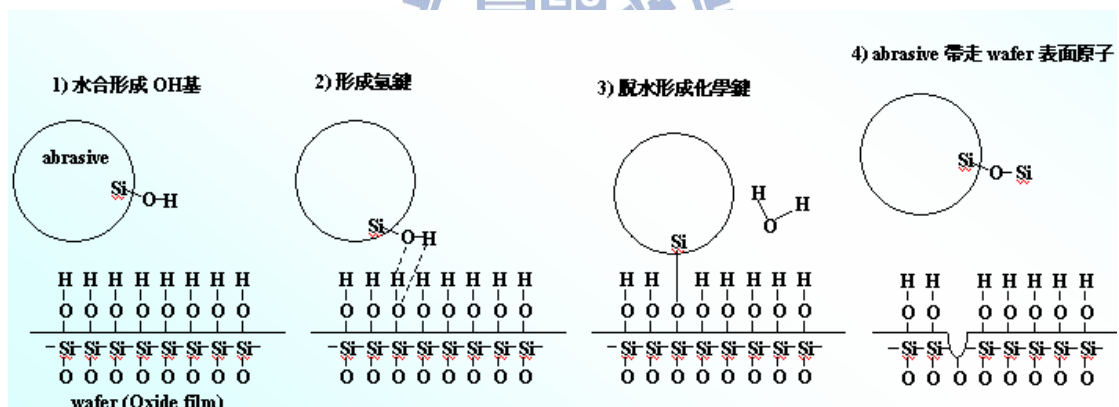


圖 2-10 介電質 CMP 研磨機制

(a) 氫氧基形成

當氧化物薄膜與以水為基礎的研磨液接觸後氧化物薄膜的表面與二氧化矽粒子的表面都會形成氫氧根。

(b) 形成氫鍵

氧化物表面的氫氧根會和研磨液中的二氧化矽粒形成氫鍵。

(c) 形成化學鍵

由機械研磨產生之熱量則會幫助在兩者的表面之間形成分子鍵。

(d)粒子和表面原子的移除

晶圓表面鍵結之粒子在機械移除過程中就會把原子或分子從晶圓表面剝離。

(2)Tungsten (W) CMP theory

W CMP slurry 以 SiO_2 或 Al_2O_3 為 abrasive, 主要成份為 $\text{SiO}_2(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、DIW、 H_2O_2 (氧化劑)、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (氧化劑、觸媒), 其他為 additive (蝕刻劑、蝕刻抑制劑)。

W 為金屬具延展性, 無法直接磨除, 氧化劑先將 W 氧化為 WO_3 。 WO_3 在水中水合形成 OH 基, Abrasive 也形成 OH 基, abrasive 與 WO_3 之 OH 基形成氫鍵, 脫水以氧架橋形成化學鍵, Abrasive 移動並代走 wafer 表面原子。

W CMP slurry pH 約 2~3。在此 pH 下, W 可被氧化劑氧化為 WO_3 , 然後被 abrasive 磨除。如果 pH 太高, W 容易被氧化劑直接溶解(類似濕蝕刻, 此時 plug dishing 會不易控制)。



圖 2-11 Tungsten CMP 研磨機制

2.3 化學機械研磨之研磨機制與組成

(1)CMP (化學機械研磨) 主要構成元素使用 slurry 以化學反應及機械作用力將 wafer 平坦化其主要構成元素包含有研磨頭、研磨平台、研磨墊、研磨液, 示意圖如圖 2-12 所示。

(a) Carrier head (研磨頭):

負責攜帶 wafer 及提供 wafer 下壓力, 並攜帶 wafer 旋轉對 platen 作相對運

動。(b) Platen (研磨平台):

提供一個平台貼附 pad，並可旋轉對 head 作相對運動。

(c) Pad (研磨墊):

貼附在 platen 上，為有孔隙的 PU 材質。主要功能為攜帶 slurry 並使 slurry 與 wafer 接觸，起化學及機械反應。

(d) Slurry (研磨液):

主成份為 DIW, abrasive(研磨砥粒、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CeO_2) 及 chemical (酸、鹼、界面活性劑.....)。在 CMP 扮演重要角色，與 wafer 產生化學反應與機械反應。

(e) Disk(修整器):

在 CMP 製程中研磨墊研磨一段時間後表面靠鑽石修整器加以修整，目的是將使用過的研磨墊恢復到使用前的狀態，此可免除更換新研磨墊而達到量產及節約成本的目的。

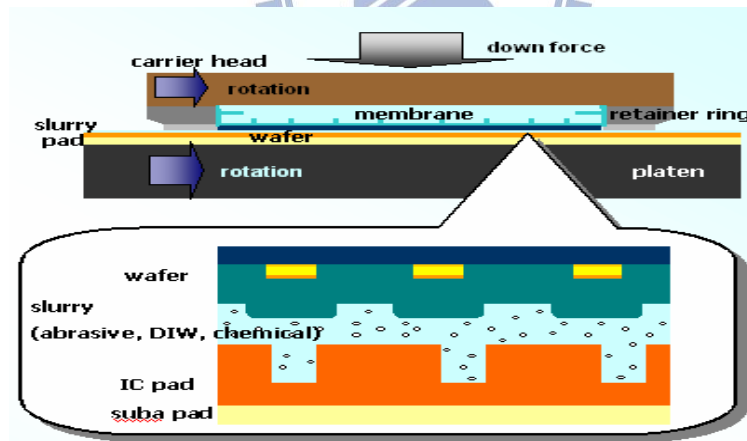


圖 2-12 化學機械研磨之研磨機制

2.4 化學機械研磨之研磨墊

拋光墊的表面粗糙度是影響化學機械拋光效率與品質的重要因素。研磨墊的材質主要是以聚亞胺酯為主，是一種耐酸鹼的材質，在化學機械研磨製程中，研磨墊的功能主要是涵養及傳送研磨液，利用研磨墊本身的微細孔洞以及挖溝槽的方式讓研磨液

留在研磨墊表面。

根據研磨墊「軟硬程度」，將研磨墊區分為硬墊與軟墊兩大類。其中，軟墊的優點是對工件表面造成的刮傷較低，適用的研磨參數也較廣，且容易達到較佳的工件表面均勻度，但其缺點是容易產生小區間的凹陷(Dishing)與大塊區域的侵蝕(Erosion)現象(如圖2-13所示)。因此在平坦化效果的表現上卻是相當差。[6]

至於硬墊的優點，則是能展現較佳的研磨效率，使用的壽命也較長；缺點是工件表面產生的刮傷與缺陷較多。因此，Rodel公司(目前公司名為Dow)後來發展出一種結合軟墊與硬墊的新型研磨墊，型號為IC 1000/SUBA IV。此種研磨墊的設計一方面是為了讓研磨液於研磨墊表面有較好的流動性，另一方面則是為了讓研磨墊能具有一定的彈性，避免因為研磨墊於研磨製程中承受被研磨表面所施與的應力所造成的永久形變，以及用來緩衝與避免局部的劇烈磨耗所造成被研磨表面的刮痕或缺陷。其中，上層為硬度較高的IC 1000，材質為堅硬的聚亞胺酯發泡體(Polyurethane)，它並具有直徑約為50微米的密佈微細孔(Pore)。[2]

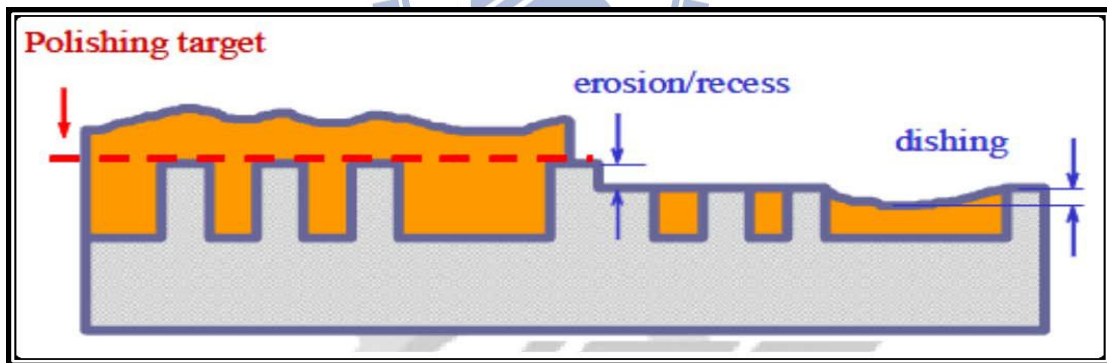


圖 2-13 Erosion & Dishing 示意圖

這些微細孔不規則的分佈在研磨墊中，而且大概佔總體積的35%，這些微細孔的部分可以乘載一些經研磨之後的副產物，而這些副產物之後再經由鑽石修整器刮除，避免研磨時產生細微刮傷，而研磨墊表面的粗糙面(Asperity)則用來含住研磨液，假如研磨墊上微細孔被副產物堵住或是表面上沒有產生粗糙面以供研磨作用，我們稱此現象為鏡面化(Glazing)，一旦發生這樣的情況不僅會影響研磨率而且也會產生刮

傷。至於下層則為硬度較低的SUBA IV軟性研磨墊，它是由兩種纖維絞合而成的不織布經由軟墊與硬墊的相互搭配，便能兼具良好的工件平坦化效率及不錯的工件表面均勻性。[2]

修整率與拋光墊表面粗糙度之間，通常存在著密切的關係，而拋光墊的表面粗糙程度又直接影響到拋光墊所能涵養拋光液多寡的程度；因此，在種種因素的相互影響下，晶圓的拋光速率與拋光墊修整率之間將會存在著一定比例的關係[5]。

低缺陷是重要的選擇條件；批與批的重現性則是重要的品質指標；在濕潤狀態、動態條件下，拋光墊的穩定性與可預測性也是重要的條件。而就使用者的需求而言，拋光墊品質指標的建立、製造商的品質管制與保證，則是使用者重要的拋光墊指標。一般用來客觀詮釋拋光墊特性的指標參數則包括有：材質、密度、厚度、表面形貌、材料組合、化學穩定性、壓縮性、彈性係數、硬度等等[4]。

因此，這種IC 1000/SUBA IV組合式研磨墊已成為今日化學機械研磨製程中的標準研磨墊材料，現階段IC業界使用最普遍的組合式研磨墊為IC 1000/SUBA IV改良版IC 1010/SUBA IV，主要改良點為加厚上層厚度以延長使用壽命。就研磨墊表面結構對於晶圓表面的移除率與全面平坦度的均勻性所造成的影響而言，由於研磨墊表面的結構老化，移除率亦隨之下降，所以在研磨過程中需對表面做一定程度的整理，以維持移除率的穩定性，然而在整理的過程中，對研磨墊卻造成了一定程度的損耗，此一現象不但降低了研磨墊的使用壽命，另一方面亦直接影響到晶圓表面上各個位置其研磨率與平坦程度的差異。而研磨墊一般來說具備有穩定的壓縮性以及硬度以便乘載研磨系統的壓力以及鑽石修整器的刮除，以維持穩定的研磨效果。其他如密度、厚度、表面粗糙度、表面溝槽紋路以及發泡過程所產生的氣泡大小也會影響最終的研磨品質。[2]

大致上來說，研磨墊具有下列幾種功能與條件：[1]

1. 能夠協助研磨液於研磨過程中，有效均勻地輸送研磨液至研磨墊的不同區域，並能提供新補充的研磨液進行一個研磨液的循環。
2. 順利將舊的研磨液及研磨後之反應物、削屑等排出。

3. 維持研磨墊涵養研磨液時，在研磨墊表面所形成的薄膜層厚度，此厚度對研磨速率將會有顯著的影響。
4. 研磨墊必須對研磨液具有良好保持性；加工時研磨墊須涵養足夠的研磨液，才可以使CMP 中的機械與化學反應作用充分的作用。
5. 為了控制製程的穩定性、均勻性與再現性，研磨墊的材料物性、化性及表面形貌等特性，都需要保持穩定。

2.5 鑽石修整器之簡介

鑽石修整器一般都是將鑽石砥粒黏著在金屬圓板上，利用鑽石切入研磨墊中進而移除，因此諸如鑽石的種類、粒度、密度以及鑽石的固定方式等成為影響研磨墊修整品質的重要因素。使用鑽石修整器，主要是希望能夠移除已經鈍化的研磨墊表面，讓新的一層重新暴露、涵養研磨液。在CMP 製程中研磨墊研磨一段時間後表面預靠鑽石修整器加以修整，目的是將使用過的研磨墊恢復到使用前的狀態，此可免除更換新研磨墊而達到量產及節約成本的目的。

因此以鑽石修整器修整有幾點特性需加以注意：(1)長時間且均勻的將研磨墊表面少許移除，(2)移除後新表面的粗糙度(3)鑽石磨粒的耐久度。(4)有效將微小孔洞內之雜質清出。研磨墊修整後的表面形態與鑽石修整器之鑽石數量、機台給予之壓力、排列方式、鑽石外形、修整路徑、修整時間有關。[1]

2.6 鑽石修整器之種類及其特性

2.6.1 鑽石種類

現行的鑽石修整器上的鑽石，一般是採用高壓製成的人工單晶鑽石而不採用天然鑽石，天然鑽石的外觀形狀不規則且多具尖角，因此在修整研磨墊時因為比較銳利而可以有較高的研磨墊移除率，但卻也使得研磨墊消耗得快而壽命不長，另一方面對鑽石修整器移除能力穩定度較難控制。

反之高壓製的人工單晶鑽石，此種鑽石晶形通常較為完整可調製、內部缺陷少，因此撞裂强度高，可以大幅提升鑽石修整器製程穩定度和減少晶圓因鑽石破碎而被刮傷的情形發生。

2.6.2 鑽石固定方式

現今業界所採用的鑽石修整器，一般是設法將鑽石砥粒固定在金屬圓板上，而固定鑽石的方法主要有（1）電鍍法(electroplating)以及（2）硬焊法(brazing)。

電鍍法 (electroplating) 將鑽石隨光罩定位之位置灑在金屬圓板上，然後置入含有 NiSO₄ 液體的電解槽中，利用電解析出的鎳附著在鑽石上，使鑽石砥粒被鎳金屬卡住而附在金屬圓板的表面上，如圖 2-14。

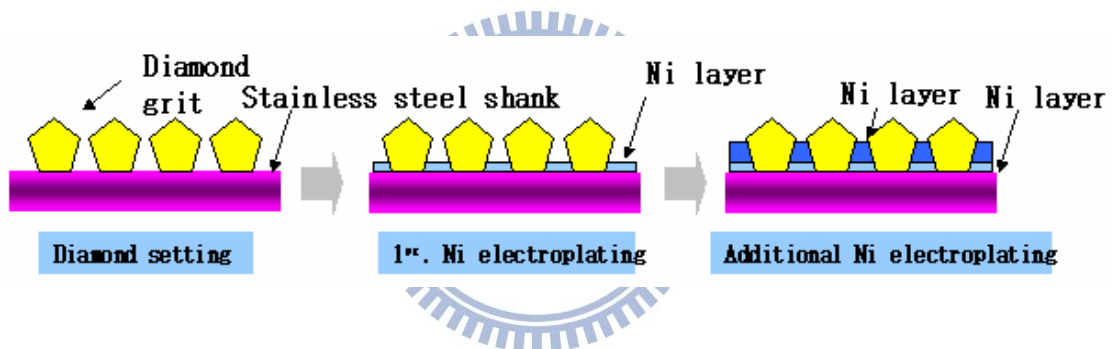


圖 2-14 電鍍法

硬焊(brazing):是將許多微小鑽石顆粒硬焊在金屬基板上的硬焊鑽石碟(Brazed Diamond Disk)，簡稱BDD，其特點是利用熔融的鎳鉻合金和鑽石反應，在表面形成氧化鉻的化學鍵，熔融的金屬液體也因表面張力而爬升到鑽石表面形成緩坡，可以將鑽石支撐住，強力的附著使鑽石不會自圓盤脫落，如圖 2-15。

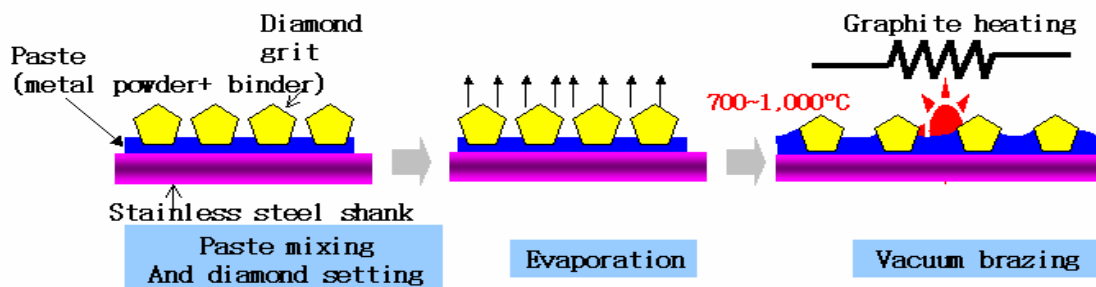


圖 2-15 硬焊法

基於這兩種之製造方法的不同，其金屬基板上的表面型態會有所差異，電鍍法比硬焊法其表面型態較為平順，如圖 2-16，硬焊法表面型態較為粗糙，如圖 2-17，且亦有金屬化合物殘留於鑽石表面，其表面之金屬化合物有可能是造成刮傷之原因之一，且粗糙的表面型態不利於研磨液的流動，容易在其鑽石碟表面殘留造成晶片刮傷。

另外電鍍法其定位方式為光罩定位，可避免有多顆鑽石在同一個位置，電鍍法的鑽石排列比硬焊法較為規則，且定位更為精準，可有效準確的調整鑽石間距與鑽石密度來改善與提昇製程能力，如圖 2-18。

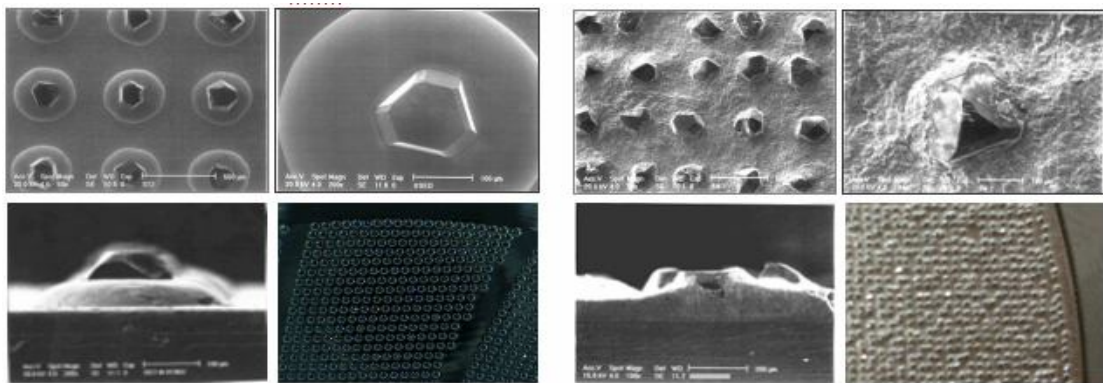
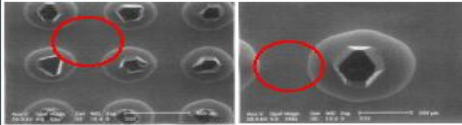
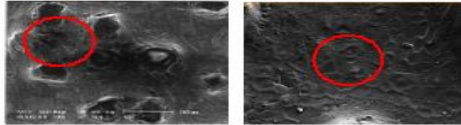

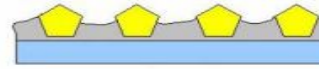


圖 2-16 電鍍法表面型態

圖 2-17 硬焊法表面型態

	Electroplating	Brazing
Surface	<p>Electroplating type</p>  <p>Clean and flat surface</p>	<p>Brazing type</p>  <p>Rough and irregular surface.</p>
Diamond array	 <p>Precisely controlled diamond distance and arrangement.</p>	 <p>Irregular diamond distance and arrangement</p>

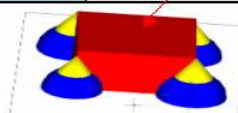

 path of slurry and pad debris

圖 2-18 電鍍法與硬焊法表面型態與鑽石排列差異

電鍍法其工作溫度遠低於硬焊法(EL-PL(50~60°C) << MSL(800~1100°C))，硬焊法因高溫下熱應力使的鑽石強度變弱，容易產生裂痕，進而在 CMP 製程中發生鑽石斷

裂，而刮傷晶片造成良率損失，嚴重時更會造成大量晶片報廢，造成重大損失，如圖 2-1k19。

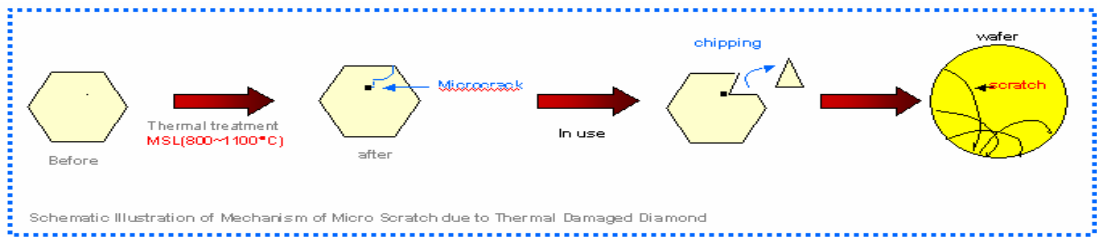
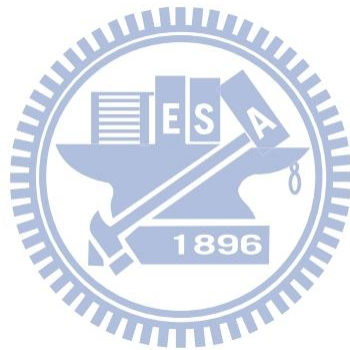


圖 2-19 鑽石斷裂示意圖



第三章 鑽石修整器的設計對化學機械研磨製程的影響之實驗

3.1 實驗規劃

本研究以不同鑽石排列間距、鑽石尺寸以及鑽石晶型之修整器在相同條件下犁削研磨墊，並測量犁溝的深度以及研磨墊表面粗糙度，歸納出多孔性研磨墊材料被不同研磨墊修整器來磨削時，與其初始研磨墊耗損率(Pad cutting rate)和長時間研磨墊耗損率、表面粗糙度之相關性，以及對CMP製程細微刮痕缺陷率(defect rate)的影響。

其實驗規劃流程如下：

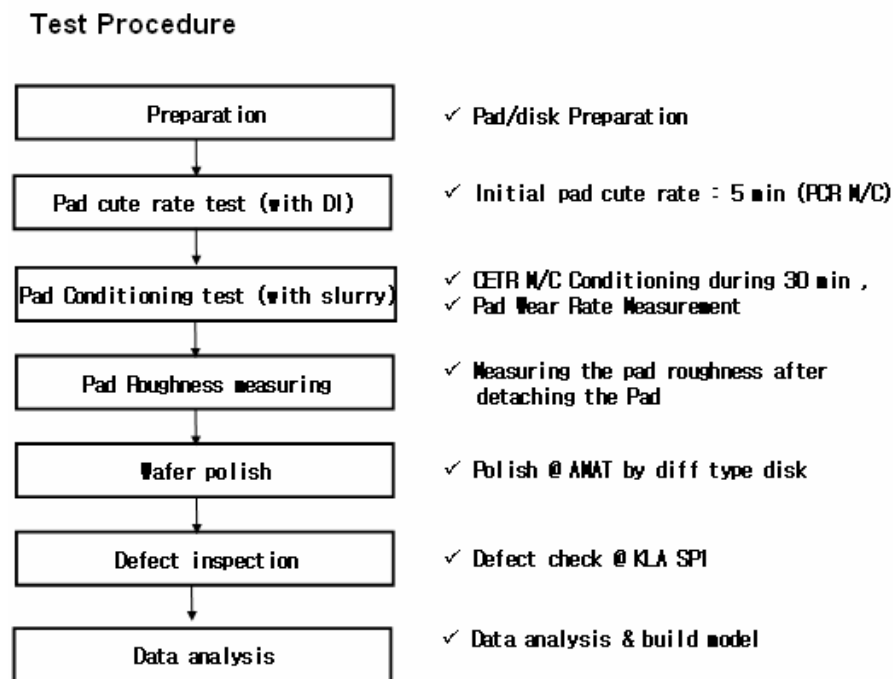


圖 3-1 實驗規劃流程圖

3.2 實驗材料與設備

3.2.1 修整器之製作：

利用不同鑽石排列間距、鑽石尺寸以及鑽石晶型，設計7種不同修整器來探討修整器與拋光墊間，其初始研磨墊耗損率(Pad cutting rate)和長時間研磨墊耗損率、表面粗糙度之相關性之相對的影響。

表 3-1修整器之設計描述

Test A	Sample 1 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-I	Sample 2 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-E	Sample 3 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-A
Test B	Sample 4 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 300 μm Dia Grade: SDC-E	Sample 2 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-E	Sample 5 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 600 μm Dia Grade: SDC-E
Test C	Sample 6 Grit Size: 91-115 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-E 實驗組	Sample 2 Grit Size: 165-173 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-E 對照組	Sample 7 Grit Size: 197-213 μm Grit Distance: 400 μm Dia Grade: SDC-E 實驗組

3.2.2 研磨墊：

在PCR & CETR M/C主要使用直徑300mm之 DOW IC1000研磨墊，在AMAT 300mm Reflexion CMP 實際研磨時則使用直徑1000mm之DOW IC1000之研磨墊，其設計條件與性質比較如下。

表 3-2 PCR & CETR實驗與實際研磨之研磨墊物性表

Item	Unit	Spec.			
		DOW IC1010	DOW IC1000	SKC SURE1000	Dong Sung 3010-120
Density	(g/cm ³)	0.75	0.75	1.150±0.015	0.8
Hardness	(Shore D)	57±5	57±5	69±3	60±3
Elastic Modulus	(MPa)	-	-	100±20	-
Compressibility	(%)	2.1	0.5~4.0	-	0.5~4.0
W	um	1270	2540	Hole size : 160 Hole pitch : 250	1700
P	um	250	510		400
D	um	380	760		650

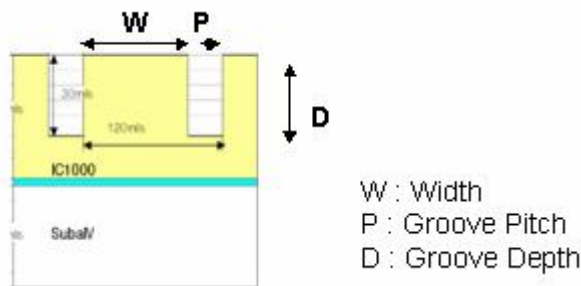


圖 3-2 研磨墊溝槽示意圖

3.2.3 研磨墊耗損率PCR 圖3-1(Pad Cutting Rate):

鑽石修整器初始研磨墊磨損試驗，其磨損試驗是條件為在Disk 10磅的下壓壓力下使用水進行dressing 5分鐘，其詳細研磨條件如表3-2，最後利用六點探針量測其研磨墊耗損率圖3-4。

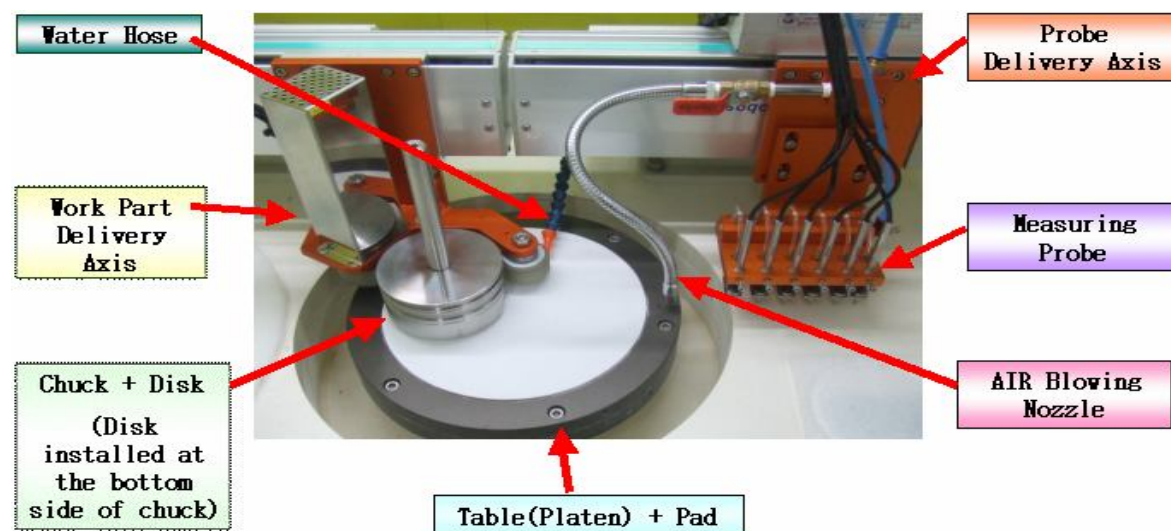


圖 3-3 研磨墊耗損率機台配置圖

研磨墊耗損率(PCR)實驗步驟:

- 1)將研磨墊貼在研磨平台上。
- 2)安裝鑽石修整器在具有重量夾頭的底部。
- 3)將安裝完成之鑽石修整器安裝至工作傳動治具並移動至工作的研磨平台上。
- 4)持續在研磨平台上研磨 5 分鐘。
- 6)從工作傳動治具上移除鑽石修整器。
- 7)使用空氣噴嘴清理研磨墊表面並利用觸摸式探頭檢查研磨墊厚度。
- 8)觸摸式探頭#1~6, #6 探頭無探針以此測量位置為原點，量測其他#1~5 在研磨墊上磨耗厚度相對於前 5 分鐘之比較。(圖 3-4)
- 9)然後 PCR 顯示在操作顯示器。

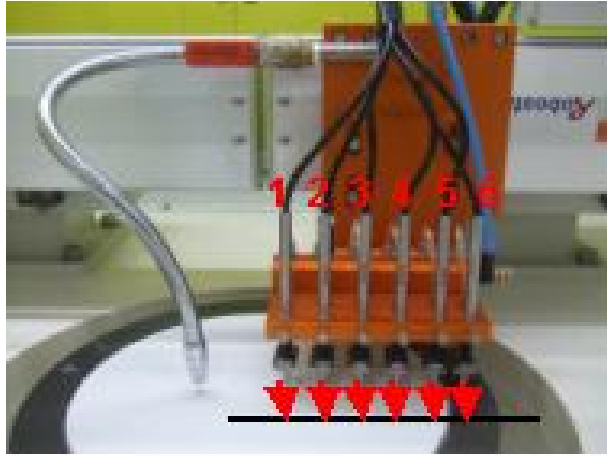


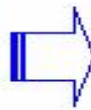
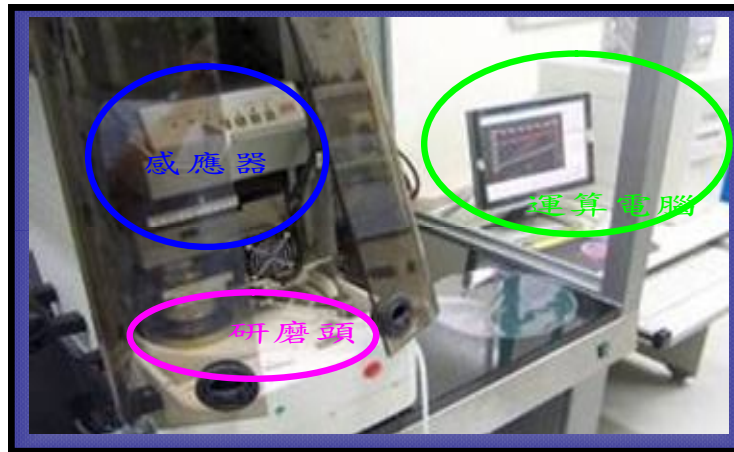
圖 3-4 觸摸式探頭磨耗厚度量測

表 3-3 研磨墊耗損率實驗條件

Table RPM	100 RPM	CW direction
Disk working RPM	90 RPM	CW direction
Disk oscillation distance	0 point \pm 20 mm	
Disk oscillation speed	Left End : 1 mm/s	Speed shifting type
	Right End : 30 mm/s	
Water flow rate	320~350 mL/min	
Water temperature	12.5~13.5 °C	
Working time	5 min	
Probe Q'ty	6 EA	0 point : #6 Probe

3.2.4 長時間研磨墊耗損率 CETR 實驗(long time pad cutting rate):

以下以機台名稱 CETR 作為其簡稱，實驗為使用美國 Bruker CETR 機台(通用型磨潤腐蝕測試儀)進行測試，其條件為在 Disk 5 磅的下壓壓力下進行 slurry dressing 30 分鐘，其詳細研磨條件如表 3-3，並由感應器每 0.5 秒偵測研磨墊厚度以及其他研磨資訊，最後由電腦計算出其研磨墊長時間磨耗率，主要模擬實際研磨狀態，最後使用 Mahr - MarSurf PS1 量測表面粗糙度，如圖 3-5 所示。



CETR M/C

1. Measuring the Pad Wear Rate
2. COF measuring (Coefficient Of Friction)

Roughness M/C

Pad Ra Measuring

圖 3-5 Bruker CETR機台 vs. Mahr - MarSurf PS1機台

研磨墊耗損率(CETR)實驗條件:

表 3-4 研磨墊耗損率(CETR)實驗條件

Conditions	
Pad	DS-3010K
Time	30min
Down force	5 lbf
Platen rpm	100 rpm
Disk rpm	90 rpm
Slurry flow	Star-4k 100 ml/min
Consumption of DI Water	20 ml/min

3.2.5 PCR與CETR的差異：

從研磨墊耗損率與時間的關係圖3-6，可得在PCR修整研磨墊5min後，研磨墊耗損率曲線變的較為穩定。其原因為研磨墊經初始修整器修整，去除過高或異常的鑽石，形成較佳的修整器平坦性與均勻性，後續的CETR可得較穩定之研磨墊耗損率，如圖3-7。

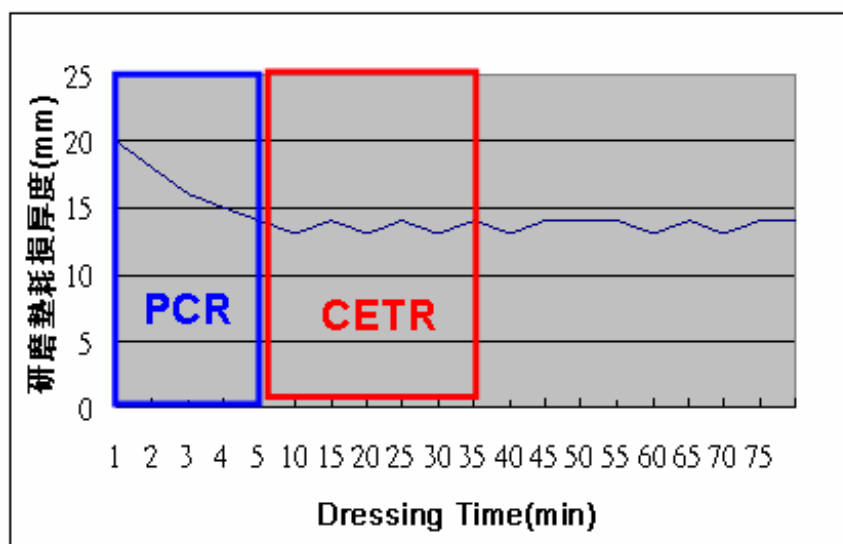


圖 3-6 研磨墊耗損厚度與時間的關係圖

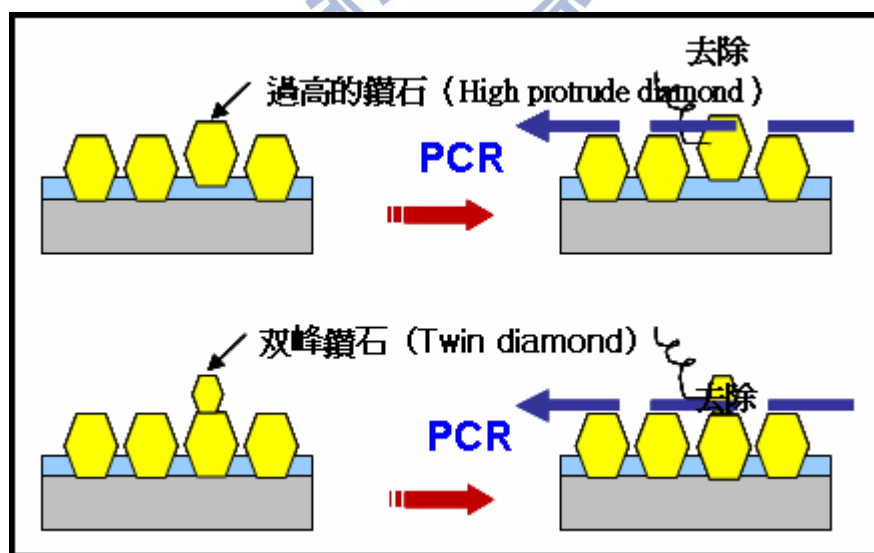


圖 3-7 研磨墊經初始修整器修整

3.2.6 實際上機研磨實驗：

使用原本 7 種不同設計的鑽石修整器實際上機研磨，鑽石修整器壓力為 71b 轉速

為 108rpm，移動路徑距離及擺動頻率，如圖 3-6 所示，研磨墊型號為陶氏化學同心圓 IC1000，研磨液為陶氏化學氧化矽研磨液型號為 ILD3225，測機片使用厚度 HDP 5000A 前值規格為缺陷長度 $>0.16\mu\text{m}$ & $<3\mu\text{m}$ ，顆數 <100 顆之晶片，後值規格為缺陷長度 $>0.16\mu\text{m}$ & $<3\mu\text{m}$ ，顆數 <100 顆之細微刮痕缺陷，研磨壓力分別為 $Z1=7.0\text{psi}$; $Z2=3.5\text{psi}$; $Z3=3.5\text{psi}$; Retain ring= 8.8psi ，研磨頭和研磨墊轉速分別為 71/70rpm，研磨液流量 100ml/min，DI water 流量 100ml/min，研磨時間為一分鐘，研磨後厚度為 3000A，研磨後清潔並延長使用 HF 0.05% 40 秒清潔晶圓上的研磨液殘留以及其他微塵，並使細微刮痕缺陷更為明顯。

圖 3-7~3-8 為美商應用材料 AMAT 300mm Reflexion CMP 研磨機：

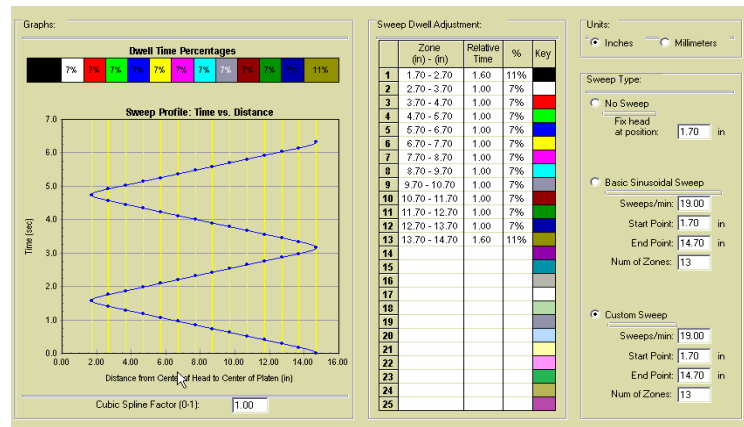


圖 3-8 鑽石修整器移動路徑距離及擺動頻率



圖 3-9 美商應用材料AMAT 300mm Reflexion CMP機台外觀

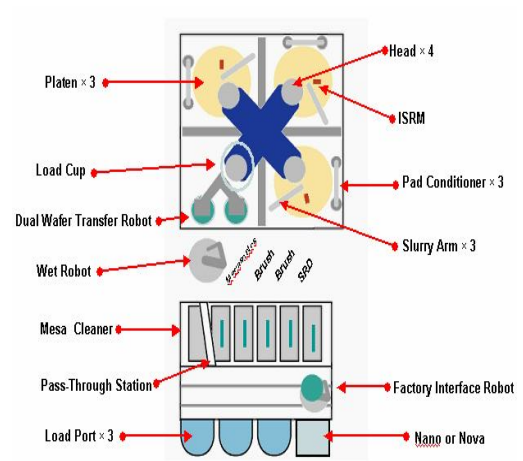
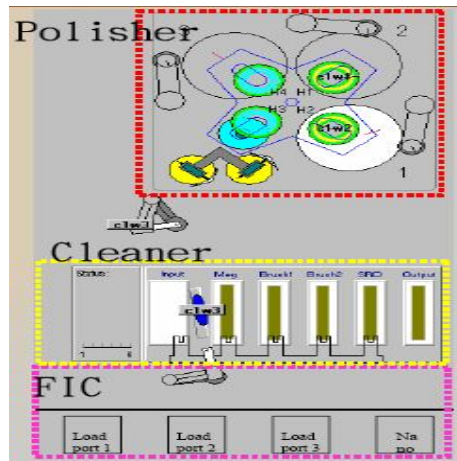


圖 3-10 美商應用材料 AMAT 300mm Reflexion CMP 機台構造

3.3 量測方法

3.3.1 粗糙度(Ra/Rz) 量測機台和條件:

Tool Name : Mahr - MarSurf PS1(如圖 3-9)

§ Max Measuring Range: $350\ \mu\text{m}$ ($-200\ \mu\text{m}$ ~ $+150\ \mu\text{m}$)

§ Max Measuring Distance: 17.5mm

§ Available Measuring International Spec :ISO(DIN), JIS, ANSI/ASME, MOTIF



圖 3-11 Mahr - MarSurf PS1粗糙度量測機台外觀

粗糙度量測點定義描述:在研磨墊上平均劃分二條線，並在每一條線上半徑範圍定義出三個長 23mm 寬 10mm 之量測區域共十二個進行量測，如圖 3-10~圖 3-12 所示。

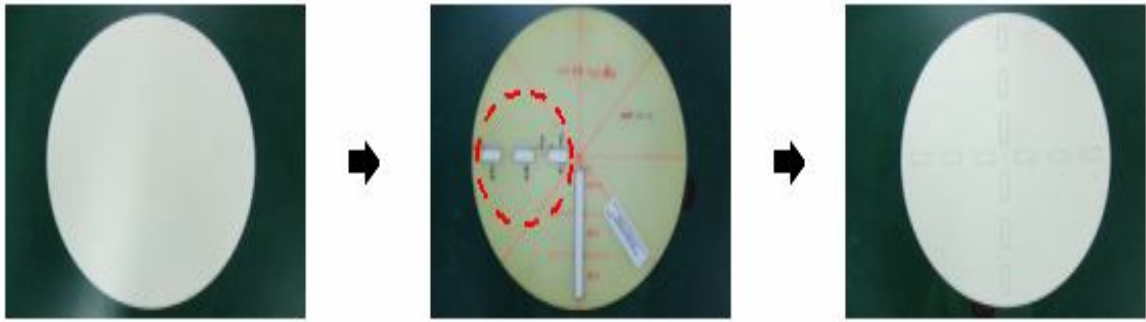


圖 3-12 研磨墊粗糙度量測量測點定義描述

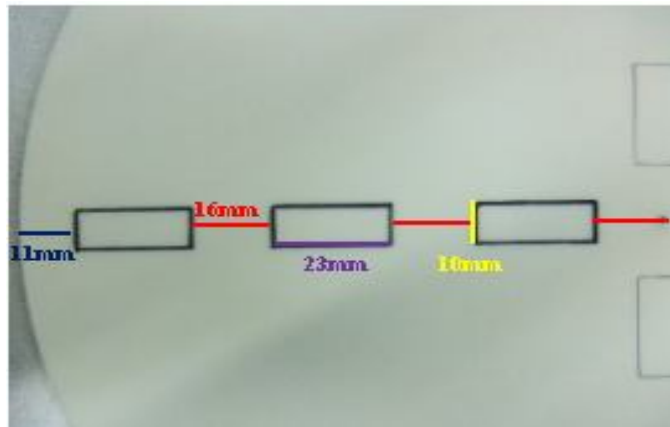


圖 3-13 研磨墊上粗糙度量測點

粗糙度量測過程：



圖 3-14 Mahr - MarSurf PS1粗糙度量測過程

3.3.2 細微刮痕缺陷檢測：

使用Blanket wafer Particles檢測機台KLA-SPI(圖3-12)，測機片使用前值厚度

HDP 5000A前值規格為缺陷長度>0.16um & <3um，顆數<100顆之晶片，後值規格為缺陷長度>0.16um & <3um，顆數<100顆之細微刮痕缺陷。



Item	SP1 ^{DLS}
Sensitivity on BareSi PSL wafer	Oblique: HS 50nm; HT 65nm Normal : HS 77nm; HT 95nm
Throughput	HT: 70wph; HS: 22wph
Simultaneous DF Oblique & Normal scan	Yes

圖 3-15 Blanket wafer Particles檢測(KLA-SP1)機台外觀與規格

3.4 表面粗糙度Ra與Rz定義：

Ra :中心線平均粗糙度

若從加工面之粗糙曲線上，截取一段測量長度L(圖3-13)，並以該長度內 粗糙深之中心線為x軸，取中心線之垂直線為y軸，則粗糙曲線可用 $y = f(x)$ 表之。以中心線為基準將下方曲線反摺。然後計算中心線上方經反摺後之全部曲線所涵蓋面積，再以測量長度除之。所得數值以 μm 為單位，即為該加工面 測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值，其數學定義為：

$$Ra = \frac{\sum f(x)dx}{L}$$

中心線方向細分單位等間隔後取各分段點所對應之 h_i 值，利用下式可得到 Ra 的近似：(圖 3-13)

$$Ra = \frac{\sum h_i}{L}$$

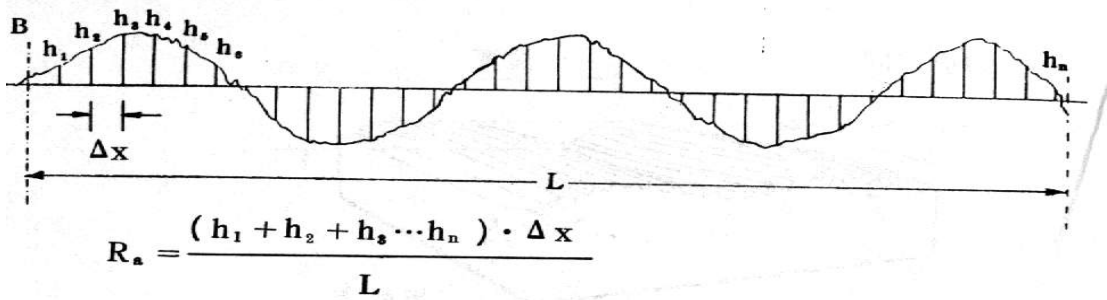


圖 3-16 Ra : 中心線平均粗糙度定義示意圖

測量長度範圍內之中心線平均粗糙度值 Ra 的近似中心線在表面具有曲度或形狀誤差時，則成曲線，粗糙度沿此曲線量取。測量長度限於量具大小而無法涵蓋整個機件表面，因此，一次量取求得之 Ra 只是表面某部分的中心線平均粗糙度，故應在被測物表面多選幾個不同的位置測量，將全部測得之 Ra 取其算術平均值則為表面的中心線平均粗糙度。

Rz : 十點平均粗糙度(圖 3-14)

由表面曲線上截取基準長度 L 做為測量長度，求出第三高波峰與第三深波谷，分別畫出二條平行線，兩平行線間距即為十點平均粗糙度值 Rz 其值以 μm 為單位，並在數值後加上小寫字母 z 以區別另兩種粗糙度。

二種粗糙度數值間之關係約為： $4 R_a \div R_z$

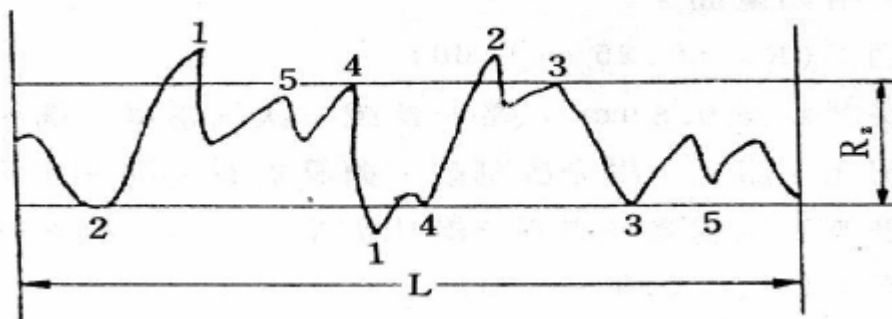


圖 3-17 十點平均粗糙度定義示意圖

第四章 實驗結果與討論

4.1 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性

4.1.1 鑽石排列間距對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響

以不同的鑽石距離300/400/600um製成Type 2/4/5三種不同的鑽石修整器，其研磨墊移除率CETR & PCR 與表面粗糙度Ra & Rz 關係如表4-1，由圖4-1圖4-2表4-2中實驗組與對照組比較，可得CETR & PCR 與鑽石距離成正比，但在鑽石距離大時，可明顯看到Ra & Rz變大粗糙度變差CETR & PCR 與鑽石距離成正比，與對照組差異PCR由-18%~26%;CETR由-7%~121%，在鑽石距離大於對照組時可明顯看到Rz & Ra變大粗糙度變差，與對照組差異Ra增加21%;Rz增加30%。

表 4-1不同的鑽石排列間距規格

Condition	Disk type					
	Type 4		Type2		Type 5	
Dia Distance Shift Test	Dia Size	165/173	Dia Size	165/173	Dia Size	165/173
	Arix Mask	250-300um	Arix Mask	250-400um	Arix Mask	250-600um
	Dia Grade	MBG-640	Dia Grade	MBG-640	Dia Grade	MBG-640
	Dia Code	T-318	Dia Code	T-318	Dia Code	T-318
	CETR	26.9um	CETR	28.8um	CETR	63.7um
	PCR	15.8	PCR	19.3	PCR	24.4
	Ra / Rz	4.624/25.8	Ra / Rz	4.640/25.7	Ra / Rz	5.601/33.3

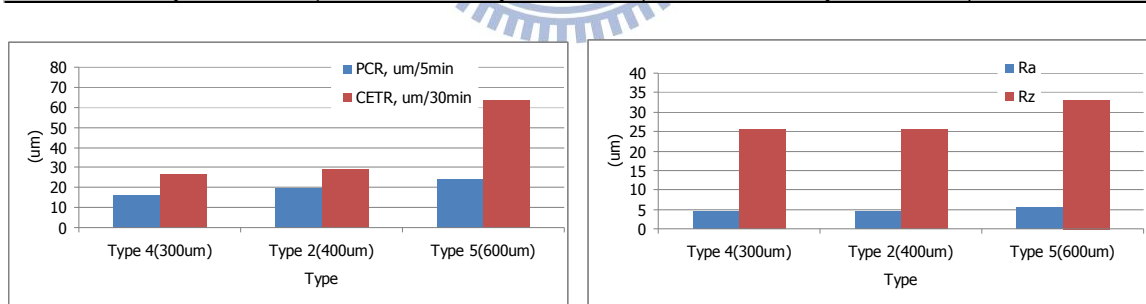


圖 4-1 CETR & PCR 與鑽石排列間距關係圖 圖 4-2 Ra & Rz 與鑽石排列間距關係圖

表 4-2 鑽石排列間距實驗組與對照組CETR/PCR/Ra/Rz關係表

修整器Type	Ra(um)	Ra 差異	Rz(um)	Rz差異	PCR, um/5min	PCR差異	CETR, um/1hr	CETR差異
Type 2(對照組)	4,64	0%	25,7	0%	19,3	0%	28,8	0%
Type 4(實驗組)	4,624	0%	25,8	0%	15,8	-18%	26,9	-7%
Type 5(實驗組)	5,601	21%	33,3	30%	24,4	26%	63,7	121%

4.1.2 鑽石尺寸大小對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響

以不同的鑽石尺寸大小區間(107~115/165~173/197~213um)製成Type 2/6/7三種

不同的鑽石修整器，其研磨墊移除率CETR & PCR 與表面粗糙度Ra & Rz 關係如表4-3，由圖4-3 圖4-4 表4-4 中實驗組與對照組比較，CETR與鑽石尺寸大小成反比，PCR則無明顯關係，與Ra & Rz成正比，鑽石尺寸變小與對照組差異PCR增加31%;CETR增加147%，可推論鑽石尺寸越小研磨墊移除率越多，由鑽石尺寸大小與PCR & CETR的關係差異，可推論鑽石尺寸對研磨墊移除率隨著時間有更顯著的影響。

表 4-3 不同的鑽石尺寸大小規格

Condition	Disk type					
	Type 6		Type2		Type 7	
Dia Size Shift Test	Dia Size	107/115	Dia Size	165/173	Dia Size	197/213
	Arix Mask	150-400	Arix Mask	250-400	Arix Mask	280-400
	Dia Grade	MBG-640	Dia Grade	MBG-640	Dia Grade	MBG-640
	Dia Code	T-321	Dia Code	T-318	Dia Code	T-322
	CETR	71.2um	CETR	51.9um	CETR	28.8um
	PCR	25.2	PCR	19.3	PCR	20.9
	Ra / Rz	4.021/22.6	Ra / Rz	4.640/25.7	Ra / Rz	4.921/30.3

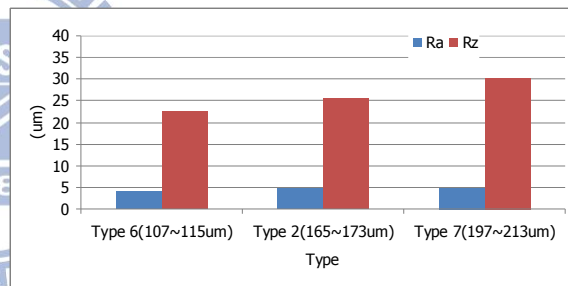
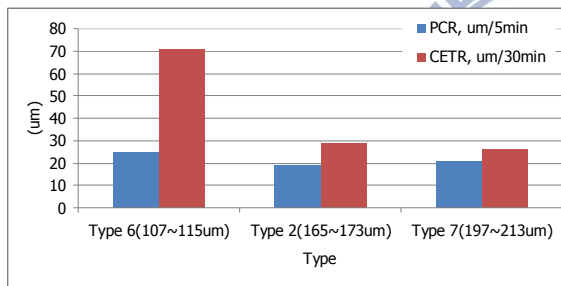


圖 4-3 CETR & PCR 與鑽石尺寸大小關係圖 圖 4-4 Ra & Rz 與鑽石尺寸大小關係圖

表 4-4 鑽石尺寸大小實驗組與對照組CETR/PCR/Ra/Rz關係表

修整器Type	Ra(um)	Ra 差異	Rz(um)	Rz差異	PCR, um/5min	PCR差異	CETR, um/1hr	CETR差異
Type 2(對照組)	4,64	0%	25,7	0%	19,3	0%	28,8	0%
Type 6(實驗組)	4,021	-13%	22,6	-12%	25,2	31%	71,2	147%
Type 7(實驗組)	4,921	6%	30,3	18%	20,9	8%	26,2	-9%

4.1.3 以不同鑽石晶型對研磨墊移除率與表面粗糙度的影響

以不同的鑽石晶型(620/640/660)製成Type 1/2/3三種不同的鑽石修整器，圖4-5為鑽石其在電子與光學顯微鏡下之型態，另外針對鑽石不同晶型之分佈，以及晶型、尺寸與強度關係如圖4-6。

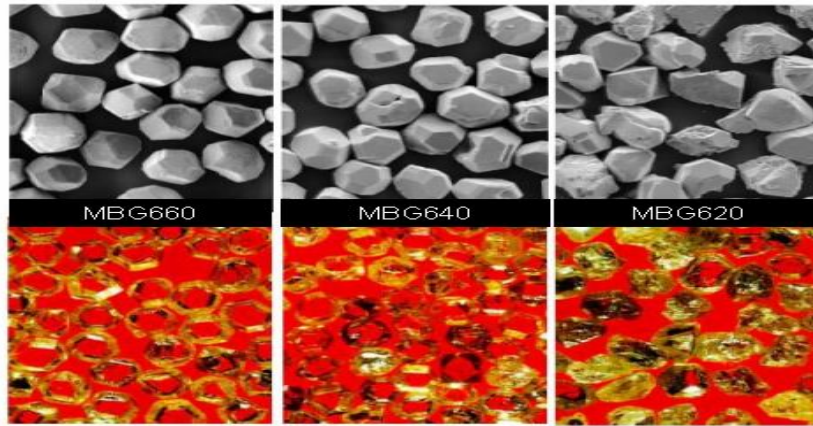


圖 4-5 鑽石在電子與光學顯微鏡下之型態

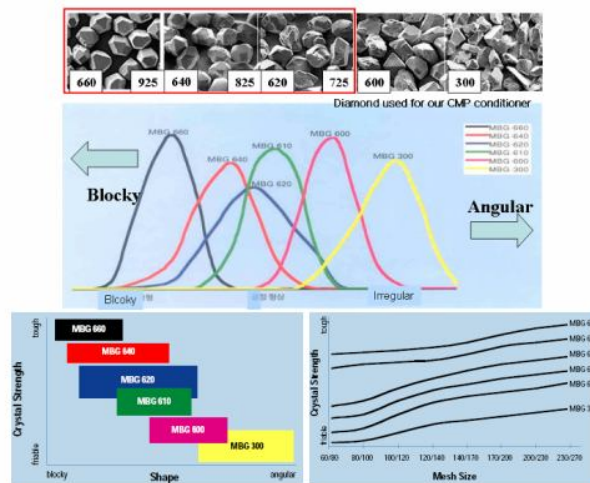


圖 4-6 鑽石晶型、尺寸與強度關係圖

其研磨墊移除率CETR & PCR 與表面粗糙度Ra & Rz 關係如表4-5，由圖4-7 圖4-8 表4-6中實驗組與對照組比較，可得CETR & PCR 隨著晶型越尖銳而遞增，Rz 隨著晶型越尖銳而遞增，與對照組差異PCR由-35%~31%;CETR由-67%~54%，表面粗糙Rz隨著晶型越尖銳而遞增-8%~9%，Ra則無明顯關係。

表 4-5 不同的鑽石晶型規格

	Disk type					
	Type 1(620)		Type 2(640)		Type 3(660)	
Dia Grade Shift Test	Dia Size	165/173	Dia Size	165/173	Dia Size	165/173
	Arix Mask	250-400	Arix Mask	250-400	Arix Mask	250-400
	Dia Grade	MBG-620	Dia Grade	MBG-640	Dia Grade	MBG-660
	Dia Code	T-319	Dia Code	T-318	Dia Code	T-320
	CETR	44.4um	CETR	28.8um	CETR	9.4um
	PCR	25.5	PCR	19.3	PCR	12.6
	Ra / Rz	4.206/27.9	Ra / Rz	4.640/25.7	Ra / Rz	4.580/23.6

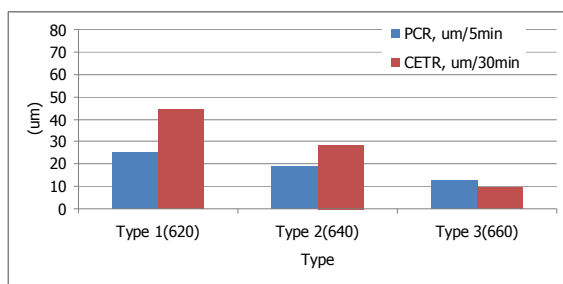


圖 4-7 CETR & PCR 與鑽石晶型關係圖

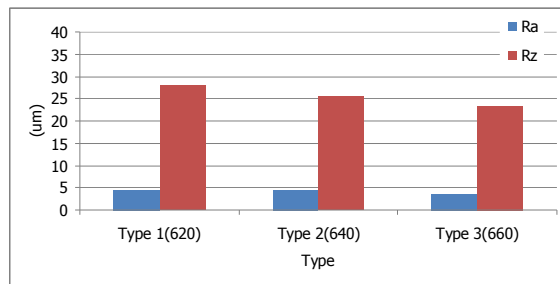


圖 4-8 Ra & Rz 與鑽石晶型關係圖

表 4-6 鑽石晶型實驗組與對照組CETR/PCR/Ra/Rz關係表

修整器Type	Ra(um)	Ra 差異	Rz(um)	Rz差異	PCR, um/5min	PCR差異	CETR, um/1hr	CETR差異
Type 1(實驗組)	4.58	-1%	27.9	9%	25.5	32%	44.4	54%
Type 2(對照組)	4.64	0%	25.7	0%	19.3	0%	28.8	0%
Type 3(實驗組)	3.63	-22%	23.6	-8%	12.6	-35%	9.4	-67%

4.1.4 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性與探討

根據上述使用原本 7 種不同設計的鑽石修整器，分別以不同的鑽石距離、尺寸大小、晶型不同的鑽石修整器，可得結論如下：

- CETR & PCR 與鑽石距離成正比，與對照組差異 PCR 由 -18%~26%; CETR 由 -7%~121%，在鑽石距離大於對照組時可明顯看到 Rz & Ra 變大粗糙度變差，與對照組差異 Ra 增加 21%; Rz 增加 30%。
- CETR 與鑽石尺寸大小成反比，PCR 則無明顯關係，與 Ra & Rz 成正比，鑽石尺寸變小與對照組差異 PCR 增加 31%; CETR 增加 147%，可推論鑽石尺寸越小研磨墊移除率越多，且研磨墊移除率隨著時間有更顯著的影響。
- CETR & PCR 隨著晶型越尖銳研磨墊移除率遞增，與對照組差異 PCR 由 -35%~31%; CETR 由 -67%~54%，表面粗糙 Rz 隨著晶型越尖銳而遞增 -8%~9%，Ra 則無明顯關係。

4.2 不同設計的鑽石修整器對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的關聯性

使用原本 7 種不同設計的鑽石修整器實際上機研磨，鑽石修整器壓力為 71b 轉速為 108rpm，移動路徑距離及擺動頻率如圖 4-9 所示，研磨墊型號為陶氏化學同心圓 IC1000，研磨液為陶氏化學氧化矽研磨液型號為 ILD3225，測機片使用厚度 HDP 5000A 前值規格為缺陷長度 >0.16um & <3um，顆數 <100 顆之晶片，後值規格為缺陷長度

>0.16um & <3um，顆數<100 顆之細微刮痕缺陷，研磨壓力分別為 Z1=7.0psi;Z2=3.5psi;Z3=3.5psi; Retain ring=8.8psi，研磨頭和研磨墊轉速分別為 71/70rpm，研磨液流量 100ml/min，DI water 流量 100ml/min，研磨時間為一分鐘，研磨後厚度為 3000A，研磨後清潔並延長使用 HF 0.05% 40 秒清潔晶圓上的研磨液殘留以及其他微塵，並使細微刮痕缺陷更為明顯。

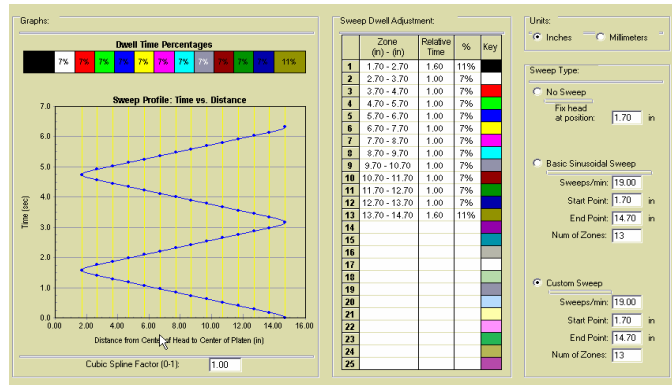


圖 4-9 鑽石修整器移動路徑距離及擺動頻率

4.2.1 鑽石排列間距對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響

以不同的鑽石距離 300/400/600um 製成 Type 2/4/5 三種不同的鑽石修整器，其前值與後值缺陷，如圖 4-10，鑽石距離 300um 缺陷數較對照組 400um 少 23%，如表 4-7。

Defect Map				
Item	1		2	
Disk type	Pre	Post	Pre	Post
Type 4(300um)				
	35	75	30	77
Type 2(400um)				
	36	92	17	105
Type 5(600um)				
	33	182	33	172

圖 4-10 不同的鑽石距離之修整器形成之細微刮痕缺陷

表 4-7 鑽石距離實驗組與對照組缺陷關係表

修整器Type	Defect 1(cts)	Defect 2(cts)	Defect AVG(cts)	Defect 差異
Type 2(對照組)	92	105	99	0%
Type 4(實驗組)	75	77	76	-23%
Type 5(實驗組)	182	172	177	79%

4.2.2 鑽石尺寸大小化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響

以不同的鑽石尺寸大小區間(107~115/165~173/197~213um)製成 Type 2/6/7 三種不同的鑽石修整器，其前值與後值缺陷如圖 4-11，鑽石尺寸 107~115um 缺陷數較對照組 165~173um 少 50%，如表 4-8。

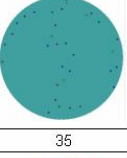
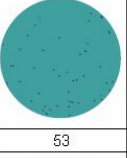
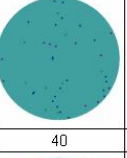
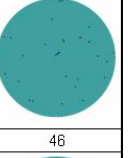
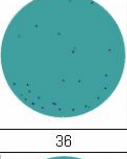
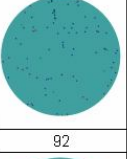
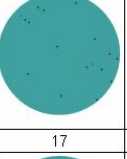
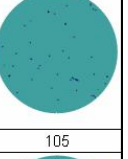
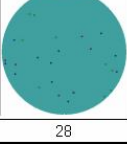
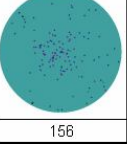
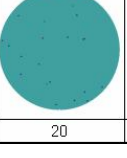
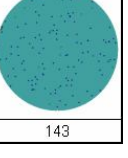
Defect Map				
Item	1		2	
Disk type	Pre	Post	Pre	Post
Type 6(107~115um)				
	35	53	40	46
Type 2(165~173um)				
	36	92	17	105
Type 7(197~213um)				
	28	156	20	143

圖 4-11 不同的鑽石尺寸大小之修整器形成之細微刮痕缺陷

表 4-8 鑽石尺寸實驗組與對照組缺陷關係表

修整器Type	Defect 1(cts)	Defect 2(cts)	Defect AVG(cts)	Defect 差異
Type 2(對照組)	92	105	99	0%
Type 6(實驗組)	53	46	50	-50%
Type 7(實驗組)	156	143	150	51%

4.2.3 鑽石晶型對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的影響

以不同的鑽石晶型(620/640/660)製成 Type 1/2/3 三種不同的鑽石修整器，其前值與後值缺陷如圖 4-12，，鑽石晶型 660 缺陷數較對照組 640 少 57%，如表 4-9。

Defect Map				
Item	1		2	
Disk type	Pre	Post	Pre	Post
Type 1(620)				
	30	132	36	129
Type 2(640)				
	36	92	17	105
Type 3(660)				
	35	46	30	40

圖 4-12 不同的鑽石晶型之修整器形成之細微刮痕缺陷

表 4-9 鑽石晶型實驗組與對照組缺陷關係表

修整器 Type	Defect 1(cts)	Defect 2(cts)	Defect AVG(cts)	Defect 差異
Type 1(實驗組)	132	129	131	32%
Type 2(對照組)	92	105	99	0%
Type 3(實驗組)	46	40	43	-57%

4.3 不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度對化學機械研磨製程細微刮痕缺陷的關聯性與探討

針對 Type1~7 此 7 種不同的鑽石修整器在測機片上其細微刮痕缺陷表現與表面粗糙度 Ra & Rz 以及研磨墊移除率 CETR & PCR 關係如以下各圖。

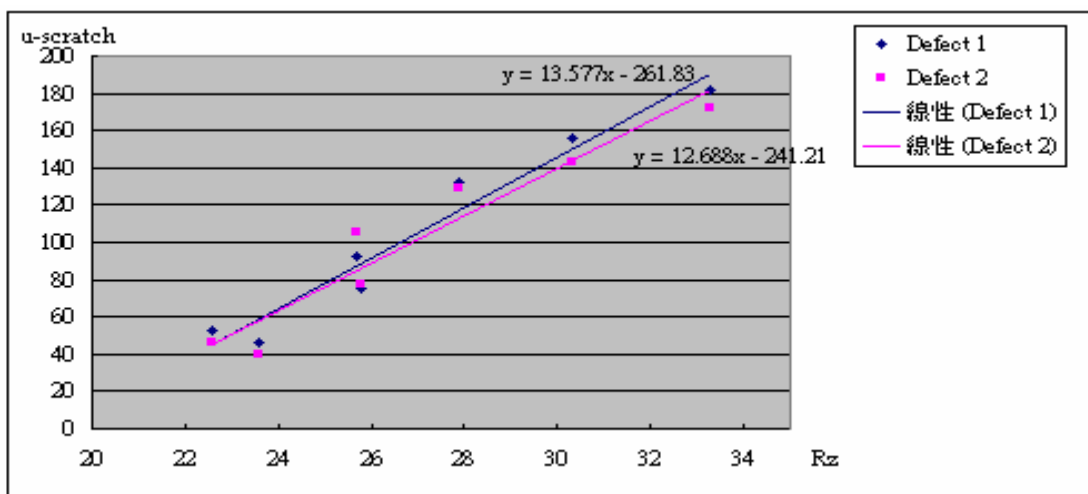


圖 4-13 Rz與u-scratch關係圖

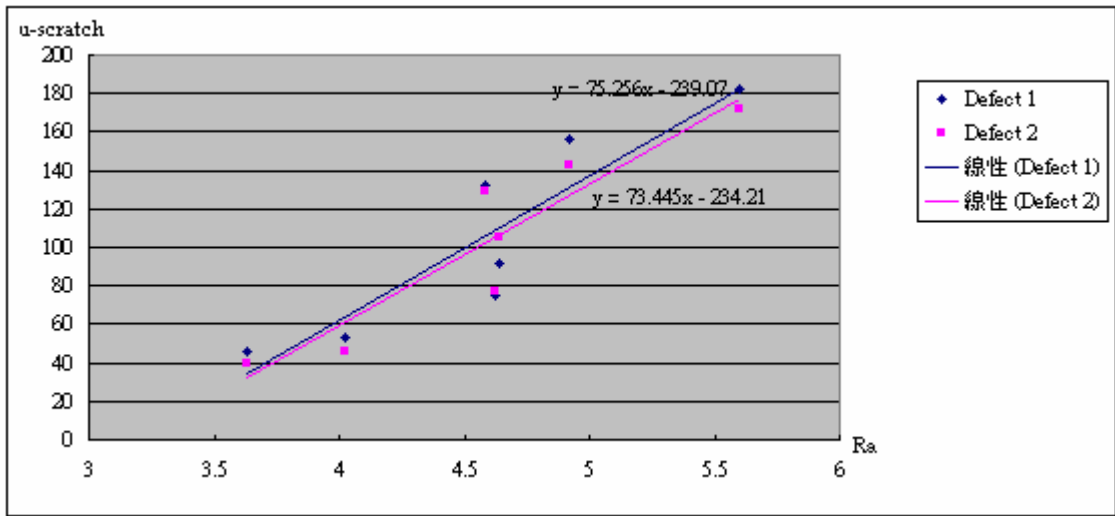


圖 4-14 Ra與u-scratch關係圖

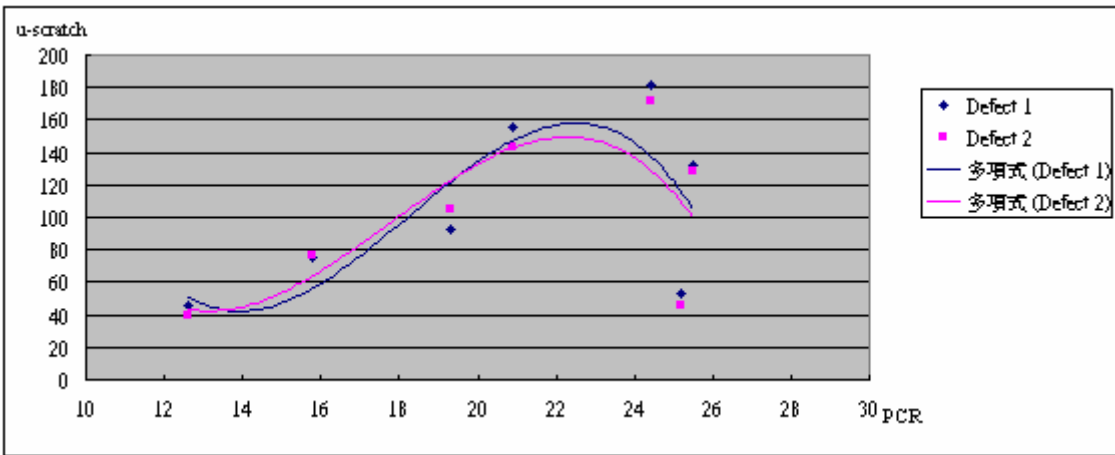


圖 4-15 PCR與u-scratch關係圖

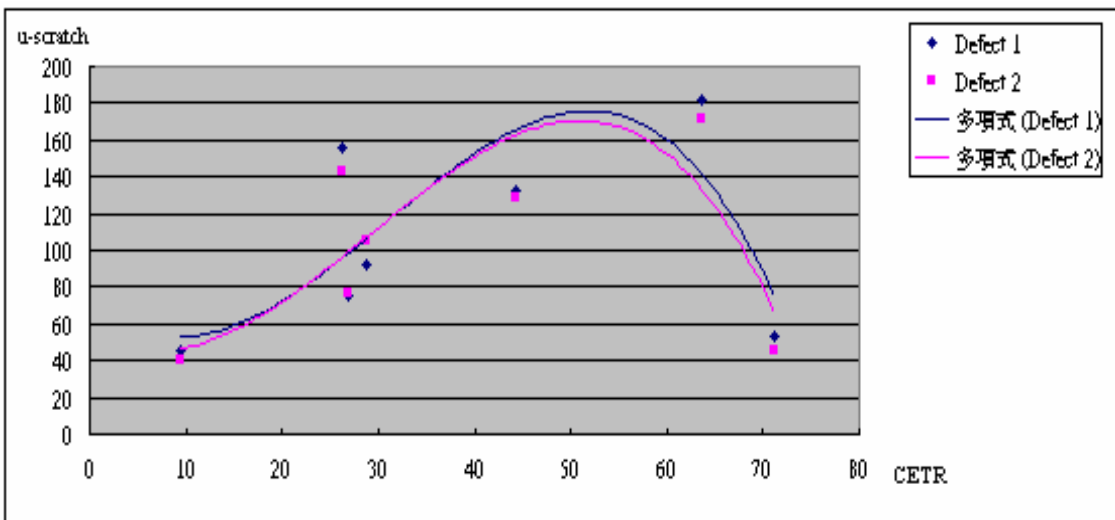


圖 4-16 CETR與u-scratch關係圖

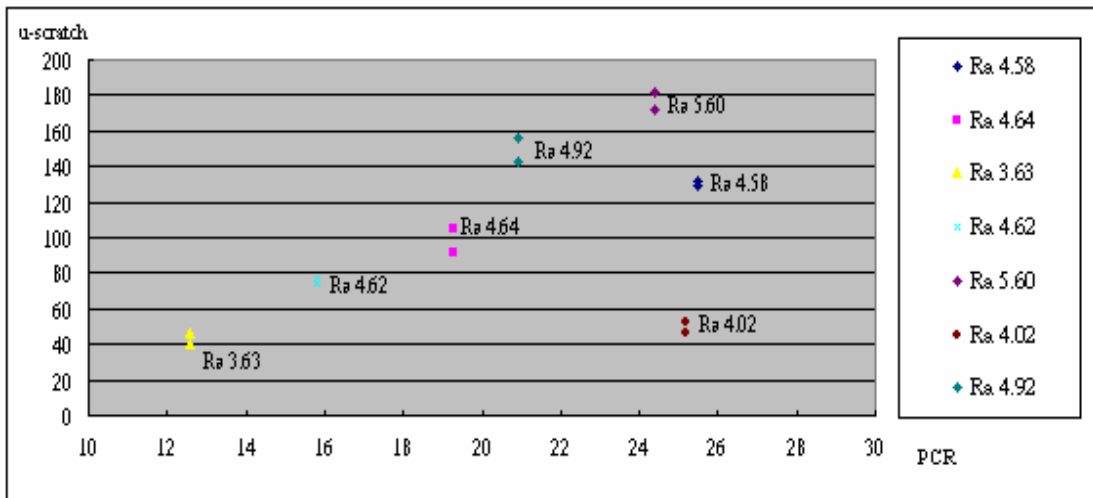


圖 4-17 PCR & Ra與u-scratch關係圖

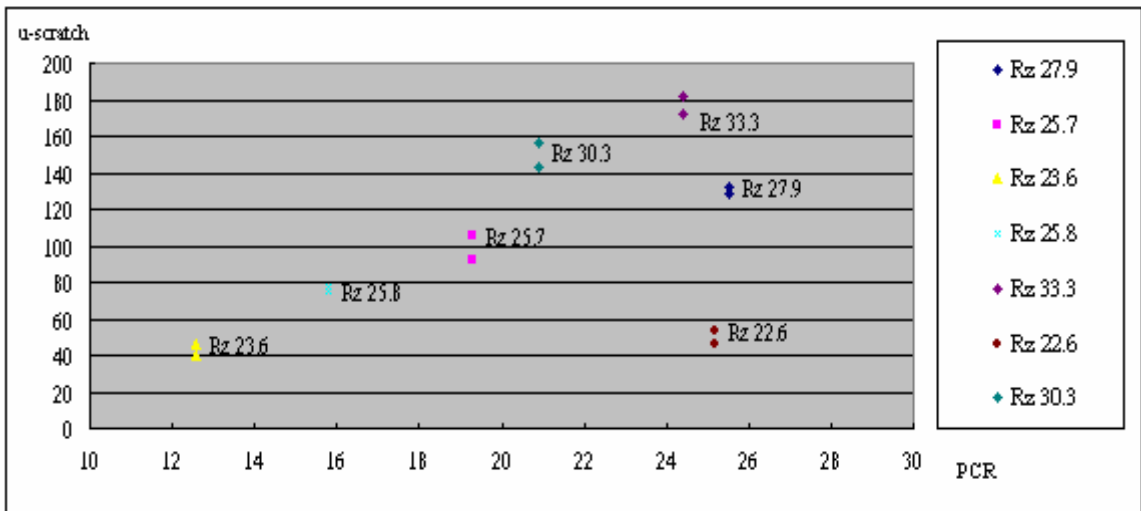


圖 4-18 PCR & Rz 與u-scratch關係圖

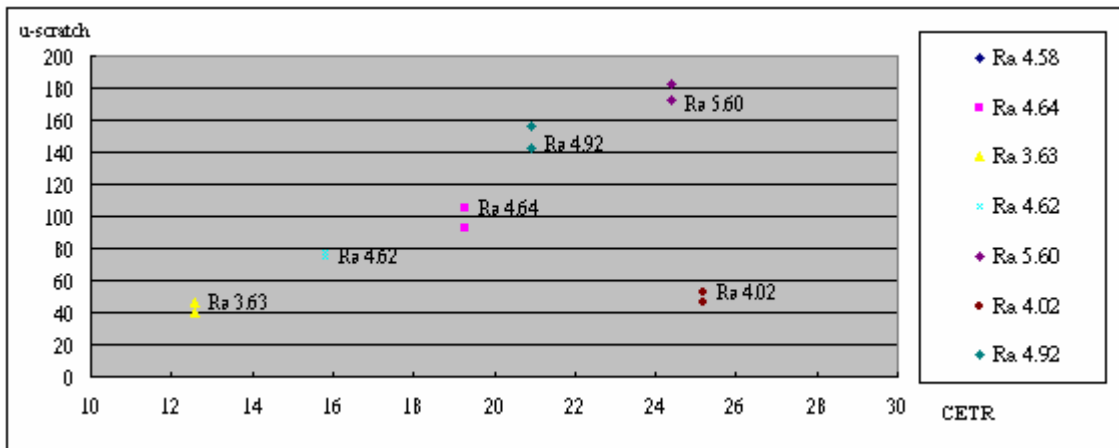


圖 4-19 CETR & Ra 與u-scratch關係圖

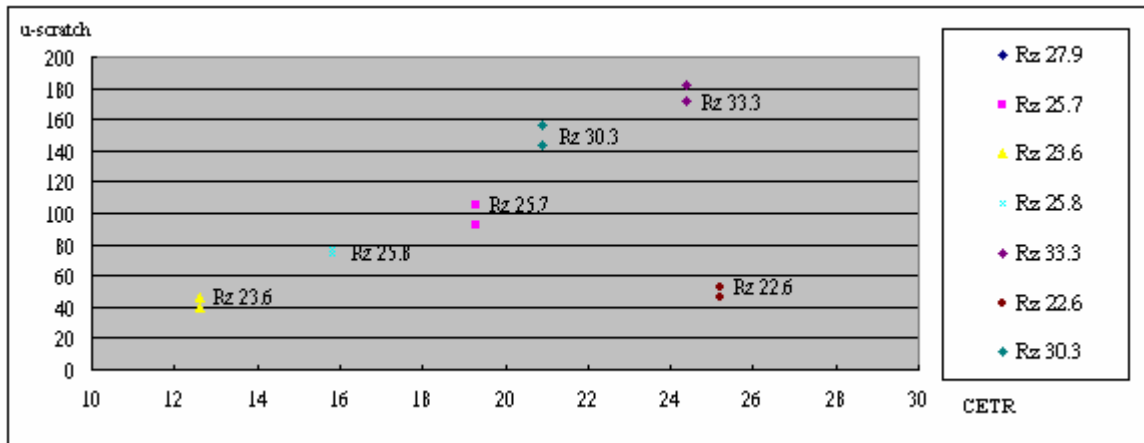


圖 4-20 CETR & Rz 與u-scratch關係圖

根據圖4-13~4-16關係圖可明顯看到細微刮痕缺陷表現與表面粗糙度Ra & Rz 成正比，而跟研磨墊移除率CETR & PCR並無明顯相關，由圖4-17~圖4-20更驗證了細微刮痕缺陷表現受Ra & Rz影響與研磨墊移除率CETR & PCR並無明顯相關。

假設缺陷長度 $>0.16\mu\text{m}$ & $<3\mu\text{m}$ 之細微刮痕缺陷100顆為所需規格，由圖4-13~圖4-14之關係式可得Rz & Ra

Rz與u-scratch關係式

$$y = 13.577x - 261.83 \text{ ---(1)}$$

$$y = 12.688x - 241.21 \text{ ---(2)}$$

$$y=100 ; x=26.65;26.89 \text{ ----Rz}$$

Ra與u-scratch關係式

$$y = 75.256x - 239.07 \text{ ---(3)}$$

$$y = 73.445x - 234.21 \text{ ---(4)}$$

$$y=100 ; x=4.51;4.55 \text{ ----Ra}$$

Final Rz <26.89 & Ra <4.55 可得缺陷長度 $>0.16\mu\text{m}$ & $<3\mu\text{m}$ 之細微刮痕缺陷100顆之要求規格。

5. 結論與未來之展望

5.1 結論

根據以上7種不同設計的鑽石碟盤對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性與對細微刮痕缺陷的影響探討之結論，茲將研究結果總結如下：

1. CETR & PCR 與鑽石距離成正比，與對照組差異PCR由-18%~26%;CETR-7%~121%

，在鑽石距離大於對照組時可明顯看到Rz & Ra變大粗糙度變差，與對照組差異Ra增加21%;Rz增加30%。

2. CETR與鑽石尺寸大小成反比，PCR則無明顯關係，與Ra & Rz成正比，與對照組差異PCR增加31%;CETR增加147%，可推論鑽石尺寸越小研磨墊移除率越多，且研磨墊移除率隨著時間有更顯著的影響。

3. CETR & PCR 隨著晶型越尖銳研磨墊移除率遞增，與對照組差異PCR由-35%~31%; CETR由-67%~54%，表面粗糙Rz隨著晶型越尖銳而遞增-8%~9%，Ra則無明顯關係。

4. 細微刮痕缺陷表現與表面粗糙度Ra & Rz 成正比，研磨墊表面越粗糙細微刮痕缺陷表現越差，而跟研磨墊移除率CETR & PCR並無明顯相關。

5. 由圖4-21~4-23 可得，鑽石距離& 鑽石尺寸大小需小於對照組，晶型較對照組圓滑，使Rz<26.89 & Ra<4.55 可得缺陷長度>0.16um & <3um之細微刮痕缺陷100顆之要求規格。

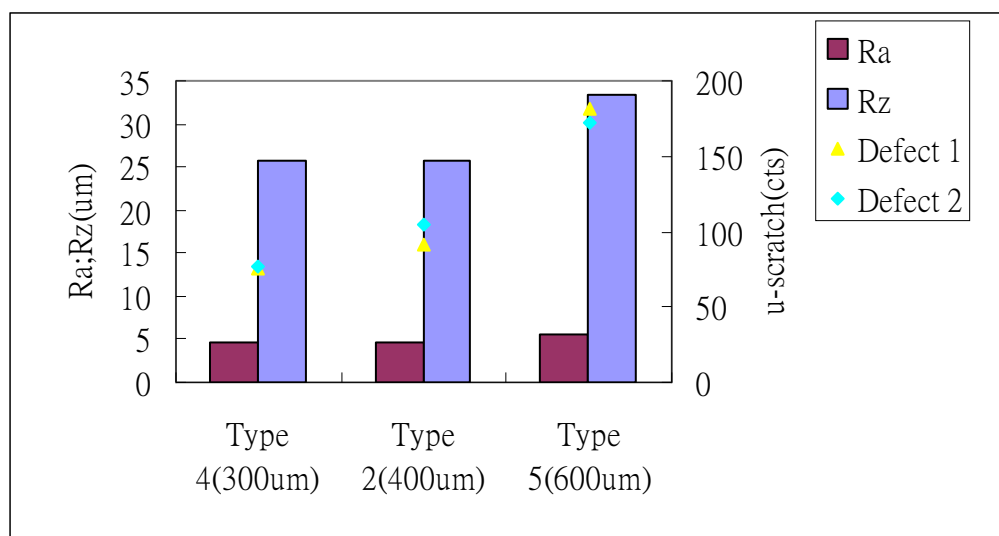


圖 4-21 Ra & Rz & u-scratch與鑽石排列間距關係圖

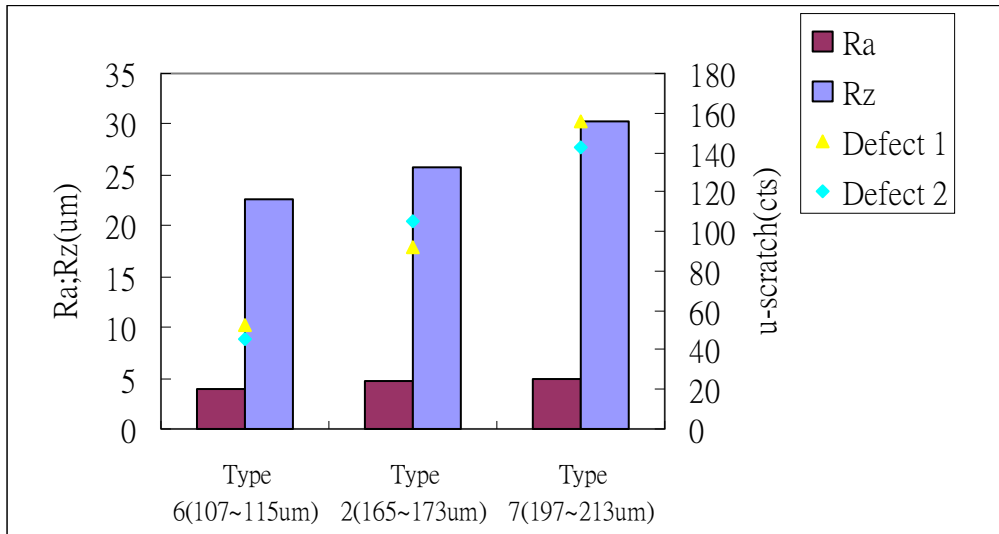


圖 4-22 Ra & Rz & u-scratch與鑽石尺寸大小關係圖

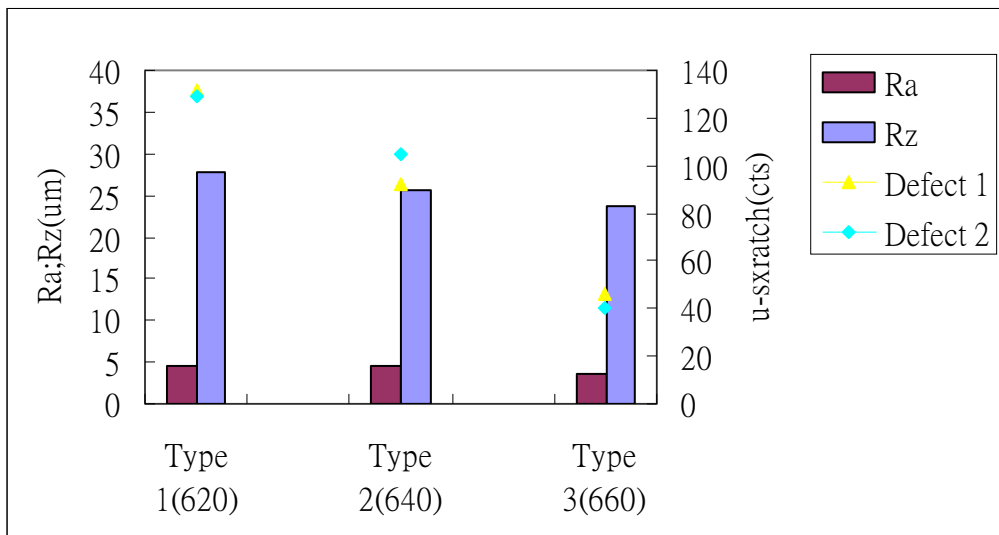


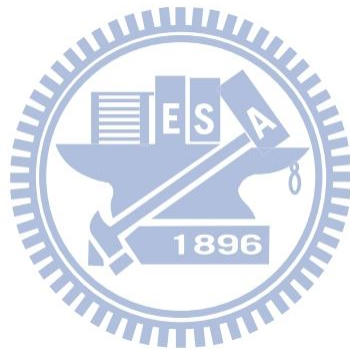
圖 4-23 Ra & Rz & u-scratch與鑽石晶型關係圖

5.2 未來之展望

本研究以探討 CMP 製程中之鑽石修整器為主軸，透過實驗觀察鑽石修整器之鑽石排列間距、鑽石尺寸大小、鑽石晶型在修整過程中對研磨墊移除率與表面粗糙度關聯性與對細微刮痕缺陷的影響，希望獲得較好之細微刮痕缺陷表現，增加晶片元件之良率；此外並針對實驗數據進行分析，獲得細微刮痕缺陷與表面粗糙度關聯性數學模式，利用此手法與數學模式除了可簡易掌握鑽石修整器之鑽石排列間距、鑽石尺寸大小、鑽石晶型設計與表面粗糙度變化對細微刮痕缺陷影響，並可作為其他參數（如研

磨液、拋光墊、研磨頭)對細微刮痕缺陷影響之參考。

總而言之，修整率與其他 CMP 參數(如材料移除率、拋光墊壽命、拋光晶圓品質、缺陷數、厚度均勻性)一樣，都是 CMP 製程的重要參考指標。倘若能夠有效掌握修整參數對於拋光墊特性的各種影響趨勢，並且設計出與使用拋光墊良好搭配之修整器，相信對於細微刮痕缺陷之降低與製程良率提升都會有相當大的幫助。



參考文獻

- [1]. 莊志豪，“研磨墊調節之磨削機構及其對化學機械研磨(CMP)製程之影響”，交通大學工學院碩士在職專班半導體材料與製程設備組碩士論文，2010。
- [2]. 土肥俊郎等著，王建榮，林必竊，林慶福等編譯，“半導體平坦化CMP 技術”，全華科技圖書股份有限公司，2011年6月再版。
- [3]. 戴寶通，「由物理機制談化學機械研磨設備」，電子月刊第三卷第四期，pp. 100~105，1997。
- [4]. 戴寶通，「化學機制研磨機制探討及消耗材的發展」，電子月刊第三卷第三期，pp. 63~69，1997。
- [5]. 左培倫、何碩洋，「CMP中修整參數對拋光墊特性影響之研究」機械月刊，2002年8月。
- [6]. 陳沛樺，化學機械拋光中先進鑽石碟對石墨拋光墊之修整與拋光效能研究，清華大學動力機械工程研究所碩士論文，2010。
- [7]. Sidney Huey, Steven T. Mear, Yuchun Wang, “Technological Breakthrough In Pad Life Improvement and its Impact on CMP CoC”, IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 54-58, 1999。
- [8]. 洪佩文，“化學機械拋光研磨中鑽石修整器修整特性之研究”，台灣大學機械工程系碩士論文，2002。
- [9]. J. Sung, Y. L. Pai, “CMP Pad Dresser: A Diamond Grid Solution”, Advances in Abrasive Technology III, The Society of Grinding Engineers, pp. 189-196, 2000.
- [10]. H. D. Jeong, K. H. Park, K. K. Cho, “CMP Pad Break-in Time Reduction in Silicon Wafer Polishing”, Annals of the CIRP, pp357-360。
- [11]. 周聖尉，“化學機械拋光中拋光墊動態及靜態特性之研究”，清華大學動力機械工程系碩士論文，2003。

- [12].C. C. Garretson, S. T. Mear, J. P. Rudd, G. Prabhu, T. Osterheld, D. Flynn, “New Pad Conditioning Disk Design Delivers Excellent Process Performance While Increasing CMP Productivity,” CMP-MIC Conference, pp.N1-N5, 2000. ◦
- [13].K. H. Park, H. J. Kim, O. M. Chang, H. D. Jeong, “Effect of Pad Properties on Material Removal in Chemical Mechanical Polishing,” Journal of Materials Processing Technology, 2007, pp,73-76. ◦
- [14].H. Liang, J. M. Martin, R. Lee, “Influence of Oxides on Friction During Cu CMP” University of Alaska and Argonne National Lab Journal of electronic materials, 2001. ◦
- [15].A.K. Sikder, Frank Giglio, John Wood, Ashok Kumar and Mark Anthony, “Optimization of Tribological Properties of Silicon Dioxide during the Chemical Mechanical Planarization Process,” Journal of Electronic Materials, Vol. 30, No. 12, pp. 1520-1526, 2001. ◦
- [16].J. K. Wang and William Lee, “A Novel Pad Conditioning Disk Design of Tungsten Chemical Mechanical Polishing Process for Deep Sub-Micron Device Yield Improvement” , National Chiao-Tung University, National Chiayi University and Kinik Company, Taiwan, R. O. C. , 2001. ◦
- [17].J. Coppeta, C. Rogers, A. Philipossian, F. Kaufman and L. Racz, “Pad effects on slurry transport beneath a wafer during polishing” , Third International Chemical Mechanical Polish Planarization for ULSI Multilevel Interconnection Conference, Santa Clara, CA, USA, 36 , 1998. ◦
- [18].何碩洋, 「化學機械拋光中拋光墊修整參數影響之研究」, 清華大學動力機械工程系碩士論文, 2002. ◦
- [19].B. J. Hooper,G. Byrne, S. Galligan, “Pad conditioning in chemical mechanical polishing” ,Department of Mechanical Engineering,University College Dublin, Accepted 5 September 2001. ◦

- [20]. 楊琦婷，「化學機械研磨中鑽石修整器磨耗之研究」，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文，2002。
- [21]. 趙弘文，「化學機械研磨中單顆鑽石於研磨墊上作用之探討」，國立台灣大學機械工程研究所碩士論文，2003。
- [22]. John McGrath, Chris Davis, “Polishing Pad Surface Characterisation in Chemical Mechanical Planarisation”, Journal of Materials Processing Technolgh, pp666-673, 2004。
- [23]. F. Malik and M. Hasan, ” Manufacturability of the CMP process”, Thin Solid Films, Vol.270, pp. 612-612, 1995.
- [24]. Hong Xiao原著，羅正忠、張鼎張編譯，「半導體製程技術導論」，學銘圖書有限公司，1994. 4。

