

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

矽晶圓加工之前瞻技術開發(2/2) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-233-
執行期間：95年08月01日至96年09月30日
執行單位：國立臺灣大學機械工程學系暨研究所

計畫主持人：楊宏智

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：詹景梧、林芳妃、巫翎楷

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 14 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

矽晶圓加工之前瞻技術開發(2/2)

Studies on Thinning Technique for Silicon Wafers.

計畫編號：95-2221-E-002-015

執行期限：95年8月1日至96年7月31日

主持人：楊宏智

台灣大學機械工程學系教授

一、中文摘要

本研究建立在現行輪磨可達到的薄化基礎上，以批次式蝕刻 $50\mu\text{m}$ 為目標，一方面以化學蝕刻進行進一步薄化，同時達到消除殘留應力的需求。

本研究先以小試片初步找出製程參數，再配合田口實驗了解各製程參數影響、系統特性以及找出最佳製程參數，利用現有蝕刻設備做有效調整。首先嘗試以製作 $100\mu\text{m}$ 矽晶圓為目標，圓滿達成後再更進一步挑戰蝕刻薄化極限。

本研究另設計出以真空吸附方式，將薄化矽晶圓吸附於耐酸治具上，利用治具為基底支撐薄化矽晶圓，使後續泡酸作業不會破裂損毀，讓批次式蝕刻得以實現。

關鍵詞：矽晶圓、薄化、濕式化學蝕刻、批次式蝕刻、真空治具

Abstract

This research was based on the state-of-the-art technology of grinding process, and then the batch etching process was developed to thin the wafer $50\mu\text{m}$ more while removing residual stress at the same time.

This research gives different treatments on the wafers to figure out the process parameters. Taguchi Method was applied to explore the process parameters, system characteristics, and find out the best process parameters to achieve a $100\mu\text{m}$ thin wafer. Once it is successfully achieved, the next challenge would be the limitation of etching process.

This research specifically designs a vacuum

chuck to hold the thin wafer on the acid-proof jig. The jig was used to support the thin wafer, and prevent it from being damaged during the post-deposition process.

Keywords: silicon wafer, thinning, wet chemical etching, batch etching, vacuum jig

二、緣由與目的

為配合電子產品微小化發展的趨勢並維持高效能及高可靠度的封裝，就需要開發新的晶圓片薄化及平坦化技術 [1]。矽晶圓薄化技術主要可應用於微機電系統 MEM 及可攜帶式的電子元件，如：PCMCIA 卡、智慧卡、小型磁碟機、行動電話等，其應用面十分寬廣。

矽晶圓薄化目前最廣為運用的技術是採用輪磨進行薄化作業，TTV 佳、生產速度快為其優點；但輪磨以機械力進行材料移除，加工過程必然產生次表面破壞層 (SSD) [2] 以及殘留應力。當矽晶圓厚度較大時，其本身強度足夠則次表面破壞層影響有限，但是當進行矽晶圓薄化時，由於矽晶圓變薄後支撐力下降，輪磨後的殘留應力將造成矽晶圓的彎曲甚至捲曲，使後續的加工作業更加困難，而次表面破壞層亦會使變薄的矽晶圓更加的脆弱。輪磨矽晶圓厚度至 $200\mu\text{m}$ 左右，Warp 問題即開始被突顯；以輪磨繼續進行薄化時，勢必會因殘留應力遭遇極限。

在前一期的研究中，針對矽晶圓薄化過程中非常重要的殘留應力問題，構思以濕式化學蝕刻的結合，藉以去除次表面破壞層及輪磨加工所衍生的殘留應力，提供產業界對於提昇晶圓薄化之技

術，獲致良好的成效。

本期的研究嘗試在先前的基礎之上，在消除薄化後殘留應力的同時，建立可批次式薄化 50 μm 的薄化量產技術、建立製程參數最佳化資料、達成 100 μm 厚度的晶圓成品製作並追求更進一步的薄化成果。

三、研究報告內容

本研究以前瞻的晶圓薄化加工技術開發為主軸，建立在現行輪磨可達到的薄化基礎上，以批次式蝕刻方式將矽晶圓做更進一步的薄化。過去矽晶圓薄化製程輪磨後也會進行批次蝕刻的動作，但主要作用是產生後續覆層作業所需表面或是去除殘留應力消除 Warp 的作用，而非移除矽晶圓材料進行薄化作業，通常蝕刻量很低只有數 μm 。本研究以蝕刻 50 μm 為目標，一方面以化學蝕刻進行進一步薄化，同時達到消除殘留應力的需求。

本研究先以小試片初步找出製程參數，再配合田口實驗了解各製程參數影響、系統特性以及找出最佳製程參數，利用現有蝕刻設備做有效調整。規劃上首先嘗試以製作 100 μm 矽晶圓為目標，圓滿達成後再更進一步挑戰蝕刻薄化極限。

當矽晶圓厚度低於 200 μm 後，本身強度不足常造成後續作業困擾，無論是泡酸、水洗、旋乾或是攜帶的過程都很容易造成破片。因此本研究另設計出以真空吸附方式，將薄化矽晶圓吸附於耐酸治具上，利用治具為基底支撐薄化矽晶圓，使後續泡酸作業不會破裂損毀，讓批次式蝕刻得以實現。

四、執行步驟及成果

實驗進行前，先針對基本的認知進行要因的分析，以決定初步的實驗條件，當進行實驗期間則可能發現更多的要因或是需要調整屬性的因子。

在薄化製程的要因分析之後，本研究所進行批次式蝕刻矽晶圓薄化實驗主要分成四個步驟，分別是前期的小試片實驗、整片矽晶圓的前置實驗、田口實驗以及最後的確認實驗(如圖 1)。

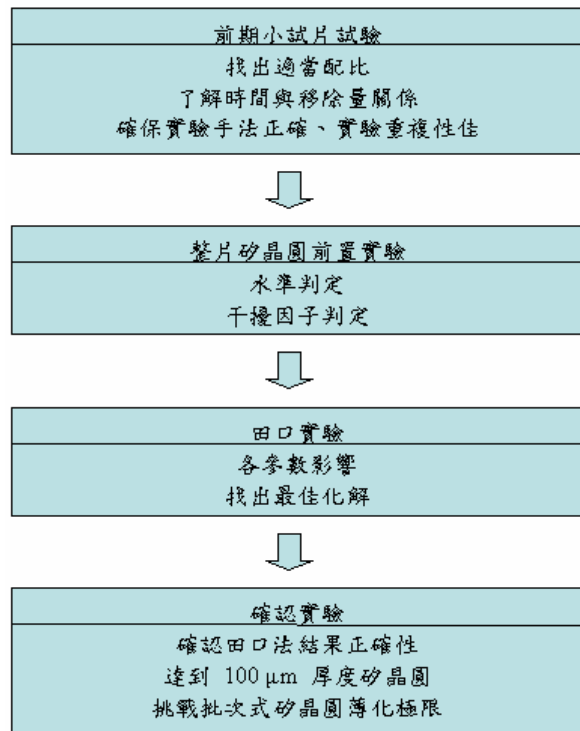


圖1. 研究方法圖

1. 前期小試片試驗

1.1 MAE 蝕刻機制

MAE(Mixed Acid Etchants)是半導體業界常用的蝕刻液，通常用以蝕刻矽晶圓。其具有非等向性(Anisotropic)的蝕刻性質，主要是由硝酸(HNO_3)、氫氟酸(HF)及水(H_2O)或是醋酸(CH_3COOH)混合而成。其中硝酸提供大量氫離子，矽與氫離子結合後呈帶正電矽，帶正電矽與氫氧根結合為 $\text{Si}(\text{OH})_2$ 而再轉化為氧化矽(SiO_2)與水，這個過程即對矽進行氧化。而氫氟酸與氧化矽反應後會產生 H_2SiF_6 及水，其中 H_2SiF_6 會融於水而成黃褐色，此過程即移除氧化矽的過程。因此 MAE 就在矽晶圓(Wafer)表面產生氧化矽，再以氫氟酸拔除氧化層露出矽材，兩個動作不斷循環而達到快速蝕刻的效果。其反應式如下所示[3]：

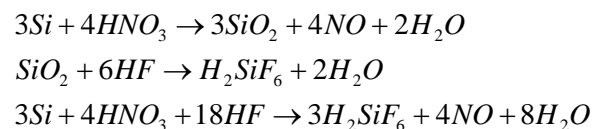
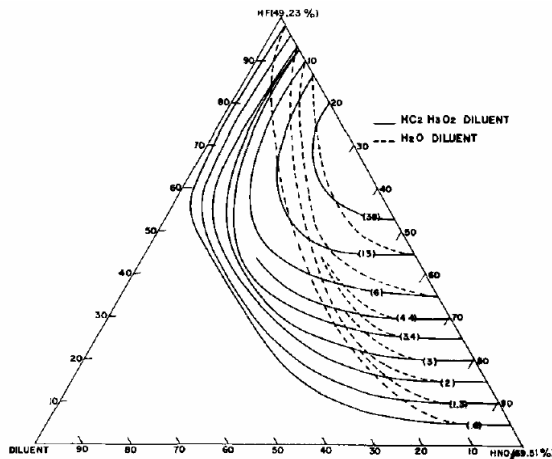


圖 2 顯示不同配比下，MAE 溶液對矽的反應速率有明顯的差異[4]。



(Unit : Mils per Minute)

圖2. HF, HNO₃ 及 CH₃COOH 各配比蝕刻率三角圖[4]

1.2 小試片試驗

小試片試驗(圖 3)的目的是在不浪費太多資源的情況下，先了解 MAE 的基本特性、掌握實驗手法並確認該作法的可行性。

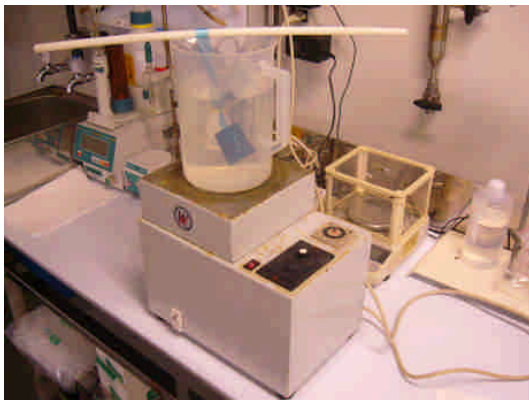


圖3. 小試片試驗裝置

2. 完整矽晶圓前期實驗

經過小試片試驗，對 MAE 在該範圍內的大致蝕刻狀況有基本瞭解後，便可開始準備進入大蝕刻槽的田口實驗。因為蝕刻環境不同、攪拌方式不同，在小試片實驗時的蝕刻率不可直接沿用到大蝕刻槽，在進行田口實驗前，還需重新了解適當的水準範圍，電阻值對蝕刻是否有影響而需列入干擾因子，蝕刻過程蝕刻率是否穩定即蝕刻量與時間是否呈線性，又擺放位置不同造成的蝕刻差異是否可以接受等。此階段實驗的結果可做為田口實驗中因子選擇與位準決定的依據。

3. 田口實驗

3.1 田口直交實驗

透過前置實驗所得資料可進行田口實驗[5]的規劃，包含因子、目標以及水準的判定，當這些條件都確定後便可產生直交表。

整個田口實驗所使用的直交表與因子位準表如表一所示。

表1.田口直交表與因子位準表

Factor	Etchant Type	Temperature	Etching Time	Bubble Rate
Level 1	A	25°C	5 min	0 l/min
Level 2	B	30°C	15 min	10 l/min

Factor ¹ Level Run	Etchant Type	Temp.	e	Etching Time	e	e	Bubble Rate
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

¹ Empty columns are indicate by e

圖 4 為本研究所使用的蝕刻槽。該蝕刻槽前方為清洗槽，可注入 DI Water 進行蝕刻後的清洗作業；而後方為擁有內外槽的耐酸槽，酸液配好後放置於耐酸槽內。

內外槽間有個耐酸幫浦，幫浦會將外槽裡的酸液抽到內槽裡，當內槽的酸滿了之後則自然溢出到外槽，依此循環便可達到攪拌的作用，幫浦的循環管路中則設置冷卻水以及加熱器用以控制槽內溫度。矽晶圓透過治具固定掛於機械手臂上，透過機械手臂將矽晶圓送至後方蝕刻槽內，以計時器計時，當時間到時手臂自動將矽晶圓送至前方清洗槽內，將殘酸清除後再予取出。

耐酸槽底部則有氮氣管路均勻分布，管路可注入氮氣，利用氮氣氣泡的流動可達到酸液局部攪拌的效果，其氮氣大小可透過調節閥及量表而得以控制。

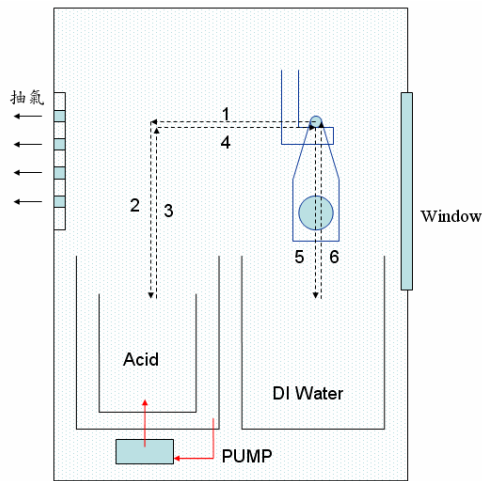
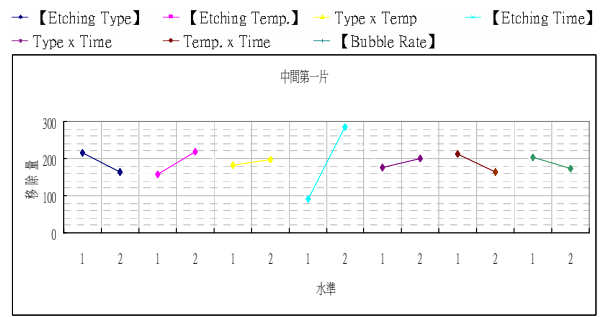


圖4. 蝕刻槽

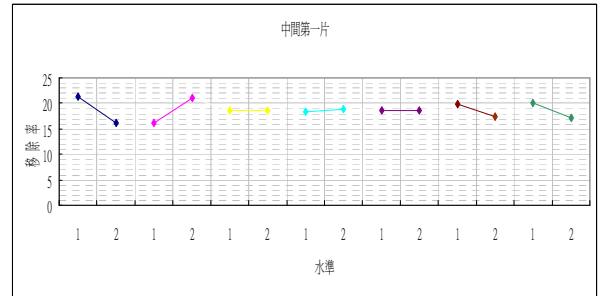
3.2 因子效果與 S/N 分析

將實驗結果與直交表進行比對，把直交表中蝕刻溫度座落在水準 1 的 Run 次中的實驗結果加總，即為蝕刻溫度在水準 1 的因子影響程度，再將座落在水準 2 的 Run 次中的實驗結果加總，則為蝕刻溫度在水準 2 的因子影響程度。而兩者間的相對關係可知道蝕刻溫度在不同的水準所造成的影響。

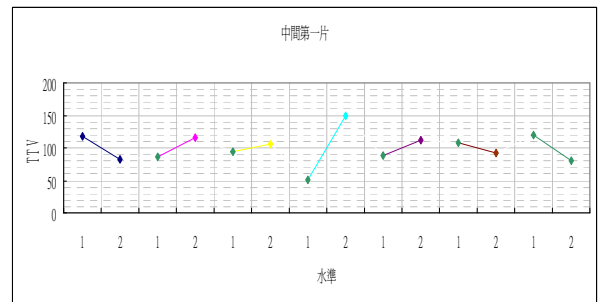
將所有因子透過直交表進行效果的計算，所得結果如圖 5 所示，圖中針對(a)移除量、(b)移除率以及(c)TTV 等實驗結果展開因子效果繪製成圖表，可輕易比較各因子在各個目標值上的影響。因為每次實驗都放四片，共有四個位置，但是繪製因子效果表時其各位置的結果一致，故此處以中間第一片進行討論。



(a) 移除量



(b) 移除率



(c) TTV

圖5. 田口實驗因子效果分析

觀察圖 5(a)中蝕刻量因子效果圖可明顯看出，當醋酸含量較多時，其蝕刻量較少；當蝕刻溫度較高時，蝕刻量較多；當時間為 15 分鐘時，蝕刻量較多；而氣泡開啟時，蝕刻量減少。而當中時間對蝕刻量的影響範圍是最大的，針對蝕刻量的控制，改變時間所得效果遠高於改變其他因子所得結果，故時間為控制蝕刻量的最適當因子。

若將時間因素排除，則由圖 5(b)蝕刻率的因子效果圖。可發現蝕刻液配溫度、氣泡的開關都是顯著因子，當要調整蝕刻率時所有因子都是有影響的。

由圖 5(c) TTV 因子效果圖發現影響 TTV 的因子當中，時間還是影響最高的因

子，而且時間越高，則造成的 TTV 也就越大。因此可見該系統對於 TTV 會有所限制，為了達到較高的蝕刻量需增加時間進行蝕刻，可是增加時間的情況下也會同時增加 TTV，因此在 TTV 規格以及所要蝕刻的量之間必須取個平衡。除了時間之外，氣泡的開啟也是顯著因子，可知當氣泡開啟時可以明顯的使 TTV 下降。

此外，本研究採田口方法訊噪比(S/N)比的觀念，以蝕刻量為望目目標進行計算 SN 比以及靈敏度 S，當該 SN 比越大，則表示各個量測點所得蝕刻量越一致越好，來檢視各個項目，找出各個參數對目標的影響。

透過移除量靈敏度 S 的調整可以將移除量調整至我們的目標值上。由於移除量靈敏度 S 的顯著因子為蝕刻時間，其餘因子皆無顯著的影響，故蝕刻時間為最調整蝕刻量的最適當因子。

3.3 最佳化參數

本研究將目標訂在達成將晶圓薄化 50 μm 並尋求最小 TTV 的最佳化的條件。經由以上討論，將各因子對各目標較佳解進行整理如表 2 所示，由於移除量望目目標為首要目標，其重要性最高，故將蝕刻時間列為控制蝕刻量的首要調整因子，但蝕刻時間同時為 TTV 的顯著因子，在此卻因重要性次之，故 TTV 終將會受限於蝕刻時間。蝕刻的均勻性列為第二重要的目標，故除了時間因子外，氣泡的開關決定了 TTV 的好壞，其水準 2 即氣泡打開對 TTV 較佳，由移除量的 SN 比來看其水準 2 對蝕刻的均勻性較佳，故可確認氣泡打開可明顯增加蝕刻均勻性及降低 TTV。由於蝕刻液配比與蝕刻溫度交互作用對蝕刻均勻性也是顯著作用，故同時考慮兩者取較佳解，因此蝕刻液配比選水準 2、蝕刻溫度選水準 1 所得蝕刻均勻性較佳。

表2.最佳化解整理

		Type	Temp.	Time	Bubble
Remove	SN	水準 2	水準 1		水準 2
	S			水準 2	
TTV		水準 2	水準 1	水準 1	水準 2
Remove Rate		水準 1	水準 2		水準 1

而蝕刻時間經靈敏度計算在此條件下蝕刻時間在水準 1 及水準 2 時的靈敏度各為 $\mu_1=24.06608$ 及 $\mu_2=33.78332$ ，而蝕刻厚度的目標值是 50 μm ，其靈敏度 $S=10\log(50^2)=33.9794$ ，此數據落於 μ_2 以外，故需用外插的方式計算所需蝕刻時間，所得結果為 15.2 分鐘。

4. 確認實驗

本研究在以田口實驗得出最佳解後，依所得解再次進行試驗，以確認結果的正確性。

此階段包含：驗證薄化 50 μm 之製程參數、薄化至 100 μm 厚度的成品試作、更進一步挑戰薄化厚度極限，並確認只要輪磨能達到的厚度，就可以往下繼續蝕刻而薄化。

4.1 驗證薄化 50 μm 之製程參數

使用厚片以最佳解進行三個批次的蝕刻，以確認該蝕刻實驗準確性，其結果如圖 6 所示。三個批次蝕刻的結果一致，只有最左邊位置的蝕刻狀況不穩定，而平均蝕刻量也落於 50 μm 左右。由於較邊緣區域氣泡管路並未到達，固可明顯看出左右兩邊的蝕刻較不穩定。

而蝕刻後之厚度均勻性經過最佳化後，其 TTV 皆低於蝕刻量的 1/2，甚至有 TTV 達到 5 μm ，其結果優於初期實驗 TTV 坐落於該蝕刻量的 1/2 ~ 3/4 左右的結果。

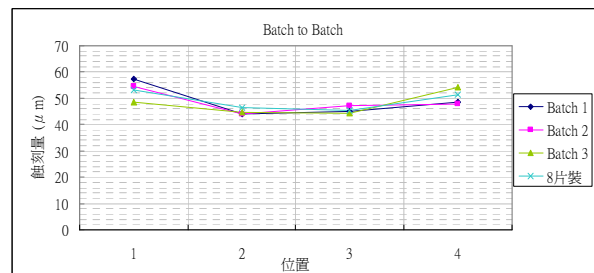


圖6. 最佳化條件薄化驗證結果

4.2 薄化至 100 μm 厚度的成品試作

厚片可以達到蝕刻 50 μm 的目的後，再取 150 μm 薄片利用本研究所設計的真空治具(詳見第 5 節)吸附後進行蝕刻，期望能達成 100 μm 的矽晶圓，經過實做可確實達到 100 μm (圖 7(a))。

4.3 挑戰薄化厚度極限

為挑戰薄化厚度極限，本研究再更進一步使用 $100\mu\text{m}$ 矽晶圓進行蝕刻得到 $50\mu\text{m}$ 厚度的矽晶圓成品(圖 7(b))。最後更嘗試以 $100\mu\text{m}$ 矽晶元將蝕刻時間外插到 22.8 分鐘，預期得到 $25\mu\text{m}$ 的矽晶圓，所得成品如圖 7(c)所示。當達到 $25\mu\text{m}$ 時，由於厚度太薄，真空治具吸附的痕跡將明顯的印在矽晶圓上面，可知該治具已達薄化極限，若要繼續向下蝕刻，則需修改治具吸附方式，避免該明顯痕跡。

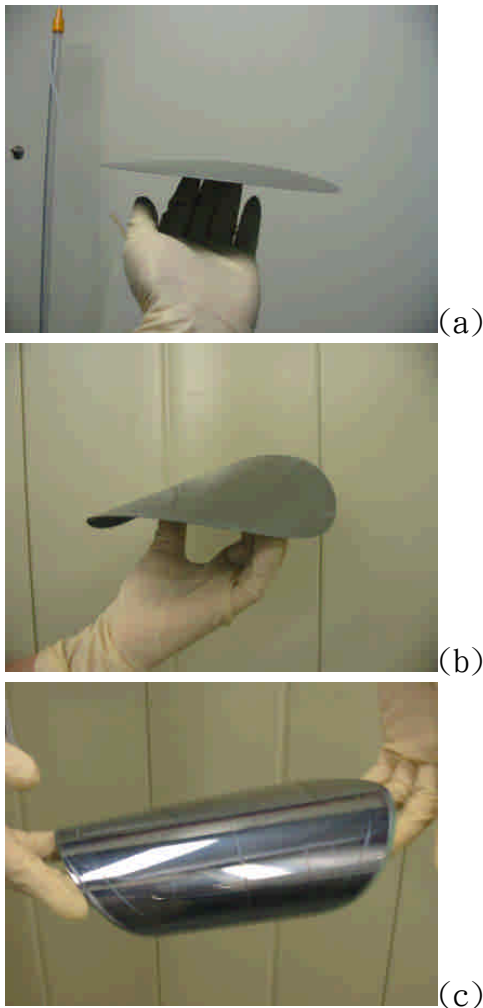


圖7. 薄化後晶圓成品
(a) $100\mu\text{m}$ (b) $50\mu\text{m}$ (c) $25\mu\text{m}$

4.4 不同原始厚度晶圓薄化驗證

將不同的厚度的矽晶圓，以 $50\mu\text{m}$ 為目標進行蝕刻，所得結果如圖 8 所示，其驗證以矽晶圓可以輪磨到的厚度為基礎，用現有蝕刻設備可以更進一步達到薄化的效果。

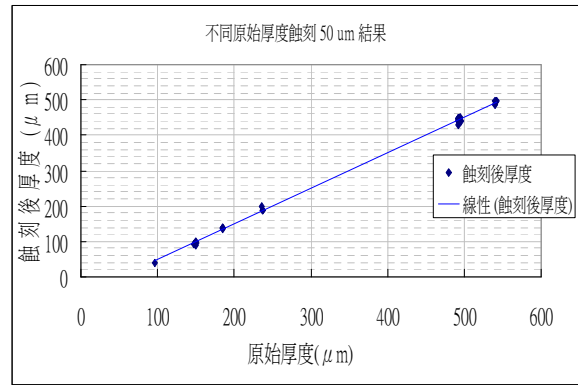


圖8. 不同厚度矽晶圓蝕刻 $50\mu\text{m}$ 結果

5. 真空治具的設計與驗證

因應矽晶圓薄化後進行蝕刻液蝕刻時，容易因蝕刻液的流動、水的張力甚至在攜帶過程造成矽晶圓的破裂，本研究設計了一個真空治具(圖 9)，利用鐵氟龍耐酸以及比重比蝕刻液大的特性，選用為真空治具的材料。真空治具上方做一掛鉤，可將多個治具同時掛於同一架子上，而進行批次式的蝕刻。於 8 吋矽晶圓直徑往內縮數 mm 處理設耐酸等級的 O Ring，以防矽晶圓吸住時邊緣會漏真空。於真空治具中心挖些許凹槽當使用真空幫浦進行抽氣時，該空間因空氣被抽出而保持負壓，將矽晶圓緊緊吸附貼於治具表面。並於側邊挖深孔將真空槽連結至側向的真空閥，抽真空後將真空閥關閉可保持真空槽內的真空度。此真空度只需能保持至矽晶圓蝕刻完畢而不使矽晶圓脫落即可。真空治具的使用及矽晶圓放置流程如圖 10 所示，經驗證可適用於 $100\mu\text{m}$ 以下的矽晶圓的蝕刻製程。

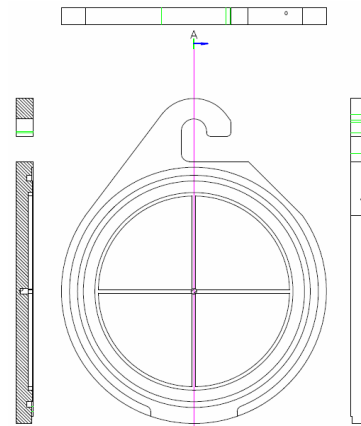


圖9. 真空治具外形圖



圖10. 矽晶圓放置流程

五、結論

新一代的 IC 需要更薄的晶片，才能夠滿足市場電子產品輕、薄、短、小的主流需求。但是在此同時矽晶圓的直徑將會愈來愈大，使得矽晶圓的厚度也跟著變厚。因此整個矽晶圓的薄化製程是 IC 封裝重要步驟，並且也是最有效率的作法。

綜合本研究所討論的內容，可歸納為以下幾個要項：

1. 本研究以批次蝕刻的方式進行研究，再透過真空治具配合進行薄化蝕刻，證實了在現有輪磨機台可輪磨厚度的限制下，可用簡單的蝕刻設備用最經濟的方式，達到更進一步薄化的效果，為矽晶圓薄化提供了另一種思考方向。
2. 當矽晶圓輪磨至薄片時，其良率大幅下降、困難度增加使成本成倍數成長，若將輪磨厚度控制在良率高的範圍，而以批次蝕刻的方式進行更進一步薄化，增加良率而減少成本，甚至因輪磨施予機械力進行加工的方式終究會有限制，而蝕刻方式將是更進一步薄化適當

的加工方法。

3. 本研究以田口實驗找出各因子的影響並找出該系統的適當參數，其溫度增加、醋酸減少都將增加蝕速率但同時會增加 TTV，而氣泡的開啟微量降低蝕速率但可大量減少 TTV 為適當的攪拌工具，蝕刻時間與蝕刻量關係呈線性且對蝕刻量影響最大，適合用以控制蝕刻量。
4. 透過田口法進行參數的最佳化建立起批次式蝕刻的可行性，並以此結果製作出 $100\ \mu\text{m}$ 的矽晶圓，證明該製程可拿來進行薄化。進而甚至更進一步的達成製作 $50\ \mu\text{m}$ 及 $25\ \mu\text{m}$ 的矽晶圓，用以說明該方式擁有延伸應用的機會。
5. 當進行薄化時低於 $100\ \mu\text{m}$ 的矽晶圓將難以進行蝕刻，本研究也嘗試設計製作真空治具，以治具真空吸附矽晶圓的方式增加支撐使蝕刻得以繼續進行下去，實驗後結果可蝕刻至 $50\ \mu\text{m}$ 。而 $25\ \mu\text{m}$ 以下的矽晶圓也可蝕刻達到，但因太薄會使真空治具的凹槽印至矽晶圓表面影響而蝕刻結果。

六、參考文獻

- [1] Mark Hendrix, Scott Drews “Improvements in Yield by Eliminating Background Defects and Providing Stress Relief with Wet Chemical Etching” ST, SEZ USA 2004
- [2] L. C. Zhang and N. Yasunaga, Advances in Abrasive Technology, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, pp. 33-42, 1997.
- [3] Marco Steinert, etc. “Reactive Species Generated during Wet Chemical Etching of Silicon in HF/HNO₃ Mixtures”, J. Phys. Chem. B, Vol. 110, No. 23, 2006
- [4] Harry Robbins and Bertram Schwartz, “Chemical Etching of Silicon II. The System HF, HNO₃, and HC₂H₃O₂”, Journal of the Electrochemical Society, Vol.107, No.2 pp.108-111, 1960.
- [5] Ross PJ: Taguchi techniques for quality engineering. McGraw-Hill, New York(1988).

行政院國家科學委員會補助出席國際學術會議報告

95 年 12 月 8 日

報告人姓名	楊宏智	科系所	台灣大學機械工程所
時間 會議 地點	2006/09/25~2006/09/27 大陸，大連理工大學	本會核定 補助文號	計畫編號： NSC-95-2221-E-002-015
會議 名稱	(中文) 國際表面精工技術暨表面工程研討會 (英文) International Conference on Surface Finishing and Surface Engineering		
發表 論文 題目	(中文) 矽晶圓薄化及表面調質技術 (英文) Precision Wafer Thinning and Its Surface Conditioning Technique		

一、 參加會議經過

本次會議由大連理工大學主辦，The University of New South Wales, Australia 協辦，本屆會議在大連理工大學校園舉行，總共有 120 餘篇的論文進行交流，基於此一會議為表面精密加工技術領域的重要會議，於是參加這次研討會並發表論文。

本屆會議邀請許多專家學者進行 keynote speech 特別強調應用於電子設備或光學系統上的零組件，其表面光度及整體表質提升的重要性。近年來表面精密加工技術已有重大的進展，新的方法及製程也陸續被開發出來。同時對表面精密加工技術學理研究也更佳深入，因此在實務上得以有效預測、控制及最佳化表面精密加工之製程。相當重要的是工程產品之表面結構，表面特性、功能及可靠度都獲得具體地提升。

此次會議主題包括：

- Modeling and simulation of super-finish surfacing processes and mechanisms
- Precision and super-precision grinding and finishing techniques for advanced materials
- Advanced techniques and fundamental studies for enhancing component surface properties
- Super-finish surface topography, integrity and characteristics
- Advanced deburring techniques and theories
- Advanced abrasives and equipment for surface finishing processes

大會安排我於 A3 場次擔任主席，主題為超精密表面加工技術 (Super-Precision Surface Finishing)，總計有 12 篇論文。個人發表之題目為”矽晶圓薄化及表面調質技術”，過程進行得順利，報告完後也與來自俄羅斯，德國以及大陸等各個學者進行一些討論，互相激發彼此的創意，也討論了問題點。

二、 考察參觀活動

大連理工大學機械工程系長期從事精密加工和特種加工技術等研究方向的科研工作，特別是在硬脆材料超精密加工理論和技術研究領域開展了大量研究工作，積累了豐富的工作經驗，具有深厚的研究基礎。近年來，專案組成員承擔國家自然科學基金重大專案 1 項，國家自然科學基金重點專案 1 項，國家自然科學基金 6 項，國家 863 計劃專案 2 項，省、部級科學基金 10 項以及多項國防預研和橫向協作專案。與本專案有關的課題有：超精拋光中納米粒子行為和化學作用及平整化原理與技術、面向下一代 IC 的大直徑矽片超精密磨削技術與裝備研究、光學基片超光滑表面 CMP 加工機理及關鍵技術的研究、鐳射陀螺反射鏡基底超光滑表面拋光技術、鈮鋁石榴石 (YAG) 和鈮鎳石榴石 (GGG) 晶體超光滑

表面控制力超精密拋光技術，新型微粉超硬磨料砂輪的研製、陶瓷和單晶矽等硬脆材料在線修銳（ELID）鏡面磨削技術、工程陶瓷磨削表面裂紋及其無損檢測技術、工程陶瓷球超精密研磨拋光技術及精密陶瓷軸承的研究、高溫結構陶瓷高效超精密磨削機理及關鍵技術、大型複雜型面硬脆材料工件精密測試和磨削技術、精密複雜曲面加工的控制理論與技術、精密檢測與圖像處理技術、工程陶瓷工件的超聲波回轉加工技術等。

其中，承擔國家 863 計劃和國防攻關專案研究大型複雜形面硬脆材料工件精密測試和磨削技術，解決了國防型號產品研製的關鍵技術難題。參加國防預研和航空基金專案研究微晶玻璃和光學晶體的超精密拋光技術，獲得表面粗糙度 $Ra < 0.5nm$ 的超光滑無損傷表面，所研究的超高反射率鐳射反射鏡的超精密加工技術用於鐳射陀螺等國防尖端產品；所研究的 YAG 和 GGG 基底高精度超光滑無損傷表面的加工技術在清晰電視等先進民用產品中得到成功地應用。承擔航太基金專案進行“小型高速發動機用陶瓷滾動軸承的研製及潤滑理論研究”，在國內首次研製成功磁流體研磨機，提高了軸承用氮化矽陶瓷球的研磨效率和研磨精度，研製出 276305KXWI 型混合式陶瓷球軸承，並進行了在高速高負荷下的台架試驗。承擔國家自然科學基金重點專案和遼寧省科技基金專案進行硬脆材料超精密加工技術和複雜曲面的多能量複合光整加工技術研究，利用微粉金剛石砂輪 ELID 磨削技術進行單晶矽片、聚晶金剛石刀片、陶瓷和硬質合金的超精密加工，鏡面磨削加工的矽片和硬質合金的表面粗糙度 $Ra < 5nm$ ；所磨削和研磨的聚晶金剛石和立方氮化硼刀片的表面粗糙度和刃口質量達到國際先進水平（；混粉電火花鏡面加工技術得到超光滑的型腔表面；利用時變場控制電化學機械拋光和磁力研磨加工技術實現大尺寸平面和管內表面的鏡面加工。目前結合國家自然科學基金重大專案“先進電子製造技術中的重要科學問題研究”的子課題：“超精拋光中納米粒子行爲和化學作用及平整化原理與技術”和國家高技術研究發展計劃 863 專案“面向下一代 IC 的大直徑矽片超精密磨削技術與裝備研究”的研究，開展了固著磨料磨具進行大尺寸矽片高效的平整化加工機理與方法、矽片 CMP 的建模與仿真、CMP 拋光液物理化學性能的作用及拋光液的研製、拋光墊性能對 CMP 加工表面質量影響規律、矽片表面損傷的檢測和識別技術等方面得研究，已取得了部分階段性成果，發表相關學術論文 14 篇。

大連理工大學機械工程系在精密和超精密加工方向所取得的研究成果如下；

- [1] “磨削鈦合金用陶瓷結合劑 CBN 砂輪及高效磨削油”獲國家發明三等獎和航空工業總公司科技進步二等獎；
- [2] “導彈天線罩電厚度精密測量與修磨技術研究”獲中國高校科技進步一等獎；
- [3] “釩鎳石榴石和光學基片超精密加工技術”獲航空工業總公司科技進步二等獎；

- [4] “300M 超高強度鋼磨削加工表面完整性的研究” 分別獲航空工業總公司科技進步三等獎和航空基礎科學研究優秀成果一等獎。
- [5] “光學基片超精密拋光技術的研究” 獲航空基礎科學研究優秀成果一等獎。
- [6] “高性能陶瓷滾動軸承的研製” 獲得了航天部科技進步三等獎。

大連理工大學專案組已與北京有色金屬研究總院（下屬“有研矽股”公司）建立合作關係。北京有色金屬研究院在國內較早開展矽材料的研究和開發，有國家矽材料工程中心，是我國主要的矽片生產基地和國家“909 示範工程”的實施基地。該公司全部引進國外 ϕ 200mm 矽片生產技術和設備，到 2000 年底已達到月投 20000 片的既定目標。雙方將針對矽片的超精密加工和檢測技術，利用雙方各自的技術優勢和研究條件開展合作研究。

大連理工大學機械製造及自動化國家重點學科，在國家“211 工程”建設中，投入了 2000 多萬元進行了建設，在最近“211 工程”二期和“985 工程”還將投入 2000 萬元以上經費進行重點學科建設。現有“精密與特種加工教育部重點實驗室”、“微系統與微製造遼寧省重點實驗室”和“先進裝備製造技術遼寧省重點實驗室”。自去年重大基金專案立項以來，結合重大基金專案的研究需要，加大了學科建設和實驗室建設力度，形成了較完備的研究條件，現有的研究環境和儀器設備條件如下：

(1) 研究環境條件

具有 1100m²（1000 級）和 100 m²（100 級）恆溫超淨實驗室。建有 18M Ω 超純水製備系統。

(2) 研究設備條件

具有多種精密特種加工設備，與本專案有關的超精密加工設備有：日本 Okamoto 公司 VG401 矽片超精密磨床（可磨削直徑 300mm 矽片），國產 MM7130 精密平面磨床，砂輪在線電解修整（EILD）系統。

(3) 測試及微觀分析儀器

實驗室擁有微米/納米運動動態測試儀、掃描隧道顯微鏡、原子力顯微鏡（AFM），XPS、ZYGO 公司 NewView5022 型 3D 表面輪廓儀（垂直方向解析度 1 A）、TEM、日本 Olympus 公司 MX40 材料顯微鏡和 SZX12 體視顯微鏡，KISTLER 9257A 型三向壓電晶體測力儀、納米硬度計，DC260 高解析度數位照相機、日本 Keyence 公司 1800 萬圖元數碼顯微鏡、日本產圓度儀、日本產表面輪廓儀、雙頻鐳射干涉儀、Ektapro Hi—Spec Processor 動態分析儀。

此外，大連理工大學“三束材料表面改性國家重點實驗室”、“精細化工國家重點實驗室”及校內其他實驗室擁有先進的鐳射測量儀器、X射線衍射儀、透射電鏡、電子探針、掃描電鏡、俄歇能譜儀、光學反射率檢測儀、原子吸收光譜儀、電化學綜合分析儀等儀器設備。

借重大連理工大學在硬脆性工程材料之超精密拋光技術所建置的研發能量，昇陽半導體公司在規劃未來西進中國市場時，可積極考量以產學合作關係，一方面結合其現有資源建置研發技術團隊之灘頭堡，一方面借重所培育的優質人力，建立公司在中國生展基地所需的人才庫。同時，以大連理工大學在矽晶圓之超精密加工於當地產業界的密切互動，昇陽也可藉此策略伙伴關係，進一步擴展在中國之商業契機。