

## 一、前言

一般晶圓廠在大量生產時，需要使用多達三成數量的監控與測試晶圓，若生產特殊應用積體電路時，甚至需要使用超過四成的監控與測試晶圓。另外，在生產過程中也會產生一定數量的不良或淘汰晶圓。早期這種測試晶圓在使用過後都是與淘汰的晶圓一起丟棄，後來隨著產業快速發展，晶圓材料尺寸變大，而且成本也越來越高，因此在進入6吋晶圓製程之後，大家就逐漸覺得使用一次就丟棄實在太可惜了，而逐漸發展出再生晶圓產業，將使用過的測試晶圓及淘汰晶圓上面的薄膜等污染物經過研磨、拋光等程序後，不斷重複再生利用，直到晶圓厚度薄到晶片所需的最小尺寸以下，才真正丟棄或降級做為太陽能基板。

在當前上游多晶矽原料供應嚴重吃緊，矽晶圓價格高漲之際，晶圓再生利用將有助於晶圓加工廠掌控成本及達到資源回收再生利用之目的。最近在晶圓再生製程中已開發出一項新的技術應用，以延性模式研磨(Ductile Mode Grinding)加工取代傳統的研光(Lapping)加工，來減少加工變質層，並減少化學藥品的污染，且可提高加工精度，此係一種最先進的再生晶圓製程。此項技術係由工研院機械所開發成功，並技術移轉給中國砂輪公司與晶向科技公司。

## 二、晶圓再生製程

### 1. 晶圓再生流程

晶圓再生製程是將晶圓廠在大量生產時所產生的監控與測試晶圓及淘汰晶圓，進行正確的分類，並以最經濟且正確的製程參數進行再生程序。使用過的晶圓上，會留存有不同的薄膜、圖形(patterns)，甚至有刮痕或破損等情況，要異中求同作成分類確實很困難，需要長時間持續地改善與經驗的累積，並且牽涉到複雜的管理問題，因此這項產業的進入障礙相當高。

晶圓再生作業流程包括：進料檢測、分類、薄膜剝除、酸蝕刻、研磨、研光、拋光、清洗、檢測及包裝出貨等。茲分項說明如下：

- (1)進料檢測／分類：在晶圓再生製程中，首先是將客戶提供的晶圓進行100%的檢驗與分類，除了目視檢驗之外，晶圓型式、摻雜物與機械參數等則以量測方式測得，而型式和電阻數據則由檢驗報告產生(潘扶民，1999)。
- (2)薄膜剝除／酸蝕刻：依據投入晶圓的情況，決定適用的剝除／蝕刻化學藥劑；所用的蝕刻化學藥劑包括：標準硫酸／過氧化氫(Piranha)剝除液、濃縮氫氟酸蝕刻液、強鹼型蝕刻液等；另外，也須進行一些預處理，如去除金屬膜等，以確保晶圓進入標準回收生產線時，完全沒有金屬成份。
- (3)研磨／研光：研磨主要是用以去除厚膜絕緣層上覆矽(Silicon on Insulator, SOI)晶圓上，也會使用在回收晶圓的某些薄膜去除上。在再生晶圓製程中有一項新開發的製程為以延性模式研磨加工取代傳統的研光加工，其目的在降低加工變質層，並降低化學藥品污染，且可提高加工精度，是目前最先進的晶圓再生製程。
- (4)拋光：在生產過程中最重要的製程是拋光晶圓片，此製程係在超清淨室中進行。大多數晶圓片都要經過兩三次拋光，拋光料為細漿或拋光化合物。在多數情況下，晶圓片僅需正面拋光，而12吋晶圓片則需雙面拋光，除雙面拋光外，並需將晶圓片的一面拋光到像鏡面一樣。拋光過程分為兩個步驟，切削和最終拋光，這兩個步驟都要用到拋光墊和拋光漿。切削過程是去除矽上薄薄的一層，以產生表面沒有損傷的晶圓片，最終拋光是從

拋光表面去除切削過程中所產生的微坑。

(5)清洗：拋光後，晶圓片要通過一系列清洗槽的清洗，這個過程是為去除表面顆粒、金屬劃痕和殘留物。之後，再進行背面擦洗以去除最小的顆粒。在晶圓洗淨過程中，需要用到很多高純度化學品清洗、高純度去離子純水洗淨，最後再用高純度氣體(如氮氣N<sub>2</sub>)在高速下脫水旋乾；或是用高揮發性有機溶劑如異丙醇(Isopropyl alcohol, IPA)做除濕乾化。

(6)檢測：這些晶圓片在經過清洗之後，再將它們按照最終用戶的要求分類，並在高強度燈光或雷射粒子掃描系統下檢查，以便發現不必要的顆粒或其他缺陷。

(7)包裝出貨：一旦通過一系列的嚴格檢測，即將最終的晶圓片包裝在片盒中並用膠帶密封。然後把它們放在真空封裝的塑膠箱子裡，外部再用防護緊密的箱子封裝，以確保離開超清淨室時沒有任何顆粒和濕氣進入片盒中，再出貨給客戶。

## 2. 延性模式研磨

由於研光較研磨易於達到平坦光滑及無裂傷的表面，故過去在晶圓片生產製程中並未使用平面研磨加工方式。但在晶圓尺寸擴大至8吋以後，在同一次研光加工過程中，各晶圓間尺寸之均一性及蝕刻加工速度難以提升之技術問題逐漸顯現；另一方面，超精密研磨技術在1990年以後有了突破性的進展，次微米甚至於奈米級研磨技術也逐漸實用化，對於精度及晶圓表面損傷的控制也逐漸超越了研光加工方式，再加上研磨製程原有的加工效率及潔淨度較高之優勢，未來研磨加工將會逐步取代研光及蝕刻製程，達到所需的表面精度並可減少以往拋光製程所需的時間。

晶圓超精密研磨最終目標為達到脆性材料的延性模式研磨，這種切削狀態可以使脆性材料在研磨加工過程中呈現如延性材料一般的加工特性，以塑性破壞取代脆性破壞的切屑移除模式，抑止原來在研磨加工中很容易發生的微裂痕，如此即可將原來的研光、蝕刻、粗拋光等製程完全由兩面研磨製程取代。至於精細研磨仍無法完全去除的殘留加工痕跡，則以兩面精密拋光製程清除，以達到奈米級精度的鏡面。在研磨微裂痕的抑止方面，必須針對設備性能提升及研磨參數的嚴密控制，雙管齊下以實現延性模式研磨。依據破壞力學分析，脆性材料切削從脆性模式轉移至延性模式時，存在一個臨界切屑厚度(dc)。於矽晶圓研磨時，dc值必須小於 $0.1\ \mu\text{m}$ ，才可能達到延性模式切削，在此狀況下，切屑會以塑性狀態排出，而不會產生脆性撕裂的情形，使晶圓表面微裂痕減至最少。基於研磨加工的精度複製係屬於運動複製(Motion Copying)現象，晶圓的各項精度要求及dc值的達成與機器精度直接相關，因此，晶圓超精密磨床的各項運動精度必須以 $0.1\ \mu\text{m}$ 作為基準來考量。此外，對於各運動機構的剛性及熱膨脹量也必須考量，以精密研磨力約數10牛頓而言，在受力方向的系統剛性最少應達到 $100\text{N}/\mu\text{m}$ 以上，若要確實達到延性模式研磨條件的話，最好要能達到 $1000\text{N}/\mu\text{m}$ 等級，這對於磨床結構而言將是一項很大的考驗，尤其是在主軸及導軌系統方面(王文瑞，2004)。

## 三、國內外重要晶圓再生廠商

7月3日。取自：

<http://www.epochtimes.com/b5/7/6/27/n1756540.htm>

經濟部統計處(2007)。半導體產業群聚效應顯現，2007年深耕台灣立足全球。

上網日期：2007年7月3日。取自：

<http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/market/eeic/eeic219.htm>

潘扶民(1999)。積體電路分析量測技術的現況與未來發展。奈米通訊，6(3)。

上網日期：2007年7月1日。取自：

[http://www.ndl.org.tw/old/ndlcomm/P6\\_3/1.htm](http://www.ndl.org.tw/old/ndlcomm/P6_3/1.htm)

Noel Technologies, Inc. (2006). *About NOEL*. Retrieved June 28, 2007, from

[http://www.noeltech.com/prod\\_wafer\\_rec.htm](http://www.noeltech.com/prod_wafer_rec.htm)

Rasa Industries, Ltd. (2007). *About us*. Retrieved July, 5, 2007, from

[http://www.rasa.co.jp/FrameSet\\_E.html](http://www.rasa.co.jp/FrameSet_E.html)

取自：

<http://www.moea.gov.tw/~ecobook/season/sael3.htm>

楊思瑞 (2007)。美商應用材料公司南科再生晶圓廠啓用。上網日期：2007年

255期。上網日期：2007年6月29日。取自：

<http://www.mirl.itri.org.tw/mirl-inter/knowledge/mim/255/255-05.pdf>

陳信宏、劉孟俊 (2005年8月)。產業發展模式與經濟產出：檢視「高科技，

高附加價值」命題。在經濟部技術處主辦，第六屆「2005產業科技創新」國際研討會，台北市。上網日期：2007年7月5日。取自：

<http://itc.tier.org.tw/2005/2005PDF/%E9%99%B3%E4%BF%A1%E5%AE%8F%20%E6%89%80%E9%95%B7-Ch.pdf>

游啓聰 (2007)。我國半導體產業國際競爭力分析。上網日期：2007年7月3日。

7. 諾埃爾科技公司(Noel Technologies, Inc.,

<http://www.noeltech.com/index.html>)

諾埃爾科技公司成立於1996年，是美國矽谷的主要薄膜、晶圓再生及顆粒量測服務廠商。諾埃爾科技公司供應高品質的4吋、5吋、6吋、8吋及12吋再生晶圓，其均符合SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International)規範的要求(Noel Technologies, Inc., 2007)。

8. 拉薩工業公司(ラサ工業株式会社, Rasa Industries, Ltd., <http://www.rasa.co.jp/index.html>)

日本的拉薩工業公司1984年在其大阪工廠進行晶圓再生研究，1985年成立三本木工廠(宮城縣)並將電子材料相關業務移轉到三本木工廠，1996年在三本木工廠的8吋晶圓專用生產線建置完成，1998年4月開始製造測試晶圓，1999年6月在美國建立晶圓再生營業據點，成立拉薩電子公司(Rasa Eletronics, Inc.)，1999年在三本木工廠設置12吋晶圓再生測試生產線，2001年開始在三本木工廠進行12吋晶圓再生，其不僅是晶圓再生產業界的先驅，也是目前全世界最大的晶圓再生製造公司(Rasa Industries, Ltd., 2007)。

#### 四、結論

台灣的晶圓代工產業位居全球世界龍頭地位，做為半導體之主要基材的矽晶圓材料，我國目前的供應廠商有中德電子、台灣信越、台灣小松、合晶科技、中美矽晶、漢磊、嘉晶、昇陽科技、中國砂輪及尚志半導體等十家，主要供應8吋及6吋以下的磊晶片、拋光片、研磨片與再生晶圓為主（陳信宏、劉孟俊，2005）。迄至2006年台灣所需的12吋矽晶圓材料，仍然完全仰賴國外進口供應。隨著全球12吋晶圓加工廠數目陸續增加，迄至2006年底全球12吋晶圓廠數量約有4550座，依據美國Gardner Data Request之預測，12吋晶圓需求量在2007年底將達140萬片，其需求量呈逐年攀

升的趨勢，進而也造成了供料吃緊且價格高漲的現象（游啓聰，2007）。

台灣半導體產業的產值雖然連年創新高，然而卻也出現了「高科技低附加價值」與「高科技微利化」的現象（潘扶民，1999）。測試晶圓與檔片晶圓及淘汰晶圓的使用後再生利用，雖然必須再建立一條晶圓再生生產線或外包給晶圓再生廠加工處理，但是因為在半導體廠生產作業中必須使用相當大量的測試晶圓及檔片晶圓，若能提升這些使用過後的晶圓再生次數到10次以上時，對半導體廠成本的掌控及獲利，將會有很大的實質幫助。尤其在開發出以延性模式研磨取代傳統研光技術之後，其不僅可以節省正常全新晶圓的製造成本，而且對於晶圓再生廠加工處理使用過後的晶圓時，亦可大幅降低其成本、提高製程良率及達到資源回收再生利用之目的。

#### 參考文獻

王文瑞（2004）。晶圓超精密輪磨技術探討，奈米機械技術專輯。機械工業雜誌，

6. 德州儀器公司(Texas Instruments, Inc.,

<http://www.ti.com/>)

德州儀器公司過去的晶圓再生業務都是委外處理，2003年由應用材料公司提供技術，在其達拉斯的DMOS6廠中設立晶圓再生生產線，自行進行8吋晶圓廠內再生處理。

5. 台灣應用材料公司(

<http://www.amt.com.tw/about/index.asp>)

2007年6月27日美商應用材料公司設於台南科學工業園區的12吋再生晶圓廠啓用。該公司表示，可運用本身的製造設備與軟體，使測試晶圓延長45%的壽命，每片晶圓可重複使用達11次，並研發獨家處理技術，在清除晶圓上所附著以碳為材質的低介電質薄膜時，不會移除晶圓上的矽材質，在再生過程中不會破壞晶圓本身。應用材料公司南科再生晶圓廠佔地約3,120平方米，配有三間無塵室，以先進的製造設備為客戶提供再生晶圓技術，目前已進入小規模量產階段，為三家客戶進行晶圓再生處理(楊思瑞，2007)。

3. 崇越科技股份有限公司(

<http://www.topco.com.tw/page/home.asp>)

崇越科技1990年創立，主要業務為代理日本信越集團的半導體及光電產品的銷售並服務客戶，包含高精密電子材料、儀器及設備，工業用純水?廢水處理設備，半導體、LCD等之生產設備，積體電路、光纖通訊之光電材料，晶圓廠之製程系統、測試系統、無塵室系統等。崇越短期計劃將自半導體廠商回收廢棄晶圓，透過外包給下游代工廠清洗處理加工後，出售給太陽能電池廠，長期則計劃將自行添購太陽能電池製造設備，建立生產線。

4. 昇陽國際半導體股份有限公司(<http://www.psi.com.tw/cetacean/front/bin/home.phtml>)

昇陽國際半導體成立於1997年3月，為一專業再生晶圓、測試晶圓及產品晶圓公司，係國內第一座專業再生晶圓廠，並具有高科技製程能力，且擁有一支強勢的研發團隊及若干專利，是國內少數掌握相關晶圓再生相關技術的廠商。目前主要產品為8吋再生晶圓、薄測試晶圓(Thin Test Wafer)及12吋再生晶圓。主要客戶有台灣積體電路、聯電、華邦、茂德、南亞、矽統、旺宏、世界先進、力晶等，其12吋晶圓再生廠亦已開始量產。

1. 中國砂輪企業股份有限公司(

<http://www.kinik.com/index.asp></a>)

早期與工研院機械所合作成立金敏精研公司，專攻再生晶圓業務，目前生產8吋再生晶圓月產能12萬片，12吋再生晶圓月產能3萬片，產品已通過台積電、聯電等公司認證。2005年9月將金敏精研公司合併，改為晶圓事業部。

2. 晶向科技股份有限公司(<http://www.crystalwise.com.tw/>)

晶向科技公司主要成員來自於工研院的奈米工程與設備技術科技專案計畫團隊，為國內首支擁有LiTaO<sub>3</sub>晶圓、LiNbO<sub>3</sub>晶圓、藍寶石晶圓、GaAs晶圓、12吋矽晶圓、8吋再生晶圓及其他硬脆材料加工製程技術之高科技技術團隊。其與國外同步發展成為全球硬脆基板供應基地，第一階段產品鎖定應用於表面聲波器的LiTaO<sub>3</sub>、LiNbO<sub>3</sub>及石英基板，目前已成功量產。為因應發光二極體市場快速發展，於2001年6月投入第二階段產品藍寶石晶圓的開發。並於2002年4月正式送出樣品供客戶測試，並分別獲主要客戶認證通過而取得訂單量產。為國內第一家也是全世界少數擁有藍寶石基板量產能力的公司。

工程科學