

提高矽晶圓應力消除製程之產能

許明哲、陳毓正、莊少杰、詹印豐、顏錫鴻/弘塑科技公司

在許多IC製程之後期都會進行晶圓背面研磨(wafer backside grinding)與濕式蝕刻製程，使晶圓薄形化，以利後續晶圓切割及封裝等製程。例如：在智慧卡(Smart Card)應用上，必須將晶圓厚度由600-700 μm 研磨到小於180 μm 。因為在晶圓背面研磨後，有許多產品需要進行後續製程，包括：離子佈植(ion implementation)、熱處理(heat treatment)和晶圓背面金屬沈積等製程。由於晶背研磨會產生應力(stress)和翹曲度(warpage)，如果晶圓應力過大，將會延伸到正面之元件區域。

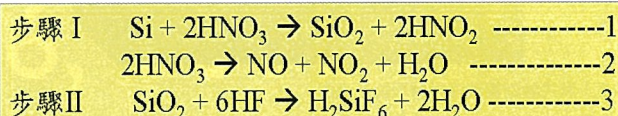
當晶圓薄形化和變脆時，晶背研磨所產生之應力及變形將危及後續製程之良率。例如：膠膜去除(de-tapping)、晶圓持取(wafer handling)和封裝組合(packaging & assembly)等製程，所以必須使用矽濕式蝕刻法，來消除晶圓之應力層及損傷層。一般為了增進矽晶圓蝕刻之均勻度，都會採用單晶圓旋轉蝕刻法(single wafer spin etching method)，來消除晶背研磨所產生之應力(stress)和翹曲度(warpage)，雖然單晶圓旋轉蝕刻法較易控制晶圓蝕刻之均勻度，大大提升蝕刻品質，但在生產應用上，其單機台產能僅能達到9,000 Wafers/Month。

本研究採用弘塑科技所設計製造之8吋自動化Wet Bench設備(如圖一所示)，來進行8吋矽晶圓蝕刻製程。經由槽體流場之特殊設計與改良，以克服使用晶舟(Cassette)來裝載晶圓之先天性限制。實驗結果顯示：經過流場模擬修改後之Wet Bench設備，8吋矽晶圓其單一晶圓內(within one wafer)及晶圓與晶圓間(wafer to wafer)之蝕刻均勻度

均可達到5%之內。由於蝕刻液可循環過濾重覆使用，並且晶圓蝕刻為批次製程，其單機台產能可達到40,000 wafers/Month，大大提高設備產能與降低生產成本。以下將對於矽晶圓的濕式蝕刻機制進行探討，以瞭解機臺設計需要考慮那些因素，以達到各種製程需求。

矽的濕式蝕刻原理及機台設計考量

在半導體製程中，矽的酸性蝕刻是一種等方向蝕刻(isotropic etch)製程，也就是說矽晶體的各個方向受到相等速率之化學蝕刻。矽的酸性蝕刻液，通常由不同比率的硝酸(HNO_3)、氫氟酸(HF)及一種緩衝液(例如：水、醋酸、磷酸等)所組成。蝕刻的反應機構，包含兩個步驟：(1)首先是利用硝酸來氧化矽晶片表面，如式1及式2所示；(2)接下來矽晶片表面所形成的氧化物，可被氫氟酸溶解而去除，如式3所示。所以硝酸是扮演氧化劑，而氫氟酸則為溶劑。在化學反應動力學的考量上，以上反應式的蝕刻速率，係由蝕刻液的擴散(diffusion)或化學反應(chemical reaction)所控制。當蝕刻液中含有較高濃度之硝酸時，蝕刻速率由氧化物的溶解速率所決定；然而，當蝕刻液反應含有較高濃度之氫氟酸時，則蝕刻速率由硝酸濃度所決定。



擴散反應控制

根據Fick's擴散定律，擴散速率正比於擴散係數與氧化劑之濃度梯度。而氧化劑之濃度梯度又與擴散邊界層(Diffusion Boundary Layer)厚度成反比。如圖二所示為濕式蝕刻之擴散邊界層理論示意圖，在進行濕式蝕刻時，首先反應物利用擴散效應，通過一層薄薄的擴散邊界層，以到達被蝕刻薄膜表面。然後，這些反應物將與薄膜表面的分子產生化學反應，並生成各種反應生成物。這些位於薄膜表面的反應生成物，也將利用擴散效應，通過



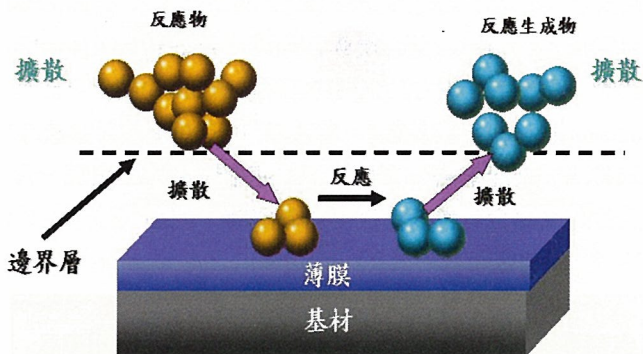
圖一：弘塑科技所設計製造之8吋自動化Wet Bench濕式蝕刻設備。

擴散邊界層到達溶液裡，而後隨著溶液排出。

由此觀之，設備必須能夠提供：晶圓微小振動、打入氣泡等攪拌方式，以及蝕刻液進行循環過濾等功能，以降低擴散邊界層厚度，進而提高氧化劑—硝酸之擴散速率及最終蝕刻速率。擴散控制的蝕刻反應，對於微量的溫度變化不至於太敏感，然而對於 N_2 氣泡的穩定性與均勻性則十分敏感。因此在整個蝕刻反應過程中，設備之蝕刻槽體內部的 N_2 氣泡大小與分佈，則必須能夠穩定控制。

化學反應控制

當攪拌程度已到達一定極限時，蝕刻反應速率將由擴散控制轉為化學反應控制。此時，維持穩定的溫度及正確的氫氟酸濃度就變得非常重要。為了維持穩定正確之氫氟酸濃度，必須有自動且持續的氫氟酸補充入酸槽內。至於緩衝液功能方面，其不僅具有緩衝蝕刻速率之作用，並且可做為改善晶片表面濕化(Wetting)程度之界面活性劑。良好的濕化條件，可以促進蝕刻反應之均勻性，避免晶片表面出現不規則的蝕刻結構。因此應用於濕式蝕刻製程之緩衝液，必須具備以下性質：(1)在 HF/HNO_3 中，具有一定的化學穩定性；(2)在蝕刻過程中，不會與反應產物發生進一步之反應；(3)可溶解在 HF/HNO_3 中；(4)可以濕化晶片表面；(5)不會產生化學泡沫。



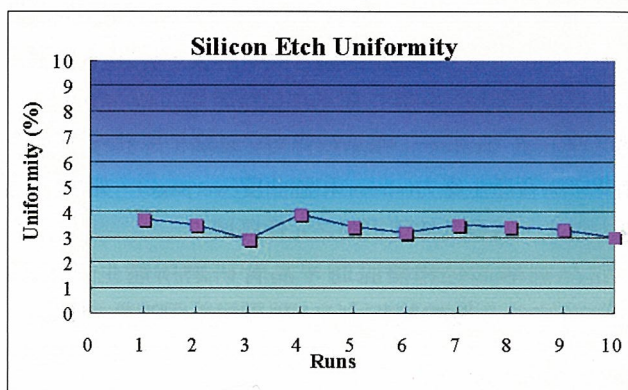
圖二：濕式蝕刻擴散邊界層理論示意圖。

表面污染物

與蝕刻有關之表面污染物可分為兩方面：(1)在蝕刻前存在的表面污染物；(2)經由蝕刻反應所產生之表面污染物。蝕刻前之表面污染物，其中包括：顆粒物質、有機殘留物或無機薄膜表面殘留物，而且其不同於被蝕刻之薄膜。因這些表面污染物有可能遮蔽將被蝕刻之表面，或者與蝕刻化學液產生化學反應，因而大大影響到蝕刻速率與蝕刻平坦度，所以必須先做前處理及改善蝕刻槽體之流場，以去除這些表面污染物。

蝕刻均勻度(Etch Uniformity)

在整個蝕刻反應過程中，設備必須能夠穩定控制蝕刻槽體內部之 N_2 氣泡大小與分佈，利用蝕刻液特殊流場擾動設計，促使晶圓產生微小振動(Micro-vibration)，可使得位於晶舟(Cassette)內各晶圓表面能夠得到均勻之蝕刻液分佈，尤其是在固定晶圓的凹槽(Slot)處，為蝕刻液最不易擴散到達之死角。經由槽體流場之特殊設計與改良，目前弘塑科技所設計製造之8吋自動化Wet Bench濕式蝕刻設備，已能排除晶舟凹槽(Slot)處之流場問題，使得8吋矽晶圓其單一晶圓內(Within Wafer)及晶圓與晶圓間(Wafer to Wafer)之蝕刻均勻度均可達到5%之內，如圖三所示為生產線連續製程之蝕刻均勻度值。



圖三：生產線連續製程之蝕刻均勻度值。

晶圓應力和翹曲度消除

矽晶圓背面研磨所產生之缺陷，一般包括：研磨損傷層(damage layer)、晶體缺陷(Crystal Defect)和微裂痕(Micro-crack)等，經由Wet Bench矽濕式蝕刻製程，可以大大消除應力及損傷層，進而增加晶圓與晶片之強度。圖四為8吋晶圓蝕刻前後之側視照片，右邊為蝕刻前之晶圓，因其經過晶圓背研磨而產生翹曲，所以晶圓無法緊密貼於水平工作臺上；而左邊為經過蝕刻後之晶圓，由於晶圓應

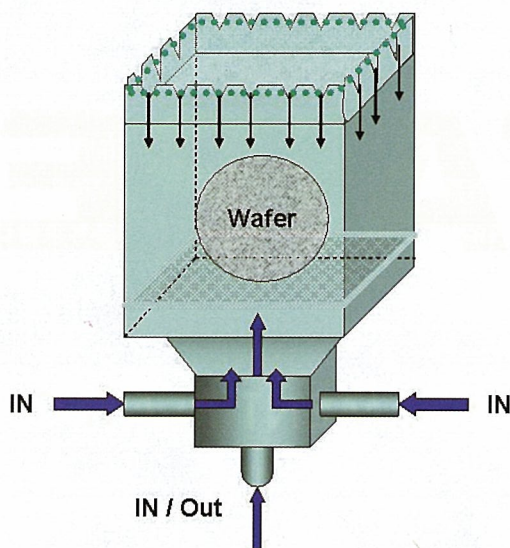


圖四：晶圓蝕刻前後之側視照片。

力和翹曲度已被消除，所以晶圓可以密合貼於水平工作臺上。

晶圓乾燥(Wafer Dry)

經過蝕刻後之晶圓使用Modified Marangoni Dryer (MMD) 進行乾燥，此種型式之晶圓乾燥設備(Dryer)，為弘塑科技所特別設計製造(Patent No: 236061tw; 238463tw)，圖五為MMD之結構示意圖。其特點為使用室溫之IPA，符合工業安全考量。在晶圓乾燥製程中，晶圓保持固定位置，由IPA layer往下流動將晶圓表面之水份帶走，後續使用小流量 N_2 吹乾Cassette。此設備非常適合於薄形晶圓之乾燥使用，目前已廣泛應用在厚度為6-8 mil晶圓之乾燥使用，可保證晶圓破片率小於十萬分之一，晶圓表面乾燥後無水痕殘留，並可避免晶圓疊片發生。經客戶實際量產之製程驗證，符合6" / 8" wafer, particle size: $0.16 \mu m$ ，在20顆以內之規格。



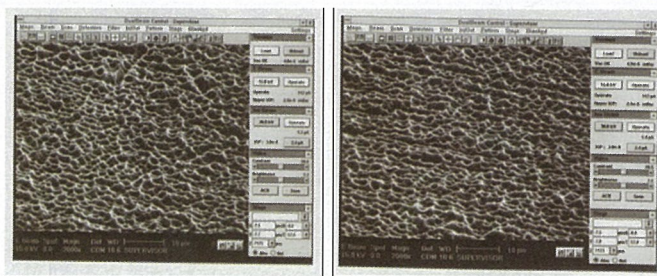
圖五：Modified Marangoni Dryer(MMD)之結構示意圖。

特殊蝕刻表面需求

如果在晶背研磨後，需要進行晶圓背面金屬沈積製程時，有時為了增加金屬沈積之附著力，則可在蝕刻液中添加一些特殊藥劑，使晶圓在消除應力蝕刻後，其晶圓表面能夠具備微粗糙化特性，以增加金屬沈積時之附著力。圖六為晶圓經過應力消除蝕刻製程後，使用SEM觀察晶圓表面之照片。

結論

使用矽濕式蝕刻製程(Wet Etching Process)，可以大大消除晶圓背面研磨所產生之應力及損傷層，進而增加晶圓與晶片之強度。在本文中已針對矽濕式蝕刻製程原理



圖六：晶圓表面在經過應力消除蝕刻製程後，使用SEM觀察之照片。

及設備之設計考量作一番探討。本研究採用弘塑科技所設計製造之8吋自動化Wet Bench設備，來進行8吋矽晶圓蝕刻製程，經由槽體流場之特殊設計與改良，可以克服使用晶舟(Cassette)來裝載晶圓之先天性限制。實驗結果顯示：經過流場模擬修改後之Wet Bench設備，8吋矽晶圓蝕刻均勻度可達到5%，由於晶圓蝕刻為批次製程，可以大大提高設備之產能，進而降低生產成本。**SST-AP/Taiwan**

誌謝

感謝茂矽(Mosel)電子公司，在工作與技術上之支援，尤其感謝以下人員：曾華仁、林俊德、林玉婷、楊環隆，此技術論文才得以順利完成，在此一併致上謝意。

作者

許明哲(David Hsu)弘塑科技公司專案計劃主持人。連絡地址：新竹縣新竹工業區大同路13號；聯絡電話：(03)5972353 ext: 255；電子郵件信箱：david_hsu@gptc.com.tw。

陳毓正(Stanley Chen)弘塑科技公司行銷副理。

莊少杰(Ken Juang)弘塑科技公司資深產品經理。

詹印豐(Jesse Chan)弘塑科技公司總經理。

顏錫鴻(Clyde Yen)弘塑科技公司副總經理。

參考資料

1. H. Robbins, and B. Schwartz, J Electrochemical Soc. 106, p.505 (1959).
2. S. Ghandi, VLSI Fabrication Principles (1982).
3. M. Heyns, P.W. Mertens, J. Ruzyllo, and M.Y.Lee. Advanced wet and dry cleaning coming together for next generation, Solid State Technology, vol. 42, No 3, pp. 37 38, 40, 42, 44, 47 (1999).
4. I. Blech, D. Dang, "silicon wafer deformation after backside grinding", Solid State Technology, pp. 73-76, August 1994.