

300 mm 單晶圓濕洗系統 之介紹與應用

文 / 翁經華

前言

隨著半導體元件製造進入奈米世代，製造過程中的污染問題也日益嚴重，為了驅使晶片製造商在晶片生產中必需維持更高潔淨度的晶圓，因此晶圓清洗的步驟需大幅的增加，而對清洗完成後的金屬雜質濃度、微粒尺寸及數量，以及整個清洗製程的效能要求也更為嚴格。當元件尺寸持續縮小時，為了在濕洗製程中達成這些高於以往的要求標準，其中有效的辦法之一是運用單晶圓濕式清洗系統，因為一次清洗一片晶圓可更有效地控制清洗後的結果，以達到必要的妥善率與可靠度，除此之外，單晶圓清洗也可節省化學品與純水消耗量以及廢水產出量，以符合環保需求。

應用材料公司的 Oasis Clean 系統如圖 1，為一個 300mm 單晶圓濕式清洗設備，專為半導體元件前段製造 (Front End of the Line) 中的晶圓清洗製程而設計的，為將近

50 道電晶體製造所需的關鍵清洗步驟提供全新的技術，以支援 130 奈米以下世代的晶片製造。

清洗方法

在晶片前段製造過程中，微粒，金屬雜

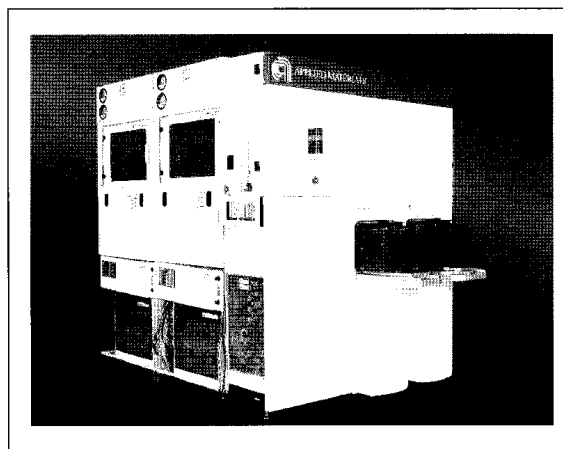
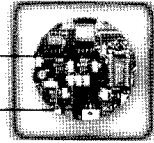


圖 1 應用材料公司推出 Oasis Clean 系統
進軍 300mm 單晶圓濕式清洗市場



質，有機物及原始氧化層(native oxide)的清除十分重要，且在清除的同時也必須確保這些污染物不會重新沉積在晶圓上，傳統上的RCA清洗製程^[1]是廣泛地被使用在晶片前段製造過程中。RCA基本上是由兩道清洗步驟所組成：第一標準清洗步驟(standard clean1, SC-1)與第二標準清洗步驟(SC-2)。SC-1是由過氧化氫(H_2O_2)，氫氧化氨(NH_4OH)，以及純水(DI water)混合而成一種積極有效的微粒移除溶液，緊接SC-1步驟之後，由氫氟酸(HF)，過氧化氫與純水混合而成的SC-2溶液，主要用於清除金屬類雜質並防止其再沉澱於晶圓上。在應用材料Oasis Clean系統的反應室則採用改良式SC-1溶液來做為晶圓濕式清洗的化學用品，此一改良式SC-1溶液是由AM-1，過氧化氫與純水所組成，AM-1化學品是由日本三菱化學公司與應用材料共同開發而成，包含氫氧化氨、清除金屬類污染物的螯合劑(chelating agent)以及防範微粒再度沉積的表面活化劑(surfactant)。使用AM-1溶液可在同一清洗步驟中有效的清除微粒與金

屬雜質，無需SC-2清洗，它可以取代RCA製程，並提高清洗的速度，在300mm單晶圓Oasis Clean系統的反應室裏，僅需2分鐘便可完成清洗步驟，較一般批次式(batch)清洗系統需花60分鐘的清洗時間要減少許多。除了化學品使用的特色外，Oasis Clean模組內還有其他特點，包括水平旋轉的製程與獨到的全覆式超音波，這將更有效率地清除微粒，同時在每一個反應室內可完成清洗的所有步驟，並在每片晶圓處理時均使用新的化學品，以避免晶片之間的交互污染。

目前在Oasis Clean系統中使用兩種清洗化學配方(recipe)，一為AMAT Clean(改良式SC-1清洗)以及氫氟酸(HF)+AMAT Clean以下一節展示及分析其清洗之結果：

清洗結果與分析

1. 微粒移除效率試驗

為增加清洗效果，我們在進行AMAT Clean清洗步驟時加入超音波振盪，圖2顯

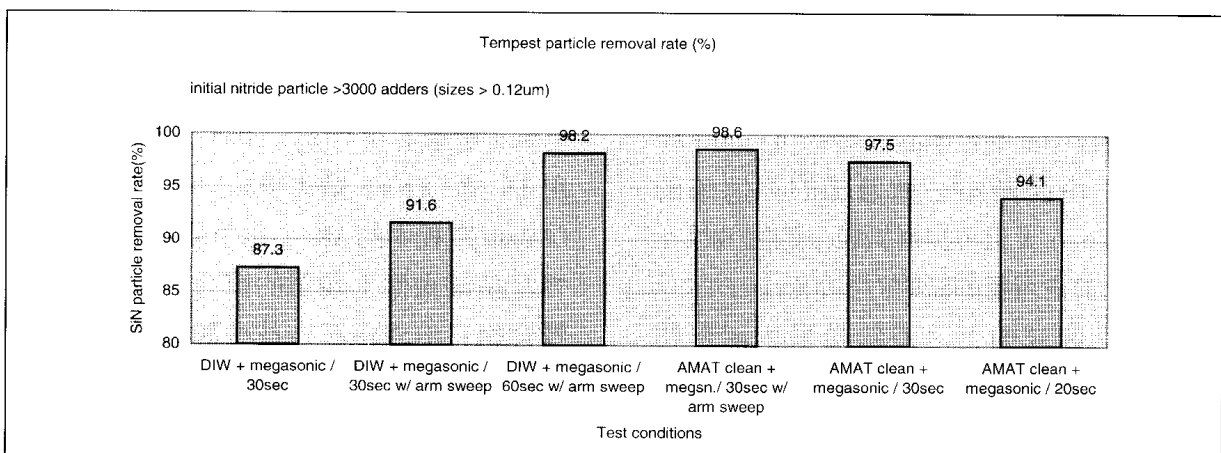


圖2 氮化矽微粒移除效率測驗結果：30sec AMAT Clean加上超音波振盪及噴灑臂掃動可達最高移除率(98.6%)

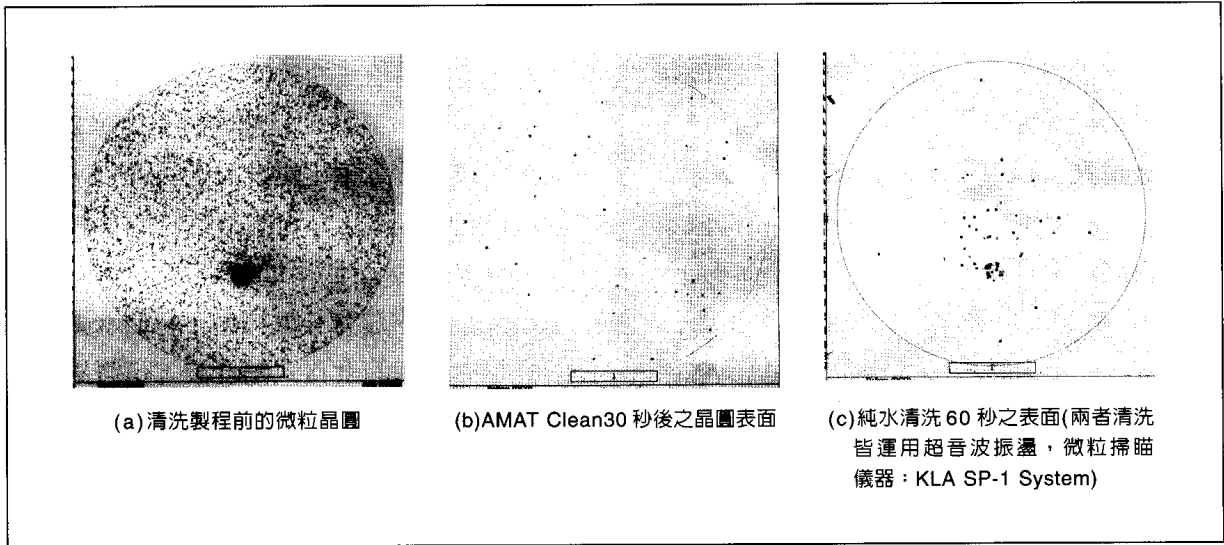


圖 3 微粒移除後之晶圓表面比較

表 1 AMAT Clean 製程後之金屬添加物分析(分析方法：ICP-MS)

Metal element	Na	Mg	Al	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	K
by AMAT clean	2.0	0.6	0.5	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	1.1
by DI water rinse	0.9	0.9	1.9	2.9	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5

unit : 1E10 atoms/cm²

示微粒去除效率試驗的結果。先將氮化矽(Nitride)微粒沉積在空白矽晶圓上，再用純水清洗配合超音波振盪，對於 0.12 微米以上之微粒，能在 60 秒內達到 98% 的去除率，然而若採用 AMAT Clean 清洗製程僅需 30 秒，即可達到 98.6% 的去除率。另外，在清洗過程中驅動化學品噴灑臂(disperse arm)由晶圓中心到邊緣的來回運動(sweeping)，也可提高微粒去除的效果。除了降低清洗所需的時間外，AMAT Clean 配方在晶圓表面上之清除結果也極為顯著，在圖 3 所展示密集的氮化矽微粒群能被 AMAT Clean 製程完全清除乾淨，但是若用純水外加超音波振盪在清洗之後尚可見微粒群的痕跡。

2. 金屬添加與去除性能(mental addition and removal performance)試驗

在任一化學溶液中，金屬污染物的數量與化學品本身之金屬含量成正比，在傳統 RCA 清洗製程後，一般晶圓表面上之金屬離子數量落在 $13 \times 10^{10} \text{at/cm}^2$ 範圍內(使用 30 至 10 ppb 級化學品)^[2]，然而 AMAT Clean 製程中的 AM-1 化學品會將金屬性物質在晶圓表面上殘留的機會降低，因為其螯合劑在溶液中結合住金屬離子形成螯合物，如同感應式耦合電漿質譜法(ICP-MS)分析所顯示的結果(表 1)，金屬添加物在 AMAT Clean 製程後皆低於儀器可偵測之最小含量或是接近於用純水清洗所得之背景

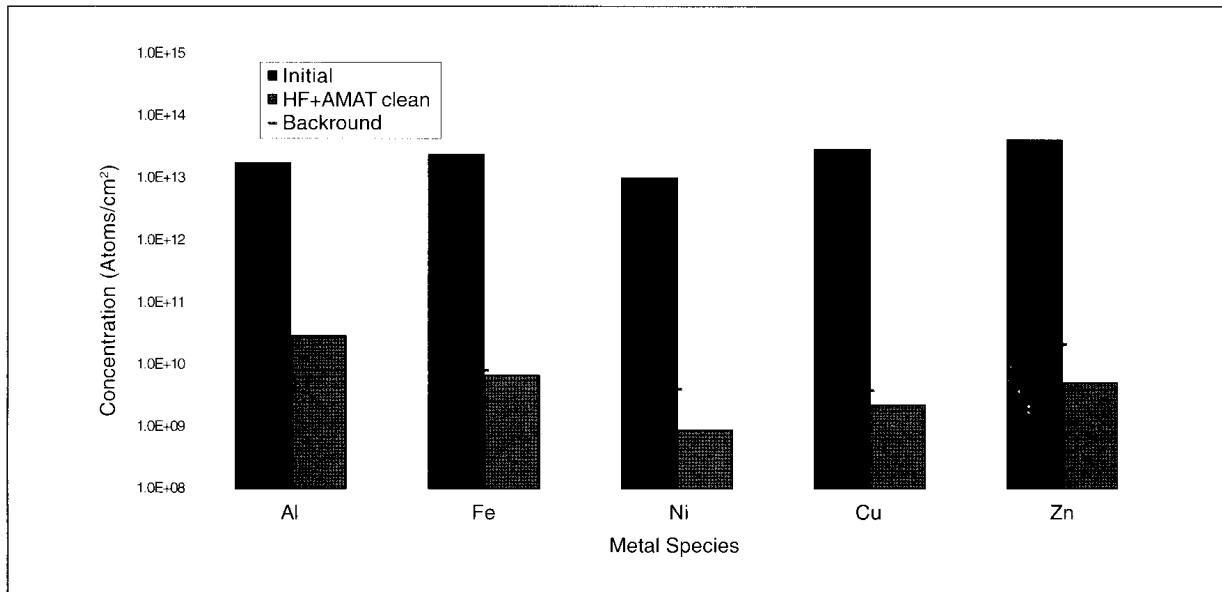


圖 4 HF+AMAT Clean 製程之金屬移除測試結果(分析方法：ICP-MS)

表 2 AMAT Clean 製程後矽及氧化層損失量之計算

(膜厚度測儀：Rudolph ellipsometer)

Type	Test1(A)	Test2(A)	Average(A)
Polysilicon Loss	0.54	0.33	0.43
Thermal oxide loss	0.93	0.59	0.76
Native oxide loss	2.01	2.37	2.19

Unit : angstrom

Native oxide loss check by Si wafers.
Each test run 5 times with wafers

參考值。在金屬移除測試方面，因矽晶圓表面上皆會存在一原始氧化層，而某些金屬元素易沉陷在這個氧化層內，如鋁原子，所以在 AMAT Clean 步驟前先用氫氟酸溶液來完全蝕刻掉原始氧化層，則可增強金屬污染物去除之效果，如圖 4 所示，這些在晶圓上常見的金屬均可被 HF+AMAT Clean 製程來清除至純水清洗後的水準。

3.在AMAT Clean中的矽及氧化層損失

在傳統 SC-1 步驟清洗時，氫氧化氫會侵襲氧化層和矽晶圓表面而造成氧化層及矽

的損失，並導至粗糙的晶圓表面。在 AMAT Clean 中的氫氧化氫 / 過氧化氫 / 純水化學品比例約為 1 : 2 : 80，氫氧化氫濃度遠低於在批次型濕式清洗系統中所使用之濃度 (1 : 1 : 5)，且清洗時間短，因此，矽或氧化層損失在每次 AMAT Clean 製程中將降至最少的程度，均小於 1 埃(angstrom)，如同表 2 所列。

4.氫氟酸氧化層蝕刻與均勻度

Oasis Clean 系統利用氫氟酸溶液來去除二氧化矽或原始氧化層。在選定的清洗

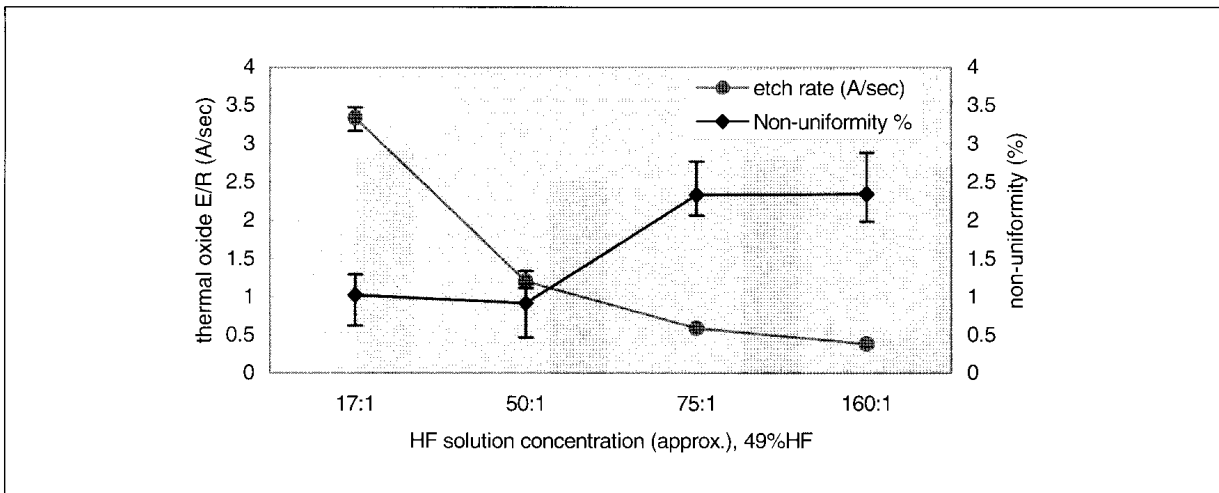


圖 5 在 Oasis Clean 反應室裏，不同濃度氫氟酸濃度與熱氧化層之蝕刻率及均勻度的變化關係圖(溫度:室溫 / 蝕刻時間:20 秒)

製程中，有二種不同的氫氟酸濃度配方可供使用，高濃度氫氟酸溶液(HF1)約小於20:1(H₂O:HF)，低濃度之HF溶液(HF2)約為160:1，熱氧化層的蝕刻率及其均勻度對氫氟酸濃度的變化關係在圖5之中。氫氟酸蝕刻氧化層時，速率快慢對溶液溫度極為敏感，為求達到晶圓間一致的蝕刻深度，每 Oasis Clean 反應室內皆配用溫度補償軟體程式，隨著溫度改變來微調蝕刻時間，以求每片晶圓能達到相同的氧化層厚度損失。

薄化學氧化層(chemical oxide)之清洗製程：

根據上述清洗表現及特性，單晶圓 Oasis Clean 系統能提供一個獨特的清洗製程，為前薄閘極氧化層生長清洗(pre thin gate oxidation clean)或前閘極-2生長(雙閘極元件)清洗製造較薄的化學氧化層。在正常情況下，前閘極氧化層生長的清理製

程一般均用 HF+RCA 或單獨的 RCA 清洗製程，當清洗完成後在矽晶圓表面即有 9 至 10 埃厚的化學氧化層，這是由於在 SC-1 清洗步驟時，氫氧化氨的化學作用所導致的結果^[3]，然而當元件製程技術邁入 130 奈米以下時，閘極氧化層的厚度將不到 18 Å，為了讓如此薄的閘極氧化層在成長時有較佳的整合性，清洗而成之化學氧化層的厚度也要盡可能控制到最低的程度，因此在 Oasis Clean 反應室裏，可在 HF1-AMAT Clean 清洗製程後，利用 HF2 溶液來作氧化層回蝕(oxide etch back)以降低其厚度。HF2 的氧化層蝕刻率小於 0.4 Å/sec，經過 HF2 蝕刻處理後，化學氧化層厚度可在 8 秒內由 9-10 Å 減至 5-6 Å，不僅如此，晶圓表面的清潔度依然可保持如同 AMAT Clean 後的結果。當延長 HF2 蝕刻時間造成氧化層厚度低於 5 Å 時，由於氫氟酸與矽基材(substrate)發生接觸並反應，使晶圓表面將轉變成斥水性(hydrophobic)，這會引起嚴重的微粒污染，如同圖 6 所表示。圖 7 展示 HF1 -

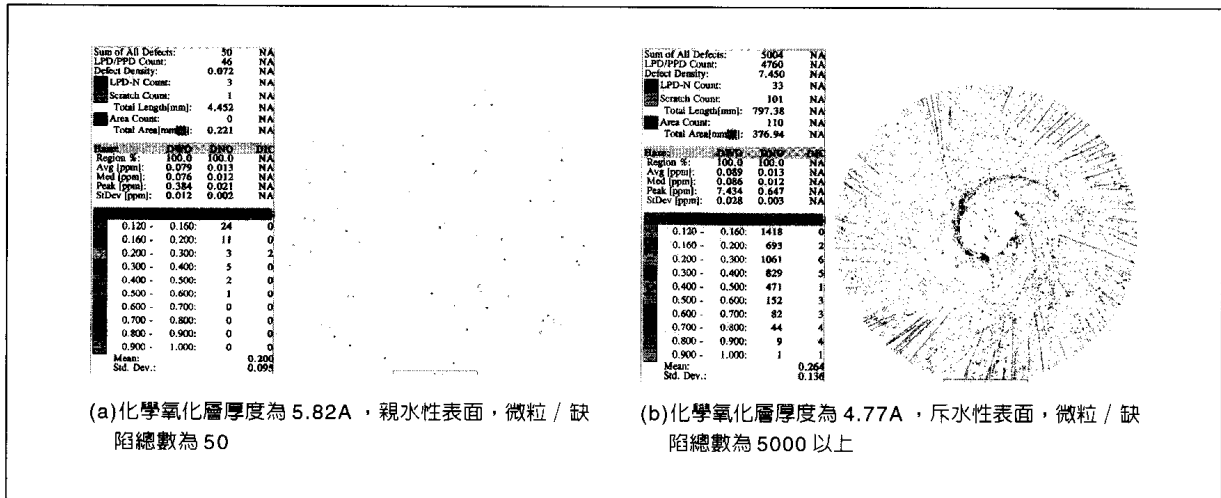
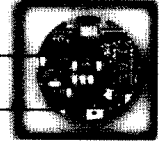


圖 6 HF1-AMAT clean+ 氫氟酸回蝕製程後之微粒掃描圖 (微粒尺寸>0.12μm)

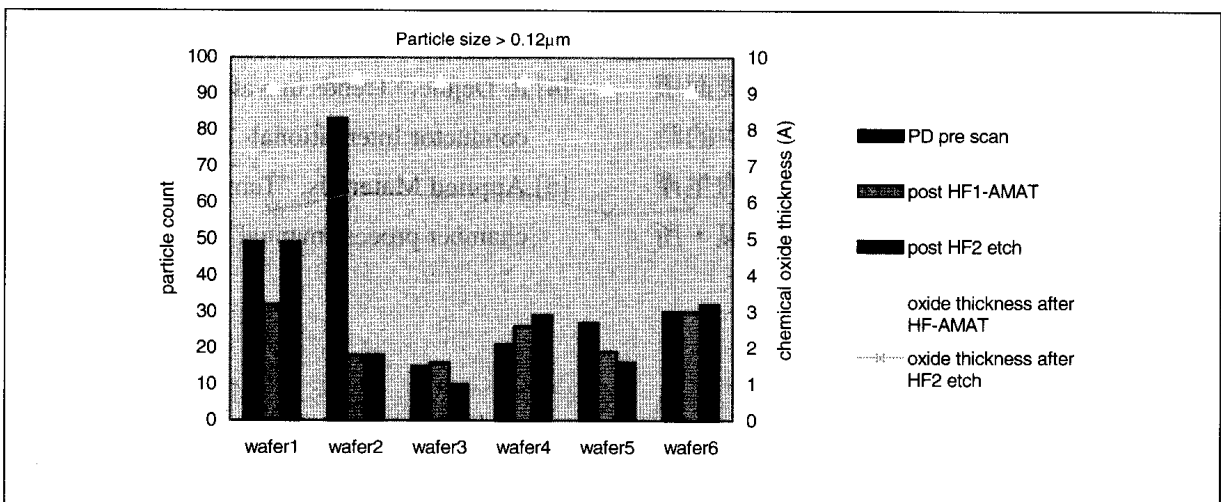


圖 7 6 片空白晶圓連續經由 HF1-AMAT clean+ 氫氟酸回蝕製程後的微粒與化學氧化層殘留之測試

AMAT+HF2 回蝕製程的連續清洗結果，未來 Oasis Clean 系統加上 IPA 水洗輔助功能，將能改善斥水性表面之微粒污染問題，進而做到真正 HF-last 清洗製程之應用。

結語

與晶圓前段製程批次式清洗設備比較，

Oasis Clean 系統有兩個製程表現遠優於前者，一是微粒移除能力，98% 以上的氮化矽微粒能在一次 AMAT Clean 製程中被清除，但若在批次濕式系統上以 RCA Clean 處理，大約只有 70% 的移除率；二是由於化學品濃度及清理時間長短的不同，造成 AMAT Clean 裏的矽消耗量及氧化層損失量僅是批次式設備清洗的 1/50，甚至更少，此種結果有助



於生產高性能及高可靠性半導體元件；再加上前述 HF2 回蝕製程可減低約 35% 的化學氧化層厚度，對於閘極生長方面，可增進後續熱處理製程的變化度。

單晶圓 Oasis Clean 清洗系統除擁有上述優異的技術效能外，也具有高度的生產彈性，雖然對半導體業界來說，單晶圓清洗技術並非全新的概念，但 Oasis Clean 卻是第一個能夠滿足甚至超越所有關鍵清洗要求的產品，而非僅為少數特殊的應用，更重要的是，Oasis Clean 系統還能節省化學品用量及純水消耗量（僅是批次式之十分之一），並具備與其他互補的製程技術的整合能力，如與蝕刻，光阻去除及閘極介質沉積製程進行整合，提供了晶圓表面環境良好的控制能力，簡化晶片生產中的時間管理，更進一步縮短晶片製造商的生產週期，加速新世代元件開發上市時程，所

以相信晶片製造商在不久之未來，將選用 300mm 單晶圓清洗系統以取代超過 30 年的傳統批次式濕洗設備。■

參考資料

- [1] C.Y. Chang and S.M. Sze "ULSI Technology", p60-61
- [2] K.K. Christenson and J.W. Butterbaugh "The challenges of 300mm wafer Cleaning" Semiconductor International- Aug, 1998.
- [3] S. Verhaverbeke, J. W. Parker and C.F. McConnell, " The role of HO₂- in SC-1 cleaning solutions"
- [4] R. Dejule, " Trends in wafer cleaning", Semiconductor International- Aug, 1998
- [5] Applied Materials, "Tempest 300 wet clean chamber process manual", 2002

作者簡介

翁經華先生，美國 Carnegie-Mellon University 材料工程研究所碩士，現任職於台灣應用材料公司產品管理部技術專員。專長：半導體金屬與多晶矽蝕刻以及濕式清洗製程。
