



### 異質整合重要性日增

# 晶粒到晶圓接合備受矚目

Thomas Uhrmann

半導體業目前正遭逢有史以來最劇烈的變革。許多新的應用如人工智慧(AI)、擴增/虛擬實境與自動駕駛需要龐大的運算力，而處理器則針對每個特定的應用進行優化。與此同時，開發週期也越來越短，新晶片的設計、製造成本則呈指數增長，而且在許多情況下，良率是下降的。唯有改變整個半導體製程原則，我們才能解決這些問題。

儘管2D電晶體微縮仍然相當重要，但與微縮相關的成本及複雜性不斷上升，已驅使半導體業轉向3D整合與異質整合，以提升元件性能，滿足上述全新應用的需求。異質整合是將製造、組裝與封裝等多種不同的元件或具備不同特徵尺寸與材質的電晶體，整合進單一裝置或封裝裡。先進封裝已成為創新首要的驅動力，它從單片系統過渡到晶粒層級系統開始，例如最新發表的智慧型手機的應用處理器，其結合使用先進封裝技術的處理器、記憶體與AI/神經網路元件等個別元件。隨著這些元件從晶粒到小晶片的進一步微型化，此一轉型將在未來幾年內加速，進而促成客戶與應用需求間更精準與個別化的對映。

### Chiplet帶動混合接合需求

把面積數百平方毫米的大型晶片切割成較小晶片，也就是Chiplet的設計方式，可以帶來更高的良率並節省成本。此外，只有需要最新節點微影製程的Chiplet，才需要使用這類技術進行生產；至於剩下的Chiplet則可使用較舊世代，成本也較低的微影製程製造。由於半導體製造的複雜性與創新越來越朝向先進封裝轉移，使得具彈性的混合接合技術越來越重要。

透過堆疊與透過電性導通，把來自不同產品線的晶圓連結起來的晶圓到晶圓(W2W)混合接合技術，是異質整合的核心流程，它對於互補式金氧半導體

表1 可供異質整合使用的混合晶粒到晶圓接合法

	Co-D2W	DP-D2W
轉移方法	藉由重新建構載具進行的與體晶粒轉移	使用覆晶黏晶機進行活化晶粒的直接替換
優點	<ul style="list-style-type: none"><li>已被驗證的技術</li><li>晶粒活化與清洗相當於W2W混合接合</li><li>氧化物管理</li><li>載具重做具可行性</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>多用途的方法</li><li>晶粒厚度不變</li></ul>
缺點	<ul style="list-style-type: none"><li>較差的對準精度，由於D2W + W2W誤差的貢獻</li><li>載具準備、利用與清洗的成本</li><li>晶粒厚度必須保持在有限的範圍內</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>必需接觸到接合介面</li><li>晶粒的傳輸需注意，特別是SRAM與DRAM的多晶粒堆疊</li><li>晶粒配置期間的微粒管理</li></ul>

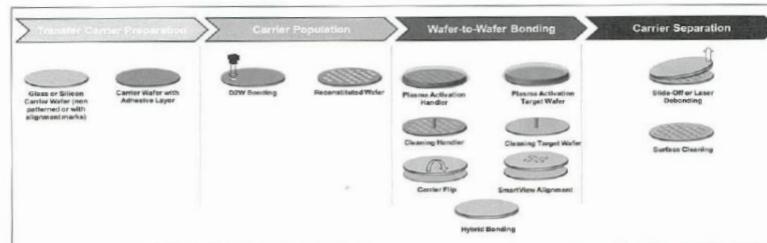


圖1 集體晶粒到晶圓接合方法

(CMOS)影像感測器與各種記憶體與邏輯技術，也擁有實證的成功經驗。不過，由於Chiplet不見得都是同一尺寸，晶粒到晶圓(D2W)的混合接合方式，可能是更加實際的選項。

對於異質整合，目前有數個不同的D2W混合接合方法已列入考量，如表1顯示，每個方法都有其優缺點。哪一種方法適用在特定的應用，取決於晶粒尺寸、晶粒厚度與總堆疊高度等數個因素，以及如介面設計與密度等的考量。

### 集體晶粒到晶圓接合

過去幾年內已在矽光子(Silicon Photonics)等應用中實現大量生產的混合D2W接合方法，是集體晶粒到晶圓(Co-D2W)接合。在Co-D2W接合中，晶粒透過載具晶圓轉移到最終的晶圓，並在單一的流程步驟中完成集體接合。Co-D2W接合程序的製造流程如圖1顯示，可分為四大階段，分別是載具準備、載具布植(Population)、晶圓接合(暫時與永久)以及載具分離。

在初次晶圓切割程序前，由於接合介面在晶圓切割膠帶上會朝上置放，因此晶圓表面會塗上一層保護層，以便在切割與挑

揀過程中維持接合介面的品質。保護層的材質可能是市售的正光阻劑，以及(或)任何其它符合使用切割方法的規格，並且隨後可以用溶劑或透過水溶性清洗過程完全移除的保護層。透過使用EVG150自動塗布設備，可以在低拓撲(Topography)的晶圓保護層上進行旋轉塗布。針對拓撲高於5微米的晶圓，我們可以使用同樣的設備進行噴塗。

為了在清洗、晶粒準備與轉移過程中，使用挑揀D2W黏晶機把晶粒暫時置於集體晶粒載具上並鎖定位置，載具晶圓會塗上一層市售的暫時黏著材料。使用的暫時黏著劑類型，視後加工步驟而定，並且可以使用EVG850TB暫時黏晶機，讓它接合在載具晶圓上。載具準備過程可以使用不同的計量系統，例如使用EVG40NT來量測晶粒配置的精準度，以及使用EVG50評估來料的晶粒高度的變異、晶粒間的表面平面性，以及黏著劑的厚度。

塗上保護層切割完成的晶粒則置於集體晶粒載具上，且接合表面朝上，以方便隨後可以從晶粒表面移除保護層。我們可以利用EVG320自動清洗系統，使用溶劑以及(或)水溶性的清洗化學藥劑，完成這道移除步驟。



圖2 EVG晶粒到晶圓接合過程系統

在混合接合流程中所使用的集體晶粒載具與目標晶圓的基體，都會使用電漿活化結合去離子的水溶性晶圓清洗法進行製備，接著使用EVG SmartView NT光學對準器，讓載具晶圓翻面並對準目標晶圓，再來會使用GEMINI FB自動熔合晶圓接合系統，讓載具晶圓上的晶粒與目標晶圓完成接合(圖2)。最後，我們可以使用雷射或熱解離，讓集體晶粒載具與轉移完成的晶粒彼此分離。

圖3顯示完成混合接合後，轉移完的晶粒的穿透式電子顯微鏡(TEM)橫切面影像。在隨後的熱退火過程，銅粒的再結晶與銅粒生長，會使介面開合再結晶。接合介面長出的銅粒顯示接合的高品質。利用

次世代的晶粒黏晶機，我們可以期待對準精度進一步的提升，讓流程的整體晶粒對準精度遠遠低於1微米。

### 直接配置晶粒到晶圓接合

針對異質整合應用，還有另一種剛開始進入實用階段的混合D2W接合方法，即直接配置晶粒到晶圓(DP-D2W)接合。這種方法使用挑揀覆晶黏晶機，一次把一個晶粒轉移到最終的晶圓。圖4顯示DP-D2W接合過程的製造流程，包含三個主要階段：載具布植、晶粒的清洗與活化，以及直接配置覆晶。

DP-D2W接合流程開始的方式，與Co-D2W接合流程大致相同，晶粒面

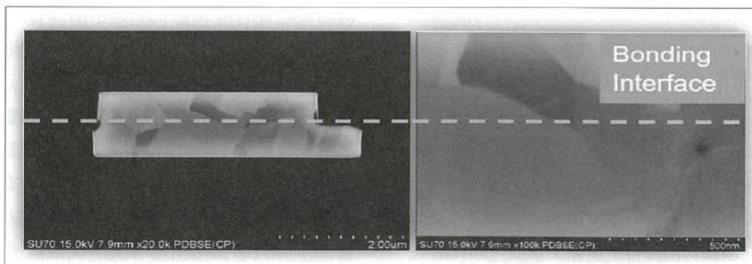


圖3 使用混合接合法的晶粒到晶圓接合介面的TEM橫切面影像



圖4 直接配置晶粒到晶圓接合方法

朝上，加到載具晶圓上。DP-D2W與Co-D2W相比儘管可以提供更高的彈性，尤其是針對高頻寬記憶體的多晶粒堆疊，但清洗與活化的挑戰與其它任何熔合接合技術相同。為了把晶圓從後端研磨與切割步驟傳送到前端的清洗混合接合步驟，晶粒常需要在專屬的清洗載具晶圓上重新擴展，接著載具晶圓進行電漿活化與清洗。並非直接將載具晶圓與目標晶圓接合，而是使用挑揀覆晶黏晶機，讓晶粒逐一與目標晶圓接合。

晶粒清洗步驟是整個流程極為關鍵的一環，它需要專屬的清洗與活化工具。近期推出的EVG320D2W，是專為供高度彈性的晶粒前處理與活化系統使用所設計，並以通用的硬體/軟體介面為特色，可以促成與第三方挑揀系統無縫的整合。依據產線整合與生產線平衡，它也可以當成獨立的系統運作。這套系統結合EVG先進的清洗與電漿活化技術，這項技術在EVG的W2W熔合與混合接合平台都是現成可



圖5 EVG異質整合技術中心

用的，並在全球數百個安裝模組上取得驗證。其特色包括整合的量測模組，可以把關鍵的流程參數直接回饋給黏晶機，如晶粒對位精準度與晶粒高度資訊與接合後量測，以提升流程的管控。

### 全新異質整合概念的育成中心

製造商為了決定他們個別裝置的最佳接合方式，必須統合大量的開發專案，這些專案不但要考量晶圓接合設備本身，還要考慮涉及的材料，以及相關的設備與流程。廣泛的流程專業知識不可或缺，而有辦法取用最新技術也是關鍵。不過，由於這些系統經常已經在客戶的廠址投入生產使用，研發或實驗人員可能不太容易接觸到。

為了因應這些挑戰，EVG成立異質整合技術中心(HICC，圖5)，協助客戶利用EVG流程的解決方案與專業，促成系統整合與封裝進展驅動的全新與強化的產品與應用<sup>6</sup>。HICC成立的初衷是協助客戶將開發阻礙降至最低，並為EVG提供全新想法的育成中心。透過HICC，EVG可以協助加速技術開發、讓風險極小化，並透過異質整合與先進封裝，開發與市場不同的差異化技術與產品，同時保證開發還未上市產品必需的智慧財產最高保護標準。<sup>6</sup>

(本文作者為EVG事業開發總監)

本文英文版已刊登於3DInCites 2021年鑑。