

發掘製程可疑缺陷

IC切片把關樣品功能性測試

涂婷婷/林敬鈞

IC設計後，在進行後續的樣品功能性測試、可靠度測試(Reliability Test)或故障分析除錯(Failure Analysis & Debug)前，必須針對待測樣品做樣品製備前處理(Sample preparation)，透過IC切片進行斷面/橫截面觀察(Cross-section)。此步驟在確認晶片內的金屬接線、晶片各層之間結構(Structure)、錫球接合結構(Solder joint)、封裝打線(Wire bonding)等各種可疑缺陷(Defect)，扮演相當關鍵性重要角色。

然而觀察截面的方式有很多種，有傳統機械研磨(Grinding)方式，透過機械手法拋光(Polish)至所需觀察的該層(Layer)位置；或是透過離子束(Ion Beam)方式來進行切削；每一種分析手法都各有優勢，須依照欲觀察的樣品型態選擇切片手法。

因此，本篇將集結筆者在實驗室常見的四大分析手法，從針對尺寸極小的目標觀測區，如奈米等級的先進製程缺陷，或是大面積結構觀察，如微米等級的矽穿孔TSV，快速找到適合的分析手法，協助測試人員順利進行斷面/橫截面

觀察。

傳統機械研磨樣品製備時間長

傳統機械研磨最大優勢，是可以達到大面積的觀察範圍，小於15c皆可，跨越整顆晶粒(Die)，甚至是封裝品(Package)，因此在需檢視全面性結構的堆疊或是尺寸量測等等，就適合使用機械研磨手法(圖1)。

此手法可透過機械切割、冷埋、研磨、拋光四步驟，拋光至所需觀察的位置。不過傳統研磨也有兩項弱點，除了有機械應力容易產生結構損壞，如變形、刮痕外，此項操作也非常需要依靠操作人員的執行經驗(圖2)，經驗不足者，恐導致過頭而誤傷到目標觀測區，而造成影響。

離子束CP可執行截面分析/微蝕刻

相較於傳統機械研磨(Grinding)，Cross-section Polisher(CP)的優點在於，利用離子束切削(Ion milling)作最後的ending cut，可以減低多餘的人為損傷，避免傳統研磨機械應力產生的結

構損壞。且除了切片外，CP還有另一延伸應用，就是可以針對樣品進行表面微蝕刻，來幫助測試人員解決研磨後造成的金屬延展或變形問題。因此若觀察金屬堆疊型之結構、界面合金共化物Intermetallic compound(IMC)，CP是非常適合的分析手法。

CP的手法，就是先利用研磨將樣品先停在目標區前，再使用氬離子Ar⁺，取其一範圍切削至目標觀測區，此做法不僅能有效縮短分析時間，後續再搭配宜特故障分析實驗室的掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)進行拍攝，將能夠完整呈現絕佳材料對比(圖3)。

案例一：CPCross section快又有效率

此待測樣品為BGA封裝形式，想要針對特定的錫球(Bump)進行分析，透過CP，可觀察1mm的範圍面積，僅需1小時，即可完成切片。後續再搭配SEM，即可清楚呈現錫球表面材料分布情形(圖4)。

案例二：P milling解決銅延展變形的狀況

常見PCB板疊孔結構，如遇盲孔(Blind Via Hole, BVH)與銅層(Cu layer)結合力較弱時，在製程後期的熱處理過程中，容易導致盲孔與銅層拉扯出裂縫(Crack)，造成阻

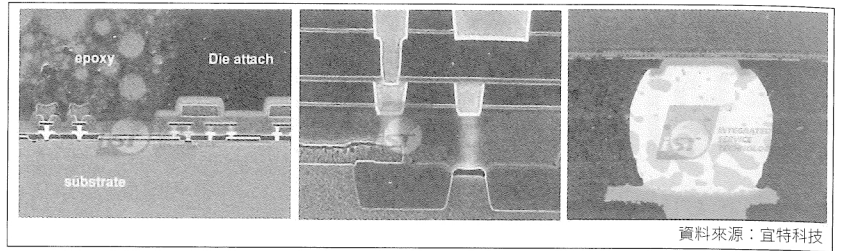


圖1 (左)：晶粒(Die)剖面研磨；圖一(中)&(右)銅製程剖面研磨

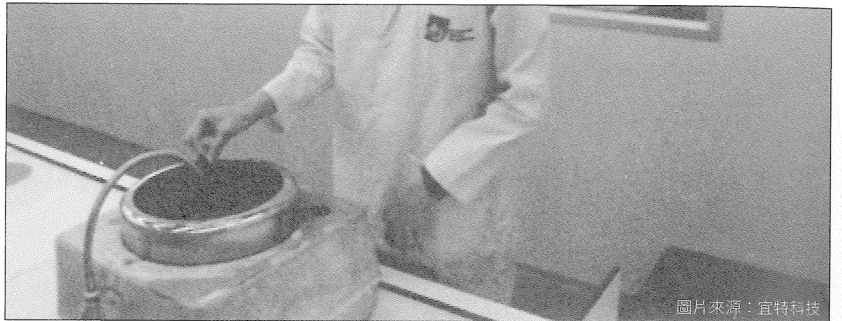


圖2 傳統研磨相當依靠操作人員的執行經驗

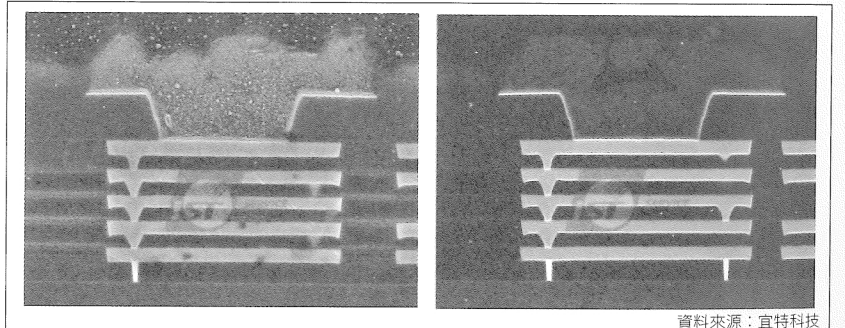


圖3 SEM影像，左圖為研磨後的IC結構，層與層間材料對比並不清晰；相較下右圖為CP切削後的IC結構，layer與layer間界線分界清晰

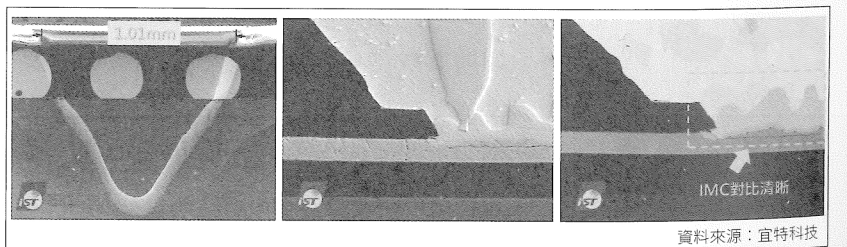


圖4 SEM影像；圖四(a)為透過CP的cross section，可將整顆bump完整呈現；圖四(b)是用傳統機械研磨完成之BGA，其Bump之IMC雖可看到，但因研磨延展無法完整呈現；圖四(c)是用CP完成之BGA，其Bump之IMC對比清晰，可清楚看到材料對比的差異

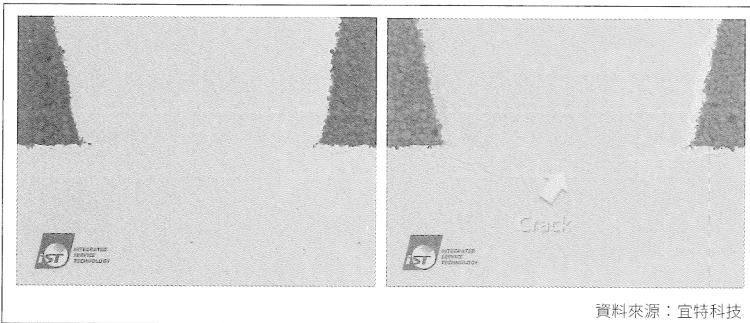


圖5 (左), 為傳統機械研磨後之PCB via, 無法看到Crack ; (右)為CP milling後之PCB via, 清楚呈現Crack

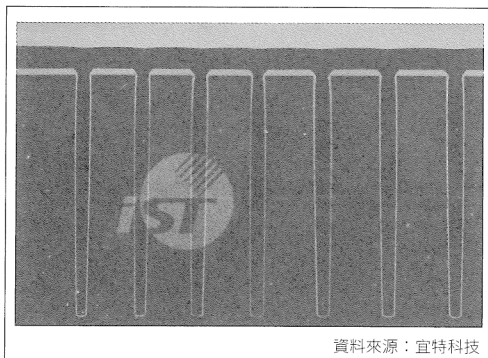


圖6 PFIB切削後之TSV(Through Silicon Via)結構, 除了可以清楚量測金屬鍍層厚度外, 因為沒有研磨的應力影響, 可明確定義TSV蝕刻的CD(Critical Dimension)

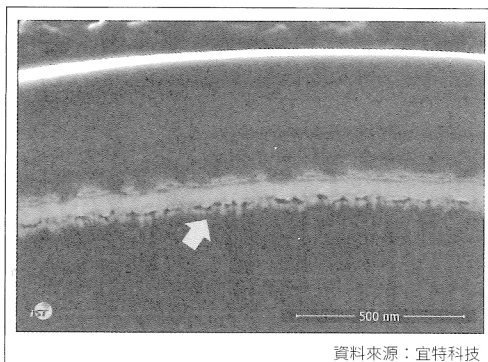


圖7 DB-FIB搭配SEM與鎩離子槍, 可針對異常及微區結構進行定位與分析

值不穩定等異常情形。一般人常使用的手法, 是透過傳統機械研磨來檢測, 但這樣的處理方式常常造成銅延展變形而

影響判斷。例如宜特故障分析實驗室則是利用CP, 針對盲孔BVH結構進行CP milling將此問題解決, 且處理範圍可達10mm以上之寬度(圖5)。

PFIB可做局部分析

在3D-IC半導體製程技術中, 不想用研磨將樣品整個破壞, 這時就可考慮使用電漿聚焦離子束顯微鏡(Plasma FIB, PFIB)分析手法, 結合電漿離子蝕刻加工與SEM觀察的功能, 適用於分析範圍在50~500 μm 的距離內, 可進行截面分析與去層觀察, 甚至針對特定區域亦可同時邊切邊觀察, 不用擔心因盲目切削而會有誤傷目標區的狀況, 確保異常或是特定觀察結構的完整性(圖6)。

DB-FIB適用數奈米小範圍且局部的切片分析

結合鎩離子束與SEM的雙束聚焦離子顯微鏡(Dual Beam FIB, DB-FIB), 能針對樣品中的微細結構進行奈米尺度的定位及觀察(圖7), 適用於分析範圍在50 μm 以下的結構或異常觀察; 同時亦可進行EDX以及電子背向散射(Electron Backscatter Diffraction, EBSD)的分析, 可得到目標區的成分以及晶體相關訊息。除了上述分析之外, 當觀察的異常區域或結構太小, 用SEM無法得到足夠的訊息時, DB-FIB也可以執行穿透式電子顯微鏡(Transmission Electron Microscope, TEM)的試片製備, 後續可用TEM進行更高分解度的分析。

(本文作者涂亭婷為宜特科技故障分析工程處技術副理; 林敬鈞為宜特科技材料分析工程處副理)