

強化失效解析/突破製造良率

TGV成絕緣中介層明日之星

● 李柏陞

半導體產業將迎接基板材料的重大革新，隨著AI、高速運算(High Performance Computing, HPC)與電動車等應用日益蓬勃，產業對低損耗、高頻特性與成本效益的需求持續增加。以玻璃基板製作的玻璃通孔(Through-Glass Via, TGV)逐漸受到重視，並被視為高階封裝技術的新選項，更有機會在AI浪潮中，挑戰矽中介層(Silicon Interposer)的地位，成為下一代的明日之星。

根據業界報導，Intel、Samsung、南韓Hana Technology、日本電氣玻璃(Nippon Electric Glass, NEG)等多家半導體與材料大廠，已紛紛投入TGV的開發與試產，並針對AI晶片、高頻模組等應用設計新一代封裝架構。根據Verified Market Reports的研究，TGV技術市場規模預計將由2024年的12億美元提升至2033年的25億美元，2026至2033年預測年均複合成長率為9.5%，顯示其具備高度競爭價值與產業成長潛力。

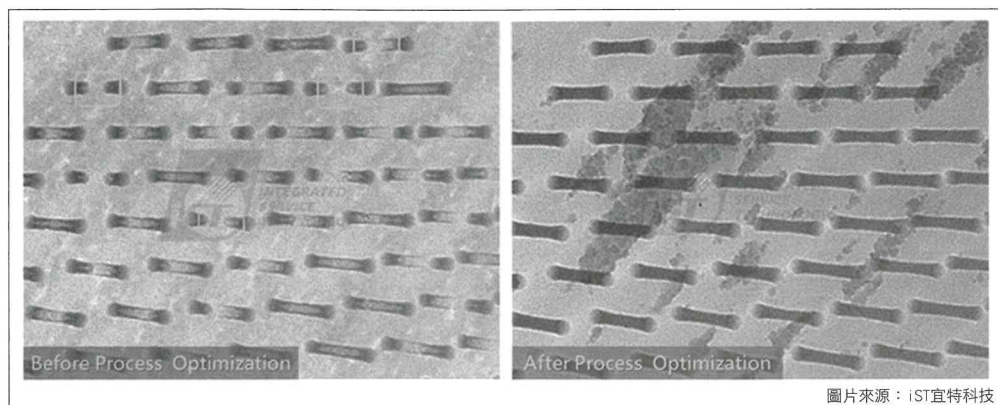
TGV玻璃基板的發展現況

假設一個應用需要從12V電源獲得1V、30A的低電壓、大電流輸出，且效率為80%，則總損耗將達到7.5W。這些損耗會變成熱量，導致IC和電感的溫度上升。資料中心的環境溫度通常高於室溫，額外的損耗會使IC的溫度進一步升高，進而更接近IC的熱關斷限值(通常為150°C)。對於負載點(Point of Load, POL)電源應用，此類問題尤為關鍵，因為DC-DC轉換器往往非常靠近高發熱量的微處理器。

下文將說明幾種有助於提高低電壓、大電流元件效率的方法。

SW節點PCB布線要點

玻璃基板技術TGV是一種於玻璃基板上製作「金屬導電孔」(vias)的技術。簡而言之，就是在一片玻璃板上鑽孔，再將導電金屬如銅等填入孔內，讓電氣訊號得以從玻璃的一面傳輸到另一側，如同在玻璃上開設許多高速通道，讓晶片之間的電訊號可以快速且低損耗



圖片來源：iST宜特科技

圖3 從2D X-Ray觀察，產品原先有銅填孔不均的問題，沒有連結在一起的通孔表示導通失敗，左圖以黃圈標出部分失效處。經過鍍銅條件優化與調整後，提升了銅填孔的飽和度，如右圖所示

TGV失效解析四大步驟

本文將進一步分享宜特故障分析實驗室如何找出TGV玻璃基板的故障點。透過以下四大步驟，可快速找出潛在故障點並加以改善，適用於TGV初期導入、材料選型、量產前可靠度驗證等階段。

環境應力測試 誘發潛在異常

透過加速老化可靠度實驗，如高加速應力試驗(Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test, HAST)與高溫保存試驗(High Temperature Storage, HTS)等，可評估TGV結構在高溫/高濕/高壓環境下的長期穩定性，藉此誘發出結構中可能存在的異常點。此方法可在短時間內模擬數年壽命，快速誘發銅擴散、玻璃介面剝離或導通異常等潛在問題。宜特可依客戶需求調整測試條件，並結合後段破壞分析，提高整體測試效能。

非破壞檢測 快速定位失效點

當有相關電氣漏電失效發生時，可利用亮點分析儀器，如熱輻射故障定位顯微鏡(Thermal Emission Microscopy, Thermal EMMI)或光束誘導電阻異常偵測(Optical Beam Induced Resistance Change, OBIRCH)進行失效點定位；此外，採用高解析度X-Ray系統，進行2D平面觀察與3D斷層掃描，無需破壞樣品即可快速掌握TGV電性異常物性狀態或銅填孔的完整性。此技術可識別TGV內部填鍍常見的空洞(void)缺陷。也可利用高深寬比結構進行局部放大分析，作為後續精細切片的輔助依據。

精準切片分析 掌握失效機制

在失效定位後，可針對異常與試片特性從斷面研磨(X-Section)、離子束剖面研磨(Cross-section Polisher, CP)、

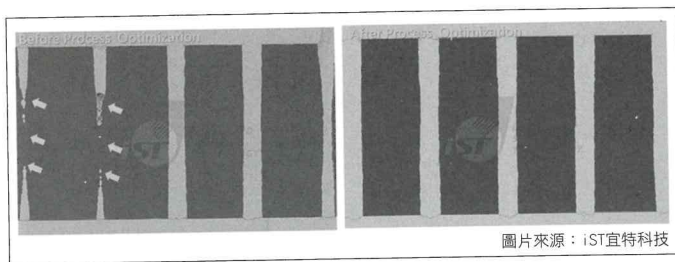


圖4 從SEM可清楚看出，製程優化和調整後，最終成功提升銅填孔飽和度

電漿聚焦離子束顯微鏡(Plasma FIB, PFIB)分析等技術，為決定最佳製備方式進行精準剖面樣品製備。

材料結構分析 改善潛在風險

切片後可進一步搭配掃描式電子顯微鏡(SEM)或穿透式電子顯微鏡(TEM)觀察穿孔介面狀態，並利用能量色散X射線光譜(EDS)或電子能量損失能譜(EELS)元素分析，以確認銅擴散路徑與濃度分布。在檢測玻璃內部的微量銅擴散時，此步驟極為重要，有助於建立完整失效機制模型。亦可搭配電子背向散射繞射(EBSD)技術，以分析晶粒大小/方向(Grain size/Orientation)、晶界(Grain Boundary)特性與殘留應力，以改善製程並提升可靠度和電氣特性。

TGV案例分享

在宜特的TGV異常分析經驗中，導致導通失敗的主因多為TGV製程中「玻璃穿孔」的穿孔品質不良與「金屬填孔」(多採用電鍍或化學填鍍)的銅填鍍不均。由於TGV基板上的微小通孔需完全

且均勻填入銅材，才能確保穩定的導電路徑，任何玻璃孔蝕刻異常都可能導致導通中斷。若電鍍參數設定不當，可能產生孔內空隙、填充不飽滿或柱狀結構不連續等狀況，進而導致電

氣特性異常與封裝失效。

圖3呈現的案例中，即可利用2D X-ray非破壞分析，進行異常點定位，再搭配精準切片，並以SEM觀察、分析後，得知導致部分TGV產生無法導通或高阻值異常的原因是銅填充空隙不均。此時針對鍍銅條件進行最佳化與調整填鍍時間，即可成功提升銅填孔飽和度與導電一致性，提升整體良率(圖4)。

由於矽中介層技術擁有製程成熟、散熱佳等優點，目前仍是多數應用的主力。然而，TGV玻璃基板亦擁有低電氣阻抗、高頻率傳輸與卓越的絕緣等強勢特性，將成為半導體產業在AI加速器、高階通訊及毫米波雷達等前瞻技術趨勢下的關鍵材料之一。隨著全球半導體大廠的積極投入，TGV玻璃基板有望成為先進封裝領域中極具戰略意義的

「明日基板」技術。若能透過有效的故障分析手法，即可加速提升TGV玻璃基板可靠度與其製程良率，增加TGV及早期量產化的可能性。

(本文作者任職於宜特科技)