

補齊電性測試盲點

DPA力助車規級零缺陷

● 劉香蘭

晶片在廠內經過數千小時可靠度驗證且電性測試數據過關，原以為穩拿訂單，沒想到送交Tier 1廠後，卻在進料檢驗(IQC)被揪出焊點裂紋慘遭整批退貨。這不僅讓研發心血付諸流水，更直接威脅到剛拿下的Design Win。到底如何做才能確保產品真正零缺陷呢？

進入2026年，隨著軟體定義車輛(Software-Defined Vehicle, SDV)與區域架構(Zonal Architecture)成為產業主流，在SDV趨勢下，晶片需具備極高的效能餘裕以支援未來的軟體升級；而區域架構則讓大部分的晶片必須安裝在更靠近馬達等熱源與震動源位置，而在高壓、高熱、高震動的極端環境下運作。

近期AEC車電協會(Automotive Electronics Council)頻繁針對先進封裝修正測試標準，正是體認到ATE(Automatic Test Equipment)電性數據已無法全面涵蓋結構疲勞的風險。包含Tesla、NVIDIA與高通(Qualcomm)等大廠，在將高效能運算(HPC)晶片導

入車載系統時，已將Zero Defect的要求從晶片的功能正常提升至結構絕對完整。若產品潛伏結構隱患，即使僥倖通過ATE測試，也難逃時間的審判。

事實上，ATE Pass僅代表功能合格，而破壞性物理分析(Destructive Physical Analysis, DPA)才是驗證壽命與結構的關鍵。若不想讓即將到手的量產門票毀於一旦，在研發階段就導入DPA進行深度的物理診斷，是邁向車規級零缺陷的必經之路。因此，本文將透過DPA剖析三大案例，助車用產品安全上路。

破壞性物理分析DPA

簡單來說，DPA就像是預防醫學。有別於一般故障分析(FA)是在壞掉後才找原因，DPA是在產品判定電性功能Pass的狀態下，隨機抽樣進行一系列的破壞性拆解與檢測。

它的目的只有一個：檢查那些躲過ATE測試的結構性內傷。

例如：打線接合面已經裂了90%，剩下的10%接觸面在ATE電性測試下導

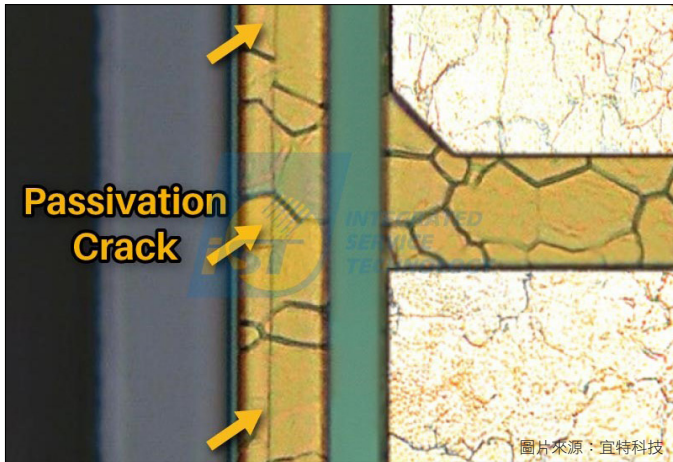


圖1 DPA顯示護層裂紋，暴露ATE測試中看不見的可靠度風險

通依然良好，顯示Pass。但這種晶片一旦上車，經歷幾次熱脹冷縮就會徹底斷裂。這種未爆彈，只有透過DPA把它切開來看，才能無所遁形。

AEC驗證規範

很多IC設計工程師會問：「AEC-Q100都跑完了，客戶也沒特別說要做DPA，有必要多花這筆錢嗎？」根據AEC規範，DPA絕非選配，而是確保結構品質的必要手段。除了針對分離式元件的AEC-Q101、光電半導體的AEC-Q102及板階可靠度的AEC-Q007皆將DPA列為必測項目外；針對銅線(Cu Wire)製程的AEC-Q006，更制定了最嚴格且具體的破壞性分析標準，成為所有採用銅線封裝的車用晶片必須跨越的硬性門檻。AEC-Q006銅線封裝規範：從選配變標配。

如果為了降低成本，而將封裝從金

線轉為銅線，代表自動落入AEC-Q006的規範範疇。由於銅線較硬，容易在製程中造成底層鋁墊(Al Pad)破裂(Cratering)，因此AEC-Q006明確要求必須進行DPA相關項目的驗證。

如果不想被Tier 1稽核，以下是AEC-Q006裡提到必須關注的DPA重點項目：

焊球推力測試(Wire Bond Shear)

透過橫向推力確認銅球與鋁墊的結合品質。檢視金屬間化合物(IMC)的生成狀況，了解打線底層介面是否有剝離或裂痕。對於Cpk數值分布有嚴格要求，以證明製程能力穩定。

焊線拉力測試(Wire Bond Pull)

透過垂直拉力著重測試打線頸部和第二焊點是否牢固。透過分析拉線後的失效模式(Wire Pull Failure Modes)來了解斷裂發生的位置，與Wire Bond Shear一樣會確認Cpk數值是否於規範內。

彈坑測試(Crater Test)

這是銅線製程的關鍵檢查。移除焊墊金屬層，檢查下方是否有因打線應力造成肉眼看不見的隱形裂紋(Cratering)。

切片分析(Cross-Section)

使用電子顯微鏡(SEM)檢查整個樣品的完整性，包含晶片、模封膠(Molding Compound)、黏晶膠(Die Attach)、導線架(Lead Frame)之間的

介面狀況，以及打線第一和第二焊點下方有無微裂紋與脫層異常。

內部目檢(Internal Visual)

檢查封裝體內晶片表面，是否有保護層裂紋或晶片缺角等損傷。

解決隱性失效

以下是廠商宜特科技協助IC設計公司在量產前，透過DPA攔截的案例：

護層裂紋攔截

破解ATE偵測延遲

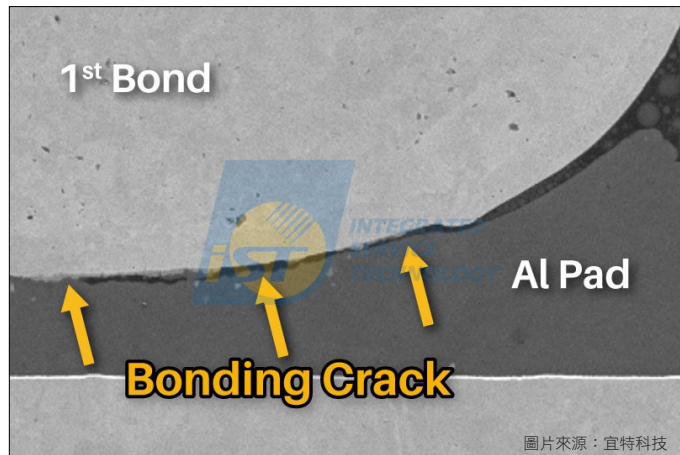
某車用IC客戶在進行可靠度測試後，ATE顯示全數通過。但宜特工程團隊透過DPA的Phase 1破壞性分析發現，部分樣品的護層(Passivation)已出現微小裂紋(圖1)。進一步透過橫截面觀察，確認裂紋已延伸至金屬層邊緣。

這說明了僅有電性測試卻無DPA攔截的狀態下，這批貨一旦裝上車，數個月後可能將引發大規模客訴甚至災難性的性命傷害疑慮。

銅線打線界面診斷

焊點疲勞不可輕忽

爲了兼顧成本與效能，許多車用晶片將製程轉向銅線Cu Wire封裝，但這也帶來了更嚴苛的可靠度挑戰，尤其是AEC-Q006規範中最在意的高溫應力與金屬疲勞。在銅線封裝製程中，焊點與鋁墊間的IMC覆蓋率是訊號傳遞可靠的指標。



圖片來源：宜特科技

圖2 DPA顯示焊點缺陷，暴露ATE測試中看不見的可靠度風險

某客戶希望優化打線參數，雖然初步電性測試無異，但宜特透過DPA的分析與測試手法，發現特定參數下的IMC生長不均，且推力值雖在規格內但故障模式出現了Bonding Crack徵兆。這正是典型的當下Pass、長期Fail假象(圖2)。

以電性結果通過AEC認證只是入場券，然而邁向零缺陷的核心課題，在於如何補齊電性測試看不見的盲點。對於IC設計公司而言，DPA不應該被視爲一項多餘的成本，而是一份確保出貨安全的保險。

當你的競爭對手只拿得出ATE報告，而你能同時附上第三方公正實驗室的DPA完整分析報告，這代表的不僅是品質，更是你對車規理解的專業度。別讓一顆1美元的晶片，毀了你千萬美元的訂單。在送樣給Tier 1之前，先透過DPA做最後一次的健康檢查吧。🔍

(本文作者任職於宜特科技)