

AEC-Q007導入韋伯分析預測晶片壽命 從失效分析邁向車用零缺陷

● 崔革文

問題出在封測端，IC設計端是否仍有必要深入了解？這是許多IC設計工程師在面臨封裝脫層等板級可靠度(Board Level Reliability, BLR)失效時常見的迷思。釐清責任歸屬固然重要，但深入解析故障機制才是贏得客戶訂單的敲門磚。在追求零缺陷的賽道上，唯有比車廠更精準地掌握產品何時失效與為何失效，才能成功切入全球車用供應鏈。

邁入2026年，全球汽車產業重視的零缺陷(Zero Defect)已不再僅是標語，而是車廠在法律責任與品牌信任維護上的重要防線。隨著各國相關法規陸續將L3-L5級以上的事務責任歸屬於車廠(OEM)，系統失效的成本已從單純的召回費用，演變成企業必須承擔的法律責任。

對工程師而言，最嚴峻的挑戰在於，現行的AEC-Q系列等通用標準，在面對L3-L5自動駕駛任務剖面(Mission Profile)時已難以完全滿足需求。

當車輛逐步邁向不受人類駕駛時間限制的自主運行模式時，日運行時間可

能從2小時拉長至20小時。依據未來自動駕駛車輛的Mission Profile推估，車載半導體所需承受的工作壽命要求可能達現行AEC規範的4倍以上。

但傳統的Pass/Fail測試僅能保證出廠品質，要達成Zero Defect必須跨越傳統驗證的舒適圈。本期小學堂將從實驗室的第一線視角，解析如何在研發初期透過深層的技術驗證，跨越傳統的Pass/Fail測試，鋪設這條通往零缺陷的安全之路。

車用晶片封裝脫層誰負責 IC設計端不能置身事外

宜特實驗室長期觀察發現，面對先進封裝動輒數百到數千個微小接點，高達64%的失敗案例，其實源自於委外封測代工廠(Outsourced Semiconductor Assembly and Test, OSAT)製程。

為了防範未然，IC設計公司不能只看OSAT提供的良率報告，而必須主動出擊，將破壞性物理分析(DPA)作為常態

性的生產監控工具。從封裝後的截面分析(Cross-section)，哪怕每天或每月只抽樣1到2顆晶片，都更能幫助揪出隱藏在封裝製程中因物理性缺陷所引發的失效問題，從源頭守住品質防線。

遵循AEC-Q007完成試驗後該做什麼？

目前AEC-Q規範大都要求執行1,000小時測試，早在2017年起就有國際頂尖車廠提出現行AEC-Q規範已不足以滿足未來實際需求。隨著自動駕駛技術逐漸推進到L3-L5階段，車輛運轉時間將至少是現有規範的4倍或更多。因此，AEC-Q規範首次以累積失效模式取代過去有限時間的測試方法，了解產品在全生命週期中的失效分布情形。

失效累積63.2% 解析壽命預測方法

在AEC-Q007板階溫度循環測試(TC Test)中，測試結果可透過韋伯分佈

析，取得產品特徵壽命(Characteristic Life, η)。當累積失效機率达63.2%時，即代表產品達到韋伯分佈中的特徵壽命；若測試完成3000個循環仍無失效發生，則可作為可靠度評估依據。

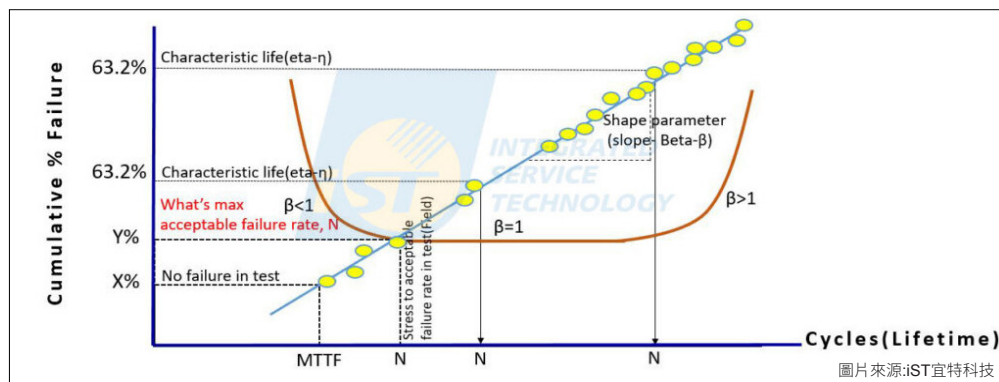
如果研發工程師的目標，僅僅是為了拿到Pass結案，就完全喪失了可靠度測試的初衷。執行測試的真正目的，是要回答一個最核心的課題：所開發的產品到底何時會失效？

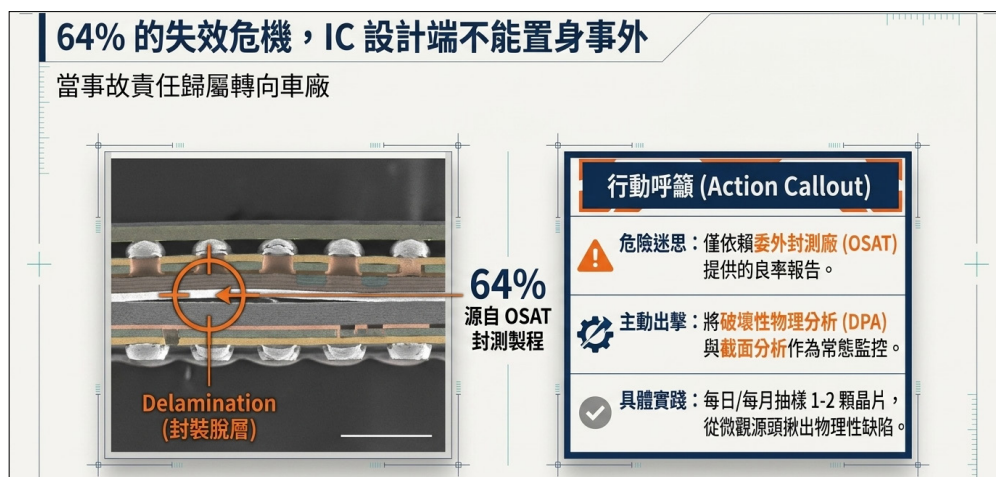
如何透過數據精準預測晶片失效時間？

進一步的可靠度分析，可將AEC-Q007測試所得失效數據導入韋伯分佈模型進行深入分析，從中獲取以下關鍵情報：

- 定位浴缸曲線階段：

經由韋伯分析，可取得產品特徵壽命和失效分布形狀參數(Shape Parameter, β)，即可判斷產品失效是屬於製程缺陷導致的早夭期失效，或使用期間的隨





封裝失效分析可協助定位車用晶片可靠度問題根因

資料來源：編輯部AI生成

機失效，還是材料自然退化所造成的老化期失效。若早期失效比例過高，代表產品存在著設計或製程問題；若老化期發生在設計壽命期內，則代表產品可靠度設計未達預期。

- 是否滿足任務剖面需求：

從產品的首次失效點(First Failure)，可推算產品在多使用數年後會出現失效，同時也可以計算出在保固期(N年)內會發生缺陷率的比例，以做為市場備料參考依據。當然，也可藉由韋伯分析結果，來確認產品是否真能滿足車廠任務剖面與客戶期待。

- 評估安全備援(Redundancy)設計：

對於車用系統而言，任何失效都可能危及人命。當我們能精準預測產品幾年後會壞，設計者才能計算系統需要多少顆晶片來做冗餘(Redundancy)設計，以確保主系統發生問題時，備援系統能即時接管，提升車輛運行安全性。

AEC-Q007板階可靠度面臨新挑戰

汽車使用年限長達10至15年，且必須在極為複雜且嚴苛的環境應力下正常運轉，除氣候環境應力外，還必須確保在長期振動與機械衝擊的環境下能正常運作。而目前AEC-Q007僅針對溫度循環進行要求，因此板階可靠度必須增加振動與機械衝擊試驗，才能貼近汽車電子真實所遇到的環境，不應因現行標準未納入要求，而忽略振動與機械衝擊試驗對板級可靠度的影響。

在過去，IC設計業往往側重於功能性設計(Design for function)；但在汽車電子領域，可靠度設計(Design for Reliability)與可製造性設計(Design for Manufacturing)更為重要。同時從失效機制的角度出發，才能在零缺陷的賽道上逐步前進，進而贏得客戶的長期信任與訂單。

(本文作者為iST宜特科技董事長特別助理)