

AEC-Q104 Rev A驗證架構與可靠度更新 多晶片模組車規新挑戰

吳欣怡

隨著自動駕駛、車聯網(Vehicle-to-Everything, V2X)與電動車(Electric Vehicle, EV)快速發展，車用電子複雜度也呈現幾何級數增長。為了納入更多功能，傳統單一封裝的IC已不敷使用，把多種晶片包在一起的多晶片模組(Multi-Chip Module, MCM)或系統級封裝(System in Package, SiP)成為了主流趨勢。

然而，當一個封裝內同時包含邏輯IC、功率元件與被動元件時，以往大家熟悉的AEC-Q100或AEC-Q101等規範，已不足以因應其失效機制。為因應此類需求，最新AEC-Q104 Rev A誕生了，它正是專供MCM使用的可靠度驗證規範。

AEC(Automotive Electronics Council)成立於1990年，由克萊思勒、福特汽車、通用汽車共同發起、組成的組織，主要目的是建立通用的汽車電子零件可靠度測試方法與品質系統標準。此協會全球僅93家為合格會員，皆是

全球在汽車各領域的指標企業，其會員涵蓋多家國際車廠、Tier 1供應商與半導體業者，宜特亦於2022年底加入AEC會員體系之中。

AEC-Q104初版於2017年9月發布，重點在於建立MCM可能面臨的失效機制，並建立相應的應力測試與驗證框架。最新Rev A版本則進一步擴充適用範圍、測試群組細節、散熱與功率耗散條件，並強化了模組層級的可靠性驗證與全生命週期管理。

本文將AEC-Q104 Rev A規範整理出四個關鍵面向，協助讀者快速掌握其核心內容。

驗證計畫： MCM驗證規畫重點

許多工程師面對MCM或SiP內含大量元件時，往往會擔心驗證流程過於繁瑣：難道每一顆都要逐一測試嗎？更何況不少元件來自供應商，如果全部都要驗證，流程究竟要拖到什麼時候才能

完成？不過，AEC-Q104的目的並非要求所有元件皆重新驗證。當一個模組無法完全透過現有的單一AEC系列規範(Q100，Q101，Q102，Q103，Q200)完成驗證時，就必須採用AEC-Q104。在制定AEC-Q104驗證計畫，可以靈活運用既有指引：

- 借力使力(Leverage)

直接引用AEC-Q100、Q101或Q200的現成測試方法作為基礎。

- 引用現成資料(Surrogate Data)

如果MCM已經做過AEC-Q102(光電)或AEC-Q103(微機電)測試，測試資料可直接引用，加快驗證流程。

- 強制測試項目(Mandatory)

雖然可以引用測試資料，但Group H(板階可靠度，Board Level Reliability, BLR)是絕對不能豁免的必測項目，因為

大尺寸模組跟PCB板之間的焊點疲勞，正是MCM最常發生故障的關鍵可靠度風險。

具體的驗證計畫取決於MCM的複雜度、技術特性與封裝類型。並且在取得使用方同意的前提下，亦可將測試成本納入考量。

本規範的核心聚焦於完整MCM元件的資格驗證，而非針對內部每個子組件進行獨立拆解測試；儘管如此，為了確保整體品質，仍建議優先選用已通過AEC驗證的子組件。

以下將驗證計畫流程整理為流程圖，以直觀呈現決策與測試步驟(圖1)。

測試流程： 新版驗證機制簡化重點

車規驗證向來成本極高。但這次A版

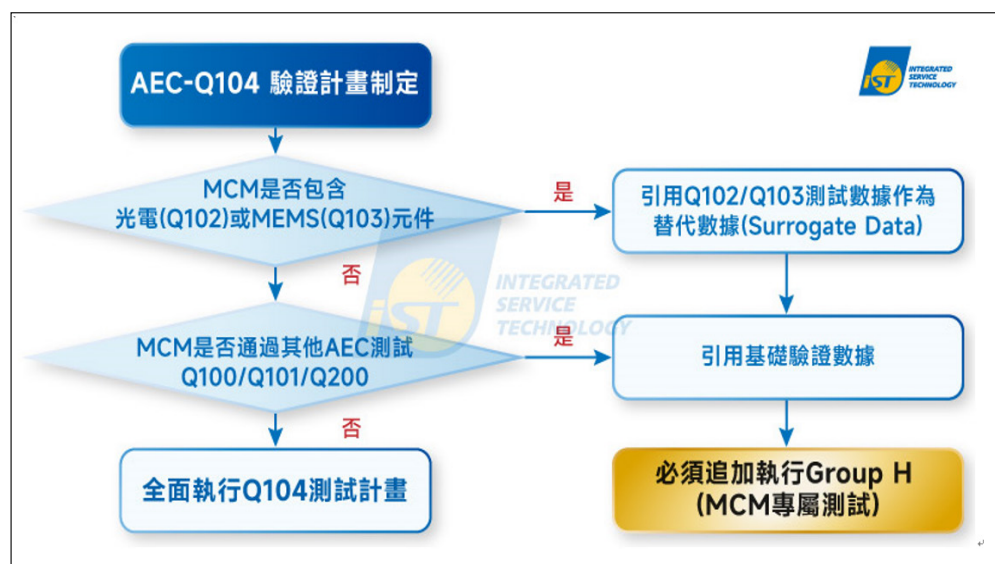


圖1 AEC-Q104驗證計畫流程圖

圖片來源：IST宜特

更新帶來了一項重要調整：取消了初版規定的序列測試(Sequential Testing)。

什麼是序列測試？就是連續執行兩種不同的壓力測試，例如在高溫工作壽命試驗(High Temperature Operating Life, HTOL)後的溫度衝擊試驗(Thermal Shock Testing, TST)等。序列測試原本常見於OEM對Tier 1供應商的要求中，因此在Tier 1端也廣泛採用。但實際上Tier 1車廠很少這樣要求Tier 2供應商，所以新版直接把這個規定拿掉，可有效降低驗證時間與成本。不過，若客戶具有額外驗證需求，仍可視情況執行相關測試。

另外，AEC-Q104允許善用通用數據(Generic Data)以簡化流程。然而，部分測試仍可能需要進行參數漂移(Parametric Drift)量測。若產品規格或其他AEC系列規範中，存在比AEC-Q104 Table 1更嚴格或額外的測試要求，則應視情況納入或

替換至模組資格驗證測試中。

製程變更指南： 哪些變更需重新驗證

工廠在生產時難免會遇到需要更換材料或微調製程的時候，新版規範進一步細化變更指南。新版透過更完整的分類與補充說明，使製造商在進行MCM或子組件資格驗證時，能更有效率地比對既有測試資料，判斷是否需要額外測試，並在可靠度與成本之間取得平衡，進一步提升整體品質一致性。以下列出本次更新所涵蓋的變更項目：

- 基板材料變更和/或外部尺寸
- 基板變更影響模組電路圖
- 模組組裝過程中所使用製程的變更
- 測試平台和/或測試覆蓋率的變更
- 產品標記製程的變更(僅限墨水標記, Ink Marking)

表 1 PTC 和 PCT 測試速覽表

項目	PTC(功率溫度循環)	PCT(功率循環測試)
測試目的	評估功率與環境溫度循環下應力	評估非均勻溫度梯度下應力
測試適用條件	使用熱管理結構 / 材料，或要求散熱管理	
功能用途	調節電壓 / 電流、直接驅動負載或控制電流	
模擬情境	模擬實際運作環境 焊點、介面承受功率與溫度交互作用	無法透過 PTC 達到高功率狀態 元件頻繁開關切換 (EX：電源管理、馬達驅動)
參考標準	JESD22-A105	JESD22-A122
測試溫度	快速溫度循環	常溫
ΔT_J	最大功率耗散導致 $\Delta T_J \geq 40^\circ\text{C}$	
功率狀態	偏壓或低速操作時難以達到高功率狀態	模擬高功率耗散變化
FT 溫度	常溫、高溫	低溫、高溫
Thermal shut-down	測試過程不可發生	

以上製程變更，A版均有明確規範可依循，避免因標準不清而引發認證爭議。

特定測試定義： 新版驗證細節整理

這次AEC-Q104規範的新版，進一步明確定義既有的測試條件與要求把很多過去模糊的地帶都定義清楚了，也補充了新的測試要求，以確保驗證結果的完整性與一致性。

釐清既有測試細節包括：

- 靜電測試(Electrostatic Discharge, ESD)：

HBM(Human Body Model)、CDM(Charged Device Model)直接與AEC-Q100標準一致。

- STEP(Start Up and Temperature Steps)：

新增測試圖示與方法描述。

- LTSL(Low Temperature Storage Life)：

明確規定要在最低環境儲存溫度下進

行應力測試，以避免測試方法與判定標準產生解讀差異。

複雜的應力測試，怎麼選？

由於MCM結構複雜，內部不同子組件的功率狀態差異，容易造成溫度分佈不均；在瞬間發熱時，更易引發材料間熱膨脹係數(Coefficient of Thermal Expansion, CTE)不匹配應力，長久累積終將提高失效風險。可依應用情境選擇：

- 功率溫度循環(Power Temperature Cycling, PTC)：

此為既有測試項目。模擬實際環境，評估功率與溫度的交互應力。

- 功率循環測試(Power Cycling Test, PCT)：

此為替代方案。主要用於評估非均勻溫度梯度造成的應力，模擬高功率變化的極端情境。模擬從最低自發熱狀態(如待機)到最高自發熱狀態(如最大工作狀態)的功率循環，全面評估模組在功率負載變動與溫差應力下的可靠性。

表 2 H4A 和 H4B 不同封裝下的 DROP 測試規範

項目	H4A	H4B
適用範圍	裸露焊點或線焊	Over-molded MCM
參考標準	JESD22-B110B Condition A	JESD22-B110 Condition B
測試樣品	實際樣品 /5ea	菊花鏈設計 /24ea
測試條件	500G、1.0ms 半正弦脈衝	1500G、0.5ms 半正弦脈衝
測試方向	±X、±Y、±Z	-Z
測試次數	每方向 5 次，共 30 次 / 樣品	至少 10 次，最多 100 次
測試結果	零失效	62.3%失效



車用電子驗證不僅關乎元件可靠度，更直接影響車輛在實際道路環境中的安全與穩定性

表1整理PTC與PCT的共通性與差異，可作為測試決策參考。

MCM結構差異下的DROP測試方法

眾所周知，AEC-Q104初版於2017年正式定義了BLR的基本試驗，包括溫度循環(TCT)與落摔測試(Drop)，透過焊點壽命與失效狀況評估可靠度表現。

在最新修訂版中，針對模組在實際使用環境下可能遭遇的機械衝擊，新增了MCM DROP的替代方案，建立專屬的落摔測試方法與驗收標準。此修訂特別考量MCM結構差異，將不同封裝型態下的Drop測試方式加以區分(表2)，讓驗證更符合實際應用情況。

具裸露焊點的H4A類型，驗證條件較為嚴格，需承受500G半正弦脈衝，且須

符合零失效要求；無裸露焊點的封裝模組H4B類型則需承受更高的1500G，允許的判定標準為62.3%失效。

AEC-Q104 Rev A的推出，代表汽車電子可靠度標準的再一次提升。它以失效機制為核心，要求多晶片模組在設計、製造與文件化管理上展現一致性與嚴謹性，並透過更完整的認證框架強化供應鏈的透明度與可追溯性。

未來的車規驗證只會越來越嚴謹，後續的標準將持續納入新的可靠度驗證經驗，包含彎曲測試、溫度分級，並計畫依據實際需求制定更合適的測試要求、更新方法細節等。這些準備工作顯示，標準不僅是當前的品質門檻，更是持續演進的過程，確保汽車電子模組能在長期嚴苛環境下保持穩定可靠。EUP

(本文作者為宜特科技技術經理)