



車用板階可靠度測試始出來

AEC-Q007直面溫度循環挑戰

● 莊家豪

汽車電子協會 (Automotive Electronics Council, AEC) 近期宣告，已推出AEC-Q007規範，正式定義車用板階可靠度 (Board Level Reliability, BLR) 可依循的驗證標準方向。AEC是1990年由克萊斯勒、福特汽車、通用汽車組成的組織，目的是要建立通用的汽車零件可靠度測試方法與品質系統標準。

此協會僅93家合格會員，皆是全球在汽車各領域翹楚，包括全球前10大的Tier 1供應商Aptiv、Bosch、Continental、DENSO、Magna、ZF等。以及前10大的車用晶片Tier 2供應商，包含Infineon、Intel、NVIDIA、NXP、Qualcomm、ST、TI等。而Tier 3供應商，也就是協助Tier 2的服務公司，則包含TSMC、UMC、GF、Amkor皆為其成員。

AEC零件技術委員會的家族成員，包括AEC-Q100 (IC晶片)、AEC-Q101 (離散元件)、AEC-Q102 (離散光電元件)、AEC-Q103 (微機電系統)、AEC-Q104 (MCM多晶片模組) 以及AEC-Q200 (被動元件)。這些規範的主要焦點都是在零件層面進行各種測試。雖然AEC-Q104規範中的Test Group H提到

了BLR，但內容只是提供了一些參考規範，並未詳細說明有關PCB和菊花鏈 (Daisy Chain) 設計方式的內容。

換句話說，以前的AEC文件規範都是針對零件進行測試。直到最近在2024年3月推出的AEC-Q007，才真正將零件和印刷電路板 (PCB) 結合起來，提出了熱門的車用板階可靠度測試規範。

根據內容所提到的Daisy Chain設計 (圖1)，這其實就是常見的BLR測試。BLR測試是透過零件搭配PCB，將錫球與PCB端設計成導通模式，進而形成迴路以便觀察焊點 (Solder Joint) 的壽命，並於測試過程中搭配測量儀器，即時獲得資訊來判斷焊點良率。

以往AEC僅針對零件進行認證，AEC-Q007首次將PCB納入考量，透過BLR驗證方式觀察焊點失效的情況。除了測試方式，規範還建議了PCB與Daisy Chain詳細的設計方式。

車用Daisy Chain設計

AEC-Q007規範針對不同封裝形式中的Daisy Chain設計，有個別的介紹。相較於其他國際規範大部分僅以文字帶過，

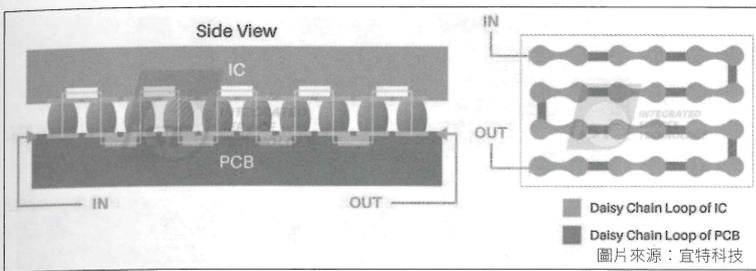


圖1 BLR Daisy Chain設計概要

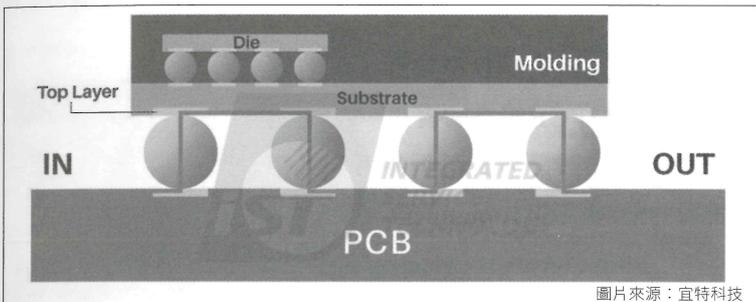


圖2 Level 3的daisy chain設計，透過零件基板的表層布線，將錫球與PCB進行連結

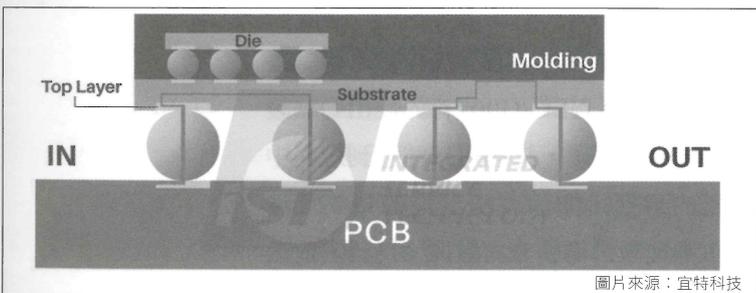


圖3 Level 2的Daisy Chain設計，將原本在零件底部的線路延伸至零件基板

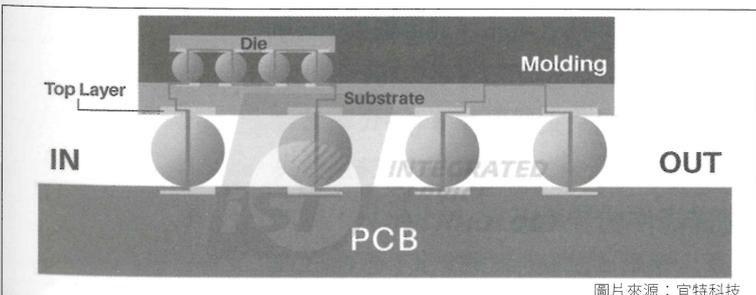


圖4 Level 1的Daisy Chain設計，將布線持續延伸至零件內部，連結內部晶片之表面金屬層

對於初次想要學習BLR流程的使用者來說，AEC-Q007規範非常容易理解與應用。本文將以市場上較普及的球柵陣列封裝(Ball Grid Array, BGA)進行說明。

AEC-Q007將Daisy Chain設計分成四個Level，設計困難度以Level 3最簡易，Level 0則最複雜。文中也提供建議指南，設計者可依據本身需求來設計Daisy Chain。

因製程能力不斷提升，單一零件也從以往可能僅包含一顆晶片，逐漸發展到能容納多顆晶片。透過晶片與晶片或基板(Substrate)的層層堆疊，讓零件能擴充更多的I/O。這些堆疊的晶片透過Solder Joint進行連結，以BLR角度來看，應該將零件內部等相似的Solder Joint結構一併考慮進來，以達到整體的可靠度，因此在AEC-Q007規範中，即針對不同類型零件提出不同的Daisy Chain設計建議。

Level 3透過零件基板的表層(Top layer)布線，將錫球與PCB進行連結，這是BLR驗證最常見的Daisy Chain設計方式，主要可以觀察到零件表層線路、PCB以及接點Solder Joint的異常狀況(圖2)。

Level 2因為Level 3設計僅經過基板表層線路，當實際的產品基板線路較為多層複雜時，其可能會無法模擬部分基板失效情況。藉由將原本在零件底部的線路延伸至基板內層(圖3)，可延伸確認是否會因外在應力導致基板內層線路斷裂或脫層。

Level 1將布線持續延伸至零件內部，

連結內部晶片之表面金屬層，觀察零件內部的Solder Joint(圖4)。就廠商如宜特的觀察，這種Daisy Chain的設計方式被越來越多客戶接受。原因在製程能力提升後，堆疊層數增加勢必讓零件內Solder Joint承受更大的熱應力與機械應力。

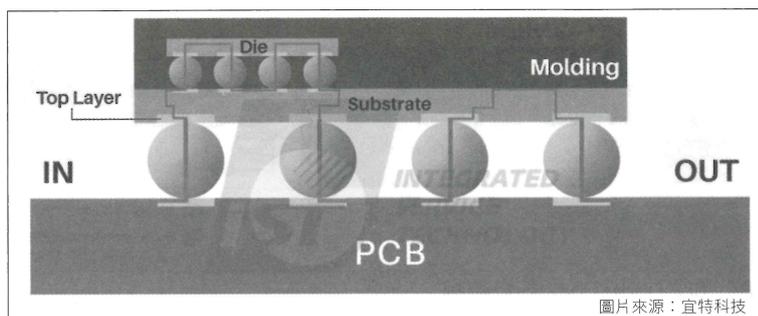
Level 0的設計最為複雜，將Level 1設計方式再延伸至內部晶片(圖5)。由於牽涉到晶圓設計製程，若使用者選擇Level 0設計，成本將會大幅提高。除此之外，BLR即時偵測設備主要以低阻抗與低電流方式進行快速偵測，但此種設計的內部晶片常產生較高的阻抗，可能因超過偵測設備的規格，導致無法即時偵測。在設計前也須將這些因素考量進去。

驗證前的PCB設計

了解零件Daisy chain設計後，接下來就要討論PCB。PCB設計其實對於BLR壽命也占了非常大的因素，PCB層數越多也代表厚度越厚，層數越少則反之。厚與薄會影響到測試結果。

在溫度循環的環境下，因溫度讓PCB整體產生熱脹冷縮的變化，反覆地針對Solder Joint進行溫度疲勞最終產生斷裂。假如PCB在熱脹冷縮的過程中，能和零件有一致的變形方向，就能增加其壽命，因此在設計PCB時，也建議考慮到與零件的匹配性。

AEC其實也有考量到零件最終使用的環境具備多樣性，PCB層數與厚度難以固定規格，因此AEC不強制要求，讓供應商能以較貼近實際面的方式設計PCB。對



圖片來源：宜特科技

圖5 Level 0的Daisy Chain設計，將Level 1設計方式再延伸至內部晶片

於產品資料蒐集也較具真實性，假若供應商無法獲得PCB規格的資訊，AEC也提出一組PCB設計方針可供參考，其中較推薦的是8銅層與1.6mm的厚度。

溫度循環測試

測試目的：了解零件特性而非通過驗證

當完成零件與PCB設計後，接下來就進入測試條件。AEC-Q007首先提出的驗證方式為溫度循環，這裡可以注意到規範中的目的章節，開頭就提到是要蒐集零件BLR熱疲勞壽命的分布數據。這代表此驗證是獲得樣品故障分析資訊，與常見執行BLR驗證條件有些許不一樣。一般BLR測試條件，是以500或1,000循環為標準，通過此循環即代表產品「通過驗證」。而AEC-Q007目的是「了解零件特性」，將資料蒐集做為未來使用者參考。

測試條件分為4級

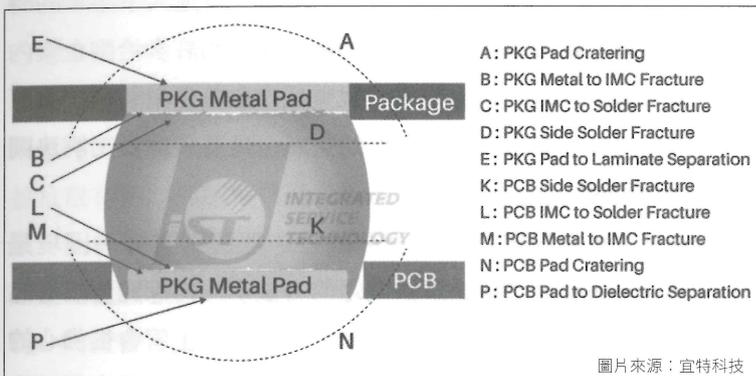
溫度循環測試條件，參考AEC-Q100零件環境工作溫度等級進行分類，總共分為4級，最嚴苛為第0級。理想情況下，

表1 溫度循環條件參數

Test Condition	Temperature Range	Dwell Time	Ramp Rate*
BLR-TCC-0	-40 °C to + 150°C	10-15 mins	<20°C /min
BLR-TCC-1	-40 °C to + 125°C	10-15 mins	<20°C /min
BLR-TCC-2	-40 °C to + 105°C	10-15 mins	<20°C /min
BLR-TCC-3	-40 °C to + 85°C	10-15 mins	<20°C /min

*A common ramp rate will be 10°C/min

資料來源：宜特科技



圖片來源：宜特科技

圖6 焊點失效位置

選擇的溫度條件等於或大於預期的應用操作溫度範圍(表1)。監控過程與判定方式則是參考IPC-9701，高低溫駐留時間建議10~15分鐘。另外，規範中也提到溫度循環使用設備不應選擇快速升降溫，例如：雙氣槽式溫度衝擊與液槽式溫度衝擊。

測試樣品數

測試樣品準備數量應不小於50+5顆(包含故障分析)，建議執行到所有測試樣品失效至63.2%。假如執行一段時間後皆未故障，可停止於3,000循環。AEC-Q007有提到除了蒐集故障資訊外，對於已故障的樣品應進行故障分析，並記錄故障位置(圖6)。針對BGA零件規範就定義了10種

故障位置，若驗證過程未發生故障，也建議於每500循環，須將樣品取出進行切片或紅墨水分析。

SMT定義參數

除了零件設計與測試條件，AEC-Q007對於表面黏著技術(Surface Mount Technology, SMT)也定義了設定參數。由於SMT的結果可能會影響可靠度的數據，SMT後Solder Joint內會產生孔洞，孔洞的標準雖然有規範定義，但過大或過小都有可能造成後續可靠度數據差異。規範中也建議SMT設定參數應接近供應商實際的量產條件，更詳細資訊可參考AEC-Q007-002。

車用PCB納入驗證範圍

AEC-Q007首度跨出零件本體，搭配PCB驗證方式進行規範。目前雖然僅有溫度循環驗證方式，但這是因為車用零件在實際應用中會面臨各種溫度挑戰，如戶外環境、高低緯度以及接近發熱區域(例如引擎室)等。相較於消費型零件，車用零件的可靠度需克服更多溫度相關因素，因此溫度對於車用零件來說是最需要克服的關鍵因素之一。

廠商如宜特可靠度驗證實驗室針對BLR長期經驗觀察，Solder Joint在長時間的溫度環境下，的確可能產生異常現象。AEC-Q007的撰寫者以溫度為出發點是正確的，尤其是車用零件因考量到使用者安全性，必須更嚴謹看待。

(本文作者任職於宜特科技可靠度工程處)