

應用範圍擴展/效能指標躍進

5G測試/驗證十八般武藝齊備

◎ 廖專崇

5G技術規格與4G LTE相較，產品測試驗證帶來諸多挑戰，如量測不確定性、測試計畫複雜、測試時間延長、測試成本大增等；5G技術與產品驗證涵蓋的範圍廣泛，本文從晶片設計測試、半導體測試設備、訊號測試儀器等方面進行探討。

2020年伊始，台灣的5G頻譜競標結果初步揭曉，全球各個國家與地區也將投入更多5G商轉活動，5G進入高速發展階段，相關裝置預計將大舉出籠，包括網路基礎建設、聯網設備、行動終端與聯網節點等。根據產業分析機構研究指出，2025年5G裝置年出貨量將突破10億台。5G網路速率更快、使用頻段更高、連結規模更大、網路延遲更低、聯網可靠性更高，技術規格全面提升，使得產品設計難度大幅提高，如何達成效能目標，除了從晶片、架構、系統設計等層面提升之外，更需要透過良好的產品測試、驗證協助達成5G的技術目標。

5G技術規格與前代技術4G LTE相較，產品測試驗證帶來諸多挑戰，如量測準確度，由於5G使用頻段更高，天線校準與準確度、治具設備容錯範圍與訊號反射等，產生量測不確定性；且測試計畫複雜，須將量測作業整合至裝置測試計畫中，進行電波暗室整合、波束特性等驗證；

再者測試時間延長，因為5G使用頻段更寬廣，每個使用到的頻段都需進行驗證，導致測試計畫複雜度大為提升，校準與量測的時間更長。

5G測試驗證複雜度大幅提高

由於5G技術革新幅度更甚於4G，加上5G應用領域廣泛，可以說是未來10年全球網路的基礎架構，重要的是5G網路規模將是4G的數十倍，多樣化的應用帶動網路架構持續成長。從技術架構來觀察，5G為因應三大應用情境，採用高度彈性的底層技術，透過網路切片(Network Slicing)與軟體定義網路(Software Defined Networking, SDN)和網路功能虛擬化(Network Function Virtualization, NFV)來達成差異頗大的各式網路應用需求，透過這些技術自由組合各種應用需要的功能，造成數以萬計的網路型態，測試驗證複雜度可見一斑。



圖1 宜特科技可靠度工程室副總經理曾劭鈞表示，2.5D IC是讓不同製程的裸晶，採取平行緊密排列，放置在矽基板的中介層上。

另外，5G網路在技術指標的要求上，並未因網路複雜度而有所放鬆，三大技術指標傳輸速率最高達20Gbps，每平方公里聯結數量達100萬，網路延遲1毫秒(ms)，就現有技術水準而言都不是簡單任務，包括網路架構、晶片、系統等設計都需升級，甚至材料也需大幅革新。5G技術與產品驗證涵蓋的範圍也非常廣泛，本文僅從晶片設計測試、半導體測試設備、訊號測試儀器等面向進行探討，期能一窺5G測試驗證的概況。

5G效能需求搭配先進構裝技術

IC設計高度集積化的發展從未停止，從過去電路線寬微縮發展到系統級封裝與近年的異質整合，5G對於效能的要求使得晶片

需要採用先進製程，宜特科技可靠度工程室副總經理曾劭鈞(圖1)表示，5G晶片主要分成需要輕薄短小且省電的行動終端晶片與強調效能的基地台/雲端設備高速運算晶片。行動裝置在效能提升之下仍以追求輕薄短小的封裝型式為主，手機應用處理器(AP)以晶圓級晶片尺寸封裝(Wafer Level Chip Scale Package, WLCSP)延伸出的扇外型(Fan-out)及Fan out POP(Package on Package)封裝型式為主。

另外，5G將高頻毫米波頻段導入商用，使得5G訊號從1GHz以下，延伸到超過30GHz，曾劭鈞認為，5G帶動更多天線的需求在天線數量激增但可用面積維持不變的情況，射頻前端的AiP(Antenna in Package)封裝型式則成為目前廠商的最佳解決方案，而AiP主要採SiP(System

in Package)或PoP的結構來縮小天線體積。

而在雲端/基地台裝置的部分，曾劭鈞提到，5G的基地台要處理更龐大的資料量，目前廠商採用先進的2.5D/3D封裝來提升訊號傳遞速度/品質，以Silicon die如CoWoS的矽中介層(Silicon Interposer)作為裸晶之間溝通的橋樑。2.5D IC異質整合是讓各種不同製程/工作特性的裸晶，不再垂直堆疊，而是採取彼此平行緊密排列，放置在玻璃或矽基板的Interposer(中介層)上面進行連結，往下再連接到PCB電路板，縮短訊號的延遲時間、提升整體系統效能；每個平行併排的裸晶，可以單獨測試後再進行併排穿孔、構裝，不需經過熱、電磁輻射測試，只要放置在中介板封裝後再經過一次整體整合測試即可。

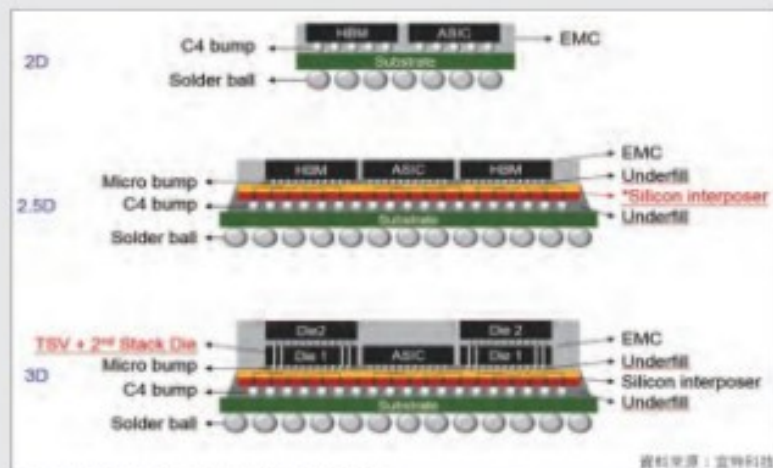


圖2 2D/2.5D/3D晶片構裝形式的差別

傳統的SiP是使用「導線載板」，把不同的晶片以覆晶封裝的方式以金屬凸塊(Solder bumps)黏著在導線載板上，導線載板其實是一塊塑膠板，印刷了許多很小的金屬線路，基本上和印刷電路板差不多，為了使封裝後的體積再縮小，矽中介層成為先進封裝的主流。2D、2.5D與矽中介層3D構裝，如(圖2)所示，因應不同應用需求發展，但也產生不同的技術挑戰。

異質整合衍生技術挑戰

由於手機的尺寸限制，晶片必須在增強效能與增加功能的前提下，維持晶片體積甚至縮小，目前的2.5D封裝技術整合許多異質電路，宜特科技零組件暨板階工程部經理莊家豪說明，在晶片內部，晶片運作會產生熱，長久將使效能與壽命降低，且同一封裝中不同晶片的溫度耐受度不一；晶片外部溫度、系統溫度對晶片運作也會產生影響。其次，電磁干擾EMI，高速運算晶片可能產生訊號干擾。

而先進製程晶片零件材料堆疊複雜也會導致翹曲(Warpage)失控，例如MCM多晶片模組、系統級封裝與Fan-in/Fan-out等，這樣的元件使用的材料相當複雜且多元，堆疊在一起時，因材質本身熱膨脹係數不同(CTE)就會產生翹曲，隨著未來接腳數越來

越多，晶片上板時，使錫膏與錫球可以接合順利所使用的治具鋼板，厚度就會越來越薄，晶片翹曲超過6~8mil安全幅度的風險日益提升。

除了晶片元件本身會發生翹曲外，晶片透過表面黏著技術(SMT)結合到電路板時，因晶片與電路板CTE不同，翹曲的狀況就會加劇。而當翹曲超過一定的幅度，就會造成SMT的焊接品質不良，也影響後續的可靠度測試結果。另外，宜特科技特殊專案管理部資深服務工程師莊舒婷提醒，晶片功能持續增加，同一封裝內堆疊太多複雜電路，也有「過重」的風險，在高速運算晶片尤其明顯。

ATE協助晶片產線測試

晶片封裝與整合產生的問題通常需要在設計階段就進行確認並加以排除，而進入製造階段，需要透過自動測試設備(Automatic Test Equipment, ATE)，測試流程同時需搭配Probe針測機進行晶圓測試，而進一步搭配Handler送料機，即可滿足成品測試服務需求。

致茂電子半導體測試設備事業部專案行銷經理楊聯甫(圖3)認為，5G使用新的頻段，不僅在測試時複雜度提升，亦使得測試時間增加，廠商需要增加測試設備以因應這類情況。



圖3 致茂電子半導體測試設備事業部專案行銷經理楊聯甫認為，5G使用新頻段，不僅在測試時複雜度提升，亦使測試時間增加。

以5G手機晶片為例，有廠商將CPU與毫米波數據機晶片採分離設計，再連接毫米波的RF天線模組，所以在測試上自動測試設備需要提供毫米波訊號給數據機晶片、RF模組與天線。而且數據機與RF模組要同時相容2G/3G/4G標準，所以ATE也需要可以測試2G/3G/4G/5G的訊號並分析。6GHz以下的中低頻段，數據機與RF模組因為功耗與效能考量，不會進行整合，因此ATE需要提供100MHz頻寬的訊號給基頻晶片與RF模組。

在致茂5G測試解決方案部分，楊聯甫說，高階的Chroma 3680可以測試傳輸速率150Mbps~1Gbps，支援16個插槽，最多同時測試512個待測物；在6GHz以下的部分，HDAVO(High Density Audio

Video Option)主要測試影音訊號的傳輸，HDRF則是測試射頻訊號，包括5G RF SoC、5G RF收發器、Wi-Fi、BT、GPS、IoT等通訊模組，2020年下半年中低頻解決方案會率先推出。而毫米波測試最高支援67GHz頻段，主要測試5G毫米波晶片訊號。

測試儀器協助5G訊號測試達標

在晶片製造完成後到組裝成終端裝置正式「服役」前，還會經過許多訊號測試，了解晶片或終端裝置的效能表現，是否符合規範或製造廠商設計的目標。透過測試儀器輸出品片或終端裝置的訊號，進行一致性測試(Conformance Test)了解產品或服務是否符合規範、技術標準或法規要求，5G測試複雜度提升，除了測試時間較過去倍數成長之外，對於送測單位費用提高，加重成本負擔。

為此，簡化測試複雜性也是近期發展重點，尤其是高頻毫米波的部分，由於高頻段的訊號接收透過多天線形成波束(Beam)，以終端測試為例，在每一頻段都需要透過旋轉待測物，找到傳輸峰值速率當作測試基準，這個程序每次都要花費至少45分鐘，安立知(Anritsu)業務暨技術支援部經理江宗縉(圖4)解釋，該公



圖4 安立知業務暨技術支援部經理江宗縉解釋，該公司在2G時代就致力發展自動測試程式，以協助客戶節省測試時間。

司在2G時代就致力發展自動測試程式，以協助客戶節省測試時間，尤其是將國外大型營運商的測試項目整合到程式與設備中，加速入網測試所需的時間。

而5G最大亮點就是毫米波的應用，能提供高傳輸速率，並開展許多新興的應用，也因為其波長短元件可以設計更為緊湊，同時為維持訊號完整性，大部分射頻前端會採用高整合設計架構，因此毫米波RF元件無法採用接觸式測試，必須透過空中傳輸(Over The Air, OTA)量測，也因為高頻段所需量測距離更遠，促成緊縮場(CATR)量測成為高頻量測主流，CATR是透過精密的反射面，將發射源發射的球面波在近距離內轉換成平面波，以模擬出滿足遠場測試要求的準平面波測試區。透過模擬的



圖5 R&S市場開發部市場開發經理蘇育程(右)進一步說明，該公司的CATR解決方案可滿足30x30公分以內的終端產品量測。

方式，解決大型暗室(Chamber)建置不易及成本高昂的問題。

因此，近來5G量測設備廠商皆推出CATR量測暗室，如安立知的ME7873、羅德史瓦茲(R&S)的ATS1800C等，R&S市場開發部市場開發經理(圖5)蘇育程進一步說明，該公司的解決方案可以滿足30x30公分以內的終端產品量測，也就是說待測物面積在NB以下皆可適用。

另外，R&S無線通訊量測業務部資深應用支援工程師鍾曜鴻說，3GPP將技術規範中的測試要項具體說明，並透過歐洲全球認證論壇(Global Certification Forum, GCF)與北美PCS型號認證委員會(PTCRB)制定一致性測試規範，隨著技術內容與測試規範更加完整，5G發展也將走向健康的道路。●