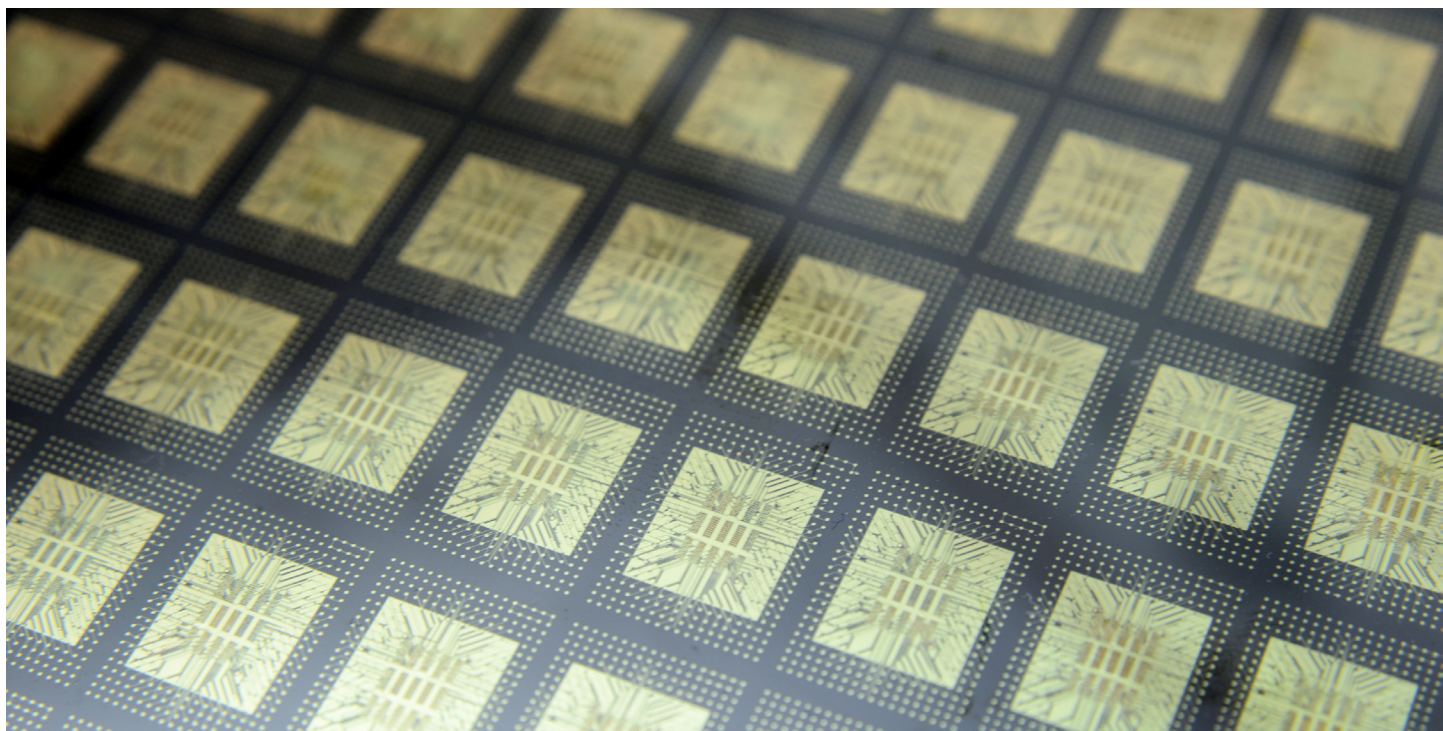




延續摩爾定律新解方

# 高深寬比玻璃基板電鍍填孔及檢測技術

玻璃中介層（Glass Interposer）技術提供2D到3D先進封裝，更穩定的良率與更具競爭力的成本。隨著半導體製程持續演進，串接各層間的導線深寬比不斷增加，工研院的「高深寬比玻璃基板電鍍填孔及檢測技術」，可有效增加電極密度、改善晶片堆疊，助臺灣半導體產業持續引領風騷，因而獲工研院傑出研究獎金牌。



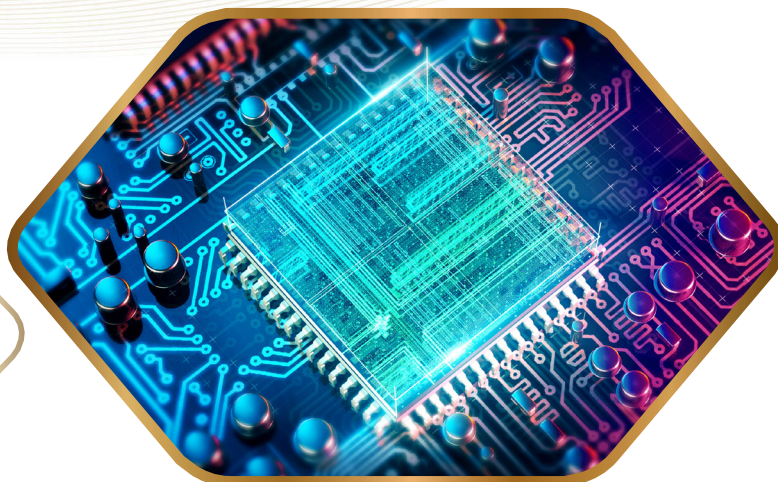
工研院的「高深寬比玻璃基板電鍍填孔及檢測技術」，可有效增加電極密度、改善晶片堆疊，助臺灣半導體產業持續引領風騷。圖為先進的扇出型封裝，也是「高深寬比玻璃基板電鍍填孔」技術可著墨的領域。

撰文／唐祖湘

5G時代來臨，人工智慧、物聯網、車聯網等應用相繼崛起，為提升晶片效能，半導體持續發展晶片微縮製程，從7、5奈米（nm）走向3、2奈米，逼近摩爾定律的極限，亟需另闢蹊

徑來推動技術演進。其中，透過2.5D或3D設計，將不同電子元件堆疊，整合在一顆晶片的「異質整合」技術應運而生，成為半導體產業持續前進的突破點。

透過2.5D或3D設計，將不同電子元件堆疊，整合在一顆晶片的「異質整合」技術應運而生，成為半導體產業持續前進的突破點。



## 技術領先 達全球最高深寬比

傳統2D封裝是將晶片並排安裝在單一平面上，隨著晶片走向輕薄短小，還要具備高運算、低功耗等高階應用能力，2D封裝已不足支撐產業需求；3D封裝突破了水平框架限制，透過異質整合將不同功能的晶片垂直堆疊整合，使得晶片模組運算能力更強。

中介層技術是異質整合的關鍵之一，玻璃中介層擁有低翹曲、訊號傳遞更快、用電效率更佳等優勢，加上符合輕薄需求，近年有後來居上的趨勢。中介層需要內接金屬導線作為上下訊號傳遞的通道，因此會針對玻璃進行穿孔加工，隨著半導體製程的不斷演進，導線孔洞的「深寬比」(Aspect Ratio; AR)持續增加。

所謂「深寬比」又稱縱深比，指的是導線孔洞深度與直徑的比例。工研院機械與機電系統研究所先進機械技術組副組長黃萌祺說明，3D晶片堆疊層數越多，孔洞就要打得越深，晶片尺寸變小，線寬線距越來越短，孔洞直徑也就跟著縮減，因此製作小孔徑、高深寬比的方向是必然趨勢。然而深寬比愈高也代表製程愈難，成為產業亟待克服的技術挑戰。

「就像是蓋大樓，一層又一層構築起外觀與骨架，玻璃基板就如樓層間的地板，必須將樓板鑽孔打通，串接上下層的電路、水管等管線，讓水電

正常供應，各樓層機能無虞，」黃萌祺提出生動比喻。

工研院耗費5年，領先全球研發「高深寬比玻璃基板電鍍填孔及檢測技術」，透過玻璃基板通孔(TGV)，連通上下層金屬導線，傳輸電力與訊號，使晶片效能最佳化。「工研院的技術就是要讓大樓蓋得再高，也能保證電訊與電力的傳輸品質！」黃萌祺說。

## 濕式金屬鍍層沉積技術 成就最高深寬比

國際上對高深寬比的研發不在少數，但AR最多只到10，遠不及工研院的解決方案。而工研院領跑全球的關鍵，有賴三大亮點技術：首先是開發全新填孔電鍍製程，以玻璃通孔基板為中介層，再將銅電鍍上基板填充孔洞，讓電路上下連通。為增加金屬與玻璃的接合度，填孔前玻璃表面需要製作一層100至200奈米的複合式氧化物導電薄膜，以此作接合的橋樑。

業界是以乾式結合濕式製程來製作導電薄膜：利用真空電漿鍍膜設備(PVD)把金屬打成離子狀態飛入孔洞，但晶片堆疊越多層、孔洞位置就越高，要精準入洞的難度也增加，以致良率下降；工研院開發出低成本、適合高深寬比的「複合式氧化物導電薄膜」，採全濕式製程，透過浸泡無機氧化物與無電鍍銅藥液流經深孔，使其表面產生氧化



物薄膜，再經低溫共燒技術，讓金屬氧化物薄膜與玻璃基材產生介金屬化合物，即可克服玻璃與金屬附著力不佳的瓶頸。

「若採傳統製程，深寬比15已是極限，」黃萌祺指出，全濕式製程的AR可達15至30，晶種層沉積率高於7成，覆蓋率佳；且PVD機台身價不斐，「從乾濕搭配改成全濕式設備，可節省成本約5成，為業者減輕不少壓力。」

### 單劑雙功能電鍍添加劑 完美無縫填洞

其次是開發具雙功能的單劑型電鍍添加劑填孔配方。一般情況下，以電鍍填充銅金屬時，孔洞表面往往最快形成金屬沉積，中間則最慢，因此容易產生空隙，實際使用時遇到較大電流，晶片會很快損壞，所以需要使用特殊的添加劑，讓孔洞口金屬沉積速度變慢，待孔洞中間填滿後再填洞口，就可減少孔隙產生。

黃萌祺解釋，要解決這個問題，業界普遍同時使用3種添加劑，但電鍍時3劑各自消耗，需要適時補充，但添加劑會彼此干擾，要補充什麼？

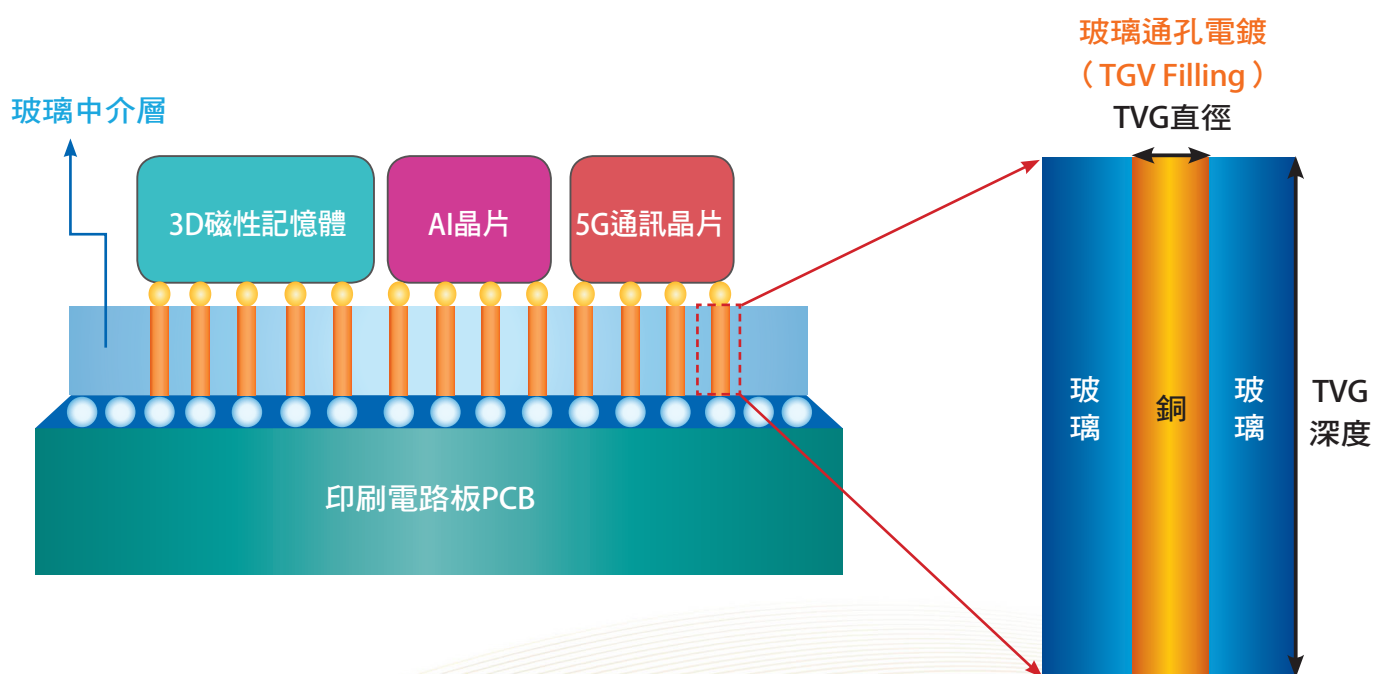
補充多少？難以精準掌握。團隊決定甩開這個惱人問題，直接開發新型添加劑，「從一篇篇文獻研究開始，判斷哪些化學藥劑可能符合所需功能，再逐一進行篩選，」黃萌祺說。

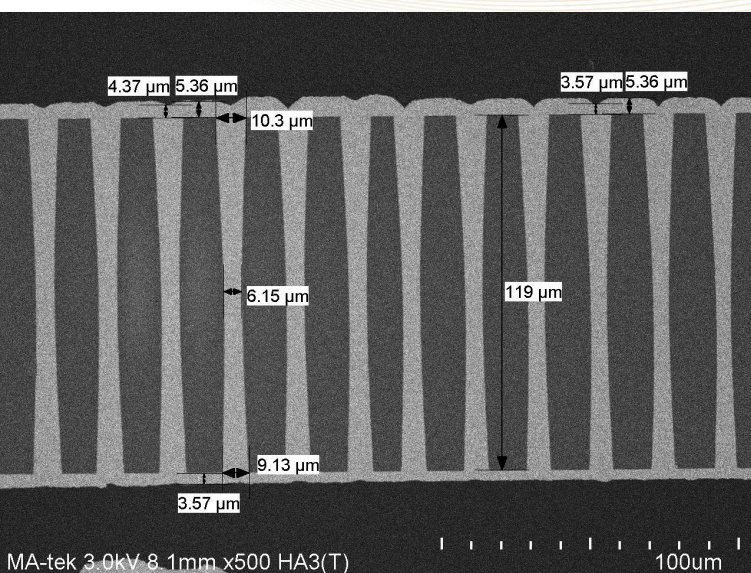
經過一段摸索期，團隊找到幾支特定藥劑，展開配方實驗。團隊主要開發成員工研院機械所研究員張佑祥，半年來幾乎天天泡在實驗室，將實驗每個步驟一一記錄，精挑細選出一款不曾使用於電鍍的藥劑，意外的同時具備抑制與平整功能，不用再與其他劑搭配，效果就很出色。「由於是單劑型作填孔電鍍，不但能解決覆蓋率的問題，降低因不同電鍍添加劑所造成的量測干擾，更有效提升製程穩定性與良率，與目前業界配方相比，還能省下50%的成本，」黃萌祺興奮表示。

### 3D微孔偵測 缺陷無所遁形

第三個亮點則是開發先進的3D圓球形演算法（Sphere-Fitting），來檢測高深寬比的銅填孔狀態。黃萌祺透露，這項技術可說是研發過

## 晶片異質整合示意：以扇外型面板級封裝為例





高深寬比電鍍填孔SEM截面圖，孔口直徑 $10\mu\text{m}$ ，孔深約 $120\mu\text{m}$ ，表面銅層厚度 $3.5\sim 5.3\mu\text{m}$ ，AR比約12，超越業界水準。

程中最具挑戰、也是最難掌控的部分。結構或藥劑配方，團隊還能自行調整，唯有填孔成效，從外圍到中間有沒有填好填滿？哪裡有孔隙？光憑肉眼與普通顯微鏡都無法觀察，「若忽略這道程序，不知道填充結果，就像矇著眼睛研發，根本無從精進。」

一開始團隊委託外部檢驗單位，光是檢測一片基板就得耗上半天，3D X光片也需人力逐一檢查，若同時開發多種配方，來回至少要1~2個星期，曠日費時。所幸，團隊獲得院內材料領域專家跨刀相助，開發出改良版的3D圓球形演算法，經高解析、高對比的奈米斷層掃描，電腦軟體針對內部結構之微孔分布與直徑加以演算，精確快速找出缺陷。黃萌祺認為，「這個演算法的最大突破，是可以同時偵測上百根TGV銅填孔，最快1到2天就能知道結果，大幅縮短檢測與校正時間。」

工研院材料與化工研究所博士林子閔表示，類似的孔隙偵測技術多用於生醫材料或原油探勘，例如牙科檢測牙本質小管細微結構、石油業者鑽油探勘油礦等。而將自動孔隙偵測演算法結

合奈米斷層掃描3D檢測技術，用在電子業則是頭一遭，對材料領域也是新的嘗試。「這個檢測的挑戰在於，銅金屬照X光容易造成散射，要讓軟體剔除雜訊與散射，才能進一步建立3D立體軸，清晰呈現後，由程式自動且快速鑑別出金屬柱內的孔隙、缺陷位置與軸向定位。定義出精準座標後，電子顯微鏡才能進行精準比對確認，做更高解析度的分析，朝正確的方向調整。」林子閔說。

透過精確的檢測驗證，團隊明顯感受到成果漸入佳境，「早期技術沒那麼完善，內部會有滿大孔隙，像是球棒中間裂開一條縫，隨著技術越改越精良，後期只會出現如花生米一般、2至4微米( $\mu\text{m}$ )的洞；到了現在，連一點點孔隙都找不到了！」黃萌祺不禁露出滿意的笑容。

## 為半導體業超前部署 創千億產值

本技術問世，可應用在半導體先進封裝產業中的扇外型面板級封裝(FOPLP)、高密度電路板(HDI PCB)以及IC載板，滿足電子產業先進製程的需求。黃萌祺指出，該技術雖然只占封裝製程一部分，但濕式設備與單劑添加劑等重要開發，不僅縮短製程時間，也為業者省下至少3成的設備與藥劑成本，估計可創造上千億元的產值。

這項開發計畫的另一層重要意義是促成跨產業的合作，例如提供玻璃基板與鑽孔的國際知名玻璃大廠，原本將主力放在供應顯示器，藉由這次的計畫也跨足半導體領域，獲得新的產品開發方向；而與工研院搭配，設計藥劑設備的2家本土設備廠，也是首次跨入半導體先進封裝設備領域，建立次世代的國產設備能量。

黃萌祺透露，目前業界對高深寬比的量產要求AR約7~8，預計2、3年後才會提高到10至15，工研院可說是為半導體產業超前布署，目前已在各主要封測廠進行測試，且研發技術仍不斷精進中，盼能早日量產，讓創新落地，讓臺灣持續保有半導體產業的優勢與製程領先地位。■