

超分子結構建築師何榮銘， 運用「上帝之手」改寫材料命運

文字／鸞九辰 攝影／汪忠信

長

久以來，我們視物質特性為天生註定。例如：玻璃易碎、金屬堅硬。殊不知，透過物質內部特殊奈米結構的建構，便能賦予玻璃韌性；亦可讓晶片製程有機會突破物理極限。這項顛覆性的研究，正是第六十八屆學術獎得主、清華大學化學工程學系講座教授何榮銘的學術貢獻，從指揮分子利用「上帝之手」形成特殊的奈米排列，到師法皮皮蝦的仿生結構，他正致力重新定義材料功能，並為半導體製程開創新的可能性。

他是世界公認的超分子結構建築師

「國際間許多教授都稱我為『超分子結構的建築師』。」何榮銘言簡意賅地道出自己備受全球肯定的專長，並透露年輕時曾夢想成為建築師，後因家庭變故而踏上化工之路，最終依然在奈米世界裡實現建築師夢想。

想理解何榮銘的前瞻研究，須先認識他使用的材料：高分子、超分子與超分子結構。分子是物質的基本單位，如大家熟悉的葡萄糖就是「單醣分子」。當許多葡萄糖首尾相連，便會形成

長鏈的「高分子」，也就是多醣類的纖維素；這些纖維素鏈會透過弱作用力自組裝成為緊密而有序的微纖維，如同建物中的鋼筋束，即為「超分子」；最後，它們再與果膠、蛋白質等物質形成的整體結構，就是「超分子結構」，亦是我們熟悉的植物細胞壁。

「高分子與超分子，好比蓋房子的『磚頭』。我的工作就是透過操控分子間自然存在的力量，如凡德瓦爾力、氫鍵、離子鍵等，引導這些『分子磚頭』自動排列成我想要的形狀。」何榮銘生動描述他蓋房子所使用的技法——導向自組裝（Directed Self-Assembly, DSA）並稱其為「利用上帝之手」，因為分子會自行組裝成預設結構，甚至排列出極微小的圖案。

雖然「導向自組裝」並非何榮銘首創，但數十年來的投入，使其在技法上大幅創新，比如：利用溶劑蒸氣並控制其揮發速度，讓高分子有條不紊地自行排列成預期形狀，讓原本不可行的製程變為可行，或利用真空環境控制高分子材料的塗覆及排列，為摩爾定律等物理極限帶來新契機。

A photograph of Professor He Yongming, a middle-aged man with glasses, wearing a dark blue blazer over a white shirt. He is sitting on a wooden desk, smiling at the camera. Behind him is a large bookshelf filled with books. To his right, there are framed posters on the wall, one of which is titled "Macromolecules".

何榮銘

工程及應用科學領域 第六十八屆學術獎

清華大學化學工程學系講座教授

挑戰摩爾定律，由「下而上」的半導體製程革命

在半導體競賽中，晶片線寬縮小是提升效能的關鍵核心。何榮銘闡釋，傳統光刻屬於「由上而下」的技術，如同雕刻家從一大塊石頭慢慢鑿出所需線條，但光刻終究受限於光的波長，當線寬逼近五奈米時瓶頸日益明顯；相較之下，「導向自組裝」則提供「由下而上」的解決方案，如同堆積木般，引導高分子一步步自主性地堆疊出奈米電路圖案。

他坦言：「高分子自組裝時排列錯誤所導致的缺陷在所難免，避免缺陷需要仰賴耗時較長的精準排列之製程，對於追求高良率與生產效率的晶圓製造商，如台積電或韓國三星將深具挑戰。」換言之，如何在高速產與絕對精準之間取得平衡，是自組裝技術邁向商業化前必須克服的障礙。

值得一提的是，何榮銘指導的研究生中，高達七成畢業後進入台積電服務，其中不乏投入一奈米研發行列。他透露，由於光刻與自組裝各有瓶頸，當前產學界正在探索「互補」模式：如先以傳統光刻雕出五奈米溝槽，再利用導向自組裝技術將高分子材料填入，使其在溝槽內自行排列成更細的二·五奈米線條。

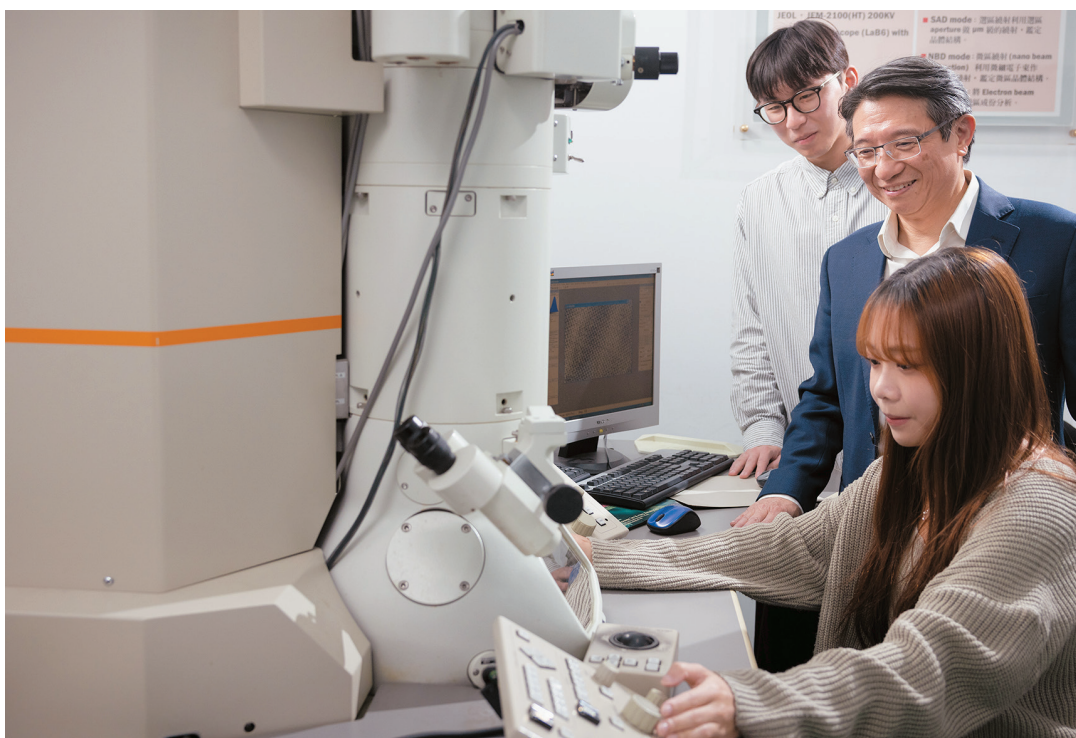
這場全球科學界追逐逾十年的「由下而上」製程競賽，或許會是關乎誰是未來半導體龍頭的關鍵，顯見何榮銘的前沿研究，與臺灣半導體未來前景可能息息相關。

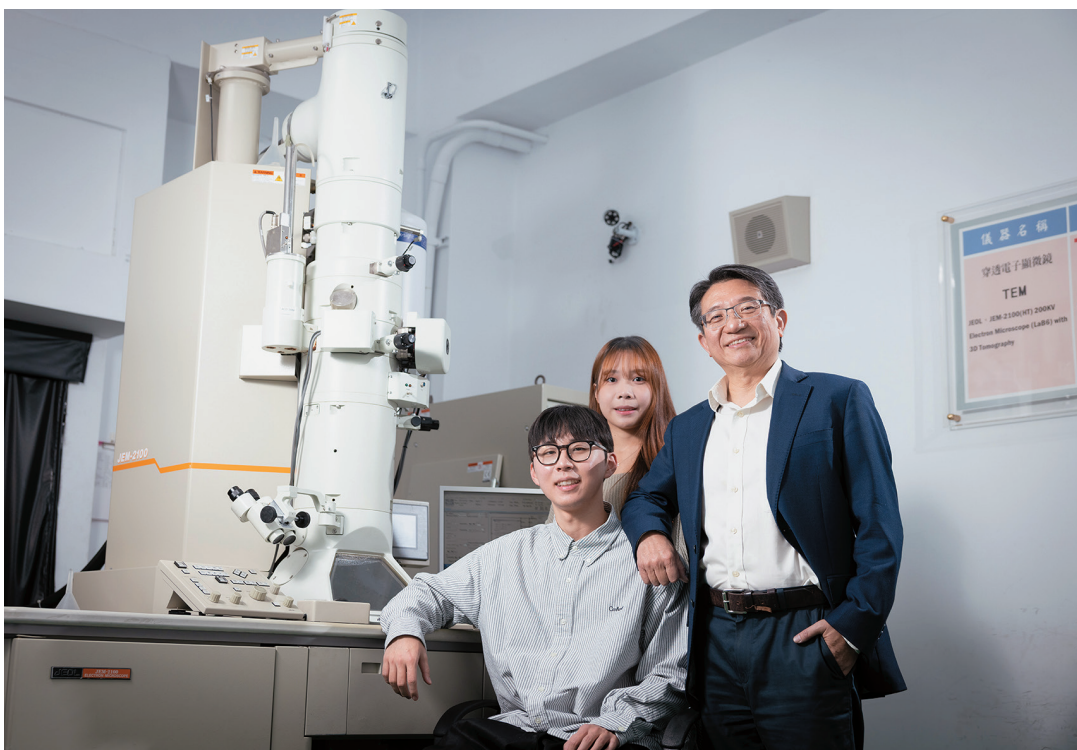
來自仿生學的超材料，顛覆你對材料的認知

何榮銘的貢獻不只於半導體，他還延伸至「超材料」(Metamaterials) 領域。以往的認知中，材料特性是由其化學成分決定；比方說，鋼的堅硬來自於鐵與碳的組合；塑膠的彈性源於高分子鏈之特性。但「超材料」卻顛覆我們的常識，它證明：只需改變物質內部的奈米結構，便可賦予傳統材料前所未有的奇特性質。

他以團隊與台塑合作研發且正在申請專利的「超材料玻璃」為例指出，玻璃的化學成分沒有改變，但我們將內部結構重塑為「奈米網狀結構」，讓原本一摔就碎的玻璃變得堅韌、摔不破；另與日本今年諾貝爾化學獎得主 Susumu Kitagawa 教授之得意門生，名古屋大學 Ryotaro Matsuda 教授，合作開發的網狀奈米結構有機金屬框架(MOFs)，亦具有超材料的特性，可大幅提升材料韌性，同時亦可增進二氧化碳的吸收效率，在綠能與環保領域極富應用潛力。

「這個『網狀結構』的靈感，其實是師法大自然，就是仿生學(Biomimicry)。」何榮銘解釋，例如海星的骨幹是由碳酸鈣構成，與脆弱的粉筆材質相同，但因其自然形成的網狀結構而展現驚人的柔軟度；還有俗稱皮皮蝦的蝦蛄，牠的強力「棒錘」與人類牙齒成分相似，卻可輕易敲碎堅硬貝殼、具高耐衝擊性，同樣歸功於其刻意的奈米網狀結構。





「學術界追求的是打造完美無瑕的超級名模，產業界想找的是會煮飯、洗衣、持家的家政婦。」何榮銘以絕佳比喻詮釋產學界對於創新思維的落差，如欲將實驗室的超材料玻璃變成商品化，則將面臨是否具備經濟效益的考量，如何簡化製程及降低成本將是新材料開發的一大挑戰。

重大的科學發明，幾乎都源於意外的發現

回顧數十載研究生涯，何榮銘分享自己的體悟：「幾乎所有重大的科學發明都源於『意外的發現』（serendipity）。但前提是你必須非常專注，才會察覺這個意外；發現之後還要堅持繼續研究，方能了解其背後的原理並加以應用。」

事實上，何榮銘的重大貢獻之一「開創掌性自組裝之全新研究領域」，即來自於學生意外觀察到高分子的奈米螺旋結構；此外，學生因忘記將樣品從真空腔體中取出，意外發現高分子在高度真空環境下其表面張力將大幅下降，因此能完美均勻地塗布於基材表面，將提供高分子加工應用的新思維。

最後，他予以年輕學者三點建議：首先專注投入，做任何事都要專注，理想再大若不認真實踐也達不到；再者堅持不懈，像我沒有比別人聰明，但我堅持，失敗了再做就對了，堅持下去運氣就會來！最後格局要大，要有遠大目標，例如成為世界知名教授或做到台積電執行長，才能驅動自己不斷前行。