



旺宏電子前瞻技術實驗室
奈米技術資深處長

謝光宇 教授

從自製工具到立體記憶體：跨越 學研與產業的前瞻科研之路

From Building Research Tools to Advancing
3D Memory: A Journey Across Academia
and Industry

撰文：林麗娥

從學術界轉任企業界，向來是科研人員職涯中最具挑戰的跨越之一。學者在大學教職環境中深耕十餘年，習慣於自由探索、學術論文發表與相對溫和的人際網絡；然而，一旦跨入講求商業時效、產品落地 (landing) 與嚴苛績效 (KPI) 的企業實務時，常需面對從「理論科學 (science)」邁向「工程落地 (engineering)」的思考轉換。旺宏電子前瞻技術實驗室奈米技術資深處長—謝光宇教授，是少數成功跨越這條學產鴻溝，並在企業中展現卓越領導力的典範。《科儀新知》248 期，帶領讀者認識謝處長如何從國立中山大學轉任旺宏電子後，不僅極其稱職地適應了企業節奏，更帶領團隊突破 2D 記憶體微縮的物理瓶頸，成功完成 3D NAND 的十年長征。

從講台到戰場的華麗轉身，逆風挺進前瞻實驗室

自美國學成歸國後，謝處長回到母校中山大學材料與光電科學學系任教。在長達十年的學術生涯中，他發表了 40 至 50 篇學術論文，主持了 10 多項國科會專案計畫。雖然身處穩定的學術殿堂，處長心中始終有個渴望：希望能將微觀世界的物理現象與材料理論落實於產業界中，發揮實質影響力。

2001 年，旺宏電子前瞻技術執行總監劉瑞琛 (Rich Liu) 向他發出邀請：「實驗室還有職缺，你要不要來試試？」於是，處長決定勇於跨出舒適圈，加入旺宏電子前瞻技術實驗室 (Emerging Central Lab, ECL)。

然而考驗隨之而至。就在處長加入不久後的 2002 年，全球半導體產業遭逢變局，旺宏營運由盈轉虧，稅後純益從 2000 年的 106.1 億台幣驟降至 2002 年虧損 8.7 億台幣，每股盈餘 (earnings per share, EPS) 跌至 -0.3 元，股價更暴跌至 20 元以下。

當處長決定辭去十年的副教授終身教職時，身邊幾乎所有的親朋好友都認為處長「瘋了」。當時晶圓代工模式正值黃金盛世，大家都覺得去代工廠更有前途，而不是選擇做自有品牌自主研發的旺宏。親友不解地勸阻：「如果你真想去業界，台積電、聯電這類世界級代工大廠不去，為什麼偏偏要去旺宏？」但處長看重的是對 Rich 的承諾，以及業界能提供不同於學校的廣闊實作空間。於是，處長帶著全家大小毅然北遷新竹，開始了這段未知的冒險。

「幸運的是，我們遇見了旺宏董事長吳敏求先生。」

面對鉅額虧損，吳董事長展現出前瞻遠見，非但沒有削減前瞻研發預算，反而對前瞻實驗室給予完全信任：「花這些研發錢真的很痛，但不花以後會更痛。三到五年內我不會向你們要任何產品成果，放手去做吧！」這份在逆境中毫無保留的容錯空間與信任，成為處長帶領團隊開拓奈米技術與前瞻記憶體最大、最堅實的後盾。

小團隊的大奇蹟：首創 3D NOR 與破壞性記憶體架構

對於旺宏 ECL 在整個企業佈局的地位，謝處長表示：「ECL 不是應付明天或下個季度的產品改善，而是肩負著佈局未來 5 到 10 年突破性前瞻技術的使命。我們主要的任務是探索前瞻材料、新型元件開發以及精準佈局專利地圖。不盲從國際大廠的腳步，如果只是跟隨，我們永遠無法彎道超車。」

謝處長也分享他在 ECL 推行的是「學校實驗室般」的扁平管理哲學：「在這裡沒有位階高低，只有不懂與懂的差別，懂最多的就是老大。」處長努力將研究氣氛營造造成自由探索的學術園地，降低即時產品化與短期效率指標帶來的壓力，讓研究人員能夠天馬行空地玩創意，勇於嘗試大膽而前瞻的構想。正因為這種開放且尊重的氛圍，激發了團隊極強的凝聚力與爆發力。在編制當時不到 30 人的 ECL 團隊，在 2006 年創下在指標性國際電子元件研討會 (International Electron Devices Meeting, IEDM) 上發表 5 篇論文、擊敗國際同業 300 人以上研發大軍的驚人紀錄。

而在處長帶領的記憶體技術開發上，讓處長感覺最深刻且具挑戰的突破莫過於旺宏發展 3D NAND、進而首創全球第一款 3D NOR 的研發歷程。處長回憶表示：「這條路我們走得極其艱辛！」

當時，全球 3D NAND 市場的主要競爭者，包括三星 (Samsung)、SK 海力士 (SK hynix)、美光 (Micron) 及東芝 (Toshiba，現為鎧俠 Kioxia) 等國際大廠。這些企業擁有雄厚資金與龐大的研發團隊，相較之下，旺宏投入的人力與資源有限，雙方規模並不對等。

另一方面，隨著雲端應用快速發展與固態硬碟 (SSD) 需求攀升，加上 NOR 記憶體市場獲利空間相對有限，國際大廠紛紛縮減 NOR 布局，將研發資源集中於 NAND。旺宏則選擇持續深耕 NOR，同時推進 3D NAND 技術，不僅保留並強化兩類記憶體的研發能力，也藉由差異化布局，在國際記憶體競爭中開創屬於自己的技術路徑。早在 2006 年即於 IEDM 發表可多層堆疊的 TFT NAND 快閃記憶體技術；其後更進一步提出獨特的「3D 垂直閘極」(3D vertical gate) 架構，並於 2010 年 IEEE 超大型積體電路技術研討會 (VLSI Technology Symposium) 展示八層 3D NAND 元件成果，2017 年又以單閘極垂直通道架構獲選為 IEDM 亮點論文，讓國際看見臺灣自主研發記憶體技術的能力。

近年隨著 AI 快速發展，市場對高密度 NOR 記憶體的需求明顯增加，但傳統 2D NOR 製程已逐漸逼近物理微縮極限，如何在無法持續縮小元件尺寸的情況下，同時提升儲存密度並維持高可靠性，成為旺宏必須突破的技術困境。

「為了突破極限，『將 2D NOR 往 3D 堆疊』的概念油然而生！」在旺宏前瞻研發團隊多年開發 3D NAND 所累積的垂直結構、材料、蝕刻、薄膜沉積及製程整合經驗之下，成功首創了全球第一款 3D NOR 的產品。3D NOR 前瞻研發亦獲得經濟部科專計畫的策略性支持，經過三年密集投入，目前已準備進入商業量產階段。

從實驗室的瘋狂概念，到實際產品的落地量產，這種克服萬難、以小博大的突圍，是處長與團隊最感自豪與津津樂道的。

旺宏不怕失敗、大膽創新的自主研發精神，也延續到了與 IBM 長期的相變化記憶體 (phase-change memory, PCM) 的聯合研發，以及最近與國研院半導體中心合作的 3D DRAM 研發突破。在 3D DRAM 的研發初期，面對未知的材料 (如寬能隙的氧化物半導體-氧化銦銻鋅 (IGZO)) 與無電容結構的物理極限，失敗同樣是每天的家常便飯。然而旺宏是一家整合元件製造公司 (integrated device manufacture, IDM)，研發人員可直接將工程實驗單送進自有生產線，並隨時調整製程參數進行實機驗證，這是一般晶圓代工廠或純學術研究機構不易具備的優勢。旺宏科技在高度不確定的研發過程中，帶領團隊持續嘗試、反覆驗證並逐步修正，成功在 2024 年的 VLSI 研討會發表了讓業界矚目的論文: Bit-Cost-Scalable 3D DRAM Architecture and Unit Cell First Demonstrated with Integrated Gate-Around and Channel-Around IGZO FETs。首度實現具成本擴充優勢的 3D DRAM 架構與 IGZO 記憶體單元，將科學構想、自主研發工具與自有生產線緊密結合的研發信念，正是旺宏能不斷彎道超車大廠的核心祕密。

從工具改造中萌芽的科研魂

從清華大學物理系畢業時，處長形容當時的自己就像一張白紙。「物理系出來好像是什麼都能做，但又什麼都不能做，其實是讓環境來塑造你。」一如水滴般隨遇而安，落在哪裡，就在那裡安身、扎根。

謝處長在半導體與材料科學領域的研究根基，始於就讀國立中山大學材料科學研究所 (碩士班 74 級) 期間。當時，他有幸受到郭海鵠教授的啟蒙與指導。碩士論文以 X 光技術量測不鏽鋼焊接後的殘留應力為主題。這項研究極具挑戰性，為了建立可靠的量測基準，他必

須自行設計特殊的應力夾具，讓尚未焊接的金屬產生可控制的特定應力，再據以進行校準與比對。

這是處長人生中第一次真正動手設計儀器設備，這份從無到有、動手創造工具的深刻體驗，在處長心中悄悄埋下自主研製科研儀器的種子，並逐步引領他走向半導體製程與精密量測領域。

碩士畢業後，前往美國深造。非常榮幸能進入美國北卡羅來納州立大學 (North Carolina State University, NCSU)。在正式展開博士研究之前，處長首先面對的問題，是如何找到適合自己的指導教授。此時，學生時期累積的桌球底子，意外成為他開啟學術機緣的媒介。

謝處長曾是清大桌球校隊成員，到了美國仍不時前往體育館打球，也正是在球桌旁，結識了日後的指導教授 Robert Kolbas。談到這段往事，他帶著幾分幽默形容，與教授打球其實有一套「先贏後輸」的策略：剛認識時，先展現真正實力，讓對方看見自己的能力，也激起彼此切磋的興趣；等到研究工作與論文審查進入壓力較大的階段，則偶爾適度收斂鋒芒，讓球場上的互動保持輕鬆愉快。

而 Kolbas 教授的導師正是赫赫有名的 Nick Holonyak—全世界第一個成功製作出半導體紅光 LED、被譽為「LED之父」的偉大學者。在這樣頂尖名門的傳承下，處長研究的主要任務是負責三五族化合物半導體的分子束磊晶 (molecular beam epitaxy, MBE) 的晶體成長。MBE 是一個需要在極高真空環境下才能進行的高精密晶體成長設備。整整四年的博士研究期間，處長天天與超高真空的相關設備朝夕相處。從加熱器 (heater)、真空幫浦 (pump)、真空計 (vacuum gage) 到晶片的傳輸機構，他從最基礎的零件更換、故障排除開始，一路摸索到能夠自己動手設計設備、甚至編寫電腦程式來控制真空閥門開關，以精準控制超晶格薄膜的層層成長，完整而扎實地走過每一個環節。在如此緊密的設備改良與實作下，與指導教授及實驗室夥伴成功發表了一顆當時世界上最小的量子井結構 (quantum well) 雷射。

取得博士學位之後，處長繼續留在北卡擔任博士後研究員。當時材料所有一位 A.J Kingus 教授，他的實驗室需要一位具備 MBE 專業的人才，用來成長氧化物薄膜，也就是當年最熱門的高溫超導 (YBCO) 研究。那時候實驗室採用的是一部二手的 MBE 設備，為了順利成長氧化膜，必須在腔體中額外增加一個氧氣源。氧氣源的選擇分為電漿氧離子與臭氧兩種，特別是後者 (臭氧源) 在當時市場上根本沒有現成的商用產品。

為了突破這個設備限制，處長只能擰起袖子自行設計如何產生高純度臭氧、如何安全地收集臭氧，並設計管路將臭氧引入薄膜成長腔體中。不僅如此，傳統的 MBE 加熱器原本是設計在極高真空環境下運作的，一旦引入氧氣，傳統加熱器就會面臨氧化燒毀的命運。為了克服這個物理缺點，處長又自行設計了能耐氧氣高溫環境的專用加熱器。這段近乎「從零自建」的硬派磨練，逼得處長將 MBE 設備從裡到外、所有的機械與真空細節都摸得滾瓜爛熟。這段與不完美設備搏鬥、動手改造儀器的經歷，也成為處長科研生涯中最大、最珍貴的資產。

正是這段碩、博士與博士後長達數年投入設備操作、調校與改良的實作歷程，徹底奠定了處長終身的科研價值觀：「我深刻體會到，儀器設備是科學研究得以實現的關鍵；如果沒有好的製程設備，以及對設備原理與內部構造的透徹理解，再好的科學理論都只能停留書櫃內的書本上，難以轉化為真正改變世界的工程成果。」

從「看不見、量不到」開始，為前瞻半導體打造自主量測能力

談起前瞻半導體技術的突破，處長認為：「技術突破的真正起點，不只在於元件設計，更源自材料與物理特性的創新。在開發像 3D DRAM 這類包含全新二維材料、氧化物半導體 (如 IGZO) 以及複雜 3D 結構的元件時，最常遇到的瓶頸，並不是團隊沒有創意，而是『材料與元件內部的微觀變化看不到』或『量不出極微弱的電性訊號』」。

處長覺得自己非常幸運，從碩士、博士到博後階段，就獲得了非常完整且嚴酷的『動手做工具、改造儀器』的磨練。從無到有設計應力夾具，到在一台二手 MBE 設備上自行配置管路、建置臭氧源，甚至研製耐氧化的高溫加熱器，這些工作都必須親自摸索、反覆驗證。

「正因為走過這條路，我比任何人都更清楚，先進科研儀器與分析檢測技術，其實是前瞻科技自主的源頭。如果我們無法看見材料的變化、無法量出元件的關鍵特性，再好的創新構想，也很難被驗證，更不可能走向量產。」

一項前瞻技術從大學實驗室走進半導體生產線，往往需要多年反覆驗證。學術研究重視新穎性與原理可行性，產業端則更在意製程穩定度、量測再現性、設備可靠度與量產相容性，兩者之間仍存在相當大的落差。「國儀中心最有價值的角色，就是站在學術創新與產業需求之間，成為技術驗證的橋樑。」處長期待，國儀中心未來能與國研院半導體研究中心及半導體業者建立更緊密的合作機制，讓自主研發的科研儀器從開發初期，就能對準先進製程第一線的實務需求與驗證標準。如此一來，不僅可加速前瞻材料與製程技術的開發，也能降低創新技術從實驗室走向產線的門檻。

同時，處長也期盼國家能提供科研機構的研究人員約 10% 至 15% 的種子經費，支持自主探索，讓非主流、偶然萌生的創新想法 (random discovery) 有機會被驗證。許多棘手的工程難題，解答未必來自既定的研發路徑；那些看似偶然、如森林裡野菇般冒出的點子，也可能成為突破困境的關鍵。

學會如何在 AI 平民化時代進行提問

面對 AI 讓知識去門檻化的趨勢，處長對新一代科研人員提出了重構核心競爭力的思考。他認為，當專業知識在彈指間即可獲得，真正的勝負在於「邏輯剖析」與「提問深度」。

「我時常在旺宏科學獎等活動中與許多年輕的高中、大學學子交流。我常跟他們說，在今日資訊爆炸、AI 工具發達的時代，半導體與材料的基礎『專業知識』已經是基本配備。如果你們想在前瞻科研領域脫穎而出，最重要的特質其實是：獨立思考的邏輯、解決問題的耐挫力，以及勇於提問的科學好奇心。」

產業界與學研界需要的人才，絕不是只會背誦教科書、在固定框架中拿高分的優等生。業界最渴望的，是「對事情有自己看法、能加以深入研究、剖析其優缺點、並有邏輯去解決問題」的人。這就跟做研究時改造舊儀器、拼湊不完美工具的過程一模一樣，你必須有不怕失敗、反覆嘗試的強大韌性。

處長引用《禮記·學記》中的一句經典名言與年輕的科研工作者分享其信念：「善問者，如攻堅木，先其易者，後其節目，及其久也，相說以解；善待問者，如撞鐘，叩之以小者則小鳴，叩之以大者則大鳴，待其從容，然後盡其聲。」做前瞻研究，開拓這條充滿迷霧的道路，就像是在砍伐一棵堅硬的巨木。你不能急躁，要先從容易的部分下手，再攻堅最難的樹節(瓶頸)，時間久了，自然豁然開朗。而面對學術或大自然的奧秘，我們更要有「撞鐘」的精神。你如果只是輕輕叩問，敷衍了事、淺嘗輒止，它就只會給予小鳴，得到的只是平庸的成果；但當你用極致的熱情、深入的鑽研去大力叩問時，它必將回饋你驚天動地的巨響。

做研究的過程往往是寂寞的，甚至可能連續幾年都看不到成果。但只要保持對科學的真誠、無畏前瞻的未知，全力撞擊那口科學的大鐘時，那份屬於你與團隊的時代迴響，一定會如期而至。

工作之外，處長也有著感性而富人文情懷的一面。他將詩詞創作中意象與文字的層層鋪陳，比喻為 3D 記憶體的立體堆疊；走訪自然景致之餘，也隨興吟詠創作，並結合自己所拍攝的照片運用 AI 工具製作早安圖，與親友分享生活中的美好與感動。



圖為謝處長將個人詩詞創作與親自拍攝的影像相結合之作品。