



國家同步輻射研究中心

徐嘉鴻 主任

卓越組織基業長青的研究機構領導人

Leading NSRRC to Achieve Excellence and Built to Last

撰文：林麗娥

半導體的量測技術與設備是驅動半導體開發出新薄膜製程、新材料與新結構發展的關鍵。緣此，《科儀新知》242期推出「半導體製程檢測設備與 *in-situ* 技術」專題，介紹透過各式不同波長光源進行半導體領域相關的分析技術。光，是人類觀察及研究大自然最重要的工具。如有更新或更強的光源，更是可以開拓出嶄新的科學研究領域與促進大發現。國家同步輻射研究中心（國輻中心）同時擁有兩座頂尖的同步加速器光源設施—台灣光源 (Taiwan Light Source, TLS) 與台灣光子源 (Taiwan Photon Source, TPS)，是國家推動基礎科學研究的重要設施，以尖端的加速器光源分析技術，協助各界在材料、物理、化學、生醫等領域進行前瞻科學探索。本期人物專訪特別邀請國輻中心—徐嘉鴻主任，以其自身研究、管理經驗，與讀者分享同步光源在前瞻學術研究上的應用、台灣首座 X 光光束線建造過程以及未來國輻中心的營運規劃。

博士班指導教授 M. El-Batanouny 要求工廠實作為實驗者的基本功

徐主任是在美國西岸加州大學洛杉磯分校物理系取得碩士後，隨即轉至美國東岸波士頓大學物理系攻讀博士學位。畢業後前往哈佛大學進行博士後研究，就是此時接觸了後來終身投入的同步輻射領域研究。

徐主任表示，到美國求學、進行學術研究，最感謝的莫過於博士班的指導教授 Dr. Michael El-Batanouny 以及博士後研究的指導老師 Dr. Peter Pershan。進入波士頓大學物理系念博士的第一年，沒修課的時間大半都是在機械工廠 (machine shop) 實習，El-Batanouny 教授要求她設計製作實驗用的轉盤 (chopper)，學習機械加工像是鑽床、銑床、車床的操作和鑽洞、攻牙等基本金工技術，徐主任都經歷過，這些能力對機械背景的學生稀疏平常，但對一位物理系學生卻是一個震撼教育。儘管最後做出來的成品沒有在實驗中使用，但老師透過讓學生自己走過、作過的實作中，了解機械加工的限制才能掌握確實可行的設計和工序，才能在未來的研究中設計需要的儀器，在緊急時可以立即動手修改裝置繼續實驗。老師也讓他們自己寫程式進行數據分析、組裝實驗設備的安全連鎖 (interlock) 電路控制系統，這些都是早期台灣物理系學生很難接觸到的訓練。在指導教授的磨練下，讓徐主任日後勇於嘗試陌生的領域，也影響日後教書帶學生的觀念，會把其他更多元的知識經驗，像是螺絲的規格、接頭的種類等這類一般不會在教室裡提到的資訊帶到課堂或工作中，讓學生在設計和組裝的實作過程中吸收更多課堂外的實務知識。



1990 年 8 月，徐主任就讀美國波士頓大學物理系博士班時加入 Dr. Michael El-Batanouny 指導的 Surface Science group，成員來自歐、亞、非、北美、南美五大洲。

博士後研究的 P. Pershan 教授開啟從二維到三維的材料結構研究

徐主任的博士研究是利用氦原子散射 (helium atom scattering, HAS) 研究金屬表面的結構和相變，探討的對象是侷限於表面層的二維結構。進入哈佛大學進行博士後研究，Peter



與波士頓大學物理系學妹在賴以完成論文的 He 原子散射實驗室合影。

Pershan 教授的研究領域主要是使用 X 光探測物質結構和臨界特性，X 光具有很強的穿透力，可以用來探索物體的內部結構，所以對徐主任來說，是從二維擴展到三維的材料研究，空間觀念擴大了一個維度。加上 Pershan 教授實驗室只有 X-ray 二環繞射儀，而去紐約長島布魯克海文國家實驗室 (Brookhaven National Laboratory) 國家同步光源 (National Synchrotron Light Source, NSLS) 進行深度研究則是使用不熟悉的四環繞射儀，需要調光、要對準樣品，儀器操作的複雜度高平時又缺少摸索學習的機會，還有緊迫的實驗時間壓力，加上自己不再是學生，所以一開始的時候壓力很大，簡直要懷疑人生。

同步加速器是一高功率的 X 光光源，為了維持光源穩定性提供高品質的光束進行科學研究，幾乎都是晝夜 24 小時運行，可說是不眠不休的科研設施。為了不浪費任何時間和金錢，研究人員都會充分利用分配給他們的每一秒。徐主任和 Pershan 教授的學生一起做研究，兩個人需要 24 小時輪班做實驗，常常一做實驗就是 5—6 天。只是這位學生是虔誠的猶太人，週六不會碰任何現代儀器設備，所以週六會超過 30 小時是徐主任一個人孤軍奮鬥。往往經過整夜長時間工作精神已經不濟的時候，Pershan 教授早上五點起床後，會遠端連進實驗站的電腦，一邊看數據一邊打電話詢問進度：「這個量測是什麼意思？」、「這邊檢查了嗎？」、「為什麼這個圖是這樣子？」徐主任在電話的另一端，邊畫圖邊回答 Pershan 教授。如果圖畫得沒有 Pershan 教授快的話，就會不懂他在講什麼，就會被問到不知所措。由於 Pershan 教授嚴謹的治學態度與訓練，讓徐主任養成從實驗設計、量測過程到數據分析，仔細檢查每一環節的習慣。尤其同步輻射的光源實驗，往往沒有機會反覆同樣的實驗或環境，因此目標必須是一次到位。

熱情×堅持×夢想 一群人的傻勁，讓台灣發光

1980 年代起，各國紛紛開始建造專為產生同步輻射的同步加速器。當時台灣投入科學研究的資源不多，只是臨淵羨魚，不如退而結網。面對這樣的情況，國內科學家也開始想要興建屬於台灣自己的同步加速器。每一座光源、每一條光束線 (beamline) 的建造都是雄心壯志的起點、千頭萬緒挑戰的開始。國輻中心的兩座光源：台灣光源和台灣光子源，都是憑著熱愛科學實驗，矢志打破技術極限的傻勁，在眾人的努力下，克服技術、經費、人力等困難，自行完成研發組裝、整合系統、試車等興建過程。

台語有首歌「墓仔埔也敢去」是形容為愛癡狂的人什麼都不怕，甚至有勇氣在半夜去墓仔埔 (墓園) 約會。有一群人也是為了建造台灣首座 X 光光束線什麼都不怕，日夜顛倒、晝伏夜出，天天清晨返家路上要經過一座座遷移中的墳墓，靠著無比的勇氣與毅力堅持下去…。

徐主任於 1993 年結束哈佛大學的博士後研究隨即來到國輻中心服務，當時國輻中心「台灣光源」開始啟用，電子束能量大約 13 億電子伏特 (1.3 GeV)，所以能量比較低，只有三座真空紫外線 (vacuum ultraviolet, VUV) 光束線。鑑於各領域的科學家對於高能量、高亮度 X 光光源的需求越來越多，國輻中心開始籌畫興建國內首座 X 光光束線。只是大家過去都是使用者，都沒有設計、建置 X 光光束線的經驗，雖然國外的顧問已協助國輻中心做了一版設計，還是得依照實際的情況再進行修正調整。徐主任笑說他們一群人就像是「三個臭皮匠，勝過一個諸葛亮。」在人力缺乏、經驗不足的情況下，大家同心協力、傾囊所學，從真空測試、光學元件的驗收、拉電線、牽水管都是與同仁分工合作做出來的。

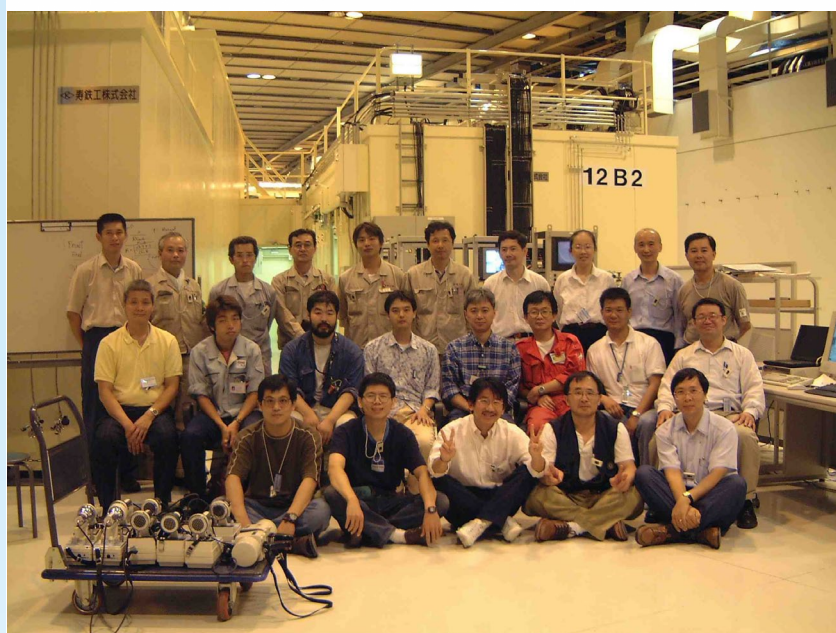
到了建置完畢進行試車時，擔心用來提高光源能量的插件磁鐵可能會影響儲存環的運作。為了維持台灣光源的穩定，持續提供用戶實驗，所以試車都是從晚上 12 點到隔天早上。徐主任每天騎機車上下班比較近的路線都會經過新竹市的寶山路，而寶山路上有個特別的公車站名：「雞蛋面」，是位於十八尖山後坡，為清朝官方劃定的義塚區。試車當時正值寶山路拓寬、遷墓工程，很多棺木都外露，所以經過時都「非常有壓力」。尤其清晨 4—5 點光線未明要下班時，徐主任都會請開車的同事開在她後面，以車燈照明作陪，如果沒有同事陪伴，就得繞光復路一大圈才回到家。有時候比較疲累，好幾次都快摔車了，或者遇到清晨運動的人，也會不小心被驚嚇到。徐主任笑說：「現在的笑話，其實是當時的一身冷汗！」



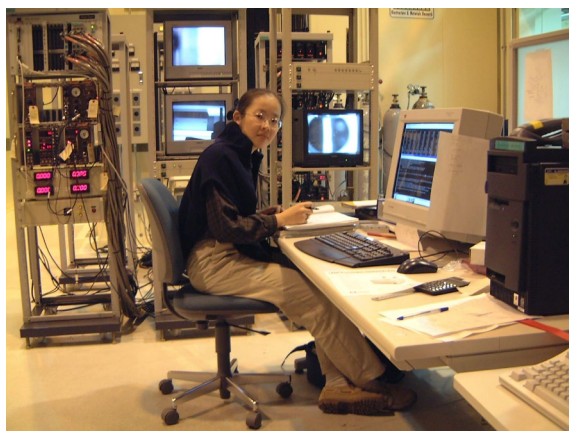
1995 年 4 月 26 日凌晨，TLS 首座 X 光光束線 X 光導入實驗站，圖為參與試車的成員。

「科學無國界」—各國同步加速器光源是一個開放與合作的互助社群

徐主任也分享，目前全世界約有七十座實驗用的同步加速器，國際間的合作與資訊分享無國界，這樣的公開交流與密切合作形成一個很特殊的互助社群。在建造台灣光源的過程，國際學者專家給了台灣很多建議與經驗分享，幫助國輻中心可以不至於犯大錯而順利興建完成。有了興建台灣光源的經驗與基礎，國輻中心於 2010 年開始興建台灣光子源，順利於 2016 年正式開放用戶使用。台灣從國際社群的分享中獲益良多，也回饋國際社會，擔任其他國家的顧問分享國輻的興建維運經驗，如協助澳洲、泰國等興建同步輻射裝置，亦與日本合作在日本兵庫縣的超級光子環 (SPring-8) 同步加速器光源設施，興建兩條台灣光束線，台灣是唯一在 SPring-8 建造光束線的國家。除此之外，國輻中心亦發展先進加速器技術，積極與國際學術研究機構展開許多優質的合作計畫，讓台灣在世界加速器光源領域發光發熱。



徐主任參與 SPring-8 Taiwan Beamline 建置，2000 年 10 月 4 日午夜，通過輻射安全測試正式出光，參與的台日成員進行合影。



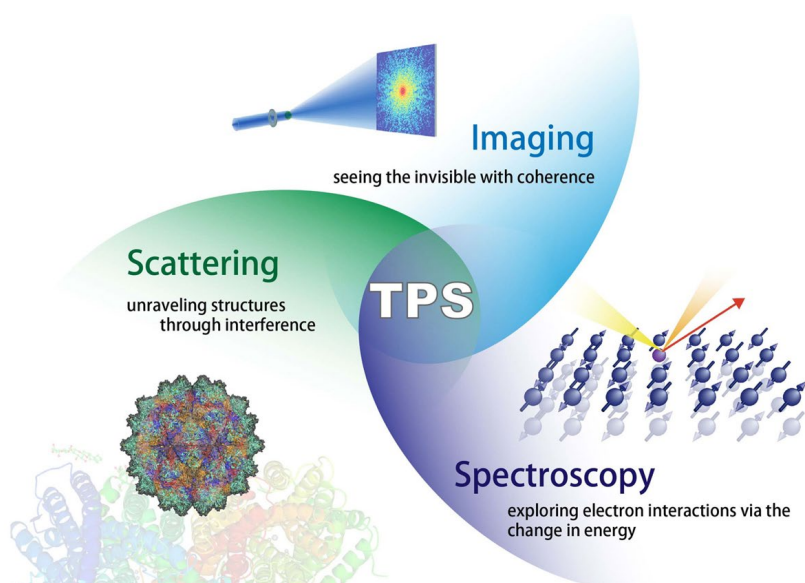
2001 年 1 月，在 SPring-8 Taiwan Beamline 寫程式做實驗。



2024 年 3 月，參加於日本舉行的 4GSR 國際會議，和各國同步加速器設施主管分享 NSRRC 的近況。

同步光源助攻先進半導體研發

同步光源涵蓋從紅外線到硬 X 光波段，具有高亮度、高準直性、光束截面積小、具偏振性、時脈解析及波長可調等特性，特別適合極薄、極微量、微區與臨場 (*in-situ*) 分析。以 X 光為例，同步加速器光源在這個波段的亮度比傳統 X 光機還要強百萬倍以上，過去需要幾個月才能完成的實驗，現在只需幾分鐘便能得到結果。除了科學研究之外，也積極推動協助產業界解決技術瓶頸與發展關鍵技術，協助提升台灣產業的競爭力。徐主任進一步分析表示，同步光源在半導體上的應用大致可分成三項技術領域，包含能譜分析、繞射與散射以及影像技術。

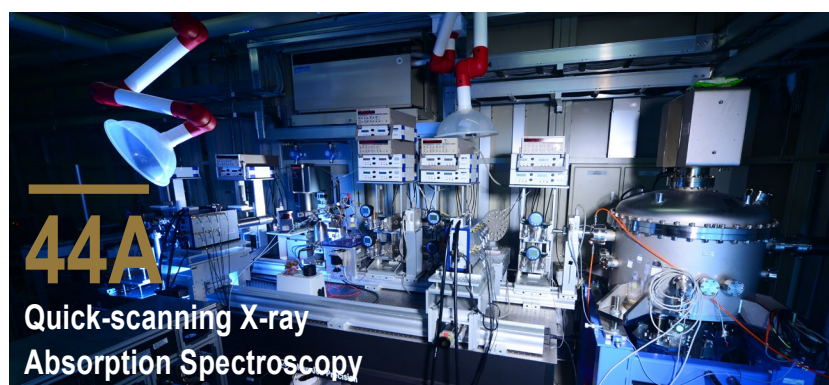


同步光源在半導體上的應用大致可分成三項技術領域，包含能譜分析、繞射與散射以及影像技術。

材料的物理和化學性質，如導電性、磁性、光學行為和化學反應特性等，主要由其費米能階 (Fermi level) 附近的電子能帶結構決定。電子能帶結構不僅受到材料中原子排列的影響，也與材料的組成元素密切相關。在同步輻射研究領域中，常用來研究電子能帶結構的工具包括 X 光光電子能譜 (X-ray photoemission spectroscopy, XPS) 和 X 光吸收光譜 (X-ray absorption spectroscopy, XAS)。依照半導體積體電路的微縮趨勢，介電層的厚度越來越薄，傳統介電層材料二氧化矽 (SiO_2) 將遭遇量子穿隧效應而導致極大的漏電流，進而影響元件的可靠度。近年開始研究使用高介電 (high-k) 材料來取代二氧化矽當介電質層，以有效降低閘極漏電流，其中二氧化鈺 (HfO_2) 為主的材料是最近幾年最廣泛研究的高介電材料。由於同步光源波長具可調變的特性，可藉由 X 光吸收光譜分析超薄薄膜的原子配位環境與電子結構，就可以用來研究觀察於不同製程中 Hf 元素之配位環境變化趨勢，了解 Hf 鄰近是否有出現氧缺陷。另一方面，同步加速器光源具高準直度與高亮度等特性，特別適合以極低掠角的方式進行超薄薄膜的 X 光繞射技術分析，在二維材料厚度僅單層晶格之極限狀態下，依然可以取得足夠強度對比之繞射訊號，來分析其磊晶狀態及對稱模式，以決定材料的晶體結構及殘留應力。在影像方面，X 光能量愈高穿透性愈強，就可以非破壞的方式，精準分析元件內各層超薄薄膜的結構、組成或缺陷，提供晶片材料特性與結構的設計基礎。以上技術都是一般市售儀器無法提供的能力，卻是目前尖端半導體材料分析非常需要的分析技術。



國輻中心自行設計組裝世界最先進的超高能量、高解析度、高效率共振非彈性 X 光散射 (resonant inelastic X-ray scattering, RIXS) 實驗站。



國輻中心建造亞洲首座快速延伸 X 光吸收精細結構 (quick-scanning extended X-ray absorption fine structure, QEXAFS) 實驗站，不到一秒鐘即可完成 X 光吸收能譜。

家人的理解與支持是最大的後盾

主任以其優異的學術成就與豐富的行政管理資歷，成為國輻中心首位女性首長，為台灣女性科學家樹立傑出典範。徐主任表示，一路走來最感謝的是母親的人格教育，還有家人的理解與支持和師長同儕的互相照顧。徐主任的母親年輕時經過戰亂的磨難，嘗受了生離死別無依無靠的無奈，造就了堅韌、寬厚的性格，所以從小就教導她「女孩子要獨立，還有切記己所不欲勿施於人」。母親的身教言教，讓她耳濡目染下也養成獨立自主的個性，可以獨自挑燈夜戰完成博後研究、可以參與完成國家一次又一次的大型科學計畫。為了讓徐主任可以專心進行博士後研究，小孩生下後，先生就把小孩接回台灣和公公婆婆一起照顧。返台後，有先生和公婆一起互相照顧、分擔家務，才可以持續自己的研究。後來婆婆臥病在床，徐主任也和先生一起負起主要照顧的責任。「與公婆、先生相處不計較付出、互相尊重與扶持」是徐主任長久以來的家庭經營之道。



2022 年 8 月，繼羅國輝主任 (左) 之後接任國輻中心第六任主任。

對國輻中心的未來展望

除了興建這樣的設施已經不容易，要營運台灣規模最大的大型共用實驗設施，維持光源的穩定運作，每年提供超過 1 萬人次國內外產學研機構的用戶前來實驗，更是不容易。「台灣光源」自 1993 年啟用至今已 31 年，「台灣光子源」則是自 2016 年至今啟用近 10 年，徐主任表示：實驗設施的建置、研發與維護以及實驗技術的創新發展與應用是國輻中心最重要的責任與任務。「台灣光源」預計在 2028 年或 2029 年會停止運轉，目前「台灣光子源」已開放 18 座光束線，未來幾年內將積極努力建置到 26 座，以因應所有用戶的需求。在「台灣光源」逐漸降載期間，國輻中心同仁積極協助用戶適應到「台灣光子源」的實驗設施，雖然實驗技術可能類似，但是「台灣光子源」光的亮度比較強、準直性高、光點比較小，所以實驗策略、設施的使用還是略有不同。為此，國輻中心籌辦各種研討會和訓練課程協助用戶平順的轉移。除了興建光束線，國輻中心也積極往自動化和智慧化推進，協助用戶快速取得實驗數據 (data)，提升實驗的效率和精確度。只是拿到數據並非國輻中心責任的結束，如何整合數據分析的方法學和軟硬體，讓實驗數據經過分析轉化為有用的資訊也是國輻中心持續努力的目標。

徐主任求學工作路程從台灣飛往美國西岸加州大學取得碩士、再到東岸波士頓大學攻讀博士、繼而進入哈佛大學進行博士後研究，之後回到台灣國輻中心，從副研究員做起，一路兼任國內外合作承辦人、科學研究組組長、主任秘書、董事會執行秘書到成為國輻中心首位女性首長，在研究與行政不斷轉換的職場環境中歷練出能力與經驗，成為卓越領導人持續帶領國輻中心基業長青。



2022 年 10 月，國輻中心主任室一起打拼的團隊夥伴，自左起許瑤真主任秘書、王兆恩副主任、徐主任、和魏德新副主任。