

2021世界2%科學家——董崇禮優游能源材料研究藍海

淡江學術圈

【賴映秀專訪】在本校物理系完成學士、碩士，及博班學位，物理系教授董崇禮是道道地地由本校培養的物理學者，不過這位土博士的名氣卻響遍國際。在去年美國史丹佛大學公告的「世界2%頂尖科學家」入選「2021年度科學影響力學者」，於全球「原位X光光譜技術用於各能源材料的電子與原子結構研究」領域，佔有一席之地。

去年已升教授的他，未達天命年，提及對於未來研究的展望，董崇禮充滿自信地說，在彭維鋒與張經霖兩位恩師長期在同步輻射領域耕耘下，有了傲人的成績：「在台灣講到『同步輻射』（註1）這個領域，可以馬上聯想到的學校，淡江絕對不會超過第二個，甚至可以說是第一個。」他具使命感的表示，要利用國際型同步輻射大型科學儀器設施研究技術繼續與國內、外學術合作，強化淡江物理系的研究動能與國際聲譽。

千里馬計畫 打通任督二脈

這位優秀的科學家的養成，在一開始與大多數人並無二致。大二微電子學第一堂課，聽到老師說半導體的發展「錢途」無量，立志要到半導體廠當工程師的董崇禮，大四進了張經霖研究室作專題，接觸到「同步輻射」技術。當時的他看到彭維鋒與張經霖共同帶領的實驗室裡全部都是真空儀器，感覺自己離夢想中的半導體領域高科技工程師不遠了。只是一切到了碩士快畢業前，才發現竹科的工程師生涯不如他想像中的美好，突然夢碎。來不及考預官又不想去當兵的他，只能選擇繼續唸博班。

他仍深深感念著當時張老師、彭老師、淡江物理的國際化。機會在他在博四升博五暑假那年來叩門，美國「先進光源實驗室」資深研究員郭晶華受邀來校短期訪問，離校前，郭晶華詢問他去美國作研究的意願，因為這個機緣，他受「千里馬計畫」（註2）補助赴美國加州勞倫斯柏克萊國家實驗室先進光源，開啟了學術之路。

在那裡，他看到來自世界各地的研究員，帶著各自的問題來到先進光源研究室尋求解答。諸如NASA研究員帶了隕石、IBM研究員帶了當時正在研發的電腦硬碟中磁性材料、從瑞典來的教授拿著他的小孩剛流的血來作實驗；也遇到過史丹佛的博士生，拿了自己做的奈米多層膜來談，討論是否有可合作的方向與議題□□。這對於從小接受填鴨

式教育的他，有很大的衝擊：「原來這就是一個博士生該有的樣子——自己找問題、找資源來問、來解決。」

那一年，雖然很累，但充實、滿滿成就感，也自此打通了任督二脈，決定走上學術研究的路。

轉折 專注能源材料科學

博士後研究是重要的階段，在2015年回校任教之前，他在中央研究院物理所、勞倫斯柏克萊國家實驗室先進光源作博士後研究，接著在國家同步輻射研究中心

(NSRRC) 擔任助理研究員，繼續吸收研究能量。2013年物理系彭維峰、張經霖、杜昭宏以及莊程豪4位師資所組成的同步輻射研究團隊，開始負責規劃主持NSRRC的臺灣光子源 (Taiwan Photon Source) 實驗工作站 (TPS 45A光束線／淡江大學—實驗站)。這個進展讓淡江物理系大為振奮，追隨著老師們的腳步，同步輻射這條研究道路的前景清晰可見。

就在此時，他觀察到國外正夯的能源議題。亦回想起千里馬赴美期間2003年左右，美國就已經關注普及大眾能源意識，宣導儲氫材料、水分解材料、電動車等科普教育議題。他在2013年回到加州柏克萊實驗室時發現，每一條實驗站都有在做能源相關議題的研究，深切感受到同步輻射技術在能源材料研究方面，是不可或缺的要角。「不光是能源材料，好玩的是，各種不同材料都可以拿來作研究、深入探討，因為材料物理特性、化學特性，都跟電子結構、原子結構息息相關，這只有同步輻射技術可以研究透徹。」這些相關的研究議題在當時的台灣同步輻射似乎還沒有受到太大的關注，也囿限於適合的實驗設備，做能源材料的原位實驗、同步輻射者少之又少。而對董崇禮來說，博士後在美國加州勞倫斯柏克萊國家實驗室先進光源就是發展原位X光光譜技術世界第一的研究團隊，而他當時就在NSRRC作研究。受教於美國指導教授的啟發與大力支持，把研究方向從「奈米重費米子系統、奈米稀磁性半導體」轉為「能源材料、奈米催化之研究」及「原位X光光譜技術之發展」，走進能源相關的研究。

近年受氣候變遷威脅，世界各國紛紛承諾淨零碳排，在碳稅等能源議題浮上檯面的同時，能夠透徹研究材料特性的同步輻射實驗，瞬時成為重中之重。這個轉折，讓董崇禮及研究團隊成員的研究得到世界關注，得以有機會跟許多優秀的材料學家合作。

具專業與獨特性 才能立足國際

發展原位X光光譜技術，研究各能源材料（轉能、儲能、節能）的電子與原子結構（註3），看似艱澀的基礎科學，與一般人距離遙遠，從研發到應用科學，往往要走滿長的一段時間。就如鋰離子電池早在1970年代開始研究、雖在1980年就發明了關鍵材料鈷酸鋰，但SONY公司一直到1991年才將其商業化上市，即使商業量產化後，因其原料成本及穩定性問題，進而研發出另一關鍵商業化材料磷酸鋰鐵。現在的人手一機，都得拜鋰離子電池一路研發成果之賜。但「科學就是好玩」他說，「沒有基礎科學，就沒有後面的這些高科技產品。」

作為一個基礎科學家，雖讓人感覺與產品距離遙遠，但他認為「研發」是一個公司的心臟，「沒有研發能力，今天的高科技，明天就會變成傳統產業，但有願景的話，就算預設的產品沒有做出來，也會在其他方面有所斬獲。」他舉3M的例子，當初研究員要做的是超黏膠帶，結果不如理想，卻做出很棒的產品——不留殘膠的膠帶。

目前，物理系在NSRRC有另一座淡江與同步輻射研究團隊主導的掃描X光穿透顯微術實驗站（TPS 27A），可進行更尖端的科學研究。對能源材料，如：可以在電池充放電的過程當中即時觀察材料微觀區域原子結構及電子結構的改變。像是特斯拉車用三元鋰鎳錳鈷電池充放電的過程，到底是那個元素扮演重要角色？皆可透過光譜顯微術臨場觀察深入研究。對於奈米材料、化學、化工、能源相關題目，透過同步輻射的關鍵技術，提供材料發展或材料學家優化材料的方向，為研究者帶來很大的幫助。他笑說，他跟彭老師差一點就因同步光譜顯微術成為業餘考古學者。他也強調，雖掌握關鍵技術而沒有科學也是徒然，想研發出夢想中的材料，仍必須靠同步及同儕的專業。「沒有基礎科學就沒有後面的技術，沒有先進的技術，就不會有新的科學被發現，技術與科學兩者相輔相成，缺一絕對不可。」

董崇禮說，受限於台灣的環境，以前容易關起門來單打獨鬥，「人一少就會覺得自己最重要。」他在博後研究時期走過國內外同步輻射的研究單位，認識的指導教師、學者，在學術界得到很多合作的機會（註4），路也愈走愈寬廣。

他感到專業性的重要，如台積電不會包山包海什麼都做，不走斜槓、就是把晶片做到完美，來自台灣的本土公司，立足國際成為世界第一。他也深刻感覺到技術獨特性的的重要性：「要比資源比不過，我們有的就是獨特性」「有獨特性能促成合作」，即使是產學的合作，也能激發火花：「我們從中學習到材料的知識，而業界想要解決一些材料性的問題，我們從基礎科學來提供意見。」

蹲馬步 從基礎科學去發現問題

台灣人常說要培養「解決問題」的能力，但他發現到一定程度後，更重要的是主動「發現問題」的能力。

「要發現問題在哪裡，」董崇禮說，學生做研究、做論文的時候，也是作這方面的訓練，畢業後進學界、進業界都得做計劃報告、企劃書，所需的基本功、邏輯不能少，就像一個科技公司如何吸引客戶的精神一樣。他舉「鋰電池之父」美國物理學家 John B. Goodenough 的例子。他原是研究固態物理的物理學家，但2019年他得諾貝爾獎時，因發明了「鈷酸鋰」這個材料，而獲化學獎。磁性和電池材料是完全不同的領域，董崇禮在碩博士時就曾經唸過他許多磁性記憶體材料有關磁性超交換作用研究的文章，不禁懷疑：「真的是同一個人嗎？」

「換個角度想，就沒那麼難了。」他說，鋰離子電池就是層狀結構的東西，一顆顆原子排成層狀結構，充放電原理就是鋰離子嵌入遷出，不改變結構，所以可以達到充放電的目的。很科普、很簡單的概念，就像JENGA層層疊一樣，木塊抽出來不倒、還可以塞回去。以前沒有充電電池，充放完電以後材料結構就無法回到初始狀態，結構不一樣鋰離子就不能進出了，所以Goodenough就想到（鋰鈷氧）可以把鋰離子拉出來放進去，不會破壞結構就成就了劃時代的發現。所以他說：「馬步蹲好，要練什麼武功都很容易。」科技的馬步就是基礎科學，如同伊隆馬斯克的信念，只要不違反物理定律，一切都有可能，旗下特斯拉跟SpaceX之所以成功，就是憑著一般人認為可有可無的物理硬學科。

享受研究 期許成為能源材料VIP

作為具全球影響力的學者，董崇禮的研究生產力豐碩，近年於SCI國際期刊發表超過280篇。在他的研究領域中，思索著各種不同新的材料為什麼會有不同性質的背後原理，仍覺得「好玩」，也是他的研究能量源源不絕的動力。

這次2021科學家由他和他的學生，目前在NSRRC博士後研究的黃裕呈同時入榜，讓人刮目相看。除了黃裕呈，之前同為團隊成員的博士生與博士後的國家同步輻射研究中心助理研究員盧英睿、聯合大學化學工程學系助理教授張漢威都順利的在同步輻射領域發展，看到他們朝著自己想要的方向有不錯成績，是另一個很大成就感的來源。他同時也是印度石油與能源大學名譽客座教授，在另一個國度作育英才。

最後，請他談談自己對於能源材料有何預期貢獻，他一派沈穩且堅定的表示，就像「講到什麼□□，就想到什麼□□」的遊戲，講到了晶片就想到了台積電，講到了電動車就想到了特斯拉。他希望能夠成為那個大家講到「能源材料、同步輻射」就會想到的那個在太平洋小島上獨特的淡江物理人。

【學生視角】熱愛研究 享受生活 亦師亦友的人生導師

國家同步輻射研究中心博士後研究員／黃裕呈

開發可再生能源是當前全球的重要任務。水分解是一種可持續能源轉換的方式，它可以通過將水分解成氫氣和氧氣來儲存和轉換能源。然而，水分解需要大量的能量和催化劑，因此，開發高效的電催化水分解催化劑對於實現可持續能源轉換至關重要。

在這方面，我有幸參與了董崇禮教授的研究團隊。我們利用同步輻射技術進行了原位軟X光吸收光譜研究，探究了氧化還原反應過程中鈷基催化劑的活性位點和反應機理，為新型催化劑的設計提供了理論基礎。我深刻體會到董教授的嚴謹治學風格和精益求精的態度，他的指導和鼓勵對我學術上的成長和個人能力的提升有著非常重要的作用。我們還開展了一系列研究工作，探究了氫氣的吸附和解吸過程、催化劑的結構和表面特性對水分解反應的影響，優化了反應的效率。

董教授在學術研究方面給予了我們充分的指導和啟發，讓我們掌握更多的知識和技能，激發了我們的研究熱情，幫助我們探索新的研究領域和方法。他不僅注重理論知識，還注重培養我們的實踐能力，這些經驗和能力都將伴隨著我們在未來的研究生涯中。

除了學術研究，董教授還關注我們的人生成長。他鼓勵我們在科研和學習之餘，要多關心周圍的人和事，培養積極向上的心態和獨立思考的能力。他曾經說過一句「Enjoy life and enjoy research!」，提醒我們要熱愛研究同時要享受生活。對研究領域有熱情和興趣，能激勵並增強面對挑戰和困難的動力和耐心。董教授的教導和啟發對我們的學術研究和人生成長都產生了極大的影響，他是不可或缺的良師益友，值得感激和尊敬。我會繼續努力學習和成長，攀登新的高峰。

備註：

(註1)：同步輻射：利用鎢絲加熱後產生的電子，透過傳輸線注入儲存環中，電子在固定的環形加速器軌道中快速飛行，每秒可近似達光速 3×10^8 (10的8次方)m/sec，受到磁場的作用而發生偏移，而沿著切線所散發出的電磁波，稱為同步輻射光。此光是一種很強大的X光，可以探究物體的組成與相關研究。因此，同步輻射可以被使用於醫療、物理、生物、化學、材料、環境、奈米科技等各種類型的研究。

(註2)：千里馬計劃：國科會於民國92年推出，針對國內博士生設計了一套短期出國研究之鼓勵措施，期待國內每一位博士生都能利用博士期間出國研究半年以上，以彌補我國博士生所欠缺之國際研發能力。

(註3)：能源材料（轉能、儲能、節能）介紹：

1. 轉能材料：如太陽氫能、高效奈米催化、熱電材料等

地球上豐富的海水資源與可持續性的太陽光，透過適當的催化劑有效地進行光能轉化學能，將水分解成氫氣與氧氣。氫氣是扮演著能源結構轉型、淨零碳排重要關鍵之一。另外亦可利用還原二氧化碳的催化反應，直接變廢為寶將二氧化碳轉化成我們所需的燃料。達到直接減碳與產能之一石二鳥策略。而此類半導體催化劑的能隙、能帶結構扮演著有效進行人工光合作用由光能轉換成化學能的關鍵角色。除了太陽光能轉換成化學能，透過適當的半導體熱電材料亦能將太陽光的熱能直接轉化成電能。

2. 儲能材料：如鋰離子二次電池、超級電容等。

美國物理學家Goodenough在2019拿下諾貝爾化學獎後，有更多的科學家投入了二次電池的研究，科學家進而從材料設計的角度出發，期望能解決很多關鍵的科學問題，如何增加其能量密度、功率密度、循環壽命、以及安全性等，有著多元化的研究主軸與方向。相較於電池的高能量密度，超電容具有較高的功率密度，較電池充放電速率快，能搭配電池做不同時間響應的生活應用。如手機通話時用的是電池高能量密度的特性、照相閃光燈則利用了短時間內可充放電的電容高功率的特性。隨著各種新穎二維、層狀材料的先進發展，儲能科學領域常有突破性的發展。

3. 節能材料：如智慧薄膜。

利用智慧玻璃的特殊的光學特性，受到外在環境的刺激，而改變其對太陽光某個特定波長的的穿透與吸收的特性。藉由調控制程條件，得到不同奈米結構表面以達到不同光學性質及記憶效應之智慧薄膜。如應用在綠建築節能應用上，透過智慧節能視窗，在中午日照強烈時可改變其顏色，阻擋了紅外光，而只讓可見光進入室內，如此，不用開燈亦不用拉上窗簾，達到降溫、省電及美觀的功能。

(註4) 董崇禮國內外合作：

國內：長期與陽明交大、台灣大學、凝態中心、同步輻射研究中心、中央大學、北科大等學術單位在奈米能源材料科學上密切合作。

國外：長期與美國先進光源 (ALS)、日本極端紫外光研究設施 (UVSOR)、印度加速器研究中心 (IUAC) 等國際大型儀器設施合作外，近期另與法國國家科學研究中心 (CNRS) 共同研究智慧薄膜，探討其光學性質與記憶效應、與印度理工學院

(IIT) 合作研究太陽氫能材料、與雪梨大學 (USYD) 展開了在奈米熱催化與電催化的合作主題、亦持續與印度德里大學 (DU)、印度石油與能源大學 (UPES) 在奈米功能性材料上之合作關係。

(註5) 董崇禮研究成果：

近期研究成果主要基於原位同步輻射 X 光光譜技術於新興能源材料電子與原子結構之研究。於 Nat. Energy, Nat. Catal., J. Am. Chem. Soc., Energy Environ. Sci., Nano Energy, Adv. Mater. Adv., Funct. Mater., Angew. Chem, Joule, ACS Nano, Phys. Rev. B, Appl. Phys. Lett. 等 SCI 國際期刊發表論文 >280 餘篇，SCI 引用 >13,000 餘次。擔任 SCI 期刊 Nanomaterials 編輯委員與專刊主編。

