

系友專訪

打破安穩框架，當自己的主人—78級李佩雯教授

左腦科技、右腦人生：葉維焜學長橫跨半導體與情緒教育的職涯導航

「量子來挑戰」特輯

2026年  
國立陽明交通大學  
電子物理系刊  
第52期

科普專欄：二維材料/超快雷射/超導理論/量子元件

教授專訪

從荒涼交到三十年講台歲月：陳振芳教授「We do it everyday」的電子學傳奇

在機緣與選擇之間：陳衛國教授的人生與學習之道

專注當下，捕捉「上帝的表演」：蕭翌登教授的物理探索之路

Nature has its own plan, but most of the time, we hardly understand it—曾奕教授



# EPisode

第52期 交大電子物理系系刊

2026

## CONTENTS

---

前言	2
活動回顧	9
科普專欄	20
教授專訪	33
系友專訪	71
量子來挑戰	81
藝文特區	90
致謝&工作人員	97

# 系主任的話

各位師長、同學,以及散布在世界各地的學長學姐們大家好:

春暖花開之際,我們迎來了電子物理系創系六十二周年的重要里程碑。在系學會會長的邀請下,能在今年的系刊卷首與大家分享隻字片語,我感到無比榮幸。

回首三月初,相信大家的心跳頻率,都隨著 2026 年世界棒球經典賽 (WBC) 的賽況而起伏。不管是在螢幕前或親臨東京巨蛋,我們看著中華隊在賽場上揮灑汗水,面對世界頂尖強敵,他們展現出的不是畏懼,而是無比的韌性與拚搏精神。當選手在受傷時還為了搶進得點圈而撲身紅土,當打者在兩好球的絕對劣勢下依然咬牙纏鬥,那份「不到最後一個出局數,絕不輕言放棄」的執著,深深震撼了全台灣,也讓我陷入了深刻的思考。看著中華隊的奮戰,我彷彿看見了我們電物系這六十二年來,無數師生在學術界與產業界開疆闢土的身影。不管是科學研究或經營事業,在精神本質上與棒球比賽有著驚人的相似之處。

## 首先,我們都必須學會與「失敗」共處,並從中淬鍊出卓越

在棒球的世界裡,即便是一流的頂尖打者,打擊率三成已經是極高的成就。這意味著,在十次打擊中,有七次會面臨出局的挫敗。而我們的科學研究與事業經營又何嘗不是如此呢?無論是在無塵室裡反覆測試半導體元件、在實驗室裡嘗試製備完美的薄膜、還是在白板前推導複雜的量子力學方程式,我們面對的往往是無數次的「實驗失敗」與「數據不如預期」。但正如中華隊的打者不會因為前一個打席被三振就放棄揮棒,我們電物人也總能在失敗的數據中尋找蛛絲馬跡,調整參數,重新站上打擊區,揮出突破性的一擊。

## 其次,耀眼的成績背後,永遠有團隊合作的支撐

一場棒球賽的勝利,不能只靠一位王牌投手或是一位全壘打王,它需要滴水不漏的守備、適時的推進、以及牛棚投手的完美接力。現代的科學研究與事業經營,早已跨越了單打獨鬥的年代。我們面臨的是 AI 人工智慧的硬體極限、量子科技的微觀挑戰、以及下世代半導體材料的開發。這些世界級的難題,需要理論與實驗的結合,需要跨領域的激盪。在電物系,我們的教授與同學,就像一支默契十足的球隊,而我們六十二年來培育出的傑出系友,以及在各大科技產業「大聯盟」中奮戰的學長姐們,不斷將經驗與資源回饋母系,凝聚成無可撼動的堅實後盾。

### 最後,面對逆境時的底氣,來自於平時日積月累的苦練

中華隊在這次經典賽中,幾度面臨落後的絕境,卻總能展現強大的心理素質,甚至上演逆轉勝。這不是奇蹟,而是無數次揮汗如雨練習所累積而成的實力。電物系自 1964 年創系以來,一直是台灣高科技產業的推手。六十二年來,我們歷經了台灣半導體產業從無到有、從代工到領先全球的過程。外在的挑戰(如全球科技霸權的競爭、少子化衝擊等)從未停歇,但電物系之所以能穩步向前,靠的就是我們扎實的物理基礎與靈活的工程應用能力。這種「以物理為本,工學為用」的硬實力,就是我們在第十局的延長賽中依然能從從容容應對的底氣。親愛的電物人,六十二歲的電子物理系,正如同站在世界舞台上的中華隊,我們肩負著歷史的榮光,同時也面對著未來的無限挑戰。經典賽的熱潮或許會隨著賽事落幕而逐漸平息,但我希望那份熱血與拚搏的精神,能夠永遠留在我們的心中。未來的世界,科技的競爭將會比經典賽更加激烈。但我相信,只要我們秉持著棒球場上的韌性及不怕失敗、重視團隊、扎實基本功,陽明交大電物系絕對能在世界學術與科技的殿堂中,持續擊出漂亮的全壘打。感謝過去六十二年來,所有為電物系奉獻青春與智慧的師長及學長學姐們,是你們打下的完美地基,讓今天的我們得以站得更高、看得更遠。讓我們帶著這份感動與驕傲,繼續迎向下一個輝煌的世代。祝福電子物理系,六十二周年生日快樂!也祝福每一位電物人,都能在自己的人生賽場上,揮灑出最精彩的篇章!

電子物理系 系主任

羅志偉



# 系友會長的話

## 電子與物理? 電子或物理?

民國七十三年，當我接到大學聯考成績單時，一時之間有點困惑；在台南市生長的我，心中知道應該會去讀交大，但是要念什麼的科系，一個頭兩個大。父親的同事得知此事後，請父親傳達給我，一定要優先選擇電子物理系；就這樣，在一個不認識學長的大力推薦下，我來交大念了電子物理系。

第一個學期，同學偶爾會交流一下，為什麼會念本系？除了一個女同學很篤定外，大家都只能會心一笑，因為答案都是不怎麼肯定。彼時的交大有一個最大特點，就是只要是在地上走的，除電工系同學的分數特高外，沒有人能有把握自己的入學成績會比另一個同學高，因為本校眾多的電機子領域科系裡的同學，每個人的想法都不同，所以我們那一屆，交大入學平均成績勇冠全國，台大排第二，清華第三。

大學入學成績其實一點都不重要，重要的是你是以什麼想法來度過大學這四年。千金難買早知道，沒有人會知道未來的事情，「把握當下」是每一個大學生的重要課題。「把握當下」是什麼意思？在我看來，就是鍛鍊體格、充實知識、融入群體、廣交朋友、成熟心智。但是要怎麼做到呢？其實也沒有標準答案，就是要努力唸書、也要努力追求你的喜好、還要努力奉獻、努力累積人生的點點滴滴，這些都是你大學時真正存下來的資產與替未來蓄積的能量，這才是重點。

每到了要慎重選擇研究所的時刻，電物系的同學大概都會遇到一個問題：到底是電子加物理？還是電子或物理？畢業至今已超過四十年，我想給學弟妹的建議是選擇你心中真正喜歡的學門，若沒特別喜歡的，就選自己有競爭力的。電物系的同學，因為選擇比別人多，分歧度也會比別系的同學大，也可能不知到底要選什麼。

沒關係，只要你在線、你有努力、你的人格特質好、心智成熟度高，電物系畢業的你，是絕對沒有問題的，看看你們的學長姐個個生龍活虎便知。

有關係的是，當你還是一個二十歲的年輕人，你有最好的體魄、最美(俊)的外在、最好的腦袋，你當下要做的是多投資自己，讓自己能夠在未來的七八十年中能夠有滿滿的能量，而非只是想盡早賺更多的錢而走了捷徑，導致二十到三十歲這段精華的人生被浪費掉了。

電子與物理？電子或物理？只要你能越來越篤定你的志趣，就從來都不會是一個議題。

電物系的學弟妹們，祝你們能享受生命中這個美好的純真時代、能夠早日找到自己那一片青青草原，並且在那建立起你的幸福人生。

孫慶成

陽明交大電子物理系系友會長  
國立交通大學電子物理系77級  
國立中央大學光學博士  
現任國立中央大學光電講座教授  
國際光電學會會士、美國光學學會會士  
國際光電學會光學工程獎得主、六項國家科技獎得主  
中華民國光電學會前理事長、小說作家



# 系學會長的話

回首過往，感覺日子是一條被夕陽拉長的影子，在行走時顯得如此深邃而漫長，卻在轉身的一瞬間，收束成一個簡單而乾脆的句點。想當初踏入電物，我還只是懷揣著幾分懵懂與莽撞的旅人，經歷過幾場猝不及防的暴雨，也見證過無數次雲開霧散的晨曦，試著將那些原本崎嶇難行的碎石，踩踏成腳下最堅實的風景。那些熬過的夜、唱過的歌、品過的甜、甚至那些當時難以入喉的酸楚，經過時間的發酵，如今都釀成了大學生涯中，獨一無二的醇厚回甘。

還記得當初是在誤打誤撞下成為系學會長，在大學兩年間沒什麼了解系學會，也鮮少在系學會活動的喧囂中駐足，未曾涉水，也不解水性。我從高中就是個蠻內向的人，到了大學也是，面對沒什麼交談的人，心裡都會浮現一層透明卻厚重的薄膜。明明近在咫尺，對話的訊號卻彷彿隔著整座深海的靜默。而這樣的我，在面對眼前模糊的選擇，萌生想接任的想法，我想挑戰自己，期許能透過這個契機看見不一樣的風景，成為自己佩服的人，也想為這一屆，打造出一段獨特的頻率。

接下這個位置，意味著必須站在船頭，直面所有的風浪與未知。我並非天生的舵手。這一路上的跌跌撞撞，以及那些在過程中產生的亂流，都曾使我陷入自我懷疑，時不時回想之前的活動哪裡可以做得更好，哪些地方沒有考慮到，哪裡溝通有問題等等。但正是這些不完美的粗糙顆粒，打磨了原本生澀的我。在一次次的碰撞中，我學會了如何更精準地設立座標，如何在紛亂的雜訊中理清思緒。這層身份帶給我的，不只是處理事務的歷練，更是一次認知的重組與自我認同。

我很感謝各位系學會的幹部們，即使在面臨專題壓力與人生選擇的十字路口依舊選擇進入系學會，一同扛起這份重量，在繁忙的浪潮中逆流而上。在各自的生活裡撥出一小塊交融，發揮各自的想法，也包容彼此的笨拙。

也感謝系上人員及系友會的幫助，不只成為系學會的後盾讓我們可以舉辦各類活動，也成為連結校園與世界的窗。將前人的智慧化作路標，讓我們在眺望那片尚未抵達的未來時，有了更清晰、遼闊的輪廓，明白自己正站在巨人的肩膀上，眺望遠方。

116級系學會會長 謝文豪，很榮信能在這個位置為大家服務，也很高興透過這些時光的養分逐漸蛻變成自己期待的樣子

最後，希望這本系刊不只是一份紀錄，更是一面鏡子。願各位在翻閱時，都能在字裡行間看見那個曾經迷惘、卻始終未曾停下腳步的自己。



116級系學會會長 謝文豪

# 副系學會長的話



116級系學會副會長 張松義

對於世界規律的好奇亦或想去科技業賺大錢，我想電子物理系能同時滿足這兩者，不僅如此，系上也有許多傑出系友會和大學部同學有聯絡，討論彼此的想法，給大家許多幫助，使我覺得電物系不只是自己人生單獨的一部分，也是一座跨越年代聯繫同為電物人的橋樑。如果在大學時還有其他需求，電物系可能以不同方式滿足。

電物系是個充滿很多活力跟熱情的地方，身為大學生的我們不僅僅在學業上努力學習，我們也有許多活動、社群連結我們電物大家庭的所有每位成員。很開心能成為其中一份子，期許每位同學能夠保有身上的勇敢與熱血，在電物系上成長茁壯，並且更認識自己。希望大家十年後可以記得曾經有個很愛健身跟彈電吉他的肌肉猛男 Darren。大家要多運動！甘溫

116級系學會副會長 余得煌



# 主編的話



116級系學會學術長 劉子鈞

能擔任電物系第52期系刊的主編，我深感榮幸。初次接下這份重任時，因為缺乏相關經驗，我花了許多時間翻閱歷屆系刊，並向曾參與的同學請教編輯細節，才逐步摸索出方向。因此，我特別感謝這次一起奮鬥的小編、美宣與攝影團隊，沒有你們的鼎力相助，我絕對會分身乏術。

作為系學會學術長，系刊的發行是少數需要進行大規模跨組合作的業務。這段經歷讓我的統籌與領導能力有了顯著的成長，看著刊物順利付梓，心中更是充滿了無以言喻的成就感。期盼未來的系刊主編，也能在這段過程中收穫同樣的感動與體會。

進一步探討系刊的存在意義，我認為它對不同的受眾有著截然不同的價值。對於已畢業的系友而言，系刊是了解系上近況的絕佳媒介。這本由現役大學生編輯的刊物，字裡行間真實流露著當代學生的思維脈絡；即便部分內容或許帶有AI輔助的痕跡，這也恰好反映了當今科技對校園生態的影響，同樣是認識學生現況的一種真實視角。

另一方面，對於在校生來說，系刊是一座寶貴的資訊庫。我們透過專訪系友、現任教授與退休教師，將他們多年歷練濃縮成真知灼見，非常值得學弟妹們借鏡。此外，實際參與採訪不僅能增進在校生與前輩們的交流，更是拓展人脈的良機。綜上所述，系刊不僅是資訊的載體，更是牽起世代情誼的橋樑，期盼這份充滿意義的傳統，能持續在系上傳承下去。

在此次系刊中，我們特別新增了『科普專欄』與『量子來挑戰』兩個全新單元。這份構想源自我長期的觀察：從高中升學到大學進入實驗室，許多同學往往因為對未來迷惘，而順應分數落點，或是盲從選擇熱門、看似親切的指導教授；直到真正投入研究後，才驚覺這並非自己心之所向。

為了解決這個痛點，這兩個新篇章緊扣系上當前熱門的研究領域，期盼能為大一至大三、尚未加入實驗室的學弟妹們提供一塊敲門磚。我們希望能透過建立基礎的學術認知，幫助大家真正適性發展，依照自身興趣精準選擇實驗室，避免在迷惘與試錯中蹉跎了寶貴的時間成本。

最後，我要誠摯感謝電物系對系刊編纂的全力支持。得益於系上的經費挹注，讓團隊能在無後顧之憂、充滿動力的狀態下完成這份心血結晶。同時，也要再次向所有文字編輯、美宣與攝影夥伴致上最深的謝意。期盼這次共同編寫系刊的經驗，能成為大家自我成長的養分，讓每位參與者都在不同領域中有所斬獲、持續精進。

# 主編的話



116級系學會學術長 余宸毅

愛因斯坦沒有說過：「做系刊有點麻煩啊。」，幸好還有劉子鉸撐著，不然有時候我也挺迷糊的，但能夠在大學期間完成一本系刊，紀錄大學生活、寫一些自己有興趣的東西也挺好玩的。希望所有翻開這本雜誌的人，不管是要回顧大學生活的系友，還是想找專題教授的系友，可以有所收穫。

最後感謝所有參與的小編、美編、教授，還有另外一個主編，也感謝系上有這個機會，透過系刊我學到滿多東西、也認識新的教授，還賺了一波稿費，雖然這東西真的挺麻煩的。

（原本想說如此感性的地方，認真寫一下，不要用Chat GPT，但開始思考後頭腦一片空白，發現自己也寫不出什麼感人肺腑的東西，而且我最後還是問Chat GPT這樣寫會不會怪怪的。）

# 活動回顧

10 專題競賽

11 運動競賽

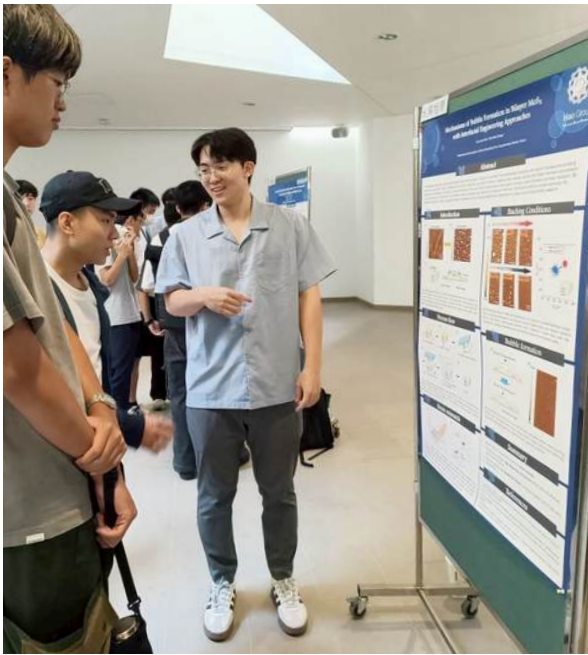
12 交大電子物理營  
「二電物條悟」

15 迎新宿營-  
WHY SO DAMN

18 業界導師

19 其他活動



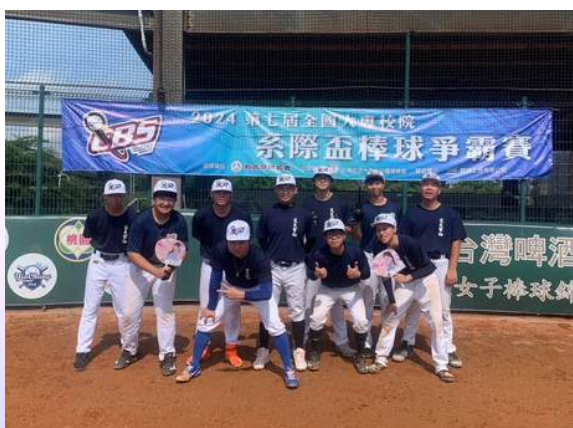


# 專題競賽

系上與系學會共同舉辦的專題競賽，為在實驗室致力於專題研究的同學，提供了一個展現研究成果的絕佳舞台。這不僅是練習口語表達與臨場反應的好機會，同學們更能藉此互相觀摩學習，並共同角逐豐厚的競賽獎項。



# 運動競賽



## 交大電物系隊合影

電物系的同學們除了在學業與研究上不斷精進，在運動場上的表現同樣亮眼！這裡收錄了各個系隊的熱血合影，期盼無論是在校生或畢業系友，都能多多參與系隊活動，在紓解日常課業壓力之餘，也能強健體魄、凝聚彼此的情誼。



## 交大電子物理營 「二電物條悟」

電物營是由系上大一與大二學生於暑假期間共同籌辦，專為全國高中生打造的營隊。在這營期中，高中生將透過我們精心準備的活動，深入認識電物系並結交來自各地的同儕。這些豐富的學習與體驗更能轉化為充實的學習歷程，為未來的升學之路加分。此外，這也是系上新鮮人首次參與籌辦的大型活動，不僅能凝聚同儕間的向心力，更能深化跨年級的友誼。



交大電子物理營「二電物條悟」主視覺圖。

這一屆電物營在活動設計上做了全面升級，我們不僅吸收了歷屆的經驗去蕪存菁，更根據學員回饋進行了優化。在課程方面，全新加入了「電路學」與「電子學」，並榮幸邀請到許世英教授親自為高中生講授「近代物理」。此外，考量到炎熱的夏日氣候，我們將傳統營隊的早操改為「晨間益智活動」，讓學員們不用一早到操場曝曬，而能悠閒地在教室享用早餐，同時透過益智遊戲喚醒一天的活力。



電物營最為招牌的物理實驗。



此次新增的電子學授課環節。



晨間益智活動最終的比賽勝負環節。



烤肉前的扇棍球光舞表演。

除了扎實的專業課程與實驗，營隊當然也少不了精彩的團康活動，包含尋寶遊戲與 RPG 闖關等。白天讓小隊員們盡情奔跑、揮灑汗水後，夜晚則安排了歡樂的烤肉與大型晚會。晚會中更有我們精心準備的豐富表演，為大家帶來視覺與聽覺的雙重饗宴。



團隊競爭的大富翁遊戲。

大地實驗中「高空降落傘大挑戰」關卡。



這次電物營雖遇上颱風攪局，使得原本五天四夜的營期縮短了一天，但在總副召與各組負責人的緊急應變與妥善調度下，我們僅取消了參訪同步輻射中心的行程，成功將影響降到最低。營期結束後，我們收到了許多小隊員的正面回饋，這份肯定讓我們深感欣慰。期許未來的電物營能越辦越好，持續向更多高中生展現我們電物系的獨特魅力。

電物營全體工人們的合照。





# 電物×外文迎新宿營

## Why So Damn

每一年除了電物營之外，最令人引頸期盼的莫過於大一的迎新宿營了！由於電物系的男女比例較為懸殊，因此我們常年與男女比例剛好互補的外文系攜手合辦。透過兩個科系的跨界交流，總是能激盪出許多有趣的火花。現在，就讓我們一起來回顧這學年度迎新宿營的精彩畫面吧！



讓大家快速認識彼此的破冰小遊戲



在賭場中尋找誰是今年的交大賭神

有趣且刺激的大地遊戲！



尋找線索破解劇情的健走RPG活動



營隊絕對不能少了烤肉，一定要大口吃肉！

在晚會中欣賞學長姊準備許久的短劇和表演



電物×外文迎新宿營的大合照！下次就換你們來籌辦宿營給未來的學弟妹囉，一定要參加！





業界導師計畫是由系友會、系上及系學會三方共同籌畫，藉由聚餐或講座等形式，讓在校生能與在職場深耕多年的學長姊進行深度交流。透過這個活動，學長姊不僅能分享一路走來的寶貴經驗，更能幫助學弟妹提早了解產業動態、釐清未來的職涯方向，並建立起專屬的人脈關係。



## 業界導師

# 更多活動



## 系烤

顧名思義，就是大家一起烤肉，但有繳系學會費的會有專屬優惠，推薦大家繳交系學會費！



## 新生茶會

本學年的新生茶於暑假期間登場，共分為北部及中部兩場。這場活動專為即將升上大一的學弟妹們舉辦，讓大家能提前認識系上的學長姊，並獲取最實用的「新竹生存攻略」。說不定，還能在茶會中打聽到一些關於系上與校園不為人知的隱藏版小秘密喔！



## 新生輔導大會

新生輔導大會的主要目的，是帶領大一新生認識系上由學生組成的各個自治組織與系隊。學弟妹們可以藉此深入了解不同團體的運作與特色，並根據自身的興趣，自由選擇加入喜歡的團隊。



## 抽直屬大會

這是系上極具代表性的經典活動！新生們將透過一連串有趣的小遊戲，抽出未來大學生活中的「直屬學長姊」。這個環節多少考驗一點運氣：若抽到熱血的學長姊，不僅能獲得滿滿的實用資訊，還有機會接收珍貴的「傳家寶」；即便遇到風格比較「放養」的學長姊，也能藉此培養出自己的一套校園生存法則！此外，活動中還會穿插猛男秀、饒舌等超嗨的表演橋段，絕對是大一新生不容錯過的精彩盛會！

## 聖誕交換禮物

與同學和學長姊們交換禮物，看看抽到的是來自「天堂」還是「地獄」的禮物！



# 科普專欄

喚醒光子的共鳴：雷射物理學與台灣光電發展史

突破摩爾定律的超薄希望：下一代半導體材料的二維革命

超越歐姆定律的奇點：超導現象的發現與宏觀特性

看不見的世界，改寫科技的規則：量子力學與量子元件的革命

# 喚醒光子的共鳴：雷射物理學與台灣光電發展史

文/劉子鉸

## 生活中無所不在的「神之光」

想像一下你平凡的一天：凌晨在便利商店買宵夜，店員拿著掃描器「嗶」一聲刷過條碼；早上醒來，你看了一眼手機，螢幕瞬間解鎖；或者週末去聽演唱會，舞台上劃破夜空的絢麗光束；甚至是你身邊同學剛做完的近視雷射手術。這些場景中，都隱藏著二十世紀最偉大的發明之一：雷射（Laser）。

雖然我們天天把「雷射」掛在嘴邊，但你是否曾停下來思考過，為什麼一支夜市買的便宜雷射筆，可以把光點打到幾百公尺外的大樓上，而你實驗室或書桌上那盞亮得刺眼的LED檯燈，光線卻照不遠？同樣都是「光」，雷射到底憑什麼這麼與眾不同？答案，就藏在它的英文全名裡。LASER 其實是一個縮寫字：L.A.S.E.R.：Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation（受激輻射光放大）

這個名字精準描述了雷射發光的物理機制。相較於家裡的日光燈，雷射光擁有一般光源望塵莫及的超能力。首先是單色性極佳，通常只擁有一種極度純粹的顏色與單一波長。其次是指向性極強，光束幾乎不會發散，能將能量高度集中。最重要的是，雷射具有極高的同調性，這也是它最核心的靈魂。如果把一般光源的光子比喻成跨年夜各自推擠亂走的群眾；那麼雷射光子就像是一支訓練有素的儀隊，所有光子的步伐（相位）、速度（頻率）和方向都完全一致。

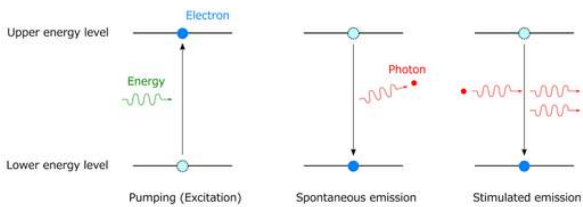
這種紀律嚴明的光，不僅改變了現代醫學與通訊，更是撐起今日台灣半導體帝國、讓奈米級元件順利邁向工業量產的絕對關鍵。不過，這項充滿未來感的尖端科技，早在半個世紀前那個電視機都不普及的年代，就已經在新竹的校園裡悄悄點亮第一道光芒。

這是一場從愛因斯坦的物理預言，走到台灣科技奇蹟的精彩旅程。讓我們一起切換到量子視角，看看這束「神之光」究竟是如何誕生的。

## 雷射的物理機制：光子的複製貼上

要搞懂雷射這場光學魔術，我們得先從「波耳氫原子模型」說起。還記得圍繞原子核運行的電子嗎？它們必須乖乖待在特定的「能階」上，只能瞬間從一層樓「瞬移」到另一層樓。當我們給予原子能量，底層電子吸收能量躍遷到較高樓層，稱為「激發態」。但電子在這個狀態非常不穩定，通常不到億分之一秒就會自動跳回較低的基態，並把剛才吸收的能量以光子的形式吐出來。這個過程叫做「自發輻射」（Spontaneous Emission）。這顆光子的能量等於兩個能階的能量差，即  $E = E_2 - E_1 = h\nu$ 。日常生活中的霓虹燈或太陽光，本質上都是無數原子各自進行自發輻射的結果。因為跳躍時間點和射出方向完全隨機，產生出來的光就像一盤散沙，朝四面八方發散。

但在1917年，愛因斯坦提出另一個發光機制。假設一顆電子站在高能階上，剛好有一顆能量等於能階差的光子路過撞了它一下。這顆光子不會被吸收，反而會「誘發」電子立刻跳下來，並釋放出另一顆一模一樣的光子。這就是大名鼎鼎的「受激輻射」（Stimulated Emission）。最神奇的是，這兩顆光子簡直像複製貼上的雙胞胎，它們的頻率、行進方向甚至相位都完全一致。這正是雷射光能讓所有光子如軍隊般步伐整齊的根本原因。



自發輻射與受激輻射示意圖



王興宗教授

不過，自然狀態下的電子多數待在最  
低能階的基態。因此，科學家必須強行把  
大量電子「趕」到高能階去。這個過程稱  
為「居量反轉」(Population Inversion)，  
意思是高能階的電子數超越了低能階的電  
子數。為此，我們需要一個「幫浦」

(Pump) 不斷灌注強大能量(如高壓閃  
光燈或強烈電流)，把電子送上高處。

當居量反轉達成，我們就有了一個充  
滿潛力的增益介質。只要一顆原子發生自  
發輻射吐出光子，就會立刻撞擊其他高能  
階的電子引發兩顆光子；產生驚人的連鎖  
反應。但為了解強大且筆直的雷射光，還  
需要最後一塊拼圖：光學共振腔(Optical  
Cavity)。科學家在增益介質兩端放上平  
行且平整的反射鏡。一面全反射，另一面  
則是讓極少部分光線穿透的半透射鏡。於  
是，光子大軍在兩面鏡子間以光速來回反  
射。偏離光軸的光子會從側邊跑掉；只有  
精準垂直鏡面的光子才能在共振腔內不斷  
穿梭，觸發更多受激輻射，讓能量像雪球  
般越滾越大。最後，當同調光束強大到無  
法被困住時，就會穿透半透射鏡射向外  
界。這就是改變現代科技軌跡的雷射光。

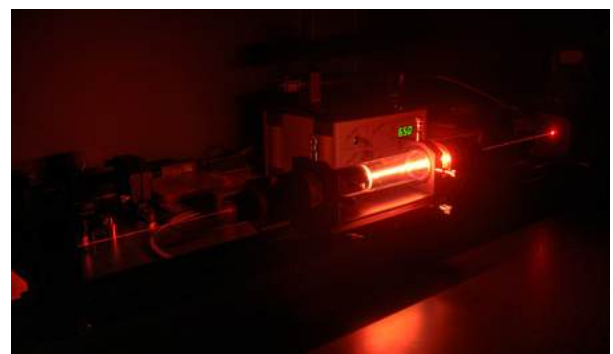
## 尋找台灣的第一部雷射

海峽兩岸對「Laser」的翻譯不同：  
中國直譯為「激光」，港澳音譯為「鐳  
射」。在台灣，我們則使用「雷射」，不  
僅精準對應英文發音，更賦予了「雷霆萬  
鈞之射線」的磅礴氣勢。想出這個絕妙譯  
名的，正是台灣光電先驅——王興宗教授。  
把這束光真正帶進台灣的，也是他的團  
隊。

將時間倒轉回 1967 年，當時台灣經  
濟剛準備起飛，學術界實驗資源極度匱  
乏。然而，在新竹這片土地上，一場光學  
革命正悄悄醞釀。當時任教於交通大學  
的王興宗教授與溫鼎勳教授，帶領年輕研  
究員，決定從零開始打造台灣第一部雷射。

在那個買不到精密光學儀器與參數分  
析儀的年代，這是一項艱鉅挑戰。團隊挑  
戰的是「氦氖雷射」(He-Ne Laser)。沒  
有現成發光管，就得親自吹製玻璃管；沒  
有自動化氣體控制設備，就得手動抽真空  
並精準拿捏氦氣與氖氣比例。最痛苦的莫  
過於架設光學共振腔，他們必須在簡陋條  
件下微調兩端反射鏡的平行度。只要角度  
偏掉一點點，光子就會從側邊漏光，一切  
得重頭來過。這種對精準度的嚴苛要求，  
絲毫不亞於今日我們進行半導體元件可  
靠度篩選時的挑戰。

經過無數日夜的失敗與調校，當高壓  
電注入充滿氦氖氣體的玻璃管中，一道明  
亮且筆直的紅光瞬間劃破昏暗的實驗室。  
這束波長為632.8奈米的紅色雷射光，宣  
告了台灣第一部自製雷射誕生。它向世界  
證明，即使在物資匱乏的環境下，台灣科  
研人員依然具備將量子理論轉化為尖端硬  
體設備的強大執行力。



氦氖雷射發出紅光

這只是這群光學先鋒傳奇的起點。王教授後來赴美深造，成功發明世界第一套「白光雷射」，被尊稱為「白光雷射之父」。從 1960 年代手工吹製的玻璃管，到今日撐起全球產業鏈的台灣半導體聚落，那第一次成功的光學共振，至今仍在歷史長河中迴盪。它提醒我們，所有推動世界運轉的龐大量產技術，最初都源於實驗室裡對基礎科學的不妥協。

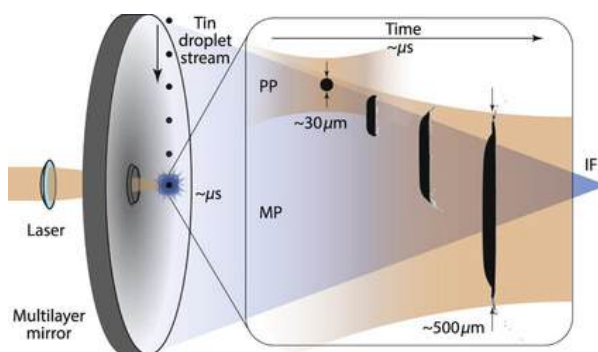
## 雷射的種類與現代應用：撐起護國神山的終極神兵

從 1967 年新竹校園裡那根手工吹製的玻璃管開始，雷射技術經歷了半個多世紀的演進，早就不再侷限於氣體雷射。科學家陸續找到了各式各樣的「增益介質」，發展出種類繁多的雷射家族。例如利用紅寶石或釹鈮鋁石榴石 (Nd:YAG) 製成的固態雷射，能夠輸出極高的瞬間能量；而體積最小、應用最廣泛的，莫過於「半導體雷射」(Laser Diode)。這種雷射將龐大的光學共振腔微縮到只有米粒般大小的半導體晶片內，只要通上微小的電流就能發光。從你家裡光纖網路的訊號傳輸、滑鼠底部的紅光，到超市的條碼掃描器，幾乎都是半導體雷射的傑作。它讓這項原本只存在於高階實驗室裡的量子奇蹟，徹底走入了我們的日常生活。

然而，雷射真正展現出「神之光」威力的地方，是在現代工業的最高殿堂——半導體製造。在奈米級的微觀世界裡，雷射不僅是無可取代的照明光源，更是最精準的手術刀。以當前主導電動車與高頻通訊的第三代半導體（寬能隙半導體）為例，碳化矽 (SiC) 這類材料的硬度極高，幾乎逼近鑽石。在工業量產的過程中，如果使用傳統的機械鑽石刀進行晶圓切割，極容易在邊緣產生微小裂紋與晶格缺陷。這些看似不起眼的物理損傷，會在後續的高壓運作下誘發漏電流，嚴重破壞元件閘極氧化層的可靠度，導致晶片提早報銷。為了解決這個量產瓶頸，工程師導入了

「雷射隱形切割」技術。利用特定波長的雷射光，將能量精準聚焦於碳化矽晶圓的內部，在不破壞表面的情況下從內部改變材料結構，讓晶圓能完美分離。這項技術不僅大幅提升了切割良率，更是後續確保每一顆功率元件都能通過嚴格可靠度篩選測試的關鍵前提。

除了精準切割，雷射更是打造先進製程晶片的「畫筆」。你或許聽過台積電等頂尖晶圓代工廠所使用的極紫外光 (EUV) 微影設備，這台被譽為人類歷史上最複雜機器的核心，正是一套極度暴力的雷射系統。為了解析出只有幾奈米寬的電路線條，工程師必須使用波長極短的極紫外光。但這種光在自然界極難產生，於是科學家想出了一個瘋狂的辦法：他們利用高功率的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 雷射，以每秒五萬次的驚人頻率，精準轟擊在真空中滴落的微小錫 (Sn) 液滴。液滴被高能雷射瞬間氣化成電漿，這才迸發出極紫外光。沒有這套將雷射物理學發揮到極致的系統，我們今天就無法在指甲大小的晶片上，塞入上百億顆電晶體。從切割最堅硬的碳化矽晶圓，到雕刻最微小的矽奈米電路，雷射早已成為撐起台灣科技命脈的終極神兵。



圖利用雷射轟擊錫滴來產生 EUV 光的概念圖

## 結語：永不衰減的同調之光

回首這段光的旅程，從愛因斯坦在紙上寫下受激輻射的理論，到 1967 年在交通大學實驗室裡點亮台灣的第一道紅光，再到今日驅動全球半導體量產的雷射切割與微影技術，這是一場跨越百年的科學接力。

雷射的故事完美詮釋了基礎科學的價值：那些最初看似遙不可及、甚至有些晦澀難懂的量子理論，最終都將化為推動人類文明前進的巨大齒輪。

對於學習物理的我們來說，科學的進展就像雷射共振腔裡的光子。每一代科學家累積的知識與技術，都在為下一代進行「居量反轉」。每一次在實驗室透過光學顯微鏡觀察材料結構，或是無數次枯燥的電性參數擷取與除錯，都是在光學共振腔裡來回激盪的過程。雖然這條路充滿挑戰，但只要方向正確，前人的智慧終將激發出後人的靈感。如果對雷射有興趣，系上有許多教授在進行雷射研究，像羅志偉教授、陳永富教授、蘇冠暉教授及鮫下篤史教授；也有將其應用於全像術的林烜輝教授、生醫影像的蕭翌登教授或應用於材料分析的周武清教授、許鈺敏教授及郭昌洋教授。想要學習雷射的同學，可以多多與教授們聊聊，或許你也會沉迷於這無所不在的「神之光」。

# 突破摩爾定律的希望：下一代半導體材料的二維革命

文/劉子鈺

## 從「立體」到「扁平」的奇幻旅程

你認為獲得諾貝爾獎需要什麼條件？造價上億的精密儀器？還是運算極快的超級電腦？2004年，英國曼徹斯特大學的兩位科學家Andre Geim和Konstantin Novoselov，用的是日常唾手可得的一卷透明膠帶，還有一塊鉛筆芯。

沒錯，這就是石墨烯發現的故事。他們把膠帶黏在石墨上反覆撕貼，直到膠帶上留下一層肉眼看不見的碳原子。這層僅單原子厚的物質，就是鼎鼎大名的「石墨烯」(Graphene)。這個看似在書桌上就能完成的「勞作」，不僅讓他們拿下2010年諾貝爾物理學獎，更正式推開了「二維材料」世界的大門。



Andre Geim

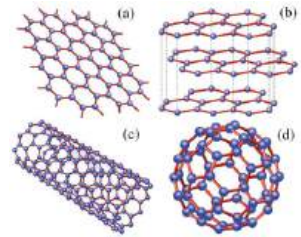


Konstantin Novoselov

到底什麼是「二維」材料？日常接觸的物體大多是具有長寬高的三維(3D)立體。你可以把塊狀石墨想像成一疊厚厚的A4紙，當我們從中抽出一張厚度幾乎可忽略的單層原子，就是二維(2D)材料。若把這張紙捲成空心管，就成了一維(1D)的奈米碳管；揉成極小的紙團，則成了零維(0D)的量子點或富勒烯。維度的降低，不僅是幾何摺紙遊戲，更是一場徹頭徹尾的物理革命。

你可能會想：「變薄有什麼特別的？」當材料厚度被壓縮到大約一根頭髮的十萬分之一時，原本熟知的古典物理將不再適用，改由「量子力學」接管舞台。在這個

極度扁平的世界裡，電子就像被困在極薄的網子上，無法上下亂跑。這種「無路可退」的狀態，讓材料的導電性、透光率與機械強度發生突變。原本黑漆漆的石墨，變成單層石墨烯後不僅近乎透明，導電速度甚至比銅還快，強度更是鋼的兩百倍。



石墨烯與其他相關結構 (a) 石墨烯 (b) 石墨 (c) 奈米碳管 (d) 富勒烯

## 為什麼能這麼薄？凡得瓦力與量子力學的雙重奏

你可能會覺得奇怪，鑽石和石墨明明都是碳原子組成，為什麼我們不能從鑽石撕下「二維鑽石」，卻能輕易剝離石墨烯？答案藏在原子的連結方式裡。

微觀世界裡，二維材料就像一塊精緻的「千層派」。以石墨為例，單層石墨烯內部的碳原子以強韌的「共價鍵」緊密相連，結成堅不可摧的六角形蜂巢網；然而，當無數層原子網堆疊成石墨時，層與層之間卻只靠微弱的「凡得瓦力」相互吸引。撕下膠帶時，黏力剛好足以克服脆弱的凡得瓦力，卻不會破壞平面上的共價鍵，完美的單層二維材料就此誕生。

把材料變薄，更引發了名為「量子侷限效應」(Quantum Confinement)的物理現象。想像你是一顆電子，原本在巨大的體育館(三維材料)裡能上下左右自由移動；當天花板無限下降，把你徹底壓在地板上時，你便失去了垂直活動的空間。在量子力學規則下，空間的極度壓縮會迫使電子的能量狀態從連續的「斜坡」，變成不連續的「階梯」。這種能階重組直接導致了材料宏觀性質的突變，賦予二維材料顛覆常理的超能力。

## 不只有石墨烯！二維材料家族的明星成員

科學家像發現新大陸般，將目光轉向其他層狀材料。若要在未來的超薄晶片裡打造一座城市，我們不僅需要導電的「馬路」，還需要控制電流的「紅綠燈」，以及平穩的「地基」。

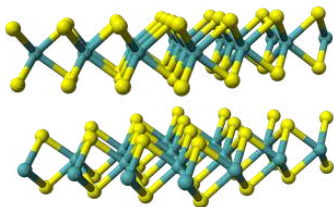
### 1. 跑得最快的老大哥：石墨烯 (Graphene)

石墨烯電子移動極快、幾乎透明且強度驚人。但在半導體世界裡，它有一個致命傷：沒有「能隙」(Zero Bandgap)。能隙就像控制電子通行的閘門，傳統矽晶片能處理資訊，就是因為矽有能隙，可以在「導電 (1)」和「不導電 (0)」間切換。石墨烯沒有閘門，電子一上去就瘋狂狂飆無法停止，因此很難直接用來製造運算開關。

### 2. 突破運算瓶頸的半導體救星：過渡金屬二硫屬化物 (TMDs)

既然石墨烯關不掉，科學家找到了自帶開關的二維材料——TMDs (如二硫化鉬  $\text{MoS}_2$ )。

單層的 $\text{MoS}_2$ 像個超薄三明治，上下是硫原子，中間夾著鉬原子。它最大的亮點是天生具備適當的能隙。當矽晶片面臨縮小瓶頸時， $\text{MoS}_2$ 成為了拯救摩爾定律、讓晶片體積繼續縮小的超級救星。



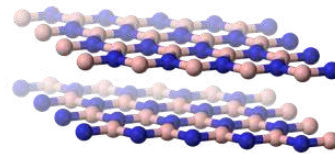
MoS2結構圖

### 3. 完美的絕緣床墊：六方氮化硼 (hBN)

有了導體與半導體，還差一個絕緣體。若把極薄的二維材料直接放在傳統的二氧化矽基板上，表面的微小起伏與化學

懸鍵 (Dangling bonds) 會嚴重阻礙電子移動。

這時，結構類似石墨烯的h-BN就派上用場了。它是一個極佳的絕緣體，表面呈現原子級平滑且沒有懸鍵，就像一張完美的獨立筒床墊。將石墨烯或TMDs鋪在h-BN上，電子就能不受干擾地發揮該有的效能。



六方氮化硼結構圖

## 突破極限：二維材料的殺手級應用

當我們把這些原子等級的積木拼湊在一起，能帶來什麼革命性的改變？

### 1. 拯救摩爾定律的終極武器：1奈米以下的邏輯晶片

當傳統矽電晶體不斷縮小，會遇到「短通道效應」的致命瓶頸——閘門對電子的控制力下降，導致嚴重的漏電流與發熱。

這正是二維材料大顯身手之處！因為TMDs厚度不到1奈米，通道被壓得極度扁平，閘門的電場可以輕易掌握電子動向，徹底解決漏電問題。事實上，半導體世界正走向一場完美的雙向分工：像碳化矽 (SiC) 這類寬能隙材料，憑藉耐高壓特性，在電動車等「高功率元件」領域大放異彩；而二維材料則走向另一極端，專攻極微小、超低功耗的「邏輯晶片」，挑戰1奈米以下的運算極限。

### 2. 撕下硬梆梆的標籤：軟性電子與穿戴裝置

傳統矽晶片硬而易碎，但二維材料因薄到極致，反而具備極佳的柔韌性。想像一下，未來的手機螢幕能像卷軸般拉伸，或者我們能將二維材料做成透明的「電子皮

膚」，像刺青般貼在人體上全天候監測心跳與血糖。

### 3. 捕捉光影的奈米雷達：次世代光電元件

單層二維材料對光的吸收與發射效率出奇地高。例如，單層二硫化鉬的能隙會從「間接能隙」轉變為「直接能隙」，讓發光或吸收光的效率產生質的飛躍。科學家正利用這些特性，開發超微型光感測器、夜視鏡與次世代太陽能電池。

### 走出實驗室的荊棘之路：當前的挑戰

既然二維材料這麼厲害，為什麼手機裡還沒用到它？要接管未來的科技世界，目前還得跨越幾座高山。

首先是「量產的難題」。產業界寄予厚望的量產技術叫做「化學氣相沉積」(CVD)，讓氣體原子像下雪般慢慢飄落並排列在基板上。然而，不同方向長出來的二維小島碰在一起時，交界處無法完美對齊，就會形成「晶界」(Grain boundaries)。這些接縫處充滿缺陷，會讓電子發生嚴重碰撞與散射，導致導電性能大打折扣。

下一個挑戰是「極度敏感的表面」。在製造電晶體時，必須在二維材料上方覆蓋絕緣的「閘極氧化層」。但在這層極薄的交界處，常存在看不見的「電荷陷阱」(Charge traps)。電子奔跑時一不小心掉進陷阱，就會讓電晶體的開關電壓變得極不穩定。

最後，是半導體工程中極度關鍵的「可靠度 (Reliability) 測試」。晶片必須在高溫、頻繁充放電下穩定工作數年。傳統矽晶片在長時間運作下，會面臨偏壓溫度不穩定性 (BTI) 導致的效能衰退，也就是晶片會隨時間「老化」，需要更高電壓才能驅動；或者是發生經時介電層崩潰 (TDDB)，導致絕緣層徹底短路損壞。舞台換到超薄的二維材料上時，一點點的電荷捕捉或結構破壞都會被無限放大，讓可靠度問題變得更加棘手。

### 結語：在扁平宇宙中，刻畫未來的立體藍圖

從一張用鉛筆和透明膠帶撕出來的碳原子網，到如今全世界頂尖科學家競相投入的超薄半導體競賽，二維材料的發展史，本身就是一場不可思議的奇幻旅程。它向我們證明了，打破常規、從全新的視角、全新的維度去觀察世界，往往能發現顛覆認知的力量。

正如我們所見，二維材料雖然擁有導電極快、柔韌可彎折、完美開關等令人驚豔的「超能力」，但要將這些材料真正做成我們手機裡那顆運算飛快的晶片，前方依然佈滿荊棘。從大面積量產的晶界問題，到極度敏感的介面電荷陷阱，再到嚴苛的可靠度挑戰，這些都不是靠單一領域就能解決的難題。它需要物理學家去探索更深層的量子機制，需要化學家去設計更完美的合成配方，更需要工程師去開發精密的儀器，去測量、去控制那些發生在奈米尺度下的微小變化。而這，正是科學最迷人的地方。

當前的科技界正站在一個歷史的轉折點上。摩爾定律的極限就在眼前，傳統材料的潛力已被壓榨到了盡頭。二維材料的出現，就像是上天遞給我們的一張空白藍圖，上面充滿了未知的可能性，等待著新一代的探索者去填補。電物系有許多實驗室也有在進行二維材料的研究，從理論、製程到應用都有。如果對這領域有興趣的同學，可以與有從事相關研究的教授聊聊，加入實驗室學習更多有關二維材料的奧秘。

# 超越歐姆定律的奇點：超導現象的發現與宏觀特性

文/謝文豪

1911年，低溫物理學家海克·卡末林·昂內斯（Heike Kamerlingh Onnes）在萊頓大學的實驗室中，成功將氦氣液化（其沸點約為4.2 K）。當他利用液氦將金屬汞（Hg）冷卻至極低溫時，發生了令當時物理學界震撼的一幕：當溫度降至 4.15 K 以下時，汞的電阻值突然崩塌，下降到當時儀器完全無法偵測的程度。

在古典電磁學中，歐姆定律  $V = IR$  及電流熱效應告訴我們，只要有電流通過導體，就必然伴隨著動能轉化為熱能的損耗。然而，超導現象的出現打破了這一常規。這不僅僅是「電阻變得很小」，而是真實意義上的零電阻（Zero Resistance）。

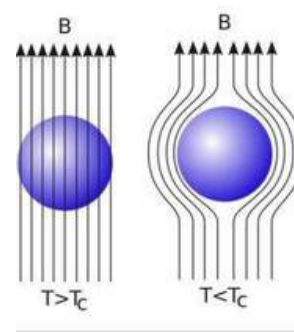
為了證實這點，科學家曾進行過長期的感應電流實驗：在一個封閉的超導環中感應出電流，隨後撤去電源。理論與實驗觀察顯示，這種電流可以在環中流動數年而毫無衰減。根據計算，超導電流的壽命至少超過10萬年，這意味著超導態是一種能量極端穩定的熱力學新相態。

如果超導僅僅意味著「零電阻」，那麼它充其量只是一個「完美導體」。然而，1933年邁斯納（Walther Meissner）與奧克森菲爾德（Robert Ochsenfeld）發現了超導體另一個更為本質的特徵：完全抗磁性（Perfect Diamagnetism），也就是著名的「邁斯納效應」。

當一個物體從正常態進入超導態時，它會主動將內部的磁力線全數排出體外，使得內部的磁感應強度恆等於零。這種現象與電磁感應定律（楞次定律）產生的排斥力有著本質上的區別。普通的完美導體只會「鎖住」進入超導瞬間的磁通量，而超導體則是「拒絕」所有磁場穿透。這導致了壯觀的「磁懸浮」現象：當超導體置於永久磁鐵上方時，它產生的強大抗磁力能抵消重力，使其穩定地懸浮於半空中。



圖一、Heike Kamerlingh Onnes



圖二、超導體的邁斯納效應

超導態雖然神祕而強大，但它並非在所有條件下都能維持。物理學家定義了三個關鍵的臨界參數，它們共同構成了超導態的邊界：

- **臨界溫度 ( $T_c$ )**：物質必須冷卻到此溫度以下。
- **臨界磁場 ( $H_c$ )**：若外加磁場過強，磁力線會強行穿透超導體，將其打回正常態。
- **臨界電流密度 ( $J_c$ )**：過大的電流產生的自感磁場與能量也會摧毀超導相。

這三個維度在空間中構成了一個「臨界面」，只有在曲面內部的範圍，物質才能展現出量子力學在宏觀尺度下的奇蹟

## 量子的集體華爾茲——BCS理論與微觀機制

### 1. 費米子的障礙與挑戰

在正常的金屬導體中，電子作為費米子（Fermions），受到包立不相容原理的限制，它們無法處於同一個量子態。當電子在金屬晶格中運動時，會不斷與雜質或格點的熱振動發生碰撞，這種能量動量的損失，就是我們熟知的「電阻」。在古典物理視角下，電子之間的庫倫排斥力也使得它們難以整齊劃一地流動。

2. 庫柏對（Cooper Pair）：以聲子為媒的吸引

1957年，巴丁（Bardeen）、庫柏（Cooper）與施里弗（Schrieffer）共同提出了BCS理論，從微觀層面完美解釋了超導的成因。該理論的核心在於一個反直覺的概念：在極低溫下，兩個帶負電的電子竟然可以相互吸引。

想像一個電子穿過由正離子組成的金屬晶格，由於庫倫引力，它會使周圍的離子稍微向內靠攏，產生一個局部的「高正電荷區」。在第一個電子飛過後，這個變形的晶格（在量子力學中稱為聲子交互作用）還沒來得及復原，就會吸引另一個電子。



圖三、Robert-Schrieffer (左邊)、John-Bardeen (中間)與Leon-Cooper (右邊)

### 3. 玻色-愛因斯坦凝聚與相干性

單個電子是費米子，但由兩個電子組成的「庫柏對」，其整體的自旋變成了整數，表現出玻色子（Boson）的特性。這是一個決定性的轉變。玻色子不受不相容原理限制，當溫度夠低時，數以萬億計的庫柏對會集體塌縮到能量最低的量子基態，形成一種名為「玻色-愛因斯坦凝聚」的狀態。

在這種狀態下，所有的庫柏對共享同一個「宏觀波函數」。這就像是舞池中原本混亂的舞者，突然變成了一支動作完全同步的軍儀隊。當其中一個電子遇到雜質時，它不再像單獨行動時那樣容易被撞散，因為任何改變都必須涉及整體的量子態變化。除非給予足夠強的能量來打破「能隙（Energy Gap）」，否則這群「集體

舞者」將毫無阻礙地流過導體。

這正是超導的真諦：微觀上的量子相干性，演變成宏觀尺度下的無損電流

## 尋找室溫下的「聖杯」——材料革命與未來應用

### 1. 第一類與第二類超導體：韌性的差異

早期發現的超導體（如鉛、錫等純金屬）大多屬於第一類超導體。它們雖然能零電阻，但對磁場極度敏感，只要外加磁場稍微增強，超導態就會崩潰。這限制了它們在製造強磁場裝置上的潛力。

隨後，科學家發現了第二類超導體（多為合金或陶瓷）。這類材料在面對強磁場時展現出極強的「韌性」。它們允許部分磁力線以「磁通渦旋（Vortex）」的形式穿透材料，形成一個超導與正常態並存的混合態。這使得第二類超導體能在極高的磁場環境下（幾十個特斯拉）依然保持超導性，成為現代高精尖磁鐵設備的基石。

### 2. 高溫超導革命：打破液氮的桎梏

在1986年之前，科學家普遍認為超導溫度很難超過30 K。然而，貝德諾爾茨（Bednorz）與繆勒（Müller）在銅氧化物陶瓷材料中發現了超導跡象，隨後科學界迅速將臨界溫度 $T_c$ 提升到了90 K以上。這被稱為「高溫超導」革命。這裡的「高溫」雖然相對於日常生活仍極其寒冷，但它跨越了一個關鍵的物理邊界——液氮沸點（77K）。相比於稀有且昂貴的液氦，液氮的成本比牛奶還便宜。這一突破讓超導技術從極端實驗室走向了工業應用。

### 3. 未來科技的核心引擎

超導技術的普及將徹底重塑人類文明的基礎建設：

- 無損電力傳輸：目前的電網在傳輸過程中約有5%至10%的能量轉化為廢熱。若能全面採用超導電纜，我們將擁有近乎100%效率的智慧電網。

- 量子運算與感知：超導約瑟夫森界面是目前量子電腦（如Google的Sycamore處理器）最核心的位元技術，利用其極佳的相干性進行超高速運算。
- 磁浮運輸：利用超導體的強磁場排斥力，磁浮列車能以時速超過600公里滑行，且無需接觸軌道，大幅降低能耗與噪音。
- 核融合（人造太陽）：核融合反應需要強大的磁場來約束上億度的高溫電漿。目前最先進的實驗堆（如ITER）正依賴超導磁鐵來實現人類終極的乾淨能源夢。

### **結語：室溫超導的終極追尋**

儘管我們已經在極高壓環境下（如富氫材料）觀察到了接近室溫的超導現象，但如何在常壓下實現「室溫超導」，依然是物理學界最耀眼的「聖杯」。這不僅是一個科學課題，更是一場關於能源、通訊與材料的全面革命。當人類最終掌握了室溫超導的密碼，我們的文明將從「電子時代」正式跨入全新的「量子應用時代」。

# 看不見的世界，改寫科技的規則： 量子力學與量子元件的革命

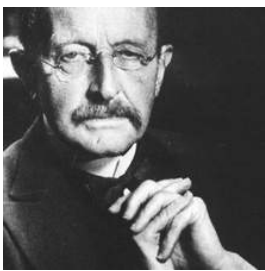
文/余宸毅

## 從「確定」到「機率」的奇幻轉彎

如果我告訴你，一顆電子可以同時在兩個地方；一束光有時是波、有時是粒子；甚至兩個粒子即使遠隔千里，也能瞬間互相影響——你會覺得這像科幻小說嗎？

二十世紀初，物理學家正面臨一場前所未有的危機。牛頓力學與馬克士威電磁學幾乎解釋了所有宏觀世界的現象，卻在微觀世界頻頻失手。黑體輻射、光電效應、原子光譜……，這些實驗結果像一道道裂縫，逼迫科學家承認：自然界的最深層規則，與我們熟悉的直覺完全不同。

1900年，Max Planck提出能量不是連續的，而是一份一份的「量子」；1905年，Albert Einstein用光量子解釋光電效應；1926年，Erwin Schrödinger寫下描述波函數演化的方程式。量子力學於是誕生。



Max Planck



Erwin Schrödinger

這是一套徹底顛覆「確定性」的理論。在經典物理中，只要知道物體的初始位置與速度，就能預測未來；但在量子世界裡，我們只能計算「機率」。電子不再是一顆明確的小球，而是一個「波函數」——一種描述它出現機率的數學物件。當我們進行測量時，這個機率雲才會「塌縮」成一個具體結果。

這種從確定到機率的轉變，就像把原本清晰的地圖，換成一張只標示機率分布

的氣象圖。你不再問「它在哪裡？」，而是問「它出現在哪裡的機率最大？」

## 疊加與糾纏：量子世界的超能力

量子力學最令人驚嘆的特性，是「疊加」。想像一枚硬幣，在經典世界裡不是正面就是反面；但在量子世界裡，它可以同時處於「正面與反面」的組合狀態。這不是我們不知道結果，而是它在測量前真的同時存在於兩種可能之中。

更不可思議的是「量子糾纏」。當兩個粒子產生關聯後，不論相距多遠，只要測量其中一個，另一個的狀態便立即確定。Albert Einstein曾稱這種現象為「幽靈般的遠距作用」，因為它挑戰了我們對因果與距離的理解。

然而，實驗一次又一次證實：這不是理論幻想，而是自然界的真實規則。疊加與糾纏，正是量子科技的核心資源。

## 當量子規則遇上工程：量子元件的誕生

你或許會問：這些抽象的數學與哲學辯論，和我們手中的科技有什麼關係？答案是——一切。

今日的半導體晶片，本質上已經深深依賴量子力學。電子在矽中的能隙結構、穿隧效應、能帶理論，全都源自量子理論。當電晶體尺寸縮小到奈米尺度時，電子甚至會「穿牆而過」，這種量子穿隧效應成為工程師不得不面對的現實。

但科學家並不滿足於「被動承受」量子效應，而是開始思考：能不能主動利用量子規則，打造全新的元件？於是，量子元件誕生了。

## 量子位元：從 0 與 1 到無限可能

傳統電腦的基本單位是 bit，只能是 0 或 1；量子電腦的基本單位是 qubit（量子位元），它可以同時處於 0 與 1 的疊加。

當多個 qubit 產生糾纏時，整個系統的狀態空間呈指數成長。這意味著某些問題，例如質因數分解或大型資料搜尋，可能在量子電腦上以遠超傳統電腦的效率完成。

目前主流的量子元件路線包括：

- 超導量子位元（利用低溫超導電路形成兩能階系統）
- 離子阱量子位元（用雷射操控單顆帶電原子）
- 量子點量子位元（將電子困在奈米尺度的勢阱中）

這些元件本質上都在做同一件事：**把一個微觀量子系統，隔離、控制、測量**

在這裡，工程與物理緊密交織。稍微的雜訊、溫度震動或電磁干擾，都會讓脆弱的量子疊加態崩潰——這種現象稱為「退相干」。因此，量子元件往往需要極低溫環境與精密的微波或雷射控制系統。



google的量子電腦

## 量子感測與量子通訊：超越極限的應用

量子科技不只屬於電腦。在量子感測中，利用量子疊加對環境的高度敏感性，可以測量極微弱的磁場或重力變化；在量子通

訊中，利用糾纏與量子不可複製原理，可以建立理論上無法被竊聽的加密通道。量子元件就像是通往微觀宇宙的精確探針，它們讓我們不僅觀察自然規律，更直接操控它。

## 工程的荊棘之路：從實驗室到晶片

然而，量子科技仍處於早期階段。量子位元數量有限、錯誤率高、退相干時間短，都是巨大挑戰。為了讓量子電腦真正實用，必須發展量子糾錯技術，需要數百甚至數千個實體 qubit 才能穩定一個邏輯 qubit。

這條路，並不平坦。但歷史告訴我們，每一次物理理論的突破，最終都會改變人類文明。電磁學帶來電力革命，量子力學帶來半導體與雷射，而今天，我們正站在第二次量子革命的門口。

## 結語：在機率的宇宙中雕刻未來

量子力學告訴我們，世界的底層不是確定，而是機率；不是單一答案，而是可能性的疊加。量子元件則證明，人類已經能在這樣的規則下進行工程設計，把看似抽象的波函數，轉化為實際運算與通訊技術。

從黑體輻射的謎團，到實驗室裡低溫運作的量子晶片，這條路跨越了一個世紀。它不只是科學史的一頁，而是一場仍在進行中的革命。當經典科技逐漸逼近極限，量子世界為我們打開了一扇新的門。門後的風景或許陌生、充滿不確定，但正因如此，它才值得探索。在這個機率主宰的微觀宇宙裡，新一代的科學家與工程師，正試圖把不確定轉化為力量，把疊加變成計算，把糾纏變成連結。

也許未來某一天，我們回顧這個時代，會發現——

人類真正跨入量子時代的起點，正是在這場看不見的革命之中。

# 教授專訪

電物系

陳振芳 教授

陳衛國 教授

蕭翌登 助理教授

物理所

曾奕 助理教授

教授專訪：陳振芳

## 從荒涼交大到三十年講台歲月：陳振芳教授 「WE DO IT EVERYDAY」的電子學傳奇

---

### 教授初到交大的記憶

教授回憶當年他第一次到新竹，是搭著火車、帶著棉被報到。當年的新竹非常荒涼，晚上幾乎一片漆黑。當時的交大只有小小博愛校區，學生宿舍八個人一間，校內也沒有禮堂或電影院，放電影時得走到隔壁的省立商業學校借用場地，與現在的交大校園差異甚大。當時的科系也還非常少，電物系就是少數從創校初期就存在的科系。

電物系其實源自交大的電子研究所。交大早期是以電子研究所起家，後來才從中分設出電物系與電工系。在那個年代，兩系學生很多課程都是一起上課，也是住在同一棟宿舍，所以幾乎都相互認識，並不像現在學院分得那麼清楚。他當時雖然是電工系的學生，但對物理比較有興趣，所以幾乎都跑到電物系上課。

在學術發展上，電物系其實走得非常早。當時全臺灣還沒有多少人真正了解「半導體」是什麼，電物系已經開始設立半導體的教學與實驗課程，是國內最早投入這個領域的單位之一。當時電物系的必修課程與現今相差不大，教授分享，當時電磁學由系主任黃廣志教授講授，黃老師與學生合作完成臺灣第一部雷射。光學課程由張一蕃教授負責；普通物理則由韓建珊教授授課。至於後來擔任院長的褚德三教授，其量子物理課程在當年也相當有名。這些老師不只是學術能力強，教學也非常認真、投入。



陳振芳教授

談到電物系的特色，教授反覆提到「向心力」。他擔任系主任時，又感受更強烈的凝聚力，系友們對系上非常照顧，持續回饋與支持。他認為，這樣的文化來源，是因為早期老師們教書非常認真，也很有熱忱，用心教學所累積下來的結果。

## 大學時期的純樸生活與「必做之事」

當被問到大學或研究所是否有什麼「必做之事」時，教授認為，除了踢足球這項不可或缺的娛樂外，其實沒有什麼非做不可的事，一切都是順其自然。當時的生活非常單純，每個班級會推派一位伙委跟著學校去買菜，全校每天吃的都是一模一樣的四道菜。對當時的學生來說，最快樂的時光莫過於每個月一次的加菜——每人可以分到半隻雞。只要到了那一天，大家總會大排長龍，享受著這份單純的快樂。

## 大學時期的課外活動：足球與跨校聯誼

教授回憶起大學時期的課外活動，表示當時幾乎沒有什麼其他的休閒娛樂，每天下午最大的重心就是踢足球。他當時不僅參加了足球社，還擔任班級球隊的隊長。當年他們班隊的實力非常堅強，甚至曾經以班隊的陣容，擊敗了其他科系的系隊。不過，教授笑著說，

現在年紀大了跑不動，考量到安全性，已經不再踢球了。

在社交活動方面，由於當時交大的女學生較少，男生們經常會主動寫信給臺北或其他學校女生較多的科系，邀請對方一起舉辦郊遊聯誼。教授提到，當年交大的名聲很好，給人的印象也不錯，所以只要寫信過去，通常都能成功約到其他學校的女學生一起出遊。尤其是在剛考上大學的那段期間，大家擁有了許多開心的跨校聯誼經驗。

當被問到出遊時是否會玩大學生經典的抽機車鑰匙聯誼遊戲時，教授表示那個年代學生們根本沒有機車，頂多只有腳踏車。因此，他們出遊的交通方式非常純樸，通常都是走路去搭公車或火車，完全沒有機車聯誼。

## 大學或研究所期間最喜歡的課程

其實教授從高中時便非常喜歡物理。大學期間，普通物理也學得非常好，也特別喜歡著重在應用面的物理，像是電磁學有著看得見、摸得著的感覺。相較之下，他認為自己在理論物理，尤其量子力學方面，學得沒有那麼好。

教授分享在大學期間最喜歡的科目，是黃廣志老師的電磁學。黃老師上課從不帶講義，直接在黑板上流暢地推導公式，當時的佩服與震撼深深影響著教授。教授甚至買了各個學校的電磁學教科書，把習題一題一題做完，整個暑假都在鑽研電磁學。教授笑著說：「我那時候對電磁學非常有興趣，對電子學非常沒興趣，人生就是這麼奇怪。」

回顧大學時期，因為對物理有濃厚興趣，他常到電物系修課。他認為電子物理系非常適合自己。「那時候我也不知道電子物理系是做什麼的，但是就會覺得電子物理系雖然是個物理的系，可是它又有個電子兩個字，比較強調應用，這是很特別的一個系」世界上其實很少有電子物理系這樣的科系，既強調物理基礎，又重視應用，這種特質正好切中他的心之所向。

## 教授當時的專題與研究方向

當時交大的半導體研究剛起步，大家大多是跟著實驗室的方向進行半導體實驗。當年帶著教授做半導體實驗的師兄，就是後來的吳重雨校長。

大學時期的專題，需要親手做出一顆MOS，從手工對準、照相、沖洗到量測，全都要自己完成。那時的機器還不好操作，常常對不準，洗出來的元件一量總是有問題。教授印象非常深刻，有一年過年前一天，他還守在實驗室想把MOS對準並完成量測。當時吳重雨老師走進實驗室拜託他回家，但教授仍然回答：「不行，我一定要把它對到，我一定要做出來！」可以深刻感受到他對研究的熱忱。

研究生時期，跟著交大半導體中心開始做太陽電池。當時正值全球能源危機，許多人都開始投入太陽電池的研究領域，因此教授也順理成章跟著研究這個主題。那時實驗室只有一間，但使用的人數非常多，因此都需要排班白天、晚上，大家輪流使用。教授天天都是晚上進去，做到清晨太陽升起，才走回宿舍。

後來到美國貝爾實驗室，跟著MBE (Molecular Beam Epitaxy)的發明人卓以和教授做長晶。長晶工作非常辛苦，美國人大多不願意做，因此實驗室裡幾乎都是東方人負責。回到臺灣後，也是繼續長晶，長晶長完之後就量測。

回顧這一路，教授發覺研究材料或許改變了一些，但其他部分其實差不多。過程中，教授沒刻意選擇究竟要做什麼方向，反而是一路上將眼前的東西做好，順其自然，沒有想太多。

## 選擇就讀電子所及去美國紐約州讀博士的原因

當時台灣還沒有高科技產業，大學畢業後大致只有兩條路：一半的人出國，另一半留在國內考研究所。那時交大電子所是「天字第一號研究所」，因此留在國內的學生幾乎自然而然地都會選擇報考電子所。若選擇直接就業，能進入的多半是傳統產業，如中鋼、台塑，或是剛起步的工研院與中科院。教授當時的選擇是先考研究所、當兵，之後到工專教書，再前往美國讀博士班。

當時交大電子所真的非常厲害，像是施敏老師，對於半導體有著非常深入理解。施敏老師在貝爾實驗室期間所撰寫的半導體教材，被廣泛翻譯與採用，成為各個國家重要的教科書。那個年代，施敏老師常回到交大，並帶著張俊彥校長與陳龍英教授等學生，一步一步把交大與台灣的半導體帶起來。

談到為何選擇到美國讀博士，教授表示，其實當時主要是先篩選哪些學校提供獎學金，再試著申請，算是比較隨緣，沒有特別鎖定哪一所學校。當時美國的學費與生活費都非常高，但幸好獎學金相當優渥，不僅學費全免，扣除房租後還能剩下不少生活費，有時甚至可以去超市買龍蝦。教授回憶，那時真的覺得美國像天堂一樣，生活條件相當不錯。

至於為何在工專教書後，還選擇出國攻讀博士，而不是繼續工作？教授回答，當時去工專教書其實是為了存出國的旅費，而出國念博士，也是因為碩士已經在交大念完了，自然而然就這麼走，同學們的選擇也大多如此，似乎沒有太多其他的路可以走。此外，對教授而言，念書也不是太大的問題，因此就這樣念念念，一次把學位完成。

## 留學美國的趣事：水牛城的釣魚時光

漫長的博士生涯中難免會遇到小挫折，但現在回頭看，那都不算什麼大事。教授笑著回憶起在美國水牛城 (Buffalo) 讀書時最有趣的休閒活動——釣魚。水牛城有一座大到看不見對岸的湖，有趣的是，當地美國人幾乎不釣魚，只有他們這群華人學生會在晚上跑去湖邊垂釣。因為平時沒人釣，湖裡的魚非常容易上鉤，有時拋出兩三個餌，一口氣就能拉起三、四條魚。由於每次都能滿載而歸，冰箱根本塞不下，大家只好把吃不完的魚肉炒乾，做成一罐罐的魚鬆。白天認真上課，晚上開心釣魚，成了教授留學時期一段非常歡樂且難忘的回憶。

## 最懷念的時光：美國公路上的愜意漫遊

生命中各個階段，教授認為每個時期都有值得珍藏的回憶。但若真要選出一段最懷念的時

光，那絕對是在美國開車漫遊的日子。教授回憶起當年住在樹林環繞、風景優美的紐澤西州。假日閒暇時，他常會一路開上兩三個小時的車，前往費城等周邊地區，或是造訪印地安人部落、南北戰爭的歷史公園與美麗的花園。美國的公路遼闊，沿途盡是田野風光，且一路上幾乎沒什麼車，開起車來非常舒服愜意。這與臺灣每逢過年回臺南老家時，總要在高速公路上塞車一整天的焦躁感截然不同。當年那種在曠野中無拘無束、放鬆馳騁的舒適感，至今仍是教授心中最懷念的記憶。

## 選擇回母校任教

談到為何選擇回台灣當老師，而不是往業界發展，教授表示，其實自己很早就立下了教書的志向。當年黃廣志老師在台上的教學風采深深吸引了他，讓他十分嚮往。而在美國求學、工作一段時間後，面臨孩子即將上小學的關鍵時機，他深知一旦孩子在美國開始念小學，全家大概就不會回台灣了。因此，他毅然決然選擇回台，而交大電物系自然成了他的第一志願。他自認或許不適合在商場做生意，教書才是最適合自己的道路。

時光飛逝，教授在交大一教就是三十幾年。這三十多年來，他將「DO IT EVERYDAY」的精神徹底落實在教學日常中。教授分享了他獨特的備課習慣，每天拿出一張空白的紙，不看課本、也不看任何筆記，直接憑藉大腦從頭開始推導公式。

他一坐下來往往就是一整天，順著邏輯一路推演。正因為不依賴現成的教材與筆記，他的思緒不會受到侷限，每一次的推導都能注入新的靈感，甚至有時會得出連自己都意想不到的新觀點。這份日復一日、三十年如一日在白紙上演算的堅持，不僅是對教學的負責，更是他對學問的熱愛。

## 無心插柳的教學生涯

碩班畢業後，教授先在亞東工專教了兩年書。雖然他最有興趣的是電磁學，但當時電子科沒有人教電子學，因此他把以前的電子學課本重新拿出來準備，承擔起教學任務。在專科學校上課時，他一個禮拜要教五個班，外加夜間部三個班與暑修，每天不斷重複講授相同內容。這種高強度的訓練，讓他練就了「連睡覺都可以背出電子學」的功力。從美國回來後，教授回到電物系任教，而電子學一教就是三、四十年，這是非常特殊的情況。一般來說課程會由教授們輪著上，三四年就會換一次，但當時系上也沒有其他老師接電子學，因此他便一直教下去。雖然中途也有開設過其他課程，但只有電子學沒有中斷過。

教授認為，是電物系造就了他。「這裡給了我一個非常自由的環境，系上從不干涉我怎麼上課、要上幾個學期，或是我現在上英文版也可以，中文版也可以，真的是允許我怎麼做都可以。」正因為系上對教授的高度信任，讓教授在這三、四十年間，可以不斷地在講台上累積出深厚的教學功力。

「你們相不相信？我到現在還是覺得電子學很難。」教授說，如果課前沒有準備好，一站上黑板就可能導錯公式、算錯，甚至卡住。因此直到現在，他每天仍會拿起紙筆，把電子學內容從頭推導一遍。他也認為大學裡沒有一科是簡單的，像是電磁學有那麼多公式，量子力學、固態物理更不用說，通通都很難。而我們現在讀的課本，在幾十年前

其實都是科學家們發表的論文，只是因為時間久了，被整理成了教材，所以不要期待可以一聽就懂，真的不是那麼容易。

## 教學的最高境界：把困難的知識變簡單

面對許多學生稱讚他的電子學教得極好，教授謙虛地表示，他只是努力把東西講得簡單一點。然而，他強調「要簡單其實是最不簡單的」。教授認為，如果面對複雜的觀念，導了一大堆公式卻無法用幾句話點出核心結論，就代表沒有真正理解。為了讓學生聽懂，他常常花費許多年反覆思索，才終於頓悟出最淺顯易懂的切入點。他甚至打趣地說，大學教授都應該去教教高中生，因為唯有懂得如何把深奧的知識簡化，回到大學教書時，才能真正教得好。

當被問是否受過特別的教學訓練或技巧時，教授坦言自己沒有什麼獨特的教學法，一路走來靠的都是慢慢摸索。面對現代五花八門的數位教學工具，他依然堅持最古板的板書。教授笑稱這是最笨的方法，但他認為，透過親手在黑板上一步步推導公式，不僅能幫助學生釐清脈絡，連他自己也能從中獲得更深的體悟與學習。要把複雜的觀念講得簡單，背後其實需要付出極大的心力，而這套看似守舊的教學方式，正是他練就紮實功夫的關鍵。

教書三十幾年，如何保持不滅的熱忱？教授的秘訣在於擁抱挑戰。他直言，如果只是每年照著同一本筆記本照本宣科，他大概早就覺得索然無味了。正因為他上課從不看課本與筆記，每一次的推導都在腦中重新激盪，這讓他每一年都會長出新的東西。即使是同一門課，不同屆的學生聽到的內容、甚至與他早期錄製的OCW影片相比，都有很大的差異。這種時時刻刻充滿新鮮感與挑戰性的教學模式，讓他樂在其中，永遠不覺得無聊。

這些年來，教授錄製了數不清的教學影片。他一直有個心願，希望能趁著退休後，把這些累積多年的心血好好整理起來，打造成一個屬於自己的小博物館。然而，因為選擇了延後退休，他現在課上得更多，生活依舊非常忙碌。對於這個整理影片的心願，教授說，也許得等完全退休後才有時間實踐，但也搞不好到時候又要繼續上課。總之，他抱持著順其自然的心態，有時間就慢慢做。

## 教授面對挫折的態度：WE DO IT EVERYDAY

回首從大學到攻讀博士的漫長過程，許多人或許覺得辛苦，但教授坦言自己一點都不覺得苦。他的秘訣很簡單：專注於當下，並且做自己喜歡的事。教授分享了一段深刻的往事，當年他未來的老闆（貝爾實驗室のMBE發明人）以諮詢委員的身分來到紐約大學演講，分享了許多極為先進且複雜的長晶技術。當時台下一位交大電物系的學長忍不住發問：「做這些東西一定非常非常困難吧？」沒想到，這位頂尖學者只淡淡地回了一句：「WE DO IT EVERYDAY.（我們每天都在做。）」這句話深深震撼了教授。後來他進入貝爾實驗室，才真正體會到這句話的份量。長晶的過程極度考驗耐心，但只要每天持續不斷地實作，再困難的技術最終都能迎刃而解。教授以此勉勵大家，找到自己真正喜歡、高興去做且能賴以為生的目標，然後每天去做，過程就不會覺得累，最終一定能嚐到甜美的果實。

## 平常的休閒興趣因眼部韌帶斷裂暫停

談到平常的休閒興趣，教授表示從回到台灣任教這三十幾年來，他一直保持著游泳的習慣，從未間斷。他回憶起早年交大還沒有室內溫水游泳池時，即便是寒流來襲，學校的室外泳池依然會為了他們幾位常客開放。那時候，他每天清晨六點就會準時報到，毫不猶豫地跳入冰冷的池水中。不過教授也笑說，自從有了室內泳池後，現在反而不敢再嘗試那種冰水挑戰了。

然而，這項持續數十年的游泳，卻在去年因為一場突如其來的眼疾而被迫暫停。教授先前曾動過白內障手術並植入人工水晶體，他推測，可能是因為游泳時蛙鏡總是戴得太緊，長期壓迫眼部，導致眼部韌帶斷裂，人工水晶體也隨之掉落。這種情況的發生機率極低，甚至在網路上都查不到相關的討論案例，但它就是發生了。

為了治療，教授必須先動手術取出人工水晶體，休養一兩個月後將韌帶縫合，最後再重新植入水晶體。在那個暑假期間，他只能暫時依靠單眼視力生活，所幸外觀上看不出異狀。教授慶幸地說，現在視力已經慢慢復原，很幸運還能透過手術解決這個難題。經歷了這次意外，他目前暫時不敢再去游泳，休閒活動便改成了走路。教授豁達地表示，年紀大了，多走路其實也是一項非常好的運動。

## 退休生活：含飴弄孫

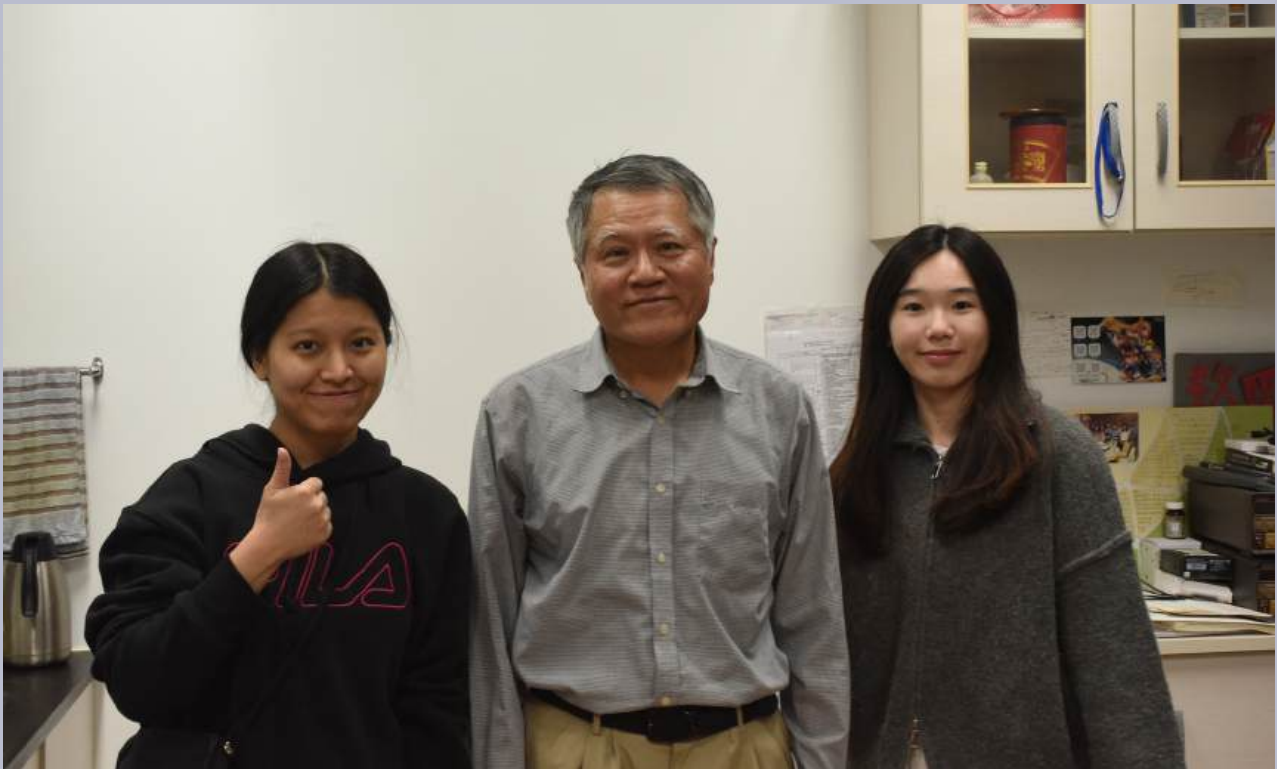
談到退休後有沒有特別想做的事，教授說目前的重心就是帶孫子，每天親自接送孫子放學也是他的日常樂趣。至於出國旅遊，教授坦言自己對跑遍全世界已經沒有太多嚮往，覺得看多也就膩了。現在的他，更享受和太太一起尋訪臺灣的老街與傳統小吃。每個禮拜天，夫妻倆一定會安排一趟小旅行，而他們最常搭車去的地方就是臺北。教授特別喜歡臺北的豐富，他們常去西門町、迪化街「看人」，也幾乎逛遍了臺北市大大小小的傳統市場。相較於新竹，或是捷運路線較少、必須轉乘公車的臺中，教授認為臺北雖然不大，但隨意走走、吃點小吃、看看人群，就非常有趣味了。

## 給電物系學弟妹的勉勵：專注當下，老天自有指引

在訪談的最後，教授特別向電物系的學弟妹們喊話。他感性他表示，能夠進入電物系這個極具凝聚力又特別的系所，是一件非常幸運的事。未來畢業進入社會後，大家一定會深刻感受到到處都是學長姐的強大資源與照顧。因此，他期許學弟妹們能好好珍惜在這裡的時光。

對於年輕學子常有的未來迷惘，教授給出了最真摯的建議：「不要想太多，只要把當下該做的事情好好做好就好。」回首自己三、四十年的經歷，教授分享了他的體悟：人生中彷彿總有一隻無形的手在指引著方向。他不曾刻意強求或精算未來的每一步，但只要專注於眼前的事物，當時間一到、需要做決定的時刻來臨時，老天自然會為你指引出一條路。

他相信每個人都會有屬於自己的道路，完全不需要過度焦慮或擔心自己做不好。呼應著他一直強調的「WE DO IT EVERYDAY」，只要每天堅持實踐，任何事都能做得很好。最後，教授期勉學生們要大膽一點，將眼光放長遠，不要將自己侷限在臺灣這個小地方，只要穩紮穩打地做好當下的每一件事，未來一定會有一條寬廣的路等著大家。



## 小編的話

黃育婷：

這次很榮幸採訪陳振芳教授，我一直很欣賞老師教電子學時認真的模樣。教授分享他只是努力把東西變簡單，但背後卻是三十年如一日、不看講義純靠板書推導的深厚功力。採訪中老師帶我們重溫交大純樸歲月，也分享他的人生哲學：「We do it everyday」。無論面對研究或迷惘，只要專注當下持續實踐，時間到了，老天自會指引方向。希望這篇專訪能帶給大家溫暖的力量，也歡迎大家追劇（看振芳老師的OCW）！

林筱晴：

超級開心可以採訪陳振芳教授，一直覺得教授上課時非常有感染力!!!採訪的過程中，終於了解教授如何一直保持著教學熱忱：即便每天重複做一樣的事情，也從來不覺得辛苦，反而很享受每次的創新與挑戰。

此外，回顧教授的求學或研究經歷，一直扣合著順其自然的精神，教授總結自己的經驗並且想對同學說：對於未來不需過度焦慮，但前提是努力將眼前的事物做好，並享受當下。看完教授的採訪內容，感覺可以給尚未確定志向的同學們一些的鼓勵，也可以知道許多關於教授有趣的小故事。

教授專訪：陳衛國

## 在機緣與選擇之間：陳衛國教授的人生與學習之道

---

**在當學生時(大學前)，是如何發覺自己的興趣和志向的呢？**

如果要談學生時期如何發覺自己的興趣與志向，必須先回到教授的成長的背景。

教授成長於新北市瑞芳水滴洞，位在雞籠山山腳下，鄰近陰陽海與黃金瀑布。那是一個風景壯麗卻資源有限的小鎮。家庭經濟條件並不寬裕，父母教育程度也有限——一位高中肄業，一位未完成小學學業。在這樣的環境中，學習過程裡缺乏可以請教與討論的對象。一個鄉下貧窮的孩子，唯一能做的事，就是儘量玩樂，所以有個非常快樂的童年，直至小五才痛下讀書，畢業排名列居全校前三。

教授曾在化學科目上表現優異，成績幾乎接近滿分。然而，即便如此，始終無法對化學產生真正的熱情。對他而言，一門學科若無法理解其背後清晰而完整的理絡，即使成績再好，也難以成為長期投入的志向。

另一方面，教授也很早便排除了成為教師的可能。小學時期，他並未真正理解學習的意義，多半在玩樂中度過。對教育本身缺乏嚮往與想像。直到後來逐漸意識到知識的重要性，那已是成長過程中的另一個階段。至於物理，在高中時期算是跟得上的科目，談不上特別突出。當時的他自信心



並不充足，也未完全理解物理在更宏觀層面上的價值。然而，他對自己的程度大致有清楚的評估——每次考試結束後，成績大致落在自己預期的區間之內。那種對自我位置的冷靜判斷，成為教授後來持續前行的重要基礎。

### **一開始怎麼會選擇電物系？(動機想法或其他事由)**

談到後來為何選擇電子物理系，教授始終認為，那是一種機緣。

那個年代還是大學聯考制度，志願排序大致可以參照前一年的錄取分數作為依據。填志願時，教授首先排除了師範體系，也排除了化工與化學。接著，只能在自己可能錄取的科系之間反覆思考。那段時間內心掙扎許久。其實教授對畫畫一直有興趣，因此曾認真考慮過成功大學建築系，但同時交通大學電子物理系也在選項之中。兩條道路之間，教授談不上遠大抱負，對於出身窮困的自己，並無太多的想像空間，最後選擇與電子物理系結緣。

當時台灣的產業環境與今日大不相同，工作機會多半仍是區域性的，「國際化」這個概念尚未真正展開。雖然已有少數電子公司具備國際背景，但整體社會氛圍並不像現在這樣明確指向科技產業。因此，選擇並非建立在宏大的產業判斷上，而更像是一種順勢而為。在錄取交大電子物理系的那一刻，教授並未意識到，那會成為人生的重要轉折。

回頭看那個時代的教育制度，其實也能理解這個選擇背後更大的背景。當時教育部對大學科系的設置採取高度管制，由於學術與教育資源有限，政府教育資源分流。例如，若臺灣大學已有電機系，其他學校未必能再設立相同名稱的系所，所以在此框架下可以了解到，交大沒有設立所謂傳統意義上的電機系，但明白人就會知道交大所有都是電機系。這樣的政策，促使交通大學將電機領域首先成立了電子工程、電子物理創校兩系，隨之再成立控制工程、電信工程與計算機工程等數個獨立系所。表面上看似分散，實際上卻形成另一種策略性的資源配置，這是當時上海交通大學校友深思熟慮、嶄新思維的想法，主張以電子領域為核心發展方向，而非簡單複製既有體制，以「大電子電機」為發展主軸，這樣的設計，使交大在該領域的發展格外紮實。

直到後來接觸國外學術環境，教授才真正理解，Electrophysics 其實是電機工程領域中極為重要的一支。然而，在本土教育脈絡下，名稱與分類的界線限制了學生對學科定位的理解，也讓不少電物系學生困惑：「我們究竟在讀什麼？未來是否有用？」一直反覆詢問自己。若以前沿「AI科技」及「量子科技」而言，電物系正握有開啟兩扇門之金鑰，74級鄭鴻儒學長曾說，AI即物理。電物系學生既已進入寶山，豈可空手而回。

## 大學期間最喜歡(或最有印象)的課？有沒有哪一堂是給您極大啟發的呢？

回顧大學修課的過程，教授常說，若在求學期間能遇到兩三位真正啟發自己的老師，甚至四、五位，那已經是一種幸運。

電物系的課程並不輕鬆。許多時候，即使坐在教室裡專心聽講，也未必能完全理解老師想傳達的核心概念。那種感覺，就像被推土機一路向前推著走——課程不斷推進，但自己卻來不及消化，那是一種既努力卻又迷惘的狀態。

正因如此，教授始終心存感激，因為在那段學習歷程中，確實遇見幾位影響深遠的老師。第一位是韓建珊老師，面對抽象的數學理論，時感挫敗。直至韓老師上課，才第一次真正感受到數學不再只是公式與推導，而開始有清晰的脈絡與邏輯。那門課，成為教授大學階段第一次學涯之轉折。

第二位是褚德三教授。大家都知道他所教授的近代物理條理分明，架構清楚。聽他的課，幾乎是一種享受。褚教授總能將讓學生在知識之中找到方向。那種在學習中被引導、被理解的感覺，是教授至今學習最珍貴的時刻。

第三位是陳龍英教授。雖然身在電子物理系，若不真正理解電子學，總覺得缺了一塊核心。然而當時課程並非由專攻電子學的教師授課，加上交大本身屬於大電機體系，課程之間彼此交匯，使得不少同學轉而前往電子工程系旁聽陳龍英教授的課程。陳教授是電子學領域的第一把交椅，教學水準極高，講解精準而深入。

最後，是引領教授進入半導體世界的雷添福教授。雷教授口才並不華麗，但非常認真。他所開設的課程讓教授第一次真正接觸半導體領域，也為後來的研究方向埋下種子。回頭來看，這門課幾乎決定了教授此後的人生軌跡。而這幾位在不同階段為他打開視野的老師，也成為始終懷念與感激的引路人。

## 大學求學過程中有遇到什麼挫折嗎？您是如何克服的呢？

談起大學時期的挫折，教授並不避諱，甚至笑著說，那幾乎是「無盡的挫折」。最先面對的，是現實。在那個年代，家庭給他的訊息非常清楚——只能讀國立大學，不能讀私立，因為負擔不起。私立學校的學費對家庭而言是沉重壓力，選擇並不多。能夠考上交通大學，固然是一種肯定，但經濟困境並未因此消失。教授很早就理解家庭的處境，也明白自己必須分擔。有時必須兼差三、四份家教，甚至往返臺北，為一位臺北工專畢業的校友教授電子學。那段時間，對金錢的感受格外強烈，金錢幾乎比理想更具份量。讀書不再只是興趣，而是一種責任。

第二個挫折是來自課業。進入交大後，教授第一次清楚地意識到，原來有些人真的天資過人。有人似乎輕鬆就能名列前茅，而自己再怎麼努力，成績卻多半落在七十多分。當年的評分標準相當嚴格，八十幾分已屬頂尖。七十八分，並不差。當時課堂上沒有錄影設備，沒有數位講義，只能拼命抄筆記。老師在黑板前推導、講解，速度飛快。有人能一邊抄寫、一邊理解；自己卻往往抄完筆記，只聽懂了一半。回到宿舍翻閱，仍有大片空白。習題做到一半卡住，卻不知問題所在。特別是電磁學，電磁學給一般學生的看法就是一大堆數學，但黃廣志教授推導精準流暢，幾乎不看筆記即可完整寫下整堂課的數學架構，錯誤機會為零。當下他自認為聽得懂，也能跟上節奏。一旦進入光學與深入應用時，忽然發現，自己其實並未真正理解電磁學。他後來才意識到，自己當時理解的只是數學推導，卻未真正掌握電磁學背後的物理思絡。他並不清楚 Maxwell 等人在思考什麼，也不了解電磁理論在現今科學與科技發展中所產生的衝擊。當理論脫離歷史與思想脈絡，只剩公式時，那份理解其實是空洞的。那段時間，他一度萌生遠離電磁相關領域的念頭。

不過後來在美國求學，教授仍是不死心，選擇正面迎戰。主動擔任電磁學助教，從最基礎的觀念重新整理，反覆梳理架構，自覺那時對電磁學已能掌握八成以上，而那份踏實的理解，遠比分數更具重量。那是一種逼自己「真正理解」的過程。

人生何能順風順水，挫折必然存在。置身在電子物理系，充滿了問號與怎挫折。然而，真正走出交大校園之後才發現自己其實不差，甚或拔尖。電物系系友個個遭受身心煎熬洗禮，但回首過去，卻總能談笑風生，電子物理系給予的人生廣度，先天上就是跨域，所以電物人在「大電子電機領域」玩得風生水起，屢有佳績。

## 當初怎麼選擇專題或研究方向呢？

那個年代沒有所謂的專題，那時學術經費有限，整體教育資源相對緊縮，教授手中可運用的計畫並不充裕，學校條件也遠不如現在，因此學生幾乎沒有機會在大學階段投入系統性的研究。然而，教授也指出，如今的學生擁有更多資源與選擇，專題研究已成為大學階段的重要環節。在他看來，專題本身或許只是一次學習經驗，但「做專題的態度」卻可能深遠影響一個人往後的方向。

專題並不只是完成學分或履歷上的一項紀錄，而是一個關於選擇與承擔的過程。如何挑選「好老師」指導、如何瞭解專題本身之研究動機、如何主動學習、如何與學長合作，如何面對研究中的困難與挫敗——這些態度與決定，往往比最終成果更為重要。

聽到這段話時，小編其實滿有共鳴。我們總是焦慮專題做得夠不夠亮眼、成果能不能發表、履歷是否漂亮，卻很少回頭問自己：做專題時，我究竟學會了什麼？是學會解決問題，還是只是完成任務？或許專題真正珍貴的，不只是一次研究經驗，更是一種提前培養的訓練。它讓人開始思考問題的方式，學會安排進度、承擔責任，也在挫折中修正自己的態度。這些能力，無論未來是否繼續攻讀碩博士，或是走入職場，都會慢慢顯現價值。研究能力、解決問題的邏輯、與人合作的習慣，以及對細節的要求，其實都是在專題過程中一點一滴累積。也許專題真正的意義，不在於成果本身，而在於它悄悄為未來鋪下一種做事的方法與態度。

## 所以教授你在大學期間主要就是學科上讀書比較沒有進行研究之類的嗎？

在大學期間，教授雖然沒有機會投入正式研究，但他曾帶領國中學生到電子物理系參與活動。真正的學習不只存在於課堂與公式之中，而是在玩樂與互動之間自然發生。除此之外，參加系學會也是人生中一個重大轉折。由於來自貧困家庭，自認從小缺乏與人交流的機會，資源的匱乏讓他顯得木訥而內斂，也習慣把世界縮在自己的範圍裡。

進入系學會後，教授被系學會會長70級林志明(傑出交大校友)分派負責募款。出版系刊是電物系一項傳統，但所有經費必須自行籌措。沒有系主任的補助，沒有固定預算，唯一的辦法就是親自拜訪系友企業，說明用途、爭取支持。原本就不善言辭，這對當時青澀的他是極大的挑戰。教授回憶，當親往臺北拜訪系友公司時，往往在門口徘徊許久，方能鼓起勇氣敲門。然而，系友們皆出乎意料地熱情。他們耐心聆聽、慷慨支持，願意與學弟妹分享經驗。一次次的拜訪，不僅募得了經費，也慢慢打開了他原本封閉的世界。

## 系刊募款的歷練，改變了他看待事情的方式

當教授於民國79年回母系任教後，先與吳光雄系主任推動成立了「電子物理系系友會」。隨後，有感於電物系空間嚴重短缺，除科學一館與應數系共用外，還分散於校內多處空間。電物系歷經19年爭取始終未能獲興建系館的機會。教授開始思考，是否能將系刊募款的「敲門」再次落實，他和朱仲夏系主任於是萌生了一個念頭——如果能夠籌得一筆資金，再與校方溝通，推動系館的興建？那個看似天真的想法，竟在兩三年間實現。

教授後來笑稱，那或許是大學時期學到的「厚臉皮」的勇氣。但在更深層的意義上，那是一次關於突破的訓練。從不敢開口，到能夠為整個系所奔走；從缺乏自信，到願意為一個理想去說服他人。那段經驗不僅改變了他的口才，也改變了面對世界的姿態。

一個小小的機運，有時足以改變一生。參與系學會與募款的經歷，正是那樣的機緣。

## 為何會選擇出國而不是留在台灣攻讀研究所？

談到當年為何選擇出國，並不存在宏大理想或清晰藍圖。教授一再強調，自己只是個鄉下再平凡不過的孩子。甚至剛考上交通大學時，父母還誤以為他是去「指揮交通」。那個年代，「交通大學」四個字對許多人而言仍然陌生。

所以為什麼要出國？真正替他做出重大決定的，是小學程度的母親。家境並不寬裕，出國讀書原本幾乎是不可能的選項。對一個資源有限的家庭而言，出國意味著高昂的學費與生活費，也意味著承擔難以預測的風險。但在教授大四時，他母親逐漸意識到交大在研究上的活躍程度，認識電物系是一個非常傑出的學系，促使小學程度的母親認真思考是否該送孩子出國。為了支持此一決定，父親提早退休，以退休俸金資助赴美學費。那是一筆對家庭極為沈重的負擔，在當時甚至足以購置現今新板特區房產。這種選擇同時意味著不小的壓力，教授清楚知道，出國並非單純的個人規劃，而是整個家庭共同承擔的決定。

回顧那段經歷，教授仍然認為那更像是一種機緣，而非精心策畫、事先鋪陳的藍圖。當機會出現時，他選擇把握。機會本身並不罕見，真正困難的是是否認知那是一個天載難逢的機會，是否已有勇氣說出「自己準備好了」。因此，教授並不將自己的經歷包裝成勵志故事，而更傾向於視其為在時代條件與家庭背景交織下，一連串自然形成的選擇與回應。

## 剛到國外求學時，有沒有遇到文化、語言或學習方式上的衝擊？是如何適應的？

您認為國外與台灣在研究訓練或學術氛圍上，最大的差異是什麼？

從鄉下成長的背景，一下子進入美國校園，是當年幾乎無法想像的事情。教授赴美就讀的是紐約州立大學水牛城分校（UNIVERSITY AT BUFFALO）。水牛城以寒冷著稱，冬季積雪深厚，一夜之間積雪及門並不罕見。尚未出國時，腦中浮現的第一個問題並非學術，而是現實——自己是否能準時到教室上課。甚至在出國前特地詢問手錶是否能在嚴寒環境下正常運作。那種對細節的擔憂，反映的是對未知環境的忐忑與不安。抵達之後，語言成為第一個實質挑戰。教授自認語文能力並非強項，求學過程中，語言基礎並不特別突出，雖然能跟得上課程，卻缺乏靈活運用的自信。面對全英語授課的環境，最初確實感到吃力。大約經過一個學期的埋頭苦讀，逐漸找到方法——依靠大量筆記，緊扣講義內容，將聽力與閱讀結合，慢慢建立理解的節奏。

飲食則是另一種直接的衝擊。臺灣與美國的飲食文化差異極大。初到美國時，唯一能接受的只有披薩，吃著吃著還愛上了，回台灣後再也沒有吃過向像美國一樣好吃的披薩。牛奶在當地則價格低廉，所以常常買來喝，身體卻花了數週時間才逐漸適應。經濟條件有限，不得不選擇價格低廉的19C、29C漢堡或披薩作為主要餐食。那是生活現實。

教授就讀的校區位於AMHERST，UB主要的校區在MAIN CAMPUS，主要校區在市區，因為擴充所以理工學院多集中相對安靜的郊區環境。因為校園遼闊，教授的生活範圍大多圍繞校園與校內商店，文化衝擊並非無所不在，但仍存在差異。他注意到，美國學生喜歡在陽光下活動，與臺灣普遍避曬的習慣形成對比。這些細微的生活差異，逐漸構成對文化的觀察。

氣候則是更實際的考驗。校方提醒學生，在極端寒冷的戶外停留過久可能帶來危險，必要時應主動尋求協助。這樣的安全教育讓他逐漸意識到，在異鄉生活，信任他人與尋求幫助同樣重要。那是一種文化上的學習——在陌生環境中學會依靠規範與制度。

赴美的經歷對教授來說是一場持續的適應。從語言到飲食，從氣候到生活節奏，每一項都需要時間磨合。那並不是戲劇性的轉變，而是日復一日的調整與理解。正是在這些看似瑣碎的適應之中，他慢慢建立起在異地生活與學習的能力。

## 能不能與我們聊聊您在美國的研究歷程以及主要的研究方法和學習到的技能？

談及在美國的研究經驗，教授形容自己始終帶著隨緣的心態。但這並非缺乏目標，而是必須既有條件下順勢而行。與臺灣當時較常由指導教授直接指定題目的模式不同，當下的研究環境強調學生自主。無論是碩士或博士階段，題目多半需要自行構思與提出。這樣的制度差異，成為最直接的挑戰。在攻讀博士期間，他選擇的指導教授劉保羅教授來自 BELL LABS。那個年代，BELL LABS 被公認為全球最具影響力的研究機構之一。正因了解其學術份量與研究傳統，決定跟隨老師繼續深造。指導教授善于模擬，研究方向為當時逐漸興起的光纖通訊光元件模擬。然而，教授選擇的路卻是實驗—實作與製程光電元件，他希望是把元件真正做出來。這意味著，必須自行補足許多實驗與製程的能力。

他所投入的主題是 MOCVD（有機金屬氣相磊晶），是當時最先進嶄新的薄膜磊晶技術。那時正是光纖通訊快速發展的年代，光電整合電路（OEIC）成為熱門方向。目前 AI 算力所需的「矽光子」，也可追溯至當時的技術脈絡。儘管名詞演變，教授始終站在光電整合技術的前沿。然而，這條路並不輕鬆。

MOCVD 涉及劇毒氣體，濃度即使僅達 PPB 等級也可能對人體造成傷害。實驗室剛成立，教授是第一批學生，從零開始建立實驗室。從購置桌椅，到修繕水管，再到組裝 MOCVD 的整套超高潔淨度管線系統，皆與同儕(70級陳志佳)親手完成。那是一段極為紮實的歷練。正是在那個過程中，第一次真正感受到動手的力量。當設備運轉、半導體成功成長時，那份喜悅帶來極大的信心——原來兩個臭皮匠可以從無到有，把複雜的事情完成。

除此之外，在博士期間，指導教授希望他為雷射元件設計極高精度的溫度控制系統，控制精度必須達到  $10^{-6}$  等級。任何微小漂移，都可能影響共振腔模式與雷射波長穩定性。那是一項對溫度控制極高的任務。那段時間幾乎被精度問題困擾到極致，但也正因如此，學習了在極端條件下解決問題的能力。

MOCVD 的研究也迫使他重新面對過去刻意避開的領域——化學。高中時期，曾排斥化學。然而，製程技術離不開先驅物反應與化學機制。教授不得不重新學習、重新請教。為了理解成長機制，大量閱讀期刊文獻。那仍是紙本時代，常在圖書館連續閱讀數日，桌上堆滿二三十本期刊。

當校內缺乏相關專長人脈時，必須主動出擊。他和隊友找到了在紐澤西州西門子工作的交大黃榮廷學長(高速電子元件專家)，虛心請教。學長毫無保留、傾囊相授。黃榮廷學長無私的協助，教授終生感恩。原來這就是校友間常見的互助情懷。由於 MOCVD 涉及劇毒氣體與複雜的製程條件，許多關鍵經驗並非書本可得。教授坦言，這次拜訪讓自己少走了不少彎路，也避免了「被毒死的命運」。回頭看，研究路上能遇到幾位願意分享經驗的前輩，

是難得的幸運，也是一輩子的貴人。

另一個讓教授反覆思索的，是博士題目的選擇。如前所述，指導教授主攻模擬，而他係屬實驗，實驗花大錢，如何提出指導可支持的合適題目，成為博士初期最困難的課題之一。剛開始時，往往提出十個題目，大概只有一個會被指導教授認可，認為具有可行性。這樣的挫折反覆出現。

然而到了接近畢業階段，情況逐漸改變。當再提出十個想法時，已有六個左右能被認為值得進行的研究方向。這種比例的轉變，本身就是一種能力的成長。那段反覆構思與反覆修正的歷程，正是博士階段的養成教育，讓自己蛻變的成長過程。

當然，寫期刊論文與博士論文是基本訓練。但在教授看來，更重要的是找到一種「節奏」。以運動作為比喻，運動講究節奏，讀博士同樣如此。只要找到屬於自己的研究節奏，畢業其實可以變得可以預期，而不是漫無目的地拖延。

那時有一位電物66級學長徐紹中，提出中肯的建議與遊戲規則——一年固定參加兩次大型國際會議，一次是光電領域的年會，一次是材料年會。每次會議前，都必須先提交簡短的摘要與初步結果；而在會議時，則將研究推進到可以公開發表的程度。這樣的安排，形成了一種自然的研究節奏，每年至少準備兩篇成果，再將其中成熟的工作整理為期刊論文。研究不再是無止盡地等待，而是在節奏中持續推進。

博士訓練的核心不僅是知識累積，而是學會設定節奏。找到每個階段的步調，才能真正掌握研究的方向與速度，提升執行力。

**是什麼樣的考量或契機，讓您決定回到台灣擔任教授，而非選擇投入業界成為工程師，另外，教授一開始說不喜歡當老師，那麼是如何完成心態上的轉變的呢？**

教授直言，自己的個性及行政能力較適於業界，這一次顯然又非預先規劃，而是機緣。人生非常有趣，每遇關鍵時刻，上天總是適時地幫你開扇門。小學以前，他並不是成績突出的學生。直到五年級，一位嚴厲的老師當頭棒喝，成為重要轉折。從原本班上成績落後的學生，在兩年間逐漸躍升至全校前段。那段時間，教授開始主動學習，也第一次意識到自己其實具備不錯的理解能力。老師要求學生上臺解題，他便一次次站上講臺，從被動到主動，從跟隨到投入。那兩年，成為學習態度轉變的起點。

之後的人生也是一段機緣，考上交通大學是一個機緣，赴美深造是一個機緣，回到交大任教，同樣也是一個機緣。

事實上，成為老師從來不是教授年輕時的目標。回國任教的契機來自一位要好的同班同學——70級楊賜麟同學，亦是電物系退休老師。楊同學告知電物系正需前沿MOCVD 磊晶研究之老師，在多方鼓勵下，選擇回母系任教。教授坦言，這是一個一生最重要的決定，若當年進入業界，未必不好。陳教授一直認為口才欠缺，恐誤人子弟，母系的呼喚，成為最主要的動機。

回顧多年教學生涯，教授認為教師這條路帶來幾項難得的價值。第一個是與學生互動所帶來的活力。長期處在校園環境中，與年輕世代交流，使人不易與時代脫節。第二個是研究自由度相對較高。相較於企業需配合市場與公司策略，大學教師在研究方向上擁有更多自主權。且由於教授專長偏重實驗與應用領域，教授與園區產業、工研院及中科院保持密切合作關係，研究經費的取得無虞潰乏。他也參與科技公司的董事工作，保持與產業界的連結。在教授看來，教師職涯在收入、自由度與生活品質之間取得恰當的平衡，這與高壓產業環境相比，讓教授更可以掌控自己的生命的節奏。

看到教授的經歷，也讓小編體認到，人生未必是一路朝著最喜歡的方向前進，而是在一次次選擇與機緣中慢慢成形。有些當下並不特別篤定的決定，回頭看卻成了關鍵轉折。或許我們不需要急著把未來想得太清楚，只要在每個階段盡力走好眼前那一步，「準備好了」，機會之門自然就會打開了，機會自然就會把我們的道路路串連起來。

## **有些學生對學術研究其實很有熱忱，但又害怕繼續深造甚至當上教授賺的錢卻沒有碩士畢業直接工作來的多，在興趣和現實的矛盾，想請問您對這個的看法與建議**

談到是否鼓勵學生攻讀博士，教授並不以單一標準評斷，而是回到一個簡單的原則——「明天是否比今天更好」。人生若能每天有所進步，便值得投入。讀博士並非唯一道路，也不必然等同於做純理論研究。真正的問題在於——你為何而讀？是為了追逐父母未完成的期待，還是出於對知識與鑽研的渴望？還是將自己帶往更深未知的層次？教授也坦言，現實面不可能忽略金錢考量，但完全以金錢是瞻，有時卻錯過了上天對你的安排。以目前電物系畢業生為例，碩士生投入業界，起薪往往可觀；而博士期間，生活費與研究補助相對有限。博士五年，勢必會面臨同儕已經進入高薪職場、甚至購屋置產的心理壓力。因此，他認為讀博士並非盲目延長學生身分，而是一種選擇——重點不是完成論文，而是在過程中培養能力。博士訓練應當包括開發研究題目、繕寫計劃，體會語言和文字的魅力，強化思考與解決問題能力與整合資源與領導的能力。無論未來留在學術界或進入產業界，這些能力都將成為人生的重量、關鍵的資產。反之，博士淪於碩士的延長賽，那麼這段博士訓練則顯狹隘與空洞。

談及學術典範，教授偏好實驗型學者。他最欣賞的科學家之一是 Michael Faraday。法拉第數學不行，卻以實驗聞名。他長期投入電磁現象的研究，以細緻觀察與反覆實驗建立了重要基礎，法拉第定律。法拉第的價值不僅在於發現本身，更在於那種專注與投入的態度——將手上的事情做到極致完美。談到理論物理的重要性，教授則特別提及 James Clerk Maxwell。馬克士威以四個方程式統整電磁理論，奠定現代電磁學基礎，備受愛因斯坦推崇與肯定。這些理論即使現在還是前沿5G、6G無線通訊、台積電埃世代半導體科技、矽光子與現代科技發展的基礎根基。實驗與理論並非對立，而是相互依存。就個人特質而言(並非聰明之士)，教授更認同動手實作、從材料與元件中理解物理現象的路徑。對他來說，能將知識轉化為可見成果，帶來更直接的成就感。

因此，教授不主張將讀博士神話化，也不將其貶低為無用之途。在產業界，博士可能帶

來更高的起薪與長遠發展空間；在學術界，則提供更大的研究自由度。但這些都建立在個人能力與企圖心之上。讀博士最困難的不是知識本身，而是那五年對自我懷疑的考驗。當身邊的人迅速累積財富與地位，自己仍在實驗室反覆試錯，那種落差感需要心理韌性去承受。然而，若一個人能夠踏實地完成博士訓練，往往會「如虎添翼」。因此，教授並不反對讀博士，也不輕易鼓勵所有人去讀。他更重視的是：是否「準備好了」，明白自己在追求什麼，清楚地願意「承擔」更多社會責任與公益。但，他始終願意支持學生走上這條道路，它引領你跨入更多的未知領域，更廣濶的發展空間，進入了一個人生不同的生命層次。

## **現在的大學生，流行一個「內捲」的現象，有時候選擇一堂課並不是為了該課程的知識，想請問您對於此現象的看法以及在教學過程中，您最重視希望學生培養哪些能力或態度？**

近年來，大學生之間常出現一種被稱為「內捲」的現象。許多學生選課時，考量的未必是知識本身，而是評分標準是否寬鬆、課程是否容易取得高分。教授當時提到，他最不欣賞的，就是那種為拿書卷獎而拿的同學，教授更希望拿著書卷獎之同學，是一位真才實學，樂於教會同學，參與系學會活動之同學。書卷獎有時代表是讀書高手，樂於考試，但有時又代表社會絕緣體，無法步入真實的社會。書卷獎有時代表精於計算，選修雷同課程，精於研究所佈局，不一定代表真正的能力成長。相反地，反而更敬佩那些每一科都穩定拿六十分的學生。很多人聽到會覺得不可思議，但仔細想想，一學期修多門課，連續數個學期都精準維持在六十分，那絕非偶然，背後一定帶著一個人生的故事。這樣的人，或許未來進入社會後，往往更能適應複雜環境。事實上，教授看過不少例子，他們的事業成就，遠遠超過當年僅僅成績耀眼的同學。教授欣賞的同學是成績不傲人，但生活多彩多姿，又全身充滿熱情的人。

電物系其實有不少例子，可以印證這種觀察。長期支持系友會的68陳國源學長，在校成績並非亮眼，但後來在電子通路領域建立了非常成功的事業。他看見製造業的核心痛點——庫存成本。許多企業因為庫存滯銷半年甚至一年，資金被占用，利潤被侵蝕兩成、三成以上。他建立的模式，是將零組件預先放入大型企業倉庫，用多少算多少。這樣一來，企業不必承擔龐大的庫存風險，物流成本也大幅降低。這不是課本上的高分題目，而是對產業運作邏輯的深刻理解。另一位63級學長黃民奇，同樣展現出不同於成績排名的價值。25歲從半導體設備代理商做起，逐步投入設備與製程領域，成立漢民集團，並發展電子束微影相關技術，最終將技術出售給全球半導體設備龍頭ASML。這樣的成功，不只是財務上的成就，更代表對產業趨勢的精準判斷。更令人敬佩的是，他後來回饋母校，支持醫學發展計畫。原本百億規模的醫院構想，如今已擴展至一百五十億。這樣的胸懷與格局，往往源自於年輕時就開始不對自己設限，頻繁思考自己能創造甚麼價值，而學科不會教這些事情。教授直言這些人未必以成績聞名，但他們在大學時期就涉及學業以外的能力，沒有把自己侷限在成績排名之迷陣中。大學中一點點的火花，讓他們往往更能思考、更能決策、更能解決所面臨的問題。又一例子，教授同學70級陳家湘，曾是交大伙委，認真作事，規律作息，後來成為張忠謀愛將，亦是交大傑出校友。

因此，教授也提到，他常提醒學生，大學只有一次機會。研究所未必補得回來，出社會後更沒有時間讓你慢慢學。很多學生選課時優先考量「好過」或「高分」，這就浪費了生命。

教授希望學生思考一個問題，電物系有哪些課，會對你一輩子產生影響？如果你答不出來，那其實是危險的，這代表大學的你選擇漂浮，隨波逐流。電物系學生其實有一個血統、一個跨域基因，先天上善於面對前沿科技。所以電物系課程安排，老陳賣瓜，第一門課最重要的課程就是電磁學。Maxwell方程式是「現代科技之母」。從半導體元件、矽光子先進封裝、無線通訊到衛星系統，全部奠基於此。如果電磁學基礎不穩，未來理解高速訊號、天線設計、射頻通訊，都會非常吃力。第二是量子力學。「量子科技」和「AI科技」並列這10年內國家重點科技，從量子計算、量子通訊、量子電腦到量子材料，都根植於紮實的量子基礎之上。很多學生等到研究所才深知其重要性，然而相見恨晚，有人後悔在大學期間少了這個節點。第三是半導體物理，非常實用的課程。不過，一旦學會了基本理想元件物理原理後，大家應快速拉回，從理想數十微米元件尺度，快速地進入奈米元件之探討。當元件尺寸進入奈米尺度，電子的物質波長效應便不可忽視，這代表著元件已進入了量子世代。如今台積電採用的是奈米級 Nanosheet 結構，尺寸已微縮至埃米等級，平整度要求甚至到原子等級。

教授並不是否定努力，也不是鼓勵懈怠。而是鼓勵學生培養的是幾種能力：第一，獨立思考能力。不要只問「這題會不會考」，而要問「這個概念未來能解決什麼問題」。第二，承受困難的能力。選擇重要的課程，或許成績不完美，但會讓你在未來更有底氣，不知不覺你已海K一桿子人。第三，判斷趨勢的能力。看懂產業發展方向，比短期成績更重要。第四，做人與感恩的態度。人生若能遇到幾位貴人，是莫大的幸運；而當你有能力時，也應該成為別人的貴人。分數會過去，排名會消失，但能力與視野會陪你一輩子。

我們認為教授對「內捲」現象的看法總結，那就是不要讓分數成為你唯一的價值標準。大學真正的意義，是在這段有限的時間裡，為自己打造一個可以面對未來三十年的基礎。科技會演進，產業會更迭，但紮實的基礎與清晰的判斷，永遠不會過時。

## 此外，從您的觀察，現在的學生與您當年求學時，您認為有甚麼明顯的不同呢？

教授提到要他談現在的學生與我當年求學時的不同，其實不太想直接回答，他更想把問題丟回去給我們。你們是不是在追求分數？追求漂亮的 GPA？交由我們自己回答。小編自己也只能默默點頭。這確實是多數學生最誠實的答案。教授便再問一個更核心的問題——什麼叫「好老師」？什麼叫「好學生」？你們認為的好老師是什麼樣子？有學生說，好老師就是讓人真的很想去聽課的老師。教授也繼續追問，所謂定義「想去聽課」是什麼？至少聽懂一半？覺得清楚？覺得有收穫？教授很快指出，這其實取決於你的目標。如果目標只是GPA，那根本不需要學太多，只需要挑老師給分寬鬆、A+比例高的課。這很誠實，這就是策略。但如果要的是硬底子的東西，你對好老師的定義就會完全不同。

教授對「好老師」有一個等級表。第一種，「照書教」。系上規定用哪本課本，就照章節教完。內容正確、進度完整，但不多不少。第二種，「照老師教」。畢竟人都會有自己的自我意識，老師根據自己的理解、研究經驗重組課程，可能會補充、延伸，甚至挑戰課本。第三種，「照學生教」，這就是一個更高層次。老師在不降低內容、深度條件下，根據學生的背景與程度調整教法，讓學生充分吸收。第三種最難，因為不能為了教學評量而降低難

度，也不能為了研究忽略教學。但如果老師願意做到第三層，而學生只想要分數，那其實是一種雙方的錯位。

而在教授的見解中，考試題目其實也有三種。第一種「照勾寫題」出題。第二種「照考古題」出題。前兩種老師與學生都輕鬆，學生只要在考前花兩三天就足以應付考試。第三種，老師每次「全新出題」。所以學生的學習就有不同的層次了，這個組合起來就很多的變化。教授期許學生應該都是希望可以厚實自己的實力，讓自己以後在職涯上有競爭力。「假設你遇到這樣一位老師，他有實力、有深度、授教的內容對你未來競爭力極有助益，那你怎麼應付他？你們準備好了嗎？」教授指出，人本能地會避開風險。當一門課聽起來還算順暢，但自覺難度高，老師有所要求，就選擇逃離。那你主動選擇錯過人生重要的成長機會。

教授對於成績也有自己獨到的見解：成績，是老師與學生之間的一種交易。它是虛擬的，甚至比虛擬貨幣還虛。目前，各頂大研究所的容量是大學的三倍，何必追求分數，大家都可進入頂大學習。而應該是去反思自己是否具有自信，是否在大學期間在各方面厚實基底及能力，無論是課業內或是課業外。若還是非台大不讀，而不知自己追尋什麼？只會讓自己更加迷惘，更喪失競爭力，未來別說牛後了，能不能雞首都是未知數。

所以回到一門真的重要的課，在面對願意下功夫幫助你的老師時，你應該問的問題是：我要怎麼挑戰它？我要怎麼跟上這位老師的腳步？如何完成自己的蛻變，即使成績並不滿意。

當然要完成這件事也不是那麼容易，教授提到當初他讀書時因為窮，看錢較重，若不是參與系學會之機緣，那麼思想也就被束縛住了。遇到好老師、好課程就全力以赴，即使成績勉強過關，你還是頂大生，你還是全國前20%學生，進入職涯，你不想當領導人也很難，除非你自己選擇當個「雞後」。

但此時，相信一定會有學生覺得，我也想要有自信，想要有面對一切的勇氣，問題是我就是不聰明，已經很努力了卻還是無法理解自己到底在學甚麼，教授在採訪時提供了一個祕訣：假如你真的決定「打死不退」，那接下來你能做什麼？

第一步，充份消耗授課教授，在上課前後，課堂休息，最主要是課後，纏住教授，猛問問題。

第二步，抓重點。將來進入研究所，甚至參加學術研討會時，一場接著一場的報告，每二十分鐘一個主題，你若不會抓重點，很快就會迷失。以前我們被迫每一場都得聽，後來才明白，關鍵不在聽得多，而在抓得準。現在回頭看，抓重點的能力，比死記細節重要得多。它不只是幫助理解，更能大幅提升學習速度。試想，一堂三小時的課程，你能不能在半小時內「抓重點」，不管例題及枝節，迅速地整理出核心概念。抓到了，就掌握了學習效率。第一次或許需要一兩個小時，下一次縮短到四十五分鐘，再下一次四十分鐘，慢慢往前推進，這本身就是進步。若仍然無法體悟，記得「三人行必有我師」

「抓重點」有什麼好處？它讓你掌握全局，它是一把鑰匙，一把開啟你生涯與職涯大門的鑰匙。很多學生讀書時容易被細節牽著走，從第一頁讀到最後一頁，卻跟不上老師上課

的節奏。會抓重點的人會先掌控主軸及核心，適時再回補細節。這種能力，不僅可以運用於修課，亦可運用於職涯。這是一個後天可以形塑的能力。

第三步，打群架，三五成群。一個人讀不好，那就兩個人一起讀；兩個還不夠，三個、五個總可以吧？一個人拼命苦讀，花了大量時間卻未必有效率；如果五個人分工合作，時間成本往往能大幅降低。不敢說真的只花五分之一的時間，但至少可以省下一半。更重要的是，你們可以彼此討論、互相補強。現在科技這麼進步，線上會議、各種通訊工具都能運用，只要約定一個小時，專心討論重點，效果一定比獨自埋頭苦讀來得好。

寫作業亦然。「現在交作業，是不是幾乎百分之百都在抄？」他半開玩笑地問。「而且通常還有兩個版本，對不對？你抄哪一份？」我們試著回答，會先看過兩個版本，再選一份比較順的抄；也有一說法，抄完之後會請對方再解釋一次。教授聽了，笑著點頭，卻接著說：「其實，抄作業也是有層次的。」他指出，最低層次的抄，是單純複製，完成形式上的繳交；稍微高一點，是抄完後試著理解；再往上一層，則是自己先嘗試，再對照別人的解法。層次不同，收穫自然不同。「但如果只是為了交差，那連幼稚園都能做到。」他語氣並不責備，卻帶著提醒的意味。「如果你們的能力只停在這裡，那寫作業的意義就完全流失了。」

作業本來就是一種學習效率的方法，幫助你認識這門課的工具。但如果只是機械式抄寫，這樣的學習，是空的。如果選擇「務虛」，進入職場三分鐘就會被看穿。有無底子，對方一問便知。既然要「務實」，那應該怎麼做？教授向我們提出一套真正可以「省功」的方法。身為電物人，當然要懂得省功。第一步，讀完每一章節核心內容後，試圖由課堂講解的「例題」開始。當你在聆聽例題時，不妨思考，不妨註記。思考這一題運用到那些物理觀念及核心公式，還是解題技巧？有些技巧，可能是有人不眠不休、花了幾天幾夜的功夫解得。這時就要欣賞他的解題功夫並瞭解背後的條理。再回頭對照這一章節所述主題。不要只看題，要手作。每一例題，在老師講解後，親自解題一次。

寫作業亦可「打群架」。陽明交大的校訓是「同行致遠」。一個人可以走得快，但一群人可以走得遠。碰到一位好老師，更應該「三五成群」一起學習，跟上學習節奏，而不是孤坐在那兒。做題目時，可以分工。這一節你多做幾題，那一節我多做幾題，不必每個人都全部做完。三個人、五個人，每人負責一部分，然後再聚在一起討論。討論的重點不是答案，而是「關鍵在哪裡」。就算是用線上會議工具討論，也可以做到。你們解決三、四成的題目，再各自補兩題，可能就達到六成。六成是基本線，有人能做到七成、八成，甚至百分之百。那代表你的實力逐漸提升。當然，寫作業關鍵仍在討論後，「親自解題」，「不假走他人」。

在群組討論時，必須瞭解你在這個小團體裡扮演什麼角色？重要的是參與，告知自己不懂的地方，且勇於提出自己的理解與想法。即使是「笨」問題，有時反而是他人之盲點。時時，只是一點點創意、一個小小的推導過程，反而是一個觸發點，激發了討論熱度，完成了解題。若永遠當個聆聽者，長期下來其實自己也會覺得空虛。

當然，在打群架的過程中，教授提醒一件事——千萬不要嫌隊友不夠強。很多人習慣只想跟最厲害的人一組，覺得那樣效率最高。但要知道，現在坐在你旁邊的同學，很可能會成為你未來職涯中重要的夥伴。也許十年後，你們在不同公司、不同產業，再次合作；也

許某一次轉職、某一次創業機會，就仰賴他的牽線。更匪夷所思的是，也許他就是老闆。這些，有時比追求GPA來的更有價值。況且教會別人，才是本事，你習慣教會別人，以後成為企業的經理人，自然是水到渠成的一件事了。更難得可貴的是這些三五成群、革命感情的同學，亦培養了一種彼此信任、相互扶持的關係。這些人，是一輩子肝膽相照的朋友。

最後，對於課業仍有疑惑，建議重拾原文課本，試圖從精確的文字敘述中，進一步理解定理或定律的原義。爾後，再和教授談笑風生，深入各種議題。

## **對於正在考慮是否出國深造的學生，您會給什麼樣的建議？**

出國絕對是一件好事。教授始終這麼認為。不要把自己局限在臺灣的環境裡，因為臺灣其實存在一種文化慣性，我們從小到大一直被「馴化」-「聽話」。國小聽父母的話，高中開始有一點叛逆，但還是聽老師、校長的話。到了大學，特別是國立大學，老師往往給你很大的自由，不太干涉你，很多人反而不知所措。之後進入知名企業，無論是台積電、聯發科，或其他大公司，你又回到一種高度制度化的環境。唯一給你的訓練，往往還是「聽話」。照著 SOP 做，照著流程走，不要多想，不要越界。那試問一句：這一輩子一直「聽話」，好玩嗎？我們不妨思考，為什麼我們永遠是遵循 SOP 的人，而不是制定 SOP 的人？為什麼我們總是站在執行端，而不是決策端？

在國外讀書，教授直言感受到一個很大的差異。老師更重視的是你有沒有想法？什麼見解？想做什麼？而不是止於聽命。在臺灣的研究環境裡，很多時候研究所也是一條高階「馴化生產線」。老師有時為了效率，僅要你扮演生產線之一環，而無法窺知全貌。是否你願意跳脫，找到一個「好教授」，這亦顯現你識人能力的等級。

但在國外讀博士，當然還是會碰到生產線的老師。若你作好功課，仔細觀察，定可找到一位或多位充滿智慧的老師，一個能成就你自己的人生導師。教授猶記當年的指導教授對他說過一句話：「這個計畫只有你在做，我期待你在這個領域做得比我更好，甚至有一天取代我。」這句話的意義非常重大。它代表老師願意把舞台交給你，成為該領域的專家，而不是一個「聽命者」，你就是CEO。完成博士之後，你會突然發現一件事——很多事情其實難不倒你。因為你已經習慣從零開始，建構邏輯、整合資源、提出見解、領導團隊。那種自信，並不是來自頭銜，而是來自願意承擔責任。

## **對於電物系的學生，您會給哪些學習或職涯上的建議？**

第一個，因為前面大部分都講過，做一個「務實」的人而不是「務虛」的人。

第二個，在學士班期間，每週花一點點時間觀察學術界跟產業界的主要的心跳脈動，世界似乎比你想像中運轉地更快。



## 小編的話

林晏容:

這次很榮幸這次有機會採訪陳衛國教授。真正走進對話之中，我感受到的不只是經歷的豐富，更是一種歷經時間沉澱後的思考厚度。因為教授的人生閱歷，我們得以從更長遠的角度看待選擇與成長——原來許多看似偶然的轉折，背後其實蘊含著態度與準備的累積。

從成長背景、求學歷程到職涯選擇，教授的分享讓人明白，人生未必都照著藍圖前進，但每一次面對機會與挫折的方式，才真正形塑未來的樣貌。也讓我們重新思考，在追求成績與目標之餘，是否也培養了能夠承接機會的能力。

這次採訪不只是一次記錄，更是一種提醒。透過教授的經驗，我們學會用更開闊的視角看待自己的道路，也更加珍惜當下正在走的每一步。

陳識丹:

非常榮幸這次有機會採訪電物系資深教授陳衛國教授，這次的採訪，對我而言其實不只是一次訪談，更像是一場長時間的思考對話。原本準備問題時，我以為會得到一些關於升學、產業趨勢或課程建議的答案，但真正讓我印象深刻的，反而是教授不斷反問我們：「你想要的是什麼？」、「你準備好了嗎？」、「你只是想要分數，還是想要能力？」

在對話過程中，我很明顯感受到教授對「聽話文化」的質疑，以及對學生自信與獨立思考的重視。他談成績的虛與實，談如何打群架學習，談抓重點的能力，甚至談到出國讀書與體制差異。那些話語不只是建議，更像是一種提醒——我們是否在不知不覺中，把大學縮減成分數的競賽，而忘了這四年原本可以累積更厚實的實力。

身為一個普通學生，我也不得不承認，很多時候確實會以風險為優先考量，會衡量難度、分數、評價，卻比較少去問自己：這門課能讓我成長多少？這位老師能帶我走多遠？教授的一句話讓我印象特別深刻——如果你一輩子都在聽話，那真的是你全部的潛力嗎？

這場採訪讓我重新思考「學習」的意義。也許成績終究會被淡忘，但在過程中培養的判斷力、自信與合作能力，才會真正跟著我們走進未來。能夠參與這次採訪，我感到非常幸運，也希望這篇專訪，能讓更多同學在忙碌的課業中，停下來想一想自己真正想成為什麼樣的人。

新進教授專訪：蕭翌登

## 專注當下，捕捉「上帝的表演」： 蕭翌登教授的物理探索之路

---

### 誤打誤撞進入物理世界

對於蕭翌登教授而言，踏上物理研究這條路，並不是刻意的規劃。高中時期的他，其實對資訊工程情有獨鍾，曾參加成功高中的電子計算機研習社，且參加了大大小小的比賽，如資訊科能力競賽。原本志在資工的他，卻在陰錯陽差下考進中央大學物理系，且一待就待了將近十年，一路從大學攻讀至博士。

蕭翌登教授坦言，在剛進入中央大學時便想過要轉系回資工，但在大一的實驗物理課，一次伊林院士的邀請演講中，以一個生動的比喻形容做實驗：「做實驗就像在搭建一個舞台，然後請上帝出來表演，而我們就負責將其記錄及分析。」如果舞台搭得穩、紀錄做得好，就能成功捕捉到上帝的表演，進而探究其背後的規律與原理。這個觀點深深打動了蕭翌登教授，他開始感受到探索未知的樂趣，喜歡上「做研究」這件事，亦從此投入在物理的世界中。

談及自身在求學歷程的關鍵特質，蕭翌登教授認為在於「專注當下」，以前文所提及的實驗物理課為例，蕭教授便是因為在實驗過程中全然投入，才逐漸體會了實驗的樂趣，讓他決定全心投身於物理領域。在大三期間，蕭教授進入實驗室進行專題研究，提前修習研究所的課程，甚至在大四時便發表了第一篇期刊論文，並利用直升制度進入研究所。當時中央物理尚未建立五年一貫碩士制度，然因蕭教授的實驗進度明顯超前，最後獲准提前完成碩士學位。

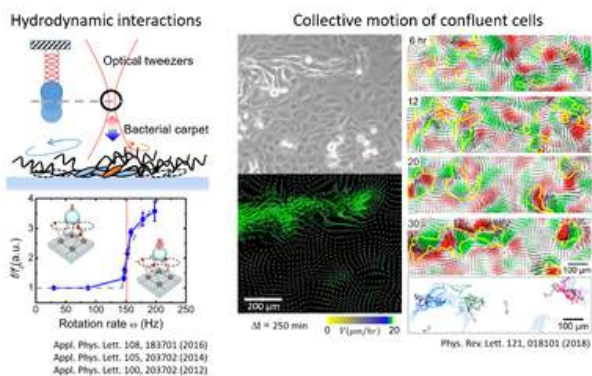


蕭翌登 助理教授

碩士畢業後，蕭翌登教授因面臨繼續攻讀博士或投入業界之間的選擇而感到迷惘。所幸，當時蕭教授的指導教授給了他高度的自由，鼓勵他進行各種探索與嘗試。期間，蕭教授不僅在博一暑假進入台積電實習，也同時修習教育學程。

在歷經多方嘗試後，蕭教授最終回到實驗室，延續自己過去專題與細菌相關的研究。蕭教授回憶，當時他所做的計畫，其實並非實驗室的主要計畫，在指導教授眼中，這只是個「FRIDAY AFTERNOON PROJECT」——那種適合在周末來臨前、帶一點好奇心稍微試試的研究項目。但對於蕭教授而言，這個計劃卻是他最關注的研究計畫，因此他即便在資源相對有限的情況下，仍然專注投入，將其發展成一系列完整的研究，最終發表了三篇相關的論文。

通過博班資格考後，蕭教授的研究視野又經歷了一次拓展，主題從細菌的集體動力學與流體力學的相關研究轉變成細胞的集體動力學與生物物理的相關研究，也因此開啟多項新的合作機會，最終以全新的研究題目完成博士學位。



蕭教授就學時期的相關研究: (左) 細菌鞭毛地毯之流體動力學，利用光學鑷子做量測，探究鞭毛轉速對於整體流場強度之變化。(右) 上皮細胞的集體運動與侵入性癌細胞的影響。

## 業界與學界的抉擇

從博班畢業並服完兵役後，蕭翊登教授又再一次的站在人生的十字路口，當時的他並沒有刻意設定一定要走學術這條路，而是保持著一貫「專注當下」的態度，決定先進入業界闖盪。蕭教授加入了名為譜光的新創儀器公司，這是一間基於中研院質譜儀技術技轉而成立的公司。

這段約一年的業界經驗雖然短暫，卻讓蕭教授對職涯有了極為深刻的體悟。業界與學界的核心目標有著本質上的不同，業界講求的是解決問題與滿足使用者需求，因為產品必須面對市場的供需法則，重點在於如何快速且有效地解決客戶的痛點以創造獲利；相較之下，學術研究則更重視對問題本質的探究與知識邊界的推進。也正是在這樣的對照下，蕭教授更加確認自己內心真正嚮往的，仍是以研究為核心的探索歷程。

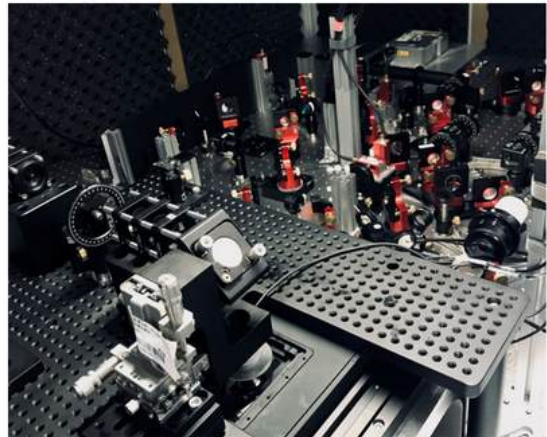
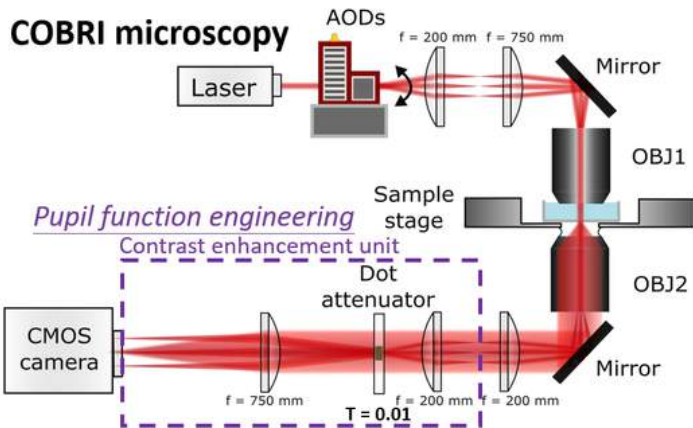
於是，蕭教授離開業界，到中研院原子與分子科學研究所擔任博士後研究員。而這次回歸學術界，不僅僅是身分的轉換，更是再度跨足了其他專業領域。從原本熟悉的生物物理與流體力學，僅將顯微鏡視為量測工具，對光學較不熟悉，轉變為要進行光學顯微鏡的開發，致力於建構一個以可見光散射原理，觀看奈米尺度物體的顯微鏡系統，且此開發有機會解決傳統螢光顯微鏡的一些困難。在求學時期進行細菌、細胞流體力學相關研究及在中研院踏足光學領域，進行光學顯微鏡的開發，學習到新的技術，這些經驗幫助了蕭教授在電物系成立奈米光學與生物物理實驗室。

## 目前的研究方向

蕭翊登教授開設的奈米光學與生物物理實驗室，正如其名，是一個高度跨領域的實驗室，結合了物理及生物，主要分為兩個方向：

光學顯微技術的開發：

延續蕭教授在中研院做博士後研究員所研究之技術，有別於使用紫外光或X光，致力於利用可見光與散射方式，自行搭建光學系統。需要突破繞射極限等問題，開發出能補足傳統螢光顯微鏡所不足的顯微鏡系統，在這裡蕭教授也以最一開始所提到的比喻說明，就像是架了一個較不一樣的舞台，用不同的角度去看相同的表演，並記錄下來，可以看到一些其他人以現有技術較難看見的現象。

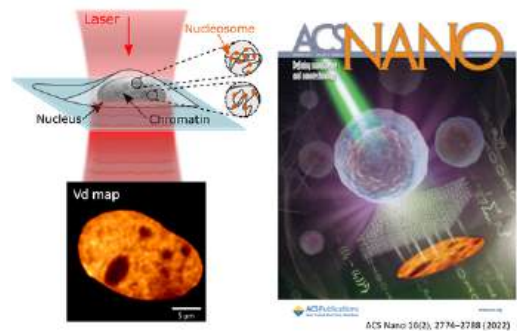


ACS Nano 16(2), 2774–2788 (2022)  
Commun Biol 7, 763 (2024)

光學顯微技術的開發: 穿透式干涉式散射顯微鏡之系統設計及實際實驗架設。

生物物理的研究：

利用上述自行開發的顯微鏡系統，觀察傳統螢光顯微鏡無法看見的生物現象。延續蕭教授過去求學時的研究方向，透過新技術去捕捉細菌與細胞等的群體運動現象或流體力學機制等，並進一步建立物理模型以進行分析。



生物物理的研究，並結合先進顯微技術: 無標記染色質顯微影像重建。

## 為什麼是電物系

在前面的訪談中，我們得知蕭教授的研究方向是有關奈米光學以及生物物理，其中生物物理並不是我們在電物系常見的領域，在期望蕭教授的研究能夠為電物系帶來不同的領域多樣性的同時，作為系上學生的我們也很好奇，蕭教授為什麼會選擇電物系作為研究的場所。

蕭教授認為，現在的科學研究往往很難只用單個領域就推到最前沿，往往需要跨領域的結合更能產生優秀的結果，而交大電物系有紮實的物理基礎，同時也對光電、電子相關的領域非常熟悉，非常適合發展跨領域的研究。

## 對於跨領域的研究，給電物系同學們的建議

在蕭老師的研究中，他們透過光學設備去觀察微生物的行為，從中看見「生物中的物理」，這些生物中的物理機制往往相當複雜，而正因其繁雜同時也需要更多的先備知識，教授表示：「你永遠不會知道觀察這些現象時，會用到什麼樣的物理。」。除此之外，隨著研究的技術更新，設備與觀測方式的革新，研究者們往往需要知道更多過往研究的知識，這是蕭教授在博士後研究員時期的重大感悟。若是用一句話說明，那就是有些你現在覺得學了卻用不到的領域知識，也許將來在某個地方會對你有很大的幫助。蕭教授也建議同學們，在學習的道路上，我們更應理解課程的核心觀念，而不僅僅只是得到學分而已，把握當下、珍惜學習知識的機會。

## 當初選擇專題主題的心境

蕭教授從最初高中時感興趣的資工領域，到大一時受到實驗課程的影響愛上物理，再到選擇細菌鞭毛的研究做為專題主題。在當時的背景下，實驗室提供的研究環境似乎對生物有關的領域並不是特別有利，實際上實驗室並不是很多人在做相關的主題，但是蕭教授仍然選擇了該領域作為研究主題。這件事讓我們非常好奇，教授當時是抱著什麼樣的心境，或是比較特別的緣故做出這個選擇。

答案似乎出奇地單純，蕭教授告訴我們，他當時並沒有想太多，實際上在面對一個全新的題目時，也許是出於對新領域知識的探求以及好奇心，讓他反而上手得更快，除此之外，透過程式的幫助，蕭教授在觀測設備上也是很快就使用得得心應手，幫助他更能觀測到特定的生物現象。回歸到最關鍵的心態問題，蕭教授認為他當時非常專注在研究專題上，把握當下、專注眼前的心態在這時的專題以及往後的研究中都深深的影響著蕭教授的研究態度。

## 想瞭解生物物理領域的同學們，可以先培養的技能與背景

以蕭教授的實驗室來說，首先會需要知道有關光學的先備知識，包含光路的調整，除此之外還有有關設備的架設、儀器控制會需要一些程式能力。再來是有關生物的部分，蕭教授告訴我們，作為物理背景的學生，我們對生物的理解可能沒辦法比生科相關科系的學生來得多，也因為如此，在理解生物知識的過程中，能夠快速找到重點是至關重要。作為學術研究者，能夠提出正確的問題、以及正確地理解問題非常重要，而要能做到上述兩件事就需要理解重點的能力。在實務方面，蕭教授建議可以先從看相關的論文開始，教科書的內容往往較為完整而廣泛，而我們並非專精在生物領域的學生，因此可以先從單個有興趣的議題開始，並試著問出「對」的問題，這個過程本身就相當有趣，並且還能從中探索出自己真正願意探究的主題。

## 想對電物學生說的話

「把握機會、專注在當下」

蕭教授認為這個核心觀念是他一直以來的作法，從最初的求學之路到現在的學術界都是如此，他也鼓勵我們應當著眼於把眼前的事情先做好。尤其在這個 AI 發展迅速的時代，資訊浪潮不斷地襲來，我們往往可以很快地得到問題的答案。而正是在這個情況下，我們更應該專注於當下，累積自己，當機會來臨時我們才有足夠的能力把它抓住。

## 作為新成立實驗室的期許

蕭教授作為電物系的新血，我們想知道教授將來計畫要打造一個什麼樣的實驗室。而教授告訴我們，目前的大方向是希望打造一個顯微技術的平台，由於教授目前的研究是利用可見光達成全新的顯微技術，但是這些新技術仍需要傳統研究來做支持以及結合，因此希望透過顯微技術的平台來達成新技術的整合。有了這樣的技術平台，就可以用於觀察以往沒有發現過的生物現象，或者是解答過去無法被解釋的重要議題。

## 給跨領域學生們的建議

對於跨域學生來說，他們最大的隱憂往往是擔心自己學習的深度可能會不及單一領域的學生，畢竟要同時顧及兩個甚至多個領域並非易事，對此我們也向蕭教授請教並給予跨域學生相關的建議。蕭教授表示不需要過度擔憂，他認為能夠跨領域的學生往往在個別的領域中都已經有相當深刻的理解。在跨領域學習的過程，學生往往需要活用個別領域的知識，每一件事都需要做到相當到位才能繼續，當你能達成跨領域需要的能力時，其實代表你已經具有相當的水準。

「你可能不是最好，但你一定有足夠的能力了。」即便到時候需要專注在其中一個領域，你也已經累積了相當的實力，所以不需要擔心這件事。依然還是同樣的勉勵，專注當下、持續鑽研，當你持續專注在目標上時，再回頭看會發現沒有什麼事是需要擔心的。



### 小編的話

林郁翔：

這次非常有幸能採訪蕭翌登教授。聽著教授分享他從高中熱愛寫程式、陰錯陽差進入物理系，到後來在學界與業界之間摸索的心路歷程，讓我深受啟發。採訪中讓我印象最深刻的是教授分享大學時期聽到的比喻：「做實驗就像是搭建舞台，請上帝表演」，改變了我對實驗課的想法。此外，在面對自己的計畫資源較少時，教授仍抱持著正面的態度，最終將其發展成完整研究，十分令我敬佩。在訪談過程中，教授以自身經歷告訴我們「把握機會、專注當下」的重要性，只要我們能隨時準備好自己，當機會出現時，自然就有能力抓住它。

劉宸銘：

很榮幸這次有機會能採訪蕭翌登教授，作為電物系新的一份子，相信大家都很好奇蕭教授的研究方向。本次的訪談有一部分著重在聊教授擅長的光學顯微鏡以及生物物理領域，我在訪談過程中聽著蕭教授的專業介紹也得到了很大的收穫，甚至在訪談結束後教授還額外提供了實驗室相關的影像資料，讓我們受益匪淺。希望這篇專刊能讓讀者從教授的經歷得到靈感，並對教授的研究領域有初步的理解。

新進教授專訪：曾奕

## NATURE HAS ITS OWN PLAN, BUT MOST OF THE TIME, WE HARDLY UNDERSTAND IT.

---

### 跨越國界的學術旅程

#### 學成歸來：為何選擇交大？

在瑞士、德國與美國累積了豐富的學術經歷後，教授選擇回到台灣，並落腳於陽明交通大學。談起這個決定，教授表示這是經過多方考量的綜合結果。

首先是「研究資源」的地利之便。教授的研究高度依賴國家實驗室的同步輻射光源，以及未來將發展的時間解析超快 X 光技術，而新竹地區正好具備這些頂尖設施。其次是交大的「學術環境」，電物系與物理所有許多從事凝聚態材料研究的學者，且頻繁使用這類技術，能與教授的研究完美結合。此外，交大與半導體產業鏈的深厚淵源也是關鍵。雖然基礎材料研究距離實際應用有段時間，但交大強大的校友網路與產學鏈結，為未來的應用落地提供了極佳的機會。而交大在與陽明大學併校後仍持續增設許多校區，幾乎從北到南都有，因此跨校區的彈性與合作機會增加，也是吸引教授來到交大的因素之一。



曾奕 助理教授

### 曾奕 助理教授

學歷背景：台灣大學物理碩士、瑞士洛桑聯邦理工學院（EPFL）物理博士

海外經歷：瑞士保羅謝爾研究所（PSI）、美國麻省理工學院（MIT）與德國電子加速器（DESY）博士後研究員

研究領域：強關聯電子系統、低維度量子磁性、共振非彈性 X 光散射（RIXS）

## 歐美學風的強烈對比：從「工作」到「生存」

回顧海外求學歷程，教授深刻體會到歐洲與美國學術文化的巨大差異。

在瑞士與德國等歐洲體系中，博士班更像是一份「工作」，會先訂好一個研究項目和該研究的研究經費當作一個職位招募博士生。錄取就意味著擁有薪水或獎學金的保障，不需額外煩惱經費，但相對地，指導教授會要求你具備「即戰力」，能用最快速度上手。相較之下，美國則將博士生視為「學生」，前期有既定題目與資格考，後期需要自己主導研究，且薪資待遇落差極大，全憑個人本事爭取。

真正讓教授感受到文化衝擊的，是研究風格。教授坦言自己較習慣歐洲務實的作風：「在歐洲開會，大家習慣先把數字拿出來，評估可行性，確認沒問題再做。」而美國則充滿了高自由度與較高不可控風險。在美國，開會時往往花較多時間勾勒願景，他們鼓勵大膽嘗試，即使犯錯也無妨，但需要在較短的時間內改正。雖然研究可以較自由與靈活，但隨之而來的是極大的時間與生存壓力。

## 留學歸來後的落差：物價、出差與沒有熱水的日子

從歐洲回到新竹，教授笑稱自己絕對不認為新竹是「美食沙漠」。他回憶起歐美的國家實驗室往往建在偏遠地區，周遭缺乏餐廳，且歐洲高緯度地區為了保存食物，多以醃漬物（如 Salami）為主，甚至在嚴寒中也「不喝熱水」，這些都曾讓他難以適應。

真正會覺得不習慣的反而是台灣的高人口密度，在人潮眾多地區會感到不適。科技通訊的興盛也有很大的影響，在美國的行政單位中要聯絡往往都只能使用市內電話，較少像台灣會用各種通訊軟體聯絡，但除了一開始的不習慣，到後來反而會覺得感激。

瑞士高昂的物價也令他印象深刻，不僅水餃換算台幣高達 50 元（對，一顆 50 元，超貴），當地名菜 Raclette 更是將帶有強烈腥味的焗烤起司配上水煮馬鈴薯，價格十分驚人。然而，瑞士對博士生的資源挹注卻是無與倫比的。在博士二、三年級時，為了測試全球新建的同步輻射實驗站，教授過著每四到六週就飛一次國際長途的高壓生活，行李箱從未收起過。這段疲憊卻充實的經歷，成為他學術生涯極其珍貴的養分。

## 研究過程的收穫

### 研究領域介紹：SCES 與低維度量子磁性

教授的研究專長在於「強關聯電子系統 (Strongly Correlated Electronic Systems)」與「低維度量子磁性」。為了解釋這些複雜的概念，教授用了生動的比喻。

傳統的能帶理論中，我們會將電子流動的模型簡化，將正電荷視為固定點，自由電子則視為只受外加電場影響自由移動，在此基礎下，半填滿的能帶理應導電，但實際情況下，某些材料電子間的「庫倫靜電斥力」過於強大，導致電子被卡住，理論上該導電的材料測出來卻是絕緣體的表現，所以會需要用「強關聯電子系統」的理論去解釋傳統能帶理論中沒有看到的細節；例：莫特絕緣體(Mott insulator)。而「量子磁性」則探討低維度，此指三為以下的一維或二維材料中內部磁矩的動力學。在一、二維系統裡，理論上任一材料即使在絕對零度下，磁矩也無法整齊排列，但這種錯亂、持續有變化的磁矩擾動的動力學卻能夠抵抗周圍溫度的擾動，以至於這些擾動能透過有方向性的翻轉來傳遞磁矩變化，且在高溫狀態下仍能夠實現，這些特殊的動力學行為若能加以應用，將有望發展出不靠電荷移動（無電流）、僅靠「自旋」波動傳遞訊號的技術，從而解決電子元件發熱與耗能的問題。

### 非做不可的問題：科學不是靠吹出來的

採訪團隊原先提問：「在研究過程中，有沒有哪一個『關鍵問題』或『一個現象』，讓您覺得這個問題非做不可？」原本預期會聽到某種震撼性的學術突破，但教授給出的答案卻出人意料。

教授指出，近年來在學術界 "Publish or Perish"（不發表就滅亡）的結果導向風氣下，研究

者為了發表文章，往往會講出一些篤定卻證據不足的話。他回憶，曾經有個很熱門的研究，是探討激發態粒子(exciton quasiparticle)以及其在光電領域作為材料元件的應用討論。後來有個很紅的二維材料，大家看到實驗訊號隨著磁性相變溫度變化，就宣稱與磁性有關，但其實那個訊號的表徵早在七零年代就有文獻證明它與磁性毫無關聯，而當今的實驗技術也並非有進一步的解析力去給出更多資訊。該研究的發表者也不斷地將該成果發表出去，成為了學術界紅極一時的研究項目，甚至到處去演講，講得天花亂墜。最諷刺的是，台下就坐著當年透過嚴謹步驟做出正確結果的老前輩，前輩們私下無奈地說：「也不知道該問什麼，就讓他講吧。」

這種為了炒作而罔顧事實的行為，嚴重影響了圈內的生態。看不過去的教授，當時與朋友專門設計了實驗，一步步嚴謹地從每個角度去證明對方的謬誤，推翻對方沒有確切證據支持的言論。雖然最後教授證明了他們正確的結果，但過程中也受到相當多的阻礙，讓自己非常疲憊，更凸顯了這種行為對研究圈生態的破壞。

「我們當時的共識是：儘管大環境如此，我們仍希望盡量在不傷害他人的前提下去做好自己能做的事情。科學家跟藝術家不完全相同，但有一些有趣的對照：都希望人家看到的成果，是基於自身的理解和自由意志跟邏輯去驗證出來的，而不是為了跟風。我在海外的朋友甚至參與了一個專刊的編輯工作，鼓勵大家投『負面結果 (Negative Results)』的論文。只要你做得嚴謹，證明這條路走不通，這本身就是有價值的，不應該覺得每天都要有巨大發現才是科學；實際上，如果每天都宣稱有大發現，那應該有很高的機率是哪裡出錯了。」

在 2023 年那一波超導體熱潮中，也發生過類似的荒謬事件。當時教授測試了一塊前指導教授已發表過兩篇論文的樣品，花了一個禮拜測量後，卻發現該樣品每一區的性質都不一樣，這頭是導體、那頭卻是絕緣體，極度不均勻。當教授跑去質問當時實驗室的首席負責人(principal investigator)：先前的兩篇文章究竟測的是這塊樣品的哪個區塊時，換來的卻是徹底的沉默。

教授直言，這正是凝聚態物理領域的一大問題。不像天文或高能粒子物理（如 CERN 或 NASA）有著極其嚴格的內部審查 (Internal Audit) 機制與龐大的統計數據支持，在內部必須先自圓其說才能發表；凝態物理往往缺乏這種嚴苛的把關，更依賴研究者對自己的學術紀律與約束。

***"Nature has its own plan, but most of the time, we hardly understand it."***

(大自然有它自己的計畫，但大多數時候，我們都很難理解它。)

這是一位義大利科學家曾對教授說過的話。這句話的核心意義在於：做實驗必須盡可能避免先入為主，假裝自己什麼都不知道。不要因為是權威教授給的樣品或是網路炒作的材料，就預設結果「應該」要是什麼樣子。

## 接受科學的殘酷與未知

訪談中，採訪者坦言自己在做實驗時，常因結果與預期不符而深感挫折，甚至懷疑是自己做錯了。教授聽完後溫和地回應：「這個我不怪你們。」

他點出，大多數電物系的大學生在接觸進階實驗課時，學校為了教學目的，通常會提供教科書上標示明確、已經被「校正」過的穩定樣品，這讓學生們習慣了「結果應該要是怎樣」的預設心理。然而，真正的研究往往發生在「第一實驗現場」，在那裡，映入眼簾的可能是全新的畫面，讓人分不清究竟是雜訊還是訊號。

教授語重心長地分享了基礎科學一個「殘酷的現實」：你今天還在學習的基本架構，明天熟悉了、後天拿來用，下個禮拜可能就要開始懷疑它了。他舉例，這種情況在生物領域尤為嚴苛，有時一個新現象的發現，就能讓教科書整節拔掉重寫；物理與材料領域雖然時間軸稍長，但本質毫無二致。

「這真的很殘酷。你還沒很熟，結果老師突然跟你講反例，你心裡一定會想：『欸？到底是怎樣？』」教授笑著說。但隨著時間與經驗的累積，學生們終會恍然大悟：原來人類嚴格確定『是對的』知識，就只到現有的邊界為止；再向外跨出去一步，其實大家都不太確定。

面對不如預期的結果，這往往不是學生做錯了什麼，而是這個世界的真實樣貌本就如此。教授期許學生們能做一個心態上的調整：不要過度擔心未知，而是坦然接受科學世界中這份無可避免的不確定性。

## 新的量測技術：共振非彈性 X 光散射 (RIXS)

在探索這些未知物理現象時，教授仰賴一項名為「共振非彈性 X 光散射 (RIXS)」的強大技術。RIXS 的原理是讓 X 光激發電子躍遷至高能階，正常情況下，基態或低能階產生了空缺，激發電子會重新回到該能階並發射光子。然而高能階之下還有稍低能階的話，該空缺可由稍低能階的電子來填補，測量隨後發射光子的能量損失，可藉此推敲材料內部的各個激發態。這項技術具有「元素專一性」，能鎖定特定元素與軌域；且所需的樣品極小（微米等級），非常適合用來測量薄膜或微縮元件。

談到這項技術，教授務實地坦言：「當然，我必須誠實講，這東西真的不好處理。」RIXS 的數據往往呈現「胖胖的一坨 (Broad Peak)」，難以詮釋內部究竟藏了多少個峰值或何種激發態，數據分析的過程充滿挑戰，這也是全球專門從事此領域的學者寥寥可數的原因。

即便門檻不低，教授仍大力鼓勵大學生參與：「這並不代表大學生不能做！它的光源訊號很強，只要樣品健康、方向正確，幾天或一個禮拜以內的數據就足夠說明很多事情。」台灣以及鄰近的日本，都擁有目前全球少見、且正走在世界前端的新建高解析 RIXS 實驗站（參考：交大旁邊的國家同步輻射研究中心的臺灣光子源41A光束線，以及日本NanoTerasu BL02U），以及發展具規模的專業研究員和可靠的研究成果，教授也已設計好適合大學生探索的基礎題目，歡迎學生勇於挑戰。

# 從基礎走向未來應用

既然這些基礎科學的探索如此深奧且充滿挑戰，大家最關心的莫過於：這些研究成果未來將如何改變我們的科技與生活？

教授坦言，雖然基礎研究距離真正的商品化還有一段路，但他們所觀察到的物理現象，確實正為下一代科技指引著三個重要的發展方向：

## 1. 自旋電子學 (Spintronics) 與節能元件

傳統的電子元件仰賴「電荷」移動來運作。教授生動地比喻：「這就像彈珠台裡的彈珠，電子在晶格裡撞來撞去，一碰撞就會產生廢熱，這就是所謂的『焦耳熱』。」這正是我們的手機與電腦用久了會發燙的原因。

為了解決散熱與能耗的根本問題，教授團隊研究的「低維度量子磁性」帶來了全新解方。未來傳遞資訊可能不再需要電子實體的移動（無電流），而是透過「自旋 (Spin)」的翻轉或波動（像是自旋波 spin-wave）來傳遞。因為沒有了電子的橫衝直撞，元件就不會產生大量廢熱，成為未來低能耗元件的關鍵。

## 2. 二維磁性材料與異質結構

除了自旋電子學，團隊也正投入「二維磁性材料」的研究。這種材料薄至僅有幾個原子層，可以想像成是「有磁性的石墨烯」。

它的最大應用潛力在於「堆疊」。透過將不同的材料疊加在一起（凡德瓦異質結構），可以利用介面間的交互作用創造出原本個別材料都沒有的新特性，也為材料方面的研究增添許多可能性。舉例來說，將兩種沒有磁性的材料相疊，介面處竟然可能「無中生有」地跑出磁性！這種極薄且具備獨特特性的結構，極度適合應用於未來高度微縮的記憶體或邏輯元件。

## 3. 以 RIXS 助攻產業界

這點與台灣引以為傲的半導體產業鏈有著最直接的關聯。當半導體製程不斷微縮，材料間的「接觸介面 (Interface)」品質變得至關重要。

這時，RIXS 技術便能發揮極大價值。由於 RIXS 具備「元素專一性」，研究人員能精準打向介面上的特定元素與軌域能階態，觀察其軌域變化。這能清楚看見當金屬與半導體接觸時，電子結構究竟發生了什麼改變、是什麼因素影響了導電性。這些微觀層面的關鍵數據，能回饋給產業界，協助設計出更佳的材料組合並優化製程，進而提升元件效能。

# 給學子的建言與期許

## 建立自己的品牌

面對未來有意出國留學的同學，教授提出了一個獨特的觀點：試著把自己當成一個「品牌」來經營。

出國申請不該只是履歷的流水帳，而應具備一套「邏輯」。你要能向國外審查委員說出一個自圓其說的故事：你修的課、做的專題，是如何為了解決未來的某個問題而累積的。當然，不能有任何過度浮誇和過度包裝，只要將自己既有的成績拿出來且主題性明確就好，也不用覺得自己一定要有什麼亮眼表現才能進到夢寐以求的學習環境，畢竟你都會了，那你也不需要去學。

此外，業界有句名言：「70%的工作不在廣告上」，這點在學術界也同樣適用。許多博後職缺或訪問學者的機會，根本沒有公開刊登，都是靠人脈「聊出來的」。教授建議同學隨時準備好「電梯簡報 (Elevator Pitch)」，在短時間內向他人說明：你是誰？你做過什麼？你具備什麼能力來解決他的問題？這些遠比單純刷高成績來得有用。

## 打破「物理 vs. 工程」的二元對立

針對電物系學生常有的迷惘——究竟該走純物理還是工程應用？覺得自己學得太雜？教授的回答是：「打破這種二元對立的想法。」

未來的科技問題是高度跨領域的。即使無法精通所有細節，至少要學會該領域的「行話 (Jargon)」。面對一個新技術，只要能回答這三個問題：

這個技術是為了解決什麼問題而誕生的？  
它的物理極限在哪裡？  
它的發展瓶頸是什麼？

只要具備這些認知，你就能跟不同領域的人溝通，成為有價值的跨界溝通者。未來的職涯選擇是動態的，不需要現在就畫地自限。

## 實驗室文化：真實、溝通與絕對的誠信

最後，談到自己希望建立的實驗室文化，教授強調了三個核心：真實、樂於溝通、擁抱失敗。

他鼓勵學生在可控範圍內大膽嘗試，即使實驗失敗或樣品燒毀也無妨，重點是要勇於探索教科書外的可能性。此外，教授常帶學生去國家實驗室進行 24 小時的輪班實驗，這其實只是一個情境，真正的重點在於培養學生「願意去溝通與合作」的態度。在團隊中，隨時保持順暢的交流、共同解決問題，遠比單打獨鬥重要得多。

最重要的是，教授極度看重「絕對的誠信 (Integrity)」。

「實驗可以做不出來，結論可以跟預期不同，但是 Raw Data (原始數據) 必須真實且完整地保存下來。你可以解釋為什麼失敗，但絕對不能造假，這是我們的底線。」

在這條傾聽大自然計畫的道路上，沒有奇蹟，只有累積。教授帶著歐美的歷練回到交大，正引領著學生們，在未知的物理世界中，誠實且勇敢地邁出每一步。



### 小編的話

嚴晨炬：

這次採訪真的是受益匪淺。對話的過程中，老師不僅幽默地分享了在海外求學的文化衝擊與歷練，更帶給我們許多打破框架的思考。

身為電物系的學生，我們常常會在「純物理」與「工程應用」的二元對立中拉扯，不知道該往哪裡走。但教授告訴我們，未來的科技問題都是高度跨領域的，與其畫地自限，不如學會問對問題、建立自己的「品牌」。此外，老師在談及學術界炒作風氣時，那份堅守「絕對誠信」與「寧可證明此路不通也有價值」的底線，真的讓人非常敬佩。不需要過度害怕實驗失敗，因為人類確定的知識本就有限。希望大家在讀完這篇專訪後，也能放下對「標準答案」的執著，勇敢且誠實地去探索屬於自己的道路。

林風邑：

非常榮幸這次曾奕教授願意接受我們的採訪，從一開始在詢問教授採訪意願時，就能感受到教授的親和力，以及願意將自身經驗分享給學生們的熱忱。不同於預想中制式而嚴肅的問答，與教授的訪談更像是一場人生的旅行，從歐洲走到美國，最後回到台灣。我們得以從教授的分享中，看見一位研究者不同學術環境中成長與探索的歷程，也更了解他心中始終堅守的原則。在談及研究與學術道路時，教授不僅介紹了自己的研究方向，也分享了許多關於求學、研究與人生選擇的想法。其中最讓我印象深刻的是，在我們問到「是否有什麼關鍵問題是非做不可的」時，教授給出的回答並不是自己在研究領域中的成就，而是談到對學術界某些不良風氣的反思與堅持。這樣的回答，讓我們看見的不只是研究本身的重要性，更是一位學者在面對學術環境時所抱持的價值與態度。或許正是這份對學術誠信與研究本質的堅持，構成了教授一路走來最核心的動力。

# 系友專訪

電物78級 李佩雯 教授

陽明交大電子物理系系友會 前會長 葉維焜

# 打破安穩框架，當自己人生的主人



電物78級 李佩雯 教授

- 國立交通大學電子物理系 學士
- 美國哥倫比亞大學電機系 碩士&博士&博士後研究員
- 世界先進積體電路股份有限公司製程整合技術開發部資深工程師
- 義守大學電子工程學系 副教授
- 國立中央大學電機工程學系 副教授&特聘教授&系主任
- 國立中央大學 副教務長&奈米科技中心主任
- 國立陽明交通大學電子研究所 特聘教授

## 請教授跟我們分享個人生涯的一些經歷

我是電物系78級的系友，在1989年畢業。大學畢業後，我赴紐約哥倫比亞大學攻讀電機碩士。當時美國研究所要求修課與專題並進，所以我在第二學期便開始投入實驗室進行研究。但同時我也面臨了人生的十字路口：是該申請博士班，還是直接投身職場？所幸當時的專題導師對我的研究表現給予高度肯定，主動詢問我留校意願並提供獎學金。這項提議對我來講是一個非常大的肯定，也是非常迫切的經濟資助。最終，我用四年半的時間順利取得碩博士學位，並留校擔任一年的博士後研究員。

原本計畫畢業後進入IBM或Bell Labs繼續研究工作，但因為先生已在別州找到工作，我們經歷了一段互相追逐、遷就的過程，最終決定一同回台。回台後，我進入世界先進投入DRAM的研發。從學術界跨入公司，對我而言是極大的轉變，卻也帶來前所未有的快樂。我至今仍清晰記得，

有次在台北光華商場逛街時，看見架上販售著自己公司生產的記憶體，那種「學有所用」的成就感與震撼是一種難以取代的肯定。然而，業界的高壓節奏也讓我開始思考長遠的家庭規畫，於是在工作兩年後，我選擇重返學術界。

回學界初期，我先任教於南部的義守大學。待女兒出生、生活步調較為穩定後，便申請轉往北部的中央大學，在那裡重新建立實驗室。不同於學生時代的「解題」，身為獨立計畫主持人，我必須思考：我的研究核心是什麼？當時母校交大在半導體領域已有強大團隊，若正面競爭難有優勢。因此，我結合了電物系的「量子物理」訓練與電機所的「元件背景」，鎖定2000年剛萌芽的「奈米技術」，試圖在技術前沿建立獨特性。中大「小而美」的環境給了我15年安靜耕耘的空間，我們在那裡白手起家，建立了完備的微光電實驗室與無塵室，與同事/學生們並肩作戰，打下了深厚基礎。

2015年，母校交大向我招手。當時我在中大已建立了完備的實驗室並兼任行政職，面對未知的挑戰，內心掙扎許久。這時，就讀國中的女兒給了我一個重擊，她直言：「妳現在不敢做的事情，妳將來一定更不敢做。」這句充滿純真勇氣的話點醒了我，父親也支持我：「妳女兒說的，就是我想告訴妳的。」在家人的鼓勵下，儘管先生一度不願放棄當時的安定生活而有所顧慮，但我仍決定接受挑戰，回到了母校。

來到交大已11年，這是我研究生涯進步最顯著的時期。這裡的環境就像是在滾輪上奔跑，雖然辛苦，但這股力量迫使我不斷向前，避免成為停滯不前的「沙發馬鈴薯」。交大的競爭氛圍強烈，不僅來自優秀的同事與學生，更來自校友強大的凝聚力與提攜。記得有位剛從光寶副總退休的學長，得知我在做量子計算與矽光子研究後，主動提供資源並引薦產業界高層，為實驗室注入寶貴的業界Know-how。這種被看重與支持的感覺，讓我更有動力去突破研究瓶頸。

受惠於交大的國際聲望，這兩年許多國際合作也主動找上門，讓我們能站在更高的平台上與世界對話。回首這段從業界回歸學術，再從安穩走向挑戰的歷程，雖然過程中辛苦且充滿挑戰，但我從不後悔。這些成長中的正向肯定與負向刺激，都化作前行的動力，讓我的研究生涯在知命之年，依然充滿活力與新意。

**在教授您求學的年代，社會上普遍還有重男輕女的觀念，理工科系的女性更是寥寥可數。想請問教授，當年您是如何下定決心走入理工領域，並一路勇敢走到國外發展的呢？**

在我們那個年代的教育體制，國中畢業後主要有三個選擇：高中、五專，或是師專。因為我父親是軍人，家裡有四個兄

弟姊妹，經濟條件並不寬裕。當時師專不僅免學費、有生活費，還保證畢業後能當國小老師，因此我母親非常希望我能走這條安穩的路，也能減輕家裡的負擔。然而，我父親卻有著截然不同的想法。他是家裡唯一的經濟支柱，卻堅定地告訴我：「妳想唸什麼就唸什麼，不用考慮錢的問題」。因為他的支持，我順利進入台中女中就讀。我母親退而求其次，希望我考大學時能以「台師大」為第一志願，將來當個國、高中老師，畢竟當時班上百分之九十的女生也都是這麼計畫的。

第一個讓我改變人生軌跡規劃的貴人，是高三導師，他當時還是一位三民主義研究所的博士班學生。有次他在課堂上要我們全班閉眼，問我們有多少人想考台師大。不出所料，絕大多數人都舉了手。但他語重心長地分享了自己的體悟：教書的前兩年，為了備課會不斷成長，但到了第五年，成長就會停滯、固化，甚至開始濃縮與遺忘。這番話對當時十幾歲的我帶來極大的震撼，我反問自己：「如果十五年後的我也變成這樣，這真的是我要的人生嗎？」。這成為我跳脫安穩框架的關鍵契機。

大學聯考時，我很幸運地考出了好成績，分數足以錄取台大或交大。那時哥哥在成大唸電機，他與父親都極力鼓勵我選擇交大。為了兼顧對物理的熱愛與未來的就業發展，也覺得純物理未來在業界可能會較辛苦，我最終選擇了交大電子物理系。到了大三，系上的黃凱風老師與陳文雄老師對我十分照顧，看我成績優異，便提議讓我直升碩博士並留校任教。我母親得知後非常開心，覺得能在大學教書是莫大的榮耀。

但我永遠忘不了大三暑假的第一天，我才剛踏進家門，父親就平靜地對我說：「我已經幫妳報名好美加補習班了，妳去補托福跟GRE吧。」當時出國留學的網路資訊非常匱乏，申請學校全靠紙本通信。我原本心裡有些抗拒，覺得一切都已經安排好了。但父親堅持要我給自己多一點機

會。他甚至運用自己當年為了跟美軍溝通而苦學的英文，幫我處理國外的往返信件，並承諾會籌錢供應我第一年的留學費用。

父親之所以能有如此開闊的遠見，是因為他高一就因戰亂隻身來到台灣，被編入軍隊做飛機修護。他經歷過顛沛流離，深知在不穩定的環境中，必須不斷尋找並創造更好的機會。他總說自己沒有財產能留給我們，唯一能給的就是支持我們受教育。如果沒有他的無私與眼界，我可能早就順應家人的期望，安於現狀。

在當時的交大，女學生是極度稀少的。我們同屆46個電物學生中只有2個女生，整個系也才7個女生。雖然人數少，但在這種幾乎全是男生的環境裡，反而讓我們學會了極度的自立自強。也正是這份在台灣打下的獨立與韌性，讓我後來帶著父親的期盼到國外求學時，面對未知的環境與挑戰，也不覺得特別辛苦。回首這段從抗拒到勇敢走出去的歷程，我生命中最重要的貴人，毫無疑問就是我的父親。

## 那想請問教授在美國讀書時有體會到一些什麼跟台灣不一樣的生活？

大學畢業後，我滿懷憧憬地前往紐約哥倫比亞大學攻讀碩士。當時的我，總認為身為國際學生，學校理所當然會妥善照顧我們的生活，卻沒想到一踏入紐約，迎面而來的是一場徹底的「生存震撼教育」。當時資訊不像現在發達，我抵達學校宿舍辦公室詢問住處時，對方只冷冷地叫我「去門口看公告」。我提著兩大箱行李走近一看，才發現自己在候補名單第49號。工作人員直言：「大概要等兩個月」。在當時治安堪慮、人生地不熟的紐約，那一刻的衝擊至今仍歷歷在目，我甚至一度懷疑自己是否得露宿街頭。

幸運的是，出國前黃凱風老師曾隨口提過一位在哥大任職的同學師長，這份原本以為只是「客套」的人脈，成了我的救命稻草。透過師長的引薦與台灣同學會

（松社）的慷慨相助，我最終在學校附近一間狹小的學長宿舍客廳裡，與其他三位女同學一起打地鋪。學長當時告訴我：「這就是哥大，這很正常」。這段經歷徹底打碎了我的溫室思維。我開始觀察周遭，發現不論是台灣還是其他國家的學生，每個人都在為自己爭取各種可能性。我也學會了積極尋找規則之外的轉機，例如：宿舍每周一次的「樂透抽房」。我發現想中獎的人前晚12點就會去排隊。於是，在開學一個半月後，我也憑藉這股「非贏不可」的毅力，終於抽中名額，結束了打地鋪的日子。

這段生活上的挫折，也延伸到了我的學術心態。初到美國時，我仍帶著台灣學生的服從與謙遜，認為「我只要乖乖唸書、成績好，老師就會肯定我」。直到碩一上學期末，看到同儕已經在積極張羅實習（Intern），甚至主動與教授接洽研究時，我才驚覺自己像個「鄉巴佬」。在申請博士班的過程中，美國教授直白地問我：「進了我的實驗室，妳能貢獻什麼？」而非「妳想學什麼」。這種從「受教者」轉向「貢獻者」的角色轉換，雖然一度讓我感到沮喪，自覺除了考試什麼都不會。但在一位具備業界經驗的學長鼓勵下，我意識到自己已擁有紮實的理論基礎與快速執行的能力，欠缺的僅是歷練而已。

於是，我開始為自己準備大量的「備案」。在那個電子郵件尚不發達的年代，我手寫了一封封實體信給各校教授，甚至包含後來獲得諾貝爾獎的Kroemer教授。當我收到他的親筆回信鼓勵我申請時，那份感動給了我極大的信心。這段求學歷程教會我最寶貴的一課：世界上沒有任何事情是理所當然的，也沒有人義務要幫妳。妳必須為人生準備好Plan B甚至Plan C。這份在紐約街頭與學術叢林中磨練出來的獨立與應變能力，成為我日後回台任教、建立實驗室時最底層的心理素質，讓我即便在面對未知挑戰時，依然能充滿韌性地尋求突破。

## 教授對於台灣量子發展有甚麼想法？台灣的優勢為何，如何精進？

去年2025年是兩個重大的技術的百年慶。西元1925年，史上第一個半導體電晶體專利申請獲准。同一年間薛丁格方程式被提出，因此1925年被這個聯合國命名為叫量子科技年。我們現在聽到量子會覺得有點「玄」，但是1960、70年代大家聽到半導體也是這麼覺得。當時大家習慣的真空管，可以看得到內部的構造；但半導體則不然，看不到內部，因此顯得抽象而陌生。那個時期也正值交大在台復校，正在選擇研究發展方向。如果選擇發展技術較為成熟的真空管，只能永遠走在別人後面，於是交大電子選擇做半導體。這其實下了極大的賭注。當時臺大或清大還不敢像我們這樣豪賭。

事實上，半導體也源自於一量子力學。我們會覺得量子是一門玄學、挺可怕的，但其實半導體中導帶、價帶，都是源於量子力學。半導體本身就是量子力學最成熟、最成功的工程應用之一。量子力學在現在科技中也有許多其他應用，例如：把材料做成幾十顆、幾百顆原子大小的量子點，已作為顯示器的發光元件。相較於一般的LED或者LCD的電視，價差差了五六倍。這顯示量子科技其實已經相當普及。反觀臺灣因為CMOS電子產業太發達，相對地侷限在傳統的經典電子工業。如果我們以非常強的CMOS技術發展量子科技，台灣也可以在量子計算的產業占有一席之地，以我實驗室為例，很多的國際合作都是看中我們有札實深厚的CMOS製程技術。對我們而言，做一個MOSFET或記憶體相當容易，但對於國外實驗室而言做一個PN junction都有難度。

我個人一方面受過電物系的基礎訓練，跟物理學者討論的時候我不會怕，至少不會完全聽不懂；一方面我自己也受過IC廠的洗禮，所以CMOS製程是一項必備的基本功。目前的研究方向就是將兩者結合，用CMOS技術製作量子點與發展量子



元件，這跟傳統物理人做的方法不太一樣。我個人覺得把應用端和基礎理論整合，台灣就可以從經典計算邁向量子計算。

### 台灣量子的發展有不如國外嗎？

臺灣的現況大多是，我們的產業偏向技術實現而不是技術開發。倒不是產業技術不夠前瞻，而是人家已經把系統規格都定義好，我們負責實現。例如鴻海跟蘋果的關係，蘋果把規格、功能定義好，鴻海負責製作組裝。有點像是人家出題目，我們解題。可是當初我在美國念書時，指導教授不會幫你定義題目，只會跟你討論方向。雖然台廠扮演的角色是最安全、風險最低，但利潤也相對低。台灣為甚麼沒有走在研發前沿，也許是我們害怕損失。

這不能怪台灣，畢竟我們的內需市場沒有中國、歐洲這麼大。中國的電子產品雖然未必遠勝過蘋果，仍然可以透過低價，賣給二、三線城市而維持利潤。我們臺灣就是這麼小，所以台灣量子發展不如國外如火如荼也是情有可原。但是台灣CMOS的技術具有極大的優勢。某種程度來說，我們將敲磚這個事情做得非常非常的踏實。當量子等新的技術想法來臨時，如果可以連結CMOS技術，並且將獲利年限再拉長一些，也許我們可以漁翁得利。

其實台灣業界也有布局量子科技。大概2020年光寶集團退休執行長林行憲(同

樣也是電物學長)，主動詢問我的研究方向。沒多久張懋中校長邀請我參加一個會議，報告研究領域，當時好幾個業界赫赫有名的學長在場。最後他們決定投資我們，而且提供很多資源。這些資深學長經歷過當時半導體萌芽的時代，已經開始思考下一個世代的方向了。

## 身為一個學生，就讀量子領域的碩博士，會不會無法銜接就業？

我認為學習不是為了將來要靠這個吃飯，而是累積的這些技術能量，可以幫助自己去學更多新的東西，並且創造更大的突破。我讀博士時也並非研究量子領域，但我相當感謝博士時期的累積。當時我研究矽鍺合金電晶體。在矽中添加鍺可以提升電荷mobility。但是在高溫氧化的時候鍺會析出。當時我的課題是如何用低溫氧化做好矽鍺MOSFET。當我回到學校，計畫要求做奈米顆粒時，我反而利用高溫氧化時鍺析出的性質，成功做出量子點。

學習更多時候是帶給你刺激，研究更是如此。我一直都會向當初的指導老師，回報我的研究進展。有一天他對我說，他已經對我研究感到陌生了，並隨即恭喜我：「你已經是你自己了！」這對我而言是一個極大的鼓勵，代表我所累積的成果已經離開他當時的保護傘。

我們實驗室特別研究整合CMOS製程製作的元件與CMOS電路整合的量子計算研究。因為使用很多傳統製程的技術，不用擔心未來的工作競爭力。

## 電物學生有什麼優勢、劣勢？，如何利用優勢、解決劣勢？

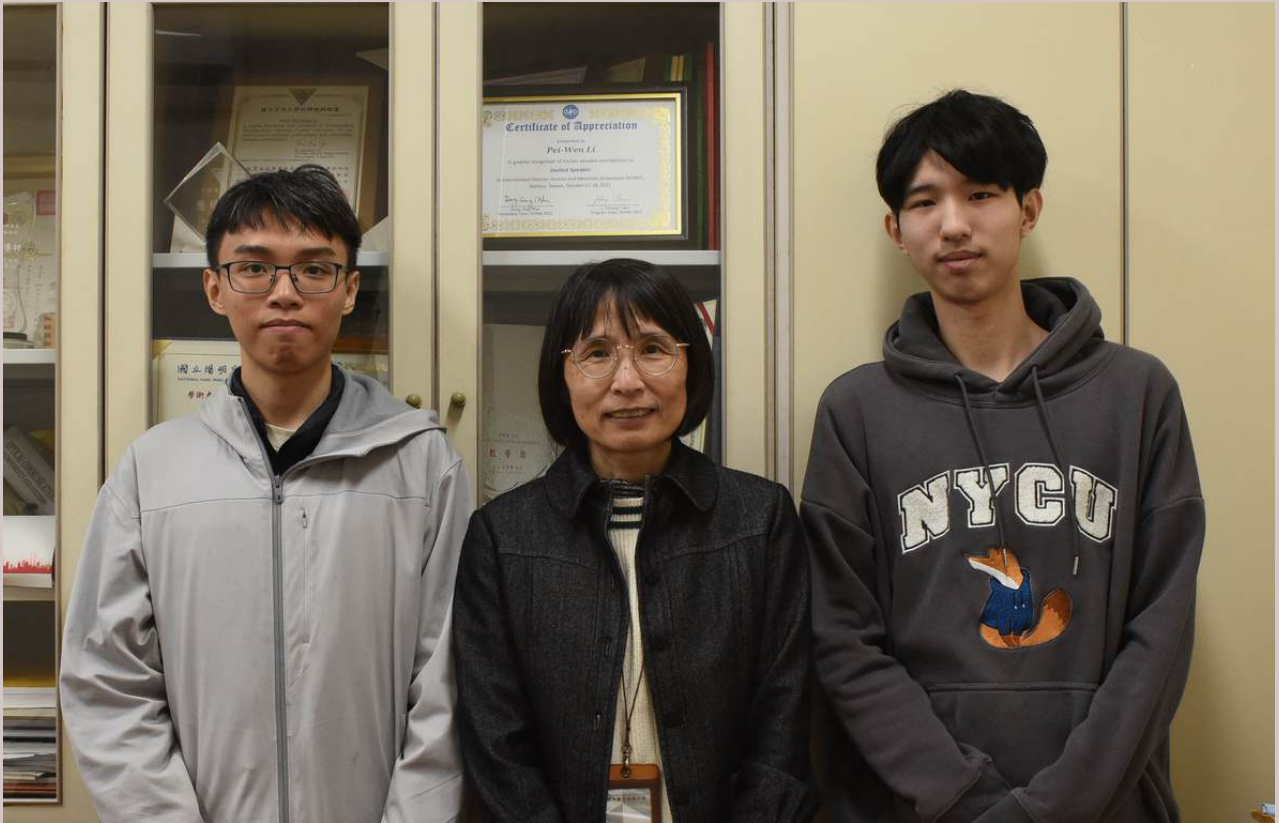
當初電物系大一至大三的課程規劃幾乎跟電子系是一樣的。除此之外，還要修半導體物理、力學以及光學，因此畢業學分很高。說實話，當初我也不知道自己在修什麼。直到後來我到美國時，需要和許多不同領域的人討論，才發現以前電物修

課頻譜很廣的關係，在聽到專有名詞時都大概知道在哪裡看過，不會讓對方覺得我在浪費他時間。雖然第一時間不是很懂，但至少不會害怕接觸，可以比別人有更多機會。我們雖然十八班武藝未必樣樣精通，但是當找到真正熱愛的領域時，可以很快進入狀態。這是我們電物的優勢。

其實我也曾經想念物理。念物理的人有時候會把系統想的很理想美好，只專注在計算跟特定的現象。因此我後來決定做元件，我想做出實際的東西。電物系剛好銜接工程和物理。如果可以把心態放得更開一點，接受現實世界中的不完美，並且嘗試在不完美的世界中做出東西，這就不會是劣勢。

## 想對系上說的話：

有的時候要為了自己做一些事情，不要被世俗決定自己。到了我這個年紀更加體會生命只有一次，如果每件事情都跟著大家走，相當可惜。我們小時候生命好像是公車，同站上車、同站下車。直到大學、研究所開始研究，我的生命歷程有了變化，並不是傳統女孩子的人生。一路走來遇到很多碰撞，但也讓我發現路是可以走出來的。當自己人生的主人，是一個很大的財富。如果每一個決定是遵從自己的內心，為自己的決定負責，其實也就沒什麼好後悔的。所以我相當鼓勵大家，在沒有很大經濟壓力時，應該多為自己而活，去創造一些事情。當畫筆在自己手上時，應該更加積極規劃自己生命，為自己的人生創造不一樣的色彩。



## 小編的話

### 余宸毅

很高興可以藉由系刊採訪人生李佩雯教授，現場真的可以感受到教授研究歷程的坎坷，以及發現真理後的喜悅。各位讀者對於量子計算有興趣的話，後面有一篇量子科普可以參考一下（幫自己的文章打廣告），也可以找老師做專題，對於量子元件會有更深刻的理解。

### 劉子鉸

初次見到李佩雯教授，是在電物系的系級聯絡人大會上。當時我們學生會的成員正逐桌敬酒，透過學長的引薦，結識了在電子所任教的李教授。藉著這份機緣，我們隨後向教授提出了系刊的採訪邀約，而教授也欣然答應。我非常欽佩教授勇於跨出舒適圈、積極進取的理念；這份共鳴，或許正來自於我同樣不甘安於現狀，渴望在充滿挑戰的環境中歷練的心態。期許自己未來也能如教授一般，將這份精神貫徹於人生的道路上。

# 左腦科技,右腦人生:葉維焜學長橫跨半導體與情緒教育的職涯導航



電物74級 陽明交大電子物理系系友會前會長 葉維焜

學歷：

交大電子物理系學士

清華大學電機工程研究所

密西根州立大學電機工程碩士

經歷：

台積電工程一部經理

通嘉科技董事長兼總經理

誼騰動力電子公司董事長

現職：

立捷電子(股)公司董事長

台灣芯福里情緒教育推廣協會常務理事

耕心文教股份有限公司董事

偉詮電子獨立董事

政美應用股份有限公司獨立董事

## 扎根電物:興趣是最好的領航員

回想起當初選擇電物系的契機,葉學長提到在就讀新竹高中時,大三有一些學長回母校介紹自己的系所及課程方向。其中印象最深刻的就是電物系的學長,加上當時對物理、固態半導體也很有興趣,讓他即便錄取分數在班級前列依舊選擇電物系。進電物系後學長認為那四年過得很充實,覺得無論是修課以及各方面的師資都很棒。所以認為選擇電物系是不虛此行。

## 赴美深造的契機與收穫與職涯經歷心得

在研究所階段,學長同時錄取了清華大學電研所(正取)與交通大學電研所(備取),基於想體驗不同環境的心情,他選擇進入清大就讀。然而對國外視野的嚮往,促使學長在就讀一學期後決定申請出國深造,選擇了西北大學(NU)與密西根州立大學(MSU),他觀察到 MSU 在半導體固態領域的師資更為優秀,加上 MSU 率先寄發錄取通知,讓他決定負笈美國。學長認為在國外念書是很獨特

且非常棒的經驗,且清大一年的學分可做抵免,讓他僅花一年便取得MSU 碩士學位,在時間成本上也是極佳的收穫。

返台後,26 歲的學長面臨職涯的第一個轉捩點,當時他在聯電與台積電這兩家頂尖半導體公司中,選擇了台積電並一路服務至 40 歲。回顧這 15 年的歷程,學長認為當中最深刻的體悟是:選擇公司,鍵在在於觀察領導人。一個優秀且具備誠信(Integrity)的領導者能確保企業不走歪路。他以張忠謀先生為例,領導者雖非完人,也會有決策失誤的時候,但憑藉其獨特的人格特質與對趨勢的遠見,張忠謀先生不僅為台積電奠定了不可動搖的基石,更親手鑄造了今日護國神山的崇高地位。早在 2010 年至 2012 年擔任通嘉科技董事長總經理期間,學長便已洞察到台灣企業對大陸乃至全球最具影響力的指標正是台積電。如今看來,這份 14 年前便預見的趨勢確實精準,也驗證了選擇具備遠見領導者的重要性。

## 階段性的能力培養:從技術紮根到商業洞察

針對目標進入產業研發的學弟妹,是否需要提前具備商業與經濟思維?曾擔任上市

公司董事長的學長提出了選階段性培養的務實觀點。他認為多元能力的養成固然重要,但在目前的學生階段,最重要的核心任務仍是選將專業能力培養紮實。學長以自身進入台積電的第一份工作為例,分享電物系背景帶來的自信。他觀察到,相較於其他電資系所,電物系在半導體固態、光學等基礎物理知識的訓練更為深入。這種對物理本質的深刻理解,讓他在面對工作挑戰時,能擁有更透徹的理解力並做出精準判斷。學長強調:選具備專業知識是一輩子的事情,在什麼階段,就該具備那個階段所需的專業。

至於商業與經營思維,學長認為這往往是隨著職涯進展而選水到渠成的過程。當擁有一點積蓄後,自然會開始規劃投資理財;當你可以創立公司的時候,你就要去想公司的經營是怎麼樣。像 Apple 創始人 Steven Paul Jobs、Stephen Gary Wozniak 和 Ronald Gerald Wayne,他們當時也只是抱持著技術熱忱成立公司,對如何運作一家公司也是外行。但學長強調,正是那份對技術的純粹熱忱,支撐著他們在解決問題的過程中,逐步摸索出經營之道。這印證了學長的理念:能力是可以隨階段培養的,只要你的核心專業足夠強大,商業視野往往會隨之而來。因此,學弟妹不必在學生時代就為了不熟悉的商業領域而感到焦慮,扎穩現在的腳步,未來自然會有水到渠成的發展。

談及創業,學長坦言這是一條極其辛苦、耗費時間與腦力的道路,且在台灣與美國的成功案例背景各不相同。雖然創業成功帶來的投資報酬率最高,但伴隨而來的投資風險與心力付出也相對巨大。學長曾成立並擔任多家公司的董事長,對他而言,這是一段寶貴的資歷,但並非每個人職涯規劃中的選必然。他建議學弟妹先以熱忱驅動專業,至於是否跨入商業領域或創業,則應視個人長遠的生涯規劃而定。

## 理工人的右腦必修課:在壓力中鍛鍊選韌性的燈塔

在追求邏輯與問題解決的科技領域,理

工學生往往接受了極其紮實的選左腦訓練。然而,面對未來高壓的科技產業,葉維焜學長以其擔任情緒教育志工17年、諮商志工7年的資深經驗,提醒學弟妹:選了專業實力,情緒調與理性思考的『右腦訓練』,才是決定人生長度的關鍵。

學長指出,我們一生中相處最久的人就是自己,因此選愛自己並非口號,而是一種對自己快樂與健康負責的表現。他語重心長地提到,許多學生習慣熬夜、吃泡麵或過度攝取甜食,這些忽視身體需求的行為,其實就是不愛自己的表現。學長認為,唯有在學生階段就開始練習瞭解自己的情緒、察覺自己的想法,並學會調壓力,才能在未來步入職場後,依然保有平靜與快樂的心境。

面對科技產業的瞬息萬變與挫折,學長提出了一個核心鍵在字——選韌性。學長以張忠謀先生為例,強調優秀的領導者之所以能成就偉業,並非一生順遂,而是具備了極強的韌性,能將每一次的挫折視為生命的一種體驗。這種韌性來自於選理性思考的訓練:當你學會轉換負面想法、不被單一觀念束縛時,你就能在人生長跑中長久地經營事業,最終獲得真正的成功。人生必然充滿成功與挫折,具備韌性的人在碰到困境時,不是跌入谷底一蹶不振,而是能夠像球一樣選 Rebound。

## 拒絕隨波逐流:在薪資與頭銜之外,活出獨特的個人價值

在臺灣的社會氛圍下,追求大公司、高起薪似乎是理工學子的唯一標準答案。面對這種選集體焦慮,學長給出了截然不同的思考維度:了解自己的強項,比進入哪間公司更重要。

學長分享了一個動人的產業故事:今日貴為全球 AI 巨頭的 NVIDIA 創辦人黃仁勳,其實與學長同齡,在 1990 年代創業初期也曾陷入極度艱辛的困境。學長透露,當時台積電北美銷售團隊甚至曾以延後收款的方式,幫 NVIDIA 度過難關。這段往事說明了即便是如今最成功的人物,年輕時也曾跌宕

起伏。

成功不見得是要待在大公司,也不見得是領多少薪水。學長認為,真正的成功在於能否長遠地發展自己的強項。若能找到自己的天賦所在並深耕,那樣的人生才能活出價值,且過得真正快樂。

對於學弟妹視為首選的台積電,學長也給出了中肯的建議。他認為台積電無疑是一間極其優秀的公司,非常適合年輕人進去歷練幾年、增廣見聞。但他也提醒,每間公司都有其獨特的文化,學弟妹應在歷練過程中觀察自己是否選適應其文化,而非因為社會期待而盲目留下。

你要聽見內心真實的聲音。學長總結道,不要怕跟別人走不一樣的路。當你按照興趣與能力去做事時,你所建立的獨特價值,才是支撐你走過未來三十年職涯的最強大動力。

### 建立獨立思考的選燈塔,定義屬於自己的成功

在訪談的最後,學長談到了他在台積電職涯中收穫最深的一句話,這句話不僅改變了他的工作態度,也成為他生命哲學的核心:**要做不一樣的事情,才會得到不一樣的結果。**

學長觀察到,台灣學生普遍擅長執行,卻較少練習選獨立思考。他提醒,若只是模仿他人或盲從社會標準(例如:幾歲該結婚、幾歲該進大公司),人生難免流於平庸。選獨立思考並非孤傲地認為自己永遠是對的,學長分享了一個具體的練習方法:在尚未綜合判斷前,不要輕易下結論。多去請聽、多看不同的立場,並勇於與他人切磋想法,甚至挑戰自己的既定認知。這種選自我切磋的過程,正是建立獨特價值的開端。

如何才能在變動的時代中保持定力?學長推崇選燈塔觀念。他建議學弟妹在古今中外的典範人物中,尋找那些令你景仰的靈魂作為選燈塔,學習他們的思維模式與生命理念。這不僅是尋找榜樣,更是正向心理學中培養韌性的重要方式。學長語重心長地說:選當你心中有燈塔、靈魂有韌性,無論

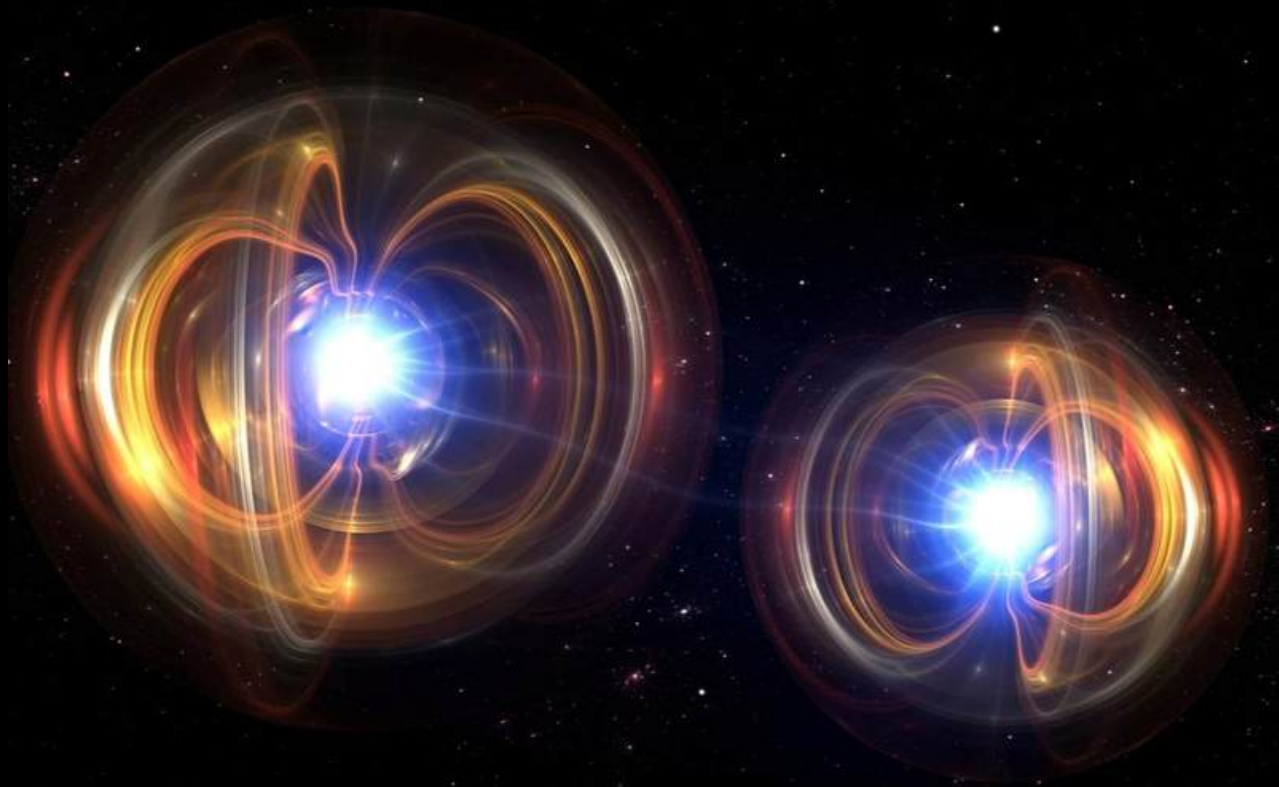
面對事業、投資或健康的挫折,你都能具備『反彈』的力量,而非輕言放棄。

### 小編後記:

謝文豪

與葉維焜學長的對談,彷彿經歷了一場從左腦到右腦的洗禮。從電物系的半導體物理基礎,到台積電的決策智慧,再到情緒教育的溫暖鍵懷,學長用他的生命經驗告訴我們:技術是我們的劍,但獨立思考與心理韌性,才是決定這把劍能揮向何方的領航燈塔。願每一位電物系的學弟妹,都能在追求高效執行的同時,不忘停下腳步,建立屬於自己的價值,做選不一樣的事情,成就一個不一樣且讓自己快樂的人生。





# 量子來挑戰

去年2025年，同時是半導體電晶體以及量子力學，兩項人類重大技術突破發展百年。在這個文明技術的節點上，下一個世紀人類的計算架構將會如何發展？隨著製程逼近奈米尺度，元件尺寸接近原子等級，經典電腦正逐漸面臨物理極限。但同時人工智慧訓練、密碼破解、材料模擬等問題對計算能力的需求卻持續爆炸式成長。是否存在一種全新的計算架構，能突破傳統電腦的瓶頸？

費曼：「自然界本質上是量子的，如果我們想有效模擬自然，或許應該使用量子系統來計算」。量子電腦並不是單純更快的電腦，他利用量子力學基本原理（如疊加與糾纏）進行資訊處理的全新計算機制。近年來，Google、IBM、Intel 等科技公司紛紛投入量子硬體研發，學界與產業界都將其視為下一代關鍵技術。然而，量子電腦究竟在「算什麼」、是怎麼算的？本文將從基本概念出發，解釋量子計算的硬體、軟體，以及量子通訊。

## 二、量子計算的基本概念

### 2.1 疊加：

在傳統電腦中，最基本的資訊單位是位元（bit），其狀態只能是 0 或 1。例如，一個 3-bit 系統同一時間只能處於 000、001、010 等其中一種狀態。量子電腦的「量子位元」（qubit）與 bit 不同，qubit 可以處於兩個基底態的線性疊加：

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

這是量子力學的特性之一， $\alpha$ 、 $\beta$  是機率振幅， $|0\rangle$ 、 $|1\rangle$  代表 qubit 的兩個態， $|\alpha|^2$ 、 $|\beta|^2$  分別代表 qubit 出現在兩個狀態的機率，滿足  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 。由於  $\alpha$ 、 $\beta$  是複數，兩者存在相位差。這代表 qubit 在測量前可以同時具有  $|0\rangle$  與  $|1\rangle$  的成分，而測量時才會以對應機率塌縮到其中一個結果。上述的性質就是所謂的「疊加態（superposition）」，這種特性是量子計算威力的第一個來源，在尚未量測時 qubit 可以同時處於  $|0\rangle$  和  $|1\rangle$ 。最後可以透過多次實驗測量，確定兩個態的機率分布（ $|\alpha|^2$ 、 $|\beta|^2$ ）。

### 2.2 糾纏：

當兩個 qubit 產生量子糾纏（entanglement）時，它們的狀態將無法被個別描述。例如，一個典型的 Bell 態：

$$\frac{1}{\sqrt{2}} (|00\rangle + |11\rangle)$$

上式代表，同時測量這兩個 qubit，有一半機率量測到00，有一半的機率量測到11 ( $(\frac{1}{\sqrt{2}})^2 = \frac{1}{2}$ )。因此，如果只測量第一個 qubit 得到 0，第二個必定也是 0；若得到 1，另一個也必定是 1。

### 2.3 干涉：

在經典計算中，機率是單純實數相加時相當單純：

$$P = P_1 + P_2$$

在量子計算中，機率振幅是複數，因此有干涉的性質，假設某結果有兩條路徑：

$$r = r_1 e^{i\varphi} + r_2 e^{i\theta}$$

該結果機率分布可以表示為：

$$|r|^2 = (r_1 e^{i\varphi} + r_2 e^{i\theta}) (r_1 e^{-i\varphi} + r_2 e^{-i\theta})$$

$$|r|^2 = |r_1|^2 + |r_2|^2 + r_1 r_2 e^{i(\varphi-\theta)} + r_1 r_2 e^{i(\theta-\varphi)}$$

$$|r|^2 = |r_1|^2 + |r_2|^2 + 2 r_1 r_2 \cos(\varphi - \theta)$$

相較經典計算多  $\cos(\varphi - \theta)$  項，可以改變相位來影響計算結果。可以利用振幅相位來設計邏輯閘、演算法可以：

- 讓錯誤答案的振幅彼此相消
- 讓正確答案的振幅彼此相長

最後在測量時，以較高機率得到正確解。

## 三、量子計算演算法

目前最主流的量子程式模型是「量子電路」。其概念類似數位電路：

首先初始態準備，接著一連串量子閘 (gate)，最後測量。量子程式設計的核心，在於如何設計一組閘，使量子干涉將答案「放大」。以下介紹幾種經典量子計算的演算法。

### 3.1 Shor 演算法：

Shor 演算法主要用於因數分解，他把「因數分解」轉化成「找週期」，再用量子傅立葉變換 (QFT) 高速找出這個週期，完成整數質因數分解，對現代密碼學（特別是 RSA）具有顛覆性影響。

Shor 演算法的問題是對於整數  $N = p q$  ( $p$ 、 $q$  是質數)，要找出  $p$  和  $q$ 。經典計算解決這個問題，主要用到以下數學的性質：

Lemma： $x$  與  $N$  互質，即  $(x, N) = 1$ （最大公因數為 1）。必有  $P$  使  $x^P \bmod N = 1$  ( $x^P$  除  $N$  餘 1)。證明：

$$x^P - 1 = AN$$

$$P \text{ 為偶數 } (x^{\frac{P}{2}} - 1)(x^{\frac{P}{2}} + 1) = AN,$$

$$\gcd \gcd \left( x^{\frac{P}{2}} \pm 1, N \right) \text{ 有機率可以得到因數。}$$

$$P \text{ 為奇數 } (x^P - 1)(x^P + 1) = AN,$$

$$\gcd \gcd \left( x^P \pm 1, N \right) \text{ 有機率可以得到因數。}$$

對於經典計算  $(x, N)$  很容易計算，但是很難找  $P$ 。Shor 演算法利用  $P$  的另一個性質： $f(p) = x^p \bmod N$  有週期性。以  $N = 35$ ， $x = 13$  為例：

$P$	$f(P)$
0	1
1	13
2	29
3	27
4	1
5	13
6	29

週期為 4

可以表示為 ( $x_0$  為任意整數)： $f(x_0) = f(x_0 + r) = f(x_0 + 2r) = \dots$

只要找到週期  $r$  就可以回推  $p$ ，首先我們用矩陣表式  $f(x_0 + r)$ ，讓出現 1 的週期可以回推  $r$ ，並且讓量子電腦的 qubit 處在這樣的疊加態。用  $n$  個 qubit 的量子電腦，總共有  $M = 2^n$  個狀態：

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{L}} [0 : 1 : 0 : 1 : \dots]$$

然後利用 QFT 矩陣 (gate)，可以快速找到週期  $r$ ：

$$F_M = \frac{1}{\sqrt{M}} \left[ 1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1 \ \omega \ \omega^2 \ \dots \ 1 \ ; \ \omega^2 \ ; \ \omega^4 \ ; \ \dots \ \vdots \right] \quad \omega = e^{\frac{2\pi i}{M}}$$

將兩個矩陣相乘，所得到的矩陣第y個數字對應到  $\omega^{ry}$  的等比數列，該能階的機率振幅為：

$$\frac{1}{\sqrt{LM}} \sum_{k=0}^M (\omega^{ry})^k = \frac{1}{\sqrt{LM}} \frac{(1 - e^{\frac{2\pi i ry L}{M}})}{1 - e^{\frac{2\pi i ry}{M}}}$$

由上式可知在  $y \approx kM/r$  時，會出現機率峰值。因此透過量測可以確定這些機率很高的能態，就可以回推  $r$ 、 $P$  跟  $p$  了。量子計算的優勢是，在量測前，qubit 可以存在不同能態，量子電腦透過干涉操作振幅，使特定能態出現的機率被放大。只要量子位元夠多，可以快速的破解目前的加密系統。

### 3.2 Grover演算法：

Grover演算法主要用於黑箱函數，要找到  $x_0$ ：

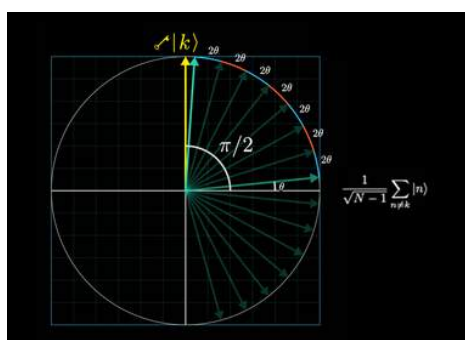
$$f(x) = \begin{cases} 1 & x = x_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

定義域中只有一個數字  $x_0$  在值域中對應到1，在經典計算中，要找到  $x_0$ 。必須要把定義域中每個數字帶入，一個一個嘗試。當定義域有  $N$  個數字，平均需嘗試  $\frac{N}{2}$  次，才可以找到  $x_0$ 。Grover 演算法則透過在定義域中，用干涉把答案振幅放大，可以將平均次數降到  $\frac{\pi}{4}\sqrt{N}$ 。

Grover 演算法第一步，將qubit 設為每一個能態的疊加：

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 \ ; \ 1 \ ]$$

接著將正確答案態的振幅乘上  $-1$ （相位翻轉），再對所有振幅相對初始向量做鏡射。這兩個操作神奇的地方在於：若將整個量子態投影到由「正確答案態」與「其餘態的等效方向」所張成的二維子空間中（圖一），這兩次鏡射的組合等效於在此平面中進行一次旋轉，使系統狀態向正確答案方向前進約  $2\theta$ （初始狀態夾角為  $\theta$ ）。



## 圖一、圖示Grover 演算法

當中：

$$\sin \sin \theta = \frac{1}{\sqrt{N}} \sim \theta$$

每次移動 $2\theta$ ，移動90度需要重複次數為：

$$\text{repetition} \sim \frac{\frac{\pi}{2}}{2\theta} = \frac{\pi}{4\theta} = \frac{\pi}{4} \sqrt{N}$$

實際解一次，當定義域中有1048576個數 ( $N = 1048576$ )，帶入上式：

$$\frac{\pi}{4} \sqrt{1048576} = \frac{\pi}{4} \sqrt{2^{20}} = 804.24$$

只需要執行805次就可以找出  $x_0$ ，而經典計算平均需要執行  $2^{19}$ 。

然而並非所有問題在量子電腦上都會變快。量子加速通常需要：特殊數學結構、可設計干涉的問題或量子物理本身的模擬任務，對許多日常計算，經典電腦仍然極具競爭力。

### 4、量子計算的硬體概念

所謂的qubit其實就是一個「人造原子」，有不同能階，成功控制在最低兩個能階，就能拿來運算。實際建造量子電腦極具挑戰，最大的敵人是去相干（decoherence）——量子態被環境雜訊破壞。目前主流的 qubit 技術各有優缺點，以下介紹不同原理所製成的位元。

#### 4.1超導量子位元

超導量子位元是目前產業界最成熟的路線之一（IBM、Google 皆採用）。他的優點：閘操作速度快（奈秒等級）；缺點：相干時間仍有限、需要極低溫（mK）、對雜訊敏感。

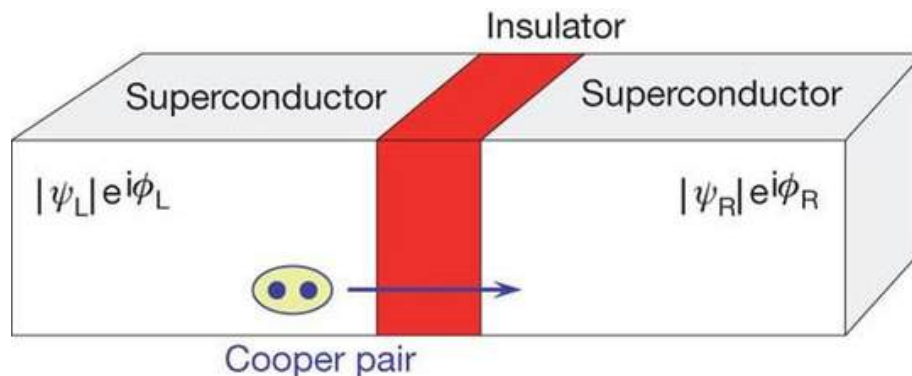
在極低溫下，某些材料會進入超導狀態，此時電阻趨近於零，電流可以在電路中長時間無耗散地流動，此時電子形成 Cooper pair，整個超導體電子可以用一個宏觀波函數來描述：

$$\Psi = |\Psi| e^{i\phi}$$

超導量子位元核心元件是 Josephson 接面，由兩超導體中間夾一層薄薄的絕緣層形成（圖二）。此時的電流可以理解成量子穿隧（tunneling）的結果，它滿足：

$$I = I_c \sin \phi$$

若忽略非線性，超導共振腔本質上就像一個 LC 簡諧振盪器，能階間距相等；加入 Josephson junction 後，可以讓能階間距變得不一樣，從而可以選取兩個能階作為 qubit，這就是常見的 transmon qubit。而我們可以外加電磁波控制他的相位、能階。



圖二、Josephson 介面

#### 4.2 離子井量子位元

離子井技術利用電磁場將帶電原子困在真空中（圖三），並操控離子中電子所處的能階作為 qubit。這是學界非常成熟的一條路線。優點：相干時間非常長、量子閘跟單顆 qubit 品質好；缺點：量子閘操作較慢、系統體積較大。

在離子量子位元系統中，雷射是實現量子控制的核心工具，首先他可以控制 qubit 所處的能階，透過調整脈衝時間與相位，可以決定旋轉軸、旋轉角，即可實現任量子閘。讀出也是利用雷射，使得  $|1\rangle$  會瘋狂散射光子（亮）、 $|0\rangle$  幾乎不發光（暗），藉由光子數量進行量測。



圖三、離子井之示意圖

#### 4.3 量子點量子位元

量子點量子位元 (quantum dot qubit) 是一種利用半導體奈米結構中，單電子自旋或電荷態來實現 qubit 的技術。可以理解為在晶片上做出一個極小的「人工原子」（量子點），把電子困在裡面，然後用電子的量子性質來當作 qubit。優點：與半導體工藝高度相容、功耗低；缺點：雜訊來源複雜、控制技術仍在

發展。

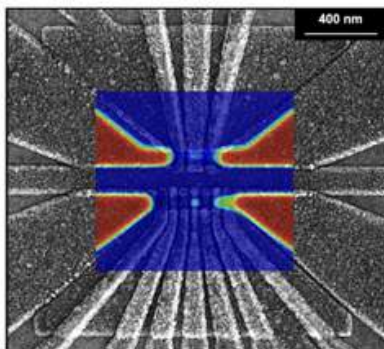
量子點 (quantum dot) 是尺寸只有幾十奈米的半導體結構，量子點主要有閘極定義 (gate-control) 與結構定義 (shape-confined) 兩種。閘極定義量子點是用金屬閘極施加電壓，將電子侷限在位能井中，透過閘極電壓控制電子數量與能階 (圖四)。相較之下，結構定義量子點則是將材料直接蝕刻成特定大小、形狀，由實際物理邊界侷限電子 (圖五)。若將量子點近似看成一個有限大小的位能井 (L 為井的尺寸)，電子的能階會變成離散的量子能階：

$$E_n \sim \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$$

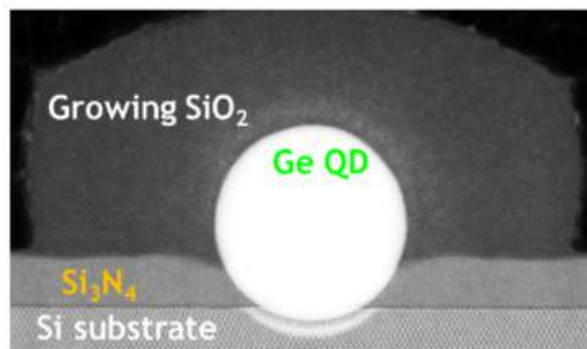
當尺寸越小、質量越小 (m)，能階間距越大。

雙量子點量子位元 (double quantum dot qubit) 是其中一種量子點qubit。他由兩個量子點組成，並讓單一電子被困在其中。由於電子具有量子穿隧效應，因此可能出現在左邊，也有可能出現在右邊，在兩井之間形成疊加態。若把電子在左井記為  $|0\rangle$ 、在右井記為  $|1\rangle$ ，就變成一個 qubit。透過兩邊外加的電壓改變位能，來控制電子的狀態、qubit的能階。

自旋量子位元 (spin qubit) 是另一種常見的量子點qubit。它利用量子點困住單一電子後，用電子的自旋方向編碼。電子具有兩種自旋狀態：自旋向上與自旋向下。若將自旋向上記為  $|0\rangle$ 、自旋向下記為  $|1\rangle$ ，便可形成一個 qubit。當量子點置於外加磁場中，兩個自旋態會產生能階分裂。透過微波磁場或電場脈衝，可以在這兩者間進行操控，使電子的自旋在  $|0\rangle$  與  $|1\rangle$  之間形成疊加態，進而完成量子位元的操作與控制。



圖四、閘極定義量子點



圖五、熱氧化製成的結構定義量子點

## 5、量子通訊

現在網路加密 (RSA) 安全性來自：破解需要很多計算時間，但是量子電腦出現，可以快速破解這些加密手法。因此在發展量子計算的同時，需要同時思考，有甚麼加密手法是無法透過計算破解。所謂的量子通訊是利用量子力學不可複製定理 (no-cloning theorem)、測量擾動，來安全地分配加密金鑰。重點不是「用量子傳訊息」，而是讓偷看留下痕跡，以偵測竊聽。

量子計算加密最核心的原理就是「疊加」，1、0有各種表現方式：

在基不一樣的情況下，竊聽者無法正確辨認1、0，更無法複製原本的疊加態，使收到訊息的疊加態是隨機坍縮的結果。

舉例來說：

第一個表示方式：0為  $|0\rangle$ 、1為  $|1\rangle$

第二個表示方式：0為  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ 、1為  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$

如果發送訊息的人用第二種，要傳送0發送  $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ ，但是竊聽的人用第一種，他會有一半的機率測量到0、一半機率測量到1，而且他須重新發送  $|0\rangle$ 或  $|1\rangle$ ，會讓原本接受訊號的人，有一半的機率測量到錯誤的訊息，也就是亂碼，偵測這些亂碼就可以反過來知道自己被竊聽了。

量子通訊的傳播媒介其實就是光，也就是電磁波。而 $|0\rangle$ 跟 $|1\rangle$ 其實就是電磁波光的震盪方向，通常我們將水平偏振為  $|0\rangle$ ，垂直偏振  $|1\rangle$ 。量測可使用偏振片，如果偏振方向和偏振片的方向垂直，就不會有光通過，就可以知道光偏振方向跟是  $|0\rangle$  還是 $|1\rangle$ 。但是如果偏振片歪斜45度，不管是水平偏振還是垂直偏振，都有可能通過，因此就會變成亂碼。

## 6、 小編的話

耶！恭喜你看完這篇「硬核」科普了，當初在寫這篇時，是抱持著我還想知道甚麼在找相關資料，雖然已經盡量簡單的解釋，但是對於第一次碰到量子的人來說，可能還是無法接受。所以也感謝你將文章讀到最後，希望這些知識對你有所幫助。

## 7、 圖片來源

圖一：*3Blue1Brown - But what is quantum computing? (Grover's Algorithm)*

圖二：*You & Nori (2011) Atomic physics and quantum optics using superconducting circuits Nature 474, 589–597 doi:10.1038/nature10122*

圖三：*Alvaro Ballon (2021) Trapped ion quantum computer*

圖四：*Eriksson et al.*

圖五：*P. H. Liao et al., VLSI Tech. Dig. 2018, pp. 157–158.*

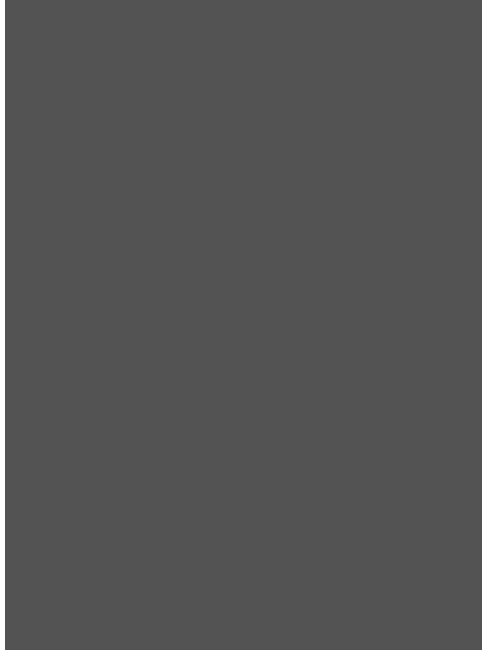
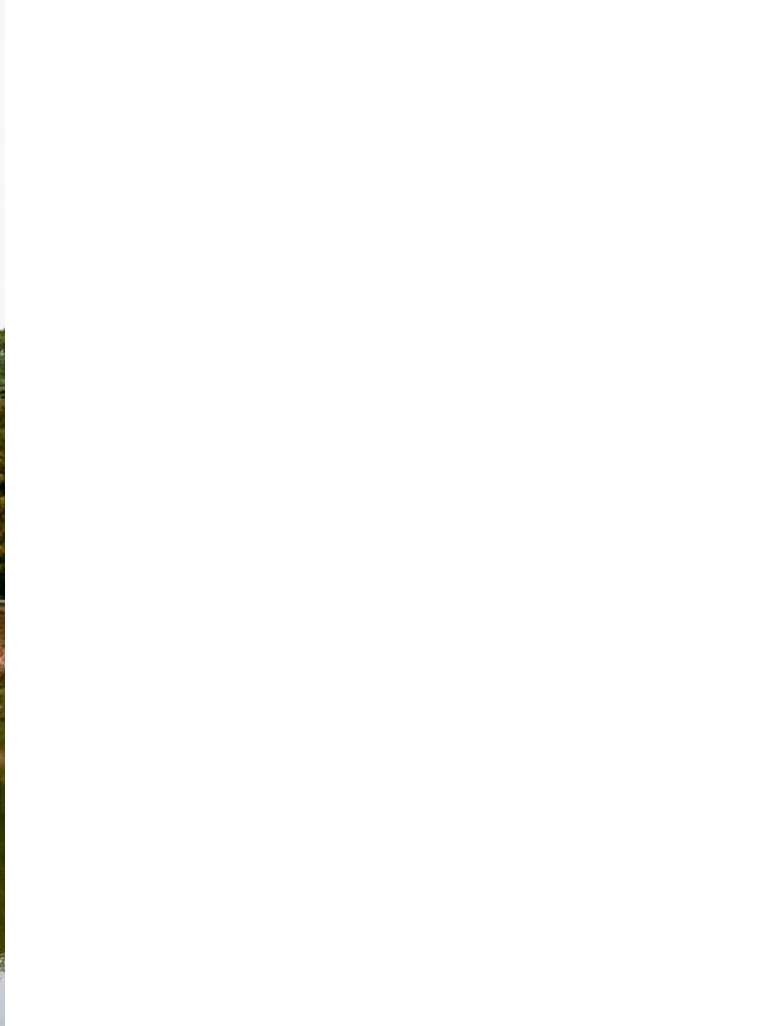
# 藝文特區

攝影/ 呂欣晏



攝影/ 呂欣晏





攝影/ 呂欣晏



### 冬天的顏色

每天一二月是交大落雨松盛開的季節，葉子像彩虹般燦爛奪目

攝影/ 李冠廷

### 小心地滑

地板的濕滑被太陽的溫暖淹沒



夜工廠

販賣機就像加班的人一般無情的工作著



攝影/ 李冠廷



練習

火舞社的同學在為了表演揮汗練習





攝影/ 林昇甫





攝影/ 林昇甫



## 致謝

感謝提供照片與資料的教授、同學和學長姊們

### 受訪者

陳振芳教授 陳衛國教授  
蕭翌登教授 曾 奕教授  
李佩雯教授 葉維焜學長

### 科普專欄校對

羅志偉教授 張文豪教授  
吳建德教授 陳智彥教授

### 其他事物協助

黃明姿小姐

## 工作人員

### 主編

劉子鉸 余宸毅

### 編輯群

謝文豪 陳識丹 林晏容  
林筱晴 黃育婷 林郁翔  
劉宸銘 林風邑 嚴晨烜

### 美宣

林雨萱 高子米

### 攝影

李冠廷 呂欣晏 林昇甫



EP  
ISODE