

成功大學 典範傳承 ~ 講座教授的故事

樂觀、有信心、有毅力地繞地球一圈

曾永華 教授

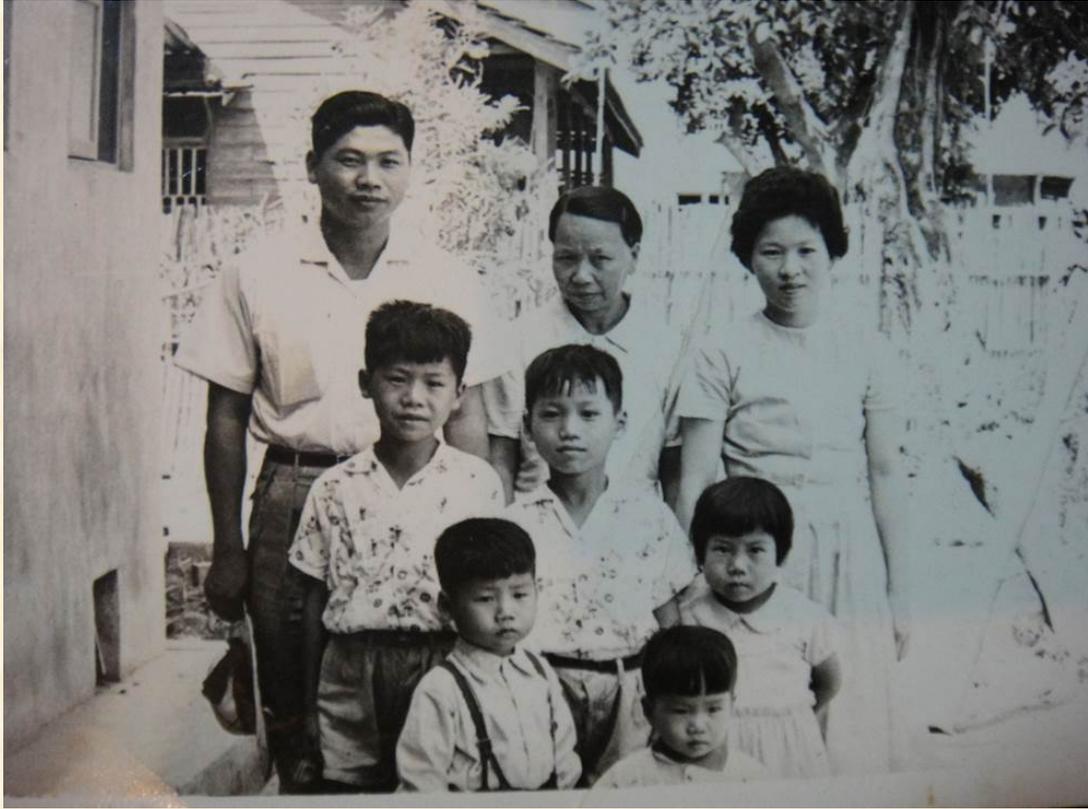
今年不久前，在紐約市曼哈頓中央公園旁天主教堂（Church of the Blessed Sacrament）舉辦的彌撒，我告別了樂觀、幾乎萬能的天才博士指導老師；二月底，在臺北，握著敬愛的父親的手，陪他走完人生最後一秒。短短半年間，我失去了對我影響最深遠的父親和恩師，而我也即將成為「耳順」之人，此時此境，寫下父親及恩師的風範和我近六十年來的心路歷程，以供好友、學生參考，也算是我應盡的責任。

嘉農（KANO）精神

聰明又勤奮的父親，童年時每天赤腳半走半跑四、五公里的路程，從嘉義縣雙溪口鄉到朴子鎮讀小學，如願成為嘉義農校的高材生，傳承了嘉農（KANO）堅毅不願輸的精神。嘉義農校初、高中部畢業後通過政府普考，開始奉獻於臺灣食品加工業，生產聞名世界的臺灣鳳梨罐頭，於民國六、七十年代，著實替臺灣賺進不少的外匯，也播下臺灣經濟奇蹟的種子，而我也跟著父親輪調臺灣鳳梨公司各地工廠，家搬到那兒就在那兒上學，在啃著製作鳳梨罐頭時打掉的鳳梨心，沾著甘草粉中長大。

高雄鳳山：文山國小

隨著父親工作輪調，我在高雄鳳山接受六年的小學教育。鳳山是陸軍官校及軍隊駐地，文山國小附近就是眷村，我的老師和許多同學，亦來自軍人家庭，耳濡目染中，似乎也養成鎮靜發號施令，好像什麼也不怕的個性。鳳山六年，是我記憶中最有趣的時代，挖蚯蚓、釣青蛙、打牌玩彈珠、溪流中游泳抓魚、學騎腳踏車、堆壘土窯、烤挖來的番薯，樣樣令我回味無窮。隱約記得小學四年級時有一次老師發考卷，叫了我名字，走到我前面給了考卷，再多看我一眼，原來我這個野孩子，居然考了一百分，果真玩耍有助於開竅，之後，考滿分好像是家常便飯。在大自然中玩耍，可能是小孩子智力發育又便宜又健康的方式。



曾永華和四兄弟、妹妹、祖母、父母於鳳山臺灣鳳梨公司宿舍

彰化員林：員林中學

我趕上最後一屆初中，在員林地區初中聯考的前一天，隨父親搬到彰化員林，就在員林落地生根，度過六年的初、高中生活。初中當了三年班長或風紀股長，從小住那兒就讀那兒的我，初三時，不想到外地報考高中，於是發揮了魅力領導的天分，成功地說服全班同學，放棄離鄉背井到外地報考名校，全班同學直升員林高中。在同學們互相鼓勵扶持，及員中校長指派最好老師的關愛教導下，三年後，全班同學沒有人參加補習班，居然都考上大學。當時大學聯考錄取率甚低，我們這最後一屆初中班就這樣空前絕後，創下員林中學的歷史記錄，而我也和另一位同班同學都名列大學聯考甲組前幾名，一起考上臺大電機系，創下員林高中另一項紀錄。六年的同學情誼，持續至今，開同學會時，老師都會受邀參加，而未克參加的同學，不論是董事長，或是總經理，多會事先向班長請假。有一年舉辦同學會，我在美國工作，也專程回臺灣參加同學會，開完會，隔兩天就飛回美國。員林初、高中的經歷，顯示同學情誼及良師的指導與關愛，不輸於就讀名校所獲得的光環。至今，我仍然經常以此勉勵許多與名校無緣的學生。

臺大和中華商場電子街

臺大四年，體驗了繁華大都市的生活，增廣了我的見聞與思維。由於我對知識的熱愛，畢業前，我修讀了一百六十多個學分，也獲得書卷獎。大學時代，父親辛苦工作，負擔三個孩子同時讀大學和二個孩子讀高中的高額費用，真不知是如何熬過的？最近詳讀父親遺留下來的日記，看到他寫著，辛苦賺錢是為兒女教育，而不是留下來給他們長大花用的，感動不已。我在

大學時兼家教、申請各種獎學金，總算提供了充足的生活資金，也讓我有餘錢買電子零組件，養成製作各種電子儀器的興趣，剩下的零錢只夠偶而請那時的女朋友在臺大校園旁麵攤吃麵，頂多加一顆魯蛋，那位讀外文系的女朋友對我的電子儀器毫無興趣，後來變成了我的太太。那時臺北中華商場是臺北最繁華的中心商業區的一部分，有超過一千戶租用商店，賣音響與電子零組件的商店也自成聚落。雖臨近眾多電影院匯集的西門町，但吸引我的還是專賣拆船業回收電子零組件的舊貨店，購買電子零組件成為我所賺家教外快的最大花費，也讓我能夠自己設計、製作示波器、電源轉換器、音響等等各式儀器電路，真是又有成就感又樂趣無窮。有一次，我住宿的臺大十四宿舍熄燈後，整棟大樓只有我的房間仍燈火通明，原來我的直流轉交流電源轉換器發揮了功能，讓我用電池點亮日光燈，完成隔天到期的報告。有了一些實作經驗後，大三暑假，找了一個惠爾普家電公司的售後服務工作，騎著鐵馬，四處參觀臺北市豪宅；那時擁有進口洗衣機、冰箱的人家，對我而言都是豪宅。大學讀的書多已模糊不清，唯有那些克難而實用的作品及實習經驗仍記憶猶新。至今，我仍津津樂道，鼓勵學生要培養動手實作的興趣，把自己的創意，親手實現成有用的東西。



曾永華和蔡沔瀨於臺大椰林大道

海軍陸戰隊排長

大學畢業，服役海軍陸戰隊，擔任預官少尉排長，歷經嚴格的體能及專業訓練。對於拆開再重組戰車引擎，檢修炮彈引信，難不倒以實作為興趣的我。服役後段奉命率領一個排的士官兵，駐守一個軍事要地，營區內排長的軍階最高，每天和排上的龍兄虎弟相處，是一個真實社會的縮小版，學到了課本上學不到的實作社會學。難怪以色列人，以服兵役為他們高教最重要的一環，他們除了實作社會學，軍隊更提供高科技教育及實戰的經驗。服役陸戰隊時，因駐守偏遠軍事要地，上級頻頻作無預警突破防守的演習，而龍兄虎弟士兵真槍實彈，和實戰沒兩樣，

多少也養成觀察人、事、物的敏銳力，更領悟了風險控管的精華。服役期中，跟著大學同學考托福，申請美國研究所，居然也隨著潮流，身帶一千五百美元、一張單程機票、一個大同電鍋和一些老舊衣物，來到給我免學費又有錢可領的德州理工大學，開始了留學又旅居美國前後二十八年的生涯。那時候對一個窮光蛋來說，哪一個學校給較多獎學金、夠我免費讀研究所，就去那裡，住進學校旁的一棟包吃住的宿舍，繳了一學期費用後，一千五百美元現金只剩下零頭了。學校餐廳有工可打，也不得不去收碗盤送進清洗機器，就這樣收了一陣子。

美國德州沙漠綠洲的世界級實驗室

德州理工大學電機系主管外籍生的老師是成大電機系畢業的趙匡孝教授，他給我全額獎學金，免學雜費，每學期只需繳交五十美元的某種手續費，並且有每個月五百美元的生活費，足夠基本生活所需，我前後研究所共就讀四年只繳交給學校共四百美元的費用。趙匡孝教授擔任我的導師，允許我第一學期只修課和當助教，不必選定指導老師及論文主題。老遠來到美國德州理工大學電機系，總要學學這裏獨特的先進技術，於是我系館內四處看看，找到一間又大又高的實驗室，裏面擺放著大大小小，從未看過的設備，正合我的胃口。剛到美國時，口語英文很不靈光，只好準備幾句向教授拜師的英文草稿，找到主管實驗室的教授 Dr. M. Kristiansen，勇氣十足地向他說我想加入實驗室作研究，但得到的回應卻是那些研究不適合外國人，因為將來找不到工作。原來我無意中踏進了世界第一，由美國能源部和國防部資助的高電壓、高電流脈沖電源（Pulsed Power）實驗室。德州理工大學位於德州沙漠綠洲中，臨近一個德州儀器公司工廠，也是距離美國新墨西哥州被沙漠包圍，聞名於世的 Los Alamos National Lab and Sandia National Lab 附近的一所綜合性大學，很多核融合、及產生高能量帶電粒子束、和電磁波脈沖所需特殊電源及電源開關的研發，委託少數民間大學執行，其中以德州理工大學電機系規模最大。我告訴這位大牌教授我不在乎將來是否找得到工作，教授大概從沒看過我這樣不計後果的外籍生，非常親切地勸我再考慮看看。



趙匡孝老師夫婦（右一、二）、盧克修博士（中）和曾永華夫婦（左）

幾個月過後，Dr. Kristiansen 來找我，問我是否願意接下一件美國學生放棄的研究計畫，我就這樣成為世界級實驗室有史以來第一位臺灣研究生，負責研發一件美國空軍委託的百萬伏特

電壓由電子束控制的電漿脈沖電源開關器。實驗零組件不少需要自製，在臺灣，實作難不倒我，但在美國連很多工具的英文名字和操作術語都不會說，而我是實驗室中唯一的華人，在沒有救兵的情形下，只好比手劃腳、虛心請教；不只是電磁組件的設計和組裝，精密機器零件製作所需車床、銑床、焊接、切割等黑手技術，樣樣都來。不到一年，我就完成使命，不僅實作結果合乎規格，另外也作了理論模擬的比對，研究成果受邀到國際電機電子學會會議發表，碩士論文也登上主流電機期刊。



Dr. and Mrs. M. Kristiansen (圖中) 和曾永華夫婦於成大榕園

挑戰癌症五十年的天才指導老師：樂觀、信心、毅力

在執行空軍計畫中，我遇見就職不久，比我大六歲的一位天才助理教授，也就是我後來的博士論文指導老師，Dr. Erich Kunhardt。他是一位天才，但十多歲就得了淋巴癌，經歷了所有最先進的癌症治療，依然信心十足，樂觀進取，不僅是一位科學家、發明家，擔任過大學副校長，更會駕駛飛機、帆船，也會跳傘、潛水、跆拳道，讓我自嘆不如。我的恩師及良友，追求真理，堅毅不拔，遇到新發現時則興奮得像小孩子。記得有一次，我和他兩人討論一項難題。從下午四點多談到晚上七、八點，我聽到自己和他肚子都咕嚕、咕嚕響，但是我們沒人敢提議暫停明天再繼續討論，最後是師母來電解圍。在他指導下，我們對碩士論文中實作發現的現象，深入研究其中基本原理，解決了氣相放電中，像閃電一樣，快速形成導電通道，多年來學術界未能解決的難題，兩年之內，我已完成四篇論文草稿，教授讀了一讀，告訴我，這些論文一定可以發表在權威期刊，只要前後加些段落連接，合成一本博士論文，我就可畢業了。我的碩士

論文研究計畫的原空軍計畫召集人，當時已轉任阿拉巴馬州奧本大學副校長，老師的一封推薦信，讓我連到奧本大學面談也省了，只花兩年時間，還沒拿到正式畢業證書，就當了阿拉巴馬州有一百五十多年歷史的奧本大學電機系助理教授，開始我的高等教育生涯，後來，論文真的陸續刊登於 Physical Review 等期刊。

恩師於我畢業後不久，就被他的母校挖角，回到他出生長大的紐約，令他像如魚得水地很快創立兩家電漿醫療器材公司，其中一家不久就被一家大公司以二千多萬美元買走，而他也當了紐約大學學術副校長（Provost）。他前後和癌症搏鬥近五十年不願輸，最後卻不敵於具抗藥性的細菌感染。俗話說久病成良醫，記得有一次我帶全家大小去紐約拜訪老師，他知道我兒子在學醫，就告訴我兒子，他是全世界最了解癌症的人，全紐約市的最好癌症醫生，他都認識，所以他也可以當我兒子的癌症老師，他的樂觀與信心，十足表現於言談之中，不知是否受到他的啟發，我的兒子現在已是一位腫瘤外科主治醫師。



Dr. and Mrs. Erich Kunhardt 和曾永華

半導體積體電路的製造

助理教授職位得來一點也不費工夫，但是幾年後，大約三位助理教授才有一位能獲得終生教職（tenure），教學績效是必要條件之一，而研究經費的獲得才是關鍵指標。當年碩士論文老師警告我將來可能找不到工作，原來即使獲得教職，一個外籍助理教授是拿不到國防相關的研究計畫的。山不轉，路轉，我將電漿開關器的電漿，應用於半導體積體電路的製造與新穎材

料的合成，逐漸建立自己的電漿工程實驗室，研發微影、蝕刻和電漿輔助鍍膜技術，今天，電漿技術已經成為半導體製程的主流技術。

自製電漿輔助系統

建置自己實驗室時，趣味無窮，美國學生大多數從小就拆拆裝裝地，實作工作對他們不成問題，也正合我的嗜好。1980 至 1990 年代，有幸獲得美國國科會的工程創始補助金（US NSF Engineering Initiative Grant）、國防部俗稱星際戰略（Strategic Defense Initiative）的研發計畫、及德州儀器公司等研發補助，最先進的研發實驗所需設備系統，市面上有錢也不一定買得到；即使買得到昂貴的儀器設備，因為校產管理嚴謹，也難以自己隨意修改功能，以符合研究的特別需求。因此，我的十來位研究生，加上一位近乎萬能的技術人員，自己製造微波、射頻、直流電等各式電漿產生器，以應用於新穎製程的研發。記得當時，實驗室堆積了幾十件家用電器行不要的受損微波爐，學生拆下零件，組裝微波電漿產生器，用於電漿輔助合成鑽石，每部微波爐，約能產生一千瓦特微波功率，學生需三千瓦特高功率微波，市價要幾萬美元，他們取自數個微波爐零件，設計組成三相三千瓦特微波輔助鑽石合成系統。實驗室在前後幾位優秀的博士後研究員的參與中，逐漸進一步開發更前瞻的雷射剝離沈積高溫超導體技術，及高溫火焰輔助合成鑽石製程，也自製了合成砷化鎵的電漿輔助原子層沈積系統。現今半導體業的關鍵製程中的原子層沈積系統及技術，二十年前已在我的實驗室自製成功，並能以電腦自動地控制其順暢的運作。希望臺灣學生，也能多學習實作技能，化不可能的研發為可能。

大學生參與實質研究

美國大學生熱心也珍惜參與研究計畫的機會，1980 年代後期，流行高溫超導體研究，最早合成高於液態氮溫度的鈮銅氧高溫超導體的吳茂昆院士，當時任教於離奧本大學不遠的阿拉巴馬大學亨次維爾校區，我從吳院士學到合成及分析超導體的第一手技術後，實驗室內的大學部學生團隊，開始研究超導體和金屬的電接頭，發展出當時既不昂貴，也具最低接觸電阻記錄的銀接頭，成果很快發表於廣受尊敬與引用的 Applied Physics Letters 期刊，至今被包括美國國家標準局的其他團隊引用 70 多次。臺灣大學生，絕對能有更大作為，應該有信心，越早參與實質的研究工作，度過較低研究效率的學習期，將來不論在產業界或學術界，執行研發工作，越能得心應手，越做越順，就越有趣味；何況學習期中我的三個臭皮匠大學部團隊，也勝過一個諸葛亮，創造了世界紀錄的研究成果。吳院士後來回臺灣任職清華大學，也曾鼓勵我一起回臺灣任教，事後回想這對我日後決定回臺灣服務應有相當的影響。

電漿輔助合成鑽石

在電漿輔助下，許多新的合成、鍍膜及蝕刻製程變成可能，低溫低壓下鑽石合成，即是一個例子。天然鑽石在高溫高壓下，於地層深處合成，而在控制良善的電漿環境下，鑽石可以在實驗室的真空腔內，經輸入適當氣體後，即使在大氣壓力十分之一的氣壓中，經過電漿化學作用，亦可合成鑽石。能於低壓合成鑽石，突破高壓合成大面積所需甚大的力量所加於機械材料強度的限度，今天合成比桌面大得多的多晶鑽石薄膜，已不困難。

石墨比鑽石穩定

在照光下閃閃發光的鑽石，和黑漆漆用來做鉛筆筆芯的石墨，都是由碳原子堆疊而形成有週期性的三維結晶體。沒有外加適度能量的干擾下，鑽石和石墨在常溫、常壓的環境中，都很穩定；然而經過施與能量，兩者的晶體結構，是可能互相轉換的。從能量觀點看，零能量，則一切動不得，故為最穩定的狀態；從位能來看，如果沒有障礙物，位於高處的東西，容易移到低處，若經施予足夠的能量，低處的東西，也可往上移動。鑽石和石墨的位能比擬，就好像在高低兩層臺階之間有一面矮牆，石墨位於低臺階，故較穩定，鑽石位於高臺階，但因為有了圍牆阻隔，兩者皆穩定而相安無事。不同的是，石墨必需越過圍牆加上臺階的高度，才能變成鑽石；而鑽石只需要越過圍牆，就掉到低臺階，變成石墨。詩人眼中及鑽石珠寶商人宣傳的永恆鑽石，在熱動力學科學家看來，似乎該是屬於石墨的榮譽！雖然如此，鑽石的確是天然界硬度、耐磨、抗腐蝕、導熱、透光最佳的三維結晶體，不只是精密機械工程師的最愛，甚至是製作高功率光電元件最好的高能隙半導體，及電化學最佳的電極材料！所以，百年來鑽石是世界上列強角力的關鍵材料，早年是被視為極機密的國防研究題目。

閃閃發光的鑽石

未經過琢磨的鑽石，在常人看來，一點都不漂亮。經過精心設計，小心切割、磨平的鑽石，在陰暗環境中，也是黯然無光，和玻璃沒兩樣。但是光線進入經過精心琢磨的鑽石內部後，在鑽石內部和外面空氣的界面上，在適當角度下，從一個界面反射到另一個界面，那些角度不對，沒有在內部全反射的光線，才從鑽石內部照向外面，看起來好像光線是源自鑽石，向四面八方照射的。透過鑽石內部多次反射再透射出來的光線強度，隨著入射光和目視的角度而異，因為戴在手指上的鑽石，隨著目視者的眼睛位置，及光源位置都可能移動；只要其中一項移動，目視者看到鑽石反射出來的光線亮暗就變化不斷，閃閃發光，人見人愛。

高壓高溫合成小顆人工鑽石

為了模仿在地球深處形成鑽石的高壓及高溫環境，傳統人工鑽石合成方法，需要施加巨大的力量與能量，來壓縮經加熱到遠超過攝氏一千度的高溫。以石墨為主的原料，在觸酶輔助下克服頗高的能量障礙（例如，臺階加圍牆高度），改變碳原子之間的鍵結，逐漸成鑽石核，再長大成為高壓高溫下穩定的結晶體鑽石顆粒。在設定的壓力下，施加於鑽石所需的力量和鑽石的面積成正比，因此受限於施壓設備的材料在高溫下的強度能施加的最大力量，也限制了現代化高壓高溫合成的人工鑽石大小於數毫米之內；而大顆鑽石的單位重量價格，也因此遠遠超過小的鑽石，因此需要大面積或大顆粒鑽石的應用，也難以實現。人工鑽石合成的創新，自然成為科學家和頂尖工業家夢想突破的科技。

低溫低壓氣相化學沈積鑽石

氣相化學沈積法，是數十年來科學家抱有希望的低壓低溫鑽石合成途徑，可惜勉強達成的合成速率甚低，使得科學家不得不年年繼續努力。直到 1981 年，一位前蘇聯科學家，公開他

所發現氫原子於化學氣相沈積鑽石所扮演的重要角色，而閱讀科研論文又快又敏銳的日本科學家，一、兩年就以不同的產生氫原子的技術，展示雖慢但實用上可被接受的方法。也就是低於大氣壓且溫度低於攝氏一千度的合成人工鑽石，在大量氫原子的保護下，成長中的鑽石表面不會變成較穩定的石墨，也提供有利的環境，於氣相中含有碳原子的自由基（分子）和鑽石表面的碳原子，形成鑽石鍵結，鑽石晶體就這樣一個個增加碳原子而逐漸長大。

創辦國際鑽石薄膜應用研討會

類似日光燈管中氣體放電所產生的電漿，含有高能量電子，可以有效地分解氫氣，產生大量氫原子。由於鑽石能由許多種電漿合成，研究生時代研讀的脈沖電源開關所使用的電漿技術，引導我投入至今近三十年的電漿輔助化學氣相合成鑽石薄膜研究。鑽石具有多項物理、化學、導熱、光學，甚至半導體絕佳特性，應用之廣，終身研究不盡，因此成為我研究生涯的主軸；歷經近三十年，從不中斷，返回臺灣後更於成大建置世界第一流的鑽石研究室。1990 年代初期，我的研究團隊及許多為自製的鑽石薄膜合成設備已頗具規模，因此我於 1991 年召開的第一屆鑽石薄膜應用研討會，吸引了 300 多位來自世界各地的產官學研人士參加，在美國阿拉巴馬州，我所服務的奧本大學，發表論文及交換實用鑽石薄膜的想法，研討會論文專輯由 Elsevier 出版社印行，歷經 23 年仍具有影響力。

快速合成鑽石薄膜技術的突破

鑽石表面隣近兩個碳原子，在高溫常壓下容易形成類似石墨的碳-碳雙鍵結；如果氫原子和鑽石表面的碳原子形成碳-氫鍵，就能避免隣近兩個表面碳原子形成碳-碳的石墨式鍵結。如果鑽石表面被過度保護，而每個碳原子都接上氫原子，則額外的碳原子無處可增加在鑽石表面，鑽石就無法成長。所以適度的保護是低壓低溫成長鑽石的關鍵機制，而如何保護才是適當，也就決定了成長的速度。未接受氫原子保護的鑽石表面碳原子，需經一定時間後才會和隣近碳原子形成石墨鍵結，若能快速地提供氣相含碳自由基和表面碳原子鍵結，以促成鑽石快速成長，則表面碳原子沒有大量氫原子保護，也沒有時間轉換成石墨鍵結。基於以上原理，我的團隊首次跳脫傳統製程的參數，突破鑽石每小時成長一微米的傳統製程，達成數十倍快的鑽石成長製程，因而數克拉大的單晶鑽石，及逐年進步增大的單晶鑽石基板的製造變成可能，鑽石的應用範圍也大為擴展。

鑽石研究、發苗、成長，於 1990 年代，廣為流行，後因為製程障礙難以突破，合成及後續處理也耗時費錢，大多數實驗室轉而從事其他研究。能夠堅持到底的人，全臺灣已然無幾，全世界也為數不多，我以堅毅不拔，至今仍努力創新研發鑽石科技，也獲選為世界人數最多的專業學會會士（IEEE Fellow）為榮。今天，成功大學的鑽石與元件實驗室已經建置有世界第一流的鑽石合成及應用平台。二十多年來的全球多元鑽石基礎及實用的研發，許多產品至今已行銷市面。樂觀、有信心、有毅力的研究者，常常是最後一個收穫前人努力的總成果的人。

鑽石的成長，好比培育小孩子，過度保護，會壓抑小孩個性和能力成長的機會；大膽放手，只維持適度保護及提供快速成長所需環境和資源，則成長速度可以達到數十到百倍之多。我常用這個例子，向學習鑽石科技的學生說明低溫低壓快速成長鑽石的原理，也希望他們瞭解，將

來培育兒女及學生如何避免過度保護。

美國聯邦政府贈地興學：奧本大學

美國除了軍事等特別學校外，公立大學不受聯邦政府管理，頂多由州政府補助與管理。州長多委託董事會（Board of Trustees）來遴選、督導及解聘校長，而校長只要董事會全力支持，對學校有利的政策，即使教職員工不喜歡，仍可堅決執行。如果董事會和校長支持的政策和績效，不符納稅人的期望，下一任州長選舉，民意就會反映是非。聯邦政府是把教育（包括高等教育）權責下放給各州的州政府，依各州特色發展，一百多年前，美國人就預見全國高教的重要性，當時全國共同的發展重點是農業與工程，所以聯邦政府贈送各州大片土地，由各州自主興辦一至二所以農工起家的大學，稱為贈地大學（Land-Grant University）。

這類大學散布在美國開發較晚的州，多是目前歷史最悠久，校友最多，也是工程和農業相關領域實力最雄厚的大學。阿拉巴馬州州立奧本大學就是一例，有一百五十多年的歷史，也擁有阿拉巴馬州最好的工程學院和農學院，以及百年來新發展，獸醫學院、工程設計等。蘋果電腦公司現任執行長，就畢業於奧本大學，如今奧本大學已是一所含有音樂系、體育系等多元領域的綜合性大學。

以農工為主的大學，學生活潑健康，又有禮貌。奧本大學就贏得了兩次美式大學足球賽總冠軍，而校友中獲得奧運各項目金牌獎和獲選執行太空任務的太空人就有數十人。我任教的電機電腦工程系歷史悠久，規模遠不及成大電機系，但獲選國際電機電子學會會士的教授有十幾位，當過學會理事長的有四、五位，電機領域暢銷的電路學和電子學教科書中就有三本是該系教授的著作，學術風氣鼎盛，是美國排名約前二十名的公立大學。很高興，這幾年能夠選送十來位成大電機系學生到奧本大學免付昂貴的美國學雜費，當交換學生，體驗美國大學教育的課堂內外的精華，也親自接觸民族大熔爐的美國文化。

美國高教是由就業市場驅動的，老師的薪水依個人領域和能力的市場價值而定；不同領域的平均薪水差別可到二倍以上，而同一領域老師的薪水也有很大的差異。系主任接到院長分配到的年度人事經費後，負責組成委員會，決定個別老師是否加薪及額度多寡。由於學校可收高達 40 至 50% 的計畫管理費，且老師暑假三個月薪水由計畫經費出資，比較忙碌的老師亦可由計畫經費分擔部分學期中的薪水以換取減少教課。因此，老師計畫越多，薪水越高，學校則收取越多計畫管理費，系上也分得較多可彈性運用的管理費。大家樂見能力強者薪水比自己高，而學校也是鼓勵老師，儘量表現，並以加薪水獎賞。然而，領高薪的老師必須爭取更多經費的壓力也跟著增加。不只老師，學生招生人數，也是由市場決定，奧本電機電腦工程系歷經多少產業革命，近三十年來，大學生人數上下起伏於三百多人至九百多人之間。

奧本大學的老師工作量控管方法也值得參考，假設老師純粹教書，不作研究，每週需授課十二小時，若其中六小時為實際上課時數，其餘一半工作量算是學校補助的研究時數；年終加薪或升等，則依工作量百分比而分別評量教學、研究、服務的加權績效作為決定的依據。系主任每年必須和每一位老師個別面談，說明去年績效評量結果，並商訂下一年的工作比重，由系主任和老師簽名同意，否則由院長介入解決異議。

創新、創業、立業

美國是年輕人創業的天堂，政府提供優渥的補助經費，培育中、小型及微小型企業成長，而資本家像果蠅圍繞水果一樣，那裏有創新的好成果，那裏就有投資家聞香而來，唯恐被別人捷足先登。新創事業若失敗，只要不嚴重傷害信用而需花時間和功夫去修補，則結束營業，甚或合法宣告破產，從頭再來時，也不至於要承受坐牢和被討債的後果。美國政府提供研究補助的機構，多保留部分經費補助小企業，稱為 Small Business Innovation Research (SBIR)，經費充裕，每件計畫分期相當二、三百萬到一、二千萬元新臺幣，只要是具有潛力能促使企業成長的創新計畫，獲得補助的概率，比起美國國科會超低的研究計畫補助率，高許多。有些具創新研發能力的小企業，靠著接二連三的這種補助計畫，就能研發各種創意，只要其中有一件計畫能有突破性成功，則投資家就聞訊而來，小企業很快被收購，或得以增資快速成長。

大學教授通常每週的五個工作天之中，有一個工作天可以從事校外顧問工作，只要過程透明且事先告知校方，校外顧問工作是受校方鼓勵的服務產業和社會的一種工作績效。在美國創立公司，尤其一個有限責任公司 (Limited Liability Company) 很簡單，只要找個平價律師事務所和一位有證照的公眾會計師 (Certified Public Accountant)，花幾百美元，一天內就完成創業。創業不等於成功立業！源源不絕的創新、有效的執行、敏銳的觀察和人事、財務經營，都是後續真正的挑戰。

旅居美國二十多年，自然而然地隨著潮流，前後參與或協助幾個高科技及服務型企業的創立和後續發展，有的過了二、三年就結束了，有的被收購，有的至今仍在營運之中。同事中有的改成專職企業經營者，也有一位好友發展成全世界石墨烯生產量最大的公司。創業並不難，如果在適當時機，選對領域，有可靠互補的夥伴，以敏銳的觀察力和想像力，和源源不絕的創意和創新經營，成功立業是希望無窮的；不過，很多成功立業的要件不是上課聽講學得到的，實作及失敗經驗有時是需要繳納的一種學費。學生在求學時期，打好紮實的理論基礎，練好必要的實作功夫，結交志同道合的朋友，仔細觀察全球及週遭人、事、物的需求，每天保留幾個小時做沉思，學學創業核心知識，等機會到了，就可勇敢接受挑戰。微軟和蘋果電腦創辦人休學創業成功，是因為他們在實作中已累積創業所必須的核心知識，對這些走在潮流前端的人，創業所需的知識，已不是當時課堂講義可提供的；但是，這些公司的後續經營團隊和創新工程師，多是受過完整、卓越高等教育的人才。學生要先做好本分工作，如能得到成功企業家引領潮流的功夫，早日自己創造機會是上策；否則，既然機會是屬於有準備的人，而求學是最重要的準備功夫，忽略了努力學習而眼高手低是不行的。

老師任職年齡的限制

由於爭取校外研究經費的要求和教學時數的雙重負擔，美國大學不需要老師任職年齡的限制，有足夠年資退休的老師，自然會依自己體能和研究活力決定自己適當的退休年齡，而教學優秀的老師退休後多會受邀請兼課。電機電腦系的一位老師，九十多歲時，仍然自己開車到系上，不用看筆記本，滔滔不絕地解說、寫板書，這位老師推薦我成為國際電機電子學會的會士，看到他所寫的會員資料時，發現原來他在我出生時，早就已經是該學會的會士，難怪只推薦一次，我就獲選為會士。最後一次回奧本，去一家健康老人輔助居家中心看他時，他已過了百歲生日。老年人的年齡不該是實際的年齡，而是依個人還可以健康地貢獻或享受多少年快樂人生。

而定。對於我這位老師，當他六十歲時，還像壯年一樣，因為他 60 歲後又享受了他喜愛的教學工作三十多年！

頂石計畫

美國大學工程認證（Accreditation Board for Engineering and Technology, ABET）的團隊自主專題計畫，稱為「頂石計畫」，因為穩固拱門的最後一顆石頭，頂石，使得拱門歷久不倒。大四學生的最後一項訓練，結合 4 至 5 名學生三年多來所學去解決一個工程問題，或創造一件具有特定功能的物件，尤其注重邏輯思考和程序的記錄報告，從構想、訂規格、寫計畫、執行、自審、找出錯誤或偏差、分析原因、尋求計畫修正、說明修正所根據的邏輯思考，終於成功了，但尚未竟成，還需完整記錄所有有價值的通訊、過程，並將成果以容易推廣的方式呈現出來，使後人依結案報告也能重複成功的成果。經過訓練的大學畢業生，已經成為一位工程師，不需更多學位就能立刻投入職場。美國學生繳交高昂學費，自然也要求每門課每次上課都值回票價，老師領高薪也戰戰兢兢，高教已成為美國一大產業，外籍生爭先恐後想到美國求學。然而，成大學生對出國留學不夠積極，很多只求謀得一個國內高薪工作，真令人擔心。成大電資學院已執行「頂石計畫」三年多，每年約 50 至 60 名學生參與計畫，希望成大畢業生不但是信心十足的工程師，有一部分同學是世界一流實驗室競相爭取，並給予獎助學金的未來研究生。

美式足球

談到美國大學，不可不談美式大學足球（American College Football）。在德州理工大學唸書時，沒有餘錢買票，只好過半場後驗票員大概也去看球賽，不再驗票時，進去感受一些球場的氣氛。到了奧本大學，才身歷其境，了解到美式足球的文化。奧本市是個大學城，除了二萬多名學生外，僅有不到五萬人口，其中很多是父母在車程半小時到一小時的隣鎮工作，因為奧本的優秀中小學而選擇住在奧本。然而奧本大學有一座容納九萬個座位的足球場，每到足球賽週末，校園圍起一區一區的休旅車停車場，依捐款給學校的金額多少，決定是否有位子及何處可停車，一家大小、加上家族團聚，人羣就在休旅車旁野餐、聊天、看電視，以校園為他們聚會的地方。一旦碰到熱門球賽，九萬個座位坐得滿滿的，場外還有數以萬計的人買不到票，一面看電視，一面感受場內傳出的叫喊聲，這種情境不是在家裏看電視可以比擬的。而場內九萬名觀眾，依啦啦隊指揮喊叫聲之響亮，場面之壯觀，沒有任何球賽比得上。足球賽文化，重點不在大聲喊叫或場面壯觀，它是吸引校友、校友家族、友好人士以及他們捐款的一塊強力磁鐵。這些人年年返校看球賽好幾次，當然奧本大學永遠在他們心中，向心力自然產生，小孩子或孫子女從小就穿著奧本啦啦隊衣服，立志長大成為奧本人（Auburn Tiger）。足球賽是一種團隊攻守比賽，重視謀略、技術、協調和體力，是一種寓教於樂的活動。足球教練如同實戰統帥，薪水比校長還高，球員和教練皆需臨危不亂，堅持到球賽結束。這種工夫，放諸於戰場或商場同樣有效，難怪足球球員學業成績不算優秀，但從商或各種行業大多能順利成功。臺灣尚需發展體育和球賽，棒球、橄欖球、籃球、排球等，樣樣都有助人民健康，也能培訓有團隊合作習慣的運動員，以及將來的領袖人物。



奧本大學美式足球賽賽前樂隊表演及合唱國歌

家庭與事業

奧本市的大學城生態，是養育青少年的理想地方。中小學老師多來自全國各地，受過高等教育的人才，很多是奧本大學教授的配偶，家長也踴躍參與學校義工。絕大部分青少年都就讀公立中小學，離住家近，師資和圖書儀器又好，因為學生來源單純，沒有嚴重的吸毒、幫派等問題；而奧本大學一千多名教師來自世界各地，多元文化的環境，真是奧大老師的一大福利。有一次小孩告訴我說奧本不在阿拉巴馬，原來奧本市的多元文化和寬宏的世界觀，讓他們在大學城沒有身為外國人的感覺，而奧本大學也負起引導開發阿拉巴馬州的任務，今天沿著橫越阿拉巴馬州的 85 號州際高速公路兩旁，已形成美國底特律汽車城以外最興盛的汽車工業區，來自日本、韓國、德國的汽車名廠，沿著運輸方便且氣候良好的高速公路兩旁聚集，許多原來非常保守的美國南方（Deep South）鄉鎮城市成了高度國際化的城市。

美國公立中小學接受州政府部分補助，但是地方政府扮演更重要的提升其品質之角色，例如，奧本市民年收入的一部分需繳稅給市政府，而其中一定比例指定補助教育，一個地區的教育辦得越好，就越多家庭希望住在該地區內，而更多的教育稅收和競爭力的提升，使該地區教育品質更好，長久下來，自然形成精英的聚落。學校培養學生從小就養成隨時隨地讀書的習慣，寒、暑長假，多有經典著作閱讀和報告撰寫的功課，幾年下來，每位學生至少也讀過幾本好書。大學一年級的 Great Book 必修課的心得報告，多由專業老師仔細審查評分，對沒受過美國中學教育、及閱讀能力不甚高明的學生，頗具挑戰性。讀過經典著作後，其他小說、散文就成了日常休閒閱讀。我看著兩個小孩長大，沒事就拿著書輕鬆地閱讀，連在沙灘、泳池旁都有時戴著太陽眼鏡，一面讀書、一面曬太陽。小說雖不一定是經典著作，但是，寫得出暢銷小說的作者，即使還沒讀完所有的經典著作，至少也有敏銳的觀察和感受社會、人類脈動的能力，多少會寫

出引人思維的想法。書讀得多又廣，人文素養、靈敏反應、和豐富的創意思維，自然養成，可說是最經濟、最有效的通識教育。

美國公立的初、高中大多沒有切割式的能力分班，但有多元的先進學程，提供能力強的學生選修各種大學程度的課程，申請大學時，這些課程，是受評量的指標之一，成績優良者，也受大學承認學分數。奧本市中學生教育的精髓，不只在課堂及實驗室，更重要的該是課堂教學結束後的樂隊和球隊活動！每位學生兩者必需選一項。樂隊就分成好幾個技術層次，樂器可以自己購買，也可由學校免費提供，每年定期舉辦演奏會；球隊活動也是亂中有序，操場上、體育館內，學生蹦跳叫喊，十分熱鬧。樂隊和球隊有一個共同點，兩者皆需人際溝通、協調、團隊領導、和參與的精神及能力，這些都是奠定學生未來快樂生活和成功生涯的基礎。如果成大學生都參加過樂隊、球隊和類似的團隊活動，相信必然是一流學生，即便中學時無緣參加，現在參加也不遲，寓教於生活是學校最重要、最有效的投資。

我的兩位兒女皆就讀奧本市公立中小學，早上開車送他們上學，再去上班，前後十多分鐘。下午上完正課，學生選擇樂隊或球隊，訓練完畢，再回家或前往參加其他活動。因為來往車程短，校內工作人員中途外出接送小孩，再補足工作時數，完成任務，司空見慣，彈性上班，效率不減。

兒子高中成績優異，放棄名校，選擇就讀奧本大學。他從小以我的從醫大哥為模範，立志長大要當一位服務大眾的醫生。但在我的勸導下，先接受工程訓練，大學部選了化工系。化工課程繁重，他游刃有餘，且有餘力選修申請醫學院必考的課程，更當上奧本大學有史以來第一位由東方人擔任的學生會副會長。記得他去醫學院面談入學醫學系那天，雖然他的化工成績不像其他申請者近乎滿分，但當天下午就接到通知被錄取了，美國入學面談對領導、溝通、社會關懷及使命感的重視，絕不亞於課堂成績。美國大學生活教育的重要一環，是兄弟會和姊妹會，有一點像劍橋大學的“College”，但研究生和教授並未同住宿舍。雖有學長照顧，視各會傳統及中心思想而不同，有些注重社交、辦活動，但年輕人喝酒易生事端；有些則自律甚嚴，像我兒子參加的兄弟會，相信沒有酒精也能快樂，會館內不准喝酒。

女兒比兒子小4歲，在校內常被拿來和哥哥做比較，但也很享受奧本市優良的中學教育，有一次我考慮轉往他州任教，女兒反對，因為她不願意失去像她哥哥在奧本讀中學的樂趣。在她哥哥傑出表現的影子下，女兒讀完中小學，決定到離家越遠越好，但開車一天內可到的公立大學讀書。於是我們載著一車的行李，開了九個小時，去到北卡羅萊納州的Chapel Hill，送她住進北卡大學的宿舍，買了餐廳票券，和她共進一餐；隔天就得再開九個小時的車程，趕回去奧本上課。下一次去看她時已是學期末，她第一次離家好像就不需要我們了，美國長大的小孩子多是如此獨立。美國州立大學學費對已納稅的州內居民來說不高，但對於我們沒納北卡州稅的外州人，收3至4倍的學費。幸好兒子就讀的阿拉巴馬州州立大學醫學院學費不高，勉強度過幾年，兩個孩子都沒有負債畢業，一個當了腫瘤外科醫生，一個工作兩年後又拿了公共衛生政策碩士學位再工作，他們的同學個個畢業後負擔高額學生貸款，因此對無債一身輕的兩位子女羨慕不已，而兩個孩子從此自己努力創造自己的人生。

巨人羣中：在劍橋大學凱文迪西實驗室

為了測試一件高科技鑽石結構承受超音速水珠及高速風沙碰撞的能力，我帶著自製樣品去了有特殊測試設備的劍橋大學凱文迪西實驗室（Cambridge University, Cavendish Laboratory）訪問半年。半年中，充分利用帶去的鑽石樣本和實驗室其他設備，協同接待我的博士生探討各種現象和應用。結束後發表了三篇論文，其中兩篇和接待我的教授和博士生共同發表；另一篇，因完成時已快結束訪問，雖然我發現了水是精密鑽石器件間的最佳潤滑劑之世界紀錄，而且已重複驗證多次，實驗室的大師看了雖驚訝不已，卻因為他們沒親手實作或親眼看我作實驗而難以確信，經他們同意，由我獨自發表成果於 Applied Physics Letters 期刊。而大師隨後作進一步研究，證實這個成果，又發表了一系列相關論文，探討造成此現象的關鍵因素及基本原理。六個月的訪問，達成任務，也產生三篇重要論文，更親身體驗西方科學家的嚴謹，對於科學報導，雖驚訝、難相信，卻不定論為不可能，反而迅速親身驗證，更上一層樓。

訪問期間，和一位以色列學者共用一間僅有兩套桌椅的小辦公室，雖多在實驗室，偶爾也在辦公室交流，相處愉快，增廣多元文化的見識，好像受他感染，我變得越來越像以色列人，開會時該講的話直覺地就發言，該爭辯的議題也不甘沈默，據理力爭，開完會又是一群好朋友、好同事。一般而言，有企圖心的訪問學者，在意的是研究效益，對舒適寬敞的辦公室並不特別需要。凱文迪西實驗室的主人，不但沒有提供白吃的午餐，也希望訪問者訪問結束離開時，人走了，最好腦子內的經驗和智慧能夠全部留下。六個月內，我聽了數十場大師演講，而主人也安排我作了三場專題演講。凱文迪西實驗室具有聞名世界的成就，這和他求知若渴，以及嚴謹、自由的學術風氣有相當關聯。劍橋人還傳承悠久的歷史，自我要求甚高，也同樣以高標準要求同儕。一般博士生不必先讀碩士，而且因為招收的都是世界各地高材生，博士生大多研讀三年就畢業，三年畢不了業，要評估適不適合繼續博士學位，不容許長期佔用有限的研發資源。成大在臺灣也算是歷史悠久的大學，可以劍橋大學為借鏡。

凱文迪西實驗室前瞻、深入的研發，吸引了來自世界各先進的產業研發中心，爭先進駐凱文迪西實驗室周圍地區。最先進且尚未上市的儀器設備，不但不用花錢買，捐贈的廠商，更提供研發經費和獎學金，以從事更進一步儀器設備研發。廠商先取得儀器設備關鍵智財，後續的改良則是產學雙贏的成果，廠商也樂得聘用合作無間的高材生。更重要的是，研究人員能夠發揮創意，改變世界最先進的儀器軟硬體，不但能發展新功能，也能觀察及量測他人不能發現的新現象和新知識。所以，發表頂尖期刊論文有絕對優勢，而引領高科技，比別人提早佈局的智財，更是往後財源不斷，提供永續領先的動能。花大錢買成熟機型且軟硬體被外商鎖定的儀器設備，固然有助於後來跟進，但是要在同一主題上超越，大多有很大的困難度。臺灣師生及產業應該引以為鑑，多投資些高級儀器設備的研發，也努力激勵學生提高動手體驗和實作的企圖心。

到了劍橋不能只作研究，因為由八百多年的高教演化而成的獨特文化、生活學習、自由務實的研發哲理，隨處可得，不費工夫。劍橋的風情文化，成大電機系教授陳之藩先生已於其書中描繪歷歷，而學術文化及學生的生活學習則值得介紹給大家。劍橋大學的組織結構很特殊，除了像凱文迪西的大型實驗室，還內含數個不同領域的研究群，不僅有許多專任教授和技術員，也有博士生。另有例如工程系的教學、研究雙功能單位，還有三十多個財務獨立的單位，雖稱為 College，卻是個學生住宿和經歷生活學習、人格養成的獨特高等教育單位，以當今語言來說是一種 Learning Community。歷史悠久且經營良好的 College 財力雄厚，因各方慷慨捐贈，College 多已發展成環境優雅、設備齊全的生活和學習好地方。比較聞名的 College 更是競爭激烈，許多劍橋生夢想卻難以獲准進入，好像名校中的名校。

College 依其發展願景招收相關領域的學生，各年級學生，包括研究生、一些訪問學者、舍監和部分工作人員住在同一個有守衛看管的學習社區；在同一個餐廳吃飯，組成各式代表球隊參加外部比賽。各學習社區有其讀書室等學習所必須的空間與設備，學生在專業系或研究中心、實驗室上完課或作完研究後，回到學習社區，和不同領域與年齡層的師生生活在一起，互相認識，跨領域學習，有長者輔導的正確人格養成自然發生。師生以所屬學習社區為榮，畢業後捐款不斷，學生享有學長的貢獻，自然生生不息，環境設備越來越好。適度的輔導和保護，比放牛吃草的高等教育，益多於弊。一個劍橋學習社區，經數十年至百年發展而成，自然難以在臺灣完全實現，然而適度而自然的生活和學業輔導，對一部分在臺灣學校可能被退學的學生而言，將可拉他們回到正軌，而跨領域和年齡層的交友，將是大部分學生生涯發展的一大資產。因此，不論從任何方面觀察，這樣的學制實在值得臺灣學習。

日本的麻省理工學院：東京工業大學

東京工業大學以日本的麻省理工學院自許，產學合作無間。最早以不同實驗，重複證實俄國科學家所提出氫原子輔助鑽石合成方法的兩位日本科學家以及日本鑽石學會理事長，多年來，都已成為我的好朋友，現在他們已退休。我幸運地獲得美國國科會競爭激烈的少數幾個訪問日本計畫，由美國和日本全額補助旅費支持我在東京工業大學訪問半年。當時，國際鑽石產學研界領袖人物，很多已認識我這個阿拉巴馬的年輕教授，我更進一步順著東工大的產業及學術界深廣人脈，參訪了十數個聞名世界的產業研究中心、國家實驗室和大學，例如 Sumitomo、Toshiba、NIRIM、AIST、Osaka University 等，親身體驗日本人研發前瞻科技的敏銳、創新和毅力，也結交許多日本科學家朋友。一般而言，日本人家裏空間較小，且多是家庭主婦的地盤，在外工作的丈夫很少會邀同事或朋友到住家來作客，訪問日本東京工大六個月中，能夠到幾位資深教授及工程經理家作客，親身體驗他們精緻的居家環境和道地的日本飲食，應是很幸運的經驗，過了二十多年，他們都退休了，我們仍然偶有聯絡。

東工大教授實驗室聘有副教授或助理教授，負責督導研究員、學生日常訓練和研發，並傳承實驗室代代累積下來的智財技術和人脈，因而教授和產、官、學、研界領袖羣互動交流頻繁。我也受邀參加了一些交流餐會，席間少有東家長、西家短的話題，科技趨勢和政府政策，於燒米酒和納豆之中，自然呈現，達成的共識及影響力，深遠且長久。俗話說「與君一席話，勝讀十年書」，有機會和見識廣博的智者超越禮貌性問候而實質互動對話，確實勝過讀許多論文、聽很多場專題演講。這些機會，對有企圖心和勇氣的人，在參訪及國際會議的社交活動中隨時可得。

日本公民意識進步，學生尊敬師長，卻不失獨立思想的能力。學生經教授推薦多受聘用於知名產業和學校，萬一學生不努力而表現不佳，得不到教授推薦，則名校畢業，也可能到處碰壁，所以學生以東工大、以教授為榮，努力研發。我參與研究的實驗室有高挑的屋頂，學生加建一個閣樓，作為他們有時需日夜連續執行研究計畫的休息室，看起來更像長住的宿舍，樣樣都有，也不缺日本人愛讀的各種漫畫書。實驗室中的許多設備是合作產業資助，並輔導學生設計的客製化先進產品，難怪學生對它了解透澈，愛不釋手，研發成果自然頂尖。

為期六個月的參訪，觀察討論多於親自實作。結束訪問回美國後，再深入研發，也發表了一篇共同作者的論文，更有助於我後續幾項美國專利的獲得。在參訪及研發活動外，我投入很

多時間，上日語課，基於對漢字熟悉的優勢，雖說不上流利的日語，但閱讀日科技文章已不很困難，這對於了解日本科技，尤其日文專利，幫助不少。

成大緣

孩子逐漸長大，離家上大學，美國長大的小孩子獨立性強，高中畢業就被公認為應該至少在適當程度上獨立自主。2005年，我猛然想起，旅居美國已超過那時人生一半的歲月，而父母年齡越來越大，更需要照顧。在沒有後顧之憂的幸運條件下，我接受中央研究院及臺大電機系朋友的安排，規劃回臺灣在臺北工作一年。有一天晚上在美國家中，接到成大前校長高強教授一通越洋電話，邀請我到成大，協助發展校級微奈米科技中心業務。因為從成大到父母居住的員林老家，乘坐火車甚方便，我很快就取得臺北友人同意，答應到二、三十年沒去過的成大，接下中心主任任務，結下成大之緣。

微奈米中心，以先進國家的類似機構而言，麻雀雖小，五臟俱全，但缺乏最先進的儀器設備，沒辦法分析及觀察一些世界一流實驗室所能研發的先進材料與科學現象。許多儀器建置以後，既無維修費，也沒有長期人事經費以聘用高階技術人才，以求儀器設備的最佳化功能，多年來依靠政府研究計畫經費經營及許多義工老師和博士生的支援，壓低儀器使用費，增加使用率，運作尚稱順暢，新儀器維修較不頻繁，相安無事，中心儀設訓練及使用率全國第一，成大材料領域及微奈米研究也排名全國第一。在一年多的經營下，中心吸引了二百多位校內外使用儀器的老師和研究員，其研發成果傲視全國。在一年多的經營中，為了解決中心自主經費的嚴重缺乏，我尋找開源管道，向學校爭取購置「雙束聚焦離子束系統」(Dual-beam Focused Ion Beam System)的經費，這個系統不僅是製作穿透式電子顯微鏡的利器，也是微奈米元件製程的高效助手，產、學、研各界需求甚殷，每年替中心賺到關鍵的數百萬元自籌款，對於中心永續經營的經費需求不無小補。

微奈米中心的教育面，由當時初創不久的奈米科技及微系統研究所扮演主角，除了合聘的優秀老師外，沒有專任老師，而且僅有碩士班。經大家的努力及高強校長的支持，我們團隊申請成立了博士班，也獲得三位編制內教師員額，前程可謂無限光明，很有可能發展成為成大最具特色的跨領域亮點。可惜，我僅能任職一年，而奈米科技及微系統研究所，後來和材料系合併，不再單獨招生。

大概是我一向的專注求好的個性，在成大一年多，我對所屬電機系鮮少進入，而以微奈米中心為家，直到2006年秋季班開學前必需返回美國奧本大學為止。最令我感動的是，回美國前一個星期天早上，幾位成大電機系系主任和前任系主任約我在系館斜對面的星巴克咖啡店喝咖啡相聚，我以為是禮貌性話別，原來，他們早已說好，一起來說服我，回美國完成義務後，再回成大一起打拚！

落地生根於成大

初次到成大服務，靠緣分及臺南和當時父母仍居住的員林老家的地緣方便，放棄美國四倍

多的月薪，在成大落地生根，則是被電機系同仁感動所致。希望將來我有機會，感動更多、更好的人才，前來成大一起打拼，一起享受自由學術及教育英才的生活。返回美國後，我受邀請擔任奧本大學的阿拉巴馬州州立微奈米中心副主任，也在美國繼續協助成大微奈米中心，邀請國外大師到成大，推動成大國際化也算達成繼續貢獻成大的承諾。

美國州立奧本大學，有教授退休的最低服務年限，但並沒有教授退休最高年齡的限制。沒想到，賴明詔校長不知受誰推薦，邀我加入他的領導團隊，賴校長問我希望接受那個職務的挑戰？當時不知道成大研發長角色如何？也沒想想是否賴校長已另有安排，便回答說：「研發長職務較具挑戰性，較具創新的空間，我願意試試。但是，我仍需要服務奧本大學最快在 2007 年 7 月 1 日，才可以回臺灣，加入團隊。」賴校長居然相信我這位未曾相識的晚輩，告訴我，沒有問題，他將於 2 月 1 日就職日，任命我為研發長，由我推薦副研發長代理人選，並組成團隊，直到我能回臺灣服務。於是，我和研發處團隊，隔著太平洋，靠著先進的網路技術，順利度過五個月的過渡時期。而我也以服務奧本大學滿二十五年的年資而正式退休，回到臺灣落地生根，並獲聘為奧本大學名譽教授，得以維持在奧本大學的辦公室、實驗室及學校設施和資源的享用。在合作教授的共同指導下，直到最後兩位博士生畢業就職後，才因為兩地方距離太遠，由新進教師接管實驗室。

榕園成大研發快訊

回到臺灣，立刻馬不停蹄地推動經過我深思熟慮半年的研發策略，實現「教職員生盡其能，儀設盡其用，研發資訊暢其流，研發能量盡其利，聯合全球大師團隊及臺灣產官學研各界，建置研發起飛的平臺」以達成邁向頂尖大學的願景。

在一個颱風天的假日，雨已停，風也弱了，我打電話邀請研發處團隊到我住的成大宿舍吃比薩聯絡革命感情。其實我是要執行「研發資訊暢其流」的策略，必須早日完成一件重大計畫的細部規劃與分工安排。副研發長和兩位組長以及儀器設備中心主任全部到齊，也來了幾位團隊家中的小朋友，後來馮副校長也來了。一個下午過後，我們已經定案，立刻同步出版中、英文兩版週刊，以宣揚成大學術聲望，推動成立跨領域研究的團隊，這個週刊的版面和命名也一併完成，「榕園成大研發快訊」就在這個因颱風天停課且停班的下午，在學校宿舍餐桌旁形成。隔天向校長報告後，創刊期的紙本中、英文版，在兩星期後就出現在校內老師及各界人士的信箱。曾志朗院士長期關懷成大的發展，有一次，他手拿一期快訊告訴大家，這個週刊，於爭取五年五百億中，加值至少一億元。

紙本如期每週出版，而團隊也積極延聘一位留美網路軟體碩士，架設網路版週刊，以求無遠弗屆的功能與影響力。紙本對特定族群的資訊傳遞確實有效，但因印刷排版及經費核銷複雜度超過有限人力的允許，逐漸不再大量發行。團隊則同步加速開發網路版週刊，至今已累計來自全球一百多國家及地區的閱覽者，超過一百五十萬次的點閱。

你們的成就都是我的成就

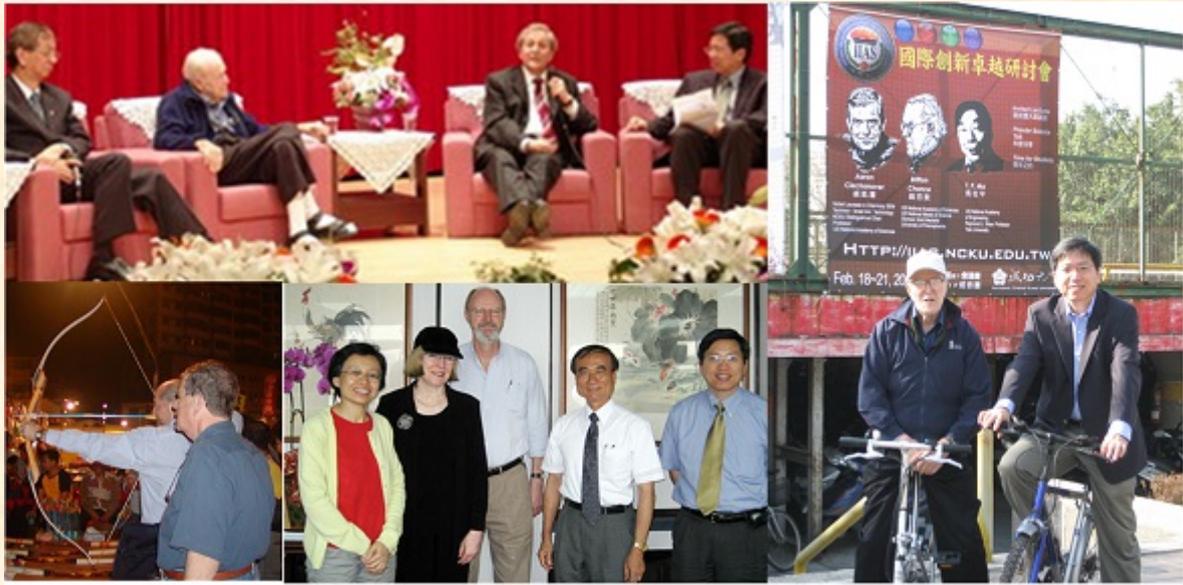
在賴校長「你們的成就都是我的成就」宣示下，全校都動了起來，可謂百花齊放，研發團隊更燦然，成大出現了前所未有的新氣象。各單位動得太有活力，難免越界，在各校行政單位推拖拉官場文化下，奇蹟地讓賴校長頭痛的唯一校園紛爭，是各單位不但沒有迴避工作，更爭先恐後發揮專長，搶事情作，這應是臺灣公務機關和學術界的奇蹟！幸好紛爭的是我來依我的方法作，或是你來依你的方法作，因大家都是為學校好，結果的差異僅是大好與小好之分。我也常告訴我的學生們，他們將來的成就就是我的成就。

研發策略的陸續實現

榕園快訊是我的研發策略「教職員生盡其能，儀器設備盡其用，研發資訊暢其流，研發能量盡其利，聯合全球大師團隊及臺灣產官學研各界，建置研發起飛的平臺」，以達成邁向頂尖大學的願景中受客觀因素限制最小的一項。團隊陸續推行標竿計畫，以實現「教職員生盡其能」的策略；完成全校共用儀器設備中心的設置，以促進「儀器設備盡其用」；使個人實驗室設備也能參與全校共用儀器設備中心，合法合理收取使用費，以補維修運作經費嚴重缺乏的「研發能量盡其利」的策略；並進一步籌備成立「創新卓越研究院」作為吸引全球大師團隊駐校，提升成大的學術風氣與水準，創立「成大—臺達電子」聯合研發中心的產學合作創新模式，達成「聯合全球大師團隊及臺灣產官學研各界，建置研發起飛的平臺」的策略。短短幾年內，成大校園內，幾乎時時有諾貝爾獎得主及全球大師和師生打成一片。可惜，「創新卓越研究院」尚未通過校務會議，成為編制內正式單位，我就被遴選為電機資訊學院院長，換了跑道，全力發展臺灣產業最重要之一的學院。兩年多的超高效率團隊，基本上已執行了我就任研發長時訂下的所有策略。

生醫光電教父錢百敦（Dr. Britton Chance）教授

我和健康長壽的老師很有緣分，任成大研發長時，有生醫光電教父之稱的美國賓州大學 Dr. Britton Chance（我有幸替他取名為錢百敦）教授和成大電機資訊學院及醫學院合作，研發近紅外線癌症早期檢測系統。95 歲的錢教授對成大跨領域研發團隊欣喜萬分，有一次雖因故必須獨自從美國坐飛機到臺灣參與計畫，他毫不猶豫。而我和醫學院醫護人員討論過，也勇敢地聘用一位專業護士 24 小時陪伴在旁，接待了獨自來訪半年多的高齡大師。錢教授在成大前後三年多，在臺達電子公司協助下，手持式近紅外線生醫檢測器很快製作成功，經過數十次臨床測試並和超音波檢測比對，如預期地成功檢測癌症，可惜操作手持檢測器技術不熟的個人可能錯過目標，作為一個商品販售，責任風險太大，故尚未量產上市。記得有一次化學諾貝爾獎得主奇卡諾發（Dr. Aaron Ciechanover）來訪，錢教授也在聽眾中，奇卡諾發教授介紹錢教授是他年輕時就景仰的大師，也是仍走在世間最偉大的學者。那幾年間，受邀到成大訪問交流的諾貝爾獎得主及同等大師，還有 Dr. Claude Cohen-Tannoudji、Dr. Robert H. Grubbs、Dr. Ray Baughman、Dr. T.P. Ma 和李遠哲院士等等，可謂絡繹不絕，是成大有史以來最密集頻繁的時期，校園內充滿追求學術卓越的氣氛，令很多成大人懷念不已。能夠多一些大師典範在校園和師生一起生活與學習，是成大人的福氣！



李遠哲院士（上圖左一）、Dr. Britton Chance（上圖左二、右圖左）、Dr. Claude Cohen-Tannoudji（上圖右二）、曾永華（上圖右一、右圖右、下中圖右一）、Dr. Ray Baughman（下左圖左）、Dr. Aaron Chiechanover（下左圖右）、陳貞夙教授（下中圖左一）、Dr. and Mrs. Robert H. Grubbs（下中圖左二、三）、賴明詔校長（下中圖右二）。

電機資訊學院

電機資訊學院源自成大 1931 年創校三系之一的電氣工程學系，83 年來研發新科技，教育對創造臺灣經濟奇蹟貢獻最大的人才，校友約一萬多人。近年來，經濟轉型及電資產業南移，使得成大電機資訊學院的任務更為重要。賴校長衡量之下，同意我轉換跑道，擔起這個重任。由一位臺大的外來人，領導一百二十多位老師，幾十位專兼任行政人員及近三千名學生，雖非不可行，但確實不容易。記得有一位系友告誡我說，改革不要太快、太大，太勉強！我在當年勸我再回成大服務的熱心資深老師的協助下，第一任三年的院長職一路順利愉快，頗有成就感，並獲得續任評量委員會一致同意續任，擔任院長至今共五年多了。

產學合作，學用合一

電資產業在南臺灣突飛猛進，學用落差的問題，越來越受重視，當領先世界的半導體龍頭台積電在臺南大舉擴廠，延攬三千名工程師時，卻找不到足夠適任畢業生而需轉往國外延攬人才。學用落差，以及師資的背景和依師資專業及人數分派總量管制的學生人數，是問題的根源，非一個院長權限所能影響，然而，聯合產業設置跨領域學位學程，接納非電機資訊系所的畢業生就讀，以備產業之需，確實幫得上忙。於是，我們和台積電、聯電等半導體產業合作，電資學院獲教育部核准成立「奈米積體電路碩士學位學程」，延攬年輕有為新教師，第一批碩士生今年開始報到就學，立刻和產業相聯結，建立產學合作的又一創新模式，最近幾年來成功地主動出擊，從歐洲、美國、及國內延聘了好幾位優秀老師，團隊的努力，收穫頗大，我也樂得享受成就感。

電機與資訊領域全國第一

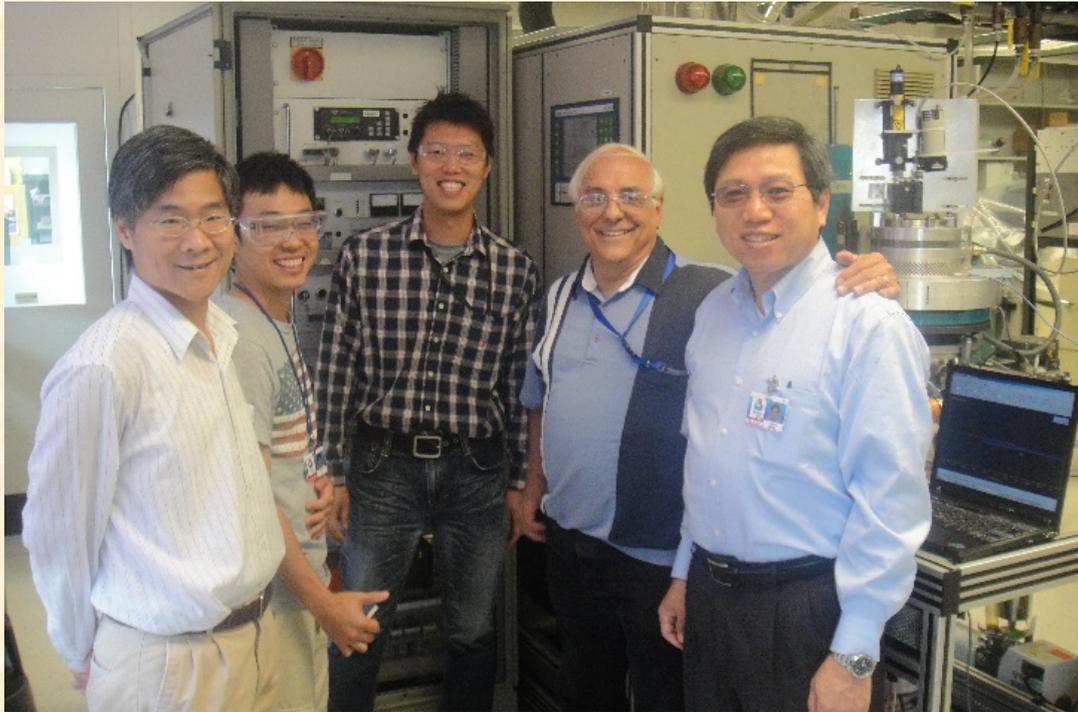
經幾年來的整合，電機資訊學院組織簡單，僅電機系及資訊系兩大系。故共識的達成及行政的推動複雜度不大，但是，駕大船和划小船截然不同，而且許多作法行之多年修改較不易。然而，院系主管團隊仍然可以找到優先順序及可行門路展開逐步改善和改革。成大一千多名老師之中，除了電資學院老師從事電機與資訊相關研究，其他院系也有許多老師從事電資相關跨領域研究，這些研究成果加總起來使得成大電機和資訊兩領域的學術成就，不僅由臺灣高教中心委託臺大評比，皆獲全國第一，及分別獲得全球第十名及十幾名；而去年的 QS 全球電機領域排名第 50 名，若不考慮學術聲望之分數，成大電機名列全球第 27 名，全國第一！提升成大全校及電機資訊領域的國際學術聲望是下一步的當務之急！

宏觀的國際視野和思維

宏觀的國際思維是學生進入平坦世界所必備，延攬外籍生和鼓勵學生走出去，體驗國際多元文化，是有效的策略。成功的先決條件是，我們得先有一系列以英文授課的課程，因此電資學院推動多班制的必修課程，必有一班以英文授課，使學生能自選中文或英文授課班上課。近年來已選送十數位學生到國外大學擔任交換學生，其中十位獲得美國大學免學費優待；今年暑假也有三位美籍電資交換學生來成大，國際化的用心逐漸產生效果。

美國阿岡國家實驗室

雖然以前參訪過好幾所美國國家實驗室，一般短暫的一、二天交流，只能得到膚淺的感受。2010 年，我獲得臺灣國科會「龍門計畫」的補助，於二年內得以每年選送兩位博士生長駐位於芝加哥由芝加哥大學管理的美國阿岡國家實驗室（Argonne National Laboratory），而作為計畫主持人，我需要和學生在一起從事跨國移地研究每年至少三個月。然而，身為電資學院院長，我難以連續離開學校這樣久，因此，我找來研究興趣近似的材料系劉全璞教授為計畫共同主持人，兩人分攤，一起訪問阿岡國家實驗室每年一個半月，指導每年二位，前後共三位博士生，深化國際合作的內涵。



曾永華（右一）和劉全璞老師（左一）於美國阿岡國家實驗室和 Dr. Orlando Auciello（右二）指導成大博士生 Howard Tu、Jack Chu（左二、三）從事跨領域研究。

雖然名為實驗室，美國國家實驗室規模較像臺灣的國家研究院。每個國家實驗室接受聯邦政府補助，建置有最先進的儀器設備，延攬頂尖人才，各有其聚焦的研發重點方向，從事帶動潮流的前瞻科學研究。阿岡國家實驗室的研究資源大多來自美國能源部，擁有先進高亮度光源，和獨特的觀察分析微奈米級材料的能力，除了能源相關研究，經由產研合作，由生醫製藥產業付費使用，快速分析和輔助特殊蛋白質晶體的合成。超級電腦團隊，奈米材料研究中心，和先進電池研究團隊，聞名世界，所研發的鋰電池，技轉作商用電動汽車之用。

美方主持人 Dr. Orlando Auciello 為我熟識近 20 年的阿岡國家實驗室院士 (Argonne Fellow) 和美國材料學會會士兼 2013 年理事長 (MRS Fellow and 2013 MRS President)。Dr. Auciello 不僅是位超奈米鑽石薄膜的發明人之一，也是體操國手，為人熱情，仗義直言，也是位創業家，在阿岡國家實驗室持股和鼓勵下，成立先進鑽石科技公司，經十多年努力經營，已有數項獨特性的鑽石產品，成為賺錢的鑽石科技公司之一；Dr. Auciello 最近又成立一家鑽石醫療器材公司，將鑽石薄膜應用於植入式醫療器件。龍門計畫讓我們有機會聯合阿岡國家實驗室兩個平時交流不熱絡的超奈米鑽石團隊和鋰電池團隊，發展出長壽命、含有導電、導鋰離子的鑽石鍍膜電極的鋰電池，獲刊登於 *Advanced Materials*，也合作申請一件美國專利，而博士生回臺灣後，組團參加科技部創新創業激勵競賽，更入選全國前十名獲得創業潛力獎獎金 60 萬元。龍門計畫的阿岡國家實驗室經驗可說是一個成功的國際合作典範，而阿岡國家實驗室也因為接納我們這個創新積極的外來合作團隊，而促成機構內部兩個團隊的跨領域合作。

世界一流的教學實驗室

近年來，電資學院每年投資一千多萬元增建先進教學實驗室，翻新必修實驗室的課程內容及設備，達成世界一流的教學實驗室，並大舉補助、推動學生團隊「頂石計畫」的風氣。老師們的用心學生們最為清楚，有一次一位系所評鑑委員問我，為什麼學生評量必修電子學實驗課幾乎滿分，而比對前幾年的學生對同一門課卻給及格邊緣的評量。等他看到重編寫的實驗課內容及每名學生各一套的全新實驗設備，才恍然大悟，成大電機系的電子學實驗課程，確實世界一流。幾年來，電機系和資訊系建置或改善了十數個實驗室，先進的雲端運算及智慧手機應用程式等教學實驗室，一一提供學生動手實作的友善環境。影響所及，電機系大學畢業生留在臺灣讀研究所者，80-90%留在成大研究所就讀。有了優秀的研究生，最優秀的老師當然爭相到成大任教，而電資學院的傑出研發績效，就在無為而治下，自然名列全球前茅。

快樂活潑的電機資訊學院

有些朋友以為電機資訊學院是硬邦邦的，若非整天像太空人一樣，穿著白色潔淨室套裝，蓋著頭蓋著腳的；便是腳穿橡膠鞋、頭戴安全帽，在電線桿爬上爬下。三十年前，或許如此，那時的女生人數，和天上繞著地球轉的月亮差不多，不到學生總數的1%。如今隨著電機資訊相關領域的演變和擴增，電機資訊學院女生人數已達學生總數的12至15%，電機資訊學院不僅產學合作績優，聞名世界，教職員生也多才多藝，健康、快樂、活潑，除了學生多采多姿的課外活動，老師組成的薩克斯風樂隊，和院長杯教職員工羽球聯誼賽，處處展現源源不絕的活力。

階段性任務的完成

回臺灣服務成大轉眼快十年了！這幾年，兩位孩子完成了婚姻大事，已增添了兩位可愛的孫子。當我的兒子看著我和孫子玩耍時，隨口告訴我的媳婦說，他好像不記得我有這麼和藹可親的一面，看來托孫子之福，我的修養也進步了。雖然明年就耳順了，比起九十七歲的錢百敦教授和奧本大學的百歲老師，我大概勉強只算是青壯年罷了。在臺灣一天當兩天用，但也享受了辛勤工作所得到的成就感，兩任共六年的院長任期，只剩下不到一年，階段性任務即將完成。有人問我，研發長和院長那一個職務比較辛苦？我認為兩者都輕鬆愉快，因為電機資訊領域和成大歷史一樣悠久，有八十三年歷史，典章制度完整，早已行之多年，即使無為而治，也不會太差。但是研發長和院長都握有創新平臺，新的措施和建設，永遠做不完，而且，進步得比別人慢，就是退步，所以完全無為而治是不行的。希望成大人能保持寬敞的心胸，接納更多人才，以努力踏實的腳步，更快速地進步，早日成為世界頂尖大學，造福國家，造福人類。



曾永華和外孫（上右圖）、女兒和女婿（上左圖）、兒子和媳婦及伴郎、伴娘、花童（下左圖）、曾永華夫婦（右一、右三）和母親（右二）及兒子、媳婦、孫子（下右圖左三、一、二）。