

第九場 『創新科技研發的挑戰』(2008 年3 月9 日)

國立成功大學奈米科技與微系統工程研究所 張恩旗 紀錄整理



謝謝張校長的介紹，各位觀眾和聽眾大家好，東部的觀眾大家好，我老家在東部所以花東對我來說相當的親切，上個禮拜我去參加了一個加拿大的研究計畫，差點回不來。今天跟大家來分享一下我對科技發展的一些看法，也順便把台灣的奈米計畫跟大家作一個簡介和狀況分享，特別要講一些台灣在科技上發展

的模式和現況，為什麼在國際上台灣還是大家想要合作的國家？我們還有哪些優勢？這都是要跟大家分享的。

我們常常聽到台灣又跟某些國家斷交了，可是在過去幾年內我們跟世界上很多科技先進國家有很好的合作，從原本的七個國家到現在已經有十七個國家了，很多工業先進大國都跟我國有合作的關係，而且這些合作的關係並不是只是技術買賣而已，而是台灣出一點錢國外出一點錢大家一起合作研發，這是非常不容易的，這顯現出我們的科技實力是非常雄厚的，我相信台灣未來還是有很多的機會的。我們先回想一下台灣的發展，我是戰後出生的現在大概六十歲，那個時候台灣物質很缺乏談不上什麼科技發展，都是光著腳到學校的，不過台灣的農業物質還是可以的，後來經由美國的援助慢慢開始有了發展，進入輕工業的時代，到了70 年代後期，日本等等的經濟國家慢慢的將一些技術釋放出來，一些製造的技術輸入台灣，另一方面也因為台灣人相當的努力，所以有經濟有一點起飛了，但是整體而言科技發展還是很薄弱的，因為我們沒有基礎，那個時候國內根本沒有好的實驗室，到80 年代後才開始建構，真正的科技發展是在90 年代開始的，80 年代後開始將半導體的工業引進台灣，外加我們原本有的農林漁牧業的基礎，一開始這些產業幫我國的經濟打下了很好的基礎，基礎石化工業也起來了，現今看起來可能是有污染的，但是卻是台灣很重的一個產業，到90 年代後高科技產業才真正的開始建構，因為80 年代的資金累積也加上國外的人才回國，這時候國科會就扮演很重要的角色了。之後90 年代所謂的高科技產開始起飛了，到了21 世紀我國正式進入與全世界同步的科技時代，你可以看到台灣產業大部份還是屬於勞力密集的產業，但是你在世界上要保持競爭力與發展是需要大腦的應用，2000 年以前還是強調製造業，到今天半導體產業還是有很多是製造業，這是某

個高程度的服務業，牽扯了很多技術和基本的科學，不過還是代工還是一種服務業，裡面有很多創新比如說台積電有很高的技術，不過因為型態的關係所以他並沒有品牌，不過還是幫很多國際知名品牌做了很多東西，像是 IBM 和 HP 等等，所以我們還是把他定義在知識服務業的架構下。

現在重要的是如何把知識融入產業創造新一代國家的產業繼續往前推動，台灣大概在 60 年的時間從一個傳統的農業社會到縣再知識產業的經濟是相當不容易的，這都要歸功於台灣人的水牛精神，台灣人是一個相當努力的族群，台灣是全世界唯一一個國家在半夜十二點要買什麼東西都可以買得到的地方，有一個故事發生在我回台灣的時候，有一年除夕我還住在清華宿舍，那天我家的大門壞了，所以打電話給清大外面的鎖匠，半夜十二點騎著機車就來修了，這也就是台灣之所以會成功的精神。台灣在很多的領域有領先的地位，並不是只有網路電腦這些電腦產業而已，譬如說螺絲、自行車和紡織布等等，我們汽車的擋風玻璃上面用的黏膠也是台灣做的，他的產量約佔世界的 80% 左右，所以台灣不只有電子業而已，其他很多產業也是相當有前途的，應該按照自己的興趣來選擇職業，在台灣的產業中高科技業所佔的產值也大概只有四分之一而已，其他還有很多是報紙上看不到的產業，我們用一個有趣的數字來說明，我們製作產品的速度是很快的，這些電腦元件以每秒的產量來看，生產一個主機板大概只要 0.4 秒，顯示器約 0.5 秒，桌上型電腦是 1.14 秒，筆記型電腦大概要 2.5 秒，這是很驚人的，這代表我在 90 分鐘的演講後有一萬四千多台的主機板、四千七百多台桌上型電腦、兩千一百多台的筆記型電腦被產出來，因此我們被稱做電腦王國是有原因的，這也代表著我們的科技實力，這也是我們努力的成果。這裡靠的不是那些大老闆，而是靠我們的年輕人，全心全力的投入，到各行各業把這些產品做出來。

做研究有三種，第一種是所謂的基礎研究，這是比較長遠的發展基礎，作一些比較基礎的概念，第二種是研究的應用後來第三種才是產品生產的技術方面，而誰來做這些研究呢？誰來補助我們的研究呢？中研院、國科會、教育部、衛生署等等機關是補助基礎和部份研究應用的單位，其他還有很多政府相關部門也會補助應用的研究，而大學和中研院是實際做基礎研究的單位，他們透過申請跟以上的部門拿到預算來做研究，當然國家也有很多應用研究和技術發展的單位，像是國家試驗研究院、同步研究中心、中山科學院等等。我們也成立財團法人來做研究，他們都做一些應用研究和技術發展，譬如說中華電信就有一個電信研究所了，其他私人的也有很多自己的研究單位，而這裡面最主要的就是資源了，在國內最主要的資源補助單位就是國科會了，而國科會最主要的目的就是提升國家的科技發展，包含國家科技政策的規劃和發展等等，如何把研究目標建立起來定期檢視評估我國的科技發展，這是國家科技發展的重要任務，其中最重要的就是國家投入的經費預算是多少了，目前我們國民生產毛額投入在科技研發上面大約是 2.7%，在世界上是算很多的，美國、中國都比我們低很多，本來預估我們今年要

達到 3%，但是遇到了很多困難，我在 2004 到 2007 當國科會主委時要求行政院每年增加預算 15%，這是很難的那時候研發預算只有 2.1%而已，行政院每次都說沒問題，可是到了立法院就被砍掉了，每次都只剩下 10%左右，越到後面少越多，政府是一體的，預算不可以亂砍不能配合就很難做下去了，但是不管如何我們對科技投入的預算還是增加了，一年大概增加 8%，這樣已經比以前多很多了，有這樣的資源我們才可以將推動研發，也就是這樣才會也國外的科技大國想跟我們合作，基本上很多的教授都到國科會來申請補助，這些經費也造就了國家各行各業很多的人才，國科會在這邊的投入的資源是扮演了很重要的角色，另一方面國科會也投入在科學園區的建設，從以前的竹科到現在的南科和中科，廠商也都有在進駐，產值也一年比一年高了，而中科的光電產業也到了將近一兆的產能了，這是相當了不起的發展。

接下來要講幾個故事來說明科技發展的歷史和經過，首先來談談大家比較熟悉的，不過我們以後可以看看石化業、機械業和生技業等等的經歷，先離題一下，目前科工館的科學史是我負責的，我們小時候看到牽豬哥，到處配種生小豬，但是現在我們都是用人工 DNA 來配種的，而農業也是相當出名的，我們的鳳梨有二十一種，世界是找不到生產這麼多品種鳳梨的國家的。現在回到主題，人如何開始傳遞計算科技，有了計算機也就是電腦的發明才有今天這麼發達的科技，現在先看看人如何計算，在三萬七千多年前人是用竹片和木片來刻畫後來用骨頭，到了一萬多年前就可以用比較有規律的竹片來做紀錄了，人類計數早在西元前四百五十年就有了，而中國也發明算盤來做計算，事實上在世界上也有很多計算方法，史上第一個計算機是達文西設計出來的，是一種用機械方法來計算的計算機，但是他沒有把它做出來，在 19 世紀 IBM 作出了達文西計算機現在在博物館內，在我那個年代是使用計算尺，現在市面上已經買不到了，這是使用對數的概念做出來的，有一個叫做 John Napier 的數學家，他是一個蘇格蘭的科學家，利用對數的概念來規劃數字來進行計算，這大概是 70 年代常用的工具，往後就開始利用數位的計算方式，一開始是先用在紡織器的編織，是一個法國科學家 Joseph-Marie Jacquard 想出來的方式，結果就是可以織出很多形狀花樣的布，再來有一個英國的數學家 Charles Babbage 提出了今天電腦計算的方式，很多的想法在其有生之年都沒有做出來，後來有一位女仕 Augusta Ada Lovelace 利用他的想法寫出來最早的程式，他是英國詩人拜倫的女兒，他利用這個東西來計算流體力學上面的伯努力定理，她是世界上第一個電腦工程師，隨著電腦的演進到了二十世紀才有比較複雜的系統出來，把電和機械了結合形成的計算機，有一個哈佛大學在 1944 年左右發明出了，是相當複雜的機器，它使用打卡機把資料輸入到電腦裡面，他複雜到什麼程度呢？有七十六萬個零件，線路有 500 英哩長，重量是五噸，但是他可以做的事情可能沒有我們筆記型電腦的十萬分之一，他的計算速度是每六秒算一步，而我們現在是每一秒算幾萬步，所以早期的電腦跟今天的是有很大的差別，後來還是陸續也有一些大電腦的產生。

在 1880 年開始，有一個事件發生了，愛迪生發明了燈泡，這代表人類的文明進入了下一個階段，人開始使用電來做一些事情，還有一件事情是大家不太會注意到的，就是燈泡為什麼會發光？不知道大家有沒有思考過，有學過電學的大概都會知道，燈泡裡面有鎢絲，電流經過鎢絲後會產生電阻而發熱，加熱到一個地步就會變亮然後發光了，當然他是在一個真空狀態下的情況，這個過程就有一個電流的狀況，接下來大約在十年後有一個英國科學家 JJ 湯瑪森在無意間發現陰極射線，什麼是陰極射線？就是我在一個真空管裡頭有一個金屬絲，如果家裡面是用陰極管的電視，你就會發現裡面有一個陰極射線管，通電流過去會有電子打出來，作實驗的時候打到一個物質會產生光，1897 年 JJ 湯瑪森發現打出來的射線磁場處會偏轉，因為它帶有一個電荷量，我們把它定義成帶負電，1897 在實驗上被證實，電子在這個實驗中被發現，在這個實驗中電子被打出來，在物質結構中有很多粒子其中就是電子，這對後來物理學的發展有很大的影響，這個電子有很多的應用，譬如說電視或者是電子顯微鏡等等，現在半導體公司中也可以用來蝕刻。但是很有趣的地方是一個東西被發現之後通常在第一時間都不知道可以用來幹麻，這也就是基礎科學，包含 JJ 湯瑪森一開始發現了這個現象也不知道它有什麼意義，甚至把他認為是無用的東西，這是一種科學的發現和好奇，當然他也認為這個東西可能對人體有害。

一個新的科學在被發現的時候通常都不知道他對後來的世界有什麼意義，可是在幾十年後就會慢慢看到他的影響了，而這個發現也幫助了 JJ 湯瑪森獲得了諾貝爾獎，這個發現很快的就被科學家和工程師拿來應用，電極和電源跟電阻絲，在一個狀態下通電之後就會形成通路，我們可以控制電流的方向，而目前市面上最好的音響或是放大器也是利用真空管做出來的，今天也有很多高級的真空管，就是在一個真空的玻璃管裡面通電就會作用了，那他有什麼應用呢？它可以做為放大器和開關，如果我們在真空管中加入一個阻礙電子通過的障礙電子就不流了，所以我們如果可以控制這個阻礙物真空管就變成一個開關了，而這個阻礙物是使用電壓來控制的，這就是真空管的基本運用的原理，我們就可以拿這個東西來控制系統，於是 0 跟 1 的概念就被引進來了，通路是 1 不通是 0，有一個英國的科學家叫做涂林，他是電腦發展上面的重要的人物，也有一個叫做涂林獎的來獎勵對電腦科技有貢獻的人，他是第一個用真空管電腦的人來取代機械的工作，可以完全用電子的元件來做出一部電腦，就不在有機械了，用電子作開關使電腦的速度又上一層樓了。到了 1945 年美國 ENIAC 全面性的真空管電腦，可以做到每一秒五千個加法，還有兩百個 digi 的記憶體，裡面用到一萬八千個真空管，三十噸的重量，所需的空間大概跟這個房間一樣大小的空間，這就是電腦從古老的機械方法進展到 1950 年代真空管的架構。

再講另一段故事，這跟愛因斯坦有關也跟今天要談的奈米科技有關，大家都

知道愛因斯坦但是對他為何這個偉大卻都不太清楚，他被時代雜誌認為是過去一千年最重要的人物之一，尤其是在科學上，因為他在有生之年做了一些很重要的事例如說相對論，把時間和空間的轉換的概念，今天我們所講的奈米他在 1903 年，他的博士論文就談到了糖溶解後他的分子大概是幾十奈米，他在探討他的行為，這個跟他在 1905 年講的布朗運動理論的架構是有關的，布朗運動是只如果把花粉放在顯微鏡下然後加一點水，會發現花粉會自己亂跑因為有熱源，這個是植物學家在 19 世紀發現的但是不太了解，但是愛因斯坦用理論的架構把他解釋出來。相對論把所以時間和空間的觀點改過來，今天我們用的 GPS 就是跟相對論有關的發明，沒有相對論就沒有 GPS，他在 1917 年有一個理論講激發性的輻射效應，這個跟後來雷射的發明有很大的關係，他雖然發明了這個理論但是在五十年後雷射才真正的被發明出來，這也就是我剛剛說的科學與工業的應用在時間上都會有一個落差，1924 年他跟一個印度科學家提出一個概念，實驗到 1995 年才被證明，這也表示愛因斯坦的想法與其他人不同，他領先世界一百年，細節就不講了。

今天要特別講的就是他 1905 年提的光電效應，這個跟 JJ 湯瑪森提出來的東西就有很直接的關係，回想一下 JJ 湯瑪森發現是在 1897 年，很有意思的就是德國有一批科學家可以做出真空管，但是用光去打真空管也可以運作，用光打金屬版結果發現可以把電子打出來，但是電子並不是任意被打出來的，不是說所有光都可以，要特定的光對特定的材料才打的出來，電子的能量不同打出來的東西就不同，譬如說藍光就比較強，所以我們就可以用光來激發電子，JJ 湯瑪森是用電加熱打出電子，這兩個完全不同，所以光電效應是一個很重要的發現。這個結果必須在某一個頻率的光才可以打出電子，越大的頻率所帶的能量就越大，但是如果小於某個數質就會打不出電子，但是在那個年代的科學家都無法解釋，因為他們認為光是一種波，波是一種無所不在的東西，所以只要一點點就可以激發電子了，而且光波性質也不是一個簡單的線性關係，但是愛因斯坦做了一個很大膽的假設，把光假設成有粒子的性質，就好像是一顆球打到東西把他打出來，這就證明了光具有波和粒子的性質，當初他得論文寫出來沒人相信，於是有人想要作實驗證明他是錯的，但是後來還是證明他正確的。這個發現讓愛因斯坦得到了諾貝爾獎，但是相對論卻沒有讓他得獎，在幾年後有一個美國人證明光電效應是對的，波打到球好像是打撞球一樣可以把電子打出來，可是就整體科學來講發現這個東西是沒意義的。

所以後來在 1930 年左右有一個法國科學家叫做德布羅意波，他是一個很有趣的人，家世顯赫相當有錢，祖父是拿破崙的官員，一開始唸歷史後來開始轉念物理，當時 1920 年代愛因斯坦的光電效應已經被證實了，相對論也慢慢的有一些現象證明他是對的在行星傳遞的光會有扭曲的現象，於是德布羅意波看到光電效應中光有粒子的特性那麼粒子會有波的效應嗎？電子在運動中會有波的行為

嗎？經過兩三年的根據愛因斯坦的理論推導後，在 1925 年完成了這個理論，但是做出來的論文他的指導教授也不知道他寫的對不對，雖然數學是對的但是其他的物理意義卻無法證實，於是他的指導教授就把這篇論文寄給了愛因斯坦，後來愛因斯坦回信了，信上寫了這是我們找了十多年的答案，這是什麼意思呢？在當時有其他的物理在進展，發現了電子和原子等等，然後就有那些 1s 軌域 2s 軌域等等，還有波爾的測不準原理，這一些能帶的概念，但是沒有一個好的理論來支持，但是有了物質波的理論後了解了電子具有波的性質，所以這一些原本無法解釋的現象有了理論基礎了，可以完全解釋原子的電子組態，這個發現也造就了後來的電子顯微鏡，這也讓我們對微小的物質有更深入的了解，這個東西也建構後來的量子力學，後來的科學也建構在這個理論之上，讓我們對原子和分子的構造有所了解，而這個理論對於導體、半導體和絕緣體也有好的解釋，總而言之物質具有粒子和波動具有雙重特性。原子的結構就好像我們太陽系一樣，原子核像是一個太陽電子像是一個行星，原子核帶正電和電子的負電有互相的吸引力，圖中我們可以看到電子軌域的分布，電子是可以跳躍的，跳躍的過程會發光就是所謂的頻譜，這個也可以用來做天文觀測，可以藉由光波來分析天文星體有何種的物質，波動的出現是無法很明確的所以只能告訴我們出現的機率，這就是有名的測不準原理。

根據量子力學的觀念我們就可以得知在各種的狀態下分析出電子出現的區域，這個觀念往下延伸現在來討論多個原子，此時狀態就變的很複雜，這個時候就可導入能帶的觀念，如果位置多於觀眾的話，觀眾就可以隨意坐，因此如果是電子的話電子就是可以動的，也就是可以導電，如果位置和觀眾一樣多，如此觀眾就無法動了，如果是電子就無法移動也就是無法導電這就是絕緣體，如果空位只在旁邊一點點可以隨便打個洞就可以過去，這就是所謂的半導體，了解到這些東西之後我們就可以有所運用了，如果我們把矽加入一些其他的元素就會產生一些很有用的結果，矽外面有四個電子如果加入一個電子或是少了一個電子就會變成導體了，這就是半導體的基本概念，我可以將少一個電子跟多一個電子的矽放在一起就會變成我們現在使用的半導體了，到了 1947 年有三位科學家做出了電晶體，我不要利用真空管就可以做出一樣的結果了，這大大的減少了體積，後來就出現了積體電路，在 1990 年英特爾做出了奔騰的中央處理器，他的架構跟前面的沒有很大的差別，只是這小小的一片裡面包含的東西比前面的多很多，雖然體積可能差不多但是速度差很多因為電晶體的含量多很多，到了這個階段世界就不同了。

台灣有很多公司都在做這些像是台積電、聯電等等，就是利用製成的方式把單晶的矽做成一個很複雜的並且多層的元件，這對我們生活做了很大的改變，短短幾十年我們已經把原本一台幾噸重的電腦變成我們現在看到幾公斤的電腦了，這大大的提升了我們生活的便利性，而台灣在此扮演了技術提供的角色，我

們提出了一個口號和策略 superior 就是超越前端，加強人員訓練和延攬人才、提升產業和創新、學術的卓越、確認科技有效的應用、讓科學普及、平衡人文和科學、將環境影響降到最低、人民福祉提到最高、國防的科技的建構，這些都是我們科技發展的目標，所以我們需要很多的預算，但是現在的預算好像又要被刪減了，這是很遺憾的，科學的普及和推廣是很重要的，政府和產業的連結，政府也有很多組織來做很多科學的研究像是同步輻射、國家高速電算中心等等，這些都是很重要的，現在有一些國家行的研究計畫，國家出錢來提升我國在某方面的科學程度，並且把基礎研究、研究結果的應用和一些應用的製造計通通結合起來，把國家基礎的研究單位，應用單位和民間的公司通通結合起來，達到產業進步的目的，而目前的國家計畫有奈米科學、通信等等，大家可以享受這麼快的網路和手機都是這個計畫的結果，目前已經有 3.5G 的速度了接下來的目標就是 4G 了，目前電信計畫就在做 4G，還有一個計畫是晶片系統目的是要提升半導體的產業，我們把 IC 設計出來就成為一個 chip，還有三個生物科技的計畫分別是農業、製藥和基因相關的計畫，另外還有教育方面的數位學習和數位內容的國家計畫，像是故宮的東西都可以在網路上面看到了，國家圖書館的東西也可以透過網路看到了，這些知識都變成是隨手可得的了。

最後我們來講一點奈米，奈米是什麼東西？現在從圖來看人的手掌大約是 10 公分，然後取一塊放大十倍，就可以看到毛孔，再放大十倍，放到了一千倍之後我們就可以看到白血球了，這是抵抗病體的細胞，到了一百奈米就可以看到 DNA，十奈米就可以看到 DNA 的構造，奈米大概就在這個尺度下，我們要看這個大小尺度下的一些現象，這個東西有不同於巨觀尺度的性質，而我們可以看到奈米大小的東西都是建構在我們之前電子和原子等等科學上面，技術慢慢可以來觀察這些奈米的東西了。現在舉個例子來說明奈米的應用，在生物界中很多生物在經過長期的演化都有一些讓人意想不到的特殊結構，這些結構有很多功能，像是蝴蝶的翅膀一定只有一種材料構成但是卻是呈現多種顏色，又譬如壁虎和很多昆蟲可以在天花板上不會掉下來，人可以做到嗎？這些東西其實跟奈米的結構有很大的關係，現在利用蓮花來舉例，蓮花出污泥而不染，為何蓮花有自我清潔的功能呢？這些是很有趣的問題，先來看看荷花為何水不會滲入荷葉中，而是一滴一滴的聚集在葉面，因為荷花有疏水性質，可以將其表面的髒汙藉由水的流動而清洗，這個功能是來自於他葉面有很多奈米等級的突起，當然還有一點其他細節的東西，我們來看看水珠和葉面的狀態，因為水和表面不接處所以污垢可以直接被帶走，我們也可以利用這種性質來防止污垢。我們也用這個例子來說明科學和研發的步驟跟其難度在哪裡，做科學的人可以做一些成品不過最重要還是要了解他的原理然後做實驗來證明他，然後了解他把他寫成一些數學式子來描述說明，現在來證明一下蓮花效應，我們先拿一些很小的塊材然後緊密的擺在一起，然後經過一些蝕刻，慢慢的顆粒就會越來越小，隨這蝕刻的時間我們就可以得到各種到小尺度的顆粒和孔洞了，然後我把水珠放上去就可以量接觸角了，我們可以發現

顆粒越小的表面水珠就會越圓也就是水慢慢開始不和表面接觸了，然後畫一個圖帶入公式就可以證實水滴和微結構的關係了，在來我們就可以做一些實際的應用了，先把水滴放在一個玻璃和其他材料的複合結構上，先做一層導電層，然後做出微細的結構，這樣的一個結構就可以讓水完全不沾於表面，於是就可以做出一些產品了，科學家也可以繼續往前走，本來表面不沾水但是只要加一點功夫就可有更新的應用了，我們就可以用通電的作用來控制水在表面上的沾附性質了，因為通電改變極性讓原本不沾於表面的水因為凡得瓦力的關係開始與表面沾附，我們可以由圖來看這個現象，這個應用很簡單，消防隊員的衣服本來是不沾水的，但是加上電壓之後水就會進入衣服中了，就可以防熱防火了。還有其他很多



的應用就要留給我們的年輕人了，像是我們人體中有百分之七十是水，也許我們可以找到一點點關係，我們知道我們體內有離子帶電在做傳輸，這些血管壁也許有這些功能。所以我想利用這個例子講說科學的發展是無止境的是同步的，就像我上面講的例子一樣，創新的東西和新的架構又出來了，我想

台下的小朋友用的東西大概跟我們有很大的不同，雖然可以想像但是不能預測，人類對科學的發現是日新月異的應用也是，像我做的超導，最近發現一個很奇妙的結果，因為裡面有鐵根據理論鐵與超導是不可能在一起的，所以我們家長的教育小孩的時候要給他們一個大一點的空間，台灣不祇是只有半導體產業而已，我們農林漁牧等等產也是世界上數一數二的，要讓孩子自由去發揮來開發，不要限制他們將會讓未來有更大更多的可能性。謝謝大家。