

## 訪張立綱教授實紀

Q：可不可以跟我們談談您的求學過程呢？嗯、基本上就是您的一些background。

A：這小學就不必講了吧！

Q：要、是否有什麼特別的事情？

A：我們那個時代正是抗戰的時候，念小學總是東跑西跑，很少在一個地方待很久…

Q：那時在大陸嗎？

A：是、抗戰時在大陸、東跑西跑地。後來到臺灣，那時候大概在三十七年底。那時候有一批，嗯…不是真正的流亡學生啦，就是有一批大陸上來的人。

Q：那時您多大？

A：那時念初二。我來的時候因為家搬到台中去，當時大概是教育廳規定招收些大陸學生就進了台中二中。然後就一直在台中二中念完中學。念完了就跟大家一樣考大學啦。台中二中考大學的比例不太高。那時我們也一樣，拼命努力於是就到了臺大。至於念電機系，那是因為大家都念理工方面，想在學校裡數學、理化都還不錯啦，所以大概都考甲組。至於當時的想法，認為不喜歡可以轉系，一旦進來後也就不轉了，一直就念電機系畢業……也就這樣。

Q：然後就出國？

A：受了二年軍訓，當然，我是在空軍受了三個月的人伍訓練(在空軍預校受三個月入伍訓練，然後

到機校，算是分科教育)，接著服役大概一年半到二年之間。差不多就是這樣。然後就是留學考。大使館簽證當時很困難，我不知道現在是怎樣？要是兄弟姐妹在美國的話，就不很願意讓你去。

Q：怕您留在那裡？

A：要你保證不留在那裡，還是要回來…

Q：結果您還不是留在那裡。

A：當然，最後還是到美國去。畢業時我想是1957年、受二年軍訓…1959年到美國去的。

Q：就到Stanford去？

A：那時很難的。一般美國對台大很不清楚，那時臺大分數打得緊，所以我們出去時好學校跟本不願意要你。那從沒聽過台灣大學，分數一看八十幾，雖在班上前幾名，但到了美國他們看起來很差。大部份還要一點錢，teaching也好，research也好，都希望要一點錢。大部份人第一次都進很差的學校，就是不很有名的學校。比如說我去的叫做U. South Carolina；不是South California，在Columbia。那種學校當然也不一樣，她沒有Ph. D. program，所以你得先念一個master，但master又規定得很嚴。因為她沒有Ph. D. program，念master的好像很了不起，每個人要念兩個foreign language。因為她認爲了不起，所以必修課要分成兩年來修

，一定要花兩年時間才能念master。而那時一心一意只有一件事情，就是把成績念好，希望申請好一點的學校，同時也能給你一點錢。二年後，就是1961年，到Stanford去。

Q：所以那時是很想出去，不管好學校與否，只要有學校收就是了？

A：還要有錢，光有學校收也不行，那時還要有保證金。現在不知變怎樣。那保證金是借來的，每人要繳差不多二千四的保證金。其實保證金都是假的 - 跟別人借的，到那邊還要還人家的。所以當時有一點獎學金是很重要的 - 錢不多、但至少還可以維持啦，希望可以省一點寄回家...

Q：嗯，那時候很重要，只要寄一點就不一樣了？

A：對、對、對！那時寄一點和現在不一樣，那就很怎樣了。……完了以後就到Stanford。至於到Stanford也有很多原因，大概同班同學(電機系)就有十來個到二十個到Stanford。當時去到那叫做Applied Electronics；那時沒有叫Applied physics。算是在電機系。念的是solid state electronics。就在那裡待二年。

Q：那時同班同學很多到Stanford？有那些同學跟你比較好或比較知名的？ 嗯、像您一樣比較有名的。

A：現在回來的有好幾個我們同班的。施敏是我同班的，還有一個叫陳剡孫在去年回來。他在Stanford畢業後去Bell，現在在新加坡那邊新成立的Electronics lab of director。現在施敏回臺灣。陳剡孫去新加坡，那我應該去香港。

Q：我們還是希望您回臺灣...

A：在Stanford那邊我們同學都念Electronics。我想電機要和物理扯在一起，只有Solid state，現在叫作Condensed Matter。這些人還是有機會可見面，而且基本上都念Semiconductor。

Q：以前台大電機多是教火力、水力發電。我記得方

復也跟我講，他們都是教發店的。你們剛開始時是否很辛苦？

A：方復還好，因為方復在交大還念過一年書。我當時是這樣啦，大一、大二都是念電機系，到了大三分組：一個叫電力組；一個叫電訊組。電訊組就是念Electronics。當時出國很困難，想出國的人就念Electronics，而我當時沒有準備出國就念電力組。就是想去"新高山"，去準備發電、去變電所。

Q：到臺電去了？

A：根本一心一意去台電。就念水力發電、火力發電、電場設計……電力輸配這一套東西。而真正要講唸 Classical Mechanics、Quantum Mechanics一點都沒念過。所以跑出去後，忽然發現很多東西跟本沒念過。最辛苦其實不在Stanford，而是在South Carolina那二年。因為在Stanford有那一幫同學啦，還可以討論討論、做習題、幫幫忙啦，還可以熬過。在South Carolina根本中國人就不多，那確實是孤軍奮鬥。

Q：那時台大的師資根本也沒有，就算念電訊的也不多，而且半導體才剛起來。

A：我在South Carolina的master thesis就是做Vacuum tube，甚至在美國很多比較差的學校裡，也不能說比較差啦，就是不是第一流的學校其實也蠻落後的。當時念electronics的也沒唸幾門，然後大部份的時間在搞Vacuum tube，所以我的master thesis還自己去燒Vacuum tube做secondary emission。而transistor的課程還是在Stanford念的。

Q：您在Stanford是跟那一位教授呢？

A：有個叫Pearson的，他是Bell的。

Q：我聽過這位教授。

A：當時Bell有一幫教授，在Bell算退休或半退休的一大批人到Stanford。

Q：Schottky是在那裡吧！

A：當時不在。它是後來才來的，我出去之前他就來了。而Solid State Electronics Lab幾乎都是Bell過來的，這就是為什麼後來Stanford去Bell的很多。其實我是Stanford第一個去IBM的。

Q：當時您做些什麼東西？

A：當時我做的thesis是diffusion、Solid state diffusion。那時已做半導體了。Zinc in the GaAs、GaP，那時diffusion的mechanism其實大家還不太懂啦。

Q：那十不是做Silicon，我知道半導體先做Ge，再來做Si，而你們已經做GaAs了？

A：對，那時候GaAs剛開始。至於為什麼做GaAs gap也沒有什麼特別的原因，因為GaAs gap，這些材料比較新。做thesis總希望做些比較新的，不然你沒做完人家便發表了。剛好那時有幾個人從Bell來，他們因與Bell那邊比較熟，便從Bell拿些Single Crystall。做GaAs crystall的人較普遍，gap較少。因為拿到這些Crystall比較新，知道做的人比較少，做起來感覺比較穩。

Q：一定會畢業。

A：(笑)，對，一定會畢業。因為如我前面所說，diffusion一定有結果。所以當時就研究diffusion mechanism。這種東西可說是半物理、半電機、半材料，所以在Stanford因為作這種東西做了二年就畢業。總之，master念二年，Ph. D.念二年。

Q：然後就去IBM？

A：是的。然後就一直待在IBM。當時去IBM也很可笑，其實一般人還是較喜歡去Bell，而IBM剛成立較沒有名氣；Bell較有名，因為那時Semiconductor transistor是Bell做出來，尤其那些教授是Bell來的。在interview完了，我問他們，我應該去Bell、IBM還是Rockwell？有三

個Choice。他們總是說：「這個，我不想影響你的前途，但是如果我是你的話，我會去…。」

其實我當時想去Bell，但我沒去Bell的原因也很可笑。而最重要的原因是，當時畢業很神氣，interview連我太太也請去。後來我回來了，他們還問我吃飯吃了多少錢…。我也沒吃那麼多錢，感覺很不耐煩。

Q：哈哈……。

A：所以我決定去IBM。當時想去IBM或Rockwell，且知道Rockwell因為是飛機公司較不穩，但錢最多也有點想去。然後就跑去問我的教授——因為他跟Rockwell那邊很熟——能不能告訴我那邊有多穩？是不是2~3年就被lay off？那邊人說：「多了我不敢保證，我只敢保證五年，因為五年後我是否會被lay off掉我也不知道！」所以我教授說：「五年太短了，你還是去Bell或IBM吧！」

Q：剛開始去IBM都做些什麼呢？

A：去IBM有兩種情形：一種是直接聘到某部去；另一種是先聘來再跟大家談。我當時或可以做device technology或可以做物理。當時Esaki已經在那裡且小有名氣，雖然沒得獎，但做得很好了。那時剛畢業想先做些research，而technology等以後再說。反正先做些物理再說。所以就加入了Esaki。那是剛開始，已經做Heterojunction，但是很粗糙。interface非常差。剛開始做Si、Ge，因為這兩種lattices相吻合(match)。起初大概做一些Heterojunction conduction、Interface properties。這是頭兩年做的東西。

Q：然後接著呢？

A：後來做得比較雜一點了。像tunneling transport。因為Esaki做tunneling，後來就做些transport；而transport最重要的開始就是tunneling。當時做metal oxide-

semiconductor的 tunneling transport，例如 As-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和GaAs經 E13 tunneling through oxide。後來也發現了 negative resistance。

Q：一直就做一些有關tunneling的東西？

A：當然有關係的其它東西也做了一些，比較主要的是 tunneling。

Q：在做GaAs、AlGaAs以前，也就是你們在那篇很有名的論文以前，是否有些比較有趣的研究。

A：畢業後總是想做一些你比較熟悉的，也做些 diffusion。所以一方面做一些 General diffusion study in III - V compound，因 process完全不一樣。另外做 Heterojunction，不光做 tunneling，也做 field effect。另外就是 tunneling，因為那個領域做得比較好一點，所以人家給那個領域起個名字叫 tunneling spectroscopy。雖然做 tunneling，可是用 energy sweeping 去看 spectroscopic properties。不光做半導體，也做些 Bi，像 semimetal，看它的 band structure。用 tunnelling 的辦法一方面研究 tunnelling process本身，同時也用 tunnelling 的方法看 spectroscopy。過了一段時間-我1963年去IBM，做到1968年，做了五年。你也知到，中國人總覺得做教授較清高。雖然到IBM，可是一直想有機會教教書。那時因做了一點工作，別人稍微知道一點我做了什麼，就有些學校會找，問願不願意來。那時決定想試一試；總是想做教授嘛！因此我去了MIT，在MIT待了一年。那時我去的時候根本想離開IBM。我跟IBM講“I quit”。MIT聘我並非客座，而是規規矩矩的聘用，算 permanent。他們有個規定：年輕三十幾歲的不能給你 tenure，算是 associated prof。那裏跟 Lincoln Lab的幾個一起做，所以MIT那邊算是 permanent。IBM跟我說何必把IBM的 Bridge切掉，沒關係，你就去好了，IBM還是

算你 on leave。後來這件事情想起影響也蠻大的，也很巧的，如果我當時 quit IBM，我大概就在MIT一直待下去。

Q：您只在MIT待了一年？

A：你到那邊去雖然是誠心誠意去教書，後來你發現你是 on leave或不是 on leave心態上完全不一樣。

Q：總有一條路可以回去？

A：對、一點都沒錯。所以我剛開始還規規矩矩想做點實驗，開始寫計劃想搞起來。半年後你想買儀器，但說不定當儀器來的時候你已經不在了。所以想到這件事情有點…不是混啦，總覺得還是可以回去。那時候IBM打電話來問：「要不要回來啊？…」什麼之類的事。Esaki在叫，還有一些別的人。而且MIT太大，你 somewhat會覺得 lost。而且我們那批人去的都是外面去的，感覺上總不是在 core group，雖然 Lincoln Lab的人 promise你會怎樣怎樣但總是不一樣。而我回去的時候正好就是 super lattice剛開始的時候

Q：你們剛開始做的 sample是怎麼出來的？

A：最初，當然也是那批人都是搞物理的，我們沒有一個人會做材料。所以當有個 idea，大家都覺得很明顯最大的挑戰不是 physics而是 material，做不出來什麼都不必談。可是當時沒有一個人會做 material，很想跟IBM內其他做 material的人合作。但做 material的人有他們自己的興趣，且要做每層 100Å 的 layer，一般人還不相信能做得到。所以那批人也不是那麼有興趣。而我們自己也沒有太大的信心，我們只是想那麼做。當時我們自己也做些其他的東西，所以合作的結果並不太好。第一他們那是做 Gap而不是 GaAs，因為他們想做 visible，所以做 Gap，而我們覺得做 GaAs比較好。

Q：為什麼？

A：因為GaAs的direct gap。你要做superlattice最好是direct gap。Gap是indirect，所以當時就用Gap和GaAs做，一個是direct，一個是indirect。但是Gap也沒有什麼technology。且lattice match完全不對。但是我沒有選擇，因既跟做材料的人合作，他們能做什麼我們就做什麼。我們不能說做AlGaAs，當時AlGaAs並沒有真正存在過，所以就做Gap、GaAs。回想起來當時已經看到了一些現象，當時自己拿一塊sample，三個月看一次，六個月看一次，最後就慢慢沒有興趣了。最後，覺得要不然就不要做，要做要全體一起做，大家貢獻力量。所以最後決定自己來做material，當時就是這樣。

Q：這個要花很多時間！

A：那當然了。所以當時我們決定做這個東西的時候，我有幾個在Stanford的同學沒有幾個人相信。我有幾個Stanford的同學(到Bell去的)，他們告訴我「張立綱，forget about him for ten years。」他們覺得做這個東西絕對做不出來的。

Q：在Bell，他們像A.Y.周他們開始做……

A：他們做MBE。嚴格來講他們做MBE，對superlattice一點也沒興趣，而是做laser，基本上是做device。

Q：那個技術差不多也是在那個時間開始？

A：對。MBE，我想大概在60年的年底，有幾個人開始搞起來的。主要目的，就MBE的發展來看、那時有二個最大的貢獻：一個是laser。基本上做device的目的是做lasers，而我們看了半天，到底要做些什麼東西，後來決定做superlattice，這兩樣東西促進了MBE的發展。一方面是物理，一方面是應用。

Q：那時有沒有想到要跟Bell合作？

A：那是不可能的。

Q：IBM和Bell是絕對不合作的？

物理雙月刊（十四卷四期）1992年

A：那是不可能的！真的。我剛回到IBM，他們想用另外一種方法做，他們想用Ion-implant來做，這根本不可能：第一、damage很高，第二、flux很大才能做出一個material。doping才是可以的。其實我回到IBM對superlattice有二個貢獻。第一個貢獻是negative的，我把那些東西弄掉，我覺得那些東西根本不可能。當時就看了半天，當時做liquid-phase，也做CVD。

Q：其實您那個sample是用CVD做的？

A：最初是的。但最後做出來還是MBE。同時，我們自己用computer control，自己set up一套MBE從頭做。那時MBE沒有commercial MBE system，所以我們自己還買Vacuum tube，我們自己裝。如我剛才講的，當時沒有人有經驗，大家怎麼辦？我做過diffusion，算是跟做material有一點關係，就說我來做好不好？就這樣開始做的。對做MBE完全是半路出家。反正是從電機轉到物理出家一次，所以再出家一次也沒什麼關係。

Q：摸索了幾年？

A：我想我們真正開始set up那些東西是70年，中間也做出一些sample來，也量過luminescence (螢光)什麼的，你看起來可能有一點現象。當時有二個問題，第一是不知道是否做得出那種東西，第二是不知道要看什麼東西。做superlattice第一個prediction是做negative resistance，所以全心全意看negative resistance。現在回想起來，看vertical transport是最艱難的東西，用optical的辦法或別的可能較容易。

Q：您看PL可能容易得多！

A：用PL看比較容易得多，甚至用X-ray看也可以，其實當時都不知道，大部份都在摸索。同時我們對做MBE也沒有經驗，每次都用手去裝，常常打開sample一看都是手指印…，所以根本很

多時間其實都是浪費掉了。然後大概到了73年，我們大體上來說用X-ray已經看到一層一層的，這時 quality 多好也不知道，但真正看到 formation of quantum state 就是最重要的一件事情，嗯……我想是73年底、74年的時候。

Q：就是你門發表Appl. phys. Lett. 的文章？

A：不是，是Appl. physics letter, resonant tunneling, 當時做 resonant tunneling 一下子就做出來了，一看位置很對，當然很高興。雖然最初想做 superlattice，其實最早看到的不是 superlattice，而是一個 single quantum well，就是 resonant tunneling，你看到至少可以形成這個 state。所已在這以前，其實我們看到的 negative resistance，其實不是 negative resistance。我再回頭講一講，因為一些有趣的事情。沒有做這些東西以前，我們還是一心一意想做 superlattice，後來看到一點 negative resistance，現在我也不知道我看到的是真得還是假的。但是至少看到了以後，有一次我們在IBM自己講，那時是Esaki講，講完了以後大家表決，相信是 super lattice effect 的舉手…結果是51%對49%，51%的人相信是 super lattice，至少是多數…當時可知大家是沒什麼信心。那東西觀念其實很模糊，而且看到的 negative resistance 其實不是一個 direct 的 evidence 而是 indirect evidence，只看到 transport 的 part。

Q：我記得你們在拿APS new material reward 的時候，當天給了個演講，你、Esaki和Tsu都不忘當初提出那篇paper時給人reject了。當時你們都蠻有名氣的…

A：我沒有。做一些雜七雜八的東西，但是那時其實也有一點危險。想想，從70年開始做到73年，雖然看到一層一層—因為一層一層放下去，總會看到一層一層的一多好多壞根本不知道。其實

就有一點說法，說要不要繼續做下去。不光是我們，甚至Lab中其他的人都在質疑這件事：花了錢，到底做出什麼東西。也有一點壓力，幸好當時沒做 super lattice，先做 Quantum Well。現在想起來是很自然的。做那麼多做不出來，先做出一個再說。

Q：對……

A：這個做出來下面接著比較快，所以這個東西非常具決定性。

Q：這個系統對Si MOS FET的2-D研究在六幾年開始？

A：對、六幾年開始。

Q：它們本來沒有什麼關聯，是吧！

A：對。

Q：一直到GaAs的2-D，則整個都連接過來。

A：他們做Si比較快，反正Si、Silicon Oxide大家都在做，只要到廠商那邊拿一個sample來。我不是講容易做，至少不用自己從材料做起。其實當時大家觀念很模糊，2-D已經做了，它們(Si)根本是2-D electron。而做 super lattice 觀念不是那樣清楚，除非是 very strong super lattice potential(它是2-D)，要不然算是 beyond 2-D。這兩個field算不算一起？好像是做Si inversion layer的人是一批，而我們做 Heterostructure 的是另外一批人(其實只有幾個人)。在第二次2-D的Conference中我們的文章，是唯一的一篇講GaAs，而且他們Si已經做到了很多了，吵吵鬧鬧，吵得很厲害。到底valley degeneracy到底是2還是4，吵得很厲害。後來我就講，你們在做Si的人如果太累了，而且吵得太兇吃不消的話，Why don't you switch over to GaAs。這是第二次。

Q：Band structure比較簡單……

A：在下一二次2-D的Conference，就是第三次，那時候跑到日本去開啦！我想那時候GaAs已經進來

了，一旦進來就很快了。Si只有一個system而且沒有什麼control，而Hetero structure名堂較多，材料也多，可以改變高度、厚度。後來你看這個field被III-V Hetero structure支配，並不表示沒有Si。Si inversion其實也不多，後來Si/Ge當然也出來了。

Q：tunneling做了一陣子以後，後來做什麼？

A：我們當然做tunneling，同時Bell的那批人做Optical。我們也做Optical，但他們做得比較好。這跟歷史有關係，其實IBM一直覺得是computer company，所以對transport一向很有興趣；而Bell對microwave、light emitting比較有興趣，所以他們的Optical study就比較好。而我們做transport比他們好。很自然地我們繼續做transport；他們做Optical。像Optical transition、optical absorption、luminescence這些。後來我們也做，當然，他們做得比較早。就是這個樣子。當時2-D已經研究了很多。我講的2-D是對inversion layer而言。那時也比較好。所以我們就把2-D那些東西借來用，發現要了解2-D的dimension knowledge最好是加Magnetiz Field。Field一加，Fermi surface就看得很清楚。

Q：對。傾斜一個角度？

A：對，任何東西，你就看得很清楚。所以我們下一個比較重要的實驗就是做Shubnikov-de Haas這個方法來看super lattice到底是2-D還是3-D的，還是2點幾維的。後來很長一段時間大家開始用磁場，就是我們先做的。另外，你要做layer structure，想知道material quality，我想比較容易的是Optical method；裡面有一點defect，其實沒什麼太大關係。這是最容易的。第二容易的就是parallel layer conduction，這有一點defect，也沒有什麼關係。而最難的是Vertical transport。我們當時很不幸，浪費很

多時間就是這個道理。後來大部份的時間我們都做Optical和磁場。做出很多東西，做了多年以後，大家才又回頭去做tunneling。而resonant tunneling其實是很奇怪的現象，73年我們做後，很多年沒人做。

Q：一直到後來才有人從頭做起？

A：對。像Lincoln's Lab做了一個很重要的實驗，量了一下resonant tunneling的time，發現很快。這個結果使大家對device有興趣了。所以那個實驗對那裏很重要。後來大家一窩蜂又回頭跑來開始做tunneling、做vertical transport，包括super lattice transport。所以你看這演變過程是有原因的。

Q：Medulation doping是誰先提的？

A：這講起來是一個歷史公案啦。你要看Esaki最初寫的那篇文章裏面。文章太長了。發表在IBM的journal裏沒有medulation doping這部份。但在IBM Journal發表以前會先在IBM research note刊出。這也只是一個public downentation，發表在research note上面有medulation doped的這個觀念，雖然不叫這個名字。後來Bell那批人做出來且發表了，現在Bell那批人就Quote Dingle，Stormen那些人的文章，而Esaki那些人就quote在IBM Research note的那篇文章。我個人總是quote Bell那篇文章，因為他們確實做出那個結果而且發表在較正規的文章上。

後來大家都在做GaAs，而我們就跑去做InAs、GaSb，這個system後來叫做Type II system。因為這些的Band structure很不一樣，有electron和hok同時存在，所以這個東西剛開始沒很多人理，多年以後大家才一窩蜂在做。這是在材料方面做到另一方面去了。

Q：所以InAs、GaSb也是拿來resonant tunneling？還是拿來做tunneling diode？

A：不光是做tunneling，還做其他很多東西。以實用來講，gap要低。現在要做device的話常常要拿GaAs和GaInAs一起合著做。InAs、GaSb的關係很奇怪，就是它們的lattice匹配(match)非常好，所以你要看lattice的話，一個是GaAs-AlAs。另一方面是InAs、GaSb、AlSb，另外這個lattice match是HgTe、CaTe、PTe。有三樣大的東西有lattice match。

Q：最近做什麼？

A：最近什麼都做啦，我們做加電場、electron localization這是一個area。另外我個人的興趣則是做II-VI magnetism，就是magnetic properties，或者說是semimagnetic、semiconductor。當然因為別人做1-D、0-D，我們也做一些1-D、0-D的東西。而Q.H.E我們也做，其實很早我們已經做出Fractional Q.H.E，希望在Density做低後能看到Wigner crystal。一般而言，我們什麼都做，但有幾方面比較著重的。像electric field effect、localization。另外我們Optical也做了很多，就是看band mixing。也做很多electro-reflectance。另外著重於InAs、GaSb，做了很多magneto-optical properties。最近做magnetism of II-VI，更最近則希望把Mn放到III-V裏面去。比較重要的一點是：我們與另外一個部門合作。我們一直做semiconductor，而他們做magnetism，後來兩方面合作就做dynamics properties of MnCdTe。就是做magnetic layer，看到dimensional cross over、phase transition的關係。可以雜七雜八，什麼都做一點。

Q：以大的觀點，未來的發展呢？

A：當然所有的東西都要做，做得更精細。但比較突出方面、我想應該當這個material做到一個成熟的成熟度，第一個要做的是device，且做device的人就愈來愈多。其實做device的人根本就比做

物理多，現在更多。第二、你要做材料的話，像GaAs，假如你不要做device的話，我不講什麼東西都發現了，你要發現新的東西的話，當然在新的材料裏面，並不說這個system做完了就完全丟棄，而是新的system中和舊的不同的性質，譬如剛才講的InAs、GaSb是一個，Mn是另外一個。另外你在field本身裏面，大家能做pulse measurements就是pico-second也好，femto-sec也好，愈來愈變得普通了，大家對dynamics process也很有興趣，比如F.Q.H.E，到底有沒有Localization、condensation。localization大家比較清楚，而condensation則大家不是那麼清楚。除了這些以外，最重要的領域是lower dimensional的東西，像所謂的quantum wire、quantum dot是非做不可，這是大家做的，也比較新的。雖然這一兩年做出的東西沒像當初所想像的那麼特別，也是有一些東西開始出現。事實上quantization和meso-scopic在一起的東西，大家都開始做。我想這些說是Hot field也好，是最重要的趨勢。

Q：您的背景是電機出身，做的是Basic research，以您的觀點出發，談一談Basic research與application的關係，好嗎？為何要做Basic research？

A：到底什麼是Basic research？我想就是說generally accepted definition to satisfy human curiosity。其實就是你很好奇就跑去跑去做，沒想到是否有用，但希望長遠來講是有用的，而長遠來講其實也是常常有用的。但你在做的時間並非說每一樣東西馬上想到將來有什麼用處，這點當然沒有。你要說關係，關係當然很密切了。而且是毫無問題的。做應用的人應該比Basic research的人多。最終那些東西很快的可以弄到development去，弄到engineering上去，而Basic research的不需要

物理雙月刊（十四卷四期）1992年



那麼多人，但也絕對需要。以長遠來，以我的看法要在科學上生根的話，不做 Basic research是辦不到的。

Q：你是否覺得在臺灣，尤其是Semiconductor的，做apply的人蠻多的，而做Basic的似乎蠻缺乏的

A：當然絕對是這樣。這與歷史背景和其它的東西有關係。任何一個地方剛開始做，應該比較應用一點。因為這個國家國民、經濟跟不上的話，什麼都不必談。基本方向是正確的。但是做到某一個程度以後，就是達到某一個水準以後，經濟條件也蠻好以後，我想這些基礎科學絕對是應該做的，要不然就永遠跟著別人走。所以我認為臺灣蠻有錢的，至少可以做得起一點真正的Basic research，而不必拼命問它有什麼用。如果有用當然最好，事實上它多半有用。而做的過成當中，其實真正的著重點只是在"for the sake of doing the research itself"。但是我絕對不是很多人都應該做這件事。如果全都在做Basic，其實是不對的，至少有一部份人，甚至於一小部份人在做是絕對必要的。我是這樣想，當然有其它的關係，像找錢，錢從那裡來？要那些單位support你及為什麼要support你當然是實際問題。但是以國家來講、從科學發展來講，這些責無旁貸的事，你不做的話，是永遠上不去的，我是這樣覺得。這就是為什麼我覺得凝態中心的成立是件很好的事情。當然還是要做些relevant的東西，但不是天天在那裡"try to justify what you are doing"。這些話是不是很中聽我就知道了。

Q：您未來的計劃如何？

A：哈！哈！沒有什麼計劃。當然每個人得想法都不一樣，我在美國那麼多年，some how總覺得只是暫時的狀態。雖然已在那幾十年了，你說落葉歸根也好，不願老死異鄉也好，總是覺得應

物理雙月刊（十四卷四期）1992年

該做些有意義的事情。什麼是有意義的事情？比如說可以繼續做research，對不對？你想我在IBM待了幾十年，如果待不下去的話，我想就是繼續做，可能做一點驚天動地的事，但可能性不太大，但總可以做得更好些。但另一方面來說，我已五十幾歲，想在有生之年做些有意義的事。替國家做點事當然是有意義的事。所以在一個地方做事如果做得不太好也不是壞事，你就會想換換環境。但如果你做的不錯，像我在IBM還蠻舒服，一待就待了三十年。雖然IBM有點問題，但對我們沒什麼影響，因為我們錢花的不多，它也願意提供一些Basic research，而且這個領域的人大部份都認得，消息很靈通，不用很努力的想，大概可以做出一些東西。錢也拿得不太多，所以很舒服，不像當年很辛苦，又想發表，又想出名，想這個想那個的。反正就是每天做事就會做出某些東西。人一舒服便會有一些惰性，就會不想離開。所以有時想要走，但最後卻沒走。我在IBM從63年趣到現在92年，差不多30年，假如要換的話"現在也差不多是時候"。中國人有個好處：在美國待可以，回台灣來當然最好，到香港、新加坡也很好，甚至到大陸去也不是完全不可能，所中國人有很多選擇。其實我一直注意國內的事情，不光是科技…所以東跑跑，西跑跑，希望對國內多多少少有些幫忙也很好。能回來也很好，我在IBM講我要走也講了十年了，人家聽多了就會說you will be here, you will be here.講得最多的就是方復，不過要走It's about time了。

Q：我們非常希望您能決定到臺灣來，也謝謝您接受我們的訪問。

本文由台大張顏暉教授訪問，許明遠、郝心宜整理。