

第四章 個案分析

台灣大學應用力學研究所的微機電系統實驗室 (MEMS Lab) 於 1993 年創立。初期由張培仁老師一人擔任實驗室指導老師，第二年 (1994) 李世光老師從美國 IBM Almaden Research Center 回國任教，與張培仁老師共同領導該實驗室。微機電系統實驗室在張老師與李老師的共同帶領之下，逐漸從十幾個人的小規模實驗室，成長為百人的大型研究團隊。1999 年，黃榮山老師加入微機電系統實驗室的研究行列，使得研究團隊更為茁壯完整。更由於實驗室研究領域日益擴大，遍及光電、壓電、生醫、微機電、奈米、無線通訊等等領域，所以於 2003 年更名為「微奈米機電系統實驗室」(NEMS / MEMS Lab)。

第一節 微奈米機電系統實驗室簡介

「微奈米機電系統實驗室」在「我國無用之科技不作」以及「無基本學術價值之研究不作」這兩個最高指導原則之下，以系統整合的角度，將研究的觸角範圍觸及到光學檢測系統、壓電理論設計與應用系統、無線通訊傳輸網路系統、奈米量測技術、奈米機電系統 (與半導體元件相容元件、通訊元件、光電元件) 等研究領域。

【表 4-1】微奈米機電系統實驗室簡介

實驗室名稱	台灣大學微奈米機電系統實驗室 (NEMS / MEMS Lab)
成立時間	1993 年

指導老師 ¹	李世光老師 台大應力所 (教授)	張培仁老師 台大應力所 (教授)	黃榮山老師 台大應力所 (助理教授)
研究方向	<ol style="list-style-type: none"> 1. 光電與壓電系統 2. 生物光電 生物晶片系統 3. 光學系統設計與精密量測 4. 微機電與奈米系統 5. 自動化技術 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微機電系統 2. 電磁機械系統 3. 超導體力學 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微光機械系統 2. 奈米生醫機電系統 3. 微奈米機電系統
人力規模 ²	博士班	17	
	碩士班	37	
	大學部	26	

¹ 微奈米機電系統實驗室於今年(2003)八月份有張建六與吳文中兩位新老師加入,但由於個案資料內容時間沒有關連的關係,暫不列入個案分析內容。

² 人力規模隨著每年舊生畢業、新生加入流動甚高。此資料來源為2003/10之微奈米機電系統實驗室內部資料。

特殊榮譽	技術移轉類	<ul style="list-style-type: none"> ● 技轉華錦光電公司榮獲 Photonics Spectra 1998 年“Circle of Excellence Award”。³ ● 技轉華錦光電公司榮獲我國光電工業協進會及工業局“第二屆優良光電產品獎”。 ● 技轉華錦光電公司榮獲我國第七屆經濟部「台灣精品獎」。 ● 「技術貢獻獎」，中華民國光電工程學會，88 年度、89 年度
	學術研究類	<p>李世光</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Institute of Physics, Fellow (December 2001)。 ● 國科會傑出獎 (1999-2001, 2002-2003) ● 中國工程師學會八十七年“傑出工程教授獎” ● 國立台灣大學教學傑出獎 (2002) ● 第一屆有痒科技講座(奈米科技類), 財團法人徐有痒先生紀念基金會 (2002) ● 榮獲教育部八十五年度獎勵大專院校教師與業界產學合作績效卓著獎牌及貳拾萬元獎金。 ● 國科會甲等獎助(1993, 1994, 1996, 1997, 1998, 1999) ● 指導過的博、碩、學士班學生, 曾得過教育部八十七年度獎勵產業實際問題優良博士論文獎牌, 宏碁基金會第十三、十四屆龍騰論文獎金質獎章、第十六屆

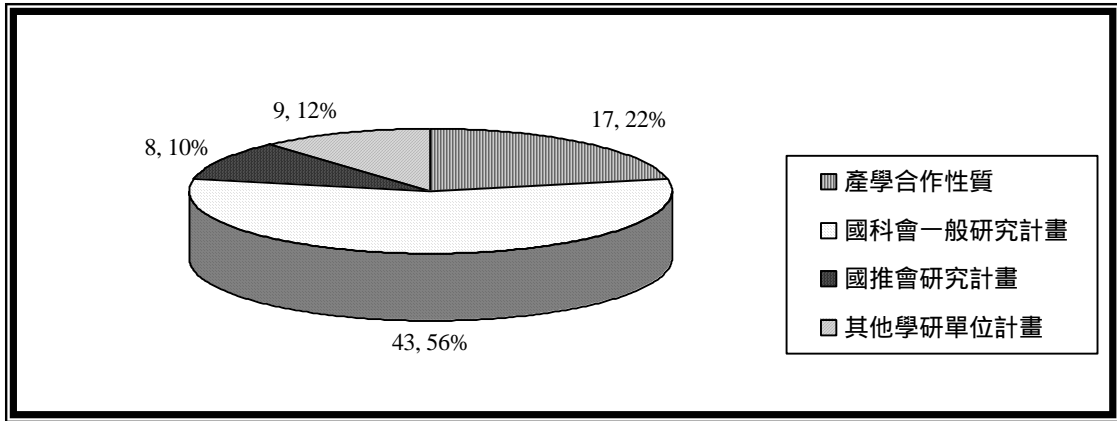
³為我國廠商第一次得獎，且取得該獎項，代表經全球評審後認為該光電系統為當年度全球所有推出光電系統中最創新之 25 個產品之一，因此實為我國光電產業之一大盛事，再由於該技轉案為國科產學計劃成果，因此亦為國科會產學計劃成功之重要表徵。

			龍騰論文獎銅質獎章，第一屆立瑋基金會論文獎金質獎章，並曾多次榮獲我國光學工程學會博、碩士論文獎，柯林論文獎、中國工程師學會學生工程論文競賽電機、機械、土木、化工等組之特優、優等、佳作獎等。
		張培仁	<ul style="list-style-type: none"> ● 國科會甲等獎助（1999, 2000） ● 指導過的博、碩士學生曾多次獲得科林論文獎，以及第四屆 TIC 100 科技創新競賽優等獎。

資料來源：本研究整理

微奈米機電系統實驗室成立十年以來所執行過的主要研究計畫包括有行政院國家科學委員會（國科會）、國防工業發展推行委員會（國推會）、工研院轉委託研究計畫、國家型計畫、以及產業委託研究計畫等。不同的合作單位，所從事的研究性質會有若干差異。以國科會、國推會以及國家型計畫的研究計畫來說，在性質上是基礎科學研究的前瞻性研究，相對不考慮產品化以及量產等議題。合作單位若是工研院、甚至是企業直接委託，會相對比較應用導向，屬於產業可以在近幾年內有機會產品化的研究。

以下根據計畫性質偏屬「產學合作應用研究」或是「基礎科技學術研究」，依照研究計畫件數的比例作一整理。所謂「產學合作性質」的研究計畫包括國科會產學合作案、工研院轉委託計畫案、以及企業直接委託實驗室的計畫案等等。



【圖 4-1】微奈米機電系統實驗室十年主要研究計畫（件數、比例）

資料來源：本研究整理

微奈米機電系統實驗室成立到現在的十年來，執行過的重要研究計畫，本研究列表整理如下。所謂的「重要」研究計畫，在此的定義包括（一）研究核定金額百萬以上（二）符合技術前瞻性以及產業實用性。

【表 4-2】微奈米機電系統實驗室發展十年重要研究計畫

計畫名稱	金額 (NTD)	時間	單位
相對位移半導體雷射干涉儀研究	1,194,000	83/7~ 84/6	國推會
產學合作繞射式光學元件之先導性研究開發：汽車照明組件之研發（1/3）	5,510,000	83/10~ 84/9	國科會 / 華立企業集團—華宏公司產學計畫

業界委託全像展示技術合作開發	NA	84/6~ 86/5	華錦光電科技股份有限公司
產學合作繞射式光學元件之先導性研究開發：汽車照明組件之研發（2/3）	7,578,800	84/10~ 85/9	國科會 / 華立企業集團—華宏公司產學計畫
產學合作繞射式光學元件之先導性研究開發：汽車照明組件之研發（3/3）	7,629,600	85/10~ 86/9	國科會 / 華立企業集團—華宏公司產學計畫
產學合作繞射式光學尺系統之研發（1/3）	12,226,900	87/8~ 88/7	國科會 / 華錦光電科技股份有限公司產學計畫
均佈式空間濾波壓電感應子	1,409,800	87/8~ 88/7	國科會
電容式半導體加速計計數之整合技術—總計畫（III）	4,975,500	87/8~ 88/7	國科會
微機電微波元件之研究—總計畫	2,436,100	88/8~ 89/10	國科會

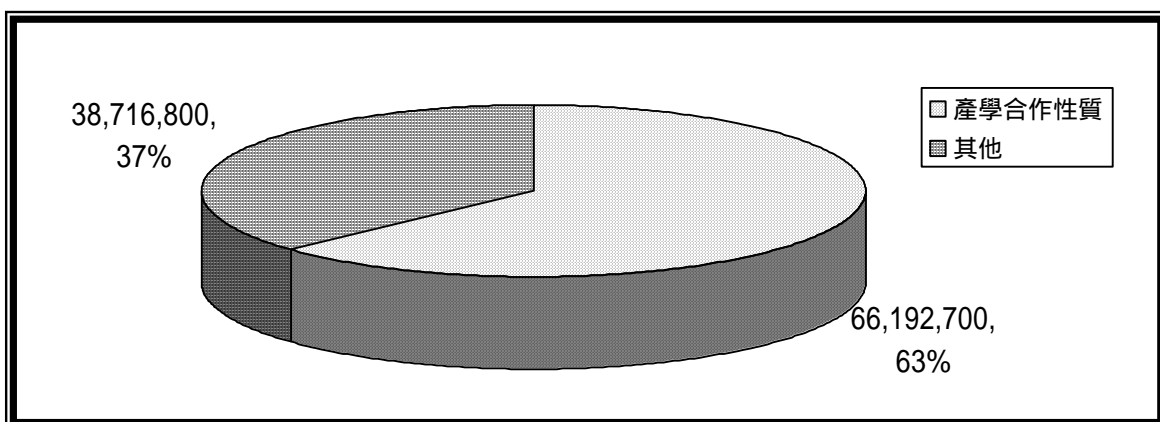
微機電微波元件之研究—子計畫三： 微機電微波衰滅器之研究	1,187,200	88/8~ 89/7	國科會
光電科技計畫調查統計分析	1,194,000	88/12~ 89/12	國科會
產學合作繞射式光學尺系統之研發 (2/3)	10,612,600	89/1~ 89/12	國科會 / 華錦光電 科技股份有限公司 產學計畫
具網路結合功能之半導體製造集結式 機台—子計畫三：網路式量測單元之 開發：橢偏儀介面及遠端使用者介面 (2/3)	1,562,400	88/8~ 89/7	國科會
光生化形檢測儀(總計畫): 多功能光 電生醫晶片儀之研究開發—信號檢出 及光電化形之研究開發	4,362,900	89/1~ 89/12	國家型計畫
微機電微波元件之研究—子計畫三： 微機電微波衰滅器之研究	1,208,400	89/8~ 90/10	國科會
微機電微波元件之研究—總計畫	1,061,800	90/8~ 91/7	國科會

微陣列式磁性鐵心電感技術開發	1,000,000	91/1~ 91/12	台達電子工業股份有限公司
光生化形檢測儀(總計畫): 多功能光電生醫晶片儀之研究開發—信號檢出及光電化形之研究開發	5,851,200	90/1~ 90/12	國家型計畫
產學合作繞射式光學尺系統之研發(3/3)	9,924,400	90/6~ 91/7	國科會 / 華錦光電科技股份有限公司 產學計畫
微機電微波元件之研究—子計畫三: 微機電微波衰減器之研究	1,015,200	90/8~ 91/7	國科會
光生化形檢測儀(總計畫): 多功能光電生醫晶片儀之研究開發—信號檢出及光電化形之研究開發	4,167,600	91/1~ 91/12	國家型計畫
微機電與奈米系統多功能光學顯微量測儀之研製(1/3)	1,521,600	91/8~ 92/7	國科會
積體電路相容微機電系統之研究(I)—總計畫	2,587,700	91/8~ 92/7	國科會

積體電路相容微機電系統之研究 (I) —子計畫四：積體電路相容微機 電關鍵計數之研究	1,275,600	91/8~ 92/7	國科會
產學合作計畫：波動能量優化轉換之 壓電變壓器系統開發 (1/3)	11,710,400	92/1~ 93/12	
光生化型晶片系統於流行性疾病檢測 與藥物篩選之研發—子計畫一：特用 型光生化型晶片儀	2,899,800	92/1~ 93/7	

資料來源：本研究整理

在微奈米機電系統實驗室發展十年當中的重要研究計畫中，若根據研究經費補助金額來看，總計研究經費有新台幣 104,909,500 元，而其中產學研究性質之研究計畫經費有新台幣 66,192,700 元，佔總研究經費之 63%。由此，我們可以看得出產學合作相關研究計畫雖然件數只佔所有研究計畫的 22%，然而其實際重要性以及對實驗室研究資源的影響性是相當大的。



【圖 4-2】微奈米機電系統實驗室十年主要研究計畫 (金額、比例)

微奈米機電系統實驗室如何在十年間，從一開始的微機電系統實驗室，一個指導老師、十幾個學生的規模，成長到現在有三位指導老師、上百位學生（包括博士後研究、博士生、碩士生以及大學部專題生），並且有相當多的外部資源的大型研究團隊，中間的過程本研究以「大事紀」的方式簡述如下。

【表 4-3】微奈米機電系統實驗室發展歷程大事紀

時間	事件	說明
1993	張培仁老師創立微機電系統實驗室	以「微機電系統」的專長確立了實驗室的研究方向。
1994	李世光老師自美返國加入微機電系統實驗室	以「光機電系統整合」的專長豐富了實驗室的研究方向。並且因應實驗室規模的擴大開始建立了實驗室基本的基礎設施（實體科技系統與管理系統等）。
1994	開始進行產學合作計畫案	呼應實驗室的 motto：“Be vital to Taiwan; be famous for its science and technology”，並且爭取更多資源，而選擇從事國科會產學合作計畫，而非只是執行國科會一般專題。

1998	於台大應力所成立「國科會北區微機電系統研究中心」	因應國科會工程處「微機電系統技術規劃會議」成立之。其中心任務為「培育微機電系統人才與基礎技術以促進我國產業之發展」。張培仁老師與黃榮山老師均在該研究中心內擔任重要職務。該研究中心因為成立於台大應力所，提供了微機電系統實驗室學生更好的實作環境與製程設備，並且帶入更多資源。「國科會北區微機電系統研究中心」目前已改名為「台灣大學奈米機電系統研究中心」。
1999	黃榮山老師自美返國加入微機電系統實驗室	帶入微機電製程相關經驗，增強實驗室實力。
2002	開始執行經濟部學界科專計畫：「先進無線生醫保健監測系統之開發」	以微奈米科技及微機電技術為基礎，橫跨生物醫學、資訊電子、及通訊網路三大領域，進行大規模跨系所、跨校、跨領域的系統整合研究計畫，進行前瞻性的技術開發。
2003	「微機電系統實驗室」更名為「微奈米機電系統實驗室」	由於實驗室研究領域日益擴大，遍及光電、壓電、生醫、微機電、奈米、無線通訊等等領域，特此更名。

2003	成功開發「台大抗煞一號」化合物	在 SARS 肆虐之際，成功的在 20 天之內，啟動研發能量，由李世光老師擔任總召集人，整合了包括微奈米機電系統實驗室在內的台大工學院、公衛學院、醫學院、台大醫院、台大研發會、淡江化學系以及其他相關廠商，成功的開發完成「可去除 SARS 病毒致病性之無害有機化合物及其相關應用」，由台大校長陳維昭命名為「台大抗煞一號」。
------	-----------------	--

資料來源：本研究整理

從研究成果以及成員所榮獲的各項教學、產學合作、研究相關榮譽來看，我們可以說微奈米機電系統實驗室在這短短十年當中的發展是相當驚人有潛力的。這個組織為什麼能夠有這樣的表現？他具有什麼樣特殊的核心能耐？本研究試圖透過訪談所獲得之初級資料以及其他次級資料探究之。

第二節 組織核心能力

組織的核心能力，如第二章所探討，有多種分析方法。本個案的描述將採用 Leonard-Barton (1995)的架構，將核心能力分成實體科技系統、管理系統、員工知識與技能以及價值觀與規範等，四個構面來討論。

壹、員工知識和技能

組織裡的員工知識和技能是核心能力當中最外顯的部分。以微奈米機電系統實驗室這樣的純研究組織來說，Research Member 身上的知識與技能是組織存在與茁壯最重要、最基本的組成單位。「微機電系統」本身就是一個相當跨領域整合的學門，它乃是一門涵蓋機械、電機、化工、材料、醫學、生物、光電、電子、通訊等多種領域的專業知識。這個學門的跨領

域整合性質也展現在實驗室三位領導老師的不同專業整合互補上面。

李世光老師大學的時候就讀台灣大學土木工程學系，之後赴美至康乃爾大學（Cornell University）攻讀。在康乃爾大學期間，李老師主修理論與應用力學，副修物理，於1985年和1987年分別拿到碩士及博士。張培仁老師的教育背景與李世光老師相當類似，大學時都是就讀台灣大學土木工程學系，赴美留學也是在康乃爾大學理論及應用力學研究所攻讀博士。而黃榮山老師的求學背景跟另外兩位老師比較不同；大學時候，黃老師就讀的是成功大學航空太空工程，之後在清華大學攻讀動力機械工程的碩士，隨後出國到加州大學洛杉磯分校拿機械工程的博士。在背景上，這三位老師都是比較偏向工程、應用力學等領域，這些領域的知識特質本身就是比較跨領域的。土木工程內涵廣泛而多元，涉及所有基本物理學及其應用，每一個領域都和社會民生息息相關；而應用力學是介於工科和學科中間，是土木、機械、航空、造船等工程學科的基礎科目，而工業產品之研發製造設計又莫不以力學為基礎，它是理論的基盤，卻也是從系統應用面出發的學問。三位老師這樣的 Training Background 讓老師在基礎知識專業的吸收上面，同時具有紮實跨領域的基盤知識，又具有從應用面、系統面出發的邏輯思考能力。

雖然立足的領域知識大體上相同，但是三位老師分別專攻的領域是有相當差異的。李世光老師的專長在光機整合，其專長技術包括光電與壓電系統、生物光電、生物晶片系統、光學系統設計與精密量測、微機電與奈米系統以及自動化技術⁴。張培仁老師的專長在微機電系統、電磁機械系統、以及超導體力學⁵。黃榮山老師的專長在微光機電系統、奈米生醫機電系統、以及微奈米機電系統⁶。

⁴ 資料來源：經濟部科技研究發展計畫專家基本資料表

⁵ 資料來源：國科會專家基本資料

⁶ 資料來源：台大應力所師資介紹網站—黃榮山老師

(http://www.iam.ntu.edu.tw/WWW/02_member/faculty/lshuang/lshuang.htm)

【表 4-4】微奈米機電系統實驗室指導老師學術背景

		李世光	張培仁	黃榮山
學術背景	大學	台灣大學土木工程	台灣大學土木工程	成功大學航空太空工程
	碩士	康乃爾大學理論與應用力學、物理	康乃爾大學理論與應用力學	清華大學動力機械工程
	博士	康乃爾大學理論與應用力學、物理	康乃爾大學理論與應用力學	加州大學洛杉磯分校機械工程
研究方向與專長		<ol style="list-style-type: none"> 1. 光電與壓電系統 2. 生物光電、生物晶片系統 3. 光學系統設計與精密量測 4. 微機電與奈米系統 5. 自動化技術 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微機電系統 2. 電磁機械系統 3. 超導體力學 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微光機械系統 2. 奈米生醫機電系統 3. 微奈米機電系統

資料來源：本研究整理

這個實驗室的三位領導老師，分別擁有三個不同範疇的專業知識，而因為老師的專業能力的不同，雖然學生剛進來的背景沒有太大的差異（大部分都是機械與土木背景），但是隨著日後的訓練方式以及研究方向的不同，學生所具備的知識和技能也會跟著有所不同。跟隨李世光老師的學生，將會在系統整合這方面的能力有所培養與加強，而跟隨張培仁老師的學生則會在微機電系統以及半導體製程這方面的知識與技能有所加強與培養，跟隨黃榮山老師的學生則會在光通訊、光機械這方面的能力有所加

強與培養。

加入實驗室的學生，其專業學術背景大多都是機械或電機方面科系，隨著微機電系統整合的角色提升，也有越來越多唸物理、化學、生物、醫工等學術領域的學生加入研究團隊。

分析實驗室內部成員（包括老師及學生）所有的知識與技能，在內隱的層次上面是可以分成三個構面來觀察：科學的（公用的）、產業特定的、以及組織專屬的。大眾或科學的知識技能是公用的，其專屬性相當低；產業特定的知識有部分的專屬性，但是凡處於產業中都有機會得到，唯有組織專屬的知識不容易移轉，卻也是構成組織核心能力的重要基礎。以微奈米機電系統實驗室來說，這三個層次的知識與技能分別如下：

- 科學界共有的知識與技能

這個層次的知識包括所有相關的領域知識，包括電子電機（EE：Electrical and Electronic Engineering）、資訊科學（CS：Computer Science）、生物（Biology）、醫學（Medicine）、電機（Engineering）、機械（Mechanics）、化學（Chemistry）、物理（Physics）等等。這個領域的知識以專業刊物、學術論文、教材內容等方式存在流通，屬於大眾，所有人都有權力與能力取得知識。這個層次的知識也比較單一領域，每一門領域的知識都相當的深，但是比較沒有從跨領域以及實際應用的角度作知識的整合。

- 產業特定的知識與技能

微奈米機電系統實驗室的老師與學生相當積極的去了解並帶入產業層次的知識：老師們會主動去參加由產業界所主辦的研討會，而不只是參加學術界主辦的研討會。在研討會中，不僅了解目前產業界研發的能量與方向，更重要的是結識產業界的人脈與產業界的資源，對產業層次的知識與技能建立更深入的關聯。

產業層次的知識來源相當廣，包括微機電相關產業報告、光電產業相關產業報告、生物科技相關產業報告、生物晶片相關產業報告、產學合作對象廠商所提供的產業資訊、參與產業界主辦之產業趨勢研討會、與產業界人士互動得來之產業資訊等等。這些知識的特色在於，知識已經開始跨領域整合（Cross Discipline），且是以今日應用為導向。李世光老師觀察產業動態，指出：

「產業界一部分的 *Cross Discipline* , 一部分朝 *Inter-Discipline*。至少我們來看, 產業界是開始一部分的整合, 但是他是 *Purely 今日應用導向* 」

- 組織特有 / 專屬的知識與技能

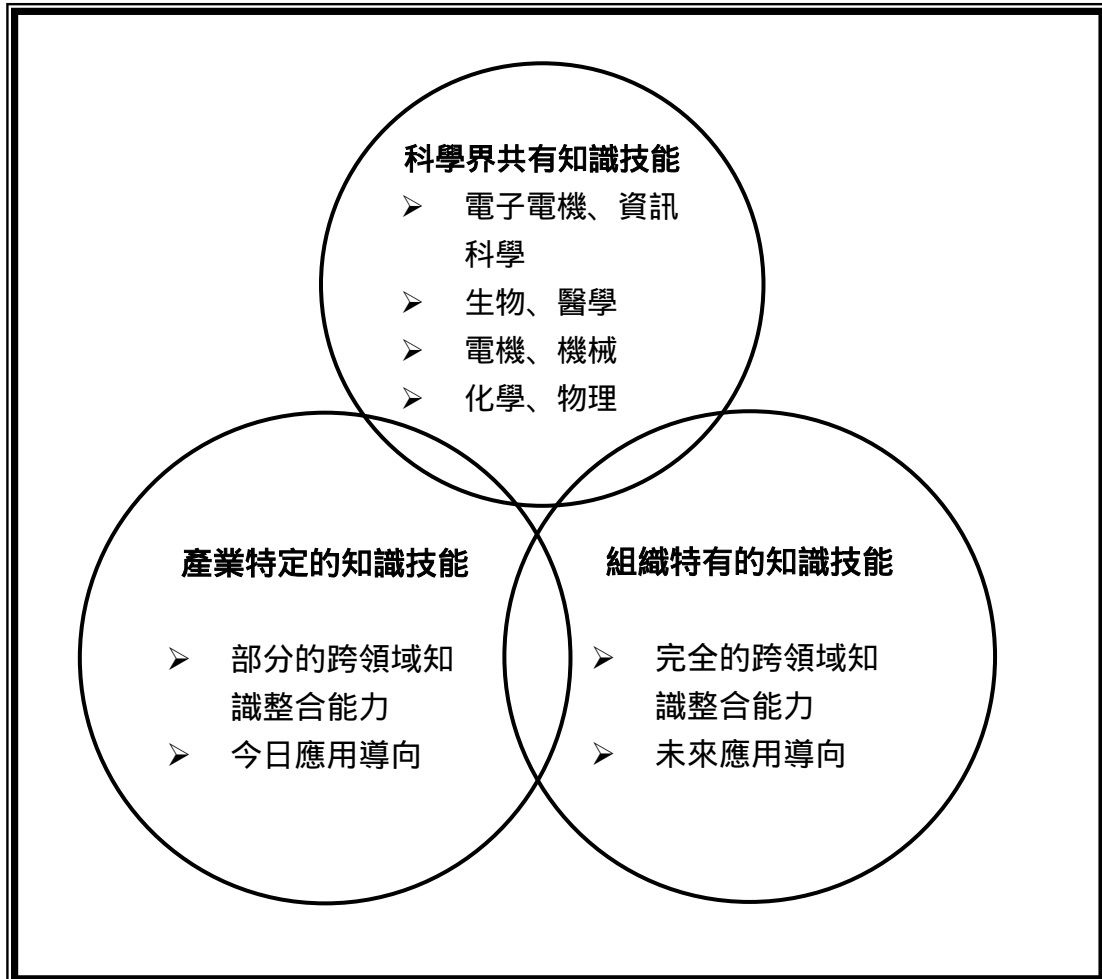
微奈米機電系統實驗室獨有的知識與能力, 並不在任何一個單一個人, 不在任何一個老師或學生身上, 而是一種「完整的整合能力」。這樣的整合能力和產業界的知識整合中間的差異在於: 他是完全的 *Cross Discipline* , 並且是 *Fully Integration*。除此之外, 不同於產業界以「今日應用」作為思考導向, 微奈米機電系統實驗室是以「未來應用」為導向。這種以未來世界可能的應用為出發的思考, 不考慮任何知識領域的阻礙, 只要符合希望能夠達成的應用, 回推所有所需的知識與技能, 如果有不是微奈米機電系統實驗室目前具有的能力也不構成實驗室不繼續該項研究的重要理由, 因為實驗室最重要的能力在於能夠完整的整合不同科際的知識, 根據李世光老師的說法是「不考慮 *Discipline Boundary* 」。

張老師指出, 「整合」這件事情並不是一件容易的事情, 也不是一件有或沒有 (Yes or No) 的事情。現在很多研發團體都說自己有「跨領域整合」, 但是重點是整合的程度。張老師對「整合」的困難度、原因可能在哪儿、以及台大微奈米機電系統實驗室為何能夠做好整合的工作、為何具有完整整合的能力作了一番清楚的解析:

「就我自己的經驗, 整合這個東西並沒有像表面上看起來這麼簡單, 很困難。困難的原因在於研發這個行業的特性。他的 *Knowledge* 很多是內隱的。他不像買車子, 你要兜什麼東西都是 *Well-defined*。 *Research* 這個行業不是這樣。他有很多東西都是模糊的, 我的感覺是如果你很多東西都是外顯的話可能比較簡單, 因為所有的東西都是 *Structured*。內隱的知識在哪裡? 在人身上。所以整合能不能成功就跟這些人的 *Interaction* 有很大的關係。不是說把這些人湊在一起他就自動會整合, 就像不是把一個醫生跟工程師湊在一起就會變成醫工的專家一樣。因為在 *Research* 這個領域裡面, 他的分工常常沒有辦法分的那麼清楚。今天假如是『製造』這種東西, 這張椅子我做椅角你做椅背。但是做 *Research* , 因為很多東西都是未知的。所以一開始就是很 *Rough* 的去分說你處理這個我處理那個, 但是事實上有很多部分是沒辦法這麼清楚界定的, 尤其是交界面的 *Interface*。你的專長是 A 我的專長是 B, 但是有很多東西也不是你的專長也不是我的專長, 但是我們知道是我們共同的問題所在。像這種 *Interface* 的地方出問題了, 誰該負責解決? 我的經驗裡面這恐怕是最難處理的。誰要負責解決? 這就跟這兩個人

平常怎麼互動有很大的關係。」

而這個部分，也是微奈米機電系統實驗室最擅長處理的部分。



【圖 4-3】微奈米機電系統實驗室三個層次的知識與技能

資料來源：本研究整理

微奈米機電系統實驗室用自己一套相當複雜、環環相扣的組織文化以及組織平台，來達成完整整合的結果，而這也形成這個組織獨具的、難以移轉的知識與技能。

貳、實體科技系統

組織的實體科技系統是核心能力當中比較外顯的部分。這類系統可包括軟，硬體及儀器，而他可能帶來的優勢可能是長久或暫時的。微奈米機電系統實驗室的實體科技系統可以包括以下幾個部分：

內部電腦網路系統與資料庫：

從九年前李世光老師回到台灣大學應力所開始經營實驗室的時候，思及如何逐步建立起實驗室的堅實基礎，架構一個穩定，安全，使用簡單，擴充性強，軟體與文件相容性高的電腦與網路系統就是第一要務。穩定與安全的電腦系統是最基本的要求，然而在建立系統的一開始，該團隊就已經將未來系統擴充性以及軟體與文件的相容性列入考量。

當時該團隊選擇以 PC 為介面，並且以 Microsoft Windows 和 Intel 的 WINTEL 為系統，主要原因即是看中他的擴充性。李世光老師提到：

「WINTEL 這樣的環境他是一個 Open System，同時他 Continuous Growth，而他的 Growth Rate 是所有產業裡面最快的一支，所以你只要在這塊上面，即使你不做任何事情他的 Progress 都是很快的。」

運用一個快速成長且擴充性強的資訊系統，才能符合同樣快速成長且整合需求高的實驗室資訊系統。

在 WINTEL 的架構下面，實驗室老師與學生們依據當時以及預期未來的系統需求，共同決定出標準的伺服器，並且定義出所有使用的文書處理軟體、儀器開發所需使用的相關軟體、以及各種文件格式等。實驗室從最早期花費精神建構出這樣的 Central Supporting Computer System，最主要的目的就是要減少日後實驗室經營與運作過程當中，因為檔案以及格式不相容所產生的無謂成本。在實驗室內部資訊系統上的任何一台電腦上做出來的文件以及檔案，都可以與另外一台電腦所做出來的文件、檔案與程式互相交換且互相銜接。實驗室若要自行開發新的軟體也會以這套 Central Supporting Computer System 為依歸。這種文件、檔案與程式相容性的考量是在實驗室資訊系統建構之初就已經 Top-Down 的列入考量，並完成規格制訂的。李老師說：

「我們開始建了一個 *Central Supporting Computer Platform* 那這樣的架構裡面就 *Implicitly* 建構了一個 *Structure* 硬體的 *Infrastructure* 出現之後，人員的組織結構也同時逐漸 *Build Up* 起來。」

在實驗室的早期就制訂整套資訊系統本身的規格以及資訊平台上面所相容軟體及格式並非一件容易的事情，但是好的資訊系統及資料庫可謂良好研究團隊最根本的 *Research Backbone*。在實驗室建立的初期，老師們預期到資訊系統的完整相容對日後實際運作上效率的提升具有重要影響，所以確立資訊系統，亦即 *Research Backbone* 的建置是首要任務之一。

微奈米機電系統實驗室的資訊系統在使用者權限的定義上也有相當完整的規劃。實驗室裡面每個成員在資料庫裡面都擁有一個自己的資料夾。這個資料夾裡面的檔案都是唯讀的性質，只要把資料放在資料庫上面，所有實驗室成員都有權限可以閱讀到這個資料夾裡面的東西。這包括實驗室老師的大部分資料。雖然大家都有權限可以閱讀並存取別人資料夾裡面的檔案，然而卻沒有編輯修改的權限。當初這樣設計的原因，主要是希望能夠促進知識的分享並提升資料搜尋的效率。實驗室的成員雖然每個人做的研究都不盡相同，但是會有不同程度的相關性。在資料的蒐集與搜尋上面，如果實驗室成員其中有人搜尋到某份資料，對另外一個成員的研究可能有幫助的話，該成員便可以透過資料庫實驗室成員的資料夾直接獲取該份資料，在知識的傳遞上面，效率將有所提升。

而實驗室成員之所以願意把自己搜尋或研究中的資料大方放到資料庫上，主要是因為以下原因：

1. 資料庫系統的安全性：內部網路系統以及資料庫有實驗室成員推選出來的系統經理等人專門管理，確保系統運作以及資料保存的安全性。他們定時會將資料庫資料作備份，所以實驗室成員會因為資料檔案放在資料系統上面比較安全，不需要另外花費精神將自己的資料另做備份，而願意將自己的檔案與資料放在實驗室的共同資料庫裡面。
2. 知識擴散流通的方便性：研究人員掃瞄並搜尋新知識以及新的研究資源是基本功，但也需花費相當的時間成本。很多時候，因為研究領域的相關性，某甲研究生蒐集的資訊也正好是某乙研究生所需要且正在尋找中的資料。當某甲研究生因為認為實驗室內部資訊系統較為穩定安全，而將資料放在資料庫內的個人資料夾，而某乙研究生則在內部資料庫快速搜尋到某甲研究生置放的該項

研究資源，他會因為體會到知識擴散流通的方便性，而願意也將自己的資料放到共同的資料庫裡面。在實驗室中，不僅學生透過這個資料庫保存及擴散知識，連實驗室指導老師的資料夾，除了行政上的機密之外，只要是研究資源也是可以讓學生自由存取閱讀的。

3. 內部信任度：實驗室成員相信自己把所蒐集到的資料放在資料庫上面，一方面資料保存較安全，另一方面也相信其他實驗室成員會貢獻他們所蒐集到的資料與檔案。在這種互相幫助的信任心態下，實驗室成員也都願意把檔案資料軟體等放在資料庫上面。

實驗器材：

微奈米機電系統實驗室的許多實驗器材與儀器，有許多都是別的實驗室相當需要但是可能要整個院或系所共用的，或者是根本買不起的。更有許多儀器是實驗室自己研發出來的，完全符合實驗室自己的需要而設計的。這些實驗器材當中，相當重要的儀器是量測用儀器。如果實驗室沒有自有的量測儀器，還要跟別的實驗室或甚至系所卡位共用，實驗也會因此受到阻礙，長期來說對實驗室研發能力的影響是不可小覷的。以下茲列舉出幾項重要實驗器材與儀器設備，對於提升微奈米機電系統實驗室的相對競爭力有相當重要的功用。這些實驗儀器設備要不是別的同等實驗室需要卻沒有那麼充裕的經費與資源自備，要不就是微奈米機電系統實驗室自行研發的。自行研發的儀器多半都是考量到現有儀器的不足以及實驗室實驗的實際需求所進行的改良與研發。

一、光生化型分析儀（OBMorph）

有鑑於生物技術是二十一世紀最重要的研發領域，因此生物科技研發即列為重點推動項目之一，1998年起國科會與衛生署開始推動「基因醫藥衛生尖端計劃」，也就是今日升格之「基因體醫學國家型科技計畫」、1999年國科會更進一步與國家衛生研究院推動「製藥與生物技術國家型計劃」。其主旨是要帶動產、學、研之生物科技的蓬勃發展，為厚植台灣科技研發找出新的利基。因此，如何結合快速發展的生物、材料、物理、化學、光電資訊、奈米微機電與精密機械相關知識以提供生技產業發展方向，即成為了大家思考未來的方向，而「生物晶片」或「生醫晶片」的概念就是在這樣的時空背景下逐漸形成的新研究領域及應用方向。1999年由

李世光教授與醫工所林啟萬副教授、光電生物醫學中心林世明副教授等近十位教授同時提出組織成「台大生物醫學微機電系統研究群」「光生化形檢測儀(OBMorph) - 多功光電生醫晶片檢測儀之研究與開發」,其基本思路即是體認目前科技產業研發趨勢中,如能充分利用我國半導體及相關微機電與奈米之產業優勢,並以之建構一領先全球之研發平台為先期目標,而後再將此研發儀器整合成為次世代生產之主要載具,進而協助我國生醫產業全球競爭力提升之最終目的。

過去生物試樣反應所依賴之檢測平台購置及維修成本太高、靈敏度不夠好、量測時間長、消耗試樣體積過大,或者偵測原理如電子式或接觸式可能破壞檢測樣本特性,使得生物晶片上活體被破壞甚至死亡;有鑒於此,微奈米機電系統實驗室以光生化形檢測儀系統(OBMorph)進行非破壞之光電生醫晶片檢測技術研究與系統整合,使其應用範圍可從生物晶片研發的前期生產製造直到後期實際應用檢測都能在此系統上完成,充分落實「今日的檢測及研發設備」即為「明日的生產設備」。此項研究儀器是微奈米機電系統實驗室為了提升研發的績效所自行研發的儀器,是微奈米機電系統實驗室獨有的能耐。⁷

二、先進雷射都卜勒干涉儀 / 振動儀 (AVID)

在全球各國均積極因應現今對於微機電與奈米系統(MEMS & NEMS, Micro-Electro-Mechanical Systems and Nano-Electro-Mechanical Systems)發展需求的今日,實有迫切需要將傳統的光學顯微技術,包含其精準度與解析範圍,均作進一步的向上提昇。以自動化領域而言,「無量測即無品管、無生產」之理念,說明了量測技術於自動化領域之重要性乃是不言而喻。

微奈米機電系統實驗室結合雷射都卜勒干涉技術、Confocal Laser Scan Microscope、Particle Size Analyzer、Lateral Resolution Enhance、以及實驗室發展出來的微光機電元件噴墨製程系統,不僅能量測動態與靜態的微機電與奈米系統,同時也將嘗試突破傳統遠場光學因繞射極限所造成的解析度限制。因此希望藉著 AVID 的開發,建構出一套能夠量測微機電與奈米級系統之多功顯微量測系統,並配合實驗室發展出來的微光機電元件噴墨製程系統,提供具微米甚至奈米級之精確且穩定的量測系統。⁸

⁷ 資料來源:吳俊彥, "拋物面鏡橢偏儀的分析與驗證-生醫與奈米科技應用初探", 國立台灣大學應用力學所碩士論文, 中華民國 90 年 10 月

⁸ 資料來源:吳錦源, "創新雷射都卜勒振動/干涉儀之研製-高性能微光機電系統之量測", 國立

AVID 實為李世光老師所主導之國科會產學合作案之研究結果，目前該項儀器除了微奈米機電系統實驗室使用之外，更已技轉給台灣華錦光電公司，成為公司的產品線之一，並且於 1998 年為我國首度取得 Photonics Spectra 頒發之“Circle of Excellence Award”的榮譽，被視為該年度全球最先進之 25 個光電系統之一。

三、原子力顯微鏡 (AFM)

為更深入了解不同材質之表面微結構，原子力顯微鏡(Atomic Force Microscope, AFM)的發明，可彌補 STM⁹應用在非導體的限制。原子力顯微鏡之用途相當廣泛，包括：利用探針量測物品表面及在微表面雕刻。由於 AFM 具有原子級的解析度，是各種薄膜粗糙度檢測，及微觀表面結構研究的重要工具，並且也很適合與掃描電子顯微鏡相搭配，成為從 mm 至 nm 尺度的表面分析儀器；而 AFM 亦可在液體環境中操作，更可用來觀測材料表面在化學反應過程中的變化，以及生物活體的動態行為，可廣泛應用於生物科技及醫學科技上。另外就是 AFM 亦可應用於奈米結構之製作與加工，目前已有多種可行方法，應用於超高密度記憶裝置及次微米電子元件的製作。

以微奈米機電系統實驗室來說，原子力顯微鏡就有三台，對於實驗室研發的工作進行上具有較高的效率與方便性。

其他實驗儀器設備

除了上述之重要貴重儀器之外，包括 WYKO、螢光顯微鏡，以及完備的光學與電路儀器等，在實驗的設計與進行上對微奈米機電系統實驗室都有相當大的幫助。以光學零件來說，雖然相較於大型昂貴實驗器材來說都是比較微不足道的小東西，但是卻也是許多研究與實驗最開始的發源處，可謂是不可或缺的重要螺絲釘。而微奈米機電系統實驗室內部的電子學實驗工作間的設備對一個非電子系所來說，也是難能可貴的完備，而這樣齊全的電子電路相關實驗設備對於微奈米機電系統實驗室長遠的發展來說是相當有利的。

台灣大學應用力學所碩士論文，中華民國 87 年 6 月

⁹ Binnig 和 Rohrer 發明掃描穿隧顯微鏡(Scanning Tunneling Microscope 或 STM)獲得 1986 年諾貝爾物理獎，並被喻為 20 世紀最偉大的發明之一。利用 STM 進行原子表面修飾和單原子操縱，具有十分廣泛的應用前景，原子操縱術最主要的應用是奈米級或原子級結構的製造，在這方面一個直接的用途是記憶體的製造與讀取。

另外，由於台灣大學奈米機電系統研究中心（國科會北區微機電中心前身）的設立，使得微奈米機電系統實驗室在實驗器材設備的調度使用方面更為綽綽且具有效率。台大奈米機電系統研究中心包括有黃光室、分析室、蝕刻室、爐管室、機電室以及系統設計室，有完整的微機電製程相關設備，對於提高實驗室實際操作實驗上的能力有重要影響。

相關軟體

微奈米機電系統實驗室擁有多套重要且昂貴之光學計算軟體以及晶片系統設計軟體。光學計算軟體包括 Lightools 以及 Code V，是全世界最好的光學計算軟體。這些軟體相當昂貴，一年最基本的租金最少要 USD 10,000，但是微奈米機電系統實驗室卻得以得到光學計算軟體公司 ORA 的廉價提供，目前擁有 15 套，包括 Key 與 Documentation 的部分，省去相當多的經費，同時又大幅提高實驗室的競爭力。另外，微奈米機電系統實驗室還有跟 Cadence 合作，非常廉價的取得其晶片系統設計軟體幫學生做訓練。Cadence 的設計軟體一套單價都在 1000 萬台幣到 2000 萬台幣左右的價位，廉價取得軟體為實驗室同樣帶來相當大的競爭力。因為有這些軟體幫助學生訓練，使得微奈米機電系統實驗室的學生很快且很多取得 MSDN Microsoft Level 4 Developer 的資格，能夠自己設計更適用於實驗室的軟體，甚至跟 Microsoft 也有合作。

微奈米機電系統實驗室能夠在實驗室創立的早期就能夠廉價取得這些重要軟體，提升研發能力，很重要的原因是這個實驗室的國際化。以 Lightools 與 Code V 來說，在李世光老師剛回台灣任教，要擔任這個實驗室的指導老師的時候，他就先飛到生產設計 Lightools 以及 Code V 的美國 ORA 公司總部，花了一天跟他們的總裁談，說服他，最後是用幾十萬台幣購得五套軟體十年的合作。在這個基礎之上，後來因為有教育部的經費，實驗室再跟該家公司談，加到現在的 15 套軟體。而因為台灣 CIC¹⁰的關係，微奈米機電系統實驗室得以跟國際 IC 設計軟體大廠 Cadence 合作，幫學生做訓練。除了老師的國際化網路關係之外，老師們也鼓勵學生們要以更國際化的視野來做事情。國際化不只是一般常見的練習用英文作研究、做簡報、寫研究報告等等；在微奈米機電系統實驗室，老師更訓練學生自己做國際採購。目前學生正在使用的軟體都是學生自己跟生產與設計軟體國際大廠做 Negotiation，合約拿回來，甚至不准許學生向台灣代理商購買這些軟體，全面執行國際採購。這樣做的原因，一方面是要訓練學生做一個

¹⁰新竹科學園區設立「晶片設計製作中心」(Chip Implementation Center, CIC)，八十六年七月起改稱「國家晶片系統設計中心」。

System Leader 的能力，另一方面是經費成本的節省，以更低廉（根據李老師的說法，實驗室獨自進行國際採購節省的經費是循傳統模式跟台灣代理商購買的一半）的價格取得需要的軟硬體，提升實驗室研發能力。

專利：

微奈米機電系統實驗室三位老師分別擁有多項專利：李世光老師在 1989 年與其在康乃爾大學博士班指導老師 Francis Moon 共同拿到一個專利，之後在 IBM 時代與其他研究人員共同擁有七項專利。回到台大任教之後，到目前為止與其他相關老師 / 學生共同擁有台灣 / 美國 67 項專利¹¹。張培仁老師與其他相關老師 / 學生目前所共同擁有的專利則有七項，而黃榮山老師與其他相關老師 / 學生也擁有七項專利。

參、管理系統

組織化的日常資源累積和調度布置，也就是管理系統，是組織核心能力裡面比較不明顯的一個構面。雖然這個構面比較不明顯，卻比較複雜，對整個組織核心能力的養成與厚植有重要影響力。管理系統包含了組織對成員知識的累積所制訂或演進出來的教育制度、訓練制度、報酬制度以及激勵系統等。這些管理系統創造了知識取得和流通的管道，同時對不合需要的知識活動設立起障礙。

教育訓練制度：

微奈米機電系統實驗室隸屬於台大應用力學研究所。應用力學為土木、機械、航空、造船等工程學之基本科目，各項工程之設計與施工，工業產品之研發與製造，無不以力學為基礎。在現有設計規範與製造標準不足以解答新穎問題時，無不依力學原理，運用數學分析、數值計算及實驗方法，尋求解決之道，乃有應用力學一科之產生。通稱之應用力學，含固體力學、流體力學、動力學與材料力學四門，而與自然科學的天文、氣象、地質、地震、海洋、乃至生物學有密切關係。總言之，應用力學乃是介於工程與科學之學科。¹²由於應用力學具有基礎科學研究以及實際工業應用

¹¹ 其中有 35 項專利待審中。

¹² 資料來源：台灣大學應用力學研究所網頁(http://www.iam.ntu.edu.tw/WWW/00_main/main.htm)

兩者的性質，在課程安排的方向上面除了必修的五門基本學科¹³之外，其他就根據每個實驗室所需要的專業知識之不同，自行選修。

微奈米機電系統實驗室除了要培養學生在專業領域上面的專精之外，更致力於培養出具有跨領域整合思考及執行能力的學生。實際的教育訓練方法用指導與被指導對象來分，可分為以下幾種層次來討論：

- ◆ 老師對學生個別指導
- ◆ 老師同時指導多名學生（meeting 型式）
- ◆ 學生之間的互相學習
- ◆ 學生本身的自發學習與自修。

壹、老師對學生個別指導：

雖然李老師、張老師以及黃老師共同帶領實驗室，整個實驗室都同樣注重「跨領域組合」，但是在指導學生以及對學生學涯的規劃上，仍然因為專業領域、過去求學經驗、老師個人作風等諸多原因而有所不同。

一，李世光老師

指導風格

李老師指導的學生數量相較於另外兩位老師比較多。而李世光老師在各項大型整合性計畫當中又多半扮演總計畫主持人的角色，另外除了台大應力所的教職工作之外，同時又身兼台灣大學研究發展委員會企畫組組長、教育部負責奈米科技與工程教育的顧問、行政院國科會微機電與奈米技術推動小組召集人以及經濟部產業技術規劃審議委員會委員等多項顧問及評審性質工作，在這麼多非學校性質工作切割時間之下，老師與學生的互動方式可能有別於純粹專心於學校教學研究的老師。

首先，為了讓學生能夠在老師忙碌的行程當中，仍然能夠和老師有足夠的時間好好討論學習，老師會把他所有的行程放在內部網路系統上面，

¹³ 五門基本科目：電子學實驗、應用數學（一）應用力學實驗（一）等三門科目，以及動力學、彈性力學（一）流體力學導論、電磁學中任選兩門。

學生如果想要跟老師約時間，可以先上網路系統查詢老師有空閒的時間，預先在網路上預約（Book）時間，並且預定要討論多久時間。只要老師有時間，老師幾乎一定會與學生 Meeting。相較於其他老師，李老師在這個部分的作法比較嚴謹。然而，要跟老師約個別討論也不一定是這麼死板的方式，有時候如果臨時有問題，只要老師在辦公室、沒有在和別的學生或其他人開會的時候，老師都會很歡迎學生打斷他原來的時候跟學生討論、跟學生一起解決問題。

雖然老師除了教學研究之外，仍然有許多行政以及演講工作，但是他對他每個學生還是相當熟悉。老師會用心從自己與學生的個別接觸，從旁人的描述的側面方法，觀察該學生在學長姐同儕之間的互動，及其他多種方法來了解這個學生。李老師說：

「我跟每個學生說話談事情的方式都不一樣，因為我跟我的學生都很熟，會用最適合的方式來跟他溝通。」

老師希望他對學生的了解不僅止於學生在專業能力以及實驗研究上面的學習狀況，而希望能夠更深入更全面的去了解每個學生的個性、喜好、處事方法以及潛力。李老師與學生的互動狀況雖然因人而異，但李老師溫和親切的作風讓他在忙碌的行程之外，仍然能夠跟學生保持親密、高品質的互動。

李老師認為，唯有更深入的去了解學生，才能對學生在實驗室的學習有最好、最適合的規劃與成長。李老師說：

「在我們的 Group 裡面，學生們，尤其是博士班學生，被期許要能夠吸入過去一起完成一個 World Class 的 Research，如果從我各種 Review 當中我認為這個學生做 Supporting Role 會學最多東西，我會讓他留在那裡做；如果他是被認為可以獨立成為一個 Leader 的人，而他在團隊裡面一直沒有機會成為 Leader，我會面不改色的把他弄出來，想辦法讓他成長成為一個 Leader。這是我的責任，這種事情是沒有辦法取代的，因為我必須讓每一個人在我的想法上面，在這個團隊裡面成長到他能夠成長的地方去。」

李老師對學生的成長與研究職涯有自己一套的想法與規劃，但是同時李老師也是個相當尊重學生意見的老師。學生的意見以及作法會隨著老師和學生中間的 Age Gap 或 Generation Gap 的增大而有加大的可能性。當學生意見跟老師意見不同，經過溝通之後，若學生仍然想要嘗試自己的想

法，老師會尊重學生的意思。李老師表示：

「一旦想法不一樣的時候，通常我是 Follow 學生的，因為必須要讓 Responsibility 出現在 Structure 裡面。」

跨領域整合在這個實驗室裡面是相當被強調的能力與準則，而對李世光老師來說，因為他的專業領域之一就是做「系統整合」，所以他在對學生的指導上面更會特別強調「系統整合能力」的訓練及培養。要培養學生「系統整合能力」除了要讓學生在專業上必須能夠多專長，且專業能力必須在標準以上，更重要的是培養學生從「系統」的角度來思考問題。李老師認為：

「傳統學生的唸書方法從第一頁開始唸到最後一頁，如果每個都這樣那永遠都唸不完。要能夠做系統整合 Cross Discipline 的學生的唸書方法是先從 Index 開始找可能會有相關的東西，跳回去找，看不懂再跳到下一個部分去尋找答案。」

能夠看到整個大架構，看到整個 Picture，再回來思考裡面所需的技術與能力，並加以補足，這樣的思考型態的訓練方式，除了參與研究專案之外，最好的方式就是透過寫論文的訓練。

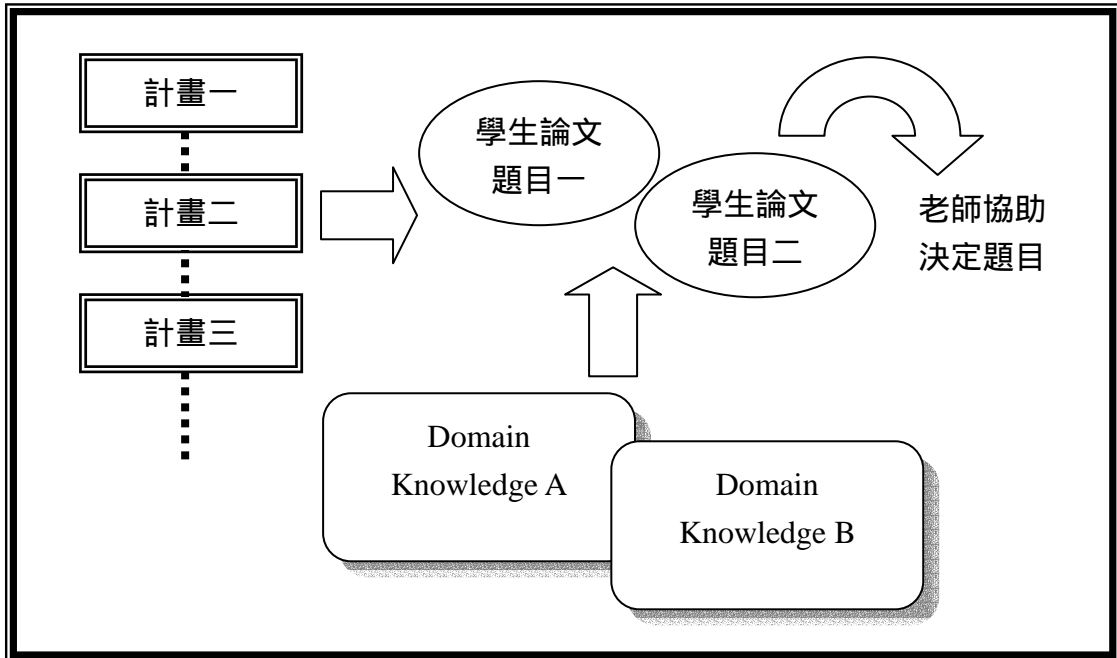
論文指導

依據學生的能力幫助他規劃出一個軌道讓他適性發展，但是在那條軌道上面又給予學生自由發揮的空間，這樣的指導風格也表現在李老師指導學生論文的作法上面。

學生在實驗室當中，通常都會參與老師們所承接的不同項研究計畫與專題。學生在整個研究團隊裡面，隨著計畫的開始結束與新計畫的展開，會在整個 Team 裡面流動。在這個過程當中，他將可以看到整個大的 Picture，而在實際執行當中又有實際執行面的技術性項目可以發揮。大部分的學生在參與計畫的過程當中，將開始思考計畫與自己論文的關係。學生的論文不等於計畫，有時候學生的論文本身就可以構成一個計畫，而很多時候論文只是整個大計劃的其中某個部分。李老師說：

「學生在這個 Team 裡面 Flow，他會看到這個大的 Picture，他的 Execution 是在他自己的 Thesis 裡面落實。一個大型計畫背後可能有好幾篇論文，而 thesis 本身通常是 Domain Driven，可是在大型計畫中他

必須 *Fit to Application*。所以我們會告訴學生，在大型計畫當中他必須認知到這是 *Application Driven* 的，但在這個同時，他必須從中粹練出他 *Domain* 上面的學術研究。」



【圖 4-4】李世光老師指導論文題目生成過程

資料來源：本研究整理

論文題目的生成過程，對學生來說就是一次完整的「系統整合」邏輯思考下的產物，因此在與學生共同討論論文題目的時候，李老師就是藉著這個機會在訓練學生系統整合的能力。

這樣的訓練並不是一蹴可幾的，是一個過程中不斷的磨練。因此對大學部專題生¹⁴、碩士班、博士班學生，老師對他們有不同的期許與訓練。李老師說：

「學生從大學的時候就開始參加論文競賽，寫報告，不斷的磨練，最開始是 *Under Instruction* 的情況下訓練 *Team Work*，然後還要靠互相的激勵。到了碩士班的時候，他要開始學習 *Leading/Foster Undergraduate Team*，同時也必須開始 *Try to Pursue Independent Research*。到了博士

¹⁴ 大學部專題生並非應力所的學生，可能來自台灣各地，大部分在大學期間即參與李世光老師所主辦的夏令營，進入實驗室裡面跟著做專題，大部分專題生將來都是希望可以進入該實驗室，因此透過此機會及早認識並熟悉實驗室的運作及文化。

班的時候，他就需要能夠 *Independently Pursue Large Project*，同時要能夠 *Sub-divide Fields*，同時又要能夠 *Lead MS/Undergraduate team*。」

李老師希望在這樣的訓練之下，學生能夠逐步成長為能夠獨當一面、具有系統整合眼光的領導者。

二，張培仁老師

指導風格

張老師的指導風格相當自由隨性，但同時對學生的要求與期許也相當高且嚴格。自由隨性的部分，可以從張老師與學生的相處方式窺知一二：不同於李老師的學生因為學生人數與老師行程的關係必須先到內部網路系統上面「預約掛號」跟老師面談的時間，張老師的學生通常都是有事情想跟老師討論，就直接到辦公室找老師，看到老師在裡面就可以立即討論；如果老師不在，才跟助理確定老師可以面談的時間。另外，在與學生相處的模式上面，張老師非常海派，與學生的互動亦師亦友。走進張老師的辦公室，一定會被辦公室裡面鮮豔熱情的色彩所吸引。鮮黃色、鮮橙色、亮綠色的牆壁，還有幾隻跳躍的水藍色海豚，還有幾張現代大方的 IKEA 式的桌椅，幾乎像是走進童話世界或幼稚園一般的空間。這個空間是張老師助理裝潢設計的，張老師完全不過問，卻也欣賞最後的成果。這樣的空間設計，其實某個程度上也反映出張老師的個人特質，是熱情的、開朗的、開明的。

然而在高標準高要求的部分，張老師希望學生除了能夠做到基本本分之外，更能夠在素質上提升到全台灣、甚至在國際上具有競爭力的一流頭腦的水準。張老師說：

「我們微奈米機電系統實驗室，據我所知，對學生的要求是台大工學院有名的嚴格。我對學生們的期許很高，也相信他們有能力做到。我告訴他們，要以全台灣前 10% 的優秀精英份子為標竿，不是以一般平均值的水準來思考。所以學生在這樣高度被期許的狀況下，再加上強烈的研究動機，大部分都能夠展現出優秀的研究成果。」

張老師相當注重團隊裡面是否能夠建立並維持「人和」的氛圍。若研究性質比較偏向單打獨鬥的學門，也許「團隊合作」的能力不顯得那麼重要，但是張老師認為，對微奈米機電系統實驗室這樣強調跨領域系統整合的研究團隊，是否能夠與研究團隊成員團隊合作就相當的重要。而張老師

認為團隊合作的能力與團隊內部是否能夠營造出一種自在合作的氣氛有關係。這樣氣氛的營造，最基本的基礎就是「信任」的打造。張老師說：

「我們說組織要扁平化，去疆界，這中間很重要的就是 Mutual Trust。你沒有 Mutual Trust 的話，對你來說最簡單的作法就是 Hierarchy，軍隊的作法就是非常的 Hierarchy。那你要用理論上比較有效率比較有彈性的作法的時候，你就要想辦法去 Build up 中間的 Mutual Trust。」

張老師還特別強調學生主動解決問題的能力。他樂於跟學生討論任何問題，但是老師通常不會直接告訴學生應該怎麼做比較好，而是跟學生討論所有作法的優劣利弊，最後讓學生自己去選擇並執行。在這樣的訓練之下，養成學生自己分析與決策的能力，等到來找張老師的時候通常就是來告訴老師事情已經解決了，並且報告解決的方法。這樣的指導方法，不僅對老師來說比較輕鬆，更重要的是可以培養學生獨當一面解決問題的能力。在張老師這種比較放任學生自由學習的背後，其實張老師也特別強調容許學生犯錯的空間也是相當重要的。張老師說：

「只有容許學生犯錯，學生才會主動嘗試、不斷學習，也才有機會做出有創意的傑出研究。」

也因此，在執行研究計畫的時候，張老師通常都會預留給學生一些「犯錯的空間」。舉例來說，如果一個計畫是六個月的開發時間，老師內部在估的時間通常都會估兩個 Run，也就等於預留一半的犯錯空間。

在選課方面，張老師也會提供學生意見。雖然微奈米機電系統實驗室強調「跨領域」以及「系統整合」，但是張老師認為這不代表學生們修課應該要「同時」去多種不同領域的課程，且張老師認為若要跨領域，對於要跨的領域也必須要慎選。張老師說：

「基本上修課我會尊重學生的意願，但是我們會給學生建議最好現在不要去選那種兩種專長的，因為這樣的結果通常就是兩個都做不到，沒有專長。」

這樣說並不是不希望學生有兩種以上專長，而是不希望學生太貪心想同時學兩種專長，卻發現兩邊都不夠紮實。因此，在選課上，張老師給學生的意見是「T 策略」。所謂的「T 策略」張老師認為是：

「我們會希望他有一個 Priority 在，百分之七十的時間厚植自己的專

業，百分之三十的時間去修橫的跨領域的東西，這樣的修課策略我們認為是可以，但是如果他想要同時並行兩種專業，我們認為這樣會落得兩者都不夠紮實。」

張老師認為，指導學生帶領學生學習，不是只有在專業領域上面，更重要的是做事態度上的指導共勉。張老師說：

「我常覺得我同時扮演很多角色，有時候是 Coach，在專業上面給予指導；有時候是 Storyteller，不斷的透過說故事的方法把一些做人做事態度以及想法傳遞給學生，尤其是在 Meeting 的時候，不見得在講所謂的正事，都在東扯西扯講一些故事，但是說這些東西都是有目的的，希望能夠把一些精神和文化面的東西讓學生有感受；有時候又是 Cheerleader，在一邊鼓勵我的球員繼續加油撐下去。」

張老師跟學生的關係頗為緊密，除了研究工作專業領域上面碰到問題會和老師討論之外，老師還會主動關心學生的個人生活。當學生碰到感情問題的時候，只要學生願意，老師都非常樂於和學生聊聊，並且分享自己過去的經驗。當學生因為感情問題而無法專心於研究工作的時候，老師並不會為了研究計畫的進度去逼迫學生，他反而會希望學生能夠先好好去解決自己的個人問題。老師的想法是，人的 Integrity 是最重要的，如果感情問題沒有處理好，卻有可能傷害到 Integrity，而一旦傷害到 Integrity，這個人的性格就有可能會有所扭曲，那麼即使他在專業能力上面多麼強、多麼優秀，都是一件危險的事情。張老師除了是學術研究上的指導老師之外，更多時候他所擔任的是學生的「生活導師」。

論文指導

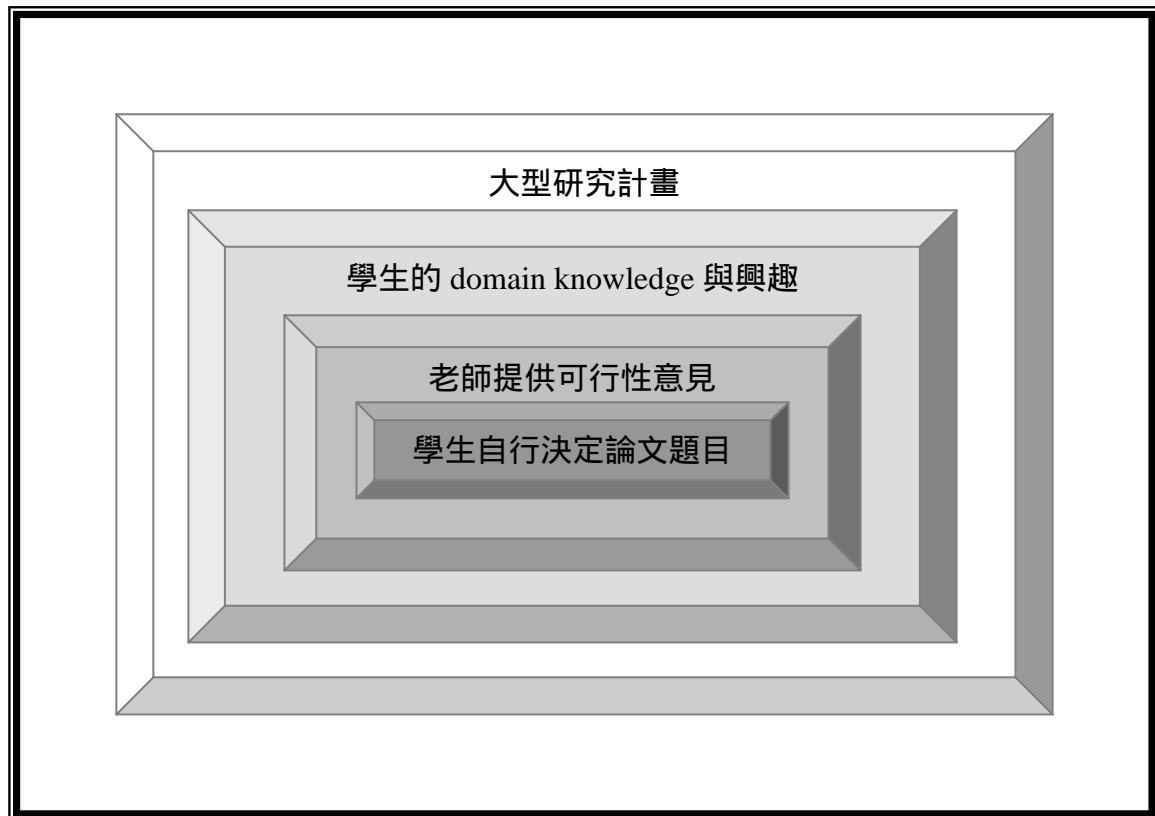
張老師的「策略性自由隨性」風格也展現在指導學生論文的作法上面。張老師認為老師指導學生寫論文的方式有三種：

「一種就是我帶你去爬山，第二種就是告訴學生上山有三條路，我告訴你哪一條比較好，第三種，也是我的做法，就是告訴學生前面有一座山，我們要爬上去。」

老師認為寫論文過程中間，從一開始的迷惘、困頓、摸索、探究，到後來逐漸能夠掌握自己的論文方向，完成這篇論文，這樣的過程本身就是一個相當完整的學習。老師認為不能剝奪學生在這個過程中間任何一個步驟所能夠獲得的學習成長。

張老師分析上述三種指導分法，認為第一種做法是比較傳統帶學生的方法，張老師比喻像「養肉雞」的做法，每個禮拜餵新的東西給學生，要求學生下禮拜來報告結果，在交代新任務給學生，一步一步來。這樣的學生張老師比喻會比較像「雇員心態」，會認為把老師交代的事情做好就好了。老師認為這種方法像一個 Energy Trap，逐步能夠讓原本 70 分的學生變成 85 分，但是也會讓原本 100 分的學生只有 85 分的表現。然而張老師的做法比較像「放山雞」，任學生自由發展，也不會一步一步帶你走，但是你有什麼需求老師會給你建議以及支持。這樣的學生張老師認為會比較有「雇主的心態」，比較能夠獨立自主，為自己的研究負責。這種做法讓原本 75 分但有潛力的學生能夠變成 100 分，但是不夠獨立的學生反而會變成 0 分。

根據老師的經驗，這種做法帶出來的學生結果只有兩種，不是大好就是大壞：本身研究動機很強的同學在這樣的過程中自由發展、追尋自己的喜好做研究，往往可以有很傑出的研究表現；然而比較沒有那麼獨立自主，研究動機也沒有那麼強的同學，就很有可能在這個過程中無所適從，做不出成績來。學生獨立思考的能力對於一個優秀的研究人員的養成相當關鍵且重要，然而老師認為，學生獨立思考的能力，到了研究所還要靠老師培養是相當困難的，因為那是學生長久以來生活以及學習背景的累積。老師所能做的就是不要扼殺學生的創意，而張老師希望他目前所採行的方式是最不會扼殺學生的創意的作法。



【圖 4-5】張培仁老師指導論文題目生成過程圖

資料來源：本研究整理

在論文題目的選定方面，張老師通常給予大方向，接下來就根據學生自己的興趣，讓他們自己訂定比較 Specific 的題目。張老師所謂的方向就包括了國科會的研究計畫或是企業界找上門來的委託研究。張老師學生的研究題目都一定是在那個框架裡面，但是做法都是研究生要自己決定。學生定了題目之後，張老師會根據經驗給予學生在可行性上的建議，但是還是讓學生自己下決定。這種做法對學生來說，自由度最大，但心理壓力也最大。因此學生除了獨立自主的能力以外，抗壓性也會在過程當中有所培養。

三，黃榮山老師

指導風格

黃榮山老師受到自己之前在加州大學洛杉磯分校（UCLA）的指導教授 Chang-Jin “CJ” Kim 的影響頗深。黃老師提到，以前在唸博士班的時候，

固定的 Group Meeting 中他的指導老師每次都會問學生：“Anything new？”每次都希望學生能夠發掘出一些新東西跟老師同學分享。黃老師受到指導老師的影響，也會希望學生能夠主動積極的從不同的領域與角度搜尋新資訊，並且與老師同學分享。黃老師自己除了閱讀自己專業領域的學術期刊之外，也會主動涉獵不同的相關產業報告，他認為對產業有所了解，對於研究的應用性有相當的幫助，因此他也會鼓勵學生從不同的管道去學習，每次都要提出一些新東西，好讓老師跟同學都一起成長。黃老師希望透過這樣比較嚴謹的方法，讓學生與老師在研究的這條路上能夠一步一步穩紮穩打的走。

在學術研究上要求嚴謹之外，黃老師對學生的團隊合作能力以及人際溝通能力上面也相當重視。黃老師說，他不要自私的學生，因為沒有團隊精神的人是很難在現在講求跨領域合作的研究團隊中共事的。老師甚至說：

「就算你是愛因斯坦，但是如果你很自私，我們同樣會把你踢出去。」

黃老師認為，要能更成為一個優秀的跨領域研究團隊的 Team Leader，除了專業知識的深耕之外，還有很多 Additional 的人際溝通能力以及資源整合能力是需要訓練的。因此老師會透過讓學生參與研究計畫與專案的方式，逐漸透過 Learning by Doing 的方式訓練學生。

在教學方法上面，黃老師很重視學生獨立思考、分析判斷的能力。這個很明顯的展現在老師課堂上的教學；黃老師自己有一套教學方法，主要是兩條線同時在跑，一是上課時候老師的授課（Lecture），另外一條很重要的線，就是學生的報告。在授課內容方面，黃老師表示，因為微機電這種東西，他剛開始教的時候也沒有什麼教科書可以用，所以他都是自己發展出一套教學內容。到現在雖然已經有了相關的教科書可以用，但是因為隨著研究內容的日新月異，老師會不斷的把自己研究的新方向新發現加入到教學內容裡面，教學用的投影片（Powerpoint File）是相當機動性的隨時增減。

在學生的報告方面，則是黃老師上課的另外一個重頭戲。只要在黃老師的課堂上，每個學生都必須要報告。報告的內容老師開放讓學生自己去找，而報告題目內容上的限制只有兩個，黃老師表示：

「只要是 Something Related to Micro 或 Nano 都可以。唯一的條件是：我沒有看過的題目，要在老師的知識範圍之外。」

這樣的條件其實對剛開始學習作研究的學生來說，是相當大的挑戰。老師也明白學生剛開始選定範圍、標定題目的功力絕對是有待訓練與加強。也是有鑑於此，老師才會這樣看重這個報告在課堂上的份量。老師會要求學生從第二週開始就是訂出題目來，把題目交給老師看過之後，老師會根據题目的可行性以及新穎性來決定這個題目可不可以做。如果老師覺得那個題目不行，就會退回去要求學生再想。黃老師說，根據他的經驗：

「學生通常到第三個 *Cycle*，那個選题目的能力就會出來了。」

而對學生分析判斷能力的訓練還不止於此。在課堂上學生報告是所有上課同學必須互相評分的，老師還會是先安排「提問人」，針對每個人的報告有專門負責的人要想好問題發問，一方面增加上課互動性，另一方面也有助於學習。除了專屬的「提問人」之外，其他同學當然也可以針對任何人的報告提出發問。在同學互相評分的作法上面，黃老師會要求每個人對別的同學打的分數當中，90 分以上的最少要有兩個，70~79 分的最少要有一個，分數在中間的就隨便同學排，但是不能有同分的。這樣規定的目的也是為了要訓練學生們看题目的判斷力與鑑別力。黃老師說這樣做的好處是：

「第一個，我不用擔心學生會抄作業，因為題目都不一樣，另外一個是我也不需要去擔心評分，因為大家都自己互相評分，第三個是，學生成績的 *Distribution* 也出來了。」

這樣做會帶動學生中間的良性競爭，剛開始的時候大家的水準都不太一樣，但是老師發現到了第三週以後，大家會因為彼此的競爭，快速的把所有人的程度拉到齊平。

論文指導

在論文的指導上面，雖然老師也認為這是學生訓練自己成為一個優秀的研究人員的一個相當重要的管道，但是黃老師注重的比較在做論文當中「執行」的部分，而相對不那麼注重論文題目選擇的部分。黃老師說：

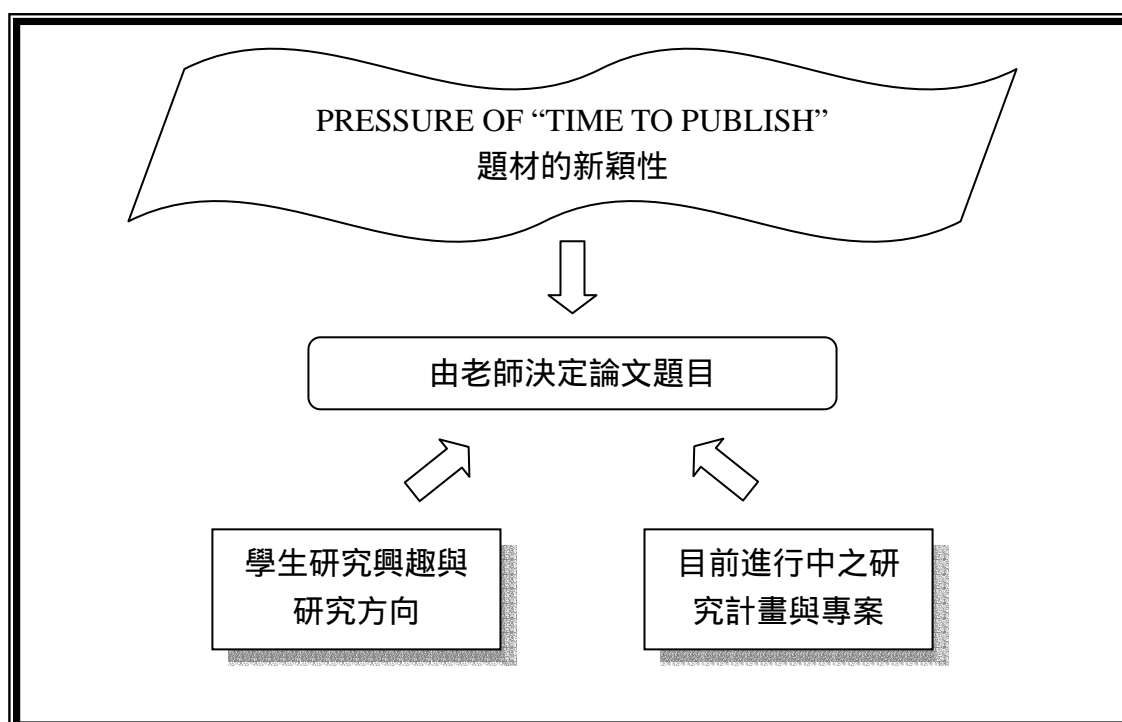
「在產業界有所謂 *Time to Market*、*Time to Volume* 的壓力；對我們學術界來說，則是有 *Time to Publish* 的壓力。如果同樣一個題目，你比較早一點能夠發表的話，你就贏過一個 *Stanford* 或 *Cambridge* 的學者。」

因此在“*Time to Publish*”的壓力之下，了解現今學術界最熱門的题目以

及題目進行的狀況，然後精準的選定研究題目就變得相當重要。然而黃老師根據經驗認為：

「一個研究生如果要學習如何準確標定一個題目，至少要五年的時間。」

因此在論文題目的選定上，主要是黃老師會根據他對學生研究興趣的了解，以及配合目前正在進行的大型研究計畫與專案，幫學生決定題目。



【圖 4-6】黃榮山老師指導論文題目生成過程圖

資料來源：本研究整理

然而雖然老師會幫學生選定他的論文題目，但是對學生學習標定題目的功力的訓練，老師也是相當重視，完全不偏廢的。主要的訓練方法便是透過上述上課當中的訓練，一步步在課堂中培養。而在論文的過程中，老師著重的是實際執行、做實驗、把握研究進度這方面的學習。

貳、老師同時指導多名學生（meeting 型式）

微奈米機電系統實驗室的博士後研究生、博士生以及碩士生的總人數相當多，每個人的專業與研究方向也都有所不同，因此 Group Meeting 還是每個老師分別跟自己的學生 Meeting，沒有辦法整個實驗室的人一起 Group Meeting。每個禮拜，三位老師分別抽出一個早上或是一個下午固定的跟自己的學生 Meeting。Meeting 的型式三位老師基本上無大差異，都是讓學生輪流報告研究進度、心得分享、問題討論等。而老師們在 Meeting 的時候則會分享在外面參與各種會議、各種場合、各種演講、各種不同來源所得到的新東西與新想法，例如產業界的近況，國際上研究的新動態，有沒有什麼新的技術突破等等資訊。

雖然 Group Meeting 的型式沒有太大差異，但是因為老師的指導風格的關係，在 Meeting 的內容與氣氛仍有所不同。張老師提到，在 meeting 的時候，他常常是「隨便亂講」，討論內容不限於學術研究，而會和同學做些人生經驗的分享，而同學也感染了老師的作風，有時候也會和大家分享一些生活感想。張老師說：

「Group meeting 的時候是很固定，但是其實有一半的時間是在亂聊。但是我其實不是在聊八卦或什麼的，其實是在討論想事情的方式，身教就好像 Storyteller 的樣子，我會花很多時間跟學生講故事，聊天，討論想事情的方式。」

這樣的 Meeting 氣氛比較輕鬆，但是因為同學們了解老師在學術研究上的嚴格要求，並不會因為氣氛的輕鬆愉快而鬆懈了自己的研究工作。黃老師則會比較要求學生在 Meeting 的時候能夠將這段時間以來在學術研究上的新收穫和大家分享，所以在 Meeting 的內容上面比較會專注在專業領域上面的切磋與分享。

雖然三位老師都分別與自己的學生 Meeting，但是在 Meeting 的安排上面，微奈米機電系統實驗室仍然秉持著強調跨領域整合的精神，開放讓所有人參與，沒有所謂的「門第之見」。因此，三位老師在訂定自己 Meeting 時間的時候，會特別用心跟另外兩位老師錯開，好讓在研究工作上面有需要其他老師的專業指導的學生有機會能夠一起學習。這對學生來說相當有幫助，因為在做跨領域整合式的研究工作時，除了自己專業領域上的深耕之外，還有許多兩個不同專業領域要整合時介面上的問題需尋求解決。這種時候就相當需要了解對方的專業，以便獲得解決。某位張老師的碩士生便提到，因為他所做的研究與李老師的專業蠻有關係，所以除了參與自己指導老師張老師的固定 Meeting 之外，他也都會固定去旁聽李老師的 meeting。張老師也說：

「雖然我們所有人沒有共同的 Meeting 時間，但是因為我們三個老師的專長互補，當學生的研究問題涉及到其他老師的專長的時候，我們都會主動建議學生去參與其他兩位老師的 Meeting，絕對沒有隔閡和限制。」

參、學生之間的互相學習

微奈米機電系統實驗室整個研究團隊可以依照研究資歷將學生分為高年級學生 / 研究團員 (Senior Member) 和較低年級學生 / 研究團員 (Junior Member)。而以互動方式的正式性與否來區分，Senior Member 和 Junior Member 的互動可分為正式互動以及非正式互動兩種，其中正式互動包括參與 Group Meeting 以及課堂上的互動，而非正式互動即為除了 Group Meeting 與課堂互動之外，其他在實驗室的相處以及不在實驗室時候的相處。

正式互動

在 Group Meeting 當中，除了老師對學生的指導之外，學生之間的互動也是學習與知識的重要來源。每個學生在 Group Meeting 中都會被分配到要輪流將自己的研究進度作報告，並且將自己所蒐集到的新資訊新東西做分享交流。Group Meeting 是實驗室當中知識分享知識交流很重要的場域；學生們在 Meeting 的時候一方面分享自己研究與資料搜尋過程中間中看到的有趣與有意義的資料，另一方面也從別的同學的報告中吸取新知，減少自己搜尋資料與吸收新知的成本。Group Meeting 也是問題解決的一個重要管道；當自己在做研究的過程中碰到問題，在 Group Meeting 中提出來，讓所有的同學與老師們共同激盪思考，往往可以提供自己解決問題的靈感與新想法。

在微奈米機電系統實驗室裡面，Senior Member 和 Junior Member 的關係大致上都相當水平，不會有「老鳥」欺負「菜鳥」這樣的事情發生。然而，因為老師的專業領域有所不同，不同老師的門生中學長姐與學弟妹的關係稍微有所不同。張培仁老師和黃榮山老師的學生們因為要進半導體製程，因為必須考慮到機器開動運作的成本，儀器的操作，實驗的程序都必須一個步驟、一個步驟小心做，所以為了要讓實驗室新進成員能夠快速上手，最簡單的方式就是請學長姐帶著學弟妹，先在一旁觀察學習，再讓新進成員動手操作。因為這種類似「師傅帶徒弟」的關係，學長姐擁有一種「經驗上的優勢」，因此學長姐與學弟妹的關係會相對的比較有垂直權力

距離。李老師就提到：

「張老師的學生將來是要進半導體製程，他們那種學長帶學弟一步一步往前走的 Training 與紀律的要求水準比我們要明顯。」

而以李老師的學生來說，因為比較沒有「亦步亦趨」學習的需要，所以大體上來說，學長姐與學弟妹中間的垂直權力距離相對張老師的學生來說比較小。張老師說：

「華人總是會有那種對學長的垂直權力距離，所以你會發現在 Group Meeting 的時候學弟在問學長問題的時候都會很客氣比較收斂，但是會不會扼殺創新，這個我是覺得還好，而且基本上我們也是希望我們實驗室的人能夠互相尊重。」

整體上來說，整個實驗室裡面 Senior Member 與 Junior Member 之間的相處與交流都是非常融洽非常順暢的。這樣的氛圍也有助於實驗室成員平時在非正式管道的交流學習。

非正式互動

微奈米機電系統實驗室在研究生辦公室的空間與座位安排也同樣可以顯示出實驗室裡面同學與學長姐之間的關係頗為平等。整個實驗室的所有學生，都在同一間辦公室裡面，座位的安排並沒有依照研究生資歷作區分，也沒有依照指導老師的不同做區分。每一年，博士後研究生、博士生、碩士生全部都會用抽籤的方法來決定座位，因此並不會特別分出一塊給博士班學生，一塊給碩士班學生；也沒有特別區分出一塊給李世光老師的學生、一塊給張培仁老師的學生、一塊給黃榮山老師的學生的座位區。因為座位的安排，再加上在實驗室長時間朝夕相處，不僅讓所有學生中間的隔閡減到最小，更讓學生之間平時的非正式互動更為自然，情誼更為深厚。這樣的座位安排還帶來了另一個效益：不同指導老師的學生因為座位的關係互動更為密切，對於時常執行整合型計畫的同學們，對於對方領域知識以及研究方向更為了解，溝通起來更為容易，對於實際進行研究工作的整合時更為順利，彌補了實驗室因為人太多無法全部一起 Meeting 的缺憾。

平時固定的 Group meeting 雖然是重要的資訊分享交流的場合，但是透過平時在實驗室研究生辦公室裡面的互動，同學之間與學長姐、學弟妹之間更能夠隨時隨地，在比較輕鬆的氣氛下，討論與學習。有很多在研究上碰到的問題，在實驗室或研究生辦公室跟學長姐討論過後就已經得到答

案，不需要再去跟老師討論。在實驗室中，學長姐與學弟妹所培養的感情甚至延伸到已經畢業好幾年的前幾屆學長姐。張老師便提到，有時候週六週日他到實驗室還會看到已經畢業好幾年在工作的學生回到實驗室，在和學弟妹共同討論他們現在的研究，自己自發性的在 Meeting，而老師們也樂於見到這樣的情形。張老師便提到：

「我們實驗室的學生們感情都非常好，所以我們不用擔心找不到人問問題，知識傳承上面有斷層。只要沒有在當兵，之前不管畢業幾屆的學長姐，一通電話隨時都可以找到答案。」

張老師還說，因為有跟學長姐以及其他人這樣緊密的人際網路，讓實驗室不用太擔心研究技術文件化成文化的工作。張老師說：

「做研究永遠都是往前看，如果要學生回頭去把之前研究的點點滴滴文件化記錄下來，對研究人員來說是相當痛苦的事情。但是過去的內隱知識還是要保存下來阿，那怎麼辦？所以我覺得比較好的方法是透過妥善經營擁有這些知識和技術的人，保持著良好關係，這樣我們學生隨時有疑問都可以找到人來問，也比較有效率。」

這樣的說法並不是代表就完全不進行文件化的工作，而是除了文件化之外，更要透過妥善管理擁有內隱知識的人際網路來保存並隨時存取所需要的內隱知識。

除了平常在實驗室，只要是學長姐或同學願意都可以請教討論之外，以張老師的學生們來說，他們在一進實驗室的時候，每個人就會知道自己要跟哪一個學長，平常就跟在他身邊學習，有問題當然也一定可以請教他，這種一對一、Mentor 的作法也是促進 Senior Member 和 Junior Member 互動的一種機制。在微奈米機電系統實驗室裡面，所有的研究生之間存在著一種良性知識分享的氣氛，而這樣的氣氛也相當有利於學生的學習。

肆、學生本身的自發學習與自修

微奈米機電系統實驗室裡面雖然有包括老師對學生的指導以及學生之間的切磋學習等良好的學習平台，但是這一切的基礎都建立於學生本身願意、具有動機、且有能力自發性的去觀察現象、思考問題、蒐集資料、並尋求解決問題的方法。平時學生們會藉著閱讀科學期刊、相關論文與資料庫蒐集最新資訊。另外，學生們也會尋求參加研討會、國際會議等方式充

實自己的專業知識，了解最新趨勢之所在。這方面的學習與訓練，很多是從大學部專題生就開始做起，讓他們養成獨立搜尋資料與分析資料的能力與習慣，屆時攻讀碩士班，「基本功夫」就已經養成。碩士班、博士班的學生則持續的透過自己不斷進修的方式，累積個人實力。

伍、其他

微奈米機電系統實驗室除了對已經進入台大應力所的研究所學生有一套的教育訓練制度，比較特別的是，對一般大學部的學生也有一套的訓練機制。台大應用力學研究所並沒有設置大學部，相較於有對應的大學部的研究所，在專業能力與相關基礎知識的訓練方面恐有無法連接的疑慮。另外，也因為三位老師們在大學部開設的課程較少，比較難讓大學部學生了解老師們的研究領域以及老師指導作風，因此大學部學生將來若考取台大應力所，想要進入微奈米機電系統實驗室，對老師以及實驗室做事風格勢必要花更多時間適應與調適。有鑑於此，初期由微奈米機電系統實驗室率先針對台灣大學大學部二年級與三年級的學生，在每年暑假剛開始的時候，主辦「台大微奈米機電系統夏令營」。目前除了微奈米機電系統實驗室之外，主辦的單位更擴大為涵蓋微奈米機電系統實驗室在內的「台灣大學奈米生醫微機電系統研究群」¹⁵主辦之。

「台大微奈米光機電系統夏令營」針對台大大學部的學生，進行機、電、光、微機電、生醫、流體、檢測系統開發等一系列跨領域之訓練。參與的學生來自的學術領域範圍相當廣泛，包括了土木、機械、工程海洋、電機、化工、資訊、物理、數學、生物產業機電、植病、園藝等系所等不同的領域。許多學生在暑假參與了這個夏令營之後，常常進而直接的參與了微奈米機電系統實驗室的研究工作，許多達兩年以上之久，以求習得完整的跨領域系統研究訓練。¹⁶甚至有些學生會直接報考台大應力所，進入微奈米機電系統實驗室成為研究生，繼續從事相關的研究工作。對這些學生來說，這個夏令營就是最好的「新生訓練」，讓他們從大學部開始，就能夠對這個實驗室所進行的研究工作、組織型態以及做事風格獲得了解與熟悉，並且有助於大學部學生進入微奈米機電系統實驗室，成為碩士生的快速上手、進入狀況。

¹⁵ 「台灣大學奈米生醫微機電系統研究群」為一包括台灣大學微奈米光機電研究群、先進儲存技術研究群、國科會北區微機電系統中心、台灣大學電子、資訊、無線通訊、生技、醫學、醫工等領域之長期合作之共識所組成之大型研究團隊。

¹⁶ 資料來源：台大應用力學研究所師資介紹網站

小結

微奈米機電系統實驗室裡面的學習機制頗為完整，從學生個人的學習到老師與學生之間的個別指導，環環相扣，營造出一個全面的學習平台。這樣的教育訓練制度，其中有一部份是特意設計的作法，例如：特意錯開的 Group Meeting 時間、特意用抽籤方式決定座位的實驗室座位安排等，有一部份是事前沒有想到，卻「無心插柳柳成蔭」，例如學長姐與學弟妹的關係因為在實驗室長時間的相處之下，不但沒有形成「老鳥欺負菜鳥」的狀況，反而成了實驗室內部知識與情感交流相當穩固的一個網路。

激勵制度

微奈米機電系統實驗室的激勵制度可分為兩種：有形的激勵與無形的激勵。所謂有形的激勵為透過有形的金錢、物質的方式給予激勵與獎賞。而無形的激勵為透過鼓勵、讚美等等方式給予激勵與獎賞。

在有形的激勵制度方面，一般參與國科會或其他研究專題的研究生(包括博士與碩士生)，皆可以依照國科會一般標準獲得薪資補貼。另外，如果學生去參加 Conference，重要的 Conference 研究經費會幫他出全部的錢，次要的 Conference 研究經費幫他出一半的錢，這對學生來說，是鼓勵也是壓力。除此之外，如果學生能夠在國際研討會上面發表自己的論文，實驗室會給學生 5000 塊台幣的獎勵。

李老師說：

「這個 Team 幾乎沒有任何有形的激勵。我們從一開始就告訴學生要在這裡有錢起來是不可能，我們需要將每一分錢都拿去做 Research。你能所做的是靠著在這裡學到的知識，在頭腦裡頭長出金塊，到外頭有錢起來。」

雖然立即的有形激勵在這個 Team 裡面，除了上述幾樣之外幾乎是看不到的，但是確有相當強大的無形激勵制度，鼓舞 Team 內部的學生。

無形的激勵制度主要包括了以下幾種型式：

- 老師的賞識

- 優秀學長姐的成就
- 同學與學弟妹的尊重與愛戴

在老師的賞識方面，雖然老師們不會舉行公開表揚儀式來讚賞有優秀表現的同學，甚至不見得常常當面誇獎學生，但是被交付重要的研究工作、寄予責任與資源就是老師對一個學生能力的肯定。李老師說：

「Given 這個機會去 Learn 本身就是一個 Honor。學生他所能夠吸收的機會，所能夠吸收的資源，包括金錢與人力，他所能夠受到的訓練，所承受的責任都會使他能夠得到最大的成長與榮譽。」

而看到優秀學長姐畢業之後的成就，也是激勵著目前在實驗室努力的學弟妹們一個很重要的精神指標。張老師便提到：

「對博士班來說，有那種進修一年的，也有那種博士班畢業都國外去當 Post-doc。就像我有個學生在日本一個大師，世界第一厲害的在那邊當 Post-doc，對後面的學弟妹來講會覺得這是一個鼓勵。」

另外一個重要的激勵來源，是來自同學與學弟妹的尊重與肯定。這樣的肯定代表的是對這個人專業能力、領導能力、資源整合能力等全面性的肯定。李老師說：

「在這個團隊裡面對於那些能夠整合很多事情與人，對團隊有貢獻的人，在這個團隊裡面 Peer Pressure 很尊重這樣的人，這些人所受到的尊重是不一樣的，不是老師這邊來的，而是內部的文化所產生的。」

肆、價值觀和規範

體現於人身上，並深植於實體科技系統及管理系統的技能 and 知識，會因不同的組織價值觀而展現相異的特質。價值觀和規範決定一個組織應該追求和培育何種知識，以及哪些知識創造活動可以被容許和鼓勵。它深植於組織的內部，不若實體科技制度、員工知識和技能、或是管理系統一般顯而易見，卻是一個組織所有活動最重要的基盤。

根據 Leonard-Barton (1995) 的論述，價值觀可以再細分為「重大價

值」(Big Vs) 以及「小價值」(Little Vs) 兩種。「重大價值」與「小價值」的定義如下：

- 「重大價值」(Big Vs): 他們界定組織成員之間應該如何相互對待，以及組織成員應該如何對待組織其他攸關者。「重大價值」對於組織文化的貢獻極大，甚至足以構成競爭優勢。
- 「小價值」(Little Vs): 只限於較狹窄範圍，不牽涉人性或人際關係，而著重於科技的選擇、各種知識的價值、或是如何將一般價值加以作業化。就本質上來說，「小價值」就是行為規範，特別看重某種類的技術知識，有助於將這類知識轉化為異於其他組織的策略性科技能力。

以微奈米機電系統實驗室來說，分析其「重大價值」以及「小價值」為何，分述如下。

小價值 (Little Vs)

在微機電系統的領域，所牽涉的基礎科學以及技術相當多樣，而可能的產業應用乍看起來有多種方向，也似乎多有潛力。如何在一個選擇繁多的研究田野裡面，精準的挑選出組織的研究方向，能夠藉此不斷累積並且厚實研究團隊的能力，並且能夠一步一步提升組織的研究實力，這個研究策略的制訂是需要一個相當清楚且能夠實際操作的準則，以提供給組織領導者與成員做依歸與參考。對微奈米機電系統實驗室來說，這個基本的準則如下：

- 對我國無用之科技不做：Be Vital to Taiwan。
- 無基本學術價值之研究不做：Be Famous for its Science and Technology。

這個準則是李世光老師在美國 IBM Almaden Research Center 擔任正研究員以及研究參事的時候，浸淫在 IBM 的組織文化下所觸發的想法。IBM 的組織文化當中，就有這麼兩句：Be Vital to the World，Be Famous for its Science and Technology，對當時的李世光老師來說，一個好的研發組織對社會的貢獻莫過於此。因此當李世光老師決定回國任教的時候，就期許這個研究團隊也能夠如同 IBM 一樣，不僅所做的研發工作對社會的實際應

用有所貢獻；而另一方面，微奈米機電系統實驗室因為身處在台灣大學這個台灣一流的學術殿堂，也希望能夠在學術研究上面有優秀的表現。這樣的想法也獲得當時張培仁老師的認同，因此在實驗室研究方向的擬定上，兩位老師就達成了共識。

在這個 Motto 之下，微奈米機電系統實驗室在選擇研究標的上面於是有了清楚的策略方向。從普通國科會的專題研究計畫之外，開始做國科會的產學合作計畫案開始，到目前正在進行中的經濟部學界科專，這些研究題目的選定，無不是在這兩句話的架構之下，所決定出來的研究方向。在研究題目的選定上面，絕對是先考慮到：台灣產業有沒有需求？有沒有能力承接這樣的技術做出產品？有沒有市場？這樣的研究工作在學術上有沒有價值？夠不夠前瞻？想清楚這些問題之後，其實就決定了這個組織所需要涵蓋的知識領域範圍，以及需要什麼樣的資源投入。

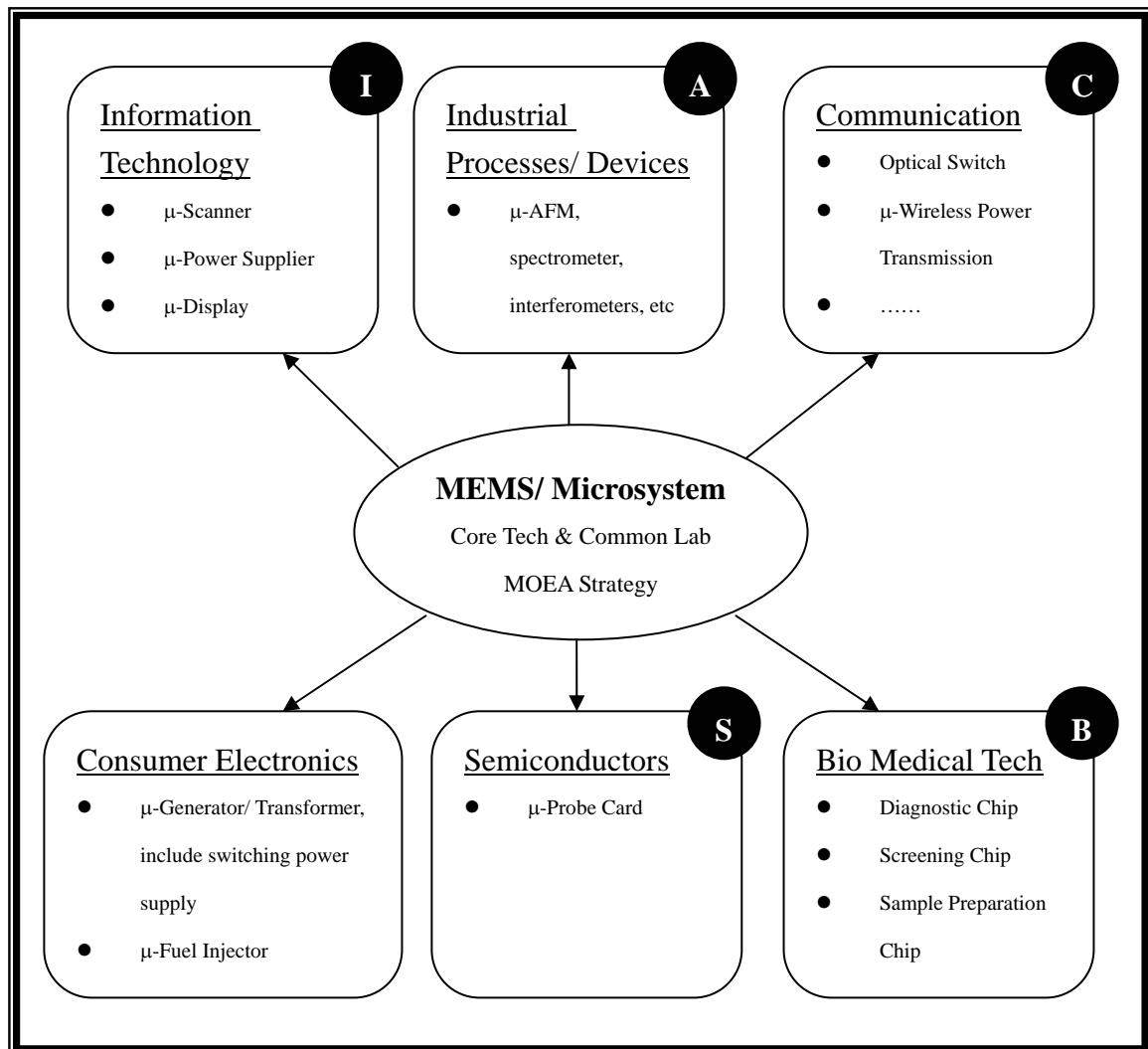
李老師提到：

「因為沒有 Discipline Boundary，所以在這個架構底下考慮的是 System Driven。這背後牽涉到我們的 motto 以及價值觀：Be Vital to Taiwan；Famous for its Science and Technology。從這個 Future 的 View 去找相對應的 Fundamental Research，所以這樣我們完全不需要去考慮我是什麼 Discipline，學生完全不認為某些東西該是某個專業唸的。我們從這個角度去看人類所有科技中有什麼是有相關可以跟 Future Application 連起來的。」

老師們依據這個準則決定了研究計畫之後，對學生來說，這個準則也成為他們在執行計畫，以及自己在思考研究方向時候的重要架構。因為考慮到「對台灣無用之研究不做」，所以會去了解台灣的產業需求，不會只有關在研究室裡面而沒有去關心實際業界的需要；因為有著「無基本學術價值之研究不做」的理想，所以學生會期許自己在研究能力上能夠真正的卓越，除了能夠在台灣的學術界表現優越、不負「台灣大學」之名之外，更以能夠到國外發表論文為榮，並且以此為重要目標之一來鞭策自己，追求卓越。整個實驗室在這個價值觀與規範的驅動之下，老師與學生就能夠朝著同一個方向共同努力。

在“Be Vital to Taiwan”，“Be Famous for its science and technology”這兩個大準則下面，張培仁老師也提出了更細項的產業應用準則：BASIC。BASIC 每一個字母分別代表了微機電技術可應用的重點領域之英文縮寫：Biology、Automation、Semiconductor、Information technology、

Communication, 更具體的把微奈米機電系統實驗室短期內的未來要發展的方向, 做了一個更清楚的闡述。



【圖 4-7】台灣微機電領域發展目標

資料來源：微奈米機電系統實驗室

重大價值 (Big Vs)

微奈米機電系統實驗室相當重視「人」。他們所重視的「人」不單單只是單一個人, 更包括了整個團隊中人跟人中間是如何相處來往互動。或許在科學研究裡面, 技術能力相當重要, 但是對微奈米機電系統實驗室的成員來說, 這些技術能否變成有用的東西, 最關鍵的還是在人與人的團隊互

動是否能夠成功整合這些技術。

在「系統整合、團隊合作」這個大前提之下，微奈米機電系統實驗室發展出「正直、信任、開放、分享」等重大價值。這些價值並不是掛在嘴邊的口號，而是確實體現在實驗室平日運作的許多機制與制度上面。

一、 正直 (Integrity)

對於微奈米機電系統實驗室裡面的成員來說，「正直」是一個最基本、最重要、最被要求、也最被推崇的一項特質。雖然在實驗室裡面的每個人，包括老師以及學生，都會期許自己在專業能力與技術能力上面能夠出類拔萃，但是這一切追求卓越的行為都必須在一個正直的人格與個性的前提之下進行。如果一個人性格上 Integrity 這個部分出了問題，很難要求這樣的人跟別的團隊成員共同分享資源、分享權利義務、分享成就榮耀。

張老師便提到：

「今天如果要補一個新人，其中一個是能力 100 分，品德 85 分，另外一個是品德 100 分，能力 85 分，你要選哪一個？今天如果你的工作性質基本上都是一個人的，那你選那個能力 100 分的也許就可以了，可是如果要的是 Teamwork 的話，恐怕答案是顛倒。」

微奈米機電系統實驗室重視「正直」人格的程度也可以從當年（1999 年）要徵聘新老師加入研究團隊的時候看得出來。黃榮山老師在加入研究團隊之前，實驗室曾經非常仔細的 Interview 過，而 Interview 的內容不光只有在學術背景以及專業能力上面，而是很仔細的跟黃老師討論過整個實驗室的做事風格以及內部文化等這些問題。張老師說：

「我印象很深刻的一點是，我們問了他很多很 Tough 的問題，但是當他在被逼急的時候都不會去 Attack 別人。這點在人的相處上是非常好的 Personality。」

二、 信任 (Mutual Trust)

一個研究團隊，每個人都身懷絕技，也都有正直的性格，但是當這群人要能夠合作共事，對彼此的信任就成為團隊能不能運作的一個重要因素

了。在微奈米機電系統實驗室當中，「相互信任」(Mutual Trust) 也被視為一個很重要的價值。

「相互信任」這點，展現在實驗室很多作風上面。首先，三位老師每個人都分別有自己的研究室 / 辦公室，裡面擺放著所有重要的資料、文件等。每間辦公室都有自己的鎖，但是這三位老師因為做事情的需要(例如：有時後急需要某份放在另外一位老師辦公室的資料) 以及對彼此之間的信任，彼此都擁有對方辦公室的鑰匙，方便隨時出入。這三位老師的友誼以及信任基礎相當堅實，除了公事合作密切之外，在私生活上面也相當融洽熟悉。

其次，在學生辦公室 / 研究室的位置安排上面，也有它的巧思。一大間五十坪左右的辦公室裡面，所有的博士後研究生、博士生、碩士生全部都坐在裡面，面向同一個方向，辦公桌全部一樣大，辦公桌與辦公桌之間幾乎沒有隔板，所有人只要一抬頭就可以看到附近周遭的人在做些什麼。這樣的座位安排，背後最基本的哲學就是要促進並且維持所有成員之間的互相信任。依照張老師的說法是：

「人要能夠放心的背對他的 *Team Member*。」

曾經有別人建議實驗室應該把每個人隔起來，讓學生能夠有自己的 *Private Space*，但是這個提議從來沒有通過 *Group Review*。最主要的原因就是，在這個團隊裡面，團員之間的彼此信任是那麼的重要，如果組織成員沒有辦法放心的背對其他的 *Team Member*，要談何「系統整合、團隊合作」？另外，李老師也說：

「如果把學生隔起來，那每個人都變成一個 *Isolated Unit*，無益於我們要做的系統整合。」

李老師說：

「我跟張老師都是唸土木的，在設計這個實驗室的內部空間規劃的時候，我們 *Implicitly* 把當初土木的訓練放了進來。在土木的訓練裡面，譬如說你在營火晚會的時候只需要一點光就能夠創造一個 *Close Together* 的環境，而不需要一個真正實質的環境。所以這個 *ImPLY* 的是團隊的生活空間跟他的規劃是會影響團隊 *Culture* 的。我們實驗室的環境所營造的就是一種互相信任的文化。」

三、 開放 (Openness)

對微奈米機電系統實驗室來說，要能夠做到完全的系統整合，對新科技、新技術、不同的知識領域、不同的產業、不同人的不同做事方法等等，都必須要有開放的心態。這樣的價值在實驗室裡面實際體現在平時老師們對新技術與新趨勢的開放心態，也表現在學生們積極參與活動、增加異質性體驗上面。

因為做系統整合，當要跨領域整合的時候，為了能夠更順利的跟不同知識領域的人溝通，在要去跟別人整合之前老師們通常都會主動先去了解對方的領域知識。張老師提到，在以前這個研究團隊剛開始運作，還很小的時候，曾經為了希望能夠邀請某個做 IC 設計的老師加入研究團隊，花了一年的時間，讀了 1000 多頁該領域的論文與書籍，大費周章才整合成功。到了現在團隊比較大了，實力也比較強了，但是一旦有新的團隊成員要加入的時候，仍然會花很多時間去準備、去了解。除了尊重並且相信合作伙伴的專業之外，試著去了解別人在做些什麼也很重要，如此一來才有 Common Language。所謂的 Common Language 指的除了字意上的共識與了解之外，還有思維方式上的共識與了解。去了解合作伙伴在做什麼的方式包括了從平常談話中間去 Pick-up，另外也從閱讀該領域 Introductory Article 開始。張老師說：

「很多人要做跨領域整合的時候並沒有做到這個部分，都只單純把他當作兩種技術的合成，但是卻忽略之前要先做很多功課以減少之後磨合的痛苦。」

有開放的心胸，去接觸去了解，有助於團隊合作的順利，對於跨領域的整合更是一大利基。

在學生方面，主動去接觸、學習不同領域的知識以及想法也是微奈米機電系統實驗室「開放」這個價值觀的表現。在學生背景的組成方面，大部分的學生都是機械、電機、土木等。之所以學生的背景不夠多元，主要是因為教育制度的關係，透過考試一層一層濾過之後進來的學生大部分都是類似背景的。老師擔心這樣的背景的同質性會影響創新，張老師還曾經主動跟學生們討論過這個議題。但是學生們並不因此侷限自己，反而會為了希望拓廣視野、增加思考方法以及方向的異質性，而主動去跟其他的知識領域作互動。學生們通常透過參加不同的 Seminar，去接觸不同領域的人，包括不同知識領域的學生老師、不同產業的人士，以更實際的了解產

業現況，目前的困難或需要在哪裡。另外，學生還會主動透過參加「創業競賽」這類活動的方式，進一步的跟非理工科系的學生合作交流。在「創業競賽」中間，學生們有機會跟完全不同背景的人，包括商管、法律、化學、等等不同背景的人合作，每個人因為背景的訓練不同而對同一件事情有不同的看法，透過這個過程，學生們學習著用更「開放」的心態來溝通，整合。

因為老師們與學生們都相當主動積極、用開放的心胸（Open-Minded）去學習、了解其他領域的知識與看法，讓微奈米機電系統實驗室在進行許多跨領域知識整合計畫的時候，能夠相對降低磨合的痛苦與成本，使整合成功的機會提高。

四、 分享（Share）

微奈米機電系統實驗室相當重視組織成員之間是不是能夠互相分享。能夠團隊合作的一個重要前提就是團隊成員願不願意分享自己經營多年的專業知識技能與能力。張培仁老師多次提到，「做整合的時候，不能只是把整合當作是技術的合成，最重要的是要考慮整合的團隊人員的意願。所謂的意願包括了願意合作，願意完全的知識分享。整合最忌諱那種會『留一手』的人。」

在實驗室當中，從辦公室空間不設立分隔板的開放性設計、內部網路系統以及資料庫讓所有人都可以 Access 到其他人的資料夾的機制設計、所有學生不考慮指導老師的不同可以自由參與三位老師的 Group Meeting 到老師們的身教言教，都在在顯示著這個實驗室鼓勵分享的氣氛，也鼓勵著新加入的成員學習、接受、並且珍惜（Appreciate）這樣的價值觀。

這樣的分享氣氛，其實是從實驗室一開始的時候，就逐步建立起來的。李老師提到：

「九年前我剛回來要一起經營這個團隊的時候，想法是類似 MIT 有名的 Media Lab 的一別人提到這個團隊，永遠是先提到這個團隊，而不是先提到這個團隊的老師。我們認為這就是團隊成功的第一步。」

在這樣的概念之下，從一開始團隊的老師們就不希望有那種「個人英雄」的存在，要讓所有人都能夠變得一樣強，並且團隊成員一起工作時能夠產生一加一大於二這樣的綜效。要做到這樣，就必須要能夠共同分享，

才能夠在所有人互補的狀況下，整體成長為一個實力堅強的團隊。這種「分享」的想法不僅僅是專業能力上的分享，在實驗室的經營上面還包括了經費以及資源的分享。所以在開始的時候，李老師說：

「全部的資源都整合，研究計畫拿進來的錢是全部的老師與學生用，在發獎學金的時候也完全沒有考慮，所有事務費用都共用。」

這樣的作法後來考慮到學生必須要學會對自己的計畫負責，所以才開始有所分隔，沒有繼續採用這種「像共產主義」的作法。但是到現在，整個實驗室在經費、資源、學生培訓、以及重要資訊上面都還是互相支援的。

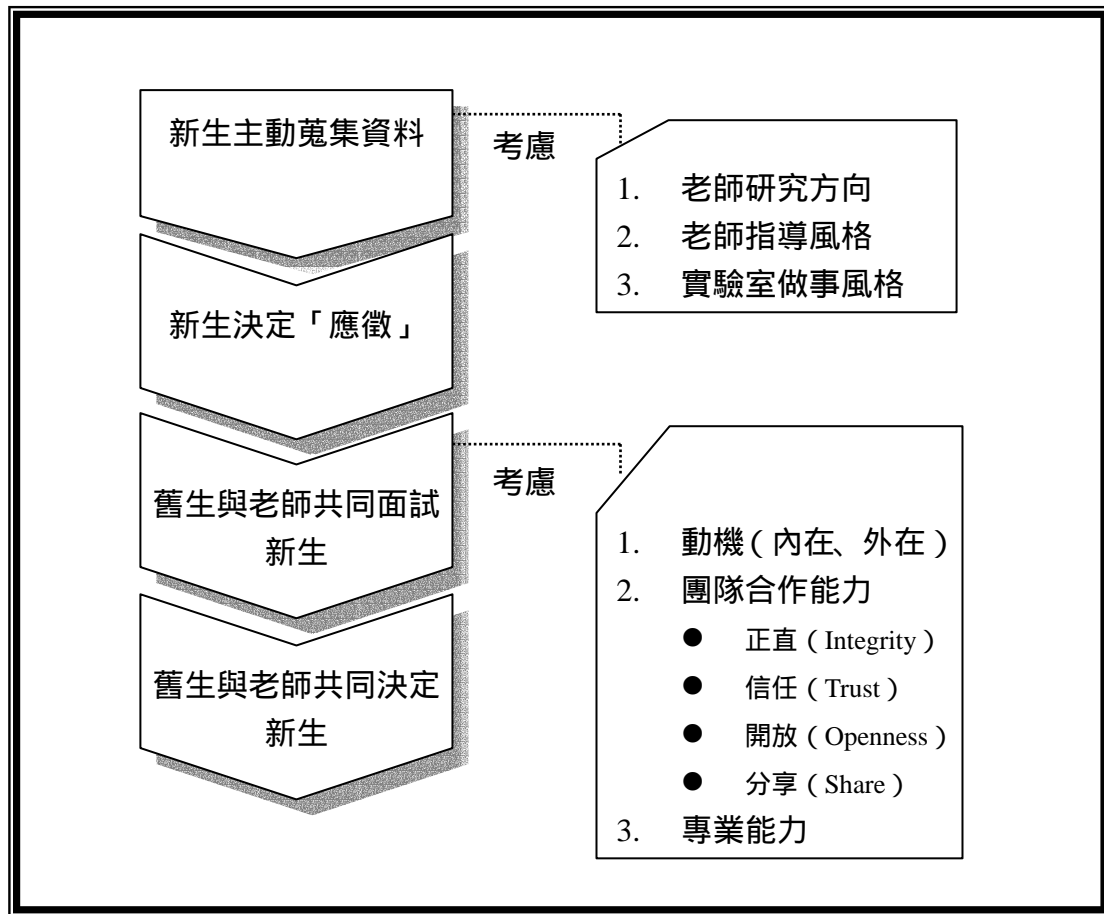
價值觀與規範之維持與傳承

微奈米機電系統實驗室的小價值（Little Vs）以及重大價值（Big Vs）都是組織核心能力中比較內隱的部分，無法具體獨立出來，而是融合於實驗室的整體氣氛以及實驗室成員的做事風格裡面。這些價值觀與規範的形成，很多部分來自組織創辦人（亦即張培仁老師以及李世光老師）一開始設計整個組織運作的模式的許多前提。然而這樣的價值觀與規範要能夠隨著組織規模的成長、新進人員的加入、整合範疇的擴大而持續維繫下去，微奈米機電系統實驗室依靠的是一個頗為完密的「新人進用」的機制。

工學院的慣例是，在放榜之後新生就立刻開始找指導教授。每一年新生要進來微奈米機電系統實驗室的時候，學生們通常都會先針對每個老師的研究方向與研究興趣作一些次級資料的搜尋與了解。在這個過程中，他們除了老師的研究方向之外，更會透過學長姐、或其他管道了解到老師的指導風格。以張老師來說，他會在研究室門上貼一個「廣告單」，在上面言明自己的研究方向以及對學生的要求。這張「廣告單」除了可以讓張老師免於每次學生進來問就得再說一次的困擾，「廣告單」上面所列對於學生的基本要求更是選擇新生的第一關，而這些要求除了專業能力上的要求之外，還包括一些做事方法以及文化特質上的要求，例如要求「第一年學生除修課外，必須配合學長時間學習各種微機電製程及設計技術，每週在校 80 小時以上」。另外，也特別告知：「本實驗室重視之文化特質為：誠信、積極、合作」。這麼做的目的就是希望能夠從第一步開始就找到適合的新生。

當新生決定要來「應徵」微奈米機電系統實驗室，想要跟隨某位老師做研究之後，他就必須要通過嚴謹的面試過程，由實驗室老師以及學生們

共同決定是否讓他加入這個研究團隊。



【圖 4-8】微奈米機電系統實驗室新成員進用程序圖

資料來源：本研究整理

新生面試，在微奈米機電系統實驗室的新人進用制度裡面，是非常慎重、所有組織成員都非常重視的。實驗室所有的現有學生以及老師都會共同參與這個過程，而最後由老師以及現有學生們「共同」決定要錄取哪幾位新生。現有學生以及老師們為了能夠收入最「適合」這個研究團隊的新成員，常常願意花一整天來做新生面試這件事情。

新生面試通常是先由新生跟他所希望跟隨的指導老師面談一段時間。跟老師面談完之後，老師會要他去他目前指導的所有學生面談。老師以及現有學生會根據一份之前共同研擬出來的準則來進行面談，這些準則包括了面談中間需要了解的重點項目—新生的研究動機是內在動機還是外在動機？動機強烈與否？新生是否具有團隊合作的能力？新生的專業能力

如何？等等。當新生與現有學生面談完畢之後，每個人會具名投票，現有學生會和老師共同討論，決定哪些人比較適合加入這個研究團隊。

微奈米機電系統實驗室讓現有學生共同參與新生面試，並且讓他們擁有決定權，在制度的設計上是有其意義存在的。

1. **共事**：將來新生加入研究團隊，是要直接和現有學生共事互動的。因此，讓現有學生來選擇將來要一起共事的新伙伴，不僅公平、更可以減少無法共事的機率與風險。這個理由其實也是一開始選擇讓所有現有學生共同參與挑選新生過程的主要原因。
2. **真實**：新生在跟老師面談的時候，有時後會比較拘謹，有可能會為了希望表現好而有一套「標準答案」。這個標準答案不一定完全是新生真正的心聲，但是如果只依據這套標準答案而進入實驗室，對該名新生與對實驗室來說，都未必是好事。所以透過讓新生與一群學生「車輪戰式」面談的方法，可以讓新生比較輕鬆的面談，過程中比較能夠透露出真正的心聲，也比較能夠找到真正適合的人選。
3. **檢驗**：透過共同面談決定新選人選的過程中，其實是整個組織檢驗其組織文化以及價值觀是否有順利傳承的好機會。李老師詳細說明：「舉例來說，選新人的時候是大家都具名投票，假設要挑 10 個新人，前幾名通常都很高分，那些就是基本上都符合的，在後面第 10 個、第 11 個的地方，舊人們對這些新人就可能會有意見上的不同。這時候我們會去看這些票數的 Composition 和 Pass Rate。如果第 10 個候選人所得到的票數是 3 票博士生通過、3 票博士生不通過、5 票碩士生通過、2 票碩士生不通過；而第 11 個候選人所得到的票數是 5 票博士生通過、1 票博士生不通過、2 票碩士生通過、5 票碩士生不通過，這樣就代表我們的組織文化在博士生與碩士生中間已經產生了一個 Gap。目前為止是沒有發生類似的事情，但是因為每年都要甄選新人，因此我們每年也都得以檢視我們的組織文化在傳承上有沒有出問題。所以我們有一個很清楚明瞭 很量化的指標告訴你這個 Team 的 Culture 有沒有問題。」

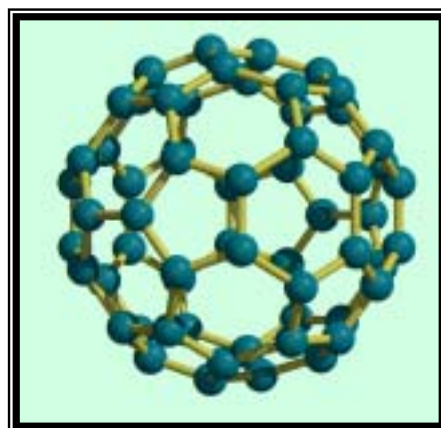
除了透過甄選新人這個過程對組織文化以及價值觀做把關之外，現在微奈米機電系統實驗室也開始試圖把一些研究團隊的 View，組織結構，組織結構裡面每個人的 Job Description，過去的發展歷程等內容，透過書面化的方式留下來，可以幫助研究團隊的價值觀與規範能夠順利的延續下

去。這個工作相當耗費精神，因為研究團隊的研究工作相當繁忙，不太有人力特別挪出來做這件事情，因此進行的速度比較緩慢。但是這是微奈米機電系統實驗室為了因應組織不斷擴大，價值觀與組織文化恐有無法完整傳承之虞，所預先做的準備。

小結

微奈米機電系統實驗室這樣的一個大型研究團隊，所有的成員都各自具有自己的專業與特長，在組織公開信任合作的風氣之下，所有的人均得以扮演好自己的角色，整合成一股強大的研發力量，並且相當有彈性的面對每次不同的研發計畫任務。

張培仁老師曾經提出一種概念來描述並且期待期許這個實驗室與研究團隊：他認為一個好的研究團隊應該要像「碳 60」的分子結構（如右圖）一樣，每個人都能夠獨當一面，並且每個人都能夠有跟別人或別的團隊結合的能力。這也是微奈米機電系統實驗室截至目前為止，所有的師生所努力追求努力的方向。李世光老師更直接的說：



「我們要訓練我們的 Member 具有『打群架』的能力。」

於是乎，一個擁有近一百個熱烈運作的頭腦以及數百隻實際操作的手的大型研究團隊，凝聚成一股強大的研發能量，展現在卓越的研究成果上。

第三節 組織知識創造和擴散活動

組織核心能力的建立並不是一蹴可幾的，而是透過一次又一次知識創造與擴散活動，培養、蓄積、並且厚植組織的核心能力。對於微奈米機電系統實驗室來說，最重要的組織知識創造活動就是研究計畫的執行。每一次的研究計畫都是以組織當時具備的核心能力去爭取而來的，而每次研究計畫執行的成果也都成為組織核心能力的一部份。因為研究計畫而茁壯的組織，憑藉著到目前為止累積的核心能力，又有足夠的能力去爭取並執行下一個研究計畫；如此組織核心能力與組織知識創造活動之間形成一種正向強化的良性循環。

在本個案的撰寫當中，為了動態的描述微奈米機電系統實驗室如何從研究計畫內容的發想到實際執行的過程，比較完整的紀錄實驗室知識創造的過程，某個程度上來說用以解釋其核心能力形成的作法，將選擇微奈米機電系統實驗室最近期的成功研究計畫，從概念的發想到實際執行的過程，採用 Dorothy Leonard-Barton (1995)的架構作描述。根據 Leonard-Barton (1995)的架構，組織知識創造活動包括「共同解決問題」，「整合新科技和方法」，「持續不斷的正式和非正式實驗」，以及「從外部輸入專業知識」。

壹、專案簡介

2003 年的春夏之際，台灣籠罩在嚴重急性呼吸道症候群（SARS）之下，對國民身家性命、民生經濟以及社會安定均造成重大影響。在這波 SARS 風暴之中，微奈米機電系統實驗室與其所屬的「台灣大學奈米生醫微機電系統研究群」共同在短時間之內開發出「可去除 SARS 病毒致病性之無害有機物」，可謂台灣抗煞的重要里程碑之一。

2003 年 2 月 26 日，越南河內的一位美國商人因非典型肺炎就醫，後來送香港治療後死亡。其後在香港、越南陸續出現非典型肺炎合併呼吸衰竭案例。初步懷疑是一種不明的濾過性病毒感染引起（疑屬副黏液病毒家族）。其特點為發生瀰漫性肺炎及呼吸衰竭，較過去醫學所熟知，由病毒、細菌所引起的非典型肺炎來得嚴重，因此世界衛生組織暫時將其命名為「嚴重急性呼吸道症候群」（SARS）。

截至 2003 年 6 月 18 日為止，台灣地區的總病例數達 697 件，其中有 83 起死亡病例，除了對國民的身家性命造成直接的影響之外，對民生經濟的影響層面相當廣，包括餐飲業、百貨業、觀光旅遊業、航空業、視聽娛樂業這些與民生切身相關的行業，更進而影響到整體經濟產業發展，包括 IT 產業、軟體產業、金融產業、等等。據估計，台灣經濟社會在 SARS 的風暴下，有形的損失就達 600 多億元，有 53% 的企業受創，工商界估計衝擊經濟恐怕超過兩年¹⁷。

更嚴重的是，因為初期對 SARS 病症以及傳播方法的了解並不充分完整，造成人民以及醫檢單位的惶恐以及慌亂，嚴重影響了社會民心安定。雖然後來了解了 SARS 的傳染途徑，並知道透過口罩的配戴得以降低傳染的機會，但當時卻因為一般認定效果較好的 N95 口罩以及其他手術用專業口罩的大量缺貨，反而造成民心更嚴重的二次恐慌。在醫藥界還未發展出治療的疫苗之前，當務之急便是要想辦法有效抑制病毒的蔓延。

微奈米機電系統實驗室以及包括台灣大學工學院、公衛學院、醫學院、台大醫院、台大研發會、淡江化學系及相關合作廠商，並且延伸、整合工業技術研究院工業材料研究所、及彩力染整、正波科技、百奧科技等合作廠商之相關研究成果，在短時間內群策群力開發完成「可去除 SARS 病毒致病性之無害有機化合物及其相關應用」，這些化合物可經由浸染、噴霧等方法，添加於口罩之濾材、防護衣物、空氣清靜過濾材等處，一旦 SARS 病毒與此有機化合物接觸，將造成 SARS 病毒如皇冠般的套膜三度空間構形解體，此時病毒就失去入侵人體與感染之能力。且相較於傳統做法，本計畫發展之有機化合物較不受病毒種類及變異的影響，也較能克服持續使用效用降低或失效的缺點，應用範疇更為廣泛。台大校長陳維昭先生在該化合物成功開發完成之後，有鑑於開發過程當中集結了台灣大學強大的研發能量爆發而成的璀璨成果，故命名為「台大抗煞一號」。

貳、共同解決問題

面對 SARS 病毒來勢洶洶，包括微奈米機電系統實驗室、李世光老師、張培仁老師、以及黃榮山老師等在內的研究人員莫不亟思解決困境的方法。在團隊成員共同解決問題的過程中，因為問題的複雜性，勢必必須透過跨領域整合才得以解決問題。然後在所有跨領域整合的過程當中，因為領域知識的不同，每個人的「招牌技巧」勢必會有所不同。如何妥善處理

¹⁷ 資料來源：聯合新聞網 SARS 風暴專區

所有的相異處，使其朝向同樣一個方向前進，成為一股強大的力量，這有賴於（一）清楚定義的目標，（二）優秀的系統整合能力、（三）專業與專業之間的互相體會學習了解、（四）過去合作經驗的彼此熟悉、以及（五）強烈的社會責任。以下就這幾點來描述此研究團隊如何共同解決問題。

為了充分發揮台灣大學中優秀研究團隊之研發優勢，及尋求最先進之應用載具來創造以知識為主之高科技產業和達成台灣大學亟思培育國際第一流人才之願景，包括本個案研究之微奈米機電系統實驗室在內的台灣大學微奈米機電研究群、生物醫學奈米微機電系統研究群、先進儲存技術研究群、國科會北區微機電系統中心、及台灣大學電子、資訊等領域之研究團隊基於長期合作所產生之共識，因此共同組成了「台灣大學奈米生醫微機電系統研究群」，同時在 2002 年提出了經濟部九十一年度學界開發產業專案「先進無線生醫保健監測系統之開發」(Wireless Health Advanced Monitoring Bio-Diagnosis System, WHAM-Bios) 之計畫，以微奈米科技及微機電技術 (Nano-technology/MEMS) 為基礎，橫跨生物醫學 (Bio-technology)、資訊電子 (Information Technology)、及通訊網路 (Network/Communications) 三大領域，總計畫預計為期兩期六年。

目前的醫學領域中，C 反應蛋白質是公認之人體心臟多種發炎徵兆病與其他發炎徵兆疾病的偵測指標。根據此一理念，以機械領域為主體，提出此一跨領域研究計畫，逐級展開生醫式樣備製 / 檢測晶片，生物連接器 (Bio-linker)，先進球面 / 血清分離系統，動態分析系統 / 測試，橢偏儀與表面電漿子共振整合檢測次系統，低省電能源無線發射器，人體檢測網路，嵌入式網路與系統軟體，人體能量擷取及儲存，電場蛋白質生物連接器連結清洗 / 分離，及超微型電源供應器等相關先進系統平台和尖端技術之開發。預計在六年期計畫成功完成後，除了可有單點式的量測功能，更可於人體之重要血管匯集處、淋巴結及穴道處植入，形成網路式的監測，更可加強對於個人身體各處健康狀況之了解，於各種疾病發言情況產生時先一步進行治療，避免疾病之擴散，達到預防之效果。如此不僅對於全民之健康有所助益，更可落實預防保健之理想，減少政府對於全民健保之支出。

這個學界科專大型研究計畫集合了相當多平時在不同領域各據天地的老師與研究者們。本學界科專之主要人力配置如下表所示。

【表 4-5】WHAM-Bios 系統架構與分項分工與整合計畫其主持人及成員

分項計畫名稱	WHAM-Bios 主要技術研發重點	研究成員
總計畫	系統整合、介面與時程掌控	李世光教授 顧問：Prof. Chris Lowe (Cambridge Univ.)
A. 晶片-生物介面與生物檢測	CRP 晶片第一層：重金屬薄膜製造 CRP 晶片第二層：化學薄膜製造 CRP 晶片第三層：生物薄膜製造 CRP 晶片第一、二、三層：薄膜奈米量測 橢圓偏光表面電漿子共振 (ESPR) 訊號— CRP 結合常數介面理論方程式建立 CRP 晶片第四層：CRP 待測物。晶片臨床 檢測，臨床進身檢測血液中人類 C 反應蛋 白水平	林世民教授 王安邦教授 李世元教授 林良平教授 賴信志教授

<p>B. 微奈米生物取樣探針陣列</p>	<p>微米探針陣列，皮下組織全血取樣</p> <p>奈米探孔陣列，血清過濾</p> <p>奈米探針陣列，皮下組織直接血清取樣</p>	<p>張所鎰老師</p> <p>黃榮山老師</p> <p>胡毓忠博士</p> <p>施智綱博士</p>
<p>C. 生醫晶片之設計與製作</p>	<p>具自我清潔能力之生醫晶片並利用陣列式 SPR 光纖感測元件檢測 CRP 指標與伴隨出現之蛋白分子共四樣</p>	<p>林啟萬教授</p> <p>張培仁教授</p> <p>楊耀州教授</p> <p>楊龍杰教授</p> <p>趙福杉教授</p>
<p>D. 生物力學之模擬與設計</p>	<p>血漿引流系統設計</p> <p>電滲透設計軟體</p> <p>操控抗原與抗體結合的模擬軟體</p> <p>操控抗原與抗體解離的模擬軟體</p> <p>人體嵌入結構受外力撞擊反映之模擬軟體</p>	<p>吳光鐘教授</p> <p>李 雨教授</p> <p>沈弘俊教授</p> <p>張正憲教授</p> <p>楊政穎教授</p>

<p>E. 光機電系統設計與整合</p>	<p>WHAM-Bios 訊號偵測技術微型光機開發與 Embedded System 整合</p> <p>Embedded process and control</p> <p>信號檢出邏輯</p> <p>Build WinCE OS and User Interface</p> <p>C-PCI or PXI Interface</p> <p>Storage System</p> <p>無線電通訊協定</p> <p>GSM 通訊協定</p>	<p>李世光教授</p> <p>顏家鈺教授</p>
<p>F. 無線進身網路系統</p>	<p>易用微機電技術開發微小化、省電可植入人體之 RF 模組及身體網路</p>	<p>呂學士教授</p> <p>高成炎教授</p>
<p>G. 微型電源系統</p>	<p>利用壓電或其他能量轉換方式進行能源收集及儲存</p> <p>高密度能源供應子系統，如壓電變壓器、壓電電源供應器等之建立</p> <p>生物連結物 (Bio-linker) 及電場互動機制分析、模擬及實驗</p>	<p>陳秋麟教授</p> <p>葉超雄教授</p> <p>舒貽忠教授</p> <p>陳國慶教授</p>

資料來源：微奈米機電系統實驗室

除了學界科專之外，另有「光生化形檢測儀」—「生技製藥國家型計

畫」¹⁸在同時進行中。該計畫是由包括微奈米機電系統實驗室在內的台大生醫微機電研究群乃架構該團隊於多年研發基礎上所累積之許多領域知識，利用現有完備之教學設施、各領域充沛的人力資源為背景，配合國家型計畫之任務需求，以宏觀規劃：包括人力與設備資源整合、資訊系統架構規劃、研發管理、生醫晶片系統整合，並建構從研發到生產過程皆可實用化成為創新型儀器之「光生化形生醫晶片檢測儀 (Opto-Biomorphin；簡稱 OBMorph)」，同時利用此系統為整體計畫之系統研發載具，期望在生物科技領域方面研發出具基本面的創新力和競爭力之生醫晶片系統，進而協助提升我國生醫產業之全球競爭力。¹⁹

這個結合台大生物、醫學與微機電各個領域的研究團隊，同時進行光學檢測儀器之開發，創新晶片系統之製作、與生物分子工程界面技術之研發，由於完整性之技術發展，因此其完全不同於一般研發計畫之局限目標。由於團隊能將各部分需求與特性做最緊密與最佳化的結合，因此可以從商用或自行研發之生物試劑中，全面選擇最佳之蛋白質及衍生物來作為檢測標的，所以利用此一創新系統所完成之研究，可極為快速的被應用於疾病及其他生物醫學的檢測。²⁰

該項國家型計畫的研究團隊，在人力配置、研究方向以及資源運用上均和學界科專有某程度的策略性互補。其研究團隊主要人力資源配置如下表所示。

【表 4-6】生技製藥國家型計畫：光生化形檢測儀人力配置

計畫名稱	總主持人	其他研究成員
光生化形檢測儀：多功光電生醫晶片儀之研究開發（總計畫）	李世光老師 台灣大學應用力學研究所	

¹⁸ 「生技製藥國家型計畫」原名為「製藥與生物技術國家型計畫」，於九一年更名。系政府為了整合國家研究資源，致力於中草藥、新藥及生技蛋白藥物之研發，整合上（國科會）、中（經濟部）、下游（衛生署）共同研擬、推動與執行，並期研發之成果能落實產業界。

¹⁹ 資料來源：李世光等八人著，「生物晶片技術現況-從蛋白質晶片儀暨蛋白微陣列晶片談起」

²⁰ 資料來源：李世光、林啟萬、林世明著，蛋白質晶片儀暨腫瘤標記蛋白質晶片之研發，生物醫學報導 10

子計畫一：信號檢出及光電化形之研究開發	李世光教授 台灣大學 應用力學研究所	
子計畫二：晶片載具及複製量產	林啟萬 副教授 台灣 大學醫學工程研究所	張培仁 教授 台大 應力所 楊龍杰 助理教授 淡江大學機械系 吳造中 助理教授 台大醫學院內科 黃榮山 助理教授 台大應力所 邱志鵬 研究生 台大 電機所 林鑫志 研究生 台大 醫工所
子計畫三：蛋白質晶片薄膜技術研發暨其固—液界面蛋白—蛋白間相互作用動力學及化學量論之建立	林世明 助理教授 台灣 大學醫學院光電生物 醫學研究中心	李世元 教授 淡江 大學化學系 蔡瑞章 副教授 台大 醫學院光電生物醫學 研究中心

資料來源：本研究整理

在 SARS 爆發之際，抗 SARS 緊急計畫總主持人李世光老師，因為身兼教育部與總統府的科技顧問，參與了由呂秀蓮副總統所主持的重要科技會議。當時呂副總統感慨的提到，在抗 SARS 的戰役上，我們台灣到底能夠做些什麼？呂副總統的感慨，李世光老師分別帶回生技製藥國家型計畫

研究團隊以及學界科專研究團隊內部，在 2003 年 4 月 28 日的生技製藥國家型計畫每月固定 Meeting 上，以及在 2003 年 5 月 5 日學界科專工作小組會議中，大家開始共同思索，以研究團隊當時整合機械、電子、資訊、生醫等領域所形成的研發能力，在對抗 SARS 病毒上面能夠有什麼樣的貢獻。以當時 SARS 疫情爆發的嚴重性與迫切性來看，要研發出治療 SARS 病毒的藥品或疫苗需要耗時過久的時間，從研發開始到經過臨床測試，最後通過美國 FDA²¹ 的認證，依照過去經驗來看至少得花費十到十五年的時間。對當時的台灣社會來說，做這樣的研究開發緩不濟急。當天晚上的會議當中，研究團隊的所有的成員一起腦力激盪，經過一番熱烈討論之後，確定研究方向應該先從「防堵病毒的擴散」開始，只要能夠避免感染，疫情將可大幅度獲得控制。

SARS 病毒是透過飛沫感染，而在電子顯微鏡下可以看到 SARS 病毒的直徑為 80-140 奈米（1 奈米=10⁻⁹ 米）厚度為 20-40 奈米²²，然而這並不代表要對抗 SARS 只能動用奈米級的武器。由於目前確認之 SARS 病毒主要傳播媒介乃是病人之口沫，而口沫之平均直徑約為 5 微米，因此整個 SARS 相關的研究實落在微機電與奈米科技的研究領域裡。

研究團隊針對 SARS 疫情爆發期間，台灣對於抗 SARS 所面臨的多項醫療防護設備不足之困境作了分析。據統計，當時我國醫療院所每天需要的專業 N95 口罩²³約有三萬個，一般外科用口罩的需求量每日也達百萬個，貿易商當時要向國外原廠訂貨，除了要跟大陸和新加坡等地出高價搶貨外，原本採海上運送，為求時效都改走空運，進口價格也因此墊高。單以口罩而言，我國一個月額外支付的金額即超過新台幣數十億元，再加上其它相關防護設備、醫療開銷等，暫且不論由於 SARS 所造成之經濟損失及病患之治療成本，單只是前述龐大之醫療消耗用品開銷，對已處於景氣低潮的我國經濟而言，不啻是雪上加霜的負擔。更有甚者，醫療防護系統以及醫療人員信心的崩解，對於社會一般大眾的影響更是重大，其所造成的恐慌是難以估算的。如何能夠改善台灣醫療體系防護系統嚴重缺乏的景況，在對抗 SARS 的過程中好好保護在第一線的醫護人員，成為防堵 SARS 病毒擴散的抗 SARS 戰役中的燃眉之急。

3M 公司開發 N95 口罩上面投注了許多心力，研究了十多年，也獲得百餘個專利保護，幾乎壟斷了全球的口罩市場。因為有專利保護，使得別

²¹ FDA：美國食品藥物管理局（Food and Drug Administration）

²² Ksiazek T. G., Erdman D., etc., "A Novel Coronavirus Associated with Severe Acute Respiratory Syndrome," *The New England Journal of Medicine*, Vol. 348, No. 20, pp. 1947-1957, 2003

²³ N95 口罩係由美國 3M 公司專利製造，透過靜電吸附的原理，可以吸附 95% 的微小顆粒，是以取名為 N95 口罩，3M 公司並取得相當多的專利保護該項產品。

人無法輕易複製製造，即使製造也無法達到同樣的效果。因為這個原因，要取得 N95 口罩在當時是難上加難。

N95 口罩以及一般外科用口罩的供不應求是造成醫療防護系統以及一般民眾基本防護措施不足的重要原因之一。然而即使是有能力與金錢取得 N95 口罩，因為在台灣這個環境的使用情境的關係，N95 口罩仍然有根本上的問題有待解決。3M 公司開發 N95 口罩，花了相當長的時間去研發，他透過特定的方式，讓一般紡織的布料能夠有更高的靜電去吸附空氣中的微小顆粒，其吸附的效果卓越，能夠吸附空氣中 95% 的微小顆粒，故此為名。然而根據台灣大學醫院的醫師的說法，在台灣這樣比較潮濕的環境當中，他的吸附能力卻沒有辦法達到預期的 95%。最主要的原因就是靜電非常怕潮濕的水氣，一旦在潮濕的環境之中，他的吸附能力就會逐漸的減弱。因此，在台灣即使使用 N95 口罩，仍然有其基本的問題，沒有辦法如預期的達到最佳的效果。

研究團隊當時看到了問題的所在，肩負著身為優秀研究人員的社會責任，以及在研究團隊的座右銘—「台灣沒用研究的不作 (Be Vital to Taiwan)」及「無學術價值的研究不作 (Famous for Its Science and Technology)」的驅動之下，研究團隊經過了徹夜會議討論之後，共同制訂了目標：希望以不同的技術繞過 (Bypass) 3M 在研發 N95 口罩上所累積的專利，利用校內固有的學術資源，以創新口罩相關技術為應用平台，研發出一種更能夠適合台灣潮濕的環境，而在防堵病毒的效果上至少等同於、甚至優於 N95 口罩的口罩相關應用平台，逐步讓我國得以擺脫醫療防護設備仰賴進口之困境。

為了迅速解決這個問題，原本參與「生技製藥國家型計畫」與「學界科專：先進無線生醫保健監測系統之開發」的研究團員們很快的重組整合，並另外徵調了其他相關專業的研究人員以及產業界的相關人士，形成了「抗 SARS 緊急計畫小組」，以「團隊、組織、目標、時程」等為最高指導理念，全力解決問題，並達成共識，共同決定了「作戰計畫」：

- 以全球最高等級之口罩為驅動載具。
- 以最寬廣之適用性為目標。
- 時程為最高準則。
- 研究團隊之 Motto：Be Vital to Taiwan，Be Famous for its Science and Technology
- 去除病毒致病性。

- 創新奈米分子設計。

「抗 SARS 緊急計畫小組」的成員分別從不同的專業領域出發，提出一種不一樣的思維來快速解決 SARS 病毒肆虐台灣，台灣社會卻束手無策的窘況。其小組成員如下表所示。其中以陰影表示者，代表同時身兼「生技製藥國家型計畫」以及「學界科專：先進無線生醫保健監測系統之開發」兩研究計畫之研究團隊成員。這些成員彼此至少有三年以上的共事經驗，對彼此的專業能力、個人特質、做事風格等都具有相當的了解，並且因為長期的合作，已經發展出一套合作的模式。而新加入該項團隊的成員，也並非從天而降，而多是由已經是團隊成員者推薦曾經愉快共事過，由過往合作紀錄確認是否具有團隊合作能力，而專業又符合目前需求的單位 / 研究者，經過團隊所有成員審慎評估通過者，才得以以新成員的姿態，加入這個研究團隊。

【表 4-7】抗 SARS 緊急計畫人員表

姓名	單位	職稱	姓名	單位	職稱
許世明	台大醫學院	副院長	李世元	淡大化學系	教授
李世光	台大應力所	教授	朱淑芳	淡大化學系	博士生
				百奧科技股份 有限公司	專案經理
蘇慶琅	彩立染整股份有 限公司	董事長	姜達銘	工研院工業材 料研究所	經理
	立益國際股份有 限公司				
張培仁	台大應力所	教授	吳文中	台大應力所	博士後

黃榮山	台大應力所	助理教授	孫美芳	台大應力所	助理
王安邦	台大應力所	教授	王貞凱	台大應力所	助理
林世明	台大光電生物醫學研究中心	副教授	黃筱嵐	台大應力所	助理
林啟萬	台大醫工所	副教授	蕭文欣	正波科技股份有限公司	專案經理
陳志傑	台大職業醫學與工業衛生研究所	教授	陳美燕	台大研發會	秘書
董育蕙	台大職衛所氣膠實驗室	研究生	王玲玲	台大研發會服務組	組長
高全良	台大醫學院醫事技術學系	教授	陳家智	台大應力所	研究助理
洪錦堂	長庚大學基礎醫學研究所	助理教授	徐明璋	台大應力所	研究助理

資料來源：李世元，「台大抗煞一號的發現與應用」報告投影片，後 SARS 時代的知識創新與價值研討會，2003 年 7 月 18 日，本研究整理

抗 SARS 緊急計畫小組集結了工科背景的應力所、理科背景的化學系、醫學生物背景的天大醫學院、介於醫科與工科之間的醫工所與職衛所、介於理科與工科之間的材料所，而除了學術界的研究人員之外，還加入了產業界的人提供了商品化以及量產的專業，另有研發會提供智慧財產

專利相關專業，知識的多元性相當廣泛。這些不同領域的專業學者專家因為長久以來的領域知識訓練與個人特質的相異，分別具有不同的、自己習慣的思考方法與做事風格。然而因為以下原因：

- (一) 清楚的目標定義：研究團隊的 Motto 兼顧學術價值與產業價值，以團隊的力量，在嚴謹的時程掌握下，完成一創新口罩應用平台阻絕甚至破壞奈米級大小的 SARS 病毒。
- (二) 優秀的系統整合能力：李世光老師擔任總計畫主持人，他本身擔任過非常多次大型計畫總主持人，系統整合經驗相當豐富，能力非常優秀。
- (三) 專業與專業之間的互相體會學習了解：雖然團隊成員分別具有不一樣的專業能力，但是為了要能夠長期合作，團隊成員有一定的默契，要去了解對方最近做的研究領域與研究方向。這樣的共識與默契並非只有在微奈米機電系統實驗室內部存在，而是進行所有跨領域整合專案時，為了提高整合的效率與效果所勢必要做的。
- (四) 過去合作經驗的彼此熟悉：團隊裡面有 50% 以上的團隊成員已經有三年以上的合作經驗。能夠長期合作可以顯示互相不僅互相了解，更能夠扮演好自己的角色，順利合作。
- (五) 強烈的社會責任驅動：團隊成員在當時疫情緊急的狀況中，意識到身為研究人員應該有其社會責任在抗 SARS 的戰役中，運用其專業能力，研發出能夠解決問題的 Solution。

因為以上原因，由李世光老師所帶領的「抗 SARS 緊急計畫小組」得以克服這些不同領域、不同招牌技巧可能帶來阻礙創造力的威脅，使之轉變為一種良性的創造力摩擦，並且在相當短的時間內爆發出一股驚人的研發能量，以創新的思維找到可能解決問題的辦法。

參、執行並整合新技術程序及工具

一般人最直接的想法通常會認為，要解決 SARS 病毒的疫情，應該是要由醫學獲藥學背景的人來提出解決方法。然而「抗 SARS 緊急計畫小組」

的成員當中，理工科背景的專家比醫藥科背景的專家來得還要多，這似乎和一般人的認知有出入。然而，研究團隊卻也因為從不同的角度來切入，而找到了不一樣的 Solution。

引起 SARS 疾病的病毒是一種冠狀病毒，冠狀病毒是 RNA（帶氧核糖核酸）病毒。RNA 和我們常聽到的 DNA 差不多，亦屬於構成基因的核酸分子，可以複製而作為遺傳物質，亦可以製造各式各樣的蛋白質。

在生物化學的特性上來說，DNA 由於構造獨特，所以亦比較穩定；相反的，RNA 則不容易保存，容易受外來環境因素影響而出現突變，甚至被破壞。作為遺傳物質，雖然 RNA 不利於在惡劣環境下複製，但不少低等生物，包括部分病毒，還是依賴它作為遺傳物質。

科學家普遍認為 RNA 病毒是比較麻煩的一種「生物」，經常發生突變，可以不斷地應付多變惡劣的環境，包括對藥物產生抵抗性。以流行性感胃病毒為例，因為不斷突變，病毒表層的抗原發生急劇變化，令人類免疫系統不能對它作出辨認，以至不可以及時生產出抗體去殲滅病毒。愛滋病病毒本身亦屬於 RNA 病毒。而非典型肺炎病毒 SARS 冠狀病毒，亦有出現同樣狀況的可能性。

要對抗 RNA 病毒，若循一般方法去研發藥物或疫苗，首先必須要先從基因定序開始，再根據基因圖譜裡面核甘酸的定序，去分析該病毒裡面 DNA 與 RNA 蛋白質的表現，因為生物的活性是由蛋白質來表現。在分析出這個病毒的蛋白質表現之後，再針對它做分子設計，開發出新藥或疫苗。這是一般新藥開發的邏輯與程序，然而這整個流程相當長；基因定序的部分在生物資訊學的發展下，已經有許多國內外的相關基因資料庫可以加速基因定序的過程，然而這只是開始。緊接著，分析蛋白質的表現這個程序最關鍵，然而以現今的技術來說也最耗時，因為他是一連串 Try and Error 的過程。更麻煩的是，因為他的變異性太大，科學家製藥家研發出有效用的藥物的時間常常趕不上 RNA 病毒變種的速度。台大醫院當時雖然已經做出 SARS 冠狀病毒的基因圖譜 29714 個核甘酸定序，然而到可以針對基因圖譜進行分子設計出藥物與疫苗，仍然過於耗時。此外，冠狀病毒過去根據遺傳基因系統分類被劃分為 3 類，但現已查明 SARS 病毒與任何一類都沒有「相似性」。研究小組的結論指出，SARS 病毒並非由現有冠狀病毒基因突變所致，而是一種全新的病毒²⁴。這代表人體內的免疫系統對於這個病毒沒有任何的記憶，人的抗體沒有能力去應付這個病毒，所以一

²⁴ 資料來源：“The Genome Sequence of the SARS-Associated Coronavirus”, *Science Magazine*, May 2003

些免疫力比較差的人就很容易感染，最後造成流行。

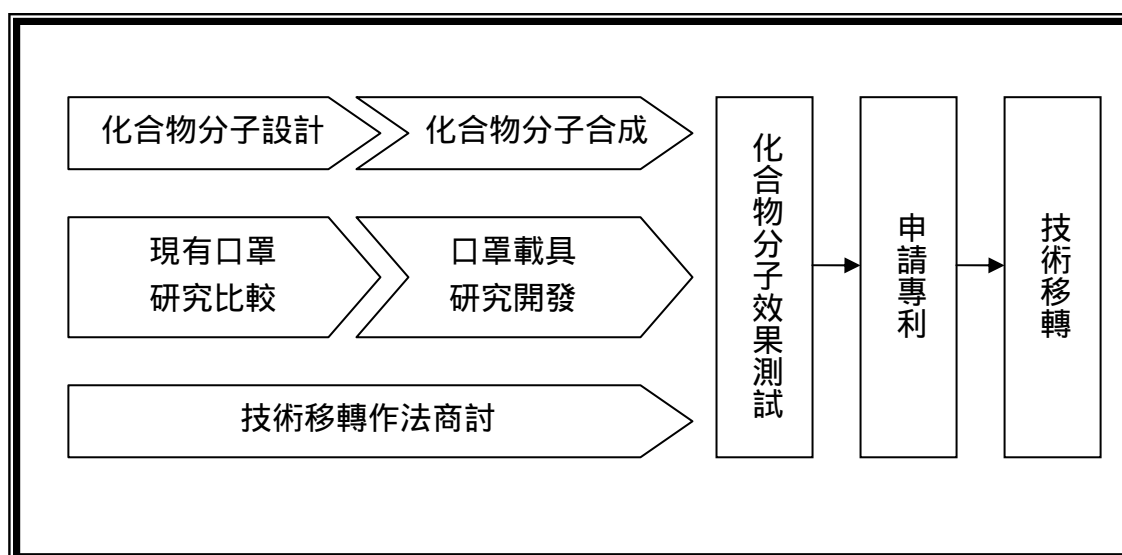
「抗 SARS 緊急計畫小組」轉而從不同的思考角度出發，如何能夠在一般作法之外，找出更快速能夠破解 SARS 病毒的方法。只要能夠阻止病毒進入人體，就有機會遏止疫情的擴散，爭取時間。研究團隊首先研究病毒的攻擊過程：病毒本身必須要找到一個細胞寄宿才得以生存，他必須要把他的遺傳訊息，利用一個細胞裡頭的所有化合物去幫他合成他的 DNA 遺傳訊息，那再利用這個細胞幫他合成的 DNA 再去製造他自己的蛋白質，再去組合成他自己的病毒。他必須要寄宿到其他細胞裡頭去才能繁殖，那這個病毒是寄宿到我們人體的 T 細胞裡頭。而病毒本身的外圍有一些特殊的分子能夠去辨認他所要寄宿的細胞。一旦接觸到他所能夠寄宿的細胞，就會產生化學反應，SARS 病毒的外圍脂肪套膜將會打開，接著把細胞外的膜也打開，兩者融合在一起，這時候病毒裡頭所有重要的 RNA 就侵入到細胞裡頭作用繁殖。在了解了病毒的作用方式之後，研究團隊發現 SARS 病毒的外套膜是一個重要關卡，只要在病毒尚未侵入人體之前就先一步破壞外套膜的蛋白質 3D 結構，這個病毒就沒有辦法去辨認要寄宿的細胞，如此一來就完全去除了這個病毒的致病性。可去除 SARS 病毒致病性之無害有機化合物，作用機制在先吸附捕抓 SARS 病毒，拉近距離後利用其與病毒皇冠状套膜間分子互動關係，迫使病毒皇冠状套膜蛋白質三度空間構形瓦解，病毒套膜與宿主細胞受體間之親和性決定病毒對宿主細胞之攻擊性，一旦 SARS 病毒套膜的三度空間構形解體，病毒將失去對宿主細胞吸附、入侵與感染之能力。

清楚了 SARS 病毒這個致命傷之後，並且同時考量了這個研究對國家社會的貢獻與學術上的價值之後，研究團隊決定要嘗試設計並且合成一種化合物，使其可經由浸染、噴霧等方法，添加於口罩之濾材、防護衣物、空氣清淨過濾材等處，一旦 SARS 病毒與此有機化合物接觸，將造成 SARS 病毒如皇冠般的套膜三度空間構形解體，此時病毒就失去入侵人體與感染之能力。確認了這樣的作法之後，「抗 SARS 緊急計畫小組」便立即啟動，著手進行相關研發工作。

本專案的進行，對於最後產出的產品的定義相當清楚：一種可噴灑於口罩、濾材、防護衣物、空氣濾淨濾材、等介面之無害有機化合物，其目標是去除 SARS 病毒的致病性。這個產品在使用者端，其需求並不複雜，因此使用者的參與整合程度相當低，然而開發者因為涉及的專業領域與科技知識不同，因此著重在開發端的整合。

在開發者端，主要的活動包括了：化合物分子設計、化合物分子合成、

現有口罩載具研究比較、口罩載具開發、測試化合物效果、申請專利、技術移轉。每個知識活動進行期間，都需要不同的專業、人力與資源投入，而為了要確保能夠在最短的時程內完成任務，時間的掌握必須非常精準，不得有任何的延誤。為了確實掌握時程，在一開始決定了作戰方向之後，總主持人李世光老師便先跟每個不同活動的負責人確認過 Schedule，並且得到共識要以最短的時間完成。



【圖 4-9】抗 SARS 緊急計畫活動程序簡圖

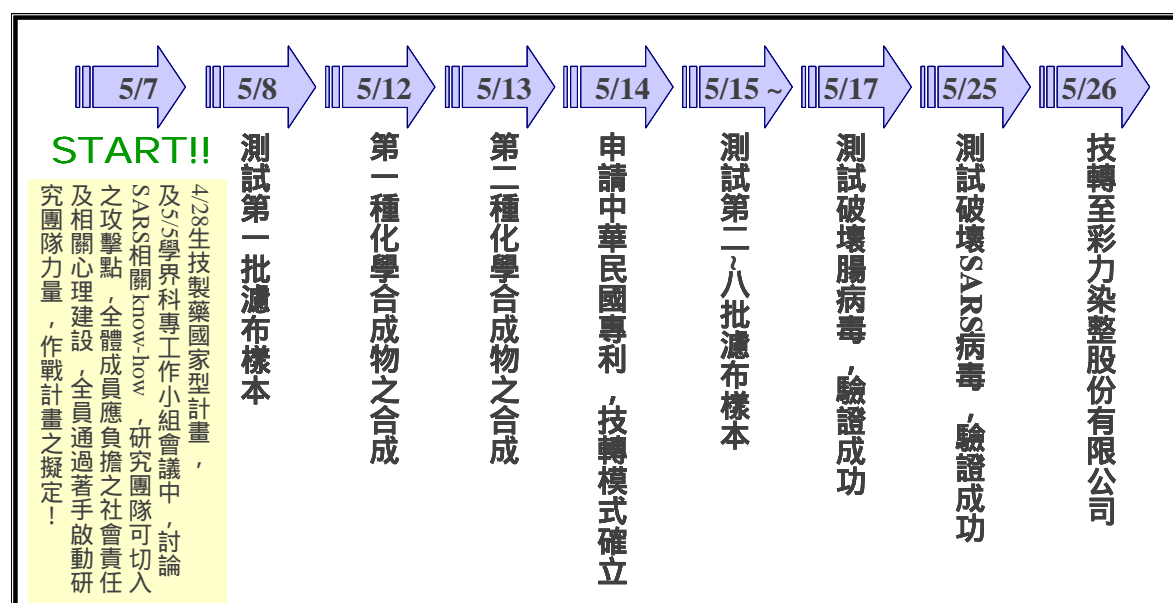
資料來源：李世元老師 2003/7/18 演講，本研究整理

因為當時 SARS 疫情嚴重，所有人都急於找到能夠控制疫情的方法，因此對於「抗 SARS 緊急計畫小組」來說，在目標確定之後，時程的掌握就變得非常關鍵。因為整個團隊合作已經有至少三年的時間，對彼此的專業知識領域皆有相當程度的了解，能夠推測知道要從事某項工作或研究的難度如何、時間與資源的需求、該項工作在整個大計劃裡面所扮演的角色等。因為這樣的了解，再加上所有團員因為肩負研究人員專家學者的社會責任，都有一致共識要盡快找到解決問題的方法並且付諸實行，因此在時程的制訂上都是壓縮在最短的時間內。當時整個計畫最重要的起頭就是要能夠設計並且合成出那個能夠破壞 SARS 冠狀病毒致病性的有機無毒化合物，這個化合物成功合成出來之後才能夠進行之後的動作。這個部分的工作由淡江大學化學系教授 / 系主任李世元老師負責，因為在過去「生技製藥國家型計畫」以及在學界科專當中，李世元老師都是負責生醫晶片上面 Bio-linker 的合成。所謂的 Bio-linker 的功用就是在生醫晶片上把待測檢體設計讓他接到金上頭的一種化合物。根據李世元老師的說法，全國從事生

醫晶片研究的團隊當中，只有台大生醫微奈米機電系統研究群是使用 Bio-linker 的技術。因為當時設計出一個分子，他完全是根據生物晶片上的一些資訊，當時非常多上百種的 Bio-linker，要做修飾才能針對 SARS 冠狀病毒有預期的作用。合成這個分子的壓力第一個落在李世元老師身上，所有團員都問：合成這樣的一個分子最短需要多少時間。團員必須要知道這點才知道後面的資源需要多少時間到位。如果依照正常的速度來做，合成這樣的一個分子需要五到七天的時間。但是當時總主持人李世光老師就要求李世元老師：

「你就不要睡覺嘛，很簡單，你二十四小時乘以五，一百多個小時，每天三班制應該可以做得完吧。」

在時程的安排上，所有的步驟都是這樣採取最壓縮最緊迫的時間，務必在最短的時間內完成化合物的開發，並且技術移轉給能夠承接這項技術的廠商，使之變成急需防護醫療器具的醫護系統與一般民眾都能夠得到保護。最後，在所有團員不眠不休的努力之下，這項「可去除 SARS 病毒致病性之無害有機化合物」—八氫氧機辛烷酸： $\text{HO}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ ，成功的在二十天內開發完成，由廠商負責後續進入量產的工作。



【圖 4-10】團隊 20 天之日夜作戰回顧

資料來源：微奈米機電系統實驗室

「抗 SARS 緊急計畫小組」以理工的思維，配合醫學藥學的相關專業，

從另外一個不同的角度切入，整合了不同於一般想像的團隊專業，在相當緊湊的時程安排下，順利的完成開發。

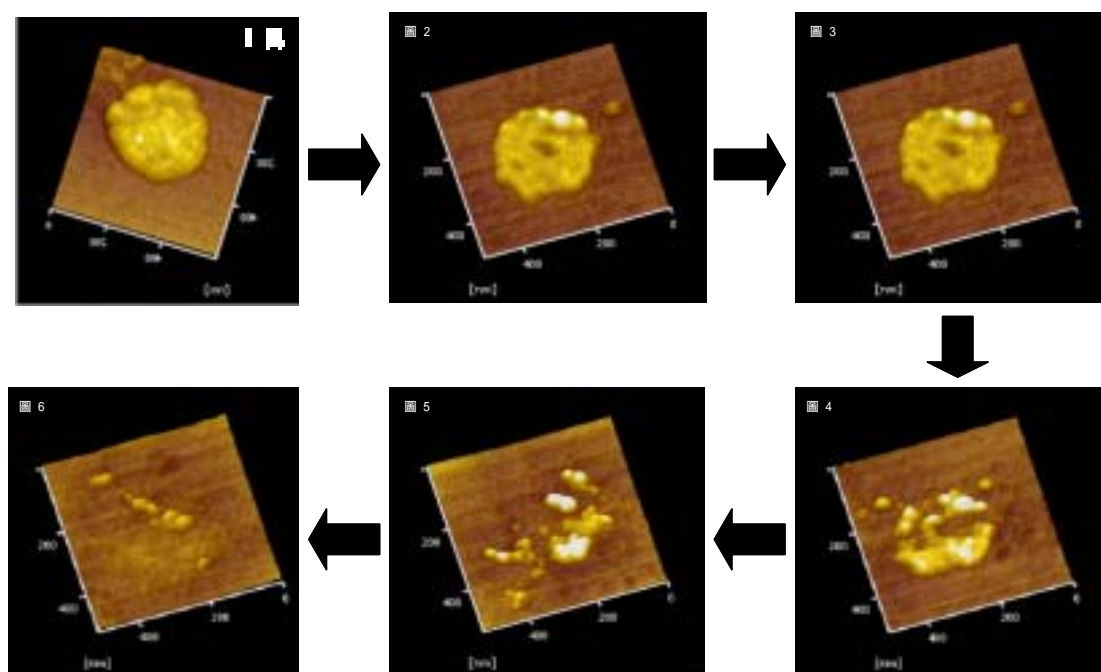
肆、實驗與原型試製

整個「抗 SARS 緊急計畫小組」所進行的任務，雖然有清楚的目標指導，但是仍然是個充滿許多未知數的探索。整個過程，從化合物的設計、化合物的合成、口罩載具的設計、口罩載具的開發、化合物對病毒作用的效果測試，全部都是一連串的實驗的過程。

在五月七日台大團隊例行工作會議上，成員們做成結論，認為蛋白質晶片上的生物連結分子 (Biolinker)，其某些物理與化學性質，或許可應用在防治 SARS 病毒的工作上。根據當時已公布的冠狀病毒形狀，大家推測連結分子的奈米級長度，與病毒套膜上突起的「皇冠」可能蠻符合的，然而這一切都是根據資料所做的推測，並無法確認。因此就共同推舉擅長有機合成與藥物合成，之前負責合成 Biolinker 的李世元老師率先嘗試設計並合成該化合物。李世元老師首先嘗試設計了一個化合物，交由其博士生朱淑芳小姐負責實際在實驗室的化合物合成工作。從五月七號開始，由李世元老師所指導的實驗室就在朱淑芳小姐的帶動之下，全力合成李世元老師所設計的這個化合物。合成的中間曾經遇到障礙，朱淑芳小姐跟李世元老師報告合成狀況不順利。李世元老師於是又調整了化合物的結構以及合成方法，在五月十一號當天，也就是母親節當天把朱淑芳小姐又叫回實驗室，請她再試試看。她從星期日下午開始做，做到隔天的凌晨，用核磁共振去驗證他的結構，真的把這個化合物合成出來了。

化合物成功合成只是一切的開始，接下來要做的是測試這個化合物對病毒是否能有如預期的作用。於是由李世元老師實驗室合成的幾百毫克的八氫氧機辛烷酸粉末被火速送到台大光電生醫研究中心的林世明老師那邊。林世明老師負責用原子顯微鏡去測試並且觀察這個合成的化合物對腸病毒作用的過程。之所以選擇用腸病毒做測試，主要的原因是因為 SARS 冠狀病毒是被管制的，如果要用 SARS 病毒的話取得的成本比較高、而且必須在 P3 實驗室裡面才能做。所謂的 P3 實驗室指的是生物安全防護三級實驗室。生物安全防護實驗室是指其實驗室的結構和設施、安全操作規程、安全設備能夠確保工作人員在處理含有致病微生物及其毒素時，不受實驗物件浸染，周圍環境不受污染。根據微生物及其毒素的危害程度不同，分為四級，一級最低，四級最高，而其中三級適用於主要通過呼吸途

徑使人傳染上嚴重的、甚至是致死的致病微生物或其毒素。因此從事 SARS 病毒研究必須在 P3 實驗室進行。除了這個原因之外，當時研究團隊也想盡快先試試看用這樣的理論架構下做出來的化合物，對病毒的實際操作能不能奏效。在林世明老師的實驗室裡，原子力顯微鏡見證了一個相當振奮人心的事實：這個合成出來的化合物以相當快速的速度（一分四十四秒），非常完整徹底的破壞了腸病毒的結構。



【圖 4-11】八氫氧機辛烷酸對腸病毒作用原子力顯微鏡拍攝圖

資料來源：微奈米機電系統實驗室提供

在研究團隊雀躍得得知該化合物對腸病毒作用的良好效果之後，下一步隨即通知台大醫學院的高全良教授，負責提供 SARS 病毒，並且針對 SARS 病毒作測試。這個 SARS 冠狀病毒是用猴子去養的，根據李世元老師的說法，當時台灣只有兩個老師有能力提供 SARS 病毒，而高全良老師就是其中一個。當然團隊這時候所使用的絕對不是活的 SARS 病毒，而是被 denatured 的。然而因為這時候全民聞煞色變的驚恐程度，要碰觸並且繁殖 SARS 病毒作研究是需要相當的勇氣與謹慎的。這時候高全良教授為了小心起見，一個人關在實驗室裡面操作，一心只想在最短的時間內給研究團隊回報好的結果。結果證實這個化合物除了對腸病毒有良好的破壞效果之外，對 SARS 冠狀病毒也同樣具有破壞效果。

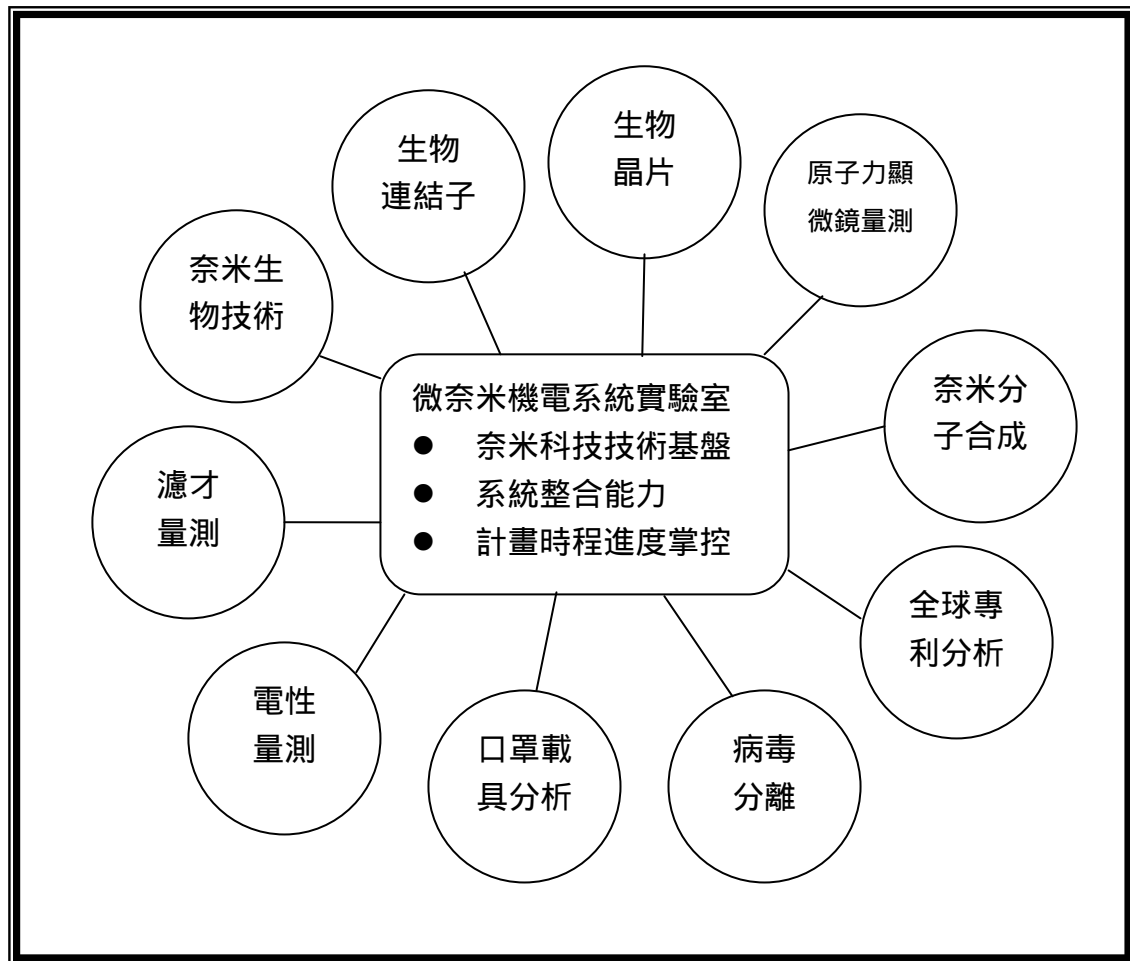
在「台大抗煞一號」化合物合成、腸病毒測試、SARS 病毒測試等活

動如火如荼進行的同時，另外一邊也正忙著進行口罩相關載具的研究開發。由台大醫學院職業與工業衛生研究所的陳志傑老師所領軍的另一支團隊先蒐集了所有不同種類不同規格的口罩，針對其材質、各種織布與不織布來源的選取、修正以及分析做研究。另外，也針對空間電荷的注入與量測以及口罩的透氣率等變數做實驗與測試。他們的目的是要研發出一種吸附能力等同於或甚至更優於目前市面上最好的口罩：N95 口罩。最後根據陳志傑老師的說法，他們所研發的口罩已經跟 N95 口罩 Compatible。等到另外一邊確定了該化合物的有效性之後，口罩載具也已經準備就緒，最後一切就待專利申請與技術移轉，交由產業界負責商品化與量產的工作。

在這整個過程中，每個環節都是由一次又一次的實驗所組成，每次實驗完成一個又一個的原型，提供下一個步驟的研究操作。雖然研究團隊一開始有清楚的目標，但是因為所有人幾乎都出身學術研究與研發的體系，都相當了解整個過程有許多的不確定性。因此，為了能夠掌握這些不確定性以確保能夠盡早完成，整個團隊每天不斷的以 e-mail 通報進度、有必要時尋求協助，並且每兩天就固定召開一次會議，以確保每個不同的單位與環節能夠了解整個專案進行的狀況，並且溝通清楚目前正在做的工作以及下一步要進行的步驟。整個過程雖然相當繁忙與壓力沈重，但卻沒有人叫累。張培仁老師甚至表示他相當喜歡開這樣的會議，因為每個人都能夠不吝惜的分享自己從不同專業、不同經驗為依據所提出來的看法與質疑，非常有意思。所以雖然在沈重的壓力之下，團隊會議仍然以相當高的效率達到知識分享與蓄積，並且解決問題的目的。

伍、輸入和吸收外部知識

以微奈米機電系統實驗室為主體來研究，在「抗 SARS 緊急計畫小組」裡面他所扮演的角色是一個整合的 Hub。也許在研究活動上面，從最終研究成果來看，並沒有如同合成「台大抗煞一號」這個化合物這樣很明顯清楚的技術貢獻，但是微奈米的技術基盤，以及系統整合的能力仍然是最後能夠成功的重要關鍵。



【圖 4-12】「抗 SARS 緊急計畫小組」多元科技知識整合圖

資料來源：李世元老師 2003/7/18 演講，本研究整理

以微奈米機電系統實驗室的核心科技能力來說，要完成「抗 SARS 緊急計畫」的目標，合成這個奈米級的有機無毒化合物來攻擊 SARS 冠狀病毒，有能力上的落差（Capability Gap）。然而，因為微奈米機電系統實驗室長久以來在執行研究計畫擅長於整合不同來源的技術，以完成系統整合之目的，因此在這個特定專案的執行而言，雖然時間非常緊迫，但仍然可以在短時間之內搜尋到適當的科技知識來源，並且予以成功的融合，共同完成最後目標。

為了快速開發出這個化合物，微奈米機電系統實驗室快速動用了「生技製藥國家型計畫」以及「學界科專」的研發資源，第一步先整合了李世元老師、王安邦老師、林世明老師等，其整合模式為共同開發。然而因為有關口罩載具的相關專業能力不足，因此亟欲尋找這方面的專長。透過團

隊內部的人引見，得知陳志傑老師在這方面的專業能力，並且更重要的是了解是否有團隊合作的可能性之後，便快速的納入團隊的開發。

外部科技知識的輸入以及整合，在執行專案的過程中都是相當重要的。以微奈米機電系統實驗室來說，輸入的機制主要都是先透過科技以及團隊合作可能性之觀察，或者根據過去有合作經驗者之推薦，因為專案開發在能力上的不足而引進。在選擇輸入外部科技知識之前，透過一些非正式的方式，包括言談之中，讓要加入研究團隊的成員了解這個研究團隊的作風，以降低輸入外部科技知識的磨合，尤其在這種時程安排非常緊湊的計畫中，不要因為輸入外部知識的陣痛去影響到開發的速度。

除了專業科技知識的整合之外，團隊成員除了致力於了解自己在整個計畫當中所扮演的角色以及所能貢獻的能力之外，更透過兩天一次的固定會議，了解整個計畫進行的進度，不同的專業領域分別使用什麼樣的技術來解決問題，目前遭遇到的困難點在哪裡，更重要的是，來自不同專業背景的研究團員們基於團隊合作的心態，會從自己的專業背景的角度來思考，某個研發活動所遭遇到的困難點是否能夠從不同的專業領域獲得解決。除此之外，在固定的會議中，團員們也會盡力去了解對方的專業以及術語，以幫助整個團隊在整合運作上更為順利。

陸、小結

因為從一開始「共同解決問題」、「執行並整合新技術程序及工具」、「實驗與原型試製」到最後「輸入並吸收外部知識」，全部都是建築在強大的研發動機、社會責任、團隊一體、過去長期的成功合作經驗的信念之上，使得「抗 SARS 緊急計畫小組」能夠成功的在短短的 20 天之內迅速完成研究開發，並且順利的技術移轉給廠商，把實驗室裡面的研發成果轉換為對民生經濟有立即功效的產品。

所謂「學問為濟世之本」，包括微奈米機電系統實驗室在內的「抗 SARS 緊急計畫小組」能夠在最短的時間內就動員需要的知識與資源，並且完成開發工作成功技術移轉給所有廠商，完成研究團隊的階段性任務，將平時實驗室裡面的學術專業轉化為立即能夠救世濟民的實際產品，這絕對不是一個人的功勞，也絕對不是一時片刻的偶然。這是研究團隊長期合作累積的能耐以及價值觀的影響帶動，才能夠在短時間之內將平時蓄積的能量迅速就位爆發。

「抗 SARS 緊急計畫」(台大抗煞一號的開發)的成功，一方面可以顯示包括微奈米機電系統實驗室在內的研究團隊平時長期在專業能力上的耕耘努力、以及在不同科技整合上的成功經驗能夠在短時間之內立即到位，是過去累積的核心能力瞬間爆發的展現之外，更重要的是，這個開發計畫的成功也為研究團隊累積了更多的核心能力，也因為「抗煞一號」的成功，學界科專「先進無線生醫保健監測系統之開發」在方向上也準備做若干調整，並且也要持續協助醫療防護工作之研發，延伸已有的能耐，堅持全球一流研發之目標。