

行政院國家科學委員會  
微機電與奈米技術推動小組結案報告

主持人：李世光

國科會工程處補助

計劃編號：NSC91-2217-E-002-007

執行期間：91 年 02 月 01 日至 91 年 12 月 31 日

專任助理：孫美芳

中華民國九十二年三月十四日

# 目錄

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 壹、前言 .....                                     | 4  |
| 貳、推動小組規畫重點 .....                               | 8  |
| 參、推動小組推動情形 .....                               | 12 |
| 一、 匯集所屬推動小組所研究現況、國際發展趨勢等資料。 ...                | 12 |
| 二、 規劃所屬推動小組主要之研究重點及達成之策略 .....                 | 16 |
| 三、 提出所屬推動小組與其他學門或國際合作研究、突破技術瓶<br>頸之構想 .....    | 19 |
| 四、 建立推動小組人才及設備現況資料檔 .....                      | 20 |
| 五、 進行推動小組研究成果資料統計及評估 .....                     | 21 |
| 六、 推動網站建置、英文簡介，並定時更新 .....                     | 22 |
| 七、 主協辦所屬推動小組上年度輔助計畫之成果發表會，並編輯<br>成年度成果要覽 ..... | 22 |
| 八、 與工程處同仁同研擬推所屬推動小組『專題計畫』複審委員                  |    |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 名單.....               | 23 |
| 九、 審查所屬推動小組相關案件 ..... | 23 |
| 十、 協助工程處相關業務之推展 ..... | 24 |
| 肆、未來展望.....           | 26 |
| 建立核心設施與共享機制 .....     | 27 |
| 加強創新研發人材培育 .....      | 28 |
| 創造未來產業商機 .....        | 30 |
| 伍、結語.....             | 31 |
| 陸、其他（附錄） .....        | 33 |

## 壹、前言

微機電與奈米技術推動小組最後一期計畫，始自民國 91 年 3 月開始運作，主要任務在於遵循工程處之指示，延續過去三年來之工作，規畫、推動並協助專家學者在微機電與奈米技術之研究與發展，並推動此兩項科技之製造技術轉入實質之應用模式，從而扶植我國相關產業之成長，除此之外，本期十個月計畫之另一重要目標，乃是要使我國之微機電領域研究工作，逐步與奈米領域之研究工作接軌，以求能使微機電科技成為奈米技術“Top Down”方面之重要基礎及方法。其主因乃是由於奈米技術不但是跨領域之整合，更由於其屬我國國家型科技計畫之一，自是我國科技發展之重點項目，近年來在我國產官學研均致力於將各項技術，諸如：物理、化學、生醫等利用奈米科技之平台來進行整合之際，本小組受會裏託付進行微機電相關領域與奈米技術作嘗試性之接軌工作，以求此一領域能在奈米技術的引領下邁入嶄新之發展新紀元。

世光

忝為推動小組召集人，自受命接任至完成推動此最後九個月之計畫，與整個小組共同推動會裏相關工作屆滿三年十個月。三年多前，我國於奈米技術之推動尚未全面啟動，當時之微機電推動小組定下「由矽加工技術推動，轉為由應用領域推動(From technology push to application pull)」之基本推動策略，並且擇定以”BASIC (Biology, Automation, Semiconductor, Information technology, Communication)領域”為中心目標，大力推動我國最上游之微機電研

究工作集中火力，全力以赴朝向同一目標邁進，同時為求能符合前述中心典範之理想，過程中與經濟部之科技專案共同配合，利用知識供應鍊一條鞭規劃、管理之基本思路，希望能使國科會微機電領域之研究工作，成為我國微機電領域知識供應鍊之最上游。同時基於我國微機電領域在人材方面之特殊現象：「由於我國 IC Foundry 之蓬勃發展，較少電子領域人才轉入微機電領域，但卻有大量機械領域之人才願意投身微機電領域之研究工作與培育」之考量，認定「迅速使得我國機械及其他領域人才取得半導體製程相關經驗」以確認我國此一領域之推動，不至於因為人才不足而發生瓶頸。因此本推動小組積極配合工程處之規劃、推動、及考核國科會北、中、南三個微機電中心，過程中成功協助三個中心之順利運作，同時成為我國微機電人才訓練最上游之根據地，此一規劃配合上經濟部於工研院所設立之共通實驗室(Common Lab)，再加上我國大型 MEMS Foundry House 如華新麗華、亞太優勢等公司之 Pilot Run，終於形成我國微機電領域支援全球此一領域進行雛形開發甚至量產所需之完整供應鍊，同時此三個微機電中心目前也已成爲我國北、中、南三區推動大型合作計劃之焦點(focal point)。

綜觀近年來奈米技術於國內及全球均正蓬勃發展，各國無不預測本世紀必為奈米世紀，國科會工程處微機電與奈米技術推動小組過去三年十個月來，經由多次小組規劃會議決議，自最開始即認定本小組首要之推動要務當為整合各種研究領域之需求，並藉由領域需求逐步推動相關微機電特定之製程技術與整

合需求，同時還推動微機電、奈米技術與其相關領域之研究。過程中與國內外相關學者共同規畫及架構出國內未來發展微機電及奈米技術之接軌方法、推動藍圖與整體遠景。如前所述，本小組乃進行一方面推動學術研究，一方面與經濟部相關科技專案進行接軌，而後藉由此一產官學研四位一體之互動來迅速建立起我國前瞻性之研究、技術及產業應用需求和競爭基礎之作法。整體回顧起來，由於其與我國微機電研究工作及產業需求非常契合，因此乃能效果卓著，順利進行推動。

過去三年十個月內，整個小組工作之推動，由於國科會工程處之託付與全力支持，現任蔡處長忠杓、前任蘇處長炎坤之指導與垂詢，以及許科長文秀之全力協助規劃與推動，再配合上各方先進與學者之鼎力協助與配合，乃得以在這三年多內產出多項豐碩之成果。同時由於整個小組於微機電領域之規劃工作，能充分體認我國六年多來以「成為全球微機電工業之生產設計中心(Support Worldwide MEMS Fabless)」為此一重要策略領域及工業規劃之中心典範(Paradigm)，終能不負會裏工程處之期許，順利完成科技開發、人才培育、與推動產業萌芽甚至茁壯之基本任務，並且由於過程中之群策群力，方能藉由工作之共同推行，從而形成多個具有高度行動力之研究開發團隊，此一成果應可算是推動本小組工作中最令人振奮之一環。

未來本推動小組之業務將有一部份轉入奈米國家型辦公室，其餘則已納入工程處相關學門中，此一做法實與本小組過去三年十個月來極力推動利用領域

驅動微機電技術前進之目標相符合，相信在我國奈米科技國家型辦公室與工程處各學門之戮力推動下，我國微機電與奈米技術之發展，應可迅速邁入先進國家之列，而相關工業之日漸茁壯也必將是指日可期。

行政院國家科學委員會

微機電與奈米技術推動小組召集人(2001-2002)

李世光

謹啟

## 貳、推動小組規畫重點

民國 88 年 11 月經濟部技術處舉辦之「微機電系統產業技術發展策略會議」報告中提到「人力資源在微機電產業與大學校院，不論是專業人員、工程師、及技術人員均極為短缺。大學校院之研究仍無法與日本、歐洲、美國等國家相抗衡；其主力仍處於模仿與重複的階段而尚未完全致力於真正的創新」、「目前的大學研究活動與發展計劃大部分著眼於“迎頭趕上”或是“改良現存的技術與設計”，因此對於開創性的研究探索必須多加努力並力求於新領域的突破」。由前述說明可知，我國微機電領域需要完成之任務，是在短期內彌補創新能力專業人才不足之困擾。此外，會議中並列舉資訊、通訊、半導體、消費性電子、生物醫療、和工業製程元件為微機電系統技術應用發展重點，如圖 1 所示。同年 12 月國科會工程處「微機電系統技術規劃小組」完成第一階段中程規劃，其結論為：

- (1) 研究計劃之目標產業以資訊、通訊、半導體、自動化和生醫為重點，
- (2) 研究計劃需清楚陳述研究成果之技術傳遞規劃，
- (3) 以跨領域整合計劃為主，創新型個別計劃為輔。

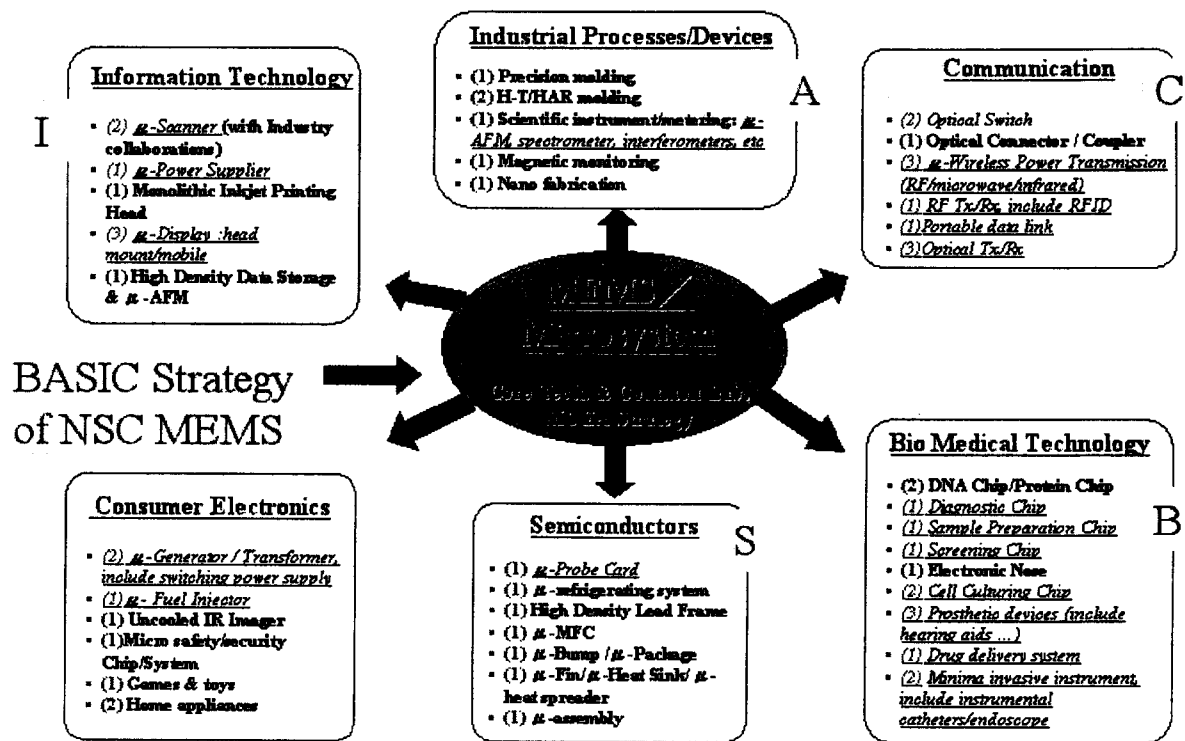


圖 1：微機電系統技術應用發展重點。

推動小組於奈米技術之推動方面，主要任務乃是協助奈米科技國家型計畫進行部分規劃，我國整個奈米相關規畫訂定奈米技術發展之核心進程將分為：

**在學術卓越方面：**成功建立世界一流的團隊，對奈米科學作出重要的貢獻，並在國際間佔有一席之地；理論計算與模擬的能力達國際水準，並對國內實驗及產業產生重要的影響；發明創新之設計、量測、操控及製造技術；發展出奈米與微米系統介面技術；發明創新之奈米元件與系統；建立奈米機電產業所需之設計、量測、操控、製造技術及原型設備。

**在產業化技術方面：**結合學術界卓越研究與研究機構技術開發與應用能力，建置一個由研發菁英團隊群聚形成之卓越創意能力，創造可快速產業化能

力的奈米科技發展環境，使廠商可有效運用奈米技術做為其經營項目，成為其創造利潤的來源；重視原創性專利產出，提昇與國外機構智權交換的條件；配合產業推動小組訂定目標，至 2008 年止，促使投入研究與技術應用廠商數超過 800 家及影響產業產值累計達 3000 億元新台幣，營造國內產品朝高附加價值發展的契機；與國外重要奈米研究機構建立良好聯繫管道，並建立研發網絡及知識社群，加強國際交流與掌握趨勢、資源的契機；善用奈米介觀視界的現象與原理，開發相關應用產品、替代性材料與技術。依產業別，大致可歸納出下列發展方向：(1) 發展零維至三維各種型態奈米材料合成與加工技術；(2)開發以奈米材料技術應用之更高效率/壽命儲能裝置；(3)建立奈米鍍膜技術於光通訊上之應用；(4)建立特殊奈米材料與製程技術，經由特殊設計突破體積與散熱的限制；(5)建立下世代高容量資料儲存用材料與加工製程技術，大幅增加單位面積儲存的資料量；(6)分階段建立以奈米材料應用之新型態平面顯示器技術。

**在核心設施建置與資源分享運用方面：**成為有世界知名度的奈米科學研究中心，在奈米材料和科技研發及利用方面與先進國家並駕齊驅；開發分子電子元件的製程；發展出精密的儀器和新穎的量測技術，有效操縱和組合單一量子點和量子線成為元件結構；研發有實用價值的高靈敏度、高密度、效用多元和檢測速度快的生物晶片；從研發奈米精密儀器設備的經驗，獲得開發生產奈米產品所需各種生產設備的能力；建構自主的奈米製造技術和奈米檢測分析技術，結合產業界進行具時效的奈米產業量產開發；配合電子資訊、通訊、家電

等 3C 產品發展，解決電子產品研發及量產的發展瓶頸；針對傳統(或基礎)產業技術，即時研發資源的投入，短期內產出有用的成果。

在人才培育方面：培育具跨領域、創造力、專業、創新科技、國際觀、智財權觀之優秀人才；建立自 K-12、大學、研究所、到終身學習之人才培育機制，擴大人力資源供給；鏈結產學橋樑，提供產業技術，人才資料庫，供產業所用；並改進我國跨領域教育之典範，提供終身學習之工具。

## 參、推動小組推動情形

推動小組於過去三年十個月內由於能夠配合會裏各項政策，同時又與其他部會密切合作，因此整體推動成果可稱豐碩，幸能不負國科會對本小組之期望。本計畫十個月期間依序完成之要務有：協助工程處完成微機電領域國際會議之評選，91 年 3 月初成功舉辦「中英微機電與光電學術交流國際會議」，會議中並有英國科技大臣 Lord Sainsbury 來我國進行訪問及促進中英交流，同時此一會議之舉辦協助了台灣大學與英國 University of Newcastle upon Tyne 締結合作協定、及台灣大學工學院微機電中心與英國 University of Newcastle upon Tyne 中之 Institute for Nanoscale Science & Technology 建立合作同盟；協助國科會精儀中心完成微機電專書；協助國科會科學技術資訊中心完成奈米通識教材等等。對於此些成果本小組不敢厥功甚偉，但非常高興能不負國科會所託，協助推動國內微機電與奈米技術之順利進展。

除上述未在原先規劃計畫時所未預計之成果外，本小組完成之工作成效簡述如下：

### 一、匯集所屬推動小組所研究現況、國際發展趨勢等資料。

國科會 90 年於微機電系統下核定之一般型研究計畫計 46 件，補助金額 34,750,500 元；91 年一般型研究計畫計 50 件，補助金額 42,318,000 元；推動規

畫補助金額 70,756,900 元。研究範疇包含精密機械製造技術、微晶片系統、電場設計、奈米壓印微影術、奈米碳管等等領域。

我國當前於電子、光電兩個領域之高科技工業發展良好，然而全球所有高科技先進國家多早在十餘年前，便瞭解微機電科技與奈米技術將為系統整合之重要載具，除均早已極力推動微機電科技領域以及其相關產業，近年更是瘋狂搶先研發奈米科技。微機電技術在經過多年之努力後，已從單純的技術開發和推動製造技術，轉而步入成熟的實質應用模式，奈米技術更是浮出檯面，成為各國戮力開發之版圖。

欲使我國成為知識型的新經濟體系，並在全球市場取得一定的競爭力，及早發展微機電相關產業，使其從技術開發經由典範轉移到系統驅動，而後至市場拉遷(Market Pull)實為當務之急。有鑒於此，我國政府單位以及學業界在過去數年中，除先行逐步建構製造技術的支援結構，如工研院的微機電開放實驗室及國科會的三個微機電中心外，亦於二年前即已積極採取相關之配套措施，借鏡美國 DARPA 之成功範例，積極推動平台科技及系統，希望能使我國的微機電產業具有自設計，而製造，而檢測的全程技術與產業聚落(Cluster)。

由於微機電科技領域的發展典範已經從製造科技的改進，轉化成為利用系統平台作為驅動的型式，在過去幾年的微機電高峰會議的報告當中，業已清楚顯示我國在微機電領域及其相關產業中，將逐步邁向可掌握領先全球的系統應

用平台之目標，此亦為我國過去五年來於微機電系統推動方案之主要規劃方向。易言之，我國希望先以代工的架構來作為先期的規劃架構，同時進一步的利用代工所引導並產生的製程能力，來牽引領域應用之發展，並進而提供開發平台，以確保系統開發之高度彈性與競爭優勢。此科技發展架構的推廣與整體配合，在歷經了過去五年來國科會及經濟部共同合作的思考下，確立了產官學群一條鞭的知識供應鏈結構，也經由經濟部技術處科技專案、本推動小組和北中南三區微機電中心的設立，明確的訂定了我國微機電系統的逐步推動策略。

目前我國之奈米科技相關技術正在快速的起步與急起直追中。國科會推動中共有五項跨領域計畫，奈米技術是其中一項，而推動國家奈米中心成立更是當前的重要施政目標之一。目前我國政府、學界、產界除從事奈米科技的基本研究外，亦有不少學校及研究單位藉由國科會的產學計畫、跨領域的整合性計畫及經濟部的科技專案，來從事如能源、儲存、顯示等產業應用的研究，其目的均是希望能利用以系統需求來定義與驅動各子系統研發標的之典範，進而可迅速使奈米科技成長與茁壯。除此之外，我國產官學群均極力地欲將奈米科技與微機電技術作嘗試性的接軌工作，以求能使微機電系統對奈米材料之操控能力可得到最大之發揮；還有如何利用奈米材料之創新研發及特性，來推動及提昇微機電系統之性能，亦為當前全球所有相關產學研單位所戮力以共之目標。我國奈米技術與微機電的主要連結模式，始自 NEXUS 來我國訪問時與工研院之微機電與奈米科技相關規劃小組進行討論時開始成形。其結論是估計到西元

2005 年時，全球之奈米科技與微機電系統將可開始接軌，而且該份報告預計分子電子 (Molecule Electronics) 之技術將可望於 2010 年進入微機電與奈米科技之科技應用的範疇。由此可知屆時微機電與奈米技術的整合將是一個包括奈米材料、量子井(quantum well)、量子點(quantum dot)、單電子電晶體(single-electron transistor)、掃描儀、包含儲存、自我組裝等等的一完整跨領域研究範疇，同時也可預見其產業應用之廣泛及影響的深遠。

雖然這兩項技術的接軌我國起步較晚，但是和國外技術相比較，差距應在五年以內，所以只要我國政府及業界選定我國具有利基之未來產業來全力發展，迅速努力推動及研擬各項政策，在五年內應可迎頭趕上，如此乃可使得我國全球性的產業競爭力得以迅速提昇，並嘗試建立起前瞻性的技術。以美國策略大師麥可·波特應天下雜誌邀請講演「台灣該如何走出困境？」之專題中所言，經濟發展的三個成長階段可分為資源導向經濟，投資導向經濟，以及創新導向經濟。要成功地邁入最高等級的創新導向經濟，該國企業將需運用全球最先進的技術來創新產品和服務，並能深化產業聚落，如此若企業再能以獨特且放眼國際的策略來作全球競爭，方可使整體經濟的活力及應變能力得以抵禦外來的衝擊。以此些要素來進行分析，我國若能順利拓展微機電與奈米科技，深植並發揚這二項重要領域，當有可能使我國順利的從目前卡在投資導向經濟與創新導向經濟的尷尬局面脫困而出。

## 二、規劃所屬推動小組主要之研究重點及達成之策略

我國亟思整合微機電與奈米科技的整體策略，而由於奈米科技乃為自下而上的科技，同時為了使我國的微機電與奈米技術接軌後得以自主性的發展，具創新能力之人才的培訓當屬首要之務。其方法可包含舉辦技術論壇、國際研討會、或派員至國內外各單位接受訓練，並充分結合國科會與學界之分工整合特點，及產業界的育成創業，利用先期參與各項創新研究專案來進行合作。同時基於系統化需求及知識型經濟的特點，當從智財權(IP)策略來要求取得原創、應用、設計等一條鞭的整體競爭優勢來做思考核心。同時一待我國特定微機電與奈米科技應用或基本領域取得一定基礎，應可以對等、互補、共享的原則來進行國際合作。此一作法亦為目前由行政院科技顧問組在奈米科技及相關微機電領域所推動規畫的方向。

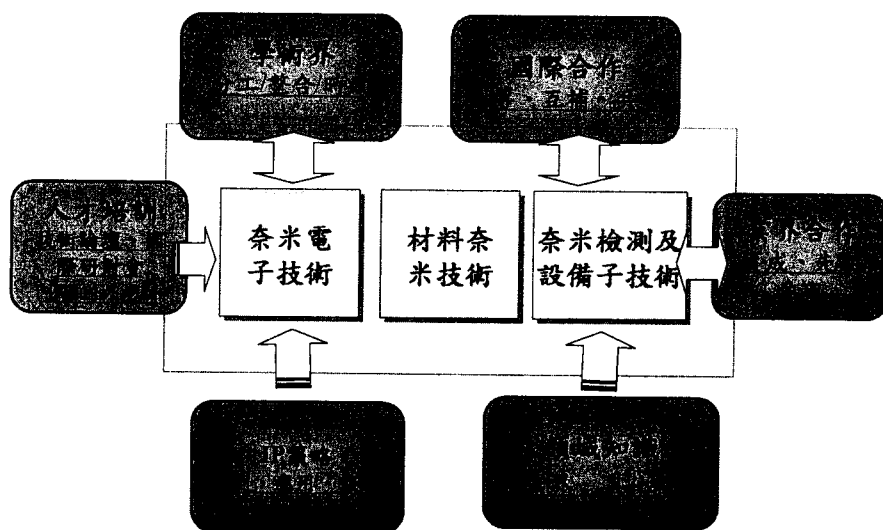


圖 2：奈米技術發展方向

如前所述，奈米研究除積極創新，重視基礎研究外，亦且要求得以系統載具為指標來作研發子系統的規格及方向，同時為避免貴重儀器的重覆購買進而造成資源的分散、浪費，要求貴重設備需共享以求達到研究資訊交流、互補也是一個亟需強調的重點。有鑒於我國許多研究機構及產業，大學、國科會之貴儀中心、同步輻射中心，甚至中研院都有很多適合奈米結構所需之良好設備可供大家充分利用，因此國科會微機電與奈米技術推動小組所推動，並於最初由北區微機電中心首先試辦成功，其後順利推廣至國科會中區及南區兩個微機電中心之「虛擬中心」理念與作法，殊值參考。該方法將實體中心建構成為開放實驗室，並以 ISO 標準建構所有設備技術文件，而後將機器使用時間上網，由業已經過訓練並通過考試取得自行操作資格的人員自行登記，並依使用時間計費。所有共同參與中心合作或協力的實驗室或研究單位，亦可遵循相同方法，將其設備登錄於中心網站中，依同樣的開放原則進行收費來作為儀器的維護及升級費用。省思多數貴重儀器若置於單一實驗室中，一般的只有低於 10% 的使用率，此一作法經實施之後，發現除了能節省資源外，提供虛擬中心運作的實驗室，亦可藉由此一登錄的準備動作達到管理及維護制度升級的目的，其正面影響及對我國科技與人才訓練等方面之衝擊是多層次且深遠的。目前已有許多我國學校及研究單位，基於此一利用共用中心來進行科技推動方法之有效性，正規劃適合其區域或學校發展所需之相關共用中心與共用實驗室，相信此一做法之全面推動，影響所及，將可對我國之大型科技計畫之投資與科技擴散所需之時間，均產生正面之影響。

依據行政院科技顧問組於奈米科技的規畫初稿，我國於此領域的發展，將採矩陣式的發展策略，一方面建構各種應用所須的平台技術，其中包含平台技術、檢測技術、材料與製程及理論/模擬。而在應用技術的選擇中，目前至少已規畫將包含儲能產業、光電與顯示器產業、高頻寬頻產業、高科技化傳統產業、半導體產業及生技產業等應用平台。同時為確立奈米產業的聚落效應得以迅速形成，因此在平台技術方面之發展策略為在檢測技術方面將確認許多奈米結構材料之檢測儀器需自行研發組裝，因此我國之機電、控制、及真空精密加工等週邊整合能力亦需同步加強。由於我國檢測工業並未居於全球領導地位，因此為精進國內檢測能量，需加強國際合作。審視自 1987 年美國 IBM 的研究人員以掃描電子穿隧電流顯微術 (Scanning Tunneling Microscopy)獲得諾貝爾獎以來，經全球研究人員所全力發展茁壯的各種掃描探針顯微術(SPM)，由於其具有原子解析度，可以檢測及操控多種奈米級表面特性，因此成為奈米科技中操控與檢測兩大領域的重要工具，殊值重視。再以麥可·彼特在「國家競爭優勢」中所提出的鑽石體系來看，一地個體經濟的巨大競爭要素：高品質與專業化的投入，鼓勵投資與激烈競爭的本地環境，來自本地需求的壓力與見解，及本地的相關與支援產業，迅速取得奈米科技的基本技術，並自製或研發精密設備，以形成完整的聚落效應，實是不可或缺的作法。

而在材料與製程，應迅速整合產、官、學界來進行奈米相關技術研發、扶植人力，並進行基礎設施的建構。同時再基於奈米科技的全球競爭化趨勢，我

國除了學術界應投入基礎研究外，國內產業界亦應援助研發提供載具目標，方可取得在知識經濟時代中日益重要的高科技產品早日商品化契機。

為了提供研發的方向及趨勢分析，在奈米科技的理論/模擬方面，應嘗試結合我國個人電腦及網路技術，發展高速平行運算叢集電腦，再以未來具有競爭力之奈米技術應用產業為載具，於產業研究機構整合學術界之理論及計算方法，將可發展獨具特色之多領域、多尺度耦合計算應用研究技術。如此或可協助我國相關產業作技術發展及人才培育的工作。

### 三、提出所屬推動小組與其他學門或國際合作研究、突破技術瓶頸之構想

比利時 IMEC 與國科會於前年簽署一項合作協定，預計規劃異地學術交流研究案，內容為交換或單邊輸出博士班學生至對方研究中心從事研究工作，擬相互交流之研究領域為系統晶片、通訊及微機電/奈米等。工程處遂透過本推動小組尋覓國內各大專院校於此些領域有意願進行異地交換的研究生。目前此一構想已然成行，由台灣大學應用力學研究所張培仁教授所指導之博士班學生林弘萱先生首先扮演承先啟後之任務，隻身前往 IMEC 進行研究，藉由該生傳回之各種資訊，可知藉由國際合作計畫，將我國優秀年輕學者送往先進國家進行短期交流與學習，實可迅速彌補我國目前學生出國研習科技意願快速降低之缺憾。目前林弘萱先生適應良好，由於此例扮演承先啟後之角色，其成功推動的目前狀況來看，順利達成我國與比利時年輕博士班學生進行人才交流之目標，

當屬指日可期，相信如此一來，未來依循本例開拓我國與國際合作之作法勢必將更為頻繁。除此之外，林弘萱先生之順利成行，多虧國際合作處現任王處長偉中、前任楊處長啟航、及國合處傅先生顯達之順利推動與協助，方得克竟全功，特此致謝。

又，於 91 年 3 月「中英微機電與光電學術交流國際會議」中締結台灣大學與 University of Newcastle upon Tyne、台灣大學工學院微機電中心與英國 Institute for Nanoscale Science & Technology 的合作同盟，在此些合作同盟的建構與規畫下，我國亦可派員與英方互訪、乃至於交換研究員從事異地合作研究。透過跨國性的合作研究案，將可使我國突破閉門造車、畫地自限之窠臼，吸取國際視野與觀點，激發出不同的創新思維，以利突破可能之研發技術瓶頸。目前國科會北區微機電中心主任——台灣大學機械所張所鉉教授正積極規劃推動於今年六月左右，前往英國 Institute for Nanoscale Science & Technology 共同舉辦奈米與微機電技術相關之研討會。

#### **四、建立推動小組人才及設備現況資料庫**

本推動小組於去年（90 年）著手進行微機電與奈米人材資料庫的調查與匯整，藉由本次調查建構出「微機電與奈米技術領域專家資料庫」，預計可供行政院各部會推動「微機電與奈米技術計畫」聘任審查/審議委員、及相關顧問時作為參考。進行步驟首為寄發「微機電與奈米科技學者專家資料調查表」給國科

會工程處所屬各個學門，請各學門助理代為轉發給各學門下之精英人才。其後約莫花費一個月回收來自國內各大專院校之資料表，將符合微機電與奈米技術研究領域之學者專家資料收錄於資料庫中匯整。資料庫收集之項目計為姓名、國籍、畢業學校、目前服務單位、職稱、聯絡電話、傳真電話、電子郵件地址、專長、近五年主要研究主題、未來五年擬研究主題等，目前已收錄有 305 筆學者專家之詳細資料，本資料庫亦已上網至推動小組網頁中 (<http://mntat.iam.ntu.edu.tw>)，提供各方先進查詢各門領域之專家資料，及更新本身現有資料，而尚未儲存於資料庫中之各方先進亦可利用本網站登錄個人資料。

此專家資料庫的建立，係結合了國內最頂尖之專家學者及產業界人士，可望提供國科會一份全國最具權威性的專家資料名冊，有助於國家對未來各項重要計畫之顧問諮詢。目前此份資料庫可於 <http://mntat.iam.ntu.edu.tw> 中之【人才資料庫】中取得。

## 五、進行推動小組研究成果資料統計及評估

歷年本小組之年度成果報告，均與微機電及奈米科技協會之年會共同舉行。近年來，由於我國產官學研對於微機電與奈米科技之重視，因此相關領域之研討會與日俱增。為求統合研究成果及整合研討會來收到互相觀摩的機會，工研院所主辦之微系統科技研討會至 2001 年開始，亦與成果發表會暨年會整合共同舉行。去年 2002 年之規劃，還整合了成功大學與大陸浙江大學之雙邊研討

會一起舉行，並完滿成功。按照目前的規畫走向，則每年將可完成一本國內完整之微機電與奈米科技相關之研討會論文集，本小組於推動過程，均利用此論文集為基礎來進行初步之成果評估。目前雖然本小組已功成身退，但由於我國產官學研各界均已全力推動微機電與奈米相關技術和產業，而前述每年一次之研討會，亦已行之有年，目前儼然形成逐年由各校輪流舉辦之慣例，明年將由台灣大學主辦，微機電及奈米科技協會協辦，並由張所鎔主任擔任執行秘書，其成果可期。

#### **六、推動網站建置、英文簡介，並定時更新**

微機電與奈米技術推動小組網站已架設完成(<http://mntat.iam.ntu.edu.tw>)，其網頁內容包含推動小組簡介、研討會資訊、最新消息、相關網站、微機電與奈米人材資料庫及留言版等項目。其中小組簡介、研討會資訊、最新消息、相關網站均已完成並經有限度之開放測試後確認可順當運用。微機電與奈米人材資料庫資料亦已收集完畢，蒐羅了國內各大專院校於微機電與奈米科技領域相關人材資料，可謂是國內最新之人材資料庫總表。此一資料除依規定繳交國科會外，為能配合我國奈米科技人才庫建立之需要，將同時移轉奈米科技國家型計畫人才培育分項計畫使用，以求能使此一辛苦收集分析完成之資料庫，繼續成長與茁壯，並能更進一步的協助我國奈米人才庫之建立與培養。

#### **七、主協辦所屬推動小組上年度補助計畫之成果發表會，並編輯成年度成果要**

## 覽

微機電與奈米技術推動小組之成果發表會歷年均與微系統科技協會年會一同舉辦。90 年度之成果發表會與「第五屆奈米工程暨微系統技術研討會」合併，於 90 年 12 月 12、13 兩日假工研院中興院區 51 館舉行。91 年度之成果發表會則與「奈米工程暨微系統技術研討會」合辦，時間為 91 年 11 月 21、22 兩日假國立成功大學光復校區國際會議廳舉辦，整體會議我國產官學研各界均踴躍參加，成果豐碩。

### 八、與工程處同仁同研擬推所屬推動小組『專題計畫』複審委員名單

本小組每年均與工程處同仁共同審視『專題計畫』複審委員之出席及其協助工程處及推動小組工作之情形。除此之外，並針對複審委員之研究發表狀況作一統計，以確認複審委員之研究確能於我國微機電與奈米科技領域居於一定之領導地位。同時並於適當時間進行複審委員之調整，以避免有相同人員擔任複審委員過久之情形。

### 九、審查所屬推動小組相關案件

本小組每年均與『專題計畫』複審委員和工程處同仁，針對送入推動小組之所有研究計畫、出國申請等相關案件，進行推薦初審委員之工作，同時亦進行複審及申覆案件之處理。由於我國於微機電及奈米科技領域之研究工作日

增，過去十個月中，送入本推動小組之研究計劃申請案件數目實有急速增加之趨勢，將來此些計畫將依領域屬性，轉往其他學門進行審查。

## 十、協助工程處相關業務之推展

有鑒於國內學者參與微機電國際會議人數逐年增多，申請國科會國外差旅費補助的學者相當踴躍，國科會欲將微機電之相關國際會議作一統籌分類，以備將來國科會審理國內學者申請國科會出席國際會議經費補助時供作參考依據，工程處遂委託本推動小組協助調查微機電相關國際會議的重要性。本推動小組首先由網路資料及數位教授提供之會議資訊匯整出全球主要之微機電國際會議列表，再發函詢問國內多位微機電與奈米技術相關領域之專家學者，請其將列表中之會議依照重要性作一歸類，而後根據這些專家學者之意見，進行統計分析後，將所有領域相關國際會議進行分類，以利出國申請案件之審查之用，同時亦將公佈於推動小組之網站中，以供我國相關教授、研究人員及專家學者於申請出國時參考。

此些國際會議之分類原則，係採取以下四點分類原則：

### 一、極為重要

(1)我國為會員國，為維護國籍，我國必須派人參加之國際會議。

(2)具有高學術水準之國際會議，儘量不限制人數。

## 二、重要

(1)有發行國際期刊所舉辦之國際會議。

(2)對提昇我國之學術地位有重要助益之國際會議，應鼓勵參加，人數從優。

## 三、次重要

## 四、其他國際會議

依前述原則所得之分類清單，業已上呈工程處，以供工程處將來審查補助國內學者專家，申請參加微機電與奈米技術相關之國際會議國外差旅費時，有一完整之參考指標。

## 肆、未來展望

持續發展我國的知識經濟競爭力，國內各大研究單位無不競相投入奈米技術之研發，惟恐失之毫釐將差人千里。國科會工程處近年所接獲之奈米技術研究計畫申請案亦逐日倍增，如此蓬勃發展、欣欣向榮之情勢已超過本小組所能單獨承載之能量，因此勢必擴大規畫方能有合宜之架構來推動我國奈米科技之發展。目前奈米國家型科技計劃辦公室已於民國九十一年九月一日正式成立，以單一窗口來整合政府跨部會資源，「奈米國家型科技計畫」的推動亦於民國九十二年一月一日正式開跑，此一計畫預計將在未來六年內將投入二百三十六億元的經費。目前本小組所收集、整理、及分析完成之所有相關資料，均已移轉奈米科技國家型計畫相關子計畫使用。整個我國奈米相關計畫架構如圖 3 所示，包括：核心設施建制與分享計畫、人才資源與培育計畫、學術卓越計畫及產業化技術等四大分項計畫。有鑒於前述 MEMS 發展計畫之成功模式，奈米國家型科技計畫將再次整合教育部、經濟部、國科會、中研院、及各大學等研究單位，共同勾勒出我國奈米科技之基礎架構，從而促進奈米科技的快速發展。務必能協助我國走出傳統以製造業謀取低利潤的心態，進而迅速地反應中國大陸目前製造優勢之崛起。

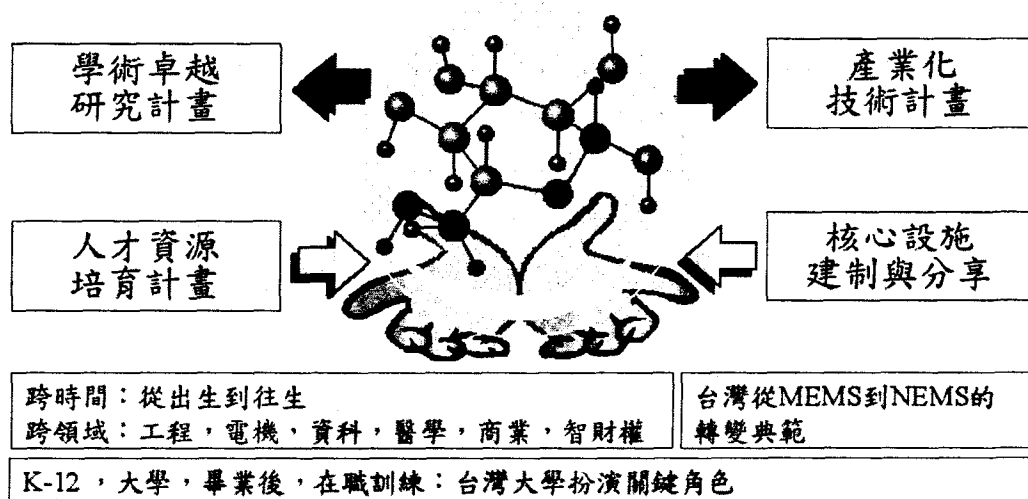


圖 3：奈米國家型科技計畫架構。

#### ◆ 建立核心設施與共享機制

為加速推動我國微機電系統技術之發展，國科會於民國 87 年在北部、中部、及南部各成立一區域性微機電系統研究中心，建立實作環境以解決學術機構普遍製程設備不足之問題，以及作為促進產學合作之管道。三個區域性微機電中心五年來國科會總共投入經費逾三億五千萬台幣，加上各校之配合款我國總共於此三個中心投入超過七億元之經費。一般而言，全球平均貴重儀器之使用頻率/工時通常均在 5% 左右，過去三年來，以國科會北區微機電中心為例，其共用貴重儀器之使用頻率/工時均已達到 80%。經由此三個中心所建立之 MEMS 製程儀器、無塵室設備、及技術能量，我國方能於學術領域追求並拓展系統應用面，同時不斷地提昇我國此一領域的競爭優勢；而在於儀器之高效率共用下，更可節省大量之重覆建置經費，使研究經費之使用更為充裕。

目前由教育部顧問室所推動之奈米科技區域人才培育中心計畫，於規劃過程中即希望引用我國微機電領域區域研究中心相關共用設施之推動經驗。推動過程中希望我國各區域大學或研究機構，結合其現有設備利用共用貴重儀器之空閒時間推動奈米相關人才與教學。易言之，該計畫希望複製前述我國推動微機電領域經驗中之乘數效應，進而以小搏大，以有限之資源創造最大之奈米人才培育效果。

#### ◆ 加強創新研發人材培育

我國 MEMS 發展計畫隨著 MEMS 公司的紛紛成立，由技術導向轉而成為市場導向，如此之轉變係來自於國內產業對教育單位及研發機構之殷殷期望。隨著企業成長的腳步，我國產業界已不再僅僅滿足於追求技術發展，進而希望追求包括：人事的訓練、個人的成長、以及新商機的探索。換言之，我國產業於此知識經濟時代，由於產業轉型之需求，因此需要更多具備組織系統觀念的工程師，並希望這些新一代之工程師能夠跨越傳統科學與工程學門的藩籬，並於科技訓練之餘能同時擁有商業宏觀與創造力之完整訓練。基於此一想法，我國在奈米科技國家計畫中，對於人才培育的規劃亦深刻體認到此種跨學門領域之需求，自學術及研究單位開始調整其腳步，以求順應全國觀念與需求的改變。

因為奈米科技被視為足以使台灣擺脫根深蒂固的傳統製造產業，迎向一個包含研發、製造、及行銷等宏觀視界之利器，許多新的推動計畫與方法正逐步到位，希望能更加速推動我國奈米科技人才的培育工作。基於科技研發之組織

結構，有如金字塔一般，基礎越寬廣則尖端越高，易言之，如果頂尖的研究人員可視為位於科學研究與知識開發金字塔之頂端，則一般社會大眾可視為支撐金字塔的重要基礎。根據這樣的信念，奈米國家型科技計畫中的人才培育計畫從啟蒙教育階段便開始，建立自 K-12(幼稚園到高中)、大學、研究所、到終身學習之人才培育機制，其中 K-12 的部份便企圖建立一般社會大眾對奈米科技之根本認知。其基本的想法在於，部份奈米科技的應用具備長足的影響，而現今的高中小年級生在不到十年之時間即將成為我國主力的研發人才，如何確保奈米科技能夠普遍深植人心將是一個非常重要的課題。事實上，媒體傳播者也是我國規劃奈米科技普及教育計畫中的重要合作團隊，如能藉由廣大媒體的管道將基礎之奈米科技知識傳播給一般社會大眾知悉，則快速推動我國奈米相關科普之訓練將大有可為。除此之外，為支援奈米國家型科技計畫的目標，在奈米科技人才資源培育的分項計畫中，確立了希望能於我國之奈米科技國家型計畫中成功訓練兩類人才之目標，第一種人才為：可從事或領導世界級的奈米科技研發計畫；第二種人才為：可辨識(Recognize)出潛在的商機，並引導或促進部份奈米科技的商業化。基於此兩類之人才培育目標，我國奈米科技國家型計畫中有關人才培育的跨領域議題，將需跳脫傳統跨領域所言之科學與技術的整合，進而要求能包括智慧財產權及市場行銷等更大範圍之領域整合，此一基本觀念的改變無疑地將對台灣各級教育的課程規劃產生莫大的影響。本小組有幸參與及協助此一重要國家型計畫之規劃，實感與有榮焉。

## ◆ 創造未來產業商機

整合我國領先全球之產業與相關之學術研究，進而提昇我國成為世界上奈米科技產業應用的領導者之一(圖 4)，乃是我國奈米科技國家型計畫之重要方向。為完成此一目標，在經費的投注上將分成三個時期：(1)短期內具有商業應用潛能的項目至少佔 20%，我國傳統產業將是此一部份的投注焦點；(2)對我國產業的未來競爭力具正面衝擊性的技術領域將佔 60%，且其發展路程圖(roadmap)以三至五年為期；(3)探索十年後具備應用潛能的研究最多將佔 20%之總經費，藉著促進產業界、學術研究單位、與國際研究團隊之通力合作，此類探索性計畫將嘗試全面加深我國的研發基礎。

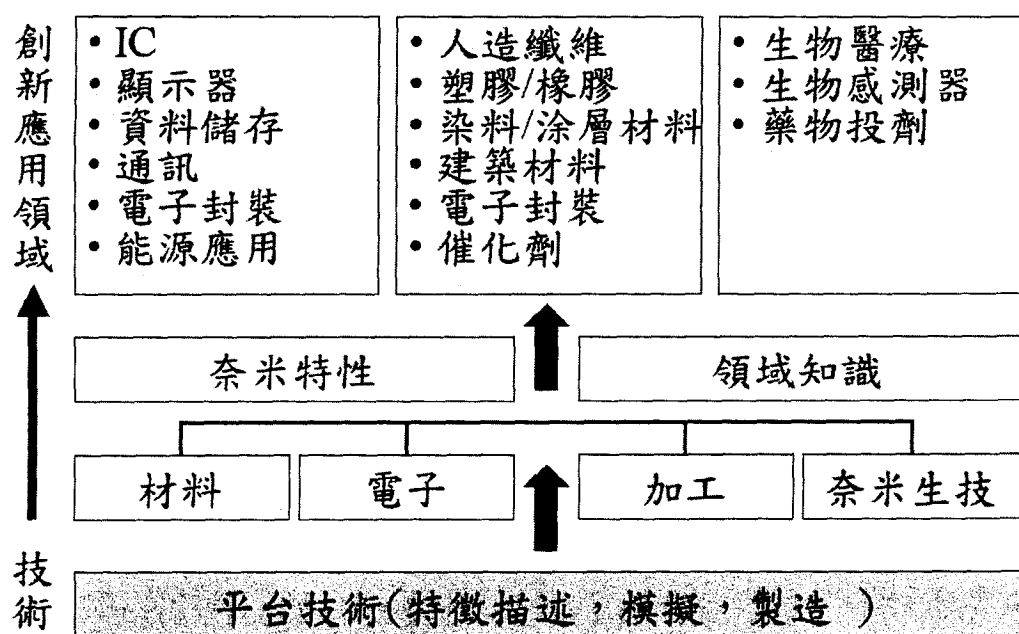


圖 4：產業化技術範圍。

## 伍、結語

過去三年十個月時間，本小組致力於完成工程處所交付之使命，協助推動國內微機電與奈米技術之研發與創新，除每年均舉辦微機電系統成果發表會，邀請國內專家學者就當年度之研發成果交換意見外，更因每年均依隨微系統協會之年會一同舉行，邀集到眾多產業界、學界學者及研究生等各方學者與技術人員共襄盛舉，其於會中相互切磋研究並迸發出創新結晶，更使得產官學研因此獲得共創合作研究之契機與產業技術之開創，可謂是一舉兩得。

整個推動小組深知欲使我國微機電與奈米技術能於近年內邁向國際先進國家之列且與各國並駕齊驅，必須掌握「知己知彼，百戰百勝」此自古要訣，故小組多位成員於兩年期間在國科會、工研院材料所、台灣大學等單位的安排下，數次分批出國考察國外奈米技術發展情形，前往之國家計有美國、大陸、丹麥等國家，同時亦邀請英國、日本等國之專家學者來台分享該國奈米領域之發展現況。針對創新研發想法、研究機構之建置與整合、未來推動方向等等相互交流意見，所得之成果可謂獲益良多。

在推廣微機電與奈米技術資訊至普羅大眾的工作上，整個推動小組亦是不遺餘力，90 年小組召集人李世光教授與本小組專任助理孫美芳小組合力收集資料、撰寫「初探我國發展奈米技術與微機電系統新興科技的人才培育與發展策略」，91 年小組召集人李世光教授、與本小組專任助理孫美芳小組、及北區微機

電中心胡毓忠博士共同撰寫「我國從 MEMS 到 NEMS 的發展策略」，均刊登於國科會科資中心出版之「科技政策報導」，另有國科會精儀中心邀集撰寫之微機電專書、國科會科資中心邀集撰寫之奈米通識教材。此些教材及文章之編撰均是希望將此兩門科技普及於世、深植人心，逐步形成全民通識教育，此想法亦與奈米國家型計畫中之人材培育理念接軌，建立起我國 K-12 至專門人材之奈米人才培育路徑。

未來的世紀將是資訊、生醫及奈米三大技術的世紀，本小組雖已功成身退，但過去三年十個月來，整個小組竭盡所能致力於推動微機電與奈米科技朝向國際化之途邁進，除提昇技術至國際水準，亦希冀產業營運也能同步並進，並期許落實與深植於國人科普常識中。在這段日子全體成員經由大家兢兢業業的努力下，終能無負國科會所託之重責大任，完成促進微機電與奈米技術發展之階段性要務，的確深感榮幸。

## 陸、其他（附錄）

附錄(1)：學門網頁

附錄(2)：科資中心科技發展政策報導

附錄(3)：MEMS Summit 2001 出國報告

附錄(4)：MEMS Summit 2002 出國報告

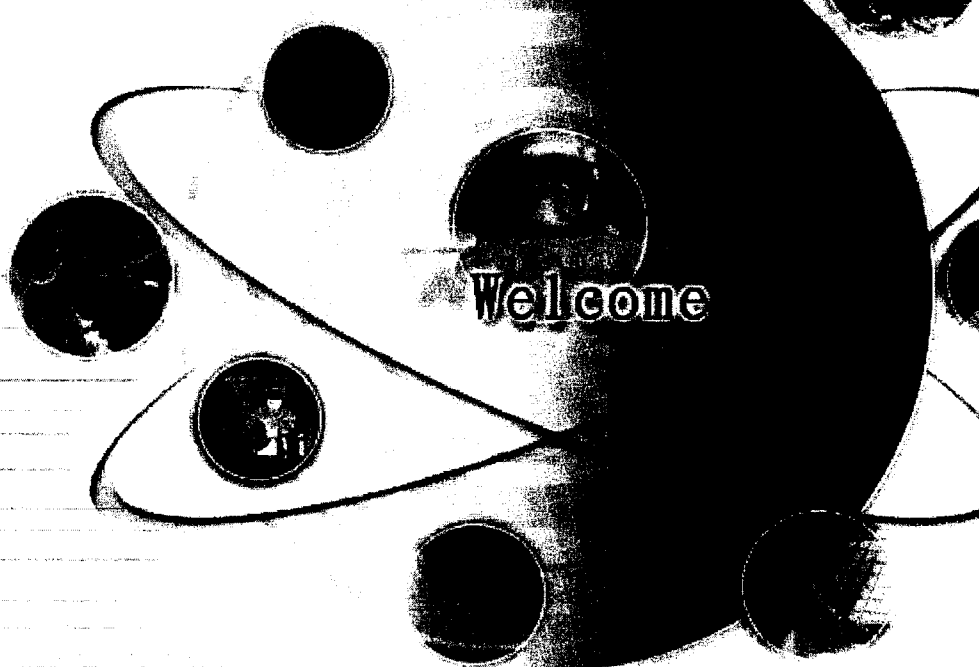
附錄(5)：中英研討會會議資料與會後報告

# 附錄(1)：學門網頁



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology



計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電 話:(02) 3366-5644

傳 真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

### ● 小組簡介

### ● 研討會

### ● 最新消息

### ● 相關網站

### ● 人才資料庫

### ● 留言板

### ● 網站導覽

### ● 回首頁

## 小組簡介

### ● 89年度通過之計畫清單

### ● 90年度通過之計畫清單

本計畫係為協助國科會研擬微機電推動小組未來之研究規劃重點，分究發展趨勢，並配合國內產業技術狀況，推動微機電推動小組之專題研究，助建立微機電推動小組相關之資料及人才庫，架設網站及協助審查工程處或研究申請等。

為推動並協助處理國科會工程處微機電推動小組之研究計畫，並分析趨勢，規劃技術研發重點以提昇技術創新研發能力。主要工作項目含：

1. 匯集所屬推動小組所研究現況、國際發展趨勢等資料。
2. 規劃所屬推動小組未來研究重點及達成之策略。
3. 提出所屬推動小組與其他學門或國際合作研究、突破技術瓶頸之構想。
4. 建立推動小組人才及設備現況資料檔。
5. 進行推動小組研究成果資料統計及評估。
6. 網站建置、英文簡介，並定時更新。
7. 舉辦推動小組座談會。
8. 主協辦所屬推動小組上年度輔助計畫之成果發表會，並編輯成年度成果彙編。
9. 與工程處同仁同研擬推所屬推動小組『專題計畫』複審委員名單。
10. 審查所屬推動小組相關案件。
11. 協助工程處相關業務之推展。

## 研究方法及進行步驟如下：

### 一、研究計畫之推動

廣邀國內學術界及研究機構積極提昇研究計畫，並召開計畫說明會。

### 二、產學研究交流與資訊網路

邀請國內學者、產業界、以及研究機構之專家組成規劃小組，推定召集人，同時聘請國內外專家、學者擔任顧問諮詢。並且進一步成立計畫中心研擬研究重點規劃，建立資訊網路，便利產學研究之資料交流，國內微機電產業之發展。

### 三、計畫的成果評估

為使研究心得及成果能互相交流，促成經驗之累積，國科會將聯合產業界、研究機構定期舉辦「講習會或成果研討會」，激集各計畫主持人

及參與人員報告研究成果。並將邀請產業界、研究機構、以及國內外學者，與會進行專題演講與討論。

#### 四、合作研習與課程研討

建立歐、美、日相關研究機構合作管道，遴選適當的教授與博士生前述機構短期研習，以取得相關技術。同時邀請國外專家學者到國內開期密集課程與研討會，使國人能迅速習得相關技術。

#### 五、預定進度甘梯圖 (Gantt Chart)

| 月次               | 第 1 月 | 第 2 月 | 第 3 月 | 第 4 月 | 第 5 月 | 第 6 月 | 第 7 月 | 第 8 月 | 第 9 月 | 第 10 月 | 第 11 月 | 第 12 月 | 備 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---|
| 工作項目             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 資料研討             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 規劃所屬推動小組未來研究重點   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 推動小組網站建置         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 建立推動小組人才及設備現況資料庫 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 審查所屬推動小組相關案件     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 技術報告整理           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |   |
| 預定進度累計百分比        | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100    |        |        |   |

計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電話:(02) 3366-5644

傳真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

- 小組簡介
- 研討會
- 最新消息
- 相關網站
- 人才資料庫
- 留言板
- 網站導覽
- 回首頁

## 研 討 會

### 國內研討會：

- The 1st International Meeting on Microsensors & Microsystems (January 2003) 
- 奈米材料與檢測技術研討會(December 23~24, 2002) 
- 奈米機電系統技術應用研習會(December 19~20) 
- 2002新竹材料奈米科技論壇(December 11~13, 2002)
- 傳統產業奈米技術應用研討會－奈米商機探索 (November 20~December 2002)
- 2002奈米工程暨微系統技術研討會 (November 21~22, 2002)
- Nanomizer 應用技術研討會 (November 19~22, 2002)
- 奈米技術及其於台灣製造業之應用與發展研習會(91年十月29~30日)
- 機光電構裝技術研討會(91年十月22日)
- 2002年微機電研討會(91年十月15, 17日)
- Asia SPM4 & Taipei Symposium on Nanotechnology (91年九月28日)  
(亞洲第四屆掃描探針顯微術暨台北奈米科技研討會)
- 奈米與微機電技術研討會(91年九月十日~十一日)
- 奈米生化技術國際研討會 (91年九月5日~6日)
- 亞洲第四屆掃描探針顯微術暨台北奈米科技研討會 (August 12~15, 2002)
- 奈米科技 - 建構微世界專題研習會 The Special Workshop of AMTE2002 (11日)
- 中英微機電與光電學術交流國際會議 (91年3月7~8日)

### 國外研討會：

- 2003 Nanotechnology Conference and Tradeshow, NanoTech 2003 (February 27, 2003)
- Micromachining and Microfabrication Symposia (January 25-31, 2003)
- Machines and Processes for Micro-scale and Meso-scale Fabrication, Measurement and Assembly (January 22-23, 2003) 
- 16th Annual IEEE International Micro Electro Mechanical Systems Conference (MEMS-03) (January 19-23, 2003) 
- COMMAD 2002- Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices (December 9~13, 2002)
- Nanoscale Science and Engineering NSF Grantees Conference (December 2002)
- Nanofair 2002: European Nanotechnology Symposium (November 25~26, 2002)
- ADVANCED TOPICS IN OPTOELECTRONICS MICRO & NANO TECHNOLOGY International Symposium on Education & Research (November 21-23, 2002)
- 30th International Automation, Instrumentation and Microelectronics Conference and Exhibition (November 19~23, 2002)
- 2002 International Microprocesses and Nanotechnology Conference (November 8, 2002)
- SEMI Europe Standards Conference and Meetings (October 28-30, 2002)
- 2nd Annual PHOTONIC NANOSTRUCTURES 2002 - Advancing Materials to the Next Generation of Light (October 24-25, 2002)
- MEMS Technology Workshop (October 23-25, 2002)
- Optoelectronics Packaging and Micro-Optoelectromechanical Systems (October 2002)
- MME 02: The 13th Micromechanics Europe Workshop (October 6-10, 2002)
- Asian Symposium on Nanotechnology and Nanoscience (September 27-29, 2002)
- MEMS Content at Sensors Expo & Conference Fall 2002 (September 24-26, 2002)
- Integrated Nanosystems 2002 (September 18-20, 2002)
- MNE 2002- 28th International Conference on Micro- and Nanoengineering (September 16-19, 2002)
- Trends in Nanotechnology 2002 (September 9-13, 2002)

- 2002 Symposium on MEMS & Network Security Technology (September 6-7, 2002)
- 4th Advanced Technology Workshop on Packaging of MEMS and Related Micro Nano Systems (September 6-8, 2002)
- IEEE-NANO 2002 (August 26-28, 2002)
- 2002 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMs (MOEMS) 19-23 2002)
- International Conference on Micro & Nano Systems, ICMNS 2002 (August 14, 2002)

計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電話:(02) 3366-5644

傳真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

Last Update:  
本網頁由 米亞



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

- 小組簡介
- 研討會
- 最新消息
- 相關網站
- 人才資料庫
- 留言板
- 網站導覽
- 回首頁

### 最新消息

- [奈米機電系統技術應用研習會](#) 
- [國家奈米元件實驗室積體電路製程技術寒假訓練班暨半導體設備見習班](#) 
- [演講: Nano/Micro Technologies for Single Molecule Manipulation and Detection \[12/16/2002\]](#) 
- [奈米碳球研發聯盟成立](#) [14/11/2002]
- [高效能且全自動化的『奈米元件參數萃取與設計最佳化模擬軟體』](#) [28/10/2002]
- [演講: Large array all-optical crossconnects based on MEMS digital switch](#) [24/10/2002]
- [奈米國家型科技計畫 92年度學術研究公開徵求計畫構想申請案通過](#) [16/10/2002]
- [九十二年度晶片系統國家型科技計畫公開徵求學術研究計畫](#) [30/09/2002]
- [92年補助科技人員赴國科會所屬研究機構短期研究開始接受申請](#) [20/09/2002]
- [國家奈米元件實驗室暨國家晶片系統設計中心南區辦公室開幕](#) [20/09/2002]
- [國科會「補助提升產業技術及人才培育研究計畫」\(91年第二期\)申誼](#) [23/08/2002]
- [演講: Moving from MEMS toward NAMS 何志明院士, 9/4 am10:00~12:00](#) [28/08/2002]
- [國科會北區微機電中心新開辦ICP訓練及檢定課程](#) [20/08/2002]
- [【奈米國家型科技計畫】92年度學術研究公開徵求計畫](#) [16/08/2002]
- [國科會自然處「整合型研究計畫構想申請案」請於十月三十一日前提出](#) [01/08/2002]
- [國科會微機電學與奈米技術推動小組成立](#) [22/07/2002]

- 國科會微機電學與奈米技術推動小組公告 [25/07/2002]
- 「補助國內專家學者出席國際會議學術會議系統」 [28/06/2002]
- 91年度補助「提升產業技術及人才培育計畫」作業流程圖及相關表格 [28/06/2002]
- 國科會補助參加MEMS國際會議之補助原則 [24/05/2002]  
※各位先進可上國科會工程處網頁查閱出席國際會議案：<http://www.nsc.gov.tw/eng/Form>
- 國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫即日起開始受理申請 [02/05/2002]
- 本會補助91年度專題研究計畫,自即日起開始接受申請 [02/05/2002]

計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電話:(02) 3366-5644

傳真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

Last Update: 2002

本網頁由 米亞科技



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

### ● 小組簡介

### ● 研討會

### ● 最新消息

### ● 相關網站

### ● 人才資料庫

### ● 留言板

### ● 網站導覽

### ● 回首頁

### 相關網站

- [行政院國家科學委員會](#)
- [國科會北區微機電中心](#)
- [國科會中區微機電中心](#)
- [國科會南區微機電中心](#)
- [台灣大學應用力學研究所](#)
- [國家 奈米元件實驗室](#)
- [交大半導體中心](#)
- [工研院微系統技術中心](#)
- [國科會精儀中心奈米技術研究室](#)
- [中華民國微系統暨奈米科技協會](#)

計畫主持人:李世光教授

電話:(02) 3366-5644

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

專任助理:孫美芳小姐

傳真:(02) 3366-565

Last Update: 2002/12/27  
本網頁由 [米亞科技](#) 設計建置



國科會微機電與奈米技術推動小組  
MEMS & Nanotechnology

● 小組簡介

● 研討會

● 最新消息

● 相關網站

● 人才資料庫

● 留言板

● 網站導覽

● 回首頁

## 人才資料庫

[人才資料庫首頁](#) | [查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資](#)

MEMS & Nanotechnology

## 歡迎進入人才資料庫

請選擇以下功能

[查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資料庫總覽](#)

計畫主持人:李世光教授

電話:(02) 3366-5644

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

專任助理:孫美芳小姐

傳真:(02) 3366-5654

Last Update: 2002/12/27

本網頁由 米亞科技 設計建置



國科會微機電與奈米技術推動小組  
MEMS & Nanotechnology

● 小組簡介

● 研討會

● 最新消息

● 相關網站

● 人才資料庫

● 留言板

● 網站導覽

● 回首頁

## 人才資料庫

[人才資料庫首頁](#) | [查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資](#)

歡迎進入人才資料庫查詢系統

(系統會針對您所填的欄位做查詢)

|                                     |                      |
|-------------------------------------|----------------------|
| 姓名：                                 | <input type="text"/> |
| 國籍：                                 | <input type="text"/> |
| 畢業學校：                               | <input type="text"/> |
| 專長：                                 | <input type="text"/> |
| 近五年主要研究主題：                          | <input type="text"/> |
| 未來五年擬研究主題：                          | <input type="text"/> |
| 服務單位：                               | <input type="text"/> |
| 職稱：                                 | <input type="text"/> |
| 聯絡電話：                               | <input type="text"/> |
| 傳真電話：                               | <input type="text"/> |
| 電子郵件：                               | <input type="text"/> |
| <input type="button" value="開始查詢"/> |                      |

計畫主持人:李世光教授

電話:(02) 3366-5644

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

專任助理:孫美芳小姐

傳真:(02) 3366-5654

Last Update: 2002/12/27  
本網頁由 米亞科技 設計建置



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

● 小組簡介

● 研討會

● 最新消息

● 相關網站

● 人才資料庫

● 留言板

● 網站導覽

● 回首頁

### 人才資料庫

[人才資料庫首頁](#) | [查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資](#)

### 歡迎進入人才資料庫新增系統

(請在此填入您想新增的人才資料)

|                                     |                      |                     |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|
| 姓名：                                 | <input type="text"/> | (例如：王小二(Wang, two)) |
| 國籍：                                 | <input type="text"/> | (例如：中華民國)           |
| 畢業學校：                               | <input type="text"/> |                     |
|                                     | (例如：成功大學 電機工程博士)     |                     |
| 專長：                                 | <input type="text"/> |                     |
| 近五年主要研究主題：                          | <input type="text"/> |                     |
| 未來五年擬研究主題：                          | <input type="text"/> |                     |
| 服務單位：                               | <input type="text"/> |                     |
|                                     | (例如：台灣大學化工系)         |                     |
| 職稱：                                 | <input type="text"/> |                     |
|                                     | (例如：教授兼系主任)          |                     |
| 聯絡電話：                               | <input type="text"/> |                     |
| 傳真電話：                               | <input type="text"/> |                     |
| 電子郵件：                               | <input type="text"/> |                     |
| 密碼(日後更改資料用)：                        | <input type="text"/> |                     |
| 確認密碼：                               | <input type="text"/> |                     |
| <input type="button" value="確定新增"/> |                      |                     |

計畫主持人:李世光教授

電話:(02) 3366-5644

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

專任助理:孫美芳小姐

傳 真:(02) 3366-5654



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

● 小組簡介

● 研討會

● 最新消息

● 相關網站

● 人才資料庫

● 留言板

● 網站導覽

● 回首頁

### 人才資料庫

[人才資料庫首頁](#) | [查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資](#)

請輸入您的Email及密碼以便確認

|                                     |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|
| 電子郵件：                               | <input type="text"/>     |
| 密碼：                                 | <input type="password"/> |
| <input type="button" value="登入修改"/> |                          |

[忘記密碼\(請按此與管理員連絡\)](#)

計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電話:(02) 3366-5644

傳真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:[mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw](mailto:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw)

Last Update: 2002/12/27

本網頁由 [米亞科技](#) 設計建置



# 國科會微機電與奈米技術推動小組

## MEMS & Nanotechnology

### ● 小組簡介

### ● 研討會

### ● 最新消息

### ● 相關網站

### ● 人才資料庫

### ● 留言板

### ● 網站導覽

### ● 回首頁

## 人才資料庫

[人才資料庫首頁](#) | [查詢人才資料庫](#) | [新增人才資料](#) | [修改人才資料](#) | [人才資](#)

以下是您查詢的結果：共307筆

| 姓名  | 服務單位          | 職稱    | 電子郵件                       |
|-----|---------------|-------|----------------------------|
| 莊作彬 | 大仁技術學院        | 講師    | tsobing@ksts.seed.net.tw   |
| 賴富德 | 大同大學 光電所及材料系  | 副教授   | fdlai@ttu.edu.tw           |
| 江文彥 | 大同大學化工系所      | 教授    | chiang@ttu.edu.tw          |
| 陳志成 | 大同大學生物工程系     |       | will@ttu.edu.tw            |
| 胡毅  | 大同大學材料系       | 教授    | huyi@ttu.edu.tw            |
| 曾信雄 | 大同大學材料系       | 教授    | sstzeng@ttu.edu.tw         |
| 李少白 | 大華技術學院化工系     | 副教授   | LSP@ET4.THIT.EDU.TW        |
| 涂耀國 | 大葉大學生物產業科技系   | 副教授   | poly2001@mail.dyu.edu.tw   |
| 洪子聖 | 中山大學          | 副教授   | jason@ee.nsysu.edu.tw      |
| 許子建 | 中山大學材料所       | 教授    | tjhsu@mail.nsysu.edu.tw    |
| 蘇安仲 | 中山大學材料科學研究所   | 教授    | acsu@mail.nsysu.edu.tw     |
| 蕭勝夫 | 中山大學資訊工程系     | 教授    | sfhsiao@cse.nsysu.edu.tw   |
| 王朝欽 | 中山大學電機系       | 教授    | ccwang@ee.nsysu.edu.tw     |
| 李明達 | 中山大學電機系       | 教授    | mklee@mail.ee.nsysu.edu.tw |
| 林吉聰 | 中山大學電機系       | 副教授   | jtlin@ee.nsysu.edu.tw      |
| 游明輝 | 中山大學機械系       | 副教授   | mhyu@mail.nsysu.edu.tw     |
| 楊儒  | 中山大學機械與機電系    | 教授    | yangru@mail.nsysu.edu.tw   |
| 袁中新 | 中山大學環境工程研究所   | 副教授   | ycsngi@mail.nsysu.edu.tw   |
| 湯相峰 | 中山科學研究院材料暨光電所 | 助理研究員 | shiangfengtang@yahoo.com.t |
| 李清庭 | 中央大學          | 教授    | t260003@cc.ncu.edu.tw      |
| 蔣孝澈 | 中央大學          | 教授    | stchaing@cc.ncu.edu.tw     |
| 陳郁文 | 中央大學化工系       | 教授    | ywchen@cc.ncu.edu.tw       |
| 張奉文 | 中央大學化工與材料工程系  | 教授    | fwchang@cc.ncu.edu.tw      |
| 陳登科 | 中央大學化工與材料工程系  | 教授    | tkchen@cc.ncu.edu.tw       |
| 費定國 | 中央大學化工與材料工程系  | 教授    | gfey@cc.ncu.edu.tw         |
| 楊思明 | 中央大學化工與材料工程系  | 教授    | smvang@cc.ncu.edu.tw       |

|                               |                 |        |                           |
|-------------------------------|-----------------|--------|---------------------------|
|                               | 科工程系            |        |                           |
| <u>高振宏</u>                    | 中央大學化工與材料系      | 教授     | crkao@ncu.edu.tw          |
| <u>陳暉</u>                     | 中央大學化學工程與材料工程學系 | 教授     | huichen@cc.ncu.edu.tw     |
| <u>諸柏仁</u>                    | 中央大學化學系         | 教授     | pjchu@rs250.ncu.edu.tw    |
| <u>陳培麗</u>                    | 中央大學光電科學研究所     | 副教授    | plchen@ios.ncu.edu.tw     |
| <u>李佩雯</u>                    | 中央大學電機工程學系      | 副教授    | pwli@ee.ncu.edu.tw        |
| <u>詹益仁</u>                    | 中央大學電機工程學系      | 教授     | yjchan@ee.ncu.edu.tw      |
| <u>蔡振瀛</u>                    | 中央大學電機工程學系      | 教授     | chyi@ee.ncu.edu.tw        |
| <u>辛裕明</u>                    | 中央大學電機系         | 副教授    | yhsin@ee.ncu.edu.tw       |
| <u>陳巍仁</u>                    | 中央大學電機系         | 助理教授   | wzchen@ee.ncu.edu.tw      |
| <u>李勝隆</u>                    | 中央大學機械系         | 教授     | shenglon@hotmail.com      |
| <u>林景崎</u>                    | 中央大學機械系         | 教授     | jclincom@rs250.ncu.edu.tw |
| <u>陳錦地</u>                    | 中央研究院化學研究所      | 副研究員   | cchen@chem.sinica.edu.tw  |
| <u>李超煌</u>                    | 中央研究院應用科學及工程研究所 | 助研究員   | clee@gate.sinica.edu.tw   |
| <u>李元堯</u>                    | 中正大學化工系         | 助理教授   | chmyyl@ccu.edu.tw         |
| <u>李文乾</u>                    | 中正大學化工系         | 教授     | chmwcl@ccunix.ccu.edu.tw  |
| <u>蔡敬誠</u>                    | 中正大學化工系         | 副教授    | chmjct@ccunix.ccu.edu.tw  |
| <u>黃國勝</u>                    | 中正大學電機系         | 教授     | hwang@ccu.edu.tw          |
| <u>鄭榮偉</u>                    | 中正大學機械系         | 助理教授   | imecheng@ccu.edu.tw       |
| <u>鄭友仁</u>                    | 中正大學機械研究所       | 教授     | imeyrj@ccu.edu.tw         |
| <u>夏筱明 (Sheau-Ming Shiah)</u> | 中正理工學院工學部       | 部主任    | shiahsm@ccit.edu.tw       |
| <u>曾培元</u>                    | 中正理工學院航空系       | 教授     | pytzeng@ccit.edu.tw       |
| <u>劉中和</u>                    | 中正理工學院航空系       | 教授     | chliu@ccit.edu.tw         |
| <u>陳東昇</u>                    | 中正理工學院電機系       | 副教授    | tschen@ccit.edu.tw        |
| <u>王孔政</u>                    | 中原大學工業工程系所      | 助理教授   | kungjeng@cycu.edu.tw      |
| <u>劉英麟</u>                    | 中原大學化工系         | 助理教授   | yliu@cycu.edu.tw          |
| <u>魏大欽</u>                    | 中原大學化工系         | 副教授    | tcwei@cycu.edu.tw         |
| <u>張德洲</u>                    | 中原大學化工所         | 教授     | tcchang@cycu.edu.tw       |
| <u>葉瑞銘</u>                    | 中原大學化學系         | 助理教授   | juiming@cycu.edu.tw       |
| <u>洪君維</u>                    | 中原大學電子工程系       | 助理教授   | jwhorng@cycu.edu.tw       |
| <u>丁 鏞</u>                    | 中原大學機械系         | 副教授    | yung@cycu.edu.tw          |
| <u>許政行</u>                    | 中原大學機械系         | 教授兼學務長 | chhsu@cycu.edu.tw         |
| <u>陳夏宗</u>                    | 中原大學機械系         | 教授     | shiachun@cycu.edu.tw      |
| <u>王權泉</u>                    | 中國文化大學紡織工程系     | 副教授    | ccwang@staff.pccu.edu.tw  |
| <u>林嘉全</u>                    | 中國文化大學電機系       | 副教授    | jclin@staff.pccu.edu.tw   |
| <u>鄭芳炫</u>                    | 中華大學資工系         | 教授     | fhcheng@chu.edu.tw        |
| <u>陳竹一</u>                    | 中華大學電機系         | 副教授    | jechen@chu.edu.tw         |
| <u>黃啓光</u>                    | 中華大學電機系所        | 副教授    | simon@chu.edu.tw          |

|            |               |           |                            |
|------------|---------------|-----------|----------------------------|
| <u>林君明</u> | 中華大學機械工程學系    | 教授        | jmlin@chu.edu.tw           |
| <u>陳春福</u> | 中華大學機械系/ 機航所  | 副教授       | cfchen@chu.edu.tw          |
| <u>孫德成</u> | 中華技術學院機械系     | 副教授       | sunder@cc.chit.edu.tw      |
| <u>孫逸民</u> | 中華醫事學院工安系     | 副教授       | swimming@mail.hwai.edu.tw  |
| <u>吳震裕</u> | 中興大學化工系       | 副教授       | jywu@dragon.nchu.edu.tw    |
| <u>林江珍</u> | 中興大學化工系       | 教授        | jjlin@dragon.nchu.edu.tw   |
| <u>徐善慧</u> | 中興大學化工系       | 教授        | shhsu@dragon.nchu.edu.tw   |
| <u>鄭文桐</u> | 中興大學化工系       | 助理教授      | WTCHENG@DRAGON.NCHU.       |
| <u>武東星</u> | 中興大學材料工程學系    | 教授        | dsw@dragon.nchu.edu.tw     |
| <u>吳宗明</u> | 中興大學材料系       | 助理教授      | tmwu@dragon.nchu.edu.tw    |
| <u>呂福興</u> | 中興大學材料系       | 副教授       | fhlu@dragon.nchu.edu.tw    |
| <u>林泓均</u> | 中興大學電機工程系     | 副教授       | hclin@dragon.nchu.edu.tw   |
| <u>洪瑞華</u> | 中興大學精密工程研究所   | 教授        | huahormg@dragon.nchu.edu.t |
| <u>方茂青</u> | 元培科學技術學院      | 助理教授      | mcfang@pc.ymit.edu.tw      |
| <u>尹庚鳴</u> | 元智大學化工系       | 教授        | cekenyin@saturn.yzu.edu.tw |
| <u>石型</u>  | 元智大學化工系       | 副教授       | CESS@SATURN.YZU.EDU.T      |
| <u>張幼珍</u> | 元智大學化工系       | 副教授       | yjchan@saturn.yzu.edu.tw   |
| <u>林錕松</u> | 元智大學化學工程系     | 助理教授      | kslin@saturn.yzu.edu.tw    |
| <u>林志民</u> | 元智大學電機系       | 教授        | cml@ee.yzu.edu.tw          |
| <u>李三剛</u> | 台中榮民總醫院放射線部   | 部主任       | skl@vghtc.vghtc.gov.tw     |
| <u>黃恆盛</u> | 台北科大機電整合研究所   | Professor | hshuang@ntut.edu.tw        |
| <u>楊重光</u> | 台北科技大學        | 副教授       | ckyang@ntut.edu.tw         |
| <u>趙豫州</u> | 台北科技大學        | 教授        | ycchao@ntut.edu.tw         |
| <u>鄭國彬</u> | 台北科技大學紡織工程系   |           | kbcheng@ntut.edu.tw        |
| <u>黃恆盛</u> | 台北科技大學機電整合研究所 | Professor | hshuang@ntut.edu.tw        |
| <u>黃榮堂</u> | 台北科技大學機電整合研究所 | 副教授       | jthuang@ntut.edu.tw        |
| <u>莊敏宏</u> | 台科大電子系        | 教授        | jmh@et.ntust.edu.tw        |
| <u>劉致為</u> | 台灣大學 電機系      | 教授        | chee@cc.ee.ntu.edu.tw      |
| <u>楊德良</u> | 台灣大學土木工程學系    | 教授        | dlyoung@hy.ntu.edu.tw      |
| <u>洪宏基</u> | 台灣大學土木系       | 教授        | hkhong@ccms.ntu.edu.tw     |
| <u>陳志傑</u> | 台灣大學公共衛生學院    | 教授        | ccchen@ccms.ntu.edu.tw     |
| <u>何國川</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | kcho@ms.cc.ntu.edu.tw      |
| <u>吳乃立</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | nlw001@ccms.ntu.edu.tw     |
| <u>吳紀聖</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | cswu@ccms.ntu.edu.tw       |
| <u>呂宗昕</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | chlu@ccms.ntu.edu.tw       |
| <u>陳文章</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | chenwc@ms.cc.ntu.edu.tw    |
| <u>陳立仁</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | ljchen@ccms.ntu.edu.tw     |
| <u>萬本儒</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | benzuwan@ccms.ntu.edu.tw   |
| <u>葛煥彰</u> | 台灣大學化工系       | 教授        | huan@ccms.ntu.edu.tw       |

|                           |                  |       |                                            |
|---------------------------|------------------|-------|--------------------------------------------|
| <u>邱文英</u>                | 台灣大學化工系暨材料系      | 教授    | ycchiu@ccms.ntu.edu.tw                     |
| <u>歐陽又新</u>               | 台灣大學生物產業機電工程系所   | 副教授   | ouyang@ccms.ntu.edu.tw                     |
| <u>黃坤祥</u>                | 台灣大學材料系          | 教授    | kshwang@ccms.ntu.edu.tw                    |
| <u>吳錫侃</u>                | 台灣大學材料所          | 教授    | skw@ccms.ntu.edu.tw                        |
| <u>呂學士</u>                | 台灣大學電機工程學系       | 教授    | sslu@cc.ee.ntu.edu.tw                      |
| <u>胡振國</u>                | 台灣大學電機工程學系       | 教授    | hwu@cc.ee.ntu.edu.tw                       |
| <u>張耀文</u>                | 台灣大學電機系暨電子工程學研究所 | 副教授   | ywchang@cc.ee.ntu.edu.tw                   |
| <u>傅立成</u>                | 台灣大學電機暨資訊工程學系    | 教授    | lichen@ccms.ntu.edu.tw                     |
| <u>周元昉</u>                | 台灣大學機械工程學系       | 教授    | yfchou@ccms.ntu.edu.tw                     |
| <u>張所鉉</u>                | 台灣大學機械工程學系       | 教授    | shchang@ccms.ntu.edu.tw                    |
| <u>藍國榮</u>                | 台灣大學機械所          | 博士候選人 | f89522812@ntu.edu.tw                       |
| <u>吳政忠</u>                | 台灣大學應力所          | 教授    | wutt@spring.iam.ntu.edu.tw                 |
| <u>李世光</u>                | 台灣大學應用力學所        | 教授    | cklee@mems.iam.ntu.edu.tw                  |
| <u>黃榮山</u>                | 台灣大學應用力學所        | 助理教授  | lshuang@mems.iam.ntu.edu.tw                |
| <u>張培仁</u>                | 台灣大學應用力學研究所      | 教授    | changpz@mems.iam.ntu.edu.tw                |
| <u>王文智</u>                | 台灣科技大學           | 教授    | wjwang@mouse.ee.ntust.edu.tw               |
| <u>陳秀美</u>                | 台灣科技大學           | 副教授   | hsiumei@ch.ntust.edu.tw                    |
| <u>黃炳照</u>                | 台灣科技大學           | 教授    | bjh@ch.ntust.edu.tw                        |
| <u>蔡大翔</u>                | 台灣科技大學           | 教授    | tsai@ch.ntust.edu.tw                       |
| <u>李明哲</u>                | 台灣科技大學化工系        | 教授    | mjl@ch.ntust.edu.tw                        |
| <u>李嘉平</u>                | 台灣科技大學化工系        | 教授    | cl@ch.ntust.edu.tw                         |
| <u>洪儒生</u>                | 台灣科技大學化工系        | 教授    | hong@ch.ntust.edu.tw                       |
| <u>廖德章</u>                | 台灣科技大學化工系        | 教授    | lian8484@yahoo.com.tw / lian@ch.ntu.edu.tw |
| <u>洪伯達</u>                | 台灣科技大學高分子系       | 教授    | poda@mail.ntust.edu.tw                     |
| <u>李俊毅</u>                | 台灣科技大學纖維及高分子工程系  | 教授    | jlee@tx.ntust.edu.tw                       |
| <u>葉正濤</u>                | 台灣科技大學纖維暨高分子系所   | 教授    | jyeh@hp730.tx.ntust.edu.tw                 |
| <u>朱 瑾 (Chu, Jinn P.)</u> | 台灣海洋大學材料工程研究所    | 教授    | jpchu@mail.ntou.edu.tw                     |
| <u>楊榮華</u>                | 永達技術學院電機系        | 副教授   | jhy@mail.nsysu.edu.tw                      |
| <u>邱 一</u>                | 交通大學             | 助理教授  | yichiu@cc.nctu.edu.tw                      |
| <u>張 翼</u>                | 交通大學             | 教授    | edc@cc.nctu.edu.tw                         |
| <u>張俊彥</u>                | 交通大學             | 教授兼校長 | cyc@cc.nctu.edu.tw                         |
| <u>郭雙發</u>                | 交通大學             | 教授    | sfguo@cc.nctu.edu.tw                       |
| <u>陳登銘</u>                | 交通大學             | 教授    | tmchen@cc.nctu.edu.tw                      |
| <u>葉清發</u>                | 交通大學             | 教授    | cfyeh@cc.nctu.edu.tw                       |
| <u>謝滄萍</u>                | 交通大學             | 教授    | hshieh@cc.nctu.edu.tw                      |

|            |                 |                  |                                                                                  |
|------------|-----------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <u>林恭如</u> | 交通大學光電所         | 副教授              | <a href="mailto:grlin@cc.nctu.edu.tw">grlin@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>林鵬</u>  | 交通大學材料系         | 教授               | <a href="mailto:panglin@cc.nctu.edu.tw">panglin@cc.nctu.edu.tw</a>               |
| <u>馮明憲</u> | 交通大學材料系         | 教授               | <a href="mailto:msfeng@cc.nctu.edu.tw">msfeng@cc.nctu.edu.tw</a>                 |
| <u>荆鳳德</u> | 交通大學電子工程<br>系   | 教授               | <a href="mailto:achin@cc.nctu.edu.tw">achin@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>鄭晃忠</u> | 交通大學電子工程<br>系   | 教授               | <a href="mailto:hccheng@cc.nctu.edu.tw">hccheng@cc.nctu.edu.tw</a>               |
| <u>吳重雨</u> | 交通大學電子工程<br>學系  | 教授               | <a href="mailto:cywu@alab.ee.nctu.edu.tw">cywu@alab.ee.nctu.edu.tw</a>           |
| <u>黃宇中</u> | 交通大學電子工程<br>學系  | 教授               | <a href="mailto:ychuang@cc.nctu.edu.tw">ychuang@cc.nctu.edu.tw</a>               |
| <u>李建平</u> | 交通大學電子系         | 教授               | <a href="mailto:cplee@cc.nctu.edu.tw">cplee@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>張國明</u> | 交通大學電子系所        | 教授               | <a href="mailto:kmchang@cc.nctu.edu.tw">kmchang@cc.nctu.edu.tw</a>               |
| <u>雷添福</u> | 交通大學電子研究<br>所   | 教授               | <a href="mailto:tflei@cc.nctu.edu.tw">tflei@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>周復芳</u> | 交通大學電信工程<br>學系  | 副教授              | <a href="mailto:christ@cc.nctu.edu.tw">christ@cc.nctu.edu.tw</a>                 |
| <u>邱俊誠</u> | 交通大學電機與控<br>制系  | 教授               | <a href="mailto:chiou@cc.nctu.edu.tw">chiou@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>徐文祥</u> | 交通大學機械工程<br>學系  | 教授               | <a href="mailto:whsu@cc.nctu.edu.tw">whsu@cc.nctu.edu.tw</a>                     |
| <u>陳仁浩</u> | 交通大學機械工程<br>學系  | 副教授              | <a href="mailto:chenrh@cc.nctu.edu.tw">chenrh@cc.nctu.edu.tw</a>                 |
| <u>呂宗熙</u> | 交通大學機械系         | 教授               | <a href="mailto:tsliu@cc.nctu.edu.tw">tsliu@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>許千樹</u> | 交通大學應用化學<br>系   | 教授兼研發長           | <a href="mailto:cshsu@cc.nctu.edu.tw">cshsu@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>龍文安</u> | 交通大學應用化學<br>系   |                  | <a href="mailto:loong@cc.nctu.edu.tw">loong@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>白嚙綾</u> | 交通大學環境工程<br>研究所 | 教授               | <a href="mailto:hlbai@cc.nctu.edu.tw">hlbai@cc.nctu.edu.tw</a>                   |
| <u>蔡春進</u> | 交通大學環境工程<br>研究所 | 教授               | <a href="mailto:cjtsai@cc.nctu.edu.tw">cjtsai@cc.nctu.edu.tw</a>                 |
| <u>鄧一中</u> | 光武技術學院          | 助理教授             | <a href="mailto:icdeng@mail.kwit.edu.tw">icdeng@mail.kwit.edu.tw</a>             |
| <u>許鈺宗</u> | 同步輻射中心          | 副研究員             | <a href="mailto:jtsheu@srrc.gov.tw">jtsheu@srrc.gov.tw</a>                       |
| <u>周澤川</u> | 成功大學            | 教授               | <a href="mailto:tcchou@mail.ncku.edu.tw">tcchou@mail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>林裕城</u> | 成功大學工程科學<br>系   | 助理教授             | <a href="mailto:yuclin@mail.ncku.com.tw">yuclin@mail.ncku.com.tw</a>             |
| <u>黃吉川</u> | 成功大學工程科學<br>系   | 教授兼國高南科分<br>部召集人 | <a href="mailto:chchwang@mail.ncku.edu.tw">chchwang@mail.ncku.edu.tw</a>         |
| <u>楊瑞珍</u> | 成功大學工程科學<br>系   | 教授               | <a href="mailto:rjyang@mail.ncku.edu.tw">rjyang@mail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>蕭世文</u> | 成功大學工業設計<br>系   | 教授               | <a href="mailto:swhsiao@sparc2.cc.ncku.edu.tw">swhsiao@sparc2.cc.ncku.edu.tw</a> |
| <u>林睿哲</u> | 成功大學化工系         | 副教授              | <a href="mailto:jclin@mail.ncku.edu.tw">jclin@mail.ncku.edu.tw</a>               |
| <u>洪昭南</u> | 成功大學化工系         | 教授               | <a href="mailto:hong@mail.ncku.edu.tw">hong@mail.ncku.edu.tw</a>                 |
| <u>郭炳林</u> | 成功大學化工系         | 教授               | <a href="mailto:plkuo@mail.ncku.edu.tw">plkuo@mail.ncku.edu.tw</a>               |
| <u>陳志勇</u> | 成功大學化工系         | 教授               | <a href="mailto:ccy7@ccmail.ncku.edu.tw">ccy7@ccmail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>陳東煌</u> | 成功大學化工系         | 副教授              | <a href="mailto:chendh@mail.ncku.edu.tw">chendh@mail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>陳進成</u> | 成功大學化工系         | 教授               | <a href="mailto:ccchen@mail.ncku.edu.tw">ccchen@mail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>陳慧英</u> | 成功大學化工系         | 副教授              | <a href="mailto:hueying@mail.ncku.edu.tw">hueying@mail.ncku.edu.tw</a>           |
| <u>劉瑞祥</u> | 成功大學化工系         | 教授               | <a href="mailto:jhliu@mail.ncku.edu.tw">jhliu@mail.ncku.edu.tw</a>               |
| <u>陳淑慧</u> | 成功大學化學系         | 教授               | <a href="mailto:shchen@mail.ncku.edu.tw">shchen@mail.ncku.edu.tw</a>             |
| <u>曹紀元</u> | 成功大學材料系         | 教授               | <a href="mailto:tsao_cya@mail.ncku.edu.tw">tsao_cya@mail.ncku.edu.tw</a>         |
| <u>許聯崇</u> | 成功大學材料系         | 助理教授             | <a href="mailto:lchsu@mail.ncku.edu.tw">lchsu@mail.ncku.edu.tw</a>               |

|                    |                |           |                              |
|--------------------|----------------|-----------|------------------------------|
| 張炎輝                | 成功大學材料所        | 教授        |                              |
| 黃文星                | 成功大學材料科學及工程系   | 教授        |                              |
| 丁志明                | 成功大學材料科學及工程學系  | 教授        | jting@mail.ncku.edu.tw       |
| 黃肇瑞                | 成功大學材料科學及工程學系  | 教授兼工學院副院長 | JLH888@mail.ncku.edu.tw      |
| 洪敏雄                | 成功大學材料科學及工程謝   | 教授        | mhhon@mail.ncku.edu.tw       |
| 鄭泗滄                | 成功大學航太工程系      | 教授        | stjenq@mail.ncku.edu.tw      |
| 高 騏                | 成功大學航太工程學系     | 教授        | gauc@mail.ncku.edu.tw        |
| 王覺寬                | 成功大學航太系        | 教授        | wangmr@mail.ncku.edu.tw      |
| 李定智                | 成功大學航太所        | 教授        | denz@mail.iaa.ncku.edu.tw    |
| 蕭飛賓                | 成功大學航空太空系      | 教授        | fbhsiao@mail.ncku.edu.tw     |
| 方炎坤                | 成功大學微電子所       | 教授        | ykfang@eembox.ncku.edu.tw    |
| 王永和                | 成功大學微電子所       | 教授        | wangyher@mail.ncku.edu.tw    |
| 王水進                | 成功大學電機工程學系     | 教授        | sjwang@eembox.ee.ncku.edu.tw |
| 劉文超 (Wen-Chau Liu) | 成功大學電機工程學系     | 教授        | wcliu@mail.ncku.edu.tw       |
| 郭泰豪 Tai-Haur Kuo   | 成功大學電機系        | 教授        | thkuo@msic.ee.ncku.edu.tw    |
| 黃振發                | 成功大學電機系        | 教授        | huajf@ee.ncku.edu.tw         |
| 賴源泰                | 成功大學電機系        | 教授        | ytlai@casdc.ee.ncku.tw.edu   |
| 羅錦興                | 成功大學電機系        | 教授        | robinluo@mail.ncku.edu.tw    |
| 陳元方                | 成功大學機械工程學系     | 教授        | ctyf@mail.ncku.edu.tw        |
| 褚晴暉                | 成功大學機械工程學系     | 教授        | chchue@mail.ncku.edu.tw      |
| 朱銘祥                | 成功大學機械系        | 教授        |                              |
| 黃聖杰                | 成功大學機械系        | 副教授       | jimppi@mail.ncku.edu.tw      |
| 張憲彰                | 成功大學醫學工程研究所    | 教授        | hcchang@mail.ncku.edu.tw     |
| 廖寶琦                | 成功大學醫學院環境醫學研究所 | 助理教授      | liaopc@mail.ncku.edu.tw      |
| 趙敦華                | 吳鳳技術學院         | 副教授       | jaw@sun5.wfc.edu.tw          |
| 王清松                | 亞東技術學院         | 副教授       | cswang@en.oit.edu.tw         |
| 何志傑                | 和春技術學院 電子工程學系  | 副教授       | jackho@center.fjtc.edu.tw    |
| 韓錦鈴                | 宜蘭技術學院化工系      | 教授        | jlhan@mail.ilantech.edu.tw   |
| 楊純誠                | 明志技術學院         | 副教授兼系主任   | ccyang@ccun.mit.edu.tw       |
| 蔡健忠                | 明新技術學院光電系統工程   | 副教授       | cctsai@mhit.edu.tw           |
| 李孝貽                | 明新技術學院光電系統工程系  | 副教授兼系主任   | leehy@mhit.edu.tw            |
| 陳啓文                | 明新技術學院電子系      | 副教授兼系主任   | cwchen@mhit.edu.tw           |
| 呂鴻猷                | 明新技術學院機械系      | 副教授       | hylu@mhit.edu.tw             |
| 王 曄                | 東海大學化工系        | 教授        | yehwang@mail.thu.edu.tw      |
| 杜景順                | 東海大學化工系        | 教授        | jsdo@mail.thu.edu.tw         |
| 張有義                | 東海大學化工系        | 教授        | vichang@mail.thu.edu.tw      |

|                             |                           |         |                                   |
|-----------------------------|---------------------------|---------|-----------------------------------|
| <u>楊怡寬</u>                  | 東海大學化工系                   | 副教授     | ikyang@mail.thu.edu.tw            |
| <u>呂芳懌</u>                  | 東海大學資訊工程<br>與科學系          | 副教授     | leufy@mail.thu.edu.tw             |
| <u>張文固</u>                  | 東華大學材料工程<br>系             | 助理教授    | wenku@mail.ndhu.edu.tw            |
| <u>張春田</u>                  | 虎尾技術學院光電<br>系             | 副教授     | spring@sparc.nhit.edu.tw          |
| <u>黃素真</u>                  | 虎尾技術學院光電<br>系             |         | june@sunws.nhit.edu.tw            |
| <u>華沐怡</u>                  | 長庚大學化工及材<br>料工程系          | 副教授     | huamy@mail.cgu.edu.tw             |
| <u>楊禎明</u>                  | 長庚大學化工與材<br>料工程系          | 教授      | jmyang@mail.cgu.edu.tw            |
| <u>張恒鴻</u>                  | 長庚醫院中醫分院                  | 副院長     | tcmchh@adm.cgmh.org.tw            |
| <u>李順裕 (Shuenn-Yuh Lee)</u> | 南台科技大學                    | 助理教授    | sylee@ns.eecs.stut.edu.tw         |
| <u>唐經洲</u>                  | 南台科技大學                    | 教授      | jjtang@cad1.eecs.stut.edu.tw      |
| <u>吳光閔</u>                  | 南華大學資管系                   | 副教授     | gmwu@mail.nhu.edu.tw              |
| <u>黃勝斌</u>                  | 建國技術學院                    | 副教授     | sbhwa@cc.ckit.edu.tw              |
| <u>金之業</u>                  | 修平技術學院                    | 學術交流處主任 | kingcy@mail.hit.edu.tw            |
| <u>劉宗宏</u>                  | 修平技術學院化工<br>系             | 助理教授    | liouth@mail.hit.edu.tw            |
| <u>吳允中</u>                  | 海洋大學光電科學<br>研究所           | 副教授     | b0190@mail.ntou.edu.tw            |
| <u>王星豪</u>                  | 海洋大學機械系                   | 副教授     | shwang@mail.ntou.edu.tw           |
| <u>馮介川</u>                  | 海軍軍官學校電機<br>系             | 助理教授    | ccfeng@mail.can.edu.tw            |
| <u>葉文冠</u>                  | 高雄大學                      | 助理教授    | wkyeh@nuk.edu.tw                  |
| <u>蔡振章</u>                  | 高雄大學應用化學<br>系             | 副教授     | tctsai@nuk.edu.tw                 |
| <u>楊誌欽</u>                  | 高雄海洋技術學院<br>微電子工程系        | 副教授     | chchyang@mail.nkimt.edu.tw        |
| <u>夏世昌</u>                  | 高雄第一科技大學                  | 副教授     | hsia@ccms.nkfust.edu.tw           |
| <u>馮榮豐</u>                  | 高雄第一科技大學<br>機械與自動化工程<br>系 | 教授      | rffung@ccms.nkfust.edu.tw         |
| <u>蔣元隆</u>                  | 高雄應用科技大學                  | 副教授     | yljeang@ms22.hinet.net            |
| <u>陳杏圓</u>                  | 國立海洋大學導航<br>與通訊系          | 助理教授    | chenhy@mail.ntou.edu.tw;l3115@ms3 |
| <u>徐鎮</u>                   | 國防大學中正理工<br>學院            | 副教授     | hsen@ccit.edu.tw                  |
| <u>陸儀斌</u>                  | 國防大學中正理工<br>學院            | 電機系副教授  | yibinlu@ccit.edu.tw               |
| <u>羅本吉吉</u>                 | 國防大學中正理工<br>學院機械系         | 副教授     | lwob@ccit.edu.tw                  |
| <u>潘扶民</u>                  | 國科會國家奈米元<br>件實驗室          | 研究員兼副主任 | fmpan@ndl.gov.tw                  |
| <u>吳文發</u>                  | 國家奈米元件實驗<br>室             | 研究員     | wfwu@ndl.gov.tw                   |
| <u>陳韶光</u>                  | 國家高速電腦中心                  | 副研究員    | c00ckc00@nchc.gov.tw              |
| <u>丁志華</u>                  | 國家毫微米元件實<br>驗室            | 副研究員    | jting@ndl.gov.tw                  |
| <u>吳世全</u>                  | 國家毫微米元件實<br>驗室            | 副研究員    | scwu@ndl.gov.tw                   |
| <u>黃調元</u>                  | 國家毫微米元件實<br>驗室            | 副主任     | twuang@ndl.gov.tw                 |

|                  |                            |        |                           |
|------------------|----------------------------|--------|---------------------------|
| 林鴻志              | 國家毫微米實驗室                   | 研究員    | hclin@ndl.gov.tw          |
| 謝和銘              | 崑山科技大學電子工程系                | 副教授    | hirming@mail.ksut.edu.tw  |
| 余宣賦              | 淡江大學化工系                    | 副教授    | hfyu@mail.tku.edu.tw      |
| 鄭廖平              | 淡江大學化工系                    | 教授     | lpcheng@mail.tku.edu.tw   |
| 康尙文              | 淡江大學機械工程學系                 | 助理教授   | david1@mail.tku.edu.tw    |
| 楊龍杰              | 淡江大學機械工程學系                 | 助理教授   | ljyang@mail.tku.edu.tw    |
| 張廖貴術             | 清大工程與系統科學系                 | 教授     | Lkschang@ess.nthu.edu.tw  |
| 呂世源 Shih-Yuan Lu | 清華大學化工系                    | 教授     | sylu@che.nthu.edu.tw      |
| 宋信文              | 清華大學化工系                    | 教授     | hwsung@che.nthu.edu.tw    |
| 周更生              | 清華大學化工系                    | 教授     | kschou@che.nthu.edu.tw    |
| 馬振基              | 清華大學化工系                    | 教授     | ccma@che.nthu.edu.tw      |
| 陳信文              | 清華大學化工系                    | 教授     | swchen@che.nthu.edu.tw    |
| 陳壽安              | 清華大學化工系                    | 教授     | sachen@che.nthu.edu.tw    |
| 張榮語              | 清華大學化學工程學系                 | 教授     | rychang@mx.nthu.edu.tw    |
| 戴念華              | 清華大學材料系                    | 教授     | nhtau@mse.nthu.edu.tw     |
| 楊長謀              | 清華大學材料科學工程系                | 教授     | acyang@mse.nthu.edu.tw    |
| 劉承賢              | 清華大學動力機械工程學系               | 助理教授   | liuch@pme.nthu.edu.tw     |
| 賀陳弘              | 清華大學動機系                    | 教授     | hocheng@pme.nthu.edu.tw   |
| 陳永昌              | 清華大學電機系                    | 教授     | ycchen@ee.nthu.edu.tw     |
| 黃錫瑜              | 清華大學電機系                    | 助理教授   | syhuang@ee.nthu.edu.tw    |
| 林仲廉              | 清雲技術學院                     | 副教授    | jlin@cyit.edu.tw          |
| 洪榮木              | 清雲技術學院電子系                  |        | hongrm@mail.cyit.edu.tw   |
| 吳石乙              | 逢甲大學化工系                    | 教授     |                           |
| 宋齊有              | 逢甲大學航空工程系                  | 教授     | cysoong@fcu.edu.tw        |
| 楊炳章              | 逢甲大學電子工程系                  | 副教授    | pcyang@fcu.edu.tw         |
| 楊文祿              | 逢甲大學電子系                    | 教授兼系主任 | wlyang@fcu.edu.tw         |
| 蔡宜壽              | 逢甲大學纖維與複合材料學系/逢甲大學奈米科技研究中心 | 教授/主任  | istsai@fcu.edu.tw         |
| 邱長垣              | 逢甲大學纖維複合材料學系               | 教授     | cchiu@fcu.edu.tw          |
| 馬榮華              | 陸軍官校機械系                    | 助理教授   | rh.ma@msa.hinet.net       |
| 林智玲              | 華梵大學電子工程學系                 | 副教授    | cllin@huafan.hfu.edu.tw   |
| 吳德和              | 雲林科技大學                     | 教授兼系主任 | wuth@pine.yuntech.edu.tw  |
| 呂有勝              | 雲林科技大學                     | 助理教授   | luys@pine.yuntech.edu.tw  |
| 吳煒               | 雲林科技大學 化工系                 | 副教授    | weiwu@pine.yuntech.edu.tw |
| 林君維              | 雲林科技大學工業管理系                | 副教授    | lincwr@cca.yuntech.edu.tw |
| 林堅楊              | 雲林科技大學電子系                  | 副教授    | linjy@pine.yuntech.edu.tw |
|                  | 雲林科技大學機械                   |        |                           |

|      |               |       |                             |
|------|---------------|-------|-----------------------------|
| 陳央注  | 系             | 副教授   | cheniy@flame.yuntech.edu.tw |
| 林智汶  | 雲科大化工系        | 教授    | lincw@yuntech.edu.tw        |
| 陳建平  | 勤益技術學院工管系     | 副教授   | chen504@ncit.edu.tw         |
| 李訓清  | 萬能技術學院        | 副教授   | htlee@cc.vit.edu.tw         |
| 黃俊哲  | 萬能技術學院化工系     | 助理教授  | jiunnjer@cc.vit.edu.tw      |
| 黃正自  | 萬能技術學院電子系     | 副教授   | jthuang@cc.vit.edu.tw       |
| 李中光  | 萬能技術學院環工系     | 教授    | anthony@cc.vit.edu.tw       |
| 謝志宏  | 經濟部技術處        | 研究員   | jhsieh@moea.gov.tw          |
| 梁明在  | 義守大學化學工程學系    | 副教授   | mtliang@isu.edu.tw          |
| 許志雄  | 義守大學材料系       | 副教授   | chsi@isu.edu.tw             |
| 楊誌欽  | 義守大學資訊管理學系    | 副教授   | chchyang@isu.edu.tw         |
| 王欽戊  | 義守大學電子工程學系    | 教授    | cwwang@isu.edu.tw           |
| 陳立軒  | 義守大學電子系       | 副教授   | lschen@isu.edu.tw           |
| 黃有榕  | 義守大學電子系       | 副教授   | yjhuang@isu.edu.tw          |
| 橫山明聰 | 義守大學電子系       | 教授    | yokoyama@mail.ncku.edu.tw   |
| 蘇水祥  | 義守大學電子系       | 副教授   | shsu@isu.edu.tw             |
| 王振乾  | 嘉南藥理科技大學      | 助理教授  | mccwang@mail.chna.edu.tw    |
| 李佳芬  | 嘉南藥理科技大學      | 教授    | D766@ms8.hinet.net          |
| 徐文平  | 嘉南藥理科技大學醫藥化學系 | 教授    | mjkr@ms39.hinet.net         |
| 黃明宜  | 實踐大學財務金融學系    | 副教授   | hmg@scc1.scc.edu.tw         |
| 賴永齡  | 彰化師範大學 機械工程學系 | 助理教授  | yllai@cc.ncue.edu.tw        |
| 許孟烈  | 暨南大學電機系       | 副教授   | sheu@ncnu.edu.tw            |
| 白偉武  | 臺灣大學凝態科學中心    | 助理研究員 | wpai@ccms.ntu.edu.tw        |
| 林峰輝  | 臺灣大學醫學工程學研究所  | 教授    | double@ha.mc.ntu.edu.tw     |
| 周卓明  | 遠東技術學院創造力中心   | 副教授   | joujm@cc.fec.edu.tw         |
| 蕭俊輝  | 黎明工專電子科       | 助理教授  | doctorhs@ms28.hinet.net     |
| 李昆益  | 黎明技術學院電子科     | 助理教授  | leeky@wistek.com.tw         |
| 李仁貴  | 龍華科技大學        | 專任副教授 | a2226757@ms16.hinet.net     |
| 胡天鐘  | 聯合技術學院        | 副教授   | tjhwu@mail.nlhu.edu.tw      |

計畫主持人:李世光教授

專任助理:孫美芳小姐

電話:(02) 3366-5644

傳真:(02) 3366-5654

10617 台北市羅斯福路四段一號 台大應用力學館433室

E-mail:mfsun@mems.iam.ntu.edu.tw

# 附錄(2)：科資中心 科技發展政策報導

# 我國從MEMS到NEMS的發展策略

李世光博士/ 台灣大學應用力學研究所教授兼任教育部顧問室奈米科技顧問

胡毓忠博士/ 行政院國科會北區微機電系統研究中心研究員

孫美芳/ 台灣大學應用力學研究所研究助理

## 壹、前言

經過四十年來不斷地致力於提昇技術產業的競爭力，如今我國已有許多產業的年產量或產值位居世界前三名。其中以IC專業代工廠(IC foundries)、液晶顯示器(LCD)、個人電腦或筆記型電腦、及掃描器等產業最為耀眼。在僅僅三萬六千平方公里的土地上，山地面積即佔了五分之三，由此觀之，我國的經濟絕非僅植基於有限之自然資源。高知識、重倫理、且專業的勞動力量一直是我國全球競爭之原動力，在此知識經濟時代，我國高等研究所教育亦隨著國家經濟的繁榮發展不斷亟思提昇其國際地位。深植於我國文化本質的尊師重道與敬老尊賢等想法，使得我國民間一向具有對知識與學者風範之尊崇，也正因為如此的文化優勢，我國得以在過去五十年間成功地發展成為世界之製造王國，這樣的文化典範在過去一直運行地相當成功。

成立於二十五年前的工業技術研究院(工研院)，經過多年的努力，目前已成長為一個擁有超過6000人，此強大研發單位過去數年致力於快速地將學術研究成果轉移至商業化產品，同時我國專業代工廠的成功亦已成為工研院之成就里程碑。然而中國大陸近十年來的經濟成長，挾其廉價勞動力之優勢，誠然引發全球低製造費用時代的快速來臨。隨著中國大陸儼

然成為全球新興的製造王國，全球性低製造利潤時代的來臨已無可避免。低製造利潤時代對全球所有國家均有基本面及產業開發典範之衝擊，我國鄰近中國大陸，所受之衝擊自是更甚。為了協助我國產業保持或加速提升其國際競爭力，並不斷提昇國民的生活水準，我國政府目前正積極推動產業技術提升、研發及產業典範轉移。為了確保國家科技發展所需之資源與投資能正確到位，政府於今年提出“挑戰2008國家發展重點計劃”，目的是為了打造我國成為綠色矽島，達到產業高值化、建立國際創新研發基地，並同時兼顧以人為本、永續發展之指導原則，故每一項列入國家科技重點計劃的項目均透過許多的策略會議推薦，並經過長達數月的審慎規劃與審查，一旦通過嚴格的審查後列入重點項目，隨即設立國家型計畫辦公室以負責協調所有跨部會的相關工作，且此些重點科技項目亦擁有爭取政府研發經費之最高優先權。奈米科技、系統單晶片(System-on-a-Chip, SoC)、及基因藥物(Genomeditine)等領域即被選定為促進我國持續向前邁進的三大平台，此三大平台亦被視為“挑戰2008國家發展重點計劃”之具體展望。

## 貳、MEMS及其知識供應鏈

由我國過去在微機電系統(MEMS)之發展策略、經驗累積、及目前的變革，或可一窺我國奈米科技發展計劃之遠景，並反映出台灣在邁向微米或奈米世界的一些基本思維。以知識供應鏈觀念為基礎的技術轉移方式，一直是佔我國企業總數98%以上之中小企業在發展MEMS產業的策略上不可或缺的準則，而培育MEMS產業乃為我國於MEMS發展計劃中的基本指導原則之一，因此為滿足技術轉移與產業發展所需，培養足夠且具跨領域專業背景的學生或工程師即為我國學術界及研發單位所特別強調之重點工作。體認MEMS代工與CMOS代工整體產業之密切關係，及為求延續我國長期以來矢志成為世界製造王國之基本產業思維，我國MEMS發展計劃乃以“Support Worldwide MEMS Fabless”為其準則(圖1)。易言之，我國意欲重現在CMOS專業代工的成功經驗，再次創造出世界上最優秀的MEMS專業代工中心，最近的統計資料顯示這樣的策略業已獲致初步成果。過去數月以來，一連串的巨額投資以及許多以MEMS為主要經營目標的新公司已陸續成立，充分顯示“MEMS專業代工中心”策略對我國MEMS相關產業的龍頭效應。同時由於MEMS公司如雨後春筍般地於極短之時間內成立(表1)，所以我國目前對於MEMS專業人才之需求實已非常殷切，因此我國在邁向高科技MEMS產業的路程上，正面臨到人才資源短缺的瓶頸。其實人才資源的短缺正是知識經濟時代所有國家於發展產業所面臨的普世課題，這應驗了我國“十年樹木，百年樹人”的傳統思想。

表1 台灣MEMS產業投資統計

| 應用產業別    | 公司數 | 投資額<br>(百萬美元) | 時間    | 產品                                                       |
|----------|-----|---------------|-------|----------------------------------------------------------|
| 光通訊與無線通訊 | 8   | 200           | 1997- | 光通訊元件<br>射頻(RF)元件<br>光纖波導(AWG)<br>感測器/OEM/ODM<br>噴墨頭/OEM |

參、開放中國大陸商品進口對我國產業的影響

爲加速推動我國微機電系統技術之發展，國科會於民國87年在北部、中部、及南部各成立一區域性微機電系統研究中心，建立實作環境以解決學術機構普遍製程設備不足之問題，以及作爲促進產學合作之管道。五年來國科會於三個區域性微機電中心總共投入經費逾三億五千萬台幣，加上各校之配合款，我國總共於此三個中心投入超過七億元之經費。透過此三個中心所建立之MEMS製程儀器、無塵室設備、及技術能量，我國乃得以精研學術並拓展系統應用面，同時不斷地提昇我國此一領域的競爭優勢。除了推動前述五大重點領域的發展外，三個區域微機電系統研究中心更分別強調個別的研发重

點，定位在通訊(北區)、半導體(中區)、及生物(南區)等。我國奈米國家型科技計畫中即強調之核心設施建置與分享機制之構想，亦多少啓蒙於此些區域研究中心之發展過程與成功經驗。三個區域研究中心所實施的訓練檢定課程與自行操作儀器的管理方式，為我國產業界培養了許多的研發工程師，在人才培育此一重點規畫上，可謂對我國新興微機電產業之成長功不可沒。受到三個區域研究中心在訓練與研發載具之成功典範所激勵，國科會亦已進一步要求三個區域研究中心推動合作性之團隊研發計畫，期望區域研究中心能在我國產業知識供應鏈中扮演知識供應者之要角。綜而言之，我國微機電領域之規劃、推動及其成長過程與經驗，對於目前我國奈米科技發展計畫影響深遠，舉例而言，目前由教育部顧問室所推動之奈米科技區域人才培育中心計畫，規劃過程中即希望導入我國微機電領域區域研究中心推動相關共用設施之成功經驗。

一般而言，全球平均貴重儀器之使用頻率/工時平均在5%左右，過去三年來，以國科會北區微機電研究中心為例，其共用貴重儀器之使用頻率/工時則可達到80%，相較之下，此一高達16倍之乘數效應，正是教育部顧問室在推動奈米科技區域人才培育中心時所希冀獲得之乘數效應，推動過程中更期望我國各區域大學或研究機構結合其現有設備，於共用貴重儀器之時酌加利用部份時間推動奈米相關人才與教學。易言之，該計畫希求複製前述我國推動微機電領域經驗中之乘數效應，進而以小博大，以有限之資源創造最大之奈米人才培育效果。

#### 肆、CMOS之優勢

過去這些年來，國科會微機電與奈米技術推動小組所規劃之BASIC重點領域發展策略與經濟部的策略規劃是一致的，整體規劃基本上要求我國政府各機構(圖2)間能有密切之互動關係，以利MEMS之成功發展。此些跨部會的密切合作關係顯示我國各界在推動如MEMS這樣的重大科技政策的齊心協力。同樣的，由於奈米科技已正式成為我國國家型科技計畫，未來的發展將更容易推動各機構間的合作關係，並可望求得最大之功效。整體回顧，2002年係我國MEMS六年發展計畫的一個里程碑，中研院微機電系統共同實驗室業已成熟營運，我國MEMS的相關製程技術可堪稱已進入成熟的階段。

如前所述，MEMS產品的製造從MEMS代工廠之眼光來分析，實與CMOS間存在著密不可分的關係(圖3)，這也是我國原先在規劃MEMS產業時，為何希冀能藉由與我國具優勢競爭地位的CMOS技術緊密結合來形成完整之國際競爭力。依此原則，由於微機電領域與奈米科技之緊密關係，如何充分運用我國成熟的CMOS技術能量，快速地将CMOS由上而下(Top-down)的加工法導入奈米技術中，自然是我國於規劃奈米國家型科技計畫時所採用的一個基本思維。

#### 伍、奈米國家型科技計畫

為持續發展我國的知識經濟競爭力，奈米國家型科技計畫辦公室已於民國九十一年九月一日正式成立，而整個整合政府跨部會資源來推動之「奈米國家型科技計畫」則將於民國九十二年一月一日正式開跑，預計在未來六年內將投入二百三十六億元的經費。整個計畫架構如圖4所示，包括：核心設施建置與分享計畫、人才資源與培育計畫、學術卓越計畫及產業化技術等四大分項計畫。有鑒於前述MEMS發展計畫之成功典範，奈米國家型科技計畫將再次整合教育部、經濟部、國科會、中研院、及各大學等研究單位，共同勾勒出我國奈米科技之研發基礎架構，進而促成奈米科技的快速蓬勃發展。為求台灣能夠走出傳統以製造業謀取低利潤的心態，並可迅速地反應中國大陸目前製造優勢之崛起，奈米國家型科技計畫的規

劃理念為(1)在學術研究上追求卓越並增加國際合作；(2)加強創新研發人才之培育與核心設施建置與分享，以建立穩固的研發基礎；(3)結合學術界的卓越研究與研發機構的快速商業化能力，得將介觀世界的特殊現象轉化為無窮的商機。除此之外，推動奈米科技成為國家型計畫的三個經濟面考量為(1)提昇傳統產業的國際競爭力；(2)維持或增進產業的領導地位；(3)建立明日之夢幻產業。為確保計畫的進行能上軌道，奈米國家型科技計畫所採用的方法為：以核心設施與分享機制的建立及人才資源的培育作為基礎，尋求快速的產業技術應用或商業化，並追求提昇奈米科技的學術卓越研究。由於奈米科技既深且遠的影響，我國奈米科技的所有領導與推動團隊，均在許多的規劃會議中一再地強調人才培育之重要性，因此人才資源培育的成敗將成為我國奈米國家型科技計畫成功與否之重要指標。

因為奈米科技被視為足以使台灣擺脫根深蒂固的傳統製造產業，迎向一個包含研發、製造、及行銷等宏觀視界之利器，許多新的推動計畫與方法正逐步到位，希望能更加速推動我國奈米科技人才的培育工作。基於科技研發之組織結構有如金字塔一般，基礎越寬廣則尖端越高；易言之，如果頂尖的研究人員可視為位於科學研究與知識開發金字塔之頂端，則一般社會大眾可視為支撐金字塔的重要基礎。根據這樣的信念，奈米國家型科技計畫中的人才培育計畫從啟蒙教育階段便開始，建立自 K-12(幼稚園到高中)、大學、研究所、到終身學習之人才培育機制，其中 K-12 的部份便企圖建立一般社會大眾對奈米科技之根本認知。其基本的想法在於部份奈米科技的應用具備長足且深遠的影響，而現今的高中小年級生在不到十年之時間即將成為我國主力的研發人才，如何確保奈米科技能夠普遍深植人心將是一個非常重要的課題。事實上，媒體傳播者也是我國規劃奈米科技普及教育計畫中的重要合作團隊，倘若能藉由廣大媒體的管道將基礎之奈米科技知識傳播給一般社會大眾知悉，則快速推動我國奈米相關科普訓練將大有可為。除此之外，為支援奈米國家型科技計畫之最終目標，在奈米科技人才資源培育的分項計畫中確立了希望能於我國之奈米國家型科技計畫中成功訓練兩類人才之目標，第一種人才為：可從事或領導世界級的奈米科技研發計畫；第二種人才為：可辨識出潛在的商機並引導或促進部份奈米科技的商業化。基於此兩類人才培育目標，我國奈米國家型科技計畫中有關人才培育的跨領域議題，將必需跳脫傳統跨領域之科學與技術整合的模式，進而要求能包括智慧財產權及市場行銷等更大範圍之領域整合，此一基本觀念的改變無疑地將對台灣各級教育的課程規劃產生莫大的影響。

在學術卓越計畫的規劃中明白指出(圖5)，將針對奈米材料、奈米量測與操控、功能元件、微/奈米機電系統、及奈米生物技術等五大領域，完成跨學科的整合。有關前述五大領域的研發需求，如(1)奈米材料的合成、模擬、與預測；(2)奈米尺度的探測與操控；(3)特殊功能性奈米元件、線路、介面、系統設計與製造；(4)微/奈米機電系統；(5)奈米生物技術等各方面的研發，在在均突顯出破除學科藩籬的重要性，而透過學術卓越計畫的執行，勢必可促進我國大學、研究單位及產業間的整合，並引導我國的研究人員走向世界奈米科技研究之最前端。如前所述，我國奈米科技計畫有三個經濟面的目標，因此在產業化技術分項部份，將整合我國領先全球之產業與相關之學術研究，進而提昇我國成為世界奈米科技產業應用的領導者之一(圖6)。為完成此一目標，在經費的投注上將分成三個部份：(1)短期內具有商業應用潛能的項目至少佔20%，我國傳統產業將是此一部份的投注焦點；(2)對我國產業的未來競爭力具正面衝擊性的技術領域將佔60%，且其發展路程圖

(Roadmap)以五年為期；(3)探索十年後具備應用潛能的研究最多將佔20%之總經費，藉著促進產業界、學術研究單位、與國際研究團隊之通力合作，此類探索性計畫將嘗試全面加深我國的研發基礎。

#### 陸、來自奈米國家型科技計畫之變革

由我國微機電領域從核心設施與共享機制建立之經驗來分析，北中南三區微機電系統研究中心、工研院共用實驗室到國內MEMS公司的成功創建，對於我國奈米科技的發展實有舉足輕重之影響。考量我國奈米科技業已成為我國之國家科技重點計畫，其在我國研究發展的各個層面上均將成為領航指標，微機電與奈米科技兩者之相互影響自將日益加深。過去成功孕育出我國半導體產業的工業技術研究院，已在民國九十一年一月成立了奈米科技研究中心，此中心在發展策略上主要著重於觀察與發掘微奈米世界的各種現象，並尋求方法衍生相關之奈米市場機會，在此過程中並希冀能快速地將國內的領導廠商導入奈米科技相關產業，並結合大學等研究機構來維持我國相關技術上之領先優勢。在工研院內，奈米材料及奈米電子已被列為核心計畫，即將建立一間開放實驗室，其中一半以上的空間將開放外界使用。目前工研院在奈米科技上所積極開發的能力包括有奈米粒子、奈米碳管、碳奈米容器、量子點雷射、以及用在商用氬氫電池上的能量儲存裝置--奈米交織結構分離器。奈米研究中心所有的設計與建置目前正積極的進行中，預計在2002年底按照計畫揭幕啓用後，此中心將成為工研院與國內外學術界密切結合的平台及催化劑。事實上，工研院將奈米科技視為其未來發展之重點標的，希望借著奈米科技和我國眾多一流大學建立協同研究，此種不同於以往之合作模式更清楚的點明了一奈米科技已經改變了我國的研究發展佈局。

為了強化一個由上而下(Top-down)的奈米科技發展策略基礎，CMOS和MEMS的整合在台灣奈米科技的進程規劃中仍繼續扮演著不可或缺之要角。由於MEMS即係一由上而下(Top-down)工法策略中之最佳選擇，加上三個國科會區域微機電系統研究中心及工研院共用實驗室亦逐漸的走入奈米科技領域，一些採取由下而上(Bottom-up)加工法策略的研究中心更是積極引入些許相關於奈米科技的研究主題。加速前述Top-down及Bottom-up兩種做法之整合，把現存及新興的中心整合在一個有效率的合作網路上，將可達到事半功倍之功效。

以位在台灣大學的國科會北區微機電系統研究中心為例，其所有相關於微機電的設備已建置完備，包括過去五年來所建立的微機電系統電腦輔助設計能力，到目前為止，已獲得超過1000位來自35學術機構與15家公司的使用者好評，所開設的訓練課程在2001年也提供了207堂課和1652小時的訓練時數，每日的儀器平均使用量達到5.4小時及40人次。倘若不考慮小規模(每堂課4~6個學生)的上機訓練課程，得以創造出如此成功的營運模式，關鍵因素在於整個管理系統藉由網際網路全面地電腦化。電子化的管理對於類似像使用者註冊、儀器使用、財務會計、使用說明文件和材料供應上相當具有效率，且透過網路註冊系統可使所有使用者擁有絕對公平的使用機會。這套微機電系統訓練環境被證實是相當卓越的示範平台，在策略上也如前所述，對於快速地培養工程技術人員進入我國微機電製造工業相當重要。除了訓練之外，北區微機電中心亦提供68位教授來參與相關研發工作，不僅僅在射頻(RF)微機電和微機電光學元件有顯著成果，台灣大學的生物微機電研發團

隊亦發展出表面電漿共振技術，此技術可以使用光學的方式高度靈敏地探測近場生物分子層。爲了延續技術發展，國科會工程處規劃要求三個微機電研究中心轉型加入奈米國家型科技計畫。爲求進一步加強所有成員的合作關係和持續推動奈米科技的發展，北區微機電中心已策略性地將通訊、顯示、及生物工業的應用導入奈米機電，而核心技術將著重於次微米到奈米等級的基礎原理、測量、操作、製造與元件上，範圍將包括奈米探測與奈米操控等。

最近於台灣大學成立的奈米研究中心 (NTU-NRC) 旗下包含有奈米機電研究中心，此一奈米機電中心乃是由北區微機電系統研究中心轉型而來，目的爲能進一步地整合科學、工程、電機、計算機科學、醫藥及農業各學院間的專門知識。此奈米研究中心之首要任務在於提供互動訓練課程與整合性研究計畫。台灣大學在2002年2月已正式推出奈米工程課程，開放登記選修此課程後，立即就有高達92位大學及研究生註冊，之後有數所國內大專院校仿效台大推出類似之課程；此外，奈米科學教育課程的規劃亦已完成，並在2002年9月開始授課。此兩個課程都強調實際科學與工程的互動訓練，以台灣大學的奈米科技研究能力來看，超過150位的師資，具備專長包括分子金屬導線、奈米孔洞材料、奈米粒子、量子點雷射、紅外線光感值測器、光子晶體、自旋電子學、奈米生物、奈米定位與操控等領域等，再加上許多高等學府在長期的研究活動中所獲得的領域知識和系統應用經驗，更使前述專長與優勢得以迅速落實。台大奈米研究中心的成功範例，更是被稱作台大創校以來首度由不同系所人員所共同參與之最大規模整合。

奈米科技在我國眾多一流研究型大學中快速成爲核心課程，其所造成影響的確是值得重視。以台灣大學爲例，台大傳統上將人文(Cultural literacy)與語言(Linguistic literacy)視爲是核心課程中的兩個重要基礎，然而隨著奈米與生物科技在這個世紀被視作是兩門將會重大改變世界的科技，以及現實科技發展所隱含的許多重要課題，如生物道德和新科技造成的社會衝擊，台大現在已經將科技學程(重點將包含奈米科技與生物科技)和訊息科技學程(強調基本的計算機技能)加入學校的核心課程之中。此決定明顯地反映出校方已打破了一般僅考量爲科技人才提供人文素養的訓練，同時此兩大學程的加入，顯示出科技知識已被認定是普羅大眾知識庫內相當重要的一環。易言之，人文、語言、科技和訊息科技必須要均衡地傳授與學習，才得以確保全體人民有足夠的能力去適應這急速變遷的世界。隨著核心課程的改變，也期盼我國大眾能夠理解、支持，或是能表達出他們對各種科技相關議題的關心，這將是驅動我國經濟與科技迅速向前邁進的原動力。隨著我國已經進入世界貿易組織(WTO)，成爲其會員國之一，上述來自於奈米科技所帶來的改變必然會發揮其全球性的影響力。

## 柒、結論

受到微機電系統計畫成功推展之啓示，核心設備之建置及其共享機制已被確立爲促進我國產官學研界緊密合作的一項利器。以奈米國家型科技計畫中“A catalyst to change everything(改變一切的催化劑)”之典範來考量，奈米科技正在逐步改變我國的一切，影響範圍包括教育、產業應用到研發，無所不包。順勢利導這股力量來推動我國產業從製造走向升級，進而行進到一個擁有自研發、製造、行銷、智財等方面均極有基礎，且能均衡發展的願景，奈米科技勢必對於我國甚至是包括

全世界民眾的日常生活帶來長期且持續之影響。奈米科技計畫明確的規劃了密切的國際合作，隨著我國朝向這個方向不斷地邁進，我們可確信的是，奈米科技不論是在科學上或是人文上無疑的都將成為我國與全世界互動的重要焦點。

### 致謝

在此感謝許多工作夥伴對筆者撰寫此篇文章的幫助，特別是採用了幾幅由台大應用力學研究所張培仁教授所整理之台灣微機電系統進展附圖。此外，還要特別感謝台灣大學副校長吳靜雄教授、台灣大學應用力學研究所吳政忠教授和吳光鍾教授，藉由與他們的討論中獲得了許多寶貴的意見與資訊。

### 參考文獻

Nanotechnology S&T Priority Program, Taiwan, ROC (in Chinese) (2002), National Science Council, Taipei, Taiwan, ROC; also on website <http://nsc.gov.tw>.

NNI (2000), "National Nanotechnology Initiative: The initiative and its implementation plan", National Science and Technology Council, Washington, D.C.; also on website <http://nano.gov/>

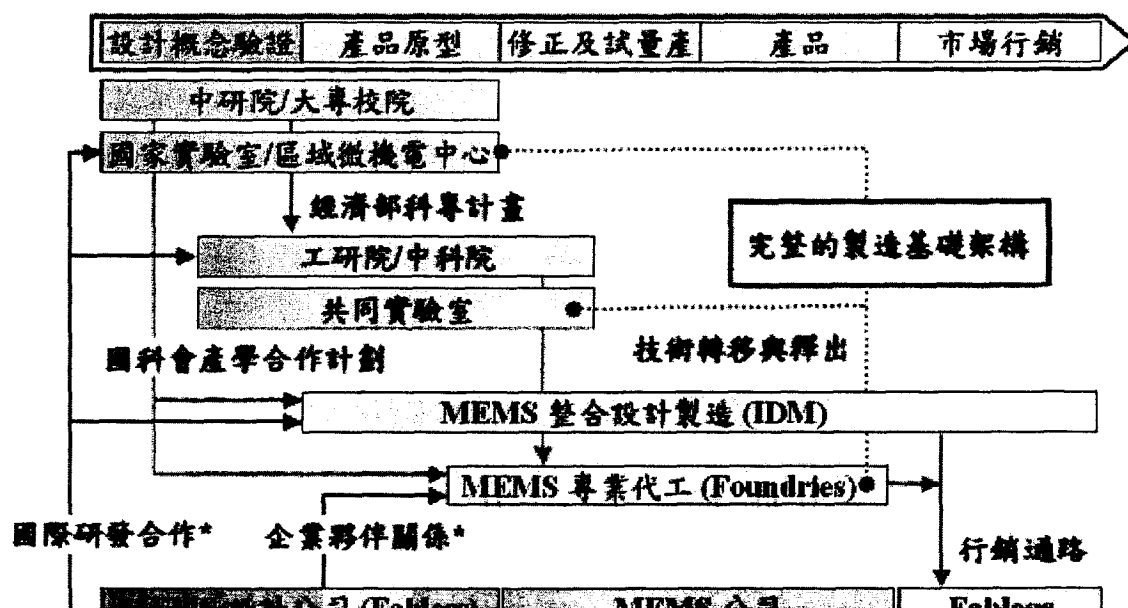
M.C. Roco, R.S. Williams and P. Alivisatos (2000), "Nanotechnology Research Directions", Kluwer Academic Publishers, 316 pages; also on website

<http://itri.loyola.edu/nano/IWGN.Research.Directions/>

註釋：1.MEM：Microelectromechanical System的縮寫，中文譯名為微機電系統。

2.NEM：Nanoelectromechanical System的縮寫，中文譯名為奈米機電系統。

3.CMOS：Complementary Metal-oxide Semiconductor的縮寫，中文譯名為互補金屬半導體電子元件。



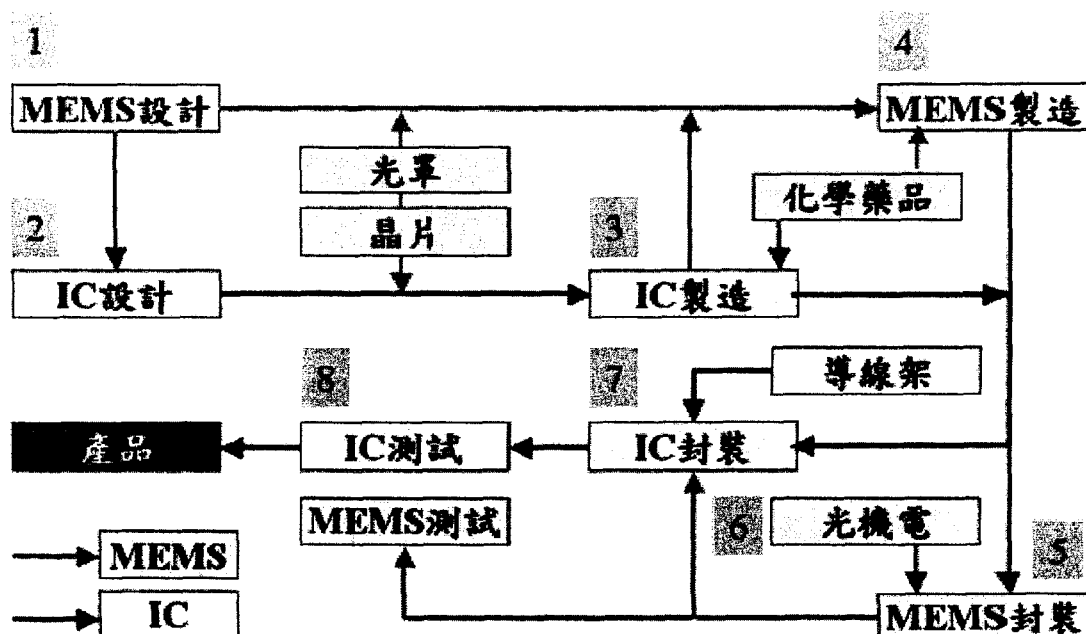
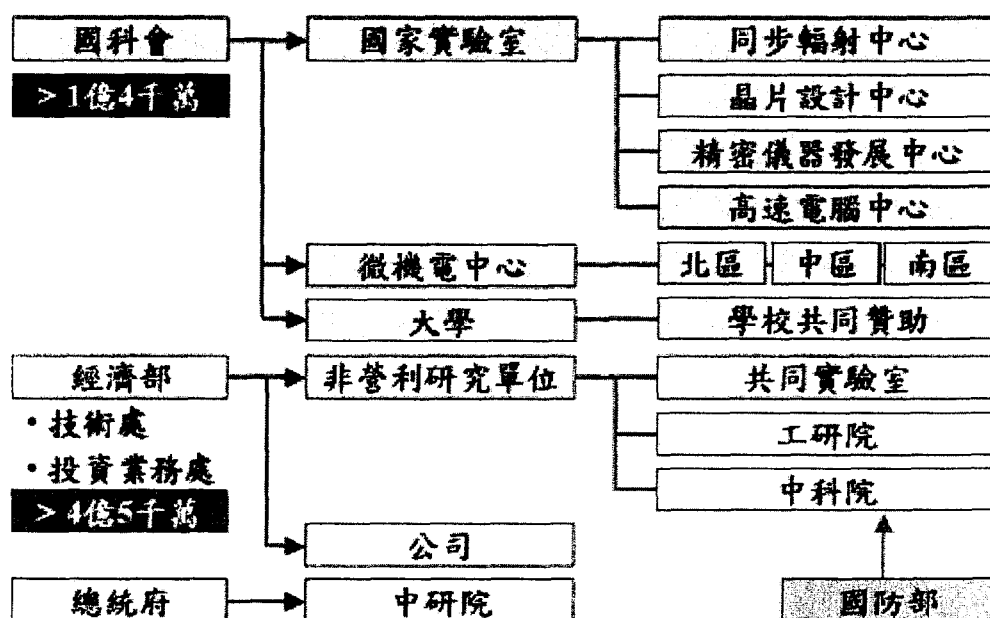


圖3 CMOS與MEMS加工程序整合

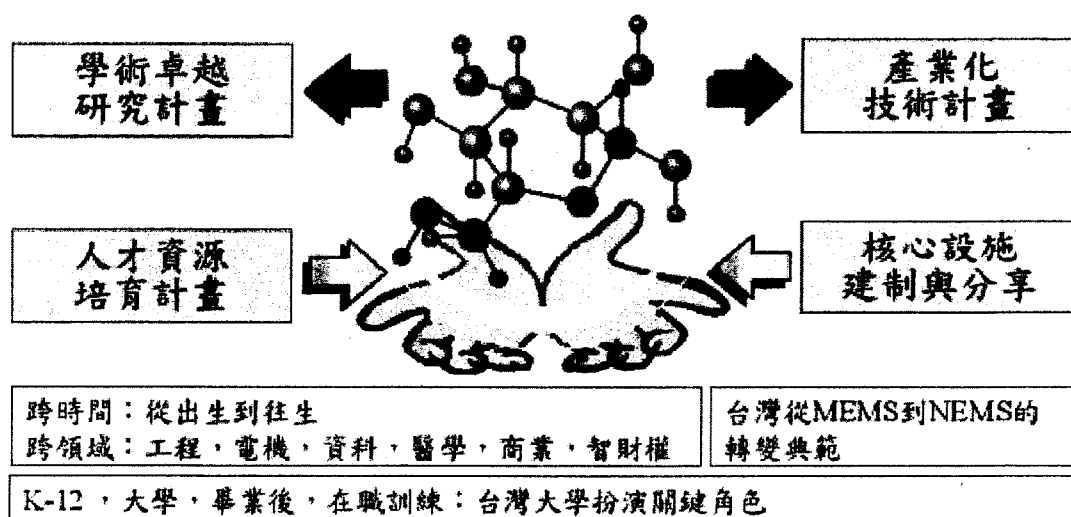


圖4 奈米國家型科技計畫架構



圖5 學術卓越計畫範圍

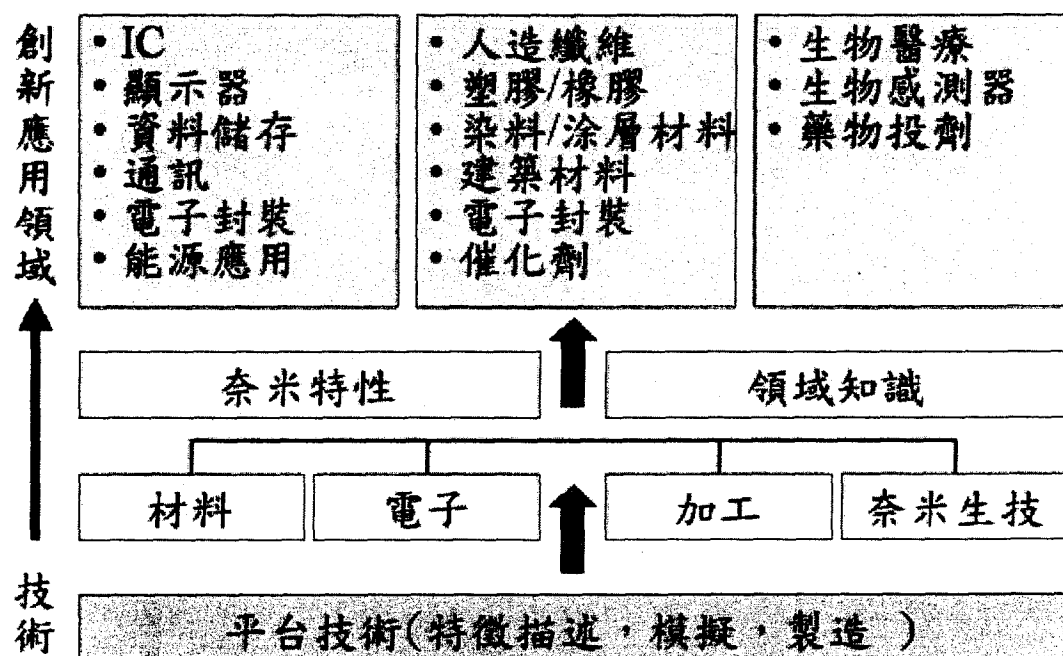


圖6 產業化技術範圍

:: back ::



# 初探我國發展微機電系統與奈米技術新興科技的人才培育與發展策略

李世光博士 / 國科會工程處微機電與奈米技術推動小組召集人

孫美芳 / 國立台灣大學應用力學研究所微機電系統研究群

## 壹、前言

此值全球各領域均快速走向跨領域科技整合之際，著名未來學家 Alvin Toffler 於 90 年代初期所著大未來中所言：「第三波高科技產業將使傳統中以“暴力 (Power)”、“財富 (Wealth)”及“知識 (Knowledge)”三足鼎立來爭取權益的模式，大幅移往以“知識”為主要重心。」如一記當頭棒喝般，清楚明白地預告，身處於二十一世紀當下，“知識”對我們而言已不限於一種智慧的累積，而是不可或缺的新經濟工具。美國麻省理工學院史隆管理學院院長 Lester C. Thurow 在其著作“Building Wealth”中提到，在以知識為主要生產資源之經濟體系中，只有擁有高學歷及高技術水準之從業人員才能增加實質所得。與 25 年前比較，擁有大學學歷之美國男性平均實質所得減少 3%；高中學歷減少 29%；高中輟學者減少 31%，擁有碩、博士學歷者則實質所得增加。十六年工作經驗所增加之實質所得，擁有大學學歷者減少 10%；高中學歷減少 21%。在同一時期內，高智力之工作人員 (IQ>120) 與低智力之工作人員 (IQ<80) 之所得差距也逐漸增大。

由收入變化之資料顯示，美國國內產業在過去 25 年來逐漸轉移到價值鏈中較具附加價值的部分：前端之設計與整合以及後端之行銷與技術服務。至於價值鏈中間的部分，需要較多低技術工作人員之產業，則外移到開發中國

家。所以美國國民整體所得增加，但低技術工作人員因工作機會減少，薪資反而降低。美國在 1983 年至 1995 年之間，最富有之 20% 區段國民之資產淨值由 81.3% 升高到 83.9%；其他區段則全部降低，也反映同一趨勢。以史為鏡，我國產業結構於過去十年來快速轉變，勞工與受薪階層的基本結構亦隨之丕變，其所得之變化趨勢基本上與美國的趨勢相同。在國家產業結構向價值鏈較具附加價值的方向變動時，具高知識能力／訓練的人員與不具高知識能力／訓練的人員之所得差距亦將隨之擴大。

以上資料傳遞一個明顯的信息：學習與創新能力對個人收入以及國家經濟發展之重要性逐漸提高，而有形資財（土地、設備、資金等）之重要性則逐漸降低。美國之教育方式重視創意及多方向思考，文化上強調獨立性及鼓勵發揮個人才能。這些觀念使美國在網際網路、電子商務、分子生物技術等需要大量小型創新公司的產業發揮極大優勢。相較之下，德國和日本在文化上較重視按部就班以及較不容許創業失敗，所以比較不容易產生小型創新公司。在重視創新能力勝於改善能力之新產業中，美國模式較容易享有高度投資效益。反過來說，對改善能力重於創新能力之製造業，如光學、精密機械、工作母機等，日本和德國模式較佔優勢。

再從知識供應鏈的眼光來看，高等教育學府實應體認到推動自身成為開發創新知識源頭之願景，乃是身處當前知識快速成長時代中責



無旁貸之責任。如何協助各種小型創新公司快速產生，再配合高科技／高創新產業等天生具有可快速經歷產業生命週期之基本特色，迅速確認其將來性與成長可能，進而由市場進行自然之淘汰與整合，實為推動一個國家快速轉換產業結構，並向高附加價值之價值鏈移動的重要典範。

## 貳、微機電與奈米技術分析

### （一）微機電系統

微機電系統的發展可上溯至二十年前；1965年諾貝爾物理獎得主理查·費曼（Richard Feynman）在1960年的一席演講中，清楚的勾勒出微機電系統發展之具體藍圖。拜半導體製程技術迅速發展之賜，80年代起微機電系統的研究也逐漸成熟。微機電系統之生產方式類似積體電路，基本上是以矽晶圓製程為主體再加上一些外加步驟。惟單一產品全球預期需求量都不大，除磁碟機讀寫頭和噴墨印表機噴嘴每年超過1億個外，大部分的微機電產品之年需求量目前都遠小於此數目。單就產量來看，微機電系統較接近ASIC，較不像DRAM；然而基本上設計、整合、行銷等較需要創新及快速反應能力的工作會有較高之經濟效益，純粹製造部分在未達到經濟規模前其效益較有限。因此若我國欲取得強勢的全球競爭力，長期來看即必需發展微機電系統之整體設計、開發與製造能力。但由於微機電系統的開發需要有大量的領域應用知識（Domain Knowledge），方能事半功倍。就我國科技整體而論，系統開發能力一向未能居於全球領導地位，因此就我國之科技工業於過去三十年的發展而言，均以由OEM（Original Equipment Manufacturing）製造逐漸升級轉向ODM（Original Design Manufacturing）為發展典範。依此眼光來看，逐步建立領域應用知識，同時迅速投入量產製造，如設立微機電代工廠（MEMS Foundry）等諸多使我國產業逐步邁向OIM（Original Innova-

tion Manufacturing）作法殊值深思，同時這也是過去五年我國國科會及經濟部推動微機電相關產業發展之基本策略。

DARPA（美國國防部轄下之先進研究處）業已於1999年將其系統領域所有計畫之核心技術訂為「電子、光電、及微機電系統（Electronics, Photonics, and MEMS）」。在這個瞬息萬變的時代裡如此的一個動作，對於美國的工程、科技研究領域不飭有著空前的撼動和影響。此一作為更使得所有傳統學門及領域之分類與訓練方式面臨全新之挑戰及衝擊。美國一向在各種科技發展上均居於創先且前趨領導之地位，我國未來發展高科技時，雖不必樣樣馬首是瞻，但是借助部份美國模式應可收他山之石可以攻錯之效，進而或可促使我國更迅速地建立起高科技技術。

如前所述，我國工業過去一向以製造為主體，長處是對市場之反應快速、技術人力素質優良且薪資比先進國家低；缺點是系統整合、設計及行銷等高附加價值的部分經常掌握在先進國家手上。這種全球分工模式如不逐漸改變，我國與先進國家平均國民所得之差距將無法縮小，而且我國也將較容易受到其他開發中國家之擠壓。若要提昇我國之經濟實力，勢必要在上游之系統整合與設計直接與先進國家競爭。就微機電系統屬性而言，學習前述以領域進行系統整合的美國模式將會有較大之勝算。或許產業界會受到較多現存因素之限制，但至少在上游基本與應用研究上（國科會、中研院、及部分經濟部所支持之前瞻研究計畫）有很大的發展空間。在基礎結構建立完成後，也定然應全面強調創新能力及多向思考，方可避免現有的「逐步改良」之思維模式，而無法快速跟上快速變遷的知識經濟模式。

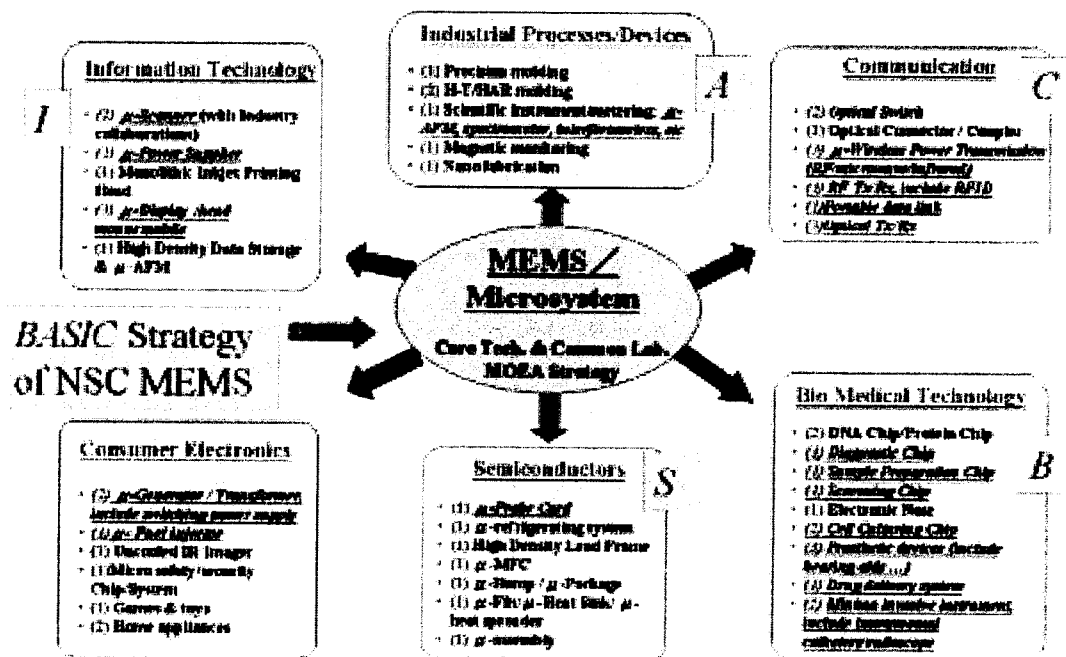
我國當前於電子、光電兩方面之高科技工業發展良好，然而全球之高科技先進國家早在十餘年前便轉趨極力衝刺微機電科技領域以及相關產業，並已從單純的技術開發和推動製造技術，轉而步入實質應用模式。故欲使我國成



為知識型的新經濟體系，並在全球市場取得一定的競爭力，及早發展微機電相關產業，使之從技術開發漸趨為實際應用實為當務之急。有鑒於此我國政府單位以及學業界在過去數年中，除先行逐步建構製造技術的支援結構，如工研院的微機電開放實驗室及國科會的三個微

機電中心外，亦於二年前即已積極採取相關之配套措施，借鏡美國DARPA之成功範例，積極推動平台科技及系統，希望能使我國的微機電產業具有自設計，而製造，而檢測的全程技術與產業聚落（Cluster）。

## Target of MEMS Fields in Taiwan: MOEA and NSC hand in hand



圖一 我國所專注推動之微機電相關應用領域

如前所言，由於微機電科技領域的發展典範已經從製造科技的改進，轉化成為利用系統平台作為驅動的型式，在過去幾年的微機電高峰會議的報告當中，業已清楚顯示我國在微機電領域及其相關產業中，將逐步邁向可掌握領先全球的系統應用平台之目標。此亦為我國過去五年來於微機電系統推動方案之主要規劃方向。易言之，我國希望先以代工的架構來作為先期的規劃架構，同時進一步的利用代工所引

導並產生的製程能力，來牽引領域應用之發展，並進而提供開發平台，以確保系統開發之高度彈性與競爭優勢。此科技發展架構的推廣與整體配合，在歷經了過去五年來國科會及經濟部共同合作的思考下，確立了產官學群一條鞭的知識供應鏈結構，也經由經濟部技術處科技專案、及國科會微機電與奈米技術推動小組、和北中南三區微機電中心的設立，明確的訂定了我國微機電系統的逐步推動策略。



| Company | Major Products                     | Investment Scale |
|---------|------------------------------------|------------------|
| A       | ● Inkjet Head                      | ~ 20 M US\$      |
| B       | ● SAW & AWG, ODM                   | ~ 50 M US\$      |
| C       | ● SAW & RF Receiver                | ~ 20 M US\$      |
| D       | ● Optical Comm. & Wire Comm., ODM  | ~ 50 M US\$      |
| E       | ● Accelerometer/Pressure/IR Sensor | ~ 10 M US\$      |
| F       | ● DMD ODM                          | ~ 30 M US\$      |
| G       | ● VCSEL & Thermal Sensor           | ~ 10 M US\$      |
| H       | ● Integrated Micro Phone           | ~ 10 M US\$      |
| I       | ● Blochip & Micro Array            | ~ 20 M US\$      |
| J       | ● Nozzle Plate                     | ~ 10 M US\$      |
| K       | ● VCSEL & LED                      | ~ 20 M US\$      |
| L       | ● Optical Comm. & Wire Comm., ODM  | ~ 50 M US\$      |
| Total   |                                    | ~ 300 M US\$     |

表一 我國2001年微機電領域新投資一覽表

以圖一之資料，可清楚的看出我國經濟部技術處責成工研院所進行之領域推動策略，在微機電的相關領域當中，專注應用微機電之工業包括生物科技、工業製造程序及元件、半導體技術、通訊技術、資訊領域及一般家用電子。同樣的，自學界規劃的微機電應用領域大方向來看，國科會工程處之微機電與奈米技術推動小組在1999年的年底通過的BASIC策略（Biology、Automation、Semiconductor、Information Technology、Communication）實與經濟部所規畫的應用領域不謀而合。此種跨部會之同心協力的推動策略，確使我國在過去五年當中，不論是學界或產業，在微機電之推動均已經逐漸收到成果。由表一的資料顯示，即或不包含我國在美國地區的微機電投資。過去的一年當中，我國在微機電領域之投資已經高達約三億美金。同時如圖二所列之A、B、C、D、到L的公司當中，即包含了三家微機電的代工廠。如前所述，我國微機電系統的發展策略乃自代工廠之設立出發，逐漸依「微笑曲線」向附

加價值較高的設計、研發等領域應用知識靠近。再加上目前於全球尚無支持專業微機電代工廠所需之大環境，所以即或我國前述三家微機電代工廠公司之投資將以專業代工廠為終極目標，目前均投注大量人力、物力來審視評估微機電技術所將使用領域的範圍，同時也必須注重專業發展，以確認微機電生產工廠之產能，在未有足夠其他公司所委託生產之量時，可以被自行開發之微機電產品之生產所填滿。此一產業發展趨勢，實與前述我國微機電領域的發展策略交相呼應。

## （二）奈米技術

所謂奈米（Nano）是希臘文「侏儒」的意思，一個奈米（Nanometer）是一公尺的十億分之一（0,000 000 001m），就是十的負九次方，非常的微小。奈米技術絕對不是人類原創的，其早已存在大自然中。存在蜜蜂體內的磁性奈米粒子，對於蜜蜂而言，具有「羅盤」的作用，因此可以做為蜜蜂的導航系統；蓮花出汙泥而不染之不沾污奧秘，即在分布於荷葉上精巧的



奈米與微米結構。應用蓮花不沾污之奧秘於紡織亦或是人造纖維可徹底改變纖維不沾污之設計理念。

全球先進國家亟欲發展奈米科技實乃因未來人口數目與日俱增，個體的空間將會漸趨狹窄，人們對於微小化的物品將有迫切的需求，奈米技術的發展將成為全球不得不為的趨勢。目前先進國家於光電、磁性、催化等都亟欲發展出更有效率且具有智慧的奈米材料，奈米技術已如火如荼地在全球各地推展，可說成為科技界的新興寵兒。出身德國的諾貝爾獎得主 Horst Stormer (1998 一物理獎) 更宣稱：繼電子世紀之後，奈米的世紀已經到來！目前日美歐各國紛紛制定發展策略，以爭奪奈米技術優越地位。預估到 2010 年，奈米技術將成為僅次於晶片製造的世界第二大產業，擁有 14,400 億美元的市場佔有空間。目前常用之一個有關奈米技術的定義為：關鍵尺寸或精度位於 100nm ~ 10-1nm 範圍內的製造技術。整體而言，奈米材料的發展多半是由理學院的物理、化學系發展出來，主要方向不同於以往傳統研究發展的材料科學。傳統研究發材料科學時是以冶金、陶瓷及高分子塑膠為基礎，並以塊材材料 (Bulk Material) 為對象。目前所言之奈米技術雖以物理與化學為前端研究基礎，然而它的主要研究方向卻是重在化學、光電、機械與微機電。對於化學、光電、機械與微機電等領域在實際應用上所需具有的特殊及特定功能材料，今日之奈米科技希望能以原子分子為基本材料，逐漸以“加成式”的加工，形成以“Bottom up”方式逐步建構最終元件或次系統的創新製造典範。整體而言，奈米技術有效整合了基礎凝態物理研究與化學合成，這樣的整合不只有突出的發展，更有它的應用價值，同時在基礎科學上開發了許多的新興領域。例如：在新開發的材料中碳六十、碳管、半導體奈米晶體、中孔徑分子篩等都是非常出色的基礎研究，它們應用上的開發潛能也是廣受注目。值得注意的事，前述所討的“Bottom up”之策略，實已於

過去三十年中經過各種探討，目前全球這一波奈米科技策略中，實隱含希望以新應用領域的需求，以系統眼光逐步推斷奈米科技所應著力之處，進而開發相關科技的研究指標。此一想法與微機電產業在過去全球二十年的推動思路相符合。易言之，一旦包含奈米材料的製造、操控、量測、應用等四大技術指標逐漸成型，則系統應用之指標與需求，定將成為推動整體研究與科技發展的基本原動力。總之不論是長期回顧全球所謂國家型計畫，或近程審視微機電科技的推動，均需尋求少數“旗艦應用 (Flagship Application)”，以之為火車頭，迅速成為各種科技的發展目標，方能成為此種科技升級的典範，自科技推動 (Technology Push) 轉型成為市場拉動 (Market Pull) 的所謂知識經濟的科技工業發展典範。

在探討前述發展典範之後，實需考量此類典範在知識經濟時代之時間延續與先後次序的特性。由於在這個以“知識”為重心的時代裏，研發創新的附加價值日益提升，因此如何領先群雄，事先以“知識”為主軸，建構“智慧財產權”的“財富庫”，實為刻不容緩的要務。以古鑑今，以系統眼光反求基礎研發指標，大幅提早基礎研發之開始時程與長期目標當為首要之務。再以美國之規畫為例，更進一步的來探討傳統“去除式”的加工，也就是一般所說的“Top Down”的作法，與目前奈米科技所言之“加成式”的加工，也就是所謂的“Bottom Up”作法的差異。

2000 年 1 月美國前總統柯林頓推動「國家奈米技術策略 (National Nanotechnology Initiative, NNI)」，將奈米科技揭示為科學技術領域中最重要之項目，當時被認為是柯林頓政府的一大光榮政績。2001 會計年度 (2000 年 10 月 - 2001 年 9 月) 美國更投入 4 億 2000 萬美元，加速奈米技術的研究。研發經費之運用在 600 件計畫中，大學佔了七成、民間研究佔三成，其目的即為提前基礎研發之時程與速度。美國的 NNI 又被稱為 NEMS (Nano-Electro-Mechanical



System)，其發展目標就在以微米尺度的加工技術來開發微小零件、迴路、與子系統等。事實上美國雖然在奈米技術的研究上目前已在以合成、化學品和生物方面具有獨占全球的領先地位，但是其在奈米裝置、奈米設備的生產和其它結構材料上也已著墨甚多，其目的即希望能以系統導向的目標來形成研發的指標與目的，進而逐步進入前述所言“市場拉動”這個可永續經營的持續成長模式。2001年4月底IBM也宣佈未來晶圓不見得要用矽製造；雖然IBM已有能力讓奈米碳管（Nanotube）來擔任電晶體的角色，但是業界對於商品化的時間初步認為大約是在2010年。

如同許許多多科技的發展歷程，日本方面雖然在基礎研究方面較晚於歐美國家，但在應用技術方面卻有凌駕歐美之姿。去年日本成立「奈米技術發展戰略推進會議」組織，並將奈米技術列為新五年科技基本計畫的研發重點，制訂出的國家奈米技術研發策略中將能源、奈米資訊（Information Technology, IT）、生命科學、和環境列為四大發展目標，而這四大發展領域底下共計有147個研發項目。2001年度獨立行政法人的分配研究預算為295億日圓，同時指定以奈米技術為核心的「材料」領域為四大新科學技術重點領域之一。目前日本在超微細加工方面表現相當出色，基礎研究也有不錯的發展。預估約5-10年後有和美國相互抗衡之可能。依目前之分析，日本獨步全球的優勢乃在奈米設備和強化奈米結構領域。

南韓方面，2000年4月南韓與美國的學術界已攜手開發出奈米碳管電晶體（Carbon Nano-Tube Transistor）。該國科學技術部宣佈2001年將投入230億韓元（約1,821萬美元）發展奈米技術。此外對於Tera級半導體元件，爾後10年每年還要追加154億韓元發展。在2001年韓國還挹注52億韓元來成立4座研究中心，希望藉此4座中心來達成培育人力，而能夠在2010年前發展成為全球10大握有奈米技術的國家之

一。除此之外，韓國在今2001年還正式敲定投注1.37兆韓元，有計畫發展34項關鍵技術，並希望藉由此一計畫合力培育出1.3萬名技術人才，以為利用“奈米科技”為基礎根基的產業儲備人才，且確保人才不會成為奈米工業這一重要新興工業的發展瓶頸。

一向於高科技產業投資不遺餘力的歐洲各國目前業已投入奈米技術的金額達數億美元之多，歐盟方面更將奈米技術列入歐盟2002-2006年科技研發計畫重要項目之一，並決定在2002-2006年的五年中投入13億歐元的資金，通過建立歐洲研究區（European Research Area）的方式支持歐盟各國在奈米技術、智慧型材料和新製程方面的研究。歐洲方面在塗層和新儀器應用方面獨步全球，目前取得領先地位。

中國大陸方面早自80年代就著手奈米技術相同的基礎與應用研究。其“攀登計畫”、“863計畫”和“火炬計畫”均已加入奈米技術的研究。目前其所投注的總金額約為700萬美元，參與此些計畫的企業也有多達100多家。依其公佈資料來分析中國大陸方面計畫未來每年都將投入高達5億人民幣的經費左右來研發奈米技術。

我國之奈米科技相關技術目前正在快速的起步與急起直追中。國科會推動中共有五項跨領域計畫，奈米技術是其中一項，而推動國家奈米中心成立更是當前的重要施政目標之一。目前我國政府、學界、產界除從事奈米科技的基本研究外，亦有不少學校及研究單位藉由國科會的產學計畫、跨領域的整合性計畫，及經濟部的科技專案來從事如能源、儲存、顯示等產業應用的研究，其目的均是希望能利用前述所言，以系統需求來定義與驅動各子系統研發標的之典範，進而可迅速使奈米科技成長與茁壯。除此之外，我國產官學群均極力地欲將奈米科技與微機電技術作嘗試性的接軌工作，以求能使微機電系統對奈米材料之操控能力可得到最大之發揮。我國奈米技術與微機電的主要



連結模式，始自NEXUS來我國訪問時與工研院之微機電與奈米科技相關規劃小組進行討論時開始成形。其結論是估計到西元2005年時，全球之奈米科技與微機電系統將可開始接軌，而且該份報告預計分子電子(Molecule Electronics)之技術將可望於2010年進入微機電與奈米科技之科技應用的範疇。由此可知屆時微機電與奈米技術的整合將是一個包括奈米材料、量子井(quantum well)、量子點(quantum dot)、單電子電晶體(single-electron transistor)、掃描儀、包含儲存、自我組裝等等的一完整跨領域研究範疇，同時也可預見其產業應用之廣泛及影響的深遠。

雖然這兩項技術的接軌我國起步較晚，但是和國外技術相比較，差距應在五年以內，所以只要政府及業界選定我國具有利基之未來產業來全力發展，迅速努力推動及研擬各項政策，在五年內應可迎頭趕上，如此乃可使得我國全球性的產業競爭力得以迅速提昇，並嘗試建立起前瞻性的技術。以美國策略大師麥可·波特應天下雜誌邀請講演「台灣該如何走出困境？」之專題中所言，經濟發展的三個成長階段可分為資源導向經濟，投資導向經濟，以及創新導向經濟。要成功地邁入最高等級的創新導向經濟，該國企業將需運用全球最先進的技術來創新產品和服務，並能深化產業聚落，如此若企業再能以獨特且放眼國際的策略來作全球競爭，方可使整體經濟的活力及應變能力得以抵禦外來的衝擊。以此些要素來進行分析，我國若能順利拓展微機電與奈米科技，深植並

發揚這二項重要領域，當有可能使我國順利的從目前卡在投資導向經濟與創新導向經濟的尷尬局面脫困而出。

## 參、目前我國發展現況

### (一) 微機電

過去五年內，我國國科會積極推動成立了北、中、南三個微機電中心，其成果已快速呈現。舉例而言，由圖二～四當中，可以得知我國在微機電領域的發展經由過去數年之推動，業已日趨成熟且已由建立製造技術轉型為尋求微機電系統產品。由圖二中可清楚看出，我國之中區微機電中心目前正在推動MPMC(Multi-Project MEMS-Chip)晶片計畫，他們已經能夠將各種不同的元件經由單一晶片計畫來進行專業的代工與協助技術。北區微機電中心則推動包含設計在內的通訊微機電科技，並依此載具提出各種微波製造技術、微波的開關設計與製造等等技術。相同的，我國南區微機電中心規劃則利用生物微機電(Bio-MEMS)領域來作為主要的開發平台，希望達到能夠設計出微生物檢測晶片以及運用微流體科技來設計之生物晶片等等。此些成果盡皆顯示我國在微機電領域的快速發展與成果。

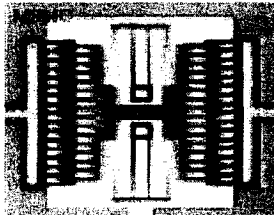
除此之外，我國經濟部技術處在工研院成立微系統實驗室，並規畫其部份設施整合為開放實驗室，以為業界進行代工，並為人才快速培育之溫床，凡此種種盡皆顯示各級政府單位規畫微機電領域方向之正確性。



圖二 我國微機電製造技術部分範例

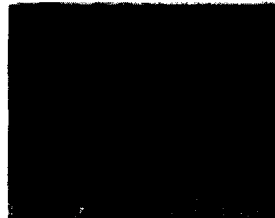
- MPMC (Multi-project MEMS Chip) - 1st at Taiwan
- SCREAM - 1st at Taiwan
- Surface-Bulk Hybrid processes - 1st in the world (patent pending)

+ A 2P1M comb actuator driven  
at resonant frequency 15KHz



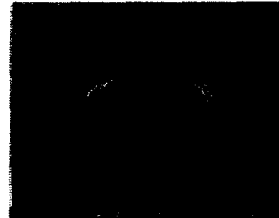
R.-S. Huang, 2000

+ A 30  $\mu$ m thick comb actuator



R.-S. Huang, 2000

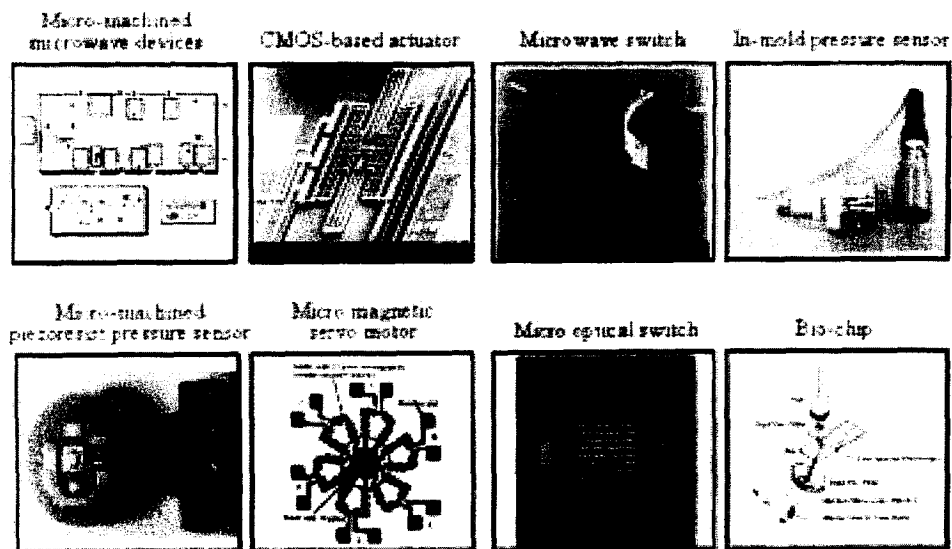
+ Optical switch



W. Fang, 2000

(以國科會中區微機電中心製造科技為例)

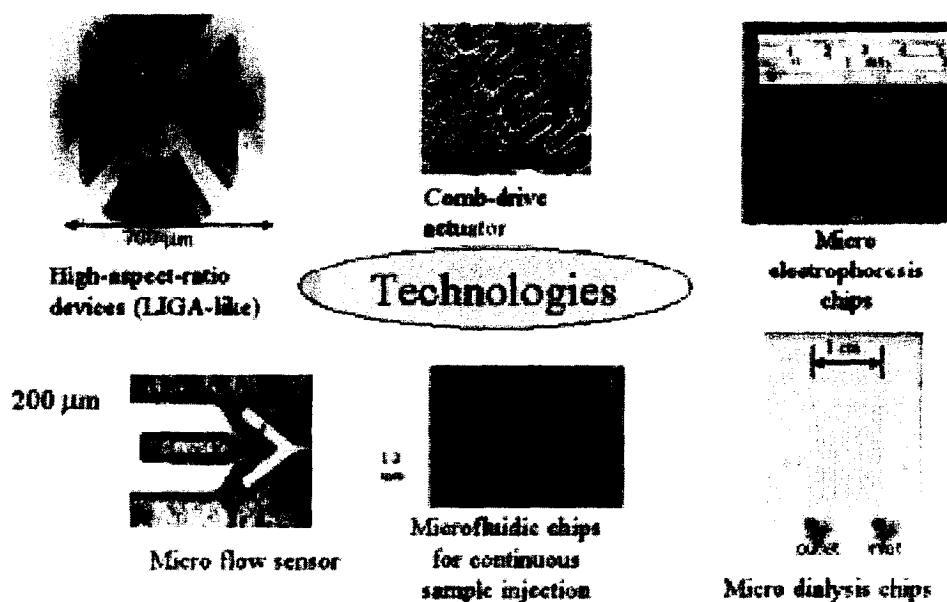
圖三 我國微機電系統研究部分成果範例



(以國科會北區微機電中心之通訊微機電發展典範為例)



圖四 我國微機電系統研究部分成果範例



(以國科會南區微機電中心之生物微機電發展典範為例)

## (二) 奈米技術

工研院在經濟部技術處的指導下，正全力進行奈米技術的規畫及研究工作推動，同時目前亦計畫於2002年1月正式成立該院之「奈米技術中心」，並於未來5年之投資目前規畫將高達新台幣100億元。初期將以從台積電收回、位於工研院院區內的台積電一廠作為基地。據了解，台積電已承諾全力配合，將把廠內適合奈米技術中心所需的設備，保留給該中心使用。依此規劃，此處所提奈米技術5年共100億元的投資計畫中，約有四分之一，也就是25億元將使用於設備的建構。

工研院董事長翁政義博士表示過去我國微機電技術推動朝向極微小的系統技術發展，業已獲致相當豐碩的成果。考量目前全球奈米產業產值已達數百億美元且尚在迅速成長中，盡皆顯示此類技術已極接近實用水準，因此前景無限。由於奈米技術乃整合、應用各種領域的技術，所以工研院規劃成立之奈米技術中心將

徹底整合電子、光電、機械、材料等各項技術，積極推動奈米技術。由於奈米技術在未來高科技產業的發展上將扮演極為關鍵角色，所以我國必須加強推動。倘若台灣在奈米技術上沒辦法做好，則高科技產業的發展未來將停滯不前。負責奈米計畫的工研院副院長楊日昌更指出，過去許多產業都是由上而下地開發，但奈米計畫卻需要由下而上，因此必定要先作好打基礎的各項工作。

由於奈米技術相關領域極為寬廣，因此目前工研院預計將由電子所、材料所、化工所、光電所、機械所及量測中心整合人才來進行推動，初期將約有100~200人，估計最多將可達700人左右的規模。目前我國工研院與奈米技術有關的分項計畫，已包括有奈米電子、奈米材料、奈米生物、檢測與設備，以及奈米技術中心的設立等。此外為配合未來國內半導體產業、精密機械產業及資訊電子產業之需求與技術發展趨勢，故其計畫目標亦包含協助國內廠



商建立奈米加工技術及微機電系統技術，以求提升產業整體的國際競爭力，進而達成建立台灣為亞太精密機械製造中心之目標。除此之外，國科會已成立推動奈米技術的團隊，2001年年底將首度提報至科技會議及國家科學委員會會議來討論是否成立奈米技術的國家型計畫。

## 肆、未來人才培育及發展策略規劃

### (一) 微機電

我國於微機電領域相關的教育有一值得進一步探討的議題。以世界各國的微機電領域開發過程來看，多由電機領域的工程師或專家來作為主要的推動及執行者，但在我國推動微機電之過程中，由於我國半導體工業之強勢，因此在剛開始推動微機電領域時，電子電機的參與人數及學生反而不多，而多是由機械領域的人員來積極參與微機電領域之訓練與推動。此一現象在吸收學生或工程師來進行訓練時更為明顯，換言之，我國之機械領域之學生，相較於電機領域之學生，更為熱衷的參與微機電工作之推動及研究工作。為因應此一現象，在我國過去幾次於微機電領域的回顧與分析當中，均清楚的指出讓我國此些機械專長人員得以快速習得微機電相關製造技術精髓及尋找應用平台之方法，乃是必須先讓這些人快速的了解各

種製造程序，方能讓其可以快速的學習到微機電的整體思路與架構，並進而得以在微機電領域中有所貢獻，甚至登堂入室。此一分析乃是我國國科會於五年前即開始規畫並設立北、中、南三個微機電中心的主要原因。規畫之初始階段有許多討論，從單純節省資源的眼光來看，成立一個國家微機電中心或許是最合宜的。但配以前述我國先期與微機電領域人才分佈與分析來看，於全國設立三個微機電中心，並分別賦予不同的相輔相成的任務指標，以產業系統為載具，規劃及定義各中心所需配備及重點開發技術，並以之為人才訓練的載具，輔以各夥伴學校相關學程的設計，在今日以事後諸葛的眼光來看，毋庸置疑是更有效的作法。

除此之外，在我國的推動經驗中，亦發現要正確之推動微機電工業，將需要更多的跨領域研究，同時亦必須將所包含之研究或整合領域擴展超出傳統的工程或科技範疇，來包含如商學或企管之領域。易言之，我國各級學校在推動微機電的課程中，要真正完成微機電領域的全面推動及人才培訓，不僅要進行完整的科技及工程跨領域訓練，還需要進行包含金融、企管及商業規範與智財權的訓練，惟有如此全面整合才能訓練出一個具有全面眼光與知識的微機電領域工程師，也唯有藉由這樣之整體整合，我國微機電科技之充分運用及成長方是指日可期。



## Interdisciplinary in Science/Engineering/Business/IP

- Science/Engineering
- Academic Programs(non-degreed):
  - Micro-System Technology in NTHU undergraduate is approved
  - Nano-technology in NTU undergraduate/graduate is planned
- New Institute(graduate level):
  - Mechatronics and MEMs in NTU, NTHU, NCTU, etc. is planned
- New Programs(Undergraduate):
  - MEMs programs for junior colleges(leadership does not approve new departments due to application driven development paradigm)
- Business/IP
  - Center of Innovation and Entrepreneur in NTU is planned
  - Center of Nanotechnology and MEMs is approved eithin NTHU
  - Center of Entrepreneur: jointly by NTU, NCCU, NCTU, and MIT
- Need Cross-disciplinary Experts
- Need Experts in Technology but Familiar with Business, etc.

表二 我國微機電系統教育典範：不僅需要進行傳統之跨科技整合，亦需加入商業規範與智財權訓練方可確認新一代之工程師可以於現代社會中生存茁壯

表二中顯示目前我國推動微機電教育相關過程所產生之部分認知與目前之狀況。我國清華大學之大學部業已成立微系統科技學程，而台灣大學之大學部以及研究所學程也已規劃出奈米科技的相關訓練。除此之外，在研究所的部分，清華大學與成功大學均已獲教育部核准成立微系統工程研究所，並有台灣大學、交通大學在規劃機電整合等與微機電領域相關的科系。同時在各大學中也有各種微機電的學程正在規劃中。但並無微機電系被推動設立，其主因乃是因為基本上我國學界領導人並不贊成利用建構新的大學部微機電學系來作為微機電訓練的基本架構。此外，整體而言我國規劃微機電領域之推動典範中，不僅只是推動工程與跨科系的整合，更希望能夠整合更多的領域，如台灣大學的創新與創業學程、清華大學的微機電與奈米科技中心，台灣大學、交通大學、政

治大學、以及 MIT 所共同設立的創業中心等，都是遵循此種典範，凡此種種均顯示我國相信新一代微機電課程的訓練，將不僅是跨科系領域的整合，還將兼具商業及智財權的訓練，方可克盡全功。

### (二) 奈米技術

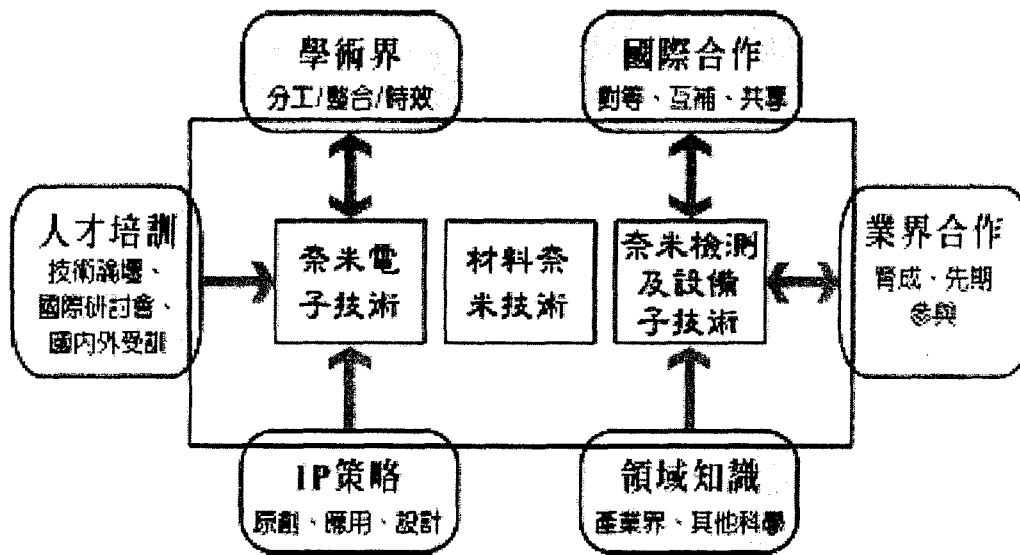
基於前述我國亟思整合微機電與奈米科技的整體策略，微機電領域的發展經驗或可為目前正規畫起步的奈米科技提供些許參考亦或借鏡之處。由於奈米科技乃為自下而上的科技，同時為了使我國的奈米技術得以自主性的發展，具創新能力之人才的培訓當屬首要之務，其方法可包含舉辦技術論壇、國際研討會、或派員至國內外各單位接受訓練，並充分結合國科會與學界之分工整合特點，及產業界的育成創業，利用先期參與各項創新研究專案來進行合作。同時基於系統化需求及知識型經濟的特



點，當從IP策略來要求取得原創、應用、設計等一條鞭的整體競爭優勢來做思考核心。同時一待我國特定奈米科技應用或基本領域取得一

定基礎，應可以對等、互補、共享的原則來進行國際合作。此一作法亦為目前由行政院科技顧問組所推動規畫的方向（參考圖五）

圖五 奈米技術發展方向



如前所述，奈米研究除積極創新，重視基礎研究外，亦且要求得以系統載具為指標來作研發子系統的規格及方向，同時為避免貴重儀器的重覆購買而造成資源的分散、浪費，要求貴重設備需共享以求達到研究資訊交流、互補也是一個亟需強調的重點。有鑒於我國許多以研究機構及產業，大學、國科會之貴儀中心、同步輻射中心，甚至中研院都有很多適合奈米結構所需之良好設備可供大家充分利用，因此國科會微機電與奈米技術推動小組所推動，並已由北區微機電中心試辦成功的「虛擬中心」理念與作法，殊值參考。該方法將實體中心建構成為開放實驗室，並以ISO標準建構所有設備技術文件，而後將機器使用時間上網，由業已經過訓練並通過考試取得自行操作資格的人員自行登記，並依使用時間計費。而

所有共同參與中心合作或協力的實驗室或研究單位，亦可遵循相同方法，將其設備登錄於中心網站中，依同樣的開放原則進行收費來作為儀器的維護及升級費用。省思多數貴重儀器若置於單一實驗室中，一般的只有低於10%的使用率，此一作法經實施之後，發現除了能節省資源外，提供虛擬中心運作的實驗室，亦可藉由此一登錄的準備動作達到管理及維護制度升級的目的，其正面影響及衝擊是多層次且深遠的。

依據行政院科技顧問組於奈米科技的規畫初稿，我國於此領域的發展，將採矩陣式的發展策略，一方面建構各種應用所須的平台技術，其中包含平台技術、檢測技術、材料與製程及理論／模擬。而在應用技術的選擇中，目前至少已規畫將包含儲能產業、光電與顯示器



產業、高頻寬頻產業、高科技化傳統產業、半導體產業及生技產業等應用平台。同時為確立奈米產業的聚落效應得以迅速形成，因此在平台技術方面之發展策略為在檢測技術方面將確認許多奈米結構材料之檢測儀器需自行研發組裝，因此我國之機電、控制、及真空精密加工等週邊整合能力亦需同步加強。由於我國檢測工業並未居於全球領導地位，因此為精進國內檢測能量，需加強國際合作。審視自1987年美國IBM的研究人員以掃描電子穿隧電流顯微術（Scanning Tunneling Microscopy）獲得諾貝爾獎以來，經全球研究人員所全力發展茁壯的各種掃描探針顯微術（SPM），由於其具有原子解析度，可以檢測及操控多種奈米級表面特性，因此成為奈米科技中操控與檢測兩大領域的重要工具，殊值重視。再以麥可·彼特在「國家競爭優勢」中所提出的鑽石體系來看，一地個體經濟的巨大競爭要素：高品質與專業化的投入，鼓勵投資與激烈競爭的本地環境，來自本地需求的壓力與見解，及本地的相關與支援產業，迅速取得奈米科技的基本技術，並自製或研發精密設備，以形成完整的聚落效應，實是不可或缺的作法。

而在材料與製程，應迅速整合產、官、學界來進行奈米相關技術研發、扶植人力，並進行基礎設施的建構。同時再基於奈米科技的全球競爭化趨勢，我國除了學術界應投入基礎研究外，國內產業界亦應援助研發提供載具目標，方可取得在知識經濟時代中日益重要的高科技產品早日商品化契機。

為了提供研發的方向及趨勢分析，在奈米科技的理論／模擬方面，應嘗試結合我國個人電腦及網路技術，發展高速平行運算叢集電腦，再以未來具有競爭力之奈米技術應用產業為載具，於產業研究機構整合學術界之理論及計算方法，將可發展獨具特色之多領域、多尺度耦合計算應用研究技術。如此或可協助我國相關產業作技術發展及人才培育的工作。

充份應用微機電與奈米科技的正面互動，交錯影響此二種重要領域的快速成長、茁壯，實可視為我國甚至全球當今研究領域的重要契機，或者將可取得持續成長的成功之鑰。敗者則可能面臨國家競爭力衰退的惡夢。

## 伍、結 論

微機電與奈米技術是近幾年來最受全球各先進國家關注的新興技術之一，其無與倫比的重要性也漸為世人所認同。諾貝爾獎獲得者Rohrer在廿世紀末寫給中國大陸江澤民主席的信中甚至說：“在本世紀自五十年代開始重視微米技術的國家，現在都取得了很大的發展，同樣，自現在開始重視奈米科技的國家，將在二十一世紀獲得高速發展”。美國『時代』週刊也認定奈米技術為“今後十年最可能使人類發生巨大變化的十項技術之一”。思及知識經濟時中，智慧財產權的建立實為拓增國力，提升整體產業競爭力的不二法門，因此先進國家在奈米技術剛剛出現不久，便於洞悉它的巨大應用價值後，立刻趨之若鶩地投入大量人力物力來進行深入的研究開發，同時為求資源整合，也極快的並將其列入重要的發展策略。以美國而言，其於2001年起便開始實施“國家奈米技術推進計畫”，希冀搶佔此一領域執牛耳地位的例子，即為一個明證。

雖然我國自五年前才開始發展微機電技術與產業，但五年來由於策略的正確，目前已有不少產業投入，其進一步的成長當可預期。配合上微機電的系統應用及建構中的微機電代工廠，再利用這些成熟的微機電技術與產業雛型來結合新興的奈米製造技術，當有機會為我國創造出另一個高科技的成長週期。由於微機電與奈米製造技術同為智慧型與高單價的產業技術，其具有能縮小機械、光學，且能感受聲、光、電、磁、味、冷、熱的特殊功能。相形之下，於廿世紀造成人類生活型態重大變革的微



電子產業僅僅只是早期的單一電晶體到有數百萬顆的微電腦晶片，就已經給人類生活型態帶來如此重大之變革。以微機電及奈米科技這種同時能將機械、光學、聲音、生醫等各種物理場，作一全面整合，且將徹底改變人類製造基本觀念的「破壞性創造」科技，勢將帶給人類生活更大的衝擊，因此微機電與奈米製造技術將為21世紀重要產業技術。同時未來的高科技發展趨勢之一也將是徹底整合奈米技術與微系統技術，希望配合半導體技術、超精密加工技術，再配合上本來科技的自我組裝技術，同時在新材料、新元件、新模組技術等方面向前邁進，以求達到朝向超精密化、極微細化、高密度化、積體化、高效率化、智慧化等目標，則美麗新世界夢想的實現，或可預期。

#### 誌謝

承蒙工研院電子所、國科會北區、中區及南區微機電中心，交通大學機械系的微機電教學資源中心等單位所提供之完整資訊，乃得以清楚且完整介紹我國於微機電領域相關的教育現況提供完整之報導與分析，特此致謝。

#### 參考資料

1. 國家科學委員會工程技術發展處微機電技術推動小組規劃書，一九九八年，1-2頁。
2. 2001年3月份中美加科技簡訊。
3. 工業材料月刊，2001年5月，第173期。
4. 工研院經資中心，2001年8月。
5. 微系統科技協會季刊90年7月，第五期，14～17頁。
6. 【工研院百億奈米計畫明年1月啟動 發展基地在台積電一廠原址】，電子時報—台灣財經版，2001年7月17日。
7. 【工研院將成立奈米中心投入鉅資推動奈米技術】，電子時報—台灣財經版，2001年7月16日。
8. <http://www.junyenano.com>
9. 〈麥可波特：台灣如何走出困境？〉，天下雜誌2001年9月1日版，別冊5。
10. 〈我國奈米技術與材料發展願景與策略〉草案，行政院科技顧問組，2001年11月。

附錄(3)：

MEMS Summit 2001

出國報告

**行政院國家科學委員會**  
**補助國內專家學者出席國際學術會議報告**

90 年 6 月 29 日

|                                                                                                                       |                                                                |               |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------|
| 報 告 人<br>姓 名                                                                                                          | 李世光                                                            | 服務機關<br>及 職 稱 | 國立臺灣大學應用力學研究所<br>教授   |
| 時間<br>會議<br>地點                                                                                                        | 2000 年 4 月 29 日<br>~ 5 月 4 日<br>德國 Freiburg                    | 本會核定<br>補助文號  | NSC 90-2217-E-002-007 |
| 會議名稱                                                                                                                  | (中文) 2001 年第七屆世界微機電高峰會議<br>(英文) 2001 World Micromachine Summit |               |                       |
| 發表<br>論文題目                                                                                                            | (中文) (See Attached)<br>(英文)                                    |               |                       |
| <p>報告內容包括下列各項：</p> <p>一、參加會議經過</p> <p>二、與會心得</p> <p>三、考察參觀活動（無是項活動者省略）</p> <p>四、建議</p> <p>五、攜回資料名稱及內容</p> <p>六、其它</p> |                                                                |               |                       |

## **List of Paper Published**

1. M. S. Lin, and C. K. Lee, "MEMS in Taiwan: Year 2001 Status," The 7<sup>th</sup> World Micromachine Summit, Section 1: National Activities in MEMS, Freiburg, Germany (April 30-May 2, 2001).
2. C. K. Lee, and M. S. Lin, "Educating New Micromachining Engineers in Taiwan," The 7<sup>th</sup> World Micromachine Summit, Section 2: Towards a Universal Campus, Freiburg, Germany (April 30-May 2, 2001).
3. C. K. Lee, and M. S. Lin, "Expectations of Taiwan's Budding Micromachining Industries Towards Domestic Academic & Research Institute," The 7<sup>th</sup> World Micromachine Summit, Section 4: The Role of MEMS in International Market, Freiburg, Germany (April 30-May 2, 2001).

# 2001 年第七屆世界微機電高峰會議

(2001 World Micromachine Summit)

報告人：李世光

國立臺灣大學應用力學研究所

## 一. 參加會議經過

會議於 4 月 29 日報到，4 月 31 日開始論文報告。共計 15 個國家(地區)代表參加，各國代表及觀察員分別為：

Australia: Prof. Ian Bates, Mr. Justin Spangaro

Benelux (Belgium, The Netherlands):

Prof. Albert Van den Berg, Dr. Kris Baert, Dr. Kees Eijkel

Canada: Mr. Dan Gale, Dr. Sandy Robinson, Dr. Naill Tait

China: Prof. Zhaoying Zhou, Prof. Henggao Ding, Prof. Xuejun Cao, Dr. Wendong Zhang

觀察員: Dr. Yilong Hao, Mr. Huaping Mu, Dr. Zuwu Yuan, Prof. Guanglong Wang

France: Prof. Daniel Hauden, Dr. Jean-Christophe Eloy, Mr. Gaetan Menozzi, Mr. Vincent Gaff, Dr. Emmanuel Bigler

Germany: Prof. Wolfgang Menz, Prof. Jan Korvink, Dr. Robert Bauer, Mr. Jurgen Berger, Mr. Ulrich Sieben

觀察員: Mr. Diether Schaudl

Japan: Prof. Naomasa Nakajima, Mr. Kunihiro Hara, Dr. Takayuki Hirano, Mr. Toshiro Shimoyama

觀察員: Dr. Takashi Mihara, Mr. Ryo Ota, Dr. Toshihiko Sakuhara, Dr. Kanju Miyamoto, Mr. Takeyuki Mori

Korea: Prof. Young-Ho Cho, Dr. Joong Won Lee, Dr. Suk-Han Lee, Dr. Sangmo Shin

觀察員: Dr. Jong-Oh Park, Dr. Jae Young Park

Mediterranean (Spain, Greece, Italy):  
Prof. Paolo Dario

Nordic (Denmark, Finland, Norway, Sweden):

Dr. Sami Fransilla, Dr. Francois Grey, Dr. Klas Hjort,

Dr.Liv Furuberg

Singapore: Prof. Siak Piang Lim, Dr. Xue Chuan Shan, Prof. Shih Fu Ling

Switzerland: Prof. Nico de Rooij, Mr. Philippe Fischer, Mr. Sean Neylon, Mr.Gary Martini

Taiwan: Dr. Min-Shyong Lin, Prof. Ruey-Shing Huang, Prof. Chih-Kung Lee, Prof. Shih-Ming Yang

觀察員: Dr. Liang-Han Hsieh

UK: Prof. Geoff Beardmore, Mr. Ron Lawes, Prof. Jim Burdess, Dr. Malcolm Gower

觀察員: Dr. David Allan, Mr. Hugh Clare, Mr. Vishal Nayar, Dr. Ayman el Fatatry

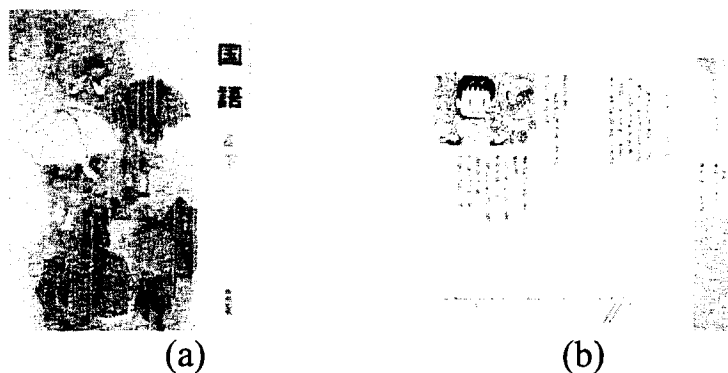
USA: Dr. Albert P. Pisano, Prof. David J. Nagel, Prof. Dorian Liepmann, Dr. Carles L. Goldsmith, Dr. Nadim Maluf

二. 本次會議論文題目及重點為教育及微機電，主要討論重點包含(1)如何教育下一代之工程師能夠充分運用微機電技術，(2)如何提昇社會普羅大眾對微機電之觀感與認知，(3)如何因應知識經濟時代中，學校教育典範與商業模式(Business Model)之開發。以下僅就各國在相關方面之努力作一個說明。

### 1. 會議之主題：教育及 MEMS

各國之微機電製造技術業已日趨完整，目前之推動典範業已自製造科技之開發轉換為以系統平台為載具來進行微機電領域的全面推動。惟微機電雖然一方面可以產生新應用，但另一主要之應用範疇，實為利用微機電科技來改進現有之各種應用領域。有基於此，如何訓練下一代之工程師，甚至是普羅大眾，能夠瞭解微機電之應用與科技開發之可能，乃成為一個全球各國均亟思取得先機，以能充分利用知識經濟契機之重要做法，因此這次的全球微機電高峰會議乃以教育及 MEMS 的關係來作為此次會議的主題。在這次會議當中，全球各國均將他們在該國在推動微機電領域科技及應用載具所取得的經驗，以及其於改進微機電教育和相關課程與系所建制的努力，在本次之微機電高峰會議中做進一步的討論。由會中之討論可發現有幾個主要國家的推動趨勢可做為代表，因此於此作更進一步之探討。

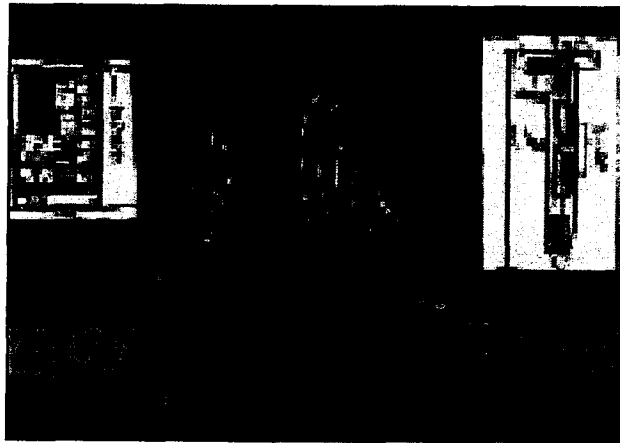
#### 甲、 日本



圖一 日本於小學課程中推動微機電科技之認知，(a)封面、(b)課文內容

首先以日本為例：日本在十年前開始推動微機電科技，在當時稱做微加工(Micro-machining)，由日本的 Micro-machine Center 這一個機構自十年前開始訂定所謂的微機電技術，當時即訂出其推動微機電最

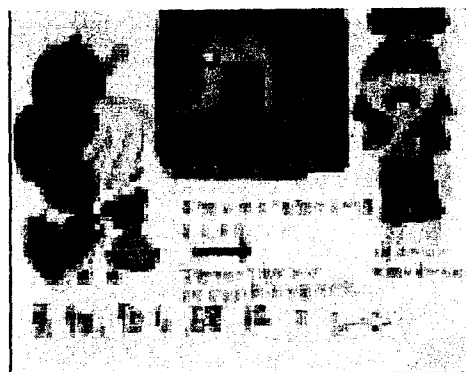
主要的目標載具，為能夠將微機電技術縮小成極微小的機器人，並將該技術應用在電廠管路檢修、微小工廠以及人體上。經過十年之推動，目前日本的 Micro-machine Center 由於推動得宜，因此得到該國內部相當多的支持，所以日本目前也正在研擬第二個微機電相關之長期計劃。與會時，前任東京大學工學院院長 Professor Takayuki Hirano 提出日本為了能讓微機電領域徹底生根，於過去十年中業已有計劃的將微機電科技之知識與理念加入日本的國小教育教材中(請參圖一)。



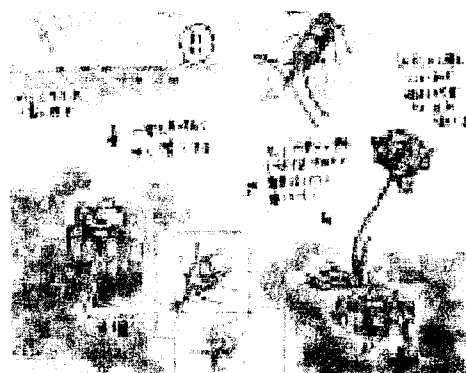
圖二 日本小朋友微機電想像畫：以微機電科技來進行地震預測

僅就日本普羅大眾的微機電認知教育政策先行討論，首先於日本小學四年級之國語課程當中，就對小孩將微機電領域所能夠產生的衝擊，以及微機電與他們將來生活上的夢想的相互關係做了一個介紹。這樣的課程介紹，可說是教育需要從根做起之具體表徵。也可得知日本希望藉由對微機電的相關領域，所可能對社會所產生的衝擊，及其相關的基本科技來先進行初步的介紹，其目的乃是要徹底使得日本的小學生可以對於微機電領域有完整的認知，同時培養其夢想。除此之外，日本為了更加落實微機電教育工作之推廣，還同時由微機電中心於 1994 年開始舉辦了學生可參與的微機電相關之畫圖比賽，六年來一共收集了超過 7800 張圖，其舉辦此種繪圖比賽的主要目的及基本理念，乃根基於目前的小學生，在幾十年內將變成微機電科技的使用者、研究者或是工程師，這些小孩或許還不曉得這些科技的困難度及其所謂正確之使用方式，但也因為如此，這些圖畫所提出之各種創新觀念及想法，均是非常新穎。其中也充滿了許多可以提供目前正致力於開發微機電的工作者作進一步省思的創意與夢想。舉例而言：以下列四張圖來看，完成圖二的這位小朋友期望微機電的技術，能夠被用來做火山爆發的預測，其原因當然是因為日本為一個活火山區，小朋友經由日常生活之體驗，自然希望微機電此一新興科技可解決其生活上最大之隱憂；除此之外，還有小朋友提出如圖三所說的利用微機電技術

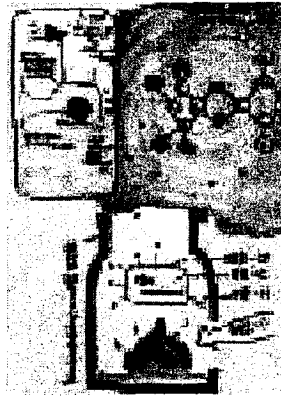
來檢查蔬果是否已經成熟的希望；還有同時也利用微機電技術來做礦脈的偵測及礦藏的取出(圖四)；再者由於環保意識的高漲，日本小朋友也於圖五中提出如何利用微機電技術來將世紀之毒——戴奧辛將之完整去除。前述這些想法以及這些圖示，已充分顯示若能提早讓各國的小朋友了解微機電技術所隱藏的涵義，以及其所可能造成的重要衝擊，豐碩之成果將可以被充分預期。由於小朋友新鮮及完全不受限制之觀點，也因此可提出各種利用全新的科技來突破舊有思維窠臼之契機，所以他們所提供的各種理念也很有可能讓全球的研究工作者了解到微機電相關技術的各種創新應用點。日本這一種教育之方式，誠然提供微機電教育若能盡早開始，從小訓練所能達到之高度成果的重要範例。



圖三 日本小朋友微機電想像畫：以微機電進行果實成熟度檢測

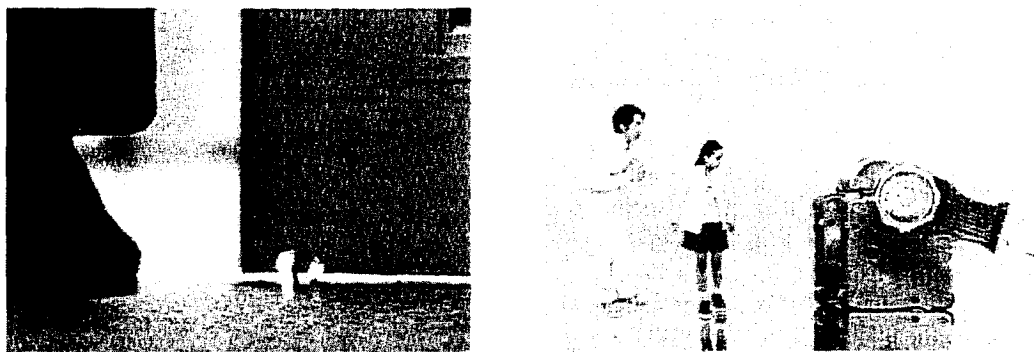


圖四 日本小朋友微機電想像畫：以微機電進行礦脈偵測與礦藏取出



圖五 日本小朋友微機電想像畫：以微機電進行世紀之毒——戴奧辛之去除

經過 10 年來全球在微機電領域的大量投資，各國仍舊在努力地尋找微機電領域更重大的應用載具，因為微機電雖然已經開始在許多之應用領域中產生重大的衝擊，但是在所有這些衝擊過程當中，對於一般人之日常生活，仍然未有明顯的衝擊點，為了要讓社會的普羅大眾都能對微機電科技所能夠產生的衝擊及應用均能有所認識，除了如前述做法一般，自小孩在小學階段即開始進行微機電相關之教育以外，如何能讓更多的高中生和一般的社會大眾，經由新的教育方式來取得微機電科技方面更進一步的認知，實可算是另一項重要的工作。

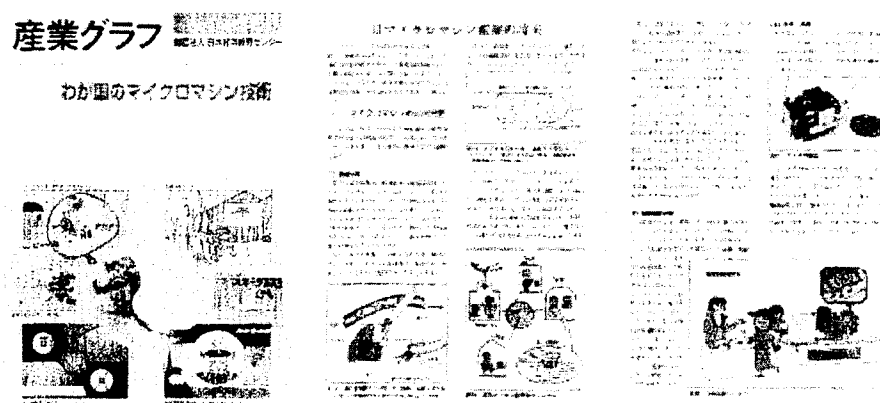


圖六 日本 NHK 電視台介紹微機電錄影帶精采畫面

日本的微機電中心利用媒體 NHK 電台製作出一捲介紹微機電科技之錄影帶，劇中說明一對兄妹被縮小到一般微機電 mini-meter 的大小去探討各式各樣的微機電應用(請參圖六)，其片名為 What is the micro-machining? 此節目基本上要利用故事中的兩位主角，尤其是妹妹，來介紹微機電的各種科技在人類生活當中所可能產生的應用，同時並在影片中提供各種應用的例子，其主要著眼點乃是考慮電視機是小朋友與社會大眾取得資訊的重要來源，所以電視節目及其相關之錄影帶，絕對是一個不容忽視的資訊傳播途徑，這也是另外一個值得我

國於推動微機電科技的想法及應用時，所可借鏡之地方。

日本之報告中，亦指出日本高中生由於整個日本社會愈來愈偏向服務性經濟，因此現在愈來愈少有學生將科技或是工程作為他們將來職業的主要目標，為了要讓這些高中生在進入大學之前能夠對微機電所能產生的科技衝擊、及其對人類的貢獻有所瞭解。同時希望能藉由瞭解進而產生吸引力，並希望此一吸引力可誘導他們進入科技或是工程領域的大學科系中來學習與就讀，如此方可確保國家能有足夠多的工程及科技人員來從事基礎或工程科技研究，以確保國家之競爭力。如果於過程當中，這些高中生也能夠由於對微機電科技之瞭解，進而產生憧憬，甚至於最後尋求以微機電科技為其將來求學深造之主要領域，也就更達到了此一教學計劃之目標。有鑑於此，日本微機電中心最近出版了一本書叫做 Micro Machine Technology in Japan (請參圖七)，其最基本的著眼點就是要吸引這一類型的學生。



圖七 日本微機電中心所出版之日本之微機電科技的書中精采抽頁

在日本的大學部及研究所以上的教育方面，日本代表們收集了五個主要大學中有關微機電領域之教育與研究來做簡單的分析。其分析資料顯示出大約有 40 個教授、110 個大學部學生、及 130 個研究所的學生目前在從事微機電領域的相關研究工作，這些學校大約均有一個 100—1000 平方公尺的無塵室提供研究人員從事微機電方面的實驗工作。所使用的儀器從一般的 CMOS 到各式各樣的特製儀器均有。在大學部的相關課程當中，微機電方面之教育的目的乃在提供基本的科技，如瞭解微小環境下的科學現象，其中來包含了隱含在微機電技術底下的科技，如感應紙、自動器、電池等，同時還包括微機電的設計、以及微機械加工的訓練。在研究所的課程教育則主要是與其所從事之

研究工作連在一起，這部分包含極高層次的基礎科技訓練、以及在實驗室中開發微加工技術的傳授，近來有些大學並且將許多更新穎的科技加入他們的教育課程當中，例如生物微機電系統、微光電系統均為極佳之例子。日本的 Ritsumeikan University 最近提供了一個創新的微機電教育課程，此課程採用以計畫為中心目標的教育方式，經由跨領域計劃之研究工作，這些學生接觸到各種系統整合之訓練。由於這種創新且有效之訓練方式，Ritsumeikan University 收到了許多大學及工業界的要求，希望能夠參與這些課程的訓練。基本上此一課程之目的，就是希望能夠經由這些創新之訓練，使得通過訓練的學生能於完成學業後，順利加入許多參予訓練及提供研究載具之公司。統計發現，在前述這些訓練課程所涉及之微機電領域當中，光電相關科技以及生物相關科技在微機電領域的應用是這些工業界最有興趣的項目。Ritsumeikan University 這種創新之訓練方式，除了能訓練學生取得相關之微機電技術以外，還可取得將來進入所喜歡之工業界從事工作的機會，同時也能將所有最新的微機電科技開發與認知之觀念與想法帶到工作上，進而達到快速擴散微機電相關科技之目的。

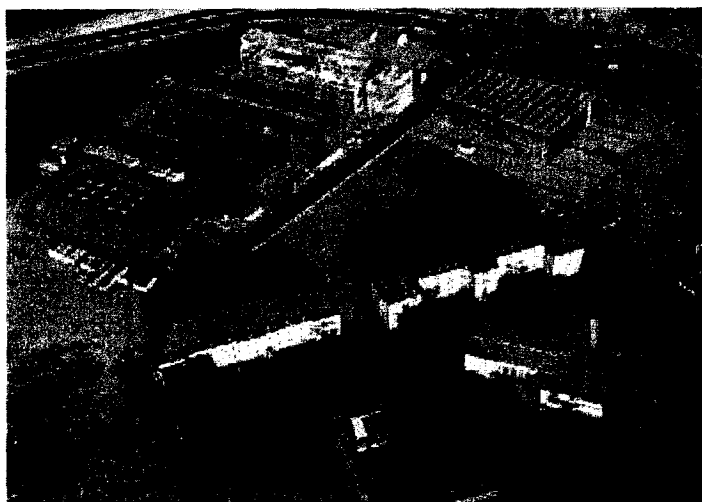
日本在過去數年中，也發現目前有愈來愈多工業界的研究人員被送回學校裡面來學習有關微機電科技的應用，其目的就是在於讓應用工程師能迅速取得微機電相關領域的開發成果，並且可以嘗試將這些新的微機電工程應用想法應用到他們目前的工作領域中，進而推動或提升該公司的全球競爭能力。當一個國家之中有更多的工程師能有這樣先進的技術與科技時，整體累積起來，整個國家的科技及競爭力自然而然也能快速的提升。

日本的從小紮根之教育方式的確值得我們學習，該教育方式在會議中也吸引了全球各國代表的注意。在高峰會議的首席代表會議當中，日本的從小教育方式也受到全球各國首席代表熱烈的討論，並且將其方式簡潔的放入整個會議的對外新聞稿中。此種既根本又前瞻的做法的確是值得我國在推動微機電教育相關工作時之重要借鏡。

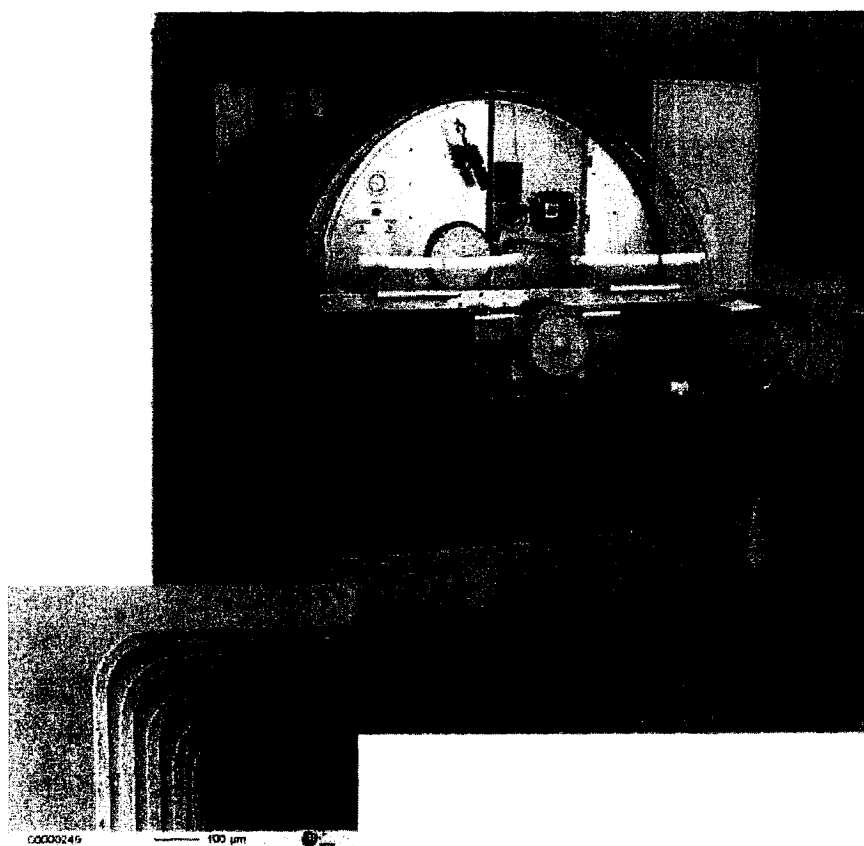
## 乙、 德國

德國在大學及研究所等級之微機電教育所採取之方法與全球其他國家所採用的方法並不相同。會議的主辦人 Professor Mainz 從 Stugart University 退休之後，被禮聘來到 Freiburg 之 Freiburg Univeristy 創立了 Institute for Micro System Technology (IMTEK)。此一大學原來是以人文科技為主，並且具有超過 100 年的歷史。在邀請 Mainz 教授加入他們學校之後，於 1995 年創立理學院，隨後立即於 1996 年首度招收

學生加入微系統科技的教育學程，更於 1999 年搬到如圖八所示的大樓中。去年，也就是西元 2000 年，IMTEK 開始可進行無塵室中的製程科技開發與應用。

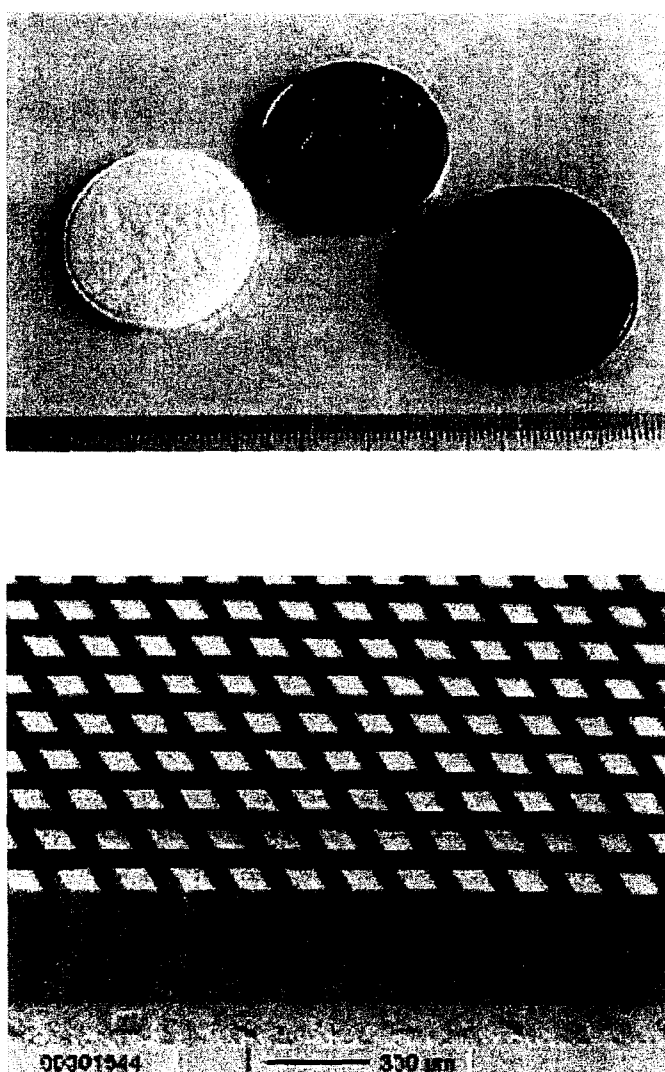


圖八 德國微機電學院 IMTEK 鳥瞰圖

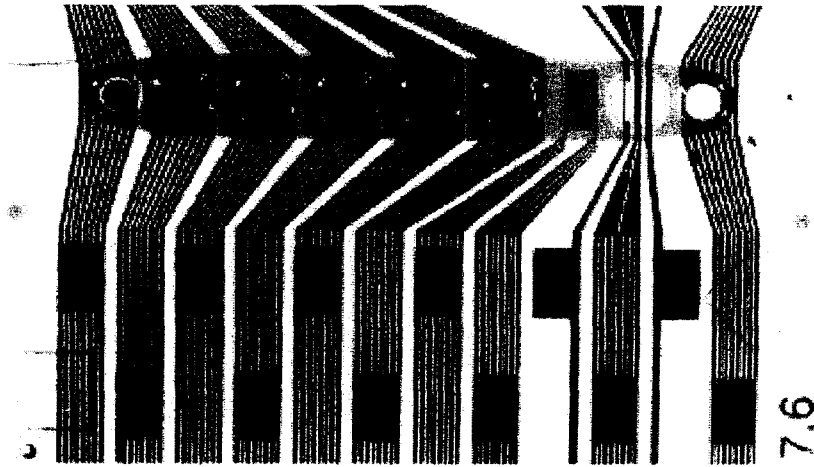


圖九 德國微機電學院 IMTEK 中之超精密雷射加工機

IMTEK 與資訊(computer science)學院結合在一起，也更加深其跨領域及充分運用近代資訊電子科技向上提昇微機電科技之著眼點。目前在 IMTEK 中共計有 18 個教授專職於微機電相關之研究工作，由於德國教授實際上均配置有一位秘書、一位技士，再加上三個全職的學術職位(academic Position)，所以此 18 個教授就包含了 108 個新的職位。包含大學部及研究所的研究生，IMTEK 將招收 1,200 個學生，目前業已有 700 多個學生加入其研究工作。於 IMTEK 之規劃中，不僅半導體相關之微機電技術被努力的開發，所有各種相關之精密製造技術亦均有一定程度之投入，如圖九所顯示之以雷射干涉儀來作定位系統鑽石加工機，即為 Menz 教授所一手建構完成，該超精密加工機可以達到次微米的精密加工。我國代表團此行所參觀之專門生產工業用感應子之 Sick company，即指出該公司也嚐試以這個技術來製造微光柵以進行分光技術的應用。

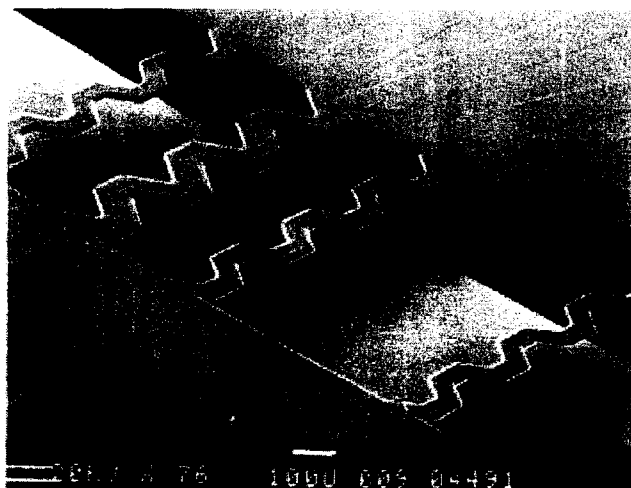


圖十 德國微機電學院 IMTEK 之微機電陶瓷鑄造技術



圖十一 德國微機電學院 IMTEK 之生物晶片

IMTEK 中從事微機電研究工作之 18 位教授的專長，包含微機電的設計、微機電技術的應用以及生物科技的應用等等。舉例而言，IMTEK 所從事之微機電的陶瓷鑄造技術成果即可由下列圖十的架構中得知。其目的乃是由於除了傳統 LIGA 的電鑄母模製造技術及塑膠量產複製技術外，還希望能夠用陶瓷等其他的複合材料來製造微機電結構。在生物科技方面的應用則可由圖十一中之結構來顯示其生物晶片計劃目標乃是希望能發展出可以在晶片做到如量測膽固醇、氧氣、流場、及溫度等生化檢測的功能。而圖十一中則說明為了量測流體的流速以供生物晶片使用，IMTEK 也利用微機電的製造技術來開發製造量測感應子技術，如圖十一所示即為一個利用熱線原理(hot-wire anemometry)來進行流速量測之微感應子，其目前成果可達到每小時 500 nl 的解析度。



圖十一 德國微機電學院 IMTEK 之微流體流速量測晶片  
前述德國這種將微機電作為一個自大學部到研究所一條鞭式的教

育方式，的確與其他國家僅將微機電技術列入大學部學程的訓練方式完全不同。此種做法基本上是考慮在大學部之教育過程中，即開始以微機電作為該些學員畢業後之專業的想法。當前世界上的其他國家均思考僅於現有的大專院系中加入微機電相關之課程，而等到研究所時，才開始考慮落實學員在大學部所習得之專業領域知識於微機電中，並將此一領域知識之應用作為訓練之專業。由於訓練之時間較長，因此德國此種做法所訓練出來之工程師的確有可能有極完整之訓練，誠然也值得其他國家作為規劃微機電教育時之參考。

簡言之，當前世界各國之科技與學術領導人基本上還是認為大學部應該如現在之學制與訓練方式，實施分科教育來建立完整之領域知識(domain knowledge)，但是同時也利用微機電系統平台的所有思路來進行跨科系的整合，以求能在今天這個高速競爭之時代中保持領先。換言之，當前之微機電教育主流，基本上希望這些學員在大學部的學習過程當中，能利用傳統的分科教育來取得現有平台的科技與應用領域知識，而後再經由跨領域學程所習得的微機電相關技術來做進一步的應用探索。相對而言，在德國的做法當中，他們於大學部就開始將微機電做為一個專業領域來進行訓練，希冀能夠利用微機電載具來使學生了解到該領域所擁有的技術，進而能於基本面取得創新來創造新的視野及新的技術。

值得注意的是即或如德國之做法，在 IMTEK 之所有教授當中，也只有少數是微機電製造技術、或是具有半導體相關之微機電專長，其教學及研究之主題乃是要考慮微機電的應用範疇，並且利用微機電的系統平台科技來推動微機電的教育，雖然此種想法在某些層次上之做法與其他國家不同，但其思路或是系統應用的典範皆是與其他國家相同的，均是認定微機電科技的確是一個以系統平台為驅動源的科技。以我國國科會微機電及奈米科技推動小組在兩、三年前開始思考微機電推動的典範，其結論是微機電之推動將不再只是於微機電製造技術的開發，而是將各種系統的平台快速的整合，同時藉由領域知識之整合來研判如何利用微機電技術來產生基本的衝擊與想法，此種想法與世界各國有許多不謀而合之處。在會議當中我國的報告也的確備受各國矚目，同時亦引起非常多的討論。

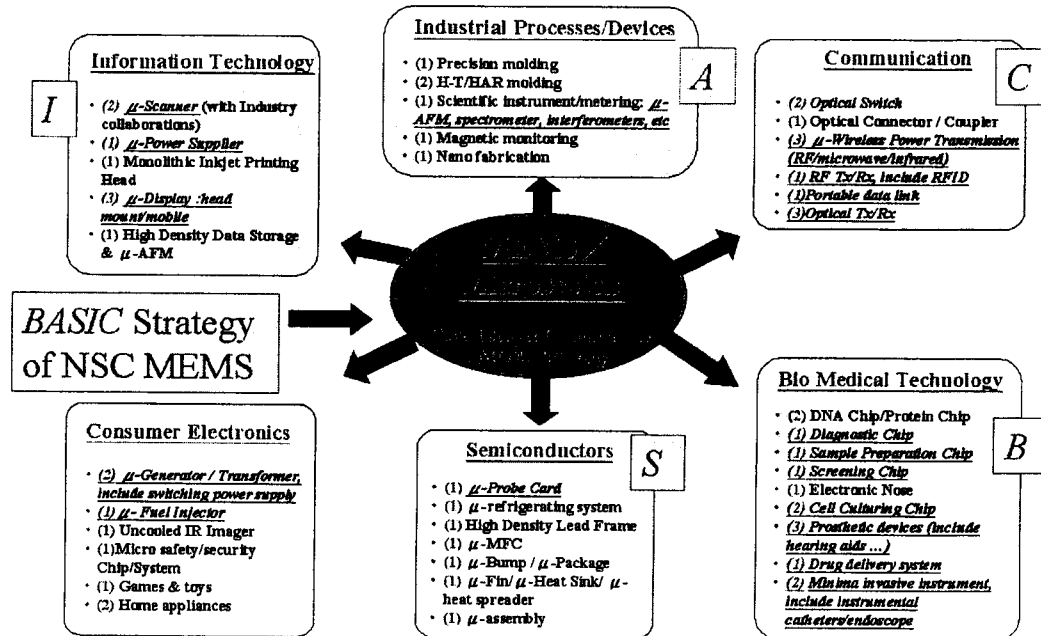
### 丙、美國

美國柏克萊大學 Professor Pisano 的演講以及其他該國代表參與人員，所提出各式各樣的有關於知識經濟時代中，學校之商業模式與架構，的確發人深省。這些討論提及美國的教育方式著重於多

樣性與多途徑，在訓練人才方面，雖然沒有像日本一樣從小學生做起，但美國的政策中提及如何延聘各國優異人才，並且在學校教育裡嚐試各種創新之策略。舉例而言，其對於工程師的訓練並不侷限在學校教育之改進，尚且借重專業的工程師組織，如 SPIE 或是 METRIC、國際電機工程師學會 (IEEE)、美國國家機械工程師學會 (ASME) 等等來進行，這些專業工程師協會目前都在開發微機電的相關課程，以加速各種工程師的微機電專業訓練。除此之外，ASME 亦且支持及準備一份給美國國會的有關微機電的進展與現況報告。由於這些專業工程師組織的支持與討論，美國乃在西元 2000 年由總統簽署了 NNI(National Nano-technology Initiative) 國家型計劃，正式全面推動微機電及奈米科技。除了利用專業工程師組織來推動工程師的訓練，並且爭取政府單位的支持以外，美國之學術界領導人亦且對於學校之功能與運作模式，提出一系列之問題，由於網際網路時代的來臨，所有的課程內容都已經逐漸被放置於網路上，以柏克萊大學為例，該校已經將微機電的課程都放在網路上，其網址為 <http://www.eecs.berkeley.edu/eecs045>，有關於 Process and Optimal Design of MEMS 之網址為 <http://www.me.berkeley.edu/me219>，麻省理工學院(MIT)最近也花了幾億的經費將他們所有的課程都放置於網路上，而目前這些網路上的課程均是自由免費的交給全世界的所有人來下載學習，或是拿來從事學術方面的研究，此種經由網路進行自我導向學習之模式一旦建立，並藉由寬頻網路的快速發展來推波助瀾，將徹底改變傳統的學習模式。此次美國微機電方面之代表則提出一個標準之資本主義的觀點來審視此問題，那就是學校運作的商業模式將須重新思考？再者若將所有的課程都放置在網路上之後，學校教授及學校的商業層面應該如何順應變遷？學校角色是否應轉化成 Certification Process 的價值？學校角色或許將不再能完整的進行傳道、授業、解惑，而將變成僅僅是證明(certify)學生達到了學習目的的媒介。於此一資本主義的觀點下，孔子所言為人師表的傳道授業解惑等目的，在面臨 e-化的衝擊時，學校在授業方面的比重將大幅降低，換言之，學校的角色必須經歷符合時代需求而不斷變遷，如何變遷將是一個值得重視與省思之議題。因此美國代表們所提出的在網際網路學習模式中，學校的商業模式將如何被重新定義的問題，定將是一個未來開發微機電訓練與教育時的重要議題。

丁、 我國

## Target of MEMS Fields in Taiwan: MOEA and NSC hand in hand



圖十二 我國所專注推動之微機電相關應用領域

承蒙工研院電子所、國科會北區、中區及南區微機電中心，交通大學機械系的微機電教學資源中心等單位所提供之完整資訊，我國代表乃得以清楚且完整的將我國於微機電領域相關的教育作了一個報告。於此次報告中，我國的代表指出：由於微機電科技領域的發展典範已經從製造科技的改進轉化成為利用系統平台作為驅動的形式，在過去幾場高峰會議的報告當中，業已清楚顯示我國在微機電領域及相關產業中，並未能掌握領先全球的系統平台，所以在我國過去五年來之微機電系統推動方案規劃中，均是以代工的架構來作為先期的規劃架構，此架構的推廣與整體配合，在歷經了經濟部及國科會共同合作的思考下，明確的訂定了微機電系統的推動策略。

| Company | Major Products                     | Investment Scale |
|---------|------------------------------------|------------------|
| A       | ● Inkjet Head                      | ~ 20 M US\$      |
| B       | ● SAW & AWG , ODM                  | ~ 50 M US\$      |
| C       | ● SAW & RF Receiver                | ~ 20 M US\$      |
| D       | ● Optical Comm. & Wire Comm. , ODM | ~ 50 M US\$      |
| E       | ● Accelerometer/Pressure/IR Sensor | ~ 10 M US\$      |
| F       | ● DMD ODM                          | ~ 30 M US\$      |
| G       | ● VCSEL & Thermal Sensor           | ~ 10 M US\$      |
| H       | ● Integrated Micro Phone           | ~ 10 M US\$      |
| I       | ● Biochip & Micro Array            | ~ 20 M US\$      |
| J       | ● Nozzle Plate                     | ~ 10 M US\$      |
| K       | ● VCSEL & LED                      | ~ 20 M US\$      |
| L       | ● Optical Comm. & Wire Comm. , ODM | ~ 50 M US\$      |
| Total   |                                    | ~ 300 M US\$     |

圖十三 我國 2001 年微機電領域新投資一覽表

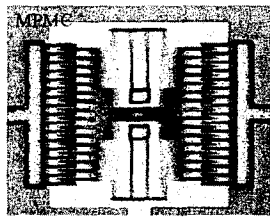
以圖十二之資料，可清楚的看出我國經濟部技術處經由工研院之推動，在微機電的相關領域當中，所將專注應用微機電之工業包括生物科技、工業製造程序及元件、半導體技術、通訊技術、資訊領域及一般家用電子。國科會工程處之微機電與奈米科技推動小組則在 1999 年年底通過了 *BASIC* 策略(Biology、Automation、Semiconductor、Information Technology、Communication)。仔細比較可發現，前述兩個推動重點實屬不謀而合。此種跨部會之同心協力的推動策略，確使我國在過去五年當中，不論是學界或產業，於微機電之推動均已經逐漸收到成果。由圖十三的資料顯示，即或不包含我國在美國地區的微機電投資，過去的一年當中，我國在微機電領域之投資已經高達約三億美金。同時如圖十三所列之 A、B、C、D、到 L 的公司當中，即包含了三家微機電的代工廠。於會議之報告中，我國代表也表示目前全球尚無支持專業微機電代工廠所需之大環境，所以即或公司之投資將以專業代工廠為終極目標，目前仍究必須注重微機電技術所將使用領域的範圍，同時也必須注重專業發展，以確認微機電生產工廠之產能，在未有足夠其他公司所委託生產之量時，可以被自行開發之微機電產品之生產所填滿。

除提到發展策略以外，我國代表也指出另一件值得探討之事實，在過去世界各地的微機電領域開發過程中，多由電機領域的工程師或

專家來作為主要的推動及執行者，但在我國推動微機電之過程中，由於我國半導體工業之強勢，因此在最開始時，反而電子電機的人不多，多是由機械領域的人員來積極參與微機電領域之訓練與推動。此一現象在吸收學生或工程師來進行訓練時更為明顯，換言之，我國之機械領域之學生，相較於電機領域之學生，更為熱衷的參與微機電工作之推動及研究工作。此推動架構及現象，在我國過去幾次於相關領域的回顧與分析當中，均清楚的指出讓機械專長之人員快速進入微機電的製造技術精髓及尋找應用平台之方法，乃是首先必須讓這些人了解製造程序，同時讓這些人員及學生能夠快速的接觸到微機電的整體思路與架構。

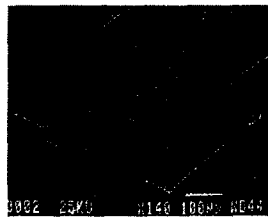
- MPMC (Multi-project MEMS Chip) - 1st at Taiwan
- SCREAM - 1st at Taiwan
- Surface/Bulk Hybrid processes - 1st in the world (patent pending)

+ A 2P1M comb actuator driven  
at resonant frequency~1.5KHz



R.-S. Huang, 2000

+ A 30  $\mu\text{m}$  thick comb actuator



R.-S. Huang, 2000

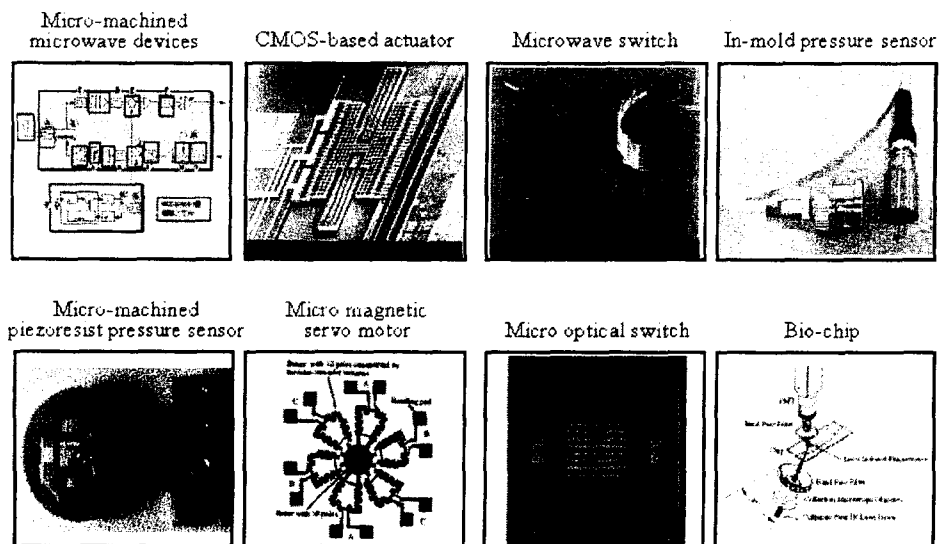
+ Optical switch



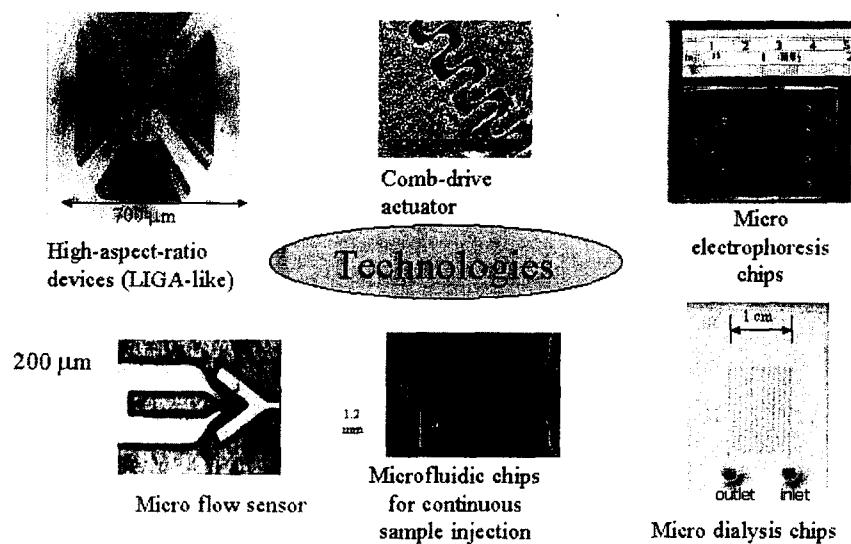
W. Fang, 2000

圖十三 我國微機電製造技術部分範例  
(以國科會中區微機電中心製造科技為例)

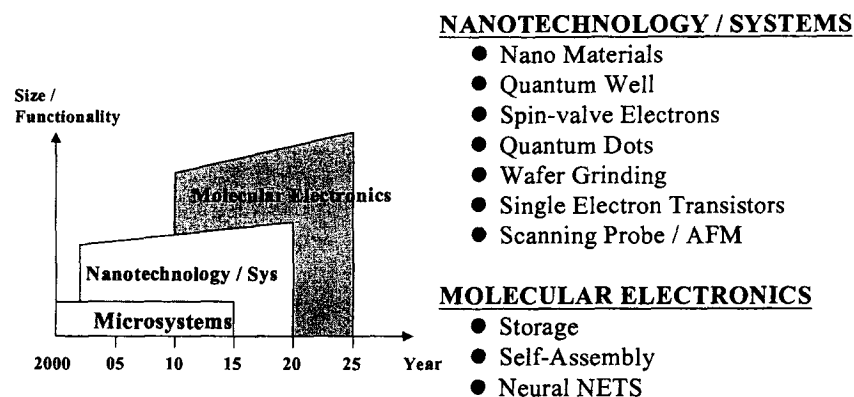
在此一認知及推動架構下，國科會乃積極推動北、中、南三個微機電中心，由圖十三當中，可以得知我國在微機電領域的發展經由過去數年之推動，業已日趨成熟。由該圖中可清楚看出，我國之中區微機電中心目前正在推動 MPMC(Multi-Project MEMS-Chip)晶片計劃，他們已經能夠將各種不同的元件經由單一晶片計劃來進行專業的代工與協助技術。北區微機電中心則推動包含設計在內的通訊微機電科技，並依此載具提出各種微波製造技術、微波的開關設計與製造等等技術。相同的，我國南區微機電中心則利用生物微機電 (Bio-MEMS) 領域來作為主要的開發平台，希望達到能夠設計出微生物檢測晶片以及運用微流體科技來設計之生物晶片等等。此些成果盡皆顯示我國在微機電領域的快速發展與成果。



圖十四 我國微機電系統研究部分成果範例  
(以國科會北區微機電中心之通訊微機電發展典範為例)



圖十五 我國微機電系統研究部分成果範例  
(以國科會南區微機電中心之生物微機電發展典範為例)



- Need more interdisciplinary Research/Educational Programs
- Min. of Edu.: Manufacturing Technology Program
- Each phase: 4 years and Year 2001 marks the beginning of the New Phase

圖十六 我國微機電系統研究與奈米科技逐漸接軌  
(以 NEXUS 來訪我國之報告及我國工研院奈米科技相關之規劃為例)

我國之奈米科技相關技術正被快速的建構，因此我國也正迅速的將微機電技術與奈米技術作接軌之嘗試。我國奈米技術與微機電的主要連結模式，始自 NEXUS 來我國訪問時與工研院奈米科技相關規劃小組進行討論時開始成形。依圖十六之分析與規劃，估計到西元 2005 年時，全球之奈米科技與微機電系統將必須開始接軌，而分子電子 (Molecule Electronics) 技術則可望於 2010 年進入微機電與奈米科技之科技應用的範疇。由此可知屆時微機電與奈米技術將包括奈米材料、量子井 (quantum well)、量子點 (quantum dot)、單電子電晶體 (single-electron transistor)、掃描儀等等。在分子電子技術的部分則將包含儲存、自我組裝等等。

除了前述這些跨工程或科技領域之探討中，我國亦發現要正確之推動微機電工業，將需要更多的跨領域研究，同時亦必須將所包含之領域推廣超出傳統工程或科技之領域，進而包括其他商學或企管之領域。易言之，由於我國教育部目前也已開始推動教育資源中心的建構，我國各級學校在推動微機電的課程中，發現要推動這些架構，不僅需要進行包含金融及企管等跨科系整合，同時也需要加入商業規範與智財權的訓練，才能訓練出一個具有全面眼光與知識的工程師，也唯有藉由這樣之整體整合，微機電科技之充分運用及成長方是指日可期。

## Interdisciplinary in Science/ Engineering/Business/ IP

- Science/Engineering
  - Academic Programs(non-degreed):
    - Micro-System Technology in NTHU undergraduate is approved
    - Nano-technology in NTU undergraduate/graduate is planned
  - New Institute(graduate level):
    - Mechatronics and MEMS in NTU,NTHU,NCTU,etc. is planned
  - New Programs(Undergraduate):
    - MEMS programs for junior colleges(leadership does not approve new departments due to application driven development paradigm)
- Business/IP
  - Center of Innovation and Entrepreneur in NTU is planned
  - Center of Nanotechnology and MEMS is approved within NTHU
  - Center of Entrepreneur: jointly by NTU, NCCU, NCTU, and MIT
- Need Cross-disciplinary Experts
- Need Experts in Technology but Familiar with Business, etc.

圖十七 我國微機電系統教育典範：不僅需要進行傳統之跨科技整合，亦需加入商業規範與智財權訓練方可確認新一代之工程師可以於現代社會中生存茁壯

圖十七中顯示目前我國推動微機電教育相關過程所產生之部分認知與目前之狀況。我國清華大學之大學部業已成立微系統科技學程，並且實行多年，而台灣大學之大學部以及研究所學程也已規劃出奈米科技的相關訓練。除此之外，在研究所的部分，清華大學與成功大學均已獲教育部核准成立微系統工程研究所，並有台灣大學、交通大學在規劃機電整合與微機電等相關科系，在大學部則也有各種微機電的學程正在規劃中。基本上，我國學界領導人並不贊成利用建構新的大學部學系來作為微機電訓練的基本架構，除這些工程與跨科系的整合以外，我國規劃微機電領域之推動典範中，也規定希望能夠整合更多的領域，如台灣大學的創新與創業學程、清華大學的微機電與奈米科技中心，台灣大學、交通大學、政治大學、以及 MIT 所共同設立的創業中心等，都是如此的典範，可以顯示新一代微機電課程的訓練，將不僅是跨科系領域的整合，還必須兼具商業及智財權的訓練。

### 結論：

綜觀此次在德國舉辦的微機電高峰會議，會期中以教育與微機電的關係作為此次高峰會議的主軸，在會議的各種討論當中可以清楚的看到微機電科技在經歷十年的深度開發，業已快速滲透到人類的各種生活當中，同時微機電領域的兩大應用主軸：利用微機電技術開發以

往傳統技術所無法達到的技術平台與領域，以及將現有的各種科技領域運用微機電科技的平台來做改進等均已成型並且快速發展；除此之外，網際網路的來臨以及人類知識經濟的快速成型等兩大因素，均使得教育領域在基本上產生了重大的變革，微機電領域的發展與技術的開拓在教育領域上均產生重大衝擊。舉例而言，當世界各國均將教材逐漸的建構於網際網路上，同時允許世界各國的人民自由的下載，在家學習之夢想將逐漸達成；可是相對的，當這些寶貴的教材在經過寬頻網路得以快速的取得，人類在彈指之間可以隨手取得各種智慧的結晶，如何教導人們妥善的運用這些知識，將成為教育過程的一個重大考量。除此之外，正如美國柏克萊大學學者所言的資本主義論點，學校的商業運作模式將必須進行重組，相信此想法應該可以與傳統教育的思路有正向互動，一旦基本資訊可以隨手在網際網路上彈指取得，那麼言教不如身教的傳統古訓也將需要具體的被實現。易言之，我國傳統對業師的期望，在大學中的指導教授將帶領著學生從體驗生活到開發科技以得到豐富的知識，以全新的眼光面對教育，逐步達到真正新世代的教育理想，在前述這些變革之下，或可提供一盞明燈。藉由微機電與現代科技的相互衝擊，人類的科技將會更進步、更光明。除此之外，值得思考的是如何建構微機電的教育相關問題，跨領域的平台已成為全球各國推動微機電教育的不二法門與典範，雖然全球各個國家對於是否於大學中設立專門的微機電學系或學院之做法並不相同，但基本上全球對以系統平台來推動微機電科技的模式，均視為一個絕對正確的手段與策略，我國則提出，除了進行跨科系與跨工程的整合外，要能夠有效推動微機電技術的落實與生根，在訓練過程中也需引入商業的訓練以及智慧財產權的管理，才能使得全人教育的理念得以實踐，並且藉由與微機電領域的正面交互衝擊來達到更高的境界。

### 三. 與會心得與建議

我國微機電系統領域，在經過了五年的努力與發展，業已逐漸成熟。在過去五年當中，可以清楚察覺到我國微機電技術從毫無基礎到逐步建立，在經濟部方面經由工研院共通實驗室(ITRI Common Lab.)建立起與業界共同合作之各種基本平台技術，各種製造技術的積極開發，使得各種技術平台可以順利的進行技術的整合與精練。同理，學界方面在國科會微機電與奈米科技推動小組的北區、中區及南區等三個微機電研究中心，各有其職責、相互競爭、並且共同合作。經過了三年將近三億台幣的投資後，快速的替我國訓練出各式各樣微機電的人才，其研究成果也快速的使我國機械領域及其他領域的研究學者、

以及學生能夠迅速進入微機電的領域。除此之外，我國教育部顧問室也利用四年一次製造科技領域教學改進方案重新定義的機會，將微機電領域列入各種教育資源中心的設計。除了在機械領域當中的精密機械推動辦公室底下的微機電教學資源中心外，在機電整合以及航太科技等兩大推動辦公室的推動之下，都有許多教學資源中心，包含光電、塑膠模具、及航太科技等等，均在教學中心開發課程當中列入了各種微機電之相關學程與設計，此一現象顯示我國在微機電與其相關科技領域的推動過程當中，各單位可算心手相連、攜手合作。

綜觀我國在經過五年的微機電推動工作之後，在今年即或不考慮我國在美國投資微機電相關領域之金額外，也已經創造了將近三億美元的投資，其中還包含了三個全新的微機電專業代工廠的建立。這些跡象都顯示我國微機電領域的蓬勃發展，如何趁勢而為，將微機電此一重要技術做進一步的精進，同時使得我國微機電科技可以落實在各種系統平台科技上，當有可能使我國微機電產業能如同電子產業一般的快速達到蓬勃發展，若能如此，利用微機電技術來達成第二波的台灣經濟奇蹟，將是指日可待。

#### 四. 攜回資料名稱及內容

Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Micromachine Summit。論文集中收集了各口頭報告論文與投影片。

附錄(4)：

MEMS Summit 2002

出國報告

April 28, 2002

The delegates arrived Holland at four different flights due to assignments and responsibilities of each delegate's organizations of the previous week. In fact, the delegates arrive from Taiwan, France, and USA separately. Dr. Charles Peng, Ms. Isabelle Chen and her husband Mr. Lai greeted all of them. Three of the delegates got the chance to visit Keukenhof (cook garden house) to see the tulip garden of Holland that open only once a month every year. The varieties and layout of the tulip garden is astonishing. The visit is an enjoyable and eye-opening experiences, which quickly make the delegates feel at home and ready for the extensive visiting and collaboration discussion programs.

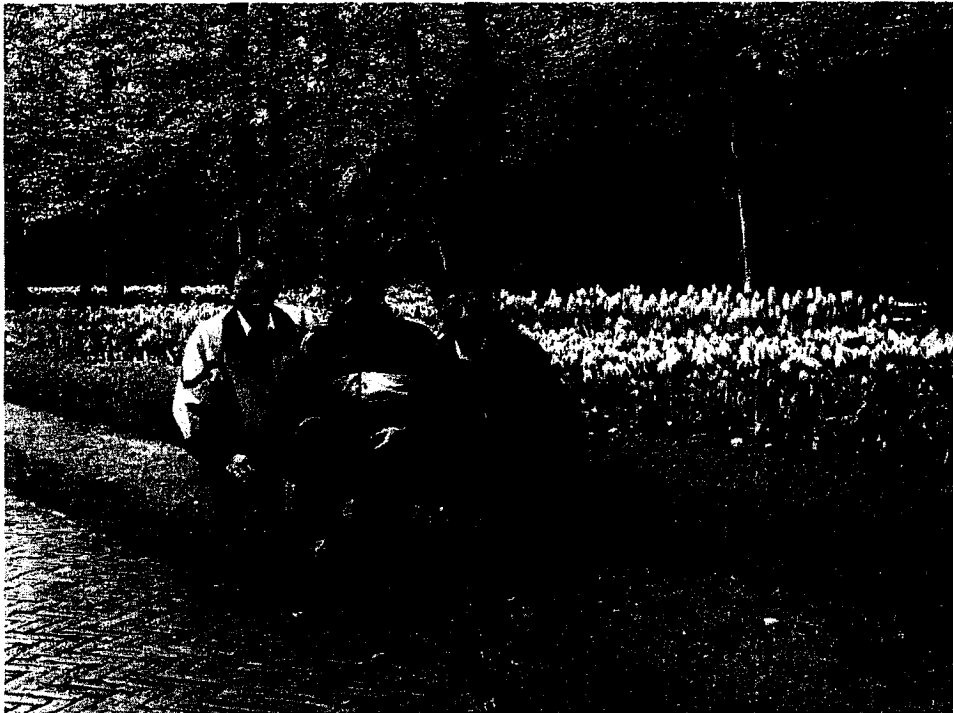


Figure 1. Scene of Keukenhof, Holland

April 29, 2002

The whole delegates accompanied by Dr. Charles Peng stayed in Hotel Sofitel Den Haag (Fig. 2) near the train station and leave for the first day visit of TU Delft at 9:00 am of April 29, 2002.

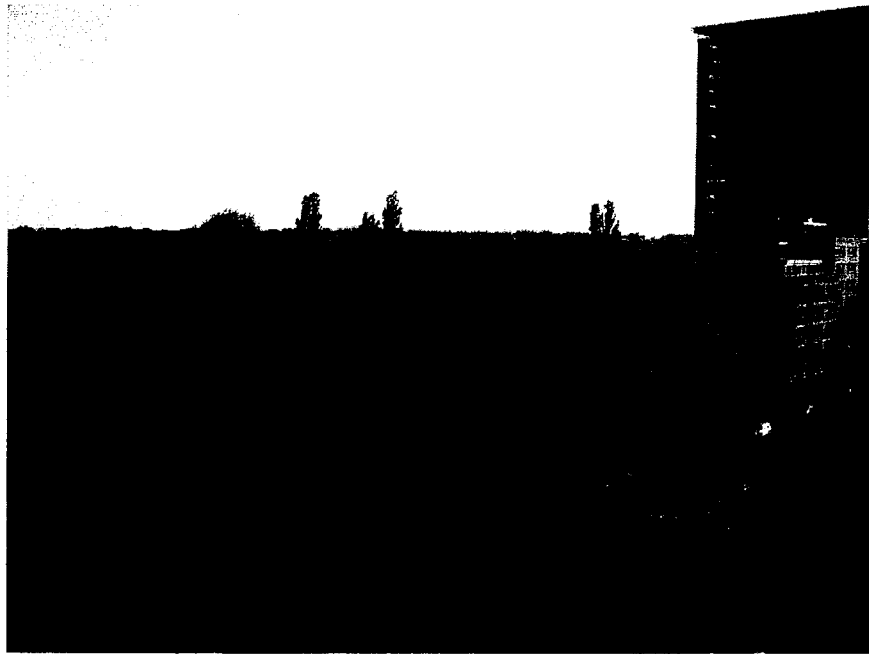


Figure 2. View of Holland from Hotel Sofitel Den Haag

### **Technical visit at Delft University**

Contact: Prof. Dr. Lina M. Sarro, Feldmannweg 17, Room 0.04, Delft, [sarro@dimes.tudelft.nl](mailto:sarro@dimes.tudelft.nl), [www.dimes.tudelft.nl](http://www.dimes.tudelft.nl), Tel: (+33) 15 278 7708, Fax: (+33) 15 278 7369.

### Overview Presentations: Dr. Joachim N. Burghartz, Scientific Director DIMES

Delft is a technical university with 7 departments of 18,000 students. DIMES was founded at 1987. Now, there are about 300 staff, with Class 100 Integrated Process Lab (ICP) and class 10000 nanotechnology Lab., and special applications labs (SAL). Total budget of DIMES is around 21M Euros per year. The four themes of the lab, including high frequency technology for communications, integrated smart Microsystems, large area electronics, nano-electronics, etc. DIMES abroad activities include a new training center in Tsinghua University of Beijing, China and various joint research activities all over the world. Base processes include 20nm e-beam lithography, nano and deep UV lithography, etc. The SAP labs were created to make more flexibility to the peripheral labs while trying to keep the fabrication capabilities stable in order to provide service and timely foundries to the research need and industrial service. Jointly develop the industrial processes IBM BiCMOS.5hp, IBM BiCMOS.6hp, IBM BiCMOS.7hp, UMC, National, etc., which DIMES sent the design to the various companies for fabrications and then came back for either post-processing or just testing.

More than 100 Ph.D. students came more than 25 nationalities are involved,

training is very strongly emphasized, and the growth is significantly with the strong market demand. The trends output is steadily increasing with time, however the dissertation needs in many cases are conflict with the market need. DIMES published around 500 papers annually.

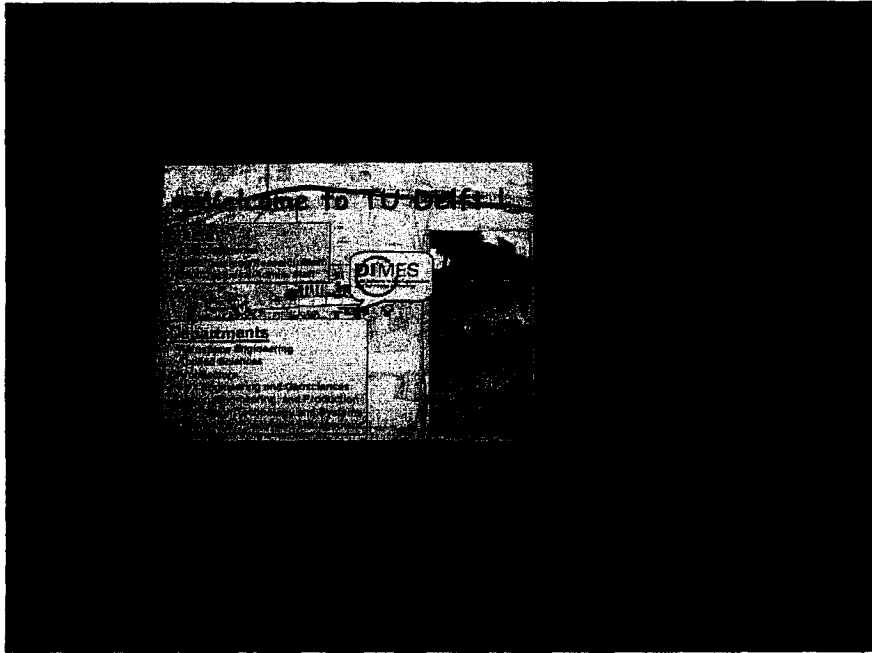


Figure 3. Presentations of Dr. Joachim N. Burghartz

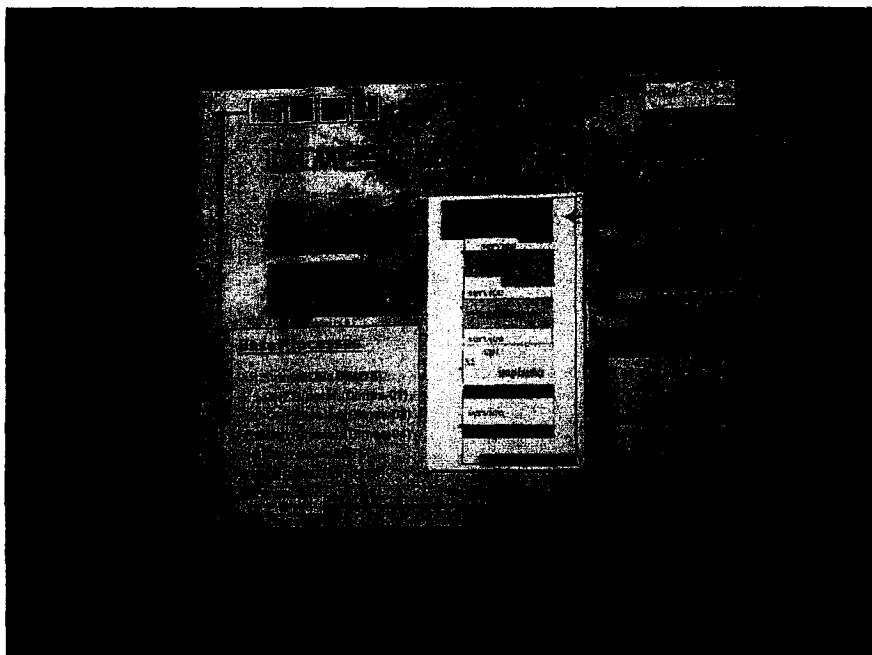


Figure 4. DIMES' ICP Lab facilities.

#### DIMES Theme

##### I. High-frequency technology for communications

High frequency processes, modeling, design tools and test methodologies, etc.

Program 1: Exploratory HF devices on silicon on glass. The aim is trying to push high frequency applications and application horizon of silicon technologies. Micromachining for RF applications include through chip processing, etc. wafer level chip scale packaging, etc.

Program 2: compact transfer modeling, wireless transceiver and microsystem interface external system interface.

Program 3: Ubiocom transceiver design of 70GHz design. The application vehicle is transceiver to be mounted on the sun-glasses.

## II. Integrated Smart Microsystems

Full packaing, interaces, etc.

## III. Nanoelectronics

Nano-scale electronics, materials, and also atomic scale electronics (atomic scale transfer, etc.) are some of the themes.

## IV. Large area electronics

Thin-film solar cells (thin-film, flexible, tandem, transverse-junction, fast deposited), and large area electronics (thin-film Si crystallization, thin-film Si transistors) are some of the projects being pursued now. Uniform Si crystallization at specific areas are placed across the wafers.

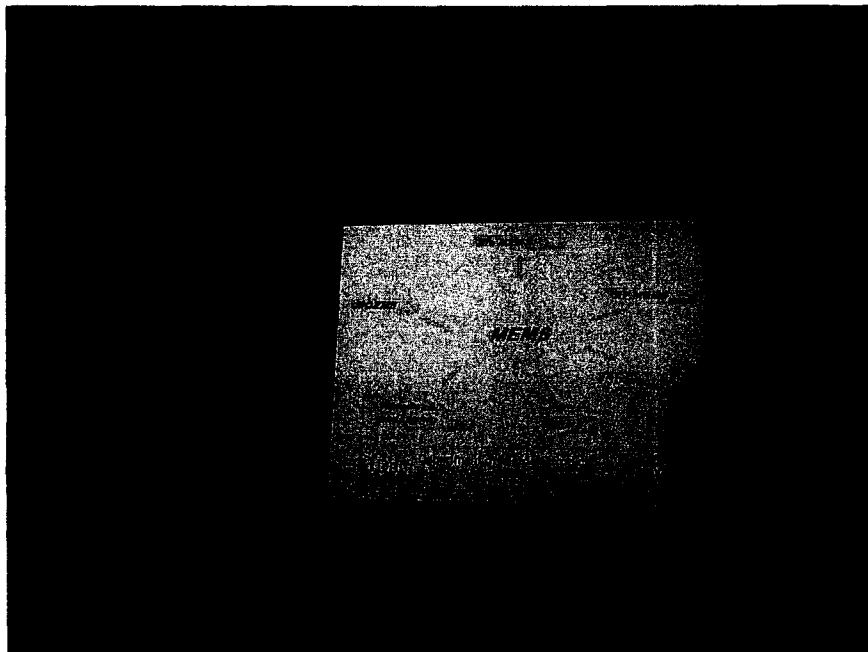


Figure 5. Presentations of Dr. Dr. Lina M. Sarro on microsystems

### Integrated Smart Microsystems (theme II) presentations:

As both CMOS and BiCMOS processes are available in DIMES, the main targets are to have all the MEMS processes consistent with the electronics, which for

example means that the processing temperatures are lower than 400 degrees C. More specifically, IC compatible, low cost, and low complexity. Some of the main areas of interest include MOEMS, RF MEMS, BioMEMS, 3-D electronics, wafer-scale packaging, NEMS, etc. One of the latest post-processing steps developed includes using polyimide as the sacrificial layer and all dry processes are needed for release in order to prevent stiction, etc. Wafer-to-wafer bonding is done with temperature less than 400 degrees. Anodic bonding processes of silicon-glass and glass-glass were developed. An European processing project includes high density through wafer interconnections, which include metal wires (DIMES) and molecular wires (other European organizations). A process called bottom-up plating involves Cu was used to make via connections and full area/partial area plating, which uses evaporation process to create seed layer first, then thickening by plating, then the whole wafer flipped up side down and then restart the through via plating. The lateral dimensions can be as small as 5  $\mu\text{m}$ , and the thickness can be up to 200  $\mu\text{m}$ , which corresponds to aspect ratio of 40. Inductor defined in electroplated photoresist for metal layers.

#### Presentation on BioMEMS by Prof. Paddy J. French:

A project includes multiple-parameter blood sensor which include pressure sensors, oxygen sensor, and flow sensors in order to give the surgeon the full pictures of the patient. The flow sensor was based on hot wire technology. Using 650 and 800 nm wavelengths light beams, which basically check the redness of the blood, did the oxygen saturation. The pressure sensor is basically a piezoresistive sensor. Using a deep structure to have the  $\text{CO}_2$  diffused into a chamber did the  $\text{CO}_2$  measurement. A 4.35  $\mu\text{m}$  light beams was used to detect the presence and concentration of  $\text{CO}_2$  as light beams of this wavelength is strongly absorbed with the presence of the  $\text{CO}_2$ . An integrated (sub) nano-liter array for high speed screening (HSS) biochips was developed. A nano-liter fluid cell was created by micromachining. The heater, photo-detector, fluid volume detector were made underneath the cell. Light source was shown from the side of the cell and the photo-detector was used to detect the light transmissions of the fluids, which makes this chip a complete optical processes. A micro-pillar based DNA separation chips was jointly developed with Mitsubishi Electronics.

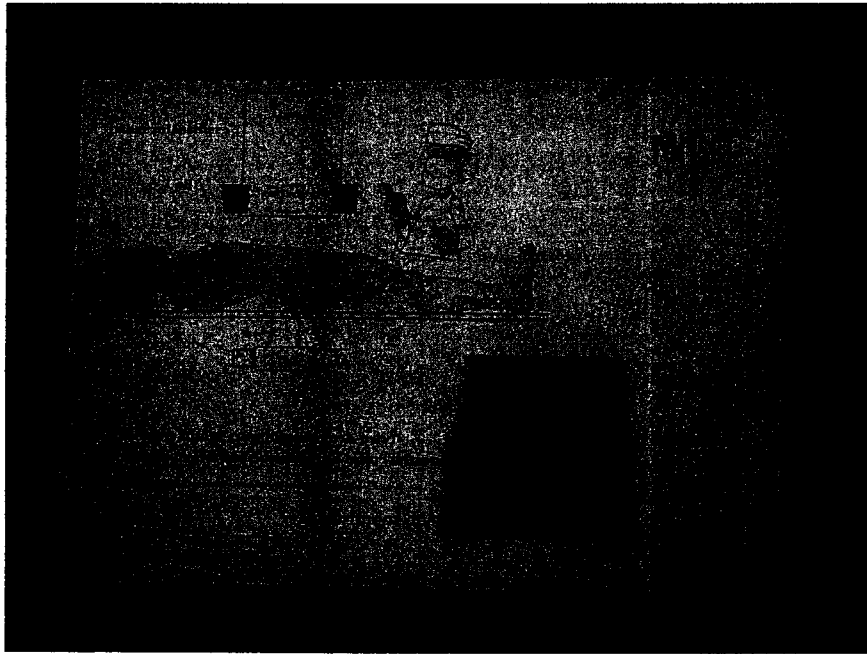


Figure 6. Sample Presentations on BioMEMS

Presentation on Silicon Optical MEMS areas:

MOEMS in this group is trying to make “dump optics” to become “smart optics” (silicon technologies). The applications include astronomy, ophthalmology, laser technology, optical instruments, etc. The main theme of the group is the adaptive optics, which includes wavefront sensor and an adaptive corrector. The first kind of wavefront corrector is basically a stretched membrane and electro-static force is used to modify the local deformation of the membrane. The operating voltage of the deformable membrane is around of 300 volts. The second kind of wavefront corrector is liquid crystal (LC) based, which modify the phase of each LC pixel. The operating voltage of LC is around of 5 volts. The wavefront sensor is basically a Hartmann mask sensor (an array of 400 $\mu$ m diameter holes was placed on top of a corresponding array of position sensing detectors (PSD)). The local slope of the incoming wavefront was detected by using each matching pair of Hartmann mask (hole) and the corresponding PSD.

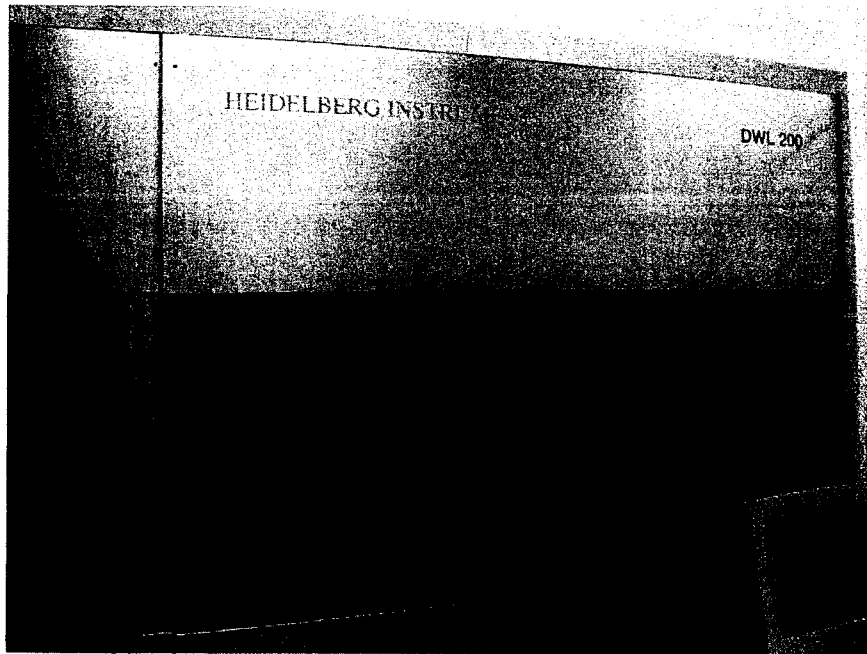
Presentation on NEMS areas:

This area has just been started. The NEMS is currently done with carbon nanotubes first. Silicon technologies are currently being pursued as well. Ref: D. W. Carr *et al*, *APL*, 75 (1999) 920. The data obtained does indicate that nanotube and silicon beam have about the same resonant frequencies. Nano-electromechanical SET (NEM-SET) single electron induced mechanical

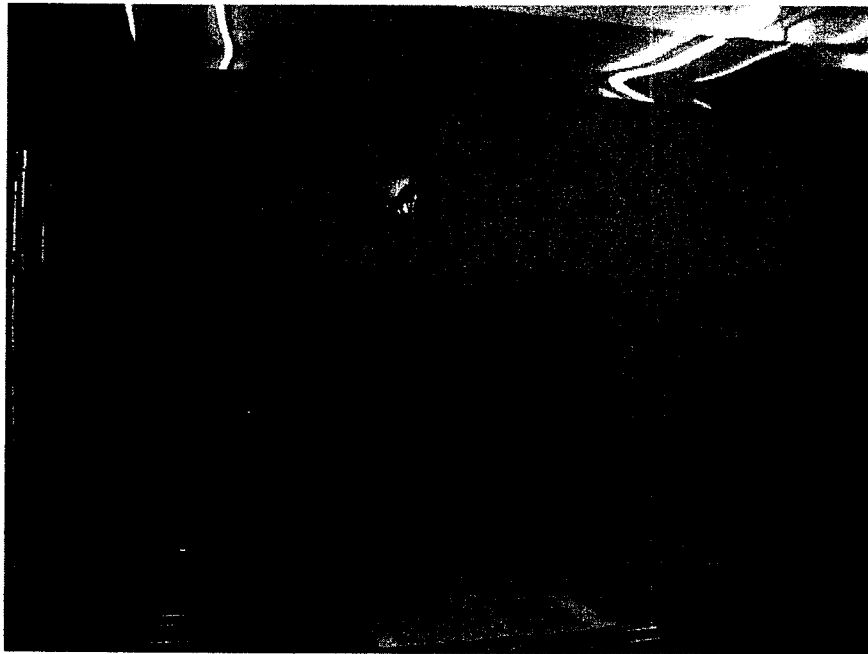
deformations is another research topic of interest that started 8 months ago. The alignment marks were done at the beginning of the process. The single wall carbon nanotube was spun onto the wafer. Once it is located, say by AFM, with respect to the alignment marks, the electrode was added to the located single wall nanotube. The release was done later on. A breath mode of 720 GHz of the CNT was found. In the future, NEMS with semiconducting inorganic nanowires will be pursued as it use same technology as for naotubes to generate contacts. It is concluded that nanotube technology may have major advantages such as smoother surfaces, better sensitivities, etc..



Figure 7. Lunch meeting with technical members of TU Delft (left: Dr. Joachim N. Burghartz, Scientific Director DIMES).



(a) Laser writer for masks



(b) Ion Implanters



(c) ASM stepper

Figure 8. Tour of the fabrications research facilities in TU Delft. Only the instruments not available in Taiwan's MEMS centers are shown.



Figure 9. Photos of Den Haag HS, where the delegates leave for Brussel

The Taiwan Delegates end the day with a dinner meeting hosted by Dr. David Lee (李大維代表, 駐歐盟兼駐比利時), Representative of Taipei Representative Office in Belgium on our European students activities, the public educational systems of Belgium, etc. The tax rate here in Belgium can be as high as 60%. Around 40

Taiwanese students studied here in Belgium now. The number of our graduate students here in Belgium has continued to decrease for the last few years. Part of the reasons may lie on the languages used here in Belgium are Dutch and French despites the tuition of the graduate school here per year for students is less than NT\$20,000.

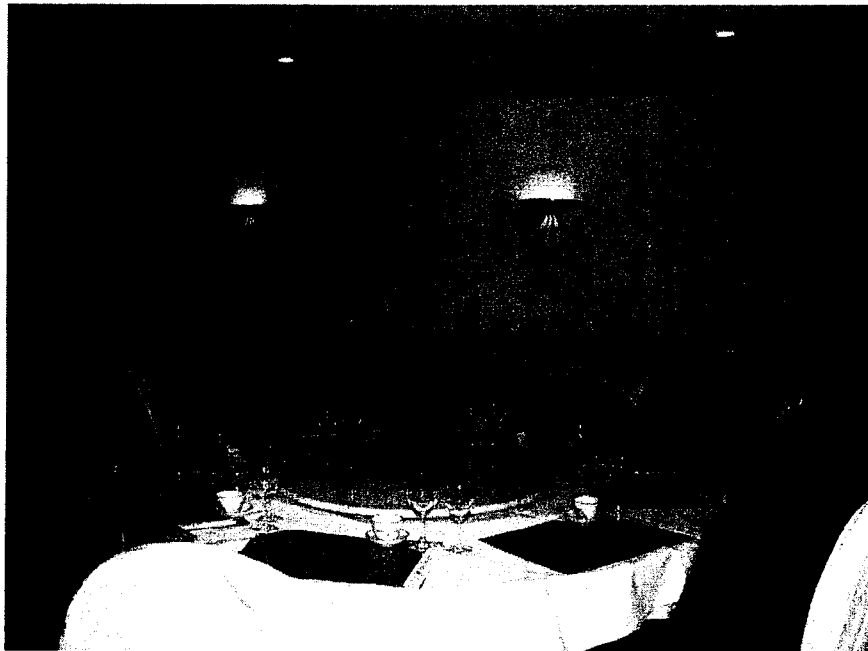


Figure 10. Dinner meeting with Dr. David Lee, Representative of Taipei Representative Office in Belgium (left: Dr. David Lee)



Figure 11. The Taiwan Delegates present a souvenir to Dr. David Lee, which is a laser engraved crystal of 3D Taiwan landscape on top of a high intensity LED light base. (left: Dr. M. S. Lin, Chief Delegate of Taiwan, right: Dr. David Lee, Representative of Taipei Representative Office in Belgium)

April 30, 2002

**Technical visit at Production Engineering, Machine Design and Automation (PMA), Department of Mechanical Engineering, Catholic University of Leuven (KUL)**

Contact: Prof. Van Brussel, Celestijnenlaan 300, 3001 Heverlee, Tel: (+33) 16 322 480, Fax: (+33) 16 322 987.

The delegates were greeted by Prof. Van Brussel in the university. Dr. Reynaerts gave an overview of the ME department as well as the PME division.



Figure 12. Presentations of Prof. Dominiek Reynaerts



Figure 13. Taiwanese Delegates, Professor Van Brussel (back right), and Professor

Reynaerts (back left) at the PME division laboratory.

Overview presented by Prof. Dr. IR. Dominiek Reynaerts, Associate Professor:

K.U. Leuven has 27,000 students and is a complete university that offers all disciplines for higher educations. Education and R&D of mechanical engineering (ME) areas are production engineering, machine design, and mechatronics. There are 4 divisions within the ME department, with PME as the largest division. A total of 100 staffs are in the PME Division. For PME division, there are around 70 Engineering degree students (now is European engineering degree and will soon become the master program per new European regulations). The Dutch master program is around 3 per year, and an English master program for foreign students is also available now within PME. There are about 3 Ph.D. students per year in PME. There are quite a few spin-offs from PME as well as for ME departments. The research areas include production processes, computer integrated manufacturing, dimensional metrology and quality control, design of light weight structures, etc. For micro-precision engineering, the research involves the adoption of shape memory alloy (SMA) for airplane wing control, robotic hands control, etc. In addition, SMA is also used for many medical applications, including microgrippers, etc. Micro-hydraulic actuator systems, which were made of EDM process, were also being studied here. It should be noted that EDM (electro-discharge machining) is also an active research areas of this division.

Hybrid technology, which includes Si processing, micro-milling, micro-EDM, injection molding, hot embossing, etc., is being developed to develop three-dimensional micro-machining process. Screen-printing process coupled with silicon micromachining to make conical shaped via holes were also being developed. It should be noted that conical shape was developed to make sure the silver screen printing paste will flow correctly into the via. Micro-power generation based on axial type turbine design and was made of micro-EDM on stainless steel will be pursued with a goal of 100 W as the specifications. The full integration of ME and EE is strongly pursued. For examples, piezoelectric actuators with configuration similar to the inch worm drive but with 4 spherical contacts, both 1 and 2 dimensional actuators are available, are being developed for processes such as ELID. Capacitance, eddy current, etc. were used as the sensing mechanism for feedback.

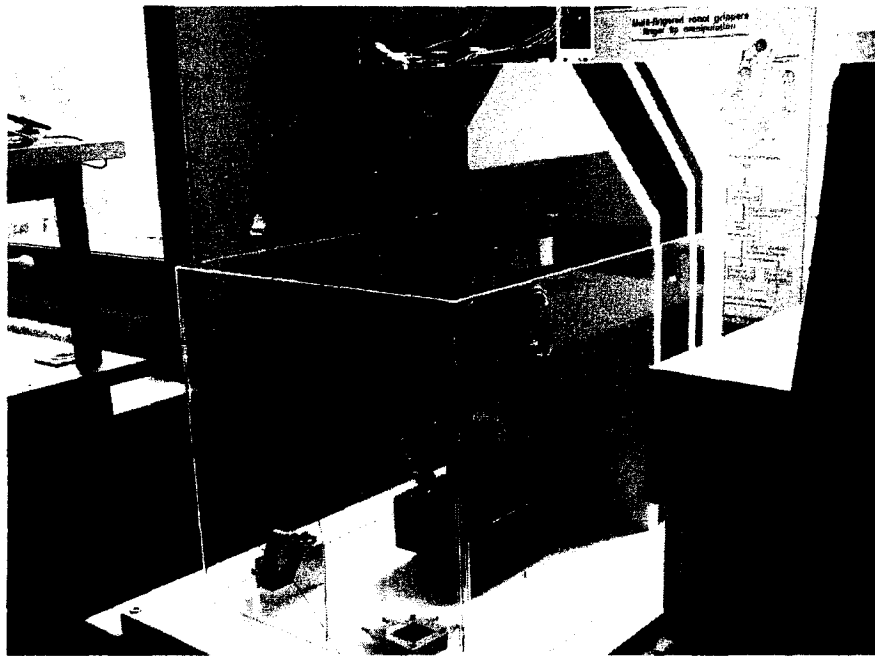


Figure 14. Grippers developed at the PME division of Catholic University of Leuven.

### Technical visit at IMEC

Contact: Dr. Kris Baert, Kapeldreef 75, 3001 Leuven, Tel: (+33) 16 281 211, Fax: (+33) 16 281 501.



Figure 15. Photos of Taiwanese delegation at the front entrance of IMEC. The stature is the founding director of IMEC, who is a Stanford graduate and is a classmate of Dr. Morris Chang of TSMC.

Overview presentation of Dr. Robert Mertens (Senior Vice President, Microsystems, Components and Packaging Division and Professor of Katholieke Universiteit Leuven, [Robert.Mertens@imec.be](mailto:Robert.Mertens@imec.be)):

The original goal was to develop technology of 5 to 10 years. Due to the rapid change and applications of technology, the goal was changed to 3 to 10 years. The Microsystems, components & packaging (MCP) has the mission to develop (1) enabling technologies for ambient intelligence (require horizontal integration with heterogeneous conditions); (2) to provide packaging solution following the MEC CMOS technology road map (require vertical integration, stress on the performance, high power requirements); (3) and to develop photovoltaic systems. Competence centers are used to build up research programs, which through matrix organizations to handle primarily 4 programs include multimedia WPAN, wafer level packaging and interconnection, micro & nanotechnologies for health and comfort, and photovoltaic and powers. Dr. Mertens consider that the micro & nanotechnologies for health and comfort will the most important part of the MCP division in 5 years. Inter-divisions or inter-universities, which include ESAT, etc., are involved in many of the research

programs. Discussions for different programs are as follows:

#### Multimedia WPAN:

Challenges are to archive higher bandwidth for a given energy budget & miniaturization, which involves integration of high quality passives including antennas that adopts wider range of values for R, L, and C, and all must be done within ever smaller dimensions. Other topics include RF-MEMS, SIP (system in a package) and/or SOC, and GaN power amplifiers (deposit GaN through MOCVD on SiC substrate, which most other research institutes strives for light beams applications) for base stations, etc.

For SIP, multiplayer thin film on SiC substrate (4 layers include ground, power, and two layers of inter-connections) with integrated passives for front end SIP for wireless (5GHz) and the active devices were mounted by flip chip technologies. The antenna integration program includes higher than 10GHz high-frequency small sized patch antennas, which as integrated on the glass substrate.

#### Wafer Level Packaging:

The main reasons of moving towards this area are (1) increasing compatibility of back end CMOS processing & packaging, (2) silicon chips for ambient intelligence will often be pad limited, (3) trend to flip-chip interconnections and to small pitch peripheral pads require wafer level redistribution layer, and (4) new functions for wafer level redistribution layer such as integration of passives and MEMS on chip (called “above CMOS” here). The wafer level packaging interconnection process is done after the CMOS process and due to the geometry, the pitch of the interconnects can be as high as 200 $\mu$ m, a much larger spacing than flip chip bumping, etc. The high Q on chip inductors are a project here as IMEC believes that the copper layer that can be used in the wafer level is much thicker than that can be achieved on the CMOS processes.

#### For Micro & Nanotechnology for health and comfort monitoring:

Personal health & comfort tele-monitoring systems include real-time monitoring of temperature, heart rate, blood, etc. In addition, the smart pill program is being pursued. The 1<sup>st</sup> generation smart pill can sense, communicate, milli-sized, which basically is a miniature CMOS camera. The 2<sup>nd</sup> generation can sense, communicate, micro-sized, enact, which adopts semi-permeable membrane to allow body fluids to enter into the smart pills. Disposable plastic card with 30 sensor sites with each sensor is specific for different element is another project of interest. Technologies such as (1) ultra-low power CMOS: SPT/STDI; (2) mechanically flexible (disposable?) electronics such as ultra-thin and ultra-small Si chips, polymer electronics; (3) biomedical sensors such as MEMS, surface chemistry, self-assembling; (4) drug delivery such as microfluidics; (5) power sources replacing batteries (10...

100mW) such as MEMS based (kinetic, thermal or biochemical), plastic solar cells, super-capacitors (energy storage of 2 to 3 W-hours was recently achieved by using nanotechnologies); (6) wireless communications, and (7) intelligent signal processing.

Neuronic sensor for early warning system, which connects neuron signal to semiconductor technology, is currently being pursued even though it is considered a very far-reaching technology. Self-assembly monolayers for co-valent coupling were used as the base.

#### Discussions on Microsystems by Dr. Kris Baert:

Microsystems at IMEC had a very strong interface with users. The early research involves on IR-MEMS. Now it involves RF-MEMS, Bio-MES, etc. From design to package are parts of the strategy of IMEC. Two processing lines, P-line processes on 8' sub-micron Si, (D) UV-lithography and B-park processes on 6'-8' dedicated MEMS Si/Glass 1x lithography, are in IMEC. The 8' line is unique in the world for MEMS approach. Poly-silicon/Ge processes are used for IR-MEMS, which is standard and is targeted towards to low end applications, i.e.,  $\text{VO}_x$  applications are not pursued. Surface micromachined poly-SiGe IR bolometers with U-shaped structure to support large- area membrane is currently being pursued. The technology along the IR-MEMS line is fab compatible and this technology have been spun off to form XenIC, Inc. Bio-MEMS involves  $\mu$ -calorimeter (microphysiometer) is a project being done, which basically is a thermopile on silicon wafers. The system is being positioned into an array for pharmaceutical applications. The microsystem for personal health and comfort applications includes monolithic blood gas sensor based on IsFETs, Pt, Ag(Cl), PI, etc. technologies. Affinity biosensors, which is a Si-based sub-micron IDE (Inter-Digital electrodes), was developed within the 8' processing line. To further improve cost-performance of biochips, an all polymer process is being pursued, where a flip chip was mounted to the biochips. In addition, SAW affinity biosensor including fluidic process is also being studied.

#### Discussions on MCMD with thin-film passives by Dr. Philip Pieters:

The main target of this line of research is to provide front-end for RF-MEMS applications. The requirement of RF-SIP technology includes glass substrate, copper electrode, etc. and can achieve Q of 150. A design library has been developed for fast implementations, which include more than 1000 models characterized by s-parameter measurement up to 50 GHz. The models include R, L, C, etc. For inductors, multi-turn circuit and coplanar layout configuration. The models within the library are scalable. Flip chip interconnect with 40 –1000 micrometers vias were developed. The WLAN BP-filter was implemented by using a MCM-D of q equals 125. Size reduction possible of DECT VCO is significant. For example, 300  $\text{mm}^2$  is shrunk to 2.54  $\text{mm}^2$  in this application. GSM dual band PA module for Bluetooth

applications is also being studied. It was concluded that SIP has better cost/performance than SOC's.

Discussions on licensing this packaging library from IMEC to APM (Asia Pacific Microsystems) were one of the main topics of interests to the Taiwanese delegates and the IMEC representatives.



Figure 16. Presentations of Dr. Philip Pieters on MCMD with thin-film passives

#### Discussions on RF-MEMS by Kris Baert:

Capacitive shunt switch was one of the main emphases of RF-MEMS, with  $10^6$  times of operations in terms of reliabilities. The MEMS2TUNE project was being pursued with Phillips corp. MEMMS based integrated phase antennas is another project being studied now. RF-MEMS 0-level packaging for solder and BCB sealing is a 250 degrees C low temperature process. Wafer level packaging process using BCB as sealing layer is another project being pursued. MOPS (MEMS reliability by Optical system methods) is the process used to study reliabilities. For example, interferometric analysis was used to study the deformation behavior of capacitive shut switches. Poly-SiGe was used as post-processed surface micro-machined layer.

#### Discussions on From ULSI to Microsystems and Nanotechnology by G. Borghs:

Nano-fabrications seem eminent when examining from the Moore's law perspective, as we will be in the range of 1nm by 2002. The nanotechnology is trying to increase the control over material structures of nanoscale size 0.1 to 100 nm. The bottom-up refers to self-assembly which can be classified by (1) un-coded self-assembly include super-molecules, tension assembling, etc.; and (2) coded

self-assembly such as biological self-assembly process. The quantum limits will be important when the device scale moves to smaller than 30nm when down scaling of transistors when considering from the top-down approach. The quantum limits are important. However, many of the nanodevices discussed mentioned that switching speed will be slower than that of the silicon processing if charge is being used. To handle this speed issue, spintronics and molecular electronics are being considered as alternatives to nano-electronic concepts. Room temperature spin-injection devices, magnetic semiconductors, magnetic quantum dots are part of the studies related to spintronics. The CNT based SET done at IBM (V. Derycke et al., IBM Research Division) was used as the first example that nano-fabrications can be integrated with top-down approaches. Self-assembly of polymers ([jenekhe@che.rochester.edu](mailto:jenekhe@che.rochester.edu)) and works done at David H. Gracias, Joe Tien, etc. and George Whitesides, (Harvard University) are the main references used for bottom-up approaches. There are new opportunities for system in a package includes (1) wireless beyond 3G (silicon dust, small packages include small package, low power, high sensitivity, etc.) and (2) biology and electronics integrations. The main reason that NEMS can have better energy usage lies on the fact that higher Q factors are involved. More specifically, the high Q value of quantum mechanical structures will be pursued to reduce the high frequency switching loss. For electronics and biochemistry, biosensors of neutrons on a chip are a topic of interest. IMEC is pursuing the same trend as that of IBM and Max Plank. A hybrid transducer for molecular recognition events is trying to see if neuron transitions can be detected. In summary, the convergence of surface chemistry, nano-mechanical objects, and micro-electronics create new challenging opportunities. It is believed that energy and power considerations will be the driving force rather than scaling down.



Figure 17. Lunch meeting at the cafeteria of IMEC (right 2<sup>nd</sup>: Dr. Robert Mertens, left: Dr. Kris Baert)



Figure 18. Photos of Taiwanese delegations and representatives of IMEC (left: Dr. Kris Baert, right 3rd: Dr. Robert Mertens, center: Dr. Dr. G. Borghs)

The delegates move from Leuven, Belgium to the conference site of the 8<sup>th</sup> World Micromachine Summit at Maastricht, The Netherlands after the meeting at IMEC. The registration and welcome reception start from the afternoon of April 30. The Taiwanese delegates were greeted by the host and delegates from many countries were happy to see each other (Figs. 19, 20).



Figure 19. Photos of Taiwanese, Japanese delegations, and the delegates from PROC (left 2<sup>nd</sup>: Chief Delegates of Japan, Mr. Toshio Shimoyama, left 3<sup>rd</sup>: 蔡炳初 of 上海交大, left 6<sup>th</sup>: 王曉浩 of 清華大學精密儀器與機械學系副教授&儀器科學與技術研究所, left 7<sup>th</sup>: 張文棟 of 華北工學院, right 5<sup>th</sup>: 袁祖武 of 中國工程院, right 4<sup>th</sup>: 丁衡高 of 中國工程院院士, right 2<sup>nd</sup>: chief delegates of PROC, 周兆英 of 北京清華大學, right: 王金山 of 重慶微系統科技股份有限公司)



Figure 20. Discussions with Canadian delegate Dr. Thomas Jackman, Director of Materials Technologies of Canada NRC.

The delegates hosted a dinner party with the Benelux delegations at Restaurant Wen-Chow, which is located right across the street of the Maastricht train station (Fig.

21). Discussions concentrate on how to foster closer link of R&D activities in Taiwan and the Benelux areas went well (Figs. 22, 23).



Figure 21. The Taiwanese delegations in front of the Maastricht train station.



Figure 22. Welcome speech by Dr. Charles Peng (left: Dr. Kris Baert, right: Henk Leeuwis, Executive VP marketing & sales of LioniX, [www.lionixbv.nl](http://www.lionixbv.nl)).



Figure 23. Dinner discussions with the Benelux delegations (left 2<sup>nd</sup>: Prof. Albert van den Berg, Chief delegates of the Benelux delegations and the Workshop Chairman; right: Dr. Kees Eijkel).

## **The 8<sup>th</sup> Micromachine Summit, Maastricht, The Netherlands (day 1)**

The meeting was started with a greeting from the conference chair, Professor Albert van den Berg at 8:48 am. Review of the last 7<sup>th</sup> micromachine summit was detailed. It was stated that this conference was initiated by the Micromachine Center of Japan and had been hold all around the globe. This annual event has been very important to foster international collaborations.

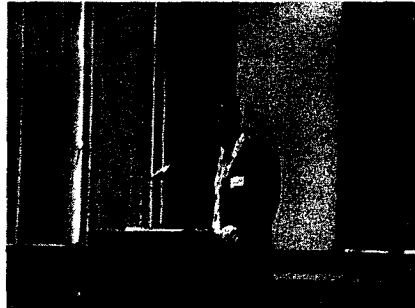


Figure 24. Conference chair, Professor Albert van den Berg kicked off the 8<sup>th</sup> MEMS Summit.

### **Section 1. Country/Region Review**

Presentation of the USA country overview by Dr. Michael Gaitan, Project Leader of NIST on MEMS systems. E-mail: [gaitan@nist.gov](mailto:gaitan@nist.gov)):

There is no single MEMS program at NSF, USA. However, DARPA MEMS program manager Bill Tang, temporary on leave from Berkeley, had funded a series of program. Almost all major universities have R&D and teaching programs now. NIST is working on using AFM to measure the molecular interaction force. The molecules were attached to the chip and AFM interactions with those molecules were used to measure the force. MEMS standarization ASTM Task Group E08.05.08 is currently on going. International standarization forum has started now. Mr. Hirano is working on this effort. It is believed that optical MEMS and communication MEMS will be the next flag ship vehicle after the inertial sensor.



Figure 25. USA country overview presented by Dr. Michael Gaitan (NIST)

Presentation of the UK country overview by Prof. Geoff Beardmore:

A large world class of nanomaterial fabrication facility is being established at this moment. One of the main perspective is to have the R&D as well as the pilot program/capability in situ in order to speed up the development program. An inkjet printer head manufacturer, which is a spin off from a university, named Zhar is doing well with its innovative design. Many other SME's are working on MEMS projects.



Figure 26. Presentation made by Prof. Geoff Beardmore

Presentation of the Taiwan country overview by Prof. C.K. Lee:



Figure 27. Prof. C. K.Lee was giving the Taiwan overview presentation

Presentation of the Switzerland country overview by Prof. Nico de Rooi (University of Neuchatel, Institute of Microtechnology):

Around 80 companies were founded in MNST during 1992 to 2002. The country tried to take advantage of the local industry excellent capabilities. Dense network of clean room facilities for MNST R&D (~10) and are distributed all over the world. A trend of seamless technology transfer from R&D towards manufacturing has shown. A new startup was awarded as the best start-ups within the Intel Star-Up funds. The drive moves from  $\mu$  toward  $v$  is strong. The public funding program TOP Nano 21 will have around 60 millions CHF (~US\$30 millions) from year 2000 to 2003.



Figure 28. Photo of presentation on Switzerland country overview by Prof. Rooi

Presentations on Singapore Country Overview by Prof. Siak Lim (National University of

Singapore, Mechanical Engineering, 10 Kent Ridge Crescent, 119260 Singapore, e-mail: mpelimsp@nus.edu.sg):

There is very little home grown industry in Singapore. The local economy is very dependent on the foreign investment. As the fund on establishing MEMS manufacturing services pulled out of Singapore, there are no MEMS manufacturing capabilities now. To provide enough and talented technical personnel so as to attractive foreign investment/industries, many of the R&D and educational programs are currently on going. The old funding mechanism NTSB was found to be not effective as many of the projects have too much overlaps. With the establishment of new A\*STAR, the four institutes working on MEMS will now come to the same umbrella in order to establish more efficient funding mechanisms. Nevertheless, with so much dependency on foreign investment and no local industry at this economic recession period, it is indeed a very big problem for Singapore.



Figure 29. Photo of presentation on Singapore country overview by Prof. S. Lim

Presentation on Nordic Region overview by Prof. Sami Franssila (Helsinki University of Technology, Finland):

Using the inkjet process, the region is currently developing DNA technology. The consideration on cross-disciplinary is important especially that of the BioMEMS areas as how to customize the 10 different genes within the MEMS mass production capability/nature. BioMEMS is a very important area here. One of the main problems lies on how to find a good funding mechanism to establish the very expensive clean rooms. It is considered that a sharing and an incubation mechanism are important. Various shared facilities are being established. The perspective is to integrate education needs with the volume manufacturing capabilities.

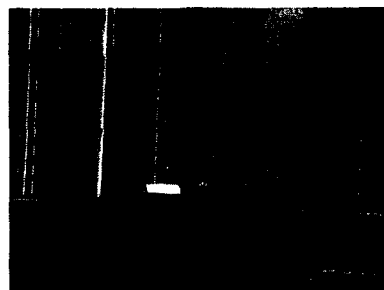


Figure 30. Nordic Region overview by Prof. Sami Franssila

Presentation on Mediterranean overview by Prof. Paolo Dario (Spain, Italy, Greece):

A new Spain start up was initiated with emphasis on the food industry and on artificial noses. Some additional Barcelona Science Park was established with the collaborations of three universities and the support of the local industries. The emphasis was on the bio-nanotechnology areas.

The MMN Greek network is moving forward as it has been.

The Italy activities include the 7<sup>th</sup> national conference on sensors and Microsystems, Bologna, Feb 4-6, 2002, which has around 120 participants with 20 from the industry. The project that triggers the most discussions is the electronic noses. The main features of the Italian national research programs are basic (curiosity driven) research projects, long term perspective is being emphasized. One of the strategic programs on nanotechnology, microtechnology, etc. with 40 millions Euros are in the call for proposal phase now. The lab-on-a-chip project is currently on going as well. Many of the laboratories in Italy concentrate their efforts on BioMEMS. The new facility on MEMS within the Italian university is finally open. Three new centers of excellence were established with two of them emphasized on (1) statistical mechanics and (2) enterprise on nanotechnologies.



Figure 31. Mediterranean overview by Prof. Paolo Dario

Presentations on Korean country overview by Dr. Young-Ho Cho:

The national R&D programs, which has emphasis on information technology (IT) and bio-technology, include a 10-year program on developing optical MEMS programs. The Korean president has asked the national technology advisory board to establish the nanotechnology program. The main reasons lie on the fact that Korea believes that nanotechnology may (1) bring new opportunities, (2) research and fusion with emerging technologies, and (3) added value and technology breakthrough. The master plan of Korea National nanotechnology program involves (1) R&D program for inter-ministry budget of US\$1.2B for the next 10 years, (2) Education & Training (E&T) of 12,600 people with budget of US\$ 83.5 millions, and (3) Facilities & Infrastructure (F&I) on establishing a National NanoFab Center with a budget of US\$189 millions. The main emphasis is to bring the industrial applications together with that of the academic research, which is mandatory for funding of projects. Multi-department collaborations are strongly encouraged. A new nano-bio science department of KAIST will be established with an emphasis on integrating electronics, biology, computer science, etc. The Korean government is

developing a nanotechnology-manufacturing program to make sure R&D efforts will be commercialized. It is believed that MEMS will provide tools to advance nanotechnology and the nanotechnology will induce basic understanding/ advancement to MEMS. The budget to the Korean nanotechnology program per year budget is about the same as that of Taiwan. In addition, the Korean nanotechnology program runs on parallel with the on-going MEMS national programs with many overlaps between the two programs.



Figure 32. Korean country overview by Dr. Young-Ho Cho

Presentations on Japan country overview by Dr. T. Hirano:

The founder network for SME's (small and medium enterprises) are considered very important to realize the MEMS industry in Japan. The 10-year micro-machining industry has completed. A detailed review started two years ago with many outside experts, which indicates that commercialization, standardization, and infrastructures are important. The founder's network was considered a vehicle to foster collaborations on technological challenges, infrastructures, education and training. The standardization efforts in MMC include terminology definition (a draft to be submitted to IEC 47 soon), measurement method (many items are to be standardized include thin-film tensile and rubbing test, and a draft will be submitted to ISO/IEC in three years). These efforts are being submitted to the international forum, which will be available in the Internet. The micro-factories include 1  $\mu\text{m}$  resolution positioning accuracy are commercialized with 16 orders in productions now. The CMOS camera developed in the program is being commercialized by Hitachi Corp. Some new initials are being instituted to resolve the gaps between the nanotechnology and MEMS. The gaps must be closed up soon.

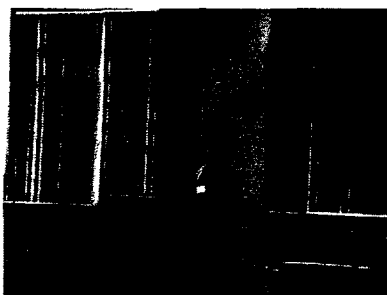


Figure 33. Presentation of Japanese country review by Dr. T. Hirano

Presentation on French country overview by Prof. Emmanuel Bigler:

RMNT is the French National Network in micro- and nano-technologies, which provides a network (<http://www.rmnt.org> and <http://www.technologie.gouv.fr>) to foster collaborations. This project starts from a bottom approach, which has priorities such as (1) taking the industrial demand into account, (2) building a pool of competences, (3) help starting new projects with industrial applications, (4) solve new technological problems, and (5) being an incentive for SMEs in the field. As the original French system choose engineering students by their mathematical capabilities, which means a student with very little background in engineering can enter into the engineering discipline. This situation has a very strong impact on the development of MEMS. This system is being changed throughout the nation. A series of clean room facilities located in Lyon, Geneva of Switzerland, etc. are available to serve the MEMS fabrication needs. The Atomic Energy Commission represents 20,000 engineers, which has very strong efforts in silicon technologies, etc. The establishment of the laboratories in Grenoble and the MINATEC project will have a very strong impact on French efforts on MEMS. A question was raised on the emphasis of engineering discipline on MEMS and on the emphasis of science discipline in nanotechnology, will that modify the directives? The French emphasis on integrating science and engineering is considered to provide a niche.



Figure 34. French country overview by Prof. Emmanuel Bigler

Presentation on China's country overview by Prof. Zhaoying Zhou:

A recent review of MEMS development strategy was completed. The suggestions include (1) develop areas with priority in the areas of micro-sensors, information MEMS, and bioMEMS, (2) stress on the basis of MEMS fabrication and the related nanotechnology, and (3) develop a number of applied MEMS systems. Many key-labs were created across the whole nation. Two MEMS foundries were established in Beijing and Shang-Hai. Automatic testing of MEMS devices are being pursued. There are many MEMS companies established in China. For examples, (1) Chongqing (重慶) MEMS Scientific Company, Ltd. collaborates with IMEK, Belgium to develop product like micro pressure sensor, micro accelerometers, micro-mechanical gyros, and micro spectrometer, (2) Shanxi Kotel Nanotechnology Co. Ltd., founded in August 2001 and collaborates with CSEM, Switzerland to build up a production line for micro pressure sensors, biosensors, and MEMS integration applications, (3) MMESIC Co. Ltd., was founded in 1999 after having acquired

the strategic venture investment from Analog Devices and TSMC of Taiwan, will concentrate its product on integrated sensors and accelerometers based on standard CMOS and MEMS technologies for the measurements and control of movements for automobile, game machines and other industry areas, and (4) Nanjing Yi Lai Gene Medical Co. Ltd. was founded on Dec. 1999, which is joint venture established by Hong Kong enterprise Senzen enterprise. The company will work on research, development, production and sales of genetic diagnostic technology, different kinds of gene chips, medical diagnostic reagents, medical apparatus and measuring instruments.



Figure 35. China's country overview by Prof. Zhaoying Zhou:

Presentations on Canada country overview by Dr. Dan Gale (Canadian Microelectronics Corp.):

New infrastructure was established in McGill University with an expected opening date of August 2002. Synchrotron facility is available here for various R&D activities as well. The research infrastructure was being put into universities, research organizations, etc. across the whole nation. Rapid growth on MEMS activities is found now. The emphasis on industries is on the bioMEMS area. However, the size of the industry is much smaller than that of the communications, which is seriously impact by the current slump of the industry. Another emphasis is on the automobile applications.



Figure 36. Canada country overview by Dr. Dan Gale

Presentations on Benelux overview by Prof. Kees Eijkel (University of Twente, the Netherlands):

Representatives from DIMES and IMEC are present, the review of their activities are covered in the report of the first two days of the Taiwanese activities. Phillips is the company that must be mentioned here as it works on LCD, microelectronics, RF-MEMS, communications, etc. TI is another company worth noting in this region. MESA<sup>+</sup> is working with a Israel startup on lab-on-a-chip project for blood testing. The Holland form a cluster of companies in order to help built up on the European activities in the MEMS areas. A total of 12 flagship projects led by independent scientists will be used to pursue nanotechnology programs and the proposed fund to

the government is 100 to 120 million Euros (with equal amount of funding from the local government and institutes) for 5 years. Both infrastructures (60%) and R&D activities (40%) will be part of the funding.

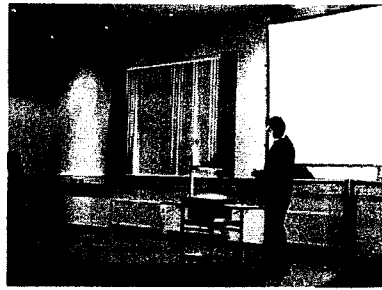


Figure 37. Benelux overview presented by Prof. Kees Eijkel

Presentations on Australian country review by Prof. Ian Bates (Rmit University, i.bates@mit.edu.au):

The government priorities on the kind of micro industry should be developed include nano- and bio-materials, the genome-phenome link, complex systems, photon science and technology. A new infrastructure is being instituted, which include a number of initiatives with government support. The infrastructure development scheme is (1) the Bandwidth foundry (national facility for the provision of photonic integrated circuits to Australian researchers and product developers in many industry sectors, (2) National networked tele-test facility for integrated systems, (3) Australian Synchrotron Research Program, (4) nanostructural analysis network organization (NANO), and (5) MiniFAB is a new fabrication facility planned to provide the basic equipment necessary for designing, prototyping, manufacturing (small scale), and testing of micro-devices such as bio-sensors, environmental sensors, in-vivo implantable devices, micro-analytical devices, microfluidics devices, and micro-photonic devices.

## **Section 2. Fundamental Science and Technology of Nanotechnology**

The national R&D Strategy of Nanotechnology in Japan by Naomasa Nakajima.

The Council for Science and Technology dedicated to take up nanotechnology as one of the four important fields, which had to be allocated resources with the highest priority recognizing its importance in the future starting march 2001. As CNT (carbon nanotube) was discovered by a Japanese researcher, many advanced research and marketing activities related to nanotechnology is being pursued in Japan that includes detector based on CNT, etc. The market forecast investigated by Mitsubishi Research Institute, Inc. and Nihon Keizai Shimbun, Inc. in Feb. 2001 shows some very astonishing figures\*. The priorities in the nanotechnology programs include (1) nano-devices and the next generation information and communication systems, (2) micro-systems and materials for medical treatment & nano-biology making use of mechanism and control of living thing, and (3) generic technology and spread fields of measurement/evaluation, processing,

---

\* The Council for Science and Technology Policy, Promotion Strategy of nanotechnology and material (Sep. 2001).

numerical analysis and simulations (to extend healthy/longevity, utilize the structures and behaviors of bio-materials, a highly accurate measurement the evaluation and processing technology of one digit or more achieved for the demanded/processing level of nanotechnology). Some of the nanotechnologies are of primary interest include (1) one by one manipulation of atom, molecular, (2) ultimate micro-machine, (3) control of nano-structure by self-organization.



Figure 38. Japan strategy presented by Naomasa nakajima.

Advanced Functional Materials Bridge the Nanotechnology-MST Divide by David Allen of Cranfield University of UK.

Security monitoring based on pyroelectric infrared detector is being developed. High-resolution hybrid arrays are being developed by BAE systems infrared Ltd. The processing temperature of depositing high quality ferroelectric thin films was kept below 450 degrees for survival of Al/Si metallization. This process is based on developing the process of fabrication PZT thin films from solutions (see Fig. ).



Figure 39 Functional Materials Bridge the Nanotechnology-presented by professor David Allen (Cranfield University, UK)

Figure 40 Fabrication of PZT thin films from Solution (from the proceeding)

FBARs (thin film Bulk Acoustic Resonator) based on both ZnO (high Q, large peak depth) and PZT (large  $k^2$ , large frequency width) are other topics of interest. Interests and a very large funding from a Japanese company (largest ever for the university) on non-volatile memory field have trigger some research works on nanoscale domain writing in PZT films, which involves a domain image on PZT/Pt/MgO written by using an AFM tip. Some of the research works, which is related to ferroelectrics, on virus separations are on going as a method to line up a group of viruses was found. A range of standards is desired to cover forces from 0.1nN to about 2000 nN. The accuracy required is better than 1%. Silicon Ferroelectrics offer a wide range of useful

properties to be explored. The hysteretic properties of ferroelectrics offer an unique opportunity to pursue nonvolatile memory.

From ULSI to Microsystems and nanotechnology by Prof. G. Borghs, IMEC, Leuven, Belgium

This part of the presentations was a minor portion of the corresponding presentations/discussions at IMEC, Leuven at April 30, 2002. The mechanism to locate new materials and to find lower power consumptions is very important. With the decrease in critical dimension, the need to locate lower power electronics is significant. The MEMS can approach the mesoscopic part top-down and the surface chemistry/biology can approach it bottom up. It is believed that the integration of these two worlds are important to bring the technology forward. The wireless beyond 3G which was called “super sensitive sensing” in US and “ambient intelligence” in Europe. The smart dust, also part of the wireless 3G, involves low power electronics and low damping, etc. To achieve this goal, the RLC circuit is to be replaced by mechanical structures due to the large difference in quality factors. Electronics and biochemistry are being integrated through the neuro-chips. Max Plank institutes and many other European institutes including that of IMEC are working on this topic. It is believed at IMEC that the energy and power considerations will be the driving force rather than down scaling.

An overview of Canada's National Institute for Nanotechnology by Dr. Thomas Jackman.

NRC is a federally funded R&D organizations composed of more than 20 institutes located across the nations. The motivation is to bring people of different disciplinary together, which not only means that we must pass the language barriers and then the cultural barriers. The Microsystems structure division works on WDM transmission system work. However, the fundamental goal of NRC is the long-term research. The earlier work on WDM in 1988 was on the quantum information instead of the traditional communication approaches. For example, the artificial atoms and molecules are one of the major vehicles for research. The idea is to work on growing clusters with NRC (a top-down institute) located within the U. of Alberta (a bottom-up institute). There will be joint appointment between NRC and U. of Alberta, i.e., a university faculty member will have the chance to influence the management of NRC, which was never heard before.

Two of the main areas to be pursued are programmable materials (establish relationships between the structures and function of nano-scale assemblies, develop platforms for the fabrication and assembly of nano-crystals, organic molecules and proteins into complex functional nano-systems, link biological information systems to traditional information systems) and adaptive materials (The porosity of the materials open and close according to the pH values of the solution developed by 3M can be used as the pH value balance mechanism).



Figure 41. Canada's National Institute for Nanotechnology presented by Dr. Thomas Jackman.  
Impact of nanotechnology on micromachines: a NTU experience and perspective in Taiwan by Prof. S.H. Chang.

The main perspective and experiences of Taiwan in the MEMS and nanotechnologies are reviewed in detail in this talk. Introducing the status of Northern Region MEMS Center at National Taiwan University started the presentation. So far, a total of more than 680 peoples from 25 universities and 10 industries received the MEMS training. The success of the operation of the Northern Region MEMS Center mainly due to the internet based administration and technology established. By meeting the paradigm shift of technology, the MEMS Center has technology roadmap of migrating into NEMS and nanotechnology, with emphasis on communication applications. The second part of the presentation turns to Nanotechnology Research Center at National Taiwan University (NTU-NRC). Education programs have been established and planned in response to the nanotechnology trends. Special education programs focus on training students with strength in the science, engineering, business and intellectual properties.

Nanotechnology capabilities in Taiwanese universities and R&D institutes were reported. Achievements in nano-materials, such as Si oxide, gold and other nano-particles, nano-carbon tubes, nano-devices such as high temperature IR photo-detectors and lasers using quantum dots, filed emission diodes made from silicon oxide nano-particels, photonic crystals, photonic crystal fibers, nano-biotech., nano-metrology and nano-tools were all presented.



Figure 42. Status of MEMS and nanotechnology in Taiwan was presented by Prof. Shuo Hung Chang

Nanotechnology in Australia: A way forward by Mr. Jason Chaffey (Rmit University).

Australian pillars of strength of Australia include material science, surface science, biotechnology, medicine, photonics, etc. Nanotechnology is fundamentally a fabrication technology and also a marketing technology. The integration of science and business is very important. One of the major problems was the shortage of skilled personnel. It is believed the national nanotechnology research programs established in 1999 can be the bridge to bring the academic research and market opportunities. Some nanotechnology companies include (1) Ambri is commercializing a technology associated with point of care, critical care pathology systems for medical instrument testing, (2) Advanced Nano Technologies (ANT) is working to develop a new low cost process for manufacturing of a wide range of ultra fine and nanoscale powders, (3) GeneScan Australia Pty., Ltd. is a part of the GeneScan Europe AG group with two platform technologies with specializing in the analytic of food stuffs for the detection of DNA sequences indicative of genetically modified organisms supplying all components necessary for micro-array technology including production of custom-made biochips, and (4) Mimotopes found in 1988 is a chemistry based drug discovery company with a focus on lead finding and lead optimization for small molecule drugs.



Figure 43. Australia activities presented by Mr. Jason Chaffey

Analysis of European activities in the semiconductor and MEMS fields by J. C. Eloy (eloy@yole.fr)

A major investment in nanotechnology for nano-electronics by STM, Motorola, and Phillips is US\$ 2.8B in 5 years and in 2 phases. The MEMS field is growing fast with a very strong momentum. New applications are appearing (telecom, medical, etc.) The number of manufacturing facilities is growing fast with a very strong investment in Europe, Taiwan, and USA. A website (<http://www.yole.fr>) has been established and the information is updated every month.



Figure 44. European activities presented by J. C. Eloy

MEMS facility at the Canadian Light Source (CLS) Synchrotron by Prof. David M. Klymyshyn (TRLabs Scientists, Assoc. Prof. of EE, University of Saskatchewan)

A new synchrotron of Cdn\$ 175M of 30 beam lines will be fully operational by 2004. One beam line of CLS is dedicated to advanced electronics, MEMS, and nanotechnologies. The beam line is 2.9GeV, which is stronger than Taiwan's SRRC (1.8GeV).

IMEC Business operation model of MEMS by Raffaella Borzi (borzi@imec.be, San Jose, CA, USA, tel: (408) 551 4502)

The SIP (system in a packaging) concept of IMEC was presented and part of the presentations is similar to what the delegates discussed at IMEC. Micromachined poly-SiGe was studied due to its 5X lower thermal conductivity (important parameters for bolometers, thermopiles, etc.) and compatible with CMOS processing (lower deposition temperature allows post-processed CMOS-integrated devices). The research model is sharing cost, scientific knowledge, IP, and risks.



Figure 45. IMEC business model presented by IMEC Raffaella Borzi

MINATEC, a major French initiative in research and technology transfer for micro and nanotechnologies by Dr. Constant Axelrad (CEA, Grenoble, Leti, France).

CEA is a commission with staffs of 16,000 and budget of 3M Euros that provide R&D for nuclear energy, programmes of defense, research and technology for industry, and fundamental research. CEA evolves into three axes programme include (1) new technologies for information and communication, (2) new technologies for energy, and (3) biotechnologies. It relies heavily on generic scientific research basis of DRFMC, DBMS, DTP, etc.

#### MEMS Summit Banquet

After a whole day of meeting, the summit host sponsored a magnificent banquet at a near by castle which was built in the 17 century. The dinner started around 6:30 pm starting with the light drink and a special treat was the tradition fashion show and music (Fig. 46). Then a formal dinner with full meals and drinks was followed. By the time arriving hotel after dinner, it was around 12 pm. (Fig. 47). That concludes the first day of the MEMS Summit.



Figure 46. A traditional fashion show and music presented before the summit banquet held in a 17 century built castle near Masstricht.



Figure 47. A corner view of summit banquet held in a 17 century built castle near Masstricht.

May 2, 2002

**The 8<sup>th</sup> Micromachine Summit, Maastricht, The Netherlands (day 2)**

**Section 5. Strategies, New Applications and Technical Aspects of Micromachines**

Industrial Strategy on Micromachine Development Mr. Toshiro Shimoyama,  
Supreme Advisor of Olympus Optical Co., Ltd.

Many new MEMS instrument have been developed. For example, a catheter type industrial endoscope capable of repairing (shape memory based actuator) and diagnosis was developed and commercialized. MIF was equipped with three built-in contact sensors and actuators can automatically prevent blood vessel contact. A single molecular fluorescence detection system based on confocal microscopy system and detects Brownian motion at the single molecular level was announced. A high-speed DNA computer that can perform molecular chemistry computations with highly parallel and very large memory characteristics. Geno-analysis including immuno assay and blood assay based on optical detection for DNA analysis was developed. Free flow electrophoresis was used. A MEMS based optical scanner was adopted in the laser scanning microscope product. For future strategy, fusion among nano, micro and optical technologies are considered the key. A MEMS foundry service was established to serve the customers. Many Internet inquiries was generated but no real business was materialized.

Lab-on-a-Chip of MESA+ by Prof. Albert van den Berg.

Lab-on-a-chip technology and advancement was discussed. Using the technology of MAFIAS, which has 4 micropumps, and various components, environmental monitoring was approached. Modular versus monolithic designs were compared. A MEMS blood extraction needle (nanoliter each taking) was developed by MEMS approach that has a very sharp tip and a 20  $\mu\text{m}$  diameter hole to hold the blood. The needle was found to be strong enough to remain in the tip and not on the finger after use. A micro-machined dialysis membrane to measure the lithium in a buffer and blood was developed as well. This dialysis membrane will be integrated with the needle for further development. A vortex micro-mirror of the micro-tube form and similar to that of the rotating scanner, with rotation induced tip linear motion of 100 m/sec, was developed as well. A picoliter bubble dispenser was developed. Nano-channels of 40 by 100 nm were tried to prepare the team into nano-fabrications. Micro-engineering may not be enough to realize  $\mu\text{TAS}$ . Innovative systems with

micro-needles are developed.

Agro-alimentary applications of Microsystems in Spain by Carles Cane (Centre Nacional de Microelectronica, IMB-CSIC)

Even though a lot of industrial activities in Spain, very few MEMS activities exist. However, many interests appear recently from the application fields including that of the agricultures, food industries, etc. Emphasis is in the areas of pesticide/environmental monitoring, food qualities, etc. An example of using MEMS sensors for checking the quality of Iberian ham was presented.

Physical characterization of foundry fabricated scratch drive actuators by Deepak Uttamchandani of Microsystems Group, Dept. Electronic and Electrical Engineering, U. of Strathclyde, UK.

The tested physical characteristics of multiple dies with actuators in them from MUMP's foundry services were tested. Different sensitivities were found, which was attributed to environmental conditions. Through the experiences gain from the series of test, it is believed that more foundries imply wider technology selection, more micro-machine designs, and more R&D opportunities. Post-processing of foundry MEMS dies is a very interesting topic as it is possible to combine the best of the foundry (precise and reliable) and custom-made capabilities (eg. in university). Operate at the micro-nano interface is very important as integrating nano-particles into monolithic MEMS device may lead to technology forefront.

Research & Development of Microactuators by Prof. Bingchu Cai (蔡炳初 of 上海交通大學,微納米科學技術研究院院長,信息存儲研究中心主任)

The electromagnetic and SMA based actuators were chosen due to the availability of the facilities and past experiences. Various micro-motors (for micro-helicopter on guided wire, micro-vehicle, etc.) and micro-actuators (for optical switches) were presented.

Micro-technologies and Health Care by Claude Clement (PrecMediX, SA, Switerzland)

PreciMediX (**P**recision; **M**edical; **eX**change, network) is taking advantages of the Swiss capabilities. Pacemakers are very important as more than 3 millions (with inertial sensors) are embedded in human bodies. The reasons that health care need microtechnology are (1) there are many unmet medical needs, (2) there are many unsatisfactory solution there are more and more people in need, (3) moneys is the issue, (4) doctors and nurses are under stress, (5) may medical acts are automatable,

(6) quality of life is the demand, (7) new diseases are coming, and (8) chronic diseases: big challenges. It must be noted that health care is a special business as the deciders are not the customers, the emotion (nothing is good enough) involved, demand is larger than supply, not a free market, and technology professionals have poor understanding of the human body and health care.

Micro biomedical diagnostic system for endoscopic microcapsule by Dr. Jong Oh Park of Intelligent Microsystem Center, Seoul, Korea

This project was driven by a top-down approach as the final specifications were defined at the beginning and then each sub-module was developed according to the spec. A total of project of US\$130 millions for 10 years were funded. Many domestic and foreign committee members were involved in the evaluations and defining stages. Three phases of the project involve diagnosis, actuation, and sensing and diagnosis. Several sub-systems were developed and discussed in detail and photos were taken and attached below. A question from Mr. Shimoyama on the controllability from the external of the body as the question comes from the un-controllability (only single direction telemetry is done) of the Israel capsule. It was mentioned that bi-directional telemetry is currently being developed in the Korean project.

The Chief Delegates Meeting took place during the lunch.

This year's chairman, Prof. Albert der van Berg, did a countdown of the status of the workshop. A total of 75 delegates came to attend the meeting. It was proposed and approved by the Chief delegates that the next workshop will be located at Beijing, China around the first week of May. The meeting after next will be for US, Denmark, and Korea as the contenders. It was concluded that for regional balance, the US would give the highest priorities if a fund can be come out to host the workshop in US. The US delegate promised to check and look into the funding situations and get back to the next workshop chair, Prof. Zhao Ying Zhou of Tsinghua University, Beijing.

MEMSCAP: leader in MEMS-based innovative solutions by Gaetan Menozzi

There are a total of 240 employees in 8 countries. This company had an IPO in March, 2001 and raised 101 million Euros. It has 75 millions Euros in the bank at this moment.

Application of MEMS in BASIC-A Taiwan Perspective by Prof. C.K. Lee (National Taiwan University, Taipei, Taiwan) for Prof. Fon-Son Huang (National Tsing-Hua

University, Hsinchu, Taiwan)

A detailed countdown and reflection of Taiwan's MEMS strategy were given. An integrated foundry service was deemed as a very good driving vehicle for MEMS commercialization.

MEMS Industrialization: Current issues and future perspective by Suk-Han Lee of Samsung, Korea.

CNT color display program is moving forward. Scaling (from MEMS to nano) and functionality (improve cost/performance) are the two factors that can move the technologies forward. One of the questions is that "Why MEMS fails to create a major industry?" Many of the discussions on the time needed from discovery to full industrial maturity. The current market trend is promising but not exciting. The technical challenges are that "do we have clear understandings of the MEMS limitations for practical applications?" and "do we clear understand the critical technologies that should lead to product development?" and "do we have a clear understanding in terms its capability of value creation/innovation?" The technical access is to develop IP design blocks that can facilitate the product development. The market/business access is to active search for the values uniquely crated by MEMS as well as system approach to value creation, etc. It is concluded that MEMS will be the driver for the society of pervasive and mobile information and intelligence.

Efforts for MEMS Industrialization in KOTEL, Inc. by Prof. Wendong Zhang, China

One of the R&D centers of KOTEL (in 太原 of 山西省) is located within the campus of the NCIT (North China Institute of Technology), which holds 16.5% stock of KOTEL with 14.7% as the technology stock. Marketing channels were set up all across China. Many funding channels include combining with other partners, government budgets, university funding, etc. The capital is now US\$10 millions and it will invest US \$8 millions in R&D. This company is planning to develop 2 to 3 series of MEMS products this year. It is expected to invest over US\$100 millions in the industrialization of MEMS and move itself to the forefront of the MEMS industry.

Microsystems and microtechnologies in FW6 by Dirk Beenaert (European commission, Essential Inf. Society Techn. & Infrastr.)

It is expected that FP6 is not business as usual. The main emphasis will be on the major initiatives and not on independent projects. Ambient intelligence is the European MEMS terminology used to interface human and the environment. Seamless & rich connectivity, intelligent environment, are some of the important

issues for ambient intelligence. The equipment will become connected to each other, small in size, networked and everywhere, etc. The main perspective on Microsystems is not how small the devices are, it should be “added functionality.” The European perspective is that micro-system will not be driven by size alone; the driving force will be functionalities. Micro@Nano-technology is a young but dynamic field. In order to take advantage of nano-technologies for micro and macro systems and reverse we need fundamental R&D, but must emphasize more on applied research, etc. The problems today are lack of skilled personnel, re-use of competence and infrastructure, get critical masses and facilitate transfer of results, foster coordination, etc. The big challenges are economical (is it cheap enough), technical, social (will the society accept the technology advancements, e.g. biology and electronic interactions/interfaces), etc. Multi-disciplinary expertise is a key factor. In addition, industry and institute should focus to achieve critical mass.

NEXUS & EURIMUS: their role in the future EU 6<sup>th</sup> FWP (Frame Work Project) by G. Menozzi.

The new FWP 6 is detailed and the total funding will be around \$1.1 billions Euros for the next 5 years (2003-2008).

#### **Chairman's summary:**

Country and region reviews: (1) MEMS has further matured, (2) penetrates more markets, large and rich, (3) R&D programs, shift to nano.

Education: (1) MEMS embedded in regular curricula, (2) some international initiatives visible.

Nano: (1) centralized approach, (2) attracts the attention but also the money, micro is enabling process tool, platform, analysis tools, link to the world M@nano

Commercialization: (1) commercialization strategies mature, spin-offs steadily increasing, MEMS is a global effort, foundry system and strategies maturing and more effective fables, MUMPS, design houses, etc.

Next Year's meeting: Beijing, China, May 1-2, 2003, Prof. Z. Zhou.

Technical tours: Assembled tomorrow morning at 9:00 am at hotel reception

Bus for boat tour: leave at 16:45 from hotel entrance.

May 3, 2002

**Technical visit at MESA+, Materials, Technologies and Systems for the Information Society, University of Twente, The Netherlands**

Contact: Prof. Dr. Lina M. Sarro, Feldmannweg 17, Room 0.04, Delft, [sarro@dimes.tudeflt.nl](mailto:sarro@dimes.tudeflt.nl), Tel: (+33) 15 278 7708, Fax: (+33) 15 278 7369.



Figure 1. Meeting with Professor Albert van den Berg (left second) and Dr. Kees Eijket (right second), Technical Commercial Director, MESA+ Institute

It is noted that MESA+, University of Twente has around 600 students which around half of Twente. A total of 420 personnel, and 320 researchers (include 200 Ph.D. students and post doc.) is in MESA. The 18 research groups were organized into 5 SRO's (strategic research organizations) and each has 35 full time equivalents. It has a budget of 25 millions Euros plus 35 millions Euro as the overhead. The 5 SRO's are  $\mu$ TAS, nanolinks, low temperature/super-conducting circuitry, advanced photonic devices, material sciences and interfaces.

The sharing mechanism of the MEMS+ common facility was presented. The expenses include that of the utility, water (do not include the land and building), expenses, and investment to the future equipment. The incubation of new companies is taking very seriously at MEMA+. Technical shares were taken from the start-up, the patent rights can be owned or exclusively licensed to the start-ups. One good-sized start-up per year is being considered as part of the performance index of MESA. A total of thirty start-ups have been created with 2 to 3 per year recently.

The presentation by the CEO of LinoiX started beginning. It started January 2001 by Hans van den Vlekkert and Rene Heideman. It has venture capital funding and took the university as the technical share holders (April 2001), which is 33% at the beginning and reduced to 25% after the second round of financing. The current total capital is around 500 million Euros. The acquisition of business-unit MST of 3T BV (March 2002) was completed, which was active since 1988. It is almost broken even after only been in existence for slightly over a year. The core technologies lie on (1) integrated optics (SiON), and (2) microfluidics modular

assembly technology for  $\mu$ TAS. Development and production of micro-system for OEM customers is the main business area. Its strategy is based on design for manufacturing, rapid prototyping, small volume production, outsourcing for foundries, assembly houses for high volume. Optical sensor based Max Zender interferometer courtesy of Mierw Metro (do the electronic part and marketing), which can detect with sensitivity up to  $10^{-9}$  moles, have been commercialized by using the microstructures made by LinoiX. Microfluidics technologies developed to pursue lab-on-a-chip system is currently on going.