

出國報告(出國類別：其他(參加國際會議))

參加 2011 年奈米科技研討會 出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：聘用技正 徐 立

派赴國家：美國

報告日期：100.9.13

出國時間：100.8.14~21

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項			
報告名稱	參加 2011 年奈米科技研討會出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	聘用技正/徐 立
公差地點	美國	出/返國日期	<u>100.8.14</u> / <u>100.8.21</u>
建議事項	一、奈米材料具有優異的材料特性，為各界共同的研究課題，將量子點、奈米線及奈米多層膜等奈米尺度材料應用於聲、光、電、磁、熱、力、生化等各類元件上，以產生新穎特性及創造價值，在奈米科技的推陳出新佔有舉足輕重地位，建議本院應加強奈米科技技術開發，以凸顯其應用價值。 二、研究奈米科技是目前科技界公認為將來最具發展潛力及前瞻性的研究領域，也是未來科技和產業發展最主要的驅動力。未來本院應在已俱備之國防能量為基礎下，結合國防經費共同投資，以建構長期研發能量，除順應潮流發展具利基、可商品化之奈米技術與產品外，仍需努力開拓國防方面的應用。		
處理意見	一、本院執行奈米國家型科技計畫迄今，已陸續開發出多項奈米技產品，並技術移轉國內廠商，為國內創造極大商機，充分達成「協助產業技術升級與創新，落實軍民通用科技研發」之目標，本院目前已積極長期規劃資源投入奈米科技發展，以建構長期之研發能量，促使本院未來成為國內重要的奈米技術研發		

中心。

二、本院參與奈米計畫除持續加強與國內產學研各界建立良好的合作關係外，並在已具備之國防能量基礎下，整合軍民用科技，積極開發符合環保、安全、綠能等特性之具利基、可商品化的奈米技術與產品，以協助產業界透過技術升級及創新應用而提高其競爭力，目前計畫正致力於奈米精碳材料及應用技術、奈米結構及功能材料技術等兩大領域，未來仍將持續拓展國防應用，以達「發達國家經濟」、「強化自主國防」雙效價值。

國防部軍備局中山科學研究院
一 百 年 度 出 國 報 告 審 查 表

出國單位	第五研究所	出國人員 級職姓名	聘用技正/徐 立
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	一、圓滿達成任務，對本院奈米計畫後續執行甚有助益，詳見主管審查意見表。 二、本報告列屬一般性文件。		
計 品 會			
保 防 安 全 處			
企 劃 處			
批 示			

國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

科技的進程與材料技術的發展有密不可分的關係，材料技術實為開發新產品最重要的關鍵技術，其中，材料及元件的微小化已經成為必然的趨勢，無論在光電機械或醫學偵測各種技術上，其趨勢都是朝向微小化技術發展，例如微電路、微機械或微偵測器等，可預期在二十一世紀時，我們日常生活中將充滿著無數微小化的器件，奈米科技的研究，即順應此潮流而發展出來，而在所有微小化的元件中，奈米材料則將扮演不可或缺之關鍵角色。為執行經濟部科專計畫及提昇本單位的材料檢測技術能力，特派徐員赴美國參加 2011 年奈米科技研討會，以瞭解材料科技之最新發展趨勢與奈米材料技術之進程，並與國外學者專家進行交流，吸取先進國家在材料科技開發之經驗，以利我國奈米科技日後之研究與拓展。徐員確能掌握重點，其參加本次研討會所收集之奈米材料製程、特性與結構設計之最新發展資訊對本院開發奈米精碳材料、智慧型氣體感測器、奈米結構光學薄膜等很有助益，有利於將陸續開發成功之技術，順利轉化為具有高附加價值之商品。另藉由參加本次研討會了解國外奈米材料及製程最新發展趨勢，有助於本院未來建案開發高導熱高強度奈米碳材及奈米觸媒材料，本次出國任務確實達成目標。

出國報告審核表

出國報告名稱：參加 2011 年奈米科技研討會出國報告			
出國人姓名（2 人以上，以 1 人為代表）		職稱	服務單位
徐立		聘用技正	國防部軍備局中山科學研究院
出國類別	☐ 考察 ☐ 進修 ☐ 研究 ☐ 實習 ☒ 其他 <u>參加國際會議</u> （例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）		
出國期間：100 年 8 月 14 日至 100 年 8 月 21 日		報告繳交日期：100 年 9 月 13 日	
計畫 畫 主 辦 機 關 審 核 意 見	☐ 1.依限繳交出國報告 ☐ 2.格式完整 ☒ 3.無抄襲相關出國報告 ☐ 4.內容充實完備 ☐ 5.建議具參考價值 ☐ 6.送本機關參考或研辦 ☐ 7.送上級機關參考 ☐ 8.退回補正，原因： ☐ 不符原核定出國計畫 ☐ 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 ☐ 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 ☐ 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 ☐ 電子檔案未依格式辦理 ☐ 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 ☒ 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： ☒ 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 ☐ 於本機關業務會報提出報告 ☐ 其他_____本報告已於 9 月 9 日辦理知識分享。 ☐ 10.其他處理意見及方式：報告內容不涉機敏，資訊可公開。 敬會：保防官及保防督導官		
審核人	出國人員	初審（業管主管）	機關首長或其授權人員

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 資 料 頁			
1.報告編號： CSIPW-100Z-D0003		2.出國類別： 其他 (參加國際會議)	3.完成日期： 100.9.13
4.總頁數： 41			
5.報告名稱：參加 2011 年奈米科技研討會出國報告			
6.核准 文號	人令文號	100.5.24 國人管理字第 1000006848 號	
	部令文號	100.5.17 國備科產字第 1000006781 號	
7.經 費		新台幣：99,941 元	
8.出(返)國日期		100 年 8 月 14 日至 100 年 8 月 21 日	
9.公 差 地 點		美國	
10.公 差 機 構		美國波特蘭市	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2011 年奈米科技研討會出國報告

頁數 41 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/徐立/03-4712201#357266

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

徐立/國防部軍備局中山科學研究院/聘用技正/03-4712201#357266

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他：參加國際會議

出國期間：100.8.14 至 100.8.21 出國地區：美國

報告日期：100.9.13

分類號/目

關鍵詞：

奈米材料、奈米光子學、奈米磁性、量子點材料。

內容摘要：(二百至三百字)

本次任務係赴美國參加 2011 年奈米科技研討會，以瞭解材料科技之最新發展趨勢與進程。研討主題涵蓋奈米材料製程技術、奈米材料、奈米光子學、奈米磁性、量子點材料、量子計算、奈米氣體感測器、奈米壓印技術及奈米科技產業化等。除收集材料及元件製程最新資料外，並了解先進國家在材料領域最新發展趨勢，且透過與國外專家及學者直接交換研究心得及進行實務問題討論，對相關專業知識有極大的增進與收穫，亦藉此認識多位國外長期從事相關材料研究及奈米技術的專家，不僅得到不少寶貴的意見與幫助，更建立了良好的友誼，提供日後諮詢的對象與管道。本次公差任務順利進行且成果豐碩，具體提昇本院在相關議題的研究能力，並為跨足材料領域的產學研界提供堅實後盾。

目 次

壹、目的.....	10
貳、過程.....	10
參、心得.....	13
3.1 奈米材料製程技術.....	13
3.2 奈米材料.....	16
3.3 奈米光子學.....	19
3.4 奈米磁性.....	22
3.5 量子點材料.....	24
3.6 量子計算.....	28
3.7 奈米氣體感測器.....	31
3.8 奈米壓印技術.....	33
3.9 奈米科技產業化.....	36
3.10 結語.....	39
肆、建議事項.....	41
附 件.....	41

參加 2011 年奈米科技研討會出國報告

壹、目的

為執行經濟部科專「奈米材料及製程技術發展計畫」，派員至美國參加 2011 年奈米科技研討會，以瞭解奈米材料、奈米尺度結構及特性、奈米技術產業化，以及奈米檢測技術、材料特質評估技術之最新發展趨勢，並藉由參與國際會議之機會，與國外學者專家進行交流，吸取先進國家在奈米材料科技及材料檢測與評估技術之研發經驗，使本院材料科技之研究與開發持續獲得突破。參加本次研討會獲得之效益包括：（1）瞭解先進國家在各維度奈米材料製程、特性與結構設計之最新發展資訊，提供本院奈米計畫執行團隊參考，以協助我國建立自主奈米關鍵技術。（2）透過與國外專家學者交換研究心得及進行實務問題討論，瞭解各國在奈米科技產業化、商品化之推展現況及運作模式，戮力發展市場亟需、軍民通用之奈米技術與產品。（3）掌握先進國家在材料檢測技術之發展及最新材料特質評估技術，將有助於建構完整的材料與零組件檢測與評估技術，提昇本院在評估製程適當性及研提改善方案的能力。（4）配合本院既有之材料關鍵技術能量及獲得之先進材料特性資訊，可增進對材料及零組件特性的掌控，減少研發過程的試誤，提昇材料及零組件開發的時效。（5）擴大材料檢測服務網絡，將國家級實驗室所建立之檢測技術分享與推廣於產學研各界，以加速產業升級，並促成先進材料技術的建立，強化我國產業的競爭力與優勢。

貳、過程

本次公差主要是參加於奧勒岡州波特蘭市舉行之 2011 年奈米科技研討會，此研討會係全球最具水準的國際研討會議之一，會議地點為波特蘭市 Portland Marriott Downtown 飯店(如圖 1)。會中除邀請著名學者擔任演講者外，且匯集全球各地頂尖的學者專家共同參與盛會，分享在奈米科技領域之研發成果與經驗，共計吸引德國、美國、日本、英國、奧地利、加拿大、法國、義大利、韓國、瑞典、土耳其、荷蘭、西班牙等 20 餘國，逾 500 餘位學者專家共同來參與此盛會，其中有相當多位係來自全球各地的頂尖學者專家，分享其一年來在奈米科技領域之研發成果與經驗，會中共計有 400 餘篇論文發表，主題涵蓋奈米材料製程技術、奈米材料、奈米光子學、奈米磁性、量子點材料、量子計算、自旋電子學、奈米氣體感測器、

奈米壓印技術及奈米科技產業化等，均與本單位目前所執行的奈米計畫或未來建案的計畫有密切的關係，可配合本院相關計畫推動之需要。圖 2 為大會主席美國波特蘭州立大學教授 James E. Morris 博士主持開幕儀式。



圖 1 本次會議地點：波特蘭市 Portland Marriott Downtown 飯店



圖 2 大會主席美國波特蘭州立大學教授 James E. Morris 博士主持開幕儀式。

藉由此次參與國際會議之機會，收集奈米材料及元件製程最新資料，並了解各先進國家在奈米材料領域最新發展趨勢，且透過與國外專家及學者直接交換研究心得及進行實務問題討論，有效提昇本院在相關議題的研究能力，有利協助產業界突破現有技術瓶頸，並為跨

足材料領域的產學研界提供堅實後盾。

本次公差任務行程表如表一。

表一、公差任務行程表

日 期	星 期	公差地點	工 作 項 目
100.08.14	日		去程
100.08.15	一	美國 奧勒岡 波特蘭	參加 2011 奈米科技研討會短期課程，研討奈米材料及製程技術，以利奈米製程技術精進。
100.08.16	二	美國 奧勒岡 波特蘭	研討奈米碳管、奈米線、量子點等奈米結構材料特性，以利奈米材料特質評估。
100.08.17	三	美國 奧勒岡 波特蘭	研討奈米光電子學、及奈米磁性，以利奈米材料及元件技術發展。
100.08.18	四	美國 奧勒岡 波特蘭	研討量子計算及奈米感測器，以利奈米智慧型感測器性能提升。
100.08.19	五	美國 奧勒岡 波特蘭	參加 2011 奈米科技研討會專題討論課程，研討奈米科技在商品化之應用，以利奈米技術推廣。
100.08.20	六		回程
100.08.21	日		回程

參、心得

科技的進程與材料技術的發展有密不可分的關係，材料技術實為開發新產品最重要的關鍵技術，唯有建構自主的材料製造與檢測分析技術，才能使產業界的創意構想獲得立即的驗證，快速擴散核心技術於高科技產業，並推動國內傳統產業進行轉型。最近幾年來，國際上普遍認為奈米科技為現今最重要的研究領域，奈米科技更是我國未來產業發展之重點領域及方向，亦為促進經濟持續成長應掌握之核心關鍵技術，並具有提升傳統產業水準，邁向高價值策略性產業之指標意義，而其中材料奈米技術及其所需之製程技術，為發展前瞻材料與化學品技術不可或缺的一環。中山科學研究院第二期奈米計畫內容，即以發展奈米材料及製程技術為重點，在已俱備之國防能量基礎下，開發具利基之奈米技術及奈米產品，以縮短開發時間，達成與先進國家同步，成為奈米科技新產品之製造國及技術擁有者，符合我國科技發展之政策目標。本次公差任務係參加 2011 年奈米科技研討會，主要探討主題涵蓋奈米材料製程技術、奈米材料、奈米光子學、奈米磁性、量子點材料、量子計算、奈米氣體感測器、奈米壓印技術及奈米科技產業化等前瞻研究。茲將本次任務所獲取之資訊依規劃執行之相關議題概述如下：

3.1 奈米材料製程技術

隨著積體電路技術的突飛猛進，為了達到高速、高密度、低功率、以及低成本的产品需求，縮小元件尺寸技術成為積體電路 (Integrated circuits, IC) 工業的重要課題與挑戰，傳統光學微影技術受限於光源波長，最小尺寸的極限約在 0.1 微米以上，然而，近來各種微影技術不斷改進，如電子束微影、X 光微影等等，將元件可製作的尺寸縮小至 0.1 微米以下，而進入奈米元件的領域；另一方面，藉由磊晶成長條件的控制，直接成長奈米結構也被廣泛地研究，此類奈米結構不僅提供了基礎研究重要的素材，並且成功地應用在各種元件上，因而受到廣泛的重視。由於奈米結構的尺寸約在 1nm 至 100nm 之間，遠小於古典物理所描述之巨觀世界，而進入近代量子力學討論的範疇，使得量子效應產生顯著的影響，藉由材料或元件的奈米結構化設計可開發出許多新穎的應用。

奈米材料製程技術可藉由「由上而下」 (Top down) 及「由下而上」 (Bottom up) 二種方式來達成，前者係從分子或原子層面進行自排列或組裝，而建構出奈米材料與元件的方法；

後者即為利用外力方式來建構出奈米尺寸材料，如研磨、微影蝕刻技術等。利用此兩個主要製作技術的相輔相成，以致促使諸如電子、材料、物理、化學、生物等領域的快速發展，並使今日科技逐步邁入了奈米世紀，甚至更向原子領域前進。最初期的材料製作方式是一種從上而下的過程，亦即是一種由大至小的縮減過程，這樣的過程以半導體製程的演進最具代表性，在最初的元件設計，其尺寸可達到公分級的尺度，接著迅速的縮減至微米級的範圍。依照摩爾定律（Moore's law）的預測，元件尺寸不斷的縮減，其製程複雜度也隨之增加，至今這樣的製造過程確實已經面臨了很大的瓶頸，而需要突破，例如當元件尺寸在縮小到 45 奈米以下即遭受很大的製程挑戰。因此在二十世紀末期，許多學者專家所提出的原子操控技術，又再度被重視並加以研究，如此造就了一個全新的奈米世紀，許多新的應用技術與製作方式如雨後春筍般的紛紛出現，使得奈米領域的應用範疇已經不單單只是為了半導體製程的需要而開發，而在很多的應用領域，包括醫藥、生物、化學與物理等領域均與奈米科技息息相關。

隨著奈米科技的興起，以及人類對微觀層次理解的加深，人們對於材料的研究正致力於採用由下而上的建構方式，代替傳統的由上而下的微細加工技術，而分子自組裝技術正是滿足這種建構方式而出現的一門新興技術。目前在分子自組裝膜技術的研究方面，如薄膜的穩定性、有序性、多樣性及複雜性都有顯著的進步。現在已可採用不同的活性分子，在不同的基底材料上製備多種分子自組裝薄膜，建構出二層乃至多層的有序分子自組體系，以及奈米尺度的超晶格結構。分子自組裝技術已在非線性光學、分子電子元件、分子生物學、分子識別、選擇性催化及超薄膜潤滑等領域顯示出廣泛的應用前景，為重要的製程技術。

材料的製程過程，可以概略的區分為三個較具代表性的時期，以製作的線寬來區分，分別是微米時代，次微米時代與奈米製程。在微米時代的製作技術，尺寸的限制與挑戰均較為容易，以半導體製程為例，並不需要繁複的黃光及光罩製作與濕式蝕刻技術就可以輕易達到所需要的目標，這時期的製作技術瓶頸一直到了一至二微米附近才遭遇到困難，進而導入了多樣化的光罩製作技術與化學反應電漿乾式蝕刻製程。次微米製程是一個微米製程的向前延伸，其所面臨的技術密集層面較微米時代的製程為繁複，其中最大的演進就在於新一代的黃光技術與精確的各式蝕刻技術的導入，在堆疊各式不同性質薄膜的技術上，也做了很大的突破與改進，各種化學氣相沉積的技術取代了傳統的物理沉積方式，以更大的面積，更小的元件尺寸以及更高的良率，來滿足各式消費性電子產品的廣大需求。現今的奈米尺度製作與

應用技術，是以泛稱一百奈米以下的領域為主，而以維度上的奈米尺寸來區分，若材料有一個維度的尺寸沒有被限制，且在奈米尺度的範疇內，被稱為一維奈米結構材料，這樣的應用領域多為一些奈米尺度的奈米棒或是奈米線，若以此定義推廣之，則產生了二維的奈米結構如奈米薄膜或積層膜，與零維的量子點或奈米粒子等奈米結構。現今的先進半導體製程將目標大約放在 65 奈米甚至在 35 奈米左右，這樣的製程條件已經相當的嚴苛，不是一般傳統的向下縮減製程技術所能輕易達到的。圖 3 為 IC 電晶體發展趨勢圖，其尺寸減少幾乎是遵循摩爾定律。

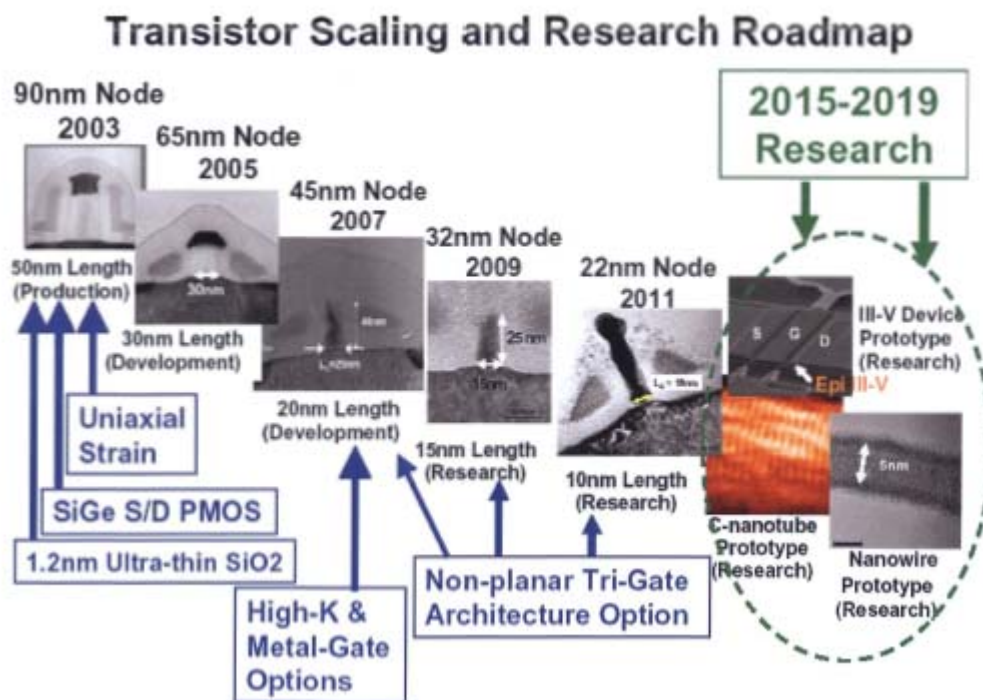


圖 3. IC 電晶體發展趨勢圖。

在向下縮減製作過程遭遇到瓶頸之後，開發向上組裝與自我組裝的幾個製作方式陸續被提出研究，根據材料的不同性質，精確的控制成長的方式與型態，來達到應用所需的電學、光學及物理特性。以量子點為例，量子點(quantum dot)是一個三維的奈米材料，由少量的原子所構成。粗略地說，量子點三個維度的尺寸都在 100 奈米(nm)以下，但是並非尺寸小到 100 奈米以下的材料就是量子點，而是由電子在材料內的費米波長來決定。因為在量子點內部電子在各方向上的運動都受到侷限，所以量子侷限效應(quantum confinement effect)特別顯著，由於量子侷限效應會導致類似原子的不連續電子能階結構，因此量子點又被稱為人造原子(artificial atom)，這種奈米材料在二十一世紀的奈米電子學(nanoelectronics)上有極

大的應用潛力，量子點可視為電子物質波的共振腔，電子在量子點內會有類似電磁波在一般共振腔中的共振現象。當侷限能壁 (potential wall)較薄時，量子點中的電子可因穿隧效應(tunneling effect)而逃離，我們稱之為開放式量子點 (open quantum dot)，其類似一開放式共振腔(open cavity)，此時電子能階不再是穩態(stationary state)而是一種準穩態(quasi-stationary state)；電子停留在準穩態約一個生命週期(lifetime)後，就會逃離量子點。這類量子點在光電方面也有許多應用潛力，例如：可用於藍光雷射、光感測元件、單電子電晶體(single electron transistor, SET)、記憶儲存、觸媒以及量子計算(quantum computing)等。

3.2奈米材料

材料的微製造過程已進步到奈米尺度，空間度上的壓縮可製造量子井(Quantum well)、量子線(Quantum wire)、量子點(Quantum dot)及各種維度的奈米材料。排列上的規則度則發展出各種超晶格結構。這些材料至少在某一尺度上是介乎原子/分子尺度與巨觀尺度之間，稱之介尺度(Mesoscale)。正因奈米結構材料具有不同於塊材的能態分佈，電子在這些結構中的行為也隨之改變，而使得其展現獨特的物理性質，而在基礎研究與元件應用方面廣受矚目，換言之，奈米結構如同一種新的材料，其物理性質能藉由成長或製作的方式來控制，以符合研究與應用的需求，或用來設計新穎的元件，不但具有高密度與低耗能之優點，還能提供傳統材料所無法達到的功能。

3.2.1奈米材料一維奈米結構材料：

奈米碳管 (Carbon nanotubes) 它比鋼還堅硬，和塑膠一樣有彈性，能量的傳導性幾乎比現今發現的所有材料都還要好，而且可以利用再普通不過的原料如甲烷氣來煉製。奈米碳管基本上是整片的碳原子——以六角形排列，然後捲曲成管狀。這種管又分為兩大類：以單層的六角形碳結構捲曲而成的單壁奈米碳管，及管管相包的多壁 (Multiwalled) 奈米碳管。因為一維奈米結構材料，奈米碳管沒有高度或寬度，可使電子在奈米碳管中傳導速度比在金屬材質上更快，且不會消散，這種導電性有助於製作電子塗料(Electric paint)，來躲避雷達波及吸收靜電，並可以讓原本不具導電性的材質變得可以導電，如把飛機上的電路換成奈米碳管，不但可強化元件韌性，又可降低重量。奈米碳管的導熱性比現今所有任何已發現的

材料都還要好，連鑽石也有所不如，而且可用來做為發電廠與家庭用戶之間的配電線之用。奈米碳管還可用來傳導光，加以改善可取代光纖。奈米碳管具有優異的場發射效果，可以開發為顯示器，無需植入玻璃電路板，因此奈米碳管顯示器可以做得比液晶顯示器還要薄，而且製造成本便宜很多。目前奈米碳管有兩種製造方式，一種是所謂的雷射蒸鍍法(Laser ablation)；第二種則是改良的氣態方式，將碳氫化合物氣體(如甲烷或二氧化碳)塗在溶解的金屬催化物上，但移除雜質(如金屬催化物質)的難度就較高。另外在控制奈米碳管螺旋性(Chirality)方面，這與如何安排管子表面六角環的技術有關，若六角碳環在管子表面形成平行直線，其材質就跟金屬一樣，且無法用在電子上。若有些微旋轉，他們就形同半導體，可當作電晶體使用。奈米碳管的碳原子結構強固且化學性穩定，若利用其半導體特性，可望作為超微細的電晶體或二極體使用。目前的矽半導體在不久的將來面臨加工極限問題，而可能以奈米管取而代之。奈米碳管若用做電晶體，其開關速度將會比現今的各種矽晶都還要快，可望未來奈米碳管取代矽，成為處理器與記憶體晶片內的電晶體。圖4為以TEM觀察雙層奈米碳管照片。

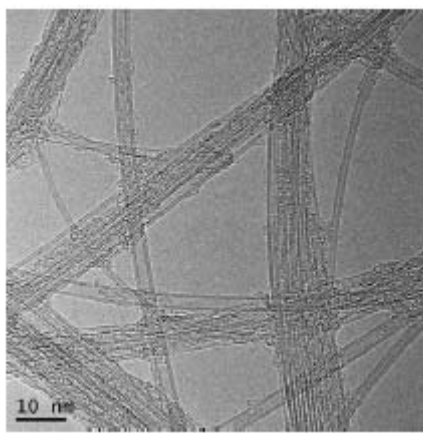


圖4.TEM觀察雙層奈米碳管照片

在氧化鋅奈米棒材料方面，研究結果顯示其為一種優異的奈米雷射材料，其所被激發的波長恰好位於短波長範圍的紫外光，這對於發展短波長奈米雷射元件的應用相當合適，利用其線型特性，將激發光源耦合至這一奈米尺度的微型共振腔之中，可透過完美單晶晶體的多次震盪，來激發產生出雷射效應，並製作成紫外光波段的奈米雷射，供為光學元件讀寫或記憶。在氧化鋅奈米線材料方面，為了製作品質良好的奈米結構，除了使用氣液固法的成長方式，也有使用陽極氧化之氧化鋁模板(Template)為支架基礎，填入一些金屬氧化物材料，

再經過熱處理等手續來製成一些金屬氧化物奈米線，也是一種可以大量製作奈米線的方式之一。另外，利用化學氣相沉積(MOCVD)的方式也是製作氧化鋅奈米線的技術之一，這樣的方法是採用一些有機金屬源為起始原料，在載氣氣氛中進行化學的取代和置換的行為，進而製作出氧化鋅奈米線，這方法可以精確的控制其所成長出的奈米線高度及大小。至於如何增加氧化鋅奈米線的電導度，利用多層次摻雜的技術以增進其電學特性，或配合不同的透光與反射的機制製作光電轉換的儲能元件等，以增進其半導體特性，該材料對於製作出下一世代的奈米級電晶體或是單電子電晶體的元件應用上，相當的具有發展潛力。在氧化鋅奈米線陣列材料，其場發射的驅動電壓與激發電流，明顯的較其他的二六族材料更優異，甚至有趨近於以奈米碳管製作的場發射元件的品質。圖5為以SEM觀察氧化鋅奈米線材料照片。

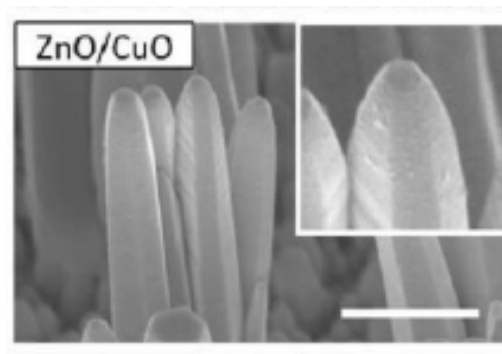


圖5.以SEM觀察氧化鋅奈米線，其表面鍍CuO。(Scale bar: 1 microm)

3.2.2 二維奈米結構材料

這一類型的奈米結構，屬於薄膜的型態，亦即在平面的方向並未受到奈米尺度的限制，而在垂直平面的方向上有著奈米尺度的表現，奈米薄膜是一類具有廣泛應用前景的奈米材料，奈米薄膜材料可以有許多種組合，如金屬/半導體、金屬/絕緣體、半導體/金屬、半導體/絕緣體、半導體/高分子材料等，而每一種組合又可衍生出眾多類型的複合薄膜，奈米尺寸厚度的薄膜，其厚度接近電子平均自由徑和德拜長度(Debye length; 約10~100nm)，可以利用其顯著量子特性和統計特性組裝成新型功能元件。

奈米薄膜又可分為單層與多層的膜層組合，奈米多層膜是指由一種或數種材料交替沉積而形成的成份或結構交替變化的多層膜材料，通常單層的厚度在1~100nm之間，而整個多層膜厚度則為1~10 μm ，亦屬於奈米複合薄膜材料，圖6為以TEM觀察奈米介電薄膜橫截面照片。

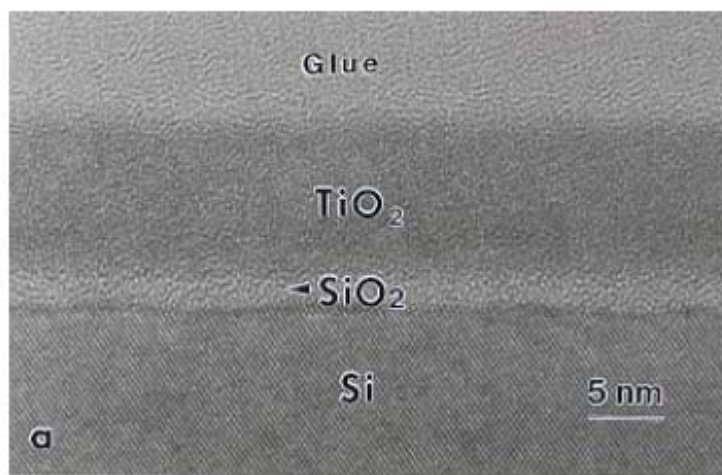


圖6.以TEM觀察奈米介電薄膜橫截面照片

若依用途來區分，則可分為結構性鍍膜和功能性鍍膜。結構性鍍膜是指鍍膜提高基材的某些性質和改性；功能性鍍膜是賦予基體所不具備的性能，從而獲得傳統鍍膜沒有的功能。結構性鍍膜有超硬、耐磨塗層，抗氧化、耐熱、隔熱/阻燃塗層，耐腐蝕、裝飾塗層等；功能性鍍膜有消光、光反射、光選擇吸收的光學鍍膜，導電、絕緣、半導體特性的電學鍍膜，氧敏、濕敏、氣敏的感測性鍍膜等。目前奈米結構薄膜在積體電路的應用領域之中，被廣泛的大量使用在電容元件、超薄閘極氧化層及絕緣層等，均有相當突破性的表現與發展。另外，新型態的透光導電層或液晶配向層的應用，在液晶顯示器產業中及能源應用的領域上，也試圖使用這些優異性質的奈米級薄膜，來產生高性能的效果。奈米級薄膜的技術開發極為重要，因為它在未來積極發展的積體電路製程扮演極關鍵的角色，面對奈米世紀的來臨，如何在不斷微型化的積體電路製程裡提供高效率、高性能及高可靠度的超薄各型薄膜，是奈米結構與材料研究學者與團隊最迫切的工作之一。

3.3 奈米光子學

隨著人類社會進入21世紀，人類對資訊的需求越來越多，對資訊的傳輸、處理和存儲的要求也越來越高，隨著光通信、光計算等大容量高速信息處理的發展，資訊傳輸中需求的通道數也越來越多，存儲密度越來越大，處理速度也必定越來越快。因此元件的尺寸要求勢必越來越小，最終會突破繞射極限的尺寸，因應元件的空間距離也越來越小，唯有仰賴奈米光子學才能實現此目標。奈米光子學係結合近場光學與奈米材料技術，奈米光子學的主要優點是它能在局域電磁相互作用的基礎上實現許多全新的功能，例如開關系統如利用奈米光子技

術來實現，其開關時間可以短至皮秒級，所需的能量可以小到一個光子的能量，在奈米光子學中，傳統的干涉、繞射的概念已不再適用，取而代之的是一些全新的概念，經由量子理論已證明，通過一定的布局，奈米開關的實現是完全可行的，在近場條件下，元件的尺寸為幾十奈米量級，對應能量傳輸所需的時間是幾十皮秒，這些參數指標相對於目前的集體電路技術來說無疑是進步神速。

近場光學是相對於「遠場光學」所產生的名詞。遠場光學就是人們所熟知的「傳統光學」，是指光與所照射目標間的距離遠大於所使用光波的波長，以進行光學的量測、觀測或光學作用，但受到光的繞射極限的限制。拜奈米科技發展之賜，人類開始有能力把光感測器做得非常小，因此發展出「近場光學」技術。也就是在遠小於光波波長的距離下，進行光學的量測、記錄或讀寫。讓光的波動行為在尚未開始展現的極近距離內，就已達成光學記錄與讀取的目的。近場光學不僅可避開光的「繞射極限」的限制，還能進行超高解析度、超高辨識力的光學量測、觀測的目的。

典型的近場光學系統是一個由入射光源聯結量子點和近場光學系統所構成，近場中能量只在兩相鄰的且具有共振能級的量子點之間才可以傳播。在量子點之間包含隨時間演化的過程，此過程只能在共振態之間發生，通過這種方式，能量就可以由一個量子點傳播到與其相鄰的另一量子點上，只要控制初始體系各個量子點的初始能級、尺寸、相互間距、周邊環境的溫度，選擇合適的近場光源，就可以實現高效率的能量傳輸。在單個量子點中，高能態可以躍遷到低能態上，並釋放出能量；在不同量子點共振態之間，能量將在共振態之間隨機分布，兩個態平均各占一半，但是有些態並不是穩定態，它們還會產生向低能級的遷移，從而引起能量的轉移。傳播所用的延遲時間由量子點之間的近場相互作用的強度決定，近場相互作用越強，延遲時間越短，當整個開關的尺寸限制在10nm之內，開關的頻率就可以達到幾GHz，其性能將比傳統開關優越幾百倍。

光學探針可以進行近場光學檢測，是近場光學顯微鏡等儀器的主要部件，因此在奈米光子學的發展中，探針是一個重要奈米光子學元件，在奈米光子學中，一個合適的近場金屬光學探針必須滿足以下3個條件：

- (1) 可以傳導等離子體表面激元，因為遠、近場光能的轉換是奈米光子學要處理的一個重要問題，這個過程中需要將遠場光先轉化為等離子體表面激元，再進一步轉化為近場光，

因此作為探針必須可以傳導這種中間過程的波。

(2) 能量有高透過率，即要求能量轉換效率較高。

(3) 經探針傳導後，波的半高寬較小，因為限定在一定的半高寬度範圍內才可以適應光學近場的要求，為了滿足以上三個要求，研究學者已對傳統的探針進行了改進，透過對探針材料、形狀等參數的選擇，來滿足上述要求。這種新開發的探針可以有效檢測近場光學，以反映出尺寸超過繞射極限的信息，這也為實現高密度光學存儲提供了可能性，同時利用探針陣列並行讀寫，可以實現高速度光學存儲，利用形狀不對稱的探針可以實現近場光的高效激發。

圖7為以SEM觀察近場光學顯微鏡之探針，探針尖直徑為130奈米。圖8為以近場光學顯微鏡觀察奈米金柱，其中奈米金柱直徑約為100奈米。

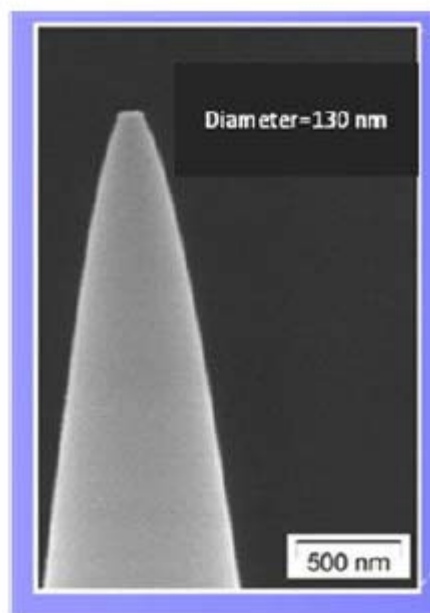


圖7.以SEM觀察近場光學顯微鏡之探針

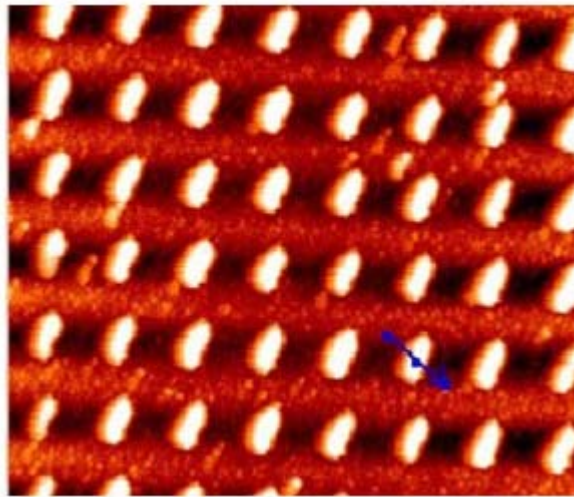


圖8.以近場光學顯微鏡觀察奈米金柱

遠場光學中著重研究干涉和繞射，奈米光子學則更加注重發展奈米製造技術，由於奈米元件的尺度在波長的量級，甚至小於波長。奈米元件製造中對尺度的要求極為嚴格，選擇合理的有較強適應性的奈米製造技術，是實現奈米級光學元件的前提，目前自組裝生長技術已經應用於奈米元件的製作，但是這種方法的空間解析度仍不夠高，若用掃描探針顯微鏡如 STM 則可以有高的空間解析度，但是這種方法只能用於導體和半導體傳統的光學化學氣相沉積的方法，利用遠場光使有機金屬化合物進行光化學反應，可以沉積出約 100nm 的顆粒，這種方法適用於金屬半導體及絕緣體，但是對於更小尺寸的顆粒，則不能沉積，而且對於小尺寸的顆粒也不能對其位置進行精確的控制，由於奈米光子學對空間解析度的高度要求，因此研究者改進了這項技術，發展出一種新的奈米製造技術，即近場光學的化學氣相沉積法，用這種沉積法，可以同時確保精確地控制沉積顆粒的位置和大小，和傳統的化學氣相沉積方法一樣，近場光學的化學氣相沉積方法利用光分解有機金屬化合物，來沉積出奈米顆粒，但是將遠場光改用近場光，利用近場光可以分辨尺寸小於繞射極限的顆粒的信息。

3.4 奈米磁性

電腦硬碟儲存密度的增長極為令人注目，其單位面密度幾乎以每年100%的速度增長，甚至超出了摩爾定律的預言，電腦硬碟磁頭和存儲介質以這種驚人的高速增長，其中最關鍵的因素乃是由於奈米元件的發展所造成，目前奈米元件的研製循兩條途徑進行：其一是採用「由下而上」技術，即從原子操縱、分子組裝來製造奈米元件，目前該方向基本上還處於基礎研究階段。電腦硬盤巨磁電阻磁頭製造被稱為是挑戰極限的高科技，它包含自旋電子學

(spintronics)、材料科學、微電子工程學、化學、微空氣動力學、微機械力學和工程學等多學科於一身，近年來不斷挑戰極限，其主要原因係由於奈米科技的進步與發展。

巨磁電阻奈米多層膜元件可以分爲四層：反鐵磁釘扎層、鐵磁被釘扎層、非磁性分隔層和鐵磁自由層，鐵磁被釘扎磁化方向爲反鐵磁釘扎層所釘扎，在一定的磁場範圍內不隨外磁場轉動，而鐵磁自由層的磁化方向可隨外場自由轉動，因此兩鐵磁層中載流電子的自旋可極化成不同狀態，在此奈米多層膜結構中，鐵磁被釘扎層、非磁性分隔層和鐵磁自由層的厚度均只有幾個奈米，遠小於電子的平均自由程，自旋極化的載流電子在各層界面及鐵磁層內的散射取代了塊狀材料中載流電子與原子、雜質等的碰撞散射，而成爲決定該結構電阻的主要因素，從而出現所謂自旋閥巨磁電阻結構效應：當鐵磁自由層的磁化方向與鐵磁被釘扎層的磁化方向一致時，兩鐵磁層中的電子自旋極化方向一致，電子所受的散射最小，因而電阻最小；反之，當兩鐵磁層的磁化方向相反時，則電阻爲最大。自旋隧道結的結構和自旋閥非常相似，只不過在鐵磁性多層膜三明治結構中，絕緣材料（如氧化鋁）代替了導電材料（如銅）非磁性分隔層，當該絕緣層厚度足夠小（約1nm）時發生量子隧道效應，透過絕緣層傳導的正反向自旋極化載流電子的隧道磁電阻變化率比自旋閥巨磁電阻效應更大。

電腦硬碟磁頭的巨磁電阻感測器，爲奈米科技在資訊存儲技術中的一個重要應用實例，硬盤記憶密度的提高有賴於提高線密度和通道密度，即減小線寬和通道寬，讀頭縫隙和讀頭磁性寬度也應相對地減小，由於奈米精度薄膜沉積和奈米線寬光刻等技術突飛猛進，目前電腦硬盤開發已由微米尺寸進入到奈米尺寸，尺度已在三維方向全面進行突破，將巨磁電阻奈米多層膜元件和集體電路半導體相結合的磁性隨機存儲記憶體（MRAM）兼有靜態隨機存儲記憶體（SRAM）的高速及動態隨機存儲記憶體（DRAM）的高密存儲，且斷電非揮發性和抗輻射性等無與倫比的潛在優越特性，未來勢必成爲下世代重要的記憶元件。圖 9 爲電腦硬碟磁頭的巨磁電阻感測器結構設計圖，其中奈米磁性材料尺寸可達 8-10 奈米。

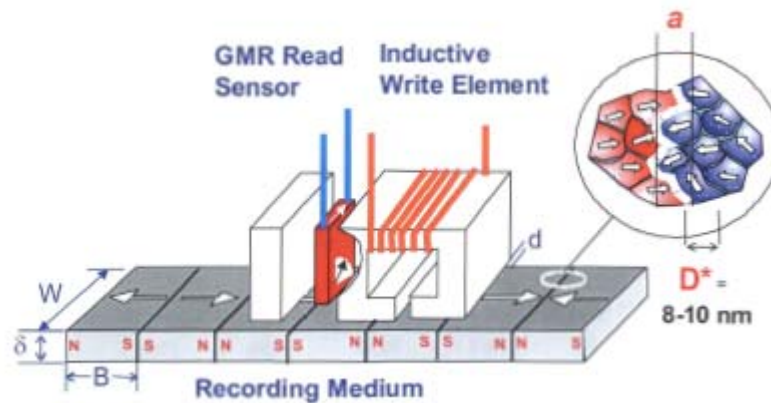


圖 9 電腦硬碟磁頭的巨磁電阻感測器結構設計圖

3.5 量子點材料

奈米結構材料具有許多前所未有的物理特性，不僅是基礎研究的有趣素材，更有許多元件應用上的潛力，雖然，奈米結構的許多特性至今仍未十分清楚，需要更多深入的研究來釐清，另一方面，奈米結構的製作與設計，也還有許多尚待努力的空間；但是，各式各樣製作奈米結構的技術漸趨成熟，顯示著此一時代的即將到來，尤其是單一量子點在量子資訊科技方面的應用潛力，更是讓人期待。

載子在量子點中三個維度上都受到能障約束而不能自由運動，因此根據量子力學理論，量子點中的載子在三個維度方向上的能量都是量子化的，其分佈為一系列的離散函數，類似於原子光譜性質，因而人們往往也把量子點稱之為人造原子。由於量子點具有量子、小尺寸、量子穿隧、庫侖阻塞、量子干涉和非線性光學等明顯效應，及其在微電子、光電子元件、超大型積體電路和超高密度存儲計算等方面的潛在應用優勢，因而受到世界各國科學家和企業界的高度重視。量子點結構的特性涉及物理、化學和材料等跨領域學門，控制量子點的幾何形狀和尺寸可改變其電子態結構，可實現元件優異的電學和光學性質。

製備高品質的量子點材料是元件應用最重要的基礎，如何實現對無缺陷量子點的形狀、尺寸、面密度、體密度和空間分佈有序性等的可控生長，一直是材料科學家追求的目標和關注的焦點，經過多年的努力，現已發展出多種製備半導體量子點的技術，歸納起來不外乎為「由上而下」(Top-down)和「由下而上」(Bottom-up)及這兩種方法相結合的製備技術，而應變自組裝技術則是目前最廣泛應用的技術。

量子點製程的基本步驟是將兩種晶格常數略微不同的半導體材料中的一種透過分子束磊

晶 (MBE)或化學氣相沈積(CVD)的方式長在另外一種的表面。例如把InAs 長在GaAs 的表面，或是把Ge長在Si表面。長晶的過程中，晶格常數差異產生的張力會讓在上層的InAs或Ge自然聚集成金字塔型的量子點。透過這種方法，可以在量子井的二維平面上長出大量形狀類似的量子點，甚至可以讓這些量子點排列成有序的樣式。量子點的形狀視生長條件不同，可以是菱形、方形、金字塔形、球形、橢圓形和三角形等，通過對應變異質結構材料體系應變分佈的設計，如晶向、晶格失配度的合理選擇，以及生長動力學的控制等，理論上可製備出尺寸和分佈較均勻的無缺陷量子點材料。圖10為以掃描探針顯微鏡觀察InAs量子點，係以分子束磊晶 (MBE)的方式長在GaAs晶片上。

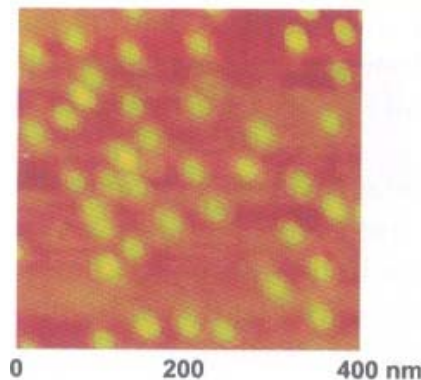


圖10.以掃描探針顯微鏡觀察InAs量子點，基材為GaAs晶片。

應變自組裝方法屬於典型的「由下而上」製備技術，它是利用磊晶生長模式，適合於晶格失配較大但表面、介面能不是很大的異質結構材料體系；實驗上可採用分子束磊晶 (MBE)、金屬有機物化學氣相沉積 (MOCVD) 和原子層沉積 (ALD) 等技術來製備，在生長模式中，磊晶層和基材間的晶格失配較大，但是在磊晶的初始階段，磊晶材料可以通過彈性變形來適應晶格失配，即先以二維層狀模式生長，形成一整層濕潤層，隨著濕潤層厚度的增加，應變能不斷積累，當濕潤層厚度達到某一臨界值時，彈性變形二維層狀生長不再是最低能量狀態，應變能藉由在濕潤層上形成三維島狀物而得到釋放。形成三維島狀物後，伴隨應變能的減小與表面能的增加，系統的總能量降低。三維島狀物生長初期形成的奈米尺度小島周圍是無差排的，若用禁帶寬度較大的材料將其包圍起來，小島中的載子將受到三維限制；小島的直徑一般為幾十奈米，高約幾個到十幾個奈米，此小島即為通稱的量子點。

應變自組裝技術不僅無需諸如高空間分辨的電子束曝光和刻蝕等複雜的製程技術，方法相對簡單，而且不會引入雜質污染和形成自由表面缺陷，是目前製備量子點材料最常用、最

有效的方法。但由於量子點在濕潤層上的成核是無序的，故其尺度、形狀、分佈均勻性均難以控制。為解決這個問題，材料學家進行了廣泛的嘗試，例如在高指數（High index）晶面上自組裝製備的量子點的均勻性可得到改善，這是由於高指數面具有高的表面能，在磊晶生長過程中，高指數面將分解成具有較低表面能和特定週期結構的鄰近小平面，以降低其表面能，達到穩定的表面結構，故在高指數面上生長量子點是改善量子點結構和性能的有效方法之一。當加入緩衝層（Buffer layer）時，往往可以顯著地改善量子點的密度，而如在具有不太厚之緩衝層基材上生長量子點超晶格時，被嵌埋的量子點將產生張應力，當下一層量子點開始生長時，此張應力區將誘導新的量子點優先成核，以減小整體失配，這種過程的複製將導致生長方向上的量子點超晶格產生有序排列。通過在基材和量子點層之間引入緩衝層，也可用來有效地調節上層量子點的幾何參數，這是因為特殊設計緩衝層的應變場會延伸至最表面，進而影響上層量子點的初始孕核。相較之下，沒有加入緩衝層時量子點的分佈往往沒有規律，大小也明顯不均勻。

量子點的電子能態是研製新型量子點元件和電路的物理基礎，所以對量子點電子能態的瞭解有著重要的意義。透過將量子井做理想化假設可以計算得到金字塔形量子點、球形量子點，以及柱形量子點的特徵能量、波函數，以及有效態密度，結果顯示量子點結構的電子能量在三個維度上都是量子化的。量子化能階間距與該方向之特徵長度的平方成反比。隨著該方向尺寸的減小，該方向量子化能階間距增大，量子化效應更加明顯。量子點中電子的組態密度為函數形式，類似氣體原子的分光光譜，由於不同形狀量子點的限制能量不同，會對量子點的態密度和電子特徵能量產生影響，而量子點的尺寸又決定了量子點的能階間距，所以對量子點的形貌、尺寸的控制及實驗觀察是非常重要的。由於量子點的尺寸與電子的德布羅依波長相當或者更小，所以在處理輸送現象時必須考慮電子的波動性，如果樣品尺寸等於或小於相位干涉長度，也就是小於電子在材料中接連兩次受到非彈性散射後所走過的距離，那麼電子通過樣品時只發生彈性散射，儲存在電子波函數裏面的資訊將不會被破壞，而只是發生一定的相差。電子從不同路徑通過樣品時發生彈性散射的情況不同，相位的積累也不同，當樣品的尺寸遠大於相位干涉長度時，電子會遭受非彈性散射；如果樣品尺寸與相位干涉長度屬同一量級，交叉項就會有一比值，由於通過不同路徑時遇到雜質的情況不同，所以此值呈隨機變化，如果在樣品的兩端放置兩個探頭，理論上來說就能夠測量到干涉結果，

這就是量子干涉現象。所以在相位干涉長度內，載子所輸送的電流不僅與其速率有關，還與其相位有關，故其特性不再遵從歐姆定律。基於量子干涉效應可以製備多種新型量子元件，再加上量子點系統具有量子疊加等特性，故量子點的能階可製成量子計算的基本單元。

若一個量子點與其所有相關電極的電容之和足夠小，此時只要有一個電子進入量子點，量子點所增加的靜電能就會遠大於電子熱運動能量，這個靜電能便會阻止隨後的第二個電子進入同一個量子點，這種現象叫做庫侖阻塞效應。基於庫侖阻塞效應可以製造多種量子元件，如單電子元件等。單電子元件不僅在超大型積體電路製造上有著重要應用前景，而且還可用於研製超快、超高靈敏度及解析度的靜電計，可用來檢測極小的電荷量。

在應變自組裝量子點結構中存在著應力，也就是說系統的總能量並非處於極小值的穩定狀態，特別是大功率量子點雷射二極體，在工作時將隨著應力的釋放而產生缺陷，導致元件的性能退化甚至失效，因而研究它的熱學穩定性有十分必要性。當退火溫度較低時，量子點中原子的相互擴散可以忽略，但隨著退火溫度的升高，原子間的相互擴散加劇，尤其在界面處的組成梯度更大。應變自組裝量子點的退火效應與應變量子井、超晶格的情況類似，在退火過程中，透過組成原子的相互擴散或產生點缺陷，可降低系統的應變能，如果原生量子點結構中的點缺陷密度很低，應變將使組成原子間相互擴散增強，應變越大，交互擴散係數也越大，這是使光波長產生藍移的主要原因；反之如果原生量子點結構中失配點缺陷的密度較高，則其中的應變已得到較大程度的釋放，互擴散現象也就不明顯了。總之，研究量子點的熱學穩定性對於提高量子點的光學、電學性質和元件應用等是相當重要的。

利用電子的量子效應原理製作的元件稱為量子功能元件，也稱量子元件或奈米元件。要實現量子效應，在技術上須製作厚度和寬度都僅幾奈米到幾十奈米的微小導電區域。當電子被關閉在此奈米導電區域中時，才有可能產生量子效應，這也是製作量子功能元件的關鍵所在。如果製作若干奈米級導電區域，而導電區域之間形成薄薄的能隙區，這樣的導電區域稱為量子井。當在量子井中注入電子時，電子的波動特性將明顯地表現出來。當電子可以從一個量子井穿越能障而進入另一能階時，此即為量子隧道效應。電子在量子井中將處於分立的能階，當電子受激時，將從低能階躍遷到高能階。而當電子從高能階回到低能階時，會發射出一定波長的光子，此種量子效應會隨著在奈米技術的不斷發展而得到有效應用。

量子點為三維均受限的量子元件，以其獨特的優異電學、光學性能和極低能耗，在奈米電子學、光電子學、生命科學和量子計算等領域有著極其廣泛的應用前景，主要的應用包括量子點雷射二極體、量子點紅外偵測器、單光子光源、單電子元件和量子電腦等方面，其中紅外線偵測器由於在夜視、追蹤、醫學診斷、環境監測等方面皆有極廣泛的應用，受到人們極大重視。其優點是具有較高的偵測率和回應率，而其主要缺點為難以獲得大面積電學、光學性質均勻的晶片。近年來由於分子束磊晶技術的發展，量子井紅外線偵測器的研製取得了很大的進展，並已成功地用於紅外線相機和研製大面積紅外線焦平面陣列偵測器，量子點紅外線偵測器可以探測垂直入射的光，無需製作複雜的光柵。由於聲子瓶頸效應，電子在量子點分立態上的鬆弛時間較長，這有利於製造工作溫度高的元件，而使得偵測器不需冷卻，此將會大大減少陣列和成像系統的尺寸及成本。

3.6 量子計算

所謂量子計算是應用量子力學原理方式進行計算，它的基本信息單元叫做量子位元（Qubit），是實現量子計算的關鍵，根據量子理論，電子可以同時處於兩個位置，原子的能級在某一時刻既可以處於激發態，也可以處於基態，這意味著以這些系統構造出的基本計算位元，不僅能在狀態0和1穩定存在，而且也能以混合態或疊加態存在，也就是說，量子位元能作為單個的0或1存在，也可以同時既作為0也作為1。而為了實現量子計算，必須先確保在整個量子計算的過程中，量子位元能保持其量子特性並按照量子力學的原理演化其量子態。然而因為量子物理系統的量子效應常常是非常脆弱的，實現量子位元比實現傳統位元困難了許多。量子物理系統的量子同調性(Quantum coherence)非常容易因為跟環境或是其他物理系統的交互作用而破壞，留下一個古典物理就足以描述的系統。而這樣的系統將不足與支撐量子運算，因此尋找一個能夠滿組量子位元及量子計算的物理系統，一直是量子資訊學的核心課題之一。量子計算機的概念係將量子力學和計算機結合起來，由於在運算時量子計算機可以不像傳統的計算機那樣必須按順序將所有的數值逐一相加，而是能夠同時完成所有數值的加法，即量子平行處理技術，就是這一特點使得量子計算機具有及極強大的運算功能，比當今運算最快的超級計算機還快。

用於構成量子位元方式包括核磁共振、施主雜質核自旋、超導體及半導體量子點，在這

些材料中，最具有開發前景的是半導體量子點，因為目前半導體材料的生產技術成熟，且對於半導體量子點，特別是自組裝量子點的研究已趨於完善。要利用半導體量子點來處理量子資訊，首先我們必須明確的定義如何將量子點中的量子態對應到0和1這兩個量子位元狀態。根據使用的自由度的不同，量子點量子位元的定義法可以粗分為二類：

(1)電荷類量子位元(Charge qubit)：利用量子點中的電荷數來定義量子位元，如沒有外加電子時為0，多一個外加電子時為1，在使用電荷作為量子位元的構想中，以量子點電荷位元最常見，也累積的最多的實驗結果，由於庫倫屏蔽(Coulomb blockade)效應關係，在適當的調整系統的參數後，量子點只能包含一個電子。這時候便可以把有未儲存電荷的量子點時對應到0，有儲存電荷的量子點對應到1，來形成這系統的量子位元。

(2)自旋類量子位元(Spin qubit)：首先要確保量子點中剛好存在一個外加電子，然後使用這個外加電子的兩個獨立的自旋態來代表量子位元。量子點自旋量子位元的操控方式係利用偏壓的方式將一顆價電帶的電子導入量子點。在沒有任何外場的情況下，每個方向的電子自旋態的能量都是單純的。爲了要明確的定義量子位元，必須引入一個方向外加靜磁場。在這個磁場下自旋為本徵態，而且能量不同，這樣就能夠明確的定義我們的量子位元。圖11為自旋類量子位元示意圖，不同的自旋方向分別對應0與1。雖然理論上可以透過另一個方向、隨時間變動的外加磁場來控制自旋方向的改變，進而形成單一量子位元的邏輯閘。但是外加磁場很難局部化，使其只影響到單一的量子點，且其調控的速度也無法太快，爲了突破這些問題，如使用光學控制開關，將可有效提升元件性能。



圖11. 自旋類量子位元示意圖

爲了實現於自旋電子元件的應用，導致自旋電子學成為當下學者及專家注的研究議題，自旋電子元件比傳統以電荷來操作的電子元件多了一個自由度的操作，因此可以預期具有比傳統元件更廣泛的應用空間。自旋電子元件是否可以操作取決於兩個必須克服的問題，第一，從磁性電極端入射到元件本體的載子自旋必須具有高度的極化率，所謂的極化率就是自旋上與自旋下的電子數目比率，因為鐵磁材料會表現出淨磁矩是因為自旋上與自旋下的電子能帶

在費米面的態密度不同。通常在介面處，自旋極化電子會因為高度界面散射而將自旋極化度減少甚至消失。這種極化消失可見於由磁性電極入射自旋極化電子到鐵磁性半導體中，因為在金屬與半導體的接面處會有所謂的蕭基位壘產生，或是爲了要產生歐姆接點而引入的離子佈植，因會產生雜質散射現象，往往都是造成自旋極化消失的原因。第二，這些載子自旋在輸運的過程中其自旋相干長度必須要夠長。所謂的自旋相干長度就是這些入射的極化電子在傳輸過程中維持自旋極化度不變的運動距離。如果相干長度小於載子輸運通道長度，這些極化的電子從入射電極端運動到另一端電極中時，就會自然失去自旋的極化度，而喪失此元件的控制能力。因此要製造出自旋極化的電子，最簡單的方法就是用磁性材料來當電極，因為磁性體內部兩種自旋在費米能階上的態密度不同，此外必須要導電性好，所以金屬磁性體是很好的選擇，但是一般的磁性金屬其自旋極化率並不高。完美的磁性電極就是半金屬，在半金屬中，費米能階只與單一極化電子能帶相交，所以只有單一極化的電子產生入射。

奈米碳管具有成爲自旋電子元件材料的原因在於，在奈米碳管內的電子其散射長度與自旋相干長度相當的長，所以載子的輸運係以彈道式的軌跡進行傳輸，並且在傳輸中可以保持其自旋的極化。所謂的彈道傳輸就是載子在傳輸的過程中只與邊界或接面處會產生散射，與其相對性的傳輸就是所謂的擴散傳輸，在擴散傳輸中載子會與載子互相產生散射。多層奈米碳管具有自旋電子的特性在於在實驗上發現被磁性電極相接的多層奈米碳管在外加相反方向的變磁場下具有明顯的電阻磁滯特性。因為單層奈米碳管比多層碳管具有比較長的散射長度、比較簡單的電子結構利於分析與研究、比較大的庫倫作用利於庫倫阻塞的效應利用與易於受到閘電極的控制效應，所以值得更多對單層奈米碳管用於自旋電子元件的研究。但是單層奈米碳管的電阻磁滯實驗結果並還未有統一的結果，因為有些實驗有發現，但是有些則相反。在單層奈米碳管沒有量到電阻磁滯的可能原因在於，在低溫下，單層奈米碳管可以視爲串聯的量子點，因為量子點有明顯的庫倫阻塞效應，會增加入射電子的傳輸時間，因而增加了散射的時間，所以就會使得自旋極化消失而導致電阻磁滯消失。所以如果要能在單層奈米碳管中量測到電阻磁滯，此碳管的長度就必須要很短，以便減少散射機會，但是一般的碳管長度可能長到數百微米，所以電子散射造成的自旋反轉也會發生，雖然如此但是其自旋的保持性也比一般材料要好很多，這就是用奈米碳管做自旋電子元件的優勢。

奈米碳管自旋電子元件最簡單的運作模式爲自旋閥架構，即連接碳管的磁性電極的磁

性極化爲平行時，碳管呈現出相對低電阻，相反的，當極化爲反平行時，碳管則呈現出高電阻，所以只要改變磁性電極的極化組合就可以產生高低電阻態來做爲數位資料的處理與儲存。但是磁性電極與碳管的連接就形成重要的問題，因爲如果在連接的介面上有很嚴重的散射現象，則電子的自旋將失去其空間極化的狀態。所以與磁性電極連接的碳管必須保證是連在同一個磁區內，否則與碳管連接的電極磁化方向會存在不一樣的極化。另外在實驗發現單層奈米碳管在低溫時具有如同量子點一樣在外加閘電壓時，碳管的電導會隨閘電壓的增加而呈現出振盪現象，這種隨閘電壓改變的電導振盪是來於庫倫阻塞。所謂庫倫阻塞是當系統具有將電子軌域局域性的效應，根據量子物理的包立不相容原理，一個軌域可以被不同自旋的電子佔據，但是因爲這個軌域是被局域化的，所以在這兩個不同自旋的電子間會存在一個很強的庫倫力，因爲這個庫倫力很強，所以不同自旋的電子反而不喜歡同時存在同一個軌域，反而是一個入射的電子寧願等另一個電子離開後才進入系統，這就是所謂的庫倫阻塞，所以在具有庫倫阻塞效應的系統中，閘極電壓對於電流具有很好的控制能力，所以再度表現出奈米碳管具有自旋電子元件應用的高度潛能。

3.7 奈米氣體感測器

近年來由於日趨嚴重的環境污染及工業上之需求，使得感測器的發展倍受重視。在空氣污染防治日益複雜及工業上迫切需要的今日，高效能的氣體感測器愈來愈受重視。以金屬氧化物半導體（MOS）爲材料之氣體感測器，由於其耐熱性及耐蝕性佳、應答速率快、元件製作容易，以及易與微處理器組合成氣體感測系統或攜帶式監測器，因此被廣泛的使用在家庭、工廠環境中以偵測毒性氣體及燃燒爆炸性氣體。近年來奈米結構材料之氣體感測器的出現，其靈敏度能隨著構成團聚尺寸的減少而有明顯的增加。一般傳統的 MOS 氣體感測氣是薄膜型或蕭特基(Schottky)二極體，而小於 100 奈米之奈米微粒材料由於粒徑小、可提供反應之表面積大，因此對於必須具備良好表面效應之氣體感測器而言，實具有相當的應用價值。奈米晶粒由於其粒徑極爲細微，因此具有極大的比表面積，使表面能量佔全能量的比例會大幅提高。正因爲此極細微的粒徑，如此大的表面能量和變化的電子能階，使奈米晶粒有著比塊材更優異的物理化學性質。這些性質使奈米晶粒很適合於氣體感測材料之應用，近年來研究界極爲重視。

奈米氣體感測器具有下列特點：

1. 利用感測材料隨周圍的氣體組成變化，導致感測材料電性改變，以對氣體進行定性或定量的分析。
2. 可針對各種可燃氣體、易爆氣體、有毒及惡臭氣體的檢測、監視及早期預警。
3. 奈米材料因表面積大可提供龐大表面積以吸附氣體，能有效提高氣體感測的靈敏度及反應速度。
4. 奈米感測器在工業安全、環境監控、防範毒氣攻擊上有極高應用潛力。

氣體感測器從原理上可以分成三大類：

1. 利用材料性質的氣體感測器：如半導體式（表面控制型、體積控制型、表面電位型）、催化燃燒式、固體熱導式等。
2. 利用物理性質的氣體感測器：如熱傳導式、光干涉式、紅外吸收式等。
3. 利用電化學性質的氣體感測器：如定電位電解式、迦伐尼電池式、隔膜離子電極式、固定電解質式等。

在室溫環境下即時偵測有毒氣體，係利用場效電晶體設計原理與奈米碳管之金屬與半導體特性，製作出奈米碳管毒性氣體感測器。奈米碳管毒性氣體偵測器乃利用奈米碳管本身所具有的金屬及半導體等良好之材料特性及場效電晶體（FET）之原理，設計出在室溫環境下，將氣體洩漏之偵測反應之電阻率，提高至一般常見的感測器約高十倍之多的毒性氣體感測器，並在最短的時間內偵測到氣體洩漏，使之有較多的反應時間處理氣體洩漏之情況，且此感測器還具有微小化之優點。碳奈米管採取集中電場的方法來完成離子化的步驟，類似於避雷針(Lightning rod)的原理，因而允許在室溫以及大氣壓力下發射電子。當電子通過空氣樣本時，它們把氣體分子離子化，因此提供使它們被吸引至感測器以及探測器所需要的電荷。碳奈米管可能根據特殊感測器的需要而給予正電離或負電離，來提升感測器性能。

由於半導體金屬氧化物氣體感測材料對氣體有很好的靈敏度、材料成本低廉、元件製作簡單，可作成體積小易於攜帶的氣體監測器，若與微處理器組合可成一智慧型氣體監測器等優點，這是昂貴的分析儀器所無法比擬的。因此可廣泛應用於家庭、工廠環境中之毒性氣體及燃燒或爆炸性氣體的偵測上，以保障生命及財產安全。以 SnO_2 或 ZnO 為例，除在偵測各種有毒氣體具有良好之特性與高度之偵測靈敏度外，由於其所需之薄膜可利用積體電路之方式製作，遂使成本大幅降低，當使用 SnO_2 及 In_2O_3 等奈米線材料來製作奈米感測器 (Nanosensors)，其更可展現出「高敏感度」、「快速應答時間」以及「可在室溫下操作」等優越特性。由於一維奈米結構之奈米感測器所展現之上述優越特性，此結構不但可保有其對氣體感測反應表面積，增加其結構之穩定性，更可提高氣體感測材料對氣體之靈敏度及響應效率，此技術的發展成功將可增進工業界感測器開發能力，有效開發微氣體感測元件。圖 12 為以氧化鋅奈米線材料製作的奈米感測器來偵測 H_2S 氣體之特性圖。

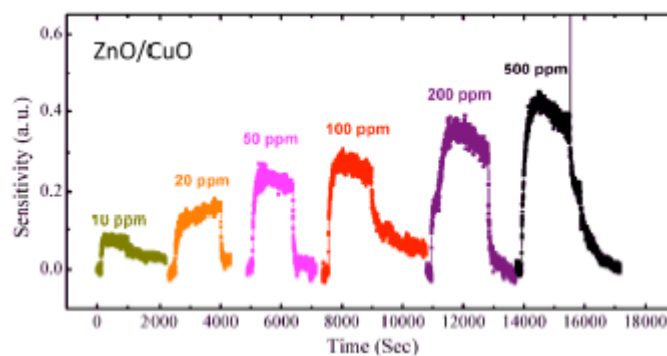


圖 12.以氧化鋅奈米線材料製作的奈米感測器來偵測 H_2S 氣體之特性圖。

3.8 奈米壓印技術

奈米壓印技術 (Nanoimprint lithography) 由於不受光學式微影繞射極限之限制且具有加工解析度高、速度快、以及成本低廉等特色，其可應用於生醫產品、超高密度碟片、光學元件、有機電子學、分子電子學等，應用領域相當廣泛。奈米壓印可以分為 (1) 熱壓奈米壓印 (Hot Embossing Nanoimprint Lithography, HE-NIL), (2) 紫外光硬化奈米壓印 (UV-Cured Nanoprint Lithography, UV-NIL)，以及 (3) 軟微影技術 (Soft Lithography) 三種。一般奈米壓印可以分為 1. 上光阻&壓印、2. 脫模、3. 蝕刻三大步驟。依照不同的奈米圖樣需求，先製作不同的模板 (template)，然後壓印在已塗佈光阻的基板上，固化脫模即可進行後續的製程。圖 13 為以 SEM 觀察奈米壓印技術所製造出來的 Au/Ti 金屬線圖案。奈米壓印技術之所以

有量產化及實用性的優勢，理由在於它具有產出效率高和極高解析度二大優點。

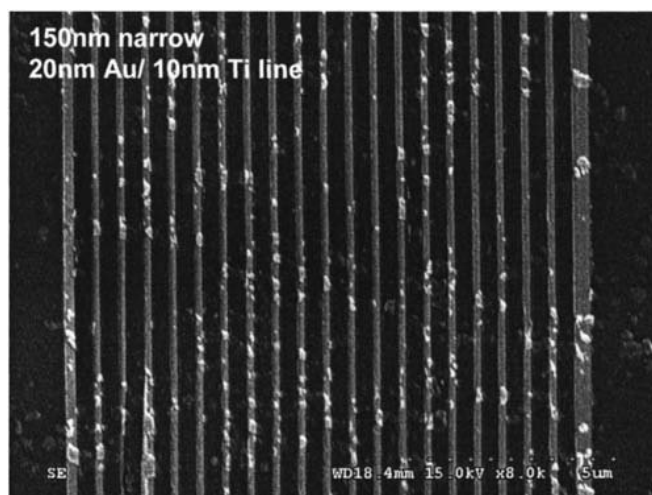


圖13.以SEM觀察奈米壓印技術所製造出來的Au/Ti金屬線圖案，基材為高分子材料。

奈米壓印未來面對量產技術的挑戰，大面積的壓印技術將是首當其衝之課題，為達到完整的微奈米結構複製，層層相關的技術都是環環相扣，以下將針對關鍵技術做一說明：

- 平行度與均壓性

奈米壓印製程中，係將模具上之微奈米結構均勻轉印至塗佈於基板上之成形材料層上，在過程中除要求整體壓印平行度之外，還要求整體壓印力均勻性；當壓印面積增大，如平行度不佳將導致壓印深度不一致，及微結構與基板不平行等問題；壓印後段製程蝕刻亦會造成部分光阻層未能被清除，最後導致成品功能失效；另外當壓印力不均勻時，也將造成壓印後之特徵結構複製不完整與設計需求不同，而無法達到設計需求，情形更嚴重時將導致模具與基板產生碰觸且造成模具或基板之損壞。

- 溫度控制與週期時間

高分子材料對於溫度之敏感性較高，不同溫度下之物理特性如流動性、黏彈性、收縮率等均不相同；有鑑於此，在進行一大面積的壓印過程中，若溫控系统無法控制高分子材料的整體均溫性，將造成壓印範圍內的高分子材料，在不同位置呈現出不同的物理特性；一般奈米壓印製程中，高分子材料需加熱至玻璃轉移溫度（ T_g ）以上始能進行壓印，一般選用的高分子材料例如PMMA較佳的成形溫度需在 140°C 以上，若以一般電熱方式加熱且要求其溫度均勻性佳，需耗費數分鐘，此外再加上冷卻及脫模時間則通常週期時間則需5分鐘以上，明顯的降低產能速度，因此一些快速加熱系統相繼被導入於製程中，例如超音波、雷射、微波等加熱

系統，以提昇整體製程產能速度及良率，而較有競爭力的產能週期時間應控制在1分鐘以內為最佳。因此須選用適當之光阻材料，降低熱壓溫度或縮短曝光時間以順利且快速獲得奈米結構為主要目標。

- 脫模機制

一般造成模具與高分子材料之間不易脫模的原因有（1）物理模式：模具與高分子材料之間由於成形收縮或模具與基板平行度差異過大造成微結構之間的機械互鎖（Interlock）現象，以及模具微結構與高分子材料之間形成的真空效應；（2）化學模式：當模具與高分子材料之間有化學鍵結，會造成的高分子沾黏行為，目前已有相當多文獻研究模具與高分子材料之間介面量能行為，並以真空電漿鍍膜（PlasmaDeposition）或分子自組裝（Self-Assembly）方式，在模具表面覆蓋一層厚度僅為數個奈米的抗沾黏（Anti-Sticking）單分子層，最後經實驗後的成果也相當顯著，另外關於模具與基板之間的脫模方式（包括模具與基板的挾持、脫膜力及真空行為）則是影響壓印成品是否完整的最後一道關卡。

- 模具製作與壽命

奈米級模具的製作目前大多採用電子束微影技術（E-Beam Lithography；EBL），電子束微影技術主要的優點是無需使用光罩即可直接產生所需的圖形，而且加工解析度高，最高可達10nm 以下，但唯一缺點是成本高且加工速度相當慢，並不適用於量產成形技術，電子束微影系統雖然陸續發展到現在可變形束圓點，甚至到限角度散射投影式電子束微影術，已逐漸提昇加工速度的腳步，但面對未來大面積（8 吋、12 吋或顯示器用面板尺寸）壓印的加工成本及產能需求仍不敷所需；此外，模具製作成本如此龐大，但是否能釋出其相對價值的產量，仍是目前大家積極努力的目標。以熱壓式奈米壓印來看，模具在製程中需歷經高溫、高壓及急冷卻週期性的劣質環境，其所造成的模具內應力正是潛藏著影響模具壽命的危機；影響模具壽命還有一者便是抗沾黏塗層的使用壽命，事實上模具與抗沾黏塗層有著密不可分的關係，除非使用特殊的模具或高分子材料；抗沾黏塗層在製程中同樣歷經前述的劣質環境，事實上，抗沾黏塗層會漸漸剝落甚至到最後無抗沾黏功能，造成模具使用壽命的影響。

- 成形材料

成形材料除須具備容易充填之特性如流動性佳等，更要考慮材料在成形後的穩定性，包括收縮、吸水性及強度等性質，這些性質均會影響到壓印成品的品質；以熱壓壓印製程而言，

一般黏度越低的材料成形所需的溫度壓力越低，成形較容易，但結構穩定性以及強度則較差；而目前的趨勢則是使用較低T_g點的成形材料，以降低製程溫度以及熱效應影響。以紫外光壓印製程而言，成形材料通常在塗佈後物性較不穩定，這也是當前亟待解決的課題之一。

近年來針對以上課題已有相當多的研究與進展，但爲了實現奈米壓印技術的潛在應用，除必須克服上述有關設備開發及製程能力掌控之課題外，如何能朝向大尺寸的壓印以及與自動化生產線的連接，應需投入更多的研究。未來奈米壓印若要大量生產，產業與技術上的問題必須先解決以下問題：

1. 奈米壓印雖然可以廣泛地應用在半導體、磁記錄媒體、印刷電路板甚至發光二極體等等許多領域，但是每一個領域都有既存的生產技術，若量產技術成熟，會比原有的技術擁有低成本、高產出等等的優點，但廠商勢必得更新生產設備，造成重複的投資。因此必須尋找一個新的應用領域或非奈米壓印技術不可的產品規格，方有機會大量導入商業化。
2. 量產機台未確定，雖然有許多商品化設備在開發奈米壓印技術，但是均以實驗用的設備爲主，量產設備尚未大量導入。
3. 對於奈米壓印之相關技術均尚有改善的空間，如壓印時壓模的平行度、對位與均壓、熱固化時溫度與週期的控制、精細模具的製作與如何延長使用壽命，甚至脫模機制的設計與成形材料的配合等等，均需要加以研究解決。

3.9 奈米科技產業化

隨著科學的發現以及科技儀器設備的進步，奈米現象已經不再是實驗室中複雜的理論發現。現在正開始逐步商品化應用，出現在您我生活之間。奈米科技的影響，除了您我所看見的現象與功能之外，更重要的是奈米科技正逐漸爲我們所身處的科技社會，注入一股新的變化，我們生活型態與社會之間的互動模式，會因爲奈米科技應用，而產生不同的型態。奈米科技已經被公認爲21世紀最重要的產業之一，從民生消費性產業到尖端的高科技領域，都能找到與奈米科技相關的應用，且由於其涵蓋領域甚廣，潛在的影響範圍遠超過半導體資訊產業，因此目前世界各國無不競相投注大量的人力與資金進行

相關的研究開發。奈米科技為材料創新提供了一個新途徑，這些新材料不僅更輕、更強、更具彈性，且材料本身又具有高靈敏度、多功能、智慧化等特性。因此，奈米科技產業將是21 世紀產業發展的原動力，除了量子效應和表面效應外，由下而上的組裝觀念，更顛覆了慣有的由上而下的材料製造方式，而奈米科技及應用的發展，則將為產業帶來便宜又可量產的新材料與新產品。

奈米科技是經由奈米尺度下對物質的控制以創造及利用材料、結構、裝置或系統。奈米結構是藉由原子、分子、超分子等級的操控能力，以產生具有新分子組織的較大結構，具有新穎的物理、化學和生物的特性和現象，這主要是基於奈米量子尺寸效應及表面效應所造成，因而使得物質的熔點、磁性、熱阻、電學位能、光學性能、化學活性、表面能和催化性等等皆有所改變，產生了奇特的性質，引發新的應用契機。

過去，奈米科技的主要訴求是探討上述特性且有效地製造與利用這些結構，而現今奈米科技的主要目標則是藉由掌控原子、分子、或巨分子尺度的結構或裝置來探索這些特性，並有效率的製造或使用這些裝置。因此，奈米科技正在創造新一波的技術革命與產業，它對人類生活的影響將是全面的，將遍及儲能、光電、電腦、記錄媒體、機械工具、醫學醫藥、基因工程、環境與資源、材料與化學工業等產業。不僅將改變我們製作事物的方法，同時也會改變我們所能製作事物的本質。預測未來奈米科技所產生的新材料、新特性及其衍生之新裝置、新應用及所建立之精確量測技術的影響，如何將奈米科技的特性，轉成實際應用進而產生具體經濟成效，是今日所有科技發展先進國家重視奈米科技的最主要因素。

然而，奈米科技是否能正如預言創造鉅額產值、甚至改變人類的生活，製造技術成熟與否將扮演很重要的角色。如果奈米製造技術發展成熟，那麼各種新奇的構想才有機會商品化，改變人類的生活；否則奈米科技對人類的影響將僅止於紙上談兵而已。

奈米科技在市場上應用，可以分為兩種方式，第一種是「舊市場、新產品」。主要是與現有市場的產品競爭，做為取代或性能提升的商品，所以必須直接面對舊市場中的價格機制，品質與價格必須達到市場可接受的水準，才有大量商品化的可能。另一種方式則是「新市場、新產品」，以各研究機構的全球市場調查，光電領域、醫療照護、無線通訊等等未來都是發展新市場的可能之一，雖然有附加價值高、較原有材料競爭的

干涉，但需面對的卻是技術、專利、法規、及未來大眾接受度的問題。面對開發中國家在舊市場愈來愈低成本、愈來愈具規模的競爭，往創新應用領域、尋求高附加價值已是未來趨勢，因此，借鏡日、歐大廠發展光電領域的新技術發展，其如何從核心技術向外延伸，延伸的方向與種類，如何減少風險等等，會是接下來重要的課題。

學者專家們已評估奈米科技應可廣泛應用於下列產業領域之中：

- 電子領域：開發可擦除和重寫的書，雜誌和報紙；研發更小更快更冷的單電子電晶體、單電子儲存器、單電子開關、奈米晶片等，製成奈米電腦或量子電腦。
- 醫學領域：開發在單一的晶片上能完成醫學診斷的實驗室，及能把愛滋病和癌症變成低水準的容易管理的條件的藥和藥物發送系統。
- 農業科技領域：開發微型感測及致動器，大量散布在農地上，用來監控水文而自動控制灌溉系統、直接噴灑農藥、除草施肥等。
- 航太領域：開發質輕、高強度、熱穩定的新型航太奈米材料、添加奈米顆粒增加火箭燃料的燃燒效率。
- 能源領域：開發利用奈米碳管貯存氫氣做成高效能燃料電池、高效能低成本的新型太陽能電池、更節約能量的照明技術、更堅固質輕且輸送效率高的新型能源輸送裝置以及各種電能與化學能的高效率新型能源貯存裝置等。
- 民生應用領域：開發具有良好防紫外線功能的防曬油和化妝品；具有持久防電磁輻射功能、防靜電現象、可保暖同時具有抑菌與殺菌功能、完全防水防油污等功能的超級衣料；低熔點、易施工、穩定耐用的奈米防鏽塗料；具有自淨功能的玻璃、陶瓷和磁磚。

3.10 結語

奈米科技是一個新興且具有發展潛力的領域，奈米科技將對於未來人類社會的生活型態、社會結構、經濟活動、戰爭型態、自然資源與生態平衡等產生深遠的影響。奈米科技是知識經濟時代的核心知識之一，誰擁有最先進的知識與技術，誰就擁有影響力，搶得更多的資源與權力，並主導世界的未來發展方向。奈米科技就目前趨勢而言，將會陸續研製出新的應用，進而轉化為商品供人類使用。在奈米科技的發展過程中，開發奈米材料扮演及重要的腳色，奈米材料包括奈米粒子、奈米管、薄膜、奈米多孔材料與奈米複合材料，由於這些材料具有獨特功能性如高表面積、奈米大小與量子侷限效應、有序多孔性及高吸附與偵測能力等，使得奈米結構材料成為太陽電池、場發射元件、被動元件、醫藥、吸附劑、觸媒、感測器等最理想的材料，例如利用奈米自組裝技術操控導電高分子之聚合速率，可成功開發高導電率之導電性高分子材料，使導電高分子以 1000 倍的導電率，取代原有的液態電解質電容器，成為下世代新興之被動元件。由於奈米材料的突破，使導電高分子固態電容器能承受 IC 運算速度的提升所造成之熱能及高漣波電流，並能匹配攜裝尺寸的縮小，解決可攜式電子產品因 CPU 功率提昇之散熱及運算可靠度問題。奈米材料在全球各研發領域上已被視為最前瞻的材料(advanced material)，為新材料和新光電磁元件的建構基石(building block)。奈米材料的研發除可提昇產業的技術層次與競爭力外，也可創造高附加價值的新興產業，帶動聲、光、電、磁、熱、力、生化等關聯產業的發展，因此材料科技朝奈米級尺度發展已成為必然趨勢，未來所有高科技產業都將需要新的奈米材料來配合，這是今日科技發展中極關鍵的一環。奈米材料技術乃是一個具有高度實用性，且相當熱門的尖端研究領域，未來必定會對整個產業經濟、國防工業和民生結構產生極大的影響。

參加本次於美國舉行之 2011 年奈米科技研討會受益良多，綜合心得重點整理如下：

- (1) 瞭解先進國家在奈米結構材料製程、特性、結構設計之最新發展資訊，提供本院奈米計畫執行團隊未來建案之重要參考，以協助我國建立自主奈米關鍵技術。
- (2) 透過與國外專家學者交換研究心得及進行實務問題討論，瞭解各國在奈米綠能產業之推展現況及運作模式，戮力發展市場亟需、軍民通用之奈米技術與產品，以協助產業界透過技術升級及創新應用而提高其競爭力。

- (3) 掌握先進國家在奈米結構材料之發展趨勢及最新材料特質評估技術，有助於建構完整的材料與零組件檢測與評估技術，提昇本院在評估製程適當性及研提改善方案的能力。
- (4) 配合本院既有之材料關鍵技術能量及獲得之先進材料特性資訊，可增進對材料及零組件特性的掌控，減少研發過程的試誤，提昇材料及零組件開發的時效。
- (5) 擴大材料服務網絡，將國家級實驗室所建立之材料開發及檢測技術分享與推廣於產學研各界，以加速產業升級，促成先進材料技術的建立，強化我國產業的競爭力與優勢。
- (6) 參加本次研討會所收集之奈米材料製程、特性與結構設計之最新發展資訊對本院開發奈米精碳材料、智慧型氣體感測器、奈米結構光學薄膜等很有助益，有利於將陸續開發成功之技術，順利轉化為具有高附加價值之商品。
- (7) 藉由參加本次研討會了解國外奈米材料及製程最新發展趨勢，有助於本院未來建案開發高導熱高強度奈米碳材及奈米觸媒材料。

肆、建議事項

- 一、奈米材料具有優異的材料特性，為各界共同的研究課題，將量子點、奈米線及奈米多層膜等奈米尺度材料應用於聲、光、電、磁、熱、力、生化等各類元件上，以產生新穎特性及創造價值，在奈米科技的推陳出新佔有舉足輕重地位，建議本院應加強奈米科技技術開發，以凸顯其應用價值。
- 二、研究奈米科技是目前科技界公認為將來最具發展潛力及前瞻性的研究領域，也是未來科技和產業發展最主要的驅動力。未來本院應在已俱備之國防能量為基礎下，結合國防經費共同投資，以建構長期研發能量，除順應潮流發展具利基、可商品化之奈米技術與產品外，仍需努力開拓國防方面的應用。

附件：無