

國立台灣大學凝態科學研究中心——

「奈米材料與科技」相關之研究計畫

林昭吟、莊東榮*

國立台灣大學凝態科學研究中心

* e-mail: chuangtj@ccms.ntu.edu.tw

一、凝態中心簡介

台灣大學為提倡兼具學術及應用潛能之前瞻性凝態科學研究，加強跨院系和校際之密切合作，並發展跨領域教學課程，以期培育具創新能力之科技人才，特設立凝態科學研究中心。於 81 年 10 月核定後正式成立，直至目前為止已運作九年，並於 90 年 1 月遷至凝態新館。

中心設有學術諮詢委員會，對學術研究及發展方向提供諮詢及評鑑。本中心運作方式以研究群為主，目前編制研究人員\教師二十一，技術人員六人，共二十七人。其他非編制人員，包括十五位博士後研究員，十位研究助理，三十位研究生和三位行政助理。現有專任人員為：莊東榮教授兼主任、江隆永研究員、林麗瓊研究員、王立義副研究員、王俊凱副研究員、林昭吟副研究員、鄭鴻祥副研究員、白偉武助理研究員、林倫年助理研究員、張玉明助理研究員及陳玲琳組員，共十一人。研究群分為磁電材料物理組、有機高分子材料組、無機材料組、雷射光學組、半導體物理組及表面科學組，共六組。中心亦有合聘人員二名：牟中原教授（與化學系合聘）及陳永芳教授（與物理系合聘）。

為了配合國家高科技產業之發展，最近幾年本中心各研究組之重點以奈米材料及科技為主。目前正在執行中，且由本中心研究人員\教師所主導之相關大型/整合型計畫，計有教育部的大學學術追求卓越發展計畫「尖端材料的基礎科學研究：碳氮基材料及奈米結構」、國科會的奈米尖端研究計畫「具電子活性星狀共軛超高分子」以及中研院的主題研究計畫「奈米尺度之表面結構與化學」。除此之外，還有許多國科會之個人計畫和一些與其它單位所共同主持之整合計畫等等。以下將中心研究人員\教師的奈米研究計畫及成果逐一簡短介紹。

二、奈米材料/科技之計畫及研究成果

(一) 表面化學與光譜學實驗室（莊東榮）

• 奈米尺度之表面結構與化學(中研院主題計畫)

--- 以同步輻射光電子能譜顯微鏡研究超微結構之表面化學反應，如以原子力顯微鏡探針激發，將氮化矽的表面薄膜轉化為氧化矽之過程詳加探討，並獲取各種氧化狀態之平面與深度分佈圖像，進而瞭解其材料介面化學反應之機制。同時亦測量長鏈形碳氫分子吸附在金表面上，因電子束激

發所引起之化學分解，自由基之形成與脫附之現象，有助於奈米尺度光與電子束蝕刻與鍍膜應用技術之開發。[Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A467-468, 905 (2001); Appl. Phys. Lett. 79, 3143 (2001); Surf. Rev. Lett. (2002)]。

- 碳氫自由基之表面化學(教育部卓越計畫 2000-2004) --- 甲基分子在銅(111)表面可經熱化學反應形成乙烯，丙烯和丁烯等長鏈形碳氫分子，而且這些產物可在同一溫度出現而自表面脫附，有一級之動力學反應行為。經詳細的電子繞射分析，已確定這種自由基分子可在表面上聚焦形成奈米尺度二維之島嶼。而島嶼之形狀與大小分佈與表面附蓋量及固體基板之溫度有密切的關係，這種分子間緊密地結合對表面催化繁殖反應顯然具有關鍵性的作用。我們正進一步以調溫式掃描電子穿隧顯微鏡探測其表面結構及化學反應過程[Appl. Surf. Sci. 169-170, 1 (2001); 169-170, 153 (2001)]。

(二) 高分子科技實驗室 (江隆永)

- 以碳六十為核心之奈米星狀導電共軛超高分子 --- 設計合成並開發出其他可與碳六十球連接成奈米星狀導電共軛高分子的先驅體。此先驅體與含官能基之低分子量之導電共軛高分子反應而取代形成超分子型態之星狀 A-D_n 排列，我們同時證明光激發可將電子由具供電子性之導電共軛高分子鏈傳遞至具吸電子性之核心碳六十球。導電共軛高分子鏈因失去電子而引進其導電性，因而此項超高分子奈米結構可被應用於具光電效應之電子元件設計。[Synth. Met. 116,

373 (2001); 121, 1123 (2001); 121, 1547 (2001); Synth. Commun. 31, 1659 (2001); J. Macromol. Sci. A, Pure Appl. Chem. A38, 12 (2001)]。

- 以碳六十球衍生之彈性 Core-shell 結構導電奈米顆粒 --- 我們發現可將與導電共軛高分子不相容之彈性高分子，經碳六十球連接成彈性與導電成一體之應用材料，再以 Core-shell 合成技術將此項高分子結構製成導電奈米顆粒，做為應用製程的基本元件。

(三) 尖端材料實驗室 (林麗瓊)

- 一維奈米材料之研究(國科會整合計畫 2000-2003) --- 高穿透率奈米鑽石成長機制與量子侷限效應：我們在電漿化學氣相沉積法成長奈米鑽石的過程中，使用光放射光譜觀察電漿中各種氣體分子激發態，並分析其隨成長參數變化的情形。整體而言，在較低的甲烷濃度下，奈米鑽石顆粒的大小取決於一次核種大小。然而，在較高的甲烷濃度下，光放射光譜可觀察到氣相中含高濃度 C₂，此對鑽石二次成核有加強的作用。當奈米鑽石的顆粒尺寸低於5奈米時，由同步輻射x-光吸收光譜可觀察到譜線藍移，顯示量子侷限效應。[Phys. Rev. Lett. 82, 5377 (1999); J. Appl. Phys. 89, 753 (2001)]
- 輕元素共價鍵材料之研究(國科會個人計畫 2001-2004) --- 碳奈米管、氮化物奈米柱之合成與光電、電子發射特性：我們以電漿化學氣相沉積法為基礎，成長直立陣列碳奈米管或氮化物奈米柱，再利用高解析電子顯微鏡分析其結構與形貌，研究其合成機制。值得一提的是，我們開發了一個可完全不需催化劑的新合成法成長氮化物奈米柱。在特性研究方面，我們以各種光譜技術

分析其光電特性，並將此類一維材料組成二極式或三極式之場發射元件以探討其在電場下發射電子的性質。[Appl. Phys. Lett. 76, 2044 (2000); Appl. Phys. Lett. 76, 2630 (2000); J. Vac. Sci. Tech. B18, 1207 (2000); J. Phys. and Chem. Solids 62, 1567 (2001)]

- 碳基、氮基奈米結構之研究(教育部卓越計畫2000-2004) --- 奈米結構與非晶相矽碳氮的鍵結及其對機械、熱傳導與光電性質的影響：我們使用離子束和磁控式濺鍍系統，在不同條件下製備奈米結構與非晶相的矽碳氮薄膜，之後以 x-光電子能譜與吸收光譜分析其成分、原子鍵結和電子結構，利用原子力顯微硬度儀量測其機械性質，同時也使用行進雷射波和表面聲波傳導相差法，取得熱傳導係數與密度和彈性係數數據，我們發現此類輕元素共價鍵樣品的碳氮鍵結形式是控制其熱傳導、機械與光電等特性的關鍵。[Appl. Phys. Lett. 79, 332 (2001); Appl. Phys. Lett. 79, 2393 (2001); Diamond Relat. Mater. 10, 1916 (2001); Phys. Rev. B64, 165305 (2001)]

(四) 分子材料實驗室 (王立義)

- 新型導電性超分枝共聚物的研究(國科會個人計畫2001-2002) --- 成功地設計且合成出具有三、四及六分子鏈臂的新型星狀苯胺寡聚物，由於此類分子具有內密外舒的特殊結構，因此它明顯改善線性聚苯胺在一般有機溶劑低溶解度的限制，並且大幅降低它與非共軛性聚合物摻合時的最低導電門檻，進而增進材料的機械性質與實際應用性。[Synth. Met. 103, 2350 (1999); 119, 155 (2001); J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1, 3357 (1999)]

- 星狀聚苯胺基導電性摻合物研究(國科會個人計畫2000-2001) --- 成功開發兩種有效合成途徑來製備導電核殼高分子粒子，實驗證實此類粒子具有良好的膠體穩定性，且在乾燥過程中可於材料內部堆疊成三度空間的電洞傳導微網，使得它的最低導電門檻遠較一般聚摻系統低，且僅約為2.5 wt%。[Synth. Met. 119, 97 (2001); 專利申請中]

(五) 現代光譜學實驗室 (王俊凱)

- 以表面振動光譜來鑑定及量測表面吸附分子--- 利用表面紅外光吸收光譜技術及表面拉曼光譜技術，精確地測量出表面吸附分子的振動光譜。由此推斷出表面結構的分佈情形，提供了研究表面反應動力學的重要依據。分別研究了鑽石、矽與鍺晶體的氫化表面，推論這三種半導體表面動力學的不同。由此協助發現前所未見的氫化鑽石表面的蝕刻現象，並且協助發展出一種準備完整無暇疵的鍺晶體表面的新方法。 (J. Chem. Phys. 105, 8977 (1996); Phys. Rev. Lett. 78, 3713 (1997); Surf. Sci. 445, 139 (2000))
- 表面吸附分子振動能階的能量與相位弛張動力學 --- 利用表面紅外光吸收光譜技術來深入研究氫化鑽石表面的振動能階弛張動力學。從表面碳氫(CH)及碳氬(CD)振動光譜隨基材溫度的變化，獲得其振動能階生命週期(vibrational relaxation time, τ_{relax})及振動相位弛張時間(vibrational dephasing time), 推測出碳氬的 τ_{relax} 約為 220 飛秒(1 飛秒= 10^{-15} 秒)。這是最短的表面吸附分子振動能階生命週期。這個研究對於利用氣態化學磊晶製程來生長鑽石非常重要，因為表面吸附分子的振動能階生命週期是決定製程效率及磊晶材質的最重要數據。 (J. Chem. Phys. 105, 3975 (1996); J. Chem. Phys.

106, 5920 (1997).)

- 表面拉曼光譜技術(Raman spectroscopy) --- 以此技術來研究氮化矽及氮化鎳表面的振動能階相位弛張動力學。從而首次提出了多模式相位弛張模型(multi-mode dephasing model), 來圓滿地解釋不同氮化半導體表面的相位弛張現象。此一模型在表面吸附分子振動能階相位弛張的根源上, 提供一個很重要的理論根據。這對於表面吸附分子振動光譜分析提供精確的理論推測。 (Chem. Phys. Lett. 295, 509 (1998) ; Surf. Sci. 427-428, 318 (1999); 441, 558 (1999); J. Chem. Phys. 113, 5041 (2000))
- 半導體吸收飽和反射鏡的飛秒脈衝整型效應 --- 以分子磊晶技術所長成之半導體二維量子井結構可用於飛秒鎖模(mode-locked)雷射中來穩定其鎖模機制。利用高靈敏度的雙光束耦合技術(two-beam coupling), 首次量測出此二維量子井製成之吸收飽和反射鏡(saturable absorber mirror)對於飛秒脈衝所造成的極微弱整型效應。從而推翻了已知的理論模型。此項研究將能對飛秒鎖模雷射的發展有重大的貢獻, 且更開創了奈米光學特性的新研究。

(六) 磁電材料物理實驗室 (林昭吟)

- 奈米磁性氧化物薄膜的製作及其應力效應(國科會個人計畫2000-2001) --- 成功製作出龐磁阻氧化物薄膜Nd-Sr-Mn-O, 並研究其薄膜厚度對磁阻及表面結構的影響。結果顯示, 薄膜厚度減至十奈米時有最佳的磁阻值。但若將薄膜厚度繼續減低, 會有其他介面效應產生而導致磁阻下降。 [Physica C 364, 668 (2001); J. Phys. Condens. Matt. 12, 9425 (2000); Phys. Rev. B. (2001)]

- 尖端奈米材料的晶體、介面及電子結構之研究(國科會整合計畫2000-2001) --- 研究離子輻射對NiFe/Cu/NiFe/NiMn自旋閥的表面、介面、磁性及磁阻性質之影響。此結構自旋閥為奈米磁頭之關鍵元件, 我們為第一個研究群證明其抗輻射性。 [J. Magn. Magn. Mater. 209, 128 (2000)]
- 磁阻及高溫超導氧化物的奈米尺寸效應(國科會個人計畫 2001-2003) --- 成功製作出奈米穿隧型磁阻顆粒膜 Co/Fe-AIO, 並研究其退火溫度對其奈米尺度及磁阻的影響。結果顯示, 最佳的磁阻值乃決定於其磁微結構而非單一的奈米尺度。 [J. Magn. Magn. Mater. (2001)]

(七) 光電半導體物理實驗室 (鄭鴻祥)

- 矽鎳分子束磊晶 --- 從事不同尺度矽鎳半導體之磊晶成長, 包含量子井(SiGe / Si), 量子點 (Ge / Si) 等新穎結構之製作。設計並開發量子元件, 包含穿隧式電子元件(Tunnel HBT)及不同波段之矽鎳光電元件, 特別著重在 TH_z 波段。
- 使用低溫高磁場設備探測半導體之物理特性 --- 包括二維及零維尺度電子器之多體效應, 分子霍爾效應下之粒子特徵, 及磁光與運輸(Magneto-optical and transport)性能。同時亦做理論模擬, 主要是集中於粒子能帶之動力性質, 能穿隧效應與分子霍爾效應。

(八) 表面科學實驗室 (白偉武)

- 以掃描探針技術研究奈米表面結構和電子作用之關係 (國科會個人計畫 1999-2001) --- 已設立一先進之超高真空變溫掃描探針顯微鏡系統, 用以研究表面結構演化及奈米尺度下電子作用與結構之關聯。研究矽鎳多層量子井結構之表面不穩定

性，說明了此類量子井結構表面粗糙度與錯位形成之密切關係。持續研究金屬面奈米原子團之動態演化配合理論及實際說明了其演化過程幾乎為其起始幾何形狀決定。目前研究重點除矽鍺薄膜外，另研究自由基分子之吸附及碳六十薄膜[*Phy. Rev. Lett.* 86, 3088(2001)]。

- 新款矽鍺量子結構紅外線偵測器之製造及性質分析(國科會個人計畫2001-2004) --- 此計畫著重於研究矽鍺薄膜上自形成量子點的光電應用。

(九) 分子理論研究室 (林倫年)

- 光合作用系統之 APC trimer 的超快激子動力學之研究(國科會個人計畫 2000-2001) --- 我們建立此系統光譜及動力學的微觀模型(APC trimer)。實驗觀察之結果可由我們的模型以實驗的準確度解釋之。[*J. Phys. Chem.* (2001)]

(十) 超快雷射光譜實驗室 (張玉明)

- 同調控制半導體奈米結構內導子與聲子之交互作用(國科會個人計畫 2001-2003) --- 本計劃將利用超短脈衝雷射系統，配合脈衝雷射同調控制技術、時間解析的線性反射、二倍頻反射、拉曼散射、光激放光等光譜技術，有系統地研究並控制 III-V 族及 IV 族半導體材料構成之量子井 異質結構及超晶格結構內聲子與導子的交互作用與其相關的動力學過程。在這研究計畫中，將引進兩道激發雷射脈衝與一道探測雷射脈衝，藉著控制激發脈衝之間的時間延遲，可以同調控制半導體奈米結構內光激發導子的時間、空間分佈狀態、甚至同調聲子的振動強度；再經由量測時間延遲的探測脈衝的反射光學訊號，即可獲得導子與聲子的交互作用及其動態過程的訊息。作者將利用這

技術量測並控制脈衝雷射激發的導子與同調聲子，在次皮秒時間內的相位與能量的弛緩過程、導子-導子的散射、及導子-聲子的偶合作用。此計畫將是第一個利用同調聲子的激發與偵測技術，有系統地研究半導體奈米結構內導子與聲子的交互作用。作者相信這研究計畫可增進對半導體奈米結構光電特性的理解與調制，對於利用超短脈衝雷射從事凝態系統光電特性的同調控制，或光化學反應的觸發，將產生重大的貢獻。

(十一) 物理無機化學實驗室 (牟中原)

- 奈米金顆粒與鹽表面之作用 --- 奈米金顆粒吸附在 NaSCN 晶體表面，再經過異相生長的過程(hetero-epitaxy process)之後，造成形狀的改變。
- 奈米複合材料與多孔材料的合成 --- 由界面活性劑或高分子與無機氧化物所形成週期性結構，其孔洞大小以 1.5 到 20nm 都可能。我們研究其合成及應用。利用 CVD，浸入法回填半導體、金屬或超導體，以得到超晶格。許多固態物理問題待開發。包含光電及磁性。
- 奈米催化劑 --- 多孔材料負載金屬或金屬氧化物，研究催化特性。

(十二) 半導體實驗室 (陳永芳)

- 研製新穎氮化物材料，探討其物理特性，以利發展氮化物光電元件 --- 氮化物是一相當具有應用與學術潛力之新穎材料，尤其是藍色與紫外光之發光元件，亦或是高功率、耐高溫之電晶體，本研究擬研製新奇氮化物材料，發掘新現象，研製高品質元件。

- 尖端量子點之開發與物理特性探討 --- 利用不同方式找尋各式各樣量子點，探討其量子效應，提昇觀測量子效應之溫度，研製量子點元件。
 - 研製新穎光晶體與其物理特性探討 --- 利用量子點組成規則性結構，相當具有學術與應用價值，尤其是在光學的應用研究量多；然而諸多物理性質會因而改變，卻尚未完全被發掘，本研究將整合不同人才研製新穎光晶體，探討新現象及可能的應用。
 - 尖端矽化物的研究 --- 雖然多數矽化物已被長期研究，半導體化合物之應用亦為熱門，然而矽元素之取之盡，是其最終優勢；本研究將整合各方研究人力，探討尖端矽化物，如發光之矽化物，或矽碳氮材料等。
 - 新穎半導體材料之開發與物理特性探討 --- 本計劃亦將研製新穎半導體材料，如磁性半導體，其電子自旋效應是一相當有趣、且具有製作自旋電晶體之潛力，又如能帶結構奇特的量子井等。
- 研究與教學
 1. 加強校內跨院系所、跨領域之奈米合作研究計畫。
 2. 與國內其他學術研究單位密切結合。
 3. 與工研院共同發展與本地工業有關之前瞻性應用研究。
 4. 參與建立奈米科技大學部學程及研究所學位學程，以培育高級人才。
 5. 充實國際學術交流,設立客座教授講座(包括國內)。
 - 建教合作
 1. 鼓勵本中心研究人員與工研院及工業界實質上之連繫及合作，以便推動奈米產業之發展。
 2. 促進各相關領域有實用潛能之奈米科技，並推動學界科專計畫。

三、未來發展