

校級研究中心IV

臺大尖端奈米材料中心

文・照片提供／臺大尖端奈米材料中心

臺大在 2001 年將奈米科技研究中心規劃為研究型大學重點研究中心之一，經教育部評審通過，為臺大三年期（2002-2004）四個功能性研究中心之一，2005 年通過校方優勢重點領域拔尖研究中心，而於 2007 年改名為尖端奈米材料中心。

中心概況

奈米材料中心特色為校內與奈米科技相關研究整合與資源分享，領域涉及材料、元件、機電、生醫，跨理、工、電資、醫、生農、生科等學院，範疇之廣為臺大首見。

●中心任務

■整合與提升本校奈米科技領域之研究，建構整合研究共同實驗室。

■推動奈米科技領域跨校、跨領域重點研究。

■延攬及培育國內外奈米科技領域重點研究人才。

●儀器設備

目前本中心貴重儀器共有 47 台，分別為：核心設施（11 台）、奈米材料（8 台）、奈米元件（5 台）、奈米機電（15 台）、奈米生醫（1 台）和奈米教學（7 台）。（詳網站介紹，網址 <http://nanost.ntu.edu.tw>）

●教學規劃

自 2003 年起，以全新之「奈米科技導論」以及工學院所開授之「奈米工程概論」為基礎核心課程，「奈米專題實驗(一)、(二)」為基礎核心實驗課程。由理、工、電資三學院與凝態中心多位教師共同教學，並設立永續性的教學實驗室，進行專題實驗的教學。

●三大團隊

中心主任為化學系彭旭明教授。自 2006 年起，本中心重點研究領域分為三大團隊。包括：（1）尖端材料的奈米基礎科學研究；（2）前瞻紅外線光源偵測器及應用；（3）奈米材料結構發光特性。三個團隊已建立合作平台，也有突出的研究成果展現，（2006.6~2007.6）以化學、物理期刊而言，研究中心在該領域最頂尖期刊如 *Angew.Chem.Int.Ed.*、*J.Am.Chem.Soc.*、*Nano.Lett.*、*PRL* 等，發表數增加約 50%，工程方面頂尖 APL 的論文也提升近 30%，在總數量方面也提升近 20%。組織結構詳圖 1，以下簡介各研究團隊近年成果。

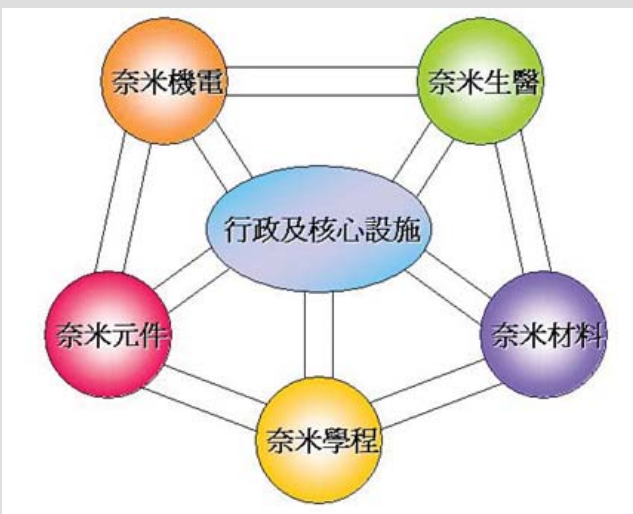
尖端材料的奈米基礎科學研究

本團隊有：（1）以分子材料為主之電子元件及相關材料研究，由彭旭明教授主持；（2）分子開關及相關光磁材料研究，由王瑜教授主持；（3）過渡金

關於尖端奈米材料中心

本中心重點研究領域，自 2002 年分為五大項：

- (1) 奈米材料: 著重新穎人工奈米材料的研製，分析與應用(Fabrication, characterization and application of artificial novel nanomaterials)。
- (2) 奈米元件: 分為半導體量子點及奈米線光電元件；寬能隙半導體光子晶體內量子點之光電特性研究；自旋電子學。
- (3) 奈米機電: 本研究以製造科技與量測為橫軸，並從小分子、高分子、聚合物及半導體材料出發至分子電器元件為縱軸，長程以臺灣本身資訊產業優勢之前瞻技術與生醫應用為主。
- (4) 奈米生醫: 因應「個人醫學」(Personal Medicine)的需要，發展高敏感度、高通量與微量樣本消耗等特性之檢測方法，及針對個體差異所須之奈米藥物與組織結構的設計與製作，並針對臨床上應用奈米科技的生物安全性(Nano Biosafety)作深入的探討與因應。
- (5) 奈米教學: 結合物理、化學、材料、化工、機械及電機的基礎知識，並針對有關奈米科技的領域給予大學部（甚至研究所）學生深入的專門訓練，開闢一兼具專業性及應用性的跨領域教育體系，培育下一代尖端奈米科技人才，提升我國在尖端科技領域的競爭力。



■ 圖 1：「臺大尖端奈米材料中心」組織架構。

屬錯合物修飾之 II - IV 或 III - V 量子點之基礎及應用研究，以周必泰教授為主之團隊；(4) 奈米半導體之研製與物理特性探討，以陳永芳教授為主之團隊。

一、新穎電致發光元件的突破性發展：如何更亮更省電？

近年在政府有計畫的推動下，已帶動臺灣新一波的產業發展，與歐、美、日、韓等國並駕齊驅。其中以平面顯示器(Flat Panel Display, 簡稱FPD)最為重要，有鑑於其與日常生活關係密切，光電業界莫不卯足全力研發新型平面顯示器。

如果說液晶顯示器(Liquid Crystal Display, 簡稱LCD)是20世紀平面顯示器發展史中的里程碑，那麼有機發光二極體(Organic Light-Emitting Diodes, 簡稱OLED)則是21世紀要超越LCD的平面顯示技術。因為OLED具有許多優點，如自發光、視角廣、高對比、量輕、型薄、高效率、高亮度、高可靠度及應答數度快等，而且低耗能，在現今講求能源節省的時代，OLED被預期可取代白熾燈泡。

OLED 科技上突破性的發展始於 1998 年三重態室溫磷光的利用，將內部量子效率上限 25% 的螢光元件大幅提升趨近 100%，其作法是在有機化合物化學結構上加上重原子，如銱(Ir)、鉑(Pt)等可大大增加室溫磷光放光的機會。總之，本研究團隊最大的突破有三：(1) 為國際上第一個做出銱(Os)金屬磷光發光錯化合物，並成功製成 OLED 元件；(2) 利用更便宜的鈦(Ru)金屬錯化合物成功製成橘色及紅色 OLED 元件，降低製程經費一半以上；(3) 利用高能階配位基的合成，成功製成純藍光銱錯化合物 OLED，其放光效率已達破紀錄的 10%。最近並應 *Royal Chemical Society Review* 邀請，將成果寫成回顧論文。因台北 101 剛好和鈦(Ru)的原子量不謀而合，故以臺北 101 為背景獲選為期刊封面，也為臺灣打響知名度(圖 2)。

二、新型多功能奈米複合材料、核磁共振顯影、磷光顯影以及光動力醫療三合一系統的研發

以合成多功能性奈米材料為研究重點之一，已成功



■圖2：應 Royal Chemical Society Review 邀請，將 OLED 成果寫成回顧論文，以臺北 101 為背景獲選為期刊封面。

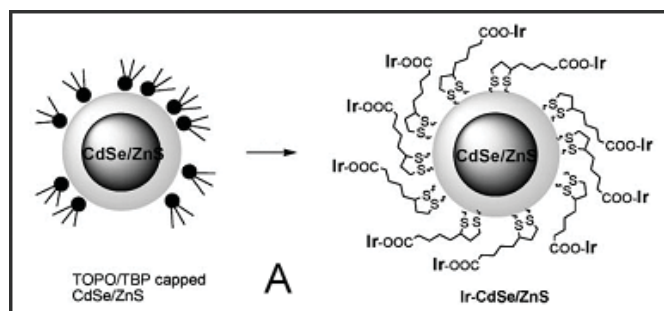
的將可產生單態氧的銱(iridium)錯合物與發光量子點鍵結。單氧可使癌細胞崩解，進而達到癌症治療的效果，一般稱為光動力療法(photodynamic therapy)。特別是量子點本身有顯著的顯影功能，所以 Ir-CdSe/ZnS (如圖 3a) 奈米粒子具有顯影及殺死癌細胞的雙重功能。最近已研發出一種新的合成技術——利用多元醇來還原產生氧化鐵奈米粒子，並結合

水熱法，成功合成出大小均勻(12nm)且室溫下磁力高達 71.5emu/g 氧化鐵磁性奈米子。藉著逆微胞系統的合成方式，成功的將氧化矽奈米球包覆在氧化鐵奈米粒子外，形成殼層。更進一步將具有光動力療法的銱錯合物(Ir)成功的修飾在殼層(見圖 3b)。銱錯合物由於磷光的自然衰減時間(radiative lifetime)非常短，所以產

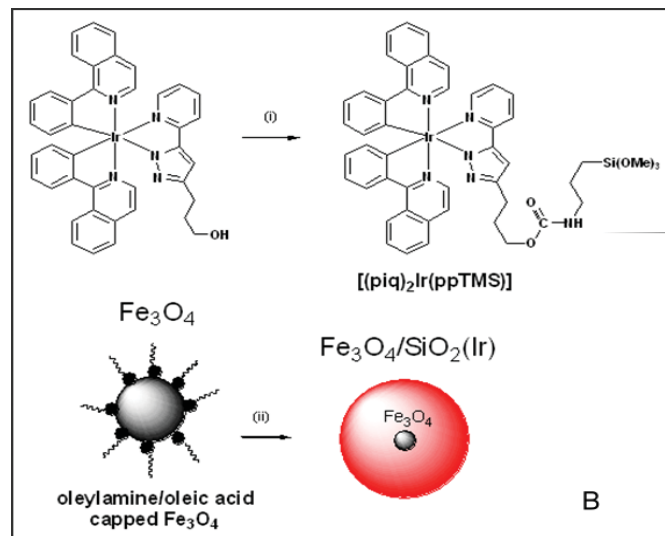
生單氧的效率是 70%，另外的 30% 仍具紅色磷光性質；整個複合基材成功的顯現了核磁共振顯影(MRI)、磷光以及單態氧產生的三合一功能性奈米粒系統。

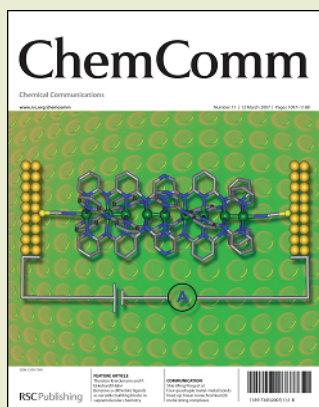
三、分子金屬導線可以多細？

「奈米科技」乃指製造奈米尺度的材料、元件或系統，並研究其特殊物理、化學、生物方面的特性與應用。新型的金屬鏈錯合物未來可能發展成奈米金屬線，與目前一般之金屬線相比較，在粗細方面相差千萬倍，可用於分子裝置中，在介面或薄膜間傳送電子。本實驗室利用分子金屬導線為基礎所製備的一維單原子金屬導線為全世界最細之金屬導線(寬約 0.3 奈米)，除了將金屬導線的長度延長之外，我們也發展出各種不同功能的金屬串錯合物，包括(1)可調控自旋組態之金屬串錯合物：經由調控軸向配基來得到不同自旋組態的金屬串錯合物，未來有潛力應用於磁性分子元件。本篇論文刊於 *Dalton Trans.*, 2006, 48, 5683，並獲選為當期封面。(2)世界上最長的銱金屬串錯合物：成功合成具有四螺旋配基及金屬-金屬四重鍵結的九核銱金屬錯合物。本篇論文刊於 *Chem. Comm.*, 2007, 1121，並獲選為當期封面。(3)新一代可調控之分子金屬導線：合成新型五核銱金屬串錯合物做導電度的量測及比較，並且利用掃描穿隧式電子顯微術來實際量測金屬串的導電度，具有比傳統銱



- 圖 3a：將可產生單態氧的銱錯合物與發光量子點鍵結。
- 圖 3b：(i)將具有光動力療法銱錯合物接上矽膠前驅物步驟；(ii)四氧化三鐵與此前驅物進行水解反應形成核殼層結構。整個複合基材成功的顯現了核磁共振顯影(MRI)、磷光以及單態氧產生的三合一機制。





■ 圖 4：本中心在材料研究方面卓有成績，所製成之分子金屬導線寬 0.3 奈米，是全世界最細之金屬導線，此外也發展出各種不同功能的金屬串錯合物，分別獲選重要期刊（左起）*Dalton Trans.*, *Chem. Comm.*, *Chem. Eur. J.* 封面。

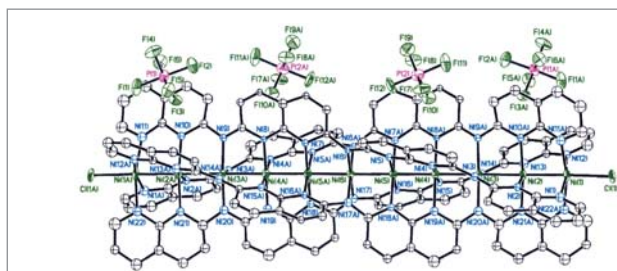
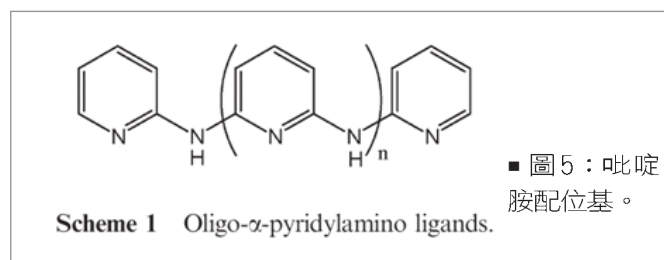
五核金屬串錯合物還高 40% 的導電度，為新一代可調控之分子金屬導線。本篇論文已刊於 *Chem. Eur. J.* 2007, 13, 8667，並獲選為當期封面（圖 4）。

四、分子金屬導線可以多長？

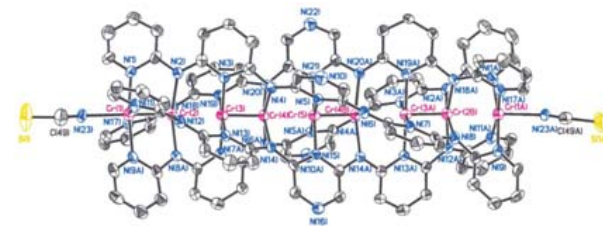
在探討金屬-金屬間作用力，以及將金屬串錯合物應用於分子金屬導線及分子開關時，將金屬串錯合物延長是一個很重要的課題，本實驗室使用典型的吡啶胺配基（圖 5）成功合成 3-9 個金屬的金屬串錯合物。

吡啶胺配基在形成金屬串錯合物時會以螺旋狀的形式纏繞於金屬鍊上，由於相鄰的吡啶環上的氫原子會

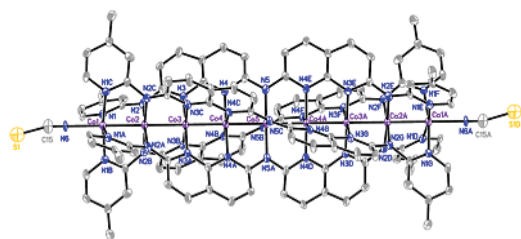
互相排斥，因此整個配位基並不會共平面，而是形成螺旋狀的結構，相鄰的吡啶環大約會錯開約 22.5° ，因此若是金屬串延長到 17 個金屬時，配位基正好會纏繞金屬串一周，理論上我們可以利用相同的合成方法將金屬串延伸至一維無限長的金屬串錯合物。



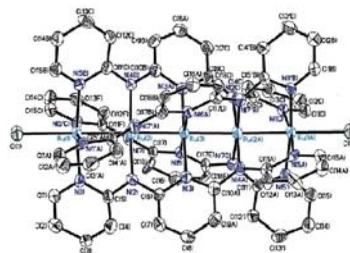
■ 圖 6a：2.7 奈米鎳十一核金屬串錯合物的晶體結構。



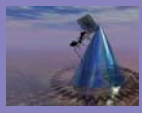
■ 圖 6b：2.3 奈米鉻九核金屬串錯合物的晶體結構。



■ 圖 6c：2.3 奈米鈷九核金屬串錯合物的晶體結構。



■ 圖 6d：1.5 奈米鈦五核金屬串錯合物的晶體結構。



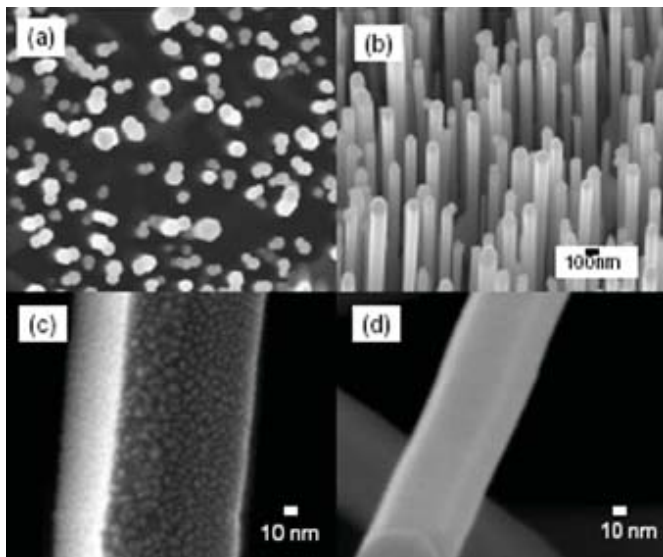
目前本實驗室已能夠合成出世界上最長的十一核鎳金屬串錯合物（約 2.7 奈米）、九核鉻、鈷金屬串錯合物（約 2.3 奈米）以及五核鈦金屬串錯合物（約 1.5 奈米），我們以 X 光繞射儀鑑定其結構並探討了其電化學及磁性的性質。

五、尖端奈米科技材料之開發與應用

這部分主要為高效率發光奈米半導體之開發，我們以氧化鋅半導體奈米柱與多種金屬奈米球結合，發現可將奈米半導體之發光強度提高約 100 倍，對日後研製高效率發光二極體有很大幫助（圖 7 & 圖 8）。

前瞻紅外線光源 / 偵測器及應用

本團隊主要藉由研究半導體之異質界面、量子井、超晶格、量子點、量子環及表面電漿，建構高效率、低成本之紅外線元件，應用於生物、醫學及國防。其中，李嗣涇教授、林浩雄教授及謝旭亮教授，將以 III-V 半導體建構高效能的紅外線元件，以 1-5 μm 研究植物的紅外光響應，及 2-20 μm 中紅外光元件用於安全偵測及夜視。管傑雄教授及劉致為教授，以矽鍺四族半導體發展低成本，能與矽基板相容的紅外線光源（1-4 μm ）偵測器（1-20 μm ），利用傳統的 pn 結構及新型



■ 圖 7：氧化鋅奈米柱與金屬奈米球複合材料之掃描電子顯微鏡影像。

的金氧半結構，製作低成本的元件及了解其物理機制。

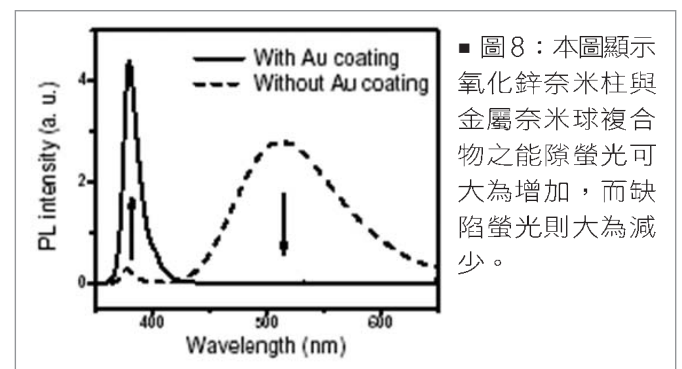
一、電漿子熱發射源及在植物生長之應用

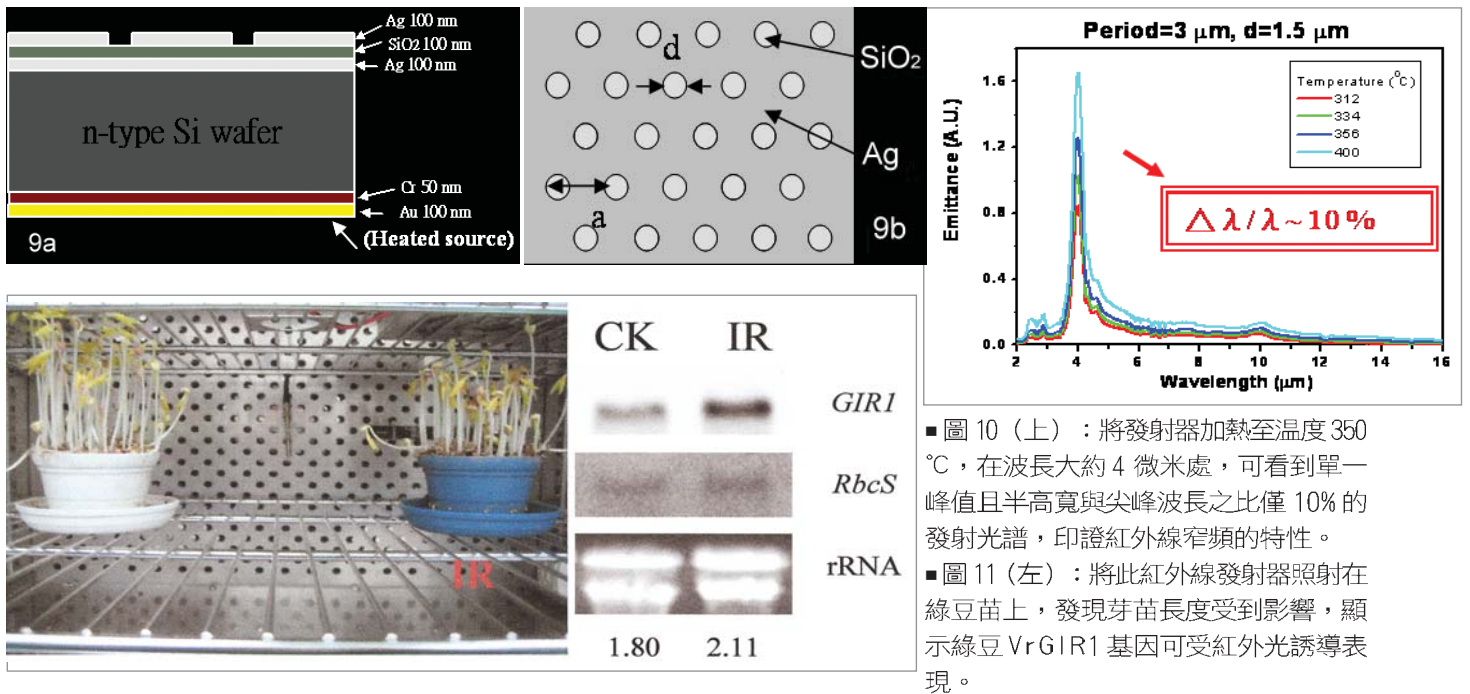
本實驗室發展出“高溫窄頻紅外線發射器”，由此找出可抑制綠豆芽苗生長之紅外線波段。

一般常見的中紅外線發射器 ($\lambda > 2 \mu\text{m}$) 有在低溫操作的三五族半導體元件，或是加熱某特定陶瓷材料所產生之寬頻的紅外線光源等，本實驗則利用表面電漿異常穿透之現象，抑制寬頻熱輻射訊號，達到窄頻、可調頻並可高溫操作之紅外線發射器，同時解決前述紅外線光源之缺點。圖 9a 為元件側面示意圖，下層銀主要是用來阻擋來自矽基板的熱輻射訊號；當溫度夠高時，中間的二氧化矽做為主要的放光層；上層銀如圖 9b 做成週期性孔洞結構用來激發表面電漿子。最後，靠著直流電源灌入 Cr/Au 層，做為元件之加熱層。如圖 10 所示，將本發射器加熱至溫度約 350°C 左右，在波長大約 4 微米處，可看到單一峰值且半高寬與尖峰波長之比僅 10% 的發射光譜，更印證了我們所提出之紅外線窄頻的特性。此外，將此紅外線發射器照射在綠豆苗上，發現芽苗長度受到影響（如圖 11 所示），主要原因是其 GIR1 基因表現有相當的差異。

二、紅外光會影響植物的生長發育

植物能夠感應光環境的變化主要是在可見光的範圍。然而非可見光如紅外光 (Infrared, IR) 是否會影響植物的形態發生，目前尚未知。我們發現綠豆對紅





外光的照射較敏感（參表），因此利用波長 2 至 5 mm 的紅外光處理綠豆後，經由差異性表現的選殖而分離出一個基因 VrGIR1。VrGIR1 與阿拉伯芥類似基因 GASA4 皆可受紅外光與植物荷爾蒙激勃素(GA)誘導（圖 12），並且可藉由抑制 GA3 氧化酶(GA3-oxidase 1)與開花基因，以調節激勃素含量與開花時間。大量表現 VrGIR1 在阿拉伯芥中以及 GASA4 的大量或抑制表現的轉殖株，在遠紅光與紅光下具有不敏感的長下胚軸外表型（圖 13 與圖 14），暗示 VrGIR1 與 GASA4 可能可以感應紅外光、遠紅光、紅光與激勃素，以調控植物細胞延長與開花時間。

奈米材料結構發光特性研究

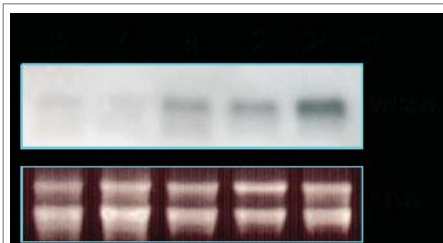
本團隊研究主題為：結合氮化銦鎵/氮化鎵及矽/鍺/氧化物奈米材料結構與奈米光學結構（包括光子晶體與表面電漿波晶體），來達成高效率發光及單光子發射。包括 4 個長晶的課題、2 個奈米光學結構之設計與製作課題，以及製作在可見光範圍之單光子光源。

●不用螢光粉之白光發光二極體

為了固態照明、液晶顯示背光源及彩色顯示等廣大市場之應用，基於氮化銦鎵/氮化鎵量子井發光二極體之效率需再提升，而其發光波長也需延伸到黃紅光，加上，目前使用螢光粉來轉換波長技術仍有許多

■表：白光與紅外光對不同植物莖部生長的影响。植物莖部在黑暗中生長當作 100%。WL：白光，IR：紅外光。

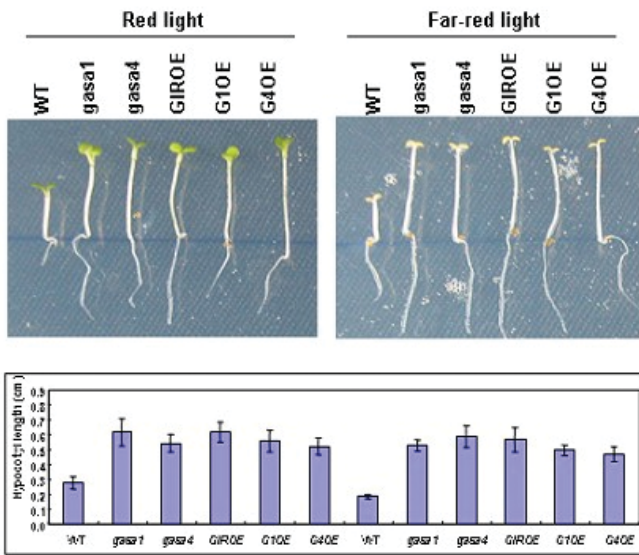
Plant species	Light treatment	Dark	WL	IR
Mungbean		100%	67%	70%
Soybean		100%	64%	92%
Arabidopsis		100%	47%	108%



■圖 12：綠豆 VrGIR1 基因可受紅外光誘導表現。



■圖 13：綠豆 VrGIR1 基因在阿拉伯芥中表現。

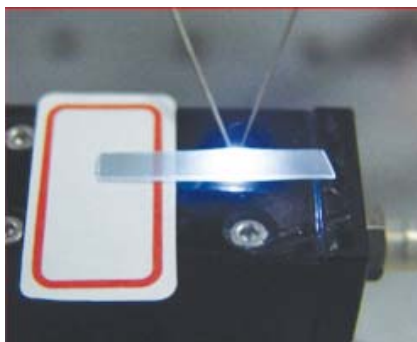


■ 圖 14：綠豆 VrGIR1 基因在阿拉伯芥中大量表現的轉殖株可受可見光的調控。

缺點，若能製作高效率之黃紅光二極體，則可利用純氮化銦鎵/氮化鎵量子井來產生白光，不必使用仍有專利限制及許多缺點的螢光粉。本項發明即在生長發光量子井前，生長一層銦成分不大不小之氮化銦鎵層

來調制其上氮化鎵層內之應力，以此，其上之數層量子井內的銦成分增大，並有不同的分布，增大銦成分會使發光波長增長，同時，隨著注入電流變大，主要發光波長移至較深層、波長較長之量子井，由此可抵消在這種元件內，當電流增大時因量子

史塔克效應被屏蔽掉後所產生之發光波長藍移，此可解決目前市面上發光二極體之一大問題。利用上述增大銦成分之生長技術，我們已成功的製成橘紅光發光二極體，同時，配合高效率之黃光量子井的成功製作，於多長一層藍光量子井後，藉著混合黃藍光，製作了品質相當高、不需螢光粉之白光發光二極體，色座標接近理想狀況，色溫接近正午時太陽光條件，而

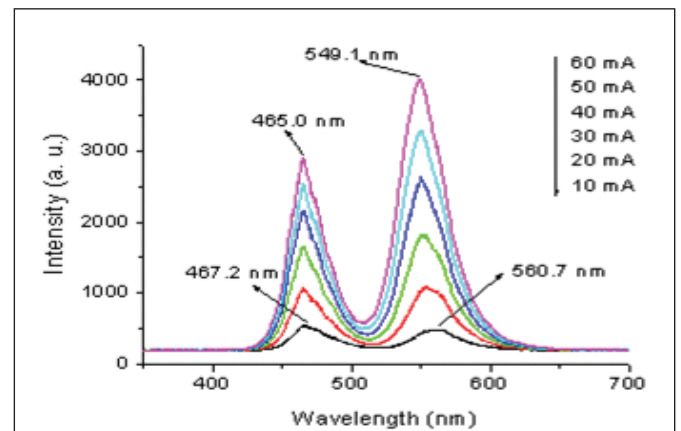


■ 圖 15：白光發光二極體之照片。

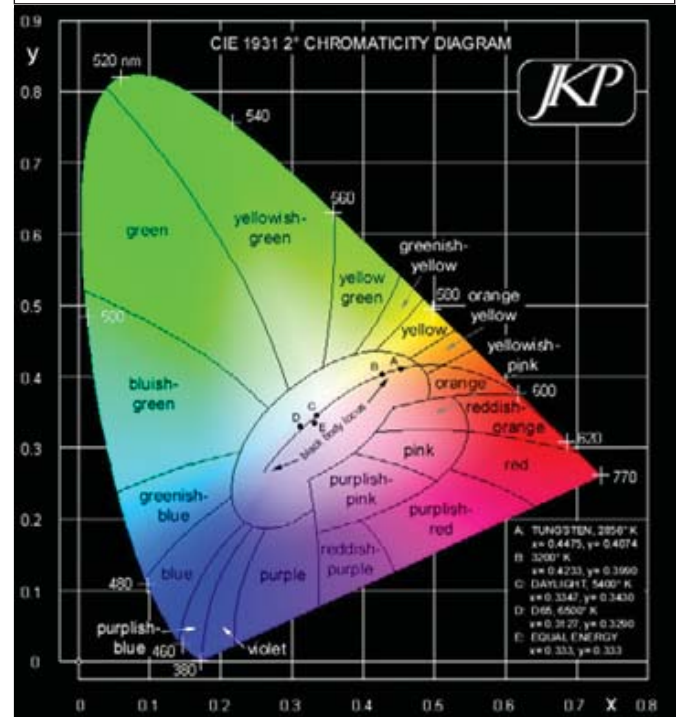
其波長藍移現象也較不明顯。

結語

經過多年紮根工作，本中心之研究團隊已累積了深厚實力，晉升世界領先群指日可待。往後在邁頂目標下，將致力於整合校內奈米科技相關研究，並培養國家所需尖端人才，促使本國科技生根，達到世界一流之水準。 [本專欄策畫/研究發展處]



■ 圖 16：白光發光二極體之發光頻譜。



■ 圖 17：白光發光二極體發光於色座標上之位置。