

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

(計畫名稱)

單一垂直耦合雙量子點之耦合態研究(1/2)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：97-2112-M-009-015-MY2

執行期間：2008年 8月 1日至 2010年 7月 31日

計畫主持人：張文豪

共同主持人：

計畫參與人員：博士班：蔡文哲、林 萱、廖昱安、林家賢

碩士班：陳威宇、張志豪、徐瑋廷、劉鴻璋

周湘諭、陳志豪、趙士興、徐家和、林儒賢

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中 華 民 國 九 十 八 年 五 月 三 十 日

一、 報告內容及計畫成果自評

(一)、本年度工作報告(97/8/1-98/7/31)

1. 垂直耦合雙量子點分子：

垂直堆疊雙量子的能態耦合行為非常類似於分子結構中的『束縛態』及『反束縛態』，因此又常被稱為『量子點分子』(quantum dot molecules: QDMs)。近期主要工作在於探討 QDM 激子態細微結構以及激子轉換機制。我們發現即使 QDM 間距只有 4-5 nm，仍只有電子能態會混成束縛及反束縛的軌域，而電洞能態卻仍為相互獨立量子態；此時激子譜線特徵可用『直接』與『間接』躍遷來分類。偵測電子—電洞交換作用所產生的細微能量分裂則進一步確認直接及間接激子譜線。在確認譜線屬性後，我們仔細探索量子點分子內的激子轉換的機制。由於電洞能態的獨立性，當兩個量子點能階能階不同時，直接激子與間接激子之間無法直接由共振穿隧耦合進行能量轉換。但我們發現藉由改變溫度，可以使直接激子與間接激子產生能量轉移。透過速率方程式模型的建立，我們首度發現此能量轉移其實是藉由聲子幫助而產生的電洞熱活化穿隧現象(Thermal activated tunneling)，並非佛斯特(Förster)轉換機制；此成果已發表於去年的 Phys. Rev. B (Chang *et al.*, PRB 2008)[10]。

2. 量子點激子態的磁響應：

透過國科會計畫的補助(2006.01~2008.07)，我們自行設計架設一套顯微螢光光譜偵測系統以及一套低溫高磁場顯微磁光系統，如圖一及圖二所示，可在外加磁場下($B=6\text{ T}$)偵測單量子點光譜，尤其是能態細微結構及耦合特徵。本系統可外加垂直(Faraday geometry)及水平(Voigt geometry)方向磁場，對研究半導體奈米結構磁場下的效應是一大利器。量子點激子在外加磁場下會產生逆磁能移(diamagnetic shift)以及奇曼分裂(Zeeman splitting)。逆磁能移與激子波函數的空間延展有關，而奇曼分裂則反映出系統的 g factor。我們針對量子點內激子、雙激子及帶電激子在磁場作用下的逆磁能移進行一系列研究，發現逆磁能移會隨著量子點內的激子數目及多餘電荷而



(a)

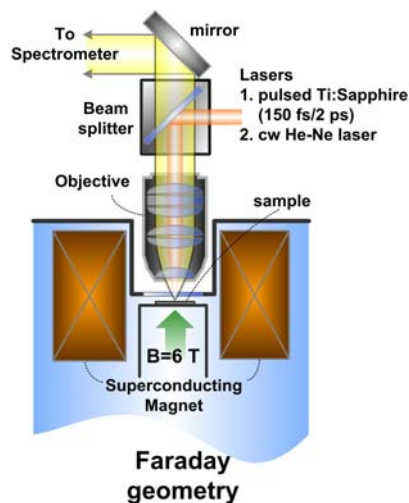


(b)

圖一：於交通大學電子物理系實驗室自行設計架設之 (a) 顯微螢光光譜偵測系統以及 (b) 脈衝太藍寶石雷



(a)



(b)

圖二：於交通大學電子物理系實驗室自行設計架設之 (a) 顯微磁光系統，其中圖左側儀器即為超導磁鐵及 (b) 顯微磁光系統的示意圖。

改變。此結果顯示，一般認為在強量子侷限下庫侖作用對於反磁能移的影響其實並不能忽略，且庫侖修正項與波函數的三次方成正比，顯示當激子逐漸失去強侷限時，庫侖修正項將更為顯著；此成果已發表於去年的 *Phys. Rev. Lett.* ([Tsai *et al.*, PRL 2008](#)) [6]

3. 銻化物覆蓋之第二型量子點：

最近有些研究指出，以砷銻化鎵覆蓋之砷化銻量子點只能侷限電子，並以庫侖作用吸附電洞於周圍，形成第二型的量子點激子。過去研究多半間接以光譜隨機發功率的能量移動來辨識，但卻缺乏載子複合動態的直接證據。我們首度以時間解析螢光光譜偵測以砷銻化鎵覆蓋之砷化銻量子點之載子複合生命期，發現載子複合機制在低溫下受到砷銻化鎵內的侷限態的影響而變長。當溫度逐漸上升，電洞逐漸被熱活化，因而開始由近距離的複合主導；此成果已於去年發表於 *Appl. Phys. Lett.* ([Chang *et al.* APL 2008](#)) [8]。最近，我們進一步將砷銻化鎵覆蓋之砷化銻量子點進行快速熱退火處理。我們發現退火處理可以將量子點由第二型透過原子交互擴散而轉換成第一形量子點。本研究亦探討能帶結構的改變與複合動態行為之間的關聯；此成果已發表於今年的 *Appl. Phys. Lett.* ([Liao *et al.* APL 2009](#)) [5]。

4. 氮化銻薄膜及奈米點的光學性質：

除了砷化銻量子點系統外，我們也與本系氮化物研究群（陳衛國、周武清、李明知）合作。最近，我們以拉曼光譜研究以 MOCVD 成長之氮化銻量子點在氮化鎵表面的應變釋放過程。我們發現，雖然大部分 InN-GaN 之間的應變是透過介面差排釋放，然而由拉曼光譜發現，其餘殘存應變仍持續依據量子點尺寸及形狀繼續釋放。透過三維的數值模擬，我們也進一步確認這樣的推論；本成果已發表於今年二月份的 *Appl. Phys. Lett.* ([Tsai *et al.*, APL 2009](#)) [4]。

(二)、論文發表 2008-2009 :

1. H. S. Chang, W. Y. Chen, T. M. Hsu*, T. P. Hsieh, J. I. Chyi, and **W.-H. Chang**,
“Origins of non-zero multiple photon emission probability from single quantum dots embedded in photonic crystal nanocavities”,
Appl. Phys. Lett. **94**, 163111 (2009).
2. H. Lin, S.-Y. Wang, C.-H. Lin, **W.-H. Chang***, S.-J. Cheng, M.-C. Lee,
W.-Y. Chen, T. M. Hsu, T.-P. Hsieh and J.-I. Chyi,
“Exciton fine structures and energy transfer in single InGaAs quantum-dot molecules”,
Phys. Stat. Sol. (c) **6**, 861 (2009).
3. C.-Y. Chen, L. Lee, S.-K. Tai, S.-F. Fu, W.-C. Ke, W.-C. Chou, **W.-H. Chang**,
M.-C. Lee, and W.-K. Chen*
“Optical properties of uncapped InN nanodots grown at various temperatures”,
Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 031001 (2009).
4. W.-C. Tsai, F.-Y. Lin, W.-C. Ke, S.-K. Lu, S.-J. Cheng, W.-C. Chou, W.-K. Chen, M.-C. Lee and **W.-H. Chang***,
“Size-dependent strain relaxation in InN islands grown on GaN by metalorganic chemical vapor deposition”,
Appl. Phys. Lett. **94**, 063102 (2009).
5. Y.-A. Liao, W.-T. Hsu, P.-C. Chiu, J.-I. Chyi and **W.-H. Chang***,
“Effects of thermal annealing on the emission properties of type-II InAs/GaAsSb quantum dots”,
Appl. Phys. Lett. **94**, 053101 (2009).

2008

6. M.-F. Tsai, H. Lin, C.-H. Lin, S.-D. Lin, S.-Y. Wang, S.-J. Cheng, M.-C. Lee, **W.-H. Chang***,
“Diamagnetic Responses of Exciton Complexes in Semiconductor Quantum Dots”,
Phys. Rev. Lett. **101**, 267402 (2008). (Times cited: 0, IF: 7.218)
7. Y. C. Lin, W. C. Chou*, W. C. Fan, J. T. Ku, F. K. Ke, W. J. Wang, S. L. Yang, W. K. Chen, **W. H. Chang**,
and C. H. Chia,
“Time-resolved photoluminescence of isoelectronic traps in ZnSe_{1-x}Te_x semiconductor alloys”,
Appl. Phys. Lett. **93**, 241909 (2008). (Times cited: 1, IF: 3.977)
8. **W.-H. Chang***, Y.-A. Liao, W.-T. Hsu, M.-C. Lee, P.-C. Chiu and J.-I. Chyi,
“Carrier Dynamics of Type-II InAs/GaAs Quantum Dots Covered by a Thin GaAs_{1-x}Sb_x Layer”,
Appl. Phys. Lett. **93**, 033107 (2008). (Times cited: 0, IF: 3.977)
9. C.-H. Lee, C.-Y. Yu, C.M. Lin, C.W. Liu*, H. Lin and **W.-H. Chang**
“Carrier gas effects on the SiGe quantum dots formation”,
Appl. Surf. Sci. **254**, 6257, (2008). (Times cited: 0, IF: 1.406)
10. **W.-H. Chang***, H. Lin, S.-Y. Wang, C.-H. Lin, S.-J. Cheng, M.-C. Lee, W.-Y. Chen, T. M. Hsu, T.-P. Hsieh and J.-I. Chyi,
“Nonresonant Carrier Transfer in Single InGaAs/GaAs Quantum Dot Molecules”,
Phys. Rev. B **77**, 245314 (2008). (Times cited: 0, IF: 3.107)
11. Y. C. Lin, W. C. Fan, C. H. Chiu, F. K. Ke, S. L. Yang, D. S. Chuu, M. C. Lee, W. K. Chen,
W.-H. Chang, W. C. Chou*, J. S. Hsu and J. L. Shen,
“Pressure-induced metallization and resonant Raman scattering in Zn_{1-x}Mn_xTe”
J. Appl. Phys. **104**, 013503 (2008). (Times cited: 0, IF: 2.316)
12. **W.-H. Chang***, L. Lee, C.-Y. Chen, W.-C. Tsai, H. Lin, W.-C. Chou, W.-K. Chen, M.-C. Lee,
“Structural and Optical Properties of InN/GaN Islands Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition”,
Phys. Stat. Sol. (c) **5**, 3014 (2008). (Times cited: 0, IF: 0.967)
13. **W.-H. Chang***, W.-C. Ke, L. Lee, C.-Y. Chen, W.-C. Tsai, H. Lin, W.-C. Chou, W.-K. Chen and M.-C. Lee,
“Effects of Growth Temperature on InN/GaN Nanodots Grown by Metalorganic Chemical Vapor Deposition”,
J. Appl. Phys. **103**, 104306 (2008) (Times cited: 1, IF: 2.316)

14. W.-C. Tsai, H. Lin, W.-C. Ke, **W.-H. Chang***, W.-C. Chou, W.-K. Chen and M.-C. Lee,
“*Structural and Optical Properties of Indium-Rich InGaN Islands*”,
Phys. Stat. Sol.(c) **5**, 1702 (2008) (Times cited: 0, IF: 0.967)

(三)、經費使用狀況

(1) 目前經費使用依規定及進度進行。

(2) 出席國際會議之經費使用：

計畫主持人預定參與今年 7/19 至 7/24 於日本神戶所同時舉行的國際二維系統電子特性會議 (EP2DS 2009) 調製半導體結構會議 (MSS-2009)；目前投稿該會議的論文已被接受，預計將如期參與會議；因此擬將本計畫延期至 10 月 31 日，並於回國完成出席國際會議報告後，於規定期限內繳交並完成計畫結案。