

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

一維奈米電子學及自旋電子學之物理與元件(3/3) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 99-2120-M-009-001-
執行期間：99年08月01日至100年10月31日
執行單位：國立交通大學物理研究所

計畫主持人：林志忠
共同主持人：簡紋濱、朱仲夏、陳煜璋
計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：楊秉諭
碩士班研究生-兼任助理人員：游凱復
碩士班研究生-兼任助理人員：陳朝俊
碩士班研究生-兼任助理人員：林佩蓉
碩士班研究生-兼任助理人員：黃宗熙
碩士班研究生-兼任助理人員：汪瑞泰
碩士班研究生-兼任助理人員：徐唯哲
碩士班研究生-兼任助理人員：喻祖祥
博士班研究生-兼任助理人員：賴祐仁
博士班研究生-兼任助理人員：李瑞康
博士後研究：邱劭斌

報告附件：國外研究心得報告
赴大陸地區研究心得報告
出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 101 年 04 月 15 日

中文摘要：近年來，奈米碳管與奈米線等由下而上自我組裝，而非由大至小蝕刻製造的奈米材料，已被廣泛的應用並展示其在製作奈米尺度電子與光電等元件之高度可行性。由於半導體製程不斷縮小，發展奈米電子學已成為掌握未來科技之鑰。結合電子之自旋與傳輸雙重特性的自旋電子學，早期多以發展金屬自旋電子元件為主，如利用巨磁阻、穿隧磁阻與自旋閥效應等，製造磁電阻式隨機存取記憶體與硬碟讀取頭元件。近年來，由於半導體自旋電子材料（如摻錳砷化鎵）的蓬勃發展，與鐵磁-半導體接面技術的突破，自旋電子學的研發已漸漸轉移到自旋電流引入注射與自旋電子傳輸性質的探討，以及自旋場效電晶體、自旋發光二極體、電驅動磁疇翻轉等元件的開發與應用。本團隊在前期奈米國家型科技計畫裡（2004/08 - 2007/12），研究單根氧化鋅奈米線與氧化鋅摻鈷奈米線的電性與磁性，成功製作出高真空退火後的室溫鐵磁性氧化鋅摻鈷奈米線，除仔細運用各種材料分析儀器確定鈷元素均勻分布外，我們使用 SQUID 驗證其本徵稀磁半導體特性，並使用磁力顯微鏡偵測出單根奈米線中磁疇的變化。我們更測量出磁疇強度隨溫度上升而減弱，描繪出居禮定律的溫度變化曲線，又確認高於 400 K 的居禮溫度。有此室溫鐵磁性稀磁半導體奈米線材料，結合我們對單根氧化鋅奈米線傳輸性質的測量技術，本期計畫擬製作可在室溫操作的巨磁阻元件、穿隧磁阻元件、自旋閥元件、自旋場效電晶體、電驅動磁疇翻轉元件等；並擬結合自旋電子理論研究，設計開發新型自旋電子元件。自 1998 年，Ohno 研究砷化鎵摻錳材料為科技新知帶來了深遠的影響，本團隊藉由氧化鋅摻鈷的奈米線新材料，結合自旋電子與奈米電子的應用科技，將帶給全世界學界與產業界更大的震撼。由於本團隊在電子束微影技術的精進，目前已經成功將半導體與金屬奈米顆粒置入兩奈米電極間之 30-50 奈米寬的間隙內，並成功測得奈米顆粒的電流-電壓特性曲線與電阻的溫度變化。本期計畫將進一步結合分子電子學理論專家，設計與開發分子電晶體、與分子磁鐵自旋電晶體。近十年來，諸多領域的科學家們嘗試以分子製作新型式的電晶體以及各類電子元件，分子電子學已成為繼傳統半導體電子學而起的一個嶄新研發領域。在微米尺度下，電子元件的電子傳輸性質可以用自由電子氣來近似描述，並以半古典理論方式解釋。但是在奈米電子元件裡，原子分子的特性和電子的波動性質愈來愈明顯，分子電子學電子傳輸性質的研究，顯然必須及早正視這些關鍵因素。本期計畫擬以磁性半導體-半導體-磁性半導體系統的巨磁阻

量測與理論研究為基礎，拓廣到分子系統，即以 saturated molecules 取代兩磁性電極中間的半導體。由於此系統的尺度微小，所以電子自旋容易保存，加上電子隧穿特性的影響，我們預期此系統的穿隧磁阻效應將很顯著，從而有利於應用在奈米尺寸磁自旋電子元件（如 spin filter）的設計與製作。在理論方面，我們將以密度泛函理論計算方式，開發分子自旋電子學的理论與程式，研究電子自旋的傳輸性質與量子多體效應，並且探討自旋分子元件運作的物理機制與材料特性。在實驗方面，我們將結合理論計算結果，開發可行的分子自旋電子系統，探討分子自旋電子元件設計的可行性，並將量測與探究此新穎系統的物理現象。奈米界面系統的電子自旋傳輸性質，是一個非常新穎而重要的研究課題。這些開創性的研究工作，需要開發新的實驗技術以及新的理論與程式，本計畫勢將為分子自旋電子學的未來發展開啟一扇大門。

中文關鍵詞：奈米線、奈米電子學、自旋電子學、量子傳輸、自旋依賴傳輸

英文摘要：In this project, we propose to study both the fundamental science and industrial applications of nanoelectronic and spintronic devices. We will concentrate on one-dimensional nanodevices built from metal oxide nanowires, and study molecular junctions and devices. We propose to investigate conducting metal oxide nanowires (e.g., RuO₂ and In_{2-x}Sn_xO₃ or ITO nanowires) which are potentially useful as interconnects in nanoelectronic circuitries. In addition, we will study ZnO semiconductor nanowires. The ion-implantation technique will be applied to make diluted magnetic semiconductor (DMS) Co-doped ZnO (Zn_{1-x}CoxO) nanowires. Focused electron beam will be applied to modulate the magnetization of single Zn_{1-x}CoxO nanowires. The modulation can induce ferromagnetic (FM) to paramagnetic transition in selected sections in a given individual Zn_{1-x}CoxO nanowire, making alternative FM and paramagnetic sections. The FM and paramagnetic sections would be of several submicrons to several microns long. Therefore, highly-integrated series-connected nanowire field-effect transistors (FETs) may be constructed in a single DMS nanowire. Such functional

nanodevices could trigger an industrial revolution in nanoscience and nanotechnology.

In order to realize applications in nanoelectronics and spintronics, we propose to investigate the electrical and magnetic properties of certain metal and semiconductor nanowires. Electron-beam lithographic technique will be employed to facilitate electrical-transport measurements on individual nanowires. Quantum electron and phonon transport phenomena in individual nanowires and nanodevices will be investigated. In particular, we will elaborate the electron spin-dependent transport as a sensitive probe for studying the physical properties of DMS nanowires. SQUID magnetometry and magnetic force microscopy (MFM) will be employed to investigate the magnetic properties of DMS $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_x$ nanowires. While the SQUID magnetometry method probes the average magnetizations of an ensemble of a huge amount of nanowires, the MFM method probes the magnetic dynamics (e.g., the domain wall motion and switching) in individual DMS nanowires. In addition to research on the fundamental science in nanostructures, this project will be devoted to the development of practicable nanoelectronic and spintronic devices. We aim not only to make significant impacts on the nanoelectronics industries but also to discover new science in the nanoscale systems.

英文關鍵詞： nanowires, nanoelectronics, spintronics, quantum transport, spin-dependent transport

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

一維奈米電子學及自旋電子學之物理與元件

One-Dimensional Nanoelectronics and Spintronics: Physics and Devices

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 99-2120-M-009-001-

執行期間：99年8月1日至100年10月31日

執行機構及系所：國立交通大學物理研究所

計畫主持人：林志忠

共同主持人：朱仲夏、陳煜璋

計畫參與人員：邱劭斌、賴祐仁、李瑞康、楊秉諭、游凱復、陳朝俊
林佩蓉、黃宗熙、汪瑞泰、喻祖祥、徐唯哲

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

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除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

中 華 民 國 101 年 2 月 25 日

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫的主要成果之價值在於進行非常深入的奈米科技基礎研究，尤其對奈米線以及奈米接點的導電性質之深入研究，是全世界這一領域之最具份量的研究成果之一。本計畫的結果使人類瞭解氧化鋅奈米線如何導電，這些概念與解釋，亦將有助於促進對其他種類之半導體奈米線的導電行為的瞭解。本計畫對於錫摻雜氧化銻奈米線的研究，是文獻中對於導體奈米線之量子傳輸研究的最高質量的文章之一。這二項研究，同時為奈米科技的應用前景鋪路，一則既深入表徵奈米線材料（如氧化鋅）的特性，二則又揭示調控自旋—軌道耦合強度的可能方式之一，為自旋電子學鋪路。

本計畫的研究並為發現新科學做出諸多貢獻，如發現單晶金屬奈米線中存在大量的動態結構缺陷，導致低溫時出現普適電導漲落，是最前沿的基礎奈米科學問題。

出國訪問報告

出國人員：林志忠教授

報告撰寫日期：2010 年 12 月 11 日

出國項目：

出國日期：2010 年 11 月 7 至 18 日

出國地點：日本「理化學研究所 (RIKEN)」

出國目的：進行國際合作研究

與日本「理化學研究所(RIKEN)」之「低溫物理研究室(Low Temperature Physics Laboratory)」Kimitoshi Kono 主任研究員 (Chief Scientist) 和 Keiji Ono 研究員合作，進行低維度電子系統在極低溫下和高磁場中之電性研究，探索奈米尺寸材料的新穎物理特性，以期發現新科學，並為發展奈米與自旋電子學科技奠立物理基礎。

「理化學研究所」相當於日本之科學院，國際學術地位崇高，資源豐沛，位於東京市近郊。Kono 博士為現任 International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) 之 C5 Commission on Low Temperature Physics 委員會副主席，在國際低溫物理學界知名度高。Kono 博士也是日本物理學會理事，他自 2004 年起即已擔任交通大學客座教授。

目前雙方合作和討論中之研究課題主要包括下列幾項：

- (1) Electron spin-dependent transport properties of vertical double quantum dots at very low temperatures and in high magnetic fields. 這一個方向的最最近合作成果，剛發表於 2010 年 4 月 2 日的 Physical Review Letters **104**, 136801 (2010): S. M. Huang, Y. Tokura, H. Akimoto, K. Kono, J. J. Lin, S. Tarucha and K. Ono, “Spin bottleneck in resonant tunneling through double quantum dots with different Zeeman splittings.” 這一篇論文被接受發表之後，獲得高度重視，RIKEN 特地於 3 月 29 日發佈新聞稿，並經「日本經濟新聞 (Nikkei News)」轉載，和「日本化學工業日報」

報導。(如附件)

- (2) (a) Electron dephasing times in mesoscopic and nanoscale systems at very low temperatures. In particular, the electron dephasing mechanisms at very low (sub-Kelvin) temperatures. (b) Electron dynamics on helium films.
- (3) 商討簽訂本校理學院與理化學研究所「基幹研究所 (Advanced Science Institute)」合作備忘錄事宜。(備忘錄初稿已經完成，正由學校「國際事務處」詳細檢閱條文中。)
- (4) 11月9日由理化學研究所前往千葉大學 (Chiba University) 演講，講題：Quantum Electron Transport in Mesoscopic and Nanoscale Systems。由 Yuichi Ochiai 教授安排及接待。

這些項國際合作已經進行六年以上，且將持續進行。這些課題都是最基礎的介觀及奈米物理課題，與量子現象、電子關聯、量子資訊、自旋傳輸等問題緊密相連。為了進行這些合作，過去幾年來，Kono 博士與林志忠教授每年互訪對方實驗室至少一至二次。目前，交通大學電物系有博士生孫羽澄在 RIKEN 進行極低溫實驗量測。又，2008 年畢業之交通大學物理所學生黃旭明博士目前也繼續在該實驗室進行博士後研究，計劃利用絕熱去磁技術，將系統溫度降至 10 mK 以下，以開拓全世界最前沿的電子自旋輸運性質 (spin-dependent transport) 量測。

附件：2010 年 6 月 11 日本校國際事務處發佈之本實驗室與理化學研究所低溫物理研究室合作成果之新聞稿。

本人博士後研究員林永翰，在林志忠教授的指導下，於 2011 年 5 月 9 日到 14 日，至日本千葉縣千葉大學，訪問該校奈米材料科學系及融合科學研究所落合勇一教授暨青木伸之副教授共同研究室，主要目的是針對未來的合作研究計畫進行相關事項的討論。本項計畫主要源自於我們先前對金屬奈米線接點的研究成果【1，2】，計畫概念略述如下。

我們知道，瞭解電子在奈米線內部的運動行為是應用奈米線製作新穎奈米電子元件一個相當重要的步驟，然而，要能實際達成應用的目的，僅止於這樣的瞭解卻是不夠的。任何奈米線，不論是作為元件本身或是作為傳遞訊號的導線，它都必須與外界有所接觸，這個接觸可能是元件與元件之間的連結，也可能是元件與巨觀世界之間的連結。然而，由於相關奈米製程的步驟繁複，一個非理想的接點十分容易因為污染或製程條件的些微差異而形成，這樣一個非理想的接點顯然極易改變電子的運動方式，並進而影響元件的正常操作模式。

根據我們先前利用 RuO₂ 金屬奈米線對此一課題所進行的研究【1，2】，我們發現，對於具有較高接觸電阻的奈米線接點，其接觸電阻隨溫度變化的行為可以成功用香港科技大學沈平教授於 1978 年所提出之 fluctuation-induced tunneling (FIT) 傳輸模型【3，4】來解釋，這主要是由於在接點附近形成一個等效的絕緣層，導致電子是以穿隧的方式來通過此一接點，此一穿隧因為受到接點熱噪聲 (thermal noise 或 thermal fluctuation) 之劇烈影響，因而顯現出迥異於一般穿隧機制隨溫度變化的行為。

然而，儘管 FIT 理論在過去 30 年間相當成功地解釋了許多不同材料系統的導電機制 (例如：金屬-絕緣體複合物【5】、導電聚合物【6】、奈米碳管網狀膜【7】等等)，從此一理論所得的一些穿隧參數卻往往與一般材料參數存在有些許歧異。由於我們的研究成果引起了沈平教授的注意，在重新審視 FIT 的架構後，沈平教授與其指導學生於 2009 年提出了一個衍伸的新的物理圖像【8】，此圖像不僅在理論上修正了穿隧參數與一般材料參數的歧異，在實驗上也十分成功地描述了我們已經發表的實驗數據。

此新圖像雖延續 FIT 的理論基礎 (亦即考慮接點兩端熱噪音對電子傳輸的影響)，但卻改以一個或數個微小且可導電之奈米通道取代奈米接點上的絕緣層，由於此奈米通道觀念的引入，不同模電子波函數的量子效應必須加以詳細考慮，在利用 Landauer 公式計算通道中不同模電子波函數的穿透係數後，便可以進一步得到電子的傳輸公式。其結果簡言之，若通道寬度大於電子費米波長的一半時，電子可以在此通道中自由流動，而當通道寬度小於電子費米波長的一半時，

此波導結構將禁止電子自由存在於其中，在此狀況下，由於通道長度為一有限大小，電子將改以穿隧的方式通過此波導。值得注意的是，此一圖像進一步預測，當通道兩端的偏壓大於某個臨界值時，由於電子能量的增加，其波長將減小至此波導結構可允許通過之長度，於是，電子的傳輸行為將從原本低偏壓時的穿隧機制過渡到高偏壓時的流動機制，由於熱噪音的影響以及電子波函數的相互干涉，在此情況下，奈米通道的電導對電壓的曲線將出現獨特之週期性震盪變化。

這一個高偏壓下的有趣行為，在以往的文獻中，理論上或實驗上均未曾被探討過。由於在金屬中，電子費米波長約僅有數埃大小，以現今奈米結構製作技術而言，欲利用金屬創造出此理論架構下之電子波導實為一個困難度相當高的挑戰。相反的，在半導體異質結構中所形成之二維電子氣，其內電子費米波長可達數十奈米以上，若善加利用這樣的特性，再經由適當的設計，欲在其上製作出此理論架構下之電子波導，困難度則會相對大大減低許多。

此次本人參訪落合教授研究群的主要目的，即是與該實驗室進行討論，規劃適當的實驗流程，預計在未來將利用二維電子氣對上述之理論預測進行實驗驗證。長期以來，落合教授研究群對半導體異質結構已有許多相當深入的研究心得，借重他們的豐富經驗以及基於我們過去對奈米接點的研究成果，我們相信，經由這樣的合作交流應可獲得質量並重的結果。

參考文獻

1. Y. H. Lin, S. P. Chiu, J. J. Lin, *Nanotechnology* 19, 365201 (2008)
2. Y. H. Lin, J. J. Lin, submitted to *J. of Appl. Phys.* (2011)
3. P. Sheng, E. K. Sichel, J. I. Gittleman, *Phys. Rev. Lett.* 40, 1197 (1978)
4. P. Sheng, *Phys. Rev. B* 21, 2180 (1980)
5. J. C. Dawson, C. J. Adkins, *J. Phys.: Condens. Matter* 8, 8321 (1996)
6. Y. W. Park, A. J. Heeger, M. A. Drury, A. G. MacDiarmid, *J. Chem. Phys.* 73, 964 (1980)
7. A. B. Kaiser, G. Dusberg, S. Roth, *Phys. Rev. B* 57, 1418 (1998)
8. H. Xie, P. Sheng, *Phys. Rev. B* 79, 165419 (2009)

出國參加國際會議及順道訪問報告

出國人員：林志忠教授

報告撰寫日期：2011 年 8 月 23 日

出國項目：

出國日期：2011 年 8 月 10 至 22 日

出國地點：中國，北京

出國目的：出國參加第 26 屆國際低溫物理會議 (The 26th International Conference on Low Temperature Physics)，以及順道訪問中國科學院物理所

赴北京參加於 8 月 10 至 17 日在奧運村「北京國際會議中心」舉行之第 26 屆國際低溫物理會議。根據大會資料，報名人數超過 1300 人，參加人員來自歐、美、日、大陸，以及其他許多國家，是一項極大型和最高指標的國際低溫物理會議。該國際會議討論的主題涵蓋五大研究領域：(1) Quantum Gases, Fluids, and Solids, (2) Superconductivity, (3) Magnetism and Quantum Phases, (4) Electronic Quantum Transport in Condensed Matter，以及(5) Cryogenic Techniques and Applications。與本人得研究領域最相關的為第(3)和(4)項。

會議期間，除了聆聽眾多其他與會者的演講和參觀海報之外，本人也於 8 月 15 日上午做了一個口頭報告，題目是：Time-Dependent Universal Conductance Fluctuations in Metal Oxide Nanowires due to Mobile Defects (論文摘要如附件)，這是本實驗室最近的重要研究成果之一。值得注意的是，歷屆國際低溫物理會議的邀請報告數目都極為稀少，通常在所有摘要數目的百分之 15 至 20 之間。另外，本實驗室博士班學生賴祐仁先生也與會張貼海報一張，題目是：Two-Impurity Kondo Effect in Al/AlO_x/Y Tunnel Junctions。

參加以上國際低溫物理會議之外，本人亦於會後 8 月 18 至 21 日期間，順道訪問位於北京中關村之「中國科學院」「物理所」。在物理所的主要行程包括參觀其極低溫和極端條件物理實驗室，以及超導實驗室，並多次與

其研究人員、學生和博士後研究等討論進行中的物理課題，交流實驗數據等。又於 8 月 19 日下午訪問北京大學「量子材料科學中心 (International Center for Quantum Materials)」，與其理學院院長謝心澄教授，和副校長王恩哥教授，交換提升學術研究的意見。另外，8 月 18 日中午與「中國物理學會」出版刊物，《物理》雜誌的編輯委員前北京大學閻守勝教授 (已退休)，以及現任編輯王進萍小姐進餐，交流撰寫科學人文文章的意見。

搭乘 8 月 22 日中午 12:25 之中華航空班機返台，於下午 5 時許返抵新竹。

Time-dependent universal conductance fluctuations in metal oxide nanowires due to mobile defects

Juhn-Jong Lin^a, A. S. Lien^a, P. Y. Yang^a, L. Y. Wang^b, and C. S. Chu^b

^aInstitute of Physics, National Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan

^bDepartment of Electrophysics, National Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan

Time-dependent universal conductance fluctuations (UCF) are observed in single RuO₂ nanowires (~ 50 – 100 nm in diameter and a few micrometers long) at cryogenic temperatures.¹ The fluctuations persist up to unprecedentedly high temperatures of ~ 10 K. Their root-mean-square fluctuation amplitudes increase with decreasing temperature, reaching a fraction of e^2/h at temperatures below ~ 2 K. These fluctuations are shown to originate from scattering of conduction electrons with rich amounts of mobile defects in artificially synthesized metal oxide nanowires. Furthermore, time-dependent UCF characteristics in both one-dimensional saturated and unsaturated regimes are identified, in quantitative consistency with existing theoretical predictions.² In another case of single IrO₂ nanowires where the mobile defects are less vigorous, time-independent UCF as a function of varying magnetic fields are clearly observed. The variation in the fluctuation amplitude with temperature can be understood in terms of current theoretical concepts, but a quantitative explanation is still lacking.

¹A. S. Lien, L. Y. Wang, C. S. Chu, and J. J. Lin, to be published.

²S. Feng, in *Mesoscopic Phenomena in Solids*, edited by B. L. Altshuler, P. A. Lee, and R. A. Webb (North-Holland, Amsterdam, 1991).

出席國際會議報告

出國人員：林志忠教授

報告撰寫日期：2011 年 3 月 26 日

出國項目：

出國日期：2011 年 3 月 12 至 21 日

出國地點：義大利 La Thuile

出國目的：參加 Moriond 2011 – Quantum Mesoscopic Physics 國際會議

一、參加經過

一、於 3 月 12 日傍晚啟程，經桃園機場飛經香港、荷蘭阿姆斯特丹，再轉機至日內瓦。由日內瓦轉搭大會巴士經法國，到義大利 La Thuile，於當地時間 3 月 13 日下午抵達。

二、3 月 14 日（星期一）早上開始參加研討會。研討會共計 6 天半，於 3 月 20 日近中午時結束。結束當日下午近一時許乘坐大會回程巴士至日內瓦，轉機經阿姆斯特丹、曼谷，於台北時間 21 日晚上 8：30 許，返抵新竹。

三、研討會計分下列幾項主題：(1) Mesoscopic transport in Graphene and Carbon Nanotubes, and topological insulators, (2) Qubits with Cavity Quantum Electrodynamics circuits Quantum entanglement with itinerant charge and spins, atoms on chips, (3) Mesoscopics of hybrid systems: superconducting/ferro/Normal/Kondo, (4) Quantum dynamics, High frequency and time dependent phenomena, charge manipulation, fundamentals of quantum shot noise and full counting statistics, (5) FQHE and abelian/non-abelian topological excitations, electronic correlations in low D, 0.7 anomaly, (6) Mesoscopic thermodynamic effects, persistent current, thermal transport, meso-optomechanics, entanglement entropy, 和 (7) Mesoscopic physics with cold atoms 等大課題，包括了近年來介觀物理的主要研究方向。研討會參加人數約 150 人，來自許多個國家，但是以歐洲法國、德國、瑞士及俄國最多，亞洲僅日本、韓國、和台灣各一名教授參加。參加人員以張貼海報，或口頭報告方式，展示其成果。

四、我的口頭報告被安排在 3 月 15 日下午，演講題目是：Time-dependent universal conductance fluctuations in metal oxide nanowires due to mobile defects。演講完畢後，當場回答了少數問題。晚餐及後續幾天，陸續回答了一些問題，並與部分與會人員繼續

討論。

二、心得（可含照片）

藉由參加研討會期間的多次討論，可以對於進行中的量子介觀物理課題獲得更深入的理解。討論之中，又獲得許多新的想法，有些想法可以付諸新的實驗。

藉由參加研討會的學術演講，可以讓其他國家的物理學者對於台灣以及交大理學院的基礎研究有較為深刻的理解。

一方面藉由討論刺激新的想法，一方面藉由研討會演講展示台灣以及交大理學院的研究成果，並且促進與他國研究人員的密切合作機會，這便是學術的國際化。

這一個系列的研討會（“Moriond Conferences”），自 1966 年起開始舉辦，每二至三年一次，近年來加入介觀以及奈米物理領域的議程。這是全世界介觀物理領域的最高水準的國際會議之一。

三、考察參觀活動（無是項活動者，或前已敘述者可省略此項）

（無）

四、建議

五、攜回資料名稱及內容

六、其他：（會議照片二張）



出席國際會議報告

出國人員：林志忠教授

報告撰寫日期：2011 年 8 月 23 日

出國項目：

出國日期：2011 年 8 月 3 至 8 日

出國地點：韓國浦項 (Pohang, South Korea)

出國目的：參加 APCTP Conference on Localization 2011 國際會議

一、參加經過

一、於 8 月 3 日清晨啟程，由桃園中正機場飛經韓國首爾仁川機場，搭車轉往 Gimpo 機場，再轉機至浦項，於下午抵達浦項科技大學 (Pohang University of Science and Technology) 會場。

二、8 月 4 日 (星期四) 早上開始參加研討會。研討會共計 4 天，於 8 月 7 日結束。次日早上搭機至 Gimpo 機場，轉車到仁川機場，再搭機回台，於晚上 11 許返抵新竹。因為浦項地區較為偏遠，班機稀少，國內、國際航班轉機困難，致使行程極為費時，而又票價偏高。

三、研討會計分下列幾項主題：(1) Quantum transport in disordered systems (Anderson localization, effects of interactions on localization, Anderson-Mott transition, mesoscopics), (2) Superconductor-insulator transition, (3) Quantum Hall effect (fractional and integer), (4) Topological insulator, (5) Graphene, (6) Dynamical localization, (7) Heavy fermions (Kondo effect, Kondo lattice, effects of disorder), 和 (8) Many-body localization (spin-glass, Coulomb glass) 等大課題，包括了近年來金屬—絕緣體轉變和電子局域 (localization) 的主要研究方向。研討會參加人數約 80 人，來自歐、美、日、韓，和大陸許多個國家，台灣則僅本人一人參與。

四、我的口頭報告被安排在 8 月 7 日上午，演講題目是：Time-dependent universal conductance fluctuations in metal oxide nanowires due to mobile defects (摘要如附件)。演講完畢後，當場回答了少數問題。另外，並張貼海報一張，題目是：New Insight in Hall Transport in Granular Electronic Systems (摘要如附件)。

二、心得（可含照片）

藉由參加研討會期間的多次討論，可以對進行中的金屬—絕緣體轉變和電子局域物理課題獲得更深入的理解。討論之中，又獲得許多新的想法，有些想法可以付諸新的實驗。

藉由參加研討會的學術演講，可以讓其他國家的物理學者對於台灣以及交大理學院的基礎研究有較為深刻的理解。一方面藉由討論以刺激新的想法，一方面藉由研討會演講以展示台灣與交大理學院的研究成果，並且促進與他國研究人員的密切合作機會，這便是學術的國際化。

這一個系列的研討會（“Localization”），自 1984 年起開始舉辦，每二至三年一次，近年來加入超導體—絕緣體轉變、石墨烯，和拓樸絕緣體領域的議程，是很高水準的專業國際會議之一。

三、考察參觀活動（無是項活動者，或前已敘述者可省略此項）

（無）

四、建議

五、攜回資料名稱及內容

六、其他：（會議照片二張）

Time-dependent universal conductance fluctuations in metal oxide nanowires due to mobile defects

Juhn-Jong LIN

Institute of Physics, National Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan

E-mail: jjlin@mail.nctu.edu.tw

Time-dependent universal conductance fluctuations (UCF) are observed in single RuO₂ nanowires (~50-100 nm in diameter and a few micrometers long) at cryogenic temperatures. The fluctuations persist up to unprecedentedly high temperatures of ~10 K. Their root-mean-square fluctuation amplitudes increase with decreasing temperature, reaching a fraction of e^2/h at temperatures below ~2 K. These fluctuations are shown to originate from scattering of conduction electrons with rich amounts of mobile defects in artificially synthesized metal oxide nanowires. Furthermore, UCF characteristics in both one-dimensional saturated and unsaturated regimes are identified, in quantitative consistency with existing theoretical predictions. In another system of single IrO₂ nanowires where the mobile defects are less vigorous, time-independent UCF as a function of varying magnetic fields are clearly observed.

New Insight in Hall Transport in Granular Electronic Systems

Juhn-Jong Lin^a, Yu-Jie Zhang^b, Ya-Nan Wu^b, and Zhi-Qing Li^b

^aInstitute of Physics, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

^bDepartment of Applied Physics, Tianjin University, Tianjin, China

New insight in the Hall transport in granular systems consisting of nanometer-sized granules has recently witnessed significant theoretical and experimental advances. We have fabricated (1) a series of Sn-doped indium oxide (ITO) ultrathin films with intergrain tunneling conductance $g_T \gg 1$, and (2) a series of Mo-SnO₂ thick films with $g_T \sim 1$. The Hall coefficient R_H has been measured between 2 and 300 K. In the case of ITO films, we observed a $R_H \propto \ln T$ law over the wide T range ~ 1 –100 K. This $\ln T$ dependence can be explained as originated from the e - e interaction effect which dominates the electron dynamics *within* individual grains. Furthermore, we found that in this $g_T \gg 1$ regime, the conductivity obeys a $\sigma \propto \ln T$ law, as both newly theoretically predicted.¹ In the case of Mo _{x} (SnO₂)_{1- x} films, we observed that the measured $R_H(2\text{ K})$ magnitude reveals nearly 3 orders of magnitude enhancement and peaks at the quantum percolation threshold $x_q \simeq 0.36 > x_c \simeq 0.32$, the classical percolation threshold. This pronounced enhancement in R_H is explained in terms of the recent theoretical concept of the *intergrain* local quantum-interference effect induced giant Hall effect in granular systems.²

¹Y. Yu. Kharitonov and K. B. Efetov, Phys. Rev. Lett. **99**, 056803 (2007); I. S. Beloborodov *et al.*, Phys. Rev. Lett. **91**, 246801 (2003); Y. J. Zhang, Z. Q. Li, and J. J. Lin, arXiv:1107.4555.

²X. X. Zhang *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 5562 (2001); Y. N. Wu *et al.*, Phys. Rev. B **82**, 092202 (2010).

出國參加國際會議及順道訪問報告

出國人員：林志忠教授

報告撰寫日期：2011 年 8 月 23 日

出國項目：

出國日期：2011 年 8 月 10 至 22 日

出國地點：中國，北京

出國目的：出國參加第 26 屆國際低溫物理會議 (The 26th International Conference on Low Temperature Physics)，以及順道訪問中國科學院物理所

赴北京參加於 8 月 10 至 17 日在奧運村「北京國際會議中心」舉行之第 26 屆國際低溫物理會議。根據大會資料，報名人數超過 1300 人，參加人員來自歐、美、日、大陸，以及其他許多國家，是一項極大型和最高指標的國際低溫物理會議。該國際會議討論的主題涵蓋五大研究領域：(1) Quantum Gases, Fluids, and Solids, (2) Superconductivity, (3) Magnetism and Quantum Phases, (4) Electronic Quantum Transport in Condensed Matter，以及(5) Cryogenic Techniques and Applications。與本人得研究領域最相關的為第(3)和(4)項。

會議期間，除了聆聽眾多其他與會者的演講和參觀海報之外，本人也於 8 月 15 日上午做了一個口頭報告，題目是：Time-Dependent Universal Conductance Fluctuations in Metal Oxide Nanowires due to Mobile Defects (論文摘要如附件)，這是本實驗室最近的重要研究成果之一。值得注意的是，歷屆國際低溫物理會議的邀請報告數目都極為稀少，通常在所有摘要數目的百分之 15 至 20 之間。另外，本實驗室博士班學生賴祐仁先生也與會張貼海報一張，題目是：Two-Impurity Kondo Effect in Al/AlO_x/Y Tunnel Junctions。

參加以上國際低溫物理會議之外，本人亦於會後 8 月 18 至 21 日期間，順道訪問位於北京中關村之「中國科學院」「物理所」。在物理所的主要行程包括參觀其極低溫和極端條件物理實驗室，以及超導實驗室，並多次與

其研究人員、學生和博士後研究等討論進行中的物理課題，交流實驗數據等。又於8月19日下午訪問北京大學「量子材料科學中心（International Center for Quantum Materials）」，與其理學院院長謝心澄教授，和副校長王恩哥教授，交換提升學術研究的意見。另外，8月18日中午與「中國物理學會」出版刊物，《物理》雜誌的編輯委員前北京大學閻守勝教授（已退休），以及現任編輯王進萍小姐進餐，交流撰寫科學人文文章的意見。

搭乘8月22日中午12:25之中華航空班機返台，於下午5時許返抵新竹。

Time-dependent universal conductance fluctuations in metal oxide nanowires due to mobile defects

Juhn-Jong Lin^a, A. S. Lien^a, P. Y. Yang^a, L. Y. Wang^b, and C. S. Chu^b

^aInstitute of Physics, National Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan

^bDepartment of Electrophysics, National Chiao Tung University, Hsinchu 30010, Taiwan

Time-dependent universal conductance fluctuations (UCF) are observed in single RuO₂ nanowires (~ 50 – 100 nm in diameter and a few micrometers long) at cryogenic temperatures.¹ The fluctuations persist up to unprecedentedly high temperatures of ~ 10 K. Their root-mean-square fluctuation amplitudes increase with decreasing temperature, reaching a fraction of e^2/h at temperatures below ~ 2 K. These fluctuations are shown to originate from scattering of conduction electrons with rich amounts of mobile defects in artificially synthesized metal oxide nanowires. Furthermore, time-dependent UCF characteristics in both one-dimensional saturated and unsaturated regimes are identified, in quantitative consistency with existing theoretical predictions.² In another case of single IrO₂ nanowires where the mobile defects are less vigorous, time-independent UCF as a function of varying magnetic fields are clearly observed. The variation in the fluctuation amplitude with temperature can be understood in terms of current theoretical concepts, but a quantitative explanation is still lacking.

¹A. S. Lien, L. Y. Wang, C. S. Chu, and J. J. Lin, to be published.

²S. Feng, in *Mesoscopic Phenomena in Solids*, edited by B. L. Altshuler, P. A. Lee, and R. A. Webb (North-Holland, Amsterdam, 1991).

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/02/25

| | |
|-----------|---|
| 國科會補助計畫 | 計畫名稱: 一維奈米電子學及自旋電子學之物理與元件(3/3) |
| | 計畫主持人: 林志忠 |
| | 計畫編號: 99-2120-M-009-001- 學門領域: 奈米電子光電技術 |
| 無研發成果推廣資料 | |

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

| 計畫主持人：林志忠 | | 計畫編號：99-2120-M-009-001- | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|------------|------|-------------------------------------|-----|
| 計畫名稱：一維奈米電子學及自旋電子學之物理與元件(3/3) | | | | | | | |
| 成果項目 | | 量化 | | | 單位 | 備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等） | |
| | | 實際已達成數（被接受或已發表） | 預期總達成數(含實際已達成數) | 本計畫實際貢獻百分比 | | | |
| 國內 | 論文著作 | 期刊論文 | 0 | 0 | 100% | 篇 | |
| | | 研究報告/技術報告 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 研討會論文 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 專書 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 專利 | 申請中件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 已獲得件數 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 技術移轉 | 件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 權利金 | 0 | 0 | 100% | 千元 | |
| | 參與計畫人力 (本國籍) | 碩士生 | 6 | 0 | 100% | 人次 | |
| | | 博士生 | 3 | 0 | 100% | | |
| | | 博士後研究員 | 1 | 0 | 100% | | |
| | | 專任助理 | 0 | 0 | 100% | | |
| 國外 | 論文著作 | 期刊論文 | 11 | 0 | 100% | 篇 | |
| | | 研究報告/技術報告 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 研討會論文 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 專書 | 0 | 0 | 100% | | 章/本 |
| | 專利 | 申請中件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 已獲得件數 | 0 | 0 | 100% | | |
| | 技術移轉 | 件數 | 0 | 0 | 100% | 件 | |
| | | 權利金 | 0 | 0 | 100% | 千元 | |
| | 參與計畫人力 (外國籍) | 碩士生 | 0 | 0 | 100% | 人次 | |
| | | 博士生 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 博士後研究員 | 0 | 0 | 100% | | |
| | | 專任助理 | 0 | 0 | 100% | | |

| | |
|--|---|
| <p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p> | <p>本計畫有多元之國際合作，包括：(1) 與日本理化學研究所 (RIKEN) Kimitoshi Kono 博士低溫物理研究室，(2) 香港科技大學物理系沈平教授理論組，和 (3) 天津大學物理系李志青教授，等等之合作。</p> |
|--|---|

| | 成果項目 | 量化 | 名稱或內容性質簡述 |
|---|-----------------|----|-----------|
| 科 教 處 計 畫 加 填 項 目 | 測驗工具(含質性與量性) | 0 | |
| | 課程/模組 | 0 | |
| | 電腦及網路系統或工具 | 0 | |
| | 教材 | 0 | |
| | 舉辦之活動/競賽 | 0 | |
| | 研討會/工作坊 | 0 | |
| | 電子報、網站 | 0 | |
| | 計畫成果推廣之參與(閱聽)人數 | 0 | |

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本計畫對於單根半導體與金屬奈米線的全面性的量測和深入分析，在國際上佔有最前沿與領先的地位。在單根氧化鋅奈米線四點量測方面，我們的結果是數十年來對於這一個熱門而且重要的半導體材料之導電行為的最深入和最成功的解釋。我們藉由測量不同方式成長的氧化鋅奈米線所提出的導電機制與物理圖像，勢必成為氧化鋅研究的經典論文。本項工作已經被英國劍橋大學的 Microelectronic Research Center 和 Hitachi Cambridge Laboratory 的研究人員引用 (Xu et al., Phys. Rev. B 82, 195309 (2010))，做為他們合作探討氧化鋅奈米線電晶體特性的出發點。

本計畫對於單根錫摻雜氧化銦 (ITO) 奈米線的量子干涉傳輸量測，發現了非常長的電子相位相干長度 (~500 nm at 1 K)，是已知的各種奈米線材料中電子相位相干長度最長者之一，因此奈米線表現出了非常強的一維特性。再者，藉由增加奈米線中的無序程度，可以使得自旋-軌道耦合增強，從而造成 weak anti-localization 效應。隨時變的普適電導漲落是文獻中的極少數發現之一。