國立交通大學
National Chiao Tung University

出國報告（出國類別：研究）

2015 UCLA 出國短期研究報告

服務機關：交大材料所
姓名職稱：朱勇青　博士後研究員

派赴國家：美國, 洛杉磯, UCLA
出國期間：**2015/06/24~06/26**
報告日期：**2015/07/31**

摘要

本次出國短期研究之目的為提升二維材料(2D materials)之元件製作能力，前往美國加州大學洛杉磯分校(UCLA) 電機系 Prof. Jason Woo 所主持的 CMOS Research Laboratory，進行研究與訪問。交大材料系張翼老師研究團隊正在開發單層或數層半導體性質的二維材料 (例如: WS_2、MoS_2、WSe_2、$MoSe_2$)，這些過渡金屬二硫屬化合物(Transition Metal Dichalcogenides, TMDs)將成為下一個世代最有希望當作場效電晶體通道的材料，因為其具有大能隙、表面沒有懸鍵(dangling bonds)、結構穩定、高載子遷移率…等優點。很榮幸這次能夠有機會到 Prof. Woo 這位世界級 CMOS 元件大師的實驗室，並與他的研究團隊合作開發二維材料的電晶體，藉由這次的短期研究提升我們對於元件製作的能力。

目次

一、目的.....1

二、過程.....1

三、心得及建議.....6

四、附錄.....7

本文

一、目的

為了提升我們交大製作二維材料(2D materials)過渡金屬二硫屬化合物(Transition Metal Dichalcogenides, TMDs)的元件製備能力。由交大材料系張翼老師的二維材料研究團隊，開發大面積的二維材料(如 MoS_2 和 WSe_2)，與加州大學洛杉磯分校(UCLA)電機系的 Prof. Jason Woo 所主持的 CMOS Research Laboratory 研究團隊共同合作研究開發大面積二維材料之電晶體元件。

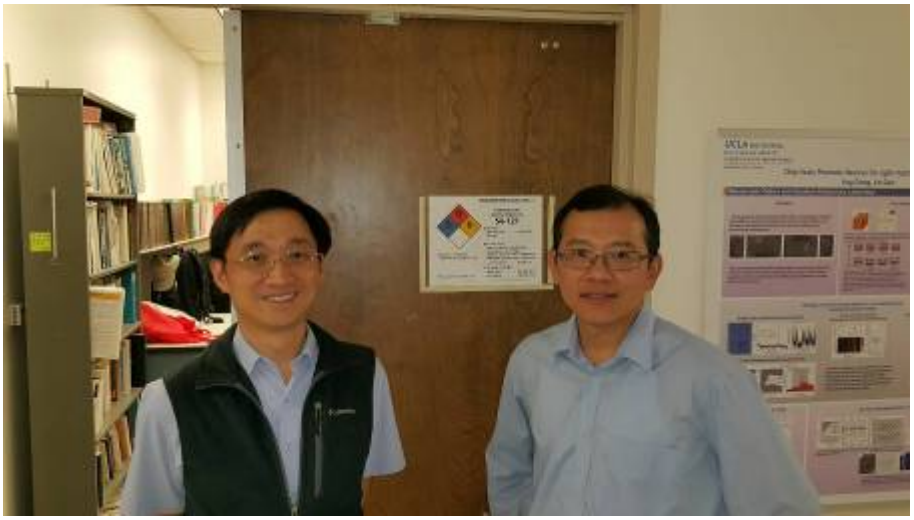
二、過程

此次美國 UCLA 之學研訪問日期為 2015 年 6 月 24 日至 26 日，共為期 3 天，行程規劃如下:

日期	行程
6/24	從臺灣搭機啟程前往美國洛杉磯，前往加州大學洛杉磯分校(UCLA)電機系 Prof. Jason Woo 的實驗室開會討論合作研究。
6/25	至 UCLA 電機系 Prof. Jason Woo 的實驗室與其研究團隊共同研究二維材料與元件之製備
6/26	參觀 UCLA 的 Nanolab 無塵室

6/24

從臺灣搭機啟程前往美國洛杉磯，當天抵達加州大學洛杉磯分校 (UCLA)電機系 Prof. Jason Woo 的實驗室，如圖一所示。認識其研究團隊成員，開會討論二維材料與元件製備的議題，如圖二所示。



圖一 於 Prof. Jason Woo 的實驗室留影

圖二 與 Prof. Jason Woo 的研究團隊成員合影

6/25

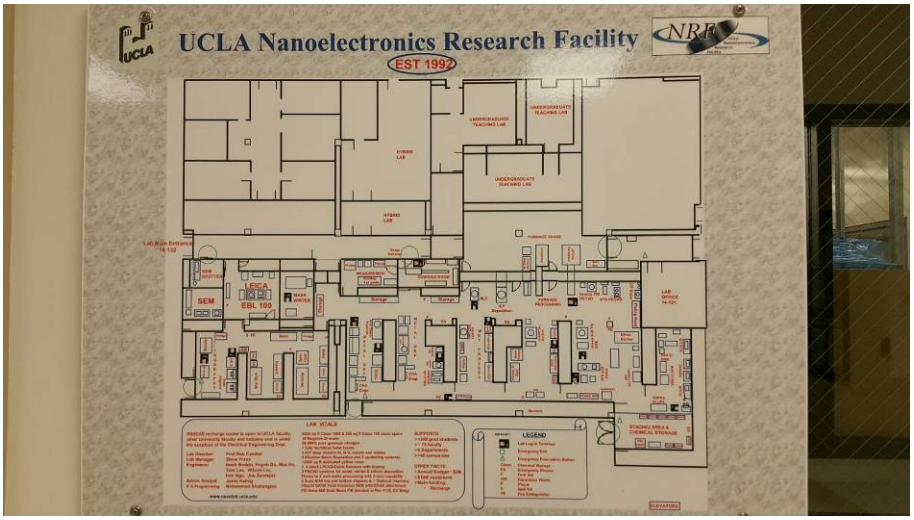
正式進入研究議題，首先是目前製作二維材料電晶體所遭遇的困難，自從 2004 年英國曼徹斯特大學的 Prof. A.K. Geim 教授團隊以機械剝離法製作出石墨烯(Graphene)成為開啟二維材料最重要的關鍵時間點，雖然石墨烯擁有很多優異的特性，但卻是沒有能隙(band gap)的半金屬，以致於無法應用場效電晶體。直到 2011 年瑞士洛桑聯邦理工學院的 Prof. A. Kis 以機械剝離法製作出單層二硫化鉬(MoS_2)電晶體，從此具有半導體特性的過渡金屬二硫屬化合物(Transition Metal Dichalcogenides, TMDs)的二維材料成為科學界與半導體工業的顯學，這種材料的化學式為 MX_2，其中的 M 為過渡金屬如: 鉬(Mo)或鎢(W)，X 為硫屬元素如: 硫(S)、硒(Se)或碲(Te)。這些層狀具有半導體性質的二維材料不但具有能隙，而且其能隙可以由多層時的間接能隙調變成單層的直接能隙。交大材料系張翼老師的

二維材料研究團隊開發以脈衝雷射蒸鍍系統(Pulsed Laser Deposition, PLD)製備大面積、高品質的二維材料如: MoS_2…等。但是對於製作二維材料電晶體，仍然存在一個重要議題，即金屬電極與二維材料的接觸電阻(contact resistance)過大，以致於無法獲得二維材料電晶體的特性。本次透過雙方合作研究，借重 UCLA 電機系世界級元件製作大師 Prof. Jason Woo 所領導的 CMOS Research Laboratory 研究團隊加入，藉由 Prof. Woo 在電晶體元件製作的多年研究經驗與其堅強的研發團隊，能夠加速我們的研發能量。Prof. Woo 研究團隊的 Ming Zhang 博士生的研究題目為石墨烯(Graphene based devices)，他提出數個數個創新的石墨烯元件架構，有別於傳統以機械剝離法製和磊晶成長法製備元件，雖然可以得到高品質的石墨烯，但是無法得到大面積的石墨烯，所以他改採以圖型化的銅或鎳表面成長大面積的石墨烯當作電晶體的通道材料，在石墨烯上面鍍 Gate oxide 與 Gate metal，將 sample upside down，以晶片背面 CMP 製程研磨至成長石墨烯的銅或鎳露出，在將銅或鎳以蝕刻方式去除露出石墨烯，最後在石墨烯的左右鍍 source 和 drain 金屬電極，量測石墨烯電晶體電性，此製程技術提供了一種可能解決我們開發的二維材料電晶體目前所遭遇接觸電阻(contact resistance)過大的方法。

6/26

參觀 UCLA 的 Nanolab 半導體製程實驗室，如圖三所示。其無塵室設施與管理方式類似交大的 NFC 與國家實驗研究院的 NDL，如圖四所示。

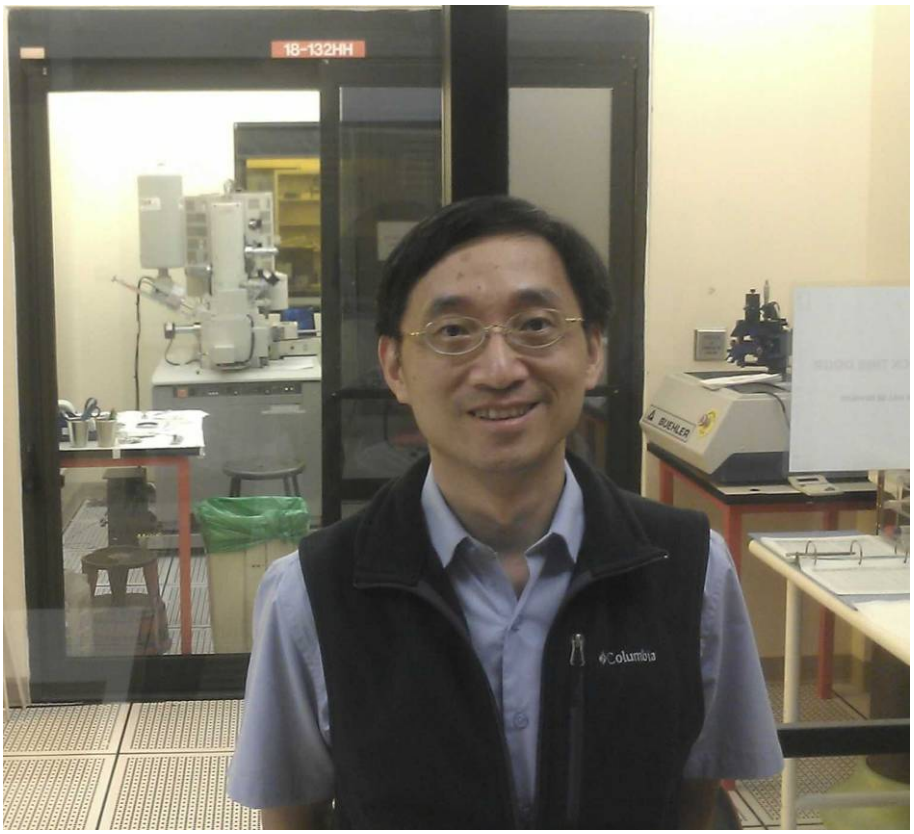
圖三 於 Nanolab 前留影



圖四 Nanolab 無塵室設施配置圖

Nanolab 實驗室擁有最先進的原子層沉積(atomic layer deposition, ALD)系統，如圖五所示。材料分析實驗室擁有 TEM、SEM、FIB、AFM…等材料分析儀器，如圖六所示。

圖五 原子層沉積(atomic layer deposition, ALD)系統



圖六 於材料分析實驗室前留影

三、心得及建議

藉由這次交大頂尖的二維材料研發團隊與 UCLA 世界級的電晶體元件製作團隊的研發合作，充分發揮雙方的專長，以及專業領域互補性，未來將會有更多合作的可能性。面對全球化的挑戰，對於研發最先進的科學與工程美國始終都位居全球領先的地位，本次到 UCLA 進行短期的研究，有深刻的體驗美國大學的研究環境不斷地吸引全球最頂尖的研究學者與最優秀的學生從事研發工作，使其擁有無限的研發能量。所以，大學要進步，開放是第一步，增加交大的研究人員與國際頂尖大學合作，提升我們的研發能量。

四、附錄

朱勇青博士邀請函

UCLA Engineering

HENRY SAMUELI SCHOOL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE

Electrical Engineering Department

University of California, Los Angeles
66-147J Engineering IV Bldg
420 Westwood Plaza
Los Angeles CA 90095-1594
Tel: (310) 206-3279
Fax: (310) 206-8495

May 19, 2015

Yung-Ching Chu, Ph.D.
Microelectronics and Information Systems Research Center
National Chiao Tung University
Hsinchu 30010
Taiwan

RE: Invitation to UCLA Electrical Engineering

Dear Dr. Chu,

As the director of the CMOS Research Lab in the Department of Electrical Engineering, I am pleased to invite you to University of California, Los Angeles (UCLA) from June 24th to June 26, 2015. Your visit to UCLA Electrical Engineering will allow us to discuss collaborative research on 2D materials and VLSI devices. I would also like to show you our facilites and introduce our research team to you at that time. I look forward to hosting you at UCLA in Los Angeles.

Sincerely,

Jason Woo, Ph.D.
Professor
Electrical Engineering Department
University of California, Los Angeles