

國立交通大學  
*National Chiao Tung University*

出國報告（出國類別：出國短期研究）

赴美國洛杉磯加州大學  
(University of California Los Angeles)  
實驗研究

服務機關：交大材料所  
姓名職稱：游宏偉博士後研究員、  
姚景能博士生、張博鈞博士生  
派赴國家：美國 加州洛杉磯  
出國期間：2013/11/30~12/09  
報告日期：2013/12/18

## 摘要

美國洛杉磯加州大學(University of California Los Angeles) 在理工領域為世界頂尖大學，其電機領域在高速電子元件線路及電路方面更是執此道之牛耳。本實驗室派遣三位成員，包含一位博士後研究員、兩名博士班學生，到世界著名美國洛杉磯加州大學電機系系主任張懋中教授所主持的實驗室，進行技術交流。

期望此次實驗研究獲得的許多技術交流經驗和未來的合作規劃，可以提升交大及本實驗室未來在高速電子領域的競爭力，使研究成果達到世界級的水準。

## 目次

一、目的.....	4
二、過程.....	5
12/01 (日).....	5
12/02 (一).....	7
12/03(二).....	9
12/04 (三).....	10
12/05 (四).....	13
12/06 (五).....	16
12/07 (六).....	18
12/08 (日).....	21
三、心得及建議.....	22

# 本文

## 一、目的

美國洛杉磯加州大學(University of California Los Angeles)的電機領域在世界上的排名上非常靠前，其中有許多的 IEEE FELLOW 在其系上任職，產出許多令人驚豔的研究成果。

此次的實驗研究行程，主要是拜會 UCLA 電機系系主任張懋中教授與其主持的實驗室。張懋中教授與張翼教授時常到兩校拜訪並予以演講，在矽晶片電路似乎走到一個瓶頸的今日，張懋中教授所擅長的高速電子領域與張翼教授擅長的 III-V 族材料元件領域如果能完美的結合的話，可望在電子領域開創出一道新的里程碑，在基於這個想法之下處成了此次的實驗研究合作計畫。

本實驗室由游宏偉博士後研究員、姚景能博士生與張柏鈞博士生向張教授的研究室交流 III-V 族材料磊晶與製程技術的部分，而張教授研究室則派遣一位中國籍博士後研究員與得到美商博通基金第一名的博士生分享其研究主題與成果。

## 二、過程

本次實驗研究係由交大材料所博士後研究員游宏偉與交大電子所博士生姚景能、張柏鈞一同前往，整個行程如下：

### 12/01 (日)

國立交通大學博士後研究員游宏偉、博士班學生張柏鈞、姚景能很榮幸獲得這次可以前往美國加州大學洛杉磯分校(UCLA)電機系教授張懋中(Frank Chang)博士實驗室的機會，為了此次實驗研究，我們於美國時間 11 月 30 日中午時間抵達洛杉磯國際機場，並懷著緊張、興奮心情等待 12 月 1 號的到來。12 月 1 號早上八點多便準備出發前往美國加州大學洛杉磯分校，因人生地不熟所以開了快三小時的車才到加州大學洛杉磯分校校門口。到了美國加州大學洛杉磯分校後便看到學校圖書館(如圖 1 所示)，過了圖書館我們便尋找工程四館(電機系)所在，電機系辦公室位於工程四館五樓(如圖 2 所示)，張老師實驗室位於六樓。第一天主要行程乃對加州大學洛杉磯分校電機系周邊環境做一定了解，張老師學生熱心帶我參觀實驗室，於過程中發現實驗室之每位研究員皆認真做實驗與學習，圖 3 為張懋中老師實驗室之一角，右手邊門打開為量測元件的地方，因有人在裡面做實驗，所以不便打開拍照，據張老師實驗室博士後研究員說，在電機系做實驗時大多數實驗設備是共用的，當你需要做一些實驗室時，必須登記租借，有時要排很久才可以使用到，這讓我想起在臺灣國立交通大學張翼老師實驗室做實驗是多麼方便與幸福。張懋中老師辦公室外面討論空間亦相當寬敞舒適(如圖 4 所示)，此空間為公用空間，時常看到加州大學洛杉磯分校電機系其他教授與學生在那邊一起討論實驗。我們今天在加州大學洛杉磯分校待到晚上七點左右，期間看到很多學生在課餘時間或下課前後於涼亭、草地、實驗室的角落、及任何可以討論課業或研究的地方聚在一起討論研究，使其空間充滿研究氣息，也培養出很多優秀

的學生。在加州大學洛杉磯分校電機系學生告訴我們，張懋中教授對研究有相當程度的熱誠，時常與學生一起討論，相對對學生要求亦相當嚴格，對研究結果所發得國際期刊亦有一定程度上的要求，使學生在某種程度上感到一定程度上的壓力，不過學生亦從中學到很多關於實驗上經驗與知識。他們博士後研究員告訴我們，通過這樣的“考驗”，會使他們畢業前就會受到許多著名公司注目，進而邀請進他們公司服務，進而將所學專長發揚光大。今天第一天到加州大學洛杉磯分校電機系參觀並了解周邊環境的同時，我們也發覺到不管是實驗、研究、讀書或者是後來的就業，“興趣”扮演極大的因素，看到加州大學洛杉磯分校電機系的學生或者是研究生，無論在如何艱辛與龐大壓力的環境下，都能克服眼前困難，開創新局。此乃目前國內研究生或學生所欠缺的東西。我們之後幾天將會更佳深入觀察與學習他們研究的精神與研究方式，以精進我們在研究或學習上之不足。



圖 1 美國加州大學洛杉磯分校圖書館



圖 2 電機系所在(工程四館五樓)



圖 3 張懋中老師實驗室



圖 4 張老師辦公室外之討論空間

12/02 (一)

Prof. Mau Chung Chang 目前擔任 UCLA 電機系系主任，在多個領域中都有非常傑出的研究成果，因此今天非常榮幸能夠現場參觀其實驗室，以進一步了解頂尖一流大學其研究的設備與方法。由於 Prof. Mau Chung Chang 今天有重要會議，無法親自帶領我們進行實驗研究，因此派其中國籍博士後研究學者帶領我們進入其實驗室(高速電子實驗室 High Speed Electronics Laboratory)，且其實驗室成員 Yanghyo (Rod) Kim 在一旁參與解說，Prof. Mau Chung Chang 的實驗室設備非常齊全，因此在研究上可說是得心應手。



圖 5 加州大學洛杉磯分校的實驗室一景



圖 6 加州大學洛杉磯分校實驗室的化學槽設備



圖 7 加州大學洛杉磯分校討論室



圖 8 加州大學洛杉磯分校討論室內部

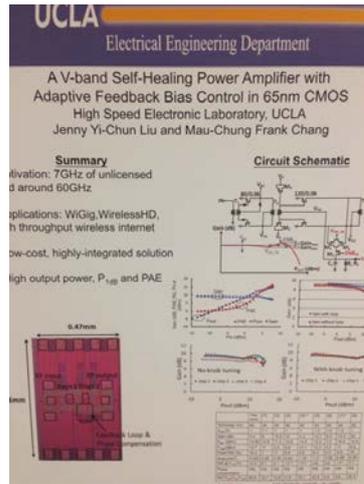


圖 9 張懋中教授的研究成果發表

實驗室牆上掛有許多 Prof. Mau Chung Chang 的研究成果及發表。(如圖 9 所示)。在大致參觀完其實驗室後，由 Yanghyo (Rod) Kim 博士生為我們示範今年度該實驗室贏得美商博通國際研發服務有限公司基金第一名的利器：以一種創新的方式來進行資料傳輸，這個方法最大的優點是不需藉由導體的線路，只需藉由塑膠製的波導管即可；這意味著，原先使用導線的成本可能需要 15 塊美金，若採用這個方法僅僅只需要 15 美分！對於整個生產成本的降低不言而喻！

此時約到了晚餐時間，對方邀請我們一行人於 UCLA 學生餐廳共進晚餐。隨後我們便返回飯店休息。

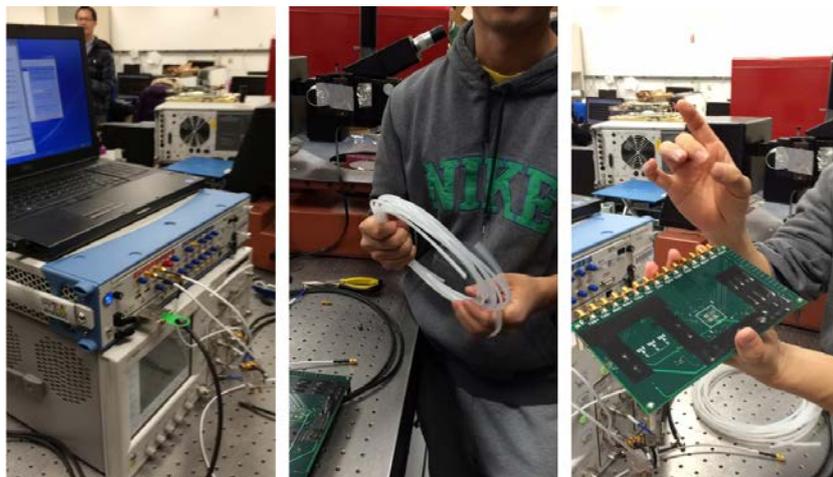


圖 10 張懋中教授的研究生於其實驗室展現實驗成果

12/03(二)

在昨天參觀了 Prof. Mau Chung Chang 的實驗室後，本日的行程著重在 UCLA 無塵室相關機臺設備。首先，參觀基本的黃光室設備，UCLA 的無塵室在美國的大學中可算的上是不錯，在引導員的帶領下逐一介紹了電子束微影系統、接觸式光罩紫外光曝光機等重要的微影設備，並逐一說明其在整個 UCLA 的研究中所扮演的角色。



圖 11 加州大學洛杉磯分校的電子束微影設備

首先是電子束微影系統(EBPG 500+ES)，這臺系統最主要的特色有：20、50 與 100keV 的熱場激發槍、30nm 拼接與重複精準度、可以常態性的製造出小於 10nm 等級的線寬結構、晶片放置架可以放置 50mm 100mm 150mm 的晶片以及更小的片狀部分，而此系統標準的操作電子束電流約在 130pA-100nA。引導員也展示了此電子束微影系統的能力：非常精細的線寬結構測試，證明了次 10nm 等級的解析度。



4吋晶片放置架

5吋晶片放置架

2吋與片狀晶片放置架

圖 12 加州大學洛杉磯分校實驗室內的晶片載盤

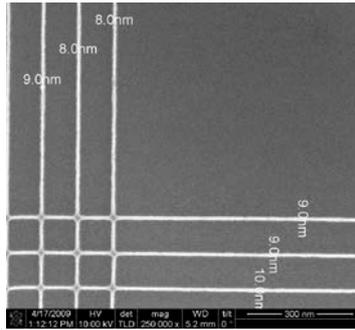


圖 13 加州大學洛杉磯分校微影設備曝光顯影後的圖案

接著是接觸式光罩紫外光曝光機，此設備配有深紫外光光源與近紫外光光源和兩通道光強度控制系統配合電源供應器具備恆定的光牆與恆定的功率功能可以依據使用者的實際需要而進行搭配。

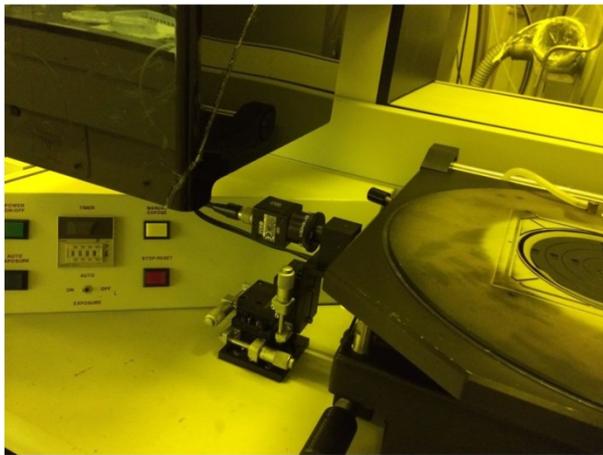


圖 14 加州大學洛杉磯分校之光學微影設備

對於使用深紫外光波長曝光其曝光精密度可得小於 0.3 微米的線寬，而使用近紫外光曝光的話其曝光精準度可達小於 0.5 微米的線寬。

12/04 (三)

今天開會目的是向加州大學洛杉磯分校電機系的張懋中老師與他的學生介紹交通大學複合物三五族半導體實驗室(Compound Semiconductor Devices Lab, CSD Lab)的研究成果與相關技術。首先，介紹交通大學張翼老師實驗室(複合物

三五族半導體實驗室)之儀器設備。由圖 5 所示，本實驗室擁有電子束蒸鍍設備 (E-gun Evaporator)，藉由其可以蒸鍍金屬材料至元件上做歐姆接觸(Ohmic contact) 使用；電漿輔助化學沉積系統(PECVD)，藉由此設備可以成長氮化矽當作元件之鈍化層(passivation layer)；快速熱退火(RTA)，藉由此設備可以快速對金屬進行熱退火使之形成歐姆接觸；電漿式光阻蝕刻機(Asher)、旋轉塗步機(Spin coater)、電鍍系統(Plating System)。除此之外，我們也向加州大學洛杉磯分校電機系展示我們的磊晶成長設備，如圖 6 所示，左邊為 Thomas Swan 七片式金屬有機化學氣相沉積系統(metal organic chemical vapor deposition, MOCVD)，此設備所使用三族先驅物(precursors)為三甲基鎵(TMGa)、三甲基鋁(TMAI)、三甲基銻等原料；五族先驅物(precursors)為氨氣(NH<sub>3</sub>)；針對元件所需不同也可加入 CP<sub>2</sub>Mg、SiH<sub>4</sub> 當作參雜。圖 6 右邊為 EMCORE D-180 金屬有機化學氣相沉積系統(MOCVD)，此設備所使用三族先驅物(precursors)為三甲基鎵(TMGa)、三甲基鋁(TMAI)、三甲基銻等；五族元素先驅物(precursors)為砷化氫(AsH<sub>3</sub>)與磷化氫(PH<sub>3</sub>)。此機臺主要目的為成長砷化鎵(GaAs-based)磊晶材料於鍺/矽基板上(Ge/Si substrate)。本實驗室尚有許多儀器設備如感應耦合電漿離子蝕刻系統(Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching)、E-beam....等設備在此便不贅述。我們也針對交通大學複合物半導體實驗室最近與三五族材料相關技術做簡單介紹，磊晶技術方面包括氮化銦鋁/氮化鎵高速元件於藍寶石基板(InAlN/GaN HEMT on Sapphire)、氮化鋁鎵/氮化鎵高速元件於矽基板(AlGaN/GaN HEMT on Si)、氮化鋁鎵/氮化鎵高速元件於碳化矽基板(AlGaN/GaN HEMT on SiC)、高品質氮化銦鎵磊晶層於矽基板(High quality InGaN/Si)等議題做介紹。加州大學洛杉磯分校電機系的張懋中老師對三五族材料運用在高頻模組與無線通訊方面有興趣，因此我們亦對 GaN high frequency HEMT 方面研究成果做一個介紹，包含 GaN on SiC 之磊晶結構與高頻量測結果，磊晶結構為 AlGaN/GaN/AlN/SiC substrate，在磊晶結構條件與品質極佳狀況下，可達到 8GHz、power 可達 27dbm、Gain 可達到 15dbm。當然這取決

元件製作過程中 Gain length、源極與汲極間距離....等條件，因為未來通訊將邁向 5G 模式，意味元件所能提供頻寬(頻率)將扮演極重要角色，要在足夠頻寬下才可進行長距離資料傳輸，並可確保傳輸速度不會因時間或地域不同而降低。本身三五族材料本身之能隙因材料的不同而有很多選擇，因此極為適合運用在高頻運用上，我們實驗室將與加州大學洛杉磯分校電機系的張懋中老師實驗室進一步討論於 5G 通訊應用上合作之可能性。我們也針對最近砷化銻(InAs)磊晶層成長於鍺/矽基板上做一個簡單介紹，砷化銻磊晶層本身具有極低能隙 $\sim 0.34\text{eV}$ ；極高速電子遷移率(electron mobility $\sim 40000\text{cm}^2/\text{Vs}$  in theory)，因此極具適合用於高速元件(HEMT)與穿透式場效電晶體(tunneling field effect transistor)...等元件，但砷化銻此材料與傳統鍺或矽基板晶格差異極大，因此極難直接成長於鍺/矽基板上，我們也介紹我們運用某些成長技術可直接成長高晶格不匹配的材料成長於鍺或矽基板上以增加三五族材料於市場上應用性。此外我們也向加州大學洛杉磯分校電機系的張懋中老師實驗室介紹磊晶完成後所製作出砷化銻鎵量子井場效電晶體(InGaAs QWFET) 與砷化銻量子井場效電晶體(InAs QWFET)之電子遷移率分別到達  $11000\text{ cm}^2/\text{Vs}$  與  $20000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 。

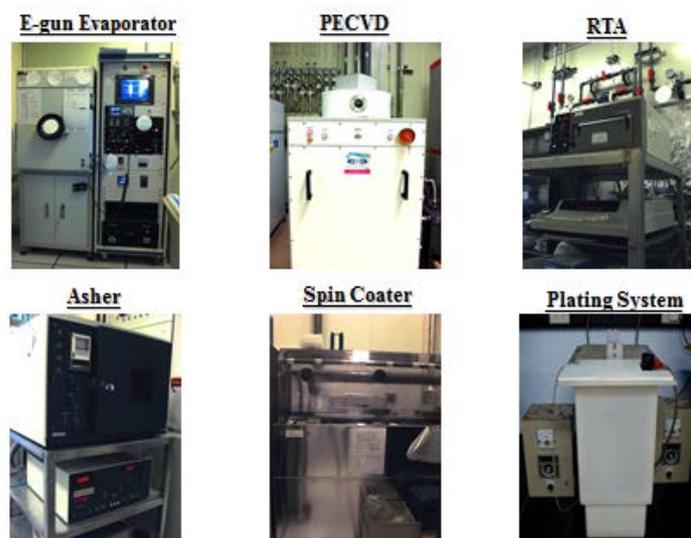


圖 15 交通大學複合物半導體實驗室研究設備

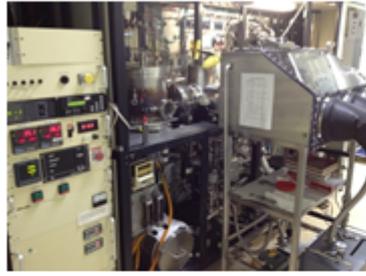


圖 16 交通大學複合物半導體實驗室磊晶設備

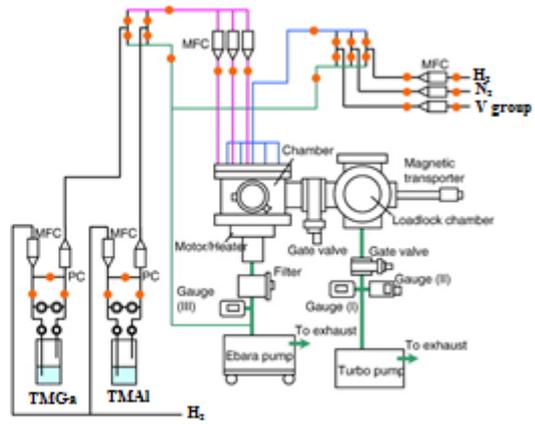
12/05 (四)

昨天開會(12/4, 2013)介紹交通大學複合物三五族半導體實驗室 (Compound Semiconductor Devices Lab, CSD Lab)的研究成果與相關技術。今天則是深入探討某些議題，如磊晶成長技術，因為 5G 技術發展與效能差異乃建立在材料元件成長條件與品質。首先我先向加州大學洛杉磯分校電機系的張懋中老師與他的學生介紹有機化學氣相沉積系統(metal organic chemical vapor deposition, MOCVD)，於報告過程中(如圖 7 所示)介紹有機化學氣相沉積系統結構主要包含腔體、交換室、手套室、中控系統、先驅物等等，並講解我們在磊晶過程中需要注意的事情，如一些材料磊晶成長溫度與試片再成長、清洗步驟等等。加州大學洛杉磯分校電機系於工程四館內一樓亦有磊晶設備(如圖 8 所示)，其為分子束磊晶系統(molecular beam epitaxy, MBE)。因有機化學氣相沉積系統乃利用 RF 加熱系統使先驅物分子分解產生原子進而沉積於基板上；分子束磊晶系統則利用電漿(Plasma)分解先驅物分子，相較之下分子束磊晶系統所需磊晶成長溫度較低，磊晶速度較慢，且需要較高真空度以做磊晶成長使用。相較於有機化學氣相沉積系

統以正常情況而言磊晶溫度較高，磊晶速度快，且不需要高真空系統即可成長所需磊晶層於基板上。先前有介紹過，本實驗室可藉由某種磊晶技術將磊晶溫度降低並保有高品質磊晶品質。討論過程中，加州大學洛杉磯分校電機系學生亦邀請我們進去無塵室裡面討論他們的成長機制與機臺設計，更改機臺設計可能造成磊晶品質的提升或下降，圖 9 為分子束磊晶系統腔體腔體內入射 beam 的位置模擬圖，當 beam 的位置不同時，會造成先驅物分子所解離的原子沉積速率的不同，進而造成磊晶層均勻度不佳。剛開始更改設計後，在基板上所成長磊晶層皆為非結晶的樣品(amorphous shape)，經由無數討論與更改設計後，終於漸入佳境(如圖 10 所示)。當磊晶層厚度由 465nm 至 520nm 時，其磊晶層已由非結晶的樣品變成有結晶結構之樣品(crystal structure)，不過其均勻度還是不佳。期間我們也討論過無數的可能，最後認定是 beam 的位置應該已經最佳化，但由於功率的不足(原本是 200W)，進而導致部分先驅物分子解離不完全，使表面粗糙度太高。在經由無數實驗與嘗試後，終於得到較為平坦的表面(如圖 11)。此行至加州大學洛杉磯分校電機系張懋中老師所得到最大啟發為他們的學生總是勇於嘗試，為了達到某研究目標，就更改腔體設計，此現象在國內研究機構是很少見的，因為改腔體是件大工程，有可能就長不出所要的東西。只有在對研究有“興趣”的驅使下有足夠動機與勇氣才可達到。我們在造訪過程中，張懋中老師的大陸籍博士後研究員說，在美國做研究總是需要有強烈動機與勇氣，才可以幫自己度過那一次又一次失敗與折磨，最終邁向成功。此次經驗是在國內很少看見的，因為國內做實驗與創新偏向於保守，舉例來說除非機臺壞掉或達到一定損害程度，才會去設計新腔體或打開腔體做維修。也不會為了一個目標或想法就打開腔體或改變腔體設計，而加州大學洛杉磯分校電機系學生為了達到某個研究目的，並經過審慎評估便去改變腔體設計，在我們看來無疑是種大膽的舉動，但也刺激我們固有的思維模式。



- Sources
- (A) Trimethylgallium (TMGa)
  - (B) Trimethylaluminum (TMAI)
  - (C) Trimethylindium (TMIn)
  - (D) Arsine ( $AsH_3$ )
  - (E) Phosphine ( $PH_3$ )
  - (F) Carbon-tetrabromide ( $CBr_4$ )
  - (G) Dimethyl-telluride ( $DeTe$ )
  - (H) Silane ( $SiH_4$ )



CSD Lab

圖 17 有機化學氣相沉積系統(metal organic chemical vapor deposition, MOCVD)示意圖



圖 18 加州大學洛杉磯分校電機系實驗室磊晶設備

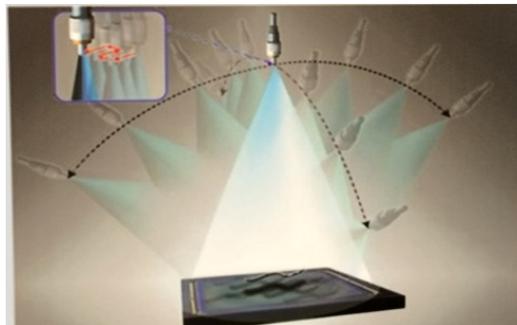


圖 19 機臺腔體內入射 beam 的位置模擬圖

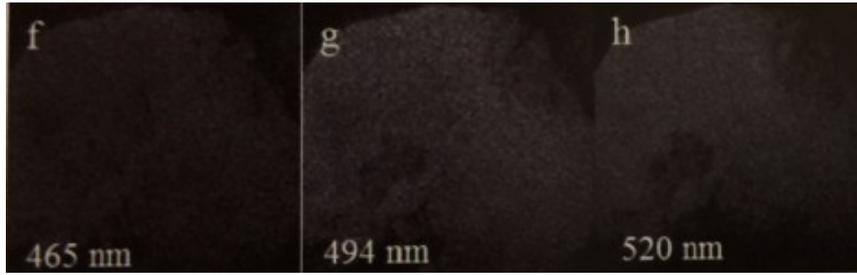


圖 20 更改機臺設計後之研究成果

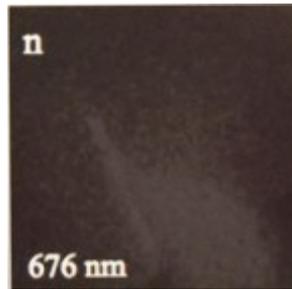


圖 21 經由實驗參數修改後所得到

12/06 (五)

今日我們與 Prof. Mau Chung Chang 會面，教授為我們介紹目前其實驗室最新的研究方向與主題。並簡短講述這些研究目前遇到的主要問題及未來可能之應用。

Prof. Mau Chung Chang 的研究室主題目前可約略分為三個大項目，分別是：前瞻性內部相互連接與輸入/輸出(Advanced Interconnects and I/O)、互補式金屬氧化物半導體微波積體電路(CMOS MMICs)與高速類比數位/數位類比訊號轉換器(High Speed ADCs/DACs)。

首先是前瞻性內部相互連接與輸入/輸出(Advanced Interconnects and I/O)，博士後研究員告知我們他們在在在這個課題上有幾個部標想要達成。

基於對同時間多重的輸入/輸出(2x2)，內部晶片溝通的速率在資料傳輸速率為 2.7Gbps 的情況下，實現世界第一的分碼多工擷取的相互連接(CDMA-interconnect)。

針對 Gbps 超低功率板件等級(board-level)的通訊發展世界第一的電容偶合式

脈衝訊號總線接口(capacitor-coupled pulsed signaling bus interface)。

對三維積體電路(3-Dimensional ICs)展示出自我同步的射頻相互連接(self-synchronized RF-interconnect)。

再來則是互補式金屬氧化物半導體微波積體電路(CMOS MMICs)，目前他們實驗室在這課題上想要達成的目標有：

用 0.18 $\mu$ m 的互補式金氧半導體(CMOS)，實現世界上第一個在頻率 24GHz 下的 K 帶前端接收器(K-band receiver front-end)。

在高電介質係數的光子晶體上，實現出分別在頻率 60 與 70GHz 下的低相位雜訊互補式金屬氧化物半導體壓控振盪器(CMOS VCOs)。

最後則是高速類比數位/數位類比轉換器(High Speed ADCs/DACs)，這一課題他們想達到的目標是：使用銦化磷(InP)的異質界面雙載子電晶體(HBT)實現出一個 2Gs/3-bit 降壓轉換式的數位類比轉換器(Sigma Delta-modulated DAC)。

運用 0.18 $\mu$ m 的互補式金屬氧化物半導體(CMOS)，實現出一個具有 1GHz 瞬間頻寬以及訊雜比/無雜訊動態範圍為 30 與 35.5B 的 2Gs/s 6-bit 的奈奎斯特類比數位轉換器(Nyquist ADC)。

在教授詳細介紹完高速電子實驗室(High Speed Electronics Laboratory)的最新研究方向與進度後，我們也向他們簡報了交大化合物半導體實驗室(Compound Semiconductor Device Laboratory)的研究主題與成果，並且提出目前本實驗室研究上碰到的一些問題加以討論交流。目前本實驗室主要的研究主題有：

1. GaN 磊晶於六寸矽基板上以及在矽基板上成長高品質低缺陷的 InGaN 以利達到更高效能的電晶體。

2. GaN 高頻元件於 SiC 基板

3. GaN 高功率元件-AlGaIn/GaN HEMT(High Electron Mobility Transistor) 成長於六寸 Si 晶圓上。

4. 在 Si (100) 基板上成長高品質的銻，且使用 SiGe 緩衝層與 Si<sup>+</sup>預先離子佈

值來達成。

5. 封裝-Lead-free solders 於 flip-chip 封裝之應用。
6. 太陽能電池方面:
  - a. 三五族太陽能電池於 Ge/Si 基板
  - b. 三五足三接面式太陽能電池
  - c. Current-match 式三五族太陽能電池

由於我們交大化合物半導體實驗室(Compound Semiconductor Device Laboratory)具有非常多製程與分析量測機臺,例如:電漿增強型化學氣相沈積機臺、有機物化學氣相沈積機臺、升溫熱退火機臺、蝕刻槽 I-line 光學微影設備、電子束微影設備、電子槍蒸鍍設備、光阻塗布機、霍爾量測機臺、直流電性量測機臺、電子穿隧顯微鏡、爐管氧化擴散系統、原子層化學氣相沈積系統、真空烤箱、高密度活性離子蝕刻系統、高解析度場發射掃描電子顯微鏡暨能量散佈分析儀等等,設備非常齊全且我們擁有非常不錯的製程技術及經驗,且由於為了使元件達到更好的效能以及提升良率,因此元件不斷的微縮,我們也再製程上碰到許多困難,例如光學微影的極限、氧化層厚度過低以至於漏電流太大 S/D 淺界面導致串聯電阻上升 隨著元件閘極長度的縮小而汲極電壓使得源極與通道間的能障下降的短通道效應非常的嚴重 由於 high-k 材料與主動層的界面品質較差所以存在非常多的界面缺陷狀態(Interface State),這些狀態他們會捕捉通道中運動的載子而使得載子的遷移率下降等等的問題急需我們去解決與克服。

12/07 (六)

今天主要實驗討論的內容是 Advanced interconnect , Prof. Mau Chung Chang 實驗室目前有在進行先進通訊領域的相關研究。Prof. Mau Chung Chang 向我們介紹了最新的 5G(fifth-generation)通訊技術的初步研究,他指出 5G 為現在

4G LTE 技術之後的延伸，當然目前還處於研發階段，並且有很多問題等待克服，且到目前為止也還沒有任何的電信公司或著標準定訂組織公開正式的規格及發表官方文件內容有提及 5G 通訊技術的，不過在早前韓國的三星(Samsung)電子有宣布，他們已經成功開發 5G 的核心技術。而 5G 非常有可能在西元 2020 年正式商業化的使用，目前 5G 通訊技術可以在 28GHz 的頻段達到非常非常快速的資料傳輸，約每一秒可以傳輸 1Gbps 以上的數據資料量，也就是說，若我們使用這項技術，未來我們要使用無線網路來下載一部超高畫質的電影僅僅只需要一秒鐘的時間即可，與現行商轉的 4G LTE 技術相比，足足快上數百倍之多，而且最長的傳送距離可以高達兩公里之遠。而中國的華為也在幾年前就開始展開了這項技術的研究，所以可以見得個個國家都投入非常多的資金與人力積極發展此技術。

不過現在開發此技術所碰到的問題是，以現有的行動通訊網路系統形態是並沒有辦法達成 5G 通訊技術需求的數據傳輸速度，因此如果我們想要達到這麼高速的數據傳輸速度的話，必須改變終端與基地臺之間的數據傳輸方式。且要達到三個主要目標：

1. 擴大無線傳輸的容量

在這方面我們需要以下三種關鍵技術

- (a.) 有效率的抑制小型基地臺訊號之干擾
- (b.) 使用無線後置網路(Wireless Backhaul)
- (c.) 高積體化天線

首先在 a.與 b.方面，在概念上，如果在一個大型基地臺的傳輸範圍之內，使用上百個小型基地臺於此一範圍進行運作，則通道容量將可增加原本傳輸量的數百倍之多，但是最大的問題就是每個小基地臺間訊號相互干擾的問題，且除此之外後置網路需求也增高，但我們知道若使用有線的後置網路，其機動性必是一大缺點，所以我們現在首要目標是研發無線(Wireless)的後置網路，使小型基地臺

可以在任何的區域內隨意的建構。並且我們非常想提升整體的傳輸容量，就得提升天線的使用效率，這必須使得整體線路體積縮小，以達到更有效率的空間使用。

## 2. 使傳輸功率降低

為了更節省能源，降低傳輸的功率可以說是個團隊努力的目標。一般大型的基地臺傳輸的功率約在數十瓦左右，而若我們採用小型基地臺來取代大型基地臺後，傳輸功率僅需約一百微瓦，儘管大型基地臺他傳輸的範圍較遠，可是在傳遞過程中，較遠的傳輸距離導致有較大的能量路徑損失(Path loss)。我們再加入使用者識別技術，啟動每個使用者他所在地臨近的小型基地臺，在這些基地臺間相互傳輸資訊，因此，總得來講，使用基地臺小型化可省下非常可觀的電力消耗，可望達成 5G 通訊技術低功率化的目標。

## 3. 連接所有物品

為了達到這個目標，需要兩項主要技術，分別是

### (a.) 物聯網

之前有研究預測，未來的通訊模組其裝載量比現在將多出上千倍之多，將提供使用者專屬客製化的服務，而不僅僅是人與人間的通訊而已了。

### (b.) 自律神經網路

網路上每個終端都可以扮演橋接器的角色，來接收其他的終端設備所發出的訊息，而橋接器終端也能把訊息發給任何臨近無線網路終端機。因此我們給予了物品間收發訊號動作的能力，但如此一來，要怎麼去減少在終端機互相通聯時所造成及產生的訓好干擾是目前技術發展的主要難題。

在 Prof. Mau Chung Chang 詳細且深入淺出的介紹 5G 通訊技術後，使我們了解了許多在通訊方面的知識。

12/08 (日)

今天教授派一名博士生為我們示範其實驗室最新的研究成果。

首先是他們使用 LabView 軟體做了一個系統，而輸入端是連接到一個 probe，它可以去感測電場，他們去解讀所感測到的圖形，去看訊號波型的變化，若你中間放入不同的物體，則波型都會不同，由此可以判斷出各種不同的物質其形狀以及成分等等。這是一種兆赫波的應用，它可以看到一些低頻波段所看不到的物質，應用非常廣泛，也可使用在生醫方面。

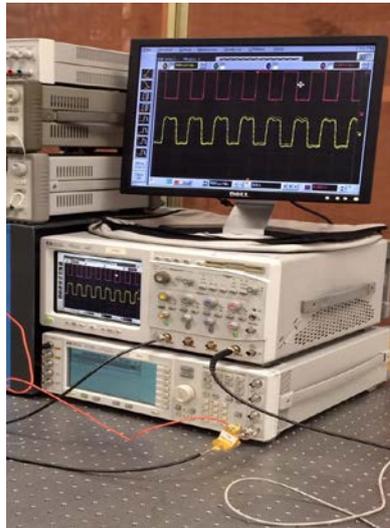


圖 22 張懋中教授實驗室的實驗成果展現

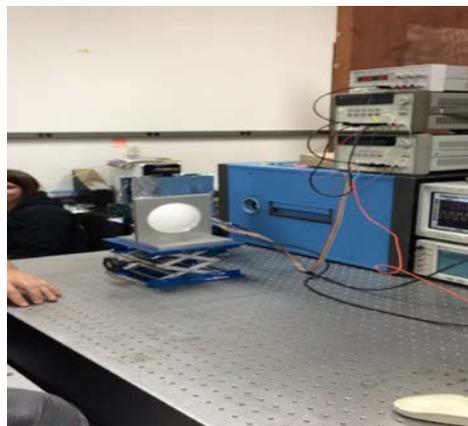


圖 23 張懋中教授實驗室的實驗成果展現

另一個 DEMO 則是他們想要錄人與人講話時，腦波的變化，觀察人在講話聊天時，有無任何 coherence 或是 interaction，且同時使用錄影設備把人的動作行為錄影起來，對照波型的變化來觀察其一致性，這個實驗交大也有教授在做相似的實驗，不過交大教授做的較屬於自己的動作狀態，而 UCLA 實驗室做的比較偏向於人與人的交互作用狀態。

我們總結了這周實驗研究的心得後，搭乘當地時間下午起飛的中華航空公司 CI005 班次的班機飛往桃園國際機場，抵達的時間為臺灣時間晚間九點。

### 三、心得及建議

我們非常榮幸能有機會到 University of California Los Angeles 進行為期 9 天的技術交流，Prof. Mau Chung Chang、博士生 Yanghyo (Rod) Kim 與中國籍博士後研究員無私地分享許多專業知識，使我們獲益良多，以及該實驗室

在高速電路系統相關領域的應用之廣泛，比如前瞻性的互連技術與輸入/輸出、高速的數位類比/類比數位訊號轉換器等等，對於自身所學的知識可被應用在眾多方面，讓我們見識了許多。博士生 Yanghyo (Rod) Kim 先對我們介紹他贏得美商博通基金第一名獎項的系統以及進行討論，從他自身所學的電路設計觀點出發，結合我們交大化合物半導體實驗室的元件製作技術，未來若是我們雙方相互合作，可望迸發出更迷人的火花。

此次實驗研究之行，不僅讓我們拓展了視野，亦了解到國外頂尖大學學者對從事學術研究的積極態度與對其成果的堅持與執著，也建立了未來交大和加州大學洛杉磯分校著名實驗室的合作意向與規劃，期待能研發出更高水平的世界級研究成果。