

國立交通大學  
*National Chiao Tung University*

出國報告（出國類別：訪問）

## 赴瑞典哥德堡查默爾大學(Chalmers University of Technology)實驗參訪

服務機關：國際半導體產業學院  
姓名職稱：張翼院長、謝廷恩博士後研究  
派赴國家：瑞典 哥德堡  
出國期間：2016/07/10 ~ 2016/07/18  
報告日期：2016/07/26 (報告繳交日)

## 摘要

瑞典 Chalmers University of Technology 為世界百大的理工大學，頂尖的瑞典工程類大學生皆畢業於該校。此外，該校除了與歐盟體系國家有密切的交流，與許多世界名校也有合作研究計畫，尤其是電子、通訊和機械方面更是該校之優勢專業領域。

於瑞典 Chalmers University of Technology 任教的 Herbert Zirath 教授，並為 IEEE fellow，Zirath 教授在歐洲微波界非常有名，曾為歐洲最大微波會議 European Microwave Conference 之 chairman，而 Chalmers University 在世界微波界亦十分出名，所製作之 MMIC 頻率在 100 GHz 以上，為世界領先群，亦與通訊大廠 Ericsson 有多次合作，並為其公司顧問。

其帶領之研究團隊 Microwave Electronics Laboratory 致力於三五族複合物半導體相關的組件、電路及系統之開發與設計，其研究領域主要為以下五個項目：氮化鎵能帶量子結構 (GaN intersubband quantum structures)、碳化矽和氮化鋁鎵/氮化鎵異質結構 (Silicon Carbide (SiC) and AlGaN/GaN Heterostructures)、射頻功率放大器 (RF Power Amplifiers)、低能隙元件與電路 (Lowbandgap Devices and Circuits)，以及集成高速電子系統 (Integrated High Speed Electronic systems)。

該研究團隊在微波毫米波通訊方面的電路設計及高頻量測技術已累積多年經驗及豐碩的研究成果，該實驗室在近年來發表的研究成果中，更逐漸增加了與系統整合相關的研究。除了之前傳統的半導體元件和電路的設計，現在更著重於未來的通信系統和遙測等高整合度 MMIC 系統應用。

希望此次參訪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頻通訊領域的競爭力，使研究成果達到世界級的水準。

## 目次

一、目的.....	1
二、過程.....	1
三、心得及建議.....	4
四、附錄.....	5

# 本文

## 一、 目的

瑞典 Chalmers University of Technology 在理工領域為世界前百大，長期與瑞典知名通訊大廠 Ericsson 合作，並與歐盟多國的研究機構及相關頂尖大學有合作計畫，此外，也與交大一直有持續性的學術互動。Prof. Herbert Zirath 所屬的 Microwave Electronics Laboratory 與交大張翼教授的複合物半導體元件實驗室已有多年學術合作，過去 Prof. Herbert Zirath 與張翼教授時常到兩校互訪並給予演講，此外，交大過去幾年曾與 Chalmers 設立雙聯博士，張翼教授所指導的兩位博士也曾赴 Chalmers 進行為期超過一年的研究，並獲得雙聯博士學位，在這樣的基礎之上，雙方研究團隊互動良好，並多有合作。

本年度由於執行交大的國際百大合作計畫，再次與 Chalmers 國際合作，先前也曾派學生至 Chalmers 學習 GaAs MMIC 等研究主題，這次張翼教授為加深在 GaN 領域的合作交流，派遣博士生謝廷恩，前往 Chalmers 進行實驗及參訪行程，主要以 GaN HEMT 的高頻應用為主，探討磊晶製程、元件製程、元件封裝及高頻量測在功率放大器的未來技術發展和瓶頸，並交流雙方研究成果，以尋求彼此更多未來合作計畫的可能性，以及擴展雙方合作計畫之範圍，建立更長遠的合作夥伴關係。

## 二、 過程

本次瑞典哥德堡 Chalmers 實驗參訪由交大副校長張翼和博士後研究員謝廷恩共同前往，於 7 月 11 日上午 11:30 抵達瑞典哥德堡，並在瑞典時間 12:00 搭乘機場巴士到哥德堡市區。下午前往 Chalmers University of Technology，並拜會 Prof. Herbert Zirath。

本次參訪，著重於發展 W 頻段之 GaN 製程以及構裝技術開發，故需 Chalmers University 在毫米波 MMIC 電路設計及構裝系統整合方面之經驗，與本實驗室先前之研究成果相結合，以發展出更高頻高效率的 MMIC 構裝系統。於 HEMT 元件製程開發完成後，所製作之 HEMT 將進行各項電性測試，量測萃取模型所需之參數，並建立主動與被動元件模型，元件模型必需非常相符於實際之元件特性，如此才能發揮輔助電路設計之要求，設計主動及被動元件模型製作所需之佈局光罩，用此製作出符合規格要求之 MMIC。下表為本次參訪行程：

	日期	摘要
1	07/11(一)	參訪 Prof. Herbert Zirath 實驗室，討論 GaN 於高頻應用的未來方向和國際趨勢，並討論寬能隙材料 GaN 於高頻應用上之可能性與技術。
2	07/12(二)	對 Prof. Herbert Zirath 研究團隊進行演說，題目為：「III-V/Si Integration of InGaAs FINFET for Post CMOS Application」和「GaN HEMT Device for High Power Switching Applications」
3	07/13(三)	參觀 Chalmers 無塵室相關機台設備及相關量測設備。
4	07/14(四)	研究高頻相關量測技術，包含小訊號模型及大訊號模型等相關模擬與量測。
5	07/15(五)	討論針對 InAlN/GaN-on-SiC，從磊晶技術、元件製造到透過 Chalmers 進行覆晶封裝做整合，並尋求雙方在未來研究的合作方式。

#### 07/11 (一)：

Prof. Herbert Zirath 分別針對其研究主題跟我們說明，微波電子實驗室(Microwave Electronics Laboratory)主要研究領域可以區分成以下四種：

- 低能帶元件及電路設計 (Low Bandgap Devices and Circuits)
- 高效率功率放大器 (High Efficiency Power Amplifiers)
- 寬能帶元件及電路設計 (Wide Bandgap Device and Circuits)
- 單晶微波積體電路設計 (MMIC Design)

而 Prof. Herbert Zirath 本身研究主要以 MMIC 設計為主，包含了許多於高頻的應用，甚至還有一家從 Chalmers spin-off 出去的公司 GOTMIC，主要著眼於 E-band (71~86 GHz)的用途，除了次世代 LTE 的高頻快速傳輸 (5 Gb/s)，此外關於在更高頻率波段的應用還包含了天氣及氣象衛星設備，以及高頻成像系統 (imaging system) 可被使用在機場安檢等設備中。

Prof. Herbert Zirath 為我們介紹了目前 Chalmers 在 GaN 高頻方面的研究，透過閘極小線寬，實現 GaN 在高頻的應用，Chalmers 透過電子束微影技術開發 25 nm 的閘極線寬，其元件可量測到  $f_t > 100$  GHz、 $F_{max} > 200$  GHz，同時在 40 GHz 操作頻率下，可以獲得大於 1 W/mm 的輸出功率密度，這些結果都顯示了 Chalmers 在寬能帶半導體的研發具有一定的成果，此外，Dr. Niklas Rorsman 也在找尋其他磊晶結構足以應用於更高頻率的可能性，除了現有的 AlGaIn/GaN

HEMT 結構外，也試圖發展 InAlN/GaN HEMT 及 ultrathin AlN/GaN HEMT 等結構，而交大在這兩個磊晶結構上都有所研究，因此可以是未來雙方合作的一個研究主題。

#### 07/12(二)：

本人針對所主持之研究室研發成果進行重點式的演說，主要可分為兩大主題：先進 III-V 族半導體元件製程技術和 GaN 高功率元件製程技術，並和 Prof. Herbert Zirath 的研究成員相互討論切磋。

#### 07/13(三)：

參觀 Chalmers 無塵室設備。Chalmers 的無塵室在歐洲的大學當中算是相當高級的，除了最重要的電子束微影系統，還有基本的黃光製程設備、薄膜沉積、電漿蝕刻及爐管等設備，也分別說明了這些設備在 Chalmers 的研發上扮演的重要角色，而無塵室內各項設備擺放的條理分明，人員走動絲毫不受限制，降低工安意外的發生，此外，無塵室內具有基本電性量測設備，對於製程人員可以在製程結束後直接針對元件特性進行量測，以確立製程穩定性和品質更加便利。

#### 07/14(四)：

參觀 Chalmers 高頻量測機台。Prof. Herbert Zirath 的實驗室中，擁有了相當完整的量測設備，透過此次參訪，學習到了高頻雜訊參數量測系統、高頻訊號處理系統、S 參數量測系統及高頻輸出功率 Load-pull 量測系統等相關量測方法，對於 MMIC 的量測及高頻電路設計相關原理，可以掌握更多高頻量測上的誤差和細節，以確保數據正確且可信。除此之外，Prof. Herbert Zirath 於近半年來爭取到將近數百萬歐元採購更高頻率之測量系統，對於未來合作研究之成過能更具水準。

#### 07/15(五)：

年來，氮化鋁銻(AlInN)/氮化鎵(GaN) 在高電子遷移率電晶體的發展研究中已經開始得到關注。和傳統氮化鋁鎵(AlGaIn) 相比，當氮化鋁銻中銻的含量大約在 17%時，其晶格常數能與氮化鎵匹配，並且產生大約 0.68eV 的導電帶能障( $\Delta E_c$ )，這幾乎是氮化鋁鎵的二倍，因此能夠提供較氮化鋁鎵高的自發性極性。較深的量子井和較高的自發性極性電場，這二種特性可產生較高的電流密度，對於高頻應用上是個相當大的性能指標。

交大長年致力於磊晶材料和元件製造技術之開發，唯獨缺乏後段的封裝、電路設計和完

整的高頻量測技術。相反的，Chalmers 在高頻領域的研究已達數十年，擁有相當深厚的基礎和技術水平。因此結合交大和 Chalmers 所擅長的領域，將使氮化鋁銻(AlInN)/氮化鎵(GaN)於高頻元件的應用更快的開花結果，進而得到雙方互進互長的雙贏模式。

### 三、 心得及建議

我們很榮幸能有機會到 Chalmers University of Technology 進行技術交流， Prof. Herbert Zirath 及 Dr. Niklas Rorsman 無私地分享許多專業知識，使我們獲益良多，以及該實驗室在高頻訊相關領域的應用之廣泛，從傳統的太空衛星通訊、手機通訊應用延伸至大氣氣象分析和生醫影像技術，對於自身所學的知識可被應用在眾多方面，讓我們大開眼界。半導體製程設備的齊全與交大奈米中心相比也毫不遜色，我們深入討論彼此於 GaN 領域的研究心得，並對於 GaN 於未來高頻應用領域抱有非常高的期待，也針對雙方於 GaN 高頻應用領域的合作計畫提出構想，期望雙方於未來 GaN 高頻應用領域市場取得世界領先地位。

而 Chalmers University of Technology 與通訊大廠 Ericsson 有長期且穩定合作，使雙方於世界通訊領域佔有一席之地，此外 Chalmers 也與國內的穩懋半導體有合作計畫，顯示瑞典與台灣之間的關係深切，彼此能在各自的領域發揮並提升雙方的能見度。交大雖然與國內許多知名大廠合作頻繁，但多數的合作總是希望以生產為主，對於需要大量資金的研發，則興趣缺缺，因此像 Ericsson 公司與 Chalmers 的關係，公司長期資助大量資金，提供研發單位發展世界第一的先端技術，著實令人稱羨。以 Ericsson 公司和 Chalmers 大學合作為借鏡，或許可以透過學校的力量來加以提升研發能力和質量，共創雙方在技術上的世界領先地位。

藉由此次參訪獲得的許多技術交流經驗和未來的合作規劃，以期望提升交大及本實驗室未來在高頻通訊領域的競爭力，使研究成果達到世界級的水準。

#### 四、附錄

##### 1. 本人和謝廷恩博士後研究員之邀請函

**CHALMERS**

June 14, 2016

INVITATION TO VISIT THE MICROWAVE ELECTRONICS LABORATORY,  
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

Dear Professor Edward Yi Chang and Dr. Tingen Hsieh

I have the great pleasure inviting you to my laboratory for a visit and discussions on cooperation. The preferred date is from July 11 to July 17, 2016.



Herbert Zirath  
Professor High Speed Electronics  
Head of Microwave Electronics Laboratory  
Department of Microtechnology and Nanoscience MC2  
Chalmers University of Technology, S-412 96 Göteborg  
Sweden  
Tel: +46 (0)31 7721852  
Fax: +46 (0)31 164513  
Mobile Phone: +46 (0)730 346401  
[herbert.zirath@chalmers.se](mailto:herbert.zirath@chalmers.se)

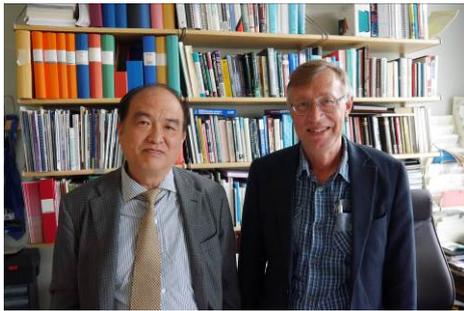
Yours Sincerely

---

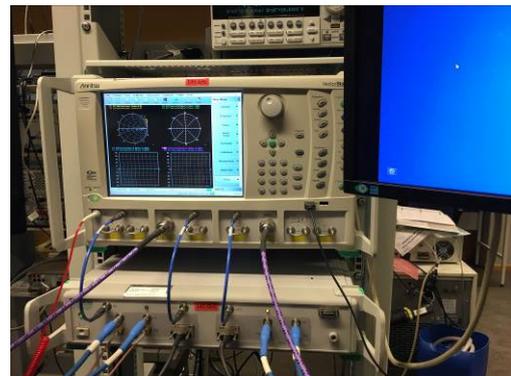
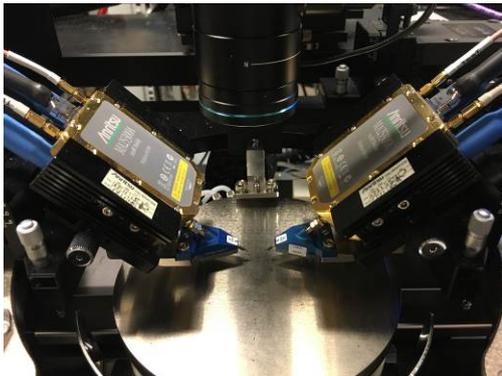
CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
*Department of Microtechnology and Nanoscience, Microwave Electronics laboratory*  
SE-412 96 Göteborg, SWEDEN  
Visiting address: Kemivägen 9, MC2  
Telephone: +46 (0)31 7721852 Fax: +46-(0)31 164513  
Chalmers tekniska högskola AB, Reg. No: 556479-5598, VAT No. SE556479559801  
E-mail [herbert.zirath@chalmers.se](mailto:herbert.zirath@chalmers.se)  
Webb: <http://www.chalmers.se/mc2/EN/laboratories/microwave-electronics/>



2.於查默爾大學門口攝影並與 Prof. Herbert Zirath 合影



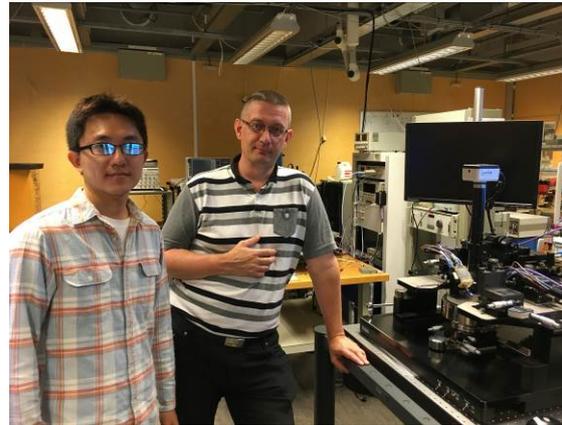
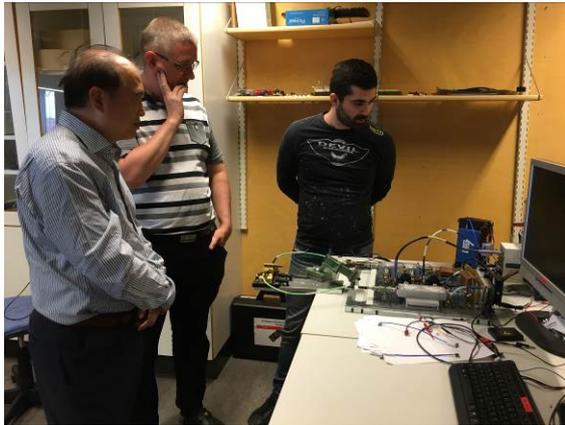
2.高頻量測系統攝影



3.無塵室製程設備攝影



#### 4. 演說過程與技術交流攝影



#### 5. 演說「III-V/Si Integration of InGaAs FINFET for Post CMOS Application」和「GaN HEMT Device for High Power Switching Applications」封面：

