

國家實驗研究院台灣半導體研究中心

化合物半導體技術服務平台

林昆霖副主任/黃文賢組長/陳俊淇組長

張大強組長/陳坤明組長/余東原博士

前言

晶片驅動-全臺半導體相關軟硬體建置與資源共享計畫

TSRI 建置半導體製造/電性量測/材料分析設備，順利推動大型計畫



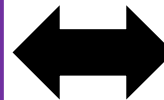
TSRI 執行整合型計畫服務平台模式

高效能化合物半導體前瞻技術研究



TSRI 建置全台化合物半導體製程與驗證環境

1. 化合物半導體製程/RF-GaN模組驗證技術
2. 元件驗證服務及PA電路實作服務
3. 化合物半導體元件與電路量測服務
4. 化合物半導體材料分析服務



學界團隊

客製化合作模式，支援學界團隊執行『高效能晶片關鍵技術與創新應用計畫』，執行學界團隊務必與TSRI確認執行項目。

氮化鎵磊晶技術服務平台



HEMT Epitaxy Structure of Power-GaN on 6" Si

P-GaN (80nm)
AlGa _x N barrier (10-15nm)
GaN channel (200-400nm)
GaN:C buffer (1500-2500nm)
Gradient Al _x Ga _{1-x} N buffer (x: 15~85% ; 1650nm)
AlN (200nm)
Low Resistivity Si sub (0.01~0.05 Ohm-cm)

Material Properties	Spec.
P-GaN [Mg]	> 2E19 cm ⁻³
GaN [C]	> 5E18 cm ⁻³
Mobility	> 1500 cm ² /V-s
2DEG Conc.	> 8E12cm ⁻²

- ◆ E-MODE HEMT Epitaxy Platform
- Tunable thickness of AlGa_xN/GaN/AlN
- Varied Al_xGa_{1-x}N Composition
- 6" LR-Si substrate

HEMT Epitaxy Structure of RF-GaN on 6" Si & 4" SiC

GaN cap (2nm)
InAlGa _x N (8-10nm) / AlGa _x N barrier (20-25nm)
GaN channel (200-400nm)
GaN:C buffer (300-600nm)
Gradient Al _x Ga _{1-x} N buffer (x: 15~85% ; 750nm)
AlN (200nm)
High Resistivity Si sub (>5000 Ohm-cm)

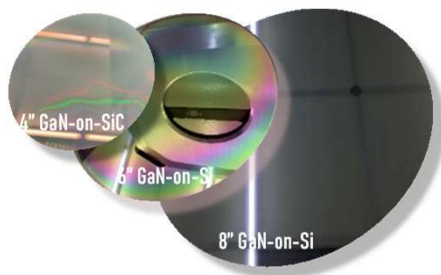
Material Properties	Spec.
GaN [C]	> 5E18 cm ⁻³
Mobility	> 1600 cm ² /V-s
2DEG conc.	> 9E12cm ⁻²

- ◆ D-MODE HEMT Epitaxy Platform
- Tunable thickness of AlGa_xN/GaN/AlN
- Varied Al_xGa_{1-x}N Composition
- 6" HR-Si substrate

GaN cap (2nm)
InAlGa _x N (8-10nm) / AlGa _x N barrier (20-25nm)
AlN (1nm)
GaN channel (200-400nm)
GaN:C buffer (300-600nm)
Al _x Ga _{1-x} N buffer (x: 15~85% ; 250-800nm)
Ultra High Resistivity SiC sub (>1E9 Ohm-cm)

Material Properties	Spec.
GaN [C]	> 5E18 cm ⁻³
Mobility	> 1600 cm ² /V-s
2DEG conc.	> 1E13cm ⁻²

- ◆ D-MODE HEMT Epitaxy Platform
- Tunable thickness of AlGa_xN/GaN/AlN
- Varied Al_xGa_{1-x}N Composition
- 4" HR-SiC substrate

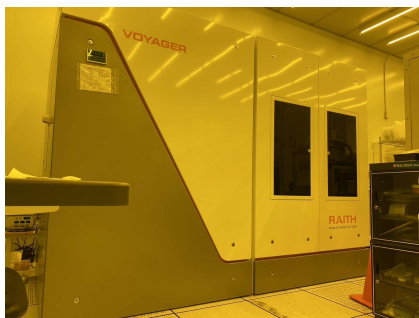


磊晶結構設計規格需符合中心MOCVD已驗證的磊晶層厚度、磊晶架構組成份及磊晶層堆疊構造，或經中心評估可進行之製程。

製程與模組技術服務平台 (1)

Gaussian beam電子束曝光機 (Raith Voyager)

- 適用於25mm破片~ 4吋基板。
- 破片容許厚度300~700 μm 。
- 解析能力小於100nm。



248nm曝光機

- 適用於 8吋基板。
- 包含標準厚度的Si/SiC等。
- 解析能力達0.12 μm 。

i-line曝光機 (預計2026/4開放)

- 適用於 4 / 6 / 8吋基板。
- 包含標準厚度的Si / SiC等。
- 解析能力達0.35 μm 。



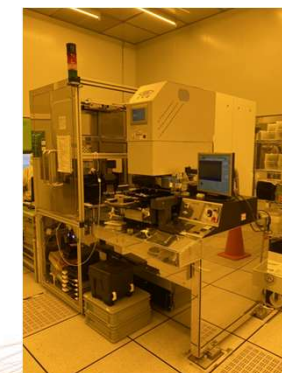
Shaped beam電子束曝光機 (Vistec SB254)

- 適用於25mm破片/ 4 / 6 / 8吋基板。
- 破片容許厚度300~700 μm 。
- 4/6/8吋晶圓為標準厚度。
- 解析能力小於100nm。



接觸式曝光機 (EVG)

- 適用於破片到 8吋等各式基板。
- 解析能力為2 μm 。



*以上微影系統所提供的基本規格，如與計畫團隊需求不符，皆可與中心討論測試的可行性。

製程與模組技術服務平台 (2)

製程服務	製程條件
薄膜製程 (破片~8吋)	介電層薄膜沉積 (1) PECVD : $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ · 20-500 nm · 400 °C (2) ALD : $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{HfO}_2$ · 2-10 nm, 250-300 °C 金屬薄膜沉積 (1) PVD : AlCu, Ti/TiN, Ni, TaN/TaN (2) E-gun : Ti/Al/Ni/Au, Ni/Au
蝕刻製程 (破片~8吋)	氮化鎵相關材料蝕刻 (1) 氮化鎵蝕刻、氮化鋁鎵蝕刻及氮化鋁鎵(In < 6%) 介電材料蝕刻 (1) SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 及 HfO_2 薄膜蝕刻 金屬Pad蝕刻 (1) 可提供AlCu、Ti/TiN、Ni及TaN/TaN
離子佈植與退火 製程 (破片~8吋)	離子佈植 (1) 離子佈植source : B、P、As、Si及Ar (2) 離子佈植濃度 : $5\text{E}12\text{-}5\text{E}15 \text{ \#/cm}^2$ (3) 離子佈植劑量 : 10-200 keV 快速熱退火 (1) 600-950 °C N_2 atmosphere
後段濕式清洗及 金屬剝除Lift- off製程 (破片 ~6吋)	後段濕式清洗 (1) SC1、SC2、BOE及HCl 金屬剝除Lift-off製程 (1) PG及ACE

模組服務	模組條件
Ohmic contact	標準TLM佈局、Ti/Al/Ni/Au金屬疊層厚度、退火溫度及退火時間
Schottky contact	標準SBD佈局、Ni/Au金屬疊層厚度
Mesa Isolation	標準Ar離子佈植參數
T-gate	100-150 nm金屬閘極填充

- **TSRI提供現有經驗證之製程與模組技術服務平台，可進行破片/4吋/6吋/8吋製程，協助使用者快速驗證及優化其製程條件。**
- **115年-117年規劃開發製程技術及後續服務**
 - 開發全光阻式微影T型閘極技術，依序建立全光阻式微影T型閘極技術 ($L_g \sim 150 \text{ nm} \rightarrow 120 \text{ nm} \rightarrow 90 \text{ nm}$)及元件製程驗證。(115年-117年)
 - 提供 n^+ -GaN分子束磊晶regrowth製程及超高溫退火技術(>1500 °C)。(116年)
 - 建立高速e-beam微影與對準技術(源/汲極間距 < 1 μm)。(117年)

115-117年TSRI於化合物半導體設備建置規劃



分子束磊晶系統 (品牌：Intelliepi)

- 8吋、6吋及4吋基板
- 磊晶source: Ga、Al、In、N、Si...等；成長溫度範圍: 500~ 1200 °C
- N⁺- GaN:Si選擇性再成長磊晶。
- 設備建置與服務時程：115年/5月設備進駐/安裝；115年/9月驗收；116年Q1-Q2開放製程服務



半自動化金屬剝離系統 (品牌：弘塑科技)

- 8吋、6吋及、4吋基板及破片
- 設備建置與服務時程：114年/12月進駐；115年/6月驗收；115年Q4開放製程服務



投影式電子束微影系統 (品牌：Vistech)

- 8吋、6吋及、4吋基板及破片
- 設備建置與服務時程：115年/5月設備進駐/安裝；115年/9月驗收；116年Q1開放製程服務



厚膜high-k介電膜沉積系統(115年採購)

- 8吋、6吋、4吋基板及破片
- Al₂O₃、HfO₂薄膜沉積 (>15 nm)
- 設備建置與服務時程：115年採購；116年Q4開放製程服務



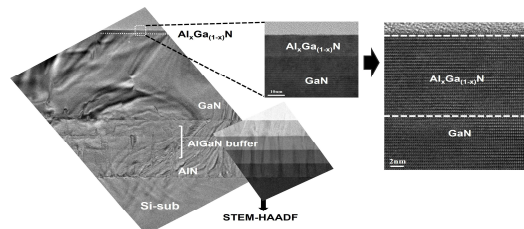
超高溫退火系統 (115年採購)

- 8吋、6吋、4吋基板及破片
- 1500-1900°C
- 設備建置與服務時程：115年採購；116年Q4開放製程服務

化合物半導體材料分析量測服務

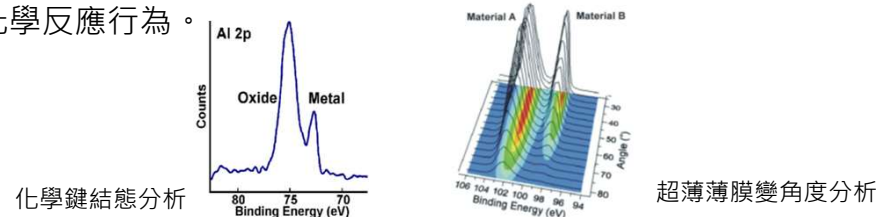
穿透射式電子顯微鏡 (TEM)

- 可進行跨奈米尺度之橫截面結構觀察與層厚量測，協助解析界面結構完整性與材料堆疊品質。



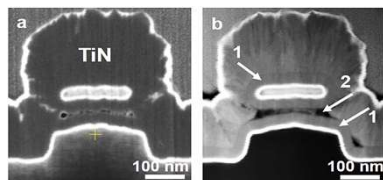
X光光電子能譜 (XPS)

- 元素定性與化學鍵結態分析，釐清材料組成、氧化態變化與界面化學反應行為。



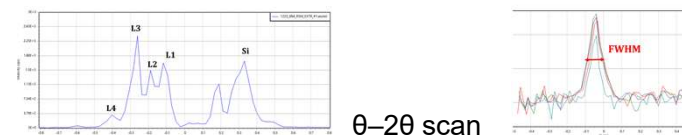
雙聚焦離子束電子顯微鏡 (SEM-FIB)

- 提供高解析度的表面形貌與微結構觀察，用於確認薄膜均勻性與表面缺陷分布；同時搭配聚焦離子束斷面製備系統 (SEM-FIB) 可進行快速且精準的局部橫截面取樣與即時截面觀察，以利深入探究元件關鍵區域的結構與缺陷分布。



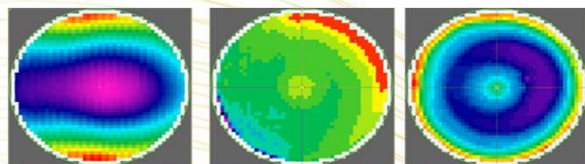
X射線繞射儀 (XRD)

- $\theta-2\theta$ scan 磊晶匹配度與判斷其結晶性 (FWHM)，鑑定材料晶相、元素比例分析。
- 層厚干涉與搖擺曲線鑑定薄膜磊晶層品質。(115年開放服務)
- 超快速倒置晶格空間 (URSM) 之晶格常數與應變鬆弛行為分析。(115年開放服務)



螢光分光光譜儀 (PL) (建置中，116年開放服務)

- 提供深紫外螢光量測技術與服務 (213nm PL)。
- 提供磊晶層翹曲度分析服務。



PL mapping analysis

變溫霍爾量測系統 (待採購，117年開放服務)

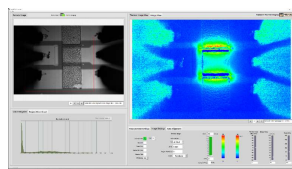
- 開放高溫和低溫霍爾量測服務。
- (高溫 ≤ 200 度, 低溫 ≤ -190 度)



化合物半導體元件與電路量測服務

功率元件量測

- 高壓/高電流直流電性
 - ✓ B1505A + UHCU : 60 V, 500 A (pulse mode)
 - ✓ B1505A + N1268A : 10 kV
 - ✓ CV : 3kV, 1kHz ~ 5MHz
- 脈衝電性 (200V/200ns, 1.2kV/750ns)
- 熱影像分析 (Spectral Range : 400 nm)
- 交流動態特性分析(116年); 動態參數可靠度測試(117年)



負載拉移(Load-Pull)量測

- 0.4-6 GHz, 1.8-26 GHz, 10-67GHz, 28-110 GHz
- RF Power Parameters : P_{out} , P_{1dB} , Gain, PAE, IM3, IIP3, OIP3, AM/PM, etc
- Optimized power parameters can be obtained by tuning Γ_S & Γ_L
- 67GHz Pulsed Load-Pull (115/Q4)



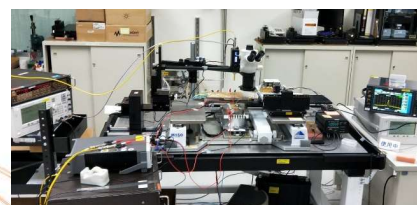
散射參數(S-Parameter)量測

- 2-Port: 0.1-120 GHz, 110-170 GHz, 140-220 GHz, 220-325 GHz, 325-500 GHz
- 4-Port: 0.01-67 GHz, 67-110 GHz
- 67GHz Pulsed S-Parameter
- 利用S參數可以計算出元件的小信號增益、輸出/入反射率、 f_T 、 f_{max} 等特性參數

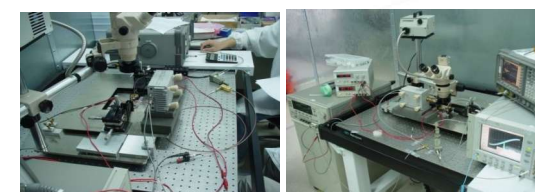


高頻電路量測

- 提供Amplifier、Mixer、Filter、Switch及Phase Shifter等各種電路特性驗證，最高頻率為220 GHz (330GHz, 115/Q4)



330GHz Down-Conversion Mixer Measurement



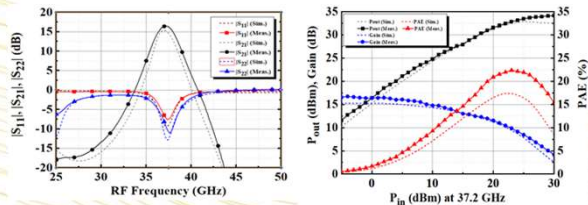
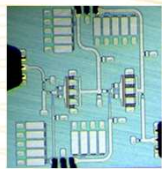
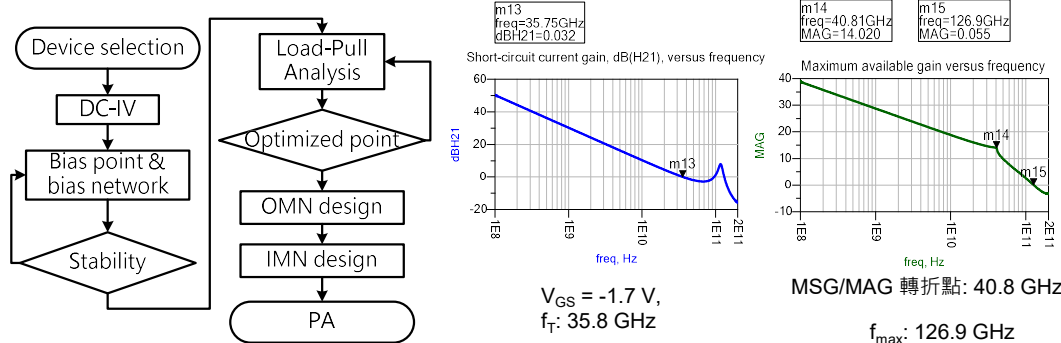
100 GHz Frequency Divider Measurement
Left : Frequency Domain, Right : Time Domain

元件驗證服務及PA電路實作服務

E-band MMIC PA電路製作服務

(適合PA電路設計之團隊)

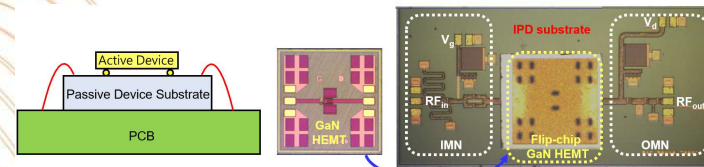
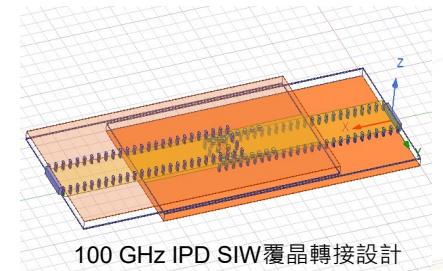
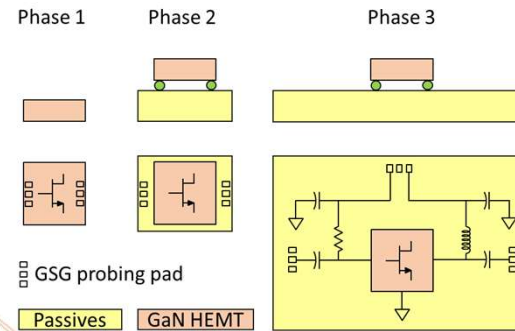
- 引進先進GaN MMIC製程、開發設計流程，提供PA設計團隊所需的晶片製作服務：
 - ▣ 115年提供 $f_T > 70$ GHz、 $f_{max} > 140$ GHz之製程，之後擴展至 $f_T > 90$ GHz、 $f_{max} > 180$ GHz之製程；
 - ▣ 製程原廠之PDK還在發展中，TSRI將建立其適用的MMIC設計流程，提供團隊參考使用。



PA主動元件特性驗證

(適合元件開發之團隊)

- 引進積體被動元件(IPD)基板製程：以GaAs或玻璃基材結合薄膜製程，實現電感、電容與電阻元件，可設計輸入/輸出阻抗網路；
- 提供覆晶封裝技術服務：將元件與阻抗網路整合後，形成完整的PA電路，用以驗證元件高頻特性，包括S參數、大訊號特性、輸出功率等；
- 建立70-90 GHz覆晶設計的參考流程與量測方法：釋出參考範例，提供學研團隊元件驗證環境。



聯絡窗口

總聯絡人	聯絡人	分機*	E-mail
客製化合作模式洽談諮詢	黃文賢 組長	7523	whhuang@niar.org.tw
分項技術平台	聯絡人	分機*	E-mail
化合物半導體磊晶與製程模組驗證技術	磊晶: 許隆興 博士	7587	algerhsu@niar.org.tw
	製程: 高名璿 博士	7506	michellekao@niar.org.tw
	微影: 陳俊淇 組長	7695	chunchi.chen@niar.org.tw
化合物半導體材料分析服務	余東原 博士	7528	tyyu@niar.org.tw
化合物半導體元件與電路量測服務	元件: 陳柏源 博士	7570	bychen@niar.org.tw
	電路: 蕭宇劭 博士	7792	jshiao@niar.org.tw
元件驗證服務及PA電路實作服務	林大業 博士	7212	tylin@niar.org.tw

* TSRI 總機 : 03-5773693