

國家實驗研究院台灣半導體研究中心 化合物半導體服務平台

為支援高效能化合物半導體前瞻技術研究計畫執行，TSRI 將提供以下服務予學界研發團隊使用：(1)中心已建置的化合物半導體製程及與矽製程相容的化合物半導體製程設備與製程技術；(2)元件驗證與 PA 電路實作服務(3)電性量測與材料分析服務及(4)115 年-117 年的技術開發與服務項目。

一、 TSRI目前可提供的化合物半導體製程服務與RF-GaN模組技術

1. **磊晶製程：**中心可提供研發專用與客制化設計的氮化鎵磊晶層及平台委託服務，包含4" GaN-on-SiC及6"/8" GaN-on-Si相關之功率或及射頻氮化鎵磊晶結構，設計規格需符合中心MOCVD已驗證平台的AlGaN/AlN/GaN磊晶層厚度、磊晶架構組成份及磊晶層堆疊構造。
2. **微影製程：**中心自接觸式曝光機、I-line stepper、248 nm DUV 掃描式曝光機，到高斯電子束與可變形束電子束皆已建置完善，並實際支援 12 mm²、25 mm²、4 吋、6 吋及8 吋等多尺寸晶片製程線寬曝光能力涵蓋微米至奈米等級；此外也進一步提供厚膜光阻製程，完整滿足化合物半導體領域多樣化結構的製程需求。於不同基材厚度與各式設備之間，均存在相應的製程與設備限制，本中心已彙整並提供清楚的搭配建議，協助學術界依研究需求選擇最合適的基板尺寸、厚度與曝光設備組合，使製程開發更具彈性與可行性。
3. **薄膜製程：**
介電層薄膜沉積：(1) 電漿輔助化學氣相沉積系統可提供 400 °C的SiO₂與Si₃N₄薄膜沉積 (20-500 nm)；(2)原子層沉積系統可提供250°C-300°C的Al₂O₃及HfO₂薄膜沉積 (2-10 nm)。
金屬薄膜沉積：
(a) 金屬物理氣相沉積系統可提供AlCu、Ti/TiN、Ni及Ta₂N₅/Ta₂N₅等薄膜；
(b)金屬蒸鍍系統(E-gun)可提供化合物半導體所需的Ti/Al/Ni/Au及Ni/Au疊層薄膜。

以上皆可進行破片~8吋製程，可因應製程所需進行薄膜沉積參數調整。

- 4. 蝕刻製程：**中心可提供以下蝕刻製程服務：(1)氮化鎵相關材料蝕刻：可提供氮化鎵蝕刻、氮化鋁鎵蝕刻及氮化鋁銦鎵(In< 6%)；(2)介電層材料蝕刻：可提供SiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃及HfO₂薄膜蝕刻；(3)金屬Pad蝕刻：可提供AlCu、Ti/TiN、Ni及Ta₂N₅/Ta₂N等金屬薄膜蝕刻。

以上皆可進行破片~8吋製程，可因應製程所需進行蝕刻沉積參數調整。

- 5. 離子佈植與退火製程：**中心可提供以下佈植與退火製程服務：

- (1) 離子佈植source：B、P、As、Si及Ar；離子佈植濃度：5E12-5E15 #/cm²；離子佈植劑量：10-200 keV。
- (2) 快速退火製程範圍：600-950 °C N₂ atmosphere

以上皆可進行破片~8吋製程。

6. 後段濕式清洗及金屬剝除Lift-off製程

中心新規劃的後段濕式製程設備與 metal lift-off 設備已完成建置，可提供手動與半自動化的清洗與金屬剝離流程。系統具備多元化的清洗配方選擇，並結合半自動化金屬剝離製程，為學術界提供更多樣且彈性的後段製程選項，協助因應不同材料與結構的開發需求。

7. 經驗證後的RF-GaN模組製程

- (1) 氮化鎵磊晶：中心可提供特性最佳的氮化鎵異質磊晶結構，作為學研團隊製程設計與驗證參考。
- (2) Ohmic contact：中心可提供標準S/D alloy之Ti/Al/Ni/Au疊層厚度、退火溫度及退火時間，作為學研團隊製程設計與驗證參考。
- (3) Schottky contact：中心可提供標準Ni/Au金屬閘極之疊層厚度，作為學研團隊製程設計與驗證參考。
- (4) Mesa imp：中心可提供標準Ar離子佈植參數，作為學研團隊製程設計與驗證參考。
- (5) 金屬閘極填充：中心可提供100-150nm之閘極金屬製程，作為學研

團隊製程設計與驗證參考。

備註：

*以上各製程設備與技術，如有特殊製程需求或中心現有製程尚無法提供者，皆可與中心討論評估可行性後進行。

*中心也提供針對使用者之磊晶與元件製程需求，提供技術諮詢與規劃，如使用者有外部資源串接需求，亦可與中心確認中心所提供製程與外部資源串接的可行性。

二、 TSRI目前可提供的元件驗證服務及PA電路實作服務

中心由業界引進IPD整合被動基板製程，以GaAs或玻璃基材結合薄膜製程，整合電感、電容與電阻元件，可用於設計射頻電路的輸入阻抗網路以及輸出阻抗網路，再經以覆晶封裝技術將化合物半導體元件與輸入／輸出阻抗網路整合後，可形成完整的PA電路，用以驗證化合物半導體元件高頻特性，包括S參數以及大訊號的增益、輸出功率等。

三、 TSRI目前可提供的化合物半導體元件與電路量測服務

中心擁有完整的電子量測環境，可以支援化合物半導體在功率與射頻應用技術研發所需之元件與電路特性驗證服務。

- (1) 功率元件量測：提供直流與電容參數量測，最高電壓為 $\pm 10\text{kV}$ ，最高電流為 500A (pulsed mode)
- (2) 散射參數量測：2-port 量測最高頻率為 500 GHz ，4-port 量測最高頻率為 110 GHz
- (3) 負載拉移量測：提供 PAE、 $P_{1\text{dB}}$ 、Power Gain、AM/PM、IM3 等射頻功率參數量測，最高頻率為 110 GHz
- (4) 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 。

四、 TSRI目前可提供的化合物半導體材料分析服務

中心可提供完整的薄膜與材料特性驗證能力，支援化合物半導體材料與元件結構分析：(1)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，解析界面結構完整性與材料堆疊品質；(2)X光光電子能譜（XPS）可進行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；(3)掃描式電子顯微鏡（SEM）及聚焦離子束斷面製備系統（SEM-FIB），可提供高解析度的表面形貌與微結構觀察，及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。

五、115年至117年將開發之前瞻化合物半導體技術與服務(RF-GaN)

中心於115年至117年將持續發展前瞻化合物半導體技術及服務(包含元件製程、電性量測及材料分析)與設計平台，提供學研團隊技術發展規劃參考：

氮化鎵元件製程技術開發

- 設備建置與服務：(1)116年Q2預期可提供分子束磊晶 n^+ -GaN regrowth製程服務；(2)116年Q4預期可提供厚膜高介電材料沉積製程服務(>15 nm)；(3)116年Q4預期可提供超高溫退火製程服務。
- 建立四元異質InAlGaN磊晶技術(電子遷移率=1900 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 及二維電子氣濃度=1X10¹³ cm^{-2})，並提供客製化磊晶製程服務。(115年)
- 建立全光阻式微影T型閘極技術，於115年-117年依序建立 $L_g \sim 150 \text{ nm}$ ，120 nm及90 nm的全光阻式微影T型閘極技術，並逐年導入相應的射頻元件的磊晶材料與製程技術驗證。
- 建立 n^+ -GaN分子束磊晶regrowth技術(源/汲極 $R_c < 0.3 \text{ } \Omega\cdot\text{mm}$)及超高溫退火技術(>1500 $^{\circ}\text{C}$)。(116年)
- 建立高速e-beam微影與對準技術(源/汲極間距< 1 μm)。(117年)

氮化鎵PA電路實作服務

中心提供由產業界引進的基板製程、自建的覆晶技術、基板與晶片整合封裝服務等三元素，支持製程開發團隊驗證其所開發之化合物半導體元件高頻性能；另提供由產業界引進的前瞻GaN MMIC製程、開發設計流程，提供功率放大器設計團隊所需的晶片製作服務。因應RF電路

設計團隊需要的元件規格與MMIC製程，TSRI將引進新一代的前瞻GaN MMIC製程提供設計團隊製作服務，預期115年可以先提供 $f_T > 70\text{ GHz}$ 、 $f_{\max} > 140\text{ GHz}$ 之製程，之後擴展至 $f_T > 90\text{ GHz}$ 、 $f_{\max} > 180\text{ GHz}$ 之製程；由於製程原廠之PDK還在發展中，TSRI也將建立適用的MMIC設計流程，提供設計團隊參考使用引進之製程。

此外，TSRI另將建立70-90 GHz 覆晶設計的參考流程與量測方法，之後釋出參考範例，提供製程團隊可用之化合物半導體元件驗證環境。

電性量測與材料分析技術開發與服務

- 建立 67GHz 脈衝式負載拉移量測技術與服務 (115 年)
- 建立 Gate Charge、Switch Test 及 Reverse Recovery 等交流動態特性分析技術與服務 (116 年)
- 建立動態參數之可靠度特性測試技術與服務 (117 年)
- 建立磊晶高解析 XRD 倒置晶格空間量測技術與其應變程度分析技術與服務 (115 年)
- 建立磊晶 8" PL 缺陷分布量測技術與服務 (116 年)
- 建立磊晶薄膜變溫 Hall 量測技術與服務 (117 年)