



通過深度學習與解析度增益技術推升光學微影技術於超穎透鏡與矽光子元件製造(3/3)



執行團隊：余沛慈¹、謝嘉民^{1,2}、張祐嘉¹、楊尚樺³、黃耀緯¹

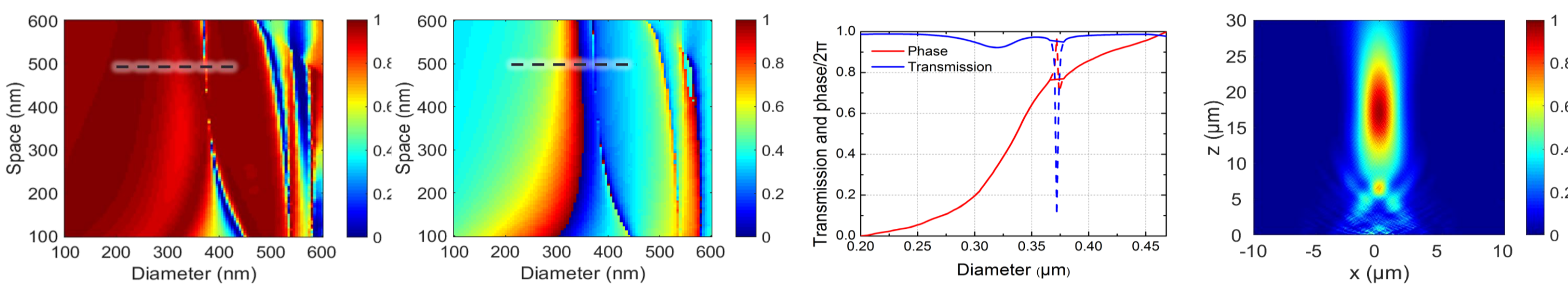
執行單位：¹國立陽明交通大學光電工程學系、²國研院台灣半導體研究中心、³國立清華大學電機系

計畫摘要

介電質超穎透鏡僅需微米等級厚度的結構，即可在平面的基板上達成像差校正的高品質透鏡，並可望使用已高度成熟半導體製程來量產製造，特別適合如手機鏡頭、感測器等模組的體積微縮。本計畫透過深度學習與解析度增益技術推升光學微影技術，實現批量製造超穎透鏡與矽光子元件的目標。計畫執行方式分為(一)光學的可製造性設計(二)解析度增益技術(三) THz光束操控與寬頻超穎透鏡(四)前瞻多工超穎介面。本計畫使用 iline 與 KrF 248nm 的光學微影製程，利用深度學習架構建立準確、跨製程參數的光學微影模型，從傳統光學鄰近修正術(Optical Proximity Correction, OPC) 進階至精準的智能鄰近修正術(Intelligent Proximity Correction)，並加入台灣杉平行運算資源，實現大面積超穎透鏡與超穎表面的修正。

(一)光學的可製造性設計 (Optical Design for Manufacturing, ODFM) :

考量到製造上的可行性，團隊設計各種不同尺寸的奈米柱組成 NIR ($\lambda=1.55\mu\text{m}$) 與 Visible ($\lambda=0.532\mu\text{m}$) 超穎透鏡，奈米圓柱可製造性設計採固定相鄰圓柱間距，並使用有限時域差分法 (FDTD) 加上角頻譜法 (Angular spectrum method, ASM) 來模擬整個超穎透鏡之聚焦行為，經理論預測 NIR 和 Visible metalens 分別可達 69% 與 60% 的聚焦效率。

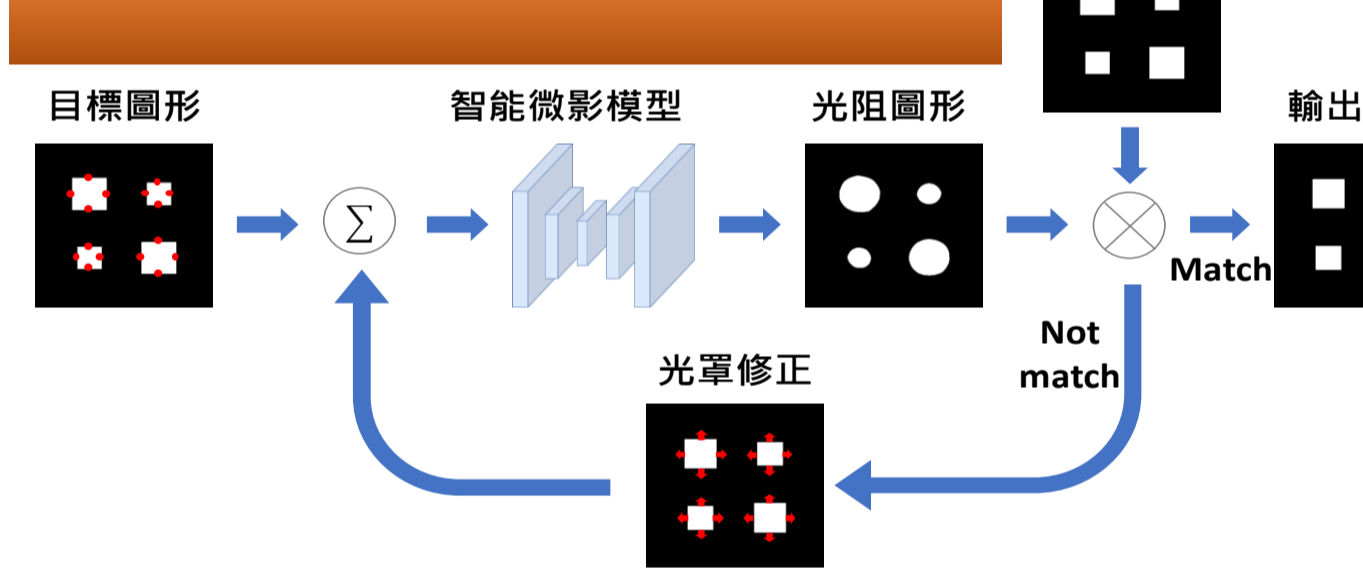


(二)解析度增益技術 (Resolution Enhancement Technology, RET):

本計畫以深度學習模型用來預測顯影後的圖形尺寸 (Critical Dimension, CD)，實現準確的微影模型。智能鄰近修正術 (Intelligent Proximity Correction, IPC) 比較預測出的顯影圖形是否與原先設計相符合，若不符則進行光罩的修正，經過多次迭代後，當與設計吻合時則製做此修正後的光罩。

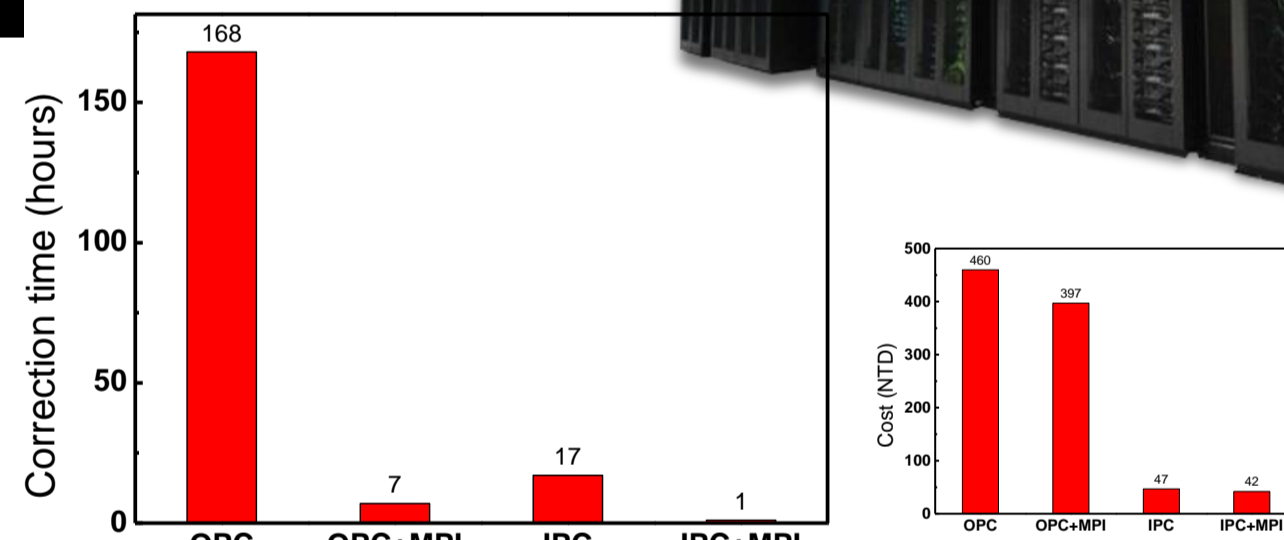
智能鄰近修正術 (Intelligent Proximity Correction, IPC):

IPC 智能光罩修正流程

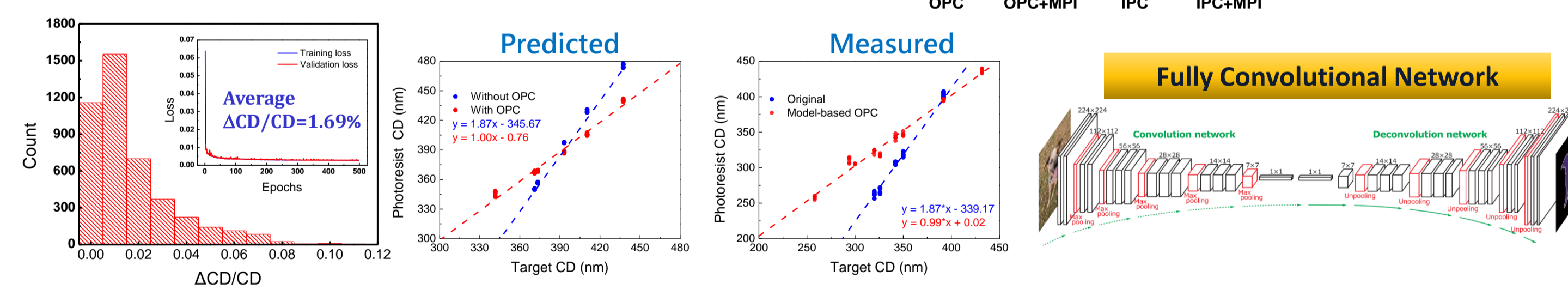


台灣杉平行運算 (Taiwania parallel computation):

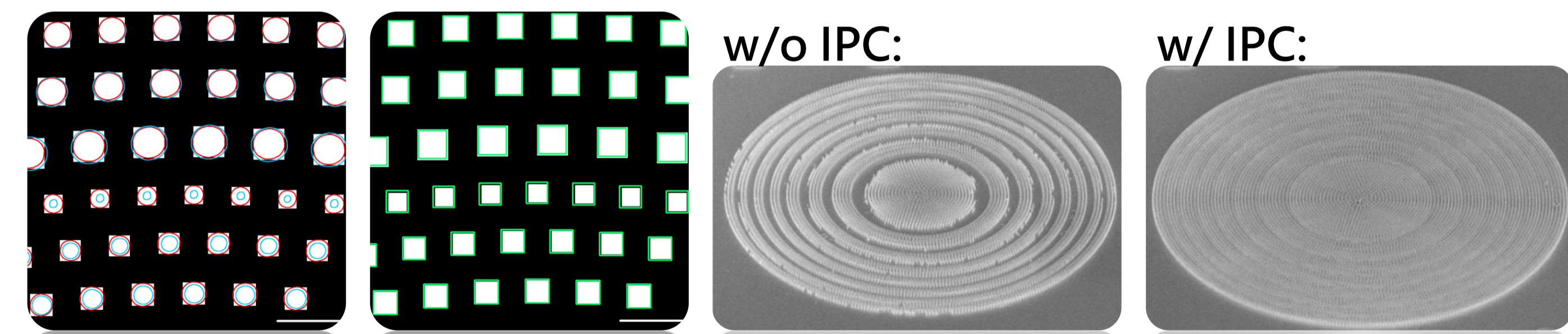
- CPU: 2 Intel Xeon Gold 6148 2.40GHz CPU
- Memory: 192 / 384 GB
- 40 cores for each CPU



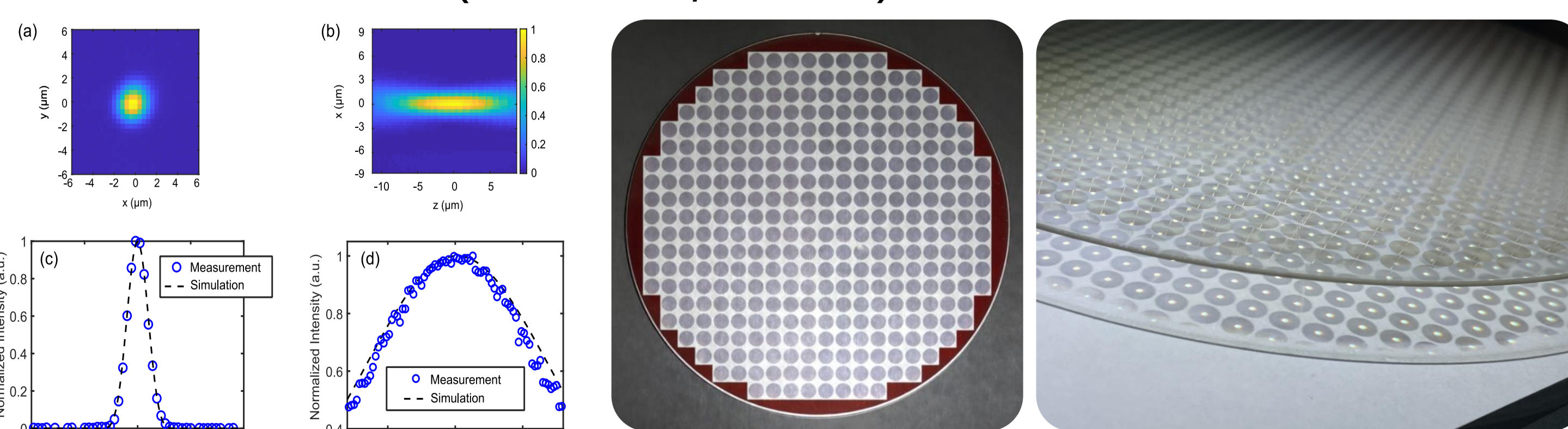
深度學習微影模型



NIR 超穎透鏡 (D=1.5 mm, NA=0.45) Diffraction Limited focusing:

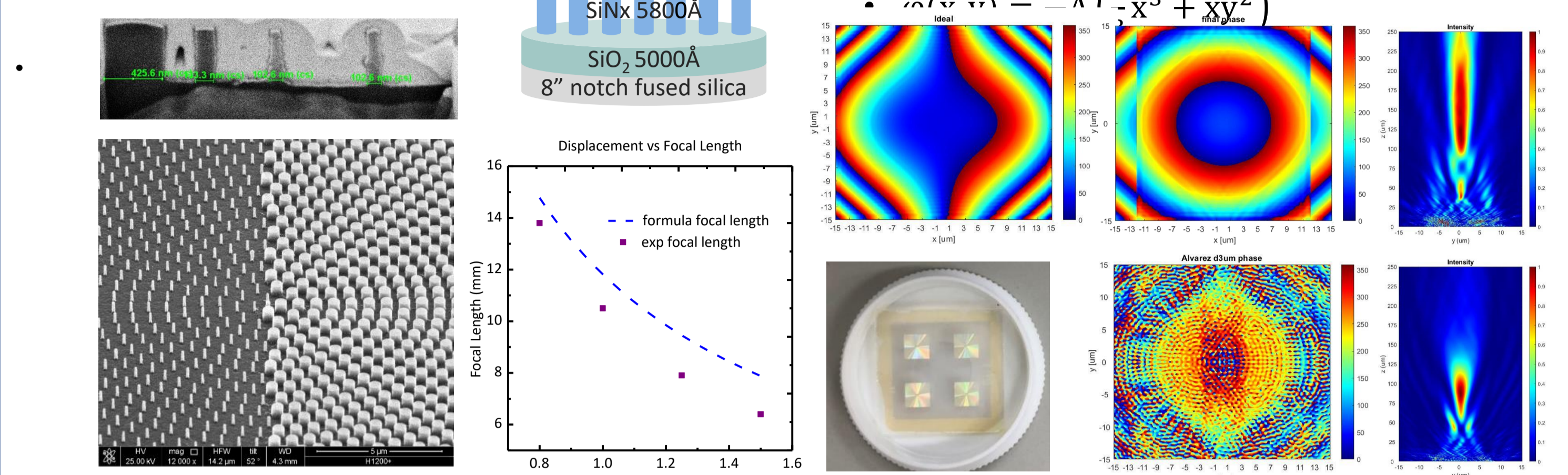


332 NIR 超穎透鏡 (D=8 mm, NA=0.45) on 8 吋玻璃晶圓與 >1000 VIS 超穎透鏡 (D=4.5 mm, NA=0.2) on 8 吋玻璃晶圓:

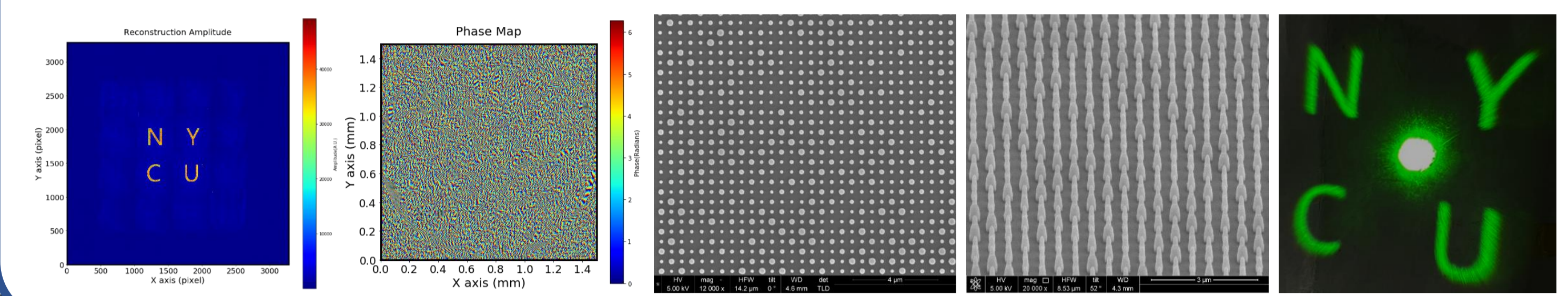


聚焦效率達 64-68%

Alvarez 變焦超穎透鏡 (D=4mm): 將近 1:6 的蝕刻深寬比，量測實測變焦範圍約 6-14mm

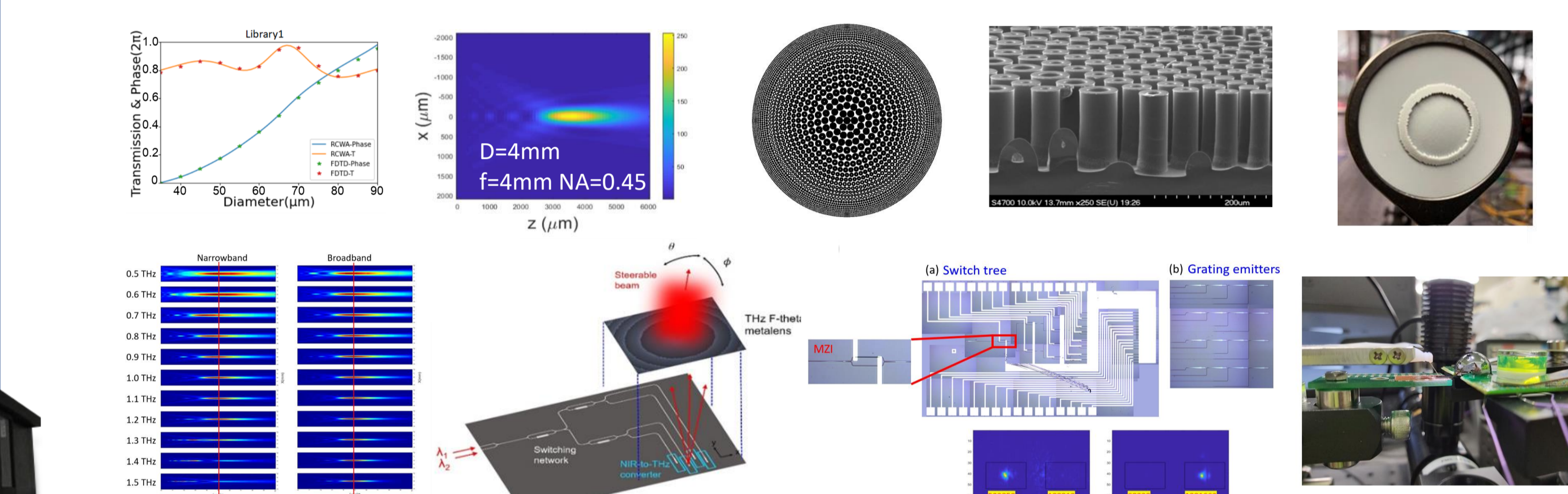


超穎表面全像片 (CGH): 超穎原子大小呈不規則分佈

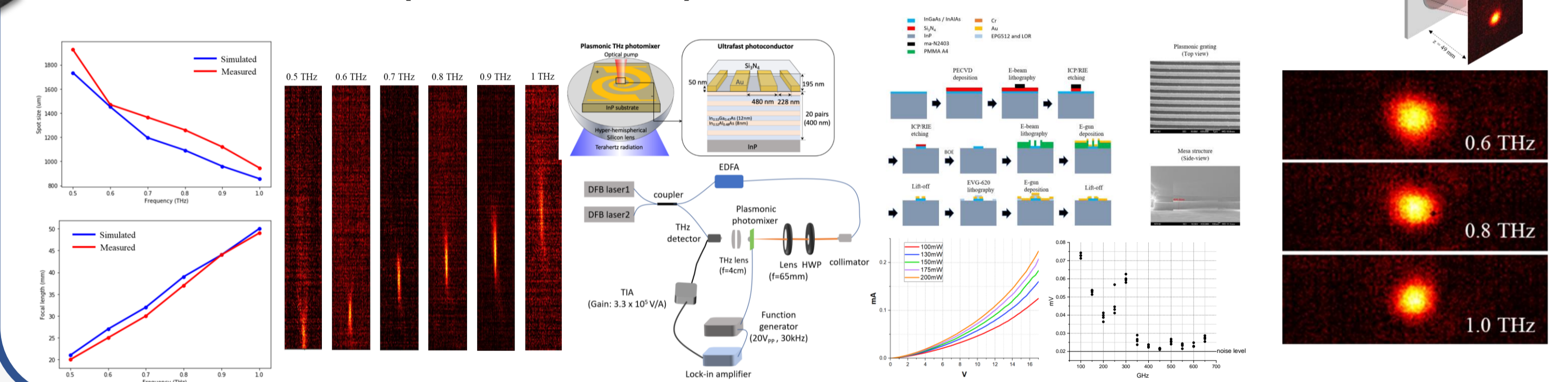


(三) THz 超穎透鏡與矽光子光束操控晶片

開發出 THz 窄頻超穎透鏡，可用具量產性的光學微影製造，量測得 46% 的聚焦效率，與模擬的 47% 理論值相符。設計並製造用於 0.5-1.5 THz 寬頻帶 THz 矽超穎透鏡，以及可 3D 列印之樹脂超穎透鏡。製造完成可操縱 4x4 出光點的矽光子 THz 光束操控晶片。

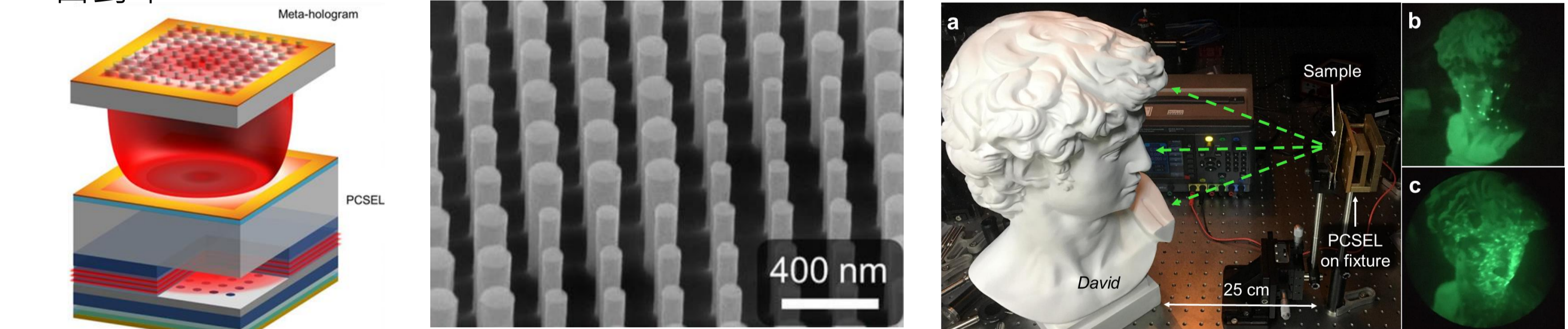


超穎透鏡量測 (0.5 - 1.0 THz) • 太赫茲電漿子混頻器



(四) 前瞻多工超穎介面:

我們將超穎介面全像片結合在光子晶體面射型雷射 (PCSEL) 上。PCSEL 具有對稱的光束模式、晶圓級測試和穩定的製程等優勢。我們的超穎介面全像片的視場 (FOV) 為 84 度，在理論上甚至可以更高。PCSEL 的輸出功率遠大於 VCSEL，使我們的超穎全像片具有足夠的工作距離。整合可以減少光電系統的整體體積，並允許在封裝過程中實現光路的自對準。



總結:

- 本計畫建立深度學習微影模型與智能鄰近修正技術 IPC，利用 Taiwania 平行運算實現以光學微影在八吋玻璃晶圓製作直徑 8mm NIR/直徑 4.5mm Vis 介電質超穎透鏡，達到繞射極限焦點，NIR 聚焦效率 68%，VIS > 60% 接近理論計算。本計畫成果實現批量製造低成本、高品質超穎光學元件。
- THz 超穎透鏡已實現 46.1% 聚焦效率 (1THz)，在 0.5 - 1THz 頻段量測值與模擬理論值相符。已建立起直接觀測可調頻率、高解析度實時太赫茲影像系統。
- 前瞻多工超穎介面發展新的超穎介面與光源整合模式：超穎全像片與光子晶體面射型雷射整合，可做其他光束整形應用，如 3D 感測和 LiDAR 等。

參考文獻:

- M. Ossiander et al., "Slow light nanocoatings for ultrashort pulse compression" Nature Communications 12, 6518 (2021)
- W.-P. Liao et al., "Towards Low K1 Patterning of Near Infrared Metalenses Using Distributed Optical Proximity Correction and Deep Learning Lithography Model," Optics Express 30, 21184-21194 (2022)

