

國科會工程處學門主題式計畫

「矽光子/共封裝光學與智慧自動化技術之整合與開發」

補充資料

壹、技術規格及指標

本主題式計畫係以台灣矽光子/CPO 產業鏈於學界團隊可連結之研究題目，藉以完成智慧自動化技術於矽光子/共封裝光學之產業技術開發與整合，以滿足下述目標：

1. 建立矽光子光纖-晶片高精度自動對準技術。
2. 建立共封裝光學(CPO)模組自動化精密封裝技術。
3. 建立高速矽光子模組自動化測試平台。
4. 建立矽光子模組智慧檢測系統。
5. 建立矽光子智慧製造示範系統。

以下為可能之計畫議題範例與建議規格：

1. AI輔助矽光子光纖-晶片高精度自動對準技術：

矽光子模組製造中，光纖與 Photonic IC (PIC)的對準是最關鍵且最昂貴的製程之一，目前高階模組多使用 Active alignment，耗時且難以自動化，因此開發 AI-assisted optical alignment system 是未來實現量產的關鍵。以下為可能的關鍵議題：Sub-micron precision alignment、Machine vision fiber recognition and alignment、AI-based optical power feedback control and optimization、Automated coupling algorithm 等。

項目	建議目標規格
對準精度	$\pm 0.5 \mu\text{m}$
耦合損耗	$< 1 \text{ dB}$
16 通道 Fiber array 對準時間	$< 90 \text{ s}$ (示範線) $< 60 \text{ s}$ (進階目標)
對準重複性	$3\sigma < 0.3 \mu\text{m}$

2. 共封裝光學(CPO)模組自動化精密封裝與定位技術

此項目需要 PIC、Fiber array、Electrical ASIC 多元件整合，並考量 Thermal management，封裝精度要求在 micron 等級。以下為可能的關鍵議題：Hybrid optical/electrical packaging automation、Precision pick-and-place、Micro-assembly automation and control、Thermal deformation compensation 等。

項目	建議目標規格
對位精度	$\pm 0.5 \mu\text{m}$

項目	建議目標規格
Fiber-array alignment	$\pm 0.3 \mu\text{m}$
光纖膠合固化後偏移量 或 IL change	$\pm 0.5 \mu\text{m}$ $\leq 0.5 \text{ dB}$
封裝週期	$< 120 \text{ s/module}$
良率	$> 85\%$
封裝溫漂補償	$< 0.2 \mu\text{m drift}$

3. 矽光子模組智慧光電檢測與高速自動測試

未來 AI 資料中心光模組(800G、1.6T)測試需求快速增加，測試成本可能占模組成本 20-30%。以下為可能的關鍵議題：Automated optical testing、Wafer-level photonic testing、Automated BER measurement、Multi-channel testing platform 等。

項目	建議目標規格
測試速率	800G-1.6T module support (3.2T 前瞻擴充)
Pre-FEC BER	$< 2.4 \times 10^{-4}$
測試時間	$< 60 \text{ s/module}$
Parallel testing	4-8 channels
自動化程度	$> 85\%$ automated

4. 矽光子封裝智慧檢測與缺陷辨識系統

矽光子封裝涉及 Fiber bonding、Micro lens、PIC，缺陷非常微小，需要 AI machine vision inspection。以下為可能的關鍵議題：Optical inspection、AI defect detection、3D optical metrology、Process monitoring 等。

項目	建議目標規格
Defect detection resolution	$0.5\text{-}1 \mu\text{m}$
Inspection speed	$< 10 \text{ s/module}$
Total Inspection Cycle Time	$< 30 \text{ s/module}$
False positive rate	$< 3\%$

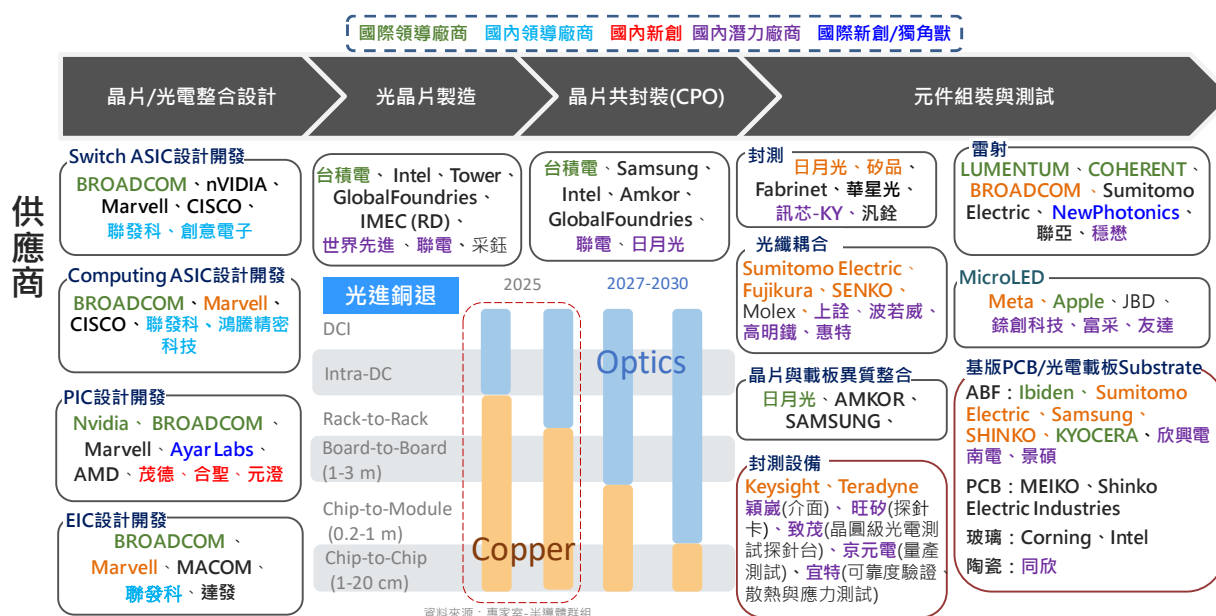
5. 矽光子製造智慧製程與數位孿生

矽光子製造流程包括 Alignment、Bonding、Packaging、Testing，建立 Digital twin manufacturing system 可提升良率。以下為可能的關鍵議題：Photonic manufacturing digital twin、Process simulation、AI process optimization、Predictive maintenance 等。

項目	建議目標規格
Optical Insertion Loss Prediction Error	<0.3 dB
(CPO) First-Pass Yield	>80%
設備 Downtime reduction	20%
Process optimization time	30% faster

貳、矽光子/CPO 國內外產業生態鍊

台灣在矽光子相關產業鏈已具備良好基礎，包括先進晶圓製造、封裝測試、光電元件及系統整合等領域，已初步形成產業生態系，全球矽光子/共封裝光學生態鍊如圖一整理所示，台灣在此一產業的佈局已經略具雛形。為能充份展現計畫執行之具體成效，學界團隊基於上述研究議題所衍生之矽光子/CPO 技術，需有法人單位與產業界(如圖一之國內矽光子/CPO 領導廠商，但不限於圖內之廠商)參與實質合作，以提高產業效益。計畫申請案期望能於申請前就與國內法人/領導廠商共同規劃，確保計畫成果能實際落地，因此在計畫申請書繳交時，必須檢附法人/伙伴企業的合作意向書(如附件二)，亦請於計畫書中具體說明合作企業或法人單位參與本專案計畫之工作內容與合作方式、技術落地與銜接至產業應用之具體措施。另外也必須將計畫成果以及里程碑由法人/伙伴廠商端 α -site (或法人/伙伴廠商的客戶端 β -site)來呈現，以確保所開發技術之產業價值。



圖一、全球(含台灣)矽光子/光學共封裝之產業生態鍊。

矽光子/CPO 國內產業生態鍊(列舉，但不限)

晶片設計：聯發科、達發、元澄、茂德、之光、源傑科技

晶片材料：環球晶

晶片製造：台積電、世界先進、聯電

光通訊元件/模組：鴻騰精密、貿聯、富采、穩懋、光聖、聯鈞、佳必琪、華星光、全新、波若威、聯亞、環宇、光環、上詮、眾達、前鼎、英特磊、連訊、光程研創、合聖

交換器組裝：鴻海、廣達、緯創、智邦

CPO 封測：日月光、矽格、同欣電、訊芯、台星科

CPO 設備：致茂、萬潤、惠特、高明鐵

封裝設備：辛耘、弘塑、志聖

耗材/檢測設備：旺矽、精測、穎崙、雍智科技