

摘要

隨著我國科技產業的發展，國科會晶創臺灣方案，主要運用我國半導體晶片製造與封測領先全球的優勢，結合生成式 AI 等關鍵技術發展創新應用，提早布局臺灣未來科技產業，並推動全產業加速創新突破，其中「矽光子(SiPh, Silicon Photonics)」的技術及產業趨勢值得探討，預期對科園區未來發展有重大的影響。另國科會智慧科技大南方產業生態系推動方案，南科園區更是此方案有關科學園區，基此，矽光子技術及產業發展策略研析有必要性。

矽光子就是結合二十世紀兩個最重要發明：「矽積體電路」與「半導體雷射」的技術。簡單來說，就是在矽晶圓上整合電子和光學晶片，來讓矽晶片除了原先的運算功能之外，還能兼具轉換電子、光子訊號，以及傳送、接收的能力，這樣做除了能透過不斷進步的半導體製程持續降低元件體積和製造成本，也能將原本離散的晶片整合後提升傳輸效率和產品信賴度，為跨光電及半導體領域之新興科技，被譽為突破摩爾定律的方案之一。

南科六大產業以半導體產值最高且持續成長，單一產業產值已破兆元，藉由我國半導體關鍵領先地位，有機會藉由半導體帶動通訊、車用、智慧機械及生醫等產業發展。南科光電產業產值僅次於半導體，然平面顯示器、LED、太陽能光電等產業，因各項產業因素，整體光電產業產值持續下滑，光電產業有待轉型，南科目前已多家光電及半導體產業實際投入矽光子研發試產，未來可預見將有更多光電及半導體產業轉型。

半導體及光電產業為南科二大聚落，本研究構想藉由探討矽光子技術及產業趨勢，進一步研析南科光電、半導體產業創新及轉型策略，亦期待藉由南科光電及半導體等 AIOT+ICT 產業所發展的關鍵零組件，帶動並提升南科各產業領域相關技術及產業發展，希望藉此研析提出發展策略，產政學研跨領域整合，協助現有園區產業技術及產值提升，提出既有產業聚落及新設基地招商布局，強化整體光電、半導體產業，更可帶動光學元件及半導體封裝材料及設備發展，亦可擴及生醫檢測領域，符合我國產業推動方案及國科會產業創新、升級及轉型等政策指標，提升我國產業競爭力。

關鍵字：矽光子

Keyword: Silicon Photonics

目錄

摘要	2
目錄	3
表目錄	5
圖目錄	6
第 1 章 緒論	7
1.1 研究動機與目的	7
1.2 研究架構	8
1.3 研究方法及步驟	8
第 2 章 矽光子概論	9
2.1 前言	9
2.2 矽光子發展歷程	9
2.3 矽光子技術簡介	12
2.4 矽光子關鍵材料及元件	14
2.5 矽光子應用領域	21
2.6 矽光子應用市場趨勢	25
2.7 矽光子於 AI 產業發展	28
2.8 小結	30
第 3 章 矽光子產業發展現況	32
3.1 美國矽光子產業鏈	32
3.2 歐洲矽光子產業鏈	33
3.3 臺灣矽光子與網通產業鏈	36
3.4 SEMI 矽光子產業聯盟	37
3.5 矽光子發展案例報導摘錄	40
3.5.1 台灣積體電路製造股份有限公司(台積電)	40
3.5.2 日月光半導體製造股份有限公司(日月光)	44
3.5.3 聯亞光電工業股份有限公司(聯亞光電)	45
3.5.4 采鈺科技股份有限公司(采鈺)	48
3.5.5 台灣奈微光科技股份有限公司(台灣奈微光)	50
3.5.6 光焱科技股份有限公司(光焱)	52
3.6 小結	53
第 4 章 策略及建議	55
4.1 南科矽光子產業鏈招商策略	55

4.2	我國矽光子碩博士論文研發檢索彙整	57
4.3	晶創臺灣及智慧科技大南方對矽光子發展策略建議	60
4.3.1	晶創臺灣方案	60
4.3.2	智慧科技大南方產業生態系方案	62
4.3.3	對矽光子發展策略建議	64
4.4	新興科技應用計畫南科優先徵求主題策略建議	66
4.5	人才培育計畫南科策略建議	68
4.6	專技人培計畫南科策略建議	69
第5章	結論	74
參考文獻		75

表目錄

表 1 矽光子技術的材料需求	16
表 2 矽光子與網通相關產業鏈	37
表 3 SEMI 矽光子產業聯盟成員名單：	39
表 4 台積電攻矽光子 COUPE 光引擎	44
表 5 南科矽光子相關產業.....	56
表 6 碩博士論文研發現況檢索-依大專院校.....	57
表 7 碩博士論文研發現況檢索-依領域.....	58
表 8 113 年南科新興科技應用計畫優先徵求主題.....	67
表 9 矽光子相關課程規劃.....	70
表 10 半導體製程與實作培訓班	71
表 11 課程名稱：電子封裝技術介紹	72

圖目錄

圖 1 執行進度甘特圖	8
圖 2 矽光子發展歷程	10
圖 3 傳統插拔式光收發模組與共同封裝光學模組示意圖	13
圖 4 矽光子晶片示意圖	13
圖 5 矽光子重要光學元件	15
圖 6 矽光子晶圓 SOI 結構圖及剖面示意圖	16
圖 7 矽光子技術整合方案比較	20
圖 8 矽光子技術潛力應用市場整理	22
圖 9 矽光子應用年複合成長率	24
圖 10 矽光子市場概況	25
圖 11 矽光子元件應用市場規模(新臺幣)與佔比	26
圖 12 AI 帶動乙太網路收發器市場在短短兩年內成長倍增	28
圖 13 矽光子封裝需要具有可預測性和可擴展性	29
圖 14 矽光子技術在收發器中的應用越來越廣泛	30
圖 15 Intel 4 Tbps 光運算互連 (OCI) 晶片組	33
圖 16 積體電路供應鏈	34
圖 17 歐盟晶片法案旗下的 PhotonixFAB 計畫	35
圖 18 台積電 3D 光引擎	41
圖 19 采鈺開發矽光子主被動元件相關製程	50
圖 20 台灣奈微光讓產品從校園實驗室走向商用市場	51
圖 21 南科策略相關計畫關聯圖	55
圖 22 南科矽光子產業聚落招商及轉型布局	57
圖 23 行政院晶創臺灣方案	61
圖 24 智慧科技大南方產業生態系推動方案	63
圖 25 南科產業結合方案創新轉型矽光子策略圖	66
圖 26 南科新興科技應用計畫策略圖	68
圖 27 南科人才培育計畫策略圖	69
圖 28 南科專技人培計畫策略圖	73

第1章 緒論

1.1 研究動機與目的

隨著我國半導體產業的發展，行政院於112年11月2日宣布通過「晶片驅動臺灣產業創新方案」（以下簡稱晶創臺灣方案），主要運用我國半導體晶片製造與封測領先全球的優勢，結合生成式AI等關鍵技術發展創新應用，提早布局臺灣未來科技產業，並推動全產業加速創新突破，其中「矽光子(SiPh, Silicon Photonics)」的技術及產業趨勢值得探討，預期對園區未來發展有重大的影響。另國科會智慧科技大南方產業生態系推動方案，南科園區更是此方案有關科學園區。園區就此矽光子技術及產業發展策略研析有必要性。

矽光子就是結合二十世紀兩個最重要發明：「矽積體電路」與「半導體雷射」的技術。簡單來說，就是在矽晶圓上整合電子和光學晶片，來讓矽晶片除了原先的運算功能之外，還能兼具轉換電子、光子訊號，以及傳送、接收的能力，這樣做除了能透過不斷進步的半導體製程持續降低元件體積和製造成本，也能將原本離散的晶片整合後提升傳輸效率和產品信賴度，為跨光電及半導體領域之新興科技，被譽為突破摩爾定律的方案之一。

南科六大產業以半導體產值最高且持續成長，單一產業產值已破兆元，藉由我國半導體關鍵領先地位，有機會藉由半導體帶動通訊、車用、智慧機械及生醫等產業發展。南科光電產業產值僅次於半導體，然平面顯示器、LED、太陽能光電等產業，因各項產業因素，整體光電產業產值持續下滑，光電產業有待轉型，南科目目前已多家光電及半導體產業實際投入矽光子研發試產，未來可預見將有更多光電及半導體產業轉型。

半導體及光電產業為南科二大聚落，本研究構想藉由探討矽光子技術及產業趨勢，進一步研析南科光電、半導體產業創新及轉型策略，亦期待藉由南科光電及半導體等AIOT+ICT產業所發展的關鍵零組件，帶動並提升南科各產業領域相關技術及產業發展，希望藉此研析提出發展策略，產政學研跨領域整合，協助現有園區產業技術及產值提升，提出既有產業聚落及新設基地招商布局，強化整體光電、半導體產業發展，符合我國六大核心戰略產業推動方案及國科會晶創計畫、智慧科技大南方產業生態系推動方案等政策指標，提升我國產業競爭力。

1.2 研究架構

本研究以目前南科光電、半導體產業趨勢現況進行分析，並就現況產業優劣勢進行探討，並分析政策工具提供策略及建議。除第 1 章緒論外，第 2 章矽光子概論，第 3 章矽光子產業發展現況，第 4 章策略及建議，第 5 章結論為本文作最後總結。

1.3 研究方法及步驟

1. 資料收集：

本研究計畫將收集國內外光電、半導體產學研現況、法規及專利智慧財產權、專業雜誌及報導、碩博士及期刊論文及政府輔導措施等資料，作為研究之參考。

2. 國內外資源分析：

本研究計畫將就收集之資料進行分析，找出可用資源及成功發展模式。

3. 技術及產業趨勢分析：

本研究計畫將分析光電及半導體技術、法規及產業發展趨勢，尋找適合南科產業發展之關聯及應用。

4. 撰寫研究報告：

最後我們將進行報告之撰寫。

5. 執行進度甘特圖(如圖 1)：

月 工作項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. 資料蒐集												
2. 國內外資源分析												
3. 製造設計分析												
4. 撰寫報告												
進度累計百分比(%)	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100

圖 1 執行進度甘特圖
(作者自行繪製)

第2章 矽光子概論

2.1 前言

生成式人工智慧的算力需求飆升，推動了大量的資料傳輸和處理，使得資訊科技產業處於蓬勃發展之中。這一趨勢不僅激發了傳統半導體產業的發展，同時也推動了新興的技術領域蓬勃發展，其中一個備受關注的領域就是矽光子(SiPh, Silicon Photonics)技術。在這個快速變遷的資訊科技時代，數據傳輸和處理需求日益增長，不僅在人工智慧領域，還在雲端運算、物聯網、5G 通信等各個領域中呈現爆發式增長。為了應對這種需求，傳統的電子元件和半導體技術正在達到其極限，迫切需要一種更高效、更快速的數據傳輸方式。正是在這樣的需求背景下，矽光子技術嶄露頭角，成為一個引領未來的關鍵技術。臺灣作為半導體產業的一個重要據點，不僅在傳統的半導體制造方面具有卓越的實力，還在新興技術領域有著強大的創新能力。台積電作為全球領先的晶圓代工廠商，一直以來致力於技術創新和產業升級。在近期的半導體展中，台積電公司分享了其在矽光子技術領域的最新進展，這讓矽光子技術成為了一個引人注目的技術熱點，迅速嶄露頭角。在這個充滿挑戰和機遇的時刻，臺灣的半導體產業和科技界正積極投入矽光子技術的研發和應用，以確保在全球競爭中保持領先地位。這一領域的持續發展將不僅推動臺灣的高科技產業升級，還有望為全球數據傳輸和處理提供更快速、更高效的解決方案。

2.2 矽光子發展歷程

矽光子學是一門結合了光學和矽基半導體技術的學科，主要用於提高電子設備的數據傳輸速度和效率。矽光子學的發展歷史(如圖 2)可以分為幾個主要階段：

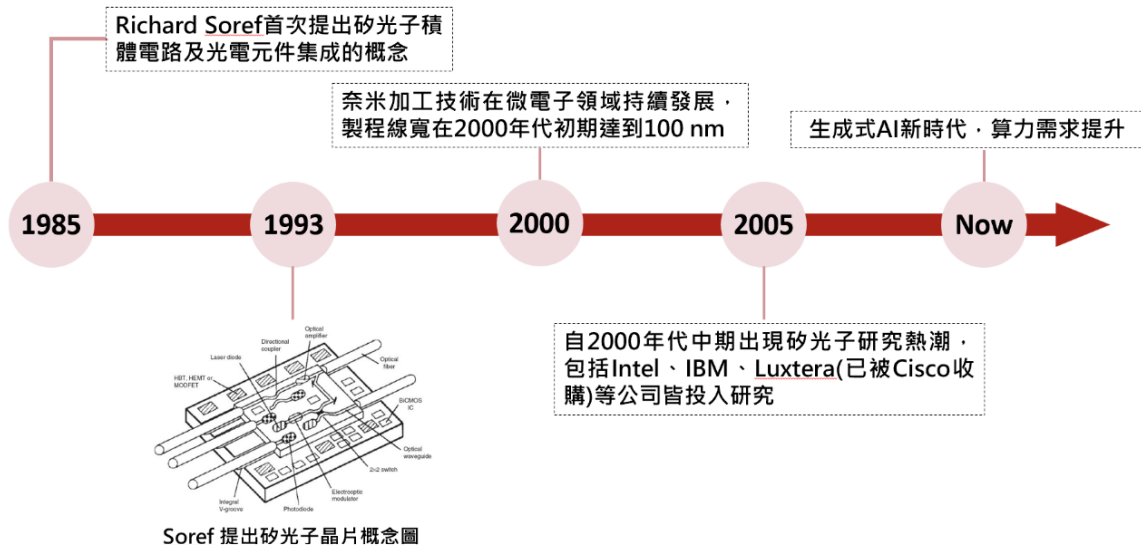


圖 2 矽光子發展歷程
(魏晨洋等人，2022)

(1) 早期探索 (1980 年代末 - 1990 年代)：

在這一時期，研究人員開始探索將光學元件整合到矽晶片上的可能性。Richard Soref 在 1985 年首次提出利用矽作為光學元件的概念。在研究中指出矽在紅外範圍的優異光學特性。這一時期多數的研究集中在理解矽在光學應用中的基本特性。

(2) 技術突破 (2000 年代初)：

進入 21 世紀，隨著製造技術的進步，半導體製程進入奈米時代，製程線寬達到 100nm，矽光子學也開始實現一些重要的技術突破。如矽基光波導的開發，成為實現高效光學通信的關鍵和高速矽調變器的研發，使得數據可以通過光信號有效傳輸。英特爾公司 (Intel) 在 2004 年展示了第一個矽基光調變器，標誌著矽光子向實用化邁出重要一步。

(3) 商業化 (2010 年代)：

矽光子技術開始進入商業化階段，越來越多的公司開始投入這一領域。除了前期的 Intel、IBM、Luxtera 等公司外，Cisco 和 Juniper Networks 也開始探索和投資矽光子技術。產品開始應用於數據中心和高性能計算系統中，用於提高數據傳輸速度和降低能耗。

(4) 最新進展和未來趨勢 (2020 年代)：

隨著生成式人工智慧的爆發，算力需求大幅提升，同時也面臨功耗

暴增的挑戰，矽光子技術持續進步，包括更高效的光源、更快的調製器和更靈敏的光檢測器。研究重點轉向更複雜的系統集成，例如將矽光子與其他技術（如量子計算和人工智能）結合，預計矽光子學將在未來的通信、生物醫學和計算領域發揮更大作用。矽光子研發三大階段如下：

- 第一個階段：

矽光子技術已存在多年，如今因為生成式 AI 應用，需要更高速傳輸，所以變成一種炙手可熱的技術。目前國內矽光子研發還停留在第一個階段，也就是透過 PCB 板，將零組件進行組裝，再透過光波導（waveguide）元件來進行光的轉換跟傳遞；實際做法是採用 CP0 技術進行封裝。

- 第二個階段：

倘若需要進一步去解決功耗、發熱以及傳輸速度等問題，就必須進展到第二個階段，這是由 NTT 在 IOWN（全光和無線網路聯盟）所提出；將所有晶片都放在矽基板上，用半導體的方式全部封裝在一起，所有晶片之間的訊號傳輸，都透過「光」來傳遞，這是第二個階段需要完成的。

- 第三個階段：

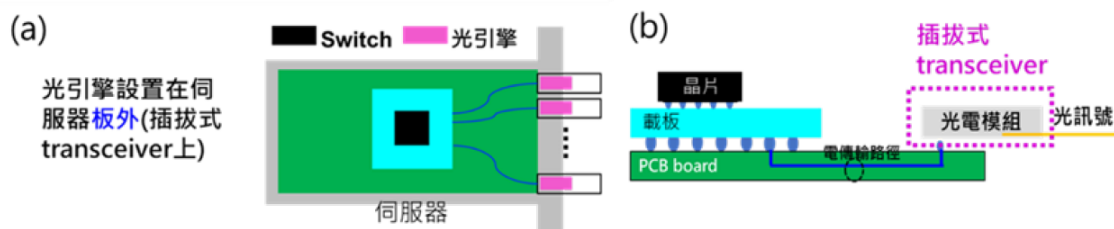
終極目標希望「晶片內」的資料是透過光而非由電來傳輸，它的結構跟過去由電子驅動的晶片很不一樣，因為這技術需要「光源」，它需要幾組雷射，以及光電轉換的光電二極體，還需要一個光訊號切換裝置。

矽光子的專利數量最多的是在美國，例如 Cisco、MACOM、Intel 等，若將範圍縮小到 IC 製造業，Intel 在申請數量上排名第一，從 1990 年代就投入矽光子研發，投入矽光子已逾 30 年，而且是壓倒性領先，該公司有伺服器部門，當初投入矽光子領域就是為了大型伺服器做準備。在亞洲，矽光子申請專利數領先業者是 NTT，由此可見，通訊業者在矽光子領域戮力甚深；至於中國則以華為等通訊廠為主。我國晶圓廠不擅長「光學」需奮力追趕。這些東西都不是國內晶圓廠擅長的技術。」因為過去 IC 製造業擅長處理邏輯 IC 中的電子訊號，但對於光學結構的設計與製作的發展時程與經驗，仍有持續進步的空間，光電及半導體產業整合及人才培訓，為未來發展重點(戴嘉芬，2024)。

2.3 矽光子技術簡介

矽光子技術(或稱為積體光學技術)，是一種結合電子與光子的先進技術。它主要涉及將光路微縮至晶片尺寸，其中晶片內的線路由能導光的材質製成，稱為「光波導」。這些光波導能夠實現光在晶片內的傳輸，從而達到高速率和低功耗的數據傳輸。矽光子技術的終極目標是用光訊號全面取代電訊號，但在實際應用中仍面臨許多挑戰。隨著生成式人工智慧和資料中心的興起，矽光子技術成為了一項關鍵技術。如圖 3 所示，傳統的矽光子插拔模組外型類似於 USB 介面，這些模組連接兩條光纖，一條用於光的輸入，另一條用於輸出。然而，這些插拔式模組的電訊號在進入交換器之前必須經過長距離的傳輸，這導致了高速運算中的大量電損失。為了克服這一挑戰，矽光子技術迎來了一項重大創新，即「共同封裝光學」(CPO, Co-Packaged Optics) 技術(如圖 4)。CPO 技術的核心概念是將電子積體電路(EIC, Electronic Integrated Circuit)和光子積體電路(PIC, Photonic Integrated Circuit)共同裝配在同一個載板上，實現晶片和模組的共同封裝。這項技術將傳統光收發模組中的光通訊元件與交換器晶片整合在一起，有效減少了資料傳輸的路徑。目前的電腦主要使用電訊號進行資料運算，並可透過電訊號或光訊號進行資料傳輸。由於光訊號的頻寬遠高於電訊號，因此資料中心的伺服器間大多採用光訊號進行傳輸。在這個過程中，伺服器會先通過「光發射模組」將電訊號的「開與關」轉換為光訊號的「亮與暗」，然後通過光纖傳送到接收端，再由「光接收模組」將光訊號的「亮與暗」轉換回電訊號的「開與關」。在光通訊系統中，能夠傳遞電磁波訊號的介質稱為「波導」。由於光是一種電磁波，因此能夠傳導光的介質被稱為「光波導」。光纖是最基本的光學元件，用於傳遞光訊號，因此它也是一種光波導。然而，光通訊系統需要處理光訊號的分光、合光、切換和調變等操作，因此除了光纖之外，還需要其他能夠處理光訊號的元件，這些元件統稱為「光波導元件」或「積體光路」(OIC, Optical Integrated Circuit)。另一方面，矽光子技術，不僅在數據中心和高性能運算領域發揮著重要作用，還具有多項顯著優勢。首先，矽光子技術能夠實現高速數據傳輸。由於光訊號的頻寬遠高於電訊號，這使得矽光子晶片能夠處理比傳統電子晶片更大量的數據，從而提高整體系統的傳輸速度和處理能力。

➤ 插拔式光收發模組 (Transceiver) 架構



➤ 共封裝光學模組(CPO)架構

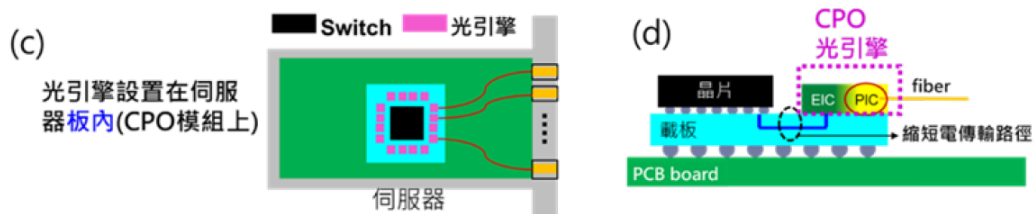


圖 3 傳統插拔式光收發模組與共同封裝光學模組示意圖
(張崇學，2023)

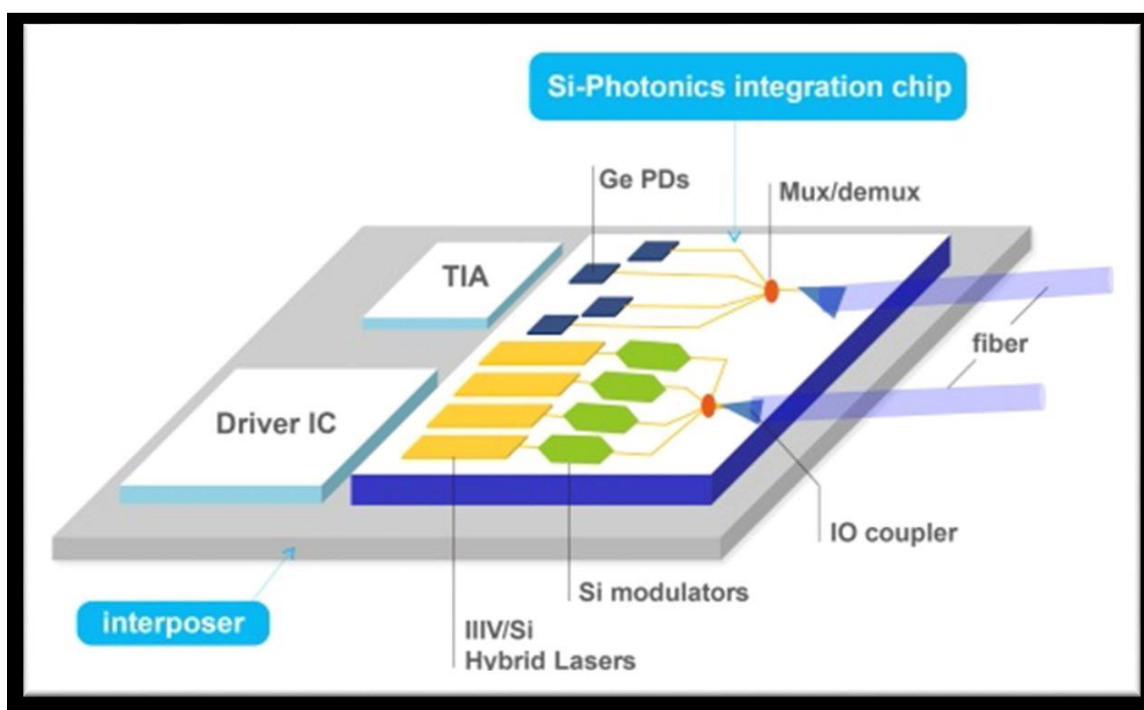


圖 4 矽光子晶片示意圖
(魏晨洋等人，2022)

其次，矽光子技術具有低功耗的特點。在光學傳輸中，由於光波導的損耗比電線的損耗低，因此在長距離傳輸中能夠有效降低能源消耗。

這一點對於運行大量伺服器的數據中心來說尤為重要，有助於減少運營成本和環境影響。此外，矽光子技術還具有高度的集成性。通過將光學元件微縮並整合到單一晶片上，可以大幅度減少所需的空間和製造成本。這種集成性使得矽光子晶片不僅適用於大型設施，也適用於便攜式和消費性電子產品。矽光子技術還具有良好的相容性。由於矽是半導體工業中最常用的材料，矽光子晶片可以輕易地與現有的半導體製程相結合。這意味著可以在不需要大幅度改變現有製造設施的情況下生產矽光子元件，從而降低技術轉換的門檻和成本。

目前，矽光子技術主要應用於解決插拔式模組的信號延遲挑戰。隨著技術的不斷發展，下一個階段的挑戰將包括解決 CPU 和 GPU 之間的電信號傳輸問題。學術界普遍認為，晶片間的數據傳輸主要依賴電信號，因此下一步的目標是透過光波導技術實現 GPU 和 CPU 之間的內部通訊，將電信號完全轉換為光信號，以加速人工智慧計算並解決當前計算能力的瓶頸問題。隨著技術的不斷進步，未來將邁向"全光網路"的時代。這意味著晶片之間的所有數據傳輸都將使用光訊號傳輸方式，包括隨機存取、數據傳輸、交換處理等。目前，日本已經積極推動矽光子技術在實現全光網路方面的佈局。未來，這一技術的應用將為計算和通訊領域帶來革命性的變革，加速人工智慧等領域的發展。矽光子技術還具有良好的可擴展性。隨著技術的進步，可以進一步提高晶片的性能和功能，從而滿足未來更高速度和更大容量的數據傳輸需求。這使得矽光子技術在未來的通訊和計算領域具有廣闊的應用前景。

2.4 矽光子關鍵材料及元件

在當前的光子積體電路研究中，核心目標是通過半導體技術將光學元件進行積體化，從而利用半導體製程的微縮優勢來提高效率並降低成本。這種技術的發展，使得光學元件可以被納入到更小的尺寸中，同時保持或提升其功能性。光學元件的設計和構造取決於其特定的應用需求，涵蓋了從基本的零組件到複雜的系統整合。矽光子技術在這一領域中扮演著關鍵角色，它可分為兩個主要層面。首先是光電元件層面，這包括了被動積體光學元件、主動光電元件以及光電晶片的構裝與測試技術。其次是光電系統晶片層面，涉及將光電元件與其他感測器或電路整合，形成更為複雜的系統。

如圖 5 所示，在光學主動元件方面，雷射光源、光接收器（PD, Photodetector）、以及調變器（Modulator）等元件是關鍵組件。這些元件在光學信號的生成、接收和調節中發揮著核心作用。而在被動元件方面，多工/解多工器（Mux/DeMux）、光濾波器（Optical Filter）、分路/合路器（Splitter/Combiner）、光耦合器（Optical Coupling）、干涉器/光開關（Interferometer/Switch）以及極化控制器（Polarization Diversity）等元件則在光路的導引、分配和處理中起著重要作用。



圖 5 矽光子重要光學元件
(魏晨洋等人，2022)

在矽光子技術的發展中，矽材料的非發光特性構成了一個重要的技術挑戰。由於矽本身無法有效地發光，這就需要依賴外部雷射光源或通過異質整合技術引入發光層，以產生雷射光進行信號傳輸。目前的解決方案包括使用化合物半導體，如磷化銦(InP)、氮化矽(SiN)等，來製造雷射二極體，這些雷射二極體隨後被封裝並整合到矽晶片上。這種方法不僅解決了矽材料的非發光限制，還為光源的整合提供了一種有效途徑。除了光源的挑戰外，矽光子技術已經發展出一系列必要的元件，以滿足技術的需求。這些元件包括用於分光、耦合、濾光和調變的各種組件。這些技術的發展對於實現高效和精確的光信號處理至關重要。

矽光子元件通常採用絕緣層上覆矽（SOI, Silicon on Insulator）技術(如圖 6)，SOI 技術利用氧化矽作為阻隔層，以防止紅外線波長的光滲漏。這種技術的一個關鍵優勢在於其高折射率差異，這有助於增強光場在導波路中的侷限性，從而降低傳播損耗並提高整體的傳播效率。此外，SOI 技術還促進了微小尺寸且結構複雜的光路系統的發展，這對於矽光子技術的進一步創新和應用至關重要。以下針對幾項重要光學元件的功能及發展概況進行說明。以下將矽光子技術的材料需求整理如表：

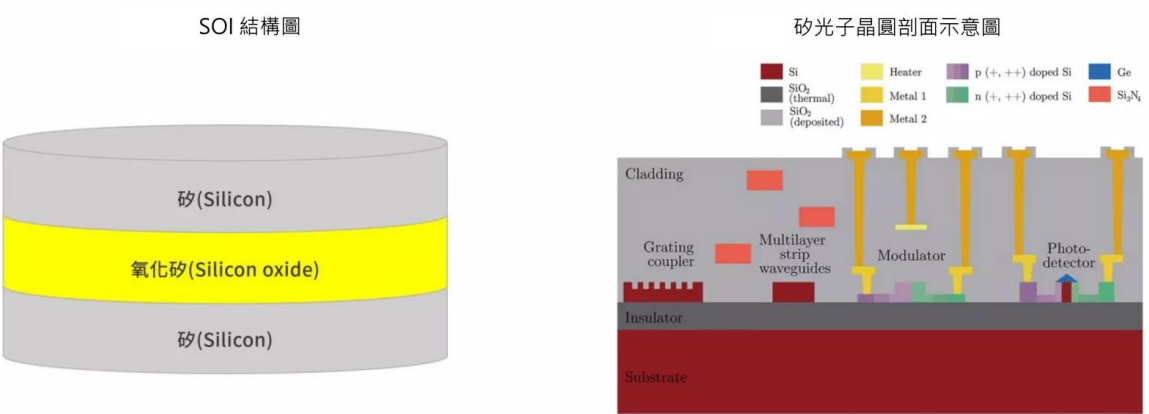


圖 6 矽光子晶圓 SOI 結構圖及剖面示意圖
(魏晨洋等人，2022)

表 1 矽光子技術的材料需求

結構部件	目前主流材料	發展中新材料
晶圓	SOI	—
雷射	InP	—
調變器	LN0	LN0gilm、BTO film、Polymer、SiGe
光波導	SOI	SiN
中介層	Si	Glass
接收器	Ge	—
光放大器	InP	—

(張崇學，2023)

- 晶圓(Wafer)

矽光子的晶圓基板一般會使用 SOI (Silicon on insulator) 晶圓，SOI 是三層結構(如**錯誤！找不到參照來源。**)，從上至下分別為矽(Si layer)、氧化矽(SiO₂ layer)、矽基板(Si Substrate)，中間的氧化矽是絕緣層，用來阻擋紅外光穿透底層基板而形成漏光，此外，SOI 晶圓不同層之間的高折射率差(矽折射率 $n=3.475$ ，氧化矽折射率 $n=1.444$)，也能讓光的傳遞具有局限性，進而減少能量損耗和增加傳送效率，但 SOI 晶圓生產難度較高，價格相較一般矽晶圓來得更貴，目前矽光子所用的 SOI 晶圓多由全球市佔領先業者 Soitec 所供應，信越化學、環球晶、上海新傲科技等公司也有開發相關產品。(周揚桁，2023；張崇學，2023)

- 雷射(Laser)

做為發光源的雷射是矽光子技術最為關鍵的元件之一，矽材料吸收 1,100 nm 以下的波段，所以矽光子雷射通常會採用化合物半導體 InP 來製作可發出 1,310~1,550 nm 波段的邊射型雷射，然而 InP 雷射很容易受到溫度影響而改變波長，但隨著數據處理量的增加，矽晶片發熱量也隨之上升，所以如何處理雷射位置與搭配合適的封裝材料，是各家產品關鍵技術(Know how)所在；除此之外，InP 晶圓商用尺寸偏小(主流為 3 或 4 吋)、價格昂貴、供應集中(掌握在住友電工、JX 金屬、AXT 三家業者手中)，再加上邊射型雷射技術複雜、良率較差，這些都是目前產業極欲克服的問題。

- 光接收器或光感測器(PD, Photodetector)：

光感測器的功能是用來偵測光訊號，可以將「光子(Photon)」轉換成「電子(Electron)」，也就是把光訊號轉換成電訊號，入射光愈強則產生的電子愈多，最常見的光感測器是「光二極體(Photo diode)」。

- 調變器(Modulator)：

調變器的作用是讓電流的 0 與 1 與光的開跟關互相對應，簡單來說，像是有電壓就亮，沒有就暗。矽光子雖然能透過整合縮小體積，但也因尺寸變小限制了外部光纖連接的數量(光纖接的愈多，數據傳輸量愈大)，為了增加矽光子光收發器的傳輸速度，其中一個方法便是提升光電開關速度和光感測器(Photodetector)頻寬，簡單地說就是加快光電訊號的轉換，而調變器便是擔任此一功能的要角，使其材料發展受到產業重視。目前開發中的新材料有鈮酸鋰 LNO (Lithium niobate)薄膜、鈦酸鋇 BTO (Barium titanate)薄膜、高

分子聚合物、矽鍺 SiGe。傳統矽調變器的開關頻率頂多到 25 GHz，而 LNO 晶體則可達到 100 GHz，為了將 LNO 晶體整合到更小尺寸的矽光子元件中，HyperLight 公司研發出 LNO 薄膜變調器；BTO 薄膜具有跟 LNO 一樣快的開關速度，但尺寸更小、工作電壓更低，還兼容矽半導體製程，更利於晶片整合，目前由 IBM 衍生的公司 Lumiphase 研發當中；Lightwave Logic 則是利用獨家專利的高分子材料來開發高速調變器，頻率可達到 70~100 GHz，相關產品仍在研發階段；Global Foundries 則是採用矽鍺 SiGe 材料來提高調變器的速度與降低功耗。

- 多工/解多工：

多工/解多工- Mux（多路復用器）是發送端的一個模塊，它將多個數據信號聚集在一起以通過單根光纖傳輸，而 Demux（多路復用器）是接收端的一個模塊，它將聚集在一起的信號分開並將每個通道傳遞到一個光纖接收者。

- 光濾波器：

光濾波器是用來進行波長選擇的儀器，它可以從眾多的波長中挑選出所需的波長，而除此波長以外的光將會被拒絕通過。

- 光電耦合元件：

光電耦合元件是以光作為媒介來傳輸信號的一種元件，主要功能是讓輸入及輸出電路之間，可以透過隔離的方式傳送電信號。

- 光波導(Waveguide)：

光波導元件是幫助傳遞光訊號，是在矽光子積體電路上大量使用的元件單元，其設計結構包含通道波導、脊型波導等，大部分矽光子元件的設計都會搭配光波導元件。光波導的傳播損耗主要來自波導側壁的粗糙現象，由於微影與蝕刻製程中造成波導側壁粗糙，接近界面的光場會因散射而損耗，在小尺寸矽光子元件中的影響更為顯著。在早期波導的損耗高達每公分 15 dB，如今因為絕緣層上覆矽的引入和製程、設計方法的改進，損耗已經可以控制在每公分 1 dB 左右。相對於電子晶片是透過銅線路進行傳輸，矽光子晶片則是採用類似光纖原理的光波導線路，常見製作方式是在 SOI 晶圓最上層蝕刻出 μm 線寬等級的線路，並覆蓋上一層氧化層，使光的傳遞能被上下兩層氧化物所限制，並透過全反射進行傳輸，然而顯影蝕刻所造成表面粗糙(Side-wall roughness)，很容易讓光在傳輸過程中造成損耗，所以低耗損材料的開發就便得很重要，目前有 STMicroelectronics、LioniX、POET、imec 等機構投入氮化矽 SiN

材料應用於光波導的開發。為了達成光訊號傳輸的物理條件，一般而言光波導線路的尺寸會有所限制，較難持續縮小，此外，光波導的製作工藝和規格也尚未標準化，例如 Intel 的設計是 $1\mu\text{m}$ ，Cisco 則是 $0.4\mu\text{m}$ ，這些都是未來產業發展的重點。

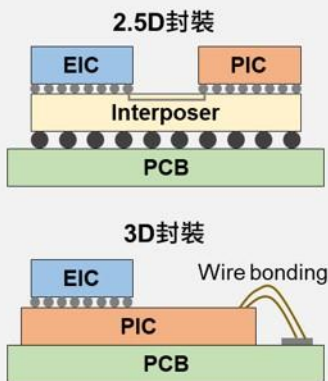
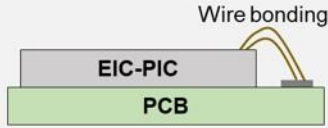
矽光子封裝技術常見的數據傳輸媒介有「電子」和「光子」訊號，光子相對於電子而言有更快的傳輸速度、更高的頻寬、更低的功耗、不會互相干擾、傳輸距離遠等優勢，在 5G、AI、IoT 等新興應用發展之下，以光為介質的光通訊(Optical communication)成功扮演起提升網路頻寬的要角，特別是在雲端資料中心(Datacenter)的數據傳輸、5G 基地台的連接應用上，不過現今電子產品仍是以電子訊號為運算基礎，做為處理晶片的矽半導體本身並不會發光(矽屬於間接能隙材料，其電子與電洞複合為非輻射躍遷，不會釋出光子)，所以光電元件得先將各功能的「矽半導體電子晶片」與「化合物半導體光學晶片」製作好後，再進行連接組裝，才能把「1010」的電子訊號轉換為「明暗明暗」的光子訊號輸出，也由於晶片、元件離散的緣故，使得這類光電產品常有傳輸損耗大、體積大、組裝複雜、組裝成本增加等問題。

「矽積體電路」與「半導體雷射」為矽光子二大技術重點。簡單來說，就是在矽晶圓上整合電子和光學晶片，來讓矽晶片除了原先的運算功能之外，還能兼具轉換電子、光子訊號，以及傳送、接收的能力，這樣做除了能透過不斷進步的半導體製程持續降低元件體積和製造成本，也能將原本離散的晶片整合後提升傳輸效率和產品信賴度。然而「矽」並不會發光，所以矽光子技術難度之一便是如何將化合物半導體的光學晶片，特別是雷射和光放大器，整合到矽晶片上頭，並確保不同材料之間的兼容性，目前常見的整合方案有兩種：混成(Hybrid)和單片集成(Monolithic integration)，其特性比較如圖 7 所示，由於混成技術相對容易生產，是目前較多業者選擇的路線。「混成」是先在光、電兩種不同晶片所屬的晶圓基板上(矽與 III-V 族化合物半導體)，製作好各自的結構，再想辦法結合在一起，目前較常見的結合方式有以下三類：

- 覆晶整合技術(Flip-chip integration)：

覆晶整合技術係將已製作好的光學晶片利用 Flip-chip bonding 方式，黏接在已做好電子晶片結構的矽晶圓上，完成覆晶整合後的矽晶圓可留在矽半導體製程中繼續完成後段的製程，主要發展業者為 Cisco。

- 晶圓鍵合技術(Wafer-to-wafer bonding)：
晶圓鍵合技術為將已做好光學晶片結構的化合物半導體晶圓，跟已做好電子晶片結構的矽晶圓，兩晶圓對位黏接，主要發展業者有 Intel、SCITIL Photonics。
- 轉移技術(Transfer printing)：
轉移技術類似 Micro LED 巨量轉移的方式，使用聚二甲基矽氧烷(PDMS, Polydimethylsiloxane)材料所製成的 Stamp 彈性橡膠，將光學晶片從化合物半導體晶圓上，拾取並放置(Pick & place)在矽晶圓的矽晶片上，主要發展業者有 X-Celeprint。
- 單片集成：
另一項整合方案為「單片集成」，是直接在單片矽晶圓上製作好所有電子與光學晶片結構，單片集成是矽光子技術的終極目標，但由於生產難度高，目前多處於研發階段，主要發展機構有 IQE、AIM Photonics、東京大學。

	Hybrid	Monolithic Integration
結構示意圖	 2.5D封裝 3D封裝	 Wire bonding
技術難度	較低	較高
能量損耗	較大	較小
集成尺寸	較大	較小

資料來源：工研院產科國際所

PIC: Photonic integrated circuit, 光積體電路

EIC: Electronic integrated circuit, 電積體電路

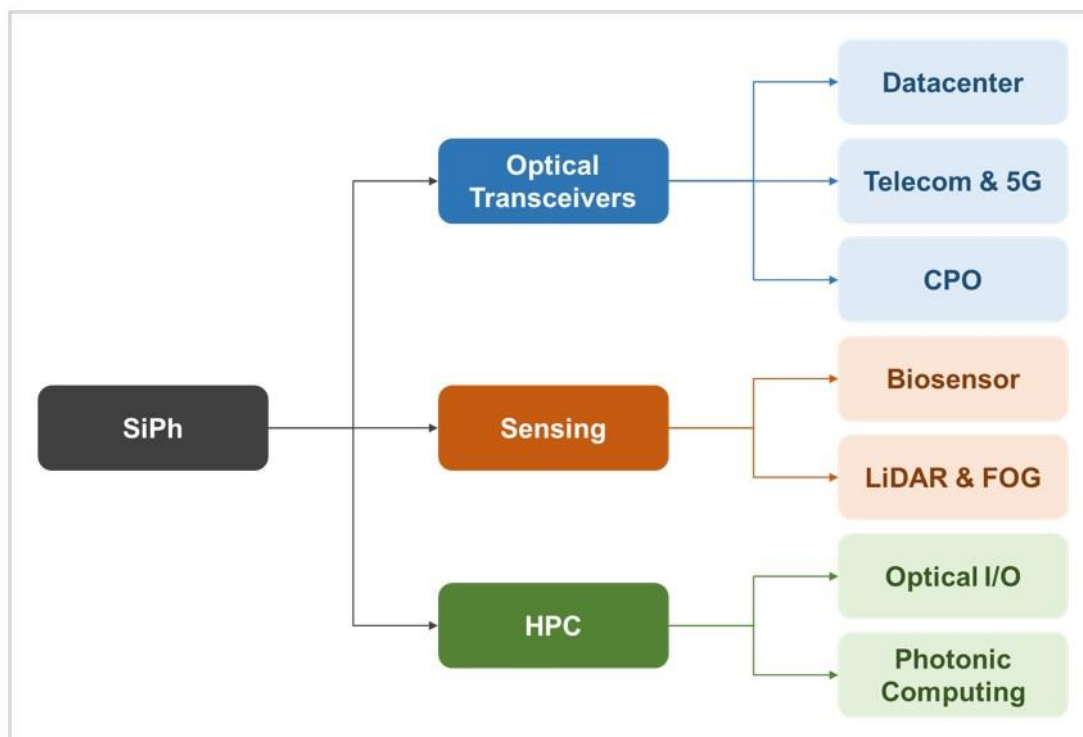
圖 7 矽光子技術整合方案比較
(張崇學，2023)

2.5 矽光子應用領域

雖然可以透過「混成」或「單片集成」方式將雷射光源整合到矽晶圓上頭，但考量到矽會吸收 1,100 nm 以下的波段，所以通常會使用 1,310~1,550 nm 波段的磷化銦 InP 邊射型雷射 EEL (Edge emitting laser) 做為光源，而 1,310、1,550 nm 附近的紅外光能避開光纖吸收，更是遠距離(>150m)光纖通訊的主力波段，使得光通訊中的光收發器(Optical transceiver)成為矽光子技術最主要的應用市場。

除此之外，較長波長的紅外光穿透力強，更不易受到環境干擾，對人眼也更安全，在感測應用上具有高辨識能力、穩定度和安全性，也擁有監控人體血氧等生物指標的功能，讓矽光子感測器在健康監控的穿戴裝置、自駕車的測距光達 LiDAR (Light detection and ranging)、高精度方向定位的光纖陀螺儀 FOG (Fiber-optic gyroscopes) 具有極高的發展潛力

最後，隨著 AI 發展，我們對於伺服器高效能運算能力 HPC (High performance computing) 的要求也不斷提升，而矽光子技術可以協助矽晶片以光訊號方式來連接(Optical I/O 技術)，突破傳統銅線的低頻寬、短距離、高能耗問題，或是將整個運算架構從電子改為光訊號，來加快 AI 伺服器的處理速度(Photonic computing 技術)。矽光子潛力應用領域整理如圖 8 所示。



資料來源：工研院產科國際所

CPO: Co-packaged optics，共封裝光學元件

FOG: Fiber-optic gyroscopes，光纖陀螺儀

HPC: High performance computing，高效能運算

圖 8 矽光子技術潛力應用市場整理
(張崇學，2023)

矽光子已經在多個領域展現出其廣泛的應用潛力。甚至有望成為自駕車、量子電腦等技術之發展關鍵。以下是其主要應用領域的介紹：

- 光通訊 & 資料中心領域：

在光通訊和資料中心領域，矽光子的應用主要集中在提高數據傳輸速度和效率上。矽光子技術能夠支持更高的數據傳輸頻寬，並且相比於傳統的電子傳輸，光傳輸具有更低的能耗和更小的熱發散。這使得矽光子技術非常適合用於大規模數據中心，能夠有效地處理大量數據和高速聯網需求。

- 車用領域：

在車用領域，矽光子正被用於開發更先進的傳感器和通信系統。這些技術對於自動駕駛汽車至關重要，它們可以提供更快速、更準確的環境感知能力，從而提高車輛的安全性和可靠性。此外，矽光

子元件由於體積小、重量輕，非常適合用於空間和重量限制較大的汽車應用中。

- 醫療領域：

矽光子技術在醫療領域的應用包括開發高靈敏度的生物和化學感測器，這些感測器可以用於快速診斷和疾病監測。例如，矽光子晶體可以用於檢測特定的生物標誌物，從而提供更早期和更精確的疾病診斷。此外，矽光子技術還可以用於精密醫療儀器和手術工具，提高醫療操作的精準度和效率。

- 消費性電子產品領域：

在消費性電子產品領域，矽光子的應用主要集中在提高裝置的性能和降低能耗上。例如，利用矽光子技術，可以製造出更小型、更高效的光學元件，這些元件可以用於智能手機、平板電腦和穿戴式裝置中，提供更好的顯示效果和更高的數據處理速度。

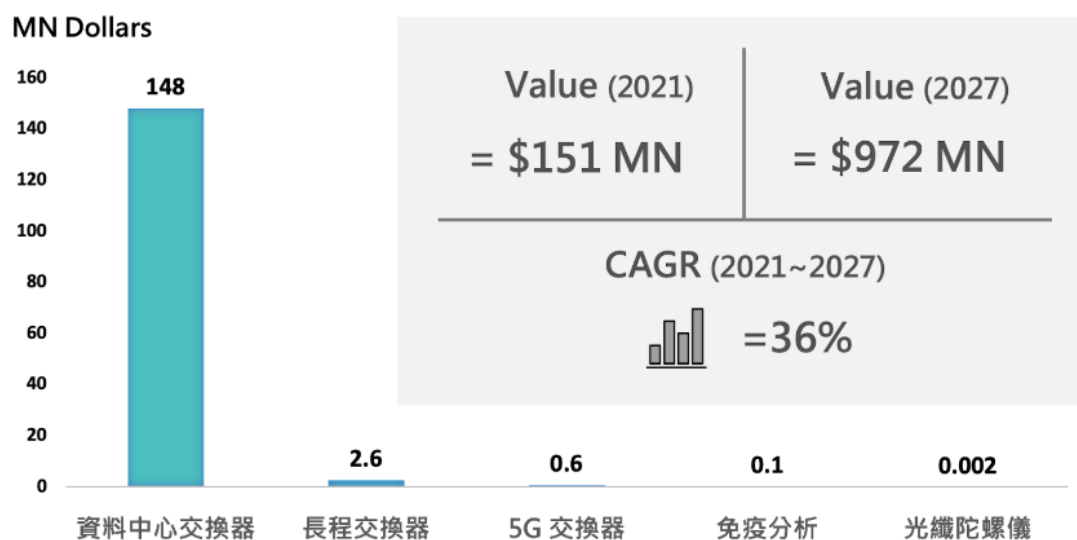
- 量子領域：

矽光子在量子領域的應用是一個新興且迅速發展的領域。矽光子元件可以用於量子計算和量子通信，其中包括量子位元的生成、操控和檢測。由於矽是一種成熟的半導體材料，利用矽光子技術可以實現更穩定和可擴展的量子系統，這對於開發商業化的量子計算機和安全的量子通信網絡具有重要意義。

矽光子提供適用於需要大容量可擴展性的應用程式的多功能平台。其主要且最直接的應用在於資料中心，其中 Intel 佔據主導地位。其次是電信，以 Acacia 為例，它受益於矽光子的卓越性能。

根據 Yole 的分類，矽光子應用領域目前以資料中心交換器（Data center transceivers）、長程交換器（Long haul transceivers）、5G 交換器（5G transceivers）、免疫分析（Immunoassay）、光纖陀螺儀（Fiber-optic gyroscope）為主，終端應用如 AI 伺服器、資料中心、超級電腦、5G 通訊、光學雷達、醫學感測器等，Yole 的統計數據顯示，2021 年矽光子應用市場規模為 1.51 億美元，至 2027 年時應用市場會成長到 9.72 億美元，年複合成長率高達 36%(如圖 9)。(郭書言，2024)

矽光子應用領域



資料來源：YOLE

圖 9 矽光子應用年複合成長率
(郭書言，2024)

目前矽光子技術在元件整合上面臨挑戰，由於光子元件效能為溫度和路徑相當敏感，製成中的線寬與線距對光訊號影響大，欲開發更高效能的光子元件結構和製成，必須擁有一個溝通平台，提供光電廠商設計規格、材料、參數等資訊整合。其次短期內矽光子主要仍應用於利基市場，目前多屬於客製化服務，缺乏統一平台將阻礙矽光子技術發展，且封裝製程與材料標準仍處在待建立階段，若未有統一規格，難以大量導入資料中心等廣大市場。光通訊領導廠商華星光於 2024/9/14 召開法說會，說明目前市場主流仍為 400G、800G 產品，可插拔式模組在 1.6T、3.2T 產品中仍不會被 CPO 取代，華星光預估 2026 年 CPO 應用市場規模達 3 億美元，表示 CPO 等矽光子技術在 2026 年以後才會開始普及。代表目前矽光子技術難以對營收有顯著貢獻，此狀況在其他矽光子與 CPO 概念股也是如此，觀察該產業類股的營收表現，目前矽光子技術對營收的貢獻微乎其微。(郭書言，2024)

2.6 矽光子應用市場趨勢

根據 Yole 市場研究公司的統計數據顯示(如圖 10)，截至 2022 年，矽光子市場價值約為 6,800 萬美元。預測到 2028 年，這一市場將呈現顯著增長，預計超過 6 億美元，年複合增長率 (CAGR) 達 44% (2022 年至 2028 年)。這驚人的增長主要受到 800G 高速可插拔光學模組的推動，這些模組用於擴充光纖網路的容量，以滿足不斷增長的數據需求。

除此之外，隨著對大型訓練模型的算力需求迅速增長，AI 伺服器的重要性也在不斷提升。為了滿足這些需求，大量的光學 I/O(輸入/輸出)技術將被應用，以擴展 AI 和機器學習模型的性能和規模。這意味著矽光子技術在未來幾年內將扮演著關鍵的角色，以應對日益增長的數據處理需求，並推動數據傳輸和 AI 領域的創新發展。預計這一市場將繼續蓬勃發展，為科技行業帶來更多的機會和潛在利益。

2022-2028 silicon PIC dies revenue growth forecast by application

(Source: Silicon Photonics 2023, Yole Intelligence, November 2023)

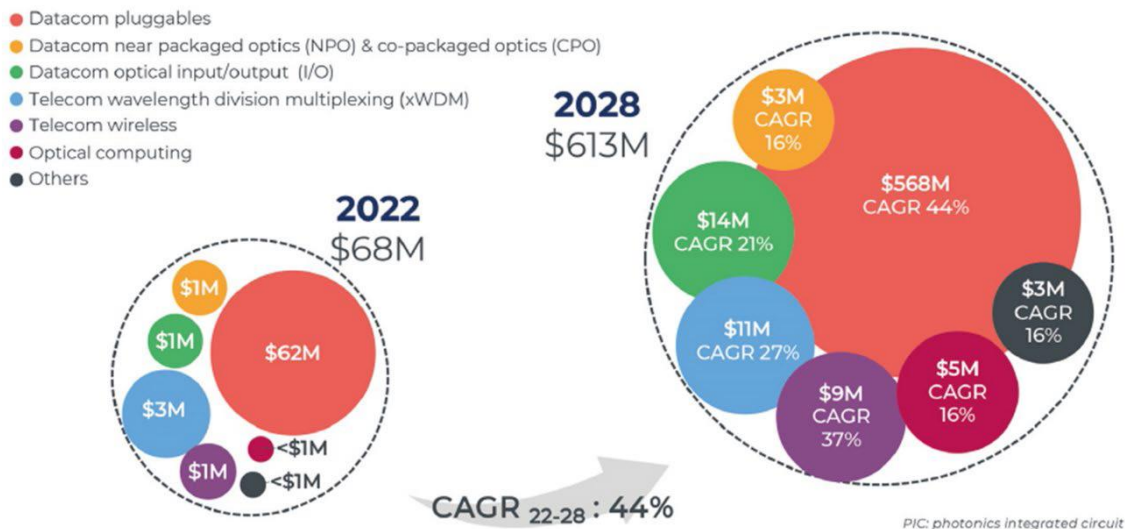
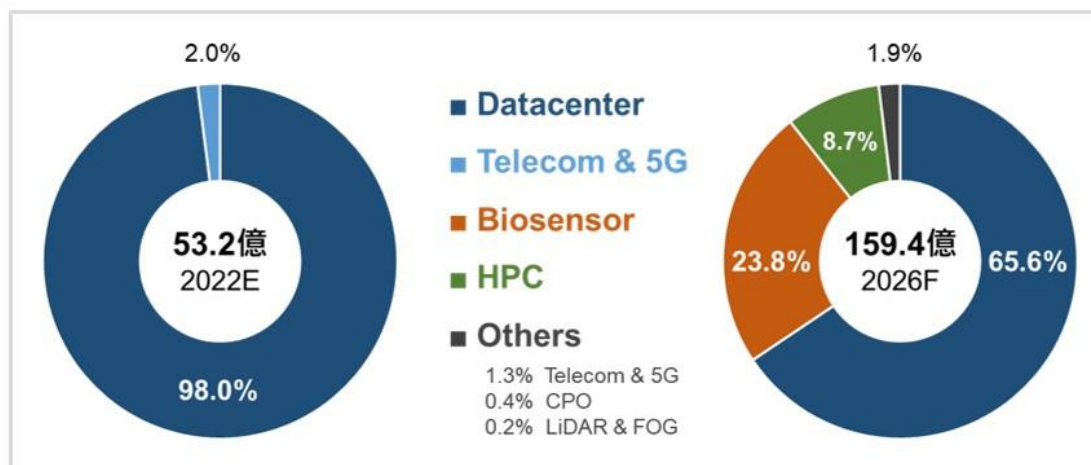


圖 10 矽光子市場概況
(魏晨洋等人，2022)

另依據工研院產科國際所資料分析，2022 年全球矽光子元件市場規模估計約為 53.2 億新臺幣，未來隨著技術的成熟，矽光子元件有機會在光通訊、感測和高效能運算這三個持續成長的市場中找到合適的產品

切入點，預估 2026 年全球矽光子元件市場有望達到 159.4 億新臺幣(如圖 11 所示)，2022~2026 的年複合成長率 CAGR 約為 31.6%。以下便針對這三個應用領域進一步說明技術趨勢：



資料來源：工研院產科國際所

圖 11 矽光子元件應用市場規模(新臺幣)與佔比

(張崇學，2023)

● 光收發器 Optical transceiver

光收發器是光通訊中最重要裝置，負責電子、光子訊號的轉換，以及光訊號的傳送和接收，在 Intel、Cisco 兩家大廠努力將矽光子推向商用化的背景下，資料中心數據傳輸的光收發器已成為矽光子最主要的應用市場，而隨著科技巨頭雲端服務的成長，以及近期很火熱的 ChatGPT、Midjourney 等 AI 新興應用的發展，未來資料中心的數據處理量將不斷上升，光收發器頻寬也要隨之升級，現今矽光子光收發器主流傳輸規格為 100G，未來將跟著資料中心架構往 400G、800G 發展，或更高速率的 1.6T 至 3.2T 時代，甚至是把矽光子晶片與交換器(Switch)晶片整合在同一個模組內，也就所謂的共封裝光學元件 CPO (Co-packaged optics)，藉此減少交換器與光收發器的傳輸損耗，進而降低能耗和訊號延遲，而隨著 AI 應用進入成長拐點，矽光子 CPO 有機會在 2026 年先從性能要求最高的 AI 資料中心開始切入市場。除了資料中心之外，矽光子光收發器也可應用於遠距離的電信傳輸(Telecommunication)，例如光纖上網服務、海底電纜等等，這類市場也會隨著網路頻寬的增加，需求持續增長；另外，5G/B5G 高頻通訊需要更多的基站來增加覆蓋率，而高速遠距的光纖傳輸正好可優化基站、設備之間的連線，包括 Intel、Sicoya、

SCINTIL Photonics 等業者都積極將矽光子光收發器拓展至 5G 領域。

- 感測 Sensing

在感測應用方面，目前最被看好的是能帶來大出貨量的消費性電子產品：具有健康監控功能的穿戴裝置，由於這類產品體積不能太大，讓矽光子在此找到合適的突破口，2021 年新創公司 Rockley Photonics 曾發表能搭載在手錶或手環的矽光子生物感測模組，宣稱可長時間監測使用者血壓、血糖、體溫、水分、酒精濃度、乳酸等生物指標，並在 2022 年獲得與 Apple 合作的機會，雖然 2023 年 Rockley Photonics 因資金無以為繼宣布破產保護，但據了解 Apple 仍持續投入研發並尋找合作伙伴。此外，矽光子生物感測技術還能應用於專業醫療領域，例如 Genalyte 公司開發可用於人體免疫分析的小型設備；比利時微電子研究中心 imec 使用矽光子技術開發高敏感度、小體積的光機超聲波感測器 (Optomechanical ultrasound sensor)，可提高醫療影像 (例如 X 光) 的解析度；Aryballe 開發矽光子技術的電子鼻 E-NOSES，可用來偵測環境的氣體成分。除了生物感測器之外，隨著自駕車、無人載具的發展，矽光子也可應用於測距光達 LiDAR，或是協助精確定位的光纖陀螺儀 FOG，並透過矽光子技術來改善產品的體積、能耗甚至是成本，不過這類應用仍處於研發階段，預估 2026 年產值貢獻佔比小於 1%。

- 高效能運算 HPC

矽光子技術在 HPC 的應用潛力，包括晶片間的光互連技術 Optical I/O、光學運算電腦 Photonic computing，甚至是量子電腦 Quantum computing，這類應用都是希望藉由更高速的光訊號，來提升電腦運算或傳輸能力，隨著 AI 硬體需求將高速成長，再加上矽晶片所遵循的摩爾定律逐漸逼近材料極限，都將加快 HPC 在矽光子的投資與研發。Optical I/O 是 HPC 應用中發展相對較快的技術，主要投入機構有 NVIDIA、Intel、Quintessence、Ayar Labs，而 Optical I/O 最有潛力的市場便是資料中心，現今資料中心都是以伺服器為單元組成的架構，未來有機會走向分散式機構 DDC (Disaggregated data centers)，也就是將 CPU、GPU、記憶體、儲存硬體分區模組化，並藉由 Optical I/O 技術來進行連接，這樣做的優點除了能提升運算和傳輸效率外，分區模組化也讓資料中心更容易進行維修、升級。

2.7 矽光子於 AI 產業發展

相關資料顯示，人工智慧(AI)將促進矽光子(silicon photonics)技術普及，鑒於 AI 在過去幾年來的爆炸式成長，將持續推動對於高速互連、更高頻寬以及隨之而來的乙太網路(Ethernet)光收發器等需求(。根據 LightCounting 的資料，在 AI 的推動下，全球乙太網路收發器市場在短短兩年內倍增，並預計 2024 年和 2025 年的銷售量都將成長一倍。光學可望在未來發揮關鍵作用，但光連接的功耗需要再進一步降低。於 2023 年，50GW 的功率仍足以支援目前雲端資料中心的所有硬體，然而，2029 年需求將提高到 150GW 以上。屆時，光互連所消耗的電力將從目前的 0.5% 提高到 1.5%。目前正處於矽光子技術的潛在轉捩點，目前發展在擴展性、能效、封裝、生態系統、電子設計自動化(EDA, Electronic Design Automation) 和協力廠商智慧財產權(IP, Intellectual Property)等工具以及材料方面仍存在挑戰，尤其封裝和 EDA 式未來發展的重點。

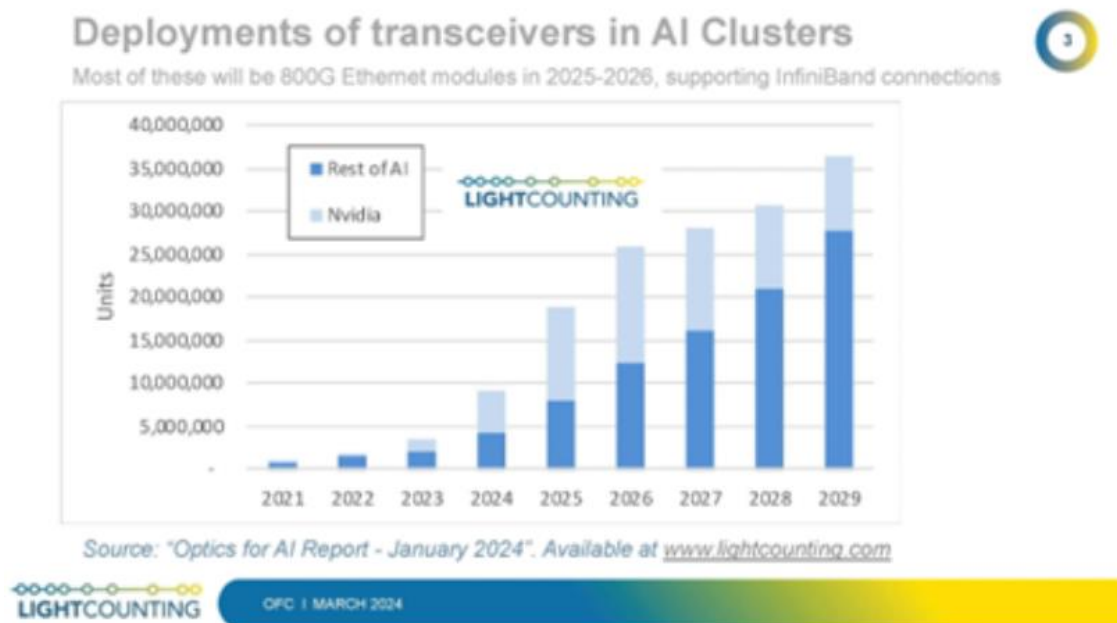


圖 12 AI 帶動乙太網路收發器市場在短短兩年內成長倍增
(Dahad, 2024)

在封裝方面，目前還需要一個具有大規模製造能力的光子封裝製造製程。由於現有原型設計的試產線尚可用，矽光子技術的入門成本目前還很低。但未來如果需要一個解決方案來生產成千或上百萬個元件，才能滿足 AI 在數量方面的要求時，那又會發生什麼情況呢？基於矽光子封裝製程和小晶片(chiplet)之間存在的共通性，小晶片架構提出了一種在同一個中介層上整合不同晶片的可能性，這些晶片採用專門針對記憶體、運算、加速等不同任務而設計的技術。小晶片就像是矽光子晶片(PIC)，可以與其他晶片整合在相同的基板上。從封裝的角度來看，小晶片架構需要一些步驟(如覆晶晶片、接合等)，這些步驟也是光子封裝活動所需要的。然而，光子晶片還需要特定的步驟，如光纖配件(fiber attachment)等，光纖配件在可靠性和擴展性方面的挑戰，光子封裝需要從「手動製作」(handmade)進展至全自動流程，以因應來自 AI 的龐大需求。這需要針對自動化進行投資——有些投資可以與小晶片封裝共用，以縮短整體生產時間，最終盡可能地降低成本。在這方面，為了讓 AI 成為殺手級應用，矽光子技術必須在部署方面確實可行、具有成本效益、可靠(或至少具有可預測的可靠性)、可服務以及可擴展。

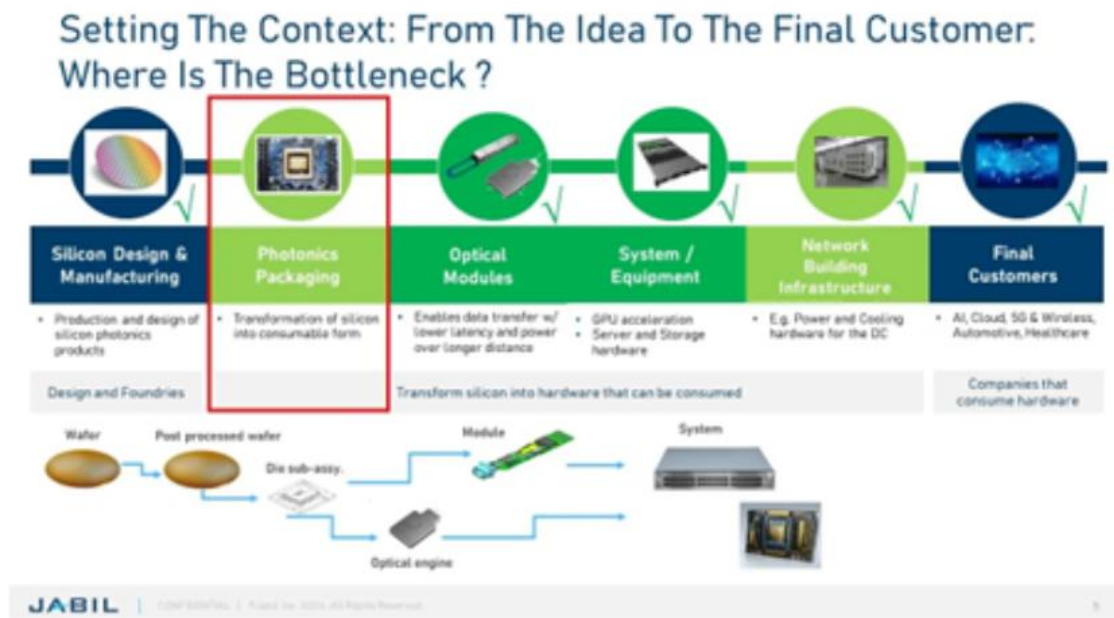


圖 13 矽光子封裝需要具有可預測性和可擴展性
(Dahad, 2024)

另一個關鍵為 EDA 工具方面的挑戰，目前還無法預測正確的首次設計(first-time design)。光子學領域缺乏類似 SPICE 的工具，即讓所有工具都能支援的標準建模套件，例如一款標準的調變器模型，可用於插入參數中，從而有助於在設計的第一時間正確預測設計的結果。然後，還需要能夠在模型中插入可變性，以預測裝置將會發生什麼變化。最後，您不僅需要將數位孿生(digital twin)用於元件，也需要導入環境應用，這樣才能確保設計的所有元素都能協工作。那麼，矽光子技術廣泛被採用的爆發點可能會是什麼？關鍵在於矽光子技術的整合規模，最好能盡可能地實現封裝標準化，並且像發展電子產品一樣進一步發展完善的光學生態系統。此外，解決功耗問題也很重要。最後，業界大廠或大客戶的決策將真正成為 AI 在矽光子技術的關鍵驅動力 (Dahad, 2024)。

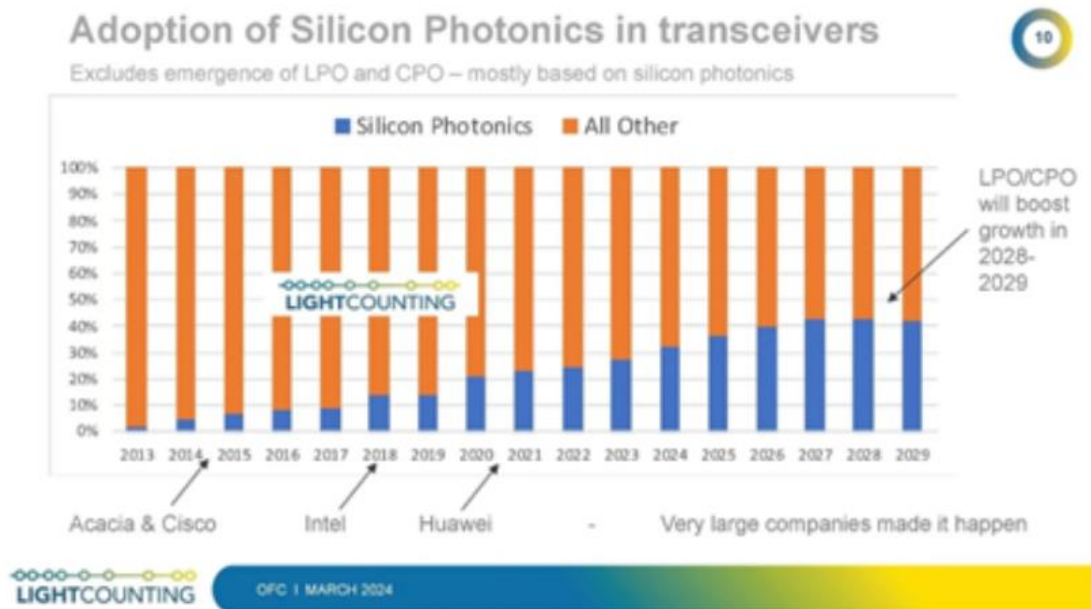


圖 14 矽光子技術在收發器中的應用越來越廣泛
(Dahad, 2024)

2.8 小結

矽光子技術藉由在矽晶圓上整合電子和光學晶片，來降低光電元件的體積、能耗，甚至是製造成本，隨著 AI、5G、IoT 科技發展，矽光子產品在光通訊、感測和高效能運算領域將獲得極高的成長潛力，預估全球矽光子元件市場規模 2022~2026 年 CAGR 將達到 31.6%，進而帶動 SOI 晶圓、InP 雷射、InP 光放大器、高速調變器、SiN 光波導等材料技術的

發展。臺灣是全球矽半導體供應鏈要角(晶圓代工與封測市佔全球第一，IC 設計全球第二)，對於有機會改變產業遊戲規則的矽光子技術也十分關注，而矽光子關鍵在於材料的異質整合，國內材料業者可多留意此技術未來動向，以搶得市場先機(張崇學，2023)。

矽光子技術在眾多方面展現出卓越的優勢，其中包括高速、高整合度、低能耗和相對較低的成本。以資料處理中心的光收發器模組為例，過去必須耗費大量人力將各種不同的元件(如雷射、感測器、分波多工器等)組裝在一起，這不僅極大地增加了成本，還降低了良率。相較之下，矽光子技術允許直接將所需的光電元件集成在單一矽晶片中，因此不僅能夠大幅降低組裝成本，還提高了良率。

挑戰之一是產業鏈和製程的標準化和規模化問題。例如，矽光子晶片的設計、量產和封裝等仍未達到標準化，這導致其在產能、成本和良率方面的優勢尚未充分體現。另一方面，光運算領域的挑戰包括精確度較低於傳統電子晶片，這限制了其應用場景，同時需要提高整合度以提高運算效能，這也使得商業化過程變得更加漫長。此外，實現高效的光源整合在矽光子晶片上也是一個重要挑戰。光源作為關鍵元件需要在矽材料上實現高效的發射和檢測。更好的發射和接收整合是提升矽光子系統性能的關鍵，需要技術突破和持續的研究。

目前，光與電的模擬仍然是分開進行的，即電的模擬在電的軟體中進行，光的模擬則是在光的軟體中進行。然而，矽光子技術要求光和電同時在一個晶片封裝中運行，因此需要開發一種同時模擬光和電的方法，這需要 EDA(Electronic Design Automation)業者如 Cadence、Synopsys 和 Ansys 的參與和突破。而光 I/O 設計也面臨著挑戰，特別是當光 I/O 的數量變得非常大時。在小小的晶片內設計光源需要更精準的模擬，因為光的運行速度非常快，也會產生熱的問題。因此，整合性的模擬工具對於矽光子技術的發展至為重要。

總之，矽光子技術在臺灣的發展需要一定的時間和努力。這是一個複雜的技術，需要跨領域的合作，結合學術界與產業界的研發能量，並需要政府提供支持和資源，以促進其成熟和商業化。儘管面臨著挑戰，但矽光子技術的潛力仍然巨大，可以為臺灣的半導體產業帶來長期的競爭優勢。然而，矽光子技術仍然面臨著一系列重要的挑戰。

第3章 矽光子產業發展現況

3.1 美國矽光子產業鏈

早在 2012 年半導體大廠 Intel 就已經投入佈局，近年來各知名科技大廠如：Cisco、Broadcom、Juniper、Marvell、AMD、Nvidia 和 IBM 等都積極佈局矽光子技術，而 Microsoft、Meta 等網路業者也將尋求 CPO 技術應用於網路架構中。

Intel：最早實現矽光子商業化應用的企業，2010 年推出矽光子技術，2012 年設立專屬事業部，2016 年開始大量出貨，2022 年成功展示矽晶片上整合控制八波長雷射陣列的研究成果。

IBM：20 年前即開始研究矽光子技術，2015 年 IBM 在矽光子技術研究上出現重大突破，使矽晶片得以利用光脈衝取代銅線來傳輸資料，大幅提升資料傳輸速度與距離，以支援當時資料中心與雲端的運算需求。

Broadcom：博通在 CPO 技術上處於領先地位，2022~2023 年推出 Tomahawk 4、Tomahawk 5 交換器晶片，未來超大規模資料中心將大量採用 CPO 產品，博通有望主宰市場。（產業研究部，2024）

2012 年，IBM 宣佈研究成功矽光子晶片；2016 年，INTEL 也宣佈矽光子光電傳輸器開始大規模的出貨；2017 年，矽光子公司 Luxtera 宣佈與國內的晶圓廠台積電共同發展下一個時代的矽光子技術；2022 年~2023 年，Broadcom 推出 Tomahawk 4、Tomahawk 5 交換器晶片。（劉炯德，2023）

Intel、GlobalFoundries，在矽光子方面也有較早的布局。早在 2009 年 Intel 曾發表過“Light Peak”技術，類似於 USB 功能，可透過 VCSEL 雷射與光纖，以 10 Gbps 的速度作為電腦與其他設備之間的通用連接。然而基於成本考量，Intel 捨棄了光纖而改用銅線進行傳輸；Light Peak 也在更名為 Thunderbolt 之後宣告失敗。晚近 Intel 亦曾開發完成 400 G 的矽光子光收發模組，以應用在大型的 AI 雲端資料中心。但是光收發模組的市場畢竟過於競爭，利潤有限；於是 Intel 在 2023 年 10 月將其可插拔式的矽光子光收發模組業務賣給了 Jabil 公司，以便專注於「更高價值」的元件業務，和 AI 基礎建設所需的光學輸出入技術。

Intel 雖然出售了矽光收發模組業務，但仍繼續深耕矽光晶片通訊技術。在 OFC 2024 展會上 Intel 即發表了與 CPU 共同封裝的 “OCI 光學 I/O 晶片”（Optical Compute Interconnect, OCI, chiplet co-packaged with CPU），以滿足 AI 基礎建設所需的頻寬需求。這是一個 4 Tbps 雙向的晶片組，裡面整合了雷射、IC 和光連接器，其特色是可以與頻寬需求較高的 CPU、GPU、IPU 和 SOC 共同封裝，如圖 2 所示。

Intel 旨在憑藉其領先的晶片、光學、封裝和平台整合能力，提供完整的下一代運算解決方案，實現無處不在的人工智慧。（財團法人光電科技工業協進會，2024）

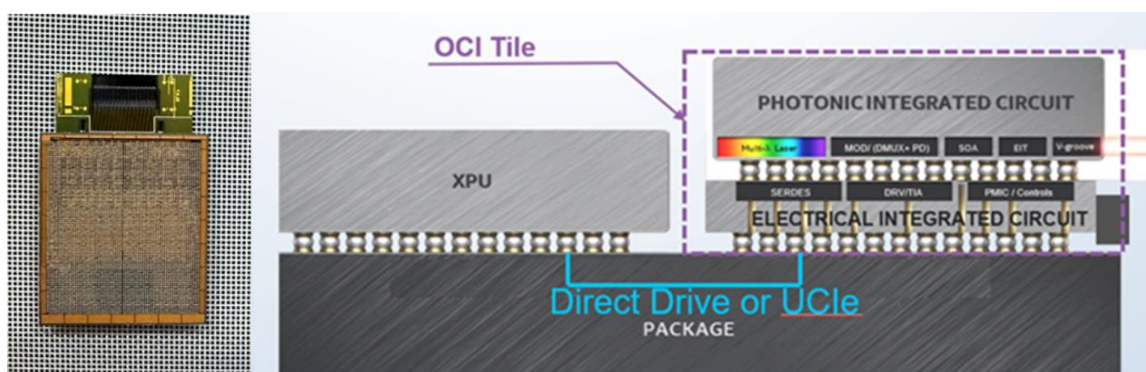


圖 15 Intel 4 Tbps 光運算互連（OCI）晶片組
（財團法人光電科技工業協進會，2024）

Global Foundries 推出了一個稱為 “GF Fotonix” 矽光子製程平台。將光子系統、射頻（RF）元件和 CMOS 邏輯晶片整合在一起，從而實現了高性能與高頻寬。Global Foundries 號稱正在與 Cisco System 合作開發資料中心網路（DCN）和資料中心互聯（DCI）所需的矽光子解決方案，其中還包括製程所需的設計軟體（Process Design Kit, PDK）。GlobalFoundries 還強調 GF Fotonix 平台適合量子計算的發展，以服務 Ayar Labs、Lightmatter、PsiQuantum、Ranovus 和 Xanadu 這些光學計算或量子新創公司。（財團法人光電科技工業協進會，2024）

3.2 歐洲矽光子產業鏈

本文將介紹光子晶片的供應鏈，並與積體電路供應鏈進行比較，最後以一個專門推動光子晶片商業化的歐盟研發計畫為例加以說明。光子晶片作為半導體產業的新興技術，吸引到了越來越多的關注。那光子晶

片的供應鏈和電子晶片及積體電路的供應鏈有什麼差別呢?在深入探討光子晶片供應鏈之前，我們需要先了解積體電路（IC）的供應鏈。IC 供應鏈的最上游是電子自動化設計(Eletronic Design Automation, EDA)以及矽智財 IP 廠商，負責提供電路設計軟體以及設計 IP 模組。電路設計公司會使用 EDA tool 和 IP 設計晶片，並將設計好的電路圖(circuit layout)交由晶圓廠(Foundry)製造。最後製造完的晶片會由封測廠(Outsourced Semiconductor Assembly and Testing, OSAT)進行晶片的封裝、測試，最後整合進終端產品中。

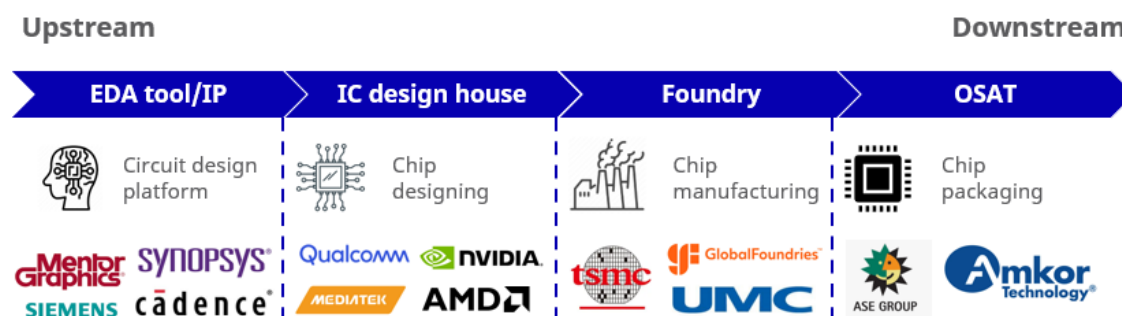


圖 16 積體電路供應鏈
(Chang, 2024)

光子晶片的供應鏈與此有類似之處，但仍有一些不同之處。光子晶片是利用半導體的技術將光學元件積體化、整合至晶片中。也就是說，矽光子產業也是使用半導體技術的廣義半導體產業，因此供應鏈的結構與積體電路相似。

以一項歐盟的光子晶片計畫 — PhotonixFAB 為例，來介紹光子晶片的供應鏈。PhotonixFAB 計畫於 2023 年 7 月開始運作，計畫為期 3.5 年，並耗資 4800 萬歐元(約 16.7 億台幣)。其目標是整合歐洲矽光子供應鏈的上下游公司，推動歐洲矽光子供應鏈產業化，以實現光子晶片的大規模生產。此計畫內的供應鏈結構：

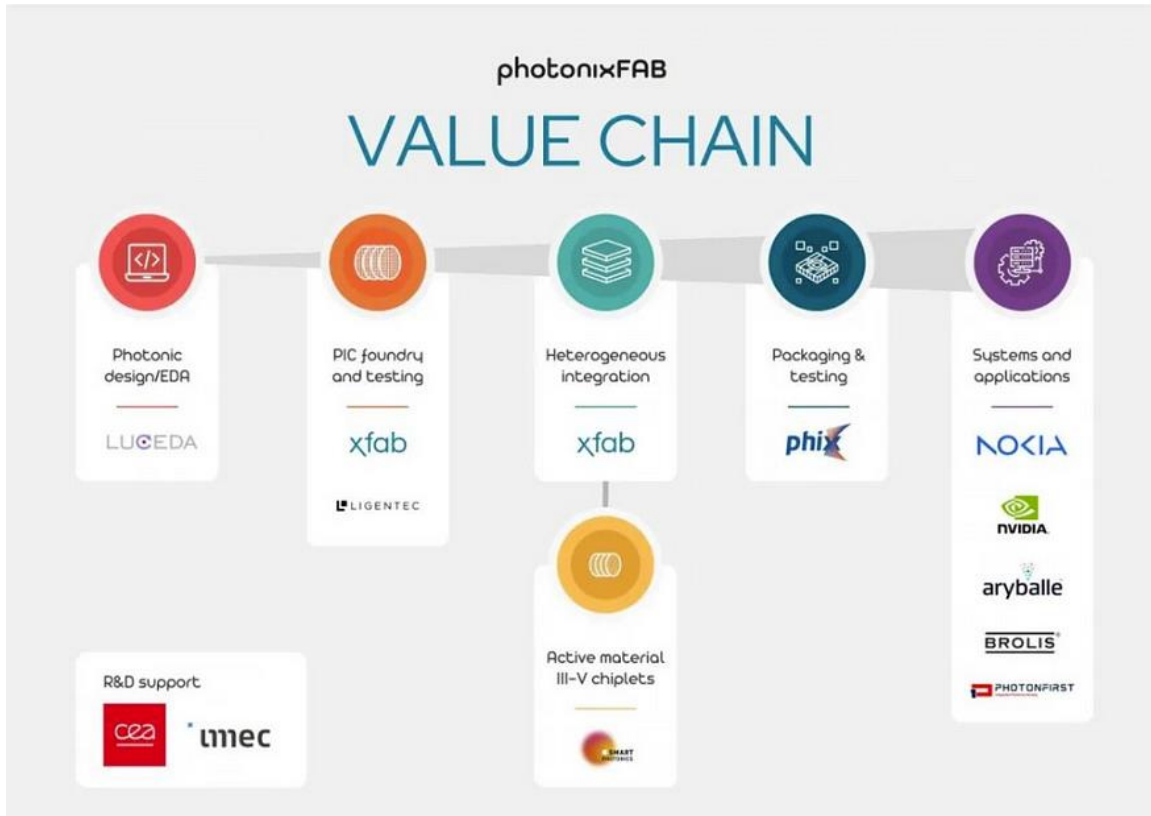


圖 17 歐盟晶片法案旗下的 PhotonixFAB 計畫
(Chang, 2024)

在產業中，最上游的仍然是 EDA 廠商以及光子晶片的設計，由比利時的 Luceda Photonics 負責開發不同材料平台的製程設計套件 (Process design kit, PDK)，以加速光子晶片設計的標準化。接著是負責晶片製造的晶圓廠，分為專責被動元件/主動元件/異質整合的晶圓廠，這也是矽光子和積體電路產業鏈最不同的地方。積體電路利用矽作為製造的平台，單一晶圓廠就能完成所有晶圓製造的程序；然而，目前沒有任何材料平台可以單獨完成光子晶片的製造。每一種製作光子晶片的材料平台都有其限制，可能是某些元件無法製造、某些製程無法穩定，或者無法克服成本問題。當存在多種材料平台時，對於技術的標準化是一個困難，從而成為光子晶片商業化的一大阻礙。

因此在 PhotonixFAB 計畫裡，歐盟整合了不同技術的晶圓廠。完整的光子電路是由主動元件及被動元件組成的，主動元件是由 Smart Photonics(荷蘭)提供，是基於磷化銦(InP)平台；負責製造被動光子電路的則是 Ligentec(瑞士)及 xfab(德國)，是基於絕緣層上矽(Silicon on insulator, SOI)及氮化矽(SiN)的材料平台。在主被動元件各自被

製造後，仍需要額外的手續將其整合在一起，光子晶片才能完整的運作。這步為異質整合(Heterogeneous Integration, 點我看文章)，利用巨量轉移(mass transfer printing, 點我看文獻)等技術完成整合。晶片製造完畢後，會交由荷蘭的 PHIX 進行封裝和測試，其角色與 IC 供應鏈中的封測廠商相同。如前所述，光子晶片是由不同材料平台製造主、被動元件整合而成的，因此封裝也必須開發異質整合晶片的封測解決方案。最後的光子晶片會被終端系統公司整合進產品中。光子晶片可被整合進光學收發器(optical transceiver)、光譜儀、生醫感測器等應用，並被應用於資料傳輸、通訊、感測等領域。

光子晶片也是廣義的晶片產業，因此其供應鏈與電子晶片相似。電子及光子晶片供應鏈最大的不同，在於在於製造過程的分工。電子晶片的製造可以由矽，這個單一材料平台製造；而光子晶片很難完全由單一材料平台製造，目前也沒有平台有絕對的優勢能完整製造光子晶片，因此在 PhotonixFAB 計畫中，有專責製造光子電路中主/被動元件、及異質整合的晶圓廠。由於晶片製造牽涉多種材料平台，因此產業上下游皆需相互配合。上游的 EDA 廠商須提供對應的製程設計套件；下游封測廠也需開發出適用於異質整合晶片的解決方案。(Chang, 2024)

3.3 臺灣矽光子與網通產業鏈

臺灣在矽光子技術領域尚處於發展初期，要全面取代傳統光學傳輸產品還需要 3~5 年以上的時間。臺灣的矽光子技術目前主要聚焦在 CPO 技術和資料中心光通訊應用方面。儘管擁有完整的半導體產業鏈，可以迅速整合矽光子技術，但該技術的廣泛應用仍需時日。台積電和日月光等領頭企業，已積極投入相關技術的研發和生產。與矽光子、光通訊以及 CPO 封裝技術相關的臺灣公司數量也逐漸增加。這些公司包括磊晶、製造商、封裝測試、資料中心交換器代工、光收發模組以及測試介面等領域如表 2 所示。儘管已經邁出了關鍵的一步，但要在矽光子領域實現廣泛的應用並全面取代傳統光學傳輸產品，仍需要一段時間來進一步發展和成熟這項技術。

表 2 矽光子與網通相關產業鏈

產業別	公司(股票代號)	備註
磊晶	聯亞(3081)	
	全新(2455)	
晶片設計與代工	台積電(2330)	晶片設計與代工及封測
連接器	正凌(8174)	
光收發模組	波若威(3163)	
	華星光(4979)	
	眾達-KY(4977)	
	光環(3234)	
	上詮(3363)	
	訊芯-KY(6451)	
	前鼎(4908)	
	光聖(6442)	光紅建聖簡稱光聖
交換器	智邦(2345)	
	明泰(3380)	
	台耀(6274)	
封測	台積電(2330)	晶片設計與代工及封測
	日月光(3711)	
	矽格(6257)	
	台星科(3265)	
測試介面廠	旺矽(6223)	
	穎威(6515)	
	精測(6510)	

(張瑞益、李娟萍，2023；李娟萍等人，2024)

3.4 SEMI 矽光子產業聯盟

為推動矽光子技術發展，國際半導體產業協會（SEMI）與工研院及 30 多家業者攜手成立「SEMI 矽光子產業聯盟」(SEMI Silicon Photonics Industry Alliance, SiPhIA)，於 9 月 3 日舉行成立大會，為 2024 國際半導體展（Semicon）揭開序幕。30 多家業者中，包括台積電、聯發科、日月光、廣達、鴻海、友達等指標性業者眾星雲集，聯盟目標包括推動技術突破、強化產業鏈合作關係、制定產業發展標準等。

矽光子於快速傳輸、節能有優勢，整個半導體產業歷經 60、70 年發展，從不同的元件設計，逐漸聚焦 CMOS（互補式金屬氧化物半導體）元件技術開發應用，這也是矽光子所利用的製程技術，對光子、電子進

行整合。當 CMOS 成為商業應用主流後，產業發展不管在產品設計研發，上下游分工也更明確，尤其節能是很大優勢。目前光學元件、矽光子元件還在比較初期的百花齊放階段，隨著 AI 時代需要的巨量運算、資料傳輸大量需求，耗能成為重要議題，矽光子元件的導入成為資料中心重要趨勢。台灣已有很好的半導體產業基礎，在聯盟成立後，將推動技術規格協議、整合上下游發展，隨著研發能量放大，加速台灣在矽光子產業的發展。

矽光子來臨會比預期快，AI 發展受限於硬體發展壓力，是過去 40 年從未有的情形，其中矽光子是前端佈局，晶片的密度越來越強、連結的需求越來越高，熱傳導能源及速度的要求，已經和現代金屬材料的物理極限有衝突，而目前業界公認「光」是唯一的解。矽光子技術已研發多年，「技術有但是貴」，一直停留在小量生產階段，但因 AI 壓力帶來商機，也 預期矽光子的來臨，會比原來設定時程表來得更快。

台灣在高階半導體製造大贏，而矽光子有望解決物理極限，利用全新架構重新設計，將半導體商機再提升一個數量級，對半導體系統設計有很重要意義，因為這不是一家公司、也不是小公司能做的。有了政府的號召，才能帶動全體的生態系，台灣有前段、後段晶片設計及伺服器系統，也有許多光學元件、光電模組及測試的智慧財產，又有精密機器與設備，而矽光子未來的應用重要的是量產成本及自動化，這也是台灣現有的優勢。世界矽光子領導者會和台灣合作，台灣必須把握商機。(孫嘉君，2024)

台灣半導體產業正處於一個重要的轉型階段，其中台積電、日月光、智邦等產業龍頭公司對於矽光子及共同封裝光學 (CP0) 技術的發展抱有極大的期待。這些技術被認為將徹底改變產業架構，打破傳統的業界藩籬。台積電、日月光、訊芯-KY、智邦等公司正積極整合光電技術，以搶占矽光子及 CP0 技術的市場先機。

表 3 SEMI 矽光子產業聯盟成員名單：

序號	公司	備註
1	前鼎光電股份有限公司	
2	光程研創股份有限公司	
3	日月光半導體製造股份有限公司	
4	友達光電股份有限公司	南科高雄園區
5	合聖科技股份有限公司	
6	波若威科技股份有限公司	
7	志聖工業股份有限公司	
8	源傑科技股份有限公司	
9	聯鈞光電股份有限公司	
10	富采投資控股股份有限公司	南科台南園區晶元光電
11	光紅建聖股份有限公司	
12	上詮光纖通信股份有限公司	
13	弘塑科技股份有限公司	
14	鴻海精密工業股份有限公司	
15	立碁電子工業股份有限公司	
16	千才科技股份有限公司	
17	華星光通科技股份有限公司	
18	聯發科技股份有限公司	
19	汎銓科技股份有限公司	南科台南園區
20	旺矽科技股份有限公司	南科高雄園區
21	茂德科技股份有限公司	
22	辛耘企業股份有限公司	
23	矽格股份有限公司	
24	台灣新思科技股份有限公司	
25	台灣積體電路製造(股)公司	南科臺南、楠梓、嘉義園區
26	世界先進積體電路股份有限公司	
27	穩懋半導體股份有限公司	南科高雄園區
28	穎崴科技股份有限公司	
29	惠特科技股份有限公司	
30	眾達科技股份有限公司	
31	廣達電腦股份有限公司	

（更多公司陸續申請加入聯盟中）（孫嘉君，2024）

業界專家指出，矽光子技術將對雲端產業產生重大影響，特別是隨著通訊傳輸速度提升至 1.6T 以上，CPO 技術的應用將使矽光子光學元件和 ASIC 技術能夠整合為單一模組，從而有效減少功耗問題。然而，這

一技術的實際貢獻預計要等到 2025 年之後才會顯現，目前仍面臨諸如晶片良率、標準制定等多項挑戰。儘管如此，矽光子技術在通訊傳輸、生醫感測、LiDAR、AI 高速傳輸、智慧醫療、自動駕駛車等領域的應用潛力巨大，想像空間廣闊。在光電整合方面，台積電處於領先地位。其緊湊型通用光子引擎（COUPE）提供了光子 IC（PIC）與電子 IC（EIC）的異質整合，能夠降低高達 40% 的能耗，這一突破預計將大幅提升客戶採用的意願。台積電已經投入 200 人的研發團隊，並與國際大客戶合作開發相關技術。此外，台積電在竹南廠完工後，又投資 900 億元於苗栗銅鑼建設新的封裝廠，這一舉措反映出對異質整合技術巨大需求及潛力的看好。

日月光投控及其子公司矽品也積極投入矽光子、CPO 封裝技術的研發，並已透過其 VIPack 先進封裝平台在市場上卡位。市場預期，相關業務將於 2024 年下半年開始逐步攀升，而接單動能則預計於 2025 年顯著升溫。網通大廠智邦則專注於交換機各零組件的光電整合，將針對 ASIC 及 CPO 光模組整合完成後，再交付給下游客戶，其在供應鏈中的角色顯得尤為重要。此外，系統級封裝（SiP）封測廠訊芯-KY 也在 CPO 製程技術上進行布局。訊芯-KY 總經理徐文一指出，市場目前仍以 200G 以上為主流，但預計明年 800G 光收發模組將開始出貨，顯示出業界對這一技術的快速發展和廣泛應用的期待。

總體來看，台灣半導體產業的龍頭企業正通過積極投入矽光子及 CPO 技術的研發，為產業帶來創新和變革。這些技術的發展不僅將改變產業架構，還將為相關企業帶來新的商業機會和市場競爭力。隨著技術的成熟和市場的認可，預計將在不久的將來見證這些技術的廣泛應用和產業的快速發展(張瑞益、李娟萍，2023；蘇嘉維，2023)。

3.5 矽光子發展案例報導摘錄

以下就幾家公司矽光子發展旗艦廠商、學界衍生、南科轉型等報導案例摘錄介紹如下：

3.5.1 台灣積體電路製造股份有限公司(台積電)

台積電於竹科、中科及南科(嘉義、臺南、楠梓園區)皆有廠區，在 SEMICON Taiwan 2023 大談矽光子進度，並稱其為解決能源效率和 AI 運算兩大問題的關鍵技術，一夕之間矽光子成為熱門的討論焦點。台積電早期於 2017 年就與 Luxtera 共同開發新世代的矽光子技術，在封裝段也有使用 COUPE 矽光子晶片異構整合技術，市場更傳出台積電正與

大客戶 Broadcom 和 Nvidia 共同開發矽光子技術新產品，最快可能 2025 年量產。

台積電於 2024 年 4 月 24 日舉辦 2024 北美技術論壇，揭示了 A16、NanoFlex、N4C、CoW、矽光整合、汽車先進封裝等多項製程技術的發展趨勢。其中最為光電業者關心的項目是“共同封裝光學”（Co-Package Optics）、“緊湊型通用光子引擎”（Compact Universal Photonic Engine, COUPE / 3D Optical Engine, OE）等矽光子相關的技術，如圖 18 所示。台積電在此研討會上概述了 3D 光學引擎路線圖，並制定高達 12.8 Tbps 光傳輸的發展計畫。

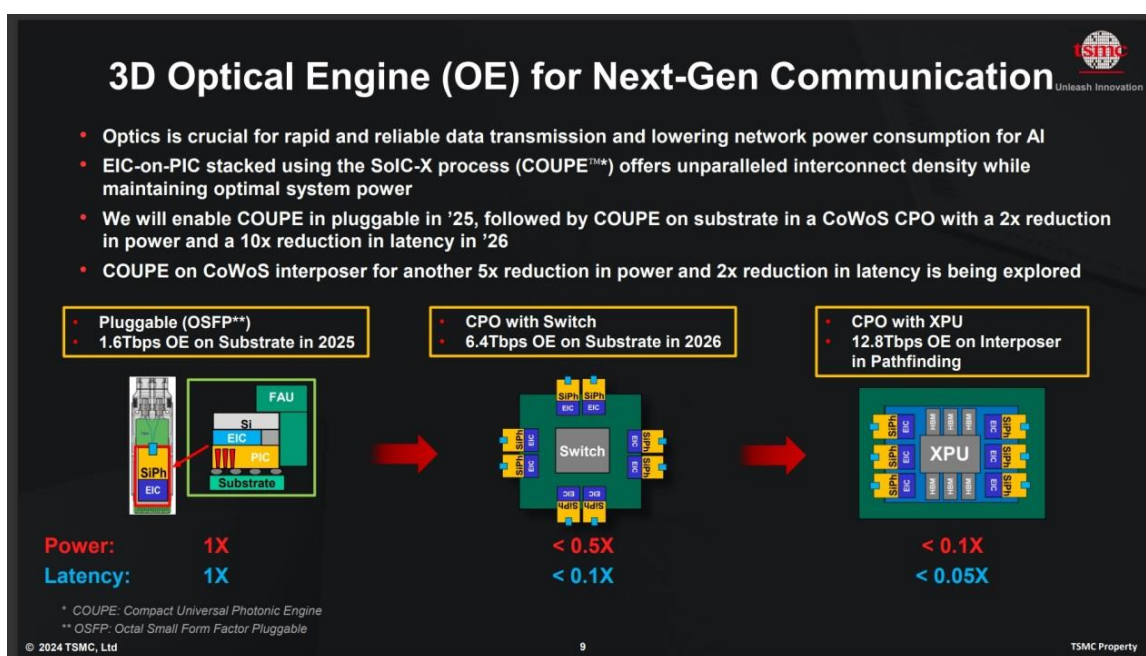


圖 18 台積電 3D 光引擎
(財團法人光電科技工業協進會，2024)

台積電認為光學對於高速可靠的數據傳輸和降低 AI 的網路功耗至關重要，故提出了利用 SoIC-X 製程，將 65 奈米的 EIC（電子晶片）堆疊在 PIC（光子晶片，如上圖 18 黃色的 SiPh 部分）之上，即所謂 EIC-on-PIC，以提高連結密度，同時降低系統功耗。如此將電子晶片（EIC）與光子晶片（PIC）做堆疊，即是 3D Optical Engine。台積電聲稱其 SoIC-X 連結具有非常低的阻抗，即可大幅降低功耗。台積電擬更進一步將 3D Optical Engine，製作成一個“緊湊通用型光子引擎”（Compact Universal Photonic Engine, COUPE），以便應用在光收發模組、光交

換機、CPU 與其他晶片之間的數據傳輸。台積電並設下此技術發展路線圖，預計 2025 年完成這種小型插拔式 (Octal Small Form Factor Pluggable, OSFP) 連接器 COUPE 的驗證，並達成 1.6 Tbps 的傳輸速度。

台積電擬於 2026 年時再整合 COUPE 與交換器 (Switch)，成為一個“共同封裝光學元件” (Co-Packaged Optics, CPO)。這時候的 OE 速度提升至 6.4 Tbps，其功耗較熱插拔式降低至 1/2 以下；延遲降低至 1/10 以下。意即台積電第二代矽光技術擬將 COUPE 整合到 CoWoS (Chip on Wafer on Substrate) 封裝中，藉此也完成共同封裝光學形式的交換器元件，同時意味著主機板之間的速度達到了 6.4 Tbps。所以台積電若如期在 2026 年成功完成 CPO 交換器，CoWoS 將是成功示範案例，即是將晶片堆疊在晶圓上，然後再共同封裝在基板上，如此一來不僅可以減少晶片組所需空間，同時增加晶片之間的傳輸速度，也減少功耗，更將“光”整合在封裝中，完成先進封裝的革命性關鍵技術。

同樣地，未來晶片組與晶片組之間的通訊 (Interconnect) 即可採用台積電的 COUPE 光傳輸解決方案，並再將整體晶片組、記憶體 (HBM)、數個 COUPE 做共同封裝。依照台積電的技術路線圖，OE 的傳輸速度可高達 12.8 Tbps，功耗降低至原來的 0.1 倍以下；延遲降低至 0.05 倍以下，又大幅地降低能耗，以及延遲性。台積電第三代矽光技術的目標是處理晶片、記憶體、COUPE 的封裝，並讓晶片之間的傳輸速率高達 12.8 Tbps。但此技術仍處於探索階段，沒有明確的發佈時間。

COUPE 為台積電於 2021 年針對矽光子所提出的一項 3D 立體晶片堆疊封裝的技術，能夠整合矽光子晶片與電路控制晶片，成為單一的光學引擎。當 2025 年台積電完成 COUPE 的驗證後，即可快速切入熱插拔光收發模組市場，以提升該類產品的傳輸速率至 1.6 Tbps，滿足 AI 數據中心裡機台之間的通訊頻寬需求。此外台積電規劃於 2026 年進一步地將 COUPE 光引擎與交換器整合，即利用其 CoWoS 製程，將 COUPE 與交換器封裝成為一個 CPO，同時傳輸速度達 6.4 Tbps，以解決晶片之間的傳輸問題。未來 CPU 或 GPU 與記憶體等 Chiplet 之間的傳輸速度可進一步提升至 12.8 Tbps。藉由晶圓等級的整合封裝，以上這些方案擬解決傳統光通訊所面臨的耗能與散熱問題，以及實現晶片之間的光訊號通訊，有助於生成式 AI、大型語言模型對於算力與通訊的需求。

在矽光子的發展路線方面，台積電完備各式製程技術，以服務 Nvidia、Apple、聯發科、AMD、Qualcomm、Broadcom、Sony 等客戶，但偏向以電子製程技術的角度作為基礎，再進一步整合光；Intel 則傾向發展自己的產品，但多以光通訊的角度與語言，協助晶片如何以光作為傳輸訊號。而 GlobalFoundries 的策略也與台積電類似，與其客戶，如 Broadcom、Cisco、Marvell、Nvidia 等巨擘，以及光學計算或量子新創公司 Ayar Labs、Lightmatter、PsiQuantum、Ranovus 和 Xanadu 等，共同合作開發矽光子解決方案。

矽光子技術的發展已逾 20 多年，即 1990 年代研究人員即開始探索如何在矽晶片上實現光學元件，擬結合電子與光學兩者的優勢。2000 年初期即有一些矽光子元件，如光波導、光開關、光調製器等，並不斷改進光損耗、元件整合等問題。2010 年代則開始有少數的矽光子應用，例如感測等領域。然而矽光子的發展一直停留在學術階段，以及有 Intel、Global Foundries 在此領域的布局。而在此領域台積電的布局是相對沉默的，直至 AI 風潮爆發，才開始憑藉 3D 光學引擎策略進入此市場。雖然台積電是因客戶的需求而發展矽光子，但台積電在矽光子領域大張旗鼓也大大鼓舞了台灣矽光子產業的發展。

台積電在矽光子產業鏈裡位居晶圓代工，其上游有光子晶片的設計，和晶圓與基板，以及相關的設備與材料；下游則還有系統的整合、各式應用產品的銷售或服務等。以光收發模組產業鏈為例，台灣矽光子生態系能有貢獻的環節有雷射、基板、晶圓代工、模組的機構與整合等，而尚未擴及設計、EDA 軟體，以及行銷通路與品牌等方面。且矽光子技術尚有很多應用，除了通訊之外，還有計算、感測等，所以矽光可謂打開了一個新產業大門。（財團法人光電科技工業協進會，2024）

台積電攻矽光子，計畫 2025 年推 COUPE pluggable，達成 1.6 Tbps 的傳輸速度，2026 年推出 CoWoS CPO 將傳輸速度提升四倍。業界分析，光子積體電（PIC）整合為目前最大挑戰，而「異質整合」、「先進封裝」正為矽光子未來發展重點；法人透露，台積電積極擴充先進封裝產能，也是瞄準未來 CPO 市場需求，估計全球矽光子裸晶片市場年複合成長將高達 5 成，資料中心為主要驅動力。

先進封裝提供更多異質材料整合，延續摩爾定律，法人認為，這是台積電積極擴充先進封裝產能原因。台積電 15 日宣布以 171 億元搶親

群創 5.5 代線，決策雷厲風行、評估時程快速，主要用途仍以 CoWoS 為主。法人透露，明年台積電緊湊型通用光子引擎（COUPE）將運行速度推升至 1.6Tbps，傳輸速率遙遙領先銅乙太網路標準之 800Gbps，凸顯光學互連頻寬優勢；未來整合將 CPO 整合至 CoWoS 封裝中，將光學互連帶到主機板層級，再帶來 6.4 Tbps 之傳輸速率。法人指出，PIC 是將不同功能的光學元件，利用半導體製程技術整合至同一晶片上，將光作為訊號源，使用光訊號在晶片內進行各種訊號傳輸；不過整合 PIC 是目前最大挑戰，特別是如何將雷射和光放大器的三五族化合物半導體，與矽晶圓進行堆疊。以英特爾來說，是以 Die to wafer bonding 方式，先將三五族晶圓做成 PIC die 再鍵合至矽晶圓進行後續蝕刻等程序，達到整合程度高、不須精準定位等優勢，但技術門檻高，並且需要新設產線。而台積電的緊湊型通用光子引擎（COUPE）會以 2.5D 堆疊方式，至 2026 年則會採用 CoWoS 先進封裝，達成 PIC 與 EIC 之異質整合。不過法人也坦言，目前滲透率偏低，供應鏈多為互相研發合作、小批量代工、測試驗證，但未來將隨需求上升朝向專業分工，意即產業附加價值往上游晶片設計／製造移動，而台積電鎖定的便是為晶片設計業者實現代工製造商機。（張珈睿，2024）

表 4 台積電攻矽光子 COUPE 光引擎

項目	完成驗證時間	型式	速度
第一代 COUPE	2025 年	可插拔式光模組	1.6 Tbps
第二代 COUPE	2026 年	整合 CoWoS 封裝成 CPO	較第一代減少兩倍功耗跟十倍訊號延遲，傳輸速度提升四倍到 6.4 Tbps
第三代 COUPE	未訂	結合 2.5D 封裝，將光引擎、XPU 與 HBM 晶片封裝在矽中介板上	預計再減少五倍功耗跟兩倍訊號延遲

（張珈睿，2024；作者整理補充）

3.5.2 日月光半導體製造股份有限公司（日月光）

因應 AI 趨勢，除了 CoWoS 外，矽光子也逐步而起，日月光表示，其 CPO 已經量產，目前以傳統封裝為主，後續可望逐步延伸到先進封裝

領域。矽光子未來關鍵會在生產成本與量產規模，期許透過聯盟合作為台灣半導體再下一城。矽光子研發已經很多年，但主要受限在材料端，致使一直停滯在研發跟小量產，但現下 AI 帶入龐大的傳輸需求，半導體先進製程技術快速推進，連帶讓矽光子發展速度比原先快，矽光子將可突破目前的極限，但這不是一家公司可以做的，所以致力於推動矽光子聯盟的成立，希望藉由政府號召，帶動生態系發展。台灣現有的優勢，包括晶片設計，前段生產，後段封測，以及光通訊模組，還有伺服器系統，還有精密量測儀器等，但未來發展矽光子關鍵會在生產成本與量產規模。針對矽光子的封測，日月光已經量產，但目前量還不大，目前用在矽光子的封裝技術上，有導線架封裝、BGA 基板封裝、覆晶封裝、先進封裝、FOPLP 等，目前的產出以傳統的封裝方式為多，會慢慢推進到先進封裝。

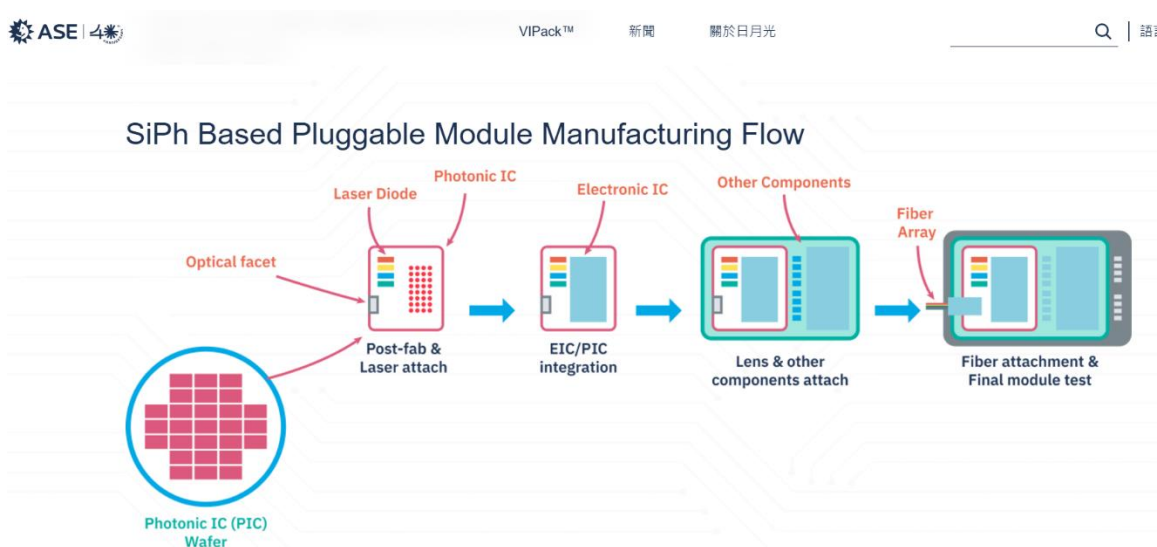


圖 19 矽光子可插拔模組製造流程

(日月光半導體製造股份有限公司網頁)

3.5.3 聯亞光電工業股份有限公司(聯亞光電)

聯亞光電公司 1997 年創立於南科臺南園區，主要從事生產以砷化鎵(Gallium arsenide)與磷化銾(Indium phosphide)為基板的 III-V 族材料化合物之磊晶片。聯亞所生產的磊晶片受到國內外之光電元件製造廠商的廣泛採用，亦積極進行投資計畫與新產品開發。長期在優質的技術及經營團隊領導下，成為專業的磊晶片設計、製造公司，提供給客戶

品質穩定、準時交貨且具有競爭性價格的產品；以豐富的磊晶技術經驗，滿足各種研發需求之磊晶服務。隨著 AI 需求的爆發，提高傳輸速度與效率的需求跟著提高，以光傳訊替代電傳訊是其中的解決方案之一，帶動矽光子的研發需求。聯亞是國內外少數在矽光產品領先開發速度的廠商。矽光模型開發與進度，由於在矽光子的模型研發難度較高，與客戶共同開發產品，需要一到兩年時間，合作團隊先做規格討論，在討論完成規格之後，做模組設計。設計後請模組廠商生產供應給台灣以及中國的客戶，採購矽光子、雷射等；開發出來的產品規格會給其他廠商使用。聯亞與日本客戶也有合作開發。聯亞在 800G 的產品已經有出貨，但尚未普遍採用；1.6T 的產品原預計 2024 年底開始試產(可能提早到 Q4 初期)，出貨時將會是國內首創。CPO 終端使用上的阻力，CPO 可以提高速度與效率，但在使用上也有阻力，使用者如果採用 CPO，一顆壞了整個系統模組要換；如果是用 switch，不管是 32 顆還是 16 顆，損壞只換一顆單顆就可以，如此可以節省更換成本。目前 CSP 大廠仍以傳統方式使用，較少使用 CPO 的原因如上述，故尚未能產生較大營收。CPO 雷射是相對獨立的，因應 2024 年資料中心成長性大，客戶 2024 年上半年出貨將倍數成長。矽光的開發進度，聯亞矽光產品的開發進度自信在全世界處於領先的速度，以 400G 以上晶片為主，60%是 800G 的產品；以美系大廠為主要客戶。另與新加坡、香港的資料中心也有合作廠商，矽光產品已經在驗證中。400G 產品在驗證中，係由模組廠驗證，2024 年一月開始量產。800G 產品的研發進度，800G 和 1.6T 的產品開發難度高，原因如下：在速度上需要雷射的速度要求高。準確度要求在千分之三的差異數內，例如 1330、1333、1335。客戶有 35 家 CSP 大廠，大廠有 CPO 的研發 Ph.D；其他 CSP 廠商因為能力不足，還有人手不足，需要幾年的時間，才能順利開發出產品。800G 預計第三季有不錯的出貨，使用量越多對營收都有幫助，目前 Data center 使用矽光的廠商還不多，目前透過模組廠驗證中。1.6T 產品研發進度，1.6T 是剛性需求，但是需要矽光子解決方案的驗證。1.6T 可以用 800Ga 兩顆， $800\text{Ga} \times 2 = 16$ 顆的雷射；1.6T 也是等同於 16 顆 400Ga 或 100Ga。1.6T 預計第三季試產，明年可以大量出貨。1.6T 輸出的功率比 800G 提升很多，使用上功率增加很多。車用，聯亞的產品在幾年前已通過車用的標準規範 TS 16949 認證，可以合規地供應車用產品。長距離 Lidar 與短波，與美、歐、日、中十幾個客戶合作專案洽談中，產品如在駕駛座裝上 3D 感測變速箱；另有別在胸口的 AI 應用裝置使用的 3D 感測也是公司提供。

矽光的營收成長，聯亞在矽光的部分，2022 年開始量產，約佔 35% 到 40%。2023 年矽光的營收較 2022 年成長，全年比 2022 年是倍數成長，處於成長狀態。矽光最大的客戶占 70~80% 的營收比重，2021~2022 年美系手機營收比重較高。矽光營收占比，2023 年第三季矽光的營業額成長 20% 到 30%。客戶以美系 CSP 廠商為最大客戶。矽光的客戶類型有三類：一是非 400G，也非 800G 的先進應用，發展矽光應用。二是美系設備規模大廠，有客戶經過調整獨立矽光事業部開發矽光產品。三是在亞洲地區的非矽光模組廠，以美國客戶為對象開發產品。聯亞的產品概分在 Telecom、Datacom、Consumer 三領域，產品 10G 以上 TFD-LCD、矽光、PD+APD。比較明顯變化的是，在第三季 Datacom 比重 60%~65%，明顯高於第二季(30%~35%)、第四季(45%~50%)；且矽光產品占比 50%~60%，明顯高於第二季(30~35%)、第四季(40~45%)。Telecom 的比重有比較明顯的波動，從第二季 50%~55%，急速下降到 20%~25%；且 10G 以上 TFT LCD 從第二季 35% 下降到第三季 10%~15%，都是有明顯下降的現象。在 Consumption 的部分持平在 10%~15%；PD 加 APD 也持平在 15% 上下。成長動能，資料中心的需求仍大，2024 年第一季美國 Data center 需求強，原因是資料中心資本支出仍大。預期 2024 年第一季矽光優於 2023 年第四季，營收接近，矽光成長 15%，Telecom 逐季回升。矽光需求與出貨，美國大戶主要是美國大型網路公司，矽光大多是 800G 新產品，占三分之二營收。1.6T 預計提早到 Q4 初試產。下一代手機相關與感測 PD 產品與美、日客戶開發順利，產品在驗證中。CPO 有涉入與半導體廠共同開發，矽光研發合作廠商有十家以上。聯亞是國內矽光領導廠商，面對資料中心的需求仍然強勁，產品持續獲得訂單，預期未來在 AI 需求熱潮下，出貨順暢營收、獲利越來越好。(許江鎮，2024)



圖 20 聯亞矽光子磊晶產品

(聯亞光電工業股份有限公司網頁)

3.5.4 采鈺科技股份有限公司(采鈺)

采鈺公司為台積電子公司，設立於竹科，南科已同意進駐高雄園區等待時機租地擴廠。隨著人工智慧（AI）技術的迅速發展，感測器作為 AI 系統的「眼睛」、「耳朵」和「觸覺」，負責蒐集真實世界的數據，從而使 AI 能夠提供更準確和個性化的服務。

CIS (CMOS 影像感測器)：一種將光信號轉換為電信號的半導體器件，廣泛應用於智慧型手機、車用、監控與 AR/VR 等領域。采鈺(6789-TW)專注於 CMOS 影像感測器 (CIS) 的後段製程生產，目前仍以行動裝置的應用占比最高。隨著未來手機市場將朝向 NLUI，對於虛擬助手的依賴將更高，所以 CIS 相關鏡頭的需求也會提高，尤其是在高階機種、摺疊手機、深層式 AI 新機帶動下，藉由大尺寸升級及畫素升級，光感測搭載 CIS 只會更多。目前高階 EV 平均單台就搭載了 11~13 顆影像感測器並持續增加中，隨著 EV 的普及化、ADAS，影像感測器 CIS 仍為長線趨勢。AR 與 VR 的應用將成為銜接虛擬世界與現實世界的橋樑，成為提供沉浸式體驗的工具，如仲介業看房與旅遊體驗，對於教育方面所帶來的改革也讓 AR 與 VR 有望成為教育機構的必需品。智慧居家的防盜裝置亦能夠運用在校園，透過影像追蹤，判斷校園內是否有人持有槍械，適時提供警報，或是在超商的電子活動看板上安裝影像偵測，就能夠判斷視線關注的人所屬的年紀與觀看時間形成數據供後台運用。

采鈺也開發矽光子主被動元件相關製程，包括光耦合被動元件如光波導、光柵和微透鏡，相關應用為光通訊、光達和健康生理感測（血糖與酒精等）；此外也開發有機材料與其封裝製程，應用於 AI 與高速運算領域。

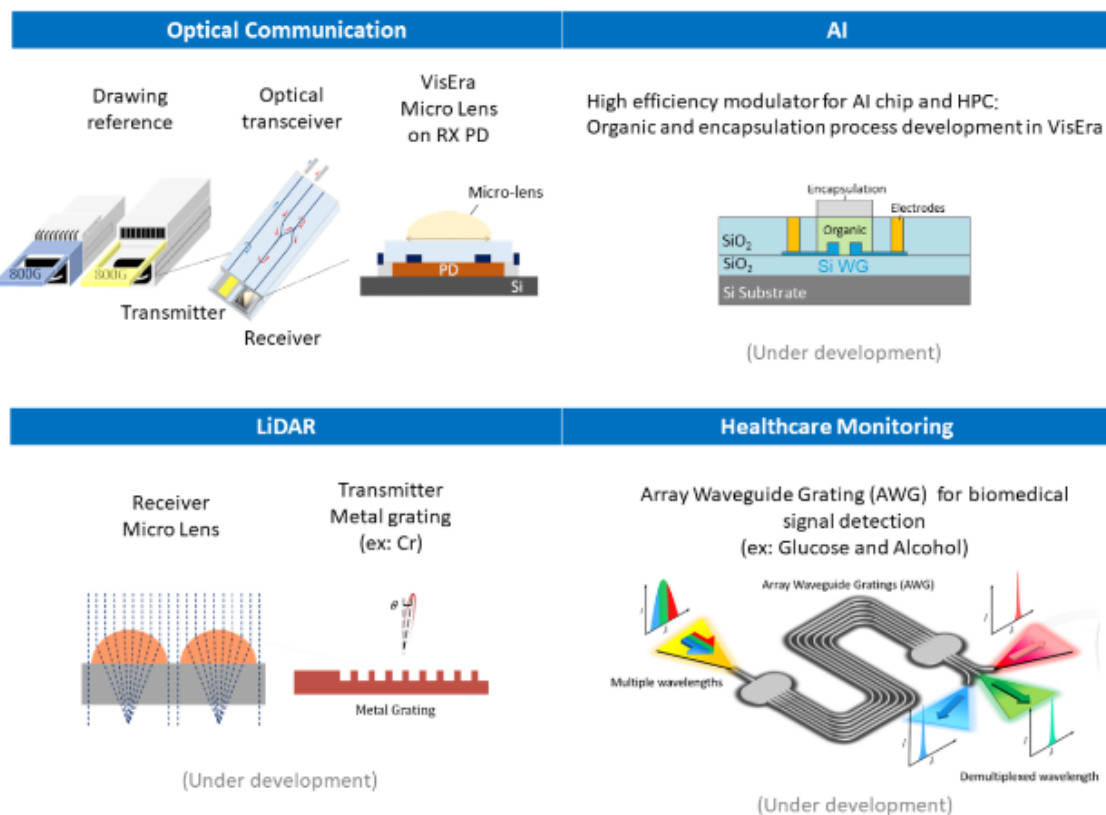


圖 21 采鈺開發矽光子主被動元件相關製程
(產業研究部，2024)

在晶圓製程上，運用篩選進入感測器的光波段，讓采鈺也可以提供蒸鍍式或是濺鍍式物理學氣相沉積法，讓製程的精準度、品質控制以及非預期性的微粒控制上更具有優勢。日前采鈺因在龍潭廠的擴產活動增加了固定資產投入，導致折舊費用的增加，在短期內壓縮了公司的毛利率，但折舊高峰 4Q23 已過，讓采鈺毛利率開始回升。公司表示龍潭廠已在今年 4 月開始量產，預期到今年第三季將全產能生產達到滿載水準，法人預期至 2025 采鈺的成長性將有所突破。(產業研究部，2024)

3.5.5 台灣奈微光科技股份有限公司(台灣奈微光)

台灣奈微光科技 (Taiwan Nano & Micro-Photonics Co., Ltd, 簡稱 N&M) 成立於 2019 年 5 月，是集合政府長期投入於矽光子領域成就，以及全世界第一家基於 CMOS 製程的感測 IOC 設計公司。核心矽光子技術主要來自國立台灣大學，利用光電整合技術實現矽光子的應用原理，

透過獨特的智慧財產權專利，開發全世界最先進的矽光檢測與感測晶片，落實矽光子的理論研發應用，並提供矽光子晶片的相關模組設計方案。

過去到現在的中長波紅外光發展技術，主要透過化合物半導體，然而化合物半導體在晶片製作上，其磊晶與製程術都有成本昂貴的問題。台灣奈微光基於獨特的矽基設計，並在台灣完整的矽半導體製程產業鏈之下，透過既有的 CMOS 製程，利用光電整合技術實現矽光子的應用原理，首創感測用矽光子晶片，開發「矽基中長波紅外光之光源晶片與偵測晶片」。(台灣奈微光科技公司網頁)

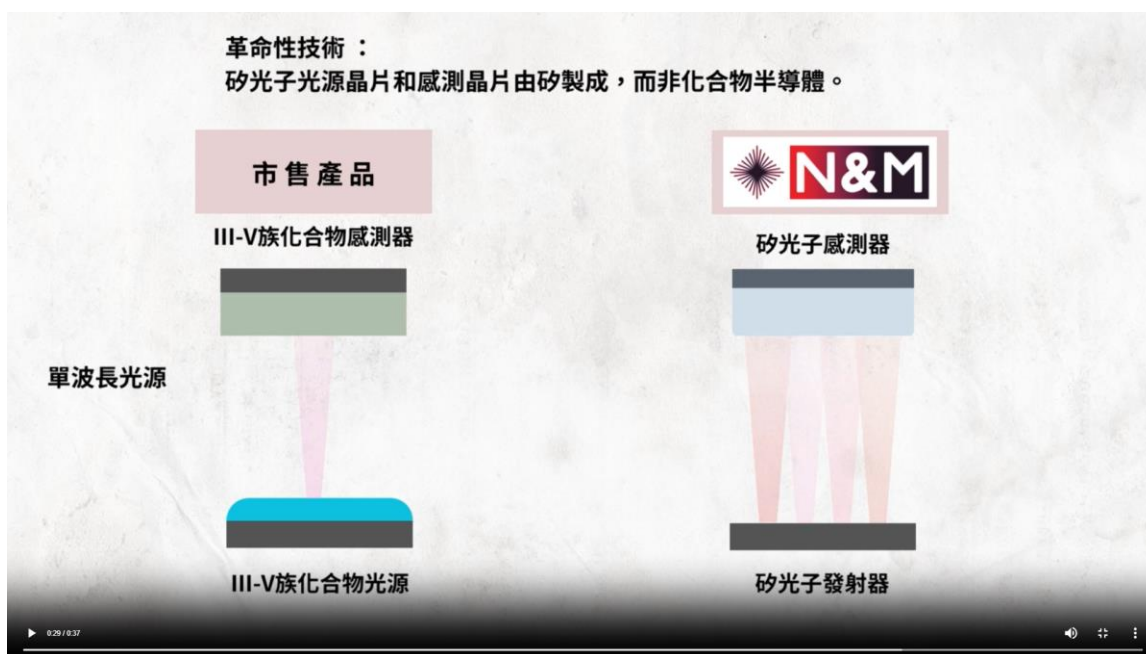


圖 22 台灣奈微光讓產品從校園實驗室走向商用市場
(台灣奈微光科技股份有限公司網頁)

矽光子技術前景備受看好，台灣奈微光領先德、日，成功開發全球第 1 顆中遠紅外光四合一矽光子晶片，事實上，中遠紅外光技術已存在多年，但過去只有化合物半導體的材料才能具備發射及偵測長波長紅外光線的特性，且不同波段須使用不同類化合物半導體，導致成品在成本與價格上過於昂貴，往往 1 顆晶片動輒上百美元，因此通常只會運用在高價位科技產品或是軍工航太上，無法普及於一般消費市場。

台灣奈微光的重大突破在於以矽為材料，製造成本上具有競爭力，不同於德國 nanoplus、日本 Hamamatsu Photonic，甚至是英國新創 Rockley Photonics，都是以化合物半導體為材料。再者，矽光子不但

能快速處理光譜訊號，還可縮小模組尺寸做到比米粒微薄，在功率消耗上也能夠降低很多倍。台灣奈微光科技於 2022 年 10 月 20 日發表全球獨家四合一矽光子晶片，已送樣給數家客戶，正式進入可量產階段。這 1 顆晶片可以同時出現 4 個或多個不同的中遠紅外光波段，偵測範圍更廣泛且精準，除了用於穿戴式裝置監測人體生理訊號之外，甚至可以用於居家、工廠安全進行一氧化碳、二氧化碳、甲烷乙烯等等氣體濃度的偵測。

舉例來說，交通部曾統計，車內二氧化碳濃度過高導致駕駛分心或疲勞，造成的交通事故每年約有數 10 萬起，未來可以透過矽光子晶片的偵測，顯示車內的二氧化碳濃度或是駕駛的酒精值，藉由矽光子晶片的輔助有效減少憾事發生。電動車也是一個全新的商機，當鋰電池運作異常時會釋放出氣體，矽光子晶片也可以偵測出來。(楊喻斐，2022)

3.5.6 光焱科技股份有限公司(光焱)

光焱公司設立於南科高雄園區。全球 AI 浪潮席捲，光通訊與矽光子概念再度成為供應鏈焦點，其中資料中心和光通訊是矽光子兩大主要應用領域，光焱科技(7728)是全球少數專注於光電子晶片轉換效率的解決方案供應商，其核心技術包括光電轉換效率檢測設備與人造模擬光源，能為多種光電子晶片提供全方位性能檢測，市場看好在矽光子商機逐步放大之後，光焱營運將明顯受惠。光焱創新之處在於將檢測階段前移至晶圓級，實現 WAT (Wafer Acceptance Test)、CP (chip probing)、CRA 等性能測試。這使客戶能在封裝前就掌握晶圓狀況，有效進行品質篩選，實現降本增效目標。市場消息透露，光焱不僅在晶圓級檢測領域成功打入全球 Tier 1、2 晶圓代工廠，更預計進入蘋果供應鏈的亞系大廠採用其解決方案進行 CIS 產品性能驗證。目前，公司半導體訂單能見度高，產能處於滿載狀態。光焱表示，公司正大力投入矽光子領域的研發。特別是針對光通訊常用的 APD 微米級光電探測器，光焱科技擁有獨特的設計方案，專門服務企業級客戶的微米級器件需求，並符合 ASTM、IEEE 等國際規範。這種創新設計能協助客戶在既有設備上實現升級，目前已獲得市場的積極回應。光焱主要客群涵蓋半導體產業的上中下游，除跨入影像晶片與光感測元件設計、晶圓廠與封測之外，更滲透至低軌衛星 B5G 應用、AI 影像感測應用等等。(張瑞益，2024)

光焱公司網頁推廣應用 Nature 發表的二維材料(2DMs)，因其靈活集成和超寬工作波長範圍的優勢而被廣泛用於構建光電探測器(PDs)。

具體而言，因為矽微電子和矽光子學已成功開發用於許多應用，矽上的 2DM PD 已經引起了很多關注。2DM PD 滿足了矽光子學對低成本、高性能和寬帶光電檢測的迫切需求。在這篇論文中，回顧了在近紅外到中紅外波段工作的 Si/2DM PD 的最新進展，特別是在從 1.31/1.55 μm 的 NIR 波段到 2-6 μm 的 MIR 波段的窗口中工作，這對矽光子學非常有吸引力，這對許多應用都很有吸引力，並且已經取得很大的進展，包括 ~100 GHz 高帶寬 MGM PD、超高靈敏度基於 PG 效應的 PD 以及具有平衡帶寬和靈敏度的 2DM-異質結構 PD。還展示了幾種基於 Si/2DM PD 和陣列的代表性晶圓級圖像傳感器。然而，在晶圓級實現整體高性能的 PD 仍然非常具有挑戰性。

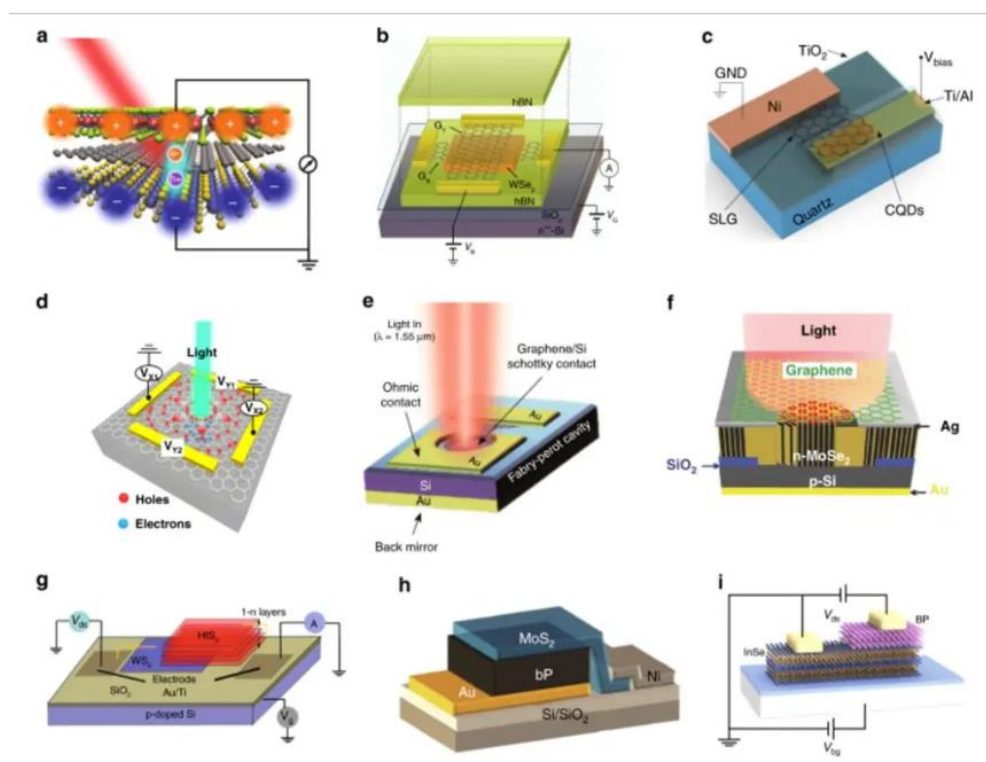


圖 23 具有異質結構配置的表面照明 Si/2DM PD
(光焱科技股份有限公司網頁)

3.6 小結

矽光子技術藉由在矽晶圓上整合電子和光學晶片，來降低光電元件的體積、能耗，甚至是製造成本，隨著 AI、5G、IoT 科技發展，矽光子產品在光通訊、感測和高效能運算領域將獲得極高的成長潛力，預估全球矽光子元件市場規模 2022~2026 年 CAGR 將達到 31.6%，進而帶動 SOI 晶圓、InP 雷射、InP 光放大器、高速調變器、SiN 光波導等材料技術的

發展。臺灣是全球矽半導體供應鏈要角(晶圓代工與封測市佔全球第一，IC 設計全球第二)，對於有機會改變產業遊戲規則的矽光子技術也十分關注，而矽光子關鍵在於材料的異質整合，國內材料業者可多留意此技術未來動向，以搶得市場先機(張崇學，2023)。

矽光子技術在眾多方面展現出卓越的優勢，其中包括高速、高整合度、低能耗和相對較低的成本。以資料處理中心的光收發器模組為例，過去必須耗費大量人力將各種不同的元件(如雷射、感測器、分波多工器等)組裝在一起，這不僅極大地增加了成本，還降低了良率。相較之下，矽光子技術允許直接將所需的光電元件集成在單一矽晶片中，因此不僅能夠大幅降低組裝成本，還提高了良率。

挑戰之一是產業鏈和製程的標準化和規模化問題。例如，矽光子晶片的設計、量產和封裝等仍未達到標準化，這導致其在產能、成本和良率方面的優勢尚未充分體現。另一方面，光運算領域的挑戰包括精確度較低於傳統電子晶片，這限制了其應用場景，同時需要提高整合度以提高運算效能，這也使得商業化過程變得更加漫長。此外，實現高效的光源整合在矽光子晶片上也是一個重要挑戰。光源作為關鍵元件需要在矽材料上實現高效的發射和檢測。更好的發射和接收整合是提升矽光子系統性能的關鍵，需要技術突破和持續的研究。

目前，光與電的模擬仍然是分開進行的，即電的模擬在電的軟體中進行，光的模擬則是在光的軟體中進行。然而，矽光子技術要求光和電同時在一個晶片封裝中運行，因此需要開發一種同時模擬光和電的方法，這需要 EDA(Electronic Design Automation)業者如 Cadence、Synopsys 和 Ansys 的參與和突破。而光 I/O 設計也面臨著挑戰，特別是當光 I/O 的數量變得非常大時。在小小的晶片內設計光源需要更精準的模擬，因為光的運行速度非常快，也會產生熱的問題。因此，整合性的模擬工具對於矽光子技術的發展至為重要。

總之，矽光子技術在臺灣的發展需要一定的時間和努力。這是一個複雜的技術，需要跨領域的合作，結合學術界與產業界的研發能量，並需要政府提供支持和資源，以促進其成熟和商業化。儘管面臨著挑戰，但矽光子技術的潛力仍然巨大，可以為臺灣的半導體產業帶來長期的競爭優勢。然而，矽光子技術仍然面臨著一系列重要的挑戰。

第4章 策略及建議

有關南科矽光子產業策略，以現有南科半導體及光電等資通訊產業為基礎進行整合，藉由創新創業、技術研發、人才培訓、資金媒合、市場行銷及國際連結等，應用南科既有人才培育計畫、人才培訓計畫、新興科技應用計畫、南科育成中心、創新創業激勵計畫(From IP to IPO, FITI)、參展行銷政策工具，結合國科會臺灣科技新創基地(Taiwan Tech Arena, TTA)及南部據點(TTA South)、晶創臺灣方案、智慧科技大南方產業生態系推動方案，國發會及經濟部等跨部會平台，以及跨領域整合方式協助矽光子產業鏈所需技術及人才培訓、新創公司落地南科、既有南科產業創新轉型等，相關計畫關聯圖如圖 24 所示

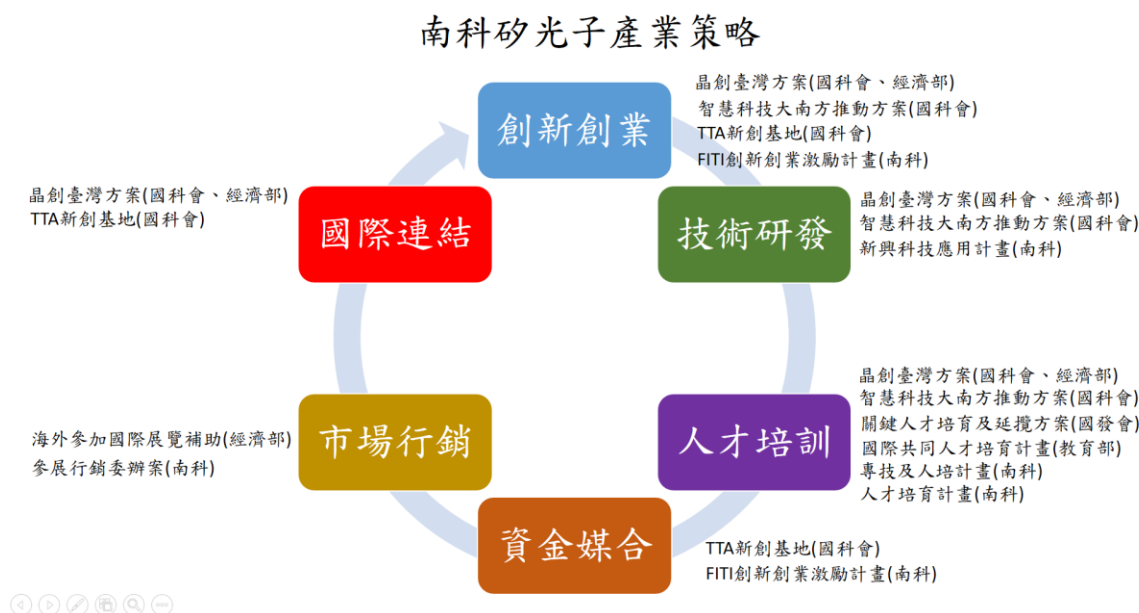


圖 24 南科策略相關計畫關聯圖
(作者自行繪製)

4.1 南科矽光子產業鏈招商策略

南科廠商矽光子相關產業主要為光電及半導體等資通訊(ICT)產業(如表 5 南科矽光子相關產業)，以台積電公司為矽光子相關產業開發旗艦廠商，其他已進入產業鏈為聯亞公司，其他相關公司包含群創及光焱等亦常見於媒體報導積極布局矽光子產業鏈。除以上二家公司外，南茂、晶元光電(富采集團)、統新光訊、福富祿於封裝、LED 及光通訊產業，亦為後續媒合時對接旗艦廠商轉型矽光子產業鏈，另拜訪台積電公司矽光子認證或合作廠商進行招商，可強化未來南科矽光子聚落。

表 5 南科矽光子相關產業

項次	公司名稱	產業	主要產品	矽光子供應鏈	備註
1	台積電	半導體	晶圓專工、先進封裝	矽光子 CPO 封裝開發旗艦廠商	拜訪其認證供應鏈廠商進行招商
2	南茂	半導體	半導體封裝	(封裝產業界由獎補助及後續媒合鼓勵公司轉型矽光子 CPO 封裝)	
3	群創	光電	顯示器及感測器、面板級扇出型先進封裝(FOPLP)	(封裝產業界由獎補助及後續媒合鼓勵公司轉型矽光子 CPO 封裝)	
4	聯亞光電	光電	雷射及檢光器磊晶片	半導體雷射、檢光器已進入矽光子供應鏈，持續跨領域媒合強化南科矽光子供應鏈	
5	統新光訊	光電	DWDM 干涉濾光片、光通訊鍍膜光學元件、光學鍍膜元件、光譜檢測儀器	(光通訊產業輔導進入矽光子供應鏈)	
6	福富祿	光電	光通訊陶瓷插芯、光學調變器	(光通訊產業輔導進入矽光子供應鏈)	
7	光焱	精密機械	太陽能電池轉換效率檢測設備	WAT、CP、CRA 等性能測試(精密機械產業積極轉型進入矽光子供應鏈)	

(資料來源：作者自行整理)

南科矽光子產業聚落招商及轉型布局

	CPO旗艦	SOI晶圓	磷化銦(InP) 磊晶片	雷射元件 (LD及其封測)	被動元件	次模組廠	模組廠	封裝廠	測試
南科 廠商 (供應鏈)	(通用光子引擎 COUPE) 台積電		聯亞		(交換器) 智邦				旺矽
區外 廠商 (招商)		環球晶	高平磊晶 (IQE Taiwan) 全新	華星光(LD) 光環(LD) 聯鈞(LD及封測) 光聖(僅封測)	(光纖連接器) 上詮、光聖 、波若威 (交換器) 明泰、台耀	光環 華星光 光聖 眾達-KY 創威	眾達-KY 前鼎 訊芯-KY 創威 鴻騰精密(HK)	日月光 台星科 矽格	穎威 精測
	其它SEMI矽光子產業聯盟廠商								
國際 廠商 (招商)	Intel(美) IBM(美) Cisco(美)	Soitec(法) 信越化學(日)	IQE(英)	住友電工(日) JX金屬(日) AXT(美)	(CPO光纖 連接黏著劑) Resonac(日)				
南科 廠商 (轉型)					(DWDM) 統新光訊 (調變器) 福富祿			(WAT、CP、CRA測試) 光焱	

圖 25 南科矽光子產業聚落招商及轉型布局

4.2 我國矽光子碩博士論文研發檢索彙整

檢視我國碩博士論文學研量能，應用關鍵字於國家圖書館碩博士論文網，以”矽光子”檢索論文題目及關鍵字結果共 195 筆資料，再進階以”and”關鍵字檢索感測/調變/多工/濾波/耦合/波導/封裝/積體等組合查詢結果依大專院校如表 6 及依領域如表 7 所示，以波導研究最多、其次依序為耦合、積體、調變、多工、濾波、感測及封裝。

表 6 碩博士論文研發現況檢索-依大專院校

矽光子+右列關鍵字檢索	矽光子	感測	調變	多工	濾波	耦合	波導	封裝	積體
國立臺灣大學	22	7	9	8	8	14	17	7	14
國立臺灣科技大學	20	14	11	15	16	19	19	11	18
國立中央大學	9	2	2	4	4	6	8	-	4
國立陽明交通大學	43	23	24	26	24	37	37	25	33
國立清華大學	20	8	13	11	8	15	19	10	15
國立中興大學	5	4	3	3	3	4	4	4	4
國立中正大學	1	-	-	-	-	-	1	-	-
國立成功大學	8	6	7	6	6	6	8	6	8
國立中山大學	52	36	42	37	40	50	50	36	42
國立高雄應用科技大學	15	14	14	15	15	14	15	14	14
合計	195	114	125	125	124	166	178	113	152

(資料來源：國家圖書館及作者自行整理)

關鍵字檢索

註 1：矽光子=矽光子+矽光子學+矽光子技術

註 2：積體光學=積體光學+積體光路

註 3：絕緣層覆矽=絕緣層上覆矽+絕緣層覆矽+絕緣上矽

註 4：光纖陀螺儀=干涉式光纖陀螺儀+光纖陀螺儀
 註 5：分波多工=分波多工+分波多工器+分波多工元件
 註 6：光達=光達+光學雷達
 註 7：次波長光柵=次波長光柵+次波長光柵波導

表 7 碩博士論文研發現況檢索-依領域

年度	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100 以前	小計
矽光子 ^{註 1}	8	25	25	20	21	9	8	5	6	2	3	4	5	141
積體光學 ^{註 2}			3	2	1				1				3	10
環形共振腔	1	2	1	1	1					1		1		9
光柵耦合器			2	2	1	1							3	9
絕緣層覆矽 ^{註 3}	1	2	2			1	2			1				9
光纖陀螺儀 ^{註 4}	2	2	2	2										8
馬赫-曾德爾干涉儀	2			2	1			1						6
波導		1		1				1	1		1			6
定向耦合器		2	1	1	1					1				6
光學相位陣列	1	1	2	1	1									6
分波多工 ^{註 5}	1		1	2	1		1							6
光達 ^{註 6}	1			2	2	1								6
矽光子封裝		2			1	1	1							5
氮化矽	1		3	1										5
斜角光纖陣列		2		1		1	1							5
布拉格光柵	1					1		1	2					5
次波長光柵 ^{註 7}			1	2	1				1					5
半導體雷射		1	2		1									4
分模多工		1		2		1								4
光纖					1								3	4
非線性效應	1			1				1						3
超穎介面		1	1	1										3
製程不敏感	1			2										3
耦合效率		1	1		1									3
矽光子導線													3	3
矽光子元件		1				1	1							3
異質整合			2	1										3
氮化矽波導			1		2									3
曲率半徑			1		2									3
微環形共振腔	2		1											3
彎曲波導		1	1										1	3
平面波導		1											2	3
全像術		1				1		1						3
光電積體電路					1				1			1		3
光纖微透鏡		1	1		1									3
光子積體電路		1	1		1									3
光子晶體				1			1	1						3
二維光柵耦合器		1	1		1									3
ferrule		1				1	1							3
非線性克爾效應						1	1							2

年度	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100 以前	小計
電致吸收調變器				1	1									2
電光調變器		1			1									2
金氧半製程							1		1					2
逆向設計			1		1									2
軌道角動量		1	1											2
超穎透鏡		1		1										2
超發光二極體	1		1											2
訊號處理晶片		1		1										2
薩格納克光柵干涉儀	1			1										2
色散		1		1										2
粒子群優化演算法			1		1									2
積體光學元件				1							1			2
磷化銦							1		1					2
碳化矽		1			1									2
矽線波導					1		1							2
矽摻雜加熱器		1		1										2
矽披覆絕緣層上				1			1							2
矽光調變器												1	1	2
矽光學平台						1	1							2
矽光子晶片				1		1								2
矽光子微型加熱器		1		1										2
相位調變器		2												2
相位修正		1		1										2
環形調變器		1						1						2
環形共振腔調變器	1	1												2
玻璃旋塗液靜電拉伸技術			1		1									2
熱光效應								1					1	2
溫度不敏感				1	1									2
波導損耗			2											2
波導元件						1		1						2
氧電漿輔助晶片接合							1		1					2
氧化石墨烯						1		1						2
毫米波		2												2
模態轉換器		2												2
極化消光比			2											2
極化分歧器		1			1									2
有限元素法		1		1										2
最佳化						1		1						2
晶圓貼合技術	1		1											2
晶圓貼合					1	1								2
方向耦合器							1	1						2
微環共振器		1	1											2
小尺寸			1			1								2
封裝				1	1									2
寬頻			1					1						2
多模波導			1		1									2

年度	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100 以前	小計
多模干涉耦合器	1	1												2
多模干涉		1											1	2
多晶矽				1	1									2
基因演算法						1		1						2
四層脈衝振幅調變		1					1							2
品質因子	1						1							2
光通訊			1			1								2
光譜反射響應								1	1					2
光纖陣列	1													2
光纖研磨					1	1								2
光熱效應		1	1											2
光濾波器		1					1							2
光柵耦合				1			1							2
光柵				1							1			2
光學雙穩態		1												2
光學連結											1		1	2
光學解多工器			1	1										2
光學天線陣列				1	1									2
光學同調斷層掃描		1			1									2
傾斜光柵													2	2
偏振旋轉分光器		1		1										2
偏心量			1		1									2
低通道串擾	1			1										2
三軸自動研磨機			1		1									2
DFB 雷射					1	1								2

(資料來源：國家圖書館及作者自行整理)

4.3 晶創臺灣及智慧科技大南方對矽光子發展策略建議

4.3.1 晶創臺灣方案

行政院 2023/11/2 宣布通過「晶片驅動臺灣產業創新方案」(以下簡稱晶創臺灣方案)如圖 26，預計 10 年撥款 3000 億元輔導與投資，希望打造臺灣在晶片產業的國際領先地位。規劃 113-122 年挹注 3,000 億元經費，第一期自 113 年啟動，為期 5 年，主要運用我國半導體晶片製造與封測領先全球的優勢，結合生成式 AI 等關鍵技術發展創新應用，提早布局臺灣未來科技產業，並推動全產業加速創新突破。擬定四大布局策略如下：

1. 結合生成式 AI+晶片帶動全產業創新：結合人文社會科學，以民生終端應用為標的，用各產業領域知識、生成式 AI 為驅動力，帶動食、醫、住、行、育、樂、工業各產業發展。另以突破式產業創新推動

機制，鼓勵國內外有創意、有想法的公司或學研機構，利用晶片與生成式 AI 技術，發展應用在各行各業的創新解決方案。

2. 強化國內培育環境吸納全球研發人才：升級學研基礎設施與教材，讓臺灣成為全球頂尖晶片設計訓練基地，培育 IC 設計人才。另將設置海外基地，並組成「晶創特聘專家團」，透過產學研合作、赴海外招募等方式，網羅國際 IC 設計人才來臺，加強國際攬才。
3. 加速產業創新所需異質整合及先進技術：掌握 IC 設計工具的生態系與關鍵技術自主，提升先進晶片設計能力，並加快異質整合設計及介面，以加速邁向先進製程、IC 設計領先技術突破。
4. 利用矽島實力吸引國際新創與投資來臺：鏈結國際晶片新創與資金、引導民間資金擴散晶片新創應用，以全球最完整的半導體產業生態、快速支援創意實踐，吸引 IC 新創來臺；以全球最大 IC 新創聚落品牌，成為國際投資機構投資 IC 新創最佳選擇(陳曼儂，2023 年；新聞傳播處，2023 年)。



圖 26 行政院晶創臺灣方案
(新聞傳播處，2023 年)

4.3.2 智慧科技大南方產業生態系方案

為落實總統施政方針，打造臺灣成為人工智慧之島，國家科學及技術委員會(以下簡稱國科會)提出「智慧科技大南方產業生態系推動方案」，規劃以「擴算力」、「鏈場域」、「引人才」、「展應用」等四大策略布局，結合沙崙科學城與周遭從嘉義到屏東的半導體S廊帶，促成「AI 產業化、產業 AI 化」，協助百工百業數位轉型，建構大南方產業生態系。

在「擴算力」部分，預期在 2028 年將公部門算力提升至現在的 25 倍。隨著 AI 的發展與應用，各國算力近年皆大幅提升。臺灣目前公部門算力約 19PF，公私部門總算力約 54PF，預估技術發展趨勢及國內需求，規劃藉由本方案及晶創臺灣方案，在 2028 年將提升公部門算力至 480PF。

而「鏈場域」，則是以沙崙既有之資安暨智慧科技研發大樓、綠能科技示範場域及中央研究院南分院為 AI 產業發展核心，鏈結周邊半導體S廊帶，包括南科管理局負責之嘉義、橋頭、屏東等園區的智慧複合樓群，形成大南方 AI 產業發展基地，促成產業系統整合，打造均衡發展且具有韌性之臺灣。

在「引人才」部分，將介接及槓桿南部地區 15 所技職校院之 5,400 位專業教師跨域發展，增強 16 萬學生之競爭力與就業動能，透過沙崙資安基地、晶片暨系統整合服務平台、化合物半導體科技人才訓練基地等，進行人才培訓，使 AI 相關產業人才匯流沙崙，成為科技人才重鎮，也滿足南部產業數位轉型人才之需求。

「展應用」則是要透過專業制度及專才培訓、提供國家級算力與資料庫、綠能科技與智慧電網導入應用等，匯集人才流、資訊流與能源流，在南部地區發展重點產業，包含資通訊/資安、金屬加工、車用零組件、淨零綠能、智慧農業、智慧餐飲、健康醫療等，將南部地區打造成為全產業之 AI 科技前進基地。

在落實執行方面，先期於沙崙打造「人工智慧產業專區」，將建置國家級 AI 超級電腦以提升優質可靠之高效能算力，加速 AI 產業發展；整合營運「資安暨智慧科技研發大樓」，以資安為基底，發展智慧健康、

智慧交通及智慧生活三大主軸，作為 AI 產業發展之後盾；導入化合物半導體，應用於 AI 運算資料中心之節能、太陽能與氫能等再生能源電力轉換，以及儲能與電動運具馬達驅動及充放電等領域，落實關鍵技術自主；同時提供綠氨轉氫、燃料電池、微電網與其他淨零技術之技術，發展智慧電網，透過串聯產學研資源鏈結，加速綠能技術商業化之發展。

同時，也推動「智慧雨林產業創生」，透過跨部會合作，提供系統設計暨整合服務平台、算力、場域和業師等資源，整合公協會以匯聚產業需求業者，並協同學研單位，形成一個多方合作的產官學研平台，聚焦在「需求分析能力」和「自主 AI 系統設計能力」，協助 AI 技術在中小企業中的應用和普及。

國科會為凝聚各單位對於我國未來科技與產業發展之共識，提出「智慧科技大南方產業生態系推動方案」陳報行政院，將以跨中央與地方、跨部會、跨產學研的全新思維，構建大南方產業生態系，提升臺灣 AI 技術研發能力，最終實現「均衡臺灣」、「韌性臺灣」、「健康臺灣」的目標(王詔民，2024 年)。

建構大南方產業生態系， 打造台灣成為**人工智慧之島**!

智慧科技大南方產業生態系推動方案

經費預計投入超過 360億元(114-118年)

擴算力

120億元(國科會)

鏈場域

170億元(國科會)

引人才

70億元
(經濟部、數發部、教育部)

展應用

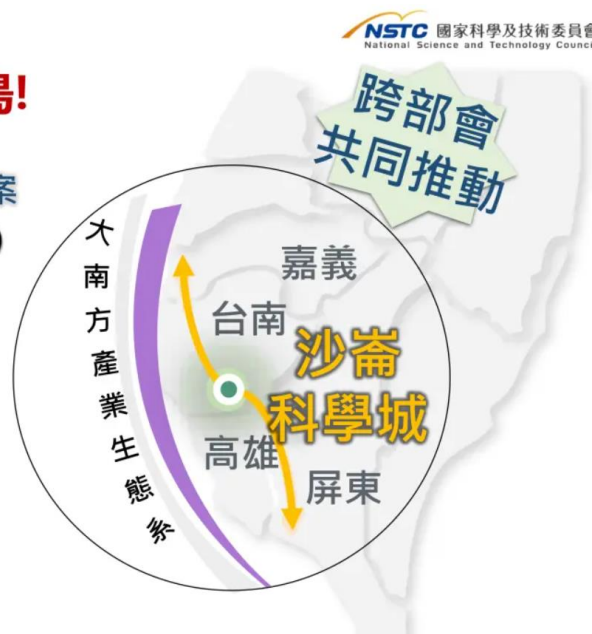


圖 27 智慧科技大南方產業生態系推動方案
(王詔民，2024 年)

4.3.3對矽光子發展策略建議

面對台灣發展相當成熟的矽晶圓與半導體製程，日新月異的 Data Center 核心產業轉向矽光子（SiPh）微型化晶片技術終將成為趨勢，針對南科矽光子產業的發展策略，結合國科會晶創台灣方案及智慧科技大南方產業生態系方案，建議如下：

一、產業發展目標與整體策略整合

1. 矽光子作為核心技術領域：新興科技獎補助可將矽光子作為南科優先徵求發展技術之一，如能結合「晶創台灣」方案的半導體技術創新與「智慧科技大南方」方案的區域特色，實現技術應用的多元化與區域協同發展，做為加分項，強化政府政策連結及產業聚落發展。

2. 聚焦於關鍵應用場景：

- 資料中心：矽光子技術在高速、低功耗的光電轉換領域具有競爭力，可助力資料中心升級。
- AI 與高速運算：配合晶創台灣推進 AI 晶片與光子計算技術的結合，提升國際市場競爭力。
- 智慧城市與 IoT：依據智慧科技大南方產業生態系方案，在智慧城市與物聯網應用中導入矽光子傳感技術。

二、研發與技術創新建議

1. 引進矽光子研發中心：南科可積極布局引進國際級的矽光子研究中心，作為晶創台灣半導體創新研究網絡的一環，吸引國內外專家進駐。

2. 推動技術整合與標準制定：配合國科會的資源，協助企業完成矽光子相關的產業標準化（如光電封裝、介面協定），提升產業鏈整體競爭力。

3. 加強人才培育與技術轉移：結合國科會智慧科技大南方產業生態系方案、國科會晶創台灣方案、南科人才培育獎補助計畫及人才培訓委辦案與國內學研資源，推動矽光子領域的專業教育與產學合作，縮短人才進入產業的時間。

三、區域與產業鏈整合

1. 南科作為矽光子生態核心：依托南科現有的半導體產業基礎，建立矽光子全產業鏈，包括設計、製造、封裝測試與應用端。

2. 強化上下游連結：

- 引入光學元件製造、模組封裝等上游廠商。
- 吸引資料中心、5G 網絡與物聯網應用的下游企業。

3. 建立「矽光子應用示範區」：在大南方區域打造矽光子應用場景，驗證其在智慧交通、能源管理與醫療領域的潛力，促進區域發展。

四、資源與政策支持建議

1. 政策支持：

- 爭取國科會晶創台灣的經費補助，支持矽光子技術的技術攻關與專案化推進。
- 結合智慧科技大南方方案，制定專屬的矽光子產業扶持政策，吸引投資。

2. 國際合作與市場拓展：配合「晶創台灣」的全球化戰略，推動南科矽光子產業與國際矽光子技術聯盟、標準組織及大廠的合作，加速國際市場開拓。

五、落地計畫與績效評估

1. 制定短、中、長期目標，分階段實施：

- 短期（1-3 年）：技術突破與人才培育，建立南科矽光子技術平台。
- 中期（3-5 年）：實現矽光子應用量產，促進產業鏈上下游協同。
- 長期（5 年以上）：形成具國際競爭力的矽光子生態系統。

2. 建立績效評估機制：

- 技術層面：專利數量、技術成熟度。
- 經濟層面：產業產值、就業機會。
- 市場層面：產品滲透率、國際市場份額。

透過上述策略，南科矽光子產業不僅可支撐台灣半導體領先優勢，還能帶動智慧科技在大南方區域的廣泛應用，形成雙贏局面。南科產業結合方案創新轉型矽光子策略圖如圖 28 所示。

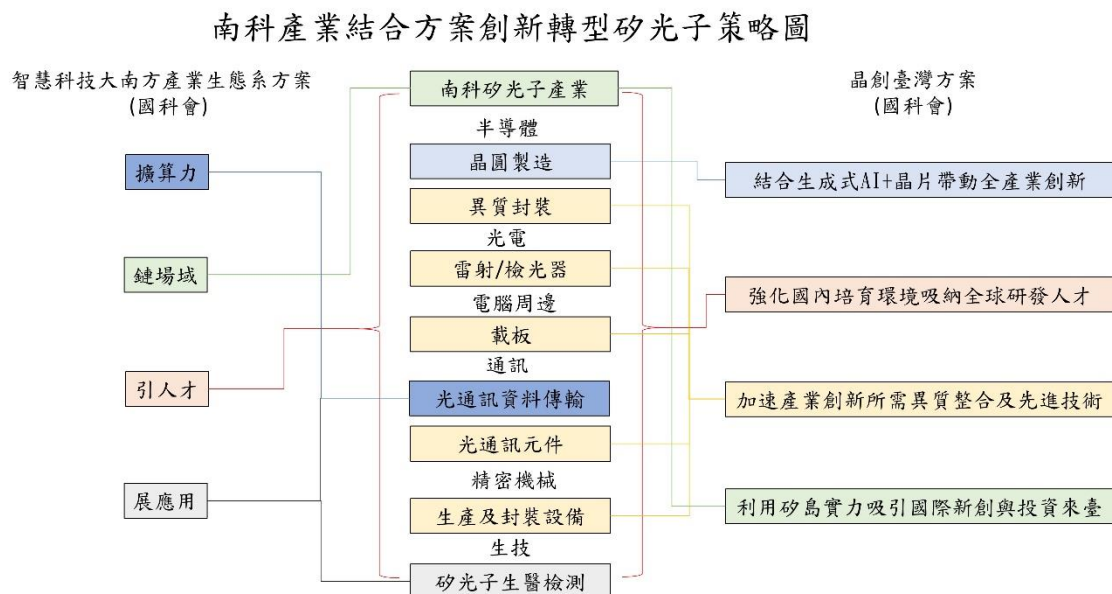


圖 28 南科產業結合方案創新轉型矽光子策略圖
(作者自行繪製)

4.4 新興科技應用計畫南科優先徵求主題策略建議

「國家科學及技術委員會科學園區新興科技應用計畫」(以下簡稱新興科技應用計畫)係科學園區現有的財政型獎補助政策工具，以園區科學事業為主導申請機構，以國科會認可之學研機構為必要合作單位，另可邀請園區或非園區之其他企業參與計畫。補助經費總額每一年度以不超過新臺幣一千萬元為限，且不得超過所申請計畫經費總額之百分之五十，學研機構補助款不得低於補助總額之百分之三十，其他企業補助款應不得高於補助總額之百分之二十。本(113)年度已公告徵案至 113 年 7 月 31 日收件截止，優先徵求主題(重點研究項目)如表 8 113 年南科新興科技應用計畫優先徵求主題 (新興科技應用計畫，2024/6)：

表 8 113 年南科新興科技應用計畫優先徵求主題

領域	內容
一、精準健康領域：	1. 精準診斷：生物技術結合數位科技，如 AI、定點檢測(POCT)、可穿戴診療設備、影像分析、液態檢體或 NGS 個人化檢測等，應用於疾病診斷與遠距醫療照護。 2. 精準治療：發展再生與免疫治療、標靶治療、細胞治療、基因治療、基於微生物組的創新療法等相關產品及先進核酸藥物、蛋白質降解藥物之精準治療開發平臺。 3. 高階醫材：感測醫材關鍵技術、高階影像/診斷醫材元件、微創手術技術、複合材料技術、組織修復醫材、神經組織調節設備、精準給藥系統及高齡科技在精準照護。
二、智慧機械領域：	1. 研發智慧製造關鍵技術與元宇宙應用，如生成式 AI、智慧生產、AR/VR、數位孿生、感測融合、自動光學檢測 AOI 等。 2. 太空關鍵機構零組件、超精密自由曲面開發。 3. 開發無人機或智慧載具(無人機、無人(潛)艦、無人車等)相關應用技術。
三、新世代積通光電領域(新世代半導體、先進通訊、光電、電腦及周邊)：	1. 先進半導體製程：垂直封裝及 3D 堆疊技術、新穎高效能與低功耗晶片技術、高功率散熱材料與模組、<u>矽光子系統及先進半導體檢測技術開發</u>。 2. 先進通訊關鍵元件及設備：B5G/6G 通訊、雷射光通訊與衛星地面接收等關鍵元件及設備開發。 3. 先進資訊系統與技術：AI/大數據、數位轉型服務創新。 4. 先進感測元件與模組、Micro LED、車用電子相關技術。
四、其他優先徵求主題：	1. 淨零科技、綠能減碳技術設備與零組件開發。 2. 分散型能源管理與先進儲能技術開發。

由上可知本年度優先徵求主題已納入「矽光子系統及先進半導體檢測技術開發」，由南科廠商結合南科園區內或區外矽光子供應鏈及學研共同申請，亦即南科園區科學事業為主導申請機構，可邀請園區或非園區之“矽光子供應鏈”其他企業參與計畫，再結合國科會認可之學研機構為必要合作單位，除南科園區產業升級應用，已可衍生新創公司進入 FITI 或 TTA 培育，待公司要投入生產及進入市場時，再引進成為科學事業(如圖 29 南科新興科技應用計畫策略圖)。相關創新研發成果具產品化成果案件可以鼓勵分割(Spin-off)成立新公司，結合南科育成中心、創新創業激勵計畫(From IP to IPO, FITI)、國科會臺灣科技新創基地

(Taiwan Tech Arena, TTA)等平台，加速新公司成長並引進園區成為科學事業。

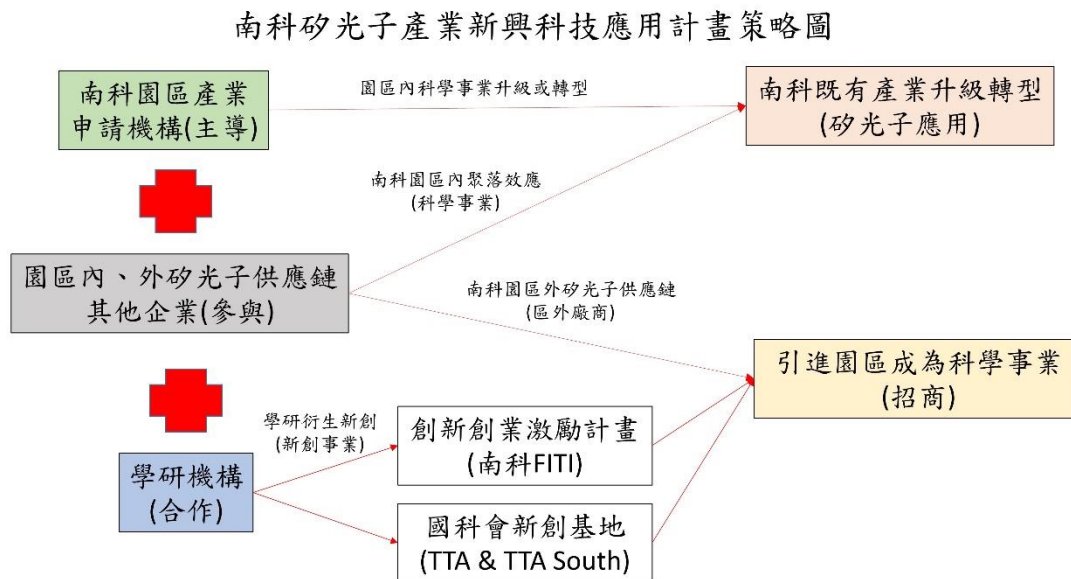


圖 29 南科新興科技應用計畫策略圖
(作者自行繪製)

4.5 人才培育計畫南科策略建議

科學園區人才培育補助計畫(以下稱人才培育計畫)性質屬於在校學生進入職場最後一哩路銜接計畫，為鼓勵園區廠商永續創新研發，協助高科技專業人才養成，國家科學及技術委員會南部科學園區管理局、國家科學及技術委員會新竹科學園區管理局與國家科學及技術委員會中部科學園區管理局共同訂定「科學園區人才培育補助計畫作業規範」，自 94 年起辦理「科學園區人才培育補助計畫」，鼓勵園區周邊大專校院開辦與高科技產業接軌之專業相關模組課程，提升準畢業生專業技能，並以企業實習方式調和理論教學與實務經驗，藉以縮短科技產業人才學用落差，建立有效之園區廠商產學媒合機制(科學園區人才培育補助計畫，2024)。

(一)申請對象：全國各公私立大學及技專校院教師

(二)計畫類型及補助金額：「A 式模組課程(含課程及企業實習)」計畫補助上限 120 萬元、「B 式企業實習課程」計畫補助上限 50 萬元

(三)計畫目的

1. 為園區廠商儲訓實務科技人才，建立有效之園區廠商產學媒合機制，彌補科技人才需求之缺口。

2. 以科學園區產業、未來前瞻性產業、及政府產業發展政策相關技術為主(包括精密機械、AI、通訊、生物科技、光電、積體電路、電腦及週邊、數位內容、其他與園區事業發展之相關領域)。

4. 補助大專院校對焦產業需求，引進業界資源整合理論教學與產業實務，開辦相關「模組課程(含課程及企業實習)」及「企業實習課程」，提供準畢業生專業知能，修習後即可為企業所用，藉以縮短科技產業人才學用落差。

(四)補助選課對象：大學大三、大四、研究生(含碩博士生)，五專之四、五年級，二專之一、二年級，二技之一、二年級，四技之三、四年級以上學生為補助範圍(產業碩士專班、進修部學生除外)。

(五)模組課程：本研究參考 113 年人才培育計畫模組課程公告內容(，申請截止日：113 年 3 月 6 日)，對於未來產業轉型跨領域修訂方向提出建議”如有符合科學園區產業創新升級轉型所需跨領域培訓課程將列為加分項目”，矽光子符合前述加分範疇，納入加分項，可鼓勵學研及廠商合作提案培訓相關人才。

南科矽光子產業創新升級轉型人才培育計畫策略圖

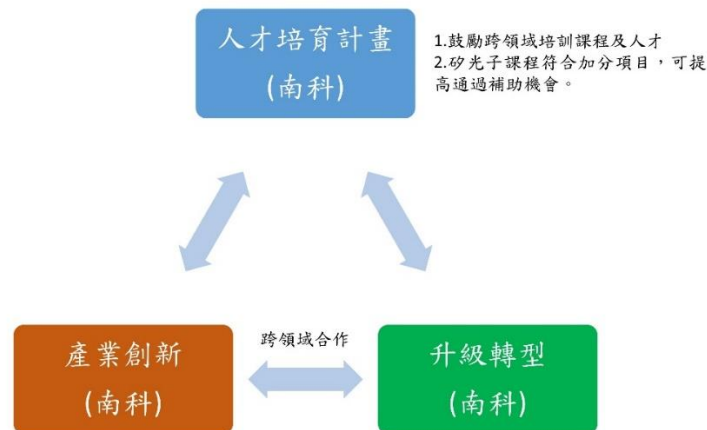


圖 30 南科人才培育計畫策略圖
(作者自行繪製)

4.6 專技人培計畫南科策略建議

專業及技術人才培訓暨推動產學合作計畫(以下稱專技人培計畫)性質屬於科學園區在職員工在職進修提升業界本質學能或第二專長培訓計畫，計畫辦公室工作內容主要項目為協助南科園區在職員工開辦園區目前六大產業相關專業技術及人才培訓課程(包含公開班、企業包班、

短期課程及數位學習平臺之維護及網路課程鏈結課程)，辦理媒合活動或主題式論壇，成立產學合作服務平臺等。

有關矽光子培訓部分，矽光子是一個高度跨學科的領域，涵蓋光學、電子學、材料科學和工程學等多方面。若要設計一套矽光子教育訓練課程，應該考慮不同層次的學習者，並包括基礎知識到進階應用的課程。以下是一些可能的系列課程主題：

表 9 矽光子相關課程規劃

分級	課程	說明
基礎	矽光子的基本概念	● 矽光子技術簡介 ● 矽作為光子器件材料的優勢與挑戰 ● 常見的矽光子器件如波導、耦合器、光檢測器等
	光學與光子學基礎	● 光的基本特性：反射、折射、干涉、衍射 ● 光波與電磁場 ● 光子與半導體材料的相互作用
	半導體物理學	● 半導體材料特性 ● PN 接面與光電效應
中級	矽光子器件設計與模擬	● 波導設計原理 ● 使用軟件進行矽光子元件的模擬(如 Lumerical, COMSOL) ● 製造工藝和材料選擇
	光學通信系統	● 光調製技術：相位調製、幅度調製等 ● 矽光子在光通信中的應用 ● 高速數據傳輸技術
	矽光子集成電路 (PIC)	● 矽光子集成電路的架構與設計 ● 多模態器件與波長分割多工技術 ● 矽光子與 CMOS 電子集成技術
進階	矽光子製造技術	● 製程技術（光刻、蝕刻、薄膜沉積等） ● 測試與封裝技術
	量子光子學	● 量子光學與量子通信 ● 矽光子量子計算與量子通訊的潛在應用
	高級應用與前沿技術	● 矽光子在傳感器、LiDAR 中的應用 ● 生物醫學中的光子學應用 ● 矽光子技術的未來發展趨勢
實驗與實作	矽光子實驗室實作	● 實驗室中的矽光子元件製作與測試 ● 使用光學台和設備進行實驗
	專案開發	● 開發一個實際的矽光子應用專案 ● 從設計、製作到測試的全流程操作

這樣的課程設計能夠系統性地涵蓋矽光子技術的理論與應用，並同時提供實作機會，讓學習者不僅具備理論知識，還能夠實際操作矽光子元件和系統。另因為矽光子雖然媒體報章雜誌皆強力報導，然矽光子產業應用仍未有產值貢獻，經訪談園區廠商矽光子專班未有急迫性開課需求，其課程可以先由南科六大產業半導體、光電、通訊等三大領域相關已開設模組系列課程，在不影響原產業類別培訓目的下，增加或微調導入矽光子相關課程，檢視「半導體製程與實作培訓班」(如表 10)及「電子封裝技術介紹」(如表 11)二半導體系列課程，增加或微調導入矽光子相關課程如表中矽光子相關加強課程內容所示。

表 10 半導體製程與實作培訓班

主題	課程
目前課程主題	1.1 半導體產業概況
	1.2 半導體材料
	1.3 半導體能帶圖
	1.4 本質與經摻雜的半導體
	1.5 漂移與擴散電流
	2.1PN 接面二極體
	2.2 雙載子接面電晶體元件物理
	2.3 金氧半場效電晶體元件物理
	2.4 異質接面與發光二極體
	2.5 其他半導體元件
	2.6 新興半導體材料與元件
	3.1 關於摩爾定律
矽光子相關加強課程	3.2 半導體製程簡介
	3.3 無塵室簡介
	3.4 測試與封裝簡介
	4.1 擴散模組
	4.2 薄膜模組
	4.3 微影模組
	4.4 蝕刻模組
	4.5 品質管理說明
	5.1 職安簡介
	5.1 設備見習
	化合物半導體
	半導體雷射與光通訊主動元件
	PN 接面與光電效應
	SOI 晶圓
	光接收器
	光放大器

(參考專技人培計畫課程及作者補充)

表 11 課程名稱：電子封裝技術介紹

項次	內容
目前課程主題	電子封裝基礎介紹(一)
	電子封裝基礎介紹(二)
	電子封裝結構優化分析
	新型碳化矽晶圓研磨技術
	電子封裝機濕熱分析
	利基產品封裝製程（一）
	利基產品封裝製程（二）
	封裝檢測與自動化設備
	封裝製程雷射加工技術
	電子封裝電性分析與設計
	先進半導體封裝材料發展趨勢與實務
	晶圓級封裝製程技術
	半導體人才需求與市場方向
	企業參訪
	半導體實驗室參觀
	半導體人才需求與市場方向與座談會
矽光子相關加強課程	共同封裝光學（CPO）模組封裝

（參考專技人培計畫課程及作者補充）

另為下一世代矽光子的轉型預做準備，未來專技人培計畫可以增加矽光子及異質封裝等課程規劃，南科專技人培計畫亦須掌握晶創臺灣方案及智慧科技大南方產業生態系方案有關人才培訓的部分，透過國研院臺灣半導體研究中心及南部大學持續升級之半導體設備與教材隨時調整，並藉由晶創臺灣方案與智慧科技大南方產業生態系方案連結平台強化人才培訓。

南科矽光子產業創新升級轉型人培計畫策略圖

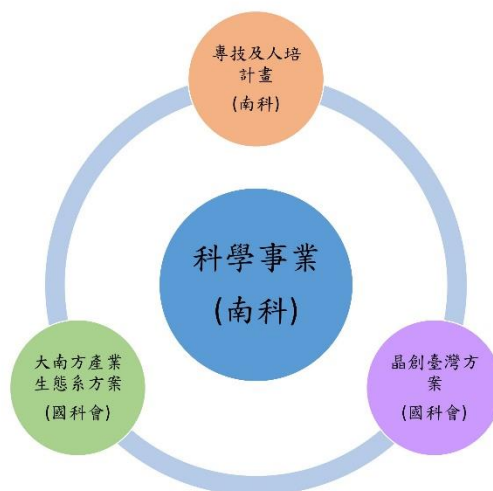


圖 31 南科專技人培計畫策略圖
(作者自行繪製)

第5章 結論

本研究以南科產業聚落為核心，研析產業創新、升級及轉型矽光子產業策略，亦期待藉由南科 AIOT+ICT 產業所發展的關鍵零組件，帶動並提升南科矽光子產業領域相關技術及產業發展，藉此研析提出發展策略，產政學研跨領域整合，協助現有園區產業技術及產值提升，提出新設基地招商布局，強化整體矽光子產業發展。有關南科產業創新、升級及轉型矽光子產業策略建議，首先應用南科既有人才培育計畫、人才培訓計畫、新興科技應用計畫、南科育成中心、創新創業激勵計畫(FITI)政策工具，結合國科會臺灣科技新創基地(TTA)、晶創臺灣方案、智慧科技大南方產業生態系方案等平台，以跨領域整合方式協助所需技術及人才培訓、新創公司落地南科、既有南科產業創新轉型等，符合我國產業推動方案及國科會產業創新政策指標，提升我國產業競爭力。

參考文獻

- Chang, Y-T(2024 年 4 月 6 日)。矽光子晶片供應鏈解析：以歐盟研發計畫 PhotonixFAB 為案例。Medium。medium.com
- Dahad, N. (2024 年 6 月 18 日)。AI 是矽光子的殺手級應用嗎？。EETimes Taiwan 電子報。www.eettaiwan.com
- 日月光半導體製造股份有限公司。ase.aseglobal.com
- 王詔民(2024 年 8 月 22 日)。智慧科技大南方產業生態系推動方案。國家科學及技術委員會網頁。www.nstc.gov.tw
- 台灣奈微光科技股份有限公司網頁。www.nmirp.com
- 光焱科技股份有限公司網頁。enlitech.com.tw
- 李娟萍、張珈睿、陳彥綺(2024 年 4 月 26 日)。台積電強攻矽光子、CPO 技術是什麼？相關概念股一表看！。工商時報。www.ctee.com.tw
- 周揚桁(2023)。矽光子晶片上應用多模干涉波導的對稱曲線錐形波導光輸出功率之研究。國立高雄科技大學電子工程系碩士論文。
- 孫嘉君(2024 年 9 月 3 日)。矽光子聯盟成立，31 家企業名單一次看！台積電、日月光如何看矽光子發展？。數位時代。www.bnext.com.tw
- 財團法人光電科技工業協進會(2024 年 5 月 3 日)。台積電北美技術論壇擘劃矽光子發展路線圖-開啟應用大門。財團法人光電科技工業協進會。www.pida.org.tw
- 張珈睿(2024 年 8 月 16 日)。光引擎飆速 台積電搶先進封裝產能。工商時報。www.ctee.com.tw
- 張崇學(2023)。AI、5G 驅動下的矽光子材料機會。IEK 產業情報網。ieknet.iek.org.tw
- 張瑞益、李娟萍(2023)。台系產業龍頭 整軍搶矽光子大餅。工商時報。

產業研究部(2024 年 6 月 26 日)。【感測器】采鈺(6789)除感測市場外
為台積電晶圓製程與矽光子的重要夥伴。產業研究部(JACK)-優分
析。uanalyze.com.tw

許江鎮(2024 年 2 月 29 日)。聯亞光電以豐富的磊晶技術經驗 滿足各種
研發需求之磊晶服務。理財周刊。www.moneyweekly.com.tw

郭書言(2024 年 5 月 16 日)。矽光子是什麼？矽光子概念股有哪些？
大廠佈局矽光子技術！。股感知識庫(Stockfeel)。
www.stockfeel.com.tw

新聞傳播處(2023 年 11 月 13 日)。晶創臺灣方案—奠基臺灣未來 10 年
科技國力。行政院。www.ey.gov.tw

楊喻斐(2022 年 11 月 7 日)。「我身家都投下去了」 台灣奈微光開發全
球首顆「矽光子晶片」，故事從台大光電所說起。財訊 671 期。
www.wealth.com.tw

劉炯德(2023 年 9 月 28 日)。下一個市場寵兒？年複合成長率 28.5%！
「矽光子」台廠供應鏈一次看。商周財富網。
wealth.businessweekly.com.tw

戴嘉芬(2024 年 6 月 30 日)。【決戰矽光子 2-2】英特爾投入長達 30 年 台
灣晶圓廠不擅長「光學」需奮力追趕。Yahoo!新聞。
tw.news.yahoo.com

聯亞光電工業股份有限公司網頁。www.lmoc.com.tw

魏晨洋、歐陽昱宏、賴志銘、楊旻璇、杜沛蓉(2022)。Junior 新趨勢_矽
光子。Collaborator 產經共學社。www.slideshare.net

蘇嘉維(2023)。台積電攻矽光子！傳攜手博通、輝達等共同開發 明年迎
大單。經濟日報。