

2024 年
經濟部智慧財產局
產業專利分析與布局競賽
報告書

團隊名稱：八二二管理員

競賽主題：矽光子技術專利趨勢分析

競賽題目：矽光子

中 華 民 國 1 1 3 年 0 9 月 2 7 日

目錄

第壹章、緒論	10
第一節、研究背景	10
第二節、研究目的與動機	10
第貳章、分析標的技術介紹及產業概況	11
第一節、前言	11
第二節、發展歷史概覽	12
第三節、矽光子積體電路模組構造	13
第四節、光纖整合封裝技術	21
第五節、所屬產業現況	25
一、矽光子產業鏈全景	25
二、數據通訊光學市場概況	25
第六節、矽光子技術現況及困難	30
第參章、矽光子專利檢索策略與過程	32
第一節、檢索策略與條件	32
第二節、建立檢索式	33
第三節、檢索過程與結果	37
第四節、二次檢索過程	38
第肆章、矽光子專利檢索與趨勢分析	42
第一節、全球歷年申請數量趨勢	42
一、矽光子技術	42
二、Modulator 調變器技術	43
第二節、技術生命週期分析	44
一、矽光子技術	44
二、Modulator 調變器技術	45
第三節、歷年各國申請數量分析	46
一、矽光子技術	46
二、Modulator 調變器技術	52
第四節、各國申請人國別分析	54
一、矽光子技術	55
二、Modulator 調變器技術	60

第五節、各國專利申請人數數量分析	62
一、矽光子技術	62
二、Modulator 調變器技術	69
第六節、IPC 分析	72
一、矽光子技術前五大 IPC 三階分類號分析	72
二、矽光子技術前五大 IPC 五階分類號分析	74
三、矽光子技術前五大申請人 IPC 五階分類號分析	76
四、矽光子技術各專利局前五大 IPC 三階分類號分析	81
五、Modulator 調變器技術重點公司 IPC 分析	84
(一)INFINERA CORPORATION 前五大 IPC	84
(二)INPHI CORPORATION (現為 Marvell 的一部分) 前五大 IPC	85
(三)RAYTHEON COMPANY 前五大 IPC	86
(四)LUXTERA, INC. (思科旗下公司) 前五大 IPC	87
(五)ROCKLEY PHOTONICS LIMITED 前五大 IPC	88
(六)小結	88
第七節、技術功效分析	90
一、矽光子技術	90
二、Modulator 調變器技術	91
第八節、引用主路徑分析	94
第伍章、矽光子技術專利布局策略	97
第一節、專利布局策略分析	97
一、IPC 布局分析	97
二、企業主路徑分析	98
第二節、市場現況分析	107
一、全球矽光子技術市場概況	107
二、應用市場的多樣性與增長動力	107
三、地區市場分析	108
四、市場挑戰與機遇	108
第三節、臺灣產業發展策略與建議	109
一、SWOT 分析	109
二、五力分析	110

第陸章、結論.....	112
-------------	-----

圖目錄

圖 1、2010 至 2025 年數據使用量趨勢圖.....	11
圖 2、1993 年矽光子晶片概念圖	12
圖 3、矽光子應用圖解	13
圖 4、矽光子技術示意圖	14
圖 5、絕緣層上覆矽圖	15
圖 6、絕緣層上覆矽剖面示意圖	15
圖 7、光波導結構示意圖	16
圖 8、光柵耦合器及端面耦合器示意圖.....	16
圖 9、光調變器示意圖	17
圖 10、其一種類之光調變器示意圖.....	18
圖 11、環形共振腔光調變器示意圖.....	18
圖 12、光檢測器示意圖	19
圖 13、插拔式光收發模組實物圖一.....	21
圖 14、插拔式光收發模組實物圖二.....	21
圖 15、插拔式光收發模組架構示意圖.....	22
圖 16、共封裝光學模組架構圖	23
圖 17、近封裝光學模組示意圖	23
圖 18、四種封裝技術簡圖	24
圖 19、通訊光學市場收入預測圖	25
圖 20、2014Q1 至 2023Q3 日月光投控同業資本支出總和圖	26
圖 21、年度精選 CPO 供應鏈.....	28
圖 22、1992 年至 2030 年整合技術時間軸與未來趨勢圖.....	29
圖 23、2023 年矽光子於光學通訊領域之價值鏈.....	30
圖 24、檢索流程圖	32
圖 25、1995 年迄今全球歷年申請數量趨勢圖.....	42
圖 26、全球歷年申請數量四年段趨勢圖.....	42
圖 27、總體歷年申請數量圖	43
圖 28、技術生命週期圖	44
圖 29、調變器技術生命週期圖	45
圖 30、臺灣歷年申請數量四年段趨勢圖.....	46

圖 31、臺灣歷年申請數量趨勢圖	47
圖 32、美國歷年申請數量趨勢圖	48
圖 33、美國歷年申請數量四年段趨勢圖.....	48
圖 34、日本歷年申請數量四年段趨勢圖.....	49
圖 35、日本歷年申請數量趨勢圖	50
圖 36、歐洲歷年申請數量四年段趨勢圖.....	51
圖 37、歐洲歷年申請數量趨勢圖	51
圖 38、歐洲歷年申請數量四年段趨勢圖.....	51
圖 39、調變器技術臺灣歷年申請數量趨勢圖.....	52
圖 40、調變器技術美國歷年申請數量趨勢圖.....	52
圖 41、調變器技術歐洲歷年申請數量趨勢圖.....	53
圖 42、調變器技術日本歷年申請數量趨勢圖.....	53
圖 43、前十大各國申請人國別統計圖.....	55
圖 44、臺灣前十大第一申請人國別統計圖.....	56
圖 45、美國前十大第一申請人國別統計圖.....	57
圖 46、日本前十大第一申請人國別統計圖.....	57
圖 47、歐洲前十大第一申請人國別統計圖.....	58
圖 48、前五大專利申請國別統計圖	59
圖 49、調變器技術台灣前十大第一申請人國別統計圖.....	60
圖 50、調變器技術美國前十大第一申請人國別統計圖.....	60
圖 51、調變器技術日本前十大第一申請人國別統計圖.....	61
圖 52、調變器技術歐洲前十大第一申請人國別統計圖.....	61
圖 53、全球前十大申請人	63
圖 54、臺灣前十大申請人	64
圖 55、美國前十大申請人	65
圖 56、日本前十大申請人	66
圖 57、歐洲前十大申請人	68
圖 58、調變器技術全球前十大申請人圓餅圖.....	69
圖 59、調變器技術臺灣前十大申請人.....	70
圖 60、調變器技術美國前十大申請人.....	70
圖 61、調變器技術日本前十大申請人.....	71

圖 62、調變器技術歐洲前十大申請人.....	71
圖 63、前五大 IPC 三階分類號.....	72
圖 64、歷年前五大 IPC 三階分類號.....	73
圖 65、前五大 IPC 五階分類號.....	74
圖 66、歷年前五大 IPC 五階分類號.....	75
圖 67、INTEL 公司前五大 IPC 五階分類號.....	76
圖 68、INTEL 公司歷年前五大 IPC 五階分類號.....	77
圖 69、IBM 公司前五大 IPC 五階分類號.....	77
圖 70、IBM 公司歷年前五大 IPC 五階分類號.....	77
圖 71、華為公司歷年前五大 IPC 五階分類號.....	78
圖 72、華為公司前五大 IPC 五階分類號.....	78
圖 73、INFINERA 公司前五大 IPC 五階分類號.....	79
圖 74、INFINERA 公司歷年前五大 IPC 五階分類號.....	79
圖 75、日本電信電話公司前五大 IPC 五階分類號.....	80
圖 76、日本電信電話公司前五大 IPC 五階分類號.....	80
圖 77、TIPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號.....	81
圖 78、USPTO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號.....	81
圖 79、JPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號.....	82
圖 80、EPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號.....	82
圖 81、WIPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號.....	83
圖 82、INFINERA CORPORATION 前五大 IPC 統計圖.....	84
圖 83、INPHI CORPORATION 前五大 IPC 統計圖.....	85
圖 84、RAYTHEON COMPANY 前五大 IPC 統計圖.....	86
圖 85、LUXTERA, INC. 前五大 IPC 統計圖.....	87
圖 86、ROCKLEY PHOTONICS LIMITED 前五大 IPC 統計圖.....	88
圖 87、矽光子技術功效矩陣圖.....	91
圖 88、矽光子技術功效矩陣圖.....	93
圖 89、專利引用網路主路徑圖.....	95
圖 90、EPO 前五大 IPC 雷達圖.....	97
圖 91、USPTO 前五大 IPC 雷達圖.....	97
圖 92、TIPO 前五大 IPC 雷達圖.....	97

圖 93、JPO 前五大 IPC 雷達圖	97
圖 94、WIPO 前五大 IPC 雷達圖	98
圖 95、ANALOG PHOTONICS 企業主路徑分析圖	99
圖 96、AYAR LABS 企業的主路徑分析圖	100
圖 97、INTEL 企業的主路徑分析圖	101
圖 98、INTEL 企業的主路徑分析圖	102
圖 99、TSMC 公司的主路徑分析圖	104
圖 100、SiLC 公司的主路徑分析圖	105

表目錄

表 1、參考專利池表	33
表 2、檢索式與專利數	33
表 3、IPC 分類號	33
表 4、檢索式與專利數	34
表 5、技術同義詞	34
表 6、檢索式與專利數	34
表 7、IPC 分類號	35
表 8、檢索式與專利數	36
表 9、檢索式與專利數	37
表 10、檢索式與專利數	37
表 11、檢索式與專利數	39
表 12、檢索式與專利數	39
表 13、技術同義詞	40
表 14、檢索式與專利數	40
表 15、檢索式與專利數	41
表 16、專利引用網路主路徑之專利清單表	95
表 17、重點公司表	98

第壹章、緒論

第一節、研究背景

矽光子技術是利用矽基材料來實現光信號的生成、傳輸和處理的一種技術。隨著信息和通信技術的飛速發展，對高速、大容量數據傳輸的需求日益增長，而傳統電子技術在面臨功耗和速率限制方面逐漸暴露出瓶頸。在這種背景下，矽光子技術因其能夠在小尺寸和低成本下實現高速光信號處理，成為研究的熱點。

矽光子技術領域的專利研究背景源於對傳統電子器件性能限制的挑戰和對高速、低功耗通訊需求的不斷增長。隨著數據傳輸量的爆炸性增長，傳統電子器件在速度和功耗效率方面面臨著日益嚴峻的挑戰。矽光子技術通過利用矽材料的光學特性，旨在開發更快速、更高效的光通訊系統和光電集成電路。

研究背景包括但不限於以下幾個方面：首先，矽是廣泛使用的半導體材料，具有成熟的製造技術和良好的兼容性，因此對其在光子學應用中的利用有著廣泛的興趣。其次，隨著微電子學的進步，矽光子技術可以實現高度集成的光學器件，如光波導、光開關和光調制器，這些器件可以在同一晶片上實現，大大節省系統成本和空間。第三，研究人員正在致力於改進矽光子器件的性能，包括降低能耗、提高波長選擇性和增強光子集成電路的功能性，以滿足越來越多樣化的應用需求，如高速數據中心互聯和光纖通訊網路。

總的來說，矽光子技術的專利研究背景反映了對於通訊技術革新的迫切需求，該技術能夠在現有基礎上實現更快速、更節能的光子學解決方案，並開啟新的應用領域。

第二節、研究目的與動機

矽光子技術研究的動機主要源於市場需求、技術突破、成本效益和環保考量等多方面因素。首先，隨著大數據、雲計算、人工智能等領域的迅速發展，對高性能通信和數據傳輸技術的需求不斷增長，推動了矽光子技術的研究和應用。其次，傳統電子技術在高速數據處理和傳輸方面遇到了瓶頸，亟需新的技術來突破這些限制，而矽光子技術憑藉其優越的光信號傳輸特性成為了理想的解決方案。

此外，矽光子技術能夠利用現有的半導體製造基礎設施和材料，以較低成本實現高性能光通信器件，這對於推廣應用和降低整體生產成本具有重要意義。最後，矽光子技術有望顯著降低通信和數據中心的能耗，有助於實現更加環保和可持續的技術發展。因此，矽光子技術的研究不僅能夠滿足當前和未來的市場需求，還能推動技術進步，降低成本，並促進環保可持續發展。

第貳章、分析標的技術介紹及產業概況

第一節、前言

傳統電路板上，例如電腦元件資料間之傳輸，多以銅線製程之電路進行傳輸，電子透過該些銅製電路傳遞訊號，即廣為人知之「積體電路」，將數億個電晶體堆積至晶片上以進行複雜運算，然而主要的問題是，此電訊號之傳輸，會有訊號耗損及熱量問題，因此其線路之長度及佈線設計是急需解決的問題，且迄今人工智慧、虛擬實境、3D 高畫質影音、元宇宙及雲端運算等高性能運算之大量數據處理需求遽增，甚至經過專業機構¹預測 2025 年數據使用量更將達到 181ZB，電腦運算能力即須大幅提升，其中的關鍵便是晶片間之通訊。

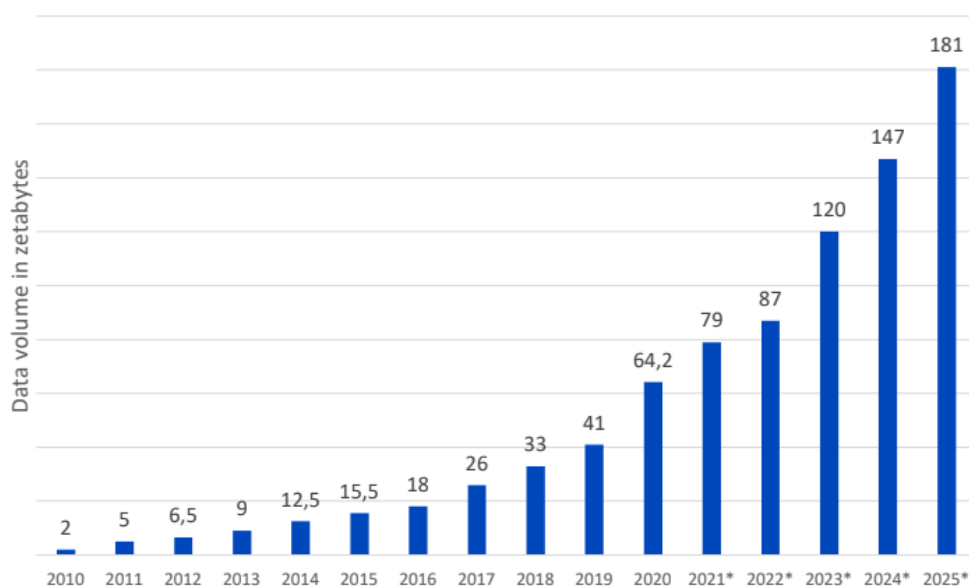


Chart 1. Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2025 (in zettabytes)

圖 1、2010 至 2025 年數據使用量趨勢圖

而欲提升晶片間之通訊，半導體製程常需於處理器中置入多個運算用電晶體，電容及電阻大小從 40 奈米至 16 奈米，甚至台積電公司於今年 4 月於美國加州舉辦之 2024 年北美技術論壇宣布最新 1.6 奈米之半導體製程技術，然而，半導體技術往更小尺寸、更低奈米的元件尺寸方向精進時，電路的複雜化終究會走向銅導線傳遞的物理極限，而極限之後的世界，便是本研究所欲探討的矽光子世界。

此即為解決摩爾定律（簡言之，指積體電路上可容納的電晶體數目，朝兩年增加一倍之方向增長之定律）的關鍵技術，使用矽光子技術將光學元件整合於奈米等級之積體化晶片上，利用光波導傳導取代銅金屬導線，即不須再追求更多的電晶體或更小的製程節點，同時實現高效、高頻寬之數據傳輸，其亦有量大、產值高及成本低之特點，該技術約可包含元件設計、製程整合、光學封裝及光電測試技術。

¹ PXR Italy, 《Report introduction: Report Big Data》, 2022.03.

第二節、發展歷史概覽

矽光子積體電路的概念最早於西元 1985 年由 Richard A. Soref 教授所提出，將各種光學元件整合於矽晶片中，例如光耦合器、調變器等，首次對於矽光子積體電路及光電元件單片集成有初步概念出現，而其於 1993 年進一步對矽光子晶片概念有更詳細發表²，如下圖 2：

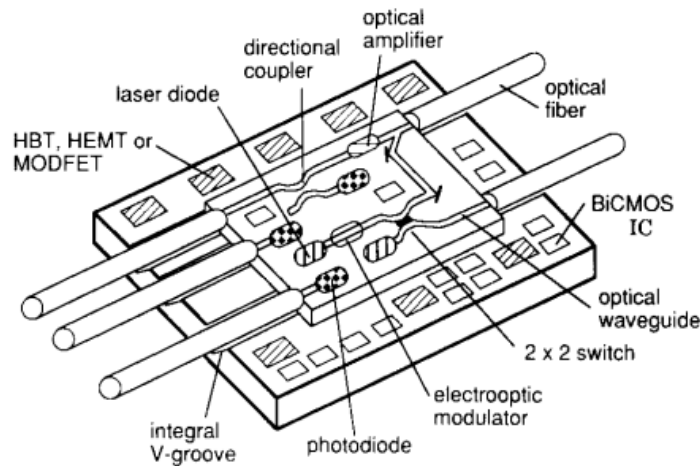


Fig. 3. Silicon-based OEIC “superchip,” similar to the one proposed by Abstreiter [2].

圖 2、1993 年矽光子晶片概念圖

爾後，奈米加工技術於微電子之領域亦持續發展中，製程線寬於 2000 年達到 100nm，於 2000 年代中期開始出現矽光子研究之熱潮，如 Intel 公司為最早商業化使用之廠商，於 2012 年即設置專門部門投入市場布局，並於 2016 年大規模出貨，於 2022 年 6 月更展示於矽晶片上，透過 300mm 混合矽光子平台設計製造 8 波長雷射陣列，在三五族化合物半導體晶圓接合前，使用先進的微影技術在矽當中定義波導光柵（Waveguide grating）之先進研究成果³；IBM 公司則於 2012 年底時即開發出 90nm 之奈米矽光子積體電路晶片，將光路與電路整合至單一晶片中。

另外，2017 年 Luxtera 公司亦宣布與晶圓代工之領頭廠商台積電公司共同研發下一代之矽光子技術；台積電公司也正在研發緊湊型通用光子引擎（COUPE）技術，該技術使用 SoIC-X 晶片堆疊技術將電子裸品堆疊至光子裸晶上以提供最低電阻及最高效率，並預計在 2025 年完成支援小型插拔式連接器的 COUPE 驗證，再於 2026 年整合 CoWoS 封裝成為共同封裝光學元件（Co-Packaged Optics, CPO）；Google、Apple、Meta 及 Microsoft 等公司也積極開發高效矽光連接技術，用以建置短距離資料中心內部（如 850nm 雷射與多模光纖），以及長距離資料中心之間（如 1310nm 雷射與單模光纖）之光互鏈等等，甚至在國際專業市場研究公司 Mordor Intelligence 的研究下，2024 年矽光子之市場規模預估為 23.8 億美元，2029 年將高

² Richard A. Soref, 《Silicon-Based Optoelectronics》, Institute of Electrical and Electronics Engineers Volume 81 Issue 12, December 1993.

³ Mashdigi, Intel 展示在晶圓上的 8 波長雷射陣列技術，成為未來小晶片設計處理器應用關鍵，
<https://tw.news.yahoo.com/intels-8-wavelength-laser-array-technology-on-wafers-will-become-the-key-to-future-chiplet-design-processor-applications-154150189.html>（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）。

達 90.2 億美元，年增長率為 30.5%⁴，可見矽光子積體電路應用於大型資料中心之高速資訊傳輸為未來必然之趨勢。

第三節、矽光子積體電路模組構造

矽光子 (Silicon Photonics) 整合了 CMOS 積體電路及半導體雷射技術，詳言之，矽光子為製造光學晶片的技術，積體電路係以電子作為訊號傳輸，矽光子則透過光子作為訊號傳輸，即將多個光學元件整合成單一光子積體電路，並以光波導 (Optical Waveguide) 取代銅線作為光子傳輸之通道，以實現更高頻寬或更高速之數據處理，過去電子從晶片出發，藉由銅線傳輸至伺服器末端後，由光收發器轉換成光子再由光纖傳輸，矽光子的技術即將電子從晶片一出發，經由極短的銅導線後直接抵達光轉換模組，轉換成光子後藉由光纖傳輸，縮短了銅導線之使用距離，使能量耗損降至最低、增加資料頻寬及提高傳輸距離，簡單圖解⁵傳統銅導線及未來矽光子應用後差異如下圖 3：

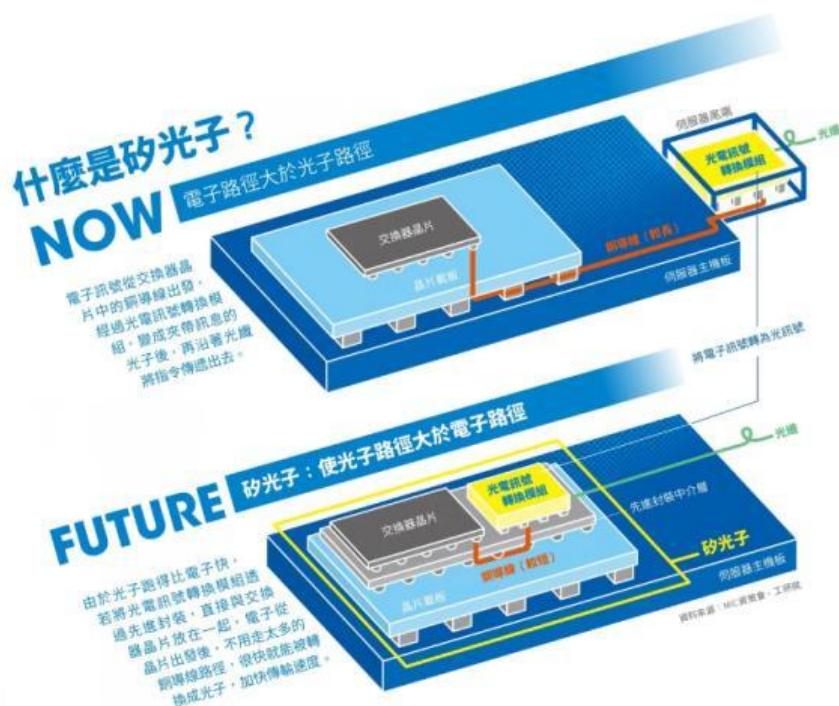


圖 3、矽光子應用圖解

白話而言，傳遞電磁波訊號的介質稱為「波導」(Waveguide)，光是一種電磁波，因此傳遞光的介質稱作「光波導」(Optical waveguide)，常聽到的光纖(Fiber)即屬其中一種，然而，光通訊系統尚須處理光訊號的分光、合光、調光、切換及調變等，因此除光纖外，尚須其他元件，該些元件稱為「光波導元件」或「積體光學」(Optical Integrated Circuit, OIC)，

⁴ Mordor Intelligence, Silicon Photonics Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2024 - 2029) , Source: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/silicon-photonics-market>. (last arrived: September 20, 2024)

⁵ 邱品蓉，矽光子市場規模逾 50 億美元！矽光子原理、技術圖解：矽光子 CPO 是先進封裝未來？，<https://www.bnext.com.tw/article/77353/ase-tsma-silicon-photonics-cpo>，2024 年 6 月 27 日。（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

將「光波導元件」與矽晶圓整合，使該晶圓可以同時運作電訊號之運算及光訊號之傳輸，即為矽光子，也可以參考我國工業技術研究院所提供之矽光子技術示意圖⁶：

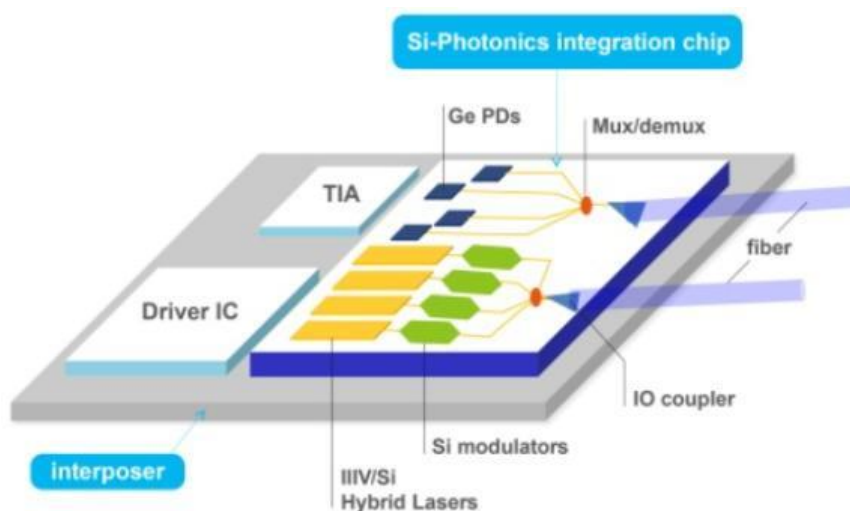


圖 4、矽光子技術示意圖

矽光子積體電路之基板（或稱積體光學元件），係採用絕緣層上覆矽（silicon on insulator, SOI）的方法製作，即在矽晶片下添加氧化物之絕緣層，如同三明治結構般，利用最上層矽材料作為導光層的光元件或加以摻雜形成 PN 介面利用逆向電壓控制光折射率做成光電元件，製程後以厚氧化層覆蓋形成蓋光層(Cladding)，因此就形成了絕緣層內包覆矽導光層的強導波結構，而最下層的矽，則僅做為基板支撐或進行其他電子元件製作用⁷，此作法係因紅外光的波長能直接穿透矽，為使光不外漏而須將氧化矽作為阻擋媒介，且 SOI 技術高折射率之差異性質，能增加光場傳播的侷限性，進而避免電氣效應，減少電源消耗及電流流失，提升整體傳播效率，如下圖⁸所示，以及圖 6 之矽光子 SOI 剖面示意圖⁹，紅色基板為矽，灰色絕緣層可作為下蓋光層，中間層為各式光元件，上層淺灰色為上蓋光層，黃色為導電金屬電極：

⁶ 資料來源：

https://www.itri.org.tw/ListStyle.aspx?DisplayStyle=01_content&SiteID=1&MmmID=1071732316365755674&MGID=620636134104371366（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

⁷ 施天從，效能/量產性突飛猛進 矽光子元件照亮通訊未來，<https://www.2cm.com.tw/2cm/zh-tw/tech/2A7C08CE5B6C4A21A9BA7AF531D17AF6>，2021 年 11 月 27 日。（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

⁸ 資料來源：<https://semiknow-official.medium.com/soi-%E5%A7%B%E7%B5%82%E7%84%A1%E6%B3%95%E5%85%8C%E7%8F%BE%E5%A4%A9%E8%B3%A6%E7%9A%84%E5%8D%8A%E5%B0%8E%E9%AB%94%E6%8A%80%E8%A1%93-ead64b91c50f>（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

⁹ 同註 7。

SOI 結構 (Silicon on Insulator)

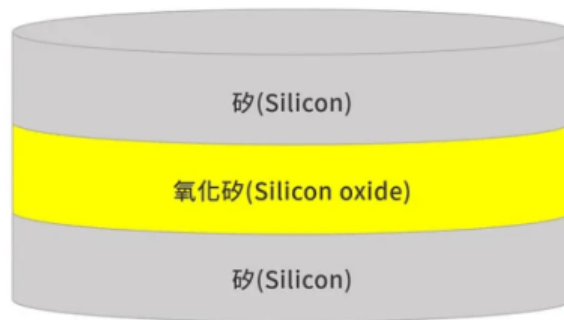


圖 5、絕緣層上覆矽圖

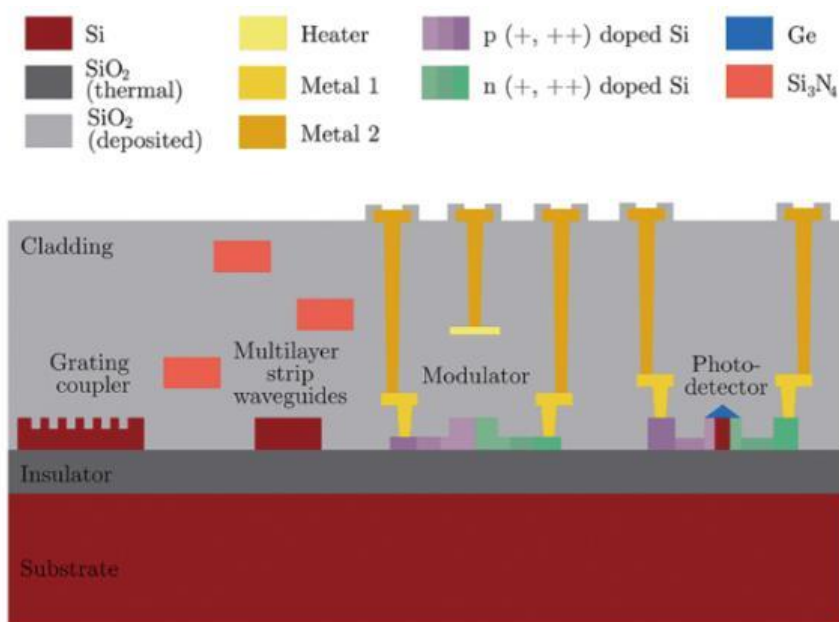


圖 6、絕緣層上覆矽剖面示意圖

而矽光子積體電路內部可分為三類元件（被動、主動及電子元件），被動元件包含馬赫—曾德爾干涉儀、光波導、環形共振腔、方向耦合器、Optical I/O（包含光柵耦合器和邊緣耦合器）等；主動元件包含調變器、光檢測器、雷射等；電子元件包括轉阻放大器、ASIC、驅動 IC 等，分述如下：

（一）被動元件

1. 馬赫—曾德爾干涉儀（Mach-Zehnder interferometer）
詳下述光調變器部分。
2. 光波導（Optical waveguide）

係用於引導光波傳播之光元件，即可以傳遞光訊號之路徑（如光纖 Fiber），早期因微影及蝕刻製程使波導側壁粗糙化，而使接近界面之光場易散射產生傳播損耗高達 15dB/cm，隨著前開 SOI 技術應用及改進，損耗已可控制於 1dB/cm 左右，其結構包含通道波導及脊型波導等，可參考下圖 7¹⁰。

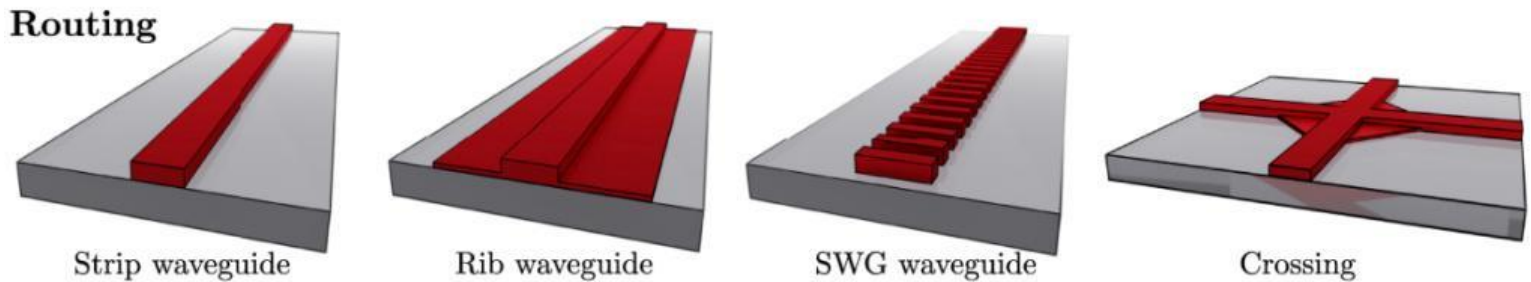


圖 7、光波導結構示意圖

3. 微環形共振腔（Micro-ring resonator）

詳下述光調變器部分。

4. Optical I/O

簡而言之，此技術幫助讀取晶片上儲存之資料，實現極高密度的光輸入／輸出，可分為「光柵耦合器」（Grating Coupler）及「端面耦合器」（Edge Coupler），後者之設計較為簡單，可使用頻寬亦較寬，且光藉此進入波導元件之損耗低，因此早期較為廣泛使用，然其缺點在於製作上較為複雜（如須經底切（undercut）和深蝕刻技術等）；反觀前者使用頻寬雖不及後者，損耗也較大，然因方式簡單，有相對較寬之對準容差及較高之偏振靈敏度，光只須於特定角度入射光學元件即可，因此近期較受歡迎，兩者示意圖¹¹如下圖 8。

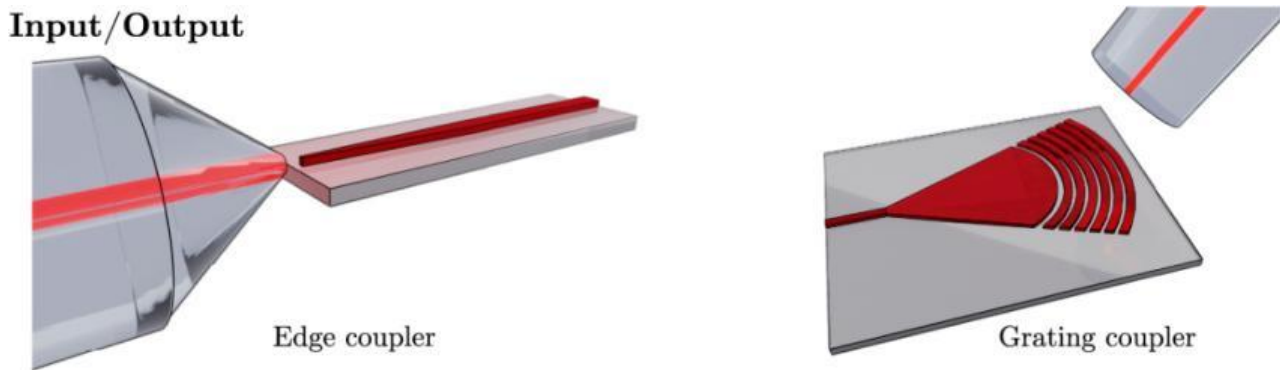


圖 8、光柵耦合器及端面耦合器示意圖

(二) 主動元件

1. 光調變器（Optical modulator）

¹⁰ Wei Shi, Ye Tian, and Antoine Gervais, Scaling capacity of fiber-optic transmission systems via silicon photonics, *Nanophotonics* Volume9 Issue16, October 22, 2022.

¹¹ 同註 10。

為光訊號的調變裝置，使用特定頻率之電訊號改變光訊號之強度，以使光訊號乘載特定資訊，此光電元件為提升傳輸速率的重要角色，即在雷射光源輸入之情況下，將電訊號再轉成光，像是設定開關，在需要調變光訊號時，打開開關輸入電訊號，如下圖 9¹²所示。

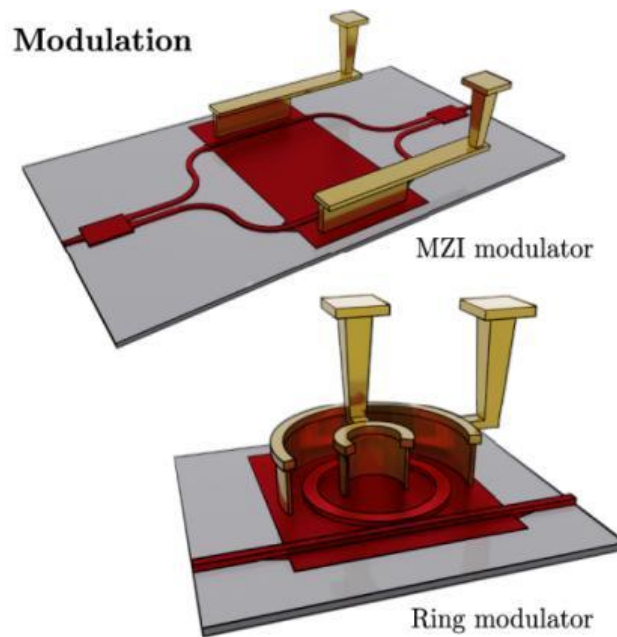


圖 9、光調變器示意圖

又因矽光子積體電路之基板使用材料為矽，已如前述，而矽晶格之結構具空間轉置對稱性，使矽本身不具二階非線性效應而無法利用普克爾效應（Pockels effect 或稱 Linear Electro-Optic Effect），因此，矽結構在製作電訊號控制光訊號相位之光調變器時，主要應用三階非線性效應，即以 Nonlinear Drude Model 為基礎，再加上半導體製程技術演進，將半導體高頻二極體（PIN 二極體）、PN 接面二極體或金屬氧化物半導體電容器（Metal-Oxide-Semiconductor capacitor, MOS capacitor）之相位調變單元，配合矽光波導構成前開馬赫—曾德爾干涉儀（Mach-Zehnder interferometer）¹³之被動元件，為光調變器之一種，如下圖 10¹⁴所示。

¹² 同註 10。

¹³ 林銘偉，矽晶·電子：科技創新—矽光子積體電路，<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=3ab13c01-79a2-46d3-a636-dbac52b4f940>，2018 年 1 月 5 日。（最後瀏覽日：2024 年 7 月 3 日）

¹⁴ Frederic Gardes, Goran Mashanovich, and Graham Reed, Evolution of optical modulation in silicon-on-insulator devices, <https://www.spie.org/news/0985-evolution-of-optical-modulation-in-silicon-on-insulator-devices>, December 28, 2007. (last arrived: September 20, 2024)

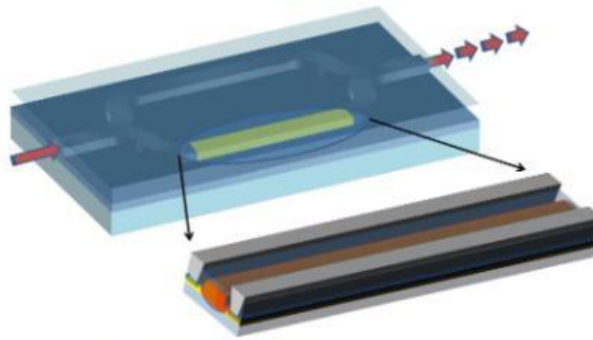


Figure 4. SOI Mach Zehnder interferometer with an optical modulator inserted in one arm.

圖 10、其一種類之光調變器示意圖

其運作原理是利用光波導的干涉效應，將一束未經調變的光，入射後一分為二走進兩個等長的光波導裡，且因為是來自同一束光，所以這兩束光頻率及相位均相同，如果沒有任何特殊處理，再結合的時候就會是建設性干涉，反之，如果對其中一支光波導施以偏壓訊號，就能使該波導裡的相位延遲 180 度，兩束光再結合的時候就會形成破壞性干涉¹⁵，多用於光訊號之分光、合光等控制及操作功能。

另外一種則是與前開環型共振腔（Micro-ring resonator）整合形成環型共振腔光調變器（Micro Ring Modulator, MRM），如下圖 11¹⁶所示（此圖為 Intel 公司於 2019 年發表單通道 128Gb/s PAM4 的 MRM 元件，該元件小訊號頻率響應測得之-3dB 頻寬達 50GHz，同時整合微加熱器以最佳化元件性能），而德國

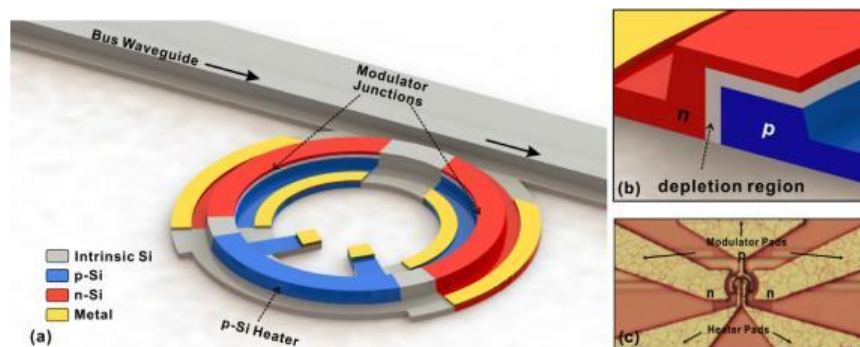


Fig. 1. (a) A schematic of the silicon photonic MRM including two segments of PN junctions and one segment of integrated silicon heater. (b) A close-up view of the depletion-mode PN junction which consists of a vertical part and a horizontal part to maximize the overlap with the optical mode. (c) An optical micrograph of the fabricated MRM.

圖 11、環形共振腔光調變器示意圖

¹⁵ 將其原理換言之，是對矽施以偏壓時，會改變矽內部的電荷密度，進一步使矽之折射率也產生變化，再讓光於矽之中的速度改變，使其相位與另一支沒有施以偏壓的光不同，透過控制偏壓的大小及設計光波導長度，即可控制相位變化，而順利將電訊號轉成光訊號。（詳參 Graham T. Reed, and C.E. Jason Png, Silicon optical modulators, *Materials today* Volume 8 Issue 1, January 2005）

¹⁶ Jie Sun , Ranjeet Kumar , Meer Sakib, Jeffrey B. Driscoll, Hasitha Jayatilleka , and Haisheng Rong, A 128 Gb/s PAM4 Silicon Microring Modulator With Integrated Thermo-Optic Resonance Tuning, *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY* VOL. 37 NO. 1, January 1, 2019.

ADVA 公司業已於 2017 年發表 44×56.25Gb/s PAM4 的環型共振腔光調變器¹⁷，哪一款會成為主流仍待發展。

2. 光檢測器 (Photodetector, PD)

為矽光子積體電路接收端之重要光電元件，發展上可分為兩種方式，一種為將三五族材料直接貼在絕緣層上覆矽 (SOI) 基板上面，另一種則為將三五族材料以鍺取代，因在傳統光通訊中，重視的波長有 850 nm、1,310 nm、1,550 nm，鍺可以包含長波長 (1,310 nm、1,550 nm) 的光偵測，用作將光訊號偵測後轉換為電訊號，以供微電子系統進行後續運作如下圖 12¹⁸所示。

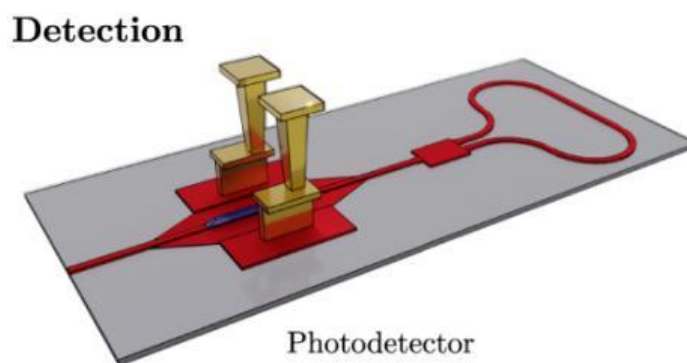


圖 12、光檢測器示意圖

3. 雷射 (Laser)

矽光子的精髓在於透過光訊號傳輸，要有光訊號自然要有「光源」，於矽光子積體電路中，多以雷射作為光源使用。

若要更細節，雷射光源與矽光子晶片的整合，是整體光訊號傳遞重要的一環，而因發光層異質整合之技術較為困難，除 Intel 及 Juniper 等大型公司外，目前大部分產品或文獻多以外置式高功率分佈式回饋雷射 (Distributed Feedback Laser, DFB 雷射) 光源進行對準耦光。

(三) 電子元件

1. 轉阻放大器 (Transimpedance Amplifier, TIA)

其功能在於將光電流訊號 (小) 轉化放大為電壓訊號 (大)，好進入主機後以交換器將電訊號進行轉換，判斷電應從哪個軌道出去出去後經過上述光調變器，同時搭配雷射光源輸入，將電訊號轉換為光訊號，總體為光電收發模組。

2. ASIC

即「特殊應用積體電路」 (Application Specific Integrated Circuit, ASIC)，依產品需求不同而訂製之特殊規格積體電路。

3. 驅動 IC

¹⁷ 詳參 https://www.researchgate.net/publication/314665339_Real-Time_200_Gbs_4x5625_Gbs_PAM-4_Transmission_over_80_km_SSMF_using_Quantum-Dot_Laser_and_Silicon_Ring-Modulator

¹⁸ 同註 10。

為驅動集成電路（Driver Integrated Circuit）的簡稱，專門用於驅動其他電子元件工作的集成電路，即提供足夠電流、電壓或功率，以確保被控制的元件能按照預期方式運作。

第四節、光纖整合封裝技術

又上節所述元件目前均為零散的放在 PCB 四處，矽光子技術尚包含將此些元件全數整合至單一矽晶片上，使矽晶片得以同時處理電訊號之運算及光訊號之傳輸，並達到縮小元件尺寸、減少耗電量及降低成本的目標，可見矽光子技術橫跨「設計」、「製造」及「封裝」之技術，而此處必須提及的，則是「光纖整合封裝技術」，依照演變分述如下：

(一) 插拔式光收發模組架構 (Pluggable Transceiver Optics, PTO)

屬較低階之封裝技術並業已商用，該光收發模組 (Optical transceiver) 結合「傳送光學子系統」 (Transmitter Optical Sub-Assembly, TOSA) 及「接收光學子系統」 (Receiver Optical Sub-Assembly, ROSA)，如下二圖¹⁹所示，前者將左側輸入的電訊號，經由雷射驅動器驅動雷射二極體 (LD) 轉換成光訊號，傳送到右側的光纖輸出；後者則將右側光纖輸入的光訊號，經由光偵測器 (PD) 與轉阻放大器 (TIA) 轉換成電訊號，傳送到左側輸出，外型像是 USB，並在外面連接 2 條光纖進行光訊號傳輸，傳輸速率達 800Gbps。

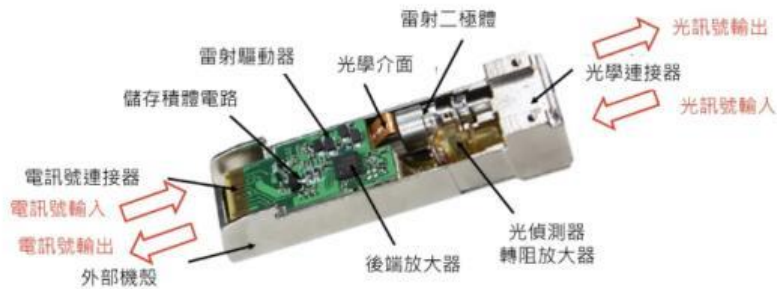


圖 13、插拔式光收發模組實物圖一



圖 14、插拔式光收發模組實物圖二

¹⁹ 區建仲，矽光子是什麼？真正的矽光子概念股有哪些？圖解矽光子原理，
<https://www.bnext.com.tw/article/77079/what-is-silicon-photonics>，2024 年 6 月 23 日。（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

然而，其缺點係外接於外側，電訊號進入交換器前須走一段電路，該段電路不僅會產生熱能，更會造成訊號衰退能量耗損，其架構示意圖如下圖 15²⁰。

插拔式光收發模組(Transceiver)架構

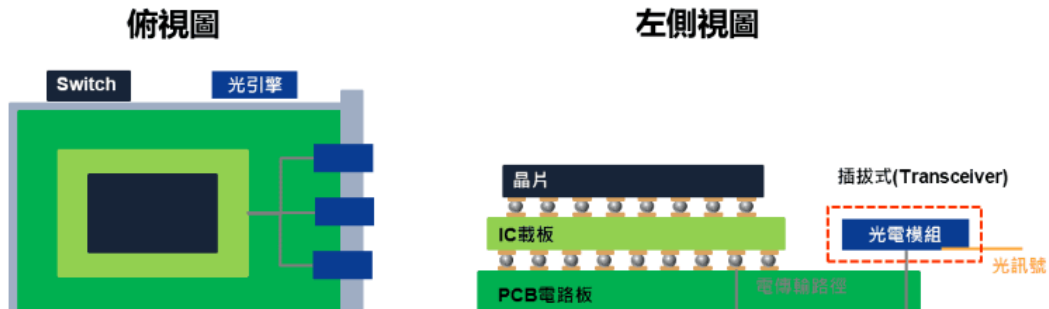


圖 15、插拔式光收發模組架構示意圖

(二) 板載光學系統架構 (On-Board Optics, OBO)

係將訊號轉換區從前面板轉移到更靠近 ASIC 的地方，換言之，將可插拔收發器的主要功能轉移到交換器 PCB 上的模組中，以縮短電訊號交叉的電介面通道，傳輸速率達 1.6Tbps。

然而，雖然此舉有助縮短電介面通道的長度，然而這樣的優勢遠遠不足抵消偏離業界標準之可插拔架構所帶來的複雜性，業界有可能跳過 OBO，轉而採用更先進的整合形式。

²⁰ 資料來源：中研院

(三) 共同封裝光學模組 (Co-Packaged Optics, CPO)

一種將光學引擎（或稱光子積體電路 PIC）和交換器晶片（或稱電子積體電路 Electrical Integrated Circuit, EIC）整合至同一基板的設計方法，形成模組與晶片之共同封裝，取代光收發模組，以縮短電訊號的傳輸距離，且訊號無須穿過 PCB，減少傳輸耗損和訊號延遲，原先之插拔式模組僅剩光纖部分，傳輸速率可高達 12.8Tbps，不過此技術仍有如何實現高度整合和互連，以及如何解決散熱和光訊號互干擾等問題。

簡言之，就是將光學晶片（或模組）及電子晶片（或模組）封裝在一起之技術，

共封裝光學模組(CPO)架構



圖 16、共封裝光學模組架構圖

如下圖 16²¹所示。

此技術亦有廠商採 2.5D 共同封裝（即為「近封裝光學模組（Near packaged optics）」）之策略，即將光學引擎與 ASIC 置於同一基板上，並在兩者間進行毫米

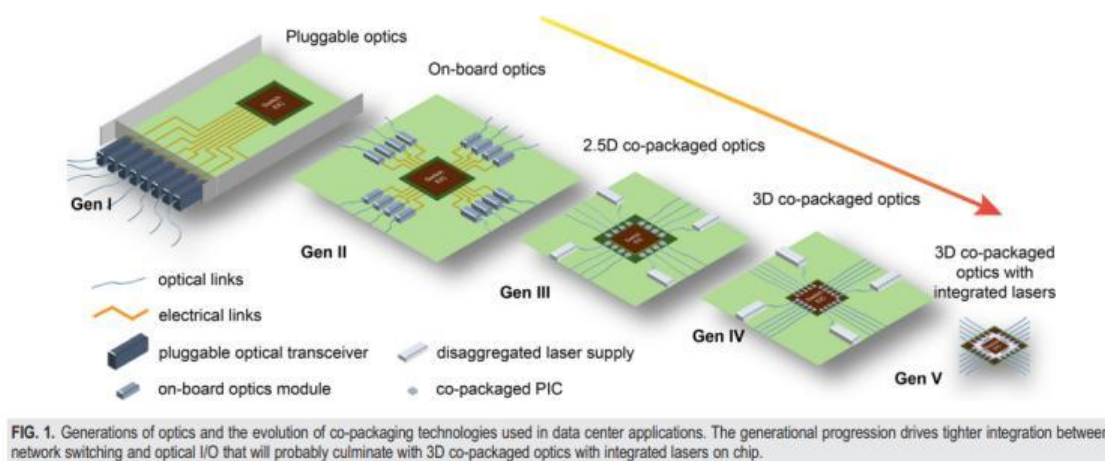


圖 17、近封裝光學模組示意圖

²¹ 同註 20。

級連接，或使用 2.5D 小晶片（Chiplet）整合系統，為晶片提供靈活的介面選項（如混合使用 CPO 及 PTO），如下圖 17²²所示：

（四）光學 I/O

即先進整合光學 I/O 技術（Integrated Optical Input/Output Technology），在 xPU（包括 CPU、DPU、GPU、TPU、FPGA 和 ASIC）、內存和儲存器中實現基於光學的互連，以實現所需的高傳輸速度和大頻寬，Intel 公司方於 2024 年 6 月 27 日發表最新全面整合光學 I/O 而已²³，簡單整理四階段示意圖²⁴如下：

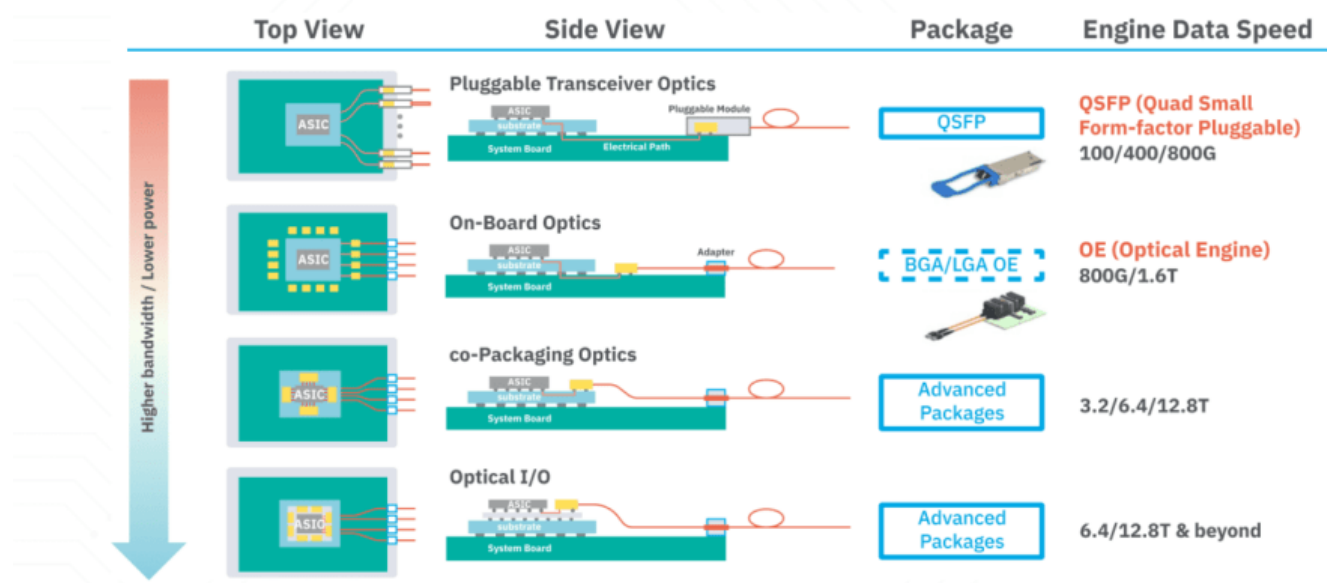


圖 18、四種封裝技術簡圖

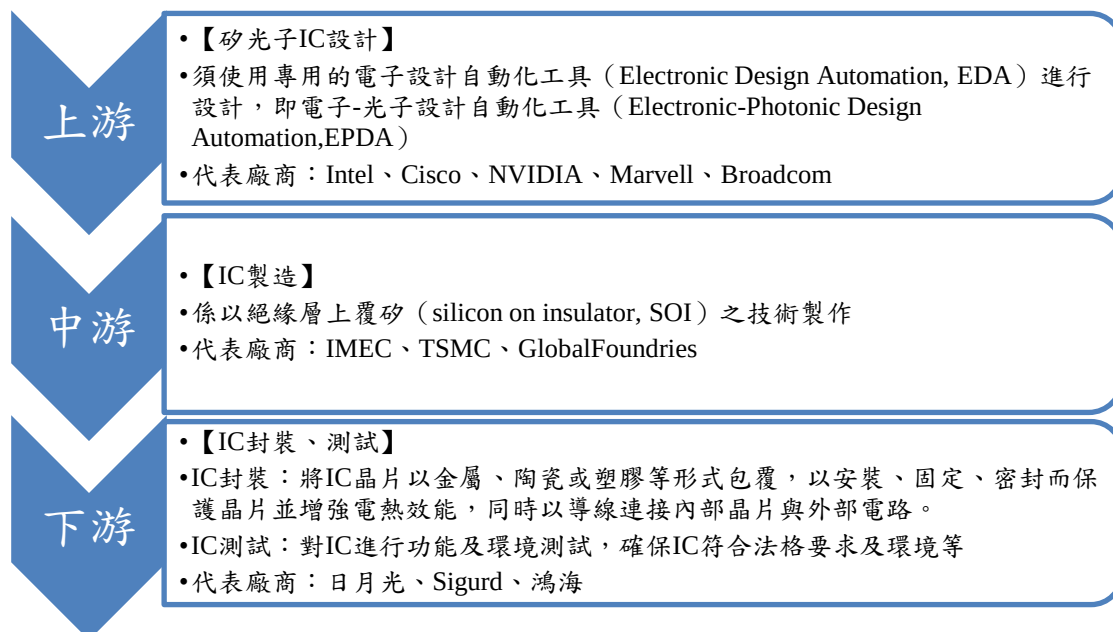
²² Near Margalit, Chao Xiang, Steven M. Bowers, Alexis Bjorlin, Robert Blum, and John E. Bowers, Perspective on the future of silicon photonics and electronics, June 01 2021.

²³ 詳參 <https://www.intel.com.tw/content/www/tw/zh/newsroom/news/intel-unveils-first-integrated-optical-io-chiplet.html>

²⁴ 資料來源：日月光官網，<https://ase.aseglobal.com/ch/silicon-photonics/>。（最後瀏覽日：2024 年 9 月 20 日）

第五節、所屬產業現況

一、矽光子產業鏈全景



二、數據通訊光學市場概況²⁵

隨著人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 快速發展，數據通訊光學元件市場正迅速成長；從 2022 年到 2028 年之年均複合增長率 (Compound Annual Growth Rate, CAGR) 預計為 24%，而從 2028 年到 2033 年則預計為 80%；預計收入從 2022 年的 3800 萬美元將增長至 2033 年的 26 億美元；此主要係因人工智慧與機器學習中資料移動的快速增長，2022 年至 2033 年的 CAGR 預計為 46%，特別是共同封裝光學元件 (CPO) 之市場

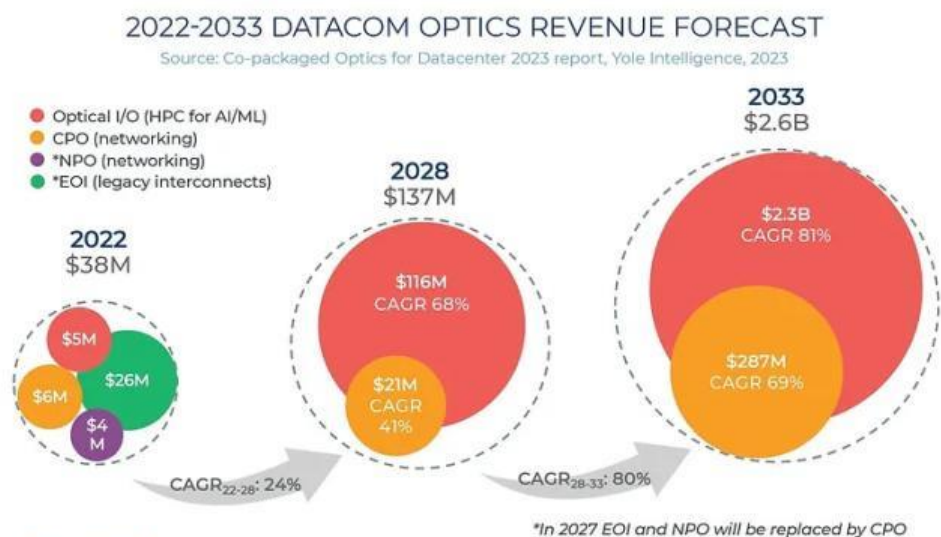


圖 19、通訊光學市場收入預測圖

²⁵ 參自 Yole Intelligence，MARKET AND TECHNOLOGY TRENDS Silicon Photonics 2023，November 2023。

預計從 2022 年的 600 萬美元增長到 2033 年的 2.87 億美元，CAGR 為 69%；這些數據顯示了數據通訊光學元件在未來的重要性和潛力。

另據國際半導體產業協會(Semiconductor Equipment and Materials International, SEMI)預估，2030 年全球矽光子半導體市場規模預計將達到 78.6 億美元，預計年復合成長率(CAGR)將達到 25.7%，因此有許多大廠積極投資開發矽光子的相關技術，如台積電(TSMC)、Intel、NVIDIA、超微(AMD)等。

另外應特別提的是，矽光子是在晶圓製程進行，技術門檻較高，而前開共同封裝光學模組 CPO，則是專注於封裝階段，被視為矽光子技術的敲門磚，而目前各國各廠的 CPO 技術仍在發展初期，因此有許多台灣大廠開始對 CPO 有相關布局，例如：

(一) 台積電²⁶：

與 Ansys 公司合作，開發台積電緊湊型通用光子引擎(COUPE)的多物理量軟體，可以將多個 IC、積體光路和光纖耦合器整合到單一封裝中，減少耦合損耗，同時大幅加速晶片對晶片和機器對機器的通訊。

(二) 日月光²⁷：

日月光長期發展先進封裝技術，包括扇外型(Fan-out)封裝、系統級封裝(SiP)、晶圓凸塊和覆晶封裝(FlipChip)、天線封裝(Antenna in Package)、嵌入式基板封裝(embedded die SESUB)等，並因看好 AI 和 CPO 需求，2023 年底宣布以承租同集團台灣福雷電子高雄楠梓廠房的方式，擴充先進封裝，無論研發或先進封裝之資本支出都較其他同業積極許多，如下圖 20²⁸所示。

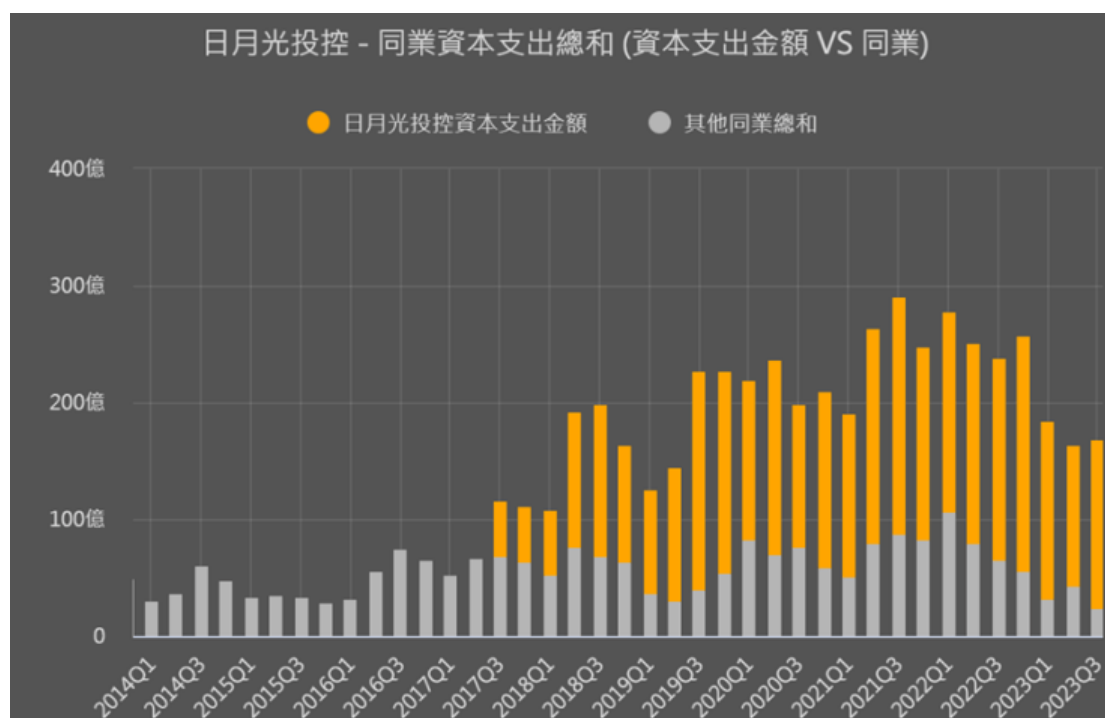


圖 20、2014Q1 至 2023Q3 日月光投控同業資本支出總和圖

²⁶ 詳參 https://www.digitimes.com.tw/tech/dt/n/shwnws.asp?id=0000691464_SJU398YP7QXSK53QC6OBG

²⁷ 詳參 <https://www.chinatimes.com/newspapers/20231226000095-260202?chdtv>

²⁸ 資料來源：<https://uanalyze.com.tw/articles/456154412>

(三) 三星科²⁹：

為晶圓級封測廠，積極投入 AI 及高效能運算(High Performance Computing, HPC)的高階封測市場，更針對 3 奈米晶片打造相對應的晶圓微凸塊及晶圓測試等產能，同時展開矽光子 CPO 封測產能建置，除尤其進行封裝外，更由母公司矽格進行測試。

(四) 訊芯 KY³⁰：

為系統級封裝(SiP)廠，主要處理高速光纖收發模組，基於其光收發模組及半導體封測經驗，積極往高階光收發模組、CPO 前進，並與博通合作的 CPO 技術產品已陸續於 2023 年底、2024 年初送樣，25.6T 的 CPO 產品已驗證完畢，51.2T 也將進入驗證，預計 2024 年底前可進入量產，更於股東會表示 800G 模組主要應用在 51.2T 的 AI 高階交換器，今年 7 月開始小量出貨，並預計明年放量，用於 102.4T 規格的 CPO 產品也已在規劃中，預期明年底會推出樣品。

又因資料傳輸多有 80% 發生在資料中心內部，及資料中心主幹枝葉式(Spine-leaf)的架構設計，交換器為一重要角色，故亦有許多國際大廠紛紛投入 CPO 共封裝交換器，例如：

(一) 博通 (Broadcom) ³¹：

自其針對大型資料中心客戶所推出產品 Tomahawk 1 以來，約每兩年可以將其交換器晶片之頻寬翻倍，在 2022 年 8 月，推出支援 800GbE (單個連接埠(port)的最高傳輸速度可達每秒 800Gb) 的交換器晶片 Tomahawk 5，頻寬成長一倍至 51.2 Tbps。

(二) 輝達 (Nvidia) ³²：

輝達在 2022 年 4 月宣布推出為大型資料中心設計的 Spectrum 4，頻寬達 51.2Tbps。每個連接埠的頻寬提高兩倍，每個連接埠的最高傳輸速度與博通 Tomahawk 5 相當可達 800Gbps。

(三) 邁威爾 (Marvell) ³³：

推出數據傳輸頻寬達到每秒 51.2 Tb 的交換器 Teralynx 10，並曾於法說會中表示已進入試用階段，有望於 FY2025 (即 2024 年 2 月後) 開始貢獻營收，但 Teralynx 10 的出貨時間恐較輝達的 Spectrum 4 落後 1-2 個季度，然 Teralynx 10 每個連接埠的最高傳輸速度高於 Tomahawk 5 及 Spectrum 4，達 1.6 Tbps。

(四) 思科 (Cisco)：

²⁹ 詳參

<https://tw.stock.yahoo.com/news/%E5%8F%B0%E6%98%9F%E7%A7%91%E6%89%8B%E6%8F%A1%E5%8F%8A%E6%8C%96%E7%A4%A6%E5%B0%81%E6%B8%AC%E5%A4%A7%E5%96%AE-%E5%82%B3%E4%BB%8A%E5%B9%B4%E7%8D%B2%E5%88%A9%E5%A4%A7%E8%BA%8D%E9%80%B2-011643780.html>

³⁰ 詳參 <https://news.cnyes.com/news/id/5616715> 及

<https://tw.stock.yahoo.com/news/%E8%A8%8A%E8%8A%AF%E6%8A%95%E5%85%A525-6t%E8%88%8751-2t-cpo%E7%A0%94%E7%99%BC-%E7%9B%AE%E5%89%8D%E7%82%BA%E6%A8%A3%E5%93%81%E9%9A%8E%E6%AE%B5-073212343.html>

³¹ 詳參 <https://blog.fugle.tw/broadcom-report/>

³² 詳參 <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-announces-spectrum-high-performance-data-center-networking-infrastructure-platform>

³³ 詳參 <https://www.servethehome.com/marvell-teralynx-10-announced-for-51-2t-800gbe-switching/>

推出 Cisco Silicon One G200 交換器，Tomahawk 5、Spectrum 4 及 Teralynx 10 一樣採用 CPO 技術，頻寬也達到每秒 51.2 Tb，目前幾家主要的雲端服務供應商（如 Amazon、Google 及 Microsoft）正在測試中。

以上均表示矽光子的產業發展，造就未來光學互連技術（Optical Interconnect Technology）的巨大潛力，更推動著大型代工廠為大規模生產做好準備；由於光學連接技術的智慧財產權多屬非代工公司（如 AyarLabs、Ranovus、Cisco、Nvidia、Marvell、Lightmatter 等），因此像 Tower Semiconductor、GlobalFoundries、ASE Group、TSMC 和 Samsung 等大型代工廠正努力準備相應的矽光子技術流程，以支援設計公司開發各種光子整合電路架構，這些代工廠都積極參與產業聯盟，如 PCIe、CXL 和 UCIe 等，以確保他們能夠支援最新的產業標準和規範，下二圖³⁴為年度精選 CPO 供應鏈及整合技術時間軸與未來趨勢圖。

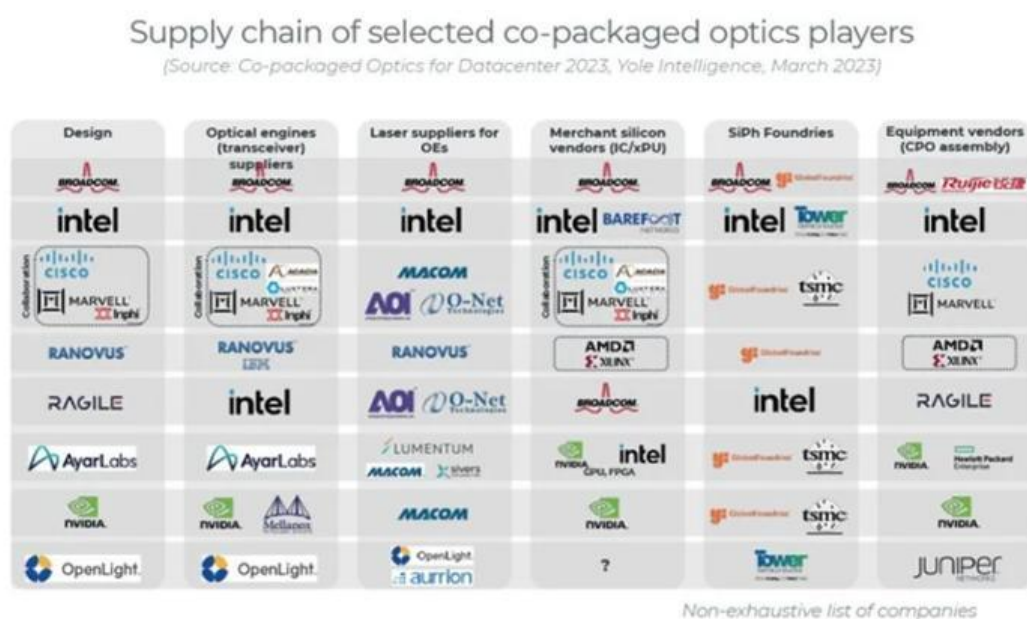


圖 21、年度精選 CPO 供應鏈

³⁴ 同註 25。

1992-2030 silicon photonics roadmap integration

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

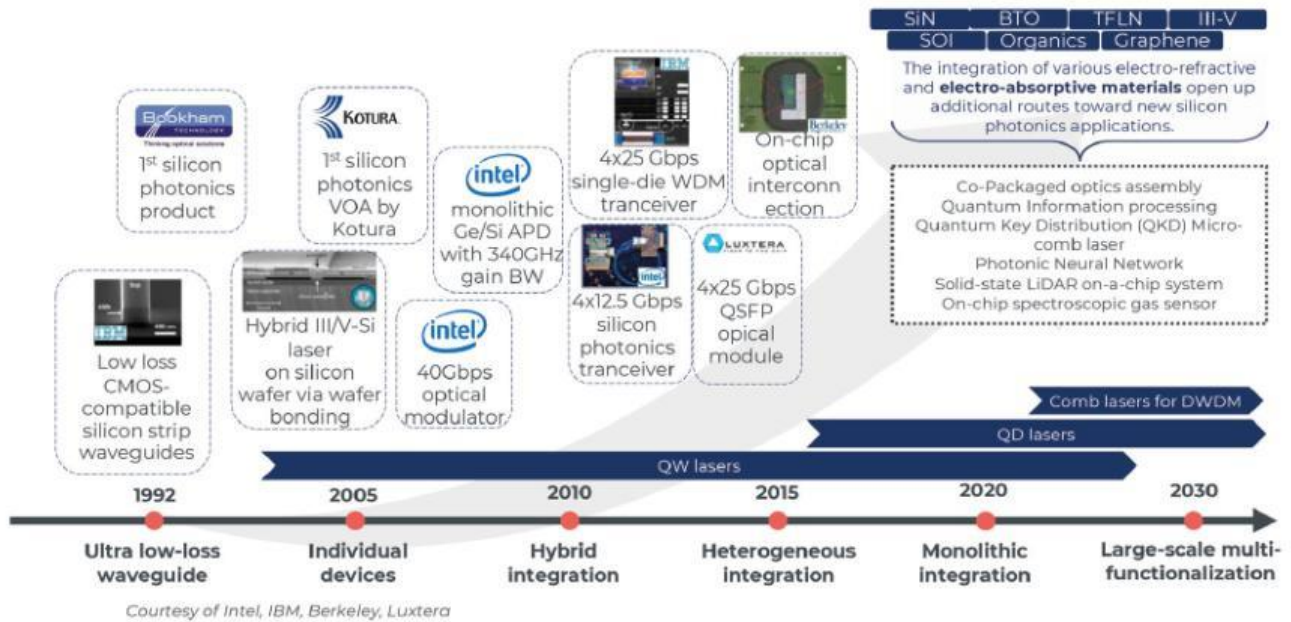


圖 22、1992 年至 2030 年整合技術時間軸與未來趨勢圖

最後，矽光子的應用範圍甚廣，從超大規模資料中心、高效能運算、人工智慧及機器學習等先進運算領域，到光學雷達、生醫感測、智慧醫療、量子光學、自駕車等均屬其範疇。Yole Intelligence 光子學和感測部門研究光通訊和半導體雷射的高級分析師 Martin Vallo 博士表示矽光子市場到 2022 年之價值為 6800 萬美元，預計將超過 600 億美元在高數據速率模組以及機器學習伺服器中越來越多地使用光學 I/O 來透過光擴展模型的推動下，2028 年將實現 100 萬美元的成長。

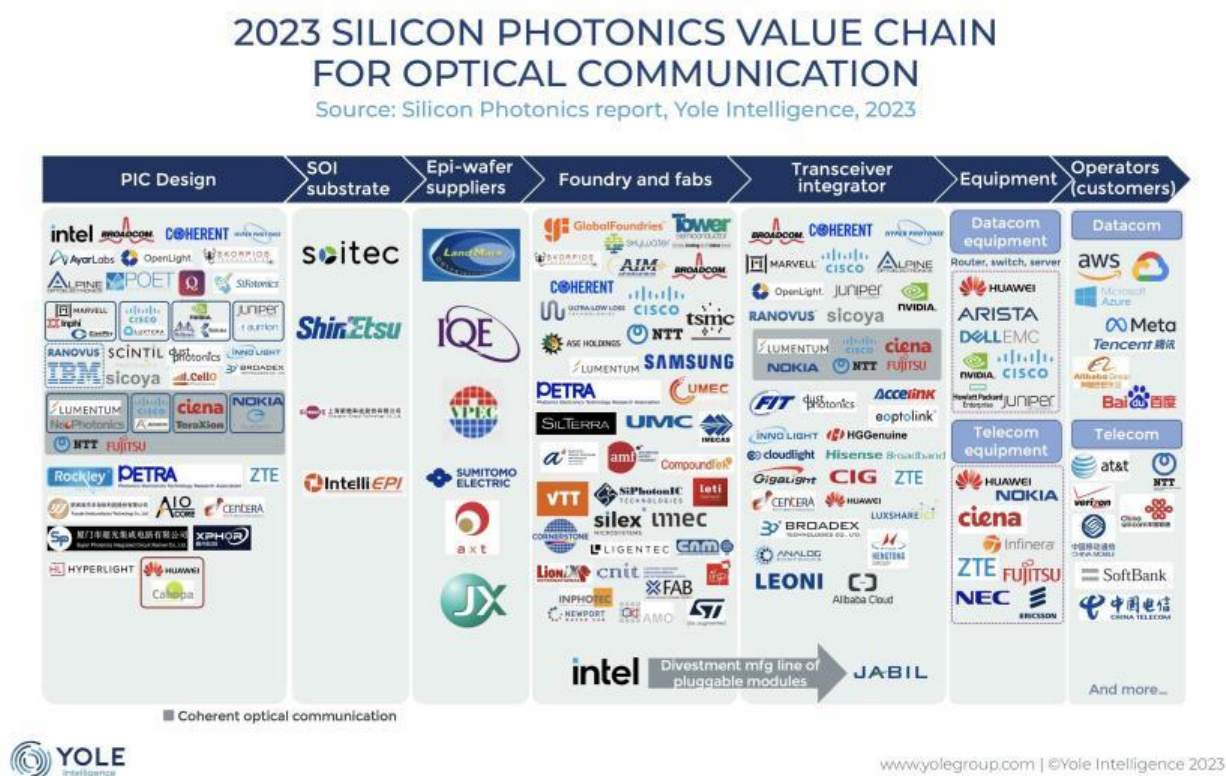


圖 23、2023 年矽光子於光學通訊領域之價值鏈

第六節、矽光子技術現況及困難

如同前述，當前的技術僅能將光電模組置於伺服器內，固定於主機板上，未來如何將晶片與光電模組整合一起，甚至將模組疊於晶片之上，利用 3D 封裝將銅線縮減到極短，仍有待發展，目前的技術困境如下：

(一) 如何將光電整合模組成功微型化

現今 PIC (Photonics Integrated Circuit) 技術仍處於混合集成階段 (將雷射器、探測器等主動元件集成至具有光路連接，或其他如分合波器之無源功能的基板上，如平面光波導或矽光等，優點在無源光波導與有源元件間自由結合，能把光元件做得很緊湊，順應光模組小型化趨勢，方便用成熟自動化 IC 封裝技術，利於大量生產)，如覆晶技術 (Flip-chip)，有節省光調節時間、提高可靠性利於大規模生產等優點，同時有對貼裝精密要求高、時間成本大的缺點，Luxtera 公司所採用；或晶圓鍵合 (Wafer/ Die bonding)，有節省對準調節時間、具高效率光耦合之優點，同時有需多年投入與技術積累之缺點。

尚未踏入單片集成階段（雷射器+調節器、探測器+電芯片、合波器+電芯片等等之基底採用相同材料，換言之，就是將不同元件集成在同一基底之一體化技術，技術難度較高但有結構緊湊、尺寸小、功耗低及可靠性強之優勢），如直接磊晶覆晶技術，單片集成技術可以提高晶圓集成度，減少分立元件，等同減少矽光子成本。

然而現在光如何集成雷射器便是一大難題，目前主流採用 InP 大功率雷射器，然而，此外部光源方案較矽基光源方案需要額外耦合器件極高難度對準技術，因此目前仍有極大降低成本的空間。

且矽波導尺寸僅有幾百奈米，光纖 9 奈米之芯徑不符，直接耦合損耗極大，目前耦合有前述光柵耦合及端面耦合之方式，依然有高密度多通道耦合、通道不一致、高效自動化耦合等光纖耦合效率不佳之問題。

(二) 訊號轉換之效率問題

目前內部產生的熱量多由傳導方式散熱，模組之熱量向上傳遞至封裝外殼、向下傳遞至主機板，對於溫度敏感性高之矽光晶圓顯然為重要議題之一，如過熱亦有功耗過大的問題。

因此，矽光子的運作涉及光訊號與電訊號之轉換，此轉換必然會造成訊號損失，如何降低損失也式目前難以解決的難題之一。

(三) 如何佈建矽光子伺服器

詳言之，現在光收發模組是插在伺服器後面，有安裝方便之優點，未來到矽光子時，至於主機板內部，倘光纖壞了就必須把電路板拆開，顯然會增加維修不便，因此光電路規劃之便攜性也是尚待解決的課題。

第參章、矽光子專利檢索策略與過程

檢索式的精確性直接影響檢索結果的品質與相關性，而我們的目標是在大量的專利文獻中找到與目標技術最相關的專利文件，以進行深入的分析，若檢索式過於寬泛，會導致檢索結果中包含大量無關的專利，增加分析的工作量，並可能遺漏重要信息；若檢索式過於狹窄，則可能錯過一些相關的專利，導致分析結果不全面。因此，設計一個精確且全面的檢索式對我們來說至關重要。

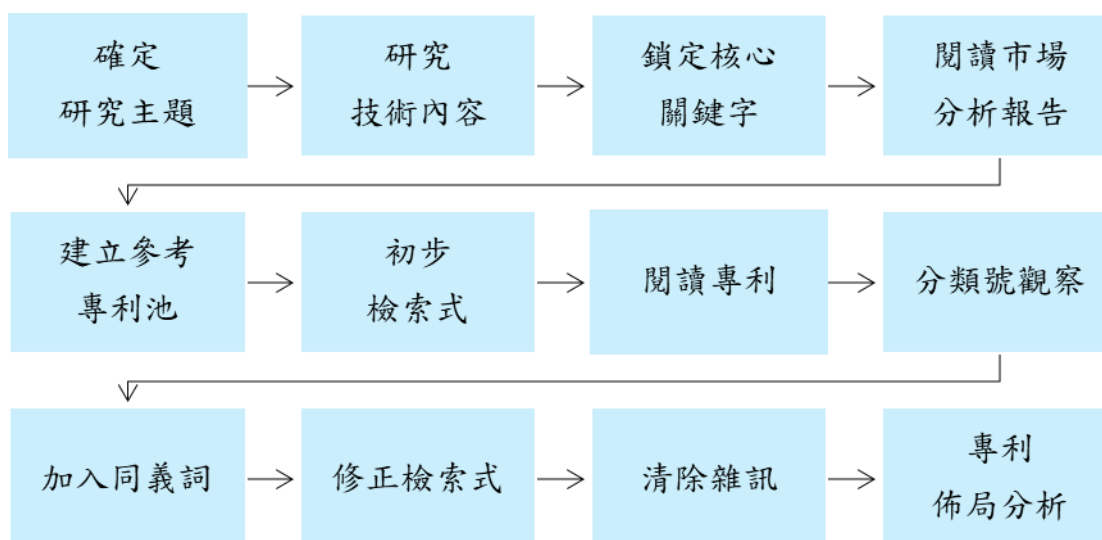


圖 24、檢索流程圖

第一節、檢索策略與條件

以下是我們此次進行專利檢索的流程，檢索研究主題為「矽光子」。在這個過程中，我們採用了系統化的步驟來確保檢索的全面性和精確性：

(一) 確定研究主題

首先，我們明確了此次研究的主題為「矽光子」。這一步驟的目的是確保我們的研究方向和範圍明確，並且能夠聚焦於特定的技術領域，以提高檢索結果的相關性。

(二) 研究技術內容

接著，我們深入研究了矽光子的技術內容，包括其基本原理、應用範疇、現有技術狀況及未來發展趨勢。我們閱讀了相關的技術文獻和學術論文，並參考了行業專家的觀點，這些資料為我們後續的檢索工作提供了扎實的基礎。

(三) 鎖定核心關鍵字

在充分了解技術內容之後，我們鎖定了以「矽光子」與「silicon photonics」核心關鍵字，這些關鍵字能夠準確地描述矽光子的主要技術特徵和應用範疇。

(四) 閱讀市場分析報告

我們還閱讀了多份市場分析報告，以了解矽光子技術在市場上的應用現狀和競爭態勢。這些報告幫助我們掌握了行業動態和市場需求，並能夠識別出主要的市場參與者及其專利布局策略。

(五) 建立參考專利池

在確定核心關鍵字後，我們開始建立參考專利池。通過國內外市場分析報告，我們收集了一批在報告中出現矽光子相關的專利文件，這些專利文件將作為我們後續分析和篩選的參考指標。

參考專利池			
US8406579	US20220206221	US9316785	US11777631
US10330875	US10132996	US10135218	US8368995
US11624872	US8222084	US9829631	US11585977
US10234626	US9091813	US9268096	US11181688
US9236958	US9882073	US10319693	US9496431
US9774164	US9625651	US11409039	US8630326
US11163120	US11002907	US11360263	US11002911

表 1、參考專利池表

第二節、建立檢索式

本研究之檢索是使用全球專利檢索系統（GPSS），檢索地區僅包含台灣、美國、日本、歐洲、WIPO 之公開公告案，依照廠商要求不檢索大陸專利。

(一) 初步檢索式

我們根據所確定的核心關鍵字和技術內容，設計了初步檢索式。初步檢索式只要求在專利名稱有「矽光子」或「silicon photonics」，最大限度的找出絕對與研究主題相關的專利。

檢索式	專利數(去重)
(矽光子 OR silicon photonic*)@TI	542

表 2、檢索式與專利數

(二) 閱讀專利

隨後，我們對初步檢索得到的專利進行閱讀和分析。通過閱讀專利文件，我們能夠了解各個專利的技術內容、創新點及其與矽光子技術的相關性。

(三) 分類號觀察

在閱讀專利的過程中，我們注意觀察專利的分類號，在檢索結果中 G02B 是最主要的分類號，而所屬 G02B 之分類號代表專利是關於光學元件、系統或儀器，通過分類號，我們還能夠找到更多相關的專利文件。

分類號	分類號技術內容
G02B	光學元件、系統或儀器

表 3、IPC 分類號

檢索式	專利數(去重)
IC=G02B* AND (矽光子 OR silicon photonic*)	5447

表 4、檢索式與專利數

(四) 加入同義詞

為了進一步完善檢索式，我們加入了多個同義詞和相關術語。這些同義詞包括矽光子技術中可能出現的不同表達方式和專業術語，確保檢索結果的覆蓋範圍更加全面，關於所使用術語與同義詞請見下表

英文	中文	日文
silicon photonic	矽光子	シーフォトニクス
Si photonic	矽光學	シーフォトニクス
Integrated Optics	積體光學	集積光学
OPTICAL Integrated CIRCUIT	光子集成電路	フォトニック回路
Photonic Integrated Circuit	光子集成電路	フォトニック回路
photonic integration	積體光學	フォトニック集積回路
Co-Packaged Optic	共同封裝光學	共封止光学

表 5、技術同義詞

步驟	檢索式	專利數（去重）
1	IC=G02B* AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學)	16938
2	IC=G02B* AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトニクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	17481

表 6、檢索式與專利數

(五) 增加分類號

在獲取初步檢索結果後，我們對檢索式進行了多次修正和優化。根據檢索結果的質量和相關性，我們嘗試增加更多分類號進入檢索式。

分類號	分類號技術內容
G02B	光學元件、系統或儀器
H02B	電力供電或配電用之配電盤、變電站或開關裝置
H01S	利用受激發射之裝置
H01L	半導體裝置；其他類目未包括的電固體裝置
G02F	用於控制光之強度、顏色、相位、偏振或方向之器件或裝置，如轉換，選通，調製或解調，上述器件或裝置之光學操作係利用改變器件或裝置之介質之光學性質予以修改者；用於上述操作之技術或工藝；變頻；非線性光學；光學邏輯元件；光學類比／數位轉換器
H04J	多工通訊

表 7、IPC 分類號

步驟	檢索式	專利數 (去重)
1	(IC=G02B* OR IC=H02B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	17482
2	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	20406
3	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	25350
4	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	26680

	OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	
5	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)	28412

表 8、檢索式與專利數

(六) 清除雜訊

最後，我們對檢索結果進行了清理和過濾，去除了那些與矽光子技術無關的雜訊專利。通過這一步驟，我們確保了最終的檢索結果高度相關且具有分析價值。

步驟	檢索式	專利數(去重)
1	(IC=G02B*OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (驅動器 OR 致動器 OR 光罩 OR 顯示 OR 電漿 OR 微影裝置 OR 影像 OR Actuator OR Mask OR Display OR Plasma OR Lithography OR Image)@TI	27899
2	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (雷達 OR 驅動器 OR 致動器 OR 光罩 OR 顯示 OR 電漿 OR 微影裝置 OR 影像 OR 生醫 OR 生物 OR 觸控 OR 清潔 OR 浸潤 OR LiDAR OR Actuator OR Mask OR Display OR Plasma OR Lithography OR Image OR Biomedical OR Biological Touch OR Cleaning OR Immersion)@TI	27682
3	(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic*	26206

	OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトニクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (雷達 OR 驅動器 OR 致動器 OR 光罩 OR 顯示 OR 電漿 OR 微影裝置 OR 影像 OR 生醫 OR 生物 OR 觸控 OR 清潔 OR 浸潤 OR LiDAR OR Actuator OR Mask OR Display OR Plasma OR Lithography OR Image OR Biomedical OR Biological Touch OR Cleaning OR Immersion OR リソグラフィ OR アクチュエータ OR ホルダ)@TI	
--	---	--

表 9、檢索式與專利數

第三節、檢索過程與結果

最後檢索日期為 2024 年 6 月 19 日，並將此條件列進檢索式中。

檢索式	專利數 (去重)
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトニクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (雷達 OR 驅動器 OR 致動器 OR 光罩 OR 顯示 OR 電漿 OR 微影裝置 OR 影像 OR 生醫 OR 生物 OR 觸控 OR 清潔 OR 浸潤 OR LiDAR OR Actuator OR Mask OR Display OR Plasma OR Lithography OR Image OR Biomedical OR Biological Touch OR Cleaning OR Immersion OR リソグラフィ OR アクチュエータ OR ホルダ)@TI	26206

表 10、檢索式與專利數

一、檢準率

專利檢索後進行檢準與檢全的分析與計算是為了確保檢索結果的質量。檢準率和檢全率這兩個指標分別表示檢索結果中相關專利的比例和所有相關專利中被檢索出來的比例，通過分析這些數據，可以確保檢索所得出的結果是否精確或全面。

檢準率和檢全率之間也存在著權衡關係，通常提高檢全率會導致檢索系統獲得更多的結果，包括一些不相關的專利，從而降低檢準率。相反，若專注於提高檢準率，檢索系統可能會變得過於嚴格，導致漏掉一些相關專利，從而降低檢全率。因此，在此次報告中，我們試著在兩者之間找到一個平衡點，以確保檢索結果既具有足夠的精確性又具有較高的全面性。

檢準率計算：

$$\text{檢準率} = \frac{\text{實際符合檢索標的專利數量}}{\text{最終檢索結果專利數量}}$$

為了計算專利檢準率，我們採用隨機抽樣的方法，從整份專利檢索的結果資料中抽取了 60 篇專利進行人工審閱。在審閱過程中，發現有 8 篇專利與我們的研究目標無關，根據這些結果，我們進一步進行了專利檢準率的計算。

$$(52/60) \times 100\% = 86.7\%$$

二、檢全率

$$\text{檢全率} = \frac{\text{檢索結果中符合標的專利數量}}{\text{所有符合標的的專利數量}}$$

為了計算檢全率，我選擇了美國專門製造與研發矽光子技術的公司 Skorprios 作為計算基準。具體而言，我將 Skorprios 申請的專利中屬於 IPC 分類號 IC=G02B-006/12 的專利作為所有符合標的專利數量的參考池，並統計檢索結果中 Skorprios 申請的屬於 IPC 分類號 IC=G02B-006/12 的專利。然後，將兩者數據代入公式進行檢準率的計算。

$$(48/68) \times 100\% = 70.5\%$$

值得注意的是，專利的檢全率因為專利資料庫的不完全性、專利分類的複雜性、或許多專利申請者可能通過改變技術描述或使用不同術語來隱藏關鍵技術的影響，使得完全精確的檢全率難以實現，因此在此我們只能採用推估的方法，以獲取相對準確的結果。

第四節、二次檢索過程

第一次檢索之標的為矽光子領域所有的專利，目標為完整收錄所有有關矽光子的專利，資料全面但不專精，因此為了接下來更詳細的分析與觀察，我們與出題廠商討論於矽光子領域中是否有令他們特別感興趣之技術或部分，討論後選擇矽光子技術中「Modulator 調制器」作為檢索標的，對原本初賽完成之檢索式進行進一步的限縮。

(一) 修正初賽檢索式

首先我們針對初賽的檢索式進行改進，將關鍵字的檢索條件限縮在請求項、專利名稱、摘要，並按照初審意見中針對使用太多 OR 的部分進行修正，修改成利用 IPC 分類號進行排除無關專利。

檢索式	專利數 (去重)
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトニクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (雷達 OR 驅動器 OR 致動器 OR 光罩 OR 顯示 OR 電漿 OR 微影裝置 OR 影像 OR 生醫 OR 生物 OR 觸控 OR 清潔	22575

OR 浸潤 OR LiDAR OR Actuator OR Mask OR Display OR Plasma OR Lithography OR Image OR Biomedical OR Biological Touch OR Cleaning OR Immersion OR リソグラフィ OR アクチュエータ OR ホルダ)@TI,CL,AB	
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学) NOT (電漿 OR 清潔 OR 浸潤 OR Plasma OR Cleaning OR Immersion)@TI,CL,AB NOT (IC=G03F* OR IC=G09F* OR IC=G01S*)	25369

表 11、檢索式與專利數

(二) 加入關鍵詞

接著再檢索式中加入此次檢索之標的「Modulator 調制器」，觀察最初步檢索結果狀況。

檢索式	專利數 (去重)
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (modulator)@TI,CL,AB AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)@TI,CL,AB NOT (電漿 OR 清潔 OR 浸潤 OR Plasma OR Cleaning OR Immersion)@TI,CL,AB NOT (IC=G03F* OR IC=G09F* OR IC=G01S*)	1128

表 12、檢索式與專利數

(三) 加入同義詞

為了進一步完善檢索式，我們加入了多個同義詞和相關術語。這些同義詞包括 Modulator 可能出現的不同表達方式和專業術語，確保檢索結果的覆蓋範圍更加全面，關於所使用術語與同義詞請見下表。

英文	中文	日文
modulator	調制器	変調器
Modulation Device	調變器	変調器
Modulation Unit	調制單元	変調デバイス
Transducer	變調器	変調器

Electro-Optic Converter	電光變換器	變調デバイス
Optoelectronic Conversion Module	光電轉換模塊	變調デバイス

表 13、技術同義詞

檢索式	專利數 (去重)
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND (modulator or Modulation Device or Modulation Unit or Transducer or Electro-Optic Converter or Optoelectronic Conversion Module)@TI,CL,AB AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)@TI,CL,AB NOT (電漿 OR 清潔 OR 浸潤 OR Plasma OR Cleaning OR Immersion)@TI,CL,AB NOT (IC=G03F* OR IC=G09F* OR IC=G01S*)	1166
(IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND(modulator or Modulation Device or Modulation Unit or Transducer or Electro-Optic Converter or Optoelectronic Conversion Module or 調制器 or 調變器 or 調制單元 or 調變單元 or 變調器 or 電光變換器 or 調相器 or 光電轉換模塊 or 變調器 or 變調デバイス)@TI,CL,AB AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)@TI,CL,AB NOT (電漿 OR 清潔 OR 浸潤 OR Plasma OR Cleaning OR Immersion)@TI,CL,AB NOT (IC=G03F* OR IC=G09F* OR IC=G01S*)	1257

表 14、檢索式與專利數

(四) 檢索結果

最後檢索日期為 2024 年 9 月 12 日，並將此條件列進檢索式中。

檢索式	專利數 (去重)
ID=:20240912 AND (IC=G02B* OR IC=H02B* OR IC=H01S* OR IC=H01L* OR IC=H04J* OR IC=H04B*) AND(modulator or Modulation Device or Modulation Unit or Transducer or Electro-Optic Converter or Optoelectronic Conversion Module or 調制器	1257

or 調變器 or 調制單元 or 調變單元 or 變調器 or 電光變換器 or 調相器 or 光電轉換模塊 or 變調器 or 變調デバイス)@TI,CL,AB AND (silicon photonic* OR Si photonic* OR Integrated Optics OR OPTICAL Integrated CIRCUIT* OR Photonic* Integrated Circuit* OR Co-Packaged Optic* OR photonic integration OR 矽光子 OR 矽光學 OR 光子積體電路 OR 光子集成電路 OR 共同封裝光學 OR 積體光學 OR シーフォトンクス OR 集積光学 OR フォトニック回路 OR フォトニック集積回路 OR 共封止光学)@TI,CL,AB NOT (電漿 OR 清潔 OR 浸潤 OR Plasma OR Cleaning OR Immersion)@TI,CL,AB NOT (IC=G03F* OR IC=G09F* OR IC=G01S*)	
---	--

表 15、檢索式與專利數

(五) 檢準率

為了計算專利檢準率，我們採用隨機抽樣的方法，從整份專利檢索的結果資料中抽取了 75 篇專利進行人工審閱。在審閱過程中，發現有 23 篇專利與我們的研究目標無關，根據這些結果，我們進一步進行了專利檢準率的計算。

$$\text{檢準率} = \frac{\text{實際符合檢索標的專利數量}}{\text{最終檢索結果專利數量}} = (53/75) \times 100\% = 70.7\%$$

第肆章、矽光子專利檢索與趨勢分析

第一節、全球歷年申請數量趨勢

一、矽光子技術

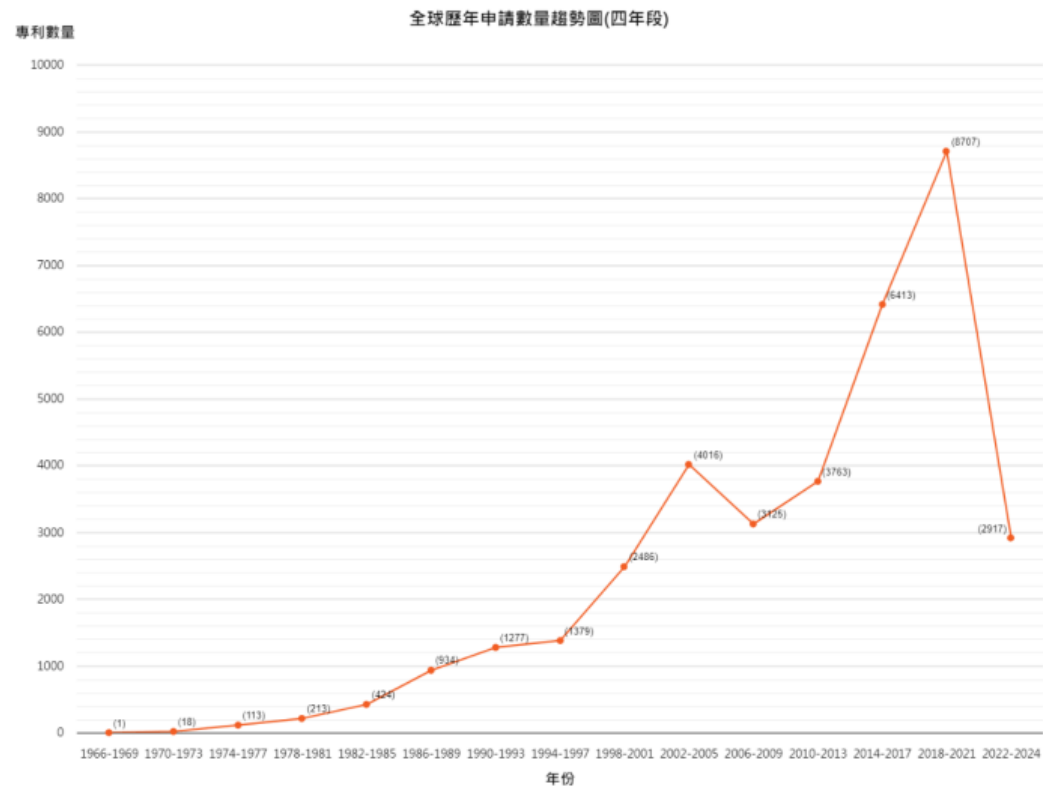


圖 26、全球歷年申請數量四年段趨勢圖



圖 25、1995 年迄今全球歷年申請數量趨勢圖

矽光子技術領域專利申請數量的變化反映了技術發展的不同階段。1966-1977 年，技術處於萌芽期，專利申請數量非常少，累計不到 150 件。1977-2000 年，隨著技術初步發展，專利申請數量有漸長的趨勢，但增加速度仍緩慢提升。2001-2004 年，達到第一次申請的高峰，可見此時矽光子領域的技術發展有所突破，可能是因為 Richard A. Soref 教授於 1993 年提出的概念經數年努力後逐漸實現，2005-2013 年之間雖申請數量平緩，但平均仍比 2000 年前多達兩倍左右，足見矽光子的熱潮已經開始，技術也逐漸成熟，應用範圍擴大，專利申請數量平穩。2014-2021 年，技術達到高峰期，應用範圍進一步擴展，專利申請數量達到歷史最高點，2019 年更是達到 2280 件。而在近三年內，專利申請數量顯著下降。則是考慮到發明專利自申請日起需經過 18 個月才會公開，一部分在 2022 年申請的專利可能尚未公開，因此近兩年的專利申請數量仍需時間來進一步觀察。

二、Modulator 調變器技術

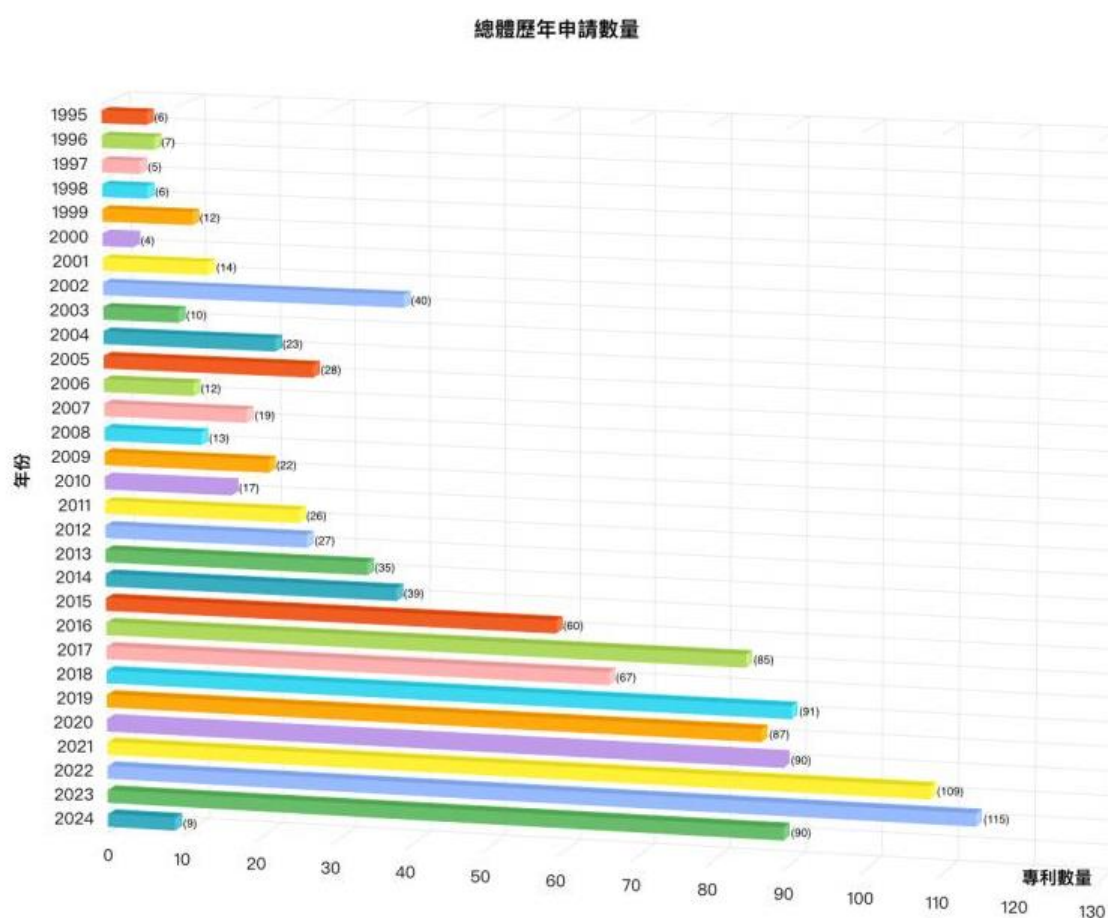


圖 27、總體歷年申請數量圖

2000 年以前，矽光子領域的研發活動處於萌芽階段，專利申請數量每年約在 10 件左右。2000 年之後，技術初步發展，專利申請數量開始大幅增加，標誌著矽光子技術開始受到更多關注。隨後的幾年內，申請數量有所波動，但整體呈現緩慢增長的趨勢。自 2011 年起，專利申請數量進一步加速增長，並在 2016 年達到一個高峰，顯示該技術在全球範圍內的快速發展。尤其是 2017 年至 2019 年間，專利數量呈現出接近穩定的上升趨勢，2022 年達到了歷史最高值，接近 120 件，反映出矽光子技術的技術創新和專利布局活動在該時期達到頂峰。隨著光

通信技術、數據中心需求和 5G 網絡的快速發展，矽光子技術的應用範圍不斷擴大，尤其是在數據傳輸、光電轉換和高速數據處理中。這導致近年來全球範圍內與矽光子技術相關的專利申請數量大幅增加。尤其是在矽光子調制器和光子集成電路等領域，許多公司加大了研發投入，推動了專利數量的增長。

然而，自 2022 年以後，專利申請數量開始有所下降，則是考慮到發明專利自申請日起需經過 18 個月才會公開，一部分申請的專利可能尚未公開，因此近兩年的專利申請數量仍需時間來進一步觀察。

總體而言，矽光子技術的調制設備和元件在過去幾十年中的專利申請數量呈現出先緩慢增長、後快速增長的趨勢，這表明該技術已經經歷了重要的發展階段，並進入了一個相對成熟但競爭激烈的階段。

第二節、技術生命週期分析

技術生命週期曲線是一個描述技術從發展初期到退出市場的完整過程的工具。這個過程通常分為四個階段：萌芽期、成長期、成熟期和衰退期。在萌芽期，技術發展難度高且風險大，通常以合作開發為主，專利權多為共有，這一階段的專利數量和申請人數增長緩慢，曲線較為平緩。隨著技術進入成長期，越來越多的技術參與者加入，專利量與申請人數開始迅速增長，曲線呈現陡峭上升的趨勢。在成熟期，企業大量布局專利以期壟斷市場，此時專利數量的增長速度遠超過申請人數，曲線幾乎呈現垂直狀態。最終，技術進入衰退期，專利數量和申請人數均開始減少，曲線回縮或倒轉。透過技術生命週期曲線，企業和研究機構能夠有效地了解技術發展的各個階段，並根據這些階段調整研發策略和市場布局，以最大化技術和市場的競爭優勢。

一、矽光子技術

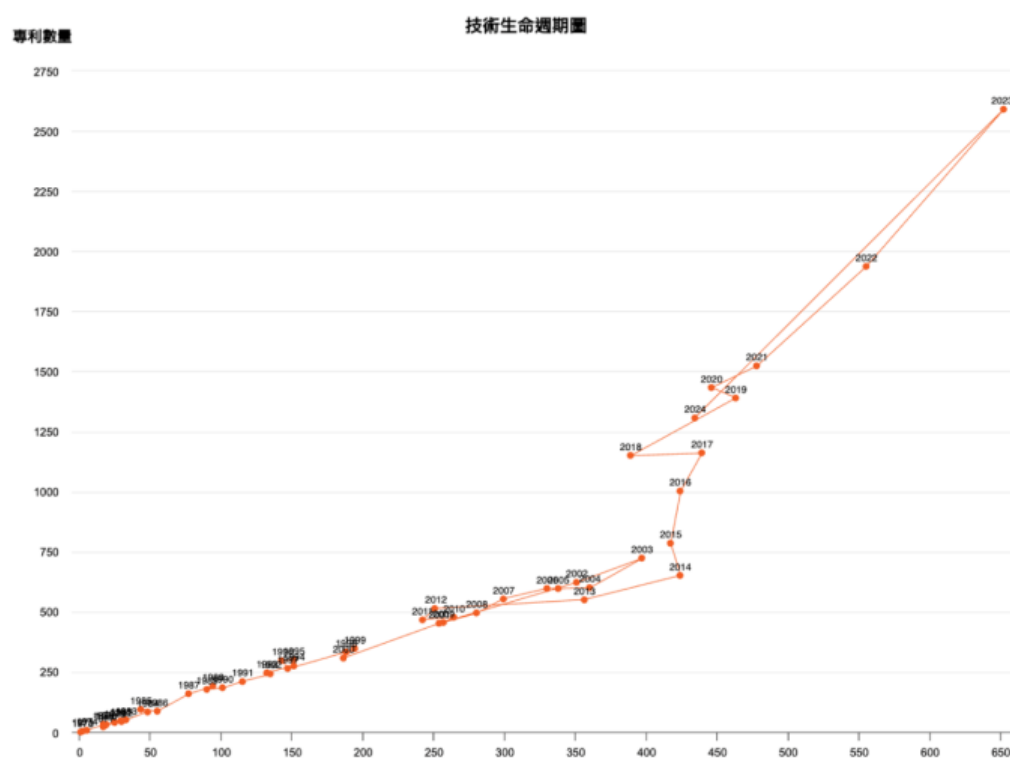


圖 28、技術生命週期圖

特別是在 2000 年後，專利數量急劇上升，顯示出矽光子技術的快速成長。而到了成熟期（2016 年 - 2023 年）階段，專利數量和申請人數保持在高水位，但增長速度逐漸放緩，這表明技術已經成熟，市場競爭激烈。

而到了 2024 年後專利數量下降，但這主要是因為專利尚未公開，數據不完整，需要等到專利公開後才能準確分析 2024 年後的技術趨勢。

因此，結論上，我們透過這些分析，可以看出矽光子技術的發展歷程以及所處的技術生命週期階段，目前，矽光子技術正處於成熟期，市場競爭激烈，2024 年後的數據需要等待專利公開後再進行準確分析。企業和研究機構應根據技術生命週期的變化調整研發策略和市場布局，以保持競爭優勢。

二、Modulator 調變器技術

從 1970 年代至今，Modulator 技術經歷了從萌芽、發展、爆發至成熟的完整生命週期，這背後與產業需求及技術突破息息相關：

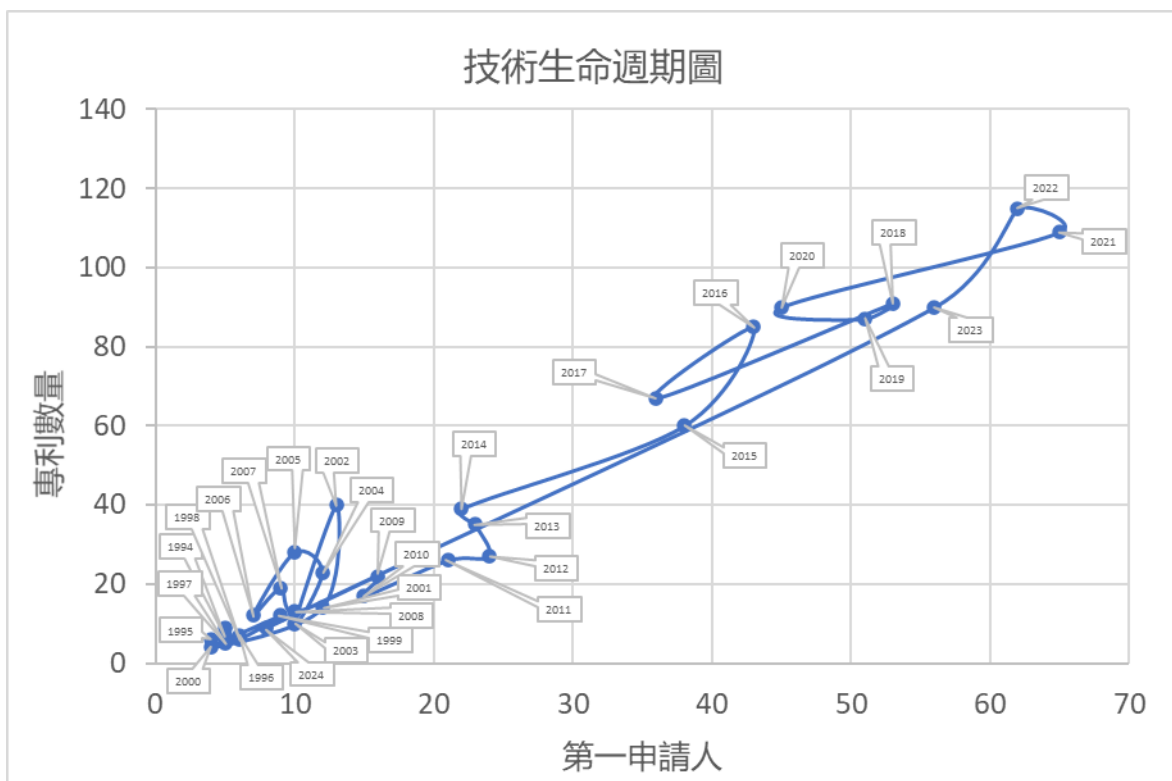


圖 29、調變器技術生命週期圖

1. 萌芽期（1970-2000）：

- **技術需求與探索階段：**最初，Modulator 技術主要應用於軍事通信和科學研究中，市場需求有限。當時的技術還處於探索期，專利數量相對較少，反映了整體市場和技術應用的低成熟度。
- **前期研發投入不足：**由於技術前景尚未清晰，企業和研究機構的投入較少，市場僅有少數競爭者。

2. 發展期（2000-2010）：

- **需求漸增與技術突破：**隨著網際網路的普及和全球數據流量的增加，市場對高速數據通信的需求逐漸浮現。2000 年以後，光纖通信逐漸取代傳統的銅纜通信，Modulator 技術的重要性日益提升。2002 年至 2005 年之間的專利數量顯著增長，反映了此時期技術進入實質發展階段。
- **矽光子技術的興起：**這一時期，矽光子技術的研究開始發展，Modulator 作為其中的重要組件，其技術進步促使應用範圍從單純的通信擴展至更廣泛的高科技領域。

3. 爆發期（2014-2023）：

- **技術應用與市場需求推動：**自 2014 年起，隨著 5G、數據中心、物聯網（IoT）和雲計算的快速發展，Modulator 技術需求急劇上升，專利數量在此時期大幅增加。2016 年和 2020 年之間尤其明顯，表現出調製器技術進入了快速增長期。
- **市場競爭加劇：**圖中可見 2021 至 2022 年間專利數量達到高峰，顯示出大量企業和研究機構積極參與該技術的研發與布局，推動了技術創新與應用的多樣化。

4. 成熟期（2023 以後）：

- **技術進入穩定期：**自 2023 年後，Modulator 技術專利數量仍保持較高水平，但增長速度有所放緩。這表明市場需求逐漸穩定，技術開始進入應用優化與商業化階段。專利運用逐漸成為企業競爭的主要手段，包括授權、訴訟等。

第三節、歷年各國申請數量分析

一、矽光子技術

（一）臺灣歷年申請數量

閱讀下二圖，可知台灣專利申請數量在 1983 年到 2022 年間呈現整體上升趨勢，特別是在 2000 年以後，增長速度顯著加快。在早期發展階段（1983-2002 年），專利

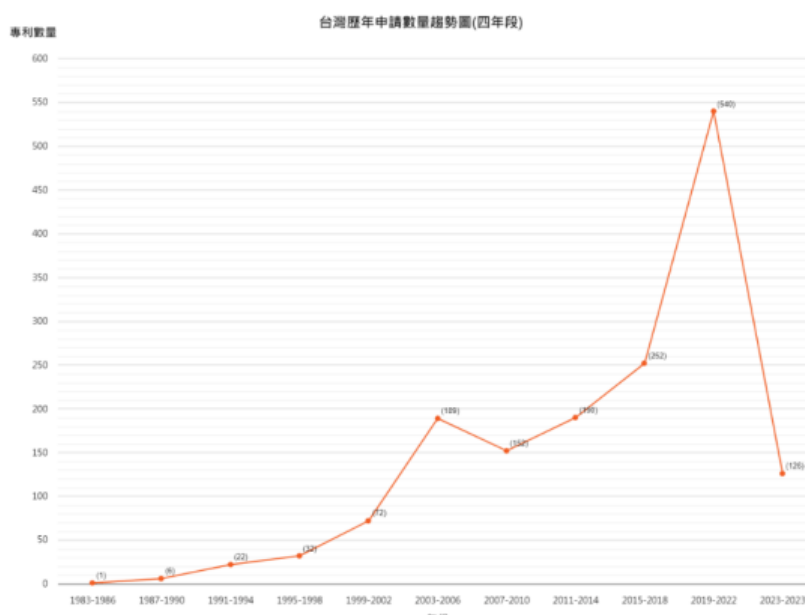


圖 30、臺灣歷年申請數量四年段趨勢圖

申請數量較少，這段時間台灣在矽光子領域的研發和創新活動相對較少，可能還處於技術探索和初步研究階段。



圖 31、臺灣歷年申請數量趨勢圖

到了快速增長期（2003-2018 年），專利申請數量顯著增加，尤其在 2011-2014 年和 2015-2018 年間，顯示出台灣在矽光子領域的研發投入和創新活動顯著增強，這段時間可能是技術突破和應用推廣的重要時期。在高峰期（2019-2022 年），專利申請數量達到最高峰，達到 540 件，於 2022 年就占了 164 件，這表明台灣在矽光子領域達到了一個高峰，可能是技術成熟和大規模應用的結果。

（二）美國歷年申請數量

如下二圖，在早期發展階段（1966-1989 年），專利申請數量較少，從 1966-1969 年的 1 件逐漸增加到 1986-1989 年的 407 件，表明這段期間矽光子技術處於早期探索和初步發展階段。

在初步增長期（1990-2009 年），專利申請數量穩步增長，1990-1993 年申請數量為 553 件，1994-1997 年增長到 691 件，1998-2001 年進一步增加到 1406 件，2002-2005 年達到 2363 件，其中在 2001 年及 2002 年達到當時技術的高峰，可見這段時間矽光子技術逐漸成熟，應用範圍擴大，導致專利申請數量持續上升，不過於 2003 年至 2010 年間，整體申請數量趨勢下滑，或許是因為當時技術上未有所顯著的突破，且 2008 年發生金融海嘯，矽光子之半導體領域可能因為研發費用的減少而有所影響，因此在 2010 年達到當時的最低點 338 件。

在顯著增長期（2011-2021 年）之中，專利申請數量迅速增加，並在 2019 年達到高峰 1687 件，顯示出美國在矽光子領域的技術創新和研發活動熱度持續增長，雖 2021 及 2022 年申請數量似乎些許下滑，是否已過高點，仍需待一段時間觀察，畢竟當時也是準備到 AI 領域開始有熱度的時刻。



圖 33、美國歷年申請數量四年段趨勢圖



圖 32、美國歷年申請數量趨勢圖

(三)日本歷年申請數量

在初步探索階段，1972-1975 年的專利申請數量為 5 件，1976-1979 年增加到 15 件，1980-1983 年進一步增加到 88 件，而在 1984-1987 年大幅增加到 213 件。在這段期間，日本的矽光子技術從探索階段逐步進入研究和初步應用階段，專利申請數量逐步增加。

在穩定增長期（1988-2002 年），1988-1991 年的專利申請數量保持在 217 件，1992-1995 年增至 243 件，1996-1999 年稍微下降，2000-2002 年些微爬升，圖中可以看出這段期間，矽光子技術在日本穩步發展，專利申請數量逐漸緩慢上升，顯示出技術的逐漸成熟和應用範圍的擴大。

在快速增長期（2003-2009 年），從 2003 年起專利申請數量暴增，從 2003 年的 119 件作為號角，在 2008-2011 年增至 883 件，光 2009 年就申請了 254 件達到最高峰。這段期間，日本在矽光子領域的研發投入顯著增加，專利申請數量顯示出快速增長的趨勢，可能是技術突破和應用擴展的結果。

而在衰退期（2010 年迄今）之中，圖中可以看出自 2010 年起，整體專利申請趨勢逐年減少，似乎矽光子的熱度於日本逐漸減退，可能是因為許多著名的國際大廠多以美歐台為主，日本廠商對於矽光子的參與較低，因此間接導致申請量逐年降低。



圖 34、日本歷年申請數量四年段趨勢圖



圖 35、日本歷年申請數量趨勢圖

(四)歐洲歷年申請數量

在 1978 年到 1985 年間，專利申請數量很少，每四年期間不超過 50 件，顯示出早期發展緩慢的趨勢。然而，在 1986 年到 1993 年間出現了第一次顯著增長，專利申請數量從 45 件增加到 363 件，進入快速增長期。

隨後到 2002 年時，達到當時的高峰 125 件，便開始逐漸下滑，至 2007 年僅有 36 件申請，可能這段時間系光子技術陷入停滯，並無顯著性的突破性發展，直至 2011 年起專利申請數量激增，特別是在 2015 達到峰值 190 件，顯示出爆發式增長的趨勢。

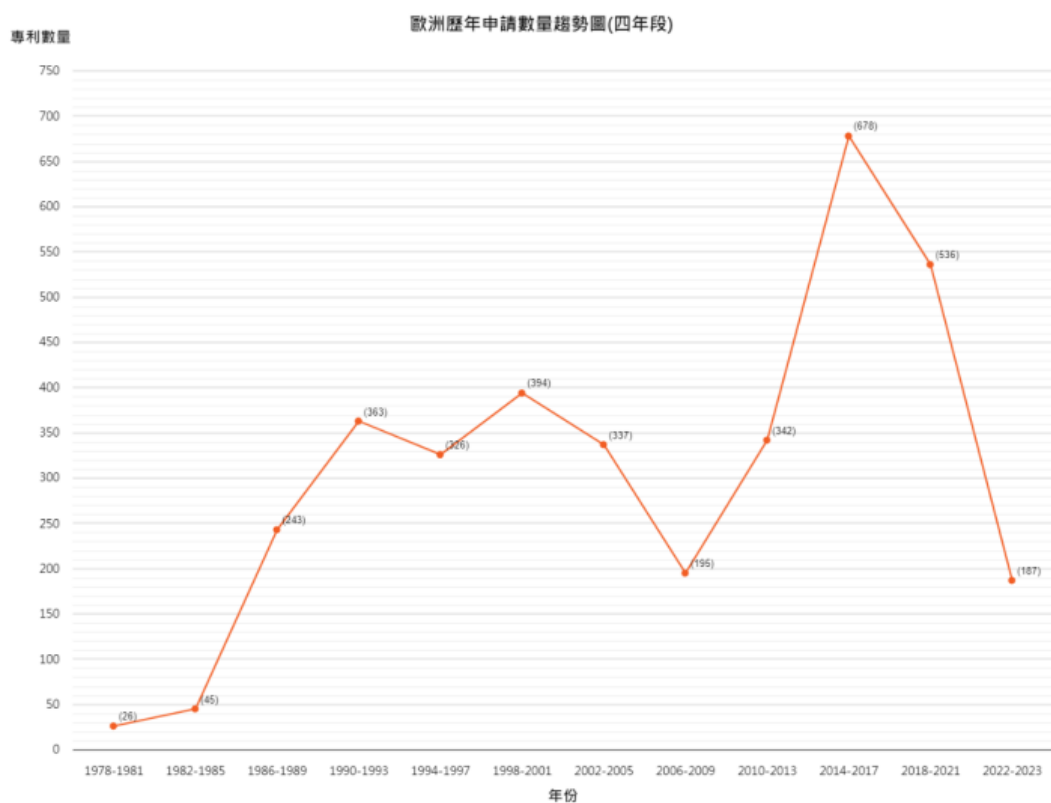


圖 36、歐洲歷年申請數量四年段趨勢圖

隨後至 2016 年起，整體趨勢似乎又平緩下降當中，不過隨著近年 AI 發展迅速，矽光子領域又開始升溫，或許可以靜待後續發展。



圖 37、歐洲歷年申請數量趨勢圖

二、Modulator 調變器技術

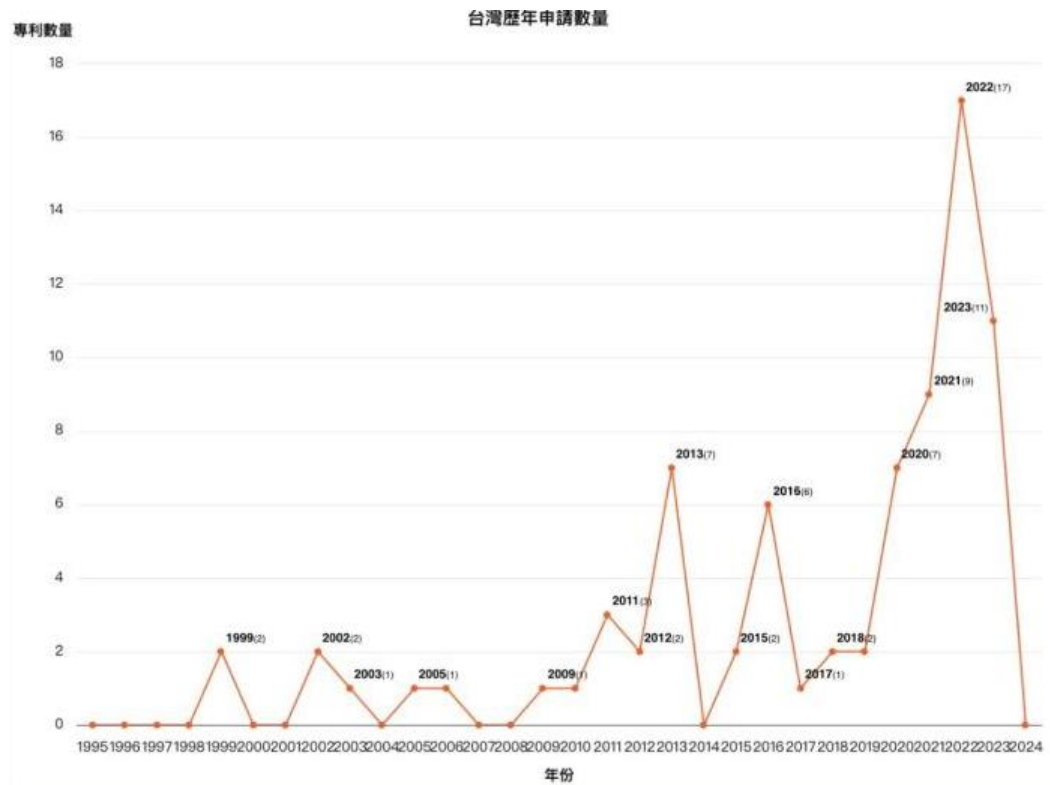


圖 39、調變器技術臺灣歷年申請數量趨勢圖

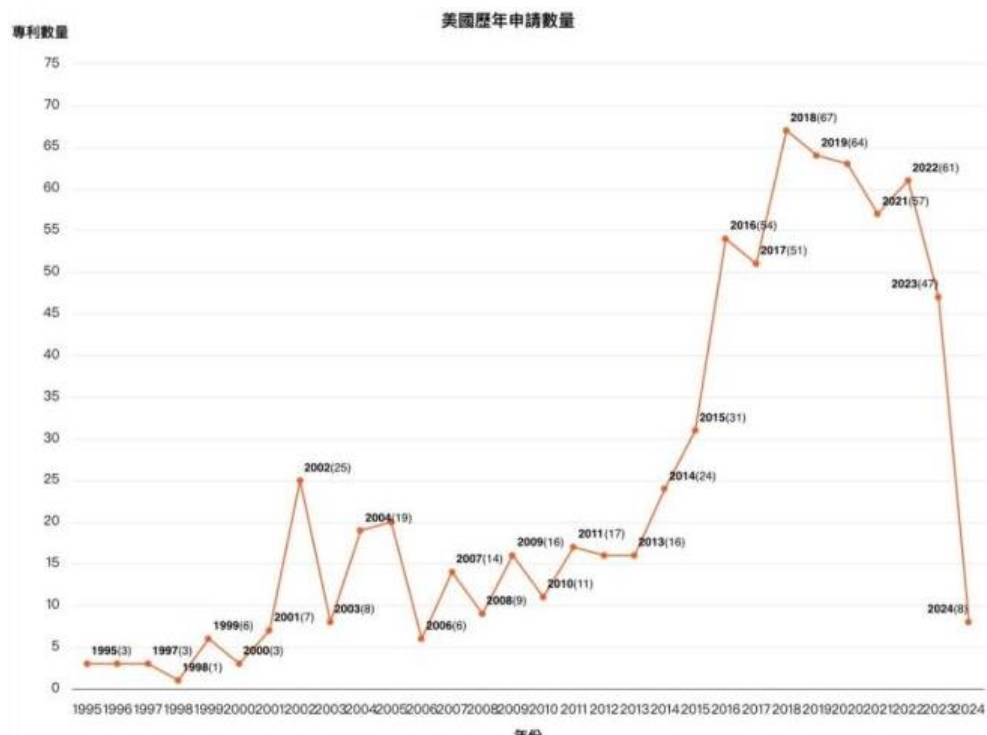


圖 40、調變器技術美國歷年申請數量趨勢圖

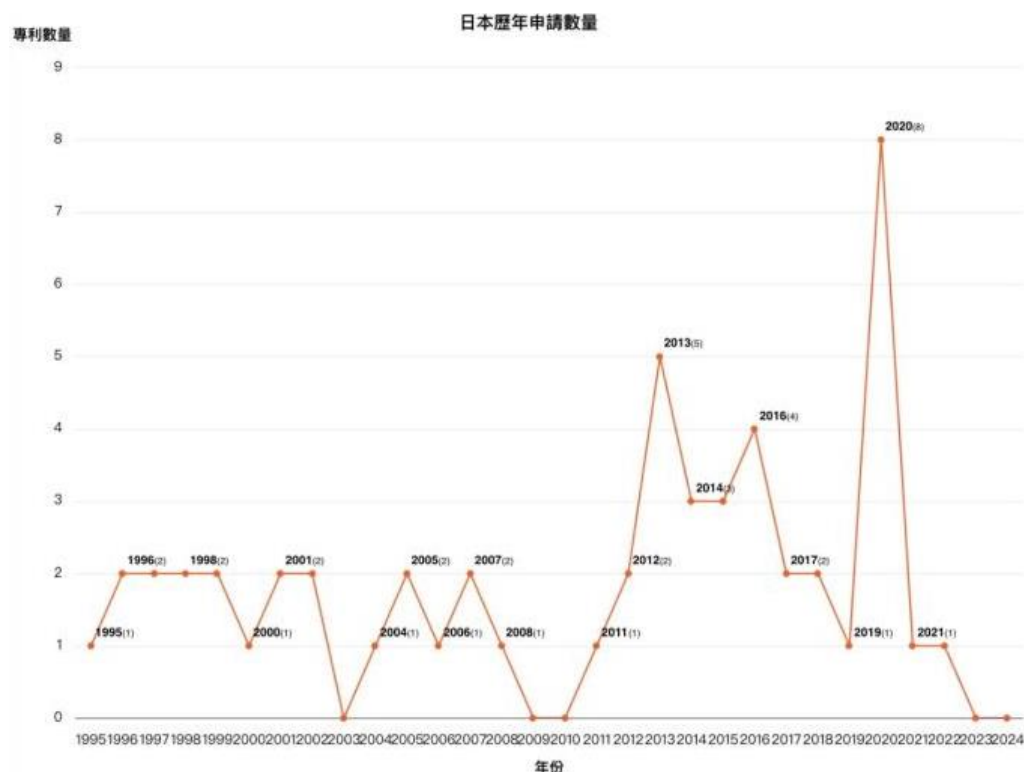


圖 42、調變器技術日本歷年申請數量趨勢圖

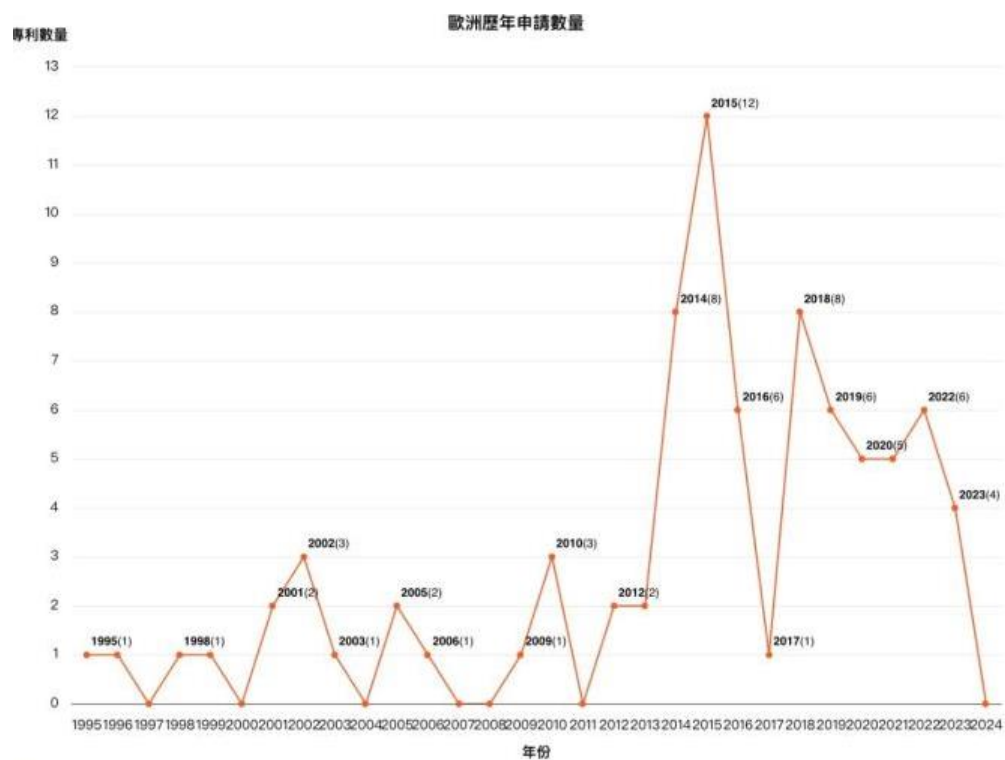


圖 41、調變器技術歐洲歷年申請數量趨勢圖

根據各國歷年專利申請數量，可以看出美國的專利申請數量一直處於領先地位。

歐洲則持續保持穩定的專利申請量，反映出對該技術的長期投入。此外，其他亞洲國家如日本和韓國的專利申請量也在穩步上升，顯示出區域性競爭的加劇。這些數據反映出矽光子技術全球專利競爭的加劇，尤其是在數據傳輸與光電集成領域，各國的企業與研究機構正積極布局以取得技術領先優勢。

美國在矽光子技術領域的專利申請數量一直占據主導地位，尤其是自 2000 年以來，專利申請數量顯著增加，並在近年達到峰值。這反映出美國在光通信和數據傳輸領域的持續技術領先優勢，特別是由於大企業和學術機構的推動，如 Intel 和 Cisco。

台灣的專利申請數量雖不多，但在最近十年內呈現出快速增長的趨勢，特別是在 2010 年後出現了顯著的申請數量上升，研發投入和專利布局策略越來越積極。

歐洲的專利申請數量相對較少，整體增長速度較緩慢。雖然專利數量不如美國，但歐洲企業在技術創新上仍保持一定優勢，特別是在光子集成電路和高效數據傳輸方面，佔據了專利申請的一定份額。

日本的專利申請數量也相比美國較少，但仍保持著穩定的技術研發力度。日本的矽光子技術專利主要集中在光學元件和電子產品的應用領域，其申請數量雖然不多，但技術含量高。

全球範圍內，矽光子技術的專利競爭正在加劇，未來可能會看到更多的技術突破和創新。

第四節、各國申請人國別分析

矽光子相關專利的全球分布格局反映了這一新興技術領域的發展態勢和競爭格局。美國以 15,813 項專利的絕對優勢領跑全球，展現了其在科技創新和研發投入上的領先地位。日本緊隨其後，擁有 4,440 項專利，雖然與美國有顯著差距，但仍大幅領先其他國家，彰顯了其作為科技強國的實力。

亞洲地區在這一領域表現突出，除日本外，台灣和中國大陸分別以 1,045 項和 1,152 項專利排名第五和第四，韓國則位列第十，顯示亞洲在矽光子技術發展中也扮演著重要角色。歐洲國家也有不俗表現，法國、英國、德國和荷蘭均進入前十，分別排在第三、第六、第八和第九位，體現了歐洲在高科技領域的持續創新能力。

此外，加拿大作為北美地區除美國外的另一代表，排名第七，展示了其在該領域的重要地位。

這一專利分布格局不僅反映了各國在矽光子技術領域的研發實力和創新能力，也揭示了全球科技創新的競爭態勢。它表明矽光子技術已成為全球科技強國競相發展的重要領域，未來可能在光電集成、通信技術等方面帶來重大突破。同時，這一分布也暗示了潛在的國際合作機會，不同國家和地區可以通過技術交流和合作，共同推動矽光子技術的進步和應用。

一、矽光子技術

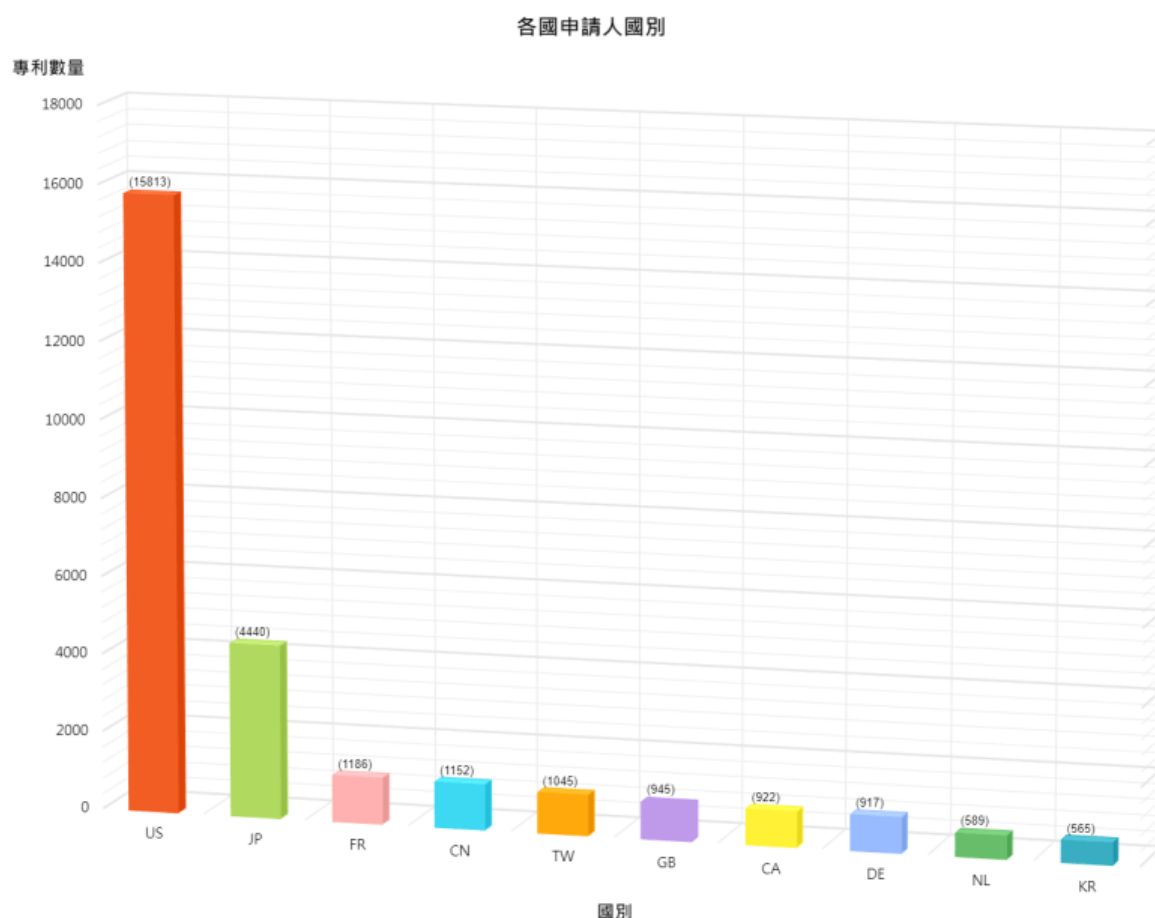


圖 43、前十大各國申請人國別統計圖

(一)臺灣前十大第一申請人國別

此圖展示了在臺灣申請矽光子相關專利的前十大申請人國別。美國以 675 件專利數量位居第一，顯示出其在矽光子技術領域的領先地位，反映出美國在該技術上的創新和研發能力。台灣緊隨其後，以 406 件專利數量排名第二，表明台灣本地公司或機構在矽光子技術領域也有著相當高的研發和創新活動。日本以 150 件專利數量位居第三，顯示出其在這一技術領域的積極投入和在亞洲的技術影響力。荷蘭以 132 件專利數量排名第四，表明其在矽光子技術領域也有著一定的參與和貢獻。

中國以 58 件專利數量排名第五，顯示出其在矽光子技術上的逐步發展和投入。新加坡以 30 件專利數量排名第六，這表明新加坡在這一領域的技術研發活動也不容忽視。韓國以 25 件專利數量排名第七，顯示出其在矽光子技術方面的投入和研究。德國以 22 件專利數量排名第八，表明其在該技術領域也有一定的參與度。法國和瑞典均以 15 件專利數量並列第九，這顯示出這兩個國家在矽光子技術領域的研發活動。

總體來看，這些數據表明美國、台灣和日本是矽光子技術領域的主要參與者，並且在臺灣申請了大量的相關專利。其他國家如荷蘭、中國、新加坡、韓國、德國、法

國和瑞典也在這一技術領域有著不同程度的投入和研發活動。這些專利申請數據不僅反映了各國在矽光子技術上的創新能力，也顯示了全球在該領域的競爭態勢。

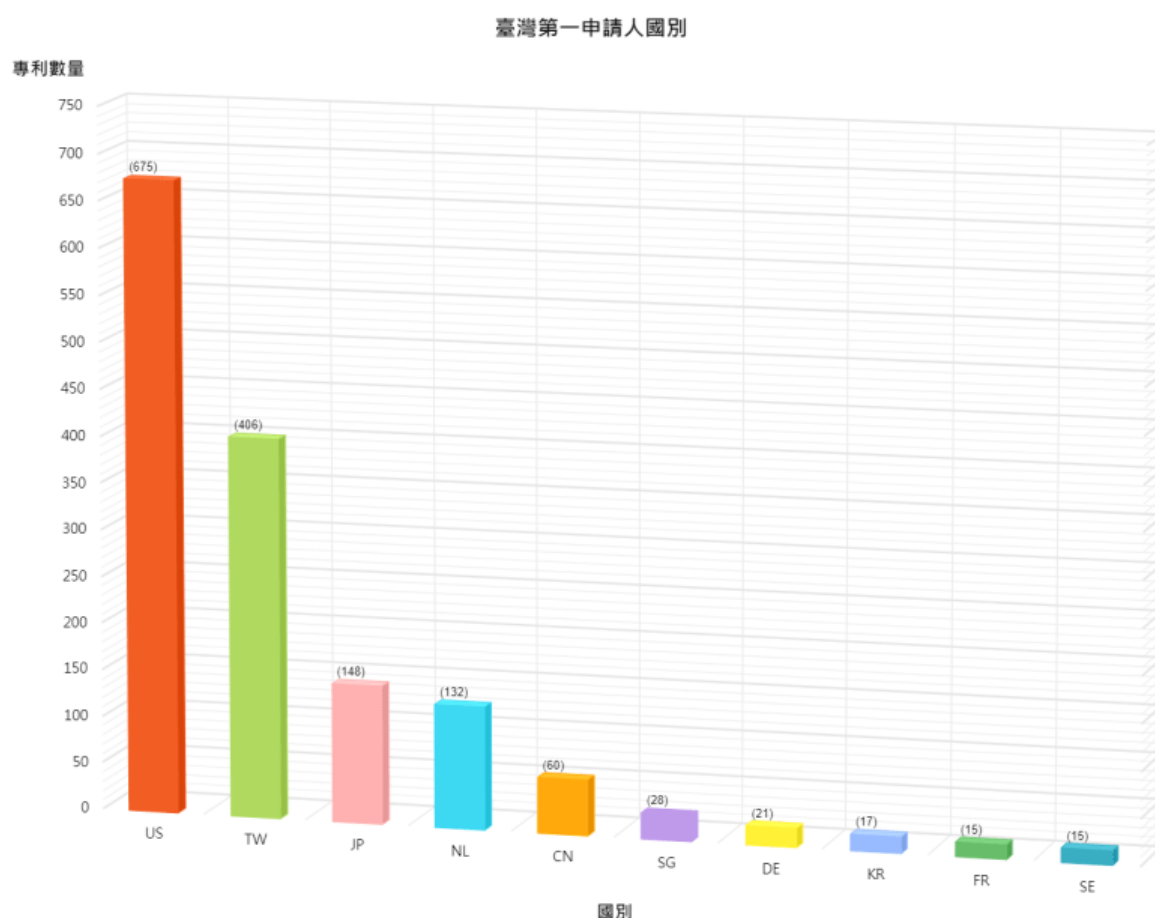


圖 44、臺灣前十大第一申請人國別統計圖

(二)美國前十大第一申請人國別

此圖表展示了在美國申請矽光子相關專利的前十大申請人國別。美國以 11561 件專利數量遙遙領先，顯示出其在矽光子技術領域的絕對領先地位，顯示出其強大的科技創新環境和豐富的研發資源。日本積極參與，專利數量遠超第三名的加拿大，顯示出其深厚積累和持續創新。加拿大、法國和英國也表現不俗，特別是加拿大，雖然人口較少，但在光子技術和通信領域積累深厚。台灣則以強大的創新能力和市場競爭力位居第五。中國和韓國快速崛起，顯示出新興市場在全球技術競爭中的積極參與。以色列則以高科技產業和創新環境著稱，展示了不俗的創新能力。德國穩定發展，體現出其在工程和技術創新領域的投入和成果。綜合來看，這些專利布局數據反映了全球在矽光子技術領域的激烈競爭和廣泛合作。

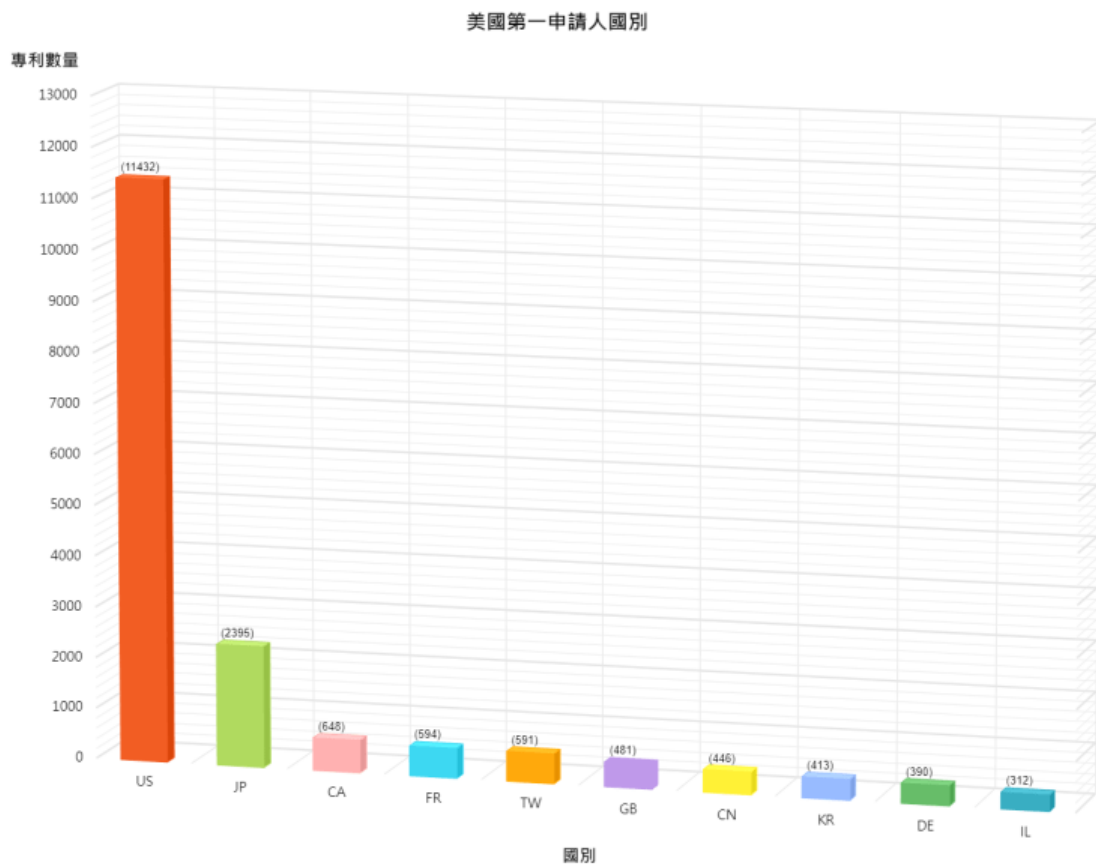


圖 45、美國前十大第一申請人國別統計圖

(三)日本前十大申請人國別

總體來看，日本在本國市場的矽光子專利布局中占據了絕對的優勢，表明日本在矽光子技術的研發和專利保護上處於領先地位。同時，美國和荷蘭也在日本市場有著積極的專利布局，顯示出這兩個國家在此技術領域的國際影響力。而其他國家如法國、

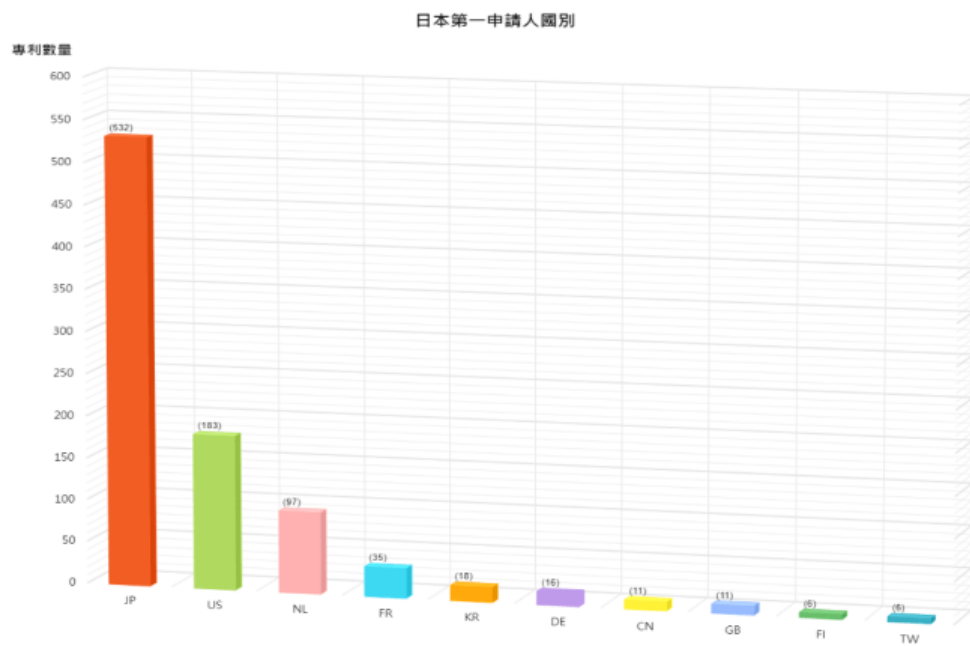


圖 46、日本前十大第一申請人國別統計圖

韓國、德國、中國等也在日本市場上有一定的參與，顯示出矽光子技術的全球化發展趨勢。

(四)歐洲前十大第一申請人國別

根據圖表顯示，美國以 1360 件專利申請數量遙遙領先，顯示出其在矽光子技術研發和專利布局上的強大實力。日本以 710 件專利申請數位居第二，表明其在該技術領域也有著相當的研究和應用投入。法國以 270 件專利申請數排名第三，顯示出法國在此技術領域的顯著參與。中國和德國分別申請了 181 件及 174 件專利，排名第四及第五且相差甚近，顯示這兩個國家在矽光子技術上的快速發展和穩定投入。比利時以 138 件專利申請數位居第六，顯示其在矽光子技術方面的研究成果。英國申請了 136 件專利，排在第七，表明其在此技術領域的積極參與。荷蘭以 116 件專利申請數排名第八，顯示出其在矽光子技術研究上的投入。義大利申請了 89 件專利，名列第九，顯示其在矽光子技術的參與度。瑞典申請了 88 件專利，位居第十，顯示其在此技術領域的發展。

整體來看，美國和日本在歐洲的矽光子專利布局明顯佔據了主導地位，顯示這兩個國家在該領域的技術研發和專利保護方面處於領先地位。而歐洲各國如法國、德國、比利時等也有著較為積極的技術研發和專利布局，顯示出歐洲在矽光子技術上的廣泛參與和重視。

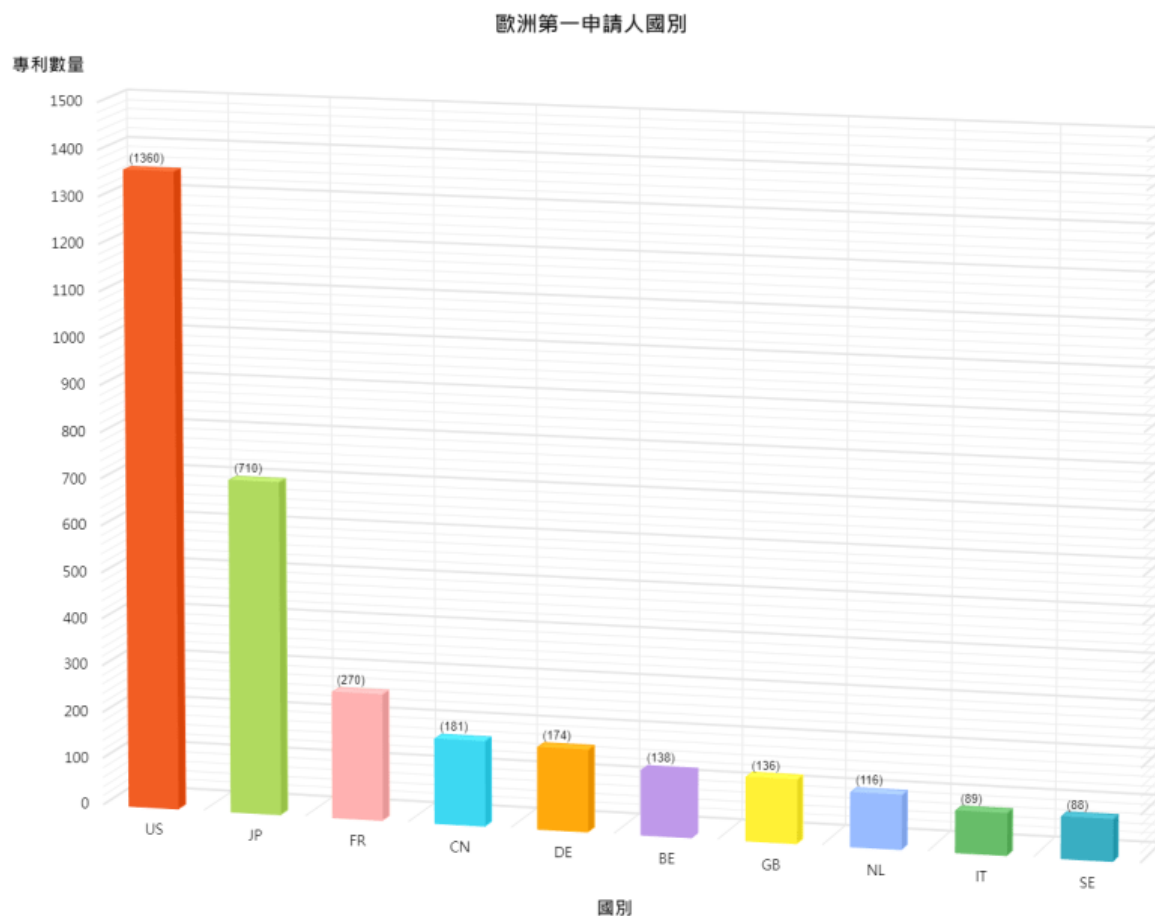


圖 47、歐洲前十大第一申請人國別統計圖

(五)專利申請國別

根據圖表顯示，矽光子相關專利的前五大申請國依次為：美國、WIPO、日本、歐洲專利局 (EP)、和台灣。

美國申請了 21705 件專利，顯示出其在矽光子技術領域的絕對領導地位，表明美國在研發、應用和專利保護方面投入了大量資源。美國企業和研究機構的持續創新推動了這一領域的快速發展。

WIPO 申請了 4675 件專利，反映了國際專利合作條約 (PCT) 下的專利申請數量，顯示出矽光子技術的全球化趨勢，許多企業和機構選擇通過 PCT 申請專利以保護其國際市場。

日本申請了 4152 件專利，顯示出其在矽光子技術領域的顯著影響力。日本在光電子和半導體技術上有著深厚的技術積累，這些專利數量反映了其在矽光子技術上的持續創新和研發投入。

歐洲專利局申請了 3672 件專利，顯示出歐洲國家在矽光子技術上的積極參與和投入，歐洲企業和研究機構在此領域有著廣泛的研究和應用，並且通過歐洲專利局進行專利保護。

台灣申請了 1582 件專利，顯示出台灣在矽光子技術上的重要角色，台灣在半導體和光電產業上有著強大的基礎，這些專利數量表明台灣在矽光子技術上的積極研發和應用。

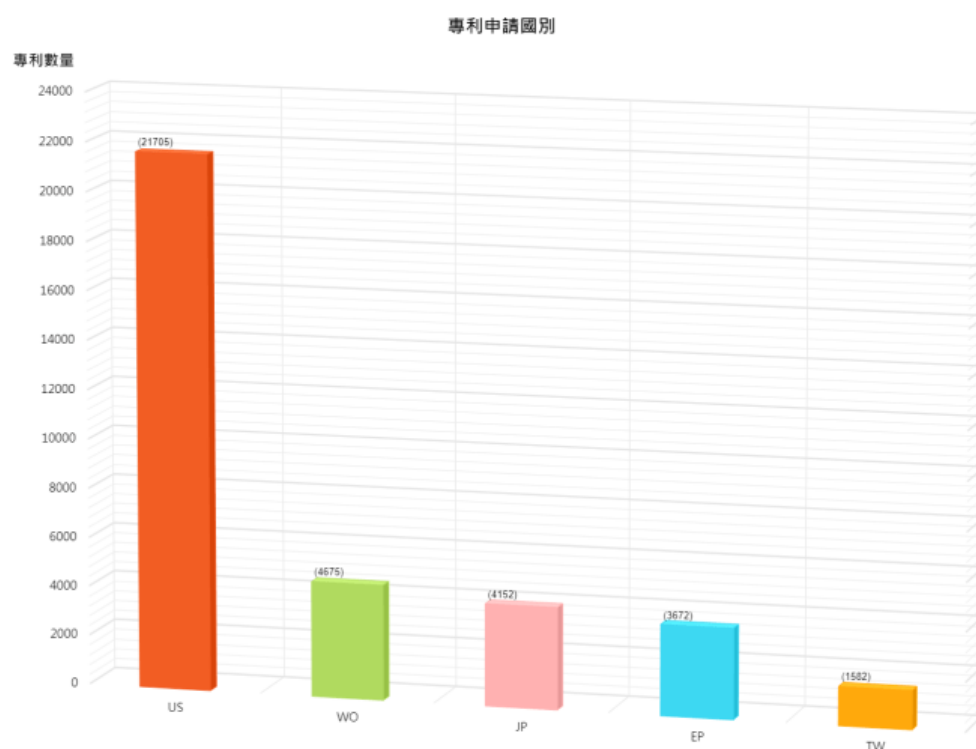


圖 48、前五大專利申請國別統計圖

從這些數據中可以看出，矽光子技術的研發和專利布局主要集中在美國、歐洲和亞洲的技術強國。美國和日本在這一領域具有明顯的領導地位，而歐洲和台灣也在積極參與並投入資源。國際專利申請數量的增加則顯示出矽光子技術的全球化發展趨勢。總體來說，矽光子技術是一個具有高度戰略意義的技術領域，各國都在積極布局以確保其在未來科技競爭中的優勢。

二、 Modulator 調變器技術

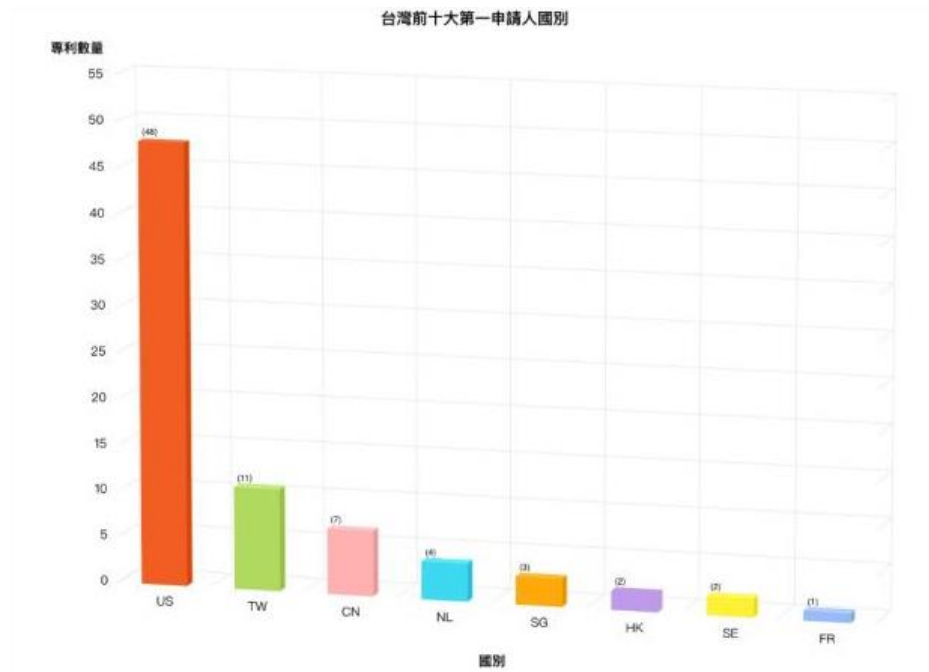


圖 49、調變器技術台灣前十大第一申請人國別統計圖

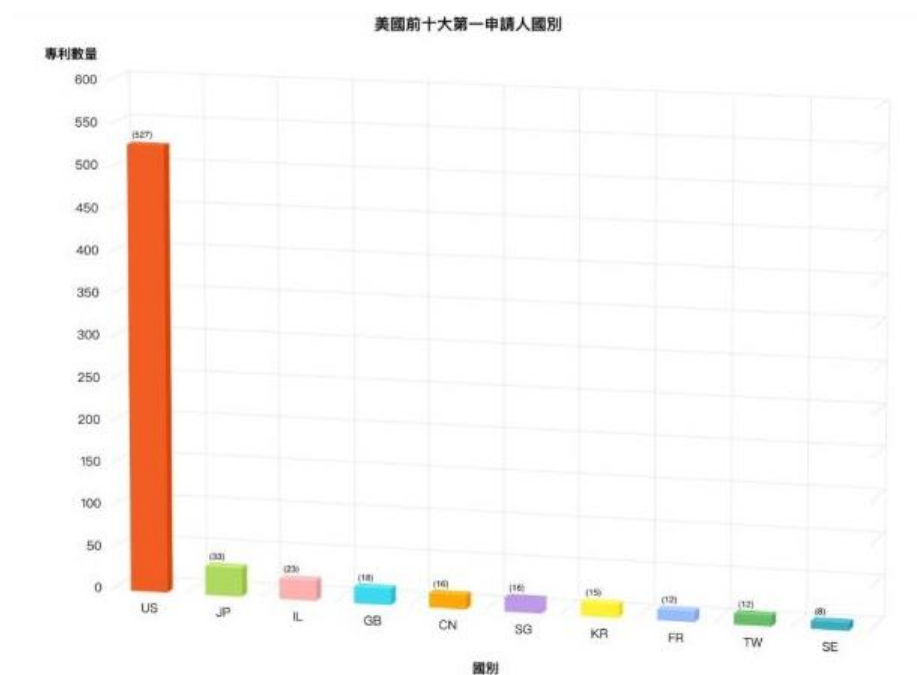


圖 50、調變器技術美國前十大第一申請人國別統計圖

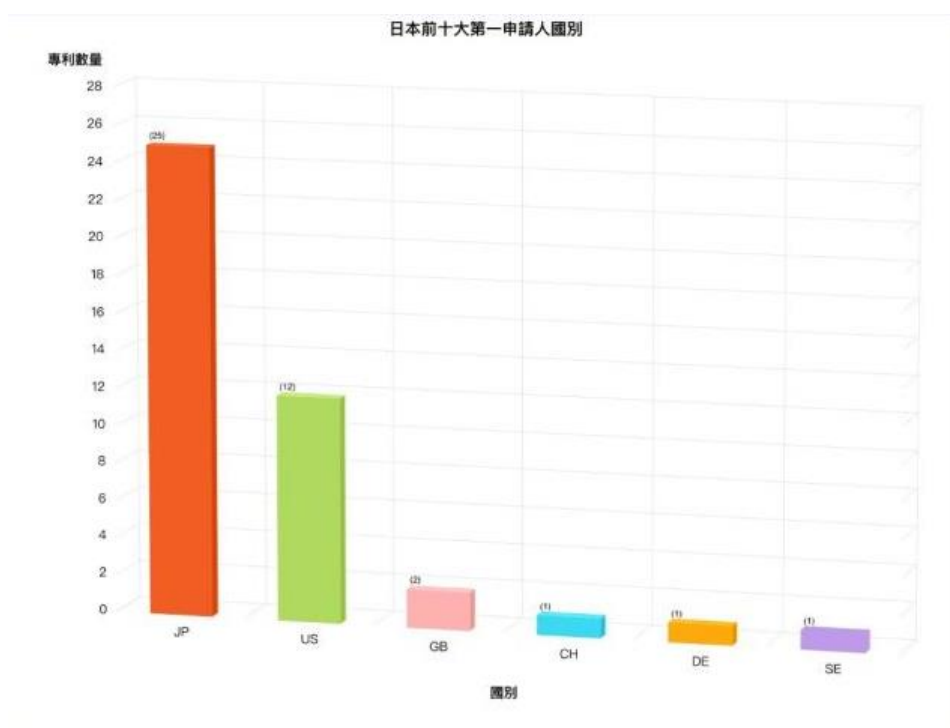


圖 51、調變器技術日本前十大第一申請人國別統計圖

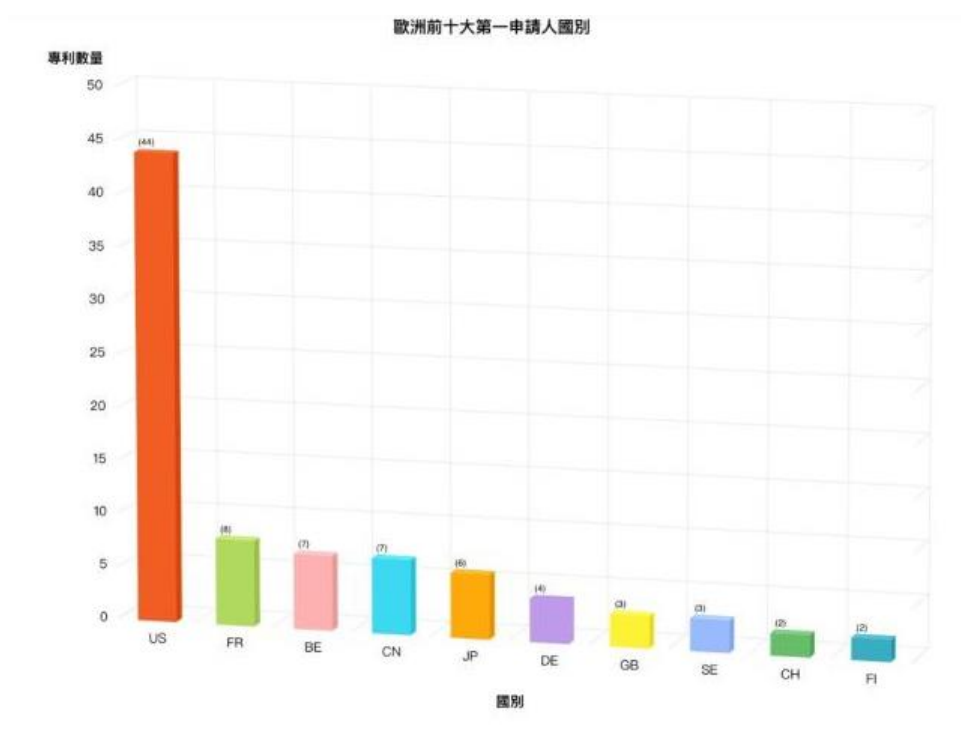


圖 52、調變器技術歐洲前十大第一申請人國別統計圖

美國的專利申請主要集中在本國企業和機構，如 Intel、Cisco 等大型科技公司。美國企業在矽光子技術的調制設備和元件領域具有明顯的領先優勢，專利數量和技術影響力都很大。

台灣的前十大申請人國別中，除了位居第一的美國，本地企業的占比相對較高，台灣在半導體和光電技術上的長期投入使其成為矽光子技術的重要參與者。此外，台灣企業在全球供應鏈中的關鍵角色也促進了該技術的發展。

日本的專利申請集中在本國的科技巨頭如三菱電機和富士通，這些企業在光通信和光電技術領域具備強大的研發能力。日本的技術創新多集中於高端光學元件和系統集成。

歐洲的專利申請除了位居第一的美國，主要來自德國、法國和荷蘭的企業和研究機構。歐洲企業雖然在專利數量上不如美國，但其技術深度和創新性較高，尤其在光子集成電路領域有顯著成果。

縱觀以上四張圖，可以看出矽光子技術的專利布局具有明顯的區域特徵。美國企業在全球專利競爭中佔據主導地位，台灣和日本則依賴於各自的半導體和光學技術優勢，歐洲則在技術創新上擁有穩固的地位。各區域的競爭者在矽光子技術的應用和專利戰略上展現出不同的發展重點，全球專利競爭將進一步加劇。

第五節、各國專利申請人數量的分析

一、矽光子技術

(一) 全球前十大申請人

矽光子技術專利申請的全球前十大排名反映了該領域的競爭格局和發展趨勢。Intel 和 IBM 以明顯優勢領跑，各自擁有 580 和 568 項專利，遠超其他競爭者，彰顯了這兩家科技巨頭在矽光子研發上的巨大投入和領先地位。緊隨其後的是日本公司 Infinera 和 NTT，突顯了日本在這一前沿技術領域的重要貢獻。值得注意的是，華為作為唯一進入前十的中國公司，反映了中國在高科技領域的快速崛起和日益增強的創新能力。

整體來看，美國公司在這個榜單中佔據主導地位，包括 Intel、IBM、Infinera、Cisco、INPHI 以及麻省理工學院，共 6 家美國機構入圍前十，凸顯了美國在矽光子技術創新中的全面領先優勢。同時，麻省理工學院和加州大學等研究機構的上榜，說明了學術界在推動這項技術發展中扮演著不可或缺的角色，強調了產學研合作在高科技創新中的重要性。

這份排名還揭示了矽光子技術的廣泛應用前景和多元化參與格局。入榜的機構涵蓋了芯片製造商、通信設備供應商、研究機構等多個領域，表明矽光子技術有望在未來的通信、計算和其他高科技領域中發揮關鍵作用。然而，前兩名與其他公司在專利數量上的顯著差距也暗示了技術創新的集中趨勢，可能對未來市場競爭格局產生重要影響。總的來說，這份專利申請排名不僅反映了當前矽光子技術的發展現狀，也為我們預判該領域未來的創新方向和競爭態勢提供了重要參考。

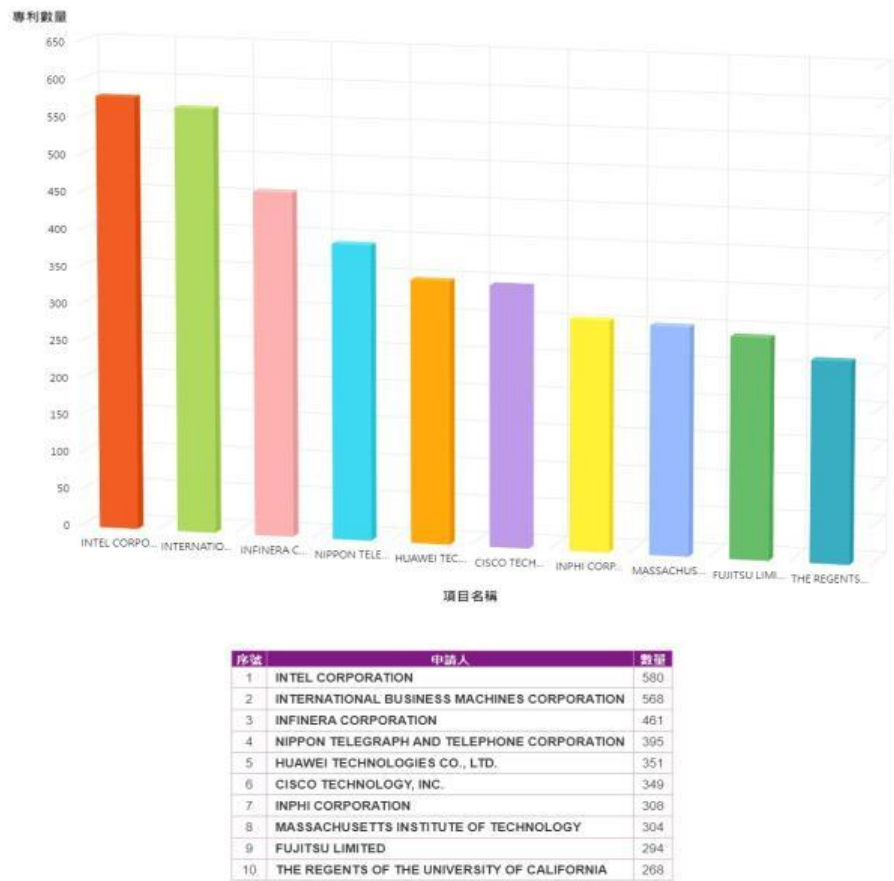


圖 53、全球前十大申請人

(二)臺灣前十大申請人

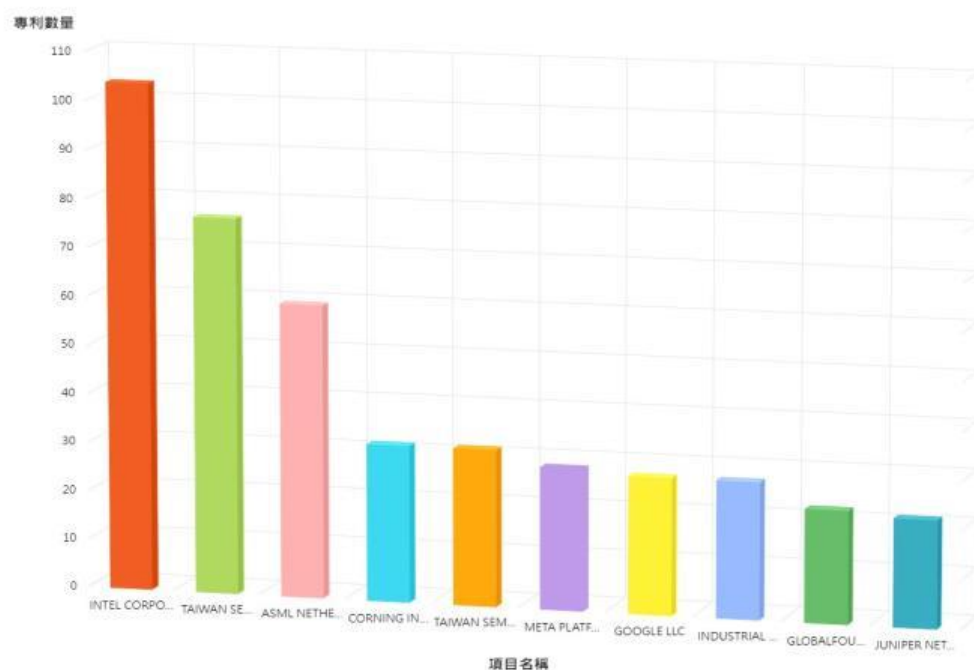
此圖表揭示了矽光子技術領域的專利申請格局，反映出一個多元且競爭激烈的產業生態系統。Intel 以 104 項專利穩居榜首，彰顯了其在該領域的領導地位和持續創新的決心。緊隨其後的是台積電，憑藉 77 項專利的實力展現了台灣半導體產業的卓越競爭力。

值得注意的是，前十名中包括了三家台灣企業或機構（台積電、台積電電子公司和工研院），凸顯了台灣在這一新興技術領域的重要地位。

榜單涵蓋了產業鏈的多個環節，從設備製造商（如 ASML）到材料供應商（如康寧），再到科技應用巨頭（如 Google 和 Meta），以及專業半導體公司（如 GlobalFoundries 和 Juniper Networks）。這種多樣性說明矽光子技術的發展需要跨領域的協作和創新。

專利數量從 Intel 的 104 項到 Juniper Networks 的 22 項呈現梯度分布，表明雖然有明確的領先者，但整體競爭格局仍相對分散，為後來者提供了發展空間。

歐美企業的強勢表現與台灣企業的積極參與形成了有趣的對比，反映了全球科技創新的競爭態勢。同時，研究機構如工研院的加入，突出了產學研合作在推動技術進步中的重要性。這份榜單不僅展示了當前矽光子技術的創新熱點，也為我們描繪出未來該領域可能的發展方向和競爭格局。總的來說，矽光子技術作為一個新興且充滿潛力的領域，正吸引著全球範圍內頂尖企業和機構的積極參與，預示著這一技術可能在未來的科技發展中扮演關鍵角色。



序號	申請人	數量
1	INTEL CORPORATION	104
2	TAIWAN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING COMPANY, LTD.	77
3	ASML NETHERLANDS B. V.	60
4	CORNING INCORPORATED	32
5	TAIWAN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING CO., LTD.	32
6	META PLATFORMS TECHNOLOGIES, LLC	29
7	GOOGLE LLC	28
8	INDUSTRIAL TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE	28
9	GLOBALFOUNDRIES US INC.	23
10	JUNIPER NETWORKS, INC.	22

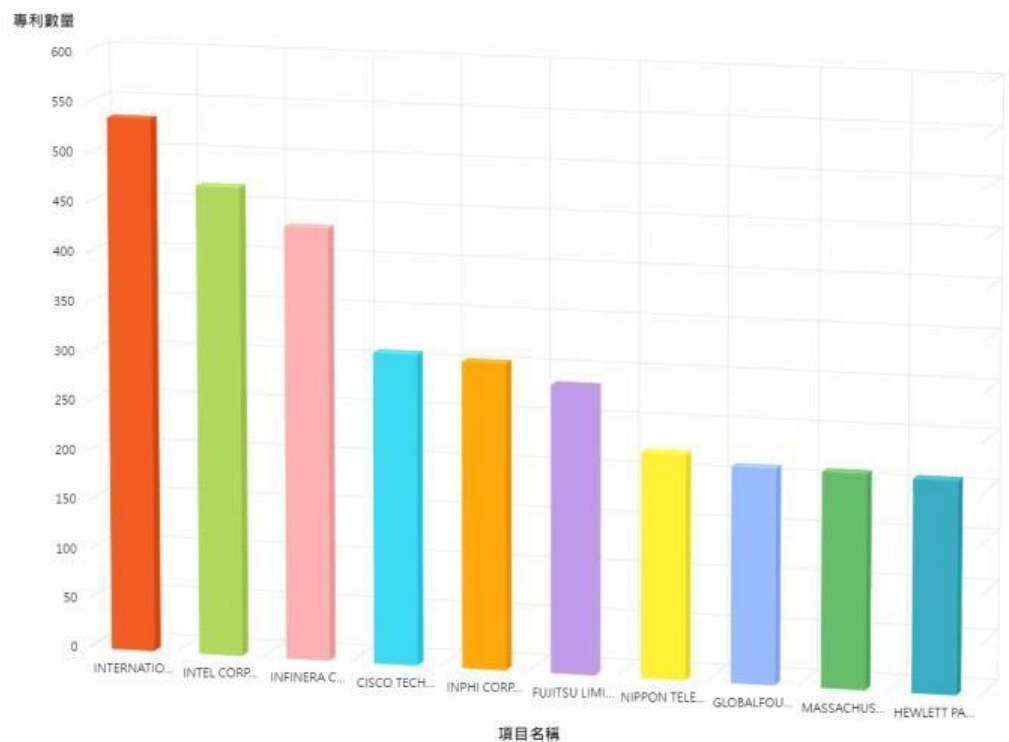
圖 54、臺灣前十大申請人

(三)美國前十大申請人

此圖表揭示了美國矽光子相關專利申請的現狀和趨勢。IBM 以 536 項專利的顯著優勢領跑，凸顯其在這一新興技術領域的主導地位。緊隨其後的是 Intel 和 Infinera，分別擁有 471 和 434 項專利，形成了一個強勁的領先梯隊。

值得注意的是，前十名中既包括像 IBM、Intel 和 Cisco 這樣的科技巨頭，也有 Fujitsu 和 NTT 等日本公司，以及 Infinera 和 Inphi 等專注於光電技術的專業公司，反映出矽光子技術的廣泛應用前景和多元化的創新生態系統。

麻省理工學院作為唯一一所進入前十的學術機構，排名第九，彰顯了基礎研究在推動技術進步中的關鍵作用。專利申請數量從 IBM 的 536 項到惠普的 212 項呈現明顯的梯度分布，表明各公司在這一領域的投入和戰略重點存在顯著差異。這種分布也暗示了市場競爭的激烈程度和技術創新的活躍度。整體而言，這份排名不僅展示了矽光子技術在計算、通信和數據中心等領域的重要性，也反映了各大公司和機構在這一前沿技術上的競爭態勢。它預示了未來光電集成可能帶來的技術變革，同時也為我們提供了洞察全球科技創新格局的窗口。這一領域的發展態勢表明，矽光子技術正處於一個創新和應用快速擴張的關鍵階段，未來可能會對多個行業產生深遠影響。



序號	申請人	數量
1	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	536
2	INTEL CORPORATION	471
3	INFINERA CORPORATION	434
4	CISCO TECHNOLOGY, INC.	312
5	INPHI CORPORATION	307
6	FUJITSU LIMITED	288
7	NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	225
8	GLOBALFOUNDRIES U.S. INC.	215
9	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	214
10	HEWLETT PACKARD ENTERPRISE DEVELOPMENT LP	212

圖 55、美國前十大申請人

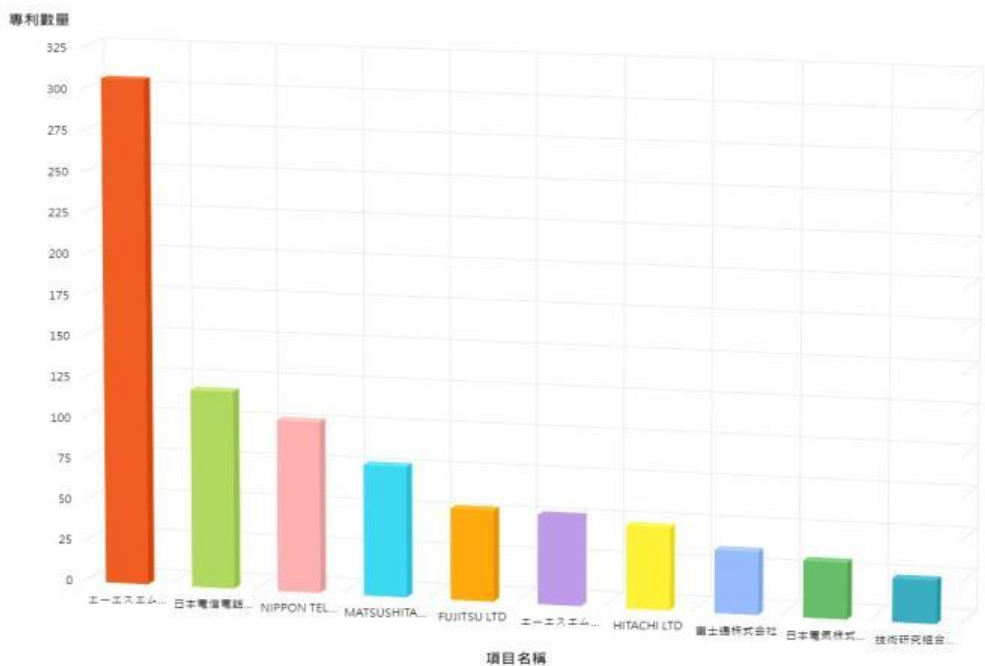
(四)日本前十大申請人

日本矽光子相關專利的申請情況反映了該技術領域的發展動態和市場格局。NTT（エーエヌティーテクノロジーピー・ワイ）以 307 項專利數量遙遙領先其他競爭者，彰顯了其在矽光子技術研發中的絕對優勢和市場領導地位。值得注意的是，前三大申請人均為電信相關企業，這突顯了電信產業在推動矽光子技術進步中的核心作用。

電子製造業巨頭如松下、富士通和日立等公司的積極參與，進一步證實了矽光子技術在電子產業中的重要性和廣泛應用前景。這些知名企業的投入不僅推動了技術創新，也為未來產品開發奠定了基礎。同時，技術研究組合光電子融合基盤技術研究所作為唯一進入前十的研究機構，展示了學術界在推動矽光子技術發展中的重要貢獻。

專利申請數量的分布呈現明顯的階梯狀，前幾名之間的差距較大，而後幾名則相對接近。這種分布反映了市場競爭的激烈程度，也暗示了技術創新的集中趨勢。申請人類型的多元化，包括電信公司、電子製造商和研究機構，進一步說明了矽光子技術的跨領域應用潛力和其在未來產業發展中的重要性。

整體來看，日本在矽光子技術領域擁有強勁的研發實力，特別是在電信和電子製造業方面。NTT 作為絕對的領導者，很可能在未來的技術標準制定和市場發展中發揮



序號	申請人	數量
1	エーエヌティーテクノロジーピー・ワイ	307
2	日本電信電話株式会社	120
3	NIPPON TELEGR & TELEPH CORP	104
4	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	79
5	FUJITSU LTD	55
6	エーエスエムエルホールディング エヌ・ブイ	54
7	HITACHI LTD	50
8	富士通株式会社	38
9	日本電気株式会社	34

圖 56、日本前十大申請人

關鍵作用。同時，其他主要參與者的積極投入也預示著矽光子技術在日本的持續創新和快速發展，有望為相關產業帶來革命性的變革。

(五)歐洲前十大申請人

歐洲矽光子相關專利的前十大申請人分析反映了該領域的競爭格局和發展趨勢。AT&T Corp.和華為技術有限公司以 147 項和 140 項專利申請分別位居榜首和第二，明顯領先其他競爭對手，展現了這兩家公司在矽光子技術研發上的巨大投入和領先地位。

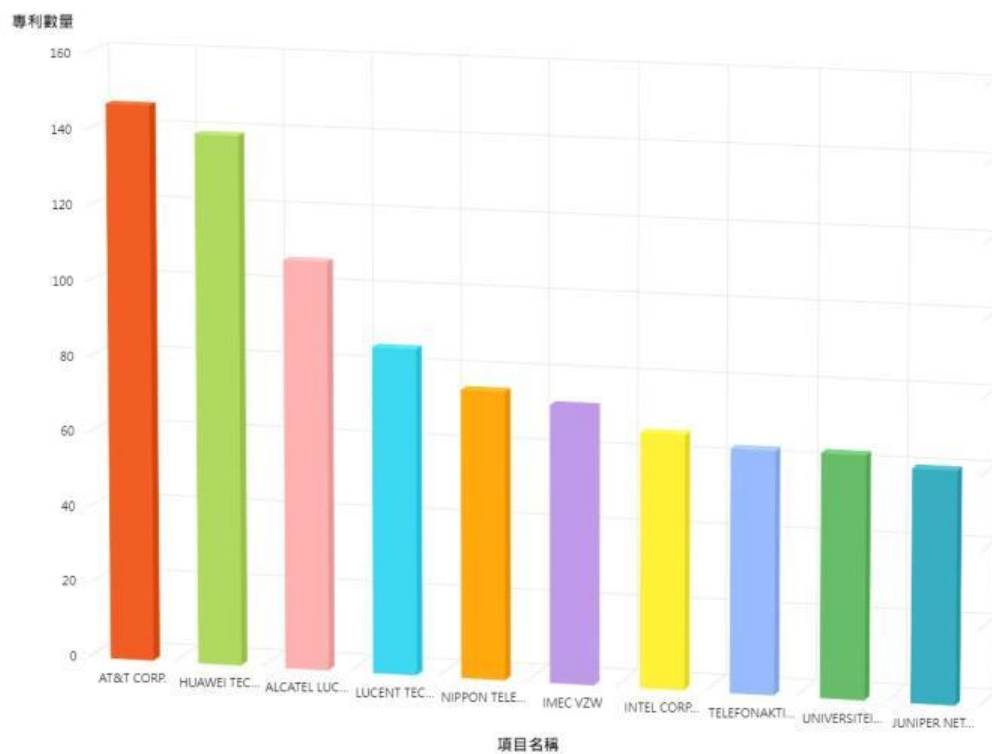
而前五名中有四家是傳統電信設備和服務供應商，包括 AT&T、華為、阿爾卡特朗訊和日本電信電話公司。這一現象凸顯了電信業在推動矽光子技術發展中的核心作用，同時也表明這些公司正積極布局未來通信技術。

申請人的多元化構成也是一個重要特點。除了電信巨頭，名單中還包括科技公司如英特爾、網絡設備製造商如 Juniper Networks，以及學術機構如根特大學。這種多元化反映了矽光子技術的跨行業應用前景，以及產學研合作在推動技術創新中的重要性。

從地域分布來看，這些申請人來自美國、中國、歐洲和日本等不同國家和地區，體現了矽光子技術研發的全球化競爭格局。特別是華為作為中國企業在此領域的強勢表現，說明中國在新興技術領域的快速崛起。

專利申請數量的顯著差異也值得關注。排名第一的 AT&T（147 項）與第十的 Juniper Networks（61 項）之間存在較大差距，反映了不同公司在研發投入和技術積累上的差異。同時，像 IMEC VZW 這樣的研究機構的出現，表明專業研究機構在推動矽光子技術發展中也扮演著重要角色。

總體而言，這份專利申請排名不僅展示了矽光子技術在歐洲受到的廣泛關注，也反映出該領域的競爭格局正在形成。電信和科技巨頭占據主導地位，但新興參與者和研究機構的加入，預示著未來可能出現更多突破性創新。這種多元化的競爭格局有望推動矽光子技術在通信、計算和其他領域的廣泛應用和快速發展。



序號	申請人	數量
1	AT&T CORP.	147
2	HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	140
3	ALCATEL LUCENT	108
4	LUCENT TECHNOLOGIES INC.	86
5	NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	76
6	IMEC VZW	73
7	INTEL CORPORATION	67
8	TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)	64
9	UNIVERSITEIT GENT	64
10	JUNIPER NETWORKS, INC.	61

圖 57、歐洲前十大申請人

二、Modulator 調變器技術

(一)全球前十大申請人

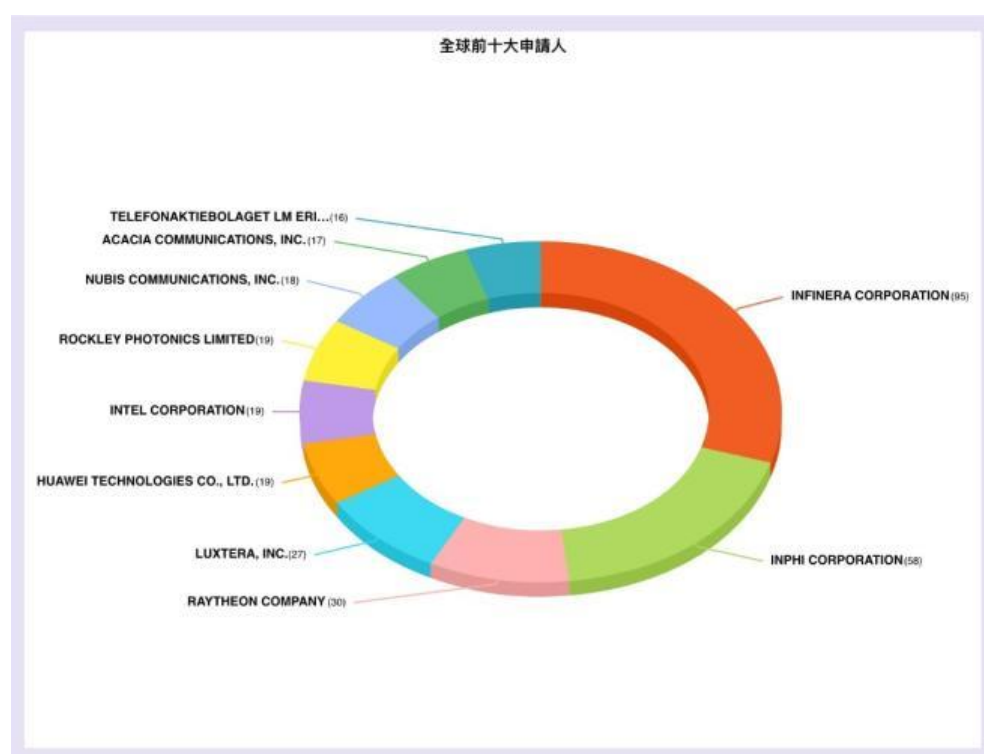


圖 58、調變器技術全球前十大申請人圓餅圖

在全球前十大專利申請人中，Infinera Corporation 以 95 件專利申請量遙遙領先，此外，美國其他公司如 Inphi Corporation、Raytheon Company 等也都位居前列，占據了相當比例，這反映出美國在矽光子技術方面的領先地位。不僅在專利申請量上領先，美國專利涵蓋技術鏈條的多個層次，從基礎元件到系統集成應用，顯示出美國企業的綜合技術實力。

在一眾美國公司中，中國公司的華為和瑞典的愛立信表現也相當亮眼。中國的企業正在快速崛起，並成功躋身全球前十大專利申請人行列，體現出他們對矽光子技術的高度重視，尤其是在通信和半導體製造領域的應用並通過專利保護加強其在全球市場的競爭力。前十大專利申請人的布局顯示出美國企業的技術領導地位，但亞洲企業的快速跟進正在改變這一競爭格局。這也意味著未來幾年內，全球矽光子技術領域的競爭將更加激烈，技術創新和專利保護將成為企業競爭的關鍵因素。

(二)臺灣、美國、日本及歐洲前十大申請人

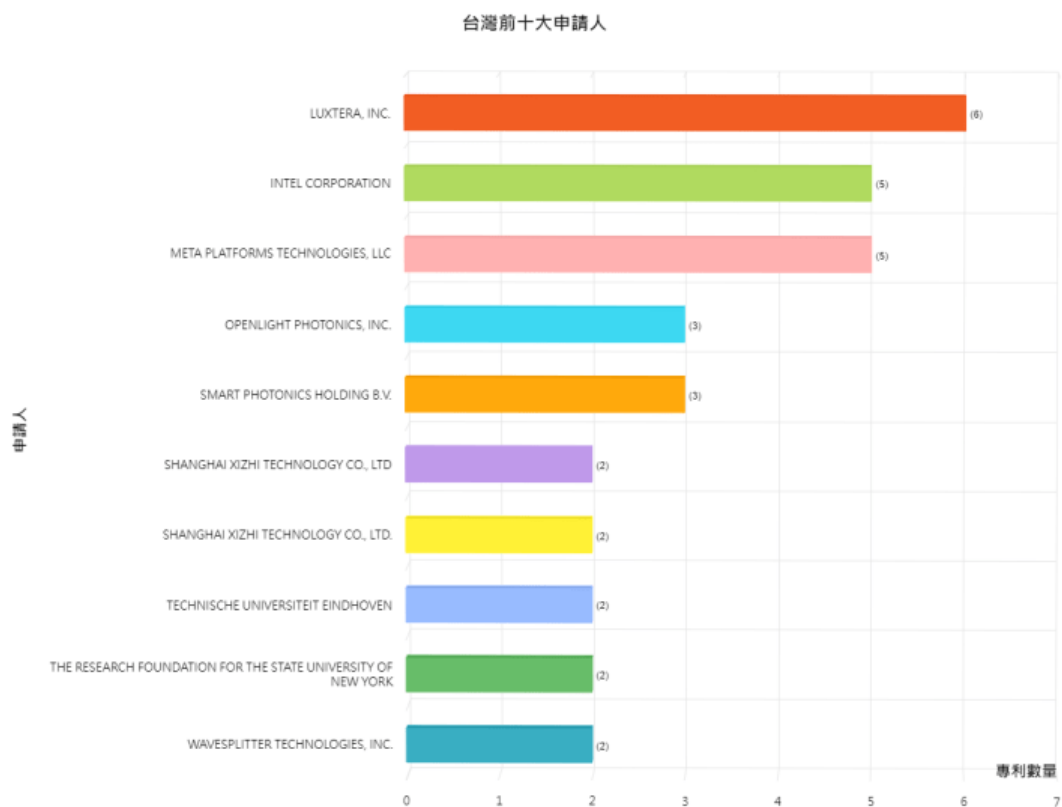


圖 59、調變器技術臺灣前十大申請人

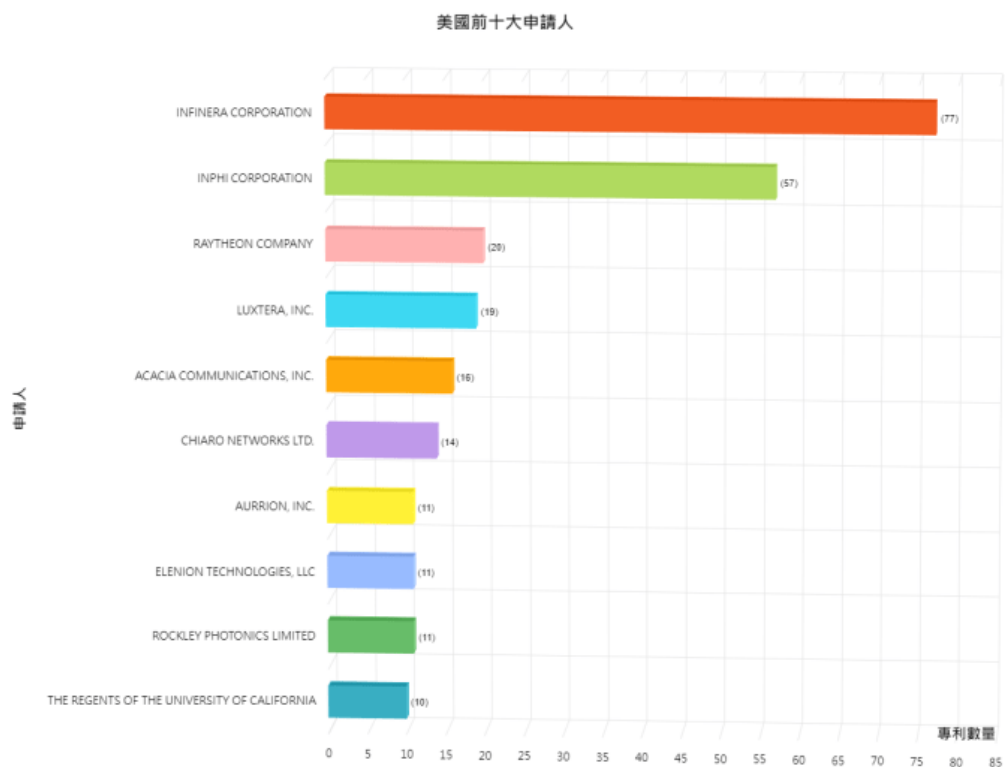


圖 60、調變器技術美國前十大申請人

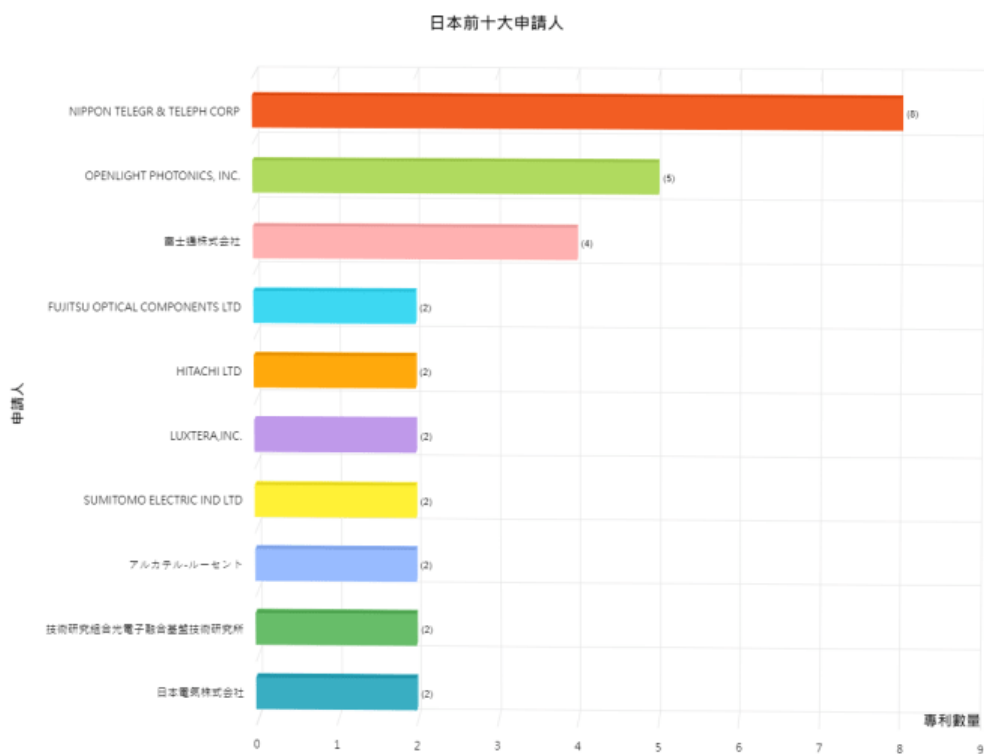


圖 61、調變器技術日本前十大申請人

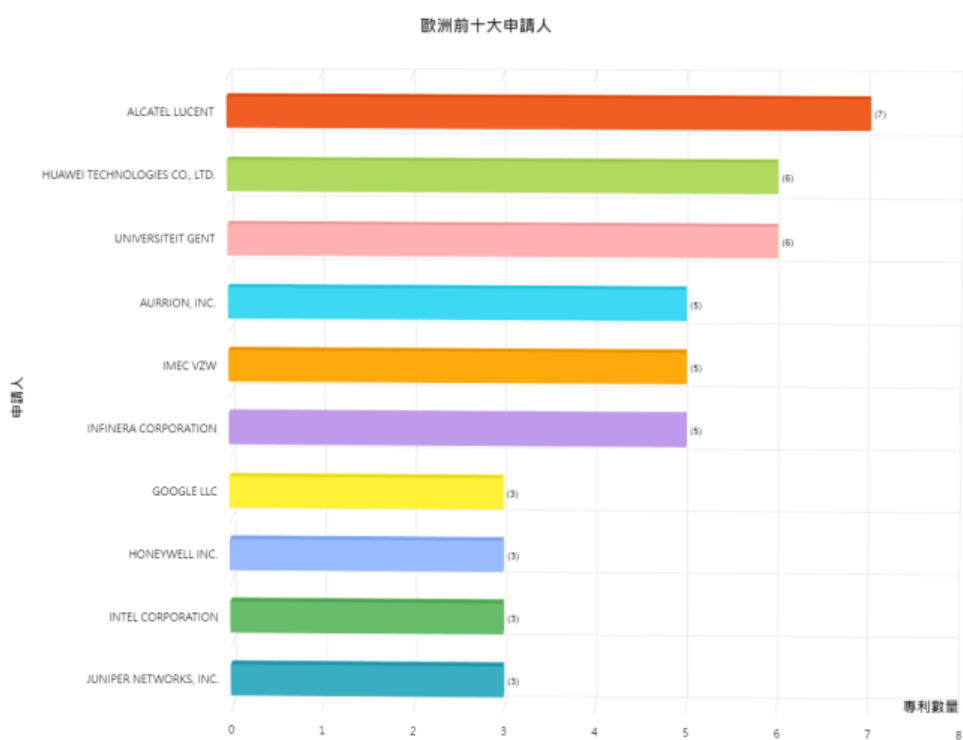


圖 62、調變器技術歐洲前十大申請人

台灣的專利申請人主要集中在半導體和光電技術領域的領先企業，其專利申請人大多都為國外企業和學術研發機構，前十名中僅有 WAVESPLITTER TECHNOLOGIES, INC. 這一家台灣企業。

美國的專利申請人以 Infinera Corporation 為領導企業，專注於矽光子技術的基礎研發和應用，特別是在光通信和數據中心等高技術領域佔據領先地位。美國企業的專利布局主要集中在技術的前沿創新與商業化推廣。

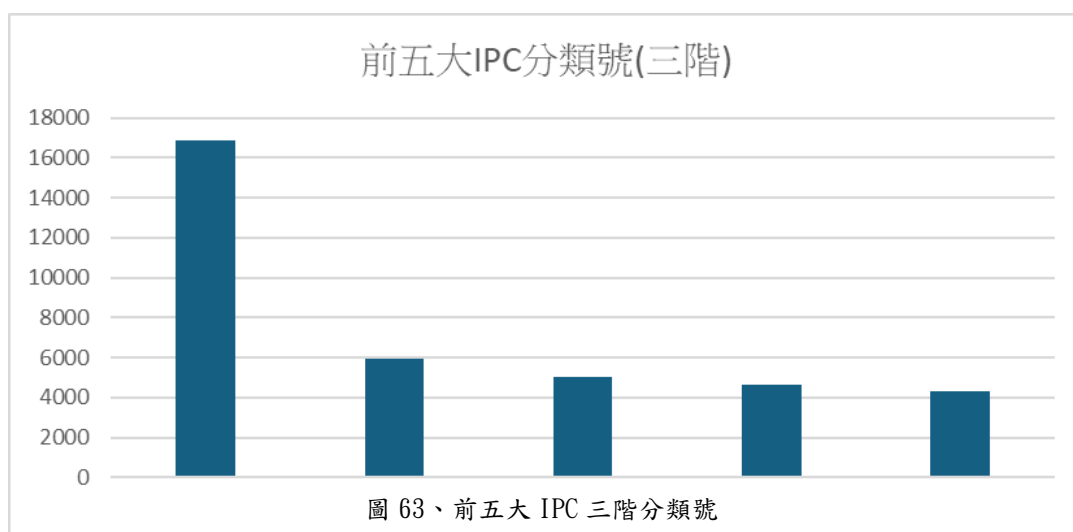
日本的專利申請人則多了不少本地知名企業，這些企業在光學元件和光通信技術上具有深厚的技術積累，專注於高精度、高性能的光電產品開發。日本企業的專利布局更具技術深度，專注於精密技術和元件的創新。

歐洲的專利申請人來自德國、法國和荷蘭等國的科技公司和研究機構，這些企業在光子集成電路和光學通信技術領域具備強大的技術創新能力。歐洲的專利布局更注重技術創新和應用的多樣性，尤其在新興技術和細分領域有不錯的表現。

台灣以生產和技術整合為主導，美國在技術創新和商業化應用方面領先，日本強調精密光學元件的創新，歐洲則注重技術多樣性和新興應用的探索。全球矽光子技術的專利布局顯示出技術創新正在加速，並且隨著各地區技術優勢的發揮，未來競爭將更加激烈。

第六節、IPC 分析

一、矽光子技術前五大 IPC 三階分類號分析



矽光子技術在國際專利分類（IPC）中的分佈反映了該技術在不同應用領域的創新和研究活躍度。根據圖表展示的數據，我們可以看到以下幾個主要的 IPC 分類號及其意涵：

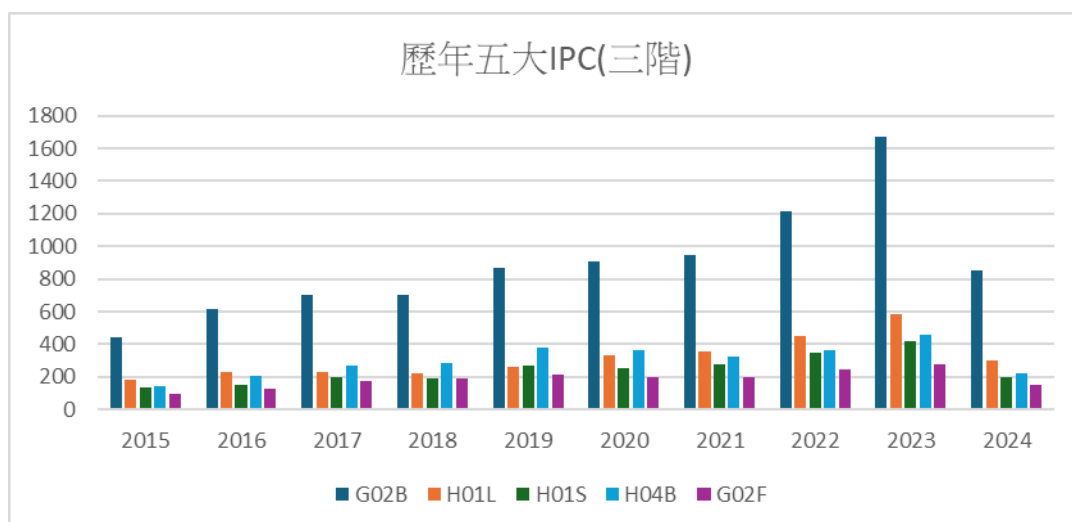


圖 64、歷年前五大 IPC 三階分類號

(一) G02B - 光學元件、系統或裝置

這一分類包括透鏡、光纖、稜鏡、反射鏡、光波導、光學系統及其相關組件。

矽光子技術在光學元件和系統的設計和製造方面具有重要應用。大量的專利數量顯示了在這一個領域的創新活躍度。矽光子技術能夠顯著提高光學通信系統的性能和效率，這解釋了為何這一分類號的專利數量最高。

(二) H01L - 半導體器件；固態電路

包括半導體器件的結構、製造方法和應用，如集成電路、光電子器件。

矽光子技術涉及將光電子器件集成到半導體晶片上。這一技術能夠利用現有的 CMOS 製程技術來大規模生產矽光子元件，降低成本並提高可靠性。因此，該分類號下有大量專利。

(三) H01S - 受激發射裝置（例如激光器）

包括激光器的設計、製造和應用。

矽光子技術在激光器的開發中也有重要應用，特別是在高性能數據通信和光學連接領域。大量的專利顯示出這一個領域的創新需求。

(四) H04B - 電通信技術

涵蓋無線電通信和其他電子通信技術。

矽光子技術的主要應用之一是在高速數據傳輸和通信系統中。因此，在這一分類號下有許多專利，表明了電通信技術中的廣泛應用。

(五) G02F - 光學控制裝置

包括光學信號的調製、解調及光學顯示設備。

矽光子技術在光學控制設備和技術中同樣具有重要應用，特別是在數據中心和通信系統中，矽光子技術可以顯著提升數據傳輸速度和品質，因此我們可以推斷矽光子技術的專利主要集中在以下幾個領域：

1. 光學元件和系統（G02B）：矽光子技術可以大幅提高光學通信系統性能和效率。
2. 半導體器件（H01L）：利用 CMOS 製程技術實現大規模生產，降低成本並提高可靠性。
3. 激光器（H01S）：矽光子技術在高性能數據通信和光學連接領域的應用。
4. 電通信技術（H04B）：高速數據傳輸和通信系統中的廣泛應用。
5. 光學控制裝置（G02F）：提升數據傳輸速度和質量。

而這些分類反映了矽光子技術在不同應用領域中的重要性和潛力，特別是在提高數據傳輸速度、降低能耗和成本方面。隨著技術的不斷進步，矽光子技術有望在更多領域取得突破，進一步推動數據通信和光電子技術的發展。

二、矽光子技術前五大 IPC 五階分類號分析

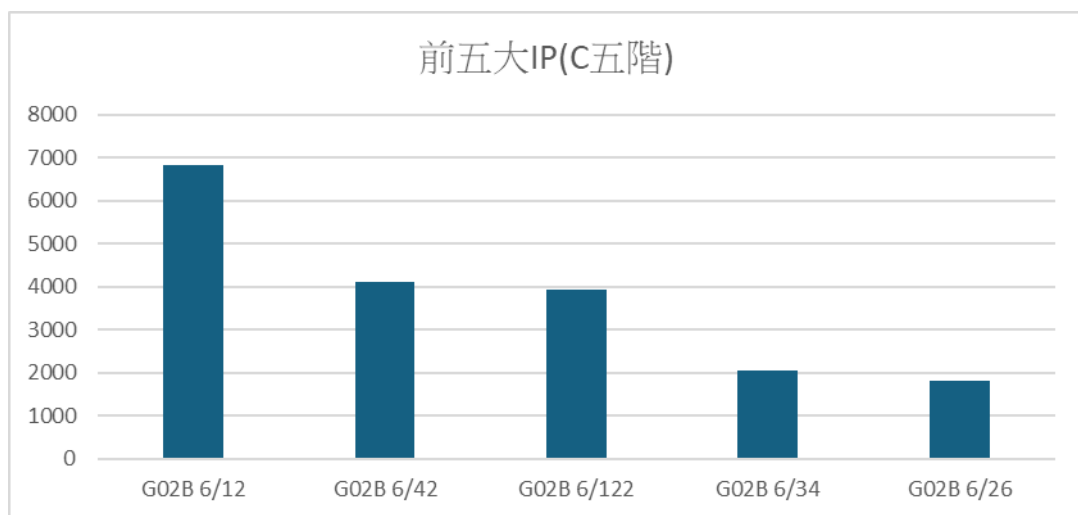


圖 65、前五大 IPC 五階分類號

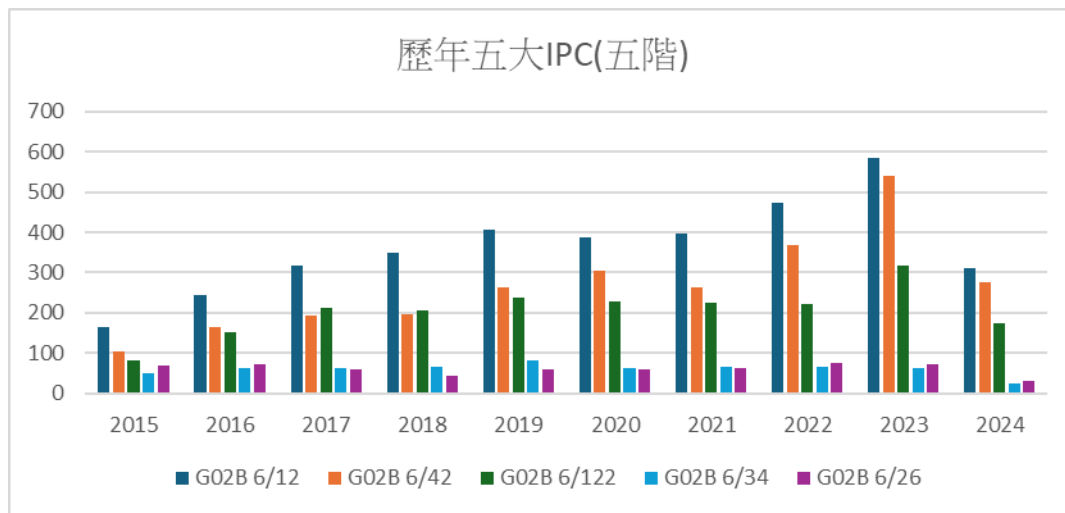


圖 66、歷年前五大 IPC 五階分類號

在國際專利分類(IPC)的五階分類中，矽光子技術專利主要集中在以下五個具體分類號。這些分類號進一步揭示了技術在特定領域中的應用和創新活躍度。

(一) G02B 6/12 - 光波導元件

光波導元件，特別是光纖的結構、製造方法和應用。

矽光子技術在光波導元件方面的應用非常廣泛。這一分類號的專利數量最多，表明在這一領域有大量的創新和研究，特別是在提高光信號傳輸效率和質量方面。光波導元件是光通信系統的核心部件，矽光子技術能夠顯著提升其性能。

(二) G02B 6/42 - 光纖連接器或光纖終端

涉及光纖連接器或終端的結構和製造方法。

光纖連接器和終端是光通信網絡中的關鍵部件，確保光信號在不同光纖之間的高效傳輸。矽光子技術可以提高這些元件的性能和可靠性，這解釋了為何在這一分類號下有大量專利。

(三) G02B 6/122 - 光纖中的光信號處理

包括在光纖中進行的光信號處理技術，如分光、合光、光信號放大等。

光信號處理是光通信系統的核心技術之一。矽光子技術在這一領域的應用可以大幅提升光信號處理的效率和質量，特別是在高速數據傳輸和長距離通信方面。

(四) G02B 6/34 - 光纖的特定用途

光纖在特定應用中的使用，如感測、醫療等。

矽光子技術不僅在通信領域有重要應用，在感測和醫療等其他領域也展現了巨大的潛力。這一分類號的專利數量顯示出技術的多樣化應用和廣泛的研究興趣。

(五) G02B 6/26 - 光纖的安裝、維護

光纖的安裝方法和維護技術。

高效的光纖安裝和維護技術對於光通信系統的穩定運行至關重要。矽光子技術在這方面的創新可以降低安裝和維護成本，提高系統的可靠性和可用性。

根據圖表中的數據，矽光子技術專利在以下幾個五階分類號中集中，反映出其在不同應用領域的研究和創新熱度：

1. 光波導元件（G02B 6/12）：大量的專利數量表明這一領域的創新活躍度極高。
2. 光纖連接器或終端（G02B 6/42）：確保高效光信號傳輸的關鍵部件。
3. 光信號處理（G02B 6/122）：提升光信號處理效率和質量的核心技術。
4. 特定用途光纖（G02B 6/34）：展示了矽光子技術在多樣化應用中的潛力。
5. 光纖安裝和維護（G02B 6/26）：確保光通信系統穩定運行的重要技術。

這些分類展示了矽光子技術在提高光通信系統性能、降低成本、增加可靠性等方面的廣泛應用和重要性。隨著技術的不斷發展，矽光子技術有望在更多領域取得突破，推動相關產業的進步。

三、 矽光子技術前五大申請人 IPC 五階分類號分析

以下五間公司（Intel、IBM、華為、Infinera 和日本電信電話公司）在矽光子技術領域的專利布局顯示出整體上對該技術的重視和投資不斷增長。不同公司在不同的 IPC 分類號上投入有所不同，反映出其技術發展方向和市場戰略的差異。

(一) Intel 公司

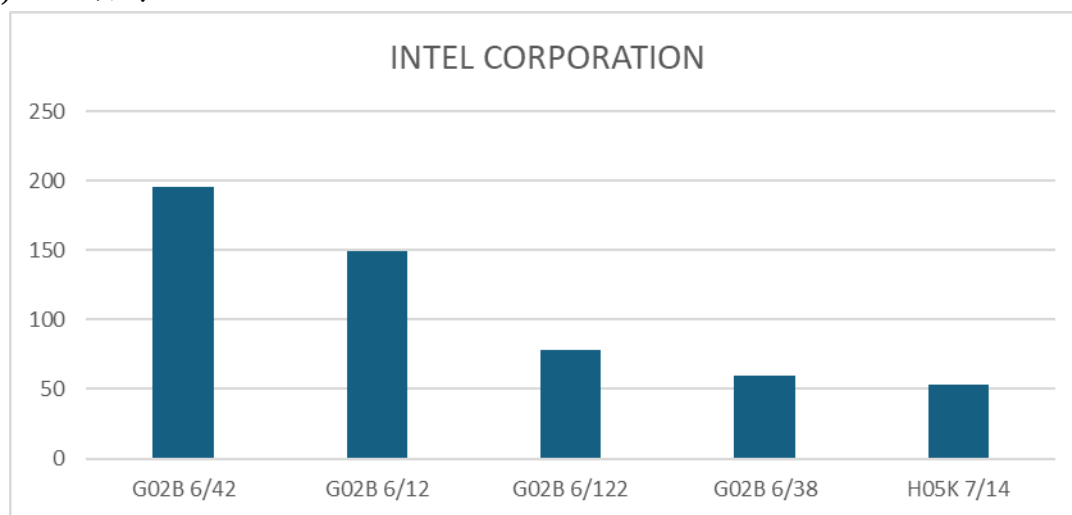


圖 67、Intel 公司前五大 IPC 五階分類號

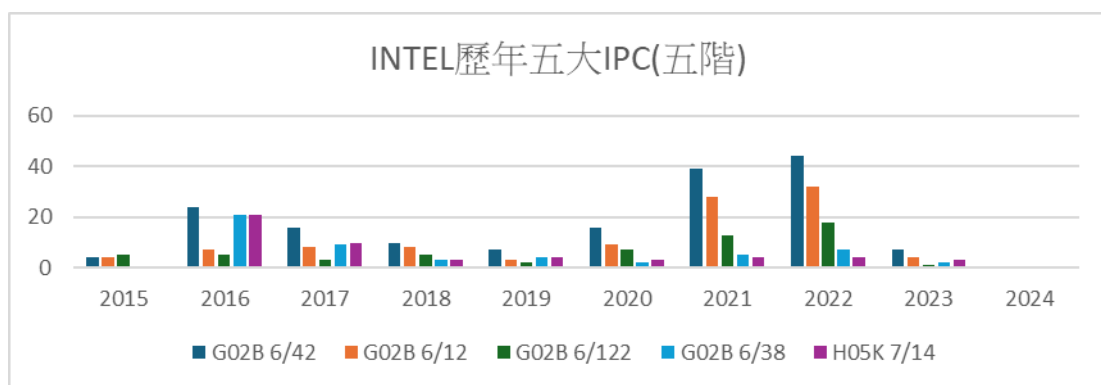


圖 68、Intel 公司歷年前五大 IPC 五階分類號

Intel 公司在 G02B 6/42 和 G02B 6/12 這兩個分類號上的專利數量逐年增長，尤其是在 2021 年達到高峰，之後仍保持一定數量。此外，G02B 6/122 和 G02B 6/38 的專利數量也在近年來逐漸增加。這表明 INTEL 在光導波路和光纖連接器方面的技術發展迅速，並在光纖放大器和光纖光柵方面也有顯著的突破。

(二) IBM 公司

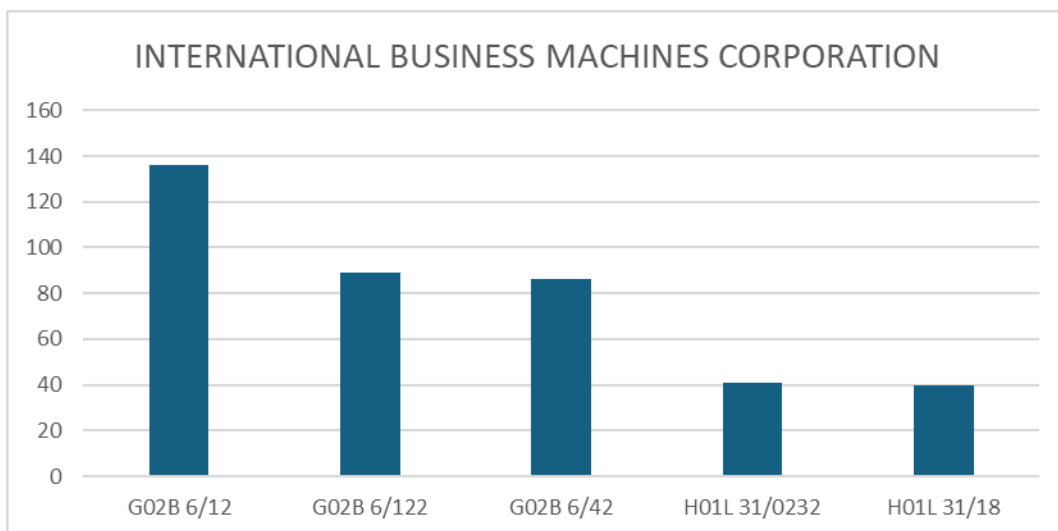


圖 69、IBM 公司前五大 IPC 五階分類號

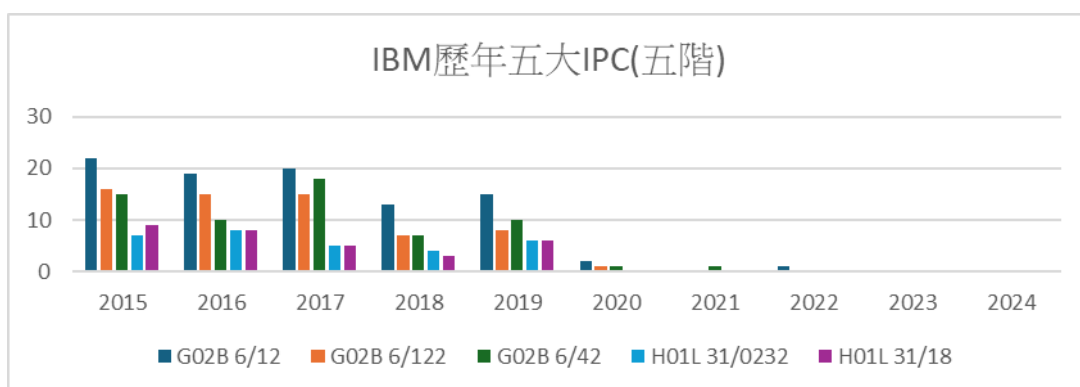


圖 70、IBM 公司歷年前五大 IPC 五階分類號

IBM 的矽光子專利數量在 2015 年到 2020 年間逐漸減少，特別是在 G02B 6/12 和 G02B 6/122 分類號上，這可能反映出其在這一領域的技術布局有所調整或重點轉移。然而，該公司在 H01L 31/0232 和 H01L 31/18 分類號上的專利數量相對穩定，顯示出其在光電元件和光電材料方面持續的技術投入。

(三) 華為公司

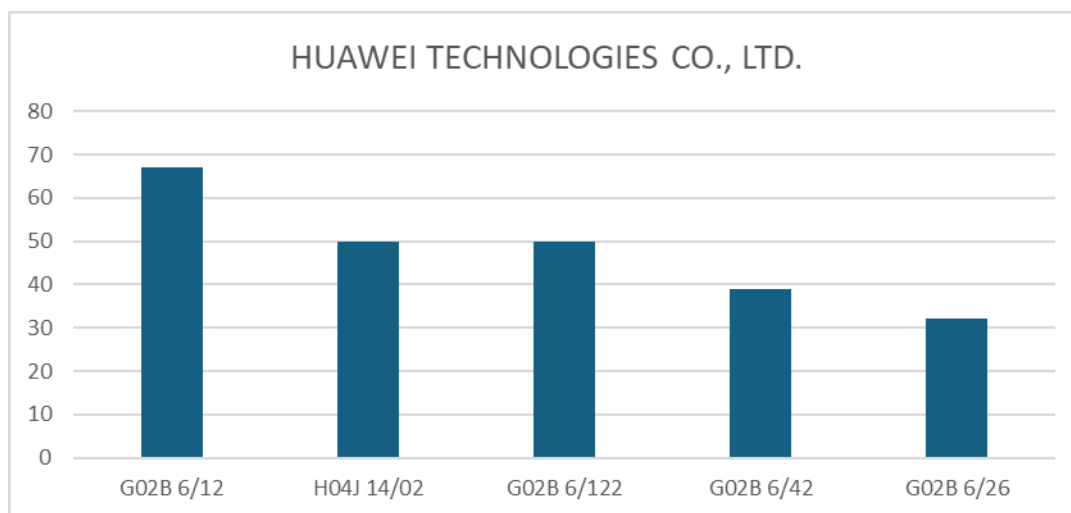


圖 72、華為公司前五大 IPC 五階分類號

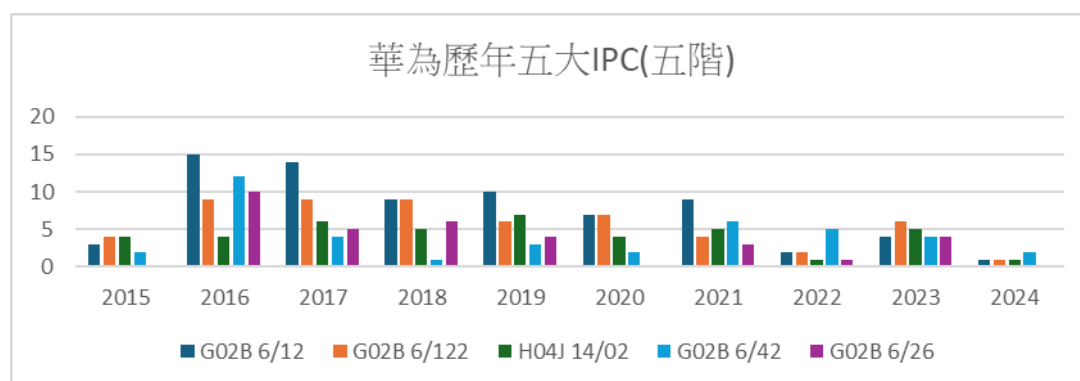


圖 71、華為公司歷年前五大 IPC 五階分類號

華為在矽光子領域的專利數量整體上保持穩定增長，特別是在 G02B 6/12 和 G02B 6/122 分類號上。該公司在 H04J 14/02 分類號上也有一定數量的專利，顯示出其在多工通信系統中的技術布局。此外，華為在 G02B 6/42 和 G02B 6/26 分類號上的專利數量也有一定的增長，反映出其技術多元化發展的策略。

(四) Infinera 公司

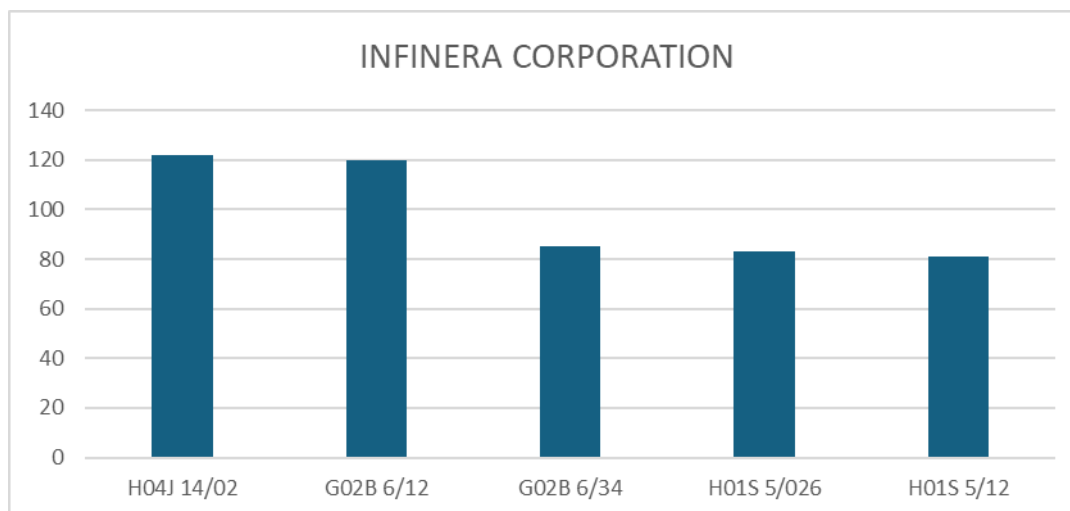


圖 73、Infinera 公司前五大 IPC 五階分類號

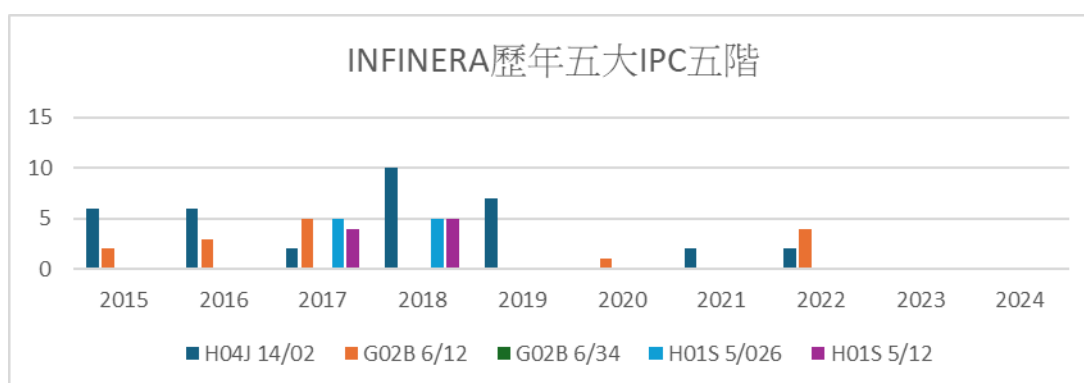


圖 74、Infinera 公司歷年前五大 IPC 五階分類號

INFINERA 的專利數量在 H04J 14/02 分類號上最為集中，但近年來有所減少。該公司在 G02B 6/12 和 G02B 6/34 分類號上的專利數量較少，顯示出其在矽光子技術的應用主要集中在多工通信系統方面。H01S 5/026 和 H01S 5/12 分類號的專利數量顯示出該公司在激光器技術上的一些投入。

(五) 日本電信電話公司

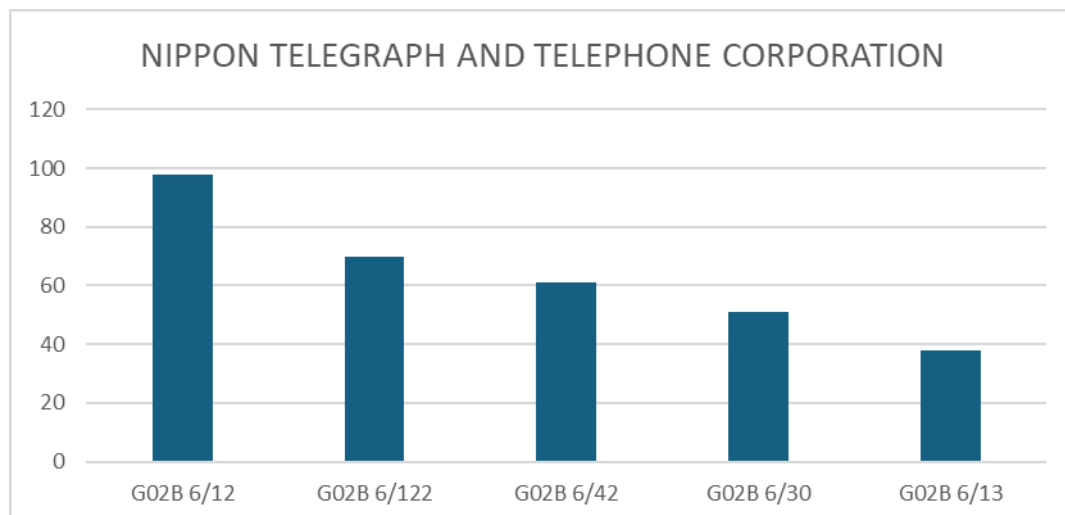


圖 76、日本電信電話公司前五大 IPC 五階分類號

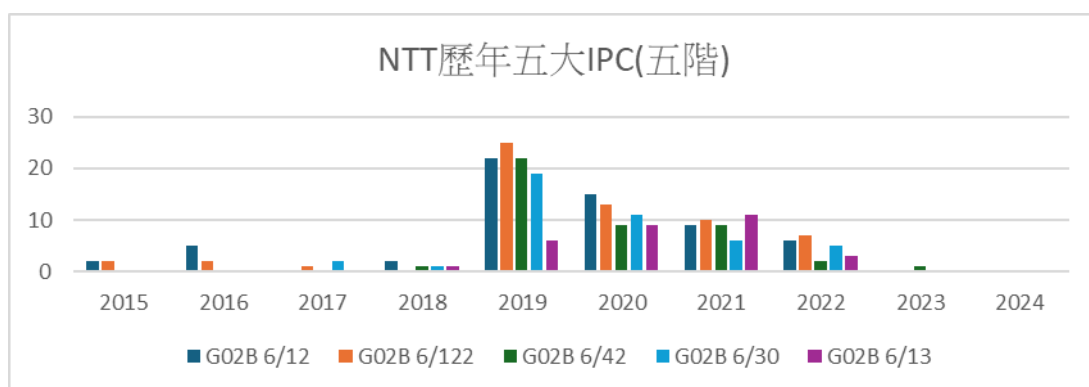


圖 75、日本電信電話公司前五大 IPC 五階分類號

NTT 在 G02B 6/12 和 G02B 6/122 分類號上的專利數量在 2019 年達到高峰，之後逐漸減少，但仍保持一定數量。該公司在 G02B 6/42 和 G02B 6/30 分類號上的專利數量也顯示出其在光導波路和光纖光柵方面的技術發展。NTT 在 G02B 6/13 分類號上的專利數量增加，顯示出其在光學元件方面的技術突破。

(六) 小結

矽光子技術在各大公司的專利布局中顯示出多元化發展的趨勢。隨著技術的不斷進步和市場需求的增加，預計未來矽光子技術在這些 IPC 分類中的專利數量將繼續增長，並且應用範圍會更加廣泛。每間公司根據其技術優勢和市場策略，在不同的技術方向上投入資源，推動了矽光子技術的多元化應用和發展。

四、矽光子技術各專利局前五大 IPC 三階分類號分析

(一) 臺灣智慧財產局 (TIPO)

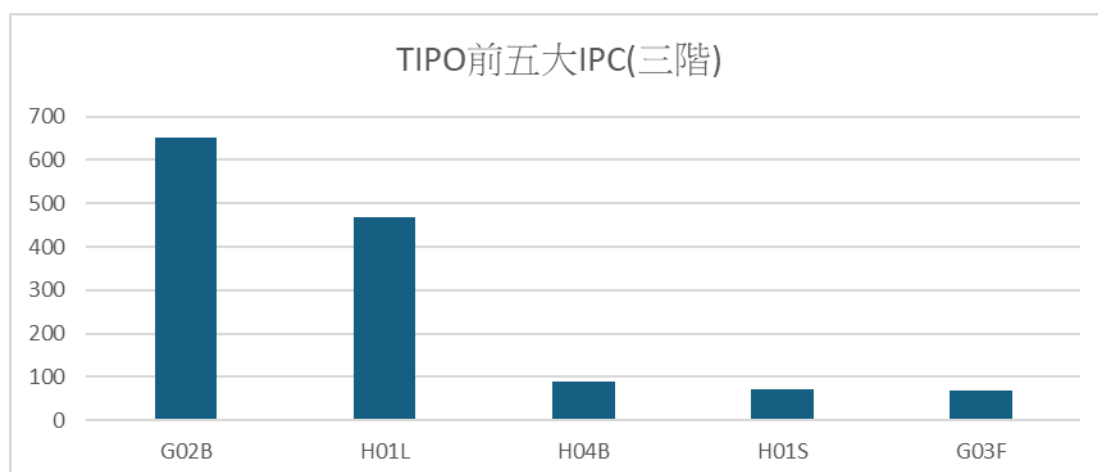


圖 77、TIPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號

主要 IPC 分類：

1. G02B (光學元件、系統或裝置)：在所有年度中一直保持在前三名，顯示出光學技術在台灣的專利申請中佔有重要地位。
2. H01L (半導體裝置)
3. H01S (激光裝置)：H01L 和 H01S 也穩定出現在榜單中，表明半導體和激光技術的持續研發和專利申請活動。

(二) 美國專利商標局 (USPTO)

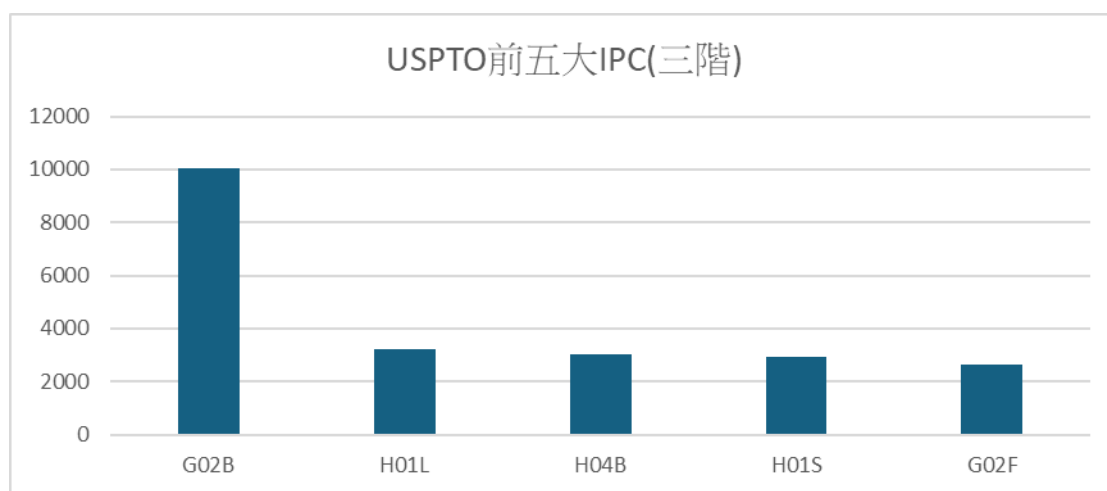


圖 78、USPTO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號

主要 IPC 分類：

1. G02B (光學元件、系統或裝置)：顯示出美國在光學技術領域的強大專利活動。
2. H01L (半導體裝置)

3. H04B（無線電通信）：H01L 和 H04B 的排名表明半導體和無線電通信技術在美國的重要性。

(三) 日本特許廳（JPO）

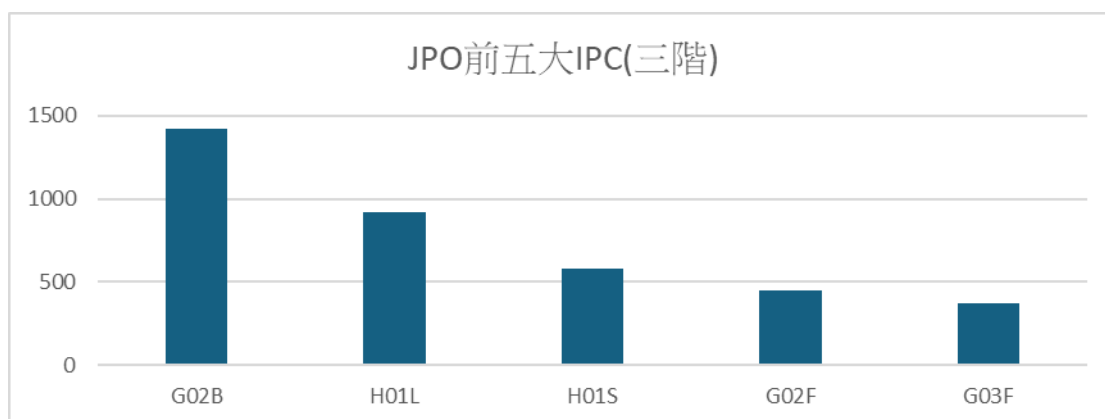


圖 79、JPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號

主要 IPC 分類：

1. G02B（光學元件、系統或裝置）：與台灣相似，日本的光學技術也佔據主要地位，顯示出兩地在這些技術領域的競爭和合作潛力。
2. H01L（半導體裝置）
3. H01S（激光裝置）：H01L 和 H01S 的穩定出現表明日本在半導體和激光技術上的持續投資和專利活動。

(四) 歐洲專利局（EPO）

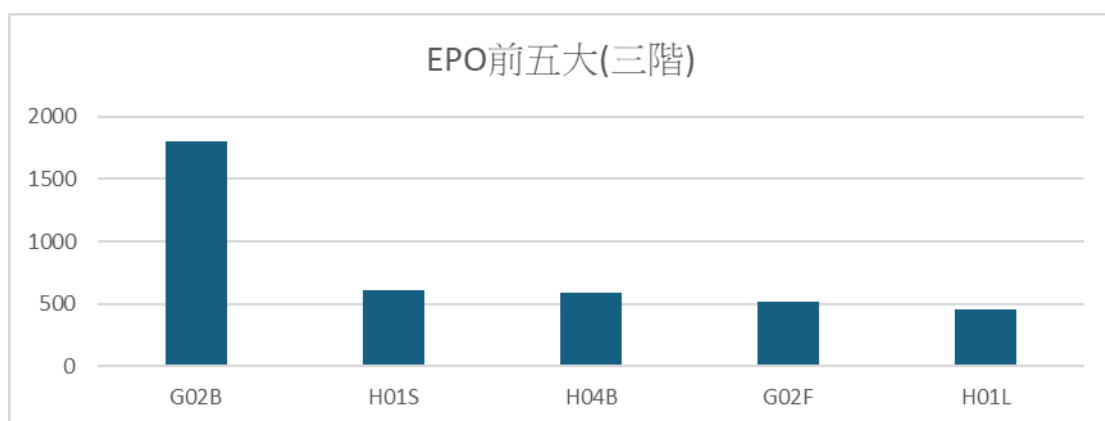


圖 80、EPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號

主要 IPC 分類：

1. G02B（光學元件、系統或裝置）：歐洲在光學技術和激光裝置的專利活動也非常活躍。
2. H01S（激光裝置）
3. H04B（無線電通信）：H04B 的出現表明歐洲對無線電通信技術的重視。

(五) 世界智慧財產權組織 (WIPO)

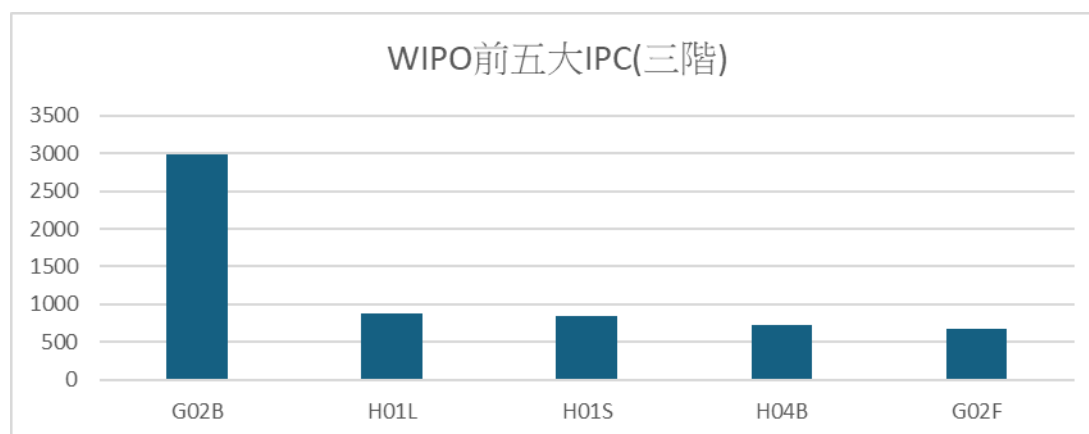


圖 81、WIPO 矽光子技術前五大 IPC 三階分類號

主要 IPC 分類：

1. G02B（光學元件、系統或裝置）：此為各機構中最常見的分類，顯示出全球對光學技術的強烈興趣。
2. H01L（半導體裝置）
3. H01S（激光裝置）：H01L 和 H01S 的高排名進一步證實了半導體和激光技術在全球專利申請中的重要地位。

(六) 小結

光學技術 (G02B)：無論是臺灣、美國、日本、歐洲或是世界智慧財產權組織，光學技術在專利申請中都佔有舉足輕重的地位，顯示出該領域的全球性發展趨勢。

半導體技術 (H01L)：半導體裝置的專利申請在各大專利機構中也占據重要地位，特別是在台灣、美國和世界範圍內，表明這是一個持續高需求和高創新活躍的領域。

激光技術 (H01S)：激光裝置技術在全球的專利活動中也顯示出其重要性，尤其是在日本和歐洲，這可能與這些地區在精密製造和先進技術應用上的優勢有關。

這些趨勢表明，光學、半導體和激光技術是當前全球專利活動中的主要領域，各國和地區在這些領域中都有廣泛的專利申請和研發活動。這些技術領域的持續發展對於未來的科技創新和產業競爭具有重要意義。

五、Modulator 調變器技術重點公司 IPC 分析

(一) INFINERA CORPORATION 前五大 IPC

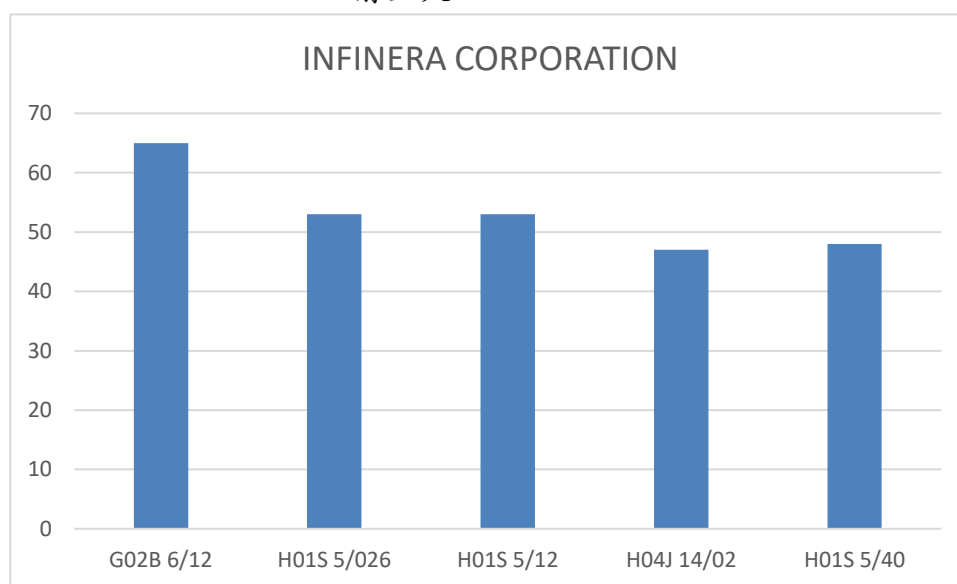


圖 82、INFINERA CORPORATION 前五大 IPC 統計圖

1. 主要技術分類號

- ◆ G02B 6/12：光纖通信（65 項）
- ◆ H01S 5/026、H01S 5/12：激光技術（共 106 項）
- ◆ H04J 14/02：多工系統（47 項）

2. 技術布局特點

INFINERA 在光纖通信和激光技術上有相當深的布局，尤其是在 G02B 6/12（光纖技術）方面有 65 項專利，這顯示其技術的核心集中於光導波技術。其激光技術的專利數也相當多，這表明該公司在提高光傳輸性能和速度方面進行了大量研發工作。

3. 競爭優勢

INFINERA 的專利布局顯示其強大的光纖通信技術基礎，尤其是光導波技術和激光技術，這些技術對於高效能數據中心和高速網絡中的光通信需求至關重要。INFINERA 專注於高速光纖傳輸技術，這些專利為其在全球數據傳輸和 5G 市場中的競爭力奠定了基礎。未來，隨著矽光子技術的發展，INFINERA 可以進一步擴大其技術應用，尤其是在共同封裝光學（CPO）和數據中心中的應用。

(二) INPHI CORPORATION (現為 Marvell 的一部分) 前五大 IPC

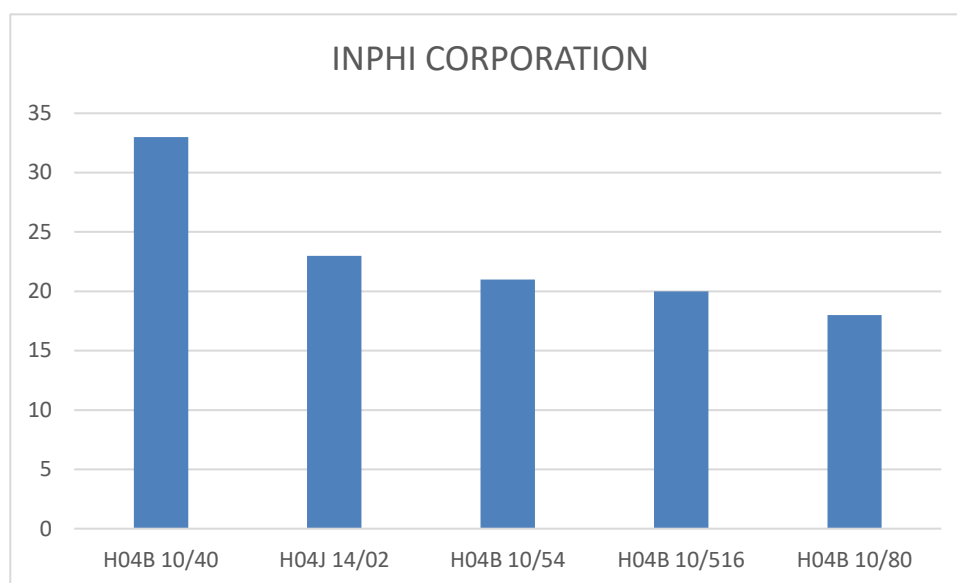


圖 83、INPHI CORPORATION 前五大 IPC 統計圖

1. 主要技術分類號

- ◆ H04B 10/40：光纖通信技術（33 項）
- ◆ H04J 14/02：多工技術（23 項）
- ◆ H04B 10/54、H04B 10/516：光纖傳輸（共 41 項）

2. 技術布局特點

INPHI 的專利集中在光纖通信的技術上，特別是在 H04B 10/40（光通信設備）和 H04J 14/02（多工通信）的技術上布局顯著，這些技術專利的數量體現了該公司對高速數據通信的技術重視。

3. 競爭優勢

INPHI 的專利布局顯示其專注於**高速光纖傳輸**和**多工技術**，這些技術對於 AI 數據中心和 5G 網絡來說非常重要。隨著矽光子技術在高速傳輸和低能耗數據通信中的應用不斷擴展，INPHI 的技術優勢將幫助 Marvell 在未來 AI 應用和數據中心領域中取得領先地位。INPHI 與矽光子技術的結合，將提升數據傳輸的速度和效能，並有助於解決能耗和傳輸延遲等關鍵問題。

(三) RAYTHEON COMPANY 前五大 IPC

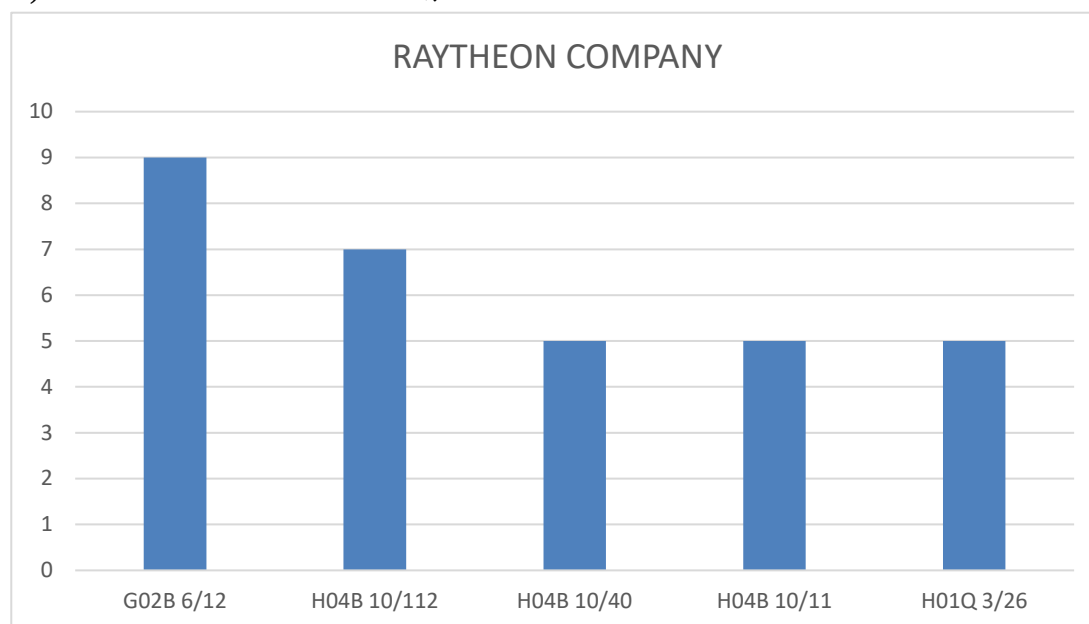


圖 84、RAYTHEON COMPANY 前五大 IPC 統計圖

1. 主要技術分類號

- ◆ G02B 6/12：光纖技術（9 項）
- ◆ H01Q 3/26：天線技術（5 項）
- ◆ H04B 10/112：光通信技術（7 項）

2. 技術布局特點

Raytheon 主要專注於光纖技術和天線技術。儘管專利數量相比其他公司略少，但其布局集中於軍事、國防相關的技術領域。G02B 6/12（光纖技術）和 H01Q 3/26（天線技術）顯示其關注通訊技術在軍事系統中的應用。

3. 競爭優勢

Raytheon 的專利布局表明其核心技術集中於軍事和航空應用中的光通信和光探測技術，這些技術對於提升雷達和光學探測的精度和性能至關重要。Raytheon 與其他專注於商業數據通信領域的公司相比，其專利技術更多應用於國防和安全領域。然而，隨著光通信技術在多個領域的需求增加，Raytheon 可能會將其技術應用擴展至商業和民用市場。

(四) LUXTERA, INC. (思科旗下公司) 前五大 IPC

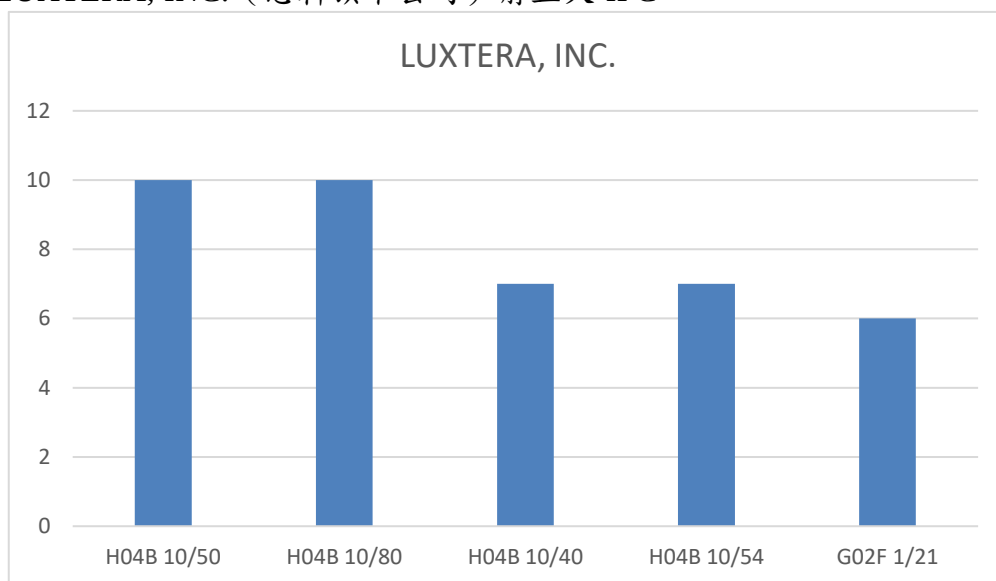


圖 85、LUXTERA, INC.前五大 IPC 統計圖

1. 主要技術分類號

- ◆ H04B 10/50：光通信技術（10 項）
- ◆ H04B 10/80：無線通信技術（10 項）
- ◆ G02F 1/21：光學控制裝置（6 項）

2. 技術布局特點

Luxtera 的技術集中在光通信領域，特別是在 H04B 10/50（光纖通信技術）和 H04B 10/80（無線通信技術）領域，這顯示其核心技術集中於提升光子技術的應用。同時，在 G02F 1/21（光學控制裝置）上也有技術布局，表明該公司可能致力於光電轉換和光子學相關技術的應用。

3. 競爭優勢

LUXTERA 是早期在矽光子技術領域具有領先地位的公司，特別是在數據中心和高速通信應用中發揮了重要作用。該公司在矽光子技術方面的布局，使其在光通信領域具備優勢，尤其是在小型化和高效能光通信模組方面。隨著思科對其的收購，LUXTERA 將其矽光子技術整合進了思科的數據中心和光通信技術組合中，進一步鞏固了其在全球市場中的競爭力。

(五) ROCKLEY PHOTONICS LIMITED 前五大 IPC

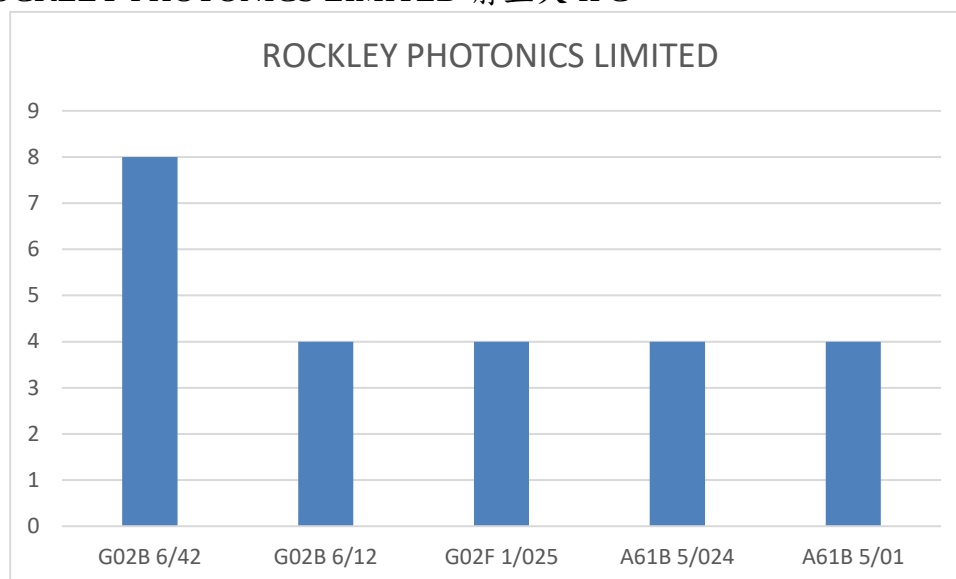


圖 86、ROCKLEY PHOTONICS LIMITED 前五大 IPC 統計圖

1. 主要技術分類號

- ◆ G02B 6/42：光導波裝置（8 項）
- ◆ G02F 1/025：光學控制技術（4 項）
- ◆ A61B 5/024、A61B 5/01：醫療診斷設備（共 8 項）

2. 技術布局特點

Rockley Photonics 的專利布局集中於光學技術和醫療診斷設備。特別是在 G02B 6/42（光導波裝置）和 A61B（醫療診斷設備）技術上，其技術布局顯示該公司可能專注於將光子技術應用於醫療健康監控和診斷領域。

3. 競爭優勢

Rockley 專注於矽光子技術在生物醫學和健康監測領域的應用，並以「腕上診所」等應用為代表。其技術重點在於將光子技術應用於穿戴式設備中，以實現血糖、血壓等無侵入式監測。這與其他專注於數據通信的公司形成對比，Rockley 的技術應用拓展了矽光子技術的潛力，並且未來將在健康監測和醫療設備領域獲得更大的市場份額。

(六) 小結

1. 技術深度與布局策略

這些公司在各自的領域有不同的技術重點。INFINERA 和 LUXTERA 在光通信技術上投入較大，Raytheon 則專注於國防通信技術，而 Rockley 和 INPHI 更加關注光子技術的應用，例如醫療和數據傳輸。

2. 市場與應用趨勢

從專利布局可以看出，隨著 5G、數據中心和健康監控的發展，這些公司在對應技術領域的專利保護和技術研發上，具備重要的市場競爭力。特別是光通信和光子學技術，顯示出未來的應用潛力。

3. 競爭格局

各公司之間在某些技術分類號上存在重疊，特別是在光通信技術上，這顯示了該領域的競爭激烈。此外，Rockley 將光子技術應用於醫療領域，這可能是一個新的增長點。

第七節、技術功效分析

本節將進行技術功效矩陣分析，用於觀察專利在不同技術領域和功效的分布情況。透過技術功效矩陣我們可以識別技術熱區和冷區，顯示出某一特定技術領域中哪些功效區域已經有大量專利申請（熱區）以及哪些區域尚未有大量專利申請（冷區）；同時也可以協助技術研發決策，通過了解技術和功效的分布，可以幫助企業識別哪些技術領域是競爭激烈的，以及哪些領域可能存在技術空白，從而最佳化研發資源配置。

一、矽光子技術

（一）關於技術分類：我們將矽光子技術劃分為六大類

1. 波導與傳輸技術：矽光子技術的基礎，負責光信號在芯片上的傳輸，波導的設計和材料選擇直接影響傳輸效率和性能。
2. 調制與檢測技術：調制與檢測是實現光信號處理的核心技術，這些技術決定了系統的速度和帶寬，是矽光子通信系統的關鍵組成部分。
3. 光源技術：光源技術則是矽光子技術的核心組件之一，高效、穩定的光源是確保系統性能和可靠性的基礎。
4. 光開關與光耦合技術：光開關與光耦合是實現光信號路由和分配的關鍵，這些技術對於建立靈活的光通信網絡至關重要。
5. 封裝與散熱技術：影響器件的可靠性和性能，良好的封裝和散熱設計可以提高器件的壽命和穩定性。
6. 測試與檢測技術：測試與檢測是保證矽光子器件和系統質量的必要手段，有效的測試方法可以確保產品符合設計規範和性能要求。

（二）關於功效分類：根據技術分類，我們從六個方面進行功效分析

1. 傳輸效率：傳輸效率直接影響系統的性能和能效，低損耗的傳輸技術能提高信號質量和系統效能。
2. 調製速度與頻寬：調制速度和頻寬決定了系統的數據傳輸速率，高速度和大頻寬的調制技術是實現高效數據通信的關鍵。
3. 光源穩定性：穩定的光源能保證系統的可靠性和連續工作能力，光源的穩定性對於長期運行的系統尤為重要。
4. 功率消耗：功率消耗影響系統的運行成本和環境影響，低功耗設計能提高系統的能效和經濟效益。
5. 集成度方面：高集成度可以減小器件的體積和成本，並提高系統的性能和功能密度，這對於大規模應用和商業化至關重要。
6. 成本效益：成本效益分析能確保技術的經濟可行性，技術成本與效益的平衡是推動技術廣泛應用和市場化的重要因素。

(三) 技術功效分析

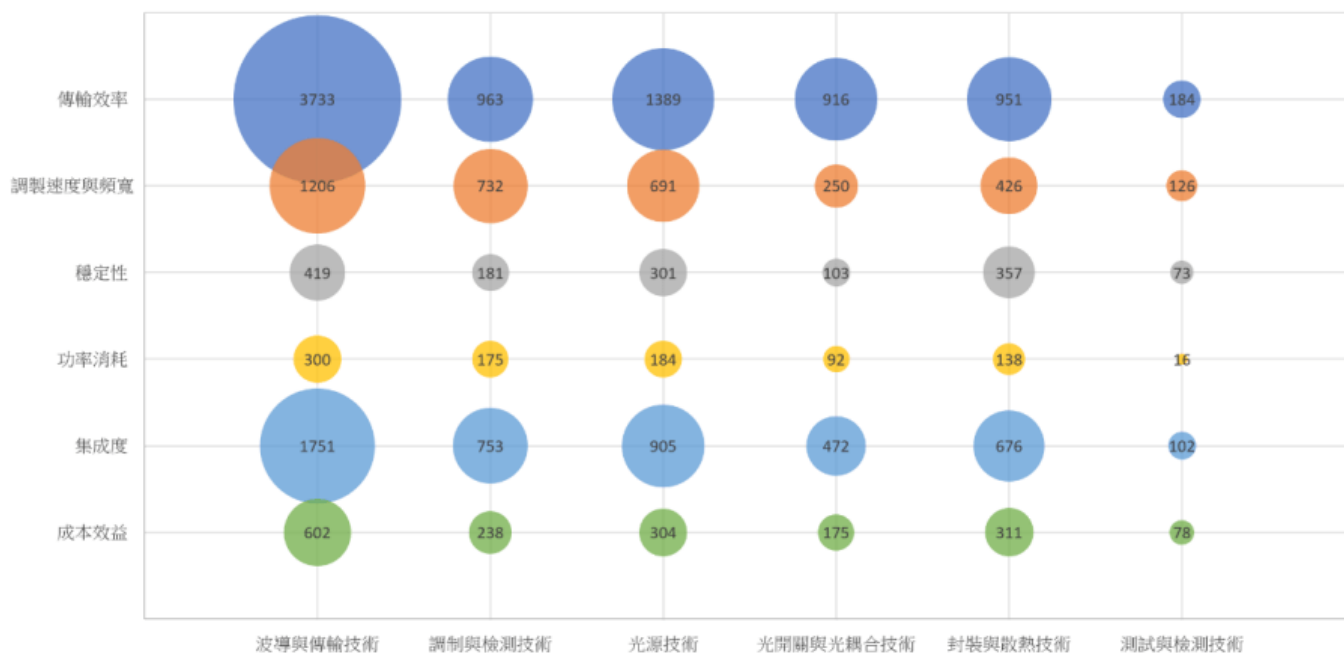


圖 87、矽光子技術功效矩陣圖

根據圖 64 技術功效矩陣圖的數據，我們可以推論不同技術領域和功效的專利數量分布背後的一些原因。波導與傳輸技術在傳輸效率和集成度方面擁有大量專利，表明這些領域是提升光傳輸和信號集成的核心技術，因為它們能夠應對不斷增長的數據傳輸需求，並且該技術相對成熟，具備較多實際應用場景，吸引了大量研發投入。然而，功率消耗方面的專利數量較少，可能是因為矽光子技術本身已經在降低功耗方面有顯著優勢，研究需求相對較低。

調制與檢測技術在傳輸效率方面的專利數量較多，這是因為其直接關係到實現高速數據傳輸的能力。然而，在穩定性和功率消耗方面的專利數量較少，這可能是因為這些技術尚未成熟，面臨較多挑戰。光源技術在傳輸效率和集成度方面也有大量專利，顯示出這些技術是矽光子技術的基礎。然而，功率消耗和穩定性方面的研究可能還在初期階段，技術挑戰較多，導致專利數量較少。

光開關與光耦合技術在傳輸效率方面的研究較多，因為這些技術直接影響光信號的傳輸。但在功率消耗和穩定性方面，技術成熟度較低，專利數量相對較少。封裝與散熱技術則在傳輸效率和集成度方面有較多研究，因為隨著矽光子技術的發展，這些技術成為瓶頸。然而，在功率消耗和調製速度方面的研究需求相對較低。

最後，測試與檢測技術在所有功效方面的專利數量均較少，這可能是因為這些技術相對較新，研究和技術積累相對較少，需要更多的時間和資源來發展和成熟。

二、Modulator 調變器技術

(一) Modulator 調變器目前主要的技術種類可分為五種，分別是：

1. 電光調制技術 (Electro-Optic Modulation)

利用電場改變光學材料的折射率，以實現光信號的調制。常用的電光材料包括鋯酸鋰（LiNbO₃）、砷化鎵（GaAs）和矽基材料。該技術能夠實現高速光信號的調制，特別適用於高速數據通信應用，具有響應速度快、調制效率高的特點。

2. 熱光調制技術（Thermo-Optic Modulation）

通過改變材料的溫度來調節其折射率，進而實現光信號的調制。矽材料在熱光調制方面有獨特優勢，因為其折射率對溫度變化十分敏感。該技術具有結構簡單、易於集成的特點，適合用於矽光子集成電路中。

3. 聲光調制技術（Acousto-Optic Modulation）

利用聲波對光波傳播的介質產生折射率變化，實現對光信號的調制。通常使用石英晶體或玻璃作為聲光介質。該技術適用於高頻調制，可用於激光掃描、光通信和光譜分析等領域。

4. 相位調制技術（Phase Modulation）

通過改變光波的相位而不改變其振幅，實現對光信號的調制。通常應用於干涉儀型調制器，如馬赫-曾德爾干涉儀（MZI）調制器。相位調制能夠實現高速傳輸，具有良好的抗干擾性能，在高速光通信中尤為重要。

5. 強度調制技術（Intensity Modulation）

通過直接改變光信號的強度實現調制，常見的實現方式包括使用光開關或改變電流輸入。該技術簡單直接，適用於多種調制方案，廣泛用於數據傳輸、光學通信等領域。

(二) 而目前 Modulator 調變器的功效可大致區分為：

1. 高速數據傳輸功效

指調制器在光通信中實現高速數據傳輸的能力，通常要求調制速率達到數十 Gbps 甚至更高。電光調制和相位調制技術通常具備高速數據傳輸的優勢，能夠滿足現代通信對帶寬和速度的需求。

2. 低功耗功效

在保持高性能的同時，降低調制器的功耗，延長系統的運行時間，尤其適用於移動通信設備和數據中心。熱光調制和相位調制技術通常能實現較低的功耗，有助於實現高效節能的通信系統。

3. 高靈敏度功效

調制器對輸入信號變化的響應能力，能夠在低信號強度的情況下實現精確的信號調制。聲光調制和相位調制技術通常具備高靈敏度，適用於需要對微弱信號進行調制的應用。

4. 寬頻帶功效

調制器能夠在寬頻帶範圍內有效工作，實現多種信號的調制和傳輸。電光調制和強度調制技術能夠在寬頻帶範圍內實現高效工作，滿足多種應用需求。

5. 高集成度功效

將調制器技術與其他光學元件集成到單一芯片上，實現更緊湊、更高效的
光通信系統。熱光調制和相位調制技術具有較高的集成度，易於與其他光子器
件集成，適用於矽光子集成電路。

(三) 技術功效分析

從以下的技術功效圖中可以看出，Modulator 調變器在不同技術和功效分類上
有著顯著的差異，尤其在相位調製技術與熱光調製技術方面的技術佔比相對較高。
相位光調製技術在高集成度方面的專利數量達到 608 件，顯示出此技術在Modulator
調變器的應用中具有極高的重要性，這也反映出市場對於高集成度需求的重視。其
次，寬頻帶方面也有 382 件的專利數，顯示相位調製技術在傳輸效率與訊號品質方
面表現優越。

另一方面，熱光調製技術在低功耗方面表現突出，專利數量高達 267 件，顯示
出該技術在降低能源消耗方面的潛力，這對於現今追求節能的Modulator 調變器應
用非常關鍵。此外，在高集成度方面也有 417 件專利，進一步強調了該技術在矽光
子產業中的整合優勢。

在其他技術中，聲光調製技術在寬頻帶方面擁有 163 件專利，顯示出其在訊號
處理與傳輸方面的優勢，而電光調製技術則在寬頻帶和低功耗兩個功效方面具有一
定的份量。強度調製技術方面則在高集成度和低功耗方面顯示出較強的專利布局，
分別達到 181 件和 231 件。

總體來說，這些數據反映了Modulator 調變器技術在不同功效上的發展趨勢與
產業需求，其中高集成度、低功耗和寬頻帶這三個功效分類特別受到重視，未來技
術的布局與發展將持續圍繞著這些重點方向進行。

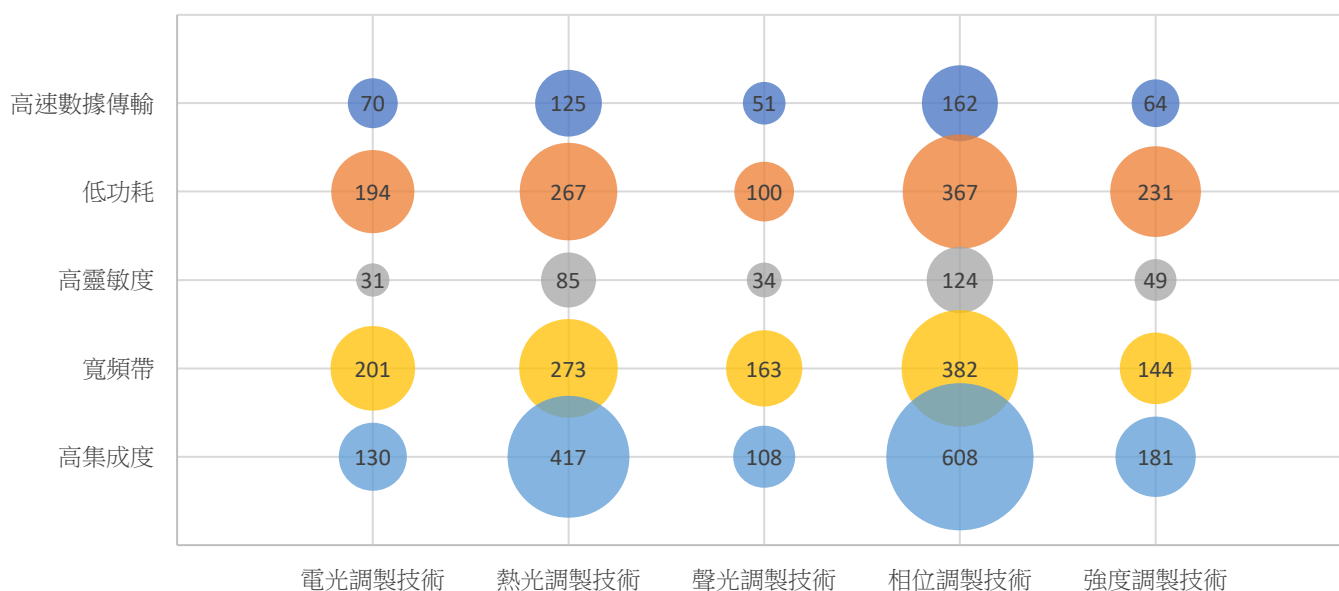


圖 88、矽光子技術功效矩陣圖

第八節、引用主路徑分析

(一) 專利引用網路

專利引用網路是由節點和連結構成的，其中節點代表專利，連結則表示專利之間的引用關係，這種網路具有方向性，從被引用到引用的過程形成知識的流動。其中節點可以是源點、匯點或中間點，分別表示沒有 backward citation、沒有 forward citation 和既有 backward citation 也有 forward citation 的專利。專利引用網路通過節點和連結的分析，揭示了專利之間的知識流動和影響關係，為專利檢索和分析提供了重要的工具和方法。

(二) 主路徑分析

專利引用網路提供了一個洞察專利之間知識流動和影響的視角，而主路徑分析則是引用網路分析中的一個重要工具，它通過進一步精煉這些資訊，識別知識傳遞的關鍵路徑，幫助我們理解專利技術的演進和影響。

主路徑分析以知識流動的概念為核心，將引用視為知識傳遞的途徑。從引用網路的源點到匯點之間，展示了知識或技術的關鍵演進軌跡，這使得我們能夠通過閱讀這些路徑上的專利，迅速掌握整體技術發展的脈絡。主路徑分析的第一步是建構一個無循環、無環的有向專利引用網路，接著透過計算每一個連結的權重，識別出從源點到匯點之間最顯著的路徑。

在這邊我們進行權重的計算方法有多種，包括 SPC(單純計算知識流動的次數)、SPLC(考慮所有前序節點的知識流動次數)和 SPNP(同時考慮前序和後續節點的知識流動次數)，這些方法各有優劣，而通常 SPNP 因為其全面性在用以分析專利引用網路中被認為是較好的選擇，因此在本研究中我們也選擇使用 SPNP 進行權重計算。在路徑決定方面，主路徑可以通過全局搜索或局部搜索來確定，全局搜索在所有源點和匯點之間選擇權重最高的路徑，而局部搜索則從源點或匯點開始，逐步選擇權重最高的連結，此次研究中我們使用 Key-route 的局部搜索方法，使我們能夠確保選擇的路徑包含了前 N 大權重的連結，以增加代表性。

(三) Pajek 分析

主路徑分析提供了一個識別專利引用網路中最具代表性知識流動路徑的方法，而 Pajek 是一個強大的工具，用於執行這些分析。本研究利用 Pajek 的操作步驟包括建構專利引用網路、計算每個連結的權重、決定主路徑，以及觀察和輸出主路徑。

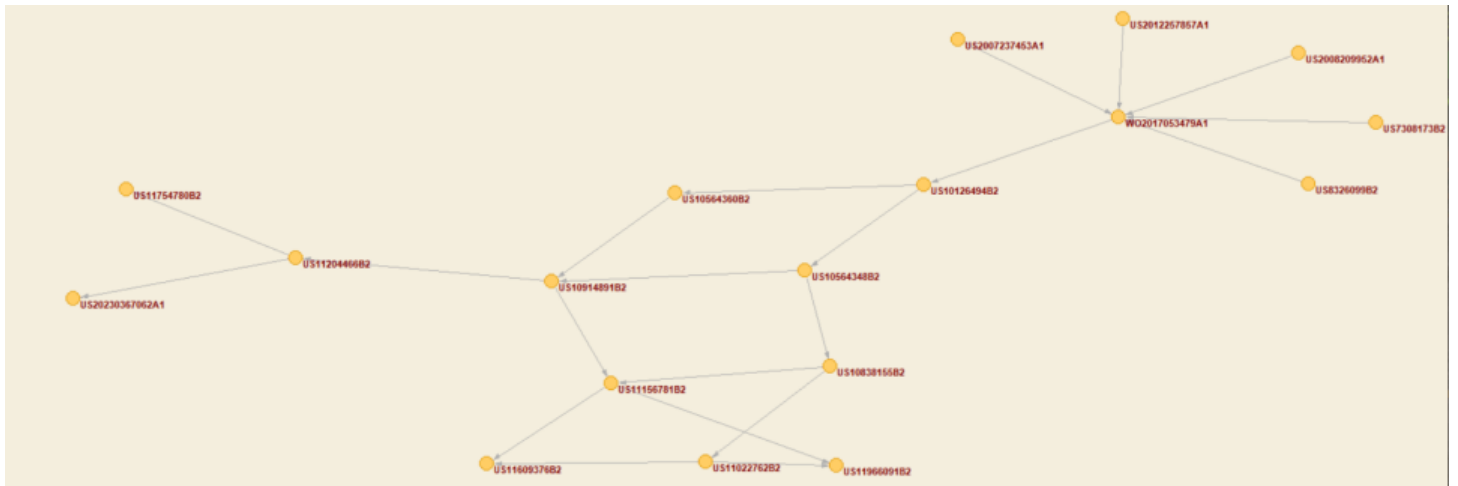


圖 89、專利引用網路主路徑圖

圖 89 為本次研究解析出之專利引用網路主路徑，這些專利形成主路徑的主要原因在於它們在技術發展中具有高度的引用頻率，反映出這些專利在技術創新和應用中的重要性，主路徑上的專利代表了知識和技術的主要流動方向，其技術創新和應用對後續的研究和發展具有重要影響。以下為該主路徑上的專利清單。

公開公告號		
US20230367062A1	US11609376B2	US10564360B2
US20120257857A1	US11204466B2	US10564348B2
US20080209952A1	US11156781B2	US10126494B2
US20070237453A1	US11022762B2	US08326099B2
US11966091B2	US10914891B2	US07308173B2
US11754780B2	US10838155B2	WO2017053479A1

表 16、專利引用網路主路徑之專利清單表

透過閱讀這些專利的技術內容，我們可以在這條矽光子技術專利的引用主路徑中，發現幾個特別值得注意的地方，可以幫助我們更好地理解該技術的發展趨勢，並制定相應的策略：

1. 多通道光學耦合技術：多通道光學耦合器陣列在多路光信號的同步耦合和分配方面起到了關鍵作用。這種技術能夠顯著提高光信號的傳輸效率和質量，是實現大容量光通信系統的基礎。
2. 半導體封裝技術的創新：半導體封裝技術的創新，如改進散熱和電性能的半導體封裝技術，對於提高光子元件的性能和可靠性至關重要。這些創新有助於解決光子集成電路在高功率和高密度應用中的挑戰。
3. 精確對準和低損耗耦合技術：光纖耦合器和連接器技術的改進，如精確對準和低損耗耦合，對於減少光信號在傳輸過程中的損耗和干擾具有重要意義。這些技術能夠提高光通信系統的穩定性和效率。

4. 偏振模式耦合技術：可配置的偏振模式耦合器技術允許光信號在不同的偏振模式之間進行高效耦合，這對於實現多功能和高性能的光通信系統具有重要意義。
5. 空間分割多路復用技術：空間分割多路復用技術（SDM）通過在同一光纖中傳輸多個光信號通道，顯著提高了光纖通信的容量和效率。這種技術是未來大容量光通信系統的重要發展方向。
6. 光子集成芯片技術：光子集成芯片（PIC）技術通過將多個光子功能元件集成到一個芯片上，大大降低了光通信系統的尺寸和成本。這種技術有助於實現更小型化和高效的光通信設備。

（四）值得注意的趨勢和挑戰

1. 技術整合與兼容性：隨著矽光子技術的不斷發展，不同技術之間的整合和兼容性成為一大挑戰。企業需要考慮如何在現有系統中有效整合新技術，並確保新技術的兼容性。
2. 市場需求和應用場景：了解市場需求和應用場景對於企業制定技術發展和專利布局策略至關重要。矽光子技術在數據中心、高速通信、光學計算等領域有著廣泛的應用前景，企業應該針對這些應用場景進行專利布局。
3. 國際合作與標準化：矽光子技術的發展需要國際間的合作與標準化。企業應該積極參與國際標準的制定，並與國際頂尖的研究機構和企業進行合作，共同推動技術的發展。
4. 技術研發與投資：持續的技術研發和投資是保持競爭力的關鍵。企業應該在矽光子技術的關鍵領域加大研發投入，並關注新興技術和創新成果，保持技術領先優勢。

綜上所述，矽光子技術的進程中有許多值得注意的創新點和發展趨勢，企業應該根據這些趨勢制定相應的技術發展和專利布局策略，以保持技術領先和市場競爭力。

第伍章、矽光子技術專利布局策略

第一節、專利布局策略分析

一、IPC 布局分析

市場產業鏈發展與專利申請之類型連結性高，因此透過分析各地區專利資料庫申請狀況，可分析出目前各局專利申請 IPC 分類佔比之不同。統計顯示，各局在 IPC 五階分類上以 G02B（光學元件、系統或設備）為主，而以 G02B 6/12（光導波元件）為最主要目標之 IPC 分類號。

在各局 IPC 五階分類佔比上，TIPO、USPTO、JPO、EPO 和 WIPO 皆以 G02B 6/12 為主，其中尤以 USPTO 的專利數量最多，達到 3999 件。其他如 G02B 6/42（光纖通信系統）和 G02B 6/122（光導波耦合器）等分類號在各局中也有較高的申請比例。

由各局專利申請 IPC 分類結構可推測，全球市場目前著重於光導波技術及其應用發展，尤其在光纖通信及光導波耦合技術領域。這些技術的進一步發展將會推動矽光子技術在高速通信、數據中心等領域的應用，並且提升其在全球市場的競爭力。

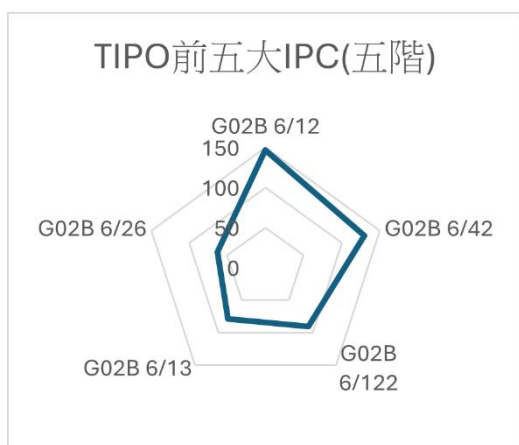


圖 92、TIPO 前五大 IPC 雷達圖

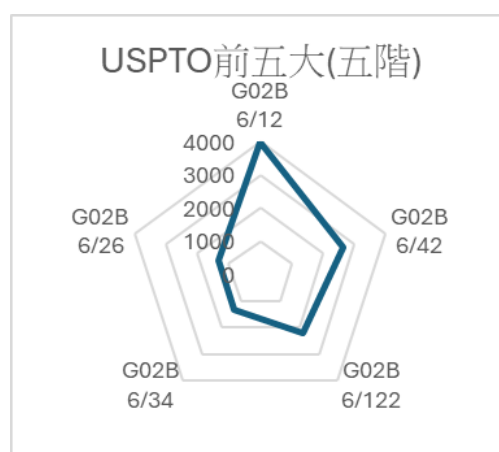


圖 91、USPTO 前五大 IPC 雷達圖

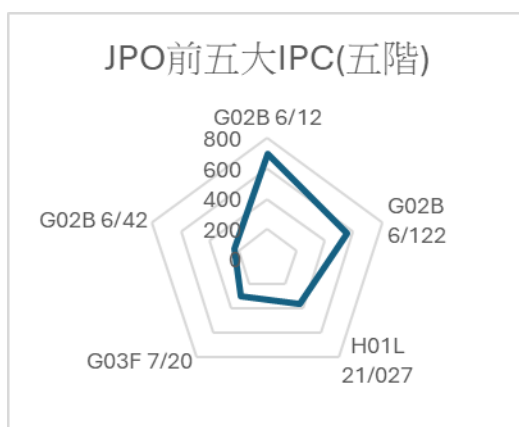


圖 93、JPO 前五大 IPC 雷達圖

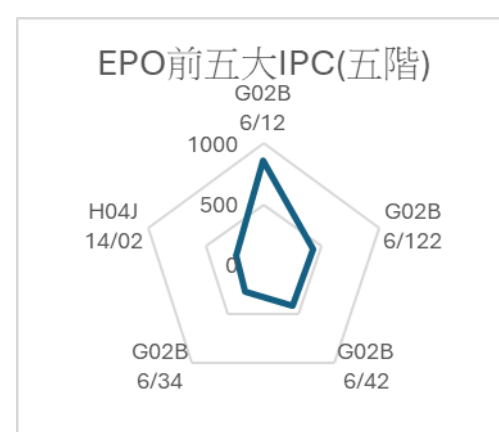


圖 90、EPO 前五大 IPC 雷達圖



圖 94、WIPO 前五大 IPC 雷達圖

二、企業主路徑分析

除了整體專利池的主路徑以外，我們團隊接著與鴻海專員討論列出矽光子領域內的重點公司，並進行企業主路徑分析，藉此揭示重點公司的技術發展脈絡，識別核心技術與關鍵專利，幫助理解技術競爭力和未來發展方向。通過對不同公司的主路徑進行比較，團隊可以發現技術重疊與差異，評估競爭對手的專利布局和潛在壁壘。此外，主路徑分析還能發現技術空白點，為公司提供創新機會，並幫助其進行專利價值評估和風險管理，優化 IP 戰略。

重點公司		
Analog Photonics	Ayar labs	Intel
Marvell	TSMC	SiLC Technologies

表 17、重點公司表

(一) Analog Photonics

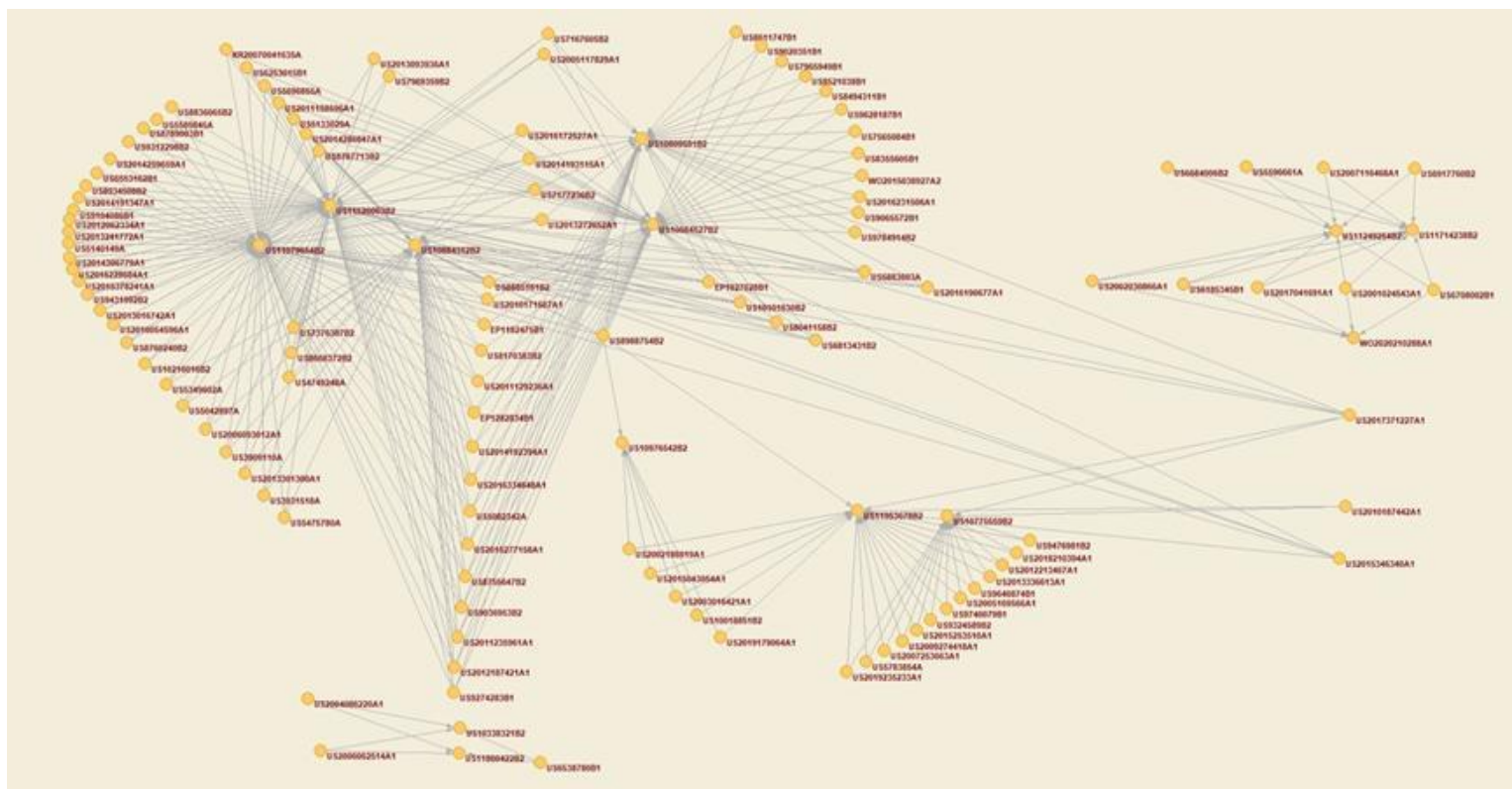


圖 95、Analog Photonics 企業主路徑分析圖

透過閱讀 Analog Photonics 企業的主路徑專利清單，該公司在光子技術領域的核心專利技術主要集中於光相位陣列(Optical Phased Arrays)、光束轉向技術(Optical Beam Steering)、光學相位移器(Optical Phase Shifter)等。

1. 專利布局分析

◆ 被參考次數最多的專利：

專利 **US3909110A**（由 Bell Telephone Laboratories 提出，67 次被引用）為主路徑矩陣中引用最多的專利，顯示該專利在相關技術領域中有極高的影響力。

其他被大量引用的專利包括 **US10338321B2** 和 **EP1282834B1**，這些專利在技術發展過程中起到了關鍵作用。

◆ Analog Photonics 的專利布局：

Analog Photonics 的部分專利如 **US10684527B2** 和 **US10338321B2** 是被引用次數較高的專利，顯示其在光學相控陣列等技術中的重要性。

2. 技術核心分析

◆ Analog Photonics 的技術核心圍繞於光學裝置、光波導器件和光束調制技術，這些技術涉及光子學元件的設計與製造，這些領域對於現代光通信及相關應用非常重要。

- ◆ 如 **US10684527B2** 涉及光學相位調節器，而 **US10216016B2** 則是與線性光學相位調製器有關，這些技術是實現高速光通信系統的基礎。

3. 技術傳遞與競爭者分析

- ◆ 我們發現 **Bell Telephone Laboratories** 和 **Intel Corporation** 的專利在主路徑中被頻繁引用，這表明這些公司在該技術領域中也有重要地位。Analog Photonics 的專利引用了這些公司的技術，表明他們在技術傳遞和競爭中與這些公司有緊密的關聯。
- ◆ **Intel Corporation** 的專利 **EP1282834B1** 被多次引用，顯示其在波導對技術方面的重要性，這與 Analog Photonics 的技術領域有直接關聯。

(二) Ayar labs

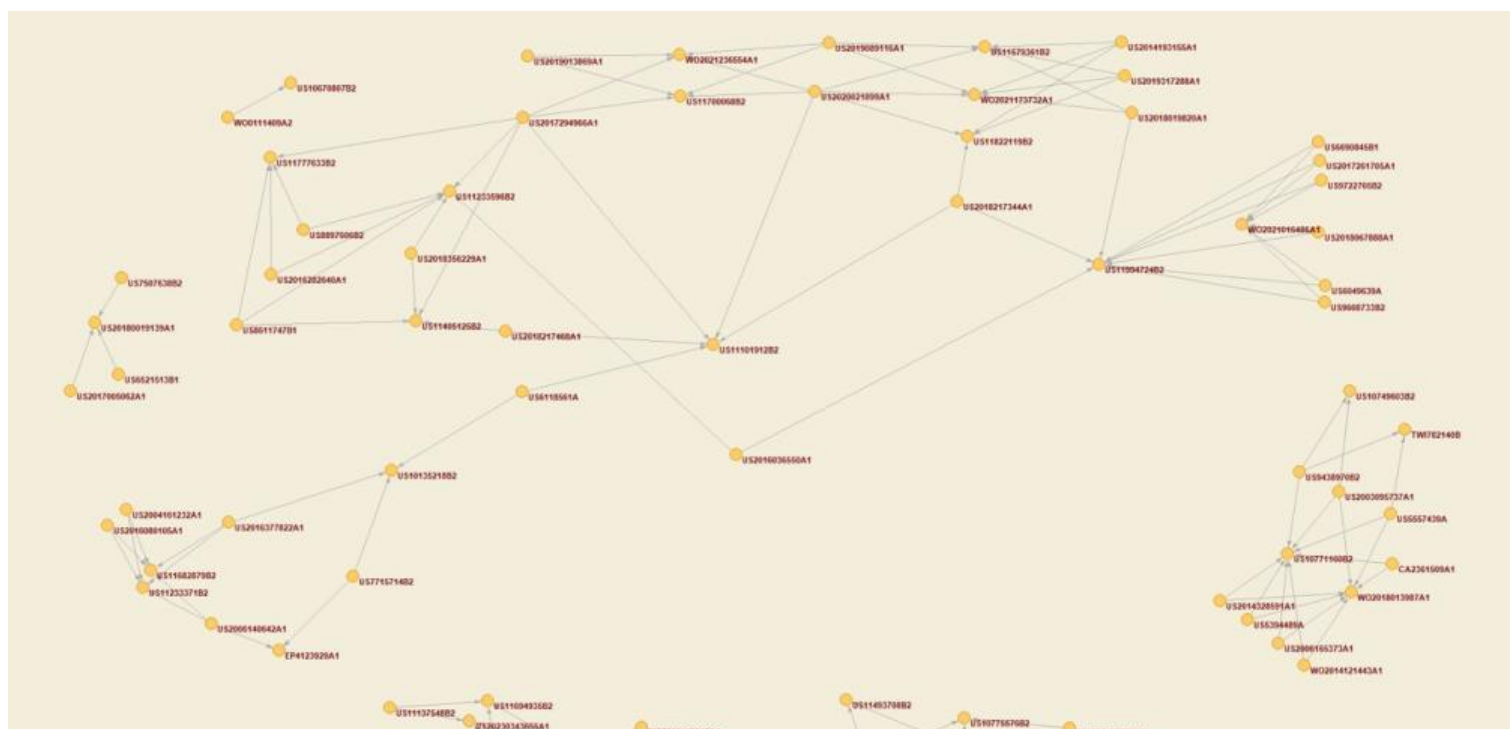


圖 96、Ayar labs 企業的主路徑分析圖

根據 Ayar Labs 的引用主路徑，可以從幾個關鍵維度分析其資訊來源、核心技術以及競爭分析。以下是基於主路徑引用的詳細解讀：

1. 專利布局分析

- ◆ 從 Ayar Labs 的專利引用主路徑可以看出，其專利布局集中於矽光子技術的多個關鍵領域，涵蓋光模組設計、多波長激光系統、光纖連接技術及多晶片模組的熱管理等技術，展現出高度的自主創新能力。其專利具有連續性和系統性，不僅布局核心技術，還涵蓋了關鍵的基礎性技術，形成強大的技術壁壘。Ayar Labs 的自我引用比例也較高，顯示出其防禦性布局策略，通過構建內部技術網路來鞏固其領先地位。

2. 技術核心分析

- ◆ Ayar Labs 的技術核心集中於光模組、光波導、以及多波長激光系統。如專利 US10135218B2 和 US11233371B2 都涉及多波長激光系統，這些技術都是光資料通訊的重要基礎。
- ◆ 此外，Ayar Labs 還有針對光子芯片的測試系統（如 US10359567B2），這些技術對於光子元件的性能評估具有重要價值。

3. 技術傳遞與競爭者分析

- ◆ 在專利引用主路徑上，有 38.89% 的專利來自 Ayar Labs 自身，而科技公司在其主路徑上的專利比例能夠反映出該公司在其技術領域內的自主創新能力和影響力。這樣的高比例顯示 Ayar Labs 在矽光子技術的研發中擁有較強的技術掌控能力，並且有能力自行推動其核心技術的發展。相比許多公司依賴外部技術的情況，Ayar Labs 在該領域的技術有領先地位與競爭優勢。

(三) Intel

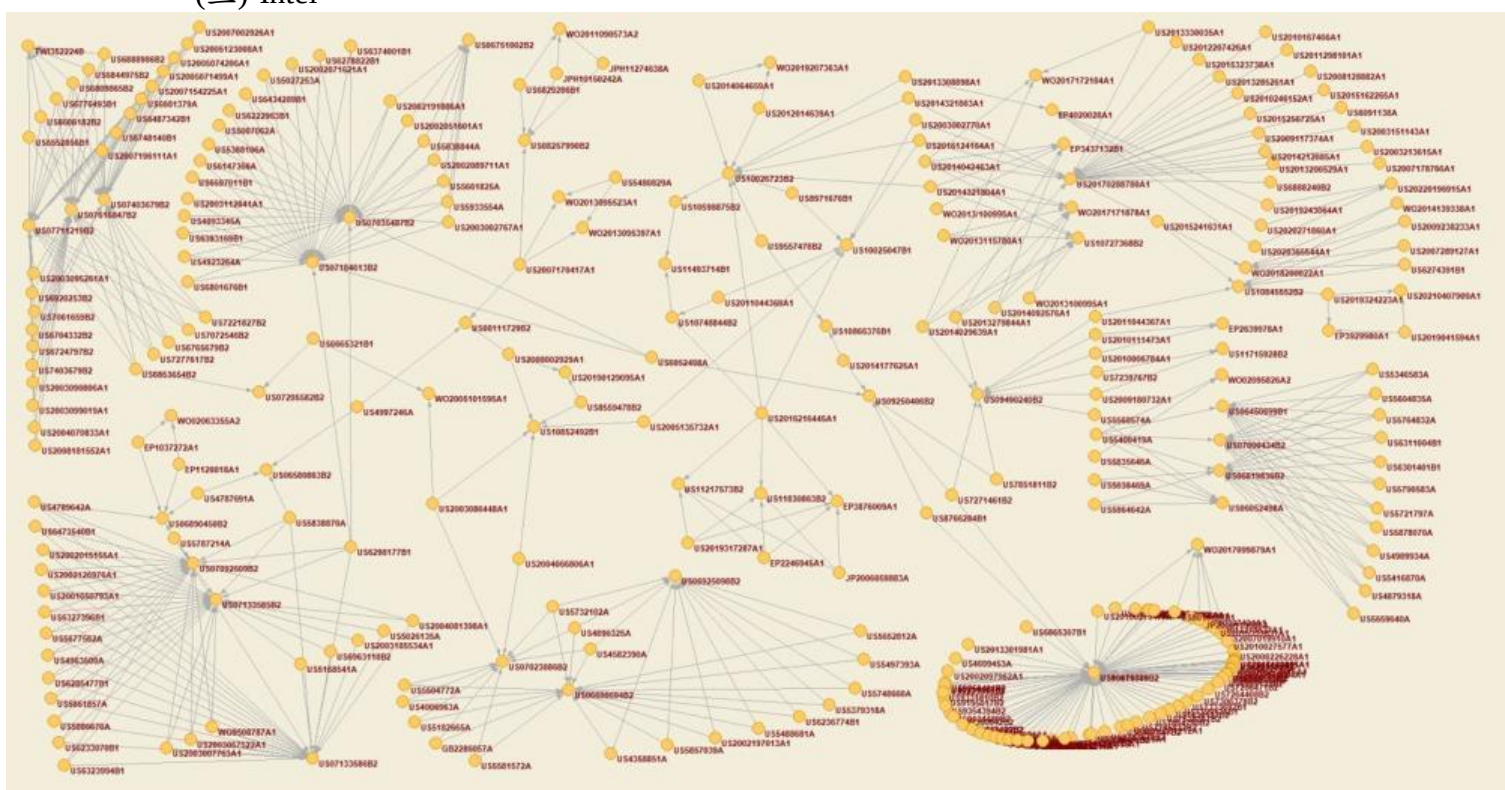


圖 97、Intel 企業的主路徑分析圖

1. 專利布局

通過查看專利的申請日期，可以觀察到 Intel 在光子積體電路技術的專利申請集中於 2018 年以後，這反映了 Intel 在該技術領域的持續布局。US10598875B2 申請於 2018 年，並於 2020 年公告，該專利顯示 Intel 持續在光子封裝技術領域進行創新。US10026723B2 申請於 2017 年，公告於 2018 年，說明 Intel 在光子積體電路封裝領域的積極布局。

從專利的被引用次數來看，這些專利已經開始影響其他公司的技術發展，表明 Intel 在這些技術領域中的專利不僅是技術突破，還具備較高的市場應用價值。

2. 技術核心

在主路徑中，被多次引用的專利主要集中於光子積體電路 Photonic Integrated Circuit, PIC (US10598875B2) 以及光子封裝技術 Photonic Package (US10026723B2)，而這些專利代表 Intel 在光子技術領域的重要發展步驟，通過引用關係，可以推測 Intel 的技術發展是漸進式的，從初期的光子積體電路封裝技術逐漸過渡到更為複雜的光子封裝平台，這種進展是通過每一個關鍵技術的累積來實現的。

透過對被多次引用的專利進行分析，我們認為 Intel 的技術核心圍繞在光子積體電路封裝技術 (US10598875B2) 和光子與電子元件的集成技術 (US10026723B2)。這些技術表明 Intel 在光子技術領域的布局不僅局限於光子元件本身，更側重於如何將這些光子元件與現有的電子技術有效整合，從而增強數據傳輸的速率與效率。

3. 技術傳遞與競爭者分析

從專利的引用專利欄中可以觀察到，Intel 的技術開發涉及大量先前專利的參考與改進，這意味著其在該技術領域與其他公司(包括競爭對手和合作夥伴)之間存在一定的技術互通。以 **US10598875B2** 為例：

- ◆ 該專利引用了多個早期的光學元件與光子技術專利，如 US7702191B1 和 US5123074A，這些技術早期來自於其他公司或機構，這表明 Intel 的創新基於現有技術有了更進一步的發展。
- ◆ 此外，被引用次數較高的專利表明這些技術對其他公司也具有較高的參考價值，這意味著 Intel 的技術在業界具有一定的領先地位，其他公司不得不引用其技術來進行相關研發。

(四) Marvell 公司

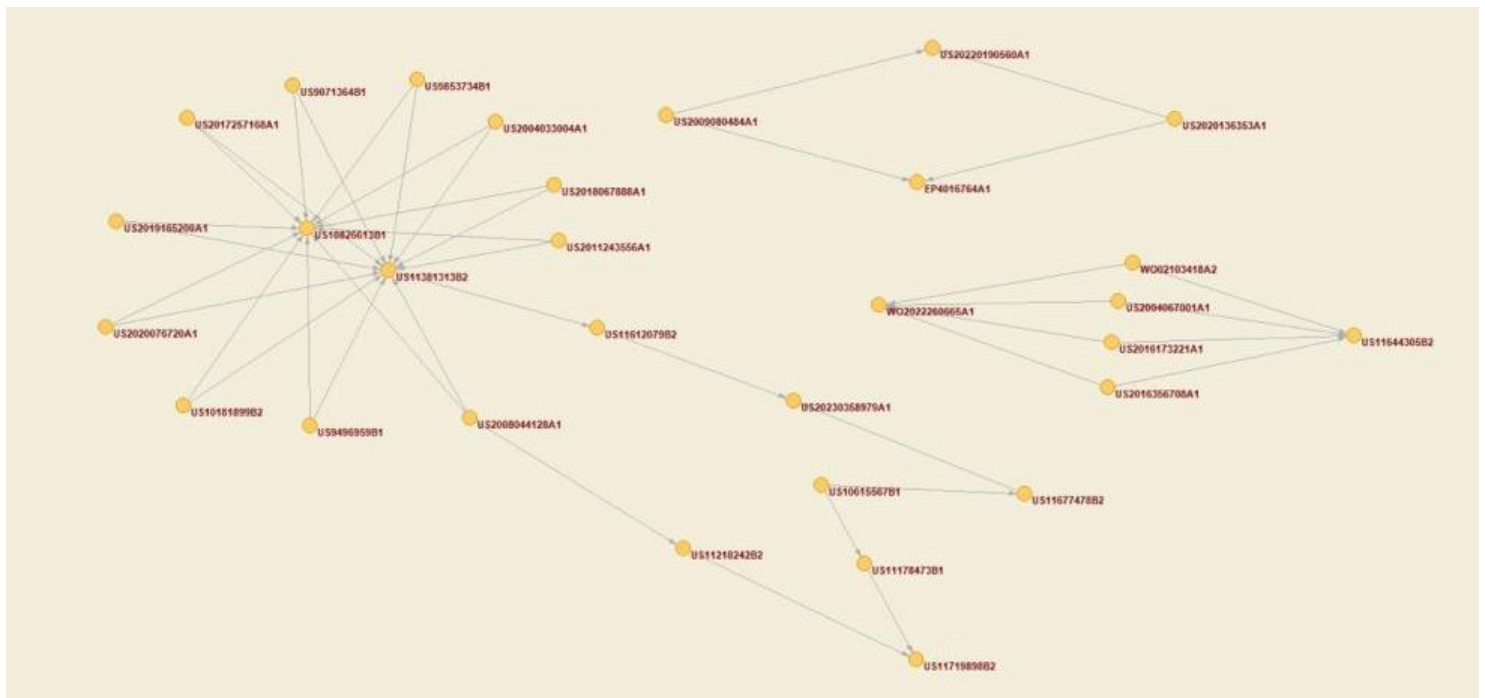


圖 98、Intel 企業的主路徑分析圖

1. 專利布局

Marvell 在主路徑上的專利形成了強大的技術壁壘，特別是在光通訊和再定時模組等關鍵技術上。這些技術有助於 Marvell 在資料中心市場中保持領先地位，防止競爭對手輕易突破其技術壁壘。併購 Inphi 後，Marvell 還獲得 Inphi 的核心技術專利，特別是在 100G 以上高速網通晶片領域，這進一步鞏固其在市場中的技術優勢。

2. 技術核心與發展脈絡

根據 Marvell 的專利引用主路徑，我們可以看到其在光通信、光放大器、數據傳輸模組等技術領域的專利佈局。這些技術對於資料中心內部的高速數據傳輸及跨中心的光纖通信至關重要。Marvell 近年來專注於資料中心領域的佈局，特別是客製化晶片開發，顯示其具備高度的技術自主性與創新能力。

在併購 Inphi 後，Marvell 整合其現有的專利與 Inphi 的高速資料傳輸技術，補強其在資料中心與電信市場中的技術短板。這一併購也使 Marvell 擁有更全面的技術組合，從光電模組到資料傳輸解決方案，強化其競爭力。

3. 合作與競爭

Marvell 在光通信和網路運算領域的佈局具有高度連續性與整合性。透過併購 Inphi，Marvell 將整合 Inphi 的光學元件和高速傳輸技術，這不僅能提高其技術自主性，還將在光電轉換、資料中心互聯和電信網絡中提供更加完整的技術解決方案。這種整合性將使 Marvell 形成與競爭對手之間的技術隔離，使競爭者難以輕易模仿其技術路線。

此外，Inphi 的專利主路徑顯示其在光纖通信領域的技術領先地位，尤其是提升訊號完整度、降低系統能耗的技術，這些正是資料中心和電信網絡提升效率的關鍵技術。Marvell 通過整合這些技術，不僅能在資料中心市場中佔據有利位置，還能進一步進軍 5G 和其他高速網通市場。

(五) TSMC 公司

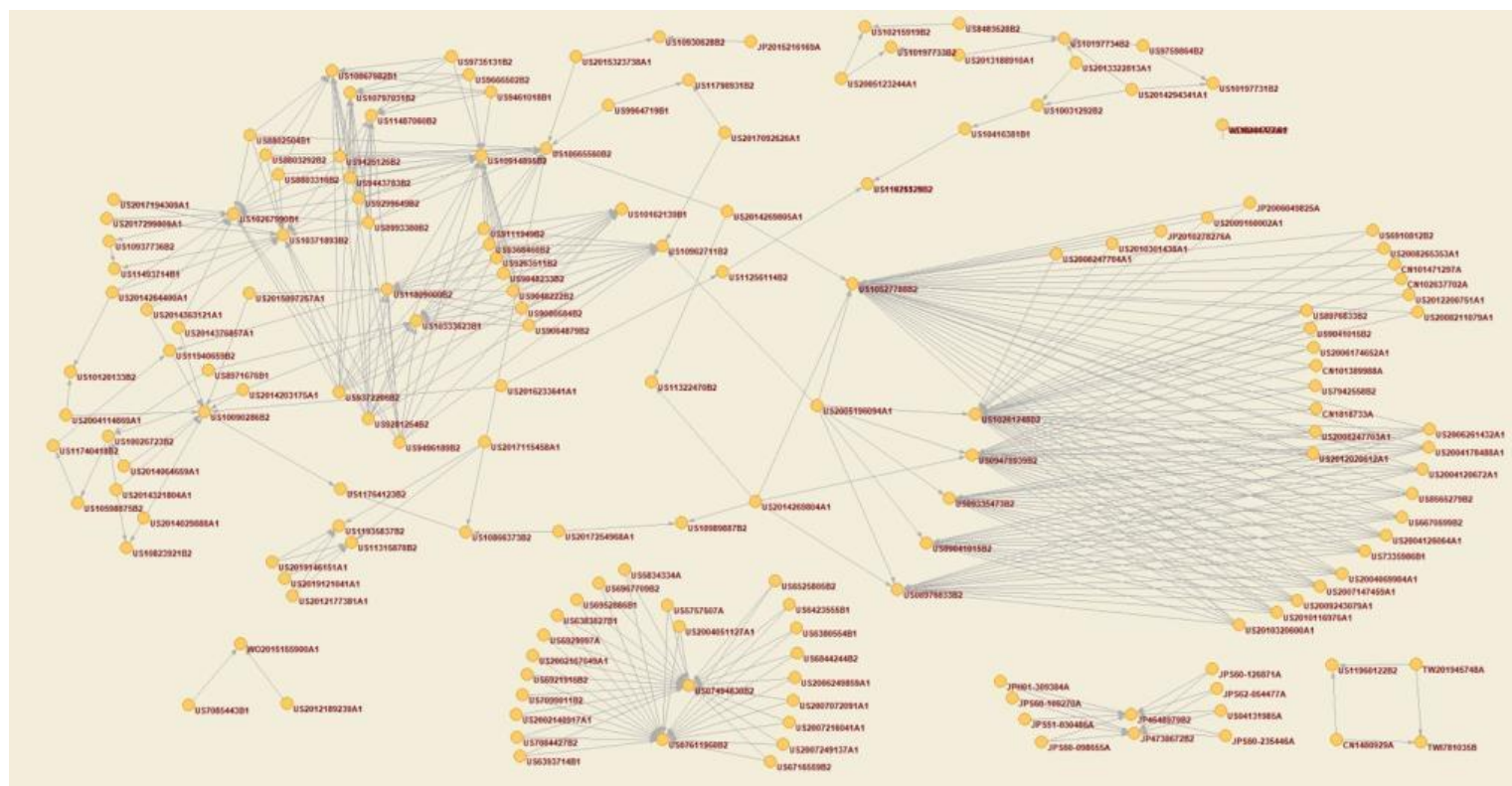


圖 99、TSMC 公司的主路徑分析圖

1. 技術發展脈絡

TSMC 的技術發展脈絡主要集中在光子積體電路 (PIC) 和半導體製程技術的創新，特別是在光電電路板、光學訊號處理、光纖連接等技術領域。以下是主要發展方向：

- ◆ **光電電路板耦接技術 (TW201945748A)：**此專利展示了如何將光子積體電路 (PIC) 與光電電路板進行可靠耦接的技術，這對於半導體製程中的光學訊號傳輸至關重要，能夠有效提升訊號傳輸的穩定性和速度。
- ◆ **光學訊號處理與系統集成 (TWI781035B)：**此專利描述了用於光學訊號處理的裝置及系統，強調了半導體裝置製造中的光學技術整合，並將其應用於更廣泛的光電元件製程中。

TSMC 的技術核心主要聚焦於光電元件與半導體製程中的光學技術應用，特別是光子積體電路的耦接與整合技術。從專利資料中可以得知，TSMC 以提升訊號傳輸效率、系統穩定性為主要目標。

2. 專利布局

TSMC 的專利布局策略非常明確，主要集中在光電技術與半導體製程的核心技術領域。通過專利矩陣中的引用次數和範圍，可以看出 TSMC 專利布局的全球性及全面性：

- ◆ **全球專利布局：**TSMC 的專利不僅在台灣進行申請，也在美國和其他國家進行申請，顯示出其技術的全球布局戰略（如 TW201945748A 和 TWI781035B 涉及光學元件技術的全球專利布局）。
- ◆ **核心技術保護：**專利範圍顯示 TSMC 對光子積體電路耦接、光學訊號處理、光纖連接技術進行了多層次的保護，這有助於阻止競爭對手進入這些關鍵技術領域。例如，在光子積體電路和半導體製程技術中，TSMC 不僅布局了光電耦合技術，還包括與製造工藝、材料處理相關的專利。

3. 合作與競爭

根據 TSMC 的專利引用矩陣，可以觀察到競爭對手不僅受到圍繞式專利布局的限制，還經常引用 TSMC 的專利技術，這表明許多競爭者在技術發展上依賴 TSMC 的創新。例如，在光學訊號處理或光子積體電路技術領域內，其他公司可能無法避免使用到 TSMC 的專利技術，這也促使它們在某些情況下不得不進行交叉授權或其他形式的技術合作，這一策略使其在競爭激烈的半導體行業中保持技術領先地位。

(六) SiLC 公司

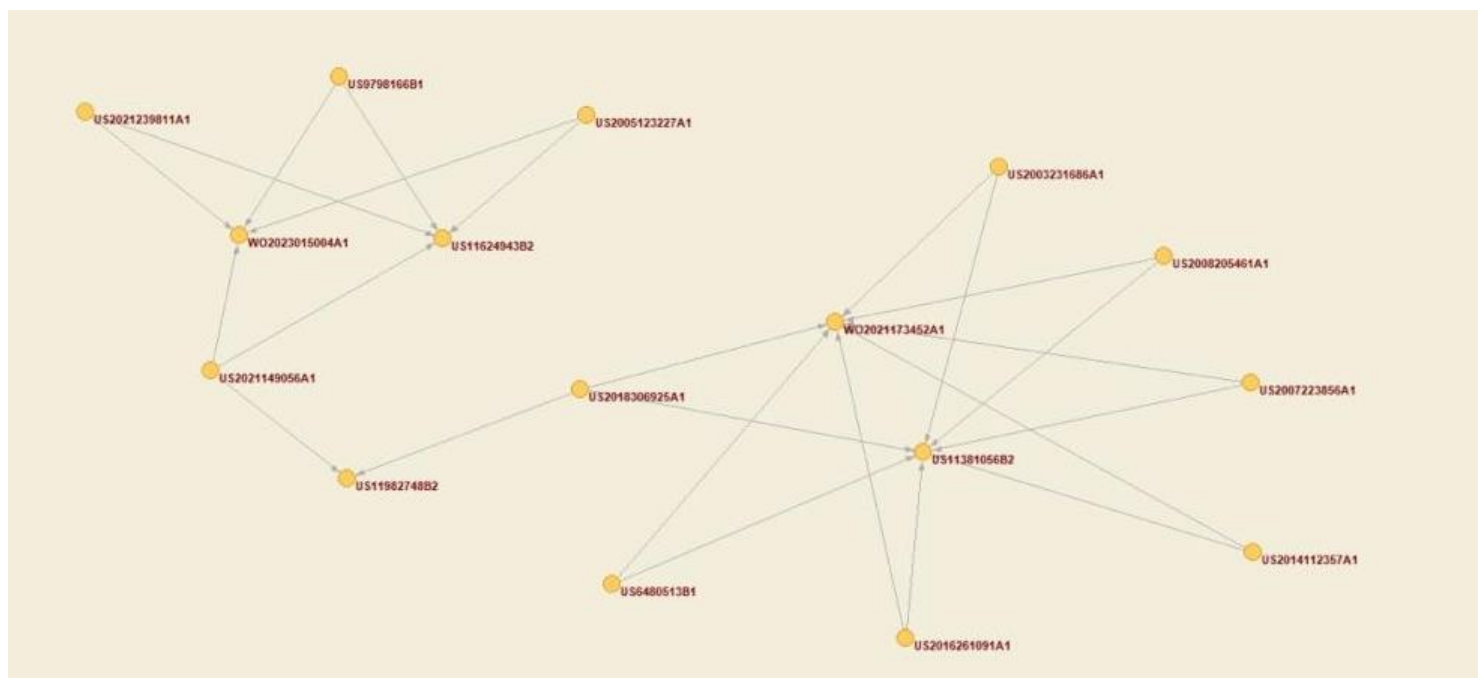


圖 100、SiLC 公司的主路徑分析圖

以下是針對 SiLC Technologies 的專利引用主路徑與詳細資料進行的技術趨勢、資訊傳遞和專利布局的分析：

1. 專利布局

SiLC 的專利布局體現出其在 LIDAR 系統中關鍵技術的保護。具體來看，SiLC 主要通過以下方式進行布局：

- ◆ **針對光源核心技術的布局：**US11624943B2 和 US11381056B2 都涉及載體注入和激光腔體結構的改進，這些都是 LIDAR 系統中非常重要的部分。SiLC 通過這些專利保護其光源設計的關鍵技術。

- ◆ **全球布局：**從專利編號和申請日期可以看出，SiLC 不僅在美國進行專利申請，還包括了國際專利 WO2021173452A1 和 WO2023015004A1，顯示出其全球化的布局戰略。

2. 技術核心與發展脈絡

根據主路徑中的專利資料，SiLC 的技術發展脈絡主要集中在提升 LIDAR 系統的關鍵技術，特別是在光源設計和成像系統的改進。SiLC 的核心技術首先體現在其光子電路與成像系統的創新，US11982748B2 描述了多核心成像系統，該系統結合了光子電路芯片，顯示出 SiLC 在光子技術與成像系統整合上的進展，這是提升 LIDAR 探測精度的重要技術步驟。

此外，SiLC 在光源設計上也展現了顯著的創新，例如 US11624943B2 和 US11381056B2 中，詳細介紹了載體注入技術和激光腔體結構的改進。這些技術專注於提升光源的性能與穩定性，使 LIDAR 系統能夠在不同環境下穩定運行。載體注入技術能夠確保光源的穩定輸出，而激光腔體的改良則減少了波長誤差，進一步提升了整體系統的精度和效率。這些技術的研發不僅展示了 SiLC 在光源技術上的深入研究，也確立了其在 LIDAR 技術領域的技術領先地位。

3. 合作與競爭

從專利引用情況來看，SiLC 與其他公司之間有一定的技術競爭，也有一定的合作關係。儘管大部分專利的引用次數較少，但還是可以得出：

- ◆ **合作機會：**SiLC 的技術尤其是在 LIDAR 系統的光源技術領域，可能與其他 LIDAR 技術公司（如 Analog Photonics LLC）存在合作可能。這些公司在相似技術領域中都擁有專利，且技術上具有互補性。
- ◆ **競爭：**SiLC 在其核心技術領域（如光子電路、激光腔體結構等）中建立了強有力的專利保護，這些技術是 LIDAR 系統的核心，可能與其他光源技術公司形成競爭。

第二節、市場現況分析

矽光子技術（Silicon Photonics）在近年來受到越來越多的關注，主要是由於其在數據傳輸速度、能耗效率以及成本效益方面的顯著優勢。以下是矽光子技術市場的最新現況分析：

一、全球矽光子技術市場概況

隨著全球數據需求的爆炸性增長，矽光子技術已經成為半導體和光學通信領域的關鍵突破點。根據市場調研機構 IDTechEx 的報告，全球矽光子市場預計在未來十年內將翻倍，從 2020 年的約 110 億美元成長至 2030 年的 220 億美元。這一增長主要來自於資料中心的高速數據傳輸需求，以及 AI、5G 和高效能運算（HPC）等應用的廣泛推廣。

在這一市場中，歐美大廠依然佔據主導地位。Intel 和 Cisco 等公司長期在矽光子領域進行大量投資，特別是在光子積體電路（PIC）的開發上，取得了顯著的技術領先地位。此外，Marvell 和 Inphi 也通過矽光子技術實現了資料中心間的高速傳輸，開發出如 COLORZ 800 這樣的 800G 單波長光學模組，以滿足超高數據需求。

儘管矽光子技術在全球逐漸成熟，但依然面臨技術挑戰，包括：

- 異質整合的難度：將光子元件與電子元件結合在同一平台上，仍需進一步克服材料與製程的限制。
- 成本控制與良率問題：隨著需求的增加，製造矽光子元件的成本控制和提高良率成為各大廠商的首要挑戰。
- 製造週期的長期性：相比電子積體電路，矽光子元件的製造周期較長，這也阻礙了該技術的快速普及。

二、應用市場的多樣性與增長動力

矽光子技術的應用市場呈現多樣化趨勢，主要集中在以下幾個領域：

1. 資料中心與人工智慧（AI）

隨著資料量的快速增長，全球資料中心對高頻寬、低延遲的需求愈加迫切。矽光子技術可以實現超高速光傳輸，特別是在 CPO 技術的幫助下，可以顯著提升數據中心內的連接效率。如 Marvell 的矽光子光引擎能提供每通道 200G 的傳輸速率，並顯著降低功耗，為 AI 加速器提供理想的高效能連接方案。同時，這類技術支持超過 1.6Tbps 的數據傳輸速率，進一步推動了 AI 驅動的大數據處理。

2. 5G 通訊與高速網路

隨著 5G 技術的全球推廣，傳統電訊基礎設施正在向光通信升級。矽光子技術能夠在這一轉型過程中扮演關鍵角色，特別是在基站和核心網路之間的高速數據連接中發揮重要作用。光纖網絡的擴展需要大量的光學元件，而矽光子技術具備成本優勢和高效能，因此在 5G 領域有巨大的應用潛力。

3. 智慧穿戴與醫療應用

智慧醫療和穿戴設備也是矽光子技術的另一重要應用領域。矽光子感測器能夠通過無侵入方式測量人體的生物參數，如血氧、血壓、心律、血糖等，這

使得未來的智慧手錶將成為一個「腕上診所」。例如，台灣公司奈微光開發的矽光子感測晶片，已具備四合一健康監測功能，並已經實現量產。隨著智慧醫療設備需求的增長，這一應用市場未來幾年有望快速擴張。

4. LiDAR 與自動駕駛

矽光子技術在光學雷達（LiDAR）領域的應用也備受關注。自動駕駛技術需要高精度的感測技術，而 LiDAR 是其中的核心元件之一。矽光子 LiDAR 技術能夠提供更小型化、更低成本和更高效能的解決方案，並能顯著提高自動駕駛系統的安全性和穩定性。

三、地區市場分析

1. 歐美市場的領先地位

歐美市場在矽光子技術的研發和應用上處於全球領先位置，特別是在數據中心和 AI 應用領域。Intel 和 Cisco 等公司通過大量資源投入和長期的技術開發，已經形成了穩定的技術與市場優勢。此外，歐美大廠也積極進行收購和合作，例如 Marvell 收購 Inphi，進一步鞏固其在矽光子市場中的地位。

2. 中國和韓國市場的追趕

中國和韓國市場正迅速追趕歐美市場，特別是在 CPO 和光通訊領域。中國企業如中際旭創、天孚通信等公司正積極布局矽光子技術，以搶佔全球市場份額。同時，韓國的三星也計劃在 2027 年前推出涵蓋 CPO 技術的完整 AI 應用解決方案，這表明亞洲市場正在成為矽光子技術的強勁競爭者。

3. 台灣市場的潛力

台灣擁有世界級的半導體產業鏈，在矽光子技術的研發和生產中具備重要潛力。台積電、日月光等公司已經在矽光子和 CPO 技術上取得顯著進展。台積電的緊湊型光子引擎（COUPE）技術預計在 2025 年完成技術認證，並將在 2026 年實現量產。此外，聯亞光電和訊芯-KY 等台灣企業也積極進入矽光子市場，特別是在智慧穿戴和資料中心應用方面顯示出強勁的競爭力。

四、市場挑戰與機遇

1. 技術挑戰

雖然矽光子技術具備巨大的市場潛力，但技術上的挑戰依然存在。首先，異質整合的實現仍是一大難點，如何將光子元件與傳統電子元件無縫結合並保持高效能，是未來技術突破的關鍵。其次，製造矽光子元件的成本控制仍有待優化，特別是提升製造良率對於大規模商業化至關重要。

2. 市場機遇

矽光子技術未來的市場機遇主要來自於 AI、5G、自動駕駛和智慧醫療等領域。這些技術的發展推動了對高速數據傳輸和精密感測的需求，為矽光子技術提供了巨大的市場空間。特別是在資料中心和 AI 加速器的應用中，矽光子技術有望成為未來技術發展的核心之一。

第三節、臺灣產業發展策略與建議

一、SWOT 分析

(一) 優勢 (Strengths)

- **半導體製造與封裝的全球領先地位：**台灣擁有全球最具競爭力的半導體產業鏈，特別是在先進製程、晶圓製造和封裝測試方面，台積電和日月光等企業擁有強大的技術實力。台積電的5奈米及未來的3奈米製程技術在全球處於領先地位，這為台灣企業在矽光子技術的研發和商業化應用上提供了強大支持。
- **CPO 技術的積極布局：**台灣企業在CPO技術上積極布局，台積電的COUPE技術預計2026年可實現量產，訊芯-KY和聯亞光電等公司也在開發矽光子和CPO技術，這使得台灣在AI和資料中心應用領域擁有較強的競爭力。
- **與國際企業的合作：**台灣企業如鴻海與聯發科、訊芯-KY已與歐美資料中心、AI企業建立合作關係，參與全球矽光子產業鏈的開發，這種國際合作有助於台灣企業進一步獲取國際市場資源，並擴展技術應用範圍。

(二) 弱勢 (Weaknesses)

- **核心技術自主開發的不足：**與歐美企業相比，台灣在矽光子核心元件（如雷射、調變器）的技術自主開發能力仍顯不足，尤其是在異質整合技術上，台灣企業的研發仍有待加強，這限制了進入全球高階市場的能力。
- **市場滲透與品牌影響力弱：**雖然台灣企業具備強大的製造能力，但在全球矽光子市場中，台灣企業的品牌影響力相對有限，尤其在歐美市場，Intel、Cisco等大廠已經佔據主導地位，台灣企業的市場滲透率仍有待提升。

(三) 機會 (Opportunities)

- **AI 與 5G 的快速成長：**全球AI和5G技術的推動帶來了對矽光子技術的大量需求，尤其是在資料中心、AI加速器等應用中，矽光子技術的高頻寬、低延遲特性非常適合應對這些應用場景的需求。台灣企業可藉此機會，加速技術研發和市場拓展。
- **智慧醫療與穿戴設備市場擴大：**隨著全球智慧醫療的發展，矽光子感測器技術在健康監測中的應用潛力巨大，台灣企業如奈微光已開發出具備血氧、血壓、體溫等監測功能的矽光子晶片，這為台灣企業進軍智慧醫療市場提供了重要機會。

(四) 威脅 (Threats)

- **來自中國、韓國的競爭壓力：**中國和韓國企業在矽光子和CPO技術上加速追趕，特別是中國企業如中際旭創、天孚通信等積極投入矽光子市場，韓國的三星也計劃推出CPO技術的完整AI解決方案，這對台灣企業形成了強大的競爭壓力。
- **供應鏈風險與地緣政治不穩定性：**全球半導體供應鏈面臨短缺和地緣政治風險，台灣作為全球半導體供應鏈的核心，面臨供應鏈中斷或原材料價格上漲的風險，這可能對台灣企業的生產和市場擴展造成不利影響。

二、五力分析

(一) 競爭者的競爭力

- **歐美大廠的技術領先地位：**目前全球矽光子市場的主要競爭者包括 Intel、Cisco、Marvell 等公司，這些企業在光子積體電路和電子積體電路設計上具有深厚的技術積累。Intel 在矽光子技術的商業化上已取得顯著成果，特別是在資料中心和 AI 應用中，擁有領先的市場佔有率。這些企業通過技術積累、專利布局和品牌影響力，建立了強大的競爭壁壘。
- **中國和韓國企業的快速崛起：**中國的中際旭創、光迅科技 和韓國的三星等企業正快速進入矽光子市場，通過技術研發和成本控制逐步縮小與歐美企業的技術差距。這些企業的崛起加劇了市場競爭，特別是在價格敏感型市場中，台灣企業需要應對來自這些廠商的挑戰。

(二) 潛在進入者的威脅

- **技術門檻較高：**矽光子技術的研發與製造需要高度專業化的技術，特別是在異質整合、封裝和光學元件設計等領域具有較高的進入門檻。因此，新進入者很難在短期內與已經具備技術優勢的企業競爭，這對台灣企業在短期內形成了保護。
- **新創公司的潛力：**儘管技術門檻高，但隨著全球創投市場對光子技術的青睞，越來越多的創新型公司進入這一市場，例如歐洲的 Rockley 和 PhotonVentures 支持的創新公司，這些新創企業具有技術突破和創新商業模式的潛力，可能在特定應用領域成為潛在競爭者。

(三) 替代品的威脅

- **傳統電子技術的提升：**雖然矽光子技術在高速傳輸和低延遲方面具備優勢，但傳統的電子積體電路技術仍在不斷升級。例如，使用高速電傳輸技術的產品成本更低且應用普遍，這可能在短期內對矽光子技術形成替代效應，尤其是在中低端市場中。
- **其他光子技術的競爭：**除了矽光子技術外，其他光子技術如 III-V 族化合物半導體（如砷化鎵、磷化銦）技術也在積極發展，這些技術在特定應用領域（如高效能雷射）中具備競爭優勢，可能在特定細分市場中對矽光子技術形成替代威脅。

(四) 供應商的議價能力

- **核心元件供應商集中：**矽光子技術的核心元件（如雷射、調變器等）主要由少數幾家企業生產，如 Lumentum、II-VI、Coherent 等，這使得供應商在技術和議價上擁有較高的優勢，台灣企業需要與這些供應商建立長期合作關係，確保穩定的元件供應。
- **台灣半導體供應鏈的相對優勢：**台灣擁有完整的半導體產業鏈，尤其在晶圓製造和先進封裝領域，台灣企業的供應商議價能力相對較強。台積電和日月光等企業能夠提供先進的製程技術和封裝服務，為矽光子技術的研發和商業化提供了有力支持，這使得台灣在供應鏈層面具備一定優勢。

(五) 購買者的議價能力

- **大型資料中心與 AI 公司具備高議價能力：**矽光子技術主要應用於資料中心、AI 加速器等高端市場，這些市場的買方主要是全球大型資料中心運營商和 AI 技術公司，如 Google、Amazon、Facebook 等。他們對技術要求高，且擁有大量資源，在訂單談判中具有較高的議價能力。
- **醫療與消費電子市場的多樣性：**矽光子技術的另一應用市場是智慧醫療和消費性穿戴設備市場，該市場的買方較為多樣化，雖然醫療設備廠商具有較高的議價能力，但隨著技術的普及，未來消費市場的需求擴大可能會為台灣企業帶來更多商機，並提高其與買方談判的空間。

第陸章、結論

一、專利數量與技術集中度

從專利數量的角度來看，矽光子調製器的專利布局集中在美國企業，特別是 Intel、Inphi、Marvell 等公司。這些企業佔據了大量關鍵技術的專利，並且在高速光通信、光子積體電路（PIC）以及多波長光纖通信系統等領域擁有顯著優勢。這些專利不僅涵蓋了基礎技術，還進一步延伸至實際應用，特別是在數據中心和 5G 通訊中發揮了至關重要的作用。

這表明矽光子技術已經從基礎研發進入了應用階段，專利申請數量與技術創新正快速成長。對於新進入市場的競爭者，這些大型企業形成了相對較高的技術壁壘。對台灣等新興市場來說，專注於特定技術的差異化創新將是突圍的關鍵。

二、技術的國際布局

從國際布局來看，美國在矽光子技術的專利申請數量上領先，特別是在高速數據傳輸與光纖通信技術上處於全球領先地位。然而，其他國家如台灣、日本也在積極參與技術研發，特別是台灣企業如台積電、聯亞等，通過組成產業聯盟與國際合作，快速縮短技術差距。

專利布局的國際化顯示出矽光子技術的全球競爭加劇，各國企業都希望在這一技術領域占據一席之地。因此，台灣企業應積極拓展國際合作，並通過參與產業標準的制定來提升自身影響力。

三、技術挑戰與未來發展

矽光子調製器技術的主要挑戰在於光電轉換的效率提升和異質整合技術的進展。資料顯示，矽光子技術在高速數據通信方面展現了巨大的潛力，但光與電的結合技術依然存在技術瓶頸，特別是在功耗和成本控制方面。

未來的技術發展將集中於如何克服這些技術障礙，特別是通過新材料（如鍺矽或鐵電材料）的引入來提升調製效率，降低系統功耗。這也將推動矽光子技術進一步進入 5G 網絡、高性能計算和自動駕駛等新興市場。

四、市場趨勢與產業機遇

矽光子技術正快速擴展至多個應用領域，如 AI 加速器、資料中心、智慧醫療和 LiDAR 等。SEMI 估計到 2030 年，全球矽光子市場將達到 78.6 億美元，年複合增長率超過 25%。這顯示出未來數年，矽光子技術在全球市場中的增長潛力巨大。

對台灣企業而言，除了參與全球市場競爭，還應該在本土技術開發上加強自主創新，特別是在 CPO（共同封裝光學）技術方面的研發，以應對資料中心與 AI 市場對高效能光通信技術的需求。

五、總結與建議

根據本報告對矽光子技術的專利布局及產業發展現況的分析，我們對未來專利布局策略提出建議，這些策略旨在確保企業在全球競爭中保持技術領先地位，並能應對市場需求變化與技術挑戰。

1. **加強光波導與耦合器件的專利布局：**本報告 IPC 布局的分析顯示，光導波技術（G02B 6/12）在各大專利局的專利申請中佔有極高的比例，這顯示了光導波元

件在光纖通信與數據傳輸中的核心地位。具體而言，這些技術是實現異質整合技術突破的關鍵。我們建議針對**光波導與耦合器件**，特別是低損耗與新材料技術（如氮化矽和 III-V 族材料）的專利布局。這些技術在減少信號損耗和提高數據傳輸效率方面有著顯著作用，符合全球市場對高效能光纖通信技術的需求，並能鞏固企業在該領域的競爭優勢。

2. **專注異質整合技術的核心專利布局：**在企業主路徑分析指出，Intel、Analog Photonics、Ayar Labs 等公司在**光子積體電路（PIC）與光電整合技術**上擁有強大的專利布局。特別是 Intel 的多項專利（如 US10598875B2 和 US10026723B2），展示了如何實現光子積體電路與電子电路的高效整合，這正是異質整合技術的核心發展方向。我們建議企業應加強在**3D IC 與 CPO 技術**方面的專利布局，這些技術能有效提升光電元件的集成度，降低連接損耗，從而在異質整合技術上佔據主導地位。
3. **聚焦核心元件與光電轉換技術：**另外在對企業專利主路徑的分析顯示，**光相位陣列、光束調制技術和多波長激光系統**等技術是實現異質整合中光電轉換的關鍵。因此，我們建議加強對光源與檢測器等**核心元件**的專利保護，特別是針對新材料技術的應用，如鎢矽與 III-V 族材料，這些技術能顯著提升光電轉換效率並降低功耗。報告中提到，新材料（如鎢矽）將成為未來技術突破的重要方向，因此，在這些領域的專利布局將有助於企業在技術競爭中保持領先地位。
4. **專注應用市場的專利布局策略：**根據市場現況分析，矽光子技術在**AI 加速器、資料中心、5G 通訊、自動駕駛與智慧醫療**等應用領域中具有巨大的增長潛力。這些應用市場對高效能、低功耗的光通信技術需求旺盛。因此，我們建議專利布局應針對這些高成長應用市場進行策略性部署，特別是在**高速數據傳輸與低功耗光通信技術**方面進行深入的專利保護。這將有助於企業在這些快速增長的市場中建立技術壁壘，並獲得市場優勢。
5. **應對異質整合技術的挑戰：**本報告指出，異質整合技術面臨的主要挑戰在於光電轉換效率的提升與異質材料的整合。為應對這些技術挑戰，我們建議進一步探索新材料的應用，特別是針對低損耗介質與新型絕緣材料的應用進行專利布局，同時加強在先進封裝技術（如 3D 封裝技術）與散熱技術上的專利保護。這些專利將有助於解決異質整合技術中的材料兼容性與散熱問題，並推動矽光子技術的廣泛商業化應用。

根據本報告的專利分析與市場趨勢，我們建議未來的專利布局策略應聚焦於**光波導與耦合器件、異質整合技術、核心元件及應用市場**的專利保護。這些技術不僅是當前矽光子技術的核心，亦是未來市場競爭成敗的關鍵所在。通過在這些領域加強專利保護，企業將能建立堅實的技術壁壘，並在全球競爭中保持領先地位，應對未來技術挑戰及市場需求的快速變化。