

行業概覽

本節所載的若干資料及統計數據乃摘錄自多份官方政府刊物、市場數據供應商以及由本公司委聘的獨立第三方灼識諮詢所編製的報告。來自官方政府來源的資料並未經本公司、聯席保薦人、[編纂]或彼等各自的任何董事、高級職員、僱員、代理、顧問或代表或參與[編纂]的任何其他各方獨立核實，且對其準確性、公平性及完整性概不作出任何陳述。

全球光子及硅光智能製造設備行業概覽

行業背景

人工智能正驅動著對高性能計算和高速數據傳輸需求的空前增長，遍及數據中心及網絡。其日益改變我們日常生活的各個方面，為從生成式人工智能（「生成式人工智能」）工具到用於工業自動化、自動駕駛汽車及智能設備的先進視覺系統等廣泛應用提供動力。生成式人工智能指一類能夠創建新內容（如圖像、視頻、音頻、文本及3D模型）的人工智能，其運行需要龐大的計算資源。生成式人工智能的快速增長，以及數據分析、科學研究及推薦引擎等其他計算密集型人工智能應用，正推動對加速計算需求的急劇增加。

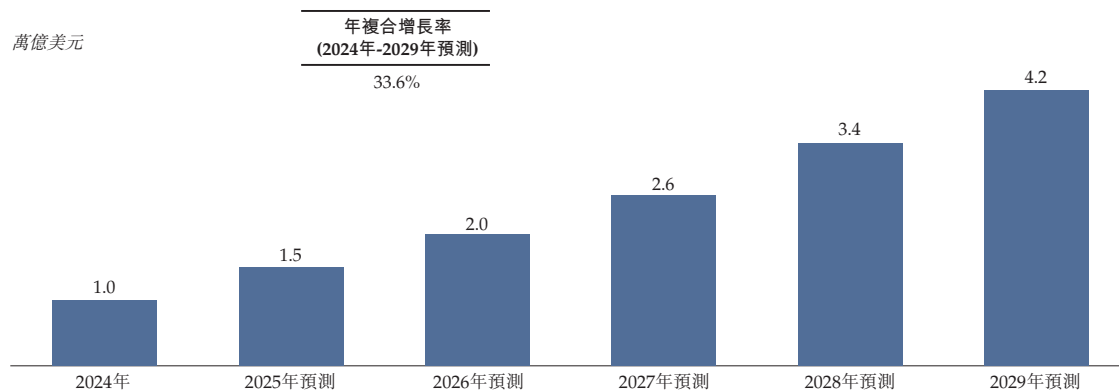
此外，隨著人工智能模型的複雜性持續增長—參數從數千億可能增至數萬億—相關的計算和內存需求已超過任何單一處理單元能高效處理的能力。為滿足訓練及推理AI模型的巨大計算需求，行業採取了多種擴展策略：(i)縱向擴展，即透過集成額外計算資源來增強單個服務器的性能；(ii)橫向擴展，即將工作負載分配到數據中心內的多個服務器上；以及(iii)跨域擴展，這是一個新興的前沿領域，旨在實現跨多個地理分佈的數據中心的高性能工作負載協調。所有該等擴展策略都嚴重依賴高速、低延遲的網絡容量，以促進芯片在電路板、機架及系統層級的快速數據交換及同步，並克服「內存牆瓶頸」。

隨著AI計算規模持續擴大，達到256個節點及以上，且每個鏈路的數據傳輸速度達到800Gbps及以上，基於銅纜的傳統電互連的物理限制日益明顯。該等限制包括長距離信號衰減（長距離單通道電傳輸速度通常難以超過200Gbps）、高速數據傳輸過程中產生過多熱量，以及隨著系統複雜性增加所需電纜數量大幅增加。

行業概覽

值得注意的是，全球AI開支預計將由2024年的1.0萬億美元增至2029年的4.2萬億美元，複合年增長率為33.6%。

全球AI開支



資料來源：Gartner、灼識諮詢

此外，5G移動網絡、邊緣計算及帶寬密集型應用(如視頻流、搜索引擎及電子商務)的廣泛部署正在增加網絡邊緣的數據傳輸速度。該發展進一步加速了數據中心互連、城域網及長途網絡的網絡容量擴展需求。

該等趨勢增加了對更快、更可靠及可擴展的數據傳輸的需求，遍及數據中心及網絡，推動了從傳統電互連向高速光互連的世代轉變。

光子及硅光為人工智能時代的數據傳輸提供動力

光子學是利用光傳輸和處理數據的技術，在光纖通信、傳感器及成像系統等技術中發揮關鍵作用。硅光是該領域的下一代進步技術，其將光子元件集成到硅基板(與大多數電子半導體所用材料相同)上，以製造光子集成電路。與使用傳統集成電路或電子集成電路不同，光子集成電路使用光(光子)進行數據傳輸。這種集成使得基於光的通信能夠在單一芯片上與電子處理直接結合，從而顯著提高速度、能源效率及可擴展性。硅光的問世將光通信從由龐大的分立零部件構建轉變為緊湊、高度集成的PIC，從而使芯片間光互連成為可能。此外，由於硅光利用成熟的半導體製造工藝，由硅光賦能的光互連技術能夠以較低的生產成本及較小的尺寸實現高性能數據傳輸，使其成為可持續人工智能發展最關鍵的促成因素之一。其中，CPO及OCS已成為前景廣闊的基於硅光的解決方案，以滿足不斷變化的行業需求。

行業概覽

作為一項芯片間互連技術，CPO是一種新穎的光互連架構及封裝形式。其為單一封裝基板上硅光器件及ASIC的先進異構集成，可優化功耗、減少對高功耗重定時器及光信號處理的需求。其滿足下一代數據中心互連的超高帶寬、低延遲及高能效要求，可取代傳統的可插拔光模塊。OCS是一種直接在光纖端口之間切換光信號而無需進行光電轉換的機架／系統層級互連技術。其透過使用全光交換機在節點之間創建專用的物理光路來優化數據中心網絡。與傳統的數通網絡(將光信號轉換為電信號進行交換，即光－電－光轉換)不同，OCS直接對光信號進行操作，從而降低功耗、延遲並提高成本效益，尤其適用於GPU集群等高性能計算環境。

對智能製造設備的技術及市場需求不斷增長

製造硅光器件乃屬一個複雜的過程，涉及晶圓、晶粒、芯片及模組級的組裝與測試。晶圓製造完成後，生產流程依次經過晶圓級測試(包括修整及清潔)、晶圓級混合集成、切割與分選、晶粒級測試、芯粒混合集成、光纖製備及終端測試。

整個生產過程依賴於高精密、高通量的組裝與測試設備。傳統集成電路製造通常要求微米級精度，而製造光子及硅光器件則要求納米級精度。此外，測試步驟的複雜性及數量的增加，對設備的軟件控制系統提出了更為嚴格的性能要求，進一步提高了該領域的技術壁壘。

與電子集成電路不同，複雜硅光器件的組裝過程極難返工，即便可行，通常也需要昂貴的人工干預。這主要是由於光學元件所需的精密對準以及光子結構的敏感性不像電路那樣容易重新配置或探測。例如，即使是微觀顆粒或輕微錯位也可能阻擋或散射光子集成電路中的光信號，從而嚴重降低性能或導致完全信號損失。相比之下，電子集成電路中的電信號對此類缺陷的容忍度顯著更高，甚至完全不受其影響。此外，光子器件通常兼具光學及電學功能，使其成為光電集成電路，這為組裝與測試增加了另一層複雜性。值得注意的是，CPO的複雜性要求對硅光器件進行精確定位。即使是最微小的錯位亦可能導致信號衰減、功率損失或測量不準確，從而使測試過程更為複雜。因此，PIC的良率遠低於電子集成電路，故而在組裝過程中及組裝後於晶圓、晶粒、芯片及模組的每個層面進行測試乃屬至關重要的。

行業概覽

對硅光器件日益增長的需求，推動了對須兼具該等器件所需納米級精度與自動化製造工藝的高通量及高良率生產解決方案的需求。傳統光學器件常因質量及可靠性不一致而受到影響，這主要歸因於行業中仍然普遍依賴手動組裝與測試流程。預期的轉變正推動對專為硅光器件生產而設計的智能製造設備的需求。

鑑於硅光器件組裝與測試的複雜性、客戶要求的嚴格質量標準以及擴展至大批量生產的需求，硅光智能製造設備市場的進入壁壘巨大。該等挑戰涵蓋滿足性能和良率目標所需的專有技術及工藝專有技術、智能軟件控制及硬件設計。

光子及硅光智能製造設備

光子及硅光智能製造包含專為光子及硅光器件設計的組裝與測試設備，不包括並非針對光子及硅光器件的光學特性而定製的晶圓製造設備。

智能光子製造設備乃指集成了光學技術、電子技術及智能軟件，具備微米級或更高精度、智能傳感與控制以及自動化流程的先進系統。該等系統旨在滿足光子器件製造的精度及複雜性要求。

作為最重要的子類別，高精密硅光智能製造設備以此為基礎，融合了硅光專有技術，並達到納米級精度。該等系統亦集成了智能傳感、智能控制及自動化流程，且針對硅光器件特有的更嚴格的缺陷容差、光學對準要求及光電共封裝複雜性進行了優化。

硅光智能製造設備是使硅光器件的大批量生產不僅可行而且必然的催化劑。通過解決光學、電子學及精密自動化交叉領域行業最複雜的挑戰，這類新型設備釋放了大規模部署硅光技術所需的可擴展性、高質量及高性能。其支持硅光器件的整個生產工作流程，從晶圓級測試、光子集成電路與硅光器件的組裝，到硅光器件的最終檢測。

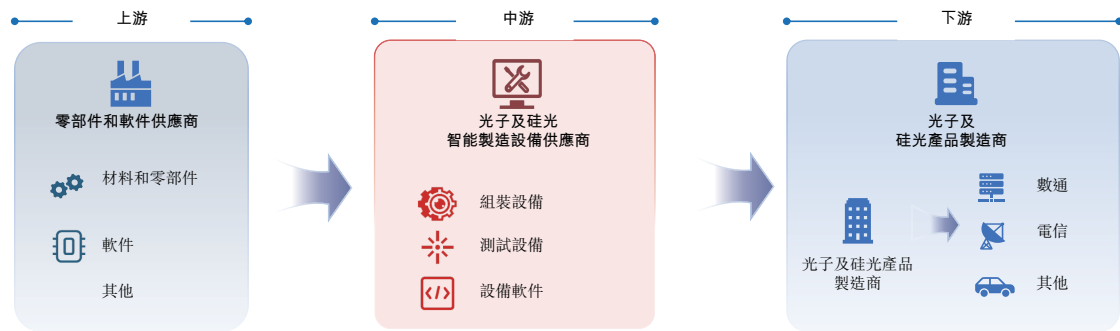
截至最後實際可行日期，本公司乃屬全球唯一能夠提供端到端組裝與測試解決方案的供應商，該等解決方案覆蓋硅光器件的整個製造過程。這使本公司成為這個快速增長市場的關鍵促成者，塑造人工智能基礎設施的世代轉變，為人工智能的可持續發展賦能。

行業概覽

光子及硅光智能製造設備產業鏈

光子及硅光智能製造設備產業鏈依賴於上游元件與軟件供應商、中游設備製造商及下游光子與硅光器件製造商之間的緊密協作關係。

光子及硅光智能製造設備產業鏈



資料來源：灼識諮詢

上游環節主要包括設備生產所需的關鍵元件及軟件供應商。零部件包括機械零件、傳感器、電子元件、光學元件及儀器。軟件主要包括通用軟件。

中游環節整合上游元件及通用軟件與自主研發的控制系統及算法，以生產高精度、智能化及柔性化的製造設備。該環節連接上下游參與者，推動技術實現與產業化，並為下游應用領域提供核心組裝與測試設備。

下游環節主要包括光子及硅光器件的製造商，彼等服務於多個應用場景，包括數通、電信及其他新興市場。在數通領域，製造商及集成商為人工智能數據中心互連供應高速光學模組及硅光模組，例如在雲端環境、數據中心及網絡系統提供變革性AI技術的連接解決方案供應商。在電信領域，應用場景包括5G/6G網絡傳輸及衛星通信。其他應用包括激光雷達、消費電子及生物醫學。

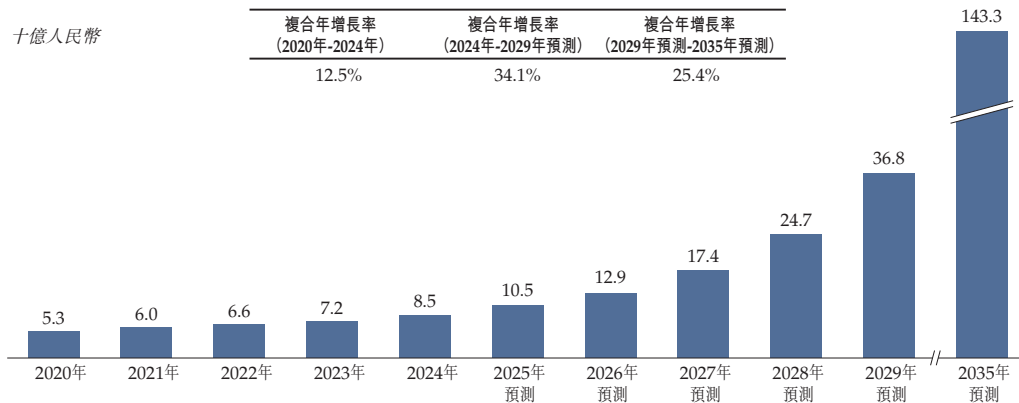
行業概覽

全球光子及硅光智能製造設備行業市場規模

全球智能光子製造設備的市場規模從2020年的人民幣53億元增長至2024年的人民幣85億元，複合年增長率為12.5%。預計全球智能光子製造設備市場將於2024年至2029年繼續以34.1%的複合年增長率增長，到2029年達到人民幣368億元。到2029年，硅光智能製造設備預計將佔總市場的63.4%。

長遠來看，智能光子製造設備市場預計將持續快速擴張，到2035年達到人民幣1,433億元，其中硅光智能製造設備將佔總市場的80.2%。

按收入劃分的全球智能光子製造設備行業市場規模



資料來源：國際半導體產業協會、世界半導體貿易統計組織、Yole集團、Light Counting、灼識諮詢

由於其在下一代人工智能及高速通信系統中的促成作用，硅光智能製造正成為更廣泛的光子設備市場中最關鍵的子類別。

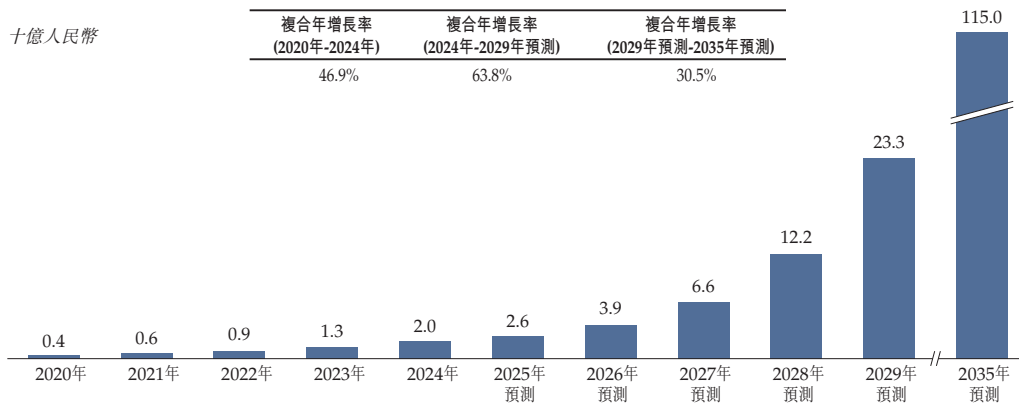
硅光智能製造設備行業正經歷市場快速增長。市場規模從2020年的人民幣4億元擴大至2024年的人民幣20億元，複合年增長率為46.9%。到2029年，整體市場預計將達到人民幣233億元，預計複合年增長率為63.8%。目前市場規模仍然很小，因為一場更大型的技術變革尚處於早期階段。近期規模受到開發生態系統、採用新技術以及設計及建設下一代人工智能及數據中心基礎設施所需時間的限制。CPO及OCS技術預計將於2027年至2028年間進入大規模應用，從而帶動相應設備市場的加速增長。

行業概覽

一場世代轉變已在進行中。隨著人工智能模型的規模及複雜性呈指數級增長，傳統電互連的局限性正成為瓶頸，推動全球向光互連架構轉型。硅光器件處於此轉變的核心，可實現超高帶寬、低延遲及高能效的數據傳輸，該等能力對於將人工智能計算擴展至更高水平至關重要。

展望未來，隨著硅光成為全球人工智能基礎設施的基礎，硅光智能製造市場預計將大幅擴張，到2035年達到人民幣1,150億元。

按收入劃分的全球硅光智能製造設備行業市場規模



資料來源：國際半導體產業協會、世界半導體貿易統計組織、Yole集團、Light Counting、灼識諮詢

全球光子及硅光智能製造設備行業下游應用市場規模

智能光子及硅光製造將光子學技術與半導體工藝能力相結合，融合了高帶寬密度、低延遲與成熟、可擴展的製造工藝。這為數通、電信及激光雷達、消費電子及生物醫學等其他應用領域提供了核心支持。

數通。人工智能模型的計算強度及相關的數據流量，正推動從傳統電互連向高速光子學及硅光互連的轉變。一個核心應用乃屬高速光學模組(例如800G/1.6T/3.2T)，用於數據中心互連。硅光模組實現了光信號生成、調製及探測的更高集成度，並支持數據中心內的芯片間光互連。該等模組解決了電子互連的功耗及速度限制，並為人工智能計算集群提供低延遲、高速的傳輸。

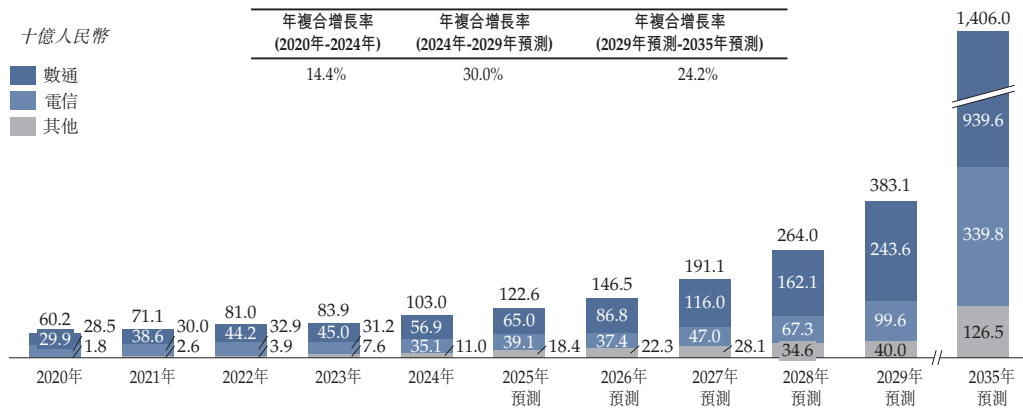
行業概覽

電信。應用包括5G/6G網絡傳輸及衛星通信。5G網絡及帶寬密集型應用的持續部署，驅動了對城域網及長途的網絡容量擴張的需求增加。光子學及硅光滿足了加速增長的帶寬需求，並正向1.6T及更高速率演進。光子學及硅光的高速、高集成特性支持低地球軌道衛星鏈路及激光衛星定位的核心要求，實現衛星之間的高速、抗干擾及低功耗光互連。

其他應用。激光雷達、消費電子及生物醫學。憑藉小型化及高靈敏度的潛力，光子學及硅光技術為智能駕駛中的環境感知及下一代傳感提供支持。在生物光學傳感芯片中，彼等支持高靈敏度、小型化及低功耗。基於該等性能優勢，預計在未來三至五年內，其應用將擴展到包括可穿戴設備在內的個人消費電子產品。

全球智能光子製造設備的下游應用市場規模從2020年的人民幣602億元增長至2024年的人民幣1,030億元，複合年增長率為14.4%。預計到2029年將達到人民幣3,831億元，複合年增長率為30.0%。長遠來看，該市場預計將擴張並於2035年達到人民幣14,060億元。

按收入劃分的全球智能光子製造設備下游應用市場規模

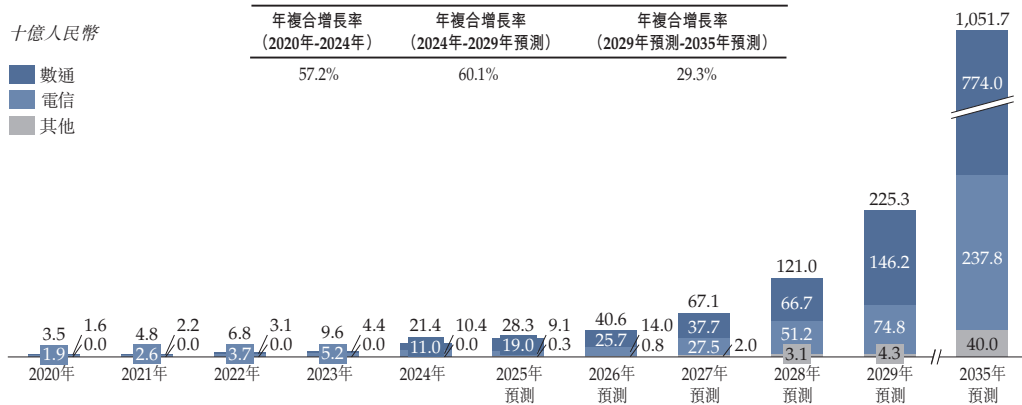


資料來源：Yole集團、國際汽車製造商協會、灼識諮詢

行業概覽

全球硅光智能製造設備的下游應用市場規模從2020年的人民幣35億元增長至2024年的人民幣214億元，複合年增長率為57.2%。預計到2029年將達到人民幣2,253億元，複合年增長率為60.1%。長遠來看，該市場預計將擴張並於2035年達到人民幣10,517億元。

按收入劃分的全球硅光智能製造設備下游應用市場規模



資料來源：Yole集團、灼識諮詢

光子及硅光智能製造設備的主要驅動因素與趨勢

- 人工智能算力需求增長及人工智能基礎設施擴張
 - 人工智能驅動的對高速算力網絡的需求

傳統的電信號傳輸面臨物理極限，因此光子解決方案愈來愈多地應用於高速互連。透過多通道聚合，光學模組可實現每秒800G、1.6T及3.2T的速率。與電連接相比，該等光子解決方案具備多項優勢，包括以更高容量進行超快數據傳輸及降低對電磁干擾的敏感性。因此，高速光子及硅光器件日益被部署以緩解數據流量瓶頸、加速人工智能模型訓練並提升高性能計算效率。

- 人工智能基礎設施投資擴張

對大模型訓練與推理的需求正推動計算集群的建設。全球人工智能基礎設施投資持續擴大，雲服務提供商加速數據中心建設。這推動了對大規模部署高速、高度集成光子及硅光模組的需求。該等模組對封裝耦合精度、時序及良率提出了更嚴格的要求，從而推動了對光子及硅光器件智能製造設備的需求。

行業概覽

- **CPO技術的應用**

- **CPO在降低功耗方面的價值提升**

CPO持續演進，自2023年起商業化進程加速，並在向3D單片集成方向取得進展。功耗乃屬數據中心擴展的限制因素。在傳統的高速可插拔光學模組中，高速電信號在交換機與光學模組之間傳輸，更長的傳輸距離導致更高的功耗。CPO透過共封裝將光引擎與計算芯片緊密集成，縮短了交換芯片與光引擎之間的佈線距離，並降低了驅動功率，從而減少了此功耗。

根據博通公司於2025年的演示，與可插拔設備相比，其最新的CPO解決方案可將總系統功耗降低高達70.0%。CPO封裝正成為高集成、低能耗光互連的核心解決方案。根據英偉達官方網站，其CPO解決方案的功率效益較可插拔模塊解決方案提升3.5倍。CPO封裝技術已由CoWoS（晶圓級芯片封裝）演進至台灣積體電路製造股份有限公司（台積電）開發的COUPE（緊湊型通用光子引擎），從傳統的電學晶片至基板互連轉向邏輯晶片與光子晶片之間的直接光學耦合，從而改善互連距離並降低功耗。

為滿足CPO解決方案的大批量生產需求，業界亦需要自動化光纖製備解決方案以擴大光纖連接器的生產規模，而光纖連接器乃CPO解決方案的關鍵部件。例如，扇港元器件（SENKO Advanced Components）於「2025年臺灣半導體展」上發佈了一款兼容CPO的新型光學連接器。

- **CPO市場增長**

CPO技術主要針對高性能計算及人工智能集群中的CPU、GPU及TPU市場。商業化始於2023年，預計將於2027年左右規模化量產。根據Yole集團的數據，全球CPO光引擎的市場規模預計將從2024年的人民幣3億元增長至2029年的人民幣386億元，複合年增長率為160.5%。CPO的採用預計將進一步推動對智能製造設備的需求。

行業概覽

- *OCS技術的應用*

- *OCS在降低功耗方面的價值提升*

傳統的電交換機依賴於光-電-光轉換，在電信號處理過程中會產生延遲及額外的功耗。OCS重新配置光信號的物理路徑，繞過了耗時且耗電的轉換過程。這帶來了更高的帶寬密度、更低的延遲及更低的能耗。根據谷歌公佈的結果，其OCS解決方案可將總系統功耗降低41.0%，同時實現更高的吞吐量及更低的成本。

- *OCS市場增長*

在人工智能集群及高性能計算需求的推動下，OCS市場呈現增長勢頭。根據LightCounting的數據，OCS交換機的出貨量預計將從2024年的約1.35萬台增長至2029年的5.00萬台以上，複合年增長率約為30.0%。

- *下游新興應用領域的技術需求提升*

- *衛星通信要求*

低地球軌道衛星設備在長距離上運行，要求極低的傳輸延遲及高抗干擾性。傳輸過程中的光束對準推動了具備激光校準能力的耦合設備在精度上的改進。

- *激光雷達技術進步*

未來激光雷達的發展趨勢乃屬固態化及芯片集成化，推動光子及硅光芯片向更小尺寸及更低功耗發展，這反過來又要求相關設備具備更高的精度及更先進的組裝技術。

- *生物傳感技術應用*

生物傳感對生物光學傳感芯片的超高靈敏度及微型化結構提出了要求，推動了相關製造設備在精度及集成度上的技術升級。

行業概覽

- **技術挑戰推動更先進的製造設備**

由於技術要求更高，硅光智能製造面臨比光子設備更多的技術挑戰，包括更精確的運動控制、更先進的算法及更集成的軟件。

- **多軸運動控制(手)**

硅光智能製造要求納米級的可重複定位精度及快速的動態響應。這依賴於高精度編碼器、線性電機及實時誤差補償算法，以滿足光路耦合及其他關鍵階段的精度要求。

- **先進機器視覺(眼)**

硅光智能製造需要開發高精度成像及多通道同步檢測技術。結合人工智能算法，該等技術優化了光路校準及缺陷識別，解決了耦合精度及工藝控制的問題。

- **工藝控制系統(腦)**

硅光智能製造需要構建一個統一的工藝設計系統。該平台必須集成光電協同仿真及自動化測試工作流程，同時確保兼容性可擴展性。

全球硅光智能製造設備行業競爭格局

全球範圍內，能夠提供智能光子及硅光製造的供應商寥寥無幾。本公司乃屬硅光智能製造設備的領先供應商，其市場份額及技術均位居世界前列。截至最後實際可行日期，本公司乃屬唯一能夠提供端到端解決方案的供應商，該等解決方案覆蓋從晶圓級測試、光子集成電路與硅光器件的組裝，到硅光器件最終檢測的整個硅光器件製造流程。

領先的半導體設備企業正積極響應應用需求，向光子學及硅光領域擴展。自2025年起，彼等透過收購、戰略合作及技術夥伴關係，推進光子及硅光設備的舉措。該等企業的具體商業化時間表尚未確定，因為高精密智能光子及硅光製造具有較高的技術及專有技術壁壘，進展通常需要時間進行開發、驗證及客戶檢測。

行業概覽

2024年全球硅光智能製造設備市場按收入劃分的競爭格局

計入本公司2020年初始投資並於2025年收購的ficonTEC的收入，2024年，本公司在行業中排名第一，佔據約25.5%的市場份額，顯示出客戶對其產品及技術能力的高度認可。

2024年全球硅光智能製造設備市場競爭格局，按收入劃分

排名	公司	2024年 硅光智能 製造收入 (人民幣 十億元)	2024年按 收入計算的 市場份額 (%)	自研軟件特點
1	本公司 ⁽¹⁾	~0.5	~25.5%	全產品線控制系統
2	公司A ⁽²⁾	~0.4	~21.2%	探針測試系統
3	公司B ⁽³⁾	~0.4	~19.3%	貼裝控制系統
4	公司C ⁽⁴⁾	~0.2	~12.4%	探針測試系統
5	公司D ⁽⁵⁾	~0.2	~9.2%	貼裝控制系統

資料來源：專家訪談、灼識諮詢

附註：

- (1) 本公司的收入計及ficonTEC的收入，本公司於2020年首次投資ficonTEC，並於2025年收購該公司。
- (2) 公司A乃屬一家在集成電路整個生命週期內提供必要測試與測量技術的供應商。該公司成立於1993年，乃屬一家總部位於美國的上市企業。其在納斯達克上市。
- (3) 公司B專門提供用於硅光的關鍵製造設備，包括晶圓鍵合系統及精密對準解決方案。該公司成立於1984年，乃屬一家總部位於美國的私營企業。
- (4) 公司C乃屬一家測試解決方案設計商及製造商，專門從事探針卡測試、光電元件自動化測試及先進半導體測試。該公司成立於1995年，乃屬一家總部位於中國台灣的上市企業。其在台北交易所上市。
- (5) 公司D乃屬一家半導體及電子產品製造商，為先進封裝、汽車及物聯網科技提供產品及服務。該公司成立於1975年，乃屬一家總部位於新加坡的上市企業。其在香港聯交所上市。

於10納米以內的超高精度水平上，本公司是全球唯一為量產環境提供超高精度硅光組裝及測試設備的供應商，直線運動精度高達5納米，這是硅光智能製造設備行業組裝線的關鍵設備。

行業概覽

本公司的硅光智能製造在產品線完整性、設備精度及軟件研發方面擁有全球領先的優勢。本公司為唯一提供全產品線的供應商，該產品線涵蓋晶圓級測試、光子學及硅光器件的組裝以及器件最終檢測。我們自研的全產品線控制軟件為此廣度提供了支撐。

在性能方面，本公司的系統實現高達5納米的直線運動精度，而我們的同業則約為100納米。本公司的AOI系統可檢測小至0.5微米的缺陷，而行業範圍為0.7至2微米。

硅光智能製造設備供應商的進入壁壘及關鍵成功因素

- **長期的技術積累及迭代能力乃屬關鍵。**全自動、高精度的組裝與測試設備涉及橫跨光學與光電子學、電子工程、材料科學、機械工程及軟件等多個學科的巨大技術複雜性，形成了一個以跨學科整合為特徵的領域。為量產開發光子及硅光組裝與測試設備，需要多年的工藝知識及數據庫積累。領先公司透過持續迭代受益於先發優勢，而新進入者則在快速克服工藝及軟件壁壘方面面臨挑戰。值得注意的是，硅光製造中的工藝專有技術極難複製。此乃多年來透過實際部署及迭代優化積累的深厚實踐經驗的成果。了解下游光感知、光互連及光計算的技術要求至關重要。該等專業知識必須經年累月，透過與客戶緊密合作、來自生產線的持續反饋以及在實際製造條件下對設備及工作流程進行微調方能建立。因此，工藝專有技術成為一項關鍵的差異化因素及進入壁壘。
- **與關鍵客戶的生態系統建設能力乃屬重要。**硅光智能製造的研發與生產與客戶的產品設計及性能指標緊密相關，需要緊密合作以了解需求並提供滿足功能、精度及效率需求的定製化解決方案。客戶高度重視性能及穩定性，因為這直接影響生產線良率。領先的硅光設備製造商透過與關鍵客戶的合作，建立設備、工藝及產品的閉環，從而形成相對穩定、長期的業務關係，其中累積的性能乃屬核心競爭壁壘。領先的硅光設備製造商與主要客戶共同開展前瞻性及開創性的預研，並滿足工業化及大規模生產的要求。

行業概覽

- **全球化能力亦乃屬一項關鍵成功因素。**服務全球客戶需要國際化的研發、採購、製造及銷售能力。領先公司建立本地化的服務運營及全球物流與銷售網絡，以快速響應客戶需求並提升服務滿意度。建立該等全球服務能力需要大量的資本投入、運營專業知識、成熟的內部管理體系以及與全球客戶的長期合作夥伴關係。

全球光伏智能製造設備行業概覽

光伏智能製造設備

光伏智能製造設備乃指一類先進的製造設備與系統，其利用下一代信息技術，並貫穿於光伏產品開發的全過程。該等先進的製造設備與系統能夠提供高效及高通量的生產線。

光伏電池的製造(尤其是TOPCon、HJT及XBC等下一代高效電池)需要高水平的精度及工藝控制，以確保最佳的能量轉換效率、良率及長期可靠性。

光伏電池製造的許多關鍵工序(如摻雜、激光劃線、金屬化及薄膜沉積)需要在微米乃至亞微米尺度上進行精確控制。對準、厚度或圖案化的微小偏差均可能嚴重影響電池效率及良率。先進光伏電池涉及具有多個層(例如鈍化層、抗反射塗層、透明導電氧化物)的複雜架構。在大面積晶圓上實現均勻沉積及對準需要能夠進行實時監控和自適應控制的智能系統。此外，從銀基金屬化向銅電鍍的轉變為工藝及材料相互作用帶來了更大的複雜性。

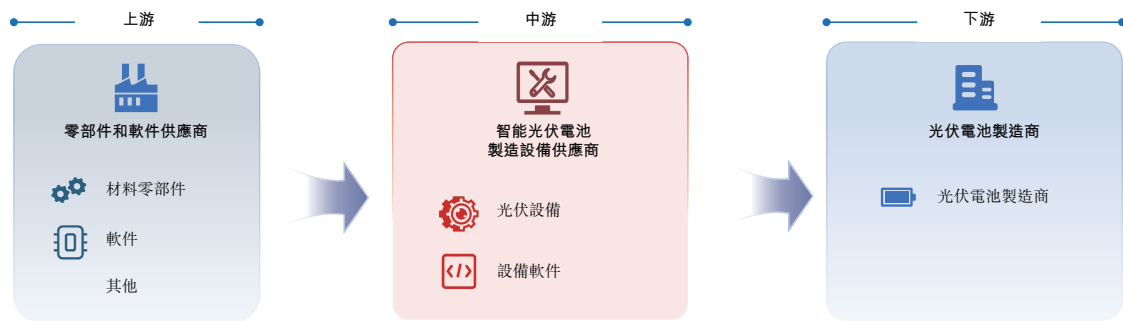
隨著全球向更清潔、更低碳的能源結構轉型，光伏產業正迎來重大的發展機遇，並逐漸成為變革全球能源體系的關鍵力量。人工智能的快速發展推動了能源需求的激增，而光伏系統憑藉其可擴展性及可持續性，成為滿足全球能源需求加速增長同時協調工業增長與碳中和目標的基石，該轉型因此進一步被催化。作為光伏製造體系的工藝基礎及精度保障，智能光伏製造設備透過持續創新不斷發展，在提升產業效率及產品質量方面發揮著重要作用。

行業概覽

光伏智能製造設備產業鏈

光伏智能製造設備的產業鏈高度整合，涵蓋從關鍵基礎元件到終端應用的完整產業體系。例如，智能光伏電池製造設備的產業鏈如下所示。

智能光伏電池製造設備產業鏈



資料來源：灼識諮詢

上游環節主要涉及傳動元件、傳感器、機器視覺系統、運動控制器、專用工業控制軟件及智能製造執行系統等核心部件。

中游環節整合上游的元件及軟件，開發專用設備，並提供覆蓋多個工藝階段的完整生產線解決方案。領先企業已從單一設備供應商逐步轉型為集成生產線及服務提供商。透過深度整合工藝與設備技術，向下游客戶提供全面的技術支持及持續的優化服務。

下游環節主要由光伏電池及模組製造商構成。彼等的產能擴張步伐、技術路線選擇以及降本增效的需求，推動了中游裝備行業的發展。

行業概覽

光伏產品及生產流程

光伏產品包括硅片、電池及模組。製造過程如下：

硅片生產。該階段代表了從工業硅原料到合格成品硅片的完整過程。其核心涉及兩個主要的連續步驟：硅材料製備及晶圓成型。

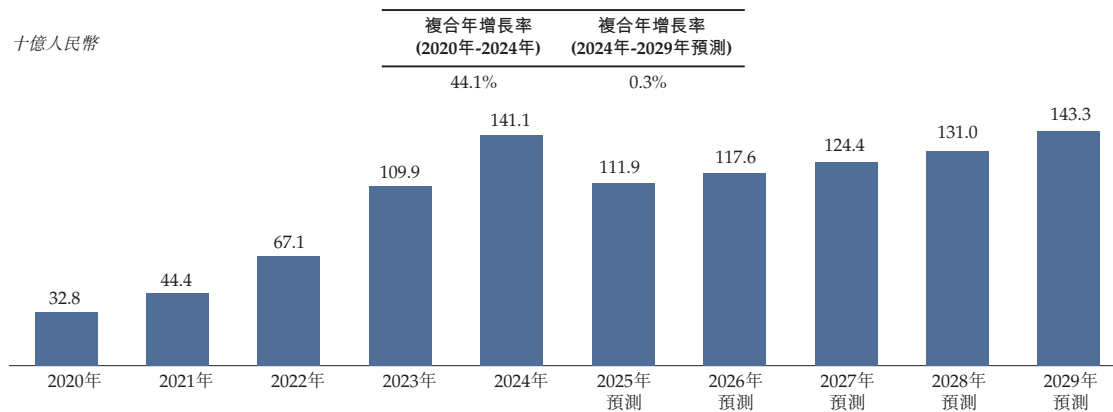
電池片制備。製造通常遵循表面制絨、高溫擴散、蝕刻等工序。電池最終經過測試與分選，以達到所需的效率及電性能標準。

模組組裝。在此階段，單個電池透過串焊機相互連接，形成電池串。成品被封裝為可隨時部署的光伏模組。

全球光伏智能製造設備行業市場規模

全球光伏智能製造設備的市場規模從2020年的人民幣328億元增長至2024年的人民幣1,411億元，複合年增長率為44.1%。預計全球光伏智能製造設備市場將因目前光伏市場產能過剩而於2025年暫時下滑，並於其後數年逐步復甦。預計2024年至2029年的複合年增長率為0.3%，市場規模將於2029年達到人民幣1,433億元。

按收入劃分的全球光伏智能製造設備行業市場規模



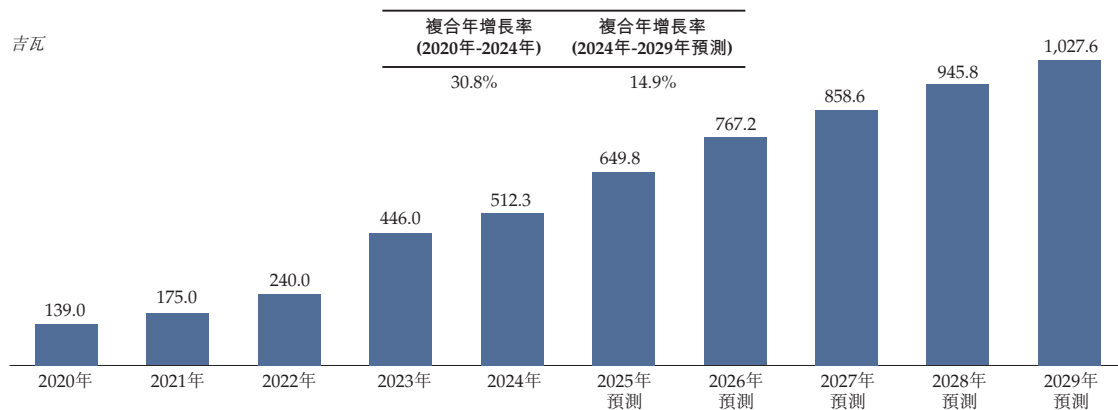
資料來源：中國光伏行業協會、歐洲太陽能協會、灼識諮詢

行業概覽

全球光伏智能製造設備行業下游應用市場規模

全球光伏智能製造設備的下游應用市場規模與全球年度新增光伏裝機容量相對應。其從2020年的139.0吉瓦增長至2024年的512.3吉瓦，實現了30.8%的複合年增長率。預計到2029年，總規模將達到1,027.6吉瓦，2024年至2029年的複合年增長率為14.9%。

按新增裝機容量劃分的全球光伏智能製造設備行業 下游應用市場規模



資料來源：中國光伏行業協會、歐洲太陽能協會、灼識諮詢

光伏智能製造設備行業的主要驅動因素與未來趨勢

- **技術迭代與降本增效的雙重需求。**由於目前光伏行業產能過剩，到2025年光伏製造設備需求將會下降。光伏行業始終面臨著降本增效的核心需求，這推動了整個供應鏈的持續技術迭代。旨在替代昂貴傳統銀漿工藝的銅電鍍等技術，對設備的精度控制能力及工藝穩定性提出了更高的要求。從提效角度看，下游高端製造商對電池轉換效率及生產週期時間的要求不斷提高。這需要設備確保電池結構的精確加工，同時具備高效及高通量運行能力以提高單位時間產出。隨著未來新增裝機量的增加，對光伏智能製造設備的需求預計將逐步增長。

行業概覽

- **全球化佈局與供應鏈重構。**隨著印度、越南、泰國及馬來西亞等新興光伏市場的產能持續擴張，以及歐美等地區光伏裝機需求的增長，下游高端光伏企業對設備供應商在供應及時性、適應地區技術標準及穩定性保障方面提出了更高的要求。這推動了光伏設備行業加速建設全球銷售與服務網絡，以精準響應不同地區下游製造商的大容量生產需求，並配合光伏產業全球化佈局下的設備配套節奏。
- **AI驅動的能源轉型與碳中和戰略。**全球範圍內，許多國家及地區已提出如碳中和或氣候中和等長期氣候目標。與此同時，AI的快速進步極大地推動了全球能源需求，特別是數據中心的電力消耗激增。為滿足該能源需求並實現碳中和目標，光伏等可再生能源已成為關鍵的賦能技術。光伏憑藉其資源可及性廣、技術成熟度高及成本持續下降的優勢，已成為全球可再生能源裝機容量的重要元件。光伏產業的大規模擴張推動了對智能光伏製造設備的需求。

全球光伏智能設備製造行業競爭格局

2024年光伏智能製造設備市場按收入劃分的競爭格局

全球光伏智能製造設備行業市場競爭激烈且分散，中國公司主導領先地位。光伏智能製造設備包含多種類型，包括工藝設備及自動化設備，彼此之間並無競爭關係。其中，智能光伏電池自動化設備約佔光伏智能製造設備市場整體的10%。2024年，本公司在智能光伏電池自動化製造設備行業中以人民幣11億元的收入排名第四，佔據光伏智能製造設備市場整體的約0.7%。

行業概覽

2024年智能光伏電池自動化製造設備市場競爭格局，以收入計

排名	公司	2024年光伏 電池自動化 製造設備收入 (人民幣 十億元)	2024年 按收入計算的 市場份額 ⁽¹⁾ (%)
1	公司E ⁽²⁾	~5.0	~3.5%
2	公司F ⁽³⁾	~2.0	~1.4%
3	公司G ⁽⁴⁾	~1.9	~1.3%
4	本公司	~1.1	~0.7%
5	公司H ⁽⁵⁾	~0.9	~0.6%

資料來源：年報、專家訪談、灼識諮詢

附註：

- (1) 於光伏智能製造設備市場按收入計算的市場份額。
- (2) 公司E致力於為光伏及泛半導體領域提供核心工藝解決方案。該公司成立於2016年，乃屬一家總部位於中國的上市企業。其上海證券交易所上市。
- (3) 公司F致力於製造光伏設備及綠色能源行業專用設備。該公司成立於2003年，乃屬一家總部位於中國的上市企業。其在深圳證券交易所上市。
- (4) 公司G致力於高效光伏電池智能自動化設備的研發、生產及銷售。該公司成立於2007年，乃屬一家總部位於中國的私營企業。
- (5) 公司H致力於為鋰電池、光伏及3C行業提供智能製造解決方案。該公司成立於1999年，乃屬一家總部位於中國的上市企業。其在深圳證券交易所上市。

行業概覽

光伏智能製造設備供應商的進入壁壘及關鍵成功因素

- **規模與資金壁壘，供應鏈與成本控制。**光伏設備的試錯成本高，加上大容量、高速設備需要大規模的精密加工及裝配線，形成了顯著的資金壁壘。領先企業利用大規模生產有效攤薄研發及生產成本。在採購核心元件時，彼等亦因其規模優勢而享有優先供應權及成本折扣。
- **服務與生態壁壘，一體化解決方案。**光伏智能製造設備的維護複雜度高，加上下游製造商對整體生產線效率的要求不斷提升，推動了領先企業從單純的設備供應商轉型為提供整體解決方案的供應商。全球服務網絡及整線能力使該等領先者能夠與下游客戶形成深度合作夥伴關係，從而形成基於生態系統的壁壘。新進入者因缺乏全線經驗及服務網絡積累，難以快速複製此模式。
- **與全球光伏相關政策的戰略協同。**光伏智能製造設備產業的發展與全球「雙碳」目標及智能製造政策的推進密切相關，政策走向將影響光伏裝機規模及設備技術升級需求。與此同時，全球光伏產能呈現區域聚集特徵，技術路徑的迭代推動了持續的設備更新需求。成功的企業能夠敏銳捕捉全球政策趨勢及市場需求變化，圍繞關鍵光伏生產樞紐實施全球戰略佈局。該方法確保了貼近下游客戶以實現快速響應，並減輕了任何單一市場政策或需求波動的影響，保障了業務的持續增長。

資料來源

我們委託獨立市場研究與諮詢公司灼識諮詢對智能製造設備行業進行詳細的研究與分析。灼識諮詢成立於香港，提供行業諮詢、商業盡職調查及戰略諮詢等專業服務。我們已同意為編製灼識諮詢報告支付費用人民幣477,000元。我們相信，該付款不會影響灼識諮詢報告中所作結論的公正性。我們已在本節以及「概要」、「風險因素」、「業務」、「財務資料」及本文件其他章節中摘錄了灼識諮詢報告的若干資料，以便為潛在投資者提供對我們業務所在行業的更全面介紹。

行業概覽

在編製灼識諮詢報告的過程中，灼識諮詢進行了初步及二手研究，以獲取與智能製造設備行業相關的知識、統計數據、信息及行業見解。初步研究涉及與主要行業專家及領先行業參與者的訪談。二手研究涉及分析來自各種公開可得來源的數據。灼識諮詢報告的編製乃基於以下假設：(1)預計全球整體社會、經濟及政治環境在預測期內將保持穩定；(2)在整個預測期內，相關關鍵驅動因素可能推動全球智能製造設備行業的持續增長；及(3)不存在可能對行業產生實質性或根本性影響的極端、不可預見或不可抗力的行業法規。所有與市場規模相關的預測均基於截至最後實際可行日期的整體經濟狀況。

我們的董事已確認，自灼識諮詢報告刊發日期以來，市場資料並無不利變動，而該等變動可能會修飾、抵觸或影響本行業概覽一節所載的資料。我們的各董事及聯席保薦人已盡合理努力甄選及確定所述資料來源、編纂、摘錄及轉載該等資料，並確保本行業概覽一節所載的資料並無重大遺漏。