

行業概覽

本節及本文件其他章節所載資料及統計數據摘自不同的官方政府刊物、可供查閱的公開市場研究資料來源及獨立供應商的其他資料來源，以及弗若斯特沙利文編製的獨立行業報告。我們委聘弗若斯特沙利文編製有關[編纂]的獨立行業報告（「弗若斯特沙利文報告」）。來自官方政府來源的資料並無經我們、聯席保薦人、[編纂]、彼等各自的任何董事及顧問或參與[編纂]的任何其他人士或各方獨立核實且概無就其準確性發表任何聲明。因此，本節所載來自官方政府來源的資料可能不準確。

AI時代的光計算及光互連市場背景

人工智能演變的分析

人工智能的發展歷經多輪技術迭代，由簡單規則系統演進至複雜架構。在此過程中，計算能力需求迅速增長。隨著模型參數規模從數千萬擴展至數千億甚至萬億級，訓練數據集由千兆字節攀升至千萬億字節，傳統電子計算架構正面臨能耗與延遲的雙重瓶頸。當前，大模型訓練的興起、跨領域通用智能的追求，以及多模態任務的融合，均對計算能力提出極高要求，更強大且高效的計算能力已成為支持這些發展的必備條件。

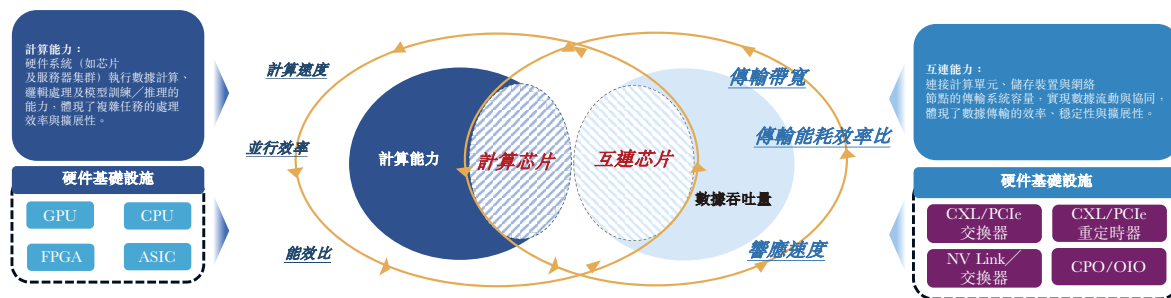
光計算與光互連技術為此挑戰提供了有效解決方案。光芯片作為核心組件，憑藉光學並行處理的先天優勢，以及光信號傳輸的高速、大容量與低干擾特性，既能滿足大模型訓練的海量計算需求，又可緩解數據流動中的帶寬瓶頸與傳輸延遲，從而成為支持人工智能未來穩步推進的基礎設施。

人工智能相關基礎設施的分析

人工智能的相關基礎設施架構，建立在計算能力與互連能力的協同效應之上，二者共同構成了支撐AI產業發展的雙支柱體系。這兩大要素的效能與協同程度，直接決定了產業發展的邊界空間。計算層負責生成處理能力，決定了人工智能可執行任務的規模。互連層則實現處理能力的傳輸，主導著計算資源協同運作的效率。

行業概覽

人工智能相關基礎設施的分析



資料來源：弗若斯特沙利文

提升AI算力的路徑

路徑一：提升單芯片性能

i. 新興計算範式：新興計算範式對於克服傳統電架構固有的帶寬及能耗瓶頸至關重要。光計算的突出優勢在於利用光子的傳播特性，在無電阻情況下，實現更高帶寬及更低傳輸延遲。透過採用光電混合架構，其利用光信號進行高速傳輸及乘積累加運算，而電子電路則處理邏輯及控制。這種創新協同效應有效消除了傳統的數據移動延遲，提供的計算性能顯著超越傳統電模型。

ii. 先進封裝作為賦能技術：先進封裝技術已成為突破傳統工藝縮放物理限制及提升整體系統效率的關鍵解決方案。業界日益採用芯片集成技術，而非倚賴大型單片式裸晶，透過硅中介層等高帶寬、低延遲接口連接較小的功能模塊。此種模塊化方法不僅提高製造良率及降低成本，亦能實現異構單元(如CPU、GPU及NPU)的無縫集成。因此，其在單一軟件包內構建了高度協作的計算環境，大幅提升計算能力及應用靈活性。

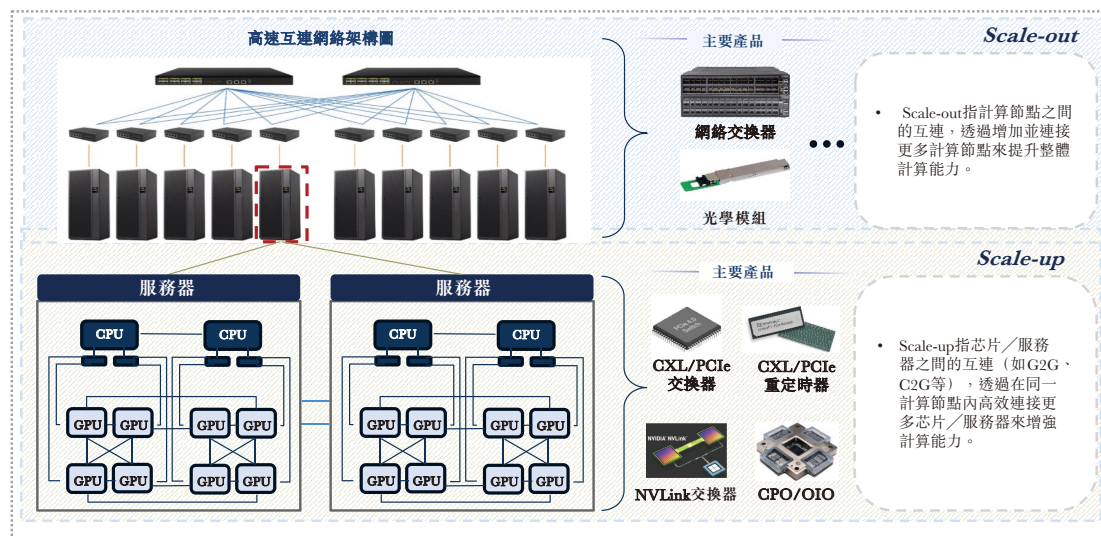
iii. 芯片製造工藝的進展：摩爾定律指出，集成電路上的晶體管數量約每18至24個月就會翻倍，從而推動計算性能呈指數級提升。過去數十年間，芯片製造商通過持續縮小晶體管尺寸，實現了頻率、能效與成本的多重優化。然而，當節點進入7納米及以下領域時，微縮技術開始面臨量子隧穿、電遷移及散熱等物理極限。純粹的幾何尺寸縮減已無法帶來顯著性能提升。自2015年起，每個新節點帶來的性能改善幅度明顯放緩，難以滿足AI時代增長的算力需求。因此，業界亟需開拓創新路徑，以補充節點微縮的局限性，而光計算則不受類似限制。

行業概覽

路徑二：高速互連技術以擴展計算集群

高速互連作為基礎架構，可從Scale-up及Scale-out兩個維度擴充人工智能計算能力。Scale-up架構倚賴CXL、NVLink及CPO等關鍵技術，以最大限度實現單個計算節點內數據傳輸效率及資源協同效應。相反，Scale-out利用網絡交換機及光模塊連接多個獨立節點，將其整合為一個龐大的集中式計算資源池。此等互連維度共同促成由數千台設備組成的龐大GPU集群的無縫形成，從根本上維持人工智能能力的持續增長。

高速互連技術推動AI算力擴張



資料來源：弗若斯特沙利文

光電混合算力的實現路徑

全光計算的實現遵循階段性演進路徑。現階段，數據中心內高速數據傳輸採用的光互連技術，已邁向大規模商用化的第一步，有效解決了電互連的帶寬瓶頸。中期將透過與光交換技術的整合，實現完成「傳輸—交換」閉環的全光數據中心。長期而言，光計算與光互連的融合將催生全光架構，標誌著從「電計算+光傳輸」模式向全光計算範式的轉變。

AI計算與互連產品的市場潛力

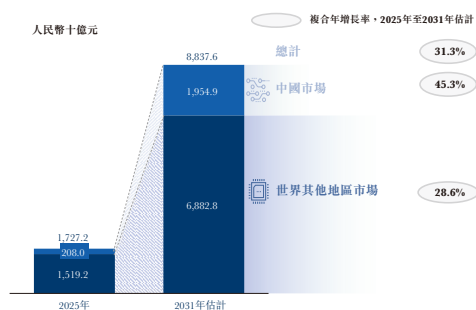
隨著人工智能技術快速發展，大模型的參數規模正呈指數級增長，從而推動全球算力需求激增。此趨勢正加速AI計算平台的擴張，包含用於模型訓練與推論的AI計算芯片，以及實現芯片間高速通訊的互連系統。二者共同構成支撐智能經濟的核心基礎設施，其市場

行業概覽

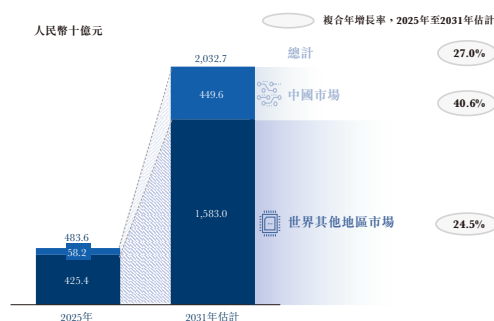
規模龐大且增長動能強勁。在AI計算產品市場，全球增長主要受AI應用場景加速擴張推動，從而放大對計算產品的需求。此擴張不僅得益於中國在AI領域的快速進展，更獲政策激勵與本土替代需求雙重支撐。儘管海外市場規模仍居絕對高位，但其增速卻落後於中國。

在AI互連產品市場中，增長主要受超大規模AI集群對高速、低延遲互連技術的需求所驅動。在人工智能互連產品市場，超大規模人工智能集群對高速及低延遲互連的需求構成增長的主要驅動力。全球市場預期將由2025年的人民幣4,836億元擴大至2031年的人民幣20,327億元，複合年增長率為27.0%。與海外市場的24.5%相比，中國的複合年增長率預計將更快，將達40.6%。與AI計算產品類似，中國對AI互連產品的需求遠高於其他地區，反映出中國在AI發展領域的強勁動能。中國AI計算與互連市場的快速擴張，為光互連、光計算等下一代技術提供了廣闊的商業化機遇。

按收入劃分的中國與世界其他地區的
全球AI計算產品市場規模，
2025年及2031年估計



按收入劃分的中國與世界其他地區的
全球AI互連產品市場規模，
2025年及2031年估計



資料來源：弗若斯特沙利文

附註：

- (1) 市場範圍涵蓋由人工智能計算芯片公司自行研發的互連產品。在計算該等自主研發產品產生的收入時，僅計入歸因於光互連產品的價值。

光互連市場分析

光互連技術作為人工智能與高性能計算時代的關鍵使能技術，可依應用場景分為Scale-out與Scale-up兩大類。Scale-out光互連主要用於計算節點間的連接，目前已廣泛部署於數據中心及AI訓練集群，成為業界標準配置。相對而言，Scale-up光互連專注於計算節點內芯片間的高速互連。現有市場仍以銅為傳輸介質的Scale-up電互連為主導技術。隨著AI模型規模持續擴大及單芯片帶寬需求提升，傳統Scale-up電互連在性能與功耗方面已難以滿足芯片間通信需求。因此，預期Scale-up光互連將逐步取代傳統電互連，成為Scale-up互連解決方案演進的必然方向。

行業概覽

Scale-up光互連的定義與分類

Scale-up光互連技術指專為芯片間Scale-up連接設計，是一種高速數據傳輸技術。該技術以光子作為信息載體，透過光學介質在計算芯片間建立低損耗、高帶寬的連結。相較於依賴銅傳輸的傳統電互連技術，光互連在帶寬密度、傳輸距離及能源效率方面具有顯著優勢，能突破大規模並行計算中電互連的性能瓶頸，滿足超大規模AI集群及高性能計算系統的需求。

就產品形態而言，規模化光互連產品主要包括線性可插拔光模塊(LPO)、近封裝光學(NPO)、共封裝光學(CPO)及光路交換(OCS)。LPO採用簡化的線性驅動架構，是目前超節點中長距離板間及機櫃間連接的主流方案。NPO將光引擎更貼近計算或交換芯片，縮短電氣走線距離，提升信號完整性與傳輸效率，是邁向CPO的重要過渡形態。CPO將光引擎與交換機ASIC或AI加速芯片緊密集成於同一封裝或基板內，實現最高帶寬密度與最低能耗，被視為下一代超大規模集群的核心解決方案。OCS通過全光交叉連接實現計算節點間的大規模交換與流量調度，相比傳統電交換具備更低功耗與更大端口擴展能力，從而支撐超大規模AI計算集群的網絡互連。

Scale-up光互連與電互連的比較分析

從架構角度來看，Scale-up光互連技術採用光子作為信息載體，依託支持多波長並行傳輸的光學路徑。相比之下，電互連則依賴電子在導電介質中的移動，僅能實現串行或有限並行傳輸。

就技術性能而言，光互連技術不僅能實現單鏈路帶寬的線性擴展，突破電子遷移的物理限制，同時兼具更低能耗、更低延遲及更強抗電磁干擾等優勢。相比之下，電互連不僅易受干擾影響，更在帶寬、能耗與延遲方面面臨根本性瓶頸。就成本結構而言，光互連技術需投入較高的初期研發與製造成本。然而，隨著技術成熟度提升與規模化量產，成本預期將下降，且全生命週期能源成本始終維持低位。反觀電互連的初始硬件成本雖較低，但在高帶寬與長距離應用場景中，往往需頻繁升級，導致總持有成本長期處於劣勢。在應用場景方面，Scale-up光互連技術特別適用於對高帶寬與低延遲有嚴格要求的超大規模數據中心及AI計算集群。電互連雖然因成本較低目前仍主導短距連接市場，然而，隨著光互連成本持續下降，加上AI計算需求快速增長，電互連預計將逐步被Scale-up光互連技術所替代。

Scale-up光互連產品形態的演進

Scale-up光互連產品形態的演進，反映了交換架構與封裝集成兩個基本維度。隨著AI集群及高性能數據中心對更高帶寬、更低延遲及更高能效的要求不斷提升，互連架構必須持

行業概覽

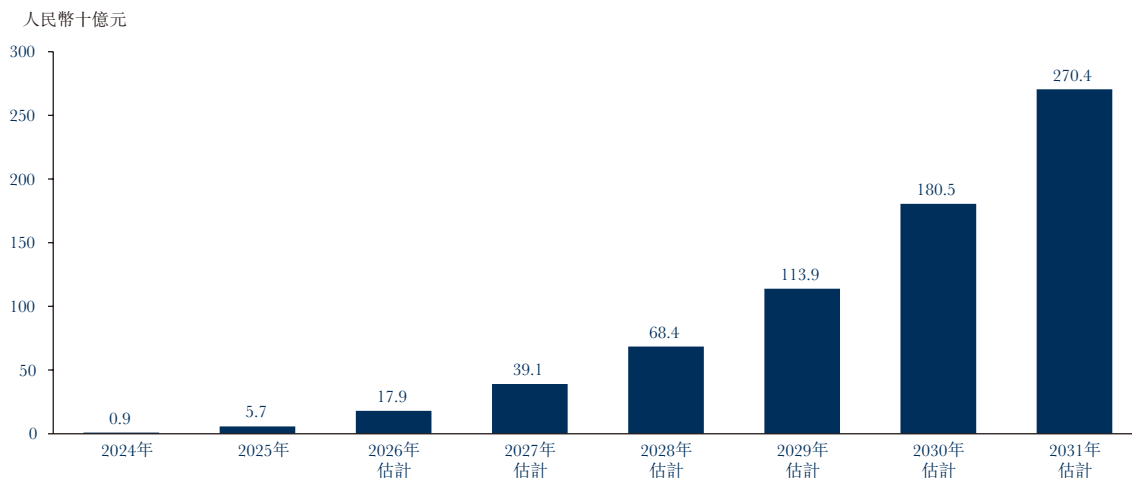
續突破性能瓶頸。交換架構決定了延遲與能效的極限，而封裝形態則決定了帶寬密度與傳輸效率。正是下一代算力基礎設施不斷提高的要求，驅動著行業朝向更深入的光化及更高水平的集成方向發展。

在交換層面，目前主流的「光傳輸加電子交換」模式仍依賴電子芯片進行路由，限制了可擴展性與能效。為滿足超低延遲及高帶寬需求，業界正朝著全光交換邁進，讓光信號直接在交換節點內完成路徑選擇與路由，省去反復的光電轉換，從而顯著降低延遲與能量損耗。在封裝層面，集成已從LPO發展至NPO，最終邁向CPO，持續縮短電傳輸路徑，並提升帶寬密度與能效。因此，向全光互連及CPO封裝的轉變並非偶然，而是對大規模AI計算系統性能需求的結構性回應。

Scale-up光互連的市場規模

中國的Scale-up光互連市場仍處於早期階段，目前專注於超節點計算場景。Scale-up光互連市場的快速擴張主要由三大因素驅動。首先，AI集群架構正從單節點向超節點配置轉變，急劇增加了機櫃內及機櫃間的互連需求，並超出了電互連的物理極限。其次，芯片互連帶寬的持續增長暴露了電解決方案在帶寬密度、功耗及延遲方面的限制，加速了向光學技術的轉變。第三，硅光技術的成熟及CPO等先進集成形態，加上規模效應帶來的成本下降，正提升其經濟可行性，並使其能夠部署到超節點以外的更廣泛場景。

Scale-up光互連市場規模* (以收入計)，中國，2024年至2031年估計



資料來源：弗若斯特沙利文

附註：

- (1) 市場範圍涵蓋由人工智能計算芯片公司自行研發的Scale-up互連產品。在計算該等自主研發解決方案產生的收入時，僅計入人工智能計算集群收入中歸因於Scale-up光互連部分的價值。

行業概覽

Scale-up光互連市場的驅動因素及發展趨勢

- **技術架構的範式轉變**

電互連的物理極限與光學技術的優勢，正推動Scale-up光互連在算力基礎設施中邁向核心角色。隨著帶寬、功耗及延遲的限制日益加劇，業界正推動硅光集成、CPO及線性驅動架構的發展，以縮短傳輸路徑並提升效率。通過將更緊密的芯片級集成與波分複用及優化的網絡設計相結合，Scale-up光互連正從組件解決方案演進為系統級架構。

- **算力需求的指數級擴張**

與此同時，激增的AI訓練需求正將Scale-up光互連推向數據中心的核心。機櫃級端口密度的快速增長暴露了電互連的可擴展性極限，使得光學解決方案對於超大規模集群及萬億參數模型至關重要。這正在加速1.6T等超高速模塊的應用，並推動向更靈活、更可擴展的計算網絡轉變。

中國Scale-up光互連市場的競爭格局

目前，儘管光互連市場(特別是scale-up互連領域)仍處於早期階段，本公司觀察到一個明確的市場拐點，其由大語言模型的快速應用以及對超節點架構日益增長的需求所驅動，從而為高性能光互連解決方案創造了持續需求。隨著超節點獲得更廣泛的應用、GPU互連帶寬持續提升，具備系統設計與集成能力的光互連解決方案提供商將率先受益，獲取差異化的競爭優勢，並推動更廣泛的市場邁向商業化及擴張。

中國Scale-up光互連行業的市場排名

於2025年，中國Scale-up光互連市場中僅有兩家公司實現大規模商業化，引致競爭格局高度集中，前兩大參與者合共佔總市場份額約99.8%。其中，本公司是中國境內唯一實現大規模商業化的獨立Scale-up光互連解決方案供應商。在獨立Scale-up光互連解決方案供應商中，本公司於2025年按收入計排名第一，產生收入人民幣79.2百萬元，佔市場份額約88.3%。本公司亦是市場上唯一能夠提供端到端集成式大規模Scale-up光互連解決方案的獨立供應商。本公司的解決方案覆蓋硬件及組件級交付、軟件及智能管理、仿真與系統設計、端到端鏈路及交鑰匙解決方案，並已與多家人工智能計算芯片製造商及系統集成商建立商業合作關係。儘管若干組件由第三方供應商製造，但該等活動本質上屬合約製造服務。此類製造產生的價值乃作為公司的成本項目入賬；因此，為避免重複計算，可歸屬於該等活動的價值已從市場規模計算中剔除。

行業概覽

2025年中國Scale-up光互連解決方案供應商排名(按收入計)

排名	公司名稱	收入 (人民幣百萬元)	市場份額 (%)
1	公司A	5,636.2	98.4
2	本公司.....	79.2	1.4
	其他.....	10.5	0.2

資料來源：弗若斯特沙利文

2025年中國獨立Scale-up光互連解決方案供應商排名(按收入計)

排名	公司名稱	收入 (人民幣百萬元)	市場份額 (%)
1	本公司.....	79.2	88.3
	其他.....	10.5	11.7

資料來源：弗若斯特沙利文

全球Scale-up光互連領先企業對比

	本公司	公司A ⁽¹⁾
成立時間	成立於2017年	成立於1987年
業務模式	作為第三方供應商，提供全面集成的光互連系統架構，該架構包含硬件及組件級交付、軟件及智能管理、仿真與系統設計、端到端鏈路及交鑰匙解決方案	作為大型信息通信技術、消費電子及AI算力基礎設施供應商，為其AI計算系統架構開發專有的Scale-up光互連解決方案
產品覆蓋範圍	從Scale-up EPS及Scale-up OCS的LPO產品，至下一代NPO及CPO原型，全面而先進的產品組合，所有該等產品均包含我們自研的光電芯片。	在其人工智能計算集群系統中集成了自研的Scale-up光互連架構，並以高速光互連技術及光收發器作為支撐。
商業化程度	Scale-up產品已實現初步商業化	
客戶覆蓋範圍	我們的客戶主要包括科研機構、互聯網公司、GPU及服務器製造商、系統集成商以及AI基礎設施建設及運營商。	僅部署於其自身的AI基礎設施生態系統及人工智能計算集群系統內。

資料來源：弗若斯特沙利文

附註：

- (1) 公司A為一家於1987年成立的私營公司，總部位於中國深圳。其提供涵蓋信息通信技術基礎設施、AI基礎設施及消費電子產品的廣泛產品及解決方案。

行業概覽

互連方案比較

比較維度		Scale-up電互連	Scale-up光互連
關鍵性能指標	傳輸速率	速率受電子遷移限制 (Gbps級別，高端可達數十Gbps)	超高傳輸速率 (數十Gbps至Tbps級別)
	帶寬	帶寬相對有限，且多通道集成挑戰大	高帶寬容量，支持多通道並行處理
	功耗	功耗高，焦耳熱損耗顯著	功耗低，能效比高
	延遲	相對較高	極低
	抗干擾能力	易受電磁干擾影響	抗電磁干擾能力強
技術成熟度		<p>已實現多項產品及技術迭代：</p> <p>功能性：從早期的點對點數據傳輸，發展到滿足高性能計算集群及AI訓練集群的多節點算力聚合、海量數據高速交互等核心需求，支持更廣泛的應用場景。</p> <p>性能：傳輸速率及帶寬顯著提升 (PCIe 6.0達到64GT/s, NVLink 4.0實現每鏈路100GB/s)，提供微秒級低延遲及高可靠性，同時支持無縫擴展至數百個計算節點。</p> <p>架構：從簡單的直連架構演進至通過PCIe-Switch-Retimer及NVLink核心解決方案構成的複合系統；PCIe協議持續優化實現100埠交換，Retimer增強信號補償，NVLink升級至多GPU網狀互連。</p>	<p>初代產品已被開發、部署及商業化，並持續進行研發以打造更成熟版本，實現廣泛的大規模商業化。</p>
商業化程度		高度商業化，已有NVIDIA及瀾起科技等多家主要公司參與	已實現初步商業化

行業概覽

比較維度	Scale-up電互連	Scale-up光互連
市場規模	2024年，scale-up電互連市場規模達166.9億元，預計至2030年增長至565.7億元，約佔全球AI互連產品市場的11.6%。	2024年，scale-up光互連市場規模達110百萬元，預計至2030年增長至176.5億元，約佔全球AI互連產品市場的3.6%。
下游應用場景	適用於所有場景的推理計算及訓練	已在超節點計算系統中實現初步應用

資料來源：弗若斯特沙利文

光計算產品及市場分析

光計算產品的定義及分類

光計算產品是一種利用光信號進行信息傳輸及計算的新型集成電路。其依託光器件的高速、低功耗等特性，突破了傳統電芯片在算力及能效方面面臨的瓶頸，在AI、高性能計算等領域具有核心應用價值。

從技術架構來看，光計算產品可分為純光計算芯片及光電計算芯片。從應用場景來看，其包括AI加速芯片以及針對科學計算定製的芯片等，以應對該等領域中的密集型計算需求。

光計算產品相對於電計算產品的比較優勢分析

相比電計算產品，光計算產品在性能及效率上具有顯著優勢。在算力方面，光子作為信息載體，利用光速傳輸與波分複用，可實現每秒萬億次級的並行運算，突破了電子晶體管的物理極限，能在微小尺寸內實現極高的計算密度。在性能表現上，光計算憑藉光子的固有速度與並行性，可實現超低延遲，並支持多通道、高帶寬的數據高速讀寫。此外，光子傳輸避免了電阻發熱，產生的熱負荷極低，無需預留過多冷卻空間，從而允許更高的集成密度，並確保其抗電磁干擾能力，在複雜條件下提供穩定計算。相比之下，電計算則受制於散熱問題及電磁干擾。總體而言，光計算產品在能效及可靠性方面具備更強的競爭力。

光計算產品的市場規模

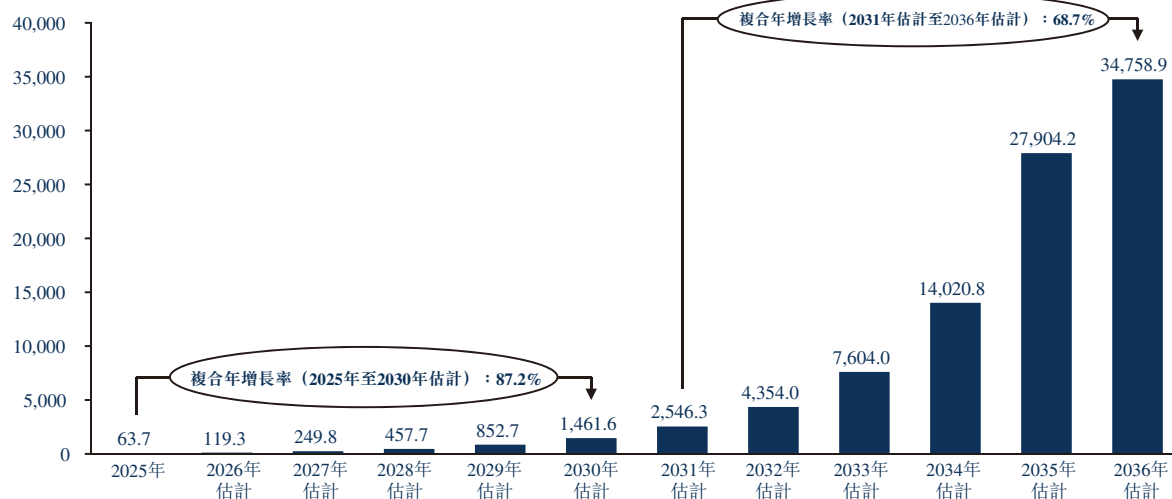
就市場規模而言，中國的光計算產品仍處於產業發展的早期階段。2025年至2030年，隨著光計算生態系統逐漸成形，預計市場將保持穩步增長。2031年至2036年，受快速迭代的AI

行業概覽

大模型算力需求激增以及芯片設計及製造成熟的驅動，光計算芯片預計將從驗證階段過渡至成熟的商業化應用，並開始規模化滲透AI推理芯片租賃市場，並自2030年前後起開始進入非租賃應用。

光計算產品市場規模(以收入計)，中國，2025年至2036年估計

人民幣百萬元



資料來源：弗若斯特沙利文

光計算產品市場的未來增長階段

在AI計算芯片領域，光子芯片憑藉其低功耗及高並行性，對電芯片展現出清晰的替代潛力。其增長遵循分階段的邏輯，每個階段都具有不同的技術特徵、市場表現及生態系統動態。

第一階段：技術突破及研發階段(當前階段)

在此階段，光計算芯片在材料科學、工藝工程及系統集成方面面臨挑戰。研發重點包括最小化光子傳輸損耗及提升調製器響應速度等。該階段在驗證架構可行性方面已取得進展，為未來發展奠定基礎。此階段的特點是研發成本高、市場認知度低。市場規模較小，集中於實驗室驗證及樣品開發，僅有領先的研究團隊及先鋒企業參與。

第二階段：生態構建及市場滲透(2026年至2029年)

隨著核心技術瓶頸的突破，光計算芯片已進入生態建設及市場滲透階段。技術上，更高的芯片集成度、更低的算力成本及工業級可靠性，已為大規模應用創造了條件。市場方面，全球市場保持穩定增長，專業領域的採購需求持續上升，應用場景從實驗室擴展至專業領域。

行業概覽

在政策支持、產學研協作及企業佈局的推動下，其初步生態已形成，特點是技術標準趨於統一、主流技術路線得以確立，並實現了從技術驗證到商業試用的關鍵跨越。

第三階段：商業化及生態成熟(2030年後)

在此階段，光計算生態得以確立。硬件成本進一步下降，性能指標達到更高水平，軟件生態趨於成熟，標準化工具使得主流AI框架能夠在光子硬件上運行。光計算芯片在AI推理、科學計算及數據中心等領域實現廣泛應用。應用範圍擴展至汽車、量子計算等更廣泛領域，重塑半導體行業格局。成熟生態將芯片、軟件及服務整合成協調的系統，並獲得區域聯盟及行業計劃的支持。光芯片在訓練、超級計算及通信等領域成為電芯片的主流替代方案。

從技術突破到生態成熟的演進過程中，光計算芯片的增長邏輯始終圍繞「性能突破 — 成本下降 — 生態完善」的遞進關係。每個技術里程碑都對應着市場規模的躍升，最終將該技術從實驗室轉化為可投入應用的產品及解決方案。

光計算產品市場的驅動因素及發展趨勢

- **生態協同**

傳統計算架構與光驅動的物理屬性之間存在差異，推動了對硬件 — 軟件深度協同優化的需求。為解決兼容性挑戰，業界正在構建從器件級到應用級的生態，並制定統一的標準及接口，實現與電子系統無縫集成，並提升資源效率。隨著時間推移，開源社區及標準化框架將進一步降低准入門檻，將光計算從孤立的硬件模塊轉變為可擴展的系統級解決方案。

- **AI訓練範式轉變**

傳統光計算架構在低精度推理任務中表現出色，但在AI大模型所需的高精度訓練任務上存在不足。為解決此問題，研究人員正在重構光計算的底層邏輯，將梯度計算映射到物理光傳播過程中。這一突破提升了訓練效率，並實現了動態權重調整與網絡優化。隨著光學訓練架構成熟，光計算將超越推理任務，擴展至包括多模態訓練及強化學習在內的完整AI生命週期任務。

全球光計算產品市場的競爭格局

全球光計算市場仍處於探索及早期商業化階段。目前僅有兩家企業實現了商業部署；大多數參與者仍專注於研發，其出貨集中於研究用途(例如實驗室及超級計算中心)。市場

行業概覽

集中度較高，兩家領先企業佔據主導地位，而其他參與者仍處於試驗階段。隨著AI需求激增及光計算性能提升，具備綜合集成能力的企業將引領市場從測試向商業化過渡，重塑AI計算芯片的格局。

全球光計算產品領先企業的對比分析

全球光計算行業仍處於新興階段，整體競爭格局中的大多數參與者仍處於科學研究與探索的早期階段，大規模商業化尚未成為行業普遍現象。

從技術、產品、商業化程度及客戶覆蓋等角度來看：在技術方面，我們憑藉我們開創性的光電計算架構獲得全球頂級期刊認可。我們的產品在集成密度計算性能等關鍵技術指標上相比商用GPU展現出顯著優勢，其系統在特定工作負載下的延遲及計算時間，相比高性能GPU有超過兩個數量級的提升；在產品方面，我們已實現產品迭代速度快且光互連產品以及光計算產品同步推進，在商業化進程及客戶覆蓋多元化方面優勢明顯。2024年，本公司的光計算芯片累計出貨量位居全球第一。

海外代表企業公司B在技術架構創新及產品迭代方面亦具備若干優勢，但商業化進程仍主要聚焦研發階段，合作以戰略研發為主。國內代表企業公司C聚焦特色技術路線，但產品發佈與商業化進展相對較晚，僅達成少數戰略合作。

全球光計算產品領先企業對比

	本公司	公司B ⁽¹⁾	公司C ⁽²⁾
成立時間	成立於2017年	成立於2017年	成立於2022年
已發佈產品 ⁽³⁾	是	否	否
商業化程度	創收	創收	研發階段
客戶覆蓋範圍	已與研究機構、互聯網公司、GPU及服務器製造商、系統集成商以及AI基礎設施建設商及運營商合作。	已與研究機構、互聯網公司、GPU及服務器製造商、系統集成商以及AI基礎設施建設商及運營商合作。	已與若干國內企業簽署戰略合作協議。

附註：

- (1) 公司B，於2017年成立，總部位於美國山景城，是一家利用光子學開發專用芯片及芯片通訊技術（稱為互連）的公司。
- (2) 公司C，於2022年成立，總部位於中國上海，是一家專門從事光通信元件和光計算芯片研發及生產的製造商。

行業概覽

(3) 「已發佈產品」指通過官方網站、新聞發佈會或行業刊物等渠道正式向公眾推出的產品。

資料來源：弗若斯特沙利文

計算芯片比較

	比較維度	GPU	光計算芯片	
關鍵性能指標	計算速度／算力	適用於高度並行問題	適用於串行問題	
	收斂速度	平均水平	延遲低，速度極快	
	延遲	微秒級別	納秒級別	
	功耗	功耗隨算力提升而增加；存在散熱瓶頸	光子天然功耗低；能效比高	
	計算精度	精度穩定，技術成熟	精度較弱，抗干擾性強	
技術成熟度		已持續迭代多個產品系列： 功能層面： 產品經過多輪升級，從傳統圖像渲染拓展至AI計算。 性能層面： 從早期算力弱／速度慢的型號迭代至當前具備極致算力的產品。 架構層面： 從早期依賴基礎流處理器的簡單設計演進至集成CUDA核心、Tensor核心及光線追蹤核心的先進架構。	僅少數產品發佈；仍處研發階段；尚無產品迭代	
	商業化程度	商用產品可得性	已實現商業化	初步商業化；少量產品已部署
		主要廠商佈局	目前有多家高市值、高收入公司，如NVIDIA、AMD、英特爾等	尚未有高市值上市公司；主要為若干企業(包括本公司)進行初步商業部署
市場規模		2024年，全球GPU市場規模為人民幣9,216.5億元；預計至2029年達人民幣31,679.5億元，約佔AI芯片市場的85.4%	2024年，全球光計算產品市場規模為人民幣0.5億元；預計至2029年達人民幣8.9億元，至2035年達人民幣291.2億元	

行業概覽

比較維度	GPU	光計算芯片
下游應用場景	<p>雲端：除少數ASIC外，幾乎均採用GPU解決方案。</p> <p>新興邊緣AI：商業化滲透逐步實現；目前，機器人等計算核心普遍以GPU為主。</p>	初步滲透並應用於運營商及學術研究領域，尚未滲透雲端、數據中心、訓練／推理或邊緣AI領域。

資料來源：弗若斯特沙利文

晶圓價格分析

全球及中國的晶圓定價動態本質上與更廣泛的半導體行業週期一致——主要受供需平衡、產能利用率及技術進步所推動。與獨立的市場週期不同，晶圓價格隨下游需求的轉變及行業產能擴張的步伐而波動。2020年至2022年期間，受全球半導體需求強勁及產能受限的推動，晶圓代工價格呈持續上升趨勢。此趨勢於2023年逆轉，由於消費電子及智能手機的需求疲軟導致晶圓產能利用率不足，對部分環節的價格構成下行壓力。然而，自2024年以來，在消費電子行業逐步復甦，加上AI訓練、汽車級芯片及計算應用的需求持續增長，價格已趨穩定。不同製程節點之間出現分化：先進節點因其在高性能計算及汽車電子領域的滲透率不斷加深而錄得溫和價格漲幅，而成熟節點則面臨價格下行壓力——此乃由於國內製造商迅速擴張產能加劇了市場競爭。展望未來，晶圓價格有望在中長期保持整體穩定。從根本上而言，晶圓價格將繼續反映半導體行業的週期性，並受下游需求波動與整個行業產能發展軌跡的相互作用所影響。

產品生命週期分析

我們的產品通常遵循從概念啟動到終止管理的結構化生命週期。鑑於部署於AI基礎設施及先進計算環境中的光電硬件具有複雜性及高可靠性要求，我們產品的生命週期一般包括：(i)概念啟動及可行性研究；(ii)架構定義；(iii)芯片及模組設計與流片；(iv)工程樣品及客戶樣品、系統級驗證及試點部署；(v)發佈及新產品導入；(vi)量產及商業化；(vii)現場運行、質量監控及迭代改進；及(viii)有序將產品過渡至後續版本及終止安排。

光互連。我們光互連產品在組件／模組層面的生命週期通常較短，但可能涉及跨不同部署架構的多種產品形態。底層光子／電子芯片的開發大致遵循半導體生命週期。然而，鑑於其整合複雜度相較大型計算芯片較低，從項目啟動到量產的時間通常較短，一般參考

行業概覽

基準約為兩年。在模組層面(例如智能收發器類產品)，開發週期通常約為六至八個月，我們通常在量產前進行結構化的新產品導入階段，涵蓋可靠性認證、可製造性驗證及供應鏈準備就緒。

光計算。我們光計算產品的生命週期，通常具有較長的開發與商業化周期，這反映了在光子／電子硬件、封裝以及軟件性能層面需要進行更廣泛的共同優化。按一般行業參考，從專案啟動/概念階段到流片，通常約需18個月，其後從流片到工程／客戶樣品，大約需要六個月，此時產品可能正式發布，再經六至十二個月方可達至量產。進入量產階段後，產品一般會維持至少三年的商業供應期，而由發佈起計的總銷售壽命通常約為四至六年，惟須視乎市場需求及迭代升級的速度而定。

資料來源

我們委託弗若斯特沙利文對全球及中國的光互連及光計算行業進行市場研究，並編製弗若斯特沙利文報告。弗若斯特沙利文是一家獨立的全球諮詢公司，於1961年在紐約成立，提供行業研究及市場策略。我們已與弗若斯特沙利文約定，向其支付人民幣450,000元，用於編製弗若斯特沙利文報告。

在編製弗若斯特沙利文報告時，弗若斯特沙利文進行了詳細的初步研究，包括與若干領先行業參與者討論行業狀況及與相關方進行訪談。弗若斯特沙利文亦進行了次級研究，包括審閱公司報告、獨立研究報告及其自身研究數據庫中的數據。弗若斯特沙利文根據宏觀經濟數據繪製的歷史數據分析，並考慮上述行業主要驅動因素，得出估計總市場規模數據。其市場工程預測方法將多種預測技術與基於市場工程測量的系統相結合，並依賴分析師團隊在整合項目研究階段所調查的關鍵市場元素的專業知識。該等元素主要包括專家意見預測方法、市場驅動因素及限制因素的整合、市場挑戰的整合、市場工程測量趨勢的整合以及計量經濟變量的整合。

弗若斯特沙利文報告乃基於以下假設編製：(i)全球及中國的社會、經濟及政治環境在預測期內可能保持穩定；及(ii)相關行業的主要驅動因素可能在預測期內推動市場發展。