

# 光電子資訊產業有條件率先突破

2022-07-25 14:28:28

來源： 瞭望 2022年第30期



觀眾在第十八屆“中國光谷”國際光電子博覽會上參觀（2021年10月27日攝） 伍志尊攝/本刊

- 在光學技術領域，我國基本與美西方處于同一起跑線，特別是全球光電子產業生態和應用生態還未形成，我國有機會形成以中國為主導的生態體系，實現全面引領
- 中國大陸光子產業規模和產量已領先于歐洲、北美、日本、韓國和中國臺灣地區，產業規模位列全球第一
- 新一代資訊產業已經催生了人工智慧、物聯網、5G、大數據中心等眾多成熟的新應用場景，為光電子技術率先突破提供了強大的需求牽引。我國擁有全球領先的光電子應用場景，這是我國光電子有條件實現率先突破的獨特優勢
- 近幾年，我國光電子技術在資訊獲取、資訊傳輸、資訊處理、資訊存儲和資訊顯示等環節均取得了較大進展
- 光電子技術基于強大的物理屬性上的優勢，將接力積體電路技術路線，成為未來資訊處理和計算的主流技術路線

文 | 米磊

當前新一輪科技革命蓬勃發展，光子技術、量子計算、腦科學、合成生物、可控核聚變、人工智慧、物聯網、大數據、5G等多種技術紛紛涌現，準確識別出具有革命性、基礎性、戰略性的技術並率先在全球實現突破，成為大國競爭的關鍵之一。

當今世界正經歷百年未有之大變局，中國在晶片領域的科技研發中，一方面需要咬定青山不放鬆，在相對落後的電子晶片（積體電路）方向持續追趕；另一方面，可以集中力量投入資源，前瞻性地發展光電子晶片（整合光路），開辟新賽道，爭取形成技術競爭新優勢。

這是因為，光電子技術作為21世紀的戰略性、基礎性、先導性的高技術，能夠廣泛應用于人工智慧、5G、量子資訊、鐳射武器、基因測序、腦科學等眾多新興產業領域。我國光電子技術基礎雄厚，擁有獨特的優勢，具備條件率先實現突破。

中國為什麼有條件率先突破

一項技術、產業能否率先實現突破，受技術發展基礎、技術積累時間差、新舊利益格局、人才隊伍、產業基礎、市場規模等多種因素影響，是這些因素共同作用的結果。綜合這幾方面的情況來看，我國光電子技術和產業應具有率先突破的基礎。

從技術發展基礎來看，光電子是新一輪科技革命中非常有可能實現率先突破的革命性技術。

從物理學最基本的要素來看，歷次科技革命都是在物質、資訊、空間、生命和能量等五大方向上持續爆發革命性技術。從技術演進趨勢來看，人類技術變革是沿著機械、電路、光學、演算法的路徑演進。從現實情況看，20世紀是電的世紀，以積體電路為底層技術的資訊產業革命極大地促進了人類經濟社會的發展。進入21世紀，積體電路性能趨近于物理極限，已經難以持續滿足人類社會資訊獲取、資訊傳輸、資訊處理、資訊存儲和資訊顯示的高速增長需求，經濟社會發展呼喚更先進的技術路線。光電子技術依托其超高速度、超強並行性、超高頻寬、超低損耗等物理屬性上的優勢，在傳輸速度、資訊容量、計算速度、能耗等方面的性能將提升1000倍，能夠成為新一代資訊產業的基礎設施和底層技術支撐。目前，新一代資訊產業已經催生了人工智慧、物聯網、5G、大數據中心等眾多成熟的新應用場景，為光電子技術率先突破提供了強大的需求牽引。

從技術積累時間差來看，歐美國家起步早的技術，我國追趕超越的難度大。反之，與歐美起步時間差距越小的技術，我國越具備率先突破的基礎條件。

發展以硬科技為代表的主導技術需要長時間的積累，持續不斷的工程經驗積累和產業應用生態培育至關重要，需要完整經歷“從零到一”“從一到百”的升級迭代過程。在發動機、渦輪機、基礎材料化學等技術領域，歐美國家擁有上百年的先發優勢。上一輪科技革命中的半導體技術，歐美國家擁有數十年的先發優勢，且形成了積體電路技術生態、產業生態和應用生態。但在光學技術領域，我國基本與美西方處于同一起跑線，特別是全球光電子產業生態和應用生態還未形成，我國有機會形成以中國為主導的生態體系，實現全面引領。

從新舊利益格局來看，新舊技術的利益博弈是新技術推廣落地的一大影響因素。

舊有技術既得利益者由于多年的技術積累和巨大的資金投入，不願意舍棄在傳統技術上的既得利益，有可能“雪藏”最先進的技術或推遲最先進技術的產業化。目前，在光電子領域，歐美髮達國家同樣面臨新舊技術的利益博弈，很多巨頭仍想守住積體電路領域的既得利益而不願推動光電子技術。與之相比，中國在積體電路領域沒有既得利益的負擔，更願意發展新技術，這就為我國光電子晶片率先突破提供了條件。

從產業基礎來看，我國擁有全球規模最大的光電子資訊產業。

2020年光子學市場數據和行業分析報告顯示，中國光子產業的全球市場份額從2005年的10%增長到2019年的30%，光子產業復合增長率保持著10%以上的高增長速度。中國大陸光子產業規模和產量已領先于歐洲、北美、日本、韓國和中國臺灣地區，產業規模位列全球第一。巨大的產業規模能夠產生巨大的規模效應、市場帶動效應。我國依靠自身市場規模和應用場景有能力有條件打造國內光電子產業內迴圈體系，並以此為基礎以國內迴圈帶動國際市場迴圈。

從市場基礎來看，我國擁有全球領先的光電子應用場景，這是我國光電子有條件實現率先突破的獨特優勢。

科技強最終的落腳點是產業強，一項技術再先進、再領先，沒有應用場景的支撐，也難以產生實際的作用。我國人工智慧、物聯網、智慧城市、5G通信等領域發展迅速，為光電子提供了廣泛的應用場景。應用場景的領先，能夠支撐我國光電子技術的持續迭代升級，激發強大的技術迭代活力，從而為引領全球光電子資訊產業變革提供了條件。

## 哪些領域有突破

近幾年，我國光電子技術在資訊獲取、資訊傳輸、資訊處理、資訊存儲和資訊顯示等環節均取得了較大進展。

在資訊獲取領域，我國涌現出炬光科技、摩爾芯光、瑞識智能、唐晶量子、洛微科技、速騰聚創等一批光傳感領域的高精尖特企業，在鐳射雷達科研和技術上不斷取得突破。中國科學技術大學科研團隊在相幹測風鐳射雷達方面實現重大突破，首次實現3米和0.1秒的全球最高時空分辨率的高速風場觀測。洛微科技2021年發布的第二代FMCWSoC光子晶片，是目前全球單顆晶片整合度最高的硅光晶片之一。法國市場調查公司Yole Développement發布的《2021年汽車與工業領域鐳射雷達應用報告》中，中國5家企業的市場應用份額進入全球前十。尤其值得注意的是，我國鐳射雷達企業與汽車廠家已經形成高度結合的良性迴圈生態，產業應用生態業已形成。

在資訊傳輸領域，我國實現了領先發展。在全球光網絡傳輸速度從100G向200G/400G提升的過程中，華為于2020年發布了全球首款800G可調超高速光模組，單纖容量達到48T，比業界方案高出40%，傳輸距離也比業界提升了20%。2021年，國家資訊光電子創新中心、鵬城實驗室、中國資訊通信科技集團光纖通信技術和網絡國家重點實驗室、武漢光迅科技股份有限公司，在國內率先完成了1.6Tb/s硅基光收晶片的聯合研制和功能驗證，實現了我國硅光晶片技術向Tb/s級的首次跨越。

在資訊處理領域，我國全面開花。中國科學技術大學潘建偉團隊與中科院上海微系統與信息技術研究所、國家並行電腦工程技術研究中心合作，成功構建113個光子144模式的量子計算原型機“九章二號”，求解數學演算法高斯玻色取樣只需200秒，比日本富岳超級電腦速度快了近100萬億倍，比美國懸鈴木量子電腦速度快了100億倍。中國科學技術大學郭光燦團隊在光量子晶片領域取得重大進展，首次在拓撲保護光子晶體晶片中實現量子干涉，推動了我國光量子晶片量產進程。北京大學王興軍教授團隊近日在光子整合晶片和微系統方面取得了重大突破，解決了由整合微腔光梳驅動的新型硅基光電子片上整合系統的難題。由中科院西安光學精密機械研究所趙衛研究員領銜的大規模光子整合晶片B類先導專項，致力于開發整合器件大于2000的大規模光子整合晶片，並最終實現了15408個器件的大規模整合，整合規模世界領先。在光子計算晶片產業化方面，曦智科技設計出了全球首款光子計算晶片原型板卡，最新的單個晶片可整合12000個光子元器件，在研的光電混合AI計算晶片，性能有望超越主流先進制程電子晶片英偉達A103到5倍。

在光存儲方面，郭光燦團隊在光量子存儲領域取得重要突破，將光存儲時間提升至1小時，大幅度刷新了2013年德國團隊光存儲1分鐘的世界紀錄。近日該團隊李傳鋒、周宗權研究組基于自主加工的鐳射直寫波導，實現了光子偏振態的可整合固態量子存儲，存儲保真度高達99.4±0.6%，顯著推進了可整合量子記憶體在量子網絡中的應用。

在光顯示領域，我國鐳射顯示關鍵材料、器件與應用技術不斷取得突破。在光源設計、光機模組、整機設計等關鍵技術方面實現了領先；在鐳射器、成像晶片、鏡頭等核心部件的研發方面正快速縮短與國外的差距；在整機制造方面，中國企業已經探索出了成熟的技術，積累了相當的經驗。中國工程院院士許祖彥、中科鐳射總工程師畢勇領導的中國科研團隊，創造性地提出了紅綠藍三基色半導體鐳射顯示概念，技術躋身全球第一梯隊。賽富樂斯公司推出的4英寸半極性氮化鎵材料，良率高達95%，成為全球首家可以量產工業級半極性氮化鎵材料的硬科技企業，公司還成功點亮半極性綠光LED晶片，解決了下一代顯示螢幕MicroLED的色彩問題。2021年10月，賽富樂斯成功開發了像素尺寸為2微米的全彩MicroLED陣列，取得了AR顯示領域的一次重大突破，成為業界唯一一款批量在售的量子點MicroLED晶片，在全球率先實現這一技術從實驗室成功走向商業化。

### 對全球晶片格局的影響

根據國際半導體產業協會的分類，全球半導體主要分為四類，分別是積體電路、光電子、分立器件及感測器。光電子晶片對電子晶片是一種升級的關係，這種關係使兩者存在多種形態的競爭，如果我國光電子晶片取得突破，將對全球晶片格局產生多方面的影響。

一是光電子晶片可在電子晶片性能遇到瓶頸的領域形成替代。

傳統電子晶片的主要應用場景是在資訊處理和計算領域。美國經過數十年的積累，在全球資訊處理和計算領域擁有控制力，擁有英特爾、英偉達、高通、超微半導體等一大批全球處理器龍頭企業。無論是電腦、電視、手機、汽車電子產品

等底層晶片，還是基于晶片衍生的軟件、作業系統等，美國都把控著全球消費電子的“命門”。隨著經濟社會發展對算力的需求持續增加，以及積體電路物理屬性將達到極限限制，摩爾定律算力供給已經難以滿足未來AI對算力的需求。過去10年，AI領域對算力的需求增長超過了30萬倍，未來人類社會對算力的需求仍將繼續增長，這將推動全球資訊處理和計算領域的變革升級。光電子技術基于強大的物理屬性上的優勢，將接力積體電路技術路線，成為未來資訊處理和計算的主流技術路線。

二是未來資訊產業新增市場更多依靠光電子晶片，全球半導體內部格局將重塑。

資訊時代的基礎設施是電子晶片，人工智慧時代將更多地依托光子晶片。2021年全球半導體市場規模為5560億美元，其中積體電路市場規模為4630.02億美元，佔全球半導體市場規模的83.29%；光電子晶片市場規模為434.04億美元，佔全球半導體市場規模的7.81%。從當前全球半導體市場格局來看，積體電路在全球半導體市場中仍舊佔據主導地位。但是用發展的眼光來看，隨著人工智慧、物聯網、AR/VR、大數據中心等新興產業的崛起，光計算、光傳感、光顯示、光存儲等技術需求將迎來爆發式增長，如計算領域的AI光子計算晶片，傳感領域的鐳射雷達、手機3D感測VCSEL晶片，存儲領域的全息光存儲，顯示領域的AR光波導晶片等，都是智能時代的新增市場，只能用光電子晶片來解決。因此，光電子晶片在全球半導體市場中的佔比勢必將大幅提升，以光電子晶片為底層支撐的“消費光子”也將逐漸取代以積體電路為支撐的“消費電子”，成為全球資訊產業的“主戰場”，為一些國家創造“換道超車”機遇。

三是光電子晶片突破後，全球半導體競爭將形成相互制約的格局。

美國對全球資訊產業的控制力和影響力，來源于其抓住了資訊產業的底層技術——積體電路，掌握了晶片設計、研發、制造的核心能力，並由此帶動下遊產業發展，形成了從底層技術到晶片制造再到下遊產業鏈的完整產業生態，由此構建了以美國為中心，逐漸向全球擴散的全球半導體格局。當前，在全球範圍內，光電子晶片的核心技術壁壘還未形成。我國在光電子晶片應用場景上的優勢，能夠反向牽引我國光電子技術的持續迭代升級。我國有望在人工智慧時代打造出以中國為中心，逐漸向全球擴散的光電子晶片格局，在新的賽道中佔據主導地位。

**經濟的新領域新賽道**

得未來者得天下，未來全球產業制高點的競爭領域之一就是光電子領域。積體電路是資訊產業的基礎設施，光電子晶片是人工智慧、物聯網、5G、無人駕駛、元宇宙等未來產業的基礎產業和基礎設施。光電子晶片是基礎性、引領性產業，是未來產業中的“根技術”。正如位于底層的積體電路支撐起數萬億美元市場規模的硬體產業，帶動數十萬億美元市場規模的互聯網和大數據產業，未來，光電子技術作為革命性的“根技術”，將能夠催生數萬億美元級市場規模的“樹幹”產業，帶動數十萬億美元市場規模的“葉”經濟，成為未來全球經濟增長的新動力和主戰場。光電子產業也能夠為我國經濟發展開辟眾多新領域新賽道，助力我國形成新優勢。

一是光電子晶片將催生千億美元級直接市場，帶動萬億美元級的5G和數據中心產業。

25GDFB鐳射器晶片是5G的基礎。根據光通信行業市場調研機構LightCounting的測算，2021年全球25G及以上光晶片市場規模為107.55億元。當前，我國25G光晶片國產率約為20%，25G以上光晶片國產率僅為5%。未來25G及以上速率晶片的突破，能夠為我國帶來近百億元的直接市場規模，支撐近萬億元的5G產業發展。《中國5G產業發展前景預測與產業鏈投資機會分析報告》中的數據顯示，到2030年5G帶動的直接產出和間接產出將分別達到6.3萬億元和10.6萬億元。隨著5G產業中孕育的未來產業逐漸崛起，反過來又將進一步支撐光電子晶片的市場規模向千億級邁進。根據英國市場研究公司Technavio的預測，到2025年全球數據中心市場規模將達到5193.4億美元，屆時硅光晶片的直接市場規模也將獲得巨大增長。

二是光電子晶片將催生萬億級衛星互聯產業。



傳統地面通信由于物理空間的限制無法覆蓋全球，與之相比，衛星互聯網技術作為一種顛覆性通信技術能夠提供全球網絡覆蓋。特別是以鐳射通信為基礎的星間鐳射鏈路和星間資訊傳輸，將成為衛星互聯網未來的主戰場，它將成為低軌衛星網絡的標配荷載和基礎。衛星鐳射通信技術作為底層技術，能夠帶動太空通信產業的崛起。目前全球產業龍頭正在加快布局，如美國太空探索技術公司（SpaceX）的“星鏈”計劃擬共計發射4.2萬顆衛星組建全球衛星互聯網。2021年底，SpaceX已首次在“星鏈”衛星上使用了鐳射通信設備，並計劃在未來發射的所有“星鏈”衛星中都配備星間鐳射鏈路。全球商業航太企業規劃的未來發射的衛星數量大約為6萬顆，一旦各類衛星組網成功，星間鏈路建成後，鐳射通信將成為衛星通信的主航道，孕育萬億級的市場規模。

三是光電子晶片將孕育萬億級的光計算產業，催生數十萬億的“消費光子”產業。

根據國際半導體產業協會的統計數據，2021年全球積體電路市場規模為4630.02億美元。按照1元基礎電路產值帶動10元電子產品產值和100元國民經濟的增長，積體電路帶動了全球約4.6萬億美元的消費電子產業，帶動了全球46萬億美元的經濟增長。未來，隨著光計算晶片取得突破並逐漸取代電子晶片，將催生萬億美元級的光子計算晶片產業，撬動下遊數十萬億美元的“消費光子”產業。這對重塑全球資訊產業格局具有戰略意義。

四是光電子晶片將催生萬億美元級元宇宙產業。

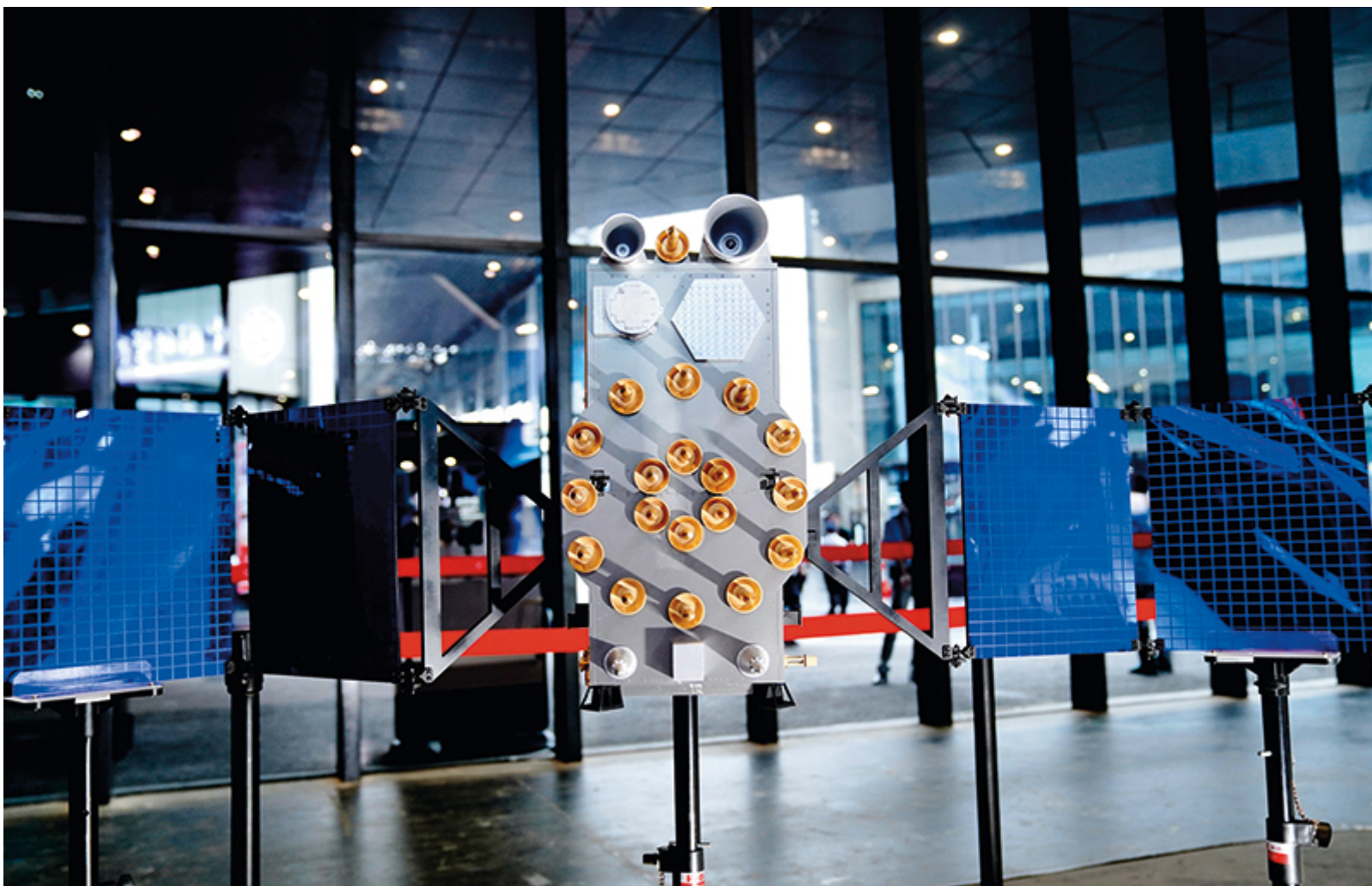
光電子晶片能夠滿足元宇宙的資訊輸入和輸出需求，是實現人與機器、虛擬與現實資訊交流的介面。彭博行業研究報告預計，元宇宙將在2024年達到8000億美元市場規模。普華永道預計，元宇宙市場規模在2030年將達到1.5萬億美元。從當前來看，VR、AR及MicroLED是未來元宇宙的主要戰場。根據數據分析公司Statista發布的報告，2018年全球AR/VR市場規模為267億美元，預計到2025年將達到8147億美元，2019年至2025年復合增長率為63.01%。

五是光電子技術能夠催生光傳感等諸多新領域。

光電子技術作為資訊獲取的底層技術，能夠支撐鐳射雷達、垂直腔面鐳射器（VCSEL）、3D傳感等技術發展。在消費光子、紅外成像、無人駕駛、光探測、光感知等領域，能夠催生一大批新的市場應用，涵蓋軍事、國防、深空探測、機器視覺、科學儀器、量子通信、工業化自動化，以及機場、地鐵、海關等危險爆炸物檢測等。固態鐳射雷達將在無人駕駛、安防、機器人、工業應用、物聯網等行業有著廣泛的應用。

此外，光電子晶片在精密制造、生命科學以及國防軍工等領域，也將催生眾多應用市場。如在精密制造領域的超快鐳射加工技術，生命科學領域的基因測序、腦科學、神經網絡、醫療診斷等方面，國防軍工領域的高超音速導彈、鐳射武器等方面，均會有廣泛應用。

創新主動權、發展主動權必須牢牢掌握在自己手中。未來，在國家戰略級的部署和中國光電人的努力下，我國一定能夠贏得光電子晶片的主動權，率先打造出世界級的光電子科技創新體集群。中國未來將迎著希望之光，率先邁進人類社會的“光子時代”。（作者為陝西光電子先導院執行院長）□



在中國國際工業博覽會上展出的衛星模型（2020 年 9 月 15 日攝） 張建松攝 / 本刊