

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本公司委託編寫的弗若斯特沙利文報告，以及各種官方政府刊物及可供查閱的公開市場研究資料來源。本公司委聘弗若斯特沙利文編製有關[編纂]的弗若斯特沙利文報告。來自官方政府來源的資料並無經任何聯席保薦人、[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(弗若斯特沙利文除外)獨立核實且概無就其準確性發表任何聲明。有關本集團所處行業的風險的討論，請參閱本文件「風險因素—與我們的行業及業務有關的風險」。

全球碳化硅材料及應用市場概覽

能源變革和人工智能(AI)是未來科技革命的雙重引擎。構建一個增長、創新、可持續發展的世界是能源變革和AI技術進步和融合發展的核心目標，碳化硅材料已經成為賦能能源變革及AI實現核心發展目標的基石之一。

碳化硅是一種由碳和硅元素組成的化合物材料，具有較高硬度和優異的物理化學性能。碳化硅材料擁有耐高壓、耐高頻、高熱導性、高溫穩定性、高折射率等特點，可作為諸多行業實現降本增效的關鍵性材料。碳化硅材料率先促進半導體行業變革，並開始在更多領域滲透並和硅基技術相互補充。

行業概覽

不同代際主要半導體材料對比分析

半導體	第一代半導體	第二代半導體	第三代半導體
材料	元素半導體：硅(Si)、鍺(Ge)	化合物半導體：砷化鎵(GaAs)、磷化鎵(InP)	寬禁帶半導體：碳化硅(SiC)、氮化鎵(GaN)
優勢	<ul style="list-style-type: none">• 硅儲量豐富且成本較低，是應用最廣泛的半導體• 可實現從真空管到緊湊型電子設備的轉換	<ul style="list-style-type: none">• 更快電子遷移率，可實現高頻傳輸• 直接禁帶，可實現光發射應用，包括紅外激光及高亮度紅光LED	<ul style="list-style-type: none">• 強化熱與電子特性• 提高電子強度及抗輻照性• 節能環保• 器件尺寸精巧
產業化進程	<ul style="list-style-type: none">• 元素半導體製造技術已成熟且接近最優，但已達物理極限，性能提升空間縮小，產業化十分成熟	<ul style="list-style-type: none">• 化合物半導體在高頻高功率領域逐步實現產業化，尤其在射頻、通信等領域取得顯著發展	<ul style="list-style-type: none">• 寬禁帶半導體處於產業化應用初期，生產工藝複雜，仍有提升空間，僅少數企業具有規模化高質量生產能力
應用	<ul style="list-style-type: none">• 廣泛應用於信息處理與自動化領域，包括消費電子、電信、光伏等	<ul style="list-style-type: none">• 光電領域，包括毫米波裝置、衛星通訊、移動通信及GPS導航	<ul style="list-style-type: none">• 高性能傳感器• 應用範圍涵蓋5G、物聯網、電動汽車、光電及顯示技術等

相較硅基半導體，以碳化硅和氮化鎵為代表的寬禁帶半導體從材料端至器件端的性能優勢突出，具備高頻、高效、高功率、耐高壓、耐高溫等特點，是未來半導體行業發展的重要方向。其中，碳化硅展現出獨特的物理化學性能。碳化硅的高禁帶寬度、高擊穿電場強度、高電子飽和漂移速率和高熱導率等特性，使其在電力電子器件等應用中發揮著至關重要的作用。這些特性使得碳化硅在xEV及光伏等高性能應用領域中具有顯著優勢，尤其是在穩定性和耐用性方面。

當前半導體材料市場主要由第一代半導體材料硅(Si)及第三代半導體材料氮化鎵(GaN)和碳化硅(SiC)主導。2024年，硅佔據市場份額的83.4%，碳化硅約佔15.1%，氮化鎵則約佔1.5%。

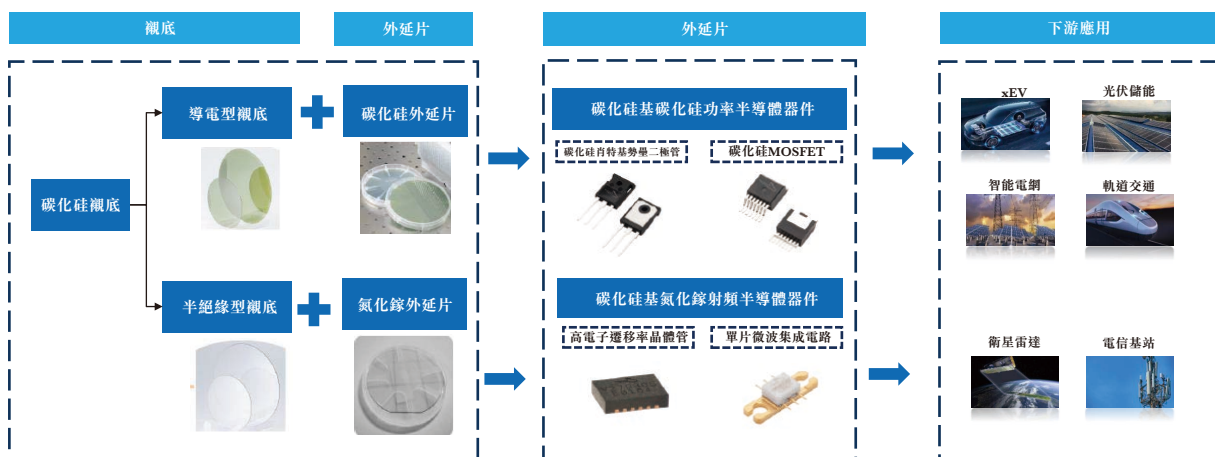
碳化硅與氮化鎵是兩種特性迥異的寬禁帶半導體材料，各自具備獨特優勢，通常難以相互替代。氮化鎵憑藉更快的開關速度與更低的導通電阻，特別適用於高頻高速開關應用場景，如無線充電與射頻放大器；而碳化硅則因更高的耐壓能力與優異的導熱性，成為電動汽車及可再生能源系統等高功率高溫應用的理想選擇。不過，在中等開關功率與頻率的應用中，碳化硅與氮化鎵可根據具體需求互換，或取代硅材料。

行業概覽

氧化鎵(Ga_2O_3)屬於第四代半導體材料。這種新興半導體材料具有更高的導電率與擊穿電場強度，能經濟高效地製備大尺寸高品質晶體，但其晶體脆性較高、解理性強且斷裂韌性較低。儘管優勢顯著，該技術仍處於發展初期，目前研究正致力於克服高溫分解與揮發性等難題，以實現大尺寸無缺陷氧化鎵晶圓的工業化應用。

碳化硅材料在功率半導體器件、射頻半導體器件及新興應用領域具有廣闊的市場應用潛力

碳化硅材料通常被用於製作碳化硅襯底或碳化硅外延片，其中碳化硅襯底可被廣泛應用於功率半導體器件、射頻半導體器件以及光波導、TF-SAW濾波器、散熱部件等下游產品中，主要應用行業包括xEV、光伏及儲能系統、電力電網、軌道交通、通信、AI眼鏡、智能手機、半導體激光等。第三代半導體主要採用碳化硅作為襯底材料，根據電阻率可分為導電型及半絕緣型。在導電型襯底上生長同質碳化硅外延層可製造功率器件，主要應用於新能源汽車和光伏儲能系統等領域；而在半絕緣型襯底上生長異質外延氮化鎵層則可生產射頻(RF)器件，主要用於通信和雷達應用。下表列示了碳化硅襯底的主要應用領域：



行業概覽

碳化硅功率半導體器件市場應用分析

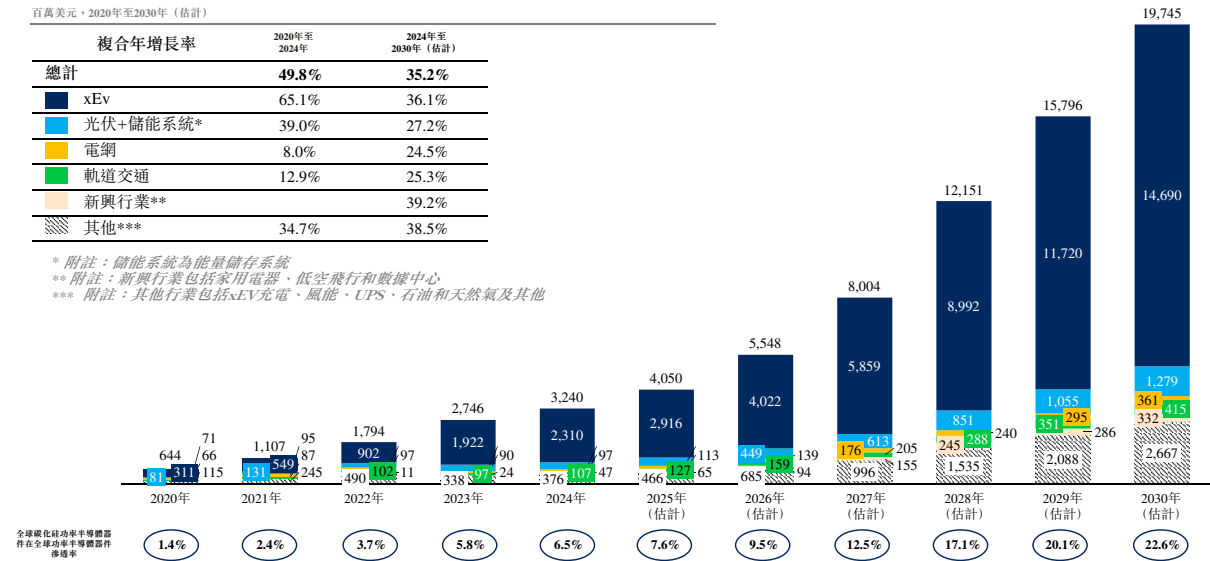
功率半導體器件是電力電子產品中用作開關或整流器的半導體器件。功率半導體器件主要包括功率二極管、功率三極管、晶閘管、MOSFET、IGBT等。

從2020年到2024年，碳化硅功率半導體器件市場顯著增長。全球碳化硅功率半導體器件在全球功率半導體器件市場中的滲透率由1.4%增至6.5%，預計於2030年將達到22.6%。該等增長主要歸因於碳化硅器件在各個行業日益廣泛的採用，尤其是在xEV及光伏行業。在xEV領域，碳化硅功率半導體對提升電動汽車的性能至關重要，包括增加行駛里程、實現更快的充電速度及提高動力總成效率。向太陽能、風能等可再生能源系統的轉型，亦推動了逆變器及電網基礎設施對碳化硅元件的需求。碳化硅半導體提供卓越的能量轉換效率並降低系統損耗，使其成為太陽能逆變器、風力渦輪機轉換器及儲能系統等應用的理想選擇。此外，隨著碳化硅功率半導體器件成本持續下降，預計其應用不僅會在傳統下游應用領域加速普及，逐步取代傳統功率器件，亦會拓展至家電、低空飛行技術及數據中心等新興應用領域。該等因素共同支撐了碳化硅功率半導體器件全球滲透率的預期顯著增長。

分應用領域，從2020年到2024年，應用於xEV的碳化硅功率半導體器件全球收入的複合年增長率高達65.1%，而從2024年到2030年，xEV領域的複合年增長率仍將高達36.1%，將繼續引領全球碳化硅功率半導體器件市場的增長。光伏儲能、電網、軌道交通領域亦表現出強勁的增長勢頭，未來預測期間的複合年增長率將分別達到27.2%、24.5%及25.3%。家用電器、低空飛行和數據中心等碳化硅功率半導體器件新興應用領域將展現出最快的增長速度，應用於上述領域的碳化硅功率半導體器件全球收入的預測複合年增長率預計將達到39.2%。

行業概覽

全球碳化硅功率半導體器件市場規模(按應用領域劃分)，按銷售收入計



數據來源：Yole、弗若斯特沙利文

xEV應用

續航里程、充電速度、駕駛體驗是xEV的重要要素。相較於硅基IGBT等傳統硅基功率半導體器件，碳化硅功率半導體器件具有低導通電阻、高開關頻率、高耐熱性、高熱導率等顯著優勢，該等優勢可以有效減少電能轉換環節的能量損耗；減小電感、電容等無源元件體積，降低功率模塊重量和成本；減少散熱需求，簡化熱管理系統及提高電機控制的動態響應。從而提升xEV的續航里程、充電速度和駕駛體驗。碳化硅功率半導體器件可應用於xEV的多種元件，包括電機驅動、車載充電器(OBC)、DC/DC轉換器、空調壓縮機、高壓PTC加熱器及預充電繼電器。目前，碳化硅功率半導體器件主要用於電機驅動、OBC及DC/DC轉換器，逐步取代傳統硅基IGBT功率模組；在電機驅動方面，碳化硅功率模組取代傳統硅基IGBT，可將能量損耗降低70%至90%，車輛續航里程增加

行業概覽

10%，並支持在高溫環境下實現大功率輸出。在OBC方面，功率模組可將外部交流電轉換為直流電以為電池充電，碳化硅功率模組能將充電損耗降低40%，實現更快的充電速度，提升用戶體驗。在DC/DC轉換器方面，其作用是將高壓電池的直流電轉換為低壓直流電供車載器件使用，碳化硅功率模組透過減少發熱及將能量損失降低80%至90%來提高效率，最大限度減少對車輛續航里程的影響。

應用於xEV領域的碳化硅功率半導體器件市場規模將進一步增長，預計至2030年，全球xEV碳化硅功率半導體器件銷售收入將達到147億美元，2024年至2030年的複合年增長率為36.1%。碳化硅功率半導體器件(按收入計)在新能源汽車領域的滲透率一直處於上升趨勢。其預計將從2024年的19.2%增加至2030年的53.6%。

數據中心

碳化硅主要應用於AI數據中心電源的機架電源AC/DC級。碳化硅MOSFET可用於構建電源供應單元(PSU)的功率因數校正(PFC)電路，以替代硅基MOSFET。相較硅基MOSFET，碳化硅MOSFET擁有更高的開關頻率和更低的反向恢復損耗，可以有效減少元件數量，增加電源功率密度，並提升AC/DC級的能量轉換效率。使用碳化硅MOSFET的PSU的功率密度可以達到硅基功率器件PSU的2倍以上，並且可以將電力轉換效率最高提升約1%。

受益於大語言模型技術發展和生成式AI的快速滲透，全球AI市場規模快速增長。到2030年，全球數據中心容量預計將達到299GW，較2023年淨增長244GW，複合年增長率為27.4%。這一增長將使數據中心的電力消耗從2023年佔全球用電量的1.4%大幅提升至2030年的10%。數據中心中的傳統硅基供電系統效率約為85%至88%，有12%至15%的電能以熱能形式浪費。碳化硅功率半導體器件有助於提升能源效率、降低運營成本，並支持數據中心的可持續發展戰略。此外，AI工作負載的增加導致數據中心內AI服務器數量上升，該等服務器的功耗顯著高於傳統服務器。這對機架電源的功率密度提出了更高要求，使得碳化硅功率器件成為在現有機架空間內提升電源輸出功率的可行解決方案。2025年至2030年預計全球AI數據中心規模將增加201GW，對應2025年至2030年基於碳化硅功率器件的PSU在AI數據中心領域的潛在市場規模超過人民幣800億元，碳化硅在AI數據中心的滲透率預計在2030年將達到18.3%。

行業概覽

光伏儲能應用

碳化硅功率半導體器件可用於逆變器、升壓變換器、儲能變流器等光伏元件和儲能系統中，該等器件通過提升能源轉換效率、減少損耗，並最大限度地縮小元件的體積及重量，進一步增強光伏系統的性能，從而拓寬其應用範圍。與傳統硅基器件相比，碳化硅基光伏逆變器可將轉換效率提高1%至3%；體積和重量通常可減少40%至60%，便於簡化安裝並降低成本。在儲能領域，2024年全球新型儲能新增裝機規模約為43.7GW，同比去年增加24.9%。碳化硅能夠在推動儲能變流器向大容量和模塊化方向發展的同時顯著簡化儲能變流器的設計。隨著碳化硅成本的降低以及光伏發電各方面技術的提升，碳化硅基逆變器解決方案的綜合性價比將進一步提高，碳化硅功率半導體器件(按收入計)在光伏儲能行業的滲透率預計逐漸上升，將從2024年的9.7%上升到2030年的20.4%。

超充電

目前，直流快充技術是xEV提升補能體驗的關鍵一步，隨著xEV電氣系統正在經歷從400V向800V的躍遷，超充電電源模組的功率等級和功率密度亦從20kW/30kW逐步提高至40kW/50kW及以上，以適應更高電壓的xEV需求。碳化硅基材料因其卓越的耐高壓和高溫性能使其導通電阻遠低於硅基材料，降低導通損耗，保障超充電能夠提供更高更寬的輸出電壓範圍，以覆蓋各種不同類型xEV的電池需求。同時，碳化硅半導體材料的低結電容特性允許更高的開關頻率，這在超充電中意味著更快的充電速度和更高的功率密度。此外，碳化硅MOSFET的高熱穩定性和寬廣的運行溫度範圍(-55℃至+175℃)確保了超充電在各種氣候條件下都能穩定運行，滿足市場對於高效、快速、穩定的充電解決方案的需求。

電網應用

太陽能 and 風能等可再生能源在全球電力系統中扮演了越來越重要的角色。2024年可再生能源貢獻了40%以上的全球總發電量，這一比例仍將在未來進一步上升。電網作為電力生產、傳輸、消納和利用的主要載體，在面對大量分佈式可再生能源和儲能的併網消納需求時，發展具備更強大、更靈活的調節、控制及輸送路線選擇能力的智能

行業概覽

電網已成為大勢所趨。碳化硅功率半導體器件突破了硅基功率半導體器件在高電壓、高功率和高溫方面的限制所導致的系統局限性。得益於碳化硅的優勢，碳化硅功率半導體器件的應用能夠顯著降低電力設備所需的元件數量、設備體積和重量、能量損耗以及系統複雜度，同時降低對冷卻設備的需求，降低了電力系統整體建設成本。碳化硅功率半導體器件在電網的滲透率正在穩步上升，預計將從2024年的4.2%增長至2030年的14.6%。

軌道交通應用

碳化硅的高臨界場強、高載流子飽和速度和高熱導率使軌道交通牽引轉換系統實現了小型化和輕量化發展，這對於滿足軌道車輛運營的綠色節能要求至關重要。通過使用碳化硅功率半導體器件，軌道交通車輛的電力電子器件在體積和重量上可以大幅減小，這對於提高速度、加速度以及延長維護週期和使用壽命都有著積極的影響。同時，這些器件的高效率和高功率密度特性，也有助於降低運行成本，提高能源利用效率。目前，碳化硅已在軌道交通領域有成熟應用。於2020年7月，中國珠海地鐵1號線採用碳化硅功率器件，實現設備體積減少50%，重量降低56%，效率提升至95.5%以上。同月，日本東海道新幹線N700S列車正式投入運營，該車採用了混合型碳化硅模塊，使牽引逆變器的尺寸和重量減少了40%，損耗降低了35%。未來，碳化硅功率半導體器件在軌道交通的滲透率預計將從2024年的16.7%增長至2030年的36.6%。

家用電器

在家用電器方面，碳化硅肖特基勢壘二極管(SBD)和碳化硅MOSFET可被用於功率因數校正(PFC)電路、電機驅動、升壓電路、高壓電源等領域，適合應用於高功率家用電器中。碳化硅功率半導體器件能夠提高家用電器的能源轉換效率，從而提高能效表現，為消費者提供更加環保和高效的家用電器產品。同時碳化硅功率半導體器件能夠提升家用電器電源功率密度，並減少散熱器尺寸，從而降低磁性元件和熱管理元件的體積和成本，促進家用電器產品小型化。以空調為例，為滿足更高的能效標準，變頻

行業概覽

空調PFC頻率不斷提高，傳統硅基IGBT和快恢復二極管(FRD)逐漸難以滿足高壓、高開關頻率、短反向恢復時間等方面的要求，碳化硅SBD成為替代上述硅基功率器件的首選。空調預計將成為採用碳化硅功率半導體器件的主要領域。在2030年，碳化硅基高端家用空調的潛在出貨量可達8,000萬台以上，約佔同年全球家用空調出貨量的30%。展望未來，碳化硅功率半導體器件將可能變得更加平價，並滲透到約佔70%市場份額的家用空調的大眾市場中。碳化硅功率半導體器件在全球家用電器市場的增長潛力巨大，未來將被更廣泛地應用於冰箱、洗衣機、微波爐、電磁爐、電烤箱、電飯煲、電視等領域。

電動垂直起降飛行器(eVTOL)

電機重量是eVTOL的設計要求的重要指標，對材料功率密度有著較高的要求，而碳化硅功率半導體器件的高功率密度和耐高溫、高壓特性，能夠滿足eVTOL對電控的耐壓和輸出功率的要求，使其成為低空飛行器的理想選擇，有助於提升飛行性能和安全性。2024年全球低空飛行經濟市場規模達10億美元，預計到2030年達196億美元。eVTOL領域碳化硅功率半導體器件的應用剛剛起步，隨著低空飛行經濟規模的增長，碳化硅在該領域的潛力巨大。

半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件市場應用

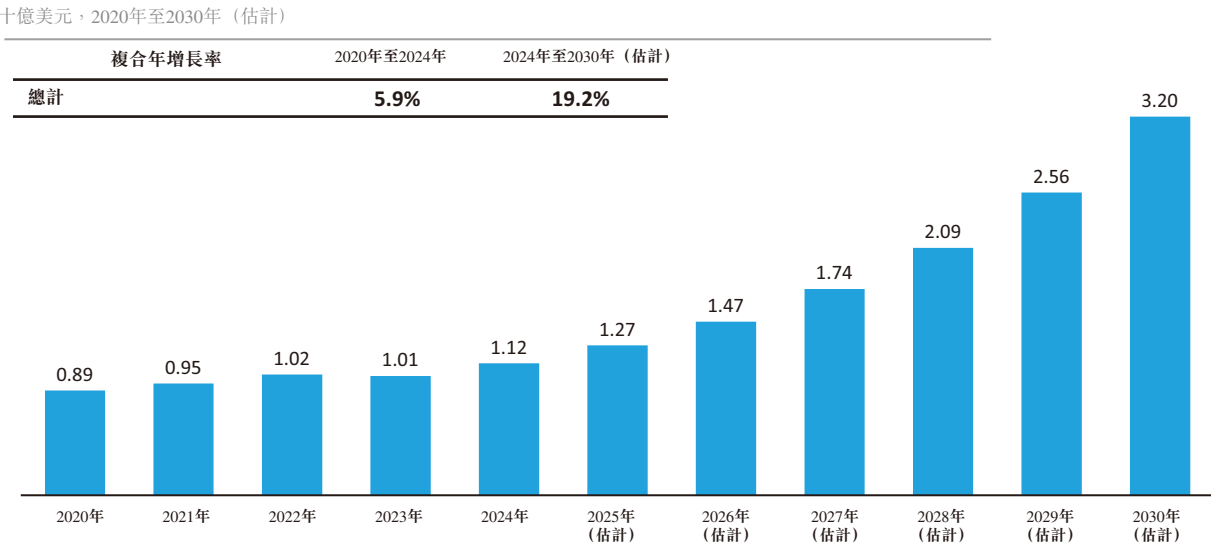
射頻半導體器件在無線通訊領域中發揮著至關重要的作用，主要負責信號的轉換和處理，是無線通信設備不可或缺的基礎元件。這些器件包括功率放大器、濾波器、開關、低噪聲放大器和雙工器等，它們共同確保了通信系統的性能和效率。特別是在商用移動通信領域，基於半絕緣型碳化硅襯底的氮化鎵射頻半導體器件展現出顯著的優勢。這些器件以其高功率、高效率和高頻率特性，廣泛應用於通信基站的功率放大器中，

行業概覽

顯著提升了信號傳輸的質量和覆蓋範圍。此外，隨著5G網絡的推廣和物聯網技術的發展，氮化鎵射頻半導體器件在提高數據傳輸速率、降低能耗以及支持更多設備連接方面發揮著關鍵作用。

2024年全球半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件市場規模達到11.2億美元。未來五年，受5G市場推動，半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件將逐漸搶佔LDMOS的市場份額，全球半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件市場預計將進入一個加速增長的階段。2030年，市場預計將達到32億美元的高峰。於2024年至2030年間，市場的複合年增長率預計將達到19.2%，這一顯著的增長速度反映了市場對半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件需求的強勁增長。

全球半絕緣型碳化硅基射頻半導體器件市場規模，按收入計



數據來源：Yole、弗若斯特沙利文

碳化硅在其他新興領域的應用

AI眼鏡光波導

對於AI眼鏡的光學系統而言，碳化硅基SRG波導是一項革命性的創新。碳化硅具備高折射率、寬FOV及全彩集成等特性。值得注意的是，碳化硅的卓越折射率(2.6至2.7)能夠實現RGB色彩通道的單層集成，有效解決彩虹效應，與傳統的多層解決方案相比，

行業概覽

大幅降低了設備的重量、厚度及生產複雜度。該進展使碳化硅SRG波導成為追求緊湊外形及沉浸式視覺體驗的下一代AR顯示器的最佳選擇。隨著AI眼鏡逐步發展成為主流可穿戴計算平台，預計到2030年，碳化硅基SRG波導在全球AI眼鏡市場的潛在市場規模將超過60百萬元。

TF-SAW高端濾波器

薄膜聲表面波(TF-SAW)濾波器是聲學濾波器領域的一項重大技術進展，具有高頻率、高選擇性及低插入損耗的特點。基於絕緣體上壓電(POI)襯底的TF-SAW濾波器較體聲波(BAW)濾波器更具成本效益，且生產更為簡單，使其成為支持消費電子產品和5G應用中更高頻段的理想選擇。值得注意的是，採用碳化硅襯底的TF-SAW濾波器在高頻、高Q值、功率處理能力及溫度穩定性方面表現卓越。其可支持3.3GHz以上的頻段，適用於高端智能手機、5G基礎設施及AIoT設備。隨著無線通信技術的進步，對該等濾波器的需求預計將大幅增長，到2030年，碳化硅基TF-SAW濾波器的潛在市場規模預計將達到52億美元。

散熱部件

碳化硅因其高熱導率、低熱膨脹系數、高硬度、化學穩定性和輕量化等特性，在散熱和熱沉領域(包括半導體、熱管理系統、5G通信、大功率LED照明、電動汽車和可再生能源系統)有廣泛應用。其提高設備的運行效率和可靠性，減輕熱管理系統重量，延長設備使用壽命。相比銅及氮化鋁等傳統散熱應用材料，碳化硅的熱導率為銅的1.2倍，為氮化鋁的2倍以上，因此碳化硅更適合用於需要快速散熱以保護敏感電子元件或在高功率密度設備中維持穩定運行的場景。例如，在高功率激光應用中，碳化硅可用於製造散熱片，該等散熱片旨在將熱量從發熱物體導出，以替代其他傳統材料。據估計，2030年高功率激光應用對碳化硅散熱片的潛在總需求將可能超過35百萬片。

行業概覽

全球碳化硅襯底市場概覽

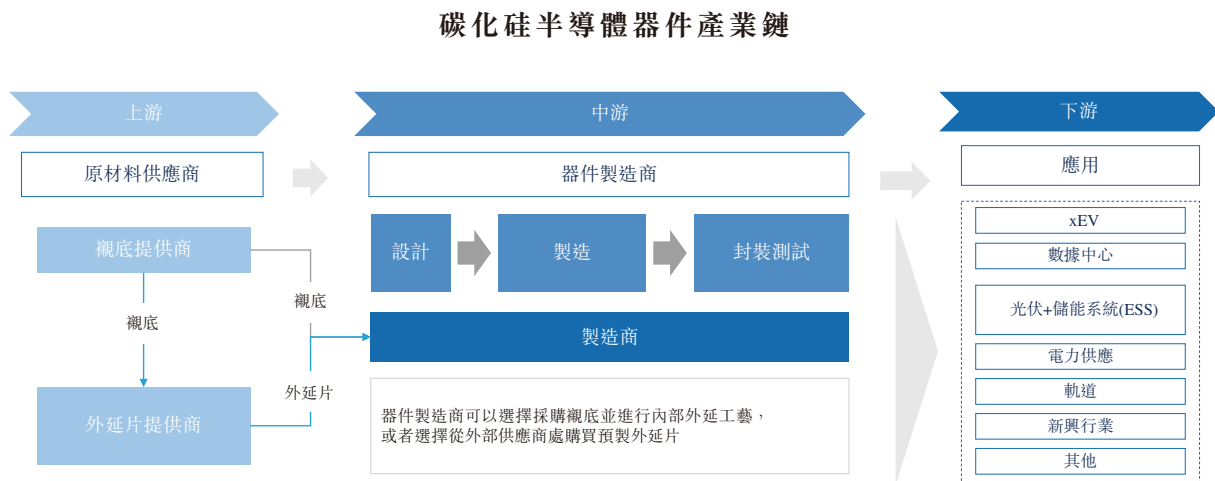
碳化硅襯底及製造工藝介紹

碳化硅襯底是指以碳化硅粉末為主要原材料，經過晶體生長、晶錠加工、切割、研磨、拋光、清洗等製造過程後形成的單片材料，是用於製作寬禁帶半導體及其他碳化硅基器件的基礎材料。碳化硅襯底研發和製造過程高度複雜，涉及材料科學、熱動力學、半導體物理、化學、計算機模擬、機械等多學科交叉知識的應用。

碳化硅半導體器件產業鏈

襯底製造商屬於整個碳化硅半導體器件產業鏈的上游參與者。這些襯底製造商是產業鏈中將原材料轉化為可供下游參與者使用的襯底產品的關鍵環節。

中下游包括器件製造商、代工製造商和終端應用。襯底經過外延生長後，被用於製造各種功率器件、射頻器件等。這些器件廣泛應用於新能源汽車、數據中心光伏及儲能、電力供應、軌道交通及新興產業等領域。



根據電學性能差異區分，碳化硅襯底分為導電型襯底和半絕緣型襯底。導電型襯底通過同質外延工藝，生長出與襯底材料特性一致的外延層，主要應用於碳化硅功率

行業概覽

半導體器件的製造。而半絕緣型襯底一方面可採用異質外延技術，生長出與襯底材料特性不同的氮化鎵外延層，主要用於射頻器件的生產。

而根據襯底尺寸區分，碳化硅襯底可分為2英寸、3英寸、4英寸、6英寸、8英寸和12英寸的產品，不同技術路線下各尺寸碳化硅襯底的研發和商業化進展有所不同。

碳化硅襯底的工藝流程包括原料合成、晶體生長、定向及切片、表面研磨及拋光、化學機械拋光(CMP)、檢測及質量控制等步驟。

碳化硅襯底製備過程高度複雜，難點包括：

- **生長過程難度高：**碳化硅單晶生長過程中的缺陷控制極具挑戰性，構成了顯著的生產難點。其一，缺陷類型多樣且棘手；其二，碳化硅晶型繁雜，涵蓋200餘種結構，其中諸多晶型在高溫生長環境下，因形成能相近極易發生轉化，進而產生多型夾雜現象，致使晶體結構紊亂，電學、光學等性能受到嚴重干擾。其三，熱場因素引發諸多問題，熱場中的溫度梯度會催生熱應力，加之生長過程中溫度、組分頻繁波動，位錯等缺陷極易產生，為後續外延生長及器件製造埋下隱患，極大地影響產品質量與性能表現。綜合而言，這些難點相互交織，要求生產者必須在複雜的工藝環節中精準施策，方能實現高質量碳化硅單晶的穩定產出。
- **粉料合成困難：**碳化硅粉料的製備面臨多項挑戰。合成環境會產生影響，且原輔材料中含有固有且無法去除的雜質。因此，合成的碳化硅粉料不可避免地引入大量雜質。該等雜質直接影響晶體的純度及電學性能，對優質碳化硅粉料的製備帶來很大困難。
- **加工難度高：**碳化硅襯底作為一種高硬度脆性材料，面臨著加工過程中開裂和加工後翹曲等問題的挑戰。為滿足下游外延工藝「即用型」的高標準要求，超精密表面加工至關重要，可顯著降低表面粗糙程度並提高平整度，同時嚴格控

行業概覽

制金屬雜質和顆粒污染。此外，碳化硅襯底的高硬度和脆性使得切割、研磨及拋光流程耗時且易出現崩邊情況，進一步增加了加工難度。該等因素共同突出了碳化硅襯底加工中涉及的高技術壁壘和複雜性。

- **擴徑难度大：**大尺寸晶體需要更均勻的溫度分佈以避免應力和缺陷；熱應力管理變得更加複雜，由於溫度梯度和生長速度差異導致的內部應力可能引起晶體開裂；原料消耗和成本隨之上升，擴徑意味著需要更多的高純度原料；晶體生長速度減慢，增加了生產週期和成本；由於上述因素的綜合作用，擴徑晶體的生長良率通常較低，影響產品的經濟性和市場競爭力。這些挑戰需要通過技術創新和工藝優化來克服，以實現大尺寸、高質量的碳化硅襯底的穩定生產。目前，6英寸碳化硅襯底已成為市場主流，而8英寸襯底正處於快速規模化階段。隨著技術的迅速發展，預計其將於未來進一步推動產業升級。
- **生產一致性難度高：**碳化硅襯底高度複雜的製備過程導致其在大規模量產過程中保持生產質量一致性的難度較高。最終碳化硅襯底的質量受材料純度、工藝控制能力、設備精度、檢測能力等關鍵環節的共同影響，任一環節的不穩定性都將影響終端產品質量一致性。襯底製造商通常需要對工藝技術具有深刻的理解，並且通過建立精細的生產流程體系、引入自動化和智能化設備、實施完善的質量檢測體系，最終實現大規模量產時產品生產質量的一致性。

行業概覽

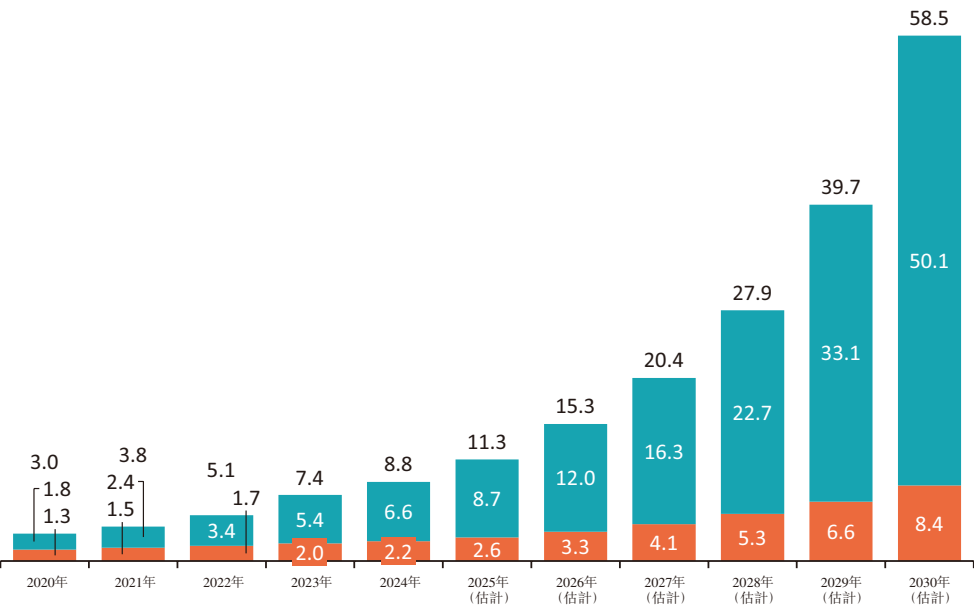
全球硅化硅襯底市場規模

按銷售收入計，全球碳化硅襯底市場由2020年的人民幣30億元增長至2024年的人民幣88億元，複合年增長率為29.9%。預計到2030年，市場規模將有望增長至人民幣585億元，複合年增長率為37.1%。

全球碳化硅襯底市場規模，按銷售收入計

人民幣十億元，2020年至2030年（估計）

複合年增長率	2020年至2024年	2024年至2030年（估計）
總計	29.9%	37.1%
導電型碳化硅襯底	38.5%	40.1%
半絕緣型碳化硅襯底	14.1%	25.0%



(附註：市場規模僅包括外銷，自產自用數據不計算在內。)

數據來源：Yole、弗若斯特沙利文

(附註：市場規模僅包括外銷，自產自用數據不計算在內。)

行業概覽

全球碳化硅襯底市場驅動因素

- **全球能源變革推動碳化硅產業發展。**在能源供給側，能源變革強調減少對化石燃料的依賴，發展太陽能和風能等清潔、可再生能源。自2020年至2024年，全球電力消費佔全球總能源消費的比例由19.8%增長至20%以上。電力消費總量的增加使得電力轉換效率變得尤為關鍵。憑藉碳化硅材料高頻、低損耗、耐高壓、耐高溫的優勢，碳化硅功率半導體器件能夠提升電力在生產和消費環節的轉換效率，實現更小的系統體積和更高的功率密度，並減少對冷卻系統的需求，已經成為xEV、光伏儲能系統、電力供應、數據中心等領域的「能效倍增器」，推動能源體系向低碳化躍遷。
- **AI行業增長和創新擴大碳化硅市場發展增量空間。**AI目前正被融入行業和個人日常生活的各個方面，將對人類的發展產生深遠的影響。並且隨著大語言模型技術的進步，生成式AI具備更強的推理和智能化能力，將進一步加速AI的快速滲透。作為支撐AI發展的重要基礎設施，數據中心預計到2030年將佔據全球電力消費的10%。相比傳統硅基功率半導體器件，碳化硅基功率半導體器件能夠提供更高的電力轉換效率和更高的功率密度。碳化硅基功率半導體器件在數據中心的應用是緩解全球AI電力供應挑戰、實現數據中心低碳化的必然選擇。此外，AI技術的發展不斷催生AI智能產品創新，AI智能產品創新又同時催生了以碳化硅為代表的新型材料的應用機會。例如，碳化硅基材料的光波導應用於AI眼鏡中可以實現更大的視場角和結構更簡單的全彩顯示，可減少AI眼鏡的尺寸、重量以及製造成本和複雜性，並顯著提升用戶體驗。
- **對性能、效率、穩定性的更高要求驅動碳化硅功率半導體器件市場增長。**從2020年到2024年，全球碳化硅功率半導體器件行業市場規模顯著增長，從6.44億美元增加至32億美元，複合年增長率達到49.8%。這一增長趨勢不僅反映了碳化硅功率半導體器件市場的強勁需求，也直接推動了對碳化硅襯底的需求增長。隨著碳化硅

行業概覽

功率半導體器件在xEV、光伏風能、5G通信等戰略性新興產業中的廣泛應用，襯底作為生產碳化硅器件的關鍵材料，其市場需求隨之擴大。預計從2024年到2030年，碳化硅功率器件行業的市場規模將繼續增長，複合年增長率為35.2%，預計到2030年市場規模將達到約197億美元。全球碳化硅在整個功率半導體器件市場中的滲透率也顯著提升，從2020年的1.4%增長到2024年的6.5%，並預計到2030年將增長至22.6%。

- **技術進步推動生產效率提高，降低生產成本，提升經濟性和滲透率。**技術端晶體生長、切片、磨拋工藝的進步顯著提升了碳化硅襯底的生產效率，並降低了生產成本。例如，晶體生長技術的進步推動8英寸導電型襯底實現量產，更大的可用襯底面積推動單位綜合成本降低50%，並提升了襯底生產良率，進一步推動了襯底單位成本的下降。隨著技術的不斷進步和產能的擴大，預計碳化硅襯底的成本將進一步降低，經濟性和市場滲透率將繼續提升。

全球碳化硅襯底市場發展趨勢

- **在原有領域加速滲透的同時，積極向新興應用領域拓展：**碳化硅襯底材料近年來發展迅猛，應用範圍不斷拓展。碳化硅功率半導體器件在xEV領域的滲透率在2024年為19.2%，到2030年預計將達到53.6%；在光伏儲能領域，碳化硅的市場滲透率預計將從2024年的9.7%增長至2030年的20.4%。在光波導領域，碳化硅可用於AI眼鏡中，實現更低的折射率和更輕的重量，預計未來隨著AI眼鏡的出貨量上漲，碳化硅在此領域的出貨量將隨之提升。隨著5G蓬勃發展，濾波器領域對碳化硅需求驟增。

行業概覽

5G高頻高速的特性要求濾波器低損耗、高穩定，碳化硅襯底恰好滿足需求。因此未來在先進通信基站建設中，其滲透率逐年攀升。其在先進通信基站中的滲透率從2019年的36%增長至2024年的50%，預計到2030年將增長至66%。同時，電子器件性能提升帶來散熱壓力，碳化硅憑藉其高導熱、耐高溫特性，在高端散熱材料市場中脫穎而出，市場份額將持續增長。可見，碳化硅襯底材料在新舊領域潛力巨大，未來將在科技產業變革中發揮關鍵作用，助力多行業突破技術瓶頸，推動全球科技產業邁向新高度。

- **襯底向大尺寸發展，6英寸導電型襯底仍是主流，8英寸導電型襯底起量，12英寸導電型襯底已有研發樣品。**目前，碳化硅襯底行業正處於尺寸升級的關鍵發展階段。6英寸導電型襯底依舊是市場主流，但8英寸導電型襯底的市場需求正逐步攀升。下游產業(如xEV、光伏及儲能系統)對高性能碳化硅功率半導體的需求，將持續推動碳化硅襯底的市場需求。具體而言，隨著技術進步及市場需求增長，8英寸碳化硅襯底因其更高的產出率、更低的邊緣損耗，以及更優異的器件性能，正逐步取代4英寸和6英寸碳化硅襯底，成為產業新焦點。8英寸襯底單片芯片產出量約為6英寸的2倍、4英寸的4倍，而且能部分運用硅基功率芯片產線裝備，可有效降低成本、提高生產效率。率先實現8英寸碳化硅襯底研發突破的企業將更早地進入下游器件製造商的驗證環節，其電學性能驗證週期一般長達6至12個月，一旦驗證成功，下游器件製造商將不會輕易更換襯底供應商。基於這些優勢，全球襯底製造商紛紛大力投入8英寸導電型襯底產線建設。據統計，全球碳化硅功率半導體器件製造商在8英寸項目上的總投資額已超人民幣1,754億元，其中前五大碳化硅功率器件製造商總投資額超人民幣1,269億元，佔比超72%。與此同時，業內製造商也在不斷探索更大尺寸的襯底。目前，12英寸導電型碳化硅襯底已有研發樣品。12英寸襯底能進一步提升經濟效益，為碳化硅材料的大規模應用創造更多可能，代表著碳化硅襯底技術未來的發展方向與產業化趨勢。

行業概覽

— 單位生產成本下降以及規模效應顯現，推動更多下游場景採用碳化硅襯底：未來碳化硅襯底價格將持續下降，主要受兩個因素推動：首先是生產技術和工藝路線的迭代升級帶來的單位裸片成本下降；隨著碳化硅晶體生長等環節良率的提升以及襯底尺寸的擴大，各器件單位成本將持續下降。其次是規模效應，隨著全球尤其是中國碳化硅襯底頭部製造商的產能擴張，頭部製造商在成本分攤、生產自動化和工藝優化、供應鏈採購、技術積累等方面展現出顯著的規模效應，從而推動襯底價格的下降。襯底價格下降將推動更多下游場景採用碳化硅襯底。

全球碳化硅襯底單價分析

2019年至2024年期間，全球碳化硅襯底市場價格有所下降，主要受到市場競爭加劇、技術成熟帶來的成本優化以及產能逐步擴張等因素的影響。未來，隨著碳化硅襯底產品加速迭代，以及下游應用快速發展導致需求持續攀升，相同尺寸襯底的價格降幅預計將逐步收窄。

碳化硅襯底平均價格趨勢

碳化硅襯底價格						2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
人民幣千元／件	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)
價格區間	4.4-6.4	4.0-6.0	3.6-5.6	3.3-5.3	2.7-4.7	2.4-4.4	2.3-4.3	2.3-4.3	2.3-4.3	2.3-4.3	2.3-4.3

資料來源：弗若斯特沙利文

受技術成熟度、供需關係和市場競爭等因素影響，碳化硅襯底價格呈下降趨勢。碳化硅襯底於2020年的價格範圍通常為人民幣4,400元至人民幣6,400元，並於2024年降至人民幣2,700元至人民幣4,700元。該價格範圍預計將於2030年進一步降至人民幣2,300元至人民幣4,300元。

行業概覽

全球碳化硅襯底主要上游原材料價格變化情況分析

碳化硅襯底主要上游原材料包括用於襯底製備的硅粉、碳粉、石墨件、石墨氈，以及用於後道加工程序的金剛石粉、拋光液、拋光墊等。

在碳化硅襯底的總成本構成裡，直接構成襯底的碳粉與硅粉作為原材料，佔比通常較低；碳粉與硅粉價格又與其純度高度正相關，高純度意味著更複雜的製備工藝與成本投入，價格也更高。該等原材料價格的波動對碳化硅襯底的整體成本影響相對有限。石墨件和石墨氈在碳化硅襯底成本中佔比較大。然而，石墨件和石墨氈多為定製型產品，價格取決於多種因素。

石墨件與石墨氈平均價格趨勢

						2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年
人民幣千元／件	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)	(估計)
石墨件	2.7-3.7	5.0-6.0	6.5-7.6	5.0-6.0	5.2-6.2	5.4-6.4	5.6-6.6	5.8-6.8	6.0-7.0	6.2-7.2	6.4-7.4
石墨氈	7.3-8.3	10.6-11.6	17.5-18.5	13.1-14.1	14.1-15.1	15.1-16.1	16.1-17.1	17.1-18.1	18.1-19.1	19.1-20.1	20.1-21.1

資料來源：弗若斯特沙利文

石墨件和石墨氈的價格主要受材料純度、高溫穩定性、工藝兼容性、定製化要求和採購規模等因素影響。石墨件於2020年的價格範圍為人民幣2,700元至人民幣3,700元，並於2024年增至人民幣5,200元至人民幣6,200元；石墨氈於2020年的價格範圍為人民幣7,300元至人民幣8,300元，並於2024年增至人民幣14,100元至人民幣15,100元。未來，受原材料成本上漲和市場需求增加的影響，石墨件和石墨氈價格預計將持續攀升。

全球及中國碳化硅襯底市場競爭格局

全球碳化硅襯底市場競爭格局概覽

競爭格局由少數頭部企業主導，頭部企業在技術實力、生產規模、品牌知名度和認可度方面具有顯著優勢。按碳化硅襯底銷售收入計，2024年前五大市場參與者市場份額總計為68.0%，市場集中度較高，頭部企業佔據主導地位。

行業概覽

碳化硅襯底製造商排名

按2024年碳化硅襯底銷售收入計，本公司是全球排名第二的碳化硅襯底製造商，市場份額為16.7%。

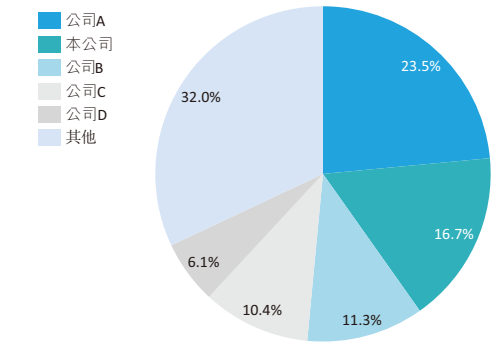
全球前五大碳化硅襯底製造商，按碳化硅襯底的銷售收入計(2024年)

排名	製造商	碳化硅襯底收入 (人民幣十億元)	市場份額 (%)
1	公司A ⁽¹⁾	2.07	23.5%
2	本公司	1.5	16.7%
3	公司B ⁽²⁾	1.0	11.3%
4	公司C ⁽³⁾	0.9	10.4%
5	公司D ⁽⁴⁾	0.5	6.1%
CR5		6.0	68.0%

附註：各製造商統計口徑僅包括外銷，自產自用數據不計算在內。

- 1. 公司A是一家總部位於美國達勒姆的上市公司。其專注於碳化硅及氮化鎵技術在電力及射頻領域的應用。
- 2. 公司B是一家總部位於中國北京的私營企業。其專門從事碳化硅相關材料的研發、生產及銷售。
- 3. 公司C是一家總部位於美國薩克遜堡的上市公司。其專注於半導體材料，適用於工業、通信及電子等多個市場。
- 4. 公司D是一家總部位於韓國龜尾的私營企業。其專注於半導體製造所需的拋光晶圓及外延片的製造及供應。

數據來源：弗若斯特沙利文



數據來源：Expert Interview、弗若斯特沙利文

(附註：各製造商商統計口徑僅包括外銷，自產自用數據不計算在內。)

全球碳化硅襯底市場關鍵成功因素及競爭壁壘

全球碳化硅襯底市場關鍵成功因素及競爭壁壘包括：

- **技術知識：**碳化硅襯底的製備是一個技術密集型過程，涉及多個技術難點。首先，碳化硅晶體生長必須在超過2000°C的高溫密閉環境中進行，這要求極高的溫度控制精度。其次，生長過程中需要精確控制硅碳比、溫度梯度、晶體生長速率和氣流氣壓等參數，以避免晶型轉變和多型夾雜缺陷。此外，碳化硅襯底

行業概覽

的加工難度大。降低微管密度是提升器件性能和可靠性的關鍵技術方向，而隨著襯底尺寸的增大，擴徑技術的挑戰也隨之增加，這需要綜合熱場設計、結構設計和晶體製備工藝設計等多方面的技術控制。這些技術難點共同構成了碳化硅襯底行業的高技術壁壘。

- **足夠的資源保障(客戶、資金、供應商等)：**碳化硅襯底行業因其高資源壁壘而對新進入者構成嚴峻挑戰。這些挑戰包括對設備的投資，如晶體生長爐和加工機械，以及為了維持技術領先地位和確保產品質量所需的持續研發資金投入。此外，組建專業管理和研發團隊的高准入門檻，以及長晶過程中對精確控制多種參數以保證晶體質量和穩定性的技術壁壘，都增加了行業進入的難度。下游客戶的驗證流程漫長，導致客戶對現有供應商達成長期合作，這種高客戶粘性使得新進入者難以爭奪市場份額。同時，市場競爭的加劇和需求的多樣化要求企業必須具備強大的研發能力和生產靈活性，以滿足不同客戶的需求。這些因素共同構成了碳化硅襯底行業的難以進入的門檻。

- **成本控制能力：**成本控制能力是碳化硅襯底行業的關鍵競爭壁壘，因為其涉及到技術積累、設備投資、研發投入、生產效率、材料加工難度、市場接受度、規模經濟和供應鏈管理等多個方面。新進入者由於缺乏這些領域的經驗和資源，難以迅速實現成本優化。早期進入者通過長期的技術積累、規模化生產和成熟的供應鏈管理，已經建立了成本優勢，使得新進入者在市場競爭中面臨更高的成本壓力，難以在短期內達到與早期企業相同的成本控制水平。

行業概覽

- **高質量量產能力：**在碳化硅襯底行業，實現高質量量產至關重要。其生產加工難度極高，需要長時間的行業深耕以及深厚的工藝經驗積累。一方面，大尺寸襯底量產面臨挑戰，既要憑藉前瞻性戰略提前依據不同尺寸產品工藝設計兼容設備，實現快速切換生產，又要緊跟下游需求迭代工藝；另一方面，提升有效長晶厚度難題諸多，既要克服晶體生長過程中厚度及源粉消耗對熱場的影響，還需確保大量生產設備產出的一致性。再者，達成低缺陷生產不易，產品相關衡量指標要突破行業既有水平，實現零缺陷交付頗具難度。最後，智能化建設投入大、門檻高，需配備高性能智能設備、專業人員，運用多種系統實現生產品質實時管控與多環節優化，達到高自動化率、高生產效率提升以及高設備綜合效率，這對新進入者而言，短期內難以兼顧各個方面從而實現高質量量產。尤其對於車規級碳化硅襯底的量產而言，其需要在諸如低缺陷控制、熱場穩定性、智能化生產以及車規級認證等多項技術壁壘上取得突破，同時還需滿足極為嚴苛的可靠性及一致性要求。