

次世代背接觸型太陽電池技術

Next-Generation Back Contact Solar Cell Technology

柳詔華 C. H. Liu¹、陳松裕 S. Y. Chen²、張瀚丞 H. C. Chang²、
魏志銘 C. M. Wei³、林峻平 C. P. Lin⁴

工研院(ITRI) 綠能所 ¹副研究員、²資深研究員、³資深工程師、⁴研究員

摘要/Abstract

隨著全球淨零排放趨勢推動，矽晶太陽電池正持續朝高轉換效率方向發展，其中背接觸型(x-Back Contact; xBC)太陽電池已成為高效電池技術的重要發展焦點。由於單界面矽晶太陽電池效率已逐漸逼近其Shockley–Queisser理論極限（約29.4%），xBC結構透過將正、負電極皆配置於電池背面，可消除正面金屬電極遮蔽損失並提升有效受光面積，包含IBC、TBC、HBC等技術路線在內的xBC電池，因具備進一步提升效率與優化模組外觀之潛力，已成為次世代高效矽晶太陽電池的重要發展方向。截至2026年，中國隆基公布之高低溫複合鈍化背接觸(Hybrid Interdigitated Back Contact; HIBC)電池效率達28.13%，為目前公開報導中商業尺寸單界面矽晶電池最高效率紀錄。根據ITRPV 2025技術路線圖預測，TOPCon仍將在未來至少五年內維持主流地位；而xBC電池市占率則預估將由2025年約6%，逐步成長至2035年約30%，並在高階模組、分散式發電與美學型應用市場扮演關鍵角色。在應用端，xBC電池除可提供全黑化、高美觀性的模組設計外，亦可結合輕量化與可撓化模組技術，進一步拓展至建築整合型光電(BIPV)與移動式電源等應用場景。展望未來，xBC技術將持續導入無主柵(0BB)設計與銅金屬化等低銀化製程，朝降低銀耗、降低成本與提升量產競爭力發展。同時，xBC電池並可作為鈣鈦礦/矽晶堆疊電池具潛力的矽晶下電池平台，有助於推動矽晶電池技術突破單界面約29.4%的理論效率限制。

In response to the global drive toward net-zero emissions, the development of silicon solar cells continues to prioritize high conversion efficiency, with x-Back Contact (xBC) technologies emerging as a primary focus. When the efficiency of single-junction silicon solar cells nears the Shockley–Queisser theoretical limit of approximately 29.4%, the xBC architecture presents a compelling solution. By relocating both positive and negative electrodes to the rear of the cell, this structure eradicates optical shading losses from front metal grids and maximizes the effective light-gathering area. Encompassing technological pathways such as IBC, TBC, and HBC, xBC cells offer significant potential to further boost efficiency and optimize module aesthetics, firmly establishing them as a pivotal direction for next-generation high-efficiency photovoltaics. As of 2026, China's LONGi has reported an efficiency of 28.13% for its Hybrid Interdigitated Back Contact (HIBC) cells, marking the highest publicly recorded efficiency for commercial-

sized, single-junction silicon solar cells to date. According to the International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV) 2025 projections, while TOPCon will retain its mainstream market dominance for at least the next five years, the market share of xBC cells is anticipated to surge from roughly 6% in 2025 to 30% by 2035. Consequently, xBC technology will play a crucial role in premium modules, distributed energy generation, and aesthetically driven markets. On the application front, beyond enabling all-black, visually appealing module designs, xBC cells can be synergized with lightweight and flexible packaging technologies, broadening their deployment into building-integrated photovoltaics (BIPV) and mobile power applications. Looking forward, xBC technology will increasingly integrate zero-busbar (0BB) architectures and low-silver metallization processes, such as copper plating, to curtail silver consumption, reduce manufacturing costs, and enhance commercial competitiveness. Furthermore, xBC cells serve as an optimal silicon bottom-cell platform for perovskite/silicon tandem photovoltaics, paving the way for silicon-based solar technologies to surpass the 29.4% theoretical efficiency ceiling of single-junction configurations.

關鍵字/Keywords

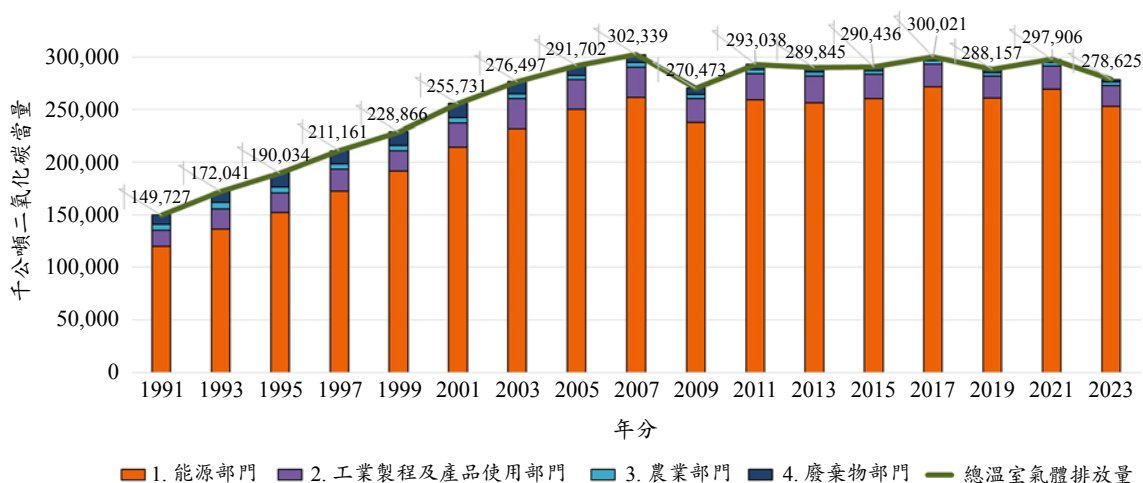
背接觸型(x-Back Contact; xBC)、穿隧氧化鈍化背接觸(Tunnel Oxide Passivated Back Contact; TBC)、混合型指叉式背接觸(Hybrid Interdigitated Back Contact; HIBC)、低銀技術(Low-silver Technology)

前言

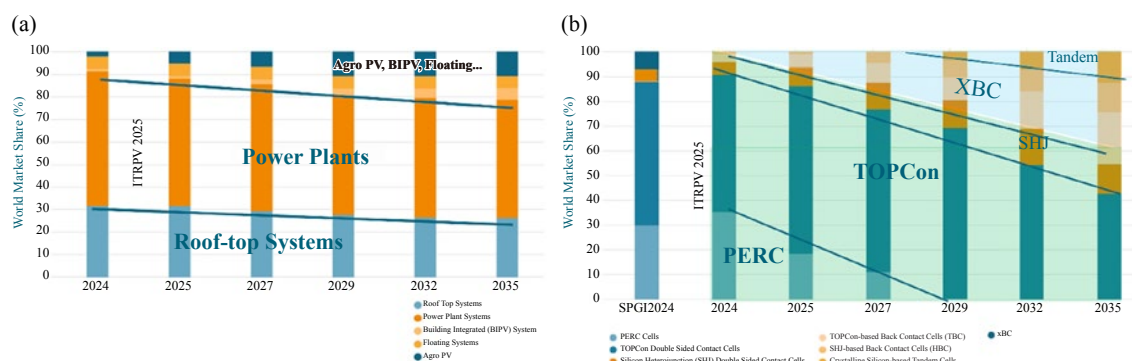
為應對全球氣候暖化與溫室氣體排放失控的危機，世界主要經濟體已於聯合國氣候變化大會(COP)等國際框架下，相繼宣示於2050年達成淨零碳排(Net-Zero Emissions)的目標⁽¹⁾。能源系統的脫碳成為實現此一目標的核心基礎，其中太陽光電(PV)與風力發電被國際能源署(IEA)視為推動能源轉型的兩大支柱。因應此一國際趨勢，台灣政府亦發布了「台灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，並訂定出具體的階段性目標。根據統計，台灣工業與民生用電所屬的能源部門對於電力有著高度依賴性

(如圖一)⁽²⁾，使用電力所產生的間接碳排在全國溫室氣體總排放量中占據近九成的比例，這也意味著電力系統的脫碳是推動減碳成敗的重要策略之一。

根據國家淨零策略規劃，台灣預計在2030年將太陽光電的累積裝置容量大幅提升至31 GW的戰略目標⁽³⁾。透過大規模導入太陽光電等無碳電力，台灣的電力排碳係數預計將從2023年的0.494 kgCO₂e/kWh，大幅度下降至2030年的0.319 kgCO₂e/kWh，整體降幅逾三成五。而在國家整體的溫室氣體淨排放量方面，台灣也設定了2030年要較2005年基準年(約291,702千公噸二氧化碳當量)減少28±2%的目標，這代表至2030



▲圖一 中華民國國家溫室氣體排放量趨勢⁽²⁾



▲圖二 (a)多樣態PV系統興起發展⁽⁶⁾；(b)太陽電池高效率技術發展⁽⁶⁾

年時，台灣的整體碳排量將下降至204,191至215,859千公噸二氧化碳當量區間。

由於台灣地狹人稠、土地取得不易，傳統大型地面電廠常面臨土地取得不易與生態爭議等瓶頸。這使得國內政策正加速推動都會區屋頂、建築立面整合(BIPV)、農電共生(Agro PV)及水面型/海上型系統(Floating/Marine PV)等多元土地複合應用情境，如圖二(a)。在這些空間受限且環境多

變的應用端，擴大鋪設面積已不切實際，因此大幅提升「單位面積轉換效率」與改善「局部遮擋耐受性」成為綠能技術發展的關鍵解方。背接觸型(x-Back Contact; xBC)技術憑藉其純黑、極簡的無柵線外觀，不僅與追求建築美學的BIPV需求完美契合，其卓越的轉換效率更能有效解決農電與水面系統對於空間利用率的嚴苛挑戰。從實驗室的技術迭代到市場端的場景開拓，高效

電池技術與多元應用場景的正向循環，正定義著下一個十年綠能發展的新藍圖。

太陽電池發展歷程

矽晶太陽電池的效能取決於晶圓的摻雜型態：摻雜磷產生多餘電子為N型半導體，摻雜硼產生電洞則為P型半導體。值得注意的是，1954年由貝爾實驗室(Chapin、Fuller、Pearson)開發出第一片具實用價值的矽晶太陽電池為P型矽基太陽電池。以該類型為主的原因來自於早期太空與軍用需求促成矽基太陽電池的工業化發展，而P型晶圓因製程成熟與供應鏈優勢，長期主導商用市場⁽⁴⁾。然而，當太陽能轉向大規模地面應用時，P型電池的缺陷成為了效能瓶頸。P型晶圓中的硼原子受光照後，易與殘留的氧結合形成硼氧複合體，引發嚴重的光致衰減效應(LID)⁽⁵⁾，使電池啓用初期即流失2~4%的轉換效率。相形之下，N型電池因採用磷摻雜，從根本消除了硼氧複合體的形成條件，實現了實質上較低的LID風險。

此外，N型晶圓對金屬雜質的容忍度更高，具備較高的少數載子壽命，使其在生命週期內能維持更高的發電效率與更低的年衰減率。基於這些物理本質的優勢，當前太陽光電產業正以N型技術為核心的深度轉型。

根據2025年最新國際太陽能技術路線圖ITRPV，如圖二(b)預測，這股技術巨浪正從電池結構底層席捲至終端應用市場。現行主流市場由基於PERC架構進化而來的TOPCon技術主導，其核心在於導入超薄穿隧氧化層與多晶矽層的鈍化設計，藉由

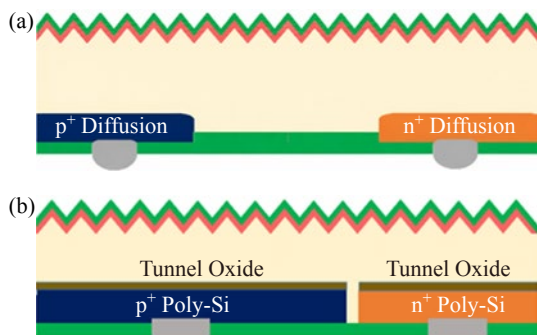
減少載子的復合而提升開路電壓；然而，TOPCon正面仍需印刷金屬柵線導電，因此仍存在一定程度的幾何遮光損失，形成了難以跨越的物理效率天花板。為了徹底突破這道光學極限，產業重心正加速轉移至具備顛覆性設計的xBC技術，這種架構將正負電極巧妙地隱藏至電池背光面，達成正面零遮蔽的有效光學吸收面積，使單位面積發電能力較常規TOPCon顯著提升約7%⁽⁷⁾。圖表數據明確顯示，xBC技術市占率預計於2035年上看30%，成為高階市場的領導者。

xBC太陽電池種類

依據不同的材料物理堆疊與橫向電荷傳輸機制，xBC太陽電池在過去二十年的演進中，分化為四大核心微觀結構型態：IBC、TBC、HBC與最具潛力的HIBC，各型態在材料物理層面上展現出不同的鈍化與收集效率。

1. 指叉式背接觸(IBC)太陽電池

初世代的指叉式背接觸(Interdigitated Back Contact; IBC)太陽電池作為xBC技術的最早開端如圖三(a)所示，其最核心的特徵在於：電池背面的 p^+ 型與 n^+ 型交錯區域，皆是完全採用傳統的高溫熱擴散(Diffusion)製程所建立的。這種雙邊皆擴散的設計構成了第一代背接觸型太陽電池(Back Contact Solar Cells)的標準物理形態。雖然這種純擴散架構在早期相對直觀，但它面臨著難以克服的物理限制。由於背面的 p^+ 與 n^+ 擴散區必須與金屬電極產生直接的物理接觸，缺

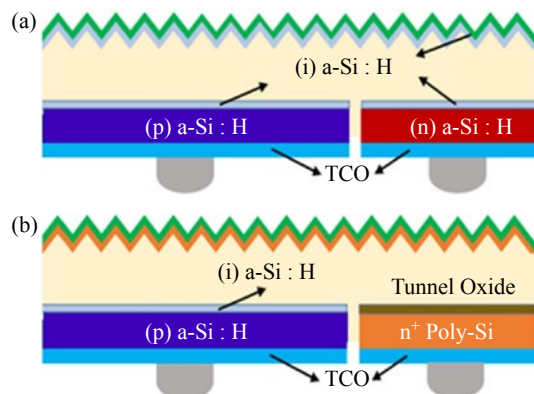


▲圖三 (a) IBC電池；(b) TBC電池之側面結構

乏如近代技術般的超薄鈍化層保護，導致金屬與半導體介面處存在極高的表面復合速率。該結果導致載子損耗嚴重，因此其極限轉換效率的天花板通常會受限於24.0%左右⁽⁸⁾。

2. 穿隧氧化鈍化背接觸(TBC)太陽電池

相對於IBC技術，穿隧氧化鈍化背接觸(Tunnel Oxide Passivated Back Contact; TBC)技術是投資成本效益較高的背接觸技術路線。其核心設計如圖三(b)所示，將TOPCon的多晶矽鈍化接觸製程延伸至背面指叉接觸架構中，在背面精密劃分的指叉圖案中，正負極(p^+ 區與 n^+ 區)下方均沉積了一層1.2至2.0 nm的超薄二氧化矽穿隧層(Tunnel Oxide SiO_x)及多晶矽薄膜的摻雜(p^+ Poly-Si/ n^+ Poly-Si)。透過超薄氧化矽層與高摻雜多晶矽所形成的載子選擇性接觸，多數載子可經由量子穿隧效應傳輸，同時有效阻擋少數載子，進而大幅降低介面復合損失。



▲圖四 (a) HBC電池；(b) HIBC電池之側面結構

3. 異質接面背接觸(HBC)太陽電池

異質接面背接觸(HJT Back Contact; HBC)技術將異質結(HJT)的表面鈍化優勢與背接觸結合。如圖四(a)，其背面的矽表面首先覆蓋一層本質氫化非晶矽層((i) a-Si:H)以飽和矽表面的懸鍵，達到化學鈍化效果。隨後，交錯沉積p型與n型氫化非晶矽層((p) a-Si:H與(n) a-Si:H)形成載子選擇通道。由於非晶矽導電率較差，因此在非晶矽與金屬電極間濺鍍透明導電氧化物(TCO)來協助橫向電荷的收集。HBC透過異質結與背接觸結合，能兼顧優異表面鈍化與高開路電壓。

4. 混合型指叉式背接觸(HIBC)太陽電池

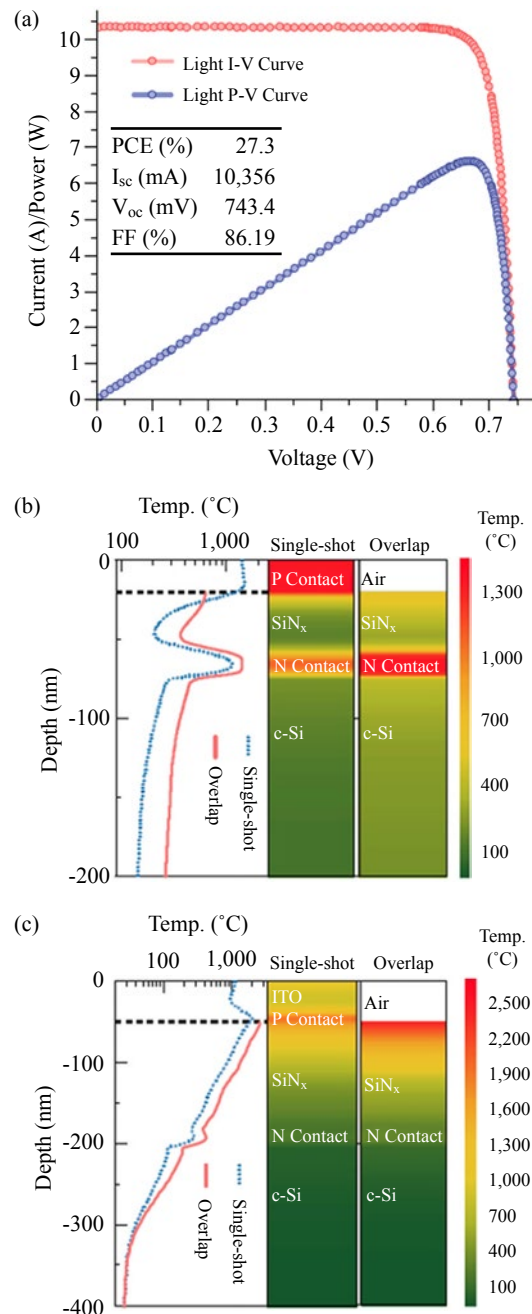
混合型指叉式背接觸(Hybrid Interdigitated Back Contact; HIBC)是當前結構設計中最前端的型態。HIBC是混合式背接觸架構，常結合異質結鈍化與多晶矽鈍化接觸，以兼顧鈍化與導電性。如圖四(b)，在p

型接觸區採用HJT機制 ((i) a-Si:H/(p) a-Si:H/TCO) 以獲取鈍化最佳化；而在n型接觸區則採用高導電率、熱穩定性優異的TOPCon結構(Tunnel Oxide/n⁺ Poly-Si)。此混合型設計有效避開了傳統HBC元件雙面非晶矽在雷射圖案化隔離製程中的高難度，並利用n型多晶矽的極低接觸電阻特性，實現了光電鈍化與電荷收集的完美平衡。

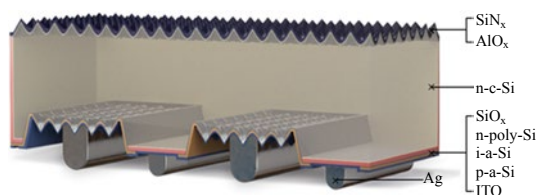
現有高效能領先之太陽電池架構

在背接觸型太陽電池的發展脈絡中，HBC與HIBC架構被視為最具潛力的兩大技術路線。近年來，隆基綠能(LONGi)研究團隊在此兩項技術上皆取得了重大突破，分別創下27.3%⁽⁹⁾如圖五(a)與28.13%的卓越轉換效率。

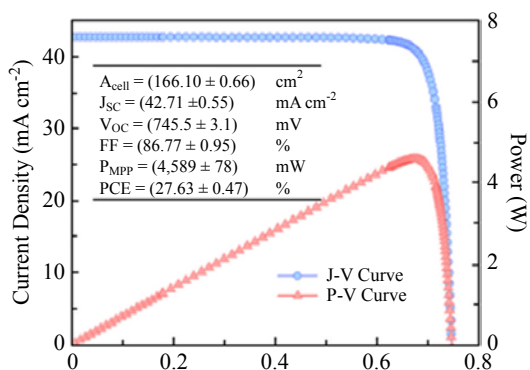
HBC電池為了將所有電極移至背光面以提升受光效率，需進行複雜的p/n極背面圖案化。過去製程大多依賴昂貴且耗時的光刻技術，倘若改用雷射技術，其熱效應往往會造成電池內部非晶矽鈍化層的損傷，最終導致效能下降。該研究透過以下兩項關鍵原理克服了此瓶頸，首先是無損雷射圖案化，該研究針對P2（移除P-contact）與P3（移除ITO）製程，分別採用532 nm與355 nm的皮秒脈衝雷射。藉由模擬能量密度，靈活運用單發模式保護邊緣，或重疊模式徹底移除薄膜，成功將雷射熱能侷限於目標移除層。圖五(b)、(c)⁽⁹⁾的熱分布模擬證實，該製程能將鈍化介面的溫度控制在700°C以下，成功避免非晶矽鈍化層因雷射高能而產生氫脫附或結構受損，確保了元件在經過圖案化後仍維持極佳的電學性



▲圖五 (a) HBC I-V與P-V曲線；(b) P2雷射能量深度分布；(c) P3雷射能量深度分布⁽⁹⁾



▲圖六 HIBC結構圖⁽¹⁰⁾

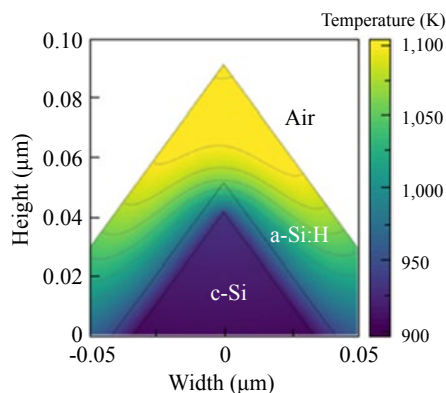


▲圖七 HIBC I-V與P-V曲線⁽¹⁰⁾

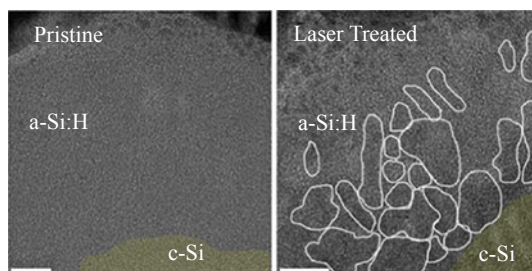
能。相比傳統複雜的蝕刻製程，此套雷射製程不僅將總有效處理時間縮短，更實現了高光電轉換效率與更穩定、更低電阻的元件性能。

這為高性能太陽電池的製造提供了一套更簡化、精準且高效的技術方案，徹底翻轉了過去雷射圖案化效能低落的刻板印象。

然而，近期此團隊再度推升了全球矽太陽電池的效率標竿，其最新發布的HIBC電池轉換效率高達28.13%。在此之前，現有文獻紀錄為該公司於2025年發表的HIBC電池（如圖六），轉換效率為27.63%⁽¹⁰⁾。27.81%的效率約達到矽基單接面理論極限29.4%的95%；87.55%的FF亦約為文中所引用理論



▲圖八 雷射溫度對表面受熱模擬圖⁽¹⁰⁾



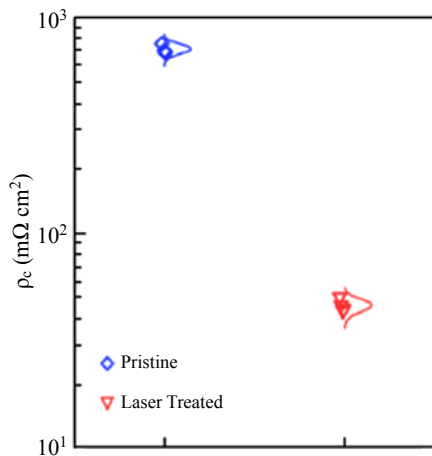
▲圖九 矽晶表面高解析度電子顯微鏡圖⁽¹⁰⁾

值89.4%的98%（如圖七）。

這項技術的核心在於有效結合了先進的全表面鈍化技術與雷射處理的穿隧接觸結構。在指叉式背接觸設計中，為了打破導電性與鈍化效果之間難以兼顧的限制，研究團隊創新地採用了波長532 nm的皮秒脈衝雷射，對p型接觸的非晶矽(a-Si)疊層進行局部熱處理。透過精準的熱力學控制（如圖八）的溫度模擬，雷射光束的熱能被高度侷限並聚焦於體積微小的矽金字塔頂端，使其瞬間達到約1,100 K的高溫。這種極端且局部的熱效應成功在尖端誘發了結晶化(nc-Si)。從高解析度電子顯微鏡影像（圖

▼表一 各國xBC效率比較

國家	單位	結構	效率(%)	面積(cm ²)	發表年度
新加坡	Maxeon ⁽¹¹⁾	TBC	24.9	322	2023
德國	ISC Konstanz ⁽¹²⁾	IBC	24.1	274	2024
中國	Aiko ⁽¹³⁾	TBC	27.2	330	2024
	LONGi ⁽⁹⁾	HBC	27.3	330	2024
	Jinko Solar ⁽¹⁴⁾	TBC	27.1	310	2025
台灣	ITRI	TBC	25.0	330	2025
中國	LONGi	HIBC	28.13	332	2026
	Trina Solar ⁽¹⁵⁾	THBC	28.00	382	2026



▲圖十 雷射前後接觸電阻比較⁽¹⁰⁾

九) 中可清晰見到非晶矽層內生成的奈米晶粒，此局部結晶化成功在非晶矽層內部建立了低阻抗的奈米級載子傳輸通道；與此同時，未受高熱波及的金字塔側壁與底部，則完好保留了原始非晶矽的優異鈍化品質。最終，這項奈米級的局部材料改質展現了突出的電學效益(如圖十)，將整體的接觸電阻大幅降低了一個數量級。

此外，為了解決高阻值晶圓在邊緣區域容易產生嚴重載子複合損失的問題，該

研究結合了高低溫製程，開發出原位邊緣鈍化技術(iPET)。這項技術有效將載子複合轉移至近邊緣的體積區域，大幅提升了電池的偽填充因子(pFF)與整體的轉換效率。

2026年4月，中國天合光能(Trina Solar)以TOPCon相容混合背接觸型太陽電池(TOPCon-compatible Hybrid Back-Contact; THBC)達成28.00%的轉換效率，並經德國ISFH認證。THBC與HIBC結構雖類似，但更強調與既有TOPCon量產線的相容性，凸顯BC與TOPCon兩大電池結構正以結構融合而非取代的方式共同演進⁽¹⁵⁾。

現行xBC效率

綜觀當前全球xBC太陽電池的發展版圖(如表一)，各項技術路線正處於百家爭鳴且競爭白熱化的階段，xBC技術天花板正被不斷推高。最新發布的效率紀錄來看，目前由HIBC以28.13%的卓越轉換效率暫居最高，除HIBC外，HBC (27.3%)與TBC (27.2%)也已達到極高效率，顯示xBC技術快速演進。這場極限突破戰目前主要由各國指標性大廠主導，且紛紛將技術突破點

建立在大面積商業化尺寸上，標誌著xBC技術正準備全面邁入兼具超高效率與大規模量產可行性的成熟期。

在這波全球性的技術競逐浪潮中，台灣近年亦積極投入xBC技術開發。以工研院的研發軌跡為例，從2021年僅在微小面積上實現24.0%的技術，到如今已成功將TBC技術放大至330 cm²的商業化大面積，並將效率提升至25.0%，顯示國內在關鍵的製程放大上已取得實質進展。然而，工研院推動xBC技術本土化的最大優勢，不僅在於實驗室裡的技術突破，更在於其具備整合材料、設備與電池製造供應鏈的能力，能將台灣得天獨厚的半導體與精密機械生態系，直接轉化為次世代太陽光電產業的堅實後盾。

工研院正積極串聯國內上下游業者，籌組具備高度自主性的太陽光電國家隊：在上游關鍵材料端，攜手碩禾開發TBC專用的銀包銅背接觸電極技術，打破對進口高價漿料的依賴以大幅降低成本；在中游設備端，與友晁共同優化低損傷雷射圖案化技術，落實關鍵設備國產化並解決背面極性整合的難題；在下游電池與模組端，則透過技轉串聯茂迪、續日、元晶及聯合再生等四大製造廠，進行次世代產能評估與終端產品開發。

這套由工研院作為核心樞紐，整合在地供應鏈的研發模式，不僅預期能帶動超過25億元新台幣的產值增長，更宣示了台灣太陽光電產業正從過去的單打獨鬥，邁向材料自主、設備國產、終端出海的完整生態系升級。

總 結

在全球因應氣候變遷與淨零碳排的歷史洪流中，太陽光電產業正處於每十年一次的技术典範轉移關鍵期。本文基於嚴謹的半導體物理、工業材料科學與市場財務數據，詳盡剖析了次世代全背接觸太陽電池的技術發展脈絡與商業應用潛力。

從光學與電學的雙重機制觀之，xBC技術透過正負金屬電極全面轉移至背面的創新設計，不僅徹底解決了傳統太陽電池正面長期存在的光學遮蔽問題，更在物理性能上極限逼近了矽材料29.4%的理論極限，並在實驗室中創下28.13%的新紀錄。儘管xBC技術在工業化進程中，仍面臨著背面指叉式結構製程極度繁複、雷射圖形化良率要求嚴苛以及初期設備資本支出高昂等嚴峻挑戰；然而，透過設備供應鏈與TOPCon產線的跨代相容升級策略，配合無主柵設計與徹底無銀化的銅電鍍金屬化工藝的導入，xBC具備進一步降低金屬化成本與提升量產經濟性的潛力。

放眼未來，xBC技術的終極戰略價值，絕不僅止於其作為單一結晶矽電池的效能巔峰，更在於其平坦的無金屬正面，使其成為鈣鈦礦/矽晶疊層電池最理想的下電池平台。隨著突破效率的技術逐漸由實驗室邁向商業化，xBC技術預期將成為高效率矽基與疊層太陽電池的重要技術平台之一，跨越光電理論的物理藩籬，在有限的地球土地與都會空間內，創造出無窮盡的潔淨能源，為2050年全球淨零排放的終極願景，提供最堅實且最具投資成本效益的工

業技術後盾。☒

致 謝

本研究工作承蒙115年度經濟部能源署「挑戰矽晶極限之矽基太陽電池技術開發計畫(2/3)」(契約編號：115-S0102)經費支持，特此誌謝。

參考文獻

1. 經濟部，「經濟部2050淨零排放路徑」，<https://go-moea.tw/>.
2. 環境部氣候變遷署，「2025年中華民國國家溫室氣體排放清單報告」，<https://www.cca.gov.tw/information-service/publications/national-ghg-inventory-report/13123.html>.
3. 國家發展委員會與行政院相關部會「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」，<https://www.ey.gov.tw/File/E5C4540E618F7DB5?A=C>.
4. K. D. Smith, H. W. Gummel, J. D. Bode, D. B. Cuttriss, R. J. Nielsen, and W. Rosenzweig, "The solar cells and their mounting," *The Bell System Technical Journal*, vol. 42, no. 4, pp. 1765-1816, July 1963.
5. A. R. Meyer, P. C. Taylor, M. B. Venuti, S. Eley, V. LaSalvia, W. Nemeth, M. R. Page, D. L. Young, P. Stradins, and S. Agarwal, "Atomic structure of light-induced efficiency-degrading defects in boron-doped Czochralski silicon solar cells," *Energy Environ. Sci.*, vol. 14, no. 10, pp. 5416-5422, 2021.
6. PVCellTech, Frankfurt/Main, March 11, 2025.
7. AIKO Solar, "ABC (All Back Contact) Module Technology White Paper," Shanghai, China, 2023.
8. J. Libal and R. Kopecek, "Interdigitated Back Contact Technology as Final Evolution for Industrial Crystalline Single-Junction Silicon Solar Cell," *Solar*, vol. 3, no. 1, pp. 1-13, Feb. 2023.
9. H. Wu et al., "Silicon heterojunction back-contact solar cells by laser patterning," *Nature*, vol. 635, no. 8039, pp. 582-588, Nov. 2024.
10. G. Wang, M. Yu, H. Wu, Y. Li, L. Xie, J. Wei, X. Deng, S. Zhou, T. Yuan, F. Luo, Y. Yuan, Z. Huang, X. Tang, Q. Tang, S. Yin, H. Qiu, Y. Liu, M. Yang, C. Sun, L. Wu, H. Lin, H. Tang, Q. Liu, H. Liu, J. Chen, X. Ru, F. Ye, M. Qu, J. Wang, J. Lu, B. He, L. Chen, C. Xue, P. Gao, D. He, L. Fang, X. Xu, and Z. Li, "Silicon solar cells with hybrid back contacts," *Nature*, Nov. 2025.
11. M. A. Green, E. D. Dunlop, M. Yoshita, N. Kopidakis, K. Bothe, G. Siefer, D. Hinken, M. Rauer, J. Hohl-Ebinger, and X. Hao, "Solar cell efficiency tables (Version 64)," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 32, no. 7, pp. 425-441, Jul. 2024.
12. J. Linke, C. Peter, J. Hoß, S. S. Kalaghichi, V. Mihailetschi, J. Lossen, and F. Buchholz, "24% Efficient TOPCon-based back contacted polyZEBRA solar cells," *EPJ Photovoltaics*, vol. 16, p. 8, Jan. 2025.
13. BIFIPV Workshop, 2024.
14. M. A. Green et al., "Solar Cell Efficiency Tables (Version 66)," *Progress in Photovoltaics*, May 2025.
15. Trinasolar Newsroom, "Trinasolar achieves 28.00% efficiency for THBC cells, setting a world record for the 39th time," May 6, 2026.