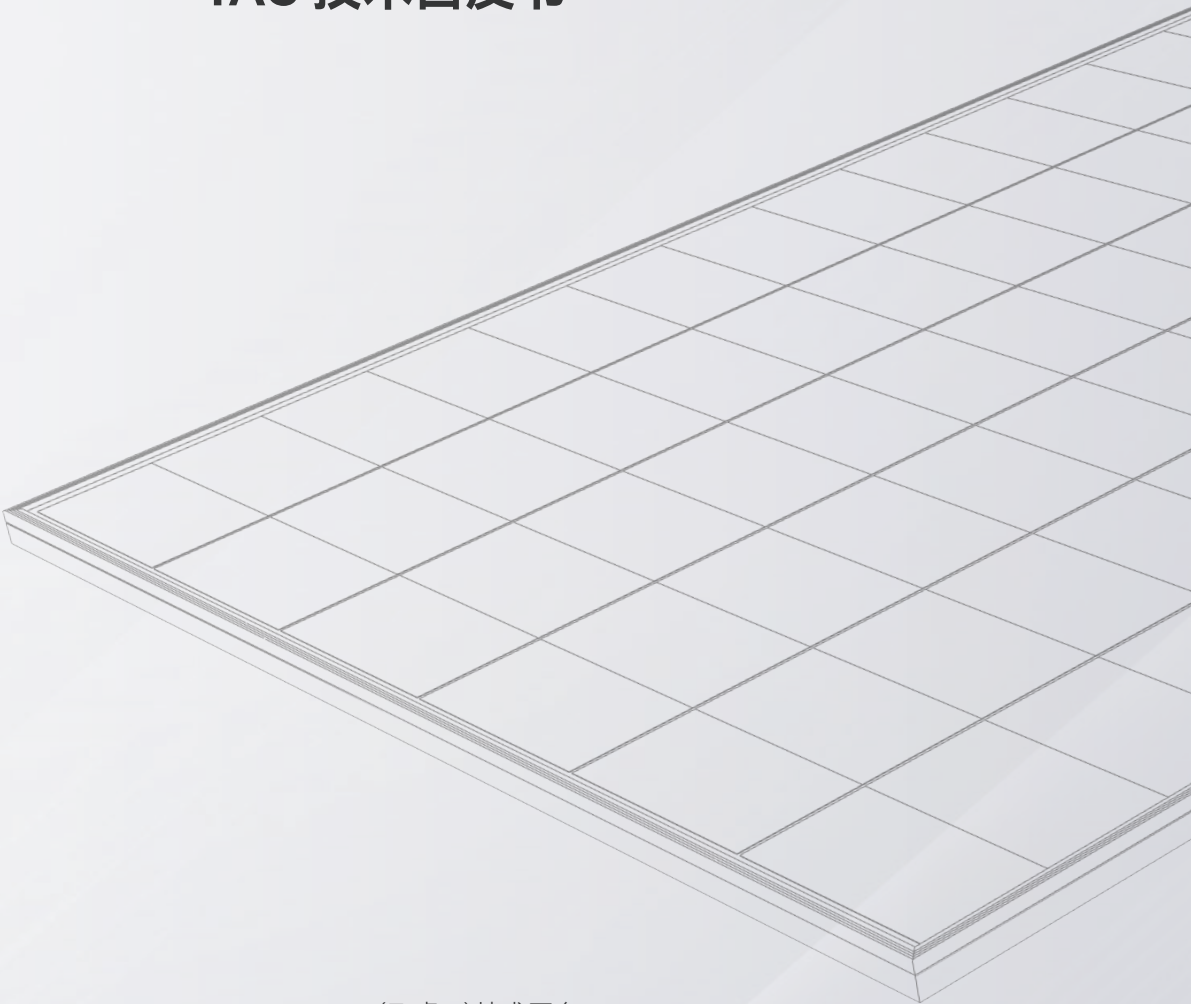




Tiger Neo 5.0(飞虎 5)组件平台及下一代先进晶硅电池
TAC 技术白皮书



晶科能源全球营销中心

地址：上海市闵行区申长路1466弄1号
邮编：201106
电话：+86-21-51808777
www.jinkosolar.com

Tiger Neo 5.0(飞虎 5)技术平台
2026 年 9 月

目录

01	TAC 技术概述与发展背景	01	04	TAC 技术远期可持续性	15
	1.1 光伏行业技术发展趋势			4.1 隐形栅线技术	
	1.2 TAC 技术命名与产业背景			4.2 低温电池技术	
	1.3 TAC 的技术原理：界面、系统和几何的三重重构			4.3 叠层电池	
02	TAC 技术工艺深度解析	04	05	TAC 技术的产品应用	16
	2.1 TAC 技术原理				
	2.2 TAC 八大核心技术详解				
	全域钝化工艺 Global Passivation Process(GPP)				
	多维界面锁电钝化 Multi-Dimensional Charge Passivation(MCP)				
	广谱陷光结构 Full-Spectrum Light Trapping(FLT)				
	高纯均质硅底 Premium Homogeneous Silicon-Base(PHS)				
	均匀点阵互连 Uniform Matrix Interconnection(UMI)				
	无隙晶阵封装 Gapless Cell Array(GCA)				
	全黑零色差 All Consistent Color(ACC)				
	全周域阻水 Perimeter Moisture Barrier(PMB)				
03	TAC 组件核心优势	14	06	TAC 技术的客户价值	17
	3.1 高效 TAC 电池与跨代际组件效率			TAC 510W	
	3.2 TAC 组件弱光响应			常规 480W(代表性基准)	
	3.3 TAC 组件抗紫外衰减性能				
	3.4 TAC 相对 BC 的结构性优势				
			07	TAC & 飞虎 5(Tiger Neo 5.0)问答合集	21
			08	结语	31

01 TAC 技术概述与发展背景

1.1 光伏行业技术发展趋势

当前光伏产业已进入 " 效率主导、系统制胜 " 阶段。在 TOPCon 路线逼近其理论效率上限 (约 28.7%) 的今天, 技术竞争焦点已从 " 单一结构孰优 " 转向 " 如何在同一硅片上, 同步实现优异的光学与电学性能的系统集成 "。

1.2 TAC 技术命名与产业背景

TAC (TOPCon-based Amorphous-Si Passivating Cell, 基于 TOPCon 的异质结非晶硅钝化电池) 是晶科沿上述判断提出的下一代平台构想。其命名直接定义了技术内核:

- **TOPCon-based (基于 TOPCon):** 以隧穿氧化层 + 掺杂多晶硅 (Poly 钝化接触) 为电池的主接触体系与基底, 承袭晶科 N 型 TOPCon 在量产成熟度、供应链规模与专利储备上的领先优势。
- **Amorphous-Si Passivating (异质结非晶硅钝化):** 在 P 区发射极引入本征 / 掺杂非晶硅 (a-Si:H) 异质结钝化, 通过化学钝化将表面复合速率降至极低, 获得更高开路电压 (Voc)。
- **Cell (电池):** 通过互连结构将 TOPCon 与 a-Si 两种钝化接触集成于同一硅片背面, 实现正面无金属遮挡的全光学吸收。简言之, TAC = "TOPCon 基底 + 非晶硅钝化增强 ", 它把电学性能优选 (TOPCon/HJT) 与光学性能优选合二为一, 在物理上互补, 非晶硅体系胜在钝化质量与开路电压, 隧穿氧化物体系胜在接触电阻与工艺兼容性。TAC 技术在此方向上进一步兼顾了性能与量产经济性, 在单一电池结构中同时逼近两条路线各自的技术上限, 从而逼近表面复合速率的物理极限。并为后续钙钛矿 / TOPCon 叠层 (实验室认证效率已达 34.82%, 第 33 次世界纪录) 预留结构接口。

1.3 TAC 的技术原理：界面、系统和几何的三重重构

TAC 在 N 型硅片背面构建两套互补的钝化接触: N 区采用 TOPCon 隧穿氧化层加重掺杂多晶硅, 实现电子的高选择性隧穿运输; P 区采用本征 / 掺杂非晶硅异质结, 实现化学钝化与高 Voc; 两套结构经高精度激光图形化与介质膜隔离, 交错排布于背面。它对现有电池技术, 进行界面、系统和几何的三重重构。

界面重构：半导体级钝化界面。TAC 将半导体工业成熟的异质结界面工程引入全背面电极架构。P 区以氢化非晶硅与透明导电氧化物 (TCO) 构建异质钝化界面, 实现化学钝化、场效应钝化与横向输运的一体化; N 区以量子隧穿氧化层实现低接触电阻的电子选择性传输。金属与硅的直接接触被结构性消除, 电极全区实现 " 钝化—选择性收集 " 一体化。这使得 TAC 同时具备异质结技术的高开路电压与隧穿氧化技术的低接触电阻, 效率上限逼近晶硅理论极限。

系统重构：从电池到组件的全栈协同。电池层面的代际优势, 经由 Tiger Neo 5.0 平台的组件技术全面兑现: UMI 均匀点阵互连重构电流网络, GCA 无隙晶阵封装重构组件密度, ACC 全黑零色差重构外观标准。光学、电学、美学三位一体, 先进不再停留在电池参数表上, 而是体现在客户拿到的每一块组件里。

这不是把电极移到背面的又一次微调, 而是从几何到内核的代际重构——如同从功能机到智能机的跨越: 前者改变了形态, TAC 重新定义了内核。

几何重构：全互连、无界面电极设计, 正负电极全部移至电池背面, 正面遮光损失归零, 外观全面净化。但与常规的背接触 BC 工艺不同, 过往方案的背面, 依然是高温扩散结与金属—硅直接接触的界面: 高复合速率的界面并未消失, 只是从看得见的正面, 退到了看不见的背面。而 TAC 技术彻底消除了背面高复合速率界面。

1.4 TAC 的代际跨越

TAC 与过往方案的差异并非同一架构下的工艺微调, 而是从钝化结构到场景定位的整体跃迁。下表以四个维度直接呈现两者的代际间距。

维度	过往方案	TAC
钝化结构	单区	双区 (2+1 架构)
场景适配	通用	高端住宅专属
工艺路线	高温	低温低能耗定制工艺
效率提升	渐进式改进	跃迁式突破

从硅片到组件：TAC 的三层架构

TAC 的系统性升级包括「硅片—电池—组件」三层架构：每一层都对应一组专属技术, 分别解决长期稳定、光电转换与建筑美学三类问题, 最终在屋顶上兑现为一块「高端住宅专属」的成品组件。

层级	核心技术与组成	解决的核心问题
硅片层	PHS	长期稳定 · 抗衰减 · 终身质保服务
电池层	GPP · MCP · FLT · UMI	复合损耗 · 漏电流 · 抗阴影 · 弱光发电
组件层	GCA · ACC · PMB	屋顶色差 · 视觉一体 · 安装稳定



02 TAC 技术工艺深度解析

2.1 TAC 技术原理

TAC 在 N 型硅片背面构建两套互补的钝化接触：N 区采用 TOPCon 隧穿氧化层加重掺杂多晶硅, 实现电子的高选择性隧穿运输；P 区采用本征 / 掺杂非晶硅异质结, 实现化学钝化与高 Voc；两套结构经高精度激光图形化与介质膜隔离, 交错排布于背面, 正面因此完全无栅线遮挡。

2.3 TAC 八大核心技术详解

TAC 将当今晶硅两条最高效的技术路线——异质结 (HJT) 与隧穿氧化层钝化接触 (TOPCon)——融合于同一全背面电极架构, 并结合飞虎 5 技术平台的先进组件技术, 实现从电池到组件的全面代际领先。

支撑 TAC 的八大技术沿硅片、界面、输运、光学、金属化链路逐级贯通, 以下从八大核心技术维度, 逐项说明 TAC(下一代先进晶硅电池)如何将 " 代际领先 " 落实为可测量、可验证的工程实践。每一项技术的终点, 都是一次客户价值的兑现——这也是本白皮书坚持以客户视角组织技术叙事的原因。

1 全域钝化工艺 Global Passivation Process(GPP)

【电池效率突破 28%, 逼近单晶硅理论极限的终极方案】

核心指标：电池效率 28%+ | 钝化覆盖：电极全区

技术原理：

P 区(空穴收集区)：采用氢化非晶硅(a-Si:H)钝化叠层, 辅以 TCO 透明导电氧化物薄膜。非晶硅与晶体硅界面通过化学钝化(悬挂键饱和)将表面复合速率降至极低量级, 显著提升 Voc；全部工艺可在 200℃ 以下低温完成, 热损伤极小, TCO 层则承担横向载流子输运与纵向导电功能。

N 区(电子收集区)：TOPCon 在 N 型背场采用超薄二氧化硅(1-2 nm)加重掺杂多晶硅的钝化接触, 利用量子隧穿实现电子高效选择性输运, 同时阻挡空穴, 确保高 FF 与低 Rs, 复合电流密度进一步降低。

两重先进钝化技术结合, 在 Tiger Neo 5.0 上成为全域钝化工艺。

技术优势：表面复合速率接近理论极限, 支撑高 Voc；全域覆盖消除漏电通道、提升并联电阻；氢钝化修复微缺陷, 提升长期稳定性。

晶科优势：长达 10 年的工艺储备, 能精准控制非晶硅薄膜厚度的均匀性, 以及 TCO 与低温银浆接触电阻。从而保证钝化质量以及低温银浆耗量。

晶硅太阳能电池的光电转换效率，在很大程度上受制于表面及金属电极接触区域的载流子复合损失。在常规扩散结电池中，金属电极与硅衬底直接接触，形成高复合速率的接触界面；同时，硅片切割与加工过程引入的表面缺陷态，构成额外的复合通道。

钝化接触（passivating contact）技术通过在金属电极与硅衬底之间引入兼具钝化功能与载流子选择性的功能薄层，同时实现界面态密度的抑制与载流子的选择性收集，是当前高效晶硅电池的核心技术——其本质，是将半导体工业的界面工程引入光伏电池设计。

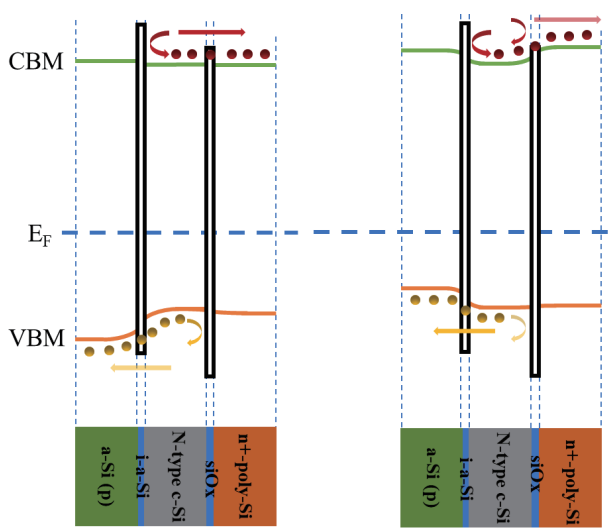


图2 钝化接触能带示意：功能薄层抑制界面态密度并实现载流子选择性收集

相较既有技术路线，该体系实现了三个层面的升级：

其一，由局部钝化接触升级为全区钝化接触。传统钝化方案中，P区采用 P-Poly-Si 钝化，钝化效果相对较差；GPP 在电池电极全区构建优良的钝化接触结构，消除了不良钝化区域。

其二，由单一高温体系升级为高低温杂化体系。P区采用低温非晶硅钝化工艺，N区保留高温工艺窗口，两区分别采用各自最优的工艺温度区间，避免单一温度体系对另一区钝化质量的妥协。

其三，引入 TCO 材料解决 P 区钝化接触的导电瓶颈。掺杂非晶硅薄层虽具备高钝化质量，但其横向电导率较低，直接金属化会引入接触电阻损失与复合损失。TCO 层的引入使电池在保持高开路电压的同时获得低接触电阻，实现钝化性能与接触性能的协同优化。

这种技术选择，利用了两种高效钝化工艺的优势，形成互补：

非晶硅钝化体系具备效率和低温工艺优势。硅异质结 (SHJ, silicon heterojunction) 技术的核心特征在于以宽禁带的非晶硅薄膜将金属电极与晶体硅衬底在电学上隔离，从根本上消除金属接触复合。这一机制提供了优异的界面钝化，同时与 TCO 结合，有效降低了接触电阻，赋予了该体系极高的开路电压水平。同时，SHJ 全流程工艺温度低于 250°C，显著低于常规扩散结电池 800–900°C 的高温扩散工序。低热预算减小了硅片的热应力与翘曲，降低碎片率，并为薄片化提供工艺可行性。

隧穿氧化物体系具备兼容性与效率上限优势。TOPCon 技术具有制备工艺简单、N 型硅片无光致衰减、与传统高温烧结工艺兼容等优势，因而具备最优的量产经济性。模拟计算表明，基于 TOPCon 结构的电池效率极限为 28.2%–28.7%，最接近晶硅电池理论极限效率。

2 多维界面锁电钝化 Multi-Dimensional Charge Passivation(MCP)

【边缘不漏电，功率不泄露】

核心指标：切割断面 100% 钝化覆盖 | 工艺范式：先切后钝·原位钝化

电极钝化接触解决了金属—硅界面的复合问题，但对于切半 / 多分片电池，还存在另一类常被低估的损失机制——边缘复合（edge recombination）。现代高功率组件普遍采用半片或多分片电池以降低串联电阻损失，切割工艺因此成为量产标配。然而，切割过程也在电池边缘引入机械损伤层与未钝化断面，形成高复合速率的边缘界面。研究表明，边缘复合是“周长—面积比”较大、边缘钝化不良的电池（如切割电池、叠瓦电池）中的重要损失通道，其影响主要表现为填充因子与开路电压的下降。

晶科 TAC 多维界面锁电钝化技术(MCP 2.0)，基于晶科能源丰富的多分片电池工程经验，在以往切片钝化技术的基础上发展而来，从四个维度对切割边缘实施系统性钝化重构。

在传统工艺流程中，电池完成全部钝化与金属化后再行切割，切割断面成为全流程中唯一未经任何钝化处理的硅表面。MCP 技术调整了工艺时序，采用“先切后钝”的方案：在电池制备前端、硅片状态时即完成切片，使断面与硅片表面进入同一钝化工序，实现原位边缘钝化，无需额外的电池层面切割后修复工艺。

MCP 技术围绕断面损伤层，从四个维度实施系统性钝化修复：

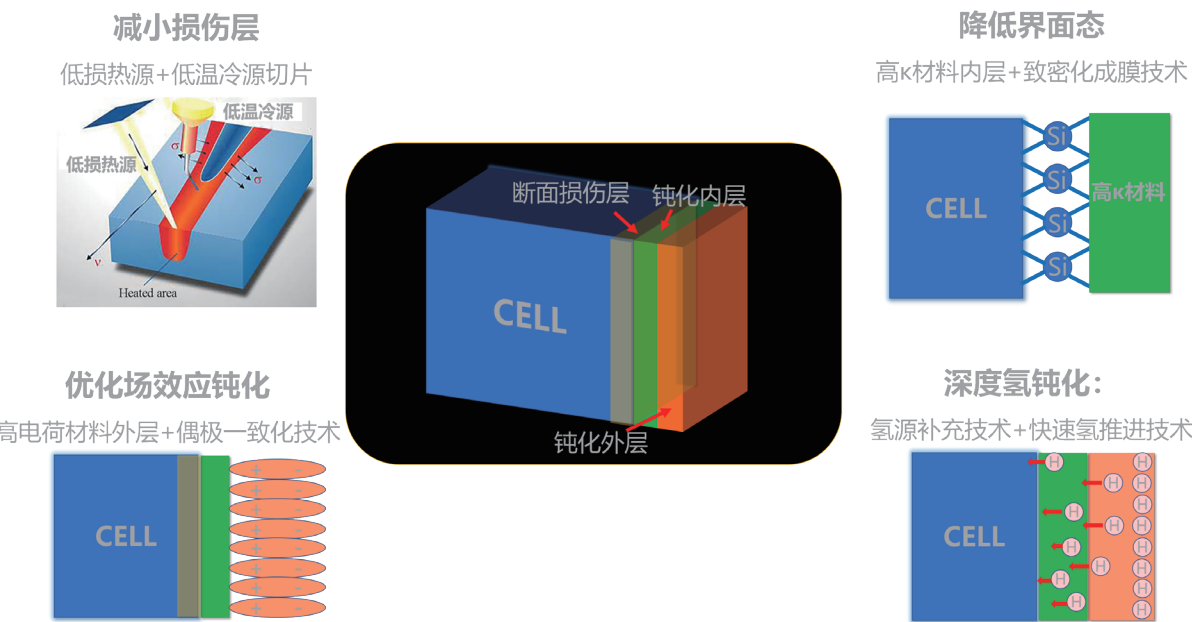


图3 MCP 四维度钝化修复：低损伤切割、化学钝化、场效应钝化与深度氢钝化

技术维度一：低损伤切割——低损热源与低温冷源协同。采用热应力诱导分离原理，以激光局域热源与冷却源叠加构建受控应力场引导解理，从源头减小损伤层深度。相较于熔切路线，该方式“仅加热而不汽化”，不产生熔渣、凸起与微裂纹，为后续钝化提供了低缺陷密度的初始断面。

技术维度二：内钝化层化学钝化——高κ介质膜与致密化成膜。在紧贴断面处沉积高介电常数介质薄膜，通过化学钝化机制饱和悬挂键、降低界面态密度(Dit)。以Al₂O₃为代表的高κ介质兼具低界面缺陷密度与数纳米级超薄膜可用性，其优异钝化性能已在实验室与产业电池上得到广泛验证；配合致密化成膜工艺控制薄膜体密度与界面完整性，可进一步抑制缺陷态形成。

技术维度三：外钝化层场效应钝化——高电荷密度材料与电荷极性协同。在内层之上构建高固定电荷密度介质层，利用固定电荷在硅表面感应的静电场排斥少数载流子，实现场效应钝化。

技术维度四：深度氢钝化——氢源补充与快速氢推进。间隙态氢原子可与硅中多种缺陷(晶格缺陷、金属杂质、激光诱导缺陷及表面悬挂键)结合并使其电学失活。MCP采用“氢源补充+快速氢推进”的组合策略：一方面在介质叠层中补充氢储量，另一方面通过快速热过程调控氢的电荷态分布与注入深度，加速氢向断面损伤层的输运，消除边缘区域复合中心。MCP与GPP构成互补的双重钝化架构：GPP解决了电极接触区的复合问题，MCP则将钝化边界从电极扩展至切割断面。四维技术路径分别对应“减少损伤引入—化学钝化—场效应钝化—缺陷氢钝化”的完整链路，使切割边缘变为与主钝化面同等水平的受控界面。

客户价值：别墅屋顶多朝向、有天窗与烟囱，多分片设计是提升排布适应性的关键；但常规工艺里，电池切得越细、边缘漏电越严重，本该得到的增益反被自身工艺吃掉。TAC恰恰相反——断面被半导体级工艺完整钝化，分片越细、密度越高，功率优势越充分释放。电池产生的每一瓦，都完整交付到组件输出端，不因切割而流失。

3 广谱陷光结构 Full-Spectrum Light Trapping (FLT)

【从破晓到黄昏，从阴雨到放晴。全时能发电，有光不浪费】

核心指标：正面金属遮光趋近 0 | 红外光程成倍延长 | 宽入射角响应

技术原理：通过减反射膜系、表面绒面、背面高反射介质与间隙反光膜协同，最大化光子吸收路径，提升长波二次吸收。晶科在Tiger Neo 5.0命名为广谱陷光结构(FLT)；平台级FP(多分片技术)通过减少I²R损耗、改善散热与降低阴影损失，使组件功率提升约10W。

工艺原理：碱制绒或纳米压印倒金字塔绒面+双层SiN_x/Al₂O₃减反射膜；背面间隙反光膜将透射光反射回电池；FP多分片实现电流通路低损重构。

技术优势：提升短路电流Isc、降低光学损失；长波二次利用增加发电量；配合BC正面无遮挡使光学增益最大化；FP多分片同时改善散热与抗阴影表现。

晶科优势：能确保膜系在不同入射角下的匹配；绒面对钝化层均匀性的影响控制最低，保证紫外老化下减反射膜长期稳定性；以及平衡背面反光与背面遮光。

陷光 (light trapping) 是晶硅光伏中最基础的光学增益机制之一。晶体硅为间接带隙半导体，对接近带边(约900~1200nm)的红外光子吸收系数很低，单次穿越硅片不足以完成有效吸收。陷光结构通过表面织构与背面反射的配合，使弱吸收光在硅片内部发生多次全内反射，反复折返以延长光程。

FLT技术为最大化利用陷光效应，采用一体化光路控制，从正面受光、背面反射到表面织构进行系统设计。

正面受光界面“透明化”。依托全背面电极架构，正负电极全部转移至背面，正面受光界面无主栅、无细栅遮挡，正面金属遮光损失趋近于零。

背面红外反射层。在背面引入红外高反射层，将未被吸收的近带边光子反射回硅片并散射至大角度路径，延长弱吸收红外光子的穿透路径，提升晶体硅在红外波段的光子吸收与电流转换能力。

多维度光路调控 (MLC) 与 SSI 复合绒面。常规单一尺度绒面在斜入射条件下的减反射性能显著劣化，且镜面式背面反射难以约束长波光子。FLT通过多维度光路调控与SSI复合绒面的组合，在宽入射角、宽光谱范围内同时实现：正面复合织构降低不同入射角下的界面反射；背面散射式反射破坏镜面逃逸通道，使不同角度、不同波长的入射光均能进入多次折返的陷光循环。由此，清晨与傍晚的斜射光、阴天的漫射光不再大量损失，弱光与斜射光利用率低的行业痛点得到系统性改善。

客户价值：一家人的用电高峰在清晨与傍晚，而那恰恰是传统组件发电最弱的时段——发的电用不上，要用的电发不出。TAC让发电曲线更宽、更平：从破晓到黄昏，从阴雨到放晴，同样的装机容量，全年多收获实实在在的电量，也更贴近真实的生活节奏。发电曲线与家庭负荷曲线的每一次靠近，都是账单上省下的一度电。

4 高纯均质硅底 Premium Homogeneous Silicon-Base(PHS)

【每片硅片都有身份证,好电池从好硅片开始】

核心指标: 片级全流程质量溯源 | 高纯 · 均质 · 低缺陷 · 低氧

技术原理: TAC 以 N 型直拉单晶硅为基底,对金属杂质、氧碳含量与晶体原生缺陷提出比常规 TOPCon 更严苛的要求,确保体少子寿命 $> 2\text{ ms}$ 、体复合电流密度 $J_0, \text{bulk} < 5\text{ fA/cm}^2$,为后续非晶硅钝化与隧穿接触的叠加提供高质量载流子基础。该基底已被晶科列为 Tiger Neo 5.0 的核心工艺要素。

工艺原理: 高纯多晶硅料 $\rightarrow$ 直拉长晶 (CCz/RCz) $\rightarrow$ 金刚线切片 $\rightarrow$ 硅片吸杂 $\rightarrow$ 少子寿命与电阻率分选;长晶环节通过热场优化抑制杂质分凝。

技术优势: 从源头降低体复合,是效率突破 28% 的物理前提;高少子寿命提升后续钝化层缺陷容忍度;均质基底减少功率分布离散,提升组串一致性。

晶科优势: 原生微缺陷(B-O 复合体、热施主)的本征控制;保持切片损伤层均匀性、大尺寸(182/210 mm)电阻率横向均匀性;并平衡高纯硅料成本与拉晶良率。

硅片是组件的核心,硅片品质直接决定组件效率与可靠性。

飞虎 5 / TAC 采用 Premium Homogeneous Silicon-Base 高纯均质硅底,通过四大技术实现硅片品质全面升级:

其一,智控掺杂均质化(IDU, Intelligent Doping Uniformity)。依托 AI 辅助的精准掺杂控制,抑制拉晶过程分凝效应导致的轴向电阻率漂移,实现硅片电阻率的片内与片间双重均质化。电阻率均匀性的提升带来两方面收益:一是电池效率分布收窄、高效档位占比提升;二是组件端电池工作点一致性改善,减小串内失配损失与明暗片差异。

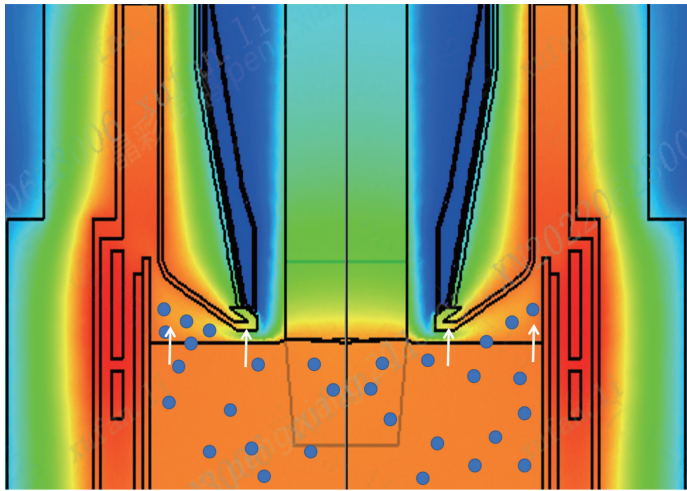


图 5 IDU 智控掺杂均质化仿真

其二,微缺陷长效抑制(DSE, Defect Suppression Enhancement)。通过覆盖晶体生长与热加工全流程的缺陷控制工程,抑制位错与微缺陷的形成与发展,提升硅片少子寿命。

其三,全域品控溯源(WQT, Wafer Quality Traceability)。实施片级全流程检测与数据追溯,为每一片硅片建立涵盖拉晶、切段、切片各环节质量参数的专属档案,实现品质参数全程可查、异常片精准拦截,保障量产批次的一致性与可追溯性。

其四,超净低氧制程(ULO, Ultra-Low Oxygen Fabrication)。采用低功耗降氧热场技术,降低晶体间隙氧含量。氧是直拉硅中浓度最高的杂质,对于 N 型硅片,其危害体现在高温工序(如硼扩散)中形成的氧沉淀等氧相关缺陷具有强复合活性。降低含氧量,能够有效提升组件长期稳定性。

四大技术叠加,让 TAC 硅片具备高纯度、高均匀性、低缺陷、低氧含量的核心优势。

5 均匀点阵互连 Uniform Matrix Interconnection(UMI)

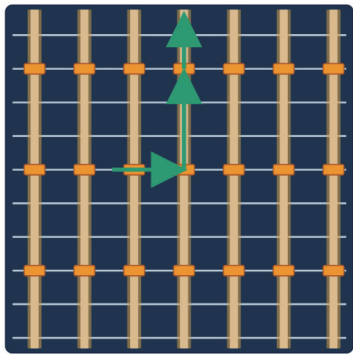
【没有主干道,全是高速路】

核心指标: 主栅 0 根 | 分布式点阵引出 | 电流路径缩短

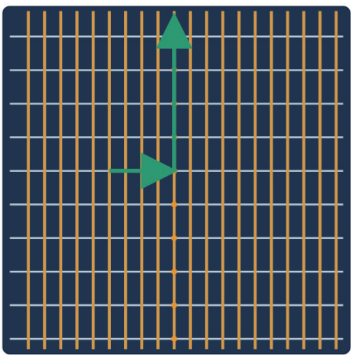
技术原理: TAC 采用 UMI 技术,取消电池印刷主栅,电流经合金点阵分布式引出至焊带,电流路径缩短 2 个环节,欧姆损耗大幅下降。匹配低应力互连技术显著降低焊接峰值温度与热应力,消除高温焊接热应力。

技术优势: 电流传输路径缩短、欧姆损耗降低,填充因子与功率同步提升;消除高温焊接热应力,减小热冲击与隐裂风险;银浆耗量下降,兼顾性能与量产经济性。

晶科优势: 依托飞虎 5 平台对 UMI 布局、固化与串焊设备的全流程工艺控制,确保均匀点阵互连通道的均一性与长期可靠性;背接触架构下 UMI 与全背面电极的无缝衔接,是晶科将 UMI 从正面对称互连推向背面分布式互连的工程积淀。



传统电池



均匀点阵电池

传统电池电流路径 4 个环节: 副栅线(收集电流) $\rightarrow$ 主栅线 $\rightarrow$ PAD $\rightarrow$ 焊带(引出电流)

均匀点阵电池电流路径 2 个环节: 副栅线(收集电流) $\rightarrow$ 焊带(引出电流)

6 无隙晶阵封装 Gapless Cell Array(GCA)

【最高屏占比,极致全面屏】

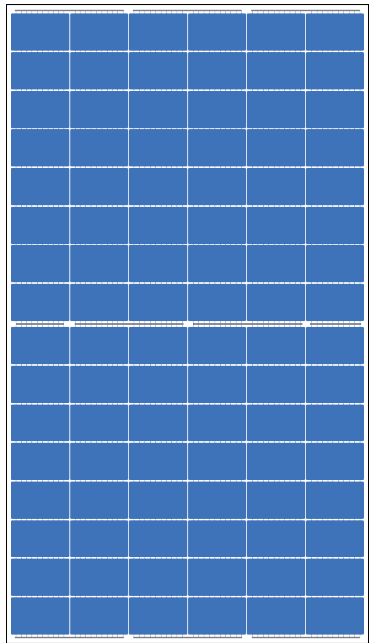
核心指标: 电池负间距 | 汇流条全隐藏

技术原理: 依托 TAC 全背面电极架构, 互连条不再需要跨越电池正面, 为电池负间距排布创造结构前提; 通过背面分布式互连与低应力封装, 将传统组件中电池片两侧与组件中部的汇流条全部隐藏, 配合 MCP 先切后钝工艺保证切割边缘质量, 实现电池片负间距的高密度封装。

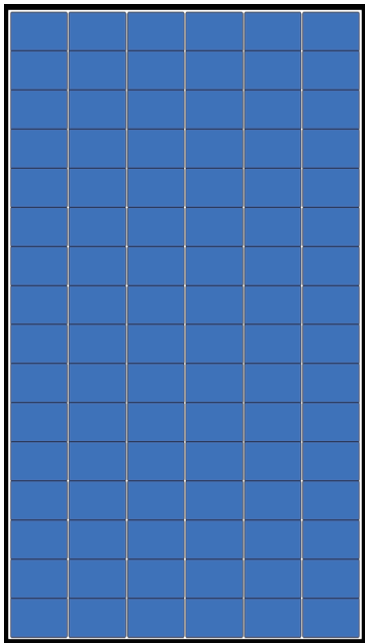
技术优势: GCA 大幅度消除非发电面积, 使组件内电池片有效受光面积提升 2%, 组件功率提升 10W。

晶科优势: 依托晶科在互连方式、封装应力控制与切割边缘质量三方面的系统性工程积累, 将 GCA 从概念落地为可量产、可验证的封装工艺。

客户价值: 屋顶面积不可逆地受限, 每平米都要发电。GCA 把浪费在电池间隙与汇流条上的面积全部转成受光面积, 同样的屋顶尺寸, 塞进更多发电能力, 不动一砖一瓦, 多发电。



常规组件



飞虎 5 组件

常规组件上 / 中 / 下三条汇流条与电池间隙, TAC 全部隐藏、电池零间距

7 全黑零色差 All Consistent Color(ACC)

【黑,真黑啊】

核心指标: 电池 - 胶膜 - 边框全链同色 | 视觉无色差

作为一款为户用应用打造的产品, TAC 对于美观度的设计体现在全黑美学上。技术原理上, 主要为三个方面:

其一, 膜层沉积精度控制。 电池片的表观颜色并非材料本征属性, 而是由钝化 / 减反射膜系的干涉效应决定。膜厚偏离设计值时, 干涉相消的波长随之漂移, 电池表观颜色即发生可辨识的变化——这也是量产电池色差的主要来源。换言之, 色差控制的本质是膜层厚度与折射率的片间一致性控制。ACC 技术对钝化膜层实施更高精细度的厚度与折射率控制, 压缩膜系光学参数的片间分布, 从源头收窄颜色分布带宽, 使色差分布控制在人眼可辨别阈值以内, 实现电池片全黑均一。

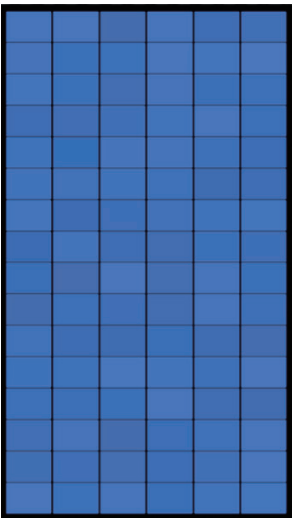
其二, AI 加持电池分选。 在上述工艺控制的基础上, 引入基于图像的 AI 分选: 对每片电池的表观进行成像与算法分级, 仅色差参数一致的电池配片入组件。AI 分选实现了电池片的全自动外观筛选, 杜绝离散色片流入。

其三, 辅材颜色协同。 组件级 "全黑" 不止取决于电池: 封装胶膜、汇流带与边框的颜色不协调会形成视觉断点。ACC 对胶膜等辅材进行颜色协同设计, 使电池片与胶膜、边框的色度一致, 实现从电池到组件的整体 "真全黑" 外观。

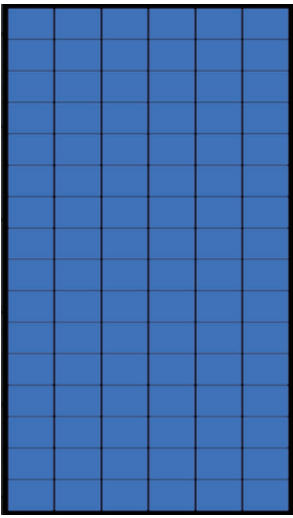
技术优势: 片间色差低于人眼可辨阈值, 实现视觉无色差; 正面无栅线设计为全黑美学提供结构前提, 没有银色栅线, 全黑外观与深色瓦面浑然一体。

晶科优势: 依托飞虎 5 平台对膜层厚度与折射率的工艺控制能力, 配合全自动 AI 外观筛选, 实现从电池到组件的全链同色与批量一致性, 是晶科将 "美学" 纳入量产质量体系的体现。

客户价值: 房子是最贵资产, 外观不能被破坏。ACC 让组件从街道望去只见屋面、不见组件, 与深色瓦面浑然一体。



常规工艺



ACC 零色差

8 全周域阻水 Perimeter Moisture Barrier(PMB)

【封边阻潮,密护周全】

核心指标：边缘阻水 | 长效阻隔潮气与界面腐蚀

技术原理：在组件四周边缘施以丁基胶(Butyl)形成连续封边，依托其水汽透过率(WVTR)相比传统胶膜降低 60% 以上的本征优势,保障长效阻水与长期可靠性。

技术优势：在组件四周构建连续、致密的阻水屏障，从源头阻断潮气与腐蚀性介质沿边缘向内部渗透；兼具优异的电气绝缘性能，作为边缘绝缘补充，抑制湿态环境下的漏电流与沿面放电风险；在宽温域范围内保持弹性与黏结力，可吸收并缓冲冷热循环与机械载荷带来的界面形变应力，降低脱层与边缘隐裂概率，保障密封界面在长期服役中的完整性。

晶科优势：依托飞虎 5 平台严格的 PMB 工艺控制能力，晶科将边缘密封从“组件级辅材”上升为“电池—组件全生命周期可靠性设计”的关键一环。

客户价值：装上去就别再让我操心。户用组件的价值在于“长期免维护”，而边缘正是水汽侵入诱发腐蚀、脱层与绝缘劣化的最薄弱环节。PMB 以材料本体的绝缘性与阻水性，把“看不见的安全”做成可验证的承诺，40 年更安心。



03 TAC 组件核心优势

3.1 高效 TAC 电池与跨代际组件效率

TAC 量产电池效率已站上 27% 平台，最高电池效率达到 28%，逼近单晶硅电池的理论极限。组件端，TAC 结合组件级零间距排布与隐藏汇流条技术，组件规格书效率突破 25.52%，为行业最高量产效率，同版型组件功率比 BC 高出约 30W。

零间距排布通过消除电池片间的无效间隙，将原本不发电的空白区域转化为发电区域；隐藏汇流条则将汇流条转移至背面，进一步释放正面受光面积。二者与正面零遮挡叠加，共同支撑 TAC 在组件层面实现跨代际的效率跃迁。

3.2 TAC 组件弱光响应

依托 TOPCon 低漏电流特性与并联电阻优化，TAC 在 100–200 W/m² 低辐照区间仍维持 95%–98% 相对功率，低辐照下更高的电流收集效率，使早晚与阴雨天 “发电曲线肩部” 更饱满。

3.3 TAC 组件抗紫外衰减性能

在紫外衰减(UVID)测试中，TAC 所承袭的 TOPCon 结构表现优于 BC，优异的抗 UVID 能力，源于钝化层对紫外诱导缺陷的有效抑制。

3.4 TAC 相对 BC 的结构性优势

除效率与发电量外，TAC 在半导体结构与工程可靠性层面同样区别于 BC，主要体现在两个方面。

1

钝化体系：

BC 仍依赖单一的 PERC 或 TOPCon 同质结与钝化接触体系；TAC 在同一硅片上集成非晶硅异质结化学钝化与 TOPCon 隧穿钝化接触两套体系，分别在 P 区与 N 区实现最优钝化，属于半导体层面的体系性突破。

2

互连可靠性：

BC 因背面全栅线集中受热易产生翘曲，采用低应力互连技术显著降低焊接峰值温度与热应力，从根源上抑制翘曲与隐裂，并减少对电池钝化结构与金属化的热损伤，同时适配硅片薄片化，实现背面全栅线的低应力可靠互连，TAC 承袭 TOPCon 基底，栅线应力分布更为均匀，已在超 1GW 装机规模上得到验证。

04 TAC 技术远期可持续性

4.1 隐形栅线技术

均匀点阵互联技术减少遮光与电阻损耗，可提升电池效率 0.3%-0.5%，是 TAC 向 28%+ 推进的近中期路径之一。

可靠性问题：

无主栅对焊接对位精度要求极高，需配套高精度定位、低应力焊接与拉力监控，确保 25-30 年机械疲劳下的接触稳定性。



4.2 低温电池技术

TAC 的 a-Si 钝化区本就采用 < 200℃ 低温工艺，与低温金属化天然兼容，降低热应力与隐裂风险，并为薄片化打开空间。

可靠性问题：

含铜方案(银包铜 / 电镀铜)需解决长期抗氧化与铜扩散风险，经跨周期验证后方可规模导入。

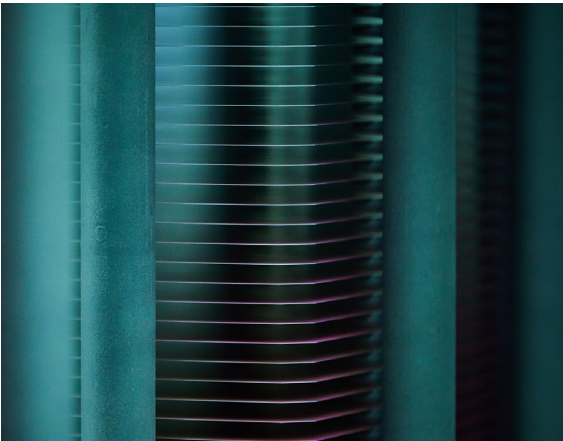


4.3 叠层电池

当单晶硅逼近极限后，TAC 所建立的 " 隧穿氧化层 + 非晶钝化 + 背面全互连 " 结构可直接作为钙钛矿叠层的底电池平台。晶科基于 N 型 TOPCon 的钙钛矿叠层电池实验室认证效率已达 34.82%(第 33 次世界纪录)，为 TAC 向下一代形态演进预留清晰接口。

可靠性问题：

钙钛矿的稳定性(湿热、光衰)与大面积均匀制备仍是产业化核心挑战，叠层商业化预计尚需数年周期。

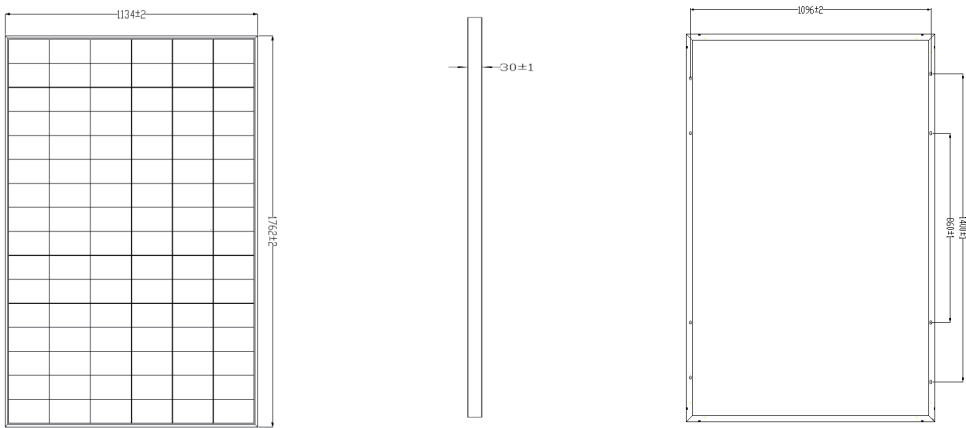


05 TAC 技术的产品应用

产品参数展示

把每一项技术，翻译成规格表上的一行。

本章聚焦 TAC 户用组件的核心亮点参数(标准测试条件 STC)。完整参数以晶科能源正式发布的产品规格书为准。



核心亮点参数(标准测试条件 STC：辐照度 1000 W/m², 电池温度 25 °C, AM 1.5)

参数项	数值
组件型号	Tiger Neo 5.0 TAC(JKM485-510T)
组件类型	单面全黑双玻组件(All-Black Monofacial · Dual Glass)
电池技术	TAC(隧穿氧化物 - 非晶硅复合钝化电池, N 型单晶)
峰值功率 Pmax	最高 510 W
组件效率	最高 25.52%
组件尺寸	1762 × 1134 × 30 mm
重量	22.0 kg
功率温度系数(Pmax)	-0.24 %/°C
产品质保 / 线性功率质保	终身质保服务
工作温度	-40 ~ +70 °C

* 详细条款以质保手册为准。

06 TAC 技术的客户价值

组件应用价值

假设业主收益测算(欧洲独栋别墅：荷兰 / 德国)

下表为同一屋顶场景下 TAC 与常规 480W 户用组件的关键指标对比, 假设对比周期 40 年:

指标	TAC 510W	常规 480W(代表性基准)	优势
单块峰值功率	510 W	480 W	+30 W(+6.25%)
单位面积功率密度	255 W/m²	240 W/m²	+15W/m²
50 m² 屋顶可布置	约 24 块 / 12.24 kW	约 24 块 / 11.52 kW	+0.72 kW
功率温度系数(Pmax)	-0.24 %/°C	-0.26 %/°C	高温工况少衰减
年等效满发小时	1,050 kWh/kWp	1,050 kWh/kWp	取决于区域资源条件
首年发电量	12884 kWh	12000 kWh	+884 kWh
40 年累计发电量	500,015 kWh	428,640 kWh	+71,375 kWh(+16.7%)
40 年增量折算收益	—	—	+13,419 EUR
折现度电成本 LCOE(5%)	0.097 EUR/kWh	0.099 EUR/kWh	更低
增量装机成本回收期	—	—	约 7.5 年

- **地点:** 欧洲典型独栋别墅(以荷兰 / 德国为例, 北纬 51°-52°, 光照资源中等)。
- **可用屋面:** 50 m²(朝北 / 正南主屋面, 扣除屋脊、退界与检修通道后的有效铺设面积)。
- **组件占地:** TAC 1.762×1.134 m = 2.00 m²; 常规 480W 户用组件典型 2.00 m²。
- **年等效满发小时:** 1,050 kWh/kWp(交流侧, 含系统损耗, PR≈0.85)。
- **温度:** 常规 Pmax 温度系数 -0.26 %/°C、TAC -0.24 %/°C; 年均电池工作温度较 STC(25 °C)高约 12 °C。
- **衰减:** 首年 1.0%, 之后 TAC 线性 0.30 %/ 年、常规 0.40 %/ 年。
- **电价(EUR):** 零售 0.35/kWh(含税费), 自发自用 40%、余电上网 0.08/kWh。
- **造价:** 1.50 EUR/W 全包(组件 + BOS + 施工, 含当地典型补贴), 双方同口径; 运维 0.010 EUR/W/ 年; 折现率 5%。
- **对比基准:**「常规 480W」为 2025 年主流户用组件的代表性参数(温度系数、质保取该类产品典型值), 非特定品牌; 实际数值随产品而异。
- **折算货币:** EUR(EUR)。



以同一 50 m² 屋面计, TAC 凭借更高的单位面积功率密度(255 vs 224 W/m²)可多部署约 1.56 kW 装机容量, 叠加更优的温度系数, 首年即多发电约 1,670 kWh (+14.2%); 随着常规方案衰减更快, 这一差距在 40 年累计维度进一步扩大至约 71.4×10³ kWh(+16.7%)。按当地户用电价折算, 增量发电每年约值 314 EUR, 40 年累计折算收益约 13,419 EUR(未计电价上涨)。折现后度电成本(LCOE, 5% 折现率)TAC 约为 0.097 EUR/kWh, 低于常规的 0.099 EUR/kWh; 因屋顶面积固定、TAC 单位面积产出更高, 其相对常规方案多投入的装机成本可在约 7.5 年收回, 此后为净增益。质保维度, TAC 提供终身质保服务, 显著降低业主的过保替换风险(示意价值约 497 EUR)。本测算为同一屋顶场景下的相对增益示意, 实际收益随地点、电价、遮挡与系统配置而变。

组件应用价值

假设业主收益测算(澳大利亚独栋别墅)

下表为同一屋顶场景下 TAC 与常规 480W 户用组件的关键指标对比, 假设对比周期 40 年:

指标	TAC 510W	常规 480W(代表性基准)	优势
单块峰值功率	510 W	480 W	+30 W(+6.25%)
单位面积功率密度	255 W/m²	240 W/m²	+15W/m²
50 m² 屋顶可布置	约 24 块 / 12.24 kW	约 24 块 / 11.52 kW	+0.72 kW
功率温度系数(Pmax)	-0.24 %/°C	-0.26 %/°C	高温工况少衰减
年等效满发小时	1,500 kWh/kWp	1,500 kWh/kWp	区域资源条件
首年发电量	18433 kWh	17144 kWh	+1289 kWh
40 年累计发电量	715,448 kWh	612,343 kWh	+103,105 kWh(+16.8%)
40 年增量折算收益	—	—	+19,074 AUD
折现度电成本 LCOE (5%)	0.050 AUD/kWh	0.051 AUD/kWh	更低
增量装机成本回收期	—	—	约 3.8 年

- **地点:** 澳大利亚典型独栋别墅(以悉尼都会区为代表, 南纬 34°, 光照资源优良)。
- **可用屋面:** 50 m²(朝北 / 正南主屋面, 扣除屋脊、退界与检修通道后的有效铺设面积)。
- **组件占地:** TAC 1.762×1.134 m = 2.00 m²; 常规 480W 户用组件典型 2.00 m²。
- **年等效满发小时:** 1,500 kWh/kWp(交流侧, 含系统损耗, PR≈0.85)。
- **温度:** 常规 Pmax 温度系数 -0.26 %/°C、TAC -0.24 %/°C; 年均电池工作温度较 STC(25 °C) 高约 20 °C。
- **衰减:** 首年 1.0%, 之后 TAC 线性 0.30 %/ 年、常规 0.40 %/ 年。

- **衰减:** 首年 1.0%, 之后 TAC 线性 0.30 %/ 年、常规 0.40 %/ 年。
- **电价(AUD):** 零售 0.38/kWh(含税费), 自发自用 35%、余电上网 0.08/kWh。
- **造价:** 1.10 AUD/W 全包(组件 + BOS + 施工, 含当地典型补贴), 双方同口径; 运维 0.008 AUD/W/ 年; 折现率 5%。
- **对比基准:** 「常规 480W」为 2025 年主流户用组件的代表性参数(温度系数、质保取该类产品典型值), 非特定品牌; 实际数值随产品而异。
- **折算货币:** AUD(AUD)。



以同一 50 m² 屋面计, TAC 凭借更高的单位面积功率密度(255 vs 224 W/m²)可多部署约 1.56 kW 装机容量, 叠加更优的温度系数, 首年即多发电约 2,416 kWh (+14.4%); 随着常规方案衰减更快, 这一差距在 40 年累计维度进一步扩大至约 103.1×10³ kWh(+16.8%)。按当地户用电价折算, 增量发电每年约值 447 AUD, 40 年累计折算收益约 19,074 AUD(未计电价上涨)。折现后度电成本(LCOE, 5% 折现率)TAC 约为 0.050 AUD/kWh, 低于常规的 0.051 AUD/kWh; 因屋顶面积固定、TAC 单位面积产出更高, 其相对常规方案多投入的装机成本可在约 3.8 年收回, 此后为净增益。质保维度, TAC 提供终身质保服务, 显著降低业主的过保替换风险(示意价值约 540 AUD)。本测算为同一屋顶场景下的相对增益示意, 实际收益随地点、电价、遮挡与系统配置而变。

07 TAC & 飞虎5（Tiger Neo 5.0）问答合集

第一部分 TAC 技术篇(Q1-Q20)偏技术原理, 回答 " 它是什么、为什么强 "; 第二部分飞虎 5 应用与商业篇(Q21-Q50)偏应用与商务, 回答 " 卖给谁、什么时候有、值不值 "。带 ★ 为重点问答。

一句话关系: TAC 是电池技术, 飞虎 5 是组件技术平台; TAC 位于飞虎 5 的电池层, 是飞虎 5 的一部分。

TAC 技术篇

Q1 TAC 到底是什么？

TAC 全称 TOPCon-based Amorphous-Si Passivating Cell (隧穿氧化物 - 非晶硅复合钝化电池), 是晶科的下一代先进晶硅电池技术。它把 HJT 的非晶硅钝化体系与 TOPCon 的量子隧穿界面体系融合进同一个背接触架构, 电池效率突破 28%。

Q2 TAC 名字里的 " 隧穿氧化物 " 和 " 非晶硅 " 分别指什么？

对应背面两个区——N 区(电子收集)用超薄隧穿氧化硅 SiO_x + 掺杂硅薄膜, 靠量子隧穿做低阻电子收集, 这是 " 隧穿氧化物 "; 非晶硅是 P 区(空穴收集)的氢化非晶硅 a-Si:H(i) 和 a-Si:H(P)。两区各司其职, 合称 " 复合钝化 "。

Q3 ★TAC 是电池技术还是组件技术？和飞虎 5 是什么关系？

TAC 是电池技术, 飞虎 5 是组件技术平台, TAC 位于飞虎 5 的电池层。飞虎 5 覆盖硅片—电池—组件三层: 硅片层 PHS, 电池层 TAC(GPP / MCP 2.0 / FLT), 组件层 0BB、GCA、BES、ACC。分工是 TAC 决定效率上限, 飞虎 5 决定这个上限能兑现多少, 详见 Q21-Q23。

Q4 TAC 和 TOPCon 是什么关系？

TAC 继承并超越 TOPCon。继承的是 N 区沿用 TOPCon 的隧穿氧化硅 + 掺杂硅薄膜, 保留了工艺兼容性、量产经济性与 N 型无光致衰减优势; 超越的是把 P 区钝化换成非晶硅, 并采用背接触架构消除正面遮光。TOPCon 结构效率极限为 28.2%~28.7%, 最接近晶硅理论极限 29.43%, TAC 正是沿这条最接近极限的路线继续逼近。

Q5 TAC 和 HJT(异质结)是什么关系？

TAC 吸收了 HJT 的钝化体系, 但没照搬 HJT 的整线方案。P 区用 a-Si:H(i) 和 a-Si:H(p)异质钝化界面, 达到了 HJT 标志性的极高开路电压; 温度体系则改为高低温杂化——P 区走低温非晶硅工艺, N 区保留高温工艺窗口, 既拿到钝化红利又保住 TOPCon 的高效率。

Q6 ★TAC 和 BC 是什么关系？

BC 改变了电极的位置, TAC 重新定义了电流进入电极的方式。BC 做的是几何重构, 把正负电极全移到背面、正面遮光归零, 但背面仍是高温扩散结, 高复合界面只是从看得见的正面退到了看不见的背面。TAC 在几何重构之上追加界面重构, 用半导体级异质钝化界面提供了 P 区钝化。

Q7 TAC 和 TBC 有什么区别？

TBC(TOPCon-based Back Contact)是与 Tiger Neo 3.0 同代的技术, 把正面栅线移到背面、消除正面遮光, 效率做到与 Tiger Neo 3.0 同等水平。区别在于 TBC 是 "TOPCon + 背接触", TAC 是 "TOPCon + HJT + 背接触", TAC 多了一次界面重构。

Q8 TAC 与常规产品的差异主要体现在哪？

五个维度——钝化结构从单区到双区 (2+1 架构), 场景适配从通用到高端住宅专属, 工艺路线从标准化到低温低能耗定制, 美学表现从一般到纯黑无栅线, 效率提升从渐进式到跃迁式。这说明差异不在同一架构下的工艺微调, 而在从钝化结构到场景定位的整体跃迁。

Q9 ★GPP 全域钝化工艺解决什么问题？

解决金属—硅界面的载流子复合损失——这是通往更高效率路上最后的堡垒。电极终究要接触硅片, 无法靠 " 移走 " 解决, 只能靠 " 重构 ": 在金属与硅之间引入兼具钝化功能与载流子选择性的功能薄层。GPP 构建的是非对称双区复合钝化体系, P 区本征非晶硅 p 型非晶硅、N 区隧穿氧化硅 + 掺杂硅薄膜, 钝化覆盖电极全区。

Q10 为什么说 TAC 的 GPP 是 " 全域 ", 传统方案 " 不全域 " ?

传统方案 P 区采用 P-Poly-Si 钝化, 效果相对较差, 存在明显的不良钝化区; GPP 在电池电极全区构建优良钝化接触结构, 把这些区域消除掉。这是 GPP 三个升级中的第一个。

Q11 GPP 的另外两个升级是什么?

二是由单一高温体系升级为高低温杂化体系, P 区低温、N 区高温, 两区各取最优温度区间, 避免一刀切温度对另一区钝化质量的妥协; 三是引入 TCO 解决 P 区导电瓶颈, 掺杂非晶硅钝化质量高但横向电导率低, TCO 补上输运短板与纵向导电, 让电池在保持高开路电压的同时获得低接触电阻。

Q12 TAC 电池的 P 区为什么一定要加 TCO ?

因为高钝化质量与高横向电导率在非晶硅体系里是一对矛盾。非晶硅钝化好但横向导电差, 直接金属化会抬高串联电阻、拖累填充因子, 为改善接触加大金属面积又会重新引入复合。TCO 既透明又导电, 承担横向输运与纵向导电, 让高 Voc 与低接触电阻同时拿到——这是把 HJT 钝化体系搬进背接触架构的关键工程前提。

Q13 ★MCP 2.0 解决的是什么损失?

边缘复合 (edge recombination), 一个常被低估的损失通道。现代高功率组件普遍用半片或多分片电池降低串联电阻, 切割成为标配, 但切割会在电池边缘引入机械损伤层与未钝化断面, 形成高复合速率界面; 对 " 周长—面积比 " 更大的多分片电池, 这是重要损失通道, 主要表现为填充因子与开路电压下降。

Q14 " 先切后钝 " 和传统工艺有什么区别?

区别在于工艺时序。传统做法是硅片完成制绒、钝化、金属化之后再切割, 断面在最后一步被制造出来、此后再做切面钝化修复; MCP 把切片前置到硅片阶段, 让断面与硅片表面进入同一道钝化工序, 实现原位边缘钝化。结果是切割断面钝化覆盖率 100%, 断面从 " 被修复的表面 " 变成 " 与主钝化面同等水平的钝化界面 "。

Q15 MCP 有哪四个技术维度?

对应 " 减少损伤引入—化学钝化—场效应钝化—缺陷氢钝化 " 的完整链路: 低损伤切割用热应力诱导分离, 激光局域热源叠加冷却源构建受控应力场引导解理, " 仅加热而不汽化 ", 不产生熔渣、凸起与微裂纹; 内钝化层化学钝化紧贴断面沉积高 κ 介质膜 (如 Al_2O_3), 饱和悬挂键、降低界面态密度 Dit; 外钝化层场效应钝化用高固定电荷密度介质层的静电场排斥少数载流子; 深度氢钝化以氢源补充加快速氢推进, 加速氢向断面损伤层输运、消除复合中心。

Q16 MCP 对多分片设计有什么意义?

多分片工艺中, 切割面会带来钝化不良的损失; MCP 让断面被半导体级工艺完整钝化。

Q17 ★FLT 广谱陷光结构怎么提升早晚与阴天发电?

晶体硅是间接带隙半导体, 对接近带边 (约 900–1200 nm) 的红外光子吸收系数很低, 单次穿越硅片不足以有效吸收。FLT 从三个环节延长光程: 正面受光界面透明化 (背接触架构, 无主栅无细栅, 遮光趋近零)、背面红外反射层 (把未吸收的近带边光子反射回硅片并散射至大角度)、MLC 多维度光路调控与 SSI 复合绒面 (正面降低各入射角反射, 背面破坏镜面逃逸通道)。结果是清晨傍晚的斜射光、阴天的漫射光不再大量损失, 发电曲线更宽更平——而清晨与傍晚恰恰是家庭用电高峰。

Q18 为什么背接触架构能让正面遮光趋近于零?

因为正负电极全部转移到电池背面, 正面受光界面上不存在任何金属栅线。常规电池正面要布置主栅与细栅, 金属遮挡造成 1%–2% 的入射光损失; 背接触架构把栅线系统全移到背面, 正面只剩钝化 / 减反射膜系。这带来双重收益: 光学上短路电流提升, 美学上为全黑零色差提供结构前提——没有银色栅线, 才谈得上 " 真全黑 "。

Q19 TAC 的电池效率与理论极限是多少?

TAC 电池效率突破 28%, 向晶硅理论极限 29.43% 收敛。技术逻辑是在单一电池结构中同时逼近两条路线各自的上限——非晶硅体系胜在钝化质量与开路电压, 隧穿氧化物体系胜在接触电阻与工艺兼容性。

Q20 TAC 是 BC 的改良款吗？

不是。两者的差异不在同一架构下的工艺微调,而是从钝化结构到场景定位的整体跃迁。BC 完成一次几何重构, TAC 完成 " 界面重构 + 系统重构 " 两次跃迁——后者指电池层面的代际优势经由飞虎 5 平台的组件技术(UMI、GCA、ACC)全面兑现,光学、电学、美学三位一体。

飞虎 5 应用与商业篇

Q21 飞虎 5(Tiger Neo 5.0)是一款产品还是一系列产品？

是一系列产品, 是一个组件技术平台。飞虎 5 是晶科 2026 年 6 月 SNEC 发布的新一代旗舰组件平台, 依托 N 型 TOPCon 技术体系, 覆盖硅片—电池—组件全链条技术组合 (PHS、FLT、GPP、GCA 等), 并按场景衍生出多个版型与产品型号。

Q22 ★飞虎 5 和 TAC 是什么关系？

TAC 是飞虎 5 的一部分, 位于平台的电池层。飞虎 5 是上位概念, 覆盖硅片层 PHS、电池层与组件层(0BB / GCA / BES / ACC), 回答 " 这块组件怎么造 "; TAC 是下位概念, 主要在电池层, 回答 " 电流怎么从硅片里被取出来 ", 决定效率上限。TAC 是晶科能源基于 Tiger Neo 5.0(飞虎 5)技术平台打造的下一代先进高效光伏技术。话术要点是 TAC 决定上限, 飞虎 5 决定这个上限能兑现多少。

Q23 是不是所有飞虎 5 组件都用 TAC 电池？

不是。飞虎 5 是平台, 可搭载不同电池方案, TAC 是该平台上的先进电池技术。对外沟通时注意: 讲 " 飞虎 5 平台 " 用平台级语言(功率、效率、场景覆盖), 讲 "TAC" 用电池级语言(钝化结构、效率上限), 两者不可混为一谈, 也不可相互替代。

Q24 ★飞虎 5 的产品线怎么划分？

覆盖电站产品与分布式产品两大方向。电站产品面向大型地面电站与工商业分布式, 追求高功率与低 BOS / LCOE, 平台旗舰版型 700W、组件效率 25.91%、功率密度超 259 W/ m²; 分布式产品面向户用屋顶, 追求高单位面积功率、外观一体化与长期免维护, 户用小版型 510W、效率 25.52%、尺寸 1762 × 1134 mm。同尺寸下平台功率从上代 670W 提升至 700W, 相比同尺寸竞品全生命周期发电量增益最高 3%。

Q25 ★这次优先推哪个版型？

优先推户用小版型 (510W / 1762 × 1134 mm)。原因是户用恰好是 TAC 技术组合最能发挥的场景——屋顶面积不可逆受限、外观受社区规约约束、要求 " 装上便不再动 " 的长期可靠性, 而这三项分别对应 GPP + GCA(单位面积功率)、ACC(零色差全黑)、PHS + BES(片级溯源与丁基胶绝缘), 详见 Q34–Q37。

Q26 户用小版型的关键参数？

最高功率 510W、组件效率 25.52%、尺寸 1762 × 1134 mm、温度系数 Pmax -0.24 %/°C、质保 40 年(各区域详细条款以质保手册为准)。其余电参(Voc / Isc / Vmp / Imp、重量、载荷、防火等级等)以正式规格书为准。

Q27 电站产品的关键参数？

平台旗舰版型功率 700W、组件效率 25.91%、功率密度 > 259 W/ m², 同尺寸较上代 670W 提升 30W, 正式把 TOPCon 带入 700W+ 时代; 相比同尺寸竞品全生命周期发电量增益最高 3%。注意: 700W 是大版型(电站), 510W 是户用小版型, 两者不可混用, 不要出现 " 户用 700W " 这类尺寸上不成立的说法。

Q28 ★飞虎 5 什么时候有货？首批交付时间？

10 月中旬产品发布, 随后澳洲首批订单交付。具体接单节奏、可交付功率档位与区域分配以公告信息与询单反馈为准。

Q29 飞虎 5 今年的产能与接单计划？

飞虎 5 定位高端高溢价产品, 总体产能有限, 能规划与开放接单时间待产品管理统一发布。对外统一口径为 "10 月中旬首批交付, 具体排产以询单反馈为准"。

Q30 飞虎 5 的定价策略是什么？

飞虎 5 定位高端高溢价产品, 定价策略待发布。可参考的价值逻辑是不以组件单价竞争, 而以系统价值定价——单块功率更高, 达成同样容量所需组件更少, 节约支架、夹具、安装与屋面穿孔成本, 叠加更高发电量与 40 年功率质保支撑溢价空间。具体溢价幅度官方发布为准。

Q31 飞虎 5 的产品质保与功率质保年限？

飞虎 5 小版型功率质保 40 年，详细条款以正式质保文件为准。40 年承诺的底气来自三处：PHS 片级全流程溯源(每片硅片有 " 身份证 ")、ULO 超净低氧制程(掐断氧沉淀等强复合活性缺陷的形成路径)、BES 丁基胶封边(跟可靠的边缘绝缘)。

Q32 ★飞虎 5 的核心卖点, 一句话怎么说？

发得更多、看着更干净、用得更久——电池效率突破 25.5%、单块功率较上代提升约 30W；零色差全黑，与深色瓦面浑然一体；40 年功率承诺加固态绝缘边缘。技术版一句话是 "TAC 是电池的代际跃迁，飞虎 5 是把这个跃迁完整送到您屋顶的平台"。

Q33 飞虎 5 相比上一代提升了多少？

平台旗舰版型同尺寸功率 670W → 700W（+30W）、组件效率 25.91%、功率密度 > 259 W/ m²；户用小版型达 510W / 25.52%，单块功率较上代同版型提升约 30W。全生命周期发电量较同尺寸竞品增益最高 3%。

Q34 ★户用场景的核心价值是什么？

户用业主算的不是度电成本，是生活本身。白皮书归纳的四项诉求逐项对应技术：屋顶只有这么大、每平米都要发电，对应 GPP 全域钝化，收益是电池效率 25.5%+、单块较上代 +30W；房子是最贵资产、外观不能被破坏，对应 ACC 全黑零色差，色差低于人眼可辨阈值；装上去就别再让我操心，对应 PHS + BES，片级全流程溯源加固态边缘绝缘；账单要算得清，对应 FLT 广谱陷光，发电曲线更宽更平、贴近家庭用电节奏。

Q35 客户说屋顶面积不够, 飞虎 5 怎么答？

不动一砖一瓦，多发电。一是提升电池效率，电池效率 28% 以上，同样面积增加发电能力；二是消除不发电面积，GCA 做到电池零间距、汇流条全隐藏(全行业首创)，把浪费在间隙与汇流条上的面积转成受光面积；三是减少组件数量，单块功率更高则达成同样容量所需组件更少，支架、夹具与屋面穿孔数量同步下降，屋面载荷与漏水风险随之改善。小板型综合组件效率 25.52%，一句话： ** 装得更少, 发得更多, 屋顶也少挨几次钻。

Q36 ★社区规约(HOA)不让装, 如何应对？

先解决 " 能不能装 ", 再谈 " 装多少 "。在欧美, 大量独栋住宅社区由业主协会以规约统一管理外观, 一项发表于《Landscape and Urban Planning》的研究对 31 份 HOA 规约的文本分析发现, 32% 的规约直接限制家庭能源生产(如屋顶光伏)，而鼓励可持续设施的条款极为罕见——屋顶组件对业主而言不是工业品，是建筑外观的一部分。TAC 的答案是 ACC 全黑零色差：正面无栅线、片间色差 低于人眼可辨、胶膜与边框辅材同色, 与深色瓦面浑然一体, 从街道望去只见屋面、不见组件。

Q37 全黑色差怎么保证？

三个环节把关。一是膜层沉积精度控制，电池表观颜色由钝化 / 减反射膜系的干涉效应决定，膜厚偏离则颜色漂变，这是量产色差的主因, ACC 压缩膜层厚度与折射率的片间分布、从源头收窄颜色分布带宽；二是 AI 图像分选, 对每片电池成像并算法分级, 仅色差参数一致的电池配片入组件；三是辅材颜色协同, 胶膜、汇流带、边框色度统一以避免视觉断点。

Q38 ★飞虎 5 弱光、早晚发电表现如何？

这恰是 TAC 的强项。FLT 广谱陷光结构通过正面零遮光、背面红外反射层与复合绒面，让清晨傍晚的斜射光、阴天的漫射光不再大量损失，发电曲线更宽更平。对户用的意义很直接：一家人的用电高峰在清晨与傍晚，而那恰恰是传统组件发电最弱的时段，TAC 让发电曲线贴近家庭负荷曲线——每一次靠近，都是账单上省下的一度电。弱光测试报告与实证对比数据待释出。

Q39 飞虎 5 的温度系数多少？高温环境下表现如何？

户用小版型温度系数 Pmax 为 -0.24 %/°C，优于主流水平，数值越低意味着高温环境下发电损失越小。配合 OBB 背面零主栅带来的更低欧姆损耗与更小热应力, 组件在高温工况下输出更稳。

Q40 飞虎 5 的抗阴影遮挡能力如何？

别墅屋顶常有朝向不一、局部遮挡的复杂条件，TAC 的应对是分布式电流网络 + 多分片设计。TAC 具备电池级抗遮挡能力，OBB 取消印刷主栅，电流经导电胶点阵分布式引出、互连通道增至十余根，电流不再挤在几条主干道上——一片树影落下，损失的只是那一小片。

Q41 飞虎 5 的长期可靠性与衰减怎么向客户交代？

三层支撑，逐层可追溯。硅片层靠 PHS 片级全流程溯源，每一片硅片建立涵盖拉晶、切段、切片的专属档案、异常片精准拦截，ULO 超净低氧制程降低间隙氧含量、抑制高温工序中氧沉淀等强复合活性缺陷；边缘靠 BES 丁基胶，绝缘性由材料本体保证，而边缘正是水汽侵入诱发腐蚀、脱层与绝缘劣化的最薄弱环节；互连靠 OBB 取消高温焊接主栅环节，减小热冲击与隐裂风险。

Q42 ★相比 BC 组件，飞虎 5 有什么优势？

可从四个层面讲。效率来源上，BC 靠几何重构拿正面零遮光，TAC 在此基础上追加界面重构、用半导体级异质钝化界面消除金属—硅直接接触，效率上限更高；美学上，BC 一般外观，TAC 进一步真纯黑；场景上，BC 通用定位，TAC 高端住宅专属。

Q43 有实证数据或模拟数据吗？

实证项目规划中，请持续关注公司官网实证平台的信息更新。

Q44 认证进度如何？

2026 年 9 月完成 IEC 基础认证，其余认证进展可咨询产品管理。

Q45 飞虎 5 适用哪些场景？

户用（本次优先推）面向高端独栋住宅坡屋顶，覆盖沥青瓦、陶土瓦、石板瓦屋面，应对多朝向、天窗烟囱遮挡与 HOA 规约约束；工商业分布式用平台大版型，追求高功率密度与 BOS 节省。

Q46 飞虎 5 的逆变器和系统兼容性如何？

具体电参（Voc / Isc / Vmp / Imp）以正式规格书为准。设计原则是延续既有电气参数特征，确保客户无需担忧系统兼容问题——可直接兼容主流逆变器品牌，客户可基于既有成熟方案快速部署，免除因组件参数变更导致的逆变器选型风险与设计调整成本。如遇具体项目适配问题，请联系解决方案部门。

Q47 飞虎 5 安装有什么要注意的？

屋面载荷与穿孔方面，单块功率越高则达成同样容量所需组件越少，支架、夹具与屋面穿孔数量同步下降，这本身就是对载荷与漏水风险的改善；安装载荷数据方面，正式版本载荷将在安装手册更新，在此之前的询单视为特殊需求，请联系解决方案部门提供支持；电气合规方面，须满足 IEC 61730-1:2023 对爬电距离与电气间隙的绝缘协调要求，决策链条为 " 业主 → 安装商 → 社区规约审批 (HOA) → 电网并网许可 "，外观合规与电气合规同等重要。

Q48 飞虎 5 后续版型与产品规划？

飞虎 5 平台将根据全球不同市场的地域需求动态调整排产策略，版型扩充与迭代规划请持续关注内部信息。可对外表述为：平台产线兼容多款版型，将按区域需求精准供应。

Q49 飞虎 5 载荷能力？

飞虎 5 首批产品采用 1.6+1.6mm 玻璃方案，载荷为 5400/2400，其余方案开发、洞察中。

Q50 飞虎 5 销售区域？

飞虎 5 将会在各区域市场都有供应，优先关注高溢价市场。

08 结语

把半导体工业的界面工程, 装进每一户人家的屋顶。

光伏的每一次效率跃迁, 都源于对「损失在哪里」的重新回答。把电极移到电池背面, 回答了「正面遮光」的问题; TAC 进一步回答了「背面界面复合」与「组件端损耗」两个问题——以半导体级异质钝化界面消除金属—硅直接接触, 以量子隧穿层实现低阻电子收集, 再以 UMI、GCA、ACC 等组件技术把电池层面的代际优势转化为屋顶上可感知的成品。TAC 的代际性, 不在于沿用某条既有路线, 而在于从几何重构走向界面重构与系统重构。

技术进步的归处, 是真实的使用场景。本白皮书以欧美独栋住宅业主的四项诉求为起点: 屋顶面积不可逆地受限, 外观受社区规约约束, 安全须满足 IEC 61730-1:2023 的绝缘协调要求, 发电还要贴近家庭真实的负荷曲线。当效率成为唯一可撬动总发电量的杠杆、当「能不能装」先于「装多少」, 先进技术意义便不再停留于实验室参数, 而在于它能否在同一寸屋面上同时交付更多的电、更稳的安全与更纯净的美学。TAC 的八大核心技术, 正是围绕这组住宅专属约束而组织: 从 PHS 硅片溯源到 GPP 全域钝化, 从 MCP 边缘锁电到 FLT 全光谱陷光, 再到 GCA 无缝封装、UMI 均匀点阵互连与 ACC 零色差全黑——每一层、每一项, 都对应一个具体的屋顶问题。

在飞虎 5 / Tiger Neo 5.0 平台上, TAC 把上述能力集成为一款「高端住宅专属」的户用组件: 电池效率突破 28%、单块功率较上代提升约 30W, 并以终身质保产品承诺回应住宅系统「装上便不再动」的生命周期预期。展望未来, 随着异质钝化界面与隧穿收集工艺的进一步成熟, 全背面电极架构的效率上限仍向晶硅理论极限收敛; 而真正决定这项技术价值的, 是它能否持续把半导体的精密, 翻译成千家万户屋顶上安静、长久、好看的发电。这, 正是 TAC 作为一代技术、而非一项改进的意义所在。

对别墅业主而言, TAC 意味着三件事: 同样的屋顶, 多发的电——单块功率较上代提升约 30W、组件效率突破 25.5%, 不扩建一砖一瓦, 就把屋面价值榨到极致; 同样的房子, 更体面的外观——零色差全黑与屋面浑然一体, 社区规约少一道阻力; 同样的安装, 更久的安心——终身质保产品承诺, 把「看不见的安全」做成可验证的承诺。技术很复杂, 落到屋顶上, 就是「发得更多、看着更干净、用得 longer」。

