



信达证券
CINDA SECURITIES

Research and
Development Center

从基础结构透析光伏晶硅高效电池发展

2023 年 11 月 24 日

武浩 电新行业首席分析师
S1500520090001
010-83326711
wuhao@cindasc.com

黄楷 电新行业分析师
S1500522080001
huangkai@cindasc.com



证券研究报告

行业研究

行业专题报告（深度）

电力设备与新能源

投资评级 看好

上次评级 看好

武浩 电新行业首席分析师
执业编号：S1500520090001
联系电话：010-83326711
邮箱：wuhao@cindasc.com

黄楷 电新行业分析师
执业编号：S1500522080001
联系电话：18301759216
邮箱：huangkai@cindasc.com

信达证券股份有限公司
CINDA SECURITIES CO., LTD
北京市西城区闹市口大街9号院
1号楼
邮编：100031

从基础结构透析光伏晶硅高效电池发展

2023 年 11 月 24 日

本期内容提要：

◆**光伏电池片技术进步的核心是增效降本。**太阳能电池基础工作原理是半导体的光生伏特效应，当物体受到光照时，物体内的电荷分布状态变化而产生电动势和电流的一种效应。在光电转换过程中不可避免的会发生效率损失，主要包括光学损失、电学损失及电阻损失，电池技术不断进步和探索的重要目标之一就在于降低此类物理化学损失。为此，发展高效电池技术的一系列关键工艺包括抛光、制绒、扩散、钝化、介质开膜和金属化技术等应运而生。降本增效是光伏电池技术发展永恒的主旋律，近几十年产业不断探索更高效更具性价比的电池技术，光伏电池历经多次迭代，如今由 P 型 PERC 时代逐步迈向由 TOPCon、HJT、IBC 电池为代表的 N 型新时代发展。

◆**发展高效电池可提升光伏组件实际功率，进而摊薄光伏系统成本。**高效组件转换效率更高、温度系数更低且双面发电效率能力更加出色，与同等规格的常规组件相比，实际输出功率提升明显。组件功率的提升可以摊薄光伏电站的 BOS 成本，根据我们测算，当电池片效率提升 0.5%，BOS 成本可降低约 0.02-0.03 元/W；另一方面，更高效的组件拥有更好的衰减系数，在首年衰减和次年衰减上均具备优势，增益光伏电站全生命周期发电量，降低光伏电池全生命周期度电成本。根据我们的敏感性分析测算，当首年衰减每降低 0.2%，次年衰减不变时，地面光伏电站 LCOE 将降低 0.0005 元；当首年衰减不变，次年衰减每降低 0.05%，地面光伏电站 LCOE 将降低 0.0012 元；当首年衰减降低 0.2%，同时次年衰减降低 0.05% 时，地面光伏电站 LCOE 将降低 0.0017 元。

◆**N 型电池技术发展迅速，产业化浪潮已至。**电池片技术快速进步，TOPCON/HJT/BC 电池片在今年均有较大突破，行业内主要组件公司均在 2023 年大规模向 N 型技术路线转型。TOPCON 率先大规模量产，目前行业内领先企业 TOPCon 电池量产效率已达 25.7%，良率超过 98%，技术迭代随着产业化同步进行，量产效率仍有突破空间，提效手段如正背面添加 SE、双面 POLY 等技术也在逐步研发导入中；HJT 产业化进程加速，降本路径清晰，目前领先企业 HJT 电池量产效率已达 26%，优质产线良率可达 98.5%，HJT 理论极限效率可达 27.5%，后续仍有进步空间；另一方面，HJT 电池降本路径清晰，多种降本手段如 OBB、银包铜、无铜/低铜靶材技术正在逐步导入，未来放量可期。BC 电池正面无遮挡，最大可能性降低正面光学损失，造型美观，特别适合于分布式场景，隆基绿能、爱旭股份明确聚焦 BC 电池领域，BC 电池目前仍处于技术快速发展期，降本增效潜力突出。

◆**投资建议：**23 年是新型电池片技术快速突破的一年，未来 2-3 年电池片环节技术进步仍将是光伏行业向更低成本发展重要一环，建议关注 N 型技术领先、投产产能与节奏位居行业前列的企业，推荐晶科能源、天合光能、晶澳科技、通威股份；建议关注隆基绿能、爱旭股份。另一方面，建议关注受益于新型电池技术，具备量利向上逻辑的核心辅材及设备企业，推荐聚和材料、捷佳伟创，建议关注宇邦新材、迈为股份等。

◆**风险提示：**光伏需求不及预期；新技术发展不及预期；产能过剩风险等。



目录

核心逻辑:	5
一、光伏电池工艺技术原理及发展历史	6
1.1 光伏发电是由半导体的光生伏特效应产生	6
1.2 电池效率的损失归因: 光学损失、电学损失、电阻损失	7
1.2.1 光学损失概述	7
1.2.2 电学损失概述	8
1.2.3 电阻损失概述	9
1.3 发展高效电池技术的关键工艺: 抛光、制绒、扩散、钝化、介质开膜和金属化技术	9
1.4 主流电池技术路线优劣势及关键工艺	12
1.4.1 PERC 电池	12
1.4.2 TOPCon 电池	14
1.4.3 HJT 电池	17
1.4.4 IBC 电池	19
二、高效电池片降本增效优势明显	22
2.1 高效电池片对组件实际功率提升明显	22
2.2 高效率组件可摊薄电站成本	22
三、N 型电池技术产业化如火如荼	24
3.1 TOPCon 产业化进程: 量产成本具备性价比, 产能扩张迅速	24
3.2 HJT 产业化进程: 降本路线清晰, 产业化进展可期	25
3.3 BC 电池产业化进程: 产品性能优异, 技术发展方兴未艾	27
四、投资建议	29
五、风险因素	29

表目录

表 1: TOPCon 组件与 PERC 组件相比可显著降低度电成本	16
表 2: PECVD 与 HWCVD 工艺对比	19
表 3: 新技术功率增益测算	22
表 4: 新技术 BOS 节省测算	23
表 5: LCOE 衰减敏感性分析	23
表 6: 主要公司 TOPCon 电池产能规划情况	25
表 7: 主要公司 HJT 电池产能规划情况	26



图 目 录

图 1: 常规晶体硅太阳能电池的结构示意图	6
图 2: 晶体硅太阳能电池的电路模型	6
图 3: 太阳能电池负载特性曲线	7
图 4: AM1.5G 的太阳光谱图	8
图 5: 太阳能电池串联电阻的组成	9
图 6: 抛光前及抛光制绒后硅片的形貌	10
图 7: 扩散炉 (a) 和离子注入机 (b) 示意图	10
图 8: 扩散炉 (a) 和离子注入机 (b) 示意图	11
图 9: 金属化工艺仪器及原理	12
图 10: 常规太阳能电池结构图 (a) 和选择性发射极太阳能电池结构图 (b)	13
图 11: 背表面抛光面 (a) 和背表面凹坑面 (b) 结构示意图	13
图 12: TOPCon 电池结构	14
图 13: 不同隧穿层材料对于界面化学钝化及电荷场钝化的特性	15
图 14: TOPCon 电池衰减率更低	15
图 15: N 型电池双面率提升, 背面增益更高	16
图 16: n 型 PERT 双面电池 (左) 和 n 型钝化接触双面电池 (右) 的工艺流程	17
图 17: 能带结构与载流子输运方向示意图	17
图 18: HJT 电池结构示意图	18
图 19: IBC 电池结构	20
图 20: 离子注入技术制备 IBC 太阳能电池的工艺流程	21
图 21: 2022-2030 年光伏电站 BOS 成本趋势	23
图 22: N 型电池高转换效率优势明显	24
图 23: N 型电池理论极限效率远高于 PERC 电池	24
图 24: 2022-2027 年 TOPCon 电池产能发展趋势 (GW)	25
图 25: 2022-2027 年 TOPCon 电池产能发展趋势 (GW)	26
图 26: HJT 金属化降本路线图	27
图 27: HJT 电池降本路径	27
图 28: 隆基 Hi-MO X6 产品	27
图 29: 爱旭 ABC 系列产品	27



核心逻辑：

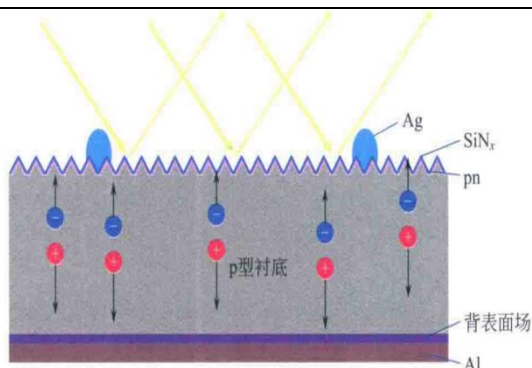
目前光伏晶硅制造产业链重点技术突破集中在电池片环节，本篇报告从光伏电池片的基础结构原理出发分析了限制光伏电池片转换效率提升的核心原因，并回顾了目前主流技术路线及发展潜力较大的技术路线的发展历史，从提升转换效率的角度，详解了主流技术路线的关键工艺。报告从模拟测算的角度，详细分析了提升转换效率对下游光伏电站业主方带来的实际收益，同时重点介绍了目前行业正在快速发展并产业化的新型技术路线发展情况。

一、光伏电池工艺技术原理及发展历史

1.1 光伏发电是由半导体的光生伏特效应产生

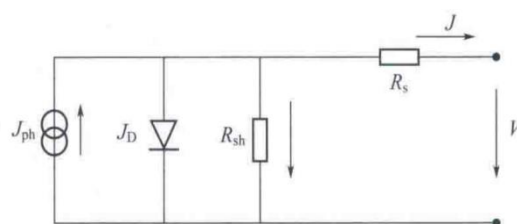
太阳能电池工作原理的基础是半导体的光生伏特效应，当物体受到光照时，物体内的电荷分布状态发生变化而产生电动势和电流的一种效应。晶体硅太阳能电池本质上就是一个大面积的二极管，由 pn 结、钝化膜、金属电极组成。在 n 型衬底上掺杂硼源，P 型衬底上掺杂磷源，分别形成 P+ 或 n+ 型发射极。并与硅衬底形成 pn 结。该 pn 结形成内建电场，将光照下生产的光生载流子（电子-空穴对）进行分离，分别被正面和背面的金属电极收集。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，常规晶硅太阳能电池从上到下结构依次为正面栅线电极、正面减反膜 SiN_x ，PN 结、硅衬底、背表面场以及背面金属电极。

图 1：常规晶体硅太阳能电池的结构示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

图 2：晶体硅太阳能电池的电路模型

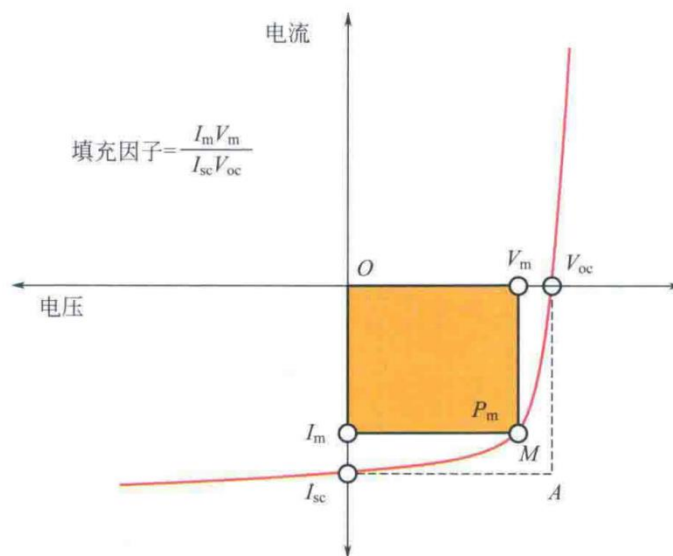


资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

影响电池性能的参数主要有开路电压、短路电流、填充因子等。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，当受到光照的太阳能电池接上负载时，光生电流流经负载，并在负载两端产生电压。可计算出电池性能的外部参数：开路电压 V_{OC} 、短路电流 I_{SC} 、最佳工作电压 V_M 、最佳工作电流 I_M 、最大功率 P_M 、填充因子 FF ，以及串联电阻 R_S 、并联电阻 R_{SH} 和电池效率 η 。

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，在太阳能电池负载特性曲线中，曲线上的每一点称为工作点，工作点和原点的连线称为负载线，斜率为 $1/R_L$ ，工作点的横坐标和纵坐标即为相应的工作电压和工作电流。I-V 曲线与 V、I 两轴的交点即开路电压 V_{OC} 、短路电流 I_{SC} 。若改变负载电阻 R 到达某一个特定值 R_M ，此时，在曲线上得到一个点 M，对应的工作电流与工作电压之积最大我们就称点 M 为该太阳能电池的最大功率点；其中 I_M 为最佳工作电流， V_M 为最佳工作电压， R_M 为最佳负载电阻， P_M 为最大输出功率。 P_M 与开路电压、短路电流之积的比值就称为填充因子（FF），在图 3 中就是橙色四边形与虚线框四边形面积之比。

图 3：太阳能电池负载特性曲线



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

1.2 电池效率的损失归因：光学损失、电学损失、电阻损失

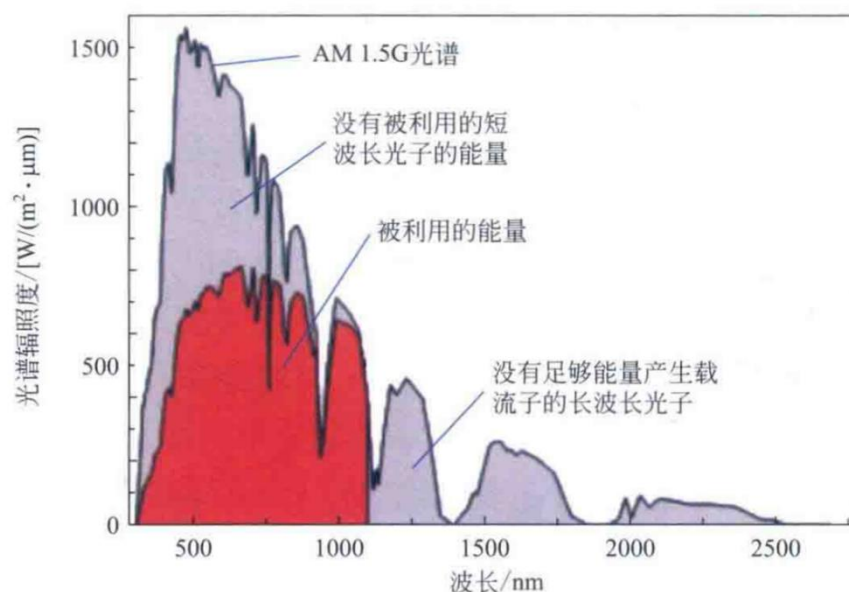
在进行光电转换过程中，根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，造成太阳能电池效率损失的主要原因有：

- 1) 能量小于电池吸收层禁带宽度的光子不能激发产生电子-空穴对；
- 2) 能量大于电池吸收层禁带宽度的光子被吸收，产生的电子-空穴分别被激发到导带和价带的高能态，多余的能量以声子形式释放，高能态的电子-空穴又回到导带底和价带顶，导致能量的损失；
- 3) 光生载流子在 pn 节内分离和运输时，会发生复合损失；
- 4) 半导体材料与光生载流子运输过程金属电极接触的非欧姆接触引起电压降损；
- 5) 光生载流子运输过程中由于材料缺陷、界面缺陷等导致的复合损失。

1.2.1 光学损失概述

晶体硅是光学带隙为 1.12eV 的间接带隙半导体材料。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，对晶体硅太阳能电池而言，太阳光中低于 1.12eV 能量的长波段光子能量太低，不足以提供足够的能量来产生自由载流子。这部分光子占比大约 30%，电池无法利用。而短波的光子能量高，激发一个电子从价带到导带只需 1.12eV 的能量，多余的光子能量又无法利用。只有图中红色部分的太阳光，才能被晶体硅太阳能电池充分利用。

图 4: AM1.5G 的太阳光谱图



资料来源:《高效晶体硅太阳能电池技术》(丁健宁等), 信达证券研发中心

光学损失的另一方还来自晶体硅太阳能电池的结构和工艺。首先,对于晶体硅而言,硅折射率在 3.8 左右,空气折射率略大于 1,两者差值很大。当太阳光照射在晶体硅表面时,由于折射率的差异,会导致入射光中很大一部分(30%~40%)光被反射出去。其次,晶体硅是间接带隙半导体材料,光吸收系数相对较低。长波长光入射进硅片不能被充分吸收,导致部分光从电池背面透出。此外,晶体硅太阳能电池的正面金属栅线会遮挡入射光。

1.2.2 电学损失概述

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》,半导体内的缺陷和杂质能够俘获载流子,增大载流子的复合概率。复合陷阱浓度越高,陷阱能级越靠近禁带的中央陷阱的俘获截面就越大,载流子的运动速度越快,被陷阱俘获的数量就会越多,从而陷阱辅助复合的速率越大,载流子寿命越短。硅片体内由于存在掺杂、杂质、缺陷等因素,光生少数载流子在硅片内运动时,很容易被复合掉。另外,半导体材料表面高浓度的缺陷,称之为表面态。电子和空穴会通过表面这些缺陷复合,称为表面复合或者界面复合。复合损失主要有辐射复合、俄歇复合、SRH 复合(Shockley-Read-Hall,非平衡载流子复合)和表面复合。

辐射复合: 光生载流子的逆过程,对于直接带隙的半导体而言,辐射复合是半导体材料内部复合的主要方式,但对于间接带隙的硅来说,辐射复合需要声子的参与,所以其辐射复合相对要小很多,在晶体硅太阳能电池复合中不起主导作用。

俄歇复合: 当电子与空穴复合时,复合产生的能量会传递给另外一个电子或空穴,使其获得足够的动能,跃迁到更高能态,成为热载流子,然后在弛豫时间内,以声子的形式散发到晶格中,这就是所谓的俄歇复合。俄歇复合速率与载流子的浓度有关,是高掺杂浓度区域(发射极)的主要复合方式。

SRH 复合: 晶格缺陷会在禁带中产生额外的能级,这些能级也会成为复合的中心。电子和空穴通过禁带中的陷阱能级进行复合,导带中的电子可通过这些复合中心跃迁至价带,这就是所谓的 SRH 复合。

表面复合: 晶体硅的表面同样也存在大量的位错、悬挂键、晶格损伤等缺陷而导致载流子

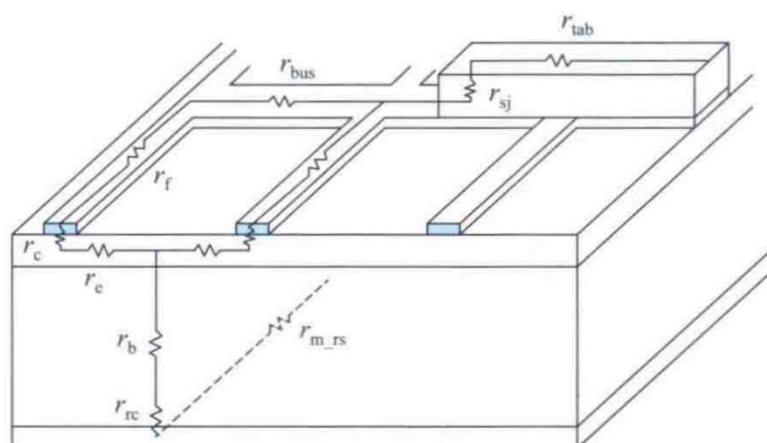
复合。

1.2.3 电阻损失概述

太阳能电池实际工作中，串联电阻 R_s 和并联电阻 R_{sh} 等寄生电阻会影响转换效率。 R_s 源于大面积太阳能电池电流流向的电阻和金属栅线等的接触电阻，并联电阻 R_{sh} 主要受 pn 结结构和制备过程中的工艺影响。

串联电阻主要由 Si 的体电阻、前后电极的接触电阻、发射极电阻、细栅电阻、主栅电阻和焊接带电阻组成。串联电阻的高低与电池的填充因子有强相关性,当串联电阻过高时，电池的填充因子会较低。

图 5：太阳能电池串联电阻的组成



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

并联电阻的形成较为简单，一般认为是在晶体硅太阳能电池边缘产生的。以 p 型硅片为例，由于发射极中的电子能够通过表面态与基区甚至是背面电极的空穴进行复合，产生电流通道，导致电池的局部漏电。不恰当的工艺也会导致并联电阻的形成，包括边缘漏电、边缘 pn 结的残留、硅片隐裂和空洞、pn 结烧穿、表面刮伤、铝对前表面的污染、严重的晶体损伤和表面反型层的形成等等，都有可能降低并联电阻，形成漏电。

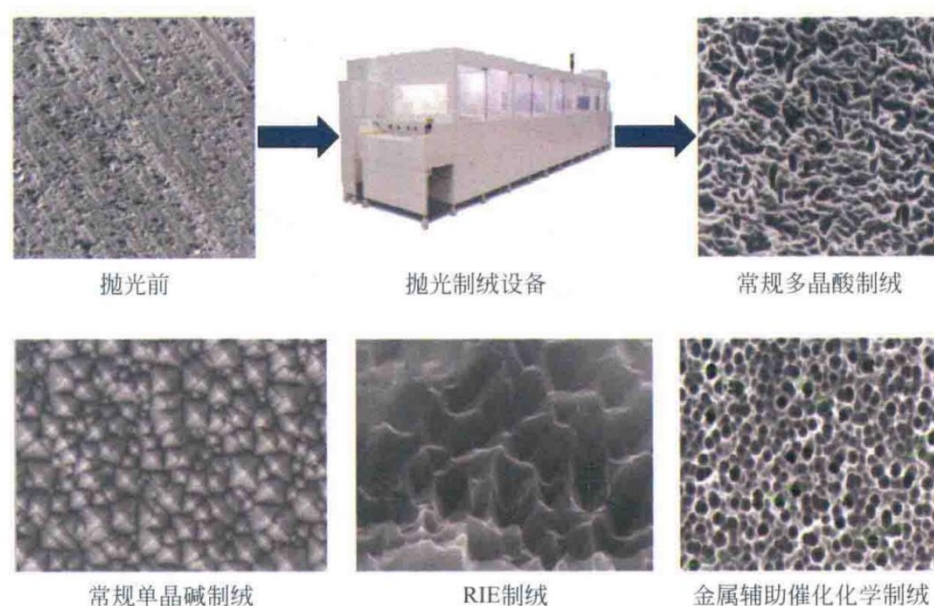
1.3 发展高效电池技术的关键工艺：抛光、制绒、扩散、钝化、介质开膜和金属化技术

在电池片生产制造环节，常会用到抛光、制绒、扩散、钝化、介质开膜和金属化技术等工艺来降低光伏电池片的光学、电学、电阻损失。

抛光：根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，晶体硅电池常规清洗工艺包括硅片去损伤层、抛光、制绒、背结刻蚀、发射极刻蚀、高效电池的 O_3 及 RCA 清洗等。在整套太阳能电池工艺中，硅片从头到尾需经过多道不同的清洗工艺。切割硅锭形成的硅片，其损伤层厚度大约 $10\mu m$, 需要用氢氧化钾(KOH)等碱性溶液去除损伤层。

制绒：根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，为提高光线在硅片中的折射次数、提高光电转换效率，清洗后的硅片需制备出正金字塔绒面。硅片通过无机碱如 KOH、NaOH 与 IPA 的混合溶液在 $70\sim 85^\circ C$ 下一定时间内可以制备出大小均匀、形貌一致的正金字塔绒面。为了提升制备出绒面的均匀性或者控制绒面尺寸的大小，需要在碱制绒过程中使用碱制绒添加剂。

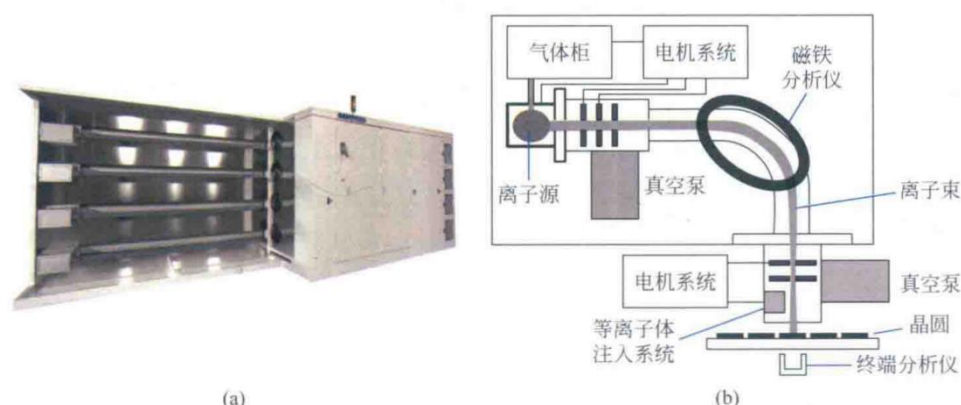
图 6：抛光前及抛光制绒后硅片的形貌



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

扩散：根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，晶体硅电池的 pn 结通常是通过扩散方式在硅衬底表面制备一层均匀的掺杂层形成的。扩散掺杂浓度分布一般呈余误差分布和高斯分布，即硅片表面的掺杂浓度较高，随着深度增加，浓度逐渐降低。由于扩散后的硅片表面杂质浓度很高，俄歇复合比较严重，为了有效降低复合，开发了两种优化的晶体硅发射极，一种是浅掺的均匀发射极(homogenous emitter, HE),另一种是选择性发射极(selective emitter, SE)。相对于高方阻 HE 工艺，SE 工艺相对复杂，但电池的绝对光电转换效率可提高 0.2%左右。SE 的制备方法，目前大规模使用的有激光掺杂、化学返刻以及离子注入等。

图 7：扩散炉（a）和离子注入机（b）示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

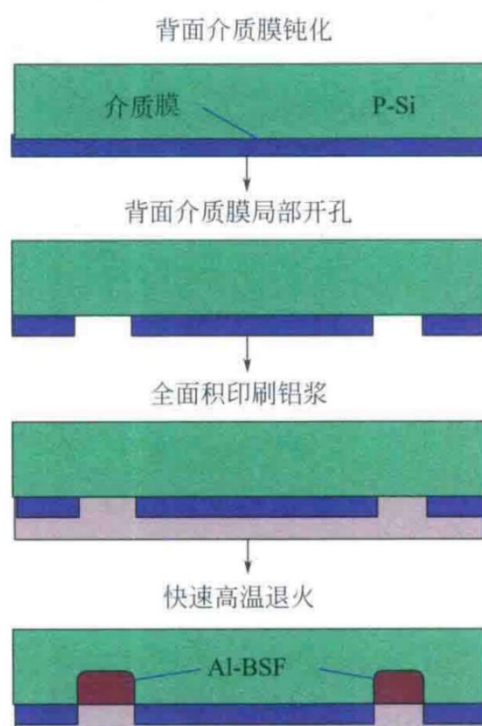
钝化：根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，常规 p 型晶硅电池的正面钝化膜采用氮化硅（ $\text{SiN}_x\text{:H}$ ）薄膜。p 型晶硅电池正面除了可采用氮化硅钝化外，二氧化硅（ SiO_2 ）由于能很好地钝化硅片表面悬挂键，降低表面缺陷态密度，也已经大规模应用于量产。目前主流的 p 型晶硅电池正面钝化膜是 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 叠层膜。

氧化铝由于具有良好的钝化效果，已广泛应用于 PERC、IBC、PERT 电池的 p 型层。氧化铝和晶硅表面生成的氧化硅界面的交界处存在着高密度的负电荷，实现了场钝化。同时氧化铝的化学钝化效果也非常好，通过饱和硅表面悬挂键（缺陷复合中心），降低了界面态密度。氧化铝钝化膜制备技术要主要包括原子层沉积（ALD）和等离子气相沉积（PECVD）。由于 Al_2O_3 的沉积速率较慢，而且三甲基铝 $[\text{Al}_2(\text{CH}_3)_3]$ 成本又高，因此在实际生产过程中，一般采用 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ 叠层膜来钝化硅片表面，降低成本。除此之外，非晶硅（a-Si）薄膜目前也广泛应用于光伏电池上，包括异质结电池。

介质开膜：利用背面整面钝化可以降低背表面复合速率，但需要在背面局部开膜来实现良好的电接触。开膜的图形对背面局部接触影响很大。钝化膜的开膜方法主要有激光开膜、腐蚀液开膜以及腐蚀浆料开膜等。

激光开膜技术由于其较低的运营成本，已经在量产上大规模使用。激光作用在钝化膜或硅衬底上，可以使钝化膜或硅吸收能量而发生蒸发或崩裂。激光主要采用皮秒（ps）和纳秒（ns）激光，皮秒激光对硅的损伤较小，可直接作用在钝化膜上开膜；纳秒激光对硅片损伤较大，但成本相对皮秒激光低。但是随着浆料技术的发展，纳秒激光对电池表面的损伤会大大降低，对影响电池的效率较小。

图 8：扩散炉（a）和离子注入机（b）示意图



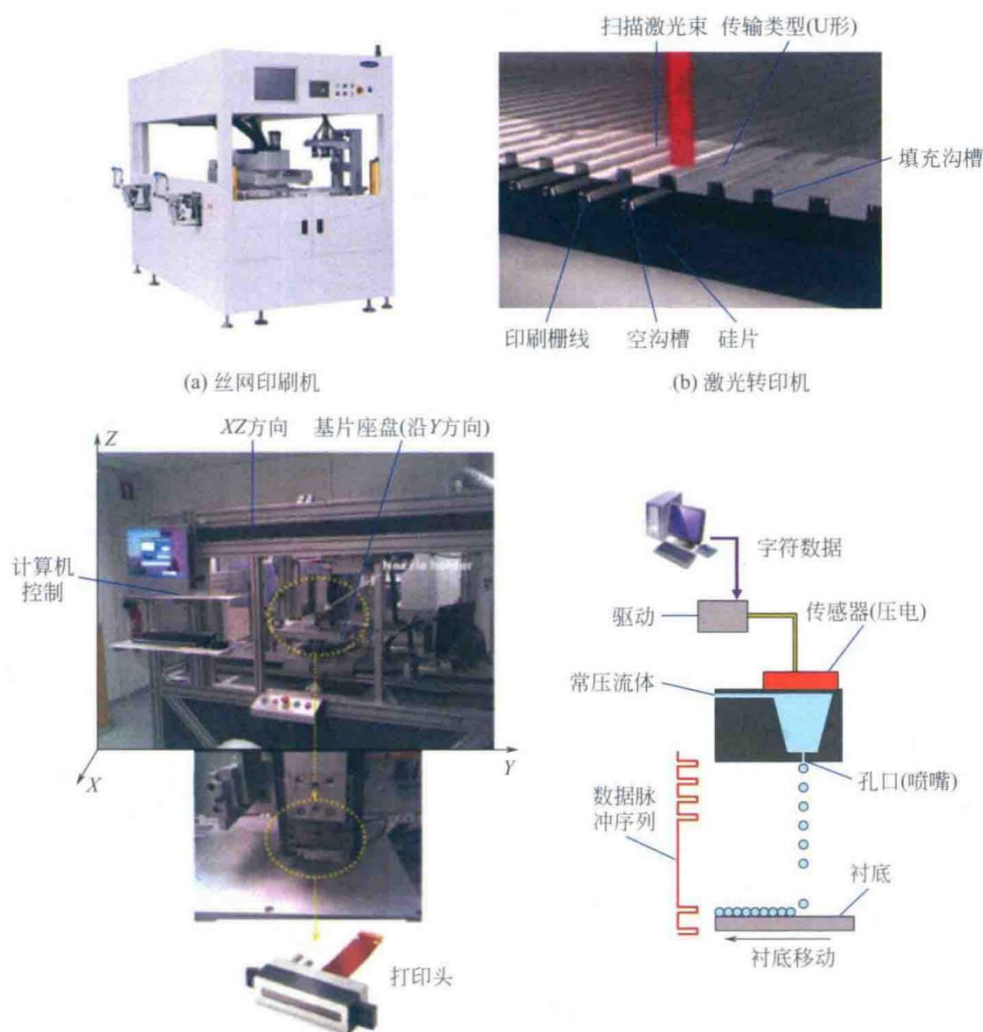
资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

金属化技术：丝网印刷技术（screen printing, SP）是目前晶体硅电池的主流金属化技术。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，以 PERC 电池为例，通常背面印刷 Al 浆，正面印刷 Ag 浆。背面的 Al 浆需要具有良好的局部电接触性能，对钝化膜有一定的渗透以保证足够的拉力，但又不能破坏或烧穿背面钝化膜。Ag 浆料的发展方向依然是持续降低 Ag-Si 的接触电阻和提高栅线的高宽比。同时为了满足高方阻发射极越来越高的方阻要求，对 Ag 浆的要求越来越高。

金属化工艺，除了丝网印刷法外，还有如激光转印、移印、喷墨、电镀、喷雾等方法。激光转印和喷墨打印可以有效降低栅线的宽度，减少硅片碎片率，电镀工艺一般以 Ni/Cu/Sn

或 Ni/Cu/Ag 为电极材料，其中底层的 Ni 为接触层，退火后可实现良好的电接触，同时可将栅线宽度降至 $30\mu\text{m}$ ，有效降低光损失。

图 9：金属化工艺仪器及原理



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

1.4 主流电池技术路线优劣势及关键工艺

主流的电池技术主要包括 PERC 电池、TOPCon 电池、HJT 电池和 IBC 电池。

1.4.1 PERC 电池

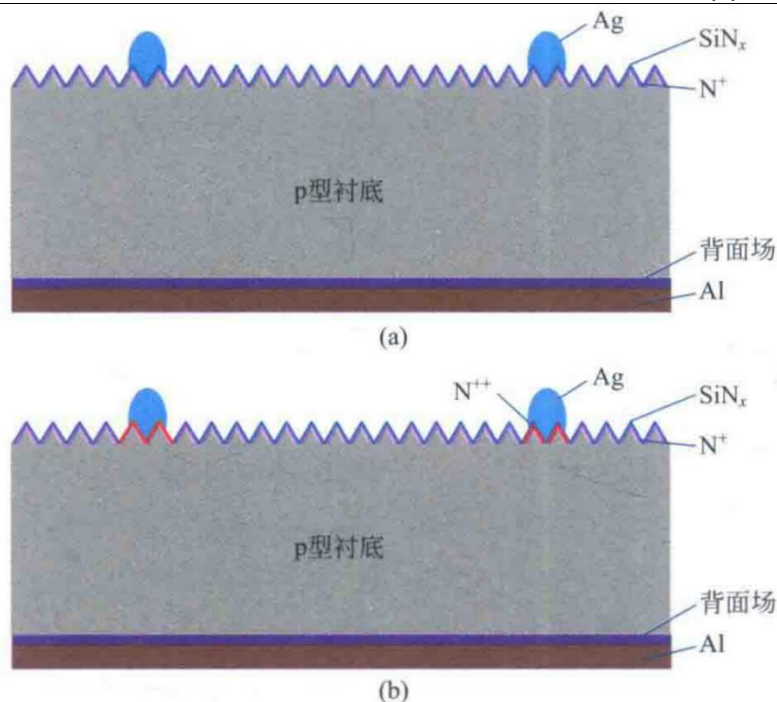
根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，对比其他高效电池技术，PERC 技术受到推崇主要是因为只需在普通全铝背场（Al-BSF）电池生产线基础上增加背面钝化膜沉积和介质层开槽设备。利用存量 BSF 产线设备，即可实现单晶硅和多晶硅电池转换效率大幅度提升。随着电池制造装备的国产化，PERC 电池产线投资大幅度降低。PERC 技术的优势还体现在与其他高效电池和组件技术的兼容性，以及进一步提升效率的潜力。通过与多主栅、选择性发射极和先进陷光等技术的叠加，PERC 电池效率可以进一步提升。而双面 PERC 电池在几乎不增加制造成本的情况下实现双面发电，提升发电量。

PERC 关键工艺：

1) 选择性发射极制备：常规晶体硅太阳能电池采用均匀高浓度掺杂的发射极。发射区掺杂浓度对太阳能电池转换效率的影响较大，较高浓度的掺杂可以改善硅片和电极之间的欧姆接

触，降低电池的串联电阻。但是在高浓度掺杂的情况下，电池的顶层掺杂浓度过高，造成俄歇复合严重，少子寿命也会大大降低，使得发射极区所吸收的短波长效率降低，降低短路电流。同时重掺杂表面浓度高，造成了表面复合提高，降低了开路电压，进而影响了电池的转换效率。为了解决均匀高浓度发射极对电池效率的限制，研究人员提出了选择性发射极（SE），即在金属栅线（电极）与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂深扩散，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂浅扩散。

图 10：常规太阳能电池结构图（a）和选择性发射极太阳能电池结构图（b）

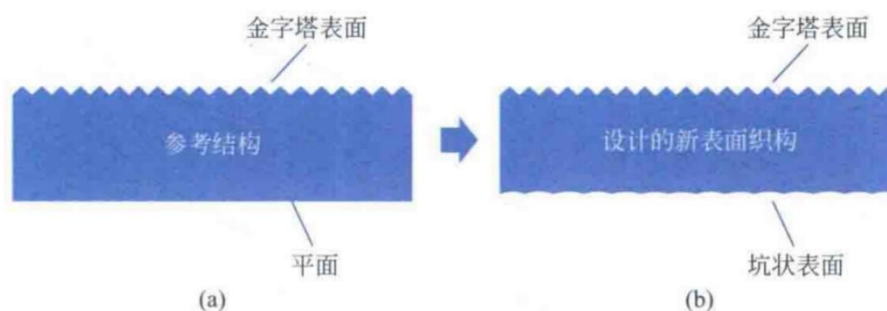


资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

2）背面钝化结构：PERC 电池在背面采用钝化膜与局域金属接触结构取代了常规全铝背场（Al-BSF）结构。这种背面钝化结构可以降低背表面的复合速率，提升背表面反射，从而提高了电池的开路电压和短路电流，提升电池效率。

电池正面增加光吸收可通过构建高效的陷光结构、优化减反膜系、降低栅线遮光来实现，目的是为了使更多的光能进入硅片内部，从而产生更多的电子-空穴对。而增加背面结构的构造主要是为了增加长波段光在电池内部的光学路径以实现光的二次利用。

图 11：背表面抛光面(a)和背表面凹坑面(b)结构示意图



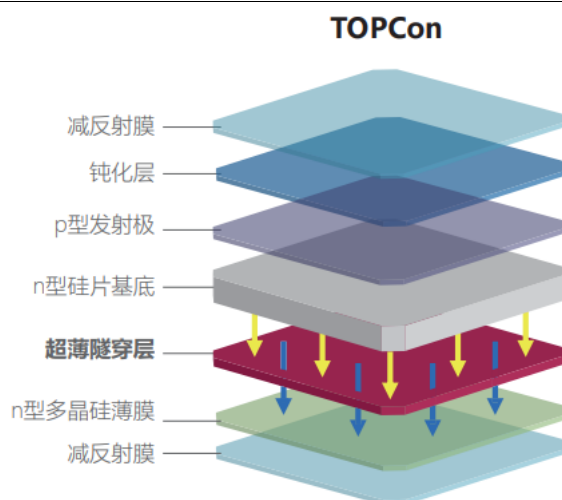
资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

PERC 也有其缺点：①背面的金属与半导体硅材料接触处仍然存在复合，对电池效率造成损失；②背面由金属电极与半导体硅基体材料直接接触。

1.4.2 TOPCon 电池

首先在电池背面制备一层 1~2nm 的隧穿氧化层，然后再沉积一层掺杂多晶硅，二者共同形成了钝化接触结构，为硅片的背面提供了良好的界面钝化。该钝化结构可以使电子隧穿进入掺杂多晶硅层，同时阻挡空穴，降低了金属接触复合电流，而进入掺杂多晶硅层的电子纵向传输被背面全接触金属收集，因而该结构具有载流子选择性。

图 12: TOPCon 电池结构



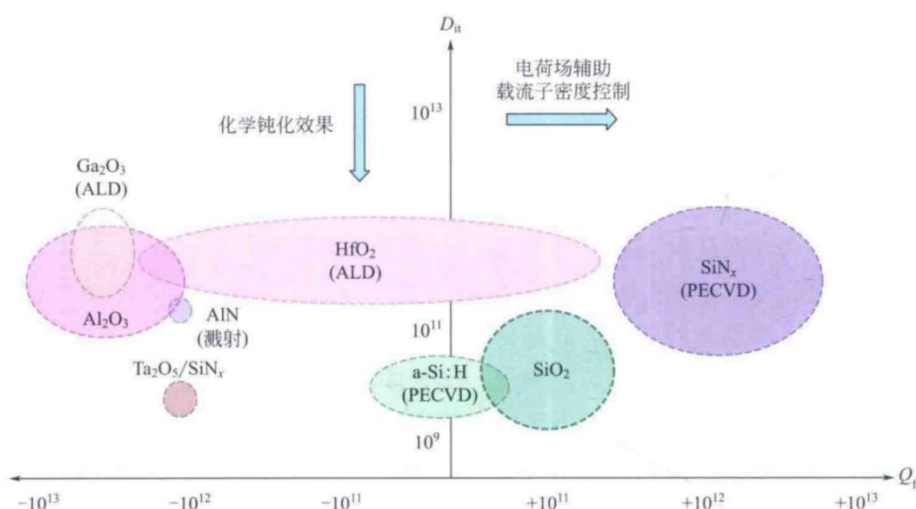
资料来源：晶科能源官网，信达证券研发中心

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，理想的全面背面钝化接触太阳能电池的优势包括以下几点：①背面全钝化，彻底避免了背面金属电极与硅基体材料的直接接触，大大降低了背面复合速率，提升了开路电压和短路电流；②背面载流子直接汇集到电极、背面全接触区域，避免局部接触而造成的横向传导电阻，降低串联电阻，改善填充因子；③背面钝化膜无损伤，不需要对背面钝化层进行开槽处理，避免损伤。

良好的钝化接触既要有好的界面钝化效果，又要能实现良好的电接触，为此隧穿接触层材料的选择极为苛刻：①隧穿接触层的材料本身需具有良好的界面悬挂键钝化效果，如果能有电荷注入，形成电荷场钝化效果的话会更佳，若在材料制备过程中还能有氢注入，也是非常有益的；②材料需要具有良好的隧穿效果，可以协助完成多数载流子在吸收层和掺杂层间的快速输运。

目前，在晶体硅电池上研究较多和产业化应用的隧穿层主要采用的是 SiO_2 材料。 SiO_2 薄膜作为隧穿接触层的材料，再通过沉积一层高浓度掺杂的多晶硅薄膜形成钝化接触结构。

图 13: 不同隧穿层材料对于界面化学钝化及电荷场钝化的特性

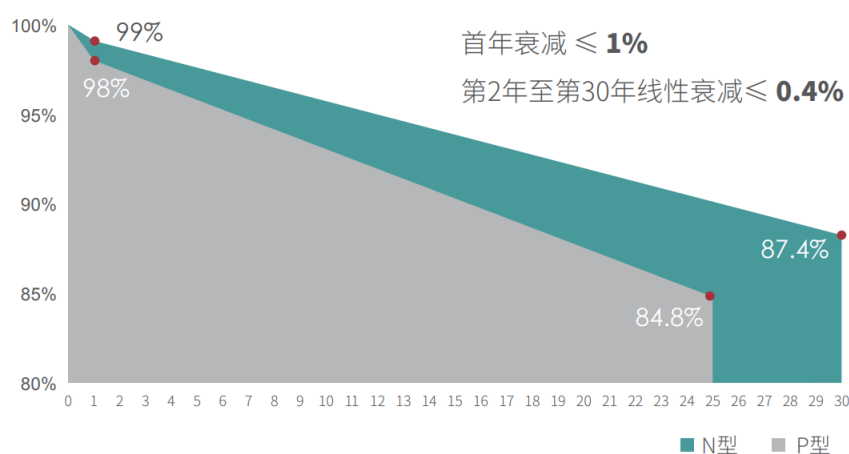


资料来源:《高效晶体硅太阳能电池技术》(丁健宁等), 信达证券研发中心

TOPCon 电池技术成熟, 已具备量产性价比优势。当前 TOPCon 电池在转换效率、双面率、温度系数、弱光表现、首年衰减率等方面优于 PERC, 从而可带来发电效率的提升及度电成本的下降。

- **TOPCon 电池具有更优秀的温度系数:** 根据晶科能源, P 型组件的温度系数为 $-0.35\%/^{\circ}\text{C}$, N 型 Topcon 组件优化温度系数至 $-0.30\%/^{\circ}\text{C}$, 在高温环境下发电能力更优秀。根据晶科能源, 相同的外部环境, 晶科 N 型组件相较 PERC 组件工作温度降低 1°C 以上, 热损更低。
- **TOPCon 衰减率更低:** 根据晶科能源, 相较于传统 PERC 组件, N 型组件功率质保可达 30 年, 首年衰减小于 1%, 保证 30 年后输出功率不低于原始输出功率的 87.40%, 而 PERC 组件 25 年后输出功率仅有原始功率的 84.8%。

图 14: TOPCon 电池衰减率更低



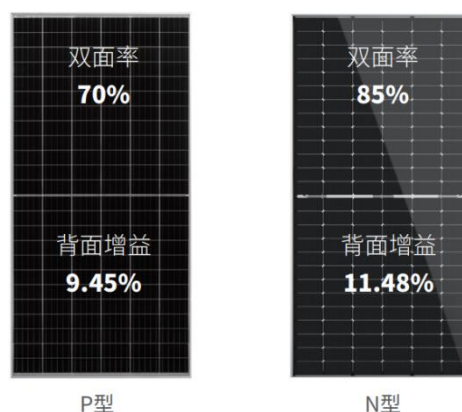
资料来源: 晶科能源官网, 信达证券研发中心

- **双面率提升:** 根据晶科能源, 相较于传统 PERC 组件 70% 的双面率, 晶科 N 型 TOPCon 组件优化双面率至 85%。根据理论公式计算, 在标准工况及平均地面反射率条件

请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 15

下，传统 PERC 组件因双面率带来的发电增益约为 9.45%，而 N 型组件背面增益可达到 11.48%。

图 15: N 型电池双面率提升，背面增益更高



资料来源：晶科能源官网，信达证券研发中心

根据晶科能源公众号公布的澳大利亚昆士兰州某 100MW 光伏发电项目数据显示，公司 N 型 TOPCon 组件较常规 P 型 PERC 组件的 25 年全生命周期总发电量提升 4.17%，度电成本 LCOE 下降约 3.68%。

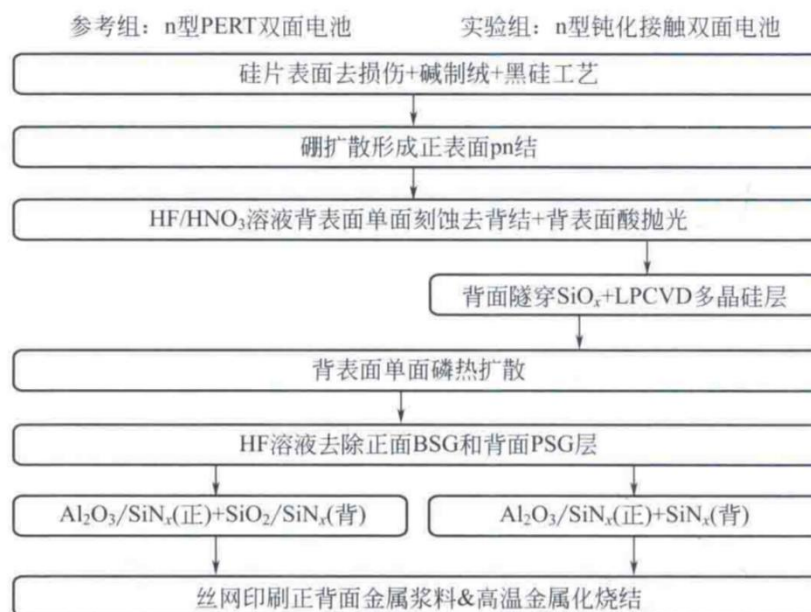
表 1: TOPCon 组件与 PERC 组件相比可显著降低度电成本

序号	182N-605W 方案	210P-650W 方案	差值	比例
组件功率(W)	605	650		
组件成本(\$/W)	0.25	0.25		
BOS 成本(\$/W)	0.4819	0.4860	-0.0041	-0.84%
土地占用量对比(ha)	114.85	123.56	-8.71	-7.05%
项目初始投资(\$/W)	0.7579	0.7610	-0.0031	-0.41%
发电量预测结果定量对比(MWh)	225174.37	216150.34	9024.03	+4.17%
度电成本(\$/kWh)	0.03745	0.03888	-0.00143	-3.68%

资料来源：晶科能源公众号，信达证券研发中心

关键制备过程：根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，n 型钝化接触的电池，首先生长一层电子选择性隧穿的氧化硅层，厚度在 1.2 ~ 1.6nm 左右，再生长多晶硅薄膜层，然后进行磷的重掺杂，最后再覆盖 SiNx 层进行背表面的光学减反以及氢原子注入。

图 16: n 型 PERT 双面电池（左）和 n 型钝化接触双面电池（右）的工艺流程

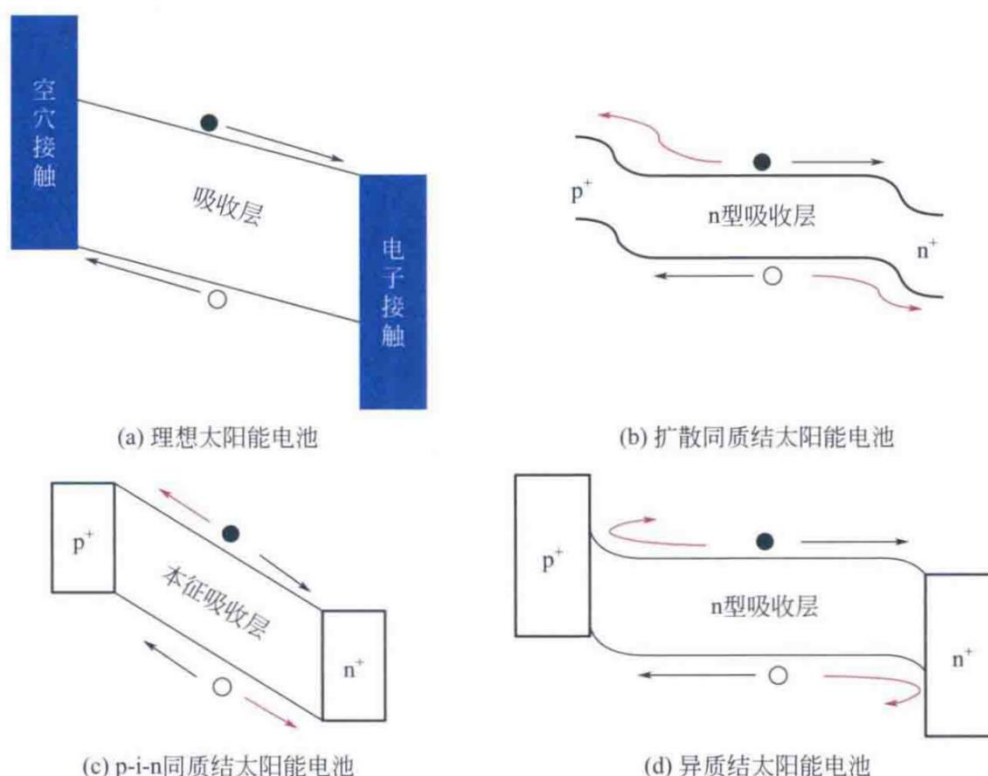


资料来源:《高效晶体硅太阳能电池技术》(丁健宁等), 信达证券研发中心

1.4.3 HJT 电池

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，在理想的 HJT 太阳能电池中,若光生载流子在吸收层中存在足够长的时间,可以扩散/漂移到收集它们的适当接触处,而不会通过重新复合导致载流子损失,而且载流子选择性接触产生不对称的势垒,可以收集多数载流子,阻挡少数载流子。

图 17: 能带结构与载流子输运方向示意图



资料来源:《高效晶体硅太阳能电池技术》(丁健宁等), 信达证券研发中心

HJT 太阳能电池技术一般涉及两种或更多种不同的材料。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，通常通过沉积薄膜来实现载流子的选择性,薄膜提供与吸收层费米能级不同的

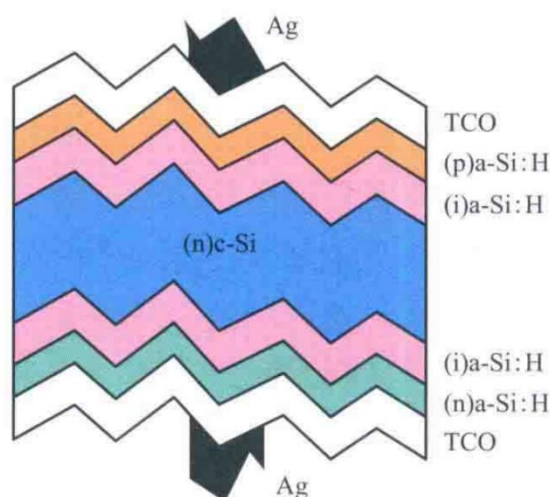
请阅读最后一页免责声明及信息披露 <http://www.cindasc.com> 17

功函数，因而在吸收层表面产生电势差，从而实现载流子收集，这种薄膜通常称为电子和空穴传输层（ETL 和 HTL）。在 HJT 太阳能电池中，接触还包含插入在 ETL 和 HTL 下方的非常薄的缓冲层，用于表面钝化。

由两种不同半导体材料组成的 pn 结称为异质结。根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，与同质结不同，异质结中两种半导体材料的禁带宽度、导电类型、介电常数、折射率和消光系数等电学和光学参数不同，因而为半导体器件的设计提供了更大的灵活性。由导电类型相反的两两种半导体材料形成的异质结称为反型异质结，而由导电类型相同的两种半导体材料形成的异质结称为同型异质结。

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，发射极在正面的 HJT 太阳能电池的结构：以 n 型单晶硅为衬底，在其正面依次沉积厚度为 5~10nm 的本征 a-Si:H 薄膜、p 型 a-Si:H 薄膜，从而形成 pn 异质结。在硅背面依次沉积厚度为 5~10nm 的本征 a-Si:H 薄膜、n 型 a-Si:H 薄膜形成背场。在掺杂 a-Si:H 薄膜两侧分别沉积透明导电薄膜(TCO)，最后通过丝网印刷在两侧的顶层形成金属电极，构成具有对称结构的 HJT 电池。

图 18: HJT 电池结构示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，HJT 电池具有高对称性、低温工艺、高开路电压、光照特性好、光照稳定性好和双面发电等优点：

- 1) **高对称性**：标准 HJT 电池是在单晶硅的两面分别沉积本征层、掺杂层、TCO 层和金属电极，这种对称结构可以减少工艺步骤和设备，便于产业化生产。
- 2) **低温工艺**：由于 HJT 电池是基于非晶硅薄膜的 pn 结，因而最高工艺温度约 200℃，不需要传统晶体硅电池通过热扩散（约 900℃）形成 pn 结，节约能源的同时也使硅片的热损伤和形变较小。
- 3) **高开路电压**：由于异质结和优异的表面钝化，HJT 电池的开路电压要比常规晶体硅高。
- 4) **温度特性好**：太阳能电池的性能数据通常是在 25℃ 的标准条件测量的，然而光伏组件的实际工作温度通常都会高于此温度，因此高温下的电池性能非常重要。由于 HJT 电池是带隙较大的 a-Si:H 与 c-Si 形成的异质结因而温度系数比晶体硅电池优异。

5) **光照稳定性好**：非晶硅薄膜的一大问题是由 Staebler-Wronski 效应导致的光致衰减很严重，而 HJT 电池没有此效应，而且用 n 型晶硅做衬底的 HJT 电池不存在 B-O 对导致的光致

衰减，因此光照稳定性很好。

6) 双面发电：标准 HJT 电池结构对称,正反面受光后都能发电,封装为双面组件后年发电量比单面组件多 20%。

关键工艺：

1) 非晶硅沉积：硅片经过湿化学处理后，下一道工序是非晶硅薄膜的沉积，这里包括本征非晶硅层和掺杂非晶硅层的沉积。沉积本征 a-Si:H 钝化层，通常通过等离子体增强化学气相沉积（PECVD）或热丝化学气相沉积（HWCVD）。

PECVD 技术是借助于辉光放电等离子体使含有薄膜的气态物质发生化学反应，从而实现薄膜材料生长的一种制备技术；热丝化学气相沉积（HWCVD）是利用高温热丝催化作用使 SiH₄ 分解从而制备硅薄膜。

表 2：PECVD 与 HWCVD 工艺对比

特征	PECVD	HWCVD
生长速率	慢	快
生长面积	大	小
生长均匀性	好	较差
薄膜质量	较好	更好
工艺稳定性	好	较差
工艺成熟度	成熟	发展阶段

资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

2) 透明导电膜沉积：HJT 太阳能电池与传统晶体硅电池相比，一个重要区别是发射极导电性差，只通过金属栅线从发射极收集电流是不够的，因此通常需要沉积导电透明氧化物（TCO）薄膜来输运电荷。TCO 可以实现两个目的：①用作减反射涂层（ARC）；②增加横向导电性。目前常用的沉积方法有溅射法（包括磁控溅射、离子束溅射等）和蒸发法（包括热蒸发、离子束蒸发等）。溅射法的工艺稳定性更好，制备薄膜的质量也较好。

锡掺杂 In₂O₃(ITO)通常用作双面设计中正面和背面 a-Si:H 层顶部的 TCO 层。因为 ITO 电阻率较低（10~4Q·cm），其带隙足够高约 3.8eV，不会吸收太阳光谱中的光。目前商业上沉积 TCO 薄膜的方法主要有两种：RPD（反应等离子体沉积）、PVD（物理化学气相沉积）。

异质结电池实现低成本量产的关键在于设备国产化、提高良率和产能以及降低硅片、低温银浆、TCO 靶材和清洗制绒化学品等的成本。

1.4.4 IBC 电池

IBC 电池的特点是电池正面无电极，正负电极金属栅线指状交叉排列于电池背面。由于不用考虑对电池光学方面的影响，设计时可以更加专注于电池电性能的提高，根据丁健宁等《高效晶体硅太阳能电池技术》，其常见结构特征如下：

1) 一般采用载流子寿命较高的晶硅片。IBC 电池前表面附近形成的光生载流子必须穿透整个电池，扩散到背表面的 pn 结才能形成有效的光电流，因此衬底材料中少数载流子的扩散长度要大于器件厚度，且电荷的表面复合速率要非常低，所以 IBC 电池通常需要采用载流子寿命较高的晶硅片，一般为 n 型单晶硅片；

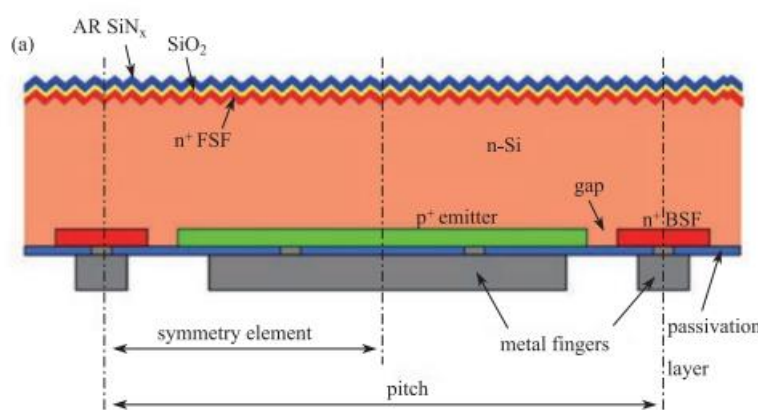
2) 电池栅线全都位于背面。IBC 电池的栅线都在背面，可以更加灵活地设计栅线，采用栅线宽度加宽或者高度增加的方式，降低串联电阻。

3) SiO_2 或 $\text{SiO}_x/\text{SiN}_x$ 叠层钝化减反膜与 n^+ 层结合。在高寿命 n 型硅片衬底的前表面采用 SiO_2 或 $\text{SiO}_x/\text{SiN}_x$ 叠层钝化减反膜与 n^+ 层结合，形成前表面场，并制备金字塔状绒面来增强光的吸收。

4) 背面为 P 区和 N 区的叉指状间隔排列。背面分别进行磷、硼局部扩散，形成指交叉排列的 p^+ 和 n^+ 扩散区，重掺杂形成的 p^+ 区和 n^+ 区可有效消除高聚光条件下的电压饱和效应，两个掺杂区中间一般还存在一个间隙，其中发射极用来收集空穴载流子，背表面场用来捕获电子；

5) 与钝化接触技术相结合。背面采用 SiO_2 、 AlO_2 、 SiN_x 等钝化层或叠层，并通过在钝化层上开金属接触孔，实现电极与发射区或基区的金属接触。

图 19: IBC 电池结构



资料来源：《叉指背接触硅太阳能电池》（张伟康等），信达证券研发中心

从电池结构上看，IBC 有以下几个优点：

- 1) **更高的短路电流密度：**pn 结、基底与发射区的接触电极以叉指形状全部处于电池的背面，正面没有金属电极遮挡，因此具有更高的短路电流密度；
- 2) **更高的开路电压：**正面不需要考虑电池的接触电阻问题，可以最优化地设计前表面场和表面钝化，提升电池的开路电压；
- 3) **提升填充因子：**正负电极全部在背面，可以采用较宽的金属栅线来降低串联电阻，从而提高填充因子。

IBC 电池能够获得较高的转换效率，但是工艺复杂，良率低，成本较高，如何改进设计和工艺，使其满足工业化量产的要求是 IBC 电池研究的重点。IBC 电池的工艺流程大致为：清洗、制绒、扩散（ n^+ ）、刻蚀光阻、刻蚀 p 扩散区、扩散（ p^+ ）、减反射镀膜、热氧化、丝网印刷电极、烧结、激光烧结。

图 20：离子注入技术制备 IBC 太阳能电池的工艺流程



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》（丁健宁等），信达证券研发中心

IBC 的关键工艺技术挑战有如下几点：

- 1) 前表面陷光和钝化要求较高：**为了保证光生载流子在流动到背面电极前不被复合，需要对前表面进行很好的钝化，降低表面的复合速率；
- 2) 电池背面叉指状间隔排列的 p 区和 n 区制备：**在电池背面制备出质量较好、呈叉指状间隔排列的 p 区和 n 区掺杂区，掺杂浓度和分布至关重要；
- 3) 背面栅线金属化设计：**IBC 电池的栅线都在背面，可以更加灵活地设计栅线，采用栅线宽度加宽或者高度增加的方式，降低串联电阻。金属接触区的复合通常都较大，所以需要降低栅线接触区域面积，降低复合，提升开路电压；
- 4) 工艺复杂：**从技术层面上来看，BC 电池制成流程复杂，技术难度大、对材料的要求高、成本难受控制，对硅片少子寿命要求高，未来还需要解决系列问题，包括制备流程长，成本与一致性等问题。

二、高效电池片降本增效优势明显

2.1 高效电池片对组件实际功率提升明显

假设相同尺寸且相同 CTM 条件下，高效组件温度系数较常规组件高 0.05%，双面率高 10%。根据我们模型测算，23.5%转换效率的电池与普通电池相比，组件实际功率增益达到 4.23%，若使用 25.5%转换效率的电池，组件实际功率增益可达 13.10%。

表 3：新技术功率增益测算

基准	高效组件					
电池片效率	23%	23.50%	24%	24.50%	25%	25.50%
尺寸 (mm)	182	182	182	182	182	182
电池片面积 (平方厘米)	331.13	331.13	331.13	331.13	331.13	331.13
单片功率 (W)	7.62	7.78	7.95	8.11	8.28	8.44
版型 (片)	72	72	72	72	72	72
标准功率 (W)	537.38	549.07	560.75	572.43	584.11	595.80
功率增益 (W)		11.68	23.36	35.05	46.73	58.41
功率增益 (%)		2.2%	4.3%	6.5%	8.7%	10.9%
温度系数	-0.35%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%	-0.30%
运行温度 (°C)	45	45	45	45	45	45
输出功率 (W)	499.77	516.12	527.10	538.09	549.07	560.05
双面率	75%	85%	85%	85%	85%	85%
反射率	10%	10%	10%	10%	10%	10%
综合输出功率 (W)	537.25	559.99	571.91	583.82	595.74	607.65
实际功率增益(W)		22.74	34.66	46.57	58.49	70.40
实际功率增益(%)		4.23%	6.45%	8.67%	10.89%	13.10%

资料来源：CPIA，晶科能源，信达证券研发中心测算

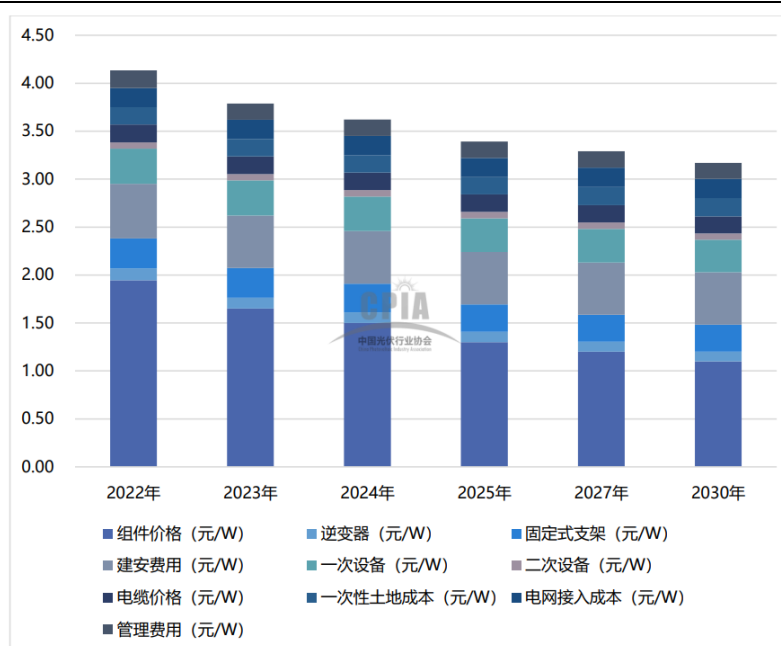
2.2 高效率组件可摊薄电站成本

实际功率的提高可降低电站的 BOS 成本。根据 CPIA，2022 年，我国地面光伏系统的初始全投资成本为 4.13 元/W 左右，在光伏电站 BOS 成本中，与面积相关的成本主要有一次性土地成本、支架、建安费用、管理费用，其中 2022 年光伏电站 BOS 成本大约为 2.20 元，其中面积相关的占 BOS 成本比大约为 57%，约为 1.26 元。

关键假设：

- 1) 高效组件尺寸和常规组件一致；
- 2) 高效组件温度系数相比常规组件高 0.05%；
- 3) 高效组件双面率比常规组件高 10%。

通过敏感性分析，测算可得，当电池片效率提升 0.5%，BOS 成本可降低约 0.02-0.03 元/W。

图 21：2022-2030 年光伏电站 BOS 成本趋势


资料来源：CPIA，信达证券研发中心

表 4：新技术 BOS 节省测算

	基准			高效组件		
电池片效率	23%	23.50%	24%	24.50%	25%	25.50%
实际功率增益(%)		4.23%	6.45%	8.67%	10.89%	13.10%
节省 BOS 成本 (元/W)		0.05	0.08	0.11	0.14	0.16

资料来源：CPIA，信达证券研发中心测算

高效组件拥有更好的衰减系数，在首年衰减和次年衰减上均具备优势，增益光伏电站全生命周期发电量，降低光伏电池全生命周期度电成本。假设常规组件首年衰减为 2%，次年及以后为 0.45%。通过敏感性分析，当首年衰减每降低 0.2%，次年衰减不变时，地面光伏电站 LCOE 将约降低 0.0005 元；当首年衰减不变，次年衰减每降低 0.05%，地面光伏电站 LCOE 将降低 0.0012 元；当首年衰减降低 0.2%，同时次年衰减降低 0.05% 时，地面光伏电站 LCOE 将降低 0.0017 元。

表 5：LCOE 衰减敏感性分析

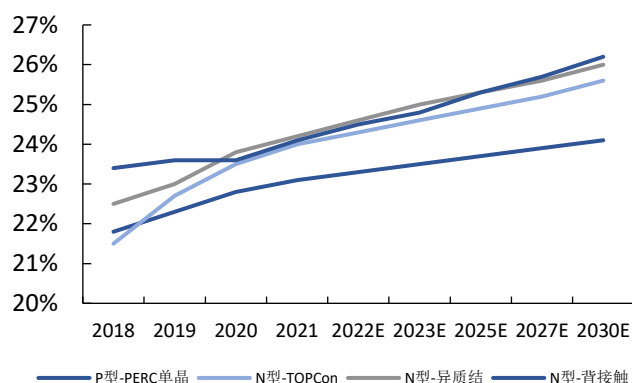
		首年衰减							
		2.00%	1.80%	1.60%	1.40%	1.20%	1.00%	0.80%	0.60%
次年衰减	0.45%	(0.0000)	(0.0005)	(0.0011)	(0.0016)	(0.0021)	(0.0026)	(0.0031)	(0.0037)
	0.40%	(0.0012)	(0.0017)	(0.0022)	(0.0027)	(0.0033)	(0.0038)	(0.0043)	(0.0048)
	0.35%	(0.0023)	(0.0029)	(0.0034)	(0.0039)	(0.0044)	(0.0049)	(0.0054)	(0.0059)
	0.30%	(0.0035)	(0.0040)	(0.0045)	(0.0051)	(0.0056)	(0.0061)	(0.0066)	(0.0071)
	0.25%	(0.0047)	(0.0052)	(0.0057)	(0.0062)	(0.0067)	(0.0072)	(0.0077)	(0.0082)
	0.20%	(0.0058)	(0.0063)	(0.0068)	(0.0074)	(0.0079)	(0.0084)	(0.0089)	(0.0094)
	0.15%	(0.0070)	(0.0075)	(0.0080)	(0.0085)	(0.0090)	(0.0095)	(0.0100)	(0.0105)
	0.10%	(0.0081)	(0.0086)	(0.0091)	(0.0096)	(0.0102)	(0.0107)	(0.0112)	(0.0117)

资料来源：隆基绿能，信达证券研发中心测算

三、N 型电池技术产业化如火如荼

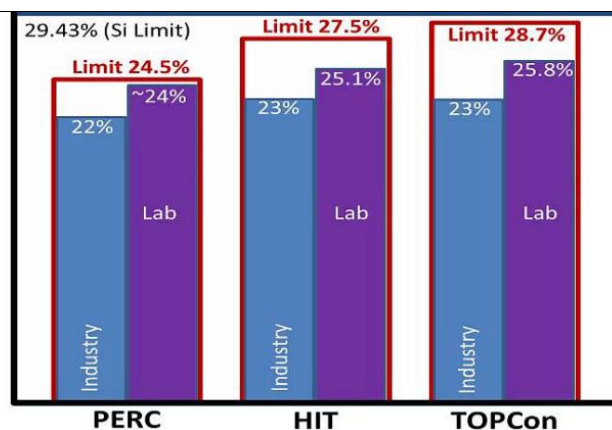
N 型电池技术主流时代即将到来。目前 N 型高效晶硅电池技术在效率提升和成本下降均处在快速进步阶段，在电池技术正面临新的技术拐点的背景下，包括 TOPCON、HJT、IBC 等在内的 N 型电池具备转换效率高、低衰减和更低 LCOE 潜力等优势，根据 ISFH（2019）报告分析，以 Topcon 和 HJT 为代表的 N 型电池理论极限效率远高于 PERC 电池，我们认为随着时间的推移和技术的逐渐成熟，N 型电池有望实现更高的量产电池效率，成为新一代主流电池技术。

图 22: N 型电池高转换效率优势明显



资料来源: CPIA, 信达证券研发中心

图 23: N 型电池理论极限效率远高于 PERC 电池



资料来源: 光伏头条, 不同技术路线的硅基电池理论极限效率 (ISFH, 2019), 信达证券研发中心

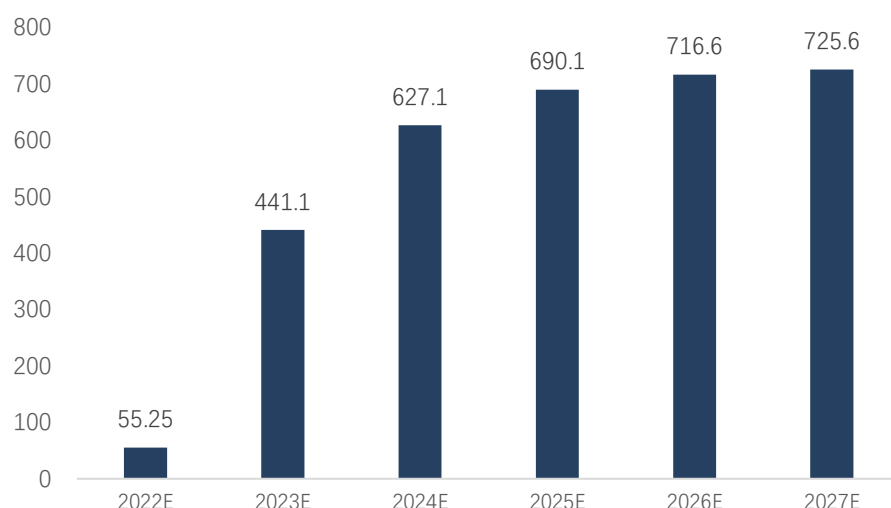
3.1 TOPCon 产业化进程: 量产成本具备性价比, 产能扩张迅速

TOPCon 目前量产效率已达 25.7%，仍有向上突破空间。根据通威股份公司公告，公司作为行业内领先企业，其 TOPCon 电池量产效率已达 25.7%，良率超过 98%，根据 ISFH（2019）报告分析，TOPCon 电池极限理论效率可达 28.7%，转换效率仍有提升空间。

TOPCon 提效路径:

- **正、背面增加 SE 技术:** SE 工艺也称为选择性发射极技术，选择性发射极的应用可以降低 Ag-Al 和 P++ 层的接触电阻，提高电池的开路电压和填充因子。
- **细化主栅，减少电池表面遮挡:** 将主栅细化可减少电池表面遮光面积，降低遮光损失，提高电池的转换效率。
- **双面 POLY 钝化:** 当前 TOPCON 电池片主要采用背面隧穿氧化层钝化，后续有望加入正面隧穿氧化钝化，进一步提升电池片转换效率。

量产成本具备性价比，TOPCon 电池产能扩张迅速。TOPCon 电池目前设备成本约为 1.8 亿/GW，与其他新技术路线相比投资成本更低，量产更具性价比。更具性价比的优势吸引行业加码 TOPCon 产能扩张，根据集邦新能源网，现阶段 N 型产能的扩张中，TOPCon 扩产产能较多，预计 2023 年 TOPCon 电池片名义产能约 441GW，行业中龙头公司也持续加大 TOPCon 产能建设规模。

图 24: 2022-2027 年 TOPCon 电池产能发展趋势 (GW)


资料来源: 集邦新能源网微信公众号, 信达证券研发中心

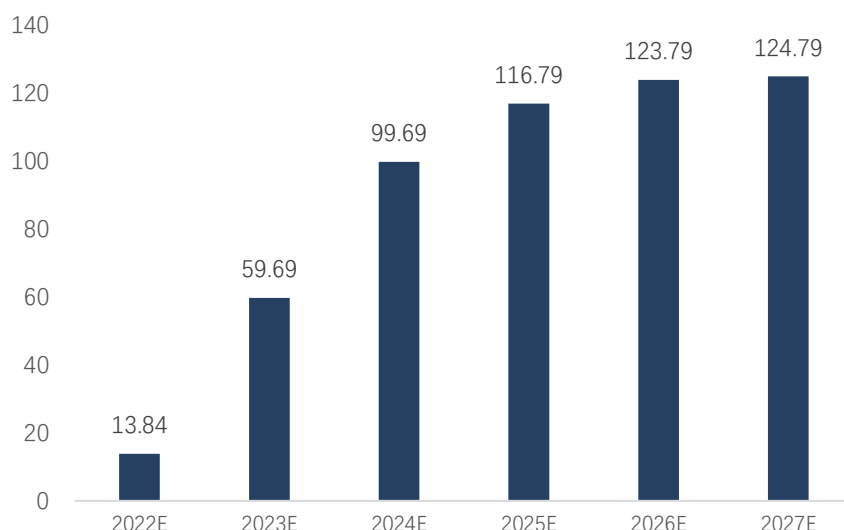
表 6: 主要公司 TOPCon 电池产能规划情况

公司名称	已规划产能 (GW)
隆基绿能	30
晶科能源	52.5
天合光能	40
晶澳科技	57
阿特斯	30
东方日升	21
正泰新能	34
一道新能	30
尚德电力	12
通威太阳能	25
弘元绿能	24
捷泰科技	31

资料来源: 北极星太阳能光伏网, 弘元绿能、晶澳科技公司公告, 信达证券研发中心

3.2 HJT 产业化进程: 降本路线清晰, 产业化进展可期

HJT 领先企业量产效率达到 26%, 电池降本与行业量产加速可期。根据东方日升公司公告, 公司作为行业内领先企业, 目前公司 HJT 电池量产效率已达 26%, 优质产线良率可达 98.5%, 根据 ISFH (2019) 报告分析, HJT 理论极限效率可达 27.5%, 后续仍有进步空间。目前 HJT 量产规模相对较小, 但未来空间与增速值得期待, 根据集邦新能源网, 2023 年 HJT 电池行业名义产能预计可达 60GW 左右, 2024 年预计可达 100GW 左右。

图 25：2022-2027 年 TOPCon 电池产能发展趋势（GW）


资料来源：集邦新能源网微信公众号，信达证券研发中心

表 7：主要公司 HJT 电池产能规划情况

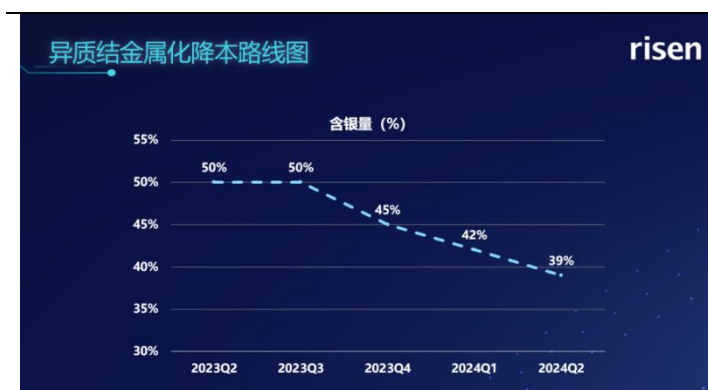
公司名称	规划产能（GW）
华晟新能源	35.8
东方日升	29
金刚光伏	6
海源复材	15
三五互联	8
宝馨科技	8
爱康集团	6
润阳科技	5

资料来源：光伏头条微信公众号，金刚光伏公司公告，国际能源网，信达证券研发中心

多渠道降低成本，未来成本下降路径清晰。我们认为目前 HJT 设备投资成本相对于 TOPCon 更高，但 HJT 产业降本路径愈发清晰，我们预计未来成本有望持续下降，性价比优势有望逐渐凸显。目前，HJT 的降本途径有：

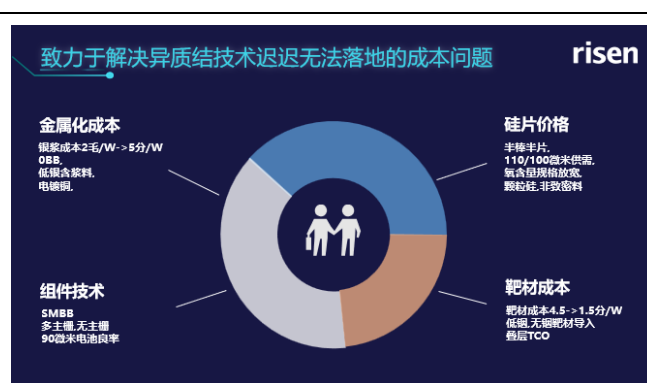
- **降低金属化成本：**通过 0BB 技术、低银浆料、电镀铜等多种手段，降低 HJT 浆料成本，根据东方日升预计，HJT 银浆成本有望从之前 0.2 元/W 降至 0.05 元/W；
- **薄片化降低硅成本：**HJT 电池薄片化持续进展，目前硅片厚度有望降至 110 微米以下，且 HJT 电池对于硅材料容忍度高，可提升边皮料利用进一步降低成本；
- **靶材成本降低：**通过导入低钨、无钨工艺降低靶材成本，未来靶材成本有望从 0.045 元/W 降至 0.015 元/W。

图 26: HJT 金属化降本路线图



资料来源: SOLARZOOM, 东方日升, 信达证券研发中心

图 27: HJT 电池降本路径



资料来源: SOLARZOOM, 东方日升, 信达证券研发中心

3.3 BC 电池产业化进程: 产品性能优异, 技术发展方兴未艾

隆基聚焦 BC 电池路线, 带动 BC 电池产业化进步。2023 年 9 月 5 日, 隆基绿能举行半年报业绩说明会, 会上董事长钟宝申在交流互动环节中表示, 隆基认为未来 5-6 年 BC 电池将会是晶硅电池的绝对主流, 包括单面与双面电池。

隆基 HPBC 已投入量产, 年底产能达到 30GW。2023H1, 公司 HPBC 产线投入量产, 预计 2023 年年底公司 HPBC 产能可达 30GW, 目前产线良率达到 95%, 到 2023 年年底预计月产出达到 2.2GW, 并预计 2024 年 HPBC 产品出货可达 30GW。

爱旭股份 ABC 产品性能优异, 应用场景全布局。爱旭股份 ABC 电池采用全新的背接触电池结构设计, 2023H1 公司珠海首期 6.5GW ABC 电池项目实现投产, 平均量产转化效率达到 26.5%, 并采取无银化大幅降低生产成本, ABC 组件量产效率达到 24%, 产品性能行业领先。公司预计至 2023 年末, 爱旭将完成珠海首期 10GW 年产能电池及配套组件项目的建设, 并力争实现义乌 15GW 年产能电池及配套组件项目的建成投产, 建成后公司将形成年产能 25GW 的 ABC 电池及组件的制造能力。同时, 针对 BC 电池的特点与使用场景, 公司根据户用、工商业分布式场景和地面电站场景分别构建了差异化的销售服务体系。

图 28: 隆基 Hi-MO X6 产品



资料来源: 隆基绿能官网, 信达证券研发中心

图 29: 爱旭 ABC 系列产品



资料来源: 爱旭数字能源微信公众号, 爱旭股份微信公众号, 信达证券研发中心

BC 电池发展方兴未艾，建议关注相关公司技术进展。BC 电池仅处于技术发展期，相关公司仍在积极探索和改进 BC 电池技术，隆基在 HPBC 技术上进一步迭代 HPDC 电池，根据隆基官网介绍，HPDC（High Performance and Hybrid Passivated Dual-Junction Cell）是复合钝化双结电池的简称。该电池采用高低结，通过优化膜层设计与沉积工艺实现了优异的全域钝化效果并降低了对光的吸收；正面引入局部的低电阻接触层进一步提升电池效率；此外在还优化了正背面减反射/低复合膜层与金属化方案。升级版的 HPDC 电池具有更优的转换效率、功率温度系数以及可靠性。

四、投资建议

23 年是新型电池片技术快速突破的一年，未来 2-3 年电池片环节技术进步仍将是光伏行业向更低成本发展重要一环，建议关注 N 型技术领先、投产产能与节奏位居行业前列的企业，推荐晶科能源、天合光能、晶澳科技、通威股份；建议关注隆基绿能、爱旭股份。另一方面，建议关注受益于新型电池技术，具备量利向上逻辑的核心辅材及设备企业，推荐聚和材料、捷佳伟创，建议关注宇邦新材、迈为股份等。

五、风险因素

光伏需求不及预期：光伏需求若不及预期，将影响光伏电池的销售情况，或将导致公司产品销售不及预期；

新技术发展不及预期：N 型电池技术发展不及预期将影响到 N 型电池的量产性价比以及产线投产进度；

产能过剩风险：若电池产能投产过多导致产能过剩，将影响电池销售利润和相关企业经营业绩。

研究团队简介

武浩，新能源与电力设备行业首席分析师，中央财经大学金融硕士，曾任东兴证券基金业务部研究员，2020年加入信达证券研发中心，负责电力设备新能源行业研究。

黄楷，电力设备新能源行业分析师，墨尔本大学工学硕士，伦敦卡斯商学院金融硕士，3年行业研究经验，2022年加入信达证券研发中心，负责光伏行业研究。

曾一赞，新能源与电力设备行业研究助理，悉尼大学经济分析硕士，中山大学金融学学士，2022年加入信达证券研发中心，负责电力设备及储能行业研究。

陈玟洁，团队成员，上海财经大学会计硕士，2022年加入信达证券研发中心，负责锂电材料行业研究。

孙然，新能源与电力设备行业研究助理，山东大学金融硕士，2022年加入信达证券研发中心，负责新能源汽车行业研究。

李宇霆，团队成员，澳洲国立大学经济学硕士，上海财经大学学士，2023年加入信达证券研发中心，负责光伏行业研究。

王煊林，电力设备新能源研究助理，复旦大学金融硕士，1年行业研究经验，2023年加入信达证券研究所，负责风电行业研究。

分析师声明

负责本报告全部或部分内容的每一位分析师在此申明，本人具有证券投资咨询执业资格，并在中国证券业协会注册登记为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告；本报告所表述的所有观点准确反映了分析师本人的研究观点；本人薪酬的任何组成部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体分析意见或观点直接或间接相关。

免责声明

信达证券股份有限公司（以下简称“信达证券”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本报告由信达证券制作并发布。

本报告是针对与信达证券签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。信达证券不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。客户应当认识到有关本报告的电话、短信、邮件提示仅为研究观点的简要沟通，对本报告的参考使用须以本报告的完整版本为准。

本报告是基于信达证券认为可靠的已公开信息编制，但信达证券不保证所载信息的准确性和完整性。本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告最初出具日的观点和判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会出现不同程度的波动，涉及证券或投资标的的历史表现不应作为日后表现的保证。在不同时期，或因使用不同假设和标准，采用不同观点和分析方法，致使信达证券发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告，对此信达证券可不发出特别通知。

在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。本报告所载的资料、工具、意见及推测仅供参考，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人做出邀请。

在法律允许的情况下，信达证券或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能会为这些公司正在提供或争取提供投资银行业务服务。

本报告版权仅为信达证券所有。未经信达证券书面同意，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发布、转发或引用本报告的任何部分。若信达证券以外的机构向其客户发放本报告，则由该机构独自为此发送行为负责，信达证券对此等行为不承担任何责任。本报告同时不构成信达证券向发送本报告的机构之客户提供的投资建议。

如未经信达证券授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。信达证券将保留随时追究其法律责任的权利。

评级说明

投资建议的比较标准	股票投资评级	行业投资评级
本报告采用的基准指数：沪深 300 指数（以下简称基准）； 时间段：报告发布之日起 6 个月内。	买入 ：股价相对强于基准 20% 以上；	看好 ：行业指数超越基准；
	增持 ：股价相对强于基准 5%~20%；	中性 ：行业指数与基准基本持平；
	持有 ：股价相对基准波动在±5%之间；	看淡 ：行业指数弱于基准。
	卖出 ：股价相对弱于基准 5% 以下。	

风险提示

证券市场是一个风险无时不在的市场。投资者在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。建议投资者应当充分深入地理解证券市场蕴含的各项风险并谨慎行事。

本报告中所述证券不一定能在所有的国家和地区向所有类型的投资者销售，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专业顾问的意见。在任何情况下，信达证券不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。