

2022年中国光伏行业系列研究—— TOPCon光伏电池研究报告

Brief Report_2022 China TOPCon Photovoltaic Cell Industry
Research

2022年の中国太陽光発電産業シリーズ研究 - 太陽光発電ホルダー研究レ
ポート

报告标签：光伏、太阳能、TOPCon、光伏电池

主笔人：王浩

报告提供的任何内容（包括但不限于数据、文字、图表、图像等）均系头豹研究院独有的高度机密性文件（在报告中另行标明出处者除外）。未经头豹研究院事先书面许可，任何人不得以任何方式擅自复制、再造、传播、出版、引用、改编、汇编本报告内容，若有违反上述约定的行为发生，头豹研究院保留采取法律措施、追究相关人员责任的权利。头豹研究院开展的所有商业活动均使用“头豹研究院”或“头豹”的商号、商标，头豹研究院无任何前述名称之外的其他分支机构，也未授权或聘用其他任何第三方代表头豹研究院开展商业活动。

摘要

TOPCon (Tunnel Oxide Passivating Contacts) 即隧穿氧化层接触电池，是一种基于选择性载流子原理的隧穿氧化层钝化接触的太阳能电池技术。其电池结构以N型硅片衬底，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共同形成钝化接触结构。2021年，PERC技术市场占有率约为91.2%，是当下转换效率与生产成本之间性价比最高的电池技术，随着N型TOPCon电池技术的快速发展，2022年部分头部企业已进行TOPCon电池产线的搭建，且规划中的产能已超过200GW，预计2023年将成为TOPCon电池放量发展元年。2021至2022年多晶硅料价格高企，致使光伏产业链各环节皆承受较高的成本压力。未来随着硅料价格的下调，光伏产业的核心供需矛盾回归到高效能电池环节，电池相关企业销售净利率有望上升。值得注意的是，目前TOPCon产能扩产规划较高，众多光伏产业链外企业皆纷纷有所布局，典型代表为皇氏集团、钧达股份，故长远来看TOPCon产能可能进入过剩状态

■ TOPCon光伏电池行业简介

随着N型TOPCon电池技术的快速发展，2022年部分头部企业已进行TOPCon电池产线的搭建，且规划中的产能已超过200GW，预计2023年将成为TOPCon电池放量发展元年。目前TOPCon距离其理论极限效率依然有较大距离，预计未来随着SE技术的添加、硅片质量的提升、陷光缺陷优化、栅线优化等技术的运用，TOPCon将继续逐步提升量产转化效率。N型TOPCon电池具有低温度系数、低光衰减系数、高双面率、弱光效应好、提效路径清晰等系列优势，是未来晶硅光伏电池发展最主要的技术路径之一。TOPCon与现有PERC产线具有较高的兼容性，从生产流程来看，通过新增多晶硅薄膜沉积等设备即可与现有PERC产线兼容。

■ TOPCon光伏电池行业产业链

2021年N型电池市占率仅3%，预计2023年TOPCon将爆发式增长。硅片是光伏电池生产最主要的原材料之一，约占光伏电池成本的62%，其品质的高低对于电池转换效率起直接影响，成本的高低将直接影响下游组件的竞争力。银浆是TOPCon光伏电池成本结构中最主要的非硅成本，占电池中成本约16%。TOPCon光伏电池与PERC电池皆使用高温银浆，目前主要通过多主栅技术以及减少细栅宽度来降低正银耗量。TOPCon光伏电池的主要生产设备有清洗制绒设备、扩散炉、多晶硅薄膜沉积设备、丝网印刷设备等，其中，多晶硅薄膜沉积设备是最核心的生产设备，目前LPCVD是主流路线。

目录

◆ 中国TOPCon光伏电池行业综述	8
• 定义及简介	9
• 光电转换效率	10
• 参数特征对比	11
• 生产流程	12
• 技术路径对比	13
• 市场规模	14
◆ 中国TOPCon光伏电池行业产业链分析	15
• 产业链图谱	16
• 产业链上游分析	17
• 产业链中游分析	20
• 产业链下游分析	23
◆ 方法论	24
◆ 法律声明	25

Contents

◆ Overview of China TOPCon Photovoltaic Cell Industry	8
• Definition and introduction of TOPCon Photovoltaic Cell	9
• Photovoltaic Conversion Efficiency	10
• Comparison of Parameter	11
• Production Process	12
• Comparison between Technical Route	13
• Market Size	14
◆ Value Chain of TOPCon Photovoltaic Cell Industry	15
• Value Chain Map	16
• Upstream Analysis	17
• Midstream Analysis	20
• Downstream Analysis	23
◆ Methodology	24
◆ Legal Statement	25

图表目录

◆ 图表1：光伏电池技术路线演化	10
◆ 图表2：TOPCon光伏电池与PERC平均量产效率及效率极限	11
◆ 图表3：TOPCon光伏电池效率提升路径	11
◆ 图表4：不同多晶硅沉积技术的TOPCon电池实验室效率记录	12
◆ 图表5：TOPCon与PERC参数对比	12
◆ 图表6：TOPCon光伏电池生产流程	12
◆ 图表7：LPCVD、PECVD与PVD对比	13
◆ 图表8：TOPCon光伏电池市场规模	15
◆ 图表9：TOPCon光伏电池产业链图谱	16
◆ 图表10：全球光伏电池产能前十厂商产能及产量，2021年	16
◆ 图表11：行业主流硅片厚度，2016-2022年	16
◆ 图表12：中国硅片产量及同比增速，2017-2022E	16
◆ 图表13：TOPCon光伏电池成本结构	16
◆ 图表14：TOPCon光伏电池银浆消耗及占比，2021年	17
◆ 图表15：TOPCon光伏电池正面银浆消耗量，2019-2025E	17
◆ 图表16：高效TOPCon电池的金属化挑战与机遇	17
◆ 图表17：TOPCon光伏电池产线建设（以中来股份为例）	17
◆ 图表18：TOPCon产线建设情况对比	18
◆ 图表19：TOPCon光伏电池企业竞争格局	18
◆ 图表20：部分光伏电池企业光伏电池业务毛利率	18
◆ 图表21：部分光伏电池企业光伏产业链布局情况对比分析	19
◆ 图表22：组件功率提升路线	19

图表目录

◆ 图表23： TOPCon组件封装胶膜选型情形及 POE粒子需求	-----	19
-----------------------------------	-------	----

名词解释

- ◆ **EPE**: EPE三层胶膜是由EVA和POE两种材料, 采用共挤的方法制作而成 ($EPE=EVA+POE+EVA$)。EPE胶膜与单层的EVA和POE胶膜相比既达到了性能, 又节约了成本
- ◆ **POE**: POE胶膜是双玻组件主要用的封装胶膜, 相比传统EVA胶膜, POE胶膜的优势在于低水汽透过率和高体积电阻率, 更能够帮助双面PERC电池对抗PID衰减, 保证了组件在高温高湿环境下运行的安全性及长久的耐老化性, 使组件能够长效使用
- ◆ **EVA**: 太阳能光伏组件封装胶膜, 是一种热固性有粘性的胶膜, 用于放在夹胶玻璃中间
- ◆ **PERC**: Passivated Emitter and Rear Contact, 钝化发射极及背接触电池, 一种高效晶硅太阳能电池结构, 针对全铝背场太阳能电池在背表面的载流子复合较高的缺点, 使用 Al_2O_3 膜或 SiN_x 在背表面构成化层, 并开膜使得铝背场与硅衬底实现有效的接触
- ◆ **LPCVD**: 低压力化学气相沉积法, 广泛用于氧化硅、氮化物、多晶硅沉积, 过程在管炉中执行, 要求相当高的温度
- ◆ **PECVD**: PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 是指 等离子体增强化学的气相沉积法。是生产人造钻石的一种工艺, 这种方法有很多优点, 比如颜色等级高, 成膜质量好等。
- ◆ **PVD**: 物理气相沉积(Physical Vapor Deposition, PVD)技术是指在真空条件下采用物理方法将材料源(固体或液体)表面气化成气态原子或分子, 或部分电离成离子, 并通过低压气体(或等离子体)过程, 在基体表面沉积具有某种特殊功能的薄膜的技术, 物理气相沉积是主要的表面处理技术之一。

Chapter 1

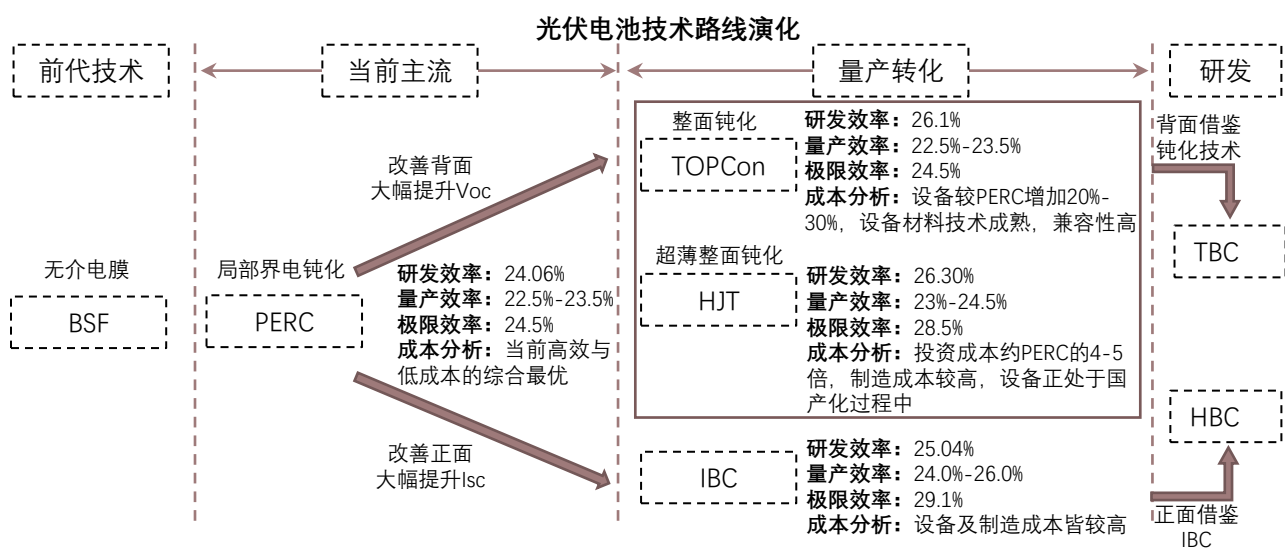
行业综述

- ❑ TOPCon (Tunnel Oxide Passivating Contacts) 即隧穿氧化层接触电池，是一种基于选择性载流子原理的隧穿氧化层钝化接触的太阳能电池技术。其电池结构以N型硅片衬底，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共同形成钝化接触结构
- ❑ 随着N型TOPCon电池技术的快速发展，2022年部分头部企业已进行TOPCon电池产线的搭建，且规划中的产能已超过200GW，预计2023年将成为TOPCon电池放量发展元年
- ❑ N型TOPCon电池具有低温度系数、低光衰减系数、高双面率、弱光效应好、提效路径清晰等系列优势，是未来晶硅光伏电池发展最主要的技术路径之一
- ❑ 目前TOPCon距离其理论极限效率依然有较大距离，预计未来随着SE技术的添加、硅片质量的提升、陷光缺陷优化、栅线优化等技术的运用，TOPCon将继续逐步提升量产转化效率

中国TOPCon光伏电池行业综述——定义及简介

随着N型TOPCon电池技术的快速发展，2022年部分头部企业已进行TOPCon电池产线的搭建，且规划中的产能已超过200GW，预计2023年将成为TOPCon电池放量发展元年

TOPCon光伏电池的定义及简介



- ❑ 光伏电池技术的演化为多种技术共同作用的结果，主要遵循更高转换效率与更低度电成本的技术发展路径，如单晶替代多晶、PERC替代BSF，其中，钝化技术是电池技术演化路径中推动电池技术迭代的重要一环。晶硅光伏电池中，金属-半导体接触区域内存在着较为严重的载流子复合现象，是制约晶硅电池转换效率的主要问题。钝化技术能够显著降低接触区域的载流子复合速率以提升电池转换效率。从早期AI-BSF的无介电膜，到PERC的局部钝化，再到TOPCon、HJT的整面钝化，钝化技术的进步极大促进的光伏电池转换效率的提升，亦是未来晶硅光伏电池技术演化的关键
- ❑ 2018年之前，BSF电池技术占据市场大部分份额，2018年BSF市占率为60%，2019年PERC技术由于具有更加优异的光电转换效率，新建产线皆采用PERC技术，且部分电池企业对已有电池产线进行改建，使得PERC技术迅速反超BSF。2021年，PERC技术市场占有率约为91.2%，是当下转换效率与生产成本之间性价比最高的电池技术，随着N型TOPCon电池技术的快速发展，2022年部分头部企业已进行TOPCon电池产线的搭建，且规划中的产能已超过200GW，预计2023年将成为TOPCon电池放量发展元年

TOPCon光伏电池结构与定义

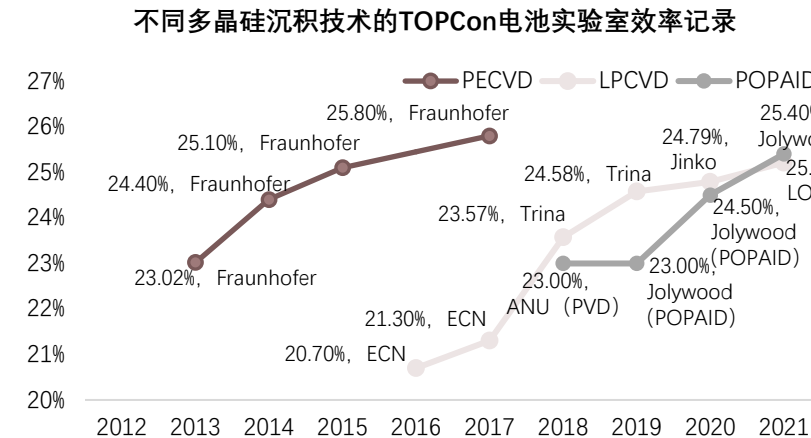
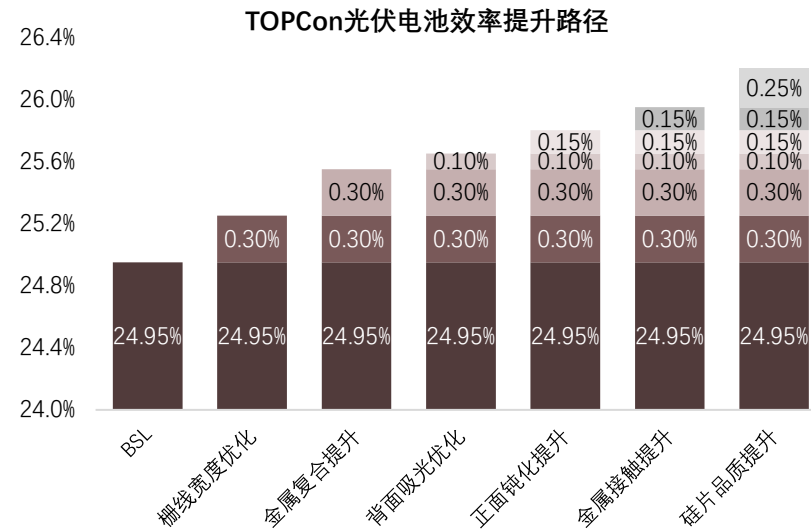
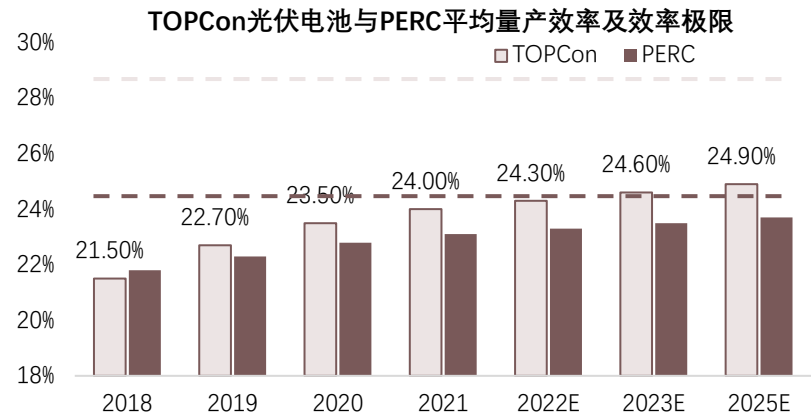
TOPCon (Tunnel Oxide Passivating Contacts) 即隧穿氧化层接触电池，是一种基于选择性载流子原理的隧穿氧化层钝化接触的太阳能电池技术。其电池结构以N型硅片衬底，在电池背面制备一层1-2nm的隧穿氧化层，然后再沉积一层掺杂多晶硅共同形成钝化接触结构。超薄的氧化硅层可以使多子电子隧穿进入多晶硅层，同时阻止少子空穴复合。此外，钝化接触结构促使硅片表面能带产生弯曲，产生钝化效果，电子隧穿概率大幅增加，接触电阻下降，电池开路电压及短路电流得到提升，电池转化效率得到了大幅提升

来源：隆基股份，全球光伏，中金，光伏测试网，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池行业综述——电池技术特征

目前TOPCon距离其理论极限效率依然有较大距离，预计未来随着SE技术的添加、硅片质量的提升、陷光缺陷优化、栅线优化等技术的运用，TOPCon将继续逐步提升量产转化效率

TOPCon光伏电池光电转换效率



来源：Continuously Evolving Tech, CPIA, 中来股份, 晶科能源公告, 头豹研究院编辑整理

2018年至2022年，TOPCon光伏电池技术的量产平均效率不断提升，于2019年超过PERC技术，至2022年，已经接近PERC电池技术24.5%的效率理论极限，部分厂商量产效率已超过PERC极限效率。目前TOPCon距离其理论极限效率依然有较大距离，预计未来随着SE技术的添加、硅片质量的提升、陷光缺陷优化、栅线优化等技术的运用，TOPCon将继续逐步提升量产转化效率

根据晶科能源的TOPCon光伏电池技术提效路径，未来TOPCon转换效率自25%提升至26%以上的主要方式有栅线宽度优化、金属复合提升、背面吸光优化、钝化优化、金属接触优化及硅片品质提升，预计将分别在基准效率（24.95%）上提升0.30%、0.30%、0.10%、0.15%、0.15%及0.25%，细栅宽度优化及金属复合提升是最主要的两条效率提升路径

截至2021年，TOPCon实验室最高效率为25.80%，由Fraunhofer通过PECVD技术所得。2022年10月，晶科能源自主研发的182N型高效单晶硅高效电池（TOPCon）经中国计量科学院认证转换效率达26.1%，是目前TOPCon最高转换效率记录，标志着晶科能源的TOPCon提效技术路径研究走在了市场的前沿

中国TOPCon光伏电池行业综述——参数特征对比

N型TOPCon电池具有低温度系数、低光衰减系数、高双面率、弱光效应好、提效路径清晰等系列优势，是未来晶硅光伏电池发展最主要的技术路径之一

TOPCon与PERC各类参数对比

■ PERC光伏电池是目前在市场占据主导地位，但由于PERC电池自身P型材料的限制，其转换效率已经接近理论极限，后续提效空间难有突破。N型TOPCon电池具有低温度系数、低光衰减系数、高双面率、弱光效应好、提效路径清晰等系列优势，是未来晶硅光伏电池发展最主要的技术路径之一，且TOPCon光伏电池与PERC产线兼容性强，各主要企业技术能力及产线搭建规模已接近市场化，预计将进入高速发展阶段

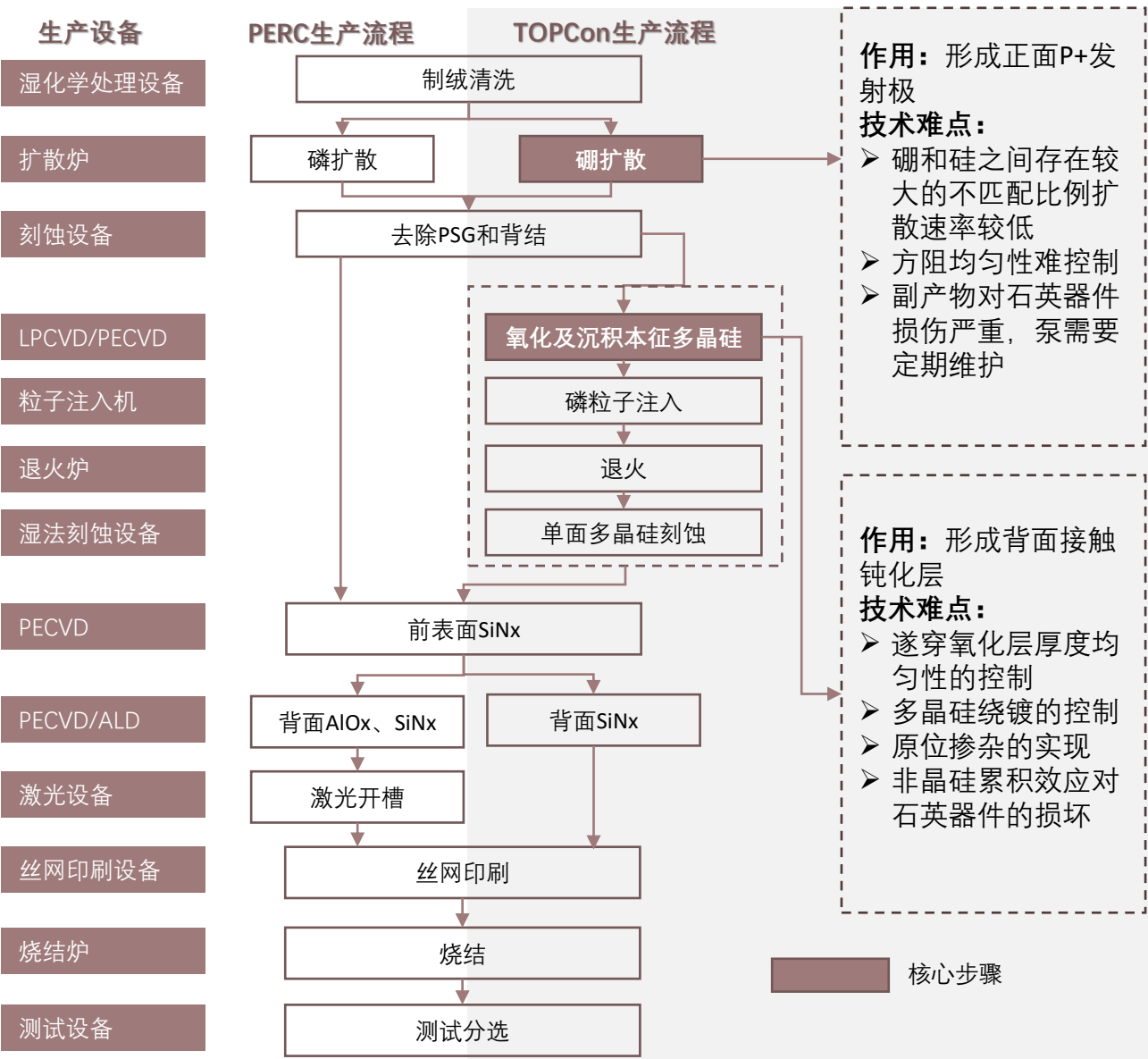
	对比项目	PERC	TOPCon
效率及工艺	实验室效率	24.06%	26.1%
	量产效率	22.5%-23.5%	23.5%-24.5%
	极限效率	24.5%	28.7%
生产情况	技术成熟度	非常成熟	成熟，预计2023年市场化
	技术难度	中等	相对较高
	现有产线兼容性	-	兼容PERC，可从PERT升级
	双面率	约70%	80%+
	良品率	97%-98%	头部企业与PERC相当
	银浆耗量（mg/片）	约95.4	约140
	硅片厚度（μm）	约170	约165
	硅片少子寿命	>50μs	>600μs
	硅片电阻率	0.4-1.1Ω/cm	0.3-2.1Ω/cm
	主要工序数量	9-12	12-14
市场情况	2021年市场份额	91.2%	约3%
成本	设备投资（亿元/GW）	1.5	2-2.5
	电池成本（元/W）	0.94	1.07
	非硅成本（元/W）	0.18-0.22	0.3
衰减	LID、PID、LETID衰减	存在LID、PID、LETID衰减	LID、PID、LETID衰减为零
	首年衰减	2%-5%	1.5%
	十年后剩余	80%	90%
产业化	提效路径	接近极限，提效路径不清晰	硼掺杂、多晶硅沉积等
	目前问题	提效困难	背面收光较差
	代表性企业	通威股份、爱旭股份、隆基绿能等	晶科能源、晶澳科技、中来股份等

来源：润阳股份招股书，聆达股份定增说明书，帝科股份定增可行性分析、CPIA，《太阳能杂志》，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池行业综述——生产流程

TOPCon与现有PERC产线具有较高的兼容性，从生产流程来看，通过新增多晶硅薄膜沉积等设备即可与现有PERC产线兼容

TOPCon光伏电池生产流程及技术路径



■ TOPCon与现有PERC产线具有较高的兼容性，从生产流程来看，通过新增多晶硅薄膜沉积等设备即可与现有PERC产线兼容，故现有主流PERC产线通过新增设备即可升级为TOPCon产线，但通过PERC产线升级的TOPCon产线其效率低于新设TOPCon产线。反之，TOPCon产线亦可减少设备而切换为PERC产线

■ 从具体工艺角度，TOPCon采用的N型硅片需要硼扩散设备，背面的SiO2遂穿层及掺杂多晶硅层需要在LPCVD中以原位热氧与原位掺杂的方式进行沉积，故LPCVD与湿法刻蚀设备亦是需要在PERC产线基础上新增的设备

来源：聆达股份定增说明书，Continuously Evolving Tech，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池行业综述——技术路径对比

薄膜沉积设备是TOPCon生产的核心，根据薄膜沉积设备的不同，TOPCon的生产主要存在三种技术路径，即LPCVD、PECVD与PVD。当前主流的生产工艺为LPCVD

TOPCon三种技术路径对比

■ TOPCon相较于PERC主要增添了硼扩散设备与薄膜沉积设备，其中，薄膜沉积设备是TOPCon生产的核心，根据薄膜沉积设备的不同，TOPCon的生产主要存在三种技术路径，即LPCVD、PECVD与PVD。当前主流的生产工艺为LPCVD，部分新进入TOPCon领域企业由于其生产工艺更为成熟可控而倾向于使用LPCVD，如钧达股份、横店东磁；PECVD技术路线目前尚未有规模化产出，技术路径有待验证，但其较短的工艺时间、维护时间、较低的维护成本与低绕镀问题等优势使得其在未来可能具有较强竞争力

	LPCVD	PECVD	PVD
工作原理	将一种或数种气态物质，在较低压力下，用热能激活，使其发生热分解或化学反应，沉积在衬底表面形成所需薄膜	借助微波或射频等使含有薄膜组成原子的气体，在局部形成等离子体，等离子体在基片上沉积出所需薄膜	在真空条件下用物理的方法（真空溅射镀膜），使材料沉积在被镀工件上
成膜速率	5-8nm/min (intrinsic) 1-3nm/min (in-situ doping)	>10nm/min (in-situ doping)	>10nm/min (in-situ doping)
设备投资	低	低	高
掺杂方式	二次掺杂磷扩散/离子注入结合退火	原位掺杂	原位掺杂
隧穿氧化层生长方式	原位/热氧化	PEALD、O2 plasm、N2O plasma	连续O2 plasm、N2PO plasma
薄膜绕镀	严重	小	无
产品良率	90%-95%	未有GW级别量产数据	97%（中来）
工艺时间	本征多晶硅沉积（>120min）	掺杂非晶硅沉积（20-40min） 晶化退火（30min）	-
技术成熟度	已存在44GW车间 研发储备充足，技术路线明确	已有厂家选择16GW待规模量产	6GW量产
运行陈本（石英件维护）	石英寿命>6个月/清洗周期15天；	石墨舟清洗周期30-40run	保养周期30天，保养时间2天； 更换靶材3天
设备需求	扩散炉or离子注入机/退火炉， 刻蚀机	晶化处理需退火炉，取决于技术方案的配套设备	隧穿氧化层需PECVD制备，晶化处理需退火炉
优势	工艺成熟，控制简易 厚度均匀性好，致密度高	轻微绕镀，冷壁成膜速率快	无绕镀，冷壁成膜速率快
劣势	成膜速率慢、绕镀较为严重、 需要高温、石英器件沉积严重	厚度均匀性差、纯度低、气泡 问题、膜层致密度不高	设备成本较高、靶材用量大、 方阻均匀性偏差
设备代表厂商	拉普拉斯、SEMCO、 Tempress、普乐新能源、捷佳 伟创、北方华创等	金辰股份、捷佳伟创、梅耶博 格、微导纳米等	江苏杰太
应用厂商	横店东磁、钧达股份、聆达股 份等	皇氏集团、晶科能源、隆基绿 能、晶澳科技等	-

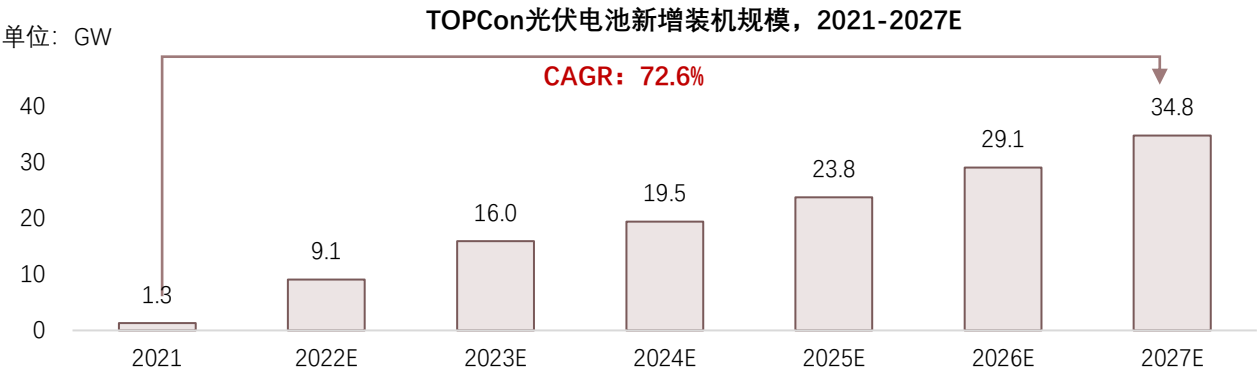
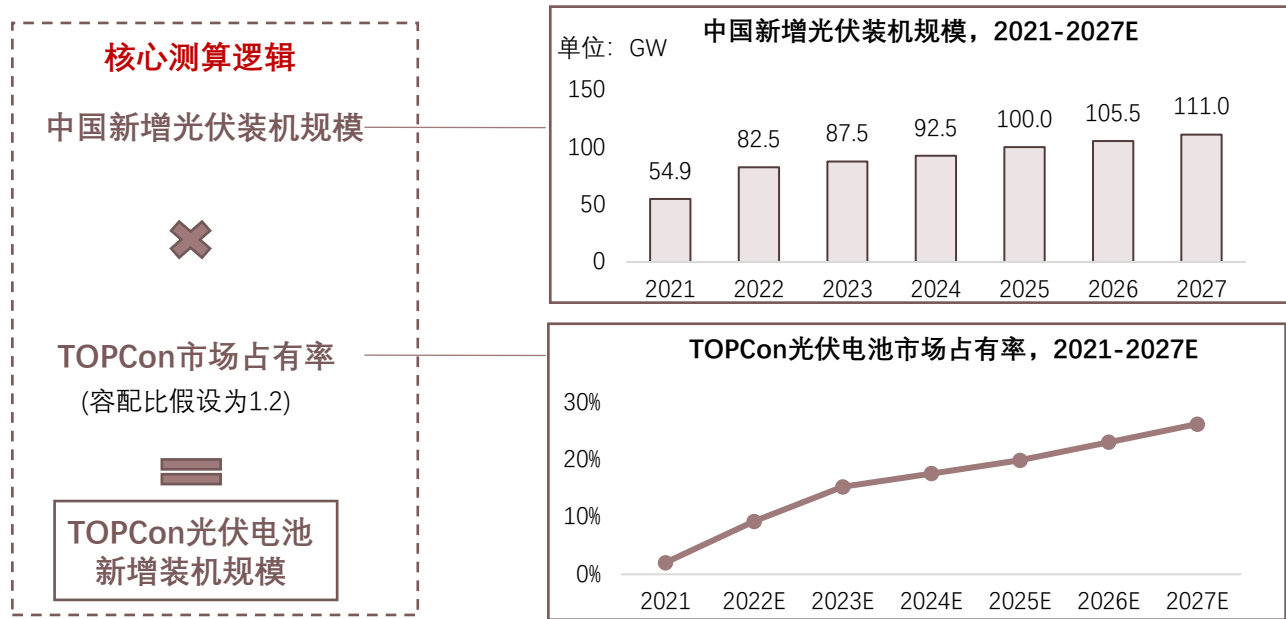
来源：拉普拉斯，PV InfoLink，普乐新能源，头豹研究院编辑整理



中国TOPCon光伏电池行业综述——市场规模

TOPCon光伏电池装机规模主要受下游光伏装机容量增长而驱动，其相较于PERC具有更优异的转换效率及性能优势，相较于HJT则具有成本优势，预计2027年装机量将达277.8GW

TOPCon光伏电池市场规模



- TOPCon光伏电池装机主要受下游光伏装机容量增长而驱动，2021年，中国新增光伏装机**54.9GW**，光伏累计装机达**306.0GW**。据习近平主席于第七十五届联合国大会一般性辩论上宣布，中国将于2030年实现碳达峰目标，至2030年，中国非化石能源占一次能源消费比重将达**25%**左右。光伏作为最重要的清洁能源之一，预计2027年中国光伏累计装机将增长至**885.0GW**，复合年化增长率达**19.4%**。
- 目前PERC型光伏电池是最主要的光伏电池技术，2021年其市场占比达**91.2%**，但因其材料限制，已难以突破效率瓶颈。TOPCon光伏电池技术相较于PERC具有更高的转换效率、更清晰的提效路径、更低温度系数与光衰减系数、更优异的弱光响应，具有显著竞争优势。相较于HJT等其他光伏电池技术，TOPCon具有更低的成本、与PERC产线更优异的兼容性等优势，预计会成为未来数年主流的光伏电池技术路线。至2027年，预计TOPCon光伏电池新增装机规模将达**34.8GW**，2021至2027复合年化增长率达**72.6%**

来源：国家能源局，CPIA，中来股份定增说明书，头豹研究院编辑整理

Chapter 2

产业链分析

- ❑ TOPCon光伏电池产业链上游主要为硅片、银浆与电池生产设备；中游主要是电池生产及销售企业，下游主要为光伏组件；2021年N型电池市占率仅3%，预计2023年TOPCon将爆发式增长
- ❑ 硅片是光伏电池生产最主要的原材料之一，约占光伏电池成本的62%，其品质的高低对于电池转换效率起直接影响，成本的高低将直接影响下游组件的竞争力
- ❑ 银浆是TOPCon光伏电池成本结构中最主要的非硅成本，占电池中成本约16%。TOPCon光伏电池与PERC电池皆使用高温银浆，目前主要通过多主栅技术以及减少细栅宽度来降低正银耗量
- ❑ TOPCon光伏电池的主要生产设备有清洗制绒设备、扩散炉、多晶硅薄膜沉积设备、丝网印刷设备等，其中，多晶硅薄膜沉积设备是最核心的生产设备，目前LPCVD是主流路线
- ❑ TOPCon产线建设中其设备购置与安装成本占比最高，其次为工程建设费用；目前TOPCon产线投资内部收益率较高，未来预计随着众多企业的涌入，先发企业将采取降价以维护市场份额

中国TOPCon光伏电池行业产业链图谱

TOPCon光伏电池产业链上游主要为硅片、银浆与电池生产设备；中游主要是电池生产及销售企业，下游主要为光伏组件；预计2023年TOPCon光伏电池将呈爆发式增长

TOPCon光伏电池行业产业链图谱

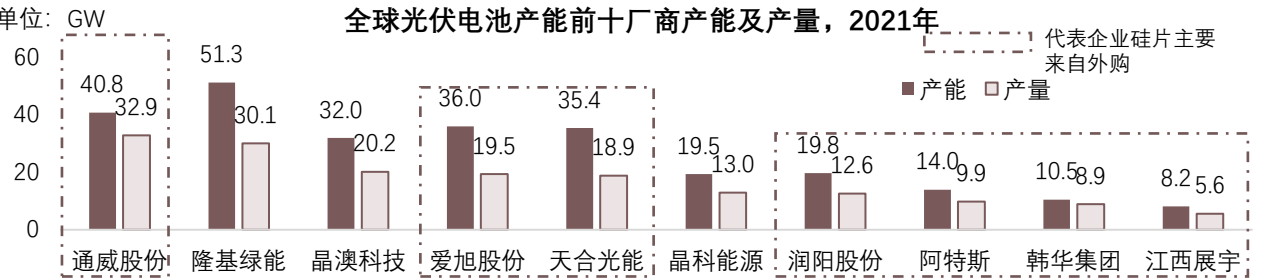


来源：PV InfoLink，晶科能源投资者关系活动记录表，CPIA，晶科能源产品白皮书，各企业公告，头豹研究院编辑整理

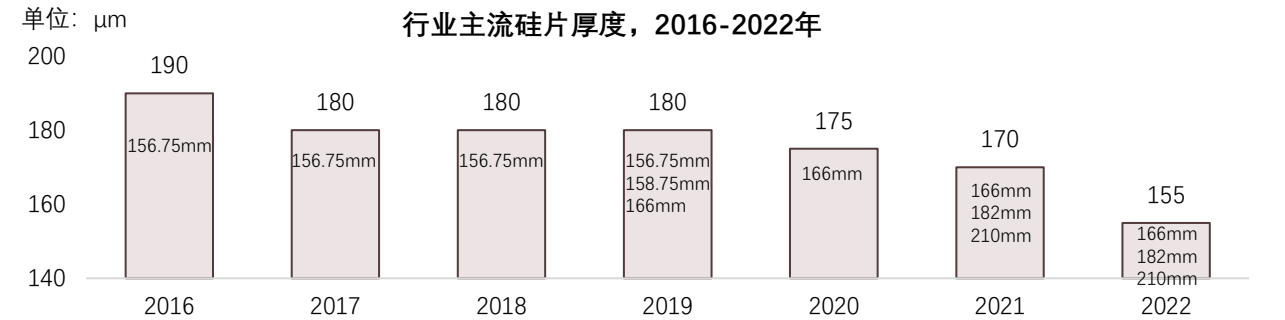
中国TOPCon光伏电池产业链上游——原材料分析（1/2）

硅片是光伏电池生产最主要的原材料之一，约占光伏电池成本的62%，其品质的高低对于电池转换效率起直接影响，成本的高低将直接影响下游组件的竞争力

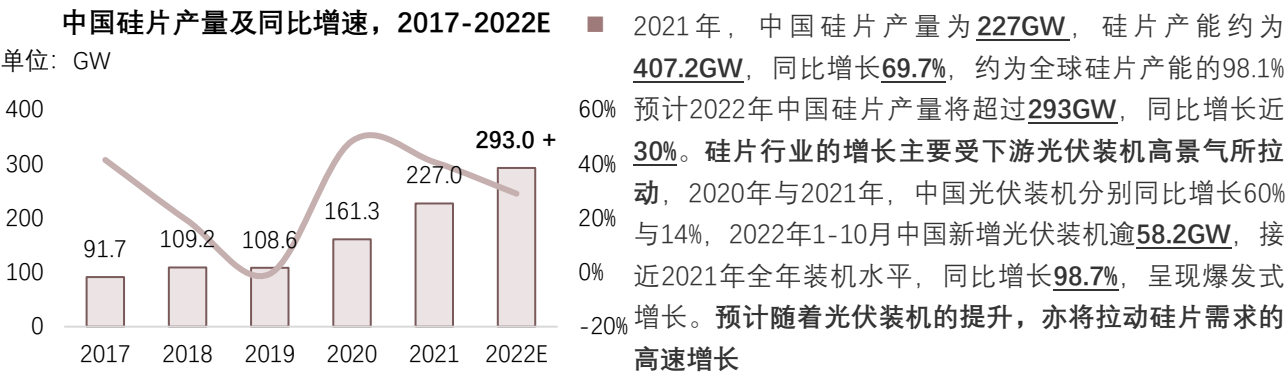
TOPCon光伏电池原材料分析——硅片



- 硅片是光伏电池生产最主要的原材料之一，约占光伏电池成本的62%，其品质的高低对于电池转换效率起直接影响，成本的高低将直接影响下游组件的竞争力。2021年，P型单晶份额占比约为90.4%，N型单晶占比约为4.1%，但随着P型PERC效率接近理论极限，未来N型电池有望凭借高双面率、低温度系数、无光衰等优势对P型电池进行取代，从而推动N型硅片成为未来的市场主流
- 部分光伏电池企业出于供应链稳定以及垂直一体化企业战略考虑，亦会自主生产硅片用于供给电池生产，如隆基绿能、晶澳科技、晶科能源



- 主流硅片厚度在2017至2019年间保持180μm，此后随着硅料价格的上升、对于更薄硅片需求上升，推动硅片轻薄化。2021至2022年，硅料价格涨幅逾200%，光伏产业链降本需求迫切，轻薄化的硅片更具有竞争优势，主流硅片厚度陡降，自170μm降至155μm。硅片激进减薄的过程中，组件可靠性将成为企业关注重点，在组件设计过程中，需进行充分优化、平衡以及测试验证

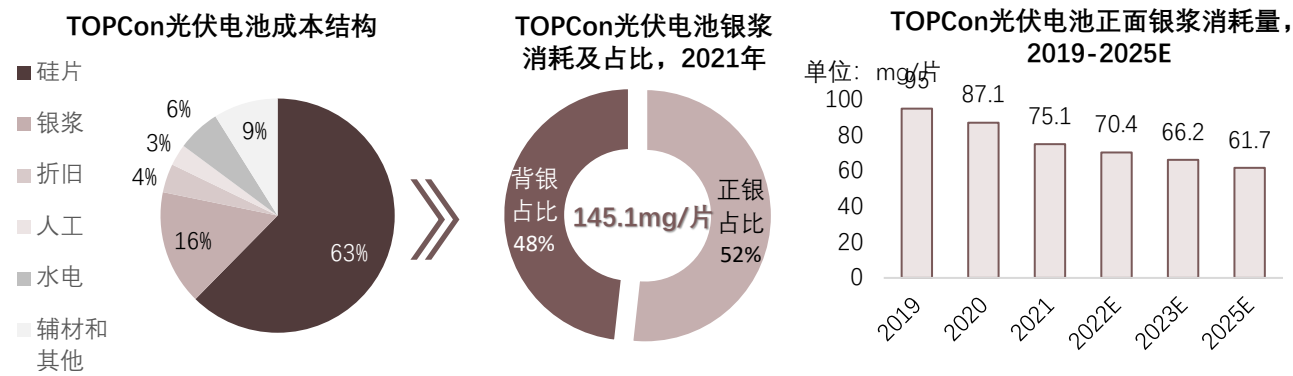


来源：CPIA，美科股份招股书，隆基绿能，PV InfoLink，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池产业链上游——原材料分析（2/2）

银浆是TOPCon光伏电池成本结构中最主要的非硅成本，占电池中成本约16%。TOPCon光伏电池与PERC电池皆使用高温银浆，目前主要通过多主栅技术以及减少细栅宽度来降低正银耗量

TOPCon光伏电池原材料分析——银浆



- 银浆是TOPCon光伏电池成本结构中最主要的非硅成本，占电池中成本约16%，仅次于硅片。TOPCon光伏电池与PERC电池相同，皆使用高温银浆，目前主要通过多主栅技术以及减少细栅宽度来降低正面银浆耗量
- 2021年，TOPCon光伏电池银浆耗量约为145.1mg，其中，正面银（铝）浆占52%，平均耗量为75.1mg，同比下降13.8%，背面银浆耗量约为70mg/片，同比下降约10%。部分头部电池企业银浆耗量能够达到较低水平，据中来股份公告，其2022年银浆耗量为130mg/片，且预计后续可以降到100mg/片，在其TOPCon3.0技术达产后预期非硅成本将做到与PERC电池持平。预计随着SMBB等技术的发展，TOPCon光伏电池的银浆耗量亦将呈现逐步下降的趋势，根据CPIA预测，至2025年，TOPCon光伏电池正面银浆耗量相较于2021年将下降约17.8%，达到61.7mg/片
- SMBB技术：SMBB技术通过降低主栅PAD点大小的方式，使得焊带与细栅直接汇联，进而使得主栅宽度进一步降低；SMBB技术与高精度焊接技术同时搭配使用，可以使组件可靠性增强及降低胶膜克重

高效TOPCon电池的金属化挑战与机遇

正面银铝浆

- 利用最新的细线印刷有机系统以实现提效降本
- 利用新一代无机系统以实现：
 - 降低J0,metal及维持pc≤1.5mohm.cm²
 - 匹配低J0,emitter硼扩散发射极（高方阻、SE），降低副栅体电阻率
 - 匹配优化的正面钝化膜

背面银浆

- 改善有机系统以确保良好的印刷性、增强栅线附着力和低湿重表现
- 优化玻璃设计以实现：
 - 减少Poly-Si层中的银微晶
 - 适配更薄的PolySi层，实现更宽的烧结窗口
 - 匹配不同的背面绒面设计

来源：中来股份投资者关系活动记录表，CPIA，帝科股份，晶澳太阳能，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池产业链上游——电池生产设备

TOPCon光伏电池的主要生产设备有清洗制绒设备、扩散炉、多晶硅薄膜沉积设备、丝网印刷设备等，其中，多晶硅薄膜沉积设备是最核心的生产设备，目前LPCVD是主流路线

TOPCon光伏电池核心生产设备

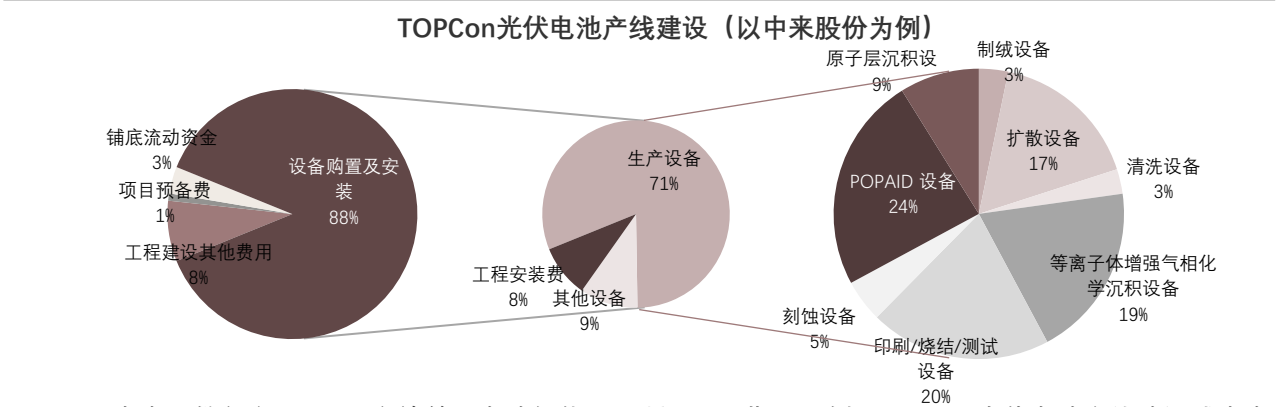
清洗制绒设备	应用环节：清洗制绒 清洗工艺相对简单，设备复杂程度较低，国产清洗设备能够满足使用需求，随着产能的扩张，市场对于单机大产能及全自动化设备需求将不断增高；单晶制绒领域目前工艺稳定性已经成熟，单机产能普遍大于8000片/小时，部分头部厂商设备如捷佳伟创、北方华创等设备稳定性及成熟度皆较高，受市场广泛认可 清洗设备主要企业：北方华创、捷佳伟创、张家港超声、上海釜川等 制绒设备主要企业：Schimid、Rena、捷佳伟创、北方华创、苏州聚晶
扩散炉	应用环节：硼扩散 - 低压扩散设备具有能够提升方阻均匀性及性能、减少路口附近低效片、降低磷源及动力消耗、实现高方阻（140-180Ω/□）、提升效率（绝对值提升0.05%）等优势，故目前扩散类设备以低压扩散为主，新建产线主要配置低压扩散+低压氧化设备 - 国产扩散炉单批次扩散产能已经自150片发展至2021年1600片，同时耗能实现大幅减少，扩散方阻均匀性大幅增加 扩散炉主要企业：拉普拉斯、捷佳伟创、丰盛装备、湖南红太阳、北方华创、TempressSystems,Inc、CentrothermPhotovoltaicsAG、松煜科技等 已布局企业：帝尔激光、大族激光
多晶硅薄膜沉积设备	应用环节：多晶硅薄膜沉积 相较于PERC，TOPCon最大的特征即在背面制备了隧穿氧化层+掺杂多晶硅层。首先在背面沉积1-2nm隧穿氧化层，随后沉积由60-100nm的薄多晶硅层所形成的钝化层。TOPCon的多晶硅薄膜层沉积路线有LPCVD、PECVD与PVD，LPCVD是目前最主流路线，但是存在绕镀高、良率偏低等问题，PECVD未来具有较强的发展潜力 PECVD工艺流程 石墨舟及硅片准备 管内充氮气 进舟 抽真空、压力测试 沉积多层复合膜 抽真空、压力测试 清管路、充氮气 退舟 LPCVD主要企业：拉普拉斯、北方华创、普乐新能源等 PECVD主要企业：捷佳伟创、湖南红太阳、金辰股份、北方华创、CentrothermPhotovoltaicsAG、TempressSystems,Inc等
丝网印刷设备	应用环节：丝网印刷 当前新增产线主要采取高精度对准、大硅片印刷设备，早期丝网印刷设备以进口为主，目前国产设备基本占领新增产线市场且已向印度、土耳其等新兴光伏市场进行出口。此外，国产印刷设备智能化水平亦有了长足进步，目前已能对生产各流程进行实时追踪记录与分析 丝网印刷工艺流程 硅片 背电极印刷 背面电场印刷 正面电极印刷 烧结 主要企业：迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、Baccini、科隆威

来源：捷佳伟创官网，CPIA，《晶体硅太阳能电池生产工艺》，光伏技术，头豹研究院编辑整理

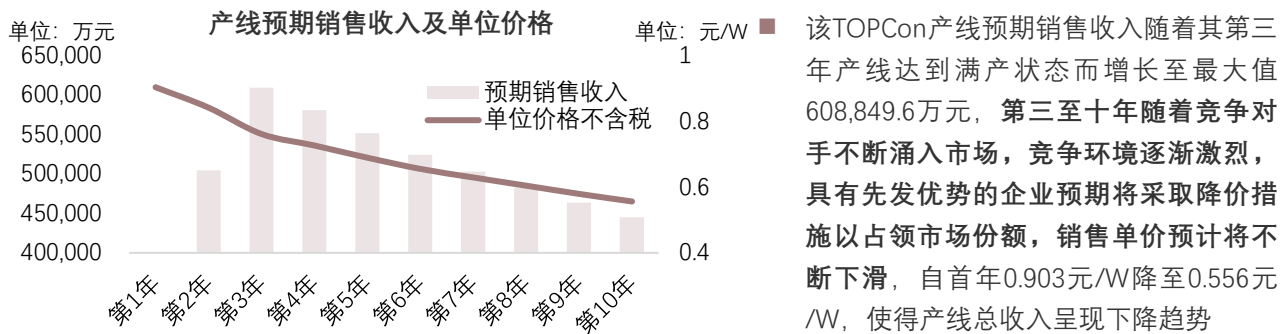
中国TOPCon光伏电池产业链中游——电池工厂投资建设

TOPCon产线建设中其设备购置与安装成本占比最高，其次为工程建设费用；目前TOPCon产线投资内部收益率较高，未来预计随着众多企业的涌入，先发企业将采取降价以维护市场份额

TOPCon光伏电池产线建设



■ 以中来股份年产 16GW 高效单晶电池智能工厂项目（一期）为例，TOPCon光伏电池产线建设成本中，设备购置与安装占比最高，约88%，其次为建设费用，占比约为8%；在TOPCon产线中生产设备价值最高，占比约71%，其中，用于沉积多晶硅薄膜层的POPAID设备在中来股份中占约24%



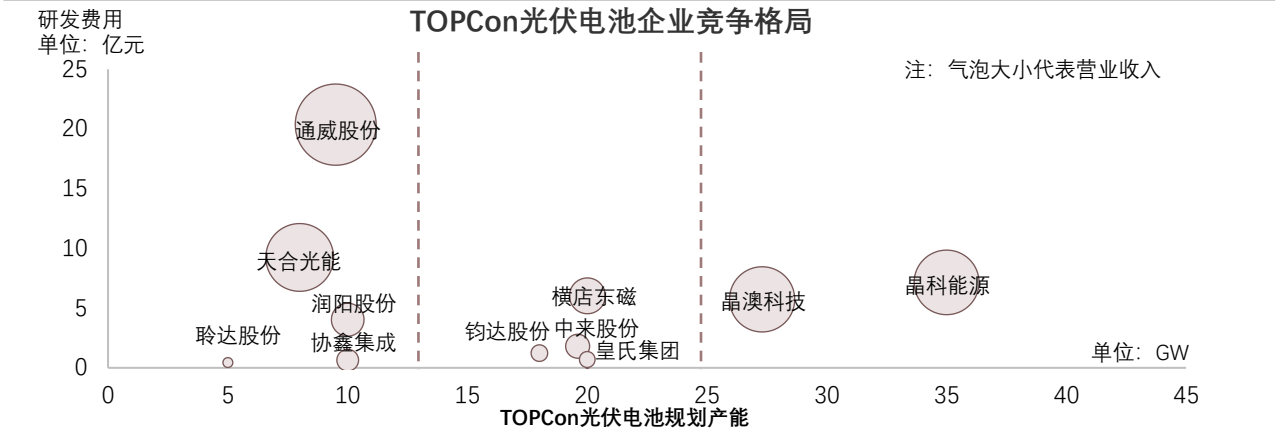
TOPCon产线建设情况对比							
	晶科能源	聆达集团	中来股份	天合光能	协鑫	隆基绿能	平均值
建设周期 (月)	18	10	24	12	8	22	15.7
财务内部收益率	18.83%	9.65%	19.61%	16.48%	17.11%	25.19%	17.81%
投资回收周期 (年)	5.93	7.61	4.59	5.69	5.96	3.87	5.61
单GW投资 (万元/GW)	37768.14	33854.6	23328.34	41875.00	35272.78	41590.00	35614.81

■ 综合各企业TOPCon产线建设情况来看，基于各企业的区域条件、技术实力、采购金额、市场地位等差异，其财务内部收益率与投资回收周期有所不同，但TOPCon产线平均来看预期内部收益率将达17.81%，投资回收周期将为5.61年，由于TOPCon技术对比目前主流PERC技术具有技术溢价以及海内外光伏产业高速发展，预期投资收益率较高，但同时其初始投资金额亦在光伏产业链中处于较高水平，平均3.6亿元/GW

中国TOPCon光伏电池产业链中游——竞争格局

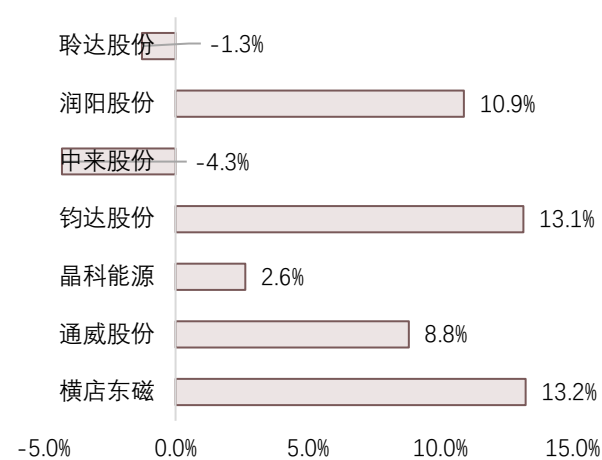
根据各企业已公布TOPCon光伏电池产能规划，大致可将企业分为三个梯队，其中，晶科能源与晶澳科技产能规划皆超过25GW，对TOPCon技术加码较大

TOPCon光伏电池企业竞争格局



- 根据企业公布TOPCon光伏电池规划产能，可大致将企业分为三个梯队，其中，**第一梯队**其规划产能规划已超过25GW，主要有**晶澳科技与晶科能源**，晶澳科技与晶科能源皆为光伏组件领域重要企业，根据PV InfoLink统计数据，2022年上半年全球光伏组件出货晶科能源与晶澳能源分别位于第一与第四，其光伏电池主要用于自身组件装配，待晶科与晶澳规划产能完全达产之后，将有望在TOPCon光伏组件领域具有先发优势。**第二梯队**为产能规划在15-25GW之间企业，主要有**横店东磁、皇氏集团与钧达股份**。第二梯队企业半数均为跨界企业，其中，皇氏集团原主营业务为乳制品、钧达股份原主营业务为汽车零部件。**第三梯队**企业主要为产能规划低于15GW，其中**通威股份、润阳股份**分别为2021年全球光伏电池销售第一与第二，其在PERC产线上具有较大优势，目前TOPCon产能规划暂时较低
- 自营业收入来看，**通威股份、天合光能、晶澳科技与晶科能源**皆大于400亿元，是光伏产业链重要企业，在光伏产业链中具有较强竞争优势；从研发角度来看，**通威股份**研发投入最高，其在高纯多晶硅领域、TOPCon、HJT等电池技术领域皆具有众多自主知识产权

部分光伏电池企业光伏电池业务毛利率



来源：iFinD，润阳股份招股书，各企业公告，北极星光伏网，头豹研究院编辑整理

从毛利率角度来看，润阳股份、钧达股份、通威股份与横店东磁等以光伏电池销售为业务经营模式的企业毛利率皆在10%左右，其中，横店东磁毛利率最高，达13.2%。晶科能源光伏电池业务毛利率为2.6%，主要原因系**晶科能源光伏电池主要用于生产光伏组件**，仅少部分电池用于对外销售，2021年，其组件业务占营业收入比例为92.9%，而电池业务仅为营业收入的1.3%。中来股份2021年收获大量海外订单，其海外收入占比自2020年之前稳定在11%-14%突然增长至32.8%，而2021年海运价格陡增，原材料价格高涨，致使其以**亏损价格完成已签订订单**，故毛利率为负。聆达股份银因**原材料短缺而无法开工**，相关固定成本难以摊薄故**毛利率为负**

中国TOPCon光伏电池产业链中游——光伏电池企业

未来随着硅料价格的下调，光伏产业的核心供需矛盾回归到高效能电池环节，电池相关企业销售净利率有望上升；目前TOPCon产能扩产规划较高，长远来看产能可能进入过剩状态

光伏电池企业对比分析

ROE = 销售净利率×资产周转率×权益乘数				
隆基绿能	20.76%	12.58%	0.71	2.31
通威股份	46.12%	25.65%	0.92	2.37
天合光能	11.58%	3.93%	0.79	3.56
晶科能源	8.60%	3.18%	0.57	4.71
晶澳科技	15.80%	6.88%	0.74	3.20
中来股份	9.55%	4.82%	0.53	4.03
润阳股份	25.20%	4.57%	1.15	4.81

■ 根据各企业三季报数据（润阳股份为2021年招股书数据），通威股份的净资产收益率最高，达46.12%，系通威股份营业收入中近30%为多晶硅料业务，2021至2022年多晶硅料价格高企，致使光伏产业链各环节皆承受较高的成本压力，通威股份的多晶硅料业务在2022年具有较高利润率故其销售净利率处于较高水平，带动ROE上涨，未来随着硅料价格的下调，光伏产业的核心供需矛盾回归到高效能电池环节，电池相关企业销售净利率有望上升。值得注意的是，目前TOPCon产能扩产规划较高，众多光伏产业链外企业皆纷纷有所布局，典型代表为皇氏集团、钧达股份，故长远来看TOPCon产能可能进入过剩状态。从资产周转率来看，各企业资产周转率皆相差不大；从权益乘数来看，润阳股份、晶科能源、中来股份权益乘数皆大于4.00，说明资金杠杆能力较强，能够有效借助外部资金进行扩张

部分光伏电池企业光伏产业链布局情况对比分析							
	隆基绿能	通威股份	天合光能	晶科能源	晶澳科技	中来股份	润阳股份
硅料	√	√	√			√	
硅棒	√	√	√	√	√		
硅片	√			√	√		
XBC	√						
TOPCon	√	√	√	√	√	√	√
HJT	√	√	√				√
辅材	√					√	
支架			√				
组件	√	√	√	√	√	√	

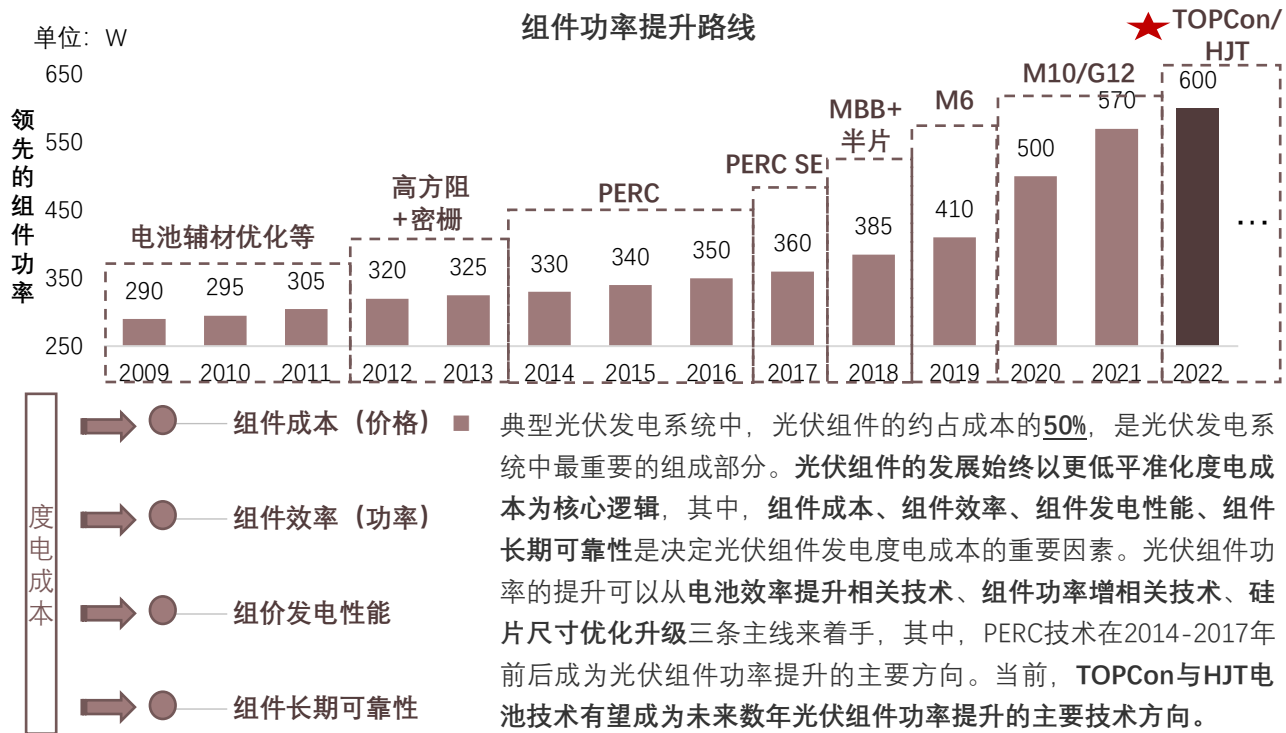
■ 多数光伏电池重要企业皆在光伏全产业链上进行了布局，其中，隆基股份几乎对各项电池技术皆有所布局；出于产业链安全性及成本考虑，众多企业皆对上游硅料及硅棒环节有所布局

来源：润阳股份招股书，各企业半年报，天合光能可转债募集说明书，头豹研究院编辑整理

中国TOPCon光伏电池产业链下游——光伏组件

TOPCon与HJT电池技术有望成为未来数年光伏组件功率提升的主要技术方向；组件封装方面，TOPCon组件与水汽阻隔率更高、耐候性更强、抗PID能力更强的POE胶膜更加适配

TOPCon光伏电池下游应用——光伏组件



TOPCon组件封装适配POE胶膜

- 过去数十年以P型电池为主的组件封装主要使用光学性能及粘结性优异、成本相对低廉的EVA胶膜，但TOPCon组件对防水性要求更高，如TOPCon电池因正面银浆含铝故对于水汽敏感性更高，EVA胶膜在光热、湿热环境中分解产生的酸与玻璃反应后会腐蚀电池栅线。故TOPCon组件与水汽阻隔率更高、耐候性更强、抗PID能力更强的POE胶膜更加适配，目前主要的N型组件公司皆较早对POE胶膜封装进行探索。
- TOPCon组件封装胶膜选型情形及POE粒子需求
- POE粒子需求单位：万吨
- | 情形 | 封装类型 | 2024F | 2023F | 2022F |
|---|------|-------|-------|-------|
| 情形1: TOPCon 单玻: EPE+EPE 双玻: EPE+EPE | 单玻 | 36 | 30 | 25 |
| | 双玻 | 36 | 30 | 25 |
| | 双玻 | 36 | 30 | 25 |
| 情形2: TOPCon 单玻: POE+EVA 双玻: 70%: POE+POE 30%: EPE+EPE | 单玻 | 52 | 39 | 25 |
| | 双玻 | 52 | 39 | 25 |
| | 双玻 | 52 | 39 | 25 |
| 情形3: TOPCon 单玻: POE+EVA 双玻: POE+POE | 单玻 | 58 | 42 | 25 |
| | 双玻 | 58 | 42 | 25 |
| | 双玻 | 58 | 42 | 25 |
| 情形4: TOPCon 单玻: POE+POE 双玻: POE+POE | 单玻 | 66 | 48 | 25 |
| | 双玻 | 66 | 48 | 25 |
| | 双玻 | 66 | 48 | 25 |
- 根据各厂商TOPCon组件封装胶膜选型情形的不同可以大致分为四种情况，其中，情形2、3更加符合目前TOPCon组件厂商预期，则2023年与2024年市场上POE粒子需求预期将为39-42万吨、52-58万吨。
- 当前POE粒子主要依赖于海外陶氏、LG、三井等企业供应，国产POE进展较为缓慢，未来两年POE粒子供给将以上述厂商向组件企业售卖为主

来源：晶澳太阳能，PV InfoLink，头豹研究院编辑整理

■ 方法论

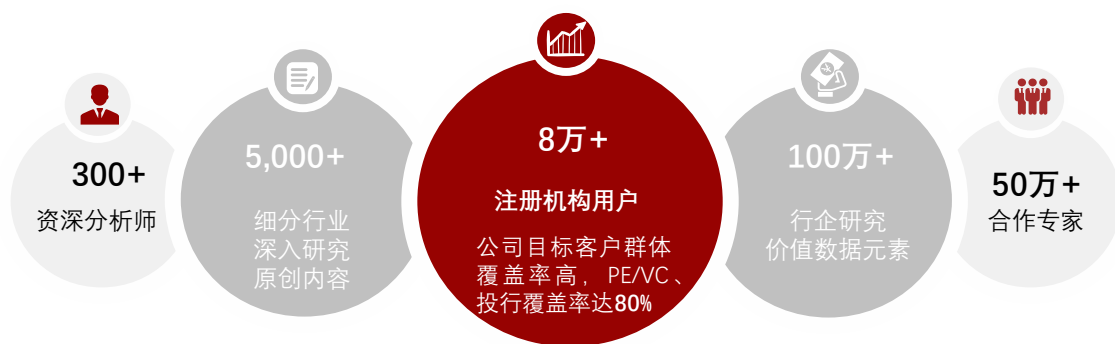
- ◆ 头豹研究院布局中国市场，深入研究19大行业，持续跟踪532个垂直行业的市场变化，已沉淀超过100万行业研究价值数据元素，完成超过1万个独立的研究咨询项目。
- ◆ 头豹研究院依托中国活跃的经济环境，研究内容覆盖整个行业发展周期，伴随着行业内企业的创立，发展，扩张，到企业上市及上市后的成熟期，头豹各行业研究员积极探索和评估行业中多变的产业模式，企业的商业模式和运营模式，以专业视野解读行业的沿革。
- ◆ 头豹研究院融合传统与新型的研究方法论，采用自主研发算法，结合行业交叉大数据，通过多元化调研方法，挖掘定量数据背后根因，剖析定性内容背后的逻辑，客观真实地阐述行业现状，前瞻性地预测行业未来发展趋势，在研究院的每一份研究报告中，完整地呈现行业的过去，现在和未来。
- ◆ 头豹研究院密切关注行业发展最新动向，报告内容及数据会随着行业发展、技术革新、竞争格局变化、政策法规颁布、市场调研深入，保持不断更新与优化。
- ◆ 头豹研究院秉承匠心研究，砥砺前行的宗旨，以战略发展的视角分析行业，从执行落地的层面阐述观点，为每一位读者提供有深度有价值的研究报告。

法律声明

- ◆ 本报告著作权归头豹所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复刻、发表或引用。若征得头豹同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“头豹研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节或修改。
- ◆ 本报告分析师具有专业研究能力，保证报告数据均来自合法合规渠道，观点产出及数据分析基于分析师对行业的客观理解，本报告不受任何第三方授意或影响。
- ◆ 本报告所涉及的观点或信息仅供参考，不构成任何证券或基金投资建议。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告或证券研究报告。在法律许可的情况下，头豹可能会为报告中提及的企业提供或争取提供投融资或咨询等相关服务。
- ◆ 本报告的部分信息来源于公开资料，头豹对该等信息的准确性、完整性或可靠性不做任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映头豹于发布本报告当日的判断，过往报告中的描述不应作为日后的表现依据。在不同时期，头豹可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告或文章。头豹均不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，头豹对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，读者应当自行关注相应的更新或修改。任何机构或个人应对其利用本报告的数据、分析、研究、部分或者全部内容所进行的一切活动负责并承担该等活动所导致的任何损失或伤害。

头豹研究院简介

- ◆ 头豹是中国领先的原创行企研究内容平台和新型企业服务提供商。围绕“协助企业加速资本价值的挖掘、提升、传播”这一核心目标，头豹打造了一系列产品及解决方案，包括：**报告/数据库服务、行企研报定制服务、微估值及微尽调自动化产品、财务顾问服务、PR及IR服务**，以及其他以企业为基础，利用大数据、区块链和人工智能等技术，围绕产业焦点、热点问题，基于丰富案例和海量数据，通过开放合作的增长咨询服务等
- ◆ 头豹致力于以优质商业资源共享研究平台，汇集各界智慧，推动产业健康、有序、可持续发展



备注：数据截止2022.6

四大核心服务

企业服务

为企业提供**定制化报告服务、管理咨询、战略调整**等服务

云研究院服务

提供行业分析师**外派驻场服务**，平台数据库、报告库及内部研究团队提供技术支持服务

行业排名、展会宣传

行业峰会策划、**奖项评选**、行业白皮书等服务

园区规划、产业规划

地方**产业规划**，园区企业孵化服务