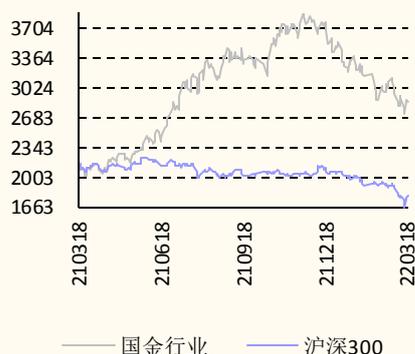


## 市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金电力设备与新能源指数	2851
沪深300指数	4266
上证指数	3251
深证成指	12329
中小板综指	12355



## 相关报告

1. 《系统装机同比翻番，建议关注板块投资机会-燃料电池行业月报》，2022.3.16
2. 《燃料电池工信部推荐车型目录月报-《燃料电池行业月报》》，2022.3.14
3. 《欧盟能源供应加速“脱俄”，全面利好风光氢-新能源与电力设备行...》，2022.3.13
4. 《轻总量重结构，结构性行情将徐图展开-《2022-03-13行...》，2022.3.13
5. 《2月终端景气度向上，原材扰动不改中期趋势-《2022-03-...》，2022.3.6

姚遥

分析师 SAC 执业编号: S1130512080001  
(8621)61357595  
yaoy@gjzq.com.cn

## 平价时代效率为王，新技术迭代大势所趋 ——高效太阳能电池系列深度（一）

## 核心逻辑

- 平价上网时代，降本增效仍然是推进光伏进一步发展的关键因素。从全球范围看，目前光伏在大部分国家和地区已经成为成本最低的发电形式，实现了发电侧平价上网。但由于光伏发电存在间歇性、随机性、波动性，因而接入到现有电网中需要其它电源为它进行调峰调频，或者增配大规模长时储能，所以从电力系统角度看，光伏还没有实现平价，还需要进一步降本增效。因此为了建设以新能源为主体的新型电力系统，必须追求更高效、成本更低的技术，其中主要环节当属高效电池技术的进步及应用。
- 我们认为当下高效电池技术的迭代是 LCOE 进一步下降和光伏产业进一步发展的必然趋势。从当前时间点开始，各家企业新一代高效电池的量产/中试产线将进入密集的设备交货和调试阶段，同时多家设备企业的设备调试参数也即将进行披露，22年初即将开始面向终端市场的直接竞争。这一轮主流技术路线从 P 型向 N 型的切换，对主产业链、辅材耗材、设备等领域竞争格局也会产生重要的影响。我们预计从 2022 年起，N 型产品将会呈规模化逐渐推向市场，对 PERC 进行替代。
- 除关注各家企业的 TOPCon/HJT 的最高量产效率之外，仍不能忽视：技术路线本身是否适合当下大规模量产、良率能否进一步提高、提效与降本路线是否快速、可行？本篇报告结合主流 N 型技术的特点及行业实际情况，对于当前 N 型技术的主要技术路线、技术难点、发展情况做出深入分析，并且根据当下产业实际情况对 N 型技术的产业化进程做出了合理推断。
- TOPCon 受益于产业内一定规模的存量 PERC 产能升级，预计占据更多市场份额。N 型技术路线的竞争实质上是效率和成本的竞争，因此在 PERC 技术全球仍占主流且产能过剩、TOPCon 与 HJT 技术效率（主要反映到组件端）尚打平手的前提下，成本的高低对于 N 型技术的选择尤为重要。由于 2019 年后的新建 PERC 产线基本都预留了升级为 TOPCon 的布局空间，且 TOPCon 单 GW 新建及升级投资较低，对比 HJT 的单 GW 投资 4-4.5 亿元成本优势显著，后续还可以通过良率提高和国产化银浆的替代进一步降本，因此在未来 2-3 年内预计 TOPCon 会占据 N 型电池市场主流地位。
- 远期来看 HJT 更符合产业技术发展趋势。与 TOPCon 相比，HJT 降本增效路线更为清晰。HJT 对硅片薄片化、未来钙钛矿等叠层技术的兼容性更佳，因而提效降本空间更大。随着设备投资的进一步下降、效率的持续提升、硅片的减薄、微晶硅技术的导入、退火吸杂技术的普及、低温银浆及银包铜技术的成熟，HJT 的成本有望得到快速下降。当 HJT 技术的单瓦生产成本与 TOPCon 技术无太大差异（预计在 2023-2024 年），且下游对银包铜、电镀等新型金属化技术验证取得突破时，HJT 的市场份额有望获得迅速提升。

## 投资建议

- 重点推荐：1）在新型电池技术领域研发及量产布局领先的一体化组件龙头：隆基股份、晶科能源等；2）专业化电池厂商：通威股份等；3）受益于 N 型技术变革的设备公司：迈为股份、金辰股份等。

## 风险提示

- 新技术发展不及预期；降本速度不及预期；量产速度不及预计。

## 内容目录

1、平价时代仍需降本增效，N型电池技术迭代加速.....	5
1.1 从产业链不同环节的角度看待提效的必要性.....	5
1.2 光电转换效率的影响因素.....	7
1.3 复盘：PERC 迭代 BSF 过程中伴随着多个关键环节的共同进步.....	7
1.4 PERC 技术效率渐近极限，主流高效电池技术即将开始产业化进程.....	10
2、TOPCon：现有产线兼容+极限效率高，PERC 升级首选.....	12
2.1 结构更具优势，效率提升明显.....	12
2.2 工艺步骤与 PERC 相匹配、可在原有产线升级.....	13
2.3 工艺流程相对复杂、技术路线细节定型难度高.....	15
2.4 较 PERC 成本稍高，但降本路径清晰.....	17
2.5 良率与效率有待进一步提升.....	19
3、HJT：工艺步骤简洁+效率高，备受产业青睐.....	20
3.1 结构上兼具晶硅与薄膜电池优势.....	20
3.2 工艺步骤简洁、量产化路线清晰.....	22
3.3 设备与耗材国产替代快、后续降本增效空间大.....	25
3.4 产能规划有待进一步落地.....	28
4、未来已来，静候 N 型量产佳音.....	29
5、相关标的推荐.....	32
6、风险提示.....	37

## 图表目录

图表 1：2010-2020 全球光伏 LCOE 变动趋势.....	5
图表 2：未来两年内光伏 LCOE 加速下降.....	5
图表 3：2021 年各省（区、市）新建光伏发电、风电项目指导价基本达到平价.....	5
图表 4：某地面电站费用构成.....	6
图表 5：LCOE 公式拆分详解.....	6
图表 6：影响太阳能电池效率的主要因素.....	7
图表 7：PERC 技术市场占比不断提升.....	7
图表 8：PERC 技术较 BSF 技术效率有明显提升.....	7
图表 9：2018 年初单晶与多晶硅片价差快速缩小.....	8
图表 10：2016 年起电池设备投资成本快速下降.....	8
图表 11：PERC 与 BSF 电池片高价差维持时间较长.....	9
图表 12：2018 年初 PERC 与 BSF 组件端价差快速缩小.....	9
图表 13：PERC 在结构上更利于提升转换效率.....	10
图表 14：PERC 电池产线单位投资成本下降速度超预期.....	10

图表 15: 单晶 PERC 世界记录效率接近极限效率.....	11
图表 16: 单晶 PERC 量产效率发展历程.....	11
图表 17: 基于 P 型硅片的 TOPCon 技术实验室转化效率较 N 型并无显著差异.....	11
图表 18: 光伏电池技术路线图及新一代技术类型.....	12
图表 19: TOPCon 电池结构.....	13
图表 20: TOPCon 电池极限效率可达 28.7%.....	13
图表 21: TOPCon 电池技术路线调研.....	14
图表 22: 部分设备厂商技术路线.....	14
图表 23: N 型与 P 型电池载流子输运机制对比.....	15
图表 24: 氧化层制备方法优缺点对比.....	15
图表 25: LPCVD 与 PECVD 工作原理对比.....	16
图表 26: LPCVD、PECVD 薄膜沉积技术对比.....	16
图表 27: 绕镀问题严重影响电池性能.....	17
图表 28: 常规硼扩散材料对比.....	17
图表 29: 磷和硼在不同温度下固溶度(atoms/cm <sup>3</sup> ).....	17
图表 30: 基于当前价格水平下 182 尺寸 TOPCon 电池成本构成.....	18
图表 31: TOPCon 与 PERC 在银浆上的使用差异.....	18
图表 32: N 型 TOPCon 成本下降路径清晰.....	19
图表 33: N 型 TOPCon 效率进度.....	19
图表 34: 2021 年 TOPCon 产能规划及量产效率 (截至 2021 年底).....	20
图表 35: HJT 电池结构拆解.....	21
图表 36: HJT 电池量产效率前景高于 PERC、TOPCon.....	21
图表 37: 异质结在不同地区 (不同环境温度下) 的发电量温升损失均低于 PERC.....	21
图表 38: 异质结较 PERC 衰减率低.....	21
图表 39: 异质结双面率大于 90%.....	22
图表 40: 异质结弱光效应较 PERC 更为优异.....	22
图表 41: HJT 制作流程及主要设备厂商.....	22
图表 42: 晋能制绒清洗工艺流程.....	23
图表 43: 日本 YAC 清洗制绒设备流程.....	23
图表 44: 市场上主要非晶硅沉积设备供应商.....	23
图表 45: 分层镀膜技术图解.....	24
图表 46: 市场上主要 PVD\RPD 设备供应商.....	25
图表 47: 异质结主要降本方向及驱动因素.....	25
图表 48: HJT 量产效率提升路线.....	26
图表 49: 基于当前价格水平下 182 尺寸 HJT 电池成本构成.....	26
图表 50: p-i-n 微晶硅结构示意图.....	27
图表 51: p-i-n 电池能带结构图 (理想).....	27
图表 52: 华晟新能源微晶硅工艺量产效率可达 25.23%.....	27

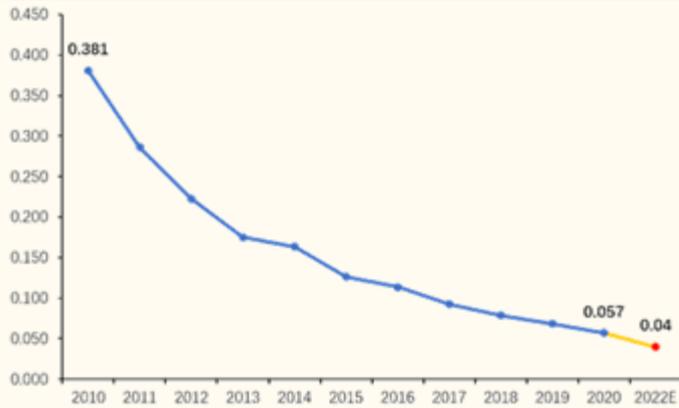
图表 53: 吸杂原理图.....	28
图表 54: 吸杂技术物理过程.....	28
图表 55: 吸杂技术路线.....	28
图表 56: 2021 年以来 HJT 产能布局及效率 (截至 2021 年底) .....	29
图表 57: 2020 年底至今 HJT 产线主要招标 .....	29
图表 58: 2021 年各电池技术路线效率发展情况.....	30
图表 59: N 型设备企业最新进展 .....	30
图表 60: 2021-2025 年 N 型设备市场空间测算 .....	31
图表 61: 基于不同与面积相关 BOS 成本的 N 型组件合理价差测算 .....	31
图表 62: 2021-2022 年有望量产的 TOPCon 组件 .....	31
图表 63: 2021-2022 年有望量产的 HJT 组件.....	32
图表 64: 公司在各种技术路线上效率均处于行业领先.....	33
图表 65: 公司在 HJT 研发效率各项影响指标上领先行业 .....	33
图表 66: 公司 TOPCon 电池转换效率多次打破世界纪录.....	33
图表 67: Tiger Neo N-TOPCon 组件的发电量优势.....	33
图表 68: 通威合肥 HJT 中试线-电池效率 .....	34
图表 69: 通威合肥 HJT 中试线-良率 .....	34
图表 70: 迈为股份异质结高效电池制造整体解决方案.....	35
图表 71: 金辰的管式 PECVD 项目在上世界上处于先进水平.....	36
图表 72: 金辰股份 PECVD 运行效率及关键参数.....	36
图表 73: 金辰所产出的 N 型电池片效率分布收敛性很高 .....	36
图表 74: 捷佳伟创高效电池生产设备.....	37

## 1、平价时代仍需降本增效，N型电池技术迭代加速

### 1.1 从产业链不同环节的角度看待提效的必要性

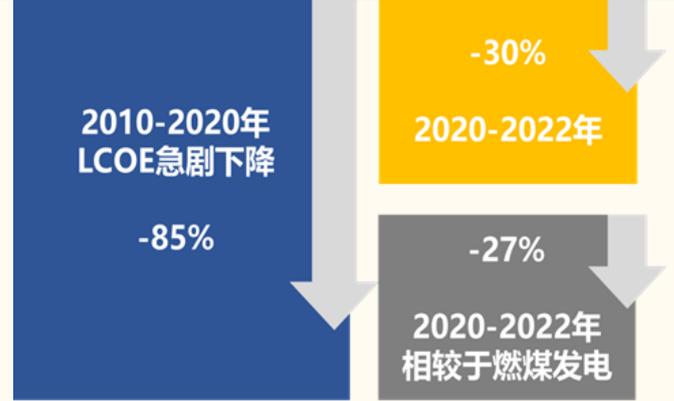
- 平价上网时代仍需关注光伏度电成本的下降。根据国际可再生能源署（IRENA）发布的《2020年可再生能源发电成本报告》，全球晶硅光伏发电项目加权平均发电成本由2010年的约0.381美元/度大幅下降至2020年的约0.057美元/度，下降幅度达到85%，并预计2022年全球太阳能光伏发电的平均成本降至为0.04美元，较2020年下降30%，比燃煤发电低27%以上。

图表 1: 2010-2020 全球光伏 LCOE 变动趋势



来源：IRENA、国金证券研究所

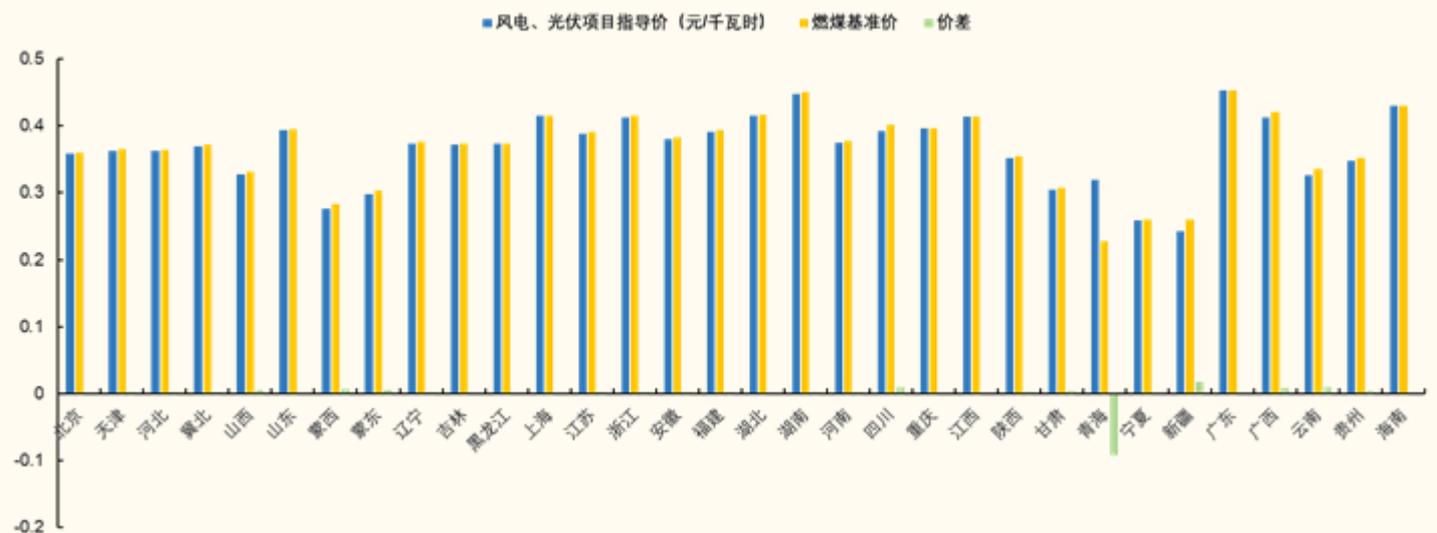
图表 2: 未来两年内光伏 LCOE 加速下降



来源：IRENA、国金证券研究所

- 度电成本的快速下降有效的促进了光伏产业的发展，光伏发电也逐渐成为新型电力系统的重要组成部分，但是需要明确的是度电成本还有进一步下降的空间，光伏发电的地位也需要进一步巩固。尤其是在无补贴时代，下游光伏电站对于 IRR 的重视程度进一步加深，促使其上游组件、电池厂商对于通过技术进步降本有着迫切需求。

图表 3: 2021 年各省（区、市）新建光伏发电、风电项目指导价基本达到平价

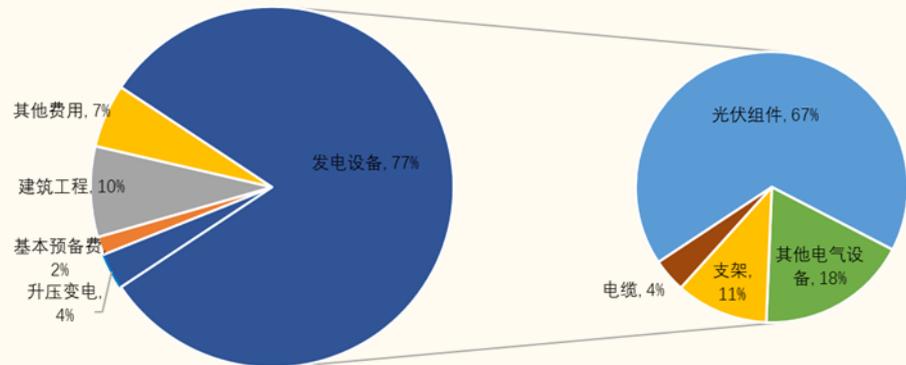


来源：国家能源局、国金证券研究所

- 从终端收益率的角度看：光伏技术发展与创新的根本目标是促进 LCOE 的降低，对应用到典型的应用场景，就是大型地面电站的 LCOE 降低。以大型地面电站为例，费用主要包括：发电设备、建筑工程费、其他费用、预备费、建设期利息等，这些费用较为固定，难以大幅降低。降本空间较大的主要

是在组件端，组件在总成本中占比达到一半左右，因此是降本的关键环节。组件效率的提升可以通过提升电池转换效率、改进组件端技术等来解决。

图表 4: 某地面电站费用构成



来源：全国能源信息平台、国金证券研究所

- 电站运营期内发电量的多少对于 LCOE 的高低产生重要影响。电池转换效率越高，对应到相同规格尺寸的组件，就会拥有更高的功率。同时，在同等功率下，拥有更好发电特性（衰减率、温升系数、双面率、弱光效应等）的电池技术拥有更好的发电量表现。因此为了进一步降低光伏发电的度电成本，必须要进一步提高太阳能电池转换效率、持续提升电池性能，从而提高 IRR 水平。

图表 5: LCOE 公式拆分详解

$$LCOE = \frac{\text{系统造价} \quad I_0 - \frac{V_R}{(1+i)^n} + \sum_{t=1}^{25} \frac{M_n}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^{25} \frac{E_n}{(1+i)^n} \quad \text{发电量}}$$

来源：sunpower、国金证券研究所

- 从产业链中厂商的角度看：光伏电价是下游电站 IRR 的重要影响因素，而 IRR 直接影响到下游对光伏产品的需求。根据国家发改委统计，2020 年光伏发电平价上网项目装机规模 33.05GW，相较 2019 年的 14.8GW 有较大增长。对于组件、电池厂商来说，如何同时面对下游光伏电站企业对于较低 LCOE 的追求和上游各环节对利润的挤压是亟待解决的问题。目前来看，通过效率提高提升产品竞争优势、摊薄成本是破局最有效的途径。因此长期来看，组件技术与新型电池技术的结合程度、电池技术的先进性差异大概率成为影响组件和电池企业分化程度的最重要因素。

## 1.2 光电转换效率的影响因素

- 光伏发电的发展趋势是提高转化效率和降低成本，其中提高转化效率是降低成本的最重要方式之一。光伏发电转化效率计算如下所示：

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{I_{mp}V_{mp}}{P_{in}} = \frac{I_{sc}V_{oc}FF}{P_{in}}$$

太阳能电池转换效率  $\eta$  是最大输出电功率与相应的输入光功率之比，根据光伏发电转化效率计算公式，能量转换效率  $\eta$  与开路电压 ( $V_{oc}$ )、短路电流 ( $I_{sc}$ ) 或短路电流密度 ( $J_{sc}$ )、填充因子 ( $FF$ ) 关联最为密切，因此通过技术研发和改进提高上述三个参数的数值是提高太阳能电池转换效率的重要途径。

图表 6：影响太阳能电池效率的主要因素

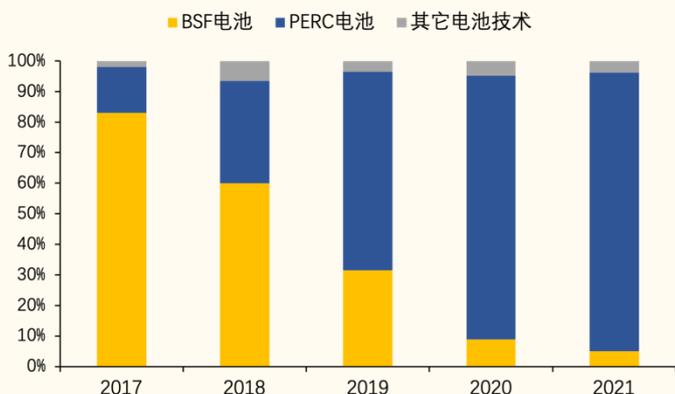
$V_{oc}$ 影响因素	$I_{sc}$ 影响因素	$FF$ 影响因素
硅基片性质	硅基片性质	硅基片性质
表面发射极掺杂层	绒面结构	表面发射极掺杂层
背面电场 (BSF)	正面减反射膜	并联电阻 $R_{sh}$
漏电流 - 反向饱和电流 $I$	表面发射极掺杂层	串联电阻 $R_s$
钝化技术	遮光损失	等效电路
并联电阻 $R_{sh}$	串联电阻 $R_s$	正面减反射膜
理想因子 $n$	背面反射	金属电极接触的烘烤、烧结
	钝化技术	pn结质量

来源：国金证券研究所整理

## 1.3 复盘：PERC 迭代 BSF 过程中伴随着多个关键环节的共同进步

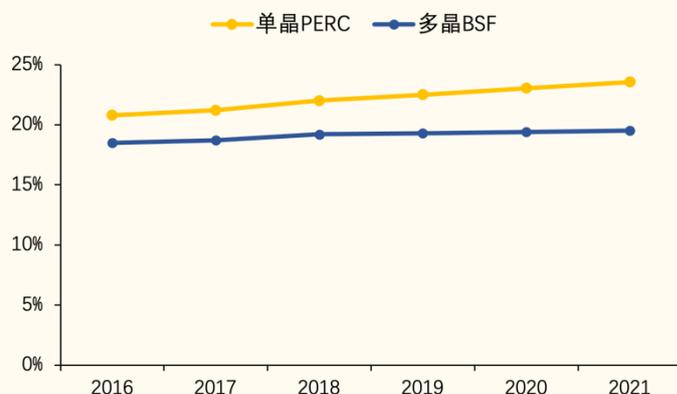
- 在光伏行业发展初期，晶硅太阳能电池主要采用了 Al-BSF 电池技术，即常规铝背场电池技术 (Aluminium Back Surface Field)。BSF 太阳能电池技术主要应用在光伏发展早期阶段，虽然 BSF 电池技术成本低廉，但转换效率不高，且技术上有天然缺陷。随着快速拉晶、金刚线切片、薄片化等技术升级的规模应用，单晶开始取代多晶成为主流，由于单晶材料本身的高品质特征、多晶材料本身无法克服的高位错密度和高杂质缺陷，因此单晶相比多晶在转换效率方面具有先天优势。随着 2017 年 PERC 技术的成熟加上单晶成本的快速降低，PERC 技术开始大规模取代 BSF 技术成为太阳能电池主流技术。

图表 7：PERC 技术市场占比不断提升



来源：中国光伏产业发展路线图、国金证券研究所

图表 8：PERC 技术较 BSF 技术效率有明显提升



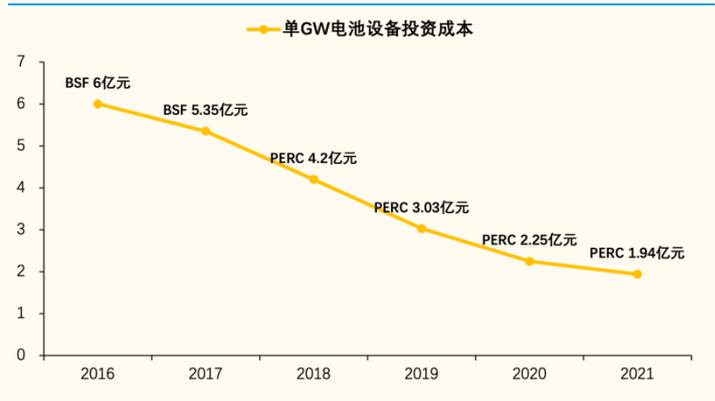
来源：中国光伏产业发展路线图、国金证券研究所

图表 9：2018 年初单晶与多晶硅片价差快速缩小



来源：PV InfoLink 国金证券研究所

图表 10：2016 年起电池设备投资成本快速下降

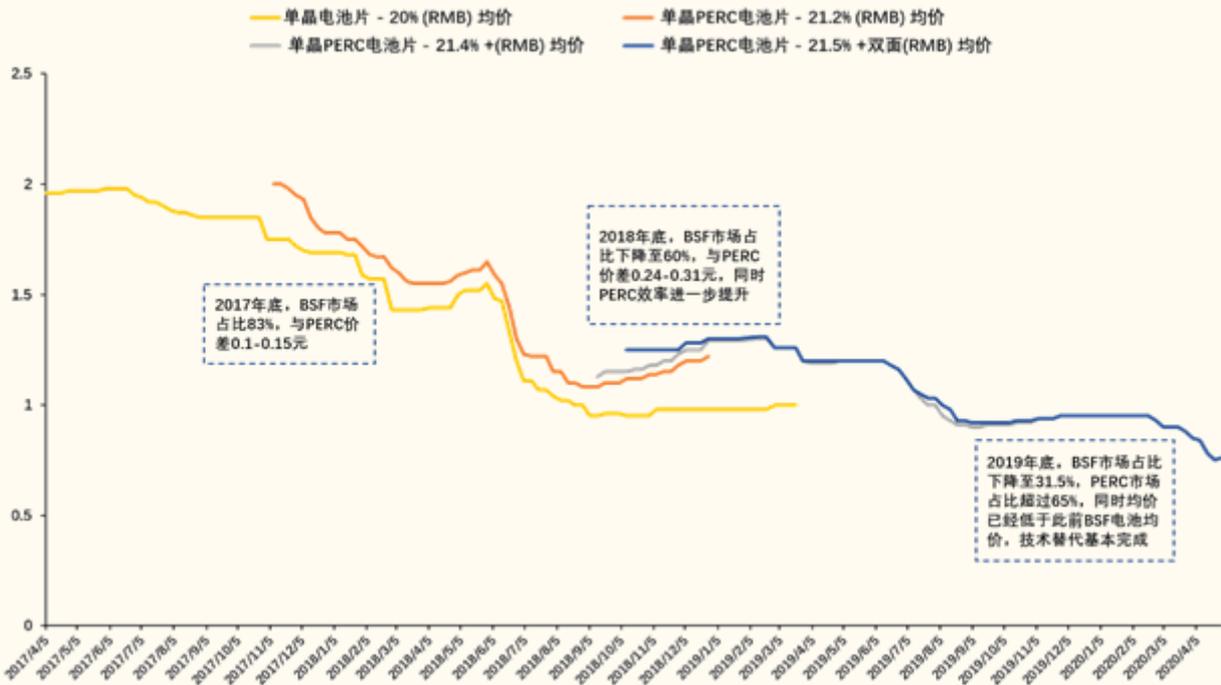


来源：CPIA、国金证券研究所

- 回顾 PERC 快速替代 BSF 的历程，可以看到多个关键环节的共同作用：
  - **1、转换效率方面有显著提升。**以 2017 年为例，根据 CPIA 统计，当年主流 BSF P 型多晶黑硅电池平均转换效率为 18.7%，而 PERC P 型单晶电池平均转换效率可达到 21.3%，有 2.6% 的效率提升。对应到组件端（以 60 片为例），有 27W 左右的功率提升。
  - **2、设备投资显著下降。**随着电池生产线关键设备的国产化进程不断加速，设备投资成本下降速度超预期。根据 CPIA 统计，2017 年常规 BSF 产线设备投资仍为 5.35 亿元/GW，然而进入 2018 年 PERC 产线设备投资下降至 4.2 亿元/GW，2018 年新建电池产线均为 PERC。
  - **3、单晶与多晶实现性价比反转。**金刚线切割技术的普及使单多晶硅片成本永久性缩小。根据 PV infoLink 统计，2017 年初多晶逐步导入金刚线切割技术，但降本幅度不如单晶。且单晶硅片在拥有更好特性的基础上，2018 年初与多晶硅片的价差进一步减小，加速了单晶硅片的市场份额的迅速提升。
  - **4、组件端实际价差低于合理价差，促使市场乐意接受单晶 PERC 组件；电池端仍有较大价差，促使 PERC 产能快速扩张。**跟我们推算，2016-2019 年，单晶 BSF 组件与单晶 PERC 组件合理价差应该在 0.09-0.22 元，然而根据 PV infoLink 统计，2018 年初单晶 PERC 组件的单 W 售价快速降低，并且在短时间实现了实际价差低于合理价差。由于单晶 PERC 组件拥有更好的转换效率和特性，因此在同价水平下性价比溢出，从而导致市占率快速提升。

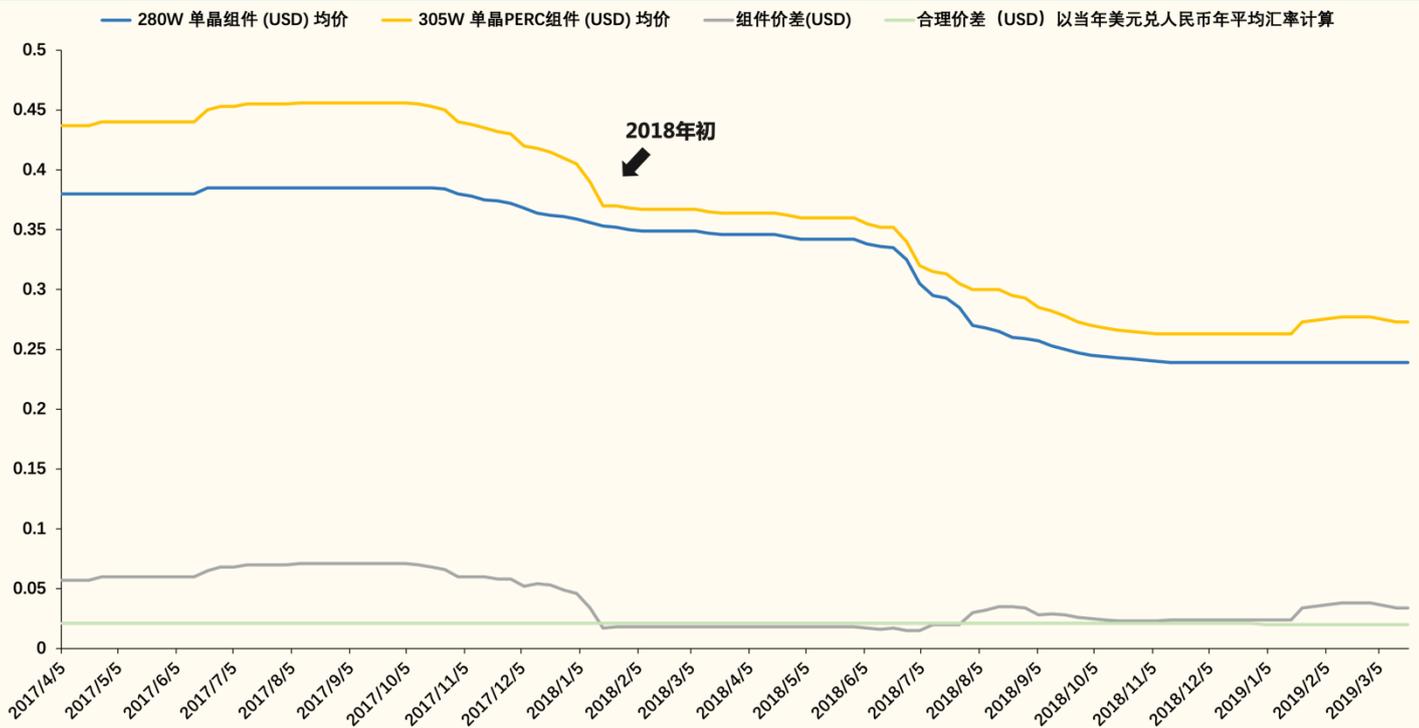
在电池片端，跟据 PV infoLink 统计，2017 年底至 2019 年中，单晶 PERC 电池片一直与普通单晶电池片保持一定价差。这也导致电池企业拥有极大的热情去进行 PERC 对于 BSF 的技术升级和改造，因此 PERC 的市占率快速提升，完成对 BSF 的替代。

图表 11: PERC 与 BSF 电池片高价差维持时间较长



来源: PV infoLink、国金证券研究所

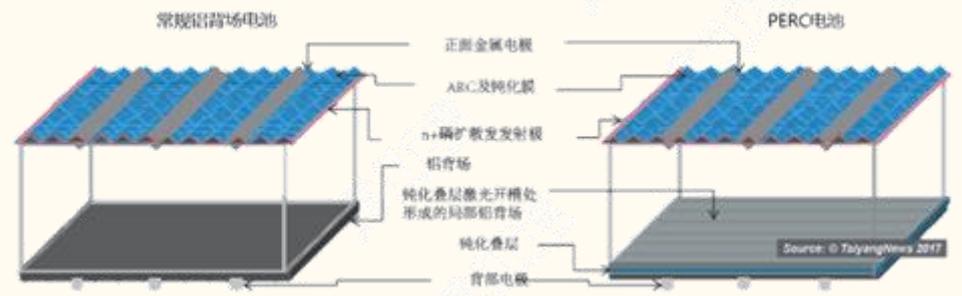
图表 12: 2018 年初 PERC 与 BSF 组件端价差快速缩小



来源: PV infoLink、国金证券研究所

- PERC(Passivated Emitter and Rear Cell)电池技术, 全称为钝化发射极和背面电池技术。与 BSF 相比, PERC 太阳能电池以背面局域点接触的形式替代了全铝背场,减少了背表面复合速率,增强了背反射性能,从而提升了电池的开路电压和短路电流, 进而提高了太阳能电池转换效率。

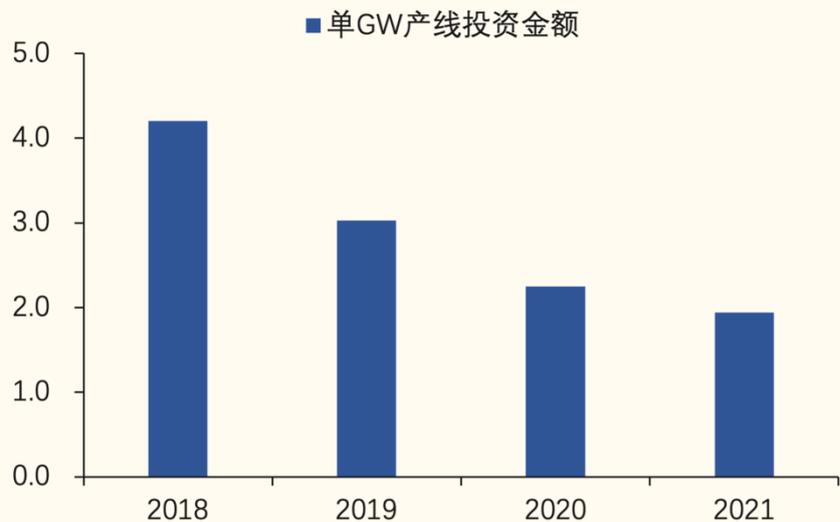
图表 13: PERC 在结构上更利于提升转换效率



来源: TaiyangNews、国金证券研究所

- PERC 技术路线与 BSF 技术路线工艺流程的高度一致性也是 PERC 取代 BSF 如此之快的一个重要原因。与 BSF 技术相比, PERC 技术仅需在原有的工艺流程中增加只需额外增加钝化膜沉积设备(PECVD 设备或 ALD 设备)和激光开槽设备, 因此可以对原有的 BSF 产线进行升级改造。大大降低了单位投资成本。此外, 由于电池设备的国产化程度加速提高, 单位投资成本也处于不断下降的阶段。目前 PERC 技术产线的主要设备均可以实现国产化。

图表 14: PERC 电池产线单位投资成本下降速度超预期

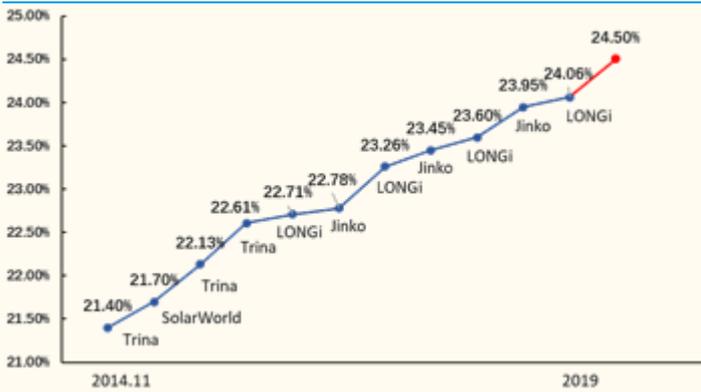


来源: CPIA、国金证券研究所

#### 1.4 PERC 技术效率渐近极限, 主流高效电池技术即将开始产业化进程

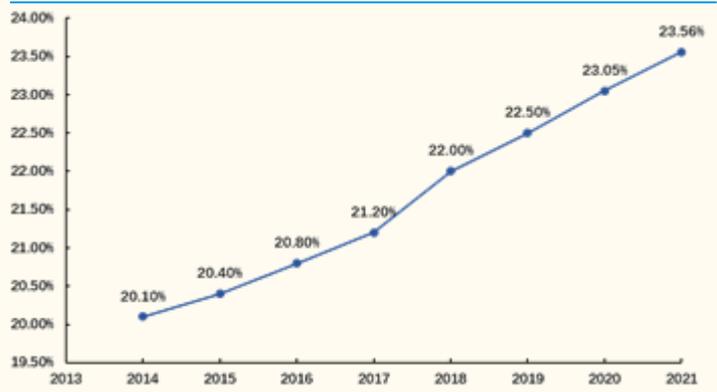
- 截至 2021 年底, P 型 PERC 电池技术仍是市场主流, 主流 PERC 电池片的转换效率约在 23%左右, 当前 PERC 电池转换效率世界纪录为隆基创造的 24.05%, 接近 ISFH 24.5%的实验室效率极限。因此由于转换效率的瓶颈, 无论是传统电池片环节企业或是一体化厂商都在努力追求技术上的改进和效率上的突破。

图表 15: 单晶 PERC 世界记录效率接近极限效率



来源: 隆基股份、国金证券研究所

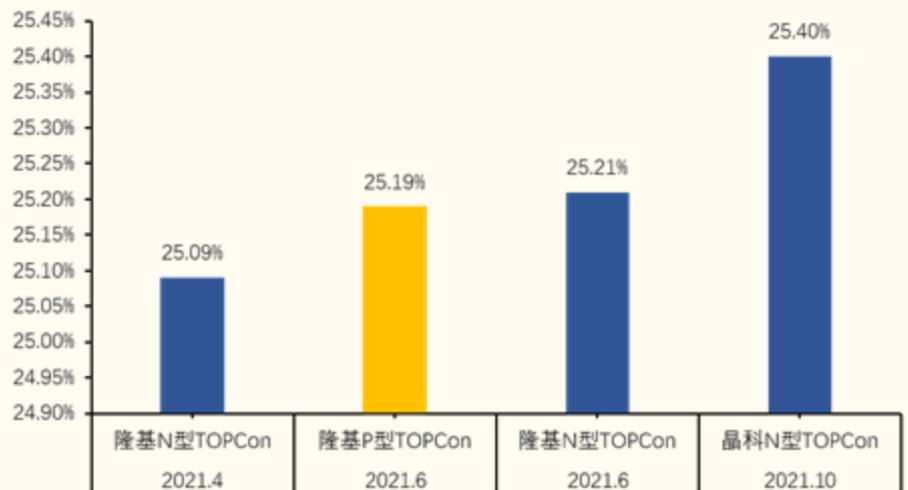
图表 16: 单晶 PERC 量产效率发展历程



来源: 隆基股份、国金证券研究所

- 半导体根据掺杂时元素种类的不同分为 P 型和 N 型，而 N 型晶硅太阳能电池更有利于电池转换效率的进一步突破。与掺硼(B)的 P 型晶体硅材料相比，掺磷(P)的 N 型晶体硅材料具有四个优势：
  - 1) N 型晶硅材料的少子空穴复合要远低于 P 型，主要是因为 N 型材料中杂质对少子空穴的捕捉能力和其少子空穴的表面复合速率均较低。
  - 2) 相同金属污染的环境下，拥有较高金属污染容忍度的 N 型硅片的少子寿命要显著高于 P 型硅片。
  - 3) 掺磷的 N 型晶体硅几乎不存在光致衰减效应，其极低的硼含量消除了硼氧对的影响，也就避免了 P 型掺硼晶硅电池在光照下会发生明显的电性能衰减的问题。
  - 4) N 型硅片的少数载流子（空穴）寿命长于 P 型硅片，故 N 型电池较 P 型电池具有更高的转换效率的潜力。
- 尽管 P 型硅片也可应用于 TOPCon、IBC 技术，但这两类技术对于 P 型硅片的质量要求极高，行业内现有的硅片产能里供应比例较低，因此仅有极少数头部厂商可以通过自身的硅片规模、质量优势选择基于 P 型硅片的新技术路线。由于目前行业内 N 型硅片价格更高，所以这种高效太阳能电池技术路线拥有更好的性价比，但由于技术及硅片质量壁垒的限制，预计较难以成为行业各家企业普遍选择的技术路线。

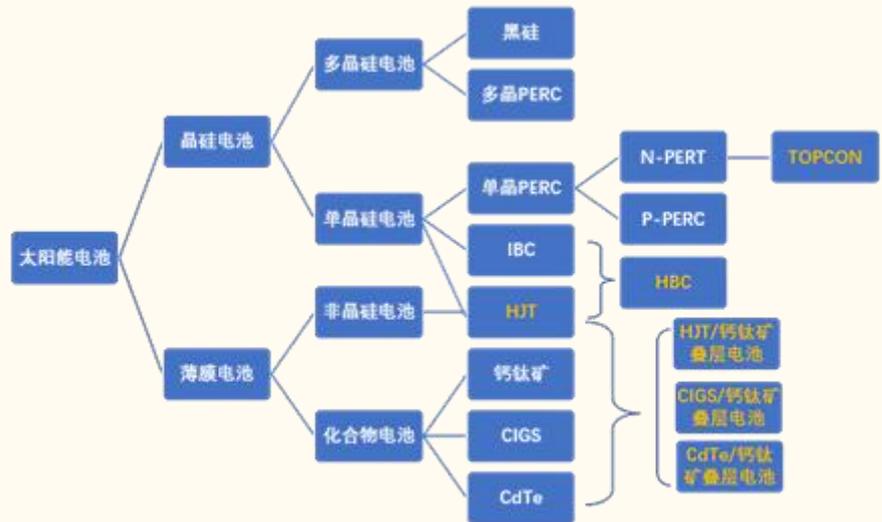
图表 17: 基于 P 型硅片的 TOPCon 技术实验室转化效率较 N 型并无显著差异



来源: 各公司公告、国金证券研究所

- 目前 N 型电池大概率成为未来高转换效率的方向，目前包括 PERT、TOPCon（隧穿氧化钝化接触）、IBC（全背电极接触）、HJT（异质结）四种技术路径。在 N 型电池技术中，PERT 已被证明不具备经济性，IBC 量产难度大且设备投资较高，因此目前市场上主流的下一代技术是 TOPCon 和 HJT 技术。

图表 18: 光伏电池技术路线图及新一代技术类型



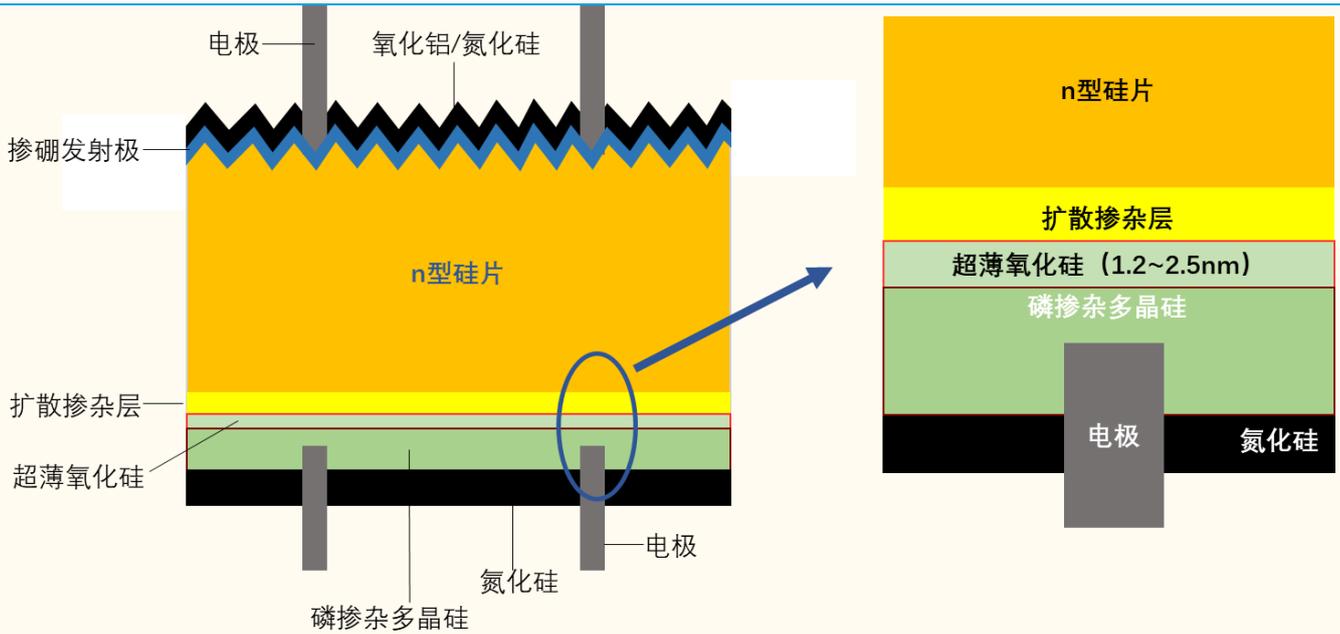
来源：国金证券研究所整理

## 2、TOPCon：现有产线兼容+极限效率高，PERC 升级首选

### 2.1 结构更具优势，效率提升明显

- TOPCon 电池技术拥有的隧穿氧化层钝化接触（Tunnel Oxide Passivated Contact）基于选择性载流子原理。TOPCon 技术结构下的电池以 N 型硅衬底，背面覆盖了一层沉积在超薄隧穿氧化硅层上的掺杂多晶硅薄层，形成了较好的钝化接触结构。该结构为硅片背面打造了一个良好的界面钝化，其中的超薄氧化层可以阻挡少子空穴复合，使多子电子隧穿进入多晶硅层，促进电子在多晶硅层横向传输时被金属收集，从而有效地降低了表面复合和金属接触复合，提高开路电压 $V_{oc}$ 和填充因子 $FF$ ，提高光电转换效率。

图表 19: TOPCon 电池结构



来源: 中科院宁波材料所、国金证券研究所

- **TOPCon 工艺的进步关键在于制备隧穿氧化层和高掺杂的多晶硅薄层**：根据中科院微电子研究所数据显示，氧化层对于电池的重要性在对开路电压和复合速率的影响中极为明显。在无隧穿氧化层 (tunnel oxide layer) /多晶硅薄层 ( $n^+$ Poly-Si layer) 的情况下，开路电压有所降低，同时复合速率快速提升，由此导致转换效率大幅度下降。根据德国太阳能研究所 ISFH 实验室得出的结论，双面钝化的 TOPCon 的极限效率可以达到 28.7%，高于 PERC 和 HJT，且最接近晶体硅太阳能电池理论极限效率 29.43%。

图表 20: TOPCon 电池极限效率可达 28.7%

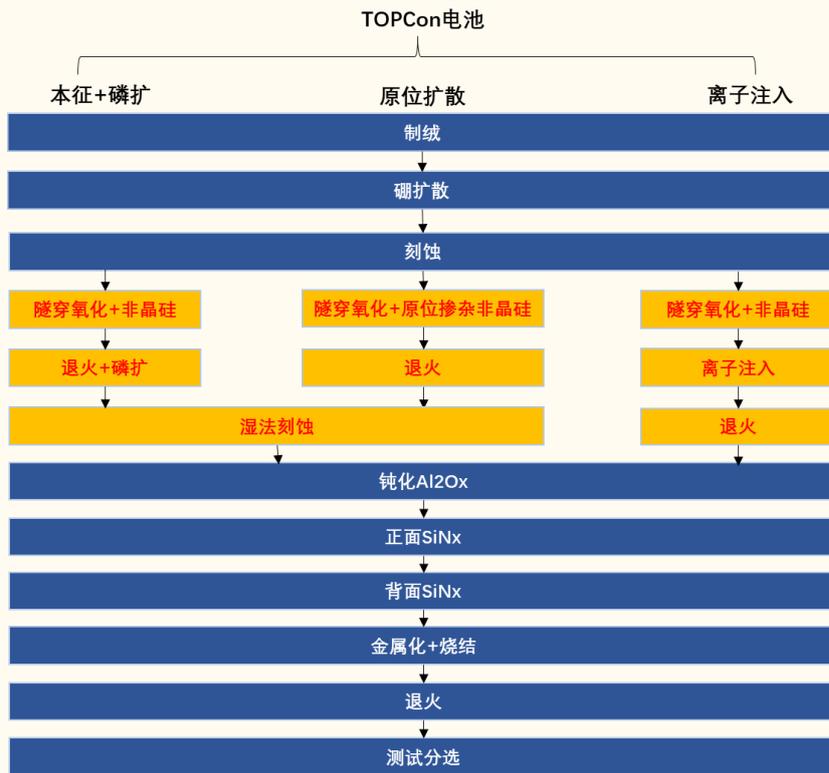
极限效率 (%)	电子选择接触				
	$n^+$	本征非晶硅/ $n$ 型非晶硅	热-SiO <sub>x</sub> / $n^+$ 多晶硅 PECVD	化学法-SiO <sub>x</sub> / $n^+$ 多晶硅 LPCVD	热-SiO <sub>x</sub> / $n^+$ 多晶硅 LPCVD
p+	24.5 (PERC)	26.8	26.9	27.1	27.1
空穴选择接触					
本征非晶硅/ $p$ 型非晶硅	24.7	<b>28.5 (HIT)</b>	27.7	27.9	28.0
SiO <sub>x</sub> / $p$ +多晶硅	24.9	28.1	<b>28.3 (TOPCon)</b>	<b>28.7 (TOPCon)</b>	<b>28.7 (TOPCon)</b>
SiO <sub>x</sub> / $p$ +碳化硅	24.9	28.0	28.2	28.5	28.6
本征非晶硅/MoO <sub>x</sub>	24.4	26.5	26.6	26.8	26.8

来源: ISFH、国金证券研究所

## 2.2 工艺步骤与 PERC 相匹配、可在原有产线升级

- **TOPCon 电池生产工艺可以最大程度保留和利用现有 PERC 电池设备工艺流程**。TOPCon 技术虽为 N 型技术，但与 P 型 PERC 技术的核心本质均是背面钝化接触技术，因此核心设备只需增加硼扩和薄膜沉积设备 (PECVD/LPCVD/PVD)，极大的降低了新增设备的投资成本，同时容易实现量产化。根据设备公司拉普拉斯的调研走访，市面上的 TOPCon 技术主要有三种路线，包括了本征+磷扩、原位掺杂、离子注入 (直接掺杂) 技术，目前可选择的路径较多，每一种路径都有不错的表现。

图表 21: TOPCon 电池技术路线调研



来源：拉普拉斯官网，国金证券研究所

- 1) **本征+磷扩**。采用 LPCVD 制备多晶硅薄层并结合传统的全扩散工艺。需要较 PERC 增加 LPCVD、扩散炉、刻蚀设备，工艺优点是成熟且耗时短（从硅片进入炉管到降温之后出来），生产效率高，已实现规模化量产，但存在绕镀和成膜速度慢的问题，目前 TOPCon 厂商布局的主流路线。
- 2) **离子注入（直接掺杂）**。采用 LPCVD 制备多晶硅薄层并结合扩散及离子注入磷工艺。需要较 PERC 增加 LPCVD、离子注入机、退火炉、刻蚀设备，技术优点是无绕镀风险，且良率更高，不足之处在于工艺难度大，且需要更多的扩散炉和两倍的 LPCVD。
- 3) **原位掺杂**。采用 PECVD 制备多晶硅薄层并结合原位掺杂工艺。需要较 PERC 增加 PECVD、退火炉设备。该方法可以简化流程、降本提效，不仅沉积速度快、沉积温度低，还能用 PECVD 制备多晶硅层。但目前因气体爆膜现象而导致的良率较低问题还未能解决，技术稳定性有待改进。

图表 22: 部分设备厂商技术路线

供应商	隧穿氧化层	掺杂 Poly-Si	特点
中采（杰太）	PVD	PECVD（掺杂 Poly-Si）+退火	成膜速度快，无绕镀
红太阳	热氧	LPCVD（掺杂 Poly-Si）+退火	LPCVD 原位掺杂绕镀易清洗，但镀膜速率较慢，膜层均匀性差
	PECVD	PECVD（掺杂 a-Si）+退火	轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜
宁波材料所（全辰）	热氧/PECVD	PECVD（掺杂 Poly-Si）+退火	轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜
拉普拉斯	热氧	LPCVD（本征 a-Si）+磷扩	LPCVD+磷扩技术成熟，钝化性能优异，单槽单片工艺成熟，但产能低，单槽双片工艺良率略低
	PECVD	LPCVD（掺杂 a-Si）+退火	LPCVD 原位掺杂绕镀易清洗，但镀膜速率较慢，膜层均匀性差
微导	PECVD	PECVD（掺杂 a-Si）+退火	轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜
赛瑞达	热氧	PECVD（掺杂 Poly-Si）+退火	氧化层均匀性易控制，轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜
		LPCVD（本征 Poly-Si）+磷扩	LPCVD+磷扩技术成熟，钝化性能优异，单槽单片工艺成熟，但产能低，单槽双片工艺良率略低
理想晶廷	热氧/PECVD	LPCVD（掺杂 Poly-Si）+退火	LPCVD 原位掺杂绕镀易清洗，但镀膜速率较慢，膜层均匀性差
		PECVD（本征 Poly-Si）+退火	轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜
北方华创	热氧	LPCVD（本征 a-Si）+磷扩	LPCVD+磷扩技术成熟，钝化性能优异，单槽单片工艺成熟，但产能低，单槽双片工艺良率略低
		LPCVD（掺杂 a-Si）+退火	LPCVD 原位掺杂绕镀易清洗，但镀膜速率较慢，膜层均匀性差
CT	热氧	PECVD（掺杂 Poly-Si）+退火	轻微绕镀，镀膜速率快，H 含量高易爆膜

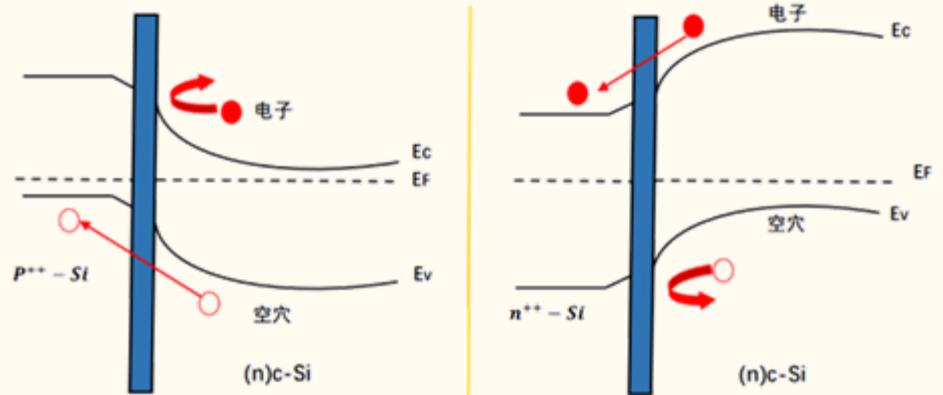
来源：pvinfoLink，国金证券研究所

- 目前限制 TOPCon 技术进一步实现产业化的因素主要有两方面，一是技术难点并没有完全克服且制作工艺复杂，造成技术路线没有完全定型，进而导致良率和产量情况不如 PERC，转换效率潜力并没有完全释放；第二是双面用银导致成本稍高，从而降低了 TOPCon 电池的性价比。

### 2.3 工艺流程相对复杂、技术路线细节定型难度高

- 技术难点方面，较为复杂的工艺步骤主要包括隧穿氧化层的生长方式；掺杂多晶硅薄层制备方式；硼扩技术选择。
- 难点一 隧穿氧化层生长方式：隧穿氧化层的钝化接触提效原理如下图所示，掺杂的多晶硅薄层和 n 型硅基体在接触产生反阻挡层，使准费米能级分裂（提高  $V_{oc}$ ），对空穴形成势垒，阻挡少子空穴进一步到达氧化硅/n 型硅基体的界面，而多子可以通过隧穿原理（允许一种载流子通过，阻止另一种载流子运输）最终阻挡了空穴到达金属半导体接触的界面进行复合。这种载流子选择性接触结构有效解决了晶硅太阳能电池表面钝化和接触的矛盾，使电池的转换效率有大幅提升。因此隧穿氧化层的生长方式和厚度控制对于提高钝化效果极为重要。

图表 23: N型与P型电池载流子输运机制对比



来源：光伏技术、国金证券研究所绘制

- 制备隧穿氧化层时如何控制氧化层的质量、厚度、和均匀性是一个技术性难题，当厚度大于 2nm 时，位垒太高，隧穿将难以实现，因此量产的氧化层厚度一般都 1.4-1.6nm。目前制备隧穿氧化层的技术多样化，各种技术路线优缺点明显，尚需时间检验。

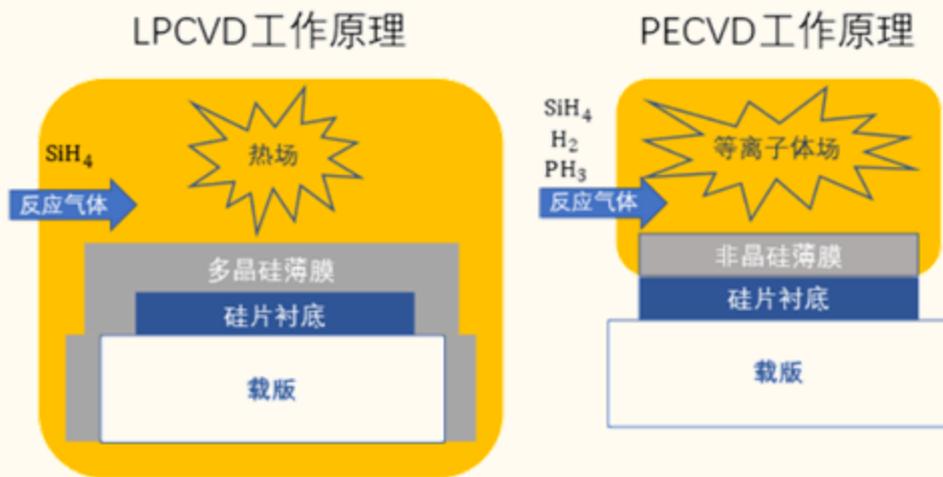
图表 24: 氧化层制备方法优缺点对比

方法	优点	缺点
硝酸氧化硅片法 (NAOS)	制备方法简单，制备温度相对较低，硝酸溶液可重复利用，氧化层薄膜质量好	硝酸具有强氧化性，且硝酸蒸汽对人体有害，对环境也会造成污染。
过氧化氢法 (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	生成物污染小，不会对人产生危害，制备方法简单	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 的氧化性较弱，为提高SiO <sub>2</sub> 的质量需额外进行退火处理。
臭氧去离子氧化法 (DIO <sub>3</sub> )	具有良好的界面钝化效果	设备昂贵且维护成本较高。
UV/O <sub>3</sub> 光解法	可以在UV光的照射下有效地取出Si片表面的有机残留物	制备工艺复杂，且厚度均匀性相对较差
热氧化法	容易获得较高质量的SiO <sub>2</sub> ，且 Si/SiO <sub>2</sub> 的界面态密度也非常低	漏电流密度大，且高温带来的预算也很高。
等离子体辅助N <sub>2</sub> O氧化法	可以实现超薄SiO <sub>2</sub> 层和非晶硅层在 PECVD 中的一次沉积	厚度不易精确控制
阳极氧化方法	场致阳极化 (FIA) 可以均匀地形成超薄隧道氧化硅层	可能会导致隧道氧化硅层界面呈现出较低的空穴势垒能量。

来源：《基于隧穿氧化物钝化接触的高效晶体硅太阳能电池的研究现状与展望》，国金证券研究所

- **难点二 掺杂多晶硅薄膜制备方式：**对于掺杂多晶硅薄膜的制备，目前市场中主要有三种制备方式，分别为 LPCVD(低压化学气相沉积法)，管式 PECVD(等离子增强化学气相沉积法)及板式 PECVD。此外还有 PVD(物理气相沉积)、PEALD(等离子体增强原子层沉积)、APCVD(常压化学气相沉积)法，但未实现商业化应用。目前商业化进程最成熟的是 LPCVD 制备掺杂多晶硅薄膜，PECVD 则是新技术发展方向。
- LPCVD 工艺的基本原理是将制备多晶硅薄膜所需的气态物质混合，在较低压力下，用热能激活，使其发生热分解或者化学反应，借助气相作用最终沉积形成多晶硅薄膜，在过程中沉积温度、反应压力、硅烷流量等沉积参数会对薄膜的质量和生长速率产生较大的影响，需要较好的参数控制。

图表 25: LPCVD 与 PECVD 工作原理对比



来源：中科院宁波材料所、国金证券研究所绘制

- PECVD 则是在低压条件下利用辉光放电将反应气体电离，形成具有较强活性的离子化的气体，经过一系列化学反应后在基片表面淀积形成稳定固态薄膜。

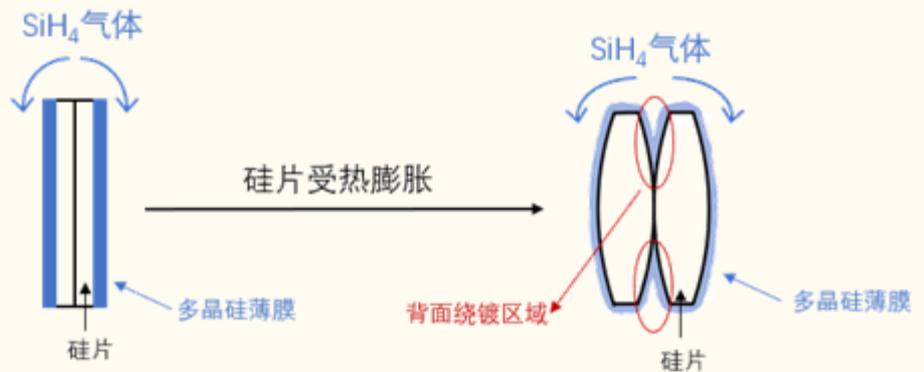
图表 26: LPCVD、PECVD 薄膜沉积技术对比

技术类型	优点	缺点	主要设备商	
LPCVD	工艺成熟、控制相对简单装片多	难于原位掺杂、存在绕镀、石英件沉积严重	CT、MB、捷佳伟创、SEMCO、拉普拉斯、Tempress、北方华创、青岛赛瑞达	
PECVD	微波PECVD	沉积速率高、可以原位掺杂、无绕镀、冷壁	难于生长很薄的 $\text{SiO}_2$ 、非晶硅薄膜含氧、膜质量较差、维护成本高	MB
	管式PECVD	原位掺杂、无绕镀、膜质量高、产能高于板式、投资低于板式	热壁导致石英管及石墨舟玷污、非晶硅膜含氧	德国Centrotherm、捷佳伟创、四十八所、金辰、拉普拉斯、理想、MB、北方华创、微导
	板式PECVD	原位掺杂、无绕镀、膜质量高、冷壁、响应时间 (uptime) 短于管式	非晶硅膜含氧、墙壁沉积导致维护成本高	AM、四十八所、MB、江苏杰太、日本岛津
PVD	原位掺杂、无绕镀、冷壁	技术不成熟	江苏杰太	

来源：华晟新能源、国金证券研究所

- 在镀膜工艺过程中，硅片由于受热发生膨胀，不能一直保持与石墨壁贴合状态，此时反应气体需要沉积的目标膜层会因为硅片受热膨胀的缘故沉积在硅片与石墨壁之间的缝隙之间，这些额外沉积的膜层主要分布在与目标沉积面的相对面的边缘位置，导致下一工序对硅片另一面镀膜时出现部分硅片边缘较厚的情况，这种现象称为绕镀。绕镀问题在 LPCVD 镀膜工艺中尤为严重，如果绕镀不能完全去除，则会出现外观良率低、漏电比例高、性能降低等问题。

图表 27: 绕镀问题严重影响电池性能



来源:《一种去除 LPCVD 多晶硅绕镀的方法》、国金证券研究所绘制

- 目前 LPCVD 设备制备掺杂多晶硅薄膜是行业里最成熟的路线, LPCVD 装片多、产量大,但是存在绕镀面积大、掺杂时间长、均匀性差、石英件损耗大、镀膜容易爆膜的缺点。

PECVD 设备可以避免产生绕镀的问题,但是产量小、维护成本高,均匀性和效果略差。因此,对于镀膜设备的选择的不确定性也是导致 TOPCon 良率较低的重要原因之一。

- 难点三 硼扩散:** 在 N 型电池整个工艺流程中, PN 结制备的质量是决定电池效率的关键步骤。低压管式 BBr<sub>3</sub>、BCl<sub>3</sub> 扩散、旋涂硼源+扩散、常压管式 BBr<sub>3</sub> 扩散、离子注入+退火是目前主要的四种 N 型的 PN 结制备技术。根据拉普拉斯统计, 低压管式 BBr<sub>3</sub> 在设备市场上的占有率较高,尤其是在光伏领域。

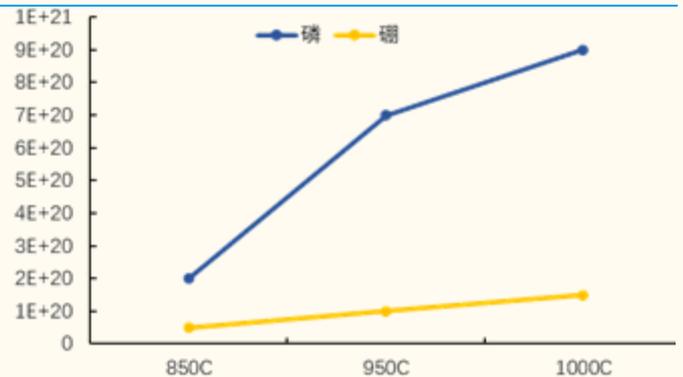
硼扩散的难点在于硼和硅之间溶解度的较大差异导致扩散速率较低; 对扩散温度的要求较高, 需要达到 1000°C; 均匀性不好控制。

图表 28: 常规硼扩散材料对比



来源: 拉普拉斯官网、国金证券研究所

图表 29: 磷和硼在不同温度下固溶度(atoms/cm<sup>3</sup>)

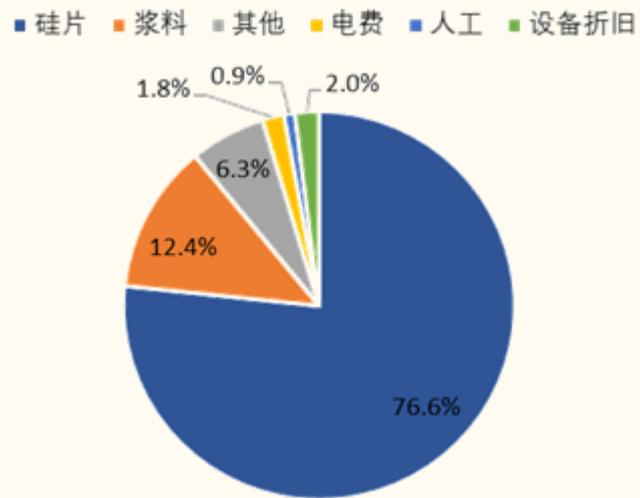


来源: 华晟新能源、国金证券研究所

## 2.4 较 PERC 成本稍高, 但降本路径清晰

- 成本较高体现在:** 与 PERC 相比, TOPCon 的较高的成本主要来自于非硅成本方面, 目前较 PERC 每 W 高出 0.08-0.09 元。其中浆料是其中成本最高的环节, TOPCon 目前用量 150-180mg, 对比之下 PERC 用量仅有 70mg 左右。此外, TOPCon 与 PERC 在良率上的差距也导致了单位成本的上升。根据调研, TOPCon 目前量产的良率在 93%-95%, 而 PERC 的良率达到了 98%。技术工艺路线的不确定以及关键环节的一些工艺难点尚未被克服是 TOPCon 良率较低的主要原因。

图表 30: 基于当前价格水平下 182 尺寸 TOPCon 电池成本构成



来源: solarzoom、国金证券研究所 (备注: 基于 182 尺寸硅片, 165um 厚度, 6.7 元/片测算)

- **TOPCon 银耗较高的原因在于双面使用银浆。**晶硅电池由光伏技术原理的不同, 可分为 P 型和 N 型。P 型晶硅电池是由掺硼 P 型硅基体掺杂磷元素形成 N 型发射极实现 PN 结, 而 N 型晶硅电池由掺磷 N 型硅基体掺杂硼元素形成 P 型发射极实现 PN 结。这会让 P 型和 N 型的金属化欧姆接触原理与工作机制有所区别。N 型相比于 P 型, 发射极上需要更多的银浆才能达到可量产的电学性能; N 型晶硅电池双面率高, 背面通过银浆丝网印刷实现的电极结构类似于 P 型晶硅电池的正面膜电极结构, 这些都使得 N 型电池对正面银浆单位消耗更高。

图表 31: TOPCon 与 PERC 在银浆上的使用差异

电池技术	金属化工艺	银浆要求
PERC	背面使用铝浆完成金属-半导体接触, 银浆仅作为汇流和接触点	常规银浆, 对温度稍作优化即可
TOPCon	N型双面电池正反两面的浆料选择都是银浆	用于多晶硅层接触且可降低金属诱导复合速率(影响电池转换效率)的银浆, 研发难度大, 需根据多晶硅层的差别调整

来源: 国金证券研究所整理

- **N 型银浆用量及成本存在明显的下降空间,** 主要实现方法包括: 多主栅技术的应用, 银浆的用量可以得到最大程度的节省; 银铝浆的使用可以推动银浆成本下降; 目前 TOPCon 银浆国产化率较低, 随着国内浆料企业的研发和进步, 国产 TOPCon 银浆渗透率的提升有助于降低成本。
- 除了在银浆方面有下降空间外, 硅片薄片化和大型化、设备产能的提升 (例如双面、三合一镀膜设备)、良率的提升 (摊薄成本) 和转换效率的提高 (最终降低 LCOE) 都是 TOPCon 成本下降的可行性路径。目前 TOPCon 单 GW 设备投资额为 2 亿元, PERC 产线升级为 TOPCon 产线单 GW 设备投资额为 0.5-0.8 亿元, 随着降本路线的持续推进, TOPCon 将会极具性价比。

图表 32: N型 TOPCon 成本下降路径清晰

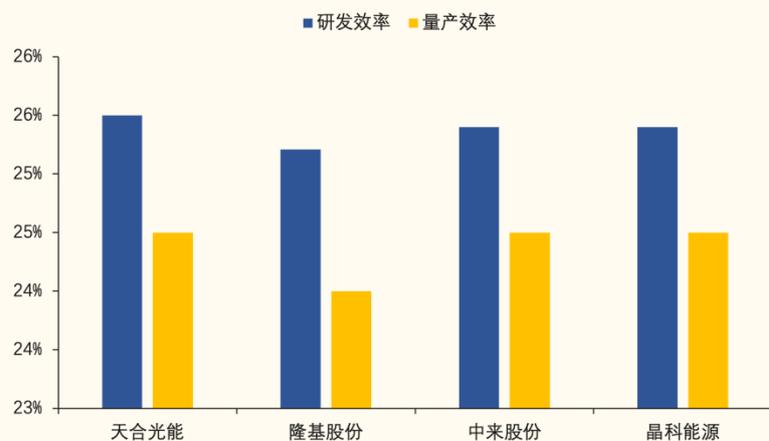


来源：晶科能源、国金证券研究所

### 2.5 良率与效率有待进一步提升

- 目前 TOPCon 产业化进程不断提速，转换效率记录不断刷新。2021 年 6 月 1 日，经过德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）认证，隆基在 N 型 TOPCon 的转换效率达到了 25.21%；2021 年 10 月 13 日，晶科能源 N 型 TOPCon 电池效率达到 25.4%，再次打破世界纪录。

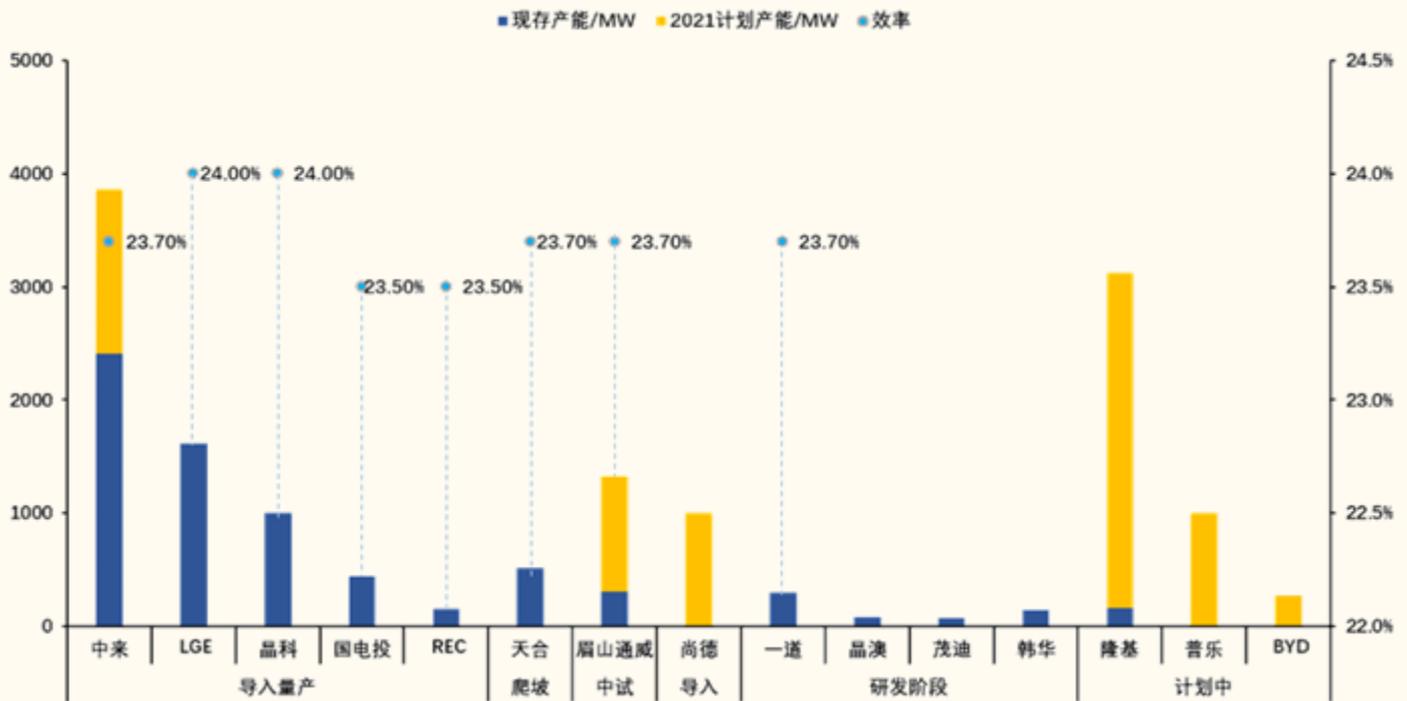
图表 33: N型 TOPCon 效率进度



来源：各公司公告、国金证券研究所整理

- 产业化方面，由于 TOPCon 技术与 PERC 技术的工艺兼容度较高，因此更受传统电池厂商的青睐。2019 年后新增 PERC 产能基本都做出 TOPCon 技术升级的预留空间。但是根据部分光伏电池企业、一体化企业 2021 年中报的披露信息，目前实际落地的产能较少，产能提升仍然需要技术路线的进一步明确。
- 量产效率方面，TOPCon 较 PERC 未有显著优势。根据 PV Infolink 统计，目前 TOPCon 主流电池量产效率约 23.7-24.0%。2021 年 8 月，天合的 210mm PERC 电池量产效率达到 23.56%，且还未到转换效率极限，TOPCon 与 PERC 实际量产效率仍未拉开较大距离。

图表 34: 2021 年 TOPCon 产能规划及量产效率 (截至 2021 年底)



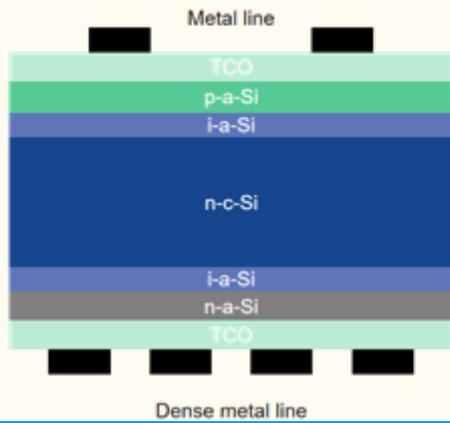
来源: PV Infolink、国金证券研究所

### 3、HJT: 工艺步骤简洁+效率高, 备受产业青睐

#### 3.1 结构上兼具晶硅与薄膜电池优势

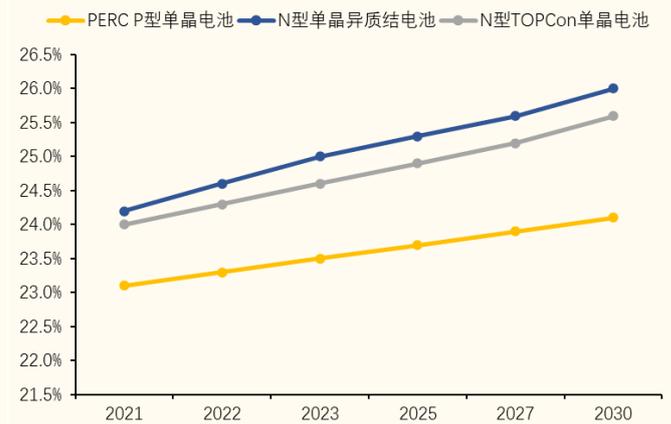
- 异质结 (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer = HJT) 是一种高效晶硅太阳能电池结构,由 N 型晶体硅基板和非晶硅薄膜混合制成, 结构如图 34 所示, 在背面依次为透明导电氧化物膜 (TCO)、P 型非晶硅薄膜, 和氢化非晶硅薄膜; 在电池正面依次为 TCO 透明导电氧化物膜, N 型非晶硅薄膜和本征非晶硅膜。得益于非晶硅薄膜的引入, 异质结太阳能电池兼具晶硅与薄膜太阳能优势, 表面钝化效果更好, 其晶硅衬底的前后表面均实现了良好的钝化, 并且隔绝了金属电极和硅材料的直接接触, 进一步降低了载流子复合损失, 提升了电池转化效率。
- 德国哈梅林太阳能研究所理论模拟计算结果显示, 双面完全钝化的 TOPCon 的理论极限效率略高于 HJT, 但是由于工艺流程上比较复杂、技术路线选择性较多, 目前 TOPCon 产线上导入的都是单面钝化技术, 良率上仅有 93%左右, 且转换效率目前稍低于 HJT。虽然 HJT 技术的工艺难度较高, 但是由于工艺步骤的简化, 良率目前在 98%左右 (RPD 镀膜良率 93%左右), 更适合大规模量产。且由于市场关注度较高, 因此产业化进程速度快。

图表 35: HJT 电池结构拆解



来源：金石能源、国金证券研究所

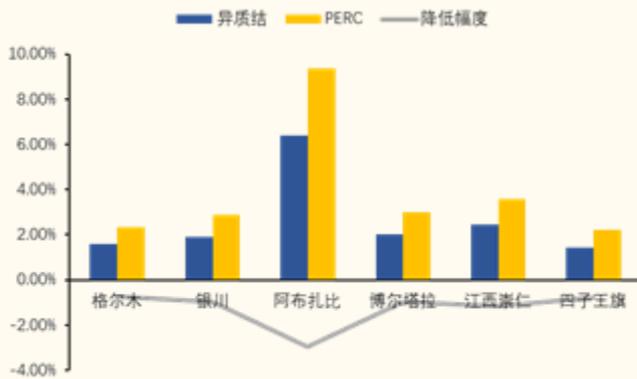
图表 36: HJT 电池量产效率前景高于 PERC、TOPCon



来源：中国光伏产业发展路线图、国金证券研究所

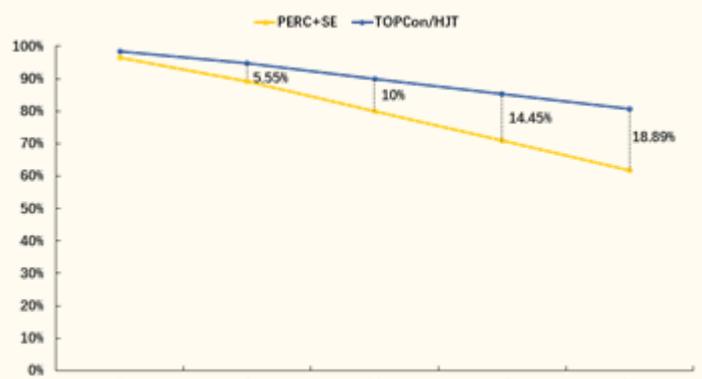
- **HJT 更符合硅片薄片化趋势。** PERC 电池工艺中，所用的硅片主流厚度为  $170\mu\text{m}$ - $180\mu\text{m}$ ，进一步减薄后对于电池和组件的工艺均会形成挑战，且引起转换效率的下降，甚至发生严重的翘曲、失效现象。由于 HJT 电池结构对称、且采用低温工艺流程，因此硅片不容易翘曲，硅片更容易符合薄片化降本趋势。HJT 在硅片变薄的情况下，开路电压 ( $V_{oc}$ ) 上升，短路电流 ( $I_{sc}$ ) 下降，填充因子 ( $FF$ ) 基本稳定，因此转换效率基本可以保持不变。
- **HJT 可实现向下一代高效电池技术的过渡。** HJT 电池更容易实现与一代技术的融合。目前结合 IBC 结构的 HBC 电池已实现实验室 26.63% 的转换效率，与钙钛矿组成的叠层电池转换效率有望提升至 30% 以上
- **HJT 具有优异的电池特性。** 与 PERC 电池相比，HJT 电池存在衰减率低、温升系数低、双面率高、弱光效应好的特性。

图表 37: 异质结在不同地区 (不同环境温度下) 的发电量温升损失均低于 PERC



来源：坎德拉官网、国金证券研究所

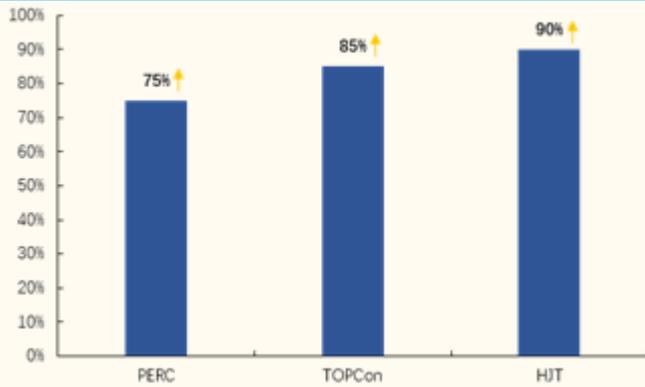
图表 38: 异质结较 PERC 衰减率低



来源：索比光伏网、国金证券研究所绘制

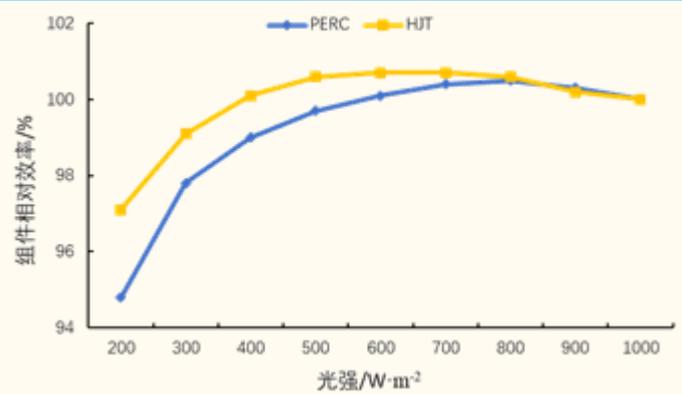
“注：温升系数是衡量组件发电效率随温度升高而下降程度的指标，代表组件工作温度每升高一度带来的输出功率变化幅度，通常异质结组件该指标为  $-0.24\%/^{\circ}\text{C}$ ，PERC 为  $-0.35\%/^{\circ}\text{C}$ ”

图表 39: 异质结双面率大于 90%



来源:《TOPCon 电池效益可行性分析》、国金证券研究所

图表 40: 异质结弱光效应较 PERC 更为优异



来源: 天合光能、国金证券研究所

### 3.2 工艺步骤简洁、量产化路线清晰

- **HJT 工艺步骤简洁:** 相比于 PERC 与 TOPCon, HJT 电池的工艺流程简洁, 仅需四步便可完成, 因此良率大大提高, 也更符合大规模量产趋势, 目前产业中 HJT 量产效率高达 98%, 在良率上与 PERC 相差无几, 远胜于 TOPCon。

图表 41: HJT 制作流程及主要设备厂商



来源: 国金证券研究所整理

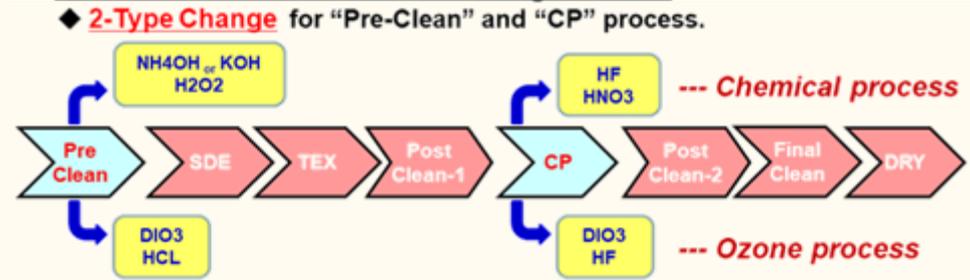
- **清洗制绒:** HJT 工艺的首要步骤为制绒清洗, 清洁的硅片表面和合理的织构化处理有利于获得高  $V_{oc}$ 。制绒清洗工艺的主要目的为利用制备的绒面产生陷光现象, 减少光的反射率、增加光吸收, 最终提升光电转换效率。主要步骤包括: 利用 KOH 溶液对 N 型硅片进行各向异性腐蚀, 形成绒面结构, 从而降低表面反射率、产生更多载流子; 形成洁净硅片表面, 去除有机物和金属杂质 (SC1、CP、SC2、DHF), 从而避免不洁净引进的缺陷和杂质而带来的结界面处载流子的复合。

图表 42: 晋能制绒清洗工艺流程

No.	步骤	工艺目的	化学品	工艺温度	工艺时间
1	预清洗	去除表面有机物及脏污	NH <sub>4</sub> OH、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	65-80	180-240s
2	去损伤	去除损伤层	KOH	70-80	120-180s
3	制绒	制备金字塔绒面	KOH、添加剂	75-85	600-900s
4	RCA清洗	SC1	NH <sub>4</sub> OH、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	65-80	120-240s
5		CP	HNO <sub>3</sub> 、HF	室温	60-120s
6		SC2	HCl、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	65-80	120-240s
7		DHF	HF	室温	120-180s

来源: 晋能能源、国金证券研究所

图表 43: 日本 YAC 清洗制绒设备流程



来源: 南通圣斯威特能源、国金证券研究所

- 清洗制绒环节主要包括 RCA 与 O3 两种技术路线，目前多采用二者结合的方式。RCA 清洗通常是使用碱性腐蚀液对硅片进行各向异性腐蚀。这种方法处理之后，硅片的界面金属杂质较低。但氨水会导致硅片表面较为粗糙，同时化学品耗量较大，废液处理成本较高。行业内已经开始使用臭氧超纯水来代替 RCA，臭氧的氧化还原效果高于 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>，在有效去除金属、颗粒和有机物的同时，不会增加表面微粗糙度。臭氧清洗既能满足工艺需求的同时，又可以降低化学品耗量及运行成本量，降低废液处理成本，更有发展前景。
- 非晶硅沉积: 非晶硅薄膜沉积为核心工艺，目前使用 PECVD 沉积非晶硅薄膜是市场主流。由于 P-N 异质结制备的位置是在 N 型晶硅衬底表面，且沉积层影响到钝化的效果，因此决定了 HJT 的电池性能。

图表 44: 市场上主要非晶硅沉积设备供应商

PECVD设备制造商	技术参数
Meyer Burger	设备沉积后可实现区熔单晶硅 (FZ) 少子寿命超过10ms, 直拉硅片 (CZ) 少子寿命超过4ms, 制造出的电池片温度系数最优可达-0.25%/K。每小时设备生产量为2400片, 对应产能110MW。
INDEOtec	设备的6英寸的直拉硅片 (CZ) 上少子寿命可达5ms, 4英寸的区熔硅片 (FZ) 上少子寿命达10ms。设备每小时可生产电池片 3000片以上, 产能约140MW。
理想万里晖	产能可达250MW/年。不同型号设备产能分别为: 5200片/时 (M2-M12), 3000片/时 (M2-M4), 1500片/时 (M2-M4)
钧石能源	设备兼容M6、M10、G12硅片, uptime超过90%。350MW设备产能: M6 (169片式) 6910片/小时, M10 (144片式) 5890片/小时, G12 (100片式) 4270片/小时; 500MW设备产能: M6 (169片式) 10140片/小时, M10 (144片式) 8640片/小时, G12 (100片式) 6100片/小时
迈为股份	设备兼容M2-G12尺寸; 产能及硅片尺寸: 14400wph@G12半片, 18000wph@M10半片, uptime≥90%, 转换效率24%以上
捷造光电	拥有4个独立的PECVD模块处理双面异质结工艺, 保证非晶硅工艺稳定, 电极间距可调, 搭载RF快速匹配技术, 采用模块化设计。
捷佳伟创	硅片尺寸156/166/18X/210/230可选, 兼容M6、M0、M12硅片, 兼容实心和镂空载板; RF频率13.56MHz; 产能5500pcs/h; 破片率<0.05%; 成膜均匀性≤5%。

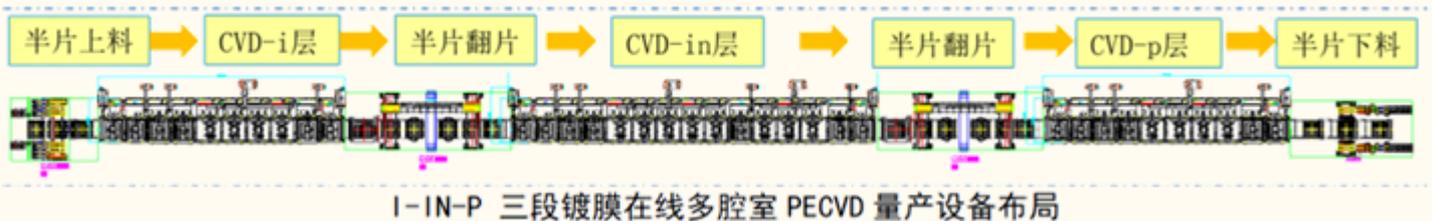
来源: 各公司官网、国金证券研究所整理

- 目前市场上常用的 RF (射频) -PECVD 镀膜设备, 频率主要分为 13.56MHz 和 40.68MHz。其中 40.68MHz 处于甚高频频段 (VHF: 30-

300MHz)。工作频率是 PECVD 工艺的重要指标之一，其对薄膜沉积速率和质量等都有影响：

- 通过调节电流频率的大小，控制生成等离子体的数量，可以起到控制薄膜沉积速率的作用。工作频率越高，等离子体的离化度越高，离子轰击效应更明显，薄膜沉积速度更快。
- 基板在 PECVD 设备中，边缘部分的电场较中心区域弱，会影响局部的组分沉积速率。相比低频工作，高频时两个区域电场强度差别较小，沉积速率差别较小，薄膜均匀性就更好。
- 工作频率高，等离子体携带的动能增加，轰击作用强，到达基板的速度较大，易造成较大损伤，对其寿命产生影响。
- **VHF-PECVD 由于电源频率高，薄膜沉积质量高，更利于生长微晶硅。**微晶硅是一种晶粒大小为微米数量级的介于单晶硅和多晶硅之间的材料。镀微晶的好处表现在：
  - 微晶硅具有更好的结构有序性，使得载流子迁移率较高，有利于电极对光生电子、空穴的收集，大大提高微晶硅材料的电导率。
  - 非晶硅薄膜在受长时间光照后性能会有所下降，即 S-W 效应。而微晶硅中由于晶粒都是结晶状态，具有更好的稳定性，光致衰退效应几乎不存在。
- **当前行业内多采用分层镀膜工艺进行提效。**对于异质结电池，要想提高转换效率，就要提升非晶硅薄膜的钝化效果，而杂质过多，会对钝化效果产生负面影响。传统的分层镀膜工艺采用 IN-IP 顺序，即在硅片正面依次沉积本征 (i) 和 N 型非晶硅薄膜，再在背面以此沉积本征 (i) 和 P 型非晶硅薄膜。目前基本采用 IINP 制程工艺，提高效率 0.15% 左右。p 型硅中的硼在镀膜后残留在腔体或托盘表面，会影响本征层的钝化效果。因此将非晶 p 晶工序独立，可以有效减少硼扩散，提高电池效率。

图表 45：分层镀膜技术图解



来源：迈为股份、国金证券研究所

- **TCO 镀膜：** HJT 相较于晶体硅太阳能电池最突出的特点就是需要制备 TCO 薄膜。制备 TCO 膜的技术有两种，传统的 PVD 技术是运用 SPUTTER 磁控溅射，使用 ITO（氧化铟锡）靶材；RPD 技术则是利用特定的磁场产生稳定、均匀、高密度的等离子体，使用 IWO（氧化铟掺钨）靶材。缺乏 TCO 薄膜的氢化非晶硅薄膜的导电性较弱。TCO 薄膜可以收集光生载流子并将其运输金属电极上，具有良好导电性。同时，TCO 薄膜还需具备减反射的功能以保证电池拥有较低的表面光反射损失，具有高透过率。一般的导电材料或者透明氧化物只能满足强导电性和高透过率的一种，而 TCO 却能兼顾这两个功能，是一种理想材料。

目前主流技术路线是用 PVD 的方式制备前后表面的 TCO 膜，主要设备供应商有梅耶博格、冯阿登纳、Singulus、迈为股份等。

- RPD 技术制作出来的 TCO 膜效率较高，但是目前有诸多难点：

从靶材溅射出的离子呈球形分布，为了均匀镀膜，需要多靶同时溅射，还需要在硅片与溅射源之间设置匀流板，大幅限制了镀膜的产能。

靶材利用率低，且供应商较少。

RPD 自下往上镀膜，需要采用两台设备进行镀膜，影响产能。

受制于日本住友专利技术，核心部件依赖进口,设备价格较高。RPD 的设备供应商仅有 Sumitomo（日本住友,专利所有者）和捷佳伟创（获得专利授权），无法形成有效竞争。

图表 46：市场上主要 PVD/RPD 设备供应商

PVD&RPD设备制造商	技术参数
冯阿登纳	可以在不翻转基片、不破坏真空的条件下双面沉积TCO薄膜。设备沉积腔室设计较为灵活，既可配置平板式或旋转式、单个或双磁控管，又可以配置电子束枪或各种蒸发源。生产量：XEAnovaL8: 8000wph (M6) , 6600wph (M10) ,4700wph(G12);XEAnovaL10: 10000wph (M6) , 8300wph (M10) ,6000wph(G12);XEAnovaL12: 12000wph (M6) , 10000wph (M10) ,7000wph(G12);硅片尺寸: M2、M4、M6、M10、G12和半切或三切规
Singulus	在全真空、无翻转的情况下进行双面沉积，各腔室独立工作，正背表面溅射方向可灵活选择。旋转式圆柱形磁控管的引入将靶材利用率从30%提升至80%，三种型号工业量产设备，每小时产量分别可达3000、6800和10000片。
Meyer Burger	可在真空环境下无翻转实现双面薄膜沉积，每小时产量约3000片，年产能超过140MWp，uptime大于94%，单个托盘 cycle time约36s，托盘单次可装载30个M2-M4硅片。
钧石能源	采用双旋转靶设计，靶材利用率超过80%，薄膜厚度均匀性可控制在5%以内，uptime > 92%，可兼容M6、M10和G12尺寸的硅片。350MW设备产能：M6（130片式）6880片/小时，M10（108片式）5720片/小时，G12（80片式）4320片/小时；500MW设备产能：M6（130片式）9750片/小时，M10（108片式）8100片/小时，G12（80片式）6000片/小时
捷佳伟创	捷佳伟创获得日本住友对RPD在中国大陆地区的独家授权，设备uptime≥90%，膜厚均匀度可控制在5%以内，碎片率≤0.05%，产能5500wph
捷造光电	采用inline溅射系统，配备大功率长寿命旋转阴极，定制磁场设计，降低电压，减少高能粒子对基片的轰击，进而提升了成膜质量，靶材利用率大于75%，节拍时间72s，膜厚均匀性和方阻均匀性分别控制在4%和5%以内。
迈为股份	设备兼容M2-G12尺寸；产能及硅片尺寸：14400wph@G12半片，18000wph@M10半片，uptime≥90%，靶材利用率≥80%，节拍40s。

来源：各公司官网、国金证券研究所整理

- **丝网印刷、固化、测试分选**：丝网印刷技术是 HJT 电池电极金属化环节主流工艺，技术成熟度较高。目前 HJT 主要的挑战是低温银浆的成本较高，制约了 HJT 成本的进一步下降。解决方案包括：银包铜技术与无主栅技术（SmartWire）相结合等。
- Meyer Burger 的 SmartWire 智能网栅技术能够在保证丝网印刷效率的前提下大大降低成本。该技术一方面去掉了正反面 5 根主栅，将印刷头从 4 个减至 2 个，成本降低 200-300 万元，另一方面直接采用金属丝连接余下的细栅，节省了细栅银浆 90-100mg。
- 目前，钧石能源采用的全新的溅射镀膜方式结合网版设计和新型浆料开发，采取一面用银一面用铜的方式，单片银浆耗量下降 50%，使 G1 硅片制作的异质结电池银浆单耗从 150mg 大幅降至 80mg。随着 HJT 产业化进程的加速，银浆成本与用量下降速度有望超预期。

### 3.3 设备与耗材国产替代快、后续降本增效空间大

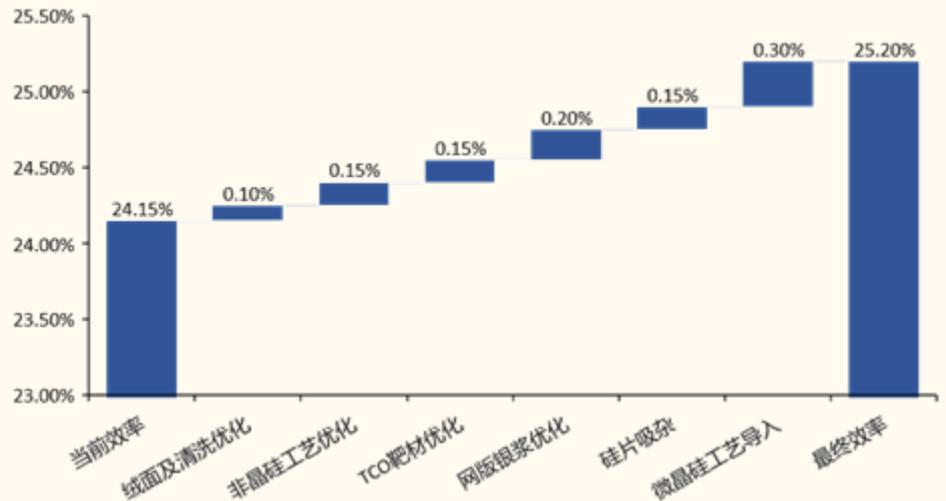
- 跟据测算，目前 HJT 的单瓦生产成本比 PERC 高出 0.2 元，主要是在非硅成本上的差异。在当前时间点，异质结技术的降本路线较为清晰，主要有两条路径：
  - 一是原材料端的直接降本。主要通过硅片薄片化（厚度低于 120um）、银包铜技术的导入（银含量低于 45%）、切片良率的提高（大于 95%）、低温银浆的国产化、设备投资（下降到 3.5 亿元/GW 以下）的下降实现。
  - 二是效率的提升，带来更好的发电量增益价值、从而带来更明显的修正成本优势。主要可以通过微晶硅技术的导入、退火吸杂技术的应用、工艺与靶材的优化等技术实现。

图表 47：异质结主要降本方向及驱动因素

主要技术及其他驱动因素	被影响因子	期望值
硅片薄片化	硅片厚度	≤120um
半棒半片工艺	切片良率	≥95%
银包铜	银含量	≤45%
浆料国产化	浆料利润	≤800元/kg
高精串焊/无主栅技术+网版图形+浆料特性	浆料耗量	≤20mg/W
钢金属回收 PK HJT放量冲击需求+大宗商品炒作	钢价	1200-12000元/kg
复合TCP镀膜工艺、AZO替代背面部分ITO	ITO靶材耗量	≈10mg/W
设备产能扩大、设备部件国产化、设备出货规模放量	设备价格	≤3.5亿/GW

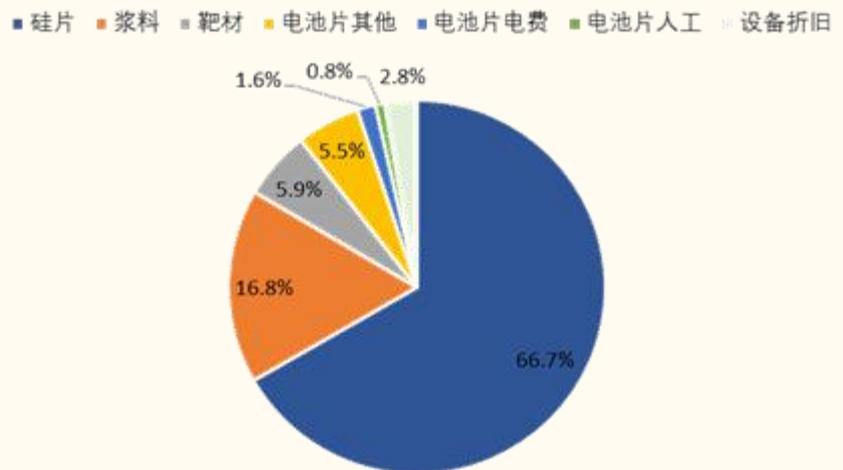
来源：solarzoom、国金证券研究所

图表 48: HJT 量产效率提升路线



来源：迈为股份、国金证券研究所

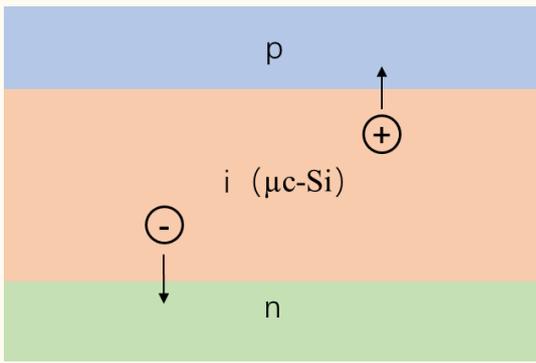
图表 49: 基于当前价格水平下 182 尺寸 HJT 电池成本构成



来源：solarzoom、国金证券研究所（备注：基于 182 尺寸硅片，165um 厚度，6.7 元/片测算）

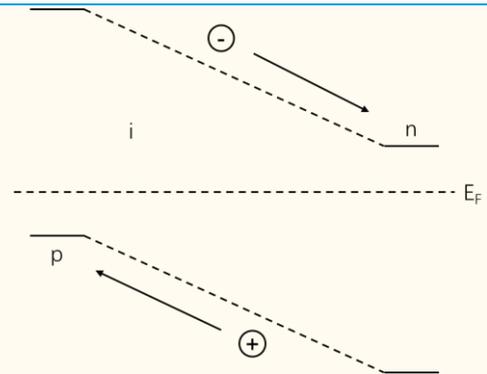
- **HJT 降本线路之一，微晶硅技术：**使用掺杂微晶硅替代目前的掺杂非晶硅是 HJT 太阳能电池效率的重要提升方向，可以进一步提高掺杂浓度、增加透光性能，同时减低掺杂层的电阻，并最终增大 HJT 电池的电流密度。
- 微晶硅薄膜由纳米级的晶硅颗粒镶嵌在非晶硅薄膜组成，是介于非晶硅和单晶硅之间的混合相无序半导体材料。微晶硅薄膜电池同时具备非晶硅和单晶硅的优点：
  - 微晶硅薄膜电池制作成本低。
  - 结构有序性使载流子迁移率高，电导率、吸收系数高，几乎没有衰退效应。
  - 容易量产，可大面积制备。
  - 光电转换效率高，且在不同的太阳光谱波段与非晶硅形成互补。

图表 50: p-i-n 微晶硅结构示意图



来源:《非晶硅薄膜太阳能电池研究进展》、国金证券研究所绘制

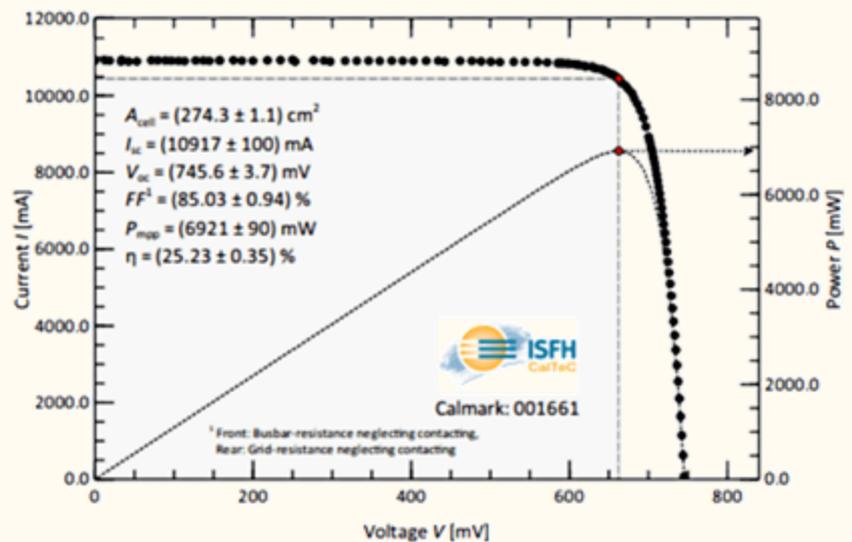
图表 51: p-i-n 电池能带结构图(理想)



来源:《非晶硅薄膜太阳能电池研究进展》、国金证券研究所绘制

- 微晶硅中大部分颗粒大小在微米量级，实际上就是精细颗粒多晶硅。一般认为，多晶硅的晶粒尺寸在 100um 以上时具有优良的性能和高转化效率，但大晶粒、高质量的多晶硅薄膜生产工艺复杂。微晶硅晶粒尺寸虽然较小，但制备多在  $T < 600^{\circ}\text{C}$  下进行，易实现对微晶硅薄膜中氧原子的钝化和晶界的钝化，因而低温工艺制备的微晶硅薄膜太阳能电池具有较为可观的转化效率。

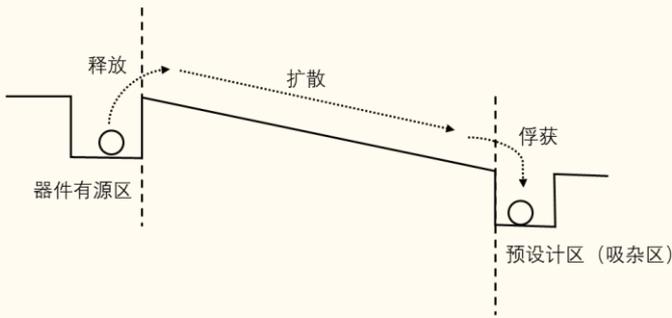
图表 52: 华晟新能源微晶硅工艺量产效率可达 25.23%



来源: 华晟新能源、国金证券研究所

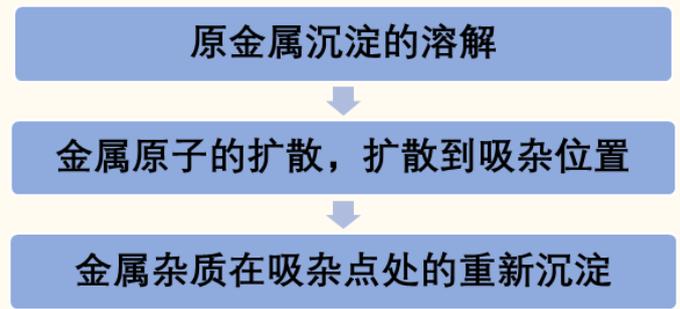
- **HJT 降本线路之二，退火吸杂：**晶硅太阳能电池在制作过程易受金属杂质的沾污，金属在硅中是深能级，复合活性大，加速载流子的复合，深能级的金属杂质严重影响硅片的少子寿命，对提升电池的转换效率不利，因此杂质的去除对于效率的提升尤为重要。
- 吸杂是将金属杂质从器件有源区转移到硅片预设计区域或者将其蒸发。吸杂技术的三个物理过程：1) 杂质的释放；2) 杂质向俘获区扩散；3) 杂质在缺陷中心被俘获。

图表 53: 吸杂原理图



来源: 光伏测试网、国金证券研究所

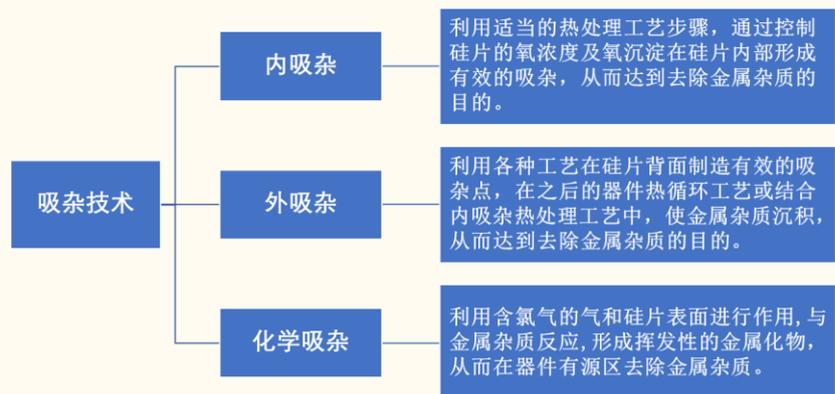
图表 54: 吸杂技术物理过程



来源: 光伏测试网、国金证券研究所

- 目前采用的吸杂技术可分为：**内吸杂、外吸杂、化学吸杂**。其中内吸杂是利用适当的热处理工艺步骤，通过控制硅片的氧浓度及氧沉淀在硅片内部形成有效的吸杂点，从而达到去除杂质的目的。内吸杂的热处理工艺一般采用高温-低温-高温三步式退火，可与原有器件工艺相结合，具有更广泛的应用前景。随着 HJT 电池被广泛接受和量产，退火吸杂将成为 HJT 电池生产的必备工序。

图表 55: 吸杂技术路线



来源: 《硅材料的吸杂研究》、国金证券研究所

- HJT 降本线路之三，银包铜：** HJT 银浆占电池非硅部分超过 50%，采用银包铜浆料是在金属化层面降低异质结成本的途径之一。银包铜粉即在铜粉表面包覆一层金属银，获得拥有核-壳结构。银包铜与纯银相比，生产成本显著下降，同时又具备热稳定性、高导电性、抗氧化、抗迁移等优势，实现高性能低成本，可用于部分乃至全部替代纯银或纯铜。
- 2008 年左右,欧美及日本开始对银包铜粉进行开发和市场化生产,而我国在这方面的研究一直处于初期阶段。现在国际上生产银包铜粉的主要有美国 SCM、德国 Ecka、比利时 Nano 以及日本 Fukuda 等企业,且产品质量较国内更好,种类更多。目前低温银浆国产化进程正在加速进行中,华晟、迈为等多个企业都将在今年将银包铜技术应用于 HJT 电池量产中,预计中国将在今年实现银包铜浆料的国产化,正式开始 HJT 技术的低成本时代。

### 3.4 产能规划有待进一步落地

- 2021 年以来 HJT 产能布局较多，但实质性落地产能较少。**截至 2021 年 8 月，HJT 年内明确规划产能已超 50GW。但是由于设备投资较高、非硅成本难以快速下降的问题，实际落地产能较少，2020 年底至今，主要 HJT 产线招标仅有 11GW。

- 随着微晶硅技术的导入和成熟、新型金属化等技术的渗透，HJT 在成本端及效率端均有望得到进一步优化，2023 年及之后 HJT 技术有望迎来产能落地的爆发期。

图表 56: 2021 年以来 HJT 产能布局及效率 (截至 2021 年底)



来源: PV infolink、国金证券研究所整理

图表 57: 2020 年底至今 HJT 产线主要招标

时间	招标公司	设计产能 (GW)	中标公司	中标容量 (GW)
2020/7	阿特斯	0.25	迈为	0.25
2020/8	安徽宣城	0.5	迈为、理想 (PECVD)	0.5
2020/10/1	通威金堂	1	线一: 迈为	0.25
			线二: 理想 (PECVD)	0.25
			线三: 钧石 (PECVD)	0.25
			线四: 钧石 (PECVD)	0.25
2020/12	华盛一期	0.5	迈为、理想 (PECVD)	0.5
2021/8	爱康一期	0.75	理想	0.75
2021/9/2	华盛二期	2.3	迈为	1.8
			理想 (PECVD)	0.5
2021/9/24	爱康二期	4.4	迈为	0.6+1.8后期采购意向
2021/6/28	金刚玻璃	1.2	捷佳	0.5+1.5后期采购意向
			迈为	1.2
合计		10.9		

来源: 国金证券研究所整理

#### 4、未来已来，静候 N 型量产佳音

- 2021 年年内 N 型 TOPCon 与 HJT 技术效率不断取得突破，量产效率与实验室效率实现“双开花”，进一步拉大与单晶 PERC 电池的效率差。当前 N 型 TOPCon 与 HJT 技术的平均转换效率已经与 PERC 有 1.5% 左右的差异。

图表 58: 2021 年各电池技术路线效率发展情况



来源: 各公司公告、国金证券研究所整理

- 目前各大设备商几乎都已入局 N 型相关设备的研发、生产, 进展比较快的企业包括迈为股份、捷佳伟创、拉普拉斯、金辰股份等, 未来建议关注相关量产订单落地及实证运行数据的验证。

图表 59: N 型设备企业最新进展

公司	N型技术路线	N型设备客户	布局设备及技术特点	当下主要进展
迈为股份	HJT	通威、阿特斯、华晟、爱康、全别玻璃、明阳智能、REC	HJT整线设备(集合链式退火吸杂、前置半片工艺、SMBB、微晶技术)	HJT设备市场份额70%以上, 近期中标订单大部分为HJT整线设备
捷佳伟创	TOPCon	通威(三合一管式PECVD)、天合(LPCVD)、晶科(磁扩等)、隆基(磁扩等)	TOPCon整线设备	已推出TOPCon关键设备: LPCVD和三合一管式PECVD
	HJT	隆基(RPD)、爱康(RPD)	HJT整线设备(CATCVD与PECVD二合一设备, 大产能管式PECVD设备, RPD镀膜)	管式PECVD设备投资低至3亿元/GW
金辰股份	TOPCon	晶澳、晶科、东方日升	管式二合一PECVD	已进入商务合同签署阶段
	HJT	晋能	板式PECVD、丝印技术; 电加热层压机适用于HJT低温工艺	导入晋能中试, 2022年上半年大产能设备有望问世
京山轻机	HJT	-	制绒清洗、自动化设备, 开始布局PECVD	与钧石合作, 首台HJT清洗制绒设备实现交付
钧石/金石能源	HJT	通威、晶澳	HJT整线设备(低银耗技术、微晶技术)	银耗专利技术成功导入组件规模量产线, 在巨能电力实现异质结组件
理想万里晖	HJT	隆基、通威、华晟、爱康	PECVD、微晶技术	PECVD设备助力隆基半年内三度刷新HJT电池效率世界纪录
拉普拉斯	TOPCon	隆基、晶科	TOPCon核心设备: LPCVD	TOPCon电池良率接近97%, LPCVD设备导入隆基
江苏微导	TOPCon	通威	磁扩、管式PECVD	与通威开展TOPCon相关技术合作
理想晶廷	TOPCon	-	TOPCon核心设备: 磁扩、管式PECVD	-
奥特维	TOPCon	晶科	LPCVD设备; 串焊机储备小间距、负间距、异型焊带技术	已获得晶科TOPCon组件用串焊机大规模订单
	HJT	华晟	SMBB、低温焊接、薄片化、无损划片技术	与华晟签订战略合作协议, 华晟二期2GW异质结组件项目将全线选用奥特维串焊机
帝尔激光	TOPCon	-	激光磁掺杂、特殊浆料开槽技术、激光转印等	-
	HJT	-	LIA激光修复技术、激光转印等	已取得客户量产订单
	IBC	-	激光开槽技术	已取得量产订单并确认收入

来源: 各公司公告、官网, 国金证券研究所整理

我们基于如下假设, 对新型电池技术设备市场空间进行了测算, 根据推算 2021-2023 年 TOPCon、HJT 市场空间有望分别达到 220/221 亿元。

- 1、光伏装机与组件的容配比为 1: 1.2; 组件与电池产能 1:1 对应
- 2、2021 年全球光伏电池产能利用率为 65%, 与 2020 年持平;
- 3、2019 年后新增 PERC 产能均有 TOPCon 升级空间

图表 60: 2021-2025 年 N 型设备市场空间测算

	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E
全球装机量预测 (GW)	160	220	270	300	330
组件需求 (GW)	192	264	324	360	396
电池需求 (GW)	192	264	324	360	396
电池片产能利用率 (GW)	65%	67%	66%	65%	64%
全球电池片产能预测 (GW)	295	394	491	554	619
年内新增电池片产能 (GW)	41	99	97	63	65
新增TOPCon产能占比	30%	35%	40%	40%	35%
年内新增TOPCon产能 (GW)	12	35	39	25	23
年内升级TOPCon产能 (GW)	10	13	25	20	5
年内TOPCon产能新建+升级共计 (GW)	22	48	64	45	28
单GW TOPCon产线建设投资 (亿元)	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3
单GW TOPCon产线升级投资 (亿元)	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
TOPCon市场空间测算 (亿元)	36	88	97	64	54
合计 (亿元)			220		338
新增HJT产能占比	20%	25%	35%	55%	60%
年内新增HJT产能 (GW)	8	25	34	35	39
年内HJT产能新增共计 (GW)	8	25	34	35	39
单GW HJT产线建设投资 (亿元)	4	3.5	3	3	3
HJT市场空间测算 (亿元)	33	86	102	104	117
合计 (亿元)			221		442

来源: 国金证券研究所测算

- 根据公开信息披露, 年内目前已有多个 N 型组件招标项目。对比合理价差的测算结果, N 型组件渗透率进一步提升仍需进一步降本增效, 在拉开与 P 型组件的功率差的同时, 进一步在价格上有所下降。

图表 61: 基于不同与面积相关 BOS 成本的 N 型组件合理价差测算

面积相关BOS成本 (元/w)	N型组件功率对比P型组件功率(W)					
	545	555	565	575	585	595
	530	530	530	530	530	530
1.5	0.04	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16
1.6	0.04	0.07	0.10	0.13	0.15	0.17
1.7	0.05	0.08	0.11	0.13	0.16	0.19
1.8	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17	0.20
1.9	0.05	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21
2	0.06	0.09	0.12	0.16	0.19	0.22

来源: 国金证券研究所测算

- 通过 2021 年 SNEC 展会上对于市场上主要组件厂商展出组件的统计, 可以看到 N 型组件的到来已经进入倒计时。我们预计 2022 年中, 市场上可以陆续看到 N 性组件的规模出货及应用。

图表 62: 2021-2022 年有望量产的 TOPCon 组件

公司	组件名称	硅片尺寸	切片	主栅数	组件效率	组件功率 (w)	单/双面
隆基	Hi-MON	182	1/2	9	21.3%-22.3%	545-570	双
晶科	Tiger Pro N-type	182	1/2	10	22.86%	625	双
晶澳	N型78片多主栅半片	182	1/2	11	22.10%	620	双
天合	i-TOPCON	210	1/4	12	22.30%	700	双
东方日升	NewT@N (HJT+TOPCon)	210	1/2	12	21.9%-22.5%	680-700	单
尚德	Ultra V系列	182	1/2	10	19.8%-22.4%	410-620	单/双
正泰	N Type Bifacial Module	166	1/2	9	20.9%-21.6%	455-470	双
中来	Niwa 系列	182/210	1/2	11/12	22%-22.53%	405-700	单/双
通威	叠瓦双玻TOPCon	210	1/6	-	-	695	双
英利	熊猫	158.75	1/2	9	19.05%-20.45%	390-415	双

来源: 2021 SNEC、国金证券研究所

图表 63: 2021-2022 年有望量产的 HJT 组件

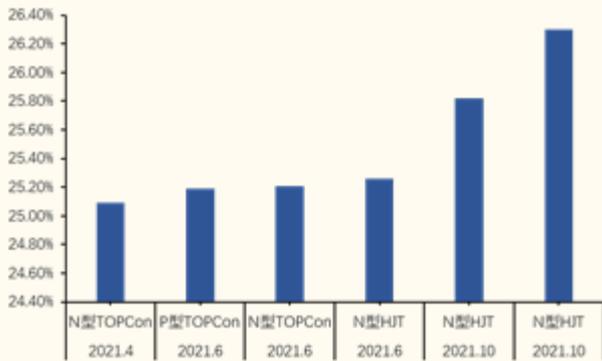
公司	组件名称	电池技术	硅片尺寸	片数	组件效率	组件功率 (W)	双面
晶澳	异质结72片多主栅半片	HJT	182	72	22.40%	580	双
天合	HJT光伏组件	HJT	210	66	22.87%	710	双
阿特斯	HiHero	HJT	182	54	22.00%	405-430	单
东方日升	NewT@N	HJT+TOPCon	210	66	21.9-22.5%	680-700	单
东方日升	Sieger	HJT	158.75	66	20.1-21.1%	370-390	双
通威	叠瓦双玻HJT	HJT	210	66		705	双
海泰	HTM470-490DMH3-72	HJT	166	72	21.62-22.54%	470-490	双
爱康	Hi-Chaser	HJT	166	72	20.59-21.26%	460-475	双
爱康	HC-Chaser	HJT	158.75	112	22.05-22.70%	685-705	单
爱康	Hi-Chaser	HJT	158.75	60	21.09-22.24%	365-385	双
爱康	Bi-Chaser	HJT	158.75	60	21.09-22.25%	366-385	双
日托	C Class Series	HJT	166	105		700	单
晋能	超高效异质结单晶太阳能组件	HJT	166	72		470+	
福建金石	HDT半片栅互连组件	HJT	156.75	78	21.80%	450	
华晟	Himalaya Bifi	HJT	166	72		455-470	双
华晟	Himalaya Hi-Bifi	HJT	166	72	21.62%	455-465	双
华晟	Himalaya Hi-Bifi Black	HJT	166	72		455-465	双
赛维	赛单晶蓝天组件	HJT+Cast-Mono	158.75	60	21.70%	360	

来源: 2021 SNEC、国金证券研究所

## 5、相关标的推荐

- 1) 在新型电池技术领域研发及量产布局领先的一体化组件龙头，重点推荐隆基股份、晶科能源。建议关注晶澳科技、天合光能（二者均有望在年内进行新型高效电池产能建设）。
- 2) 专业化电池厂商，重点推荐通威股份。建议关注爱旭股份（ABC 技术门槛高，产能布局大），中来股份（TOPCon 量产效率达 24.5%，转换效率及产能规划行业领先），钧达股份。
- 3) 受益于 N 型技术变革的设备公司，重点推荐迈为股份、金辰股份、捷佳伟创，建议关注奥特维（串焊机已储备 TOPCon 与 HJT 技术工艺，已分别导入晶科、华晟），拉普拉斯（TOPCon 核心设备 LPCVD 行业最大供应商），帝尔激光（激光技术行业领先，同时开发出激光转印技术），京山轻机（与金石能源强强合作，加码异质结电池设备）。
- 4) 新型技术产线进度及产能规模领先的新进入者，建议关注华晟新能源（已有三期 HJT 产能布局，产能规模及量产效率行业领先），金刚玻璃（目前产线已经开始流片，效率、成本参数具有高度参考价值）。
- 隆基股份：
  - 光伏一体化龙头：公司是国内硅片及组件双龙头，2020 年全球组件出货量排名第一。公司有研发技术丰富的电池技术团队，并且在 TOPCon、HJT、IBC 等下一代 N 型高效电池以及钙钛矿、叠层等新 100%型电池等技术方面储备了大量研发成果。经过德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）认证，2021 年 6 月 1 日，隆基在 N 型 TOPCon、P 型 TOPCon、N 型 HJT 技术的转换效率分别达到了 25.21%、25.02%、25.26%，一举斩获三项商业化尺寸单晶太阳能电池转换效率世界纪录。2021 年 10 月，隆基在一周内两次创造 M6 全尺寸的 HJT 转换效率记录，分别为 25.82%、26.30%，同时 26.30%也是目前为止全球晶硅 FBC 结构电池的最高效率。

图表 64: 公司在各种技术路线上效率均处于行业领先



来源: 公司公众号, 国金证券研究所

图表 65: 公司在 HJT 研发效率各项影响指标上领先行业

	隆基股份	隆基股份	隆基股份	金辰股份	华晟新能源
日期	2021.4	2021.10	2021.10	2021.12	2021.7
转换效率	25.09%	25.82%	26.30%	24.51%	25.23%
Isc	10096mA	11036mA	11107mA	10580mA	10917mA
Voc	719.8mV	750.4mV	750.2mV	748.3mV	745.6mV
FF	83.83	85.57%	86.60%	84.80%	85.03%

来源: 各公司官方公众号, 国金证券研究所整理

- **硅片优势外溢, 新技术有望实现差异化低成本竞争:** 公司在电池新技术研发布局的广度和深度行业领先, 除多次刷新 TOPCon、HJT 等各条高效技术路线的研发效率纪录外, 公司或凭借自身硅片技术优势, 实现更加差异化、更具性价比的高效电池技术量产。

#### ■ 晶科能源

- **前瞻布局 N 型 TOPCon 电池, 转换效率冠领行业。** 近几年公司持续加大对 N 型产品的研发投入, 多次刷新 TOPCon 电池效率世界纪录。2021 年 10 月公司公告 182 尺寸 N 型单晶 TOPCon 电池转换效率达到 25.4%, 再次登顶转换效率全球榜首。根据招股书, 公司 2020 年底 TOPCon 电池产能达到 0.8GW, 量产平均转换效率达到 24.2%, 生产良率已经接近 PERC 电池, 在业内处于领先水平。
- 2022 年 1 月合肥 TOPCon 电池项目投产, 抢占 N 型市场先机。在 0.8GW TOPCon 产线的成功经验基础上, 公司迅速扩产巩固 N 型技术优势。2021 年 9 月 8 日公司合肥 16GW TOPCon 电池项目正式开工, 12 月 10 日交付设备进场, 2022 年 1 月 4 日一期 8GW 投产, 预计 2022Q2 将达到满产; 二期 8GW 计划 2022 年上半年投产, 到年中公司 TOPCon 产能将达到 16.8GW, N 型规模位居行业之首。
- 预计公司 2021-2023E 年净利润分别为 8.6、26.8、41.4 亿元, 对应 EPS 分别为 0.11、0.34、0.52 元, 继续重点推荐。

图表 66: 公司 TOPCon 电池转换效率多次打破世界纪录



来源: 国金证券研究所整理

图表 67: Tiger Neo N-TOPCon 组件的发电量优势

	Tiger Neo N-TOPCon 组件发电量优势
低衰减	对于一个 100MW 电站, 平均发电量 16.8 亿度/年, 仅首年衰减 1% 所带来的发电量相差就达到 1680 万度; 仅线性衰减 -0.4% 所带来的 25 年发电量累计相差 6149 万度。
低温度系数	温度系数仅为 -0.30%/°C。以新疆 100 兆瓦电站为例, 地表温度 40°C, 组件温度会达到 50°C, 一个 100MW 的常规组件电站比一个 100MW 的 Tiger Neo 组件电站每年少发 130 万度电。
高双面率	双面率最高值可达 85%, 相较常规双面组件提高约 5%-15%, 同时也大幅提升了其发电性能以及发电效率。对于一个 100MW 电站, 配合跟踪支架、双面组件, 平均每年发电量相差 340 万度。

来源: 晶科能源公众号, 国金证券研究所

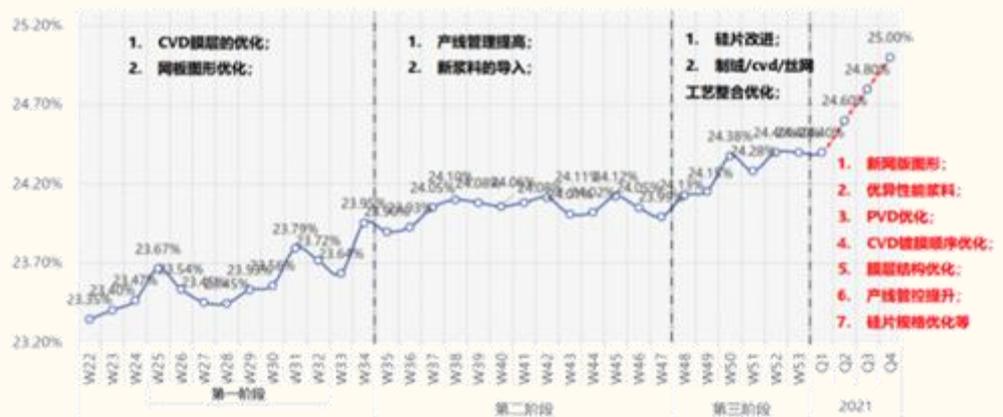
#### ■ 通威股份:

- **一线电池片厂商、成本+技术双优势:** 根据 PV Infolink 统计, 2020 年通威电池片出货量排名全球第一。截至 2020 年末, 公司太阳能电池年产能 27.5GW, 其中, 单晶电池年产能 24.5GW, 多晶电池年产能 3GW, 电池片产能市占率 13%, 处行业一线水平, 预计 2021 年底公

司电池产能规模超过 55GW。公司当前单晶 PERC 电池产品非硅成本已达到 0.2 元/w 以内，成本优势有望进一步提升。

- 公司目前加速推进 HJT、TOPCON 等新技术研发进程，2021Q1 通威(合肥)200MWHJT 中试线批量生产的电池片以 24.3% 的转换效率为主，平均良率达 97.84%，单日最高良率达 98.44%，同时通威成都 1GW 产线已于 2021 年 7 月底投产。
- 2021 年 7 月 8 日，通威与江苏微导于眉山基地就 TOPCon 项目相关合作的技术内容进行洽谈，在 GW 级 HJT 产线落地的同一时间段加码 TOPCon 技术，进一步完善电池技术路线布局，提升电池片环节的竞争力。
- 预测公司 2021-2023E 年净利润预测分别为 83、143、153 亿元，对应 EPS 分别为 1.85、3.18、3.39 元，维持“买入”评级。

图表 68: 通威合肥 HJT 中试线-电池效率



来源：通威股份，国金证券研究所

图表 69: 通威合肥 HJT 中试线-良率



来源：通威股份，国金证券研究所

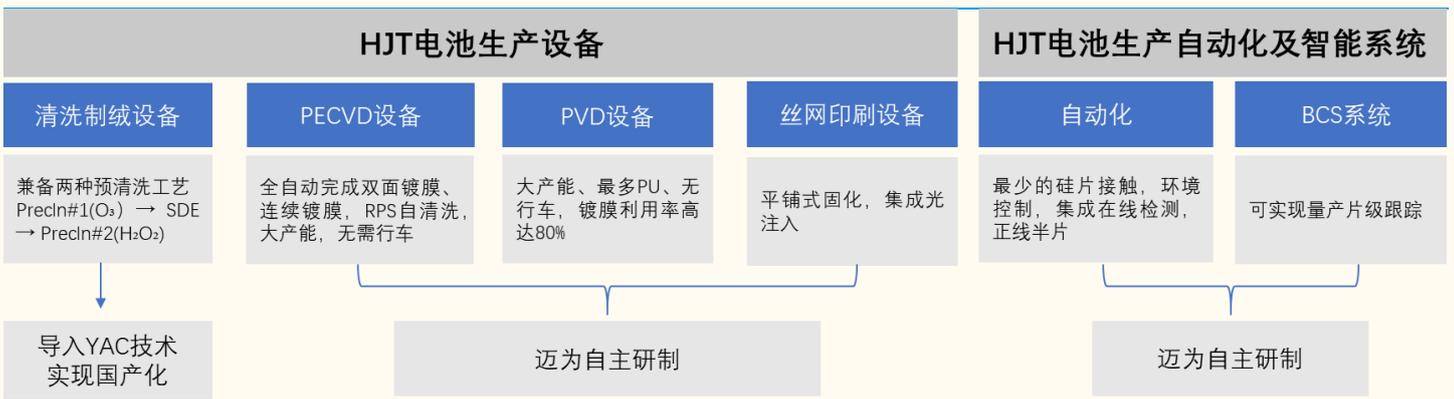
### ■ 迈为股份

- **丝网印刷设备领军者**：公司是太阳能电池丝网印刷设备龙头企业，2019 年丝网印刷设备国内市占率达 78%，国际市占率达 55%。公司在丝网印刷领域的优势为布局 HJT 技术奠定了良好基础。
- **HJT 设备技术开拓者**：公司前瞻性的进行了 HJT 高效电池设备的布局，自主研发生产 HJT 高效电池大面积平板式 PECVD 非晶硅镀膜设备，并且获得 7 项专利授权。此外，迈为在清洗制绒环节引入日本 YAC 技术并实现国产化，进一步提高了制绒环节的技术质量。2020 年 10 月

13号关联交易公告披露了向参股公司江苏启威星（公司持股30%）购买清洗制绒设备，即以合作的方式获得清洗制绒设备，标志着迈为异质结整线正式形成。

- 2020年12月，迈为联合华晟发布 SMBB 技术（SuperMBB），通过栅线设计及焊盘点的优化，实现 HJT 银耗进一步降低，大大加快了 HJT 产业化进程。
- 自 2019 年 1 月启动 HJT PECVD 及其配套设备，迈为先后首创性地研制了第一代产能 200MW、第二代产能 400MW 的 PECVD 设备，近期金刚玻璃 1.2GW 的异质结产线中，迈为的异质结设备产能已经达到 600MW。截至 2021 年 12 月，公司 HJT 高线电池设备客户涵盖通威、华晟、阿特斯、金刚玻璃等，年内共获取 6.9 GW HJT 整线设备订单，市占率超过 70%，处于行业领先地位。
- 2022 年 3 月，经德国哈梅林太阳能研究所 (ISFH) 认证，迈为股份联合澳大利亚金属化技术公司 SunDrive 利用可量产工艺在全尺寸 (M6 尺寸, 274.3cm<sup>2</sup>) 单晶异质结电池上转换效率达到 26.07%，进一步验证了异质结电池量产效率在未来跨越 26% 大关的可行性。
- 根据我们对公司订单结构及 HJT 产业化进程的最新判断，预测公司 2022-2024E 净利润分别为 9.00、12.65、18.62 亿元，对应 EPS 分别为 8.73、12.27、18.06 元，维持“买入”评级。

图表 70：迈为股份异质结高效电池制造整体解决方案



来源：迈为股份、国金证券研究所绘制

#### ■ 金辰股份：

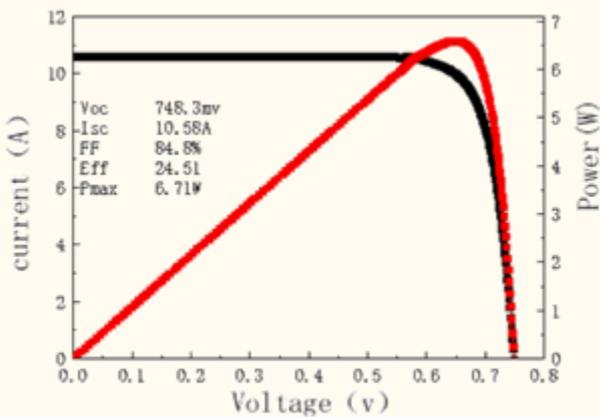
- **组件设备与高效电池设备协同发展：**金辰股份主营业务为光伏组件设备，可提供光伏组件“全链条”供应能力，覆盖常规组件、双玻组件、半片组件、叠瓦组件等新技术产品类型，全球市占率达 35%-40%。
- 近年来，公司在高效电池领域同时发力，与中科院宁波材料所开展深入合作，并取得积极成果。TOPCON 用 PECVD 完成工艺验证，已进入市场拓展阶段。目前公司的 PECVD 设备获得头部组件厂晶科、晶澳、东方日升的引入。其中，与晶澳经过一年半的合作，效率接近 24%，现已进入中试提效阶段；与东方日升合作仅半年，就取得了 ≥ 24%+ 的平均效率。
- HJT PECVD 设备与德国 H2GEMINI 公司积极合作，专注研发应用于 HJT 用 PECVD 工艺与设备，研发生产的 PECVD 设备具有产能大、成本低等优点。2021 年 6 月底，首台由金辰自主研发的 HJT 电池 PECVD 非晶硅薄膜设备运抵晋能科技，目前量产平均效率已达 24.38%，最优批次效率可达 24.55%，且效率在多批次电池片中效率分布均匀，表现较为优异。与此同时，公司也在积极储备双面微晶 HJT 技术及新型金属化技术，2022 年 3 月，公司全新的微晶 HJT PECVD 设备已发往晋能测试，未来在效率与成本上有望进一步提升竞争力。

图表 71: 金辰的管式 PECVD 项目在世界上处于先进水平

平均统计数据	研制单位 中科院宁波材料所& 金辰股份/苏州拓升	德国Centrotherm & Fraunhofer ISE 2020.9 EUPVSEC
技术路线	管式PECVD	管式PECVD
钝化片(氢化 $V_{oc}$ )	741 mV (最高746mV)	734~739 mV
钝化片(烧结 $V_{oc}$ )	738 mV (最高741mV)	--
电池开路电压( $V_{oc}$ )	-710 mV	697 mV
填充因子(FF)	>82%	80.5%
电池转化效率( $\eta$ )	>24%	23%
单舟硅片数及均匀性	双舟, 非均匀性<5%	144片/舟, 非均匀性--
设备稳定性	持续稳定运行	--

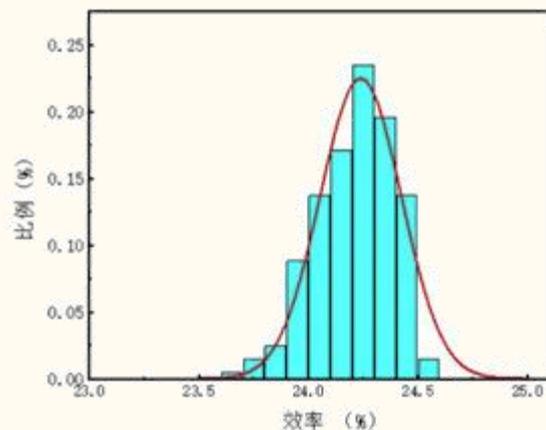
来源: 金辰股份、国金证券研究所

图表 72: 金辰股份 PECVD 运行效率及关键参数



来源: 金辰股份、国金证券研究所

图表 73: 金辰所产出的 N 型电池片效率分布收敛性很高

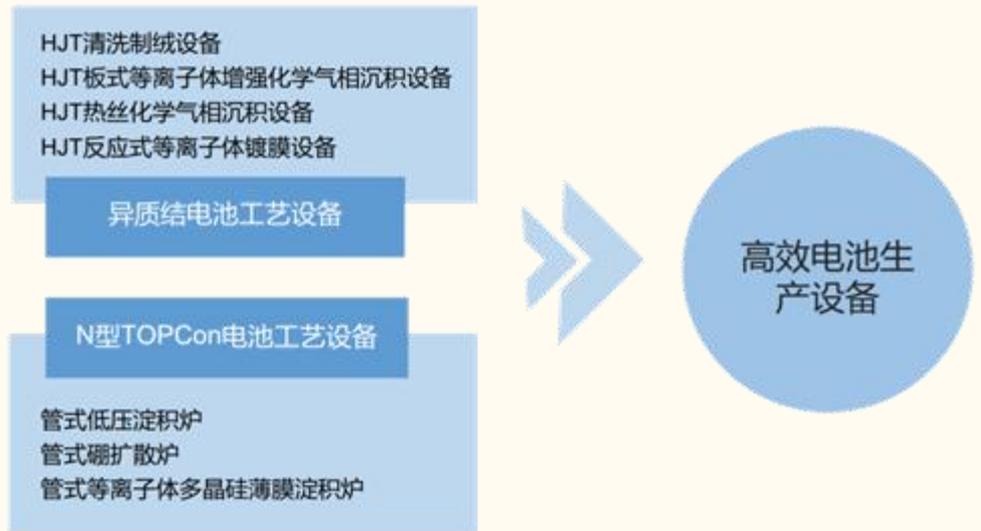


来源: 金辰股份、国金证券研究所

### ■ 捷佳伟创

- **电池片设备核心供应商:** 捷佳伟创自成立以来, 已为全球 200 多家光伏电池生产企业、近 1300 条电池生产线提供设备和服务, 凭借管式 PECVD 二合一设备、碱抛光设备的出货, 捷佳伟创已成长为 PERC 设备的龙头, 产品覆盖 PERC 设备整线, 是全球领先的晶体硅太阳能电池设备供应商。
- **TOPCon + HJT 双布局:** 公司同时涉足 TOPCon 和 HJT 技术, 自主研发的高效清洗设备 (HIT、TOPCON) 研发成功并达到量产, 210 大尺寸丝网印刷整线已研发完成并出货一条双轨线。TOPCon 方面, 气态源 (BCI3) 210 硅片硼扩散工艺已研发成功, 现处于行业领先地位; HJT 方面, 自主研发的首台国产大产量 RPD5500A 设备和异质结关键设备板式/管式 PECVD 先后出厂交付, 拥有业内首条全自主、智能化的整线生产线。
- 在 HJT 的 TCO 环节, 捷佳同时布局 PVD 及 RPD (拥有专利保护), 并创新推出 PAR (PVD and RPD 一体机)。因为设备原理和靶材原理的优势, PAR、RPD 已证实可以获得相对于传统 TCO 薄膜更高的转换效率与更好的电性能。2021 年 10 月份, 公司 RPD 产品助力隆基, 一周两次创造 25.82%、26.30% 两个世界纪录, 同时量产效率指标处于行业领先水平。

图表 74：捷佳伟创高效电池生产设备



来源：捷佳伟创，国金证券研究所

## 6、风险提示

- **新技术发展不及预期：**TOPCon 与 HJT 等新型高效光伏电池技术难度较大，若行业内新技术量产良率、效率等方面不能取得进一步突破，则会导致新技术发展不及预期。
- **降本速度不及预期：**目前 TOPCon 与 HJT 较 PERC 生产成本较高，若降本路线迟迟无法取得突破，则会导致新技术在下游渗透速度变慢。
- **量产速度不及预计：**目前行业内实际的 TOPCon 与 HJT 产能较小，如果行业内新技术产能没有形成规模，则会导致量产速度不及预期。

**公司投资评级的说明：**

买入：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 15%以上；  
增持：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 5%-15%；  
中性：预期未来 6-12 个月内变动幅度在 -5%-5%；  
减持：预期未来 6-12 个月内下跌幅度在 5%以上。

**行业投资评级的说明：**

买入：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；  
增持：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%-15%；  
中性：预期未来 3-6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%-5%；  
减持：预期未来 3-6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

**特别声明:**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，对由于该等问题产生的一切责任，国金证券不作出任何担保。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整。

本报告中的信息、意见等均仅供参考，不作为或被视为出售及购买证券或其他投资标的邀请或要约。客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的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，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，且收件人亦不会因为收到本报告而成为国金证券的客户。

根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；非国金证券C3级以上（含C3级）的投资者擅自使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

此报告仅限于中国大陆使用。

**上海**

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路1088号

紫竹国际大厦7楼

**北京**

电话：010-66216979

传真：010-66216793

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100053

地址：中国北京西城区长椿街3号4层

**深圳**

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳福田区深南大道4001号

时代金融中心7GH