

## 电气设备

2020年09月22日

## 创新驱动未来，异质结引领光伏技术发展

——行业深度报告

投资评级：看好（维持）

刘强（分析师）

李若飞（分析师）

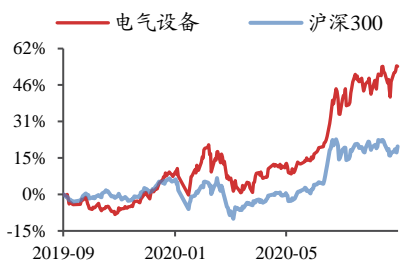
liuqiang@kysec.cn

liruofei@kysec.cn

证书编号：S0790520010001

证书编号：S0790520050004

### 行业走势图



数据来源：贝格数据

### 相关研究报告

《新能源行业投资策略-新能源，新机会》-2020.9.17

《行业周报-长期预期提升，景气度加速向上》-2020.9.13

《行业深度报告-特斯拉系列专题报告（四）：复盘苹果供应链发展历程，探寻特斯拉供应链长期成长标的》-2020.9.10

#### ● 技术特点决定异质结或是光伏产业未来发展的主方向，降本将推动量产落地

异质结的高潜力和高性能决定了未来光伏技术地位，各环节成本降低将推动异质结电池技术更快量产落地。异质结电池实验室最高效率已达 26.7%，国内企业中试量产效率已接近 24%（2019 年底主流 PERC 电池效率为 22.5%），并且异质结电池量产效率还在进一步提升。异质结电池技术降本路线清晰，设备方面国产化后单位 GW 设备投资有望从 10 亿元左右下降到 6 亿元甚至更低，同时辅材银浆、靶材等方面也具有很大降本空间。从产品方面异质结相对于 PERC 在转换效率和光衰减方面具有优势，因此享有一定溢价。所以随着成本降低，产业有望逐步进入渗透率快速提升临界点。

#### ● 高效率、低衰减、低温度系数是异质结电池的独特优势

异质结电池的产品特点主要体现在高效率、低衰减、低温度系数。转换效率方面目前试验数据相对于 PERC 可以提升约 1.5pct。同时由于不存在硼氧复合对，异质结几乎不存在光致衰减问题。在温度系数方面，异质结电池温度系数仅为 -0.25%，为常规单晶电池一半。光伏组件的使用时间长达 20-25 年，异质结电池的优势将通过组件寿命进一步放大。转换效率提升可以制造更大功率的组件，而大功率组件可以有效降低 BOS 成本，并摊薄电站的单位建设成本。在新的组件设计理念与大尺寸硅片应用的背景下，当采用异质结电池替代 PERC 电池时，组件功率将进一步放大，异质结电池在效率等方面的优势会被进一步放大。而低衰减特性使得异质结电池在全生命周期内可以生产更多的电量，由此摊薄 LCOE 成本。

#### ● 异质结在设备及核心工艺方面均有成本降低的空间

异质结电池工艺为清洗制绒、非晶硅薄膜沉积、TCO 薄膜沉积以及丝网印刷，核心是非晶硅薄膜沉积与 TCO 薄膜沉积。在清洗制绒环节，新型的臭氧法不仅溶剂的消耗更少，最终的电池效率也会提升。在非晶硅薄膜沉积方面，设备的国产化将大幅降低生产成本。TCO 薄膜沉积方面，设备、靶材国产化都将助力异质结生产成本降低。在丝网印刷方面，多主栅技术可有效降低银浆消耗，银浆的国产化则可进一步降低银浆价格，从而降低生产成本。

#### ● 产业即将达到渗透率快速提升临界点，各企业纷纷加码投资异质结

随着异质结成本逐步降低，产业有望逐步达到渗透率快速提升临界点。从 2019 年开始，各企业对于异质结电池的研发及投资明显加速。据我们从公司公告中整理得到的信息，2019 年开始，电池环节规划产能达 16GW 以上，其中既有通威股份、东方日升、爱康等传统光伏企业，也有山煤国际等新进企业。在设备方面，捷佳伟创、迈为股份、金辰股份等企业也积极投入设备研发工作。银浆等耗材的国产化工作也取得了一定进展。异质结电池越来越具有量产的产业条件。受益标的为捷佳伟创、迈为股份、通威股份、东方日升、山煤国际。

**风险提示：**新技术发展不及预期、疫情等导致需求低于预期、光伏市场竞争加剧。

## 目 录

1、	HIT 具有高性能高潜力，或是下一代主流光伏电池技术	4
1.1、	异质结电池技术高速发展，量产效率领先，更具产业化优势	4
1.2、	异质结电池工艺流程简洁，拥有更高开路电压	6
1.3、	低温度系数、无光衰为异质结电池带来长期发电优势	8
1.4、	大硅片时代异质结电池效率的优势将在组件端进一步放大	9
2、	工艺优化路径明确，设备、耗材国产化为量产做准备	9
2.1、	清洗制绒：从借鉴半导体 RCA 工艺到新型臭氧工艺	10
2.2、	非晶硅薄膜沉积：主流的 PECVD 与性能优异的 Cat-CVD	10
2.3、	TCO 薄膜沉积：主流工艺为 PVD，靶材还有改善空间	11
2.4、	丝网印刷：低温银浆的减量工艺和国产化是趋势	12
3、	异质结高效率享产品溢价，长期降本空间清晰	13
3.1、	异质结相对 PERC 拥有一定溢价空间	13
3.2、	异质结电池降本路径清晰，设备、辅材皆有下降空间	14
3.2.1、	四大工艺环节：国产化为主要降本路径	14
3.2.2、	薄片化有望降低成本	16
3.2.3、	设备国产化进一步拉低成本	17
4、	异质结处于大规模产业化前夜，降本增效是核心驱动力	18
4.1、	降本增效路径明确	18
4.2、	异质结投资持续加码	18
5、	异质结技术受益标的	19
5.1、	捷佳伟创：电池片设备龙头，持续受益光伏产业技术发展	19
5.2、	迈为股份：丝网印刷设备翘楚，多点开花成长加速	20
5.3、	通威股份：硅料电池双环节龙头，积极布局异质结技术	20
5.4、	山煤国际：煤炭企业转型发展，10GW 异质结助力弯道超车	21
5.5、	东方日升：持续加码异质结，MBB 助力异质结降低成本，结合 BIPV 前景更加广阔	21
5.6、	受益标的盈利预测	22
6、	风险提示	23

## 图表目录

图 1:	PERC 因其性价比高于 BSF 普通电池，市场占有率快速提升	4
图 2:	PERC 电池进入成熟期，异质结电池处于导入期与成长期的临界区域	4
图 3:	异质结电池实验室最高效率 20 年来快速增长，反超单晶硅单晶并且潜力更大	5
图 4:	异质结电池效率优势逐年凸显	6
图 5:	异质结电池是结构对称的双面电池	7
图 6:	异质结电池制造工艺简短仅四个主要环节	7
图 7:	PERC 电池“钝化+开槽”工艺降低了载流子复合同时增加了横向运输损耗	7
图 8:	异质结电池同时结合了 ITO 薄膜和 a-Si:H 薄膜的优势，获得更高开路电压	8
图 9:	HIT 电池温度系数更低	8
图 10:	异质结电池核心工艺在于非晶硅薄膜沉积和 TCO 薄膜沉积	9
图 11:	异质结电池主流清洗制绒为传统 RCA 法，新兴方法为臭氧法	10
图 12:	Cat-CVD 下，界面相比 PECVD 更加清晰	11

图 13: Cat-CVD 的 Ta 丝重复使用次数有限更换成本高 .....	11
图 14: 银浆成本是异质结电池非硅成本中最重要的部分 .....	12
图 15: 预计多主栅技术的推广将有效降低异质结电池的银浆消耗 .....	13
图 16: 厚度 150 $\mu\text{m}$ 的 PERC 电池具有较好平整度 .....	16
图 17: 厚度 110 $\mu\text{m}$ 的 PERC 出现严重的翘曲及失效现象 .....	16
表 1: 异质结电池量产效率比 PERC 高, 同时工序少、技术难度、成本相对 IBC 技术更低 .....	6
表 2: 异质结使得提升组件功率进而降低 BOS 成本 .....	14
表 3: 同等 LCOE 水平下异质结拥有一定溢价空间 .....	14
表 4: 清洗制绒环节有望国产化添加剂降低成本 .....	15
表 5: 非晶硅沉积降本空间较小 .....	15
表 6: TCO 靶材降本空间较大 .....	15
表 7: MBB、SWCT 等新型丝网印刷技术可有效降低银浆用量 .....	16
表 8: 细线化和薄片化可有效降低成本 .....	16
表 9: 东方日升 2.5GW 异质结电池设备投资额为 10 亿元/GW .....	17
表 10: 小批量产能的投产证明了异质结电池效率高、良率高, 设备国产化稳步推进中 .....	19
表 11: 随着设备国产化推进等因素推动成本降低, 组件技术近一年来异质结电池产能投资明显加速 .....	19
表 12: 受益标的盈利预测 .....	22

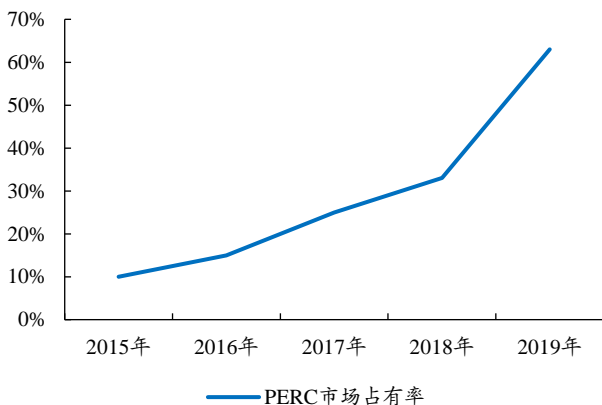
## 1、HIT 具有高性能高潜力，或是下一代主流光伏电池技术

### 1.1、异质结电池技术高速发展，量产效率领先，更具产业化优势

光伏行业不断发展，每次重大技术更迭都蕴藏新的机会。我国光伏行业经过 10 余年的发展，成本不断下降，从依赖补贴成长逐步进入平价时代。成本下降的背后是不同技术路线的竞争与更迭。复盘光伏行业成长历史，我们可以发现无论是晶硅路线取代薄膜路线成为主流，还是单晶硅片取代多晶硅片成为主流，最重要的原因是新技术的成本快速下降、性价比的快速提升。技术路线更迭的同时，主张不同技术路线的企业也面临着不同命运，引领新技术的企业成为新的光伏行业龙头。异质结技术过去由于设备昂贵等原因性价比不高未能成为主流的电池技术，但近年来在国内光伏企业和设备企业的共同努力下，异质结电池的成本不断下降、效率稳步提升，性价比进一步提升。我们认为异质结电池技术目前正处于大规模应用的前夜。

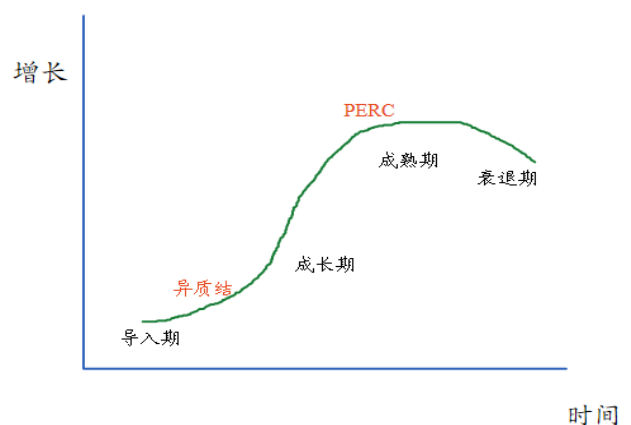
PERC 电池进入成熟期，异质结电池处于导入期与成长期的临界区域。S 型增长曲线最初是生物学中描述生物种群从发展到衰退的过程，后来经济学的研究者们发现行业中新技术的发展也符合这一增长曲线。在导入量产前，会有大量和长期的基础研究和实验研究。经过长时间的技术积累、设备研发，企业开始尝试应用新技术，但最初由于设备依旧处于优化期、产业人士缺乏等原因，新技术的应用推广十分缓慢，这便是导入期。当新技术生产的产品性价比超越原来的主流产品时，新技术会进入快速推广阶段，也就是成长期。新技术的发展有其一定瓶颈，这一时期也称之为成熟期。任何技术都不可避免地会被更优的新技术取代，最后进入衰退期。从 PERC 技术取代 BSF 电池技术就符合这一增长规律。目前，PERC 技术虽然还有提升空间，但是瓶颈也开始显现，其正进入成熟期。与此同时，异质结技术经历了长期的基础理论与实验研究，近年来也有不少企业开始量产化的准备，其量产效率和性价比越来越高。我们认为异质结技术很可能正处于导入期和成长期的临界区域，未来成长可期。

图1: PERC 因其性价比高于 BSF 普通电池，市场占有率快速提升



数据来源: CPIA、开源证券研究所

图2: PERC 电池进入成熟期，异质结电池处于导入期与成长期的临界区域

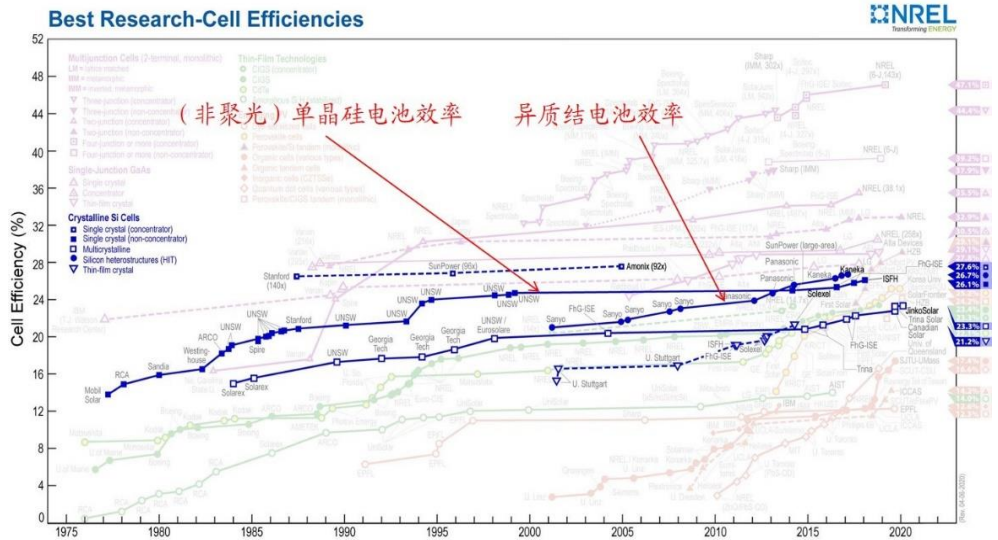


资料来源: 开源证券研究所

近年来异质结转换效率突飞猛进，逐步成为光伏行业关注焦点。异质结电池技术最早于 1974 年由三洋提出，1990 年三洋将本征非晶硅以薄膜形态呈现在异质结电池

中，并将电池效率提升至 15%。以美国 NREL 的光伏电池实验室的转换效率数据作为参照口径，近 20 年来，单晶硅电池最高效率提升缓慢，而异质结电池最高效率在快速提高，并在 2013 年超越单晶硅电池，2016 年纯异质结电池的最高效率已达到 26.7%，早已超过单晶硅电池最高效率。

图3：异质结电池实验室最高效率 20 年来快速增长，反超单晶硅单池并且潜力更大



资料来源：NREL、开源证券研究所

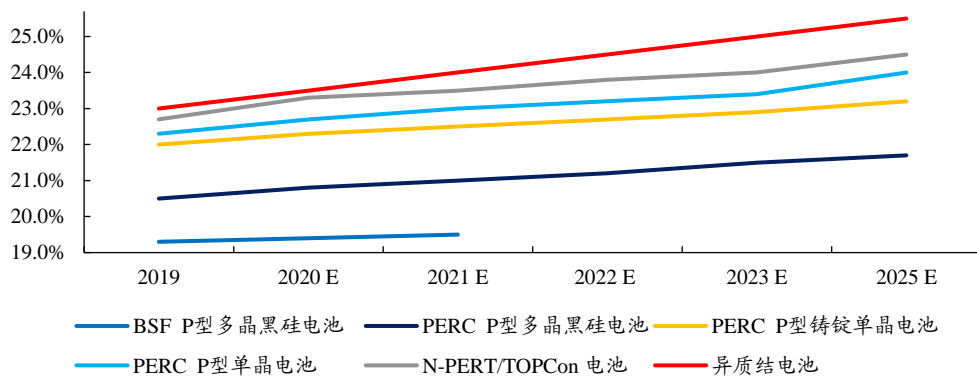
更高的效率以及较少的工序使得异质结未来更加适合产业化。目前的主流电池技术中，PERC 技术与传统 BSF 技术相比仅增加了氧化铝背钝化和激光开槽两道工艺，即利用场钝化削弱了 BSF 背面直接与 Si 接触带来的载流子复合严重的问题，Voc(开路电压)的极限从 685mV 提升为 690mV，效率提升 1%以上，而增加的投资在 1-2 亿元/GW，性价比的提升是 PERC 成为当前主流技术的重要原因。但 PERC 电池背钝化的  $Al_2O_3/SiN_x$  均为介质绝缘膜，需要激光开孔，载流子需要二维运输才能被金属电极收集，这样的工艺造成了横向电阻输运损耗，Voc 难以突破 700mV，这也导致了电池效率难以有更高的突破。HIT 则使用非晶硅薄膜作为钝化材料，实现载流子的一维运输，同时减少了少子向金属接触区域迁移导致的复合损失，Voc 可提升至 730mV，电池效率提升空间更大。同时，异质结电池与 IBC 电池相比，成本相对更低、工序极其简单、设备成本相对更低，在当前环境下更具备产业化的优势。

技术原理决定更广阔的效率提升空间。由于异质结电池采用薄膜沉积工艺，未来还有同 IBC 电池和钙钛矿电池结合的可能，目前看来最高效率可逼近晶硅理论上最高光电转换效率 29%，效率提升路径比较明确。效率是光伏电池性能最重要的部分之一，更高的效率天花板和更明确的效率提升路径决定了异质结电池是未来的重要方向。在高效电池中，异质结成本相对较低且降本路径更明确，无衰减以及低温度系数等优越特性更是使其在可预见的未来十分有可能成为主流电池技术。

**表1: 异质结电池量产效率比 PERC 高, 同时工序少、技术难度、成本相对 IBC 技术更低**

电池类型	P-Mono PERC	N-PERT	N-TOPCon	HIT	IBC
现电池片量产效率	21.5 – 22.5%	21.5-21.7%	22.5%-23%	22.5%-23.8%	23.5%-24.5%
现有产能	约 63GW	约 2.1GW	约 2GW	约 3.8GW	约 1.5GW
目前主要量产企业	主流电池片厂商	中来、林洋	LG、REC、中来	Panasonic、上澎、晋能、中智、钧石、通威	SunPower、LG、黄河水电
优点	性价比高	可从现有产线升级	有机会从现有新产线升级	工序少	效率高
量产性	非常成熟	已可量产	少量量产	已可量产	少量量产
技术难度	容易	较容易	难度很高	难度高	难度极高
工序	少	较少	多	最少	非常多
设备投资	少	设备投资较少	设备仍贵	设备仍贵	非常高
与现有产线兼容性	已有许多产能	可用现有设备升级	有机会由新产线升级	完全不兼容	几乎不兼容
目前问题	后续提效路线不明朗	与双面 P-PERC 相比没有性价比优势	量产难度高, 效率提升空间可能略低于 HIT	与现有设备不兼容, 设备投资成本高。	难度高、成本也远高于前述技术。

资料来源: PVInfoLink、开源证券研究所

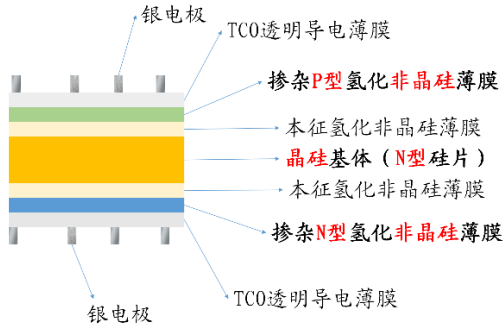
**图4: 异质结电池效率优势逐年凸显**


数据来源: CPIA、开源证券研究所

## 1.2、异质结电池工艺流程简洁, 拥有更高开路电压

异质结的工艺流程更为简洁, 独特工艺是非晶硅薄膜沉积和 TCO 膜沉积。异质结电池全称为本征薄膜异质结电池 (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer), 又称 HIT、HJT 或 SHJ 电池。其工艺流程十分简洁, 主要是清洗制绒、非晶硅薄膜沉积、TCO 膜沉积以及丝网印刷四道工序。与需要 10 余项流程的 PERC+ 以及 TOPCon 相比, HJT 工艺流程相当简洁。而且其中清洗制绒和丝网印刷都是传统硅晶电池的工艺, HJT 独特的工艺在于非晶硅薄膜沉积以及 TCO 膜沉积。

图5: 异质结电池是结构对称的双面电池



资料来源:《太阳能电池基础与应用》、开源证券研究所

图6: 异质结电池制造工艺简短仅四个主要环节

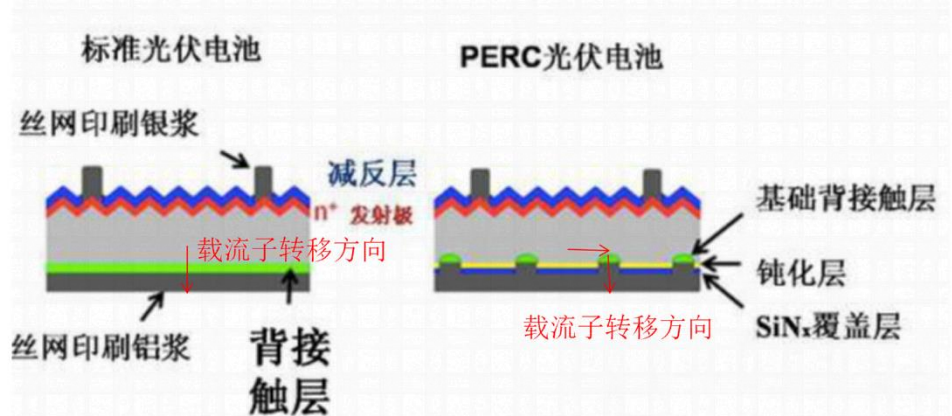
HJT电池结构	各层材料及名称	制造工艺
电极	银或铜电极	丝网印刷
TCO	透明导电薄膜层	TCO膜沉积
a-Si:H(p)	掺杂P型氧化非晶硅薄膜	非晶硅薄膜沉积
a-Si:H(i)	本征氧化非晶硅薄膜	
c-Si(n)	晶硅基体	清洗制绒
a-Si:H(i)	本征氧化非晶硅薄膜	非晶硅薄膜沉积
a-Si:H(n)	掺杂N型氧化非晶硅薄膜	
TCO	透明导电薄膜层	TCO膜沉积
电极	银或铜电极	丝网印刷

资料来源:《新型太阳能电池材料、器件、应用》、开源证券研究所

从技术原理来看, HIT 拥有更低的载流子复合速率和更低的接触阻抗造就了更高的开路电压。获得更高开路电压的两个重要条件是避免少数载流子与多数载流子发生复合, 同时还要降低电阻促进多数载流子更有效运输。PERC 技术由于其不可避免的开槽工艺造成了多子横向输运损耗, 同时在开槽处金属极与 Si 局域接触仍然有较高的复合。而 ITO 薄膜(氧化铟锡薄膜, TCO 薄膜中性能最好的材料)的特性是载流子复合速率高, 但其接触电阻率低, 而非晶硅薄膜(a-Si:H)的特性是载流子复合速率低, 但接触电阻率高。

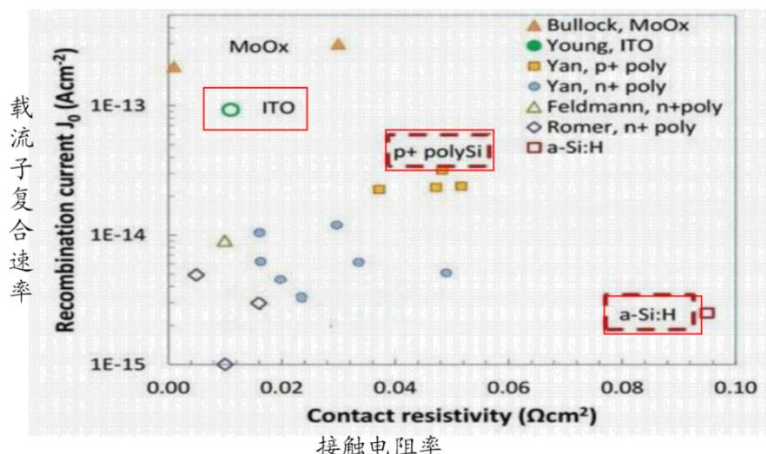
异质结电池中薄膜沉积的顺序是非晶硅薄膜偏中间而 ITO 在最外层, 这一顺序决定了异质结电池完美地结合了两者的优点。具体而言, 非晶硅薄膜在偏中间位置, 当光照到电池内时, 光生伏特效应下产生了电子-空穴对, 在 P-N 结内建电场的作用下, 电子向 N 区定向移动, 空穴则向 P 区。以 P 区为例, 这个过程中, 在 P 区靠近内建电场处, 由于本征激发的电子(P 区的少子)受内建电场作用可能往 N 区移动, P 区的电子和来自向 P 区定向移动的空穴就可能互相靠近发生复合。在异质结电池中, 可能发生复合的区域则沉积了非晶硅薄膜(a-Si:H), 低载流子复合率的优势就发挥出来了, 同时由于在内部并没有与金属极接触, 高接触电阻的劣势并没有显现。光生伏特产生的电流导出到金属电极则经过 ITO 薄膜, 此时 ITO 的低接触电阻优势发挥出来。因此, 异质结电池拥有更高的转化效率。

图7: PERC 电池“钝化+开槽”工艺降低了载流子复合同时增加了横向运输损耗



资料来源:《太阳能电池基础与应用》、开源证券研究所

图8: 异质结电池同时结合了 ITO 薄膜和 a-Si:H 薄膜的优势, 获得更高开路电压



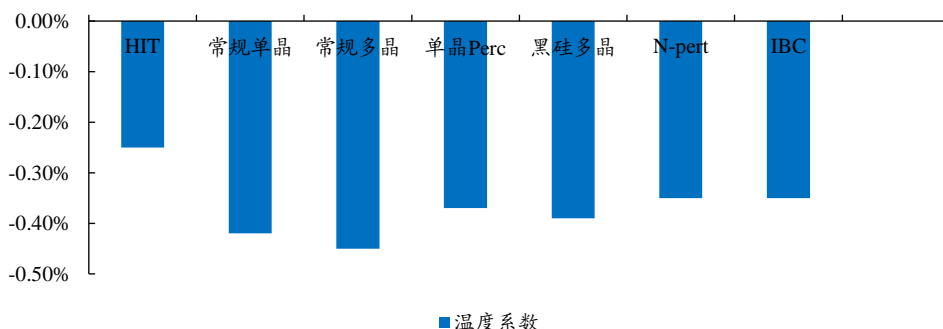
资料来源: 黄河水电光伏技术资讯、开源证券研究所

### 1.3、低温度系数、无光衰为异质结电池带来长期发电优势

功率温度系数和光衰问题是电池的重大问题。光伏电池的开路电压对转化效率有重要影响, 在实际使用过程中, 电池的效率不会一直保持最佳状态。两个重要的因素是功率温度系数和光衰的问题。光伏组件在夏天的发电量更低就是因为功率温度系数为负, 而光伏组件的光衰问题则会导致每年发电量的递减问题。夏季光伏组件表面可达到 60℃ 与标准环境相差 35℃, 而组件的预期寿命长达 25 年, 因此这两个参数的差异在长期中将会放大, 对光伏电站的收益将产生影响。根据梅耶博格的测算, 即使电池效率同为 22%, 异质结电池相比 PERC 电池的发电量也可高出 12%。

功率温度系数更低带来更多发电增益。通常情况下, 电池片温度每升高 1℃, 常规单晶电池的温度系数为 -0.42%, PERC 电池 -0.37%, PERC 有所改善但幅度并不大。异质结电池的温度系数仅为 -0.25%。异质结电池本身的效率就更高, 功率更高, 而因高温的功率损失却更低, 优势更为突出。当考虑到光伏组件全生命周期时, 发电增益的优势更为明显。

图9: HIT 电池温度系数更低



数据来源: 前瞻产业研究院、开源证券研究所

异质结电池采用 N 型硅片无衰减问题。硅原子的价电子个位数为 4, 当掺杂价电子个数为 5 的杂质元素(磷)时形成 N 型硅片, 当掺杂价电子个数为 3 的杂质元素(硼、镓)时形成 P 型硅片。PERC 电池采用 P 型硅片, 传统工艺为掺硼形成, 新工艺为掺镓形成。掺硼的工艺会导致形成硼氧复合体 BO-LID 进而引起光衰现象, 甚至 PERC



单晶电池的首年衰减比光电转化效率相对较低的多晶电池还高出 0.5%。而由于 N 型硅片掺磷，不存在硼氧复合体，由此导致的光衰几乎可以忽略。

#### 1.4、大硅片时代异质结电池效率的优势将在组件端进一步放大

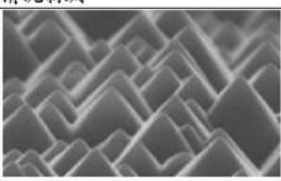
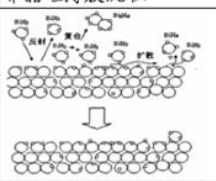
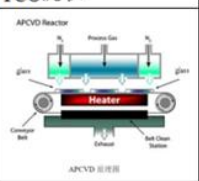

**大硅片时代将在组件端放大异质结电池效率的优势。**2019 年 6 月隆基股份发布了 M6（166mm）硅片，2019 年 8 月中环股份发布了 M12（210mm）硅片，新一轮的硅片规格标准的变化启动。2020 年 6 月隆基股份、晶澳科技、晶科能源等企业成立 182 联盟，致力于推动 182mm 硅片的量产化应用，有助于大组件的量产。2020 年 7 月 16 日，天合光能发布了最新一版的至尊组件，组件采用 210 硅片制成的 PERC 电池，版型为 6\*10，同时采用了半片低温无损切割、多主栅以及高密度装封等技术，功率可达 600W。其中低温无损切割技术和多主栅技术的推广应用都将有助于未来异质结电池的应用。此次天合光能的至尊组件在功率上能达到 600W 的新记录主要是由于 210 硅片以及一系列组件端的新技术造就的，其所使用的电池片依旧是目前主流的 PERC 电池片。值得注意的是，组件的功率等于组件中有效的电池片面积、太阳辐射强度以及电池效率之积。因此未来将异质结电池替代 PERC 电池时将造就更大功率的组件，从而为终端投资者带来更低的单瓦成本和度电成本。

## 2、工艺优化路径明确，设备、耗材国产化为量产做准备

**薄膜沉积是异质结工艺的核心。**异质结电池制造工艺主要是清洗制绒、非晶硅薄膜沉积、TCO 薄膜沉积和丝网印刷，其中核心工艺是非晶硅薄膜沉积和 TCO 薄膜沉积。由于高温易使杂质扩散而影响非晶硅薄膜质量，从而影响钝化效果，异质结电池制造过程采用低温工艺，一般电池制造可能高达 800℃，而异质结电池制造一般不超过 200℃。不仅仅是薄膜沉积是低温工艺，丝网印刷也采用低温银浆，这就保证了非晶硅薄膜的质量。

**相对 PERC 工艺更为简洁和精密，并借鉴半导体工艺。**就 BSF 电池以及在其基础上改进的 PERC 而言，其工艺流程步骤相对繁琐，但异质结电池的工艺仅四步。异质结电池更多地借鉴了半导体工艺，在清洗制绒阶段，使用半导体的 RCA 工艺。由于需要进行薄膜沉积，异质结电池工艺使用的 PECVD 和 CVD 也更为精密，更偏向半导体工艺。

图 10：异质结电池核心工艺在于非晶硅薄膜沉积和 TCO 薄膜沉积

工艺环节	清洗制绒	非晶硅薄膜沉积	TCO 沉积	丝网印刷
工艺环节				
原理简介	利用硅在 NaOH 等碱溶液中的各向异性腐蚀特性在表面刻出类似金字塔结构。	通过先将源气体分解成高能粒子，从而在气相和基体界面发生化学反应，反应物形成薄膜。	氢离子轰击阴极靶材，靶材被溅射出来而沉积到基板表面	银浆印刷后烧结形成银电极
最终目的	利用形成的绒面造成陷光现象，减少光的反射率，增加光吸收，最终提升光电转化率。	沉积形成的 a-Si(p) 层与硅基 c-Si(n) 共同构成异质结界面。a-Si(n) 层则形成背结场。	解决 a-Si 层横向导电性不佳问题的同时保持透光性	通过银电极将电流导出

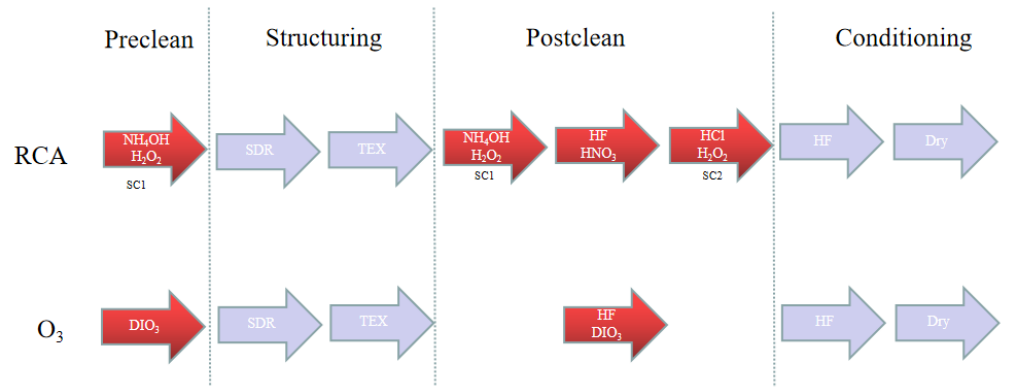
资料来源：《太阳能电池基础与应用》、《新型太阳能电池材料、器件、应用》、开源证券研究所

## 2.1、清洗制绒：从借鉴半导体 RCA 工艺到新型臭氧工艺

异质结电池对硅片表面清洁度要求更高，主流清洗工艺为 RCA 工艺，新兴工艺为臭氧清洗工艺。硅片经过前期的工序加工后，表面可能受到有机杂质、颗粒、金属离子等沾污，在制作电池的第一步都是对硅片进行清洗。同时为了增加对光的能量吸收以及提升钝化效果，在硅片表面腐蚀出金字塔形貌以作为陷光结构也非常重要。异质结电池要形成高钝化的 a-Si:H/c-Si(n)界面，硅面表面清洁度要更高，因此相比 BSF 和 PERC 电池而言，异质结电池对清洗制绒的要求也会更高一些。

清洗主流工艺为 RCA 法。RCA 法最早由美国 Radio Corporation of America 研发用于半导体晶圆清洗工艺，该工艺包含 SC1 和 SC2 两个步骤，分别使用  $\text{NH}_4\text{OH}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$  和  $\text{HCl}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 。由于  $\text{NH}_4\text{OH}$  和  $\text{H}_2\text{O}_2$  本身的挥发性较强，而 RCA 工艺温度高于  $60^\circ\text{C}$  更是加剧了其挥发，从而引起更高的清洗成本。以臭氧为基础的工艺则成为新的关注点，臭氧去离子水 ( $\text{DIO}_3$ ) 不仅可以更高效地去除有机杂质和金属杂质，同时减少化学品的消耗，而且不会产生含氮废水。根据德国 Fraunhofer 研究所，臭氧清洗的异质结电池转化效率比 RCA 最高可高出绝对值 0.45%。臭氧清洗工艺已于 2015 年开始在异质结规模化生产中进行推广，但在国内的应用还不广泛。

图 11：异质结电池主流清洗制绒为传统 RCA 法，新兴方法为臭氧法



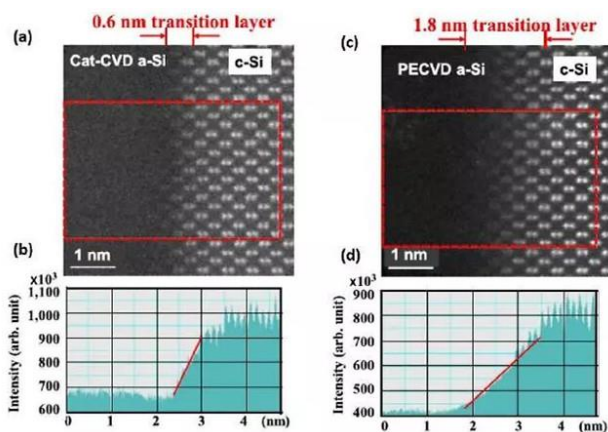
资料来源：Fraunhofer、开源证券研究所

## 2.2、非晶硅薄膜沉积：主流的 PECVD 与性能优异的 Cat-CVD

异质结电池制造工艺流程中非晶硅薄膜沉积的方法是化学气相沉积法 (Chemical Vapor Deposition)，主流方法是 PECVD 和 Cat-CVD。化学气相沉积法 (Chemical Vapor Deposition)，是通过先将源气体分解成高能粒子，从而在气相和基体界面发生化学反应，反应物形成薄膜的方法。PECVD 是等离子体增强化学的气相沉积法，这种方法具备基本温度低，沉积速度快，成膜质量好等优点。Cat-CVD 是催化化学气相沉积，全称为 Catalytic CVD，因设备重要部件为 Ta 丝，又称热丝化学气相沉积 (HWCVD)，不同于传统 CVD 的新型化学气相沉积法。这两种工艺都涉及到先把源气体分解的步骤（在异质结电池中源气体为硅烷、乙硼烷和磷烷），PECVD 方法使用源气体分子与电子之间的碰撞，即三维空间中各点之间的碰撞，而 Cat-CVD 方法使用气体分子与催化剂主体表面之间的接触。从这一角度来看，Cat-CVD 方法的潜力比 PECVD 大得多。但 Cat-CVD 在其大规模生产应用中存在着催化剂表面逐渐变性问题以及原料气和催化剂种类组合等问题。目前 Cat-CVD 主要是日本企业在使用，而国际上的主流方法是 PECVD。

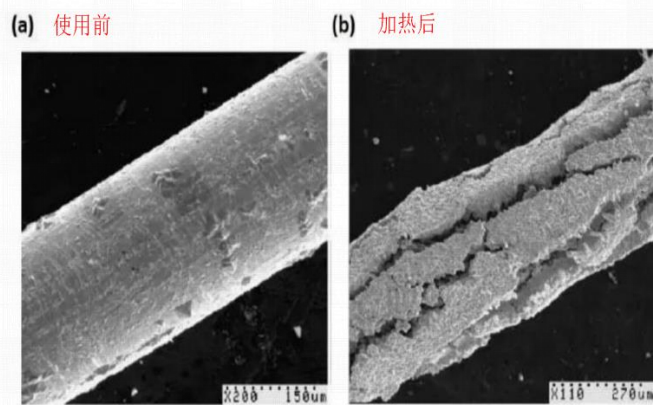
Cat-CVD 工艺沉积效果更佳，但设备运行成本还有待优化。由 Cat-CVD 工艺沉积的非晶硅/晶硅界面为 0.6nm，仅为 PECVD 的 1/3，对应的少子寿命也更长，钝化效果更好。这主要是由于 Cat-CVD 可更高效地分解 H<sub>2</sub>，从而产生更高密度的氢原子对硅表面的悬挂键进行钝化，最终实现减少载流子复合，更好提升电池效率。此外，Cat-CVD 对于源气体的利用率在 80%以上，而 PECVD 目前仅为 10%-20%，而且 Cat-CVD 理论上可在热丝两侧同时沉积，生产速度更快。Cat-CVD 关键部件是 Ta 丝，长时间使用会出现老化问题，热丝表面开裂使其电阻率和表面状态发生变化。因此，Ta 丝需要定期更换，更换周期小于一个月，这增加了 Cat-CVD 设备的运行成本。未来需不断改善工艺，延长热丝寿命。而当前非晶薄膜沉积的主流工艺还是 PECVD。

图12: Cat-CVD 下，界面相比 PECVD 更加清晰



资料来源: Fraunhofer、开源证券研究所

图13: Cat-CVD 的 Ta 丝重复使用次数有限更换成本高



资料来源: Fraunhofer、开源证券研究所

**国内企业积极开发异质结电池 PECVD 设备。** PECVD 设备涉及到真空、发射和沉积系统、气体监控和控制系统、电气系统以及外腔系统，制造工艺复杂，过去一直被海外企业垄断。国内企业近年来积极投入研发，虽然目前主要还处于机械加工、集成层面，真空棒、高压管以及气体分析仪等关键核心部件还需进口，但国产化的尝试和进展已经带来了较大成本降低。目前国际上能提供适合异质结制造低温工艺的 PECVD 设备供应商有瑞士的梅耶博格、瑞士的 INDEOtec、美国的应用材料、韩国的 Jusung。中国企业能提供异质结 PECVD 设备的有中国台湾的精耀科技、中国大陆的理想能源、中国大陆的钧石能源、中国大陆的捷造光电等企业。国内理想万里晖在 2018 年首批量产 PECVD 设备下线，价格比国外进口低 30%以上，产品性能也不输国际一流设备。捷佳伟创也同爱康科技等电池厂商共同研发 PECVD 设备。迈为股份则为通威提供了相关设备，正处于验证阶段。

### 2.3、TCO 薄膜沉积：主流工艺为 PVD，靶材还有改善空间

**TCO 薄膜要有较好的导电性和透光性。** TCO 薄膜存在的意义是在不影响光透射的情况下，以较小的接触电阻导出电流。这是由于非晶硅薄膜可有效降低载流子复合速率，但又存在相对较高的接触电阻导致的，在最外侧沉积透光的 TCO 薄膜则可结合两者的优势实现更高的开路电压和短路电流。因此，TCO 薄膜需满足导电性和透光性好，同时为了保护非晶硅薄膜钝化效果还要采用低温工艺。

**TCO 薄膜沉积主流工艺主要有 PVD 和 RPD。** PVD (Physical Vapor Deposition) 即物理气相沉积，异质结电池 TCO 薄膜沉积工艺中指溅射镀膜，其基本原理是辉光放电产生的氩离子轰击阴极靶材，靶材被溅射出来而沉积到基板表面。RPD (Reactive

plasma deposition)即反应等离子体沉积,是由日本住友公司开发的一种低温、低损伤 TCO 薄膜镀膜工艺。RPD 设备可产生稳定均匀的等离子体,超过 50eV 的高能粒子极少,因此对基板的轰击刻蚀作用极低。RPD 技术制备的 TCO 薄膜结构更加致密、结晶度更高、导电性和透光性更好。但目前住友公司对 RPD 核心设备具有垄断优势,其成本相对较高,因此目前主流还是 PVD 工艺。

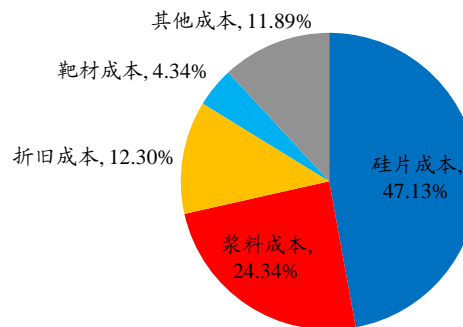
**掺杂物替代可改善 ITO 长波段寄生吸收, AZO 材料替代可有效降低 TCO 成本。**常见的 TCO 材料是 ITO (氧化铟锡),即  $\text{SnO}_2$  掺杂的  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,但其在长波段光谱存在寄生吸收的现象,这会影响载流子迁移率。当将掺杂物由  $\text{SnO}_2$  替代为 Zn、Ti、Zr、Mo 和 W 的氧化物以及与氢共掺杂时都能有效减少长波段寄生吸收,载流子迁移率可从  $30\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  提升至  $80\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ,最高甚至可提升到  $140\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。铟作为一种稀有金属,其储量有限且成本较高,从而造成 ITO 材料的成本较高。一种新的思路是用成本更低的 AZO ( $\text{ZnO}:\text{Al}$ )替代背面的 ITO。AZO 的迁移率仅  $10\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ,导电性劣于 ITO。由于电池背面的栅线更多,因此当使用 AZO 替代背面 ITO 时,对电池的成本降低较多,而对电池效率的影响相对较小。

**PVD、RPD 设备国产化进行中。**PVD 设备主要由真空形成系统、发射源和沉积系统、沉积环境控制系统、监控系统以及传动系统,目前国内企业在发射沉积以及传动系统已经取得一定突破,而控制和监控系统则受限于气体分析仪和光功率计等设备的国产能力不足。目前行业的 PVD 设备供应商有德国的冯阿登纳,瑞士的梅耶博格,德国的新格拉斯和中国的钧石能源、捷造光电、湖南红太阳等。国内捷佳伟创已获得住友公司 RPD 授权,正积极研发 RPD 相关设备。

## 2.4、丝网印刷：低温银浆的减量工艺和国产化是趋势

低温银浆是异质结电池非硅成本中最重要的部分,占异质结电池总成本的 24%左右,占非硅成本的 46%左右。银浆成本占比高的原因是低温银浆的价格高且用量大。异质结电池的制作工艺一般不超过  $200^\circ\text{C}$ ,所使用的银浆为低温银浆,国内低温银浆正处于起步阶段,因此价格比常规电池和 PERC 使用的高温银浆要更高。在银浆用量方面,P 型电池银浆使用量约为  $114.7\text{mg}/\text{片}$ ,而异质结电池的银浆使用量目前高达  $300\text{mg}/\text{片}$ ,消耗量是 P 型电池的近 3 倍。因此减少银浆的消耗量和低温银浆的国产化是降低异质结电池成本的两个重要方面。

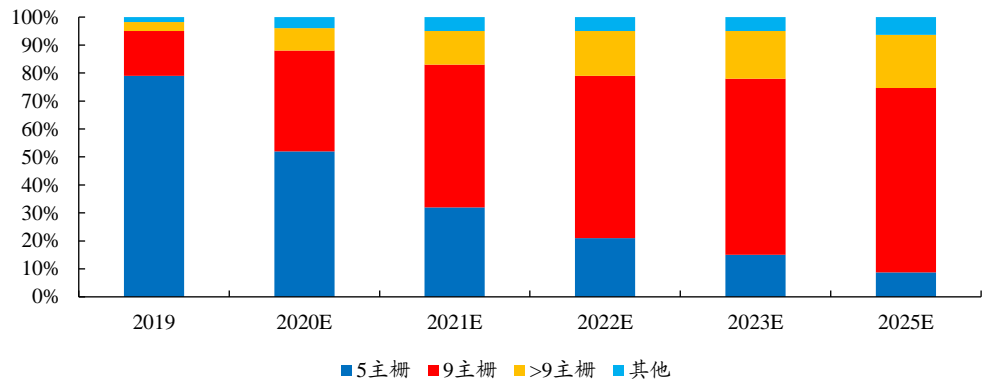
图14：银浆成本是异质结电池非硅成本中最重要的部分



数据来源：前瞻产业研究院、开源证券研究所

多主栅技术渐成主流，可直接有效降低异质结电池银浆消耗。栅线的主要作用是收集电流并进行汇流，分为细栅线和主栅线。电池的正面栅线会遮挡一部分太阳光，越细的栅线遮挡越少，但同时也会造成更大的电阻，从而降低电池的填充因子，因此栅线设计需要平衡遮光和导电的关系。目前主流的主栅技术 5BB 技术（五主栅），市场占有率约为 79%，未来的方向是向 MBB（多主栅）发展。根据 CPIA 数据，9BB 相比 5BB 电池片，银浆用量可下降 25%。对于银浆消耗量大的异质结电池而言，多主栅具有更好的降本效果。此外，新的栅线设计方案对于降低银浆消耗和银替代也具有重要意义，梅耶博格研发的 SWCT 技术即可将单片银浆消耗降低到 100mg/片。

图15：预计多主栅技术的推广将有效降低异质结电池的银浆消耗



数据来源：CPIA、开源证券研究所

国内企业近年来积极研发低温银浆。目前异质结电池制造企业使用的银浆主要是国外进口，价格在 8000-10000 元/kg。低温银浆的原材料主要是银粉、溶剂、树脂和添加剂。高温银浆在 600-800℃ 可以达到熔融状态，但低温银浆的工艺温度在 200℃ 以下，需要通过树脂结合到一起，因此低温银浆对银粉的质量要求很高。目前国内银粉质量还有待提高。一些国内企业看重异质结电池潜力，近年来正在积极研发低温银浆且取得了一定的进展，比如苏州的晶银和贺利氏。

### 3、异质结高效率享产品溢价，长期降本空间清晰

#### 3.1、异质结相对 PERC 拥有一定溢价空间

异质结较高的发电效率以及低衰减特性使得在 BOS 成本和 LCOE 两端拥有溢价：

1) 异质结电池拥有更高的发电效率和双面性。目前异质结发电效率相比 PERC 提升 1%-1.5%，同时双面率可以达到 95% 以上，因此组件的综合功率可以较 PERC 做的更大。而大功率组件可以带来下游电站建设过程中和面积相关的 BOS 成本（例如土地、运输、安装、桩基、支架等）的摊薄。假设 PERC 组件功率为 440W，异质结组件为 470W，则根据我们测算可以带来支架、线缆、土地及安装费等 BOS 成本 4.1 分/W 的降幅。

**表2: 异质结使得提升组件功率进而降低 BOS 成本**

可变成本项目	可变成本降幅 (元/W)
支架钢材	0.017
支架安装费	0.008
光伏线缆	0.003
直流电缆	0.009
土地	0.004
合计	0.041

数据来源: 开源证券研究所

2) 异质结抗光衰的特性使得异质结组件在 LCOE 成本相对于 PERC 可以拥有较高的溢价。以目前异质结的技术水平, 首年衰减 0.5%, 之后年均平均衰减为 0.2-0.3%, 根据我们测算, 在保持 LCOE 同等水平下, 异质结相比较 PERC 拥有 0.25 元/W 溢价空间。综合以上, 我们认为在目前技术水平下, 异质结相比较 PERC 拥有约 0.29 元/W 溢价空间。

**表3: 同等 LCOE 水平下异质结拥有一定溢价空间**

	异质结	PERC
项目假设		
单位投资 (元/W)	4.35	4.1
并网容量 (MW):	200.00	200.00
项目总投资 (万元):	87,000.00	87,000.00
贷款比例	70%	70%
收入假设		
火电标杆电价 (元/kWh):	0.30	0.30
补贴电价(元/kWh):	0.05	0.05
利用小时数	1400	1400
弃光率	0	0
年衰减率		
第一年	0.5%	2.5%
之后每年	0.2%	0.5%
LCOE(元/W)	0.2858	0.2855

数据来源: 开源证券研究所

## 3.2、异质结电池降本路径清晰, 设备、辅材皆有下降空间

### 3.2.1、四大工艺环节: 国产化为主要降本路径

1) 清洗制绒环节。主流工艺为 RCA 法, 臭氧+双氧水工艺在大批量生产验证后清洗效果较为稳定, 并且在去除氨氮工艺后污水处理与化学品成本大大降低, 是现在最佳的清洗工艺。目前 HJT 电池制绒添加剂成本还是较高, 原因在于主要还是靠进口添加剂。但添加剂本身的成本非常低, 目前国内相关厂家也在研究制绒添加剂并已有突破, 预计清洗制绒环节成本降幅可达 80%以上。

**表4: 清洗制绒环节有望国产化添加剂降低成本**

化学品种类	单片成本 (元 /pcs)	备注
双氧水+ KOH H2O2 HNO3 HF HCl NH4OH 制绒添加剂 氨 氮	0.4-0.6	主要以使用进口添加剂为主, 大小绒面对成本影响较大
臭氧+双 氧水	KOH H2O2 HF HCl 制绒添加剂臭氧	0.22-0.3
纯臭氧工 艺	KOH H2O2 HF HCl 制绒添加剂臭氧	量产厂商较少

资料来源: 光伏前沿、开源证券研究所

**2) 非晶硅沉积。**异质结电池制造工艺流程中非晶硅薄膜沉积的方法是化学气相沉积法 (Chemical Vapor Deposition), 主流方法是 PECVD 和 Cat-CVD。非晶硅沉积主要考虑为薄膜均匀性、氢含量、光敏性, 目前目前单片成本集中在 0.03-0.05 元, 未来有望下降到 0.01-0.02 元。

**表5: 非晶硅沉积降本空间较小**

工艺	I 层	N 层	I 层	P 层	NF <sub>3</sub> 清洗	量产 bom (元 /pcs)
热丝化学气相沉积	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> /PH <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> /B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	不使用	0.01-0.015
射频化学气相沉积	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /PH <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> /TMB CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ar/NF <sub>3</sub>	0.03-0.04
甚高频化学气相沉积	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /PH <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> / CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	SiH <sub>4</sub> /H <sub>2</sub> /TMB CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Ar/NF <sub>3</sub>	0.06-0.08

资料来源: 光伏前沿、开源证券研究所

**3) TCO 膜制备。**现阶段 TCO 制备工艺主要为 PVD 直流磁控溅射工艺与 RPD (反应等离子体沉积) 工艺。目前采用 PVD 方式成膜的企业较多, 主要是 PVD 设备较为成熟, 价格便宜, 同时设备较为稳定。同时 PVD 所使用的的靶材生产企业较多, 基本不受专利限制, 主要是 ITO 受制于日本住友专利。RPD 正/背面均需要 2 个 IWO/ICO 靶材, 进口靶材成本在 0.6-0.7 元/片, 国产化后有望降到 0.2-0.3 元/片。

**表6: TCO 靶材降本空间较大**

工艺方法	靶材种类	靶材密度 (g/cm <sup>3</sup> )	靶材成本 (元 /kg)	成本 (元 /pcs)	效率	迁移率 m <sup>2</sup> /v·s
PVD	ITO	>7.1	2700	0.4-0.5	a	35
	SCOT	>6.8	3500	0.45-0.5	a+0.2%	80
	IWO	4-4.5	进口 3200	0.6-0.7	a+0.4%	100
	ICO	4-4.5			a+0.5%	130
RPD	IWO (国产)	4-4.5	国产 2000	0.2-0.3	a+0.4%	100
	ICO (国产)	4-4.5			a+0.5%	130
	托盘改进	4-4.5	国产 2000	0.2-0.3	a+0.6%	100
		4-4.5			a+0.7%	130

数据来源: 光伏前沿、开源证券研究所

4) **丝网印刷**。低温银浆是 HJT 电池成本中占比较大的一部分，目前 HJT 电池银浆耗量大约是传统电池的五倍，因此降低低温银浆成本首先要降低银浆用量；另外，低温银浆本身用的浆料多，含银量也较高，所以成本更高一些，可与供应商共同开发新产品以降低成本。目前通过结合多主栅、叠瓦等技术降低银浆耗量，可以大幅降低低温银浆的成本，降幅大概在 50%-70%之间。

**表7: MBB、SWCT 等新型丝网印刷技术可有效降低银浆用量**

	低温银浆单耗(mg)	电池效率	组件端效率增益(相对于5BB)	银浆成本(元/pcs)	双面率	组件功率(W)
5BB	280-320	23.1%	0	1.9-2.1	90%	330
MBB	170-200	23.5%	0.35%	1.1-1.2	95%	335
SWCT	100	23.8%	0.4%	0.6-0.7	95%	335

数据来源：光伏前沿、开源证券研究所

### 3.2.2、薄片化有望降低成本

无应力和低温工艺使得异质结电池更能接受硅片的薄化而不引起良率的下降，硅片可以做的更薄。更薄的 PERC 电池发生翘曲，不同厚度的 PERC 电池的各项参数对比，发现电池对长波部分的吸收随着其厚度的减小而降低，进而导致短路电流和转换效率的降低。在电池厚度小于 110 μm 时，出现严重的翘曲及失效现象。由于异质结电池结构对称，加上电池工艺最高温度不超过 200° C，其更易于实现在量产中使用薄化硅片。

**图16: 厚度 150μm 的 PERC 电池具有较好平整度**



(b) 厚度 150 μm PERC 电池

**图17: 厚度 110μm 的 PERC 出现严重的翘曲及失效现象**



(a) 厚度 110 μm PERC 电池

资料来源：光伏领跑者创新论坛

资料来源：光伏领跑者创新论坛

根据我们测算，以目前薄片（180 μm）和细线（50 μm）技术水平，薄片和细线每降低 5 μm/2 μm，在 2019 年基础上可降低公司硅片环节 2.8pct/1.0pct 成本降低。

**表8: 细线化和薄片化可有效降低成本**

硅片厚度/细线化	50 μm	48 μm	46 μm	44 μm
180 μm	0.0%	1.0%	2.1%	3.1%
175 μm	2.8%	3.9%	4.9%	6.0%
170 μm	5.7%	6.8%	7.9%	9.0%
165 μm	8.7%	9.9%	11.0%	12.1%

数据来源：公司公告、开源证券研究所



### 3.2.3、设备国产化进一步拉低成本

HJT 电池产线主要的专用设备是 CVD（化学气相沉积）设备和 PVD 设备。相关设备最初是为平板显示行业设计的，没有按照异质结这种特定的技术来优化和设计，所以可以联合设备厂家进行一些优化，技术难度并不大，如 CVD 设备沉积腔里都不需要变，只要将一些传输设备及机械进行优化，产能就可以翻倍，设备成本自然会摊薄；PVD 设备更不需要进行大的改进，设备国产化后就可以大幅降低成本。

以东方日升 2019 年发布的 2.5GW HIT 电池项目设备投资为例，HIT 电池产线设备投资额为 10 亿元/GW，其中清洗制绒设备占比 8%，非晶硅薄膜沉积设备（采用 PECVD）占比 40%，正面和背面 TCO 沉积设备（采用 RPD）占比 28%，丝网印刷等后段设备合计占比 26%。

**表9：东方日升 2.5GW 异质结电池设备投资额为 10 亿元/GW**

序号	工序	设备名称	台套数	总价（万元）
1	单晶制绒	自动插片机	25	18,750
		单晶制绒设备	25	
2	表面清洗	RCA 清洗设备	25	
		自动下料机	25	
3	本征非晶硅沉积	自动上料机	25	
		PECVD		
4	P 型非晶硅沉积	PECVD	25	100,000
5	本征非晶硅沉积	PECVD		
6	N 型非晶硅沉积	PECVD		
7	正面 TCO 沉积	RPD		
8	背面 TCO 沉积	RPD	25	68,750
		自动下料机	25	
9	丝网印刷	自动上料机	25	43,750
		丝网印刷机	25	
10	低温烘干	低温烘干机	25	
11	测试分选	颜色、EL、IV 测试分选	25	18,750
12	其他辅助设备	制氮系统、废弃处理系统、电子天平、显微镜、反射率仪、四探针方阻测试、椭圆仪等	-	
合计				250,000

资料来源：东方日升公告、开源证券研究所

**优化工艺设计，缩短周期也可带来成本降低**，除了设备的单纯制造产能外，降低资本支出的途径还包括以下几点：工艺反应器的平行化、PECVD 和 PVD 的单个承载工艺、在线工艺和通过合理系统设计缩短工艺周期。例如，在 INDEPtec 的技术里，单个空腔承载允许硅片处在同一个承载上，前表面和背面 a-Si:H 可以同时进行沉积，即缩小了空间又能实现自动化。

## 4、异质结处于大规模产业化前夜，降本增效是核心驱动力

### 4.1、降本增效路径明确

**异质结电池有比较明确的增效路径。**影响电池效率的三个关键指标是开路电压、短路电流和填充因子。由于采用薄膜沉积工艺，作为衬底的 N 型硅片可以更薄的同时确保应力均匀，从而保证低的破碎率。更薄的硅片不仅意味着成本的更低，也意味着硅基和非晶硅薄膜界面的性能，从而获得开路电压更高。此外，提高清晰制绒质量、降低硅片表面损伤等也可以提高开路电压。在提升短路电流方面，可以通过金属银电极布局优化、TCO 材料改进等方式。在提升填充因子方面，减少 TCO 材料电阻等方式可以减少有效电池串联电阻。

**设备、靶材国产化，银浆用量减少，降本正当时。**从过往的产线投资来看，每 GW 的投资在 8 亿元左右，如果采用纯进口设备投资额将高达 10 亿元/GW。在 PERC 和 TOPCon 的生产中，也会用到 PECVD 这一设备，但异质结电池制造过程中，非晶硅的钝化性能对温度敏感，所以 HIT 电池要求制备温度低于 200 °C，同时要求使用低温银浆，正是这一差异导致了设备研发的额外成本。随着近两年国内设备企业对核心设备 PECVD 和 PVD 的研发，异质结产线单 GW 投资成本已下降到 6-7 亿元水平，未来还可能进一步下降到 4-5 亿元/GW 水平。除了设备问题，异质结电池非硅成本中，银浆成本占比达到了近 50%。而采取将细栅宽度从 60 μm 减少到 40 μm，将主栅工艺从五主栅改为九主栅，银浆的用量将减少 30%，此外丝网印刷的分次和分步工艺也可减少银浆的用量。而大硅片和薄片化的推进也将进一步压缩异质结的成本，异质结的性价比优势将会逐步凸显。

### 4.2、异质结投资持续加码

**异质结技术高天花板高性能，很早就获得行业内外的注意。**光伏行业过去的经验表明，在新技术面前能够抓住机遇的先发企业往往能实现弯道超车。为了进一步提升电池效率，降低电池成本，不断获取竞争优势，寻找新一代的电池技术是光伏厂商的共同选择。此时，凭借高转化效率和出色性能表现，异质结电池早在 2017 年开始走进光伏行业的视野。根据光伏测试网的调研，2017 年异质结公开产能为 1GW，而由于多种因素，实际产量仅 60MW，平均效率 22.7%，虽然产量小，但 22.7% 的效率即使在 2020 年也可列入较高效率行列。

**经历早期探索后，近期异质结投资持续加码。**根据第二届非晶硅/晶体硅异质结论坛，2019 年底实际运行的异质结产能已达到 800MW，虽然有部分试验产能退出生产，但产能产量已有较大的突破，电池效率则在 23.7% 水平远超 PERC 电池。不同于 IBC 电池仅有黄河水电 200MW 产能，异质结电池已接近 GW 级别的产能，2020 年异质结电池产能大概率超过 1GW，因此 2020 年也被称为异质结产业化元年。近一年来，通威股份、山煤国际、爱康科技、东方日升等企业相继开始规划和导入，累计规划产能达到数十吉瓦。此外，隆基股份、爱旭科技等企业也在研发上对异质结技术进行跟踪准备布局。随着进一步的降本增效，异质结电池技术的大规模应用有望迎来快速增长。

**表10: 小批量产能的投产证明了异质结电池效率高、良率高, 设备国产化稳步推进中**

厂家	状态	产能	电池效率	良率	清洗制绒	非晶硅沉积	TCO 薄膜沉积	丝网印刷
晋能	满产	100MW	23.27%	98.50%	YAC	应用材料/精曜	精曜 RPD	应用材料
中晋	停产	160MW	22.80%	98.50%	Singulus	(CAT-CVD)		
汉能	停产	600MW	23%	98%	YAC	理想能源	非晶硅 PVD 设备改造	应用材料
新日光	满产	50MW	23.50%	99%	YAC	精曜	精曜 RPD	应用材料
成都通威	批量	100MW	23.70%	98%	YAC/捷佳伟创	理想能源/	捷佳伟创 (RPD)	应用材料/丝网印刷
均石	满产	600MW	24%	98	YAC	均石	均石	
挪威 RFC	批量	600MW	24.30%	96%		梅耶博格	梅耶博格	迈为
日本松下	批量	1GW	23%	96%	YAC	日本真空	住友电工	

资料来源: 第二届非晶硅/晶体硅异质结论坛 (2019 年 12 月)、开源证券研究所

**表11: 随着设备国产化推进等因素推动成本降低, 组件技术近一年来异质结电池产能投资明显加速**

公司	规划产能	投资额	预计投产时间	预期年销售额	薄膜沉积设备提供商
山煤国际	10GW				
东方日升	2.5GW 电池, 2.5GW 组件	33 亿元	2021 年	50 亿元	
中利集团	1GW 电池及组件	12 亿元			
爱康科技	1.32GW	11.9 亿元			
阿特斯	中试线				
高登赛能源集团	1GW (高智能无人生产线)	15 亿元		26 亿元	
唐正能源	500MW 异质结电池及组件	6 亿元			PECVD 和溅射沉积均为美国进口
斯坦得	1GW				
开盛新能源	500MW	设备投资约 3.2 亿元	2021 年初		
东方日升	5GW 电池/5GW 组件	43.77 亿元/44.36 亿元			

资料来源: 企业公告、智汇光伏、开源证券研究所

## 5、异质结技术受益标的

### 5.1、捷佳伟创: 电池片设备龙头, 持续受益光伏产业技术发展

捷佳伟创积极布局异质结, 关键设备进入工艺验证阶段。捷佳伟创在异质结各环节都有相应布局。通过同国际一流企业产品对标或者直接合作, 在异质结电池相关设备上不断取得突破。在 TCO 薄膜沉积方面, 捷佳伟创已取得日本住友公司 RPD 相关专利授权, 在此基础上研发的 RPD 设备已进入工艺验证阶段。在清洗制绒方面, 捷佳伟创研发的制绒设备已具量产能力, 电性能可达国际一流企业 YAC 设备性能。

捷佳伟创在 RPD 国产化方面具有独特优势, 一体机方案降本效果更明显。在异质结工艺所需设备中, TCO 薄膜沉积设备的成本仅次于非晶硅薄膜沉积设备, 因此 TCO 设备的降本增效对异质结电池降本增效具有重要意义。RPD 设备的沉积效果更好, 但是由于单台设备产能和仅能自下往上镀膜的原因, 导致同等产能的异质结产线需要 PRD 设备数量是 PVD 数量的 4 倍, 因此 RPD 设备成本高企。捷佳伟创在日本住友公司授权的基础上, 开发了 PRD 和 PVD 一体的设备, 综合了 PRD 的高质沉积特点和 PVD 可自上往下沉积的优点。预计 PRD 和 PVD 一体化设备单 GW 投资可降到

国产 PVD 水平，即 1.2 亿元/GW 左右，同时由于 PRD 比 PVD 的沉积效果更好，可以在同等成本下得到质量更优的电池。基于这种优势，捷佳伟创的一体化设备可能会更受电池厂的青睐尤其是在纯 RPD 设备成本不能有效降低，而纯 PVD 设备沉积效果不能进一步提升的情况下。

**积极同下游电池企业合作推动异质结产业化。**通威作为光伏电池环节的龙头企业之一，近年来在异质结电池上积极研发投产，在成都和合肥已建立三条产线，共计 450MW 产能。捷佳伟创的设备一直处于行业领先水平，因此通威一直是捷佳伟创的核心客户之一。在通威布局异质结的过程中，捷佳伟创也积极参与其中，为通威提供 PECVD、RPD 等核心设备。此外，捷佳伟创同爱康科技等其他致力于成为异质结先发企业的光伏电池企业也保持着紧密的合作。捷佳伟创从产业化初期就同下游建立了合作关系，与电池企业共同成长。未来异质结技术实现量产，捷佳伟创会充分受益于此。

## 5.2、迈为股份：丝网印刷设备翘楚，多点开花成长加速

**坚持自主创新，迈为积极投入异质结设备开发。**迈为是国内太阳能电池丝网印刷设备的龙头企业，其自主研发的丝网印刷设备曾经打破国外以 Baccini 为首的外国厂商，为光伏行业成本降低贡献了重要力量。与此同时迈为自身也充分享受了丝网印刷设备国产化的红利。在光伏电池技术升级的新节点上，迈为继续坚持着自主创新的道路，大力研发异质结关键设备，目前迈为公司生产的 PECVD 生产效率已达到 6000 片/小时，已超过国内外同行。在异质结产线成本上，迈为提供的产线仅 5-6 亿，远低于国外企业的 8-10 亿。

**PECVD 量产效率有保证，丝网印刷技术仍有进步空间。**从提供给下游电池厂的 PECVD 设备实际运行情况来看，迈为提供的设备生产的异质结电池量产效率在 23.5%，年底预计能突破 24%。PECVD 作为异质结设备价值量最大的环节，当异质结技术实现大规模产业化时，PECVD 设备企业必将充分受益。丝网印刷技术关系到异质结银浆的使用量，对异质结电池成本具有重要的影响。目前而言，在丝网印刷技术上具有明显优势的是梅耶博格，其自主研发的 SmartWire 电池连接技术能将单个异质结电池组件耗银量减少 50%以上，性能远超其他丝网印刷技术。但梅耶博格在 6 月底已发布公告，将自己生产异质结组件，相关技术和设备不再向外输出。丝网印刷技术是迈为的专长，如果将来能研发出同 SmartWire 一样甚至更为优异的电池连接技术，迈为将充分受益。

**下游客户包含大部分光伏电池生产企业，同时积极同异质结先发企业共同成长。**凭借在丝网印刷技术上的优势，迈为的下游客户包括了通威、隆基、东方日升、天合、晶科等大多数光伏电池企业，这样的稳定全面的客户网络关系在新技术推广时更具有优势。此外，在通威积极布局异质结过程中，迈为为通威合肥 250WM 异质结产线提供了整线设备。同捷佳伟创一样，迈为在异质结量产前就积极布局，不断创新，将在异质结电池大规模量产阶段充分获益。

## 5.3、通威股份：硅料电池双环节龙头，积极布局异质结技术

**未来三年通威将继续扩大多晶硅与太阳能电池片业务。**通威股份以饲料起家，早在 2011 年企业饲料相关的营业收入就仅 110 亿元，全国市场占有率连续 20 年位居全国第一，称通威为饲料领域的龙头企业当之无愧。2015 年，公司清楚地认识到通威虽然在饲料领域的业绩表现非常好，但饲料行业是传统行业，其远期的增长潜力远不及处于朝阳期的光伏行业。2015 年，通威股份通过收购永祥股份开始进入光伏行业，

并从此确立以光伏行业作为未来的战略方向。2019年，通威股份光伏相关的营业收入已经达到170亿元，占总营收的近一半。2020年2月11日，通威发布三年发展规划公告，宣布在未来三年拟投资年产30GW的高效太阳能电池及配套项目以及14-21万吨左右的硅料产能。电池扩建项目的一、二期将在两年内完成，采用的电池技术是目前主流的PERC技术，而在三、四期的技术很可能采用异质结技术。

**通威积极布局异质结，降本增效稳步推进。**通威在异质结电池方面的进展非常快。2018年5月通威同中科院、三峡签约。一年之后，2019年6月通威第一片异质结电池片下线。通威生产的异质结电池片效率在稳步提升，2020年1月，生产的电池片效率在23.36%左右（9BB工艺），目前则已提升到24%。公司已具有3条产线异质结产线，共计450MW产能。薄片化对异质结电池降本具有重要意义，目前主流的PERC电池所用硅片在180 $\mu$ m左右，而通威异质结电池量产时即直接使用150 $\mu$ m，未来有望进一步薄化到130 $\mu$ m。在产品验证方面，通威5BB产品全部通过外部IEC标准，这意味着在向下游销售异质结产品不存在技术性障碍。通威在异质结量产的过程中积极布局，稳步推进异质结降本增效，这对保持其在电池制造环节的龙头地位具有重要意义。

#### 5.4、山煤国际：煤炭企业转型发展，10GW异质结助力弯道超车

**煤炭国企转型先锋，山煤国际进军光伏行业。**山煤国际作为山西省国资委下体量相对较小的煤炭企业率先开启了转型之路，异质结电池则成了其进军光伏产业的突破口。因此在进入光伏行业前聘请了专业团队进行了前期的市场调研和可研论证。2019年7月，山煤国际对外发布公告，决定投资10GW异质结电池生产项目。

**稳步推进10GW异质结电池项目。**2020年8月，山煤国际异质结电池一期3GW通过山西国资委的严格审批，预计投资31.89亿元。由于目前主流的光伏电池技术还是PERC技术，异质结电池正处于量产化的前夜，山煤国际稳步推进异质结技术或将助力其成为最早量产异质结电池的转型企业，山煤国际或能在光伏电池技术领域实现弯道超车。

#### 5.5、东方日升：持续加码异质结，MBB助力异质结降低成本，结合BIPV前景更加广阔

**持续加码异质结，2021年将实现异质结量产。**早在2017年东方日升就开始布局异质结电池。2019年8月东方日升在浙江投资的2.5GW异质结项目开工建设，预期项目将在2021年达产。2020年年初一期建成落地，开始小批量发货，累计发货量已达50MW。在效率方面，东方日升中试线异质结最高效率已达24.2%，处于较为领先状态。2020年7月，东方日升再次加码异质结，拟投资5GW异质结电池与5GW异质结组件。

**率先实现MBB技术，将助力异质结电池降低成本。**异质结电池降低成本的途径除了设备和耗材的国产化替代，最重要的就是减少低温银浆的消耗，而MBB技术对减少丝网印刷中银浆消耗极为重要。东方日升在PERC电池中已经实现了MBB的量产，这无疑将为其在异质结电池量产中取得一定优势。除了MBB，东方日升在组件环节积累的其他技术，如半片、双玻技术等，也将保障异质结电池更好实现其效率优势。

**东方日升设想中的异质结超大超薄，在BIPV中更具优势。**大尺寸硅片的背景下，组件设计理念以及发生了改变，比如低电压大电流，这为实现更高功率和更低单瓦成本的组件奠定了基础。当电池片替换成异质结电池时，效率进一步提升时，单瓦成本

更具优势。与此同时异质结的薄片化使其更具柔性，在贴合建筑时更具优势。

## 5.6、受益标的盈利预测

表12: 受益标的盈利预测

公司	关键指标	2017A	2018A	2019A	2020E	2021E	2022E
东方日升	营业总收入(百万)	11,451.76	9,752.17	14,404.25	18,104.40	22,988.94	26,475.66
	增长率(%)	63.21	-14.84	47.70	25.69	26.98	15.17
	归母净利润(百万)	649.77	232.37	973.65	1,021.54	1,304.27	1,545.09
	增长率(%)	-5.67	-64.24	319.01	4.92	27.68	18.46
	EPS(摊薄)	0.72	0.26	1.08	1.13	1.45	1.71
	基准股本(百万股)	904.62	904.30	901.36	901.36	901.36	901.36
	ROE(摊薄)(%)	8.69	3.13	11.80	10.94	12.34	12.87
	ROA(%)	5.20	1.29	4.41	3.73	4.18	4.42
	P/E	16.89	22.14	12.82	14.56	11.40	9.63
通威股份	营业总收入(百万)	26,089.24	27,535.17	37,555.12	44,998.26	55,642.79	67,594.22
	增长率(%)	24.92	5.53	36.39	19.82	23.66	21.48
	归母净利润(百万)	2,012.04	2,018.75	2,634.57	3,710.48	4,809.89	6,033.73
	增长率(%)	96.35	0.51	30.51	40.84	29.63	25.44
	EPS(摊薄)	0.52	0.52	0.68	0.87	1.12	1.41
	基准股本(百万股)	3,882.37	3,882.37	3,882.59	4,287.86	4,287.86	4,287.86
	ROE(摊薄)(%)	15.08	13.70	14.99	17.50	18.91	19.42
	ROA(%)	8.70	6.34	6.29	6.78	7.95	8.78
	P/E	23.37	15.92	19.35	28.61	22.07	17.60
山煤国际	营业总收入(百万)	40,937.02	38,142.77	37,657.16	32,051.1	35,769.65357	37,423.61071
	增长率(%)	-16.73	-6.79	-1.27	-14.89	11.60	4.62
	归母净利润(百万)	381.27	220.11	1,172.72	948.69	1,395.40	1,664.72
	增长率(%)	23.92	-42.27	432.80	-19.10	47.09	19.30
	EPS(摊薄)	0.19	0.11	0.59	0.48	0.70	0.84
	基准股本(百万股)	1,982.46	1,982.46	1,982.46	1,982.46	1,982.46	1,982.46
	ROE(摊薄)(%)	7.74	14.16	15.19	11.06	13.99	14.30
	ROA(%)	2.40	3.00	3.45	2.94	4.04	4.48
	P/E	25.37	29.90	11.80	21.69	14.75	12.36
捷佳伟创	营业总收入(百万)	1,242.78	1,492.74	2,527.16	3,592.34	4,548.67	5,555.81
	增长率(%)	49.51	20.11	69.30	42.15	26.62	22.14
	归母净利润(百万)	254.04	306.19	381.91	561.00	755.49	958.12
	增长率(%)	115.11	20.53	24.73	46.89	34.67	26.82
	EPS(摊薄)	1.06	0.96	1.19	1.75	2.35	2.98
	基准股本(百万股)	240.00	320.00	320.00	321.22	321.22	321.22
	ROE(摊薄)(%)	27.21	13.75	14.96	18.18	20.08	20.56
	ROA(%)	10.85	8.75	7.16	7.32	7.96	8.29
	P/E	--	29.76	31.75	53.87	40.00	31.54

数据来源: Wind、开源证券研究所

注: 东方日升、通威股份、捷佳伟创 2020/2021/2022 年财务数据预测来自 Wind 一致预期, 山煤国际 2020/2021/2022 年财务数据预测来自开源证券研究所

## 6、风险提示

新技术发展不及预期、疫情等导致需求低于预期、光伏市场竞争加剧。

## 特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

## 分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

## 股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20%以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5%之间波动；
	减持	预计相对弱于市场表现 5%以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的6~12个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中A股基准指数为沪深300指数、港股基准指数为恒生指数、新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）、美股基准指数为标普500或纳斯达克综合指数。我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

## 分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。



## 法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于机密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户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。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。在任何情况下，本公司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。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

## 开源证券研究所

### 上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼10层  
邮编：200120  
邮箱：research@kysec.cn

### 深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层  
邮编：518000  
邮箱：research@kysec.cn

### 北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座16层  
邮编：100044  
邮箱：research@kysec.cn

### 西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层  
邮编：710065  
邮箱：research@kysec.cn