

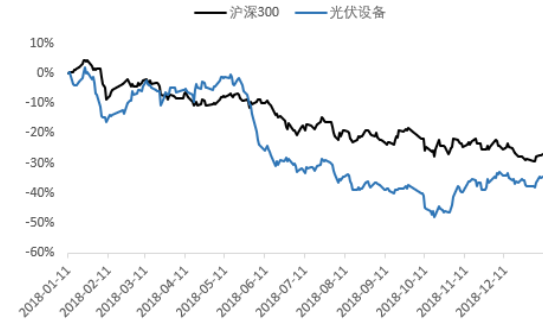
研究所

证券分析师: 冯胜 S0350515090001
0755-83706284 fengs01@ghzq.com.cn
联系人: 王可 S0350117080013
wangk05@ghzq.com.cn

平价上网, 设备先行

——光伏设备行业深度报告

最近一年行业走势



行业相对表现

表现	1M	3M	12M
光伏设备	-1.4	5.7	-34.4
沪深300	4.0	-0.9	-28.0

相关报告

《机械设备行业周报: 光伏标杆电价讨论进行中, 看好光伏设备板块》——2019-01-21

《机械设备行业周报: 促进家电消费新政出台, 服务机器人板块将受益》——2019-01-14

《光伏设备行业事件点评报告: 政策大力推进平价上网, 光伏设备企业最为受益》——2019-01-10

《机械设备行业周报: 中铁总2019年计划投产新线增七成, 看好轨道交通行业》——2019-01-07

《机械设备行业周报: 看好光伏电池设备、牙科CBCT等细分领域景气度》——2018-12-25

投资要点:

- 本文核心观点:** ①我们认为平价上网政策不仅有望为光伏市场贡献增量, 其深远意义在于我国光伏行业“黄金十年期”的开启。②我们认为平价上网具有较明确的实现路径, 乐观情况下有望在2020年底实现。③通过光伏全产业链的降本增效潜力分析, 电池片及组件环节将成为本轮技术迭代的主阵地, 提高光电转换效率及降低组件封装损失是实现发电侧平价上网的关键。
- 平价上网政策拉开了我国光伏行业“黄金十年期”的序幕。**我们认为光伏行业的发展可以分为三个阶段: ①2018年及以前, 政策引导阶段; ②2019-2020年, 平价上网过渡阶段; ③2020年以后, 全面平价上网阶段。2019年1月9日光伏平价上网政策正式出台, 标志着我国光伏行业“黄金十年期”的开启, 主要基于三个背景: 一是中国光伏产业由“两头在外”发展成为“掌握全产业链核心工艺和设备”, 为行业发展奠定基础; 二是光伏行业降补贴大势所趋, 平价上网具备现实意义; 三是光伏工艺和设备日趋成熟, 优势资源区已开始出现平价项目。
- 我们离平价上网有多远?** 根据我们测算, 假设光伏电站的内部收益率维持8%, 则I、II、III三类资源区光伏平价上网要求电站系统成本分别为3.21、3.37、3.28元/W, 取全部地区的中位数, 全国光伏平价上网项目的门槛为3.25元/W。2018年底全国光伏电站的系统成本为4.5元/W的水平, 距离平价上网成本仍需下降28%。从具体的路径来看, 实现光伏平价上网有两种方式: 降本、增效。在降本方面, 硅料、硅片、电池片、组件价格每下降10%, 光伏电站系统成本将下降1.0%、1.5%、2.4%、4.2%; 在增效方面, 光电转换效率每提高1个百分点或组件功率增加15W, 光伏电站系统成本将下降5%。
- 光伏全产业链降本增效潜力分析:** 我们通过对硅料、硅片、电池片、组件每一个环节的产业现状、工艺发展、设备迭代、盈利能力等多个维度分析, 最终的结论为电池片及组件环节将成为本轮光伏产业降本增效的主阵地。根据我们的模型推演, 当硅料价格下降20%、电池片转换效率通过TOPCon或HIT工艺提升至23.5%、组件通过叠瓦工艺增加7%的输出功率、其他非硅成本(银浆、铝浆、玻璃、EVA、BOS等)假设成本下降带来电站系统成本降低4%, 则光伏

电系统成本将降低 28%，从而实现全国大规模的发电侧平价。基于此，我们认为平价上网具有较明确的实现路径，乐观情况下有望在 2020 年底实现。

- **维持光伏设备行业买入评级，重点关注电池片设备龙头。** 维度一：从全产业链来看，在平价上网过渡阶段，电池片及组件环节将成为本轮光伏产业降本增效的主阵地，有望获得产业持续的资本投入。维度二：从具体产业环节来看，设备行业由于技术延展性更强，与下游产品企业相比具备更高的市场集中度，设备龙头有望充分受益行业技术迭代。维度三：从设备企业来看，我们基于技术迭代、技术门槛、竞争格局、主业关联程度等多个要素筛选，建议重点关注光伏电池片工艺设备龙头捷佳伟创，其次推荐丝网印刷设备龙头迈为股份、光伏自动化设备商罗博特科以及有望在组件叠瓦工艺取得突破的金辰股份、康跃科技和组件自动化行业龙头京山轻机（苏州晟成）。
- **风险提示：**光伏平价上网不及预期；光伏电池片技术迭代不及预期；推荐标的业务发展不及预期；政策执行的不确定性风险。

重点关注公司及盈利预测

重点公司 代码	股票 名称	2019-01-25 股价	EPS			PE			投资 评级
			2017	2018E	2019E	2017	2018E	2019E	
300724.SZ	捷佳伟创	32.7	1.06	0.95	1.16	30.85	34.42	28.19	买入
300751.SZ	迈为股份	162.1	3.36	3.19	3.89	48.24	50.82	41.67	增持
300757.SZ	罗博特科	63.62	1.45	1.69	1.74	43.88	37.64	36.56	增持
603185.SH	上机数控	52.84	2.0	2.36	2.92	26.42	22.39	18.1	增持
603396.SH	金辰股份	27.46	1.01	1.25	1.62	27.19	21.97	16.95	增持
000821.SZ	京山轻机	7.91	0.32	0.56	0.74	24.72	14.13	10.69	买入
002371.SZ	北方华创	45.75	0.27	0.38	0.56	169.44	120.39	81.7	增持
300316.SZ	晶盛机电	9.46	0.39	0.48	0.59	24.26	19.71	16.03	买入

资料来源：Wind 资讯，国海证券研究所

内容目录

1、 平价上网政策：更像是拉开一场序幕.....	6
2、 我们离平价上网还有多远？	9
2.1、 平价上网的定义	9
2.2、 光伏平价上网成本降幅分析	11
2.3、 如何降低光伏电站系统成本？	13
3、 平价之路：全产业链降本增效潜力分析	15
3.1、 硅料：长期存在明显降本空间	15
3.2、 硅片：金刚线切割渗透接近尾声	17
3.3、 电池片：技术迭代正当时	19
3.4、 组件：叠瓦技术蓄势待发	47
3.5、 小结：平价上网沙盘推演	52
4、 投资策略：重点关注电池片设备龙头	52
4.1、 捷佳伟创：电池片设备龙头，引领高效电池技术迭代	56
4.2、 迈为股份：光伏电池片丝网印刷设备龙头，业绩有望持续增长	57
4.3、 罗博特科：光伏电池自动化设备龙头，期待 2019 年业绩放量	58
4.4、 金辰股份：政策助推+技术迭代，组件设备龙头蓄势待发	59
5、 风险提示	61

图表目录

图 1: 全球、我国光伏新增装机容量及同比增长情况	6
图 2: 我国光伏全产业链在全球的地位	7
图 3: 2018 年以来光伏行业主要政策	7
图 4: 2017 年全国发电量能源结构占比	8
图 5: 2017 年全国装机量能源结构占比	8
图 6: 光伏行业发展三个阶段的特征及投资策略	9
图 7: 海西州格尔木市国家第三批“光伏领跑者”项目	11
图 8: 2018 年光伏组件出口国家占比	12
图 9: 中国光伏企业海外布局情况	12
图 10: 全球光伏新增装机容量增长及构成 (MW)	12
图 11: 光伏产业链五大构成	13
图 12: 光伏全产业链成本构成图	14
图 13: 光伏行业降本传导机制	14
图 14: 改良西门子法工艺流程简图	16
图 15: 2019 年硅料产能成本弹性分析	16
图 16: 硅片制造工艺流程图	17
图 17: 单晶生长炉设备构成	17
图 18: 多晶铸锭工艺流程	18
图 19: 2013-18 年各切割方式在光伏市场渗透率变化及预测	19
图 20: 本征半导体的结构图	20
图 21: 价电子受激发后形成自由电子和空穴	20
图 22: N 型半导体与 P 型半导体	20
图 23: 图说 P-N 结的构成	21
图 24: 图说光生伏特效应	21
图 25: 铝背场光伏电池片主要工艺	23
图 26: 常规铝背场电池结构	24
图 27: 常规铝背场光伏电池片设备分类	25
图 28: PERC 电池内部结构	26
图 29: PERC 电池降低背面符合	26
图 30: PERC 电池提高内表面反射	26
图 31: PERC 电池片主要制造工艺	27
图 32: PERC 电池片设备分类	28
图 33: 铝背场电池中的发射极、基板、电极	30
图 34: SE 电池和传统电池结构对比	31
图 35: 激光掺杂选择性发射极 PERC 电池生产工艺流程	31
图 36: 常规 MWT 电池截面和正面结构	32
图 37: P 型硅基 MWT 电池基本工艺流程	33
图 38: MWT 在组件工艺上的改进	33
图 39: MWT 太阳能电池专利申请	34
图 40: 南京日托 MWT 产品技术路线	34
图 41: 双面 PERC 电池的结构与优势	34
图 42: 双面 PERC 电池工艺	34
图 43: PERL 电池基本结构	35
图 44: N-PERT 和 P-PERC 电池结构对比	36
图 45: N-PERT 和 P-PERC 工艺对比	36

图 46: TOPCon 电池基本结构 (N 型)	37
图 47: N 型单晶双面 TOPCon 电池生产工艺	38
图 48: PERC 工艺的改进方向及设备需求	39
图 49: N 型 HIT 电池	40
图 50: HIT 结构对应工艺流程	42
图 51: HIT 工艺流程及相关设备	42
图 52: 国外 HIT 电池产业现状	42
图 53: 国内 7 家 HIT 电池厂商 2018 年产量	42
图 54: IBC 电池实物的正背面	43
图 55: IBC 电池截面结构	43
图 56: IBC 电池的制备工艺流程	44
图 57: HBC 升级模式图	44
图 58: 单晶硅太阳能电池成长实验室和产业化水平	46
图 59: 太阳能组件核心构成	47
图 60: 太阳能组件工艺流程图	47
图 61: 互联条工作示意图	48
图 62: 组件叠层示意图	48
图 63: 组件设备示意图	48
图 64: 单面双玻工艺示意图	50
图 65: 双面双玻工艺示意图	50
图 66: 半片组件工艺示意图	50
图 67: 5 主栅与 12 主栅电流传输路径对比	51
图 68: 常规 PERC 组件和叠瓦组件的区别	51
图 69: 爱旭太阳能股权结构图	53
图 70: 爱旭太阳能发展历程	53
图 71: 2016 年我国光伏电池片企业产能占比	54
图 72: 2017 年我国光伏电池片企业产能占比	54
图 73: 2017 年全球光伏电池片出货排名	54
图 74: 2018 年上半年全球光伏电池片出货排名	54
图 75: 光伏电池片的基础工艺具备相通性	55
图 76: 光伏全产业链工艺及设备上市公司梳理	55
图 77: 光伏全产业链工艺及设备上市公司梳理	56
表 1: 光伏行业补贴缺口测算	8
表 2: I、II、III 类地区平价上网门槛测算	10
表 3: 光伏行业补贴政策敏感性测算	12
表 4: 金刚线切割和砂浆切割的对比	18
表 5: PERC 工艺中镀氧化铝的厚度与少子的寿命关系	22
表 6: 铝背场电池片主要市场参与者	25
表 7: 四种 PERC 背面镀膜设备对比	29
表 8: PERC 电池工艺路线发展	30
表 9: HIT 工艺中非晶硅沉积设备对比	41
表 10: IBC 电池技术的研究进展	45
表 11: 光伏组件设备主要生产企业	49
表 12: 国内组件设备企业技术迭代布局	52
表 13: 重点关注公司及盈利预测	56

1、平价上网政策：更像是拉开一场序幕

1月9日，国家发改委、国家能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》（发改能源〔2019〕19号），提出推进风电、光伏发电无补贴平价上网的有关要求和相关支持政策措施，从而促进可再生能源高质量发展，提高风电、光伏发电的市场竞争力。**本次政策具备两大看点：**

一是明确提出光伏平价上网项目（不需要国家补贴执行燃煤标杆上网电价的光伏发电平价上网试点项目）由省级政府能源主管部门组织实施，**项目建设不受年度建设规模限制。**

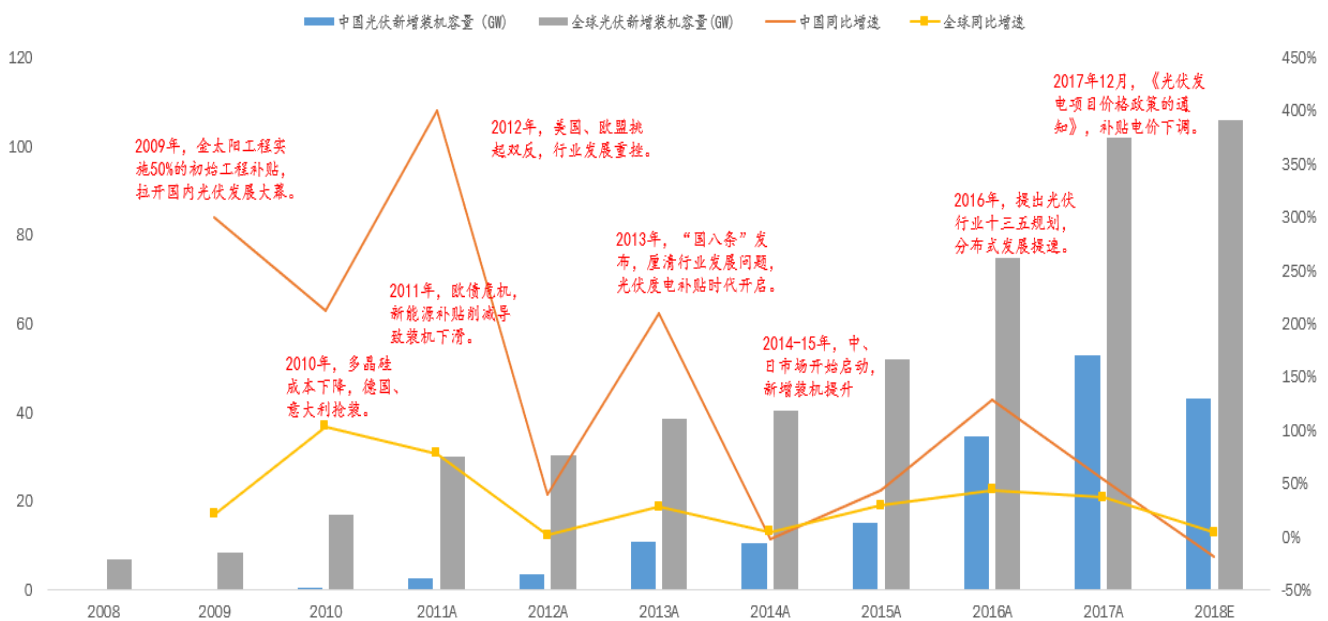
二是**多重措施保障平价上网项目收益**，包括：①省级电网企业与光伏发电项目单位签订长期固定电价购售电合同（不少于20年）；②鼓励平价上网项目通过绿证交易获得合理收益补偿，绿证交易每度电收益约5分钱；③地方政府部门对土地利用及相关收费予以支持，降低项目场址等相关非技术成本；④省级电网企业负责升压站之外的接网工程，保障优先发电和全额保障性收购。

关于此次政策，市场的普遍解读是目前全国在筹备的平价项目接近20GW，平价项目有望为光伏市场贡献增量。**与市场观点不同的是，我们认为此次的政策深远意义在于光伏行业“黄金十年期”的开启。**

我们认为，光伏行业的发展可以分为三个阶段：

阶段一：2018年及以前，政策引导阶段。这一阶段的特征是行业发展的周期性波动主要受政策驱动。

图 1：全球、我国光伏新增装机容量及同比增长情况

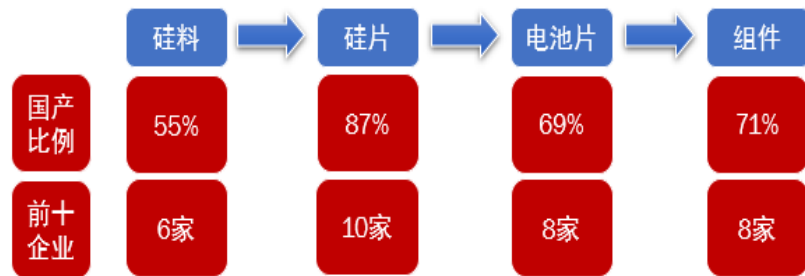


资料来源：BP、国海证券研究所

阶段二：2019-2020，平价上网过渡阶段。这一阶段的特征是政策补贴边际影响降低，技术迭代带来的成本下降逐步成为推动行业发展的主要动力。我们认为2019年有望开启光伏行业以平价上网为主题的新“黄金十年”，主要基于三个背景：

①**2008-2018 十年间，中国光伏产业由“两头在外”发展成为“掌握全产业链核心工艺和设备”，**这将为下一个黄金十年期的开启奠定基础。从2017年光伏全产业链各个环节来看：我国硅料产量为24.2万吨，占全球多晶硅产量比重为54.8%，有6家企业进入世界前10位；我国硅片总产能为105GW，总产量为91.7GW，全球占比为87.2%，全球前十大硅片厂均在大陆。我国电池片总产能为83GW，总产量为72GW，全球占比为69%，有8家企业进入世界前10位。我国组件总产能为105.4GW，总产量为75GW，全球占比为71%，有8家企业进入世界前10位。我国新增装机容量为53GW，新增装机容量全球第一。

图 2：我国光伏全产业链在全球的地位



资料来源：中国光伏产业发展路线图、国海证券研究所

②**光伏行业补贴缺口明显，政府财政客观不支持。**根据国海机械及电新组测算，截至2018年底，光伏行业补贴缺口达841亿元。自2018年“531”新政以来，行业降补贴已是大势所趋，根据智汇光伏的报道，2019年I、II、III类地区光伏标杆电价拟从2018年底的0.5元/kwh、0.6元/kwh、0.7元/kwh降低到0.4元/kwh、0.45元/kwh、0.55元/kwh。

图 3：2018 年以来光伏行业主要政策



资料来源：国家发改委、国海证券研究所

表 1: 光伏行业补贴缺口测算

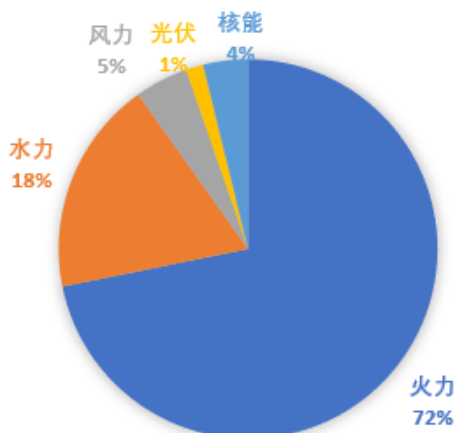
时间	装机量 (GW)	平均利用小时数 (h)	平均单位补贴 (元/kwh)	假设并网时间	所需一年补贴 (亿元)	截至 2018/12/31 补贴缺口 (亿元)	截至 2019/12/31 补贴缺口 (亿元)	截至 2020/12/31 补贴缺口 (亿元)
前五批	6.4	1100	0.68	2013/8/31	47.9			
第六批	19.5	1100	0.60	2015/2/28	128.7			
第七批	15.0	1100	0.60	2016/2/28	99.0			
1603-1606	16.7	1158	0.60	2016/6/30	116.0	290	406	522
1607-1612	12.1	1131	0.53	2016/12/31	72.8	146	218	291
1701-1706	24.4	1090	0.53	2017/6/30	141.0	211	352	493
1707-1712	28.4	1046	0.4	2017/12/31	119.0	119	238	357
1801-1806	25.8	1100	0.4	2018/6/30	149.5	75	224	374
1807-1812	18.3	1100	0.25	2018/12/31				
1901-1912E	40.0	1100	0.1	2019/12/31	46.4			46
补贴缺口 (第七批目录以后)					920	841	1439	2084

资料来源: 国家发改委、国海证券研究所

③光伏相关的工艺和技术日趋成熟, 平价项目开始出现。2018年12月29日, 中国首个大型光伏平价上网项目在青岛格尔木正式并网发电, 该项目总装机容量为500MW, 总投资额21亿元, 项目平均电价0.316元/千瓦时, 低于青海省火电脱硫标杆上网电价(0.3247元/千瓦时)。随着优势地区(土地费用低、可利用小时数高)的光伏平价项目开始出现, 属于平价上网的“黄金十年”序幕已被拉开。

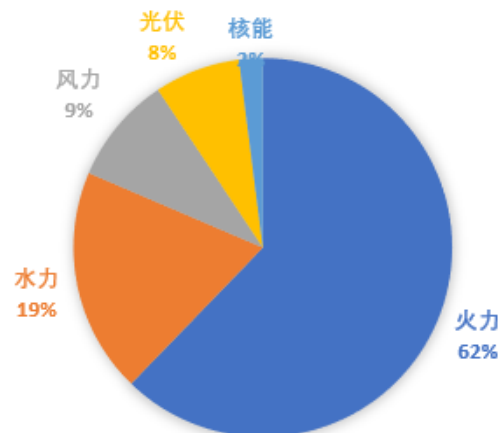
阶段三: 2020年以后, 全面平价上网阶段。这一阶段的特征是全国多数地区已开始实现发电侧平价上网, 同时发电端实现平价上网后推动配套设施完善, 进而实现用电端平价上网, 光伏逐步成为主要能源。从当前来看, 2017年底我国光伏发电累计装机容量1.30亿千瓦, 占全部发电设备容量的比例为7.33%; 2017年全国光伏发电量967千瓦时, 占全部发电量6.49万亿千瓦时的1.49%。

图 4: 2017 年全国发电量能源结构占比



资料来源: 中电联、国海证券研究所

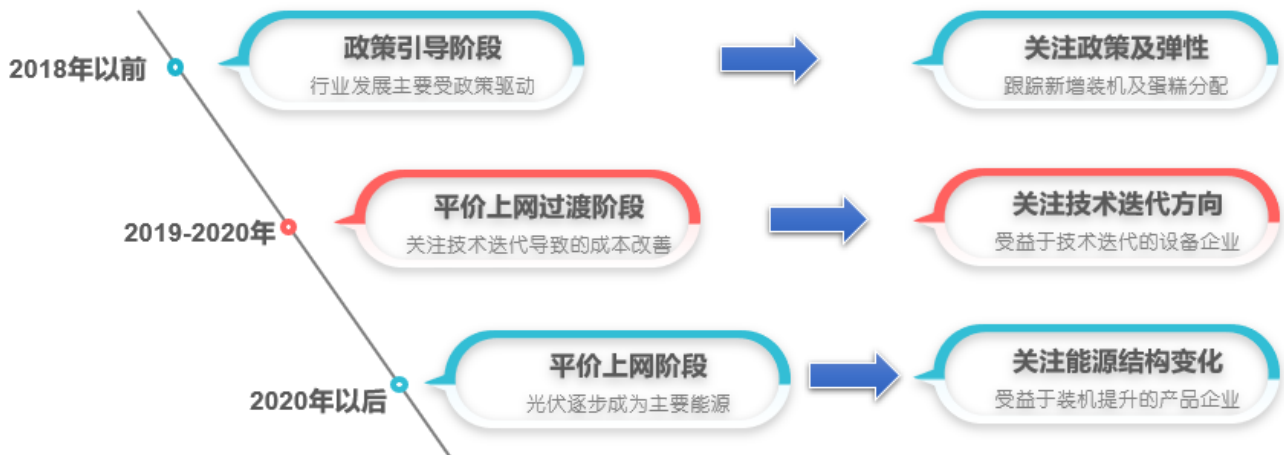
图 5: 2017 年全国装机量能源结构占比



资料来源: 中电联、国海证券研究所

综上所述，光伏行业的三个阶段对应不同的投资策略：阶段一（2018年及以前）行业发展主要受政策驱动，建议重点关注政策的变化以及新增装机容量的弹性；阶段二（2019-2020年）属于平价上网的过渡阶段，这一阶段补贴持续下滑，平价上网尚未大规模普及，建议重点关注光伏行业技术迭代的方向以及能够受益技术迭代的设备企业；阶段三（2020年后）发电侧的平价上网已开始大规模实现，建议重点关注能源结构的变化以及能够直接受益于光伏新增装机容量提升的产品企业。

图 6：光伏行业发展三个阶段的特征及投资策略



资料来源：国家发改委、国海证券研究所整理

2、我们离平价上网还有多远？

2.1、平价上网的定义

根据《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》中的表述，光伏上网的标准是光伏电站在不需要补贴的情况下，上网电价等于当地燃煤标杆上网电价。因此，不同地区由于燃煤标杆上网电价不同，平价上网的基准也有所区别。

全国光伏平价上网的门槛测算：光伏电站的内部收益率取决于两个要素，一是成本，即初始的电站投资额。二是收入，即每年的发电收入；而每年的发电收入又取决于电站的输出功率、上网电价以及有效利用小时。基于此，我们结合 I、II、III 类地区的燃煤标杆电价、有效利用小时两项参数，同时假设光伏电站的内部收益率为 8%，进而对光伏平价上网项目的投资额进行反算，最终结论为：

I、II、III 三类资源区光伏平价上网要求电站系统成本分别为 3.21、3.37、3.28 元/W；

取全部地区的中位数，全国光伏平价上网项目的门槛为 3.25 元/W。

表 2: I、II、III 类地区平价上网门槛测算

资源区	地区	燃煤标杆上网电价 (元/kwh)	有效利用小时数 (小时)	IRR=8%时系统成 本(元/W)
I 类资源区	宁夏	0.260	1502	2.80
	青海海西	0.3247	1696	4.04
	甘肃嘉峪关、武威、张掖、酒泉、敦煌、金昌	0.298	1580	3.42
	新疆哈密、塔城、阿勒泰、克拉玛依	0.250	1460	2.59
	内蒙除赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔以外地区	0.290	1512	3.19
	I 类平均	0.284	1550	3.21
II 类资源区	北京	0.360	1214	3.21
	天津	0.366	1318	3.56
	黑龙江	0.374	1314	3.64
	吉林	0.373	1319	3.64
	辽宁	0.375	1290	3.56
	四川	0.401	800	2.32
	云南	0.336	1325	3.26
	内蒙古赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔以外地区	0.290	1549	3.27
	河北承德、张家口、唐山、秦皇岛	0.372	1432	3.96
	山西大同、朔州、忻州、阳泉	0.332	1422	3.45
	陕西榆林、延安	0.355	1498	3.96
	青海除 I 类以外地区	0.325	1546	3.68
	甘肃除 I 类以外地区	0.308	1374	3.09
	新疆除 I 类以外地区	0.250	1436	2.55
II 类平均	0.344	1346	3.37	
III 类资源区	河北除 II 资源区以外地区	0.378	1410	3.96
	山西除 II 资源区以外地区	0.332	1263	3.06
	陕西除 II 资源区以外地区	0.355	1153	2.99
	上海	0.416	1179	3.65
	江苏	0.391	1107	3.20
	浙江	0.415	1060	3.25
	安徽	0.384	1129	3.20
	福建	0.393	1103	3.20
	江西	0.414	1032	3.16
	山东	0.395	1359	4.00
	河南	0.378	1270	3.56
	湖北	0.416	999	3.08
	湖南	0.450	943	3.15
	广东	0.453	1077	3.64
	广西	0.421	1042	3.25
	海南	0.430	1333	4.28
	重庆	0.396	686	1.92
	贵州	0.352	953	2.42
	III 类平均	0.398	1117	3.28
全国中位数水平				3.25

资料来源: 索比光伏网、国海证券研究所整理

2.2、光伏平价上网成本降幅分析

我们首先来对全国首个平价项目进行分析:该项目属于国家第三批“光伏领跑者”项目,电站地址位于青海省海西州格尔木,属于I类地区,年有效利用小时数高达1696小时;项目总装机容量为500MW,总投资额21亿元;项目平均电价0.316元/kwh,低于青海省火电脱硫标杆上网电价(0.3247元/kwh),实现平价上网。

基于以上参数,可以测算出的结论为:①该电站系统成本为4.2元/W;②该项目内部收益率为7.14%。

图7:海西州格尔木市国家第三批“光伏领跑者”项目



资料来源:新华网、国海证券研究所

我们认为,一方面海西州项目属于特例,该项目年有效利用小时数大幅高于全国平均水平;另一方面作为示范项目,地方政府在接网以及土地成本上通常给予一定优惠,我们结合智慧光伏的分析预计2018年底全国光伏电站的系统成本为4.5元/W的水平(各地区土地成本、安装成本存在差异)。

核心结论:按照这一标准,目前全国光伏地面电站系统成本与3.25元/W的全国平价上网中位数水平相比,仍需下降28%。即光伏电站系统成本在目前的水平上下降28%,全国将大规模(超过50%)实现发电侧的平价上网。

另一方面,我们对即将出台的光伏行业补贴政策进行敏感性分析。我们以4.5元/W的系统成本的基准,计算8%的内部收益率对应的上网电价水平,最终结论为:在系统成本维持目前4.5元/W不变的情况下,当I、II、III类地区的上网电价分别为0.39、0.45、0.55元/kwh,光伏电站的内部收益率将达到8%。

“531”新政之后,I、II、III三类资源区的补贴电价为0.5、0.6、0.7元/kwh,补贴额度为0.22、0.24、0.3元/kwh。根据上述反算的上网电价水平,即将出台的政策补贴对应I、II、III三类资源区的下降弹性分别为0.11、0.15、0.15元/kwh。

表 3: 光伏行业补贴政策敏感性测算

	区域平均燃煤标杆上网电价 (元/ kwh)	平价上网电价 (IRR=8%, 系统成本=4.5 元/W)	531 后补贴电价 (元/ kwh)	新政降补弹性 (元/ kwh)
I 类资源区	0.28	0.39	0.5	0.11
II 类资源区	0.34	0.45	0.6	0.15
III 类资源区	0.4	0.55	0.7	0.15

资料来源: 国家发改委、国海证券研究所整理

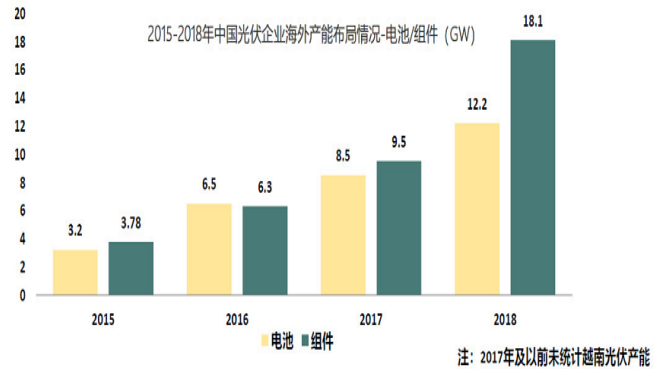
在光伏电站系统成本不断下降的背景下, 海外市场需求多点开花, 在全球光伏新增装机容量占比的份额持续提升。根据 CPIA 统计, 我国已有 20 家光伏企业通过合资、并购、投资等方式在海外布局产能, 2018 年海外布局的电池片有效产能达 12.2GW, 组件有效产能达 18.1GW。同时, 海外光伏项目招标报出电价不断创新低, 2013 年美国光伏项目招标报出价为 8.3 美分/kwh, 2018 年沙特项目报出价已低至 1.79 美分/kwh。

图 8: 2018 年光伏组件出口国家占比



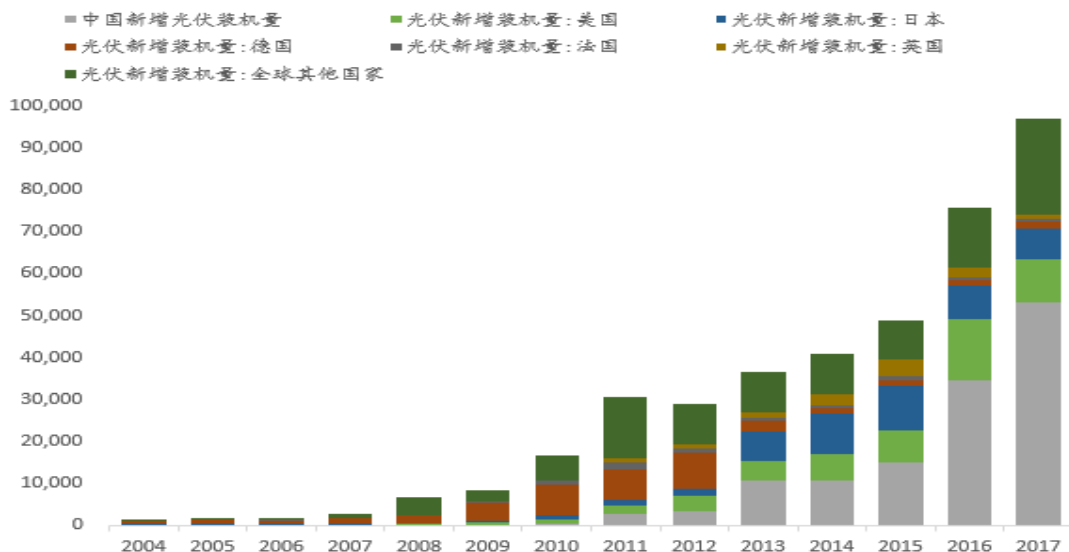
资料来源: CPIA、国海证券研究所

图 9: 中国光伏企业海外布局情况



资料来源: CPIA、国海证券研究所

图 10: 全球光伏新增装机容量增长及构成 (MW)

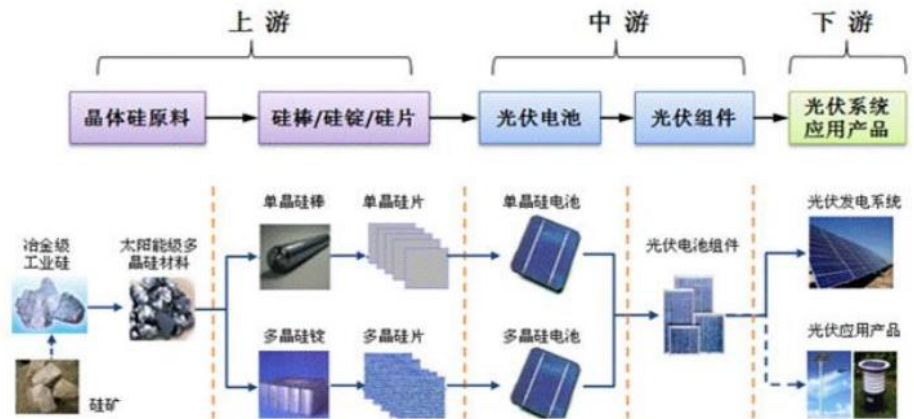


资料来源: BP、国海证券研究所

2.3、 如何降低光伏电站系统成本？

光伏全产业链包括硅料、硅片、电池片、组件、地面电站五大构成，且环环相扣。平价上网的实现是电站装机成本降至平价上网门槛标准，从产业链视角来看，这是一个系统性的工程，牵一发而动全身。

图 11：光伏产业链五大构成



资料来源：搜狐新闻、国海证券研究所

从具体路径来看，实现光伏平价上网有两种方式：**降本、增效**。其中降本指全产业链各个环节的成本降低，每个环节的成本降低都能直接降低电站的单瓦投资成本；增效指通过工艺的改进，提高电池片的转换效率，从而带来组件的功率提升，间接降低电站的单瓦投资成本。

①**降本机制的重点在于分析每个产业链环节的价格变动对电站成本的变动的弹性**。我们逐一进行测算：

硅料：影响硅料成本最大的是电力和金属硅，占硅料成本比重分别为 42%和 21%。

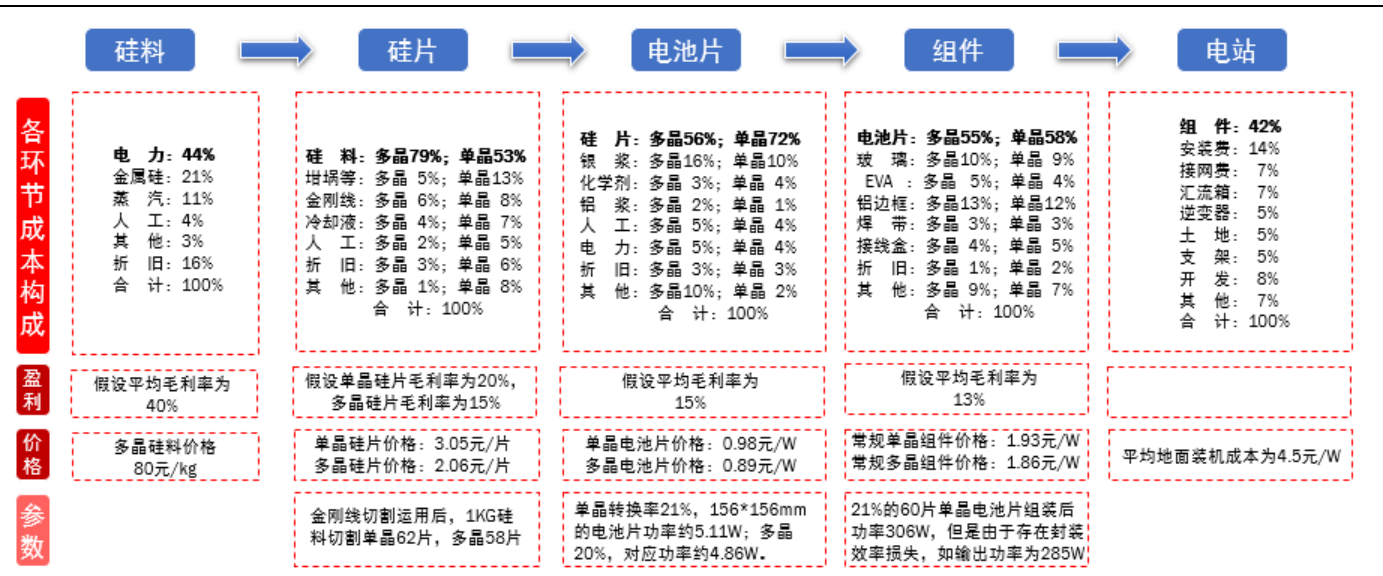
硅片：根据 PVinfolink 每周统计的供应链价格，2018 年底硅料价格为 80 元/kg，按照金刚线切割后 1KG 硅料切割单晶 62 片，多晶 58 片，对应每片硅片中硅料的成本为 1.29 元/片和 1.38 元/片。而 2018 年底单、多晶硅片价格分别为 3.05 元/片和 2.06 元/片，假设毛利率分别为 30%、20%，即单、多晶硅片的成本分别为 2.14 元/片和 1.65 元/片，即单、多晶硅片中硅料占成本的比重分别为 60%和 84%。

电池片：按照单晶光电转换效率 21%、多晶 20%计算，156*156mm 的电池片功率分别为 5.11W 和 4.86W。2018 年底单、多晶硅片价格分别为 3.05 元/片和 2.06 元/片，即对应单、多晶电池片中硅片的成本分别为 0.60 元/W 和 0.42 元/W。2018 年底单、多晶电池片价格分别为 0.98、0.89 元/W，按照 15%的毛利率计算，单、多晶电池片的成本为 0.83、0.76 元/W，即单、多晶电池片中硅片的成本占比分别为 72%和 56%。

组件：2018 年底单、多晶组件价格分别为 1.93、1.86 元/W，假设组件毛利率为 13%，即对应单、多晶组件的成本分别为 1.68 元/W 和 1.62 元/W。而单、多晶电池片价格分别为 0.98、0.89 元/W，即单、多晶组件中电池片的成本占比分别为 58%和 55%。

电站：2018 年底电站系统成本为 4.5 元/W，假设单多晶比例按照 4:6 计算，即组件端加权平均成本为 1.89 元/W，在电站系统成本中占比为 42%。

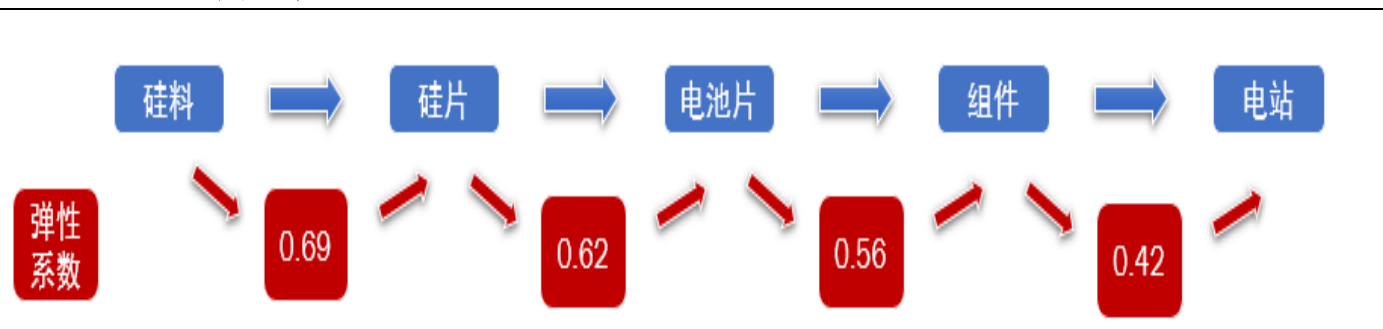
图 12：光伏全产业链成本构成图



资料来源：PVinfolink、能源新闻网、国海证券研究所 注：价格数据截止到 2018 年底，毛利率参考 2017 年行业平均水平

对上述模型进行简化后，光伏行业的降本传导机制如图 13。在 2018 年底的相关参数基准上，硅料价格对电站系统成本的弹性系数为 0.10(0.69*0.62*0.56*0.42)，即硅料价格下降 10%，将导致电站成本降低 1.0%；硅片价格对电站系统成本的弹性系数为 0.15(0.62*0.56*0.42)，即硅片价格下降 10%，将导致电站成本降低 1.5%；电池片价格对电站系统成本的弹性系数为 0.24(0.56*0.42)，即电池片的价格下降 10%，将导致电站成本降低 2.4%；组件价格对电站系统成本的弹性系数为 0.42，即组件的价格下降 10%，将导致电站成本降低 4.2%。

图 13：光伏行业降本传导机制



资料来源：PVinfolink、能源新闻网、国海证券研究所

②**增效机制将直接带来电站系统成本的降低。**增效是指太阳能电池片光电转换效率提升或组件的输出功率增加。电池片的光电转换效率的含义是一个测试值，指在每平方米 1000W 的光照条件下，电池片的输出功率/1000W 的值。例如，20%的转换效率是指一平方米的电池片在 1000W/平米的光强下输出功率为 200W，对于一片规格为 156mm*156mm 的电池片而言，其输出功率为 4.86W。组件的输出功率提升一方面可以通过电池片的转换效率提升推动，另一方面也可以通过减少封装效率损失得到。

对于电池片而言，以 20%作为基准，每提升 1%的转换效率，相当于组件输出功率增加 5%，对应电站收入（输出功率*电价*可利用小时）增加 5%，在反算的过程中，在内部收益率不变的情况，电站成本约降低 5%。

对于组件而言，我们以 20%转换效率来计算，每提升 1%的转换效率约提高 60 片的组件 15W 的功率，即组件功率增加 15W，电站成本约降低 5%。

3、平价之路：全产业链降本增效潜力分析

回顾 2018 年，光伏行业各环节成本均出现明显下滑。根据 PV Infolink 每周统计的供应链价格，2018 年产品价格变化幅度为：①**硅料**：国内多晶硅价格从年初的 155 元/公斤降到年底的 80 元/公斤，降幅达 48.4%；②**硅片**：国内多晶硅片从 4.3 元/片降到 2.06 元/片，单晶硅片从 5.1 元/片降到 3.05 元/片，降幅分别为 52.1%和 40.2%；③**电池片**：多晶电池片从 1.42 元/W 降到 0.89 元/W，单晶电池片从 1.68 元/W 降到 0.98 元/W，降幅分别为 37.3%和 41.7%；④**组件**：常规多晶组件从 2.61 元/W 降到 1.86 元/W，常规单晶组件从 2.64 元/W 降到 1.93 元/W，降幅分别为 28.7%和 26.9%。⑤**电站**：在全产业链成本下行的背景下，电站成本从年初的 6.5 元/W 下降至年末的 4.5 元/W，降幅为 30%。

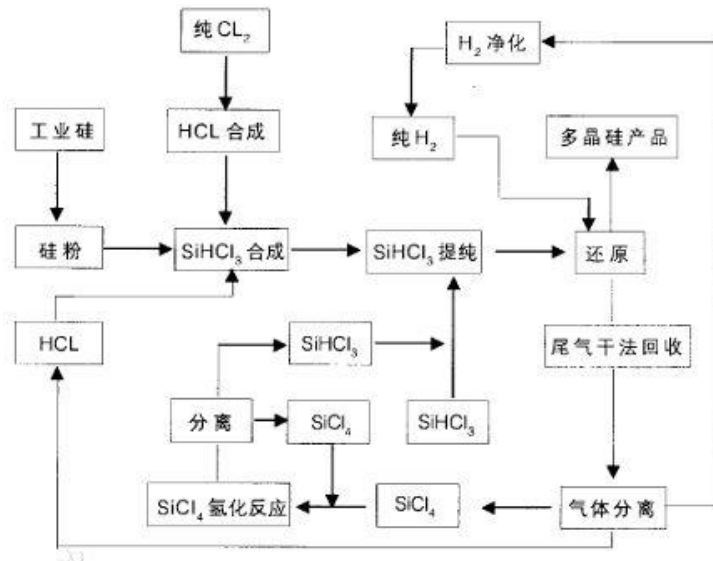
展望未来，我们对光伏全产业链的降本增效潜力进行逐一分析。

3.1、硅料：长期存在明显降本空间

从成本端来看，电力在硅料成本中占比最大，占比为 44%，该项成本主要源自地域间的差异。因此硅料的成本降低方式可以通过在电价较低的地区建厂等方式来实现。

从工艺端来看，目前硅料端的比较成熟的工艺是改良西门子法，包括 H₂ 制备与净化、HCl 合成、SiHCl₃ 合成、合成气干法分离、氯硅烷分离提纯、SiHCl₃ 氢还原、还原尾气干法分离、SiCl₄ 氯化、氯化气干法分离、硅芯制备及产品整理、废气及残液处理等工艺组成。改良西门子法能够显著降低能耗，具备成本低、质量好等优点，但降本已到极限。流化床法在 2014 年以后逐步应用，其电力成本较改良西门子法降低约 50%；但是仍存在一些工艺上的难题，如产品纯度控制等。

图 14: 改良西门子法工艺流程简图

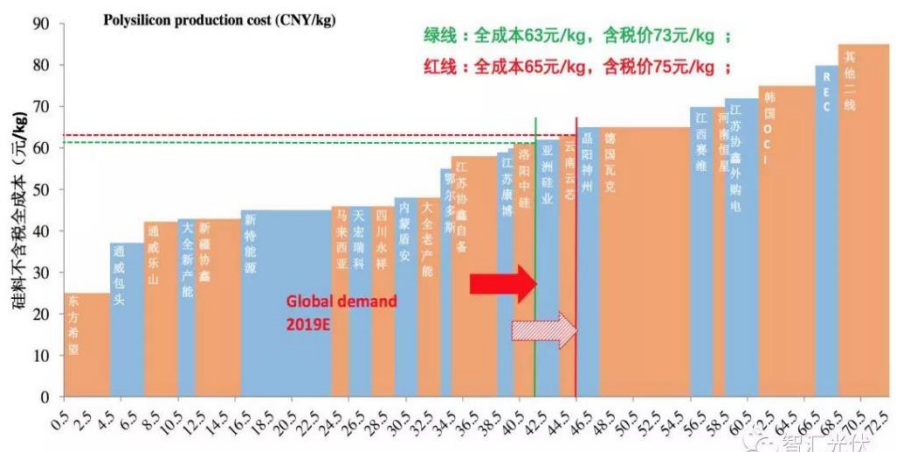


资料来源：百度百科、国海证券研究所

从硅料企业的成本来看，根据智汇光伏的分析，按照 1KG 硅料对应 280W 水平测算，2019 年新增装机容量需求为 120GW-130GW，对应硅料需求为 42.8 万吨-46.4 万吨，这一区间内对应硅料企业成本线为 73 元/kg-75 元/kg（含税）。即在现有的硅料产能基准下，80 元/kg 的硅料价格已处于相对较低水平。

但另一方面，以东方希望和通威包头为代表的企业依靠地域电价较低和先进管理工艺，成功将硅料成本降至 30 元/kg 以下。随着新建硅料产能逐步向电价较低的西部地区转移，长期来看硅料仍具备明显的降价的空间。

图 15: 2019 年硅料产能成本弹性分析

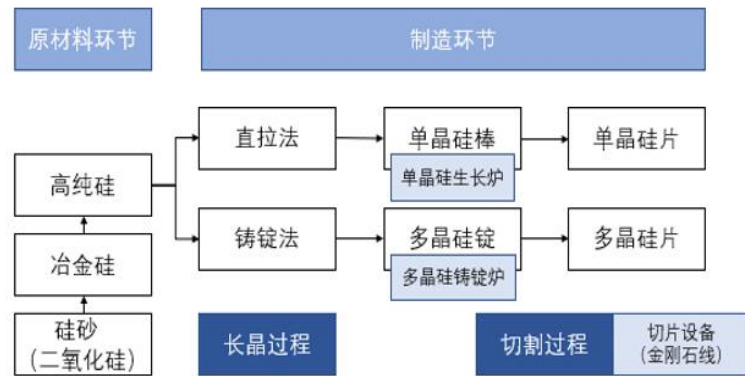


资料来源：搜狐财经、国海证券研究所

3.2、硅片：金刚线切割渗透接近尾声

硅片的工艺分为两个方面：一是长晶工艺，包括单晶硅的直拉法和多晶硅的铸锭法，对应设备分别为单晶硅生长炉和多晶硅铸锭炉。二是切片环节，目前主要采取金刚线切割的方式，对应的设备和耗材分别为切片机和金刚石线。

图 16：硅片制造工艺流程图



资料来源：铂科新材官网、国海证券研究所

从成本端来看，扣除硅料的影响外，对单晶硅片成本影响最大的是拉棒设备和金刚线，对多晶硅片成本影响最大的是铸锭设备和金刚线。

①单晶拉棒：单晶拉棒主要通过直拉法进行，其是将高纯多晶硅放入高纯石英坩埚，在硅单晶炉内熔化，然后在熔化的硅溶液中插入一根固定在籽晶轴上的籽晶，待籽晶与熔体融合后，慢慢向上拉籽晶，晶体便在籽晶下端生长。目前多次拉晶法（RCZ）已经成为成熟的主流工艺。从设备端来看，国内单晶生长炉设备企业主要是大连连城和晶盛机电，设备升级的主要方式是产能提升。目前国内主流的单晶生长炉单炉投料量已从 2008 年的 60kg/炉增长至 2017 年的 530kg/炉。总体来看，单晶拉棒环节的工艺和设备均已较为成熟，相关的替代技术尚未取得突破。

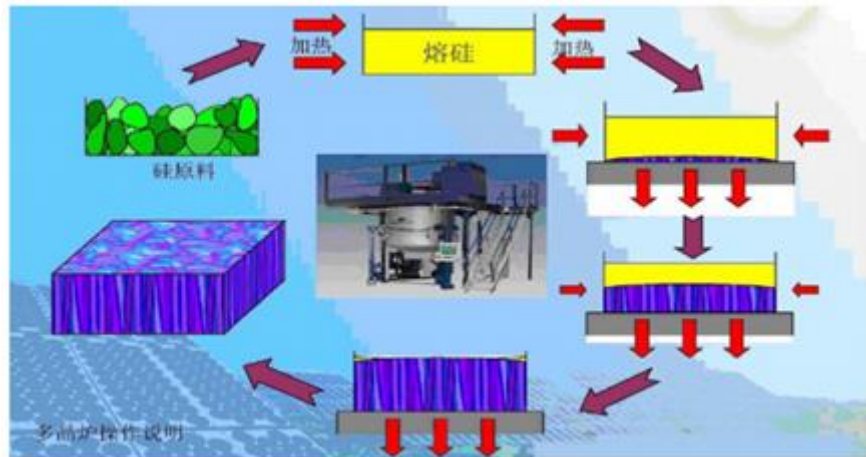
图 17：单晶生长炉设备构成



资料来源：百度百科、国海证券研究所

②**多晶铸锭**：铸锭多晶硅也是定向凝固过程，但不需要籽晶。工艺的核心是通过热量交换实现自下而上的结晶，直到整坩熔体结晶完毕，在工艺上相对单晶更为简单。从设备端来看，目前多晶炉设备已经经过三代迭代，分别是传统铸锭炉—定向铸锭炉—晶体生长铸锭炉，铸锭纯度不断提升。但是多晶铸锭炉技术门槛较低，涉及企业如精工科技、京运通等，目前已是红海竞争市场。总体来看，铸锭工艺趋于瓶颈，设备降价空间较低。

图 18: 多晶铸锭工艺流程



资料来源：柳州节能网、国海证券研究所

③**切片**：从工艺上来看，金刚线切割替代砂浆切割掀起光伏产业的单晶浪潮，通过金刚线切割，1KG 硅料的切片量提升约 20%，显著降低了切片成本。在技术迭代方面，截至 2018 年底金刚线切割在单晶领域基本渗透完成，多晶领域也逐步进入尾声。

从设备来看，切片设备对应公司为大连连城、上机数控、宇晶股份，目前毛利率处于较高水平。金刚线材料对应公司为杨林美畅、岱勒新材、三超新材、东尼电子，行业竞争正逐步进入红海。

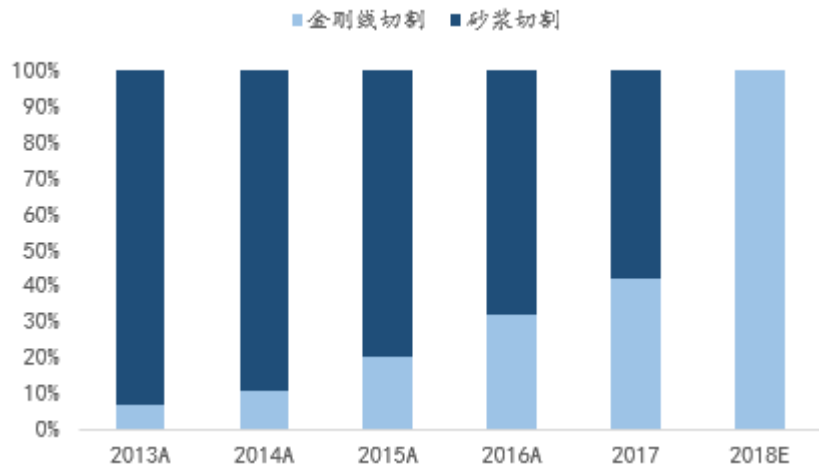
总体来看，切片技术的迭代是上一轮降本增效的重要途径，但目前已进入尾声，且下一代技术尚不明朗。

表 4: 金刚线切割和砂浆切割的对比

	金刚线切割	砂浆钢线切割锯切割
加工硅片尺寸 (mm)	156*156	156*156
片厚 (um)	130-180	190
导轮横距 (um)	285	340
切割耗时 (h)	≈2.5	≈10.7
单片耗线 (m/PCS)	≈2.0	≈130
理论每小时出片量 (PCS)	≈880	≈333

资料来源：岱勒新材公告、国海证券研究所

图 19: 2013-18 年各切割方式在光伏市场渗透率变化及预测



资料来源: 搜狐财经、国海证券研究所

3.3、 电池片：技术迭代正当时

我们认为，电池片及组件环节将成为本轮光伏产业降本增效的主阵地。主要基于两点原因：

①从产业链成本敏感系数来看，“增效”的效果较“降本”更优。电池片转换效率提升 1%或组件通过减少封装损失提高 15W 的封装效率，光伏地面电站建站成本将降低 5%，这一系数明显高于硅料端及硅片端的成本改善。

②从技术迭代角度来看，硅料和硅片端的工艺和设备均已较为成熟，新的技术尚未取得突破，而电池片和组件正处于技术迭代进程之中。

基于此，我们对电池片和组件进行重点分析。

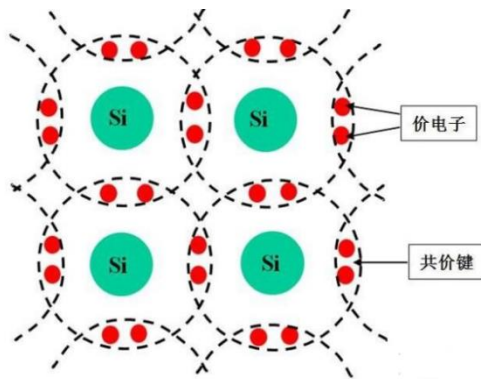
3.3.1、 光伏电池片如何发电？

发电有很多种方式，目前在能源领域的主流是利用电磁感应效应发电，下游应用包括火电、风电、水电等。光伏发电则与此不同，其原理是基于半导体的光生伏特效应将太阳辐射直接转换为电能，因此被称为光伏发电。

光伏发电需要两个要素：一是自由电子；二是电子能够定向移动。我们首先分析自由电子如何生成。

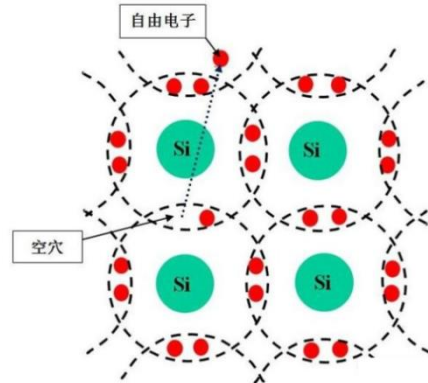
完全纯净的、具有晶体结构的硅，称为本征硅，硅原子之间形成共价键，共价键中的两个电子，称为价电子。价电子在获得一定能量（温度升高或受光照）后，即可挣脱原子核的束缚，成为自由电子（带负电），同时共价键中留下一个空位，称为空穴（带正电）。自由电子和空穴都被称为载流子，本征硅中载流子数目极少，其导电性能很差。因此，实际应用的半导体是在纯硅中加入微量的杂质元素后的材料。

图 20: 本征半导体的结构图



资料来源: OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所

图 21: 价电子受激发后形成自由电子和空穴



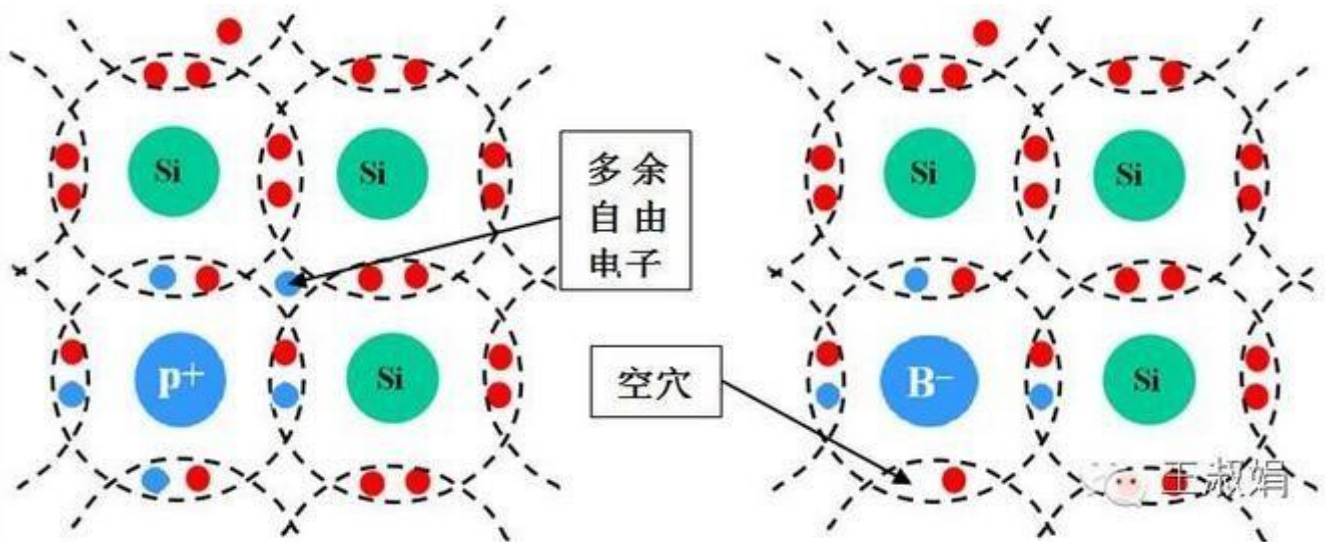
资料来源: OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所

掺杂在纯硅中的杂质有两种:

一是掺入五价磷元素取代硅原子,磷原子外层的五个外层电子的其中四个与周围的硅原子形成共价键,多出的一个电子几乎不受束缚,较为容易地成为自由电子。因此,掺杂后自由电子数目大量增加,自由电子导电成为这种半导体的主要导电方式,称为 N 型半导体。在 N 型半导体中,电子是多子(多数载流子),空穴是少子(少数载流子)。

二是掺入三价硼元素取代硅原子,硼原子外层的三个外层电子与周围的半导体原子形成共价键的时候,会产生一个“空穴”。因此,掺杂后空穴数目大量增加,空穴导电成为这种半导体的主要导电方式,称为 P 型半导体。在 P 型半导体中,空穴是多子,电子是少子。

图 22: N 型半导体与 P 型半导体



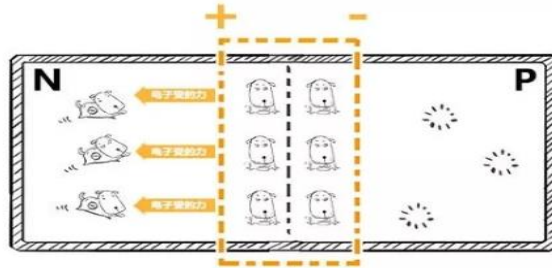
资料来源: OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所 注: 左侧为 P 型, 右侧为 N 型

其次,我们分析电子如何定向移动。当 P 型半导体和 N 型半导体紧密接触在一起时,交界面会形成一个 P-N 结, P-N 结是一个稳态的电场(内建电场),能

够阻碍电子和空穴的移动。

P-N 结的原理是：N 型半导体多电子，P 型半导体多空穴，当 P 型半导体和 N 型半导体链接在一起时，N 型半导体中磷原子多余的电子填补了 P 型半导体中硼原子的空穴，从而在交界面形成了稳定区域。而这个区域中，由于 P-N 结中靠近 N 区的磷原子失去了电子，从而带有正电，靠近 P 区的硼原子得到了电子，从而带有负电，因此 P-N 结区域形成了一个电场，并对外界区域的电子产生了一个受约力，就像一个结界，对电子和空穴的移动形成阻碍。

图 23: 图说 P-N 结的构成

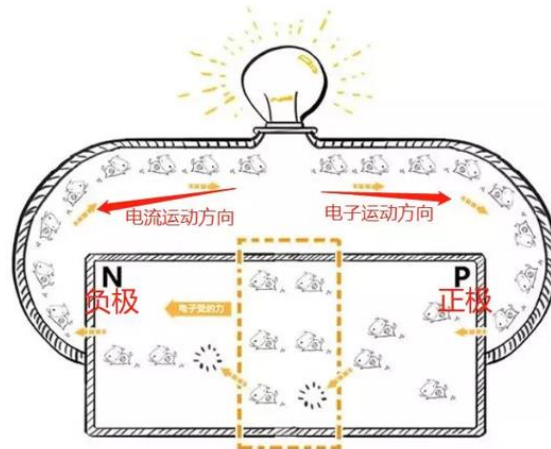


没错，中间这部分好比一个结界，所以也叫PN结。
而电池在不工作时，就稳定在这种状态。

资料来源：北极星太阳能光伏网、国海证券研究所

光伏电池的基本结构就是一个大面积的 P-N 结。当阳光照在 P-N 结上时，PN 结吸收光能激发出电子和空穴，在内建电场的受约力下推动带有负电的电子向 N 区流动，带有正电的空穴向 P 区移动，从而使得 P 区电势升高，而 N 区电势降低，P 区和 N 区之间则会产生一个可测的电压，即光生伏特效应。如果此时在 P 区和 N 区分别焊接上导线，接通负载后外电路便有电流通过，从而形成一个电子元件。对晶体硅太阳能电池来说，开路电压的典型数值为 0.5~0.6V。通过把电池片串联、并联起来（组件工序），从而能够对输出功率进行调整。

图 24: 图说光生伏特效应



资料来源：SolarZoom、国海证券研究所

基于以上光伏发电的原理，可以得出两点结论：

第一点是关于光伏电池的光电转换效率的分析。光电转换效率是衡量光伏电池片性能的重要因素，提高光电转换效率也是降低光伏发电成本的主要途径。基于前文的原理分析，影响光电转换效率的因素主要为两个：

①光损失。根据光学的原理，当光照射到电池片上时，电池片的正面和反面都会产生折射和反射现象，再加上电极和栅线的阻隔等影响，使电池片不能全部吸收入射光子，因此降低了电池的短路电流。降低光损失的主要方式是降低电池片的反射率，采取的工艺包括表面制绒、栅线遮光、制备双层减反膜等。

②电子空穴对的复合。太阳电池是利用少数载流子（电子或空穴）进行工作的器件，少数载流子寿命（少子从产生到复合的时间间隔）将决定太阳电池转换效率，所以要得到高效率的电池，就要减少少子的复合，增加少子的寿命。少子的复合包括体复合和表面复合，减少少子复合的工艺包括正面镀膜（同时减少体复合和表面复合）、铝背场（减少背面复合）、镀氧化铝钝化（减少背面复合）等。

表 5：PERC 工艺中镀氧化铝的厚度与少子的寿命关系

编号	预计氧化铝厚度 /nm	热处理前少子寿命 /μs	热处理后少子寿命 /μs	寿命增加 /μs
1	5	162	173	11
2	10	146	165	19
3	15	118	163	45
4	20	102	179	77
5	25	84	187	103

资料来源：《单晶硅 PERC 高效太阳能电池量产工艺研究》、国海证券研究所

第二点是 N 型电池和 P 型电池的比较。前文原理中提到 P 型半导体和 N 型半导体紧密结合后会形成 P-N 结，但是实际中在工艺上难以实现 P 型半导体和 N 型半导体的直接结合。以 P 型硅片为例，通常是在硅片端生产一片掺硼的硅片，然后通过扩散炉给 P 型硅片的表面进行扩散掺入磷，从而形成 P-N 结，N 型则反之。

N 型电池片的转换效率高于 P 型。主要原因是因为 P 型电池片与电子的结合能力更强。我们在此引用 SolarZoom 资料中的一段类比描述：如果把电子比作萝卜，空穴比作坑，则在 P 型硅片中坑很多，萝卜少。所以每当有电子流入正极很快就找到了坑，故而少子寿命低（复合速度快）。而掺入磷的 N 型硅片体内有大量的自由电子，坑少萝卜多，此时则只能是来一个空穴占一个电子，其余电子则总处于自由激发态，少子寿命长（复合速度慢）。

但 N 型电池片的工艺更为复杂。因为磷与硅相容性差，拉棒时磷分布不均，P 型硅片掺硼元素，硼与硅分凝系数相当，分散均匀度更容易控制，因此 P 型电池相对于 N 型电池在工艺上更为简单，成本也较低。

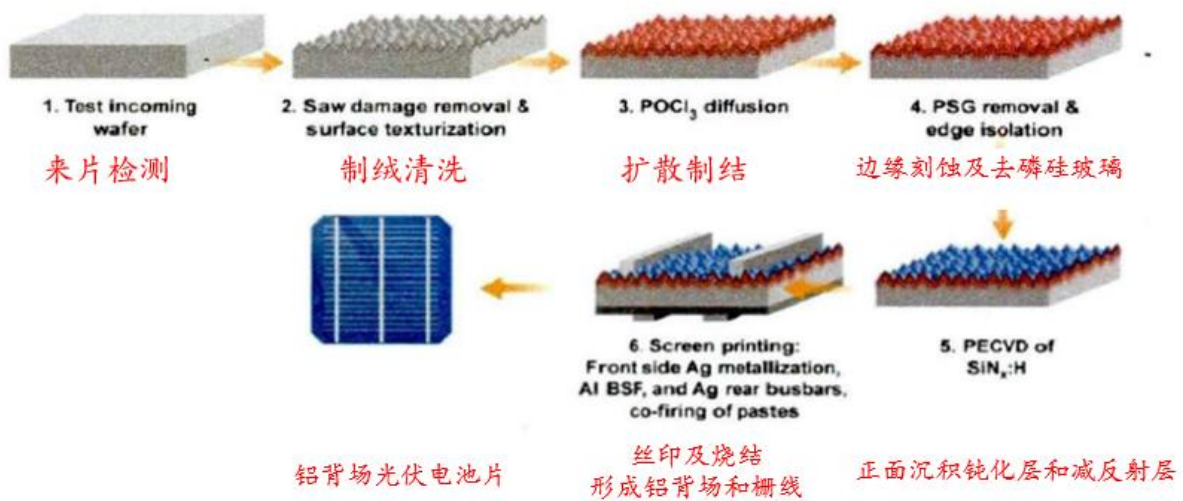
3.3.2、铝背场电池片工艺设备及市场格局分析

3.3.2.1 铝背场电池工艺介绍

铝背场（Al-BSF）电池是指在晶硅光伏电池 P-N 结制备完成后，通过在硅片的背光面沉积一层铝膜，制备 P+层，从而形成铝背场。其既可以减少少数载流子在背面复合的概率，同时也可以作为背面的金属电极，因此能够提升光伏电池的转换效率。

传统的铝背场电池主要工艺有 7 道，包括制绒清洗、扩散制结、边缘刻蚀及去磷硅玻璃、沉积减反膜、丝印、烧结、分选，具体如下图：

图 25：铝背场光伏电池片主要工艺



资料来源：《PERC 型晶体硅太阳能电池的光衰减及其钝化技术研究》、国海证券研究所

①清洗制绒：在硅片切割的过程中会在硅片的表面留下杂质和切割损伤层，这会严重限制电池的转换效率。目前普遍采用混合酸溶液（多晶）或者碱溶液（单晶）进行化学反应，从而将杂质和损伤层去掉。单晶硅在碱液中反应，由于硅单晶各个晶向腐蚀速率不同，从而在硅表面形成金字塔结构在工业界称为制绒。而对于多晶，晶粒的晶向不同，所以无法采用碱腐蚀，而是采用混合酸液进行腐蚀。制绒工艺大大降低硅片的反射率，增加了硅基对入射光的吸收。

②扩散制结：以 P 型电池为例，扩散制结是在 P 型的硅基底上通过高温扩散第五主族元素磷元素的方法形成一层 N 型半导体，从而形成能产生光生伏打效应的 P-N 结；目前用的最多的磷源是三氯氧磷，其可与氧气在高温下生成五氧化二磷，再与硅反应而生成磷单质，从而扩散进基底硅中形成 N 型半导体。该过程反应温度高达 850-900℃。同时扩磷的过程也可以对金属等杂质进行吸杂。

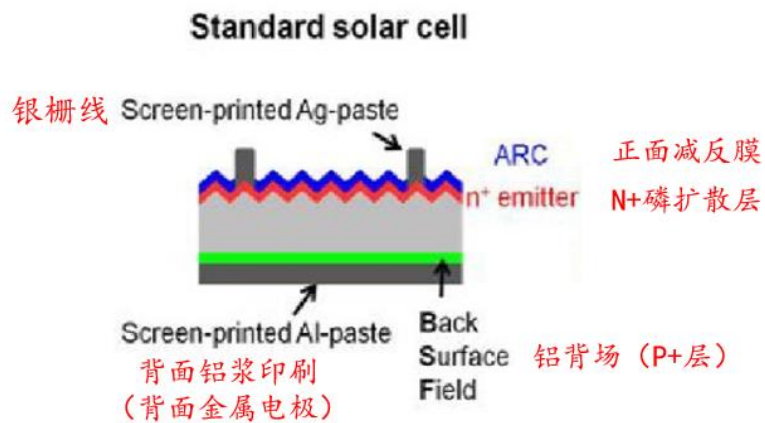
③边缘刻蚀和去磷硅玻璃：经过扩散制结工艺后，硅片的边缘和背面不可避免的也会形成扩散层，这些扩散层的存在会导致电池严重的漏电，从而影响电池的效率，所以就需要将边缘和背面的扩散层去掉，可以用 CF₄ 等离子刻蚀发将其刻蚀掉。而硅的正表面高浓度的磷会与硅原子形成一层磷硅玻璃（PSG）需要采用氢氟酸和硝酸来除去。

④**沉积钝化层和减反射层**：通常工业上会采用 PECVD 沉积的 SiNx:H 薄膜来对电池的正面进行钝化，而且通过调节沉积的 SiNx:H 薄膜的厚度来改变硅片表面对入射光的反射率，可以选取一个合适的厚度来降低电池表面的反射率。

⑤-⑥**丝网印刷及烧结**：采用特定的丝网印刷机和丝网模板将银浆和铝浆覆盖在硅片的正表面和背表面，从而形成正面的银栅极和背面的铝背场。随后会经历一个氮气保护的高温过程（450-900℃）从而可以除去浆料中的有机物以及烘干浆料，完成栅极和铝背场的烧结，形成良好的欧姆接触。**值得注意的有两点**：一是铝背场的沉积是在丝印和烧结工序完成的；二是丝印和烧结采取多道重复工序，在镀正面栅线、背面栅线、背面铝背场均要同时用到丝印和烧结工艺。

⑦**自动分选工序**：对不同转换效率的电池片进行分档。

图 26：常规铝背场电池结构

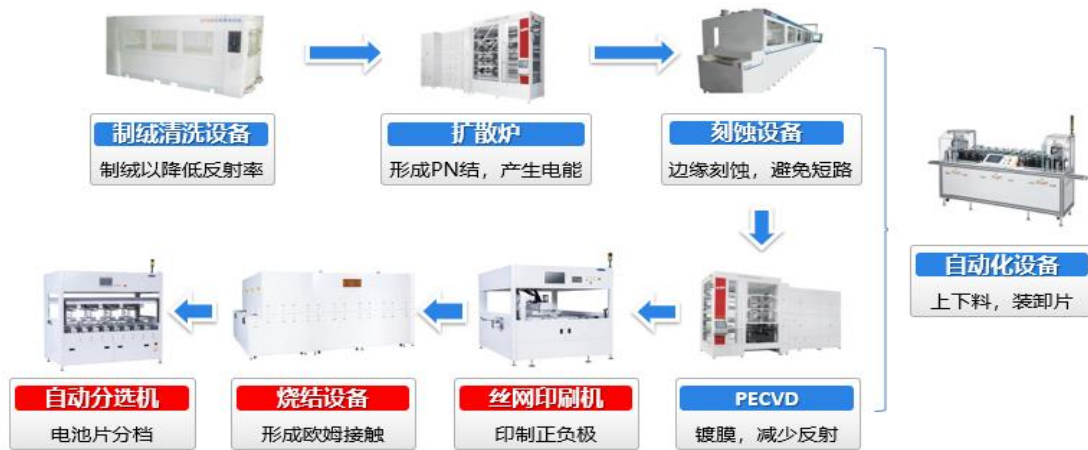


资料来源：ISFH、国海证券研究所

3.3.2.2 铝背场电池片设备及市场竞争格局分析

铝背场电池片设备主要包括 8 类，根据前述①-⑦道工序分别对应制绒清洗设备、扩散炉、刻蚀设备、PECVD、丝网印刷设备、烧结炉、自动分选机；以及应用于整体制造过程中的**自动化设备**，包括自动化装卸片机和上下片机等。

图 27: 常规铝背场光伏电池片设备分类



资料来源: 捷佳伟创公告、国海证券研究所 注: 蓝色填充标记为捷佳伟创主营设备; 红色填充标记为迈为股份主营设备

从市场空间来看, 根据我们在捷佳伟创深度报告一中的测算, 中性预期下铝背场电池片设备 (不考虑 PERC 增量设备) 2018-2020 年市场空间分别为 58、60、63 亿元。从细分品类来看, 8 类设备可以分为前道工艺设备 (制绒清洗设备、扩散炉、刻蚀设备、PECVD)、后道工艺设备 (丝印机、烧结炉、分选机) 以及自动化设备。前道工艺设备又分为干法设备 (扩散炉、PECVD) 和湿法设备 (制绒清洗设备)。对于一条传统铝背场电池线投资而言, 湿法设备占比约为 20%; 干法设备占比约为 40%; 后道设备占比约为 30%; 自动化设备占比约为 10%。

从市场竞争格局来看, 铝背场光伏电池片市场集中度较高。捷佳伟创在前道工艺设备的市占率为 40%-50%; 迈为股份在后道工艺设备的市占率超过 70%。

表 6: 铝背场电池片主要市场参与者

细分领域	国内厂商	国外厂商
清洗设备	常州捷佳创、上海思恩、张家港超声 上海釜川、北方华创	Schmid (德国)、Rena (德国)
制绒刻蚀设备	常州捷佳创、江苏尚能、苏州聚晶	Schmid (德国)、Rena (德国)
扩散炉	捷佳伟创、丰盛装备、红太阳 (48 所)、 北方华创、青岛赛瑞达	Tempress Systems (荷兰)、 Centrotherm Photovoltaics AG (德国)
PECVD	捷佳伟创、丰盛装备、红太阳 (48 所)、 北方华创、无锡江松	Roth & RauAG (德国, 梅耶博格收购)、 Tempress Systems (荷兰)、
自动化设备	捷佳伟创、罗博特科、先导智能、无锡江松	MANZ (德国)、Jonas&Redmann (德国)
丝印机、烧结机、分选机	迈为股份、东莞科隆威	Applied Materials (美国) 旗下的 Baccini

资料来源: 捷佳伟创公告、迈为股份公告、国海证券研究所

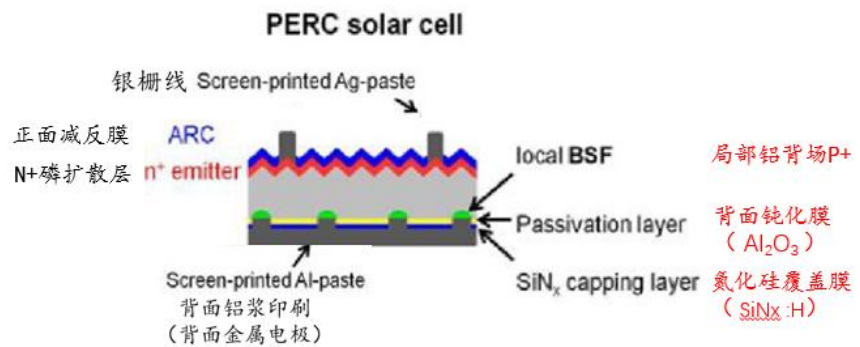
3.3.3、PERC 电池片工艺设备及市场格局分析

3.3.3.1、PERC 电池工艺介绍

PERC 电池 (Passivated Emitter and Rear Cell, 钝化发射极及背面电池) 最早起源于上世纪八十年代, 1989 年由澳洲新南威尔士大学的 MartinGreen 研究组在 Applied Physics Letter 首次正式报道了 PERC 电池结构, 当时达到 22.8% 的实验室电池效率。

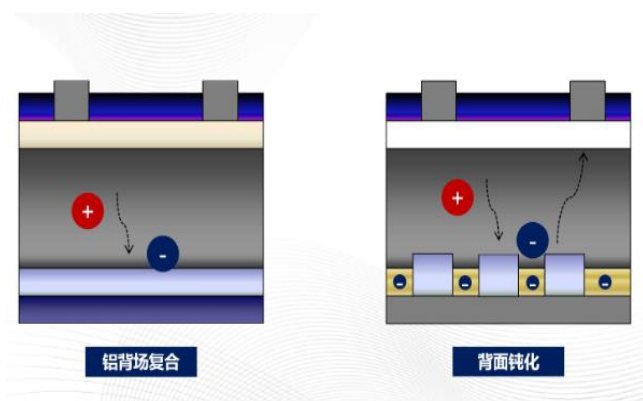
与常规的铝背场电池相比, PERC 电池最大的改变是在背面制作一个钝化层, 从而实现两点价值: 一是显著降低背表面少数载流子的复合速度, 从而提高少子的寿命, 增加电池开路电压; 二是在背表面形成良好的内反射机制, 增加光吸收的几率, 减少光损失 (对应 1.3 节中的分析)。

图 28: PERC 电池内部结构



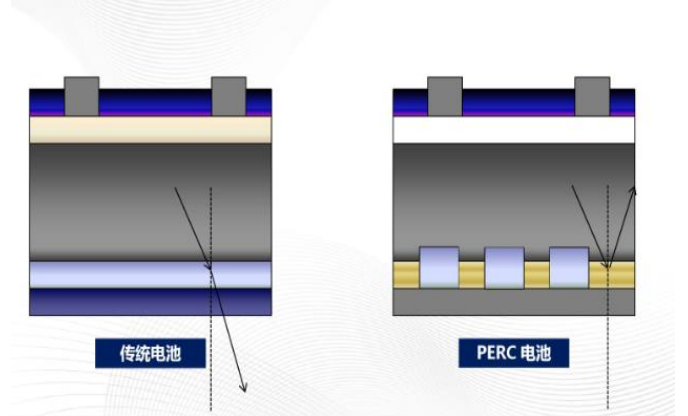
资料来源: ISFH、国海证券研究所 注: 与图 8 对应, 标红中文字体为 PERC 增量结构

图 29: PERC 电池降低背面符合



资料来源: 《PERC 电池技术发展论坛》、国海证券研究所

图 30: PERC 电池提高内表面反射



资料来源: 《PERC 电池技术发展论坛》、国海证券研究所

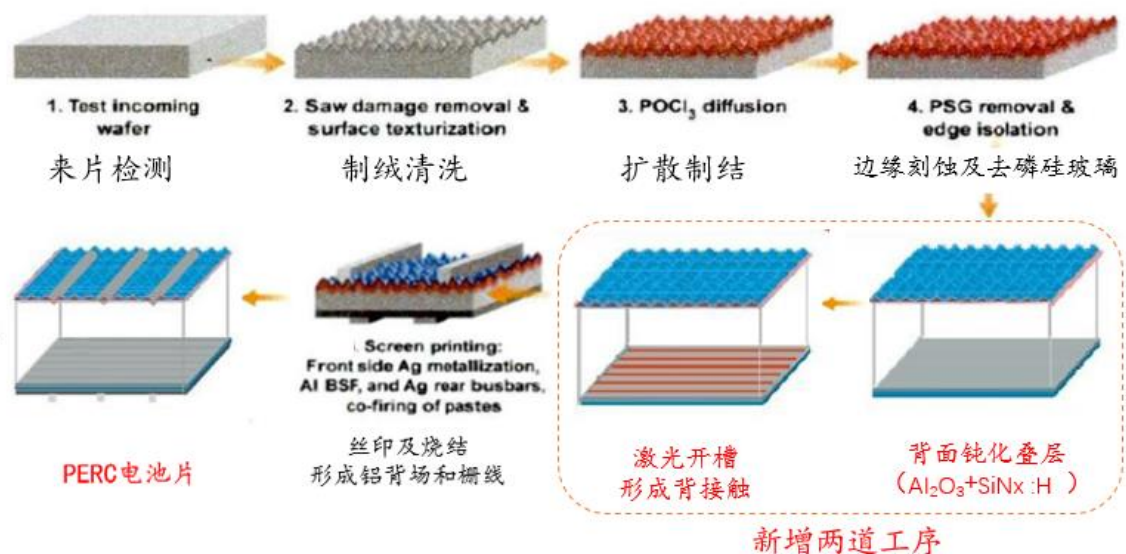
从工艺上来看，PERC 的制作流程主要为：①清洗制线、②扩散制结、③边缘刻蚀和去磷硅玻璃、④背面沉积 Al_2O_3 、⑤双面沉积 SiNx:H 、⑥背接触、⑦丝网印刷、⑧烧结、⑨分选。其中①-③、⑦-⑨道工艺与常规铝背场工艺相同，可参照 2.1 节中的表述，④-⑥为 PERC 相对于铝背场电池的增量工艺。仅通过对常规铝背场电池生产线进行工艺流程的添加和改造便能得到 PERC 生产线，这也是目前 PERC 能够大规模应用的重要原因。

④背面沉积 Al_2O_3 。在背面钝化膜材料的选择上，氧化铝(Al_2O_3)由于具备较高的电荷密度，会对 P 型硅形成场致钝化，能够显著的降低硅表面的表面态，使得背面的少数载流子复合速率降低（见上图 11），目前被广泛应用于 PERC 电池量产的背面钝化材料。除氧化铝外，氧化硅(SiO_2)、氮氧化硅($\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$)也可作为背面钝化材料。目前工业上沉积氧化铝的方式主要有原子层沉积（ALD）和 PECVD 沉积两种形式。

⑤双面沉积 SiNx:H 。主要是采用 PECVD 的方式，电池的正面和背面分别沉积 SiNx:H ，其中正面的 SiNx:H 作用和铝背场电池相同，一方面能够钝化表面层，另一方面也能够减少入射光的反射率，从而增加入射光的吸收。而背面 SiNx:H 能通过厚度调节，增加背面的反射率，使得未被吸收的光能够反射回去，继续被电池吸收，相关研究表明背面双层钝化层结构能明显提高 PERC 电池的长波长吸收（见上图 12）；同时背面的 SiNx:H 也能对 Al_2O_3 层起到保护作用，在后面的金属化过程中，能够提高背面 Al_2O_3 热稳定性。

⑥背接触。想要形成电池，需要使得金属铝能透过背面的介质层和硅形成良好的欧姆接触，所以需要 Al_2O_3 介质层开槽。目前产业上主要有下面的几种制备方法：光刻法、喷墨打印法、激光开槽法。光刻法过程比较复杂，目前还只能停留在实验室实验阶段；而喷墨打印需要三道工艺，与现有的产线工艺不相容，所以也限制了其大规模应用；而现在应用比较成熟的是激光开槽法，采用高强度激光，将介质层烧蚀掉，从而形成金属和硅的接触窗口。

图 31：PERC 电池片主要制造工艺

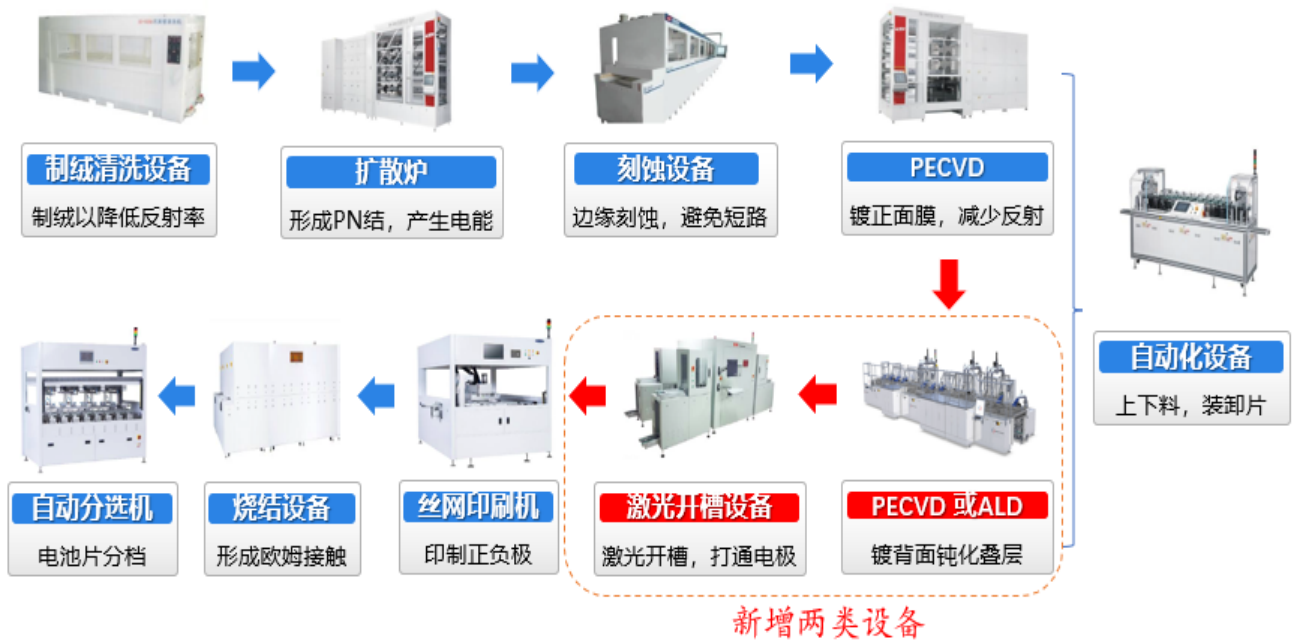


资料来源：索比光伏网、国海证券研究所

3.3.3.2、PERC 电池设备及市场竞争格局分析

根据 3.1 节中的工艺分析, PERC 电池设备主要是在铝背场电池设备的基础上新增两类设备: 一是沉积背面钝化叠层的设备; 二是激光开槽形成背接触的设备。两类设备合计对应投资额为 5000 万元/GW, 其中沉积背面钝化叠层的设备对应投资额约为 4000 万元/GW, 激光开槽设备对应投资额约为 1000 万元/GW。

图 32: PERC 电池片设备分类



资料来源: 捷佳伟创公告、帝尔激光公告、梅耶博格官网、国海证券研究所

①PERC 的背面钝化叠层设备: 背面钝化叠层包括 Al_2O_3 和 $SiNx:H$ 两层膜, 其中镀 $SiNx:H$ 通常采用与正面相同的方法, 即利用 PECVD 进行双面镀膜, 对应的设备主要为捷佳伟创的管式 PECVD 设备。

能够镀 Al_2O_3 的设备有很多种, 包括 PECVD 设备、ALD 设备、氧化炉 (热氧化法)、叠层钝化设备等。但从工业化量产的角度来看, 主要采取两种路径: PECVD 设备以及 ALD 设备。

在氧化铝的沉积设备中, PECVD 设备分为两个派系: 一是采取板式 PECVD 的方式, 可在线二合一连续制备氧化铝/氮化硅叠层背钝化膜, 代表厂商主要是国外的梅耶博格和国内的昆山讯立; 二是采取管式 PECVD 的方式, 也是在线二合一连续制备氧化铝/氮化硅叠层背钝化膜, 代表厂商主要是国外的 Centrotherm (CT) 和国内的捷佳伟创。ALD 设备分为两个派系: 一是管式 ALD 设备, 代表厂商主要是国外的 BeneQ 和国内的无锡威导, 管式 ALD 设备造价较低, 但是存在正面绕射的问题; 二是在线式 ALD 设备, 代表厂商主要是国外的 SolayTec 和国内的理想能源, 在线式 ALD 设备不存在正面绕射的问题, 但是设备造价较为昂贵。

总体来看，四种技术路径各有优劣。PECVD 设备与 ALD 设备相比，能够实现二合一镀膜，不需要单独配置 SiNx :H 的镀膜设备，但是 ALD 设备钝化质量更高，且由于镀膜厚度更低，因此 TMA 耗量更低。管式 PECVD 与板式 PECVD 相比优点是镀膜厚度可以做到更低，且正常运行时间 (uptime) 更长，缺点是进口管式 PECVD 造价更高，且对硅片表面有损伤。

表 7: 四种 PERC 背面镀膜设备对比

对比参数	板式 PECVD	管式 PECVD	管式 ALD	在线式 ALD
沉积工艺	Al ₂ O ₃ 和 SiNx 二合一镀膜		Al ₂ O ₃ 和 SiNx 分开镀膜	
沉积速率	高		低	
镀膜厚度	15-20nm	9-12nm	5-6nm	
TMA 耗量	高	较高	低	
钝化质量	低	较高	高	
其他优点	造价低	Uptime 长	造价低	无绕镀
其他缺点	Uptime 短	进口设备贵	存在绕镀	造价贵
国外厂商	梅耶博格	CT、Semco	BeneQ、ASM	SolayTec、Levitech
国内厂商	昆山讯立	捷佳伟创	无锡威导	理想能源

资料来源：索比光伏网、昆山讯立官网、光伏前沿、国海证券研究所

市场格局分析：目前市场的主流产品是性价比相对较高的板式 PECVD 和管式 ALD 产品，搜狐网资料显示，2018 年上半年新增的 PERC 产能中，ALD 工艺路线占比超过 60%。从长期来看，管式氧化铝 PECVD 设备具备较为明显的优势，但囿于进口设备价格较高等因素导致尚未放量。根据捷佳伟创 2018 年中报披露，公司自主研发的国产管式氧化铝 PECVD 设备正处于工艺验证阶段，预计随着相关产品的突破，管式氧化铝 PECVD 设备的市场份额将持续提升。

②激光开槽设备：一条 200MW/250MW 的产线通常需要配备一台激光开槽设备，单价在 200-250 万元。目前在高效太阳能电池激光加工设备行业内能够提供解决方案的厂商主要来自于欧美国家，包括德国罗芬、德国 InnoLas Solutions、美国应用材料等。

国内激光开槽设备厂商主要包括大型激光加工设备企业，如大族激光。另一家国内激光开槽设备的代表公司是帝尔激光（新三板，拟 IPO），其 2017 年实现收入 1.65 亿元，其中约 90% 的收入来自激光开槽设备；2018 年上半年公司实现收入 1.58 亿元，同比增长 123%。同时，迈为股份招股说明书资料显示，其全自动太阳能电池片双轨激光开槽（PERC）设备样机已调试结束。

总体 PERC 增量市场空间：根据我们在捷佳伟创深度报告一中的数据，2016 年底我国高效 PERC 电池产能为 9.58GW，2017 年增长至 27.35GW，且从下游厂商规划来看，2018 年高效 PERC 电池产能有望增长至 59.73GW。我们在中性预期下预计 2018-2020 年 PERC 新增产能分别为 33、28、31GW，按照 5000 万元/GW 的投资额计算 PERC 两类设备 2018-2020 年的增量空间为 17、14、16 亿元。

3.3.3.3、PERC 改进方向：SE、MWT、双面 PERC、PERL、TOPCon

PERC 能够基于新的工艺和技术改进提升光电转换效率。第一阶段是直接在铝背场电池工艺上进行升级,常规产线的光电转换效率能够提升 1PCT 到 21.4%;第二阶段采取了退火氧化(将镀膜后的硅片放置于烧结炉上进行快速退火,激活 Al_2O_3 钝化活性少子寿命得到提高,从而提升光电转换效率)、背面抛光(降低背表面复合速率)等工艺,并优化刻蚀、扩散匹配,常规产线的光电转换效率能够提升 0.3PCT 到 21.7%。第三阶段目前来看主要采取即将规模推广的 SE 技术,常规产线的光电转换效率将提升到 22%左右。目前 PERC 技术的应用正处于第二阶段向第三阶段发展的进程中。

表 8: PERC 电池工艺路线发展

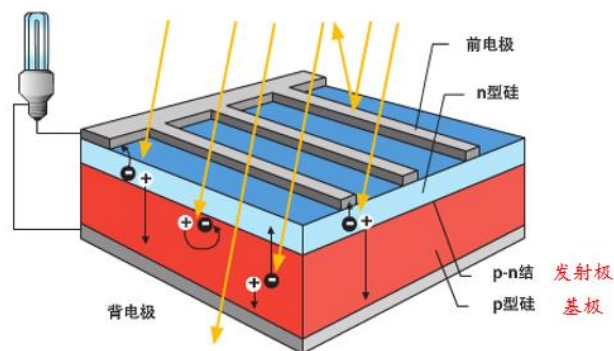
工艺路线	第一代	第二代	第三代
选择发射极 (SE)	no	no	yes
背面抛光	2 μ m (常规 PSG)	3 μ m	3 μ m
氧化	O ₃	退火氧化	退火氧化
氧化铝	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm
氮化硅	PECVD 80-150nm	PECVD 80-150nm	PECVD 80-150nm
二次印刷	YES	YES	YES
转换效率	21.4%	21.7%	22%

资料来源: 索比光伏网、国海证券研究所

➤ SE (选择发射极) 工艺及设备分析

首先了解什么是发射极。我们引用《Photovoltaics International》季刊中的一段表述:以 P 型硅片为例,在中等掺杂浓度的 P 型硅片前表面沉积了一层极性相反、重掺杂的 N+ (注:“+”指掺杂浓度)物质,其中中等掺杂浓度的硅片即为基板,重掺杂的区域为发射极,也就是 P-N 结。从本质上讲,发射极就是指在无光照条件下能够发射(注入)大量载流子的区域。

图 33: 铝背场电池中的发射极、基板、电极



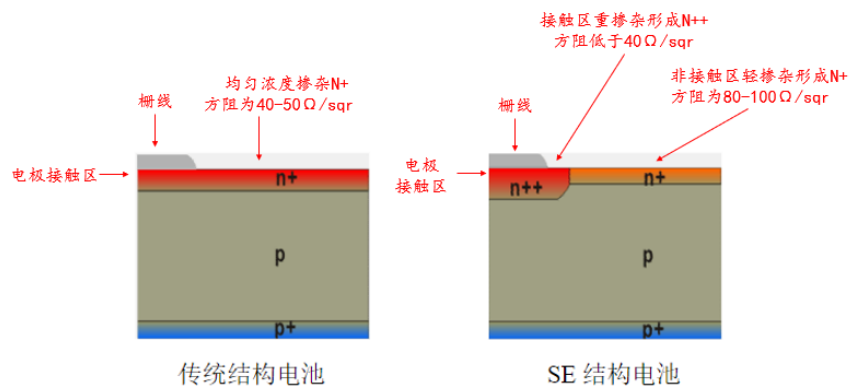
资料来源:《Photovoltaics International》、国海证券研究所

发射极掺杂浓度对太阳电池转换效率具备双重影响。采用高浓度的掺杂,可以减小硅片和电极之间的接触电阻,降低电池的串联电阻,但是高的掺杂浓度会导

致载流子复合变大，少子寿命降低。（电阻变低但是电压也变低）。采用低浓度的掺杂，可以降低表面复合，提高少子寿命，但是必然会导致接触电阻的增大，影响电池的串联（电压变高但是电阻也变高）。

SE（选择发射极）技术是指在金属栅线与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂。这样既降低了硅片和电极之间的接触电阻，又降低了表面的复合，提高了少子寿命，实现一举两得（提高电压，降低电阻）。

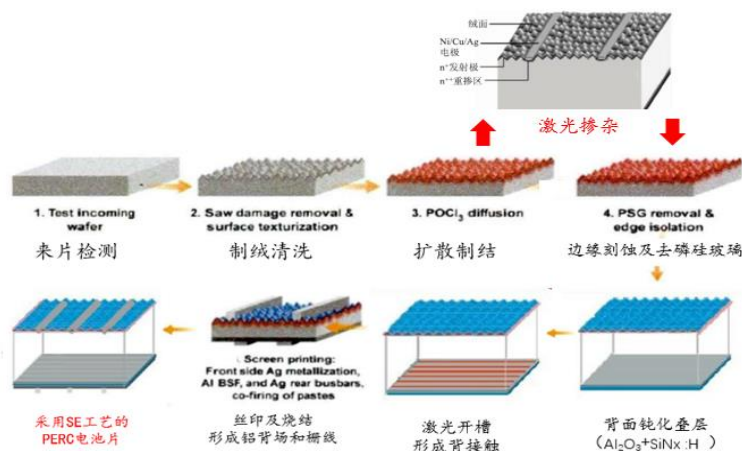
图 34: SE 电池和传统电池结构对比



资料来源：《太阳能学报》、国海证券研究所

激光掺杂法是制作 SE 的主流工艺。早期制备 SE 电池常采用二次扩散的方法，重扩散和轻扩散分为两次进行，工艺步骤比较复杂而且给硅片带来的热损伤较大，尤其对多晶硅影响更为严重。目前市场已推出单步扩散法制备 SE 电池，主要工艺包括有氧化物掩膜法、丝网印刷硅墨水法、离子注入法和激光掺杂法。其中激光 PSG 掺杂法是采用扩散时产生的磷硅玻璃层作为掺杂源进行激光扫描，形成重掺杂区；因此在工艺较为简单，仅需在传统工艺中增加一个步骤，与常规产线的工艺兼容很高，是目前制作 SE 电池的主流工艺。

图 35: 激光掺杂选择性发射极 PERC 电池生产工艺流程



资料来源：《太阳能学报》、国海证券研究所

从设备端来看，运用激光 PSG 掺杂只需新增掺杂用激光设备。通常一条产线配

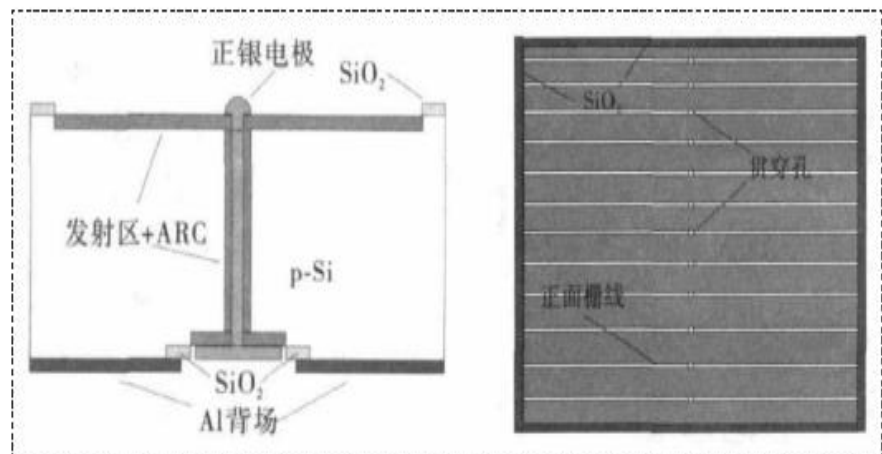
备一台激光掺杂设备即可，根据湖南红太阳在招标网上的资料，一台激光掺杂设备价格约为 400 万元。

市场格局与激光开槽设备类似。目前国内布局激光开槽设备的企业主要是大型激光加工设备企业，帝尔激光的激光掺杂设备销售比重也在持续增加。同时，根据迈为股份公告，其全自动太阳能电池片双轨激光辅助选择性扩散（SE）也处于研发阶段。

➤ MWT（金属电极绕通）工艺及设备分析

MWT 的核心是去除正面的主栅线。该技术采用激光打孔、背面布线的技术消除正面电极的主栅线，正面电极细栅线搜集的电流通过孔洞中的银浆引到背面，这样电池的正负电极点都分布在电池片的背面，有效减少了正面栅线的遮光，提高了光电转化效率，同时降低了银浆的耗量和金属电极-发射极界面的载流子复合损失。

图 36：常规 MWT 电池截面和正面结构



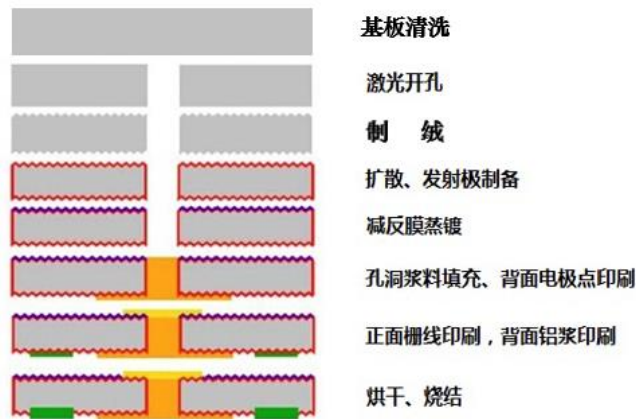
资料来源：《MWT 太阳能电池专利技术现况分析》、国海证券研究所

从工艺上来看，与常规电池相比，MWT 技术主要是在清洗制绒前增加了一道镭射打孔工艺，因此可以与常规铝背场、PERC、HIT 电池兼容。

MWT 太阳能电池的具体工艺包括以下步骤：清洗基板-激光开孔-制绒-发射极扩散形成 PN 结-磷硅玻璃的去除-减反射膜-孔洞浆料的填充-细栅线背面铝背场电极的制备-烧结-隔离，通过以上步骤整个电池的正面形成了细栅线和银电极的结构，背面形成了银电极和铝背场电极的结构，即背接触太阳能电池。

从效果上来看，常规电池线经过 MWT 工艺优化光电转换效率能够提升 0.3%-0.5%。

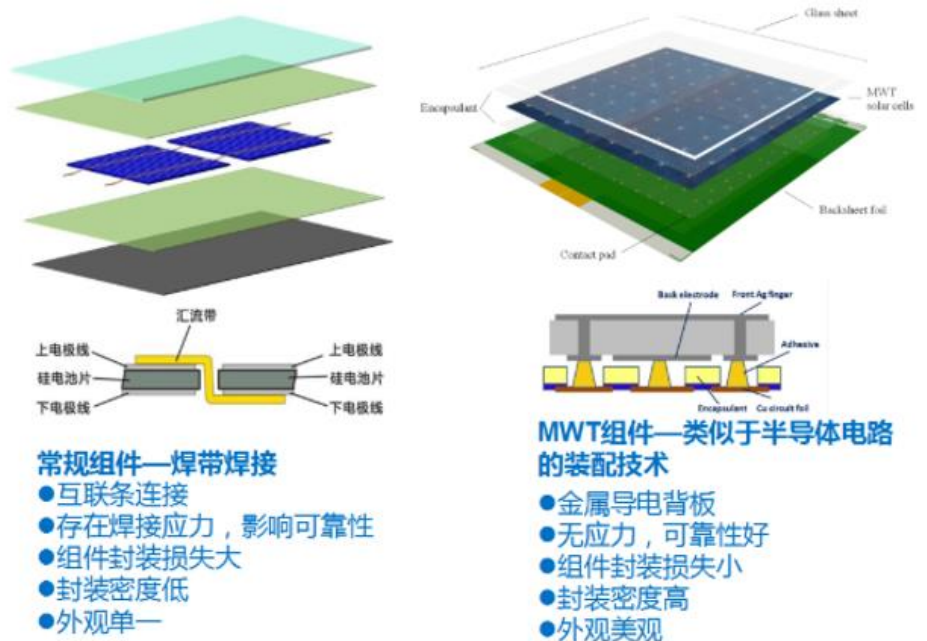
图 37: P 型硅基 MWT 电池基本工艺流程



资料来源:《帝尔激光招股说明书》、国海证券研究所

MWT 的另一个优势是提升组件效率。相比于传统的焊带链接造成的遮光现象以及封装密度较低等问题, MWT 组件不需焊接, 可靠性高, 且组件的封装损失更小。EnergyTrend 的资料显示, MWT 组件功率封装损失较常规焊带技术降低了 2%-4%。

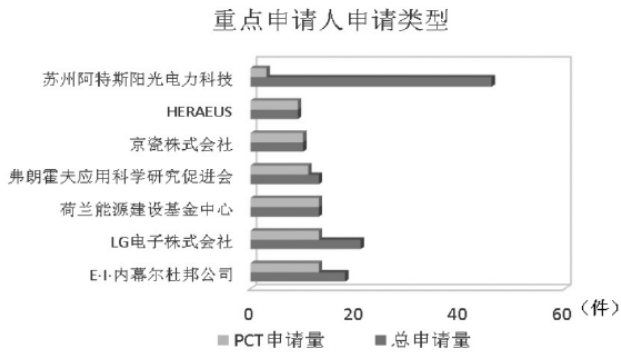
图 38: MWT 在组件工艺上的改进



资料来源: solarzoom、国海证券研究所

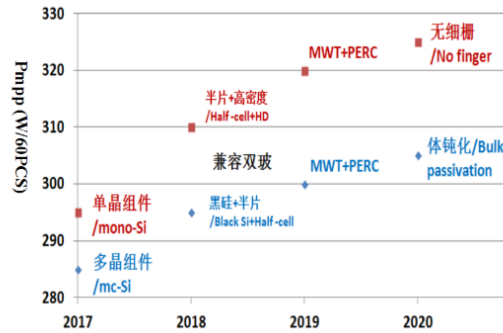
从竞争格局来看, 目前全球 MWT 申请专利数最多的是阿特斯, 但其 PCT 专利申请较少。从国内的厂商来看, 阿特斯、天威新能源、晶澳和南京日托等公司都宣称已经能够实现 MWT 电池量产。

图 39: MWT 太阳能电池专利申请



资料来源:《MWT 太阳能电池专利技术现状分析》、国海证券研究所

图 40: 南京日托 MWT 产品技术路线



资料来源: solarzoom、国海证券研究所

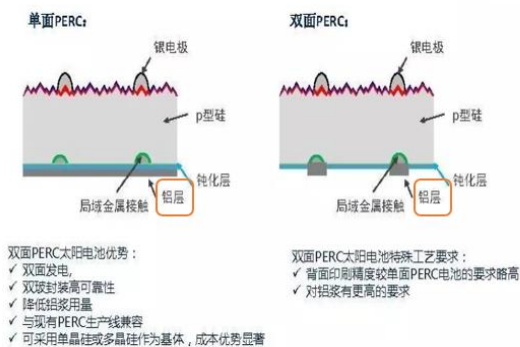
从设备端来看,对于 MWT 电池制造而言,在硅片、铜箔和封装材料中做精准打孔是工艺的关键,因此选择稳定性最佳、功率调整恰如其分的激光器是做好 MWT 电池的基础。目前像帝尔激光已经推出了其 MWT 的激光打孔产品。其次, MWT 组件电池的封装设备能够有效提升组件质量,南京日托目前已经推出了全自动化与智能化的前道组件封装线,捷佳伟创的背接触电池铺设机及背接触电池组件自动封装线也已处于预研阶段。

► 双面 PERC 电池工艺及设备分析

双面 PERC 电池是将普通 PERC 电池不透光的背面铝换成局部铝栅线,实现电池背面透光,这样来自地面等的反射光就能够被组件吸收。因此,双面电池尤其适合在像雪地等地表反射光强的地域。

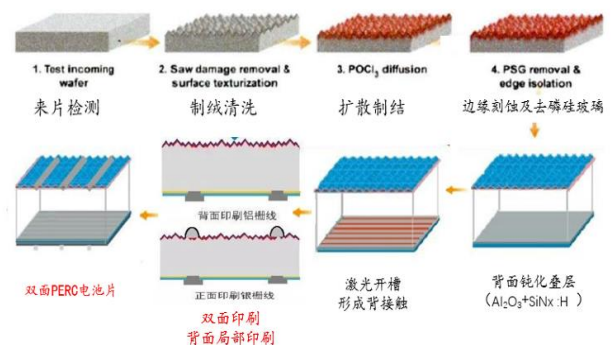
从工艺上来看,双面 PERC 电池仅在丝网印刷环节进行工艺调整,将原有的铝背场印刷(全面印刷,不透光,)改为印刷铝栅线(局部印刷,透光)。在工艺上能够实现与 PERC 电池的良好兼容。

图 41: 双面 PERC 电池的结构与优势



资料来源:天合光能、国海证券研究所

图 42: 双面 PERC 电池工艺



资料来源:《太阳能技术产品与工程》、国海证券研究所

从产业布局来看,双面 PERC 电池在电池片环节相关的公司主要是迈为股份,通过对其丝印设备的改造能够打造成适用于双面 PERC 组件的电池片。在组件端,天合光能、隆基乐叶、晶澳等都已具备双面 PERC 电池的量产能力。

➤ PESC、PERL、PERT 电池工艺及设备分析

首先我们要弄清楚 PERC 的英文含义。PESC、PERC、PERL 是新南威尔士大学研究了 20 多年的成果，其中前两个字母 PE (Passivated Emitter) 代表前表面发射极的钝化，后两个字母代表后表面的扩散和接触情况。比如，PERC 的英文是 Passivated Emitter and Rear Cell，前面的 PE 表示的钝化发射极，R 表示背面钝化，C 表示电池，因此 PERC 的含义是钝化发射极（正面的 SiNx）及背面（背面的 Al₂O₃ 和 SiNx:H）的太阳能电池。

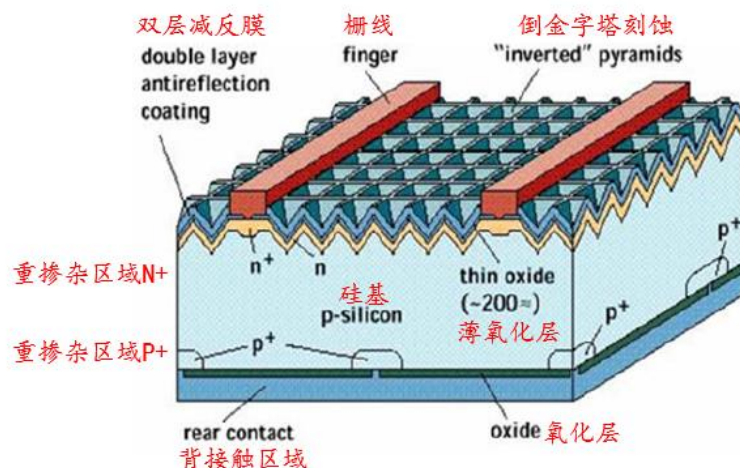
①PESC 电池是 PERC 电池的前身。其含义是 Passivated Emitter Solar Cell，即仅对正面发射极进行钝化，早期的 PESC 电池采用 SiO₂ 进行正表面钝化，能够减少正表面的少子复合，从而提高转换效率。因此常规的铝背场电池（采用 SiNx 进行正面钝化）其实就是一种 PESC 电池。

②PERL 电池。其含义是 Passivated Emitter, Rear Locally-diffused Cell，即钝化发射极，背面局部扩散电池。这里工艺上的改变有两点：

一是背面采用扩散的工艺制造高低结（背场）。根据前文分析，无论是常规铝背场还是 PERC 电池，其背面都是利用铝的重掺杂特性形成背场（对 P 型电池而言，背场就是背面的 P-P+，即高低结，目的是减少背面少子复合）。但是 PERL 电池是采用扩散的方式形成背面的高低结，对于 P 型电池，就是直接在背面进行硼扩散形成 P+物质，形成高低结。二是背面扩散的方式为局部扩散。所谓局部扩散，其实类似于正面 SE 的方法，本质上是将背面电极与硅片接触的区域进行扩散，形成重掺杂的 P+区域（降低接触区域的电阻），其他区域不进行扩散（减少背面少子复合速度，提高电压），从而提高电池的转换效率。

1990 年，新南威尔士大学的 J.ZHAO 在正面采用 SE 工艺，并在正背面采用热生长氧化层进行钝化，同时在背面的接触孔处采用了 BBr₃（三溴化硼）定域扩散制备出 PERL 电池。2001 年 PERL 电池效率达到 24.7%，此后世界权威的测试机构 Sandia 又将这个数值修正为 25%，从而长期占据晶体硅电池的世界转换效率记录。

图 43: PERL 电池基本结构



资料来源：《太阳能电池扩散工艺、背面刻蚀及铝背场工艺的研究》国海证券研究所

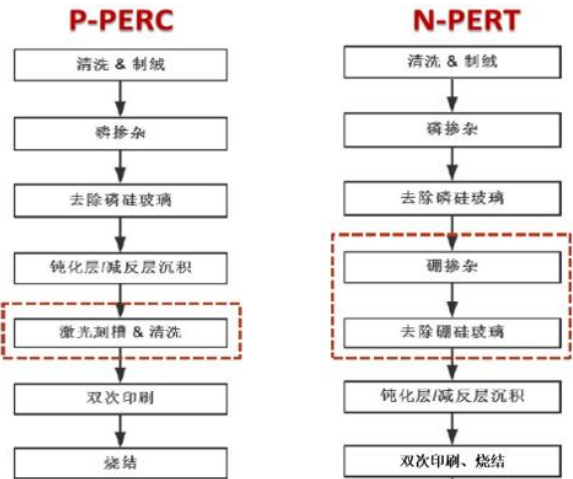
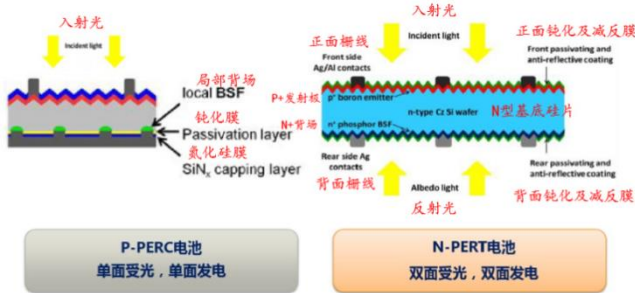
从产业化进度来看，P型的PERL电池研发还不普遍，目前韩国的现代重工将PERL电池制作应用于P型单晶硅上，天合采用了背面局部开孔，对准印刷铝浆图形，烧结铝扩散（用铝扩散替代硼扩散），然后二次印刷铝浆再低温烧结的方式，该方法成本较低，但是转换效率也并不高，后来P型电池中PERC逐步成为主流。

③PERT电池。其含义是Passivated Emitter, Rear Totally-diffused Cell，即钝化发射极，背面全扩散电池。其与PERL电池相比只有一点区别，就是背面采用全扩散的方式。P型电池中的PERT其实被铝背场替代，即背面进行全扩散硼形成P+的工艺被丝网印刷环节的铝背场所取代（铝背场替代硼背场），成本较低，更易实现产业化。

但是PERT在N型电池有更好的应用。我们在1.3中已经将N型电池与P型电池进行对比，考虑到N型硅片成本较高，且少子复合速度慢，因此做双面电池具有良好的性价比。PERT工艺能够在N型双面电池中取得良好的兼容，其具体制作方式为采用硼扩散掺杂制备发射极（N-P+），磷扩散掺杂制备N+背场。由于N+磷背场代替常规P型硅太阳能电池用铝浆印刷技术形成的铝背场，背面电极也采用与正面电极相同的栅线结构，使电池前后表面都能吸收光线，实现双面发电。总体来看，其与传统P型PERC电池相比，N-PERT采取两道扩散（磷扩散和硼扩散），同时由于背面没有氧化铝膜钝化（双面都是银浆印刷），因此不需要进行激光开槽。

图 44: N-PERT 和 P-PERC 电池结构对比

图 45: N-PERT 和 P-PERC 工艺对比



资料来源：YINGLI SOLAR、国海证券研究所

资料来源：YINGLI SOLAR、国海证券研究所

从产业化进度来看，关键的技术难点有两个：一是双面掺杂技术。首先是正面的硼扩散相比于P型电池的磷扩散要更为复杂，目前有管式扩散设备和链式扩散设备两种，当前的硼扩散主要采用三溴化硼进行扩散，但是扩散的均匀性较难控制。其次是背面的磷扩散，因为同时扩磷和硼在硅片的边缘层较难处理，因此目前磷扩散的工艺主要是采用离子注入的形式完成。二是双面钝化技术。因为正面的P+面带正电荷，背面的N+面带负电荷，所以采用SiO₂/SiN_x的叠层钝化能够对背面形成良好钝化，但对正面钝化效果较差（因为SiO₂/SiN_x偏正型，难以形成场效应），因此在正面镀膜会采取Al₂O₃（带负电荷）的形式。

N-PERT 产业化进程: 在通往产业化的道路上, 各种大面积的 N 型双面钝化电池高效率也被相继报道。2012 年美国 IEEE 光伏大会上, 英利报道了规模化生产线 N 型双面电池达到了 20%的效率; 2015 年欧洲光伏大会上, IMEC 发表了 N 型背面结大面积双面钝化电池的新进展, 实现了 22.5% 的转换效率; 2016 年, IMEC 在背面结上进一步提高效率, 达到 22.6%。此后天合光电也在在 N 型硅片上实现了 21.98%的转换率; 2016 年, 中来股份宣布开始 2 GW 的 N 型双面电池项目; 随后, 林洋光伏也宣布在江苏启东开展 2GW 双面电池项目。目前国内比较有名的双面电池产业化的公司包括: 英利、航天机电、台湾英稳达、韩国 LG、日本、中来、PVGS、林洋等。其中中来股份目前已经上马 2.1GW 的年产能, 实现了 N-PERT 电池 21.5%的转换效率。

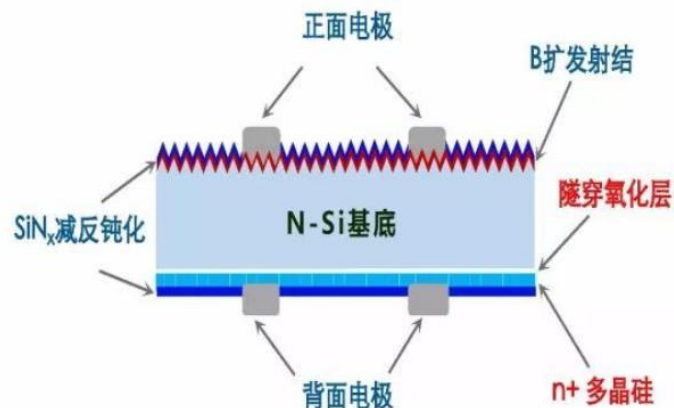
设备端竞争格局分析: 从设备端来看, N-PERT 与 PERC 相比最大的工艺改进是扩散和镀膜。正面扩散设备由原有的磷扩散设备调整为硼扩散设备, 根据捷佳伟创公告, 其面向 N 型电池的硼扩散炉—DS320A 扩散炉已经处于样机调试阶段。背面的磷扩散主要采取离子注入的方式, 对应的设备为离子注入设备; 目前离子注入设备仍主要以进口为主。镀膜设备方面, 无论是工艺调整为 SiO_2/SiNx 还是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiNx}$, 采取的镀膜方式仍以 PECVD 为主, 因此竞争格局与原有 PECVD 格局较为类似, 国外以梅耶博格、CT 为主, 国内主要是捷佳伟创。

➤ TOPCon 电池工艺设备及竞争格局分析

首先需要明白异质结是什么? 在以上的分析框架中, 太阳能电池形成 P-N 结(或背场效应中高低结, 如 P-P+结以及 N-N+结)所采用的 P 型半导体和 N 型半导体是在相同的半导体材料(晶体硅)中掺杂得到的, 因此被称为“同质结”。除同质结外, 还有一种被称之为异质结的电荷界面, 这种结构中, 两种不同的半导体材料(如晶体硅和非晶硅)被结合在一起, 从而形成异质结电荷界面。

TOPCon (Tunnel Oxide Passivated Contact, 隧穿氧化层钝化接触) 电池与常规电池最大的不同在于, 其在电池的背面采用了异质结结构, 其采用超薄二氧化硅隧道层和掺杂多晶硅(晶体硅基底与掺杂多晶硅在背面形成异质结)来钝化晶体硅表面。其具体结构见下图:

图 46: TOPCon 电池基本结构 (N 型)

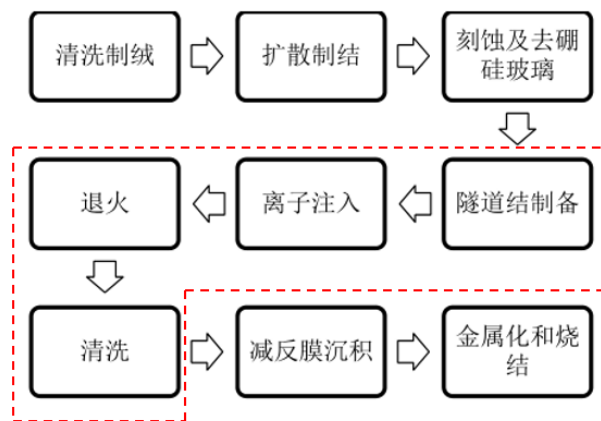


资料来源: 搜狐、国海证券研究所

TOPCon 电池的优势：①**隧穿层：**采用超薄 SiO₂ 作为隧穿层将晶体硅基底与掺杂多晶硅进行隔离，由于 SiO₂ 界面层很薄，不会阻碍多数载流子的传输但会阻碍少数载流子达到界面，可以显著降低界面的复合，使电池具有较高的开路电压。②**异质结：**传统同质结电池有一个问题，就是并没有对金属电极接触的区域进行钝化处理，而 TOPCon 电池采用掺杂多晶硅的方式，隔绝了金属电极与晶体硅基底之间的直接接触，其少数载流子复合损失进一步降低。

从工艺上来看，TOPCon 可以与当前产线具备良好的兼容，如 N 型单晶双面 TOPCon 电池可以通过对 N-PERT 双面电池产线简单的改造实现规模化生产。其具体工艺流程如下图：

图 47：N 型单晶双面 TOPCon 电池生产工艺



资料来源：中来股份、国海证券研究所 注：标红处为改进或增加工艺流程

①**隧道结制备。**该环节的核心是沉积隧道氧化层和多晶硅。具体工艺为将硅片移至低压化学气相沉积设备（LPCVD），通过热氧化在硅片的刻蚀面上形成一层超薄的二氧化硅层，厚度为 1-2nm，然后在二氧化硅隧道层上沉积一层混有非晶硅和微晶硅相的多晶硅层，多晶硅层的厚度为 100-200nm。

②**离子注入。**将硅片放在离子注入机内，向背表面注入磷原子，对多晶硅层进行掺杂。

③**退火。**离子注入到背表面多晶硅层中的磷原子为非活性原子，需要在高温退火炉内对磷原子进行激活。（注：离子注入和退火在 N-PERT 电池工艺中也具备，TOPCon 只是将向晶体硅注入磷原子改为向多晶硅注入磷原子）

④**清洗。**完成上述步骤后采用湿化学工艺对硅片进行清洗，进而开始制备氧化铝和氮化硅的钝化减反膜，此后为常规的 N-PERT 工艺流程。

从设备端来看：TOPCon 电池相比于 N-PERT 电池的增加和改进设备主要是用于沉积隧道氧化层和多晶硅的 LPCVD 设备以及用于磷原子掺杂的离子注入设备和退火设备。

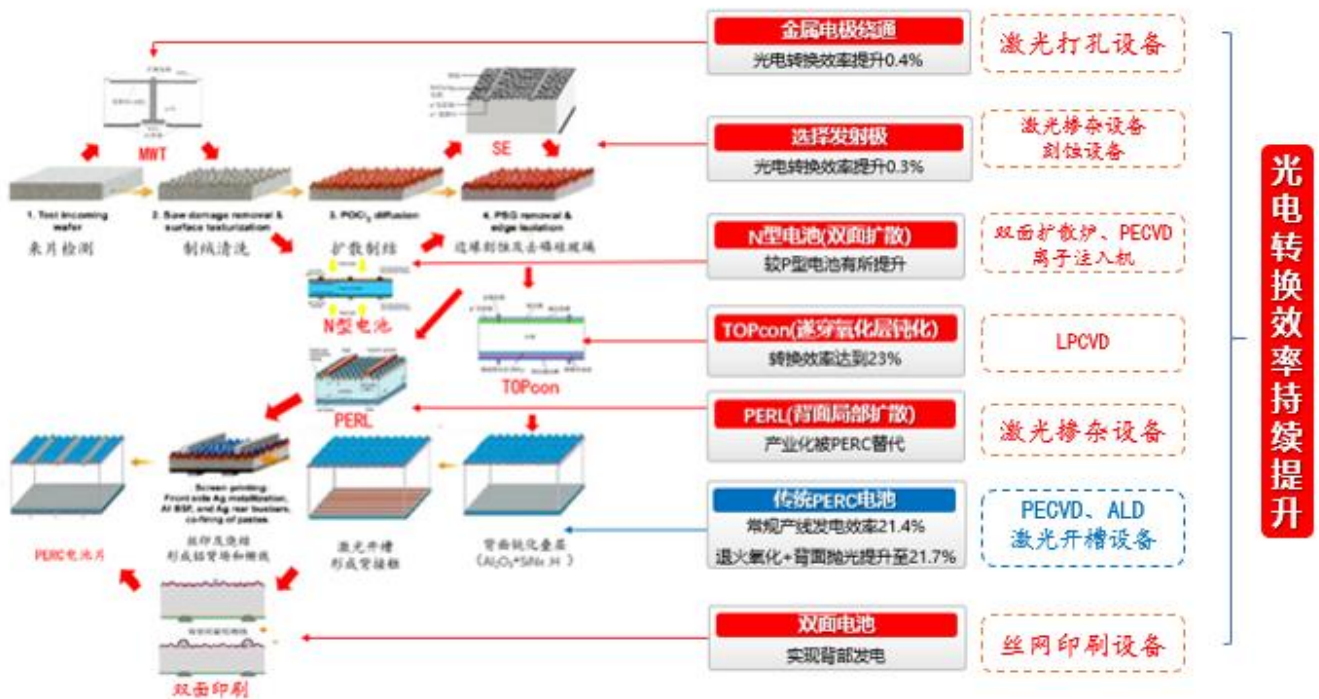
TOPCon 电池产业化进程: TOPCon 电池目前主要作为 N-PERT 电池的升级技术, 2015 年 Fraunhofer ISE 实验室报道了基于正面 P-N 结、背表面采用 TOPCon 的小面积 N 型电池, 效率达到 25.1%。目前布局 TOPCon 电池的厂商与 N-PERT 厂商较为一致, 国产厂商主要是中来股份、英利熊猫等。根据搜狐新闻报道, 中来股份目前已经将 TOPCon 应用在此前的 2.1GW 的 N-PERT 产线中, 并且实现量产, 同时计划在 2019 年底将 N 型双面 TOPcon 电池扩产至 4.6GW。

设备端竞争格局分析: TOPCon 工艺的核心设备是 LPCVD, 目前中来股份的产线主要以进口设备为主, 比如 Tempress; 国内设备厂商如捷佳伟创也已实现布局, 根据公司 2018 年中报公告, 其应用于 TOPCon 技术的管式 LPCVD 已进入了样机设计阶段。其他设备方面, 离子注入机仍以国外进口为主; 高温退火炉以国产设备为主, 其中捷佳伟创占据主要地位。

➤ **小结: PERC 电池工艺梳理**

综上所述, PERC 工艺具备良好的改善空间, 包括上述所提到的 SE、MWT、双面 PERC、TOPCon 等, 此外还有像抗光衰 (LID) 等技术 (用光照、激光照射、电子激活等方式使得硼氧结构的高活性复合体转化为低活性再生态, 实质是提前曝光减少光衰, 仅存在于 P 型电池中) 的应用, 能够解决 PERC 电池的光致衰减问题, 提高光电转换效率; 以及通过黑硅制线的方式, 使得 PERC 技术在多晶领域能够实现拓展, 这些工艺及技术目前已经相对成熟, 在本文中不再进行过多赘述。总体来看, 新技术的应用将带来 PERC 转换效率持续提升, 从而持续降低光伏发电成本, 为实现光伏的平价上网增添动力。

图 48: PERC 工艺的改进方向及设备需求



资料来源:《太阳能学报》、《MWT 太阳能电池专利技术现况分析》、《太阳能技术产品与工程》、国海证券研究所绘制

3.3.4、异质结电池工艺设备及市场格局分析

3.3.4.1、HIT 电池工艺设备及市场分析

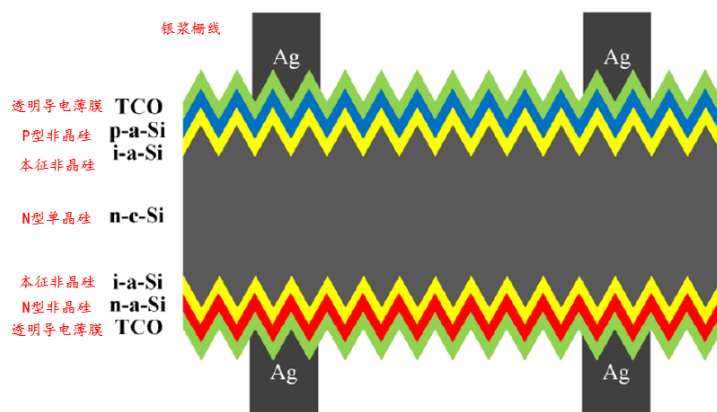
我们在 3.3.5 中已经论述过“异质结”的含义，并对 TOPCon 电池进行了分析。总体来看，异质结电池的核心是隔绝了金属电极与晶体硅基底之间的直接接触，从而使得少数载流子复合损失进一步降低，提高光伏电池的转换效率。从产业的视角来看，TOPCon 电池更像是在 PERC 电池框架下的一种工艺改进，通常意义上的异质结电池更多指的是 HIT 电池，属于一种基于全新工艺的光伏电池。

HIT (hetero-junction with intrinsic thin-layer, 本征薄膜异质结) 电池最早由日本三洋公司于 1990 年成功开发，因 HIT 已被三洋注册为商标，因此又被称为 HJT (hetero-junction) 或 SHJ (Silicon hetero-junction)。2013 年，松下（已收购三洋）宣布其异质结光伏电池的转换效率达到 24.7%，2015 年结合背接触的技术进一步将转换效率提高到 25.6%。2016 年，这一记录被另一家日本公司打破，Kaneka 公司制备的硅异质结光伏电池的转换效率达到 26.6%。

从原理上来看，HIT 电池同样是基于光生伏特效应，只是 P-N 结是由非晶硅 (a-Si) 和晶体硅 (c-Si) 材料形成的（背面的高低结亦然）。

从结构上来看，以 N 型 HIT 电池为例，其以 N 型单晶硅片为衬底，在经过清洗制绒的 N 型 c-Si 正面依次沉积厚度为 5-10nm 的本征非晶硅薄膜 (i-a-Si:H)、P 型非晶薄膜 (p-a-Si:H)，从而形成 P-N 异质结。在硅片背面依次沉积厚度为 5-10nm 的 i-a-Si:H 薄膜、N 型非晶薄膜 (n-a-Si:H) 形成背表面场。在掺杂 a-Si:H (非晶硅) 薄膜的两侧，再沉积透明导电氧化物薄膜 (TCO)，最后通过丝网印刷技术在两侧的顶层形成金属集电极。

图 49: N 型 HIT 电池



资料来源：《面向产业化高效硅基异质结电池的关键问题研究》、国海证券研究所

HIT 电池的优点: ①**结构对称。**电池受应力较小,易于实现薄片化。②**低温工艺,能耗低。**整个工艺环节的温度一般在 200℃左右。③**开路电压高,转换效率高。**本征非晶硅对晶体硅表现进行钝化,开路电压远高于传统电池。④**温度系数低。**光照升温下功率输出优于常规电池。⑤**无 LID (光衰) 和 PID (电位诱发衰减,常规电池组件的玻璃中的电子迁移到电池片表面发生相互作用) 效应。**N 型基底无 LID, TCO 层可以进行静电隔绝。

从工艺上来看,相比于 PERC 电池, HIT 电池在制备过程对清洁度要求更高,需要对设备和车间做到更高层次的洁净度,因此不能与传统电池的生产车间兼容。**HIT 电池制备的 5 道工艺及设备分别为:**

①**制绒清洗。**主要指对 N 型基底进行清洗,目前主要有两种方式: RCA 清洗(半导体级的湿式化学清洗法)和 O₃ 清洗。RCA 清洗能够获得低金属杂质的界面,但是氨水会导致表面较为粗糙; O₃ 清洗表面更为光滑,且成本较低,但是含有的金属杂质较多。目前 RCA 清洗的方式是主流,松下 1GW 的 HIT 电池采用 RCA 清洗。**该工艺涉及到的设备主要是湿式化学清洗设备。**

②**非晶硅沉积。**主要指用 CVD 的方式来镀本征非晶硅层、P 型非晶硅层、N 型非晶硅层,目前主要两种方式: HWCVD (热丝化学气相沉积) 和 PECVD。日本松下采取的是 HWCVD 的方式。两者的优劣见下表。总体来看现行的技术方向是 PECVD,尤其是 VHFPECVD (高频等离子体化学气相沉积)。**该工艺涉及到的设备主要是 HWCVD 以及 PECVD。**

表 9: HIT 工艺中非晶硅沉积设备对比

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

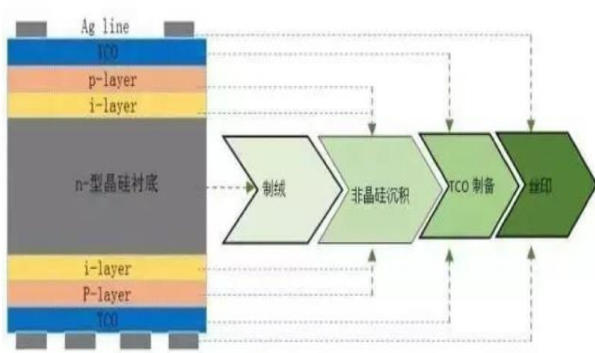
资料来源:《异质结电池简介》、国海证券研究所

③**透明导电膜制备。**主要指采用沉积的方式来镀双面的透明导电膜: RPD (反应等离子体沉积) 和 PVD (物理化学气相沉积)。其中 RPD 工艺采用 IWO (氧化铟掺钨) 制备 IWO 透明导电薄膜; PVD 工艺是采用直流磁控溅射的方式制备 ITO (氧化铟锡) 透明导电薄膜。

④**丝网印刷。**与常规电池线的工艺差异较小,仅在正背面的细栅线条数上有差异。

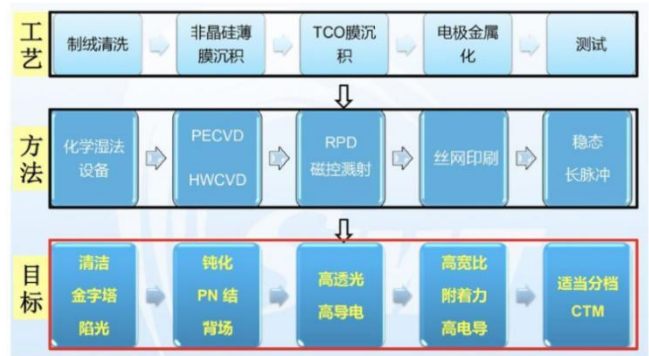
⑤**测试设备。**采用稳态、长脉冲的方式对 HIT 电池片进行测试。

图 50: HIT 结构对应工艺流程



资料来源: 精曜科技、国海证券研究所

图 51: HIT 工艺流程及相关设备



资料来源: 光伏测试网、国海证券研究所

从产业化进度来看, 在大规模量产方面, 现有产能 1GW、量产效率达 23% 的日本三洋可谓是 HIT 中的领头羊, 除此之外, 具有较成熟 HIT 技术的还有 Keneka、Solarcity、福建钧石、晋能、爱康、汉能、上澎等企业。根据光伏测试网统计, 2017 年国内实际 HIT 电池产量为 60MW, 2018 年爱康、通威、汉能、中智、钧石等国内 7 家 2018 年 HIT 电池产量约为 886MW。从转换效率上来看, 以中智为例, 其 HIT 电池平均转换效率已达 22.8%, 预计 2018 年底平均转换效率达 23%。总体来看, 相比于 PERC 电池, HIT 电池投资成本仍处于较高水平。

从长期来看, 2018 年 5 月, 通威太阳能、上海微系统所、三峡资本在成都正式签订硅基异质结 SHJ 太阳能电池产业化战略合作协议。三方共同建设 SHJ 太阳能高效电池中试线和产业化运营, 量产化 SHJ 太阳能电池光电转换效率将超过 23%。五年后计划将实现超过 10GW 的 SHJ 太阳能电池技术的规模化、商业化、低成本化的产品转化。

图 52: 国外 HIT 电池产业现状

	名称	国别	规模 (MW)	转换效率 (%)	
				最高	生产
1	松下/三洋	日本	700	25.6	23.0
		马来西亚	300		
		美国(Tesla)	250		
2	长洲产业/CIC	日本	80	23.5	22.8
3	Kaneka	日本	20	26.3	
4	INES	法国	30?	22.5	
5	NSP	台湾	15?	23.1	
6	上澎/Sunpreme	中国/USA	30?		

资料来源: 光伏测试网、国海证券研究所

图 53: 国内 7 家 HIT 电池厂商 2018 年产量



资料来源: 光伏测试网、国海证券研究所

设备端目前仍以进口为主, 捷佳伟创已在布局。HIT 制绒清洗设备方面, 捷佳伟创的链式 HIT 硅片清洗设备和超高产能 HIT 单晶制绒清洗设备均已完成样机, 待客户验证确认; 非晶硅沉积设备方面, 主要以进口设备为主, 包括日本松下、梅耶博格、应用材料等, 国内理想能源已开始 VHFCVD 的研制。丝网印刷方面, 竞争格局与 PERC 电池基本一致, 迈为股份具备较为明显的优势。

3.3.4.2、IBC/HIBC 电池工艺设备及市场分析

IBC（Interdigitated back contact，交叉背接触）电池是将正负两极金属接触均移到电池片背面的技术，使面朝太阳的电池片正面呈全黑色，完全看不到多数光伏电池正面呈现的金属线。IBC 电池最大的特点是 PN 结和金属接触都处于电池的背面，正面没有金属电极遮挡的影响，因此具有更高的短路电流，同时背面可以容许较宽的金属栅线来降低串联电阻从而提高填充因子；加上电池前表面场（Front Surface Field, FSF）以及良好钝化作用带来的开路电压增益，使得这种正面无遮挡的电池就拥有了高转换效率。

图 54：IBC 电池实物的正背面

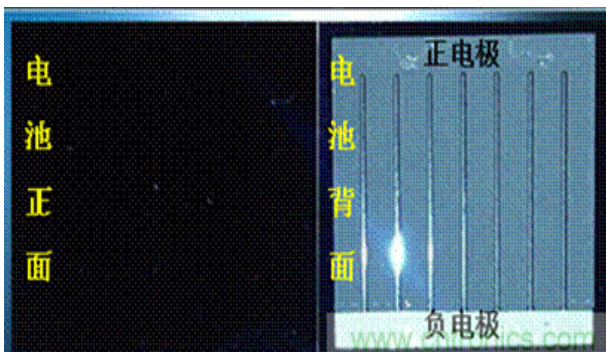
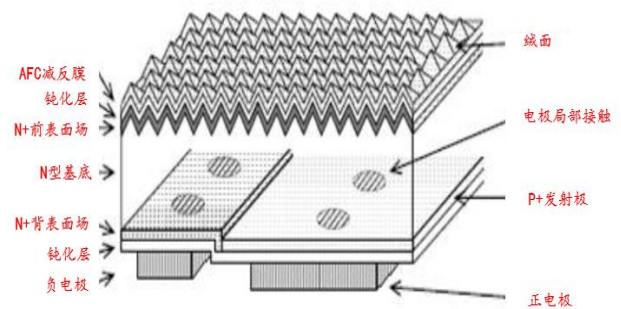


图 55：IBC 电池截面结构



资料来源：中国科学院微电子研究所、国海证券研究所

资料来源：中国科学院微电子研究所、国海证券研究所

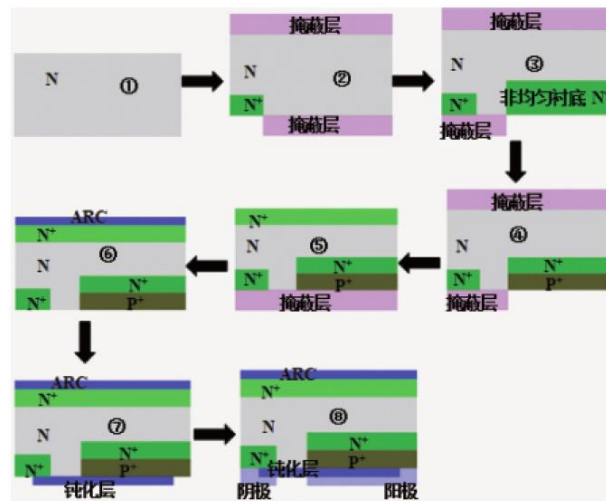
工艺流程：较之传统太阳能电池，IBC 电池的工艺流程要复杂得多。IBC 电池工艺的关键问题，是如何在电池背面制备出呈叉指状间隔排列的 P 区和 N 区，以及在其上面分别形成金属化接触和栅线。其重点工艺有三个：

①**掩膜法在背面制备 PN 结。**常见的定域掺杂的方法包括掩膜法。其中光刻掩膜法是通过光刻的方法在掩膜上形成需要的图形，这种方法的成本高，不适合大规模生产。不过通过丝网印刷刻蚀浆料或者阻挡型浆料来刻蚀或者挡住不需要刻蚀的部分掩膜，形成需要的图形，这种方法成本较低，需要两步单独的扩散过程来分别形成 P 型区和 N 型区。

②**表面钝化。**N 型电池中的少数载流子是空穴，因此带正电的薄膜如 SiN_x 较适合于 IBC 电池的 N 型硅前表面的钝化。而对于电池背表面，由于同时有 P, N 两种扩散，理想的钝化膜则是能同时钝化 P, N 两种扩散界面， SiO_2 是一个较理想的选择。如果背面 P+硅（发射极）占的比例较大，带负电的薄膜如 AlO_x 也是一个不错的选择。

③**金属栅线。**IBC 电池的栅线都在背面，不需要考虑遮光，所以可以更加灵活地设计栅线，降低串联电阻。但是，由于 IBC 电池的正表面没有金属栅线的遮挡，电流密度较大，在背面的接触和栅线上的外部串联电阻损失也较大。金属接触区的复合通常都较大，所以在一定范围内接触区的比例越小，复合就越少，从而导致 V_{oc} 越高。因此，IBC 电池的金属化之前一般要涉及到打开接触孔/线的步骤。

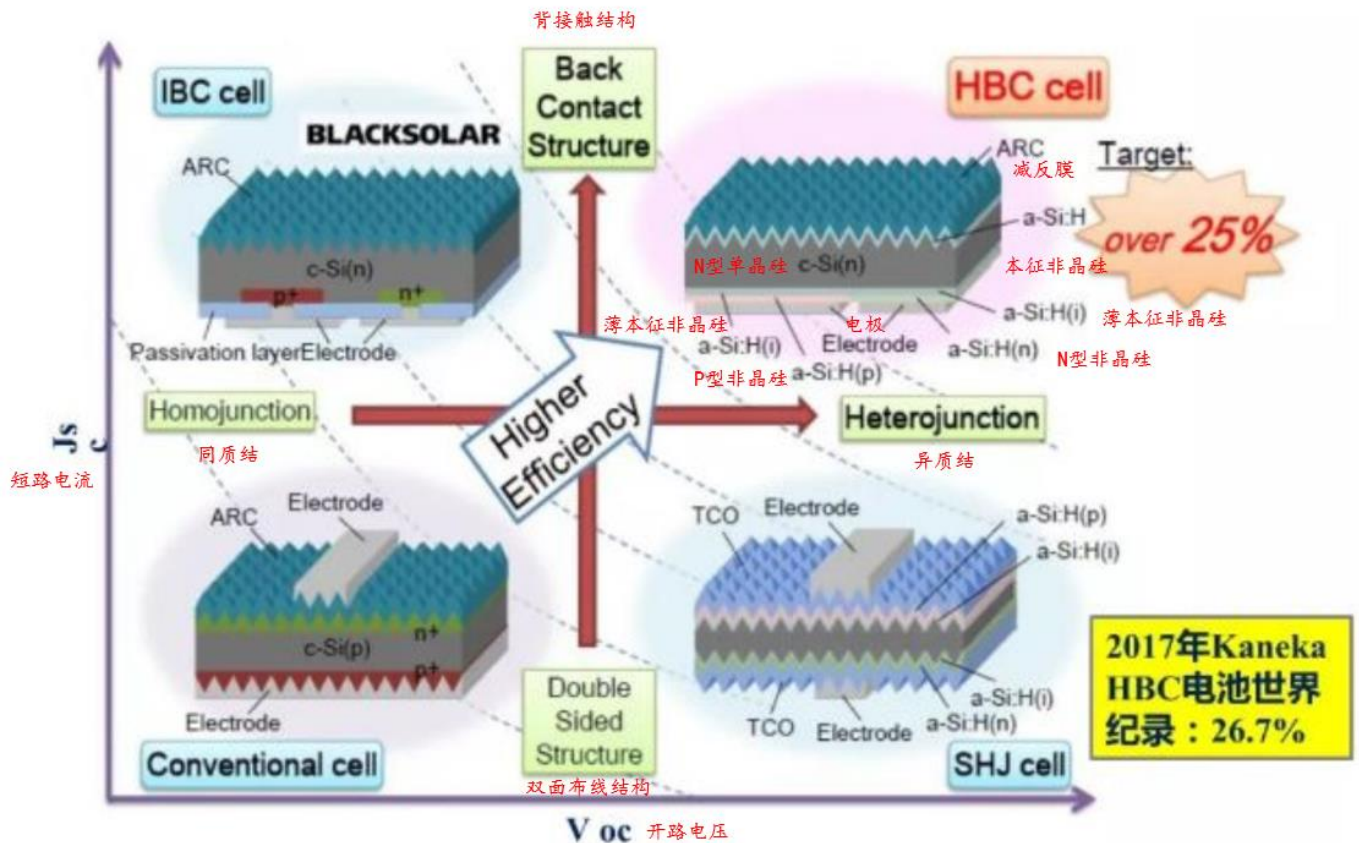
图 56: IBC 电池的制备工艺流程



资料来源:《IBC 太阳能电池非均匀掺杂衬底结构参数的优化研究》、国海证券研究所

此外,IBC 技术可以运用在 HIT 电池上,形成 HBC 电池。在 IBC 电池的基础上,在双面通过镀膜形成一层本征非晶硅,实现更好的钝化效果;同时在背面原本进行掺杂 N+以及 P+的工艺升级为镀一层 N 型非晶硅和 P 型非晶硅,从而形成异质结。这种电池被称为 HBC (HIT-IBC) 电池, Kaneka 公司制备出的光电转换效率达到 26.6%的电池便是采取这一结构。

图 57: HBC 升级模式图



资料来源: 光伏材料与技术国家重点实验室、国海证券研究所

从产业化角度来看，对于 IBC 结构，SunPower 公司的研发遥遥领先，其他研究成果还有德国 Fraunhofer ISE 的 23%、ISFH 的 23.1%、IMEC 的 23.3% 等。在 HBC 领域，日本的研究人员率先在此技术上取得突破，在 2014 年将晶体硅电池的的效率突破到 25% 以上。其中，日本夏普和三洋将 IBC 与 HJ 技术结合，研发的 HBC 电池效率分别达到 25.1% 和 25.6%。2016 年 9 月，Kaneka 实现转换效率达 26.6% 的 HBC 晶硅太阳能电池，创下世界纪录。此外，韩国 LG 公司已开始 IBC 高效电池和组件的研发，预计未来 HBC 技术将成为 IBC 电池未来发展的重要方向。

从国内来看，常州天合优势明显。国内目前对 IBC 电池进行重点研发企业主要是天合、晶澳、海润等。2013 年海润光伏报道了其研发的 IBC 电池效率达到 19.6%；常州天合于 2012 年承担“863”计划“效率 20% 以上低成本晶体硅电池产业化成套关键技术研究及示范生产线”，展开了对 IBC 电池技术的系统研发。2016 年，天合光能 6 英寸的 IBC 电池效率通过第三方测试，达到 23.5%，成为工业级 6 英寸 IBC 电池的新的世界纪录。

表 10: IBC 电池技术的研究进展

公司/研究机构	电池尺寸	类型	关键技术	最高效率/%	报道年份
SunPower	5 英寸	IBC	电镀	25.2	2015
Sharp	5 英寸	HBC	丝网印刷	25.1	2014
Panasonic	5 英寸	HBC	丝网印刷	25.6	2014
Kaneka	180cm ²	HBC	-	26.6	2016
ANU	4 cm ²	IBC	光刻	24.4	2014
Fraunhofer ISE	4 cm ²	IBC	蒸镀	23.0	2013
ISFH	5 英寸	IBC	蒸镀	23.1	2013
IMEF	4 cm ²	IBC	蒸镀	23.3	2013
Konatanz ISC	6 英寸	IBC	丝网印刷	22.3	2013
Bosch	6 英寸	IBC	离子注入	22.1	2013
Samsung	6 英寸	IBC	离子注入	22.4	2012
常州天合	6 英寸	IBC	丝网印刷、炉管扩散	23.5	2016

资料来源：《太阳能》、国海证券研究所

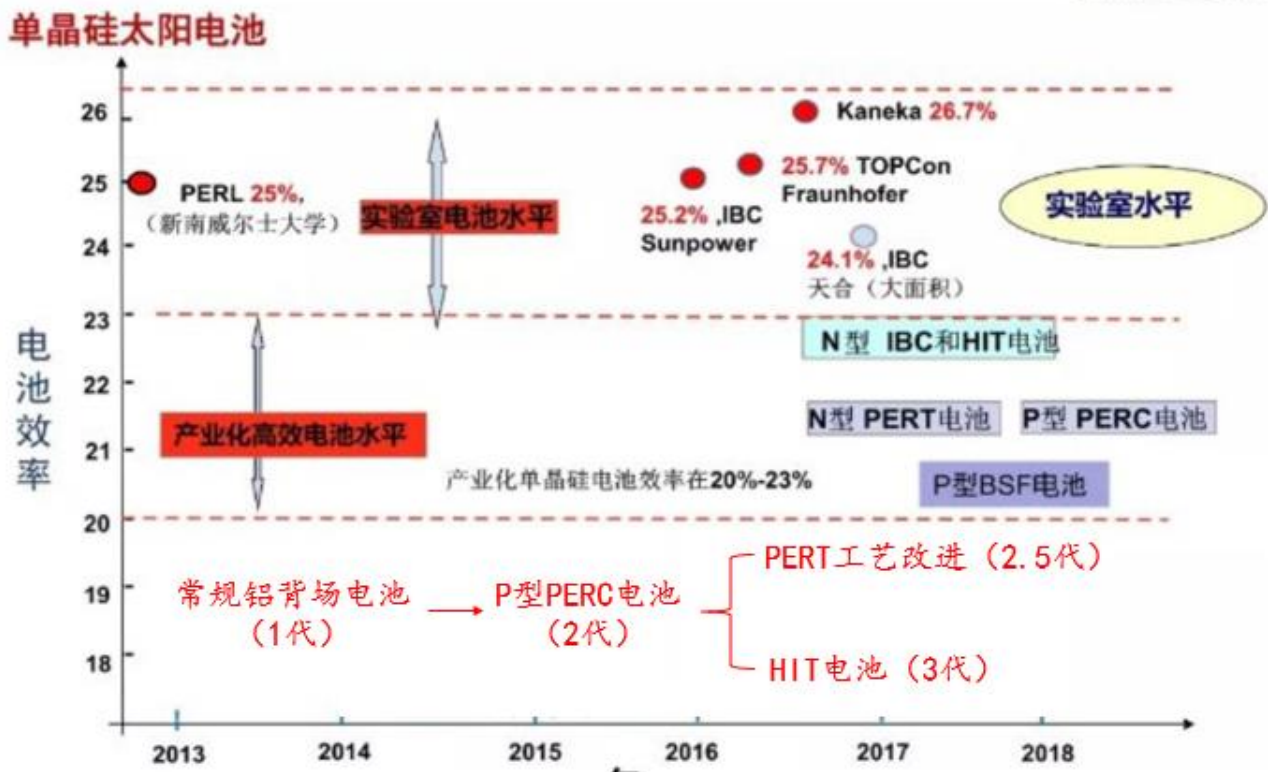
设备市场分析：目前 HBC 主要停留在实验室阶段，IBC 从产能上来美国 SunPower 已建造 1.2GW 的电池产能，相关设备需求仍然较低。从具体设备来看，IBC 电池的关键工艺分别是扩散、钝化（镀膜）和印制电极，但其核心难度在于精密性，因此如何实现精密性与规模化生产的兼顾是工艺设备厂商需要共同思考的难题。

3.3.5、总结：光伏电池片技术具有清晰的成长路径

基于以上分析，我们认为目前光伏正处于以 PERC 为代表的第二代技术向以常规铝背场电池为代表的第一代技术的替代进程中。根据我们在深度报告一中的数据，2016 年底我国高效 PERC 电池产能为 9.58GW，2017 年增长至 27.35GW，且从下游厂商规划来看，2018 年高效 PERC 电池产能有望增长至 59.73GW，增速正持续提升。

从长期来看，“2.5 代”和“3 代”已箭在弦上。目前电池片技术的迭代体现在两个方面：一是在 PERC 的基础上进行持续的工艺改进，我们称之为“2.5 代”技术，这类技术升级的优势是能够实现与原有产线的良好兼容，更容易实现产业化。二是对 PERC 工艺进行了颠覆的 HIT 电池，我们称之为“3 代”技术，这类技术的优势是光电转换效率高，代表行业下一代技术的发展方向；随着电池片厂商以及设备厂商对 HIT 技术的持续研发和投入，HIT 的投资成本有望不断下行，具备良好的发展前景。总体来看，光伏电池片技术具有清晰的成长路径，新技术的不断应用将不断提高设备性价比，带动发电成本下降。

图 58：单晶硅太阳能电池成长实验室和产业化水平



资料来源：光伏材料与技术国家重点实验室、国海证券研究所

3.4、组件：叠瓦技术蓄势待发

3.4.1、组件的工艺及设备介绍

光伏组件定义：单体太阳能电池不能直接做电源使用，电源必须将若干单体电池串、并联连接和严密封装成组件。由于单片太阳能电池片的电流和电压都很小，因此组件首先将电池片串联获得高电压，再并联获得高电流后，通过一个二极管（防止电流回输）然后输出。同时，电池片通常被封装在一个不锈钢、铝或其他非金属边框上，然后安装好上面的玻璃及背面的背板、充入氮气、密封。

组件的具备八大工艺流程：①焊接；②层叠；③层压；④EL 测试；⑤装框；⑥装接线盒；⑦清洗；⑧IV 测试。**具有九个核心部分：**①电池片、②互联条、③汇流条、④钢化玻璃、⑤EVA、⑥背板、⑦铝合金、⑧硅胶、⑨接线盒。

图 59：太阳能组件核心构成

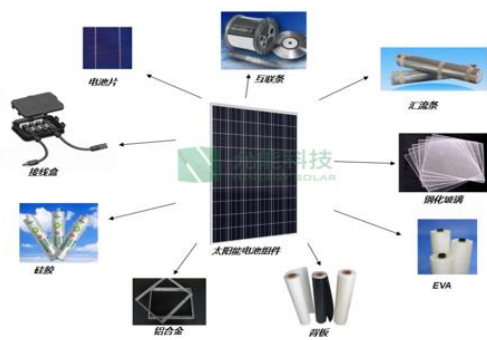
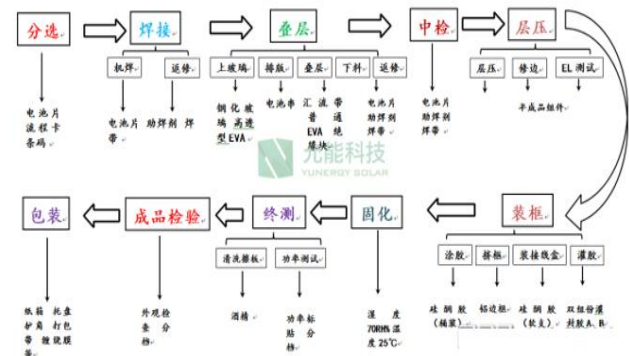


图 60：太阳能组件工艺流程图



资料来源：允能科技、国海证券研究所

资料来源：允能科技、国海证券研究所

①焊接工艺：将互联条焊接到电池正面（负极）的主栅线上，将电池片的负极引出。然后通过自动串焊机将太阳能电池片的正面电极与前后侧电池片背面电极通过互联条进行焊接，将电池片相互串在一起的。**涉及的设备主要为自动串焊机。**

②层叠工艺：分为两个部分，一是排版，即将已经焊接成串的电池片利用汇流条进行拼接，按照图纸拼接成电池方阵。二是层叠，将背板（TPT）、EVA 胶、电池组、钢化玻璃按照顺序进行层叠。**涉及的设备主要为排版机、汇流条自动焊接机。**

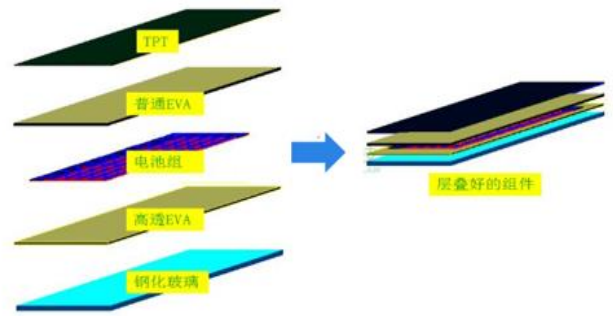
③层压工艺：将铺设好的光伏组件放入层压机内，通过抽真空将组件内的空气抽出，然后加热使 EVA 融化并加压使融化的 EVA 流动充满玻璃，电池片和 TPT 背板膜之间的间隙，同时通过挤压排出中间的气泡，将电池玻璃和背板紧密黏合在一起，最后降温固化。同时，EVA 融化后受压力向外延伸会形成毛边，因此层压结束后需要切边。**涉及的设备主要为层压机、自动削边机。**

④EL 测试：电致发光(Electroluminescent)测试，即检测太阳能电池组件的内部缺陷、隐裂、碎片、虚焊、断栅以及不同转换效率单片电池异常现象。**涉及的设备主要为 EL 检测设备。**

图 61: 互联条工作示意图



图 62: 组件叠层示意图



资料来源: 允能科技、国国海证券研究所

资料来源: 允能科技、国国海证券研究所

⑤**装框**: 给电池组件装铝框, 增加组件的强度, 进一步的密封电池组件, 延长电池的使用寿命。边框和电池组件的缝隙用硅胶填充。各边框间用角键连接。涉及的设备为全自动装框机。

⑥**装接线盒**: 接线盒通过硅胶与组件的背板粘在一起, 组件内的引出线从背板穿出与接线盒内的内部线路连接在一起, 使内部线路与外部线缆连接在一起, 使组件与外部线缆导通。涉及的设备为接线盒设备, 包括接线盒打胶机和接线盒焊接机等。

⑦**清洗**: 去除表面脏污, 使组件美观。增加光的透过率, 增加组件功率。涉及的设备为清洗设备。

⑧**IV 测试**: 对电池组件的输出功率进行检验, 测试其输出特性, 确定组件的质量等级。涉及的设备为 IV 测试仪。

图 63: 组件设备示意图



资料来源: 金辰股份官网、国海证券研究所

组件市场空间：2017 年全国组件总产能为 105.4GW，目前一条 250MW 的产线对设备投资额约 2300-2400 万元，1GW 组件产能对应设备需求为 9000 万元，因此我国组件设备市场存量空间约 95 亿元。动态来看，根据我们数据库统计，截止到 2018 年底全国前十大组件厂商在建产能超过 28GW，对应市场为 25 亿元。

从具体设备来看，组件设备企业如先导智能、金辰股份基本涵盖组件设备全产品线。奥特维等公司在串焊机、层压机等领域具备细分优势。

表 11：光伏组件设备主要生产企业

公司名称	主要设备
金辰股份	组件自动化生产线及单独出售中包括自动串焊机、自动排版机、汇流条自动焊接机、EVA 自动裁切铺设机、层压机、自动削边机、EL 检测站、全自动装框机、接线盒打胶机、接线盒焊接机、IV 测试仪等
苏州晟成 (京山轻机收购)	组件自动化生产线中具体包含设备不详，单独出售汇流成型一体机、自动削边机、全自动装框机等
苏州宏瑞达	组件自动化生产线及单独出售中包括自动串焊机、自动排版机、汇流条自动焊接机、EVA 自动裁切铺设机、层压机、自动削边机、EL 检测站、全自动装框机、接线盒打胶机、接线盒焊接机、IV 测试仪等
博硕光电	组件自动化生产线中具体包含设备不详，单独出售自动串焊机、层压机、EL 检测站、全自动装框机、IV 测试仪等
先导智能	组件自动化生产线及单独出售中包括自动串焊机、自动排版机、汇流条自动焊接机、EVA 自动裁切铺设机、层压机、自动削边机、EL 检测站、全自动装框机、接线盒打胶机、接线盒焊接机、IV 测试仪等
奥特维	各类自动串焊机
宁夏小牛	自动串焊机、自动排版机、汇流条自动焊接机
羿珩科技 (康跃科技收购)	自动层压机、自动串焊机、自动排版机

资料来源：各公司官网、国海证券研究所

3.4.2、组件技术的发展方向

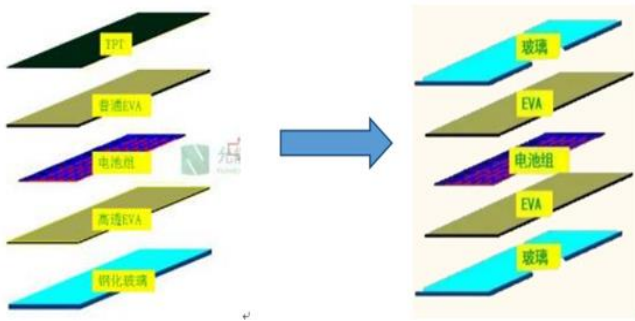
➤ 发展方向①：双玻工艺

工艺介绍：双玻组件包括单面双玻和双面双玻，是由两块钢化玻璃、EVA 胶膜和太阳能电池片经过层压机高温层压组成复合层。涉及工艺调整为层叠、层压和装框。

单面双玻组件的优势：生命周期长（30 年）、发电量更高（高出 4%）、衰减率低（0.5%）、无透水率、耐腐蚀、降低 PID 效应（边框漏电导致电池片表面钝化变差）、无背板从而减少热斑效应（被遮挡的电池会发热的现象）。

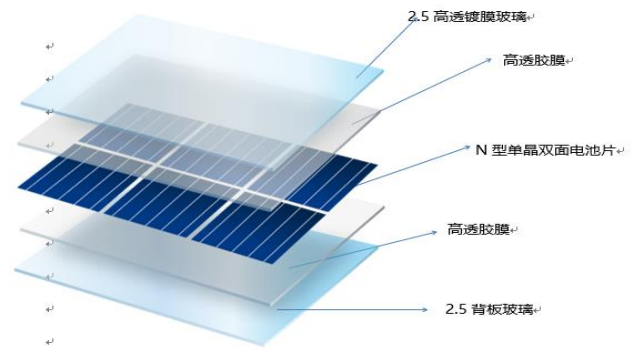
成本影响：双玻与单玻的区别是玻璃替代了背板，在成本上并无太大区别，只是在不同工况下具备更好的适配性。但另一方面，由于组件的背面变成玻璃，因此在组装过程中更为繁琐。

图 64：单面双玻工艺示意图



资料来源：允能科技、国海证券研究所

图 65：双面双玻工艺示意图



资料来源：固德威光伏社区、国海证券研究所

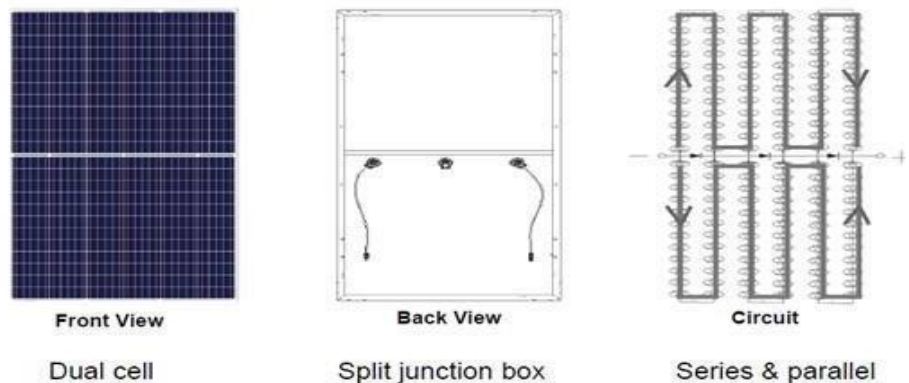
➤ 发展方向②：半片工艺

工艺介绍：半片是将标准规格电池片（156mm*156mm）激光均割成为两片（156mm*78mm*2），然后再联接起来的技术。半片工艺相对传统组件工艺而言增加了切片工艺，通常采取激光切割（德国的 Innolas 和英国的 ASM）或热激光分离（3DM）；同时对串焊机的需求量加倍。

半片组件的优势：电流减半，电压不变，从而提升封装效率（提高发电量 2%-3%）；减少热斑效应；降低发热。

成本影响：增加切片设备，串焊机需求量增加（1GW 增加 8-10 台串焊机，对应投资约 800 万），接线盒调整为三分体接线盒。

图 66：半片组件工艺示意图



资料来源：索比光伏网、国海证券研究所

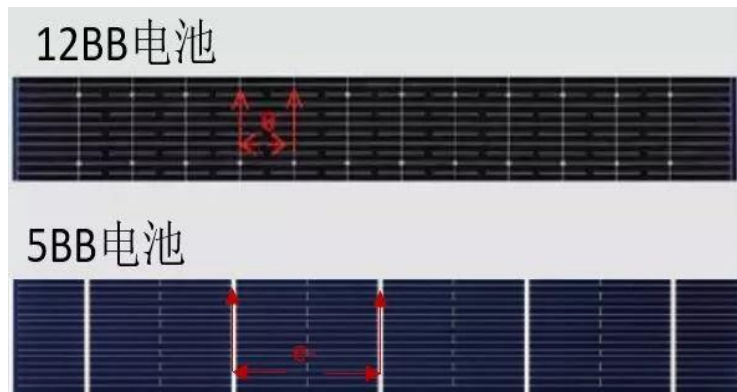
➤ 发展方向③：多主栅（MBB）工艺

工艺介绍：多主栅工艺的调整涉及电池片和组件两个环节，核心是对主栅线进行调整，追求数量及宽度的最优化。涉及的工艺主要为丝网印刷设备以及串焊工艺，目前先导智能和奥特维均推出多主栅组件串焊设备。

多主栅组件的优势: 相对于常规组件,多主栅组件的电流传输路径缩短,细栅电阻降低,从而能够提高组件输出功率;另一方面,采取多主栅工艺后主栅线宽度将会降低,从而能够减少焊带、银浆的耗量(12BB较5BB银浆耗量低30%)。

成本影响: 银浆和焊带的耗量降低;丝网印刷设备需要增加新的网版;需要配套更加精密的串焊机。

图 67: 5 主栅与 12 主栅电流传输路径对比



资料来源: 林洋能源、国海证券研究所

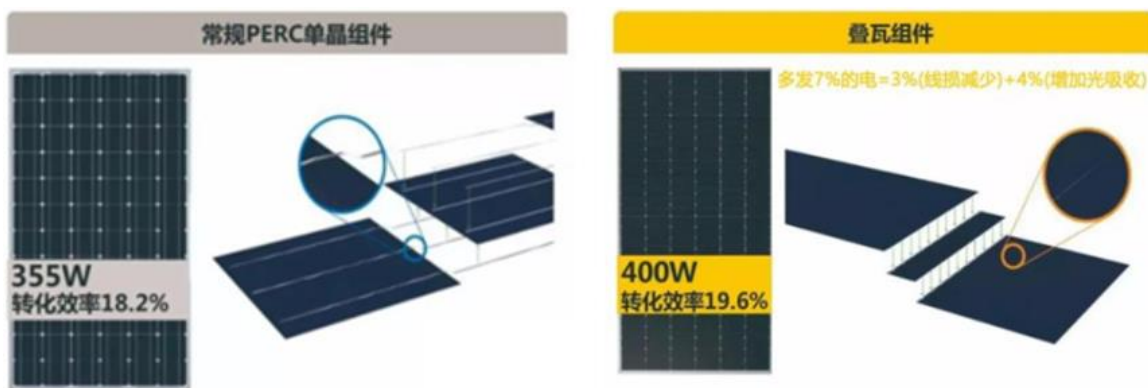
➤ 技术升级方向⑤: 叠瓦工艺

工艺介绍: 将传统电池片切为 1/5 大小后,使用导电胶来直接衔接两片电池,将其叠加黏贴在一起,再将电池串连接起来。新增加电池片切片工艺,涉及的企业与半片工艺类似;同时串焊机需更新为叠瓦机。

叠瓦工艺的优势: 导电胶替代焊带减少线损(减少3%);无电池片间距放置更多电池片(60型常规组件最多可封装66片),综合来看提升组件功率约20W,发电量增加7%。此外,叠瓦工艺还可以减少金属线断裂的隐患。

叠瓦功能工艺的进程: 目前叠瓦工艺尚不成熟,国内厂商在叠瓦串焊机领域已有所布局,包括先导智能、苏州晟成、金辰股份、奥特维等。

图 68: 常规 PERC 组件和叠瓦组件的区别



资料来源: 光伏经验网、国海证券研究所

表 12: 国内组件设备企业技术迭代布局

公司名称	主要设备
双玻组件	金辰股份、苏州晟成、苏州宏瑞达组件自动化生产线可兼容双玻
半片	苏州晟成组件自动化生产线可兼容半片
多主栅	无锡先导、奥特维已具备多主栅串焊机
叠瓦	苏州晟成组件自动化生产线可兼容叠瓦，无锡先导已具备叠瓦一体焊接机、叠瓦成套组件设备

资料来源：金辰股份官网、苏州晟成官网、国海证券研究所

3.5、小结：平价上网沙盘推演

基于上文中对全产业链各环节降本增效潜力的分析，我们对光伏平价上网进行沙盘推演，推演结果如下：

- ①**硅料**：主要通过降本方式，假设硅料价格下降 20%，将导致电站成本下降 2%；
- ②**硅片**：预计降本及增效均较难实现；
- ③**电池片**：主要方式为增效，PERC+或 HIT 工艺的实现，假设将光伏电池转换效率从 20.5%提升至 23.5%，将导致电站成本下降 15%；
- ④**组件**：主要方式为增效，假设叠瓦技术得到运用，发电量增加 7%，将导致电站成本降低 7%；
- ⑤**其他**：主要指非硅成本，包括银浆、金刚线、铝浆、玻璃、EVA、BOS 成本等，假设非硅成本的降低带来电站成本降低 4%。

在以上假设前提下，光伏电站系统成本将降低 28%，从而实现全国大规模的发电侧平价。我们认为有两点需重点关注：一是从全产业链梳理来看，“增效”带来的成本降幅远高于“降本”；二是从目前来看平价上网仍有较大难度，乐观情况下预计上述假设条件有望在 2020 年底实现。

4、投资策略：重点关注电池片设备龙头

维持光伏设备行业推荐评级。平价上网，设备先行。在光伏行业平价上网不断提速的背景下，光伏设备发展有望充分受益。建议从三个层次精选投资标的：

➤ 维度一：平价上网过渡阶段重点关注受益技术迭代的电池片和组件环节

我们认为，光伏行业平价上网的序幕已经拉开，但距离实现全国大规模的平价上网仍存在差距。在平价上网过渡阶段，降本增效正逐步成为光伏行业发展的主旋律。通过对全产业链环节的梳理，电池片及组件环节将成为本轮光伏产业降本增效的主阵地，有望获得产业持续的资本投入，建议予以重点关注。

➤ 维度二：以爱旭为例分析，设备企业更能引领技术迭代

在电池片和组件领域,设备公司与产品公司谁更能引领技术迭代?我们以电池片企业爱旭为例进行分析:

爱旭太阳能成立于2009年,专业从事晶体硅太阳能电池的研究、制造、销售、服务的高科技公司。在广东佛山、浙江义乌均设有大型生产制造基地,年产高效晶硅太阳能电池5.75GW,其中双面单晶PERC电池5GW、高效多晶电池750MW。根据wind资讯,自然人陈刚持有爱旭63%的股权,公司是典型的民营企业。

图 69: 爱旭太阳能股权结构图

序号	股东名称	持股比例	认缴出资(万元)
1	陈刚	63.00%	9,259.4174
2	义乌奇光股权投资合伙企业(有限合伙)	20.00%	2,939.4976
3	广东中小企业股权投资基金有限公司	10.00%	1,469.7488
4	广发信德投资管理有限公司	2.50%	367.4372
5	广东联合创展投资管理有限公司	1.50%	220.4623
6	广东中大一号投资有限合伙企业(有限合伙)	1.00%	146.9749
7	佛山拓展创业投资有限公司	1.00%	146.9749
8	佛山创业投资有限公司	0.50%	73.4874
9	段小光	0.50%	73.4874

资料来源: wind 资讯、国海证券研究所

发展历程: 爱旭的光伏电池片业务在2017年迎来拐点。根据公司官网披露,爱旭太阳能于2010年正式下线第一片电池片,2015年开始量产单晶电池片,2016年电池片年产量突破1GW,2017年通过PERC技术的应用,年底电池片产能达4.3GW。目前,公司年产高效晶硅太阳能电池产能为5.75GW,预计到2019年双面单晶PERC电池总产能将达到8.85GW。

图 70: 爱旭太阳能发展历程

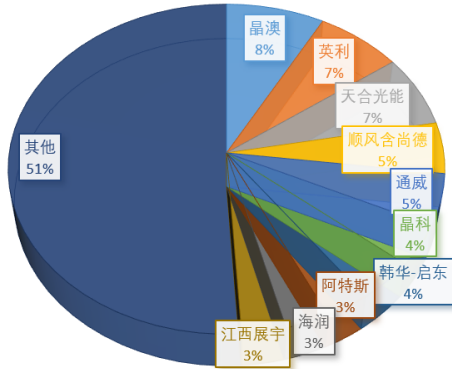


资料来源: 爱旭官网、国海证券研究所

市场地位: 从产能来看,2016年爱旭产能尚未进入我国光伏电池片企业产能前十,但2017年直接跃升至行业第4名。从出货量来看,根据PV InfoLink统计,若不计入垂直整合厂对自有组件的出货,2017年爱旭电池片全球出货量排第4

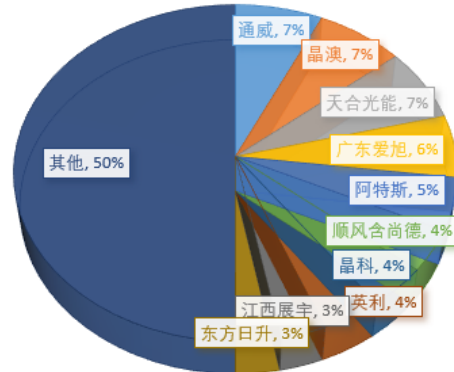
名，2018年上半年上升至第2名。在不到两年的时间里，爱旭太阳能凭借其其在PERC技术上的领先优势，成为了全球光伏电池片龙头企业之一；而这两年（2017-18年），正是PERC技术对常规铝背场技术开始加速渗透的两年。

图 71：2016 年我国光伏电池片企业产能占比



资料来源：CPIA、国海证券研究所

图 72：2017 年我国光伏电池片企业产能占比



资料来源：CPIA、国海证券研究所

图 73：2017 年全球光伏电池片出货排名

2017 电池片出货排名	
1	通威
2	茂迪
3	昱晶
4	爱旭
5	英稳达

*不计入垂直整合厂对自有组件产能的出货

资料来源：PV InfoLink、国海证券研究所

图 74：2018 年上半年全球光伏电池片出货排名

2018 上半年 电池片出货排名		
No.	Region	Company
1	China	通威
2	China	爱旭
3	Taiwan	茂迪
4	China	展宇
5	China	平煤

*不计入垂直整合厂商对自己产能的出货

资料来源：PV InfoLink、国海证券研究所

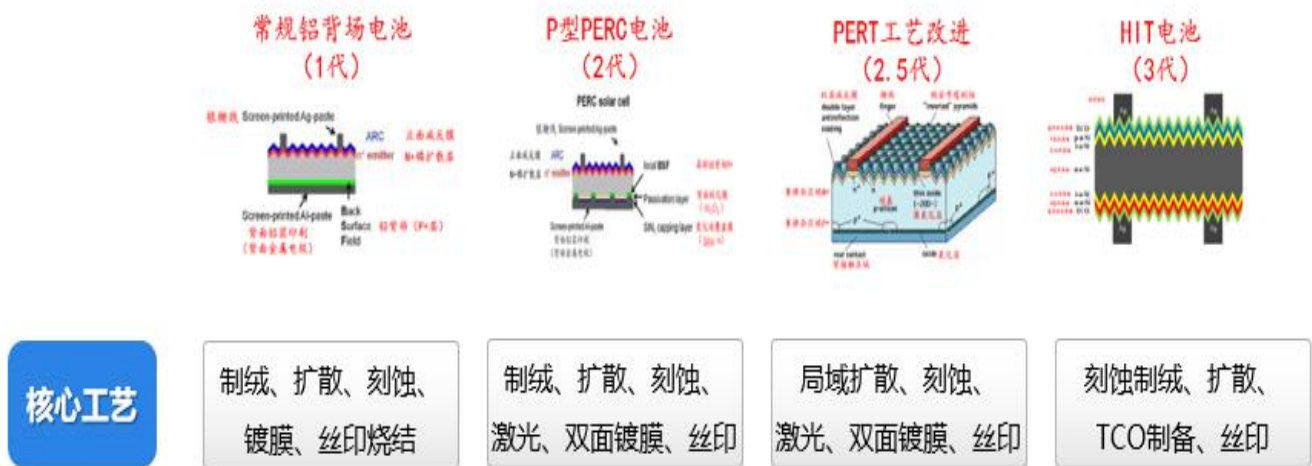
通过对爱旭发展历程的分析，我们认为光伏电池片企业的发展具备两个特点：

① 电池片企业扩产的动力取决于产线的经济性，而在光伏行业降补的大背景下，产线的经济性更多地来自于技术的迭代升级。在深度报告一中我们已经测算过，高效电池片产线对常规电池线具备明显的性价比优势，因此每一次电池片技术迭代都将带来一次扩产潮，并且重塑市场竞争格局。

② 在最终的技术大一统来临之前，光伏电池片市场难以形成马太效应。根据上述分析，光伏电池片技术具备清晰的发展路径，但真正大一统的通用技术仍待发掘。在这一背景下，无论是现有电池片的头部企业还是新入局的产业资本，都需要通过对全新高效技术的投入才能获取更多的市场份额。根据图 71-72，2016-17 年我国前十大光伏电池片企业合计产能占比分别为 49%、50%，其中 TOP1 产能占比不足 10%，市场竞争较为分散。此外，从前十大光伏电池片厂商的排名来看，内部的名次波动也比较大。因此，只有在技术的快速迭代下，我们才能看到像爱旭这样的破局者。

然而从设备企业来看，由于电池片工艺设备的技术延展性强，设备龙头具有马太效应。从具体设备上来看，无论是常规铝背场，还是 PERC 以及 N-PERC、TOPCon，亦或是 HIT、IBC、HBC，清洗刻蚀设备、扩散设备、镀膜设备、激光设备以及丝网印刷设备都是贯穿整个光伏电池技术迭代的基础工艺设备，技术迭代的更多的是工艺方式、制造精度、更高级的无尘要求等。凭借在基础工艺领域的长时间浸淫，即使技术出现迭代，电池片设备龙头也具备较为明显的先发优势，从而持续巩固市场地位。因此，相比于下游光伏电池片领域，设备领域具有更高的市场集中度。

图 75：光伏电池片的基础工艺具备相通性

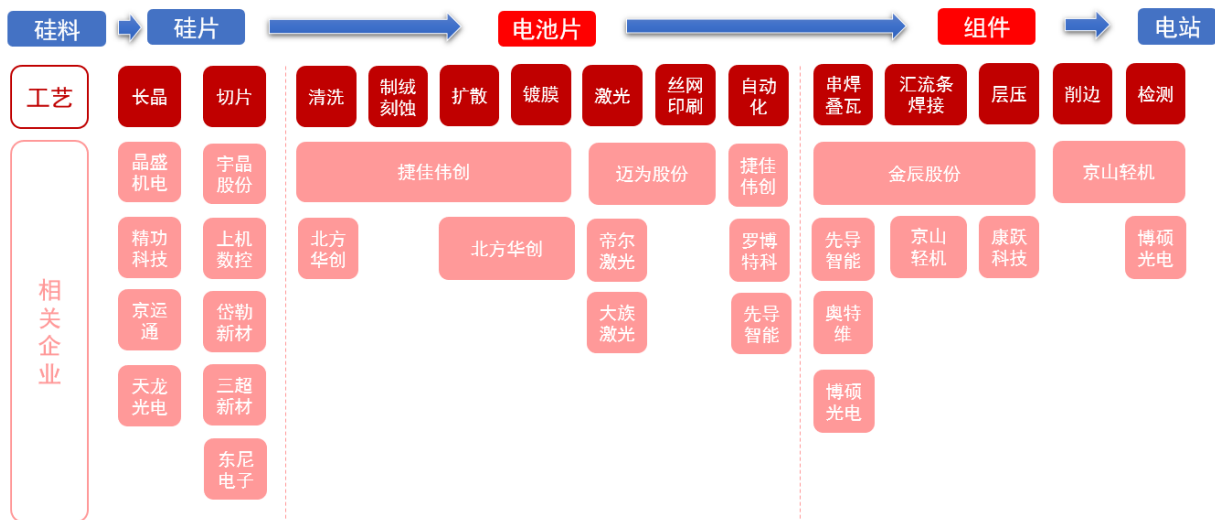


资料来源：ISFH、国海证券研究所整理

维度三：多层次筛选标的，重点推荐光伏电池片设备龙头

我们对光伏设备上市公司进行梳理如下表：

图 76：光伏全产业链工艺及设备上市公司梳理



资料来源：wind 资讯、国海证券研究所

从技术迭代、技术门槛、竞争格局、主业关联程度等多个维度筛选，建议重点关注光伏电池片工艺设备龙头捷佳伟创，其次推荐丝网印刷设备龙头迈为股份、光伏自动化标的罗博特科以及有望在组件叠瓦工艺取得突破的金辰股份、康跃科技和组件自动化龙头京山轻机。

图 77：光伏全产业链工艺及设备上市公司梳理



资料来源：wind 资讯、国海证券研究所

表 13：重点关注公司及盈利预测

重点公司 代码	股票 名称	2019-01-25 股价	EPS			PE			投资 评级
			2017	2018E	2019E	2017	2018E	2019E	
300724.SZ	捷佳伟创	32.7	1.06	0.95	1.16	30.85	34.42	28.19	买入
300751.SZ	迈为股份	162.1	3.36	3.19	3.89	48.24	50.82	41.67	增持
300757.SZ	罗博特科	63.62	1.45	1.69	1.74	43.88	37.64	36.56	增持
603185.SH	上机数控	52.84	2.0	2.36	2.92	26.42	22.39	18.1	增持
603396.SH	金辰股份	27.46	1.01	1.25	1.62	27.19	21.97	16.95	增持
000821.SZ	京山轻机	7.91	0.32	0.56	0.74	24.72	14.13	10.69	买入
002371.SZ	北方华创	45.75	0.27	0.38	0.56	169.44	120.39	81.7	增持
300316.SZ	晶盛机电	9.46	0.39	0.48	0.59	24.26	19.71	16.03	买入

资料来源：Wind 资讯，国海证券研究所

4.1、捷佳伟创：电池片设备龙头，引领高效电池技术迭代

光伏电池片设备龙头，订单充裕助力业绩增长。公司是光伏电池片设备市场龙头，主营产品包含电池片 8 大类设备中的 5 类，下游客户涵盖了阿特斯、天合集团、隆基股份等国内一线光伏电池片厂商。截至 2018 年三季度，公司预收账款达 14.86 亿元，较年初增加 24.87%；根据招股说明书，公司通常在产品验收

前预收 30%-60%的款项，假设预收账款占整体订单比重 40%，则公司目前在手订单或将超过 35 亿元，约是 2017 年营收体量的 3 倍。充裕且高质量的在手订单预计将对公司未来的业绩形成强力支撑。

行业层面：技术革新+政策预期修正，电池片设备需求饱满。 光伏电池片设备是指将硅片加工成为电池片的相关设备，处于光伏产业中硅片与电池片的中间环节。目前光伏电池片设备需求主要受两大因素驱动：一是技术发展带来的存量设备替换需求，包括存量设备性价比提升带来的更换需求以及技术升级带来的替代需求。二是政策预期修正带来的设备增量需求，能源局在 11 月 2 日召开座谈会后有望对光伏装机容量提出积极指引，将对设备公司订单形成利好。总体来看，在中性预期下，我们测算 2018-2020 年光伏电池片设备市场空间分别为 74、75、79 亿元。

公司层面：竞争优势稳固，海外布局成效明显。 公司目前主要产品的性能指标均居国内领先、国际先进水平，在电池片设备领域市占率预计超过 40%。公司的竞争对手主要体现在某单一细分产品上，包括中电科 48 所（红太阳）、北方华创等。从先进技术布局来看，公司目前订单均来自 MCCE 和 PERC 电池生产线，并且已针对多个代表未来 2-3 年高效电池技术的设备进行研发储备；光伏电池片设备在技术上具备良好的延展性，公司未来有望持续发挥先发优势。另一方面，公司紧贴国家“一带一路”倡议，海外市场开拓已取得明显成效，未来受益新兴光伏市场的发展，海外业务有望成为公司的业绩增长点。

维持公司“增持”评级。 基于审慎性原则，我们暂不考虑光伏行业政策预期的变化，预计公司 2018-2020 年净利润分别为 3.05 亿元、3.72 亿元、4.68 亿元，对应 EPS 分别为 0.95 元/股、1.16 元/股、1.46 元/股，按照最新收盘价计算，对应 PE 分别为 34、28、22 倍。我们认为公司作为国内光伏电池片设备龙头，未来业绩增长有望充分受益行业技术迭代以及海外市场崛起，短期内鉴于行业政策尚具备不确定性，继续维持公司“增持”评级。

风险提示： 光伏平价上网不及预期；光伏电池片技术迭代不及预期；海外市场拓展不及预期；光伏行业持续降低补贴的风险。

4.2、迈为股份：光伏电池片丝网印刷设备龙头，业绩有望持续增长

技术革新+政策预期修正，光伏电池片丝网印刷设备需求稳健。 光伏电池片丝网印刷设备属于光伏电池片设备的后道工序，包括硅片的印刷、烧结和测试分选等环节。目前光伏电池片丝网印刷设备需求主要受两大因素驱动：一是技术升级带来的存量设备替换需求；二是政策预期修正带来的设备增量需求，能源局在 11 月 2 日召开座谈会后有望对光伏装机容量提出积极指引，将对设备公司订单形成利好。2017 年光伏电池片丝网印刷成套设备（含丝印、烧结、分选等）增量市场空间约 16 亿元，在两大因素的驱动下，预计未来需求有望持续稳健增长。

光伏电池片丝网印刷设备龙头，市占率提升迅速。 公司下游客户包括江西展宇、

天合光能、晶科能源、阿特斯、隆基乐叶等国内一线厂商；2017 年公司实现光伏电池片丝网印刷成套设备订单约 11 亿元，占增量市场份额为 72.62%，市占率较 2015 年提升 46.59 个百分点。公司的竞争对手相对较少，主要包括 AMAT 子公司 Baccini 以及东莞科隆威；目前公司丝印设备处于第四代 FDL 技术，其双轨印刷机的产能达 5500 片/小时，而 Baccini 同类产品的性能为 5000 片/小时，公司产品性能已优于后者，但价格低 10%-20%，性价比优势明显。在这一背景下，公司产品价格持续上涨，其双头双轨丝网印刷成套设备自 2016 年推出后，2017、2018 年 1-6 月价格分别同比上涨 6.54%、6.22%，充分彰显竞争优势。

在手订单充裕，募投项目落地助力业绩增长。公司 2018 年前三季度实现收入 3.57 亿元，同比增长 58.26%，实现归母净利润 1.41 亿元，同比增长 31.26%，盈利能力下滑主要系下游客户集中采购占比增加以及客户要求成套设备中配置外购烧结炉的比例提升。从订单情况来看，截至 2018 年 6 月底公司在手订单约 22 亿元（不含税），预收账款约 8 亿元，充裕且高质量的在手订单预计将对公司未来的业绩形成强力支撑。另一方面，公司 2016 年、2017 年、2018 年 1-6 月产能利用率分别为 104.63%、98.41%、101.08%，随着公司“年产双头双轨、单头单轨太阳能电池丝网印刷线各 50 条”的募投项目落地，公司业绩有望持续增长。

给予公司“增持”评级。预计公司 2018-2020 年净利润分别为 1.66 亿元、2.02 亿元、2.46 亿元，对应 EPS 分别为 3.19 元/股、3.89 元/股、4.72 元/股，按照最新收盘价计算，对应 PE 分别为 51、42、35 倍。我们认为公司作为光伏电池片丝网印刷设备龙头龙头，未来业绩增长有望充分受益行业技术迭代以及海外市场崛起，给予公司“持”评级。

风险提示：光伏平价上网不及预期；光伏电池片丝网印刷设备龙头迭代不及预期；盈利能力持续下滑；光伏行业持续降低补贴的风险。

4.3、罗博特科：光伏电池自动化设备龙头，期待 2019 年业绩放量

平价上网政策正式公布，光伏自动化设备充分受益。2019 年 1 月 9 日，国家发改委、国家能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》。我们认为，在平价上网政策的驱动下，一方面增量的平价上网项目将对设备需求形成提振；另一方面为尽快实现平价上网，设备技术迭代将不断提速，龙头设备企业凭借先发优势有望持续提升市场份额。光伏电池自动化设备主要用于配套电池片工艺设备，从而提高电池片生产过程的自动化、智能化水平，实现减少人工，提高生产效率的目的。目前国内光伏设备成套生产线自动化程度仍然较低，国内光伏生产企业的自动化渗透率有望持续提升，从而利好光伏自动化设备需求。

在手订单超过 5 亿元，盈利能力有望提升。公司是国内光伏电池的高性能自动化设备提供商，是少数能提供整厂智能化系统的高新技术企业，竞争对手包括捷

佳伟创、无锡先导等。公司在光伏电池领域拥有稳固客户群，并向汽车精密零部件、电子半导体等其他领域延伸，2018年6月底光伏电池自动化设备在手订单超过5亿元；其他领域自动化设备订单超过1.42亿元。在业绩方面，公司2018年前三季度实现营业收入5.17亿元，同比增长92.14%，实现归母净利润0.64亿元，同比增长31.54%。公司净利润增速低于营收增速的主要原因是2018年上半年新增整厂智能化系统业务，该业务相比于单台套自动化设备更为复杂，且首次开展业务导致耗用相对较大，对应毛利率仅为9.83%。随着公司项目经验丰富和成本管控不断加强，预计该项业务未来毛利率水平有望增加。

智能工厂布局成效明显，募投项目助力业绩持续增长。根据通威智能制造示范项目资料显示，公司为通威定制的工业4.0高效电池生产线与传统电池生产线相比，在同等产能情况下能够减少用工40%，降低能源消耗30%，提升生产效率25%。同时，公司为爱旭研发的世界首个电池片智能工厂已于2018年上半年投产验收，此项智能化方案预计将使得爱旭用工和消耗进一步下降，从而助推生产效率提升。目前整厂智能化系统业务已成为公司重点布局的方向之一，2018年上半年贡献收入1.44亿元，有望成为公司未来业绩增长的亮点。另一方面，公司于2019年1月8日成功在创业板上市，募集资金将进一步用于工业4.0智能装备的研发和生产，随着募投项目的持续落地，预计公司的业绩将持续攀升。

维持公司“增持”评级。考虑到2018年“5.31”补贴政策的影响，结合PERC电池片产能投资节奏分析，我们预计公司2018年四季度收入确认进度较往年慢；同时，考虑到“11.2”能源局会议的政策托底影响，预计2019年收入确认节奏将有所恢复。预计公司2018-2020年实现归母净利润1.01、1.39、1.76亿元，对应EPS为1.69元/股、1.74元/股、2.20元/股，按照最新收盘价对应PE为38、37、30倍。公司在光伏智能化设备领域已建立一定的竞争优势，整厂智能化系统的进一步开发以及其他业务板块的良好协同预计将助力业绩持续高增长，维持“增持”评级。

风险提示：光伏行业补贴出现大幅下调；光伏产业政策变化风险；募投项目进展不及预期；客户集中度较高风险；市场竞争加剧风险。

4.4、金辰股份：政策助推+技术迭代，组件设备龙头蓄势待发

平价上网政策正式公布，光伏设备充分受益。2019年1月9日，国家发改委、国家能源局发布《关于积极推进风电、光伏发电无补贴平价上网有关工作的通知》，平价上网政策正式出台。认为，在平价上网政策的驱动下，一方面增量的平价上网项目将对设备需求形成提振；另一方面为加速行业平价上网，设备技术迭代将不断提速，龙头设备企业凭借先发优势有望持续提升市场份额。从组件环节来看，根据对国内前十大组件厂商已公告项目建设计划的统计，合计在建产能超过28GW，在行业政策预期不断修正的背景下，未来组件设备需求有望持续增长。

组件技术迭代持续升级，叠瓦有望成为主流。伴随硅片、电池片环节技术更迭的层出不穷，组件端新的技术革命也正蓄势待发，双玻技术、MBB多主栅技术、

半片技术、MWT 技术、叠瓦技术的加速涌现，标志着组件技术迭代将持续升级。组件技术升级的关键在于如何降低组件成本，而组件成本主要由电池片价格和封装成本决定；根据 PVInfolink 每周统计的供应链价格来看，多晶电池和单晶电池 2018 年价格降幅分别为 37%和 42%，电池片降价对组件成本的边际影响正逐步弱化，提升封装效率将成为未来光伏组件降低成本的重要渠道。叠瓦组件比常规组件封装模式平均多封装 13%的电池片，可提高组件 20-30W 的功率，能够显著降低组件成本，预计未来有望逐步成为主流。

光伏组件自动化设备龙头，业务布局不断完善。公司是光伏组件自动化生产线成套装备的龙头企业，2018 年在手订单超过 10 亿，与前十大组件厂商均保持高度合作。2018 年受光伏行业周期性因素影响，公司毛利率有所波动，但目前情况已逐步缓解，2018 年单三季度产品毛利率回升至 40%以上，在行业内处于上游水平。2018 年 12 月，公司投资 2 亿元成立子公司映真南通，对业务结构进行完善；截至目前公司已设立 13 家子公司，各子公司经营业务分工不同，为公司提供多元化的组件设备产品奠定基础。此外，公司高度重视技术研发，2018 年前三季度公司研发费用为 3596.30 万元，占营收比重为 6.7%；未来随着以叠瓦技术为代表的组件技术持续迭代，公司凭借研发优势有望进一步巩固龙头地位。

维持公司“增持”评级。考虑到短期内 531 新政后光伏行业降补将成为大趋势，对年初的盈利预测进行下调，预计公司 2018-2020 年净利润分别为 0.94 亿元、1.22 亿元、1.65 亿元，对应 EPS 分别为 1.25 元/股、1.62 元/股、2.19 元/股，按照最新收盘价计算，对应 PE 分别为 22、17、12 倍。从公司层面来看，作为组件自动化设备龙头，未来有望充分受益组件技术迭代，继续维持公司“增持”评级。

风险提示：下游客户回款困难；光伏行业补贴出现大幅下调；叠瓦技术落地不及预期，公司新产品拓展不及预期。

5、风险提示

- 1) 光伏平价上网不及预期;
- 2) 光伏电池片及组件技术迭代不及预期;
- 3) 推荐标的业务发展不及预期;
- 4) 相关政策执行的不确定性风险。

【机械组介绍】

冯胜，硕士毕业于南开大学世界经济专业，本科毕业于南京航空航天大学飞行器制造工程专业；现任研究所机械组组长，3年机械行业实业工作经验，5年证券公司机械行业研究经验；重点覆盖工程机械、工业机器人及自动化、油服装备、通用设备、专用设备、通用航空等领域。

王可，中南财经政法大学经济学硕士，2017年7月加入国海证券研究所，重点覆盖通用设备、光伏设备、人工智能及工业自动化、工业互联网、半导体设备、3C设备、激光设备等领域。

郑雅梦，南京航空航天大学管理科学与工程硕士，2018年6月加入国海证券研究所，重点覆盖油服装备、轨道交通、口腔数字化设备、服务机器人、板式家具机械、纺织服装机械等领域。

【分析师承诺】

冯胜，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告清晰地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

【国海证券投资评级标准】

行业投资评级

推荐：行业基本面向好，行业指数领先沪深300指数；

中性：行业基本面稳定，行业指数跟随沪深300指数；

回避：行业基本面向淡，行业指数落后沪深300指数。

股票投资评级

买入：相对沪深300指数涨幅20%以上；

增持：相对沪深300指数涨幅介于10%~20%之间；

中性：相对沪深300指数涨幅介于-10%~10%之间；

卖出：相对沪深300指数跌幅10%以上。

【免责声明】

本报告仅供国海证券股份有限公司（简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。客户应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐等只是研究观点的简要沟通，需以本公司的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。

本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于公开资料及合法获得的相关内部外部报告资料，本公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证其中的信息已做最新变更，也不保证相关的建议不会发生任何变更。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。报告中的内容和意见仅供参考，在任何情况下，本报告中所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价和征价。本公司及其本公司员工对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失概不负责。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等服务。本公司在知晓范围内依法合规地履行披露义务。

【风险提示】

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向本公司或其他专业人士咨询并谨慎决策。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议。

任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

【郑重声明】

本报告版权归国海证券所有。未经本公司的明确书面特别授权或协议约定，除法律规定的情况外，任何人不得对本报告的任何内容进行发布、复制、编辑、改编、转载、播放、展示或以其他方式非法使用本报告的部分或者全部内容，否则均构成对本公司版权的侵害，本公司有权依法追究其法律责任。

【合规声明】