

2018 年 12 月 27 日

公司研究

评级：买入（上调）

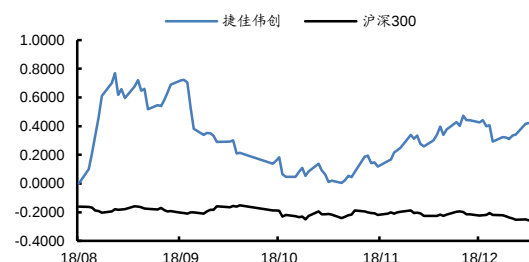
研究所

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

光伏电池片技术将如何衍化？

——捷佳伟创（300724）深度报告二

最近一年走势



相对沪深 300 表现

表现	1M	3M	12M
捷佳伟创	13.0	10.1	42.2
沪深 300	-3.9	-11.7	-25.6

市场数据 2018-12-27

当前价格（元）	28.24
52 周价格区间（元）	16.99-37.77
总市值（百万）	9036.80
流通市值（百万）	2259.20
总股本（万股）	32000.00
流通股（万股）	8000.00
日均成交额（百万）	390.74
近一月换手（%）	147.52

相关报告

《捷佳伟创（300724）深度报告：电池片设备龙头，引领高效电池技术迭代》——2018-11-16
 《捷佳伟创（300724）动态研究：国内光伏电池片设备龙头，业绩有望持续增长》——2018-09-23

投资要点：

■ 前言：我们在深度报告一中系统阐述了捷佳伟创的主营业务、财务状况、市场空间以及行业竞争格局，同时自上而下梳理了电池片设备的行业逻辑，核心结论是：在技术快速迭代背景下电池片设备行业机会凸显，捷佳伟创作为行业龙头将充分受益。在深度报告二中，我们将从光伏发电的原理谈起，对电池片技术和工艺进行系统分析，自下而上地发掘我们的推荐逻辑。

■ 本篇报告的核心结论：目前电池片技术的迭代方向呈现出两条主线：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，这类技术的优势是能够实现与原有产线的良好兼容，“小步快跑”地实现降本增效。二是可能对 PERC 工艺进行颠覆的 HIT 电池，我们称之为“3.0 代”技术，这类技术的优势是光电转换效率较此前有大幅度提升，但经济性还有待商榷；随着电池片厂和设备供应商的持续研发和投入，HIT 具备良好的国产化前景。而捷佳伟创在上述两种技术路线衍化中均将扮演领头羊的角色，这是一场数百亿市场规模的“饕餮盛宴”的开始……

■ 光伏发电原理：从原子结构谈起。光伏发电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，通过对其原理进行分析，我们得出两个结论：①提高光电转换效率的途径有两个：降低光损失以及减少少数载流子（简称“少子”）的复合。其中降低光损失的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；减少少数载流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。②N 型电池在转换效率上优于 P 型，但是工艺较为复杂。

■ 常规铝背场电池工艺及设备分析。铝背场电池工艺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，减少少子在背面复合的概率，提高光电转换效率。常规铝背场电池具备 7 道工艺，对应 8 类设备，其设备需求在中性预期下对应 2018-2020 年市场空间分别为 58、60、63 亿元。目前捷佳伟创在前道工艺设备（制绒清洗设备、扩散炉、刻蚀设备、PECVD）中市占率为 40%-50%；迈为股份在后道工艺设备（丝印机、烧结炉、分选机）的市占率超过 70%。

■ PERC 电池工艺及设备分析。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，其在工艺上能够与常规铝背场电池生产线实现良好兼容，在设备上仅需新增背面钝化叠层沉积设备和激光开槽设备。竞争格局方面，目前市场主流的钝化叠层沉积设备是板式 PECVD 和管式 ALD 产品，但从长期来看，管式氧化铝 PECVD 设备具备较为明显的优势，目前捷佳伟创自主研发的国产管式氧化铝 PECVD 设备正处于工艺验证阶段，预计市场份额将持续提升。激光开槽设备方面，国内的供应商主要是大族激光、帝尔激光以及迈为股份。此外，我们还对 PERC 工艺的改进方向及设备需求进行了详尽的分析，这些方向分别是：SE、MWT、双面 PERC、PERL、N-PERT、TOPCon 等。

- **异质结电池工艺及设备分析：**异质结电池（HIT）的核心是隔绝了金属电极与晶体硅基底之间的直接接触，从而使得少子复合损失进一步降低，提高光伏电池的转换效率。HIT 电池的制备经过 5 道工序：制绒清洗、非晶硅沉积、透明导电膜制备、丝网印刷以及测试，2018 年预计国内 HIT 电池产能约为 886MW，同时通威于 2018 年 5 月宣布计划五年后实现超过 10GW 的 HIT 规模化产能。从设备端来看，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；非晶硅沉积设备主要以进口设备为主；透明导电膜沉积设备方面，日本住友重工对 RPD 设备的垄断程度较为明显，但是其他厂商基于 PVD 技术的研发正持续推进。另一方面，IBC（交叉背接触）技术可以运用在 HIT 电池上，形成 HBC 电池。
- **上调公司至买入评级。**在光伏行业持续降补贴的大背景下，加速工艺和设备的升级将成为行业竞争的主旋律。基于此，我们认为光伏设备企业有望在平价上网前迎来一波崛起良机。从具体设备上来看，清洗刻蚀设备、扩散设备、镀膜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，公司已经在基础工艺设备领域具备了明显的先发优势，未来有望持续引领行业技术发展。考虑到光伏电池片技术不断迭代的背景下公司有望持续推出新产品，从而对业绩形成提振，因此上调盈利预测；预计公司 2018~2020 年净利润分别为 3.05 亿元、4.31 亿元、5.70 亿元，对应 EPS 分别为 0.95 元/股、1.35 元/股、1.78 元/股，按照最新收盘价计算，对应 PE 分别为 30、21、16 倍。
- **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；光伏行业补贴出现大幅下调；公司与爱旭业务不完全相同，相关分析仅供参考；公司新品推广不及预期。

公司盈利预测情况

预测指标	2017	2018E	2019E	2020E
主营收入（百万元）	1243	1483	2125	2806
增长率(%)	50%	19%	43%	32%
净利润（百万元）	254	305	431	570
增长率(%)	116%	20%	41%	32%
摊薄每股收益（元）	1.06	0.95	1.35	1.78
ROE(%)	27.21%	25.91%	28.29%	28.80%

资料来源：Wind 资讯、国海证券研究所

内容目录

1、光伏发电原理：从原子结构开始谈起.....	6
1.1、何谓“光伏”？.....	6
1.2、光伏如何发电？.....	6
1.3、基于原理下的两点分析.....	9
2、铝背场电池片工艺设备及市场格局分析.....	10
2.1、铝背场电池工艺介绍.....	10
2.2、铝背场电池片设备及市场竞争格局分析.....	11
3、PERC 电池片工艺设备及市场格局分析.....	13
3.1、PERC 电池工艺介绍.....	13
3.2、PERC 电池设备及市场竞争格局分析.....	15
3.3、PERC 改进方向：SE、MWT、双面 PERC、PERL、TOPCon.....	17
4、异质结电池工艺设备及市场格局分析.....	27
4.1、HIT 电池工艺设备及市场分析.....	27
4.2、IBC/HIBC 电池工艺设备及市场分析.....	30
5、结语：技术迭代对企业竞争格局的影响.....	33
5.1、光伏电池片技术具有清晰的成长路径.....	33
5.2、以爱旭为例：技术迭代对下游市场的影响.....	34
6、上调公司至买入评级.....	36
7、风险提示.....	37

图表目录

图 1: 光生伏特效应的基本原理	6
图 2: 本征半导体的结构图	7
图 3: 价电子受激发后形成自由电子和空穴	7
图 4: N 型半导体与 P 型半导体	7
图 5: 图说 P-N 结的构成	8
图 6: 图说光生伏特效应	8
图 7: 铝背场光伏电池片主要工艺	10
图 8: 常规铝背场电池结构	11
图 9: 常规铝背场光伏电池片设备分类	12
图 10: PERC 电池内部结构	13
图 11: PERC 电池降低背面符合	13
图 12: PERC 电池提高内表面反射	13
图 13: PERC 电池片主要制造工艺	14
图 14: PERC 电池片设备分类	15
图 15: 铝背场电池中的发射极、基极、电极	17
图 16: SE 电池和传统电池结构对比	18
图 17: 激光掺杂选择性发射极 PERC 电池生产工艺流程	18
图 18: 常规 MWT 电池截面和正面结构	19
图 19: P 型硅基 MWT 电池基本工艺流程	20
图 20: MWT 在组件工艺上的改进	20
图 21: MWT 太阳能电池专利申请	21
图 22: 南京日托 MWT 产品技术路线	21
图 23: 双面 PERC 电池的结构与优势	21
图 24: 双面 PERC 电池工艺	21
图 25: PERL 电池基本结构	22
图 26: N-PERT 和 P-PERC 电池结构对比	23
图 27: N-PERT 和 P-PERC 工艺对比	23
图 28: TOPCon 电池基本结构 (N 型)	24
图 29: N 型单晶双面 TOPCon 电池生产工艺	25
图 30: PERC 工艺的改进方向及设备需求	26
图 31: N 型 HIT 电池	27
图 32: HIT 结构对应工艺流程	29
图 33: HIT 工艺流程及相关设备	29
图 34: 国外 HIT 电池产业现状	29
图 35: 国内 7 家 HIT 电池厂商 2018 年产量	29
图 36: IBC 电池实物的正背面	30
图 37: IBC 电池截面结构	30
图 38: IBC 电池的制备工艺流程	31
图 39: HBC 升级模式图	31
图 40: 单晶硅太阳能电池成长实验室和产业化水平	33
图 41: 爱旭太阳能股权结构图	34
图 42: 爱旭太阳能发展历程	34
图 43: 2016 年我国光伏电池片企业产能占比	35
图 44: 2017 年我国光伏电池片企业产能占比	35

图 45: 2017 年全球光伏电池片出货排名	35
图 46: 2018 年上半年全球光伏电池片出货排名	35
图 47: 光伏电池片的基础工艺具备相通性.....	36
表 1: PERC 工艺中镀氧化铝的厚度与少子的寿命关系	9
表 2: 铝背场电池片主要市场参与者	12
表 3: 四种 PERC 背面镀膜设备对比	16
表 4: PERC 电池工艺路线发展	17
表 5: HIT 工艺中非晶硅沉积设备对比	28
表 6: IBC 电池技术的研究进展	32
表 7: 公司盈利预测情况	37
表 8: 捷佳伟创盈利预测表	38

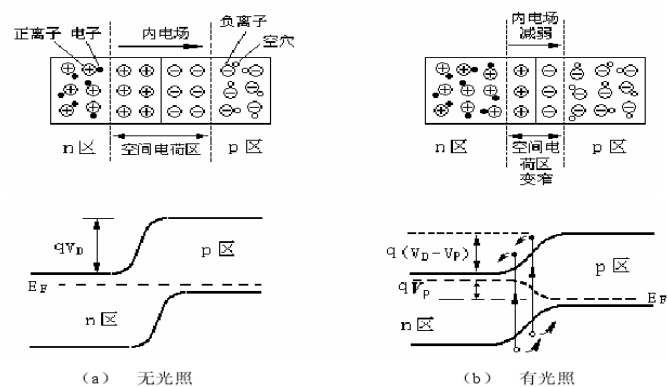
1、光伏发电原理：从原子结构开始谈起

1.1、何谓“光伏”？

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。

学术界对光生伏特效应的定义是：当太阳光照射在 P-N 结上时，具有足够能量的光子能够在 P 型硅和 N 型硅中将电子从共价键中激发，一直产生电子-空穴对，界面层附近的电子空穴在复合之前，将通过空间电荷的电场被相互分离，通过界面层的电荷分离，将会使 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，上述效应即为光生伏特效应。

图 1：光生伏特效应的基本原理



图中 $\oplus$ 代表失去一个电子而带正电的施主离子， $\circ$ 代表空穴

$\ominus$ 代表得到一个电子而带负电的受主离子， $\bullet$ 代表电子

资料来源：《单晶硅太阳能电池扩散工艺、背面刻蚀及铝背场工艺研究》、国海证券研究所

鉴于光生伏特效应的理解对于光伏生产工艺、光伏设备的演进具有重要的意义，如 P 型电池与 N 型的电池如何区分？光伏电池光电转换效率如何提升？我们将从光伏电池的原子结构入手，采用平实的语言对光伏发电的原理进行阐述。

1.2、光伏如何发电？

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 2：本征半导体的结构图

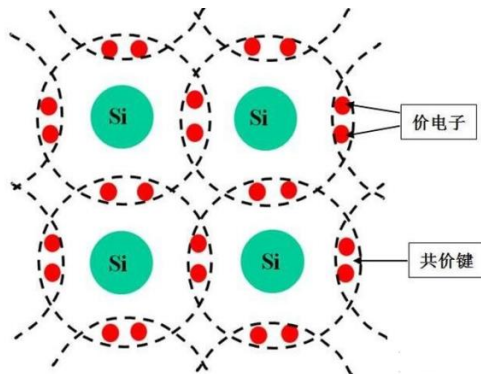
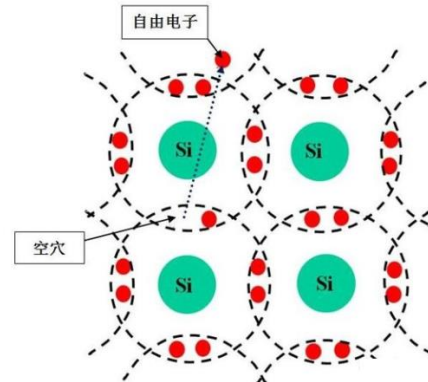


图 3：价电子受激发后形成自由电子和空穴



资料来源：OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所

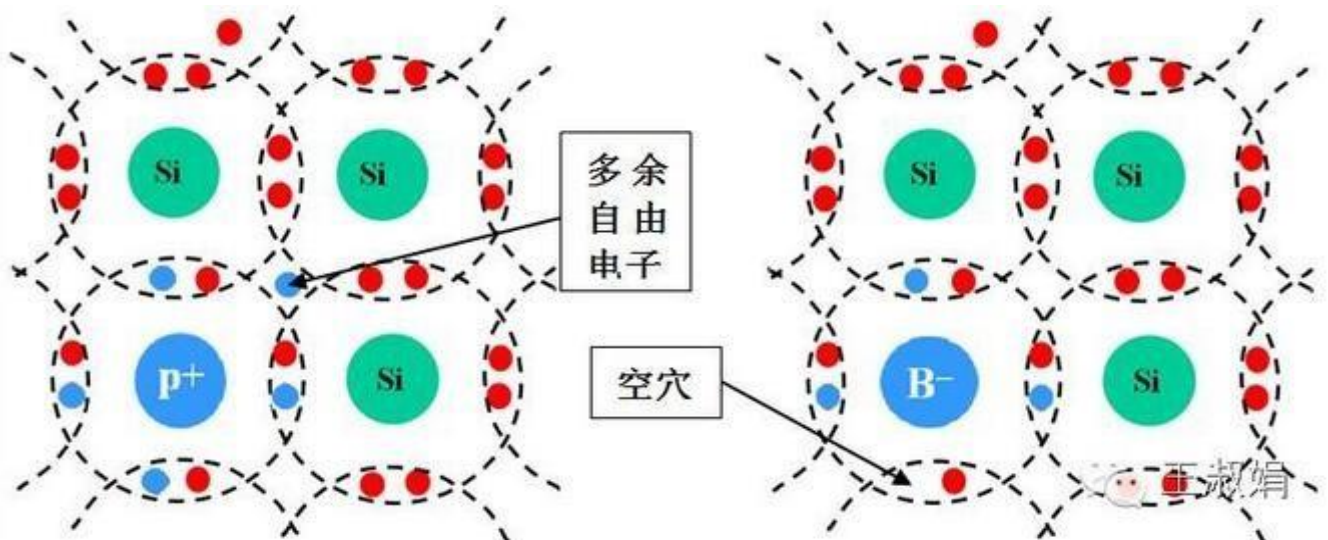
资料来源：OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所

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 4：N 型半导体与 P 型半导体

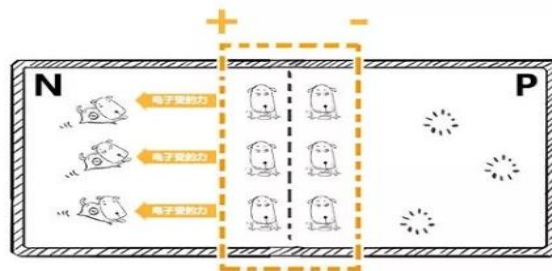


资料来源：OFweek 太阳能光伏网、国海证券研究所 注：左侧为 P 型，右侧为 N 型

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 5：图说 P-N 结的构成

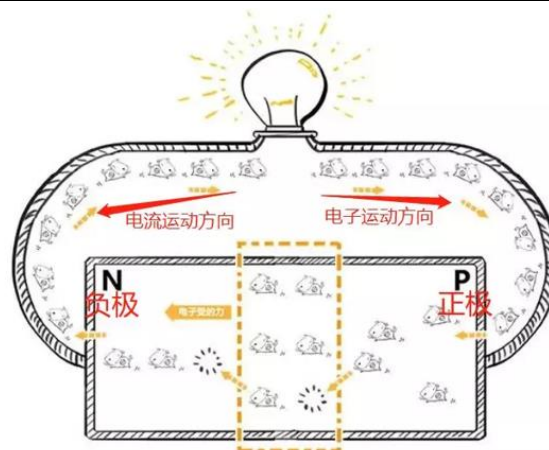


没错，中间这部分好比一个结界，所以也叫**PN结**。
而电池在不工作时，就稳定在这种状态。

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 6：图说光生伏特效应



资料来源：SolarZoom、国海证券研究所

1.3、基于原理下的两点分析

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 1: 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。因为磷与硅相溶性差，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。

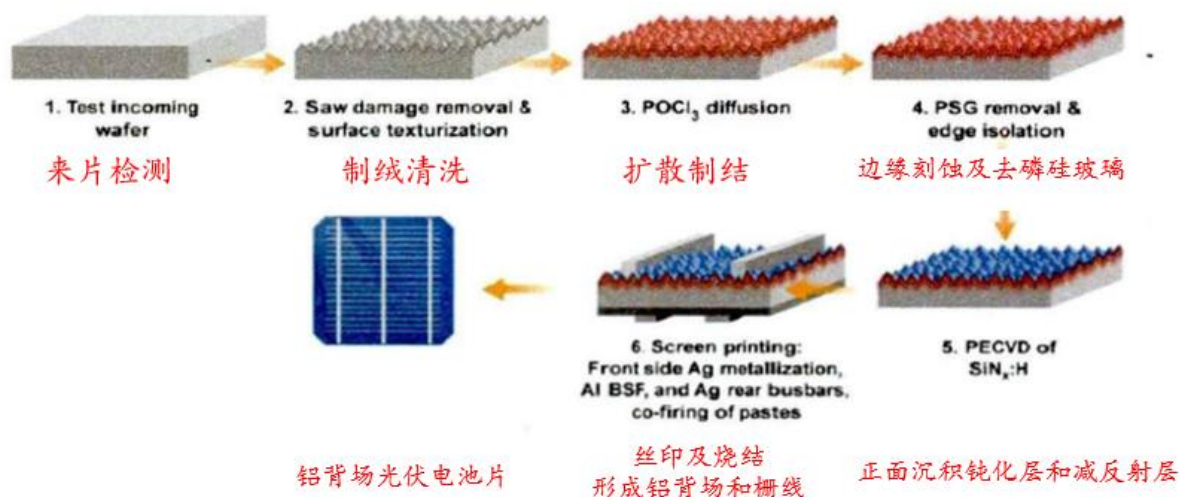
2、铝背场电池片工艺设备及市场格局分析

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 7：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，这会对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 CF_4 等离子刻蚀发将其刻

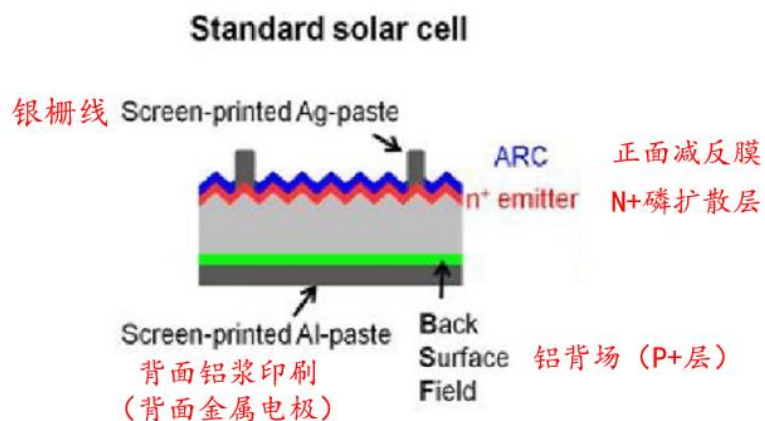
蚀掉。而硅的正表面高浓度的磷会与硅原子形成一层磷硅玻璃（PSG）需要采用氢氟酸和硝酸来除去。

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 8：常规铝背场电池结构

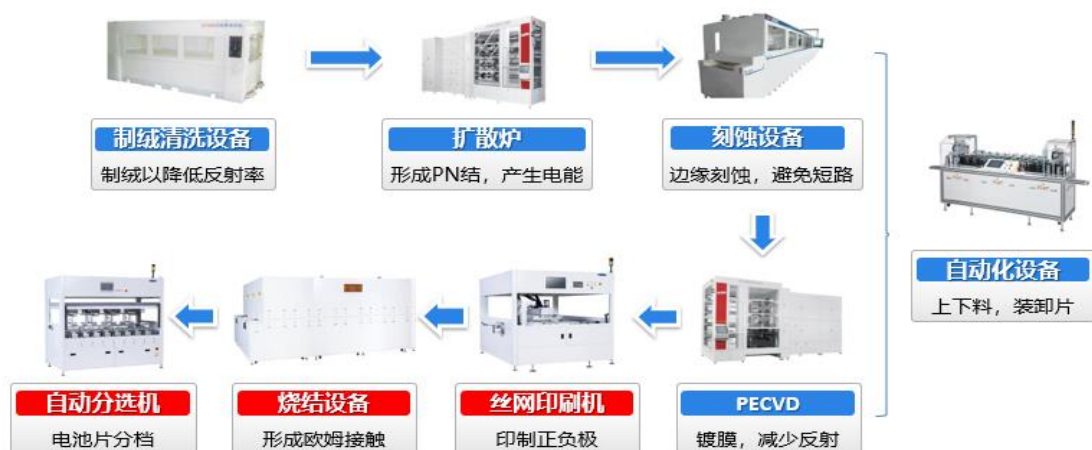


资料来源：ISFH、国海证券研究所

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 9：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 2：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	Tempres 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）、 Tempres 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

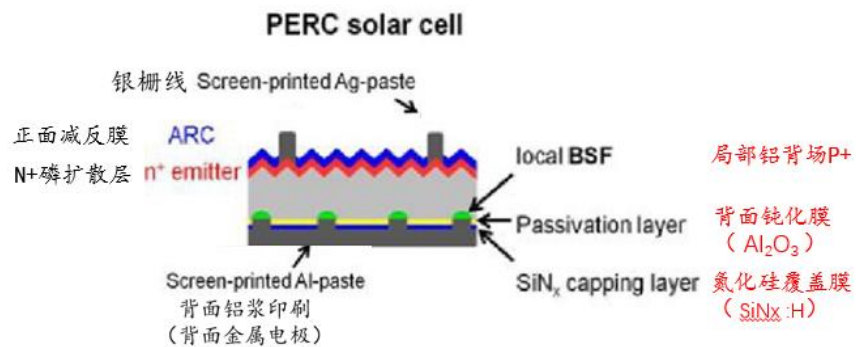
3、PERC 电池片工艺设备及市场格局分析

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）。

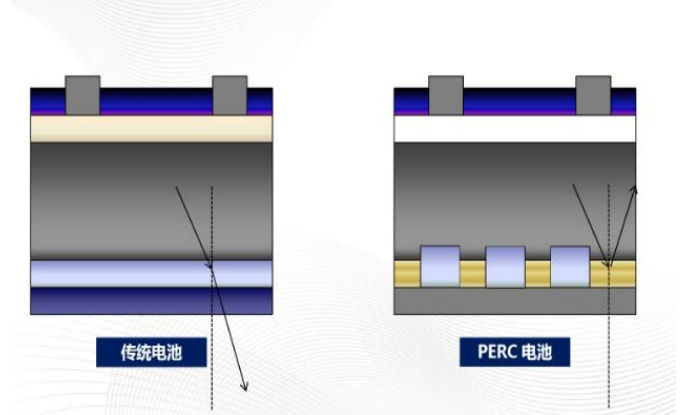
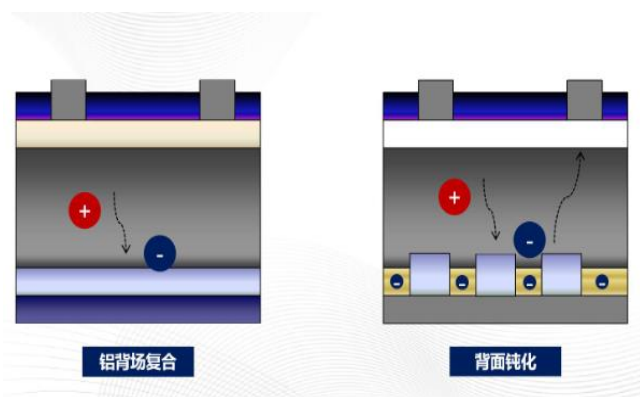
图 10：PERC 电池内部结构



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 11：PERC 电池降低背面符合

图 12：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

资料来源：《PERC 电池技术发展论坛》、国海证券研究所

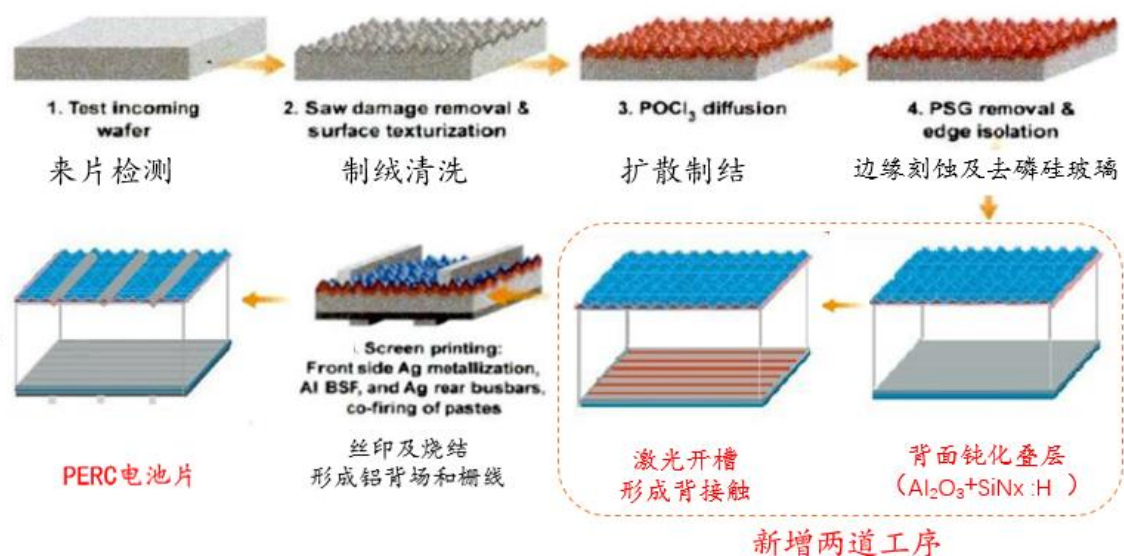
从工艺上来看, PERC 的制作流程主要为: ①清洗制线、②扩散制结、③边缘刻蚀和去磷硅玻璃、④背面沉积 Al_2O_3 、⑤双面沉积 SiNx:H 、⑥背接触、⑦丝网印刷、⑧烧结、⑨分选。其中①-③、⑦-⑨道工艺与常规铝背场工艺相同, 可参照 2.1 节中的表述, ④-⑥为 PERC 相对于铝背场电池的增量工艺。仅通过对常规铝背场电池生产线进行工艺流程的添加和改造便能得到 PERC 生产线, 这也是目前 PERC 能够大规模应用的重要原因。

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(Si_3N_4)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, 所以需要对 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 13: PERC 电池片主要制造工艺

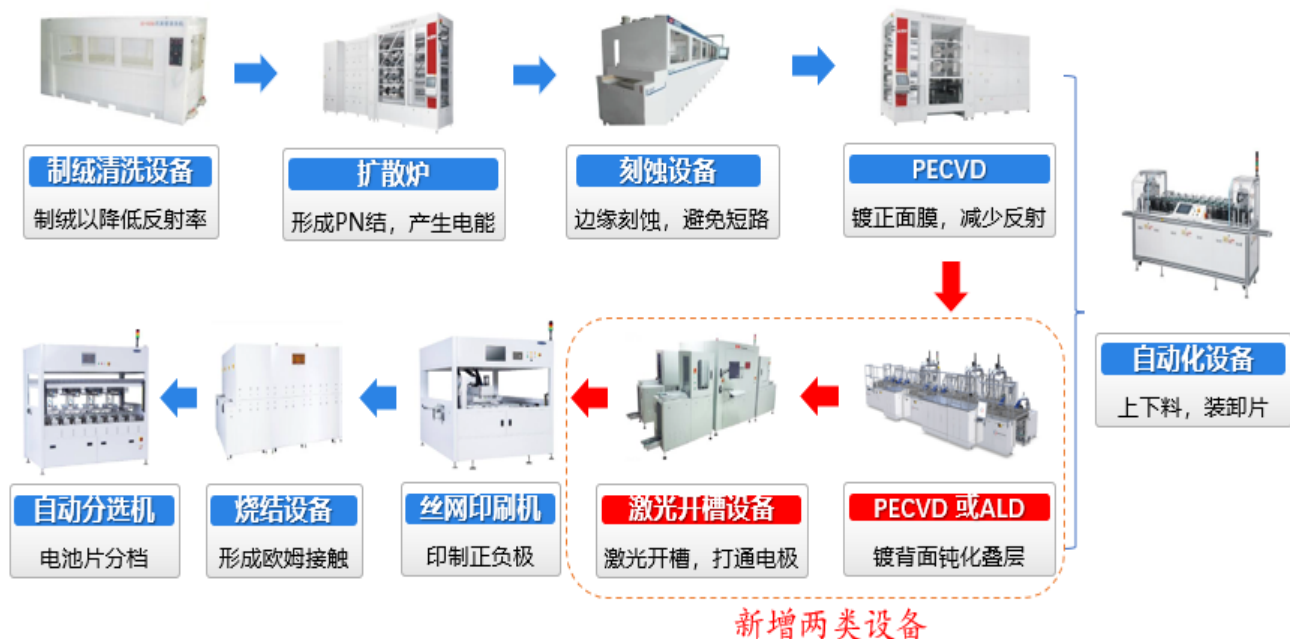


资料来源：索比光伏网、国海证券研究所

3.2、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 14: 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 $\text{SiNx}:\text{H}$ 两层膜，其中镀 $\text{SiNx}:\text{H}$ 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 3：四种 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、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 4: PERC 电池工艺路线发展

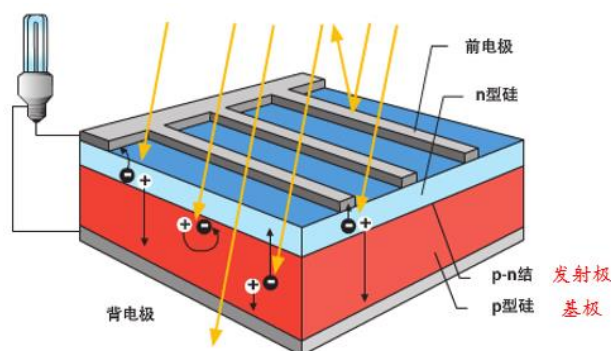
工艺路线	第一代	第二代	第三代
选择发射极 (SE)	no	no	yes
背面抛光	2 μm (常规 PSG)	3 μm	3 μm
氧化	O_3	退火氧化	退火氧化
氧化铝	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm	ALD 5-6nm PECVD 15-20nm
氮化硅	PECVD 80-150nm	PECVD 80-150nm	PECVD 80-150nm
二次印刷	YES	YES	YES
转换效率	21.4%	21.7%	22%

资料来源: 索比光伏网、国海证券研究所

3.3.1、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极, 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 15: 铝背场电池中的发射极、基极、电极

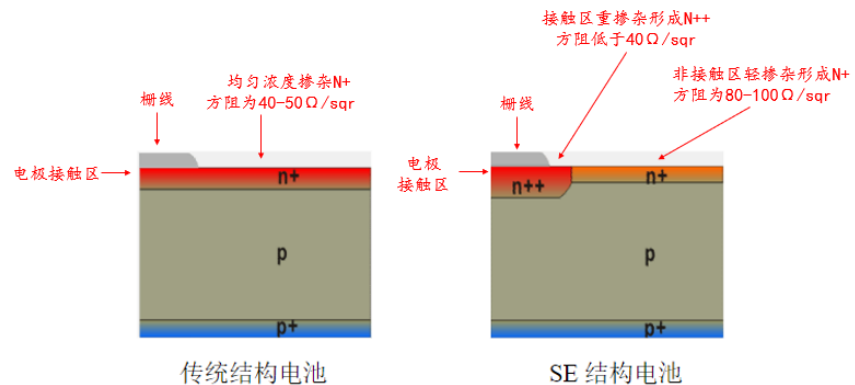


资料来源: 《Photovoltaics International》、国海证券研究所

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）。

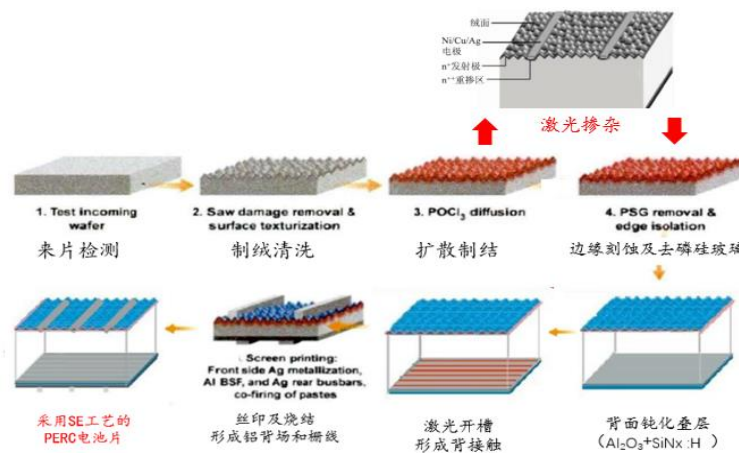
图 16：SE 电池和传统电池结构对比



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 17：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

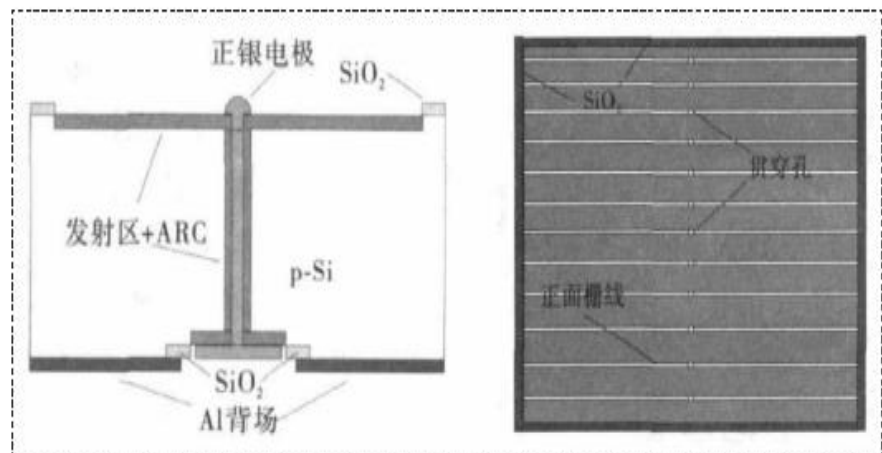
从设备端来看，运用激光 PSG 掺杂只需新增掺杂用激光设备。通常一条产线配备一台激光掺杂设备即可，根据湖南红太阳在招标网上的资料，一台激光掺杂设备价格约为 400 万元。

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。

3.3.2、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 18：常规 MWT 电池截面和正面结构



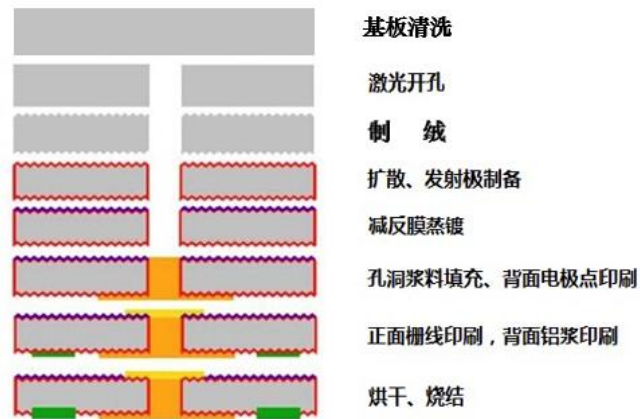
资料来源：《MWT 太阳能电池专利技术现况分析》、国海证券研究所

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%。

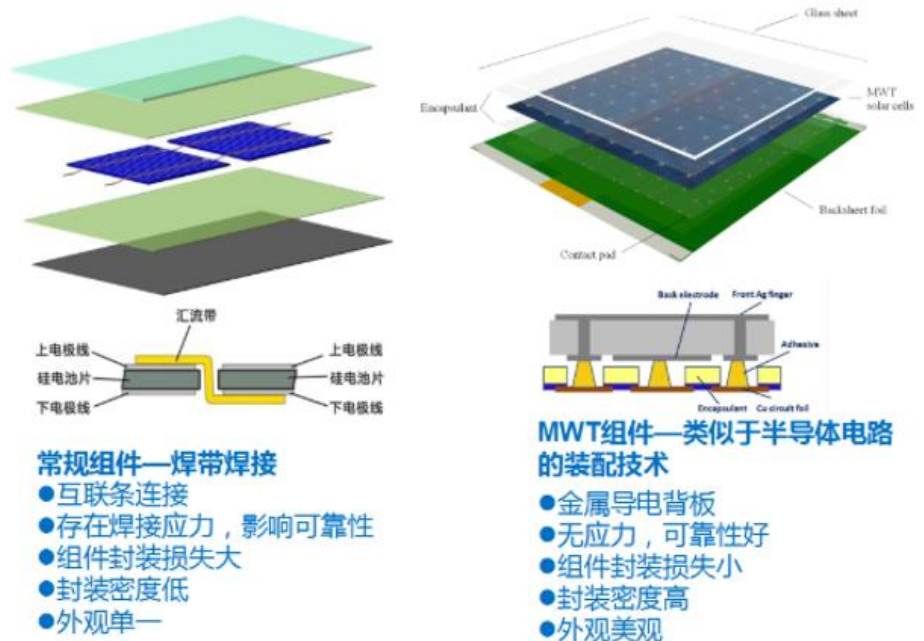
图 19: P 型硅基 MWT 电池基本工艺流程



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%。

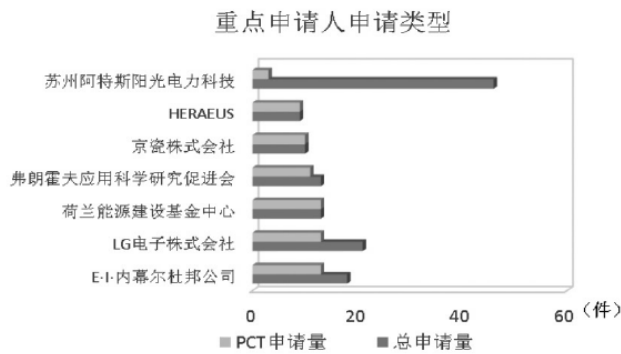
图 20: MWT 在组件工艺上的改进



资料来源：solarzoom、国海证券研究所

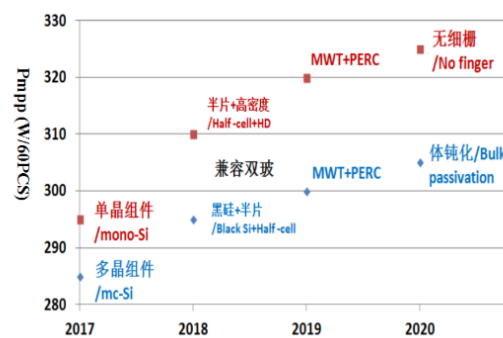
从竞争格局来看，目前全球 MWT 申请专利数最多的是阿特斯，但其 PCT 专利申请较少。从国内的厂商来看，阿特斯、天威新能源、晶澳和南京日托等公司都宣称已经能够实现 MWT 电池量产。

图 21: 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况分析》、国海证券研究所

图 22: 南京日托 MWT 产品技术路线



资料来源: solarzoom、国海证券研究所

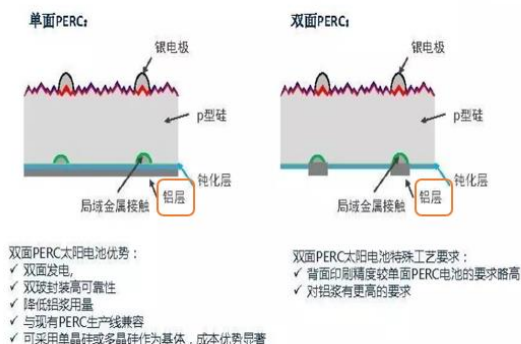
从设备端来看,对于 MWT 电池制造而言,在硅片、铜箔和封装材料中做精准打孔是工艺的关键,因此选择稳定性最佳、功率调整恰如其分的激光器是做好 MWT 电池的基础。目前像帝尔激光已经推出了其 MWT 的激光打孔产品。其次, MWT 组件电池的封装设备能够有效提升组件质量,南京日托目前已经推出了全自动化与智能化的前道组件封装线,捷佳伟创的背接触电池铺设机及背接触电池组件自动封装线也已处于预研阶段。

3.3.3、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。

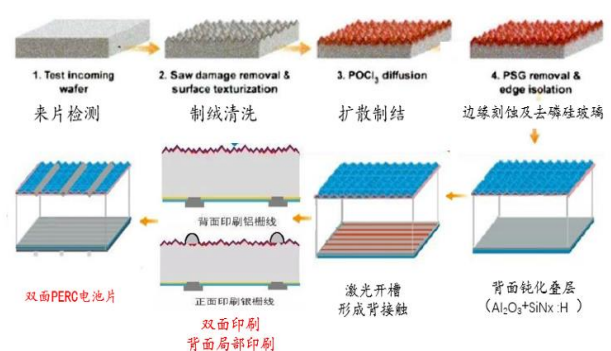
从工艺上来看,双面 PERC 电池仅在丝网印刷环节进行工艺调整,将原有的铝背场印刷(全面印刷,不透光,)改为印刷铝栅线(局部印刷,透光)。在工艺上能够实现与 PERC 电池的良好兼容。

图 23: 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 24: 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。

3.3.4、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 Al_2O_3 和 SiNx:H ）的太阳能电池。

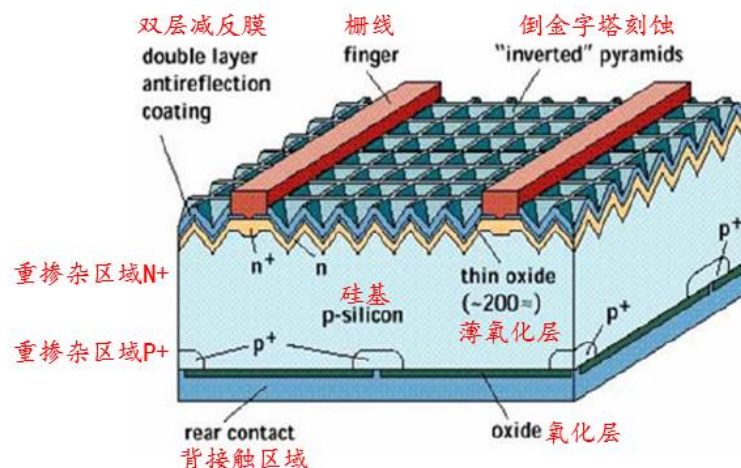
①PESC 电池是 PERC 电池的前身。其含义是 Passivated Emitter Solar Cell，即仅对正面发射极进行钝化，早期的 PESC 电池采用 SiO_2 进行正表面钝化，能够减少正表面的少子复合，从而提高转换效率。因此常规的铝背场电池（采用 SiNx 进行正面钝化）其实就是一种 PESC 电池。

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 BBr_3 （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 25：PERL 电池基本结构



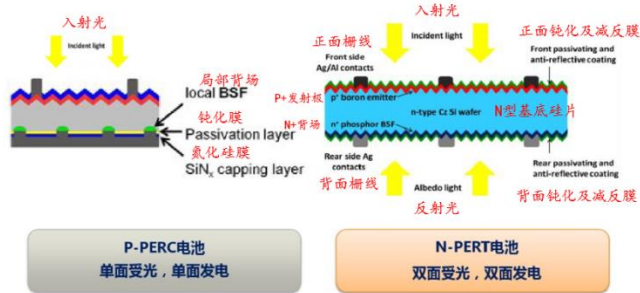
资料来源：《太阳能电池扩散工艺、背面刻蚀及铝背场工艺的研究》国海证券研究所

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。

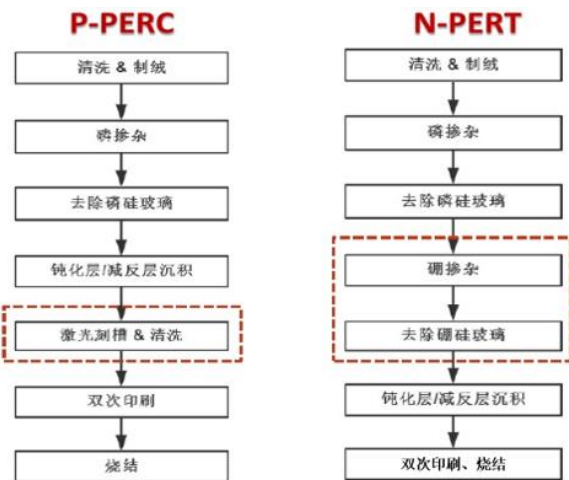
但是 PERT 在 N 型电池有更好的应用。我们在 1.3 中已经将 N 型电池与 P 型电池进行对比，考虑到 N 型硅片成本较高，且少子复合速度慢，因此做双面电池具有良好的性价比。PERT 工艺能够在 N 型双面电池中取得良好的兼容，其具体制作方式为采用硼扩散掺杂制备发射极（N-P+），磷扩散掺杂制备 N+背场。由于 N+磷背场代替常规 P 型硅太阳能电池用铝浆印刷技术形成的铝背场，背面电极也采用与正面电极相同的栅线结构，使电池前后表面都能吸收光线，实现双面发电。总体来看，其与传统 P 型 PERC 电池相比，N-PERT 采取两道扩散（磷扩散和硼扩散），同时由于背面没有氧化铝膜钝化（双面都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

图 26：N-PERT 和 P-PERC 电池结构对比



资料来源：YINGLI SOLAR、国海证券研究所

图 27：N-PERT 和 P-PERC 工艺对比



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 SiO_2/SiNx 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 SiO_2/SiNx 偏正型，难以形成场效应），因此在正面镀膜会采取 Al_2O_3 （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 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。

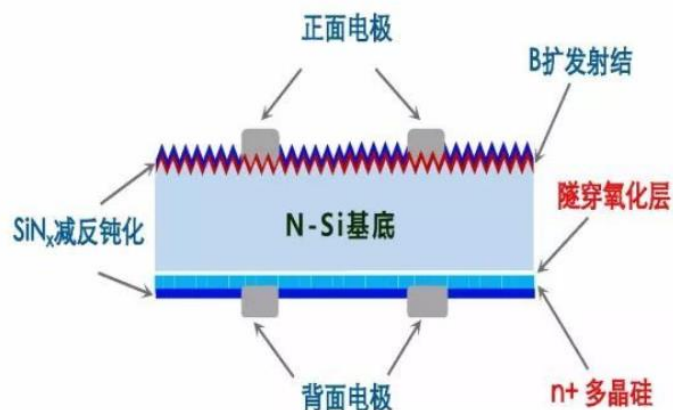
设备端竞争格局分析：从设备端来看，N-PERT 与 PERC 相比最大的工艺改进是扩散和镀膜。正面扩散设备由原有的磷扩散设备调整为硼扩散设备，根据捷佳伟创公告，其面向 N 型电池的硼扩散炉—DS320A 扩散炉已经处于样机调试阶段。背面的磷扩散主要采取离子注入的方式，对应的设备为离子注入设备；目前离子注入设备仍主要以进口为主。镀膜设备方面，无论是工艺调整为 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 还是 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ ，采取的镀膜方式仍以 PECVD 为主，因此竞争格局与原有 PECVD 格局较为类似，国外以梅耶博格、CT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

3.3.5、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 28：TOPCon 电池基本结构（N 型）

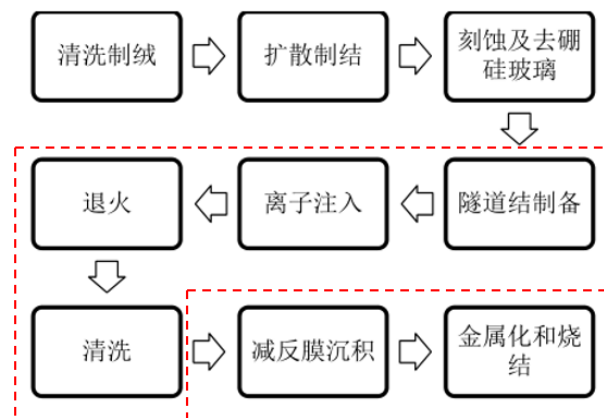


资料来源：搜狐、国海证券研究所

TOPCon 电池的优势：①**隧穿层：**采用超薄 SiO_2 作为隧穿层将晶体硅基底与掺杂多晶硅进行隔离，由于 SiO_2 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 29：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。

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。

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; 以及通过黑硅制绒的方式, 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。

The diagram illustrates the PERC battery production process flow, highlighting key steps, equipment, and efficiency gains:

- 1. Test Incoming wafer (来片检测):** Initial wafer inspection.
- 2. Saw damage removal & surface texturization (制绒清洗):** Surface preparation.
- 3. POCl₃ diffusion (扩散制结):** Formation of the N-type battery layer.
- 4. PSG removal & edge isolation (边缘制绒及去磷硅玻璃):** Edge isolation.
- 5. TOPcon (TOPcon):** Tunneling Oxide Passivation layer formation.
- 6. PERL (PERL):** Passivated Emitter Rear Layer formation.
- 7. Screen printing: Front side Ag metallization, Al BSF, and Ag rear busbars, co-firing of pastes (丝网印刷及烧结):** Formation of busbars and busbars.
- 8. Laser slotting (激光开槽):** Formation of busbar contacts.
- 9. Back surface passivation (Al₂O₃+SiNx:H) (背面钝化叠层):** Back surface passivation.
- 10. PERC battery (PERC电池片):** Final product.

Associated Equipment and Efficiency Improvements:

- 金属电极通 (Metal Electrode Through):** Laser drilling equipment (激光打孔设备) improves photoelectric conversion efficiency by 0.4%.
- 选择发射极 (Selective Emitter):** Laser doping equipment (激光掺杂设备) and etching equipment (刻蚀设备) improve photoelectric conversion efficiency by 0.3%.
- N型电池(双面扩散) (N-type Battery (Double-sided Diffusion)):** Double-sided diffusion furnace (双面扩散炉) and PECVD ion implantation machine (PECVD 离子注入机) improve efficiency compared to P-type batteries.
- TOPcon(透氧氧化层钝化) (TOPcon (Oxygen Permeable Oxide Layer Passivation)):** LPCVD improves conversion efficiency to 23%.
- PERL(背面局部扩散) (PERL (Back Surface Local Diffusion)):** Laser doping equipment (激光掺杂设备) improves efficiency by replacing PERC.
- 传统PERC电池 (Traditional PERC Battery):** Conventional production line efficiency is 21.4%. Back surface passivation (Al₂O₃+SiNx:H) improves efficiency to 21.7%.
- 双面电池 (Double-sided Battery):** Realizes back surface power generation (实现背部发电).
- 丝网印刷设备 (Screen Printing Equipment):** Used for the final assembly.

请务必阅读正文后免责条款部分

4、异质结电池工艺设备及市场格局分析

4.1、HIT 电池工艺设备及市场分析

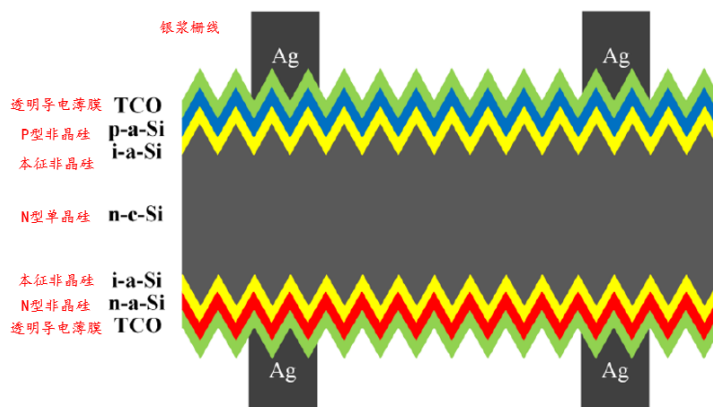
我们在 3.3.5 中已经论述过“异质结”的含义，并对 TOPCon 电池进行了分析。总体来看，异质结电池的核心是隔绝了金属电极与晶体硅基底之间的直接接触，从而使得少数载流子复合损失进一步降低，提高光伏电池的转换效率。从产业的视角来看，TOPCon 电池更像是在 PERC 电池框架下的一种工艺改进，通常意义上的异质结电池更多指的是 HIT 电池，属于一种基于全新工艺的光伏电池。

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 型非晶硅薄膜(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 31: 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 5：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

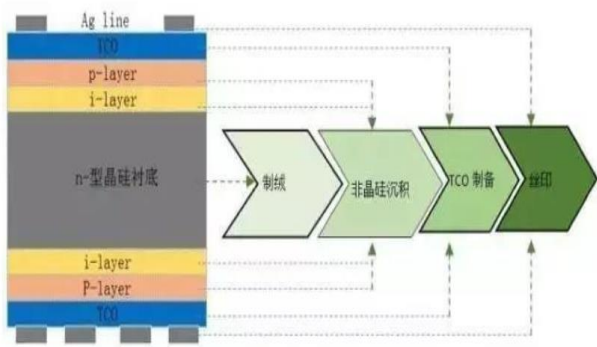
资料来源：《异质结电池简介》、国海证券研究所

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。

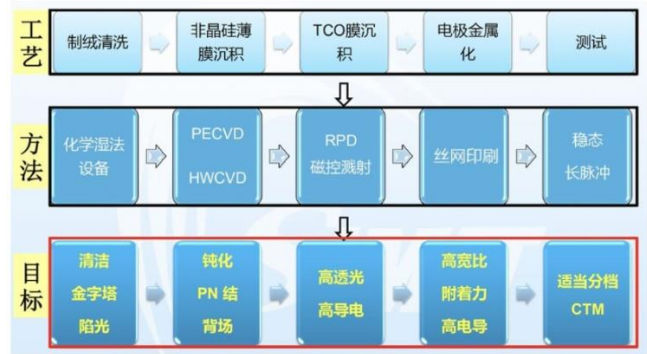
⑤**测试设备。**采用稳态、长脉冲的方式对 HIT 电池片进行测试。

图 32: 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 33: 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。

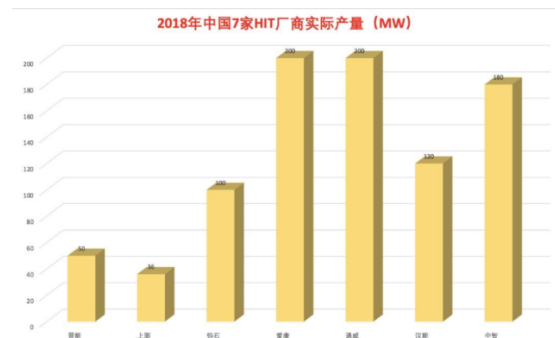
从长期来看，2018 年 5 月，通威太阳能、上海微系统所、三峡资本在成都正式签订硅基异质结 SHJ 太阳能电池产业化战略合作协议。三方共同建设 SHJ 太阳能高效电池中试线和产业化运营，量产化 SHJ 太阳能电池光电转换效率将超过 23%。五年后计划将实现超过 10GW 的 SHJ 太阳能电池技术的规模化、商业化、低成本化的产品转化。

图 34: 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 35: 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。丝印设备方面，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。

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 36：IBC 电池实物的正背面

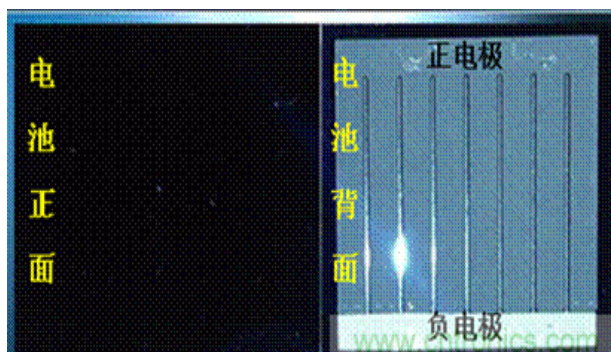
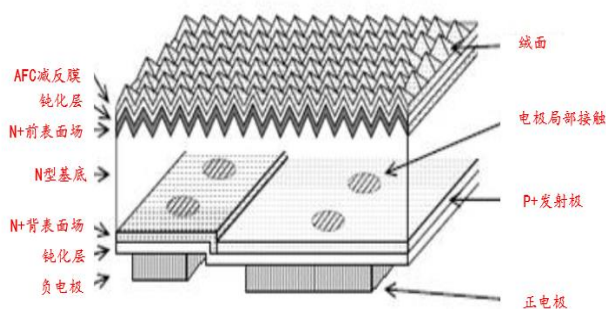


图 37：IBC 电池截面结构



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

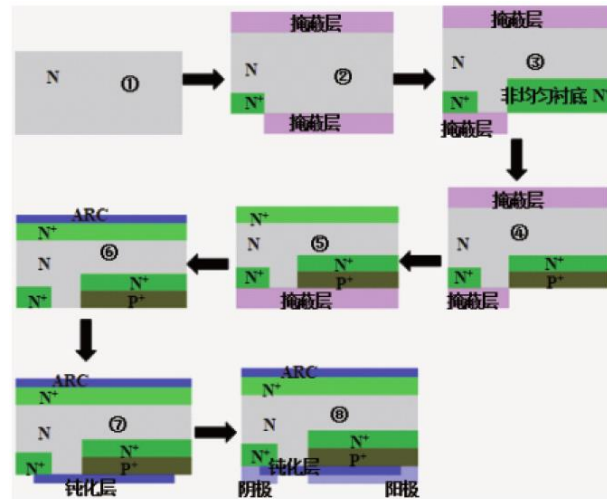
工艺流程：较之传统太阳能电池，IBC 电池的工艺流程要复杂得多。IBC 电池工艺的关键问题，是如何在电池背面制备出呈叉指状间隔排列的 P 区和 N 区，以及在其上面分别形成金属化接触和栅线。其重点工艺有三个：

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 较适合用于 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 AlOx 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。

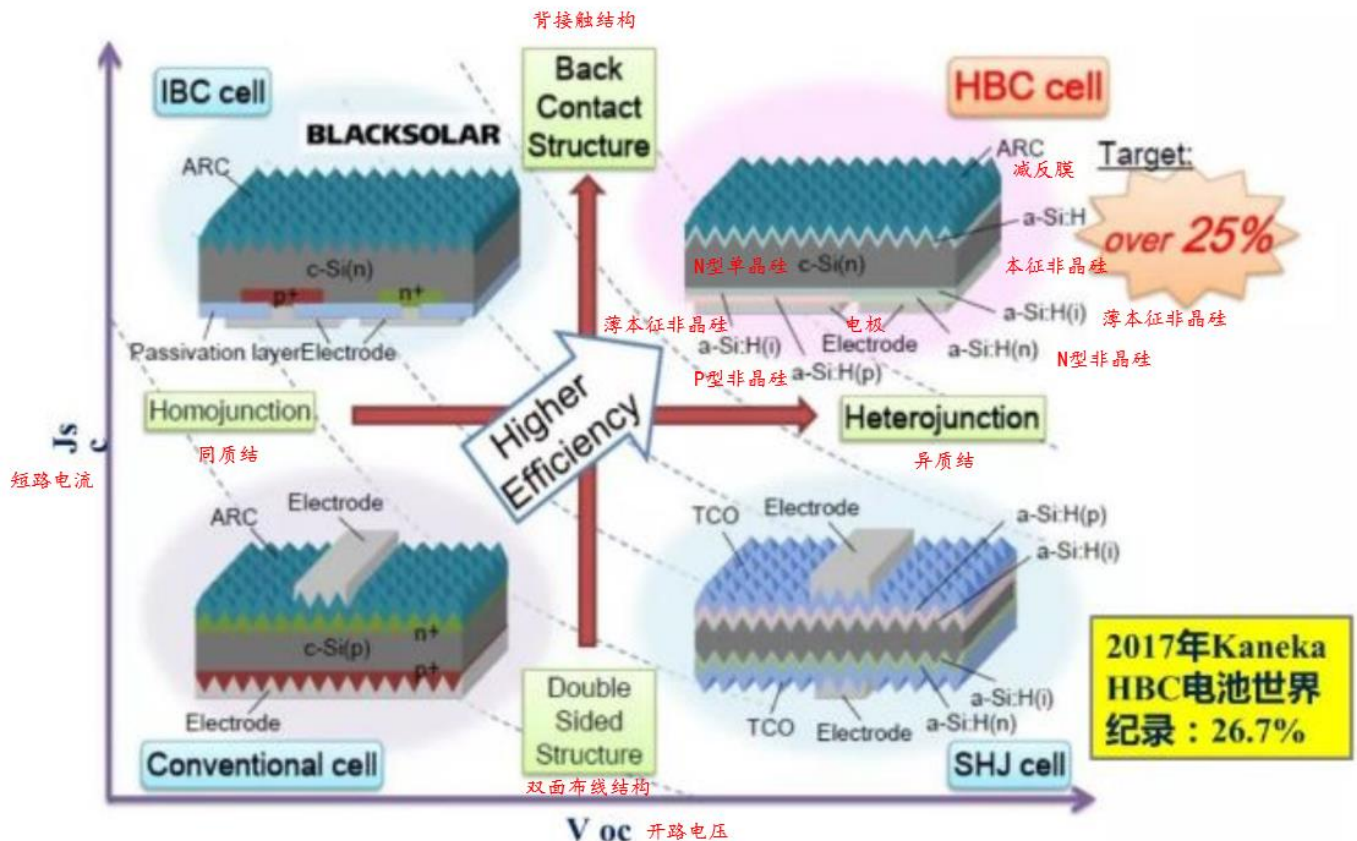
图 38: IBC 电池的制备工艺流程



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 39: 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 公司也已开始 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 6: 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。

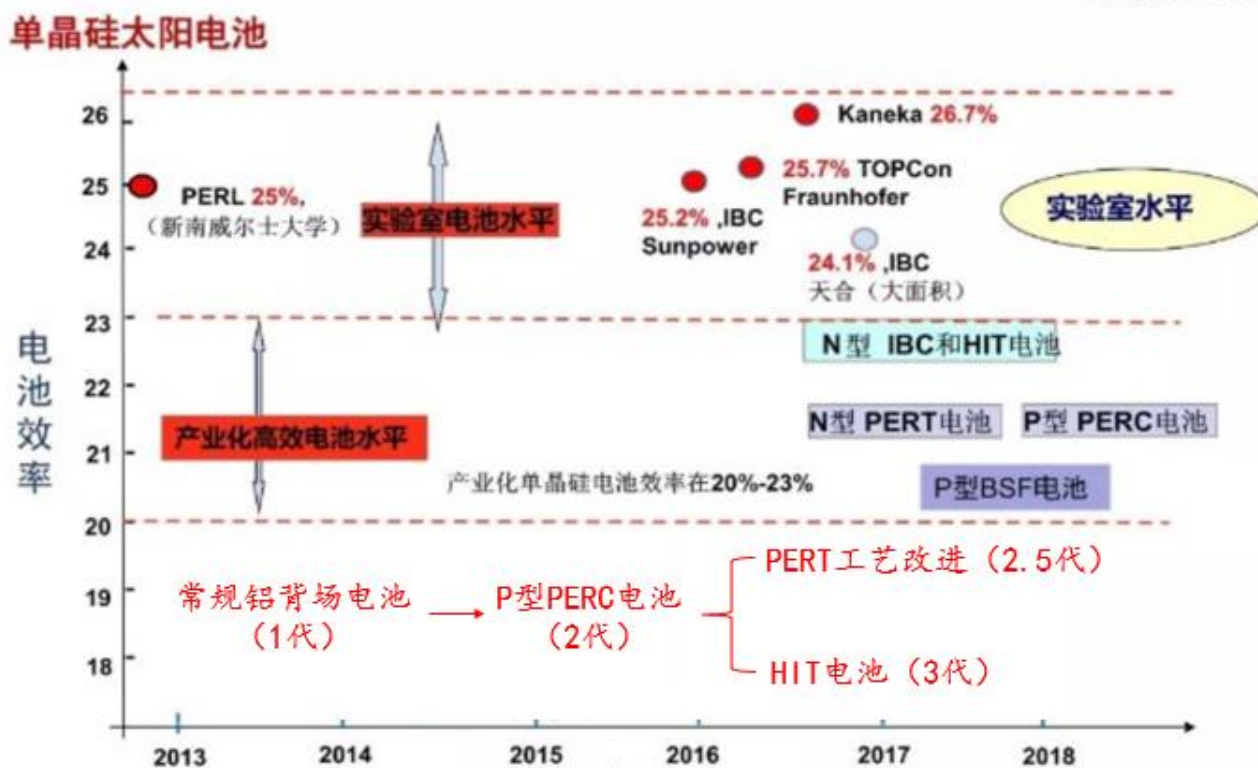
5、结语：技术迭代对企业竞争格局的影响

5.1、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 40：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

5.2、以爱旭为例：技术迭代对下游市场的影响

5.2.1、首先，以爱旭为例，分析技术迭代对电池片企业的影响

公司简介：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。

股东背景：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 41：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。

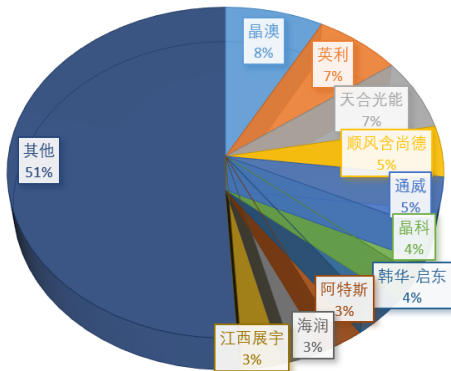
图 42：爱旭太阳能发展历程



资料来源：爱旭官网、国海证券研究所

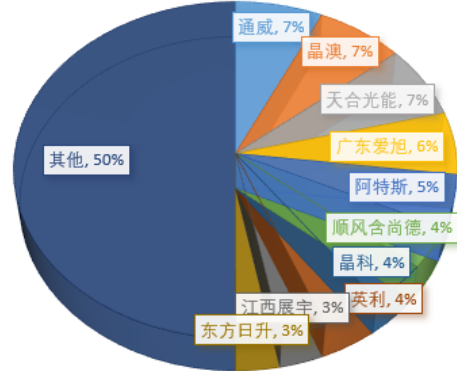
市场地位：从产能来看，2016 年爱旭产能尚未进入我国光伏电池片企业产能前十，但 2017 年直接跃升至行业第 4 名。从出货量来看，根据 PV InfoLink 统计，若不计入垂直整合厂对自有组件的出货，2017 年爱旭电池片全球出货量排第 4 名，2018 年上半年上升至第 2 名。在不到两年的时间里，爱旭太阳能凭借其在 PERC 技术上的领先优势，成为了全球光伏电池片龙头企业之一；而这两年（2017-18 年），正是 PERC 技术对常规铝背场技术开始加速渗透的两年。

图 43：2016 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 44：2017 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 45：2017 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 46：2018 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 2 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 5.1 节的分析，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 43-44，2016-17 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

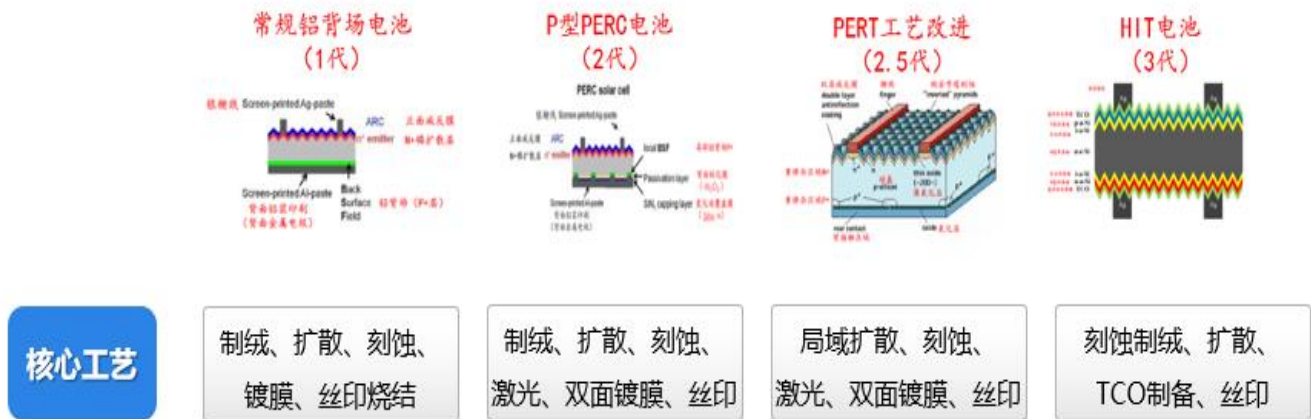
商的排名来看，内部的名次波动也比较大。因此，只有在技术的快速迭代下，我们才能看到像爱旭这样的破局者。

5.2.2、其次，设备龙头为何能够充分受益？

一方面，光伏设备企业具备良好的赛道。在光伏行业持续降补贴的大背景下，下游市场逐渐出清，加速工艺和设备的升级将成为行业竞争的主旋律，光伏设备发展有望充分受益。

另一方面，工艺设备技术延展性强，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 47：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

6、上调公司至买入评级

上调公司至买入评级。在光伏行业持续降补贴的大背景下，加速工艺和设备的升级将成为行业竞争的主旋律。基于此，我们认为光伏设备企业有望在平价上网前迎来一波崛起良机。从具体设备上来看，清洗刻蚀设备、扩散设备、镀膜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，捷佳伟创已经在基础工艺设备领域具备了明显的先发优势，未来有望持续引领行业技术发展。考虑到光伏电池片技术不断迭代的背景下公司有望持续推出新产品，从而对业绩形成提振，因此上调盈利预测；预计公司 2018 ~ 2020 年净利润分别为 3.05 亿元、4.31 亿元、5.70 亿元，对应 EPS 分别为 0.95 元/股、1.35 元/股、1.78 元/股，按照最新收盘价计算，对应 PE 分别为 30、21、16 倍。上调公司至“买入”评级。

表 7：公司盈利预测情况

预测指标	2017	2018E	2019E	2020E
主营收入（百万元）	1243	1483	2125	2806
增长率(%)	50%	19%	43%	32%
净利润（百万元）	254	305	431	570
增长率(%)	116%	20%	41%	32%
摊薄每股收益（元）	1.06	0.95	1.35	1.78
ROE(%)	27.21%	25.91%	28.29%	28.80%

资料来源：wind 资讯、国海证券研究所

7、风险提示

- 1) 光伏平价上网不及预期;
- 2) 光伏电池片技术迭代不及预期;
- 3) 公司海外市场拓展不及预期;
- 4) 光伏行业补贴出现大幅下调;
- 5) 公司与爱旭业务不完全相同，相关分析仅供参考;
- 6) 公司新品推广不及预期。

表 8: 捷佳伟创盈利预测表

证券代码:	300724.SZ				股价:	28.24	投资评级:	买入	日期:	2018-12-27
财务指标	2017	2018E	2019E	2020E	每股指标与估值	2017	2018E	2019E	2020E	
盈利能力					每股指标					
ROE	27%	26%	28%	29%	EPS	1.06	0.95	1.35	1.78	
毛利率	40%	40%	39%	40%	BVPS	3.89	3.68	4.76	6.18	
期间费率	19%	17%	16%	16%	估值					
销售净利率	20%	21%	20%	20%	P/E	26.68	29.61	20.99	15.86	
成长能力					P/B	7.26	7.67	5.94	4.57	
收入增长率	50%	19%	43%	32%	P/S	5.45	6.09	4.25	3.22	
利润增长率	116%	20%	41%	32%						
营运能力					利润表（百万元）	2017	2018E	2019E	2020E	
总资产周转率	0.49	0.48	0.56	0.61	营业收入	1243	1483	2125	2806	
应收账款周转率	3.61	3.72	4.67	5.36	营业成本	751	895	1286	1696	
存货周转率	0.56	0.56	0.73	0.91	营业税金及附加	16	14	20	26	
偿债能力					销售费用	89	96	137	181	
资产负债率	63%	62%	60%	57%	管理费用	109	145	208	275	
流动比	1.40	1.44	1.50	1.61	财务费用	22	(8)	(14)	(22)	
速动比	0.56	0.59	0.71	0.88	其他费用/（-收入）	16	16	17	18	
					营业利润	293	358	506	669	
资产负债表（百万元）					2017	2018E	2019E	2020E		
现金及现金等价物	437	566	962	1494	营业外净收支	1	1	1	1	
应收款项	344	398	455	524	利润总额	294	359	507	670	
存货净额	1352	1623	1797	1898	所得税费用	40	54	76	101	
其他流动资产	121	144	206	273	净利润	254	305	431	570	
流动资产合计	2254	2732	3420	4188	少数股东损益	0	0	0	0	
固定资产	41	109	173	215	归属于母公司净利润	254	305	431	570	
在建工程	96	76	56	26						
无形资产及其他	17	17	16	15	现金流量表（百万元）	2017	2018E	2019E	2020E	
长期股权投资	127	127	127	127	经营活动现金流	118	240	533	666	
资产总计	2557	3082	3815	4593	净利润	254	305	431	570	
短期借款	0	0	0	0	少数股东权益	0	0	0	0	
应付款项	368	420	586	749	折旧摊销	3	3	6	9	
预收帐款	1190	1420	1628	1765	公允价值变动	0	0	0	0	
其他流动负债	54	53	68	89	营运资金变动	(140)	(68)	96	86	
流动负债合计	1612	1893	2282	2604	投资活动现金流	(43)	(48)	(45)	(11)	
长期借款及应付债券	0	0	0	0	资本支出	(54)	(48)	(45)	(11)	
其他长期负债	11	11	11	11	长期投资	3	0	0	0	
长期负债合计	11	11	11	11	其他	7	0	0	0	
负债合计	1623	1904	2293	2614	筹资活动现金流	55	(61)	(86)	(114)	
股本	240	320	320	320	债务融资	0	0	0	0	
股东权益	934	1178	1522	1978	权益融资	0	0	0	0	
负债和股东权益总计	2557	3082	3815	4593	其它	55	(61)	(86)	(114)	
					现金净增加额	129	131	402	540	

资料来源: wind 资讯、国海证券研究所

【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。本报告清晰准确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惟一参考因素，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。