

日期：2019年3月8日

行业：机械设备-光伏设备



分析师：倪瑞超

Tel: 021-53686179

E-mail: niruichao@shzq.com

SAC 证书编号: S0870518070003

光伏电池设备促进技术进步，降本增效带来 平价上网

■ 投资摘要

● **光伏行业平稳增长，平价上网带来行业持续向上。**2020年之前全球光伏行业有望平稳增长，2019、2020年新增装机为112GW、124GW，同比增长9%、11%。2020年后平价上网有望驱动行业持续向上，而各个环节的降本增效是行业平价上网的源动力。

● **电池技术迭代是促进行业降本增效的动力。**PERC技术成熟、设备国产化率高，预计到2020年前依然是高效电池扩产的主流技术，叠加SE（选择性发射极）进一步提升效率。N型电池是未来高效电池的发展方向，其中N-PERT技术与双面PERC电池对性价比不明显，TOPcon量产难度高，而IBC技术虽然转换效率较高，但是未有量产实绩，HJT由于工序少、国内已有企业量产，成为高效电池未来的发展方向，但是其目前的阻碍是设备投资较贵。从以上的对比来看，PERC和HJT技术将是未来光伏电池发展的主要方向。

● **PERC电池设备企业国内竞争力强，HJT设备国产化弱。**目前国内PERC电池设备国产化率较高，除了技术要求极高的板式PECVD、以及国外性价比较高的烧结炉需要进口外，其他国内设备厂家已经具有很强的竞争力。在下游客户降本增效的需求下，市场占有率持续提高。HJT设备主要由Meyer Burger、日本住友、精曜等厂家掌握，国产化率较低。根据测算，2019-2021年高效电池设备累计市场空间合计达到315亿元。

● **从梅耶博格看光伏电池设备企业的成长动力。**光伏电池设备龙头企业梅耶博格的成长动力来源于行业发展和不断推出满足下游技术迭代需求的设备。公司目前重点发展HJT电池设备、SWCT组件设备。从梅耶博格的成长来看，我们认为电池设备企业的成长遵循以下成长路径：主流工艺设备下游客户市场占有率的提高，多品类电池设备的拓展，下一代电池技术设备的国产化推动。

■ 投资建议

光伏平价上网带来光伏行业新一轮向上周期，平价上网要求行业降本增效，光伏电池设备在促进技术进步发挥中坚力量。PERC电池新建产能有望持续维持高位，国产化设备市场占有率持续提升。HJT等新型电池技术产业化加快，国产设备逐步布局。光伏设备企业正迎来下游需求、自身竞争力增强、未来新技术设备突破等多重因素叠加，设备企业有望迎来持续高增长。建议重点关注光伏设备中具有长期成长动力的企业。

■ **风险提示。**1)、光伏行业需求不及预期；2)、新技术产业化推进速度慢。

报告编号：NRC19-IR02

首次报告日期：2019年3月8日

相关报告：无

目录

一、光伏行业平稳增长，平价上网带来行业持续向上	4
1、光伏的定义	4
2、光伏行业需求展望	5
3、平价上网是行业持续发展的根本	6
二、电池片的技术迭代是行业永恒的发展规律	8
1、传统光伏电池工艺	8
2、PERC+SE 成为 P 型电池标配	9
3、N 型电池是下一步方向	12
4、各种技术对比，谁将胜出	15
三、PERC 电池设备企业国内竞争力强，HJT 设备国产化弱	16
1、PERC 电池设备企业国内竞争力强	16
2、HJT 电池设备国产化弱	20
3、设备市场空间测算	21
四、电池设备企业成长动力	23
五、投资建议	25
六、风险提示	25

图表目录

图 1 太阳能电池结构和工作原理	4
图 2 光伏产业链	4
图 3 全球光伏新增装机排名前列的国家	5
图 4 新增装机达到 GW 级的国家数	5
图 5 全球光伏装机	5
图 6 中国光伏装机	5
图 7 国内光伏度电成本测算	7
图 8 国际光伏度电成本测算	7
图 9 光伏项目总成本	7
图 10 某光伏电站初始投资成本构成	7
图 11 电池生产流程	9
图 12 降低电池片损失的技术	9
图 13 电池技术路线	10
图 14 PERC 工艺流程	11
图 15 N-PERT 电池结构	12
图 16 N-PERT 电池工艺	12
图 17 HJT 电池结构	13
图 18 HJT 电池工艺	14
图 19 TOPCon 电池结构	14
图 20 IBC 电池结构	15
图 21 光伏电池各种技术路线对比	16

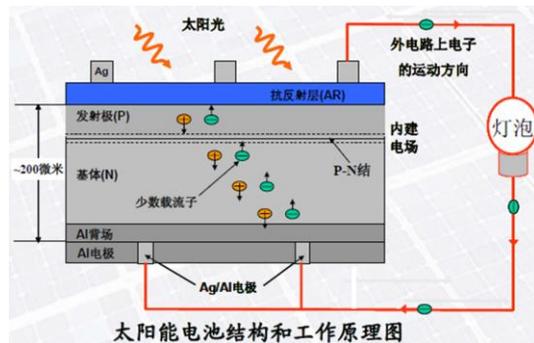
图 22 各种电池片转换效率对比.....	16
图 23 各种技术电池片占比.....	16
图 24 丝网印刷线.....	20
图 25 HJT 电池结构.....	21
图 26 全球光伏新增装机.....	21
图 27 全球 PERC 和 N 型产能.....	21
图 28 梅耶博格收入及增速.....	24
图 29 梅耶博格 EBITDA.....	24
图 30 梅耶博格的收入地区占比.....	24
图 31 公司 PERC 的订单.....	24
图 32 电池设备企业的分析框架.....	25
表 1 电池设备竞争格局.....	17
表 2 不同厂家制绒设备技术指标对比.....	18
表 3 不同厂家扩散设备技术指标对比.....	18
表 4 不同 PERC 设备对比.....	19
表 5 HJT 设备竞争格局.....	21
表 6 高效电池设备投资情况.....	22
表 7 PERC 电池设备市场空间测算.....	23

一、光伏行业平稳增长，平价上网带来行业持续向上

1、光伏的定义

光伏的本质是光生伏特效应。当光线照射在太阳能电池上时，光线中具有足够能量的光子包会在电池内部被吸收，并将电子从硅材料的共价键中激发出来、产生电子-空穴对。界面层附近的电子和空穴在复合之前，将因为空间电荷电场的作用而作定向运动，电子向带正电的N区，空穴向带负电的P区运动，其结果在P区和N区之间产生一个可测试到的光生电压并通过电池的前后电极向外电路输送电流。

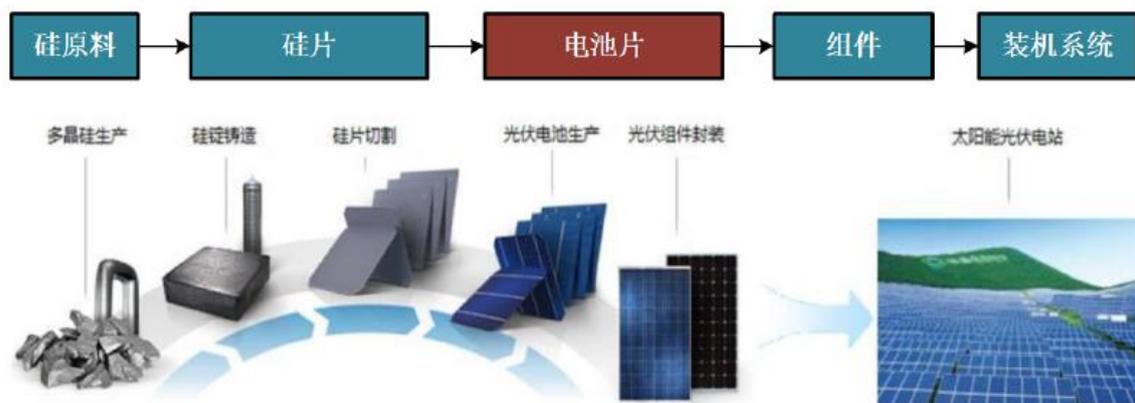
图 1 太阳能电池结构和工作原理



数据来源: GCL SOLAR 上海证券研究所

光伏的产业链。光伏产业链的上游是晶体硅原料的采集和硅棒、硅锭、硅片的加工制作，产业链的中游是光伏电池和光伏电池组件的制作，产业链的下游是电站系统的集成和运营。

图 2 光伏产业链

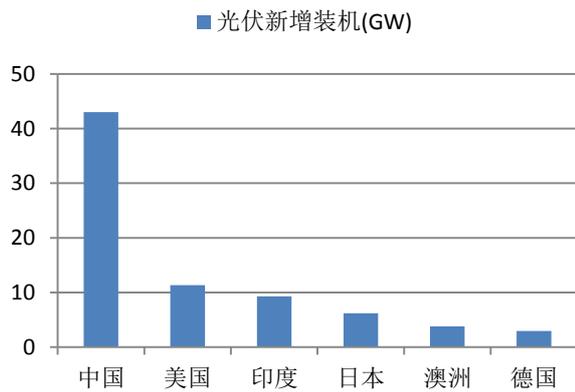


数据来源: 爱旭科技 上海证券研究所

2、光伏行业需求展望

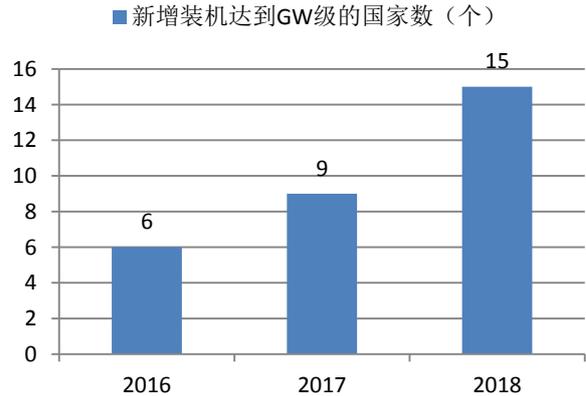
光伏行业全球多点开花。2018年中国光伏行业经历531新政以后，整体需求不佳，拖累全年装机，从而导致全球装机不及预期。根据光伏行业协会的数据统计，2018年中国光伏装机为43GW，同比下降18%。而海外市场成为新亮点，海外市场全球装机为60GW，同比大增。2018年全球光伏新增装机达到GW级的国家增加到15个，而2016、2017年分别是6个、9个。

图 3 全球光伏新增装机排名前列的国家



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

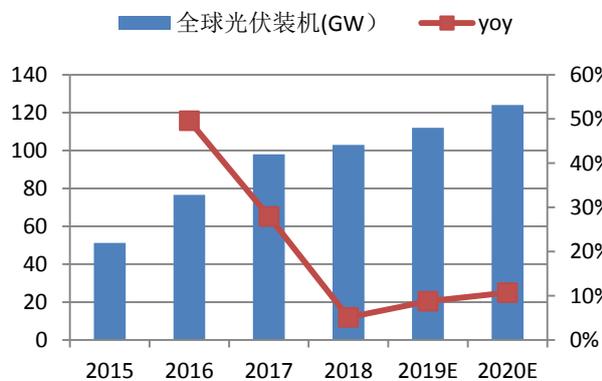
图 4 新增装机达到 GW 级的国家数



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

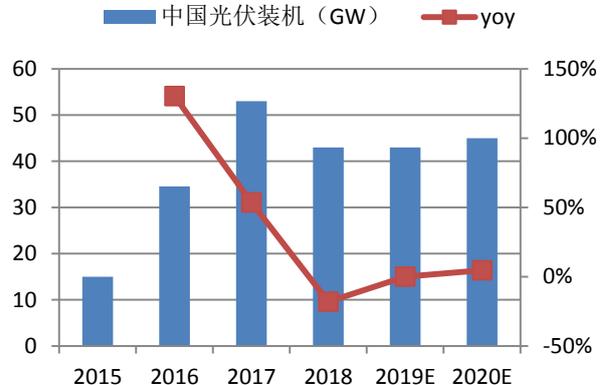
全球：平稳增长；中国：平稳过渡。由于全球新兴国家光伏装机的旺盛，全球光伏装机预计保持平稳增长，根据 PV InfoLink 的数据，2019、2020 年全球光伏新增装机为 112GW、124GW，同比增长 9%、11%。而中国在 2018 年 531 新政以后，行业也将迎来平稳发展，预计中国 2019、2020 年光伏新增装机为 43GW、45GW，同比增长 0%、5%。由于众多市场的兴起，中国的比重逐步降低。

图 5 全球光伏装机



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

图 6 中国光伏装机



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

3、平价上网是行业持续发展的根本

平价上网是光伏行业的未来。光伏平价上网，分别对标传统能源发电成本与用户购电成本，即通常说的发电侧平价与用户侧平价。发电侧平价：光伏发电即使按照传统能源的上网电价收购也能实现合理利润。用户侧平价：光伏发电成本低于售电价格，根据用户类型及其购电成本的不同，又可分为工商业、居民用户侧平价。光伏实现平价上网的终极目标，是能在发电侧实现平价上网。

2018年12月29日，三峡集团新能源公司联合阳光电源建设的中国首个大型平价上网光伏项目在青海格尔木正式并网发电，标志着替代煤电的平价清洁能源正式走进千家万户。据介绍，该项目总装机规模500MW，占地771公顷，总投资约21亿元，是国内一次性建成规模最大的“光伏领跑者”项目，也是国内首个大型平价上网光伏项目。该项目的平均电价为0.316元/千瓦时，比青海省火电脱硫标杆上网电价(0.3247元/千瓦时)低2.68%

光伏平价上网的好处：行业真正实现市场化，降低行业的投资成本。光伏行业只有真正的实现平价上网，才能步入良性的市场化发展阶段，步入稳定增长的渠道。根据目前的测算，到2020年前后有望实现真正的平价上网。

从光伏度电成本来看平价上网路径。目前计算光伏发电度电成本(LCOE)的公式包括两个：国内和国际。以国内的光伏发电度电成本测算公司来看，计算度电成本的变量有6个。其中固定资产残值VR、第n年的折旧Dn基本是按比例取，第n年的运营成本An变化也相对较少。变化最大的是三个变量：项目初始投资成本I0、第n年的利息Pn、第n量的发电量Yn。发电量的变化对度电成本影响最大，其次为初始投资、贷款利率。采用提高发电量的技术，如跟踪技术等，是降低度电成本的最有效措施；获得较低的贷款利率，是降低度电成本最直接的措施；降低初始投资、提高系统效率、降低组件衰减带来根本性的变化。

图 7 国内光伏度电成本测算

$$LCOE = \frac{I_0 - V_R + \sum_{n=1}^{25} (A_n + P_n)}{\sum_{n=1}^{25} Y_n}$$

I_0 : 项目初始投资 A_n : 第n年的运营成本
 V_R : 固定资产残值 P_n : 第n年的利息
 i : 折现率 Y_n : 第n年的发电量

数据来源: 智汇光伏 上海证券研究所

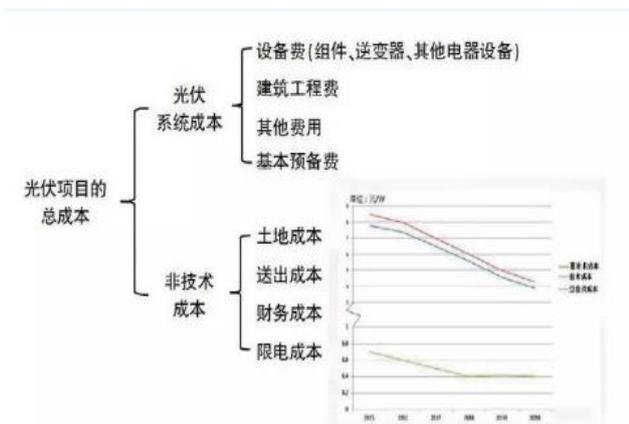
图 8 国际光伏度电成本测算

$$LCOE = \frac{I_0 - \frac{V_R}{(1+i)^n} + \sum_{n=1}^{25} \frac{(A_n + P_n)}{(1+i)^n}}{\sum_{n=1}^{25} Y_n}$$

数据来源: 智汇光伏 上海证券研究所

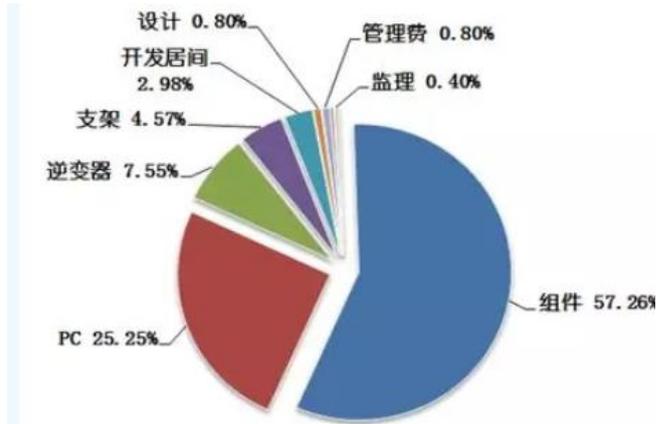
光伏电站初始投资成本主要包括开发费用、勘察设计费用、施工费用, 以及主材设备如光伏组件、逆变器、支架等。其中组件成本占初始投资成本达 57%, 光伏成本能否下降主要来源于组件成本。

图 9 光伏项目总成本



数据来源: 中国电力企业管理 上海证券研究所

图 10 某光伏电站初始投资成本构成



数据来源: GCL SOLAR 上海证券研究所

光伏各个环节降本增效带来平价上网。技术创新推动转换效率提升, 并降低度电成本(LCE)是光伏走向平价上网时代的根本保证。其主要通过光伏系统制造的各个环节降低成本。其中, 硅片环节主要通过改良拉晶方法来实现更低的单位能耗和更高的产率, 通过降低硅片的厚度(薄片)和改进切割技术(金刚线切割)以节省硅料的使用。电池片环节主要通过不断研发、应用更为高效的技术路线, 例如目前正在进行的常规电池向高效 PERC 电池的升级, 未来向更高效的 N 型 HJT 等技术发展。组件环节则通过各种不同的封装工艺在既有的电池片效率前提下, 尽量提升组件的输出功率或增加组件全生命周期内的单瓦发电量, 此外还有通过产线的自动化、智能化改造以降低生产成本, 目前成熟的技术包括半片、叠瓦等。

二、电池片的技术迭代是行业永恒的发展规律

1、传统光伏电池工艺

传统光伏电池的生产工艺。太阳能电池分为晶硅类和非晶硅类，其中晶硅类电池又可以分为单晶电池和多晶电池。目前常规的电池是P型电池。传统的电池生产流程，包括从硅片出发经历清洗制绒、扩散制结、刻蚀、去除磷硅玻璃、PECVD 镀反射膜、丝网印刷、烘干烧结、分类检测等工艺，完成电池的制造。

①清洗制绒：清除硅片表面油污和金属杂质，去除硅片表面的切割损坏层；在硅片表面制作绒面，形成减反射机构，降低表面反射率。制绒是利用碱对单晶硅表面的各向异性腐蚀，形成的半球状的绒面。

②扩散制结：POCl₃ 液态分子在 N₂ 载气的携带下进入炉管，在高温下经过一系列化学反应磷原子被置换在高温下经过一系列化学反应磷原子被置换，并扩散进入硅片表面，激活形成 N 型掺杂，与 P 型衬底形成 PN 结。

③刻蚀：去除扩散后硅片周边形成的短路环。

④去除磷硅玻璃：去除硅片表面氧化层及扩散时形成的磷硅玻璃。

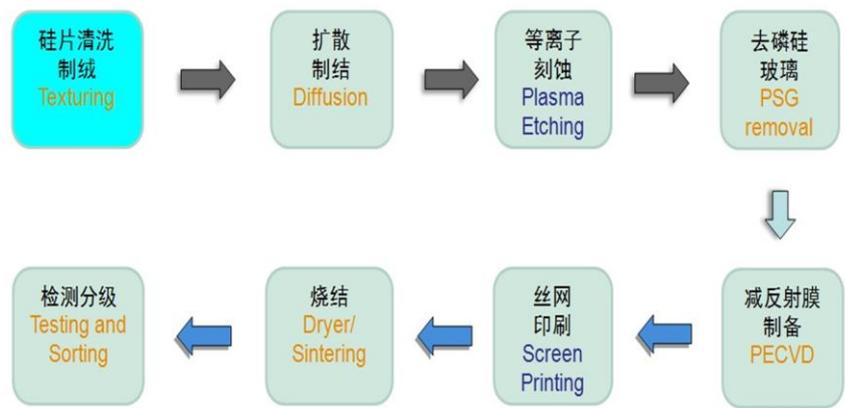
⑤PECVD 镀反射膜：制作减少硅片表面反射的 SiN 薄膜。

⑥丝网印刷：用丝网印刷的方法，完成背场、背电极、正栅线电极的制作，以便引出产生的光生电流。

⑦烘干烧结：烘干金属浆料，并将其中的添加料挥发。

⑧分类检测：通过模拟太阳光脉冲照射 PV 电池表面产生光电流，光电流流过模拟负载，在负载两端产生电压，负载装置将采样到的电流、电压传送给 SCLoad 计算，得到 IV 曲线及其它指标。SCLoad 根据测试结果，按照给定的分类规则分类

图 11 电池生产流程



数据来源：百度文库 上海证券研究所

2、PERC+SE 成为 P 型电池标配

通过降低光学和电学损失提升电池光电转换效率。影响晶硅电池光电转换效率的原因主要来自两个方面：光学损失和电学损失。光学损失：包括电池前表面反射损失、正面电极的遮光损失以及长波段的非吸收透射损失。在减少其损失方面，有表面制绒、减反射膜、减小正面电极面积等方式。电学损失：包括硅片表面及体内的光生载流子复合、硅片体电阻、扩散层横向电阻和金属电极电阻，以及金属和硅片的接触电阻等造成的损失，其中光生载流子的复合最大。在减小其损失方面，有增加钝化层、选择性发射极、异质结等方式。

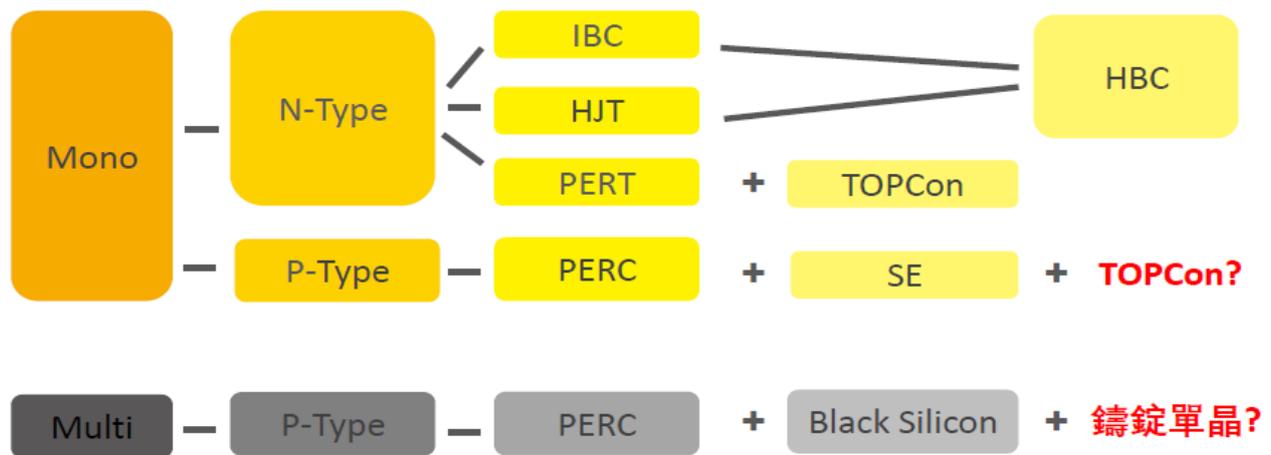
图 12 降低电池片损失的技术



数据来源：帝尔激光招股说明书 上海证券研究所

光伏电池技术路线。目前晶硅类电池的技术方向包括单晶和多晶。多晶电池逐渐向黑硅方向升级。单晶包括 P 型和 N 型。P 型电池中 PERC 技术逐渐成为主流，叠加 SE（选择性发射极）技术，电池效率逐渐提升。但是 P 型电池有其转换效率的极限，而 N 型电池成为未来高转换效率的方向，目前包括 PERT、TOPCon（隧穿氧化钝化接触）、IBC（全背电极接触）、HJT（异质结）四种技术路径。下面将分别对各种技术路径进行讲解，对各种技术路径的讲解主要分为工艺特点、优点、缺点、工艺设备以及相应的厂家。

图 13 电池技术路线



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

1) PERC

硅片内部和硅片表面的杂质及缺陷会对光伏电池的性能造成负面影响，钝化工序就是通过降低表面载流子的复合来减小缺陷带来的影响，从而保证电池的效率。与常规单晶电池工艺相比，PERC 单晶电池主要增加了背面钝化和激光打孔两道工艺。背面钝化工艺在硅片背面沉积三氧化二铝和氮化硅，对硅片背面进行钝化。三氧化二铝由于具备较高的电荷密度，可以对 P 型表面提供良好的钝化；氮化硅主要作用是保护背部钝化膜，并保证电池背面的光学性能。激光打孔工艺是利用一定脉冲宽度的激光去除部分覆盖在电池背面的钝化层和氮化硅覆盖层，以使丝网印刷的铝浆可以与电池背面的硅片形成有效接触，从而使光生电流可以通过 Al 背场导出。

PERC 目前成为电池升级的主流方向，主要在于以下优点：升级方便：在传统电池工艺基础上增加两个工序即可升级；电池效率提升明显：多晶 1.0%-1.2%；单晶 1.2%-1.5%。但是其缺点是其效率提升存在极限。

图 14 PERC 工艺流程



数据来源：爱旭科技 上海证券研究所

2) SE (选择性发射极)

SE (选择性发射极) 的原理主要是在电极与硅片接触部位进行重掺杂，在电极之间位置进行轻掺杂。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。SE (选择性发射极) 工艺有氧化物掩膜法、丝网印刷硅墨水法、离子注入法和激光掺杂法，目前普遍使用的是激光掺杂法，激光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。常规产线升级成激光掺杂选择性发射极生产线，工艺上只需增加激光掺杂一个步骤，从设备上来说，只需增加掺杂用激光设备，与常规产线的工艺及设备兼容性很高。由于工艺相对简单而且投资较少，进入 2019 年，PERC 多数都采用了激光 SE 工艺。

3、N 型电池是下一步方向

1) N-PERT 电池

N 型电池由于结构的原因相对于 P 型具有较大的优势：P 型的少子是电子，N 型少子是空穴，硅锭中的杂质和位错对电子的捕获原大于空穴。N 型硅对铁等重金属杂质有较高的容忍度，N 型硅在相同重金属杂质浓度下有比 P 型电池更高的效率，N 型硅电池和组件的初始光诱导衰减几乎为零等。以上各项优点导致其转换效率的上限比 P 型的高的多。

N-PERT 电池工艺包括：①双面制绒②上表面扩散硼制成 P+N 结③背面扩散磷制成 N+N 结④双面钝化薄膜⑤双面金属化。在 N+背表面场上，采用 SiO₂/SiN_x 叠层钝化膜，SiO₂ 膜可以很好的对 N+面进行表面钝化，加上 SiN_x 膜的带正电荷特性，可以同时获得较好的表面钝化和场钝化的效果，而且还能起到很好的减反射作用。P+掺杂面使用 Al₂O₃ 薄膜钝化技术。

N 型用到双面掺杂、双面钝化技术，工艺难度增加，与 P-PERC 双面电池对比以后，性价比不明显，目前已经证明为不经济的路线。

图 15 N-PERT 电池结构

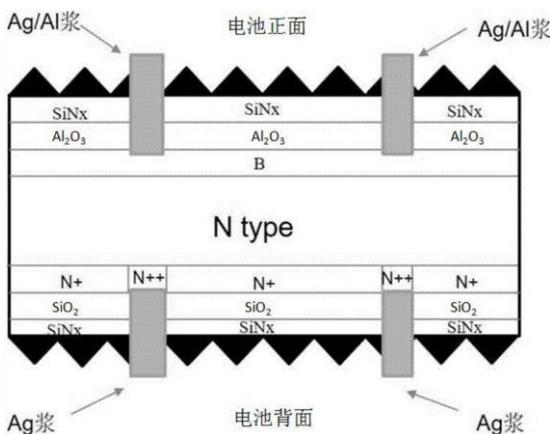
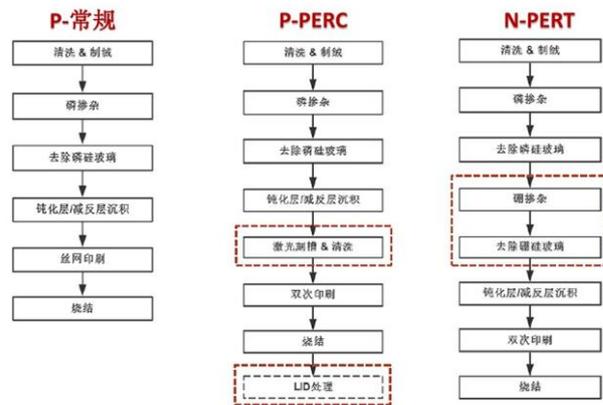


图 16 N-PERT 电池工艺



数据来源：N-PERT 高效电池工艺介绍 上海证券研究所

数据来源：YINGLI SOLAR 上海证券研究所

2) HJT (异质结) 电池

以 N 型单晶硅(c-Si)为衬底光吸收区，经过制绒清洗后，其正面依次沉积厚度为 5-10nm 的本征非晶硅薄膜(i-a-Si:H)和掺杂的 P 型非晶硅(p-a-Si:H)，和硅衬底形成 p-n 异质结。硅片的背面又通过沉积厚度为 5-10nm 的本征非晶硅薄膜(i-a-Si:H)和掺杂的 N 型非晶硅(n-a-Si:H)形成背表面场。最后电池的两面沉积透明氧化物导电薄膜(TCO)，然后用丝网印刷的方法在 TCO 上制作 Ag 电极。

HJT 电池有如下优点：

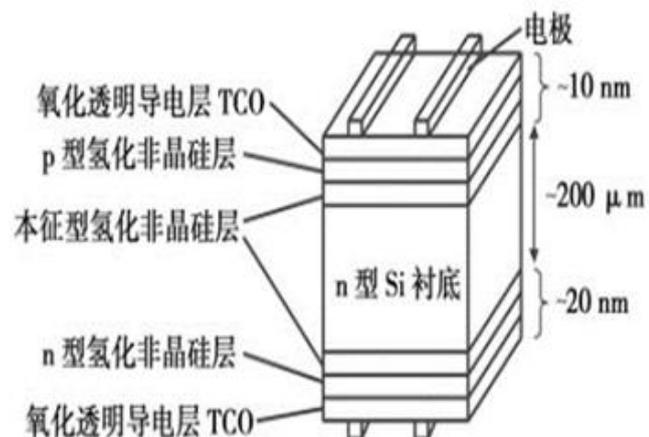
①结构对称、工艺简单、设备较少。HJT 电池是在单晶硅片的两面分别沉积本征层、掺杂层和 TCO 以及双面印刷电极。其结构对称、工艺相对简单。

②低温制造工艺。HJT 电池采用硅基薄膜工艺形成 p-n 结发射区，制程中的最高温度就是非晶硅薄膜的形成温度(200°C)，避免了传统晶体硅电池形成 p-n 结的高温(950°C)。可以降低能耗、减少对硅片的热损伤。

③获得较高的转换效率。HJT 电池中的本征薄膜能有效钝化晶体硅和掺杂非晶硅的界面缺陷，形成较高的开路电压。

HJT 电池由于其较高的转换效率 (22.5%-23.5%)，工序少以及已经有量产实绩，成为下一代高效电池的主要发展方向。但是其目前的阻碍主要在于工艺要求严格、需要低温组件封装工艺、设备投资高、透明导电薄膜成本高。

图 17 HJT 电池结构



数据来源：摩尔光伏 上海证券研究所

HJT 电池工艺主要包括制绒、非晶硅沉积、TCO 沉积、丝网印刷。非晶硅沉积主要使用 PECVD。TCO 薄膜沉积目前有两种方法：RPD(反应等离子体沉积)和 PVD (物理化学气象沉积)。住友重工拥有 RPD 的专利，而 PVD 技术发展成熟，提供给设备的厂家较多。

图 18 HJT 电池工艺



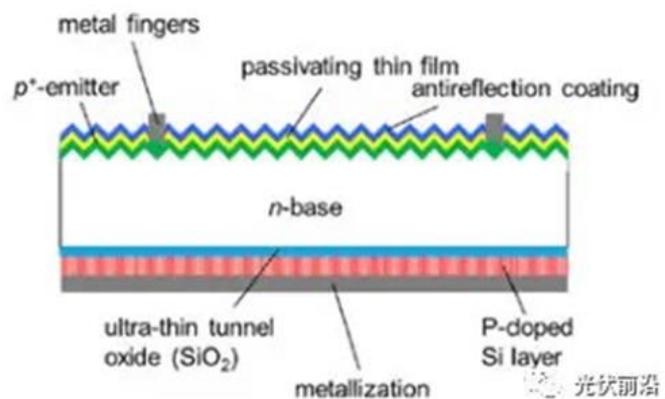
数据来源：超高效 HJT 电池概述 上海证券研究所

3) TOPCon (隧穿氧化钝化接触) 电池

TOPCon (隧穿氧化钝化接触) 电池通过再光伏电池背面制备一层超薄的隧穿氧化层和一层高掺杂的多晶硅薄层，二者共同形成了钝化接触结构，为硅片的背面提供了良好的表面钝化。由于氧化层很薄，硅薄层有掺杂，多子可以穿透这两层钝化层，而少子则被阻挡，如果在其上再沉积金属，就可以得到无需开孔的钝化接触。实现了背面整面钝化，且无需开孔接触。

TOPCon 技术只需要增加薄膜沉积设备，能很好地与目前量产工艺兼容，便于产线升级。但是其背面收光较差，量产难度很高

图 19 TOPCon 电池结构

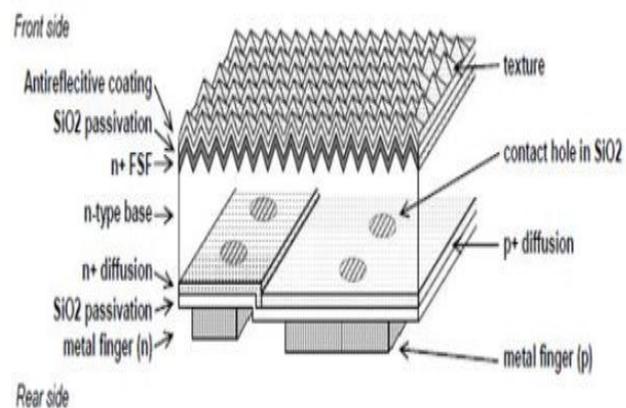


数据来源：摩尔光伏 上海证券研究所

4) IBC（全背电极接触）电池

IBC（全背电极接触）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。PN 结和金属接触都处于电池的背面，带来更多有效发电面积，也有利于提升发电效率。IBC 效率最高，可以达到 23.5%-24.5%，技术难度极高，设备投资高，成本高，国内尚未实现量产。

图 20 IBC 电池结构



数据来源：360doc 上海证券研究所

4、各种技术对比，谁将胜出

1) PERC 目前技术比较成熟、性价比比较高，技术相对容易，设备完成了国产化，最高效率达到 22%，成为这两年高效电池主要扩产的技术，叠加 SE（选择性发射极）技术，预计到 2020 年前依然是光伏电池主流技术。

2) N-PERT 可实现量产，技术难度容易，设备投资较少。但是与双面 P-PERC 相比没有性价比优势，已经证明为不经济的技术路线。

3) HJT 效率可达 22.5%-23.5%，工序少、可实现量产，目前已经有 Panasonic、上澎、晋能、中智、钧石等公司布局。但是其设备贵、投资成本高，成为阻碍其大规模产业化的一点。

4) TOPCon 背面收光较差，量产难度很高，目前有布局的企业包括：LG、REC、中来等。

5) IBC 效率最高，可以达到 23.5%-24.5%，技术难度极高，设备投资高，成本高，国内尚未实现量产，目前布局的企业包括 LG、中来、sunpower。

从以上的对比来看，PERC 和 HJT 技术将是未来光伏电池产能布

局的主要方向。

图 21 光伏电池各种技术路线对比

PV InfoLink		P-Mono PERC	N-PERT	N-TOPCon	HJT	IBC
现电池片效率		21.5 - 22%	21.5 - 21.7%	22.5% - 23%	22.5% - 23.5%	23.5% - 24.5%
现有产能		约63GW	约2.1GW	约2GW	约3.8GW	约1.5GW
目前主要量产企业		主流电池片厂商	中来 林洋	LG REC	Panasonic 上澎、晋能、中智、钧石	SunPower LG
优点		性价比高	可从现有产线升级	有机会从现有新产线升级	工序少	效率高
现况比较	量产性	非常成熟	已可量产	只有LG量产	已可量产	国内尚未有量产实绩
	技术难度	容易	较容易	难度很高	难度高	难度极高
	工序	少	较少	多	最少	非常多
	设备投资	少	设备投资较少	设备仍贵	设备仍贵	非常高
	与现有产线兼容性	已有许多产能	可用现有设备升级	有机会由新产线升级	完全不兼容	几乎不兼容
目前问题		后续提效路线不明朗	与双面P-PERC相比没有性价比优势	量产难度高 效率提升空间可能略低于HJT	与现有设备不兼容，设备投资成本高。	难度高、成本也远高于前述技术。

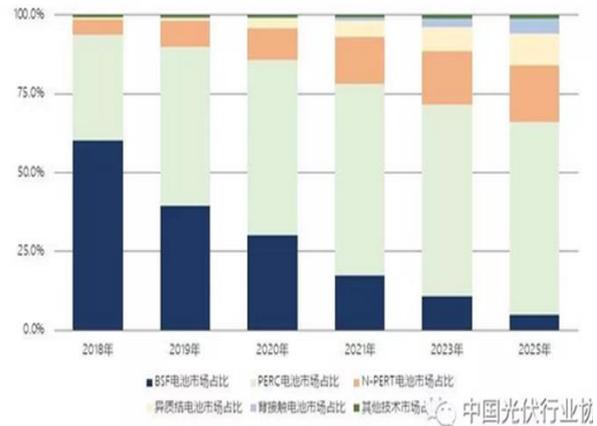
数据来源：PV InfoLink 上海证券研究所

图 22 各种电池片转换效率对比

		2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2025年
多晶	BSF P型多晶太阳能电池平均转换效率	19.2%	19.4%	19.7%	19.9%	20.2%	20.5%
	PERC P型多晶太阳能电池平均转换效率	20.3%	20.5%	20.8%	21.1%	21.3%	21.6%
	PERC P型单晶太阳能电池平均转换效率	21.6%	21.8%	22.2%	22.4%	22.6%	22.8%
P型单晶	PERC P型单晶电池平均转换效率	21.8%	22.1%	22.4%	22.6%	22.8%	23.0%
N型单晶	N-PERT+TopCon单晶电池平均转换效率(正面积率)	21.5%	22.0%	22.5%	23.0%	23.5%	24.0%
	硅基异质结N型单晶电池平均转换效率	22.5%	23.0%	23.5%	24.0%	24.5%	25.0%
	背接触N型单晶电池平均转换效率	23.4%	23.6%	23.8%	24.3%	24.6%	25.0%

数据来源：CPIA 上海证券研究所

图 23 各种技术电池片占比



数据来源：CPIA 上海证券研究所

三、PERC 电池设备企业国内竞争力强，HJT 设备国产化弱

1、PERC 电池设备企业国内竞争力强

P型电池设备国产化率高。目前国内P型电池设备国产化率较高，除了技术要求极高的板式PECVD、以及国外性价比较高的快速烧结炉

需要进口外，其他国内设备厂家已经具有很强的竞争力，在下游客户降本增效的需求下，市场占有率持续提高。

根据通威的公告：通威合肥太阳能二期 2.3GW 高效晶硅电池片项目，在前期成都一期项目、合肥技改项目大量引入了国产设备免费试用，如：印刷线试用迈为、科隆威设备，PECVD、制绒工序试用捷佳创设备。在经过一段时间验证国产设备可靠性后，为充分降低投资成本、提高收益，公司在招标中大量选购国产设备，“合肥太阳能二期 2.3GW 高效晶硅电池片项目”原主要设备约 90%需要进口，现该比例已降至约 20%。

表 1 电池设备竞争格局

生产工序	生产设备	厂家					
硅片清洗，制绒	清洗机	捷佳伟创	张家港超声				
	制绒设备	捷佳伟创	RENA	施密德	晶洲装备		
扩散/制结	扩散炉	捷佳伟创	Tempress	丰盛装备	Centrotherm	北方华创	电科 48 所
		帝尔激光	迈为股份				
激光掺杂	激光掺杂设备	帝尔激光					
	等离子体刻蚀机	捷佳伟创	RENA	施密德			
退火							
PERC	PECVD(板式)	Meyer Burger					
	PECVD(管式)	Centrotherm	丰盛装备	捷佳伟创			
	ALD	solay tec	江苏微导	理想能源			
PECVD	PECVD 设备	捷佳伟创	Centrotherm	Meyer Burger			
激光开槽	激光设备	帝尔激光	迈为股份	大族激光			
丝网印刷	丝网印刷机	迈为股份	Baccini	科隆威			
烘干和烧结	快速烧结炉	despatch					
分类检测	自动分选机	halm					

数据来源：上海证券研究所综合整理

1) 制绒设备

制绒是利用碱对单晶硅表面的各向异性腐蚀，工业生产中一般采用成本较低的氢氧化钠或氢氧化钾稀溶液来制备绒面。利用 Si 在稀 NaOH 溶液中的各向异性腐蚀，在硅片表面形成 3-6 微米的金字塔结构。理想的绒面效果：金字塔大小均匀，覆盖整个表面，相邻金字塔之间没有空隙，具有较低的表面反射率。单晶硅的绒面制备，能够有效地提高电池转换效率，由于市场的变化，对绒面质量的要求也变的越来越高。如何做出高质量的绒面，不仅仅是工艺技术的问题，还需要与优异的设备进行配合，而设备的相关性能也决定了工艺的效果。目前制绒设备技术指标控制严格的包括：工艺温度、溶液均匀性、产

能等。为了保证反应条件的一致性，温控精度要在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；溶液均匀性和产能也是重要的考察点。目前国内外的设备厂家包括 RENA、施密德、捷佳伟创、晶洲装备等。国内以捷佳伟创为代表的设备企业在产能、控温精度、自动配补液精度等方面的性能已经达到世界先进水平。

表 2 不同厂家制绒设备技术指标对比

关键性能指标	国际同类设备商	捷佳伟创	国内同类设备商
产能 (片/h)	6000	6500	2400-3300
控温精度 ($^{\circ}\text{C}$)	± 1	± 1	± 2
碎片率 (\leq)	0.05%	0.05%	0.10%
单晶制绒及反射率	$\leq 8\%$	$\leq 11\%$	12.5%
自动配补液精度	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$	5%
机械手方式移动速度 (mm/s)	1500	1500	700-1500
机械手方式定位精度 (mm)	± 1	± 1	$\pm 1-5$

数据来源：捷佳伟创招股说明书 上海证券研究所

2) 扩散设备

扩散主要是电池片制 PN 结的过程，扩散工艺的好坏直接影响电池片效率的多少。扩散的方法包括：三氯氧磷(POCl_3)液态源扩散、喷涂磷酸水溶液后链式扩散、丝网印刷磷浆料后链式扩散。目前国内多采用第一种方法：三氯氧磷(POCl_3)液态源扩散，其具有稳定、可控性强等优点。 POCl_3 液态分子在 N_2 载气的携带下进入炉管，在高温下经过一系列化学反应磷原子被置换。 POCl_3 在高温下 ($>600^{\circ}\text{C}$) 分解生成五氯化磷(PCl_5)和五氧化二磷(P_2O_5)， POCl_3 分解产生的 P_2O_5 淀积在硅片表面， P_2O_5 与硅反应生成 SiO_2 和磷原子，并在硅片表面形成一层磷-硅玻璃，然后磷原子再向硅中进行扩散。扩散设备的核心技术指标是扩散方阻均匀性，其他指标包括控温精度和稳定性、工艺时间等。扩散炉的提供厂家包括 Tempress、Centrotherm、捷佳伟创、丰盛装备、北方华创、电科 48 所等。

表 3 不同厂家扩散设备技术指标对比

关键性能指标	国际同类设备商	捷佳伟创	国内同类设备商
电池片进炉吹扫除尘及出炉快速冷却	无	有	无
恒温区长度 (mm)	1600	1600	1300-1600
工艺时间 (分钟)	60-80	60-80	80-90
控温精度 ($^{\circ}\text{C}$)	± 0.5	± 0.5	± 0.5
温度稳定性 ($^{\circ}\text{C}/24\text{h}$)	± 0.5	± 0.5	$\pm 0.5-1$
方阻均匀性	3%	4%	4%

数据来源：捷佳伟创招股说明书 上海证券研究所

3) 钝化和 PECVD 设备

传统 PECVD 工艺主要是镀反射膜：制作减少硅片表面反射的 SiN 薄膜。高效 PERC 电池工艺中增加了背面钝化工艺，背面钝化工艺在硅片背面沉积三氧化二铝和氮化硅，对硅片背面进行钝化。

目前 PERC 电池中钝化工艺包括两种方式：一种是使用 PECVD（等离子体化学气相沉积）设备一次性完成三氧化二铝和氮化硅膜的层叠；二是使用 ALD（原子层沉积）设备完成三氧化二铝镀膜；PECVD 完成氮化硅镀膜。

ALD（原子层沉积）设备独立完成三氧化二铝镀膜，ALD 镀膜具有低温沉积、速度慢、膜质好等优点，但是稳定性待检验；设备厂家包括：solay tec、理想能源、江苏微导等。

目前 PECVD 分为板式 PECVD 和管式 PECVD。板式 PECVD 钝化膜生长及氮化硅覆膜集成一体，设备及工艺相对稳定，市场暂时领先，Meyer Burger 公司优势突出。

管式 PECVD：用石英管作为沉积腔室，使用电阻炉作为加热体，将一个可以放置多片硅片的石墨舟插进石英管中进行沉积。其膜质较好，有增加氧化硅提升钝化效果潜力，少量试产，损伤及绕镀现象待检验，设备厂家包括 Centrotherm、捷佳伟创、丰盛装备。

表 4 不同 PERC 设备对比

设备	氧化铝膜厚 (nm)	TMA 消耗量 (mg/片)	氮化硅覆膜功能	氮化硅覆膜厚度 (nm)	反应气体	沉积速率 (nm/min)	设备特点及应用	代表厂家
板式 PECVD	15-45	9-10	有	100-120	N ₂ 、TMA、氩气	40-100	钝化膜生长及氮化硅覆膜集成一体，设备及工艺相对稳定，市场暂时领先，PM 时间长，国产设备基础弱，膜质一般。	Mayer burger
管式 PECVD	15-45	9-10	有	100-120	N ₂ 、SiH ₄ 、TMA、氩气	≥8	膜质较好，有增加氧化硅提升钝化效果潜力，少量试产，损伤及绕镀现象待检验，国产设备基础好	Centrotherm、捷佳伟创、丰盛装备
ALD	5-10	2-3.3	无	100-120	H ₂ O、TMA、N ₂	2	低温沉积、速度慢、膜质好、有多家量产设备在多家使用，只有独立钝化膜制备功能，稳定性待检验	solay tec、理想能源

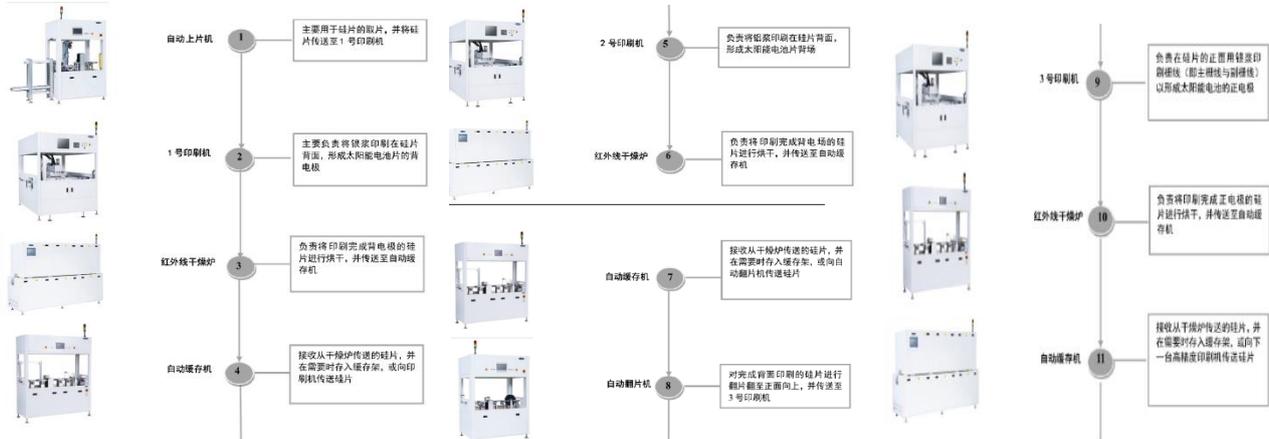
数据来源：丰盛装备 上海证券研究所

4) 丝网印刷

丝网印刷设备主要是依次完成背场、背电极、正栅线电极的制作。

一条印刷线一般包括 3 套印刷机，分别是背电极印刷、铝背场印刷、正电极印刷，如果有二次印刷，添加 4 号印刷机，在第一层浆料基础上，相同位置进行第二次印刷，实现更窄、更高导线的印刷。目前丝网印刷机的厂家包括 Baccini、迈为股份、科隆威等。

图 24 丝网印刷线



数据来源：迈为股份招股说明书 上海证券研究所

5) 激光开槽&激光掺杂设备

激光开槽设备主要用在 PERC 电池的激光开槽，利用一定脉冲宽度的激光在去除部分覆盖在电池背面的钝化层和 SiNx 覆盖层，以使丝网印刷的铝浆可以与电池背面的硅片形成有效接触，从而使光生电流可以通过 Al 层导出。

SE (选择性发射极)中使用到激光掺杂设备，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。

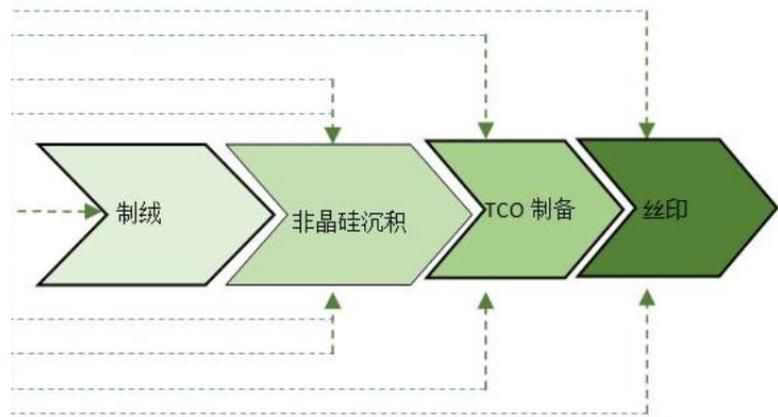
目前激光开槽和激光掺杂的设备提供商包括帝尔激光、大族激光、迈为股份。

2、HJT 电池设备国产化弱

HJT 电池设备以国外为主，国产化弱。N 性电池设备分析以未来的主流技术 HJT 电池来展开。HJT 电池的生产流程包括制绒、非晶硅沉积、TCO 沉积、丝网印刷四步。对其中两个不同于普通电池片的工艺：非晶硅沉积、TCO 沉积进行分析。

非晶硅沉积主要使用 PECVD(离子体增强化学气相沉积)方法，目前提供设备的厂家包括 Meyer Burger、Ulvac(爱发科)、精曜等公司，TCO 沉积包括 RPD (反应等离子体沉积) 和 PVD (物理化学气相沉积) 两种方法，RPD 技术主要由日本住友重工掌握。目前用的较多的是 PVD 工艺，采用直流磁控溅射制备，PVD 的设备厂家包括 Meyer Burger、精曜、冯阿登纳等。整体来看，HJT 设备国产设备较弱。

图 25 HJT 电池结构



数据来源：超高效 HJT 电池概述 上海证券研究所

表 5 HJT 设备竞争格局

生产工序	工序	厂家
非晶硅沉积	PECVD	Meyer Burger 精曜 Ulvac 理想
透明导电层 TCO 沉积	RPD	住友重工 精曜
	PVD	Meyer Burger 精曜 冯阿登纳

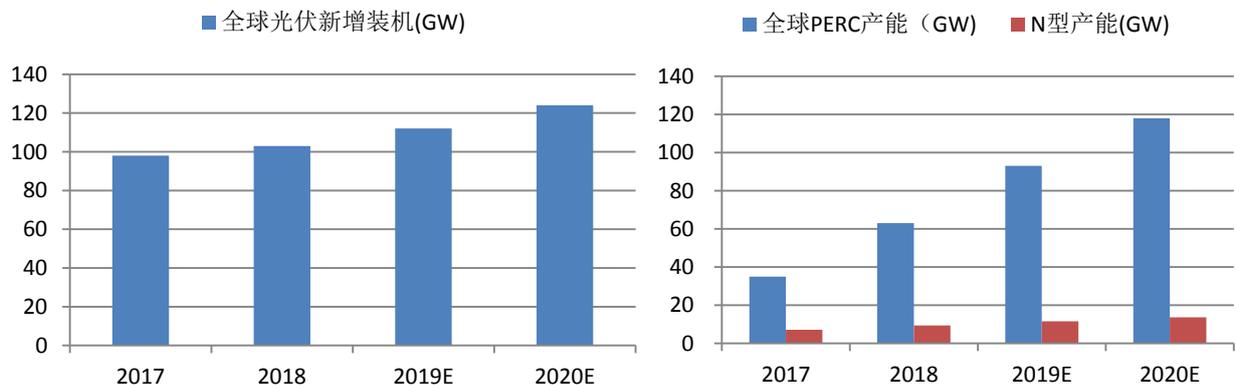
数据来源：天合光能 上海证券研究所

3、设备市场空间测算

高效电池产能依然处于紧平衡的状态。我们认为高效电池是未来的方向，以 2018 年来看，PERC+N 型合计产能为 72GW，不能满足全球 103GW 的装机需求。到 2020 年 PERC+N 型合计产能为 132GW，依然处于一个紧平衡的状态。如果按照 2021 年，中国实现平价上网，全球光伏新增装机有望达到 200GW，高效电池产能远远不能满足需求，未来 PERC+N 型的产能会持续扩充中。

图 26 全球光伏新增装机

图 27 全球 PERC 和 N 型产能



数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

数据来源: PV InfoLink 上海证券研究所

参考隆基宁夏乐叶年产 5GW 高效单晶电池项目设备工具购置费用明细。我们可以看到 1GW 高效单晶电池需要的设备投资额大约为 4.97 亿元, 其中工艺设备为 3.53 亿元, 检测设备为 0.26 亿元, 自动化设备 1.08 亿元。单独来看, 背钝化投资额最大, 1GW 投资额为 1.08 亿元, 管式 PECVD 第二, 1GW 需要设备数量为 11 台, 投资额 0.46 亿元。制绒 1GW 需要设备 5 台, 投资额 0.34 亿元。其他设备包括扩散、激光掺杂、刻蚀、退火、激光开槽、印刷线、烧结炉等。

表 6 高效电池设备投资情况

设备名称	数量/1GW	百万元/1GW	占总的设备投资额比
制绒	5	33.6	6.8%
扩散	7	22.2	4.5%
激光掺杂	5	16.2	3.3%
刻蚀	5	15.1	3.0%
退火	7	22.2	4.5%
背钝化	8	106.6	21.4%
	2	1.8	0.4%
管式 PECVD	11	46.0	9.2%
激光开槽	6	17.4	3.5%
印刷线	5	57.6	11.6%
烧结炉	5	14.4	2.9%
工艺主设备小计	67	353.1	71.0%
检测设备			
IV 测试仪	10	11.5	2.3%
外观颜色检测	10	5.8	1.2%
EL 检测 (在线)	10	3.8	0.8%
方阻测试仪 (可集成)	3	1.5	0.3%
反射率测试仪	2	1.0	0.2%
椭偏仪/膜厚测试仪	2	0.8	0.2%
电子显微镜	1	0.6	0.1%
其他检测设备	4	1.0	0.2%
检测设备小计	41	26.0	5.2%
自动化			
测试分选机	5	19.2	3.9%
制绒自动化	5	4.8	1.0%
扩散自动化	7	13.3	2.7%
刻蚀自动化	5	5.4	1.1%
退火自动化	7	13.3	2.7%
iAGV	36	18.0	3.6%
背钝化自动化 (MAIA)	8	14.8	3.0%
管式 PECVD 自动化	11	19.4	3.9%

自动化设备小计	85	108.2	21.8%
辅助设备	20	2.0	0.4%
工装、工具	3,242	6.4	1.3%
仓储搬运设备		0.8	0.2%
其他设备		0.9	0.2%
设备工具购置费用合计		497.4	100.0%

数据来源：隆基股份 上海证券研究所

2019-2021 年高效电池设备累计市场空间为 315 亿元。参考宁夏乐叶年产 5GW 高效单晶电池项目设备工具购置费用明细，暂不考虑设备降价的因素，测算得出到 2019-2021 年高效电池设备累计市场空间为 315 亿元。其中制绒设备市场空间为 21.4 亿元、扩散设备市场空间为 13.9 亿元、背钝化设备市场空间为 63 亿元、PECVD 设备市场空间为 28.4 亿元、印刷线市场空间为 36.5 亿元、激光开槽设备市场空间为 10.7 亿元、激光掺杂设备市场空间为 10.1 亿元。

表 7 PERC 电池设备市场空间测算

区分	基准					
	(百万元/GW)	2017	2018	2019	2020	2021
全球电池片产能 (GW)		130	155	170	185	190
电池片新增产能			25	15	15	5
全球 PERC 产能 (GW)	35	63	93	118	126	
PERC 新增产能 (GW)			29	30	25	8
总的设备市场空间 (亿元)	500		145	150	125	40
制绒设备市场 (亿元)	34		9.9	10.2	8.5	2.7
扩散设备市场 (亿元)	22		6.4	6.6	5.5	1.8
激光掺杂设备市场 (亿元)	16		4.6	4.8	4.0	1.3
刻蚀设备市场 (亿元)	15		4.4	4.5	3.8	1.2
背钝化设备市场 (亿元)	100		29.0	30.0	25.0	8.0
管式 PECVD 设备市场 (亿元)	45		13.1	13.5	11.3	3.6
激光开槽设备市场 (亿元)	17		4.9	5.1	4.3	1.4
印刷线市场 (亿元)	58		16.8	17.4	14.5	4.6
烧结炉市场 (亿元)	15		4.4	4.5	3.8	1.2

数据来源：隆基股份 上海证券研究所

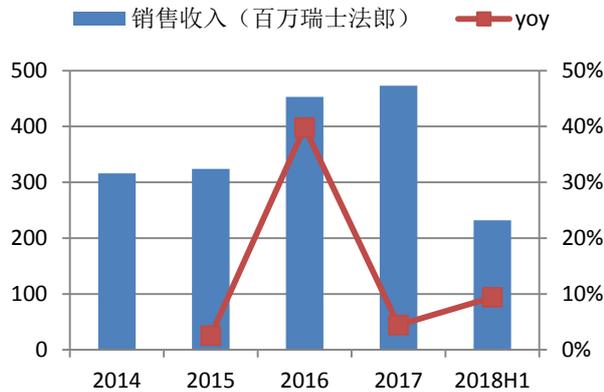
四、电池设备企业成长动力

梅耶博格的成长动力: 受益于行业发展和不断推出满足下游技术迭代需求的设备。梅耶博格目前主流的设备包括用于 PERC 的 MAiA 电池镀膜设备、用于异质结 (HJT) 电池的 HELiAPECVD 和 HELiAPVD 设备、用于组件生产的智能网栅连接技术 (SWCT™)。公司目前的产品重点是将主要集中在异质结、SmartWire 连接技术 (SWCT) 以及更有潜力的下一代电池组件技术。

2017 年公司实现收入 4.73 亿瑞士法郎，约合 31.60 亿元，同比增长 4.4%；2018 年上半年公司实现收入 2.32 亿瑞士法郎，约合 15.50 亿元，同比增长 9.4%。

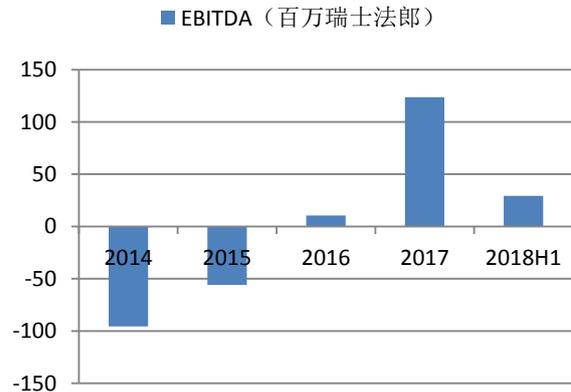
公司收入不断增长的原因总结起来有两点：一、受益于行业的大发展。随着全球光伏装机量的上涨，公司的订单也越来越多，公司直接受益于中国的光伏市场，亚洲市场（中国为主）占其总收入的 77%。二是公司满足光伏行业降本增效的需求，不断推出满足新一代电池片技术的设备。公司推出的 PERC 设备，随着中国 PERC 产能的扩张，公司的订单量也水涨船高，截止到 2018 年上半年公司累计获得 33GW 的 PERC 设备订单。2018 年开始中国国产的 PERC 设备开始成熟，公司面临巨大的价格压力，公司开始发力下一代高效电池片 HJT 技术的设备，目前公司在 HJT 的 PECVD 和 PVD 设备独占优势明显。

图 28 梅耶博格收入及增速



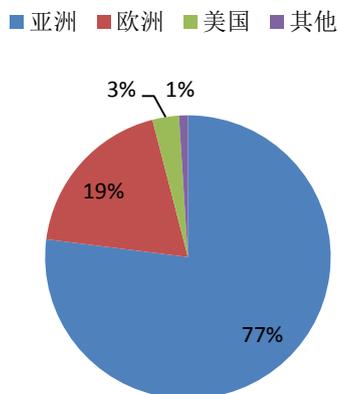
数据来源：公司官网 上海证券研究所

图 29 梅耶博格 EBITDA



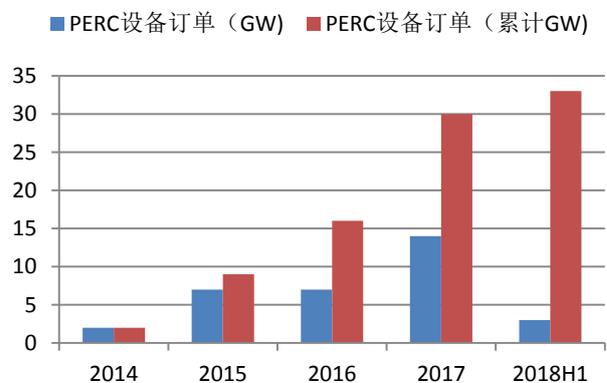
数据来源：公司官网 上海证券研究所

图 30 梅耶博格的收入地区占比



数据来源：公司官网 上海证券研究所

图 31 公司 PERC 的订单



数据来源：公司官网 上海证券研究所

从梅耶博格的成长来看，我们认为电池设备企业的成长遵循以下成长路径：主流工艺设备下游客户市场占有率的提高→多品类电池设备的拓展→下一代电池技术设备的国产化推动。

我们认为对于电池设备企业的分析，主要包括下游电池客户新建产能情况、设备在客户处市场占有率的变化、多品类电池设备的拓展情况、满足新一代电池技术设备的储备和推出情况。

图 32 电池设备企业的分析框架



数据来源：上海证券研究所

五、投资建议

光伏平价上网带来光伏行业新一轮向上周期，平价上网要求行业降本增效，光伏电池设备在促进技术进步发挥中坚力量。PERC 电池新建产能有望持续维持高位，国产化设备市场占有率持续提升。HJT 等新型电池技术产业化加快，国产设备逐步布局。光伏设备企业正迎来下游需求、自身竞争力增强、未来新技术设备突破等多重因素叠加，设备企业有望迎来持续高增长。建议重点关注光伏设备中具有长期成长动力的企业。

六、风险提示

- 1)、光伏行业需求不及预期；
- 2)、新技术产业化推进速度慢。

分析师承诺

倪瑞超

本人以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师的研究观点。此外，本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接相关。

公司业务资格说明

本公司具备证券投资咨询业务资格。

投资评级体系与评级定义

股票投资评级：

分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据公司基本面及（或）估值预期以报告日起6个月内公司股价相对于同期市场基准沪深300指数表现的看法。

投资评级	定义
增持	股价表现将强于基准指数 20%以上
谨慎增持	股价表现将强于基准指数 10%以上
中性	股价表现将介于基准指数±10%之间
减持	股价表现将弱于基准指数 10%以上

行业投资评级：

分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据行业历史基本面及（或）估值对所研究行业以报告日起 12 个月内的基本面和行业指数相对于同期市场基准沪深 300 指数表现的看法。

投资评级	定义
增持	行业基本面看好，行业指数将强于基准指数 5%
中性	行业基本面稳定，行业指数将介于基准指数±5%
减持	行业基本面看淡，行业指数将弱于基准指数 5%

投资评级说明：

不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准，投资者应区分不同机构在相同评级名称下的定义差异。本评级体系采用的是相对评级体系。投资者买卖证券的决定取决于个人的实际情况。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，投资者不应以分析师的投资评级取代个人的分析与判断。

免责条款

本报告中的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性及完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价或询价。我公司及其雇员对任何人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。

在法律允许的情况下，我公司或其关联机构可能会持有报告中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或财务顾问服务。

本报告仅向特定客户传送，版权归上海证券有限责任公司所有。未获得上海证券有限责任公司事先书面授权，任何机构和人均不得对本报告进行任何形式的发布、复制、引用或转载。

上海证券有限责任公司对于上述投资评级体系与评级定义和免责条款具有修改权和最终解释权。