

# N型电池片将成为趋势，异质结有望成为行业新星

2019年08月22日

看好/维持

电力设备与新能源 行业报告

**电池片技术路线是光伏行业发展的关键环节，N型将成为发展趋势：**提高转换效率的方法主要是降低光学损失和电学损失。目前主流技术是晶硅电池片，根据基极的不同，分为P型和N型电池。P型电池工艺相对简单，成本更低。N型电池有更多的自由电子和更少的空穴，电子搜寻空穴速度更快，因此寿命和转换效率更高。目前市场主要的电池片产品有P型PERC，N型TOPcon、HIT（异质结）、IBC等。我们认为N型电池片技术将是行业未来发展趋势。

**P型PERC电池片是市场主流，大规模扩张后，盈利能力或有所下滑：**PERC电池片是在传统铝背场电池的基础上增加沉积钝化层的设备和激光开槽的设备，门槛较低，且转化效率明显高于普通电池，因此近两年扩张势态迅猛，2019年底全球PERC产能约26GW，2018年底达到57GW，2019年底产能将接近120GW，2020年中或达到150GW。主流PERC电池片的转换效率约在21.5%-22.5%，一些头部企业有望突破22.5%，但是从目前的实验室数据来看，PERC电池片转换效率极限约在24%左右。因此大多数厂商都将重心放在了降低生产成本上，由于产能的快速扩产和转换效率的瓶颈，PERC电池片市场价格在2018年Q4由最高的报价1.3元/w，降至2019年8月已经跌破1元/w，下降幅度超过30%。考虑到三季度开始国内市场景气度开始提升，PERC电池片价格有望企稳，但是中长期来看，P型PERC电池片将开始由盛转衰。

**N型异质结（HIT）技术或成为市场新星：**N型电池片具有较高的转换效率，同时N型双面性价比更高，因此市场型技术产品主要是N型为主其中具有代表的技术路线包括：TOPCON、HIT和IBC。TOPCON是在N-PERC基础上增加2-3步工艺（沉积、离子注入和退火等），转换效率较N-PERC有一定的提高，但是考虑综合成本，性价比还不高；IBC技术目前还没有大规模量产，理论转换效率较高，海外企业尚在尝试阶段；异质结（HIT）工艺仅有4-5步，转换效率较高，性能优良，同时未来还可以跟IBC完美结合，进一步提升转换效率，有望成为电池片未来主流技术。

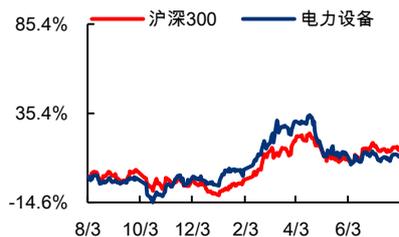
异质结电池成本主要来自硅片、浆料和靶材，三者占比分别为49%、24%和4%，非硅成本比例明显高于PERC型电池，主要是由于导电银浆和设备折旧以及靶材金额较高所导致，目前HIT的设备成本是100万元/MW，而PERC仅为60万元/MW，是PERC电池的几乎两倍。根据PERC电池片产品生命周期的变化，HIT在未来两年成本有望快速下降，目前全球产能约4GW，在建10GW左右。同时我们对PERC电池和HIT电池对应的度电成本进行测算，在2021年HIT电池片度电成本将低于PERC电池片，经济性提升，竞争力提升，有望成为未来市场主流产品。

**推荐标的：**中环股份、隆基股份、通威股份。

**风险提示：**HIT量产效率提升不及预期；HIT成本降低不及预期；PERC电池有进一步的技术提升等。

未来3-6个月行业大事：

行业基本资料	占比%
股票家数	162 4.43%
重点公司家数	- -
行业市值	12911.75 亿元 2.19%
流通市值	10399.05 亿元 2.41%
行业平均市盈率	30.7 /
市场平均市盈率	16.77 /



资料来源：Wind、东兴证券研究所

**分析师：郑丹丹**

021-25102903

zhengdd@dxzq.net.cn

执业证书编号：

S1480519070001

**分析师：李远山**

010-66554024

liysh@dxzq.net.cn

执业证书编号：

S1480519040001

**研究助理：张阳**

010-66554016

zhangyang\_yjs@dxzq.net.cn

## 目录

1. 光伏产业的发展核心—电池技术	3
1.1 太阳能电池发电原理	3
1.2 提高效率的关键—光学损失和电学损失	4
1.3 电池技术分类：N型具有天然优势	5
1.4 技术变革是核心竞争力	6
2. 当前最高性价比—P型 PERC 高效电池	7
2.1 P型 PERC 电池原理	7
2.2 PERC 电池的改进—SE 技术和双面 PERC 技术	8
2.3 效率瓶颈下 PERC 未来性价比优势渐弱	9
3. 未来电池新天地—N型异质结（HIT）	10
3.1 N型三大技术之 N-PERT 及其改进 TOPCON—提升有限，与 PERC 仍属同一框架	10
3.2 N型三大技术之 HIT—全新异质结，工序简单、发电高效	12
3.3 N型三大技术之 IBC—尚处中试，仍需完善	13
4. 异质结 2-3 年后走上舞台—成本效率分析	14
4.1 HIT 效率优势突出，工序简单、可低温封装	14
4.2 降成本是 HIT 电池目前主要任务，预计 21 年或 22 年下降至稳定状态，逐渐替代 PERC 电池	16
4.3 HIT 效率优势凸显，度电成本或在 21 年低于 PERC	18
5. 更远的未来—薄膜电池潜力巨大	20
6. 风险提示	22

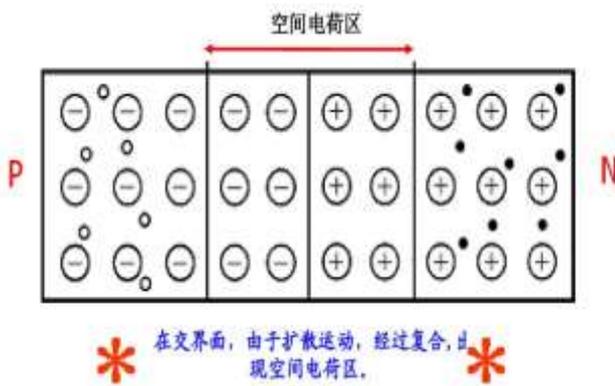
## 1. 光伏产业的发展核心—电池技术

### 1.1 太阳能电池发电原理

光伏发电是直接将清洁能源—太阳辐射能转换为电能的新型发电方式，主要原理是利用半导体在吸收光照时产生的光电效应，亦被称为光伏特效应。其具体现象为当光线照射在太阳能电池上时，光子的能量会被电池吸收实现电子跃迁，形成自由电子从而产生一定的电势差，有了电势差，光能也就直接转为了电能。

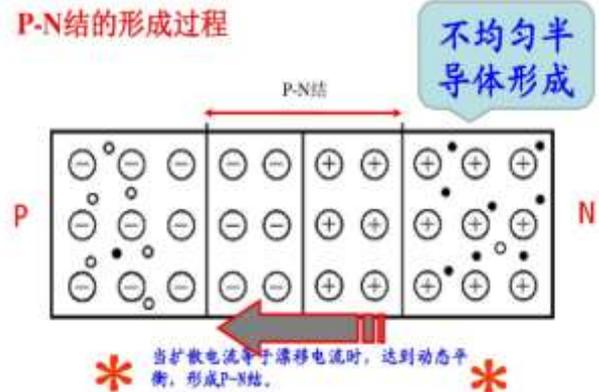
目前光伏产业中的电池根据基体的材料不同可以分为晶体硅太阳能电池和薄膜太阳能电池，其中晶体硅电池发展相对成熟，成本及效率仍有很大提升空间，是目前市场的主流。无论是何种材料，其基本原理都是利用不同技术形成P型材料和N型材料，可被看做P区和N区，并将其放在一起使两种材料之间形成PN结（一个稳定的电场，即内建电场），当发生光照时，PN结中的电子吸收足够能量的光子实现跃迁，从共价键中激发出来，因此产生一个电子-空穴对（空穴即因电子挣脱束缚而形成的一个共价键空位）。在PN结这个内建电场结界层的影响下，电子（带负电）向N区运动，空穴（带正电）向P区运动，因此P区和N区形成电势差，通过电池外接正负极形成外电路电流，也就是产生了电能。

图 1：太阳能电池 PN 区



资料来源：网络资料，东兴证券研究所

图 2：P-N 结形成过程

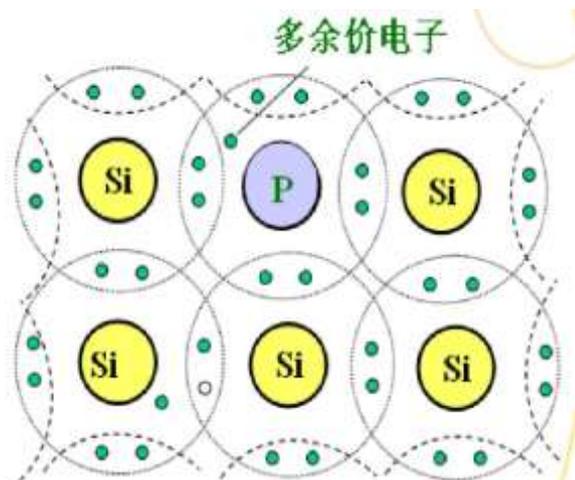


资料来源：网络资料，东兴证券研究所

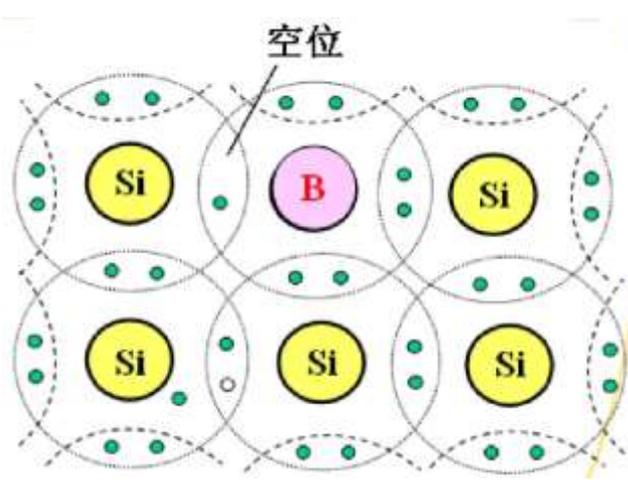
我们以目前的市场主流—晶硅电池为例来看具体其工艺是如何实现的，单纯的晶体硅可以产生的自由电子和空穴数目远远无法满足光伏发电的需要，因此通常采用的技术为在纯净的硅中进行掺杂，在其中掺杂磷元素形成N型半导体，在其中掺杂硼元素形成P型半导体。这是因为在不同元素电子数及电子轨道存在一定差异的情况下，磷元素掺杂在晶硅中后，磷原子很容易和多个硅原子形成共价键而多出一个不稳定的电子（该电子极易挣脱原子核的束缚而形成自由电子）；而硼元素掺杂在晶硅中，硼原子则易于多个硅原子形成共价键而产生一个空穴（该空穴也极易挣脱原子核的束缚而自由移动）。这种掺杂技术使得晶硅电池相对于纯净的晶体硅而言内部存在着大量的自由电子和空穴，以满足发电的需要。二者相接触的部分自由电子和空穴相互吸引，N型半导体中的自由电子恰好可以和P型半导体中形成的空穴相互结合，在交界处形成一个稳定状态的PN结，也就是内建电场，不受光照的状态下保持静态，同时阻止P区和N区的电子和空穴进一步配对。

图 3：N 型掺磷半导体

图 4：P 型掺硼半导体



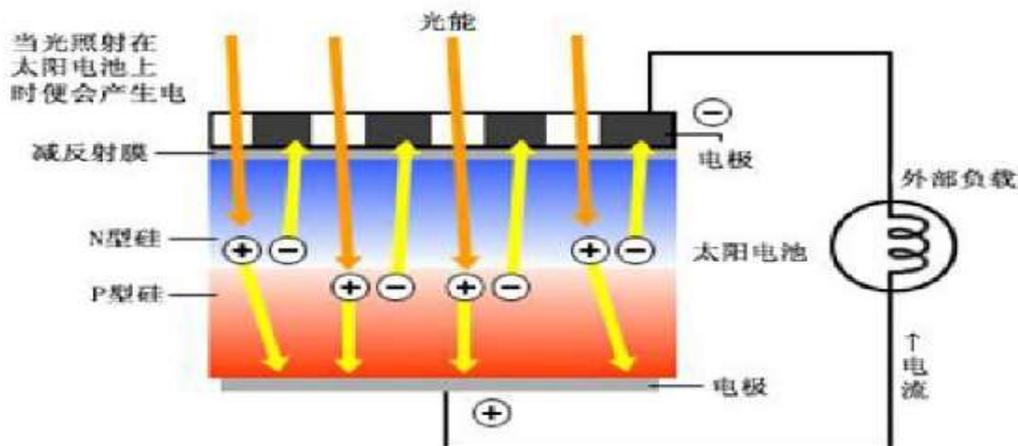
资料来源：网络资料，东兴证券研究所



资料来源：网络资料，东兴证券研究所

在光照时发生光电效应来实现光电转换，即 PN 结吸收光能产生自由电子和空穴对，在其自身内建电场的作用下电子移动至 N 区，空穴移动至 P 区形成电势差，外接正负极和负载后，从电子运动来看，电子源源不断地通过导线从 N 区流向 P 区，并与 P 区所存在的大量空穴结合，也就产生了电流，在实际发电时可以通过调节负载而调节电流。

图 5：光照发电效果图



资料来源：网络资料，东兴证券研究所

光伏发电的核心就是太阳能电池，其光电转换原理也是整个光伏产业的核心原理，电池的转换效率、工艺难度、制造成本、使用寿命等问题都至关重要，从现如今的技术水平来看，仍然有非常大的发展空间。

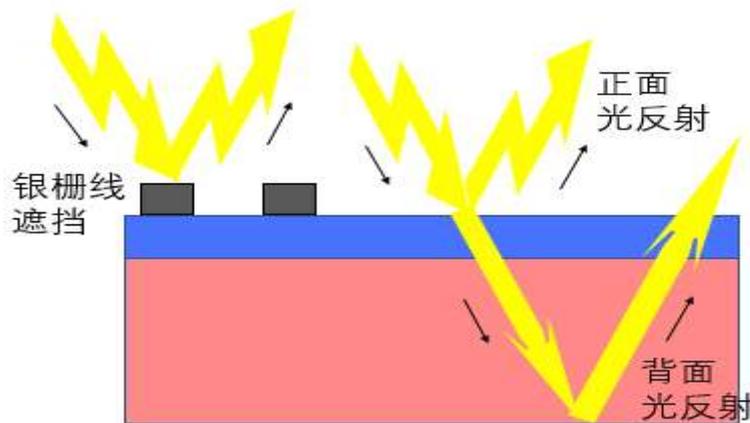
## 1.2 提高效率的关键—光学损失和电学损失

我们在利用太阳能电池进行光电转换时，整个行业最关注的也最敏感的就是电池转换效率，它是判断电池片性能的主要决定因素，也代表了整个行业最先进的技术和未来的发展前景。因此提高转换效率是目前各大电池厂商及实验室的重点努力方向，也是降低光伏发电成本使其除了清洁能源的环境保护意义之外更具经济价值的主要途径。

在理解太阳能电池发电原理的基础上，可以分析得到，影响电池片光电转换效率的两大因素主要为“光学损失”和“电学损失”。

**光学损失**主要指太阳光照射到电池片上时，电池片根据材质不同会产生不同程度的折射和反射现象，同时半导体表面的电极和栅线的遮挡，以及电池材料本身的光谱效应及长波段的非吸收损失，这些都会使光照无法充分被电池片吸收，从而产生光学损失。解决方法通常包括通过使用减反膜、表面制绒减少反射，减少栅线遮光，背表面高反射减少电池背电极吸收光线等

**图 6：光学损失示意图**



资料来源：网络资料，东兴证券研究所

**电学损失**包括半导体表面和内部载流子（电子或空穴）复合，半导体和电极的接触电阻等。其中最关键的就是降低载流子的复合，因为电池片的电流产生就是少数载流子被激发并通过导线运动最终复合的过程，它直接影响了太阳能电池的开路电压。少数载流子从产生到复合的时间即为它的寿命，少数载流子复合地越慢，其寿命越长，电学损失就越少，电池的转换效率也就越高。减少少数载流子复合的方法通常有正面镀膜、背面钝化等。

### 1.3 电池技术分类：N型具有天然优势

前文的发电原理中表明电池制造过程中会运用不同的技术手段形成P型半导体和N型半导体，但在实际生产中，由于工艺的限制通常无法将P型半导体和N型半导体直接结合，一般做法是将电池基极在硅片生产端进行掺杂形成P区（或N区），之后在该硅片一侧的表面通过扩散掺入另一种元素形成与基极相对应的N区（或P区），进而形成PN结，电池片根据基极的不同可被分为P型电池和N型电池。

在掺杂过程中由于原子特性不同，磷和硼对晶硅的相容性也有所差异。硼在硅中的分凝系数更大，接近于1，因此在掺杂后将单晶拉棒时更容易形成均匀的浓度分布，而掺杂磷后在单晶拉棒时会出现磷分布不均的情况。因此**P型电池的工艺相较于N型电池来说成本更低也更简单。**

**N型电池片的转换效率却比P型电池更高**，因为在少数载流子的复合过程中，P型硅片由于其自身性质，存在大量的空穴，当自由电子通过导线运动至P型硅片时非常容易和空穴复合，复合速度也就很快。而N型电池则是以N型硅片作为基极，只在表面扩散形成P区，因此存在相对大量的自由电子和少量的空穴，电子搜寻空穴并复合的速度大大降低。前文中影响转换效率的“电学损失”中提到，电子与空穴的复合速度越快，

载流子的寿命就越短，形成的损耗也就越大。因此N型电池载流子寿命长，转换效率更高。

目前市场上的主流电池片包括单晶 PERC、单晶 PERC+SE、N型双面、TOPcon、HIT（异质结）、IBC 等几种电池，其中前两种为P型电池，其余为N型电池。

图 6：太阳能电池分类



资料来源：公司公告，东兴证券研究所

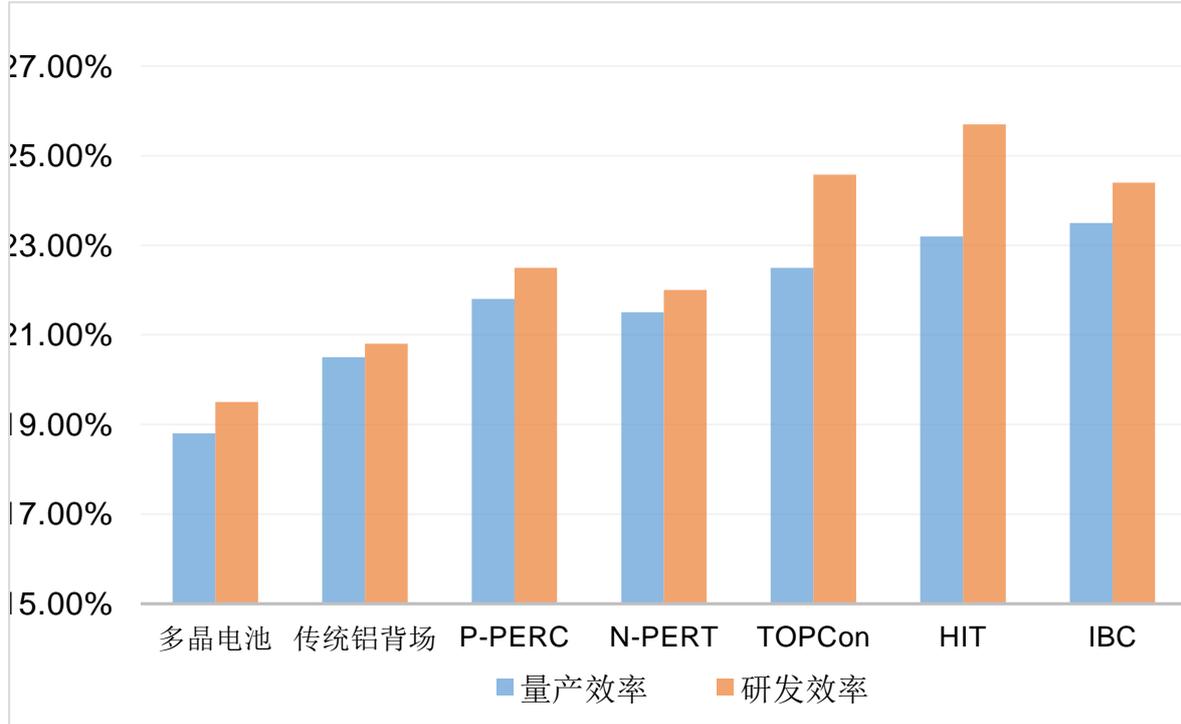
## 1.4 技术变革是核心竞争力

光伏项目的上网电价，从 2007 年的 4 元/kWh 到现在的约 0.4 元/kWh 已经显著下降，未来也必定会继续下降，国际可再生能源署 (IRENA) 也表示光伏、风电等清洁能源会成为最便宜的发电来源，因此平价上网是光伏行业的未来。与此同时光伏产业是个技术密集型产业，技术迭代非常快，成本受技术影响巨大，降低成本的主要途径就是依靠技术进步，提高效率。

在整个光伏产业链中，硅片环节的单晶硅、多晶硅之争已基本定局，随着金刚石线切割技术的成熟，单晶硅的效率优势已经显现，硅片环节也主要体现为资本密集型。而电池片环节目前仍是技术密集型产业，通过不断研发新技术来提高电池效率，降低生产成本，技术是唯一突破方向也是核心竞争力，高效电池片封装而成的组件也能进一步降低单瓦 BOS 成本。整体而言，技术变革已经一步步地在向产业链的下游传导，电池片的未来将由技术决定，能提升电池转换效率，能将研发出的新技术用于大量生产，实现大规模产能，就能降低

电池成本，就能赢得市场的选择，站在行业前端。

图 8：各类型电池效率



资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

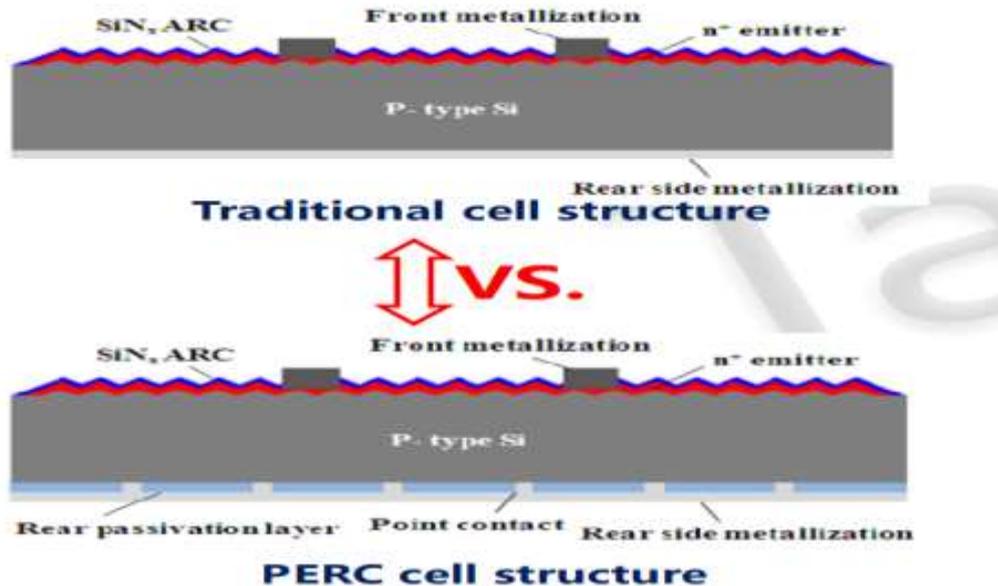
## 2.当前最高性价比—P 型 PERC 高效电池

### 2.1P 型 PERC 电池原理

P 型电池由于工艺简单且目前效率与 N 型差距不大但在成本上具有领先优势而具有明显的性价比，在市场中有着绝对领先地位。2019 年全球 PERC 产能预计达到 100GW，而 2019 年全球的新增装机需求大概为 120GW 左右，也就说明，PERC 技术是目前最常规的电池技术。

PERC 技术是在传统铝背场电池（在硅片背部制备铝膜，形成铝背场，减少少数载流子的复合速度同时充当金属电极）的基础上，在硅片背面和背铝中间再加入一层电介质钝化层，同时通过在钝化层上激光刻蚀来实现背铝与硅片的接触。从两个方面对传统铝背场电池进行改进，一方面硅片背面的半导体与金属的接触面积大大减少，从而降低了载流子子的复合速率，提高其寿命以增加电池开路电压；另一方面该钝化层可以在背表面形成良好的内反射机制，将到达背表面的光再次反射回去来增加对光能的吸收率以减少光学损失。

图 9：PERC 型电池原理



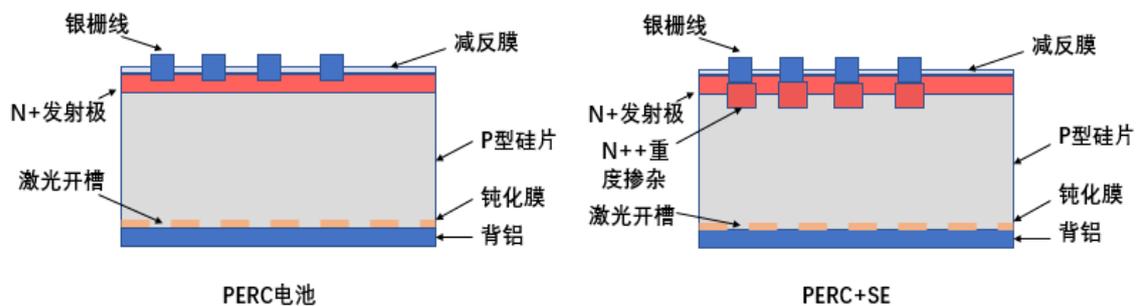
资料来源：腾晖光伏公司官网，东兴证券研究所

## 2.2 PERC 电池的改进—SE 技术和双面 PERC 技术

随着技术水平的进一步提升，PERC 电池在原有的基础上也有了进一步的改进，常见的有 PERC+SE 和双面 PERC 电池。

**SE 技术**是通过在正面金属栅线附近对硅片表面进行重度掺杂，形成重掺扩散区，在电极以外的区域仍进行低浓度掺杂。在实际生产中通常采用激光掺杂法，工艺较为简单。这种不同浓度的掺杂，可以同时实现提升电压降低电阻，电极区域高浓度的掺杂，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；而在电极以外的区域所进行的低浓度掺杂，又可以使 P 区不会产生过量的自由电子，从而降低背表面的载流子复合速度，提高载流子寿命提高电压。

图 10：SE 技术改进与 PERC 对比

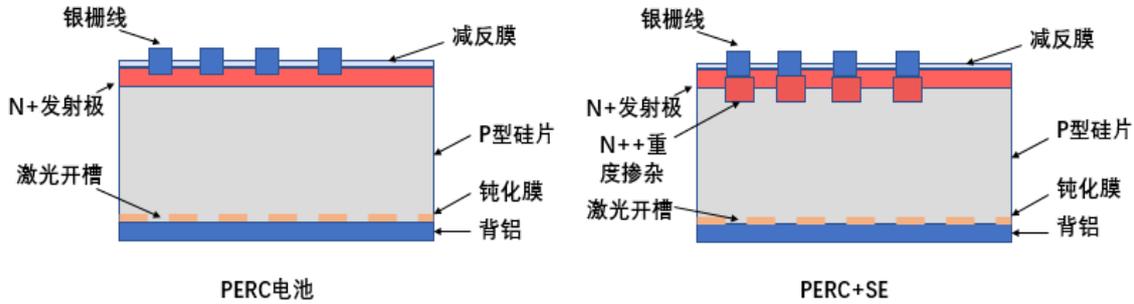


资料来源：东兴证券研究所

**双面 PERC 技术**则是将原本 PERC 电池中的铝背场改进为铝栅线，原本的背铝是一层金属膜，并不透光，而局部的铝栅线则不会阻挡光的射入，使光同时可以从电池背面透过射入电池，可以吸收来自地面的反射光，增加透光量，减少光损失。尤其地，双面 PERC 电池适合在雪地等地表反射光抢的区域。双面 PERC 电池因其正面背面都能吸收光能而被成为双面电池，但实际上其 PN 结只在电池正面，只是吸收光照量的增加了，实质

上是一种“伪双面”。

图 11：双面 PERC 技术改进与 PERC 对比



资料来源：东兴证券研究所

针对 PERC 电池的改进，由于不同技术对转换效率提升程度不同，目前市场上接受的主流改进基本是 PERC+SE 电池。但从电池本质上而言，这些技术都只是在一定程度上对 PERC 的改进与优化，并未真正大幅地有所突破提升效率，只是小踏步式的前进。

### 2.3 效率瓶颈下 PERC 未来性价比优势渐弱

**PERC 电池产线成本低，易扩张。** PERC 电池的生产基本依托于传统的铝背场电池，只需要铝背场电池生产设备的基础上增加沉积钝化层的设备和激光开槽的设备即可，容易实现传统铝背场电池到 PERC 电池的转换，进入门槛较低，且效率明显提升于传统单晶电池，近两年发展迅猛，产能快速扩张。整个工艺流程为硅片表面制线、扩散炉制备 PN 结、边缘刻蚀防止短路、正面减反膜减少光反射、沉积背面钝化层、激光开槽刻蚀、丝印及烧结形成正负极最终变为电池片。

国内现在 PERC 电池的龙头企业主要有通威太阳能、爱旭科技、隆基乐叶等。

通威太阳能在单晶 PERC 电池处于行业前沿，2018 年电池产能 12GW，其中包括 3GW 多晶、9GW 单晶电池，并预计 2019 年底公司太阳能电池规模将达到 20GW，按 18 年公司单双晶电池的比例以及新投产的单晶电池生产线产能来看，预计其单晶 PERC 电池产能将会在 16GW 以上。从其生产线投资额来看，设备投资成本约为 60 万元/MW，电池片制造成本中非硅成本约 0.25 元/W，远低于行业 0.35 元/W 的平均水平。低成本的同时通威的电池转换效率也处在行业前列，2018 年单晶 PERC 量产转换效率达到 21.85%，实验室效率最高能达到 22.35%。

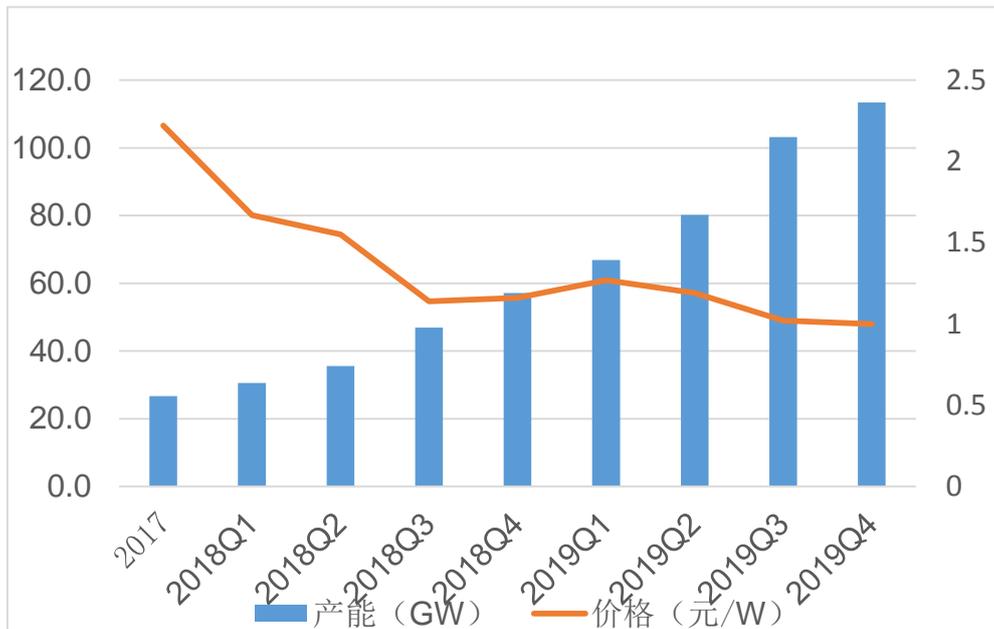
爱旭科技也是国内将研发重点专注于 PERC 电池效率提升的前沿厂商。现在可达到的电池正面效率已经高达 22.5%，同时目前义乌一期生产线上的单晶 PERC 非硅成本已降至 0.28 元/W 以内，现有产能达到 9.2GW，义乌二期投产后还可增加 3.8GW 产能。

隆基乐叶，在行业内也很早开始布局单晶 PERC 高效电池产能，且产业链上下游覆盖较广，便于成本控制。其量产 PERC 电池的平均转换效率已达到 22.2%，量产 60 型 PERC 组件平均功率达到 305W-310W，另外其单晶双面 PERC 电池正面最高转换效率在实验室水平下在 19 年首次突破至 24.06%。

常规 PERC 电池的效率约为 21.5%-22.5% 之间，性价比突出。PERC 电池目前各龙头企业的量产效率在 21.5-22.5% 之间，生产线也已发展成熟，各厂商主要思路是通过降成本来提高性价比，效率提升虽还有空间

但已接近瓶颈，24%已经是目前行业广泛认为的极限水平。只能通过发射极、铝背场、硅片质量等小的改进来进行优化，未来提升幅度有限。同时生产工艺经过多年发展已经成熟完善，再加上易于从铝背场电池生产过渡至 PERC 电池，近几年国内厂商投资 PERC 的热情高涨。PERC 的产能三年内迅速扩张，2017 年全球单晶 PERC 电池产能在 30GW 左右，2018 年超过 70GW，今年的预计将会达到 100GW 左右，已经出现产能过剩的现象。受供大于求的产能过剩影响，本年单晶 PERC 的价格也在持续下降，通威官网给出的 156.75mm 单晶 PERC 电池片 8 月官方指导价已下跌至 1 元/W，而 2 月份的价格还在 1.3 元/W，价格下降明显，在市场上依靠性价比占据极大优势，这个价格已基本接近成本价格，未来各大厂商可能会通过调节产能促进价格回升。PERC 电池已经难以获得高额利润，在阶段技术成熟、产能过剩的共同作用下只能维持常规利润。而市场上目前 PERC 电池由于突出的受性价比在市场上处于领先地位，市场占有率超过 50%，但长远来看，随着 N 型高效电池的技术发展逐渐成熟，成本及工艺难度下降，P 型 PERC 电池会进入低迷，逐渐被市场淘汰，这种技术迭代也符合光伏产业技术密集型的特点。

图 12：PERC 产能与价格走势



资料来源：PVInfoLink，东兴证券研究所

### 3.未来电池新天地—N 型异质结（HIT）

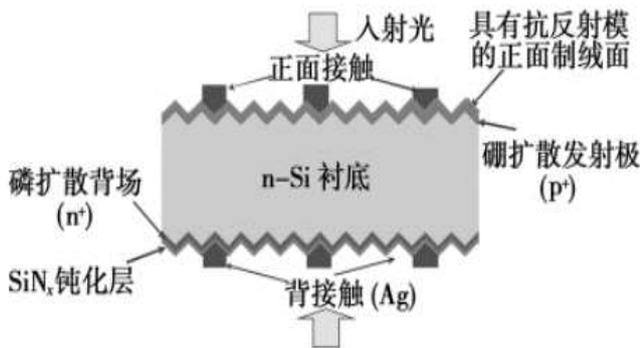
#### 3.1N 型三大技术之 N-PERT 及其改进 TOPCON—提升有限，与 PERC 仍属同一框架

**N-PERT 双面扩散提升效率。**N 型电池在前面已经提到成本虽高于 P 型电池，但同时载流子复合速度低，转换效率高，用来做双面电池更具性价比。而 PERT 工艺是指在电池背面也采用全扩散的方式制备 N+背场，也就是说在 N 型硅片的基础上，在正面采用硼扩散制备发射极（N-P+），在背面采用磷扩散制备 N+背场。进行双扩散后，电池的正面和反面都能吸收光能产生电流进行发电。N-PERT 电池与之前传统的 PERC 电池此相比进行了两次扩散，在正面和背面同时进行掺杂，同时在正面和背面同时添加钝化及减反膜，以减少“光学损失”和“电学损失”。

与 P 型电池相比，N-PERT 的工艺难点及成本控制主要体现在双面掺杂技术及双面钝化技术不易实现。双面掺杂中正面的硼扩散相对于 P 型电池的磷扩散本身就不易扩散均匀，掺杂工艺复杂，同时背面的磷扩散也无法使用 P 型电池中的扩散技术而只能采用离子注入的形式，又一次增加了工艺难度、提高了成本。双面钝化技术因为正面 P+发射带正电，背面 N+背场带负电，无法使用同一种钝化层，需采用不同的钝化方式，如正面采用 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（带负电）的形式，背面采用 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub>（带正电）的钝化层。

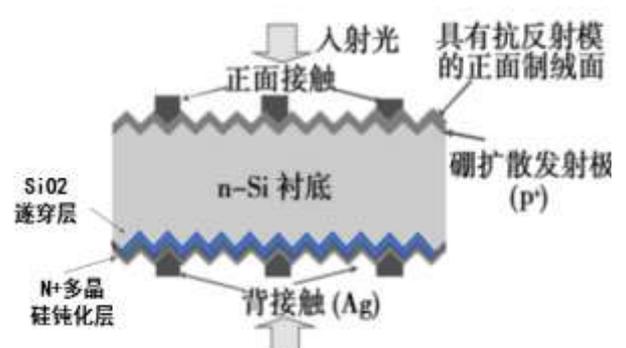
**TOPCon 进一步改进。**在 N-PERT 电池的基础上，TOPCon 电池在电池背面的钝化改用了超薄隧道氧化物（一般为 SiO<sub>2</sub>）作为遂穿层，掺杂多晶硅作为钝化层。这个遂穿层可以阻碍少数载流子到达，降低界面处的复合率，提高电池开路电压，使用掺杂多晶硅作为钝化层，隔绝了硅片和金属电极的直接接触，也更进一步地阻碍了少数载流子的复合，降低复合速率，提高电压提高电池转换效率。

图 13:N-PERT 原理示意图



资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

图 14:TOPCon 原理示意图



资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

这里使用多晶硅作为电极和基极晶硅的钝化层，是一种异质结结构，与传统电池的同质结相对比，两者的不同从字面即可理解，也就是是否由同种材料相互结合形成内建电场。同质结指电池的 PN 结、N+背场效应中的高低结，都是由同种材料通过不同的掺杂得到的半导体结合得到的，而异质结则是两种不同半导体材料结合在一起，如 TOPCon 电池中的多晶硅。TOPCon 电池引入了异质结结构实现了阻隔晶硅基极与电池金属电极的接触，但从工艺而言，与 N-PERT 电池、PERC 电池仍在同一大框架下，并不被认为是真正意义上的异质结电池。

市场上主攻 N 型电池的中来股份，已基本打造了从 N-PERT、N-TOPCon 到 IBC、TBC 的电池组件技术发展路线。N-PERT 单晶双面太阳能电池片实验室效率 21.8%，量产 21.5%；N-TOPCon 电池的试实验室效率 23.05%，量产转换效率已达到 22.5%，目前拥有 2.1GW 的高效电池片生产基地，19 年产能预计为 1.6GW。成本方面 N-PERT 产线投资 64 万元/MW，非硅成本在 0.4 元/W 左右，略高于 PERC 电池的非硅成本。

电池转换效率处于行业领先地位的天合光能公司今年 5 月宣布，该公司高效 N 型 TOPCon 太阳能电池实验室光电转换效率高达 24.58%，创造了大面积 TOPCon 电池效率新的世界纪录。

林洋能源在 N-PERT 双面电池方面自主研发生产的 400MW 全新一代 N 型单晶高效双面电池组件，具有双面发电、高安全性、高可靠性的特点，产品由于背面的增发可使整体发电量提高 10%-30%。同时也已启动电池从 N-PERT 转为 TopCon 的技术升级，升级完成后电池平均转换效率可达 23%（实验室），量产平均效率大于 21.8%。

**N-PERT 及 TOPCon 效率提升有限。**N-PERT 电池的转换效率从各厂商量产情况来看，经过双面扩散后可达到 22%

左右，目前已经实现量产，但对于 PERC 电池提升不大，生产线虽兼容传统电池，无需投入过多设备，但 N 型工艺难度大于 P 型，当前的性价比仍不如 PERC 电池，未来不会有太大发展。

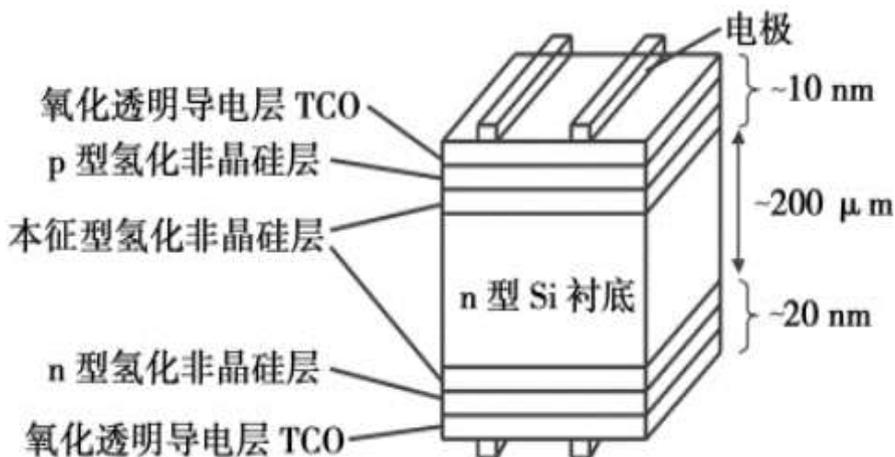
而 TOPCon 电池通常被认为是 N-PERT 的改进，生产线也和 N-PERT 产线实现兼容，除常规的清洗制绒、扩散制备 PN 结、刻蚀、减反膜沉积、金属电极及烧结之外，在刻蚀和减反膜工艺之间另外增加隧道结制备（沉积隧道氧化层和多晶硅）、离子注入（向电池背面多晶硅层掺杂扩散）、退火（扩散的后续步骤）、清洗等步骤，主要是增加用于沉积隧穿层，多晶硅扩散的设备，但工艺难度较大，主要思路还是 N-PERT 的某一方面的改进，在其基础上继续增加工序以提升效率。因此 TOPCon 电池由于未脱离 PERC 电池框架，虽引入了异质结，但只有背面形成异质结而且背面本身的转化效率与正面 PN 结相差很大，并不被认可为真正的异质结，基本将现阶段效率提升至 22.5%，未来的效率提升空间有限。

### 3.2N 型三大技术之 HIT—全新异质结，工序简单、发电高效

**异质结新天地—HIT 电池。**HIT 电池即非晶硅薄膜异质结电池，有低温工艺、高稳定性天然无光致衰减、高效低成本等特点，明显区别于传统 PERC 电池。它以 N 型单晶硅片（c-Si）为基极，在正面、背面都采用非晶硅薄膜（a-Si）形成异质结结构，正面使用本征非晶硅薄膜（i-a-Si:H）和 P 型非晶薄膜（p-a-Si:H）沉积形成 PN 异质结，背面同样使用本征非晶硅薄膜（i-a-Si:H）和 N 型非晶薄膜（n-a-Si:H）形成 N+背场。在薄膜 a-Si 与晶硅 c-Si 之间添加薄膜 i-a-Si，可以降低接触面表面复合，同时在异质结也就是采用非晶硅对晶硅表面进行钝化的作用下增强内建电场，增强开路电压。

HIT 电池正、背面结构对称简单，更易于向薄片电池、双面电池方向发展，其中薄片化不仅可以节约原料更可以进一步增大开路电压，提高转换效率；整个工艺无需通过热扩散在晶硅表面进行扩散掺杂，可以实现低温工艺，生产效率得到提高，同时拥有天然无光衰减、弱光响应强的特质（PERC 技术由于掺硼的原因在初始使用的几天以及后续使用过程中出现输出功率下降的特点），以及区别于传统 PERC 电池的异质结钝化的高转化效率，使得 HIT 电池目前被广泛看好，被认为是未来发展的新风口、新战场。

图 15：HIT 原理示意图



资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

1990 年三洋公司首次开发出 HIT 电池，当时电池效率达 18.1%，之后连续突破 20%、21%、22%、23% 重要窗口，目前可查阅新闻稿中，松下三洋结合 IBC 技术研发出实验室转换效率为 25.7% 的 HIT 电池。

而同样已经实现小规模量产的汉能，其高效硅异质结电池技术（“SHJ 技术”）全面积（M2，244.52cm<sup>2</sup>）光电转换效率达到 24.85%，HIT 量产效率在 23% 以上。

中智电力，世界上第二家继日本松下（原三洋）异质结电池之后建成稳定量产的高效异质结电池的企业，2018 年 HIT 高效太阳能电池量产平均效率突破 22.7%，单片最高效率达到 23.10%，良率在 99.14% 以上。

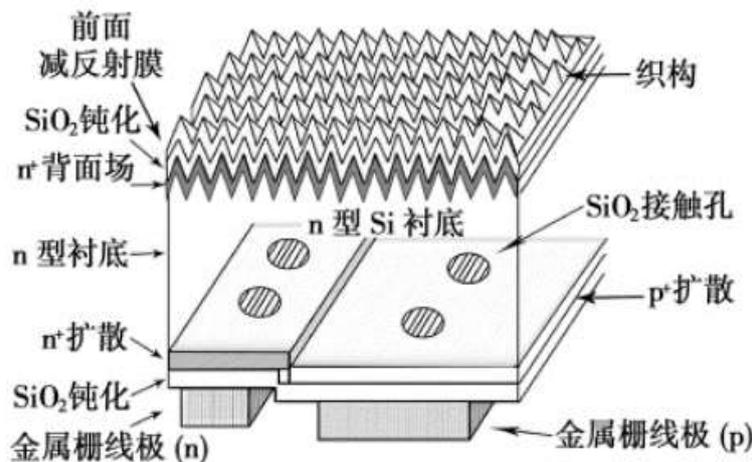
**HIT 工序简单更可控。**对比各厂商 HIT 电池的生产及实验室研发情况，HIT 的转换效率相对传统电池大幅提升，但提高效率必然会带来工艺难度的增加，从生产工艺而言，HIT 电池在生产过程中对清洁度要求严格，需另外开辟车间，与传统的生产线无法兼容，生产设备需重新投资，设备价格也较贵，工艺难度大、精密度要求高。具体来看除了最开始的清洗制绒和最后的丝印烘干，其他过程都与传统生产线不同，详细过程包括清洗制绒、非晶硅薄膜沉积制备异质结、透明导电膜沉积、印刷电极（丝网印刷）及烧结，一共只有四道工序，是 PERC 以及 TOPCON 电池的一半，相对而言，工序数越少，生产环节的良品率和成本就越容易控制，在将来实现大规模量产时则会比其他种类电池更具优势。

**目前 HIT 电池已经实现的大规模量产中，转换效率在 23%-24% 之间**，明显高于传统电池，实验室效率可达到 26% 以上，有了高效率作为保证，生产工艺完善及成本下降只是时间上逐步改进的问题，发展空间巨大，也更具潜力，受到广泛看好，不过目前相对于 PERC 电池仍不具备性价比。另一方面其本身的无光致衰减（LID）和高温诱导衰减（LETID）的特性也使 HIT 电池在发电效率方面更具优势。同时 HIT 电池还可以结合下文的 IBC 等技术，两项高效电池技术叠加形成 HBC 电池，来实现更高的转换效率，不过 HBC 电池的高转化效率目前只停留在实验室阶段，仍需进一步研发投入提升生产工艺水平。但毫无疑问 HIT 电池具有传统电池无法比拟的效率优势，且已经初步实现量产，提升空间巨大，是未来电池技术突破的重点方向。

### 3.3N 型三大技术之 IBC—尚处中试，仍需完善

IBC 电池指交叉背接触电池，与其他电池明显不同的是将电池的金属正负极都转移到了电池背面，因此称为背接触电池，使正面可以完全呈黑色不受任何遮挡地充分接受光照，扩大有效发电面积，减少光学损失，除了我们能看到的电极之外，PN 结也被设计在电池背面。同时在无需考虑遮挡光线的情况下，背面的金属电极也可以比传统的金属栅线更宽，因而可以获得和电池片更大的接触面积来降低串联电阻。

图 16：IBC 原理示意图



资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

但将正负极都转移到背面需要复杂的工艺流程，关键问题有两个，怎样在电池背面制备交叉排列的 P+区和 N+区以及怎样在交叉状的 P 区和 N 区分别形成金属栅线作为正负极。制备 PN 结通常采用掩膜法用阻挡型浆料将不需要刻蚀的部分遮挡后进行掩膜，通过两步单独扩散形成 P 区和 N 区；金属栅线的制作则主要是丝网印刷的精度不易控制，设计要求也较高。除此之外，IBC 电池的表面钝化也需要选择能同时钝化 P、N 两种扩散界面的钝化膜，通常使用 SiO<sub>2</sub> 来钝化。总体而言 IBC 电池目前面临的生产工艺尚不完善，仍处于中试阶段，精密度是关键问题，想要实现大规模量产，成本控制和简化工艺难度都需进一步发展。

现在对 IBC 电池进行投资研发的主要有天合光能和中来股份，其中天合光能目前实现了小面积 IBC 电池光电转换效率高达 24.4%，大面积 6 英寸 IBC 电池转换效率达到 24.13%，中试平均转换效率达到 23.5%。中来股份的 N 型单晶 IBC 太阳能电池实验室效率为 23.16%，尚未量产。

**IBC 技术仍需完善。**IBC 在目前的晶硅电池中效率处于领先地位，基本在 23.5%-25%之间，但生产技术难度大，工序和设备投资很高，无法与现有的传统生产线兼容，国内实现量产的 IBC 电池由于工艺的原因转换效率尚未达到 23%，生产成本也远高于其他类型电池，规模也很小，受性价比条件制约很大，需要继续进行技术提升，不断降成本简工艺才能体现出它高效率的优势，在市场上具有一定的竞争力。

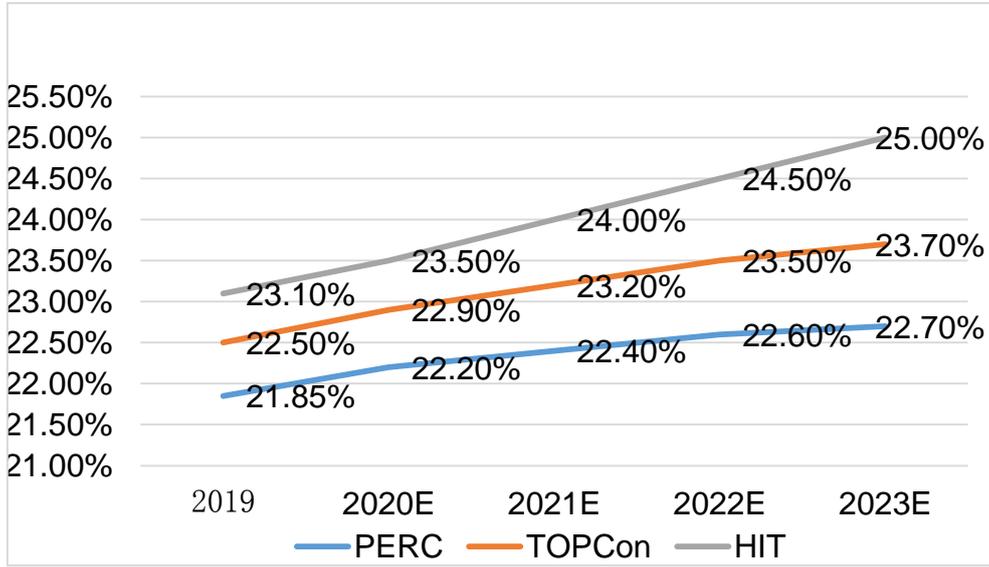
## 4. 异质结 2-3 年后走上舞台—成本效率分析

### 4.1 HIT 效率优势突出，工序简单、可低温封装

**PERTC 及 TOPCon 优势不及 HIT。**PERC 型电池因工艺技术简单且易于从传统电池升级，进入门槛低，近三年发展迅速，但随着工艺的完善和实验室状态下多种改进手段的提升，效率已经基本达到极限，外加不可避免的光衰现象，当新型高效电池成本降下来后，PERC 未来不可避免的会走向衰落，逐渐被淘汰。TOPCON 电池现阶段量产效率可达 22.5%，其生产线同样可以由原有产线升级改装，成本相对较小，但效率方面对于 PERC 型电池的不够突出，与 PERC 电池属于同一大框架下，更多的是一种过渡技术，或者是考虑性价比之后的另一种选择，毕竟升级成本较小，工艺难度不大，易于实现，但效率方面仍达不到引领未来电池发展的程度。

HIT 则就目前生产及实验室效率来看，效率优势突出，未来潜力巨大，实验室效率已经达到 26%的水平，量产也能实现 23%以上，处于技术领先地位，异质结的结构大大减少了电池的“电学损失”，以此实现效率提升。此外 HIT 和 IBC 两大高效电池还可以叠加起来，完美结合，未来进一步激发转换效率潜力，HIT 自身也具备其他优良特性，温度系数低、弱光响应强，可以适应复杂的光照环境，综合提升发电能力，显著的效率优势使 HIT 电池成为未来光伏电池的新方向。

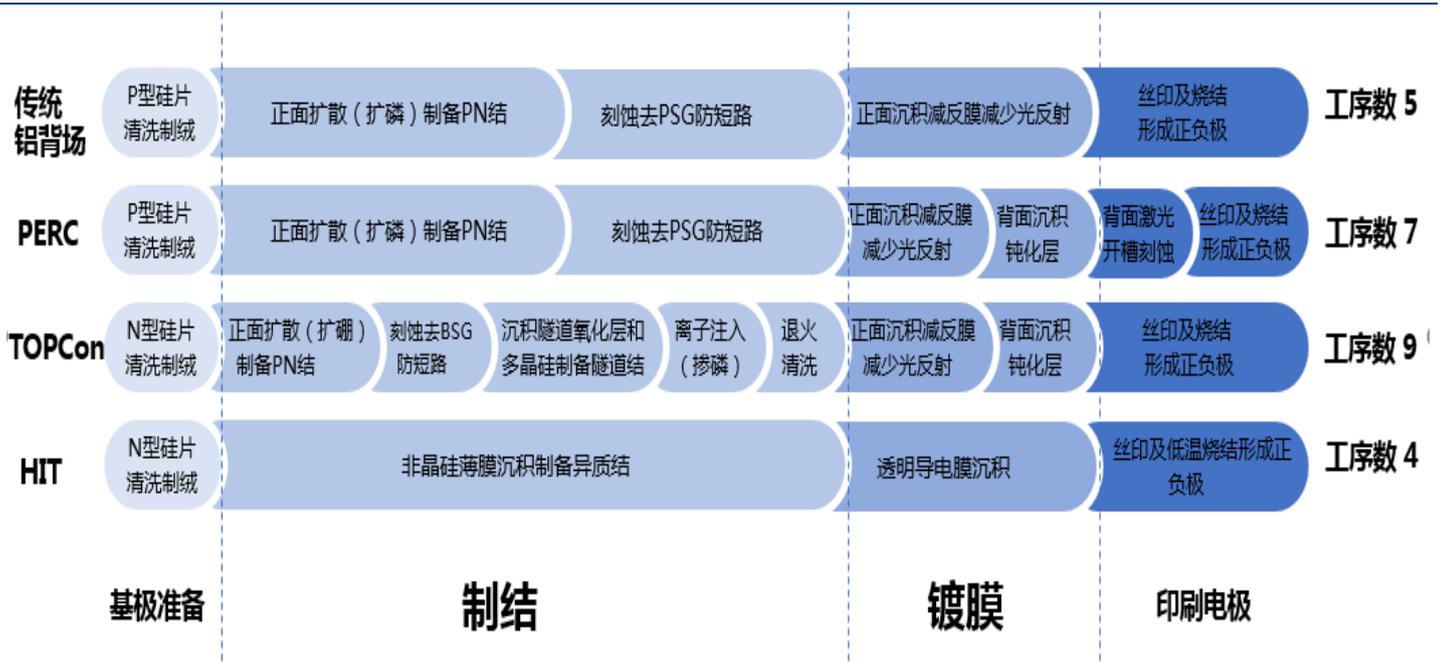
图 17：各类型电池效率预测



资料来源：中国光伏发展路线图（2018），东兴证券研究所

**HIT 工序简单易控成本。**另外在工序方面，通过对比可以清楚地发现，从传统电池到 PERC 到 TOPCON，都是在小踏步式地提升电池效率，一步步地在原有的基础上对进行某一方面升级改良，工序不断增加复杂。而 HIT 则是通过全新的生产过程，其薄膜沉积也区别于 PERC 电池，可以实现低温工艺，工艺上易于控制、成本上也可减少生产中的热能消耗降低生产成本，而且减少对基极硅片的热损伤。而在工艺水平包括清洁度、精细度等虽要求严格但工序简单，仅有 4 步，在规模化量产时优势明显，通常情况下，工序数量越少说明越简单也更易控制，良品率也会随之提升，人工成本随之下降。

图 18：不同电池工艺对比



资料来源：公司公告，东兴证券研究所整理

## 4.2 降成本是 HIT 电池目前主要任务，预计 21 年或 22 年下降至稳定状态，逐渐替代 PERC 电池

在成本方面，HJT 电池成本主要来自硅片、浆料和靶材，三者占比分别为 49%、24%和 4%，非硅成本比例明显高于 PERC 型电池，主要是由于导电银浆和设备折旧以及靶材金额较高所导致，目前 HIT 的设备成本是 100 万元/MW，而 PERC 仅为 60 万元/MW，是 PERC 电池的几乎两倍。现阶段 HIT 的高效率已经被广泛认可，主要任务就是降成本，当其在性价比上也占据优势时，才会真正被市场选择。

表格 1：PERC 与 HIT 成本对比

单位：元/W	单晶 PERC		单位：元/W	HIT	
	金额	成本占比		金额	成本占比
化学试剂	0.01	1%	IWO 靶材	0.05	4%
正银	0.09	10%	导电银浆	0.29	24%
背银	0.02	2%	热丝/网印	0.03	2%
背铝	0.02	2%	气体化学	0.02	2%
TMA	0.01	1%	电力	0.04	3%
电力	0.05	5%	人工	0.01	1%
人工	0.04	5%	折旧	0.15	12%
折旧	0.05	6%	辅助及其他	0.04	3%
辅助及其他	0.06	6%	非硅成本合计	0.64	51%
非硅成本合计	0.35	37%	硅片	0.61	49%
硅片	0.60	63%	合计	1.25	100%
合计	0.95	100%			

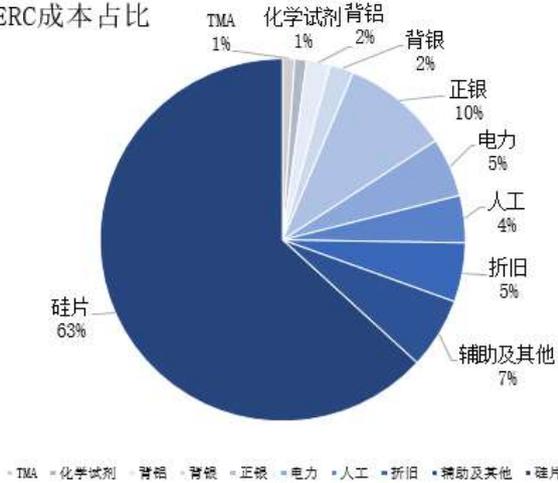
资料来源：SolarZoom，东兴证券研究所

**HIT 从硅片、浆料、设备等入手完成降本任务。**我们从 HIT 电池的成本构成入手寻找其未来成本的下降空间，首先是硅片，HIT 电池结构对称，易于薄片化，同时 N 型硅片薄片化也不会像 P 型硅片一样影响效率，当硅片厚度变薄后，硅料的耗用量就会大大减少，硅片的生产成本也就随之下降。其次浆料成本中主要是由于 HIT 的低温工艺导致需使用低温银浆，而低温银浆的价格比普通银浆更高，一方面可以逆向推动银浆生产制造国产化，降低银浆生产成本，另一方面通过工艺改进减少银浆的使用量。最后折旧占比较大则是因为生产设备昂贵，未来可通过进一步扩大电池生产规模，达到规模化生产减少一定成本，同时与银浆类似，推动 HIT 电池生产设备制造国产化、通过技术进步降低设备制造成本，从而降低 HIT 生产线成本，降低折旧在电池成本中的占比。

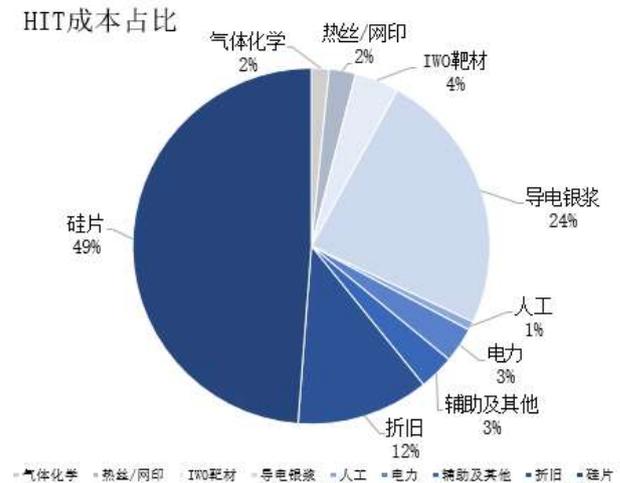
图 19：PERC 成本构成

图 20：HIT 成本构成

PERC成本占比



HIT成本占比

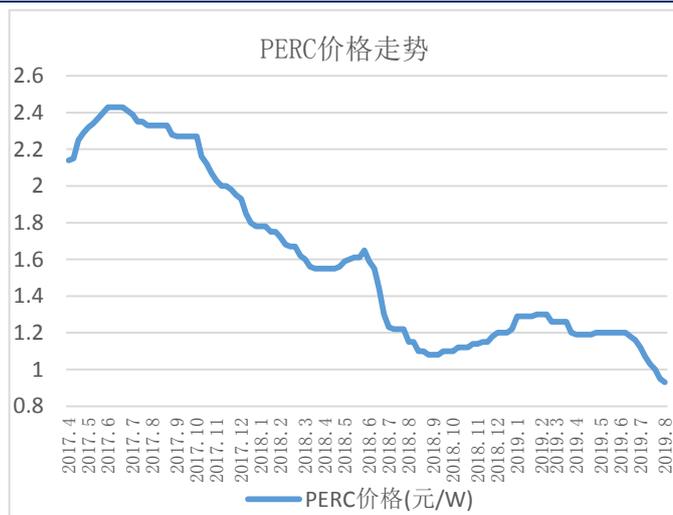


资料来源：solarzoom，东兴证券研究所

资料来源：solarzoom，东兴证券研究所

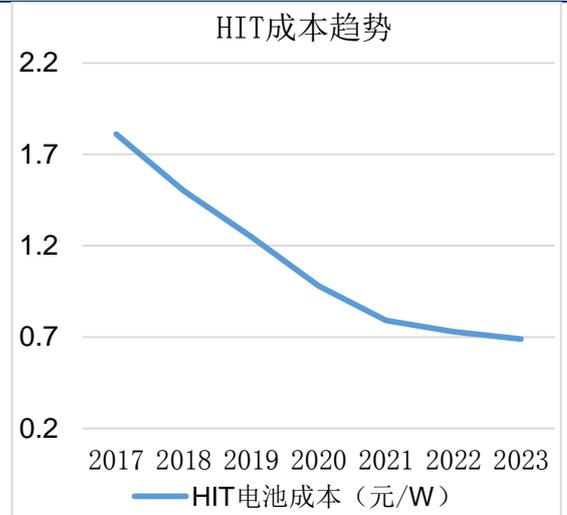
**预计 21 年成本趋于稳定。**对于 HIT 电池具体的成本下降幅度及时间预测，由于工艺技术进步带来的成本下降过程在工业生产方面具有相似性，我们可以从 PERC 电池价格的下降曲线预测出 HIT 的大致成本走向。PERC 电池在 17 年 6 月时价格约为 2.42 元/W，至 19 年基本趋于稳定，开始缓慢下降，整个周期接近两年，目前 PERC 价格约 0.95 元/W 左右，是最初价格的 38%，其中 19 年 7、8 月份价格主要由供求关系影响，而非成本下降。照此推算，HIT 电池在 17 年年底成本为 1.81 元/W，当前成本约为 1.25 元/W，按 PERC 电池的下降趋势，此时大概走完整个成本下降曲线的 40%，另外 HIT 电池由于工艺难度大于 PERC，且在目前市场上也没有形成生产规模，因此整个成本下降周期应长于 PERC 型电池，预计大约至 21 年或 22 年成本开始趋于稳定，按照日常技术迭代缓慢下降，最后约下降至 1.81 元的 38%—0.69 元/W。

图 21：PERC 价格走势



资料来源：PVInfoLink，东兴证券研究所

图 22：HIT 成本趋势



资料来源：东兴证券研究所测算

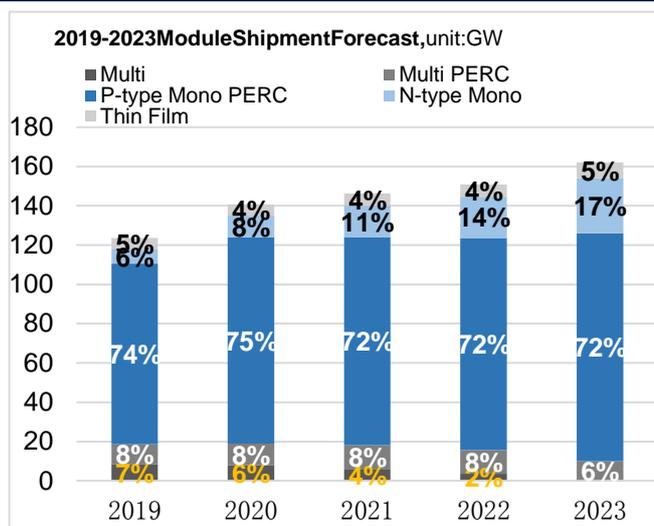
**2023 年产能达到 14GW，产能扩张速度小于 17-19 年间 PERC 扩产。**HIT 电池虽然效率优势突出，预计在未来几年也会完成降成本的任务，但目前在市场上仍处于初少量产阶段，全球产能接近为 4GW，在今后几年会逐渐扩产。与 PERC 型电池对工艺水平的要求不同，HIT 技术对硅片要求更高，且生产线需全部更换，不能仅通

过在原有产线中增加设备来实现，而是应重新采购设备建造生产线，目前其生产设备多由国外厂商提供，国内厂商目前仅有钧石能源能提供部分设备，其他厂商还在进入阶段，整个设备尚未实现国产化。

因此 HIT 的生产线投入很高，超过 PERC 电池的两倍，对厂商而言建设压力略大，同时生产线建设也需要一定的时间，预计 5 年内 HIT 扩张幅度有限且扩张速度小于 17-19 年 PERC 型电池扩张速度，要实现占据市场主要份额还需更长时间的发展。全球现有产能不到 4GW，国内厂商主要有钧石、汉能、中智、通威等，合计产能约为 1.3GW，最大的产能是钧石的 600MW 生产线。目前全球规划中的产能超过 10GW，其中多数尚未开始建设，预计到 23 年 HIT 产能可达到 14GW，5 年后随着生产成本和设备成本的下降扩产速度可能会进一步提升。

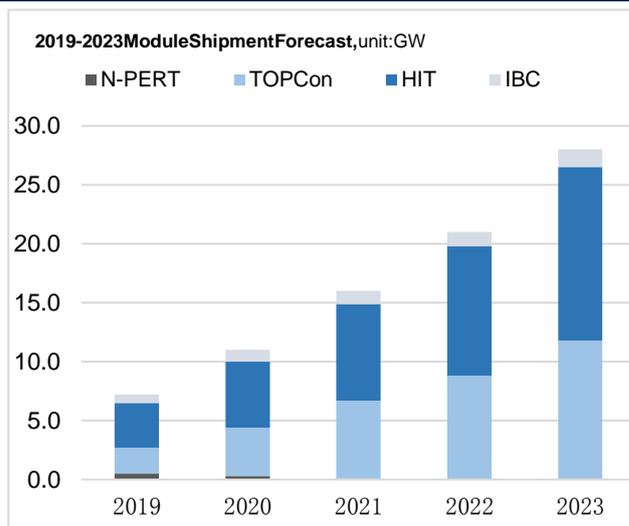
PERC 电池由于产线投入较少，可由传统生产线改造而来，且现阶段性价比最高，近三年扩张速度飞快，目前则已经出现产能过剩的情况，价格开始下跌，产能扩张基本停止，部分小型厂商已经开始随市场少量减产。但在 HIT 电池或其他高效电池产能未能大幅提升，满足全球新增装机量之前，PERC 电池仍有很大的竞争力量，还会因装机量需求而继续占据主要市场份额。

图 23：各类型电池产能



资料来源：PVInfoLink，东兴证券研究所

图 24：N 型电池产能



资料来源：PVInfoLink，东兴证券研究所

### 4.3 HIT 效率优势凸显，度电成本或在 21 年低于 PERC

“531”新政后，光伏产业政策退坡，降补贴拼效益已经是大势所趋，各厂商正在加快走向平价上网时代的步伐，降低成本和提高发电效率同步进行，先一步达到平价上网的水平，就能先一步在整个光伏市场中脱颖而出。根据前文中对未来几年的电池成本和转换效率的预测，我们进一步分析 PERC 电池和 HIT 电池的度电成本。

PERC 型电池效率已基本接近瓶颈，未来几年提升缓慢，成本下降也因工艺已经较为成熟而趋于平稳。HIT 电池则降本提效潜力巨大，且组件功率损失明显小于 PERC 电池。我们在此基础上假设组件价格随电池成本同比下降，BOS 成本则随电池效率提升而降低其分摊成本。通过对比可以发现，预计在 2021 年 HIT 电池可在效率和成本方面全面领先于 PERC 型电池，对 PERC 电池进行完美替代。

表格 2：PERC 与 HIT 项目成本预测

年度	PERC					HIT				
	2019	2020	2021	2022	2023	2019	2020	2021	2022	2023
电池效率%	21.85%	22.20%	22.40%	22.60%	22.70%	23.10%	23.50%	24.00%	24.50%	25.00%
硅片面积 cm <sup>2</sup>	244	245	246	247	247	244	244	244	244	244
电池功率 W/片	5.33	5.44	5.51	5.58	5.61	5.64	5.73	5.86	5.98	6.10
CTM 损失	2.80%	2.80%	2.80%	2.80%	2.80%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
60 型组件功率 W	311	317	321	326	327	338	344	351	358	366
电池成本元/W	0.95	0.88	0.82	0.77	0.73	1.25	0.98	0.79	0.73	0.69
组件价格元/W	2.1	1.95	1.82	1.7	1.61	2.8	2.18	1.75	1.62	1.53
BOS 成本元/W	2.00	1.94	1.89	1.85	1.81	1.85	1.78	1.72	1.67	1.63
项目成本元/W	4.10	3.89	3.71	3.55	3.42	4.65	3.96	3.47	3.29	3.16

资料来源：solarzoom，东兴证券研究所

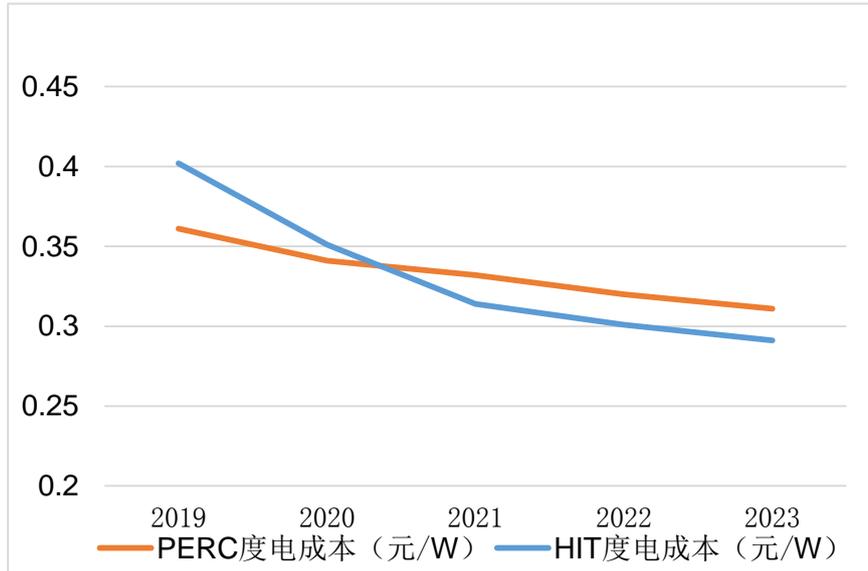
以 50MW 光伏电站为例，假设电站运行 25 年，电站 PR 值 80%，运维成本 0.07 元/W/年，一类资源区有效发电小时数为 1400 小时，折现率以 8% 为基础，预计在 21 年度电成本 HIT 会低于 PERC 型电池组件，项目成本达到 3.47 元/W，度电成本达到 0.314 元/W，在 23 年降至 0.291 元/W（度电成本），基本实现平价上网。

表格 3：PERC 与 HIT 度电成本分析

年度	2019		2020		2021		2022		2023	
	PERC	HIT								
项目成本 (元/W)	4.10	4.65	3.89	3.96	3.71	3.47	3.55	3.29	3.42	3.16
初始投资 (元)	205000000	232500000	194500000	198000000	185500000	173500000	177500000	164500000	171000000	158000000
年折旧 (元)	8200000	9300000	7780000	7920000	7420000	6940000	7100000	6580000	6840000	6320000
折旧累积抵税现值 (元)	87533165	99275419	83049759	84544227	79206839	74082947	75790911	70240027	73015469	67464586
年度支出 (元)	10975000	11937500	10607500	10730000	10292500	9872500	10012500	9557500	9785000	9330000
其中：年运维成 (元)	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000	3500000
年地租 (元)	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000	300000
年利息 (元)	7175000	8137500	6807500	6930000	6492500	6072500	6212500	5757500	5985000	5530000
税后年度支出 累计现值 (元)	98410762	107041318	95115458	96213893	92290912	88524851	89780205	85700306	87740255	83660356
年发电量 (度)	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000	56000000
发电量现值 (度)	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467	597787467
度电成本 (元/度)	0.361	0.402	0.346	0.351	0.332	0.314	0.320	0.301	0.311	0.291

资料来源：solarzoom，东兴证券研究所

图 25：PERC 及 HIT 度电成本趋势



资料来源：solarzoom，东兴证券研究所整理测算

另一方面，在同等的电站假设条件下，以 2019 年一类资源区指导电价 0.40 元/kwh 为例，现阶段的项目建设成本即可实现 8% 以上的收益率，而目前所预计的 2023 年所能达到的最低建设成本 3.16 元/W，标杆电价在 0.315/kwh 以上时即可实现 8% 以上的收益率，平价上网正在逐步实现。

表格 4：标杆电价下内部收益率

建设成本 (元/W)	标杆电价 (元/Kwh)									
	9	219	20	20	21	22	21	3	22	23
	HIT	PERC	HIT	PERC	PERC	PERC	HIT	PERC	HIT	HIT
0.400	7.14%	8.60%	9.03%	9.25%	9.85%	10.43%	10.73%	10.93%	11.47%	12.04%
0.373	6.23%	7.62%	8.02%	8.23%	8.80%	9.35%	9.63%	9.82%	10.33%	10.87%
0.340	5.06%	6.37%	6.74%	6.94%	7.47%	7.98%	8.25%	8.42%	8.89%	9.39%
0.325	4.51%	5.78%	6.14%	6.33%	6.85%	7.34%	7.60%	7.77%	8.22%	8.70%
0.315	4.14%	5.38%	5.73%	5.92%	6.42%	6.90%	7.16%	7.32%	7.76%	8.24%

资料来源：东兴证券研究所整理测算

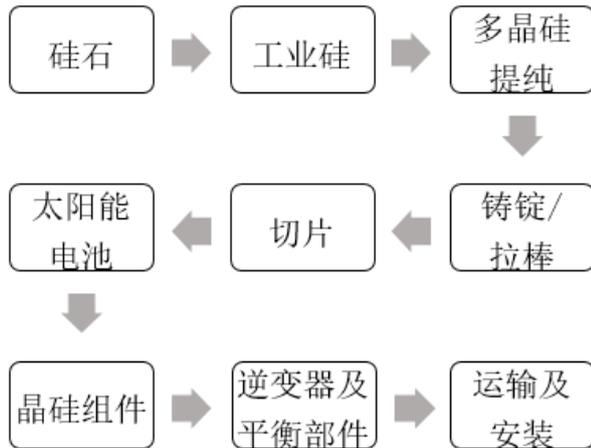
## 5. 更远的未来—薄膜电池潜力巨大

前文中整个讨论的 PERC、HIT、IBC 等电池都是现阶段市场上的主流电池—晶硅电池，经过长期的发展已经相对成熟。而太阳能电池中的另一大分类—薄膜电池目前虽尚处于起步阶段，量产技术还未安全成熟，但具有轻便、柔韧性强、用料少不受上游硅原材料的影响等特点，未来的应用场景将会更加广泛灵活且成本下降空间巨大，很可能是更远的未来的电池发展大方向。

**薄膜电池拥有着独特的优势，硅耗低、运用灵活、产业链短。**首先薄膜材料可以使电池厚度仅为 1-2 $\mu$ m，而目前的晶硅电池，厚度通常在 180 $\mu$ m，即使 HIT 可以使硅片薄片化，也会在 100 $\mu$ m 左右，因此薄膜电池的硅料使用量相比晶硅电池有着极大的优势。而超薄的电池也使得其应用场景更为广阔，轻薄柔韧可以满足各

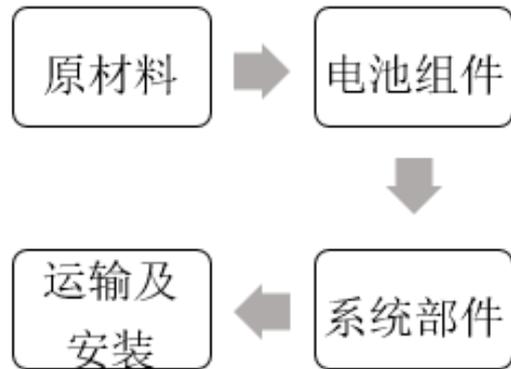
种复杂的发电场所，更重要的是薄膜太阳能电池可根据需要制作出不同的透光率，可代替各类玻璃幕墙。此外薄膜电池的整个生产从加工好的原材料到最终的组件都可在一条生产线完成，无需再像晶硅电池一样经历硅片—电池—组件的复杂产业链，大大的缩短整个光伏发电的产业链。

图 26：晶硅电池产业链



资料来源：山西阳泰龙焱能源科技公司官网，东兴证券研究所

图 27：薄膜电池产业链



资料来源：山西阳泰龙焱能源科技公司官网，东兴证券研究所

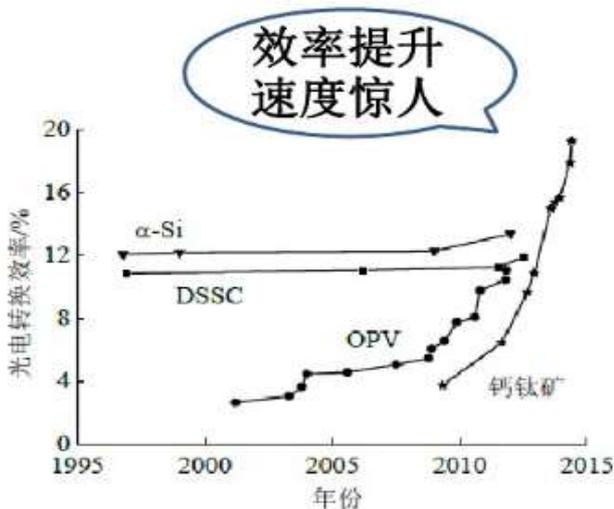
**碲化镉和钙钛矿优势突出。**薄膜电池可分为非晶硅薄膜电池和化合物薄膜电池，其中化合物薄膜电池主要有碲化镉、铜铟镓硒、碲化镉和钙钛矿几种，各方面综合来看目前碲化镉和钙钛矿电池的优势最为突出。

**碲化镉成本低效率优良但技术壁垒高，扩张缓慢。**碲化镉薄膜电池生产工艺简单，受环境温度影响小，弱光发电特性优异，具有接近 30%的理论转化效率，目前已经能实现转换效率 17-18%的量产，技术简单生产成本低，一直到组件的整个生产线都可一次性完成。同时可实现光伏建筑一体化，在未来光伏发电真正走进千家万户后也有很大的发展空间。但碲化镉电池行业技术壁垒很高，目前只有少数几家公司掌握其生产技术，国内仅有龙焱能源科技实现了碲化镉薄膜电池的产业化生产，专利公开程度不足、新进入者技术研发投入过高，一系列原因都限制了碲化镉薄膜电池的发展，未来随着技术成果的进步与公开，其竞争力会逐渐加强。

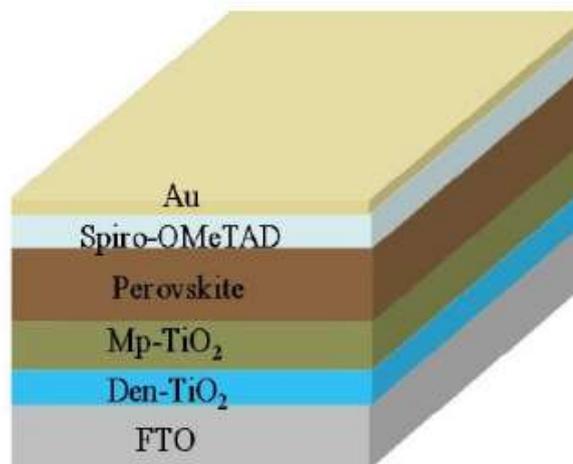
**钙钛矿效率提升速度创纪录，材料具有天然优势。**钙钛矿电池利用了新一代叠层电池技术，也被称为是第三代太阳能电池，现在最新公布的实验室转换效率高达 25.2%，相对于晶硅，钙钛矿吸光能力强效率更高，且对杂质不敏感，从 2009 年第一次应用钙钛矿到现在，效率提高速度是目前所有太阳能电池中发展最快的，潜力巨大。

图 28：各类型电池效率提升路线

图 29：钙钛矿电池结构



资料来源：大连理工大学，东兴证券研究所



资料来源：大连理工大学，东兴证券研究所

**工艺简单成本极低。**钙钛矿作为薄膜电池同样工艺简单成本低廉，和碲化镉一样可仅使用一条生产线生产至组件，生产设备简单，对纯度要求不高无需高温提纯，可实现低温生产，吸光能力强于晶硅电池也能进一步大幅节省材料。各方面优势都使其必将会成为成本最低的电池技术。目前协鑫集团的协鑫纳米正在尝试将钙钛矿电池产业化，并认为其 100MW 的量产线将会使钙钛矿组件成本低于 1 元/W，成本占据极大优势。

**稳定性缺陷阻碍产业化，突破后前景光明。**由于钙钛矿电池生产过程简单以及其材料本身的特性，目前在稳定性和使用寿命方面仍存在问题，钙钛矿在水、氧、紫外线照射的环境条件下易分解，需进一步完善，这种稳定性方面的缺陷严重制约了钙钛矿电池的产业化。但其各项优势仍不容忽视，光伏行业广泛认为其性能优异、成本低廉、未来具有巨大的商业价值，目前不少光伏顶尖厂商及各高校科研院所都在钙钛矿电池研发上投入了人力物力，一旦有新技术诞生解决其稳定性及寿命问题，钙钛矿电池必然会大放异彩。

## 6. 推荐标的

**隆基股份：**全球单晶硅片龙头，竞争格局较好，将持续收益于 PERC 电池片扩产；

**中环股份：**N 型硅片行业领先，单晶双寡头之一，新发布大尺寸硅片产品，有望领导行业技术进步；

**通威股份：**多晶硅料及电池片双龙头，成本控制能力强，已经布局异质结电池片，有望巩固龙头地位。

## 7. 风险提示

HIT 量产效率提升不及预期、成本降低不及预期、PERC 电池有进一步的技术提升等。

## 分析师简介

### 郑丹丹

华北电力大学学士、上海交通大学硕士、曼彻斯特大学 MBA（金融方向），2019年5月加入东兴证券研究所，任电力设备与新能源行业首席分析师，此前曾服务于浙商证券、华泰证券及华泰联合证券、ABB公司。曾于多项外部评选中上榜，如：金融界网站2018、2016、2015“慧眼识券商”分析师（电气设备行业）评选，今日投资2018“天眼”中国最佳证券分析师（电气设备行业）评选，《证券时报》2017金翼奖最佳分析师（电气设备行业）评选，第一财经2016最佳卖方分析师（电气设备行业）评选，以及中国证券业2013年金牛分析师（高端装备行业）评选。曾带领团队参与编写《中国电池工业年鉴》2016版与2017版；受邀担任瑞典绿色交通大会2018年度演讲嘉宾。

### 李远山

西安交通大学学士，清华大学核能科学与工程硕士，曾就职于环保部核与辐射安全中心从事核安全审评研究工作，2016年加入新时代证券研究所，2019年加入东兴证券研究所，负责电力设备新能源行业研究。

## 研究助理简介

### 张阳

中国人民大学经济学硕士，2019年加入东兴证券研究所，从事电力设备新能源行业研究。

## 分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，在此申明，本报告的观点、逻辑和论据均为分析师本人研究成果，引用的相关信息和文字均已注明出处。本报告依据公开的信息来源，力求清晰、准确地反映分析师本人的研究观点。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或观点直接或间接相关。

## 风险提示

本证券研究报告所载的信息、观点、结论等内容仅供投资者决策参考。在任何情况下，本公司证券研究报告均不构成对任何机构和个人的投资建议，市场有风险，投资者在决定投资前，务必要审慎。投资者应自主作出投资决策，自行承担投资风险。

## 免责声明

本研究报告由东兴证券股份有限公司研究所撰写，东兴证券股份有限公司是具有合法证券投资咨询业务资格的机构。本研究报告中所引用信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，报告中的信息或意见并不构成所述证券的买卖出价或征价，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。

我公司及其所属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，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。本报告版权仅为我公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发，需注明出处为东兴证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

本研究报告仅供东兴证券股份有限公司客户和经本公司授权刊载机构的客户使用，未经授权私自刊载研究报告的机构以及其阅读和使用者应慎重使用报告、防止被误导，本公司不承担由于非授权机构私自刊发和非授权客户使用该报告所产生的相关风险和责任。

## 行业评级体系

公司投资评级（以沪深 300 指数为基准指数）：

以报告日后的 6 个月内，公司股价相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

强烈推荐：相对强于市场基准指数收益率 15% 以上；

推荐：相对强于市场基准指数收益率 5% ~ 15% 之间；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5% ~ +5% 之间；

回避：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。

行业投资评级（以沪深 300 指数为基准指数）：

以报告日后的 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准指数的表现为标准定义：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5% 以上；

中性：相对于市场基准指数收益率介于-5% ~ +5% 之间；

看淡：相对弱于市场基准指数收益率 5% 以上。