

# 目 录

<b>1. 光伏装机同比大幅增长，N型电池受追捧.....</b>	<b>3</b>
1.1. 上半年装机规模同比大幅增长，未来国内空间巨大.....	3
1.2. 弃光限电苗头隐现，分布式电站建设亟需加强.....	4
1.3. 单晶硅电池占比逆转，N型电池受追捧.....	4
<b>2. N型硅电池的发展历程.....</b>	<b>5</b>
2.1. P型晶硅电池占据主流的历史原因 .....	5
2.2. N型硅电池相对P型的优势 .....	5
2.3. N型电池的技术难题.....	6
2.4. N型硅片市场份额的变化.....	7
2.5. N型硅片主要供应商.....	8
<b>3. N型高效晶硅电池技术路线选择.....</b>	<b>9</b>
3.1. IBC电池，代表企业：Sunpower.....	9
3.2. 异质结电池（HIT），代表企业：Panasonic .....	10
3.3. N型双面掺杂电池，代表企业：英利.....	12
<b>4. N型电池的未来——成本降低是关键.....</b>	<b>13</b>
4.1. 降成本之一——提升效率是王道.....	15
4.1.1. 本质是高质量的硅片（CFZ法） .....	15
4.1.2. 双玻组件，双面发电能效高.....	15
4.2. 降成本之二——更少的用料，更精简的工艺.....	15
4.2.1. 薄片化，60 $\mu$ m的厚度已足够.....	15
4.2.2. 规模效应，大尺寸N单晶生长炉.....	16
<b>5. 投资建议.....</b>	<b>16</b>
<b>6. 风险.....</b>	<b>16</b>
6.1. 技术路线风险，成本下降不及预期.....	16
6.2. 市场系统风险.....	17

# 1. 光伏装机同比大幅增长，N型电池受追捧

## 1.1. 上半年装机规模同比大幅增长，未来国内空间巨大

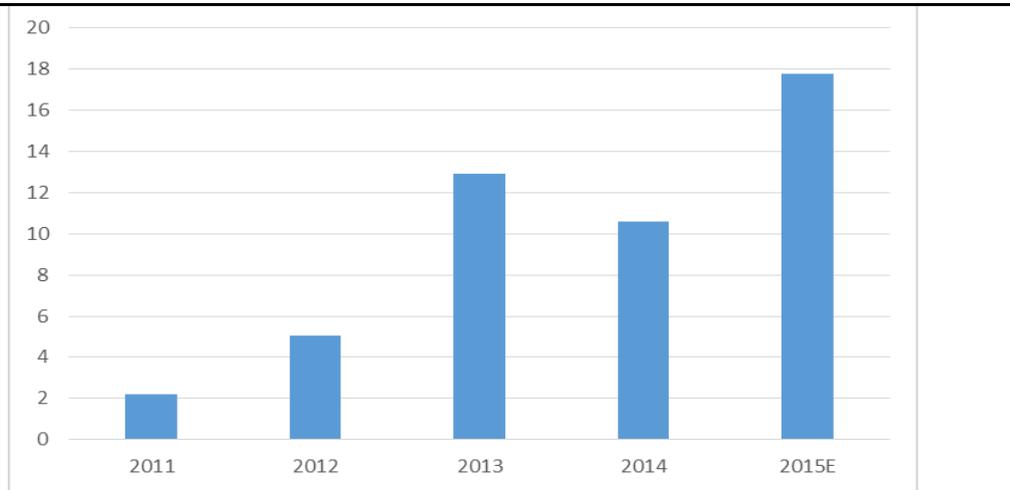
从 2011 年开始，国内光伏装机量连年快速增长，2013 年我国以约 12GW 的安装量成为光伏需求第一大国，2014 年由于集中式、分布式电站目标设置不合理，集中式受制路条发放，分布式发展各个环节还未理顺，导致全年装机仅有 10.5GW，在能源局政策调整下，2015 年上半年光伏装机恢复快速增长，新增装机 7.7GW，同比增长约 134%，其中地面电站 6.7GW，分布式 1GW，预计全年 17.8GW 目标定能完成。

上半年，受宏观经济等因素影响，全社会用电量同比仅增长 1.3%，为 2010 年以来同期最低，火电发电量连续 12 个月负增长、利用小时继续下降。目前国内电力市场已从过去缺电转变为电力供应能力相对充足，电源端主要问题转变为结构不尽合理，火电比例仍过高，为应对日益加重的环境问题，非化石能源还需大力发展。

光伏就其他非化石能源而言，虽然度电成本较高（未来下降空间也最大），但配置最为灵活，既有大规模地面电站，也可以在用电负荷密集区布置分布式电站，到“十三五”末我国光伏装机保底规模是 100GW，这一规模很有可能会上调为 150GW，即在今后五年中，每年光伏装机规模将在 20-30GW 区间，明显高于“十二五”期间，分布式光伏比重有望逐步上升，这将对高效晶硅电池产生巨大的需求推动。

图 1: 我国历年新增光伏电站装机量

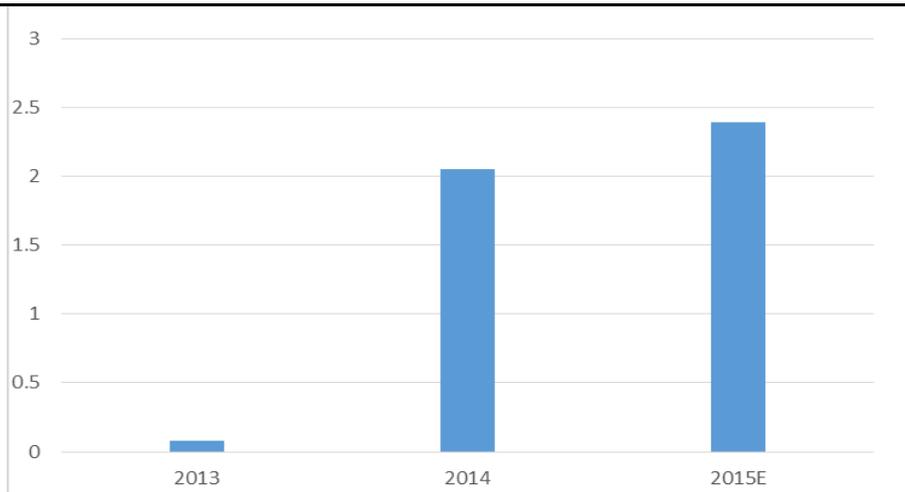
单位: GW



数据来源: 东北证券

图 2: 我国历年新增分布式光伏电站装机量

单位: GW



数据来源: 东北证券

### 1.2. 弃光限电苗头隐现, 分布式电站建设亟需加强

在装机量同比大幅增长的热情下, 一些地区却对这股热情泼了冷水。由于输电线路建设滞后、消纳能力不足等原因, 我国中西部地区出现了“弃光限电”的苗头。1-6月全国累计光伏发电量 190 亿千瓦时, 弃光电量约 18 亿千瓦时, 主要发生在甘肃和新疆地区, 其中, 甘肃省弃光电量 11.4 亿千瓦时, 弃光率 28%; 新疆弃光电量 5.41 亿千瓦时, 弃光率 19%。这主要是电力外送通道建设不完善和当地电力消纳能力不足等原因引起的, 这个问题随着西部地区大型地面电站的不断增长将长期存在。光伏发电的总体发展趋势应由集中式光伏发电逐渐向分布式光伏发电过渡, 未来将分布式发电比例有望逐步提升。去年能源局也是基于这种考量, 制定了大型地面电站 600 万千瓦和分布式 800 万千瓦的装机指标, 由于政策配套以及电价设置等问题, 分布式电站的发展明显不尽如人意。在欧美和日本等发达国家, 分布式光伏发电的比例超过 80%, 而我国只占 16%, 未来提高的空间很大。

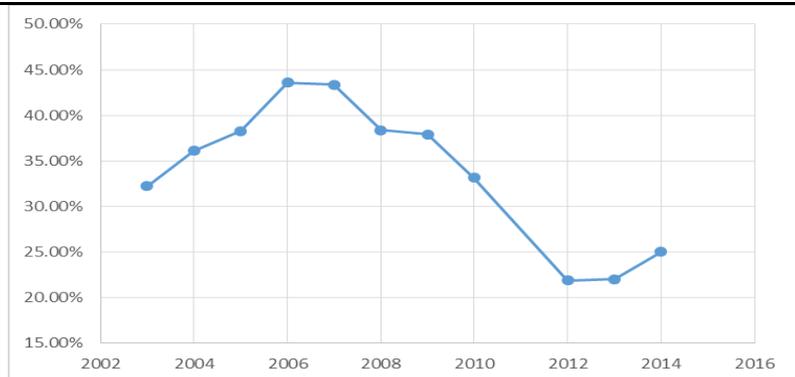
### 1.3. 单晶硅电池占比逆转, N 型电池受追捧

纵观全球光伏发展的历史, 虽然单晶硅电池的产量一直在逐步提高, 但单晶硅电池占比却经历了几次大起大落。最近的一次则是 06 年开始的光伏产能的大释放, 多晶硅产线技术门槛低, 资金投入少, 迅速占领了疯狂的市场, 导致单晶电池占比中断了从 03 年开始的上升之路, 掉头一路往下, 从 06 年的最高占比 43.6% 下降到 12 年的 21.8%。而近年来, 随着硅料价格的持续快速下降, 以及单晶电池效率与多晶的进一步拉开, 使单晶电池的性价比越来越高。从 2012 开始, 全球电池产量中, 单晶电池的占比又开始缓慢升高。由于我国目前大部分采用的还是多晶电池, 所以事实上拉低了全球利用单晶的比例, 扣除中国因素后, 单晶电池占比一直维持在 30%~45% 之间。

从长远来看, 尽管目前单晶成本比多晶要高, 不过未来单晶拉晶等非硅成本将逐渐与多晶铸锭等非硅成本拉平, 而且单晶更适合做薄片化来降低硅料成本。因此单晶电池未来成本下行空间要大于多晶, 单晶产量有望逐渐增加, 单晶硅电池将占世界

光伏生产的主导地位。2014 版的国际光伏技术路线图(ITRPV)表示,到 2024 年单晶硅片将占据晶硅市场的 50%左右。

图 3: 全球历年单晶电池占比



数据来源: 东北证券

那么问题来了,单晶电池分为 P 型和 N 型,哪一种将会引领未来的光伏产业呢?目前市场上的单晶电池以 P 型单晶硅电池为主,量产效率在 19.5%左右,经过 PERC、PERC 等技术,可以将效率提升到 21%左右。然而现有 P 型电池由于本身材料的限制,已逐渐面临转换效率瓶颈,量产效率难有大的突破,而新型 N 型单晶电池(转换效率可到 22%~24%)已开始量产,待其成本和技术进一步突破后,有望逐渐普及。近些年,一些光伏巨头也在积极布局 N 型高效晶硅电池产业链,从 N 型硅片到高效组件,进行一系列的定增扩产、兼并重组。Panasonic 收购 Sanyo 的 HIT 高效组件业务,中环 30 亿定增高效硅片产业化, Solarcity 收购 N 型单晶光伏组件生产商 Silevo,隆基股份募资 20 亿投向高效单晶硅,一场 N 型硅电池的产业风暴正在风起云涌。据 ITRPV 预测,N 型单晶硅太阳电池在单晶电池的份额将从 2014 年的 18%左右提高到 2020 年的 50%左右。

## 2. N 型硅电池的发展历程

### 2.1. P 型晶硅电池占据主流的历史原因

太阳电池一开始主要应用于航天领域,用作人造卫星和航天器的电源,所以在选择衬底时必须考虑材料的抗辐射能力。然而贝尔实验室后来发现,N 型太阳电池性能在高能辐射下会有严重的衰减,稳定之后的转换效率低于类似结构的 P 型太阳电池。这一结果使得 P 型太阳电池成为太空应用的优先选择,其电池结构和生产技术得到不断完善。在随后太阳电池转向地面应用的过程中,P 型太阳电池结构得到了沿用,成为主流的电池结构。事实上,在地面应用中并不存在太空辐射的威胁,因此 P 型晶体硅并不一定是最佳选择。确实,仔细研究这两种不同掺杂类型的材料,科研人员发现,除了抗太空辐射,N 型硅的特性比 P 型硅要好的多。

### 2.2. N 型硅电池相对 P 型的优势

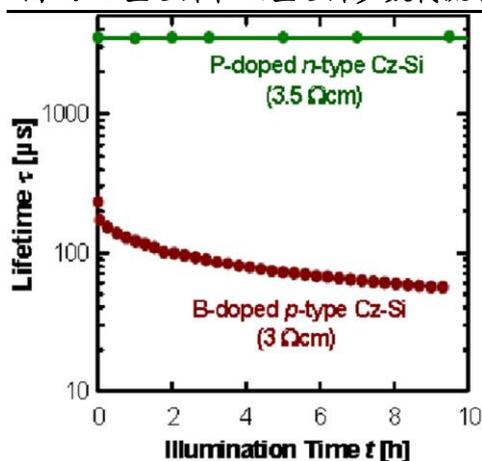
N 型电池相比 P 型电池有以下优点:

- 1、N 型硅片的少数载流子寿命比 P 型硅片高至少一个数量级,这个关键参数的提高将会极大提升电池的开路电压和短路电流;

- 2、由于 N 型硅对铁等重金属杂质有较高的容忍度，在相同重金属杂质浓度下有比 P 型电池更高的效率；
- 3、N 型硅片掺入的主要是磷元素，在材料中不会形成硼氧原子对 (B-O)，因而 N 型硅电池和组件的初始光诱导衰减几乎为零；
- 4、更高的效率和较少的衰减使得 N 型电池在单位面积土地上的发电量大大增加，间接降低了 BOS 成本；
- 5、N 型硅电池温度系数低，发电量增大。传统 P 型电池温度每升高一度，输出功率就降低 0.4%~0.5%；而 N 型电池的温度系数只有前者的一半左右。此外 N 型电池弱光条件下光谱响应好，全年下来能发更多电。这也是 N 型电池被做成双面电池的原因，电池背面漫反射的弱光也能贡献一大部分电量，在合适的装机环境下发电量能提高 20%~30%。

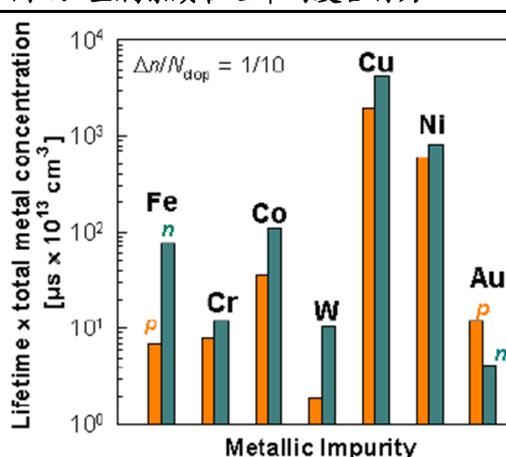
主流 P 型单晶硅太阳能电池的转换效率也已经可以稳定在 19% 以上，但要想在不增加成本的情况下再提高效率已经非常困难。这种局限性让业内逐渐将目光转向少数载流子寿命比 P 型硅高的多的 N 型硅材料。当然，N 型材料迟迟没有大规模应用，也有其自身的缺点和技术难题。

图 4: P 型硅片和 N 型硅片少数载流子寿命比较



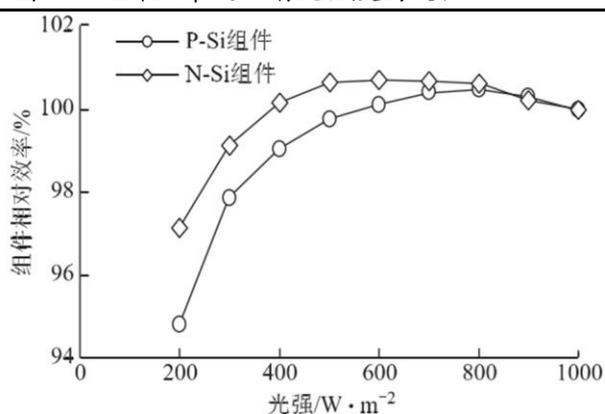
资料来源:《N 型硅——高效太阳能电池的希望》、东北证券

图 5: 金属杂质在硅中的复合行为



资料来源:《N 型硅——高效太阳能电池的希望》、东北证券

图 6: 组件效率随入射光强度的变化



资料来源:《N 型硅太阳能电池总结》、东北证券

### 2.3. N 型电池的技术难题

同 P 型电池相比，由于 N 型电池开发得晚，研究的相对少些，一直面临着一系列的问题。

- 1、P 型硅掺硼元素，硼与硅分凝系数相当，分散均匀度容易控制；而 N 型硅掺磷元素，磷与硅相容性差，拉棒时磷分布不均，这点就导致了要保证同样品质的 N 型硅棒，成本会高些。
- 2、制备电池时，针对传统的电池结构，N 型电池的制备需要进行两次掺杂，工艺会相对复杂些。
- 3、对 N 型电池用传统的表面钝化手段如  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$  等效果不佳，需要开发新的钝化结构。

随着近些年光伏的大力发展，直拉单晶硅的质量和产量都在不断提高，拉制 N 型硅棒时也只要注意控制拉速（头部拉速偏高，尾部偏低），就能获得掺杂均匀的 N 型硅片，此外一些新型电池结构的推出，如 IBC、HIT 等不断刷新了晶硅电池效率的转换纪录。可以说 N 型硅在地面应用的质量和技术问题已经不存在，而 N 型材料的优势却显得更突出了。

**表 1: P 型与 N 型电池比较**

	P 型电池	N 型电池
掺杂物分凝系数	B:0.8	P:0.35
硅锭均匀性	高	低
硅片得率	高	低
典型 Cz 单晶少子寿命	20~30 $\mu\text{s}$	100~1000 $\mu\text{s}$
功率衰减	大：在基区（B-O 对）	小：在发射区（B-O 对）
发射区制备	扩磷（容易）	扩硼（难）
背场制备	铝背场（容易）	扩硼（难）
前表面钝化	$\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$
前表面钝化技术	PECVD（容易）	ALD、PECVD（难）
背表面钝化	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$
背表面钝化技术	ALD、PECVD（难）	PECVD（容易）
前栅线电极	Ag	Ag
背栅线电极	Al	Ag
同等技术电池效率	低	高
工艺复杂性	低	高
成本	低	高

资料来源：china-nengyuan.com，东北证券

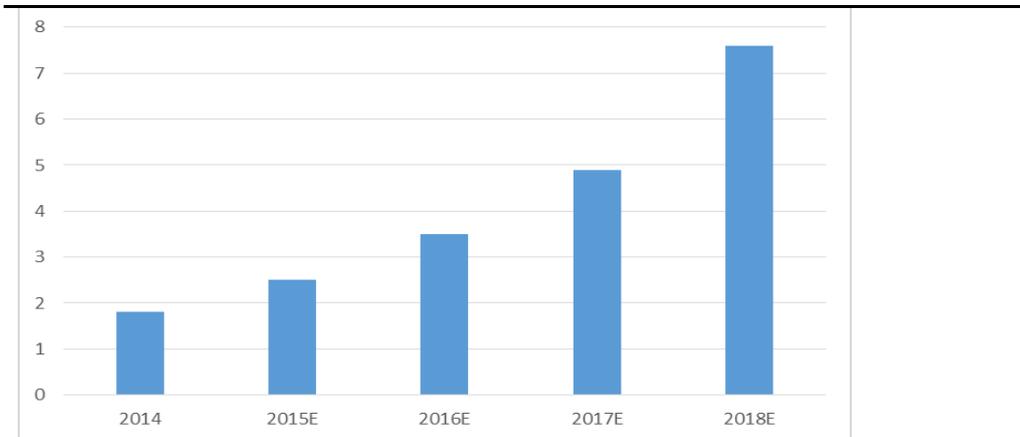
## 2.4. N 型硅片市场份额的变化

在市场份额上，ITRPV 曾预期 N 型单晶硅太阳能电池将从 2014 年的 18% 左右提高到 2020 年的 50% 左右。由于非硅成本的降低，电池效率的不断提升，组件成本在光伏系统装机成本中的比重在不断下降，高效晶硅电池越来越受到市场的欢迎，特别是在面积有限的分布式光伏中。从近期一些光伏巨头布局 N 型硅片和 N 型高效电池也可见端倪。去年 6 月 18 日，美国光伏巨头 SolarCity 宣布，该公司将斥资 3.5 亿美元收购太阳能组件制造商(生产 N 型高效晶硅电池)Silevo，计划于未来两年内在纽约

州建造年产能超 1GW 的工厂，打造“全球最大”的太阳能组件制造厂。松下也于今年 5 月份宣布今后每年将在日本新增 HIT 产能 150MW。这样日本国内产量在 2015 财年将达到 750MW，而松下集团的年度总产量将超过 1GW。SunPower 也不甘落后，计划将 IBC 的产能从去年的 1.2GW 提升至 2015、2016 的 1.4GW、1.8GW。于此同时，一些 N 型硅片供应商也没有闲着，纷纷增资扩产，豪赌未来的 N 型单晶盛宴。隆基股份、中环股份、卡姆丹克这些单晶供应商都大幅提高了自己的 N 型硅片产能。即使是多晶硅巨头保利协鑫也推出了 N 型单晶硅片，占比达 2%。这些动作都表明，高效电池市场规模将会快速增长。据光伏市场调研公司 Solarbuzz 统计数据，2015 年后，高效晶硅组件供应商市场规模预计将增长 200%，到 2018 年达到 7.6GW。

图 7: N 型电池产量预计

单位: GW



数据来源: 东北证券

## 2.5. N 型硅片主要供应商

单晶硅片的产业集中度比较高，国内前五大企业就占了全球单晶硅片出货量的 60% 以上。卡姆丹克是国内首批能够大规模生产拥有平均转换率高达 23% 的高效单晶硅片生产商。而 N 型单晶硅技术难度大，成本较高，且 N 型资格认证时间长，入行门槛高。现在市场趋向支持高端技术，对 N 型单晶硅片发展有利。卡姆丹克单晶硅产能在国内约 600MW，马来西亚的新厂房有 300MW 的产能，达产后将逐步释放规模成本优势。但是 2014 年卡姆丹克销售的 N 型超级单晶硅片只有 52MW，虽然占比不是很大，但 N 型高效片相比 2013 年出货量增长 685%。卡姆丹克是国内唯一一家同时获得国际三大主要 N 型电池客户资格认证的供应商，随着市场对高效率的 N 型单晶硅需求不断加大，将对卡姆丹克的业绩形成积极影响。

中环股份专注于 N 型单晶硅片的研发和销售，已经与 SunPower 合作，生产高效太阳能电池。中环 13 年 N 型硅片的产能是 900MW，随着这两年新的募投项目的达产，N 型硅片的产能应在 1.5GW 以上，截至目前，公司高效 N 型硅片市场占有率全球第一。公司客户除了 SunPower 外，主要是日本、韩国为主的高端电池厂商。值得一提的是，中环股份的核心技术 CFZ 硅片更可以避免直拉硅片的高含氧量，而有效降低光致衰减效应。中环曾公开披露，CFZ N 型硅片生产的电池使用年限 25 年内衰减不超过 2%，可以说目前在抗衰减晶硅硅片中，CFZ 技术是中环的独门技术，这也是 SunPower 选择与中环合作的基础。而具备更高转换效率，更优衰减性能的 CFZ N 型单晶硅有望成为高效 N 型单晶的制高点。

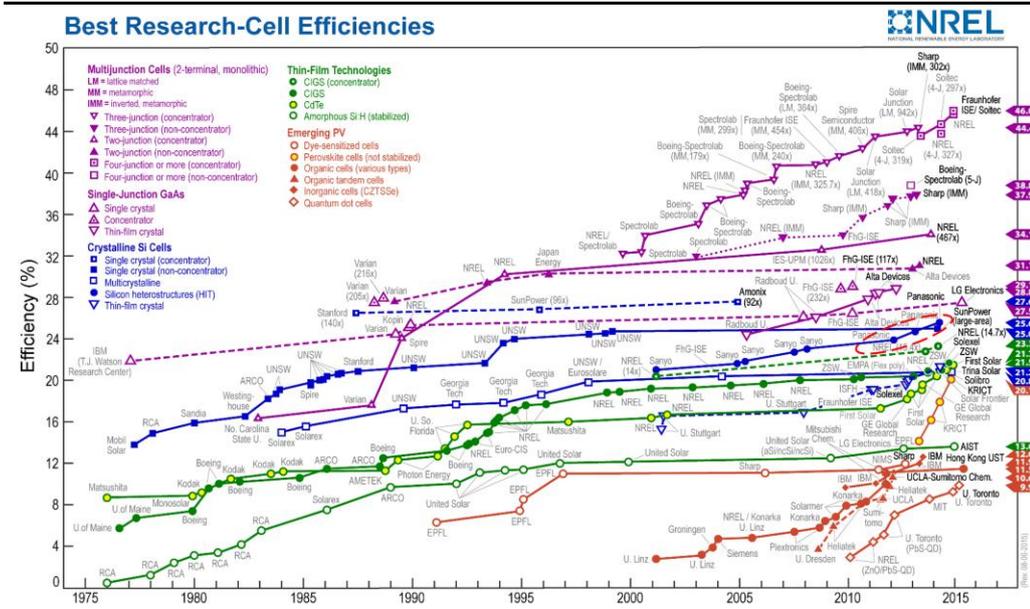
隆基股份是全球最大单晶硅制造商，今年的单晶硅产能超过 4GW，但是其中 N 型硅片的占比并不是很高，13 年只占 5% 左右。但公司确定 N 型单晶技术是未来发展方向，会根据客户需求调配 P、N 型硅片产能。公司制备的 N 型硅片做出的电池效率也已超过 22%。

保利协鑫也于去年推出了 N 型硅片，占比达 2%，绝对值也不小，在 200MW 左右。此外，国内还有阳光电源和晶龙集团生产单晶硅片，虽然都有 1GW 以上的单晶硅产能，但在 N 型硅方面并没有多做布局。

### 3. N 型高效晶硅电池技术路线选择

正如前文所述，由于 N 型硅片相比 P 型硅片有着诸多优势，目前的高效率电池大都采用 N 型单晶硅为衬底，辅以双层抗反射层、表面倒金字塔化、背面局部高掺杂扩散以及背面点接触式电极等技术，提升电池整体转换效率。目前 N 型硅片应用较为成熟的是 Sunpower 的指叉状背电极(IBC)太阳能电池和 Panasonic 的非晶硅/晶硅异质结(HIT)太阳能电池，均已实现规模化生产。国内量产的 N 型电池主要是英利的双面扩散 N-PasHa “熊猫”电池。我们认为将来能大规模推广量产的技术也仅 IBC 电池与 HIT 电池这两种，两者均能获得 24% 以上的高转换效率，能够薄片化，弱光相应好，没有光致衰减效应。但两者目前也各有各的缺点，IBC 设备投入大、工艺复杂、对硅片要求高，成本也高。而 HIT 则是设备、TCO 和低温银浆成本较高、界面稳定控制技术难度大、对硅片电阻率均匀性要求也高。从 NREL 统计的最新电池效率记录来看，IBC 电池和 HIT 电池都在不断刷新晶硅电池的世界纪录，但从近 10 多年的趋势看，明显 HIT 电池更胜一筹，转换效率节节攀升。

图 8: NREL 效率表，晶硅蓝色线更新了 Panasonic 和 SunPower 的最新结果

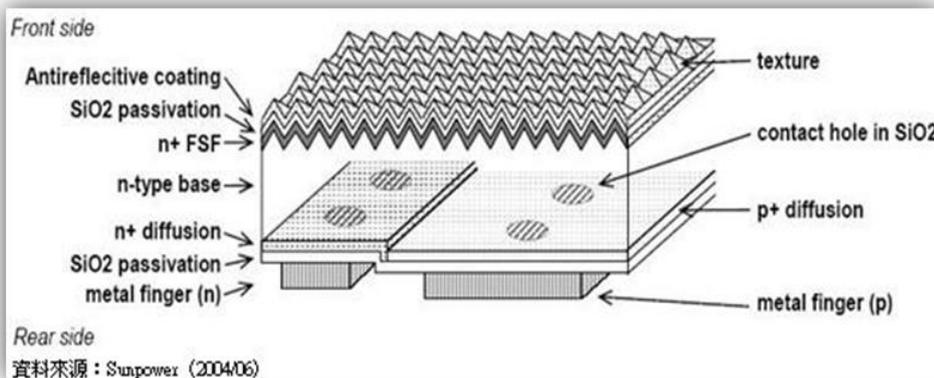


资料来源: NREL, 东北证券

#### 3.1. IBC 电池，代表企业: Sunpower

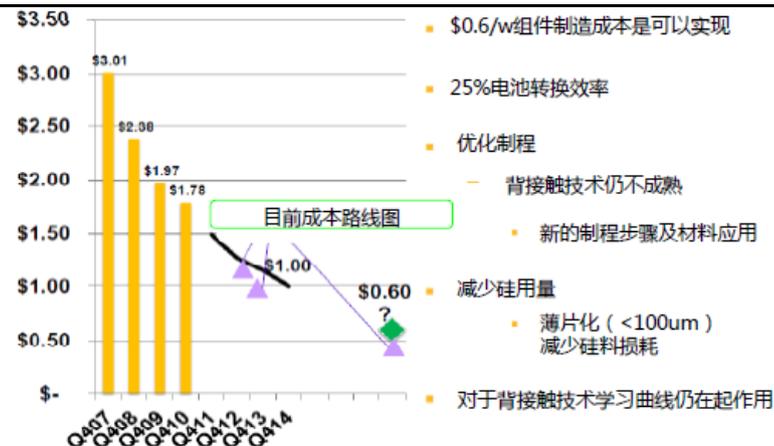
限制传统太阳能电池效率的很大一个问题是正面的栅线的遮光损失，IBC 太阳能电池显著的特点是前表面没有银栅线电极，PN 结及电极均位于电池背面，极大降低了栅线对太阳光遮挡损失。目前 IBC 电池的实验室最高效率达到了 25%（145 $\mu\text{m}$  厚，N 型 Cz 硅片，受光面积 121 $\text{cm}^2$ ），产业化电池效率在 23% 左右。由于电池发电的 P-N 结位于电池背面，IBC 电池需要 Si 材料的少数载流子扩散长度远大于 Si 片厚度。高质量 Si 衬底要求及复杂制备工艺，使产业化的 IBC 电池的制备成本很高。IBC 电池工艺涉及光刻等繁琐的半导体流程，但 Sunpower 其 21 步工艺仍然为业界最短 IBC 工艺流程之最。SunPower 目前 IBC 的产能约 1.2GW，并计划提升至 2015、2016 的 1.4GW、1.8GW。公司的 N 型电池组件成本在 1 美元 / 瓦，而售价在 1.1 美元 / 瓦以上。而目前普通单晶硅（P 型）电池组件价格也就在 \$0.65/W。可见相比传统多晶硅片，IBC 电池的成本还是相当昂贵的。公司预期到 2015 年成本可下降 35%，2016 年后未来可能达到 \$0.60/W。SunPower 将于 2016 年在日本推出其“X 系列”组件，采用其新一代“Maxeon”太阳能电池，组件额定效率为 21.2%，性能配置为 345W，是目前效率最高的组件。

图 9: IBC 电池



资料来源：公司资料，东北证券

图 10: IBC 电池成本路线图



资料来源：公司资料，东北证券

### 3.2. 异质结电池（HIT），代表企业：Panasonic

日本三洋公司从上世纪 90 代开始研发 a-Si/N-Si 异质结太阳电池，2013 年被 Panasonic 收购后仍然致力于高效晶硅太阳电池的研发。这种电池由于在异质结界面插入了一层本征非晶硅薄层，所以该结构被称为“带有本征薄层的异质结”电池，简称 HIT 电池。该电池通过插入薄本征非晶硅层，降低了太阳能电池的界面态密度，从而减少了复合电流，提高开路电压和电池转换效率。HIT 太阳电池具有低的制备温度，整个工艺可以在 200℃下完成，减少了对能源的消耗。由于兼具非晶硅电池和晶硅电池的特性，HIT 电池的温度系数很低，只有常规晶体硅电池的一半，特别适合在日照充足、天气炎热的地区使用。HIT 电池的另一优点是可以尽可能的薄片化，由于采用双面对称结构，一定程度上减轻了电池的热应力和机械应力，实验表明，随着硅片厚度的减薄，电池的开路电压会有些许增加，而 FF 会降低，两者大致能相抵，电池效率的下降主要来源于短路电流的减少，但 60μm 的 HIT 电池相比 98μm 的电池也只是降了 0.2%~0.3%。而传统结构的单晶硅电池，开路电压和短路电流都会随硅片厚度的减小而降低。值得一提的是，小于 70μm 的硅片已经可以轻松的弯曲而不碎裂，可以应用在一些柔性衬底上。

13 年初 HIT 电池实验室最高效率达到了 24.7%，采用的是 98μm 厚 n 型 CZ 硅片，受光面积超过 100cm<sup>2</sup>，规模化生产效率在 21%左右。2014 年，Panasonic 将 HIT 与 IBC 技术相结合，采用 150μm 厚 n 型 CZ 硅片，其效率达到了突破性的 25.6%，测试受光面积 143.7cm<sup>2</sup>，效率的测量由第三方日本 AIST 实验室完成。这一效率比 2013 年 HIT 电池的 24.7%提高了足足 0.9%，同时也将沉寂 15 年的单晶硅太阳能电池的效率记录向上提高了 0.6%。

**表 2: HIT 电池性能发展趋势**

Year	Voc(V)	Isc(mA/cm <sup>2</sup> )	FF(%)	Eff(%)	Thickness(μm)	Area(cm <sup>2</sup> )
2009	0.729	39.50	80.0	23.0	>200	100.4
2009	0.743	38.80	79.1	22.8	98	100.3
2011	0.745	39.38	80.9	23.7	98	100.7
2013	0.750	39.50	83.2	24.7	98	101.8
2014	0.740	41.80	82.7	25.6	150	143.7

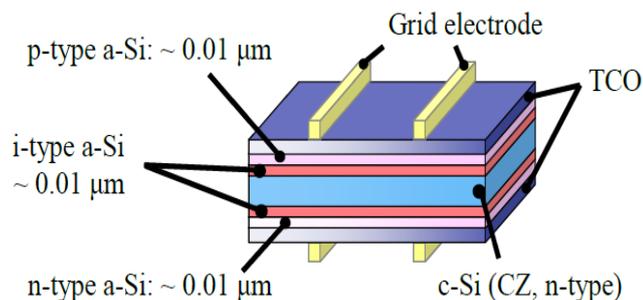
资料来源：公司资料、东北证券

由于 HIT 电池制备工艺及设备与普通的 P-型 Si 太阳能电池的生产不相兼容，处理工艺过程复杂，TCO 和低温银浆的成本比较高。目前组件生产成本约\$1.0/W，Panasonic 在马来西亚新建立 300MW 硅片、电池、组件厂，希望生产成本下降 20%（估计约降至\$0.80/W），产能提高至 900MW。今年 5 月份 Panasonic 宣布今后每年将在日本新增产能 150MW。这样日本国内产量在 2015 财年将达到 750MW，而松下集团的年度总产量将超过 1GW。随着税率下降以及大面积的土地越来越稀缺，日本国内的光伏发电的需求投资已经从大面积的光伏发电系统转向屋顶光伏发电系统。松下集团的 HIT 高效电池对于日本有限的屋顶空间来讲是十分具有竞争优势的。松下最近推出的产品是电池效率平均 22.5%，组件效率 19.5%的高效太阳能组件。

除松下一直在量产 HIT 电池外，Silevo 在 2011 年推出了“Triex”技术以及使用这一技术生产的高效单晶电池和组件产品，除了在硅谷的一条试验生产线外，Silevo 在杭州还拥有一条 32MW 的量产生产线（杭州赛昂电力，Silevo 占 65%股权比例），目前量产电池片效率 21.4%。2014 年美国光伏巨头 SolarCity 斥资 3.5 亿美元收购

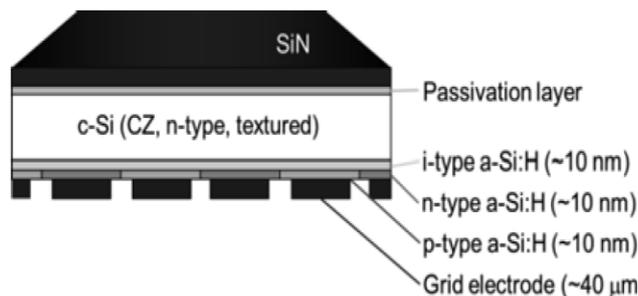
Silevo, 并计划于未来两年内在纽约州建造年产能超 1GW 的工厂, 打造“全球最大”的太阳能组件制造厂。杭州 32MW 中试线成本测算合\$0.90/w (电池效率 22.1%), 原先有下一期 200MW (156 规格) 的扩产规划, 其组件成本目标\$0.68/w, 其中电池\$0.50/w, 2017 年目标\$0.53/w, 预计随着纽约工厂 1GW 产能的达产, HIT 电池的成本会出现明显的下降。

图 11: HIT 电池结构图



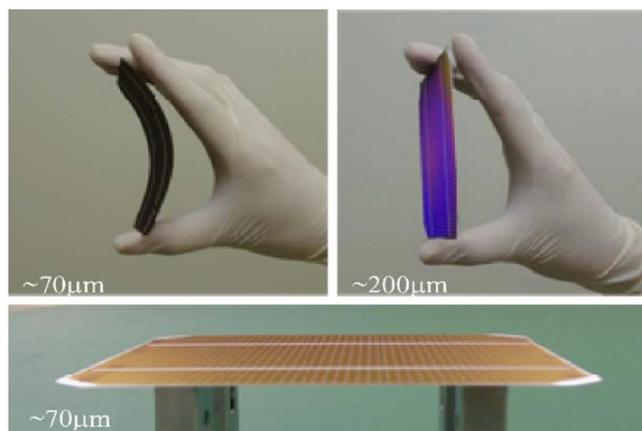
资料来源: 公司资料、东北证券

图 12: 结合 IBC 技术的 HIT 电池



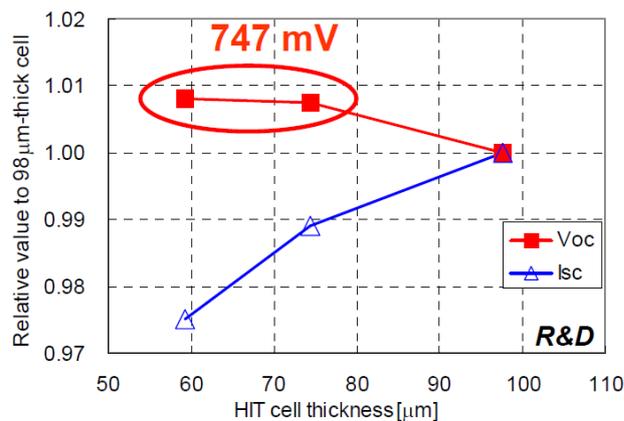
资料来源: 公司资料、东北证券

图 13: HIT 电池的薄片化



资料来源: 公司资料、东北证券

图 14: HIT 电池性能随厚度的变化



资料来源: 《HIGH-PERFORMANCE HIT SOLAR CELLS FOR THINNER SILICON WAFERS》、东北证券

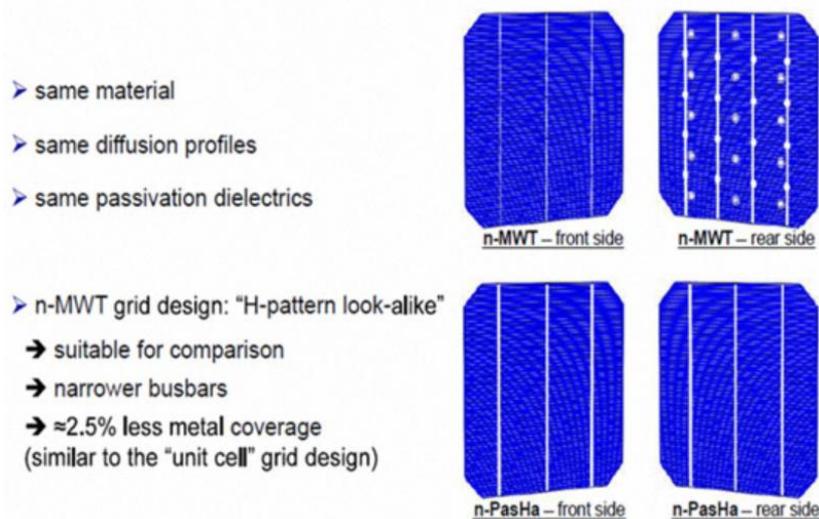
### 3.3. N 型双面掺杂电池, 代表企业: 英利

双面扩散 N-PasHa 电池是英利和荷兰国家能源研究中心 (ECN) 合作开发的高效晶硅电池技术, 该电池兼顾了低成本和高效率的优点。与早已成熟商业化生产的 IBC、HIT 电池相比, 这种电池与普通的 P 型硅电池结构相同, 具有结构简单、制备成本低、工艺流程短、与现有生产线相兼容和容易实现大规模产业化的优点。这种电池主要有以下特点: 1. 掺磷背电场结构可以进行双面设计, 相对于传统的铝背电场, 因为不用让电池弯曲, 所以能加工更薄的硅片, 英利方面表示, 目前硅片的切割厚度已经降至低于 180 微米, 合格率超过 96.5%。同时双面结构能比同类电池产生更多的电量, 在不增加成本的情况下, 可以多发电 15% 以上; 2. 采用细密栅线设计, 减小栅线的遮挡光面积, 以此提高电池的短路电流; 3. 优化栅线的烧结工艺, 降低栅线与电池表面的接触电阻, 从而提高电池的填充因子。2013 年英利 N 型电池在实验

室电池的效率已达到 21%，大规模产业化平均电池效率达到了 19.7%。英利集团曾表示英利 N 型组件的成本只有国外同类电池的 60% 左右，因此推断成本大概在 \$0.65/w 左右。

图 15: 英利双面扩散 N-PasHa 电池

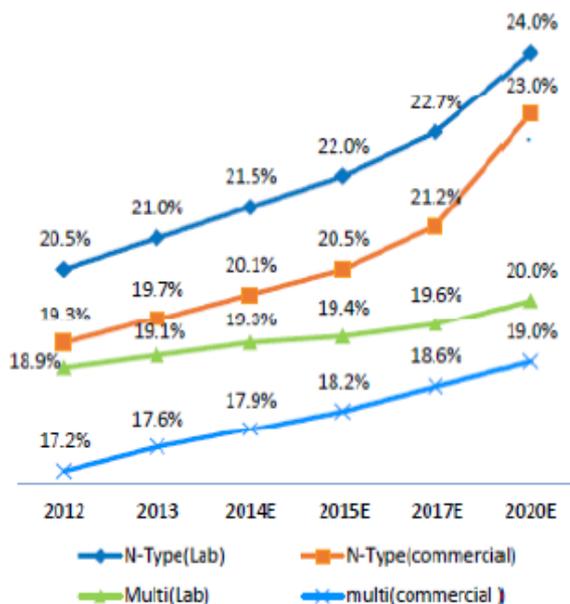
**n-MWT vs. n-PasHa: cell performance**



资料来源：公司资料，东北证券

图 16: 英利电池效率路线图

**Cell Efficiency Roadmap**



资料来源：公司资料，东北证券

### 4. N 型电池的未来——成本降低是关键

行业真正需要的是发电能力，以更低的单位成本和更长的使用寿命持续发电，也就是我们常说的生命周期内年均度电成本。诚然，目前上述的高效电池的成本还不足

与传统多晶硅电池相竞争，但随着电池效率的不断提高，N型电池的大规模量产，相信高效电池的度电成本肯定可以拉平甚至低于多晶硅电池的成本。这里我们通过计算，分析影响N型高效电池成本的因素，以此指明降低成本的方向。

**表 3: 主流高效 N型晶硅电池成本**

技术类型	目前		2016 年以后预期	
	量产效率 (%)	组件成本 (\$/W)	商业化效率 (%)	组件成本 (\$/W)
IBC (Sunpower)	22%	1.0	23-24%	0.60-0.65
IBC(美国新建)	22%	0.87	23-24%	0.64
HIT(美国新建)	22%	0.89	23-24%	0.66
HIT(Panasonic)	22%	约 1.0	23-24%	0.60
HIT (Silevo)	21%	0.90	NA	0.53
N-PasHa (英利)	19.7%	约高于 0.6	21%	0.4-0.45

资料来源：公司资料、东北证券

我们采用动态成本法来分析电站的生命周期成本，为了计算简便，我们只考虑电站的初装成本、运维成本和发电量，不考虑税费等影响。

$$\text{年均度电成本 } C = (I \times \text{CRF} + M) / N$$

$$\text{CRF} = i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

其中：I：项目初始总投资

n：项目的寿命期

i：贴现率（贷款利率）

M：年均运维成本

N：年均发电量

以我国东部沿海地区为例，假设年均发电小时数为 1200 小时，暂不考虑每年的衰减，10MW 电站需 280W 高效多晶硅组件 35720 块，维持同样电池的组件数，用 P 型单晶组件和 N 型高效组件的电站发电能力会分别达到 11.07MW 和 12.32MW。但由于组件数和电站面积相同，我们假定电站年运维费均定为 60 万元，贴现率为 7%。则计算可得 CRF=0.09，在 N 型高效电池组件最终求得三类电池的年均度电成本分别为 0.6485 元、0.6719 元、0.7101 元。N 型高效组件的度电成本分别比多晶硅组件和 P 型单晶组件高了 9.5% 和 5.7%。但是这边假设里已经把多晶组件和 P 型单晶组件的性能提到最高，而价格跟传统的组件差不多，也就是说这个价格短期内已没有多大下降的空间。而 N 型高效组件还有空间继续提高效率，降低工艺成本。

**表 4: 三类电池成本对比**

		高效多晶电池	P 型单晶电池	N 型高效电池
组件效率		17%	19%	21%
组件功率	W/60pc	280	310	345
10MW 需要组件数		35714	32258	28986
组件价格	\$/w	0.6(¥ 3.72)	0.73(¥ 4.52)	0.9(¥ 5.58)
BOS 价格	\$/w	0.75(¥ 4.65)	0.68(¥ 4.22)	0.61(¥ 3.78)

系统价格	\$/w	1.35(¥8.37)	1.41(¥8.74)	1.51(¥9.36)
增加成本	%	100%	104.44%	111.85%
<b>等面积计算</b>		高效多晶电池	P 型单晶电池	N 型高效电池
组件片数	pc	35714	35714	35714
发电量	MW	10	11.07	12.32
增加发电量	%	100%	110.7%	123.2%

资料来源：公司资料、东北证券

**表 5: 不同电池年均度电成本**

	高效多晶	P 型单晶电池	N 型高效电池
组件成本 (万元)	37200	50036	68745
BOS 成本 (万元)	46500	46716	46570
项目初始总投资 (万元)	83700	96752	115315
项目寿命期 (年)	25	25	25
发电量 (Mkwh)	12	13.25	14.78
年均度电成本 (元)	0.6485	0.6719	0.7101

资料来源：东北证券

## 4.1. 降成本之一——提升效率是王道

### 4.1.1. 本质是高质量的硅片 (CFZ 法)

实验表明，高质量的硅片才能获得高转换效率的基础，正如 n 型单晶硅片相比 p 型单晶硅片有本质优势一样。在制作 N 型高效电池时，在成本可控的前提下，也要尽可能选择高质量的硅片，相比传统的 CZ 硅片，中环的核心技术 CFZ 法制备的单晶棒有接近 FZ 硅片的品质，且在掺杂方面做得更均匀，但成本却增加不多，是大规模制备 N 型高效电池的最佳原料。

### 4.1.2. 双玻组件，双面发电能效高

双玻组件的成功应用，为分布式光伏、光伏建筑一体化等提供了更多的选择，在成功解决胶膜问题导致的光从电池片间透过而降低整体组件效率的难题后，双面电池展示出更强大的发电能力。在某些特定的安装倾角和地面环境下，双面电池的发电量比单面高出 30% 以上。在一般的安装环境下，双玻组件的全生命周期发电量也比传统的组件高出 10%~15%。此外，双玻组件还有一些列优点，例如可靠性高，衰减少，质保 30 年，安全防火，特别适合安装在屋顶这种必须确保安全的场合。虽然目前双玻组件的封装成本要比传统组件高，但考虑到这一些列优点，性价比还是很高的

## 4.2. 降成本之二——更少的用料，更精简的工艺

### 4.2.1. 薄片化，60 $\mu$ m 的厚度已足够

前面曾提到，Panasonic 成功制备了 70 $\mu$ m 厚的 HIT 电池，其效率相比 100 $\mu$ m 的电

池仅下降 0.2%~0.3%，由此可见，薄片化是很好的降低电池硅片成本的手段。目前，单晶切片采用金刚线切片已成为趋势。金刚线的特点是可以将硅片切的更薄且高效，金刚线切割速度是普通刚线的两倍，而且不需要特殊切割液，用水作为溶剂即可。而且金刚线的直径小，线损低，方便切割更薄的硅片。据悉，目前主流切割厚度为  $190 \pm 10\mu\text{m}$ ，很多企业已经能切割  $120\mu\text{m}$  的硅片，随着电池技术的改进，更薄的硅片将成为主流趋势。

#### 4.2.2. 规模效应，大尺寸 N 单晶生长炉

目前 P 型单晶电池组件比 N 型组件便宜，很大部分原因是由于 P 型组件的长期大规模量产各项设备工艺非常成熟，但随着 N 型电池的普及和份额的扩大，包括硅片成本和工艺成本都会有明显的下降。大尺寸单晶生长炉的投产，进一步拉近了单晶硅片和多晶硅片的成本差距。

**表 6: N 型晶硅高效组件度电成本的敏感性分析**

组件成本	21%	22%	23%
\$0.9	¥0.7101	¥0.6961	¥0.6820
\$0.8	¥0.6657	¥0.6518	¥0.6377
\$0.7	¥0.6214	¥0.6074	¥0.5934
\$0.6	¥0.5771	¥0.5630	¥0.5490

资料来源：东北证券

结合以上的各种降成本的方式，我们对 N 型高效组件度电成本做了敏感性分析，发现随着组件效率的提升，度电成本随之下降。但在 \$0.9 的组件价格下，23% 的组件效率也不能使度电成本降到其他两类组件成本之下。在保持现有组件效率的情形下，只要把组件价格将至 \$0.7，N 型高效晶硅组件将拥有最低的度电成本。如果成本能做到 \$0.6 的话，\$0.7 的价格还具有 16% 以上的毛利率。而根据 SunPower 和 Panasonic 的技术规划，今后几年的目标就是将组件成本将至 \$0.6 的水平。到时，整个市场必将出现高效电池产能的井喷。

## 5. 投资建议

我们认为光伏行业仍具备很大投资价值，光伏公司各项业务特别是电站类业务利润有望持续上升，业绩才是硬道理，光伏行业就胜在业绩明确走在大幅向上的道路上。关注电站端的同时，也需关注制造端，今后几年国内分布式光伏比重有望持续上升，同时地面电站也可能尝试不同路线（如中环股份的聚光电站），总之度电成本下降是王道，高效电池的需求将会越来越大，传导到上游，N 型硅片将供不应求。我们推荐的中长期组合为中环股份和隆基股份。

## 6. 风险

### 6.1. 技术路线风险，成本下降不及预期

今后几年，如果高效 N 型晶硅电池的度电成本仍持续大幅高于多晶硅电池，那么其发展规模会受到一定的限制，反过来又滞缓了成本的进一步降低。不过结合国际上

对高效 N 型组件的不断增长的需求,观察到各光伏巨头近年来在 N 型硅片及组件领域的布局,国内各大厂商势必会加入到这场 N 型高效电池的大战中。此外,国家还是倾向于扶持分布式发电,不对分布式光伏装机量做限额,这对高效电池都有巨大的推动作用。美元还处于强势周期,且美国加息预期强烈,硅材料等原材料价格会长期在低位运行。因此这个风险较小。

## **6.2. 市场系统风险**

在经历股灾后,市场还未完全稳定,行情时有反复,情绪化严重,仍需注意系统性风险。