

湘财证券研究所

行业研究部

徐广福 分析师

执业编号：S0500511010003

联系人：

侯文涛

Tel：021-68634518-8007

E-mail：hwt2894@xcsc.com

投资要点

- Ø **光伏行业发展和投资趋势均指向了新技术。**经历了多晶硅价下跌、制造业快速扩张、配套领域进口替代的进程，光伏发电的成本相比 2008 年已经下降了一半。后期由于规模扩张导致的边际效应正在递减，成本下降的推动力将逐渐转到光伏新技术方面。由于可以改变现有的组件成本结构，具有进一步降低成本的预期，我们认为光伏新技术是到 2020 年实现成本再降一半的主要推动力。
- Ø **光伏新技术的应用可推动组件成本降低 50%以上。**根据我们对各种光伏新技术的产业化看好程度，我们进行了排序，依次为：冷氢化>准单晶铸锭>金刚石切割>电池片效率达到 22%>物理法硅料>无切损/硅粉回收。这些新技术可将组件成本下降 7、8、6、20、7、10 美分/w，也就是说，如果 2020 年所有技术获得应用，组件成本将降至 0.5 美元/w 以下。新技术的推广，将成为未来十年组件成本下降的主要推动力。
- Ø **多晶硅生产：冷氢化进行中，物理法期待中。**国外多数企业均使用了低耗能的冷氢化技术，而随着此技术在国内的扩散和专利的到期，目前已有大批企业进行冷氢化技改，与热氢化相比，可将生产成本降低 5 美元/kg 以上。使用物理冶金的方式生产太阳能级多晶硅，比化学法工艺简单、能耗低，但是目前的极限只能达到 6N 的纯度，电池片的转换效率不理想，短期尚难有所突破。
- Ø **拉晶铸锭：准单晶铸锭、无切损技术将带来重要变革。**准单晶铸锭由晶澳研发，在铸锭过程中加入籽晶诱导生长，以多晶铸锭的低成本生产出单晶硅片，我们认为这一技术的规模化应用指日可待。无切损技术是通过高能氢质子束辐射的方式直接从硅锭上剥离硅片，或者直接从硅料生长硅片，避免了切片环节中 45% 的硅料切损，但是由于这两种方式的成本还较高，离实际应用仍有距离。
- Ø **切片：金刚石切割与硅粉回收立足于现有切割工艺改进。**金刚石切割线的方式可以降低切割的耗材成本，但短期主要用于开方，应用于硅片切割尚未能有效解决划痕、碎片、线径问题，业内普遍认为尚需 5 年的时间。硅粉回收的思路是将废砂浆中的高纯硅粉重新提纯出来循环利用，但是其技术难度大，目前仅限于科研机构研发，尚未出现可产业化的成果。
- Ø **电池片：多种新技术提升转换效率。**电池片的产业化效率正以年均 5% 的速度提升，预计 2015 年可达 21% 左右，而届时即使其他成本不变，组件的每瓦成本也可下降 15% 即 15 美分左右。目前基于 N 型硅的多种电池片技术均具有产业化的预期，我们认为电池片技术是光伏产业链中最具差异化的环节，也最有可能孕育高成长的公司。
- Ø **光伏系统：系统优化提升发电能力。**通过应用跟踪系统、微型逆变系统以及软件的优化等手段，可在装机容量不变的前提下，提高系统的发电量，从而摊薄度电成本。
- Ø **投资建议：短期看进口替代，中长期看新技术。**我们认为短期内进口替代依然是光伏投资的主要关注点，而中长期来看，拥有新技术研发和应用前景的相关公司将脱颖而出，其股价有望获得催化，也值得享受一定的估值溢价。

目 录

成本下降的推动力：由规模效应转向新技术突破.....	4
多晶硅生产：冷氢化进行中，物理法期待中	5
I 冷氢化技术扩散提升国内硅料公司竞争力.....	5
I 物理法短期难以达到 6N 级，路线前景诱人	7
拉晶铸锭：准单晶铸锭、无切损技术将带来重要变革.....	8
I 准单晶铸锭获得推广的可能性非常大.....	8
I 无切损技术可降低一半硅料成本.....	10
切片：金刚石切割与硅粉回收立足于现有切割工艺改进.....	11
I 金刚石切割线尚需等待	11
I 硅粉回收难度大，研究依旧进行中	12
电池片： N 型硅、MWT 和 HTJ 技术提升转换效率.....	12
光伏系统：系统优化提升发电能力	14
总体测算：新技术的应用前景和成本潜力	16
投资建议	17

图目录

图 1、国内光伏平价上网趋势	4
图 2、晶硅电池的学习曲线	4
图 3、光伏成本下降的推动力和主要举措	5
图 4、冷氢化的工艺流程示意图	6
图 5、日本 JFE 公司的冶金法制备多晶硅工艺	7
图 6、准单晶铸锭及相应的硅片外观	9
图 7、Silicon Genesis 公司的单晶硅无切损技术	10
图 8、1366 公司的熔融直拉技术	10
图 9、梅耶博格子公司 diamond wire 的金刚石切割线	11
图 10、电池片技术发展趋势	12
图 11、尚德的 N 型硅电池结构	13
图 12、ECN 的 MWT 电池原理和外观	14
图 13、日本三洋的双面 HTJ 电池	14
图 14、一般系统和微型逆变系统的示意图	15
图 15、晶硅电池的成本下降路径 (\$/w)	16

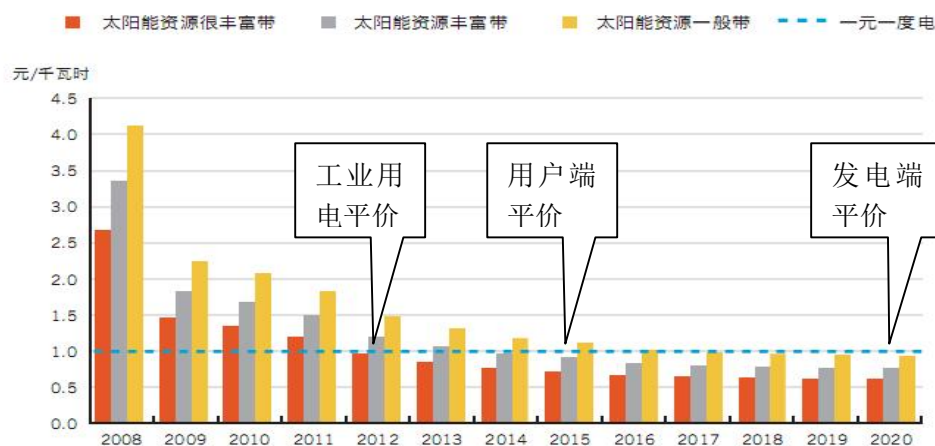
表目录

表 1、两种氢化工艺特点比较表	6
表 2、多晶硅不同制造方式的比较	7
表 3、国内外采用冶金法的主要厂商	8
表 4、各种拉晶铸锭技术对比	9
表 5、普通切割和金刚石切割的成本对比	11
表 6、国内外公司的电池片新技术(不完全统计)	13
表 7、不同跟踪方式的投入和成本对比	15
表 8、光伏系统成本分解及新技术的成本潜力	16
表 9、光伏行业发展及投资思路	17
表 10、光伏新技术涉及的相关公司	17

成本下降的推动力：由规模效应转向新技术突破

光伏不能始终依赖补贴，发电成本平价是终极目标。西班牙、德国、捷克、意大利，这四个国家的光伏补贴给光伏制造业提供了巨大的机遇；而在政策变脸、补贴淡出的趋势下，国内的光伏制造业也迎来了生存的挑战。光伏发电的市场，不可能一直依赖政府补贴，真正实现平价上网后，具有无穷潜力的需求才会最终打开。

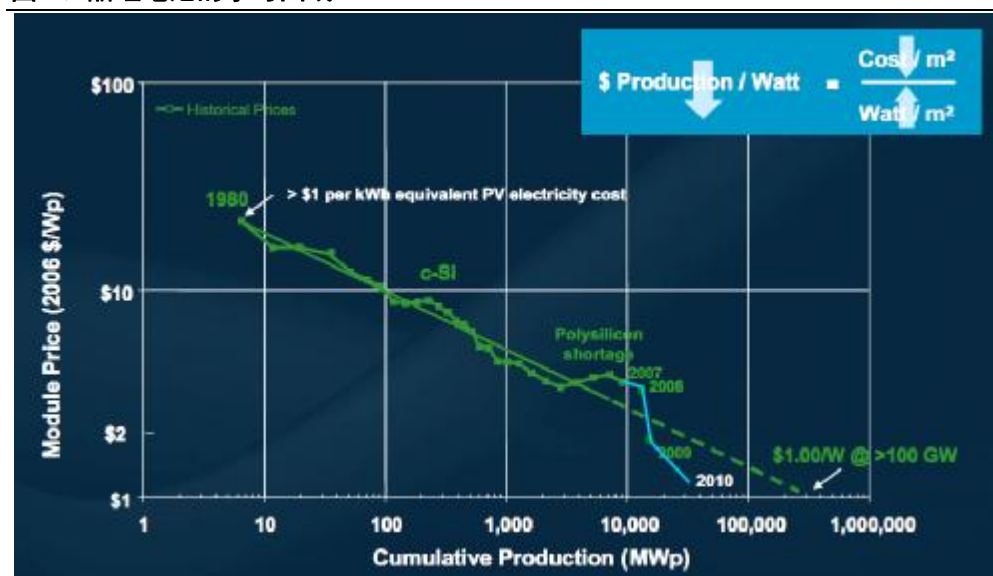
图 1、国内光伏平价上网趋势



数据来源：2011 中国光伏产业发展报告，湘财证券研究所

目前产业规模效应已经显现，后期发电成本下降依赖新技术的突破。2010 年产量超过 1GW 的企业达到了 5 家，并且仍在持续扩张中，光伏制造业已经具备了规模效应。早期发电成本的下降是由于多晶硅价的降低，近期的成本下降则是由于规模效应和产业利润率的压缩，现期主要因素是设备/辅料领域的进口替代，而后期推动成本下降的是什么？是革新性的新技术！企业之间的竞争，已经从“规模竞争”转变成为技术差异化引导的“成本之争”。

图 2、晶硅电池的学习曲线



数据来源：应用材料，湘财证券研究所

新技术引领光伏成本下降。对于光伏行业这样的新兴产业来说，新技术、新应用始终是影响行业发展的主流因素。虽然光伏生产设备、耗材、配套设备实现国产化替代后，也可以使得组件的成本有进一步的压缩，但我们认为这种思路仍然局限于现有的技术路线和产业格局，没有考虑到新技术突破可能给行业和需求带来的变革性影响。而我们恰恰认为，站在行业发展和产业投资的角度，变革性的影响才是最大的机会！

图 3、光伏成本下降的推动力和主要举措



数据来源：湘财证券研究所

多晶硅生产：冷氢化进行中，物理法期待中

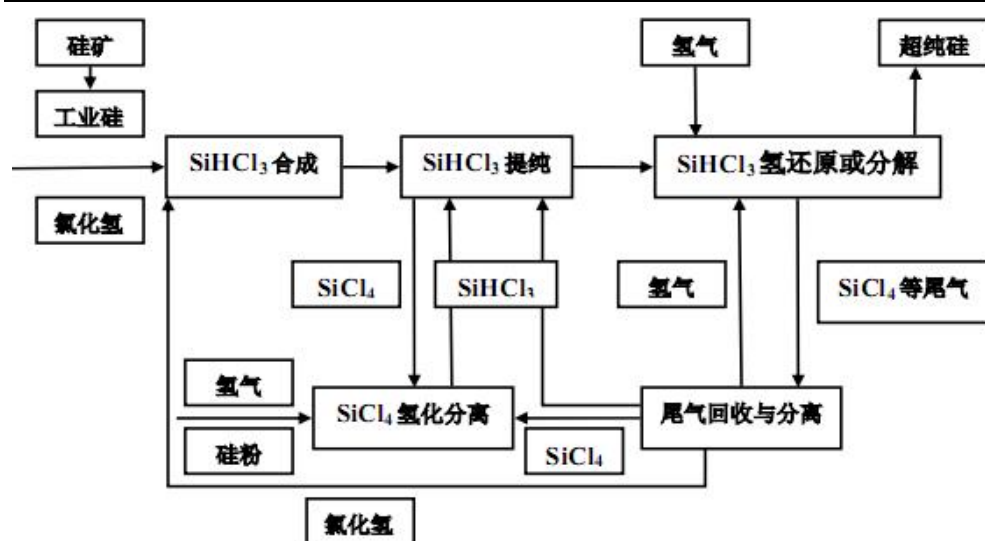
I 冷氢化技术扩散提升国内硅料公司竞争力

冷氢化相对热氢化可进一步降低成本。四氯化硅副产物的回收再利用，可以有效的降低反应物三氯氢硅的成本，目前主要通过两种反应实现：热氢化和冷氢化。热氢化的优点是技术成熟、操作控制简单，德国 waker、国内大部分硅料企业均使用了热氢化技术。冷氢化的优点是反应温度低、转化效率高、投资和生产成本低，国外 Hemlock、OCI 使用了冷氢化技术，国内江苏中能、洛阳中硅已经掌握和应用了冷氢化。

冷氢化工艺技术正在国内扩散中。由于热氢化工艺能耗高、成本高，已经逐渐被淘汰。随着国内对于技术复杂的冷氢化工艺的逐渐掌握，以及冷氢化专利的到期，越来越多的国内厂商开始进行冷氢化技改，包括重庆大全、宜昌南玻、乐电天威、神

舟硅业、赛维 LDK、盾安光伏、内蒙古锋威、洛阳万年硅业、山东鼎昌硅业等。

图 4、冷氢化的工艺流程示意图



数据来源：东方电热，湘财证券研究所

表 1、两种氢化工艺特点比较表

	热氢化	冷氢化
技术成熟性	成熟	比较成熟
操作压力	0.6 MPaG	3.0MPaG
操作温度	1250℃	550℃
反应原理	$\text{SiCl}_4 + \text{H}_2 = \text{SiHCl}_3 + \text{HCl}$	$\text{Si} + 3\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 = 4\text{SiHCl}_3$
综合电耗	2.5~3 kWh/kg-TCS	1-1.2 kWh/kg-TCS
占地面积	100%	80% (减少氢化尾气回收)
建设投资	100%	90% (减少氢化尾气回收)
生产成本	100%	90%
生产维护	较易	较难
操作技术要求	一般	较高
优点	汽相连续反应，不需催化剂；易操作和控制；维修量小；反应无硼磷杂质带入，后续的精馏更简单；蒸汽耗量低；工艺成熟，有可靠的技术来源。业主已有操作经验	硅粉加入，是普通的流化床反应；电耗低；STC 转化率高(22~23%)；国外运行时间长，国内已有运行，是未来多晶硅的发展方向。
缺点	反应是电氢化还原反应，电耗高；STC 转化率低（15~20%） 多晶硅产品含 C 较高。	是气固反应，间断操作；操作压力高；对硬件的要求高。 要求高，国内有 3 家投产，运行时间不超过 5 年，有待提高工艺成熟性

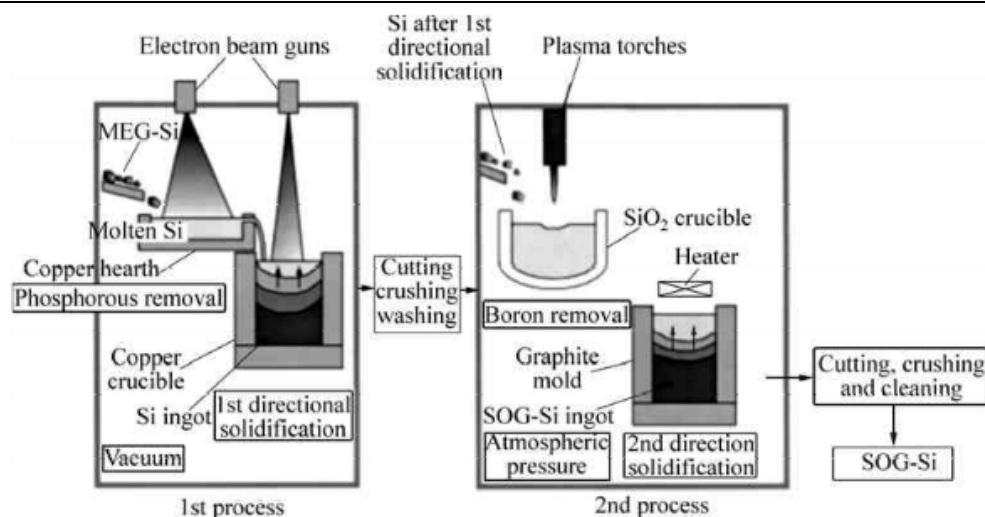
数据来源：冷氢化工艺技术方案，湘财证券研究所

关注乐山电力、航天机电、南玻 A、东方电热。乐山电力(600644)旗下的乐电天威、航天机电(600151)旗下的神舟硅业、南玻 A(000012)旗下的宜昌南玻硅材料均在进行冷氢化技改，后期成本将进一步降低。而盾安环境(002011)年内即将投产多晶硅项目也是使用冷氢化方式。东方电热(300217)提供冷氢化技改中的电加热器，中硅和中能均是公司大客户，后期冷氢化技改大潮将给公司提供良好的成长前景。

I 物理法短期难以达到 6N 级，路线前景诱人

物理法成本低、能耗低，但纯度问题难以解决。物理冶金法的工艺简单、投资少、能耗低，但是纯度难以达到 7N 的太阳能级别。Elkem 使用冶金法的硅料与电子级硅料混合，才能应用于太阳能，转换效率 15%~16.5%。考虑到较低的转换效率，冶金法多晶硅的成本应该低于 20 美元，相对技术成熟的改良西门子法才具有足够竞争力。我们认为冶金法的技术和工艺突破，还有很长的路要走，短期来看只能作为改良西门子法的补充，尚不能实现替代。

图 5、日本 JFE 公司的冶金法制备多晶硅工艺



数据来源：太阳能级多晶硅生产技术的发展现状及展望，湘财证券研究所

（选择纯度较好的工业硅进行水平区熔，单向凝固成硅锭，去除硅锭中金属杂质聚集的部分和外表部分后，进行粗粉碎与清洗，在等离子体融解炉中去除硼杂质，再进行第二次水平区熔单向凝固成硅锭，去除第二次区熔硅锭中金属杂质聚集的部分和外表部分，经粗粉碎与清洗后，在电子束融解炉中去除磷和碳杂质，直接生成太阳能级多晶硅。）

表 2、多晶硅不同制造方式的比较

	西门子法	改良西门子法	硅烷法	冶金法
对环境的影响	SiHCl ₃ 排放严重	SiHCl ₃ 排放较轻，仍影响环境	硅烷易爆炸，设备密封要求高	排放量少
每公斤耗能 kWh/kg	~130	~65	~100	~22
材料品质	高纯度，可用	高纯度，可用于	高纯度，可用于	太阳能

	于电路和太 阳能	电路和太阳能	电路和太阳能	
生产成本(万元/吨)	~30	19 ~ 21.8	~20	~12
设备投资	大于1亿美元	大于1亿美元		
生产电池效率		17~18 %	17~18 %	14.5 % ~ 15 %
主要公司		大部分国内外 公司	REC、六九	JFE、银星、 普罗

数据来源：多晶硅还原法研究可行性分析，湘财证券研究所

表 3、国内外采用冶金法的主要厂商

制造商	纯度	主要技术	应用	2010	2011	2012
Timminco	6n-	Gas fame refine, DSS	美中德	1000	1000	2000
ELKEM	6n-	氢化, 熔炼, 真空	欧洲	2000	4000	6000
CaliSolar	5n+	硅-铝合金提纯	美国	200	1000	N/A
Dow Corning	5n+	未公开		R&D	N/A	N/A
银星能源	6n-	氢化, 粉末化, 真空	宁夏	1300	2000	4000
上海普罗	6n-	真空, 氢化	宁夏上海	1000	1500	5000
Jaco				1000	1000	2000
JFE	6n	真空, 电子束, 等离子束	日本	400	800	N/A

数据来源：上海普罗新能源，湘财证券研究所

物理法仍然具有良好的远景预期。根据报道，日本拟与阿尔及利亚联合进行基础研究，从撒哈拉沙漠的砂子中就地取材，提取高纯硅石，然后加工成为太阳能级硅料，最后再应用于沙漠电站。这一项目的目标是到 2050 年提供全球 50% 的电能需求。我们认为冶金法的吸引力就在于此，随着工艺技术的进步，它有可能将一个复杂而昂贵的过程，变成一个简单而廉价的过程。可关注银星能源(000862)，其冶金法生产的多晶硅纯度达到了准 6N(99.9997%)。

拉晶铸锭：准单晶铸锭、无切损技术将带来重要变革

I 准单晶铸锭获得推广的可能性非常大

准单晶铸锭技术或带来重大技术变革。单晶电池片的效率较高、多晶电池片的成本低，因此两种电池片的每瓦价格近似。由于电池片的转换效率每提高一个百分点，利润将增加 6~8%，如果能兼具多晶铸锭的低成本和单晶硅的高效率，则可有效的降低生产成本。准单晶技术使用籽晶诱导硅锭生长，增加的成本有限，而电池转换效率提高了 1.3~1.4%，大规模推广的潜力巨大。

表 4、各种拉晶铸锭技术对比

	区熔单晶	直拉单晶	准单晶铸锭	多晶铸锭
单炉产量 kg	100	100	430	450
生长速率 kg/h	4	>1.5	>12	>12
能耗 kwh/kg	30	18~40	8~15	8~15
转换效率	18~24%	18%	17.3%	16%
衰减		2%	0.5%	2%
硅料利用率		50%	65%	65%
生产成本(元/kg)		160	65	60
硅料要求	特殊	一般	均可	均可
优点		单一晶向、低缺陷, 电池效率高	兼具低成本、高效率	投料量大, 操作简单, 低成本
缺点		单次投料少, 操作复杂, 成本高	技术尚未完全成熟, 控制难	晶格缺陷多, 转换效率较低

数据来源：48 所、晶澳、湘财证券研究所

图 6、准单晶铸锭及相应的硅片外观



边部少量多晶，中间整个区域为籽晶引导生长的超大晶粒



完全单晶

四角微量杂晶

周边多晶

一般多晶硅片

数据来源：晶澳、湘财证券研究所

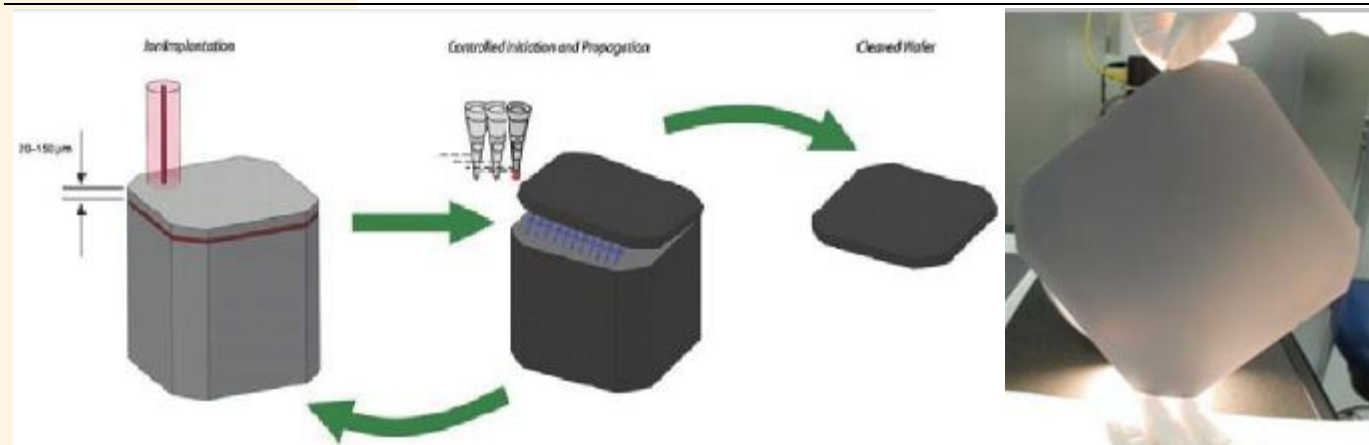
关注晶澳太阳能(JASO.US)和精功科技(002006)。4 月东海晶澳公司的一期项目已经有 12 台准单晶硅铸锭炉投产, 预计将实现年产 65MW 准单晶硅铸锭; 投资 4 亿元的二期 200MW 准单晶硅铸锭项目也正在实施中, 今年底达产后还将增加 32 台准单晶硅铸锭炉, 其铸锭炉全部从精功科技(002006)采购。

I 无切损技术可降低一半硅料成本

硅料在切片环节中有一半的损失率。硅片的厚度一般在 200 微米以下，而切割线的直径在 120 微米，线损在 150 微米左右；也就是说，在切割过程中有一半左右的高纯硅料与切割刃料、切割液变成了废砂浆。如果能够改变目前硅棒/硅锭切割成片的工艺方式，由硅料直接拉出或浇铸成为硅片，则硅料的利用率可接近 100%，不考虑其他成本变化，硅料的成本将下降一半左右！

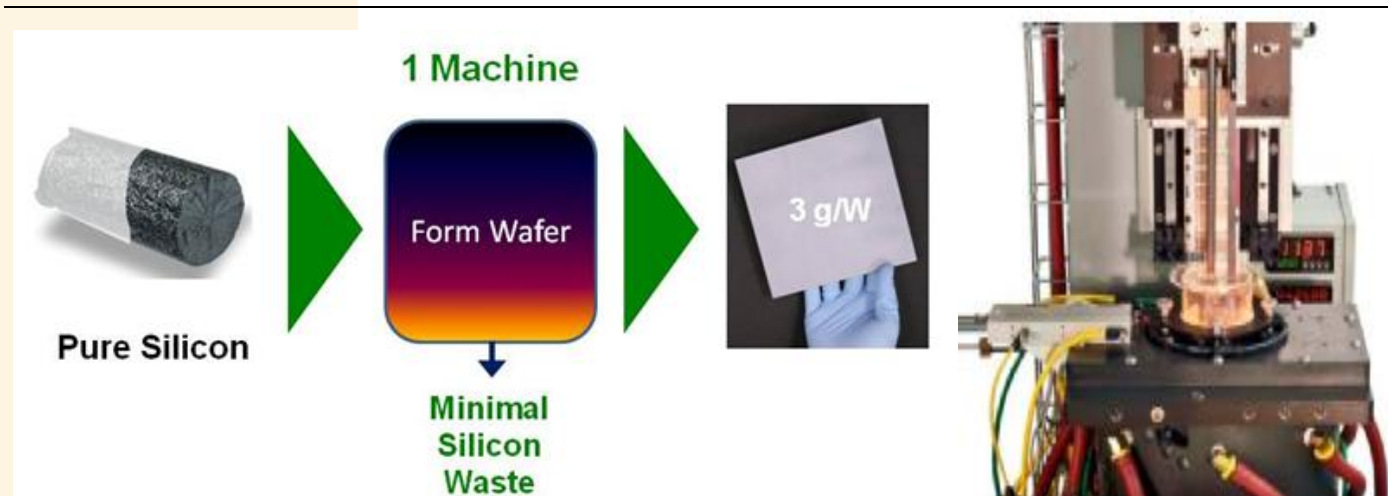
无切损技术开始起步。2010 年 9 月，美国 sigen 公司宣布其开始利用 Polymax 生产系统进行单晶硅片生产，厚度 50~150 微米可调。该技术在最后形成硅锭后，通过高能氢质子束辐射在硅块上表面形成一定厚度的剥离层，然后直接机械剥离。获得美国能源部和 NREL 资助的 1366 公司也开发出了 direct wafer 技术，可从熔融硅中提拉直接生产硅片。这两种生产技术几乎没有硅料损耗，利用率可达 3.0g/W（而传统线切工艺为 7.0g/W）。

图 7、Silicon Genesis 公司的单晶硅无切损技术



数据来源：silicon genesis，湘财证券研究所

图 8、1366 公司的熔融直拉技术



数据来源：1366，湘财证券研究所

无切损技术的成本和技术问题尚未解决。可以看出，上述两种无切损技术可以大大提高硅料利用率，节省原材料成本，但是由于设备和处理工艺需要额外的投入，相对于传统线切割是否有成本优势还有待商榷。另外，无切损技术不够成熟，生产出的硅片性能尚不能达到工业化的高转换效率和批次的稳定性。作为一种刚刚出现不久的光伏新技术，我们仍然对无切损的应用抱着非常乐观的期待态度；目前在国内，我们尚未发现具有相关研发项目的企业或者研究所。

切片：金刚石切割与硅粉回收立足于现有切割工艺改进

I 金刚石切割线尚需等待

金刚石切割线预期可降低切割成本。目前切片技术中的耗材为切割钢丝、SiC 刃料、PEG 切割液，考虑废砂浆回收的成本在 0.8 元/w 附近，约占硅片加工成本的一半。金刚石切割钢丝通过表面挤压或者电镀的处理方式，沉积了一层金刚石颗粒，因而大大提升了切割钢丝的使用寿命和切割效率，同时规避了切割刃料的使用，可降低切割的综合耗材成本。从我们的成本计算当中可以看出，若金刚石切割线的售价可下降一半，则金刚石切割成本将只有普通方式的一半左右。

表 5、普通切割和金刚石切割的成本对比

切割方式	普通切割			金刚石切割	
所需耗材	切割钢丝	SiC 刃料	PEG 切割液	金刚石切割线	亲水性冷却液
消耗量(lgw)	5625 万 km	2.25 万吨	3 万吨	25.8 万 km	3 万吨
单价	9 元/km	2 万元/吨	1 万元/吨	2000 元/km	4000 元/吨
成本(元/w)	0.5	0.15	0.11	0.52	0.12
总计	0.76			0.64	

数据来源：恒星科技，新大新材，奥克股份，豫金刚石，湘财证券研究所

图 9、梅耶博格子公司 diamond wire 的金刚石切割线



Feature	Slurry	Diamond Wire
Feed Rate:	e.g. 0.42 mm/min	e.g. 1.0 mm/min
Cutting time - 156 x 156 mm	6.8 hours	3.6 hours
Cutting time - 125 x 125 mm	5.6 hours	2.6 hours
Capacity - 156 x 156 mm	6500 wafers/day	13800 wafers/day
Capacity - 125 x 125 mm	7800 wafers/day	16100 wafers/day
Heat Induction	40 - 60 °C	<20 °C

数据来源：diamond wire，湘财证券研究所

金刚石切割线短期用于开方，硅片切割的划痕、碎片问题未能有效解决。目前介入

金刚石切割线开发应用的包括贝卡尔特、日本 Asahi Diamond、瑞士 diamond wire tech、豫金刚石等公司，产品主要用于硅锭开方。在硅片切割应用方面，由于划痕问题无法解决、碎片率较高、镀金刚石后线径较宽(导致硅料利用率下降)，成本的优势并未体现出来，短期尚难以替代传统的切割方式。我们在 SNEC2011 上也与相关专业人士进行了交流，普遍认为金刚石切割线的替代性应用尚需 5 年左右的时间。上市公司中可关注豫金刚石(300064)。

I 硅粉回收难度大，研究依旧进行中

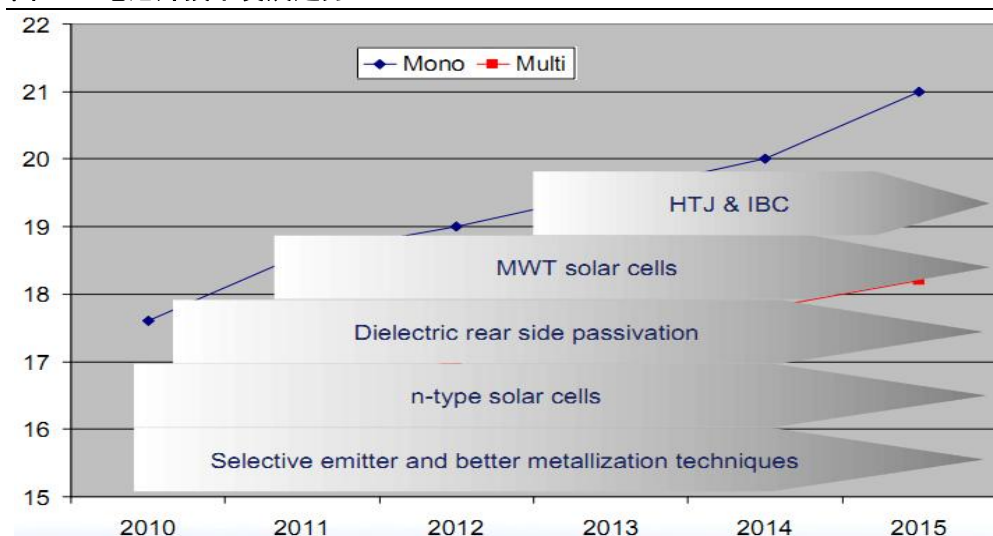
硅粉回收是在不改变现有切割方式下提升硅料利用率的另一种思路。在开方、切片、磨边的处理方式中，高纯硅锭中切削下来的硅粉都混入了废砂浆中流失；废砂浆中大约含有 30%的高纯硅、30%的 SiC 磨料、30%的聚乙二醇和水，5%的铁元素，此外还有微量的其他杂质。如能将硅粉有效提纯重新铸锭，则可提升一倍的硅料利用率，其作用与无切损技术是相同的。

硅粉回收的难度大，目前尚无有效手段。磨料和 PEG 可以实现大约 80%的回收率，而硅粉尚无法实现有效回收，主要原因是硅粉难以从油性切割液中分离，在分离过程中硅粉的损失大，产率低，易氧化；另一原因是在微米级别的硅粉和刀料的物化性质接近，很难获得很好分离(SiC 的回收与硅粉一同进行，或者进行碱溶去硅，尚不能单独有效分离硅粉)。如果采用金刚石切割的方式，可以避免上述问题，只需去金属化和灼烧去碳就可基本实现硅粉的提纯，分离难度将大大降低；但金刚石切割的应用刚刚起步，基于金刚石切割的硅粉回收还只是水中望月。

技术尚处于科研阶段，短期不需重点关注。根据公开信息，美国斯坦福研究院、国内的江西理工大学均有硅粉回收的科研项目，但尚未见到有理想的结果和产业化的预期。站在投资的角度可适当关注其研发进展。

电池片：N 型硅、MWT 和 HTJ 技术提升转换效率

图 10、电池片技术发展趋势



数据来源：rena，湘财证券研究所

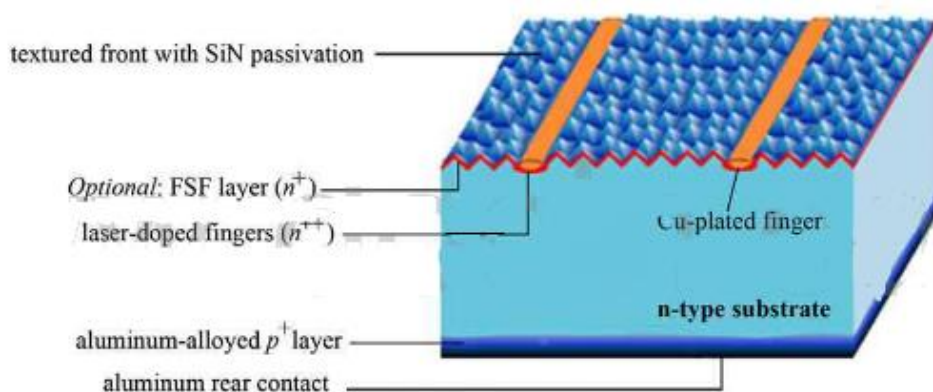
电池片技术的发展提升晶硅电池转换效率。晶硅电池的理论转换效率可达 28%，而目前的产业化效率在 15%~18% 之间，还有 50% 以上的提升空间。转换效率提升 1%，意味着在其他成本不变的假设下，每瓦的成本下降 5% 左右。电池片技术多种多样，几乎每个光伏制造企业的电池片生产技术都各有差异，我们这里简单讨论几种技术发展方向：包括 n 型硅、MWT、HIT&IBC 技术。

表 6、国内外公司的电池片新技术(不完全统计)

公司	新技术	合作方	单晶平均 η	生产状态
尚德	Pluto(PERL)	IP 授权/独立开发	19%	>100MW
中电	SE	独立开发	17.6%	150MW
中电	N 型电池	独立开发	18.5%	开发测试
阿特斯、晶澳	MWT、IBC	ECN	18.5%	开发测试
云南天达	LDSE	UNSW	18.5%	开发测试
晶澳	硅墨	Innovalight	18.5%	开发测试
英利	N 型电池	ECN、Amtech	18.7%	>30MW
天合	Net Emitter		18%	开发测试
天合	N 型电池	澳大利亚国立大学		开发测试
天合	HTJ	中科院微系统所		开发测试
超日太阳	HTJ	电工所、交大太阳能所		开发测试
林洋新能源	SE			160MW
日本三洋	HTJ	独立开发	19.5%	产业化
Sunpower	IBC	独立开发	22.7%	
BP Solar	激光刻槽埋栅电池	独立开发	19.2%	
日本京瓷	反应离子刻蚀	独立开发	16.9%	

数据来源：光伏产业发展现状及趋势 2010，湘财证券研究所

图 11、尚德的 N 型硅电池结构

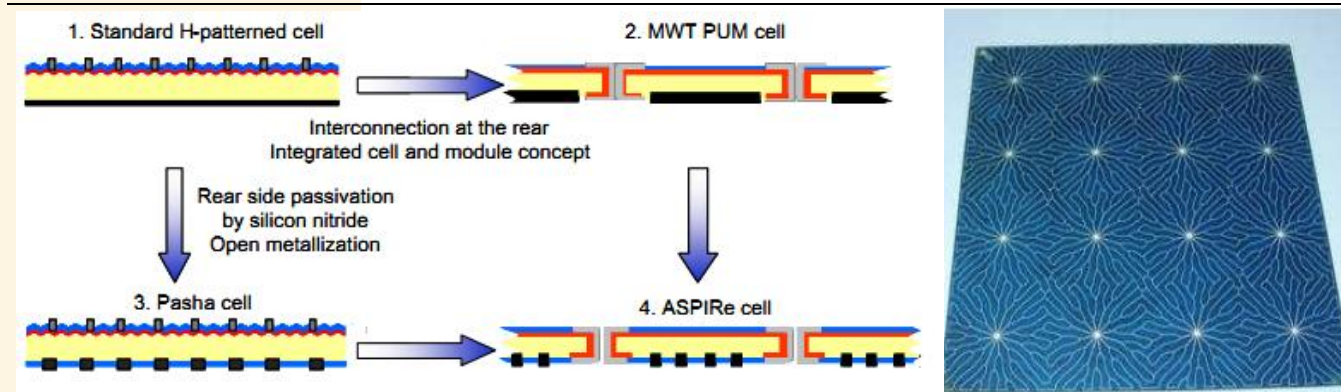


数据来源：尚德，湘财证券研究所

N 型硅技术将逐渐替代 P 型硅技术。N 型硅相比 P 型硅拥有很多优点：少数载流子寿命高很多、对金属杂质的容忍度高、加工温度 200 度(P 型在 1000 度)。主要缺点

在于长期使用的性能退化，而随着表面钝化技术的发展，使用 Al_2O_3 钝化已经可以有效解决这个问题。目前大多数晶硅电池均使用 P 型硅，若要不增加成本的前提下进一步提升转换效率，N 型硅是今后发展的必然方向，而 PERL、HTJ 等新技术想要获得较高的转换效率也要依托 N 型硅为基础。

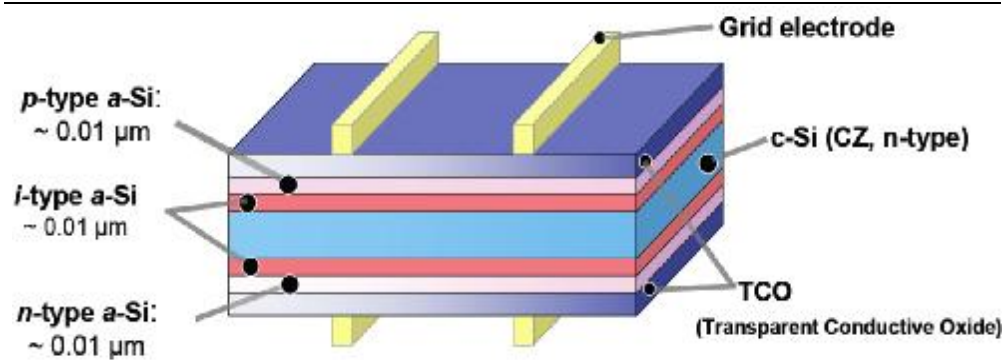
图 12、ECN 的 MWT 电池原理和外观



数据来源：ECN，湘财证券研究所

金属填满 (metal wrap through, MWT) 技术通过减少正面栅线提升转换效率。MWT 方法将电池正面收集的能量通过电池再转移至电池背面。它不再需要在电池正面制作“母线”，因此电池表面就有更大面积来采集阳光并将其转化为电能 (增加 2~3%)，因此更能提高电池的转换效率。阿特斯和晶澳太阳能先后宣布与 ECN (荷兰的能源研究中心) 合作，拟进行 MWT 电池模组的量产。

图 13、日本三洋的双面 HTJ 电池



数据来源：Sanyo，湘财证券研究所

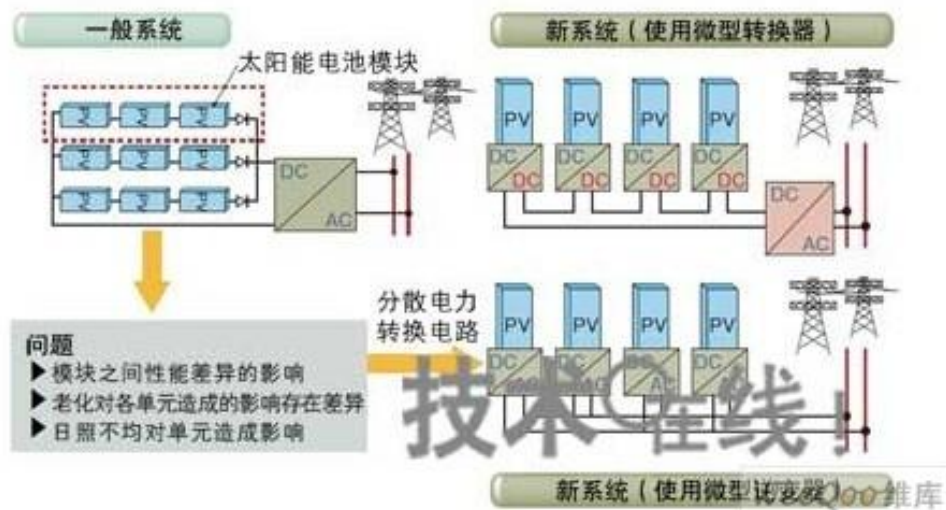
HTJ (Hetero-junction, 异质结) 技术结合晶硅和薄膜电池优点。三洋公司的异质结技术采用非晶硅薄膜进行钝化，并且插入了一层本征非晶硅薄层，这样使得电池兼具晶硅的和薄膜的特征，转换效率可高达 22.3%。随着三洋电机在异质结太阳能电池上的几个关键专利过期，更多企业正在计划进入该领域，包括国内的天合光能、超日太阳，天合的计划是将量产效率提升至 21%。

光伏系统：系统优化提升发电能力

光伏系统的运行影响实际发电量。光伏发电系统除了光伏组件外，还要整合控制系

统、逆变器、储能系统、并网系统以及逐日系统。系统的整体运行效率对组件的额定输出功率(装机容量)没有影响,但会影响发电系统的有效利用小时数和总发电量,这对光伏发电的度电成本是至关重要的。这里简单介绍通过微型逆变系统提升发电效率的方式。

图 14、一般系统和微型逆变系统的示意图



数据来源：技术在线，湘财证券研究所

微型逆变器提高系统运行效率，发展迅速。在光伏系统实际运行中碰到的主要问题是不是逆变器的效率问题(已可以达到 97.2%左右)，而是遮挡和组件错位所导致的系统故障和能量损失(10%的电池板非正常工作就会造成发电量 50%的下降)。目前的系统一般使用多个光伏板进行串并联，如果出现阴影遮挡或者某块电池板故障，逆变器将在非最佳电压/电流状态下工作，造成系统效率的降低。而微型逆变器对每块电池板均进行了安装，单个电池板的问题影响微乎其微。与一般系统比较，微型逆变的成本增加 30%(总成本增加 4.5%)，而实际应用中发电量可提升 5~25%，经济效益明显。根据 IMS 预计，微型逆变器未来 5 年的出货规模将达到 15 亿美元，每年增长 100%。国际主要厂商包括德国 SMA、美国 Enphase、德国 Kaco、奥地利 Fronius、加拿大 Xantrex 和国内的合肥阳光。

增加发电量的其他方式。除了微型逆变系统以外，还可通过加装逐日跟踪系统、加装光反射板、优化控制软件等等多种方式，在组件装机容量一定的条件下，尽量提升电池板的发电量。譬如：单轴跟踪系统投资成本增加 20%以下，但是由于保持日光的直射，发电量增加 30%左右，度电成本可下降 10%。

表 7、不同跟踪方式的投入和成本对比

跟踪方式	水平面	最佳倾角	可调倾斜	水平单轴	倾斜单轴	可调倾斜单轴	双轴
成本(元/w)	0.8	1.2	1.3	4.5	4.5	4.6	6.5
年均日照小时	4.68	5.63	6.13	6.57	7.32	7.45	7.63
度电成本增加	18%	0%	-8%	1%	-9%	-10%	-4%

数据来源：紫旭光电，湘财证券研究所

总体测算：新技术的应用前景和成本潜力

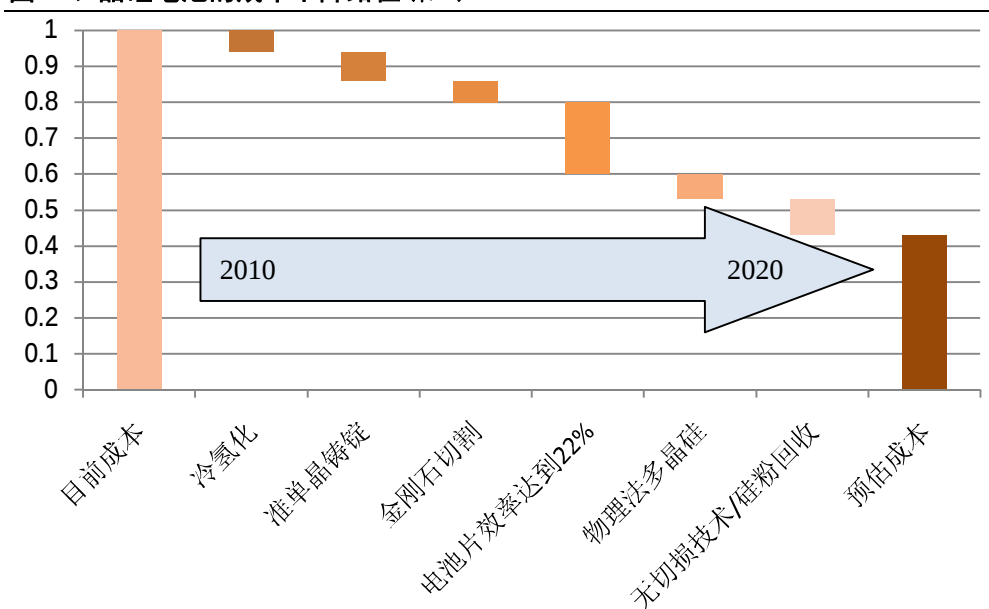
表 8、光伏系统成本分解及新技术的成本潜力

\$/w	目前成本	2020E 成本	新技术的极限成本	成本下降的原因
多晶硅成本	0.28	0.1	0.0525	\$20/kg, 利用率 3.5g/w
硅片成本	0.26	0.16	0.0975	切割成本下降一半
电池片成本	0.19	0.08	0.075	低温处理降能耗
组件成本	0.28	0.14	0.14	
总成本	1.01	0.48	0.365	
系统安装	1.49	0.88	0.88	
投资总成本	2.5	1.36	1.245	

数据来源：湘财证券研究所

新技术的应用将使得组件成本下降一半以上。根据《中国太阳能光伏》的预测，2020 年系统的投资成本将降至 1.36 美元/w，其中组件成本为 0.48(目前领先的成本也刚刚达到 1 美元/w)，其成本下降的驱动因素就是前述的光伏新技术。根据我们的测算，在新技术的驱动下，组件的极限成本可以达到 0.37 美元，总投资将降至目前的一半，这也是各国均认为 2020 年光伏可以实现发电端平价上网的主要依据。

图 15、晶硅电池的成本下降路径 (\$/w)



数据来源：湘财证券研究所

新技术的实现程度和相关公司总结。按照新技术应用的时间点和对成本的影响，我们绘制了光伏成本的下降路径图。针对各种技术的研发和应用进程，我们进行了看

好程度排序，依次为：冷氢化>准单晶铸锭>金刚石切割>电池片效率达到 22%>物理法硅料>无切损/硅粉回收。

投资建议

光伏行业的投资机会与产业发展趋势密切相关，短期看进口替代，中长期看新技术。目前的投资机会集中于设备/耗材进口替代带来的企业高成长，其成长规避了 2011~2012 年的行业增长低谷期，相比制造类的企业来说更具投资价值。而 2012 年以后，随着中美等新兴市场带来的行业增速恢复、以及新技术的逐步突破，具有核心优势的制造企业将在成本下降的竞争中占据领先地位，从而在需求市场中分得更大的蛋糕。

表 9、光伏行业发展及投资思路

时间	行业竞争格局	成本下降主因	投资思路
2004~2008	多晶硅供不应求，投资热	硅料价格下降，暴利终结	投资具有多晶硅项目的公司
2008~2011	产业规模快速扩张	规模效应降平均成本，竞争使得制造利润率压缩	投资一体化产业链、高速扩产的公司
2010~2012E	制造业竞争激烈，配套领域相对缓和	设备、耗材实现进口替代，配套、加工成本下降	投资设备/耗材国产化的公司
2011~2020E	行业整合，从同质化迈向差异化	新技术突破改变现有的成本结构	投资具有技术更新潜力的公司

数据来源：湘财证券研究所

建议关注相关公司在光伏新技术研发产业化方面的进展，乐观预期有利于提升公司估值。相关上市公司在光伏新技术研发及应用方面的进展，均会成为刺激公司股价的催化剂；此类公司具有相对竞争优势，预期后期的成本下降、销售增长和高毛利将使得公司的业绩更具成长性，值得享受一定的估值溢价。

表 10、光伏新技术涉及的相关公司

光伏新技术	相关 A 股上市公司
冷氢化	乐山电力(600644)、航天机电(600151)、南玻 A(000012)、盾安环境(002011)、东方电热(300217)
物理法	银星能源(000862)
准单晶铸锭	精功科技(002006)
无切损技术和硅粉回收	尚无
金刚石切割	豫金刚石(300064)
电池片新技术	超日太阳(002506)、光电股份(600184)
系统及安装	尚无

数据来源：湘财证券研究所

分析师声明:

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，以独立诚信、谨慎客观、勤勉尽职、公正公平准则出具本报告。

本报告准确清晰地反映了本人的研究观点。本人不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

湘财证券投资评级体系

买入：未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上；

增持：未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；

中性：未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；

减持：未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%以上；

卖出：未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上。

市场比较基准为沪深 300 指数。

重要声明

本研究报告仅供湘财证券有限责任公司的客户使用。

本报告由湘财证券有限责任公司研究所编写，以合法地获得尽可能可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证所载信息之精确性和完整性。湘财证券研究所将随时补充、修订或更新有关信息，但未必发布。

在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见仅供参考，并不构成所述证券买卖的出价或征价。本公司及其关联机构、雇员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。投资者应明白并理解投资证券及投资产品的目的和当中的风险。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，我公司的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告版权归湘财证券所有，未经事先书面许可，任何机构和个人不得以任何形式发布、复制。如引用、刊发，需注明出处为“湘财证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。