

叠栅深度报告： 叠栅可降银&提效，关注设备&材料新机遇

首席证券分析师：周尔双
执业证书编号：S0600515110002
zhouersh@dwzq.com.cn 13915521100

证券分析师：李文意
执业证书编号：S0600524080005
liwenyi@dwzq.com.cn 18867136239

2024年12月2日

- **叠栅为平台化技术，能够省银提效。**传统电池的电极结构为副栅+主栅+焊带，叠栅取消了主副栅和焊带，利用三角导电丝和种子层进行导电，叠栅具备电阻小、省银、提效、平台化等优点。（1）电流不需要横向传输，仅需要纵向传输，运动路径变短、电阻变小从而提升组件功率、降低银浆耗量。（2）超高表面反射率的极细三角导电丝可使得电池表面的等效遮光面积降低到1%以下，我们预计叠栅+TOPCon的组件功率可由现在的630W提升至655W（2382mm*1134mm版型组件），可提效25-30W。（3）叠栅为平台化技术，TOPCon、HJT、BC均可使用，但TOPCon、BC更需要叠栅，根据我们的测算，BC、TOPCon叠栅降银效果最显著约5分/W，HJT利用0BB+30%银包铜已基本能够达到预期目标，同时叠栅还能够解决TOPCon双poly的遮光问题。
- **导电丝对准为工艺难点，叠栅设备为关键。**叠栅的工艺流程为制备种子层、制备三角导电丝、将三角导电丝和种子层焊接结合。（1）种子层印刷：叠栅对电池片电极图形的要求比常规电池要低，栅线形貌（银浆）、网版、设备等均可体现。（2）三角导电丝：时创三角导电丝通过设计更优的形状和表面材料具备更优的反光率，三角形夹角在59-61度，三个R角控制在<15 μ m范围内，圆弧过渡区占比较小，反光效率高，采用银、铝作为反光镀层，在可见光范围内，金属Ag和Al是反射率最高的两款金属，同时还能低温焊接减少隐裂风险。（3）焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点，常规的焊带宽度一般在0.2mm以上，导电丝宽度一般在0.15mm以下，所以焊接的方向一致性更难以控制，同时更细规格也会使导电丝底部锡层弧度增大，底部锡面呈圆弧，容易左右倾斜、翻转，增大焊接难度。
- **处于产业0-1阶段，材料&设备有待进一步降本。**（1）经济性：我们认为目前叠栅小批量生产的情况下材料&设备成本均偏高，未来量产后有望比SMBB、0BB单瓦成本降低2-4分。（2）应用场景：目前叠栅理论上能够提升组件功率25-30W，关键为三角导电丝巧妙的结构设计能够提升入射太阳光的二次反射率，但垂直安装场景下入射的太阳光多为倾斜角度，而叠栅的组件功率提升前提为倾斜安装的太阳光垂直角度入射，故在实际的应用场景下叠栅的组件功率提升效果可能会有一定折扣。（3）产业化进展：通威股份&晶盛机电&时创能源三方合作，有望加速叠栅产业化，我们认为叠栅对TOPCon来说更为关键，因为TOPCon较难使用含铜的浆料来降低金属化成本，而HJT通过0BB+银包铜技术即可实现极低的金属化成本，从目前进度来看，叠栅产业化最大的瓶颈在于设备和材料（三角导电丝），如工艺的跑通、产品的良率、经济性等，时创目前已有1GW双Polo+叠栅TOPCon组件在运行，未来随着叠栅组件量产跑通+设备成本的不断优化，相关设备&材料商有望受益于叠栅扩产，我们预计设备年均市场空间约130亿元，材料年均市场空间约70亿元。
- **投资建议：**重点推荐晶盛机电，建议关注时创能源。
- **风险提示：**行业受政策波动影响风险，技术研发进展不及预期风险。



■ 一、叠栅为平台化技术，能够省银提效

■ 二、导电丝对准为工艺难点，叠栅设备为关键

■ 三、处于产业0-1阶段，材料&设备有待进一步降本

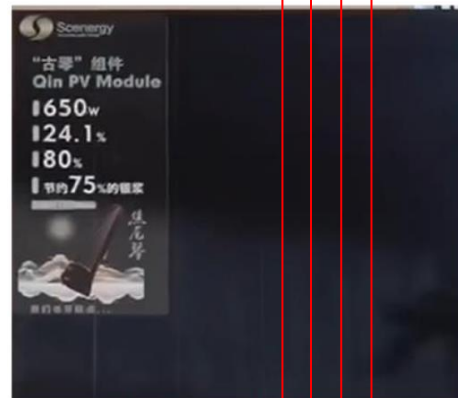
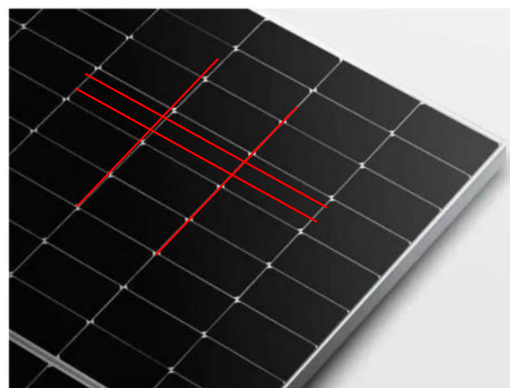
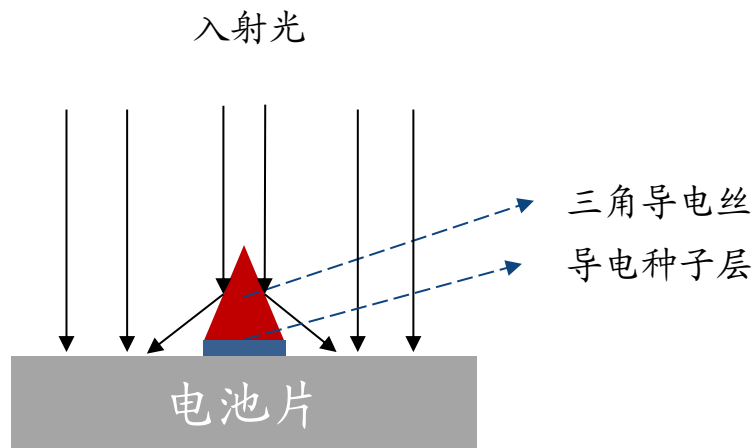
■ 四、投资建议与风险提示

1.1 何为叠栅——三角导电丝（焊带）“叠”到种子层（副栅）上

- 传统电池的电极结构为副栅+主栅+焊带，叠栅取消了主副栅和焊带，利用三角导电丝和种子层进行导电。传统光伏电池的栅线呈十字交叉型，由细副栅和粗主栅垂直排列构成，主栅主要起到汇集副栅的电流、串联的作用，副栅用于收集光生载流子，最终焊带导出电流；而叠栅取消了主栅和副栅，用种子层（银或者铜）替代，取消了焊带，用三角导电丝替代。
- 所谓叠栅即三角导电丝（焊带）“叠”到种子层（副栅）上。具体来说，（1）种子层利用银或铜作为基底，与电池形成交联，生成银硅合金以实现接触，起到原来副栅的作用，由于银仅起隧穿作用，所需厚度极薄，因此银的用量极少；（2）导电丝利用三角焊带的高度与银种子层结合，降低栅线的电阻，将电流导出，起到原来主栅和焊带的作用。

◆ 图：叠栅利用导电种子层+三角导电丝替代传统副栅+主栅+焊带

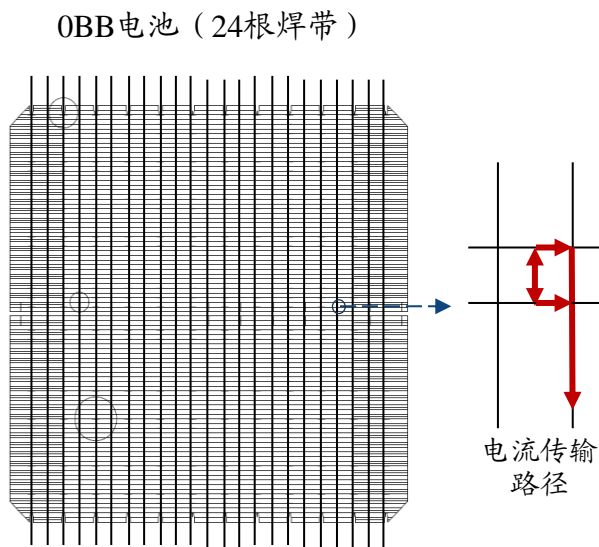
◆ 图：常规栅线呈十字交叉型，叠栅为上下两层重叠



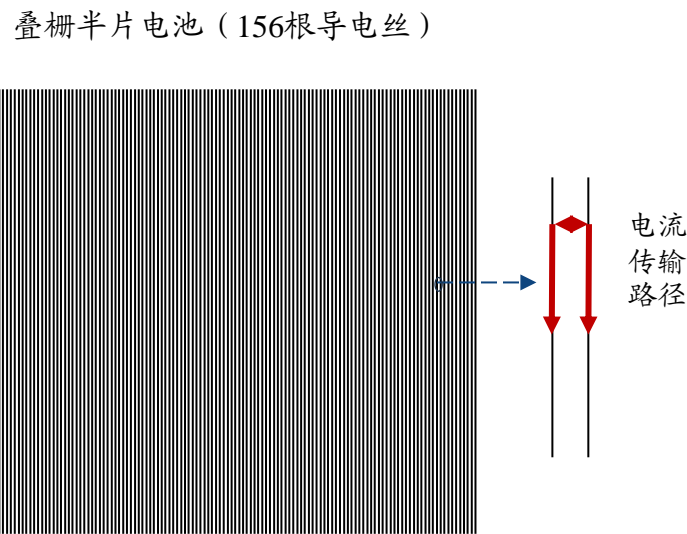
1.2 叠栅为平台化技术，能够省银提效

- 原本SMBB、0BB的电池片&组件的金属化工艺采用丝网印刷&串焊，会有银耗高、遮光面积大、电阻高、生产速度慢等问题，而叠栅解决了上述问题，具备电阻小、省银、提效、平台化等优点。
- (1) 电流不需要横向传输，仅需要纵向传输，运动路径变短、电阻变小从而提升组件功率、降低银浆耗量。传统方式下电流的运动路径为电池表面→副栅→主栅→焊带，需要有副栅到主栅横向运输的过程，而叠栅为电池表面→导电种子层→导电丝，均为纵向运输。**①组件功率提升：**横向传输过程中的热阻损耗会拉低电池及组件输出功率，减少横向传输后热阻损失可以降低很多，提高组件输出功率；**②降低银浆耗量：**电流在银浆只需要垂直电池片表面的纵向方向传输，不需要横向传输，所以不再需要很多的银浆堆叠，降低横向传输电阻，银浆高度可以下降到 $5\mu\text{m}$ 以下。

◆ 图：0BB电池的电流传输路径



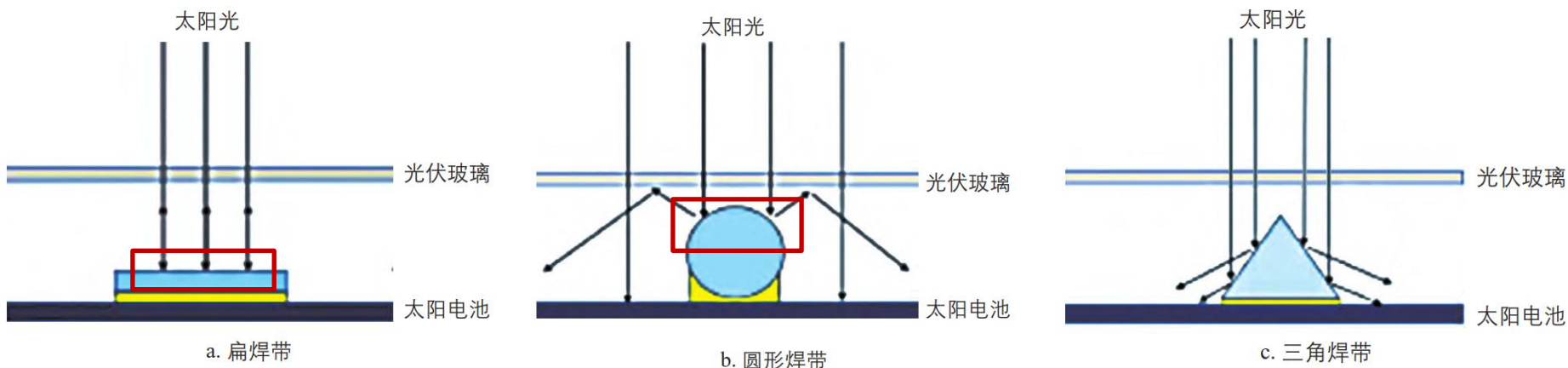
◆ 图：叠栅电池的电流传输路径



1.2 叠栅为平台化技术，能够省银提效

- (2) 超高表面反射率的极细三角导电丝可使得电池表面的等效遮光面积降低到1%以下，SMBB约为3%、0BB约为2.5%，我们预计叠栅+TOPCon的组件功率可由现在的630W提升至655W（2382mm*1134mm版型组件），可提效25-30W。
 - 一方面传统电池片表面金属遮光面积大，影响电池及组件效率，而叠栅采用了极细三角导电丝，原来焊带大概0.2mm，现在导电丝大概0.15mm，减小遮光面积；
 - 另一方面，常规组件一般采用扁平导电丝，其表面为平面结构，垂直入射到导电丝表面的太阳光几乎全部被反射而损失掉，圆形焊带可利用部分的垂直入射光和少量的斜射光，而三角导电丝二次折射的反光率更高，可利用几乎所有的垂直入射光和斜射光，制成组件后的光学增益明显，组件功率提升更高。

◆ 图：与扁形焊带、圆形焊带相比，三角形焊带可利用几乎所有的垂直入射光和斜射光



1.2 叠栅为平台化技术，能够省银提效

- (3) 叠栅为平台化技术，TOPCon、HJT、BC均可使用。根据我们的测算，BC、TOPCon叠栅降银效果最显著，更需要叠栅；HJT利用0BB+30%银包铜已基本能够达到预期目标。

◆图：BC、TOPCon叠栅降银效果最为显著，更需要叠栅

电池类别	栅线图形	银浆耗量	正面		背面		合计
			主栅	副栅	主栅	副栅	
BC (182尺寸, 8.6W/片)	0BB	银耗 (mg/片)	0	0	0	120	120
		单W银耗 (mg/W)	0.0	0.0	0.0	14.0	14
		国产高温银浆价格 (元/KG)	5800	5800	5800	5800	
		单W银浆成本 (元/W)	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08
	叠栅	银耗 (mg/片)	0	0	0	0	0
		单W银耗 (mg/W)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		国产高温银浆价格 (元/KG)	5800	5800	5800	5800	
		单W银浆成本 (元/W)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOPCon (182尺寸, 8.2W/片)	SMBB	银耗 (mg/片)	8	38	8	48	102
		单W银耗 (mg/W)	1.0	4.6	1.0	5.9	12.4
		国产高温银浆价格 (元/KG)	5800	5800	5800	5800	
		单W银浆成本 (元/W)	0.006	0.027	0.006	0.034	0.07
	0BB	银耗 (mg/片)	0	38	0	48	86
		单W银耗 (mg/W)	0.0	4.6	0.0	5.9	10.5
		国产高温银浆价格 (元/KG)	5800	5800	5800	5800	
		单W银浆成本 (元/W)	0.000	0.027	0.000	0.034	0.06
	叠栅	银耗 (mg/片)	0	15	0	15	30
		单W银耗 (mg/W)	0.0	1.8	0.0	1.8	3.7
		国产高温银浆价格 (元/KG)	5800	5800	5800	5800	
		单W银浆成本 (元/W)	0.000	0.011	0.000	0.011	0.02
HJT (210尺寸, 10.8W/片)	SMBB	银耗 (mg/片)	37	68	37	68	210
		单W银耗 (mg/W)	3.4	6.3	3.4	6.3	19.4
		国产低温银浆价格 (元/KG)	6300	6300	6300	6300	
		单W银浆成本 (元/W)	0.022	0.040	0.022	0.040	0.12
	0BB+30%银包铜	银耗 (mg/片)	0	20.4	0	20.4	40.8
		单W银耗 (mg/W)	0.0	1.9	0.0	1.9	3.8
		国产低温银浆价格 (元/KG)	6300	6300	6300	6300	
		单W银浆成本 (元/W)	0.000	0.012	0.000	0.012	0.02
	叠栅+30%银包铜	银耗 (mg/片)	0	9	0	9	18
		单W银耗 (mg/W)	0.0	0.8	0.0	0.8	1.7
		国产低温银浆价格 (元/KG)	6300	6300	6300	6300	
		单W银浆成本 (元/W)	0.000	0.005	0.000	0.005	0.01

BC通过叠栅可实现无银化，更需要叠栅

TOPCon无法使用银包铜，通过叠栅可降银70%，比0BB的降银效果更显著

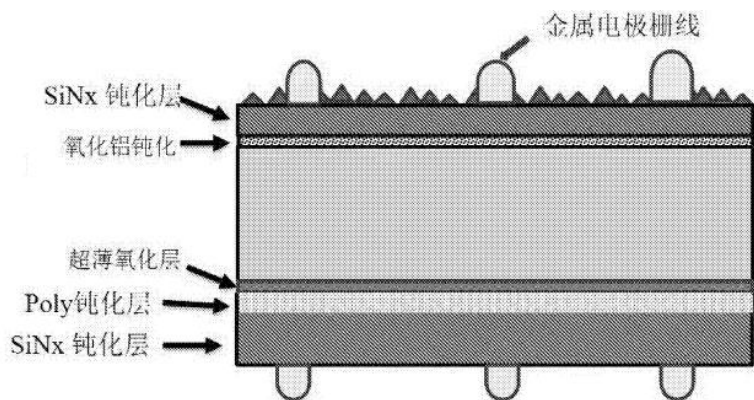
HJT 0BB+30%银包铜降银效果已足够，叠栅降银效果不明显

数据来源：时创能源，东吴证券研究所测算

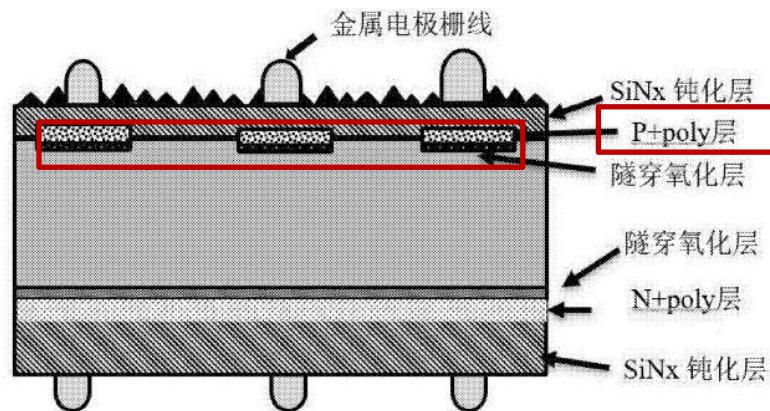
1.2 叠栅为平台化技术，能够省银提效

- (3) 叠栅为平台化技术，TOPCon、HJT、BC均可使用，对于TOPCon来说，叠栅还能弥补双面poly的遮光问题。现有的单面Poly-c-Si TOPCon电池结构中（如下左图），目前TOPCon电池主要是钝化背面接触，正面如果做成整面POLO结构的话，则会因为poly硅吸光导致电池电流损失较大，正面已经成为效率继续提升的瓶颈，可通过在栅线下方做局部POLO，改善正面金属接触复合电流的同时避免电流损失，下右图的双面Poly-c-Si TOPCon电池结构中，金属电极则不会和硅基体发生直接接触，会明显的减少复合，电池效率也会得到提升，但是正面的poly会有吸光的问题，通过叠栅的设计，把三角导电丝刚好覆盖在poly层上，能够弥补poly层的遮挡带来的功率损失问题。

◆ 图：单面常规TOPCon电池结构



◆ 图：双面Poly的TOPCon电池结构





■ 一、叠栅为平台化技术，能够省银提效

■ 二、导电丝对准为工艺难点，叠栅设备为关键

■ 三、处于产业0-1阶段，材料&设备有待进一步降本

■ 四、投资建议与风险提示

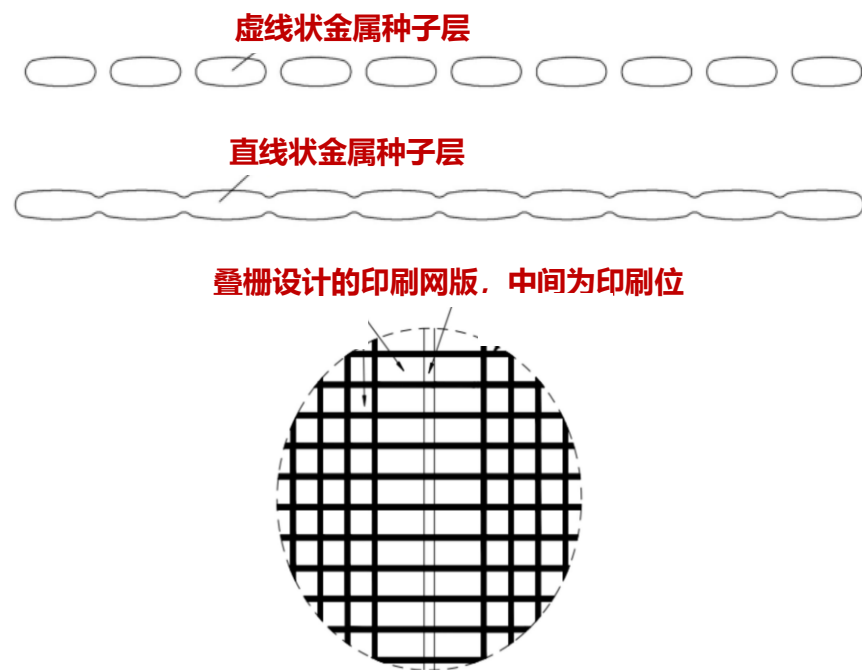
2.1 种子层：叠栅印刷对银浆&网版&设备的要求更低

- 叠栅的工艺流程为制备种子层、制备三角导电丝、将三角导电丝和种子层焊接结合。
- 叠栅对电池片电极图形的要求比常规电池要低，栅线形貌（银浆）、网版、设备等均可体现。（1）栅线（银浆）：可以采用虚线状或直线状金属种子层，间隔约10-20 μm ，对浆料的消耗量少，节约成本；（2）网版：常规电池片栅线宽度、高度越来越小，要保持栅线形貌连续均匀，就要求网版线径必须尽量小，以降低因钢丝线遮挡而造成的栅线不均匀，叠栅对栅线印刷要求低，可以使用线径较大的网版进行印刷；（3）设备：相较于传统生产工艺，叠栅不需要改变任何的工艺流程、材料、工装治具、设备、环境要求等，任何目前制作常规电池的生产线直接兼容。

◆表：叠栅印刷银浆耗量&网版&设备要求更低

	普通印刷	叠栅印刷
栅线形貌	宽15-45 μm ，高7-15 μm ，高宽比越大越好， 形貌要求均匀不能断栅	宽5-10 μm ，高2-7 μm ，高宽比没有要求，不求金属电极形貌起伏均匀、连续无断栅， 可以降低银耗
印刷网版	一般网板的目数为400-550、钢丝线径为7-10 μm ， 随着电池栅线要求变高，网版线径要求越来越细，成本提升	可以使用线径较大的印刷网版获得，降低印刷网版的成本
丝印设备	采用丝网印刷设备制作， 主副栅正背面一共需要4台	与常规电池栅线制备工艺一致， 不再区分主副栅，只需要2台丝印设备

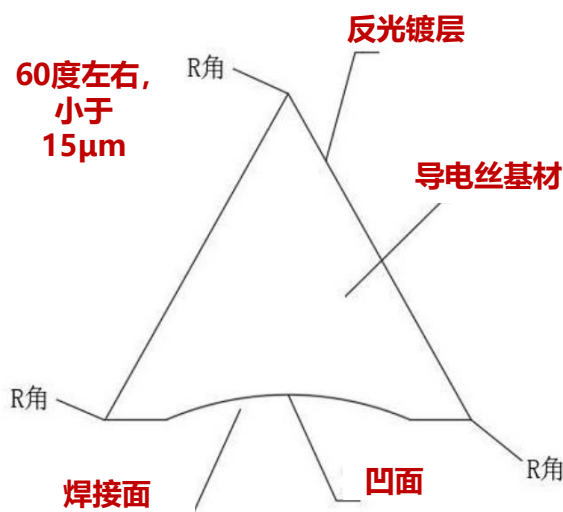
◆图：叠栅可印刷为虚线状或直线状的金属种子层



2.2 三角导电丝：表面材料&形状设计为提升反光率的关键

- 相较于圆形、扁平或常规三角的导电丝，时创三角导电丝通过设计更优的形状和表面材料具备更优的反光率，同时还能低温焊接减少隐裂风险。（1）圆形或扁平导电丝：其表面为平面结构，垂直入射到导电丝表面的太阳光几乎全部被反射而损失掉，而三角导电丝可以较好吸收太阳光。（2）常规三角导电丝：①更优的形状：R角一般大于30 μm ，圆弧过渡区占比较大，反光能力减弱，无法高效发挥三角导电丝的反光作用，对组件的峰值功率提升有限，而时创发明的导电丝三角形夹角在59-61度，三个R角控制在<15 μm 范围内，圆弧过渡区占比较小，反光效率高，具有更好组件功率增益效果；②更优的材料：常规多为铅锡合金，叠栅采用银、铝作为反光镀层，在可见光范围内，金属Ag和Al是反射率最高的两款金属。（3）低温焊接：下方的焊接镀层采用特定设计的低温合金可实现低温（<200 $^{\circ}\text{C}$ ）焊接，大大减少隐裂与碎片风险。

◆ 图：导电丝横截面为正三角形，具备两个反光面和一个焊接面



◆ 表：不同导电丝的性能参数与组件功率对比（组件采用144片TOPCon-16BB双面双玻半片电池制作而成）

编号	宽度*厚度/边长 (mm)	R角 (μm)	抗拉强度 (Mpa)	伸长率 (%)	反射率 (%)	组件功率 (W)	功率增益百分比
实施例1	0.24	10,10,13	255	26.2	92	569	1.97
实施例2	0.24	10,10,13	253	28.6	86	566	1.43
实施例3	0.35	12,12,15	258	21.4	89	565	1.25
对比例1 (常规三角导电丝)	0.35	28,28,35	261	27.4	82	562	0.72
对比例2 (扁平导电丝)	0.35*0.15	---	265	28.1	---	558	---

2.2 三角导电丝：表面材料&形状设计为提升反光率的关键

- 时创发明的导电丝适合低温焊接且反光效率高，功率增益大，具体流程来看：（1）压延线材：所用导电丝线材基材抗拉强度在 $>250\text{MPa}$ ，延伸率 $>23\%$ ，线径控制在 $0.1\text{-}0.5\text{mm}$ ，所得三角形导电丝的截面为三角形，三个夹角在 59 至 61 度之间，三个R角控制在 $<15\mu\text{m}$ 范围内。（2）针对2个反光面进行抛光：压延退火后的线材经过除油、抛光、钝化处理，两个反光面粗糙度Ra值小于 $0.05\mu\text{m}$ 。（3）对2个反光面进行镀膜：采用PVD真空蒸镀工艺，所用蒸镀源为Ag或Al，镀层厚度控制在 $50\text{-}150\text{nm}$ 。（4）针对1个背光面进行镀膜：采用局部镀锡装置，焊接层所用锡合金为多元合金Sn-Bi-Cu-Ag-P，焊接层厚度控制在 $5\text{-}25\mu\text{m}$ 。

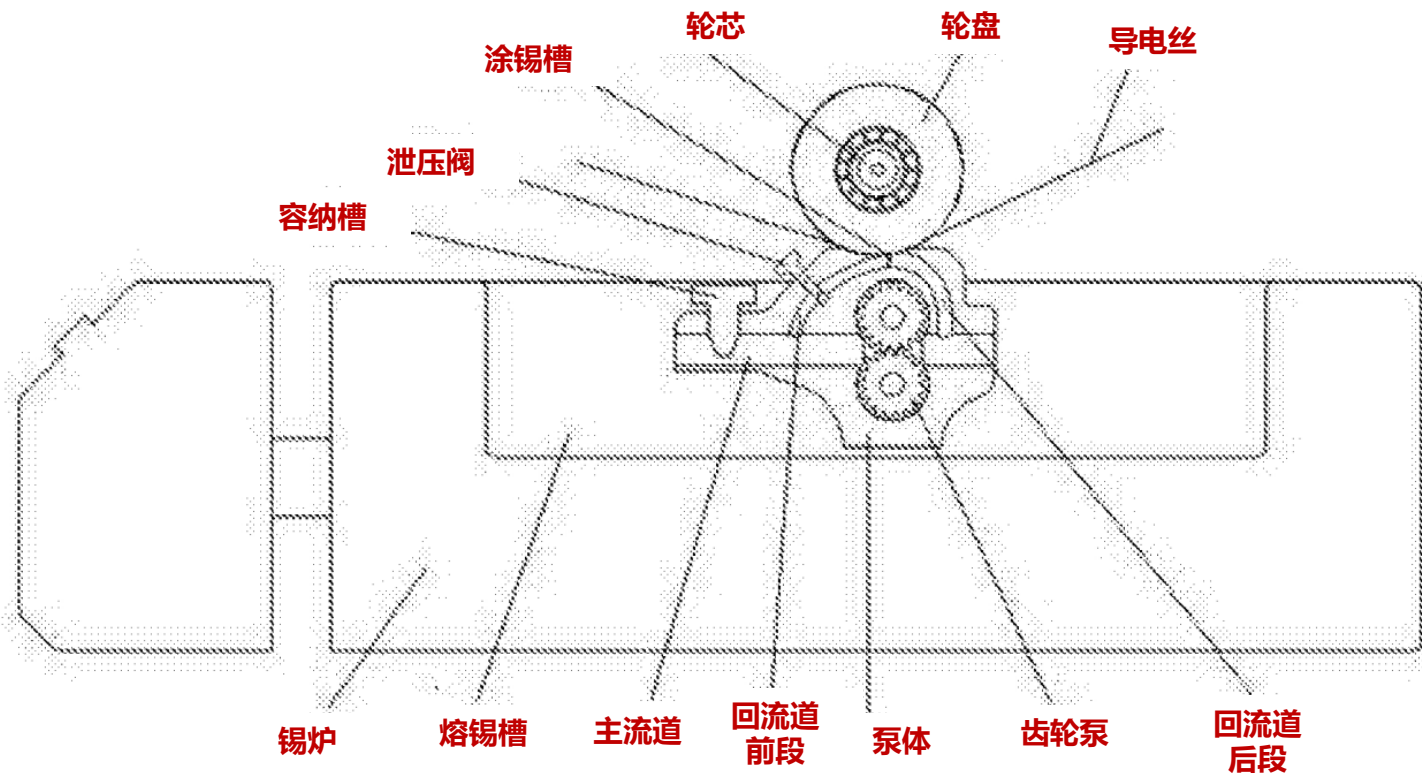
◆ 图：三角导电丝的制备流程



2.2 三角导电丝：表面材料&形状设计为提升反光率的关键

- 焊接面的锡层厚度也是工艺难点，如何控制锡层的厚度以及生产的效率。首先需要保护三角导电丝的两面不被锡污染，然后将第三个面与锡反应，达到单面涂锡的效果，其次需要将锡层的厚度加以控制，能够将锡层的厚度保证在 $0.1\mu\text{m}$ - $10\mu\text{m}$ 之间并且需要可控，由于组件制作中需要大量的导电丝，所以生产的效率也是至关重要。时创采用的单面镀锡装置通过泵体回流道的锡流量大小来实现涂锡的厚度，提高收放线速度的时候也能够通过回流道锡流速的大小控制锡层的厚度，这样大大提高了生产效率。

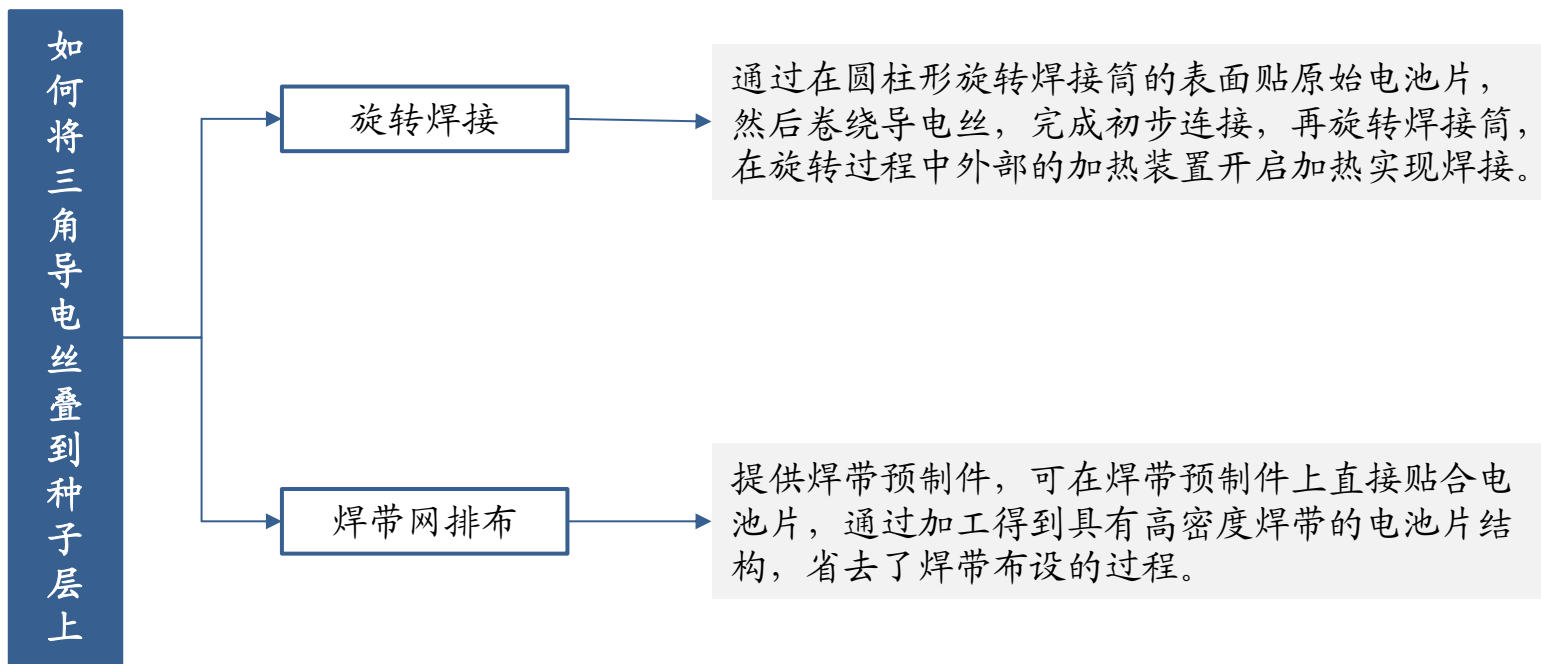
◆ 图：单面镀锡装置示意图，核心部件为一个三角导电丝两面保护轮、一个可调节流量及压力的输送泵、一个可调温锡炉



2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 第三步为最关键工序，即如何将种子层和导电丝结合，叠栅设备最难的地方在于100+根三角导电丝和种子层的对准焊接，同时还要兼顾良率和速率，即如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点。现有技术一是在电池片上难以做到致密排布，即电池片上焊带的数量受到工艺制约，难以生产具有高密度焊带的电池；二是即便通过焊带布设工装将焊带布设在电池片上，由于焊带较细、且为三角容易翻转，故叠栅需要新的工艺来进行生产，一般导电丝和种子层的结合依靠热焊接，热焊接有多种方式，通过对晶盛机电和时创能源的分析，目前可以通过旋转焊接或者焊带网排布的方式进行热焊接，对准主要依靠视觉系统和机械传动系统。

◆ 图：可以通过旋转焊接或者焊带网排布的方式进行热焊接



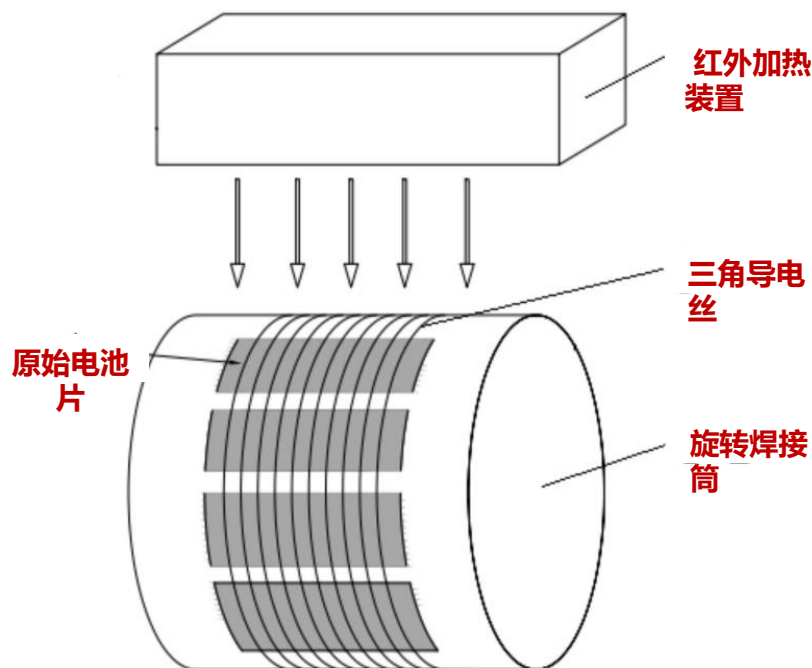
2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 一种方式为通过旋转的加热辊筒来进行焊接，可以结合绕线张力实现焊接。常规的串焊方式为节拍形式，利用夹具抓取焊带放置在电池片主栅上，再利用红外灯加热焊接，容易出现虚焊、隐裂等问题，而且不适应三角导电丝、生产节拍慢；叠栅可以采用持续旋转焊接工艺，能够使得对于原始电池片施加的温度整体均匀性高，此外通过绕线张力控制导电丝与电流收集层间的贴合力，再搭配匀速旋转焊接，从而实现了三角导电丝与电流收集层的焊接要求，更适用于叠栅电池结构中异形导电丝的焊接。

◆ 表：叠栅针对常规串焊容易出现的问题进行优化

	常规串焊问题	叠栅优化
虚焊	灯罩内中心区域热流失少，温度更高，焊接过程出现局部区域虚焊或者过焊现象	旋转焊接筒处于匀速的旋转运动，旋转焊接筒圆周方向温度始终能保持同一温度，原始电池片轴向温度主要由红外灯管长度及两边热流失决定
隐裂碎片	快速升温过程热冲击过大会导致电池片产生隐裂、碎片	
压力控制	适用于扁平状或圆丝状等传统导电丝，三角形导电丝在压块工装施压过程中容易产生压力模块压力过大，而导致电池片隐裂碎片等问题	通过绕线张力控制导电丝与电流收集层间的贴合力，再搭配匀速旋转焊接，从而实现了三角导电丝与电流收集层的焊接要求
焊接速度	较慢，在每个作业周期内每组拉导电丝机构只能完成一个整片电池片的铺设工作	持续旋转焊接可实现在每个作业周期内多片原始电池片的焊接工作，其焊接效率得到了极大提升

◆ 图：叠栅使用的旋转焊接设备示意图



2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 具体来看把旋转焊接的工艺流程：（1）绕线：通过在圆柱形旋转焊接筒的表面贴原始电池片，然后卷绕导电丝，以焊接的方式完成原始电池片连接导电丝。（2）旋转辊筒：在旋转焊接筒上绕线（导电丝）完成后，使旋转焊接筒处于匀速旋转的模式。（3）加热：在旋转过程中外部的加热装置开启加热，使若干原始电池片在旋转的同时将热量均匀的传递给每片原始电池片，并通过卷绕导电丝的张力，一次完成多片原始电池片的导电丝焊接，大幅提升了焊接效率。

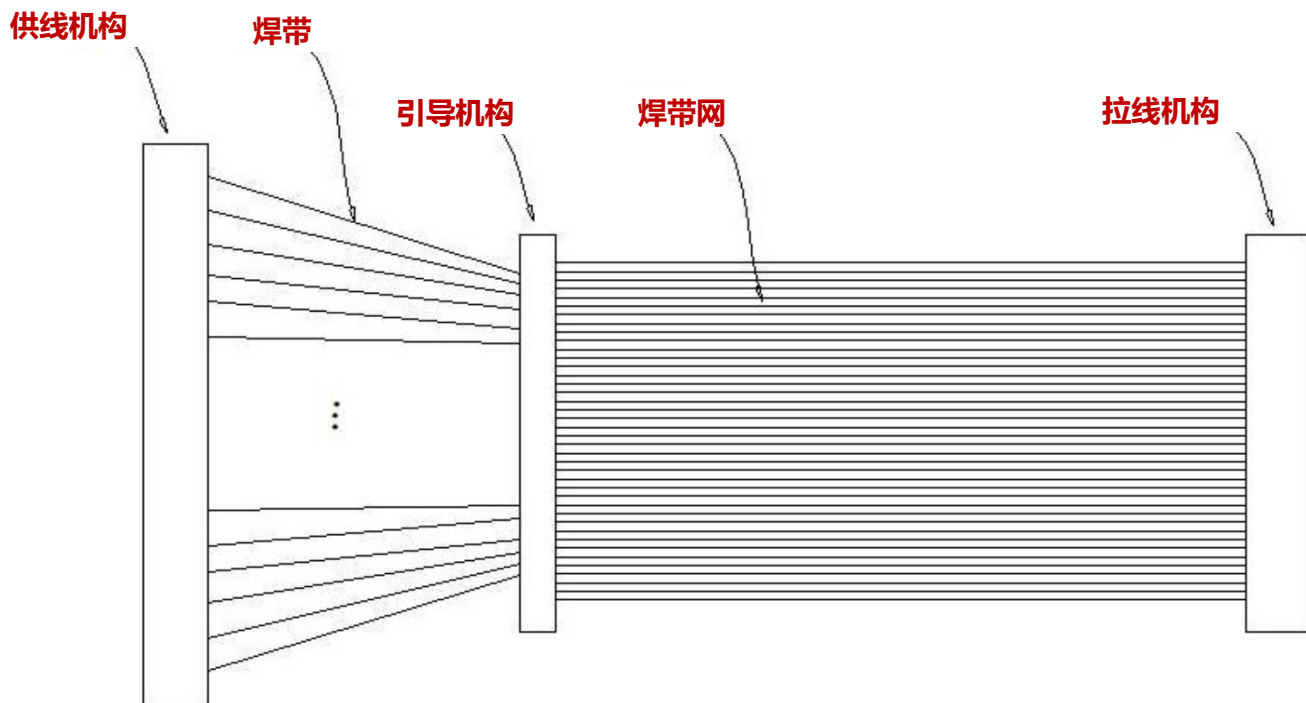
◆ 图：焊接工序流程——加热使得种子层与导电丝融合



2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 晶盛提供了一种焊带预制件，能够在网上直接贴合电池片，提高加工效率。通过提供焊带预制件，可在焊带预制件上直接贴合电池片，加工得到具有高密度焊带的电池片结构，省去了焊带布设的过程，提高效率。
- 因此制作焊带网的装置为关键，核心为供线、拉线机构。（1）供线机构：用于供给焊带，具有若干个供线端，焊带位于所述供线端输出；（2）拉线机构：用于与所述供线端输出的焊带连接配合。供线端和拉线部可活动，使得所述拉线部与所述供线端可相互远离，以使焊带输出形成焊带网。

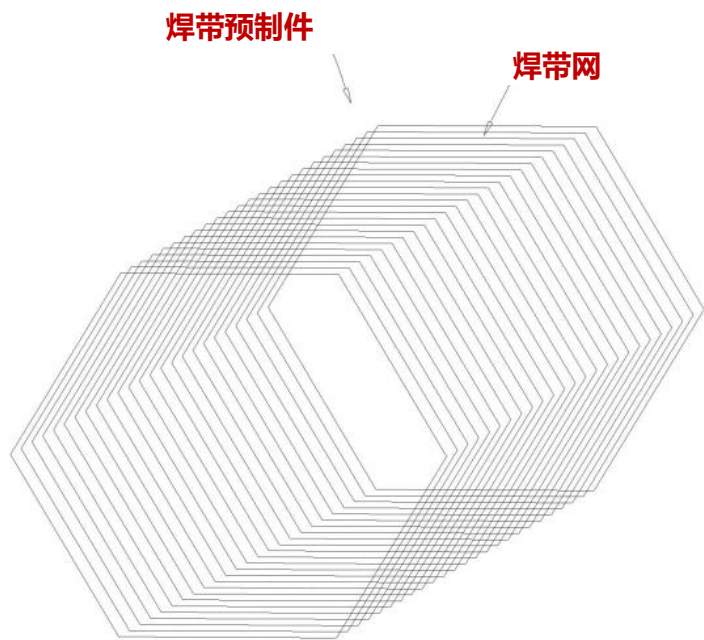
◆ 图：焊带网排布与电池片实现贴合



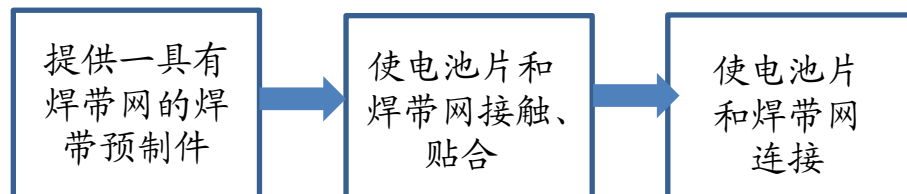
2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 通过密集的焊带网和电池片进行结合。提供一焊带预制件，焊带预制件具有焊带网；使电池片和焊带网之间接触贴合、连接。其中焊带网是由焊带相互平行且等间距排列所得，且焊带网中的焊带排列之间，以使电池片上形成排列致密的焊带。

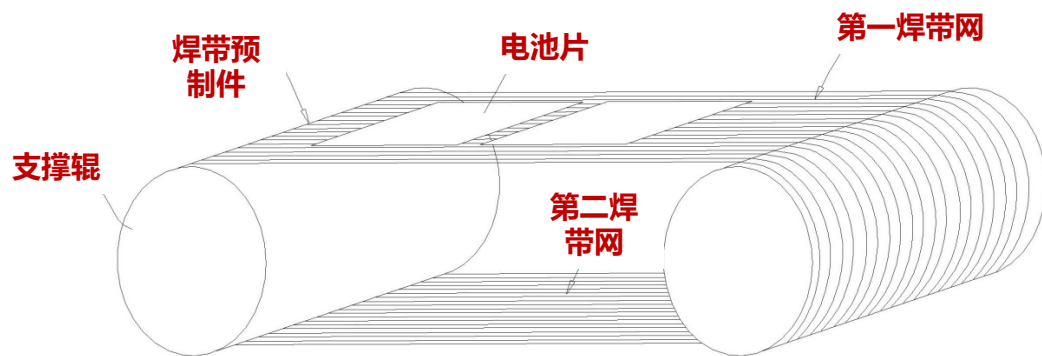
◆ 图：焊带预制件示意图



◆ 图：焊带网和电池片的工序流程



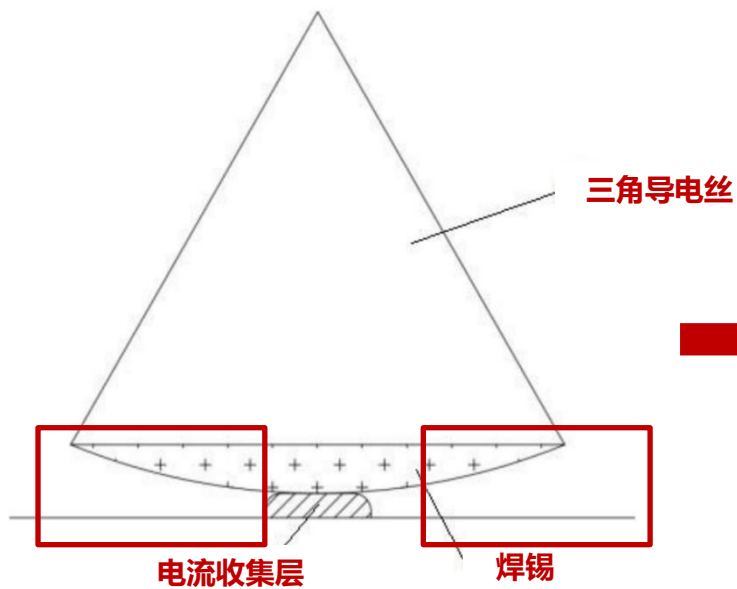
◆ 图：焊带预制件示意图



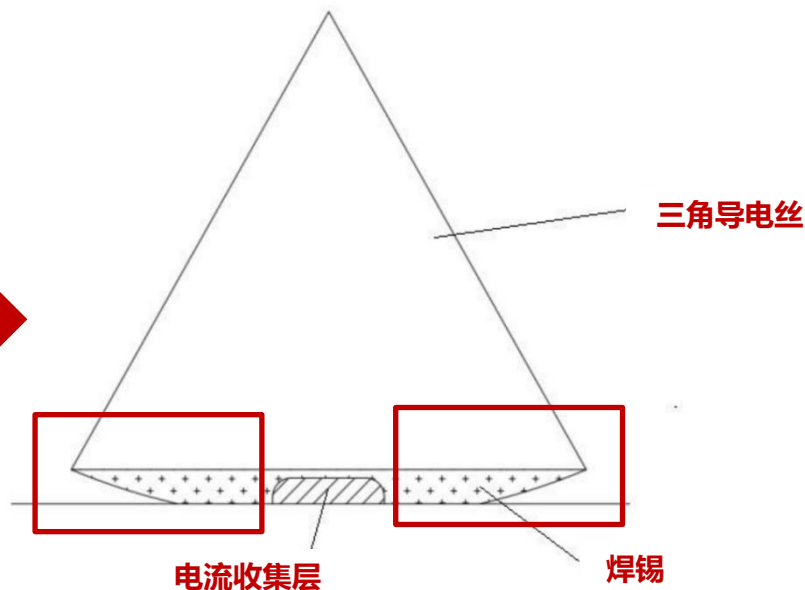
2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 如何将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点，热焊接方式下绕线的方向（对准）较难把控。通常叠栅所使用的导电丝规格相比传统焊带要更细，常规的焊带宽度一般在0.2mm以上，例如扁平焊带规格有0.2*0.6mm、0.35*0.15mm等，常规圆丝焊带为0.26-0.3mm，导电丝宽度一般在0.15mm以下，所以焊接的方向一致性更难以控制；同时更细规格也会使导电丝底部锡层弧度增大，底部锡面呈圆弧，容易左右倾斜、翻转，增大焊接难度。
- 为了防止发生翻转，可以先预热让底部的锡层融化，由点及面稳定。在三角导电丝绕在电池片电流收集层前初步加热锡面，初步加热方式可以采用激光加热、加热通道、磁感线圈、电刷加热等，然后三角导电丝锡面融化状态下直接贴合在电池片电流收集层上，加热后的三角导电丝锡面锡融化塑形后会变得更加平整，保证三角导电丝底边贴合，不会发生翻转或倾斜。

◆ 图：三角导电丝底部是弧形，很容易发生翻转



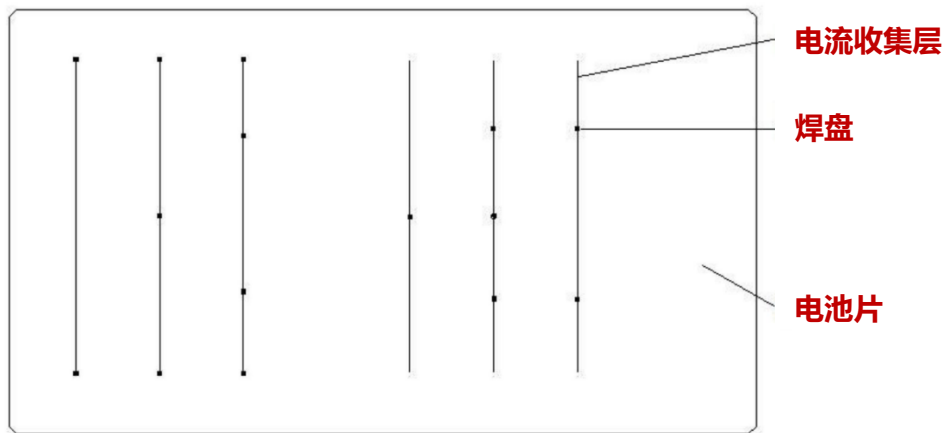
◆ 图：为了防止发生翻转，可以先预热让底锡融化



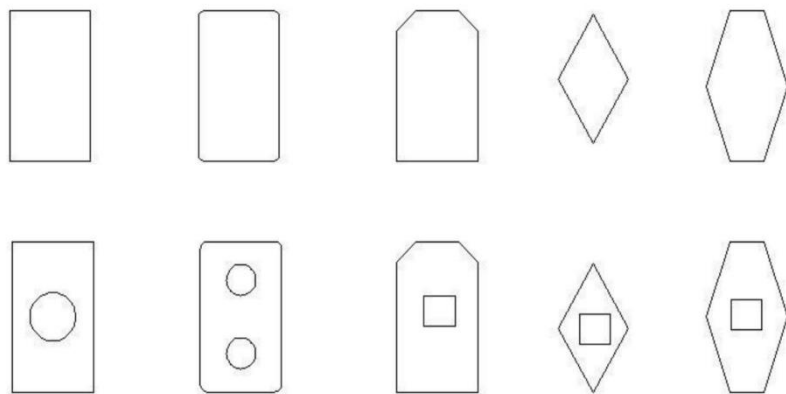
2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 较薄的种子层和极细的导电丝接触面积小，容易焊接不良。叠栅电池为了降低成本、降低银耗量，一般电流收集层可做到 $10\mu\text{m}$ 左右，再用超细的导电丝与其进行连接，但由于两者的接触面积很小，所以剥离所需的力极小，往往造成焊接不良或者导电丝脱离电流收集层的情况。
- 改进的叠栅可以通过增加焊盘来增强焊接力。在原本一条直线的电流收集层上增加大焊盘结构，从而增加导电丝与电流收集层的整体接触面积，提高导电丝与电流收集层的焊接力，使剥离导电丝的困难增加，降低焊接虚焊率，进而提高叠栅电池片的生产良率。在一般情况下，焊盘为圆形或者多边形。所述焊盘的形状可以为实心，但更佳为镂空形状以进一步降低银耗。

◆ 图：改进的叠栅可以通过增加焊盘来增强焊接力



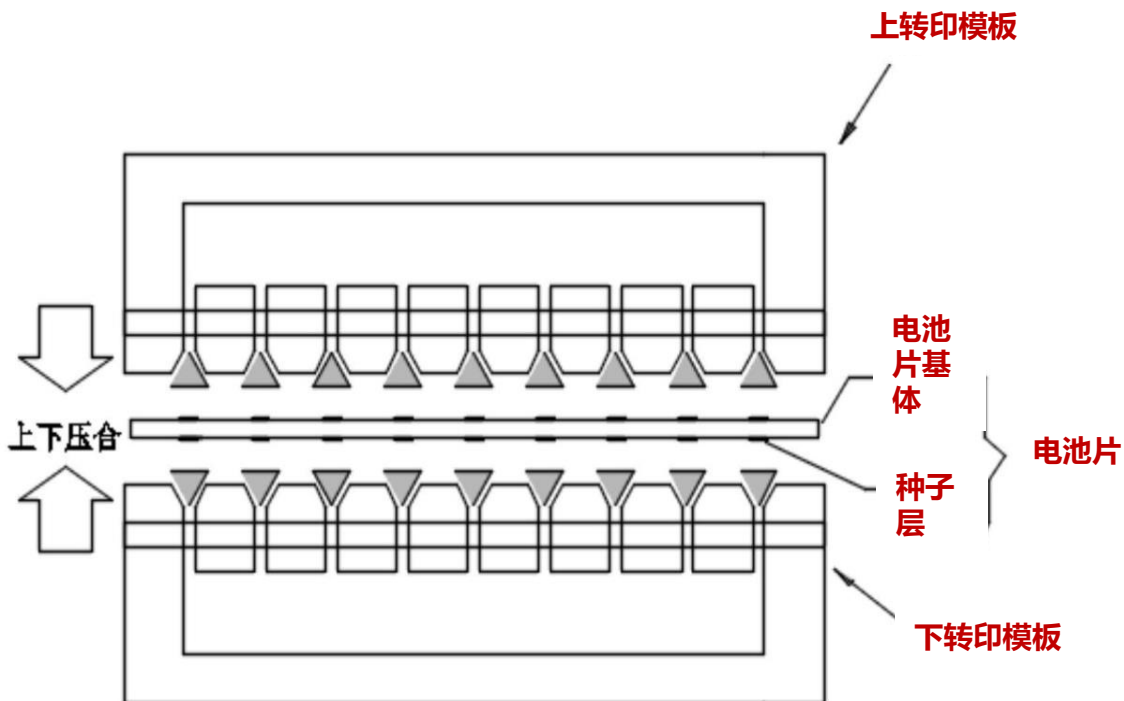
◆ 图：焊盘的形状示意图



2.3 焊接：如何又快又准地将导电丝“叠”到种子层上为工艺难点

- 预先将三角导电丝放置在转印模板的三角凹槽内并被吸附在模板的表面，之后将多根三角导电丝同时焊接在电池片的表面，也可以提高焊接精度和焊接速度。（1）连接速度快：通过多个模板的循环周转，将三角导电丝转移至电池片表面完成连接；（2）连接精度高：三角导电丝在模板中的位置固定，仅需确保模板的三角凹槽的间距与电池片的电流收集层的间距保持一致；（3）连接良率高：三角导电丝与电池片电流收集层重叠精度高、且贴合充分，只需确保每点的连接条件，如焊接温度高于三角导电丝焊接熔点，即可实现良好焊接。

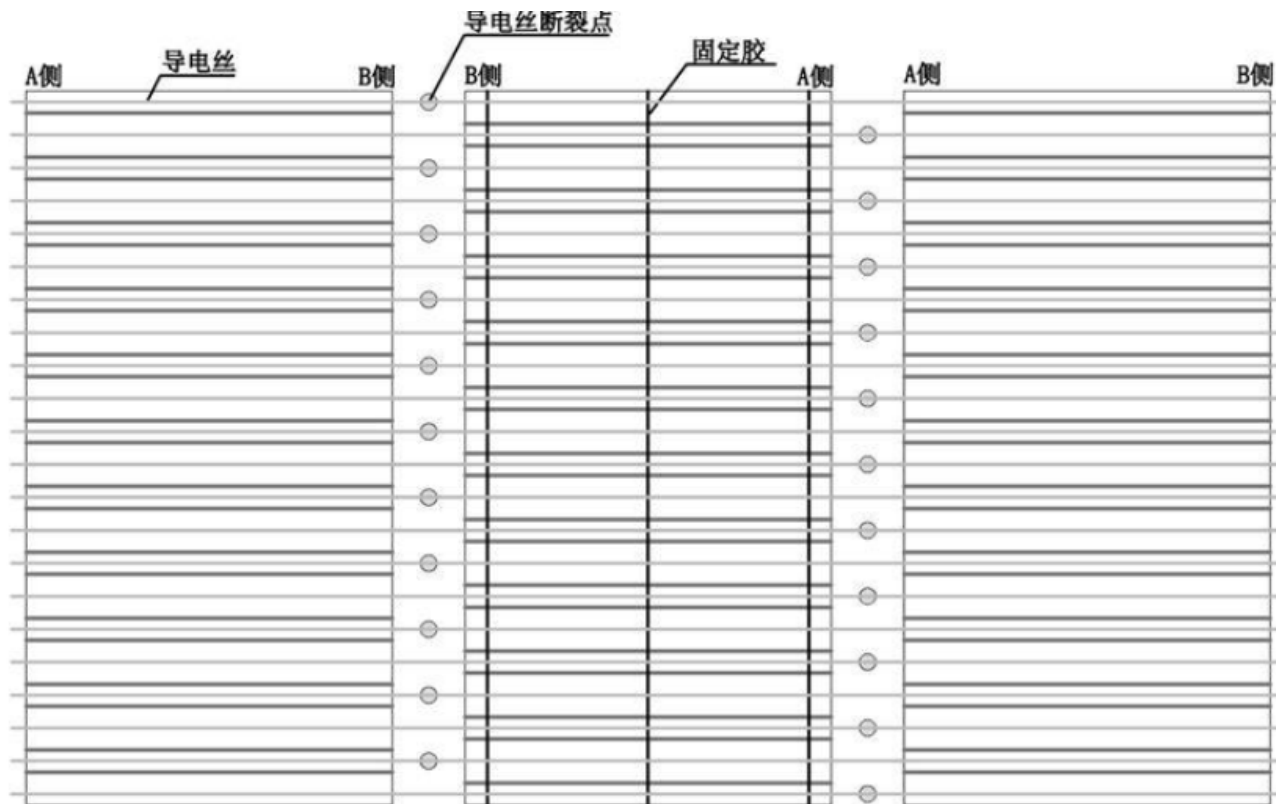
◆ 图：可以通过使用转印模版来提高焊接精度&速度&良率



2.4 针对BC背面电池的特殊要求，叠栅工艺相应进行了调整

- 针对BC电池，叠栅也调整了相应的背面电极图形结构，形成一种新的背面电极连接方式。BC电池的正面无金属电极、背面电极平行等距排布，针对BC电池的叠栅结构为电流收集层上覆盖导电丝，相邻叠栅结构电极相反。导电连接条将所有相同电极导电丝连接在一起，使得所有相同电极导电丝上的电流能相互自由流通，消除了同一片电池上相同电极之间的电流差异。其特点在于先一体成串，再在片间距位置上选择性的切割断线，形成串联电路，该种方式避免了导电丝多次重复夹取牵引及定位，降低偏移风险。

◆ 图：间隔切断导电丝形成串联，再使用导电连接条





■ 一、叠栅为平台化技术，能够省银提效

■ 二、导电丝对准为工艺难点，叠栅设备为关键

■ 三、处于产业0-1阶段，材料&设备有待进一步降本

■ 四、投资建议与风险提示

3.1 目前材料&设备成本偏高，有待规模量产后降本

- 我们认为目前叠栅小批量生产的情况下材料&设备成本均偏高，未来量产后有望比SMBB、0BB单瓦成本降低2-4分。
 - 材料端：虽然目前叠栅银浆成本能够降低5分左右，但需要增加三角导电丝单W成本5分，故材料端目前成本偏高；
 - 设备端：虽然丝印设备价值量由3000万/GW（4台）下降至1500万/GW（2台），但叠栅需要新的叠栅设备，小批量生产阶段叠栅价值量约6500万元/GW，丝印+叠栅设备合计价值量单GW约8000万，而SMBB或0BB串焊机价值量单GW仅为2000-3000万，丝印+串焊设备合计价值量单GW约5000万，故按照3年折旧，设备单W成本要贵1分左右，目前小批量生产下尚不具备经济性。

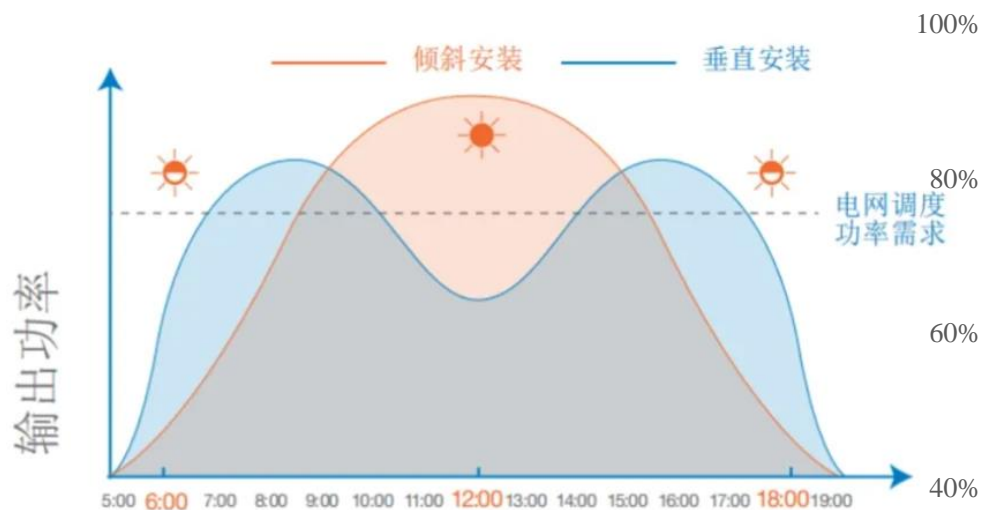
◆ 表：我们认为目前叠栅小批量生产的情况下材料&设备成本均偏高，未来量产后有望比SMBB、0BB单瓦成本降低2-4分

TOPCon 2382mm*1134mm版型组件	SMBB/0BB		叠栅	
	20BB（当前成熟工艺）	0BB（即将大规模量产）	小批量生产	大规模量产
组件功率（W）	630	640	655	660
电池片功率①（W）=组件功率/66	9.55	9.70	9.92	10.00
浆料（纯银浆）				
单片耗量（mg/片）②	110	95	44	33
单W耗量（mg/W）③=②/①	12	10	4	3
银浆价格（元/kg）④	8000	8000	8000	8000
银浆单W成本（元/W）⑤=③*④/1000000	0.09	0.08	0.04	0.03
叠栅相较20BB单W银浆成本变化（元/W）⑥=叠栅⑤-20BB⑤			-0.06	-0.07
叠栅相较0BB单W银浆成本变化（元/W）⑦=叠栅⑤-0BB⑤			-0.04	-0.05
材料				
三角导电丝单W成本（元/W）⑧	0	0	0.05	0.03
设备				
丝印设备价值量（万元/GW）⑨	3000	1500	1500	1500
串焊机价值量（万元/GW）⑩	2000	3000	0	0
叠栅设备价值量（万元/GW）⑪	0	0	6500	3500
丝印+串焊机+叠栅设备价值量合计（万元/GW）⑫=⑨+⑩+⑪	5000	4500	8000	5000
叠栅相较20BB设备价值量变化（万元/GW）⑬=叠栅⑫-20BB⑫			3000	0
叠栅相较0BB设备价值量变化（万元/GW）⑭=叠栅⑫-0BB⑫			3500	500
折旧年限⑮	3	3	3	3
叠栅相较20BB设备变化对单W成本的影响（元/W）⑯=⑬/100000/⑮			0.010	0.000
叠栅相较0BB设备变化对单W成本的影响（元/W）⑰=⑭/100000/⑮			0.012	0.002
叠栅相较20BB银浆+材料+设备变化对单W成本的影响合计（元/W）⑱=⑥+⑧+⑯			0.003	-0.036
叠栅相较0BB银浆+材料+设备变化对单W成本的影响合计（元/W）⑲=⑦+⑧+⑰			0.019	-0.020

3.2 垂直组件多为倾斜太阳光，叠栅功率提升效果可能有一定折扣

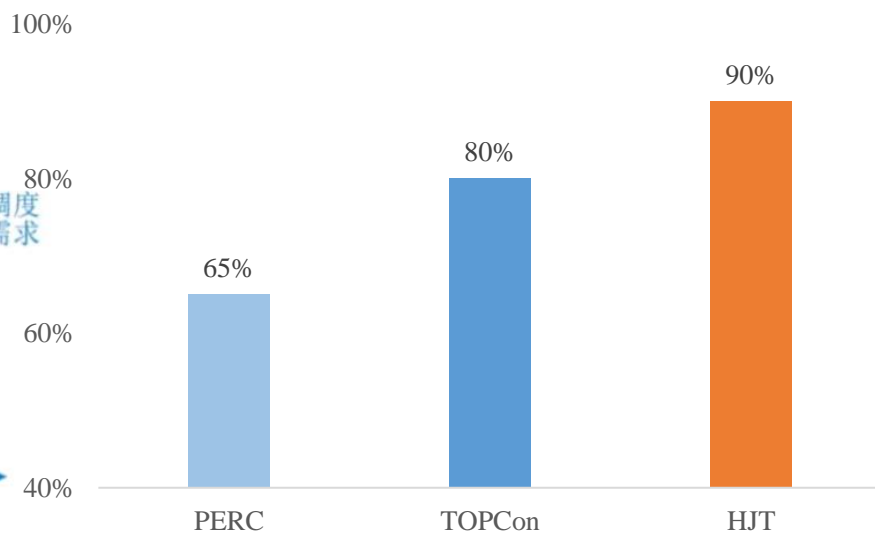
- 垂直光伏项目可就地、就近消纳，更灵活，收益更高，与传统的倾斜安装方式相比，具有多种潜在优势。垂直安装可以更有效地利用城市建筑物、道路护栏、围栏等垂直空间，从而提高空间利用率；此外，垂直安装的光伏组件不易积灰积尘，减少了清洁维护的频率，有助于降低运维成本。在极端天气条件下，垂直安装还可以减少积雪覆盖，维持较好的发电性能。据实证测算，HJT垂直安装场景下，相比倾斜安装首年发电小时数可提高11.12%，LCOE降低9.57%，电站收益率IRR高出1.38%。
- 高双面率的HJT组件是垂直安装的最佳选择。HJT具有完美对称的双面结构特性，双面率高达90%以上，远超PERC和TOPCon。从发电量角度看，HJT组件垂直安装比TOPCon组件垂直安装多发电10%~12%，比PERC多发电16%~20%。

◆ 图：垂直光伏的发电曲线呈现“双峰”，可错峰发电



◆ 图：垂直组件适合高双面率的技术路线

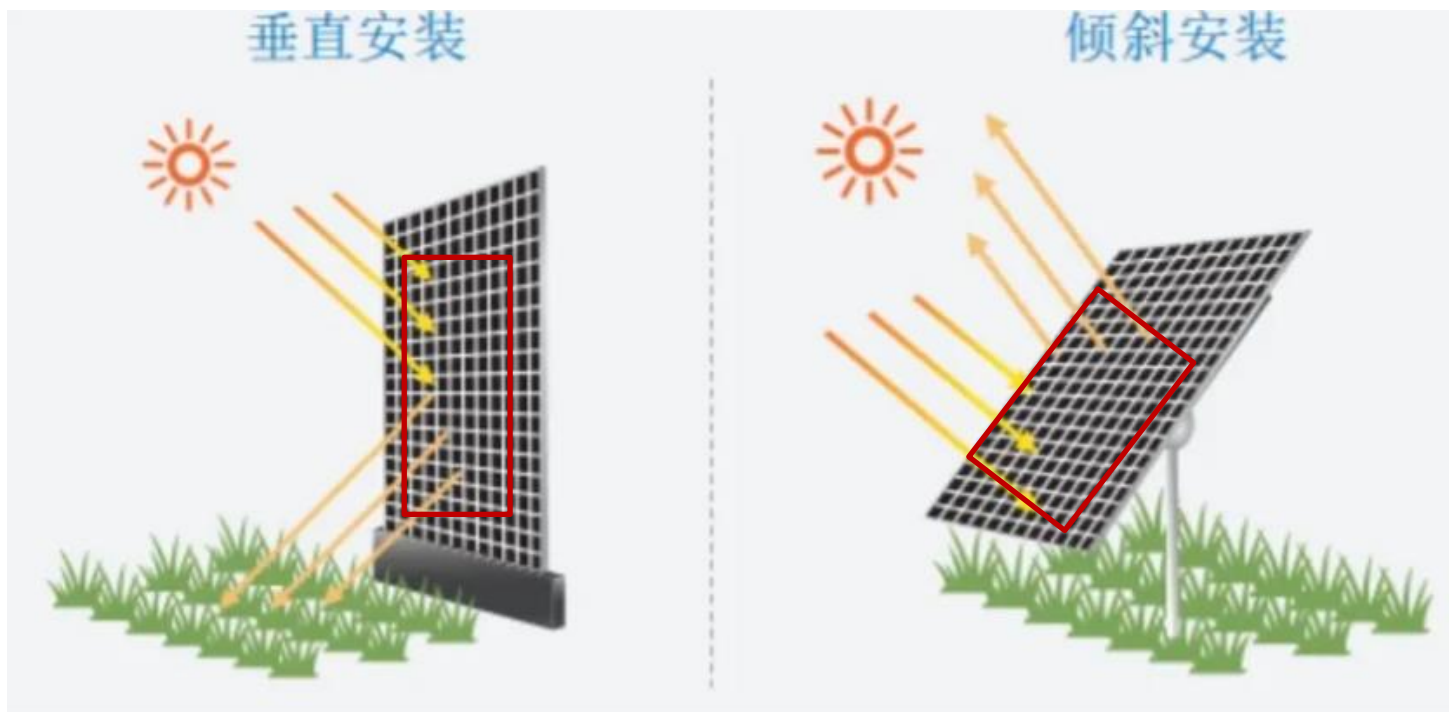
不同组件双面率对比



3.2 垂直组件多为倾斜太阳光，叠栅功率提升效果可能有一定折扣

- 垂直安装为未来关键应用场景，但太阳光倾斜角度下叠栅功率提升效果可能会有一定的折扣。目前叠栅理论上能够提升组件功率25-30W，关键为三角导电丝巧妙的结构设计能够提升入射太阳光的二次反射率，但我们发现，垂直安装场景下入射的太阳光多为倾斜角度，而叠栅的组件功率提升前提为倾斜安装的太阳光垂直角度入射，故在实际的应用场景下，叠栅的组件功率提升效果可能会有一定折扣。

◆图：垂直安装的太阳光入射多为倾斜角度，倾斜安装的太阳光入射多为垂直角度



3.3 通威股份&晶盛机电&时创能源三方合作，有望加速叠栅产业化

- 时创能源与通威股份（一体化厂商）和晶盛机电（设备商）合作开发，能够形成专利保护的生态。2024年8月，时创与通威和晶盛机电签署了《战略合作协议》，旨在共同推进叠栅组件技术的发展和量产；9月时创能源与通威股份进一步签订了《技术合作开发合同》，同时9月时创能源宣布计划募集不超过2.85亿元人民币的资金，用于扩建其自有的1GW叠栅组件项目，预计建设周期为9个月。晶盛掌握叠栅设备的专利、时创掌握三角焊带的专利，通威具备规模化的产能，三方合作能够形成一个好的生态链，共同保护技术专利。
- 我们认为叠栅对TOPCon来说更为关键，因为TOPCon较难使用含铜的浆料来降低金属化成本，而HJT通过0BB+银包铜技术即可实现极低的金属化成本。从目前进度来看，叠栅产业化最大的瓶颈在于设备和材料（三角导电丝），如工艺的跑通、产品的良率、经济性等，时创目前已有1GW双Polo+叠栅TOPCon组件在运行，未来随着叠栅组件量产跑通+设备成本的不断优化，相关设备&材料商有望受益于叠栅扩产。

◆图：时创能源与通威股份、晶盛机电签订三方合作协议



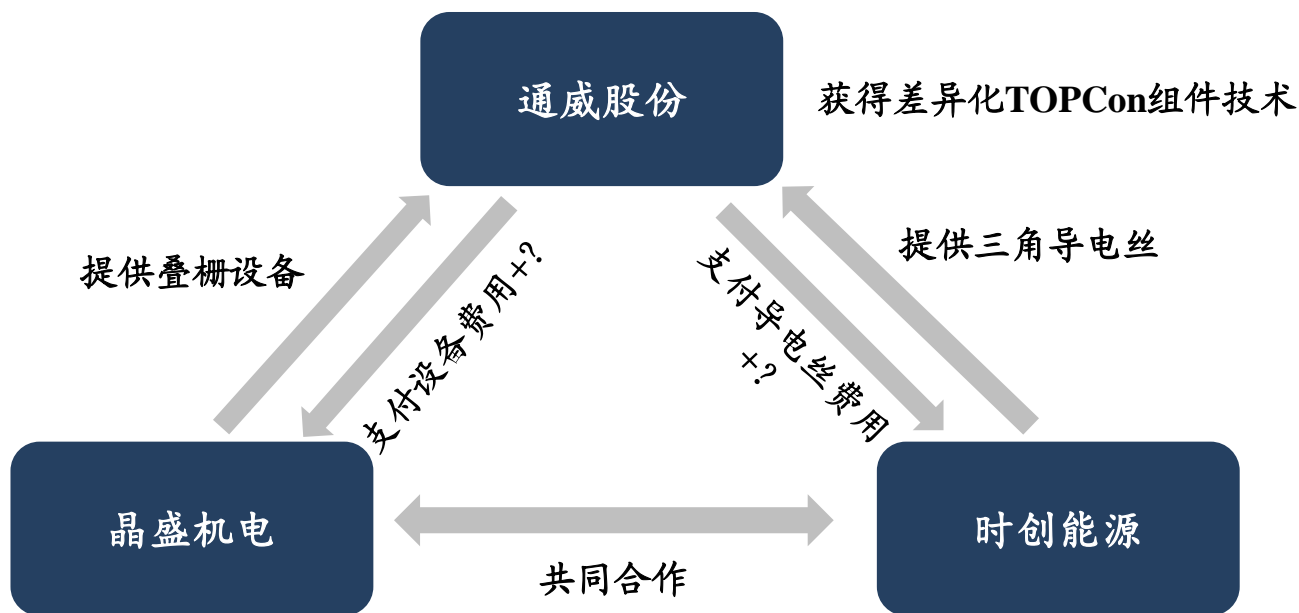
◆图：时创能源募集资金使用计划

项目名称	投资总额（亿元）	拟投入募集资金（亿元）
年产1GW叠栅组件制造项目	2.88	2.00
补充流动资金	0.85	0.85

3.3 通威股份&晶盛机电&时创能源三方合作，有望加速叠栅产业化

- 通威、晶盛、时创三者合作，均能获益。（1）通威股份：通威的TOPCon产能2024年底会达到150GW，考虑到技术的进一步差异化发展，通威需要叠栅来助力TOPCon的进一步降本增效。（2）时创能源：在材料配方领域具备丰富经验，需要借助大厂的力量快速推动叠栅技术的产业化，通威股份作为大厂既有实力也有意愿进行同步研发，尊重知识产权，能够通过销售导电丝或者分享超额收益实现技术变现。（3）晶盛机电：设备研发与制造方面强，且非常重视专利保护，也是时创的股东之一，持有其1.5%的股份，能够通过销售叠栅设备或者分享超额收益实现技术变现。

◆ 图：通威股份&晶盛机电&时创能源三方合作



3.4 设备&材料（三角导电丝）有望受益于叠栅技术路线产业化

● 叠栅设备&材料的市场空间关键在于TOPCon产能的存量更新，关键假设：

- （1）TOPCon新增&存量产能：2024年底约800GW，2025年往后每年新增扩产量有所下滑；
- （2）叠栅在TOPCon新增&存量更新产能中的渗透率：2025-2028年新增渗透率约为15%/40%/60%/80%，存量渗透率约为50%/60%/70%/80%；
- （3）TOPCon存量产能更新为叠栅：由于TOPCon未来每年新增扩产会逐步下滑，故关键为存量产能的更新，我们假设存量产能更新速度为3年，每年更新上一年底存量产能的30%；
- （4）设备&材料价值量：设备从0.8亿元/GW逐步下降至0.5亿元/GW，材料从0.5亿元/GW逐步下降至0.2亿元/GW。

◆ 图：叠栅设备&材料的市场空间关键在于TOPCon产能的存量更新，我们预计设备年均市场空间约130亿元，材料年均市场空间约70亿元

	2023	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E
全球新增装机量合计 (GW) (1)	350	480	614	687	773	876
产销率(2)	70%	70%	70%	70%	70%	70%
产能利用率(3)	65%	65%	65%	65%	65%	65%
实际需求 (GW) (4)=(1)/(2)/(3)	769	1055	1349	1510	1699	1925
TOPCon技术路线渗透率(5)	70%	75%	65%	60%	55%	50%
TOPCon新增装机量 (GW, 对应存量产能) (6)=(5)*(4)	538	791	877	906	934	963
TOPCon新增产能 (GW) (7)=当年(6)-前一年		253	86	29	28	28
叠栅在新增产能中的渗透率 (8)		0%	15%	40%	60%	80%
当年TOPCon新增产能中叠栅需求产能(GW)(9)=(7)*(8)		0	13	12	17	23
TOPCon存量更新产能(GW) (存量产能3年更新完) (10) =前一年 (6) *30%			264	292	302	311
叠栅在存量更新产能中的渗透率 (11)		0%	50%	60%	70%	80%
当年TOPCon存量更新产能中叠栅需求产能(GW)(12)=(10)*(11)			132	175	211	249
新增+存量更新叠栅产能合计(GW)(13)=(12)+(9)			145	187	228	272
单GW叠栅设备价值量 (亿元) (14)		0.8	0.8	0.7	0.6	0.5
新增+存量更新叠栅设备市场空间 (亿元) (15)=(14)*(13)			116	131	137	136
单GW三角导电丝价值量 (亿元) (16)			0.5	0.4	0.3	0.2
新增+存量更新三角导电丝设备市场空间 (亿元) (17)=(16)*(13)			72	75	69	54



■ 一、叠栅为平台化技术，能够省银提效

■ 二、导电丝对准为工艺难点，叠栅设备为关键

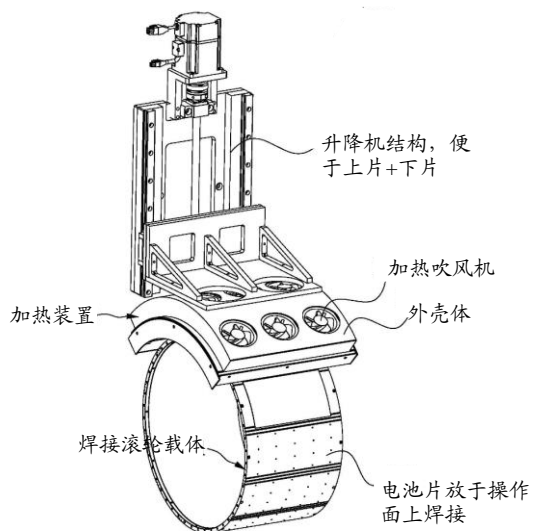
■ 三、处于产业0-1阶段，材料&设备有待进一步降本

■ 四、投资建议与风险提示

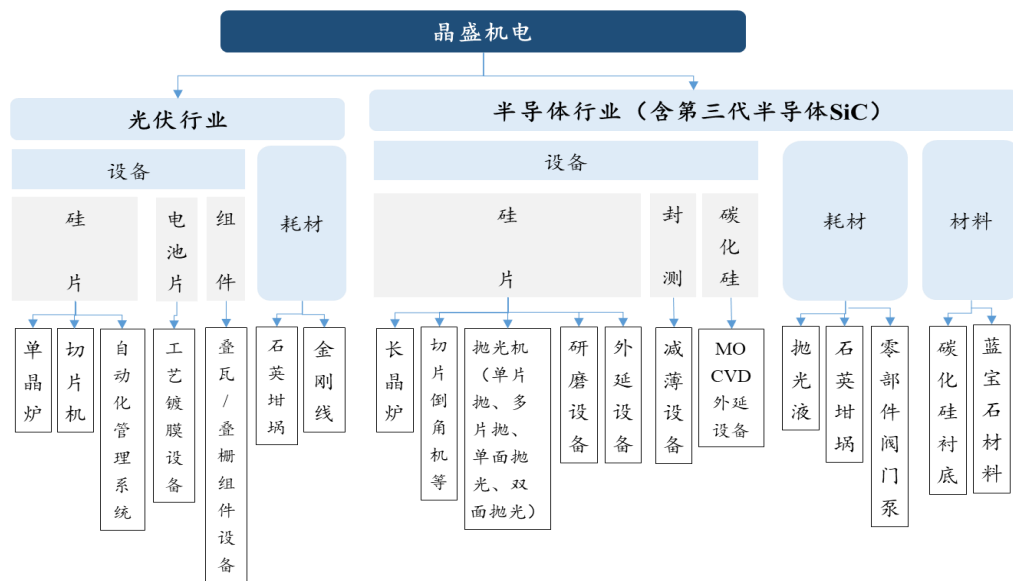
4.1 投资建议：晶盛机电布局叠栅设备

- 在叠栅技术中，如何快速而准确地将导电丝“叠”到种子层上是最具挑战性的技术难题。晶盛机电凭借其卓越的研发和设备制造能力，推出叠栅设备，因此重点推荐叠栅设备龙头【晶盛机电】
- 晶盛机电光伏&半导体、设备&耗材多领域布局。（1）光伏设备实现硅片、电池、组件设备全覆盖：硅片端推出超导磁场第五代低氧单晶炉，电池片端开发了兼容BC和TOPCon工艺的管式PECVD、LPCVD、扩散、退火、单腔室多舟ALD和舟干清洗等设备，组件端推出叠栅设备。（2）半导体设备定位大硅片、先进封装、先进制程、碳化硅：晶盛能够提供长晶、切片、研磨、抛光整体解决方案，先进封装已布局晶圆减薄机，先进制程开发了8-12英寸减压硅外延设备、LPCVD以及ALD等设备，碳化硅推出了外延设备、离子注入设备等。（3）材料布局碳化硅衬底&石英坩埚&金刚线：8英寸碳化硅衬底片已实现批量生产和销售，持续研发高品质超级坩埚，金刚线一期量产项目投产并实现批量销售，推动二期扩产项目快速提升钨丝金刚线产能。

◆ 图：旋转焊接装置是叠栅组件的核心设备，由晶盛机电研发与生产



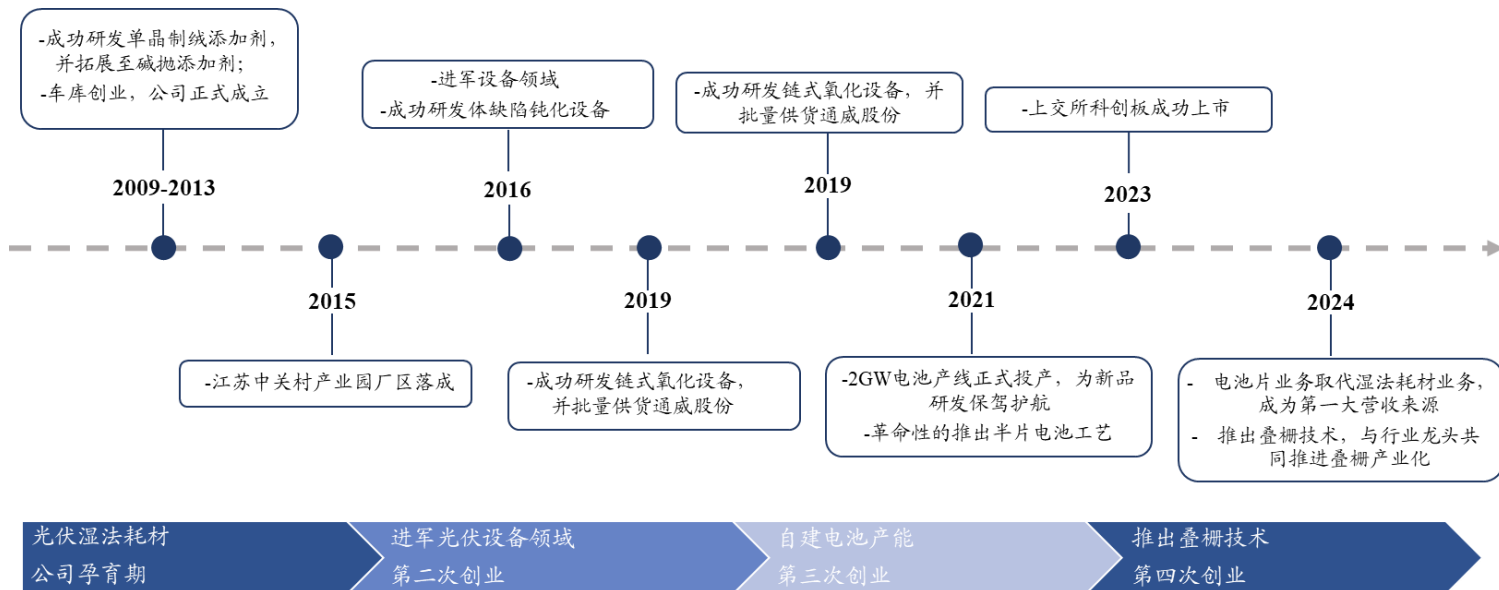
◆ 图：晶盛机电充分布局光伏及半导体设备&耗材领域



4.1 投资建议：时创能源布局三角导电丝

- 三角导电丝作为叠栅组件的核心耗材，制造过程的主要挑战在于材料处理，这不仅需要对两侧的反光涂层和底部的焊接镀层材料特性有精准的掌握，还需要对三角顶部的R角尺寸进行精确控制。时创能源以光伏耗材业务起家，对材料的理解与研发能力十分强大，因此建议关注【时创能源】。
- 时创能源以光伏湿制程辅助品业务起家，逐步扩展至设备制造和光伏电池片领域，最终延伸至光伏组件生产。
 - (1) 2020-2021年，公司的第一大业务是光伏湿法辅助品，具体产品包括清洗辅助品、制绒辅助品、抛光辅助品、刻蚀辅助品等，这些产品主要用于光伏电池的生产过程中。
 - (2) 2020-2022年，公司拓展至设备制造，产品线包括链式退火设备、体缺陷钝化设备、界面钝化设备、吸杂设备等。
 - (3) 2022年以来，公司光伏电池片业务取代了湿制程业务，成为公司的第一大业务。公司创新性地利用边皮料生产半片电池，并推出了应用双面POLO与叠栅技术的组件。

◆ 图：时创能源由湿法耗材起家，经历四次创业，现已完成耗材、设备、电池、组件的全面布局



4.2 风险提示

- 1. 行业受政策波动影响风险：**目前，光伏电价与发电侧的平价上网仍有一定差距，因此该行业受政策及补贴影响较大，弃光限电和政府拖欠问题依然较为突出；其次，在未实现平价上网前，光伏行业对政府补贴仍有一定的依赖性。
- 2. 新技术研发不及预期风险：**光伏新技术，工艺成熟是一个多维度均达标的系统工程，量产取决于包括设备、耗材在内的多因素，由于技术创新受各种客观条件的制约，存在失败的风险。

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司（以下简称“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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议，本公司及作者不对任何人因使用本报告中的内容所导致的任何后果负任何责任。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。

在法律许可的情况下，东吴证券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并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险，投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息，本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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。

本报告的版权归本公司所有，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。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明出处为东吴证券研究所，并注明本报告发布人和发布日期，提示使用本报告的风险，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

东吴证券投资评级标准

投资评级基于分析师对报告发布日后6至12个月内行业或公司回报潜力相对基准表现的预期（A股市场基准为沪深300指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普500指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证50指数），具体如下：

公司投资评级：

买入：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在15%以上；

增持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于5%与15%之间；

中性：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-5%与5%之间；

减持：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准介于-15%与-5%之间；

卖出：预期未来6个月个股涨跌幅相对基准在-15%以下。

行业投资评级：

增持：预期未来6个月内，行业指数相对强于基准5%以上；

中性：预期未来6个月内，行业指数相对基准-5%与5%；

减持：预期未来6个月内，行业指数相对弱于基准5%以上。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议。投资者买入或者卖出证券的决定应当充分考虑自身特定状况，如具体投资目的、财务状况以及特定需求等，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

东吴证券研究所
苏州工业园区星阳街5号
邮政编码：215021

传真：（0512）62938527

公司网址：<http://www.dwzq.com.cn>

东吴证券 财富家园