

晶硅组件技术发展现状及成本分析 2018年回顾与2019年展望

宋登元 博士

**光伏材料与技术国家重点实验室主任
英利绿色能源首席技术官**

2019.1.17

北京•万寿宾馆

1 高效组件技术回顾

2 高效反光材料组件

3 高效半片组件

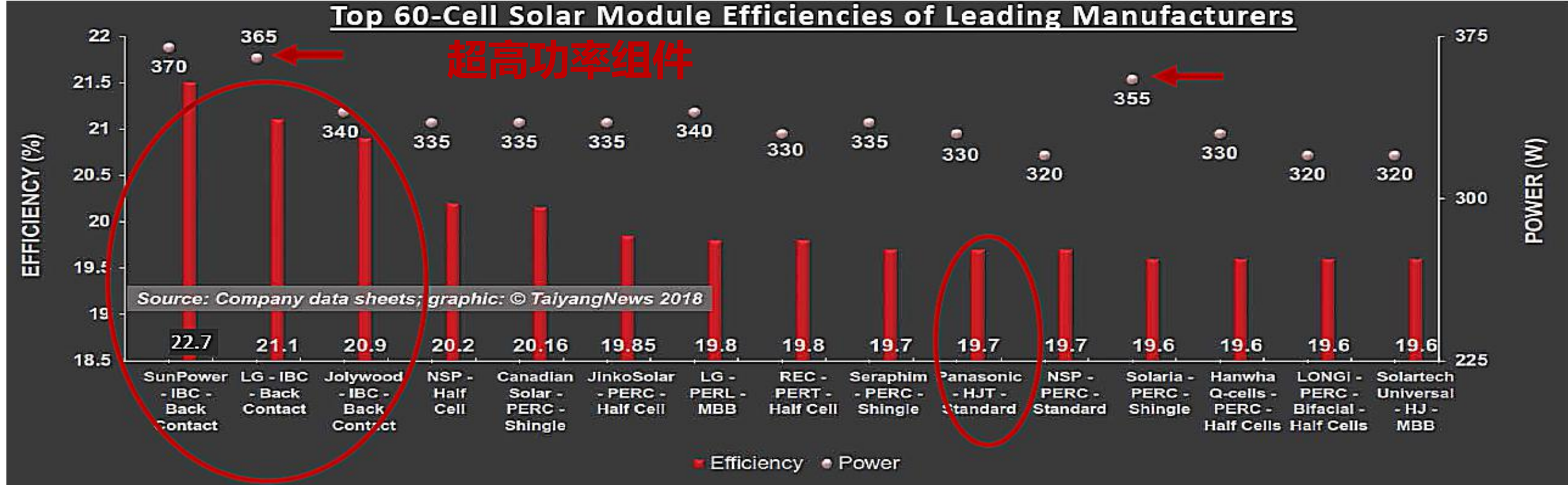
4 高效多/无主栅组件

5 高效叠瓦组件

6 其它高效组件技术



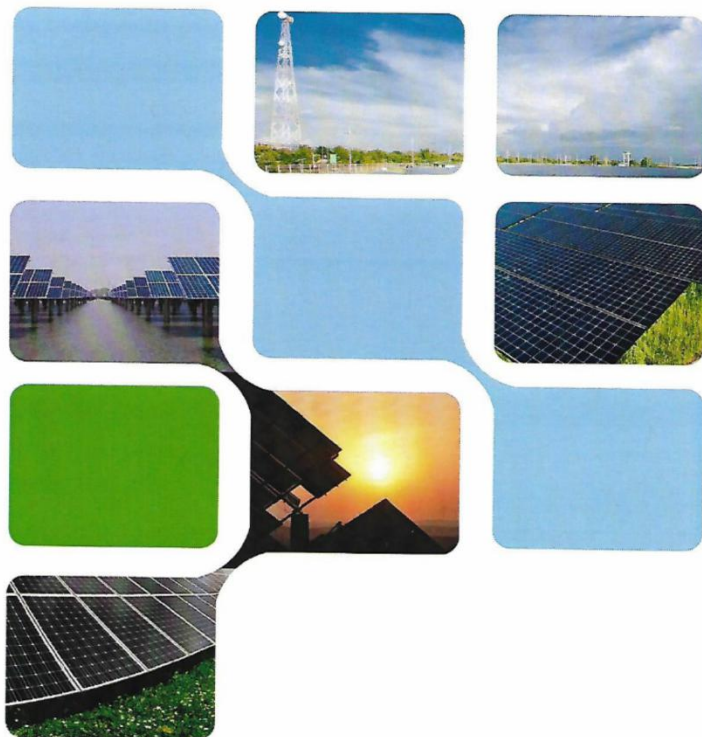
一、产业化高效组件技术



- **超高功率组件**（效率大于20%）发展通过提升**太阳能电池效率进行驱动**，但是超高效率电池及组件工艺复杂，成本相对较高；
- 随着光伏组件相关技术发展，利用**高效电池匹配合适组件技术**使得组件输出功率逐渐接近超高功率组件，同时成本大幅降低。

中国光伏产业发展路线图

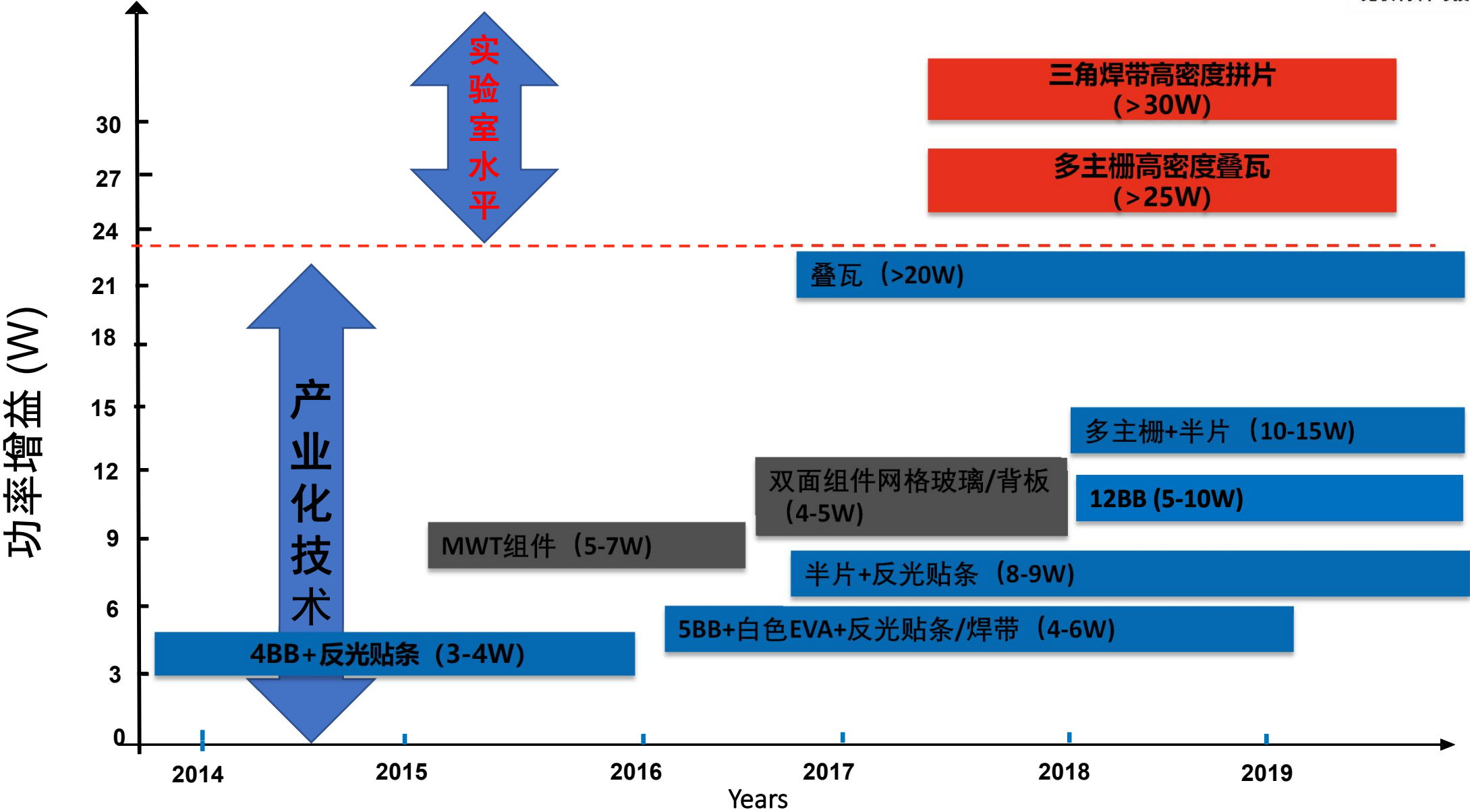
(2017年版)



中国光伏行业协会
中国电子信息产业发展研究院

组件类型 60 片 (W)	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2022 年	2025 年
BSF P 型单晶组件功率	285	290	295	300	305	315
BSF P 型多晶电池组件功率	270	275	280	285	290	295
PERC P 型单晶组件功率	297	305	310	315	325	335
黑硅多晶电池组件功率	275	280	285	290	300	310
黑硅+PERC 多晶电池组件功率	290	295	300	305	315	330
N-PERT 电池组件功率 (正面功率)	300	305	310	320	330	345
TOPCON 电池组件功率 (正面功率)	315	325	335	345	350	360
HJT N 型单晶组件功率 (正面功率)	310	315	330	335	340	350
IBC N 型单晶组件功率 (正面功率)	315	320	335	340	345	355
MWT 多晶电池组件功率	285	290	295	300	305	310
MWT 单晶电池组件功率	300	305	310	315	320	325

高效晶硅组件实验室和产业化水平





二、产业化高效反光材料组件技术

高效反光贴条提升组件功率技术

相对于常规组件，反光贴条：

- 显著提升组件短路电流，组件功率提升**4W左右**
- 与常规焊接**设备兼容性强**，简单改造焊接机就可推向量产



25μm 铝膜

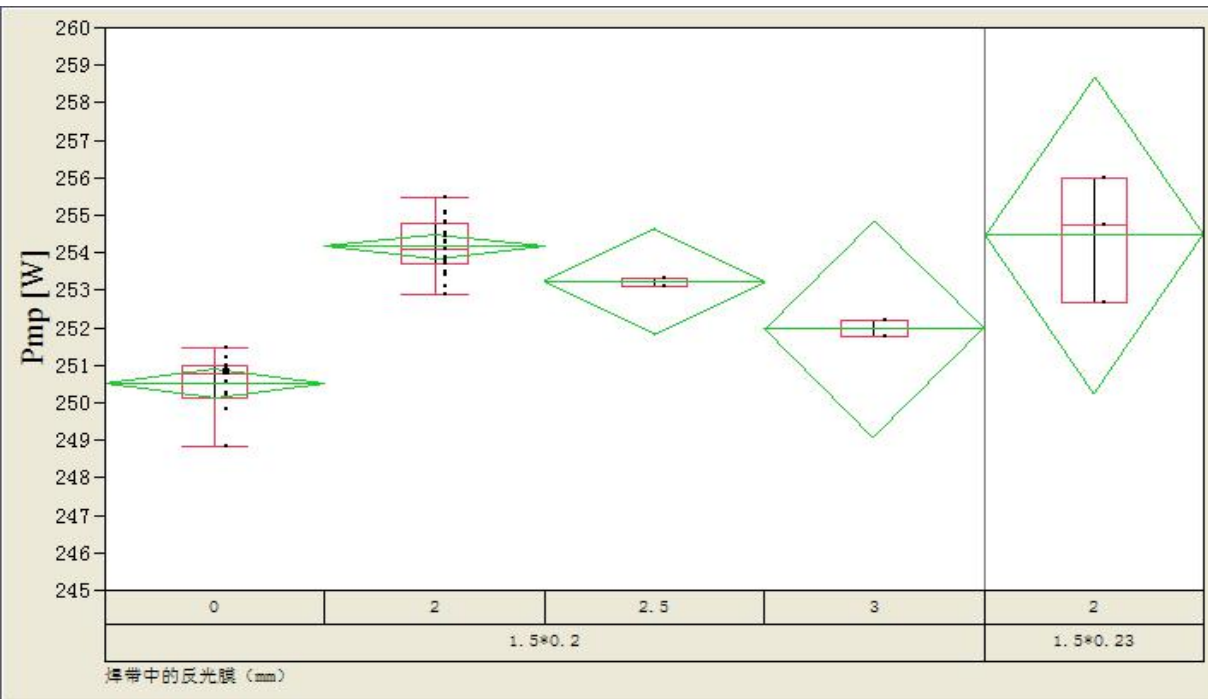
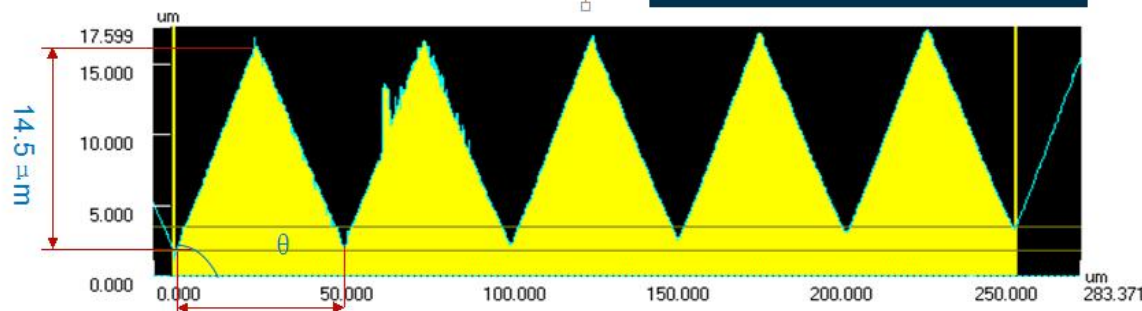
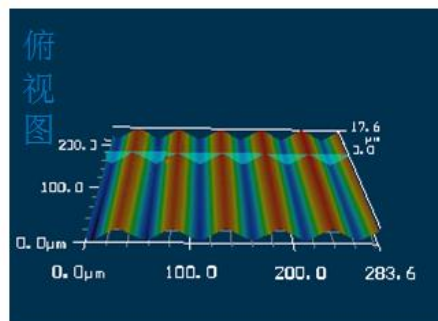
75μm PET

25μm EVA

铝膜层折角-测试角度计算

$$\tan\theta = \frac{14.5\mu m}{25.7\mu m} = 0.5642$$

$$\theta = 29.4^\circ$$



- 预计**2018年底**全球反光贴条光伏组件出货量超过**20GW**，占**20%左右**市场

高效反光焊带提升组件功率技术：连续VS分段

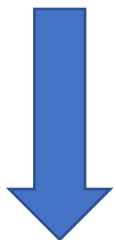
连续式



分段式



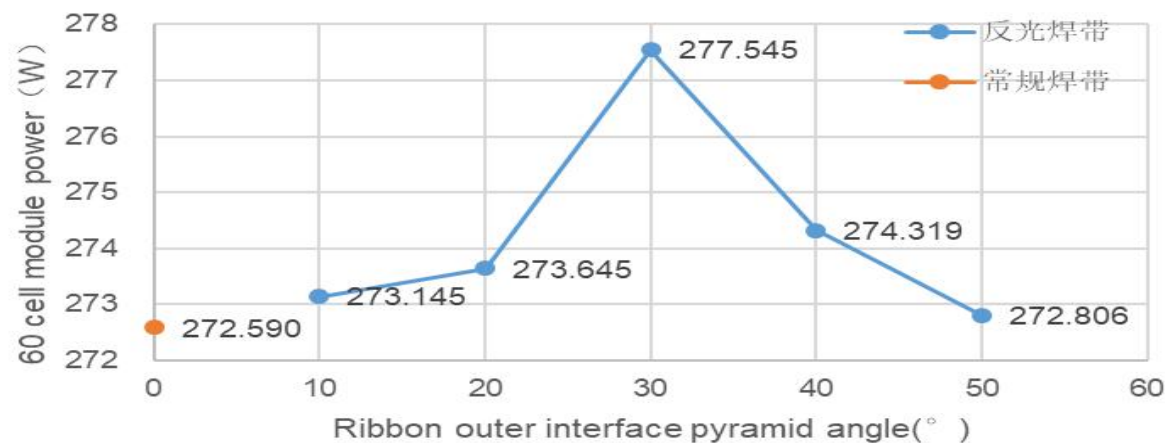
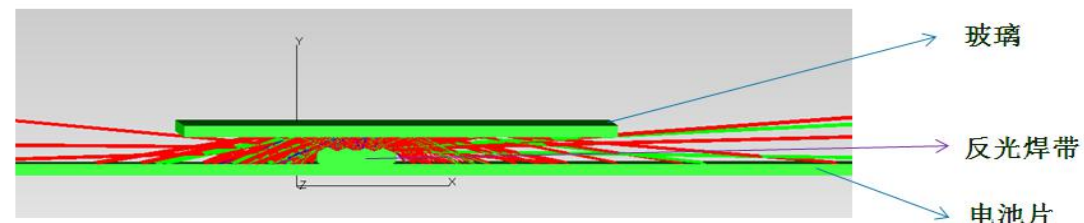
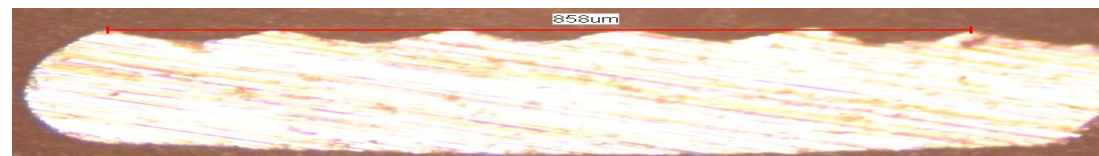
结构化



模型化

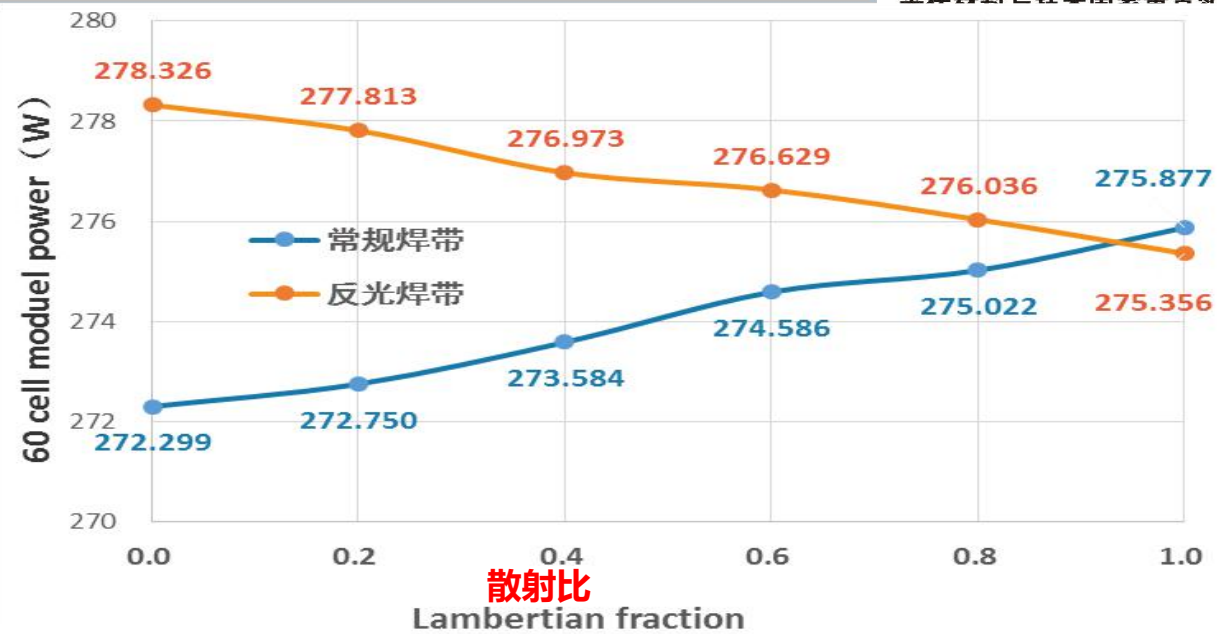
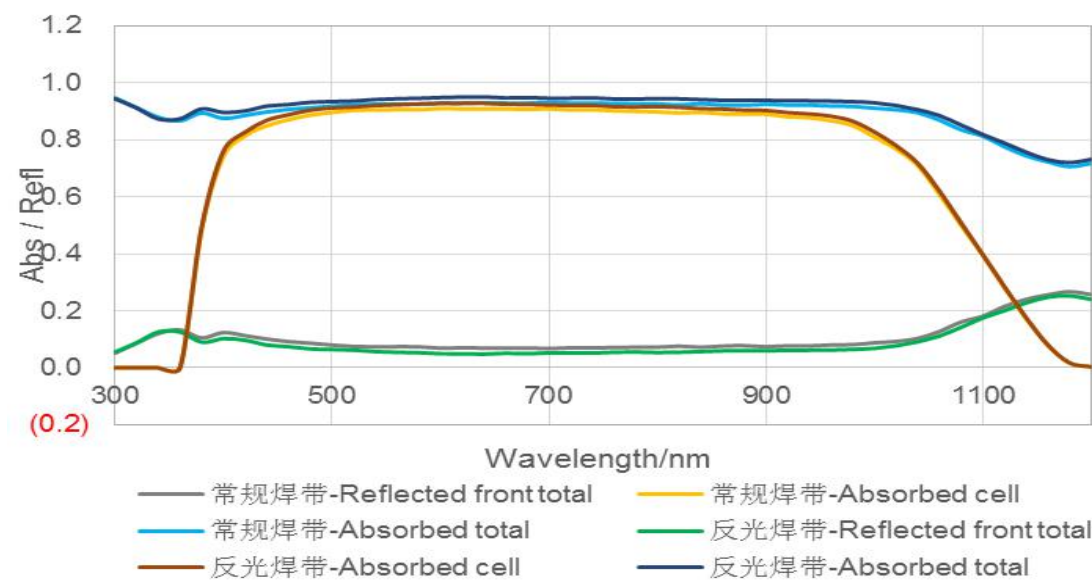


优化



- 精细控制反光焊带结构，同时匹配合适焊锡层和焊接工艺，使得微米级反光槽底角保持在 30° 的最佳底角内
- 分段式反光焊带可以有效解决电池背面焊接拉力问题

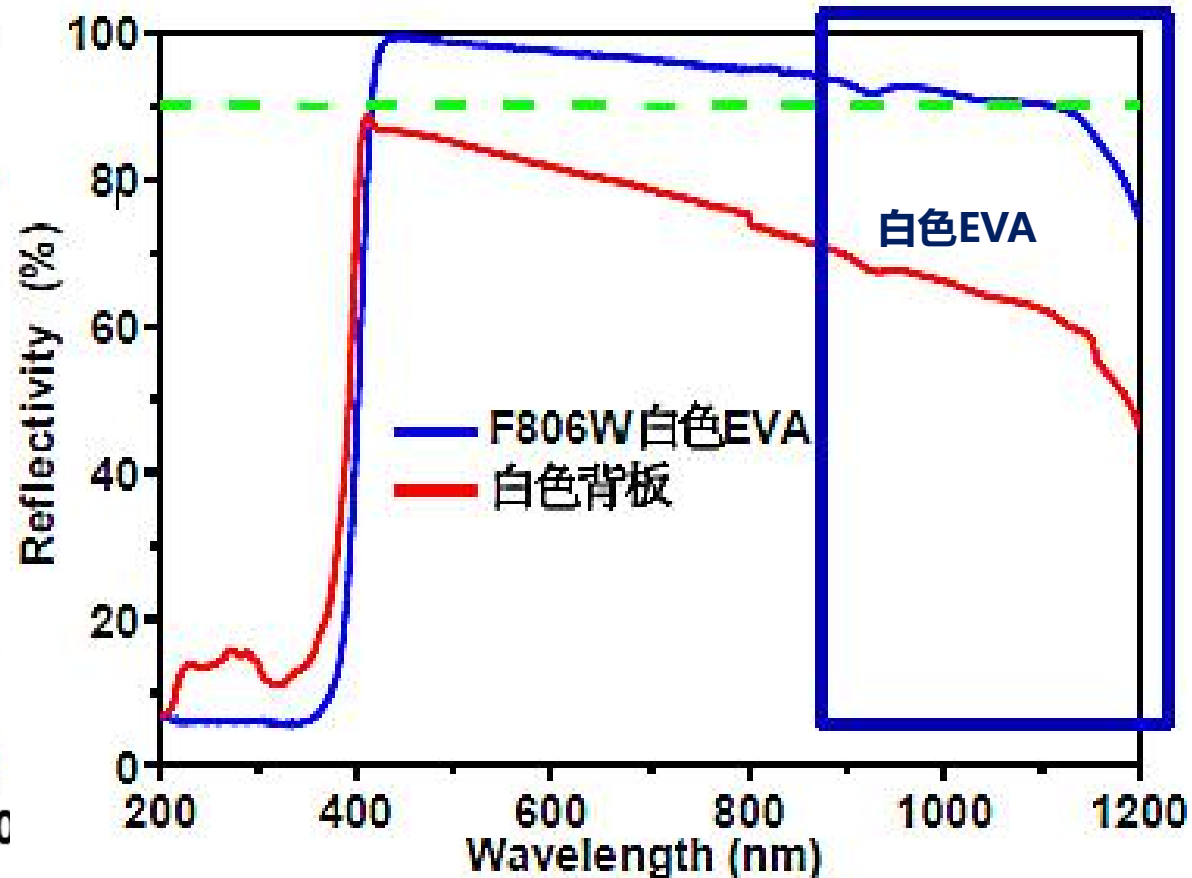
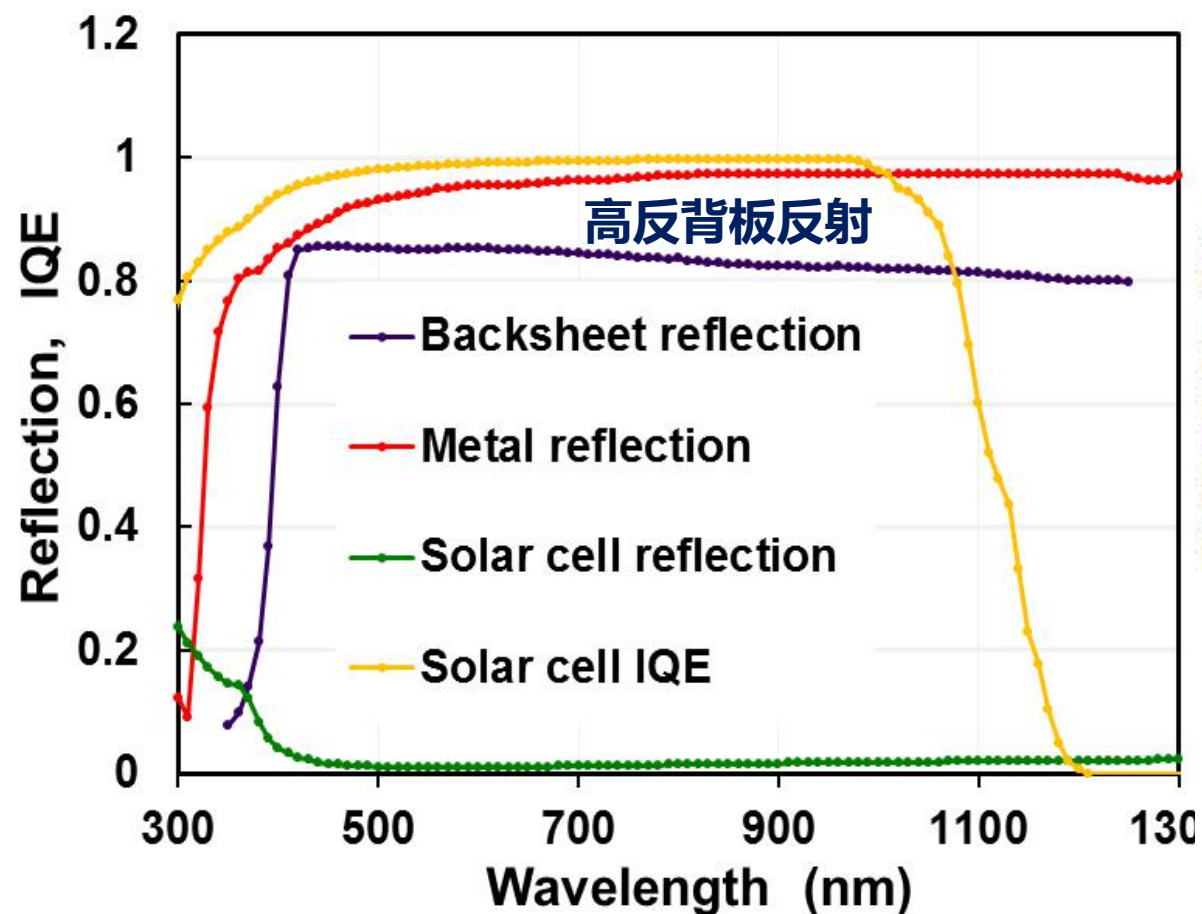
高效反光焊带提升组件功率技术：实验结果



组件类型	Voc [V]	Isc [A]	Pmpp [W]	Vmp [V]	Imp [A]	FF[%]	功率提升
反光焊带	38.174	9.210	271.179	31.081	8.725	77.135	3.38 W
常规焊带	38.151	9.170	267.800	30.857	8.679	76.552	Baseline
反光焊带+白色EVA	38.084	9.292	271.572	30.971	8.769	76.739	4.384 W

- 60片电池组件反光焊带较常规焊带理论提升**5.24W**，优化反光焊带结构同时选择高反射散射比焊锡层有效提升光学增益效果
- 英利从**2016年**在行业内批量推广分段式反光焊带，累计出货超过**1GW**

白色EVA和高反背板提升组件功率技术



- 白色EVA 在900-1100nm具有更高的反射率，搭配高效电池具有更好的光学增益，功率提升1.5W-2W
- 高反背板反射率在380-1100nm反射率为70-90%，反射曲线相对平缓，功率提升1W-1.3W



三、产业化高效半片组件



电学损失=电流²*电阻

- 由于切片后组件内部电阻热损失**仅为整片1/4**，同时电池间隙面积增加，部分提升光利用率，使得**60片版型功率提升2%左右**
- 单根焊带承受的**电流只有之前1/2**，需要优化焊带宽度和遮光面积，焊带越窄，功率增益越大，在焊接质量保证前提下，焊带≤0.6mm宽更佳

半片和整片组件不同焊带宽度下功率损失

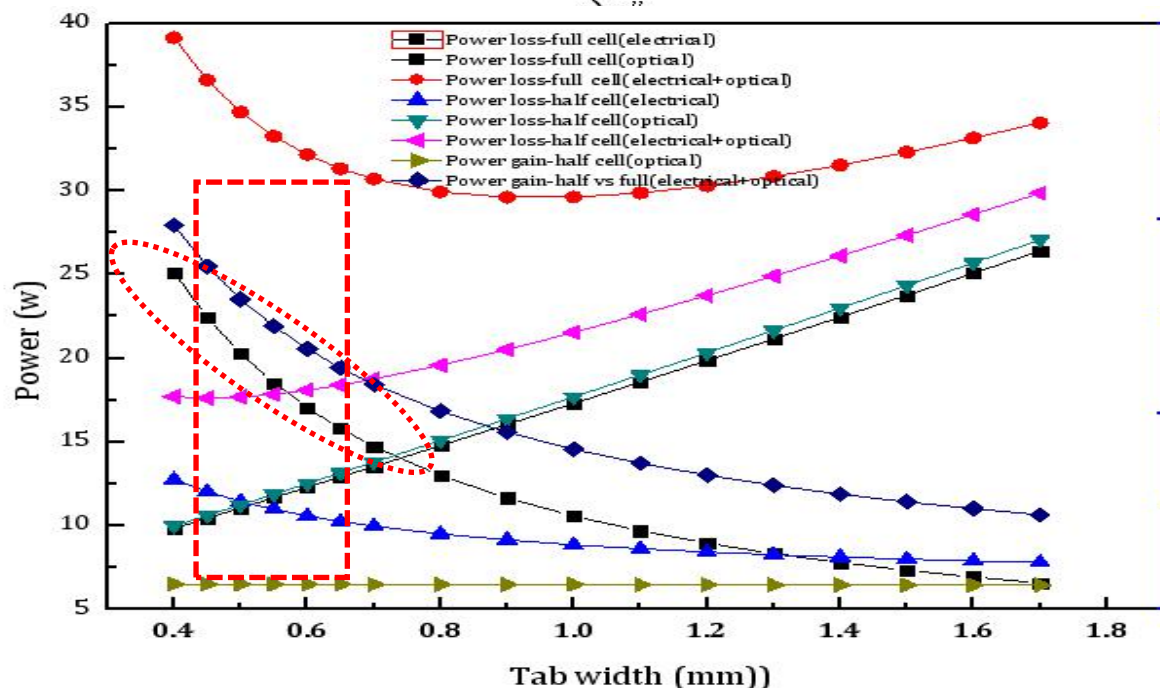
$$P_{Electrical}[W] = R_s I^2 [W]$$

$$P_{Optical}[W] = P_{Without\ tab}[W] - P_{With\ tab}[W]$$

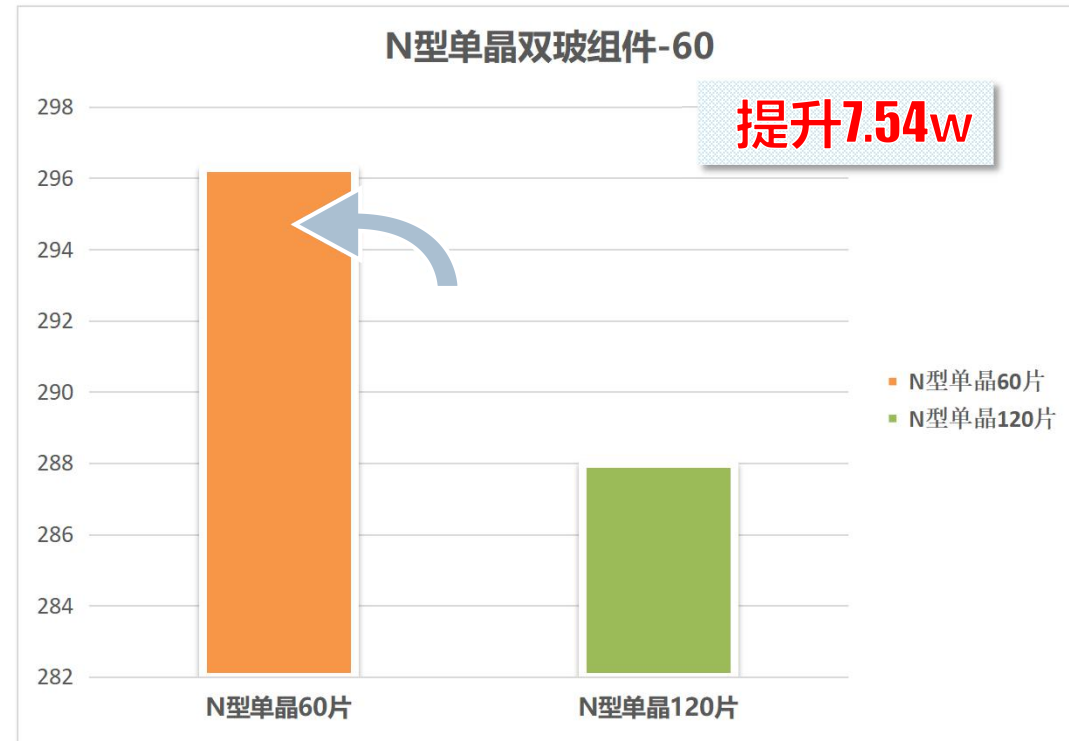
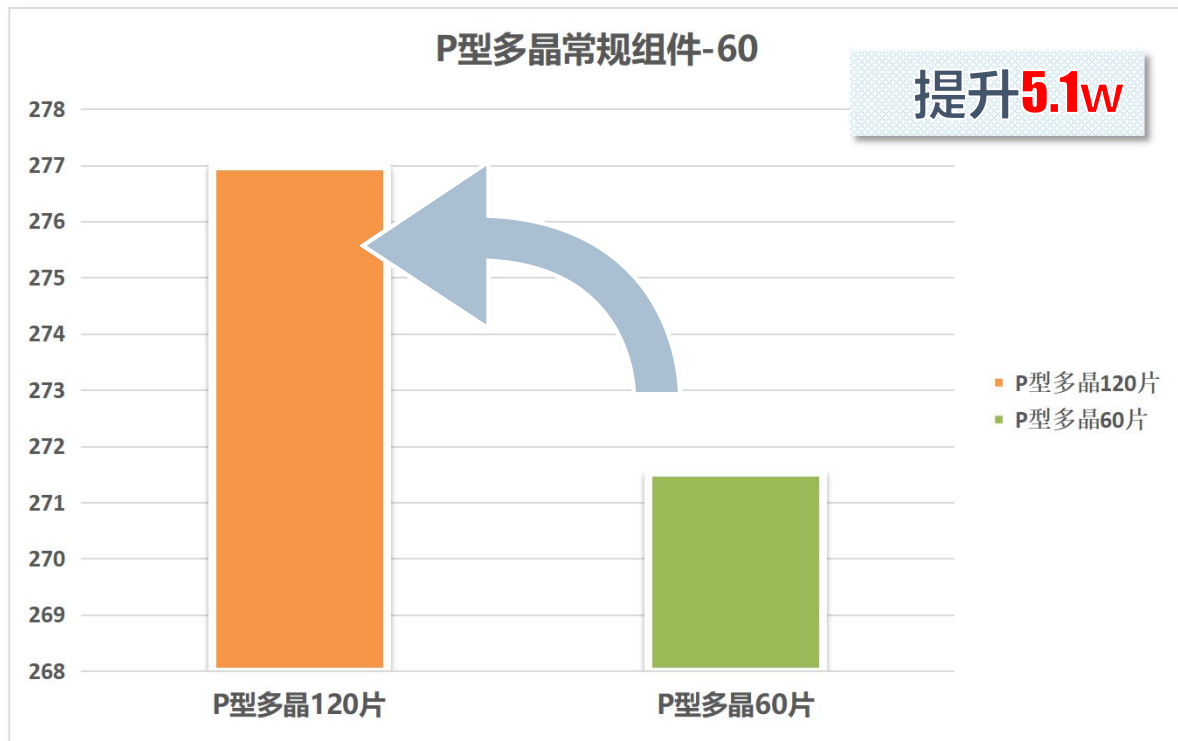
$$P_{Optical}[W] = P_{MPP}[W] \left(\frac{W_{Cell}[mm]}{W_{Cell}[mm] - N_{Busbar} \cdot W_{Tab}[mm]} \right) - P_{MPP}[W]$$

$$\Delta P_{Total}[W] = P_{Optical}[W] + P_{Electrical}[W]$$

$$\Delta P_{Optical\ gain}[W] = P_{Mpp}[W] \times \frac{\Delta S_{gap}}{S_{cell}} \lambda$$



半片组件功率增益验证



- 半片组件可以和常规组件设备兼容性高，批量验证**60片**电池版型**多晶提升5W**，**N型单晶提升7.5W**
- 同时半片技术和**高反射材料组件技术**（反光贴膜/反光焊带/白色EVA/高反射背板等）兼容，特别是电池空隙增加，更能发挥反光材料的潜能

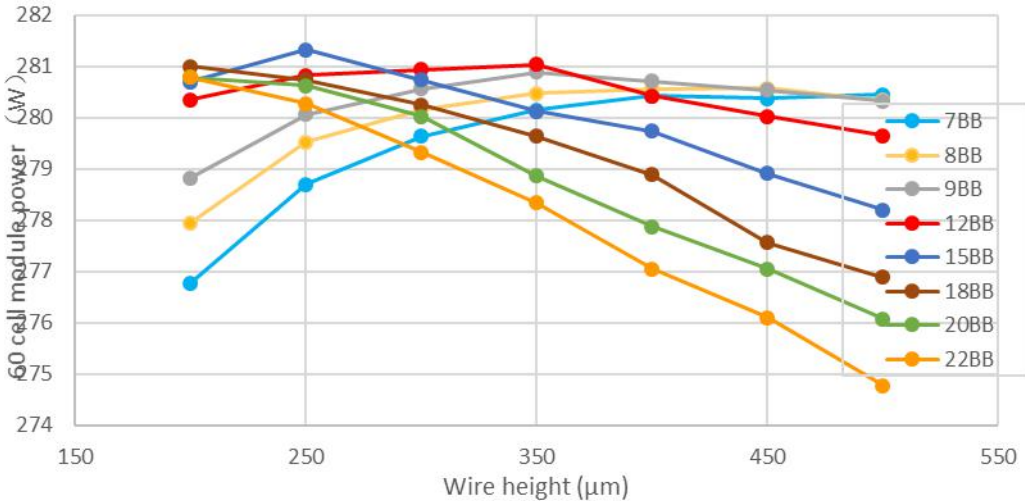
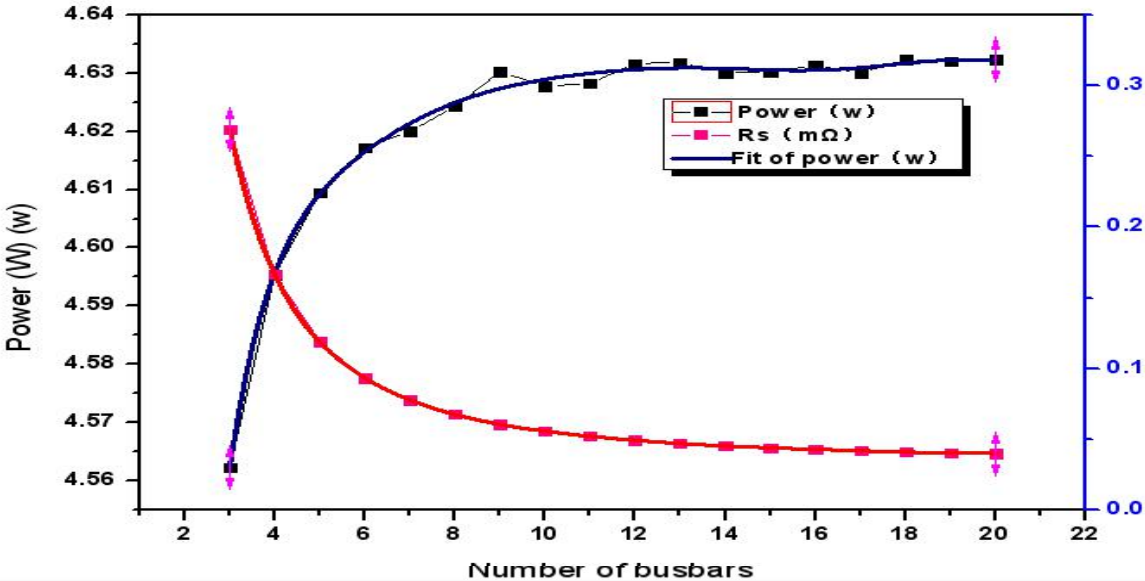
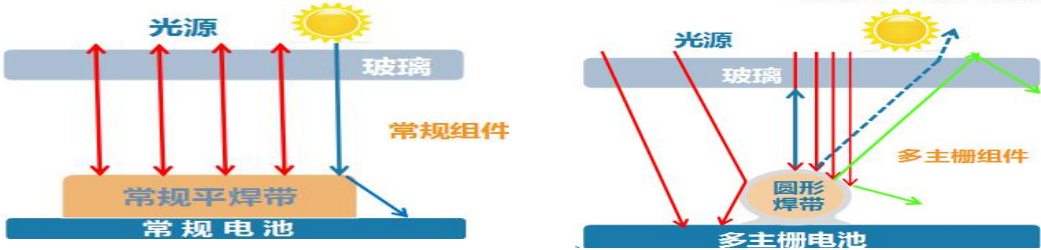


四、产业化高效多/无主栅组件

多/无主栅组件功率增益技术

1. 多主栅使用圆形焊带，减少遮光面积，并将光反射到电池

2. 将焊带区域的光利用率由5%以下提高到40%以上



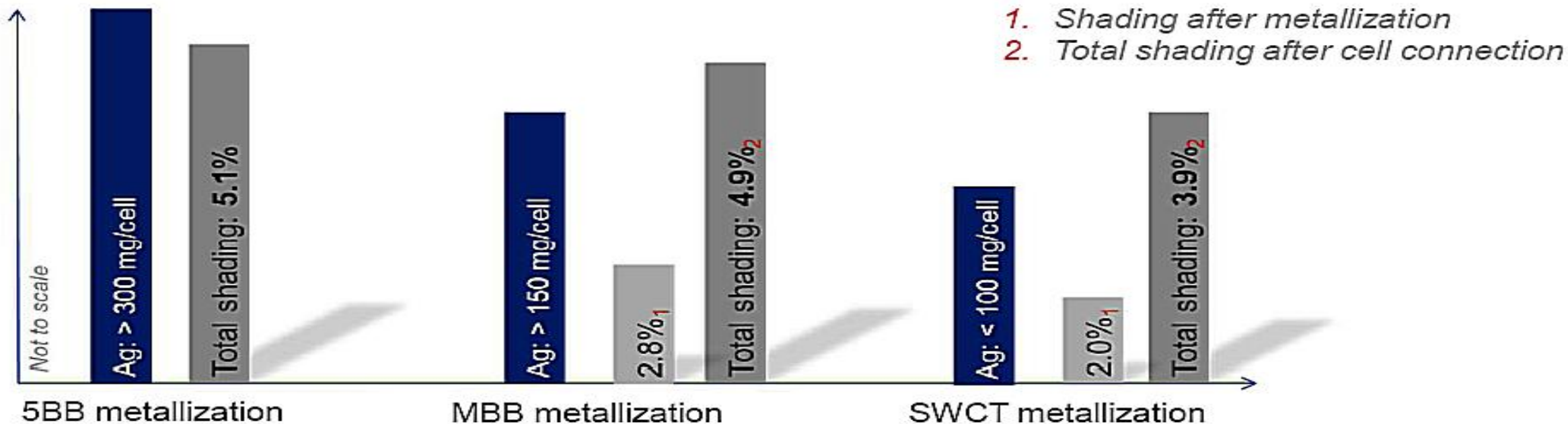
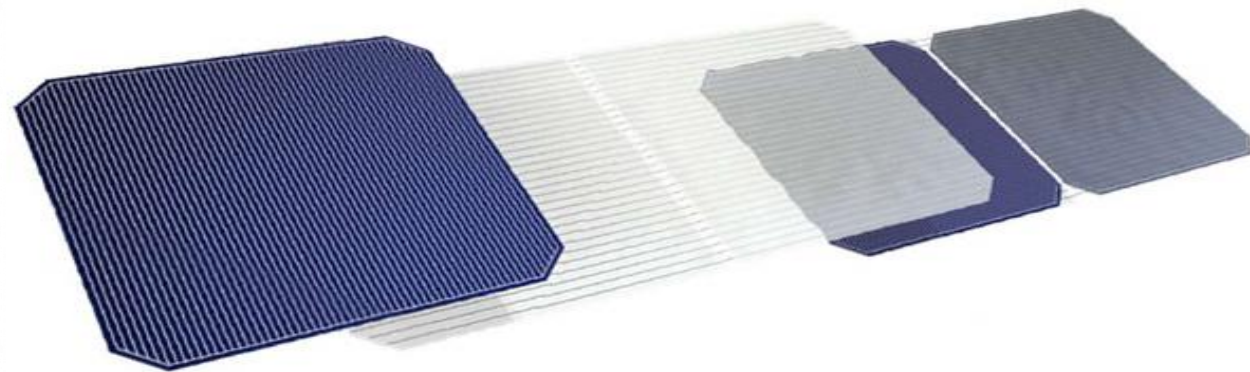
- 分别模拟多主栅电池组件，圆形焊带数量和直径对于组件功率影响：
1. 主栅数量在10根以后功率增加和串阻降低变化不明显；

2. 不同数量主栅对应最佳圆形焊带直径，栅线越多匹配栅线直径越细，12栅优选350μm直径。



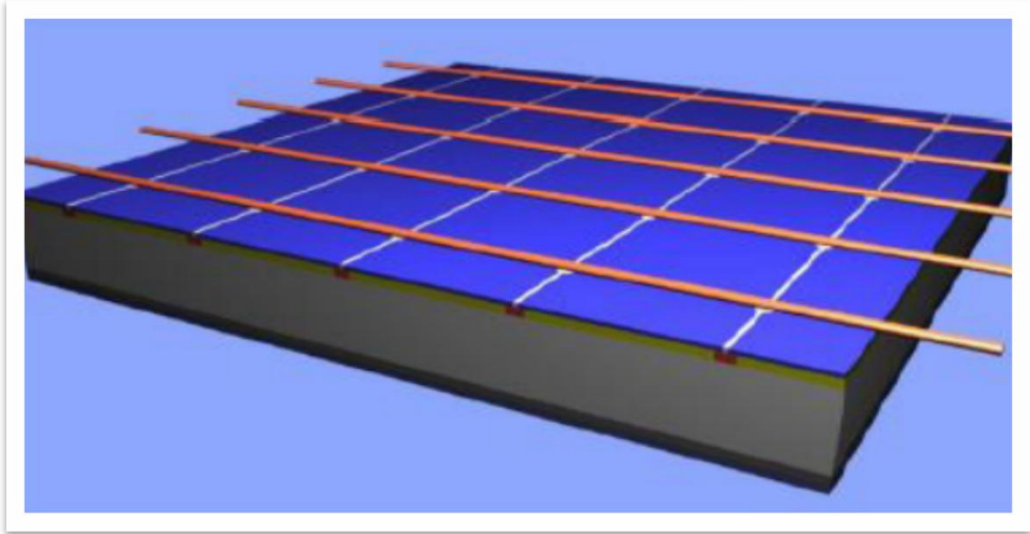
电池正面仅印刷细栅线，特殊镀层铜线交替上下穿过封装膜、预固定后，在层压过程实现镀层铜带与电池的焊接和互联：

- 栅线遮挡面积较常规组件减少23.5%
- 低温焊接，适合HIT电池
- 银浆耗量降低80%以上



电池正面印刷细栅线，细栅与主栅交界处预留焊盘、精准定位镀锡铜线进行焊接，其他与常规一致：

- 栅线遮挡面积较常规组件减少10%
- 常规焊接
- 银浆耗量降低20%以上



类型		V _m (V)	I _m (A)	P _m (W)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	FF (%)
p-Multi	5BB	30. 717	8. 856	272. 03	37. 985	9. 360	76. 5
	12BB	31. 199	8. 981	280. 20	38. 161	9. 476	77. 5
	增益	——	——	2. 95%	——	——	2. 85%
n-mono	5BB	33. 012	9. 171	302. 06	39. 701	9. 445	80. 7
	12BB	33. 441	9. 332	312. 06	40. 014	9. 506	82. 1
	增益	——	——	3. 31%	——	——	1. 59%

多/无主栅装备及生产情况

类型	互联方法	印刷图案	焊带形状	浆料节省	功率增益	优势	劣势	设备方案	量产厂商
焊接	涂锡焊带热焊接	多主栅	圆形	>20%	>2.5%	成本低，与现有产线最接近	不能用于HJT电池和薄硅片	先导/小牛/奥特维	英利/天合/协鑫/腾辉/东方日升等
低温合金层压	层压低温合金包裹铜线焊接	无主栅	圆形	>80%	>3%	适用HJT电池和薄硅片	成本偏高	Meyer Burger	REC/Hanplas/Solartec
导电胶层压	导电胶粘接互联条，层压固化	多主栅	矩形	>75%	>3%	适用HJT电池和薄硅片	技术成熟度差	Schind	-
Merlin	低温合金等	无主栅	铜网	>80%	>3%	适用HJT电池和薄硅片	技术成熟度差	GTAT	ACI Solar

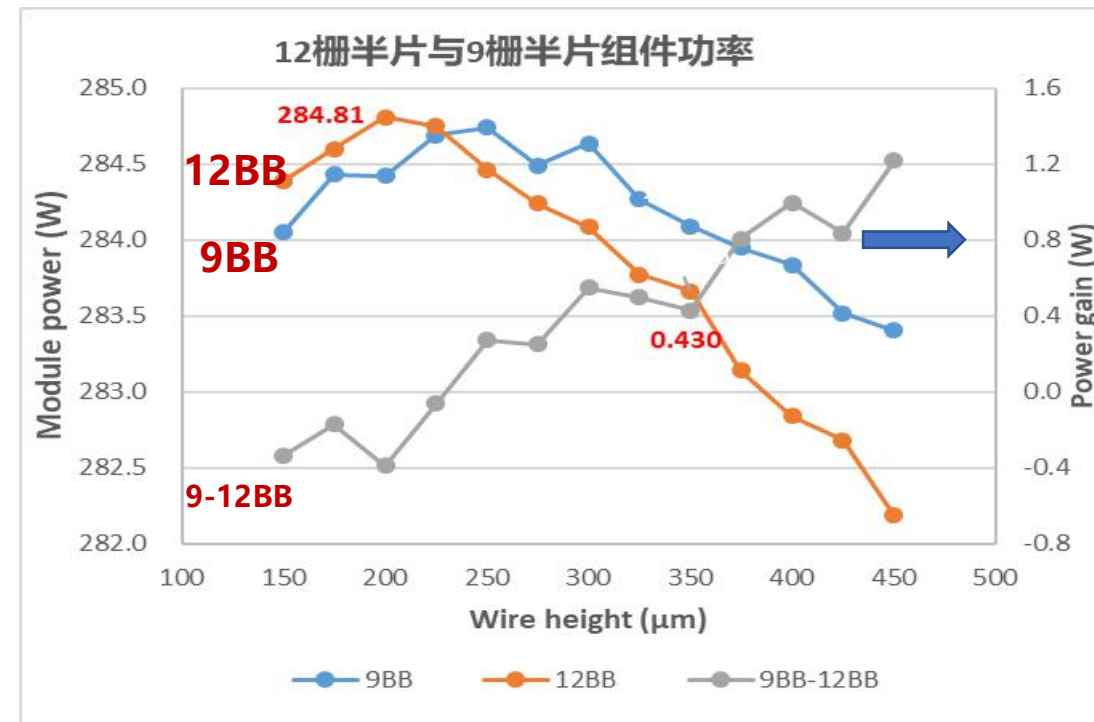
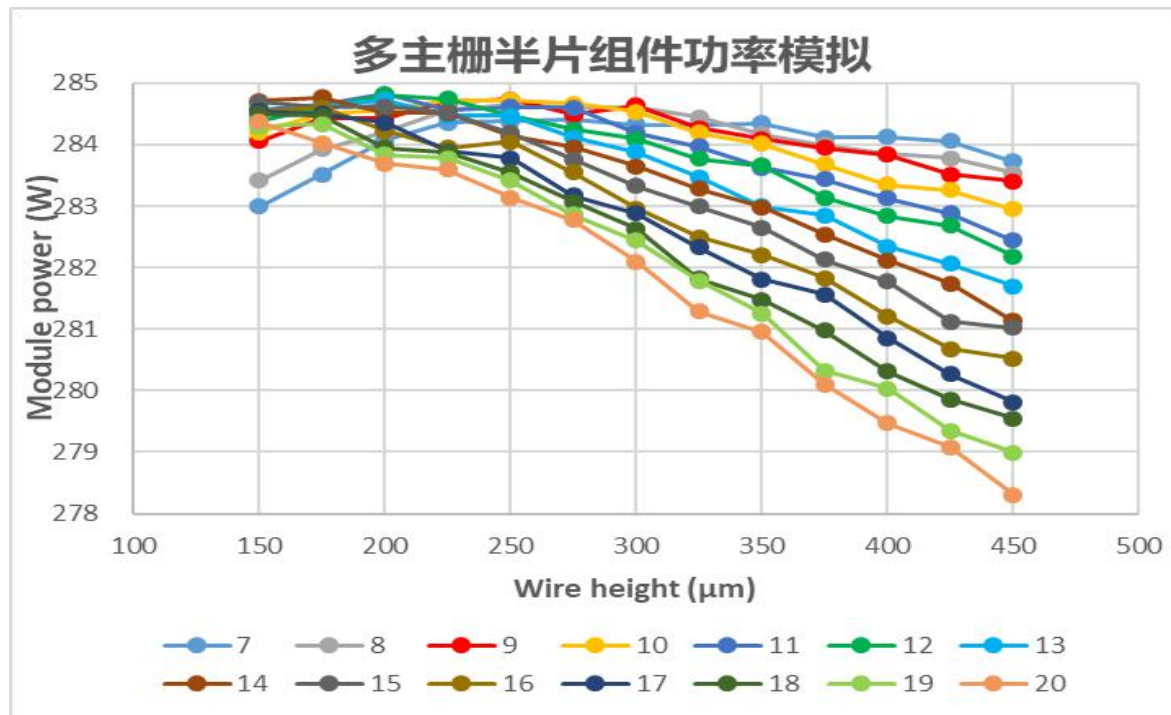
- 由于采用热焊接方式与现有产线高度兼容，且投资相对少，技术成熟度高，使得大部分都选用国产多主栅热焊接设备方案
- 目前多主栅组件产能超过2GW,2019年将迎来进一步增长



四、产业化高效多主栅半片组件

多主栅半片组件功率增益原理

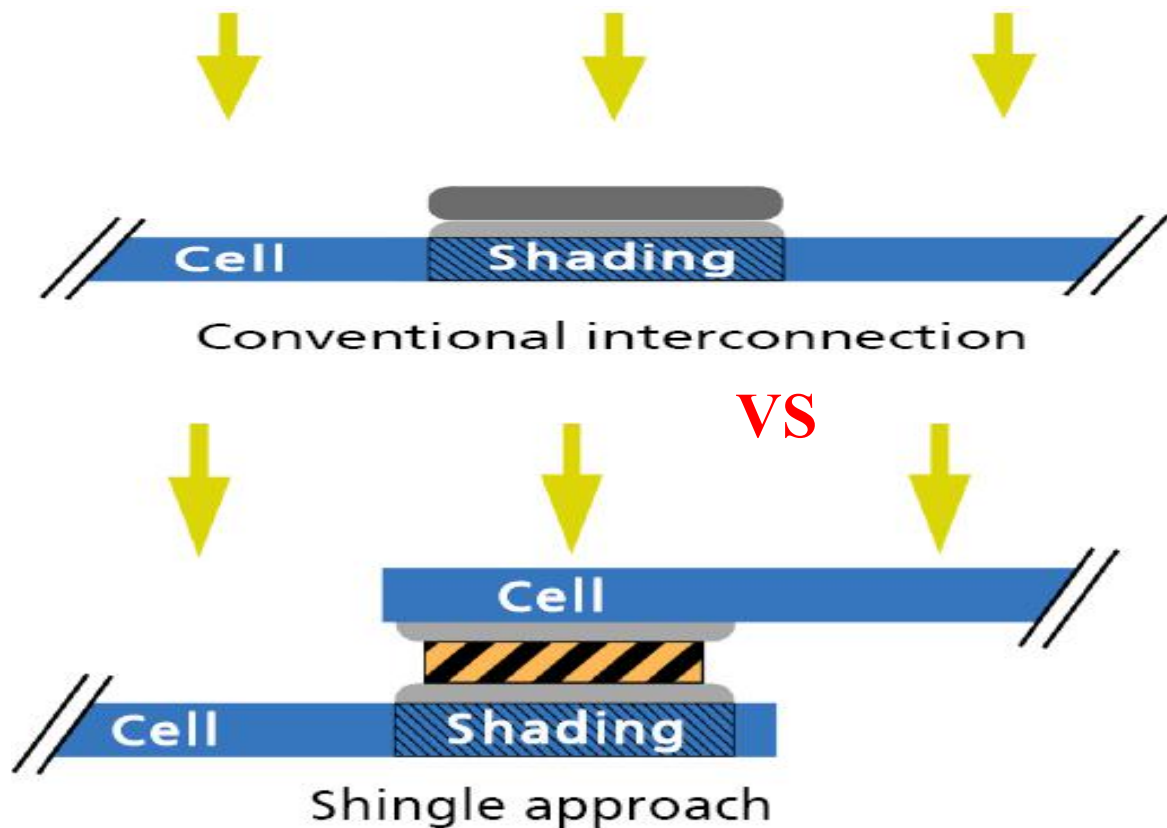
- 将多主栅和半片技术进行叠加，在改善组件短路电流同时提升填充因子，进一步提升组件功率，
- 由于采用半片电池电流减半，栅线和焊带设计需要进一步优化。



- 焊丝直径在常规使用的 $350\mu\text{m}$ 时，9BB半片组件较12BB半片组件功率高0.43W
- 焊丝直径进一步降低，功率差异减小，在 $225\mu\text{m}$ 左右时，12BB半片组件功率高于9BB半片组件

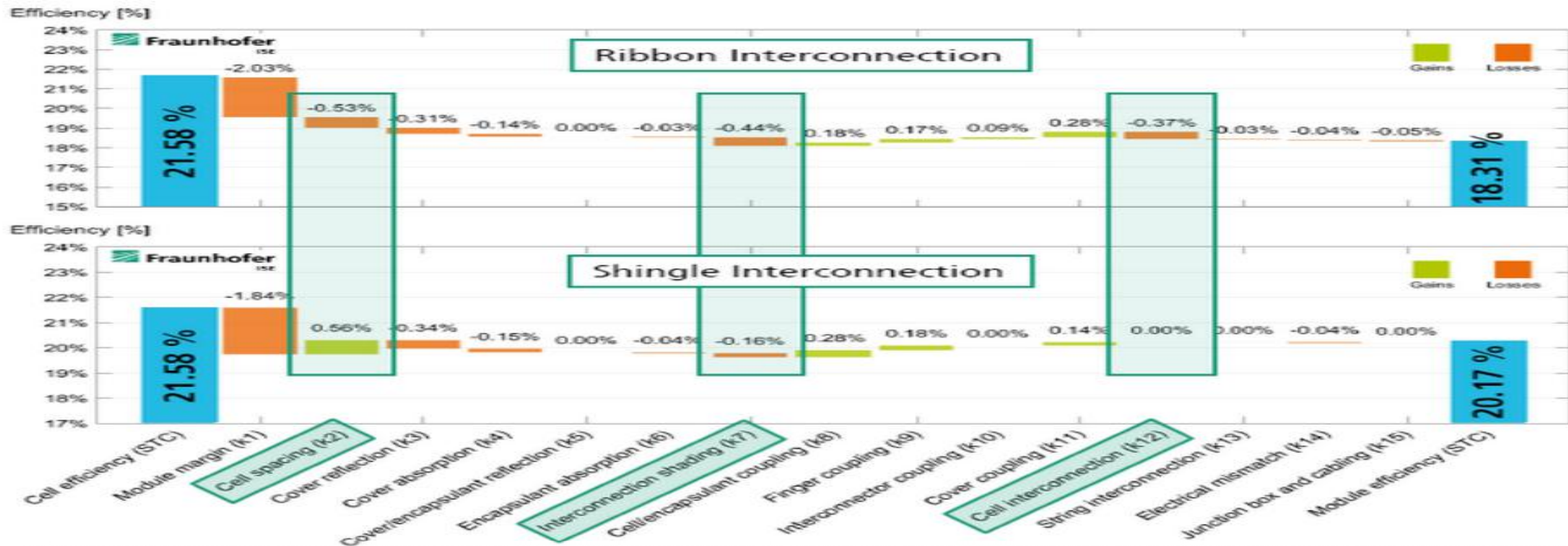


六、产业化高效叠瓦组件



- 消除焊带阴影遮挡，提升电流密度；
- 减少电池片之间空隙；
- 减少焊带电阻热功率损失；
- 划片设计减少电池串电流，整体运行电流降低可以有效降低欧姆热损失。

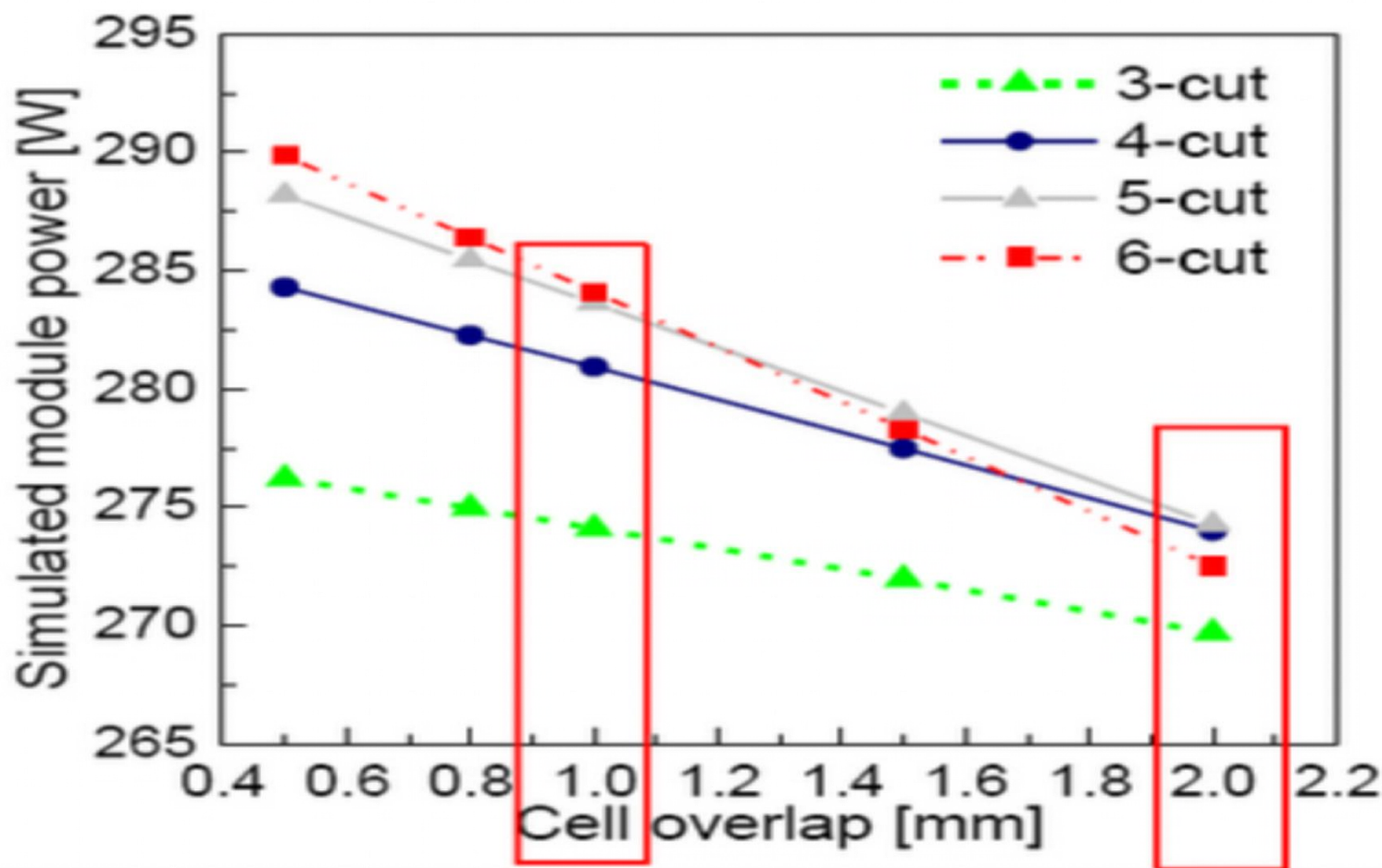
- 叠瓦技术概念及其核心专利可追溯至1960年，目前已过期
- 但Sunpower和Solarvia公司宣称：拥有叠瓦技术专利电池栅线设计、组件版型设计、工艺过程和原材料等专利



叠瓦技术主要通过：

- 降低电池片空隙面积，组件效率提升**1.09%**
- 消除焊带光学遮挡，组件效率提升**0.28%**；
- 减少焊带焊接热功率损失，组件效率提升**0.37%**；

最终实现组件效率提升1.86%!

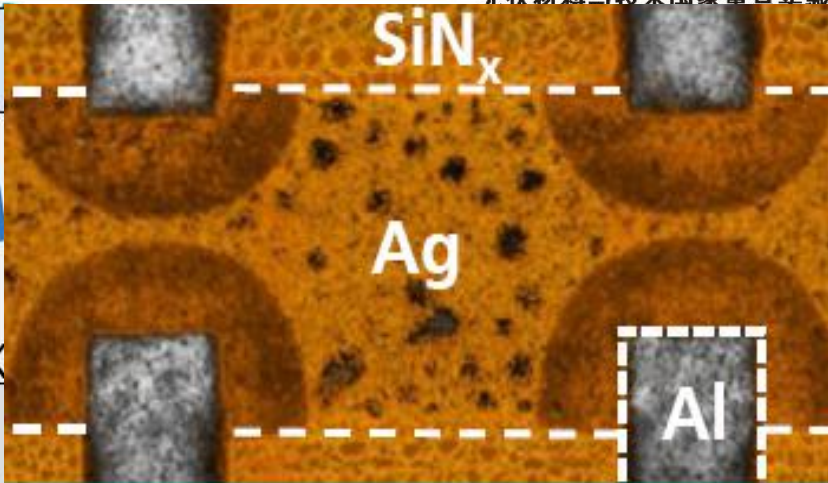
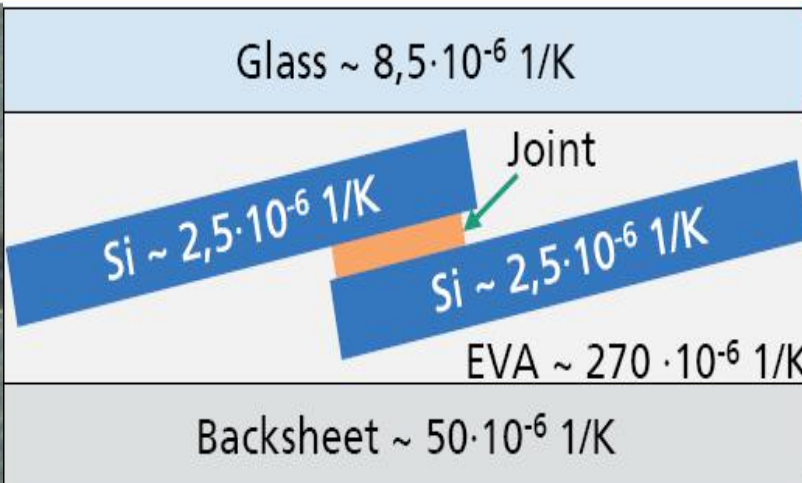


模拟结果表明：

- 随着切割后电池片叠片宽度降低，有效电池面积增加，叠瓦组件功率不断提升。1/6片多晶组件0.5mm叠瓦宽度比2mm叠片宽度功率提升15W。
- 切片数量与叠片宽度存在平衡值，在叠片宽度大于1.2mm时，1/5片叠瓦多晶功率最佳；叠片深度小于1.2mm时，1/6 叠瓦多晶功率最佳
- 1/3切片叠瓦多晶组件功率明显偏低。

- 目前叠瓦技术路线出现1/4, 1/5, 1/6片切割
- 叠片宽度从1.5mm过渡到1.3mm，向1mm宽度内迈进！

叠瓦组件技术挑战



激光切割损伤

高效电池激光切割，造成电池效率降低
0.3%-0.8%，切割片数越多，效率降低越大

产品可靠性

不同材料热膨胀系数差异，需要选择合适**ECA**，
ECA与其他材料匹配性和综合老化性能

栅线设计

电池背面栅线铝浆和银浆图案设计与工艺控制，
ECA工艺设置，影响电池片之间粘接强度

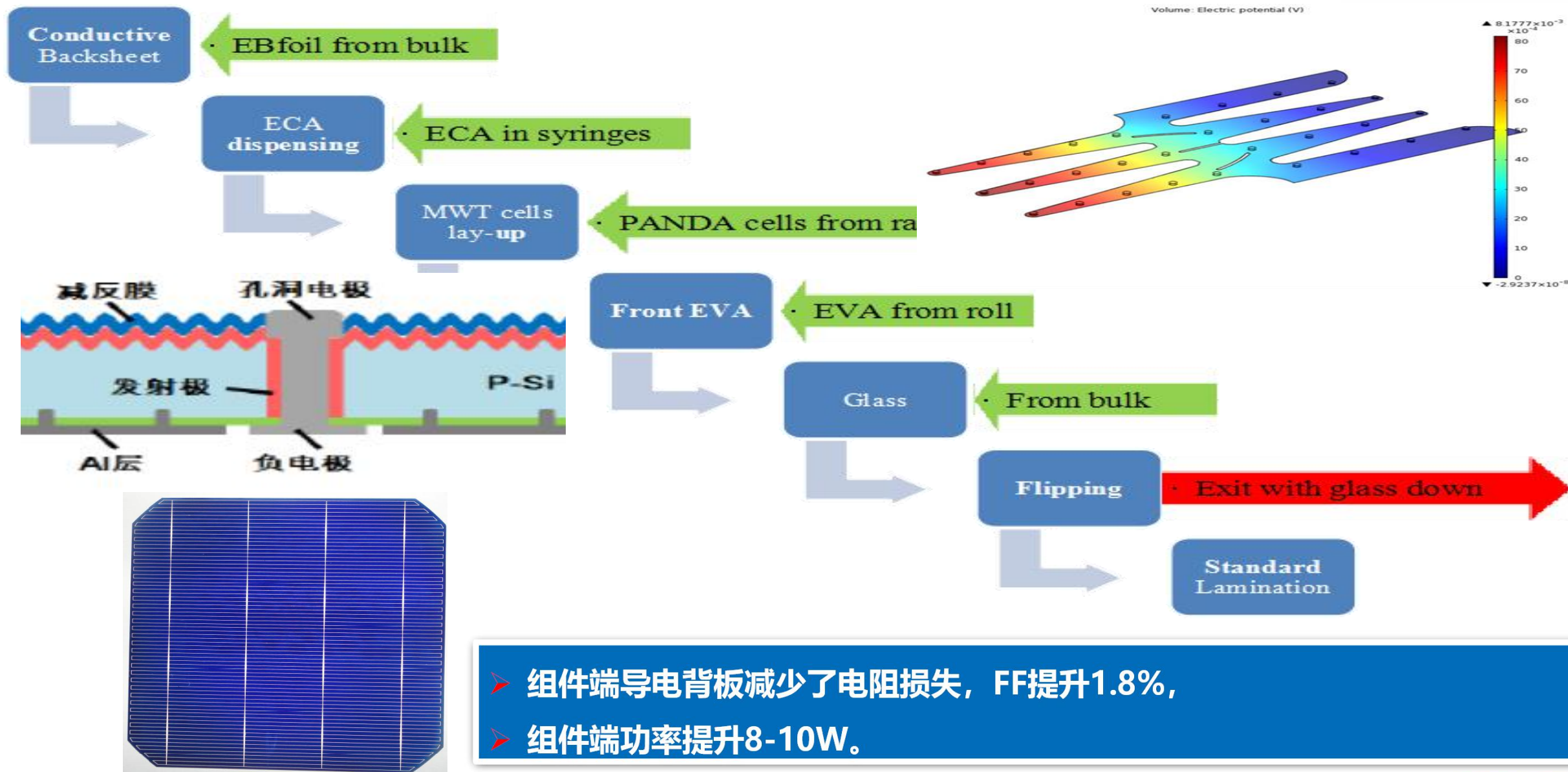
类别	柱塞泵点胶	压电陶瓷点胶	丝网印刷点胶
优点	设备成本低，适合快速线性打胶，适合高填充胶体	精度高，胶线宽度窄，非接触式施胶，速度快	图案可控，效率高，胶线均一性高，电池通用设备
不足	胶体少头拖尾，拉丝，不适合复杂图案，胶线最小宽度受限，速度慢	清洗复杂，维护成本高，不适合高填充胶体，受温度影响大	胶体易混入气体，胶体空洞，原材料和工艺控制要求高

类型	1/5切片		1/6切片	
代表厂商	沃特维	迈为	奥特维	应用材料
ECA工艺	点胶/丝网印刷	丝网印刷	点胶/丝网印刷	丝网印刷
叠片深度 (mm)	1-1.5	1.2	1	0.8
ECA耗量 (g/块)	5	3.5	5	3
焊接节拍 (片/小时)	3000	3000	2400	2600
单台产能 (MW)	80	80	60	70
一次成型率 (%)	98%	99%	98%	99%
组件厂商	塞拉弗/通威/阿特斯	东方环晟/隆基	通威/晶科/爱康	爱康

- 1/4切片叠瓦技术逐步淘汰，行业向着多切片数量和丝网印刷工艺方向发展
- 目前向着1/5切片及其工艺、1/6切片工艺发展

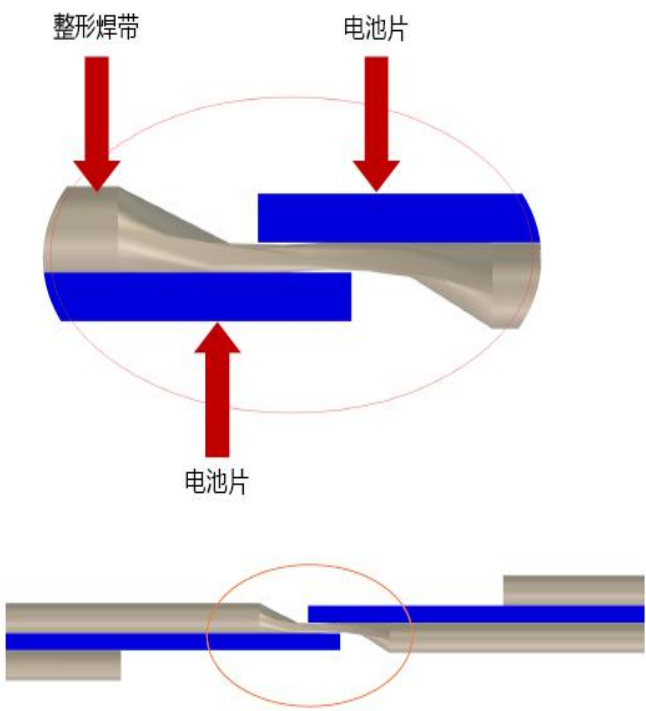


七、其他组件技术



在多主栅半片组件焊接工艺基础上，通过在加热焊接的同时，对局部线焊丝进行机械整形，然后重叠部分电池实现叠瓦焊接

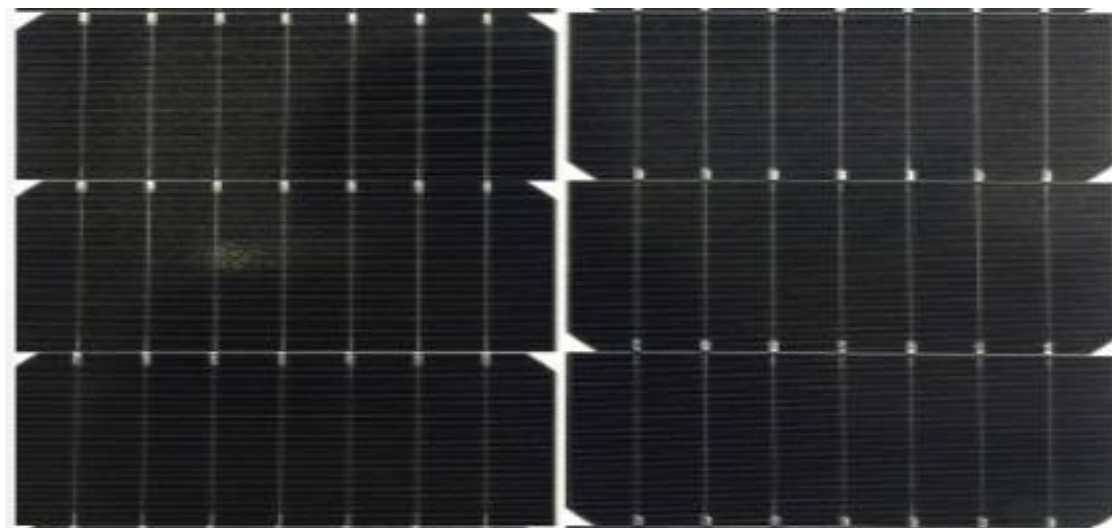
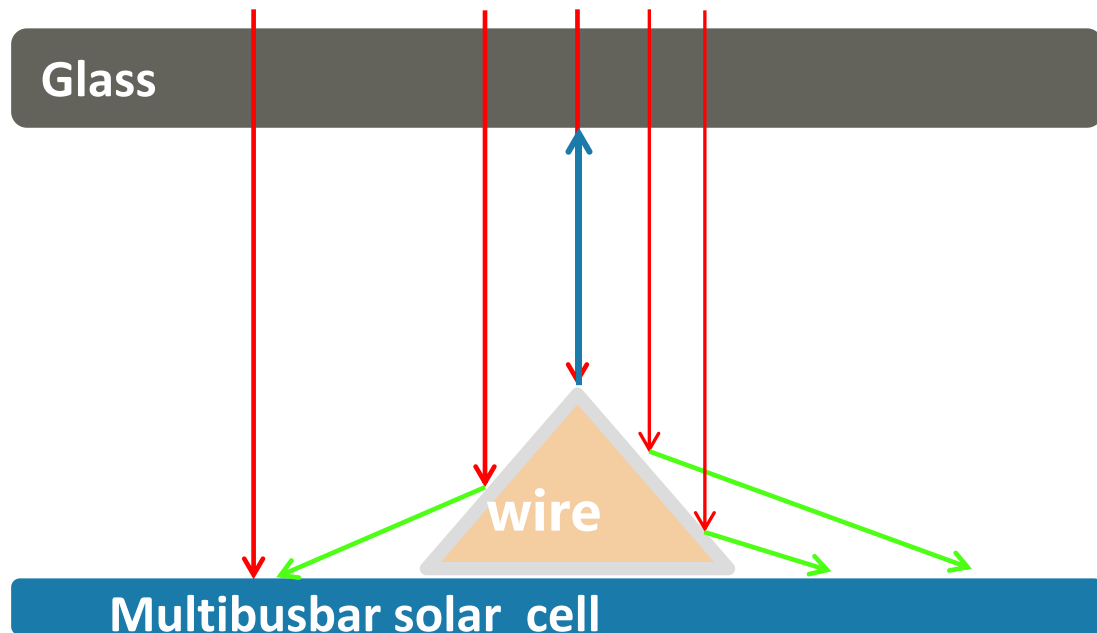
类别	半片	MBB半片	MBB半片叠瓦
热斑	更少	更少	更少
发电增益	1-4%	3-5%	5-10%
功率增益	5W	10-15W	15-35W
组件成本	微增	下降	下降
技术难点	碎片	串焊/敷设	串焊
量产难度	微增	较高	较高



➤ 技术挑战:

- 机械精准整形，焊接拉力控制
- 铜丝热膨胀系数和机械模量与电池片差异大，热循环等可靠性测试需要特别注意

半片多主栅三角焊带高密度封装



- 正面采用七栅三角焊带，提升光学利用率；
- 背面使用超柔焊接材料，在无缝拼接，更低的碎片率；
- 片间距控制在0.5-1mm,可使每块组件可多拼6片电池，66片电池版型；
- 功率提升高达13-15%。
- 无专利侵权风险
- 设备一次投资相对少

- 技术挑战：
 - 三角焊带精准定位
 - 铜丝热膨胀系数和机械模量与电池片差异大，热循环等可靠性测试需要特别注意

谢谢您的聆听！

