

HJT 3.0技术产业化进程

公司：江苏宝馨科技股份有限公司

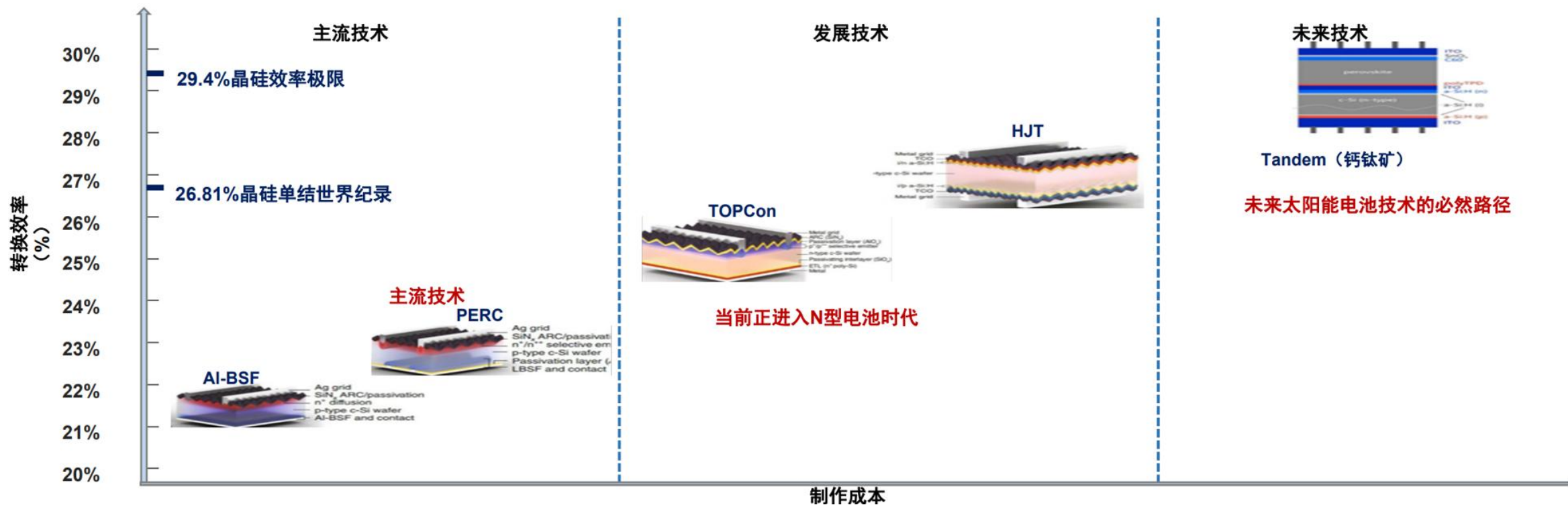
汇报人：徐静 技术总监 13813663598

CONTENTS

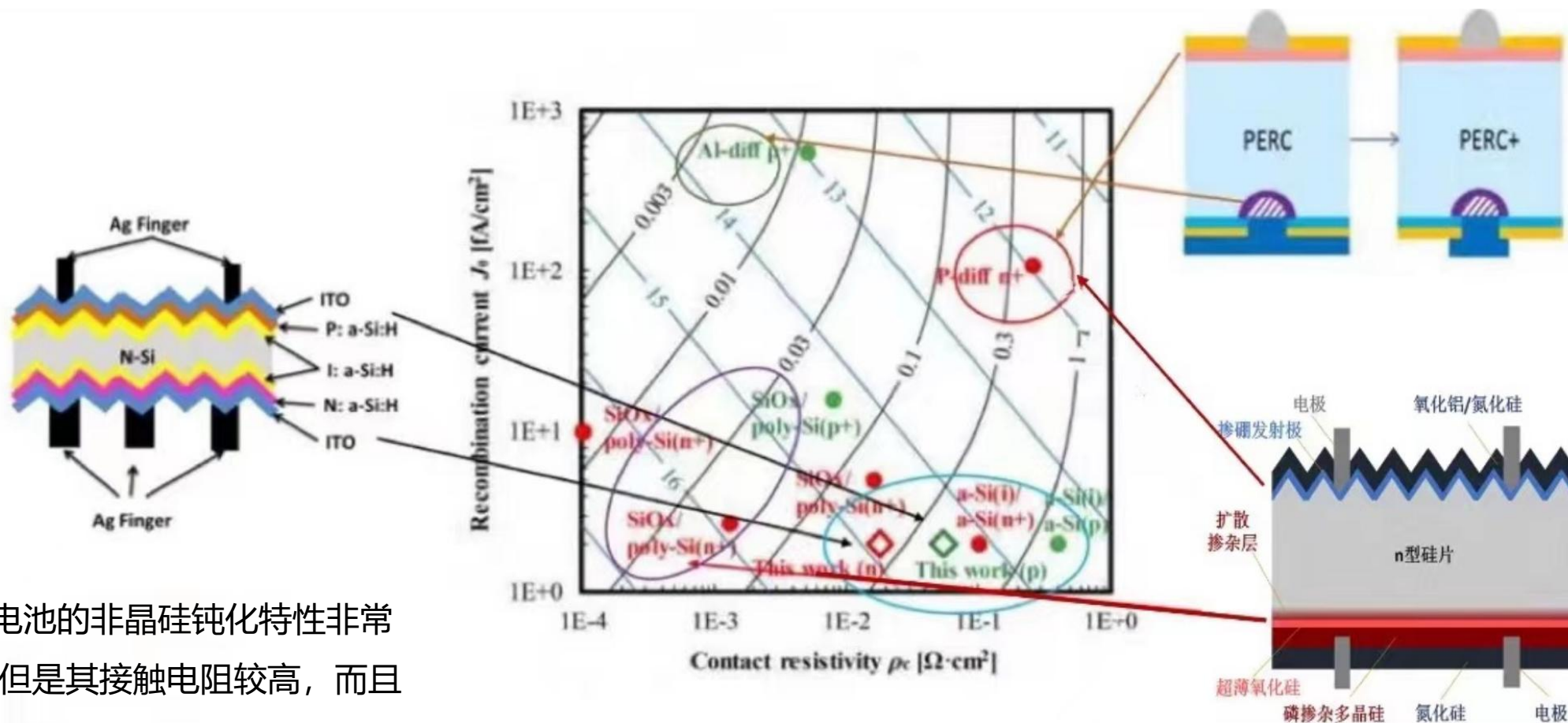
- 一. N型电池技术时代到来
- 二. HJT 3.0技术产业化进展
- 三. 总结与展望

电池技术发展趋势：

- 2017年前铝背场(BSF)电池占主流，2017年至2022年，PERC电池已接近完全替代了铝背场电池。但由于目前PERC电池已逼近理论极限效率24.5%，提升空间有限。2021年后N型电池开始快速发展，其中以TOPCon和HJT两条路线为主导。
- 主流N型电池技术包括TOPCon、HJT和IBC。TOPCon电池以其成本和设备兼容性优势，率先实现商业化和量产化，HJT、IBC正在产业化进程中。



各种表面钝化和接触电阻:



HJT电池的非晶硅钝化特性非常好，但是其接触电阻较高，而且P型硅的接触电阻较N型硅的接触电阻高一个数量级。

电池技术参数对比：

| 电池技术 | PERC (基准) | TOPCon | HJT | XBC |
|-------|-------------|--|-------------|--|
| 理论效率 | 24.50% | 28.70% (双面poly钝化) 27.10% (单面poly钝化) | 29.20% | 29.40% |
| 实验室效率 | 24.06% (隆基) | 26.33% (一道) | 26.81% (隆基) | 25.2% (sunpower IBC) 25.8% (隆基 HPBC) 26.0%+ (爱旭 ABC) |
| 量产效率 | 23.50% | 24.7%-25.1% | 25.0%-25.5% | 24.0%+ (sunpower IBC) 25.0%+ (隆基 HPBC) 26.0% (爱旭ABC) |
| 提效潜力 | —— | 可叠层 | 可叠层, 兼容性高 | 平台化技术 |
| 良率 | 99.0% | 95.0%-98% | 98.50% | 80%-95% |
| 双面率 | 75% | 85% | 95% | 30%-65% |
| 温度系数 | -0.34% | -0.30% | -0.25% | -0.29% |
| 工艺步骤 | 10 | 11--14 | 6 | 10-15 |
| 量产成熟度 | 已成熟 | 已成熟 | 基本成熟 | 待成熟 |

HJT异质结电池量产效率高，理论效率接近晶硅电池极限，未来通过与IBC技术、钙钛矿技术结合，效率提升空间大。

各技术路线成本对比：

- 1、在电池及组件环节比较成本，N型电池非硅成本当前依然高于PERC，其中，HJT技术提效降本方案较为丰富。
- 2、以最终装机视角下比较成本:HJT、TOPCon均小于PERC，其中，IBC基本与PERC持平，主要系N型电池技术转化效率更高，单位面积下的土地、安装等BOS成本可以摊薄更多。

3、HJT的低衰减、低温度系数、高双面率 → 高发电量 → 低LCOE

M10电池技术成本测算参数

| 2023.10.11硅片报价 | PERC | TOPCon | HJT | IBC |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 硅片 (元/W) | 0.36 | 0.34 | 0.32 | 0.34 |
| 厚度 (um) | 150 | 130 | 110 | 130 |
| 量产平均效率(%) | 23.50% | 25.00% | 25.50% | 25.00% |
| 良率(%) | 99.00% | 98.00% | 99.00% | 95.00% |
| 单片电池功率 (W) | 7.76 | 8.25 | 8.42 | 8.25 |
| CTM (%) | 99.00% | 98.50% | 98.50% | 98.50% |
| 单片组件功率 (W) | 7.68 | 8.13 | 8.29 | 8.13 |

单位成本 (元/W)

| | PERC | TOPCon | HJT | IBC |
|-----------------------|------|--------|--------|------|
| 硅片 | 0.36 | 0.35 | 0.33 | 0.35 |
| 银浆成本 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.09 |
| 设备折旧 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.07 |
| 靶材成本 | | | 0.04 | |
| 其他 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.08 |
| 电池非硅成本 | 0.15 | 0.18 | 0.26 | 0.24 |
| 电池制造期间费用 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.07 |
| 电池全成本 (不考虑良率差异) | 0.58 | 0.60 | 0.65 | 0.66 |
| 电池全成本 (考虑良率差异) | 0.58 | 0.62 | 0.66 | 0.70 |
| 组件非硅成本 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.55 |
| 组件期间费用 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 组件全成本 (不考虑CTM) | 1.25 | 1.29 | 1.33 | 1.36 |
| 组件全成本 (考虑CTM) | 1.27 | 1.31 | 1.35 | 1.38 |
| 逆变器等设备成本 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 土地等成本 占地面积为主要成本差异) | 2.00 | 1.89 | 1.85 | 1.89 |
| 装机单位成本 | 3.29 | 3.22 | 3.22 | 3.29 |
| LCOE | 基准 | -3.86% | -5.40% | —— |

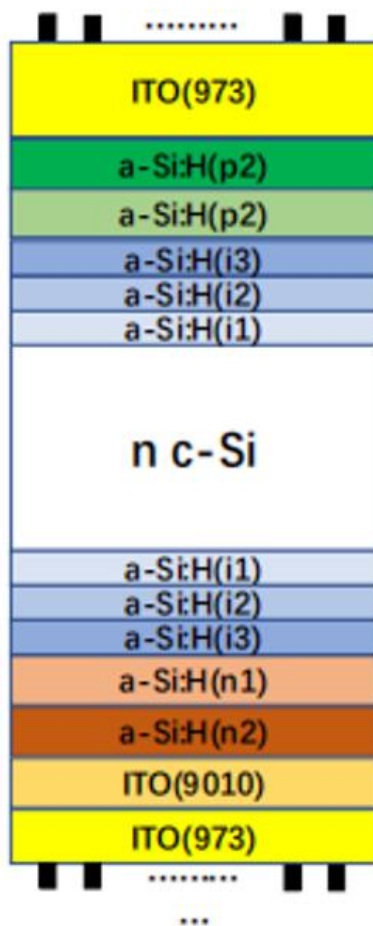
N型技术市场占比：



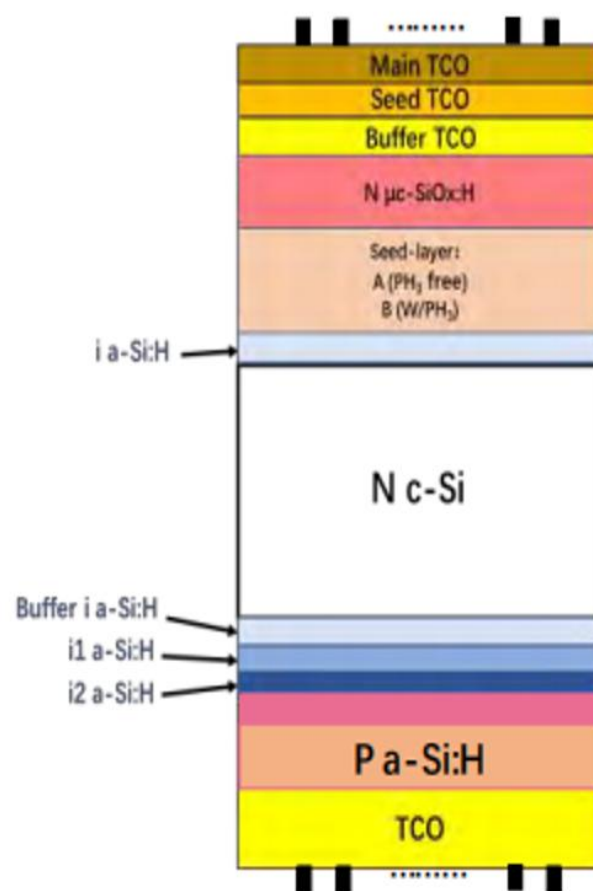
2022-2030年各种电池技术市场占比变化趋势（中国光伏协会）

HJT电池发展方向:

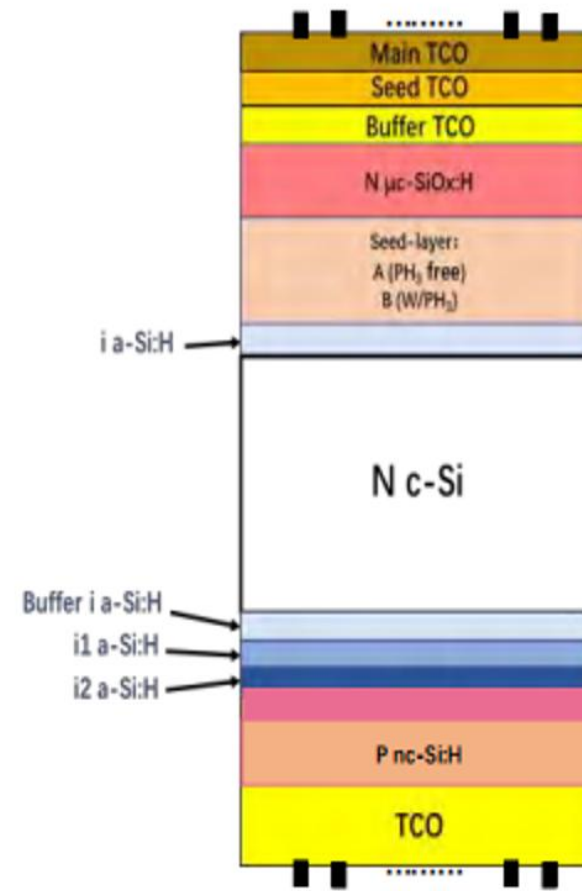
HJT1.0
→2021
24.3% (ISFH)



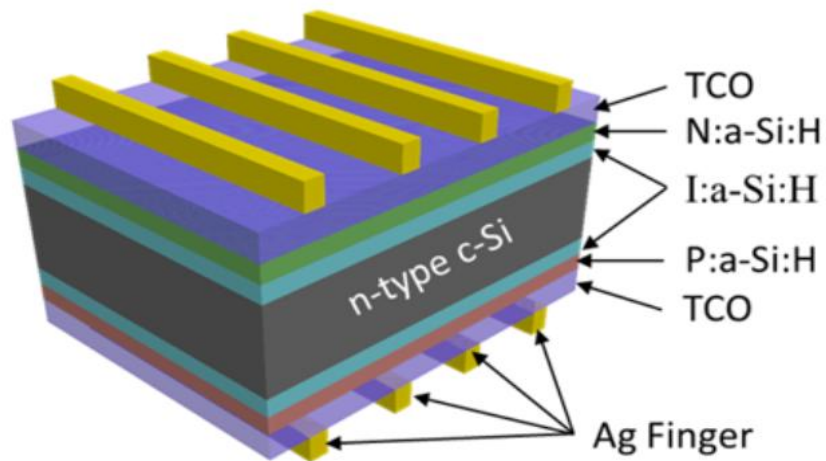
HJT2.0
2022
25.0% (ISFH)



HJT3.0
2023 →
25.5% (ISFH)

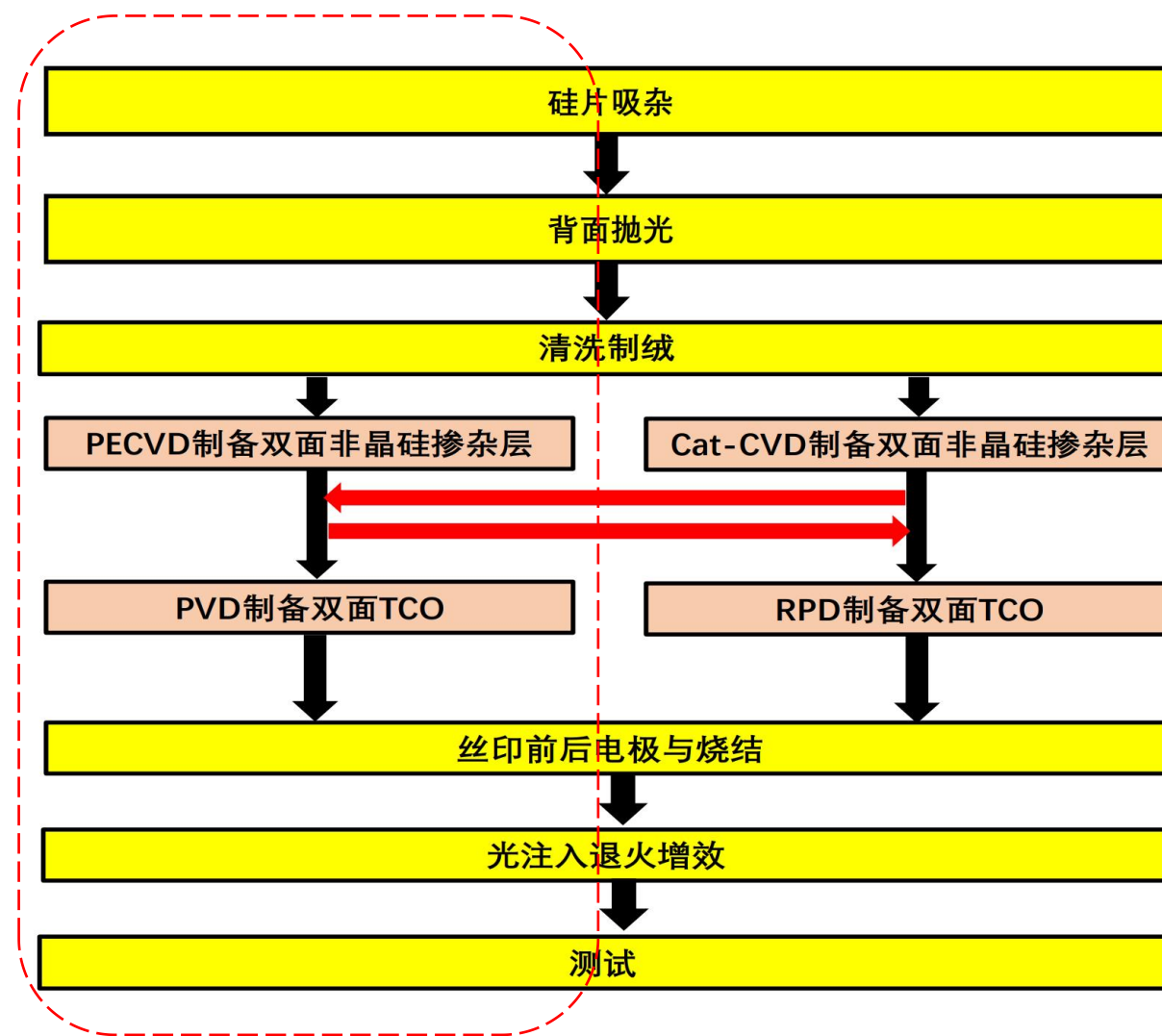


HJT 3.0 电池工艺流程:

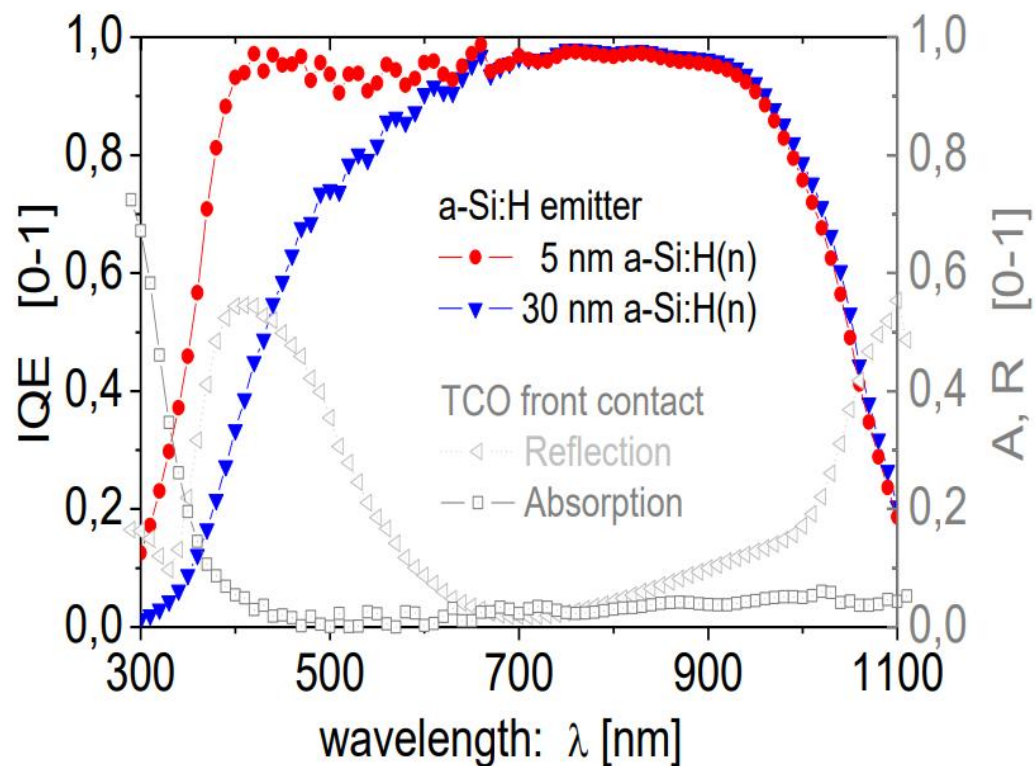


关键技术:

- 双面微晶工艺 → VHF-PECVD、RF-PECVD、堆叠式PECVD、Cat-CVD
- 低成本金属化方案 → SMBB细线化印刷、银包铜、OB技术

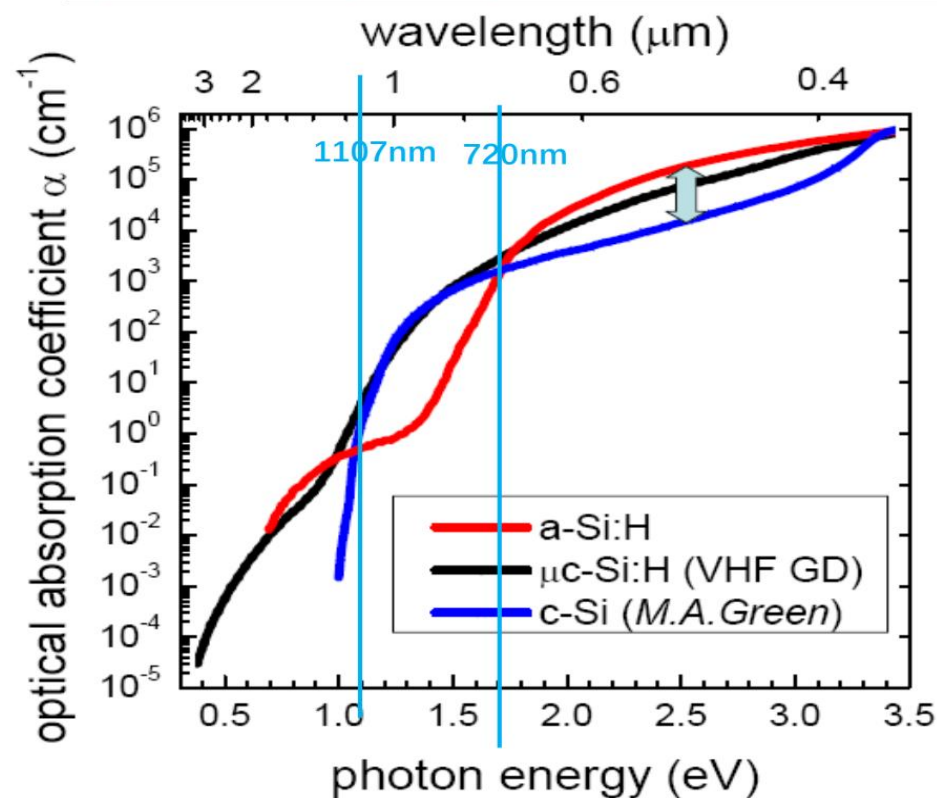


HJT 3.0核心：微晶硅技术



非晶硅短波吸收强烈，厚膜导致短波响应下降

Optical absorption spectrum of a-Si:H

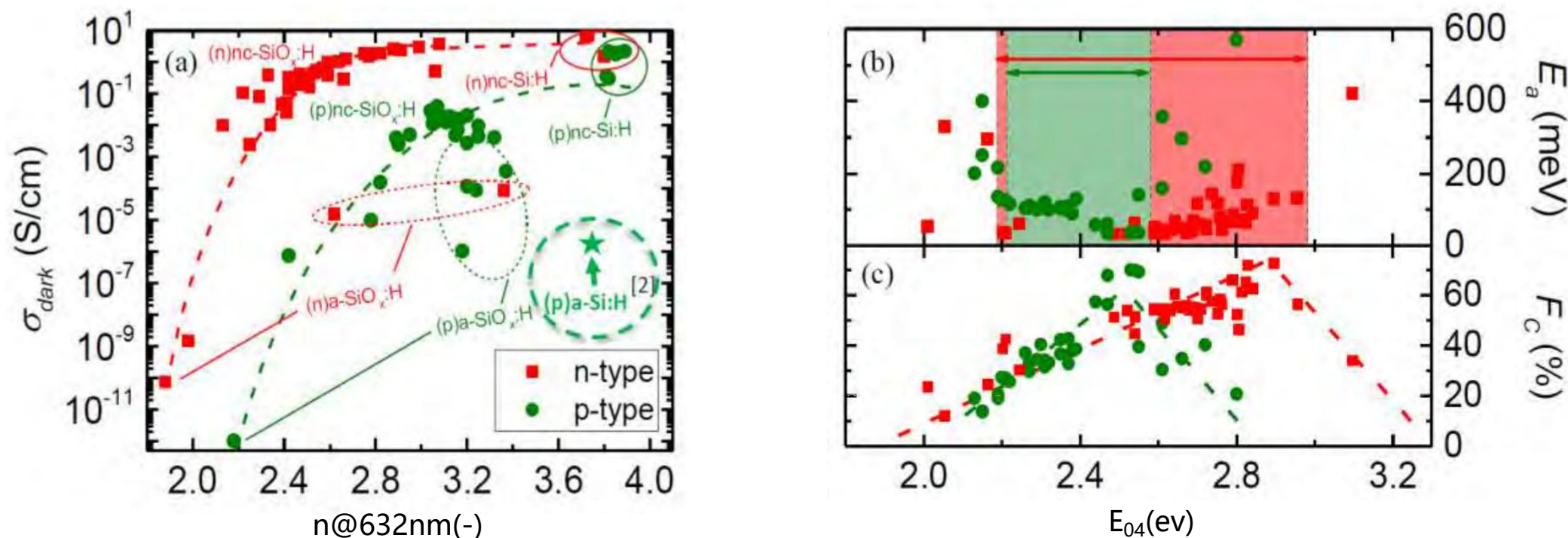


M. Vanecek, E-MRS 2006: Only optical absorption is measured

超薄微晶硅掺杂层可降低短波光谱的寄生吸收，提高短波光谱的利用率。

HJT 3.0核心：微晶硅技术

不同类型的介质膜的暗电导、带隙及激活能



| Material | E_{04} | E_a | 吸收系数达到 10^4cm^{-1} 时的能量 |
|------------------------|----------|----------------|----------------------------------|
| a-Si:H | ~ 1.7 eV | ~ hundreds meV | |
| nc-SiO _x :H | > 2.0 eV | < 100 meV | |

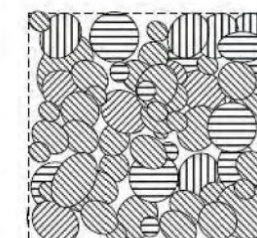
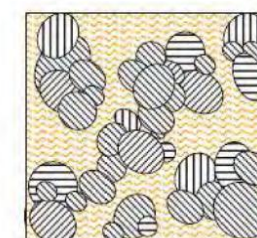
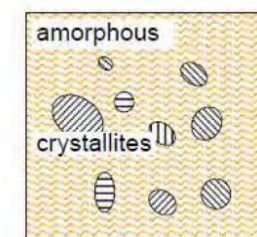
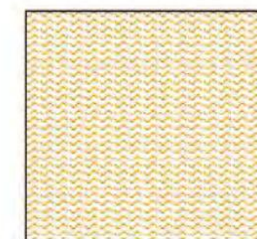
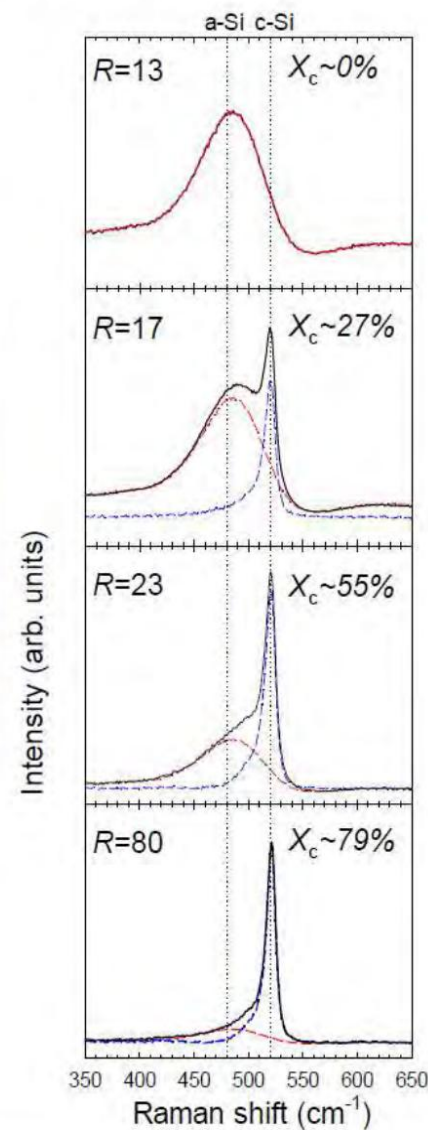
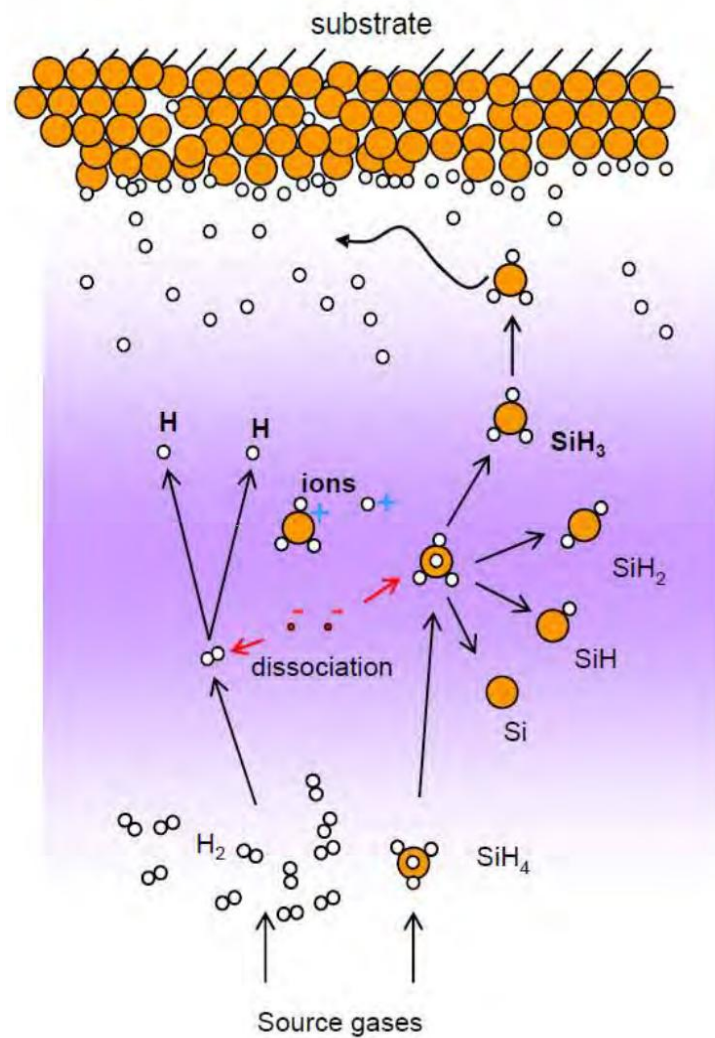
微晶硅对比非晶硅透光率高、导电率高、掺杂效率高、缺陷密度低，双面微晶技术可提高转换效率1%左右。

HJT 3.0核心：微晶硅技术

通过改变气体硅烷与氢气的稀
释率改变硅薄膜的晶化率

稀释率 $R = H_2/SiH_4$

晶化率 $X = \text{晶体成分} / \text{总成分}$



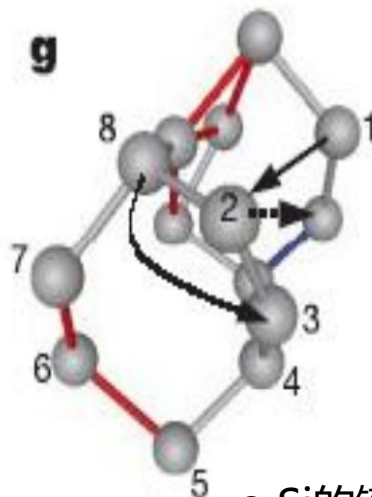
e.g. H_2 dil.

HJT 3.0核心：微晶硅技术

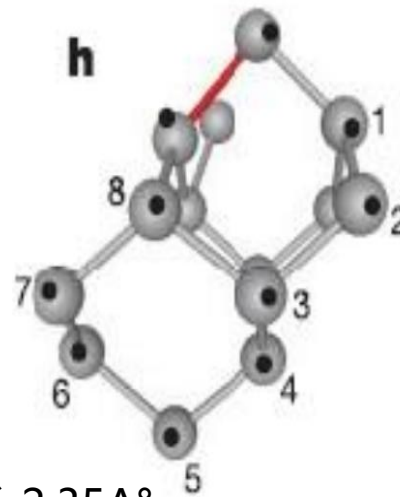
详细机理：氢导致非晶硅结构重排

- 当a-Si:H暴露于氢等离子体时，H原子碰撞表面H原子吸附在表面上，并向内部扩散
- H原子插入拉伸的弱 Si-Si键中形成中介物Si-H-Si中心键
- H原子从键中心位置离开后，拉伸Si-Si键或断或弛豫，发生局部结构重排，键长键角都更接近c-Si
- H导致无序→有序的转变

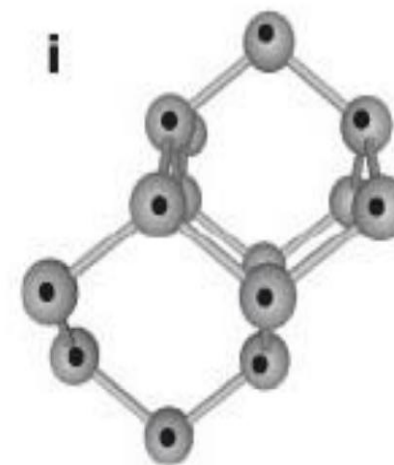
Before H exposure



After H exposure



c-Si



c-Si的键长 2.35\AA

拉伸 Si-Si键(键长 $>2.6\text{\AA}$) -红

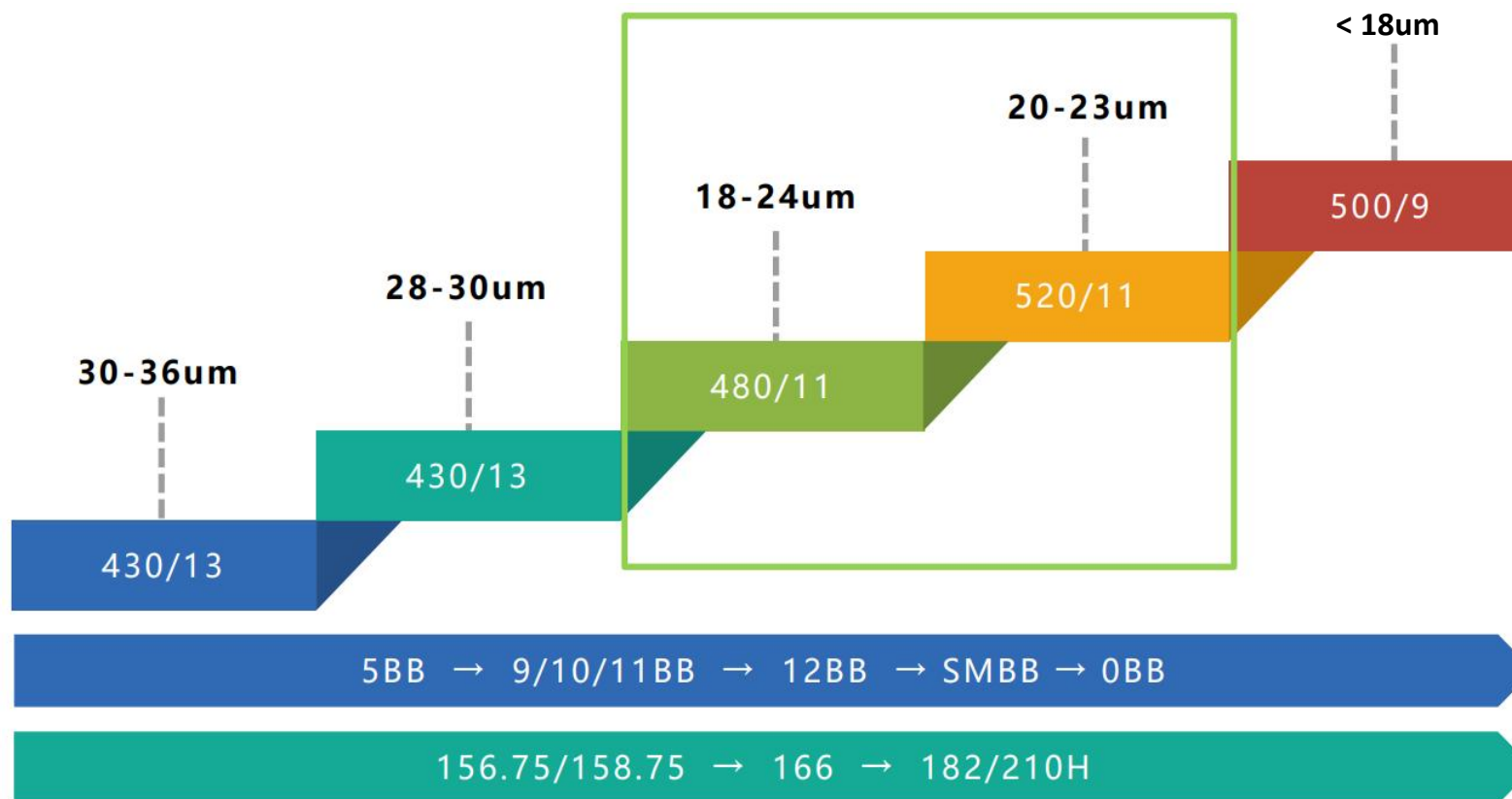
压缩 Si-Si键(键长 $<2.3\text{\AA}$) -蓝

虚箭头表示原子2的运动方向;实箭头表示原子互相成键

H导致结构重排后，更接近c-Si的结构

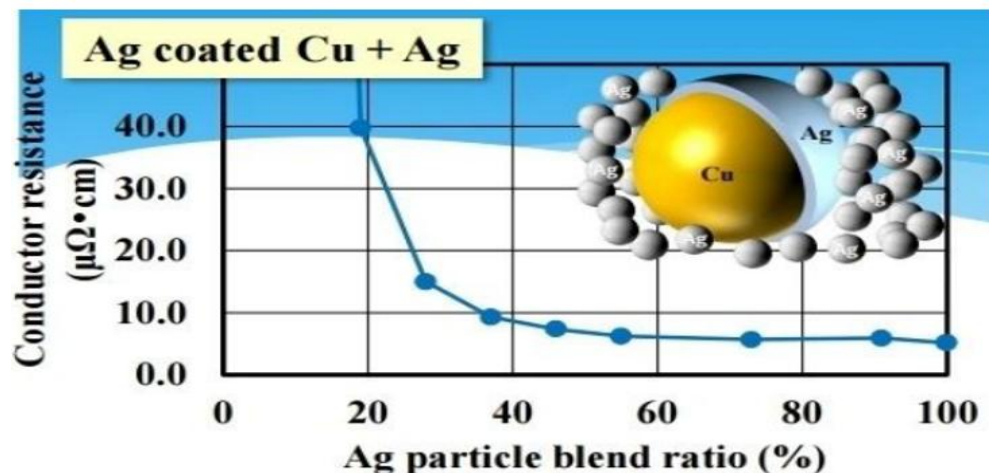
HJT 3.0核心：低成本金属化

细线化印刷是降低浆料耗量简单且有效的方法：



HJT 3.0核心：低成本金属化

银包铜正背面细栅浆料已批量使用：



| 金属 | 电阻率 (ρ) | 电导率 (σ) |
|----|-----------------------------|--------------------|
| | $10^{-6} \Omega \text{ cm}$ | 10^7 S/m |
| 银 | 1.59 | 6.3 |
| 纯铜 | 1.68 | 5.96 |
| 青铜 | 1.72 | 5.8 |
| 黄金 | 2.44 | 4.1 |
| 铝 | 2.65 | 3.77 |
| 锌 | 5.9 | 1.69 |
| 镍 | 6.99 | 1.43 |

背景：用廉价的贱金属替代贵金属银，降低电池金属化成本；

机会：考察各类金属的电阻/导电特性，铜的电导率最接近于银的导电特性，最有机会替代银；

银包铜：通过对铜的表面包覆适量的银，形成表面为银内核为铜的复合材料，克服铜粉容易氧化的缺陷。调节两者比例，实现成本和性能的最佳平衡。

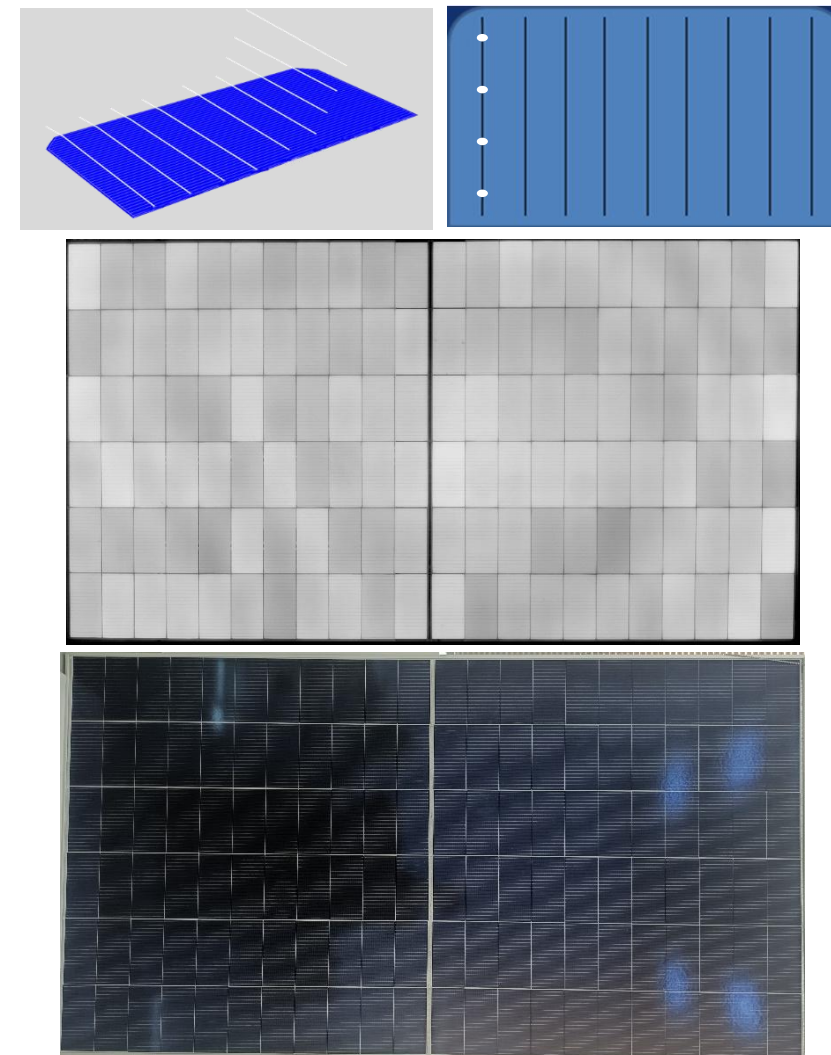
银包铜浆料量产关注点：可靠性

1. 银包铜粉，银包覆的完整性；
2. 银包铜浆料经刮刀反复碾压，保障长期印刷银壳层不脱落；
3. 银铜粉供应商批次间供应稳定性。

HJT 3.0核心：低成本金属化

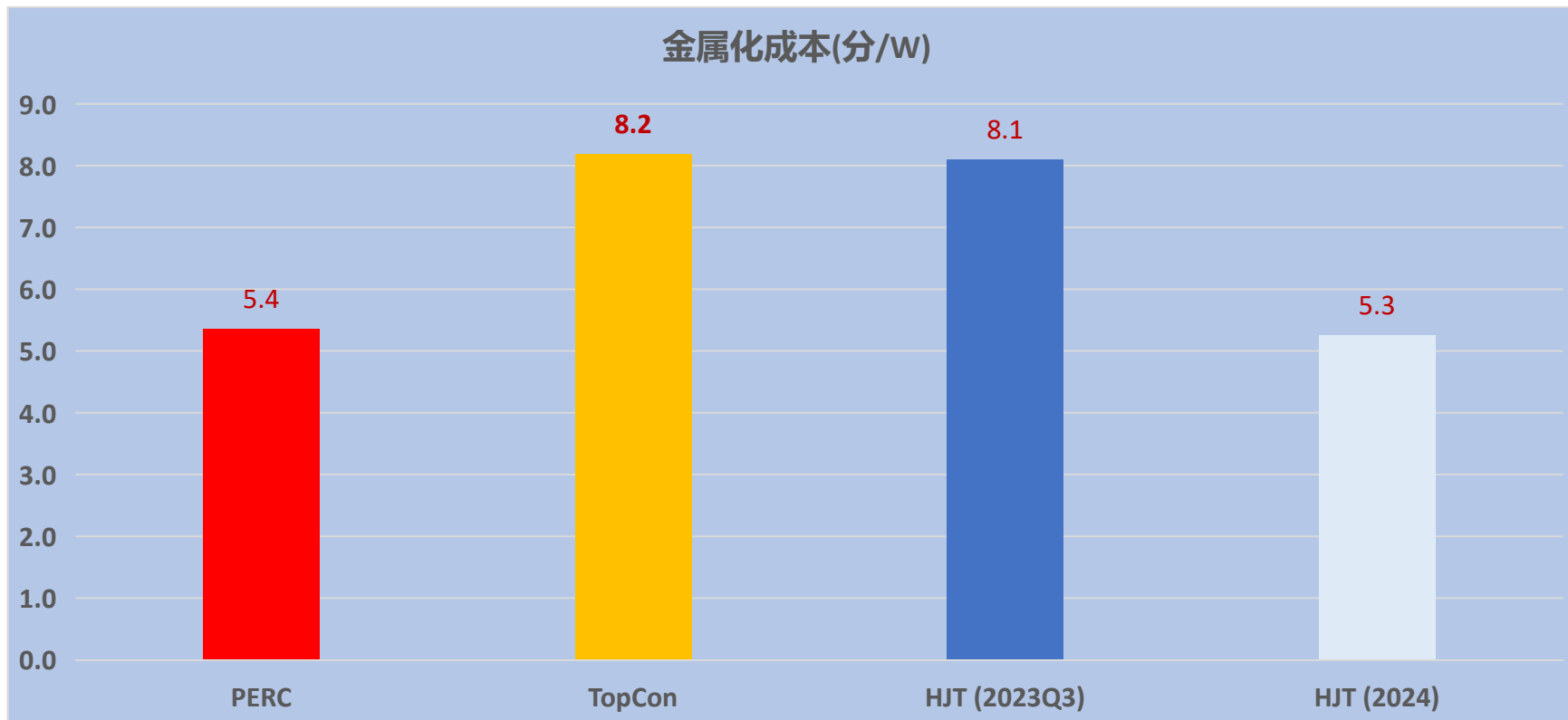
OBB头部企业已量产，大部分厂家处于中试阶段

| | SMBB | OBB |
|----------------|------|------|
| 金属化降本 (vs MBB) | ~10% | ~35% |
| 组件增效 (功率) | 微幅 | ~1% |
| 高温焊接及设备能耗 | 有/大 | 无/小 |
| 薄片兼容性及热应力 | 有难度 | 良好 |
| 电池印刷精度要求 | 高 | 低 |
| 焊带数量 (根) | ≤20 | ≤30 |
| 助焊剂 | 需要 | 不用 |
| 透明胶水 | 不用 | 需要 |



| | SWCT | 点胶 | 预焊接+点胶 |
|-------------|-------------------|----------------------|----------------|
| 关键流程 | 铜丝复合膜 层压 | 点胶 布线 固定 层压 | 焊接 点胶 固定 层压 |
| 综合评估 | 专利+成本问题，未在国内大规模推广 | 设备简单，稳定性高，但结合力可能略有不足 | 结合力足，精度要求高、难度大 |

HJT 3.0核心：低成本金属化



| | PERC | TopCon | HJT (2023Q3) | HJT (2024) |
|------------|------|--------|--------------|------------|
| 耗量 (mg/W) | 8.5 | 13 | 18 | 14 |
| 浆料价格(元/KG) | 6300 | 6300 | 4500 | 3800 |
| 金属化成本(分/W) | 5.4 | 8.2 | 8.1 | 5.3 |

总结与展望：



- 光伏的产出是具有能源属性，低成本、高性价比的技术一定有生命力，符合第一性原理。
- 随着HJT 3.0技术的快速发展，HJT组件的装机成本和度电成本将全面领先于其它技术，加速了HJT产业化的到来。
- 宝馨科技安徽怀远一期项目投资16.8亿元人民币,建设2GW电池+2GW组件项目, 将于年内投产；内蒙古鄂托克旗2GW电池+2GW组件项目也已开工建设，将于2024年投产。
- 西安宝馨光能科技有限公司是由**江苏宝馨科技股份有限公司与张春福、朱卫东团队、大禹实业合资成立**，专业负责钙钛矿相关技术研发。目前团队实验室钙钛矿/异质结叠层电池效率已突破30%，目前实验线建设工作正在推进中，计划在年内开始筹建100MW钙钛矿/异质结叠层产线，目前钙钛矿相关技术研发正处于实验室阶段。

BOAMAX

BOAMAX

宝馨科技

THANKS

新能源产业综合服务商

📞 0512-6672 2533

📍 苏州高新区浒墅关经济开发区石阳路17号 215151

www.boamax.com