

n 型多晶硅电池组件技术路线图

中国电子信息产业发展研究院

2022 年 1 月 10 日

一、n 型多晶电池产业链概述

n 型多晶产品产业链与晶硅电池产业链大相径庭，如下图所示。从产业链构成来看，n 型多晶电池产业链分为上游、中游和下游。上游包括多晶硅料、n 型铸锭、n 型多晶硅片生产；中游包括 n 型多晶电池片、组件生产；下游主要是光伏发电系统的集成与建设；此外包括配套的设备 and 材料。

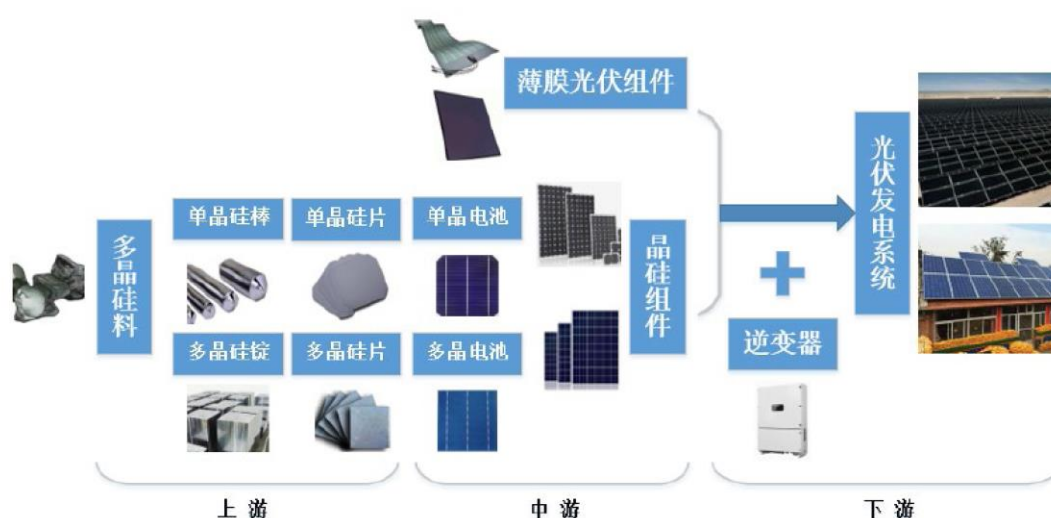


图1 光伏电池产业链

从产业链各环节技术细节看，n 型多晶电池与主流晶硅电池相比大体相同，但存稍许细节差异。硅料环节并无差异；铸锭环节，n 型多晶铸锭采用磷（P）掺杂替代硼（B）；切片环节，由于多晶硅片中晶粒取向不规则，缺陷及杂质较多，细线容易发生断线，因此用于 n 型多晶硅锭切割的金刚线母线直径大于单晶硅片，且随着多晶硅片需求减缓，用于多晶硅片的金刚线母线直径降幅趋缓。同时，硅片厚度一般为 170 μm ，更薄将造成碎片率升高；电池环节，目前 n 型多晶硅电池采用异质结和 PERT 工艺居多，以 PERT 工艺为例，特殊工艺主

要为硼扩和多晶硅层沉积；组件环节并无差异。

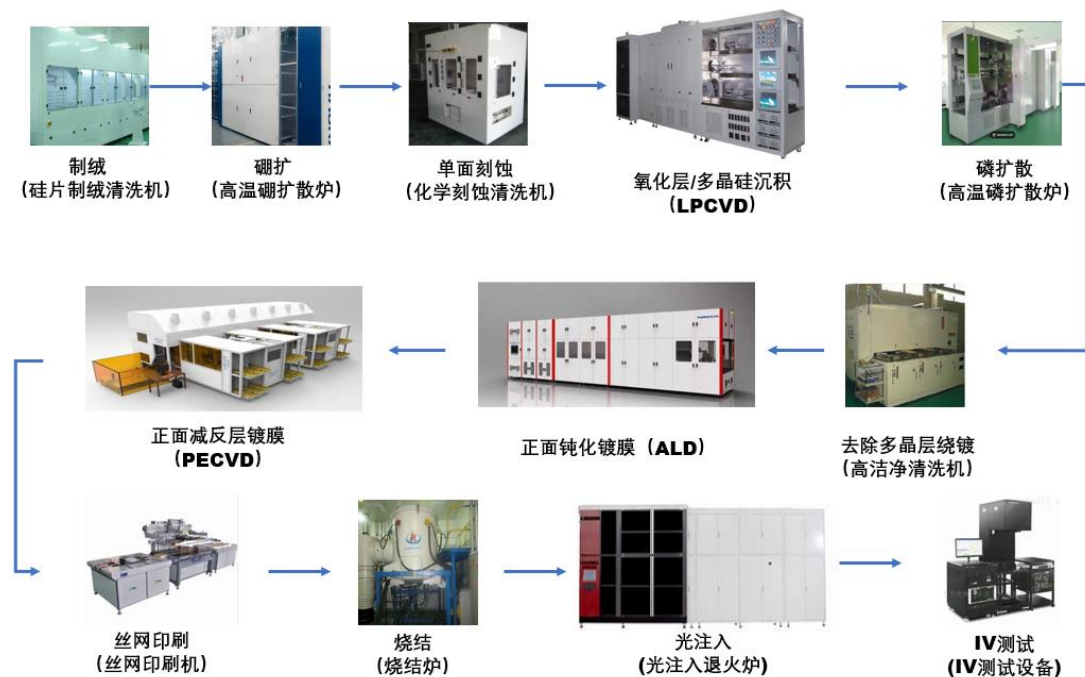


图 2 n 型多晶硅电池工艺流程图

二、技术研发情况

n 型铸锭及 n 型多晶电池研究起源于本世纪初，2017 年取得较大突破。2017 年，德国 Fraunhofer ISE 的研究人员在实验室通过 n 型技术，将多晶电池的效率提高到 21.9%，随后又将效率提升至 22.3%（20mm×20mm）。浙江晶科研发的 n 型多晶硅电池（156mm×156mm）效率达到 22.12%，n 型双面组件功率 378.6W，均为当前世界纪录。浙江大学实验室获得电阻率 1-3 $\Omega\cdot\text{cm}$ 的铸造 n 型多晶硅材料。南昌大学开发无氧扩散技术，在扩硼/磷方阻、扩散浓度分布可控性方面优于液态源法。中来光电、中科院宁波材料所和南开大学等掌握了接触钝化结构、材料和器件应用方面的关键技术。

2019 年 11 月，天合光能股份有限公司宣布其光伏科学与技术国家重点实验室研发的高效 n 型多晶 i-TOPOCon 太阳电池光电转换效率

高达 23.22%，创造了当时大面积多晶电池新的世界纪录。

2020 年 3 月，阿特斯阳光电力集团宣布其公司研发团队研发的 n 型大面积高效多晶太阳能电池转换效率达到 23.81%（157mm×157mm），刷新了 n 型多晶电池记录。

序号	机构	相关成果
1	德国 Fraunhofer ISE	n 型多晶电池转化效率 22.3%（20mm×20mm）
2	澳大利亚国立大学（ANU）	n 型多晶硅缺陷研究及钝化技术
3	浙江晶科能源有限公司	n 型多晶电池转化效率达到 23.22%（156mm×156mm）
4	浙江大学	n 型多晶硅电阻率达 1-3 $\Omega\cdot\text{cm}$
5	南昌大学	n 型多晶电池无氧扩散技术
6	中来光电、中科院宁波材料所、南开大学	接触钝化结构、材料和器件应用技术
7	天合光能股份有限公司	n 型多晶 i-TOPCon 太阳能电池转化效率达到 22.12%
8	阿特斯阳光电力集团	n 型多晶太阳能电池转换效率达到 23.81%（157mm×157mm）

表 3 n 型多晶硅电池研发及产业化情况汇总

三、产业化推进情况

（一）产业链及配套发展现状及趋势

从产业发展规模看，目前国内 n 型多晶电池生产规模约为 70MW 左右，主要企业包括晶科能源、天合光能等，从事产业化生产的企业不多。

从配套材料即设备看，多晶硅、铸锭、切片、组件等环节均已经实现国产化设备和材料配套，电池片环节，仅以晶科能源的中试线看，硅片制绒清洗机、LPCVD、高温磷扩散炉、高洁净清洗机、原子沉积设备、高效掩膜机、等离子增强化学气相沉积设备、印刷机、烧结炉、光注入设备、IV 测试机等均已经实现国产化，但高温硼扩散炉、

化学刻蚀清洗机还依赖进口，国内也有设备厂商可以供应。材料方面，浆料、网版、气体、化学品等均已实现国产化。

（二）量产化效率

本项目所获得电池片关键指标：良率 95%，电池片正面量产化效率 23.3%，开路电压 691mV，填充因子 FF 83.3%，面积 267.4cm²，最优接触电阻率 0.00093 Ω cm²，组件 PID、电池 LeTID、电池 LID 0.96%。

（三）成本分析

现阶段看 n 型多晶硅电池因规模不高，硅片成本约为 0.51 元/W，成本占比超过 50%，非硅成本约为 0.47 元/W。其中，非硅成本中的其它生产摊销主要包括水电费、污水处理摊销、人工摊销等。

关键技术信息	
电池片效率	22.1%
每片 W 数 (W/片)	5.90
关键假设	
税率	13%
设备折旧期 (年)	7
电池片单 W 成本测算	
1、硅片成本	
硅片含税价格 (元/片)	3.00
单 W 含税成本 (元/W)	0.51
2、非硅成本	
2.1 设备折旧	
生产设备价格 (亿元/GW)	1.40
单 W 折旧成本 (元/W)	0.03
2.2 其它生产摊销 (元/W)	0.33
2.3 银浆成本	
银浆耗量 (mg/片)	76.9
银浆含税价格 (元/kg)	6500

单 W 含税成本（元/W）	0.08
2.4 其它材料成本（元/W）	0.03
非硅含税成本合计（元/W）	0.47
3、含税总成本（元/W）	0.98

表 4 n 型多晶硅电池研发及产业化情况汇总

四、发展趋势预测

从性价比看，目前 n 型多晶电池的量产化效率为 23.3%，与 perc 电池持平，但非硅成本达到 0.47 元/W，而 perc 电池的非硅成本已低至 0.2 元/W，因此相对量大面广的 perc 电池技术来说，n 型多晶电池并无优势；从生产工艺看，由于 n 型多晶电池生产所需 B 扩散温度很高，多晶因为杂质较多在高温下晶界中的杂质被激活，造成效率提升困难，良率也会受到影响。综上，目前也并无过多厂商在推进研发与产业化工作，鉴于此，做出如下预测。

（一）成本下降

成本结构分析看，由于多晶硅片在厚度减薄后，存在较高碎片率，限制了多晶硅片成本下降空间，目前已造成多晶硅片成本与单晶硅片差距逐渐拉大；非硅成本主要依靠产业规模效应降低成本摊销，目前多晶电池市场在竞争中落败于单晶电池，产能释放有限。业内 n 型多晶电池降本解决方案基本为向准单晶技术路线发展，通过准单晶效率提升，间接降低每瓦硅片成本。

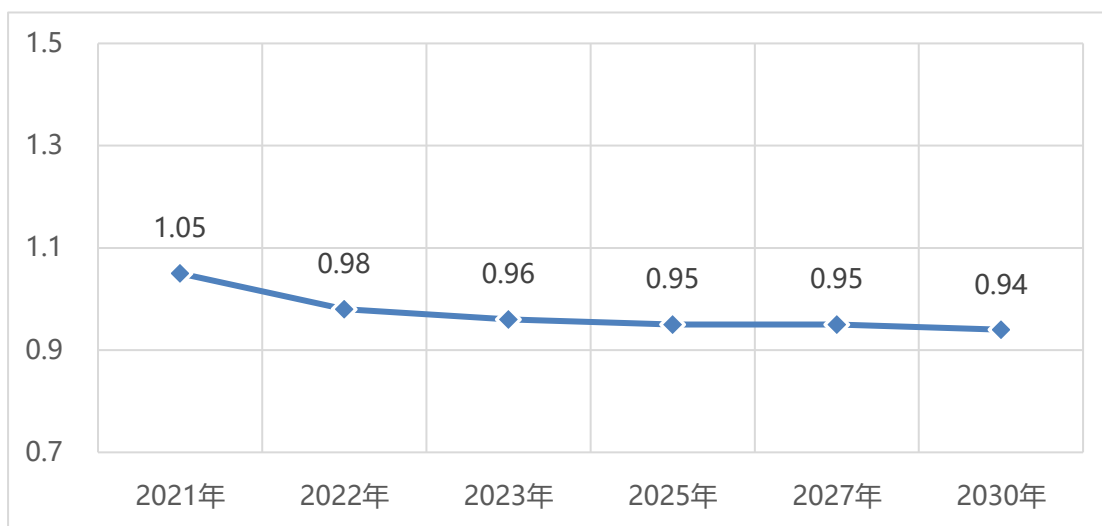


图 5 2021-2030 年 n 型多晶电池生产成本预测 (单位: 元/W)

(二) 技术发展

鉴于 n 型多晶电池的从业企业不多，研发积极性不高，因此预测未来产业化转换效率以年均 0.2% 的速度提升，小于其他电池技术的推进速度。

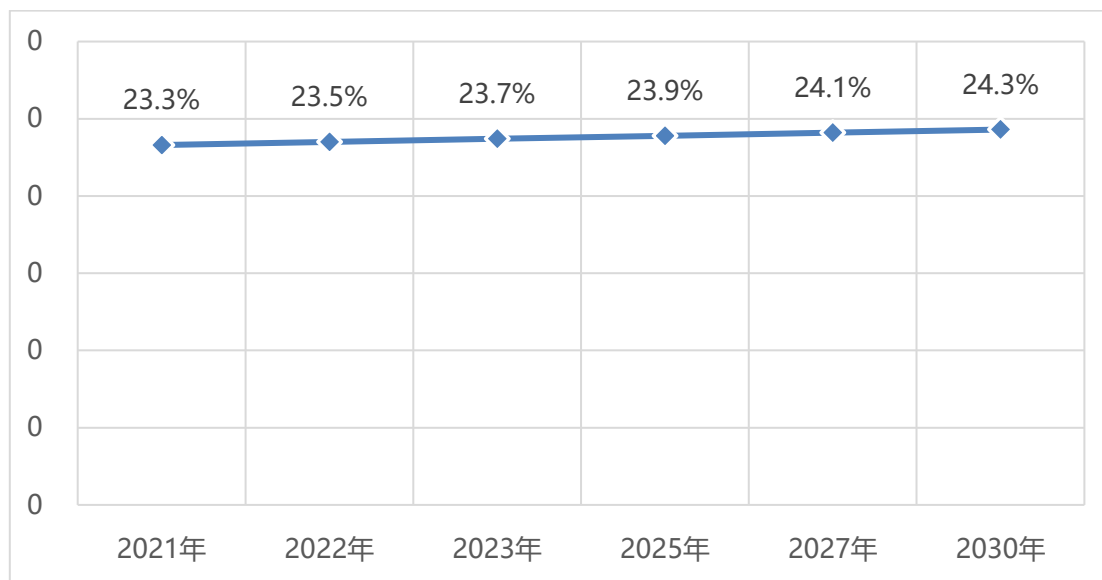


图 6 2021-2030 年 n 型多晶电池正面效率变化趋势

(三) 市场应用

目前 n 型多晶电池生产规模 70MW，由于相较其他电池技术并无性价比优势，短期也未看到技术突破和成本下降的趋势，因此预计未

来产业规模并不会出现太大变化。

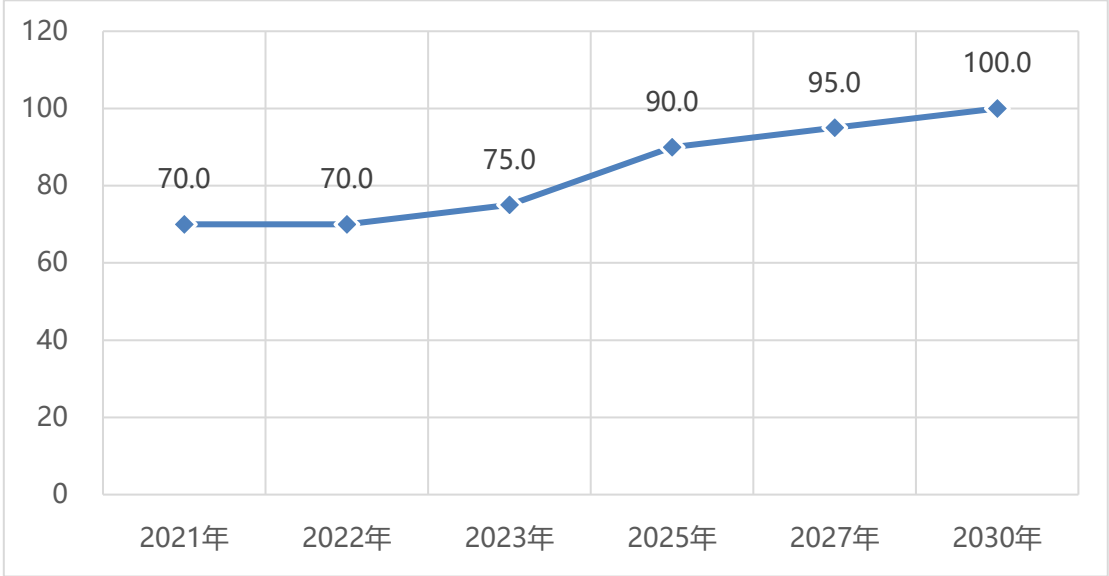


图 7 2021-2030 年 n 型多晶电池量产化规模变化趋势（单位：MW）