

机械行业

行业研究/深度报告

复盘 PERC 发展历程，推演设备未来图景

—异质结电池设备行业深度报告

深度研究报告/机械行业

2020 年 5 月 13 日

报告摘要：

● 追本溯源，复盘十年PERC电池发展历程

PERC 电池技术最早起源于上世纪八十年代。“863”专项的启动，宣告我国 PERC 电池的产业化进程正式启动。而根据不同时期，PERC 电池的产能、出货量以及渗透率，其产业化进程大致可分为三个阶段：

第一阶段（2012-2014），PERC 电池处于技术验证阶段，以试验产能为主，增长迅速但总量较小，随着 PERC 电池成功量产，其商业化的可行性得以确认。此时，电池的核心设备供应以国外厂商为主，产线投资成本较高。

第二阶段（2015-2017），在“领跑者计划”的推动下，国内光伏产业链龙头迅速跟进，加码 PERC 电池产能。虽然海外电池设备仍是市场主流，但是国产设备也逐渐开始成熟。此时，PERC 电池的平均转换效率也从量产初期的 20.4%，提升至 2017 年的 21.3%，随着电池的非硅成本得以有效降低，单片电池利润开始迅速提升。

第三阶段（2018-2019），高额利润驱动 PERC 电池产能实现爆发式增长。电池出货量从 17.9GW 提升至 72GW，渗透率从 15% 提升至 63.5%，一跃成为市场的主流产品。与此同时，凭借良好的产品性价比，国内设备企业获得下游客户的一致认可，PERC 电池的核心设备最终实现进口替代。

● 以PERC电池发展经验为本，予异质结电池设备投资以启示

对于当前异质结电池设备投资，PERC 电池发展历程给予了我们以下几点启示：1) 当前各试水异质结的厂商均处于小规模生产阶段，虽然异质结电池实现规模化量产仍需一定时间，但是降本提效已经提上日程，并且具有较大空间。随着异质结电池的性价比逐步提升，产能扩张、设备需求井喷指日可待；2) 技术是异质结电池发展的核心竞争要素，技术实力雄厚的电池厂商更易突围。当前国内厂商积极布局异质结电池，表现亮眼。随着累计投入日渐增加，量变形成质变，国内电池片厂商有望在全球异质结领域占据重要地位；3) 相比 PERC 电池，国内外设备在异质结电池上的差距显著缩小，进口替代或将加速实现，看好掌握下游优质客户资源的国内设备厂商。4) 参考 PERC 电池的扩产数据，异质结电池的扩产峰值或将达到 60GW，对应的设备的市场规模高达 180-240 亿元，设备市场规模空前广阔。

● 投资建议

作为下一代新型高效电池技术，异质结电池正处于小批量生产向规模化量产过渡阶段，市场前景广阔，技术领先的国内厂商有望占据先机，夺得头筹。随着国内外电池设备的技术差距逐步缩小，凭借良好的产品性价比以及便捷的本土配套服务，国内设备厂商具备较大发展潜力。综合考虑技术水平、客户资源以及产品系列等因素，关注异质结国产设备龙头企业捷佳伟创、迈为股份。

● 风险提示

光伏行业政策波动，高效电池扩产不及预期，国产设备企业客户开拓不及预期，设备研发不及预期。

推荐

维持评级

行业与沪深 300 走势比较



资料来源：Wind，民生证券研究院

分析师：李锋

执业证号：S0100511010001

电话：010-85127632

邮箱：lifengyjs@mszq.com

研究助理：庄延

执业证号：S0100119030014

电话：021-60876707

邮箱：zhuangyan@mszq.com

相关研究

【捷佳伟创 公司深度】光伏设备龙头，乘新型高效电池之东风

【迈为股份 年报点评】设备收入持续高速增长，全年业绩符合预期

盈利预测与财务指标

代码	重点公司	现价	EPS			PE			评级
		5月12日	2019	2020E	2021E	2019	2020E	2021E	
300724	捷佳伟创	64.33	1.21	1.84	2.29	53.17	34.96	28.09	谨慎推荐
300751	迈为股份	189	4.8	7.4	9.7	39.38	25.54	19.48	推荐

资料来源：公司公告、民生证券研究院

目录

一、前言：从异质结电池的产业化开始说起.....	4
二、追本溯源，复盘 PERC 电池十年发展历程.....	5
（一）源起（1989-2012）：PERC 电池诞生于上世纪八十年代，2012 年“863”专项推动国内产业化进程.....	5
（二）萌芽（2012-2014）：PERC 电池实现初步量产，核心设备供应以国外厂商为主.....	6
（三）成长（2014-2017）：PERC 电池投资吸引力凸显，国产设备供应商崭露头角.....	11
（四）爆发（2018-2019）：高收益引爆 PERC 产能投资需求，国产设备俨然成为行业主流.....	21
三、以 PERC 电池发展经验为本，予异质结电池设备投资以启示.....	28
（一）试验产能规模有限，规模化量产尚需过渡时间.....	28
（二）多维度降本提效有望打开电池利润空间，推动电池产能扩张和设备放量.....	31
（三）技术从少数厂家对外逐渐形成扩散，技术领先产业链龙头企业优势明显.....	32
（四）进口替代为大势所趋，国内设备厂商不断弥合技术差距.....	33
（五）参考 PERC 产能的扩产数据，异质结电池设备市场规模空前广阔.....	36
四、投资建议.....	38
五、风险提示.....	40
插图目录.....	41
表格目录.....	42

一、前言：从异质结电池的产业化开始说起

近年来，资本市场对于异质结电池项目的投资热情持续升温。根据 Wind 的统计信息，2019 年以来，包括爱康科技、东方日升、通威股份、山煤国际，中利集团在内的多家上市公司陆续发布了与异质结电池相关的投资规划。参考当前单位产能的投资额，我们预计，上述各公司异质结电池项目的投资规模有望突破 150 亿。

表 1：19 年以来，与异质结电池相关的投资规划信息汇总

时间	公司	投资规划
2018 年 11 月	东方日升	拟发行可转债募集不超过 29 亿资金，用于建设 2.5GW 高效太阳能电池与组件生产项目、以及澳洲 Merredin Solar Farm 132MW 光伏电站项目。
2019 年 7 月	山煤国际	公司与钧石能源签署《战略合作框架协议》，双方拟共同建设总规模 10GW 的异质结电池生产线项目。
2020 年 2 月	通威股份	拟与成都市金堂县人民政府签订《光伏产业基地投资协议》，在成都市金堂县投资建设年产 30GW 高效太阳能电池及配套项目。其中，项目将分四期实施，其中一期、二期计划各投资 40 亿元，分别建设 7.5GW，共计 15GW 高效太阳能电池项目，三期、四期计划各投资 60 亿元，分别建设 7.5GW，共计 15GW 高效太阳能电池及配套项目。
2020 年 3 月	中利集团	拟进行非公开发行，募资不超过 15.75 亿元，用于新建年产 1GW 高效异质结电池及组件生产项目以及 1GW 高效 TOPCon 电池及组件技术改造项目。
2020 年 3 月	爱康科技	拟进行非公开发行募资不超过 17 亿元，用于 1.32GW 高效异质结光伏电池及组件项目以及补充流动资金及偿还有息负债。

资料来源：东方日升、山煤国际、通威股份、中利集团、爱康科技公司公告，民生证券研究院

高涨的投资热情很大程度上源自于产业对于传统电池的性能焦虑。随着技术红利的逐渐消失，当前 PERC 电池的效率已逼近理论转换效率天花板，进一步提升的空间有限，因此，为了进一步提升电池效率，降低电池成本，寻找新一代的电池技术成为一众厂商的共同选择。此时，凭借出色性能表现，异质结电池开始走进了大众视野。

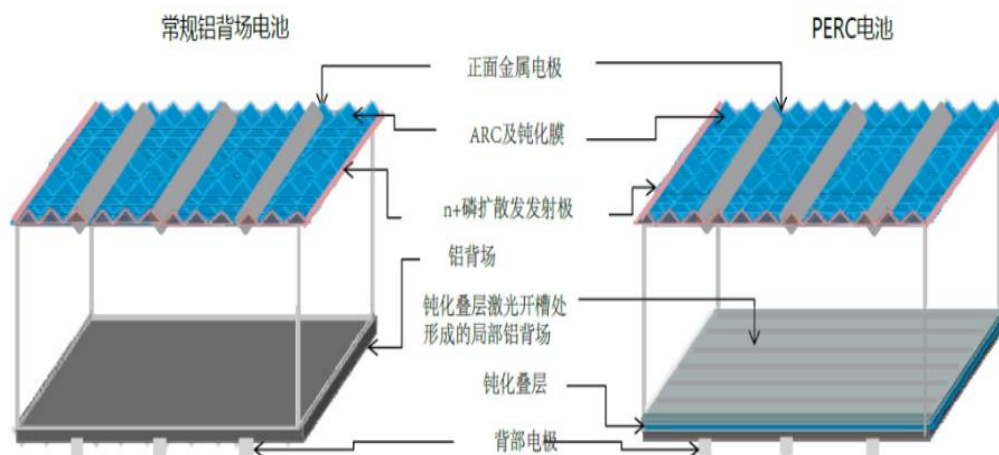
然而，相较于 PERC 电池发展的成熟，当前的异质结电池仍处于起步阶段，未来异质结电池的工艺技术将如何演绎？其产业化路径该是怎样一幅景象？相关的电池项目的投资节奏又会呈现出哪些规律？为了回答以上的这些问题，我们将通过历史案例的研究，寻找其中的答案。而作为上一代的高效电池技术，PERC 电池与异质结电池存在着大量的相似之处。所以，在接下来内容里，我们将对 PERC 电池过去十年的发展历程进行复盘，并希望以此作为切入点，进一步洞悉异质结电池产业化发展规律。

二、 追本溯源，复盘 PERC 电池十年发展历程

（一）源起（1989-2012）：PERC 电池诞生于上世纪八十年代，2012 年“863”专项推动国内产业化进程

PERC 电池技术最早起源于上世纪八十年代。PERC 全称为 Passivated Emitter and Rear Cell，即钝化发射极及背局域接触电池，最早起源于上世纪八十年代。1989 年，澳洲新南威尔士大学的马丁·格林教授的研究组在 Applied Physics Letter 上首次正式公布。通过光刻、蒸镀、热氧化钝化、电镀等新增工艺的加工，PERC 顺利完成了实验室制备，而根据当时反馈实验数据，PERC 电池实验室的转换效率达到了 22.8%，远优于常规电池。与常规电池相比，PERC 电池最大区别在于背面介质膜钝化。从电池结构的角度，PERC 电池与常规铝背场电池的结构是较为相似的，但两者最大的区别在于，PERC 电池在背面进行了介质膜钝化，具备钝化叠层。这使得 PERC 电池能在降低背表面复合速度的同时，提升背表面的光反射，提升了电池的转换效率。另外，由于增量工艺流程的缘故，相比常规电池产线，PERC 电池需要新增沉积背面钝化叠层的设备。

图 1：PERC 电池较常规电池新增钝化叠层



资料来源：CPIA，民生证券研究院

常规电池转换效率瓶颈凸显，PERC 电池量产被再度提上日程。尽管上世纪八十年代，PERC 电池早已在实验室完成研发，但在随后的二十年里，PERC 电池产业化进程却一直处于停滞状态。但随着常规的铝背场电池的转换效率逐步逼近 20% 的效率天花板，传统的工艺改良已经无法满足日益提升的效率需求。如果要进一步突破 20% 的效率瓶颈，则需要采用更为先进的电池技术。考虑到 PERC 技术对电池转换效率提升明显，工艺简单，成本低廉，且与当时电池生产高度兼容，因此，PERC 电池的量产被再度提上日程。

“863”专项的启动，宣告我国 PERC 电池的产业化进程正式拉开帷幕。事实上，早在 2008 年，国内的电池企业已经陆续对 PERC 类电池产业化展开研究；然而，最具标志性的一幕发生在 2012 年。当年 7 月，由中电光伏牵头承担的 2012 年度国家 863 项目“效率 20% 以上低成本晶体硅电池产业化成套关键技术研究及示范生产线”子课题启动会议在南京正式召开，包括中电光伏、

晶龙实业、西安银泰、河北工业大学、南京航空航天大学以及西北大学在内的企业以及科研院所单位均出席了本次会议。本次会议对 PERC 电池的量产项目明确提出了两方面的要求：1) 高效率：PERC 电池的转换效率要在 20% 以上；2) 规模化生产：产线产量规模高于 35MW。“863”专项的启动，宣告我国 PERC 电池的产业化进程正式拉开帷幕。

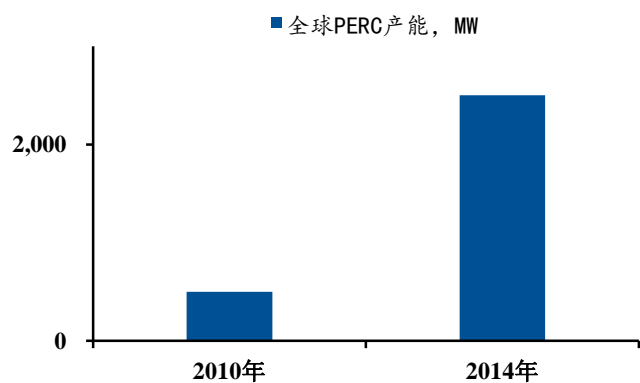
在此后几年时间里，随着产业化进程的不断深入，PERC 电池出货量呈现出爆发式的增长态势。为了更好地梳理这一进程，根据不同时期 PERC 电池出货量、PERC 渗透率以及产能情况，我们将其划分成三个阶段，并围绕电池产能、市场竞争格局，设备发展情况等多个角度，对以上的各个阶段情况进行重点分析。

(二) 萌芽 (2012-2014)：PERC 电池实现初步量产，核心设备供应以国外厂商为主

1、产能与设备市场规模

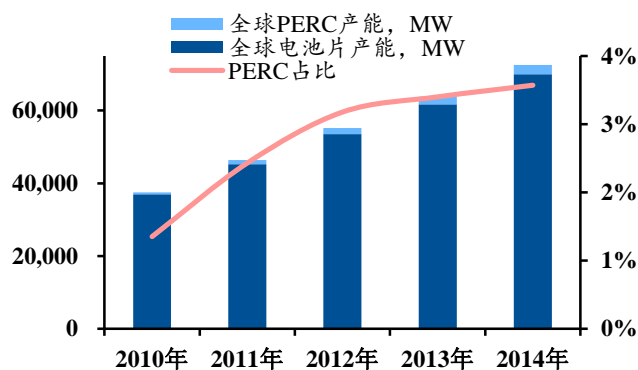
PERC 电池处于技术验证阶段，以试验产能为主，增长迅速但总量较小。根据行业统计数据，2014 年全球 PERC 电池的产能规模为 2.5GW，相比 2010 年，大幅增长 2GW。其中，我国台湾地区 PERC 电池的产能占比约 43%，全球领先。虽然 PERC 电池的产能已有所增长，但由于企业扩产目的是验证 PERC 技术可行性，所以扩产的规模有限。另外，相比于 2014 年全球/台湾/国内约 70/ 10/ 47GW 的电池产能，PERC 电池此时的产能占比仅为 3.6/11/13%，占比极低。

图 2：10-14 年，全球 PERC 电池的产能大幅增长



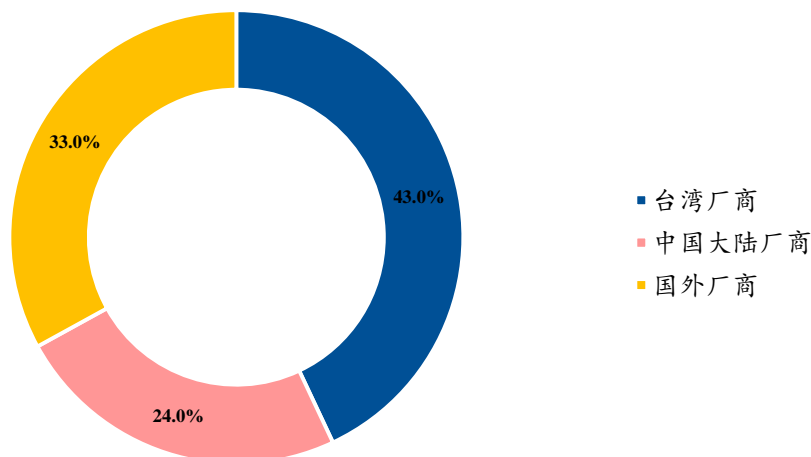
资料来源：PV Infolink，民生证券研究院

图 3：PERC 电池的产能占比依然较低



资料来源：PV Infolink，民生证券研究院

图 4：全球各地区 2014 年的 PERC 产能占比，台湾居首



资料来源：CPIA，民生证券研究院

在早期发展阶段，设备市场规模极小。2014 年以前，由于 PERC 电池尚处于早期的发展阶段，下游电池厂商仍以试验产能为主，新增产能规模有限，因此，PERC 相关的生产设备的市场空间极小。

2、量产进展

国外厂商率先实现 PERC 电池产业化，台湾厂商迅速跟进。2012 年，德国最大的组件厂商 Solar World，使用氮硅化物作为背部钝化原料，率先实现 PERC 电池的商业化，打开了 PERC 电池商用的可能性；同年，IMEC、RENA 和 SoLayTec 三家公司采用 ALD 技术，通过 IMEC 中试线进行 PERC 电池小批量生产，在未使用 SE 结构的背景下，成功把电池的量产效率提升至 19.6%；2013 年，阿特斯 MWT/PERC 结构的光伏电池实现量产，电池平均的量产效率高达 20.57%；2014 年，韩华正式导入 2 条 PERC 产线，其中，电池转化效率高达 20.2%。

表 2：国外厂商 PERC 电池产业化进展

时间	公司	具体内容
2012 年	SolarWorld	实现 PERC 电池的商业化，打开了 PERC 电池商用的可能性。
2012 年	Fraunhofer、ISE	开发 MWT/PERC 太阳能电池，效率超过 20%。
2012 年	IMEC、RENA 和 SoLayTec	率先使用 ALD 技术，通过 IMEC 中试线进行 PERC 电池小批量生产，在未使用 SE 结构的背景下，成功把电池的量产效率提升至 19.6%。
2013 年	RENA、SoLayTec	联手推出内联 PERC 工艺设备，In-PERC 在没有使用选择性发射极电池设计的前提下，在中国某客户的生产线上获得了 18% 的太阳能电池效率。
2013 年	阿特斯	阿特斯（意大利）组合 MWT 结构和 PERC 结构的新一代光伏电池实现量产，转换效率的平均值为 20.57%。
2014 年	SolarWorld	美国俄勒冈州生产厂扩产 PERC 电池 100MW。
2014 年	韩华	导入 2 条 PERC 生产线，单晶电池转化效率达 20.2%。

资料来源：索比光伏网、Energytrend、光伏产业发展白皮书，民生证券研究院

国外厂商在 PERC 产业化的道路上高歌猛进，台湾厂商也不甘示弱。2012 年，台湾厂商旭泓研发的 CELCO 电池率先步入量产阶段。该电池结合了“背面钝化”和“局部背电场”技术，量

产线上的最高转换效率达到 20.2%；2014 年，旭泓加码 PERC 电池，导入 5 条生产线，单晶 PERC 转化效率最也进一步提升至 20.7%，茂迪采用 PERC 工艺的电池正式进入量产，效率达到 20.4 %。

表 3：台湾厂商 PERC 电池产业化进展

时间	公司	具体内容
2012 年	旭泓	成功将该公司研发的 CELCO 技术从研发推进到量产阶段,该电池结合旭泓创新的工艺及先进的‘背面钝化’及‘局部背电场’技术，量产线上最高转换效率已达 20.2%。
2014 年	茂迪	采用 PERC（射极钝化及背电极电池）工艺的电池正式进入量产。
2014 年	旭泓	导入 5 条 PERC 生产线，单晶电池转化效率最高达 20.7%。

资料来源：索比光伏网、Energytrend、光伏产业发展白皮书，民生证券研究院

国内 PERC 处于前期酝酿阶段，2014 年开始实现小批量生产。晶澳是国内首家率先打通从 PERC 电池到组件的产业链条的企业。2012 年 6 月，公司 PERC 技术专利取得突破性进展；2013 年 8 月，晶澳宣布其成功提高了单晶电池的转换效率，实现了转换效率在 20% 以上的 P-型单晶光伏电池的生产，并称其新型的高性能电池（Percium）将马上投入生产；2014 年 2 月，晶澳发布 Percium 单晶组件，其中，60 片电池的 Percium 单晶组件功率达到了 285 瓦，比行业平均 60 片电池单晶组件高出 20 瓦。其电池平均转换效率超过 20.3%，比行业平均单晶电池转换效率高 1.3%。2014 年 6 月，公司 Percium 高效电池正式量产，量产电池平均转换效率达到 20.4%，在业内率先实现 P 型电池量产转换效率超过 20%。60 片电池组件随后便开始量产，量产主流功率达到 285W，年底主流功率进一步达到 290W。从该新产品发布到量产，仅用时三个月。

同样实现 PERC 电池量产的企业还有中电光伏。2013 年 6 月，中电光伏的研发人员成功制作出效率达 20.3% 的高效单晶电池，并开始进行优化和量产；2014 年 7 月，35MW 的 PERC 电池示范线于 7 月实现批量的稳定生产，内部测试效率达 20.44%。另外，天合光能的单晶 PERC 电池也于 2014 年完成试制，转换效率达 20.2%。随着国内多家企业陆续实现量产，PERC 电池商用的确定性增强，越来越多的企业进入 PERC 的竞争“赛道”。

表 4：国内厂商 PERC 电池产业化进展

时间	公司	具体内容
2012 年 6 月	晶澳	获得 PERC 电池发明专利。
2013 年 6 月	中电光伏	“863”项目进展顺利，研发人员已经制作出效率达 20.3% 的高效单晶电池，即将进行优化和量产。
2013 年 6 月	晶澳	晶澳太阳能宣布其成功提高了单晶电池的转换效率。实现了工业级 p-型单晶光伏电池（156x156 mm ² ）超过 20% 的转换效率。
2014 年 2 月	晶澳	晶澳太阳能从 2 月起开展新产品 Percium 单晶组件和 Riecium 多晶组件的全球发布活动。其中 60 片电池的 Percium 单晶组件功率达到了 285 瓦，比行业平均 60 片电池单晶组件高出 20 瓦。Percium 单晶组件的核心 Percium 单晶电池运用了先进的背钝化和局部铝背场技术，电池平均转换效率超过 20.3%，比行业平均单晶电池转换效率高 1.3%。
2014 年 6 月	晶澳	Percium 高效电池正式量产，量产电池平均转换效率达到 20.4%，在业内率先实现 P 型电池量产转换效率超过 20%。博秀 60 片电池装组件一周后量产，量产主流功率达到 285W，预计年底主流功率将达到 290W。从该新产品发布到量产，仅用时三个月。
2014 年 7 月	中电光伏	35MW 的 PERC 电池示范线实现量产，内部测试效率达 20.44%。

2014 年 8 月

天合光能

采用 PERC 技术的 P 型单晶电池转换效率达到 21.4%，采用自主研发的中试量产 Honey Ultra PERC P 型单晶太阳能电池封装的组件 Pmax 达到 335.2W。

资料来源：索比光伏网、Energytrend、光伏产业发展白皮书，民生证券研究院

3、工艺技术及设备发展

PERC 电池在背部进行介质膜钝化，主要使用化学气相沉积法，应用 PECVD 设备。PERC 电池的背部钝化主要包括氧化铝膜沉积和覆在其上起保护作用的氮化硅膜沉积。PECVD 法的总原理是在低压下用射频（RF）分解前驱体，从而在反应室内的基片上形成沉积膜，在传统铝背场电池中，PECVD 设备已经用于电池迎光面氮化硅减反射钝化膜的沉积。为实现 PERC 电池背部氧化铝膜的沉积，PECVD 系统只需做两方面的基本调整——引入三甲胺（TMA）前驱体和调整净化装置，但因为 PECVD 总的沉积原理不变，设备商所特有的等离子体生成机制也无需改变，所以在从传统铝背场电池转向 PERC 电池时，已经相对成熟的 PECVD 设备是电池厂商的不二选择。

原子层沉积(ALD)设备经过调整也可用于氧化铝沉积,但 PECVD 设备所占市场份额更大。ALD 的特点在于氧化铝膜是在原子层级上逐层生成，从而具有很好的阶梯覆盖性，且其成膜厚度可控，在成膜质量方面略优于 PECVD。但尽管如此，PECVD 设备的追逐者仍多于 ALD 设备，其原因在于：（1）电池生产商都已熟练运用 PECVD 设备进行电池正面的氮化硅膜沉积，并且 PECVD 设备在正面钝化的应用中已经积累了巨大的装机量，而成熟的设备在理论上易于升级以用于 PERC 电池氧化铝膜的沉积；（2）PECVD 设备可支持氧化铝和氮化硅在不同腔体的同一工序中完成，而 ALD 设备只能进行氧化铝膜沉积，需要额外的 PERCVD 设备沉积氮化硅膜；（3）电池生产商一直较为保守，考虑到诸如产能、产量、设备体积和占地面积等额外因素，PECVD 设备无疑成为 PERC 电池生产商的首选设备。

表 5：PECVD 和 ALD 设备对比

公司	设备	原理	加工细节	硅片传送	非环绕沉积	二合一沉积
CT	PECVD	LP-等离子	硅片载具为等离子体机发电极的一部分	垂直	√	√
Meyer Burger	PECVD	线性兆瓦等离子	硅片载具携硅片穿过远程激发的等离子	水平	√	√
SoLayTec	ALD	加热 ALD	硅片前后运动；多个反应腔室并列已达到预定产量	水平	×	×

资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

在 PERC 发展初期，核心设备供应以国外厂商为主。一方面，因为电池厂商在早期发展阶段的主要目的是验证 PERC 技术的可行性，并实现稳定的量产，所以，在应用端更倾向于使用成熟稳定的国外薄膜沉积设备，而对成本因素的考量较少；另一方面，这一阶段的产能扩张以台湾地区 and 国外厂商为主力，所以，设备端优先使用海外供应链的产品，也较为符合电池厂商的采购原则。因此，在 2012-2014，我们观察到国外设备企业与电池厂商的一系列合作：2012 年，德国 CT 向 SolarWorld 提供管式 PECVD 设备；2013 年上半年，瑞士 Mayer Burger 的 PECVD 设备 MAiA，已累计完成超过 1GW 的产能安装；Singular 在 2013 年与浙江鸿禧签署高效电池生产合作协议，

为其提供三氧化二铝背钝化技术设备以及先进的湿刻技术；SoLayTech 从 2013 年起，陆续给国内一线光伏电池制造企业，供应 In Passion ALD 设备订单，用于单晶 PERC 电池生产。

表 6：海外设备厂商出货情况

时间	公司	具体内容
2012 年	CT	为 SolarWorld 提供管式 PECVD 设备。
2013 年 3 月	Singulus	与浙江鸿禧签署高效电池生产合作协议，为其提供氧化铝背钝化技术设备和湿刻技术，使其晶体硅电池大规模生产效率提升近 1%。
2013 年 7 月	Meyer Burger	已有超过 1GW 的 PERC 电池处理设备 MAiA 完成安装。
2013 年 11 月	SoLayTec	获得中国一线电池制造商 In Passion ALD 设备订单，用于单晶 PERC 电池生产。
2014 年 5 月	SoLayTec	向中国某光伏制造商出货其第十个 In Passion 系统，包括：背面平整、钝化、氮化硅镀膜和激光烧蚀的全套解决方案，可将平均转换效率提高 0.8%，PERC 太阳能电池效率可超过 20%。
2014 年 11 月	SoLayTec	获得美国光伏制造商 Mission Solar ALD 设备订单。

资料来源：北极星、索比光伏网，民生证券研究院

与国外成熟设备相比，这一阶段的国内设备仍处于早期起步阶段。虽然自 2011 年起，国内丰盛装备、理想能源和中电科 48 所都有 PECVD 设备陆续下线，并在随后的几年时间内实现批量销售，但这一时期，国内 PECVD 设备还是主要应用于电池正面减反膜的沉积，尚未涉及背钝化，且早期设备在性能上仍与海外产品仍存在一定差距。而反观国外设备，国外设备生产商在 2012 年已经可以提供 PERC 电池的整套解决方案。如瑞士 Meyer Burger 旗下的 Roth & Rau，通过与 InnoLas 合作，向客户提供背钝化 PECVD 系统和 ILS TT 激光开槽系统的整体方案；SoLayTec 和 Singulus 也分别推出 In Passion ALD 系统和 PERC 电池生产解决方案 Perceus，均成功应用于 PERC 电池的生产，并相继获得来自国内外厂商的设备订单。因此，与国外的成熟设备相比，这一阶段的国内设备仍处于早期起步阶段。

表 7：国内设备的量产进展

时间	公司	具体内容
2009 年 5 月	捷佳伟创	自主研发出 PD-305 型 PECVD 设备，并成功推向市场，该产品独特的技术，使得在晶体硅片上形成的减反射膜的工艺指标达到国际先进水平，能够提高多晶硅电池转换效率 0.2%。
2010 年 7 月	丰盛装备	新一代 PECVD 设备实现设备当年生产，当年进入市场，当年批量生产。
2011 年 1 月	理想能源	我国首薄膜太阳能电池关键生产设备 PECVD 设备下线。打破了高端薄膜太阳能电池设备一直被国外厂商垄断的局面。
2011 年 3 月	中电科 48 所	成功自主研发了 PECVD 设备。
2012 年 10 月	理想能源	理想能源首台单腔室 PECVD 研发设备于客户成功交付并使用后，设备运行稳定，性能优异，实现开机率高达>98%，受到客户高度认可。
2013 年 8 月	丰盛装备	丰盛装备合作 PID-Free 技术设备改造的客户纷至沓来，经过批量客户的使用验证，在进口 PECVD 设备上也顺利集成并成熟量产。
2014 年	捷佳伟创	2014 年，公司推出大产能设备，使管式 PECVD 设备每管产能由原来的 240 片/管提升到 308 片。
2014 年 6 月	理想能源	推出的用于高效电池钝化的 Ideal ALD 设备，是全球首款采用 ALD 技术的平板 In-line 设备，目前产品已经全面推向市场。

资料来源：丰盛装备、理想能源公司官网、北极星、索比光伏网，民生证券研究院

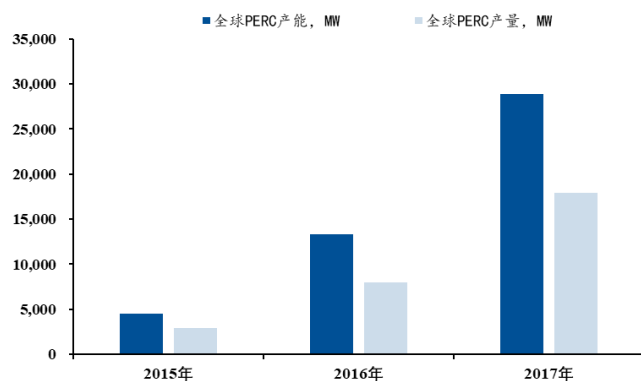
激光开槽设备也以国外设备为主。PERC 电池的背局域金属接触主要使用激光开槽设备实现，德国 InnoLas Solutions 一直是 PERC 和电池切割等先进光伏制造工艺的技术领导者。2012 年，InnoLas 就与 Roth & Rau 共同研发出 PERC 电池的整体解决方案，应用其激光接触开放 ILS TT 系统实现 PERC 电池的背部接触，该方案可将单晶硅太阳能光伏电池的转换效率提高 1%。截止至 2014 年，InnoLas 用于 PERC 太阳能电池加工的激光系统已经获得近 1GW 产量的订单，其设备的激光加工速度可在 1600 至 3600wph 之间进行调节，正常运行时间超过 96%。而此时，国内激光装备行业的领军企业，如帝尔激光和大族激光，还尚未推出针对于 PERC 电池的激光设备。

(三) 成长 (2014-2017): PERC 电池投资吸引力凸显，国产设备供应商崭露头角

1、产能、产量与设备市场规模

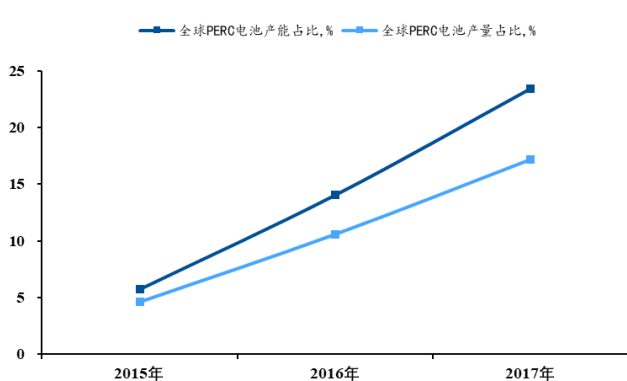
2015 至 2017 年，PERC 电池进入高速增长区间，产能、产量快速提升。三年间，PERC 的产能从 4.5GW 增至 28.9GW，年复合增长 153%，产量从 2.9GW 增至 17.9GW，年复合增长 149%。不仅如此，PERC 电池的产能和产量在全球电池中的占比也大幅提升，产能占比由 5.71% 提升至 23.46%，产量占比则由 4.65% 提升至 17.17%。从市场份额来看，PERC 电池的市场份额从 2015 年的 7% 提升至 2017 年的 15%，而传统铝背场电池 (BSF) 则相应从 88% 下降至 83.3%。从地区来看，2015 年，国内 PERC 电池的产能就已经占全球 PERC 电池产能的 35%，位居世界首位，而国外和台湾则分别占 33% 和 32%，此后，国内厂商一直保持并逐渐扩大这种产能优势。

图 5: 15-17 年，全球 PERC 产能和产量激增



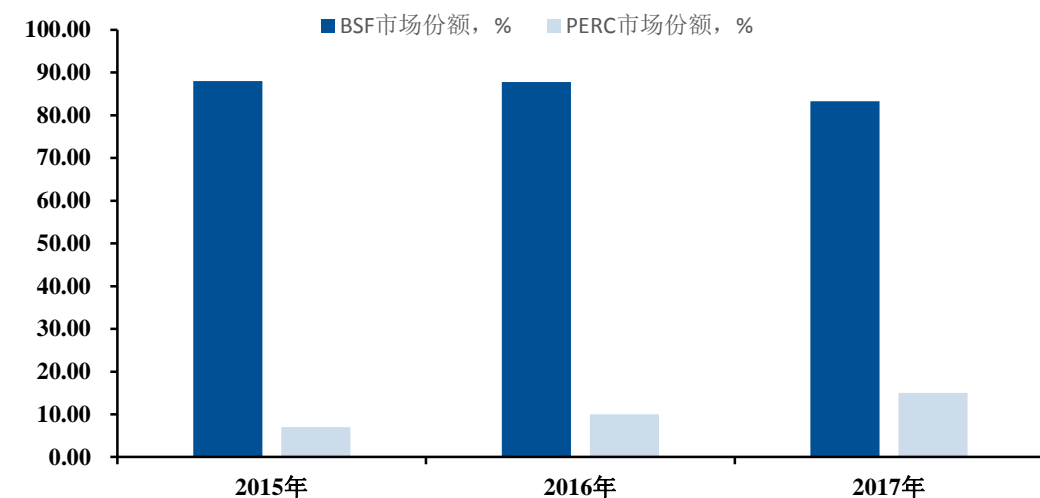
资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

图 6: PERC 产能和产量占比大幅增加



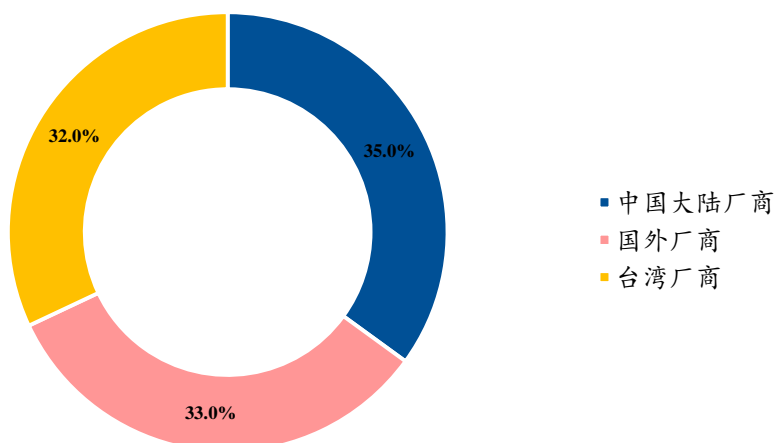
资料来源: Taiyang News、CPI、可再生能源协会, 民生证券研究院

图 7：2015-2017 年 BSF 和 PERC 的市场份额



资料来源：ITRPV、CPIA，民生证券研究院

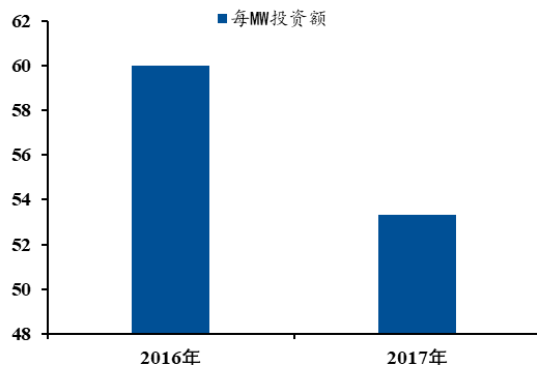
图 8：2015 年，国内 PERC 电池的产能份额居世界首位



资料来源：索比光伏网，民生证券研究院

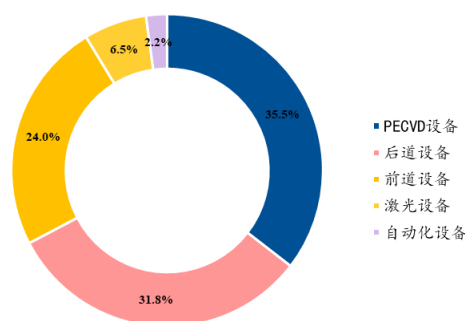
PERC 产能快速扩张，推动背钝化和激光设备需求爆发式增长。根据前文分析，2015-2017 年新增 PERC 电池产能规模约为 27.3GW。这其中，作为 PERC 电池生产的核心工序，背钝化和激光开槽设备是最重要的增量设备。参考 CPIA 以及爱旭的设备投资数据，我们估计，2015-2017 年，背钝化和激光设备的市场规模分别为 51.6/9.5 亿元。呈现出爆发式增长的态势。

图 9: PERC 设备投资额稳中有降, 万元



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

图 10: 背钝化设备投资额占比高达 35%, %



资料来源: 爱旭股份公司公告、CPIA, 民生证券研究院

2、市场政策

中国的“光伏领跑者计划”在国内 PERC 电池发展的过程中扮演关键角色。“光伏领跑者计划”是国家能源局拟从 2015 年起实施的光伏扶持专项计划, 实施时, 通过设定较高的技术和成本标准进行项目招标, 中标单位进行相应的光伏发电示范基地建设。领跑者计划中的中标技术产品将获得国家和地方财政的支持, 国家部分用电项目和各级地方政府使用财政资金支持的光伏发电项目, 都要求采用“领跑者”先进技术产品的指标。所以, 满足“领跑者”技术标准的技术将被视为业内的新标杆, 成为产业内的企业进行技术转型和升级的方向。凭借更高的转换效率, PERC 技术正是 15-17 年“领跑者计划”的最大受益者。

2015 年的领跑者项目让用户看到 PERC 技术, 单晶 PERC 组件用量占比 21%, 在新型组件占比中遥遥领先。2016 年, PERC 产品的应用比例和规模进一步提升, PERC 组件用量占比达 30%, 其中单晶 PERC 组件占比约为 80%。2017 领跑者基地技术指标门槛有所提高, 单多晶组件效率所对应的电池效率约为 20.5% 和 19.4%, 以当年电池平均转换效率来看, 单多晶都需要采用 PERC 技术路径才能满足上述标准, 所以, 在 5GW 应用基地的中标项目中, 采取 PERC 技术路径的比例高达 65.51%。这一方面证实了 PERC 技术的标杆性, 在另一方面也预示着 PERC 技术将在接下来几年内爆发式增长。

表 8: 2017 年第三批应用领跑者基地中标结果及技术指标, MW

	PERC	PERC 双面	MWT+ PERC	黑硅 PERC	P 型 双面	叠瓦	双面 半片	N 型 双面	单晶	MWT
宝应		100			50	50	200	100		
达拉特旗	250	250								
大同	133	133			50			133		50
海兴		236		73				81		100
德哈令	133	33		300						33
格尔木	250	250								
寿阳	200	150							150	
泗洪	50							450		
渭南	100	200								200
白城	250	100	83					67		
总计	1366	1452	83	373	100	50	200	831	150	393

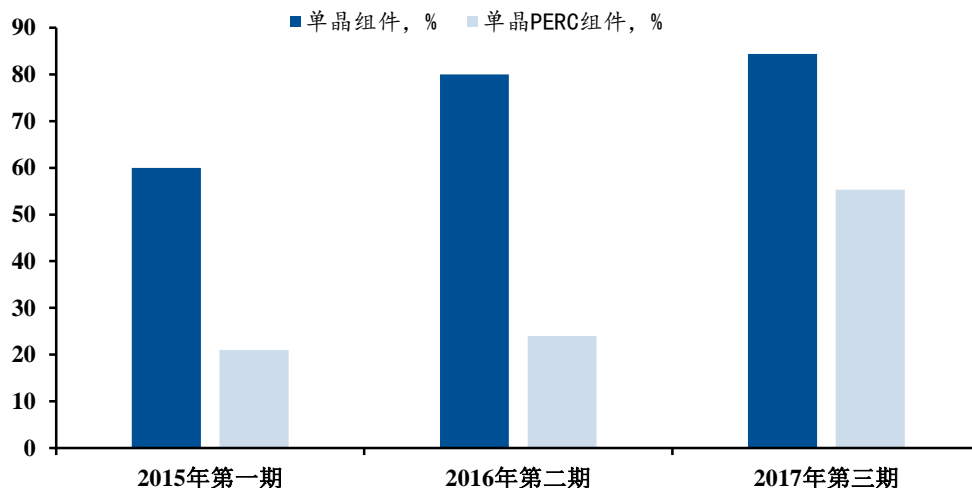
占比	27.33%	29.05%	1.66%	7.46%	2.00%	1.0%	4.0%	16.63%	3.0%	7.86%
PERC 占比	65.51%									

资料来源：亚化咨询，民生证券研究院

注：同一项目涉及不同技术类型中标的，按平均分配各技术计算。

光伏“领跑者计划”也推动了多晶向单晶技术路线的转化。由于 PERC 应用在多晶及单晶电池上的效率有所差异，在导入 PERC 技术后，前者转换效率绝对值可提升 1% 以上，而后者绝对值的提升约为 0.6%，所以在 PERC 技术崛起的背后，是单晶对多晶电池技术路径的替代。纵观 2015-2017 年三期“领跑者计划”的中标项目，单晶硅组件的应用比例逐年升高，由第一年的 60% 上升到接近 90%，年复合增长率达到 18.59%，单晶 PERC 组件则由第一期的 21% 上升至 55.28%，年复合增长率达到 62.25%，单晶技术路线逐渐成为主流。

图 11：领跑者项目单晶技术路线占比逐年上升

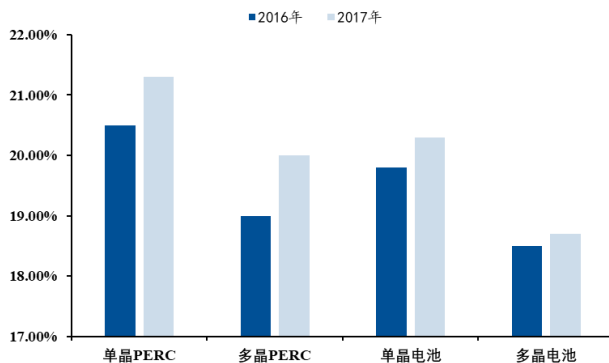


资料来源：北极星，民生证券研究院

3、效率和成本

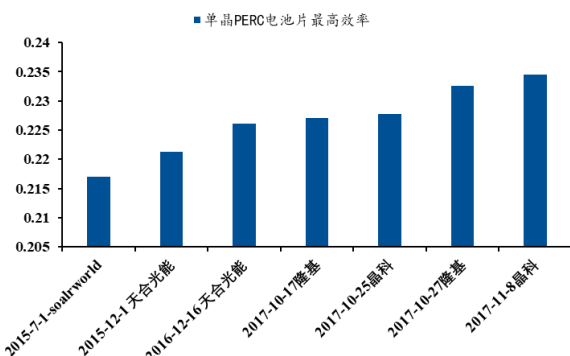
PERC 电池的转换效率不断提高。2016 年至 2017 年，单晶 PERC 电池的平均转换效率为 20.5/21.3%，与传统单晶电池相比，效率提升为 0.7/1%。同时，单晶 PERC 电池的最高转换效率不断刷新，2015 年至 2017 年，最高转换效率分别为 22.13/22.61/23.45%，转换效率的差异显著分布于行业的头部和尾部厂商之间。

图 12: PERC 电池的转换效率不断提升, %



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

图 13: 单晶 PERC 的最高转换效率持续突破, %



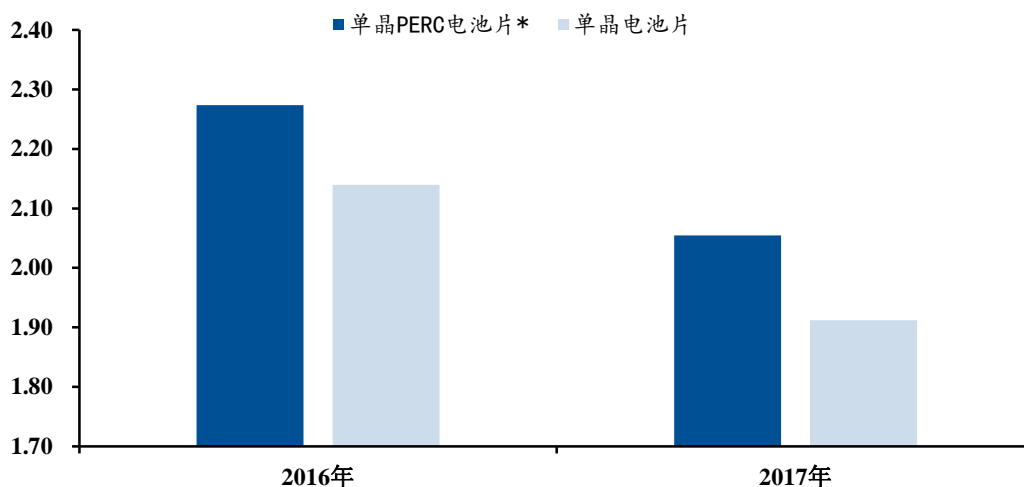
资料来源: Taiyang News, 智汇光伏, 民生证券研究院

PERC 电池转换效率的提升不仅源于其工艺的改进, 还源于其技术平台的友好性。这一时期, 单晶 PERC 光致衰减问题得到缓解, PERC 浆料质量提升, 设备参数不断优化, 推动 PERC 电池转换效率不断提升; 另一方面, PERC 电池通过叠加其他高效电池工艺进一步提升其效率, SE (选择性发射极) 工艺作为发射极侧的优化成为焦点, 根据 Taiyang News, 大部分转换效率高于 21.5% 的 PERC 电池都已叠加 SE 技术。未来, PERC 作为技术平台的友好性, 将进一步扩展其转换效率增长的空间。

随着设备效率提升以及价格降低, 投资于 PERC 产线的增量成本有所降低。2015 年, 根据晋能科技的数据, 改造一条 100MW 的 PERC 产线, 设备投资约 3000 万元, 保守估计, 新增设备 6 年折旧完毕, 则 1GW 的产能每年摊销约 0.5 亿元, 每瓦产能每年摊销额约为 0.05 元/W。而在 2017 年, 根据爱旭股份的数据, 240MW 的 PERC 设备投资约 6500 万, 假设该设备也以 6 年进行折旧, 则产线每年新增摊销约为 0.45 亿元, 每瓦产能每年摊销额约为 0.045 元/W。

参考 CPIA 的数据, 2017 年, 单晶 PERC 与单晶电池平均转换效率差约为 1%。而根据 Solarzoom 的价格统计数据, 自 2017 年 3 月新增单晶 PERC 电池的报价, 2017 年单晶 PERC 电池与单晶电池的价差区间约为 0.25~0.35 元/W。考虑新增设备及有关材料的成本摊销, 保守估计, PERC 电池将会获得 0.18-0.28 元/W 元的增量利润。若对传统产线进行改造, 升级改造投资的回收期仅为 1-2 年, 单晶 PERC 产线的投资极具吸引力。

图 14: 单晶 PERC 与单晶电池价格, 元/W



资料来源: Solarzoom、Wind, 民生证券研究院

注: *为计算出来的理论价格

4、量产进展及产能格局

PERC 电池开启市场化进程, 国内厂商成 PERC 扩张主要动力。2015-2017 年, 相较国内厂商, 国外电池厂商 PERC 的扩展进程有所放缓, 生产成本是其重要原因。即使是早期在研发和量产表现突出的 SolarWorld, 但由于其生产基地位于德国和美国, 生产成本也显著高于中国电池供应商。

表 9: 国外厂商 PERC 电池扩产进程放缓

时间	公司	具体内容
2015 年 3 月	SolarWorld	向 Meyer Burger 购买 400MW MAiA 设备以升级德国现有工厂电池产线。
2015 年 6 月	SolarTech	计划至九月底增加多晶 PERC 产能至 240MW, 目前为 60MW。
2015 年 10 月	NSP	将台湾的部分产能调整至马来西亚以及中国大陆。调整后, PERC 产能将达 500MW, 其中 400MW 在台湾, 100MW 在马来西亚。
2016 年 3 月	SolarWorld	确认将 0.8GW 至 1GW 的 BSF 产线升级为 PERC, 并且 1.5GW 总产能的升级目标正在进行。
2017 年 2 月	SolarWorld	生产转向单晶 PERC 电池以及组件, 总产能可能在两年内从原来 1.3GW 增至 2GW。

资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

这一阶段, 国内 PERC 电池市场格局呈现出多元化趋势, 市场的参与者数量较之前明显增加, 整体而言, 市场的参与者可分为以下三类: 1) 电池技术领先的组件厂商, 2) 迅速跟进的产业链龙头, 3) 新晋电池玩家。

技术领先的组件厂商将其优势进一步拓展至 PERC 电池领域。作为最早实现 PERC 电池成功量产的企业, 晶澳在这一阶段仍保持其领先优势。2015 年, 晶澳为首期光伏“领跑者计划”的大同项目供应 150MW 采用 PERC 技术的博秀(Percium)高效单晶组件, 供货量为 420MW, 占比近 50%。随后, 晶澳在 2016 年底将 PERC 产能扩产至 1.4GW, 2017 年底 PERC 组件产能储备达到 3.1GW, 晶科的单晶 PERC 产能也在 2017 年底达到 2.5GW。

表 10：一线电池厂商扩产

时间	公司	具体内容
2015 年 8 月	晶澳	为“领跑者计划”一期大同项目供应采用 PERC 技术的博秀 (PERCIUM) 高效单晶组件。
2016 年 5 月	晶澳	宣布预计至 2016 年底将原有 700MW 的 PERC 产能扩至 1.4GW。
2017 年 8 月	晶澳	2017 年底，单晶 PERC 组件产能储备将达 2.6GW，多晶 PERC 组件产能储备将达到 500MW。
2017 年 9 月	晶科	2017 年底达到 2.5GW 单晶 PERC 产能。

资料来源：智汇光伏，民生证券研究院

产业链龙头企业迅速跟进，加码 PERC 电池。2015 年，以隆基、尚德、阿斯特为代表的公司纷纷扩产 PERC 产能。2016 年，天合光能多晶 PERC 电池“Honey”正式投产。同年通威进一步转向 PERC 电池业务，拟建 20 条 PERC 电池产线。2017 年，平煤隆基 2GW 和通威的 1GW 单晶 PERC 产线陆续投产。另一方面，继 2015 年晶澳率先得到领跑者的肯定后，2016 年的领跑者基地中，更多的 PERC 供应商参与其中，隆基乐叶、晶科、协鑫集成、天合、晋能等均为领跑者中标项目提供了 PERC 组件，2017 年，通威也加入“领跑者计划”中 PERC 供应商行列。

表 11：国内厂商 PERC 电池产业化进展

时间	公司	具体内容
2015 年 6 月	尚德	称已计划将 PERC 产能提升至 1GW。
2015 年 7 月	隆基	在江苏泰州布局 2GW 的高效单晶 PERC 单晶电池生产线，拟在 3 年内投资 28.86 亿元建设 16 条 PERC 电池生产线。
2015 年 11 月	阿斯特	与 2015 年第三季度启动 PERC 生产，产能将逐步增至 400MW。
2015 年 12 月	晋能科技	将一条 80—100MW 的生产线改造并引入 PERC 技术，处于中试阶段。
2016 年 3 月	天合光能	正式宣布在泰国的产线逐步投产，该工厂为多晶 PERC 电池“Honey”设计产能 700MW。
2016 年 4 月	通威	募资以对合肥通威厂务设施和厂房等进行装修改造，拟采用 PERC 多晶高效晶硅电池技术，新建 20 条 PERC 电池生产线及辅助生产设备，建成投产后预计年产能 2.3GW。
2016 年 8 月	隆基	宣布于 2016 年底将单晶 PERC 电池产能扩至 900MW。成都双流 1GW 高效晶硅电池项目。
2016 年 9 月	隆基	发布定增公告，24 亿注资泰州乐叶，主要用于年产 2GW 高效单晶 PERC 电池和组件项目部分。
2017 年 6 月	平煤隆基	年产 2GW 高效单晶硅电池项目的 14 条生产线建成投产。
2017 年 7 月	通威	新建 1GW 单晶电池产能，顺利投产并持续满产运行。
2017 年 10 月	协鑫	高效多晶黑硅 PERC 电池量产产能已突破 1GW，预计 2017 年底产能将达到 2GW。

资料来源：隆基股份、通威股份公司公告、Taiyang News、智汇光伏，民生证券研究院

新晋玩家押注 PERC，以期在新兴细分市场弯道超车。以爱旭股份为代表的新晋玩家初露锋芒。2016 年，爱旭股份在实验室进行管式 PERC 技术的研发并围绕该技术取得系列专利，次年，爱旭股份成功研发出管式 PERC 技术，并实现批量生产，同时推进双面 PERC 技术的研发。2017 年，爱旭股份 3.8GW 的单晶 PERC 产线陆续投产，成为 2017 年第三批光伏“领跑者计划”的核心供货商，第三批领跑者项目的双面 PERC 组件大部分都是采用爱旭股份供应的双面 PERC 电池。全球前十大组件厂商中，有 9 家成为爱旭股份的客户，爱旭股份的高效 PERC 电池产品得到了终端客户的普遍认可。

表 12: 爱旭股份 PERC 发展进程

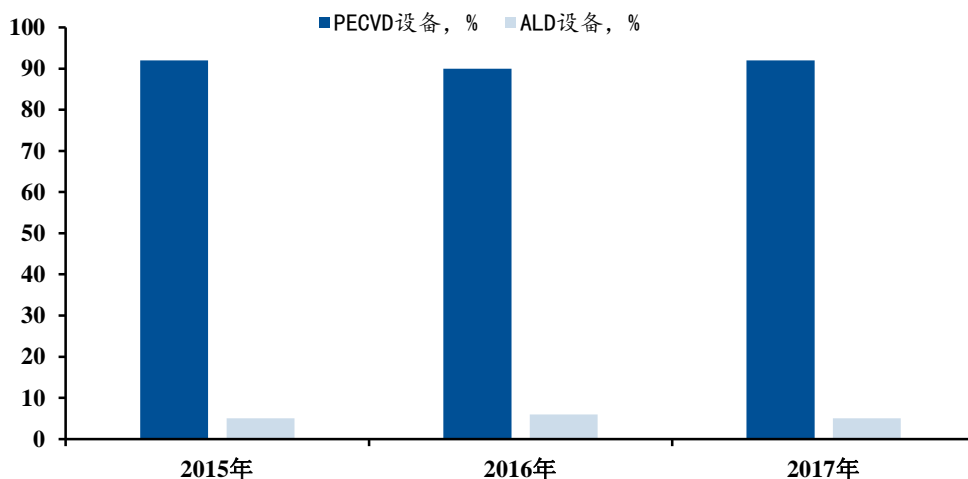
时间	具体内容
2016 年 12 月	在实验室研发管式 PERC 量产技术, 获得系列专利。
2017 年 2 月	增资以促进佛山多晶转单晶产线, 推动义乌一期 PERC 生产基地 2.65GW 产能建设。
2017 年 4 月	义乌一期 3.8GW 单晶 PERC 投产, 自主研发的管式 PERC 量产技术实现大规模商业化应用。
2017 年 12 月	第二次对义乌一期项目进行增资, 以推动单晶单面 PERC 电池产线建设。

资料来源: 爱旭股份公司公告, 民生证券研究院

5、工艺技术与设备发展

延续上一阶段的先发优势, 这一时期, PECVD 仍然垄断 PERC 电池的背钝化工序。根据 ITRPV 的估算, 这一时期, PECVD 在背钝化设备中的市场份额约为 90%, 依然垄断 PERC 电池的背钝化工序。

图 15: PECVD 在背钝化设备中的市场份额约为 90%



资料来源: ITRPV, 民生证券研究院

Meyer Burger 仍是市场上 PECVD 的主力供应商, 但其也逐步面临来自市场方面的压力。截至 2016 年末, MAiA 累计出货量已达 12GW, 然而 2017 年 PERC 电池的全球产能仅为 25GW。可见, 在早期发展阶段, Meyer Burger 乃是全球背钝化设备的绝对龙头。然而, 伴随着产业化进程持续推进, Meyer Burger 逐步面临来自市场方面的压力: 1) 设备价格较为昂贵 (以 MAiA 2.1 系统为例, 其单台售价约为 220 万欧元); 2) 设备交货周期较长 (交货周期约为 6-12 个月); 3) 设备存在产能瓶颈, 难以满足大幅增长的下游需求。因此, 在下游市场对于 PERC 电池降本提效, 快速扩产的呼声日益高涨的背景下, 以上问题将对 Meyer Burger 市场出货形成考验。

表 13: Meyer Burger MAiA 的设备订单

时间	订单内容
2015 年 3 月	将向 Solar World 提供 400MW MAiA 设备升级德国现有工厂电池产线。
2015 年 6 月	已从乐叶 Lerri 获得 1.65 千万瑞士法郎订单用于 PERC 升级以及测试设备。
2016 年 1 月	自一亚洲客户处获得包括 MAiA 设备的 2.2 千万瑞士法郎订单。
2016 年 4 月	宣布过的 1.8 千万瑞士法郎, 包括晶澳订购的 MAiA 设备。
2016 年 7 月	自同一中国客户再次收到价值 1.8 千万瑞士法郎的订单, 订购用于升级 PERC 的 MAiA2.1 设备,

该客户先前已订购 4 千万瑞士法郎设备。

2017 年 1 月

确认 1.9 千万瑞士法郎订单，这是其一月的第四个订单，使其 2017 年订单总额推升至 6.5 千万瑞士法郎。

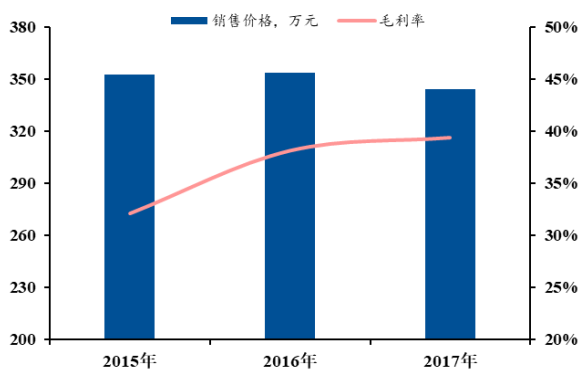
2017 年 3 月

再次从一现有客户中取得 MAiA2.1 PERC 系统订单。合约总额约 1.5 千万瑞士法郎。供货及试运行将在 2017 年第二季度开始。

资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

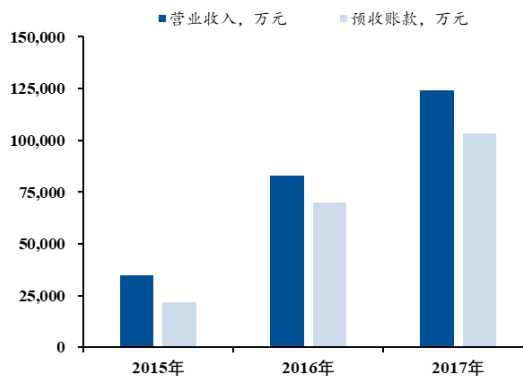
国产 PECVD 设备的工艺日趋成熟，性价比不断提升，营收和订单快速增长。这一时期，以国内老牌 PECVD 厂商捷佳伟创为例，该设备厂商持续推进适用于 PERC 的设备研发，取得阶段性成果。**从价格上看**，2015 至 2017 年，捷佳伟创 PECVD 设备的售价分别为 **70.53/70.67/68.79 万元/管**，包括两管、三管、四管和五管等不同型号。以一台五管 PECVD 设备为例，由于售价与管数大致成线性关系，我们估算，其售价有望从 2015 年的 353 万元降至 2017 年的 344 万元，远低于 Meyer Burger 的 MAiA 设备；**从性能上看**，其设备所产出的 PERC 电池，平均转换效率可达 21.3%，效率水平位于行业前列。因此，设备的高性价比为捷佳伟创带来销售收入和订单的快速增长，2015 至 2017 年，捷佳伟创的营业收入年复合增长 88.51%，而与在手订单紧密相关的预收账款，年复合增长率更是高达 117.53%。

图 16：捷佳伟创的设备售价有所降低，但毛利率增加



资料来源：捷佳伟创公司公告，民生证券研究院

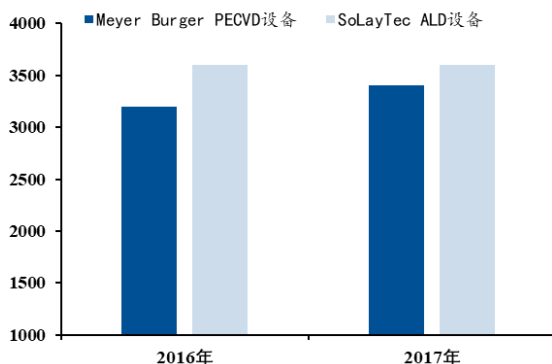
图 17：捷佳伟创的营业收入和在手订单快速增长



资料来源：捷佳伟创公司公告，民生证券研究院

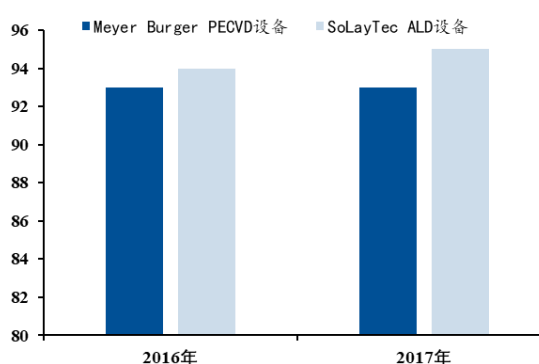
ALD 设备虽然市场份额有限，但或是未来降本提效的方向所在。尽管 PECVD 设备长期占据市场的主流地位，但 ALD 设备的优势也同样明显：1) 每小时的硅片吞吐量高于 PECVD，电池摊销的单位固定成本更低；2) 可以精控薄膜厚度，成膜质量更好；3) 前驱体材料 TMA 消耗更少，可减少运营成本。因此，在优化 PERC 电池效率，压缩前运营成本的背景，ALD 设备有望成为新一代的背钝化设备，抢占更多市场份额。

图 18: ALD 设备每小时的硅片吞吐量更高, 片/h



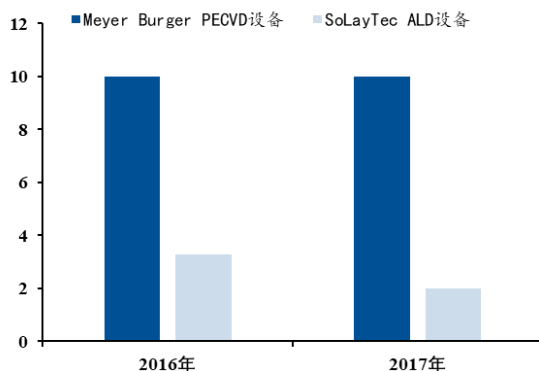
资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

图 19: ALD 设备开机保障率与 PECVD 持平, %



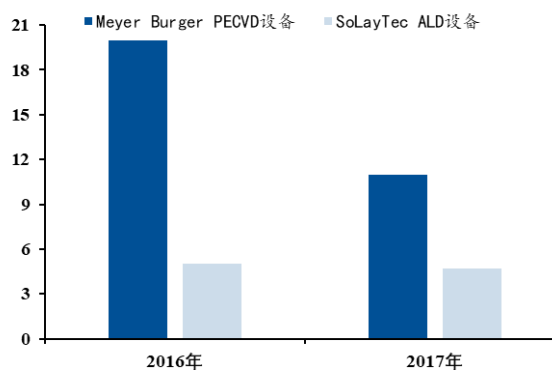
资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

图 20: ALD 设备 TMA 消耗更少, mg



资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

图 21: ALD 设备沉积的薄膜厚度更低, nm



资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

表 14: PECVD 和 ALD 设备对比

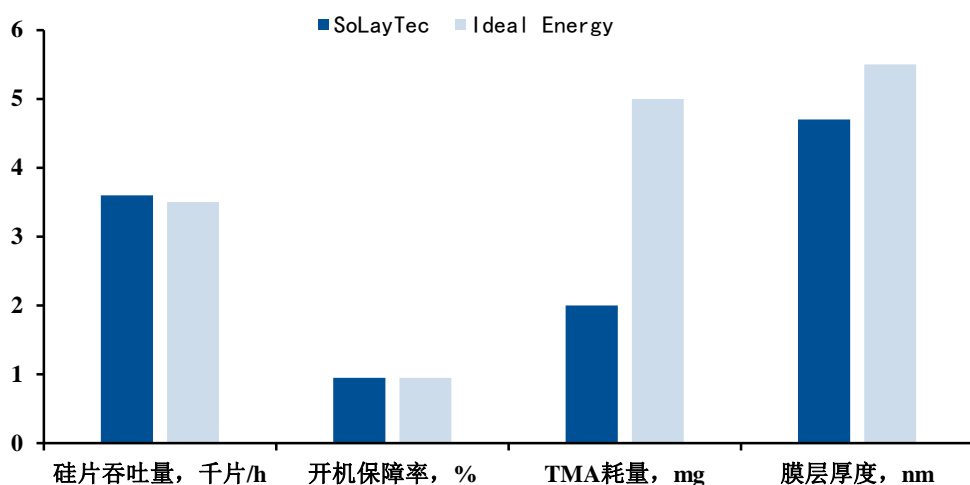
设备工艺	类型	优点	缺点	代表企业
PECVD (Al2O3)	板式	成膜均匀性好, 良率高, 集成度好, 需要人工少。	维护成本高, UP-TIME 短 94%, 会有锅巴状 AlOx 粉末充斥在腔体里, 难清洁。	Meyer Burger
	管式	膜质好, 效率提升潜力大, 可在背面氧化铝及氮化硅膜之间沉积一层氧化硅, 钝化效果更好, UP-TIME 高。	易发生绕镀, 制备过程易损伤硅片表面, 工艺待提升。	CT 丰盛装备
	单片	非真空沉积, 单面生长, 低功耗、in-line 方式、占地小。	易碎片。	SoLayTech LiveTech
ALD+SiNx	管式	双面生长, 管管叠加架构, 产能增加容易, PM 间隔时间长, 片盒承载方式。	长厚膜产率下降快。	理想能源
	板式	单面生长, 对正面银浆要求低, 板式承载方式, 碎片率低, 生产兼容性和上下料自动化程度高。	体积大, 产能提高难度大。	微导 韩国 NCD Singulus

资料来源: 丰盛装备、Taiyang News, 民生证券研究院

国外 ALD 设备在技术参数上略胜一筹, 但国产设备正逐步得到市场认可。与早期就布局于

ALD 设备的 SolayTec 相比, 国内的代表厂商理想能源在开机保障率上与其持平, 都达到 95% 的水平, 而每小时硅片吞吐量约少 100 片, TMA 消耗量和膜层厚度也略高与前者。但是基于理想能源批量 ALD 设备的研发, 同时考虑到当前 PERC 生产的效率水平对膜层厚度的需求, 两厂商在技术层面的差距并不显著。理想能源的 ALD 设备在 2016 年实现量产, 所生产的 PERC 电池的效率可达 21.36%, 高于行业内同类技术平均 20.6%-20.9% 的效率水平。截止 2017 年 6 月, Ideal ALD 已经被多家国内电池厂商采用, 累计出货量超过 2GW, 其客户包括阿特斯、正泰、晋能、亿晶光电等厂商。

图 22: 国外 ALD 设备在技术参数上略胜一筹



资料来源: ITRPV, 民生证券研究院

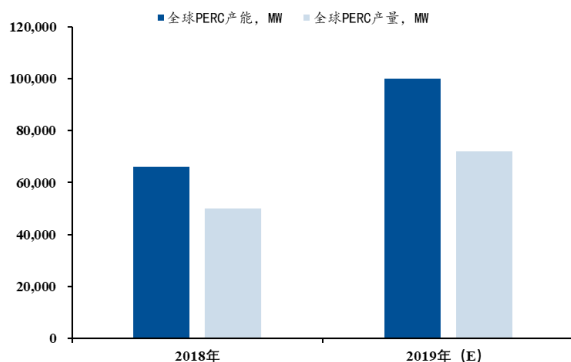
激光开槽设备逐渐实现国产替代, 帝尔激光充分发挥其后发优势。在激光开槽领域, 虽然 InnoLas 仍拥有举足轻重的地位, 但是在 2017 年, 帝尔激光设备的市占率已达到 76%, 占据大部分市场份额。**从技术上看**, 武汉帝尔激光的 PERC 太阳能电池激光消融设备, 利用激光消融技术在电池钝化层进行图形化开槽, 技术水平处于行业前列。**从价格上看**, 帝尔激光一套设备的售价仅为 200 至 300 万, 远低于国外同类产品。这一时期, 帝尔激光的激光开槽设备被主流电池厂商批量采购和使用, 主要客户包括天合光能、英利能源、阿特斯、晶科和晶澳等厂商。

(四) 爆发 (2018-2019): 高收益引爆 PERC 产能投资需求, 国产设备俨然成为行业主流

1、产能、产量与设备市场规模

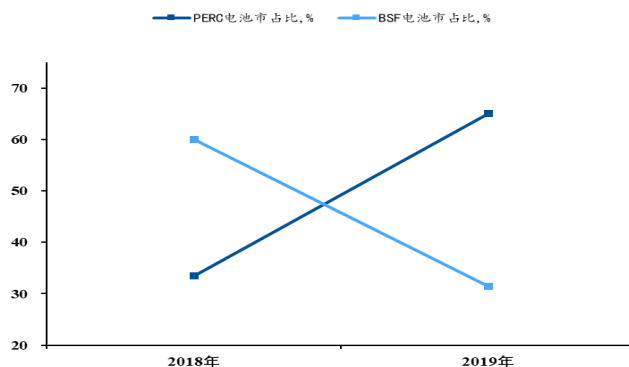
PERC 电池的产能和产量出现爆发式增长, 逐渐占据电池市场的主导地位。两年间, PERC 的产能扩张至 116GW, 增幅达 301.4%, 产量增加至 72GW, 增幅达 302.2%。而在 2019 年, PERC 电池的市占比也首次超过常规铝背场电池, 达到 65%, 占据市场的半壁江山, 远超多家智库预期。而铝背场电池市占比仅为 31.5%, 同比下降 28.5%。在这一阶段, PERC 电池真正成为市场的主流产品, 2019 年新投产的电池产线均为 PERC 电池, 部分原有普通单晶电池产线也逐步技改为 PERC 产线。

图 23: 2018-2019 年, PERC 产能迅速扩张



资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

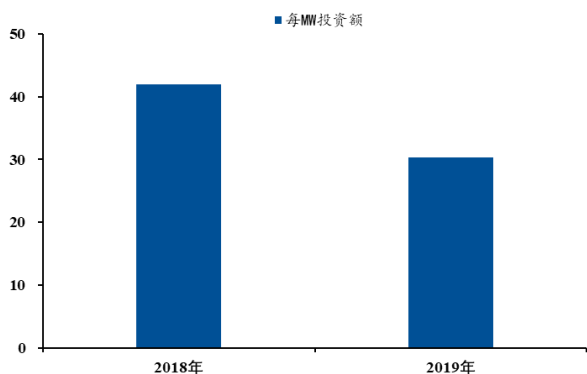
图 24: 2019 年 PERC 市占比首次超过传统 BSF 电池



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

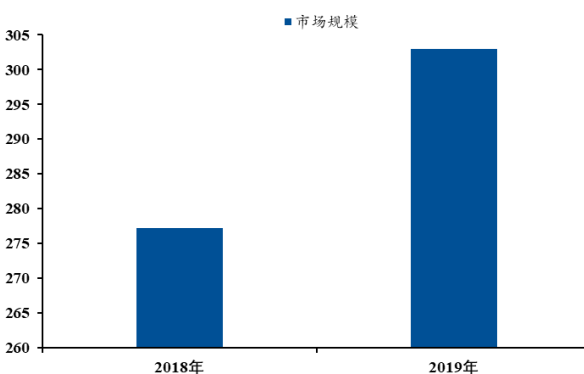
PERC 产能的爆发进一步刺激设备市场需求。这一阶段, 随着关键设备国产化的推进, PERC 电池产线的投资成本持续降低, 从 2018 年 42 万元/MW 降至 2019 年 30.3 万元/MW, 同比下降约 27%。但由于产能规模的爆发式增长, 市场规模仍呈现出倍速扩张的态势。根据前文分析, 2018-2019 年, 两年间 PERC 电池增加的产能规模约为 70.1GW, 参考 CPIA 以及爱旭的设备投资数据, 我们估计, 市场的增量规模约为 207.54 亿元, 其中作为 PERC 产线核心设备的背钝化和激光开槽设备, 市场规模分别达到 70.26/12.94 亿元, 背钝化和激光设备需求进一步增强。

图 25: PERC 设备投资额随设备国产化进一步降低, 万元



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

图 26: PERC 设备的市场规模呈爆发式增长, 亿元



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

2、市场政策

光伏最新政策的出台助推 PERC 市场份额的提升。“平价上网”是光伏产业发展中的核心之义, 2018 年出台的“531 新政”和 2019 年出台的“19 号文”, 进一步明确了“平价上网”的政策目标。政策主要针对占用过多补贴资源的落后产能, 着力解决行业内“低效产能过剩、高效产能不足”的结构性失衡问题, 必然推动电池市场由粗放式发展转向高效精细化发展, 为高效电池生产技术留出空间。

表 15: 2018-2019 年的代表光伏政策

日期	政策	措施	影响
2018 年 5 月 31 日	“531 新政”	加快补贴退坡、降低补贴强	加速“平价上网”的第一步, 推动行

2019 年 1 月 9 日	“19 号文”	度；加大市场化配置项目力	业技术升级，降低发电成本，减少补
		度。	贴依赖。
		推进建设不需要国家补贴的	正式对“平价上网”进行落实。使得
		平价上网试点项目；促进风	光伏产业链快速进入产能出清的周
		电、光伏发电通过电力市场化	期，倒逼企业进行技术改革，进行精
		交易无补贴发展。	细化管理。

资料来源：政府公告，民生证券研究院

PERC 技术成为这一时期“平价上网”背景下的最优技术路径。短期来看，在“531”光伏政策的背景之下，2018 年下半年出现“应用领跑者计划”抢装潮，高效率 PERC 电池供不应求，与常规单晶电池的价差持续拉开，8 月 0.1 元的价差在 11 月底扩大到 0.34 元。长期来看，PERC 技术于“光伏领跑者计划”中应运而生，逐步发展，其作为高效产能的代表，可以有效降低发电度电成本，顺应了光伏行业“去补贴化”平价上网的发展趋势。2018 年起，新建产线全部为 PERC 产线，原有产线也在加快 PERC 产线升级，以单晶 PERC 为代表的高效电池的市场份额大幅提升。

3、效率和成本

这一时期，单晶 PERC 电池的平均转换效率从 21.8% 提升至 22.3%。工艺改善带来的效率提高主要表现为浆料的改善，铝浆可以支持诸如点线和虚线的图案，最大限度减少背接触面积，并保持较低的提及电阻。同时，除 SE（选择性发射极）技术外，多主栅（MBB）技术，双面 PERC 技术也逐渐成为 PERC 电池发展方向。根据亚化咨询的数据，双面 PERC 电池可在几乎不增加成本的前提下，带来 10-25% 的发电增益。

表 16：PERC+ 技术或为 PERC 电池未来转换效率提升路径

技术名称	技术原理	核心设备
SE (选择性发射极)	对金属栅线与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂，降低了硅片和电极之间的接触电阻，又降低了表面的复合，提高了少子寿命，从而提高转换效率。	激光掺杂设备 刻蚀设备
双面 PERC	改变 PERC 电池印刷工艺，将普通 PERC 电池全铝层改为局部铝栅线，实现电池背面透光，吸收来自地面等的反射光，增加单位时间的发电量。	丝网印刷设备

资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

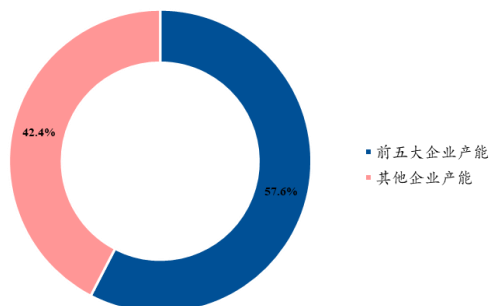
关键设备完成进口替代，设备投资持续降低，批量 ALD 设备的应用带来规模效应，进一步压低单位成本。2018 年至 2019 年，受益于 PERC 电池生产线的关键设备完成进口替代，设备投资大幅降低，2019 年通威向捷佳伟创采购的管式二合一 PECVD 设备，若按 4 年进行折旧，每年的设备摊销仅为 2700 万/GW，远低于 2015 年晋能 5000 万/GW 的数据。同时，批量 ALD 设备的研发和推出，使得单位时间所加工的硅片数量呈爆发式增长，2019 年江苏微导的 ALD 设备最高硅片处理数量高达 1 万片/h，而上一阶段主流 PECVD 设备的最高硅片处理量仅为 3400 片/h，这种量级跨越式的量产能力变化迅速摊薄单瓦功率成本。

4、产能格局

这一时期，电池头部厂商利用自身经营优势进一步扩大产能，预计未来产业集中度将进一步提高。光伏行业存在明显的马太效应，强者愈强，上游硅料和硅片环节已经呈现出多头

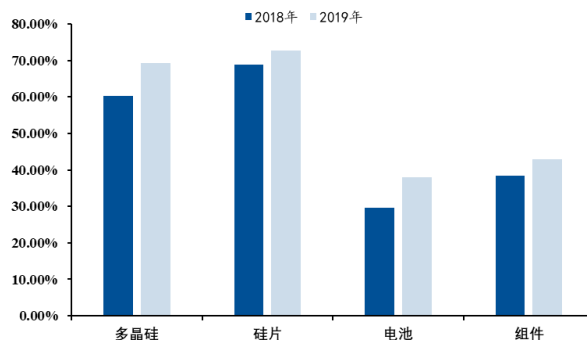
鼎立格局，电池环节正沿该方向发展。具体到 PERC 行业，2019 年，以通威、润阳、隆基乐叶、爱旭和晶科为代表的 PERC 产能前五大厂商，其 PERC 产能已占据全行业产能的 57.6%。

图 27：2019 年，PERC 前五大企业产能和的占比过半



资料来源：CPIA、爱旭股份公司公告，民生证券研究院

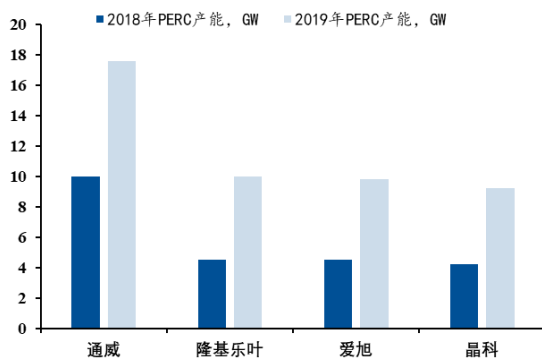
图 28：2018-2019 年，光伏各环节前五大企业产量占比



资料来源：CPIA，民生证券研究院

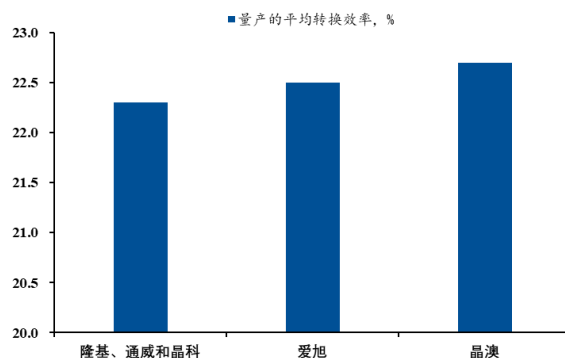
标杆企业是此轮产能扩张的主力。2018 年至 2019 年，通威作为全球最大的单晶 PERC 电池制造商，其产能从 9GW 扩张至 17.4GW，增幅约为 93%，而单晶 PERC 出货量全球第一的爱旭，其 PERC 产能则从 5.5GW 提升至 9.2GW，增幅约为 67.27%，硅片巨头隆基的产能则从 2018 年 4.5GW 扩展至 10GW，增幅约 122.22%。以上厂商切入 PERC 电池生产的时间较早，在技术端占优，此番继续加码 PERC，意在夯实其规模优势。

图 29：2018-2019 年，标杆企业继续加码 PERC



资料来源：爱旭股份公司公告，索比光伏网，民生证券研究院

图 30：2019 年，标杆企业在平均转换效率上遥遥领先



资料来源：Taiyangnews，智汇光伏，民生证券研究院

表 17：行业标杆企业 PERC 产能扩张进程

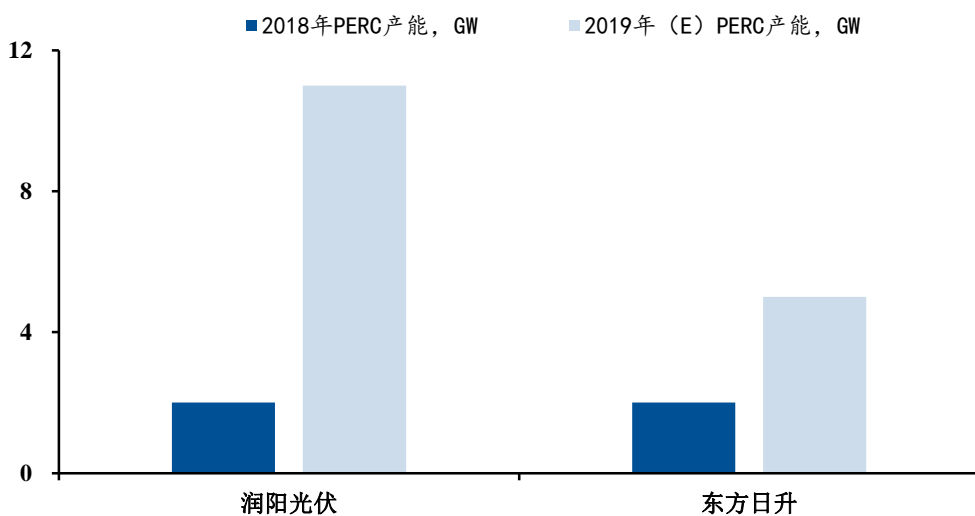
时间	公司	具体内容
2018 年 6 月	隆基	将所有电池生产线全部升级为 PERC 电池产线，下半年将拥有 2.5-4GW 的自主 PERC 电池产能，加上外部战略合作，将共拥有约 8GW 的 PERC 电池产能。
2018 年 7 月	爱旭	第四次增资：拟投资建设天津一期 3.8GW 和义乌二期 3.8GW 单晶 PERC 电池项目。
2018 年 12 月	晶科	具有电池产能 7GW，预计 2019 年底，PERC 电池产能 9.2GW。
2019 年 4 月	隆基	银川 3GW 单晶电池项目，计划 2020 年上半年逐步投产。
2019 年 5 月	晶科	发行 1.6 亿美元 ADS 融资，将内部产能进一步迁移至 PERC 以扩大 PERC 电池和单晶硅片产能。

2019年6月 晶澳 常规 PERC 电池已全面切换为第二代 PERC 电池 (SE-PERC)，平均转换效率达到 22.10%，95%以上效率分布为 21.80-22.40%。

资料来源：隆基股份、爱旭股份、晶澳科技、晶科能源公司公告，民生证券研究院

新秀企业弯道超车，产能比肩行业巨头。以润阳光伏和东方日升为代表的这类新秀企业，虽然进入 PERC 电池行业较晚，但具备后发优势。其旧有产能小，扩产以新建产线为主，生产效率和生产成本均优于技改升级产线。2018 年至 2019 年，润阳光伏的 PERC 产能从 2GW 暴增至 11GW，增幅达到 450%，产能直逼通威和爱旭。东方日升受益于海外订单，PERC 产能从 2GW 增长至 5GW，增幅约为 150%，产能持续释放，后劲十足。

图 31：新秀企业 PERC 产能倍速扩张，GW



资料来源：润阳光伏、东方日升公司公告，民生证券研究院

表 18：扩张代表事件

时间	公司	具体内容
2018 年 1 月	东方日升	奠基仪式：江苏金坛 5GW 光伏电池和 5GW 光伏组件的光伏产品制造基地； 2018Q4 一期 2GW 高效电池项目已实现陆续量产，2019 年 Q1 处于满负荷生产状态； 二期项目预计将在 2019 年 6 月份投产。
2019 年 10 月	润阳光伏	开工：年产 6GW 高效 PERC 电池项目； 一期设计产能 3GW，预计 2020 年 6 月开始量产； 二期设计产能 3GW，2021 年 6 月开工建设。

资料来源：东方日升、润阳光伏公司公告，民生证券研究院

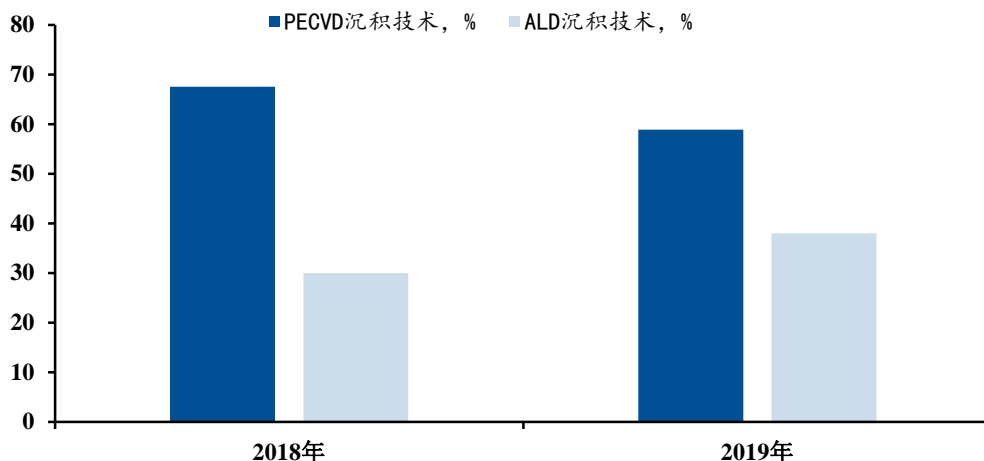
5、工艺和设备

这一时期，设备的工艺相对稳定，设备领域主要表现出两大趋势，一是 ALD 设备的市场份额有所增长，二是 PERC 的关键设备完成了国产化进程。

PECVD 工艺仍然作为这一时期的主流沉淀技术，但是 ALD 技术已强势崛起。2018 年，新增的产能中有近 60%的产能采用 ALD 沉积技术。2018 至 2019 年，PECVD 技术的市占比从 67.9%下滑至 58.9%，同比下滑 12.74%；ALD 技术的市占比从 30%提升至 38%，同

比增长 26.67%。

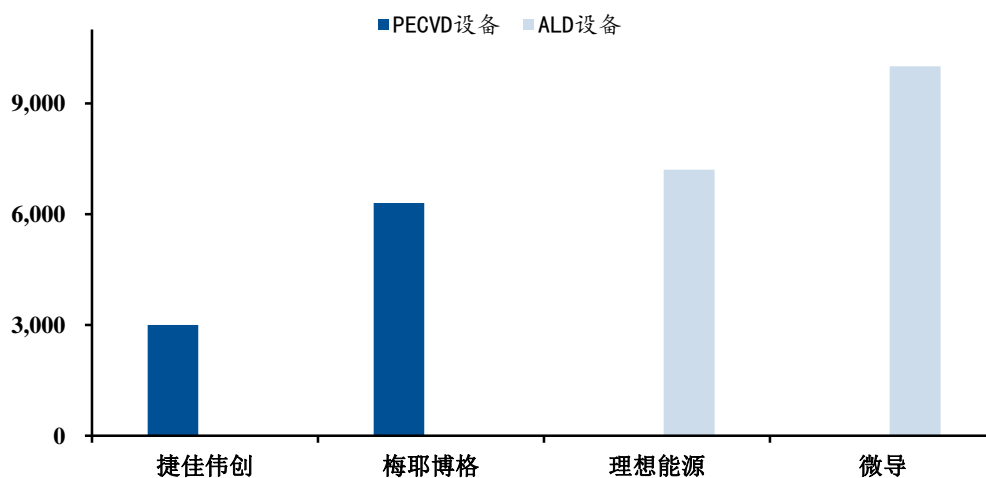
图 32: PECVD 技术路线市占比有所下降, ALD 市占比相应上升



资料来源: CPIA, 民生证券研究院

微导 ALD 系统获得光伏行业标杆客户的批量订单。在批量重复验证中, 微导 ALD 产线的电池效率、EL 良率、设备稼动率、安全性能、产能和综合使用成本等关键技术指标均超越现有的主流国外技术, 其中, 最为瞩目的是其超高的量产率, 微导 2018 年提供的 ALD 系统, 每小时可以处理 6500 个硅片, 19 年推出的设备量产能力则达到每小时 10000 个硅片。2018 年, 微导获得通威太阳能的订单, 为其新增 6GW 产能提供全部基于微导原子层沉积钝化技术的高效 PERC 电池钝化装备, 微导在短短两年内为全球光伏市场提供了近 20GW 的高效电池量产设备。

图 33: 微导 ALD 设备的产量远高于现有设备, 硅片/h



资料来源: Taiyang News, 民生证券研究院

捷佳伟创管式二合一 PECVD 设备得到电池巨头认可。通威太阳能在 2018 年专业电池厂商产能排名中居首，2019 年 4 月，通威成都四期 3.8GW 的高效晶硅电池项目进行招标，捷佳伟创以管式氧化铝二合一设备竞标，虽然德国设备厂商 CT 在招标结束后告知通威，其或与捷佳伟创有专利纠纷，但捷佳伟创以其专利文件证明设备的自主权利，最终成功获得通威超过 4 亿的设备采购合同，订单金额折合 1.05 亿元/GW，同时，通威成都四期的 PERC 电池的背钝化工艺将全部选用捷佳伟创管式 PECVD 氧化铝二合一设备。捷佳伟创 PECVD 设备，有效证明了其在 PERC 增量市场中，获取大量市场份额的能力。

PERC 电池激光加工设备市场集中度较高，帝尔激光作为行业内少数可以提供高效太阳能电池激光加工综合解决方案的企业，收入和在手订单保持较高增速。客户包括天合光能、隆基股份、阿特斯太阳能、晶澳太阳能、东方日升等电池厂商。

三、以 PERC 电池发展经验为本，予异质结电池设备投资以启示

(一) 试验产能规模有限，规模化量产尚需过渡时间

参考 PERC 电池的量产进程，根据电池产能、产量，产品渗透率以及量产关键性事件，我们可以将电池的发展历程，大致概括为三个阶段。第一阶段，电池产能总量较小，以试验产能为主，产量及产品渗透率几乎可以忽略不计，在此期间，代表性的电池企业，相继完成电池的试制，电池实现小规模量产，技术路线的可行性得到验证；第二阶段，电池产能快速增长，实现批量出货，产能及产量均占据一定的市场份额。在此期间、技术领先的产业链龙头企业纷纷入局电池。降本提效成为这一时期电池发展的主旋律，产品的利润水平也开始逐步提升。第三阶段，在高额利润的驱动下，除已入局玩家外，具有技术优势和品牌效应的二线厂商也开始大规模扩产，电池产能最终实现爆发式增长。而与之相对应，新型电池的渗透率也大幅提升，最终超过传统电池，一跃成为市场的主流产品。

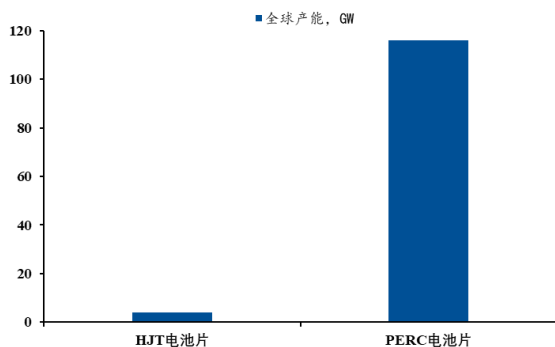
表 19: PERC 电池不同发展阶段的重要事件

阶段	重要事件
第一阶段	晶澳、中电光伏单晶 PERC 电池于 2014 年实现量产。
第二阶段	PERC 电池的量产效率从 20.5% 逐步提升至 21.3%，增量工序设备投资从 3 亿/GW，下降至 1.3 亿/GW。
第三阶段	PERC 电池产能提升至 116GW，产量提升至 72GW，市占比高达 65%，首次超过 BSF 电池，占市场主导地位。

资料来源：晶澳科技公司公告，Taiyangnews，索比光伏网，民生证券研究院

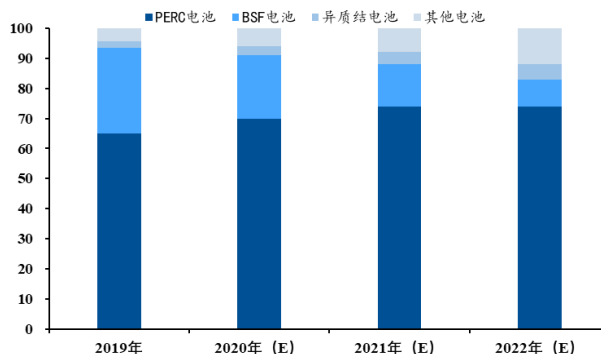
异质结电池发展或处于第一阶段，当前正向第二阶段逐步过渡。从产能角度，2019 年，异质结电池的全球产能约 4GW，规划产能约 20GW，产能占比不到 1.6%。从产量和产品渗透率的角度，当前 PERC 电池和传统 BSF 电池市占率达到 93.5%，排除其他 TOPCON 等 PERC+ 技术的市场空间，异质结电池的产品渗透率仅为 1.3%，渗透率极低。

图 34: 2019 年，异质结与 PERC 电池产能对比，GW



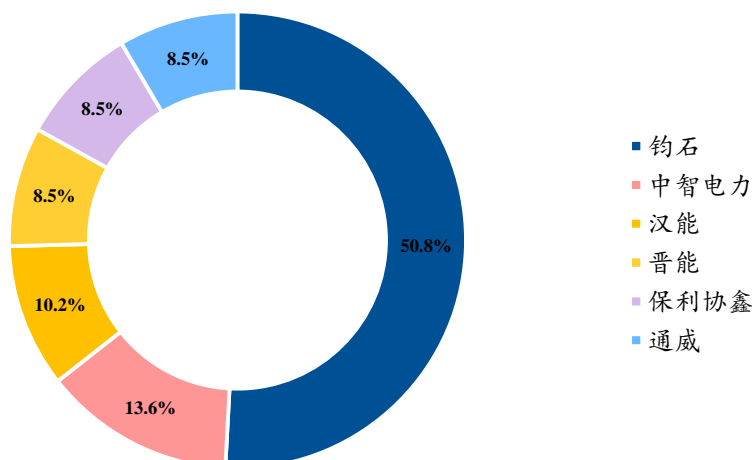
资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

图 35: 各种电池技术市场占比图，%



资料来源：CPIA，民生证券研究院

图 36：国内现有异质结产能较小且较为分散



资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

从厂商量产进展的角度，2016 年，钧石率先建成国内首条拥有自主知识产权 100MW 高效异质结生产线；2017 年，汉能和晋能就开始布局异质结电池生产线，现有产能约 120MW 和 100MW。2018 年，中智、国电投和阿特斯跟进，中智电力现有产能约 160MW，钧石能源 1GW 的高效异质结电池和组件工厂于 2018 年 2 季度投产，现有产能约 600MW。2019 年，钧石能源和山煤共建 10GW 级异质结电池基地，6 月份，电池巨头通威第一片异质结电池下线。随着各厂商异质结电池产线逐步落地，电池试产成功，参考上文的分析，我们认为，当前异质结电池的产业化进展与 2014 年 PERC 电池较为相似，异质结电池或处于第一阶段，当前正向第二阶段逐步过渡。

表 20：异质结厂商的进展

时间	公司	括产内容
2017 年 3 月	汉能	成都 360MW 异质结电池生产线技术升级改造项目。
2017 年 5 月	晋能	2GW 异质结电池及组件项目一期投产。
2018 年 3 月	中智电力	预计 2019 年四季度建成 8 条共 1GW 异质结太阳能电池产线及相关配套设施，力争在 2020 年一季度实现全面量产。
2018 年 5 月	国家电投	高效晶体硅铜栅线异质结光伏电池研发中试项目落地。2019 年初完成整线调通工作，中试线设计产能规模为 100MW。
2018 年 9 月	阿特斯	建设太阳能电池板组装机项目建成 3GW 太阳能高效电池，九月中旬进入量产，预计十月底将全部达产。
2019 年 2 月	晋锐能源	开工：5GW HDT 高效异质结太阳能电池项目，一期年产 HDT 高效太阳能电池 2GW。
2019 年 6 月	通威股份	合作建设的 1GW 超高效异质结 SHJ 太阳电池产业化项目，一期建设产能 200MW。2019 年 6 月份实现了第一片的异质结电池下线，效率 23%。
2019 年 7 月	钧石、山煤	签约：共建高达 10GW 的异质结太阳能电池（HDT）生产基地。
2019 年 8 月	东方日升	宁海 2.5GW 异质结电池一期开工，预计 2020 年 3-4 月投产。

资料来源：东方日升、通威股份、山煤国际公司公告，索比光伏网，民生证券研究院

参考晶澳与中电光伏量产进程，PERC 电池从产线动工到产品量产大约需要两年时间。在

PERC 电池发展的第一阶段，晶澳和中电光伏相继成功量产：晶澳在 2012 年 6 月取得 PERC 技术专利，2013 年 8 月完成 PERC 单晶电池的试制，2014 年 6 月成功量产 PERC 电池；中电光伏于 2013 年 6 月进行量产，2014 年 7 月实现批量化稳定生产。综合来看，PERC 电池从产线动工到产品量产大约需要两年时间。其中，从产线动工，以及技术研发到产线试产成功用时约一年，从产线试产成功，通过调试，最终实现量产用时大约也需要一年。

表 21：晶澳 PERC 电池量产时间表

时间	进展
2012 年 6 月	晶澳取得 PERC 技术专利。
2013 年 8 月	晶澳 PERC 单晶电池完成试制，投入生产。
2014 年 6 月	晶澳的 Percium 高效电池正式量产，量产转换效率达到 20.4%。

资料来源：晶澳科技公司公告，民生证券研究院

表 22：中电光伏 PERC 电池量产时间表

时间	进展
2013 年 6 月	研发人员成功制作出效率达 20.3% 的高效单晶电池，并开始进行优化和量产。
2014 年 7 月	35MW 的 PERC 电池示范线于 7 月实现批量化的稳定生产，内部测试效率达 20.44%。

资料来源：索比光伏网，民生证券研究院

国内异质结电池当前已实现了小批量生产，但规模量产仍需要一定时间。钧石能源起步较早，作为设备供应商有研发和量产硅基薄膜太阳能电池生产线的经验，于 2010 年开始研发高效单晶异质结电池，在 2016 年建成 100MW 异质结生产线，效率突破 23%，在 2018 年 2 季度，钧石 1GW 的高效异质结电池、组件工厂投产。通威在 2018 年年底启动异质结电池研发产线，2019 年 6 月正式运行，第一片异质结电池下线，转换效率达到 23%。虽然国内异质结电池产业化已经取得了阶段性进展，实现小批量生产，但规模量产仍需要一定时间。其中，一方面，除了参考 PERC 电池的历史经验外，另一方面，从产业链的角度，也存在两方面的因素。

表 23：钧石能源异质结进度

时间	进展
2010 年	开始高效单晶异质结电池的研发。
2012 年	完成高效单晶异质结电池工艺及装备整合。
2014 年	高效单晶异质结电池量产线突破 21.5% 的转换效率。
2016 年	建成国内首条拥有自主知识产权 100MW 高效异质结生产线，效率突破 23%。
2018 年	建设全球首个 1GW HDT 高效异质结电池、组件工厂，2018 年 2 季度投产。

资料来源：索比光伏网、北极星，民生证券研究院

表 24：通威质结进度

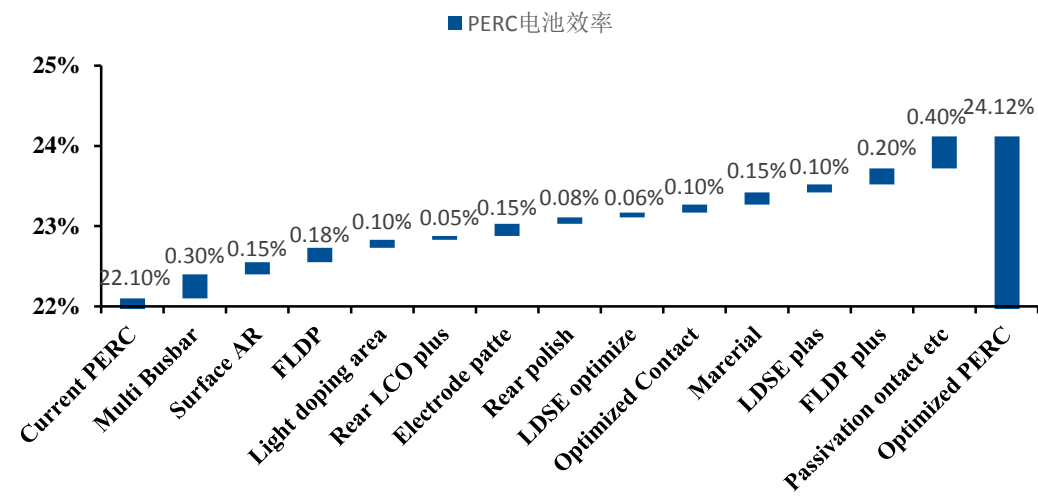
时间	进展
2018 年年底	启动异质结电池产线研发。
2019 年 6 月	第一片异质结电池下线，转换效率达到 23%。

资料来源：通威股份公司官网，民生证券研究院

1) PERC 电池仍具备降本提效的空间，间接提高异质结电池的机会成本。虽然 PERC 技术面临效率瓶颈的压力，但是通过相关技术叠加，如背钝化、LDSE、FLDP 技术以及其他各段工序的优化，优化后的 PERC 的电池未来有望实现 23.5% 以上的转换效率。从产业沟

通情况看，目前规模化的新增产能仍以 PERC 电池为主，但同时也为 PERC 相关的技术升级预留充足扩展空间。可见，PERC 电池仍具备降本提效的空间。这可能间接提高异质结电池的机会成本，从而推迟异质结电池规模量产的时间节点。

图 37: PERC 仍存在效率提升空间



资料来源：中利腾辉，民生证券研究院

2) 有别于 PERC 电池，异质结电池的技术生态仍有待建立。电池技术从传统的铝背场过渡到 PERC，尽管技术路径发生了变化，但电池本身的技术生态，无论是上游的硅片端，还是下游的组件端，均没有出现显著的改变。然而，异质结作为全新一代的平台型电池技术，异质结电池的技术生态与上一代的 PERC 电池却有着显著的区别，仍有待建立，因此，异质结电池规模量产的时间节点也可能晚于 PERC 电池。

(二) 多维度降本提效有望打开电池利润空间，推动电池产能扩张和设备放量

参考 PERC 电池产业化历程，高额利润是产能扩张和设备放量的重要催化。根据前文分析，2017 年，单晶 PERC 与单晶电池平均转换效率差约为 1%，两者的价差约为 0.25~0.35 元/W，扣除设备及有关材料的成本增量摊销后，PERC 电池将会获得 0.18-0.28 元/W 的高额利润。若对传统产线进行改造，升级改造投资的回收期仅为 1-2 年。在高额利润的刺激下，PERC 电池产能迅速扩张，带动相关设备需求快速放量。2018-2019 年，国内累计新增 PERC 电池产能 87GW，设备市场的增量空间约为 207.54 亿。

多维度降本提效有望打开异质结电池利润空间，产能扩张和设备放量未来可期。在降本方面，材料端和设备端都可有所作为：1) 异质结电池低温工艺下，硅片更易于实现薄片化以降其成本；2) 银浆国产化和规模化生产会直接降低其价格，多主栅工艺也降低单片耗银量；3) 靶材也逐步向国产化方向努力；4) 设备进口替代降低投资成本，同时设备单位处理能力提升，有效降低单瓦成本。在提效方面，作为原材料的银浆和靶材有大幅优化的可能，技术上异质结比 PERC 更具想象空间，如沉积方式从 PVD 专项 RPD 以及多主栅、光注入

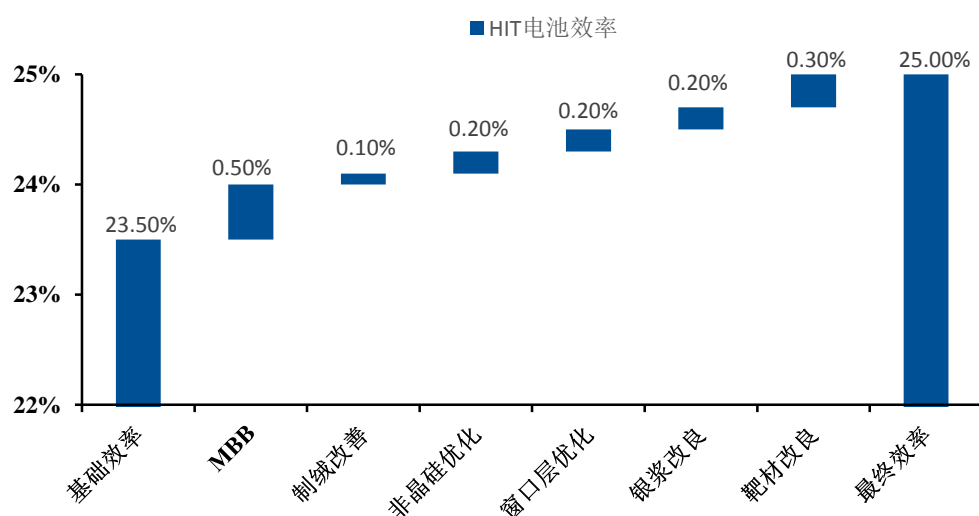
退火的叠加,甚至与钙钛矿电池结合形成叠层电池。若异质结电池最终实现 25% 的转换效率,较升级后的 PERC 电池提升 1.5% 的转换效率,而增量的非硅成本控制在 0.07-0.1 元/W,考虑到异质结组件的发电增益,则异质结电池的增量利润有望高达 0.14-0.17 元,增量利润空间可观。未来,随着增量利润的浮现,必将吸引更多资本入局异质结,群雄逐鹿,异质结的产能将进入新一轮扩张周期,由此带来的对异质结设备的需求将进一步释放,设备厂商将迎来新的业绩增长机遇。

表 25: 异质结电池降本途径

项目	内容
硅片	异质结的低温工艺为硅片的薄片化创造可能,耗硅量下降可削减硅片成本。
银浆	适用于异质结的低温银浆国产化,随着需求放量,存在降价空间。 多主栅工艺逐步改进,可有效减少银浆耗用量。
靶材	PVD 工艺的 ITO 靶材和 RPD 工艺的 IWO 靶材国产化,降低单成本。
设备	核心设备逐步实现进口替代,将大幅降低设备投资成本。 设备通量提升,单位硅片产出增加,将有效摊薄单位投资成本。

资料来源:光伏前沿,民生证券研究院

图 38: 异质结优化与改良路径



资料来源:光伏前沿,民生证券研究院

(三) 技术从少数厂家对外逐渐形成扩散,技术领先产业链龙头企业优势明显

PERC 电池竞争格局的演化呈现出两个特点: 1) 产能中心从海外向国内转移,国内 PERC 电池厂商逐渐占主导。以通威、爱旭为代表的电池厂商,逐渐替代 Solar World, SolarTech 等电池厂商,而产业化早期,产能和销量均位列领先地位的台湾厂商也逐渐被边缘化。2) 在国内 PERC 电池发展过程中,技术从少数厂家对外逐渐形成扩散,技术领先的产业链龙头优势明显。第一阶段,以晶澳、中电光伏为首的厂商掌握了 PERC 的核心技术,

并率先实现量产；第二阶段，产业链龙头企业迅速跟进，加码 PERC 电池，而新晋玩家也开始押注 PERC；第三阶段，电池头部厂商利用自身经营优势进一步扩大产能，少数新秀企业晋身第一梯队，最终实现弯道超车，行业集中度进一步提升。但回顾 PERC 发展的三阶段，从晶澳到隆基、通威，再到爱旭和东方日升，无一不是技术领先的产业链龙头企业。而与 PERC 相比，异质结电池对于技术的要求更高，面临技术挑战更多，技术提效对于异质结的推动作用更为显著。因此，在技术升级为主线的量产过程中，技术沉淀较少的新晋企业恐怕较难突围。

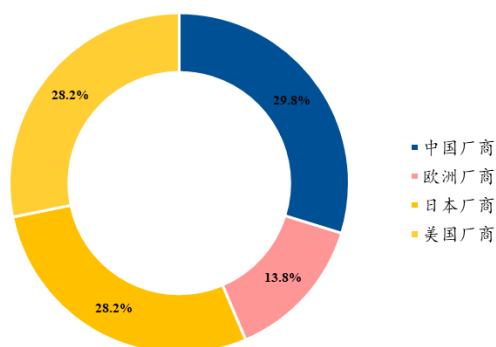
表 26: PERC 电池的代表厂商

厂商	厂商地位
晶澳	光伏行业内少有的覆盖光伏全产业链的巨头之一。2011 年，晶澳太阳能全年组件和电池片出货量为 1.69GW，位列全球销售量前三，在中国电池片制造商中排行第一。
隆基	全球单晶硅片龙头，始终坚持单晶路线，具有技术、资金和成本三重优势，业务不断向产业链下游延伸。2016 年，隆基单晶硅片产能 7.5GW，全球第一，单晶组件产能 5GW，出货量居国内第一。
通威	电池全球出货量第一。是一家从上游多晶硅生产、太阳能电池片生产、到终端光伏电站建设的垂直一体化光伏企业，拥有产业链条上完整的自主知识产权。
爱旭	持续深耕单晶和双面 PERC 技术，在 PERC 时代成功实现弯道超车。拥有独创的管式 PERC 技术，在成本和效率方面具有比较优势，2017 年成功利用管式 PERC 技术实现单晶 PERC 电池量产。2018 年全年单晶 PERC 电池出货量第一。

资料来源：晶澳科技、隆基股份、通威股份、爱旭股份公司官网，民生证券研究院

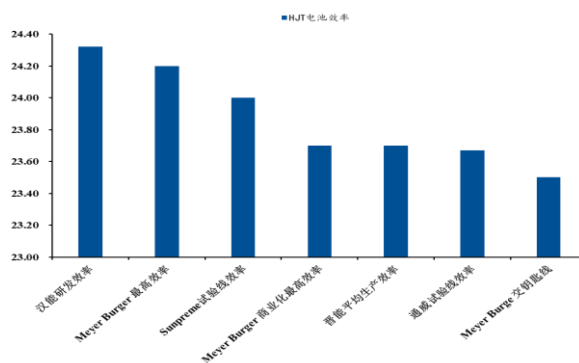
在异质结电池方面，国内厂商或已占据先机。PERC 电池逐步面临效率瓶颈，倒逼国内一线电池厂商提前布局下一代高效电池技术。根据 Taiyang News 2019 年 3 月的相关统计数据，国内厂商产能在全球中的占比约为 29.8%，比例已略高于日本和欧美厂商，位居全球第一。而随着研发投入的持续加码，无论是研发效率还是平均量产效率，国内电池厂商丝毫不逊色于海外的电池厂商。可见，在异质结电池方面，国内厂商或已占据先机。

图 39: 国内厂商异质结产能略高于国外厂商



资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

图 40: 国内厂商异质结电池效率毫不逊色



资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

（四）进口替代为大势所趋，国内设备厂商不断弥合技术差距

PERC 电池核心设备的发展呈现出进口替代的趋势，国内设备厂商不断弥合技术差距。在 PERC 电池发早期，国产设备与国外设备差距较大，核心设备完全被国外厂商垄断，国产

设备仍处于早期的试产和验证阶段；待进入第二阶段，核心设备的供应商仍是海外厂商，但凭借良好的产品性价比，国内设备厂商崭露头角，国产的 PECVD、ALD 和激光开槽设备逐步获得了市场的认可；到了第三阶段，国产设备成为生产 PERC 电池的主流设备，PERC 的核心设备实现进口替代。

异质结设备领域，国内外设备厂商差距缩小，设备国产化进程或将提速。国产 PECVD 现已进入异质结试验线的供应体系，在沉积本征和掺杂非晶硅薄膜环节，理想万里晖提供的 PECVD 设备在备受好评，迈为股份也不断精进其 PERCVD 设备；在沉积 TCO 薄膜环节，钧石能源的 PVD 设备已经入大规模生产应用，捷佳伟创在获得 RPD 等离子枪专利授权后，打破台湾厂商 Archers 作为 RPD 工艺唯一供应商的垄断。

表 27：国内设备厂商已进入异质结设备供应体系

环节	国内代表厂商	提供设备	下游主要客户
非晶硅薄膜沉积	理想万里晖	PECVD	通威
	迈为股份	PECVD	通威
TCO 薄膜沉积	捷佳伟创	RPD	通威
	钧石能源	PVD	山煤

资料来源：通威股份、山煤国际公司官网，民生证券研究院

1) 理想万里晖：国内 PECVD 先行者。早在 PERC 电池发展的初期，公司便已投身于异质结 PECVD 设备的开发，公司开发的设备具有抽屉式反应腔和双真空反应腔等优势，适用于从中试线的研发到产业化的全过程。2017 年 10 月，公司首台异质结电池量产型 PECVD 顺利交付、打破国外厂商垄断异质结核心 PECVD 设备供应的局面；2019 年 1 月，公司战胜美国应材、欧洲梅耶博格、日本真空等竞争对手，成功中标通威 100MW 异质结项目，2019 年 4 月，公司首台异质结叠层 PECVD 设备正式启运，6 月实现第一片电池出片。

表 28：理想万里晖 PECVD 设备发展过程

时间	进展
2017 年 10 月	顺利完成首台 SHJ 用量产型 PECVD 产品发货，打破了国外供应商的垄断，成为国内新建 SHJ 产线首选 PECVD 供应商。
2019 年 1 月	PECVD 设备战胜美国应材、欧洲梅耶博格、日本真空等竞争对手，中标通威 100MW 异质结项目。
2019 年 6 月	首台双层异质结量产型 PECVD 设备生产的 SHJ 电池下线成功，转换效率达到 23%。

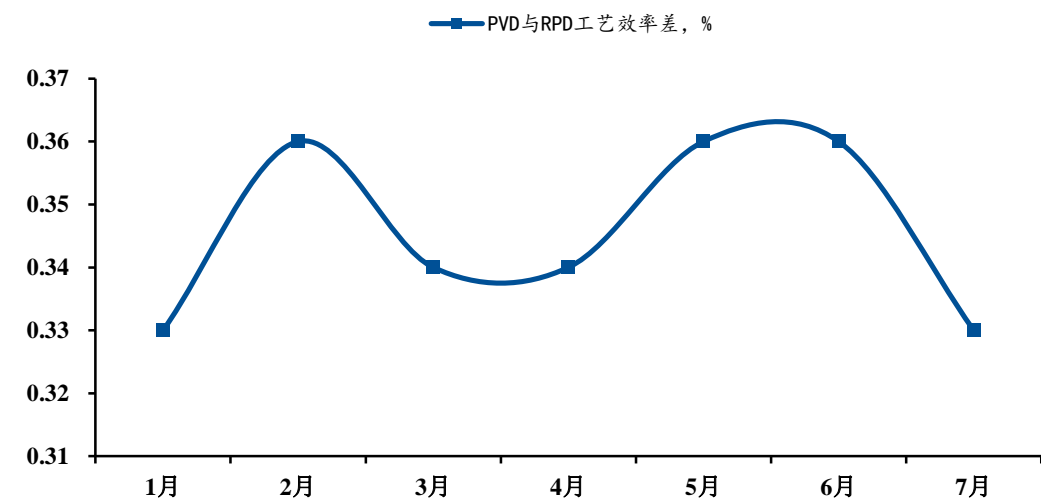
资料来源：索比光伏网，民生证券研究院

2) 迈为股份：领先的国产设备厂商，PECVD 和激光切割设备同时发力。为通威 250MW 异质结试验产线提供核心 PECVD 设备。其 PECVD 真空镀膜设备采用线性排布方式，通过创新硅片传送方式以实现超大产能，可根据电源功率、气压、气体流量调节沉积成膜厚度。同时，迈为也在研发一种激光无损切割机，主要针对异质结电池，可将切割前后的效率差控制在 0.3% 左右，为异质结叠瓦组件应用提供基础。

在沉积 TCO 薄膜环节，RPD 工艺应用潜力巨大。PVD 工艺是当前沉积 TCO 薄膜的主流技术路线，在薄膜电池领域应用较为广泛，工艺比较成熟，成本相对较低。相比 PVD 技术，虽然 RPD 工艺成本较高，但采用 RPD 技术可使效率提高大约 0.3-0.5%。参考 PERC

电池的背钝化工艺逐步从 PECVD 转向 ALD 的经验，随着 RPD 工艺的成本问题逐步得到解决，RPD 将有望成为更为主流的技术路径。

图 41：2019 年，与 PVD 工艺相比，RPD 工艺的效率约高出 0.33%至 0.36%



资料来源：晋能科技，民生证券研究院

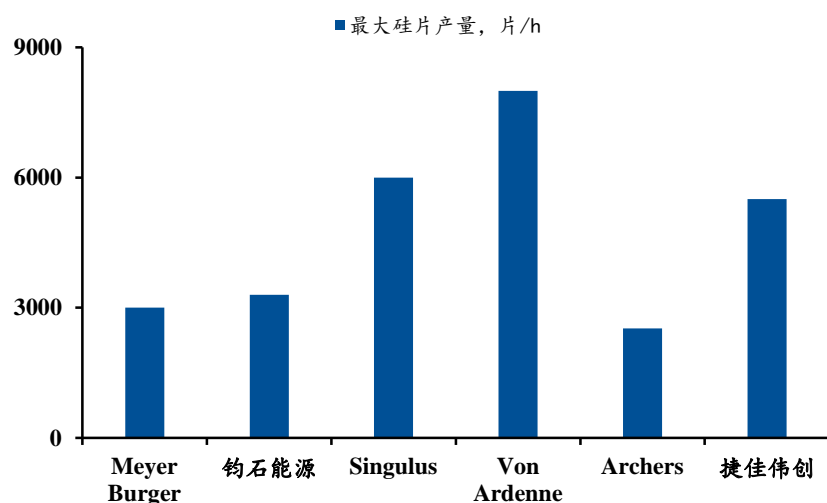
捷佳伟创 RPD 设备已进入推广阶段，提前卡位 RPD 设备获得先发优势。捷佳伟创在 RPD 等离子枪专利授权后，成功打破台湾厂商 Archers 对 RPD 工艺的垄断，RPD 设备实现突破。其在 2019 年 SENC 上推出的 RPD 设备可达 3000 片/h，研发的 RPD5500 设备毛产能可达到 5500 片/时，开机时间达 90%。同时，捷佳伟创深度绑定下游电池行业龙头客户，在通威异质结试验产线上，捷佳伟创作为核心工艺设备供应商，提供了湿法制程、RPD 制程、金属化制程三道工序的核心装备。随着 RPD 设备应用的不断推广，公司也有望从中受益。

表 29：TCO 薄膜沉积设备厂商设备应用

厂商	产品	技术	应用规模	双面沉积
Meyer Burger	HELia PVD	PVD	R&D、试点和大规模生产	√
钧石能源	-	PVD	大规模生产	√
Singulus	GENERIS PVD 6000	PVD	大规模生产	√
Von Ardenne	XEAlnova L	PVD	大规模生产	√
Archers	RPD-35	RPD	R&D、试点和大规模生产	√
捷佳伟创	-	RPD	R&D、试点和大规模生产	×

资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

图 42：不同 TCO 薄膜沉积设备供应商的硅片处理量

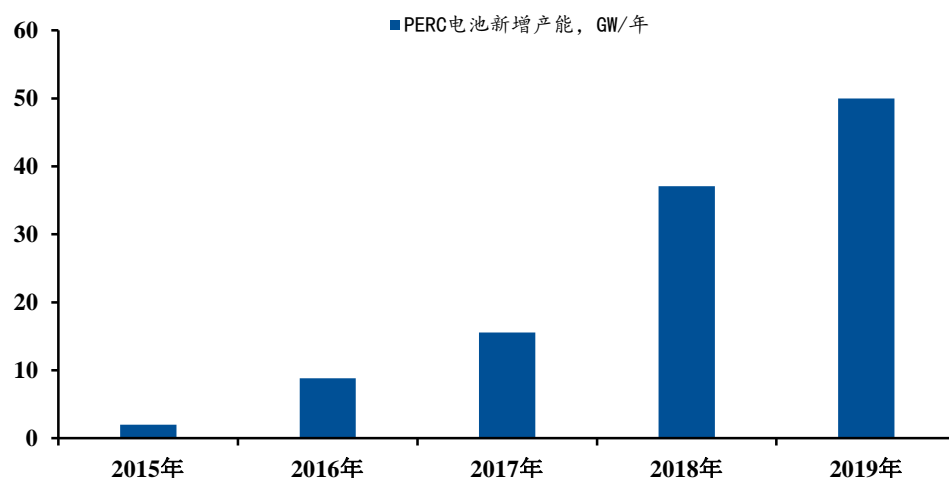


资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

（五）参考 PERC 产能的扩产数据，异质结电池设备市场规模空前广阔

PERC 电池新增产能峰值约为 50GW，异质结电池的峰值或将达到 60GW。PERC 电池量产的可能性在第一阶段得到验证，随后，PERC 的产能迅速扩张，在第二阶段 2015-2017 年中，年新增产能约为 2/9/16GW，在进入第三阶段后，PERC 电池的产能进一步爆发，2018 年 PERC 电池的新增产能约为 37GW，2019 年出现峰值，新增产能约为 50GW。当前，电池片需求量约 140-150GW，未来产能累计保有量可能会进一步增加，如果未来异质结对 PERC 形成完全替代，预计其峰值或将超过 60GW。

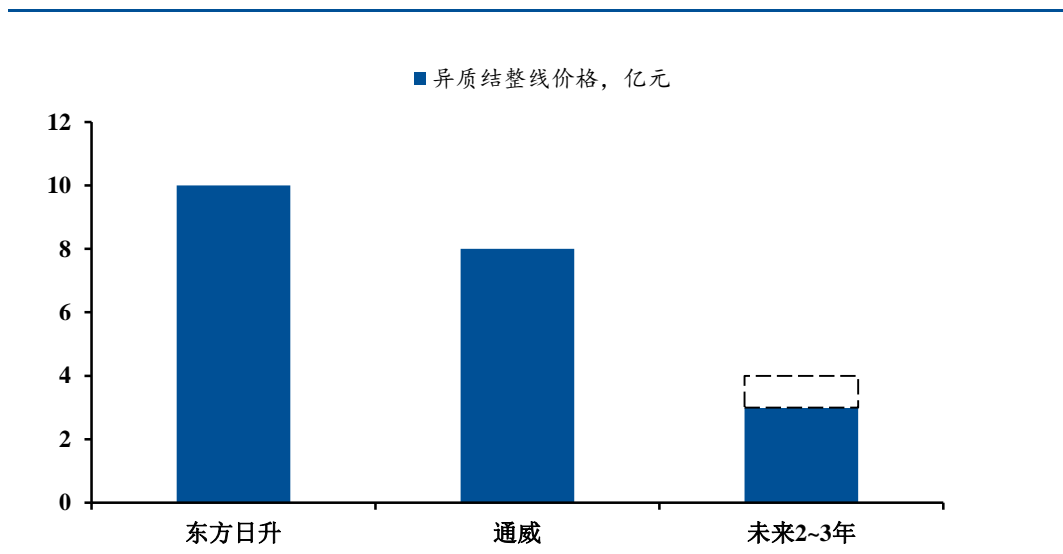
图 43：PERC 电池年新增产能趋势图



资料来源：Taiyang News，民生证券研究院

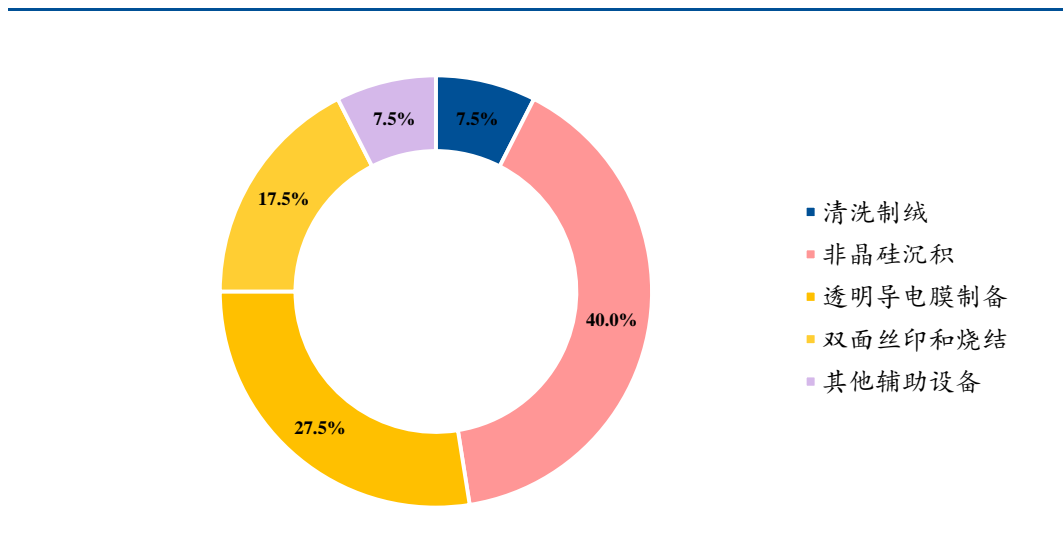
异质结产能的爆发带来设备市场繁荣，设备进口替代是异质结产能得以爆发的关键因素，因此在异质结的扩张中，国产设备大有可为。东方日升异质结产线全部使用进口设备，1GW 产能在 10 亿元左右，通威将三个环节的设备替换为捷佳伟创的设备，造价降低为 8 亿元。未来随着设备国产化进一步实现，设备造价降低伴随设备产能增强，异质结电池的产线造价或可降至 3-4 亿元/GW。未来，异质结产能爆发之时，根据估算，市场规模或达 180-240 亿元，其中清洗制绒设备约 13.5-18 亿元；非晶硅沉积设备约 72-96 亿元；TCO 镀膜设备约 49.5-66 亿元；丝印烧结设备约 31.5-42 亿元；其他辅助设备约 12.5-18 亿元。各环节，尤其是非晶硅沉积环节，市场空间增量可观，提前布局异质结的设备厂商必将收割大量市场份额。

图 44：异质结设备整线价格及其未来走势



资料来源：东方日升、通威股份公司公告，民生证券研究院

图 45：异质结各工序的设备投资额占比



资料来源：东方日升公司公告，民生证券研究院

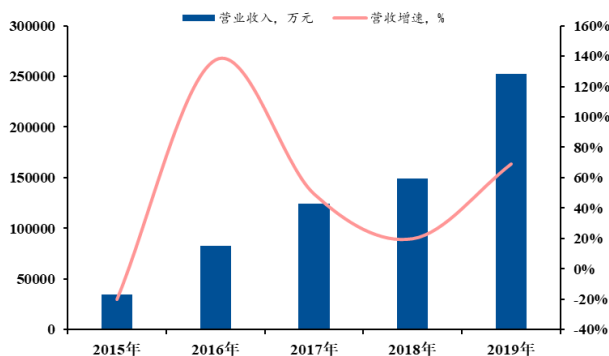
四、投资建议

复盘十年 PERC 电池的发展历程，我们认为，作为下一代新型高效电池技术，异质结电池正处于小批量生产向规模化量产过渡阶段，市场前景广阔，技术领先的国内厂商有望占据先机，夺得头筹。而随着国内外电池设备的技术差距逐步缩小，凭借良好的产品性价比以及便捷的本土配套服务，国内设备厂商具备较大发展潜力。综合考虑技术水平、客户资源以及产品系列等因素，重点推荐异质结国产设备龙头企业捷佳伟创、迈为股份。

（一）捷佳伟创（300724）：国内领先的光伏设备制造商，率先布局异质结电池核心设备

公司是国内领先的晶体硅太阳能电池生产设备制造商，经过十多年的深耕与积累，目前已发展成为国内光伏电池设备龙头企业，形成以 PECVD 设备、扩散炉、制绒设备、刻蚀设备、清洗设备为核心、覆盖电池全工艺流程的产品体系。在异质结电池领域，公司参与了通威异质结项目建设，为其提供湿法制程、RPD 制程、金属化制程三道工序的核心装备。其中，RPD 作为进行 TCO 镀膜的关键设备，具有因专利产生的较高技术壁垒，公司作为仅有的两家 RPD 供应商之一，已占据较大的先发优势。未来，随着 RPD 工艺成本的降低，未来其市场份额或将超过 PVD，公司有望在 RPD 增量市场中收割大规模市场份额。

图 46：2015-2019 年，捷佳伟创营收情况



资料来源：捷佳伟创公司公告，民生证券研究院

图 47：捷佳伟创客户列举

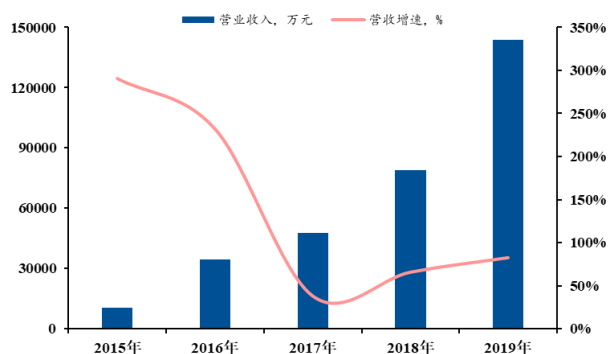


资料来源：捷佳伟创公司官网，民生证券研究院

（二）迈为股份（300751）：丝网印刷设备行业龙头企业，提供异质 PECVD 整机

公司是光伏行业全球领先的设备供应商及服务提供商，主营太阳能电池丝网印刷生产线成套设备，现已在国内太阳能电池丝网印刷设备领域处于领先地位，下游优质客户较多，有良好的销售系统。在异质结电池的各个生产环节中，迈为股份除向通威、晋能和 REC 提供丝网印刷设备外，还向通威提供其研制的 PECVD 设备，该设备突破原有 PECVD 设备静态镀膜工艺，创新性地采取动态镀膜技术，镀膜速度快，产量较大，现正在通威 250MW 产线上进行异质结电池量产验证。同时，公司正在针对异质结电池开发一种激光无损切割机，可将切割前后的效率差控制在 0.3% 左右，有效降低切割损失。

图 48：2015-2019 年，迈为股份营收情况



资料来源：迈为股份公司公告，民生证券研究院

图 49：迈为股份客户列举



资料来源：迈为股份公司官网，民生证券研究院

五、风险提示

光伏行业政策波动，高效电池扩产不及预期，国产设备企业客户开拓不及预期，设备研发不及预期。

插图目录

图 1: PERC 电池较常规电池新增钝化叠层	错误!未定义书签。
图 2: 10-14 年, 全球 PERC 电池的产能大幅增长	6
图 3: PERC 电池的产能占比依然较低	6
图 4: 全球各地区 2014 年的 PERC 产能占比, 台湾居首	7
图 5: 15-17 年, 全球 PERC 产能和产量激增	11
图 6: PERC 产能和产量占比大幅增加	11
图 7: 2015-2017 年 BSF 和 PERC 的市场份额	12
图 8: 2015 年, 国内 PERC 电池的产能份额居世界首位	12
图 9: PERC 设备投资额稳中有降, 万元	13
图 10: 背钝化设备投资额占比高达 35%, %	13
图 11: 领跑者项目单晶技术路线占比逐年上升	14
图 12: PERC 电池的转换效率不断提升, %	15
图 13: 单晶 PERC 的最高转换效率持续突破, %	15
图 14: 单晶 PERC 与单晶电池价格, 元/W	16
图 15: PECVD 在背钝化设备中的市场份额约为 90%	18
图 16: 捷佳伟创的设备售价有所降低, 但毛利率增加	19
图 17: 捷佳伟创的营业收入和在手订单快速增长	19
图 18: ALD 设备每小时的硅片吞吐量更高, 片/h	20
图 19: ALD 设备开机保障率与 PECVD 持平, %	20
图 20: ALD 设备 TMA 消耗更少, mg	20
图 21: ALD 设备沉积的薄膜厚度更低, nm	20
图 22: 国外 ALD 设备在技术参数上略胜一筹	21
图 23: 2018-2019 年, PERC 产能迅速扩张	22
图 24: 2019 年 PERC 市占比首次超过传统 BSF 电池	22
图 25: PERC 设备投资额随设备国产化进一步降低, 万元	22
图 26: PERC 设备的市场规模呈爆发式增长, 亿元	22
图 27: 2019 年, PERC 前五大企业产能和的占比过半	24
图 28: 2018-2019 年, 光伏各环节前五大企业产量占比	24
图 29: 2018-2019 年, 标杆企业继续加码 PERC	24
图 30: 2019 年, 标杆企业在平均转换效率上遥遥领先	24
图 31: 新秀企业 PERC 产能倍速扩张, GW	25
图 32: PECVD 技术路线市占比有所下降, ALD 市占比相应上升	26
图 33: 微导 ALD 设备的产量远高于现有设备, 硅片/h	26
图 34: 2019 年, 异质结与 PERC 电池产能对比, GW	28
图 35: 各种电池技术市场占比图, %	28
图 36: 国内现有异质结产能较小且较为分散	29
图 37: PERC 仍存在效率提升空间	31
图 38: 异质结优化与改良路径	32
图 39: 国内厂商异质结产能略高于国外厂商	33
图 40: 国内厂商异质结电池效率毫不逊色	33
图 41: 2019 年, 与 PVD 工艺相比, RPD 工艺的效率约高出 0.33% 至 0.36%	35
图 42: 不同 TCO 薄膜沉积设备供应商的硅片处理量	36
图 43: PERC 电池年新增产能趋势图	36
图 44: 异质结设备整线价格及其未来走势	37
图 45: 异质结各工序的设备投资额占比	37
图 46: 2015-2019 年, 捷佳伟创营收情况	38

图 47: 捷佳伟创客户列举.....	38
图 48: 2015-2019 年, 迈为股份营收情况.....	39
图 49: 迈为股份客户列举.....	39

表格目录

表 1: 19 年以来, 与异质结电池相关的投资规划信息汇总	4
表 2: 国外厂商 PERC 电池产业化进展	7
表 3: 台湾厂商 PERC 电池产业化进展	8
表 4: 国内厂商 PERC 电池产业化进展	8
表 5: PECVD 和 ALD 设备对比	9
表 6: 海外设备厂商出货情况	10
表 7: 国内设备的量产进展	10
表 8: 2017 年第三批应用领跑者基地中标结果及技术指标	13
表 9: 国外厂商 PERC 电池扩产进程放缓	16
表 10: 一线电池厂商扩产	17
表 11: 国内厂商 PERC 电池产业化进展	17
表 12: 爱旭股份 PERC 发展进程	18
表 13: Meyer Burger MAiA 的设备订单	18
表 14: PECVD 和 ALD 设备对比	20
表 15: 2018-2019 年的代表光伏政策	22
表 16: PERC+技术或为 PERC 电池未来转换效率提升路径	23
表 17: 行业标杆企业 PERC 产能扩张进程	24
表 18: 扩张代表事件	25
表 19: PERC 电池不同发展阶段的重要事件	28
表 20: 异质结厂商的进展	29
表 21: 晶澳 PERC 电池量产时间表	30
表 22: 中电光伏 PERC 电池量产时间表	30
表 23: 钧石能源异质结进度	30
表 24: 通威质结进度	30
表 25: 异质结电池降本途径	32
表 26: PERC 电池的代表厂商	33
表 27: 国内设备厂商已进入异质结设备供应体系	34
表 28: 理想万里晖 PECVD 设备发展过程	34
表 29: TCO 薄膜沉积设备厂商设备应用	35

分析师与研究助理简介

李锋，研究院执行副院长，曾供职于国家经委、国家物资部、国家贸易部、中国信达信托投资公司、中国银河证券有限责任公司。

庄延，研究助理，主要覆盖工程机械、冷链设备、仪器仪表等领域，伊利诺伊理工大学金融硕士，2019 年入职民生证券。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测未来股价涨幅 15% 以上
	谨慎推荐	分析师预测未来股价涨幅 5%~15% 之间
	中性	分析师预测未来股价涨幅-5%~5% 之间
	回避	分析师预测未来股价跌幅 5% 以上
行业评级标准		
以报告发布日后的 12 个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测未来行业指数涨幅 5% 以上
	中性	分析师预测未来行业指数涨幅-5%~5% 之间
	回避	分析师预测未来行业指数跌幅 5% 以上

民生证券研究院：

北京：北京市东城区建国门内大街28号民生金融中心A座17层； 100005

上海：上海市浦东新区世纪大道1239号世纪大都会1201A-C单元； 200122

深圳：广东省深圳市深南东路 5016 号京基一百大厦 A 座 6701-01 单元； 518001

免责声明

本报告仅供民生证券股份有限公司（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。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户的投资建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。本公司也不对因客户使用本报告而导致的任何可能的损失负任何责任。

本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。

本公司在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或参与本报告所提及的公司的金融交易，亦可向有关公司提供或获取服务。本公司的一位或多位董事、高级职员或/和员工可能担任本报告所提及的公司的董事。

本公司及公司员工在当地法律允许的条件下可以向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务以及顾问、咨询业务在内的服务或业务支持。本公司可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。

未经本公司事先书面授权许可，任何机构或个人不得更改或以任何方式发送、传播本报告。本公司版权所有并保留一切权利。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。