

科技与平价



深度

全球Top10组件出货量又惹争议

P10



技术

半切片电池光伏组件：光伏行业的新标准？

P41

趋势

当数字化遇上光伏生产技术

P62



聚焦

中国储能：企业还有多远的路要走？

P70

贺利氏光伏 - 引领光伏科技，共创高效未来



- ☀ 高品质的金属化浆料
- ☀ 高效的电池转换率
- ☀ 电池优化服务解决方案
- ☀ 快捷的交货期
- ☀ 遍布全球的专业技术服务

欢迎莅临：

SNEC 2019 | 上海新国际展览中心

2019年6月4-6日 | W3馆 510展位

www.heraeus-photovoltaics.cn

请扫描二维码关注
贺利氏可再生能源
微信公众号



出版机构: Solar Media Ltd
出版人: David Owen
营运总监: David Evans
营运经理: 朱莉莉
高级编辑: 肖蓓
网站新闻编辑: 尹欣
网站新闻翻译: 史琳娜
特约技术翻译: 谢文旭

英文编辑团队: John Parnell
Mark Osborne
Tom Kenning
José Rojo Martín

客户经理: Adam Morrison
Graham Davie

免责声明条款:

虽然我们已尽最大努力提高 PV-Tech PRO 的质量和准确性, 我们的作者也以极度严谨的态度来对待每一篇文章, 我们对所有原样提供的内容均不做担保。PV-Tech PRO 对其中包含的第三方内容不负有责任; 对广告内容中的错误、删节或不精确之处不负有责任, 对在广告需要出现的互联网址的可用性不负有责任。本杂志提供的数据和信息仅供参考用途, PV-Tech PRO 杂志、其附属机构、信息提供者及内容提供者均不对任何基于本杂志信息作出的投资决策或者由本杂志信息所得出的结论负责。

使用限制:

本杂志受国际版权法规及商标法规保护, 任何人不得以任何形式修改、复制、衍生、重印、发表、转载或散布本杂志内容的任何部分。PV-Tech PRO 杂志社要求读者遵守相关版权要求及所有权声明, 仅使用本杂志作为个人的非商业用途。如读者需要使用本杂志作为非个人、非商业用途, 须得到 Solar Media Ltd 公司的书面许可。

卷首语



今年的 SNEC 比以往来得更晚, 虽然规模依旧庞大, 但士气上难现去年盛况, 甚至于比落幕不久的 Intersolar 亦少了几分颜色。

尤记得去年 SNEC 闭幕后“531 新政”登场, 一夕之间, 中国光伏市场热情之火被浇熄, 几乎所有中国光伏公司都感受到一阵阵的寒意。少了强大的市场支撑, 行业再也提不起狂欢的兴致, 自 2018 年下半年以来, 国内主流光伏企业的心思都飘向了海外。

没有海外沉淀的企业更是如坐针毡, 转型、破产、重组、财务危机、价格暴跌等负面新闻接踵而至, 行业陷入低迷发展状态。纵观光伏行业几次低潮, 每次都会有一批公司被淘汰掉, 但总有企业能够保持发展甚至涅槃重生。

在这一次考验中, 随着 PV-Tech 发布 2018 年度全球 Top10 组件供应商排行榜, 人们看到了那些在低谷期仍保持竞争力、取得稳步增长的光伏公司, 我们在《全球 Top10 组件出货量又惹争议, 聊聊排名背后的企业》一文中做了简要描述。

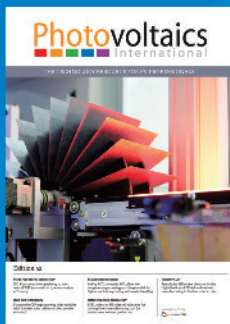
进入 2019 年, 众多企业进入新一轮的高效率技术路线和产能布局, 多家主流光伏公司宣布大幅降低全片组件产能, 主推半片电池组件。对于这一现象, 《半切片电池光伏组件: 光伏行业的新标准?》阐述了在整个技术切换过程中的难点, 以及为什么半切片电池技术对新的组件产能具有吸引力, 并从众多改造技术中脱颖而出。

异质结亦成为今年的一个风口, 投资进入的企业越来越多, 行业将其归结为技术的逐渐成熟。根据《突破硅异质结技术的所有瓶颈》描述, 在过去 10 年里异质结技术已经克服了技术难题, 并指出为什么现在这项技术比以往任何时候都更加有能力生产具有大规模市场竞争力的产品。

本期杂志还收录了其他关于光伏产品研发制造的精华文章, 包括《导电胶的可靠性》、《铝浆技术助力低成本标准 nPERT 太阳能电池朝着 23% 效率和 700mV 电压目标演进》等, 以及终端电站及跨界的一些故事, 如《补贴延后另一面, 巨头加速收购、中小玩家出售资产退出》、《中国储能: 释放万亿级潜力市场, 企业还有多远的路要走?》等。

从 2012 年《PV-Tech PRO》中文版创刊到现在, 我们已经陪伴行业走过 8 年时间, 过去八年, 整个太阳能光伏产业在全球范围内都发生了巨大的变化, 大至各国产业政策和经济环境, 小至各家企业的运营策略及从业者的个人职业, 我们有幸见证并记录, 感恩大家的关注, 也期待每年 SNEC 与大家见面。

肖蓓



编辑推荐季刊示例

本期 PV-Tech PRO 中文专业版将在今天的多个国内外行业活动中进行投放。

PV-Tech PRO 中文专业版本着深入浅出、精益求精的原则, 刊载了多篇深度专题报道、最新产品简介以及权威舆论导向等内容, 并涵盖了多篇来自《Photovoltaics International》姊妹英文杂志的技术文章。

★ 编辑推荐

《Photovoltaics International》英文技术杂志

每季一期, 期期精彩, 不容错过!

垂询订阅: subscribe@pv-tech.org
网址: www.photovoltaicsinternational.com

联系我们:

电话: +44 207 871 0122
传真: +44 207 871 0102
咨询: info@pv-tech.cn
投稿: editor@pv-tech.cn
广告: sales@pv-tech.cn
订阅: subscribe@pv-tech.cn
微博: weibo.com/pvtech
微信: PVTechCN

地址:

2nd Floor
123 Buckingham Palace Road
London
SW1W 9SH
United Kingdom

CONTENTS

目录



8-9 新品发布

10-15 深度报道

10-12 全球Top10组件出货量又惹争议
聊聊排名背后的企业

14-15 补贴延后另一面：
巨头加速收购、中小玩家出售资产退出

16-27 技术前沿

16-27 突破硅异质结技术的所有瓶颈

28-31 公司动态

28-31 未来的电池片已经到来

32-37 技术前沿

32-37 导电胶的可靠性

38-40 公司动态

38-40 活跃在一带一路上的中国太阳
—— 东方日升



DustIQ

灰尘监测系统

使用简易 | 经济高效 | 免于维护

无移动部件
方便简单的系统集成
全天候测量
用有限预算实现多点测量

www.kippzonen.com/DustIQ

欢迎莅临 E5-220 号展台，了解更多信息

目录

CONTENTS

41-49 技术前沿

41-49 半切片电池光伏组件: 光伏行业的新标准?

50-52 公司动态

50-52 能量的传输者

53-73 技术前沿

53-62 铝浆技术助力低成本标准nPERT太阳能电池朝着23%效率和700mV电压目标演进

64-73 当数字化遇上光伏生产技术
—硅太阳能电池和组件智能化生产概述封面说明: 宁波金田铜业(集团)股份有限公司
20.2026MWp项目

图片拍摄及来源单位: 正泰新能源

74-75 行业聚焦74-75 中国储能: 释放万亿级潜力市场,
企业还有多远的路要走?

帝科DKEM® 高效电池金属化与组件互联解决方案 DKEM® Metallization / Interconnection Solutions for Advanced Solar Cells / Modules



When Performance Matters



高效太阳能电池金属化解决方案

更低的用量，更高的效率

- DK93A高效黑硅PERC电池导电银浆*
- DK93B高效单晶PERC SE电池导电银浆*
- DK93B / DK81A先进分步印刷导电银浆组合*
- DK93D先进两次印刷导电银浆组合*
- DK93T N型TOPCon电池专用导电银浆

* 包括单面氧化铝钝化与双面氧化铝钝化工艺



先进光伏组件金属化与互联解决方案

更低的用量，更高的功率

- DK93x多主栅 / 叠瓦组件整合金属化方案
- DECA100叠瓦组件互联导电胶：
更低的用量，更高的可靠性

帝科电子材料DKEM®是一家专注于高性能电子材料开发与应用的材料科技公司，致力于性能至上
When Performance Matters®的产品理念。

作为中国正银的领导品牌和行业领先的太阳能导电银浆供应商之一，帝科DKEM®通过高强度的研发投入、稳定可靠的产品品质和及时响应的营销体系服务于太阳能光伏行业，同时积极拓展高性能电子材料在显示 / 照明、半导体封装等领域的应用。



新品发布

贺利氏光伏推出新一代金属化浆料——SOL 96(6)系高效导电银浆



产品应用：多种浆料广泛适用于不同电池片技术。

相关信息：在光伏领域，贺利氏继承原有传统并应用创新技术，为光伏电池提供金属化浆料以及解决方案和服务，以提高晶硅生产流程的效率。贺利氏的SOL系列银浆产品拥有较宽的工艺窗口，可提升效率并帮助光伏电池制造商有效提高产能和产量。

上市时间：2019年6月

作为金属化浆料领域的全球领导者，贺利氏光伏将持续投入研发高效导电银浆，计划于今年6月推出多款全新金属化银浆及解决方案，助力光伏客户在瞬息万变的太阳能市场上得到有效的产品支持，取得效率的提高。

贺利氏光伏本次推出的核心产品包括：为PERC电池搭配选择性发射级技术的高效电池量身定制开发的SOL9661B（单次/分步印刷）和SOL9662B（两次印刷）浆料组合；为叠层钝化太阳能电池定制开发的SOL9661B2；配合金刚线切割多晶特殊制绒表面的电池而设计研发的SOL9661D；助力晶硅太阳能电池充分发挥其效率潜力并降低晶硅太阳能电池制造成本的分步印刷主栅浆料SOL6700B；N型电池金属化解决方案SOL9380和针对Topcon定制开发的SOL7200。新推出的产品均基于上一代产品无机和有机体系全面升级而成，进一步优化接触和印刷性能。

贺利氏光伏研发团队将继续紧密关注行业发展趋势，配合市场变化以及客户需求，保持前瞻性技术研究优势，将持续开发推出相应的新产品满足市场成本降低和效率提升的要求。

帝科DKEM®推出DK93系列导电银浆与DECA100系列叠瓦导电胶



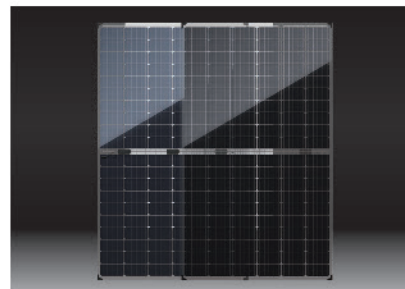
产品应用：用于各类高效电池金属化和先进叠瓦组件互联粘接。

相关信息：DK93系列导电银浆为高效PERC电池设计，定制化的产品策略着力提升各类高效电池的转换效率。DECA100系列叠瓦组件导电胶是帝科DKEM®高可靠性导电胶组合中的一员，是叠瓦光伏组件的守护者。

上市时间：已上市

太阳能电池标杆技术正快速从传统BSF电池转向PERC电池，帝科DKEM® DK93系列高效导电银浆正是为PERC/PERC SE电池设计开发。DK93A导电银浆深挖多晶电池的性价比潜力，全力服务黑硅PERC电池的提效降本，优异的细线印刷性和拉力、更高的效率更低的银浆用量不断增进黑硅PERC电池的竞争力。DK93B导电银浆在深刻理解单晶PERC SE工艺及其金属化机制的基础上开发，创新的配方设计着力减少金属区复合、增强 U_{oc} 收益，极佳的接触和工艺窗口让客户在单面氧化铝镀膜和双面氧化铝镀膜之间选择时游刃有余。DK93T为未来而设计、为n-TOPCon而设计，极佳的刻蚀控制能力和接触能力有效保护更薄的掺杂多晶硅钝化层，协助客户实现23%以上的超高转换效率。帝科DKEM® DECA100叠瓦组件导电胶基于改性丙烯酸酯的纯银填料体系，拥有优异的电性能、粘接性、机械弹性和长期可持续的成本演进空间，满足叠瓦组件从开发设计到量产、升级的连续性。

江苏赛拉弗推出系列新品——双面半片组件 (Blade Bifacial Series)



产品应用：适用于水面、沙漠、雪地等高反光项目场景。

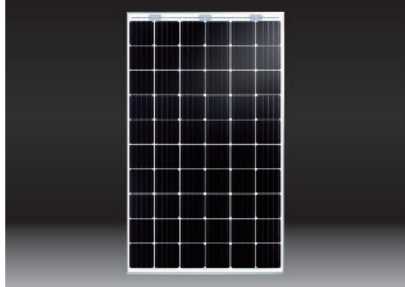
相关信息：赛拉弗双面半片系列组件(Blade Bifacial Series)将半片技术和双面PERC电池技术结合在一起，优异的组件技术叠加创新的电池技术使得赛拉弗双面半片组件具有低内耗、低热斑、高功率、高可靠性等一系列卓越的特性。

上市时间：2019年5月

赛拉弗双面半片系列组件结合了半片技术和双面PERC电池技术，使得该款组件拥有这两种技术带来的所有优势。相比于传统的组件，半片组件有更低的电流和串联电阻，使其更有效地减少系统失配、内部损耗及阴影遮挡等。另一方面，赛拉弗双面半片组件采用的双面电池技术，可以使组件除正面发电外，背面也利用大气中的散射光和地面的反射光进行发电，根据应用环境不同增加发电量达10%-30%，单位面积安装功率更高，大幅度降低了BoS成本和LCOE成本，符合未来提效降本的趋势。实验室测试结果显示，赛拉弗双面半片组件的双面率可以高达75%，具有极高的性价比。对于这款高性能的组件，赛拉弗承诺了30年的功率质保。值得一提的是，赛拉弗单晶PERC半片组件，因其优异的稳定性，产品质保延长到了15年，比市场通行的10年质保多出50%。今年赛拉弗与山西潞安太阳能合资成立了潞安赛拉弗，共同建设1GW全版型兼容高效半片组件项目。目前该工厂已经进入正式运营阶段，未来其作为双面半片组件的主产地，将源源不断地向世界各地的客户输出优质的光伏产品。

新品发布

中建材浚鑫推出 全球最轻薄双玻产品-JeThru



产品应用：可应用于各类光伏电站、屋顶项目和水面电站等多种光伏应用场景。

相关信息：JeThru 采用 1.6mm 超薄半钢化高透玻璃，搭配新型轻质边框设计，显著降低组件整体重量；采用高透过玻璃设计，可提高输出功率，降低系统成本；采用新型边框设计，可达 30 年使用寿命，具备常规单玻重量兼双玻品质的特征。

上市时间：2019 年 6 月

作为全球领先的太阳能光伏发电产品制造商和销售商，中建材浚鑫具有设计、生产和销售高性能太阳能电池、组件，以及投资和建设大型光伏系统的多元化生产经营能力。

结合中建材集团技术优势，自主研发推出 1.6mm 超薄半钢化高透玻璃产品，采用新型玻璃技术，可提升透过率 0.4%，组件功率提升 0.64%。中建材科技自主开发全系列轻质双玻组件，在确保组件可靠性和机械性能的同时，优化边框设计，组件重量≤18Kg（60 版型），较常规 2.5mm 无框重量降低 20%，进而获得具备单玻重量、双玻品质的新型组件产品。

JeThru 系列轻质双玻产品适用于各类光伏应用场景，是一款兼具高产出、高可靠性和卓越的机械性能的产品。

中建材浚鑫科技有限公司成立于 2004 年，为国家重点高新技术企业。2014 年浚鑫科技整体重组加入中国建筑材料集团有限公司。中建材 1984 年经国务院批准设立，2003 年成为国务院国有资产监督管理委员会直接监督管理的中央企业，集团资产总额超过 6000 亿元，连续 8 年名列《财富》世界 500 强企业。

禾迈推出业界首款适配大功率组件的 组件级逆变器 MI-1500



产品应用：本品可配合 PERC、双面、叠片等更大功率光伏组件应用于住宅光伏、工商业光伏系统中。

相关信息：MI-1500 每一路直流输入能够接入多种类型的更大功率组件，在不同应用场合下均不会对光伏组件进行限发，最大化保障用户收益。

上市时间：2019 年

禾迈 (Hoymiles) 日前推出了一拖四系列组件级逆变器的升级版 MI-1500 机型。

通过对该系列逆变器全方位的优化，MI-1500 机型可实现最高转换效率 96.5% 和 99.9% 的 MPPT 效率，并且能够搭配 PERC、双面、叠片等更大功率的光伏组件，可在最大程度上提高光伏系统的综合效率，保障用户的收益。

MI-1500 组件级逆变器的推出，直击目前组件级逆变器输出功率偏低这一痛点，将会使得光伏系统具有更高的灵活性和最大化的能源获取效率，将用户的发电损失降到最低。

同时，通过对逆变器软硬件全方面的优化，MI-1500 能够达到 25 年超长质保，为用户的长期收益保驾护航。

此外，MI-1500 依然保留了组件级逆变器的诸多优势，其相比于传统逆变器所构建的光伏系统更为安全可靠、更为高效、运维更为便捷、更具灵活性。MI-1500 拥有目前业界首屈一指的高功率密度设计，重量轻、体积小，且安装方便。

采日科技 SMT-10kW 更高效率的 光储一体机



产品应用：应用于户用及工商业储能系统。

相关信息：最先批量登录欧洲市场的 SMT-10kW 的光储一体机、并离网切换 < 10ms 不间断切换更智能，感性负载 < 3.3kW；支持 100% 不平衡带载，发电效率更高，单人安装更便捷。

上市时间：2019 年 1 月

上海采日能源科技有限公司致力于储能产品制造、储能系统集成、储能电站投资及运营，目前拥有包括电池管理系统、能量管理系统、储能双向变流器及电池 PACK 的整套设计、研发、制造能力；公司致力于储能系统的开发与销售，拥有较为完善的产品链涵盖智能电网、新能源电站、工商业及家庭用户，为客户提供一站式清洁能源解决方案。

SMT-10KW 产品特征：

- 1、并离网切换时间 < 10ms；
- 2、感性负载 < 3.3kW；
- 3、离网状态下支持 100% 不平衡负载；
- 4、超宽电池电压范围 (200V~800V)；
- 5、一次成型，超轻量化，安装成本低；
- 6、支持并离网不间断智能切换 (具备能量管理，无人、无 EMS 自主运行)；
- 7、高精度 MPPT 控制，发电效率高达 98.7%；
- 8、IP65 防护等级，设计寿命高达 25 年。适用于高海拔、高温、高寒等极端恶劣条件，运行可靠；
- 9、配置灵活：光伏 / 市电充电方式可选，锂电池 / 镍氢电池可选；
- 10、支持 Wi-fi、GPRS 无线监控方式，支持多台并机，方便扩展。

全球Top10组件出货量又惹争议，聊聊排名背后的企业

文 / 肖蓓 PV-TECH PRO

2019年初，PV-Tech 揭晓了 2018 年全球十大组件供应商排名。根据这份排名，其中有 8 家公司来自中国，1 家来自韩国，1 家来自美国，他们分别是：晶科能源、晶澳太阳能、天合光能、隆基、阿特斯、韩华 Q-Cells、东方日升、协鑫集成、中利集团、First Solar。

近日，排行榜中的主流供应商相继公布了 2018 年全年财报，为了让大家更全面地了解各家公司的发展经营状态，PV-Tech 第一时间对入榜公司的相关情况进行了梳理。

鉴于目前榜单中有几家公司正在尝试以主动私有化等方式从美国资本市场向中国资本市场转换，因此本次梳理我们以公布了清晰财报数据的公司为主。

近几年全球 Top10 排行榜每年都会有一定变化，随着竞争加剧，优胜劣汰亦不可避免，此前的行业领先者赛维、英利以及其他海外公司相继退出，新的势力正在追赶。

根据排名情况，榜单前五基本争议不大，后五竞争尤为激烈，以东方日升、中利集团、正泰、顺风（尚德）为代表的一批中国光伏公司活跃于人们视野，并有不断攀升的趋势。

2019晶科能源能否继续第一？

2018 年，晶科能源仍然保持着全球领军组件供应商的位置。2019 年 3 月 22 日，晶科能源公布了截至 2018 年 12 月 31 日的第四季度及全年财报。报告显示，2018 年其全年太阳能组件总出货量为 11.4 吉瓦，较 2017 年的 9.8 吉瓦增长 16.0%，创全行业年度出货历史新高。

财务数据方面，全年总收入 250.4 亿元人民币，营业利润 6.449 亿元人民币，相比 2017 年增长 98.2%，全年净利润 4.065 亿元人民币，全年毛利率为 14.0%。

与此同时，晶科能源公布了硅片、太阳能电池片以及组件产能情况及 2019 年预期（右图）

这已经是晶科能源连续第三年保持在全球光伏组件出货第一的位置，然而，其创纪录的出货量与日渐趋薄的利润值受到越来越多的关注，2019 年晶科能否延续第一殊荣并获得现金流的改善，期待来年的答案。

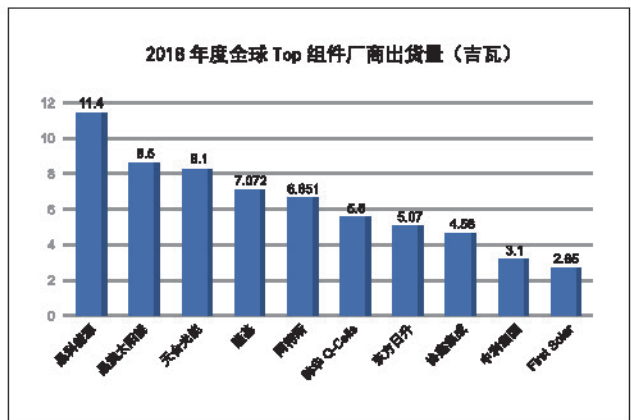
排名第二、第三位置的晶澳太阳能与天合光能目前已从美国纳斯达克退市并成为私有公司，这里暂不对其多做描述。

隆基股份：继续掀起单晶浪潮

在太阳能行业向高性能单晶产品转型的过程中，单晶

排名	公司名称	2018 年出货量 (吉瓦)	营收 (亿元人民币)	净利 (亿元人民币)	Y/Y
1	晶科能源	11.4	250.4	6.449	-
2	晶澳太阳能	8.5	-	-	↑
3	天合光能	8.1	-	-	↓
4	隆基	7.072	219.88	25.58	↑
5	阿特斯	6.615	247.6	15.7	↓
6	韩华 Q-Cells	5.6	-	-	↓
7	东方日升	5.07	95.77	2.78	↑
8	协鑫集成	4.56	111	0.349	↓
9	中利集团	3.1	167.26	-2.88	↑
10	First Solar	2.65	151.17	9.76	↑

表 1, 2018 年度全球 Top10 光伏组件供应商出货量及相关财务数据



晶科能源	硅片 (吉瓦)	电池 (吉瓦)	组件 (吉瓦)
2018 产能	9.7	7.0	10.8
2019 预估	15 (单晶 11)	10 (PERC 9.2)	15

光伏组件

硅片领军生产商兼“硅基组件超级联盟”成员隆基股份于2018年继续在行业掀起单晶浪潮。2019年4月，隆基股份发布了2018年报和2019年Q1季报。

报告显示，隆基股份2018年营业收入219.88亿元，同比增长34.38%，归属于上市公司股东的净利润25.58亿元。单晶硅片产能达到28吉瓦，单晶组件产能达到8.8吉瓦，组件全年出货7.072吉瓦。

自去年“531”光伏新政实施后，隆基做出了一定调整，业务部门架构从原来传统的“国内”和“海外”，划分为更细的大区和区域，将更多的资源放到了海外市场。过去一年，隆基海外单晶组件出货量为1926兆瓦，同比增长370%。

隆基股份也发布了最新产能规划：

隆基股份	硅棒/硅片 (吉瓦)	电池(吉瓦)	组件(吉瓦)
2018产能	28	-	8.8
2019预估	36	10	16
2020预估	50	15	25
2021预估	65	20	30

近两年，隆基股份清晰的定位和出色的表现受到了资本市场的青睐，2012年末该公司总市值为36.62亿元，到2019年一季度，总市值达到了817.62亿元，成为国内增长最快、投资回报最高的一家光伏公司。

把多晶做到极致的阿特斯

根据公开数据显示，2018年阿特斯组件发货量为6.615吉瓦，销售额247.6亿元，净利润15.70亿元。

截至2018年12月31日，阿特斯硅锭、硅片、电池片和组件产能已分别为1,650兆瓦、5,000兆瓦、6,300兆瓦和8,880兆瓦。预计到2019年底，组件产能将达到11,200兆瓦。阿特斯称，公司将根据市场情况不断调整产能扩展计划。

阿特斯	硅片(吉瓦)	电池(吉瓦)	组件(吉瓦)
2018产能	1.65	6.3	8.8
2019预估	5	9.3	11.2

在晶科、晶澳大举扩张单晶产能之时，阿特斯坚持的多晶组件策略显得格外不同，该公司致力于把多晶量产技术做到极致，从MCCE、DWS、到P4、P5，阿特斯在湿法黑硅、金刚线切片、PERC及其他技术上做了很多技术突破。

从推新的产品和定位来看，阿特斯更信赖多年电站投建经验与市场传达的信息，更依赖既有技术路线更新的产品和渠道，这使得他逐渐不同于其他企业。阿特斯组件出货及电站开发项目以海外居多，大比例的海外出货成为阿特斯产品制定策略的指引之一，而另一块重要业务——来自电站的经营是第二个指引。

SENTECH

SENperc PV

太阳能电池制造中的质量控制解决方案



PERC 电池制造质量控制的创新解决方案

- ▶ 多晶硅和碳硅基太阳能电池制造中的质量控制
- ▶ 防反射涂层和钝化层的厚度测量
- ▶ 沉积过程长期稳定性监测
- ▶ 简单的基于配方的按钮操作
- ▶ 数据传输软件接口
- ▶ 紧凑型设计

光伏组件

阿特斯董事长瞿晓铨称：“迄今为止，地球上太阳能光伏发电系统累计安装量 400 多 GW，其中多晶占了大多数。所以我相信，坚强、有效、长期安全可靠，并且不断创新、不断重生自己的多晶技术。”

掀起专利战的韩华 Q-Cells

2018 年韩华 Q-Cells 过的并不轻松，根据最近的公开报告显示，2018 年第三季度该公司销售额有 5.593 亿美元，然而，亏损也比较明显，第三季度的经营亏损达到 1.07 亿美元，净亏损 1.646 亿美元。

2018 年韩华 Q-Cells 全年预期组件销售量为 5.5~5.7 GW。由于该公司也选择了退出美国资本市场，今年 1 月该公司完成成了私有化，因此具体一些财务数据并未给出。

韩华新能源近日表示，韩华 Q-Cells 只代表一部分产能及出货，还有一部分来自于韩国 Q-Cells& 高新材料公司，2018 年韩华新能源整体出货量为 7GW。

值得一提的是，韩华 Q-Cells 在今年一季度狠刷一波存在感，3 月，韩华 Q CELLS 美国公司向美国国际贸易委员会（ITC）提出申请，要求对太阳能电池启动“337 调查”，涉及包括晶科、隆基在内的中国两大光伏企业 PERC 技术专利纠纷，该申请的提出引起了行业的广泛关注。

呼声渐高的东方日升

中国终端市场需求疲软导致全球产品平均售价下滑，组件公司的整体收入也随之下降，2018 年东方日升营收 95.77 亿元，较上年同期降低 16.37%，归属于上市公司股东净利润 2.71 亿元，较上年同期减少 58.35%。

公司相关负责人称：“政策及市场波动致使组件销售单价降低，组件销售价格下跌程度超过成本下跌程度，导致公司电池组件毛利降低。”

“531 光伏新政”后，东方日升调整业务结构，2018 年三季度末后，电池组件市场价格逐渐持稳，其电池组件及主营业务盈利能力得到增强，综合毛利率出现一定幅度的提升。

产能方面，东方日升光伏组件年产能 6.6GW，分别分布于浙江宁波、江苏金坛、河南洛阳、内蒙古乌海、墨西哥等生产基地。

东方日升	电池(吉瓦)	组件(吉瓦)
2018产能	4.6	6.6
2019预估	6-7	9.6

协鑫集成：经历考验后探索新发展

2018 年协鑫集成营业总收入 111.9 亿元，同比下降 22.5%；在对应收账款、存货周转率和整体生产成本等做了策略管理后，该公司实现了小额盈利，净利润为 3490 万元人民币，较上年增长 89.16%。

按季度计算，协鑫集成的收入在 2018 年呈过山车式发展。中国大型集中式电站项目完工之后，公司的二季度收入达到峰值。四季度海外出货量销售额增加，再加上公司

努力收回应收账款，四季度出现了第二个收入峰值。

2018 年，协鑫集成组件总出货 4.56 吉瓦，其中海外光伏组件出货量达到 2.3GW，比上一年增长 52.9%。海外销售实力的增强为协鑫集成注入了新的活力，降低了公司对中国市场的依赖。策略的改变使得协鑫集成从这一波“531 政策”影响中脱离出来，也为公司下一步更大的发展赢得了时间和机会。

2019 年，协鑫集成设定了海外出货占比 80% 的目标。协鑫集成称，还将在西欧、日本、韩国等低风险、高流通市场积极探索“EP”、“EPC+BridgeFinancial”等新业务模式。

协鑫集成	电池(吉瓦)	组件(吉瓦)
2018产能	-	4.62
2019预估	3	5.4

中利集团：海外与国内扶贫渐显成绩

2018 年，中利集团营业收入 167.26 亿元，较 2017 年同期下降 13.85%，归属于母公司净利润 -2.88 亿元，同比下降 194.25%。

光伏电池与组件在国内外市场占有率均有提升，订单量增加，但受融资环境的影响，在增量融资规模受到压缩后，中利只能选择性接单。财报显示，其销售数量较 2017 年同期下降 5%，销售金额较去年同期下降 13%，毛利率却同比提升 9.3%。

中利集团让人关注的点在于，他们是较早实施海外拓展的 GW 级光伏组件供应商，近两年顺着“一带一路”的东风加强了海外项目的开发及组件销售；同时也是国内光伏扶贫电站业务走在比较前列的光伏企业之一，为其增加了不少竞争筹码。

中利集团	电池(吉瓦)	组件(吉瓦)
2018产能	-	1.69
2019预估	3	5.4

First Solar：唯一的薄膜厂商代表

2018 年，First Solar 净销售额为 22.40 亿美元，相比 2017 年度的 29.41 亿美元下降 31%，全年净利润为 1.44 亿美元，组件出货 2.6-2.7 吉瓦之间。

First Solar 称，公司 2020 年的订单已达到了 11.3GW，预计 2019 年组件出货量将达到 5.4GW 至 5.6GW。

First Solar 是上述前十名榜单中唯一一家非亚洲公司，也是仅有的一家薄膜组件供应商。2018 年的大部分时间里，这家公司的销售需求都超过了组件供应量，这帮助该公司加快了将产品从 Series4 向 Series6 的升级和量产。

First Solar	组件出货统计(吉瓦)
2018产能	2.65
2019预估	5.4-5.6

inter solar

connecting solar business

| MEXICO

太阳能行业国际展和太阳能行业国际会议
墨西哥城全球贸易中心

2019年
09月
03-05日
www.intersolar.mx



- 与拥有卓越发展潜能的市场面对面——2021年，墨西哥新增太阳能项目排名将至第五。
- 13000名与会者——加入规模最大的太阳能、可再生能源和清洁技术领域专业人士盛会
- 完美搭配——Intersolar和THE GREEN EXPO@期待您的光临，共同建构可持续发展墨西哥

Co-located Events



补贴延后另一面： 巨头加速收购、中小玩家出售资产退出

文 / 肖蓓 PV-TECH-PRO

在光伏制造产能扩张以及新能源概念红利簇拥下，前两年中国光伏企业表现出的营收净利双高让人分外眼红。然而随着国内光伏政策收紧、整体宏观经济放缓，光伏产业正发生裂变，制造端各产业链环节逐渐趋于集中，终端电站市场也开始转变，新增装机速度趋缓形势下，电站交易逐步由新增装机转向存量电站。

自 2018 年年中以来，国内光伏电站资产交易表现比较活跃，正泰新能源、兴业太阳能、协鑫新能源、隆基股份、东方日升、熊猫绿能、科陆电子、珈伟股份、爱康科技等数家光伏上市公司在电站交易方面均展开了相关动作。

据不完全统计，截至 2019 年一季度国内电站交易规模接近 1.4GW，交易金额超 100 亿（不包括未披露容量或金额的项目），交易大部分发生在 531 新政之后，新政发布半年来交易数量、金额和容量超过了前三年的总和。

正泰新能源是去年 531 后电站交易较为频繁的一家公司，新政后正泰新能源一口气将隆基 17 个分布式光伏项目公司 100% 股权收入囊中，以 6.61 元 / 瓦的价格，涉及项目容量 106.3MW，股权转让交易总价超 7 亿元。

在此之前，正泰新能源出售了其位于宁夏、甘肃等限电严重地区 9 个光伏电站项目公司部分股权，交易金额 5.39 亿元，交易量合计 405MW。

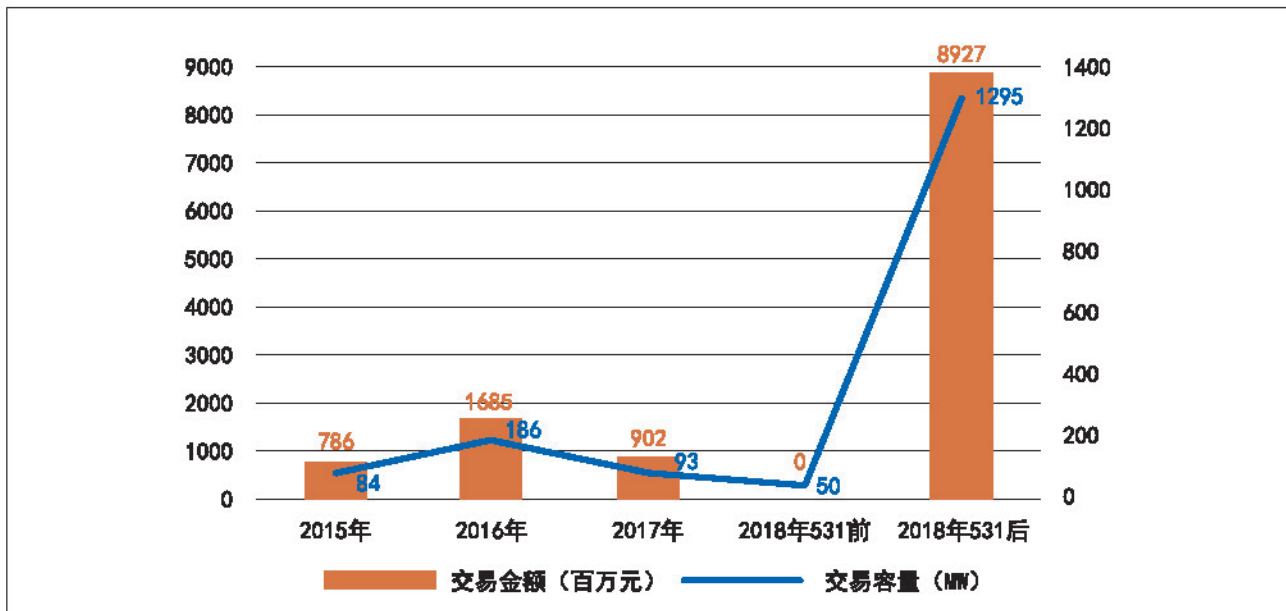
“我们通过去年对电站的这一波运作，出售限电严重地区地面电站部分股权，买入优质分布式项目，加速了资产周转，获得了一个较高的投资回报。”正泰新能源总裁陆川对 PV-Tech 说到。

光伏发电业务属于资本密集型业务，需要参与该环节的公司具备强大的融资能力。

陆川表示：“投建电站最重要的是现金流可预测性，现金流不可预测，就无法融资。从今年发布的光伏政策意见征求意见稿看，补贴将不再拖欠。保证补贴能够及时发放，这个最重要，新项目资金成本降低，现金流可获得改善，一旦现金流可预测，中国光伏电站就会更接近世界的电站，会变成一种标准的金融产品，可以发不同融资渠道的产品，这对于中国光伏市场是一种成熟的象征。”

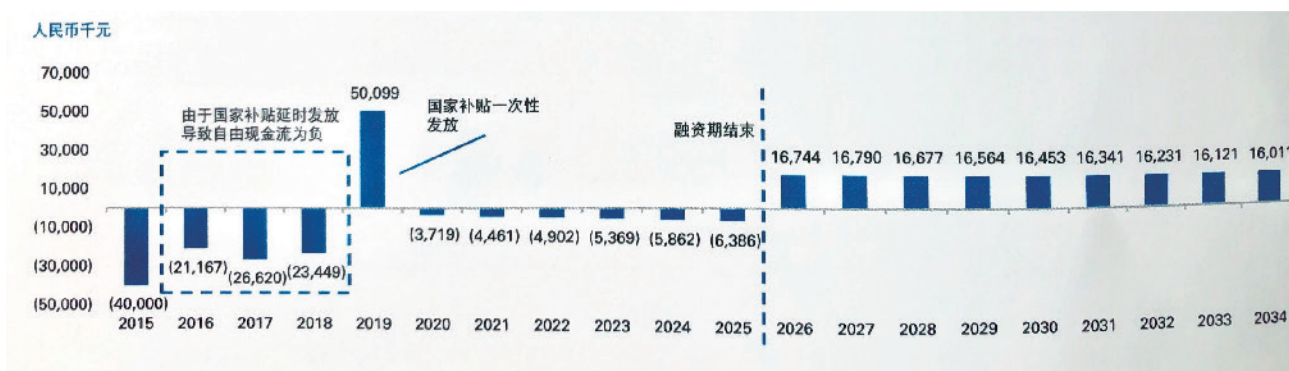
据了解，由于国家补贴拖欠等原因，国内不少光伏项目在商业运行的前三年都面临着难以覆盖等额本息还款的压力，因此需要借助集团关联方资金或外部长期过桥贷款支持。

在具体实践中，很多企业的光伏项目融资主要依赖于国家开发银行的政策性贷款和部分融资租赁公司提供的针对光伏项目的长期融资租赁，然而通常情况下，融资租赁的成本相对较高。

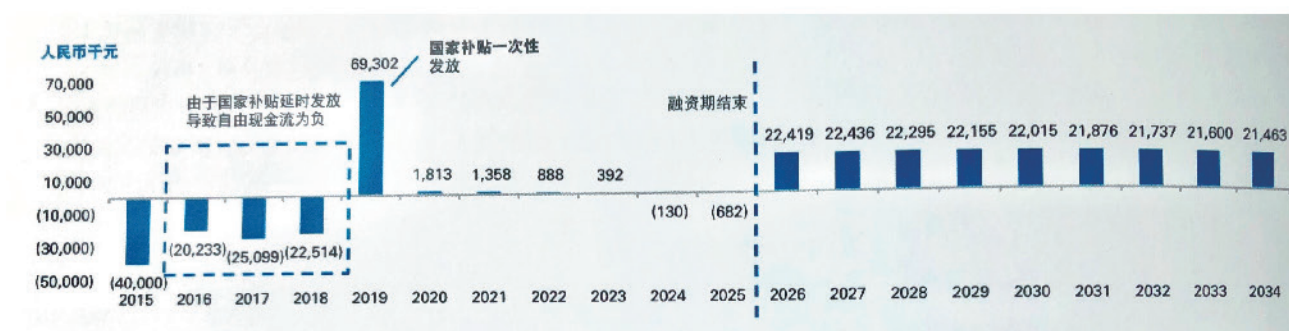


中国光伏电站资产交易规模 (2015-2018)，资料来源：Mergermarket，公开信息

光伏电站



情景一：中国限电地区（限电率 20%）光伏电站归属股东自由现金流模拟预测，《2019 中国光伏电站资产交易白皮书》



情景二：中国非限电地区光伏电站归属股东自由现金流模拟预测，来源：《2019 中国光伏电站资产交易白皮书》

尤其自去年 531 政策发布后，金融机构收紧了对部分光伏电站开发者的支持，行业内小型企业受国家补贴兑付延后以及自身经营风险影响，现金流压力增大。因此我们看到在众多电站交易中，交易卖方多为实力较弱的光伏企业。

今年 3 月，普华永道中国与德国莱茵 TuV 集团联合发布了《2019 中国光伏电站资产交易白皮书》，《白皮书》对一座装机容量 40MW，年有效发电时间 1050 小时的光伏电站进行了投资测算模拟（总投资额 2 亿元，总融资额 1.6 亿元，利率 8%，融资年限为 10 年）。

测算结果发现，这两种场景下（场景一：非限电地区；场景二：限电 20%）的电站在获得补贴前，电站投资运营的前 4 年现金流压力巨大。

“531 光伏政策首次对传统地面电站装机规模进行了限制，在未来光伏新增装机容量全面放缓的情况下，行业内排名靠前的企业将更多依赖收购的方式获得装机容量的提升，对于那些之前因为行业补贴等原因进入这个市场的中小玩家，未来大概率将通过出售资产的方式退出。”普华永道中国能源行业并购专家鲁冰说到。

一位光伏企业高层对此表示赞同：“其他国家每年的市场增量普遍在 30% 左右，这几年中国每年都超过 60%，甚至达到 80% 的增量，2017 年一年的装机就达到 53GW，市场的确过热了，这是不正常的。

很多企业冲着高补贴政策进入，现在回过头来看，531 政策的调整对行业理性发展是有利的，通过这一轮调控，每年增量预期会调回到 20%-30%，一些企业会退出，这个市场没有这么大。”

对于中国光伏电站资产交易未来的发展，《白皮书》指出三个趋势：首先国内市场将从增量市场向交易市场发展，行业集中度和整合会进一步提升；第二，普通地面光伏电站趋于行业规模化整合，分布式光伏电站交易将呈现多样化发展；第三，光伏项目融资方式将逐步成熟。

据了解，在欧美日等成熟市场，光伏电站较为普遍的融资方式除了股权融资外，还包括针对光伏资产特性的债权融资工具、资产证券化市场及活跃的夹层工具投资者。

随着国内市场投资者的多样化及金融创新的推进，一些金融机构开始研究适合国内光伏资产的债权及类债权融资产品，在私募基金市场也有部分领先机构尝试设立基金参与股权和夹层融资市场。

近年来，行业不少光伏企业也在做一系列电站资产金融产品的尝试。最近了解到的一家来自东方日升，目前该公司正积极架构和策划太阳能资产的证券化。

东方日升海外投融资总监张杰灵对此表示：“太阳能资产证券化将会是太阳能项目融资领域下一个风口。证券化的资产从发起者的资产负债表中移除了，所以也把集团公司的运营风险隔离起来，资产证券化也会将产业和商业机会向本来只能接触到标准化资产的投资人敞开。

资本市场可以提供更长期限和更低成本的资金，由资产证券化而带来的更低的融资成本可以加速降低能源的金融杠杆成本并使光伏用电在与其他的能源竞争中更加具有竞争力。”

张杰灵称，东方日升将会是最早提出并将太阳能资产证券化付诸实践的太阳能制造商之一。

突破硅异质结技术的所有瓶颈

文 / Christophe Ballif^{1,2}, Mathieu Boccard¹, Antoine Descoedres², Christophe Allebé², Antonin Faes², Olivier Dupré¹, Jan Haschke¹, Pierre-Jean Ribeyron³ & Matthieu Despeisse²

¹Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Neuchâtel, Switzerland; ²CSEM, PV-Center, Neuchâtel, Switzerland; ³CEA-INES,LITEN, Le Bourget-du-Lac, France

摘要

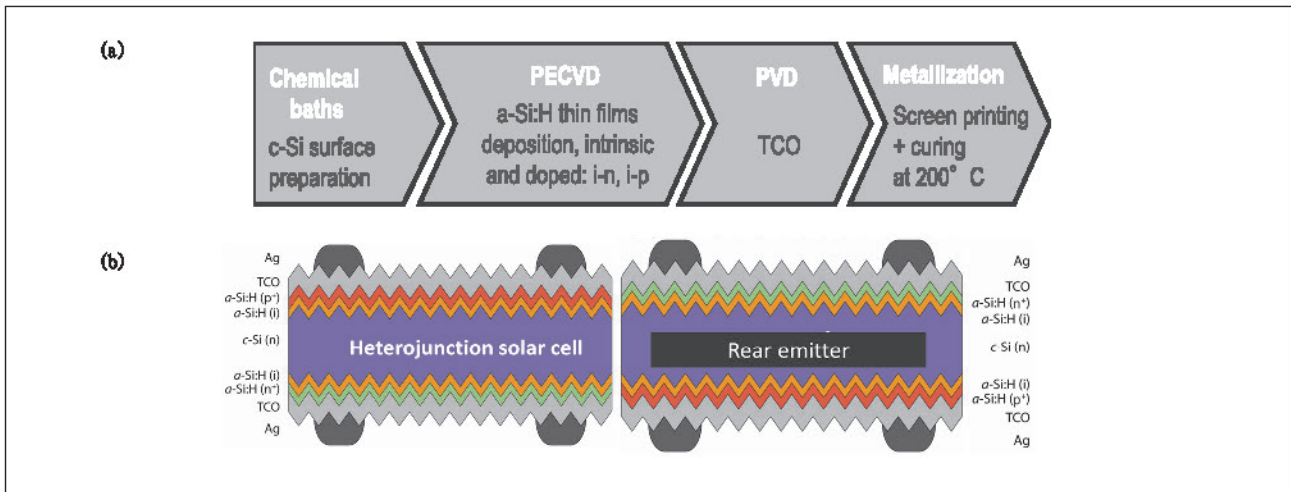
硅异质结 (SHJ) 太阳能电池是“全表面钝化接触”太阳能电池的原型；这种接触电极能使典型开路电压达到 730–750mV。尽管比起标准钝化发射极和背电极电池 (PERC) 技术, SHJ 技术只需要更少的制造工序就能取得更高的效率, 但其市场却一直上涨缓慢。本文讨论了在过去 10 年里该技术已经克服的难题, 并指出为什么现在这项技术比以往任何时候都更加有能力生产有大规模市场竞争力的产品。这背后的原因是基于: 1) 太阳能电池转化效率的提升, 例如通过丝网印刷电极将实验室研发效率提升至 24–25% 以上; 2) 采用了高质量低成本的超薄 n 型 c-Si 硅片; 3) 金属化和互连方案的优化; 4) 采用了低成本的大规模量产设备。最近许多研究团队和公司都展示了它们研发的 6 英寸太阳能电池效率高达 23–24%。目前已经有几条新的生产线或示范生产线正在平均 24 小时不间断地运行着, 这些产线生产的 6 英寸太阳能电池转化效率水平高达 23% (采用 5 主栅线设计)。考虑到其出色的温度系数和双面组件性能 (意味着每 W 安装功率将产生更高的 kWh 电能), SHJ 有可能在发电成本上超越传统的技术。然而, SHJ 产线的资本性支出 (CAPEX) 仍然远高于 PERC 产线, 并在资本不变的情况下减缓产能 (MW/年) 的扩张。本文将介绍一旦在真正量产学习曲线启动的情况下, 如何通过同时减少资本性支出 CAPEX

和消耗品 (特别是银和铜这两种现今最受欢迎的透明电极材料成分) 成本来进一步降低制造成本。最后, 将简要讨论该技术的演进之路, 包括全背面电极接触方法和多结结构, 并将其应用在光伏学习曲线上。

简介

硅异质结 (SHJ) 电池的结构简单且制备工艺成熟, 如图 1 所示; SHJ 结合了 c-Si 技术 (完美的吸收层) 和薄膜技术 (大面积涂层) 的优点。在多家研究团队于初始阶段的开发后, Sanyo (现在归于松下集团) 推出了结合 a-Si:H (i/p)/TCO 前表面堆叠和 n+/Al 背面场结构的异质结技术 [1, 2]。几年之后, IMT Neuchâtel 的光伏实验室开发出了 a-SiH(i/n) 和透明导电氧化物 (TCO) 相结合的背面电极 [3]。而 Sanyo 则是第一个将此概念推广致大规模生产的厂家, 并制备出了高效太阳能电池。从文章 [1, 4] 中可以了解到该技术的几项关键要素。

在过去十年中, 已经有越来越多的研究团队和公司致力于将这项技术的各种衍生版本推向商业化 [5–10]。然而如之前所预期的, 目前生产成本的高企不下仍然阻碍着大规模生产的进程。下面将介绍其中一些导致成本较高的因素, 同时介绍这些困难在最近是如何被克服的, 也因此不难理解为何最近会有大量制造商加入 SHJ 电池的制造行列。



图一: (a) 展示了标准 SHJ 的典型工艺流程。电池上下两面的等离子增强化学气相沉积工艺 (PECVD) 和物理气相沉积工艺 (PVD) 分别可以在同一台设备上完成。作为替代选择, 催化 (CAT)-CVD 和等离子辅助蒸镀 (PAE) 可以分别用于 a-Si:H 和 TCO 层的制备。(b) 展示了前表面结 (左) 和背面结 (右) 的结构。需要注意的是, 这两种结构都能提供高质量表面钝化和低水平局部接触电阻, 该电池的 TCO 方块电阻没有在薄膜组件中的影响大, 这是因为在工作条件下的高载流子注入贡献了横向载流子运输。

Octopus III

异质结高效电池PECVD沉积系统

镜面反应器 顶

镜面反应器 底

抗交叉污染处理

无需翻转硅片

减少搬送步骤



Headquarters

Indeotec SA
Rue du Puits-Godet 12A
2000 Neuchâtel
Switzerland

+41 32 545 3024
sales@indeotec.com

China

DKSH China Co., Ltd.
Unit 605-507, Bldg. 2,
Xinglian Bldg. No. 1535,
Shanghai 200233, PRC

+86 (21) 5383 8811 Ext 160
christy.liu@dksh.com

Taiwan

DKSH Taiwan Ltd
10th floor, No. 22, Lane 407, Sec. 2
Tiding Blvd., Taipei 114-93
Taiwan

+886 (2) 8752 6666 Ext 674
nick.chen@dksh.com

Korea

Calpos Corporation
Room 1201, 5713dong,
Wireydong-ro, Sujeong-gu
Seongnam City,
Gyeonggi-do, 13645

+82-31-751-5446
Calpos100@naver.com

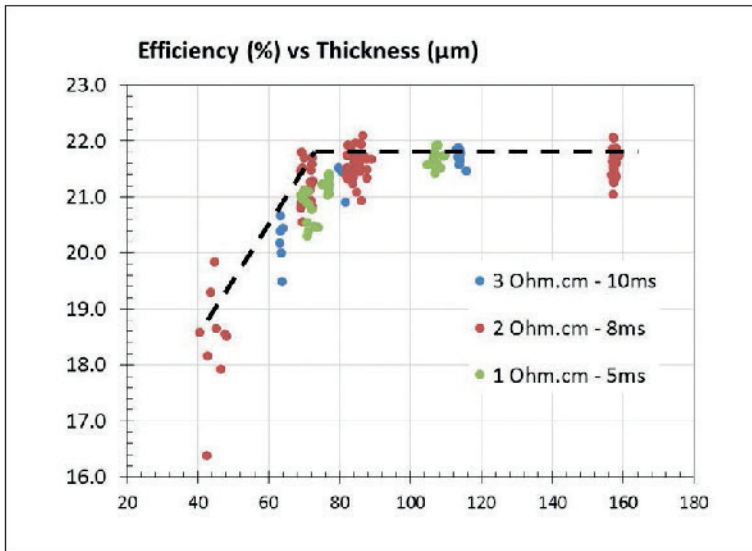
电池组件

材料质量

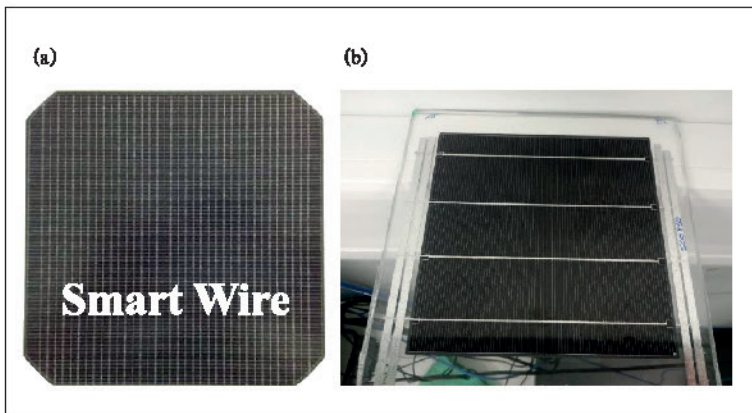
高品质的 n 型硅片价格一向很耗成本。因为需要额外的工艺制程 - 如除气、热施主消除或氢化等 - 才能获得足够高的材料质量用于生产高效太阳能电池。不过如今情况已大为改善。在过去的 5 年，提拉法 (Cz) 技术紧跟 p 型硅片质量提升的步伐，其制造的 n 型硅片质量也有了显著改善。这些进步源自于对氧含量更好地控制以及对提拉技术的优化，即通过加快冷却速度来降低热施主浓度。因此目前最先进的 n 型 c-Si 硅片制备不再需要额外的除气或消除热施主杂质操作。这从寿命 / 电阻率比例 (常用的质量表征参数，其中寿命使用 ms 单位，电阻率使用 Ωcm 单位) 值高于整个硅锭的整体水平上就可以知道。

在成本方面，厚度 180 μm 的 n 型硅片通常比 p 型硅片高出 5-8% [13]。n 型与 p 型的主要差异是在坩埚内的提拉次数 (只需要 3 次，而不是 5 次) 更少；减少提拉次数能避免在熔融状态下累积过多的杂质，而这些杂质是无法通过 SHJ 工艺清除的。

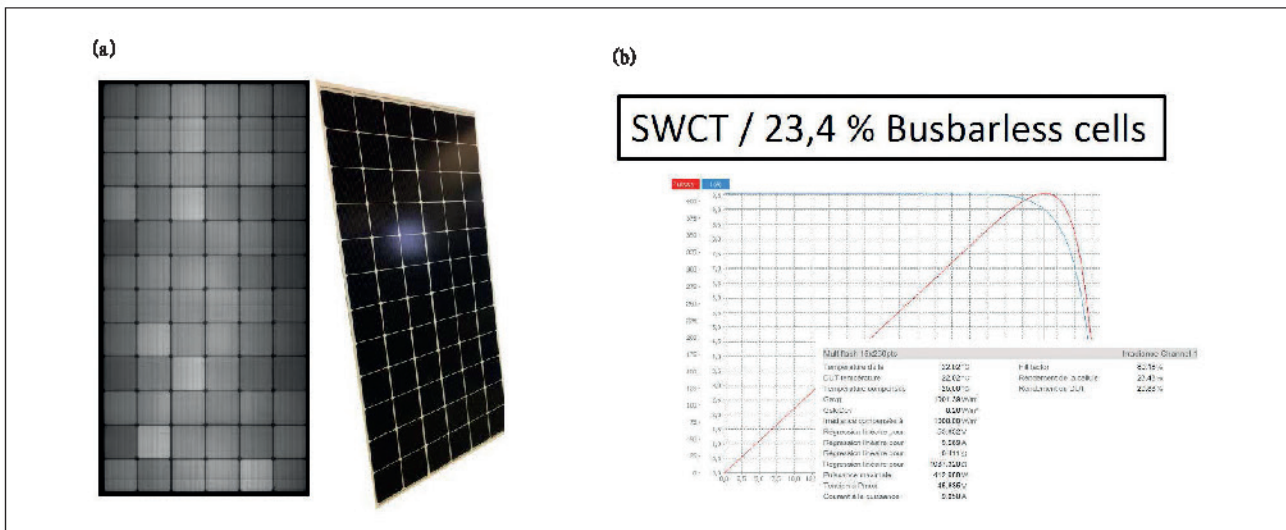
与此同时，对于 SHJ 技术，采用低温或无应力制程可以比使用标准硅技术更容易抓取更薄的硅片。不仅如此，其效率不受硅片厚度影响，即使是减薄到 100 μm 左右：即短路电流 (J_{sc}) 的损失可以通过开路电压 (V_{oc}) 补偿回来，依赖的是超低表面复合。这一特性如图二所示，展示了来自 CEA-INES 量产产线的 SHJ 太阳能电池效率。需要注意的是，由于表面复合较差而导致低 V_{oc} 的“标准”技术，其情况又有所不同，因为电流损失无法通过提高 V_{oc} 补偿回来。目前，硅片生产商可以提供每减薄 10 μm 硅片厚度降价 1.2-1.5¢ / 片硅片的优惠



图二：CEA-INES 中试线生产的 SHJ 电池效率与硅片厚度的关系。可以看到，当硅片厚度降到 100 μm 时，没法出现效率损失。而当硅片厚度进一步减薄后出现的效率下降与此时硅片的表面和操作工艺有关 (但仍然能够进行优化)。



图三：(a) 新一代智能细线连接技术 (SWCT)，使有效栅长小于 5mm。(b) 则展示了 CSEM 生产的电镀铜 4 主栅 SHJ 太阳能电池，其认证效率达到了 24.15% (制定面积效率，面积为 225 cm^2)。



图四：展示了功率高达 412W 的 72 片电池 (基于 M2 硅片) 组件。所测 FF 值达到 80.18%，前表面缝隙区域效率达到 20.88%。

电池组件

[13]。因此一片厚度为 130-140 μm 的高质量 n 型硅片可以做到与一片厚度为 170-180 μm 的用于钝化发射极与背电极电池 (PERC) 的高质量单晶 p 型硅片相同的价格。

金属化与互连

Geissbühler et al. [14] 和 Faes et al. [15] 同时发表了两篇关于异质结电池金属化和互连技术的综述文章；以下总结几个主要观点：

- 十年前，首次应用在太阳能电池上的低温银浆材料（烧结温度通常为 200 $^{\circ}\text{C}$ ）电导率非常低（电阻率高达 20 $\mu\Omega\text{cm}$ ），但两主栅或三主栅设计需要消耗大量的银浆材料。不过，得益于银浆材料生产商的持续开发，如今低温银浆材料有了巨大提升，其电阻率降至 5-6 $\mu\Omega\text{cm}$ ，大幅度缩小了与高温银浆材料（其电阻率通常为 3 $\mu\Omega\text{cm}$ ）的差距。

- 此外，多主栅技术（首先是 5 主栅，后面理想情况下会增加至 8 主栅甚至更多）的发展对 SHJ 技术的推动作用也非常大，其采用的制作工艺可以是涂胶技术或焊接焊带技术。至于更先进的解决方案—多细线（相当于 15 根主栅）技术也非常具有吸引力（如图三 (a) 所示），因为该技术消耗的银浆材料更低，且有效子栅长度短于 5mm。

- 此外，使用电镀铜代替银电极也是潜在技术方案之一；一些团队和公司已经报道采用电镀技术得到了非常好的结果 [14, 16-18]，如图三 (b) 所示。该方法还可以结合

将硅片切割成数块小片的方式（每块电池切割三小块），需要注意的是前表面 TCO 起到了很好的铜离子阻挡层的作用。

例如，智能栅线技术（图三 (a) 所示）通常是采用 18 到 24 条细线，栅线直径范围在 250-300 μm 之间，贴在一块纤薄且高度透明的载箔上 [19]。这种结构可以尽可能地减少硅片前表面和背面金属化所需印刷的银浆料数量（每边 25-45mg，并有可能降低至 10mg [20]）。这种“软”工艺不会导致微裂纹的产生，即使是使用更薄地硅片。基于该电池技术制备得到的组件基本上都能通过加速寿命测试 [21]。此外，组件的填充因子有可能达到 80% (图四) 之高，而该技术能实现目前 SHJs 金属化与互连最低的成本 [15]。

总的来说，通过认证且具备可靠性的低成本金属化和互连方案目前是可实现。而该技术的其他优势将在本文后面讨论。

异质结工艺的简易性

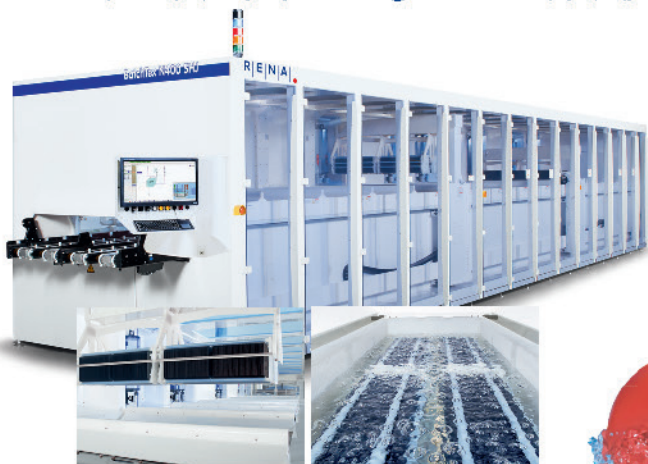
SHJ 技术以工艺稳定性差著称，因为该技术采用的是与传统 c-Si 技术不同的设备和工艺制程。不过，情况正在发生改变，因为目前已有许多讨论证明该技术的简易性和易于控制的特性。以下几种观点值得注意：

- 从薄膜太阳能电池、平板显示和玻璃涂层行业了解到，PECVD 工艺已经将每平方米的涂层成本降至很低（例如商用平行板反应器同时处理 10 片 1.4 m^2 的面板，有的甚至

THE
WET PROCESSING
COMPANY

R|E|N|A|.

Si异质结电池的高端湿法处理工 针对高效SHJ电池所优化的表面



BatchTex N400

基于成熟的工艺和设备平台
全球已售总量超过150台
提供氮气烘干和适用于超薄硅片的方案

SHJ先进制绒和清洗方案

高质量随机金字塔绒面结构
SHJ薄膜沉积所需的高效表面清洗
卓越的均匀性和工艺良率

想获取更多信息，敬请联系我们！
www.rena.com

在上海造访我们
SNEC 2019
展位N3-355

电池组件

高达 5.6m²[23])；此外，溅射工艺 (PVD) 也例如通过使用更多且更宽的磁控管来大幅降低成本。

- SHJ 技术的工艺步骤是最少的一只有 5 到 7 步，具体决定于设备和工艺。

- 通过恰当的设备设计是可以实现对薄膜层一致性进行精确控制的，同时可以自动避免材料层厚度变化 [24]。

- 目前至少有 20 家研究机构和中试线或量产线证明了 6" 硅片的电池基准效率可以达到 23% 以上。据报道，双面接触电池的实验室记录已达到 25.1%，而又指电极结构电池更是达到 26.7% [26, 27]。表格一给出了参考值。

以作者经验来看，通过一系列合理设计的设备就已经可以基于最初工艺生产出效率超过 22% 的电池了，而根据大量已报道的优化措施进行持续的工艺提升则可以快速地将效率提升至 23% 以上。

制造设备

目前可用的生产设备系列是越来越丰富，例如来自梅耶博格的 HELiA PECVD 设备，如图五所示。沉积非晶硅

层可以使用带有不同反应器设计的 PECVD 或 CAT-CVD 设备，而 TCO 层则可以通过 PVD (溅射) 或等离子辅助蒸镀 (PAE, 也称 RPD, 表示快速等离子沉积) 完成。这些技术已经在生产线中得到证明。即使是 CAT-CVD 和 PAE 都能减少来自高能离子的轰击；通过合适工艺制备的 PECVD 和 PVD 层，可以带来质量更稳定的电池结果，而其他涂层技术还没有在生产中得到证明。另外两个重要因素是：

湿法化学，如今已经能得到良好控制。在引入臭氧清洗技术后可以显著降低耗材成本 [32, 33]。

自动化，这是经常被低估的因素，许多首次生产批次都会遭到与硅片操作、排队时间以及有时是工艺控制相关的问题。因此需要充分利用这些表面敏感器件类型的经验与生产方案。这些技术不是所有设备供应商都能提供，但随着需求增长，新的解决方案将会引入 [34]。

设备价格

在一个新兴市场，一些设备供应商不愿意发布官方编号。目前，核心设备 (湿法设备、PECVD 和 PVD) 的总价格

Efficiency [%]	Company/Institute	Cell type/Specs	Reference
26.7	Kaneka	IBC, 79cm ² , n-type, certified	[27]
25.6	Panasonic	IBC, 144cm ² , n-type, certified	[28]
25.1	Kaneka	100cm ² , n-type, certified	[25]
24.7	Panasonic	102cm ² , n-type, 98μm, certified	[29]
24.2	CSEM/EPFL	4cm ² , n-type, SP, certified	[30]
23.8	CSEM/EPFL	4cm ² , p-type, SP, certified	[30]
24.1	CSEM/CIC	220cm ² , n-type, BB4, Cu-plated, certified	[10]
24.0	Meyer Burger	244cm ² , n-type, BB0, SP, certified	[30]
23.9	CEA-INES	244cm ² , n-type, BB5, SP, certified	[31]
23.7	CIE	244cm ² , n-type, BB5, SP	
23.4	Hanergy	244cm ² , n-type, BB5, SP	
23.4	SIMIT	n-type, plated	

表格一：来自各个制造商的高效 SHJ 电池。最上面六个是来自实验室的器件，而后六个则是在量产产线或中试线上的产品。（“BBx”表示 x 路主栅，“BB0”则表示无主栅设计，也代表没有主栅电流损失。）



图五：梅耶博格的 HELiA PECVD 设备，使用了基于“等离子盒子”概念的反应器，能够保证制备出完美均匀统一的材料层，并降低污染并促进反应器清洁 [35]。硅片载盒每次只接触一个沉积腔体，避免了污染物从载盒中引入。

电池组件

应该在 700-1300 万美元 /100MW 范围内，而剩下设备（入料管控、自动化、印刷、烧结、测试和筛选等）则在 300-500 万美元之间。一旦市场得到开发，设备价格将大幅度回落，并且实现自动化的简化。即使在现阶段，也是值得去思考下面几项因素的：

例如，相比于 PERC 产线，500 万美元 /100MW（电池 + 组件）产线的额外资本支出将带来大约 1 美分 /W 的额外成本，当折旧超过 5 年，本来应该是持续商业的情况（例如如果资本是可用的且如果市场已经存在超过 5 年）。

在电池层面的效率提升和在系统层面的发电提升应该抵消且超过额外资本支出，以尽可能降低发电成本，我们将在下一节详细讨论。

除了设备的单纯制造产能外，降低资本支出的途径还包括以下几点：工艺反应器的平行化、PECVD 和 PVD 的单个承载工艺、在线工艺和通过合理系统设计缩短工艺周期。例如，在 INDEPtec 的技术里，单个空腔承载允许硅片处在同一个承载上，前表面和背面 a-Si:H 可以同时沉积，即缩小了空间又能实现自动化（图六）。

表格二对目前部分参与 SHJ 技术研发的公司和研究机构的研发成果进行了总结。



图六：INDEPtec 研制的 OCTOPUS II，采用了镜像反应器概念。硅片每次只放置在一个载盒上，并在同一个载盒上完成前表面和背面 a-Si:H 镀膜操作。

SHJ producers	Ramping-up	Piloting	Equipment suppliers
CIE	Ecosolifier	CEA-INES	Applied Materials ^{1,2}
Hanergy	Enel/3sun	Kaneka	Ideal Energy ¹
Hevel	GS Solar	Meyer Burger	Indeotec ¹
Panasonic	JInergy		Jusung ¹
Solar City	Neo Solar Power		Meyer Burger ^{1,2,3}
Sunpreme	Tongwei		Ulvac ^{1,2}
			Von Ardenne ²
			Singulus ^{4,2}

¹ PECVD or CAT-CVD; ² PVD; ³ Modules; ⁴ Wet chemistry.

表格二：涉及 SHJ 技术的部分行业概况。

VON ARDENNE

www.vonardenne.biz

GW

IGA ATT

XEA | nova

8000片/小时

未来防腐涂层设备

最大限度的提高GW的最低资本使用率

在晶硅或薄膜光伏技术领域，例如HJT、PERC、CIGS、钙钛矿、叠层电池，您是否在寻找具有低成本的镀膜设备？我们可以为您提供面向未来的各种规模的技术和系统性解决方案的服务。

更多的相关信息，请参观我们在SNEC 2019 (N3-520) 的展位。

XENIA

宽度：最长为3米

电池组件

耗品

与电池耗品成本相关的三大块分别为湿法刻蚀（目前由 Singulus 报道的使用臭氧清洁成本不高于 0.5-0.6 美分/W）与清洁、银浆和 TCO。银浆的每 Kg 价格通常与传统浆料很接近，其电导率大约低 0.6-0.7 个单位。对于等价于前表面 PERC、双面 SHJ (Voc 更高和电流稍微更低) 的丝网印刷将需要大约两倍的浆料，这是由银浆的电导率差异造成的。对于 6 主栅双面结构，每片电池需要大约 180mg Ag 浆料，成本相当于 1.5 美分/W (假设浆料价格为 600 美元/kg)。而对于多细线结构，该数字将减少到 0.95 美分/W [15]，当提升了多细线的丝网印刷图形后，这一数字将降低到几乎为零 (10mg/边 [20])。而关于 TCO 的靶材成本，制造商对 In 基靶材工艺通常收取 520-900 美元/kg，包括 In 的价格 (目前价格约为 220 美元/kg)；对于两边都使用 3.5g 的目标量来说，这相当于 0.8 到 1.25 美分/Wp。

潜在的优势和需求

假设硅片减薄 40 μm 和绝对效率提升 1%，基于早期的指导价格使用的是更 n 型 SHJ (130 μm) 硅片价格将为 6.26 美分/W，与 p 型硅片 (170 μm) 的 6.9 美分/W 相比，则每 W 少 0.64 美分。

随着清洁技术的提升，可以预测清洁成本将与那些标准电池技术的清洁成本相近。另外，目前在 SHJ 低温金属化工艺方面所做的努力还很少。对于正在增长的市场，Ag 含量更低的浆料，例如 Cu 基浆料 [36]，应该快速提升以大幅度降低价格，甚至低于高温金属化工艺 (Cu 无法适用于该工艺)。

最后，TCO 成本可以通过多种方法进一步降低，例如降低目标制造成本 (-20%)、降低背面 TCO 厚度 (-25%)、以及通过 ZnO 替代 TCO (-30%)。在长期使用中，TCO 成本将会被金属化成本的降低而抵消掉，该技术将完全受益于硅片厚度的降低。

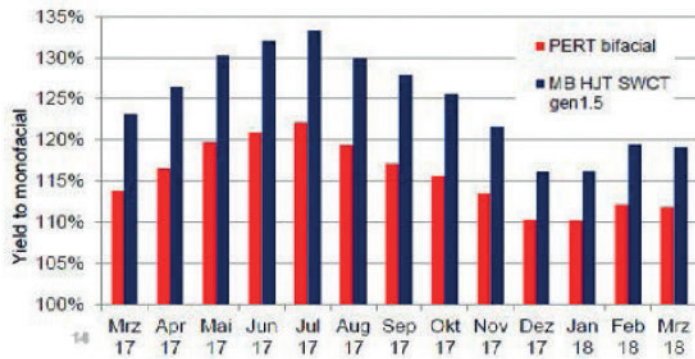
在组件层面，双玻结构在双面组件中经常使用。为了保证长期寿命，一些制造商计划采用边缘密封胶。根据丝网印刷银浆类型的不同，可以使用焊料、涂胶或多细线密封用于电池互连。相比于标准主栅焊接和 EVA 封装材料，采用替代方案 (例如聚烯烃-PO-封装材料) 可以确保更高的可靠性，这通常会导致每平方米多花 2-3 美元用于封装材料、边缘密封和导电黏胶或电极细线。在美元/W 层面，额外成本将被每提升 1% 的发电效率而完全抵消，相当

Parameter	Expected EY gain vs PERC	Remarks
Impact of TC-P _{WPP} (-0.20 to -0.27%/°C)	2-6%	2% cold climate, 4% hot climate, 5-6% for 1 axis track bifacial or for BIPV
No PID or other degradation	1.2-3%	Based on best data sheets from manufacturers -0.3%/year from year 2 vs. 0.45%/year for best PERC
Bifaciality (f _{bif})	2%	Assuming 20% rear illumination f _{bif} SHJ = 93%, f _{bif} PERC = 82%
Low illumination	0.3-1.0%	Estimates for V _{oc} of 740mV (SHJ), 680mV (PERC) for resp. high, low average irradiance
Total	5.5-10%	

表格三：相比于 PERC 技术，SHJ 技术在能量输出方面的潜在收益比例 (其中 BIPV 代表光伏建筑一体化)。



UAE: normalised monthly yields 04/2017 to 03/2018



图七：从 PERT 双面组件和 SHJ SWCT 双面组件收集到的户外工作数据。

于在组件层面的 10W/m²，这在目前通常能观察得到。

度电成本(LCOE)

表格三展示了部分 SHJ 组件的预测与实测结果。更优的温度系数可以获得比系数值为 -0.38%/°C 的 PERC 组件高 2-6% 的额外电能，并且在热带地区的双面单轴跟踪太阳能系统上获得 6% 的额外电能。相比于 SHJ (松下) 和 PERC (隆基) 产品手册上保证的最佳表现，在 20 年里将获得额外 1% 的能量。值得注意的是，无论是哪种技术，某些批次组件都可能表现出更严重的衰退，即使是 PERC 组件也有同样的衰减现象报道，

电池组件

其衰退机理可能来自多种光致衰退 [37]。另一方面，采用合适工艺电池的 SHJ 组件在光浸润测试下的填充因子和 Voc 都有轻微的提升 [38]。由于它们的双面率高达 93%，可以比双面率为 82% 的标准组件多收集 2% 的能量 [39]。最后，由于 SHJ 有着更高的电压，同时 PN 结内不存在金属杂质（带来更好的二极管理想因子），与丝网印刷 PN 结相反，根据应用环境的不同，在低辐照条件下可以获得 0.3-1% 的额外能量（因为相对压降更低）。需要注意的是，能被 SHJ 电池边界损失影响的最后一个因素，如果不仔细设计，将会比扩散结器件受到更大的影响。关于这最后一部分，合适的涂层工艺制程、载台开窗（例如溅射）和工艺参数（例如硅片边缘涂层）需要尽可能优化以将边界损失降低至最低。值得说明的是，据报道该技术在全尺寸硅片上已经取得了 24% 左右的效率成果。

根据安装方式的不同，高质量 SHJ 组件在 20 年工作寿命内产生 5.5-10% 的每瓦额外电能；对于 6" 电池等效组件设计来说，这一增益应该补充上 10W/m² 功率增益。对于大型光伏电站，假设总的系统成本为 70 美分 /W，组件成本为 25 美分 /W，则有可能在面积和工程相关成本上有进一步收益。如果基于表格三做出相对保守的 7% 的能源提升，这意味着 SHJ 组件会增加 6 美分 /W 成本，但仍然属于相同的 LCOE。图七展示了基于 Haschke et al. [40] 文章讨论的上述收益，此文章还对比了位于阿联酋的钝化发射极、背部完整扩散 (PERT) 双面组件和 SHJ 双面组件 [33]。

从实验室到发电站

表格一展示了一些最近的 SHJ 电池测试结果；这其中包括了最近由 CSEM/EPFL 制造的 2cm×2cm 丝网印刷器件。使用图一的工艺流程制造的 N 型和 P 型硅片电池分别取得 24.24% 和 23.76% 的认证效率。对于 n 型电池，在 Cz 硅片上也取得了相似的结果。表格一还给出了采用与本文描述相似的工艺流程的商用电池尺寸取得的各种结果，以及给出背接触记录电池的图示。

中试线与量产线上的电池

该技术领域已经有越来越多的厂商加入，一批 50-200MW 产线也已经开始生产，如表格二所示。除了松下之外，还有数家制造商也宣布计划将产能扩大至 GW 级别，有些甚至是第一期。对于所有 c-Si 技术来说，产量都是至关重要的，因为加大产量才能实现最低的 \$/W 制造成本。在中等产能水平（100-500MW）区间，目前仍然有竞争性市场进入的空间。

在 6" 电池级别，一些中试线已经取得了 22.5-24% 水平的电池效率；例如，图三 (b) 展示了电镀之后的电池效率达到 24.15% (四主栅测试法)。在其位于德国的示范产线，梅耶博格宣布其生产批的平均效率达到 23.65%，并在无主栅模式（这是一种备受青睐的商业标准模式，即不考虑主栅遮光损失也不考虑子栅的电阻损失，比五主栅电池提高



GENERIS PVD - 异质结太阳能电池在线溅射设备

SINGULUS 溅射技术概览

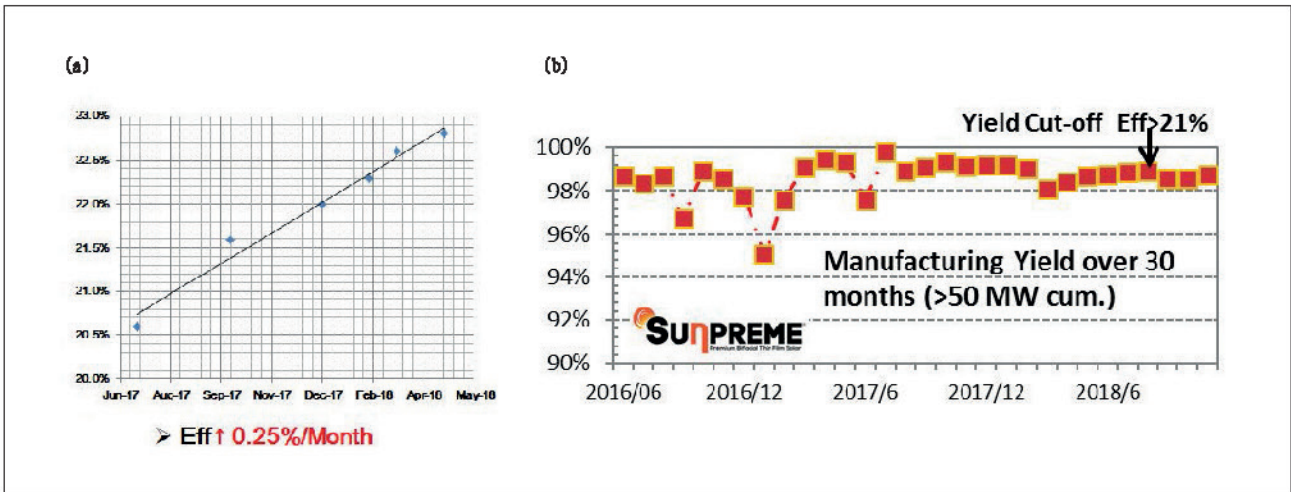
德国新格拉斯科技集团在过去20年中已在全世界售出超过8000台真空溅射设备。此类设备既可用于标准溅射工艺，也可作为超高真空沉积设备用于低至0.2nm的超薄层处理。

SINGULUS GENERIS PVD 设备是专为满足双面涂层的异质结电池的特殊生产要求而设计的水平式在线溅射设备。通过使用旋转靶，可在降低生产成本的同时最大程度使用靶材。

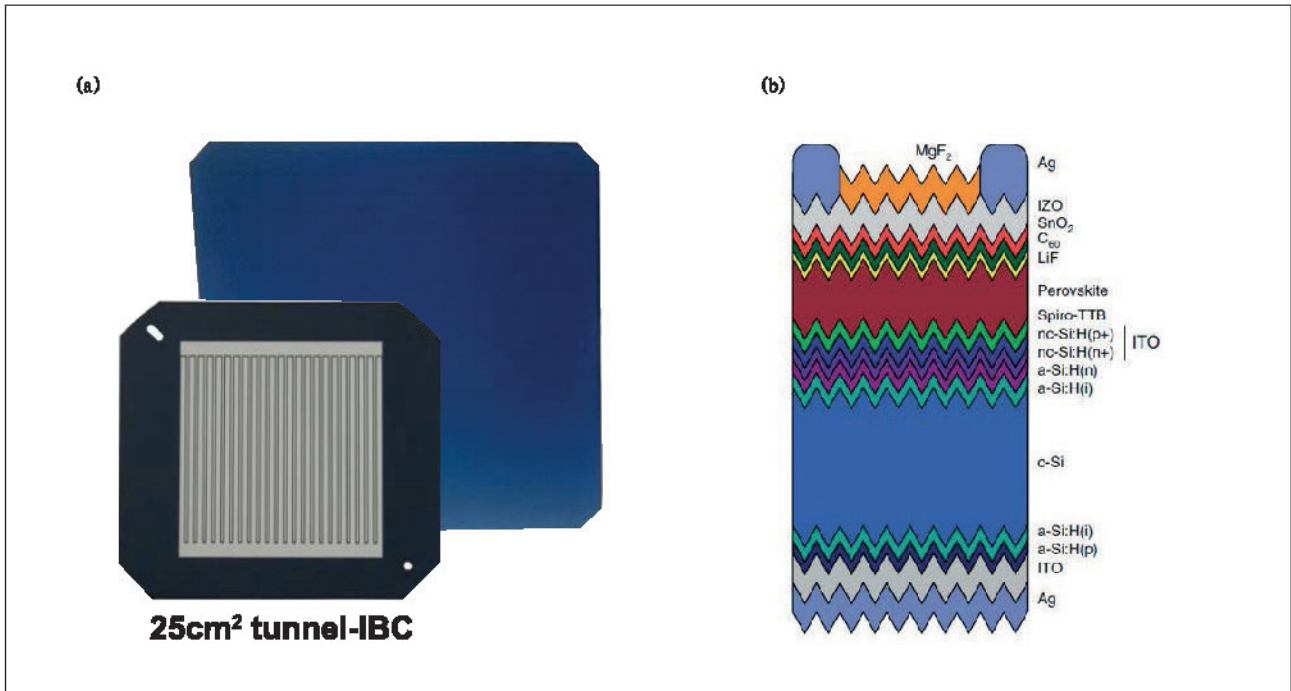
- 适用于ITO、AZO等透明导电氧化层，如HJT
- 可同时多个基板进行处理（硅片）
- 低生产成本和高稼动率
- 溅射方向可选自上而下/自下而上
- 对整个工艺过程进行温度控制
- 旋转阴极的靶材使用率达到约80%，而平面阴极仅为30%
- 溅射材料：ITO、AZOAg、NiV、Cu、Al等金属



电池组件



图八：(a) CIE (中国) 电池产品的效率爬坡，显示了在过去一年内效率得到显著提升 (BB5 SHJ 太阳能电池)。 (b) 2018 年产量达到 50MW，良率达到 99% (即 >21%，而平均值为 22.2%，5 主栅设计)。



图九：(a) 由 CSEM 制造的新一代 IBC-SHJ [42]，使用隧道工艺，转化效率高达 24.8%。 (b) 在制碱 SHJ 电池基础上制备的钙钛矿电池的示意图 [45]。

了 0.5-0.6% 的绝对效率) 下达到了最佳的 24.27% 认证电池效率 [12]。需要注意的是，这些仅仅是中试线电池结果，因此一些依赖于局部钝化接触的高效 PERC 电池结果不代表量产产品线的结果，也不代表能实现低成本。随着持续不断地工艺提升，CEA 使用梅耶博格量产设备能够实现五主栅 SHJ 电池达到 23.9% 的认证效率。随着产线的优化和对印刷与 TCO 技术的进一步优化，预计可以将效率提升到 24-24.5%。

从表格一可以看出实验室结果可以快速转化到量产设备上；例如，使用多细线技术，可以实现标准尺寸硅片 (M₂) 下的认证组件功率分别为 341W (60 片电池) 和 412W

(72 片电池)，其中 FFs 分别达到 79.7% 和 80% 以上的优异结果，证明了该技术的成熟性。近来，CEA 和梅耶博格合作推出了 348W 标准 60 片电池组件，并通过半切片电池方式实现了高效率。与松下、sunpreme 和 Hevel 类似，其他一些量产线目前也在使用 6” 电池并实现高效率，例如汉能取得了 22.2-22.3% 的效率，而 CIE 也取得 23% 的平均效率 (所有值都是报道于 2018 年 10 月)。所有这些公司都还仍然处在效率学习曲线阶段：图八 (a) 展示了从 2017 到 2018 里 10 个月内平均电池效率从 20.5% 提升到了 22.8%。在对部分设备进行改造后，平均效率正超过 23% (2018 年 10 月)。目前已由生产商或中试线得到的产品良率都达到

电池组件

了接近 99% 的较高水平，例如图 8 (b) 所示的 Sunprime 的结果。

扩展学习曲线

基于实验室和生产线的结果，可以预测丝网印刷、多主栅器件在进行完整优化的情况下效率将达到 24–24.5% 之间。

扩展效率曲线

下一步，SHJ 将以两种方式朝向高效产品演进。

首先，通过增加一系列设备制备背接触电池，并提升 5–8% 的相对效率。该器件结构保持着 c-Si 基光伏产品由 Kaneka 保持的 26.7% 的世界纪录 [26]。尽管促使实现这一高效率的工艺步骤可能无法直接实现工业化，图 9 (a) 显示了使用隧道结方法制备的一块 25cm² 电池，该方法极大简化了 IBC 设备的工艺 [42]。特别是该方法在原来栅极图案接触层只需要一层，以及一次金属电极对准步骤。目前已经取得了 24.45% 的认证效率，已经最近取得的 24.8% [25cm²] 的室内效率。

其次，SHJ 太阳能电池是多结叠层电池理想的底层电池，该电池被应用在突破效率记录的四端硅基 III–V 族（其中两结效率为 32.8%，三结效率为 35.9%）电池上 [44]。对于钙钛矿 / 硅多结叠层电池来说，这些电池也同样扮演着理想底层电池的作用（如图 9 (b)），最近认证效率达到 25.24% [45]。就在最近，牛津光伏报道了效率达到 27.3% 甚至 28.0% 的电池，据猜测也是使用 SHJ 底部电池 [46]。这些方法将使 6” 太阳能电池效率达到 30%，但目前仍有成本和可靠性问题有待解决，之后才能实现大规模生产和销售。

总结

在过去 10 年，SHJ 领域的技术已经取得了显著的提升，包括：

- 能兼容低成本工业化生产的工艺开发。
- 该技术的推广正变得日益普及，越来越多的团队取得了超过 23% 的电池发电效率。
- 先进金属化和互连技术的开发。
- N 型硅片质量的提升。
- 在量产产品线设备上也能取得高效率。
- 广泛生产解决方案的实施。

致谢

本文作者要感谢来自欧盟地平线 2020 研究与创新计划通过其编号为 745601 (Ampere)、727529 (Disc) 和 727523 (NextBase) 的基金支持，以及来自瑞士联邦能源办公室、瑞士联邦科技创新署、瑞士联邦科学基金会、PNR70、Bridge 和 Nanotera 的支持，以及来自商业伙伴梅耶博格、3Sun 和 INDEOtec 的支持。特别感谢 EPFL 光伏实验室、CSEM 光伏中心和 CEA-Ines 的辛勤工作，以及感谢所有学院同仁、RTOs 和为本文提供数据或信息支持的公司。

参考文献

- [1] De Wolf, S. et al. 2012, “High-efficiency silicon heterojunction solar cells: A review”, *Green*, Vol. 2, No. 1, pp. 7–24.
- [2] Tanaka, M. et al. 1992, “Development of new a-Si/c-Si heterojunction solar cells: ACJ-HIT (Artificially Constructed Junction-Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer)”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 31, No. 11, pp. 3518–3522.
- [3] Keppner, H. et al. 1994, “Passivation properties of amorphous and microcrystalline silicon layers deposited by VHF-GD for crystalline silicon solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 34, No. 1–4, pp. 201–209.
- [4] Haschke, J. et al. 2018, “Silicon heterojunction solar cells: Recent technological development and practical aspects – from lab to industry”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 187, pp. 140–153.
- [5] Bivour, M. et al. 2014, “Doped layer optimization for silicon heterojunctions by injection-level-dependent open-circuit voltage measurements”, *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 4, No. 2, pp. 566–574.
- [6] Mazzarella, L. et al. 2015, “p-type microcrystalline silicon oxide emitter for silicon heterojunction solar cells allowing current densities above 40 mA/cm²”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 106, p. 023902.
- [7] Jay, F. et al. 2014, “Advanced process for n-type mono-like silicon a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells with 21.5% efficiency”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 130, pp. 690–695.
- [8] Kobayashi, E., Watabe, Y. & Yamamoto, T. 2015, “High-mobility transparent conductive thin films of cerium-doped hydrogenated indium oxide”, *Appl. Phys. Express*, Vol. 8, No. 1.
- [9] Herasimenka, S.Y. et al. 2016, “ITO/SiO_x:H stacks for silicon heterojunction solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 158, pp. 98–101.
- [10] Descocudres, A. et al. 2018, “Low-temperature processes for passivation and metallization of high-efficiency crystalline silicon solar cells”, *Sol. Energy*, Vol. 175, pp. 54–59.
- [11] Louwen, A. et al. 2016, “A cost roadmap for silicon heterojunction solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 147, pp. 295–314.
- [12] Zhao, J. et al. 2018, “>24% silicon heterojunction solar cells on Meyer Burger’s mass production tools and how wafer material impacts cell parameters”, *Proc. 7th WCPEC, Waikoloa, Hawaii, USA (Joint Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC)*, 2018, pp. 1514–1519.
- [13] Wang, Y.C. 2018, “Mass production high quality and cost effective n type wafer supply”, Shanghai.
- [14] Geissbühler, J. 2017, “Metallization techniques and interconnection schemes for high efficiency silicon heterojunction PV”, *Photovoltaics International*, 37th edn, p. 67.
- [15] Faes, A. et al. 2018, “Metallization and interconnection for high-efficiency bifacial silicon heterojunction solar cells | PV

Tech”, *Photovoltaics International*, Vol. 41, p. 65.

[16] Li, B. 2016, “Industrial bifacial silicon heterojunction technology that improves system LCOE”, *HERCULES Workshop*, Berlin, Germany.

[17] Yamamoto, K. et al. 2015, “High-efficiency heterojunction crystalline Si solar cell and optical splitting structure fabricated by applying thin-film Si technology”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 54, No. 8S1, p. 08KD15.

[18] Yu, J. et al. 2015, “Tungsten doped indium oxide film: Ready for bifacial copper metallization of silicon heterojunction solar cell”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 144, pp. 359–363.

[19] Papet, P. et al. 2015, “New cell metallization patterns for heterojunction solar cells interconnected by the Smart Wire Connection Technology”, *Energy Procedia*, Vol. 67, pp. 203–209.

[20] Brok, W. et al. 2014, “Advanced metallization concepts by inkjet printing”, *Proc. 29th EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands.

[21] Bonnet-Eymard, B. et al. 2018, “New generation SmartWire Modules Technology”, *8th nPV Worksh.*, Lausanne, Switzerland.

[22] Meier, J. et al. 2005, “Progress in up-scaling of thin film silicon solar cells by large-area PECVD KAI systems”, *Proc. 31st IEEE PVSC*, Lake Buena Vista, Florida, USA, pp. 1464–1467.

[23] Applied Materials 2019, “Applied PECVD 5.7” [<http://www.appliedmaterials.com/products/applied-pecvd-57>].

[24] Zimmermann, T. et al. 2014, “Deposition of intrinsic hydrogenated amorphous silicon for thinfilm solar cells – A comparative study for layers grown statically by RF-PECVD and dynamically by VHF-PECVD”, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, Vol. 22, No. 2, pp. 198–207.

[25] Adachi, D., Hernández, J.L. & Yamamoto, K. 2015, “Impact of carrier recombination on fill factor for large area heterojunction crystalline silicon solar cell with 25.1% efficiency”, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 107, No. 23, p. 233506.

[26] Yamamoto, K. et al. 2018, “High-efficiency heterojunction crystalline Si solar cells”, *Jpn. J. Appl. Phys.*

[27] Green, M.A. et al. 2018, “Solar cell efficiency tables (version 51)”, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, Vol. 26, No. 1, pp. 3–12.

[28] Masuko, K. et al. 2014, “Achievement of more than 25% conversion efficiency with crystalline silicon heterojunction solar cell”, *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 4, No. 6, pp. 1433–1435.

[29] Taguchi, M. et al. 2014, “24.7% record efficiency HIT solar cell on thin silicon wafer”, *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 4, No. 1, pp. 96–99.

[30] Ballif, C., Boccard, M. & Despeisse, M. 2018, “From wafers to modules to mass production: Solving all bottlenecks in silicon heterojunction technology”, *Proc. 35th EU PVSEC*, Brussels,

Belgium.

[31] CEA Liten 2018, “New record for heterojunction technology” [<http://liten.cea.fr/cea-tech/liten/Pages/actualites/Hétéro-jonction-record-de-rendement.aspx>].

[32] Zhang, Z. 2018, “Starting the era of HJT solar cells – Technical insight into advanced ozone cleaning based on SINGOZON Technology and optimized magnetron sputtering for damage-free processing of TCO layers”, *Proc. 1st Int. Worksh. Sil. Heterojunc. Sol. Cells: Sci. Ind. Technol.*

[33] Richter, A. 2018, “System design & optimization and performance energy yield of bifacial module technologies and yield estimation methods by rule of thumb”, *Proc. 7th WCPEC*, Waikoloa, Hawaii, USA (Joint Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC).

[34] Izzi, M. et al. 2018, “AMPERE: A European project aimed to decrease the levelized cost of energy with innovative heterojunction bifacial module solution ready for the market”, *Proc. 7th WCPEC*, Waikoloa, Hawaii, USA (Joint Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), pp. 569–572.

[35] Bubbenzer, A. & Schmitt, J.P.M. 1990, “Plasma processes under vacuum conditions”, *Vacuum*, Vol. 41, No. 7–9, pp. 1957–1961.

[36] Facs, A. et al. 2018, “Direct contact to TCO with SmartWire Connection Technology”, *Proc. 7th WCPEC*, Waikoloa, Hawaii, USA (Joint Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), pp. 1998–2001.

[37] Kopecek, R. 2018, “Is LeTID degradation in PERC cells another degradation crisis even worse than PID?”, PV-Tech Guest Blog [<https://www.pv-tech.org/guest-blog/is-letid-degradation-inperc-cells-another-degradation-crisis-even-worseth>].

[38] Kobayashi, E. et al. 2017, “Increasing the efficiency of silicon heterojunction solar cells and modules by light soaking”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 173, pp. 43–49.

[39] Kopecek, R. & Libal, J. 2018, *Bifacial Photovoltaics: Technology, applications and economics*, London: Institution of Engineering and Technology (IET).

[40] Haschke, J. et al. 2017, “The impact of silicon solar cell architecture and cell interconnection on energy yield in hot & sunny climates”, *Energy Environ. Sci.*, Vol. 10, No. 5, pp. 1196–1206.

[41] Richter, A. 2018, “An approach to quantify benefits & risks of bifacial PV systems based on energy yield”, 5th Bifi PV Workshop, Denver, Colorado, USA.

[42] Tomasi, A. et al. 2017, “Simple processing of back-contacted silicon heterojunction solar cells using selective-area crystalline growth”, *Nat. Energy*, Vol. 2, No. 5, p. 17062.

[43] Despeisse, M. et al. 2018, “Engineering of thin-film silicon materials for high efficiency crystalline silicon solar cells”, *Proc. 7th WCPEC*, Waikoloa, Hawaii, USA (Joint Conf. 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), pp. 3888–3889.

电池组件

- [44] Essig, S. et al. 2017, "Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions", *Nat. Energy*, Vol. 2, No. 9, p. 17144.
- [45] Sahli, F. et al. 2018, "Fully textured monolithic perovskite/silicon tandem solar cells with 25.2% power conversion efficiency", *Nat. Mater.*, Vol. 17, No. 9, pp. 820–826.
- [46] NREL 2019, "Best research-cell efficiencies"[<https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/pv-efficiency-chart.20190103.pdf>].

作者简介



Christophe Ballif 于 1998 年获得 EPFL 的博士学位。在 2004 年被聘为瑞士 Neuchâtel 大学微电子工程学院全职教授，并掌管光伏与薄膜电子实验室，如今已经成为 EPFL 的一部分。从 2013 年开始，他便担任 CSEM 光伏中心的主任。他的研究领域包含了光伏技术、高效 c-Si 太阳能电池技术、组件技术、BIPV 和能源系统等。



Mathieu Boccard 依靠其在光伏实验室里对薄膜硅叠层太阳能电池方面的工作，于 2012 年取得了 EPFL 的博士学位。他随后加入位于美国坦佩的亚利桑那州立大学担任博士后研究员，致力于高效晶体硅、CdTe 和钙钛矿 / 硅叠层太阳能电池的研究。从 2017 年开始，他就开始带领光伏实验室的硅异质结研发工作，主要集中在用于选择性电极、多结器件和位置相关的太阳电池基本与新型材料。



Antoine Descoedres 分别于 2001 年和 2006 年获得 EPFL 的理学硕士和物理学博士学位。之后分别于 2007 年到 2009 年和 2009 年到 2013 年期间在日内瓦欧洲核子研究中心 CERN 和 Neuchâtel 光伏实验室担任博士后研究员。在 2013 年他加入位于 CSEM 的光伏中心，并负责硅异质结太阳能电池的研发工作。



Christophe Allebé 曾取得比利时鲁文天主教大学的物理学硕士学位。从 2000 年到 2011 年分别在欧洲微电子研究中心 IMEC 及其衍生公司负责晶体硅基同质结太阳能电池的研发工作。随后在日本 Kaneka 工作时转至硅基异质结方向。在 2013 年他加入 CSEM 光伏中心，致力于提升太阳能电池性能的工艺和方法。



Antonin Faes 依靠其在 EPFL 的跨学科电子显微镜中心 (CIME) 和工业能源系统实验室 (LENI) 在固体氧化燃料电池方面的工作，于 2010 年取得了 EPFL 的博士学位。在 2012 年他加入 Neuchâtel 大学的 CSEM 光伏中心，负责 c-Si 太阳能电

池金属化和互连技术研发工作，并主要致力于硅异质结太阳能电池技术。



Olivier Dupré 依靠其在光伏器件热性能方面的工作于 2015 年取得法国里昂国立应用科学学院 (INSA Lyon) 的博士学位。目前他担任 EPFL 光伏实验室的研究员，致力于硅异质结和钙钛矿 / 硅叠层太阳能电池的研发。他的研究领域包括了特定地点和工作条件下使电池和组件输出能量最大化的解决方案。



Jan Haschke 于 2014 年获得柏林工业大学电气工程博士学位。他目前在 Neuchâtel 的 EPFL 光伏实验室担任博士后研究员。他的研究兴趣包括高效硅异质结太阳能电池器件和制造工艺的研发。



Pierre-Jean Ribeyron 依靠其在多晶硅晶体化在光伏领域的应用于 1998 年获得法国 Grenoble-Alps 大学的博士学位。在 2000 年，他加入 CEA 并参与建设首个硅太阳能电池技术研发平台。在 2005 年创建 INES 后，他便致力于高效太阳能电池特别是异质结电池的研发。他目前主要从事从硅材料到组件到光伏系统完整产业链的研究。



Matthieu Despeisse 依靠其在先进检测仪方面的工作于 2006 年取得了日内瓦欧洲核子研究中心 CERN 的博士学位。随后 2009 年他加入 EPFL 担任薄膜硅光伏研究团队的领导。从 2013 年起他开始领导 CSEM 在晶体硅光伏和金属化方面的研究工作，并主要集中于硅异质结技术、钝化电极、硅基多结电池、金属化和互连方面。

查 询

Mathieu Boccard
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)
Institute of Microengineering (IMT)
Photovoltaics and Thin-Film Electronics
Laboratory (PV-Lab)
Rue de la Maladière 71b
2002 Neuchâtel, Switzerland

Email: mathieu.boccard@epfl.ch

未来的电池片已经到来

尽管 PERC 背钝化技术早已成为太阳能电池片生产领域的主流标准，而且一线电池片厂商已经将目光投向了新一代升级技术，即钝化接触 (TOPCon) 技术，然而一项具有革命性的技术正在市场上逐渐走向成熟，并且有望成为“未来的电池片”。

采用异质结技术 (HJT) 的太阳能电池片早已被公认为是一种高效光伏产品。异质结组件最初是由日本三洋 (后被松下收购) 独家提供。三洋的基本专利在 10 年前到期后，瑞士光伏设备制造商梅耶博格投入巨资，希望将该技术用于工业化大规模生产。目前，梅耶博格首批异质结电池片生产整线已经在匈牙利 (EcoSolifer 公司) 和意大利 (3Sun 公司) 投入运营。今年年初，法国国家太阳能研究所 (CEA) 的科学家成功地在梅耶博格的大规模生产设施中生产出转换效率达到 23.9% 的异质结太阳能电池片。采用 120 片半切异质结电池片和 SmartWire 智能网栅连接技术 (SWCTM) 生产的太阳能组件，输出功率达到 348 W。

此外，2018 年 12 月，梅耶博格宣布已售出一条集成了 SmartWire 智能网栅连接技术的 600 MW 异质结电池片生产线。买家是挪威 REC 公司，该公司在新加坡拥有一个大型生产基地。因此，未来的电池片已经到来。

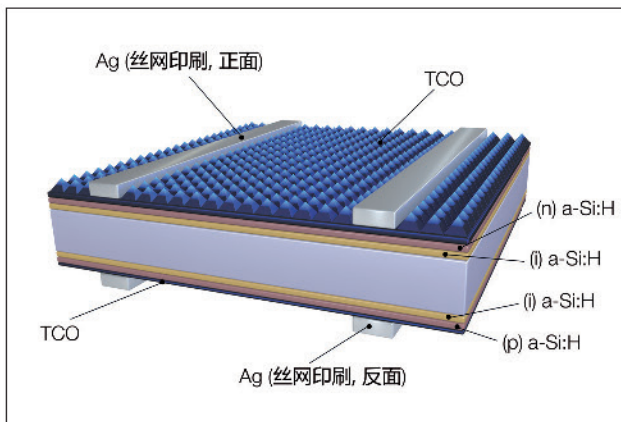
异质结技术：珠联璧合，相得益彰

异质结技术 (HJT) 完美融合了单晶硅 (c-Si) 电池片的高转换效率与非晶硅 (a-Si) 出色的钝化特性，后者因其在薄膜技术中的应用而广为人知。松下和钟化集团 (Kaneka) 过去已经多次证实了该技术的有效性。目前电池片转换效率的最高纪录 (26.63%) 是钟化在 2017 年 8 月创下的。不过，为了实现这一纪录，这家日本企业采用了全背电极接触技术 (IBC)，因为当时适合大规模生产的高性价比生产工艺尚处在开发阶段。

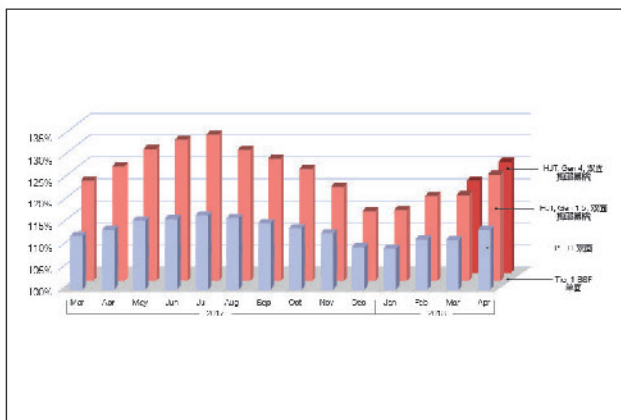
异质结电池片的结构相对简单，而且从设计角度看，异质结本质上是一种双面技术：沉积在 n 型单晶硅片表面的本征非晶硅膜层发挥着关键作用。与 PERC 电池片相比，异质结电池片的生产工序明显更少，而且工艺温度更低，因此可以使用更薄的硅片。

异质结电池片不仅转换效率高，温度系数低 (约 -0.25%/K)，并且不会出现 LID (光致衰减) 和 PID (电位诱发衰减) 效应，令其他电池片技术望尘莫及。异质结太阳能电池片的结构也使其非常适用于双面组件。此外，异质结技术还可以结合 SmartWire 智能网栅连接技术 (SWCTM) 等现代连接技术来减少用作接触材料的银浆用量，从而降低金属化成本。

与采用标准电池片技术的太阳能组件相比，异质结电池组件的发电量要高出 35%，因此可实现最低的度电成本 (LCOE)。



异质结电池片的结构模型

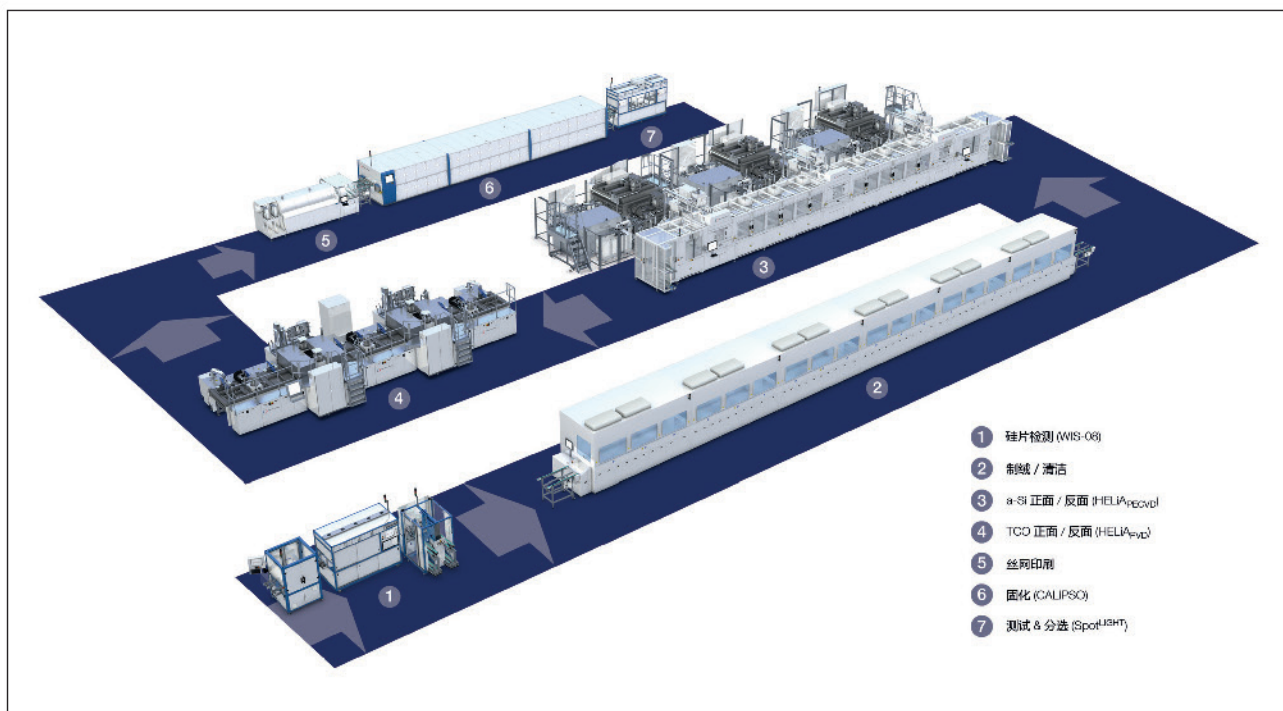


发电量示意图 (阿布扎比)

更少的生产工序——更高的电池效率

尽管异质结技术毫无疑问要优于当前的大规模生产技术，但生产商始终在犹豫是否该使用这一技术。的确，异质结电池片只需更少的工序，其生产工艺本身也没有那么复杂，但由于异质结电池片的结构和生产工艺与标准技术迥然不同，因此很难将现有的生产线从其他技术 (如 PERC 技术) 转型为异质结技术。在多数情况下，建立异质结生产设施都需要搭建全新的生产线，这需要巨大的资金投入。迄今为止，许多企业已经规避了相关风险——也因为该技术不存在竞争压力。然而，形势正在发生变化，越来越多的厂商已经转向 PERC 技术，这让异质结技术更难在市场上崭露头角。在过去一年中，梅耶博格与 Ecosolifer、3Sun 和 Hevel 集团合作开展了首批项目。这些项目表明，异质结技术正迎来全新的发展机遇，尤其对于薄膜太阳能电池厂商而言，他们的专业技术知识和生产设施在转型过程中都可以得到有效利用。

电池设备



异质结电池片生产工艺流程

硅片是降低异质结太阳能电池片生产成本的关键要素，这一点不容小觑。当前，太阳能电池片采用的硅片厚度大多在 180 μm 左右。借助最新的金刚线切割工艺，能够将硅棒切割成更薄的硅片。因此，每根硅棒的硅片产出量更高，显著节省硅片成本。此外，该工艺还能降低硅片内部出现隐裂和复合的风险，最终确保更佳的质量。不过，更薄的硅片无法用于标准电池片或 PERC 电池片生产系统，因为这些系统中相关的工艺温度都太高，而异质结工艺的温度很低，不超过 250 $^{\circ}\text{C}$ ，非常适合使用超薄硅片。

异质结太阳能电池片的生产需要采用最优的湿法化学制绒和清洗工艺，而在 PERC 背钝化工艺中，这两种工艺并不是那么重要。湿化学法包括制绒添加剂和工艺参数的选择，以及高效的硅片清洗技术和合适的氢气浓度，以便在硅片表面形成最佳的金字塔结构。这是确保将非晶硅膜层和透明导电氧化物 (TCO) 膜层均匀沉积到硅片上的必要前提。以上沉积工序是整个异质结电池片生产链上最核心的环节。为了最大限度减小太阳能电池片的能量损失，必须对其表面进行有效的钝化处理，工艺温度保持在 150 - 250 $^{\circ}\text{C}$ 。非晶硅则用于制备发射极和背场 (BSP)。沉积本征及掺杂非晶硅膜层通过等离子体增强化学气相沉积 (PECVD) 工艺沉积到硅片正面和背面。为此，梅耶博格专门开发了先进而复杂的 S-CubeTM 离子体反应器，并将其集成到旗下的 HELIAPECVD 系统中。S-CubeTM 反应器采用套盒式腔体设计，用于均匀沉积超纯非晶硅膜层。决定非晶硅膜层钝化质量的主要参数是少数载流子寿命。梅耶博格的 HELIAPECVD 系统已在区熔单晶硅片 (FZ) 上实现超过 10 ms 的有效少数载流子寿命以及在直拉硅片 (CZ) 上超过 4 ms 的有效少数载流子寿命。

除了沉积本征非晶硅膜层以外，硅片上还需要沉积 p-掺杂和 n-掺杂非晶硅膜层，以便在硅片背面形成发射极 (磷

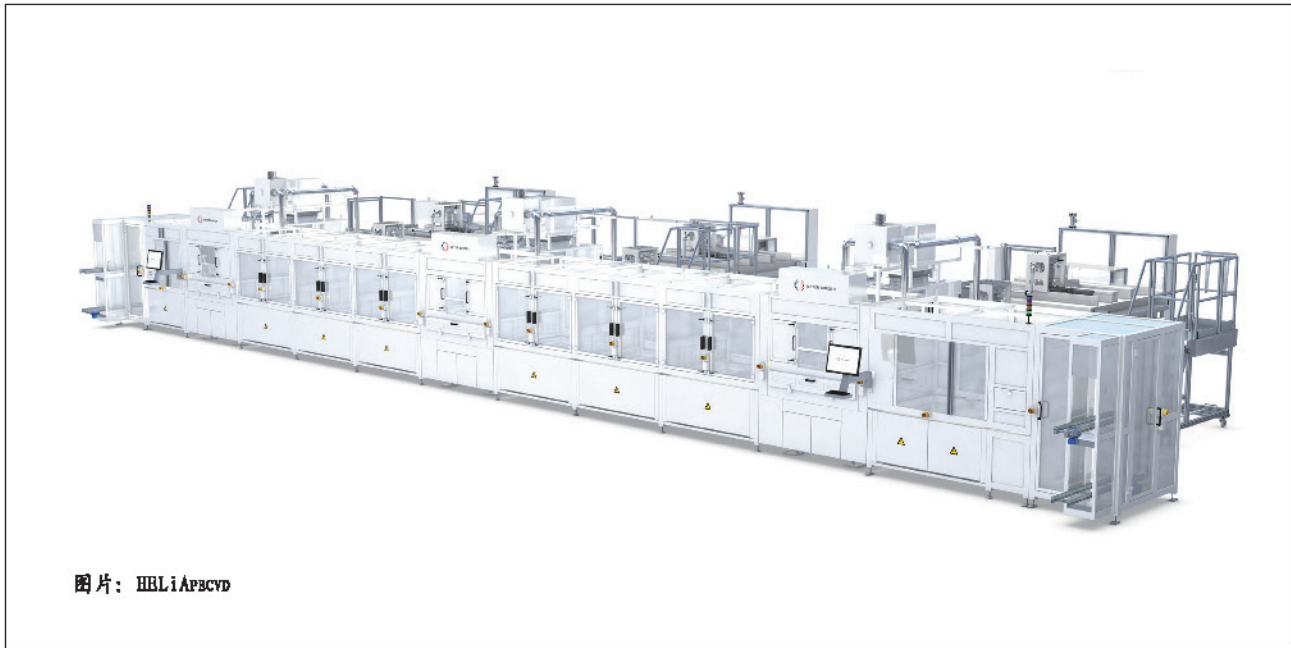
掺杂 n 型非晶硅膜层)，在硅片正面形成硼掺杂 p 型非晶硅前场 (FSF)。发射极使载流子分离，而前场则将硅片正面的少数载流子驱走，以减小复合损失。

为了使异质结电池片实现高质量的表面钝化性能，避免交叉污染至关重要。考虑到这一点，梅耶博格的 HELIAPECVD 系统分成了三个独立的反应腔，这样沉积工序可以分开进行。首先，在硅片正面沉积本征非晶硅膜层和 n 型非晶硅膜层，接着分两步单独沉积本征非晶硅膜层和 p 型非晶硅膜层。各反应腔之间的传输载板始终保持恒定的工作温度。相较其它 PECVD 系统，这种设计不仅能提升产能，还能大大缩短反应时间。

在 PECVD 沉积工艺结束后，需要在电池片的正面和背面沉积透明导电氧化物 (TCO) 膜层。氧化铟锡 (ITO) 是一种特别理想的 TCO 材料，由于其优异的透光性和导电性，能够与掺杂非晶硅膜层形成良好的电触点。大多数设备制造商都更倾向于使用物理气相沉积 (PVD) 工艺来沉积 TCO 膜层。精曜科技 (Archers) 是唯一一家采用反应等离子体沉积工艺 (RPD) 的公司。不过，该工艺相对昂贵，性价比远低于 PECVD 和 PVD 工艺。

凭借支持 PECVD 和 PVD 工艺的 HELIA 系统，梅耶博格提供迄今为止最全面的解决方案，能够用于复制异质结工艺中的所有沉积工序。通过在德国基地安装的试产线，梅耶博格展示了旗下 HELIAPECVD 和 HELIAEPVD 系统的大规模生产能力，并且还在工业环境下实现了最高的平均转换效率。梅耶博格在 HELIAEPVD 系统中使用了其 MAIA 平台的部分模块，该平台多年以来已经在许多工业化电池片生产线中广泛使用。除了久经考验的卓越镀膜特性和运行成本低等优点外，HELIAEPVD 系统的紧凑型设计也是相较于同类 PVD 产品的另一大优势。

电池设备



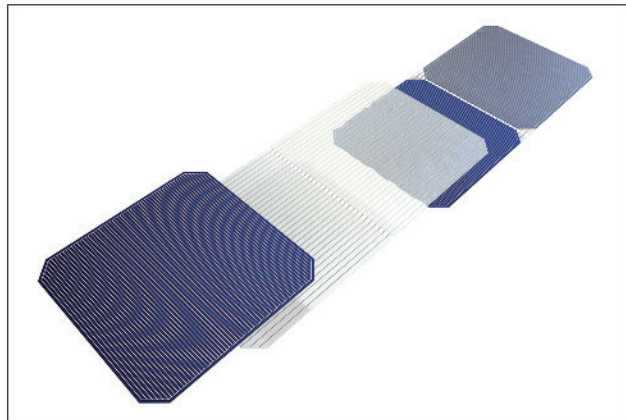
图片: HBLiAP3CVD



图片: HBLiAPVD

高效电池片意味着高效组件?

在异质结电池片的连接和电接触方面，需要考虑多种特殊因素。传统硅太阳能电池片正面印有细栅线，可用于收集产生的电能。这种电池片表面还焊有较宽的主栅，用于汇聚并带走电池片中的电能。不过，为了防止异质结电池片中敏感的非晶硅膜层受到损害，工艺温度不能过高。相应地，在连接电池片的过程中，温度也必须保持在较低水平。一方面，主栅连接技术的供应商仍在努力通过降低温度来优化焊接工艺；另一方面，SmartWire 智能网栅连接 (SWCT™) 等创新技术已经完全不需要印刷主栅，取而代之的是将薄膜和网栅线敷设在太阳能电池片表面，直接与印刷的细栅相连。这样不仅能减少印刷耗银量，还能提高发电量，降低电池片出现隐裂缺陷的比例。有趣的是，SWCT™



SmartWire 智能网栅连接技术示意图

电池设备

技术对于细栅电导率的要求要低于传统的连接技术。因此，当细栅电阻率不超过 10 欧姆 / 厘米时，则可以采用 SWCT™ 技术，且不会造成明显的效率损失。两个细栅之间的距离越短，细栅中产生的效率损失就越小。在世界各地进行的穷举测试表明，与使用主栅连接技术的异质结组件相比，采用 SWCT™ 技术的异质结组件不仅能够大幅提高发电量，还能显著降低成本。SWCT™ 技术最初是由 Day4 公司开发。梅耶博格后来收购了该技术，并自行开发出支持该技术的“Ibex”串焊机。截至目前，梅耶博格已经售出产能超过 1 GW 的 SWCT™ 技术。

与传统电池片设计不同的是，印刷的细栅线不必进行烧结，只需在超过 250℃ 的温度下固化足矣——低温印刷银浆在此温度下活化，同时溶剂释放出气体。固化温度会影响电池片上 TCO 膜层和丝网印刷网栅的电导率。

生产过程结束后，还必须测试太阳能电池片的质量和性能。异质结电池片是一种高电容性电池片，测量时间需要 400-600 ms，这远远超过测量标准电池片所需的时间。为此，另一家瑞士公司 Pasan（梅耶博格集团成员）与纳沙泰尔大学（University of Neuchâtel）的微技术研究所（IMT）合作开发了一款电池片 IV 曲线测试仪——Spot^{LIGHT}。该测试仪配备了一个脉冲宽度为 5 ms 的氙灯光源，以及脉冲宽度达 600 ms 的 LED。凭借这一混合设计，Spot^{LIGHT} 可以快速测量异质结电池片。

叠层电池片——未来更可期

虽然异质结技术有望将量产电池片的转换效率提高至 25%，但有的公司已经锁定更高、更远的目标。英国牛津光伏公司（Oxford PV）目前正在研究所谓的“双结叠层”（Tandem）太阳能电池片。2018 年年底，该公司开发的钙钛矿 / 硅基双结叠层电池片的转换效率达到了 28%，创下历史新高。钙钛矿能够高效地利用可见光中的蓝光部分，而硅则主要将长波红光和近红外光转换成电能。因此，将钙钛矿电池片叠加到硅基太阳能电池片上，便能生产出可利用红光和蓝光的双结叠层电池片，并有望将转换效率提高到 30% 以上。由于异质结电池片可作为这种双结叠层电池结构最理想的底电池，牛津光伏在今年 3 月向梅耶博格订购了一条 200MW 异质结电池片生产线。同时，梅耶博格还参股牛津光伏，与其建立了战略合作伙伴关系，以共同促进新一代太阳能电池片的工业化生产。

总之，梅耶博格通过先进的镀膜技术正为太阳能电池片转换效率的不断提升做出重要贡献。

梅耶博格将努力推动技术升级，无论是 PERC 背钝化和钝化接触（TOPCon）技术等标准电池片镀膜技术，还是异质结等先进电池片技术。

今年，更多的光伏企业将开始生产异质结电池片，以确保在“不远的将来”以及在“更远的将来”能在太阳能电池片领域占有一席之地。



MEYER BURGER

异质结： 卓越的电池片效率

了解梅耶博格卓越的异质结生产技术。HELIA 双面异质结生产平台生产的太阳能电池片效率超过 24%，并拥有极低的 LCOE。

以梅耶博格引领行业的模块化电池片镀膜平台为基础，HELIA 系统确保了卓越的电池片钝化品质和均匀性。

异质结及智能网栅连接技术的有力结合确保了极高的发电量和极长的组件寿命。

梅耶博格助您在新能源领域更上一层楼。
www.meyerburger.com

导电胶的可靠性

文 / G. Oreski¹, S. Pötzt¹, A. Omazic¹, G.C. Eder², L. Neumaier³, C. Hirschl³, R. Ebner⁴, J. Scheurer⁵ & W. Pranger⁶

¹PCCL Polymer Competence Center Leoben, Austria; ²OFI, Austrian Research Institute for Chemistry and Technology, Vienna, Austria; ³CTR Carinthian Tech Research AG, Villach, Austria; ⁴AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Vienna Austria; ⁵Polytec PT GmbH, Karlsbad, Germany; ⁶Ulbrich of Austria GmbH, Müllendorf, Austria

摘要

导电胶 (ECAs) 是目前光伏组件产品中电池互联焊接工艺的一项非常有前景的替代应用技术。ECAs 是一种环境友好的解决方案，并提供了传统焊接互连技术没有的优势，例如更低的工艺温度、更强壮的应力特性，并避免了有毒物质铅的使用。当建议在重要工艺上—例如将电池串生产的焊接工艺转换到粘胶技术，需要对材料特性—例如材料兼容性和其在光伏组件内互连的长期可靠性进行深入的分析。因此我们对材料性能、质量和可靠性进行了研究：1) 使用 ECAs 的绝缘粘接接头，2) 测试组件内使用 ECA 连接的电池之间的互连特性。除此之外，我们还开发了新的具有更高聚合物连接柔韧性的 ECA 成分以增强该材料对热应力负载和分层的应对能力。为了更好地理解相关材料的相互作用和影响因素，我们制定了一套综合的测试计划。使用热重量分析 (TGA) 和热解析/气体层析法-质谱分析 (TD/GC-MS) 表征纯导电胶在挥发性低分子化合物的排气和迁移行为。为此我们探究了结合不同焊带和封装以及背板材料的单电池测试组件。该测试组件被安排在不同结合应力因子的加速老化测试上，包括高温高湿 (DH)、辐射和热循环 (TC)。从试验结果可以发现，即使是由人工操作完成的 ECA 丝网印刷以及组件加工，其组件电学特性结果仍然显示了良好的可重复性。所有的焊带类型 (覆 Ag、裸 Cu 和覆 SnAgCu) 都可以兼容目前的光伏组件层压工艺，并且不出现任何问题。在进行加速老化测试的时候，ECA 连接单电池和 6 片电池样品组件分别出现 1% 和 4% 的轻微功率损失。因此 ECAs 将有潜力替代电池串的焊接工艺。我们发现分子化合物的排气现象较轻微，未发现与任何一种焊带和封装材料存在不兼容现象。

引文与目标

基于树脂成分的电子封装和互连材料目前被广泛应用于电子器件的制造上，但还很少被用在晶体硅光伏组件的电池互连上。

通过印刷导电胶 (ECAs) 的方式实现电池互连相比于传统焊接工艺有多种优势，例如工艺温度更低、印刷分辨率更高和操作更简单等。

基于锡铅焊料的传统焊接工艺需要 210℃ 的工艺温度，而无铅焊料则甚至更高。这些高温工艺通常导致电池碎裂和晶体硅电池微裂纹的引入。因此焊接工艺也限制了进一步降低硅片厚度的可能。而 ECAs 的固化反应温度通常低于

180℃，并且可以通过改变基本聚合物粘结剂将温度进一步降低。因此，改为使用粘胶互连技术可以进一步降低硅片厚度，同时为创新电池设计开启了新的大门。另一个优势是黏胶可以使用丝网印刷工艺直接涂在电池子栅网络上，而不需要在电池正表面使用额外的主栅设计。

相比于含铅焊料合金，ECA 是一种环境友好的互连解决方案 [1]。因此，通过替换含铅焊料，可以省去废物管理和回收工作。此外，使用非焊接材料—例如被用作陷光的涂银焊带—为创新电池和光伏组件设计带来新的可能。不过使用 ECAs 替代焊带焊接工艺也存在一些弊端。其主要的缺点是高昂的银材料价格，这也是为什么高填充粘胶比焊料昂贵得多的原因；不过这可以通过降低主栅数目进行抵消。另一项挑战是对其在特定区域承受严酷户外环境能力的考验，在这些区域我们观察到其抗冲击能力有限、机械强度变弱和接触电阻增加 (当选择了不合适的焊带涂层时) 等问题。

一般来说，ECAs 是由导电填充物和绝缘聚合物黏胶组成的复合材料。可以使用热固性或热塑性树脂作为基质材料；其中环氧树脂、有机硅或聚氨酯都是广泛使用的热固材料，而聚酯酰胺则是 ECAs 常用的热塑性材料。在导电填充物中，银 (Ag) 是使用最广泛的；它有着最高的导电率，并且在银颗粒出现氧化的情况下仍然能保持高的导电性能。除此之外，以各种尺寸和形状涂覆着金 (Au)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、锡 (Sn)、锡铋 (SnBi) 或 SnIn 的铜也被发现可作为填充材料 [2]。

根据导电填充物的填充量、填充类型和形状的差异，ECAs 被分成各向同性导电胶 (ICAs) 和各向异性导电胶 (ACAs)。因为填充物含量非常高 (50-80wt%)，所以 ICAs 材料在所有方向上的导电率都是相同的。树脂的固化温度通常比较高，目的是为了增强导电性、粘合强度和抗化学腐蚀的能力。ICAs 通常在导电互连上被用于替代传统 SnPb 焊料合金。相反，ACAs 则只在垂直方向提供导电能力；因为黏胶里的球形导电填充物含量非常低 (5-20vol%) [2-4]。

光伏组件使用 ECAs 要考虑的一项重要特性是凝固树脂的断裂韧度。对于高效电池概念以及在降低电池厚度时，有必要考虑机械应力。Pander et. al 发现当 ECAs 应用在硅太阳能电池领域时能有效降低硅片与焊料路径的应力 [5]。目前有几种可行的方法使固化黏胶变得更柔性 (更少交联)，例如使用活性稀释剂，是基于能与固化剂反应成交联环氧系统的单环氧化物化合物。另一种方法是使用长链固

光伏材料

化剂降低有效交联密度以减少紧致网络[6-10]。

本文工作的主要目标是探究不同类型导电胶以及由ECA互连电池制备的测试组件的性能、质量和可靠性。特别关注的是：

- 固化ECA的释气现象。
- 与其他封装材料的互相作用。
- 疲劳特性。
- 采用ECA互连的测试组件的性能。

我们使用单电池组件研究应力-例如温度、湿度和辐射，以及后续的辐射-湿度测试后材料之间的互相作用，而6片电池组件则是采用热循环(TC)进行测试。

试验

本文研究的主要目的是探究ECAs与组件其他材料，特别是封装和焊带材料的兼容性，并尝试探究光伏组件因使用ECA互连而新引入的失效模式。

首先，探究分别由三种不同环氧树脂组成的ECA配方(ECA1、ECA2和ECA3)的释气现象；详细内容如表格一所示。此外，还通过循环疲劳测试探究了ECA1和ECA3的抗疲劳特性。

下一步，还通过在玻璃和封装材料上印刷三种不同ECA配方以探究不同封装材料之间可能存在的相互作用，包括了三种不同封装材料(EVA, TPO, POE)和盖玻片。

最后，通过使用不同ECAs、焊带和封装薄膜组合而成的测试组件来探究组件性能、老化行为和老化引入的材料

反应。作为参考，使用标准EVA封装Cu/SnPb焊带制作了焊接型测试参考组件。还选择了三种不同封装材料以特别探究乙酸(这是EVA衰退的副产品)和增加的交联反应链的影响(如表格二所示)。此外，还使用了三种不同的焊带用于组件测试(如表格三所示)。表格四则总结了加速老化测试结果。

结果与讨论

本文工作的主要目标是探究不同类型导电胶以及由ECA互连电池制备的测试组件的性能、质量和可靠性。

因为光伏组件上导电胶的释气现象影响非常大，因此探究了大量在150℃使用热重分析制备的固化导电胶的易变产品，我们选择了150℃作为工艺温度是因为这是光伏组件在层压工艺期间的温度。

图一显示了来自ECA1不同形态(通过改变硬化剂的含量)下测量TGA得到的质量损失值；从图中可以看到在150℃下的质量损失随着硬化剂的减少而稳定地降低，硬化剂含量降到最低时质量损失几乎达到0wt%。这一发现与热重量分析(TGA)和热解析/气体层析法-质谱分析(TD/GC-MS)的结果一致，表明ECAs的热萃取化合物来自硬化剂。在硬化剂比例低于 6.5 wt%的情况下还未发现释气现象。

我们探究了ECAs与封装材料EVA、TPO、POE之间可能存在的相互作用(如图二所示)。根据可视化检测结果，没有发现银离子的迁移现象。此外，使用共焦拉曼光谱测试没有在ECA和焊带附近的封装材料上发现含Ag的衰退副产物

LOCTITE



还在为新一代组件的可靠性担心？

可信赖的材料专家

GW规模.现场高可靠.
最低\$/kWh成本.
依靠汉高的专业知识，携手汉高专业
经验，一起点亮未来！

起始于1956年的导电胶粘剂研发。
持续创新光伏ECA超过15年。

更多信息请访问我们网站henkel-adhesives.com/electronics

所有使用的商标都是汉高及其在美国、德国或其他地区分公司的商标和/或注册商标。
2019汉高公司。版权所有。(2/19)



光伏材料

Name	Resin type	Hardener	Mixing ratio
ECA 1	Epoxy based on novolak, type A	Hardener 1	100:11
ECA 2	Epoxy based on bisphenol A/F, type B	Hardener 1	100:10
ECA 3	Epoxy based on bisphenol F, type C	Hardener 1	100:10

表格一：在测试中的 ECAs 材料。

Name	Type	Cross-linking	Formation of acetic acid
E1	Ethylene vinyl acetate (EVA)	Yes	Yes
E2	Thermoplastic polyolefin (TPO)	No	No
E3	Polyolefin elastomer (POE)	Yes	No

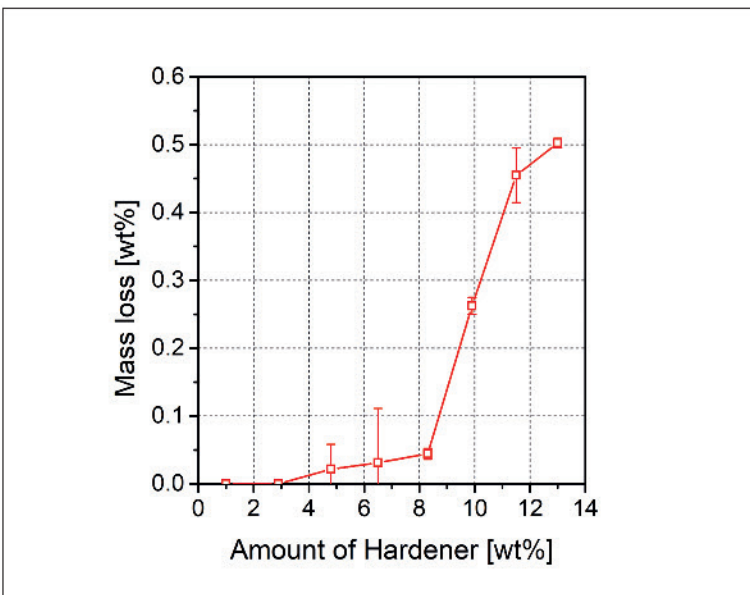
表格二：用于测试组件的封装材料。

Name	Type	Coating	Solderable
R1	Silver	Ag	No
R2	Bare copper	-	No
R3	Lead free	SnAgCu	Yes

表格三：用于测试组件的焊带材料。

Type	Duration	Temperature	Humidity	UV dosage	Remarks
Damp heat	1,000h; 2,000h; 3,000h	85°C	85% RH	No	
Irradiation	1,000h; 2,000h	50°C	< 50% RH	120W/m ² (300–400nm) Metal halide lamps (300–2,500nm)	
Sequential	S1: 330h S2: 8h S3: 8h	85°C 50°C 30°C	85% RH < 50% RH 85% RH	No 120W/m ² (300–400nm) No	Test procedure: S1 + 40× (S2 + S3)

表格四：加速老化测试。



图一：类型 ECA1 改变硬化剂含量与质量损失率的关系，数据来自 TGA 在稳定温度 150°C 下 30 分钟测试所得。

(例如银醋酸)。因此可以确定光伏组件层压工艺不会导致 Ag 离子扩散到封装材料内。

图三展示了由不同封装材料制成的测试样本的紫外荧光图像。ECAs 的荧光信号随着化学成分(聚合物环氧树脂—如表格一所示)的变化而变化，其中亮度最高的 ECA1。

对使用了 ECA1 和 POE 作为封装材料的单电池组件进行加速老化测试后，在焊带附近区域观察到了 UV 荧光现象。这表明了硬化剂存在迁移行为，而这些硬化剂在固化反应时是没有转移到周围封装材料里的。然而，我们并没有观察到测试组件的功率出现加速损失的现象。另外，在其他 ECA 封装组合的样品里，也没有发现迁移现象。因此可以猜测层压工艺和加速老化寿命并没有在所测 ECA 和封装材料间引入任何明显的有害反应或衰退模式。

我们使用单面拉伸剪切 (SLS) 样品探究 ECA1 和 ECA3 的抗疲劳特性。循环疲劳试验是在频率为 10Hz 的拉伸载荷和应力比 R=0.1 的条件

光伏材料

下进行的(应力比定义为疲劳试验中一个载荷循环内最小应力与最大应力之比)。拉应力被认为是正向的,而压应力则是负向的。SLS样品的拉力测试平均应力水平为5到20MPa之间。

图四展示了所探究黏胶的S-N曲线(也称为Wöhler曲线)。ECA1显示出了比ECA3好得多的抗疲劳特性,原因是材料的内在抗疲劳性能存在差异;不过,样品制备的环境也可能会导致抗疲劳性能变差。在对ECA3的断裂面的研究中发现气泡和低程度的固化,这会对疲劳行为有着较大影响。

到目前为止只有少量出版的文章研究了电池互连的疲劳行为[10-12],并且给出了相互矛盾的结果。其中,Pander et al. [11]研究了太阳能电池互连的疲劳现象,并设计了疲劳试验的荷载曲线,以通过该方法使电池间隙获得与全尺寸组件在±1000Pa压力下仿真得到相同程度的应力,这是依照IEC规范设计的。Dietrich et al. [10]也探究了太阳能电池互连的疲劳行为,并选择了使之在循环达到10000次之前出现失效的测试幅值。然而,这些作者并没有给出在疲劳试验中施加的应力水平。Zarmai et al. [12]研究了太阳能电池焊接互连结构的热机械损伤和疲劳寿命,并报道了焊接节点处的最大应力值达到了21MPa量级。该值是根据IEC61215规范在温度-40℃到+85℃之间热循环测试得到的结果。

关于本文所探究的ECA类型的循环疲劳试验,S-N曲线要么显著位于[10,11]所报道的光伏组件互连结果的平均应力水平之上,要么处在相似范围[12]。而所报道的焊接节点失效所需循环次数的值也在相似范围内。

接下来,还测试了一系列单电池测试组件。这些组件由相同的Si电池、ECA1、前表面玻璃、聚合背板(聚酯层压板)或玻璃背板、各种封装材料(EVA、TPO和POE)和焊带(Ag、Cu和SnAgCu)制备而成(见试验部分)。

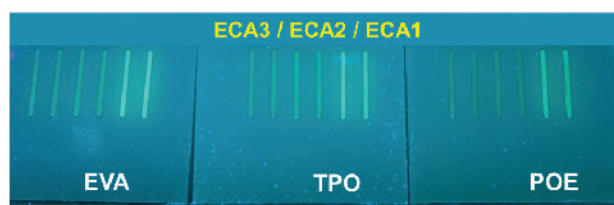
视觉检测结果显示,在组件生产期间,ECA1与所有测试焊带类型(Ag、Cu和SnAgCu)接触时无任何初始问题,例如分层或脱色。图五显示这些测试组件在加速老化测试(1000小时湿热-DH-和1000小时辐射)前后的电性能结果。该结果展示了令人满意的重复性,即使电池串和组件都是人工制备的。单电池组件展示的最大输出功率(P_{mpp})值为4.7到5W之间。而玻璃-玻璃组件的 P_{mpp} 值则比玻璃-背板组件稍微低一点,这是因为入射到组件背面的光线被白色背板反射后重新入射到了电池表面上。

在焊带类型和封装薄膜(其他部分保持一致)方面,使用裸铜焊带的组件功率输出最高,接着是镀银焊带组件。这主要是因为焊带宽度的缩小以及陷光效应。而最低值则是由镀SnAgCu焊带的组件取得的。然而,这几组结果差异其实很小,只有±0.2%之间。此外,使用TPO作为封装材料的组件取得了最高的 P_{mpp} 值,这是因为TPO的透明度比EVA和POE更高。需要注意的是,即使功率测试是可重复的(偏差低于0.5%),某些现象可能不明显,因为电测试的误差可能只±1.5%rel左右。

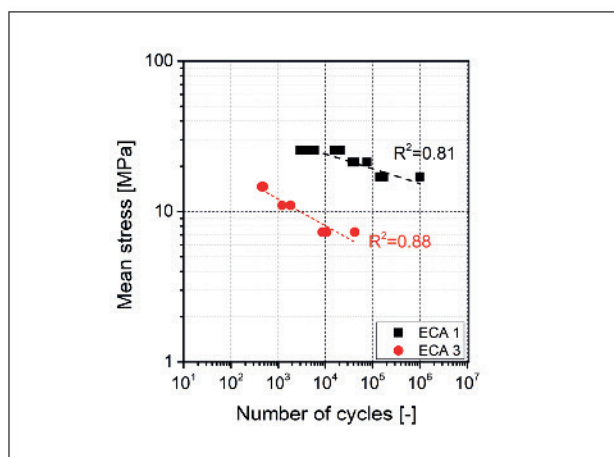
之后将测试组件放置在1000h湿热测试条件或1000h辐



图二:在玻璃基板上印刷的ECA线,并用封装材料层压,用玻璃覆盖。



图三:印刷BCA样品在层压(封装)后的UV荧光图。



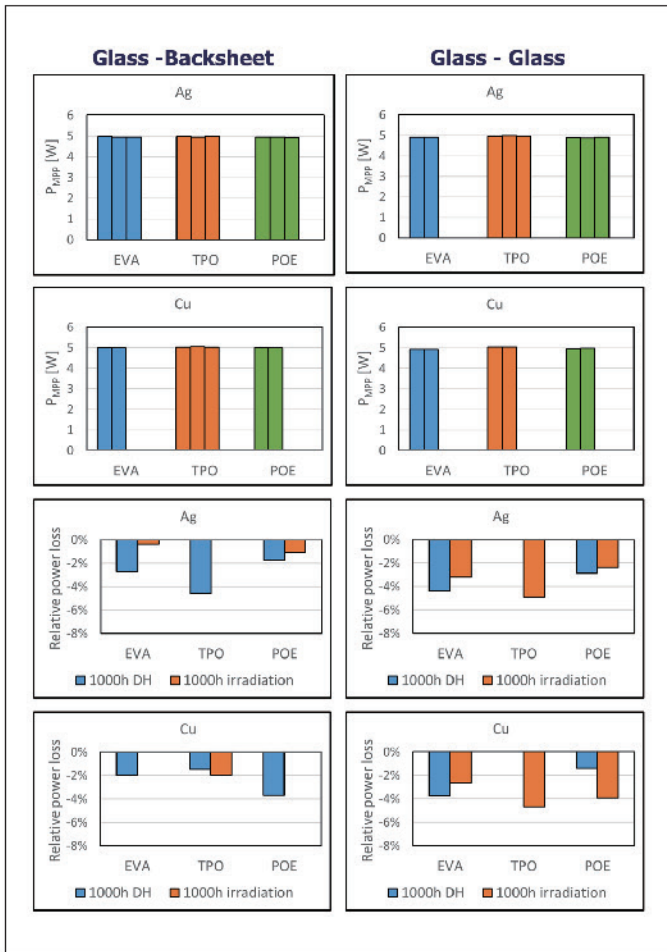
图四:所探究的ECA类型的S-N曲线。

射条件下进行老化测试。老化导致的相对功率损失在0.5到4.5%rel之间。图中缺失的值属于在加速老化测试中玻璃碎裂的组件(该单电池组件使用了未退火的玻璃)。在加速老化测试后没有发现肉眼可见的变化—例如变色、分层或碎裂。总的来说,玻璃-玻璃组件的功耗损失比玻璃-背板组件更小。也未观察到应力因子(例如老化测试)与焊带类型、封装薄膜之间的关联,部分原因是缺失的值,也有部分原因是测试数据的不一致。因此,功率损失的确切因素仍不清楚。

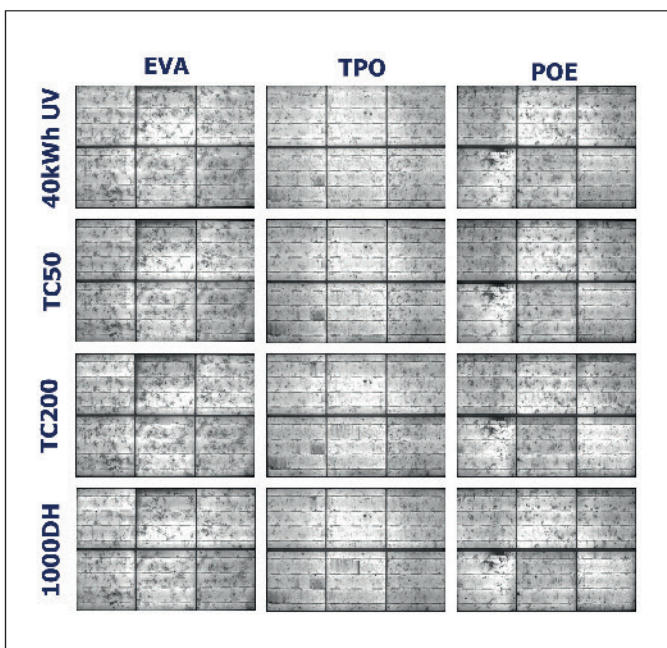
为了探究电池互连的机械稳定性,我们制造了6电池组件用于热循环测试。该组件的测试程序为如下:

UV预处理:40kWh能量辐射(辐射为根据规范IEC 60904-3的光谱AM1.5)。

TC:-40℃到+85℃循环200次,在50次后进行首次功率测试。



图五：采用不同ECA焊带 (Ag, Cu) 和不同封装材料 (EVA, TPO, POE) 的测试组件分别在加速老化测试 (高温高湿和辐射) 前后的电特性测试结果。



图六：采用不同封装材料的6片电池组件分别在200次热循环前后的EL成像图。

额外DH: 85°C/85%RH 持续1000h。

本次测试过后, 对组件进行视觉检测、功率测试和电致发光成像 (EL) 检查。

图六和七展示了6片电池组件的相对功率损失和EL图像。在本次测试后, 视觉检测并未发现任何分层, 而EL图像则显示了轻微的白色差异, 并只有少量的裂纹扩展。我们在测试期间就已经发现了相同的裂纹 (如图六所示), 而EL图像中的亮度差异则可能是因为电池串接触电阻的变化。我们猜测该损伤是由生产变异 (例如对ECA连接电池串的手动操作) 或运送期间造成的。

图七展示了在每次测试程序完成后的6片电池组件 (每种组件设计制造了3块组件样品, 总共9块组件样品) 的相对功率损失。对于所有的测试组件, UV预处理后都出现1%左右的功率损失。另外, 50和200次温度循环后的结果都是类似的, 即在50和200次热循环后所有组件都出现了2和4%的功率损失。I-V曲线揭示了开路电压 (Voc) 和短路电流 (Isc) 的降低, 以及串联电阻的上升 (Rs)。Rs的增加表明焊带、黏胶和电池之间的接触电阻增加。接触电阻增加的另一种解释是交叉连接, 这是由手动焊接形成的。有趣的是, 额外的DH试验后TPO和POE封装组件都出现了功率提升。总的来说, 采用TPO封装的组件有着最好的功率输出表现。

总结

本文主要目的是探究ECAs以及采用ECAs连接的电池测试组件的性能、质量和可靠性。主要关注点为1) 固化ECAs的释气行为; 2) 封装材料之间的互相作用; 3) 热应力和疲劳行为的特性; 以及4) ECA连接测试组件的性能。

在层压和老化测试后未发现所测试ECA与不同封装材料之间存在损坏作用。其释放气体的主要后果是导致部分ECA硬化。此外, 未观察到银粒子之间的迁移行为。我们发现ECAs能与所有所测焊带类型 (Cu、Ag、SnAgCu) 兼容, 因为在层压或加速老化测试后未观察到分层或变色。对于ECA连接测试组件, 在热循环、湿热测试和辐射试验后发现了轻微的功率损失; 该功率损失可以认为不只是ECA的退化, 还有可能是其他因素例如样品的准备和电池损伤等这些从一开始就存着的问题导致的。总的来说, 使用ECAs进行电池互连为标准焊接方法提供了可替代方案; 不过, 目前还有其他工作需要做, 特别在热循环后出现功率损失的根因分析。

致谢

本研究工作是在“infinity”项目下进行的 (Energieforschungsprogramm2015 – Leitprojekte, FFG No. 850414, Klima- und Energiefonds)。

参考文献

[1] Yin, Y.C. & Zhong, J. 2008, “A review of the influencing

光伏材料

- factors on anisotropic conductive adhesives joining technology in electrical applications”, *J. Mater. Sci.*, Vol. 43, pp. 3072–3093.
- [2] Yim, M.J. et al. 2008, “Review of recent advances in electrically conductive adhesive materials and technologies in electronic packaging”, *J. Adh. Sci. Technol.*, Vol. 22, pp. 1593–1630.
- [3] Li, Z. et al. 2013, “The conduction development mechanism of silicone-based electrically conductive adhesives”, *J. Mater. Chem. C*, Vol. 1, pp. 4368–4374.
- [4] Gomstam, R. & Mittal, K.L. 2008, *Electrically Conductive Adhesives*. Leiden: VSP.
- [5] Pander, M. et al. 2014, “Mechanical modelling of electrically conductive adhesives for photovoltaic applications”, *Proc. 29th EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands.
- [6] May, C.A. & Nixon, A.C. 1961, “Reactive diluents for epoxy adhesives”, *Ind. Eng. Chem. Vol. 53*, No. 4, pp. 303–304.
- [7] Bakar, M. et al. 2010, “Effect of reactive diluents and kaolin on the mechanical properties of epoxy resin”, *Polymers Polymer Comp.*, Vol. 18, No. 9, pp. 503–510.
- [8] Urbaczewski-Espuche, E. et al. 1991, “Influence of chain flexibility and crosslink density on mechanical properties of epoxy/amine networks”, *Polymer Eng. Sci.*, Vol. 31, No. 22, pp. 1572–1580.
- [9] Wang, H. et al. 2009, “Synthesis of rosin - based flexible anhydride - type curing agents and properties of the cured epoxy”, *Polymer Internat.*, Vol. 58, No. 12, pp. 1435–1441.
- [10] Zhu, J. et al. 2004, “Curing and mechanical characterization of a soy - based epoxy resin system”, *J. Appl. Polymer Sci.*, Vol. 91, No. 6, pp. 3513–3518.
- [11] Dietrich, S. et al. 2016, “Microstructural optimization approach of solar cell interconnectors fatigue behavior for enhanced module lifetime in extreme climates”, *Proc. 6th SiliconPV*, Chambéry, France.
- [12] Pander, M. et al. 2013, “Lifetime estimation for solar cell interconnectors”, *Proc. 28th EU PVSEC*, Paris, France.
- [13] Zarmai, M.T. et al. 2017, “Evaluation of thermomechanical damage and fatigue life of solar cell solder interconnections”, *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, Vol. 47, pp. 37–43.

作者介绍



Greski 博士是奥地利 Leoben 聚合物技能中心的部门经理，并领导智能材料和表面测试部门。他的主要研究领域是聚合物科学与测试，以及光伏组件聚合物材料和器件的长期可靠性和衰减行为。除了在 PCCL 的工作之外，他还担任 Leoben 大学聚合物科学和工程系的讲师。

Sandra Pötz 博士是 PCCL 的研究员。他的主要研究领域是聚合物化学和分析。

Antonia Omazic 是 PCCL 的博士研究生，主要研究领域是光伏聚合物材料的老化表征。



Gabriele Eder 博士在维也纳技术大学攻读博士学位，之后在荷兰特温特大学表面化学与催化学院担任讲师。之后在下奥地利州 NBG 特种涂料研发部门从事研发工作。她从 2015 年开始担任澳大利亚化学与技术研究所的高级研究员，在那里她致力于材料表征、光谱学、成像和老化研究。



Lukas Neumaier 拥有硕士学位，并通过其在大学的学习掌握了广泛的电学工程和仿生学知识。他还是在可再生能源系统领域 - 例如光伏有经验的研究人员，并主要从事光伏组件、构件和光伏系统监控等质量控制和表征。他承担过几个设计智能系统的研发项目，并领导过多个国家级和国际级基金项目，以及多个商业合作研发项目。



Christina Hirschl 目前担任奥地利智能传感器和系统整合的产业导向研发中心的 CTR Carinthian 技术研发集团的区域经理。她从事过多个不同的研究领域，包括智能系统整合与可再生能源。



Rita Ebner 曾获得维也纳大学材料物理学博士学位。毕业后她开始担任奥地利研究促进机构的项目协调员，她自 2003 年开始担任维也纳可再生能源学院的讲师。在 2009 年她加入奥地利理工学院 AIT，主要从事晶体硅太阳能电池和光伏组件表征的研究，并负责一些该领域的国家和国际研究项目。

Jörg Scheurer 曾在美因茨大学学习化学，毕业后从事微系统技术 / 光刻领域工艺工程师。他随后加入 Polytec PT 研发部，主要从事填充导电胶研发，目前负责该公司的应用工程部。

Wolfgang Pranger 曾在 Leoben 大学学习材料科学，之后她成为工艺工程师，从事互连焊带的热处理和涂料。她目前负责奥地利 Ulbrich 的研发工作。

查询

Gernot Oreski

PCCL Polymer Competence Center Leoben

Roseggerstraße 12 8700 Leoben, Austria

Tel: +43 3842 42962-51 Email: gernot.oreski@pccl.at

活跃在一带一路上的中国太阳——东方日升

如今，乘着“一带一路”倡议的东风，中国光伏企业在坚持共商、共建、共享的基础上，已在全球化版图上取得了突出成绩。其中，东方日升也在今年一季度交出了一份亮眼的成绩。得益于先进的光伏制造技术、成熟的项目开发体系以及专业的全球项目团队，东方日升在短短3个月时间内成功签下了多笔大单，也为加速“一带一路”沿线各国新能源合作做出了一份贡献。

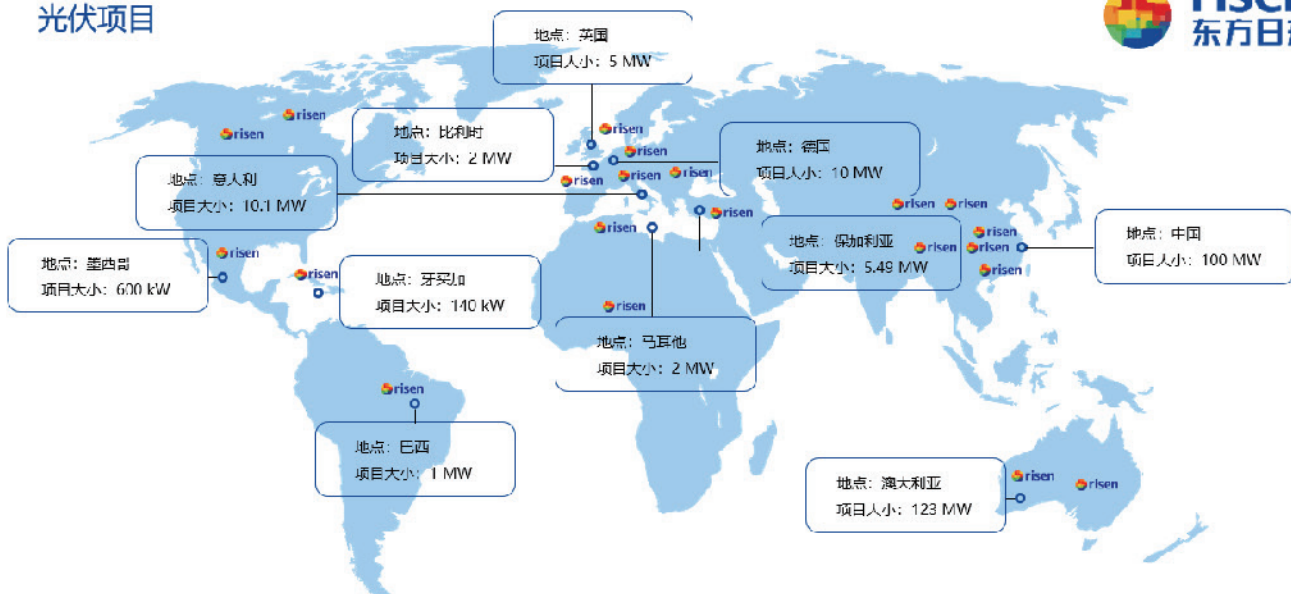
今年1月伊始，东方日升宣布与乌克兰最大私人能源公司 DTEK 可再生能源集团，签署了尼科波尔二期 323MW 光伏组件供货合同，东方日升将为 Pokrovska Solar Farm 240 MWac (323 MWdc) 光伏电站建设提供全部组件；同月，东方日升位于墨西哥的 117MW 大型项目宣布动工。奠基仪式上，墨西哥杜兰戈州长 Jose Rosas Aispuro Torres、卡纳特兰市市长 Dora Elena Gonzalez Tremillo 等一行领导均莅临见证。时至3月，由东方日升承担工程设计、施工建造、调试及运营等一揽子工程的澳洲 132MWdc Merredin 大型光伏电站也正式开建。作为澳大利亚西部最大的光伏电站，该项目得到了当地州、议会以及当地电力公司的大力支持；4月，巴基斯坦能源部部长奥马尔与东方日升就 20MW 高效组件签署供货协议，该批高效光伏产品可令巴基斯坦近 2000 户家庭用上清洁电力。

对于这一系列大单的签署与重大项目的开工，东方日升总裁王洪表示：“进入一季度以来，我们在全球化布局方面又迈出了坚实的一步。目前为止，东方日升的高效组件已经销往哈萨克斯坦、印度、尼泊尔、越南、白俄罗斯、乌克兰等全球各个国家，全球开发、交付的项目也累计数千个，以创新性技术和高品质工程赢得了全球客户的一致肯定。”

在组件出货量方面，东方日升的表现尤为出色。根据 2019 年 1 月披露的组件出口数据显示，东方日升以 5.47% 的出货占比位列前十大出口企业的第三名，且与排名第二的晶澳太阳能仅差 0.73%。

除了组件与项目在全球齐齐稳步发展之外，东方日升也十分注重尖端创新技术的研发。以最新发布的 Jäger 系列高效单晶半片组件产品为例，Jäger 组件所采用的高效单晶电池采用了行业内首家应用并量产的双面复合膜钝化吸杂技术，同时还使用了 SE(选择性发射极)技术，低温烧结技术，加强电注入技术，在提高电池转换效率的同时，能够有效降低电池的 LID 和 LeTID。目前，Jäger 电池最高转换效率可达 22.51%，组件最高输出功率可以达到 440Wp。此外，包括大硅片 6BB 半片组件、薄片片低成本电池组件、双面双玻组件、高 CTM 组件技术等在内的多个研发项目也

光伏项目



全球海外项目EPC案例 5000+



risen
东方日升

SNEC Booth No.: N1-515

**每当东方日升时
我增能量你增值**



[-www.risenenergy.com-](http://www.risenenergy.com)

电池组件

已取得了一定的进展，为产业降本增效提供了助力。而在即将举办的 Intersolar Europe 展会上，东方日升将会携带全新的技术研发成果 HDT 异质结电池技术，向全球客户展示这一最新的技术成果。

HDT 异质结组件采用高效双面异质结电池技术，HDT 是一种双面受光异质结电池，具备生产工艺温度低、转换效率高、温度系数低等特性，采用这一技术的电池效率可达 23% 以上；除此之外，HDT 异质结电池组件可以双面发电，并可为组件获得 10%~30% 的额外发电收益；HDT 电池采用半片设计，可以有效降低组件内阻，减少热斑效应，并有效降低阴影遮挡损失，提高产品可靠性；HDT 电池的温度系数

稳定，功率温度系数绝对值可降低 40%，高温环境下可将组件的发电量提高 6%~9%。HDT 异质结电池采用 N 型单晶硅片，产品性能高度稳定；该电池拥有优异的抗 PID 性能 (Anti-PID)，以及卓越的抗光衰性能 (Anti-LID)。

王洪表示：“未来，东方日升将紧跟产业风向，不断加大研发投入，提升光伏产品的高性价比，并有效加强成本控制，进一步实现产品差异化，为客户提供增值服务。与此同时，基于全球化战略布局，我们也将加强海外市场的开拓，为全球输出“中国技术”和“中国方案”，促进全球光伏发电的规模化应用。”

成功案例：




安装地点：中国宁海
 时 间：2017.4
 安装类型：渔光互补
 组件类型：RSM60-6-260P
 系统大小：99MW



安装地点：河南淇县
 时 间：2016.5.30
 安装类型：地面安装
 组件类型：RSM60-6-255P
 系统大小：100MW




安装地点：塞内加尔
 时 间：2018.1
 安装类型：地面安装
 组件类型：RSM60-6-260P
 系统大小：22MW

电池组件

半切片电池光伏组件： 光伏行业的新标准？

文 / Jens Schneider, Hamed Harifi, David Dassler, Matthias Pander, Felix Kaule & Marko Turek,
Fraunhofer Center for Silicon Photovoltaics CSP, Halle (Saale), Germany

摘要

由半切片太阳能电池制造的光伏组件有望成为行业的新标准。电池切割会导致电池层面的电流复合损失，但完全可以由降低的电阻损耗以及组件层面的电流收益所补偿回来，甚至超过损失大小。与此同时，切割工艺需要优化以避免出现机械损伤并导致组件内的电池碎裂。本文将介绍具备热点保护、阴影保护和能量输出优化特性的组件设计。通过调整电池切割、串焊、层压和接线等额外的设备投入，组件功率可以提升 5%-8%。半切片电池技术对于新的光伏组件产能来说是极具吸引力的。

动机

如今越来越多的光伏组件生产商开始提供半切片电池组件。根据 ITRPV2018 [1] 的信息，半切片电池光伏组件在未来 10 年的市场份额将接近 40%。但半切片电池组件变得日益重要的原因是什么？其带来的性能增长有多高？需要多大的额外投入？需要注意哪些事项？又有哪些负面效应？本文将带着这些问题对半切片电池组件进行整体概述。

总的来说，半切片电池组件的作用是通过降低电阻损耗来提高发电功率的。根据欧姆定律可知，太阳能电池互连电损耗是与电流大小的平方成正比的。将电池切割成两半后，电流大小也降低了一半，则电损耗也随之降低至全尺寸电池损耗的四分之一 [2, 3]。但需要注意的是，只有电

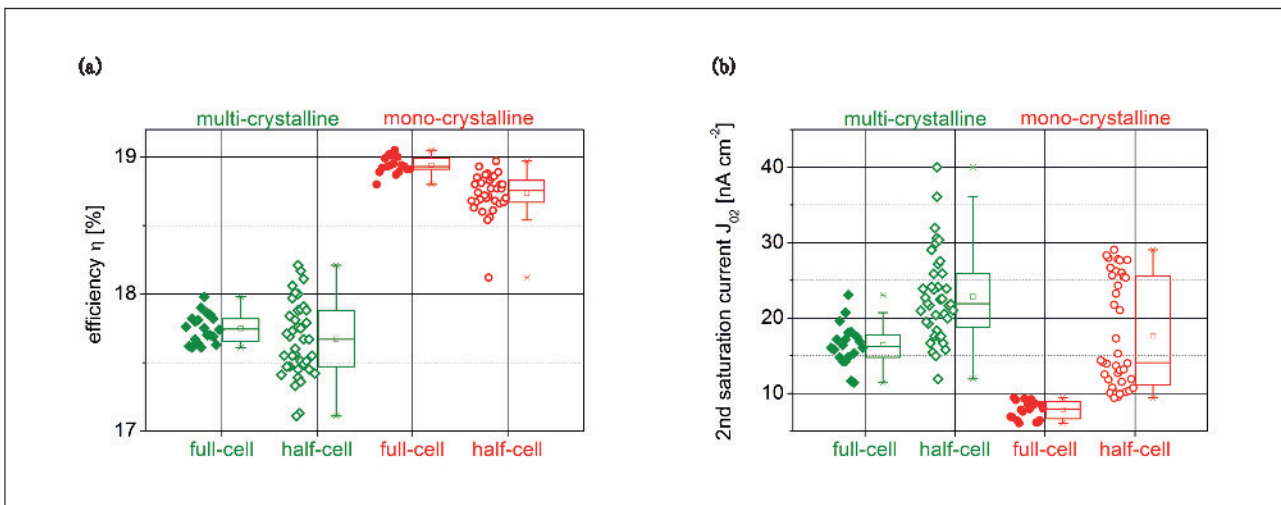
池层面的串联电阻损失受到影响。而在电池层面的串联电阻损耗并没有减少，因为单个半切片电池的串联电阻等于全尺寸电池电阻的两倍，与此同时，组件内电池数量变成了两倍，两者刚好抵消。

为什么半切片电池组件到现在才为行业所关注呢？其中一个原因是电池硅片的尺寸从 156mm(M1) 扩大到了 161.7mm(M4)，硅片面积和电流提高了大约 7%，而电损耗更是增加了 15%。这充分激发了行业对降低电流相关损失的热情。另外，降低来自电池金属电极的遮光损失和提升主栅的数量也能进一步提升电池电流。另外，随着硅片和电池工艺的进步，如今只需对全尺寸电池进行筛选操作，而不用在切割工艺后再次测量半切片电池，从而减少与半切片电池组件相关操作步骤的数量。接下来我们将对半切片电池组件进行更详细的探讨。

电池切割技术

所有商用半切片电池尺寸的硅太阳能电池都是采用两步生产工艺制造的。首先是制造标准全尺寸太阳能电池；在这一步中无需改变任何工艺，除了可能会对金属电极图案进行修改之外。第二步，就是对电池进行切割，目前主要有两种切割工艺：激光开槽+(紧接着)切割(LSC)工艺和热应力电池分离(TMC)工艺。

第一种工艺 -LSC- 依赖于激光烧蚀技术，沿着半切片



图一：(a) 电池切割造成效率下降，原因是 (b) 第二饱和电流密度 J_{02} 的增加 [2]。

电池组件

电池边缘形成全长度划槽。在某些情况下，划片没有完全使电池分离，但会在表面留下深度约等于电池厚度一半的划槽。随后电池会沿着激光划槽方向机械性断裂。由于激光工艺会导致材料出现结构损伤 [4]，划槽操作通常会从电池背面进行，以避免 p-n 结出现分流通路；如果背面金属层有一道小的开口，激光工艺可以采用更为高效的方式进行。对于采用完整背面金属化的钝化发射极和背电极（PERC）太阳能电池，在背面金属层开一道小口完全不会引起任何功率损失。因此，弗劳恩霍夫 CSP 开发了一种更为先进的 LSC 工艺版本，并申请了专利。该弗劳恩霍夫 CSP 版本依赖于对轻微弯曲太阳能电池应用激光工艺；这一机械预载荷实现了一站式工艺，即激光开槽和断裂在同一个工艺站内完成 [5]。

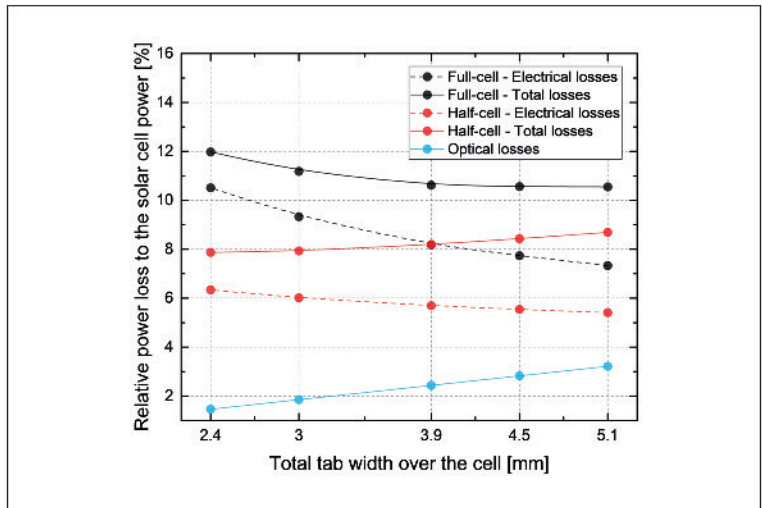
第二种工艺 -TMC- 不是基于会引起微裂纹的烧蚀技术，而是通过沿着半切片电池边缘的材料表面施加高度集中的热梯度；这种热梯度会在电池内部引起局部机械应力，从而导致开裂。在该工艺里，有一些半切片电池设备是已经可以商用的（或者在开发中），例如德国激光设备供应商 3D-Micromac AG 或者 Innolas Solutions GmbH。由于这些 TMC 工艺是无需消融且降低了总的热副作用，一旦对系列工艺参数进行优化后将有效降低硅片的结构损伤。

电学特性

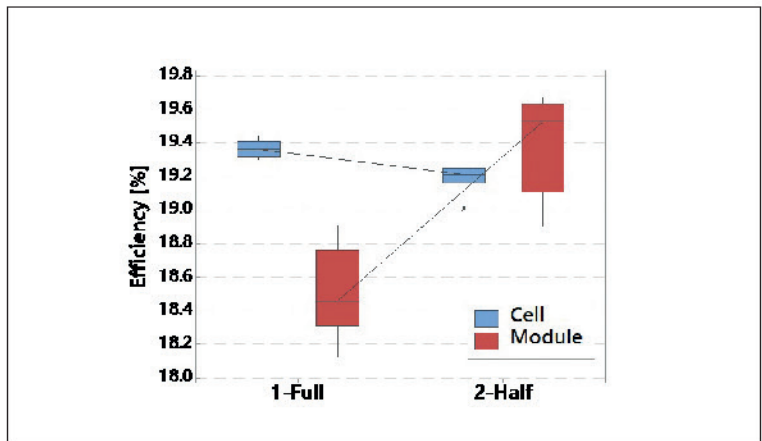
半切片电池工艺需要考虑两个主要的质量问题。首先，必须将电池边缘数量的增加带来的电损耗降低到最小。其次，机械应力及其影响的可靠性问题需要保持不变。关于电特性，据研究发现即使对半切片电池进行优化依然会导致 0.5%rel. 左右的轻微损失，这是由半切片电池边缘增加的复合过程引起的 [6-8]。这一现象会反应在电流损失之一的 J_{02} 电流的增加上（如图一所示）。

虽然半切片电池的效率有轻微下降，在组件层面的提升却超过了电池层面的损失；这些组件层面的提升主要分为三种物理机制。第一种，电池电流的减小也降低了串联电阻损耗，降低至全尺寸电池的四分之一。根据电池类型的不同，这些损耗累积起来可以达到组件功率的 3%，现在可以减小到 0.75%，减小幅度高达 2.25%。最终得到的功率提升大小与串联电阻的减小幅度以及组件填充因子的提升幅度有关。

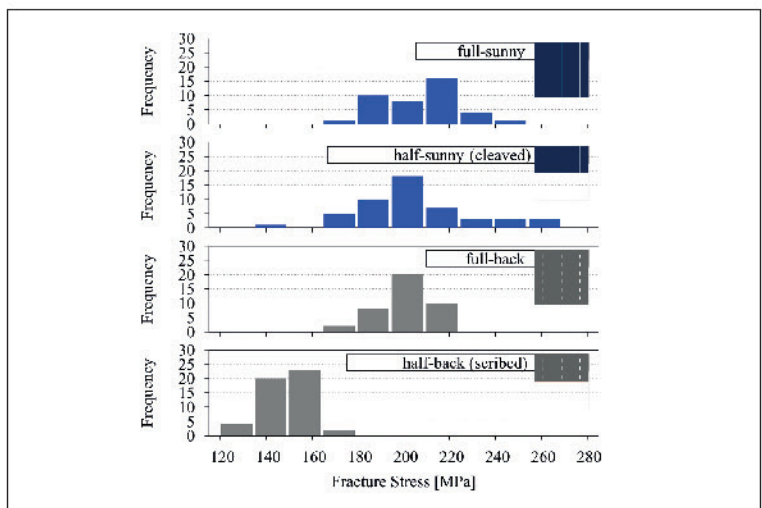
第二种，电池数量的增加也会相应增加电池间隙的数量。通过来自组件背板的反射，这些电池间隙有助于提高短路电流 [9]。虽然电



图二：在标准测试条件下 (STC)，全尺寸电池和半切片电池小型组件的电学、光学以及总功率损耗分别与电池上焊带宽度之和的关系。



图三：分别展示了全尺寸与半切片形态的电池和组件效率。虽然半切片电池的效率比全尺寸的稍低，但在 STC 下这一损失已经被组件层面的收益所补偿回来 [11]。



图四：展示了分别对电池向阳面和激光开槽背面施加断裂应力的时候，全尺寸电池与半切片电池碎裂的次数。可以看到激光开槽边缘的断裂应力值稍微更低一些。

池间隙数量的增加也会导致组件尺寸的增加和材料成本的增加，但这些参数会再次优化。当半切片电池与全尺寸电池组件之间的电池间隙保持不变，可以发现短路电流提高了 3%[3]。通过使用弗劳恩霍夫 ISB 的 Smart.Calc 设备可以轻易地完成组件功率与尺寸之间的优化 [10] (或者参考 www.cell-to-module.com)。

第三种提升方法是优化电池焊带的宽度。众所周知，电池焊带的横截面积应该尽可能做大以减小电损耗。然而电池焊带厚度受到机械特性影响限制在 200 μ m 左右 (尤其是对电池碎裂的影响)，因此需要在增加焊带宽度以降低电损耗和减小焊带宽度以减小遮光损失之间进行优化平衡。当电损耗减小时，优化宽度也随之显著改变。图二展示了一个单全尺寸电池小型组件和与之相对的双半切片电池小型组件在标准测试条件 (STC) 下的光学和电学损失。其中，上述两种小型组件的光学损失都是相同的。然而在电学损失方面，半切片电池小型组件却比全尺寸电池组件小，原因是流经焊带的电流更小。基于总损耗优化的半切片电池焊带最优宽度在 0.8mm 左右，相当于全尺寸电池组件 1.7mm 最优宽度值的 50% 左右。因此，光学和电学的综合损失将从 10.5% 降低到 8%，降低了 2.5%rel。

因此，虽然太阳能电池功率降低了超过 0.5%rel，但组件功率却增加了，且超过了所有的损失大小；图三展示了全尺寸和半切片电池及其组件的效率 (需要注意的是：组件效率是根据总电池面积计算得到的)。从图中可以看到，半切片电池组件能显著提升电池到组件 (CTM) 的功率比至 100% 以上 [10]：当全尺寸电池组件的 CTM 比例只有 93%，半切片电池组件的 CTM 比例值能达到 101%。也就是说，经过电池间隙和焊带宽度优化，半切片电池组件的效率相对于全尺寸电池组件提高了 8%rel。

机械特性

半切片电池的机械强度是影响产能和组件可靠性的关键参数。电池机械强度的任何降低都会导致组件在户外发电期间发生碎裂概率的提高。半切片电池的特性强度比全尺寸的更低。通过测试从电池向光面到背光面的强度 (如图四所示)，我们发现电池的机械损伤是从背面开始的；因此是激光开槽而不是切割操作导致的机械损失。

半切片电池工艺细节和全尺寸电池本身的机械特性以非常微妙的方式影响着半切片电池的机械特性。不过，研究发现 TMC 工艺带来的机械损伤通常比 LSC 方法的更小 [6, 8]。在图五中，我们分别可以看到使用热激光分离 (TLS，属于 TMC 的一种) 和 LSC 方法切割的电池以及参考电池的结构应力。其中 TLS 工艺没有降低任何结构应力；这意味着有可能在切割电池的时候不发生任何机械损失。

太阳能电池失效比例的增加与组件内电池的失效增加有直接关系 [8]。使用安装了原位电致发光 (EL) 成像仪 [12] 的四点弯设备 (4-PB) 对组件进行检测，可以发现采用 LSC 工艺切割的半切片电池在进行层压封装后，在激光开槽边缘更容易发生碎裂，而采用优化 TLS 工艺切割的半切片电池更容易在主栅位置处发生开裂，如图六所示；该现象可以在 4-PB 试验下的 EL 成像上看到。在低应力下 LSC 电池的碎裂发生在激光开槽

太阳能光伏电池高效激光加工系统



通用型激光加工平台:

- » TLS激光热分离对半电池切割
- » 激光接触开槽 (LCO)
- » 图案化, 掺杂, 退火
- » 市场上最高的产出量
- » 无与伦比的成本效益比



3D-Micromac AG

Micromachining Excellence

www.3d-micromac.com

电池组件

边缘，这与风载和雪载相关。因此非常有必要优化和控制半切片电池切割后的机械特性，以避免户外工作时因过多电池碎裂造成的潜在失效。

组件再设计

半切片电池组件意味着电池数量是原来的两倍。为了利用旁路二极管保护 20-24 片电池不受热点效应损伤，需要对组件重新设计 - 即每两个并联电池串连接一个旁路二极管。与此同时，相比于全尺寸电池组件，这种组件设计的电流和电压更为接近。目前有两种半切片电池排列选择：竖版和横版，分别采用中央式和分散式的接线盒。

竖版设计

在竖版设计中，组件被分成上下两个板块；每版块由 6 路 10-12 块半切片电池串联而成的子电池串组成。上下版块也是并联连接的，每路子电池串都由一个旁路二极管保护。

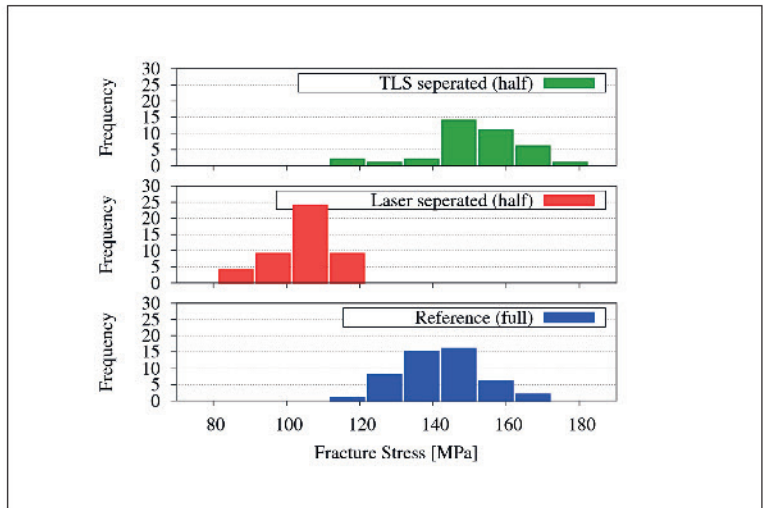
大部分半切片电池组件都是采用竖版设计。BP 太阳能的组件使用了 144 块半切片电池，而 Bosch 太阳能则使用了 120 片半切片电池，都采用中央接线盒。REC 太阳能提供了他们的 ‘TwinPeak 技术’ 半切片电池组件，采用竖版设计和分散式接线盒，组件内部只需要更少的焊带，而相邻组件间的电线长度也更短。弗劳恩霍夫 CSP 推出了将旁路二极管内嵌在层压材料内的半切片电池组件（如图七所示）。通过将旁路二极管内嵌到层压材料内可以将分散式接线盒的数量从 3 个减少到 2 个，从而降低材料成本。

横版设计

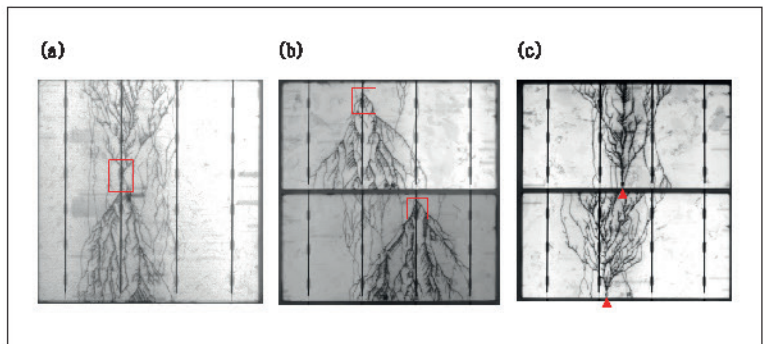
三菱推出了基于横版设计的 120 片半切片电池组件，而弗劳恩霍夫 CSP 和 SERIS 在 2013 年推出了采用横版设计的 144 片半切片电池组件。后者的组件有 12 路子电池串，每串有 12 片半切片电池，每两串并联连接然后再与相邻的串联。这种设计可以兼容标准 72 片全尺寸电池玻璃组件的尺寸。该组件是沿着横向排列，接线盒可以是中央式也可以是分散式的，但都是放在组件顶部。采用横版 2x2 互联设计的半切片电池组件比同等全尺寸电池组件的更能承受部分阴影影响 [3, 13, 14]。

能量输出

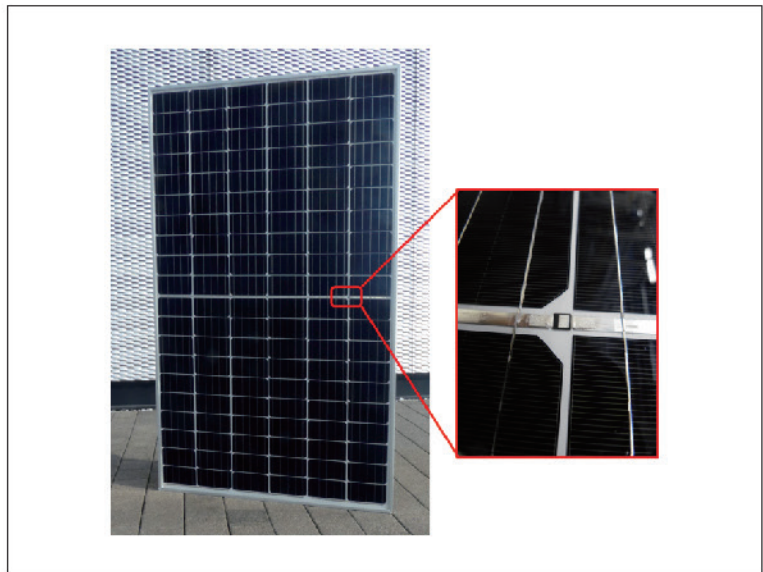
所有前面的考量都与标准条件下的光伏组件能量输出有关，所以需要进一步详细讨论能量输出。关于半切片电池组件的能量输出，有



图五：分别展示了热激光分离和激光开槽切割工艺下全尺寸电池与半切片电池碎裂的次数。可以看到热激光分离工艺下的半切片电池承受应力能力更强。



图六：展示了组件进行层压碎裂测试后碎裂电池的 EL 成像（图片调整过对比度和亮度），其中全尺寸电池 (a) 和激光热分离切割半切片电池 (b) 的碎裂源是主栅，而激光开槽切割半切片电池 (c) 的碎裂源则是切割边缘 [8]。



图七：由弗劳恩霍夫 CSP 制造的竖版排布半切片电池组件，可以看到内嵌在组件里的旁路二极管。



ENERGY TAIWAN

台湾国际智慧能源周

📍 台北南港展览馆1馆

Seize the Business Opportunities
in Asia's Green Energy Market



16-18 OCT
2019

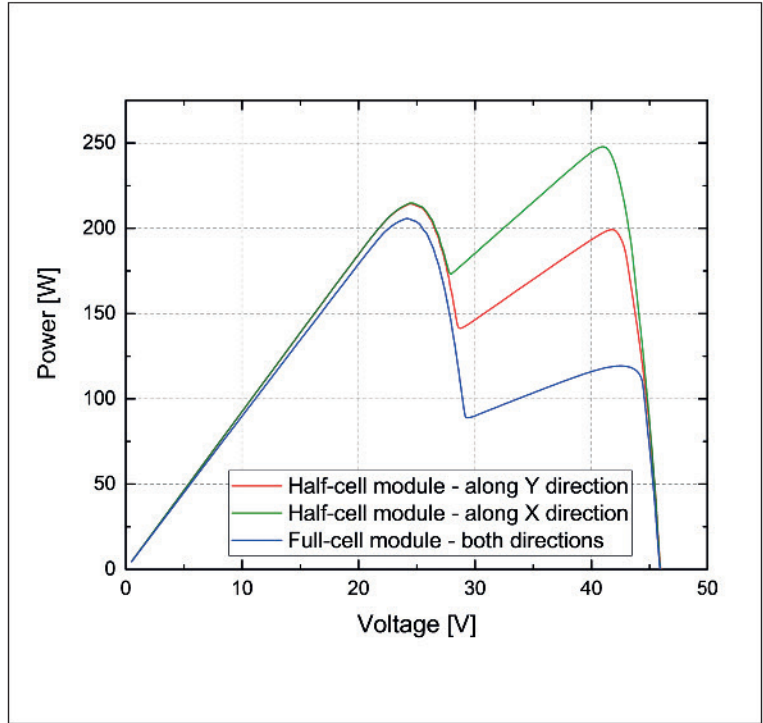
- PV Taiwan**
台湾国际太阳能展
- Wind Energy Taiwan**
台湾国际风力能源展
- HFC Taiwan**
台湾国际氢能与燃料电池展
- Smart Storage Taiwan**
台湾国际智慧储能应用展

电池组件

三点需要注意：

1. 半切片电池组件受阴影影响更小；
2. 半切片电池组件的收益非常依赖于高绝缘；
3. 半切片电池组件的损耗更低，导致工作温度也稍微更低。

在全尺寸电池组件设计中，当太阳能电池被遮挡且遮挡面积超过一定比例时，相应的电池串将会被旁路二极管短路。这一过程决定于太阳能电池被遮挡面积的比例，与遮挡形状和方向无关。而采用横版设计的半切片电池组件对部分遮光条件有着更高的容忍度。在采用横版设计的半切片电池组件中，子电池串是并联连接的，因此在有子电池串被部分遮挡的情况下旁边的子电池串仍然能够持续发电工作。对阴影的容忍度很大程度上决定于阴影的方向。当阴影沿着 y 轴遮挡，并完全遮挡一半电池，则这一条子路停止工作，而另一条则能继续发电。而当阴影沿着 x 轴遮挡，且两半切片电池被遮住 50% 时，被影响的子电池串仍然能够发电 [13, 14]。图八展示了半切片和全尺寸电池组件在不同部分遮挡条件下的功率 - 电压曲线。半切片电池组件对遮光的高容忍度使得这些组件更适合应用在某些特殊条件下，例如灰



图八：分别展示了当半切片电池和全尺寸电池组件的一个完整电池或两个半切片电池以不同方向被遮挡 70% 入射光面积时的功率 - 电压曲线。其中半切片电池组件沿着 x 方向被遮挡时所有电池串都还仍然在工作 [14]。



图九：安装在弗劳恩霍夫 CSP “Halle 户外光伏实验室” 的半切片电池组件（左）全尺寸组件（右）。



PV MODULETECH CONFERENCE

22 - 23 October 2019
Penang, Malaysia

光伏组件质量、可靠性和全球领军供 应商的衡量基准

PV Module Tech是一场独一无二的大会，致力于一个特定的主题。这一重点有助于将庞大的光伏生态系统中的合适人员聚集在一起。对于致力于做出明智技术选择的采购领域专业人士而言，这是必须出席的大会。

**Ronald Sastrawan, Director of
Green Tech Solutions, Munich Re**

商业和技术层面的极佳平衡。与会方既有管理层人士，又有企业高层，这一完美的组合推动了卓有成效的讨论。大会安排了充足的自由交流时间。

**Benjamin Wong, Director of Brand Marketing,
LONGi Solar**

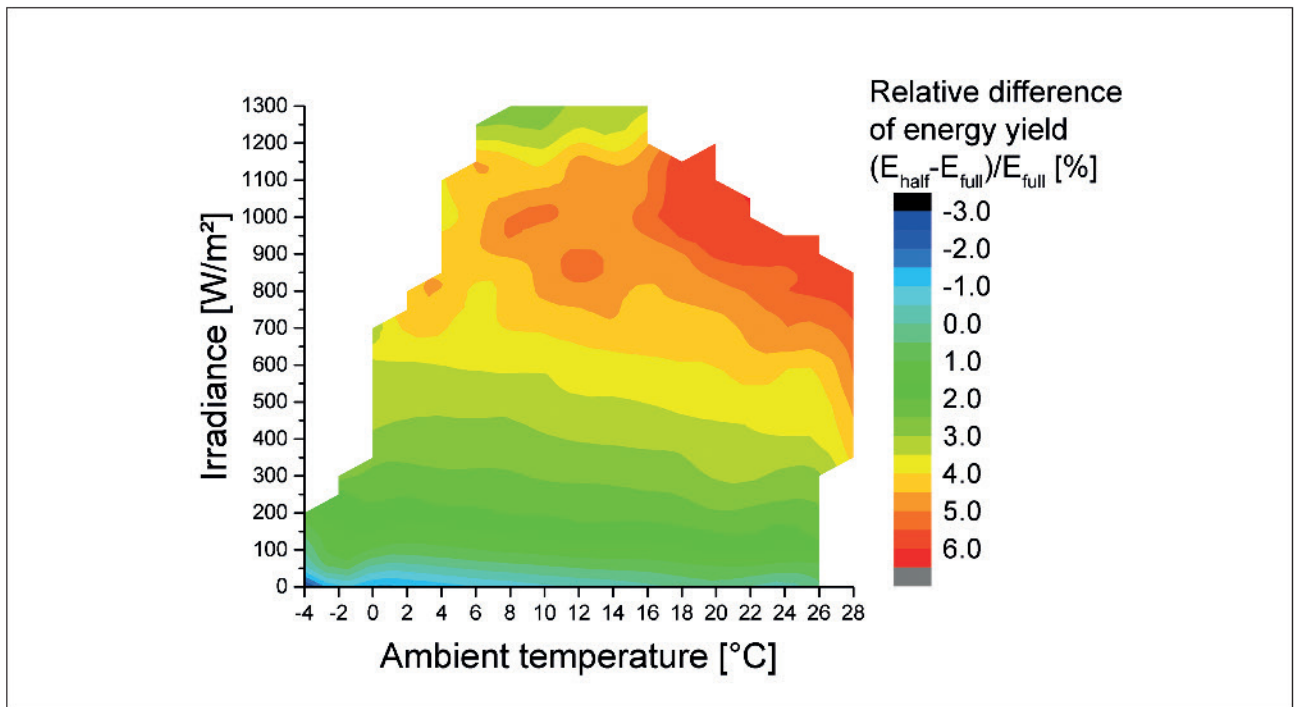
大会运营有方、资讯丰富，演讲人知识渊博。

**Kevin Robinson, Technical
Services Manager Middle East
and Africa, Jinko Solar**

早定优惠，请访问公司网站

moduletech.solarenergyevents.com

To get involved either as a speaker, partner or attendee please email:
marketing@solarmedia.co.uk



图十：半切片电池组件相比于全尺寸电池组件的能量输出收益 $(E_{half} - E_{full})/E_{full}$ 。所测的每块组件能量输出值是根据辐射强度和温度计算后取平均值（读取数值间隔：辐射强度 $50W/m^2$ ，组件温度 $2^{\circ}C$ ）。

尘累积遮挡了组件的角落。

我们对来自弗劳恩霍夫 ISC 的两块分别为 72 片全尺寸和 144 片半切片尺寸组件进行了户外测试，测试时间为 08/2013 到 04/2014（如图九所示）。虽然在标准条件下的组件功率差异为 4.6%，但平均能量输出差异却只有 3%。

为了对比在不同辐射强度和组件温度条件下的半切片电池组件输出能量，我们每隔 $50W/m^2$ 辐射强度和 $2^{\circ}C$ 组件温度读取一次能量输出值。从图十可以看出，随着辐射强度和组件温度的上升，能量输出的差异逐渐变大。在较高的辐射条件下，半切片电池与全尺寸电池组件之间的能量输出差异可以高达 6%。在低辐射条件下，能量输出差异则减小到 2% 以内 [15]。因为辐射强度越高组件电流及其电流损耗也越大；从而在高辐射条件下半切片电池组件的收益是更大的。所以半切片电池组件非常适用于应用在太阳辐射高的阳光地带；例如，在摩洛哥的额外收益可以达到 2.2%，相比之下德国只有 1.55% [11]。

投资分析

假设一座光伏组件工厂一年 365 天每天 24 小时不间断地以每分钟生产 1 块功率为 300W 的半切片电池组件，则每年产能为 158MW。如果半切片电池组件功率提升 5%，则每年将额外增加 7.9MW 产能。如果以 0.2 美元/W 的价格销售组件，则每年可以实现 150 万美元的销售增长；这一额外的收益将用来支付新增的电池切割设备、双焊线串焊设备和层压以及接线盒设备的修改。分散式接线盒的成本必须与中央式的相近。由于新增的电池切割设备和焊线串焊产能需要额外的生产车间空间，所以计划建造一座新的半切片电池设计组件产线比翻新现有产线要容易得多。对于新

的太阳能电池组件产线，回本周期将少于 1 年，这就让半切片电池组件产线变得极具吸引力。

总结

半切片电池是光伏组件增加可观能量输出的一种简单方案。在不改变尺寸的情况下可以获得 5% 的功率增长，如果扩大组件尺寸则能达到 8%。对于新的光伏组件产线，回本周期可以低于 1 年。

半切片电池组件非常适合于阳光充足的地区，因为只有阳光辐射强度高的时候功率增益才能转化成能量输出增益，同时降低平准化电力成本 (LCOE)。太阳能电池切割工艺必须对机械特性控制得特别好才能避免电池开裂及其带来的性能损耗。

一旦低损伤工艺得到有效控制，未来可以将电池切割成更小的尺寸和更多的电池数目，例如同一个方向切割的叠片电池和组件，或者沿两个方向切割的更加灵活的组件设计。

半切片电池组件带来的好处很多，有潜力在未来一段时间 - 至少在新的组件技术成熟之前成为新的标准技术。

参考文献

[1] ITRPV 2018, "International technology roadmap for photovoltaic (ITRPV): 2017 results", 9th edn (Mar.) [http://www.itrpv.net/Reports/Downloads/].
 [2] Schneider, J. et al. 2014, "Solar module with half size solar cells", *Proc. 29th EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands, p. 185.
 [3] Guo, S. et al. 2015, "Investigation of the shortcircuit current

电池组件

increase for PV modules using halved silicon wafer solar cells”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 133, pp. 240–247.

[4] Schönfelder, S. et al. 2006, “Strength characterization of laser diced silicon for application in solar industry”, *Proc. 21st EU PVSEC*, Dresden, Germany, pp. 588–592.

[5] Schneider, J., Schönfelder, S. & Kaufmann, K. 2016, “Method for splitting of plate-shaped objects made of brittle materials”, European Patent Appl. No. EP2990172A1.

[6] Eiternick, S. et al. 2014, “Loss analysis for laser separated solar cells”, *Energy Procedia*, Vol. 55, pp. 326–330.

[7] Eiternick, S. et al. 2015, “High quality half-cell processing using thermal laser separation”, *Energy Procedia*, Vol. 77, pp. 340–345.

[8] Kaule, F. et al. 2018, “Mechanical damage of halfcell cutting technologies in solar cells and module laminates”, *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1999, No. 1, 020013.

[9] McIntosh, K.R., Swanson, R.M. & Cotter, J.E. 2006, “A simple ray tracer to compute the optical concentration of photovoltaic modules”, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, Vol. 14, pp. 167–177.

[10] Haedrich, I. et al. 2014, “Unified methodology for determining CTM ratios: Systematic prediction of module power”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 131, pp. 14–23.

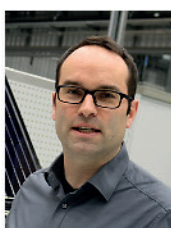
[11] Hanifi, H. et al. 2016, “Optimized tab width in half-cell modules”, *Energy Procedia*, Vol. 92, pp. 52–59. [12] Sander, M. et al. 2013, “Systematic investigation of cracks in encapsulated solar cells after mechanical loading”, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 111, pp. 82–89.

[13] Lu, F. et al. 2013, “Improved PV module performance under partial shading conditions”, *Energy Procedia*, Vol. 33, pp. 248–255.

[14] Hanifi, H., Schneider, J. & Bagdahn, J. 2015, “Reduced shading effect on half-cell modules – measurement and simulation”, *Proc. 31st EU PVSEC*, Hamburg, Germany, pp. 2529–2533.

[15] Malik, S. et al. 2014, “Outdoor data evaluation of half-/full-cell modules with regard to measurement uncertainties and the application of statistical methods”, *Proc. 29th EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands, p. 3269–3273.

作者介绍



Jens Schneider 拥有柏林工业大学和柏林哈恩·迈特纳研究所的博士学位。在 2005 年到 2011 年期间在 CSG Solar AG 从事工艺开发，之后加入弗劳恩霍夫 CSP 担任组件技术事业部总裁。在 2014 年被莱比锡应用科技大学聘用，从事光伏和交叉学科的教学工作。2019 年他转到弗劳恩霍夫材料经济学中心，领导能源系统分析研究。



Hamed Hanifi 在 2015 年取得位于德国科特布斯的勃兰登堡技术大学 (BTU) 的电力工程硕士学位。之后他开始攻读马丁路德·哈勒维腾贝格大学的博士学位，专业课题是应用在沙漠地区的光伏组件优化。从 2015 年开始，他就一直在弗劳恩霍夫 CSP 工作，同时担任位于德国 Koethen 的安哈特应用科学大学的科研人员，主要从事标准组件电池到组件功率比的优化，以及光伏组件在沙漠地区应用的优化。



David Dassler 拥有莱比锡应用科技大学应用数学专业硕士学位。从 2012 年起他就在弗劳恩霍夫 CSP 的光伏组件与系统事业部从事可靠性和发电输出分析工作。在 2015 年他开始攻读课题为沙漠环境下的能量产出建模的博士学位。



Matthias Pander 曾莱比锡应用科技大学攻读机械工程专业。他于 2010 年硕士毕业，硕士课题为封装太阳能电池的热机械应力研究。后来他加入弗劳恩霍夫 CSP 的太阳能电池组件和系统事业部从事光伏组件仿真与可靠性测试工作。



Felix Kaule 曾在莱比锡应用科技大学学习机械工程专业。从 2012 年开始他加入弗劳恩霍夫 CSP 担任硅片与电池应力团队的一名研究人员。他的研究方向主要为基于有限元方法和统计方法的硅片与电池应力分析。



Marko Turek 博士曾在德累斯顿大学学习物理学，并获得雷根斯堡大学凝聚态理论领域的博士学位。在弗劳恩霍夫 CSP 他带领太阳能电池与组件的电性能表征团队。他的研究重点涉及太阳能电池的损耗分析、先进表征方法和新测试方法与器件的开发。

查 询

Jens Schneider
Fraunhofer Center for Silicon Photovoltaics CSP
Otto-Eissfeldt Str. 12
06120 Halle (Saale), Germany

能量的传输者

在光伏系统中，组件、汇流箱和逆变器等设备均会用到光伏连接器。尽管连接器体积很小，但用量非常巨大，1MW 系统大约使用 3500 套。它们是保证系统所发电量安全和可靠传输的关键。连接器本身并不生产能量，它们是能量的传输者和电力的搬运工。

连接器的重要性

能量在传输时，必然会有损耗。对于连接器厂商来说，最大的考验就是如何以最小的能量损耗实现安全和稳定地传输。光伏连接器作为关键零部件，其低的接触电阻和长期可靠性，能够保障电站高效和安全运行。反之亦然，持续升高的接触电阻会大幅提升项目的安全风险，降低运行效率，进而导致电站盈利能力下降和业主回报减少。

千丈之堤，以蟻蚁之穴潰；百尺之室，以突隙之烟焚。对细节的忽视，往往会带来巨大的风险。欧盟 Horizon 2020 “Solar Bankability” 项目组根据 746 座电站的实际运维数据，给出了电站 Top20 技术失效列表，若只考虑失效风险所造成的发电量收益损失，“连接器损坏和烧毁”排在第 2 位。另据史陶比尔技术人员的研究，连接器失效并引发火灾的根本原因是通流情况下，接触电阻增大导致温

度增加，并最终超出了塑料外壳及金属件所能承受的温度范围。整体来说，引起连接器失效主要有三大原因：低质量、连接器互插及不规范安装。

选择高品质连接器

从外观和质感的层面，能够大致了解连接器的外形设计和绝缘材料的质量。不过，评价光伏连接器的核心指标是公母连接器对插之后的接触电阻，而这一点并不能即时感知。TC200 和 DH1000 实验能够提供具象的数值可供参考，如图 2 所示。高品质连接器的接触电阻不仅数值低，而且非常稳定，这主要得益于其所使用的电连接技术。史陶比尔 MC4 系列连接器，采用独有的 MULTILAM 核心专利技术，能够显著改善电连接和能量传输质量。

不建议互插

在电站中，连接器互插的现象仍然比较常见。之所以存在互插现象，一是因为客户不了解互插的风险，另一个原因是部分厂商宣称诸如“MC4 兼容”或“MC4 互配”。这里需要澄清的一点是，大家都将连接器称为“MC4”，但是 MC4 其实是史陶比尔公司于 2002 年推出的一款连接器产品，

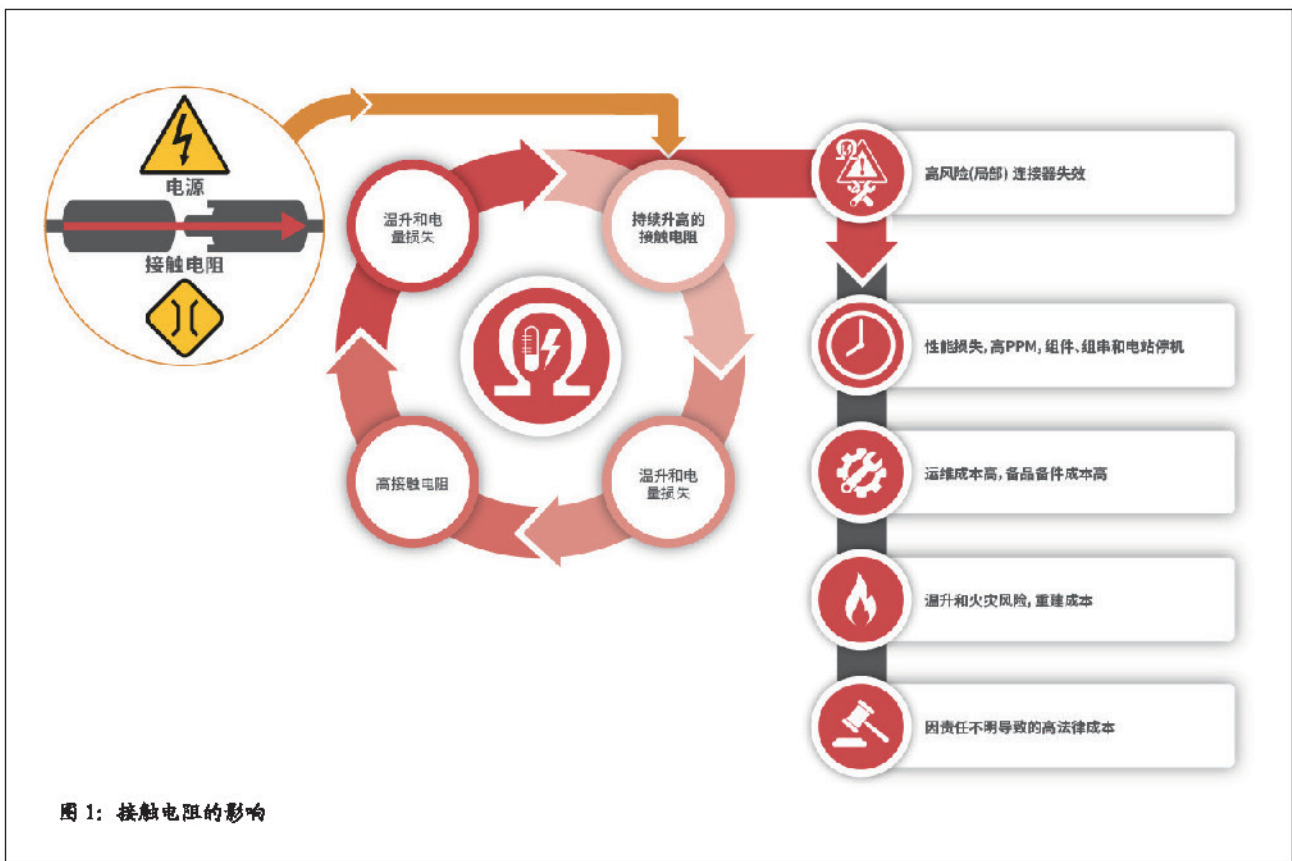


图 1: 接触电阻的影响



全球成功连接超240GW光伏系统 我们的经验是您的优势

久经考验的品质

每一细节,史陶比尔电连接器皆蕴藏精工造诣、高可靠性和安全。史陶比尔MC4,已成功连接全球超240GW光伏系统。我们的经验是您的优势。

史陶比尔的优势

史陶比尔拥有127年历史和50余年电连接专业经验,是光伏连接器领域的先驱和领导者。

您始终如一的合作伙伴

相約2019 SNEC:E1-555

www.staubli.com/electrical



原版MC4光伏连接器

Multi-Contact

MC

STÄUBLI

电站设备

因其得到市场的广泛认可且应用量大，已成为行业标准或规范。如此，市场才会出现所谓的兼容或互配概念。但是，UL 和 IEC 都明确规定，不同厂商的光伏连接器不允许互插。不建议互插的原因包括：技术和产品材料差异、生产过程和质量标准差异、公差不一致和原材料问题等等。另外，还需要指出的是，连接器互插会导致 IEC 62852 产品认证失效，产生技术和法律风险。

安装需规范

不规范安装是影响光伏电站整体功能和可盈利能力的另一风险点，通常是指不规范压接。绝大多数的光伏连接器是在工厂内通过自动化设备完成安装的，压接质量较高。但是，对于不得不在工程现场安装的连接器的，压接只能通过压接钳完成。压接必须使用原厂专业压接钳，普通的老虎钳或者尖嘴钳不能用于压接，一方面压接质量低下，另外这也是不被连接器厂商和认证机构认可的方式。不规范安装和压接不良可能导致：不符合规范标准、不稳定的接触电阻以及密封性失效。因此，史陶比尔建议使用专业的压接工具，并依据厂商的安装说明，以确保安全和规范的安装。

对于如何评价压接质量，行业内通常采用如下一些指标：外观上，无断丝、无漏丝、无毛边，左右匀称，铜丝前后位置正确；压接高度和宽度，在定义的范围，用游标卡尺可测量；拉脱力，即把铜丝从压接处拉出来或拉断所需要的力，比如 4mm² 电缆，IEC 60352-2 要求至少达到 310N；电阻，以 4mm² 电缆为例，IEC 60352-2 要求压接处电阻小于 135 微欧；横截面分析，无损切断压接区，分析宽度、高度、压缩率、对称性、有无开裂和毛边等。

总之，电站的盈利能力与选择高质量部件息息相关，如何正确使用它们同样至关重要。连接器不应被简单地当成“损耗品”或者“耗材”，它是电站的关键零部件，是能量的传输者，是确保系统所发电量从组件稳定传输到逆变器和用户端的重要载体。

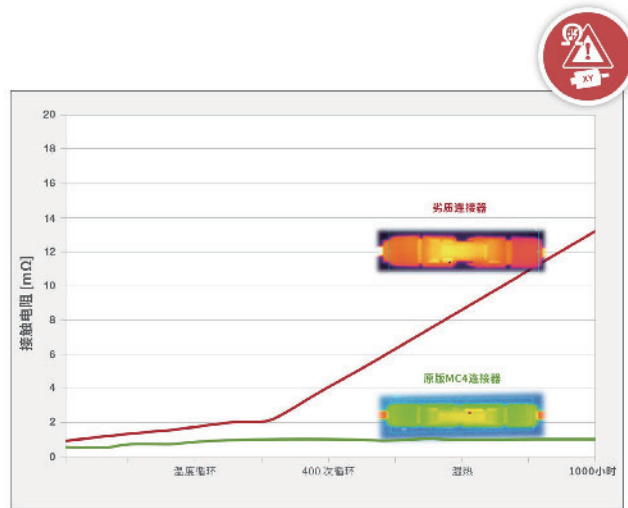


图 2: 不同品质引起的接触电阻和温升变化

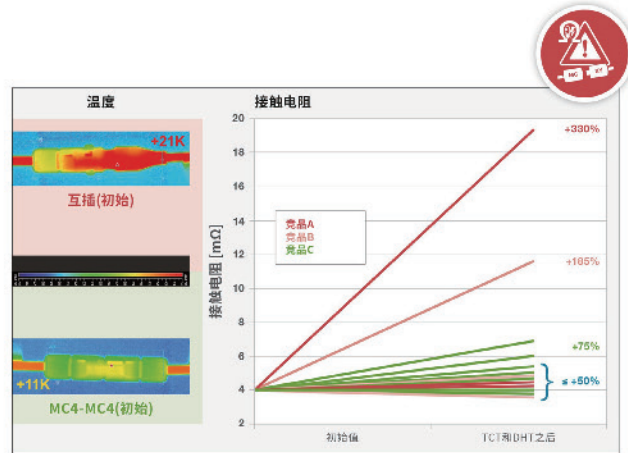


图 3: 互插引起的温升和接触电阻变化

【相约 SNEC 2019: E1-555】

关于史陶比尔

史陶比尔集团是工业连接器、工业机器人和纺织机械这三大领域机电一体化解决方案的全球专业供应商。史陶比尔拥有 5500 余名员工，在全球各大洲共有 14 个工业生产基地，在 29 个国家 / 地区设立了销售和售后服务分公司，代理商遍及 50 个国家 / 地区。1892 年，史陶比尔在苏黎世湖畔成立，如今成为总部位于瑞士法菲孔的跨国集团。

从小型连接器到大功率连接器，史陶比尔电连接器广泛应用于替代能源、输配电、自动化、铁路、测试测量和电动交通等诸多行业。在光伏领域，史陶比尔光伏连接器是全球市场领导者，迄今已成功连接超 240GW 光伏系统。史陶比尔所有电连接器都是基于 MULTILAM 核心专利技术。

网址: www.staubli.com/electrical

电话: 40066 70066-1387

邮箱: ecs.marketing.cn@staubli.com

铝浆技术助力低成本 标准nPERT太阳能电池朝着23%效率和700mV电压目标演进

文 / Radovan Kopecek¹, Zih-Wei Peng¹, Thomas Buck¹, Corrado Comparotto¹, Valentin D. Mihailetchi¹, Lejo J. Koduvelikulathu¹, Joris Libal¹, Jan Lossen¹, Masahiro Nakahara², Kosuke Tsuji², Marwan Dhamrin² & Wolfgang Jooss³

¹International Solar Energy Research Center (ISC) Konstanz, Germany; ²Hino Solar Laboratory, Core Technology Center, Toyo Aluminium K.K., Hino-cho, Japan; ³RCT Solutions GmbH, Konstanz, Germany

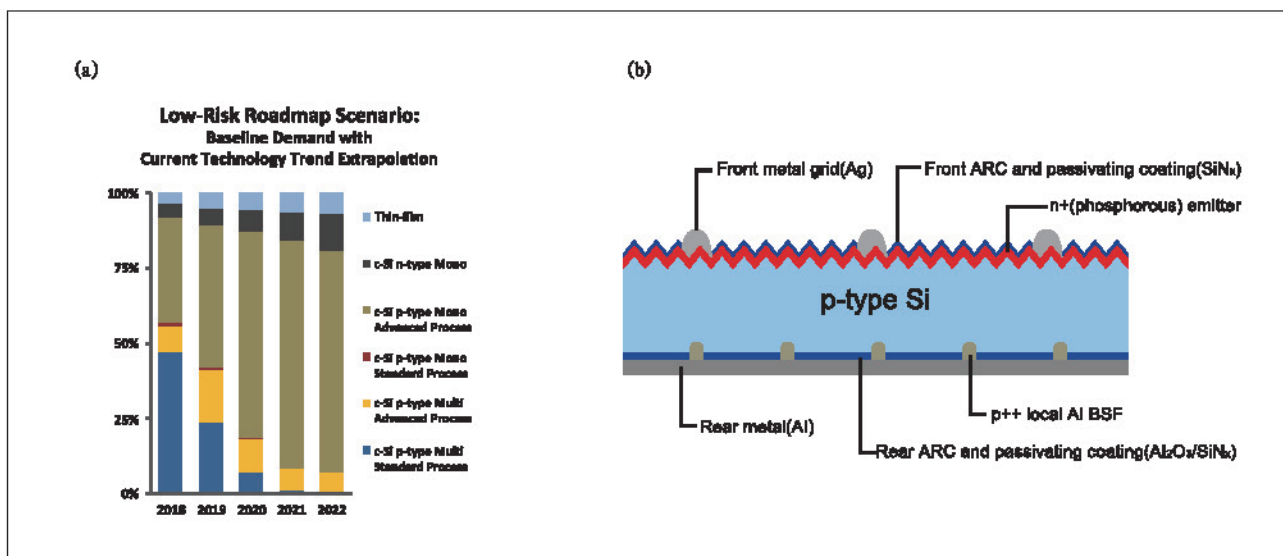
摘要

如今越来越多的大型光伏系统建造在沙漠地区，由于常年暴露在高温环境下，这些太阳能电池和组件的稳定高电压表现正变得日益关键。高电压太阳能电池有着更低的温度系数，有助于光伏系统转化更多的电能。标准钝化发射极与背电极电池（PERC）器件的电压低于 680mV，属于中等水平，并且在沙漠地区有出现衰退现象的风险，即光照和高温引起的衰退（LeTID）效应，以及最近观察到的钝化层衰退效应。本文为 PERC 生产商提供了一种解决方案，可以简单地将该技术转变为 n 型钝化发射极和背电极全扩散（nPERT）太阳能电池（稳定效率能达到 22% 以上，电压接近 700mV），并且几乎无需增加额外成本。这种称为 MoSoN（N 型单晶硅太阳能电池）的技术，融合了 PERC 的铝金属化技术和来自 nPERT 的扩散技术（BiSoN）。基于 Toyol 的先进 Al 技术，将 Al 点接触技术应用到 MoSoN 电池背面，使电池背面形成点接触选择性发射极，并在隆基乐叶 n 型硅片上实现器件电压达到 695mV 左右。不仅如此，通过进一步的优化还可以将电压提高到 700mV 以上。使用该技术的拥有

成本（COO）与标准 PERC 太阳能电池相当，即使后者不将衰退效应考虑在内，很大一部分原因是背面 AlOx（钝化）被 BBr₃ 扩散（通过原位生长 SiO₂ 层同步完成扩散和钝化过程）所代替。此外，在 MoSoN 电池中没有发现钝化层衰退的现象，而 PERC 太阳能电池则恰恰在最近被发现了相关衰退现象。

引文

今天，光伏太阳能电池和组件制造商们正再次深陷危机。而上一次危机要追溯到 2011 年，由于当时的需求远未达到预期规模，产能出现了过剩。根据目前的预测，到 2018 年底，光伏总产能将达到 160-170GW，其中钝化发射极背电极电池（PERC）产能就达到 60-70GW[1]；这将比 2018 年的实际需求高出 60-70%。如今市场继续动摇，但这次是在亚洲，因为现在欧洲和美国几乎没有大型的制造商。其中受影响最大的是那些专注于标准 mc-Si Al-BSF 技术的制造商。图一（a）展示了 2018 年各种电池技术的市场份额和对未来的预测情况；该图指出，在未来 5 年市场将由基于 p 型 Cz-Si 材料的 PERC 技术主导。



图一：(a) 对各技术市场份额的预测（引用 PV Tech[2]）；(b) p 型 PERC 太阳能电池的典型剖面图。

上一次危机的化解依靠的是迅速将新技术推向光伏市场，例如 PERC 和 n 型钝化发射极背电极全扩散 (nPERT) 技术。然而，由于当时 PERC 技术的推广速度过快，导致有些 PERC 生产商没有深刻意识到该技术的相关实际挑战，例如光照和高温引起的衰减 (LeTID) [3, 4]，以及最近由康斯坦茨大学研究人员发现的 PERC 太阳能电池钝化层衰退效应 [5]。虽然光致衰减 (LID) 效应是因为硼-氧化物造成的，而且可以通过低氧含量材料进行抑制或者再生 [6]，但 LeTID 则被认为是由 PERC 中氢含量过高造成的，这些氢元素是从双面等离子增强化学气相沉积 (PECVD) SiNx 钝化层中迁移到 Si 体内的 [7]。

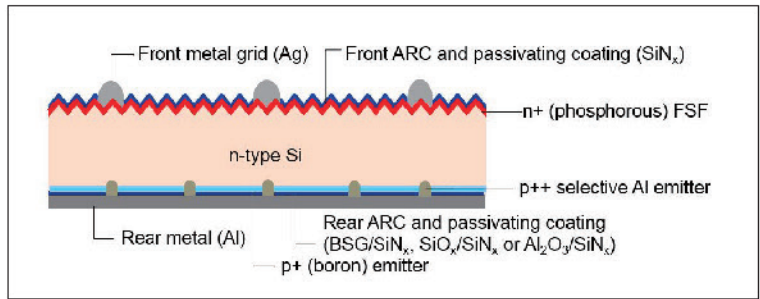
目前已经有降低 LeTID 的方案—例如，使用低氢含量 SiNx 层，或者降低金属电极烧结温度以尽可能减少进入硅体材料内部氢离子的数量 [7]。一些深刻理解了他们产品的 PERC 生产商，综合采用了上述两种方法，并选择比较不容易受影响的 Si 材料。然而，即使是在这种经过优化的太阳能电池中还是能观察到一定程度的衰减，因为 PERC 内的衰退机制非常复杂。

在作者看来，实现无衰退太阳能电池设计的一个最有效且最简单的方法是直接改用 MoSoN (基于 n 型单晶硅的太阳能电池)。该器件类型与现有的 PERC 结构非常相似，主要差异点只有两个：1) 硅体材料改为 n 型；以及 2) 使用 BBr₃ 扩散工艺代替更普遍的 AlOx 钝化工艺。

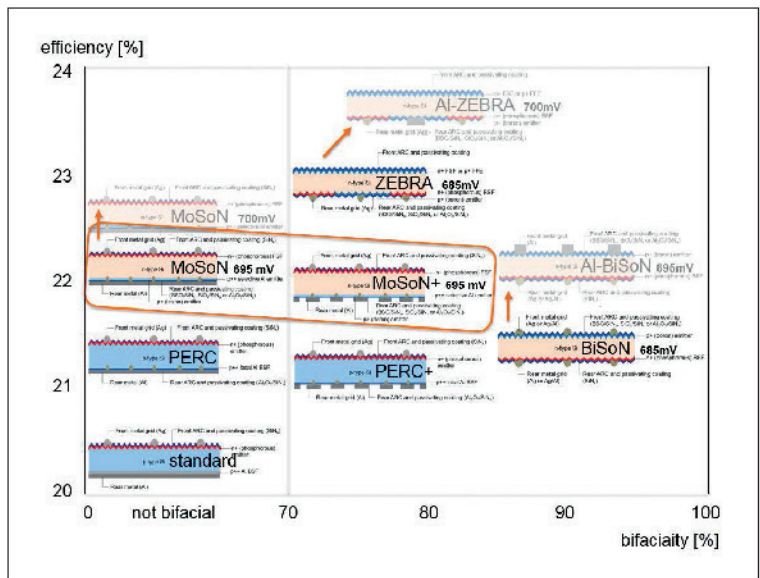
目前 n 型硅片成本只比 P 型贵 5%，但是却在上述衰退机制中有着更加健壮的表现。本文将简要介绍由 ISC 康斯坦茨 (康斯坦茨国际太阳能研究中心; ISC Konstanz) 推出的 MoSoN 太阳能电池概念及其相关电池性能参数，与标准 PERC 电池的成本进行比较，并勾勒出 PERC 转成 MoSoN 后的形态。

图二显示了 MoSoN 电池的剖面结构图，它的主要结构为一个 n 型 PERT 太阳能电池，包含一个硼背结电场和背面的 Al 金属电极 (与 PERC 技术相似)。通过铝掺杂硅的再结晶化，在背电极下面生成局部选择性发射极。接下来我们将详细介绍这种太阳能电池技术的优势。

许多科学家都表示继 PERC 和双面电池之后的下一个重要技术将会是 TOPCon [8]，其实是选择性载流子钝化电极，以及电极和硅片之间的重掺杂硅层。这种钝化接触电极可以有多种加工方法，可以参考 Cuevas 在 EU PVSEC 2018 上的总结 [9]。光伏产业与其说



图二：MoSoN 太阳能电池剖面图。



图三：ISC 康斯坦茨标准扩散型电池技术的研究进展与路线图。

是革命性发展，不如说是渐进式发展，在作者看来，如今至少有一种是处在这两种状态之间的，其中就包括低成本且性能稳定的 n 型 Al 浆技术，其制备的电池效率能达到 23% (nPERT) 甚至更高 (IBC)，电压则能达到 700mV 左右。

图三沿着目前主要的 c-Si 技术路线图对目前 ISC 康斯坦茨的研究进展进行了总结。

图一左下角是标准 Al-BSF 技术，该技术正逐渐失去市场份额，取而代之的是 PERC 太阳能电池技术。此外，Al-BSF 标准太阳能电池效率限制在 20% 左右，而且 Al-BSF 技术甚至无法支持双面组件应用。相反，PERC 电池则能够制作成双面组件，并且将持续扩大双面市场份额，因为双面 PERC 组件的成本几乎与单面 PERC 组件一样。采用双面应用将节省 Al 浆的使用，不过也会导致前表面绝对效率降低 0.2-0.4%abs，具体大小决定于双面因子，而因子大小通常在 65-80% 之间 [10]。对于标准前表面发射极 nPERT 技术 (在 ISC 的技术中是 BiSoN)，目前英利、中聚、REC、Adani、林洋等公司可以实现与双面 PERC 相同的效率，但双面因子却更高，达到 85-95% 之间。通过结合背面-发射极 Al 浆 nPERT 技术 (MoSoN) 和 IBC 技术 (ZEBRA)，可以取得扩散结技术电池的最高且最稳定效率。

采用 MoSoN 技术的电池效率目前可以达到 22.2% (采用 oBB 的为 22.98%) - 采用 ZEBRA 的为 23.2%。此外，Al 浆技术将在接下来的几个月内引入到 ZEBRA 和 BiSoN 中，使 Voc 有望提升至 700mV 左右。对于

北美智能能源周

2019年9月23日-9月26日

犹他州盐湖城会议中心

北美最大的能源展

全球逾700家参展方和19000名与会者将出席今年九月在美国犹他州盐湖城举行的北美智能能源周，届时还将举办美国国际太阳能展和国际储能展。

注册请登录: www.smartenergyweek.com

SOLAR[®]
POWER
INTERNATIONAL

ES[®]
ENERGY STORAGE
INTERNATIONAL

SMART ENERGY
MICROGRID
MARKETPLACE

THE
TECHNICAL
SYMPOSIUM

POWERED BY **SEIA** Solar Energy
Industry
Association[®]

Smart Electric
Power Alliance

电池材料

BiSoN 来说，遇到的挑战会更大，因为 Al 浆会用在前面，这里需要印刷更薄的电极，对于目前的 Al 浆技术来说是无价值的。除了 Toyal 改良烧结穿透 Al 浆技术外，Toyal 将使用电介质激光开槽技术以及先进的 Al 浆技术。

PERC太阳能电池的现状以及可能的衰退机制

PERC 太阳能电池正在快速成为新的标准 - 问题是这一切是否发生地太快。

PERC的现状

PERC 是一种成熟的技术，有着相对简单的工艺，因此其拥有成本 (COO) 也更低。隆基乐叶的 PERC 技术效率达到了破纪录的 23.6% [11] (2018 年 3 月份)，该电池采用无主栅金属电极设计，但随后被晶科的 23.95% 所超越 [12] (2018 年 5 月份)。效率记录固然很高，但重要的是产品的平均效率值，以及生命周期的稳定性。对于大的光伏生产商 (韩华 Q-Cells、晶澳太阳能、隆基乐叶、天合光能、晶科和阿特斯太阳能等)，最近的平均量产效率都处在 21.5% 到 22% 之间；这一成果相比于标准 Al-BSF 技术来说是非常有优势的，后者已经占据市场十年，且最好的平均效率都难以超过 20%。然而，关于衰退效应，我们并不确定是否所有 PERC 生产商都清楚他们的产品是否可以遭受所有这些类型影响的挑战。

PERC衰退

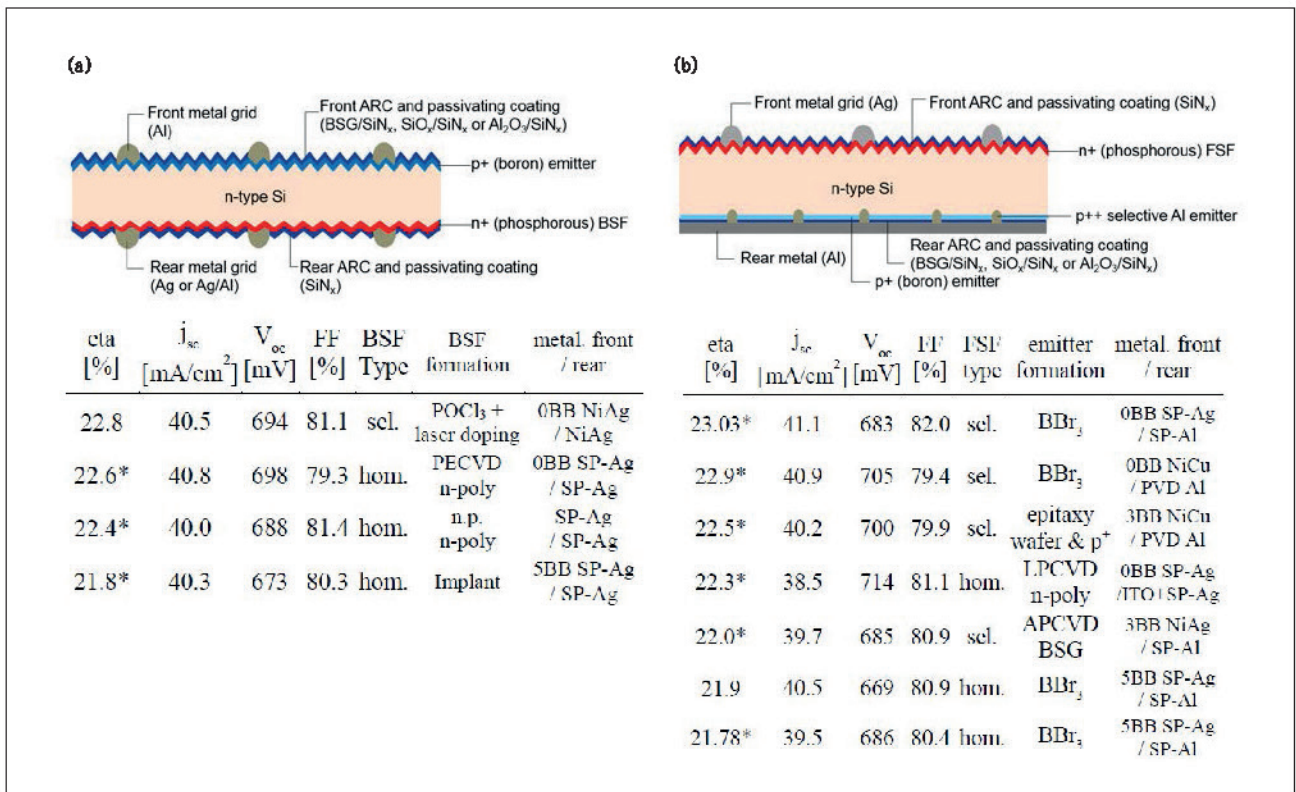
当我们参加会议和拜访制造商的时候，经常会惊讶地

看到许多负责 PERC 组件的人竟然从来没听过几种 PERC 器件的衰退问题—特别是当提到 LeTID (又称为“载流子引入衰退”—CID) 时。即使在第四届 PERC 太阳能电池和双面组件论坛 2018 [13] 上，LeTID 还没有真正成为话题之一。我们听到最多的关于对 LeTID 的回应是：“LeTID? 没有，我们没有遇到 LID: 我们的组件很稳定”。或者是一些显得经验更成熟的回答：“LeTID 只对 mc-Si PERC 有影响—但我们只生产 Cz-Si PERC”。这两种观点都不是事实。即使 LeTID 是首先在 mc-Si PERC 电池上发现的 [3]，该影响也依然能在 Cz-Si PERC 组件上发生并带来有害的影响 [4]。在这点上，PI 柏林对许多能够在市场购买的 PERC 组件进行了测试 (且测试仍在持续进行中)，以确定是否存在 LeTID 问题。在进行了六个星期的加速衰退试验后，所有测试组件的输出功率都衰减了 5% 甚至更多—而且衰退曲线还依然没有出现饱和。不仅如此，我们还了解到有些工作了 2-3 年之后的 PERC 光伏系统发现组件功率衰退了接近 20%，这简直是个灾难。

PERT太阳能电池的状况及其衰退机制

PERT的现状

目前有两种不同的 PERT 制备技术，其中只有采用前表面发射极的技术才是被广泛使用的 (例如被中莱光伏、REC、英利、Adani、林洋等制造商)。来自 imec 的 Tous 根据这两种技术的实验室结果进行了很好的总结并在 EUPVSEC 2018 上发表 [14]，图四引用了其中一组的效率 (在本文中，所有组都是参考引用的)。带星号的效率是经过校准实验室



图四：两种不同 nPERT 技术的太阳能电池参数：(a) 前表面发射极；(b) 背面发射极 (表格引用自 Tous [4])。

电池材料

认证的。

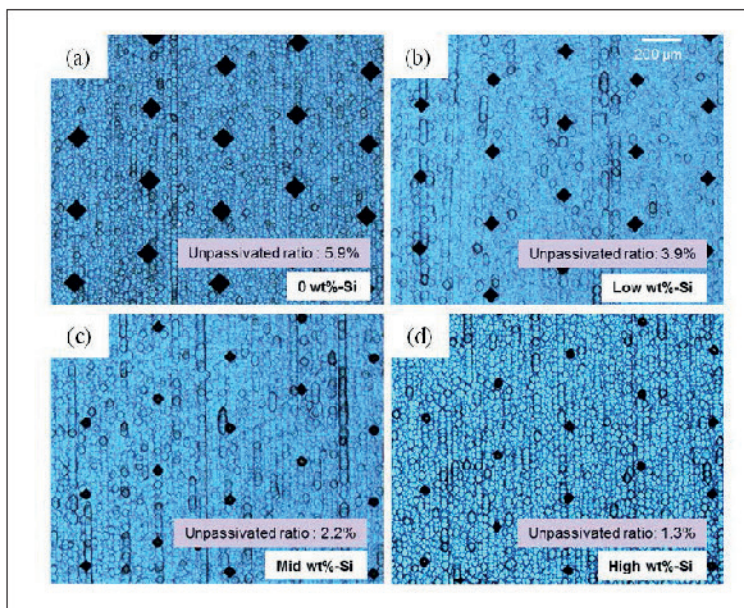
其中最高效率是由 imec 的背面发射极 nPERT 技术取得的 23%。需要注意的是这两种组件中使用了很不同的技术—甚至是现在的钝化接触、电镀技术和由 Grid^{TOUCH} 测试无主栅技术。ISC 康斯坦茨的策略是只使用在目前行业中成熟的工艺。在 Tous 发表论文 [14] 的时候，当时通过采用 ISC 康斯坦茨的 MoSoN 技术，取得了 21.8% [15] 的效率，并通过 FhG ISE CalLab (本文后面有展示，如图八所示) 验证。最近，通过均匀前表面场 (PSF) 和标准丝网印刷技术 (看下文表格一)，效率更是超过了 22%，开路电压也达到了 693mV。稍后我们将对该技术进行详细探讨。

PERT的衰退效应

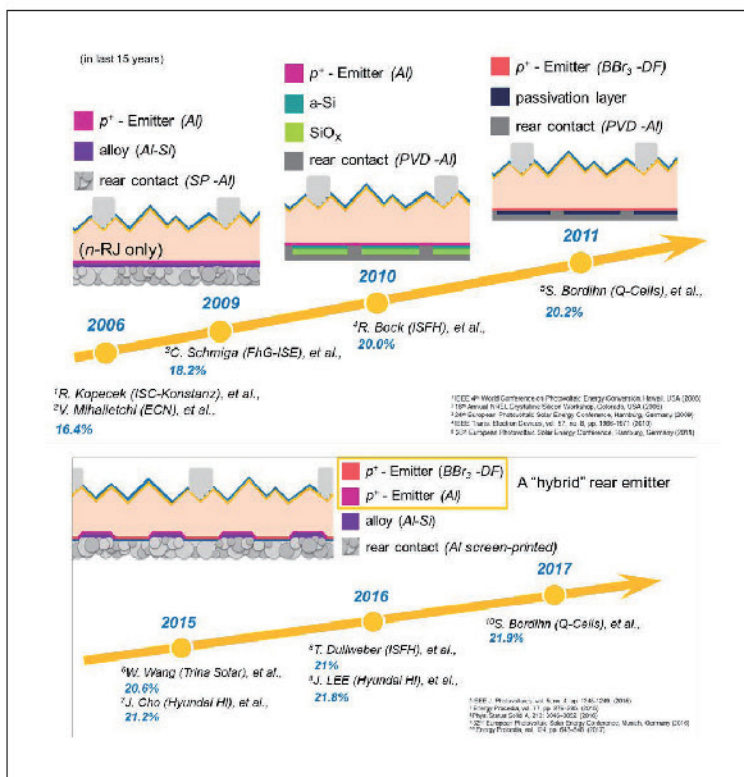
虽然 n 型器件的衰退现象要轻微很多，但是部分科学家却声称 LeTID 同样会影响 nPERT 和 IBC 太阳能电池。目前 ISC 康斯坦茨正在对这类问题进行研究，结果并未发现电池参数有出现明显下降。在过去，科学家还在氧化钝化发射极太阳能电池上发现了 UV 衰减效应，这是由于硼离子迁移到氧化层后形成强耗尽层造成的 [16]。然而，在 ISC 康斯坦茨的所有电池概念里，原位生长 SiO₂ 钝化层是 BBr₃ 扩散期间用在 B 发射极上 [17] 的；因此，这一层已经是硼饱和层，硅表面的耗尽区没有增加。目前为止没有在 BiSoN、MoSoN 和 ZEBRA 任何一种电池概念里观察到这种衰退。

先进铝浆技术

MoSoN (以及其他背结 nPERT 技术) 背后的想法是结合 n 型硅片和 Al 浆电极技术以实现较高且稳定效率。在该 nPERT 背结器件中，选择性发射极是在 Al 再结晶时形成的。如果电极区域最小化成小点的区域，可以通过将总接触区域降低至 1% (如图五所示) 非常接近钝化电极。在理论上这种小的电极很容易和铝接触，调整合适的化学成份，包括浆料内的玻璃粉和硼含量，可以形成合适的合金。此外，如果激光电极开槽 (LCO) 尺寸越小，合金期间硅从硅片外扩散至浆料速率就越高，在冷却期间硅外扩散回硅片的速率越低，以形成所需的局部合金发射极。Toyal 开发了一种铝浆，能够用于形成局部小范围发射极点和电极，通过调整铝浆中特殊 Al-Si 合金和 Al 粉，为 MoSoN 太阳能电池低成本金属化开辟了新的方向。



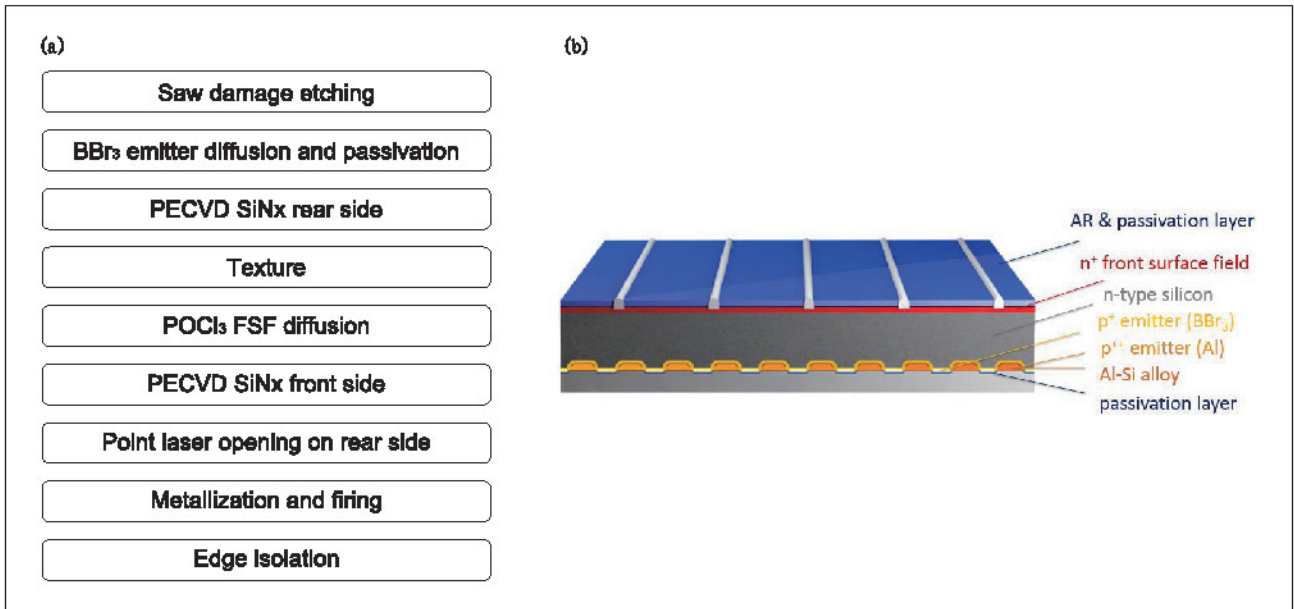
图五：微点式接触的形貌随着 Toyal 的 Al 浆内 Si 含量的不同而形成的差异。



图六：背结 nPERT 技术的发展历史 [15]。

铝电极均匀性和选择性背发射极PERT太阳能电池

MoSoN 的目的是利用两项优势：
N 型材料有着更低的衰减敏感度；
Al 浆的低成本和高电压电极特性；
背结 nPERT 技术的历史已经 10 年有余，如图六所示。



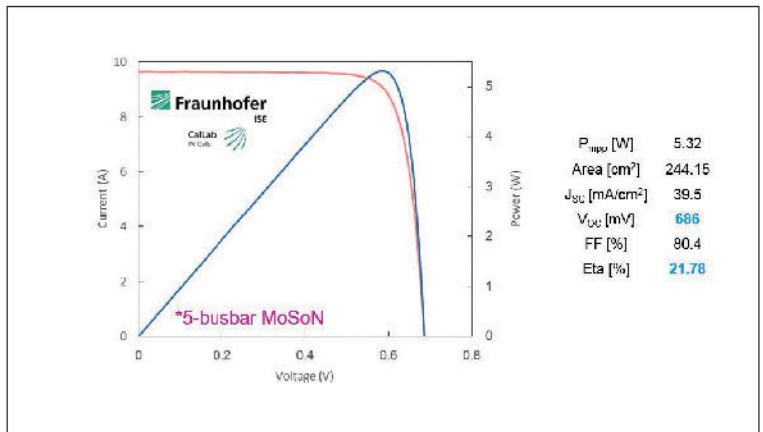
图七：MoSbN 太阳能电池：(a) 工艺流程图；(b) 剖面结构图。

在刚开始的时候，还称为“Phos-Top 概念”，发射极是只通过使用 Al 浆形成的，但很快就演变成硼扩散与铝浆结合的策略了，具体是由韩华 Q-Cells 发明的。这类太阳能电池概念的潜能依然非常大，因为该技术的工艺非常简单且有着稳定较高的效率。因此 ISC 康斯坦茨从很早就开始对 MoSbN 这一概念进行探究，该研发项目横跨多个国家和多个行业项目。

图七展示了 MoSbN 技术的工艺流程以及剖面结构。其工艺流程首先开始于切割损伤刻蚀。紧接着是进行双面硼扩散，在此期间背面通过原位生长 SiO₂ 界面层完成了钝化，所以不再需要 AlO_x 钝化。随后在背面沉积 SiNx，并在前表面进行制绒。在完成 POCl₃ 扩散步骤后，通过 PECVD 在前表面沉积 SiNx，并通过激光在背面 SiNx 开槽。在完成金属化和烧结之后，该器件是边缘绝缘的。目前，关于湿法化学边缘绝缘的研究仍在继续，并将在近期完成。

需要注意的是背面 PECVD SiNx 层是在高温扩散工艺下完成的，导致氢含量非常低，这也能解释为什么 MoSbN 电池没有出现 LeTID。图八显示效率为 21.8% 的电池 I-V 曲线，由 Fraunhofer ISE CalLab 测试认证。

虽然效率很高，但更令人印象深刻的是在没有选择性 FSF 和钝化接触电极的情况下开路电压竟然达到 686mV 这一相当高的水平。由 ISC 康斯坦茨开发的 MoSbN 主要目的在使用非常接近标准工艺的情况下获得非常高的电压。表格一总结了最近通过优化点接触之



图八：五主栅 MoSbN 太阳能电池的 I-V 特性曲线，由 Fraunhofer ISE CalLab 测试认证 [15]。

	FF [%]	V _{oc} [mV]	J _{sc} [mA/cm ²]	η [%]
MoSbN _{best}	80.1	693	40.0	22.2
MoSbN _{cur}	79.4	692	40.0	22.0

表一：采用优化点接触的最好单晶硅双面器件的最新 MoSbN 结果。

后得到的电池参数，其中效率达到 22.2%，开路电压达到惊人的 693mV。而双面电池的背面因子只有中等水平的 60%，效率为 22%；目前正在开展新的试验试图将效率提高到 22.5%，开路电压提高到 700mV。最近刚制备完成的无主栅 (OBB) MoSbN 太阳能电池效率达到了 22.98% (J_{sc}=40.7mA/cm², Voc=693mV, FF=81.5%)，由 Grid^{POWER} 所测；该效率与 imec 所取得的最高结果相等，如图四 (b)。MoSbN 概念将会在 centrotherm 发布会上展示，同时还会在 2019 SNEC PV Power Expo 受邀演讲上展示。

表格二总结了 MoSbN 太阳能电池的相比于标准 PERC 电池的优势。



EU PVSEC 2019

第36届欧洲光伏太阳能会议暨展览会

全球光伏太阳能领域的创新平台



2019年9月9-13日

法国马赛查诺会展中心

马赛，法国



大会议程可查看
现在注册，
可享受早注册优惠。

www.photovoltaic-conference.com • www.photovoltaic-exhibition.com

电池材料

MoSoN 工艺并不包含选择性 FSF，因此前表面工艺比许多 PERC 效率记录电池要简单。另外，MoSoN 的潜在量产效率更高，这是使用了 n 型材料和进行完整扩散表面的结果；不仅如此，这两项因素可以保证更高更稳定的效率表现。在 MoSoN 工艺中 AlOx 钝化设备可以由来自 centrotherm 高产能 LP-BBr3 扩散炉代替，能实现背面发射极扩散和均匀的原位钝化 [17]。这种电池结构的另一项优势是硅片体电导率中来自于横向电导率的比例与 FSF 相当。因此，背结 nPERT 概念需要的 Ag 子栅数量比 PERC 电池更少，从而节省 Ag 成本 [18]。

图九展示了由 ISC 康斯坦茨和 centrotherm 规划的 MoSoN 产品线。下一节将讨论 COO，并总结在表格二中。由于 n 型硅片价格仍然比 p 型的贵，因此目前 MoSoN 电池的成本稍微更贵一些。尽管如此，MoSoN 组件在系统环境下的更高成本已经被更高效率、更稳定性能以及稍稍更高的双面率所平衡掉了。对于双面水平六轴跟踪 (HSAT) MoSoN 系统，在辐照度为 1, 875kWh/kWp/year，反照率为 35% (例如沙漠地区) 的环境下度电成本 (LCOE) 为 3.9 美分 /kWh。

PERC和PERT太阳能电池的COO

当采用标准 p 型工艺时，n 型太阳能电池的成本不一定就很高。图十展示了目前光伏市场上标准太阳能电池产品的 COO。由于硅片价格是随时浮动且占据了太阳能电池总成本的大部分，因为不同工艺之间的成本差异非常依赖于目前的硅片市场。不过，很明显的是，相比于过去的工艺，目前最先进的太阳能电池工艺正在非常接近于生产最低成本的 mc-Si 组件的成本了。在系统层面，现在重要的是选择高功率组件以最小化 LCOE。

由于具有较低的 COO 和较高较稳定的功率，MoSoN 是最适合发展的技术。

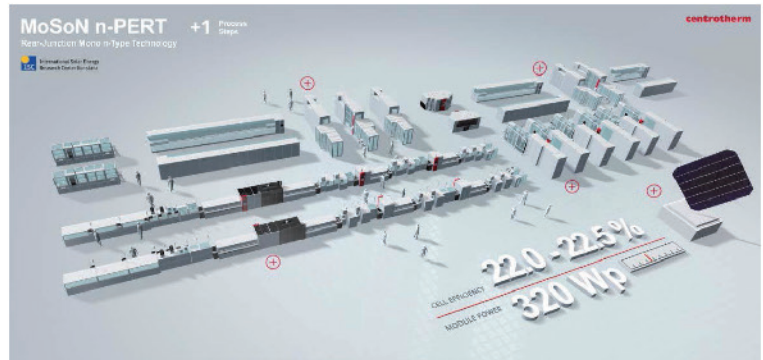
总结和展望

在 Al-BSF 太阳能电池长期占领光伏市场之后，PERC 太阳能电池正在成为太阳能电池产品线的标准技术。这对 PV 市场是好消息，因为更高的效率将有助于降低光伏系统的系统平衡 (BOS) 成本。

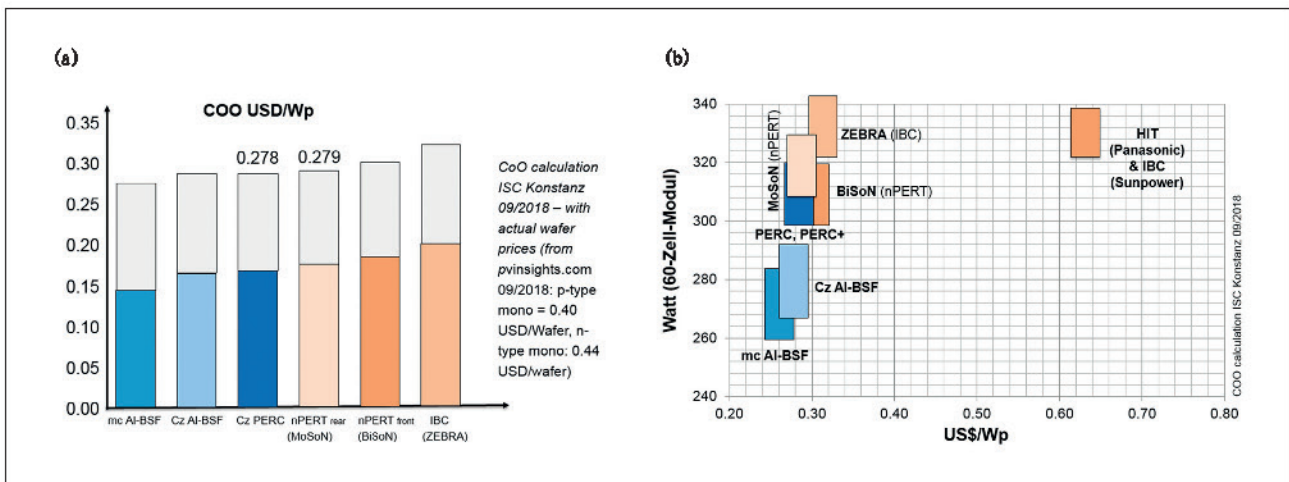
Technology	P-type front junction Selective emitter	N-type rear junction Homogeneous FSF
Efficiency in production	21.5 - 22% 22 - 22.5% (potential)	22.5 - 23% (potential)
V _{oc}	<680mV	>690mV
Wafer	Low resistivity wafers required	Wide range of resistivities possible
Ag use	100%	80% (10% front-side Ag reduction)
Yieldability	70 - 80%	75 - 85% (rear junction)
Degradation	Up to 20% in 3 years' LeTD (possible)	Not yet observed
Different machines	AJO, passivation	BB, diffusion (with BSG passivation)
COO call	US ¢ 16.4/Wp	US ¢ 16.7/Wp
Solar cell transformation costs (incl. wafer costs)	US ¢ 8.3/Wp	US ¢ 8.0/Wp
LCDE	US ¢ 4.84/kWh** US ¢ 4.21/kWh*** US ¢ 4.05/kWh****	US ¢ 4.57/kWh** US ¢ 4.06/kWh*** US ¢ 3.91/kWh****

* September 2018; ** Fixed-tilt monofacial; *** Fixed-tilt bifacial; **** HSAT bifacial

表二：标准 PERC 和 MoSoN 对比。



图九：由 centrotherm 设计的 MoSoN 产线布局 (发表于 SNBC2017)。



图十：不同太阳能电池概念的 COO: (a) 分解为太阳能电池和组件成本; (b) 与 60 片电池组件功率的关系。

电池材料

本作者认为 PERC 的下一步发展将向 n 型材料与背发射极标准 nPERT 概念的转变,原因是这将减弱衰退效应和提高效率,同时保持工艺水平的简单化。下一步还没有包括钝化电极,因为结合非常低成本的先进 Al 浆技术,可以轻松实现 23% 的效率和 700mV 的电压。

本文介绍了 ISC 康斯坦茨的背结 nPERT 概念 -MoSoN, 基于隆基乐叶 n 型材料,取得了 22.2% 的效率和 693mV 的电压。这种来自于 Toyal 的非常低成本的 Al 浆点接触技术有希望在使用简单工艺的情况下取得 23% 的效率,同时太阳能电池转换成本只有 7 美分/Wp 左右(不包括硅片成本)。此外,该技术在将来将被用于测试以及开发 ISC 康斯坦茨的 ZEBRA IBC 太阳能电池概念,并有望取得 24% 的效率成果。

致谢

本文作者要感谢 ISC 康斯坦茨所有参与开发 MoSoN 技术的同仁。本文工作有一部分得到了德国 BMWi 项目 Kosmos (0325822E) 和 Ideal (0325889A) 的赞助。

参考文献

- [1][<https://www.pv-magazine.com/2018/09/07/perc-market-to-reach-158-gw-by-2022/>].
- [2] PV Module Tech, Malaysia 2018.
- [3] Ramspeck, K. et al. 2012, "Light induced degradation of rear passivated mc-Si solar cells", *Proc. 27th EU PVSEC*, Frankfurt, Germany, pp.861-865.
- [4] Fertig, F. et al. 2017, "Mass production of p-type Cz silicon solar cells approaching average stable conversion efficiencies of 22%", *Energy Procedia*, Vol. 124, pp. 338-345.
- [5] Herguth, A. et al. 2018, "A detailed study on light-induced degradation of Cz-Si PERC-type solar cells: Evidence of rear surface-related degradation", *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 8, No. 5, pp. 1190-1201, DOI: 10.1109/JPHOTOV.2018.2850521.
- [6] Schmidt, J. et al. 1997, "Investigation of carrier lifetime instabilities in Cz-grown silicon", *Proc. 26th IEEE PVSC*, Anaheim, California, USA, pp. 13-18.
- [7][<https://www.pv-tech.org/guest-blog/is-letiddegradation-in-perc-cells-another-degradationcrisis-even-worse-th>].
- [8][<https://www.pv-magazine.com/2018/10/08/topcon-the-next-big-thing-after-perc/>].
- [9] Cuevas, A. et al. 2018, "Solar cells by 'Desijn'", *Proc. 35th EU PVSEC*, Brussels, Belgium.
- [10] Dullweber, T. et al. 2017, "Bifacial PERC+solar cells and modules: An overview", *Proc. 33rd EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 649-656.
- [11] [<https://www.pv-tech.org/news/longi-hitsrecord-23.6-conversion-efficiency-for-mono-percsolar-cells>].
- [12][[lar-achieves-23-95-efficiency-for-p-type-mono-cell/](https://www.pv-magazine.com/2018/05/09/jinkoso-</p>
</div>
<div data-bbox=)

- [13] [<https://de.enfsolar.com/directory/service/002639/4th-perc-solar-cell-and-bifacialmodule-forum-2018>].
- [14] Tous, L. et al. 2018, "Large area monofacial screen-printed rear emitter nPERT cells approaching 23% efficiency", *Proc. 35th EU PVSEC*, Brussels, Belgium.
- [15] Peng, Z.-W. et al. 2018, "Towards 22% efficiency n-PERT rear junction solar cells with screen printed Al point back contact", *Proc. 8th SiliconPV*, Lausanne, Switzerland.
- [16] Zhao, J. et al. 2003, "Performance instability in n-type PERT silicon solar cells", *Proc. 3rd WCPEC*, Osaka, Japan.
- [17] Mihaletchi, V.D. et al. 2018, "Surface passivation of boron-diffused junctions by a borosilicate glass and in situ grown silicon dioxide interface layer", *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 8, No. 2, 435-440.
- [18] Comparotto, C., Lossen, J. & Mihaletchi, V.D. 2018, "Bifacial screen-printed n-type passivated emitter rear totally diffused rear junction solar cells", *AIP Conf. Proc.*, Vol. 1999, No. 1, 100001.

作者介绍



Radovan Kopecek 在 1998 年获得斯图加特大学物理学学位,并在 2002 年取得康斯坦茨大学的博士学位,博士期间研究课题涉及 c-Si 薄膜硅太阳能电池。作为 ISC 康斯坦茨的创办人之一,Kopecek 从 2007 年开始就带领先进太阳能电池部门的发展;该部门承担多项欧洲与国家研究项目和技术转化项目,主要集中在高效 n 型器件与双面技术上。从 2016 年开始他就成为 EUREC- 欧洲可再生能源研究中心理事会的董事会成员。



Zih-Wei Peng 在 2012 年取得硕士学位。随后他加入台湾光伏行业公司,主要从事 nPERT 双面电池技术的研发,随后 2015 年转至大规模生产技术领域。2016 年他加入 ISC 康斯坦茨以完成他在图宾根大学的博士学位。他的研究方向是 Al 金属化以及 nPERT 背结太阳能电池技术。



Thomas Buck 毕业于康斯坦茨大学并拥有物理学学位;他的毕业论文涉及 Daimler-Chrysler 的 PEM 燃料电池表征研究。他目前正在攻读康斯坦茨的博士学位,在博士期间从事多晶硅 n 型商用太阳能电池的研究。他也是 ISC 康斯坦茨的创始人之一,在 2008 年三月就加入了该研究机构。他在其他领域的研究兴趣还包括金属化以及双面太阳能电池。

电池材料



Corrado Comparotto 于 2008 年取得意大利博洛尼亚大学的电子工程硕士学位。毕业之后他担任保加利亚和丹麦多个项目的志愿者，并取得在经济可持续性和自然保护领域的进一步认证。从 2011 年开始加入 ISC 康斯坦茨的先进太阳能电池部门从事 n 型太阳能电池研发工作。



Valentin D. Mihailetchi 在 2002 年取得罗马尼亚西蒂米什瓦拉大学的物理学学士学位，随后在 2005 年取得荷兰格罗宁根大学博士学位，专业是有机太阳能电池器件物理。从 2005 年 11 月到 2008 年六月在荷兰 ECN 太阳能担任晶体硅领域科学家，主要从事 n 型太阳能电池工艺研发。2008 年 7 月他加入 ISC 康斯坦茨担任高级科学家并在先进电池概念部门带领 n 型太阳能电池团队。



Lejo J. Koduvelikulathu 在 2005 年 5 月取得印度阿巴德卡科技大学电子工程与通信工程双学位。从 2005 年 7 月到 2007 年 7 月两年间他在印度西门子担任调试工程师。在 2009 年 10 月，他获得通信工程硕士学位，并在 2010 年 12 月获得微纳米系统领域的专业硕士学位，两个学位都是来自意大利的特伦托大学。从 2010 年 11 月起他便在 ISC 康斯坦茨工作，从事太阳能电池结构仿真以及金属化引入复合损失的研究。从 2018 年开始成为商业太阳能电池部门一员，并负责收集消费者需求，制定试验和研究计划。他还是 ISC 技术转化团队的成员，主要负责将热处理工艺转化到商业生产线中。



Joris Libal 曾在 2010 年获得图宾根大学物理学学位，之后开始了在 PCB 封装领域的质量工程师职业生涯。在 2003 年他被康斯坦茨大学录取攻读 n 型多晶硅太阳能电池领域的博士学位。随后他加入意大利米兰比可卡大学进行太阳能级硅领域的博士后研究。在 2008 年加入意大利公司 Silfab 担任研发经理，主要负责制定多晶硅产线计划和在电池与组件及组件认证方面的研发计划。2012 年 10 月他受聘于 ISC 康斯坦茨，从事 n 型电池、能量输出仿真和 COO、LCOE 计算。



Jan Lossen 曾在德国弗莱堡大学和科隆大学学习物理学。并在 2013 年完成学业，他的毕业论文课题是关于微晶硅层的热丝化学气相沉积工艺。之后超过 10 年时

间里他在 ErSol/Bosch 太阳能公司的晶体硅太阳能电池生产和开发领域不同位置工作过。从 2014 年开始，他就担任 ISC 康斯坦茨首席科学家和工艺转化项目经理。



Masahiro Nakahara 于 2010 年加入 Toyo Aluminium K.K，直到 2017 年加入 ISC 康斯坦茨。他主要负责金属浆料在太阳能电池应用的研发工作。



Kosuke Tsuji 曾在日本东京理科大学学习材料科学，并于 2011 年毕业。同年加入 Toyo Aluminium K.K，直到 2018 年加入 ISC 康斯坦茨。他主要负责金属浆料研发工作，不仅是应用在太阳能电池领域，还涉及电子材料。



Marwan Dhamrin 博士 1998 年毕业于也门萨那大学，之后考取东京农工大学并于 2004 年获得硕士和博士学位。他的博士论文课题涉及通过 Ga 掺杂抑制多晶硅硅片的 LID 效应。毕业之后他加入日本学术振兴会从事 mc-Si n 型异质结太阳能电池的研发工作，并在东京大学的许多 NEDO 项目担任产业合作者和助理教授，这些项目包括来自钻石线锯切割设备的切割损失硅粉的回收。在 2011 年他加入 Toyo Aluminium K.K 和 led 研发小组从事金属化浆料和背板的研发，以及高质量铝浆料的引入，特别是用于 PERC 全尺寸和双面太阳能电池。



Wolfgang Jooss 博士于 2002 年取得康斯坦茨的博士学位，他的博士研究课题为多晶硅和背埋电极太阳能电池；其研发的大面积多晶硅太阳能电池实验效率达到了突破记录的 17.5%。在 2002 至 2009 年期间，在 sunways AG 担任研发工程师并成为太阳能电池研发部的经理。后来 2009 年加入 centrotherm，一开始他担任综合工厂技术的领头人，工作涉及完整 c-Si 产业链，之后担任光伏技术主任，负责太阳能电池设备的技术研发。从 2016 年 4 月他成为德国康斯坦茨的 RCT Solution GmbH 研发部主任。

查询

Email: radovan.kopecek@isc-konstanz.de

14th AsiaSolar 2019
PV conference & exhibition

2019.10.12-13
杭州国际博览中心(G20)展馆

第十四届亚洲光伏 创新展暨合作论坛

创新技术、创新产品、创新设备

电站投资建设、跟踪系统

工商业分布式、智慧能源

微电网、光伏与储能

200+企业、30000+平米展览

20000+观众、100+嘉宾

1000+精美参会

▲ PGO山西大同
50MW熊猫电站

一个国际性光伏行业 创新与合作平台

组织机构
—BY—



PGO秘书处



0512-53986898



江苏苏州太仓市上海东路
168号汇金大厦1506室

www.asiasolar.net



当数字化遇上光伏生产技术 ——硅太阳能电池和组件智能化生产概述

文 / Martin Zimmer, Matthias Demant, Norbert Bergmann, Stefan Rein, Jochen Rentsch & Ralf Preu, Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany.

摘要

当光伏组件开始面临大幅降价的压力时，如何降低生产成本就成了最亟待解决的问题。而数字化则是今天光伏电池和组件生产朝着自动化发展的方向，并有助于降低生产成本。数字化的一个核心概念就是数字孪生，代表着实物资产、材料、工艺或者最终整个生产线（也称为智慧工厂）的特性和行为。本文将介绍数字孪生的不同使用情况，同时详细讨论它的相关应用。最后简单描绘光伏智慧工厂的未来。

引文

数字化进程已经持续了两百年有余，在许多行业都起到了降低成本的作用。数字化制造发展的起源要追溯到 19 世纪初，当时发明了首台数字生产设备，使得高效率、低成本的生产同时兼顾高质量标准成为可能。最早的数字生产设备之一是提花织布机，该设备将织布棉的图案存储在槽孔卡上。今天，由工业革命所引领的工业时代可以分为 4 个阶段（图一）。

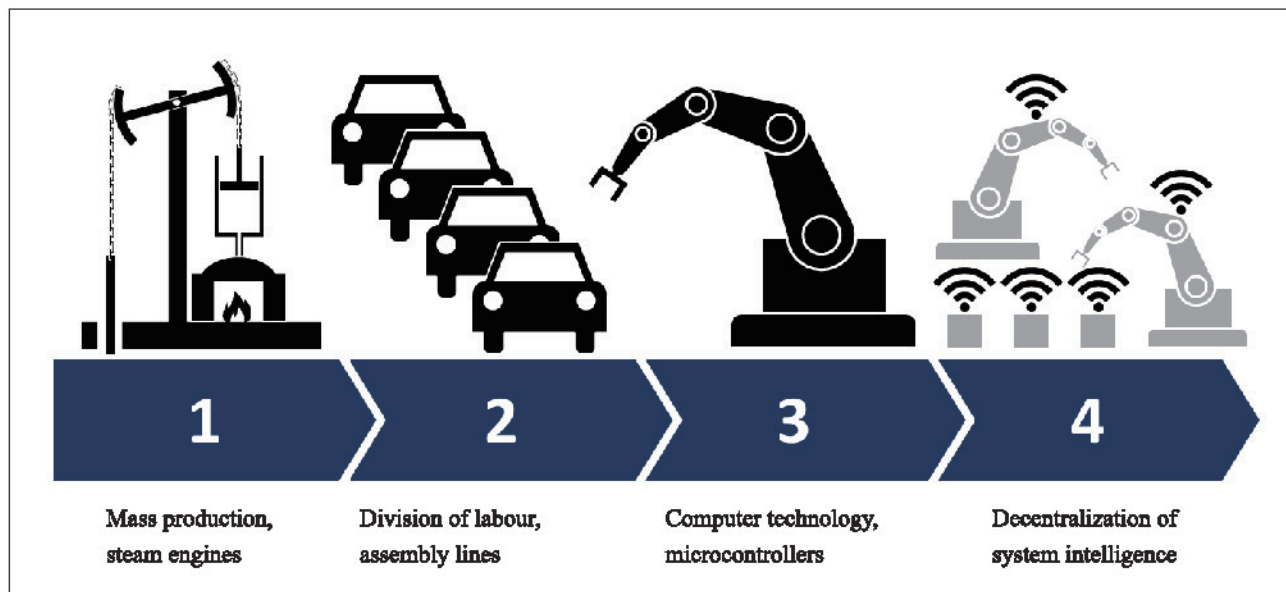
18 世纪末期的第一次工业革命的兴起于标志是大规模生产的出现，以及蒸汽机的使用。第二次工业革命则是由劳动分工和流水线生产为特征，起始于 20 世纪初期。其中

最具代表性的，是 1913 年发明的用于亨利福特 ModelT 生产的移动装配线系统。1970 年代，将计算机技术引入工业生产被认为是第三次工业革命的标志。中心任务被转移到微处理器中完成—即采用硬连线继电器和接触器的经典机械控制逐步被可编程逻辑控制器所代替。整个生产过程逐步被不同的企业资源计划（ERP）应用所管理着。而第四次，也就是目前正在经历的工业革命，是由计算能力和存储成本的下降以及超快速通信网络的使用所驱动的去中心化智慧系统。

过去十年，光伏器件的生产成本已经实现了大幅度降低，促进了光伏发电全球化应用的成功，但另一方面，也使许多制造商面临巨大的成本和创新压力。大幅度降低成本的关键因素之一是单个生产线扩大到多 GW 规模后产生的规模经济效应，当然还要包括高度自动化生产。数字化被认为是未来能进一步降低生产成本的且充满前途的战略 [1]。但数字技术的具体应用是如何帮助降低生产成本并同时提高生产质量的呢？

今天光伏生产的数字化程度

在光伏组件大规模生产的初期，几乎所有环节都是手动操作的。产能接近 1000 片每小时的工艺设备的入料和出



图一：四次工业革命示意图。

电池组件

货都是由操作员完成的。但不断提高的劳工成本使得高效率和可靠自动化解决方案成为迫切需求。

今天，大部分的光伏制造工厂都实现了高度自动化。电池制造过程起始于硅片的检测和自动入料到相应的载台上。接下来的所有工艺设备都能从该载台上卸载硅片、加工硅片并再次对硅片进行装载。所使用的逻辑装置安装有射频识别标签 (RFID)，从而能够在整个生产链内实现加工批次的跟踪。加工批次的跟踪以及加工数据则是由制造执行系统 (MES) 进行收集，也即是集中收集来自设备的所有相关数据。

总的来说，目前最先进的以大规模流水线生产为特点的光伏制造工业 3.0，是由中央软件服务器紧密支持的。

生产数字化的未来

尽管光伏组件的实际生产系统是一套中央智能系统，该系统可以收集、评估和报告整个生产过程和设备数据，但人们预测在第四次工业革命期间也会出现一次大的变革。当设备数据、生产数据、质量数据和计量数据都或多或少地被存储在相同 MESs 的单个数据库里，该商业智慧将完全分布在整个生产系统上。

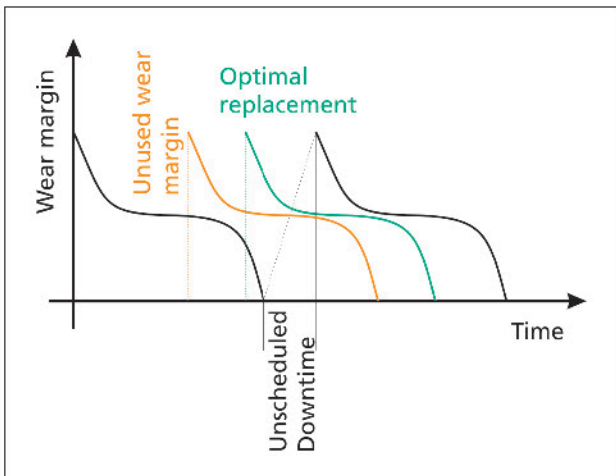
数字孪生概念

在这个新的范式中，智能化应用在不同场合上，每个场合都有特定的任务。数字孪生的概念——也称为数字影子——在其中起到重要的作用。数字孪生是实物对象的数字呈现，代表了实物对象的特性和行为。其中一个非常简单的例子是存储的 ID 数字，它代表了一个实物对象的单个例子；该对象的特性可以赋予在该 ID 上，因此数字孪生就是代表着该对象的特性。更加复杂的数字孪生还能代表对象的行为。使用者可以获取对象的特性，即使该对象暂时没有与网络连接；不仅如此，它还能预测对象在未来的特性。所使用材料的数字孪生提供材料来源和材料特性的数据，而加工设备的数字孪生则提供设备整个生命周期的必要数据。来自工程阶段的构建计划能够实现对设备核心部分的仿真和优化。不仅如此，该数据能用于虚拟现实应用，能够帮助维护：例如，虚拟现实技术创造出设备的虚拟三维图像，能够帮助完成维护任务。

工艺设备的数字孪生

工艺设备的数字孪生可以提供与该设备相关的几何与机械数据；从而能对该设备进行功能特性的仿真。设备数字孪生还可以包含（后者甚至参考）内部结构件的数字孪生：例如，一台湿法化学加工设备的数字孪生可以包含其所用循环泵的数字孪生。这能够帮助实现各种有用系统的安装启用，例如预测性维护系统。

预测性维护是一种尝试包含预防性维护和应对性维护系统两者优势的维护策略 [2]。应对性维护是使用一套系统单元直到坏掉，即当使用裕度被完全消耗掉的时候。该策略一方面要优化使用裕度，另一方面则必须接受设备的无计划停机时间。



图二：不同维护阶段的使用裕度（黑色：应对式维护；橙色：预防式维护；绿色：预测式维护）

在预防性维护策略中，根据经验值得到的计划来替换设备中的耗品，而不需要考虑单个使用条件。根据剩余使用裕度进行元件替换，可以避免无计划的设备停机。

结合上述两种策略尝试找到每个单独元件的最优替换时间点（图二）。这个可以通过使用传感器进行直接状态监控，也可以通过模型进行预测，该模型能够预测在不同使用条件下的元部件的状态。

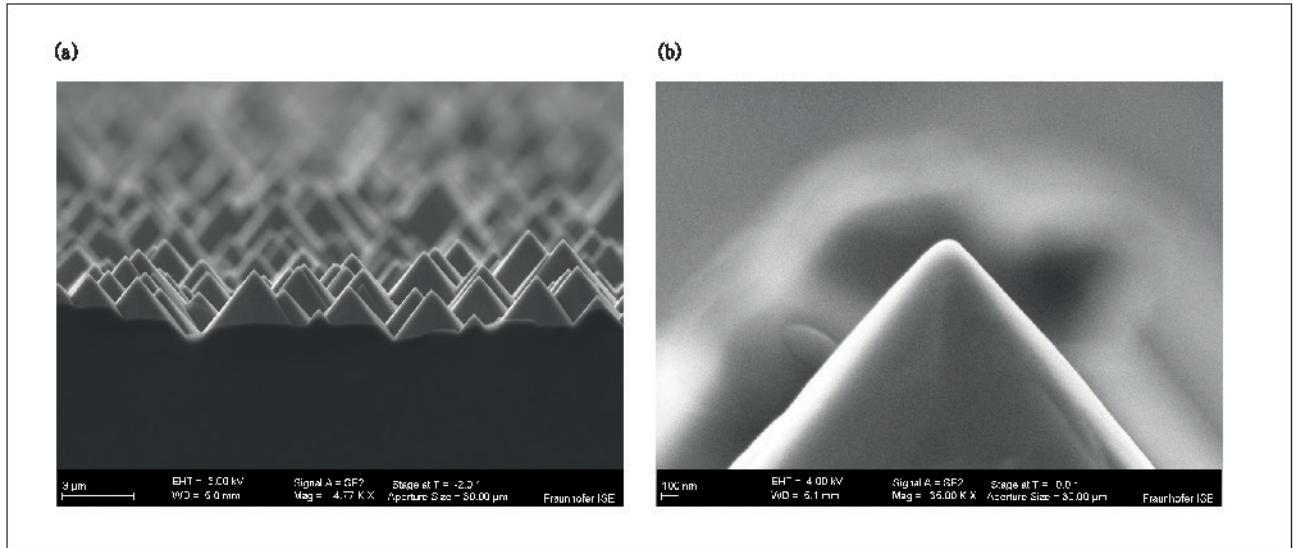
单个元部件的监控需要额外的传感器才能够预测潜在的系统故障。以 ABB 的一种智能传感器为例 [3]，它由一个盒子组成，能够安装在泵马达上，里面有震动和温度传感器。该盒子能够监控泵的转速、工作时间、叶片问题、错位、松动和泵不平衡问题，还能识别维修需求等。

额外传感器的使用能够帮助监控重要系统的健康状况；然而，它却与进一步降低成本的目标背道而驰。取而代之的是，使用模型根据使用数据来预测损耗状态的策略将成为未来重要的任务，并达到减少维修成本和无计划停机的目标。

生产过程模型化

数字孪生有助于理解和优化使用工艺设备。然而，主要的关注点是材料与设备的相互作用。这意味着工艺质量的预测必须结合来自材料和工艺设备的数字孪生信息。对于这种应用，元模型非常重要，因为它们能实现工艺条件和工艺结果之间的联系。在光伏生产中最重要参数当然是最终组件的性能数据，以及产品成本。这些元模型的使用是利用数字孪生优势的主要任务。

元模型可以使用不同的方法。因此，数字孪生应该包含对象每个部分的确切物理参数。基本物理方程将能及时预测对象在未来某个时间点以及一套充分良好运行系统的状态。因为该方法是密切根据时间计算的，因此只能用于工艺设备的早期阶段。对于产品参数的实时预测，需要先进的半经验和经验方法；特别在该领域，近年来取得了显著的进步。



图三：(a) 使用碱性刻蚀工艺在单晶硅表面制备随机金字塔结构。(b) 在完成 HF/HCl/O₃ 刻蚀后，金字塔顶端呈现圆形。

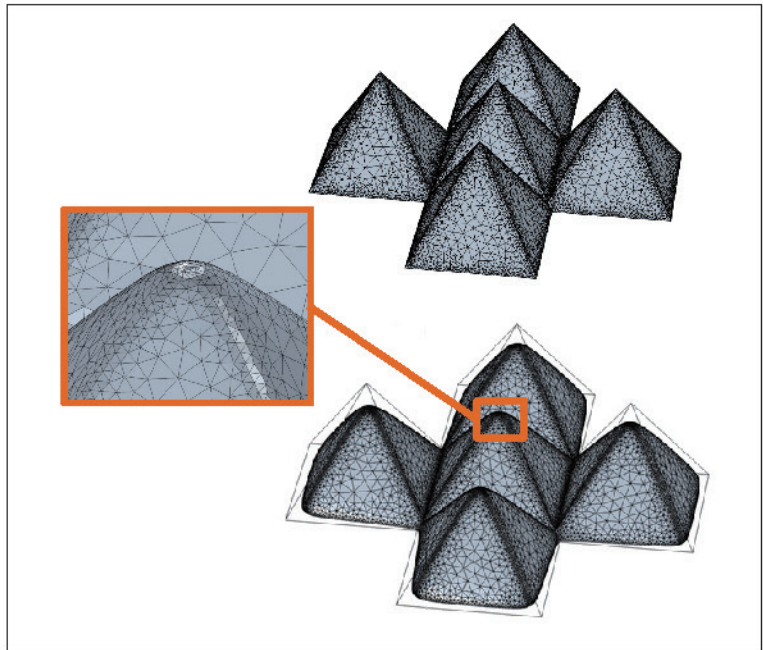
一个从头计算的工艺模型案例

未来的工艺设备将有望不断提高自主工作能力：工艺优化将由设备自身完成。为了实现这一目标，需要仿真预测工艺结果。一项有趣的工艺仿真是在臭氧清洁下进行刻蚀以及对金字塔顶尖进行圆滑处理，该工艺使用了氢氟酸 (HF) 与盐酸 (HCl) 的稀混合液对硅片进行清洗。臭氧的存在对表面清洁起到氧化作用，而 HF 则将表面 SiO₂ 迅速移走；这会带来缓慢的刻蚀过程，从而实现轻微地将金字塔顶端圆化处理 (图三)。

从文献 [4] 中了解到，这些顶部圆化工在异质结太阳能电池的生产中非常有用，因为圆顶将为表面钝化带来更好的钝化效果。进一步了解与优化特定流程环境下的工艺将有助于优化工艺的横向均匀性。因此我们对该刻蚀工艺进行了仿真。该工艺仿真的模型是依照位于硅片表面的五个金字塔建立起来的。工艺媒介的流动直接平行于金字塔底部的对角线 (图四，上图)。该仿真包括腔体内的流动仿真和循环工艺液体内稀释物的传输，以及表面反应，该反应消耗 O₃ 和 HF，并产生氟硅酸 (H₂SiF₆)。

刻蚀的过程是沿着晶格方向各向同性的；因此，金字塔顶端会受到各个方向的腐蚀，而金字塔表面则只会受到一个方向的刻蚀。从而在此过程中金字塔顶部会慢慢变成圆形 (图四，下图)。

除了金字塔顶端变成圆形这个定性的结果之外，我们还能知道定量的结果。我们可以使用上述工艺仿真来预测刻蚀速率与顶端半径受温度和体积流动的影响。刻蚀速率随着温度和



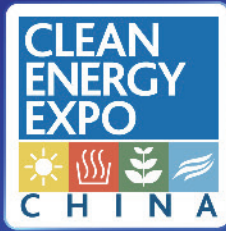
图四：基于 HF/HCl/O₃ 刻蚀工艺的金字塔顶端圆形化仿真模型 (上图) 以及仿真结果 (下图)。

流动速率的上升而上升，如图五所示。这两项参数同时上升的时候，金字塔顶端圆形会更加明显。

使用人工智能进行经验过程建模

数据密集型深度学习技术的应用在未来光伏制造中的高产量高质量管控有着非常光明的前景。弗劳恩霍夫 ISE 目前正将深度学习算法转化至光伏产业链的层面。依靠光伏技术评估中心 (PV-TEC) 及其商业合作伙伴建立的大量表征和生产数据 [5]，将有助于设计一套可靠的工具用于可预测分析和维护。

在弗劳恩霍夫 ISE 最近的研究中，成功将深度学习算法应用在多晶



2019中国国际清洁能源博览会 Clean Energy Expo China 2019

包含 INCORPORATING



2019中国清洁电力峰会
China Power Conference 2019

清洁能源 融合发展

2019年9月4日-6日
中国·杭州国际博览中心

中国光伏行业协会2019年度重要展会活动!

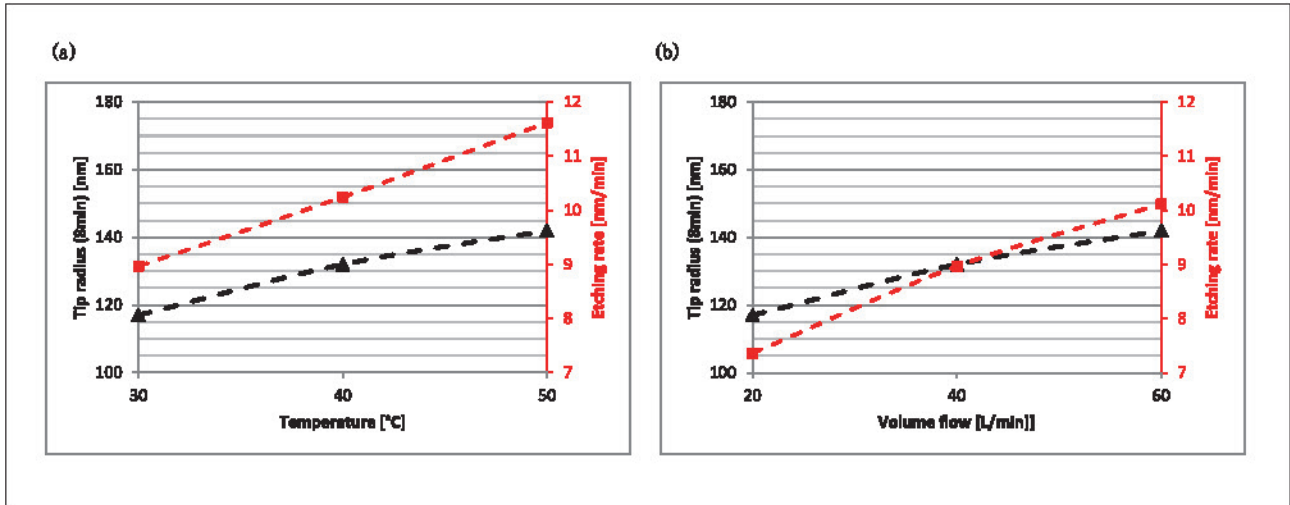


咨询电话
010-8460 0657

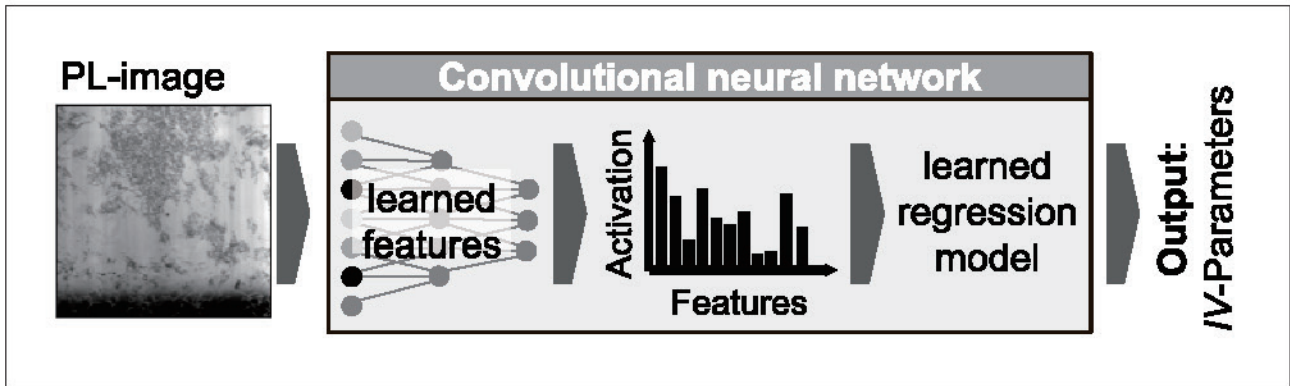


扫描关注官方微信

电池组件



图五：分别给出了金字塔顶端半径和蚀蚀速率与 (a) 温度和 (b) 体积流动的关系。



图六：卷积神经网络直接对切割硅片的 PL 图像进行评估，以预测太阳能电池的效率。

硅硅片在线质量筛检上。高准确度的预测结果使得用于错误检测的模型成为可能。尽管如此，机器学习技术就像一个“黑盒子”，能提供的物理角度比较少。为了扩大光伏行业对人工神经网络的接受度，需要通过可视化技术来帮助说服任何反对的声音。确实，能够学习数据语义的人工神经网络，可以用于缺陷分析和定位。

在弗劳恩霍夫 ISE 对学习 [6] 和可视化 [7] 的研究中可以详细了解到用于材料表征的新型机器学习和可视化技术的领先应用。

对于 mc-Si 太阳能电池，电池效率非常依赖于材料质量。与晶体相关的缺陷—例如来自坍塌的玷污、晶界和错位—能降低过剩载流子的寿命。而这些降低寿命的缺陷可以通过光致发光 (PL) 成像观察得到 [8]。

物理器件仿真 (例如 ELBA[9]) 可以用于从寿命图像中预测太阳能电池效率。尽管如此，该方法对于在加工成太阳能电池之前的切割硅片来说并不太适用：因为过剩载流子的寿命在热处理过程中会发生变化，而测试仅限于作为非钝化样品的表面复合结果。因此使用新的深度学习算法开发了一个区分 mc-Si 硅片质量差异的一个经验方法。

机器学习算法的一个新时代开始于 2012 年：即机器学习算法首次匹配到了人类层级的行为 [10]，并在 ImageNet

数据库中对数千种对象进行了分类 [11]。尽管所谓的深度学习技术已经被人们熟知几十年 (例如由 LeCun et al [12] 提出的 LeNet)，但因为受限于计算功耗和数据一直无法实现突破。如今最新的算法即快速又可靠。它们能以端到端的方式直接将多维度的输入数据—例如太阳能电池生产期间的检测数据与质量参数—例如太阳能电池效率关联起来。

成功的分档模型可以在已知的切割硅片 PL 成像和太阳能电池效率的基础上建立。目前，足够大量经验数据—包含广泛的材料种类已经被收集起来。PL 成像是在入料管控制期间进行测量的，然后采用钝化发射极和背电极电池 (PERCs) 生产工艺对这些样品进行加工 [13]。每个样品都进行电流—电压特性 (I-V) 测量，来自入料管控制和 I-V 曲线的相应数据通过对每个样品施加一个数据矩阵码进行认证识别。卷积神经网络 (CNN) 基于综合数据集学习了从 PL 图像到 I-V 数据的地图，如图六所示。

为了模型测试，定义了最复杂的数据分布：测试集只包含那些来自没有被使用的硅块 (甚至是来自制造商) 进行模型训练。模型确认显示效率预测平均绝对错误率只有 0.11%abs，开路电压 (Voc) 只有 2.0mV。图七展示了相关开路电压数据。我们将预测结果与“未知”制造商的结果

CREC | 2019

www.crecexpo.com

第十一届中国(无锡)国际新能源大会暨展览会

The 11th Chinese Renewable Energy Conference & Exhibition

2019.11.7-9 无锡太湖国际博览中心

分布式能源一站式采购平台

One-stop Purchasing Platform for Distributed Energy

风光储充综合能源解决方案

The integrated solution of Wind, Solar, Energy Storage and Charging



联系方式 Contacts

T: 0510-81827277 / 81827276 / 81820490

E: info@crecexpo.com



电池组件

进行了对比。评估结果表明了预测模型在处理来自不同晶体化工艺和原料的材料方面的普遍适用性。

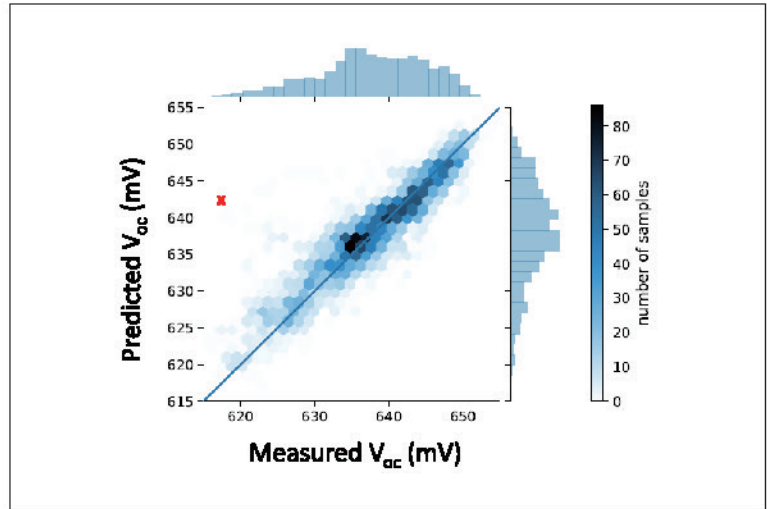
因为预测准确性高，网络模型能够用于错误检测和分析。预测结果与实测质量参数之间的差异代表了工艺出现偏差或材料质量发生变化，这是无法在 PL 成像上发现的。在这里的实例中，发现了来自一个制造商的材料存在系统性的质量高估。而对于失效样品的详细根因分析，使用了先进的表征技术，例如调制发光 (MODULUM) 成像方法 [14, 15]。

在图七中对用红色交叉高亮的数据样品进行了更加详细的分析。正如图八所描述的，MODULUM 技术揭示了其中一次预测错误与在硅锭顶部观察得到的间隙铁离子浓度增加有关。

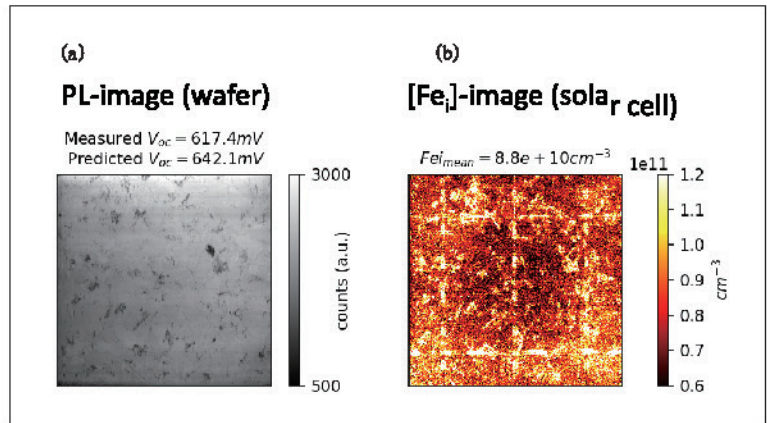
在目前正在研究的应用中，CNN 学习了硅片 2D PL 成像与太阳能电池 I-V 参数之间的直接关系。这种端到端的方法意味着不需要对模型给予专家经验。

如何确定我们是对的呢？为了回答这一点，有必要更详细了解该网络。通过将 PL 图像加入 CNN 用于预测开路电压，数据的空间分辨率在网络的不同阶段逐渐降低。数据被压缩以保留相关特性信息，如图六所示的那样。最后一层的激活可以结合以创建一个激活地图和扩大至开路电压。目前可以在激活地图中定位到降低材料质量的位置，这是在网络中已经学习过的。

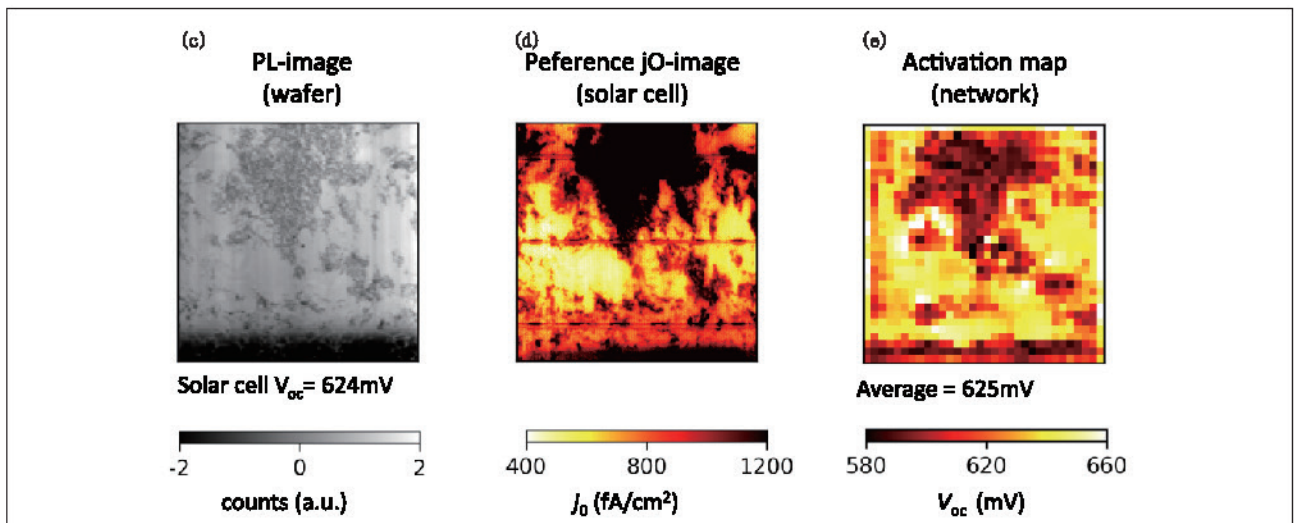
该网络学习了数据的有意义的语句表示，这与光伏技术专家的预期相符。尽管网络最终阶段的分辨率较低，但开路电压下降的区域与



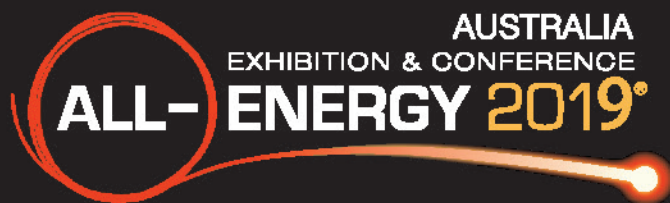
图七：基于弗劳恩霍夫 ISE 的深度学习模型预测的开路电压；红色交叉点代表偏离点，意味着需要进行更详细研究。



图八：(a) 该 PL 成像只有非常少量的结构缺陷，导致预测错误。(b) 根因分析揭示了高预测错误率的样品存在铁离子浓度高的问题。



图九：(a) 硅片的 PL 图像，(b) 暗饱和电流密度 J_0 的图像，以及 (c) 基于图 (a) PL 图像的网络模型计算的激活图。该激活图揭示了在 PL 图像上观察到的材料缺陷造成的 V_{oc} 分布，并展示了与 J_0 图像的高度相关性。625mV 的平均激活值代表了预测结果，与太阳能电池的实测值 624mV 相近。



IN PARTNERSHIP WITH



2019年10月23-24日 墨尔本会展中心

澳大利亚规模最大、覆盖面最广的

清洁能源和 可再生能源展

8,500+ 250+ 200+ 6x

2018年观众

参展商

行业发言人

分会

All-Energy Australia 2018观众人数达8571名。
通过Audited Media Association of Australia的CAB审计

免费参展与会

预注册地址：all-energy.com.au

Co-located with



Organised by



电池组件

晶体缺陷（例如来自坍塌玷污的区域和错位区域）位置相符，如图九所示。将太阳能电池的暗饱和和电流密度图像与一块切割硅片的输入 PL 图像的激活网络地图进行比较，显示了数据之间惊人的相似。

未来产品线的数据流

理想地说，自动制备金字塔结构的传统产品线属于工业 3.0 的产物。在这种产品线中，为了建立高度结构化的垂直与水平数据流，需要修改通讯系统以满足各种独立的需求—需要考虑从工厂工人到整个公司的所有组织水平。关键的商业需求需要在垂直平面完成所有生产计划和数据收集的方式满足，从而实现总体经营目标。在垂直平面，只有对满足这些垂直需求有帮助的组织和实际需求才会被满足。在生产线上数字化的程度以及数据流的复杂度主要表现在这些更高的需求和只形成有限信息价值的更低数据结构，例如严格的工艺规格和传统关键绩效指标 (KPIs)。这种典型的方法导致产品线几乎 90% 工业生成数据分散化，而且之前认为重要的数据中只有 10% 被公开。

根据工业 4.0 方法，必须收集尽可能多的数据以生成所有数据的综合池，且不知道或预筛选哪些数据是重要哪些是不重要的，因为在这个点上还不能做出决策。这些数据池意味着需要支持非常大量数据且多种数据结构，需要由现代无模式数据技术代替传统数据集中化和存储技术。现代无模式数据技术还能支持分布式数据池概念并支持动态数据检索。

广义的数据收集使得利用先进数据分析和现代数据科学技术并从数据中学习变得可能。这就是人们熟知的大数据：它使得所有数据都能被获取并从中学习。不管是简单的数据模式还是机器学习结果，都是未来产品和工艺发展的原材料，还能为在越来越敏感的生产环境下更进一步优化工艺开辟道路。这主要的核心观点是，不只是那些意义和关系已经清楚和认为有相关性的数据被收集，而是所有数据都应该被收集。

当然，需要密集的数据研究和后处理才能从大数据池中提取新的和相关的知识。一旦数据中新的关系变得明显，恰当的数据分析可以变得标准化、简单化并引入生产之中。然而，前面提到的广义商业智慧的传统需求不能被忽略，必须从一开始就引入新的概念中。

数据本身需要形式化结构从而能够自动处理并最终能够加工和演变。这类数据还将成为每个数字通信—人与人、机器与机器、或人与机器的基础。为了集中化和组织化，数据被放置在数据库中并能永久取用。为了做到这点，数据库通过数据库图表以问题的形式标出数据的形式化代表。这种典型的关系型数据库的基本特点是数据结构的标准化，这是所有应用、在数据库中数据的精确度和一致性、在数据库中所有操作的顺序以及外部应用与数据库之间的数据交换等的基础。通常，ERP 和 MES 解决方案都是基于这些方法的，并且集中在这些特性做主要支持商业过程的需求。所有这些都是传统、关系型数据库系统的优点。然而，这些优点在工业 4.0 时代却成为了束缚。首先，现代非关

系型数据库 (NoSQL) 技术不得不与现有商业智慧解决方案进行整合。

用于各种类型数字通信的不同专有接口协议种类需要巩固统一。此外，所有相关元部件都必须能与另一个部件双向智能通信。因此，开放平台通信统一体系架构 (OPC-UA [17]) 在这方面非常有前景，并已经正在成为机器—机器间通信的事实标准。与广泛使用的 SEMI PVo2 接口不同，OPC-UA 允许与多个客户端同时通信；这使得能够存取所有数据的多个应用灵活执行成为可能，并在整个产品线中提供。

讨论与展望

第四次工业革命将持续不断地改变生产技术。首先，微控制器技术的快速发展将带来应用种类的持续丰富—从智能传感器和生产设备到用于预测工艺结果的仿真模型。

基于数据密集型深度学习技术的经验方法是未来光伏制造在高产能情况下实现高质量控制的前提。弗劳恩霍夫 ISE 的先进探究领域是建模能力，而且是单单基于经验数据以及材料质量对太阳能电池工艺的影响。

其中一个对基于机器学习的材料发展加速的观点是由 Correa-Baena et al. [18] 提出的。作者们认为，必须找到可执行结果和推断物理洞察力之间平衡才能推进工程和科学目标。

据推测，当这是一个在线质量监测问题时特别真实：“白盒”模型对于许多光伏生产中的表征任务是不需要的，例如裂纹检测或评估结构强度，只要有足够可用的数据。尽管如此，高预测能力和物理推测并不是互斥的，能够通过发展理论指导数据分析进行处理。

数字化以及设备智能化，结合高度自动化未来 GW 规模生产链，将代表光伏制造的未来，为数年之后的设备制造商提供有趣的展望和技术差异化。

参考文献

- [1] Roth, T. (ed.) 2016, *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Heidelberg: Springer Verlag.
- [2] Bateman, J.F. 1995, "Preventive maintenance: stand alone manufacturing compared with cellular manufacturing", *Ind. Manag.*, Vol. 37, No. 1, pp. 19–21.
- [3] ABB 2018, "ABB Ability Smart Sensor for pumps" [<https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3AUA0000230035&Language-Code=en&DocumentPartId=&Action=Launch>].
- [4] Moldovan, A. et al. 2016, "Ozone-based surface conditioning focused on an improved passivation for silicon heterojunction solar cells", *Energy Procedia*, Vol. 92, pp. 374–380.
- [5] Biro, D. et al. 2009, "PV-TEC: Retrospection to the three years of operation of a production oriented research platform", *Proc. 24th EU PVSEC*, Hamburg, Germany, pp. 1901–1905.

电池组件

- [6] Demant, M. et al. 2018, "Learning quality rating of multicrystalline Si-wafers via convolutional regression networks", *IEEE, J. Photovolt.* [submitted].
- [7] Demant, M. et al. 2018, "Visualizing material quality and similarity of mc-Si wafers learned by convolutional regression networks", *IEEE J. Photovolt.* [submitted].
- [8] Trupke, T. et al. 2006, "Photoluminescence imaging of silicon wafers", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 89, No. 4, p. 44107.
- [9] Schubert, M.C. et al. 2013, "Impact of impurities from crucible and coating on mc-silicon quality –The example of iron and cobalt", *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 3, No. 4, pp. 1250–1258.
- [10] Krizhevsky, A., Sutskever, I. & Hinton, G.E. 2012, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks", *Proc. 26th Ann. Conf. Neural Info. Proc. Syst.*, Lake Tahoe, Nevada, USA, pp. 1106–1114.
- [11] Russakovsky, O. et al. 2015, "ImageNet large scale visual recognition challenge", *Int. J. Comput. Vis.*, Vol. 115, No. 3, pp. 211–252.
- [12] LeCun, Y. et al. 1998, "Gradient-based learning applied to document recognition", *Proc. IEEE*, Vol. 86, No. 11, pp. 2278–2324.
- [13] Werner, S. et al. 2017, "Key aspects for fabrication of p-type Cz-Si PERC solar cells exceeding 22% conversion efficiency", *Proc. 33rd EU PVSEC*, Amsterdam, The Netherlands.
- [14] Fraunhofer ISE 2018, "MODULUM" [available online: https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/in-fomaterial/brochures/photovoltaik/16_en_ISE_Flyer_modulum.pdf].
- [15] Schubert, M.C., Habenicht, H. & Warta, W. 2011, "Imaging of metastable defects in silicon", *IEEE J. Photovolt.*, Vol. 1, No. 2, pp. 168–173.
- [16] Glatthaar, M. et al. 2010, "Evaluating luminescence based voltage images of silicon solar cells", *J. Appl. Phys.*, Vol. 108, No. 1, 2010.
- [17] OPC Foundation [<https://opcfoundation.org/>].
- [18] Correa-Bacna, J.P. et al. 2018, "Accelerating materials development via automation, machine learning, and high-performance computing", *Joule*, Vol. 2, pp. 1410–1420.

作者介绍



Martin Zimmer 在弗劳恩霍夫 ISE 领导湿法化学工艺技术部。在海德堡完成化学专业的学习后，他凭借在工业层面制绒工艺的研究成果获得弗莱堡大学与弗劳恩霍夫 ISE 合作颁发的博士学位。他目前的研究领域为基于工业 4.0 概念的新湿法化学生产技术。



Matthias Demant 在弗劳恩霍夫 ISE 从事可再生能源领域的材料表征和工艺控制的机器学习技术。他于 2016 年获得弗莱堡大学工程学博士学位。随后于 2017 年加入加州伯克利大学国际计算机科学研究所视觉小组担任博士后研究员。从 2019 年开始他便在弗劳恩霍夫 ISE 带领一个团队从事图像处理与机器学习研究。



Norbert Bergmann 在弗莱堡学习工业工程，并于 2008 年加入弗劳恩霍夫 ISE 完成其题目为数据管理与分析的论文。从 2010 年他便开始为光伏技术演进中心 (PV-TEC) 试产线开发数字化工艺，并一直从事制造执行系统和自动化数据收集领域的工作。



Stefan Rein 长期担任弗劳恩霍夫 ISE 光伏事业部质量保证、表征和仿真部门的主任。他曾在弗莱堡大学攻读物理学，并于 1998 年取得毕业证。随后于 2004 年取得康斯坦茨大学博士学位，他在博士期间从事硅缺陷表征寿命光谱的研究，之后便一直在弗劳恩霍夫 ISE 的 PV-TEC 工作。他在弗劳恩霍夫 ISE 的研究工作主要为在线计量、产品控制、机器学习、太阳能电池仿真和新硅材料。



Jochen Rentsch 是弗劳恩霍夫 ISE 表面与界面部门之产品技术带头人。他曾在德国不伦瑞克理工大学攻读物理学，并于 2002 年取得毕业证。随后 2005 年他又取得弗莱堡大学的物理学博士学位。他在弗劳恩霍夫 ISE 主要从事背钝化太阳能电池和干湿法与干法化学工艺技术研究，以及协调电池技术转化项目。



Ralf Preu 是弗劳恩霍夫 ISE 光伏（产品技术）部门的主任，并同时在弗莱堡大学担任光伏专业的教学工作。他曾在弗莱堡大学和多伦多大学学习过物理学，在德国哈根大学学习过经济学，并取得过电气工程的博士学位。他于 1993 年加入弗劳恩霍夫 ISE 并在光伏的不同领域工作过，包括系统监控、硅太阳能电池和组件技术、表征和仿真。他的主要研究领域是先进硅太阳能电池技术及其向工业生产的技术转化。

查询

Email: martin.zimmer@ise.fraunhofer.de

中国储能：释放万亿级潜力市场，企业还有多远的路要走？

文 / 肖蓓 

2018年，中国电网侧储能应用规模爆发，将中国储能市场送入“GW/GWh”时代。

据中关村储能产业技术联盟(CNESA)不完全统计，2018年中国累计投运储能项目规模为1018.5MW/2912.3MWh，是2017年累计总规模的2.6倍。鉴于去年国内储能应用场景中，“电网侧”和“用户侧”均有较大规模的释放，2018年，被行业视为储能发展的元年。

“准确来说，2018年只能算中国的储能发展元年，在海外，储能已经发展久矣。”日前，沃太能源南通有限公司总经理王珺在TÜV莱茵举办“质胜中国”光伏盛典之“莱茵大咖谈”交流会上说到。

王珺带领的沃太能源在海外开展储能业务已经多年，是一家专注做储能系统解决方案的公司，最初做户用储能，三年前进入工商业储能领域，两年前开始做大型储能项目，算是储能行业的“老兵”了。

沃太能源此前的主要市场都在海外，对于去年国内储能行业的突然“发热”，王珺虽表现出期待，但更多的看法是要理性对待。

王珺表示：“在欧美国家，储能已经大量参与调频、调峰等电力市场辅助服务，但国内储能产业还受困于无清晰政策支持、价格机制缺失、商业模式单一等方面的难题，主要的发展也体现在示范应用项目上，储能项目投资成本偏高，发展比较缓慢。”

观察2018年中国储能行业的提速发展，会发现其发展与电力改革表现出惊人的关联性，当前中国推动的储能应用更多的是在电网侧，而电网侧储能项目大多引入的第三方主体为电网系统内企业，并由他们作为项目投资方负责项目整体建设和运营。

“这与海外情况不一样，国外以户用、商用投资主体居多，国内以国有大型企业作为投资主体，这可能比一般的

户用和商用主体更有实力，在电网公司的推动下，储能在电网侧将实现快速应用，从而加快整个国内储能产业的发展。”TÜV莱茵大中华区太阳能服务光伏电子电气总经理李卫春对储能行业发展保持着密切关注。

李卫春认为，中国正处于电力市场改革的起步阶段，电网公司已经开始关注储能的多重价值实现，电网侧储能项目的投运有助于探索和明确储能的属性，倒逼储能各类管理与价格机制的建立和完善，使储能的应用与电力市场化应用高度融合。

当前，在没有政策补贴激励的情况下，储能正沿着市场化的方向摸索前行。大多数人认为，2019年储能行业将保持良好的发展态势。

“随着储能技术在发电侧、电网侧、用户侧、备用电源、综合能源服务、智能交通等细分市场不断深入应用，会有越来越多的社会资本进入储能领域，未来具备向万亿级别市场拓展的潜力。所以对于进入储能的企业来讲，机会都很大。现阶段发展储能重中之重是保证安全和控制风险，作为一个新兴的技术应用和市场，安全影响到未来发展和行业命运。”李卫春提到。

光伏拥抱储能，谁都可以吗？

储能对于新能源消纳、微电网、电动汽车和电网调频等领域具有重要意义，储能良好的发展潜力与趋势受到了光伏企业的注意，尤其在2018年531政策发布后，一批光伏制造商将业务触角延伸到了储能领域。

然而半年过去，取得进展和收获的公司屈指可数。

Taoke Energy是2018年进入储能领域的公司之一，他们选择与宁德时代合作，一起开拓日本市场，此前公司主营业务为光伏智能监控系统。

Taoke总经理陆剑洲对此表示：“Taoke这个时候发展



终端应用

储能业务，主要是因为我们的监控产品在日本市场已经取得了认可，我们希望在未来能够把 Taoke 的生产管理以及质量控制这一套体系应用到储能上，给市场提供更高品质的产品。

当然，我们也看到很多逆变器公司转入储能，其实可以参考当年光伏逆变器的发展轨迹，最初光伏逆变器走向海外的时候，有很多企业倒下了，也有一些企业做起来。这里面最关键的一点是质量，在海外市场，质量出了问题而售后跟不上，这是一个大问题。”

陆剑洲建议光伏企业进入储能行业前要先思考自身的定位，要做什么样的企业，这样才能够把它做好。

他说：“相对光伏，储能领域更广，企业不能全部都做，要给自己一个清晰定位，到底要做好哪一块。目前国内储能还处在一个摸索阶段，各种应用在蓬勃发展，各种模式也在不断探索中，很多都还没有定型，企业可以将它作为副业不断进行培育，等到市场真正释放时，一定会有所收获。”

相比 Taoke，宁波锦浪新能源科技股份有限公司涉足储能较早，对储能行业的发展有更多体会。锦浪科技于 3 月刚刚完成深交所挂牌上市，主营业务组串式逆变器，储能方面目前以户用储能居多，主要市场分布在澳大利亚和欧洲。

锦浪科技市场总监陆荷峰在交流会上表示：“国际上成熟的光伏市场，储能也发展的比较好，所以现在大家的储能市场主力都在海外。我觉得国内百兆瓦级的储能跟以前的光伏一样，有一个类似的产业周期，在慢慢发展，但还没成熟。任何一个产业都需要盈利，就商业与居民电价来看，我个人认为中国的储能将会是商用先发展起来。”

据了解，目前安装于工商业用户端的储能系统已经逐渐冒头，有成为我国用户侧储能主要形式的趋势，它既可以与光伏系统联合使用，又可以独立存在，主要应用于电价管理，帮助用户降低电量电价和容量电价。

对于国内储能市场，锦浪科技也做了一些前期的准备工作与布局，无论是产品端还是技术端。陆荷峰认为，企业在海外市场开拓储能业务的经验，对国内储能的发展有良好的借鉴作用。

她表示：“比如今年国内光伏可能要实施的竞价，其实欧洲很早就有了，通过竞价来确定招标容量、补贴额度，获得最优项目开发方案。还有产品质量，从逆变器技术端来看，海外市场对逆变器的可靠性是非常看重的，储能端

对安全性要求也很高，这都是国内值得借鉴的。”

台达电子企业管理（上海）有限公司杭州分公司光伏产品开发部经理朱选才非常赞同陆荷峰的观点，他表示“海外客户很看重可靠性，会要求做很多可靠性验证。不管是光伏逆变器还是储能，成本回收期在 5-10 年。一个逆变器产品，如果失效率很高，那么收回成本基本上是不太现实的问题。国外人工成本很高，逆变器失效以后，罚金也高，可能你换一台逆变器，但十台的利润就搭进去了。”

除了产品质量，他还提到标准，朱选才说：“海外市场对标准的追求到了极致的程度，标准总是不停出不停改，而国内对标准的价值认识还处在非常低的阶段，这也是国内企业需要学习的地方。”

长期开拓海外市场的企业都对标准有更深入的认识，朱选才的观点受到了大家的一致认可。而对于现在很多光伏企业转型储能的做法，在座企业嘉宾提的更多的建议是要理性。

作为第三方机构，李卫春提出企业还应重视安全问题，他表示：“目前光伏和储能的差别，简单概括有两个方面，一是两者安全系数的风险和程度有差别，第二是产业的发展成熟度不一样。光伏已经发展 30 多年了，而储能还只是一个新的技术，是一个正在兴起的市场，由于发展时间短，眼下暴露的问题还没那么多。相对光伏产业，储能的安全系数管控的风险更大，而当前的技术路线还不是最终的，即便是电化学储能也一样，所以我觉得发展储能最重要的一点是安全，怎么把控风险？这是一个很大的问题，将涉及到未来企业的售后服务等，需要企业做更多的思考。”

公司

阳光电源是中国光伏逆变器企业中储能事业走在前列的公司，2018 年该公司储能业务实现营收 3.8 亿元，同比增长近 5 倍，2019 年储能仍将是其重要的业绩增长点。

阳光电源称，公司拥有全球领先的新能源电源变换技术，并依托全球一流的锂电池技术，可提供单机功率 5~2500kW 的储能核心设备，随着储能成本的持续降低，公司储能业务仍将继续快速增长。

项目

- 1、西藏尼玛光伏 9MW、储能 9MW/30MWh 光储柴微电网项目
- 2、西藏双湖 7MW、23.5MWh 光储柴微电网项目



Advertisers & Web Index

Advertiser	Web Address	PAGE No.
3D Micromac	www.3d-micromac.com	P.43
All Energy Australia	www.all-energy.com.au	P.71
AsiaSolar	www.asiasolar.net	P.63
Clean Energy Expo China	www.ceec-cpc.com	P.67
CREC	www.crecexpo.com	P.69
DK Electronic Materials, Inc	www.dkem.cn	Content page 2
Energy Taiwan	www.energytaiwan.com.tw	P45
EU PVSEC	www.photovoltaiic-exhibition.com	P.59
Henkel	www.henkel-adhesives.com/electronics	P.33
Heraeus	www.heraeus-photovoltaics.cn	Inside Front Cover
INDEOtec	www.indeotec.com	P.17
Intersolar Mexico	www.intersolar.mx	P.13
KIPP & ZONEN	www.kippzonen.com/DustIQ	Content page 1
Meyer Burger	www.meyerburger.com/cn	Back Cover
PV ModuleTech Conference	moduletech.solarenergyevents.com	P.47
STAUBLI	www.staubli.com/electrical	P.51
RENA Technologies GmbH	www.rena.com	P.19
Risen Energy Co., Ltd	www.risenenergy.com	P.39
SENTECH	www.sentech.com	P.11
SINGULUS	www.singulus.de	P.23
SNEC	www.snec.org.cn	Inside Back Cover
Solar Power International	www.smartenergyweek.com	P.55
VON ARDENNE	www.vonardenne.biz	P.21

Welcome to subscribe!





www.snec.org.cn

第十四届(2020)国际太阳能光伏与智慧能源(上海)展览会暨论坛

2020再相会

2020年5月25-27日

上海新国际博览中心（浦东新区龙阳路2345号）



关注SNEC微信



Follow us at WeChat



◎主办单位：亚洲光伏产业协会 / 上海新能源行业协会

◎承办单位：上海伏勒密展览服务有限公司

地址：上海市徐汇区宜山路425号光启城办公楼905-907室 邮编：200235

电话：+86-21-33685117 / 33683167

◎For exhibition: info@snec.org.cn For conference: office@snec.org.cn



MEYER BURGER

SNEC, 上海
N3馆, 510展位
6月4-6日



完美的PERx平台，为更高转换率做好准备

梅耶博格将PERx技术用于大规模生产，是钝化沉积设备的市场领导者，全球装机量达140GW。

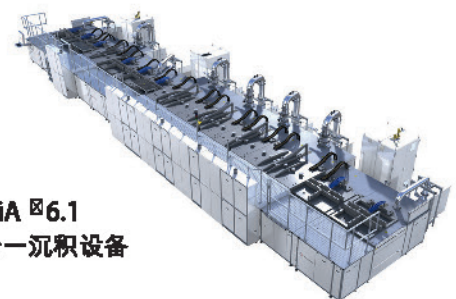
FABiA®是目前唯一将所有PERx沉积工序整合至一体的设备。

6,350 wph的产能及优化的占地空间，使FABiA®拥有了极低的CAPEX。

FABiA®还集成了工艺设计，是升级至钝化接触 (TOPCon) 技术的完美选择，
电池片效率>23%。

梅耶博格实力打造钝化技术

meyerburger.com



FABiA[®] 6.1
三合一沉积设备