

2019 年高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）科学技术进步奖

提名公示

一、项目名称：高效晶硅太阳能电池低成本制造关键技术及装备

二、推荐单位（专家）：江苏大学

三、项目简介

太阳能电池产业已成为我国具有国际竞争力的战略新兴产业。但本项目实施前，全球电池技术发展进入瓶颈期，电池效率难以突破 18%，先进光伏技术和装备被西方国家垄断。我国将“高效晶硅太阳能电池生产技术”定为优先发展的产业技术。国务院发布《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》（国发〔2013〕24 号）指出：要“加快提高技术和装备水平，重点支持高效率晶硅电池和全自动丝网印刷机等关键技术和装备的研发和产业化”。

高效晶硅电池技术及装备研发涉及机械、物理、化学等多学科，技术难度大，尤其是电池表面微纳结构、表界面钝化、界面接触设计与制造等难题亟待突破，以解决制约电池效率提升的光吸收、载流子传输和收集之间的矛盾。在科技部和工信部等国家重大科技项目和企业支持下，产学研用联合攻关，突破瓶颈，成功研制出具有完整自主知识产权、国际领先的高效晶硅电池低成本制造产业化成套技术和装备，实现国产化。

本项目获授权发明专利 44 件（国际 2 件）；形成标准 28 件（国际标准 21 件）；发表论文 54 篇；核心专利获中国专利银奖 1 项，中国专利优秀奖 1 项。建立了创新平台和人才培养体系。

整体技术 2014 年集成应用，创建了首条全球领先的关键设备 100% 国产化生产线，丝网印刷和制绒设备替代进口，市场占有率超 80%，连续三年全球电池组件销量第一。获全球可再生能源领域领先技术蓝天奖、中国工业大奖。经国际权威机构认证，18 次创造电池效率和组件输出功率世界纪录，被世界太阳能之父 Martin Green 教授高度评价并载入电池效率世界纪录路线图，是世界光伏技术发展历程中的里程碑，引领国际光伏产业技术。鉴定意见：“技术达到国际先进水平，应用该技术制造的产品光电转化效率达到国际领先水平”。近三年新增利

润 17.48 亿元、税收 12.22 亿元，创收外汇 25.92 亿美元。项目的实施推动组件价格下降 94%，光伏度电成本下降 90%，为实现平价上网做出重大贡献。

四、主要完成单位及创新推广贡献

(1) 江苏大学

主持该项目的技术方案设计、技术路线的设计和技术思想指导。在晶硅炉、制绒设备、丝网印刷设备等方面开展了深入的理论模拟研究。主要负责指导装备的开发、晶硅生长、微纳结构、界面钝化、限制掺杂、电池性能的理论模拟以及工艺优化。为光伏行业培养了专门技术人才。充分发挥产学研合作优势，将实验室研究和产线技术开发有机结合，成功实现了高效晶硅电池关键装备和技术的突破。

(2) 常州大学

主要负责指导微纳结构、界面钝化、限制掺杂、电池性能的理论模拟、电池性能测试分析以及工艺优化。利用江苏省光伏科学与工程协同创新中心以及服务国家特色需求博士人才培养项目（常州大学和天合光能有限公司合作培养服务光伏产业的博士研究生），充分发挥产学研合作优势，将实验室研究和产线技术开发有机结合，成功实现了高效晶硅电池关键技术的突破。

(3) 天合光能股份有限公司

充分发挥产学研合作的优势，对高效晶硅电池关键技术进行了开创性研究，将相关技术导入到生产系统中，制定了技术标准。使得高效晶硅电池及其组件成功推广应用，产品销往国内外市场。为光伏平价上网起到了有力的推动作用。

(4) 苏州迈为科技股份有限公司

充分发挥产学研合作的优势，开发了太阳能丝网印刷设备，并与光伏行业巨头公司建立了长期合作关系。经过多年的技术积累与市场验证，全球市场份额已跃居首位。不但打破了该设备领域进口垄断的格局，还远销新加坡、马来西亚、泰国、越南、印度等海外市场，实现了少有的高端装备的对外出口，树立了优质的民族品牌。

(5) 常州捷佳创精密机械有限公司

充分发挥产学研合作的优势，研制开发全自动单晶制绒酸洗综合设备、链式制绒设备、全自动去磷玻璃清洗设备等，打破了国外垄断，在国内光伏设备行业

处于重要地位，为太阳能电池生产设备的国产化贡献了一份力量。

五、推广应用情况

项目整体技术自 2014 年在天合光能股份有限公司、苏州迈为科技股份有限公司、常州捷佳创精密机械有限公司应用实现产业化。建成了全球首条高效电池和组件生产线，国际上率先产业化，实现装备国产化。通过产学研合作，光伏行业龙头公司强强合作，借助我国光伏行业全球领先的优势地位，积极创新研发，在设备性能方面全面超过进口设备，将年产能 25MW 的标准线提升到 250MW；不但打破了光伏关键设备领域进口垄断的格局，还远销新加坡、马来西亚、泰国、越南、印度等海外市场，实现了少有的高端装备的对外出口，树立了优质的民族品牌。全球市场份额已跃居首位。设备国产化的成功，使国产设备价格只有国外产品的 1/3—1/2，降低了产业投资成本，带动的零部件供应商形成产业聚集，达到规模效应，推动了高端装备产业发展。每年节约大量外汇，带动和解决了部分高端专业人才的就业问题。无缝连接整线自动化；更高的光电转换效率等，助推光伏发电提前实现了“平价上网”。

六、曾获科技奖励情况

获奖项目名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖部门（单位）
一种高效低价晶体硅太阳能电池的制备方法 (ZL201210030304.3)	2018.12	中国专利奖	银奖	国家知识产权局
常州天合光能有限公司	2018.12	中国工业大奖	/	中国工业经济联合会
全背电极太阳能电池的生产方法 (ZL201210141633.5)	2016.12	中国专利奖	优秀奖	国家知识产权局
常州天合光能有限公司	2018.01	江苏省科学技术奖	企业创新奖	江苏省人民政府
常州天合光能有限公司	2014.07	全球可再生能源领域最具投资价值的领先技术	蓝天奖	联合国工业发展组织
全背电极太阳能电池的生产方法 (ZL201210141633.5)	2015.12	江苏省专利奖	金奖	江苏省知识产权局

七、主要知识产权目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	一种正方形硅纳米孔阵列的制备方法	中国	ZL201210322845.3	2012.09.04	1643461	江苏大学	丁建宁, 张福庆, 袁宁一, 程广贵, 王秀琴, 凌智勇, 张忠强	专利权有效
发明专利	一种高效低价晶体硅太阳能电池的制备方法	中国	ZL201210030304.3	2014.07.23	1448691	常州大学	丁建宁, 袁宁一, 陈双林	专利权有效
发明专利	一种晶体硅片的制绒设备及制绒工艺方法	中国	ZL201310369031.X	2013.08.22	1873606	常州捷佳创精密机械有限公司	邓建华, 左国军	专利权有效
发明专利	一种势垒型硅基薄膜半叠层太阳能电池	中国	ZL201110065836.6	2013.05.08	1195272	江苏大学	丁建宁, 卢超, 郭立强, 祝俊, 程广贵, 林爱国	专利权有效
发明专利	一种异质结太阳能电池及其制备方法	中国	ZL201010213233.1	2012.03.28	926310	常州大学	丁建宁, 袁宁一	专利权有效
发明专利	一种太阳能电池浮动结背面钝化结构及其方法	中国	ZL201110111775.2	2013.09.04	1264631	常州天合光能有限公司	邓伟伟, 高纪凡, 冯志强, 丁建宁	专利权有效
发明专利	全背电极太阳能电池的生产方法	中国	ZL201210141633.5	2015.03.11	1601743	常州天合光能有限公司	张学玲	专利权有效

发明专利	冶金级多晶硅太阳能电池磷扩散工艺	中国	ZL200910029711.0	2011.03.30	753403	常州天合光能有限公司	盛健, 高纪凡, 丁建宁	专利权有效
发明专利	一种太阳能电池片的高效印刷方法及其装置	中国	ZL201410563453.5	2017.02.08	2370914	苏州迈为科技股份有限公司	周剑, 施政辉, 连建军, 李强, 陆瑜	专利权有效
发明专利	一种多晶硅铸锭炉氩气导流系统及其导流方法	中国	ZL201310505537.9	2016.04.27	2042499	由江苏大学转移泰州市海创新能源研究院有限公司	苏文佳, 左然	专利权已转让

八、主要完成人情况表

姓名	排名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
丁建宁	第一	教授	江苏大学	项目负责人。提出适用于高效晶硅电池的易钝化双面微纳结构制造、薄膜界面钝化、限制掺杂的技术思路, 对本项目技术创新点 1-4 做出了重要贡献。获得授权发明专利 12 件。发表了 36 篇论文, 其中第一作者或通讯作者发表 SCI 论文 18 篇, EI 论文 6 篇。创建了江苏省太阳能电池材料与技术重点实验室、江苏省光伏科学与技术国家重点实验室(培育建设)、江苏省光伏科学与工程协同创新中心。为光伏行业培养了专门技术人才, 包括参与本项目的程广贵、祁宏山、王秀琴、叶枫、盛健等。带领项目组成员, 突破了关键技术难点, 推动了高效晶硅电池的推广应用。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 60%。
高纪凡	第二	高级工程师	天合光能股份有限公司	负责产业化工艺方案制定和项目的产业化实施, 扩大了国内外市场占有率, 推动晶硅电池产业进入“高效晶硅电池时代”, 为光伏平价上网做出了一定的贡献。对技术创新点 2、3、4 有重要贡献。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 60%。
袁宁一	第三	教授	常州大学	项目技术骨干, 主要负责晶硅电池的光学利用和界面复合优化的技术方案设计、多晶硅成型、微纳结构光学性能、界面钝化的研究。对技术创新点 1、2、3 有重要贡献。获得授权发明专利 9 件, 发表论文 32 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 60%。

程广贵	第四	教授	江苏大学	项目技术骨干，主要参与了项目技术方案的研究，提出了微纳结构的制造方法和工艺路线，对技术创新点 1、2 有贡献。获得授权发明专利 2 件，发表论文 10 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 50%。
周 剑	第五	/	苏州迈为科技股份有限公司	主要负责丝网印刷设备的开发，研制出的高效晶硅丝网印刷工艺和设备，并实现产业化。对技术创新点 1 做出重要贡献。研发的丝网印刷装备各项技术指标国内领先，具有整线自动化、高产能、高光电转换效率等特性，市场占有率达到 80%，在设备性能方面全面超过进口设备。获得授权发明专利 4 件。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 70%。
左国军	第六	/	常州捷佳创精密机械有限公司	主要负责清洗制绒设备的开发和产业化，对技术创新点 1 做出重要贡献。自主研制开发全自动单晶硅制绒酸洗综合设备、链式制绒设备、全自动去磷玻璃清洗设备等，在国内光伏设备行业处于重要地位。获得授权发明专利 4 件。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 60%。
张学玲	第七	工程师	天合光能股份有限公司	项目技术骨干，提出了全背极太阳能电池的生产技术路线，主要参与高效晶硅产线技术实施与电池工艺优化工作，对规模化生产应用做出了重要贡献。对技术创新点 2、3 做出了重大贡献，获得授权发明专利 2 件，发表论文 8 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 70%。
左 然	第八	教授	江苏大学	主要负责单晶硅和多晶硅炉的设计和理论模拟，并指导产业化制造。对技术创新点 4 做了重大贡献。获得授权发明专利 2 件，发表论文 10 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 30%。
盛 健	第九	/	天合光能股份有限公司	项目主要技术骨干，主要参与绒面制备技术、选择性发射极技术，先进金属化制造技术的研发，并完成面向产线技术转移。对技术创新点 1、2、3 做出重要贡献。获得授权发明专利 4 件，发明论文 2 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 70%。
王秀琴	第十	讲师	常州大学	项目技术骨干，参与了界面薄膜钝化的工艺方案设计，负责钝化薄膜的工艺优化，实验数据分析。对技术创新点 1、2 有贡献。获得授权发明专利 3 件，发表论文 8 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 70%。
叶 枫	十一	工程师	天合光能股份有限公司	项目技术骨干，主要参与开发大面积可量产化单多晶高效 PERC(钝化发射极背面局部接触)电池，对技术创新点 1、2、3 做出重要贡献。发表论文 5 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 70%。

祁宏山	十二	工程师	天合光能股份有限公司	项目技术骨干人员，对创新点 1 和 3 做成了贡献，获得授权发明专利 2 件。为实现项目技术的国产化起到关键作用，并对公司的降本增效做出积极贡献。
苏文佳	十三	副教授	江苏大学	参与单晶硅和多晶硅炉的设计和理论模拟，获得授权发明专利 2 件，发表论文 10 篇。投入该项技术研究工作量占本人工作量的 30%。