

# 技术发明奖公示

项目名称	高纯硅材料载能束冶金提纯技术及应用
推荐单位	大连理工大学
项目简介	<p>高纯硅材料是太阳能光伏产业的核心基础材料，是国家最重要的高科技产业之一，我国已成为全球最大的光伏材料、电池、组件生产和应用国。2018 年我国光伏产业年产值超过 5000 亿元，高纯硅（6N 级）的用量达到 45 万吨。高纯硅是通过化学法或冶金法提纯工业硅获得的，其中，硅中杂质按物理化学性质可分为三类：氧化性杂质（硼）、分凝性杂质（金属）和蒸发性杂质（磷、氧、氮），目前，化学法提纯手段无法做到硅中杂质的分类去除，严重制约了我国高纯硅材料产业的发展和综合利用，因此，发展高纯硅材料冶金提纯新技术对国民经济、科技、国防意义重大。</p> <p>在国家科技支撑计划、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金云南联合基金等支持下，项目在国际上首次提出“硅中杂质基于载能束冶金技术的分类去除”新思路，发明了载能束冶金提纯多晶硅材料的系列技术。其主要创新点如下：</p> <p>（1）针对硅中杂质硼的氧化特性，发明了造渣精炼除硼技术，揭示了硼杂质在硅、渣中的扩散、反应、分离及演变规律，系统阐述了硼在硅、渣中的“界面反应热动力学”过程。基于旋转动力场的技术手段，突破了低浓度硼杂质反应分离过程中低表面积/体积值（A/V 值）的限制，将多晶硅中的硼杂质的浓度降低到 0.1 ppmw 以下。</p> <p>（2）构建了硅真空精炼过程中杂质“扩散传质-挥发去除”的全过程模型，明确了杂质挥发过程的迁移路径，利用电磁辅助强化精炼提高杂质的蒸发驱动力。揭示了晶体形貌对杂质分凝和去除的影响规律，提出了金属杂质在固液界面前沿糊状区内的“短路扩散”机制，通过温度梯度调控技术抑制糊状区形成，大幅提高金属杂质去除率。在此基础上，利用杂质在气液界面蒸发和固液界面分凝的耦合作用，突破了该类杂质元素一次定向凝固无法去除到目标值的技术瓶颈，可将总金属含量降低到 0.1ppmw 以下。</p> <p>（3）发明了电子束精炼去除硅中蒸发性杂质技术，建立了多晶硅熔炼过程中蒸发性杂质在硅液相-气液界面-气相传输的全域控制模型，阐明了蒸发性杂质去除速率的调控机制。首创了“电子束动态熔炼”方法，突破了熔体内部杂质扩散能力不足的难题，使电子束去除杂质的效率提高 40%以上，将 P 含量去除到 0.01ppmw 以下、O 含量去除到 0.05ppmw 以下。</p> <p>项目完成单位自 2007 年开始进行高纯硅材料载能束冶金提纯研究，2012 年在山东、江苏、云南等地区进行技术产业化，产品获得了江苏协鑫硅材料有限公司、扬州星火太阳能科技有限公司等国内外企业的认可。近三年，已累计实现新增销售收入 7 亿余元，新增利润 4300 余万。</p> <p>围绕该技术累计授权专利 56 项，其中发明专利 45 项，发表 SCI 论文 200 余篇，出版专著 3 本，获得大连市技术发明一等奖、青岛市科技进步一等奖等奖励。该技术实现了用冶金方式对硅中杂质提纯的全覆盖，建立了硅材料载能束冶金制造理论及技术体系，实现了高纯硅材料的低成本制备。该技术已成为我国高纯多晶硅冶金制造领域的关</p>

键集成技术，具有极其广阔的技术发展及市场应用前景，潜在市场规模达到数百亿。								
推广应用情况		<p>项目完成单位自 2010 年起与宁夏发电集团开展技术合作，共同开发出了冶金提纯制备太阳能级多晶硅的技术路线，建成了一条年产 2000 吨的产业化生产线，形成具有自主知识产权和市场竞争力的大规模高效节能多晶硅清洁生产集成技术。生产出的多晶硅材料中 <math>B \leq 0.1\text{ppmw}</math>、<math>P \leq 0.1\text{ppmw}</math>、金属杂质 <math>\leq 0.1\text{ppmw}</math>，电阻率在 <math>0.8\text{-}3.0\Omega\cdot\text{cm}</math> 之间，少子寿命 <math>\geq 3\mu\text{s}</math>，达到了太阳能级多晶硅的制备要求。</p> <p>本成果经青岛隆盛科技有限公司实施推广，用于太阳能级多晶硅材料的制备，产品获得了铸锭领军企业江苏协鑫硅材料有限公司、铸锭标杆企业扬州星火太阳能科技有限公司的认可。经青岛蓝光晶科新材料有限公司实施推广，应用于晶硅高纯溅射靶材的生产制造，产品获得了天津兆益晶鼎科技有限公司、利达光伏股份有限公司等溅射靶材领军企业的认可。近三年累计实现销售收入 7 亿余元，新增利润 4300 余万。</p> <p>本成果应用到产业中，为光伏产业下游的铸锭和电池生产企业提供稳定的技术和产品支持，具有很好的生产示范性，实现高新技术产业化；该成果的引入，能够有效地降低生产过程中的能耗，是一种低成本、环境友好的太阳能级多晶硅材料制造方法，属于节能、环保的绿色制造技术，具有极其广阔的技术发展及市场应用前景，潜在市场规模达到数百亿；同时，该技术的大规模应用和推广，可大幅增加就业岗位，提高企业的市场竞争力，保护环境。</p>						
曾获科技奖励情况		2016 年中国产学研合作创新成果奖 2014 年青岛市科技进步一等奖 2012 年大连市技术发明一等奖						
主要知识产权目录								
序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发	一种电热冶		ZL201310031510.0		ZL201310031510.0	东	邢鹏

	发明专利	金法制备低硼磷高纯硅的方法	中国				北京大学	飞, 庄艳歆, 任存志, 涂赣峰
2	发明专利	一种多晶硅介质熔炼用造渣剂及其使用方法	中国	ZL201310337930.1	2015.2.25	ZL201310337930.1	大连理工大学	谭毅、李佳艳、张磊、李亚琼、王登科、姜大川
3	发明专利	一种炉外精炼提纯工业硅熔体的方法	中国	ZL201310020851.8		ZL201310020851.8	昆明理工大学	马文会, 魏奎先, 谢克强, 周阳, 伍继君, 杨斌, 戴永年, 周继红.
4	发明专利	一种制备太阳能级多晶硅的方法	中国	ZL200610010654.8	2008.3.5	ZL200610010654.8	昆明理工大学	马文会, 戴永年, 杨斌, 王华, 刘大春, 徐宝强, 李伟宏, 杨部正, 刘永成, 汪竞福, 周晓奎
5	发明专利	一种用于铸锭分离高金属杂质区的方法	中国	ZL201410829852.1	2016.6.1	ZL201410829852.1	大连理工大学	李鹏廷、谭毅、李

	利	设备及方法						工大学	佳艳、王登科、薛冰	
6	发明专利	一种在多晶硅定向凝固提纯中分离高金属杂质区的设备及分离方法			中国	ZL201410822579.X	2016.12.7	ZL201410822579.X	大连理工大学	李鹏廷、谭毅、李佳艳、王登科、姜大川
7	发明专利	电子束顶部局部加热凝固多晶硅除杂装置及多晶硅加热凝固除杂方法			中国	ZL201410339745.0	2016.8.24	ZL201410339745.0	大连理工大学	谭毅、林海、姜大川、石爽、王鹏
8	发明专利	高效节能熔炼机构			中国	ZL201310380152.4	2016.8.17	ZL201310380152.4	大连理工大学	谭毅、温书涛、袁涛、陈磊
9	发明专利	一种电子束连续熔炼装置及利用该装置制备硅锭的方法			中国	ZL201410817510.8	2016.8.24	ZL201410817510.8	大连理工大学	姜大川、李鹏廷、王登科、石爽
10	发明专利	一种电子束诱导定向凝固除杂的方法			中国	ZL201210289971.3	2014.8.13	ZL201210289971.3	大连理工大学	谭毅、姜大川、石爽、郭校亮
完成人情况表	姓名	排名	职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献			曾获科技奖励	
	谭毅	1	教授	大连理工大学	大连理工大学	发明点 1、3			大连市技术发明一等奖、青岛市科技进步一等奖	

马文会	2	教授	昆明理工大学	昆明理工大学	发明点 2	
邢鹏飞	3	教授	东北大学	东北大学	发明点 1	国家技术发明二等奖、辽宁省科学技术进步二等奖。
姜大川	4	副教授	大连理工大学	大连理工大学	发明点 3	大连市技术发明一等奖、青岛市科技进步一等奖
魏奎先	5	教授	昆明理工大学	昆明理工大学	发明点 2	
李鹏廷	6	讲师	大连理工大学	大连理工大学	发明点 2	