

教育部工程研究中心年度报告

(2022年1月——2022年12月)

工程中心名称：表面与结构改性无机功能材料

所属技术领域：化工、冶金与材料

工程中心主任：韩高荣

工程中心联系人/联系电话：陈宗平/13067907032

依托单位名称：浙江大学

2025 年 3 月 17 日填报

一、技术攻关与创新情况

表面与结构改性无机功能材料教育部工程研究中心坚持面向经济主战场，以国家重大需求和产业发展为导向，以工程技术创新为核心，以依托学科和相关学科的技术为基础，通过系统研究半导体硅材料缺陷工程、表面镀膜技术、溶胶-凝胶改性技术和原位复合结构调控技术，进行新型无机功能材料的开发和集成，联合相关企业进行应用技术和工程技术的协作攻关，获得适合工业化生产所需要的关键成套技术和具有市场竞争力的新产品。在上述研究方向上，2022年度本中心取得了以下重要进展和代表性成果：

1、锂离子电池新型硅负极材料的制备、性能及应用

主要创新点：

新能源汽车等领域等快速发展迫切需要开发更高能量密度的锂离子电池。设计和开发新型高容量负极材料是锂离子电池突破高比能量密度的关键。硅的理论容量为 4200 mAh g^{-1} ，十倍于商业化石墨负极，是公认的下一代锂离子电池负极材料。然而硅在嵌锂过程中体积膨胀巨大（ $\sim 300\%$ ），导致电极材料粉化和循环稳定性差，严重制约了硅基负极的商业化。本项目2010年以来在国家自然科学基金，浙江省自然科学基金，企业横向项目等支持下，由浙江大学和贝特瑞新材料集团股份有限公司公司两家单位对上述难题进行了多年的产学研合作，取得如下主要技术发明：（1）发明了多孔硅的低成本可规模化制备技术，通过发展多孔硅掺杂和新型碳复合技术，开发出掺杂多孔硅/碳复合材料；（2）基于表面改性和液相复合方法，发明了规模化制备石墨/硅复合材料的技术；（3）发明低成本可规模化制备Si/SiO_x复合材料及其改性的技术。基于上述技术发明开发的系列硅基负极分别应用在数码产品、电动工具和新能源汽车用高性能锂离子电池。

该项目在国际上首次实现了硅基负极材料的大规模产业化，获得全球70%以上的市场份额，奠定了我国锂离子电池新一代负极材料在国际市场领先优势。产品已应用到国际知名电池生产商三星SDI、日本松下等公司，并最终使用到美国特斯拉公司的电动汽车。相关研究工作授权国家发明专利40项，国外发明专利17项，在SCI杂志上发表论文16篇，主导锂离子电池用硅负极材料国家标准1项。相关成果获得了2022年7月11日颁发的浙江省技术发明一等奖。

2、8.5代TFT-LCD浮法玻璃基板关键技术及应用

主要创新点：

该项目从基础前沿、重大共性关键技术到应用示范进行全系统研发：（1）针对玻璃液熔化、澄清难、料性短，产品超薄、宽幅等特殊技术难点，提出超薄浮法液晶玻璃基板生产工艺路线并进行论证；（2）利用现代实验分析技术和模拟手段，研究并揭示极难熔无碱玻璃组成、结构、性能的本构关系，研发出具有自主知识产权的、适于浮法工艺的TFT-LCD基板玻璃组成与料方；（3）构建在电子玻璃生产的各热工过程相应的物理模型，开展

熔窑、铂金通路、锡槽、退火窑等关键热工装备的三维数值模拟研究，指导核心装备和工艺的开发；（4）开发出适于高世代电子玻璃生产的熔窑、铂金通路、锡槽、退火窑等核心生产装备；（5）建设8.5代TFT-LCD浮法玻璃基板示范线，攻克工艺生产的控制难题，实现高质量、高性能、高世代液晶玻璃基板的稳定生产。

该项目申请国际发明专利5件；申请专利两百余件，其中授权发明专利39件，授权实用新型专利70件；发表论文29篇；获得软件著作权5项；制/修订标准4项。项目成果应用于产能规模达国际水平、装备国产化率高的蚌埠中光电科技有限公司8.5代玻璃基板二线建设。项目成果可在国内推广应用建设15~20条高世代液晶显示玻璃基板生产线。

3、金属-有机框架材料及其荧光传感系统应用

主要创新点：

开展对有毒重金属离子、有机分子等物质的高灵敏、快响应的实时检测对于保护环境和人类健康极为重要。与传统的色谱、质谱等检测技术相比，荧光检测具有灵敏度高、特异性强、检测速度快，可实时在线检测的诸多优点。然而目前用于荧光检测的金属配合物的稳定性差且只能在溶液状态下使用，在应用方面受到极大限制。项目组利用金属-有机框架材料的有序微孔结构、极大的比表面积以及可设计性强的特点，原创性地提出在框架材料中引入活性位点、混合配位的双发光中心、以及基于功能基元有序取向和形貌控制的结构-功能协同等设计思想，实现了对离子、有机分子和温度的高灵敏度、高选择性、高分辨率荧光传感。相关成果获得的14项发明专利，已转让给浙江富昇科技有限公司，成功研制出现场检测和远程监控荧光传感系统，实现了对重要水源中有害重金属离子及有机污染物的精准实时监测，开发出可应用于地表水中重金属离子和有机污染物监测的便携式荧光传感器和远程在线荧光传感系统。

二、成果转化与行业贡献

1. 总体情况

我国明确提出“双碳”战略，即二氧化碳排放力争于2030年达到峰值，努力争取2060年实现碳中和。为实现这一目标，必须以科技创新为先导，驱动行业与产业升级，高质量发展。中心坚持以产业需求为导向，集中力量于节能降耗、太阳能以及低碳环保等材料方向，突破节能与导电玻璃、单晶硅材料、环保涂层复合材料的关键制备技术，实现了材料、技术与成套设备的系统创新，并大规模应用于节能环保、清洁能源等工程领域，为服务国家重大需求和区域经济发展做出了重要贡献，获浙江省技术发明一等奖1项。其中，杨德仁院士团队在国际上首次实现了硅基负极材料的大规模产业化，获得全球70%以上的市场份额，奠定了我国锂离子电池新一代负极材料在国际市场领先优势。产品已应用到国际知名电池生产商三星SDI、日本松下等公司，并最终使用到美国特斯拉公司的电动汽车；韩高荣教授团队浮法在线氧化物玻璃表面异质复合功能薄膜的新技术“解决了膜层干涉着

色，大面积颜色均匀性难控制的世界性技术难题”作为中国“二代浮法”的核心技术已在国内外十余条浮法玻璃生产线应用，支撑了我国光伏发电、建筑节能等产业发展。在国内外10余条浮法玻璃生产线转化应用，实现了中国“洛阳浮法”技术的一次重要提升和超越，取得重大的经济、社会和生态效益。

2. 工程化案例

技术成果名称：

锂离子电池新型硅负极材料的制备、性能及应用

关键技术及水平：

(1)发明了硅化镁原位制备多孔硅/碳技术，国际上首次提出 Mg_2Si 与 CO_2 原位反应与酸洗结合新工艺：硅化镁与二氧化碳原位反应，均匀包覆碳层，同时硅化镁转变成纳米硅和氧化镁，酸洗去除氧化镁，得到多孔结构；

(2)国际首创纳米硅和片状石墨复合新结构，表面反应改性和缩合反应，使纳米硅均匀吸附到片状石墨表面，通过新型造粒技术对片状结构造粒，通过新型融合技术制备均匀复合的石墨/纳米硅，有效抑制了硅负极膨胀国际难题，提高了锂电池的循环稳定性；发明了化学气相沉积碳包覆氧化亚硅技术，实现了硅负极材料的低成本、大规模产业化；

(3)该项目已获国家发明专利授权40项，国外发明专利17项，在SCI杂志上发表论文16篇，主导锂离子电池用硅负极材料国家标准1项。

成果转化的经济效益以及对行业技术发展和竞争能力提升作用：

该技术在贝特瑞首先实现硅负极的产业化，使之成为全球最大的硅负极生产企业，产品主要出口松下、三星等全球知名锂离子电池企业，并最终应用于美国特斯拉汽车。项目成果有效提升了我国硅负极材料的国际竞争力，推动了高容量锂离子电池产业的发展及相关产业的技术进步，经济社会效益显著。

3. 行业服务情况

在教育部工程中心的大力支持下，中心教师积极拓展与企业的合作攻关和产品研发，有效促进了产学研一体化的发展，与宁波浙创科技有限公司、广西七色珠光材料股份有限公司分别建立了联合研发中心，取得了如下成果：

(1)与七色珠光材料股份有限公司密切合作，开展人工云母复合材料隔热、阻燃的技术和应用研究，并与亿纬锂能、吉利汽车等企业合作产品开发，服务区域经济；

(2)前期已为吉利汽车、公牛、方太等几十家国内外知名企业提供技术解决方案和3D打印服务，2022年开始为华为技术有限公司提供3D打印与技术服务，在国内3D打印领域逐步形成了特色，具有较高的知名度；

(3)在各方共同努力下，2022年浙创科技有限公司在新厂区平稳运行，拥有了标准化生产与检测平台，研发中心将为研发团队与研发平台的建设提供智力支持，公司发展进入新的

阶段。

三、学科发展与人才培养

1. 支撑学科发展情况

中心坚持产业需求导向，以工程技术创新为核心，以依托学科和相关学科的技术为基础，凝练会聚研究方向，巩固基础研究优势，重点开展了材料微结构、硅材料、建筑节能环保材料、复合材料等科学研究，突破了硅材料、建筑节能、复合材料等工程应用技术，为太阳能、玻璃等行业和产业的转型升级与高质量发展提供了科技支撑，服务国家和区域经济，获浙江省技术发明一等奖1项。同时，中心推进高品质学术交流平台，增强了与顶尖高校及著名科学家交流协作，不断发展国际合作新格局，与麻省理工、宾夕法尼亚大学等顶尖名校开展平等交流。这些进展很好地促进了浙江大学材料学科的高质量发展，提升了材料学科的国内外学术影响力和工程技术应用水平，为相关企业的转型升级与快速发展提供了强有力的人才与技术支持。

2. 人才培养情况

中心现有50名固定研究人员，其中37人为高级职称、具有博士学位者37人。中心现有中国科学院院士2人、浙江省特级专家5名、教育部长江学者特聘教授2名，国家杰青6人。

2022年度，陈宗平研究员获浙江省杰出青年基金项目资助。

2022年度，中心毕业博士生25人、硕士生48人。目前，工程中心队伍状态稳定，人才培养成绩突出。

3. 研究队伍建设情况

引进海外浙江大学特聘研究人员2人：蒋杰、倪联伊。

四、开放与运行管理

1. 主管部门、依托单位支持情况

中心依托单位浙江大学，为中心在各方面提供了强有力的支持。浙江大学制定了一系列的科研基地管理办法，包括指导意见、管理细则、分类考核制度等，规范各类科研基地的日程运行管理。此外，浙江大学还出台了《浙江大学公用房管理办法》（浙大发房〔2014〕14号）等政策，为各类科研基地的科研场所提供保障；出台了《浙江大学博士研究生招生指标分配方案(试行)》（浙大研院〔2014〕25号）等政策，为科研基地高层次人才的招生名额给予支持；出台了《浙江大学仪器设备资产管理办法》（浙大发设〔2015〕1号）等政策，给予实验室开放共享好的大型仪器设备维修费补助。在学校政策的基础上，中心也出台

了自己的系列管理文件，在日常运行中严格执行相关规定。

2022年度，依托单位浙江大学为中心提供相对集中的科研场所5000平米。同时，每年安排专项经费支持中心日常运行，用于材料购置、学术交流等。在人才引进方面，浙江大学也提供了优越的薪资待遇、住房保障等，吸引青年才俊加盟。本年度中心依托浙江大学在读硕士研究生 97名，博士研究生56名。同时，通过校内科研、人才计划，给与中心年轻教师专项经费支持。中心还注重开放交流，与浙大宁波科创中心、浙大杭州国际科创中心、浙大温州研究院及太阳能、锂电池、建筑节能等相关企业均有合作交流，同时也为合作交流的临时人员提供了工作场地和科研仪器等工作条件。

2. 仪器设备开放共享情况

2022年，工程中心相关实验室继续采取积极措施提高仪器的使用效率，除少数专用设备外，大部分的仪器设备已纳入浙江省、浙江大学以及杭州市共享管理平台。本年度对仪器管理操作人员的职责提出了相应的更高要求，各共享的仪器设备分别制定针对了不同使用者的各种优惠政策，提高了机时率，吸引了不少国内外学者前来合作使用，这对提高中心的学术水平和影响起到了一定的积极作用。57台套大型仪器设备的使用率一般在60~70%以上，XRD、SEM、XPS等多台仪器的使用率继续保持超高的服务机时，其中SEM的开机时数高达2800小时以上，测试样品11000个，新增的SEM设备开始科研服务。公共平台设备的运行总体状况良好。

3. 学风建设情况

2022年，表面与结构改性无机功能材料教育部工程研究中心的师生员工深入学习和贯彻党的二十大精神，始终坚持以邓小平理论、“三个代表”重要思想、科学发展观和习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，不断加强自身理论学习，不断提高业务能力，推动中心各项事业稳步前进。中心人员定期进行党支部学习活动，结合线上、线下及实地参观等方式，积极学习党史、国家科研政策以及警示教育活动，树立爱党爱国坚定信念，夯实基础、发挥专业特色，促进技术转化，以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，为太阳能、建筑节能等行业和产业发展提供强有力人力和技术支持。

4. 技术委员会工作情况

2022年11月15号，工程中心由技术委员会主任杨德仁院士召集，中心主任韩高荣教授主持，召开了技术委员会线上会议。党的二十大报告将科技、人才、创新的战略意义提升到新的高度，坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位。以此为指导，技术委员会统一思想，继续坚持以国家战略需求为导向，集聚力量进行原创性引领性科技攻关，在特色的硅材料、节能玻璃以及LED显示等方向增加投入，力争新的突破；加大海内外人才引进力度，进一步扩展中心内部人才培养与上升通道。这次重要会议为中心2023年的布局和发展指

明了方向。

五、下一年度工作计划

- (1) 依托浙大宁波科创中心，在宁波建设工程中心基地，推动镀膜技术转化与工程应用；依托浙大温州研究院，在温州建设工程中心基地，推动LED显示材料技术转化与工程应用；依托浙大杭州国际科创中心，在萧山建设宽禁带半导体研究院，推动碳化硅、氧化镓单晶材料的研发与器件应用；
- (2) 继续加大对柔性折叠玻璃、太阳能电池玻璃相关技术领域的研发力度，突破该方向上的一些关键卡脖子问题与技术，促进柔性玻璃在手机、平板电子设备中的实际应用与成果转化，促进玻璃行业和产业的高质量发展与进步；
- (3) 发展复杂氧化物单晶薄膜材料的低温、低成本、大面积可控制备技术，研制新型线阵列、低剂量X射线快速成像设备与系统；
- (4) 设计合成系列含过渡金属和稀土离子的有序微孔材料，研究组装方法和制备技术与微孔材料的结构、性能之间的关联规律，探索微孔材料在气体存储分离、荧光传感和微纳光子器件等领域的应用；
- (5) 依托浙江大学，结合浙大宁波科创中心、杭州国际科创中心、温州研究院及合作企业力量，持续加大基础研究、技术转化、产业化等各类专门人才的培养和引进力度，大力支持工程中心青年教师争取浙江省与国家层次的人才计划、承担重点、重点大科研项目；以国家重大需求和企业关键技术要求为导向，通过深入基础研究，促进技术转化，提高产品竞争力，培养和锻炼一支高水平的科技与产业转化团队。

六、问题与建议

无

七、审核意见

（工程中心负责人、依托单位、主管单位审核并签章）

工程中心负责人审核意见：		
经审核，确认以上填报内容真实有效。		
工程研究中心主任：		
	年	月 日
依托单位审核意见：		

情况属实，同意上报。

依托单位：
(单位公章)
年 月 日

八、年度运行情况统计表

研究方向	研究方向1	半导体硅材料缺陷工程		学术带头人		杨德仁
	研究方向2	表面镀膜技术		学术带头人		韩高荣
	研究方向3	溶胶-凝胶改性技术		学术带头人		杨辉
	研究方向4	原位复合结构调控技术		学术带头人		钱国栋
工程中心面积	5000.0 m ²			当年新增面积		0.0 m ²
固定人员	50 人			流动人员		33 人
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	0项	二等奖	0项	
	省、部级科技奖励	一等奖	1项	二等奖	0项	
当年项目到账总经费	3620.0万元	纵向经费	1450.0万元	横向经费	1770.0万元	
当年知识产权与成果转化	专利等知识产权持有情况	有效专利	56项	其他知识产权	0项	
	参与标准与规范制定情况	国际/国家标准	0项	行业/地方标准	0项	
	以转让方式转化科技成果	合同项数	6项	其中专利转让	2项	
		合同金额	800.0万元	其中专利转让	230万元	
		当年到账金额	350.0万元	其中专利转让	230.0万元	
	以许可方式转化科技成果	合同项数	2项	其中专利许可	2项	
		合同金额	280.0万元	其中专利许可	280.0万元	

				当年到账金额	200.0万元	其中专利许可	200.0万元
		以作价投资方式 转化科技成果		合同项数	0项	其中专利作价	0项
				作价金额	0.0万元	其中专利作价	0.0万元
		产学研合作情况		技术开发、咨询、服务项目合同数	7项	技术开发、咨询、服务项目合同金额	1100.0万元
当年服务情况		技术咨询		2次		培训服务	20人次
学科发展与人才培养	依托学科 (据实增删)	学科1	材料科学	学科2			学科3
	研究生培养	在读博士	56人		在读硕士		97人
		当年毕业博士	25人		当年毕业硕士		47人
	学科建设 (当年情况)	承担本科课程	640学时	承担研究生课程	480学时	大专院校教材	0部
研究队伍建设	科技人才	教授	21人	副教授	7人	讲师	0人
	访问学者	国内		0人	国外	0人	
	博士后	本年度进站博士后		7人	本年度出站博士后		3人