

教育部工程研究中心年度报告

(2019 年 1 月——2019 年 12 月)

表面与结构改性无机功能材料教育部

工程中心名称:

工程研究中心

所属技术领域: 化工、冶金与材料工程

工程中心主任: 韩高荣

工程中心联系人/联系电话: 0571-87953287

依托单位名称: 浙江大学



2020 年 4 月 30 日填报

编 制 说 明

一、报告由中心依托单位和主管部门审核并签章；

二、报告中主管部门指的是申报单位所属国务院有关部门相关司局或所在地方省级教育主管部门；

三、请按规范全称填写报告中的依托单位名称；

四、报告中正文须采用宋体小四号字填写，单倍行距；

五、凡不填写内容的栏目，请用“无”标示；

六、封面“所属技术领域”包括“机械与运载工程”“信息与电子工程”“化工、冶金与材料工程”“能源与矿业工程”“土木、水利与建筑工程”“环境与轻纺工程”“农业”“医药卫生”；

七、第八部分“年度与运行情况统计表”中所填写内容均为编制周期内情况；

八、报告提交一份 WORD 文档和一份有电子章或盖章后扫描的 PDF 文件至教育部科技司。

一、技术攻关与创新情况（结合总体定位和研究方向，概述中心本年度技术攻关进展情况和代表性成果，字数不超过 2000 字）

表面与结构改性无机功能材料教育部工程研究中心以浙江大学为依托单位，以无机非金属材料研究所和半导体材料研究所为核心，整合材料物理与化学国家重点学科、浙江大学 985“功能材料”平台、材料科学与工程一级学科博士点等资源建设而成。中心以产业需求为导向，以重大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工程化共性、关键技术和具有市场竞争力的新产品和新技术。在上述研究方向上，2019 年度本中心取得了以下重要进展和代表性成果：

(1) 直拉硅单晶材料是集成电路和光伏产业的基础材料，对集成电路和光伏产业的发展起着决定性作用。然而，直拉硅单晶的研发存在着两个重要的挑战：1) 重掺直拉单晶硅衬底材料中存在严重的晶格畸变，容易导致生长的外延层中产生失配位错，降低集成电路的成品率和可靠性；2) 直拉单晶硅太阳能电池在服役过程中会发生严重的效率衰减现象，造成巨大的经济损失。国际上一直没有找到好的解决方法。针对上述难题，杨德仁院士课题组自 2001 年开始进行了近 20 年的研

究，在国际上首先提出了“有意掺入微量锗杂质来调控直拉硅单晶中缺陷”的新思路，发明了微量掺锗直拉硅单晶及系列制备技术。项目自 2007 年起在浙江金瑞泓公司等企业实现了大规模产业化应用，形成了具有我国特色、自主知识产权的产品，满足了国家在微电子和光伏领域对直拉硅单晶材料的需求，相关技术具有完全自主知识产权，居国际领先水平，创造了显著的经济和社会效益，推动了我国硅材料产业的技术进步。相关成果获得 2019 年度国家技术发明二等奖（微量掺锗直拉硅单晶技术及其应用，杨德仁院士、余学功教授等）。

(2) 中国是玻璃生产制造大国，浮法玻璃产量占全球总产量的 60% 以上，然而低辐射和透明导电等功能镀膜玻璃，作为国际公认的建筑节能和光伏发电领域的重要基础材料，受到国外技术封锁和产品垄断。立项之初，我国尚无自主知识产权的功能镀膜玻璃生产技术和装备，成为我国玻璃制造行业转型升级的一大“瓶颈”，也严重制约了国家《节约能源法》的落实。项目组历经十余年艰苦攻关，国际首创浮法退火窑内制备氧化物薄膜的技术路线，打破了国际上对浮法退火区不适合作为镀膜工艺区间的论断，以“高效率、高性能、高均匀”为主攻方向，实现了氧化物系列功能薄膜高效制备成套技术及应用的重大突破。已获授权中国发明专利 24 项，国外发明专利 3 项，发表学术论文 35 篇，编著 2 本，牵头和参与制订国家、行业和团体标准 9 项，获浙江省科技发明一等奖和建筑材料科学技术一等奖各 1 项。相关成果正在申报 2020 年国家技术发明二等奖。（浮法在线氧化物系列功能薄膜高效制备成套技术及应用，韩高荣教授、刘涌副教授等）

(3)建设以特高压电网为骨架的坚强智能电网，对于推动我国电力工业创新、保障国家能源供应和能源安全具有重大战略意义。钢化玻璃绝缘子具有"零值自破"、使用命寿命长、不需要检测维护等特点，成为高压、超高压和特高压输电线路关键部件。经过多年的产学研联合攻关，项目组重点突破低损耗玻璃材料设计及性能调制、产品结构模拟与创新设计、生产关键装置研制三大核心技术，解决玻璃绝缘子强度等级低、抗污闪能力差、合格率低等问题，开发出系列大尺寸、高强度等级钢化玻璃绝缘子(最高强度达到 900 kN，最大公称结构高度和盘径分别为 300mm 和 410mm)，实现规模化稳定生产。项目获授权发明专利 4 项，实用新型和外观专利 25 项，制定浙江标准 1 项。产品通过中国电力企业联合会鉴定，处于国际先进水平，其中超高强度等级（特大吨位）840(900)KN 钢化玻璃绝缘子处于国际领先水平。相关成果获得 2018 年浙江省科技进步二等奖。(特高压输电线路高强度钢化玻璃绝缘子关键技术及产业化，张启龙副教授、杨辉教授等)

二、成果转化与行业贡献

1. 总体情况（总体介绍当年工程技术成果转移转化情况及其对行业、区域发展的贡献度和影响力,不超过 1000 字）

工程中心旨在建设一流的技术创新开发与工程化队伍，开展国际合作与交流，在相关领域获得具有我国自主知识产权的新产品及工业化示范生产线，形成不断创新的可持续发展能力，促进和推动我国无机功能材料产业的技术进步，提升相关行业的技术水平。主动对接国

家和区域战略需求，强化材料科学与工程“双轮驱动”，推进产学研实现深度融合，科技创新和社会服务能力持续增强，为我国新材料产业突破技术瓶颈、实现跨越发展提供了强有力支撑。主动对接国家和区域战略需求，强化材料科学与工程“双轮驱动”，推进产学研实现深度融合，科技创新和社会服务能力持续增强，为我国新材料产业突破技术瓶颈、实现跨越发展提供了强有力支撑。杨德仁院士团队提出“利用杂质”调控缺陷的直拉硅单晶“杂质工程”新概念，发明了微量掺锗直拉硅单晶及系列技术，并实现大规模产业化，满足了我国微电子和光伏产业重大需求，推动了我国硅材料产业的技术进步，提升了国际竞争力。韩高荣教授团队国际首创浮法退火窑内制备氧化物薄膜的技术路线，打破了国际上对浮法退火区不适合作为镀膜工艺区间的论断，实现了氧化物系列功能薄膜高效制备成套技术及应用的重大突破，取得了重大的经济、社会和生态效益。

2. 工程化案例（当年新增典型案例，主要内容包括：技术成果名称、关键技术及水平；技术成果工程化、产业化、技术转移/转化模式和过程；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）

技术成果名称：

浮法在线氧化物系列功能薄膜高效制备成套技术及应用

关键技术及水平：

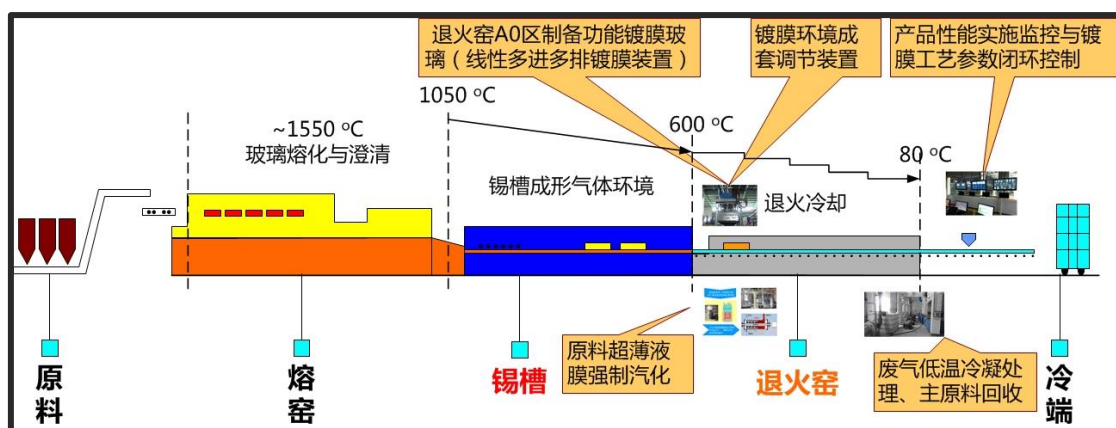
(1) 为解决退火区较低温度环境中移动玻璃表面快速成膜的行业难题，通过揭示化学气相沉积工艺参数、薄膜组成、微观结构的相关性

与规律，建立了流层厚度与沉积速率和反应气流量的定量关系，发明了薄流层爆发形核制备微纳结构氧化物薄膜新方法，在国际上首次实现了浮法退火区氧化物功能薄膜的高效制备，微纳结构 SnO_2 薄膜沉积速率高达 45nm/s，超越国外同类技术。

(2) 阐明了氟锑原位掺杂、复合界面渗透、薄膜方阻、色饱和度的相互作用规律，发明了浮法在线原位掺杂和异质多层复合调控技术，设计开发了辐射率最低可达 0.13 的系列节能玻璃新产品，首创干涉着色节能玻璃，实现了我国氧化物节能玻璃产品从无到有的突破，满足不同地域建筑节能的需要。

(3) 探明了反应前驱体载气和稀释气比例对多晶 $\text{SnO}_2:\text{F}$ 薄膜晶粒择优取向的影响规律，发明了氧化物多晶薄膜取向生长和雾度调控技术，国际首创“夹层式复合膜层”结构的透明导电氧化物镀膜玻璃，薄膜方块电阻低于 $10\Omega/\square$ ，突破了产业技术瓶颈，有力支撑我国光伏发电行业的快速发展。

(4) 针对退火区多重气流干扰条件下大面积均匀制备薄膜的国际技术难题，创建了退火区受限空间反应气流场的数学模型，发明了薄流层线性多通道在线镀膜反应装置、退火窑镀膜环境成套调节装置及原料尾气回收和膜层质量的在线实时监控，形成了退火区镀膜成套技术，实现了低成本规模化生产，镀膜成本低至 0.95 元/ m^2 ，同类技术产品市场占有率 50%。



浮法在线制备氧化物功能薄膜的成套技术和装备图

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：

在国内 8 条、国外 4 条浮法玻璃生产线转化应用，累计生产功能玻璃超 2.5 亿平方米，在北京奥运媒体村、广州新电视塔、俄罗斯海参崴市工业大厦等国内外上万项节能建筑和光伏项目中应用。累计新增销售额约 52 亿元，近三年新增销售额约 14.86 亿元，新增利润约 1.61 亿元，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。

3. 行业服务情况（本年度与企业的合作技术开发、提供技术咨询，为企业开展技术培训，以及参加行业协会、联盟活动情况）

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建立了联合研发中心，取得了如下成果：

(1)合作开发了 101、102、105、901 等四款 3D 打印光敏树脂产品，

并向市场销售、推广；合作开发了一款光敏树脂 3D 打印机（SLA640），已形成规模化生产；

(2)在此基础上,已为吉利汽车、公牛、方太、新海集团等提供原材料与3D打印服务,在宁波地区家电与制造企业中产生了较大的影响力;

(3)研发中心不断加强基础科研与技术转化,积极拓展省外合作开发,促进当地制造与设计企业的产品更新与技术升级。

(4) 有利促进了基础科学研究与技术、产品开发的高度融合,在技术需求中解决科学问题,培养博士生两名、硕士生四名,推动了材料科学与3D打印技术与产业的发展。

三、学科发展与人才培养

1. 支撑学科发展情况(本年度中心对学科建设的支撑作用以及推动学科交叉与新兴学科建设的情况,不超过1000字)

中心以产业需求为导向,以重大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,为服务国家重大需求和地方经济发展做出了重要贡献,获国家技术发明二等奖1项、申报1项、浙江省科技进步二等奖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,夯实了国际合作发展格局,与伊利诺伊大学厄巴纳香槟校区、斯坦福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（本年度中心人才培养总体情况、研究生代表性成果、与国内外科科研机构 and 行业企业开展联合培养情况，不超过 1000 字）

中心现有 57 名固定研究人员，其中 36 人为高级职称、具有博士学位者 36 人。中心现有中国科学院院士 1 人、教育部长江学者特聘教授 2 名，国家杰青 2 人，浙大求是特聘教授 4 人、国家海外高层次人才引进计划 6 人。2019 年度，新引进 1 位浙江大学百人计划研究员孙威博士。2019 年度，中心毕业博士生 28 人、硕士生 40 人。目前，工程中心队伍状态稳定，人才成长情况良好。

3. 研究队伍建设情况（本年度中心人才引进情况，40 岁以下中青年教师培养、成长情况，不超过 1000 字）

2019 年引进优秀人才：

孙威博士，本科毕业于吉林大学化学学院，化学专业，获学士学位。自本科阶段即加入杨柏教授课题组开展了“胶体晶体与纳微米有序结构的构筑”等课题研究。2011 年至 2016 年，于加拿大多伦多大学（University of Toronto）化学学院，无机化学-交叉学科专业，获直升博士学位，师从“纳米化学之父”、爱因斯坦奖获得者 Geoffrey Ozin 教授，期间研究方向为硅纳米晶、量子点的合成制备，以及其表面化学。2016 年毕业后兼聘于多伦多大学化学学院和机械工程学院，完成博

士后研究，方向为通过纳米硅化学实现硅在催化、环境、能源方向的新应用。2019 年加入浙江大学材料科学与工程学院及硅材料国家重点实验室担任“百人计划研究员”职务,博士生导师。曾被授予 2015 国家优秀自费留学生奖学金，以及多伦多大学最高国际生奖学金 Connaught Scholarship 以表彰科研学术的潜力，并曾任多伦多大学中国学联主席，负责与国内高校、科研院所以及加拿大科研机构保持良好合作联系。

四、开放与运行管理

1. 主管部门、依托单位支持情况（主管部门和依托单位本年度为中心提供建设和运行经费、科研场所和仪器设备等条件保障情况，在学科建设、人才引进、研究生招生名额等方面给予优先支持的情况，不超过 1000 字）

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의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。

2019 年度，依托单位浙江大学为中心提供相对集中的科研场所 3800 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 102 名，博士研究生 55 名。中心依托单位材料科学与工程学院、硅材料国家重点实验室，结合学院“111”引智计划，本年度中心引进学术大师、英国皇家工程院院士剑桥大学 Serena Best 教授；给予提前攻读博士研究生指标、专项招生指标等 4 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，与国内外顶尖科研院所、央企研究院、国内重点的太阳能、硅材料以及玻璃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（本年度中心 30 万以上大型仪器设备的使用、开放共享情况，研制新设备和升级改造旧设备等方面的情况）

2019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大学、杭州市以及浙江省的共享管理平台。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。53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的开机机时数高达2690个小时，测试样品16150个。公共平台设备的运行总体状况良好。

3. 学风建设情况（本年度中心加强学风建设的举措和成果，含讲座等情况）

表面与结构改性无机功能材料教育部工程研究中心的老师 and 同学积极深入学习习近平新时代中国特色社会主义思想，以浙大“求是、创新”的校训为指导，以“明德求真、精材成器”的院训为目标，扎实推进学风建设。结合党支部活动和企业参观考察等方式，中心人员打牢基础研究、发挥专业特色，促进技术转化，紧密围绕国家与相关企业的需求开展工作，为社会和企业的发展提供了强有力人力和技术支持。

4. 技术委员会工作情况（本年度召开技术委员会情况）

2019年11月26号到27在杭州金溪山庄召开技术委员会工作会议，张联盟院士、叶志镇院士、韩高荣教授等10人参加，重点讨论工程中心功能玻璃技术发展与产业转化。

五、下一年度工作计划（技术研发、成果转化、人才培养、团队建设和制度优化的总体计划，不超过1500字）

技术研发与成果转化：

2020年度力争在“浮法在线氧化物系列功能薄膜高效制备成套技术及应用”、“微波介质材料、核心器件与模组成套技术以及在通信/导航的应用”等国家奖申请中取得突破，推动我国相关材料与技术领域的高质量发展与进步。

2020 年度，重点突破特高压输电线路高强度钢化玻璃绝缘子项目成套技术大规模应用，建立高强度钢化玻璃绝缘子生产线，产品在国家电网和南方电网 1000kV 交流输电线路、 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电线路工程得到广泛应用，并出口海外，促进新型功能玻璃产业升级和可持续发展，为我国特高压技术及智能电网建设奠定了坚实基础，为我国推进实施“西电东送”、“一带一路”等重大战略提供重要支撑。

人才培养与团队建设：

2020 年度，结合学校、工程中心以及企业力量和资源，继续加大人才培养力度，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支持计划、承担重点、重点大科研项目；加强境内外高端人才引进方面，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。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（工程中心建设运行、管理和发展的的问题与建议，可向依托单位、主管单位和教育部提出整体性建议）

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（签章）

情况属实，通过年度考核，同意上报。

依托单位（签章）



主管单位（签章）

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	5500m ²			当年新增面积		0m ²
固定人员	57 人			流动人员		30 人
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	项	二等奖	1 项	
	省、部级科技奖励	一等奖	项	二等奖	1 项	
当年项目到账总经费	2900 万元	纵向经费	1650 万元	横向经费	1250 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	110 项	其他知识产权	5 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	8 项	其中专利转让	3 项	
		合同金额	1500 万元	其中专利转让	200 万元	
		当年到账金额	800 万元	其中专利转让	150 万元	
	以许可方式转化科技成果	合同项数	3 项	其中专利许可	3 项	
		合同金额	450 万元	其中专利许可	450 万元	
		当年到账金额	200 万元	其中专利许可	200 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 万元	其中专利作价	0 万元	

		产学研合作情况		技术开发、咨询、服务项目合同数		6 项		技术开发、咨询、服务项目合同金额		1000 万元		
当年服务情况		技术咨询		5 次				培训服务		50 人次		
学科发展与人才培养	依托学科 (据实增删)	学科 1			学科 2				学科 3			
	研究生培养	在读博士	55 人		在读硕士				102 人			
		当年毕业博士	28 人		当年毕业硕士				40 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	25 人		副教授		11 人		讲师		0 人	
	访问学者	国内			3 人		国外		0 人			
	博士后	本年度进站博士后			6 人		本年度出站博士后				2 人	