

陕西省技术发明奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	半导体晶圆缺陷高灵敏度检测技术及装备
主要完成人	杨树明，张国锋，吉培瑞，朱金龙，刘建军，李家贵
主要完成单位	西安交通大学，华中科技大学，陕西电子芯业时代科技有限公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该项目面向国家半导体产业发展的重大战略需求，突破了长期被国外垄断封锁的半导体晶圆缺陷检测关键技术，自主研发了具有国际先进水平的检测仪器，实现了从方法、技术到装备的全面创新，技术壁垒高、研制难度大、社会与经济效益显著，形成了核心专利群，具有完全独立知识产权，有力支撑我国半导体检测装备自主可控。</p> <p>提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

二、提名意见（适用于专家提名）

姓 名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见： 说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

三、项目简介

(限 2 页)

半导体晶圆缺陷检测技术是保证芯片良品率的关键，其壁垒高、研发难度大，长期被美、日、荷等国所垄断，同时我国在该领域遭受了严格的技术封锁和设备禁运。针对此，该项目开展了半导体晶圆缺陷检测技术及仪器研究，历经十余年技术攻关，致力于推动此类高端仪器设备国产替代和国产突破。

1) 发明了共光路干涉相位成像的高灵敏度缺陷检测技术。采用衍射光栅和共光路 4F 滤波离轴干涉光路设计，结合多偏振角成像，通过单曝光干涉相位成像，以高度或折射率变化引起的相位变化定位缺陷，突破了基于幅值方法受瑞利散射限制及灵敏度提升依赖于缩短光源波长的瓶颈，灵敏度达到了 $\lambda/25$ 。

2) 发明了多尺度自监督降噪的晶圆缺陷特征信号增强技术。通过创新设计的复合二阶差分算子提取并放大微小低对比度缺陷细节，结合小波变换自监督降噪框架，编码阶段采用多尺度门控卷积，解码阶段采用小波上采样，将两者融合于端到端框架协同提升缺陷特征，噪声抑制比提高了 6 倍。

3) 发明了结构化复合纳米探针的纳米缺陷三维表征技术。通过制备结构化等离子体光学探针，并与碳纳米管复合实现二次耦合聚焦，突破了光学纳米针尖几何尺寸限制，同时具有良好刚度和耐磨性及大长径比特征，实现了线宽 26nm、大深宽比 (5:1) 纳米结构缺陷三维表征。

在突破以上关键技术的基础上，该项目研制出了具有自主知识产权的 12 英寸半导体晶圆纳米缺陷检测和复查一体化专用仪器，采用常规可见光光源实现了先进制程图形化晶圆典型缺陷检测。

研究成果入选了中国科协首届“科创中国”先导技术榜单，获批建设的“半导体芯片检测技术”创新基地入选了中国科协首批“科创中国”创新基地示范项目。研究成果“半导体晶圆缺陷检测技术及装备”获得了陕西省科技工作者创新创业大赛一等奖，并已成功得到了应用，具有显著的社会效益和经济效益。

四、客观评价

（限2页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式做出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

1、中国仪器仪表学会组织召开了“半导体晶圆深亚波长缺陷多模态一体化检测技术及装备”科技成果鉴定会，形成的鉴定意见：该成果技术难度大、创新性强、具有自主知识产权，核心技术自主可控，总体技术达到国际先进水平，其中深亚波长干涉相位检测技术、结构化复合纳米探针三维表征技术达到国际领先水平。

2、国家重点研发计划项目“复杂微细结构的激光加工与测量技术及装备”绩效评价意见：提出了近场表面等离子激元和远场超振荡相结合的光学聚焦新方法及接触-非接触复合纳米探针测量新模式，开发了极限特征尺寸、大深宽比和大面积微纳结构的纳米复合测量技术，研制出了复杂微细结构光学超分辨测量仪器。

3、国家重点研发计划课题“复杂微结构三维表征算法研究及光束整形关键部件研制”绩效评价意见：开发了基于复合纳米探针的复杂微结构三维测量装置及表征软件，实现了复杂微结构几何参数的全面快速表征分析，应用于半导体集成电路等领域。

4、陕西省重点研发计划项目“大长径比碳纳米管探针”验收意见：突破了超衍射分辨率极限的纳米光学探针设计和制备方法，实现了原子力显微镜无法触及的大深宽比微纳结构和光学方法难以分辨的极小特征尺度的测量。

五、应用情况和效益

1. 应用情况（限 3 页）

该项目所开发的光学干涉相位成像检测技术、结构化复合纳米探针测量技术以及半导体晶圆缺陷检测设备已经成功应用于半导体芯片制造及光学制造领域 10 多家单位。

2. 经济效益和社会效益（限 3 页）

该项目所开发的核心技术和设备已成功应用于半导体芯片制造领域并扩展应用于光学元件制造领域，促进了相关科研院所和生产制造企业的技术研发能力、产品和服务质量的提升，具有显著的社会经济效益。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	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
1	发明专利	一种用于纳米表面形貌在线测量的集成系统	中国	201210167843.1	2014.11.05	1516725	西安交通大学	杨树明, 胡庆杰, 蒋庄德, 李磊, 张坤, 韩枫
2	发明专利	一种激光白光复合干涉测量系统及方法	中国	201810448837.0	2021.01.19	4212612	西安交通大学	杨树明, 薛兴昌, 张国锋, 杨新宇, 杨林林, 吉培瑞
3	发明专利	一种纳米探针的制备方法	中国	202110464814.0	2022.02.22	4951784	西安交通大学	杨树明, 程碧瑶, 李少博, 王飞, 邓惠文, 赵书浩
4	发明专利	用于光学元件加工质量在线检测的光纤干涉共焦系统	中国	201710278345.7	2019.05.24	3388510	西安交通大学	杨树明, 张国锋, 薛兴昌, 杨新宇, 杨林林
5	发明专利	实现位移和角度同步测量的双波长衍射干涉系统及方法	中国	202210044773.4	2022.11.01	5547702	西安交通大学	张国锋, 杨树明, 邓惠文, 胡鹏宇, 肖德隆
6	发明专利	一种便携式纳米加工在线测量装置及测量方法	中国	201710471144.9	2019.11.08	3586346	西安交通大学	杨树明, 杨新宇, 张国锋, 薛兴昌, 杨林林
7	发明专利	一种锥形光纤结合纳米线的等离激元探针及其工作方法	中国	202010340370.5	2021.07.13	4548387	西安交通大学	杨树明, 李少博, 程碧瑶, 王飞
8	发明专利	一种基于一维纳米材料的大长径比探针制备方法	中国	201910024294.4	2020.03.17	3718355	西安交通大学	杨树明, 程碧瑶, 王飞
9	发明专利	一种用于激发和收集近场光信号的散射式锥形尖端光纤探针及其工作方法	中国	202110156345.6	2022.05.20	5173539	西安交通大学	杨树明, 王飞, 李少博, 吉培瑞, 程碧瑶

1 0	发明专利	一种基于近场无孔式探针的多模式测量方法及测量系统	中国	202110567943.2	2023.07.18	6153642	西安交通大学	杨树明, 王飞, 李少博, 程碧瑶, 刘强, 张国锋, 蒋庄德
--------	------	--------------------------	----	----------------	------------	---------	--------	---------------------------------

七、主要完成人情况表

姓 名	杨树明	排 名	1
行政职务	精密微纳制造技术全国重点实验室副主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 发明点 1、2 和 3 的主要贡献者，提出了偏振可调离轴干涉相位成像检测方法、深度学习缺陷特征增强方法和结构化复合纳米探针三维表征方法，开发了半导体晶圆深亚波长缺陷检测技术及仪器。			

姓 名	张国锋	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	副研究员		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 发明点 1 和 2 的主要贡献者，提出了干涉增强型纳米图形缺陷检测方法，开发了复合二阶差分与多尺度自监督降噪的晶圆缺陷特征协同增强技术，研制了半导体晶圆纳米缺陷光学检测系统。			

姓 名	吉培瑞	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	助理研究员		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>发明点 3 的主要贡献者，设计了一种平台基角向螺旋表面等离激元探针，通过平台基多次干涉实现探针尖端的更大局域电场增强的效果。</p>			
--	--	--	--

姓 名	朱金龙	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	华中科技大学		
完成单位	华中科技大学		
对本项目主要学术贡献： 发明点 1 的主要贡献者，开发了高鲁棒性光场重构与系统误差矫正算法，显著提升了系统检测精度与稳定性，参与了半导体晶圆缺陷光学检测系统开发和设备验证工作。			

姓 名	刘建军	排 名	5
行政职务	副总经理		
技术职称	研究员		
工作单位	陕西电子芯业时代科技有限公司		
完成单位	陕西电子芯业时代科技有限公司		
对本项目主要学术贡献： 发明点 1 和 3 的主要贡献者，参与研制了半导体晶圆缺陷检测-复查一体化仪器，并开展了设备性能测试、迭代优化及应用验证。			

姓 名	李家贵	排 名	6
行政职务	科研总监		

技术职称	高级工程师
工作单位	陕西电子芯业时代科技有限公司
完成单位	陕西电子芯业时代科技有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>发明点 1 的主要贡献者，参与开发了半导体晶圆光学缺陷检测软件系统，并开展了软硬件调试、迭代优化及应用验证。</p>	

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>西安交通大学具有完善的产学研合作机制和政策，以及良好的国际合作学术环境，在项目进行过程中，在学校的政策支持下与国内外高校、研究院所以及相关企业开展了广泛和深入的合作。西安交通大学精密微纳制造技术全国重点实验室具有一流的洁净室环境、先进的微纳加工及检测设备，为本项目的顺利开展提供了支撑条件。</p>	

单位名称	华中科技大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>华中科技大学依托其机械科学与工程学院、智能制造装备与技术全国重点实验室以及武汉光电国家研究中心等多个国家级平台，构建了完善的跨学科研发环境，具有良好的集成电路量检测装备研发条件和产学研合作平台。在该项目中，与西安交通大学技术团队合作开发了半导体晶圆缺陷高灵敏度检测技术，并在国内集成电路制造和半导体检测设备企业进行了推广应用。</p>	

单位名称	陕西电子芯业时代科技有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>陕西电子芯业时代科技有限公司是由陕西电子信息集团有限公司作为大股东成立的混合所有制公司，公司总投资 45 亿元，建设陕西省及西北地区首条 8 英寸高性能特色工艺半导体芯片生产线，该产线月产 5 万片，年产 60 万片，产品包括功率器件、功率集成电路。在该项目中，与西安交通大学技术团队合作研制了半导体晶圆量检测设备，并提供了产线验证条件，开展了设备性能测试、迭代优化及应用验证。</p>	

完成人合作关系说明

1、完成人杨树明、张国锋、吉培瑞都属于西安交通大学光学测量团队，杨树明为该团队负责人，与团队成员具有共同立项科研项目、共同发表学术论文、共同知识产权、共同获奖等。

2、完成人杨树明和朱金龙具有共同发表学术论文。

3、完成人杨树明和刘建军分别作为首席科学家和首席工程师承担陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍建设项目，张国锋、李家贵为该团队成员。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	杨 树明/1、张 国锋/2	2015.09	2025.08	主要知识产权 2、4、5、6 和 10。	
2	共同知识产权	杨 树明/1、吉 培瑞/3	2017.09	2025.08	主要知识产权 2 和 9。	
3	论文合著	杨 树明/1、朱 金龙/4	2021.01	2025.08	An optical carbon nanotube fibre probe for measurement of nanostructures with large aspect ratio , Anomalous photoelectrochemical etching of undoped semiconductor surfaces	
4	产业合作、共同立项	杨 树明/1、刘 建军/5、张 国锋/2、李 家贵/6	2023.01	2025.08	获批陕西省秦创原半导体晶圆量检测技术及设备开发“科学家+工程师” 队伍建设项目。	