

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	空间光场调控的超精密光栅位移测量技术与应用
主要完成人	蒋维涛、刘红忠、尹磊、史永胜、陈邦道、牛东
主要完成单位	西安交通大学

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	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>超精密光栅，是半导体制造装备、精密测量仪器和智能系统等高端制造领域不可或缺的核心关键部件。受制于光栅制造核心装备/工艺的西方垄断与关键技术封锁，我国超精密光栅（精度优于 $1\mu\text{m}$ 的直线光栅、精度优于 $1''$ 的圆光栅）几乎完全被国外（海德汉、索尼等公司）垄断与封锁，精度优于 10nm 的直线光栅与精度优于 $0.3''$ 的圆光栅被严格禁运，严重制约我国高端装备的自主可控发展。</p> <p>本项目围绕高端装备对超精密光栅传感器的迫切需求，提出了纳米精度空间光场的微纳结构调控方法，以微纳结构化光场为测量基准，突破了光栅测量精度受限于栅线制造精度的技术瓶颈；建立了空间光场重构的纳米精度位移解析技术，通过空间光场的纳米精度重构与多自由度信息同步解析，光栅测量分辨率提升 1 个数量级以上，线位移解析分辨率达到 0.01nm，角位移分辨率达到 $0.001''$；建立了光栅测量过程中的微扰动模型，提出了超精密光栅的误差分离与补偿方法，突破了超精密光栅服役过程的读数扰动抑制难题，有效提升了超精密光栅的服役可靠性与精度保持能力，形成了涵盖超精密光栅设计-制造-读数技术-测量方法全流程的完全自主知识产权。</p> <p>项目研发的超精密直线光栅、超精密圆光栅、超精密二维光栅产品，在半导体装备关键系统、航空航天超精密定位平台、超精密测量仪器等典型装备中进行了应用，系统精度提升 1 个数量级以上，打破了技术垄断和产品禁运，实现了国内关键领域、核心装备的位移量检测仪器与核心部件的国产化配套，解决了超精密光栅的“卡脖子”问题，在超精密光栅的核心制造技术上形成引领，取得了显著的经济和社会效益。</p> <p>综上，提名该项目为 2025 年度陕西省技术发明一等奖。</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>			

三、项目简介

(限 2 页)

纳米/亚纳米精度位移测量的超精密光栅，是光刻机、纳米测量仪器等高端装备定位测量的关键传感器之一。28nm 节点的光刻机、用于原子尺度测量的晶圆级纳米表面形貌测量仪器，要求传感器精度达到纳米级。由于微加工能力的限制，我国超精密光栅（精度优于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的直线光栅、精度优于 $1''$ 的圆光栅）几乎完全被国外（海德汉、索尼等公司）垄断与封锁，精度优于 10nm 的直线光栅与精度优于 $0.3''$ 的圆光栅被严格禁运，严重制约我国高端装备的自主可控发展。

本项目围绕超精密光栅（精度优于 $1\mu\text{m}$ 的直线光栅、精度优于 $1''$ 的圆光栅）自主可控研制，针对制约光栅精度提升的核心问题—光栅光场周期不确定性（主要来源：光栅结构制造误差、读数串扰），提出了空间光场调控的超精密光栅纳米精度位移测量技术，以微纳结构化光场为测量基准，突破了光栅测量精度受限于栅线制造精度的技术瓶颈，研制了超精密直线光栅、超精密圆光栅等传感器，解决了超精密光栅的“卡脖子”问题，应用于国产光刻机关键系统、航空航天超精密定位平台等典型装备中，服务我国高端装备的超精密定位需求。

发明点 1：纳米精度空间光场的微纳结构调控技术。建立了微纳结构对光栅反射光场的调控模型，提出了纳米精度空间光场设计方法，发明了“模版制造-压印复形-外场诱导修饰”的光栅微纳结构制造技术，解决了空间光场的纳米级精度构建问题，实现了光栅线纹制造精度优于 0.5nm，光栅周期精度 0.2nm。

针对空间光场边缘捕捉困难、制约细分精度的问题，建立了微纳结构对空间光场的调控模型，阐明了栅线边缘的结构-材料一体化修饰对结构光场边界的影响规律，提出了光栅栅线边缘的材料-结构一体化修饰方法，构建了光场边缘扩散函数 Δ 以量化结构光场的模糊区间，优化设计了栅线边缘修饰结构；通过材料-结构的优化设计，光栅光场模糊区间降低 40%以上，空间光场边界精度优于 10nm，为结构光场细分精度提升至亚纳米精度提供基础。

针对材料-结构一体化的光栅结构制造问题，发明了“模版制造-压印复形-外场诱导修饰”的光栅微纳结构制造技术，在光栅模版精准制造的基础上，提出了外场辅助两步压印成型方法，光栅结构的压印复形精度达到亚纳米量级；针对光栅栅线边缘的材料-结构修饰问题，提出了结构化电场诱导低维材料定向排列的方法，对包含高

折射率低维材料（如， MoS_2 ）在光栅栅线边缘进行定域自组装，实现空间光场边界增强；光栅微纳结构的周期精度达到亚纳米量级。

发明点 2：空间光场信息识别/重构的纳米精度位移解析技术。建立了纳米精度位移解析能力与空间光场的映射模型，提出了空间光场放大的纳米精度位移解析方法，发明了超精密圆光栅的转角-径向位移同步检测技术，解决了读数过程多自由度串扰问题，实现了线位移解析分辨率 0.01nm 、角位移分辨率 $0.001''$ 。

针对空间光场的精确获取问题，提出了基于局部梯度插值算法的峰值定位与光场周期重构方法：通过多线融合算法对光场峰值进行融合处理，通过对插值点的梯度进行加权的方法，更精确的捕捉光场变化，提高光场峰值提取精度与光场重构精度，光场重构精度达到纳米量级，支撑了纳米/亚纳米级精度线位移测量能力。

针对角位移传感器测量过程的主要误差—偏心误差（约占角位移测量误差的 60% 以上），提出了极坐标圆光栅线纹结构，在常规圆光栅周向刻划栅线的基础上，增加了径向刻划的栅线，形成了一种独特的结构的圆光栅。在读数方法上，在常规圆光栅的周向角度传感器增加一个径向偏心位移传感器，对轴系径向偏心误差进行同步测量，实时感知圆光栅码盘的安装偏心，将角位移测量坐标系由传统的一维方向（周向）发展到二维平面极坐标系，为偏心误差测量与补偿提供了可能。

发明点 3：纳米精度位移测量技术及应用。建立了光栅测量过程中的微扰动模型，提出了超精密光栅的误差分离与补偿方法，提升了超精密光栅的服役可靠性与精度保持能力，研制的超精密直线光栅， $\pm 0.77\text{nm}@50\text{mm}$ 、 $\pm 4.33\text{nm}@200\text{mm}$ ；研制的超精密圆光栅，精度 $\pm 0.033''$ ，分辨率 $0.001''$ ，达到国际先进水平。

针对当前我国角度基准装置、测量方法无法有效实现毫角秒量级角度量值全圆连续溯源，课题研究团队联合中国计量科学研究院提出了一种基于圆封闭自然特性的圆光栅测角量值全圆连续溯源方法，通过混合激光干涉及排列互比测角，实现了局部细分及全圆整分度角的一体化溯源，突破了 $0^\circ\sim 360^\circ$ 全圆范围超高分辨力量值复现技术；研制了计量基准级圆光栅测量系统，实现了分辨率 $0.001''$ 、示值误差 $\pm 0.033''$ 的超精密角位移测量，通过了技术成果鉴定，支撑我国角度基标准装置与国际比对（国际最高水平：德国 PTB，示值误差 $\pm 0.01''$ ）。

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。）

（一）项目的新颖性和创造性评价

（1）由山东省机械工业科学技术协会召开的“国产精密光栅制造技术、装备及应用”科技成果鉴定会，认为：“精密光栅纳米/亚纳米精度的压印制造技术，达到了光栅结构的纳米级精度，具有理论创新性和实用价值，取得了标志性成果”。

（2）该项目提出的结构-材料一体化制造方法，被国家权威杂志 Small、Langmuir、Advanced Intelligent Systems 选为封面文章，得到 Wiley MaterialsViews、X-Mol 等国际权威研究机构的专题报导；

（3）相关研究成果获陕西高等学校科学技术自然科学一等奖 1 项。

（二）项目的先进性评价：“成果整体技术指标达到国际先进水平”、“部分指标如测量分辨力、示值重复性达到国际领先水平”、“核心技术自主可控”、“具备替代进口能力”

（1）由中国计量测试学会组织，以侯晓院士、叶声华院士为主任的“计量基准级圆光栅系统及其角度量值溯源技术”项目科技成果鉴定会，认为：“成果整体技术指标达到国际先进水平，部分指标如测量分辨力、示值重复性达到国际领先水平，核心技术自主可控”，“满足了国家角度计量基准装置核心器件自主可控要求，保障了航空航天测控装备、工业母机毫角秒级角度测控精度需求，具有显著的社会和经济效益”；

（2）由山东省机械工业科学技术协会召开的“国产精密光栅制造技术、装备及应用”科技成果鉴定会，认为：“线位移光栅最高精度达 $0.3\mu\text{m}/\text{m}$ ，圆光栅精度达到 $\pm 0.1''$ ，二维光栅最大幅面达 $1.2\text{m}\times 1.2\text{m}$ ，精度达 $\pm 0.4\mu\text{m}$ 。在数控机床、航空航天、3C 等行业实现了规模化应用，具备批量推广、实现进口替代的能力”。

（3）由中国计量科学研究院、北京航天计量测试技术研究所等单位联合对计量基准级的超精密圆光栅进行测试，测量分辨率 $0.001''$ ，示值重复性 $0.005''$ ，示值误差 $\pm 0.033''$ ，“指标与国际上最高角度量值基准（德国 PTB）处于同一水平，能够支撑下一代国产化角度计量基准装置建设，保障国内角度计量水平提升”。

（4）中国计量科学研究院对超精密圆光栅进行精度检测： 360° 全周期内测量，测角精度为 $\pm 0.1''$ ，同类指标国际领先。

（5）中国计量科学研究院对超精密直线光栅进行精度检测： 50mm 行程内精度 $\pm 0.77\text{nm}$ ， 200mm 行程内精度 $\pm 4.33\text{nm}$ ，分辨率 0.01nm ；

(6) 本项目研究成果,作为国家科技重大专项(04 专项)四大代表性原创技术成果之一入选国家十三五科技成果展;超精密圆光栅及测量方法,入选“HY 行动”五年成果展。

(三) 项目应用转化及促进科技进步评价:“为我国新一代全圆连续角度计量体系的建立奠定了基础”、“推进对国外产品的全面替代”“提高了产品的市场竞争力”

中国计量科学研究院:超精密圆光栅,有效满足“国家平面角度基准”的建设需求,为复现我国最高准确度角度量值,并参加最高级别的角度量值国际比对提供了关键技术支撑.....为我国新一代全圆连续角度计量体系的建立奠定了基础。

北京航天计量测试技术研究所:西安交通大学的高精度角位置测试传感器.....满足在航空、航天惯性系统地面测试转台应用的性能指标要求。

中国科学院光电技术研究所:西安交通大学研制的结构光场纳米位移传感器.....已集成应用于光电所研制的特种光刻机产品上,并实现多台套上线推广。

深圳市中图仪器股份有限公司:西安交通大学研制的超精密线位移光栅.....已在我公司得到了批量应用,已经推进对国外产品的全面替代。

西安威而信精密仪器有限公司:西安交通大学开发的系列光栅产品在我公司全面应用以来.....大大加速了我公司纳米测量仪、多功能轮廓测量仪等相关新产品的开发进度和精度指标提升.....提升了我公司产品的市场竞争力。

五、应用情况和效益

1. 应用情况（限 3 页）

该项目发明了纳米精度空间光场调控技术、空间光场识别/重构的纳米精度位移解析技术，成功开发了超精密直线光栅、超精密圆光栅、超精密二维光栅等 3 类超精密光栅产品。

面向国家重大工程需求，研制的超精密光栅产品在航天惯导地面测试装置、超精密速率转台、超精密多轴转台等核心装备中进行应用，打破了国外超精密光栅的技术垄断与禁运，实现了我国关键领域、核心装备的关键部件国产化配套。

针对高端装备（半导体制造装备、纳米测量仪器等）新质突破的迫切需求，项目研制开发的系列超精密光栅在国产光刻机、精密测量仪器等领域进行了应用，在替代进口、推动企业新产品研发、提高市场竞争力等方面起到了显著作用，产生了良好的经济效益和社会效益。

序号	应用单位	应用的技术	应用对象	应用起止时间
1	航天九院 13 所	超精密圆光栅	航天型号系列保障装备（超精密多轴转台、角振动台、离心机等）	2017 年至今
2	中国计量科学研究院	超精密圆光栅 超精密直线光栅	建设新一代角度基准装置	2017 年至今
3	北京航天计量测试技术研究所	超精密圆光栅	系列超精密速率转台	2016 年至今
4	中国航空精密机械研究所	超精密直线光栅	航空发动机装配精度检测的精密三坐标测量机	2017 年至今
5	北京理工大学	超精密圆光栅	超精密光学标定系统	2016 年至今
6	中国科学院光电技术研究所	整体技术	精密定位平台、光刻投影物镜系统	2014 年至今
7	华为 2012 实验室	超精密圆光栅	超精密光学加工装备	2016 年至今
8	中国工程物理研究院机械制造工艺研究所	超精密圆光栅	超精密计量转台	2015 年至今
9	江苏沃量智能科技有限公司	整体技术	多角度测头校准、五轴测头测针校准、五轴测量等在机检测装备及仪器	2014 年至今
10	西安威而信精密仪器有限公司	整体技术	全面应用于精密轮廓仪、圆柱度仪、三维轮廓仪、凸轮测量仪系列产品，作为直线、平面及角度测量部件	2015 年至今

11	深圳中图仪器股份有限公司	超精密直线光栅	应用于纳米测长机、超精密轮廓测量仪等产品，实现了亚微米测量精度、纳米级重复定位精度	2014 年至今
12	东莞市星纳特机械设备科技有限公司	超精密直线光栅	高精密直线电机平台	2022 年至今

2. 经济效益和社会效益（限 3 页）

该项目成果在国家重大工程和高端装备领域进行了应用，打破了国外技术垄断和产品禁运，实现了国内关键领域、核心装备的国产化配套，推动了高端装备精度提升，产生了良好的社会效益和经济效益。

（1）国家重大工程项目应用：打破了技术垄断和产品禁运，实现了国内关键领域、核心装备的关键部件国产化配套。

中国计量科学研究院：研制的毫角秒级计量基准级超精密圆光栅系统，作为中国计量科学研究院新一代国家线角度基准装置关键角位移测量传感部件，支撑了国家最高基准装置核心部件自主可控建设需求。

北京航天计量测试技术研究所（102 所）：应用在系列超精密速率转台研发中，实现了 10^{-8} 速率精度及平稳性的技术突破，基于项目成果，正在开展国家速率转台基准装置的研制。

航天九院 13 所：在某型号系列保障装备（超精密多轴转台、角振动台、离心机等）研制中，应用 10 台套西安交通大学研制的超精密圆光栅，实现了核心部件的自主可控。

中国科学院光电技术研究所：超精密直线光栅、超精密二维光栅、超精密圆光栅，应用于中高节点光刻投影物镜系统的动态动镜调整机构，提升了光刻物镜的稳定性与成像一致性；应用于步进投影光刻机与接近式光刻机的工件台精密定位中，实现了工件台的精准定位；实现了超精密光栅定位传感器的自主可控配套，打破了国外的垄断与技术封锁，支撑国产光刻机的提质升级。

中国工程物理研究院机械制造工艺研究所：系列计量基准级圆光栅、超精密圆光栅系统，应用于新一代武器系统角位移测控、超精密计量转台、超精密计量型激光跟踪设备研发中，实现了核心装置关键部件的国产化替代。

（2）高端装备领域中的应用推广：打破禁运，替代进口，大幅度提升了技术水平和产品的市场竞争力，带来显著经济效益与社会影响。

华为 2012 实验室：基于计量基准级圆光栅系统，研制了超精密定位转台产品，应用于华为 2012 实验室的超精密光学加工装备，实现了深亚角秒级角定位精度及毫角秒级分辨力的超精密角度定位能力，纳米级位置、毫角秒级角度静定稳定性的六自由度实时监测。

中国航空精密机械研究所：超精密直线光栅应用于航空发动机装配精度检测的精密三坐标测量机等装备中，打破了关键位移传感器的国外垄断，解决了大型零部件精密检测的技术难题，在航空航天、船舶、工程机械、汽车等大尺寸测量领域得到广泛应用。

在精密测量仪器领域，项目开发的线位移光栅、二维光栅、圆光栅系列产品自 2014 年起在西安威而信精密仪器有限公司获得了全面应用，替代了进口产品；项目开发的超精密线位移光栅在深圳中图仪器公司的纳米光栅测长机、轮廓仪等产品获得广泛应用，解决了纳米级高分辨率下重复性差的技术难题。

（3）推动科技进步作用明显：实现了国内自主知识产权的超精密光栅跨越式发展，打破了国

外技术垄断、产品禁运。

本项目所形成的超精密光栅设计与制造方法，实现了自主知识产权的超精密光栅制造技术跨越式发展，打破了国外技术垄断、产品禁运，支撑了我国重大工程领域、核心装备关键测量部件自主可控的需求，推动了应用企业的产品创新与核心竞争力提升。

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	一种用于纳米精度位移测量的系统和光栅传感方法	中国	ZL202210391782.0	2023-05-02	第 5931652 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 王训韩, 尹磊, 史永胜, 陈邦道
2	发明专利	基于液气相变材料的可重构微纳结构及制造、操控方法	中国	ZL201910571788.4	2020-08-25	第 3952296 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 韩捷, 牛东, 雷彪, 尹磊, 陈邦道, 史永胜
3	发明专利	一种内部含有结构化纳米粒子的光学元件及其制造方法	中国	ZL201910270413.4	2020-03-24	第 3727547 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 郑祥文, 王赫男, 张雅君
4	发明专利	一种基于柔性的可在任意曲面制造微纳结构的方法	中国	ZL201610855702.7	2020-04-10	第 3748692 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 闫佳伟, 雷彪, 牛东, 赵婷婷
5	发明专利	一种轻型大口径连续薄膜变形镜及其制造方法	中国	ZL201910491942.7	2020-10-27	第 4053356 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 王赫男, 牛东, 雷彪
6	发明专利	一种变形镜形变补偿的校正装置及补偿方	中国	ZL201811141351.9	2020-06-02	第 3938560 号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 牛东, 王赫男, 王

		法						堃
7	发明专利	一种驱动/传动一体的多级变体结构	中国	ZL201911248599. X	2020-12-29	第4176807号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 张鸿健, 韩捷, 牛东
8	发明专利	一种感知/执行共体的柔性驱动器	中国	ZL201911278907. 3	2021-04-27	第4384376号	西安交通大学	蒋维涛, 刘红忠, 刘江, 韩捷, 雷彪
9	发明专利	一种基于复合侧壁微结构增强混合效率的被动式微混合器	中国	ZL202111201329. 0	2023-10-10	第6389755号	西安交通大学	牛东, 刘红忠, 陈锦岚, 王兰兰, 彭海
10	软件著作权	纳米位移测量光栅的 光学结构优化设计软件 V1.0	中国	2024SR0951457	2024-07-08	软著登字第13355330号	西安交通大学	蒋维涛, 姜维, 刘红忠, 史永胜, 陈邦道, 尹磊, 李国俊, 牛东, 雷彪, 王兰兰

七、主要完成人情况表

姓 名	蒋维涛	排 名	1
行政职务	无		
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： 1) 项目负责人，主持关键技术研究，负责项目任务分配和进度协调等管理工作。对创新点 1、2、3 做出主要贡献。 2) 旁证材料：授权发明专利 ZL202210391782.0 等 15 件； 3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。			

姓 名	刘红忠	排 名	2
行政职务	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： 1) 提出了超精密光栅空间光栅边界增强方法，完成了超精密光栅的外场调控制造工艺，设计了纳米精度位移解析技术等关键核心技术。对创新点 1、2、3 做出重要贡献。 2) 旁证材料：授权发明专利 ZL201910571788.4 等 23 件； 3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。			

姓 名	尹磊	排 名	3
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： 1) 提出了空间光场位移信息的多自由度识别方法，优化设计了超精密光栅读数光路，提升光栅服役可靠性。对创新点 2、3 做出主要贡献。 2) 旁证材料：授权发明专利 ZL202210391782.0 等 4 件； 3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。	

姓 名	史永胜	排 名	4
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： 1) 提出了超精密圆光栅的转角-径向位移同步检测方法，设计了极坐标圆光栅结构，实现了深亚角秒级角位移测量。对创新点 2、3 做出重要贡献。 2) 旁证材料：授权发明专利 ZL201910571788.4 等 5 件； 3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。			

姓 名	陈邦道	排 名	5
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：

1) 提出了空间光场重构与位移解析方法，优化设计了纳米精度位移感知的处理电路，实现了超精密直线光栅的纳米精度位移测量。对创新点 2、3 做出重要贡献。

2) 旁证材料：授权发明专利 ZL201910571788.4 等 5 件；

3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。

姓 名	牛东	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	副教授		
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：			
1) 建立了微纳结构对空间光场的调控模型，提出了光栅边缘修饰方法，发展了空间光场纳米精度位移提取技术。对创新点 1、2 做出重要贡献。			
2) 旁证材料：授权发明专利 ZL202111201329.0 等 13 件；			
3) 与本项目相关工作占本人工作 80%。			

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>西安交通大学承担了支撑本项目的国家基金、国家重点研发计划项目等课题，在项目的申请、管理、具体实施过程中，西安交通大学职能部门给与了积极的协助、检查、监督。</p> <p>项目依托于西安交通大学精密微纳制造技术全国重点实验室，项目完成人均为该实验室的研究人员。该实验室对本项目的关键技术研发与产品研制给与了全力支持，有力支撑了本项目的顺利开展。</p>	

完成人合作关系说明

所有完成人都是西安交通大学的教师，是精密光栅研发团队的核心成员，已进行长期稳定合作，先后联合承担了国家自然科学基金、国家重大专项、国家重点研发计划等多个光栅制造及应用相关项目，共同开展了超精密光栅位移测量技术研究。项目组所有成员完成针对空间光场调控的超精密光栅测量的关键技术，通力合作，发明相关核心技术，推进产品研发和应用推广。详细合作关系如下：

蒋维涛，西安交通大学光栅研发团队的核心骨干，与刘红忠（2004 年起）、尹磊（2004 年起）、史永胜（2004 年起）、陈邦道（2007 年起）、牛东（2011 年起）共同开展光栅设计、制造与应用研究，联合承担了国家科技重大专项、国家重点研发计划、国家基金等项目，共同申报并授权“基于液气相变材料的可重构微纳结构及制造、操控方法”等发明专利。

刘红忠，西安交通大学光栅研发团队的负责人，自 2004 年起与蒋维涛共同开展光栅设计与制造研究，联合承担项目、发表论文。与蒋维涛共同申报并授权了“一种用于纳米精度位移测量的系统和光栅传感方法”等 7 件发明专利。

尹磊，西安交通大学光栅研发团队的核心骨干，自 2004 年起与蒋维涛共同开展光栅制造方法与纳米测量技术研究，联合承担项目、发表论文。与蒋维涛共同申报并授权了“一种用于纳米精度位移测量的系统和光栅传感方法”等 4 件发明专利。

史永胜，西安交通大学光栅研发团队的核心骨干，自 2004 年起与蒋维涛共同开展光栅制造工艺与装备研究，联合承担项目、发表论文。与蒋维涛共同申报并授权了“基于液气相变材料的可重构微纳结构及制造、操控方法”等 4 件发明专利。

陈邦道，西安交通大学光栅研发团队的核心骨干，自 2007 年起与蒋维涛共同开展光栅制造与应用研究，联合承担项目、发表论文。与蒋维涛共同申报并授权了“基于液气相变材料的可重构微纳结构及制造、操控方法”等 5 件发明专利。

牛东，西安交通大学光栅研发团队的核心骨干，自 2011 年起与蒋维涛共同开展光栅读数方法研究，联合承担项目、发表论文。与蒋维涛共同申报并授权了“一种驱动/传动一体的多级变体结构”等 7 件发明专利。

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	蒋维涛(1); 刘红忠(2); 尹磊(3); 史永胜(4); 陈邦道(5)	2022年1月	2022年4月	一种用于纳米精度位移测量的系统和光栅传感方法 (ZL202210391782.0)	主要知识产权, 发明专利 1
2	共同知识产权	蒋维涛(1); 刘红忠(2); 尹磊(3); 史永胜(4); 陈邦道(5); 牛东(6)	2019年1月	2019年6月	基于液气相变材料的可重构微纳结构及制造、操控方法 (ZL201910571788.4)	主要知识产权, 发明专利 2
3	国家杰出青年基金	蒋维涛(1); 刘红忠(2); 尹磊(3); 史永胜(4); 陈邦道(5); 牛东(6)	2017年1月	2021年12月	超精密光栅设计与多自由度测量方法	项目任务书、 结题报告
4	国家重点研发计划项目	蒋维涛(1); 尹磊(3); 牛东(6)	2021年12月	2024年11月	光场调控的纳米精度位移测量技术	项目任务书
5	国家科技重大专项	刘红忠(2); 尹磊(3); 史永胜(4); 陈邦道(5);	2019年1月	2020年6月	超精密光栅的可靠性提升技术	项目任务书
不限条目						

