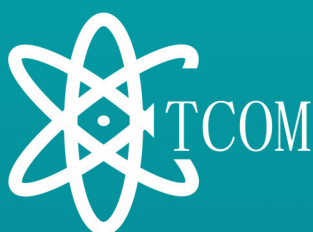


第二十一届全国光学测试学术交流会

2026年5月15-17日 中国·西安

论文集（会议手册）



指导单位：中国光学学会

主办单位：中国科学院西安光学精密机械研究所
中国光学学会光学测试专业委员会

承办单位：南京理工大学
先进固体激光工业和信息化部重点实验室

协办单位：中国科学院西安光学精密机械研究所检测技术研究中心
国防科技工业光学一级计量站（西安应用光学研究所光学校准检测实验室）
西安工业大学光电工程学院
中国华阴兵器试验中心目标智能感知与协同测试实验室
西北工业大学光场调控与信息感知工业和信息化部重点实验室
西安市光电精密测试工程技术研究中心
中国科学院西安光机所期刊与学术服务中心

目 录

组织机构	001
赞助商	014
参会注意事项	015
会场地图	016
会议日程概览	019
开幕式及大会报告日程	020
大会报告	022
专题一日程	033
专题二日程	037
专题三日程	040
专题四日程	044
专题五日程	048
专题六日程	051
优秀学生报告日程	053
专题一	055
专题二	078
专题三	098
专题四	122
专题五	144
优秀学生报告	162
张贴报告	172

组织机构

指导单位

中国光学学会

主办单位

中国科学院西安光学精密机械研究所

中国光学学会光学测试专业委员会

承办单位

南京理工大学

先进固体激光工业和信息化部重点实验室

协办单位

中国科学院西安光学精密机械研究所检测技术研究中心

国防科技工业光学一级计量站（西安应用光学研究所光学校准检测实验室）

西安工业大学光电工程学院

中国华阴兵器试验中心目标智能感知与协同测试实验室

西北工业大学光场调控与信息感知工业和信息化部重点实验室

西安市光电精密测试工程技术研究中心

中国科学院西安光机所期刊与学术服务中心

合作期刊

《中国光学》

《应用光学》

《光学与光电技术》

《光子学报》

大会名誉主席

崔向群

中国科学院院士、中国科学院南京天文光学技术研究所研究员

樊仲维

中国工程院院士、中国科学院大学

大会主席

郑万国

中国工程物理研究院激光聚变研究中心研究员

邵晓鹏

中国科学院西安光学精密机械研究所教授

大会共主席

朱日宏

南京理工大学教授

李景镇

深圳大学教授

王向朝

中国科学院上海光学精密机械研究所研究员

高志山

南京理工大学教授

赵维谦

北京理工大学教授

付跃刚

长春工业大学教授

俞 兵

西安应用光学研究所研究员

甘海勇

中国计量科学研究院研究员

杨甬英

浙江大学教授

韩 冰

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研究员

沈 华

南京理工大学教授

赵建科

中国科学院西安光学精密机械研究所研究员

周 顺

西安工业大学教授

大会秘书长

沈 华

南京理工大学教授

大会副秘书长

薛 勋

中国科学院西安光学精密机械研究所研究员

节目委员会

专题 1: 光学元件、材料特性参数测试技术

主席: 张 舸 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

共主席: 薛 勋 中国科学院西安光学精密机械研究所

王孝坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

苏 榕 中国科学院上海光学精密机械研究所

侯 溪 中国科学院光电技术研究所

专题 2: 光电器件特性参数测试技术

主席: 谈宜东 清华大学

共主席: 吴冠豪 清华大学

史学舜 中国电子科技集团公司第四十一研究所

麻云凤 中国科学院空天信息创新研究院

专题 3: 光学系统测试技术及仪器

主席: 刘 东 浙江大学

共主席: 张文喜 中国科学院空天信息创新研究院

袁 群 南京理工大学

王 允 北京理工大学

石 峰 国防科技大学

专题 4: 光学精密测试技术的其他相关应用

主席: 韩 冰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

共主席: 史久林 南昌航空大学

陈修国 华中科技大学

胡春光 天津大学

杨晓飞 苏州大学

专题 5: 光学精密计量技术发展

主席: 俞 兵 西安应用光学研究所

共主席: 甘海勇 中国计量科学研究院

占春连 中国计量大学

吴恒奎 中国电子科技集团公司第 41 研究所

郑小兵 中国科学院合肥物质研究院

陈潇潇 中国测试技术研究院

专题 6：光学测试技术标准化工作发展

主 席：付跃刚 长春工业大学

共主席：刘照言 中国科学院空天信息创新研究院

王 璞 中国科学院空天信息创新研究院

刘智影 长春理工大学

杨 洋 华为技术有限公司

张学敏 武汉大学

中国光学学会光学测试专业委员会 第七届委员名单

- 主任:** 郑万国 中国工程物理研究院
副主任: 朱日宏 南京理工大学
李景镇 深圳大学
王向朝 中国科学院上海光学精密机械研究所
高志山 南京理工大学
赵维谦 北京理工大学
俞兵 中国兵器工业集团公司第205研究所
甘海勇 中国计量科学研究院
杨甬英 浙江大学
韩冰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
顾问: 徐德衍 中国科学院上海光学精密机械研究所
韩昌元 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
沙定国 北京理工大学
李在清 中国计量科学研究院
秘书长: 沈华 南京理工大学

中国光学学会光学测试专业委员会委员名单 (按姓氏笔画为序)

- 丁莉芸 兰州大学
丁蛟腾 中国科学院西安光学精密机械研究所
刁晓飞 中国计量科学研究院
马伯涛 成都光明光电股份有限公司测试所
马骏 南京理工大学
于瀛洁 上海大学
王向朝 中国科学院上海光学精密机械研究所
王成 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
王鹏 北京空间机电研究所
王玉荣 山东大学
王正平 山东大学
王鸣 南京师范大学
王学锋 北京航天时代光电科技有限公司
王峰 中国工程物理研究院激光聚变研究中心

- 王道档 中国计量大学
王 涛 中国科学院光电研究院
王彤彤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
王孝坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
王 允 北京理工大学
王 帆 御微半导体技术有限公司
王灵杰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
王 健 华中科技大学
王玉坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
王建锋 中国航空工业空气动力研究院
王一帆 清华大学
牛立新 中国航空工业集团第三〇四研究所
牛锦川 北京空间机电研究所
付跃刚 长春理工大学
白福忠 内蒙古工业大学
孙若端 中国计量科学研究院
孙 青 中国计量科学研究院
孙国燕 中国科学院西安光学精密机械研究所
田爱玲 西安工业大学
田留德 中国科学院西安光学精密机械研究所
卢荣胜 合肥工业大学
卢惠琴 中科院南京天文仪器有限公司
甘海勇 中国计量科学研究院
石 峰 国防科技大学
石雅婷 武汉宇微光学软件有限公司
史久林 南昌航空大学
史学舜 中国电子科技集团公司第四十一研究所
成金龙 淮阴师范学院
朱日宏 南京理工大学
朱正辉 北京航天计量测试技术研究所
朱德燕 南京航空航天大学
刘天夫 中国计量学院
刘晓军 华中科技大学
刘世元 华中科技大学
刘 东 浙江大学
刘 波 南开大学

- 刘振江 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
刘智颖 长春理工大学
刘 乾 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所
刘桂林 江南大学
刘尚阔 中国科学院西安光学精密机械研究所
刘丙才 西安工业大学
李景镇 深圳大学
李在清 中国计量科学研究院
李致新 云南光学仪器厂（298 厂）
李剑白 江西省科学院
李泽仁 中国工程物理研究院流体物理研究所
李庆辉 西安电子科技大学
李池娟 中国电子科技集团公司第 11 研究所
李安虎 同济大学
李代林 中国石油大学（华东）
李金环 东北师范大学
李建欣 南京理工大学
李金鹏 中科院南京天文仪器有限公司
李中梁 中国科学院上海光学精密机械研究所
李永强 北京空间机电研究所
李 晨 浙江科技大学
李 晶 中国科学院西安光学精密机械研究所
伍 凡 中国科学院光电技术研究所
许 乔 成都精密光学工程研究中心
许洪刚 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
齐 豪 江西连胜实验装备有限公司
吕且妮 天津大学
江月松 北京航空航天大学
江 琴 中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所
江 浩 华中科技大学
江佳斌 杭州晶耐科光电技术有限公司
闫力松 华中科技大学
吴庆阳 深圳大学
吴爱华 苏州华帝光学科技有限公司
吴慎将 西安工业大学
吴冠豪 清华大学精仪系

- 苏俊宏 西安工业大学
苏榕 中国科学院上海光学精密机械研究所
沙定国 北京理工大学
陈国庆 江南大学
陈坤峰 国防光电电子计量一级站
陈磊 南京理工大学
陈波 中国工程物理研究院激光聚变研究中心
陈应航 航天科工集团第三研究院 303 所
陈凌峰 北京理工大学
陈学岗 南昌航空大学
陈国星 苏州热工研究院有限公司
陈欢 浙江省计量科学研究院
肖韶荣 南京信息工程大学
邱丽荣 北京理工大学
邵晓鹏 西安电子科技大学
邵理阳 西南交通大学
张爱红 哈尔滨工业大学
张书练 清华大学
张鸿澄 玉晶光电(厦门)有限公司
张喆民 北京奥博泰科技有限公司
张吉焱 中国计量科学研究院
张晓辉 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
张向阳 江南大学
张振 天津津航技术物理研究所
张文喜 中科院光电研究院
张启灿 四川大学
张舸 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
张超 北京空间机电研究所
张继真 长春长光智欧科技有限公司
张祖义 成都光明光电股份有限公司
张大成 西安电子科技大学
张学敏 武汉大学
何平安 武汉大学
何国田 中科院重庆绿色智能技术研究院
何兴道 南昌航空大学
何刚 中科院光电技术研究所

- 季仁东 淮阴工学院
宋桂菊 通用电气(中国)研发中心
宋 辞 中国人民解放军国防科技大学
步 扬 中国科学院上海光学精密机械研究所
沈 华 南京理工大学
陆振刚 哈尔滨工业大学
谷洪刚 华中科技大学
余美群 南京茂莱仪器有限公司
屈玉福 北京航空航天大学
幸芦笙 五邑大学
周胜利 中国空间技术研究院
周晨波 烟台大学
周 其 深圳维度科技有限公司
林延东 中国计量科学研究院光学处
林家明 北京理工大学
林晓东 深圳大学
林惠川 闽南师范大学
范天泉 中国科学院光电技术研究所
范 镛 长春市求非光学科技有限公司
杨甬英 浙江大学
杨照金 国防光学计量一级站
杨 红 国防光学计量一级站
杨李茗 成都精密光学工程研究中心
杨建峰 中国科学院西安光机所空间室
杨 坤 郑州轻工业学院
杨鸿儒 中国兵器工业第二〇五研究所
杨朋利 中国兵器工业第二〇五研究所
杨利红 西安工业大学
杨晓飞 苏州大学
杨林华 北京卫星环境工程研究所
杨忠明 山东大学
杨 军 广东工业大学
杨明远 哈尔滨芯明天科技有限公司
孟令强 中国科学院大学杭州高等研究院
时 凯 西安工业大学

- 杭凌侠 西安工业大学
郑克哲 兵器工业第 205 研究所
郑刚 上海理工大学
郑小兵 中科院安徽光机所遥感研究室
郑万国 中国工程物理研究院激光聚变研究中心
郑东晖 南京理工大学
宗肖颖 北京空间机电研究所
罗振坤 军事医学科学院放射与辐射医学研究所
罗海梅 江西师范大学
金峰 无锡市星迪仪器有限公司
单明广 哈尔滨工程大学
邾继贵 天津大学
国成立 浙江舜宇光学有限公司
武中华 中国科学院南京天文光学技术研究所
武永见 北京空间机电研究所
胡建军 苏州大学
胡中文 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所
胡春光 天津大学
侯溪 中科院光电技术研究所
郭仁慧 南京理工大学
郭林峰 南京信息工程大学
郭珍艳 南京理工大学
赵建科 西安光机所
赵建林 西北工业大学
赵跃东 南京东利来光电实业有限公司
赵维谦 北京理工大学
赵智亮 中物院激光聚变研究中心 / 成都太科光电技术有限责任公司
赵志敏 南京航空航天大学
赵星 南开大学
赵春晖 北京控制工程研究所
赵烈烽 浙江舜宇光学有限公司
赵天琦 中国计量大学
荀毓龙 中科院安徽光机所
洪汝桐 西南技术物理研究所
姚亚斌 江苏曙光光电有限责任公司

- 项道才 中国电子技术标准化研究所
段立峰 上海微电子装备有限公司
钟 志 哈尔滨工程大学
俞 兵 中国兵器工业集团公司第 205 研究所
夏云杰 曲阜师范大学
夏 巍 南京师范大学
徐德衍 中国科学院上海光学精密机械研究所
徐均琪 西安工业大学
徐 晨 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所
徐 伟 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
徐 飞 南京大学
徐 欣 清华大学
贾亚青 北京市计量检测科学研究院
饶 鹏 中国科学院上海技术物理研究所
聂真威 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
顾 刚 中航总第一集团第 613 研究所
高志山 南京理工大学
高业胜 国防光电子计量一级站
高益庆 南昌航空大学
高党忠 中国工程物理研究院激光聚变研究中心
高 涵 中国计量大学
钱 煜 苏州大学
袁 良 中国兵器工业第二〇五研究所
袁吕军 中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所
袁 群 南京理工大学
谈宜东 清华大学
翁继东 中国工程物理研究院流体物理研究所
曹远生 中国测试技术研究院
麻云凤 中国科学院空天信息创新研究院
陶 春 南京施密特光学仪器有限公司
黄 阳 北京空间机电研究所
崔程光 北京空间机电研究所
鄂可伟 中国科学院西安光学精密机械研究所
韩昌元 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
韩 冰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
韩志刚 南京理工大学

- 常岐海 西藏民族学院
崔 晗 北京理工大学
曾理江 清华大学
曾嫦娥 北京测量与通信总体研究所
曾雪峰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
普小云 云南大学
傅云霞 上海市计量技术研究院
程灏波 北京理工大学
程 刚 孝感华中精密仪器有限公司
程 强 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
鲍晓静 武汉 717 研究所
蒋山平 北京卫星环境工程研究所
董志超 中国科学院理化技术研究所
蔡 懿 深圳大学
路元刚 南京大学
雷李华 上海市计量测试技术研究院
詹亚歌 东华大学
廖利芬 中国科学院空天信息创新研究院
臧仲明 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所
潘世烈 中国科学院新疆理化技术研究所
樊红英 西南技术物理研究所
管海军 长春长光智欧科技有限公司
黎高平 中国兵器工业第二〇五研究所
薛栋林 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
薛景锋 中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所
薛 勋 中国科学院西安光学精密机械研究所
魏耀林 天津大学

赞助商



参会注意事项

一、会议会场

本次会议会场、展商展示区、张贴报告区域全部在西安高新区喜来登酒店（陕西西安雁塔区高新区天谷七路 99 号），烦请及时了解会场所在位置，以免耽误您的报告。

二、学术报告准备细则

本次会议交流语言为中文，大会报告 30 分钟、邀请报告 20 分钟、口头报告 15 分钟（以上报告时间均含 3 分钟答疑时间），优秀学生报告专场（含答疑 2 分钟）会场地点在西安高新区喜来登酒店 2 楼会议室 2，报告具体安排以会议手册为准。

三、张贴海报准备细则

张贴海报尺寸统一为宽度 0.8 米，高度 1.2 米，页脚请务必标注联系人及电话和 Email 信息。会议期间会评选优秀张贴报告，并在会议晚宴环节进行表彰；

张贴时间：5 月 16 日 08:30 - 16:50；

张贴报告展示时段：5 月 16 日 16:50 - 18:30，在张贴报告展示环节，作者必须站在海报旁；

张贴的海报由参会代表自行撤下，会议工作人员将不收取海报，会议结束后未撤下的海报，会务组将统一处理。

四、奖项颁发

以下奖项将在 5 月 16 日颁奖活动上颁发：优秀学生报告奖、优秀张贴报告奖。

优秀学生报告奖：获奖者将在优秀学生报告专场由现场评委打分选出。

优秀张贴报告奖：获奖者将在张贴报告展示环节由现场评委打分选出。

五、用餐安排

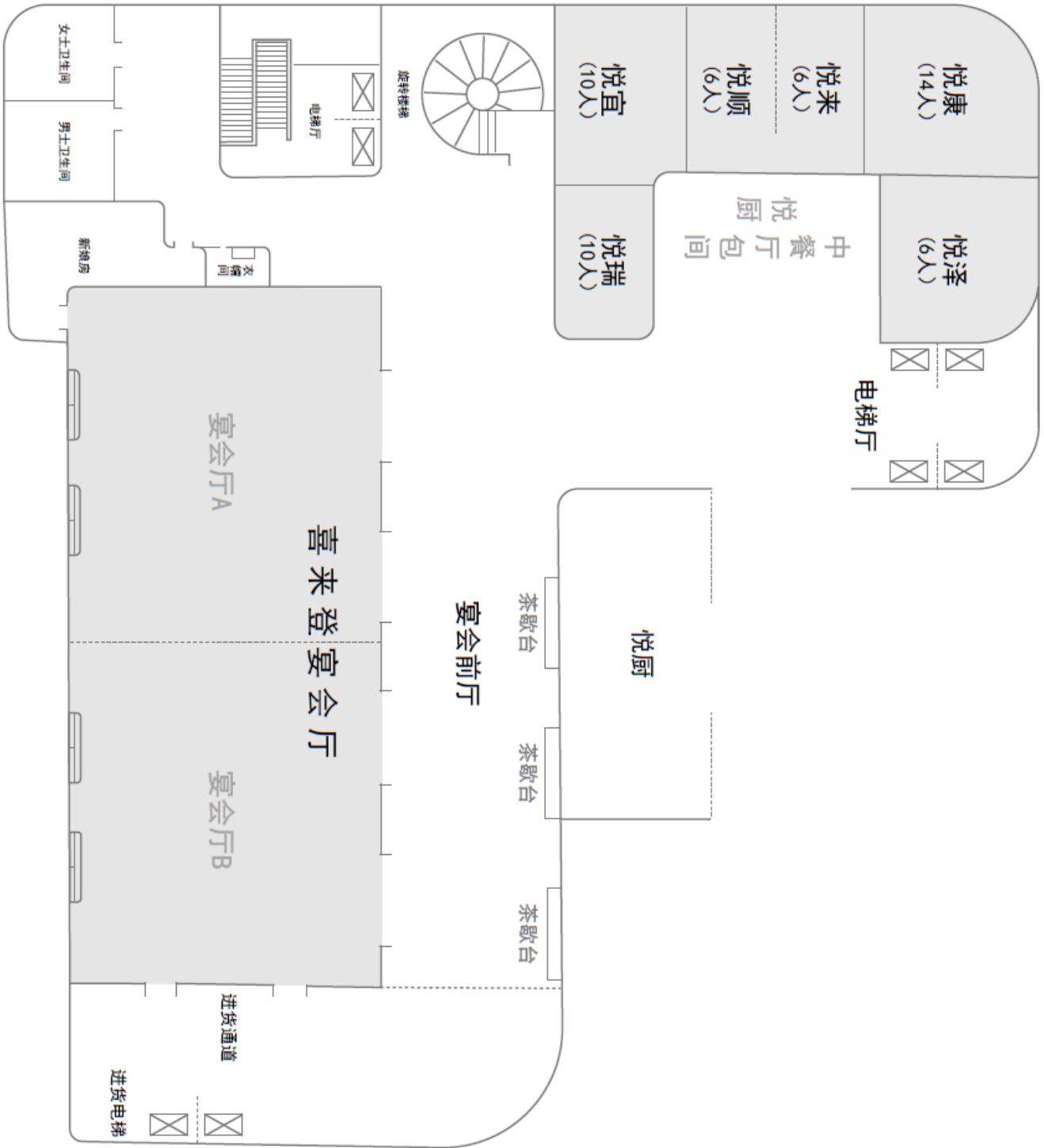
	中餐	晚餐
5 月 15 日	/	1 楼，食光自助餐厅
5 月 16 日	1 楼，食光自助餐厅	3 楼，大宴会厅
5 月 17 日	1 楼，食光自助餐厅	1 楼，食光自助餐厅

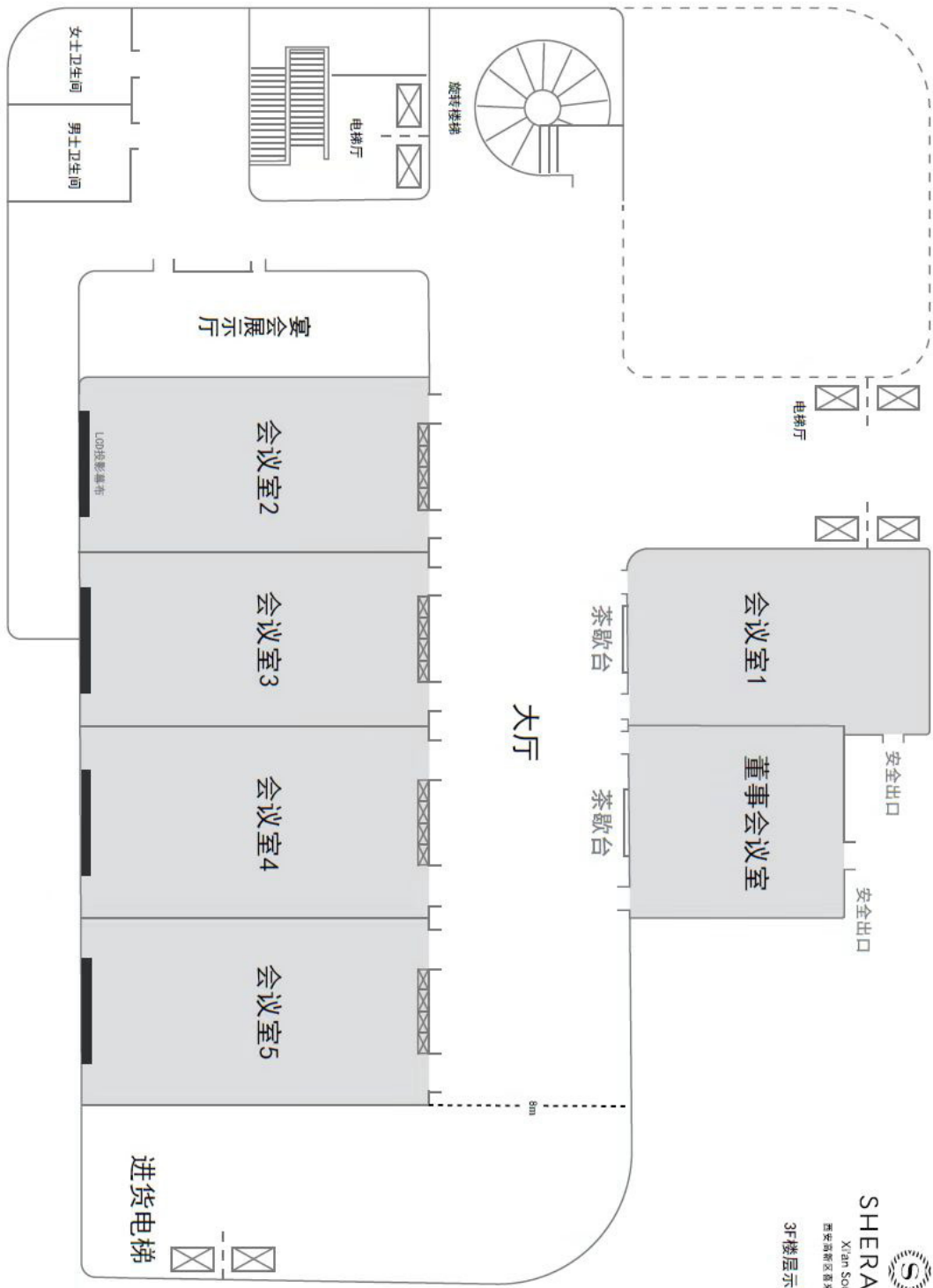
六、会议咨询

您在参会中遇到任何问题均可以选择到一楼报到台咨询或咨询身边黄色挂绳证件的志愿者。

会后财务及发票事宜咨询请联系：雷静雨，13892795868

会场地图






SHERATON
Xi'an South
西安高新区喜来登酒店
3F楼层示意图

会议日程概览

日期	时间	事项	地点
5月15日	09:00-18:00	会议注册	酒店大堂
5月16日	08:30-18:00		
5月17日	08:30-11:00		
5月16日	08:30-09:00	大会开幕式	喜来登大宴会厅
	09:00-16:45	大会报告	喜来登大宴会厅
	16:45-18:30	张贴报告	2楼序厅
	16:50-18:00	优秀学生报告专场	会议室2
	16:50-18:30	专题6: 光学测试技术国家标准宣贯	会议室3
	18:30-20:00	颁奖晚宴	喜来登大宴会厅
	20:30-21:30	中国光学学会光学测试专委会 第七届第四次全体委员会议	会议室4+5
5月17日	08:30-17:10	专题1: 光学元件、材料特性参数测试 技术	会议室1
	08:30-16:45	专题2: 光电器件特性参数测试技术	会议室2
	08:30-17:35	专题3: 光学系统测试技术及仪器	会议室3
	08:30-17:15	专题4: 光学精密测试技术的其他相关 应用	会议室4
	08:30-16:45	专题5: 光学精密计量技术发展	董事会议室

开幕式及大会报告日程

第二十一届全国光学测试学术交流会开幕式、大会日程安排	
5月16日 星期六 会场地址：3楼 喜来登大宴会厅	
主持人：朱日宏 南京理工大学	
08:30-09:00	开幕式 & 大会合影
主持人：赵维谦 北京理工大学	
09:00-09:40	短脉冲激光器及测试测量仪器 樊仲维 中国科学院大学
09:40-10:10	“AI+ 光学”之先进光学制造新范式 邵晓鹏 中国科学院西安光学精密机械研究所
10:10-10:40	主动光钟与法拉第激光器的相关研究进展 陈景标 北京大学
10:40-11:00	茶歇
主持人：王向朝 中国科学院上海光学精密机械研究所	
11:00-11:30	半导体直接泵浦近基模万瓦光纤激光器及测试方法 闫大鹏 中国航天科工航天三江锐科激光
11:30-12:00	智能感知系统关键计量测试技术研究进展 甘海勇 中国计量科学研究院
12:00-14:00	午餐

主持人：高志山 南京理工大学	
14:00-14:30	基于表面等离子共振全息显微术的近场测量 赵建林 西北工业大学
14:30-15:00	高能激光系统强光光学元件评测技术研究思考 周文超 中国工程物理研究院应用电子学研究所
15:00-15:30	冲击波物理与爆轰物理光电测试技术研究进展 翁继东 中国工程物理研究院流体物理研究所
15:30-15:45	茶歇
主持人：杨甬英 浙江大学	
15:45-16:15	后摩尔时代半导体光学检测的机遇与挑战 施伟杰 北京奥普托科微电子科技有限公司
16:15-16:45	国内外标准化新动态及光学标准化进展分析 魏凤 中国科学院武汉文献情报中心
16:45-18:30	张贴报告
16:50-18:00	优秀学生报告专场
16:50-18:30	专题六：光学测试技术标准宣贯
18:30-20:00	晚餐

短脉冲激光器及测试测量仪器

樊仲维

中国科学院大学

报告汇报团队在短脉冲激光技术、对外检测服务以及配套测试测量设备领域的工作基础与进展。在短脉冲激光技术方面，团队掌握纳秒、皮秒激光器的基本设计、调试与参数优化方法，研制的激光器，在测距、远程探测等应用中效果显著。在对外检测服务方面，具备脉冲宽度、光谱、能量、时间波形等关键参数的测量能力，可为激光产品提供安全等级判定、防护要求及应用效果等检测。在配套测试测量设备方面，团队掌握多谱段、不同时域特性激光元器件损伤阈值测试和激光作用效果评估装置研制能力，研制系列激光器功率/能量及有源器件特性参量测量设备，具备专业的一体化集成、结果标定与应用开发工作能力。

樊仲维，中国科学院大学光电学院院长、教授、博士生导师、中国工程院院士。长期从事高峰值功率短脉冲激光关键技术及应用研究，实现系列短脉冲激光器在多个国家重大工程中的首次和批量应用。创建国家半导体泵浦激光工程技术研究中心、国家激光器件质量检验检测中心和全国光电测量标准化技术委员会，牵头构建我国光电测量技术标准体系。发表论文 213 篇，获授权国家/国际发明专利 158 项，制定国/军标 5 项。以第 1 完成人获国家技术发明奖二等奖 2 项、国家科学技术进步奖二等奖 1 项、中国科学院杰出科技成就奖和北京市科学技术奖壹等奖各 1 项，及何梁何利科学与技术进步奖、全国创新争先奖和光华工程科技奖等。

“AI+光学”之先进光学制造新范式

邵晓鹏

中国科学院西安光学精密机械研究所

光学制造作为高端装备体系的核心支撑，应用领域极为广泛。然而，随着纳米级精度需求的不断提升以及检测能力逼近物理极限，传统以纯物理加工与检测为主导的发展路径正面临严峻瓶颈，亟需开辟新的技术范式。近年来，计算光学迅速兴起，特别是人工智能（AI）的突破性发展，为光学制造提供了前所未有的变革契机。计算光学以信息为处理对象，通过构建信息空间与物理空间之间的映射关系，可将复杂的物理问题转化为可优化的数值问题，这为光学制造提供了新思路。本报告首先提出“AI+光学”的融合创新体系架构，系统阐释其理论基础与内涵；其次，进一步探讨计算赋能下的光学制造新范式——突破对极限物理精度的单一依赖，转向“可控误差+数字补偿”的协同机制，通过信息处理实现系统性能的重构与跃升；最后，以低成本遥感相机制造与光学信息相干调控为典型案例，验证该范式的可行性与工程潜力。先进光学制造的新范式有望持续突破传统制造边界，推动光学系统从“精密加工驱动”向“计算与制造协同驱动”转型升级，为高端光学装备的发展提供更加灵活高效的技术路径。

主动光钟与法拉第激光器的相关研究进展

陈景标

北京大学博雅特聘教授，量子电子学研究所副所长

报告聚焦主动光钟与法拉第激光器的关键研究进展，围绕稳频激光技术的核心需求背景，阐述传统稳频方式的局限，分析原子利用率低、稳定性不足等行业痛点，详解主动光钟的原理机制，包括坏腔激光、反共振激光、极坏腔激光等创新技术路径，以及冷/热原子体系的研究突破。同时，系统介绍团队国际首创的法拉第激光器方案技术优势，其利用法拉第反常色散原子滤光器实现原子自动选频，具备窄线宽、抗干扰、小型化等特性，解决了传统激光器准确性、稳定性、集成化三大难题。报告还介绍了两类核心技术在原子钟、精密测量、量子计量等领域的应用推广情况，包括光抽运小铯钟、芯片光钟、迈克尔逊激光器等产业化落地案例，以及团队产学研方面进展情况与未来发展方向。

半导体直接泵浦近基模万瓦光纤激光器及测试方法

闫大鹏

中国航天科工航天三江锐科激光

介绍了一款新型万瓦光纤激光器。该激光器采用半导体激光器(LD)直接泵浦方式与创新圆形改性增益光纤,基于主振荡功率放大(MOPA)技术,通过有效抑制受激拉曼散射(SRS)与横向模式不稳定(TMI)效应并精准调控激光放大过程中的模式数量,实现了输出功率为10.14 kW、光束质量因子M²为1.13的近基模万瓦级激光输出。通过改进Primes公司的LQM光束质量分析仪与横河公司的AQ6370D光谱仪,分别对光束质量与光谱进行测试。

闫大鹏,武汉锐科光纤激光技术股份有限公司创始人、总工程师,华中科技大学教授、博士生导师。国家特聘专家、国家中青年有突出贡献专家、全国劳动模范,第十三、十四届全国人民代表大会代表。2007年归国后,致力于光纤激光器核心技术、制造工艺及智能制造的研发、产业化与工程应用,创建了国际领先的光纤激光器技术体系,推动我国光纤激光器产业从0到1的原创性突破、从1到100的跨越式领跑,彻底打破国外技术封锁、市场与价格垄断,有力支撑了我国激光制造产业自主可控、高质量发展。成果已在国内5000余家企业、海外500余家客户实现规模化应用,成效突出、行业影响力深远。累计授权发明专利159件(其中国际专利3件),国际标准3项,国家/行业标准5项,出版专著3本。曾获国家卓越工程师奖、中国侨界杰出人物提名奖、湖北省科学技术突出贡献奖、国家发明奖二等奖1项、国家科学技术进步奖二等奖1项、湖北省科技进步奖特等奖1项和一等奖2项等。

智能感知系统关键计量测试技术研究进展

甘海勇^{1*}, 刘文德¹, 牛锋¹, 杨文珍², 冯国进¹, 宋国正³, 徐英莹^{1,4}, 吴海¹, 黄泽建¹, 沈常宇⁵, 孟晨¹, 孟东林¹, 王景辉¹, 吴厚平¹, 荆根强⁶, 缪东晶¹, 赫英威¹, 郑春弟¹, 许宁¹, 吴婷艳¹

¹中国计量科学研究院

²之江实验室

³机械工业仪器仪表综合技术经济研究所

⁴深圳中国计量科学研究院技术创新研究院

⁵中国计量大学

⁶交通运输部公路科学研究院

感知是人工智能系统认知物理世界的首要环节, 依赖传感器获取环境信息并通过人工智能技术处理融合, 实现智能决策。近年来, 机器视觉、听觉、嗅觉、触觉等单模态技术发展迅速, 而多模态感知融合更是在模拟人类综合感官方面取得突破, 已广泛应用于监控预警、精准诊疗、应急救援、自动驾驶、虚拟现实(VR)/增强现实(AR)、人形机器人等关键领域, 推动智能感知装备向多参数化、集成化、小型化、场景复杂化及高性能化发展。感知系统性能的精准确试与可靠计量成为保障其准确性、有效性、安全性与可靠性的基石。

现代化计量测试能力已经基本能够支撑各类主要工业测量仪器的量值溯源和质量评价, 但是由“传感探测设备”+“分析决策系统”组成的“智能感知装备系统”亟需计量测试能力从以下几个主要方面进一步提升。

一、智能感知装备系统的运行机制可能呈非线性, 因而用于计量测试的参考标准不能局限于赋予单一量值, 很多时候还需要以不同组合形式利用多个参考标准来进行协同计量测试。

二、智能感知装备系统的应用条件往往高度复杂, 因而在消除了各类干扰因素的环境的传统计量测试实验室只能获得理想条件下的性能, 还需要尽可能地创造接近实际应用的条件。

三、智能感知装备系统的输出结果关注事件信息, 因而用于计量测试的参考标准不能只赋予参数和量值, 还需要具备能够反映事件信息的数据标签, 这是系统质量评价的直接判据。

四、智能感知装备系统的计量测试需要充分有效, 一方面计量测试参考标准需要从应用场景不同条件参数的各个维度和量程范围进行合理的全面覆盖, 另一方面需要确保测评效率。

在“国家质量基础设施体系”重点专项的支持下, 中国计量科学研究院自2021年开始牵头开展了人工智能多模态感知关键计量测试技术研究, 制定面向智能感知装备系统进行有效计量测试的基本思路(图1), 采用复合参量校准、应用场景评价、专业知识检验、仿真拓展测试等关键策略来提高计量测试的准确性、可靠性、充分性和有效性。研究攻克复合参量有效叠加、多重特性本源耦合、数字孪生可控重放等关键技术。研制多套复合参量有效叠加的测量装置与多重物理特性本源耦合的定标模组、构建与真实环境关键性能匹配的计量测试工况条件以及原位应用验证方案、强化基于物理规律和专业知识对数据的信息提取和表达进行细致跟踪考察并促进关联、运用虚拟和混合现实等新型数智技术提升检验评价平台的综合效能。成功研制了包括差分光谱响应度校准装置等在内的13套基于模拟与真实场景、可溯源的量化测评装置。这些装置不仅服务于视觉、听觉、嗅觉、触觉、多波段光电等单模态及多模

态融合感知系统的精准测评，在国际上率先系统性地构建了深度融合物理规律、专业领域知识与数智技术的智能感知计量测试体系框架。这一体系框架的建立，标志着理念上的重大突破，为高端装备中多参量、多波段、多模态融合智能感知系统的安全、可靠、精准、有效运行提供了不可或缺的高精度量值溯源保障，并奠定了坚实的质量评价技术标准与规范基础，有力支撑了我国人工智能与智能装备产业的创新发展和质量提升。

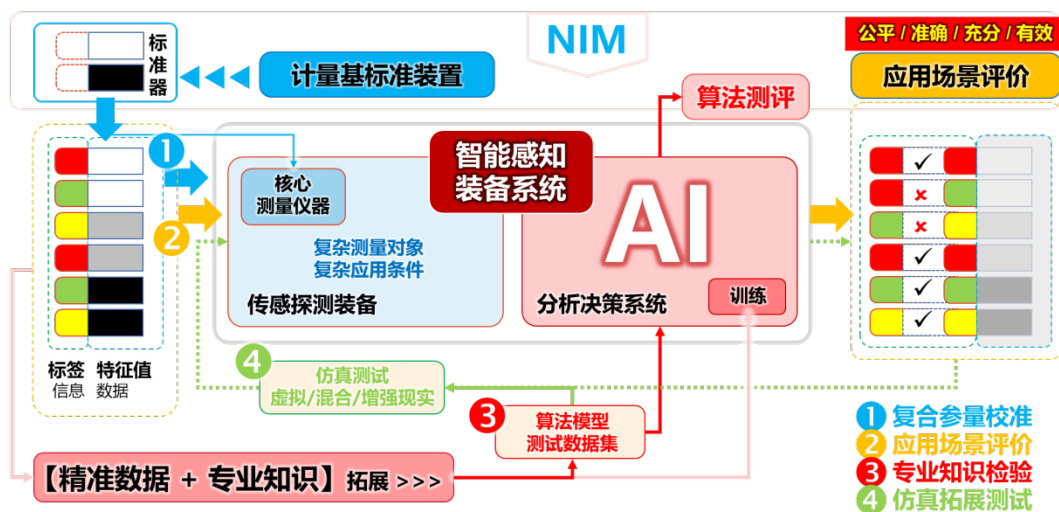


图 1. 智能感知装备系统计量测试基本思路。

基于表面等离子激元共振全息显微术的近场测量

赵建林*, 张继巍, 戴思清

光场调控与信息感知工业和信息化部重点实验室, 陕西省光信息技术重点实验室, 西北工业大学物理科学与技术学院

表面等离子激元共振全息显微术 (SPRHM) 兼具表面等离子激元共振效应的高灵敏度和数字全息显微术对物光场复振幅分布的无标记、非接触、高精度动态测量优势, 通过同时获取共振条件下反射光波强度和相位信息, 可实现对近场区域介质样品的宽场成像及相关物理参量分布的高灵敏度测量。如测量二维材料、极薄金属和介质薄膜的厚度、复折射率分布及其各向异性, 监测液体折射率分布及其动态变化, 监测生物活细胞的贴壁间隙和细胞质折射率分布及其动态变化等。报告将介绍相关测量原理、方法及测量系统的研究进展

赵建林, 西北工业大学物理科学与技术学院教授, 博士生导师, 中国光学学会会士, 陕西省教学名师。兼任中国光学学会监事、全息与光信息处理专业委员会主任, 中国仪器仪表学会光机电系统与集成分会副主任, 《光学学报》终身编委, 《光子学报》执行主编等。曾任超常条件材料物理与化学教育部重点实验室主任, 陕西省光信息技术重点实验室主任, 《光学学报》执行主编。主要从事光场调控、成像及信息感知方面的研究。主持国家自然科学基金重点项目、面上项目、国家重大科学仪器研制项目以及科技部国家重点研发计划课题等 40 余项, 发表 SCI 论文 600 余篇, 授权国家发明专利 70 余件, 出版国家级光学教材 5 部, 获中国光学学会技术发明奖一等奖及陕西省自然科学奖一、二等奖, 入选 2020-2025 年爱思唯尔“中国高被引学者”。

高能激光系统强光光学元件评测技术与思考

周文超

中国工程物理研究院应用电子学研究所

强光光学元件作为高能激光系统的核心功能载体与关键部件，其抗激光损伤能力与服役稳定性直接决定了高能激光系统的输出性能、运行可靠性、本质安全性及全生命周期服役寿命。本报告系统阐述从元件材料、加工、镀膜全链路开展关键技术研究；构建静态本征参数精准测量、动态参数实时监测、静态参数劣化演化定量测试一体化闭环评估方法；发展高精度、高分辨、高动态响应的原位在线测量技术，耦合多环境模拟加载装置，用于提升强光光学元件全生命周期评估的科学性、准确性与置信度。

周文超，光学工程博士，中国工程物理研究院应用电子学研究所所长、研究员。长期从事高能激光技术研究，先后承担多项国家重大项目负责人。国防科技工业专业标准化技术委员会某标准化工作组委员兼秘书长，曾获四川省学术和技术带头人后备人选、四川省“天府青城计划”科技创新领军人才、中物院特等劳动模范等荣誉，享受国务院政府特殊津贴，研究成果获军队科技进步一等奖3项、二等奖1项、三等奖4项，发表论文20余篇，授权发明专利10余项，参与制订国家标准和国家军用标准近10项。

冲击波物理与爆轰物理光电测试技术研究进展

翁继东

中国工程物理研究院流体物理研究所

冲击波物理与爆轰物理实验通过超高动载荷加载（如轻气炮、磁驱动、炸药爆轰、强激光等）使物质处于瞬态极端高温高压状态（压力 MPa~TPa，温度 1000K~10000K），研究其动力学行为，需要高时空分辨、高精度的光电测试技术支撑。本报告介绍了中物院一所在该领域的研究能力与进展，包括激光干涉测速技术（实现 80nm 位移、50ps 时间分辨及 35km/s 超高速测量）、频域干涉测距技术（米级量程、微米精度与每秒千万次重复测量）、瞬态辐射测温技术（800K~15000K 范围，5ns 时间响应，精度优于 2%）、高速摄影（亚微米空间分辨，纳秒-皮秒级动态记录）等核心测试方法。此外，相关技术还成功应用于航空发动机测试，如叶尖间隙、叶片振动等，解决了我国高压涡轮动态测量难题。未来冲击波物理与爆轰物理实验光电测试技术将向多维度、全空间、宽频段、多尺度协同方向发展，推动国家重大装备自主可控与军民融合深度发展，为极端条件物理研究和高端装备研制提供更强大的实验支撑。

翁继东，博士，中国工程物理研究院流体物理研究所研究员，博士生导师，流体物理研究所光电测试技术与产品研发中心主任，冲击波物理与爆轰物理全国重点实验室瞬态光电测试诊断技术方向学科带头人，中国科学技术大学兼职博导。长期从事瞬态光电测试技术基础研究及仪器设备开发应用工作，发表高水平学术论文二十余篇，授权国家发明专利二十余项。相关成果应用于国家重大任务，先后获国家技术发明二等奖 1 项（排名第一）和省部级技术发明一等奖 1 项（排名第一）、省部级科技进步一等奖 3 项（排名第一 1 项）；入选国家高层次人才计划；获中国青年科技奖、中国科协求是杰出青年实用工程奖等奖励；主持国家重大科技专项、军口重点项目及国家自然科学基金委重点项目等国家级重要项目十余项，享受国务院政府特殊津。

后摩尔时代半导体光学检测的机遇与挑战

施伟杰

北京奥普托科微电子科技有限公司

半导体光学缺陷检测是芯片制造全流程良率保障的核心支撑设备，其精度与效率直接决定芯片制程稳定性、可靠性。后摩尔时代，以图形微缩为核心的平面摩尔定律边际效应持续减弱，三维堆叠、混合键合等立体集成技术成为突破芯片性能极限的关键，对光学缺陷检测提出新的要求。与此同时，算力的指数级提升与AI、机器学习算法的深度迭代，赋能计算检测、虚拟量测等新型技术落地，突破传统检测局限，为该领域带来新机遇。本报告立足行业背景，剖析当前核心机遇与挑战，归纳国产光学缺陷检测设备的技术与产业发展趋势，为行业创新及升级提供参考。

施伟杰，中科院上海光学精密机械研究所博士，科技部02专项技术专家与课题负责人，深圳市高层次人才；曾在SMEE担任系统工程师负责国产100nm步进扫描光刻机系统设计；2007年就职于ASML-Brion公司担任产品总监，负责Tachyon计算光刻产品的研发。2015年加入东方晶源微电子科技（北京）股份有限公司任常务副总经理，负责国产计算光刻PanGen系列产品的开发与销售。2024年加入北京奥普托科微电子科技有限公司，担任总经理。申请国内外专利20余项，发表论文30余篇，合著专著2部。

国内外标准化新动态及光学标准化进展分析

魏凤

中国科学院武汉文献情报中心

本次报告揭示主要经济体国家（中、欧、美）标准化最新战略及发展趋势，重点对光学标准支撑行业发展（战略新兴产业、未来产业及新、新增长支撑产业）情况做了预判，调研国际光学领域最新的标准化动态及主要国家标准化机构开展的光学研发布局，介绍我院主要挂靠的国家标准化技术委员会的光学标准化工作，进而提出对光学标准化工作的思考和建议。

魏凤，博士生导师，中国科学院标准化工作办公室/武汉文献情报中心标准情报团队负责人，主要从事标准、知识产权、科技政策、研发等信息资源管理与数据挖掘的研究工作。目前担任科技大数据湖北省重点实验室学术委员会、国家级标准化技术委员会委员、教育部硕博学位论文评审专家、国家基金委项目评审专家等。

专题 1

<p>专 题 1：光学元件、材料特性参数测试技术 主 席：张 舸 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 共主席：薛 勋 中国科学院西安光学精密机械研究所 王孝坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 苏 榕 中国科学院上海光学精密机械研究所 侯 溪 中国科学院光电技术研究所</p>	
<p>5 月 17 日 星期日 会场地址：会议室 1</p>	
<p>主持人：张舸 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所</p>	
08:30-08:50	<p>邀请报告 凸非球面 CGH 补偿的子孔径拼接干涉测量技术 陈善勇 国防科大学</p>
08:50-09:10	<p>邀请报告 高性能光学元件近表层缺陷多模态检测与调控方法 宋辞 国防科大学</p>
09:10-09:30	<p>邀请报告 高纯熔融石英光学材料特性测试参数测试技术进展 胡海翔 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所</p>
09:30-09:45	<p>口头报告 基于悬浮式数字光 3D 打印的水凝胶光纤的性能测试方法 韩亚宁, 矫奇蓉, 沈华* 南京理工大学电子工程与光电技术学院</p>
09:45-10:00	<p>口头报告 大口径曲面光学元件表面疵病检测仪 曹俊熙, 李溪远, 徐兆锐, 王狮凌, 李欣明, 何建瑶, 郭鑫磊, 吴兰, 刘东* 浙江大学光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室</p>
10:00-10:15	<p>茶歇</p>

主持人：王孝坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	
10:15-10:35	邀请报告 计算全息在光电成像系统中的应用 程强 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
10:35-10:55	邀请报告 非球面加工全链路面形检测与关键参数精准控制技术 李晶 中国科学院西安光学精密机械研究所
10:55-11:15	邀请报告 深紫外光学石英玻璃性能评价体系及测试技术 张寒 湖北菲利华石英玻璃股份有限公司
11:15-11:35	邀请报告 基于低相干干涉技术的薄膜元件后向散射测量 李资政 中山大学
11:35-11:50	口头报告 MUST 改正镜单镜支撑结构下的透射波前检测实验 张敏涛 ^{1,2} , 徐晨 ^{1*} , 牛冬生 ¹ , 何启嘉 ¹ , 田佳林 ¹ , 王文渊 ¹ 1 中国科学院南京天文光学技术研究所 2 中国科学院大学
11:50-12:05	口头报告 窄线宽保偏光纤布拉格光栅光谱的精确测量与控制方法 辛子怡 ^{1,2} 、矫苛蓉 ^{1,2} 、沈华 ^{1,2*} 1 南京理工大学电子工程与光电技术学院 2 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室
12:05-12:20	口头报告 基于神经网络预测的傅科刀口仪波前定量传感方法 王庆杰 南京邮电大学
12:20-13:30	午餐
主持人：薛勋 中国科学院西安光学精密机械研究所	

13:30-13:50	邀请报告 基于液晶 DOE 的复杂曲面表面及亚表面缺陷检测研究 王玉坤 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
13:50-14:10	邀请报告 面向复杂工业制造的智能光学检测装备关键技术及应用 张正涛 中国科学院自动化研究所
14:10-14:30	邀请报告 傅立叶椭偏晶圆级薄膜测量技术及光学曲面测量应用 王健 华中科技大学
14:30-14:50	邀请报告 高精度杂散光测试技术研究 陈钦芳 中国科学院西安光学精密机械研究所
14:50-15:05	口头报告 飞秒激光器用色散 CFBG 多参量快速精密测量方法 朱子豪 ^{1,2} , 矫岢蓉 ^{1,2} , 沈华 ^{1,2*} 1 南京理工大学电子工程与光电技术学院 2 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室
15:05-15:20	茶歇
主持人: 侯溪 中国科学院光电技术研究所	
15:20-15:40	邀请报告 深紫外光学薄膜弱吸收测试与分析 王延超 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
15:40-16:00	邀请报告 低损耗激光薄膜的超高反射率测试与评价 李浩川 中国科学院西安光学精密机械研究所
16:00-16:20	邀请报告 高单模纯度空芯光纤制备及超快中红外脉冲传输研究 黄家鹏 中国科学院上海光学精密机械研究所

16:20-16:40	邀请报告 基于共光路共焦-干涉复合探测的面形轮廓高精度测量技术研究 刁晓飞 中国计量科学研究院
16:40-17:00	邀请报告 复杂曲面光学元件缺陷检测技术研究 徐兆锐 浙江大学
16:55-17:10	邀请报告 穹顶恒星模拟器支撑架热变形的亚角秒测试方法研究 刘阳 ^{1,3} , 王虎 ^{1,2,3} 1 中国科学院西安光学精密机械研究所 2 中国科学院大学 3 西安市空间敏感器光学技术工程研究中心

专题 2

<p>专 题 2: 光电器件特性参数测试技术 主 席: 谈宜东 清华大学 共主席: 吴冠豪 清华大学 史学舜 中国电子科技集团公司第四十一研究所 麻云凤 中国科学院空天信息创新研究院</p>	
<p>5 月 17 日 星期日 会场地址: 会议室 2</p>	
<p>主持人: 谈宜东 清华大学</p>	
08:30-08:50	<p>邀请报告 空间弱光探测器件辐射效应测试及在轨抑制技术 李豫东 中国科学院新疆理化技术研究所</p>
08:50-09:10	<p>邀请报告 基于相位特征分析的白光干涉测量技术 罗松杰 华侨大学</p>
09:10-09:30	<p>邀请报告 远距离运动目标的单像素激光雷达跟踪与成像 时东锋 中国科学院安徽光学精密机械研究所</p>
09:30-09:45	<p>口头报告 基于低相干干涉的六自由度绝对位姿测量 赵润坤¹, 施立恒^{1,2}, 吴冠豪^{1*} 1 清华大学精密仪器系 2 北京清华前沿交叉创新研究院</p>
09:45-10:00	<p>口头报告 基于铌酸锂晶体闲频光单谐振涡旋光参量振荡器的输出特性研究 艾孜合尔江·阿布力克木, 矫岢蓉, 沈华[*] 南京理工大学电子工程与光电技术学院</p>
10:00-10:15	茶歇

主持人：史学舜 中国电子科技集团公司第四十一研究所	
10:15-10:35	邀请报告 基于可见光光电图像的中低温温度测量 林惠川 闽南师范大学
10:35-10:55	邀请报告 半导体图形化缺陷光学检测新原理探索 朱金龙 华中科技大学机械科学与工程学院
10:55-11:15	邀请报告 太赫兹辐射功率计量研究 邓玉强 中国计量科学研究院
11:15-11:30	口头报告 基于光频梳偏振调制的超快滚转角测量技术 李与涵 ¹ , 施立恒 ² , 吴冠豪 ¹ 1 清华大学精密仪器系 2 清华前沿交叉创新研究院
11:30-11:45	口头报告 基于频域白光干涉法的高精度色散测量 闫东钰 天津职业技术师范大学
11:45-13:30	午餐
主持人：武腾飞 中国航空工业集团公司第三〇四研究所	
13:30-13:50	邀请报告 高能激光光斑测量与评估技术 杨鹏翎 西北核技术研究所
13:50-14:10	邀请报告 多片复合式相位补偿器光学性能分析 胡春光 天津大学

14:10-14:30	<p>口头报告</p> <p>基于栅格扫描的大口径钹玻璃激光损伤检测</p> <p>贾宗儒^{1,2}, 张之曦¹, 麻云凤^{1,2*}, 白芳¹, 程旺^{1,2}, 田浩^{1,2}, 曹李熙^{1,2}, 王哲^{1,2}, 白勇¹</p> <p>1 中国科学院空天信息创新研究院 2 中国科学院大学光电学院</p>
14:30-14:45	<p>口头报告</p> <p>叠层衍射计算成像穆勒矩阵显微镜及其在二维材料各向异性表征中的应用</p> <p>黄松源, 龚明, 张启航, 谷洪刚*, 刘世元</p> <p>华中科技大学精密仪器研究中心</p>
14:45-15:05	<p>邀请报告</p> <p>微光像增强器光电参数测量技术与方法</p> <p>拜晓锋</p> <p>夜视集团</p>
15:05-15:20	茶歇
主持人: 胡春光 天津大学	
15:20-15:40	<p>邀请报告</p> <p>飞秒光频梳在发动机关键参数计量的若干应用及进展</p> <p>武腾飞</p> <p>中国航空工业集团公司第三〇四研究所</p>
15:40-16:00	<p>邀请报告</p> <p>全时域激光损伤测试技术</p> <p>程旺</p> <p>中国科学院空天信息创新研究院</p>
16:00-16:20	<p>邀请报告</p> <p>飞秒光频梳技术及其在精密测量中的应用</p> <p>张铁犁</p> <p>北京航天计量测试技术研究所</p>
16:20-16:35	<p>口头报告</p> <p>基于单像素编码的全场光谱干涉多维测量技术</p> <p>张金旭^{1,2}, 柳鑫元², 邢飞^{1,2}, 吴冠豪^{2*}</p> <p>1 启元实验室 2 清华大学精仪系</p>
16:35-16:50	<p>口头报告</p> <p>太阳光干扰对激光雷达性能影响及量化评估方法研究</p> <p>曹晨欣^{1,2}, 王哲^{1,2}, 麻云凤^{1,2*}, 程旺^{1,2}, 白芳¹, 白勇¹, 张之曦¹, 贾宗儒^{1,2}, 田浩^{1,2}, 曹李熙^{1,2}</p> <p>1 中国科学院空天信息创新研究院 2 中国科学院大学光电学院</p>

专题 3

专题 3: 光学系统测试技术及仪器

主席：刘 东 浙江大学

共主席：张文喜 中国科学院空天信息创新研究院

袁 群 南京理工大学

王 允 北京理工大学

石 峰 国防科技大学

5月17日 星期日 会场地址：会议室 3

主持人：彭韶婧 浙江大学极端光学技术与仪器全国重点实验室

08:30-08:50	邀请报告 激光惯性约束聚变中超快时空诊断技术研究进展 王峰 中国工程物理研究院激光聚变研究中心
08:50-09:10	邀请报告 光腔弱耦合激光干涉皮米级位移测量技术研究 徐欣 清华大学
09:10-09:30	邀请报告 气动波前畸变仿真分析与测量技术研究 杨忠明 山东大学
09:30-09:45	口头报告 大口径准直系统波前数据处理方法研究 蔡志华 齐鲁中科光物理与工程技术研究院
09:45-10:00	口头报告 面向大口径高像质光学系统的全视场高精度 MTF 测试仪的研制与应用 张誉成 西南科技大学
10:00-10:15	茶歇

主持人：徐欣 清华大学	
10:15-10:35	邀请报告 超高精度光学面形干涉检测技术及应用进展 侯溪 中国科学院光电技术研究所
10:35-10:55	邀请报告 830mm 口径低相干噪声抗振干涉仪 彭韶婧 浙江大学极端光学技术与仪器全国重点实验室
10:55-11:15	邀请报告 高精度柱面光学元件表面形貌及缺陷检测技术研究 臧仲明 中国工程物理研究院机械制造工艺研究所
11:15-11:30	口头报告 面向大口径干涉检测的多表面迭代波长移相抗振算法 何建瑶 浙江大学极端光学技术与仪器全国重点实验室
11:30-11:45	口头报告 振动环境下大口径时域移相干涉仪波面符号模糊问题及抑制技术研究 李丰芮 南京理工大学
11:45-12:00	口头报告 用于高 NA 光刻投影物镜波像差检测的 Ronchi 剪切干涉仿真模型 常春超 ^{1,2} , 李中梁 ^{1,2} , 黄申鹏 ^{1,2} , 冯鹏 ^{1,2} , 王向朝 ^{1,3} 1 中国科学院上海光学精密机械研究所 2 中国科学院大学 3 浙江大学
12:00-13:30	午餐
主持人：国成立 宁波市知行光学科技有限公司	
13:30-13:50	邀请报告 剪切干涉在非球面测量中关键技术 田爱玲 西安工业大学

13:50-14:10	邀请报告 光学曲面检测技术 禹静 中国计量大学
14:10-14:30	邀请报告 光学元件加工中监测与检测技术 孙国燕 中国科学院西安光学精密机械研究所
14:30-14:45	口头报告 逼近分辨率极限的相干衍射成像 刘力 华中科技大学
14:45-15:00	口头报告 基于深度学习的高精度大口径单帧干涉面形测量方法 汤亮 北京理工大学
15:00-15:15	茶歇
主持人：孙国燕 中国科学院西安光学精密机械研究所	
15:15-15:35	邀请报告 面向超精密光学制造的形位多参数光学检测技术研究 翟德德 国防科技大学
15:35-15:55	邀请报告 复杂光学系统集成装调与检测技术 曾雪峰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
15:55-16:15	邀请报告 激光剪切散斑干涉多通道测量技术研究及应用 李杰 中国工程物理研究院激光聚变研究中心
16:15-16:35	邀请报告 散射光场多维解耦技术研究 刘飞 西安电子科技大学

16:35-16:55	邀请报告 从纳米级补偿到系统级评价：计算全息 (CGH) 在超精密光学检测中的全链路应用 国成立 宁波市知行光学科技有限公司
16:55-17:15	邀请报告 结构光照明衍射层析与荧光显微技术 郑娟娟 西安电子科技大学
17:15-17:35	邀请报告 高功率环形腔克尔透镜锁模碟片振荡器 闫力松 华中科技大学

专题 4

专题 4：光学精密测试技术的其他相关应用

主席：韩冰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

共主席：史久林 南昌航空大学

陈修国 华中科技大学

胡春光 天津大学

杨晓飞 苏州大学

5月17日 星期日 会场地址：会议室4

主持人：韩冰 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

08:30-08:50	邀请报告 面向靶场测量的单光子探测激光回波特性研究 贾文武 中国人民解放军 63875 部队
08:50-09:10	邀请报告 先进测量技术在红外透射系统批量化生产中的应用 张祝伟 北京空间机电研究所
09:10-09:30	邀请报告 高灵敏度激光扫频干涉测距与雷达技术 王一帆 清华大学
09:30-09:45	口头报告 一种工艺稳定性强的光刻机硅片对准测量系统 周丽军 浙江大学
09:45-10:00	口头报告 基于正交偏振后焦面成像的深亚波长反对称结构探测方法 王威 华中科技大学
10:00-10:15	茶歇

主持人：杨晓飞 苏州大学	
10:15-10:35	邀请报告 二维半导体光电材料与器件应用 吉培瑞 西安交通大学
10:35-10:55	邀请报告 X 射线薄膜器件亚纳米表面检测与制造 黄秋实 同济大学
10:55-11:15	邀请报告 同步辐射 X 射线精密检测及应用 李中亮 中国科学院上海高等研究院
11:15-11:30	口头报告 多层复合结构 TSV 深度的介质填充辅助光谱测量方法 李潼涛 天津大学
11:30-11:45	口头报告 基于光刻标定板的多阴影照相站联合标定方法 虞致远 南京理工大学
11:45-13:30	午餐
主持人：周顺 西安工业大学	
13:30-13:50	邀请报告 纳米材料光电特性的场驱动演变：光谱椭圆与第一性原理计算的联合研究 刘佳敏 华中科技大学
13:50-14:10	邀请报告 基于多源误差耦合标定补偿的 ATP 测试技术研究 许洪刚 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 \ 长春理工大学

14:10-14:30	邀请报告 可用于宽光谱显微物镜波差在线检测的 FIS4 动态干涉仪 杨甬英 浙江大学
14:30-14:45	口头报告 基于双目视觉的风洞模型位姿测量方法及应用 卜庆伟 中国航空工业集团公司沈阳空气动力研究所
14:45-15:00	口头报告 基于特征信号降采样的高速移相干涉图采集技术 许嘉瑞 南京理工大学
15:00-15:15	茶歇
主持人：杨甬英 浙江大学	
15:15-15:35	邀请报告 面向高端量测设备的甚多轴超精密运动生成技术 刘杨 哈尔滨工业大学
15:35-15:55	邀请报告 基于刃边像分析的调制传递函数测试方法研究 田留德 中国科学院西安光学精密机械研究所
15:55-16:15	邀请报告 基于反射光谱的薄膜生长过程原位测量及应用 沈万福 天津大学
16:15-16:30	口头报告 基于匀化光斑激光共焦 LIBS 三维层析检测方法 王旭 北京理工大学
16:30-16:45	口头报告 基于外点罚函数的发射率优化求解算法 王宇 南京理工大学

16:45-17:00	口头报告 基于动态光度立体的 CFRP 圆柱构件全表面在线缺陷检测 李溪远 浙江大学
17:00-17:15	口头报告 掠入式离轴抛物面反射镜高精度加工与检测技术研究 魏淑玉 齐鲁中科光物理与工程技术研究院

专题 5

专题 5: 光学精密计量技术发展

主席: 俞 兵 西安应用光学研究所

共主席: 甘海勇 中国计量科学研究院

占春连 中国计量大学

吴恒奎 中国电子科技集团公司第 41 研究所

郑小兵 中国科学院合肥物质研究院

陈潇潇 中国测试技术研究院

5 月 17 日 星期日 会场地址: 董事会议室

主持人: 俞兵 西安应用光学研究所

08:30-08:50	邀请报告 激光显示与光电探测中的光学计量技术进展 陈潇潇 中国测试技术研究院
08:50-09:10	邀请报告 材料光学计量技术体系发展现状、挑战与未来发展 王雷 西安应用光学研究所
09:10-09:30	邀请报告 平均颜色温度计量比对及结果分析 刘慧 中国计量科学研究院
09:30-09:45	口头报告 光频梳计算编码的高速目标精密多维感知技术研究 刘俊辰 天津工业大学电子与信息工程学院
09:45-10:00	口头报告 正交偏振双频激光干涉纳米位移测量技术研究 海明阔, 徐欣*, 武耀威, 王一帆, 谈宜东* 清华大学精密仪器系, 精密测试技术及仪器全国重点实验室
10:00-10:15	茶歇

主持人：甘海勇 中国计量科学研究院	
10:15-10:35	邀请报告 SPAD 单光子探测技术研究及应用 赵天琦 中国计量大学
10:35-10:55	邀请报告 一体化光纤光栅制备及计量测试技术研究 赵春柳 中国计量大学
10:55-11:15	邀请报告 新型光电探测器件计量测试技术研究进展 庄新港 中国电子科技集团公司第 41 研究所
11:15-11:35	邀请报告 基于级联积分球的光电探测器连续线性测量方法研究 李健军 中国科学院合肥物质研究院
11:35-11:50	口头报告 超表面空-频协同编码多自由度位姿同步测量 谷望航 温州大学
11:50-13:30	午餐
主持人：郑小兵 中国科学院合肥物质研究院	
13:30-13:50	邀请报告 基于激光衰减法的大动态范围衰减片透过率测量方法研究 康晴 中国科学院合肥物质研究院
13:50-14:10	邀请报告 新型点源波长编码波前动态检测技术 贺益凡 中国科学院西安光学精密机械研究所

14:10-14:30	邀请报告 X射线散射空间关联成像及其在高分辨表征中的应用 王飞翔 中国科学院上海高等研究院
14:30-14:50	邀请报告 新一代超精密激光干涉测量技术与仪器 于亮 哈尔滨工业大学
14:50-15:10	邀请报告 基于压缩和纠缠的量子精密测量 蔚娟 西安工业大学
15:10-15:25	茶歇
主持人：占春连 中国计量大学	
15:25-15:45	邀请报告 基于散射成像的高功率近红外激光光束质量测量研究 申琦琦 中国计量科学研究院
15:45-16:05	邀请报告 基于压膜阻尼效应的快速低噪声光压测量 郭强强 中国计量科学研究院
16:05-16:25	邀请报告 超精密光栅空间光场干涉扰动与微弱流场可视化测量研究 李国俊 西安交通大学
16:25-16:45	邀请报告 光学参数计量评估在道路交通场景中的应用及研究进展 张明 陕西省计量科学研究院

专题 6

专 题 6：光学测试技术国家标准宣贯

主 席：付跃刚 长春工业大学
 共主席：刘照言 中国科学院空天信息创新研究院
 王 璞 中国科学院空天信息创新研究院
 刘智影 长春理工大学
 杨 洋 华为技术有限公司
 张学敏 武汉大学

5 月 16 日 星期六 会场地址：会议室 3

主持人：王璞 中国科学院空天信息创新研究院

16:50-16:58	《国家标准立项申报流程及要点》 王璞 中国科学院空天信息创新研究院
16:58-17:06	《ISO 国际标准申报立项要义》 曲腾腾 北京大学
17:06-17:14	国家标准宣贯 《星敏感器通用规范》 王苗苗 北京控制工程研究所
17:14-17:22	国家标准宣贯 《均匀光源通用规范》 昌明 中国科学院西安光学精密机械研究所
17:22-17:30	国家标准宣贯 《成像衍射光学元件衍射效率的测量方法》 朴明旭 长春理工大学
17:30-17:38	国家标准宣贯 《通信用光器件频响参数测试方法》 刘志明 中电科思仪科技股份有限公司

17:38-17:46	国家标准宣贯《光电系统中光学中心间距的测定 低相干干涉测量法》 邢利娜 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所
17:46-17:54	国家标准宣贯《光学系统波前像差的测定 夏克-哈特曼光电测量法》 邢利娜 中国科学院苏州生物医学工程技术研究所
17:54-18:02	国家标准宣贯《光电测量 激光跟踪测量系统性能检测方法》 王珊 中国科学院微电子研究所
18:02-18:10	杂散光抑制材料的测试评价标准研究 邵晶 青岛理工大学
18:10-18:18	点源透过率杂（散）光测试规范 陈钦芳 中国科学院西安光学精密机械研究所
18:18-18:30	光学测试技术国家标准宣贯 - 会议讨论

优秀学生报告专场

优秀学生报告专场	
5月16日 星期六 会场地址：会议室2	
主持人：张舸 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	
16:50-16:57	口头报告 高功率啁啾倾斜光纤布拉格光栅热阻系数快速测量方法 田松发 ^{1,2} , 矫奇蓉 ^{1,2} , 沈华 ^{1,2*} 1 南京理工大学电子工程与光电技术学院 2 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室
16:57-17:04	口头报告 单帧条纹图相位恢复技术研究进展 周士棣 ^{1,2} , 侯溪 ^{1,2} , 张帅 ^{1,2} , 胡小川 ^{1,2} 1 中国科学院光场调控科学技术全国重点实验室 2 中国科学院大学
17:04-17:11	口头报告 基于空间调制光源的高精度干涉测量技术研究 王进 ^{1,2} , 张青 ^{1,2} , 韩志刚 ^{1,2*} , 朱日宏 ^{1,2} 1 南京理工大学电子工程与光电技术学院 2 南京理工大学先进固体激光工信部重点实验室
17:11-17:18	口头报告 基于光学外差法的单频光纤激光线宽测量方法 张凯, 矫奇蓉, 沈华* 南京理工大学电子工程与光电技术学院
17:18-17:25	口头报告 焦点监测跟踪的大量程高分辨共焦传感方法 张晓程, 邱丽荣, 王允, 赵维谦 北京理工大学 光电学院, 复杂环境智能感测技术工信部重点实验室
17:25-17:32	口头报告 基于十光谱通道的激光熔池温度场测量方法 王海东, 沈华* 南京理工大学电子工程与光电技术学院

17:32-17:39	<p>口头报告</p> <p>一种高环境鲁棒性的双光纤点衍射干涉仪</p> <p>吕雄涛¹, 冯鹏², 李中梁^{2*}, 周丽军¹, 常春超², 高金铭¹, 刘东¹, 匡翠方^{1*}, 王向朝^{1,2*}</p> <p>1 浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室</p> <p>2 中国科学院上海光学精密机械研究所高端光电装备部</p>
17:39-17:46	<p>口头报告</p> <p>面向红外 MTF 测量的高阶动态像差反演：基于同方差加权与多尺度特征感知的深度网络</p> <p>童荣景</p> <p>南京理工大学</p>
17:46-17:53	<p>口头报告</p> <p>基于探测光斑序列分割的差动共焦自由曲面传感测量方法</p> <p>刘昱含</p> <p>北京理工大学</p>
17:53-18:00	<p>口头报告</p> <p>光学元件表面缺陷的光热吸收检测研究</p> <p>张峰玮</p> <p>浙江大学</p>

凸非球面 CGH 补偿的子孔径拼接干涉测量技术

陈善勇、张鹏、路文文

国防科技大学智能科学学院，长沙 410073

凸非球面广泛应用于光刻物镜、光电探测相机等先进成像系统中，其制造精度与成像性能直接相关，而面形误差的超精密测量是关键。报告以大口径凸非球面为对象，介绍基于计算全息（CGH）补偿的子孔径拼接干涉测量技术，包括 CGH 的基本原理与设计方法、近零位补偿的双回转 CGH 补偿器和零位补偿的空分复用 CGH 补偿器的设计、近零位或零位子孔径拼接优化的模型与算法等，最后以某高次凸非球面为例进行拼接测量实验验证，并给出超精密轮廓仪等其他检测手段的比对测试结果。

高性能光学元件近表层缺陷多模态检测与调控方法

宋辞

国防科技大学 智能科学学院

随着光学系统向极限尺度、极端性能及极低复杂度方向演进，对大口径强激光、近原子精度自由曲面等极端性能光学元件的使役可靠性提出了严峻挑战。其中，高性能光学元件近表层缺陷的有效检测与精准调控，是突破当前元件性能瓶颈的关键。针对传统检测方法灵敏度不足、损伤演化机理认识不清及抑制工艺适配性差等难题，本报告系统开展了近表层缺陷多模态检测与调控方法研究。重点揭示了高性能光学元件近表层缺陷对基膜耦合电场的影响规律，发展了融合多物理场信息的高分辨检测方法，探索了基于近表层序构功能基元的原子级调控新途径。在此基础上，初步构建了高性能光学元件近表层缺陷“检测-调控”一体化技术框架，旨在为极端性能光学元件的寿命预测与性能优化提供科学依据，并为惯性约束聚变等国家重大工程中核心光学器件的性能突破提供关键技术支撑。

高纯熔融石英光学材料特性测试参数测试技术进展

胡海翔^{1,2,3}

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

²中国科学院大学

³光学系统先进制造全国重点实验室

熔融石英是超精密光学系统中应用最广泛、技术要求最严格的光学材料，材料特性直接影响光学系统功能和性能指标。参数测试涉及原料供给、镜坯制备、光学加工等多工艺过程，控制复杂精度高。针对折射率均匀性、应力双折射、金属/非金属杂质与掺杂、内部透过率与服役响应等，开展了高纯熔融石英光学材料特性参数测试方法与仪器技术的研究。以应力双折射测试为例，长光所提出了针对大口径、低应双材料的快速高分辨率偏振测试方法，通过设计偏振可切换的干涉检测模块，实现了 0.03nm/cm 的高分辨率测试精度(重复性)，在 $\varnothing 200\text{mm}$ 口径高纯合成石英材料上得到 0.32nm/cm 的测试结果，支撑了国产石英在超精密光学系统制造重大任务方面的应用。

基于悬浮式数字光 3D 打印的水凝胶光纤的性能测试方法

韩亚宁, 矫岢蓉, 沈华*

南京理工大学电子工程与光电技术学院

水凝胶光纤因具有优异的生物相容性与柔韧性, 广泛运用于光遗传神经调控、植入式光疗、生物传感等生物医学前沿领域。然而水凝胶光纤在体内植入时面临多重光学损耗问题: 水凝胶材料自身的吸收与散射效应导致本征传输损耗较高, 应力弯曲和组织液接触则会引入弯曲损耗与高折射率接触损耗, 上述损耗的定量表征是水凝胶光纤植入应用的前提。因此, 本文提出了一种水凝胶光纤光学传输性能的测试方法。针对本征传输损耗, 采用切断法进行测量, 通过截断光纤并测量截断前后输出光功率的变化, 计算获得单位长度的传输损耗; 针对弯曲损耗, 搭建了弯曲角度可控的测试平台, 将光纤固定于不同角度的弯折夹具上, 测量弯曲状态下的光功率衰减, 获得弯曲角度与损耗的对应关系; 针对高折射率环境接触损耗, 设计了组织液模拟实验, 将光纤浸入折射率匹配液中, 对比接触前后的输出光功率, 评估其在植入环境中的抗折射损耗能力。通过上述测试方法, 实现了对水凝胶光纤在不同应用场景下光学传输性能的测试。

关键词: 水凝胶光纤; 光学性能测试; 弯曲损耗; 高折射率接触损耗

大口径曲面光学元件表面疵病检测仪

曹俊熙, 李溪远, 徐兆锐, 王狮凌, 李欣明, 何建瑶, 郭鑫磊, 吴兰, 刘东*

浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

在惯性约束聚变、空间望远镜、高端光刻、高能激光等领域, 大口径曲面光学元件作为各类高端光学仪器、高精密光学系统的核心组成部分被广泛应用。但因其加工过程复杂, 表面会产生划痕、麻点等缺陷。在极端工况下, 上述缺陷会导致亚带隙指数量的光吸收, 进而诱发损伤, 造成光束质量降低、局部光场增强等危害, 严重威胁系统的性能指标和使用寿命, 造成巨大损失。因此, 大口径曲面光学元件的表面缺陷检测已成为保证此类高端系统稳定运行不可或缺的关键环节。

本文自主设计了一种结合暗场成像技术和白光干涉技术的大口径曲面光学元件表面疵病检测仪。针对传统单向照明的暗场成像技术会对特定取向的微小缺陷漏检的问题, 本文采用环形均匀准直光源进行多方向照明, 在暗场条件下叠加多个入射方向的光场, 使不同取向的缺陷均能被有效激发并产生可观测的散射信号, 从而显著提升图像中缺陷亮度的一致性与成像质量。针对白光干涉技术检测区域小的问题, 本文采用了暗场粗扫结合明场精扫, 利用暗场成像的大视场对大口径曲面元件完成快速整体扫描拼接, 在对局部缺陷进行定位后转精扫, 利用白光干涉的高精度三维形貌重建特点对特定缺陷进行检测, 使得设备兼具快速检测与高精度检测功能。本文所述的大口径曲面光学元件表面疵病检测仪最大元件检测直径可达 350mm, 支持球面与非球面检测, 最小 F 数可达 0.7, 最小可分辨划痕宽度可达 $0.5\mu\text{m}$, 最小可分辨麻点直径可达 $1\mu\text{m}$, 重复性精度 3%。

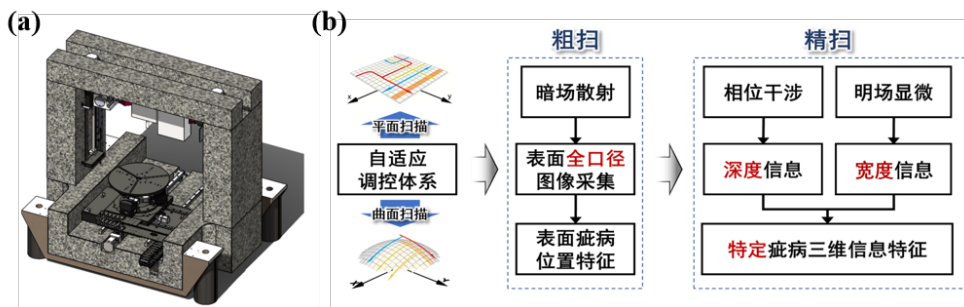


图 1. 大口径光学元件表面疵病检测仪 (a) 检测仪模型图; (b) 检测仪工作流程图。

关键词: 表面缺陷; 疵病检测; 暗场成像; 白光干涉检测

计算全息在光电成像系统中的应用

程强

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

随着空间光学系统结构型式的不断发展，给复杂光学元件的高精度检测和系统集成装调带来了巨大的技术挑战，计算全息（Computer Generated Hologram, CGH）法作为一种高精度检测技术手段，已广泛应用于各类复杂光学元件和光电成像系统的高精度检测及复杂光学系统的集成装调。本报告介绍了常见的零位补偿检测方法及计算全息法的原理和发展历程，详细介绍了计算全息在各类复杂曲面光学元件和光电成像系统中的应用情况，包括技术流程、精度分析、方案设计、投影畸变校正和检测数据处理等方面，最后介绍了相关研究成果在工程技术领域的应用情况。

非球面加工全链路面形检测与关键参数精准控制技术

李晶

中国科学院西安光学精密机械研究所

针对非球面光学元件高精度制造需求，围绕**非球面加工全链路、关键指标测试技术**展开论述。重点研究加工过程中**曲率半径 R**与**非球面系数 K**的精准控制、干涉补偿光路失调误差与被测面形误差分离方法。通过建立加工—检测一体化流程，实现从粗磨、精磨到抛光全工序关键参数和面形误差的同步控制；提出基于补偿检测光路的**新型 Offner 补偿器**，有效剔除补偿器装调误差引入的系统像差，精准提取非球面本体面形误差，显著提升 R 值与 K 值检测与控制精度。通过全链路控制 Offner 补偿器的设计加工装配流程，有效控制加工中曲率半径 R 与非球面系数 K 的变化量，相关技术已在多项大口径非球面研制中得到验证，为高性能非球面元件高效、高精度制造提供关键测试支撑。

深紫外光学石英玻璃性能评价体系及测试技术

张寒

湖北菲利华石英玻璃股份有限公司

针对深紫外光刻、高功率激光与精密光学对石英材料的严苛需求，围绕深紫外用石英玻璃的光学透过、光学均匀性、应力双折射、激光损伤阈值、热/化学稳定性等核心性能，系统介绍材料本征特性、制备工艺与缺陷控制对深紫外波段（193nm/254nm）性能的影响。依托菲利华检测中心完备的计量与测试平台，建立覆盖光谱透射、弱吸收、折射率均匀性、应力双折射、耐辐照与长期稳定性的全参数测试体系，给出典型合成石英、低羟基石英的测试数据。对比不同测试方法的精度、适用性与不确定度，提出面向半导体光刻与深紫外光学器件的材料选型与质量控制方案。研究成果可为深紫外石英材料的研发、检测标准制定与高端应用提供技术支撑。

MUST 改正镜单镜支撑结构下的透射波前检测实验

张敏涛^{1,2}、徐晨^{1*}、牛冬生¹、何启嘉¹、田佳林¹、王文渊¹

¹中国科学院南京天文光学技术研究所

²中国科学院大学

清华大学宽视场巡天望远镜 (MULTIplexed Survey Telescope, MUST) 作为我国自主设计的 6.5 m 大视场巡天望远镜, 拥有目前世界上最大口径的改正镜组, 其透镜口径大、形状特殊, 对镜面支撑结构和加工检测提出了很大的挑战。基于室温硫化硅橡胶 (RTV) 设计了 $\Phi 610$ mm 实验透镜的弹性侧支撑方案, 并分析了性能, 测得透射波前 RMS 稳定在 0.024λ ($\lambda=632.8$ nm), 与透镜加工完成时的结果一致, 验证了该支撑方案的可行性。并针对高原台址的极端环境, 开展了室外低温 (-3°C) 环境下的透射波前测试, 与实验室条件下 (20°C) 的检测结果相符合, 具备良好的环境适应性。该研究建立了面向大口径透镜的“缩比建模-仿真分析-波前检测-环境测试”验证体系, 为 MUST 改正镜组大口径透镜的支撑与检测提供了重要参考。

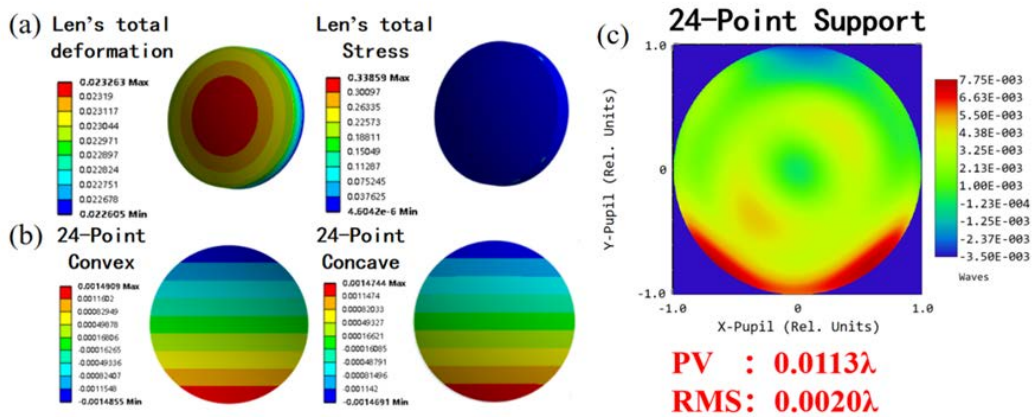


图 1. 透镜有限元分析及透射波前仿真。

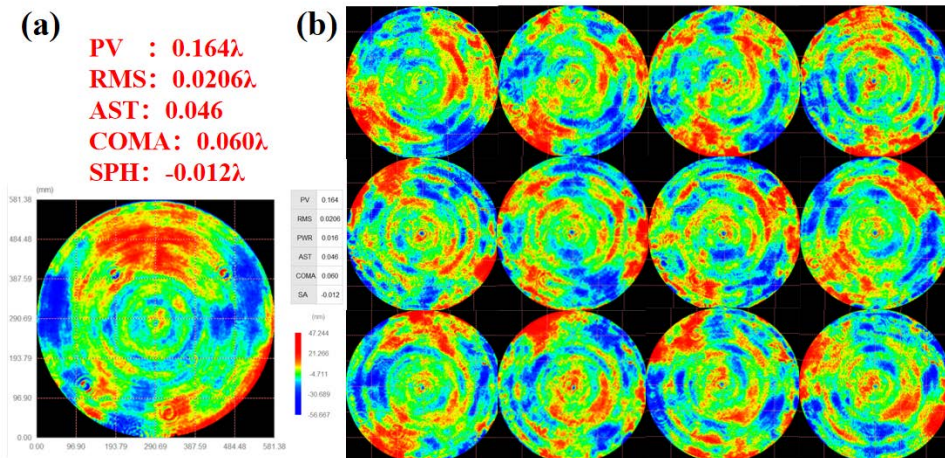


图 2. 透射波前检测结果

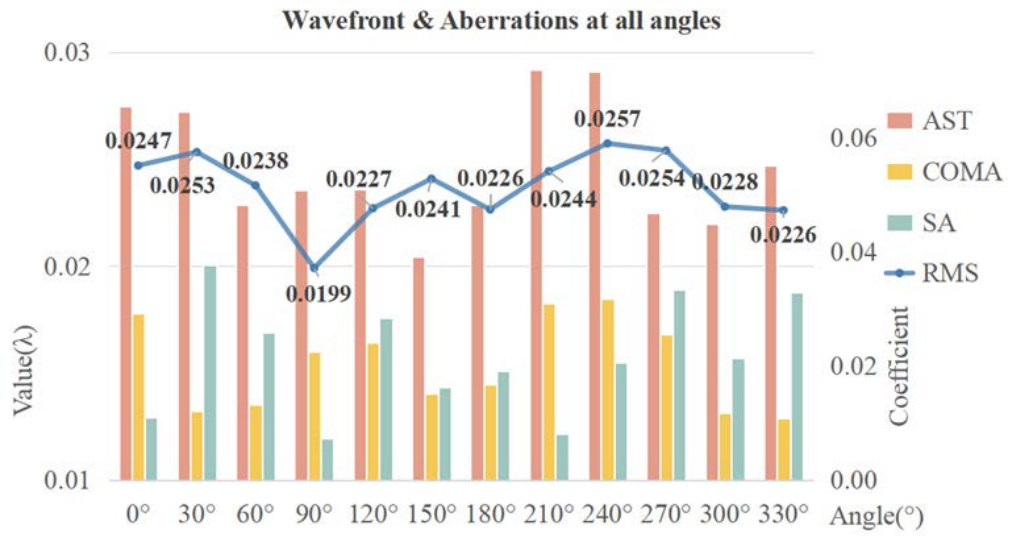


图 3. 透射波前检测数据

专题一

窄线宽保偏光纤布拉格光栅光谱的精确测量与控制方法

辛子怡^{1,2}, 矫苛蓉^{1,2}, 沈华^{1,2*}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室

窄线宽保偏光纤布拉格光栅是单频光纤激光器谐振腔中的关键器件,其光谱特性直接影响激光输出性能。由于保偏光纤本身具有快轴与慢轴两个正交本征偏振态,在光栅刻写完成后,无论是高反射率光栅还是低反射率光栅,其反射谱由快轴反射谱和慢轴反射谱组成。若直接用于激光谐振腔,易引发双波长振荡,难以满足单纵模输出要求。为实现稳定单频输出,需对不同反射率光栅的偏振特性进行匹配优化,即通过低反光栅与高反光栅的快慢轴交叉匹配,实现目标波长的选择性反馈。因此,对窄线宽保偏光纤布拉格光栅光谱的精确测量具有重要意义。本文采用基于相位掩膜的紫外光刻写技术制备光栅,并通过对保偏光纤施加适当应力,引入可控波长漂移,实现高反射率光栅快轴与低反射率慢轴的精确对准。本实验搭建了由宽带光源、保偏跳线及光谱分析仪构成的测量系统,测量快轴时采用主轴对准熔接,测量慢轴时将光纤旋转 90° 后熔接。实验结果表明,该方法可实现对 1064 nm 处窄线宽保偏光纤布拉格光栅的高精度表征,其中低反光栅反射率约 10% 、 3 dB 带宽约 0.05 nm ,高反光栅反射率约 99% 、 3 dB 带宽约 0.3 nm 。系统能够有效区分快慢轴谱线差异,并支持器件在高功率条件下稳定工作,其信号光与泵浦光承载功率均可达 2000 W 。本文研制的窄线宽保偏光纤布拉格光栅能够在单频光纤激光器以及高功率窄线宽保偏光纤激光器中进行应用,实现高偏振消光比的窄线宽激光输出。

关键词:窄线宽光纤激光器;保偏光纤布拉格光栅;光谱测量与控制

基于神经网络预测的傅科刀口仪波前定量传感方法

王庆杰¹、李金鹏²

¹南京邮电大学 计算机学院

²南京邮电大学 人工智能学院

传统傅科刀口仪依赖操作者经验，难以实现定量测量；基于几何模型的数字刀口方法其精度受限于机械系统与算法的普适性。为解决此问题，本研究提出基于神经网络预测的傅科刀口仪波前定量传感方法，旨在实现从阴影图像到波前像差的直接、高精度映射。本研究采用光学设计软件中的仿真平台，建立物理合理的训练数据集；之后构建基于卷积神经网络架构的学习模型，以均方误差（MSE）为损失函数进行训练与预测。模拟实验结果显示，在两个正交刀口方向（X, Y）上各取5个特定位置，对应的泽尼克系数向量作为输出目标，数据集共计10万组样本时，在独立的测试集上，最优模型（ResNet34）取得了 $RMSE = 0.001231 \lambda$ 的测试损失；前三组测试样本中，其预测波前与真实波前的残差（GT-P）的峰谷值（PV）与均方根值（RMS）误差分别低至 $\lambda/90$ （ 0.0110λ ）和 $\lambda/525$ （ 0.0019λ ）量级，证明了该方法在仿真环境下可实现亚纳米级精度的波前重构。本研究证实，神经网络预测能够有效学习从多幅傅科阴影图到波前泽尼克系数的复杂映射，完全绕过了对几何模型与手动参数提取的依赖。该方法为光学加工，特别是大口径光学元件的在线、快速、定量检测，提供了一种极具潜力的全新解决方案。

基于液晶 DOE 的复杂曲面表面及亚表面缺陷检测研究

王玉坤, 周承辰, 王大成, 王孝坤*

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 光学系统先进制造全国重点实验室

复杂曲面光学元件的表面/亚表面缺陷检测面临高散射干扰、景深受限、深层缺陷对比度低等挑战。本研究提出一种基于液晶动态针状光束与离轴明暗场同步光学相干层析技术(OCT)的表面/亚表面缺陷检测方法,突破传统OCT高分辨率与景深之间的制约,实现毫米级视场下微米级缺陷的大深度检测。在针状光束方面,采用液晶空间光调制器结合空间复用相位与遗传优化算法生成针状光束,将景深扩展至传统高斯光束的10倍左右,并通过强度均匀性校正算法解决能量分布不均问题,提高深层图像质量。在信号采集方面,设计离轴明暗场同步接收光路:明场通道捕获法向散射分量反映表面形貌;暗场通道通过角分集接收多向散射光,增强对深层裂纹的敏感性。本方法将应用于复杂曲面光学元件、晶圆缺陷检测及激光加工在线监控等领域。实验验证在碳化硅样品中实现了优于 $5\mu\text{m}$ 横向分辨率、优于 $1.5\mu\text{m}$ 轴向分辨率及 1mm 穿透深度的表面/亚表面缺陷同步检测,为下一代光学计量装备提供原创性技术支撑。

关键词: 光学相干层析; 液晶光场调控; 复杂曲面缺陷检测; 针状光束

面向复杂工业制造的智能光学检测装备关键技术及应用

张正涛

中国科学院自动化研究所

智能检测装备是智能制造核心装备、“工业六基”重要组成，是稳定生产、保障质量等的核心手段，对制造业高端化、智能化、绿色化发展及强国建设意义重大。智能检测技术不仅是支撑企业提升良品率与生产效率的关键环节，更是产业链与供应链韧性构建的重要基础。复杂工业制造存在结构复杂多样、曲面反光、缺陷种类多、精度要求高的极限要求，亟需高端光学检测装备的技术创新与自主可控。传统检测手段在适应性、智能性、自动化程度和极端场景下的成像质量方面已难以满足实际需求，迫切需要在关键光学技术、智能算法、系统集成与装备自主化方面实现突破。本报告正是基于此需求背景，提出了一套系统性的智能检测技术与装备解决方案。（1）系列高精度智能感知检测方法；（2）仿人灵活观察成像方法与核心部件；（3）自适应灵巧扫描方法与装置。从手-眼-脑协调的角度提出了面向复杂工业质检的解决思路与方法。最后结合产业应用需求给出规模化应用案例。

关键词：光学检测； 智能感知； 仿人观察成像； 自适应扫描

傅立叶椭偏晶圆级薄膜测量技术及光学曲面测量应用

王健

华中科技大学

为满足 3DNAND、GAAFET 等先进半导体制造高通量、在线测量需求，突破量子限域、界面散射效应引起的超薄膜测量精度瓶颈，基于高 NA 物镜傅里叶面偏振自旋调制特性提出偏振角分辨光谱测量新原理，突破了系统偏振特性参数、入射角及物镜偏振像差的穆勒矩阵原位标定模型与方法，构建了相干/非相干、各向异性及振动离焦条件下薄膜反射模型，发展了最佳条件数穆勒矩阵最小二乘椭偏角谱快速提取算法，研制了傅里叶椭偏仪原理样机，实现了不依赖先验色散模型的晶圆级超薄膜亚 nm 精度、高通量测量：重复精度达 0.003nm，速度优于商业椭偏仪>100 倍。

高精度杂散光测试技术研究

陈钦芳, 王虎

中国科学院西安光学精密机械研究所

杂散光的存在严重影响光学系统成像质量与探测能力, 其抑制与测试技术是高精度光学工程的研究热点。报告围绕高精度杂散光抑制技术, 总结研究背景与意义, 分析杂光对空间光学、深空探测及高端成像系统的影响, 强调开展高精度杂光测试与抑制研究的必要性。

介绍了国内外典型杂光测试系统, 对比其性能特点与适用范围。针对高精度测试关键技术, 重点探讨暗场微弱信号提取、系统本底抑制、光源稳定性控制及高动态范围探测等核心问题。

结合工程实践, 总结杂光测试中常见问题(环境杂光干扰、重复性差、标准样品缺失、数据处理偏差等)并提出改进策略。创新技术方面, 介绍自适应光学调控抑制、深度学习辅助识别与补偿, 以及一体化仿真测试闭环验证平台等前沿进展。

最后, 总结当前高精度杂散光抑制技术发展现状, 展望智能化、标准化及高灵敏度探测趋势。

飞秒激光器用色散 CFBG 多参量快速精密测量方法

朱子豪^{1,2}, 矫岢蓉^{1,2}, 沈华^{1,2*}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室

色散啁啾光纤布拉格光栅 (Chirped Fiber Bragg Grating, CFBG) 是目前高功率飞秒激光器啁啾脉冲放大系统中最常用、最成熟的脉冲展宽器, 其光谱参数 (如反射率、带宽、光谱平坦度、边模抑制比等) 与色散参数 (如各阶色散等) 直接影响激光器的输出脉冲质量。然而, 两类参数的测量光路差异较大, 整体测试流程复杂; 多参数测量时需频繁断开重熔光纤, 严重制约测量精度。

针对上述问题, 本文在 CFBG 光谱参数测量光路的基础上, 引入色散测量光路, 搭建了 CFBG 多参量快速一体化测量光路, 如图 1 所示。测量光谱参数时, 旋转参考臂末端反射镜避免反射光干扰测量; 在待测臂中, 入射光经 CFBG 反射后由左侧准直器 (COL) 输出反射谱, 可测得带宽、边模抑制比、光谱平坦度等参数; 右侧尾纤输出透射谱, 可测得反射率等参数。测量色散参数时, 调整参考臂中末端反射镜使光原路返回并与待测臂光干涉, 分析干涉图可求解各阶色散等参数。

本文基于模式耦合理论, 对 CFBG 周期进行非线性设计, 使得 CFBG 的色散参数由线性变成非线性, 从而引入三阶与四阶色散; 同时, 对相位掩模板槽深进行非线性设计, 使得其衍射效率呈高斯分布, 抑制 Fabry - P é rot 效应引起的光谱抖动, 从而提高 CFBG 的光谱平坦度。随后使用该相位掩模板, 结合紫外激光光刻方法, 制备了具有高光谱平坦度的 CFBG。并利用本文提出的测量方法对其光谱与色散参数进行了测量, 结果为带宽 24.67nm、反射率 75%、边模抑制比 30dB、光谱平坦度 3%、二阶色散 -35.1410ps/nm、三阶色散 -0.7027ps/nm²、四阶色散 -0.0421ps/nm³。将该光栅应用于平均功率 5W 的飞秒光纤激光器, 最终实现了脉宽 424fs、无底座、无旁瓣的高质量激光脉冲输出。

关键词: 飞秒光纤激光器; 啁啾脉冲放大; CFBG; 多参数快速测量

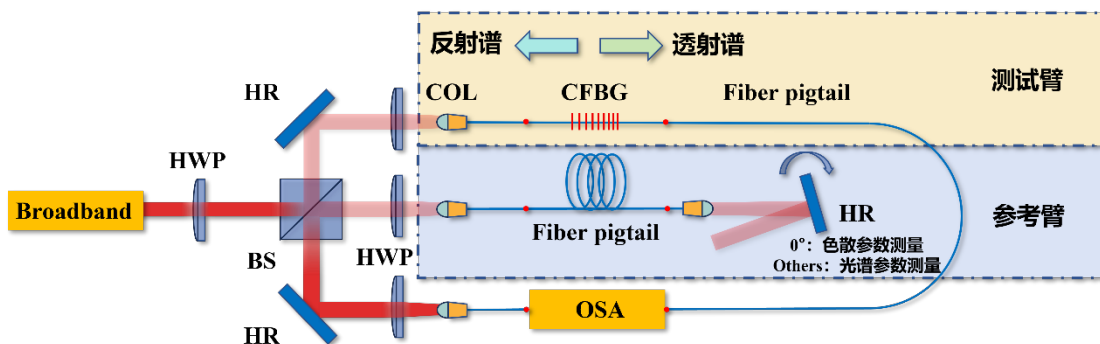


图 1 CFBG 多参量快速一体化测量光路

深紫外光学薄膜弱吸收测试与分析

王延超

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

193nm 薄膜作为深紫外光学系统的核心部分，其弱吸收特性直接影响高性能深紫外光学系统的分辨率与系统稳定性，精准测试与分析具有关键工程价值。当前主流测试技术包括表面热透镜技术、真空紫外分光光度计法及激光量热法，其中激光量热法则为 NIST 等机构认可的标准方法。基于激光量热测试方法，开展了关于深紫外光学薄膜弱吸收测试与分析的研究，开展了对于专用于深紫外弱吸收测试的光学系统的设计，并对于量热法测试物理模型、测试原理以及测试误差等进行深入分析，探索深紫外波段高精度弱吸收测试的精度影响原因，为实现 193nm 光学薄膜高精度弱吸收测试奠定基础。

低损耗激光薄膜的超高反射率测试与评价

李浩川

中国科学院西安光学精密机械研究所

低损耗、超高反射率 ($R > 99.99\%$) 反射镜在引力波观测、激光陀螺、高灵敏激光光谱、高功率激光器和激光系统等方面有着至关重要的作用。光腔衰荡技术作为目前唯一能精确测量高于 99.99% 反射率的方法，在激光高反镜的研制和应用方面及其重要。基于光腔衰荡技术进行面扫描测试，可以获取激光高反镜的高反射率分布，不仅反映了光学元件的整体反射特性，还能从反射率视角表征元件的表面缺陷分布特性，为激光高反镜元件的性能测试评估和质量控制提供技术途径。

高单模纯度空芯光纤制备及超快中红外脉冲传输研究

黄家鹏

中国科学院上海光学精密机械研究所

空芯光纤凭借低损耗、低非线性、低时延及高损伤阈值等优势，在高速光通信与高功率激光传输领域展现出广阔应用前景。在通信中，其空气导光机制使光场主要在空气纤芯中传播，可显著降低材料吸收、群时延和非线性效应，从而满足大容量、低时延信息传输需求。在高功率传能中，可有效减弱非线性累积与热损伤，提高激光传输功率上限，实现高光束质量激光的稳定远距离传输。本报告将介绍面向高单模纯度传输的新型空芯光纤结构与制备方法，通过“包层-纤芯”微结构调控，实现高单模纯度（ $FOM > 300$ ）空芯光纤的设计与制备，并重点介绍高单模纯度的测试与评价方法。同时，将介绍红外波段空芯光纤的优化设计进展，以及围绕中红外 $2.8 \mu\text{m}$ 水吸收波段开展的超快脉冲（ $\sim 100 \text{ fs}$ ）传能研究，重点讨论高模式纯度保持、宽波段低损耗传输和超快激光高保真传能等关键技术问题。

基于共光路共焦-干涉复合探测的面形轮廓高精度测量

技术研究

刁晓飞

中国计量科学研究院

随着非球面及自由曲面光学元件在高端制造领域的广泛应用，对非接触式高精度面形测量技术的需求日益迫切。当前主流的探测技术各具优势，但也存在难以兼顾的矛盾：共焦测量具有亚微米级的绝对定位能力，但其测量范围受限；干涉测量虽可实现高分辨率和大范围测量，却缺乏绝对位置基准，易受初始参考位置漂移影响。因此，如何在实现绝对精确定位的同时，兼顾大范围高分辨率测量，已成为先进光学制造与计量领域的关键难题。

针对上述问题，本文提出一种基于共光路结构的新型共焦-干涉复合探测系统。该系统由共焦定位与干涉测量两个子系统构成，采用共光路设计从根本上消除了传统多光路系统中的对准误差，实现了绝对定位能力与大范围高分辨率测量的有机结合，有效提升了系统的稳定性和集成度。其中，共焦子系统通过光纤环形器接收光强信号，实现高精度零点定位；干涉子系统则完成对表面轮廓的高分辨率测量。为进一步提升系统集成度与测量性能，本文引入集成式波片阵列探测器，用于干涉信号的高灵敏度相位检测，在保持高分辨率的同时，显著缩小了系统体积。

最终，搭建实验系统对关键性能进行了验证。结果表明，共焦子系统零点定位误差优于 50 nm，干涉子系统表面测量分辨率优于 3 nm，验证了该系统在高精度、大量程面形测量中的可行性与优越性。本研究为满足先进光学制造领域对高精度面形测量的需求，提供了一种结构紧凑、性能可靠的复合探测技术方案。

复杂曲面光学元件缺陷检测技术研究

徐兆锐、王狮凌、彭韶婧、李溪远、郑剑锋、吴兰、白剑、刘东*

浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

复杂曲面光学元件是高能激光装备、高端光刻、天文观测等领域的核心组件，其性能直接决定光学系统的成像质量与运行稳定性。元件表面及亚表面的微米、纳米级微小缺陷，会引发光散射、折射畸变，导致能量损耗、光斑失真，严重时将引发系统故障。因此，开展复杂曲面光学元件的高精度、高分辨缺陷检测研究，实现缺陷精准识别与定量表征，对保障高端光学装备性能、推动超精密检测技术发展具有重要意义。

当前复杂曲面缺陷检测存在诸多难点：曲率半径变化大、表面不规则导致暗场条件被破坏，表面缺陷易漏检、误检，且难以同步检测表面与亚表面缺陷。暗场散射、激光共聚焦等现有方法存在明显不足，无法满足检测需求。本文提出自适应环形光源照明宽场散射成像技术，适配不同曲率曲面；结合光致发光高分辨荧光散射成像，实现表面与亚表面缺陷同步检测，完成平面向曲面检测的功能延拓。同时，通过研究大口径曲面子孔径拼接技术并结合人工智能算法，实现全口径高效检测与缺陷自动识别。基于本研究的检测仪器已应用于高端光刻车间，为超精密检测与加工提供了可靠技术支撑。

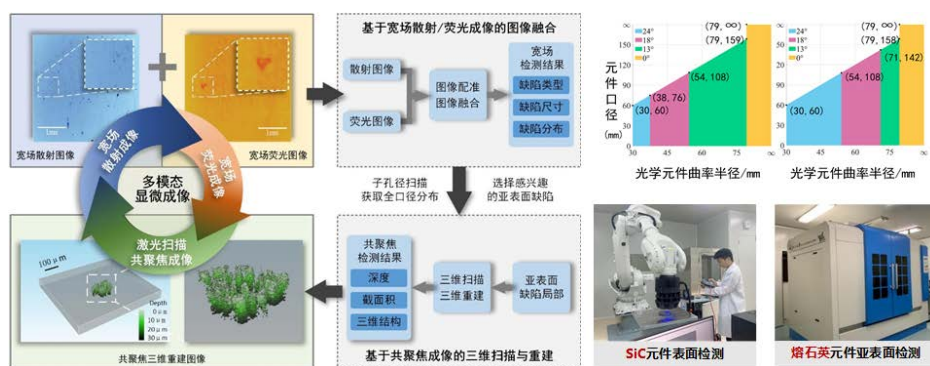


图 1. 复杂曲面光学元件缺陷检测技术与仪器成果。

关键词：复杂曲面、大口径光学元件、表面缺陷、亚表面缺陷

穹顶恒星模拟器支撑架热变形的亚角秒测试方法研究

刘阳^{1,3}, 王虎^{1,2,3}

1 中国科学院西安光学精密机械研究所

2 中国科学院大学

3 西安市空间敏感器光学技术工程研究中心

我国首个“穹顶”恒星模拟器，要求在6.5米球半径、球心立方角 $50^\circ \times 20^\circ$ 的球面内均匀安装不少于500个单体重量10kg的单星光管，任意两个光管安装面的法线夹角热变形变化速率不大于 $0.5''/^\circ\text{C}$ 。

针对目前没有俯仰条件下亚角秒测试设备的现状，本文提出利用双平面多次反射原理，通过光斑位移的变化，计算出超亚角秒精度；提出一种双变量光斑位移解析算法，计算出双变量夹角变化值；最后，提出一种温度梯度对比算法，计算出实际温度梯度与理论温度梯度的等比关系，最终计算出特定温度条件下的热变形指标测试结果。对穹顶恒星模拟器支撑架的热变形指标进行测试，热变形角度变化速率为 $0.3247''/^\circ\text{C}$ ，与仿真分析结果 $0.359''/^\circ\text{C}$ 基本一致，相对误差为9.55%。测试结果证明，该测试方法有效可靠，算法处理可行。

空间弱光探测器件辐射效应测试及在轨抑制技术

李豫东

中国科学院新疆理化技术研究所

天基弱光探测载荷应用高性能 CCD、CMOS 探测器实现高灵敏度光电探测，是空间科学卫星、空间态势感知卫星的核心组成部分。空间辐射效应使光电探测器性能退化、甚至功能失效，严重影响卫星的探测能力和有效寿命。我国新部署的空间科学、空间态势感知任务对探测能力和运行寿命均提出了更高的要求，弱光探测器及探测载荷面临新工作模式、新型探测器应用带来的辐射效应新问题，现有辐射效应测试及抗辐射技术体系无法为弱光探测载荷在轨长期高可靠应用提供解决方案。新疆理化所研究团队针对弱光探测载荷面临的特殊辐射效应问题，通过辐照试验测试、缺陷测试表征、辐射效应仿真、AI 人工智能等研究手段，在辐射效应机理、测试评估方法、辐射退化模型、在轨修复技术等方面取得了一系列进展，形成了弱光探测器测试评估技术及辐射退化在轨修复技术，支撑空间科学、空间态势感知重大任务的实施。

基于相位特征分析的白光干涉测量技术

罗松杰

华侨大学

白光干涉测量技术凭借其干涉信号相干长度较短的核心特性，规避了传统单色光干涉测量固有的相位模糊缺陷，在拓展测量量程的同时实现了测量精度的大幅提升，成为高精度物体表面三维形貌表征领域的主流应用技术之一。按照信号调制机制与数据采集模式的差异，白光干涉测量技术分为时域干涉测量与频域干涉测量，其中时域干涉测量依托参考臂机械扫描实现相位调制，具备大深度、大视场的样品形貌测量优势，但该技术在实际应用中仍存在诸多技术瓶颈。传统时域白光干涉测量的核心短板集中于机械扫描模块，早期扫描速度与定位精度偏低是主要制约因素，即便后续机械臂加工工艺持续迭代升级，扫描速度瓶颈已得到有效突破，但扫描速率提升会直接引发扫描定位精度同步下降的问题，加之环境振动带来的噪声干扰难以完全屏蔽，进一步影响测量稳定性；针对薄膜厚度测量场景，当待测薄膜形成的光程差逼近光源相干长度阈值时，薄膜前表面与后表面的反射干涉信号会出现严重重叠无法分离，直接限制了白光干涉测量技术在超薄薄膜检测领域的应用范围。

针对上述白光干涉测量存在的技术短板，本文基于相位特征分析，从硬件优化与算法改进两个维度提出针对性解决方案，全面提升测量精度与环境适应性。硬件层面，介绍了扫描误差检测与修正方案，在常规白光扫描干涉仪系统中集成单色光干涉信号探测单元，利用单色光干涉信号与白光干涉信号相位误差完全同步的特性，通过提取单色光干涉信号中的相位误差参数，实现对白光干涉信号相位偏差的修正。实验数据表明，该扫描误差修正方法优化了测量结果，大幅提升了白光干涉仪在复杂振动、高噪声工业环境下的工作适配性。算法层面，阐述了波数域相位补偿法(PCWD)的核心原理与优势，相较于传统空间频域法(FDA)仅依托波数域相位斜率计算物体表面形貌的思路，PCWD算法额外引入相位线性拟合后的常数项，针对性补偿相位噪声对相位斜率计算结果的干扰误差，从算法层面削弱噪声带来的测量偏差。光滑反射镜样品的对比测量实验显示，PCWD算法的测量重复精度可达1.1 nm，远优于传统FDA算法7.4 nm的重复精度。针对薄膜厚度测量的信号重叠难题，摒弃常规相位拟合算法的思路，提出构建波数域相位矢量分布模型的方法，通过该模型直接推导薄膜厚度的解析解，为处理超薄薄膜测量产生的干涉信号提供了新的解决思路。

关键词：白光干涉测量；相位测量；抗振动；相位拟合

远距离运动目标的单像素激光雷达跟踪与成像

时东锋

中国科学院大气光学重点实验室

单像素激光雷达采用数字微镜器件的高速空间调制和单个时间分辨探测器，替代传统焦平面阵列探测器，从而具备宽光谱适应性、灵活编码能力和高效光子利用效率。这些特点使其非常适合在低光子数、复杂大气条件下开展远距离探测。然而，复杂大气环境和有限的光子预算会给稳定跟踪以及后续成像带来困难。提出一种全新单像素激光雷达跟踪与成像架构，将探测、跟踪与成像集成于同一系统中。该架构结合了灵活的 DMD 空间调制方式，包括几何矩投影和 Radon 投影；同时利用飞行时间法进行深度测量，并引入前馈式运动补偿流程，在多帧观测结果融合之前对其进行配准校正。为了实现快速锁定跟踪运动目标和闭环更新，系统仅需少量 Radon 投影或几何矩投影即可估计目标质心和运动速度，从而在单目标或多目标场景下显著降低数据吞吐量和计算复杂度。室外实验验证了该系统在远距离条件下的稳健性能：在 3 km 距离处对飞行目标进行定位与跟踪时，系统实现了 0.45 m 的距离测量精度和 0.03° 的方位角测量精度。进一步测试优化，该系统可在同一硬件平台上进行同步成像模式，重建运动目标的反射率图像和深度图，实现了对超视距非合作运动目标的三维和灰度成像。该架构为红外波段和复杂大气环境下的持续远距离运动目标跟踪和成像感知提供了一条实用路径。

基于低相干干涉的六自由度绝对位姿测量

赵润坤¹, 施立恒^{1,2}, 吴冠豪^{1,*}

¹清华大学精密仪器系

²北京清华前沿交叉创新研究院

国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要将关键元器件的制造和装配列入科技前沿攻关领域。其中，高精度多自由度测量在智能制造和精密装配领域至关重要，它要求多自由度测量方法不仅能实现高精度绝对测量的指标，而且能适用于不同制造材料的测量目标。

目前，传统光学多自由度测量方法或是依赖合作靶标得到高精度绝对位姿，或是只能直接测量非合作目标的多自由度的高精度相对变化，很难准确捕捉真实的目标运动和变形。针对这些难题，本文提出了一种基于低相干光和时间相移的六自由度测量的新方法。该方法无需依赖合作目标，直接对样品进行探测。测量方案如图 1 所示。通过时间相移法分离低相干干涉图样的相干包络和测量背景。其中，对于俯仰角、偏航角和轴向位移的测量，通过图像预处理和统计学方法计算相干包络的宽度和斜率，并使用几何关系和坐标变换得到最终结果；对于另外三个自由度——两个横向位移和滚转角的测量，使用 SIFT 配准方法获取几何纹理中同一特征点在运动前后的坐标变化，并对两个正交方向的坐标变化分别进行最小二乘拟合得到最终结果。

使用本文提出的方法对一个 220 目漫反射镜目标的实现了高精度绝对位姿测量。结果显示，角度和位移测量的无平均阿伦偏差分别小于 $6.0''$ 和 50.0nm 。平均后分别小于 $2.0''$ 和 7.7nm 。该方法仅用一束光便实现了对非合作目标的高精度六自由度绝对测量，为提高科学研究和工程应用中多自由度测量的精度和适应性开辟了新的途径。

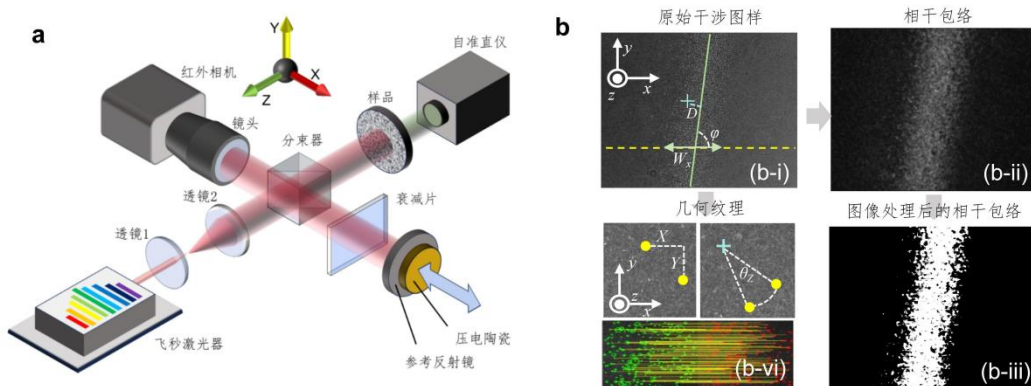


图 1. 六自由度测量系统及方案。a: 测量光路， b: 时间相移法分离低相干干涉图样的相干包络和测量背景及位姿提取方案

基于铌酸锂晶体闲频光单谐振涡旋光参量振荡器的输出

特性研究

艾孜合尔江·阿布力克木, 矫岢蓉, 沈华*

南京理工大学电子工程与光电技术学院

螺旋形相位波前分布的涡旋光在传播过程中携带轨道角动量, 已经被广泛应用在光学操纵、手性纳米材料制备、量子通信、生物医学等领域。3-5 μm 中红外波段是重要的“大气红外窗口”, 该波段含有大量气体分子的振动吸收峰, 在大气环境监测、光谱分析、超分辨率显微镜等领域具有重要的应用价值。尤其是处于 3.2-3.6 μm 波段的激光源, 在激光制导、通讯、雷达等军事领域有着很重要的应用。本研究基于掺杂氧化镁周期极化铌酸锂(MgO:PPLN)晶体搭建了闲频光单谐振光参量振荡器, 在涡旋激光源泵浦的条件下, 对输出光的光学特性进行研究, 选择单周期极化的 MgO:PPLN 晶体, 搭建闲频光单谐振的涡旋光参量振荡器, 将泵浦光的轨道角动量主动传递给中红外闲频光输出, 实现了轨道角动量的主动传递。在 25-200 $^{\circ}\text{C}$ 之间调节 MgO:PPLN 晶体的温度, 实现了在 1.505-1.566 μm 和 3.318-3.628 μm 范围内波长连续可调谐的涡旋光输出。通过扩展谐振腔长, 控制泵浦光轨道角动量选择性的传递给信号光或闲频光输出, 实现了轨道角动量的可控转移。在最大泵浦能量为 21 mJ 时, 测量得到信号涡旋光和闲频高斯光的最大输出能量为 3.1 mJ 和 0.88 mJ, 对应光的斜效率分别为 23%和 7%。测量得到中红外涡旋光在两个正交方向上的光束质量因子分别为 $M_x^2 \approx 2.3$ 和 $M_y^2 \approx 2.3$ 。

关键词: 光学涡旋; 光参量振荡器; 中红外激光; 高光束质量; 闲频光谐振;

基于可见光光电图像的中低温温度测量

林惠川¹, 朱佳仪², 何志民¹, 曾峻¹, 李燕¹

¹ 闽南师范大学 物理与信息工程学院

² 阳光学院 电子信息与交叉学科研究院

中低温范围（通常指低于 400°C）的温度监测对于保障设备安全运行、优化生产工艺、实现节能减排以及推动新型材料研发具有重要意义。然而，与传统高温测量不同，中低温目标的红外辐射能量较弱，其峰值波长位于远红外波段，导致目标在可见光波段的光电信号极其微弱，易受环境光照、背景杂散光及传感器噪声等因素的严重干扰。传统基于可见光图像的测温方法，如单波段法和比色法，普遍存在信噪比低、色彩信息与温度之间的映射关系非线性且不唯一、空间分辨率与温度分辨率相互制约等本质困难，难以实现准确、稳定的非接触式温度反演。针对上述问题，本文利用卷积神经网络（Convolutional Neural Network, CNN）在图像信息解析方面的强大能力，开展了基于可见光光学图像的常温目标温度检测研究。结果表明，借助 CNN 模型，可在 45°C 至 130°C 范围内实现对目标物体的温度检测，平均测量误差为 1.119°C。在此基础上，进一步构建了 Retinex-CNN 复合网络，有效克服了单一 CNN 在可见光图像温度检测中存在的照度泛化问题。相较于原始 CNN 架构，Retinex-CNN 可将由照度变化引入的测温误差降低 6.89°C，显著提升了模型在不同光照条件下的鲁棒性。

半导体图形化缺陷光学检测新原理探索

朱金龙

华中科技大学机械科学与工程学院

随着亚 10 nm 集成电路芯片逐步进入消费电子、互联硬件、电子医疗设备等领域，由半导体制造设备所引入的晶圆缺陷对集成电路在良率与价格方面的影响将不断显现，由此带来的对典型缺陷进行高速识别、定位与分类等制造过程控制环节，将变得越来越具有挑战性。传统的晶圆缺陷检测方法包括明场、暗场及电子束成像方法，尽管能够覆盖绝大多数缺陷检测场景，但难以在检测精度、检测灵敏度和检测速度上取得较好的平衡。纳米光子学、计算成像、定量相位成像、光学涡旋、多电子束扫描、热场成像以及深度学习等新兴技术的出现，在提升缺陷灵敏度、分辨率以及对比度等方面已初步展现出一定的潜力，这为晶圆缺陷检测提供了新的可能性。本报告介绍报告人课题组近年来在新型光学相位成像领域的一些进展及其在集成电路图形化缺陷检测、微纳米三维形貌测量、纳米量级物理量表征等方面的运用。

太赫兹辐射功率计量研究

邓玉强

中国计量科学研究院

本文介绍了太赫兹辐射功率计量研究的国内外状况，报告了中国计量科学研究院在太赫兹辐射功率计量研究和太赫兹功率计量基标准研制方面的成果和进展。中国计量科学研究院自主研制了在太赫兹波段的吸收材料，实现了宽频段范围的太赫兹辐射高吸收，研制了太赫兹辐射功率计。通过激光功率基准、低温辐射计、电功率替代实现了太赫兹辐射功率的溯源校准和量值复现。在国际首次太赫兹功率比对中取得等效互认，制定了太赫兹功率计量技术规范，建立了太赫兹辐射功率计量基准和计量标准，开展太赫兹功率计量校准，支持太赫兹技术研究的发展和在各领域应用的量值准确。

关键词：太赫兹计量；计量标准；太赫兹功率测量；太赫兹功率计。

参考文献：

Yuqiang Deng, Qing Sun, Jing Yu, Yandong Lin, and Jinghui Wang, “Broadband high-absorbance coating for terahertz radiometry,” *Optics Express* 21(5), 5737–5742 (2013).

Yuqiang Deng, Heiko F ü ser, and Mark Bieler, “Absolute intensity measurements of CW GHz and THz radiation using electro-optic sampling,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 64(6), 1734–1740 (2015)

Yuqiang Deng, Jing Li, Qing Sun, “Traceable Measurement of CW and Pulse Terahertz Power with Terahertz Radiometer,” *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 23(4), 3800306, (2017).

Yuqiang Deng, Chaochen Li, Qing Sun, “Room temperature absolute radiometer for reproduction of terahertz radiant power”, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* 13(4), 347–353 (2023).

基于光频梳偏振调制的超快滚转角测量技术

李与涵¹、施立恒²、吴冠豪¹

¹清华大学精密仪器系

²清华前沿交叉创新研究院

在高精密数控机床加工、先进光刻制造等重点领域，运动平台的高速运动将不可避免地引入滚转角误差，为了保证加工精度，需要对其进行实时测量及补偿。在这类应用场景中所需的滚转角测量速度需要达到几十甚至上百 kHz。

本研究提出了一种基于光频梳偏振调制的超快滚转角测量方案，通过对每个光梳脉冲中正交的两偏振分量间引入固定频移，实现可编程的周期性偏振态调制，基于双折射晶体影响光偏振态受其滚转角度影响的特性实现解算。经验证，该方法可以实现 90° 量程的非模糊绝对式滚转角测量，单次测量时间小于 71ns，经过不超过 4μs 的采样平均，测量误差的绝对值可以控制在 20" 之内。

超快滚转角测量实现原理

我们以锁定重频的光频梳作为系统光源，经偏振方向固定的起偏器起偏后利用分束器将其分成两路，其中一路利用声光调制器引入固定频移，另一路则利用一半波片引入 180° 相位差从而将其偏振方向旋转 90°。之后利用一偏振分束器对两路合光，可以得到两路光在合光时的相位差为：

$$\delta_n = 2\pi \frac{f_m}{f_r} n + \alpha \quad (1)$$

其中 n 表示脉冲序号， f_r 表示光梳重频， f_m 表示声光调制器引入的频移， α 表示由于两路光程不完全一致所引入的相位误差量，由于光梳重频及调制频率在 MHz 量级，所以可以认为在如此短的时间尺度上 α 保持不变。合光后再通过一待测双折射晶体与一固定偏振方向的检偏器，之后利用探测器接收从检偏器输出的光并利用采集卡采集出射光强，出射光强与目标滚转角之间的关系如下所示：

$$I = \frac{I_0}{2} \eta (1 + (1 - k \cos^2 2\theta) \cos \delta_n - \cos 2\theta \sin \varphi \sin \delta_n) \quad (2)$$

其中 I_0 表示合光位置的光强， η 表示目标双折射晶体与检偏器引入的光强损耗， θ 表示待测的滚转角， φ 表示正入射时目标双折射晶体引入的相位延迟， $k = 1 - \cos \varphi$ 。实验中，我们将光梳重频锁定在 56.091MHz，声光调制器引入的频移锁定为 14.02275MHz，所以合成光频梳相邻两脉冲的相位差固定为 90°，根据相干叠加原理，合成光梳的偏振态将呈周期性变化并且每四个偏振态构成一组。根据公式(2)，我们通过记录一个变化周期内的四种光强并计算其比值，可解算出 θ ，即通过四个脉冲光强采集实现一次滚转角测量，而脉冲的频率间隔为重频，所以单次测量的速率为 $\frac{1}{4}f_r$ 即 14.02275MHz，实现了超快滚转角测量。

基于频域白光干涉法的高精度色散测量

闫东钰

天津职业技术师范大学

频域白光干涉技术通过分析干涉光谱相位实现色散反演,具有结构简单、无需机械扫描、抗干扰能力强等优势,是实现高速、高精度色散测量的重要技术路径。然而,该技术在实际测量中易受到环境扰动影响,导致干涉光谱噪声增加及相位恢复精度下降。为提高测量稳定性与准确度,近年来多种去噪方法被引入相位提取流程。其中,离散小波变换凭借其多分辨率分析能力和优良的时频局域特性,在噪声抑制与相位细节保留方面表现出显著优势。基于离散小波变换的相位恢复方法能够有效提高系统抗扰动能力与色散反演精度,为实现宽带、高精度、低误差的色散测量提供了可靠的技术支撑。

高能激光光斑测量与评估技术

杨鹏翎

西北核技术研究所

报告介绍了团队在高能激光光斑和光束质量测量方面的进展。基于双光阑法建立了高能激光 PIB 光束质量因子测量的标准规范。采用级联正交光楔对实现了去偏振和角度敏感高能激光大量程定量衰减，并将千瓦级激光功率有效传递至低温辐射计国际标准。提出了基于渐开线阵列取样的高能激光微光斑测量方法，建立了近场和远场 PIB 光束质量因子测量原型装置，并开展了相关仪器化技术研究。针对图像法光束质量测量本底处理方面开展了探讨，并介绍了相关的应用案例。

多片复合式相位补偿器光学性能分析

胡春光 刘润东

天津大学精密仪器与光电子工程学院

相位补偿器（也称为相位延迟器或波片）可实现光学偏振态的精准调控，是激光加工、显微成像、光学精密测量、光通信等领域重要的光学元器件之一。然而，由于加工和装调误差，以及光学材料自身缺陷等原因，相位补偿器的实际光学特性与理想情况总存在一定的差异。理解并准确确定这一差异，对精密仪器设计与研制、偏光器件批量可控制备等具有十分必要的研究意义。本报告以多片复合的超宽消色差相位补偿器为例，利用 Jones 矩阵光学理论，构建基于正交椭圆本征偏振矢量的补偿器数学模型，探讨了制造与装配误差、材料特性等因素作用下的等效光学效应，特别是，多波片间方位角误差、光学材料旋光效应等的综合影响。研究表明，误差可导致补偿器的等效快轴方位角、本征态椭圆率、相位延迟值等呈现随波长的振荡变化。通过实验测试结果与仿真结果的比对，展现了上述数学模型的有效性，为相位补偿器的设计、测试、装调以及性能分析提供理论计算依据。

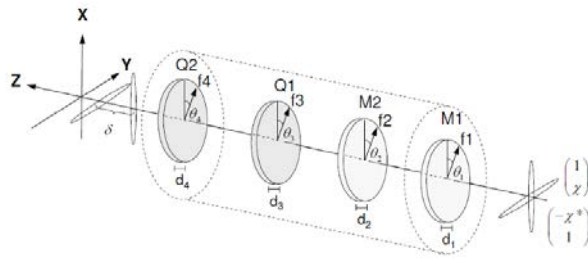


图1 多片复合式相位补偿器结构示意图

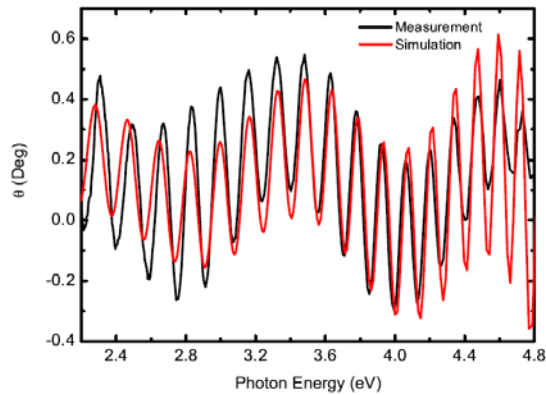


图2 等效快轴方位角实测值与仿真值的比较

基于栅格扫描的大口径钕玻璃激光损伤检测

贾宗儒^{1,2}, 张之曦¹, 麻云凤^{1,2*}, 白芳¹, 程旺^{1,2}, 田浩^{1,2}, 曹李熙^{1,2}, 王哲^{1,2}, 白勇¹

¹中国科学院空天信息创新研究院

²中国科学院大学光电学院

在高功率激光系统中, 大口径钕玻璃作为激光放大器的核心增益介质直接制约着系统的输出能量上限。为了保障的服役可靠性, 本文开发了针对大口径元件的高效缺陷检测系统并深入探究其损伤演化特性。

针对尺寸为 $401\text{ mm} \times 401\text{ mm} \times 41\text{ mm}$ 的大口径钕玻璃样品, 搭建了一套集成化激光栅格扫描检测系统。系统光源采用波长 1064 nm 、脉冲宽度为 9.6 ns 、重复频率为 10.94 Hz 的Nd:YAG激光器。设定了“S”型扫描路径以及90%通量水平上的光斑重叠。实验中, 激光能量密度为 2.79 J/cm^2 , 该参数能够有效激发损伤而不致基底破坏。损伤诊断模块结合了激光散射定位技术与14–90倍显微成像技术, 实现了从宏观定位到亚微米级形貌表征的检测。

主要观测到两类损伤。铂粒子诱发的“星型”损伤, 如图2(a)。此类损伤中心存在金属颗粒残迹, 周边呈现明显的层裂。机理分析表明, 铂粒子因强烈吸收激光能量导致瞬时升温, 产生的热膨胀应力与气化冲击波共同作用, 使得脆性玻璃基体发生不可逆层裂。

“珍珠串”损伤, 如图2(b)。其形成机理源于强激光与介质的非线性相互作用。当光束功率超过临界功率时, 受表面划痕或内部包裹体扰动, 光场经三阶非线性极化率指数放大形成高强度细丝。等离子体的周期性产生与膨胀导致光束发生“聚焦-发散-再聚焦”循环, 最终留下排列规整的损伤轨迹。

本文基于栅格扫描技术, 实现了大口径钕玻璃的快速激光损伤检测与三维定位。研究揭示了铂粒子诱发的热损伤机理及非线性效应导致的细丝损伤特性, 为钕玻璃连续熔炼工艺中的除铂策略优化提供了关键实验依据。

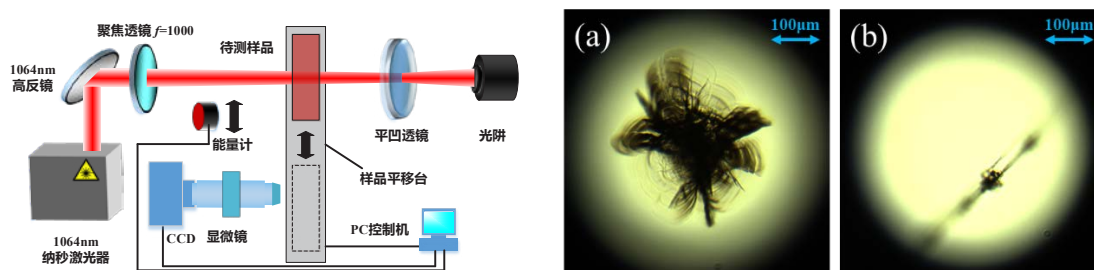


图1. 大口径钕玻璃激光栅格扫描系统。图2. (a) “星型”损伤, (b) “珍珠串”损伤。

关键词: 钕玻璃; 栅格扫描; 铂粒子掺杂; 强激光辐照检测;

叠层衍射计算成像穆勒矩阵显微镜及其在二维材料各向异性表征中的应用

黄松源, 龚明, 张启航, 谷洪刚*, 刘世元
华中科技大学精密仪器研究中心

二维材料由于不对称的晶体结构而展现出光学各向异性, 为新一代光学元件提供了全新的设计思路。为全面、定量表征二维材料的光学各向异性, 本文在叠层衍射成像中引入偏振调制, 提出了一种穆勒矩阵计算成像显微镜。该显微镜可同时重构样品的幅值和相位信息, 无需预设光轴取向即可解耦折射率和消光系数; 另外根据每个偏振态的幅值信息可计算出穆勒矩阵图像并分析双折射性和二向色性, 具有高空间分辨率。

为验证上述方法的可行性, 搭建了一台计算成像显微镜, 并测量了三斜晶系二维材料 ReS_2 的穆勒矩阵, 进一步计算其双折射性、二向色性、面内折射率和消光系数椭圆。结果与其它表征方法和文献一致, 表明该方法是准确有效的, 为二维材料面内光学各向异性表征提供了新的方式。

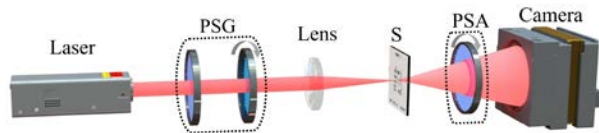


图 1. 叠层衍射穆勒矩阵计算成像显微镜

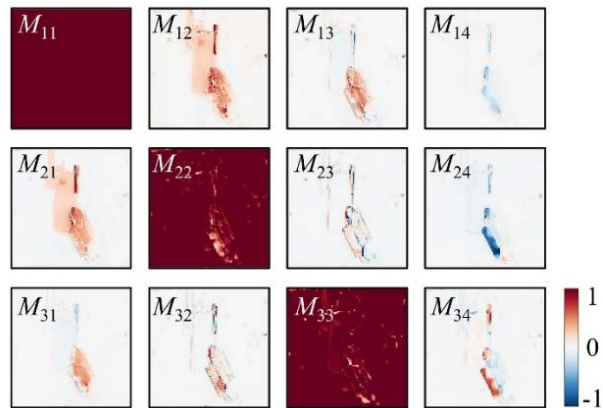


图 2. ReS_2 穆勒矩阵

参考文献:

Gong M, Liu L, Du J, et al. Ptychographic Mueller matrix imaging (PMMI): principle and proof-of-concept demonstration[J]. Optics Letters, 2024, 49(22): 6409-6412.

Gong M, Liu L, Li N, et al. Ptychographic Mueller matrix imaging: in-situ system calibration and evaluation[J]. Optics Letters, 2025, 50(19): 6137-6140.

微光像增强器光电参数测量技术与方法

拜晓锋

微光夜视技术重点实验室, 昆明物理研究所

作为夜视技术的一个重要方面, 微光像增强器基于光电转换效应、电子倍增作用以及荧光发光显示等机理过程, 成为能够将夜间微弱光信息增强至适合人眼观察亮度或末端探测感应的重要一类微光成像器件, 并在国内外众多场景中得到了应用, 拓宽了人们在夜晚等微弱光照条件下的视野, 未来将不断融合推陈出新的光电探测新原理、新技术、新材料、新工艺等, 朝着更高性能、更好兼容特性、更强适应能力的方向持续发展。本报告在简要回顾微光像增强器技术特点、发展历程、产品特性的基础上, 分析了其性能提升的未来目标; 简要介绍了微光像增强器光电参数的特性分类及相关参数的基本概念、测量原理、测试方法以及测量装置结构组成、技术特性等情况, 并从通用特性、专用特性两个方面系统分析了微光像增强器光电参数测量装置的计量校准现状, 研究并指出了微光像增强器光电参数测量装置专用特性计量手段欠缺的问题; 从微光像增强器科研、生产两个角度出发, 结合实际需求探讨了微光像增强器光电参数测量装置的后续发展, 分析了科研测量装置的多功能、高集成、高精度发展需求, 以及生产测量装置的全参量、高效率、原位计量发展要求, 按照功能归集原则, 简要阐述了微光像增强器光电参数(科研、生产)测量装置的结构概念, 同时提出改进分部测试计量能力、研究量传标准器件、加速专用装置计量标准化、形成一体化检测计量体系的微光像增强器光电参数测量装置计量发展建议, 将为科学系统地推进我国微光夜视器件测试水平提供了解决思路和参考方案。

飞秒光频梳在发动机关键参数计量的若干应用及进展

武腾飞

中国航空工业集团公司第三〇四研究所

飞秒激光的诞生使人类观察物质世界的时间尺度缩短至 $10E-15s$ 量级。飞秒光频梳以其超快、超稳、超强等特性在超高频高精度计量、超精密光谱计量等领域发挥了重要作用。在实际工程应用需求的牵引下，飞秒光频梳在高速高精度测距成像、高光谱分辨测量、高速动态过程测量等方面具有高空间、高时间、高光谱等独特优势，在未来航空发动机先进计量测试领域必将发挥重大作用。

全时域激光损伤测试技术

程旺

中国科学院空天信息创新研究院

光学元件的激光损伤会导致系统性能降低，甚至可能因此导致灾难性的故障。激光损伤阈值 (Laser-Induced Damage Threshold, LIDT) 旨在指定激光器在损伤发生前能够承受的最大激光能量密度 (脉冲激光器) 或最大激光功率密度 (连续波激光器)。LIDT 与脉冲宽度 (τ) 的关系极为密切。对于持续时间约为 10ps 或更少的超短脉冲，损伤可能由电子的非线性激发导致；对于较长的脉冲宽度或重复率较高的激光系统，激光诱导损伤可能是热诱导损伤和介电击穿结合造成；对于连续激光，损伤通常是由于光学镀膜或基片吸收引起的热效应造成。激光损伤在不同时域区间表现出截然不同的物理机制，因此 LIDT 与 τ 的函数关系存在多个转换区，并非单调幂律。对于全时域激光损伤测试，必须在多个脉宽区分别验证损伤机制转换点，避免因误用或线性外推导致系统性偏差。通过研制覆盖飞秒、皮秒、纳秒和连续激光的损伤阈值测试装置，可开展不同材料在不同脉宽区的损伤测试试验，获得 LIDT 实测数据，为材料 LIDT 在不同时域的外推提供数据支撑。

飞秒光频梳技术及其在精密测量中的应用

张铁犁

北京航天计量测试技术研究所

光学频率梳是一种特殊的激光器，在时域上呈等间隔的激光脉冲，在频域上呈梳状结构。它具有覆盖频谱范围宽、频率稳定性好等特点。自发明以来，已成为精密测量和计量领域中非常重要的工具，备受科学家关注。本报告首先对光学频率梳的各类技术路线进行了综述，然后介绍了课题组在光学频率梳技术领域中的实践工作，阐述了光学频率梳在几何量计量、光谱测量等方面的应用实践。

关键词：光学频率梳；几何量计量；光谱测量

基于单像素编码的全场光谱干涉多维测量技术

张金旭^{1,2}、柳鑫元²、邢飞^{1,2}、吴冠豪^{2,*}

¹启元实验室

²清华大学精仪系

多维信息 (x, y, z, λ) 测量技术在复杂结构与材料性能表征方面具有独特优势，通过获取深度 (z) 和空间场 (x, y) 信息，可实现三维轮廓测量、穿透成像和层析成像，结合光谱 (λ) 维度可分析化学成分与掺杂浓度，为工艺优化和器件性能提升提供关键信息。然而由于测量方式不同，多维信息的获取通常意味着不同系统的组合，这为系统的拼接和装配带来困难。

光谱干涉技术通过探测光谱维度提取深度信息，具备高精度、无需臂长或波长扫描以及独特的层析成像能力，被广泛应用于半导体检测、微机电系统表征、生物组织成像等微纳检测领域。然而，该技术在全场测量时难以避免逐点或逐线的机械扫描过程，导致时间效率较低。为突破光谱干涉全场测量的瓶颈问题，充分发挥其在光谱信息和轴向深度的测量优势，本文提出基于单像素编码的全场光谱干涉多维测量技术，从单像素编码数学模型出发探索全场光谱测量方式，设计了单像素拓展的空间光编码光谱模块，并进一步结合基于强度线性编码的解算原理，在单一系统中实现了丰富的多维信息捕获。实验展示了毫秒级速率下的高光谱成像结果，以及频谱混叠及分离时的高精度面形重建结果，系统实现了亚纳米级光谱分辨率，面形重建精度优于 5 nm。未来可进一步结合压缩采样，实现时间 (t) 维度的效率提升。

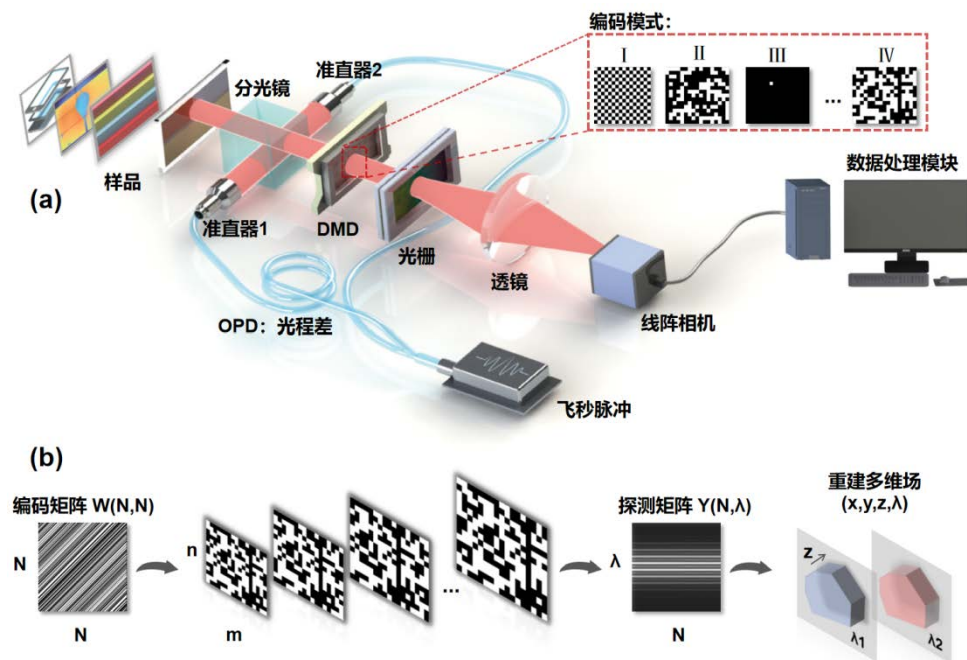


图 1. 基于单像素编码的全场光谱干涉多维测量原理

太阳光干扰对激光雷达性能影响及量化评估方法研究

曹晨欣^{1,2}, 王哲^{1,2}, 麻云凤^{1,2*}, 程旺^{1,2}, 白芳¹, 白勇¹, 张之曦¹,

贾宗儒^{1,2}, 田浩^{1,2}, 曹李熙^{1,2}

¹中国科学院空天信息创新研究院

²中国科学院大学光电学院

激光雷达受到太阳光干扰影响, 信噪比下降, 导致点云质量下降及测距精度退化。针对现有研究缺乏能够同时表征点云完整性与测距精度变化的方法, 本文提出采用点云保持率 (Point Cloud Preservation Ratio, PCPR) 和测距精度变化倍数 (Range Precision Change Multiplier, RPCM) 表征激光雷达抗太阳光干扰性能。实验采用 Solar-500T 太阳光模拟器 (光照度 (E) 1 lx 至 100000 lx) 和 RoboSense Helios 32 激光雷达及尺寸 200 mm × 200 mm、反射率为 90% 的漫反射标准靶, 激光雷达与漫反射标准靶距离 2 m 和 2.5 m。通过控制变量分析光照度、探测距离对激光雷达性能的影响规律。

实验结果表明: 随着光照度的增加, PCPR 显著下降, 表明太阳光的干扰导致点云的质量下降, 尤其是在高光照度下, 点云的丢失更为明显。当光照度 ≥ 60000 lx 时, PCPR 低于 50%, 激光雷达的性能明显退化, 导致削弱目标形貌重建能力。RPCM 指标随着光照度增加变化明显, 激光雷达测距性能下降; 当光照度达到一定强度后趋于稳定, 表明测距精度劣化存在干扰饱和和阈值。同时, 随着探测距离增加会削弱激光雷达抗太阳光干扰能力。机理分析表明, 该现象主要源于探测器光响应饱和效应及太阳光谱引入的背景噪声叠加, 从而降低回波信号的有效信噪比。

本文提出的 PCPR 与 RPCM 双指标体系能够从数据完整性与测距精度两个维度对激光雷达性能进行统一量化评估, 为抗干扰算法设计及系统性能优化提供了可量化依据。该方法可为复杂光照环境下激光雷达性能测试与标准化评估提供参考。

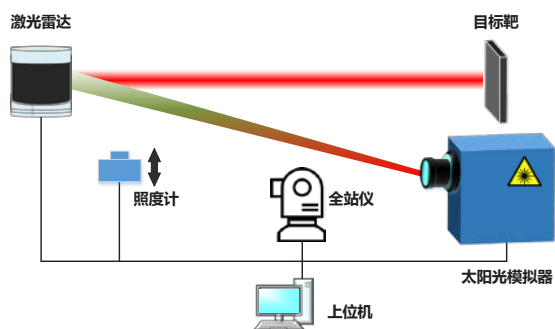


图 1. 太阳光干扰系统。

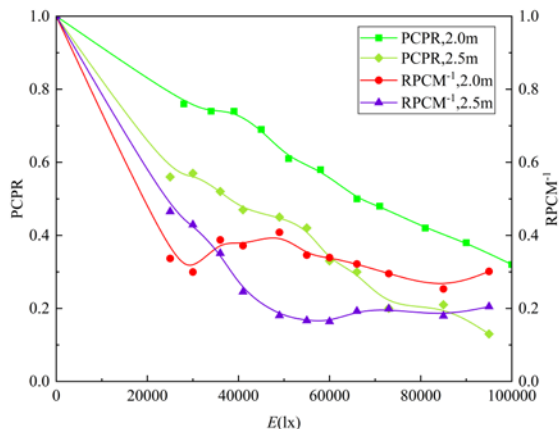


图 2. PCPR 和 RPCM 随 E 变化曲线。

关键词: 激光雷达; 太阳光干扰; 光学测试; 量化评估

激光惯性约束聚变研究中超快时间诊断技术研究进展

王峰, 甘华权, 张磊, 龙欣宇, 雷明科, 关赞洋, 理玉龙, 王楼灿

中国工程物理研究院激光聚变研究中心

在激光驱动惯性约束聚变 (ICF) 研究中, 对冲击波速度场与等离子体状态进行高时空分辨率诊断, 是攻克内爆效率瓶颈、提升聚变成功率的核心物理基础。冲击波的时序与对称性直接决定了靶丸的压缩效率, 而等离子体状态演化则深刻影响着热斑的形成质量与能量耗散。为突破传统诊断技术在时空维度和测量精度上的局限, 本文构建了一套协同互补的创新诊断体系。首先, 为实现激波初始微扰 (种子) 的高空间分辨率精密刻画, 我们基于成像型任意反射面速度干涉仪 (VISAR) 理论设计了偏振二维任意反射面速度干涉仪 (P-2D-VISAR), 通过偏振调制与误差解耦模型, 实现高精度相位计算, 成功提取了高质量的二维扰动信息。其次, 为解决流体不稳定性在连续时间尺度上的演化监测问题, 我们基于压缩超快成像和 VISAR 理论, 提出了一种基于即插即用互补式深度图像先验的 CUP-VISAR 条纹重构方法, 该方法无需训练数据即可在低信噪比条件下实现高精度重构速度场 (最大速度误差 < 2%), 从而精准捕捉了流体不稳定性在连续时间尺度上的演化过程。最后, 为进一步揭示影响热斑状态的等离子体参数演化规律, 我们提出了高分辨光谱压缩超快相干调制成像技术 (CU-CMI)。该技术框架从空间、时间和光谱三个维度协同推进, 克服了传统光学汤姆逊散射诊断难以兼顾时空演化多维探测的局限, 成功重构出高精度的时空分辨散射光谱, 为 ICF 等离子体状态的时空演化提供了全新的诊断维度。综上, 本文提出的系列技术从空间分辨 (P-2D-VISAR)、时间连续 (CUP-VISAR) 和光谱 (CU-CMI) 三个维度协同推进, 共同构成了一个多维度、高精度的 ICF 极端瞬态过程精密测量体系, 为实现可控聚变提供了坚实的数据基础。

关键词: 惯性约束聚变 (ICF), CUP-VISAR, 连续二维速度场, 光谱, 多维度

光腔弱耦合激光干涉皮米级位移测量技术研究

徐欣*, 海明阔, 谈宜东

清华大学精密仪器系, 精密测试技术及仪器国家重点实验室

随着集成电路(IC)装备、超精密微纳制造及空间引力波探测等前沿领域的快速发展, 实现纳米乃至皮米量级的超精密位移测量已成为现代高端装备的共性基础需求。然而, 传统外差或单频激光干涉仪受限于测量机理, 高度依赖高反射率的合作靶镜, 难以满足低热胀系数材料(如微晶玻璃、碳化硅等不规则、弱反射非合作目标)的非接触微形变直接测量需求。针对这一挑战, 本文提出并验证了一种基于光腔弱耦合物理机理的高灵敏度皮米级位移干涉测量技术, 揭示了目标微弱散射光反馈注入谐振腔后, 与内部光场干涉并受激激发的弛豫振荡放大效应。基于此研制成集成化光腔弱耦合干涉测量原理样机, 采用准共路补偿结构抑制了环境扰动共模噪声, 经实验测试, 位移零漂 $\leq 30\text{nm}@1\text{hour}$, 分辨率 1nm , 噪声灵敏度 $50\text{pm}/\text{Hz}^{1/2}@1\text{Hz}$, 并初步应用于压电陶瓷及碳化硅等材料的微形变非接触评估, 为解决弱反射率非合作目标的超精密空间位姿与形变测量提供了一种可行的高灵敏干涉测量手段。

气动波前畸变仿真分析与测量技术研究

邓宇轩¹, 毕雨鑫¹, 杨忠明^{2,*}, 刘兆军²

¹山东大学激光与红外系统集成技术教育部重点实验室

²山东大学信息科学与工程学院

气动波前畸变是影响高速飞行器光学成像与激光传输效能的关键因素, 对其进行高精度动态测量具有重要的工程应用价值。哈特曼波前传感器凭借高时间空间采样率、大动态范围及波长适应性, 成为解决气动波前畸变复杂测量难题的理想方案。针对气动波前大空间梯度、高频波动的测量难题, 本课题组开展了气动波前畸变的数值仿真分析与大动态测量技术研究, 通过流场与光线追踪的数值仿真, 计算气动波前的动态测量范围与精度需求, 并揭示了强湍流极易导致探测光斑发生抖动、形变及破碎等核心测量挑战。针对上述挑战, 本课题组设计了针对气动环境的哈特曼波前传感器。提出的波前重构算法, 有效突破了强倾斜与子光斑缺失下的重构瓶颈。气动环境实测结果表明, 所研制的波前测量系统测量稳定性优于 $1/20 \lambda$ (RMS@532nm)。

大口径准直系统波前数据处理方法研究

蔡志华*，魏淑玉，王旭

齐鲁中科光物理与工程技术研究院

大口径透射式准直系统多采用大口径的凸球面或凸非球面透镜作为主要光学元件，而高精度的大口径凸球面或凸非球面反射镜面形检测问题一直是光学检测中的一个难题，从而造成了大口径准直系统制作困难、制造周期长、制作精度低。以准直系统透射波前测试结果为依据加工大口径系统能够提高大口径准直系统的生产效率，降低制作难度。但大口径准直系统尤其是小F#的准直系统透射波前测量数据与镜片加工面位姿之间存在较大偏差，导致加工后准直系统波前面形不收敛。为解决这一问题，本文针对一口径300mm，F#1.5的大口径准直系统进行研究，提出了大口径准直系统波前数据矫正的方法，解决了透射式准直系统以系统波前数据为依据加工准直系统面形不收敛的问题，并通过该方法将F#1.5和F#0.8的两个大口径准直系统透射波前加工到 $0.01\lambda\text{ RMS}(\lambda=632.8\text{nm})$ 和 $0.018\lambda\text{ RMS}(\lambda=632.8\text{nm})$ ，由该准直系统组成的大口径会聚系统波前为 $0.024\lambda\text{ RMS}(\lambda=632.8\text{nm})$ ，达到了系统验收指标，验证了大口径准直系统波前数据矫正分析及处理方法的准确性。

关键词：光学测量 系统波前 准直系统 大口径凸球面 数据矫正

面向大口径高像质光学系统的全视场高精度 MTF 测试仪 的研制与应用

张誉成^{1,2}, 倪磊^{1,2}, 崔洪凡², 熊苏²

¹西南科技大学

²四川朗蔚光学仪器有限公司

调制传递函数 (MTF) 是评价光学成像系统性能的核心客观指标。然而, 现有 MTF 测量技术存在显著缺陷: 倾斜刃边法依赖微分运算, 易放大噪声且对平行光管全视场像差要求严苛; 有限宽度狭缝导致高空间频率下 MTF 衰减; 照明均匀性不足及像差量化不精准引入误差; 精密机械调节与多轴协同性能不足, 难以满足大口径、大像高测试需求。各模块协同性差, 缺乏系统误差修正机制与高效算法, 无法实现高精度一体化像质评价。

针对上述瓶颈, 并鉴于国外高精度传函仪对华技术封锁, 为打破关键光学检测设备受制于人的局面, 本研究自主设计了一款适用于无限远共轭条件的高精度、多功能传递函数测量仪, 以实现国产化替代。系统主要技术指标如下: 光谱范围覆盖 450 nm 至 750 nm 可见光波段, 被测通光孔径 ≤ 150 mm、最大像高 ± 45 mm, 方位角调节范围 360° 、最大离轴角 $\geq \pm 75^\circ$; 最高空间频率达 500 lp/mm, 轴上 MTF 测量精度 ± 0.02 、轴外 ± 0.03 , 测量重复性(1σ) 0.01。

本研究从检测原理、光学、机械、电气及算法软件多维度进行系统性创新。方法上, 以十字狭缝法替代倾斜刃边法, 规避噪声放大并降低对平行光管像差的依赖。光学上, 对比实现科勒式与匀光棒均匀照明, 设计平场复消色差物镜与无限远校正套筒构成的高倍率放大系统, 满足 500 lp/mm 测试需求。像差与误差修正方面, 采用泽尔尼克多项式量化波前像差, 通过 Zemax 与 Matlab 联合仿真建立高精度模型, 引入 sinc 函数狭缝窗函数修正 MTF 衰减。机械上, 设计五大功能模块并经验证, 运用差动螺纹与柔性铰链实现精密调节。电气上, 构建基于固高 GSNE 控制卡与双总线的多轴运动控制系统。算法与软件上, 提出亚像素峰值定位与多模型非线性拟合的后处理流程, 并基于分层解耦原则设计软件架构。

通过上述优化与集成, 成功自主研制高精度多功能传函仪, 有效打破国外技术封锁, 克服了传统 MTF 测量核心缺陷, 实现光、机、电、算协同闭环控制与 MTF、有效焦距、畸变等多维参数一体化高精度测量 (MTF 精度轴上 ± 0.02 、轴外 ± 0.03 , 重复性 0.01; 有效焦距精度 $\pm 0.4\%$), 为光学系统提供了全面、客观、可靠的像质评价手段。

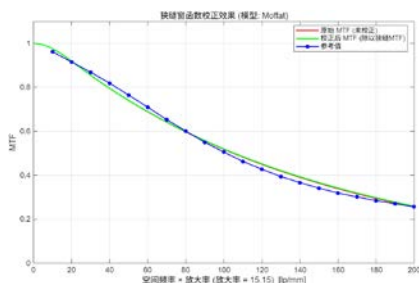


图 1 MTF 测量值与 MTF 参考值对比 (Δ MTF <0.02)

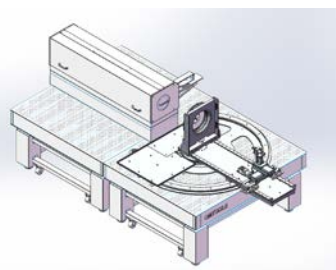


图 2 高精度多功能传函仪设计外观

超高精度光学面形干涉检测技术及应用进展

侯溪

中国科学院光电技术研究所

重大应用需求不断驱动高性能光学系统制造能力持续发展。检测精度决定制造精度，超精密光学元件为高性能光学系统核心基础件。面形为超精密光学关键参数之一，通常光学干涉检测为面形测量主要手段。超高精度光学干涉检测技术仍然存在技术挑战，甚至挑战技术极限。本报告概述了光学面形干涉检测基本原理、国内外相关技术发展现状和主要技术挑战，重点介绍了近年来团队在超高精度光学面形干涉检测技术及应用方面的研究进展。

关键词：先进光学制造、高性能光学系统、干涉检测

830mm 口径低相干噪声抗振干涉仪

彭韶婧, 徐兆锐, 何建瑶, 李欣明, 白剑, 刘崇, 沈亦兵, 吴兰, 刘东*

浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

直径 300mm 以上的大口径光学元件在天文观测、极端光刻、高能激光装置等领域应用广泛。为了达到更优异的光学性能, 并保证装置运行过程的安全性, 对大口径光学元件的各频段加工误差均提出了严苛的要求。大口径干涉仪作为通用的高精度面形检测设备, 主要用于全口径检测大口径光学元件的中低频加工误差并辅助超精密光学加工。现阶段国内外的大口径干涉仪受硬件限制与噪声影响, 难以在中频段范围内达到亚纳米量级的测量精度, 制约了精密加工领域的发展。

团队自主研发了 830mm 大口径低噪声干涉仪, 对光学元件的中低频加工误差进行全口径检测, 报告重点剖析了限制干涉仪中频测量精度的影响因素, 从光机系统设计、相干噪声抑制、相位提取算法等方面提出了对应的解决方案, 最终干涉仪系统传递函数优于 $0.9 @0.6 \text{ cycle/mm}$, 实测重复精度优于 150pm, 24h 稳定性优于 240pm, 仪器稳定性、重复性、传递函数等性能均处于国际领先水平, 已用于中国工程物理研究院重大装置使用的大口径平面元件的入所检验, 对保障光学元件的质量具有重要意义, 有力支撑了国家重大科学工程建设。

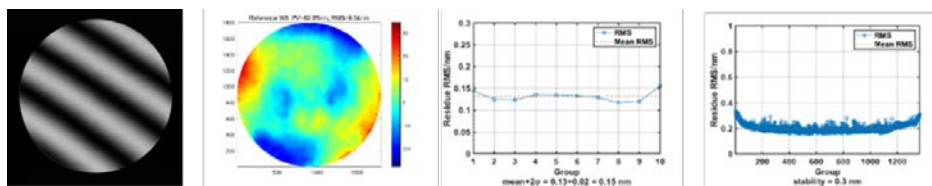


图 1. 自研 830mm 大口径干涉仪与仪器性能。

关键词: 大口径光学元件、干涉检测、中频误差、相干噪声抑制

高精度柱面光学元件表面形貌及缺陷检测技术研究

臧仲明*, 李璐璐, 陈杨, 陶文攀, 骆维舟, 张思琪, 郑越青, 海阔

中国工程物理研究院机械制造工艺研究所

柱面光学元件能够实现光束单轴向调控及整形, 在同步辐射光源、显示面板制造装备等大科学装置、国民经济领域发挥着不可或缺的作用。本报告将面向柱面元件表面质量的两个关键指标——表面形貌及缺陷, 报告团队的最新研究进展。在表面形貌检测方面, 提出了基于伪剪切干涉的非零位检测技术, 不依赖于定制的高精度补偿器即可实现离轴非球复杂柱面表面形貌通用化检测, 并通过“剪切”步骤及重构算法解决检测精度受补偿器影响大的问题, 针对检测过程失调误差的分离与校准提出了系列化解决方案, 并对检测系统参数进行了分析与优化设计, 检测结果对比使用 CGH 偏差小于 $\lambda/50$ 且多次检测重复性优于 $\lambda/200$ 。在缺陷检测方面, 提出了同轴透射式暗场成像、明暗场结构光显微等缺陷检测方法, 可实现表面、亚表面乃至材料内部体缺陷三维检测, 并开展了缺陷对入射光场调控作用及其与损伤关联关系的初步仿真与实验研究。团队联合国内优势单位研发的面向柱面等复杂曲面光学元件亚表面缺陷的检测专机, 即将投入光学元件生产线应用。上述技术应用有效保障了团队制造的柱面元件满足各类光机系统的使用要求。

关键词: 柱面光学元件、非零位检测、干涉检测、缺陷检测

面向大口径干涉检测的多表面迭代波长移相抗振算法

何建瑶, 徐兆锐, 李欣明, 彭韶婧, 刘东*, 吴兰, 刘崇

浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

直径 300 mm 以上的大口径平行平板类光学元件广泛应用于高能惯性约束聚变和高能激光装备等领域, 其制造与检测依赖大口径干涉仪。然而, 由于检测系统机械结构复杂、多表面扫描时间较长, 其测量过程易受环境振动影响, 导致传统多表面干涉算法在频域分离与相位重建中引入振动误差, 限制了检测精度。

针对该问题, 本文提出一种面向大口径干涉检测的多表面迭代波长移相抗振算法 (Vibration-Modeled Multi-Surface Iterative Phase-Shifting Interferometry, VMI)。建立了平行平板类元件波长移相干涉检测物理模型, 并以傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT) 算法得到的频率和相位作为初值, 将多表面相位、移相量及帧间环境振动参数统一纳入最小二乘迭代求解框架, 实现多表面信息的高鲁棒性重建。

仿真结果表明, 在强振动条件下, 相较传统多表面算法, VMI 算法解算结果的相对均方根误差可降低近 99%。实验方面, 在商用波长移相干涉仪中开展无振动与振动条件下的对比实验。在振动环境下, VMI 算法与商用软件计算结果相比, 前表面、后表面和厚度结果的相对均方根误差降低了约 66%。进一步地, 在自研 $\Phi 630$ mm 近红外波长移相干涉仪上完成了振动环境下的熔石英波片元件测试, VMI 算法各表面检测结果相位连续完整且无局部失真, 验证了 VMI 算法在大口径干涉测量中的适用性与可靠性。

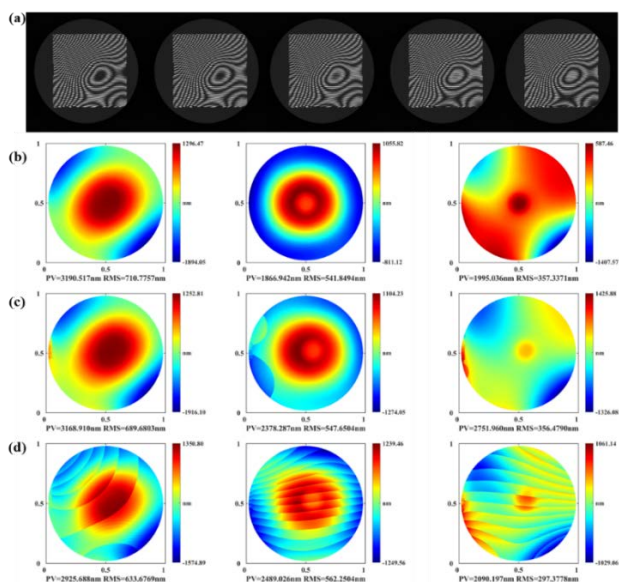


图 1. 近红外波长移相干涉仪多表面测试结果: (a) 部分干涉图; (b) VMI 计算结果 (从左到右分别为前表面、厚度、后表面结果, 下同); (c) MST-AIA 计算结果; (d) FFT 计算结果

关键词: 多表面干涉、波长移相、大口径干涉检测、最小二乘法

振动环境下大口径时域移相干涉仪波面符号模糊问题及抑制技术研究

李丰芮^{1,2}, 许嘉瑞^{1,2}, 韩志刚^{1,2,*}, 朱日宏^{1,2}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工信部重点实验室

大口径时域移相干涉仪是高端光学装备核心元件面形检测的主流设备,但强振环境下会产生波面符号定性错误,即符号模糊。本文基于菲索干涉腔空间形变解耦,将外界振动分解为倾斜振动与轴向振动两类独立分量,系统阐明了倾斜振动引发非均匀倍频纹波、轴向振动诱发移相符号二义性进而导致波面符号模糊的产生机理,分析了经典定步长移相算法中的误差残留特性与抗振局限。针对两类误差,本文采用倾斜移相迭代算法抑制非均匀纹波,提出包含快调谐同步标定采集法、倾斜移相载频标定法、局域时空条纹载频标定法的符号模糊抑制技术体系。本文搭建 $\Phi 100\text{mm}$ 振动模拟原理验证装置,并改进 $\Phi 800\text{mm}$ 大口径工程实验装置。实验结果表明,在工业经典振动幅频积范围内,波面符号求解正确率由传统方法的 42% 提升至 82%,解调波面 PV、RMS 分别为 0.08λ , RMS 为 0.012λ 。本文工作为强振环境下大口径时域移相干涉仪的高精度、高可靠性现场检测,提供了适用于多场景的系统性技术方案与工程化实现支撑。

关键词: 大口径光学元件; 抗振技术; 非稳环境; 时域移相干涉仪

用于高 NA 光刻投影物镜波像差检测的 Ronchi 剪切干涉

仿真模型

常春超^{1,2}, 李中梁^{1,2}, 黄申鹏^{1,2}, 冯鹏^{1,2}, 王向朝^{1,3}¹中国科学院上海光学精密机械研究所²中国科学院大学³浙江大学

随着光刻特征尺寸的不断缩小,对投影物镜的要求也越来越高。投影物镜的波像差是评价光刻投影物镜成像质量的重要参数,高精度的波像差检测装置是先进光刻技术的必要设备。双光栅 Ronchi 剪切干涉是一种基于瞳面测量的波像差检测技术,广泛应用于先进光刻投影物镜的波像差检测。基于 Ronchi 剪切干涉的仿真模型是检测装置设计和系统误差分析的前提。随着投影物镜数值孔径 (NA) 的增大,为了建立准确的模型,必须考虑光的矢量特性。

本文提出了一种用于高 NA 投影物镜波像差检测的 Ronchi 剪切干涉矢量仿真模型。模型以物面光栅上一点为点光源,传播到投影物镜入瞳面形成平面波前。从入瞳到出瞳受到投影物镜波像差调制,从出瞳到像面光栅的成像过程采用矢量德拜衍射积分得到像面光栅前表面的聚焦电场。假设电场与像面光栅之间的相互作用符合薄掩模近似,从像面光栅后表面到探测器的成像过程采用夫琅禾费衍射得到单个源点在探测器上的电场分布,最终,探测器上的光强可以表示为所有点光源产生的相干图像的非相干叠加。

利用所建立的模型对波长为 532nm、物镜 NA 为 0.9、剪切率为 0.04 的 Ronchi 剪切干涉系统进行仿真,采用十步相位提取算法得到 X 方向和 Y 方向上的剪切相位,再利用差分 Zernike 拟合波前重建算法得到投影物镜的波像差。仿真结果如图 1 所示,输入波前与重建波前具有相同的波像差分布,且均方根 (RMS) 分别为 5.134nm 和 5.232nm,两者 RMS 相差 0.098nm,拟合 RMS 相对误差为 1.91%,且波前重建残差 RMS 为 0.478nm。输入波前与重建波前之间的一致性证明了所建立模型的准确性,该模型可用于指导 Ronchi 剪切干涉波像差检测装置的系统设计与系统误差分析。

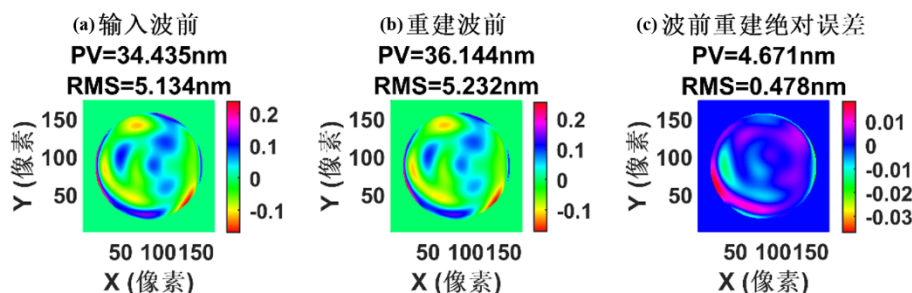


图 1. 基于本文模型对高 NA 投影物镜的波像差检测仿真结果。

(a) 输入波前; (b) 基于本文模型的重建波前结果; (c) 输入波前与重建波前之间的绝对误差。

剪切干涉在非球面测量中关键技术

田爱玲

西安工业大学

非球面光学元件具有优良的光学性能，越来越多的光学系统采用非球面元件设计。目前有不少非球面面形的测量方法，但是要么通用性差，要么测量时间长。横向剪切干涉是表面上相邻点之间的干涉，适合非球表面的测量，但需要解决几个关键技术问题，即剪切参数获取和面形恢复。在剪切参数获取方面，针对非球面度小的非球表面，提出基于 TransUNet 迁移学习的计算方法，首先以干涉图空间质量图为依据进行分割，结合提出的圆域拟合约束实现剪切参数的高精度鲁棒提取，进一步利用大规模仿真干涉图和少量真实干涉图进行模型训练，采用最小二乘拟合算法完成剪切参数计算，满足自动化测量需求。针对非球面度较大的非球面，提出相位驱动优化的剪切参数计算方法，基于相位残差反馈机制，以目标相位残差为核心优化约束，通过迭代获得精确剪切参数，保证了波前重建精度。在面形恢复方面，提出一种复合优化重建方法。首先，采用差分 Zernike 模式法获得低频波前，并以此为先验约束分离出中高频残差梯度场；再在自适应正则化约束下，利用改进的区域法对中高频残差梯度场进行中高频波前重构，最后，通过协同优化实现了全频段面形的高保真重构。仿真和实验结果验证了研究方法的正确性。

光学曲面检测技术

禹静

中国计量大学

光学曲面元件是一类在航天航空、人工智能、生物医疗器械领域中广泛应用的核心器件。课题组长期从事光学超精密测量，测量对象涵盖光学透镜、大口径光学器件、眼科光学生物器械等，测量参数涵盖光学曲面面型、表面缺陷、光学成像质量。根据点衍射干涉原理，无需额外配置精密实物测量基准，可直接获取亚纳米量级超高精度球面基准，该技术可用于三维空间定位、光学元件微纳表面面形高精度检测等。利用光学偏折技术，利用屏幕显示正弦条纹并进行移相，利用 ccd 相机拍摄经被测面调制后的变形条纹，通过对变形条纹图像解调得到被测面的相位分布并转换为光斑点分布数据，再通过对理想模型进行光线追迹，获取模型中理想被测面的光斑点分布，通过对光斑点作差并根据系统结构参数计算得出被测面表面斜率信息，最后对斜率数据进行重构获得其面形。该方法能够实现对反射型复杂自由曲面以及投射型元件表面等的通用性检测。以眼科光学重要器械人工晶状体为例，对其成像质量及面型进行光学测量，提出以屈光度参数和成像参数共同评价的方法，探讨人工晶状体面型与成像质量参数的关系，对晶状体进行量化评价。

光学元件超声振动辅助加工的监测/检测技术

孙国燕

中国科学院西安光学精密机械研究所

超声振动辅助加工技术作为提升加工零件表面质量与完整性的关键手段，具有降低切削力、减少表层及亚表层损伤、抑制加工热积累、提高材料去除均匀性等突出优势，在硬脆光学元件的超精密切削、磨削及抛光加工中广泛应用。针对硬脆材料高硬度、高脆性导致的加工难题，超声振动辅助加工通过高频微幅振动改变材料去除机理，为突破传统加工瓶颈提供有效途径。本报告基于课题组前期在超声振动辅助加工领域的研究工作，系统总结超声振动加工硬脆材料过程中的监测/检测方法、动态机理、数学模型、质量分析与精度优化等方面的四项核心内容：其一，搭建应力-应变监测系统，阐明超声振动调控材料粘弹性的物理机制，揭示振动场作用下材料本构关系的演变规律；其二，基于声发射与高精度测力系统，揭示超声振动辅助柔性抛光过程中超声振动与抛光力之间的耦合特性，明确振动参数对抛光力动态响应的调控作用；其三，针对抛光表面质量分析，建立分形分析理论框架，实现对抛光表面多尺度复杂性与各向异性的定量表征，为表面形貌评价提供新工具；其四，针对光学元件超声振动辅助加工过程与结果，构建空间轨迹模型并结合熵增计算，定量优化抛光表面的全频段精度，实现从微观形貌到宏观形状的精度协同控制。上述研究成果不仅为超声振动辅助加工提供了机理研究与监测/检测方面的新见解，深化了对超声能场作用下材料去除本质的认识，同时也为该项技术在硬脆光学元件高效精密加工中的工程化应用奠定了理论基础与实践依据。

Ronchi 剪切干涉中卷积效应的影响探究

金桂生^{1,2}、李中梁^{1,2}、王向朝^{1,3}

¹中国科学院上海光学精密机械研究所

²中国科学院大学

³浙江大学

Ronchi 横向剪切干涉测量因无需参考波前、共光路、抗干扰等优势，已成为高精度光学波前检测的核心技术。CMOS 采集干涉图的过程本身就是光学成像系统的点扩散函数与理想干涉图卷积的过程，其次入射到单个像元的光子在硅衬底上发生散射、反射，被相邻像元的光敏区接受，故接收干涉图的 CMOS 像元间存在串扰，并且空气间隙厚度不能忽略，信号光在空气中弥散传播，这些都会带来卷积核误差。

针对现有研究对波前重建中卷积核对模式系数耦合机制缺乏系统定量分析的问题，本文基于 Ronchi 剪切干涉模型，对前 64 项 Zernike 像差分别进行剪切干涉仿真，卷积核近似为高斯核，利用差分数据重建波前，得到在相同系数输入下，每项 Zernike 在前 25 项像差中的串扰情况。在此基础上，分析了卷积核大小、像差系数对耦合规律的影响。仿真结果表明，在 Fringe Zernike 排序图中，卷积核带来的耦合主要集中在同簇像差间。像差簇中球差项间耦合比最大，同簇的相邻两列耦合比近似。同列中，某项像差主要耦合到相邻的上下两项中，越往高阶，耦合比越大。不同簇间串扰极小，可忽略。卷积核半高宽从 10 μm 至 60 μm 变化的过程中，每项像差的 ZGE (Zernike Gain Error) 呈近似线性增加，而对其余项的耦合误差呈非线性关系，像差系数大小不影响耦合规律和耦合比例。

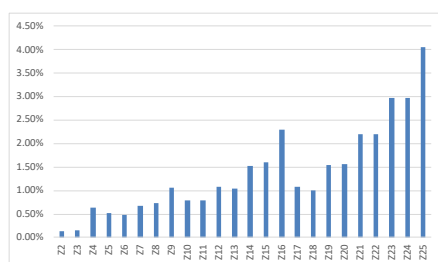


图 1. 各项 ZGE

慧差VS慧差	Z2	Z3	Z7	Z8	Z14	Z15	Z23	Z24
Z2	-0.0013	-0.0007	0.0010	-0.0016	0.0025	-0.0011	0.0016	0.0004
Z3	-0.0007	-0.0015	-0.0003	-0.0014	-0.0002	0.0020	-0.0009	0.0005
Z7	-0.0010	0.0008	-0.0068	-0.0004	0.0039	-0.0002	0.0015	0.0002
Z8	0.0008	-0.0004	0.0006	-0.0072	-0.0007	0.0033	-0.0003	0.0015
Z14	0.0004	0.0000	0.0023	0.0000	-0.0152	-0.0002	0.0070	-0.0005
Z15	0.0000	-0.0005	-0.0001	0.0018	-0.0001	-0.0159	0.0003	0.0066
Z23	-0.0002	0.0001	-0.0004	-0.0005	0.0043	0.0000	-0.0298	-0.0005
Z24	0.0001	0.0002	-0.0006	-0.0010	0.0001	0.0047	0.0000	-0.0298
Z34	0.0001	-0.0005	-0.0005	-0.0004	-0.0017	-0.0001	0.0082	0.0004
Z35	-0.0005	0.0003	0.0001	-0.0004	0.0000	-0.0014	-0.0003	0.0083

图 2. 慧差簇系数串扰

逼近分辨率极限的相干衍射成像

刘力, 谷洪刚*, 刘世元*

华中科技大学机械科学与工程学院

相干衍射成像 (CDI) 凭借其无透镜的成像架构和理论上完美的传递函数, 被视为最有望逼近阿贝分辨率极限的成像范式。然而, 在超高数值孔径 (NA) CDI 中逼近分辨率极限仍面临挑战。本文报道了一种数值孔径接近 0.9 的 CDI 系统, 并将成像因子优化至 $k = 0.501$, 首次在超高数值孔径场景下逼近阿贝衍射分辨率极限。利用这一超高数值孔径及阿贝极限成像 k 因子, 我们实现了 CDI 中 0.57λ 的创纪录成像分辨率。该方法基于一种名为“严格夫琅禾费衍射”的新型计算框架, 能够消除超高数值孔径 CDI 系统中的埃瓦尔德球效应, 从而将超高数值孔径、分辨率极限的 CDI 成像问题, 从依赖近似与复杂几何校正的传统途径, 转化为可通过严格模型计算求解的问题。更重要的是, 在原波长极紫外光刻掩模叠层衍射成像实验中, 实现了 25 nm 的创纪录超高分辨率, 这一进展为桌面型高次谐波光源半导体器件在线检测与计量的工业应用铺平了道路。

基于深度学习的高精度大口径单帧干涉面形测量方法

汤亮, 赵维谦*, 韩明志, 邱丽荣, 杨帅

“复杂环境智能感测技术”工信部重点实验室, 光电学院, 北京理工大学

大口径高性能光学元件广泛应用于激光惯性约束聚变、高分辨率对地观测卫星和大口径激光雷达等重大工程领域, 其面形高精度检测是保障系统性能的关键。针对现有面形测量方法主要依赖多步移相、对环境稳定性要求高且难以实现实时动态高精度测量的问题, 本文提出了一种基于深度学习的高精度大口径单帧干涉面形测量方法。该方法利用小口径测量数据进行监督训练, 建立干涉图与包裹相位之间的映射关系; 同时基于扩束系统特征学习, 引入对比学习与域特征对齐策略, 增强小口径与大口径面形特征的一致性, 无需大口径相位标签的条件下实现跨口径高精度相位重建, 从而摆脱对移相器的依赖, 如图 1 所示。

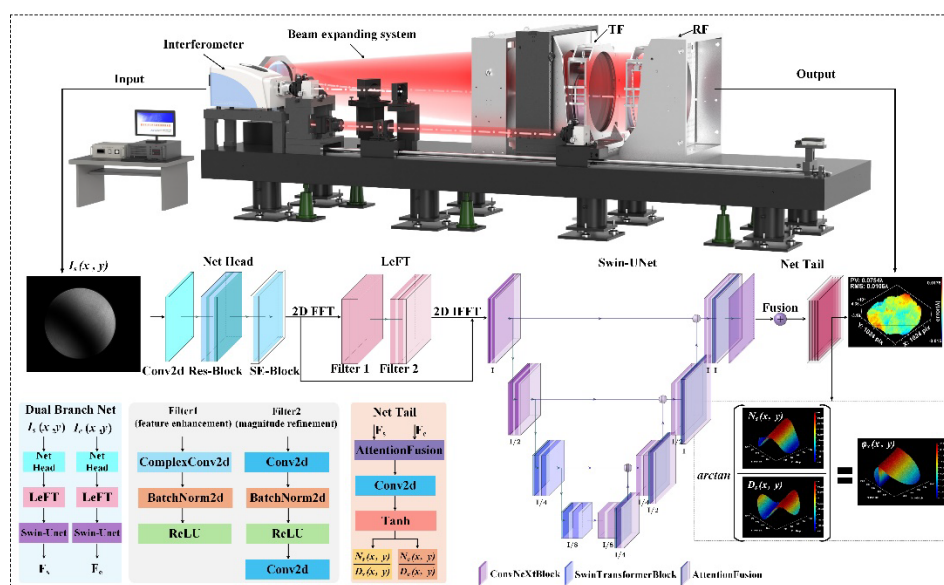


图 1 测量原理

在网络结构上, 本文将 Swin-UNet 与学习增强傅里叶变换测量模块 (LeFT) 有机融合。利用 Swin Transformer 的移位窗口注意力机制增强网络对全局相位特征的建模能力; 借助 LeFT 模块为大口径样本跨域学习提供初始相位先验, 提高相位重建精度; 同时结合多样化数据分布特性, 实现模型在特征空间中的自适应噪声抑制与有效信息提取。实验结果表明, 所提方法在 $\Phi 800$ mm 口径光学元件面形测量中, 与真值相比的均方根误差 RMSE 小于 0.0011λ , PV 测量精度优于 0.0758λ , RMS 简单重复性优于 0.00025λ , 测量结果与超精密环境下的 ZYGO 测量结果高度一致。相较传统移相方法, 该方法将测量时间缩短约 48 倍, 并可在无需移相的条件下实现不同口径光学元件面形相位信息的快速、精确获取, 为大口径干涉测量提供了一种高效、高精度和高动态的新途径。

面向超精密光学制造的形位多

翟德德

国防科技大学

在极紫外光刻、大型空间望远镜和引力波探测等国家重大光学工程的需求驱动下，高精度光学元件的形状、曲面参数及位置误差测量变得日益关键。传统测量方法如三坐标测量机和轮廓测量在精度和适用范围上各有优势，但对于大口径、高自由度非球面及复杂多面多体光学系统仍存在局限。为此，本报告介绍了基于计算全息（CGH）补偿的干涉检测方法，用于实现高精度、多参数的误差测量。通过设计专用CGH，可在干涉测量过程中补偿系统误差，同时结合子孔径拼接，实现大尺寸光学元件的整体表征。报告中以鸥翼非球面、大口径凸面、自由曲面及多面多体光学系统装调为实例，展示了基于CGH的混合测量方法的应用效果。该方法能够获取形状、参数和位置误差信息，提高测量精度和效率，为高精度复杂光学曲面的广泛运用系提供了可靠技术支持。

复杂光学系统集成装调与检测技术

曾雪锋

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

本报告聚焦离轴三反、偏轴自由曲面等先进光学系统的装调技术展开研究。此类系统凭借结构紧凑、成像性能优异、视场范围广阔等突出优势，在航空航天、高精度遥感等领域展现出重要应用潜力。然而，其非对称结构特性带来了装调自由度多、集成装调精度要求严苛等挑战，导致系统集成装调难度大幅提升，对检测手段的精准性与波像差分析的深度提出了极高要求。针对上述技术难题，项目组开展了一系列研究工作，在波像差解调方面，提出基于数据驱动的神经网络解调方法，通过大量光学装调数据训练模型，有效提升了解调精度，为系统成像质量评估提供了更可靠依据。在元件姿态测量领域，研发基于固定定向点坐标的三维测边网组网与加权平差方法，实现了对光学元件三维姿态的高精度测量，解决了非对称结构元件装调定位难的问题，这些研究成果为复杂光学系统的高效装调提供了解决方案。

激光剪切散斑干涉多通道测量技术研究及应用

李杰

中国工程物理研究院激光聚变研究中心

针对粗糙表面的材料、结构形变控制与检测需求,基于激光剪切散斑干涉原理,以“检测精度”为主线,建立了“待测对象——整机性能——误差分析”的全流程激光剪切散斑干涉测量数字化正向设计能力,实现了剪切量、 $F/\#$ 、光学性能等多参数的耦合分析及检测误差的量化评价;面向多场景应用需求,开发了高空间分辨的激光剪切散斑干涉多通道测量系统,具备大视场下面域微小形变原位实时监测能力,最大测量视场 $\geq 600\text{mm} \times 600\text{mm}$,实时采集帧率 $\geq 160\text{fps}$,实时处理帧率 $\geq 40\text{fps}$;在此基础上,提出了微小形变的原位识别与标定方法,最小形变识别灵敏度 $\leq 0.1\ \mu\text{m}$;实现了复合材料内部毫米级缺陷无损检测、不同装配力矩参数下光机组件亚微米级形变原位监测、不同脉冲激光参数冲击形变原位监测等,助力质量控制与工艺改进提升。

散射光场多维解耦技术研究

刘飞

西安电子科技大学

在生物医学、目标检测、定位追踪等诸多领域，实现透过散射介质成像是一个充满挑战的前沿研究方向。散射过程将携带目标信息的规则光场扰乱为看似随机的散斑图案，致使传统成像方法失效。这一现象的本质是目标的多维信息在传输过程中发生了严重的混叠与湮没。因此，突破散射成像的关键在于探索从混叠光场中逆向解耦出目标的多维信息。本报告通过系统性地分析散射光场多维信息传输与分布规律，构建从成像到感知再到升维的散射光场信息解耦体系。首先，通过对散斑光场中目标形变与空间位移的信息解构，打破了传统方法依赖目标形状不变与先验知识的双重桎梏，将追踪范围拓展至光学记忆效应之外，实现了透过复杂散射介质的动态目标定位与重建。进而，对二维空间信息的解耦突破了光学记忆效应的物理限制，建立了大视场成像方法，实现了从“不可见”到“可见”的跨越，为后续研究奠定了空间重建的基础。最后，通过结合深度学习技术实现了从成像到偏振信息感知的跨越，对蕴含目标结构与表面特性的矢量偏振信息进行解译，完成了对三维几何信息的升维重建，达成了从二维散斑图案到目标三维空间结构的全维度信息反演。本研究不仅提供了一系列具体的解决方案，更从认知层面论证了散射光场是一个富含多维信息的新载体，为下一代光学成像技术奠定了理论与技术基础。

CGH 补偿技术：从纳米级检测到复杂系统装调

国成立

宁波市知行光学科技有限公司

随着非球面加工与检测技术的日益成熟，其在科研及工业领域的应用愈发广泛。然而，如何从系统工程师视角优化“设计-加工-检测-装调”全链路，仍是精密光学实践中的核心挑战。本报告旨在探讨计算全息（CGH）在超精密光学检测中的深度应用。报告将重点阐述 CGH 的衍射设计理论、亚微米级微纳加工工艺及标定使用方法；并结合自由曲面元件检测及离轴三反（TMA）系统装调等实战案例，展示 CGH 在元件面形精确补偿与系统共基准装调中的闭环价值。最后，结合当前工业界对高效率检测的需求，展望 CGH 在提升检测 UPH（小时产出）与智能化集成方向的技术趋势，期待为国产超精密光学制造提供高精度检测支撑。

结构光照明衍射层析与荧光显微技术

郑娟娟

西安电子科技大学

本研究开发基于多谐波结构光照明的光学衍射层析成像 (MHSI-ODT) 技术, 并构建相位/荧光双模态超分辨成像系统。MHSI-ODT 通过 DMD 加载 10 个方向、5 个条纹周期的结构光照明样品, 并记录样品在不同结构光照明下的全息图像, 结合标量散射理论, 获得待测样品内部的三维折射率分布。相比传统 ODT 技术, MHSI-ODT 的成像速度提高了 16.7%。同时, 在 MHSI 基础上集成了结构光照明超分辨荧光显微 (SIM) 模块, 实现相位/荧光双模态成像。其中, 相位成像在无标记前提下呈现十种以上亚细胞器图像和细胞三维折射率分布, 适配长时间活细胞监测; 荧光成像可特异性标记目标细胞器。两者融合突破单一成像模态的局限, 为更全面理解细胞结构与功能的耦合机理提供了有力手段。

高功率环形腔克尔透镜锁模碟片振荡器

闫力松
华中科技大学

摘要: TBD

靶场测量的单光子探测激光回波特性研究

贾文武

中国人民解放军 63875 部队

针对光子计数激光测距在测量导弹、火箭弹、微小型无人机等目标距离时，存在被测目标距离范围宽、需测量目标特定部件的距离等实际测量需求，开展了基于单光子探测仿真的单光子激光回波特性研究。仿真分析了目标在不同距离下单光子探测激光回波波形，在近距离高回波光子数条件下存在波形畸变与测量距离负偏离的特点；仿真分析了不同激光脉冲宽度下单光子激光回波波形，更短的激光脉冲宽度更高的距离分辨能力；仿真分析了某型导弹的一维距离像，为基于单光子激光回波波形分解并测量目标不同部件的距离提供了依据。本研究对于研制和论证相关靶场测量设备具有较大参考价值。

先进测量技术在红外透射系统批量化生产中的应用

张祝伟

北京空间机电研究所

空间红外相机广泛应用于气象观测、环境监测、天文研究等领域。其核心部件红外透射系统需在宽谱段内具备高透射率、优异均匀性及环境稳定性，这对其批量化生产提出了严峻挑战。难点主要在于：红外晶体材料存在折射率均匀性差异；超精密加工对表面面形、粗糙度要求极高，公差常达亚微米级；传统接触式测量效率低、易损伤元件，难以满足规模化生产对速度与一致性的要求。先进测量技术的应用是突破上述瓶颈的关键。以非接触、全场测量为特征的激光干涉仪与多波长干涉技术，可快速、高精度地检测透射波前误差与面形。结合自动化平台，可形成测试、装调一体的智能检测装置，实现了对材料、光学件与镜头性能的全程、快速、无损定量检测与数据反馈。这不仅大幅提升了单件产品的质量可控性，保障了批量化生产的一致性与良率，推动了高性能红外光学系统的规模化制造。

高灵敏度激光扫频干涉测距与雷达技术

王一帆, 杨昕航, 闫姝婕, 谈宜东

清华大学精密仪器系精密测试技术及仪器全国重点实验室

航空航天、船舶等国之重器的制造、装配高度依赖空间坐标测量仪器。基于扫频干涉测距原理的空间坐标测量仪器兼具高精度、抗环境光干扰等独特优势,已逐步成为支撑大型装备制造精度控制、建模分析、质量评估的关键测量装备之一。然而,现有测量仪器存在弱信号探测能力不足、测量效率偏低等技术瓶颈。本报告聚焦高精度扫频干涉测距与雷达技术,介绍报告人及研究团队在提升系统探测灵敏度、数据更新率与抗干扰能力方面的研究成果,同时介绍样机研制进展,旨在支撑高端空间坐标测量装备的研制。

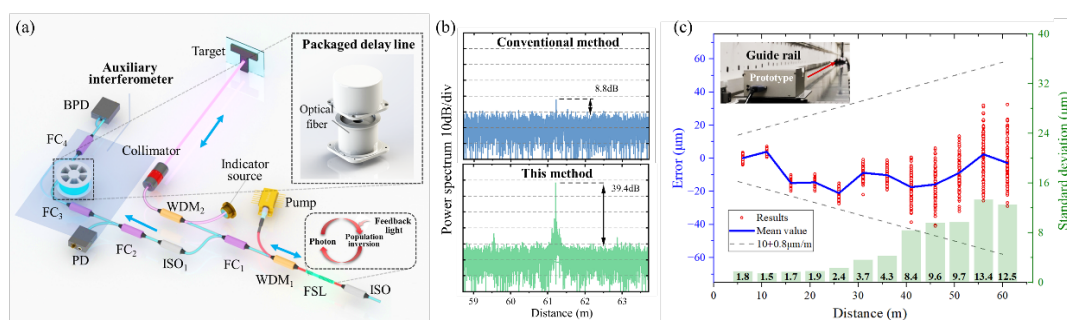


图 1. -高灵敏度扫频干涉测距系统(a) 装置示意图. (b)所提方法相比于传统方法的灵敏度提升效果 (c) 研制原理样机与精度测试结果,满足 0~60 米范围内,线性测距示值误差小于 $10 \mu\text{m} + 0.8 \mu\text{m}/\text{m} \cdot L$, L 为以米为单位的测量距离。

一种工艺稳定性强的光刻机硅片对准测量系统

周丽军^{1,2}, 陈立³, 李中梁^{3*}, 吕雄涛^{1,2}, 卓烜^{1,2}, 高金铭²,
刘东^{1,2}, 吴兰^{1,2*}, 王向朝^{1,2*}

¹浙江大学光电学院, 杭州市, 310007

²浙江大学杭州国际科创中心, 杭州市, 311121

³中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海市, 201800

光刻机是集成电路制造的核心装备, 套刻精度是光刻机的核心性能指标。高精度的硅片对准测量技术是获得高套刻精度的前提条件。为了获得高的硅片对准测量精度, 对准测量系统和对准标记必须具有强的工艺稳定性。本文提出一种新的硅片对准测量系统, 并对对准测量标记的工艺适应性进行了研究。

首先, 我们在传统的基于相位光栅对准方案基础上, 提出了一种基于涡旋光干涉的光学测量方案, 用于光刻机高精度硅片对准测量。在该方法中, 来自相位光栅衍射的 ± 1 级光被转换为带有相反拓扑荷数的涡旋光束。光栅的横向位置偏移被转换为容易检测的“花瓣”状干涉图案的旋转。建立了光栅位置偏移量与干涉图案旋转角度的理论模型, 并进行了实验验证。在实验室相对简单的实验条件下, 测得的光栅位置偏移量在 $1\ \mu\text{m}$ 范围内线性拟合优度 R^2 值达到0.999以上, 重复性测量的标准差 σ 优于 1.8nm , 展现出高的测量精度。

然而, 仅有高精度的测量系统不足以应对复杂的工艺挑战。在标记设计层面, 我们针对化学机械抛光等芯片制造工艺导致的标记结构非对称进而引入误差源的问题, 构建了一套基于多目标优化的系统性设计框架。该框架结合时域有限差分(FDTD)仿真与非支配排序遗传算法, 以“最大化衍射效率”和“最小化非对称形变下的对准误差”为双重目标, 通过设计对工艺变化不敏感的标记, 从物理层面直接将对准位置偏差的产生抑制在低水平。

综上所述, 本研究从对准测量系统到具有工艺稳定性的对准标记, 提出了一套新的硅片对准测量解决方案, 为解决先进节点光刻机中的硅片对准难题提供了全新的解决思路。

基于正交偏振后焦面成像的深亚波长反对称结构探测方法

王威、陈浩锋、刘佳敏、江浩、刘世元

华中科技大学机械科学与工程学院，湖北武汉 430074

深亚波长周期结构广泛存在于集成电路和超构表面中，制造误差会破坏结构对称性，但由此产生的反对称信息通常十分微弱。在深亚波长条件下，可获取的信息主要集中于零级衍射，弱反对称信号极易被强背景淹没。针对这一问题，提出一种基于正交偏振后焦面成像的深亚波长反对称结构探测方法。该方法在照明与探测通道中采用交叉线偏振配置，以抑制由结构对称分量主导的强背景散射；同时对后焦面频域图像进行 180° 旋转差分，进一步消除中心对称分量并增强由结构对称性破缺引起的反对称特征。基于严格耦合波分析建立了深亚波长周期结构的矢量散射成像模型，并以双层一维光栅套刻结构为例进行了验证。结果表明，当结构无套刻偏移时，交叉偏振后焦面图像保持严格中心对称；当存在纳米级套刻偏移时，图像中出现可观测的非中心对称调制，经旋转差分后可有效提取对应的反对称信号。在 20 dB 及以上信噪比条件下，该方法仍能保持良好的特征可辨识度，并可通过积分指标实现反对称强度与套刻误差之间近线性、单调的标定关系。该方法为深亚波长周期结构中的对称性破缺探测提供了一种高通量在线探测的可行途径。

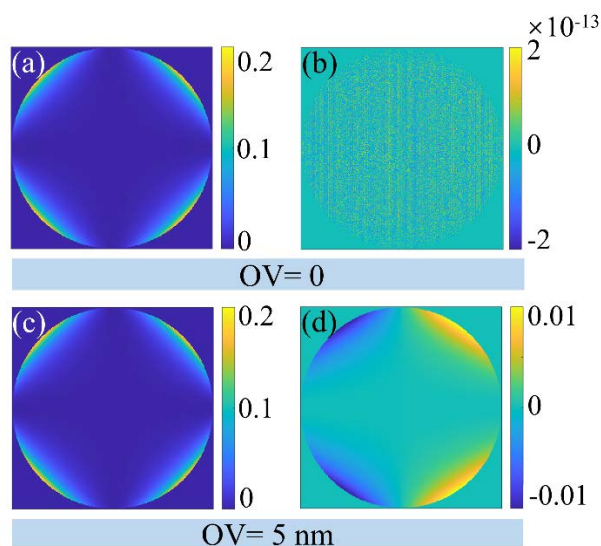


图 1. 结构无套刻偏移时的 (a) 正交偏振频域像及 (b) 旋转差分结果，未见明显反对称信息；结构存在套刻偏移时的 (c) 正交偏振频域像及 (d) 旋转差分结果，可提取出对应的反对称信号。

二维半导体光电特性与器件应用

吉培瑞、张国锋、杨树明

西安交通大学 精密微纳制造技术全国重点实验室, 西安, 710049

随着芯片制程的发展和晶体管尺寸的微缩, 传统硅基半导体器件已达到物理极限, 面临着性能与功耗的瓶颈。二维半导体具有天然的平面层状结构, 在原子级厚度上仍能保持良好的光电特性, 成为信息电子与微纳传感领域的关键材料之一, 是芯片后摩尔时代的有力竞争者。本报告将聚焦二维光电材料与器件, 着重探讨高质量二维半导体的可控制备及其在高电压、强磁场调控下的光电特性及应用。

X 射线薄膜器件亚纳米表面检测与制造

黄秋实^{1-5*}, 盛鹏峰¹⁻⁴, 张哲¹⁻⁴, 余俊¹⁻⁴, 张众¹⁻⁴, 程鑫彬¹⁻⁴, 王占山^{1-4*}

¹ 同济大学物理科学与工程学院, 精密光学工程技术研究所 (IPOE)

² 国家集成电路微纳检测设备产业计量测试中心(上海)

³ 先进微结构材料教育部重点实验室

⁴ 上海市全光谱高性能光学薄膜器件及应用专业技术服务平台

⁵ 上海市数字光学前沿科学研究基地

极紫外与 X 射线 (XUV) 为物质结构的精密观测和制造提供了重要手段。薄膜光学器件是实现精密 XUV 技术的核心与基石, 是同步辐射光源大科学装置、等离子体诊断、高能天文观测和科学分析仪器等前沿科学和高新产业发展的关键器件。由于波长比可见光短 1-3 个数量级, XUV 薄膜器件表面全频谱形貌的误差要控制到纳米至亚纳米级, 对器件形貌结构的检测和制造提出了挑战。报告将介绍团队在 XUV 薄膜光学器件表面形貌检测和制造的进展。包括掠入射弱弯曲反射器件表面面形的拼接干涉测量方法, 拼接测量中参考镜误差、畸变、返径误差等的亚纳米校正, 以及面向二维强弯曲表面的波前补偿拼接干涉测量方法。基于上述方法, 团队开展了基于离子束的超精密修正技术研究, 实现了亚纳米非球面低频面形的精确修正, 揭示了 Ar 离子深刻蚀中粒子污染对高频粗糙度的影响规律, 研制的高精度 X 射线薄膜器件在国内外同步辐射光源实现了系列应用。

同步辐射 X 射线精密检测及应用

李中亮

中国科学院上海高等研究院

X 射线先进光源的快速发展对光束线技术提出了严苛挑战，迫使光学元件性能及其运行环境逼近物理极限。同步辐射作为先进光学检测与验证的平台，其特定波长的 X 射线检测方法能更精准、系统地评估设备性能。本报告以上海光源（SSRF）光学测试线为例，阐明 X 射线精密检测方法的建立过程；详细解读如何利用分光晶体实现光束的精细定量调制，并发挥短波长优势，获取工况条件下的关键数据。这些精准数据可为高性能 X 射线设备的定向优化提供核心支撑，驱动 X 射线设备的自主研制，为国内 X 射线光学技术的发展注入动力。

多层复合结构 TSV 深度的介质填充辅助光谱测量方法

李潼涛、王子政、刘墨燃、刘昊、姚程源、胡春光

天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072

在三维集成电路高密度封装工艺中, 硅通孔 (TSV) 深度的精确测量对保障制造良率具有重要意义。实际 TSV 通常由多层介质膜、阻挡层及金属填充物构成复合结构, 多界面反射导致干涉光谱中出现基频与倍频谐波叠加现象。传统基于傅里叶变换的深度解析方法难以有效区分真实深度峰与倍频干扰峰, 尤其当特征宽度较小、深宽比较大时, 底部反射信号易被上层膜系噪声湮没, 抗干扰能力有限, 且缺乏针对多层复合结构中倍频干扰的有效解耦手段。

针对上述问题, 本文提出一种向 TSV 孔内注入高折射率介质辅助测量的光谱干涉方法。通过改变孔内介质折射率, 实现真实深度信号与谐波干扰的频带剥离, 将有效特征峰锁定至无干扰频窗; 建立了多层膜参数的光谱反射模型, 理论分析倍频干扰的产生机理, 验证信号强度随孔内折射率变化而显著增强的现象。结合高频提取与傅里叶峰值偏移分析, 实现深度与膜层信息的同步解耦。实验结果表明, 空气填充条件下倍频峰与真实深度峰严重混叠, 无法准确提取深度信息; 采用高折射率介质填充后, 傅里叶主峰清晰移至对应光学深度位置, 倍频干扰被有效消除, 测量重复性满足工艺检测要求, 最终实现了高深宽比最小线宽 $2\mu\text{m}$, 深宽比超 8:1 的复合测量。本研究有效克服了多层复合结构中倍频干扰对 TSV 深度测量的影响, 为高端芯片三维集成制造中的 TSV 精确检测提供了一种高可靠性、低成本解决方案。

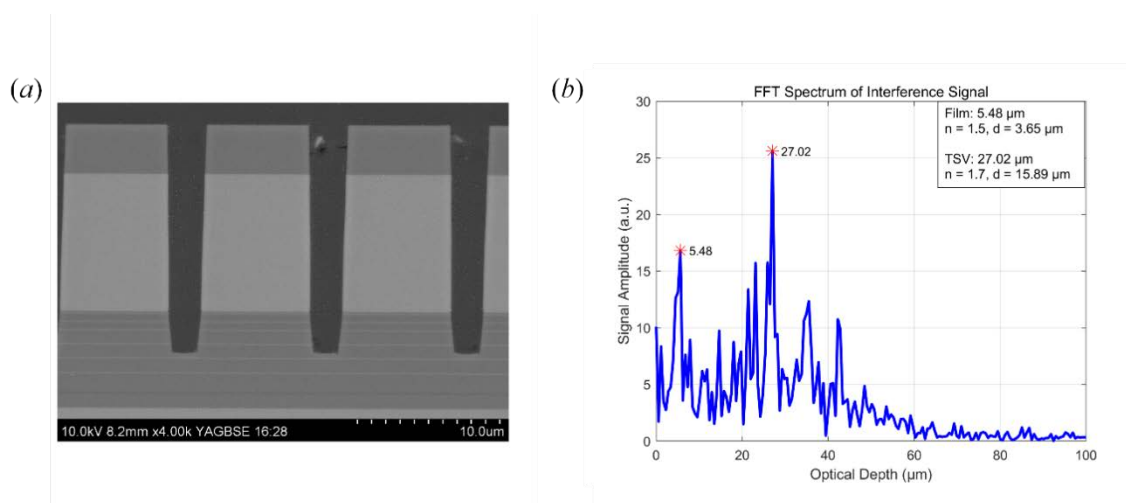


图 1 (a) 样品 SEM 图像; (b) 深度测量结果

基于光刻标定板的多阴影照相站联合标定方法

虞致远^{1,2}、沈华^{1,2*}

1 南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094;

2 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室, 江苏 南京 210094

*Email: edward_bayun@163.com

摘要:

对多阴影照相站同时采集的图像进行解算是测量弹体飞行姿态的主要方法。只有当所有阴影照相站都位于同一空间坐标系中时, 图像特征点才能与其对应的空间坐标建立联系, 从而获得精确的测量结果。本文以光刻标定板作为基准参照物, 设计并研制了一套面向多阴影照相站的联合标定系统。该系统包括激光发射子系统与标定制子系统: 激光发射子系统发射准直激光束, 为标定制子系统提供参考基准; 标定制子系统接收准直激光束, 使其入射至位置探测器 (PSD), 以 PSD 的读数为依据进行系统姿态调整, 光刻标定板为阴影照相站提供标定目标。该系统通过相机拍摄光刻标定板的阴影图像, 实现了对单个阴影照相站的空间坐标标定; 同时利用激光测距仪标定了相邻照相站之间的距离, 从而实现了各阴影照相站之间的空间坐标系联合标定, 为后续在靶道上测量弹丸运动参数提供了可靠的空间基准。实验结果表明, 与传统的机械田字网格标定法相比, 使用本文方法对阴影照相站进行标定可将空间坐标标定误差从 5mm 降低至 0.86mm, 精度提升 82.8%。该方法解决了多阴影照相站标定各帧图像中弹体在统一空间基准下真实坐标的关键难题, 显著提升了弹丸运动参数的测试精度。

关键词: 弹道测量, 激光阴影照相, 空间基准, 相机标定

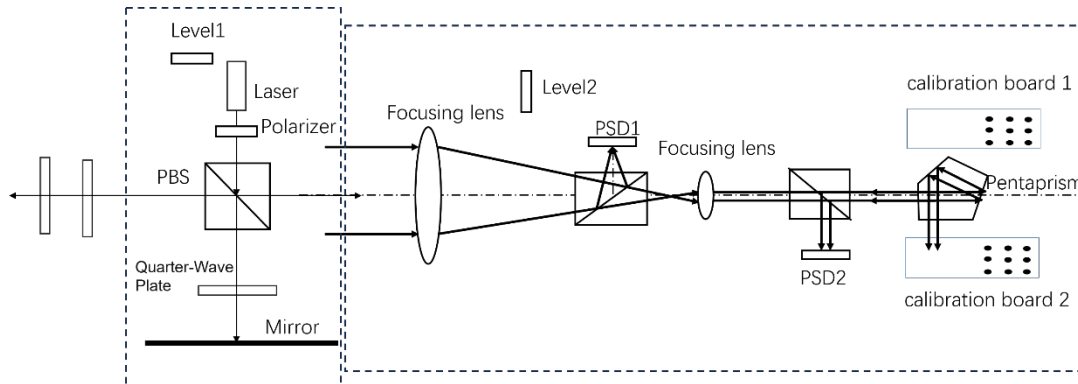


图 1. 基于光刻标定板的多阴影照相站联合标定系统原理图。

纳米材料光电特性的场驱动演变：光谱椭圆与第一性原理

计算的联合研究

刘佳敏

华中科技大学

研究半导体材料在外场作用下的光电响应具有重要意义，其可为探索各种微纳器件的机理、加工和性能提供必要的基础物理数据。提出了基于椭圆光谱和反射谱协同的膜厚与介电函数同时解耦分析方法。利用自主搭建的原位光谱椭圆仪，并施加不同的物理场，我们获得了超宽带隙、互连、等离激元等典型纳米薄膜材料在 200-1690 nm 光谱范围内的节点函数及其对外部温度、磁场、应变和自身尺寸的依赖性。结合诸多表征实验和细致的第一性原理计算分析，还探索并揭示了其潜在的物理机制。

基于多源误差耦合标定补偿的 ATP 测试技术研究

许洪刚¹、韩冰¹、马洪涛¹、李旭¹、张明亮¹、鞠德哈¹、金鑫¹

¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033

远场光轴一致性与近场出射光瞳精度是评估 ATP (捕获、跟踪、瞄准) 系统性能的核心指标。针对现有测试手段难以同时满足远近场多维参数高精度检测的问题, 本文提出一种基于多源误差耦合标定与补偿的综合测试方法。测试系统采用离轴两镜反射无遮拦结构结合分级缩束方案, 为光束特性的高保真提取奠定基础。在测量机制上, 分别针对远、近场特性设计特定标定策略: 在远场光轴测量中, 引入基于多角锥棱镜的光轴标定技术, 以实现系统基准光轴的精确确立; 在近场光瞳测量中, 构建多源误差耦合模型, 有效解耦并补偿了远近场模式切换与调焦机构运行带来的动态系统误差。理论分析与实验验证表明, 该系统的远场光轴偏差测量精度达到 $3.6 \mu\text{rad}$, 近场光瞳偏差测量精度达 $8.5 \mu\text{m}$ 。本研究解决了 ATP 系统核心参数联合精密测试的难题, 为该类系统的性能评估提供了可靠的技术方案。

可用于宽光谱显微物镜波差在线检测的 FIS4 动态干涉仪

杨甬英^{1*}, 胡殿浒², 江佳斌², 曹频²

1 浙江大学光电学院 浙江 杭州 310027

2 杭州晶耐科光电技术有限公司 浙江 杭州 311112

随着集成电路的超微加工高科技领域的发展,对各种宽光谱从紫外至近红外波段的显微物镜的波差检测需求日益迫切,并且希望能够实现工业化的车间现场的在线检测,为此对检测系统具有抗干扰性、具有结构紧凑的特殊要求。传统的双光束干涉系统由于需要较复杂的光学系统已难以满足这些要求。四波干涉传感器 (Four-wave Interferometric Sensor, FIS4) 利用四波横向剪切共路干涉原理可以解决这个问题。FIS4 显微物镜在线检测动态干涉仪利用了组合的双干涉系统,如图 1 (a) 所示,波前图像采集干涉系统是利用了具有随机编码混合光栅的四波共路剪切的 FIS4 干涉传感器,由于是共路干涉所以干涉条纹非常稳定,可以抑制车间现场的环境干扰影响。光路调整同样可以共用 FIS4 干涉传感器,可以观察被检显微物镜的焦点 F' 与标准球面镜的球心 C 重合的调整状态,图 1 (b) 为一个泰曼格林干涉系统,双光束分别经参考镜、被检显微物镜,大数值孔径标准球面反射镜,由此可以观察调整中 F' 、 C 的共轭状态。利用图 1 (c) 组合的 FIS4 显微物镜在线检测动态干涉仪可以获得高精度的稳定的检测结果。利用大数值孔径标准球面反射镜可以去除系统误差。其 PV 值、RMS 值均位于 10nm 量级内,测量数据精度稳定性好。

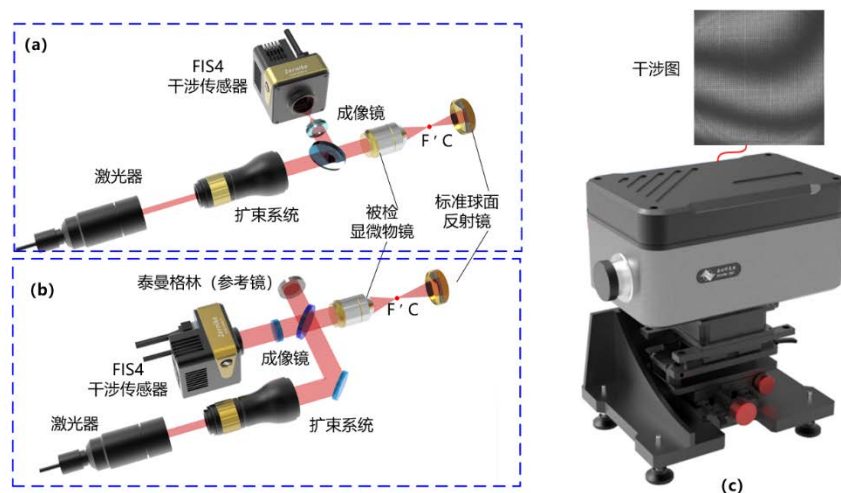


图 1 (a) FIS4 四波剪切干涉系统 (b) 泰曼格林调整系统 (c) FIS4 显微物镜在线检测动态干涉仪

基于双目视觉的风洞模型位姿测量方法及应用

卜庆伟*, 张雪, 刘荻, 郭彤宇, 刘昱

(中国航空工业集团公司沈阳空气动力研究所, 辽宁省 沈阳市 110034;)

在模型位姿测量系统中, 采用电机驱动弯刀作为转角机构, 其在多种环境条件下做运动时位姿与弯刀角度的误差是系统不确定度的重要来源之一, 也是风洞试验中不可获取的参数。为得到模型在不同状态下的准确位姿, 提高测量精度, 使用双目相机作为模型位姿测量工具, 并根据串联式机械臂标定, 利用世界坐标系、相机坐标系、图像坐标系及像素坐标系间的相互转换, 提出一种相对模型的位姿测量方法。在测力和测压两种试验方式下进行了位姿测量和重复性验证, 测量最大误差为 $2.78'$, 最小误差达到 $0.91'$ 。同时分析了角度传感器的测量误差与双目视觉测量误差之间的关系, 结果表明角度传感器测量的误差与双目视觉测量的误差处于同一量级, 均小于 0.06° 。

关键词: 双目视觉, 位姿测量, 串联式机械臂标定, 角度传感器, 光学测量

基于特征信号降采样的高速移相干涉图采集技术

许嘉瑞^{1,2}、李丰芮^{1,2}、韩志刚^{1,2*}、朱日宏^{1,2}

¹南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094

²南京理工大学 先进固体激光工业和信息化部重点实验室, 江苏 南京 210094

时域移相干涉术作为高精度自动化检测手段, 广泛应用于天文光学、高能激光、紫外光刻等领域, 而振动会显著影响其检测精度和测量准确性。快调谐移相技术作为一种有效的抗振手段, 但在实际应用中, 时域移相装置标定采集过程不同步, 以及快调谐方法中高频移相信号与传统装置的相机帧率存在失配, 导致解调波面精度大幅降低。针对上述问题, 本文提出特征信号降采样的高速移相干涉图采集技术。在传统菲索干涉装置中加入现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA) 电子学系统并形成闭环结构, 提出功率阈值判别的信号特征捕捉计数算法, 采用小窗高斯卷积核, 实时精准捕捉移相信号的峰、谷和均值, 同时对标定出的 $\pi/2$ 移相信号特征点进行跨周期跳跃计数, 在等效 $\pi/2$ 相位点输出满足相机响应时序的触发, 进行干涉图降采样采集。使用本文提出的技术, 可使得帧率仅为 88FPS 的相机, 采集频率 110Hz 移相信号对应的 $\pi/2$ 移相干涉图, 等效实现了 440Hz 高速相机的采集能力。实验装置采集四帧 $\pi/2$ 移相干涉图耗时 25ms, 对应移相信号频率约 150Hz, 解调波面 PV、RMS 分别为 63.9nm, 7.6nm。本方法通过对移相信号特征点实时计数, 实现标定与采集过程的同步, 不仅可适配低帧频常规相机, 也保证了装置在非稳态环境中 $\pi/2$ 移相干涉图采集的准确性, 大幅提升了传统波长调谐装置的抗振性能。

关键词: 移相干涉术; 计数降采样; 现场可编程门阵列; 相机帧率; 同步标定; 抗振测量

面向高端量测设备的甚多轴超精密运动生成技术

刘杨

哈尔滨工业大学

随着集成电路制造工艺向深亚微米及极紫外节点演进，半导体前道工艺对晶圆表面复杂三维结构形貌的检测精度与量测吞吐量提出了前所未有的严苛要求。作为高端量测的核心手段，光学精密测试技术的最终分辨率与成像质量不仅受限于光学系统自身的像差控制与光源品质，更高度依赖于底层承载平台的机电耦合性能。甚多轴超精密运动生成技术旨在为高端量测设备提供纳米级、跨尺度的空间定位及多自由度协同扫描能力。然而，高端量测设备的运动台系统具有强耦合、多变量与非线性的复杂动力学特征。在纳米乃至亚纳米级分辨率要求下，机械结构的宽频共振、外部环境微振动以及多轴间的刚体与柔性耦合等因素，均会显著制约系统的伺服性能，进而恶化运动精度。

本报告系统阐述甚多轴超精密运动控制系统的多学科交叉理论及其关键算法突破，重点围绕以下五个核心控制维度展开深入探讨：一是面向高性能平滑运动的轨迹生成算法；二是预先补偿确定性时变扰动的先进前馈控制技术；三是基于实时误差校正的鲁棒反馈控制方法；四是旨在消除轴间动力学干扰的解耦控制策略；五是保障多维空间高精度精同步的协同控制框架。最后，本报告结合高端量测与检测设备的工程化实践，对未来面向极致量测性能的运动控制技术发展趋势进行展望，以期为我国高端量测装备运动控制系统的自主研发提供客观的理论参考与底层技术支撑。

基于刃边像分析的调制传递函数测试方法研究

田留德

中国科学院西安光学精密机械研究所

调制传递函数 (MTF) 是评价相机成像质量的核心参数, 但传统测试方法如条纹法和狭缝法存在显著局限性: 条纹板法需定制靶标, 成本高, 周期长, 且仅能测试单一频率; 狭缝法数据处理复杂, 适用性差。刀口法虽具有靶标通用、一次测试可获全频段 MTF 曲线的优势, 却因噪声敏感、算法复杂度高等问题, 导致测试重复性差、精度低。通过系统研究影响刀口法测试精度的关键因素, 提出优化措施, 旨在实现高效、稳定的 MTF 测试方法。研究采用理论建模、仿真分析与实验验证相结合的方法。重点分析了探测器噪声、分析窗口大小、刃边斜率、图像对比度等变量的影响, 给出了解决措施, 本研究为相机成像质量评价提供了标准化支撑。

基于反射光谱的薄膜生长过程原位测量及应用

沈万福

天津大学

本报告摘要系统介绍了针对原子薄膜光学表征难题所发展的原位反射光谱技术及其应用进展。随着薄膜厚度降至原子尺度，衬底与薄膜之间的界面耦合效应（如电荷转移、晶格畸变）对材料电子结构与物化性能的调控作用日益凸显，传统表征手段在灵敏度与原位监测能力上面临瓶颈。针对原子薄膜光学响应弱、易受衬底背景干扰的关键挑战，本研究通过融合偏振调控、相位调制及先进信号处理算法，构建了高信噪比、高灵敏度的原位反射光谱测量新方案，实现了对亚单层薄膜的离线识别与生长过程的实时追踪。该技术已成功集成于分子束外延与化学气相沉积系统，支持单层二硫化钨等二维原子晶体的光学参数精确提取。相关工作作为揭示界面效应对原子薄膜性质的影响机制提供了有效工具，有望推动二维材料在光电功能器件、催化及能源转化等领域的基础与应用研究发展。

基于匀化光斑激光共焦 LIBS 三维层析检测方法

王旭、班德越、陈浚杰、邱丽荣、赵维谦*

半导体薄膜杂质缺陷的高空间分辨、高精度表征，是制约半导体器件性能与产量提升的关键技术瓶颈。传统激光诱导击穿光谱 (LIBS) 受高斯光束非均匀烧蚀、离焦定位误差及基体效应影响，难以实现高空间分辨层析成像与高精度定性分析。针对上述问题，本文提出一种基于匀化光斑激光共焦 LIBS 三维层析检测方法。该方法通过平顶光束匀化受控剥离技术，有效克服了传统高斯光束中心过烧蚀的缺陷，实现了薄膜材料逐层、高度均匀烧蚀，显著增强了连续层析过程中的光谱激发均匀性与信号稳定性；同时，利用激光共焦焦点实时追踪技术，将光谱探测焦点与动态烧蚀界面进行纳米级精准配准，消除层析检测中的离焦失真，大幅提升了层间成像的一致性与缺陷空间定位的准确性，最终实现了半导体薄膜内部杂质缺陷的高空间分辨三维图谱成像。基于该方法，构建了集成化激光共焦 LIBS 三维层析检测系统。实验验证表明：该系统轴向定焦精度达 5 nm，层析分辨力高达 1.5 μm 。该方法可为半导体先进制程检测、微纳光电器件研发及先进材料表征提供了的新型分析工具。

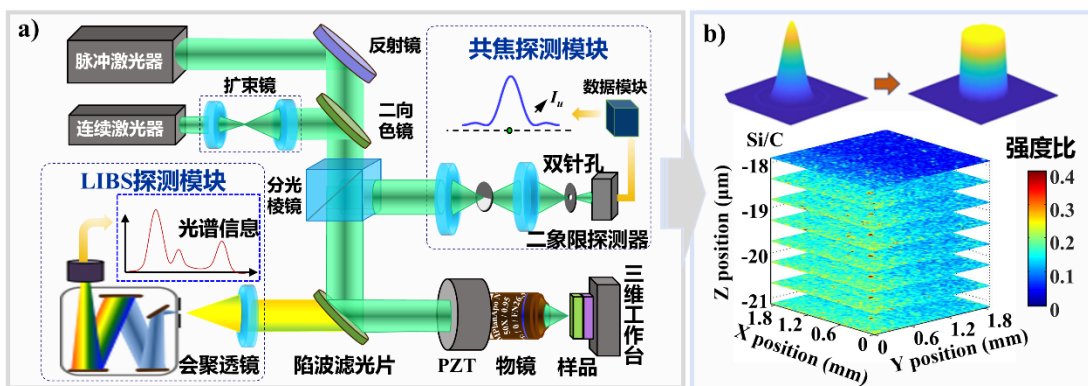


图 1. 激光共焦 LIBS 三维层析检测方法, a) 光路原理图, b) 匀化烧蚀效果

基于外点罚函数的发射率优化求解算法

王宇¹, 沈华^{1,*}

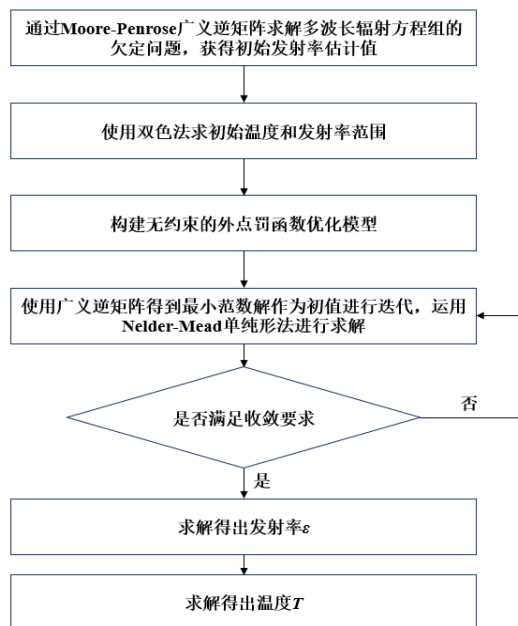
南京理工大学电子工程与光电技术学院, 江苏南京, 210094

*Email:edward_bayun@163.com

多光谱测温凭借响应快、量程广等优势, 在激光制造等领域有不可或缺的作用。然而当前多光谱测温法的解算通常基于适配的发射率假设模型进行约束, 或需要已知大致范围的发射率作为约束。一旦选取的发射率假设模型不适配, 或缺少发射率先验知识, 则发射率求解相对误差可达 15% 以上, 温度求解误差可达 5% 以上。针对该问题本文提出一种基于外点罚函数的发射率优化求解算法, 该算法无需任何发射率模型与先验知识, 从而有效降低多光谱测温对发射率模型与材料发射率的依赖。

首先运用 Moore-Penrose 广义逆矩阵求解欠定方程组的最小范数解, 从而获取平滑、无突变的发射率变化趋势, 为后续解算提供物理合理的基础; 再结合已获取的变化趋势, 利用双色法分析相邻波段初始温度的计算偏差, 选取极值温度代回普朗克定律中反算, 精准界定出略小于真实值的发射率上下限范围; 接着为了有效处理上述提取的物理界限与趋势约束, 构建无约束的外点罚函数优化模型, 将复杂的硬约束转化为目标函数中的惩罚项; 最后, 使用广义逆矩阵得到的最小范数解作为迭代初值, 运用 Nelder-Mead 单纯形法对该无约束模型进行求解, 最终精确得出目标的发射率和温度。通过对计量部门标定后的标准钨丝灯进行实验验证, 当标准灯的实际温度为 2282.85 K 时, 将该温度下金属钨的标准发射率与本算法反演得到的发射率曲线及温度值进行对比分析。结果表明该算法的发射率解算值精度优于 4.2%, 基于该发射率下求解的温度结果为 2265.5 K (温度解算精度优于 1.85%)。

关键词: 多光谱测温法, 发射率解算, 外点罚函数, 迭代优化算法, 广义逆矩阵



图一 基于外点罚函数的发射率优化求解算法流程图

基于动态光度立体的 CFRP 圆柱构件全表面在线缺陷检测

李溪远¹、王狮凌²、徐兆锐¹、彭韶婧¹、吴兰¹、刘崇¹、刘东^{1*}

¹浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室, 浙江 杭州 310027

²中国计量大学计量测试与仪器学院, 浙江 杭州 310018

*通讯作者, 邮箱: liudongopt@zju.edu.cn

碳纤维增强树脂基复合材料 (Carbon fiber reinforced polymer, CFRP) 圆柱构件, 因其轻质高强、耐疲劳和耐腐蚀等特性, 广泛应用于航空航天、铀浓缩离心机及新能源汽车等关键领域。然而, 在缠绕成型与服役过程中受工艺、材料及载荷影响, 构件表面易产生裂纹、脱丝及气泡等缺陷, 严重影响性能。目前, CFRP 圆柱构件全表面在线检测仍面临多重挑战: 尺寸大且曲率多变, 难以兼顾宽视场、高效率与高精度; 亚毫米级微小缺陷易被结构背景噪声淹没; 为满足在线实时性, 需规避复杂算法以降低数据处理压力。

超声、红外热成像、射线及机器视觉等无损检测方法多面向平面结构 (如碳纤维预浸料、拉挤板材) 设计, 在 CFRP 圆柱构件的检测中存在局限性。为了解决上述问题, 本文提出了一套基于动态光度立体视觉的圆柱形全表面检测系统, 通过以下技术路径实现突破: 基于“两端面+一侧向”的空间布局设计多视角图像采集模块, 结合旋转扫描机构, 实现圆柱全表面无盲区成像, 并利用大视场、大景深的固定成像设计兼容一定直径变化范围, 避免复杂调焦和拼接。固定传感器位置, 通过几何对称布置的双线光源和分时频闪时间复用技术, 利用线阵相机快速获取不同光照方向图像, 避免图像配准问题。基于双线光光度立体梯度计算模型, 通过图像加减和梯度计算增强缺陷与背景的对比度, 抑制纹理干扰, 并分析了环境光的影响, 该预处理步骤大幅降低计算量以满足在线检测需求。

当使用真实生产的圆柱构件进行测试时, 系统的测量精度优于 0.5mm, 能够在 2min 内实现构件的全表面检测, 缺陷漏检率低于 5%。该方法有效解决了圆柱曲面的快速高精度检测难题, 降低了复杂纹理对缺陷识别的干扰, 为复合材料圆柱构件的数字化检测提供了新方案。

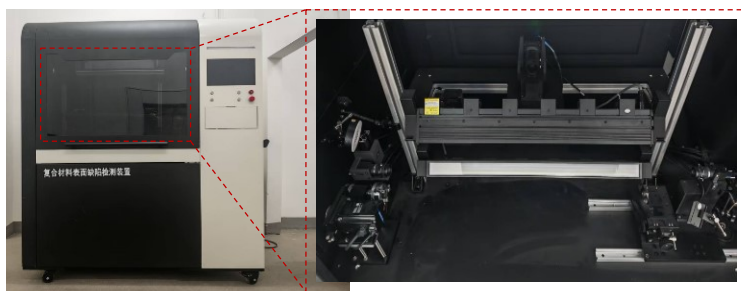


图 1. 圆柱形构件全表面检测系统实物图。

关键词: CFRP 圆柱构件; 表面缺陷; 动态光度立体; 全表面在线检测

掠入式离轴抛物面反射镜高精度加工与检测技术研究

魏淑玉*, 王旭, 杜巍, 李英, 蔡志华, 张韵琦, 闫威威

齐鲁中科光物理与工程技术研究院 光学精密制造技术室, 山东 济南 250100

离轴抛物面反射镜因其优异的光学性能, 在空间光学、天文学观测及高精度测量系统中得到广泛应用。然而, 大偏摆角、窄长口径的离轴抛物面给加工与检测带来了极大的挑战。本文针对掠入式 90 度偏摆角离轴抛物面反射镜, 提出了一套完整的三阶段加工与检测工艺路线。三坐标检测辅助铣磨成型与快速抛光完成前期粗加工, 通过高精度轮廓仪检测与小磨头精抛实现中期面形收敛, 后期采用自准直干涉测量与磁流变抛光技术。通过工艺优化与迭代加工, 最终将长 370 mm、宽 40 mm 的 90 度偏摆角离轴抛物面反射镜, 在通光口径 360 mm × 30 mm 范围内实现了面形精度 $RMS < 10$ nm、表面粗糙度 $Sa < 0.2$ nm 的加工结果。系统阐述了各阶段的关键技术及工艺控制策略, 为同类高精度角离轴抛物面的制造提供了技术参考。

激光显示与光电探测中的光学计量技术进展

陈潇潇

中国测试技术研究院

激光显示、光电探测是重要的光学产业领域，光学计量技术对于相关产品的质量控制及广泛应用至关重要。本报告将重点介绍面向激光显示领域的大色域色度参数计量技术、激光散斑测量仪校准技术，以及高速光电探测器光学性能参数计量技术进展。还将介绍中国测试技术研究院光学所在光学计量方面的发展历程与现状，以及四川省光健康产业计量中心的建设情况。

材料光学计量技术体系发展现状、挑战与未来发展

王雷¹, 刘卫平¹, 刘译泽¹, 贾云峰¹, 俞兵¹, 马庆通²

¹西安应用光学研究所 国防科技工业光学专业计量站

²中国计量大学

光学材料是光学工程、光电探测、精密计量等领域的核心基础, 一般作为光学仪器与光学系统中透镜、窗口、棱镜及光电调制器件等透光传输介质, 涵盖传统光学玻璃、光学晶体以及微纳米超材料等新型材料, 其光学性能直接决定光学系统的稳定性、成像精度与应用范围。依据功能差异, 光学材料一般可划分为成像光学材料、发光光学材料与功能光学材料三大类。成像光学材料以折射率、透过率、反射率、色散、应力双折射等为核心表征参数; 发光光学材料侧重光电能量转换性能, 需测试发光光谱、色坐标、量子效率、荧光寿命及激光损伤阈值等指标; 功能光学材料多用于光束调制、波长变换与偏振控制, 核心参数包括电光系数、衍射效率、非线性系数等。

材料光学突破传统光学材料研究边界, 将光学性能评价拓展至航空航天结构合金、热防护涂层、电子封装陶瓷等非光学构件。此类材料虽不以透光成像为设计初衷, 但其表面杂散光、红外辐射、界面散射反射等特性会直接影响光机系统整体性能, 亟需开展光谱反射率、漫反射系数、红外发射率、表面光度等光学参数定量评价, 既弥补了传统光学材料研究的局限, 也推动了材料光学计量测试体系的规范构建与持续完善。

目前欧美发达国家现已建立起完备的材料光学计量标准、测试技术与仪器设备体系, 开展了大量光学材料参数测试研究, 研发出高准确度测试装置, 形成了成熟的测试方法标准, 并建立了完善的材料基础性能参数数据库。我国相关研究起步较晚、技术积累不足, 在计量方法标准制定、高精度测量仪器国产化研制等方面与国外先进水平存在明显差距, 难以充分满足国防军工对光学材料参数精准计量的现实需求。为此, 系统梳理材料光学计量技术体系内涵、发展现状与现存短板, 明晰未来技术发展路径, 对推动高端光电装备国产化、提升国防领域光学计量保障能力具有重要意义。

完整的材料光学计量体系包含六大类核心参数: 光谱特性参数、折射率相关参数、辐射特性参数、偏振特性参数、几何参数以及极端特殊工况参数。材料光学计量技术体系以光学参数高精度测量为核心, 构建紫外—可见—红外全波段计量标准, 覆盖计量方法研究、标准装置研制、量值溯源传递及测试标准制订等全技术链条, 可实现各类光学与非光学材料光学性能的定量检测与量值统一。

本文系统阐释材料光学计量基本概念, 梳理现有技术体系架构, 针对各类核心计量参数剖析现有计量能力、测试原理与技术指标, 明确当前体系存在的突出问题并指出未来重点发展方向。研究成果可为我国材料光学计量体系完善、核心技术攻关及工程应用提供技术参考, 也为构建统一规范、适配新材料产业发展的材料光学计量体系提供有力支撑。

平均颜色温度计量比对及结果分析

刘慧¹, 刘欣萌¹, 吴昊¹, 杨济华², 穆亚勇², 张帆³, 金蓉³, 张亚麟⁴, 胡志刚⁴, 张晓颖⁵, 李奕⁵, 郑建华⁶, 桂阳⁶, 汪哲弘⁷, 黄艺滨⁸, 糜宸坤⁹, 刘明召¹⁰, 韦辉¹¹, 周蕾¹², 施伟强¹³

¹ 中国计量科学研究院, 北京 100029

² 中国测试技术研究院, 成都 610021

³ 江苏省计量科学研究院 (江苏省能源计量数据中心), 南京 210023

⁴ 江西省检验检测认证总院计量科学研究院, 南昌 330200

⁵ 陕西省计量科学研究院, 西安 710100,

⁶ 广东省中山市质量计量监督检测所, 中山 528403

⁷ 杭州市质量计量科学研究院, 杭州 310019

⁸ 厦门市计量检定测试院, 厦门 361004

⁹ 苏州市计量测试院有限公司, 苏州 215004

¹⁰ 杭州华普永明光电股份有限公司, 杭州 310015

¹¹ 上海亚明照明有限公司, 上海 201801

¹² 厦门通士达照明有限公司厦门, 361100

¹³ 昕诺飞 (中国) 投资有限公司, 上海 200233

平均颜色温度是评价 4π 或准 4π 照明光源光色特性的关键参数。2025 年, 依据市场监管总局《关于下达 2025 年国家计量比对项目的通知》(市监计量发〔2025〕30 号), 中国计量科学研究院作为主导实验室, 组织开展了“平均颜色温度标准灯计量比对”(计划编号: 2025-A-02), 共有 13 家实验室参加。此次比对是在 JJF 1976-2022《平均颜色温度标准灯校准规范》发布后首次开展的全国性比对活动, 创新性地同时采用溴钨灯和 LED 灯作为传递标准器, 这也是国内计量比对中首次引入 LED 作为传递标准。在以溴钨灯为传递标准的比对中, 各实验室平均颜色温度的 $|En|$ 值均小于 0.11, 表明现行量值传递体系稳定可靠。在以 LED 灯为传递标准的研究性比对中, 所有实验室的 $|En|$ 值均小于 1, 但部分实验室在测量高色温 LED 时出现较大偏差, $|En|$ 值接近 1。研究性比对结果表明, 采用与被测 LED 灯光谱分布相近的 LED 灯替代溴钨灯作为传递标准, 可有效降低平均颜色温度的测量偏差, 为光谱辐射计性能欠佳的实验室提供了一条通过改进校准方法提升测量能力的新途径。本次比对不仅验证了各参比实验室在溴钨灯量值上的等效性, 也成功探索了 LED 标准灯在实际平均颜色温度计量比对中应用的可行性。使用 LED 标准灯进行量值传递, 有效降低了 LED 灯平均颜色温度的测量偏差, 为推动建立以 LED 光源为基础的量值传递体系实现了从理论到实践的关键突破。后续, 计划将此次比对成果, 尤其是 LED 研究性比对的相关发现, 在国际层面进行广泛交流, 推动 LED 标准灯应用于阵列光谱辐射计的校准, 进一步提升该类仪器测量 LED 光源的准确性与可靠性, 从而增强我国在光源平均颜色温度测量方面的国际影响力。

关键词: 平均颜色温度; 计量比对; LED 标准灯; CIE 标准照明体 A; CIE 参考照明体

光频梳计算编码的高速目标精密多维感知技术研究

刘俊辰

天津工业大学 电子与信息工程学院

面向复杂场景下运动目标的实时高精度感知需求，开展光频梳计算编码的精密多维感知技术研究。研究提出光频梳计算编码机制，将高速目标的速度与距离信息映射至光频域，实现频谱级感知与联合解码；构建可追溯至光学频率基准的测量体系，提升动态测量的稳定性与抗干扰能力；研制集成测量系统，集成主路、校准路与基准路等模块，实现结构紧凑、高集成度的动态测量平台；发展高速目标多维运动状态识别与点云融合算法，提升复杂运动场景下的感知分辨力与测量效率。拟实现百米乃至公里级测距范围、微米级分辨率、千赫兹更新率与百米每秒运动目标的四维动态精密感知测量。研究有望突破激光雷达系统在高速测量、精密多维感知方面的关键技术瓶颈，拓展其在先进制造、智能装备和动态精密检测领域的工程应用能力。

正交偏振双频激光干涉纳米位移测量技术研究

海明阔, 徐欣*, 武耀威, 王一帆, 谈宜东*

清华大学精密仪器系精密测试技术及仪器全国重点实验室

随着集成电路、高端装备制造等领域的快速发展, 核心定位装置工件台的位移测量精度需求已提升至纳米甚至皮米量级。然而, 用于工件台定位干涉仪的核心器件塞曼双频激光器, 在工作过程中依赖波片实现偏振转换, 输出正交偏振双频激光, 而波片存在延迟误差, 会导致干涉仪存在 ~ 10 nm的非线性位移测量误差, 难以满足纳米级定位精度要求。为解决这一技术瓶颈, 团队研发了一种直接输出正交偏振光的大频差双频激光器, 无需额外通过波片进行偏振转换, 从原理上消除了波片延迟误差导致的非线性误差。实验结果表明, 以该激光器为核心光源的双频干涉仪, 其非线性误差低至 0.08nm , 比国外同类型干涉仪高端测量仪器低一个数量级以上, 目前已在多个企业的光刻产线实现了工件台定位激光模组的批量替换和维修, 验证了该激光器在高精度位移测量领域应用的可行性。

SPAD 单光子探测技术研究及应用

赵天琦

中国计量大学

单光子雪崩二极管 (SPAD) 作为工作在盖革模式下的高灵敏度光电探测器件, 凭借其单光子探测灵敏度、皮秒级时间分辨率与 CMOS 工艺兼容性, 已成为量子通信、激光雷达、荧光寿命成像及时间分辨光谱学等前沿领域的核心技术。随着技术演进, SPAD 正从单点探测器向大规模阵列化、系统级集成方向发展。通过三维堆叠、微透镜阵列耦合以及像素级集成时间数字转换器 (TDC) 等集成, 阵列型 SPAD 图像传感器实现了空间分辨与高精度时间测量的融合。本文分析了 SPAD 器件的物理机制及光子探测概率、暗计数率、时间抖动等关键性能指标, 介绍了在 SPAD 单光子探测芯片开发领域的研究进展。在光学计量方面, 介绍了 SPAD 成像器件的校准技术与计量级光学测试仪器的研究进展。在应用方面, 介绍了 SPAD 成像器件在微光夜视、光谱检测等领域的推广应用。

一体化光纤光栅制备及计量测试技术研究

高皓然¹, 赵春柳^{*1}, 王九达¹, 邵叶军¹, 丁哲文¹, 于栋友², 占春连²

¹中国计量大学, 浙江省杭州市

²峰澜科技(绍兴)科技有限公司

光纤布拉格光栅(FBG)传感器凭借其抗电磁干扰、耐腐蚀、易于波分复用和长距离分布式传感等突出优势, 获得了广泛的应用。一体化光纤光栅制备方法是将拉丝、刻栅、涂覆等步骤进行高度集成, 可以极大提高传感器的制作效率, 降低生产成本, 提升产品质量。本文基于拉丝塔一体化制备的光纤光栅阵列, 提出一种扁带光缆形变监测技术, 通过对同一轴向位置处两个光栅的波长变化进行差分运算, 实现了温度自补偿与灵敏度倍增。尤其是, 本文针对大量光纤光栅传感单元标定问题, 提出了一种曲率换算系数的标定方法。本文采用“单组标定、多组验证”(Single-calibration, Multi-validation)的数据驱动以检验系数的泛化能力。从10组形变数据中, 选取1组具有典型特征的工况作为标定集(Calibration set), 其余9组作为独立的验证集(Validation set)。设理论曲率系数为 c , 定义标定目标函数 $J(c)$ 为该标定组反演形状与真实形状的均方根误差(RMSE)。使用一维有界优化算法(fminbnd)对 c 进行寻优, 使目标函数 $J(c)$ 最小化, 得到最优曲率系数 $c^* = 65.5 \text{ mm}^{-1}/\mu\text{m}$ 。

新型光电探测器件计量测试技术研究进展

庄新港，王洪超，刘长明，吴恒奎
中国电子科技集团公司第四十一研究所

新型光电探测器件正朝着超大阵列规模、超高灵敏度、超宽光谱范围和超大动态范围等方向快速发展。国防科技工业光电子专业计量站以高灵敏度低温辐射计为主标准器，紧密围绕超大阵列焦平面探测器、单光子探测器、激光焦平面、太赫兹探测器、高速光电探测器等新型探测器的计量测试需求，开展了系统性研究与计量测试能力布局，成功研制出系列高端光电探测器计量测试设备，初步构建了新一代光电探测器件量值传递与溯源体系。

基于级联积分球的光电探测器连续线性测量方法研究

李健军¹, 汪文韬², 郑小兵¹

¹中国科学院合肥物质科学研究院

²中国科学技术大学

针对传统光电探测器在线性测试中动态范围小、测量精度低等问题,提出了一种基于级联积分球与光阑管的连续线性测量系统。该系统利用积分球的均匀辐射特性和光阑几何衰减机制,实现了跨6个数量级的连续光功率调节,结合激光叠加法对硅陷阱探测器与单光子雪崩二极管(SPAD)开展原位线性测试。建立了系统光通量衰减模型及双探测器分光调节方法,对SPAD测量中的死时间和后脉冲效应进行了修正,保证了极弱光区测量结果的准确性与可溯源性。结果表明:在 $10^{-6}\sim 10^{-10}\text{W}$ 范围内,硅陷阱探测器线性误差优于0.1%;在 $10^{-10}\sim 10^{-12}\text{W}$ 范围内,引入SPAD后系统线性误差仍控制在0.4%以内。该方法显著拓展了传统线性测试的动态范围,为极弱光辐射计量、光量子精密测量和空间微光探测等领域应用提供了可靠的技术基础。

超表面空-频协同编码多自由度位姿同步测量

谷望航

温州大学

现代工业制造对单点多参同步、绝对式测量以及微尺度测量提出了迫切需求。传统激光多自由度位姿测量系统依赖多传感器分置或复杂光路复用，存在系统冗杂、耦合误差累积等问题。光学超表面作为新型光学微纳元件，在位姿测量中具有广阔应用前景。然而现有光学超表面编码方案受限于单一参数敏感模式与低编码自由度，难以支撑多参数解耦与绝对式映射的核心要求。本研究针对上述局限，提出一种基于像素化超表面空-频协同编码多自由度测量方案，并开展相关技术研究。首先，揭示多波长激光激发下超表面空-频协同编码的物理机理，研制具有高编码自由度的可编程超表面器件，结合像素化设计为多自由度位姿信息同步编码测量提供器件载体。其次，建立基于指纹化编译与网格化自然解耦的多自由度位姿信息解算方法，实现多参数的高效、绝对式同步解耦与高效解算。最后，进一步构建紧凑型多自由度位姿测量模块，在典型工程场景中开展应用，并拓展至多测点协同感知。

基于激光衰减法的大动态范围衰减片透过率测量方法研究

康晴¹, 李健军¹, 郑小兵¹, 宋耀东¹, 张云飞², 孙铭浩³

¹中国科学院合肥物质科学研究院

²中国科学技术大学

³安徽大学

为实现单光子探测器探测效率向低温绝对辐射计的绝对溯源, 验证相关光子法测量的绝对精度, 需解决两者间 6 个量级的光辐射测量量程差异问题。传统衰减片透过率测量方法存在重复精度低、动态范围小、重复定位精度差等问题。本文搭建了一套基于激光衰减法的大动态范围光功率衰减片透过率测量装置, 解决了宽波段单色光源光路优化、衰减片高精度复位、杂散光抑制、低温绝对辐射计量值传递、通道量子效率测量与比对等关键技术难题。该方法实现了激光光源 6 个量级的衰减片透过率测量, 测量重复性优于 0.1%, 测量精度优于 0.2%, 为单光子探测器计量、光量子辐射定标等提供高精度的量值溯源与精度验证。

新型点源波长编码波前动态检测技术

贺益凡

中国科学院西安光学精密机械研究所

大口径高性能光学系统是深空探测、高分辨率对地观测等国家重大工程的核心部件，其波前精度直接决定系统成像质量。现有波前检测技术面临环境稳定性要求高、空间分辨率与动态范围相互制约、检测成本高等难题。本研究提出一种新型点源波长编码波前动态检测技术，通过对双点源进行轴向离焦编码，并采用多光谱滤光片阵列探测器接收，实现单次曝光下多波长焦面/离焦 PSF 的同时获取。基于捕获的多维编码 PSF 图像，通过物理约束增强的深度学习反演算法实现高精度波前像差恢复。该检测系统在测量过程中无需机械运动，结构紧凑、抗干扰能力强，通过强度-离焦-光谱多维编码显著丰富观测数据冗余，突破相位恢复技术单波长测量动态范围窄的瓶颈。同时，将系统成像模型、离焦信息及波长分布等物理先验作为强约束嵌入深度学习波前反演算法，可有效引导全局收敛方向，显著增强算法的收敛速度、鲁棒性与相位解唯一性。该技术有望为我国大口径光学系统加工、装调与出厂检测提供自主可控关键技术支撑，具有重要的科学意义和工程应用价值。

X 射线散射空间关联成像及其在高分辨表征中的应用

王飞翔, 滑文强, 肖体乔

中国科学院上海高等研究院 上海光源科学中心

X 射线小角与广角散射 (SAXS/WAXS) 是纳米结构分析的核心技术, 但传统 SAXS/WAXS 存在空间信号混淆叠加的问题, 微束 SAXS/WAXS (μ SAXS/ μ WAXS) 则面临聚焦难、测量耗时及样品热损伤的风险。本报告介绍一种基于散斑调制照明的 SAXS/WAXS 鬼成像方法, 通过结构照明与空间强度关联技术, 无需聚焦装置即可实现高空间分辨率的 X 射线散射信号重构。该方法结合压缩感知算法, 大幅减少测量次数, 同时能重建样品任意局部区域的等效微束 μ SAXS/ μ WAXS 信号。光栅样品与竹材、高分子复合材料等样品的实验验证表明, 重建的等效微束散射信号与 μ SAXS/ μ WAXS 方法具有较高相似度。SAXS/WAXS 鬼成像方法拓展了 SAXS 技术在非均匀样品分析中的应用, 也可迁移至电子散射、中子散射等领域。

新一代超精密激光干涉测量技术与仪器

于亮

哈尔滨工业大学

超精密激光干涉测量技术，是高端装备、精密计量、大科学装置等领域不可或缺的核心基础技术。随着上述领域的迅速发展，对干涉仪提出了更高精度、更快速度的迫切需求。为此，哈尔滨工业大学历经多年攻关，探索了新一代超精密激光干涉测量技术。针对亚 nm 级高精度难题，研究了寄生多普勒频移光束精准抑制的高精度非共光路外差干涉方法，从根源上抑制了双频光交叉混叠和寄生光束引入的周期非线性误差，显著提高了测量的线性精度，周期非线性误差从纳米量级降低到 5pm 以下；针对 m/s 级高测速难题，发明了数字频梳正交测相的高速高分辨干涉测量方法，攻克了测量速度和位移分辨力的强耦合难题，在 5.37m/s 的高测速下实现了 77pm 的位移高分辨力；针对激光频率漂移难题，发明了碘频标锁定和弱耦合水冷的高精度激光稳频方法，抑制了热稳频激光器的长期频率漂移，降低了热稳频激光器的短期频率噪声，激光真空波长的相对不确定度达 $2.7E-10$ ($k=3$)。研制仪器应用于国产高端装备研发、质量基准量子化、皮米干涉仪国际比对等国家重大工程，为我国精密工程领域的发展提供了关键技术支持和重要测量手段。

基于压缩和纠缠的量子精密测量

蔚娟¹, 党扬¹, 谭振坤¹, 刘丙才¹

¹西安工业大学

量子精密测量旨在利用量子态的非经典关联与压缩特性突破散粒噪声极限, 在引力波探测、微弱信号测量及片上集成量子器件等领域具有重要应用前景。无数的计量应用如量子成像, 量子传感和多维场测量等, 其本质上都属于多参数估计, 同时实现对多个参数的高精度估计对测量科学及其应用具有重要意义。基于压缩和纠缠态光场的多模干涉仪能够为多相位估计提供更多可能性。然而, 在多参数干涉体系中参数间的统计耦合、测量算符的不可对易性以及系统损耗的存在, 使得量子极限的实现面临显著挑战。本文围绕基于连续变量的压缩态光场和多组份纠缠态光场的多参数量子精密测量问题展开研究, 研究量子资源与环境耦合引起的退相干作用, 结合实验各个参数与非对称相位损失对相位估计精度的影响, 最终实现多个参数的估计精度同时超越标准量子极限。基于连续变量量子态的确定性优势, 研究内容能够为可扩展的分布式量子传感网络的设计提供重要参考价值, 推进量子精密测量的应用研究。

基于散射成像的高功率近红外激光光束质量测量研究

申琦琦, 郭强强, 孙青

中国计量科学研究院

光束质量是许多光学应用中的关键参数, 它影响着聚焦、耦合效率和系统性能。现代工业和科学应用中激光功率不断提升, 光束质量也不断优化, 使得功率密度也极大提升, 促使光束质量测量向着更高的测量上限发展。传统的直接光束轮廓分析和衰减直接测量技术在高功率密度条件下, 往往难以保持准确性甚至无法正常工作, 容易导致探测器饱和, 探测器损坏风险增加, 从而破坏了光束质量评估的可靠性。散射光成像方法 (Scattered Light Imaging Method, 简称 SLIM) 凭借其非接触特性, 可避免高功率激光对探测器的损伤, 能够在传统方法难以测量的更高功率密度条件下展开测量。与其它传统测量方式不同, SLIM 测试时无需激光下线, 还可以开展实时在线测量, 实现对激光光束质量的动态监测, 更为及时的发现焦点偏移等对加工工艺带来影响的负面效应, 从而更快的实现调整, 提高工艺稳定性。伴随国内高功率光纤激光器的广泛应用, 对其激光光束质量测量需求不断增长, 为此, 我们开发了一套基于散射光成像方法的 M^2 测量系统, 开展高功率近红外激光光束质量测量研究。

关键词: 高功率激光, 散射成像, 光束质量

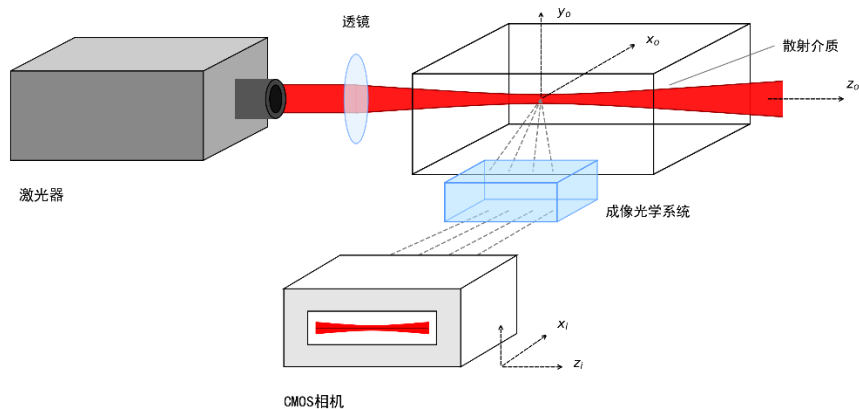


图 1. SLIM 测量激光光束质量原理。

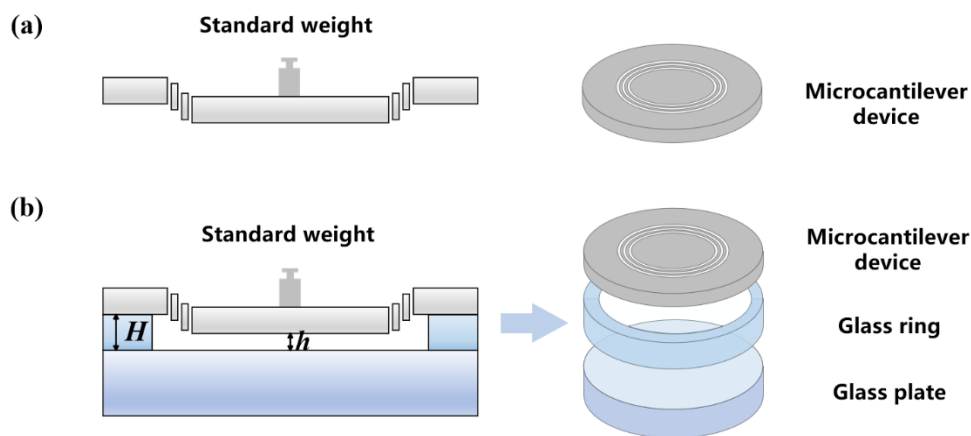
基于压膜阻尼效应的快速低噪声光压测量

郭强强*, 杨宏, 申琦琦, 孙青*

中国计量科学研究院

激光功率是高功率激光技术应用的核心参数, 其测量的速度和准确度直接影响激光加工的生产效率和质量。光压法基于光压效应, 通过反射待测激光将功率转化为其他物理量进行测量。本研究以提升光压法测量响应速度和分辨力水平为目标, 设计微悬臂结构的光压传感器件, 结合干涉测距系统, 将激光功率的测量转化为微位移检测; 构建微悬臂器件-玻璃衬底测量模块形成空气隙, 通过调节压膜阻尼来改善悬臂振动情况; 利用标准砝码标定器件的弹性系数和测量时频特性, 开展重复性、单脉冲以及热漂移测试。研究显示, 基于压膜阻尼的微悬臂测量装置大幅缩短振动时间至百毫秒以下, 同时位移噪声水平由微米级降低至百纳米以下, 系列验证了整套测量装置的合理性与可行性, 为高功率激光的实时测量提供了可行方案。

关键词: 高功率激光, 光压效应, 微悬臂, 压膜阻尼, 测量重复性



(a) 标准微悬臂器件, (b) 基于压膜阻尼的微悬臂器件

参考文献

- [1] Ryger, A. B. Artusio-Glimpse, et al., "Micromachined force scale for optical power measurement by radiation pressure sensing," *IEEE Sens. J.*, 18, 7941-7948, 2018. doi:10.1109/JSEN.2017.812059.
- [2] Y. Hu, F. Xie, et al., "Microfabricated sensor device for CW and pulsed laser power measurements," *Opt. Express*, 31, 2330-2344, 2023.
- [3] H. Yang, Y. Hu, et al., "Fast Response and Low-Noise Optical Pressure Measurements Based on Squeeze-Film Damping Effect," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 74, 7006108, 2025.

光学参数计量评估在道路交通场景中的应用及研究进展

张明

陕西省计量科学研究院

随着我国城市现代化进程的加速推进，由公路、铁路、民航等运输构建的交通运输体系日臻完备，极大推动了我国交通运输系统的快速演变。光学参数评估作为连接“交通场景”与“驾驶者”的纽带，与道路照明、交通设施反光、环境光学效应、车辆光学设备等不同交通场景密切相关；而不同类型的光学异常通过不同物理机制极易触发安全问题。为降低不同道路交通场景光学问题所引发的安全隐患，有效地对各交通场景中光学技术问题展开评估，并确保测量结果兼具准确性和溯源性，已成为亟待解决的关键科学问题。研究团队围绕驾驶员或行人对不同交通场景的能见度、逆反射、眩光等光学参数评估展开了大量的研究。针对能见度、逆反射和眩光关键光学参数校准和量值溯源体系中存在的技术瓶颈，研制了透射式能见度仪校准装置、逆反射测量标准装置、瞬变显示环境动态光学参数校准装置，并主持制定了相应的国家计量技术规范，建立我国在该领域的量值溯源体系，为交通安全领域计量检测能力建设提供了有力支撑和可靠保障。

高功率啾啾倾斜光纤布拉格光栅热阻系数快速测量方法

田松发^{1,2}, 矫岢蓉^{1,2}, 沈华^{1,2*}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室

啾啾倾斜光纤布拉格光栅 (CTFBG) 能够有效抑制高功率光纤激光器中的受激拉曼散射 (SRS) 非线性效应, 是提升激光器输出性能的关键器件。在实际应用中, 需要准确测量 CTFBG 的核心指标热阻系数 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$), 该系数用以表征光纤光栅在信号激光或泵浦激光传输下的热承载能力。然而, CTFBG 的传统测试方法存在两个突出问题: 一是由于需要分别获取信号光和泵浦光对应的热阻系数, 需频繁断开重熔光纤, 测试效率低下且反复熔接会增加熔接点烧毁风险; 二是反向 SRS 纤芯模式回光严重, 影响测试激光器性能, 难以支持多个 CTFBG 的同时批量测量, 无法满足研发筛选与生产质检的高通量需求。

针对上述问题, 本文提出一种高功率 CTFBG 热阻系数的快速测量方法, 其原理如图 1 所示。该方法将 1080nm 信号激光支路与 976nm 泵浦激光支路通过泵浦&信号合束器 (PSC) 合入同一根光纤, 通过分别控制两路激光的电源来控制信号或泵浦输出, 一次熔接即可测试 CTFBG 信号、泵浦激光的两项热阻系数。同时通过包层光剥离器 (CPS) 剥离由 CTFBG 耦合至包层的 SRS 包层模, 极大降低 SRS 回光影响, 因此该方法可支持 10 个以上光纤光栅串联的同时测量。测试结果显示, 5000W 信号激光下 CTFBG 热阻系数为 $0.0114^{\circ}\text{C}/\text{W}$, 900W 泵浦激光下其热阻系数为 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

关键词: 高功率光纤激光器; CTFBG; 热阻系数测量

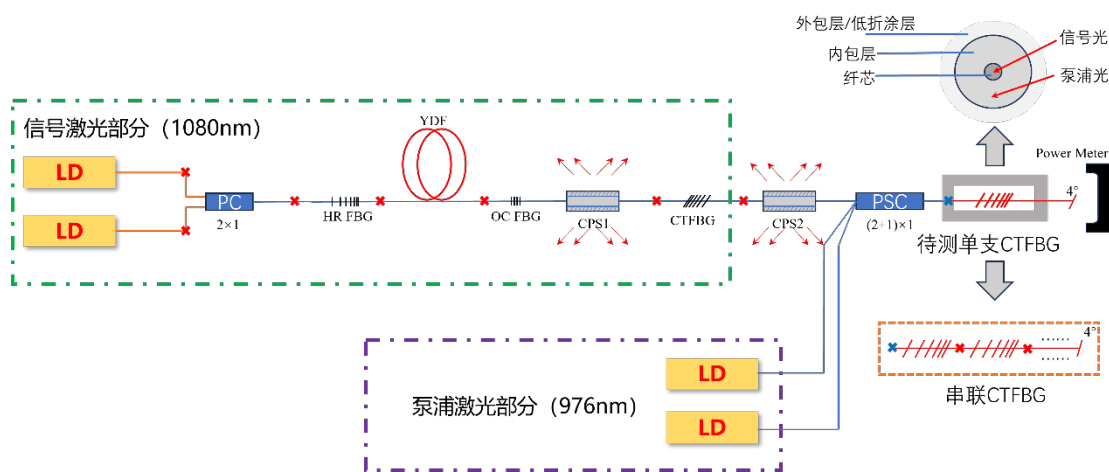


图 1 CTFBG 的温度-功率光纤激光测试系统

单帧条纹图相位恢复技术研究进展

周士棣^{1,2}、侯溪^{1,2}、张帅^{1,2}、胡小川^{1,2}

¹ 中国科学院光场调控科学技术全国重点实验室

² 中国科学院大学

单帧条纹图相位恢复技术在瞬态光学检测、超快过程分析及复杂动态环境下的光学测量等领域具有广泛的应用。然而，振动、气流扰动及瞬态变化的物理过程使传统多帧移相技术难以获取高精度结果，如何从单帧条纹图中实现高分辨率、高鲁棒性的相位提取是当前光学计量领域的核心挑战。本文系统综述单帧条纹图相位恢复的关键技术，涵盖空间载频相移算法、频域分析算法、迭代优化算法及基于深度学习技术等内容。在空间载频解调方面，重点分析该类方法的发展脉络及其在提升解调精度与环境适应性方面的研究进展。在频域分析方面，总结信号分离相关方法的研究现状。在迭代优化层面，梳理从路径跟踪到正则化约束逐像素优化的技术演进。在深度学习方面，着重讨论从纯数据驱动向融合物理模型的范式转变。最后，展望算法融合、硬件协同以及深度学习在未来光学检测中的应用前景。

基于空间调制光源的高精度干涉测量技术研究

王进^{1,2}, 张青^{1,2}, 韩志刚^{1,2*}, 朱日宏^{1,2}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工信部重点实验室

高精度干涉测量在现代高端光学检测领域至关重要,但系统内部产生的相干噪声严重制约了其测量精度与分辨率的进一步提升。针对这一瓶颈,我们开展了基于空间调制光源的高精度干涉测量技术研究。本研究提出了两种创新的空间调制策略:实体的空间相干性调制与虚拟动态振镜调制。其中,空间相干性调制利用相干模式合成部分相干光场,并通过光场变换技术对其进行整形,从而构建出具备任意参数的实体连续部分相干光源;虚拟动态振镜调制则引入高速扫描振镜,利用探测器的积分效应,在一定曝光时间内实现不同空间相位的干涉光场强度叠加。这两种方式均从改变光源空间参数的角度出发,成功打破了传统高相干光源的寄生干涉限制,实现了干涉测量过程中相干噪声的高效抑制。实验与应用结果表明,该技术显著提升了系统的测量分辨率,最高可将干涉系统的本底噪声降低至 1nm (泽尼克残差均方根值, RMS)。此外,本研究所提出的方法具备极高的灵活性,能够根据不同的测量场景与需求,快速设计并定制任意空间参数的调制光源,为新一代超高精度干涉测量技术的工程化应用提供了全新的理论指导与技术支撑。

关键词: 高精度干涉测量; 空间调制光源; 部分相干光场; 相干噪声抑制; 泽尼克残差

基于光学外差法的单频光纤激光线宽测量方法

张凯, 矫岢蓉, 沈华*

南京理工大学电子工程与光电技术学院

对于单频光纤激光器, 现有光谱仪与 Fabry-Perot 干涉仪受限于分辨率不足, 难以满足窄线宽表征需求; 长光纤延迟自外差法虽可实现窄线宽测量, 但长延迟光纤引入的噪声与色散影响测量精度, 且上述方法均难以有效表征单频脉冲激光的瞬时谱宽。针对上述问题, 本文提出一套面向单频光纤激光器的高精度线宽测量方案。对于单频连续激光, 采用短光纤延迟自外差技术, 构建非平衡马赫-曾德尔干涉仪获取拍频信号, 通过计算功率谱密度, 引入小波降噪算法对原始频谱数据去噪, 并结合非线性最小二乘法拟合光谱线型, 提取单频连续激光线宽; 对于单频脉冲激光, 采用光学外差法将单频脉冲激光与单频连续激光进行混频, 对拍频信号进行去直流、补零、FFT 变换获取功率谱, 通过高斯拟合提取单频脉冲激光的瞬时线宽, 有效规避了双脉冲外差方案中脉冲时序同步匹配的问题。实验结果表明, 单频连续激光线宽的测量均值为 2.602kHz, RMS 为 0.074kHz; 单频脉冲激光瞬时线宽的测量均值为 0.709MHz, RMS 为 0.056MHz。上述结果验证了所提方案的有效性, 为单频光纤激光器的线宽表征提供了一种精确、实用的测量手段。

关键词: 单频光纤激光器; 连续/脉冲激光; 线宽测量; 功率谱密度;

焦点监测跟踪的大量程高分辨共焦传感方法

张晓程, 邱丽荣, 王允, 赵维谦

北京理工大学 光电学院, 复杂环境智能感测技术工信部重点实验室

自由曲面的超精密检测对于激光核聚变、空间遥感及高能激光武器等核心部件高性能制造意义重大, 其中自由曲面表面形貌高精度测量是高端制造亟待解决的重大难题, 但现有非连续测量方法存在空间分辨力低、量程范围小等共性瓶颈问题, 制约了检测精度提升, 针对该问题, 本文提出了一种基于焦点监测跟踪的大量程高分辨共焦传感方法, 该方法结合激光共焦技术实现纳米级轴向分辨力与高精度定焦, 利用 CMOS 光斑监测技术扩展线性测量范围, 最终实现共焦传感器的焦点监测跟踪, 解决了自由曲面测量中测量范围和高分辨定焦难以兼顾的问题, 构建了激光共焦传感系统, 理论分析与实验结果表明: 该传感器轴向分辨力可达 2 nm, 线性测量范围可扩展至 200 μm , 该方法为自由曲面的高精度测量提供了新的技术手段, 在光学测量领域具有重要应用价值。

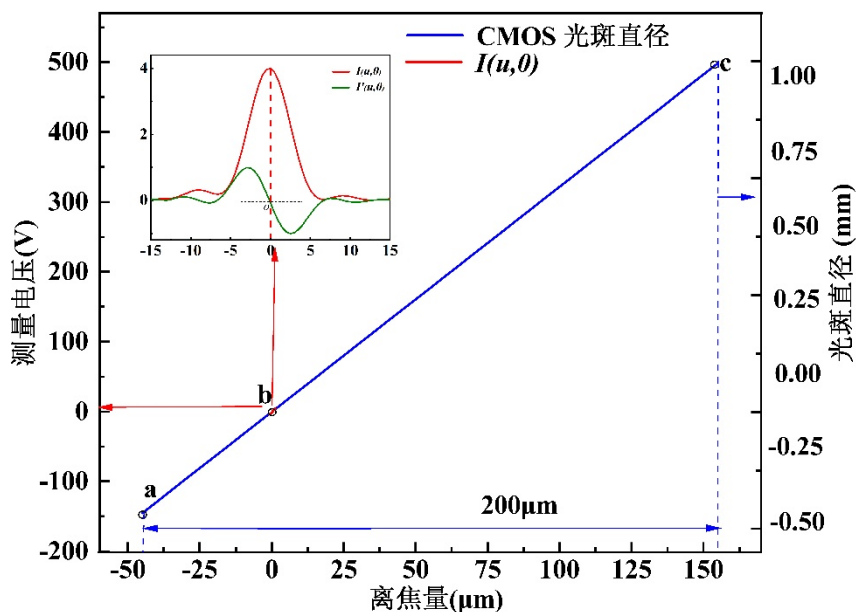


图 1. 激光共焦传感系统探测范围图

基于十光谱通道的激光熔池温度场测量方法

王海东, 沈华*

南京理工大学电子工程与光电技术学院

近年来, 激光制造技术的发展日新月异, 被广泛应用于各个领域, 而在激光制造过程中, 熔池的温度场与工件的微观性能和形貌尺寸密切相关。目前温度场测量技术中, 接触式测温法只能实现少数局部特征点的测量, 多光谱测温法可建立多个温度及光谱发射率的方程并同时得到目标的真温和光谱发射率, 能够实现熔池温度场的高精度测量。随着测温精度要求的不断提高, 目前的常见的 2, 3 通道系统已经满足不了精度需求。

针对该问题, 本项目设计了 1 台十通道温度场测量装置, 其结构如图 1 所示。各通道波长分别为 550nm、600nm、633nm、650nm、700nm、750nm、800nm、850nm、900nm、1520nm、1550nm。通过仿真系统分析, 各光谱通道的点列图 RMS 半径在中心视场均小于 $7\text{ }\mu\text{m}$, 与艾里斑相近; 每个通道中心视场的波前质量 PV 值均小于 0.23λ , RMS 均小于 0.056λ ; 各通道采集图像的最大畸变小于 0.0017%。根据上述光路, 本文搭建了一套实验验证系统, 利用该系统对功率为 500W 的激光切割 C26000 黄铜所产生的熔池进行多次测量, 获取了不同深度的截面温度场。本系统测得熔池中心平均单点温度为 2181.54K, 中国计量院标定的高精度高温仪测得熔池中心平均单点温度为 2163.15K, 比对可得该系统的辐射单点温度测量相对误差优于 0.85%。验证性实验的结果证明了本文所提方法能高精度获取熔池的温度, 为激光制造工艺的改进和提高提供测量保障。

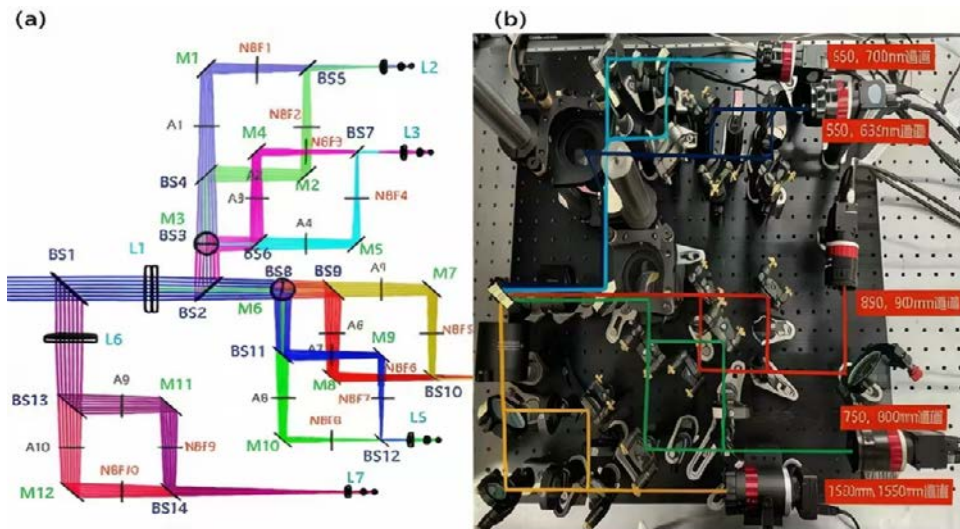


图 1 十通道温度场测量装置示意图。(a) 光路仿真图 BS1-BS14: 二向色镜; M1-M12: 宽介质膜反射镜; NBF1-NBF10: 窄带通滤波片; A1-A10: 可调节衰减片; L1, L6: 消色差双胶合透镜; L2-L5, L7: 定焦镜头。(b) 装置实物图

一种高环境鲁棒性的双光纤点衍射干涉仪

吕雄涛¹, 冯鹏², 李中梁^{2*}, 周丽军¹, 常春超², 高金铭¹,
刘东¹, 匡翠方^{1*}, 王向朝^{1,2*}

¹浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

²中国科学院上海光学精密机械研究所高端光电装备部

光纤点衍射干涉仪不仅结构简单、配置灵活,还支持调节干涉条纹的对比度,在精密光学元件检测中展现出了极高的测量精度与稳定性。例如,美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室(LLNL)的Sommargren团队研发的点衍射干涉技术,绝对测量精度已经低于100 pm^[1];而中国科学院上海光学精密机械研究所研制的双光纤点衍射干涉仪,则在主动隔振和真空环境下实现了高达35 pm的波像差测量重复性^[2]。然而,现有的高精度光纤点衍射干涉仪大多依赖压电陶瓷(PZT)来进行机械移相。PZT固有的非线性、迟滞和蠕变效应会引入随机相位误差;另外,实现纳米级乃至亚纳米级精度通常需要多步移相,这显著拉长了采样周期,使得干涉仪对环境振动和气流扰动极度敏感。这种局限性导致光纤点衍射干涉仪的测量精度依赖于严格的隔振条件和真空环境。

本研究提出了一种高环境鲁棒性的双光纤点衍射干涉仪,能够在普通的实验室环境下实现皮米级的检测重复性。在硬件层面,系统引入了自主研发的高精度声光调制器驱动器,在数赫兹的低频差条件下依然可保持亚毫赫兹级的频率稳定性,从根本上消除了机械移相引入的随机误差。为进一步抑制环境振动,干涉仪有效地结合了高频外差调制与时间降采样技术,解决了高频调制信号与面阵相机有限帧率之间的匹配问题,提升了系统在复杂环境下的抗干扰能力。在数据处理层面,提出了一种高效的相位提取算法HHFA,契合了该系统的高速采样特性,提高了干涉数据的处理效率。

我们在无气浮隔振的光学平台上搭建了双光纤点衍射干涉仪,对一款数值孔径为0.3的5倍微缩物镜进行了波像差测量。在存在明显低频振动干扰的情况下,5分钟内的32组连续测试结果表明,该系统获得了高的测量重复性:点衍射测量模式下约0.2 nm RMS,系统误差测量模式下高达11.43 pm RMS。

面向红外 MTF 测量的高阶动态像差反演：基于同方差加权与多尺度特征感知的深度神经网络

童荣景^{1,2}, 韩冰³, 沈华^{1,2*}

¹南京理工大学电子工程与光电技术学院

²南京理工大学先进固体激光工信部重点实验室

³中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

调制传递函数 (MTF) 是评价光电系统成像质量的核心指标。在实际测量中, 由于红外探测器噪声大, 依赖物理靶标的传统测试方法面临多重局限: 星点法因红外点源能量极弱, 其携带的高频 MTF 信息完全被底噪淹没; 狭缝法纯一维采样特性彻底丢失了复杂的空间二维畸变特性; 而刃边法在对边缘扩展函数作微分求导解算时会放大高频空间噪声, 从而剧烈污染高频 MTF。为突破这种强噪、弱目标信号环境下的测量难题, 基于深度学习的波前传感计算 [1] 成为破局关键。然而在应对高维度 (36 项 Zernike 多项式 [2]) 测量体系时, 因高能量低阶像差对极微弱高阶像差形成严酷的“梯度霸权”, 现有网络在向全频段推进时极易发生收敛停滞与特征坍塌。

为突破上述瓶颈, 本文提出一种面向红外 MTF 高精度测量的物理特征嵌入预测网络。该网络具备三大核心创新机制: ①引入截断高斯物理重采样与白化空间, 将跨越数个量级的物理畸变量纲严格映射至归一化分布; ②构建多尺度空间金字塔解码分支, 在物理残差框架下精准剥离空间频率, 实现对外围极微弱高频衍射环差异的敏锐解析; ③引入多任务同方差不确定性 [3] 动态重加权架构, 彻底切断高低频像差间的梯度缠绕。

实验表明, 本方法在 36 维强耦合回归测量任务中展现了优异的解耦能力, 将实际测量数据上的波前预测均方根误差 (RMSE) 从 0.04λ 量级收敛至 0.007λ , 全频段内 MTF 曲线的反演误差达到 ± 0.015 以内, 优于现有的 MTF 测量设备 (± 0.02), 且稳定性更高。本研究摆脱了物理靶标噪声耦合的限制, 为红外系统的 MTF 测量与自适应波前像差补偿提供了高精度、高鲁棒的工程范式。

关键词: 调制传递函数; 深度神经网络; Zernike 多项式; 同方差不确定性

基于探测光斑序列分割的差动共焦自由曲面传感测量方法

刘昱含, 王允, 邱丽荣, 赵维谦*

北京理工大学, 复杂环境智能感测技术工业和信息化部重点实验室

自由曲面高精度检测是激光核聚变、空间遥感、光刻机等高端光学系统高质量制造的关键核心, 但现有自由曲面测量传感器存在测量倾角小、分辨力与量程难兼顾等问题, 制约了自由曲面表面检测精度的提升。

本文开展如图 1 所示的“基于探测光斑序列分割的差动共焦自由曲面传感测量方法”研究, 通过序列分割多区域探测光斑, 扩展其测量量程的同时兼顾测量分辨力; 利用差动共焦测量曲线零点与焦点精确对应的特性, 结合位置探测器实现对自由曲面表面法向角度的共焦点精确姿态监测, 通过融合表面位置及法向姿态信息, 精确配准表面被测位姿与理论设计位姿, 实时调控传感器测量方向, 适应表面大倾角变化; 通过多探测光斑归一化差动相减处理, 实现抗表面散射变化的高精度测量, 最终实现自由曲面表面三维形貌的全局高精度测量。

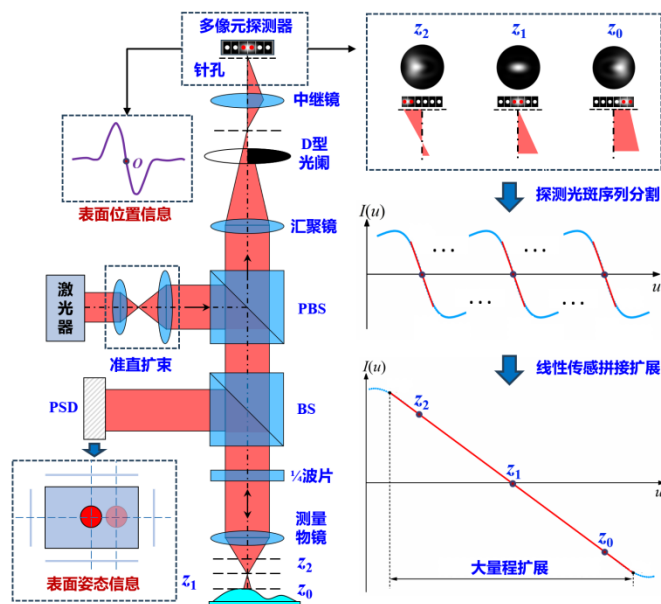


图 1 基于探测光斑序列分割的差动共焦自由曲面传感测量方法

实验结果表明, 该方法对自由曲面表面的重复测量精度优于 30 nm, 最大可测切向角度为 $\pm 20^\circ$ 。该方法为大梯度自由曲面表面形貌测量方法提供了一种全新的技术途径。

关键词: 自由曲面; 传感测量; 差动共焦

光学元件表面缺陷的光热吸收检测研究

张峰玮¹, 王狮凌², 徐兆锐¹, 彭韶婧¹, 吴兰¹, 刘崇¹, 刘东^{1*}

¹浙江大学 光电科学与工程学院 极端光学技术与仪器全国重点实验室

²中国计量大学 计量测试与仪器学院

在高能量激光装置中, 高精度光学元件的质量与稳定性是光学系统稳定运行的关键。然而光学元件中的吸收损耗会造成激光能量在元件内部热沉积, 随着能量的不断增大, 即使微弱的吸收也可能会引发光学元件的激光诱导损伤, 严重时会导致系统瘫痪。导致破坏的原因来自元件自身的本征吸收, 更大程度来源于表面存在的吸收缺陷引起的局部吸收突变。因此建立高灵敏度的光学元件表面缺陷吸收表征方法, 对于揭示元件损伤物理机制、优化刻蚀工艺及后处理技术, 从而有效提升光学元件材料性能具有重要的科学意义。

传统的测量方法如分光光度法, 一直以来被应用于光学元件吸收特性测量。随着光学制造工艺的进步, 元件质量和性能不断提高, 对吸收检测灵敏度和准确性提出了更高的要求。近年来, 光热吸收检测技术得到了显著发展, 该技术凭借高灵敏度、非接触、无损检测等突出优势, 被广泛应用于光学元件的吸收表征。基于激光与物质相互作用产生的各种光热效应, 衍生出的检测技术主要分为直接和相对检测方法两大类。直接检测技术以激光量热法为代表, 通过测量温升大小直接反映元件的吸收强度, 但检测效率较低; 相对检测技术主要包括光热偏转技术、光声光谱技术、光热辐射技术、表面热透镜技术(STL)等, 这些方法通过低功率探测光监测泵浦光加热区域各类参数变化, 间接获取吸收信息。

表面热透镜技术作为相对检测方法之一, 凭借其光路调节简便、信号稳定性高等优势, 近年来在光学元件吸收检测领域日益得到重视。利用泵浦-探测双光束模式失配测量构型, 在泵浦光致使表面发生热形变时, 获取探测光中心光强的波动情况进而推算出样品的吸收。这种检测方法的灵敏度可达到 0.1 ppm。

早期已有研究基于表面热透镜技术对光学元件的本征吸收开展测量工作, 在光学元件表面缺陷的研究中, 过往成果实验证实缺陷处会引发吸收尖峰现象, 然而针对缺陷尺寸与吸收之间的定量关系并没有展开系统性研究。为此, 本文通过有限元方法结合数值模拟仿真, 探究不同尺寸缺陷的温度场分布规律以及表面热透镜信号变化关系。通过对比不同尺寸缺陷所产生的光热信号, 判断其对局部区域吸收的影响。并搭建表面热透镜吸收测量平台和在 K9 光学元件上加工维氏压痕模拟缺陷进行实验论证, 以此来验证仿真结果。针对塑性和脆性缺陷对实验数据进行分段曲线拟合, 得到缺陷处吸收与尺寸之间的定量化关系, 为光学元件表面缺陷的表征提供了一种全新的技术途径。

关键词: 光学元件; 表面缺陷; 吸收检测; 光热效应

张贴报告

OMT2026-0313-1

机器视觉技术在太阳能热发电中的检测方法研究

孙飞虎

中国科学院电工研究所

OMT2026-0317-1

AI 技术在光谱检测领域的应用研究

费凡

南京理工大学

OMT2026-0319-1

非透明电磁屏蔽涂料厚度与均匀性 AOI 检测方法

葛欣宏

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0320-1

基于偏振相移技术的纳米量级位移测量

王孝艳

华侨大学

OMT2026-0324-1

基于瞬态光电技术的钙钛矿器件内缺陷检测研究

刘桂林

江南大学

OMT2026-0325-1

基于深度学习的光电测试图像降噪与特征提取方法

费凡

南京理工大学

OMT2026-0330-1

面向电缆屏蔽效能预测的偏振成像缝隙检测方法

郑智勇

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0331-1

光学精密测试仪器中的软件计量与测评技术

王安邦

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0401-2

基于斜刃法的红外镜头 MTF 自动化测试方法研究

唐雨薇

中国科学院西安光学精密机械研究所

OMT2026-0402-1

基于空间光调制器动态波前调制的静态型子孔径拼接干涉检测方法研究

贾文昕

南京理工大学电子工程与光电技术学院

OMT2026-0403-1

使用短波红外干涉仪测量硫系玻璃折射率

万博艺

南京理工大学

OMT2026-0406-2

面向深紫外光刻检测的 Wollaston 棱镜差分偏振干涉系统设计与仿真

朱浩然

南京理工大学

OMT2026-0407-1

红外 MTF 测量中基于最优超采样率改进的倾斜刃边法

吴鑫华

南京理工大学

OMT2026-0407-2

红外整机综合参数测试仪器研制

张明亮

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0407-4

基于神经网络的非球面子孔径小重叠率拼接算法研究

潘鑫禧

南京理工大学

OMT2026-0407-5

一种高效便捷的真空检漏装置

王毓

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0408-1

大口径离轴光学系统杂光特性高精度测试技术

李旭

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0408-2

光学测试技术在生命科学与医学领域的应用

康琦

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0408-3

基于多尺度高斯拟合的高精度质心提取方法

方智敬

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0408-4

基于单图像的鱼眼相机在线标定及视场角测量方法

岳航宇

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0410-4

基于时空双域傅里叶分析的大口径二元衍射光栅面形测量

荀辉^{1;2}

1. 中国科学院上海光学精密机械研究所 ;2. 中国科学院大学

OMT2026-0411-1

夏克哈特曼波前传感器核心参数的高精度标定方法

李俊霖

长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0411-2

千瓦级高功率光纤光隔离器的研制与多参数精密测量方法

孙斌

南京理工大学

OMT2026-0411-3

基于朗奇剪切干涉的光刻物镜畸变高精度检测方法

李俊霖

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0413-1

激光热改性FTO薄膜的机制研究及其电磁屏蔽性能初探

李梦丹

西安工业大学

OMT2026-0413-10

大口径地基望远镜光瞳失调原位测量研究及应用

张婷^{1;2}

1. 中国科学院大学 ;2. 西安光学精密机械研究所

OMT2026-0413-11

暗弱恒星光源的光谱拟合与模拟系统研究

张林叶

西安工业大学

OMT2026-0413-12

基于特种光纤耦合架构的空间激光通信终端双向性能地面测试研究

李智昕

中国科学院西安光学精密机械研究所

OMT2026-0413-13

光学镜头弥散斑与色偏差高效测试方法研究

高启蒙^{1;2}

1. 中国科学院西安光学精密机械研究所 ;2. 西安理工大学

OMT2026-0413-2

脉冲激光不同波长对薄膜损伤阈值的影响

代佳乐

西安工业大学

OMT2026-0413-3

大数值孔径光学物镜波像差检测的矢量衍射仿真方法研究

欧阳义

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0413-4

高精度照明系统检测平台设计方法研究

李俊霖

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0413-7

点源透过率测量技术

wangqiulu

西安工业大学

OMT2026-0413-8

基于斐索透射平晶和扩束型动态干涉仪的大口径平面光学元件面形测量方法研究

芮九多^{1;2}

1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院 ;2. 南京理工大学先进固体激光工信部重点实验室

OMT2026-0413-9

基于多视场拼接光电经纬仪的视场拼接方法

袁兴龙

天津大学精密仪器与光电子工程学院

OMT2026-0414-1

基于单光子计数的极弱光星等模拟与闭环校正方法

张诗晨

西安工业大学

OMT2026-0414-2

光学系统波前原位测量及校准技术

宿钰渤

西安工业大学

OMT2026-0414-5

振动试验相关技术研究与应用

潘峙达

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0414-6

基于 DMD 空间目标位姿与星等模拟系统的研制

范英杰

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0415-1

图像传感器像质评价参数测试系统设计

韩景壮

长春光机所

OMT2026-0415-2

偏振空分复用的并行横向剪切干涉术

苏嘉明

西安工业大学

OMT2026-0415-3

基于长波红外干涉仪的大口径长焦精磨非球面检测

杨亦涵

南京理工大学

OMT2026-0415-4

移相干涉波面的纹波抑制算法

刘宇晴

南京理工大学

OMT2026-0415-5

基于倒置立式干涉仪的液面绝对检验方法研究

王安

南京理工大学

OMT2026-0416-1

基于马赫曾得干涉仪的调频线性度测试技术研究

王崇

中国电子科技集团公司第二十七研究所

OMT2026-0416-4

基于动态干涉测量的多视场大数值孔径显微物镜 PSF 检测技术研究

吴边^{1;2}

1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院; 2. 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室

OMT2026-0416-8

基于深度学习的激光共聚焦形貌与振动同步检测方法

徐德民

北京理工大学

OMT2026-0417-10

真空立式干涉仪标准平晶支撑方法研究

王祥

南京理工大学

OMT2026-0417-2

立式光学传递函数测试仪研制

金鑫

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0417-3

航天器控制系统姿态稳定度验证方法研究

鞠德晗

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0417-4

光线数据在灯具研发中的应用

诸家顺

光傲科技股份有限公司

OMT2026-0417-5

影响成像亮度测量设备 (ILMDs) 测量结果的因素概述

诸家顺

光傲科技股份有限公司

OMT2026-0417-6

真空罐液氮降温排放改良

王彬

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0417-8

基于精密温控腔体的光学材料折射率温度系数高精度测量方法

李曼丽

长春光机所

OMT2026-0417-8

基于精密温控腔体的光学材料折射率温度系数高精度测量方法

李曼丽

长春光机所

OMT2026-0418-1

低电压测量晶体电光系数

黄俊儒

山东大学

OMT2026-0418-2

基于神经隐式表达的非球面三维形貌拼接方法

徐舒成

南京理工大学

OMT2026-0418-3

基于波长反馈多光源的拼接镜共相检测技术研究

朱圣智^{1;2}

1. 南京理工大学电子工程与光电技术学院 ;2. 南京理工大学先进固体激光工业和信息化部重点实验室

OMT2026-0418-5

基于在线校准短干涉仪的平行平板面形高精度测量方法研究

胡泉鹏

南京理工大学

OMT2026-0418-6

RTP 晶体非临界相位匹配性能测试

黄俊儒

山东大学

OMT2026-0419-1

三通道绝对检验干涉测试技术

段妍羽

南京理工大学

OMT2026-0419-10

高精度双轴自准直测角仪的关键技术研究

罗婉宁^{1;2;3;}

1. 西安理工大学 ;2. 中国科学院西安光学精密机械研究所 ;3. 西安市空间敏感器光学技术工程研究中心

OMT2026-0419-11

大口径平面干涉测试低频抖动影响及解决思路

陈晓革

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0419-12

多音圈电机并联的振动台的正弦振动控制

李博

长春光机所

OMT2026-0419-13

基于改进 YOLO 和边缘计算的无人机道路裂缝实时检测方法

王鹤淇

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0419-14

基于高精度光斑中心定位的光轴一致性测量方法

杨毅

中国科学院长春精密机械与物理研究所

OMT2026-0419-18

反衍混合补偿的大口径鸥翼非球面干涉检测方法

詹旭成

1. 国防科技大学智能科学学院 ;2. 国防科技大学装备状态感知与敏捷保障重点实验室

OMT2026-0419-19

基于机械超材料的短谐振腔固体激光器多物理场协同设计

李楠

中国科学院西安光学精密机械研究所

OMT2026-0419-2

基于曲面标定板的条纹投影高精度相高映射方法

高麒顺

南京理工大学

OMT2026-0419-20

基于频域补偿的白光干涉三维形貌恢复方法

王雨畅

南京理工大学

OMT2026-0419-21

基于环形光源的菲索干涉仪相干噪声消除方法研究

张青

南京理工大学光学前沿中心

OMT2026-0419-4

基于近红外光谱的无创血糖测量系统

黄继鹏

东北师范大学

OMT2026-0419-6

基于低相干扫描干涉的大尺度样品快速测量方法

匡俊豪

南京理工大学

OMT2026-0420-10

1.3 μm 泵浦的高量子效率短波中红外光参量激光

任锐锐

西安电子科技大学光电工程学院

OMT2026-0420-11

基于双目预标定式的精密结构光大范围测量方法研究

焦凡苇

南开大学

OMT2026-0420-12

大型空间光学遥感器力学环境试验平台设计与实现

王爽

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0420-14

多通道力学试验智能管控一体化平台设计

王爽

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0420-16

同位素比的激光烧蚀吸收光谱快速测量方法研究

许博坪

西安电子科技大学

OMT2026-0420-17

基于局部特征稀疏采样的 CGH 结构误差全域反演与波前补偿研究

李佳^{1;2}

1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 ;2. 中国科学院大学

OMT2026-0420-19

基于低相干双波混合干涉的多层结构高精度振动测量系统

周锦航

中国科学院深圳先进技术研究院

OMT2026-0420-2

基于差分稳频激光的台阶高测量技术

敬沛

南京理工大学

OMT2026-0420-20

基于 CGH 混合补偿的大口径凸非球面干涉检测技术研究

李洪士

中国科学院长春光机所

OMT2026-0420-21

具有补偿功能的红外超大角度透射比较准技术

何玉兰

西安应用光学研究所

OMT2026-0420-23

基于德劳内三角剖分的 CGH 编码技术研究

丁卓斐

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0420-24

基于暗场几何引导与模型辅助干涉信号处理的光栅参数表征

张佳乐

南京理工大学电子工程与光电技术学院

OMT2026-0420-28

室外地面大型目标发动机红外抑制测试影响因素分析与评估

张艺轩

中国华阴兵器试验中心

OMT2026-0420-29

真空下光学参数测试辅助冷板改造与研究

蒋荻

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0420-30

Ronchi 剪切干涉中卷积效应的影响探究

金桂生

中国科学院上海光学精密机械研究所

OMT2026-0420-31

晶圆厚度与群折射率的自相干光谱测量方法

张川

天津大学精密仪器与光电子工程学院

OMT2026-0420-33

MUST 改正镜组楔形透镜装调方案研究

丁煜

中国科学院南京天文光学技术研究所

OMT2026-0420-35

3D 打印碳化硅空间反射镜改性工艺研究

张亚楠

南京邮电大学

OMT2026-0420-37

基于低相干干涉的微小孔内表面测量微型光纤探头及系统技术

朱兴程

南京理工大学

OMT2026-0420-38

基于无监督学习的金属网栅缺陷原位检测技术

秦鸿圣

哈尔滨工业大学

OMT2026-0420-39

Distortion-corrected Fourier ellipsometry for thin-film characterization on tilted and curved optical surfaces

贾天棋

华中科技大学

OMT2026-0420-4

基于共口径多光谱船载暗弱目标探测系统设计方法与实现

孙昊楠

西安光学精密机械研究所

OMT2026-0420-40

基于电机扫描的长行程白光干涉仪移相误差分析与修正研究

吴庭锋

南京理工大学

OMT2026-0420-41

基于多波长干涉的圆柱内表面形貌测量方法

滕子嫣

南京理工大学

OMT2026-0420-44

三维测边网构建与高精度空间坐标测量技术

付文博

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0420-45

PDMS 微纳光纤自耦合环形谐振器耦合诱导透明效应及其温度传感应用

陈静

江西师范大学

OMT2026-0420-46

激光三维成像传感器测距精度地面测试方法研究

李承辰

长春理工大学

OMT2026-0420-49

基于布里渊区折叠诱导的准束缚态光学力研究

孙永顺

江南大学光电信息与物理科学学院

OMT2026-0420-6

MEMS 芯片结构三维形貌双波长数字全息显微成像技术

单明广

哈尔滨工程大学

OMT2026-0420-8

基于相位运动估计的视觉振动测量方法研究

党萌萌

哈尔滨工程大学

OMT2026-0421-1

针孔衍射波前质量影响机制研究

李征

中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

OMT2026-0421-3

面阵型单光子成像模块校准技术研究进展

李宗文

中国计量大学

OMT2026-0421-4

基于弱热耦合功率锁定的差分稳频氦氖光源技术研究

李金泽

南京理工大学

OMT2026-0421-5

光学精密计量标准体系构建的协同机制与风险治理综述

刘珂

中电科计量检测认证(北京)有限公司

OMT2026-0421-7

基于光学相干层析的激光焊接熔深测量系统设计

武逸凡

华中科技大学

OMT2026-0421-8

基于重叠策略的数字莫尔剪切干涉低频莫尔条纹提取与波前重构

李佳

南京天文光学技术研究所

OMT2026-0421-9

GNSS 双天线定向精度校准方法

王涛

63875 部队

OMT2026-0422-1

放射性气溶胶单颗粒核素定量监测技术研究

周平伟

中国工程物理研究院流体物理研究所

OMT2026-0422-2

基于中心参数辅助的干涉仪标准镜头装配技术研究

唐智

南京理工大学

OMT2026-0422-3

扫描狭缝光斑分析与显微光斑测量技术

任洋

深圳维度科技股份有限公司

OMT2026-0423-1

基于普克尔盒电光开关的时分复用体全息灵敏度高频实时测试方法研究

王莹

中国工程物理研究院流体物理研究所

OMT2026-0427-2

基于低相干光源的透明晶圆量测方法

王赞尧

南京理工大学

OMT2026-0427-3

大口径光学器件中高频面形误差成像评价

侯银龙

西安邮电大学

OMT2026-0427-4

基于短相干干涉的透镜组中心间距测量方法研究

刘文涛

南京理工大学电子工程与光电技术学院

OMT2026-0429-1

基于双光梳测距的六自由度位姿计量

李晋名; 蒋瑞林; 吴冠豪

清华大学精密仪器系

OMT2026-0429-2

电化学改性氧化铟锡光学衰减片

刘心沁; 朱金龙

华中科技大学

OMT2026-0429-3

基于空间耦合光学相位估计的抗振动横向扫描干涉测量

王晨鸣

华中科技大学

OMT2026-0430-1

基于双层超构表面的波前测量方法

陈文字¹; 朱金龙^{1;2;3*}

1. 华中科技大学机械科学与工程学院; 2. 华中科技大学智能制造装备与技术全国重点实验室; 3. 深圳华中科技大学研究院

OMT2026-0430-2

光热增强缺陷检测方法研究

张劲松; 朱金龙; 刘世元

华中科技大学机械科学与工程学院

OMT2026-0430-3

亚纳米差分干涉测量技术

于成水

上海御微半导体技术有限公司

OMT2026-0501-1

基于 FDTD 方法的暗场仿真计算方案

郭庭旺

上海御微半导体技术有限公司

OMT2026-0502-1

基于风扇送风的光学高精度测量中气流扰动抑制方法研究

吴秋风

南京理工大学

OMT2026-0505-1

界面对流与通道工程化天然吸光材料实现高效太阳能光-热-蒸汽转换

桓茜

西安工业大学

责任编辑：沈华 薛勋

编 后 语

2026年5月15日~5月17日在陕西省西安市召开第二十一届全国光学测试学术交流会，这是全国光学测试界的一次盛会，也是中国光学测试界老朋友叙旧话新，新朋友崭露头角的重要场所，同时恰逢我国“十五五”开局之年。本届会议共征集到投稿稿件171篇，同时邀请大会报告11篇，分会场特邀报告78篇。论文覆盖了光学元件、材料特性参数测试技术进展、光电器件特性参数测试技术进展、光学系统测试技术及仪器进展、光学精密计量技术发展、光学测试技术标准化工作发展、光学精密测试技术的其他相关应用等六大专题。本次征文活动自2025年12月份至2026年5月6日止，在此期间得到了全国光学测试领域的专家和同行的大力支持，使得本期会议得以如期顺利召开，在此谨表示诚挚的感谢！

本届论文集的论文分类是根据征文通知的征稿内容，考虑到学科和分会场情况作简单划分，专业界限不很严格。同时，尽管我们已经尽了很大努力，由于编辑出版时间仓促，论文集中难免会出现少量错误，欢迎大家批评指正。

第二十一届全国光学测试学术交流会
会议筹备组
2026年5月10日

专注于激光和精密测量

Focusing on Laser Precision Measurement

自研可控 · 精测无忧

公司介绍 COMPANY PROFILE

北京镭测科技有限公司是一家专注于高精度激光测量领域的国家高新技术企业。公司拥有多项独立知识产权，并获评“科技型中小企业”及“北京市创新型中小企业”。作为全球先进的激光精密测量系统与方案供应商，我们致力于以核心测量技术，提升制造业生产力与前沿科研水平，主营业务包括高精度激光测量仪器、设备的研发制造，以及为客户提供全链条技术解决方案。



主营产品 COMPANY PRODUCTS

- ◆ 双频激光干涉仪 (系列)
- ◆ 单频激光干涉仪
- ◆ 光纤激光尺
- ◆ 非接触式激光干涉仪
- ◆ 氦氖激光器
- ◆ 双频激光器
- ◆ 稳频激光器
- ◆ 激光纳米测尺
- ◆ 光学元件、晶元内应力和相位延迟测量仪
- ◆ 激光原理综合实验系统(系列)

北京镭测科技有限公司



400 816 8900



北京市朝阳区DREAM2049国际文创产业园B02



