

# 激光与光电子学进展

JIGUANG YU GUANGDIANZIXUE JINZHAN

(半月刊, 1964年6月创刊)

第60卷 第8期 (总第739期) 2023年4月25日

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院上海光学精密机械研究所

主 编 范滇元

编辑出版 《中国激光》杂志社有限公司

地 址 上海市嘉定区清河路390号, 邮编201800

电 话 021-69918427

电子邮箱 lop@siom.ac.cn

网 址 <http://lop.opticsjournal.net>

印 刷 苏州彩易达包装制品有限公司

发行范围 公开

国内发行 中国邮政集团有限公司上海市分公司

国内订阅 中国邮政集团有限公司

国外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

国内邮发代号 4-179

## Laser & Optoelectronics Progress

(Semimonthly, First Published in 1964)

Vol. 60, No. 8 (Series No. 739) April 25, 2023

Managed by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences

Editor-in-Chief Fan Dianyuan

Edited and Published by

Chinese Laser Press

Address No. 390, Qinghe Rd., Jiading, Shanghai 201800

Tel. 021-69918427

E-mail lop@siom.ac.cn

Website <http://lop.opticsjournal.net>

Printed by Suzhou Caiyida Packing Products Co., Ltd.

Distributed by Shanghai Branch, China Post Group Co., Ltd.

Domestic China Post Group Co., Ltd.

Foreign China International Book Trading Corporation

- ESCI、INSPEC、SCOPUS、CSCD等收录
- 中国科学院科学出版基金中文科技期刊择优支持
- 中国精品科技期刊
- 中国国际影响力优秀学术期刊
- 华东地区优秀期刊
- 中文核心期刊
- 中国科技核心期刊



中国  
激光  
杂志  
社

官方  
微信



《激光与光电子学进展》

官方  
网站



编辑部主任: 张 雁 (021-69918427)

广 告: 朱俊刚 (021-80198330)

发 行: 阮依超 (021-69918416)

中国标准连续出版物号: ISSN 1006-4125  
CN 31-1690/TN

定价: 110 元/册

# 《激光与光电子学进展》第十届编委会

(2022-2024)

主 编 范滇元

执行主编 邱建荣

副 主 编 戴琼海 张 龙 张雨东 曹良才

编 委 (按姓氏拼音排序)

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 蔡海文 | 曹 汛 | 程鑫彬 | 戴世勋 | 董永康 | 方哲宇 | 付 星 | 付跃刚 | 郝 群 |
| 何兴道 | 胡小永 | 胡章贵 | 黄 飞 | 季凌飞 | 季敏标 | 季向阳 | 匡翠方 | 李传锋 |
| 李 强 | 李文雪 | 李向平 | 李向阳 | 李孝峰 | 梁晓庚 | 林学春 | 刘正君 | 卢荣胜 |
| 卢孝强 | 罗智超 | 牟成博 | 潘安练 | 潘世烈 | 蒲继雄 | 邱建备 | 阮智超 | 单崇新 |
| 邵晓鹏 | 斯 科 | 苏良碧 | 苏晓龙 | 孙方稳 | 孙建锋 | 孙育杰 | 谭峭峰 | 陶光明 |
| 佟首峰 | 王合龙 | 王义平 | 魏勋斌 | 武春风 | 吴 强 | 许晓军 | 杨 军 | 杨 奇 |
| 姚保利 | 姚建华 | 义理林 | 尤立星 | 于浩海 | 余建军 | 于起峰 | 苑立波 | 曾海波 |
| 张明江 | 张启灿 | 张 岩 | 张永来 | 赵尚弘 | 赵维谦 | 周 军 | 祝世宁 | 朱 涛 |
| 左 超 |     |     |     |     |     |     |     |     |

青年编委 (按姓氏拼音排序)

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 柏 晨 | 陈 耕 | 陈 智 | 陈子阳 | 董国平 | 董 泽 | 樊元成 | 冯世杰 | 高芳亮 |
| 高 堃 | 郜 鹏 | 高 然 | 耿 娇 | 龚 薇 | 顾波波 | 郭 丹 | 韩冬冬 | 郝 翔 |
| 侯志博 | 胡浩丰 | 黄冬梅 | 蒋崇云 | 李浩宇 | 李家方 | 李建民 | 李建平 | 李骏睿 |
| 李 兰 | 李 昕 | 李 欣 | 李 杨 | 李 璋 | 李仲阳 | 廖常锐 | 林常规 | 刘 飞 |
| 刘 琨 | 刘 硕 | 刘小峰 | 刘永焘 | 刘震涛 | 刘智毅 | 罗亦杨 | 马志军 | 潘 安 |
| 齐鹏飞 | 邱基斯 | 饶 静 | 任 伟 | 戎 路 | 申俊飞 | 沈乐成 | 沈 亮 | 史志锋 |
| 苏 萍 | 苏 榕 | 苏 云 | 谈宜东 | 唐建波 | 唐 鑫 | 王国庆 | 王 乐 | 王 攀 |
| 王绍军 | 王 瑜 | 韦 玮 | 魏恺文 | 吴嘉敏 | 吴仍茂 | 吴晓君 | 吴云涛 | 武红鹏 |
| 肖廷辉 | 徐小川 | 许党朋 | 许振宇 | 杨建龙 | 于 磊 | 余俊宏 | 苑光辉 | 翟天瑞 |
| 张亮亮 | 张 敏 | 张鹏飞 | 张启明 | 张韶辉 | 赵晨阳 | 赵清源 | 周 雯 | 周新星 |

# 激光与光电子学进展

## —— 先进成像 ——

第 60 卷 第 8 期 2023 年 4 月 25 日

(总第 739 期)

## 目 次

### ❖ 三维成像技术及应用专题 ❖

#### · 综述与进展 ·

|                                         |                            |         |
|-----------------------------------------|----------------------------|---------|
| 基于条纹投影的高速三维形貌测量技术发展综述(封面文章,特邀) .....    | 吴周杰,张启灿                    | 0811001 |
| 基于深度学习的稀疏或有限角度CT重建方法研究综述(封底文章,特邀) ..... | 邱江磊,林俊成,钟丽云,钱克矛,秦玉文        | 0811002 |
| 基于超构表面的三维成像技术(内封面文章,特邀) .....           | 景晓丽,王涌天,黄玲玲                | 0811003 |
| 透明刚体非侵入式三维重建技术研究进展(特邀) .....            | 潘智辉,陈睿,胡昌平,徐静              | 0811004 |
| 延展表面高分辨率形貌测量方法综述(特邀) .....              | 马璐瑶,郝继贵,杨凌辉,廖瑞颖,刘皓月,樊一源,杨朔 | 0811005 |
| 基于数字全息显微技术的微纳粒子动态行为表征(特邀) .....         | 何炳恩,张利萍,龚湘君,张广照            | 0811006 |
| 三维表面形貌测量中的共聚焦显微成像技术研究进展(特邀) .....       | 王玥颖,刘旭,郝翔                  | 0811007 |
| 增强现实抬头显示现状与展望(特邀) .....                 | 周婷,乔文,华鉴瑜,陈林森              | 0811008 |
| 便携式三维显示的发展与展望(特邀) .....                 | 高晨,李子寅,吴仍茂,李海峰,刘旭          | 0811009 |
| 双目立体视觉研究进展与应用(特邀) .....                 | 杨晓立,徐玉华,叶乐佳,赵鑫,王飞,肖振中      | 0811010 |
| 深度学习技术在光度立体三维重建中的应用(特邀) .....           | 王国晖,卢彦汀                    | 0811011 |
| 光学相干层析成像在指尖生物特征识别中的应用(特邀) .....         | 苗清然,王海霞,于洋,张怡龙             | 0811012 |
| 大型结构高精度三维动态变形测量应用进展(特邀) .....           | 邵新星,员方,魏康,何小元              | 0811013 |

#### · 研究与技术 ·

|                                                                            |                                                     |         |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------|
| 基于VCSEL投影阵列的散斑结构光三维成像技术及其传感器设计(内封面文章,特邀) .....                             | 尹维,李明雨,胡岩,冯世杰,张晓磊,王槐,陈钱,左超                          | 0811014 |
| 基于高速LED阵列的条纹结构光三维测量方法(特邀) .....                                            | 耿协辉,宋镜明,张蕾,左超,孙鸣捷                                   | 0811015 |
| 稀疏结构光照明三维层析显微技术(特邀) .....                                                  | 雷云泽,郝鹏,刘星,李娇月,陈肖霏,郑娟娟,安莎,但旦,姚保利                     | 0811016 |
| Structured-Light-Field 3D Imaging System With Coaxial Projection(特邀) ..... | Zhang Zhijun, Wu Qingyang, Jiang Yifan, Deng Yifeng | 0811017 |
| 复杂光照条件下的高精度三维成像技术(特邀) .....                                                | 赵慧洁,李宇曦,姜宏志,李旭东                                     | 0811018 |
| 拼接集成成像光场3D显示的片源渲染平台(特邀) .....                                              | 李伟泽,王琼华,王童语,张林博,张汉乐,邢妍                              | 0811019 |
| 立体视区完整的无串扰集成成像3D显示(特邀) .....                                               | 邓慧,吕国皎,吴非,杨梅,邓欢                                     | 0811020 |

基于多空间光调制器拼接的空间悬浮全息真三维显示(特邀)..... 刘吉成,吴汉,高洪跃,周文,殷长志,顾开宇,贾斌,于志扬,沈宇,黄玄旻,周宇聪,杨鼎,陈程伟,陈妍霓,王兴琳,胡慧凤,朱海磊,付馨格,杨信田,闫语哲,许轶泽 0811021

一种基于螺旋波带片的无透镜边缘增强成像技术(特邀) ..... 田占全,李丽娜,孙达,马建设,苏萍 0811022

基于单光子阵列相机的激光测速(特邀) ..... 付爽,田小芮,杨杰,唐勤,张思琦,靳辰飞 0811023

基于时空域相移法的高精度三维形状测量(特邀) ..... 李志远,王庆华,夏鹏 0811024

基于自适应短时傅里叶变换的结构光场单帧三维成像算法(特邀) ..... 贾尚恩,安俊睿,周光泉,何思渊,周平 0811025

三维边缘轮廓线数据的识别(特邀) ..... 赵慧洁,马骊群,樊晶晶,王继虎 0811026

基于CNN-SVR的立体图像视觉感知评价方法(特邀) ..... 徐源,陈纯毅,胡小娟,于海洋,田野 0811027

基于三角级数拟合的间接飞行时间相机谐波误差校正方法(特邀) ..... 姜兆祥,宋展,肖振中,马宣,师少光,王飞 0811028

基于超分辨率角点检测算法的双目相机高精度标定方法(特邀) ..... 孙婷,陈娜,孟然,龙潜,谢启伟 0811029

基于多尺度图像融合信息的沥青路面三维成像方法(特邀) ..... 周兴林,柳璐,蒋睿锶,袁静,冉茂平 0811030

基于单光子计数三维成像的目标姿态获取方法 ..... 张瀚夫,刘杰,安其昌,王建立 0811031

基于小波变换的光学元件激光损伤三维形貌重构方法  
..... 殷晨轩,麻云凤,程旺,郭广妍,杨学博,白芳,曹灿,周家玮,吕玮智,朱永健,廖利芬,樊仲维 0811032

Single-Photon Lidar for Fast Imaging at Low SBR and Few Photons  
..... Xue Ruikai, Kang Yan, Zhang Tongyi, Meng Fanxing, Wang Xiaofang, Li Weiwei, Li Lifei, Zhao Wei 0811033

Three-Dimensional Shape Measuring Method Based on Dual-Frequency Digital Moiré Fringe  
..... Hu Hailing, He Renji, Chen Yang, Zhang Peiqing, Shen Xiang, Da Shixun, Song Baoan 0811034



封 面 解 读

流光瞬息物过隙,纹影重建形不逝。

条纹投影测量技术通过高速切换二值调制图案照明运动对象,完成对瞬态运动场景的定格与重建,还原其彩色形貌,让任意瞬态时刻都不再稍纵即逝,可全方位重现。

封 底 解 读

低量智视扫描符,心脏微观清晰无?  
借问何来穿透术,稀疏投影断层图。

内封面解读(封二)

封面形象展示了一种基于超表面的三维成像技术的原理:利用超表面的亚波长尺寸和高空间带宽积,赋予三维空间的编码能力,结合计算机视觉相关算法设计,实现亚毫米甚至亚微米级别的高精度三维重建,可广泛应用在自动驾驶、机器视觉等虚拟现实技术中,发挥超表面体积小和信息量大的优势,为未来物联网片上集成光电子设备提供可靠的技术基础。

内封面解读(封三)

封面揭示了基于垂直腔面发射激光器(VCSEL)投影阵列的散斑结构光三维成像技术作为“工业视觉之眼”可应用于工业智能检测领域的用途。所研制的小型化三维结构光传感器通过集成3个散斑投影模组投影一组空间位置不同的散斑图案,实现对汽车表面的快速“数字化”,有望在零件分拣、工件装配和焊接加工等方面得以广泛应用。

# Laser & Optoelectronics Progress

—— Advanced Imaging ——

Vol. 60, No. 8 (Series No. 739) April 25, 2023

## CONTENTS

### Feature Issue on 3D Imaging Technology and Applications

#### •Review and Progress•

- High-Speed 3D Topography Measurement Based on Fringe Projection: A Review(**Cover Paper, Invited**)  
.....*Wu Zhoujie, Zhang Qican* 0811001
- Review of Sparse-View or Limited-Angle CT Reconstruction Based on Deep Learning(**Back Paper, Invited**)  
.....*Di Jianglei, Lin Juncheng, Zhong Liyun, Qian Kemao, Qin Yuwen* 0811002
- Metasurface-Based Three-Dimensional Imaging Technique(**Inner Cover Paper, Invited**)  
.....*Jing Xiaoli, Wang Yongtian, Huang Lingling* 0811003
- Research Progress in Non-Intrusive Three-Dimensional Reconstruction of Transparent Rigid Bodies(**Invited**)  
.....*Pan Chifai, Chen Rui, Hu Changping, Xu Jing* 0811004
- Review of High-Resolution Shape Measurement Methods for Extendable Surfaces(**Invited**)  
.....*Ma Luyao, Zhu Jigui, Yang Linghui, Liao Ruiying, Liu Haoyue, Fan Yiyuan, Yang Shuo* 0811005
- Digital Holographic Microscopy-Based Dynamic Behavior Characterization of Micro-Nano Particles(**Invited**)  
.....*He Bingen, Zhang Liping, Gong Xiangjun, Zhang Guangzhao* 0811006
- Advances of Confocal Microscopy in Three-Dimensional Surface Topography Measurement(**Invited**)  
.....*Wang Yueying, Liu Xu, Hao Xiang* 0811007
- Status and Prospect of Augmented Reality Head-Up Display(**Invited**)  
.....*Zhou Ting, Qiao Wen, Hua Jianyu, Chen Linsen* 0811008
- Development and Prospect of Portable Three-Dimensional Displays(**Invited**)  
.....*Gao Chen, Li Ziyin, Wu Rengmao, Li Haifeng, Liu Xu* 0811009
- Research Progress on Binocular Stereo Vision Applications(**Invited**)  
.....*Yang Xiaoli, Xu Yuhua, Ye Lejia, Zhao Xin, Wang Fei, Xiao Zhenzhong* 0811010
- Application of Deep Learning Technology to Photometric Stereo Three-dimensional Reconstruction(**Invited**)  
.....*Wang Guohui, Lu Yanting* 0811011
- Application of Optical Coherence Tomography in Fingertip Biometrics(**Invited**)  
.....*Miao Qingran, Wang Haixia, Yu Yang, Zhang Yilong* 0811012
- Advances in High-Accuracy Three-Dimensional Dynamic Deformation Measurement and its Applications for Large Structures(**Invited**) .....*Shao Xinxing, Yuan Fang, Wei Kang, He Xiaoyuan* 0811013

#### •Research and Technique•

- Speckle Structured-Light-Based Three-Dimensional Imaging Technology and Its Sensor Design Using VCSEL Projection Array(**Inner Cover Paper, Invited**)  
.....*Yin Wei, Li Mingyu, Hu Yan, Feng Shijie, Zhang Xiaolei, Wang Huai, Chen Qian, Zuo Chao* 0811014
- Three-Dimensional Measurement System of Fringe-Structured Light Based on High-Speed LED Array(**Invited**)  
.....*Geng Xiehui, Song Jingming, Zhang Lei, Zuo Chao, Sun Mingjie* 0811015
- 3D Optical Sectioning Microscopy with Sparse Structured Illumination(**Invited**)  
.....*Lei Yunze, Gao Peng, Liu Xing, Li Jiaoyue, Chen Xiaofei, Zheng Juanjuan, An Sha, Dan Dan, Yao Baoli* 0811016

