
OEA | 利用宽视场三通道超透镜实现并行明场和多阶边缘成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41570.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

OEA | 利用宽视场三通道超透镜实现并行明场和多阶边缘成像。

Opto-Electronic Advances论文推荐韩国浦项科技大学、韩国高丽大学、哈尔滨工程大学与中国科学院上海光机所等研究团队提出了三通道超透镜，将三类成像算子映射到不同的入射-出射圆偏振组合。同时，通过引入自旋相关的梯度相位，各通道输出在焦平面上实现空间分离，使三种成像结果可在同一CCD成像区域内同步记录，避免了传统系统中顺序采集、多组件拼接的复杂度。

trichannel metalens. Opto-Electron Adv

第一作者：李小桐, Yeseul Kim, Youngsun Jeon

通信作者：Trevon Badloe, Junsuk Rho

研究背景

在生物学成像与机器视觉中，很多关键结构并不是靠更亮就能看清，而是依赖对边界、界面与细微纹理的准确提取。例如透明或弱散射生物样品（细胞壁、细胞间连接等）在明场下对比度往往不足，结构信息容易被低频背景淹没；而边缘增强能够更直接地突出形态边界，为后续识别、计数、形态学分析与实时监测提供更可靠的依据。传统光学系统若要同时获得明场与边缘增强信息，通常需要额外的相位元件、滤波器或多次切换成像模式，再叠加后处理算法才能实现，这使系统更复杂、更笨重，也降低了单次成像的信息获取效率。

近年来超表面与超透镜为小型化、平面化光学系统提供了新路径，但多数方案仍面临两个现实瓶颈：其一，常常只能输出单一功能，或者需要外部切换才能在不同成像模式之间转换；其二，离轴入射或大视场条件下成像质量容易下降，难以在紧凑集成与宽视场稳定成像之间兼顾。

本文亮点

针对这些问题，来自韩国浦项科技大学、韩国高丽大学、哈尔滨工程大学与中国科学院上海光机所等机构的科研人员联合提出了三通道超透镜，将三类成像算子映射到不同的入射-出射圆偏振组合：通道1（RCP到LCP）实现明场成像；通道2（RCP到RCP以及LCP到LCP）实现一阶边缘检测；通道3（LCP到RCP）实现二阶边缘检测。同时，通过引入自旋相关的梯度相位，各通道输出在焦平面上实现空间分离，使三种成像结果可在同一CCD成像区域内同步记录，避免了传统系统中顺序采集、多组件拼接的复杂度。

该工作以 Parallel bright-field and multi-order edge imaging via wide field-of-view trichannel metalens为题发表在Opto-Electronic Advances 2026年第7期。

图1所提出的超透镜实现并行多模态成像的示意图。该超表面器件调制入射物光场，并在同一像平面上生成三个空间分离的成像通道，分别对应于明场成像（通道1）、一阶边缘增强成像（通道2）和二阶边缘增强成像（通道3）。在线性偏振（LP）照明下，三个具有不同涡旋阶数（通道1-3的拓扑荷数 l 分别为0、1和2）的聚焦响应形成于同一焦平面上。在斜入射下，这三个聚焦光斑会发生横向移动，但仍可区分

实验上，该超透镜在 -10° 到 10° 的入射角范围内实现稳定的并行三通道输出；器件在635 nm工作波长下的数值孔径为0.503、焦距为 $430\text{ }\mu\text{m}$ ，并给出了各通道的聚焦效率数据（通道1为41.7%，通道2两个偏振保持分量分别为25.1%与28.3%，通道3为14.5%）。在应用演示方面，作者使用 USAF 1951分辨率板验证了三通道成像的可分辨性与边缘增强差异，并进一步在水绵（Spirogyra）与团藻（Volvox）样品上展示了边缘增强通道对细胞边界与纹理细节的突出效果，这些细节在常规明场中往往难以清晰辨识。

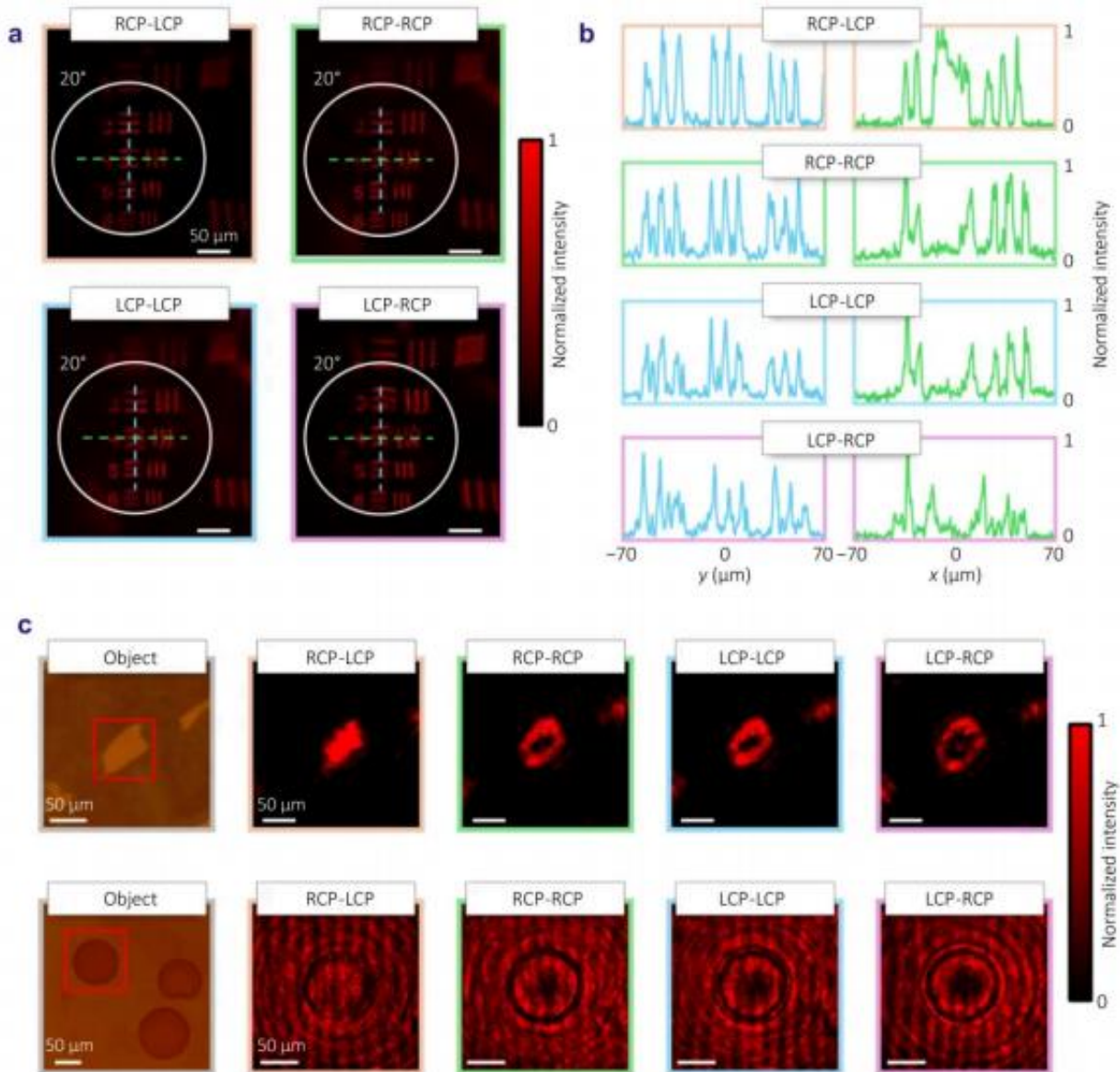


图2 三通道超透镜的宽视场成像和生物成像结果。(a) 测试目标USAF分辨率板第6组在不同通道中垂直入射的成像结果，实心圆圈标记的视场区域为 20° ，超透镜与物体之间的距离为 $645\text{ }\mu\text{m}$ 左右；(b)沿(a)中对应虚线的归一化强度分布；(c)（上）水绵接合体和（下）团藻细胞的生物成像结果。左图：光学显微镜图像。右图：使用偏振编码三通道超透镜对左图中红色方框标记区域进行成像的结果

此外，作者还讨论了与该偏振复用路线互补的并行成像策略，如离轴相位工程实现多功能空间分离，以及交错/超像素式人工原子排布实现复杂振幅调控与多阶微分算子等，为未来进一步扩展通道数、丰富成像算子并优化能量分配与通道隔离提供了方向。通过将多个成像算子集成到一个平面元件中，这种方法指向紧凑、高通量的成像平台，可以同时访问强度和边缘信息，这对于生物医学成像、实时边缘分析和机器视觉应用来说很有吸引力。

研究团队简介



Junsuk R ho 课题组合照



Junsuk R ho (鲁竣锡)

Junsuk R ho (鲁竣锡)是韩国浦项科技大学(POSTECH)机械工程系和化学工程系的Mu-Eun- Jae (无垠斋)讲座教授和青年特聘教授，任POSCO-POSTECH-RI ST平面光学和超光子学融合研究中心的主任。2023和2024年度Clarivate全球高被引科学家。他在韩国明德外国语高中获得了英语、法语、汉语专业的学位，并获得了韩国首尔国立大学学士学位(2007年)、伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校硕士学位(2008年)及加州大学伯克利分校博士学位(2013年)。曾在美国劳伦斯伯克利国家实验室材料科学部担任博士后研究员，并在阿贡国立大学纳米科学与技术部担任Ugo Fano研究员（Ugo Fano Fellow，美国能源部支持的最高荣誉会士称号之一）。

个人主页：

<https://photonics.postech.ac.kr/welcome>



Trevon Badloe

Trevon Badloe目前是韩国高丽大学世宗校区电子信息工程系的助理教授。于2023年在韩国浦项科技大学（POSTECH）机械工程系获得博士学位，师从Junsuk Rho教授。之后，作为PI URI研究员在浦项科技大学人工智能研究生院从事博士后研究。在赴韩国之前，Trevon Badloe于2012年在谢菲尔德大学物理与天文系获得物理学硕士学位。研究方向包括纳米光学、超构光子学及其与人工智能在逆向设计、光学传感、成像和计算光学领域的融合应用。

个人主页:

<https://metai.korea.ac.kr/>



长按识别此二维码，直达全文
来源：光电期刊

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发