
OEA | 可调谐同轴叠层透镜复眼实现协同双焦成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41072.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 | 可调谐同轴叠层透镜复眼实现协同双焦成像。

Opto-Electronic Advances论文推荐吉林大学张永来教授团队提出了一种具有同轴叠层透镜单元的可调谐仿生复眼系统，有效突破了传统人工复眼在性能上的局限，为仿生微光学成像领域提供了一条新的技术路径。

Tunable compound eyes with coaxial lens-on-lens ommatidia for cooperative bi-focal imaging

Zhi-Juan Sun¹, Wei-Jian Zhong¹, Qing Cai^{2*}, Yi-Fan Lu^{2,3}, Chang-Xu Li¹, Dong-Dong Han¹ and Yong-Lai Zhang^{1*}

Abstract: Compound eyes (CEs) offer a unique design paradigm for developing artificial micro-optical systems. However, current bionic CEs still fall significantly short of their insect counterparts in performance, particularly regarding ommatidial spatial arrangement, size distribution, visual field adaptability and environmental perception. Inspired by the CEs of *Sympetrum frequens*, we developed a tunable bionic CE with bi-focal ommatidia by integrating a flexible lens-on-lens (LoL) array with microfluidics, enabling simultaneous bi-focal imaging. The polydimethylsiloxane (PDMS) LoL array was fabricated through sequential processing steps, including femtosecond laser dual-modification of quartz glass, two-step wet etching, and soft lithography using the resulting glass template. Integration of this flexible LoL array with a microfluidic chip produced a tunable CE with bi-focal ommatidia, allowing liquid-pressure modulation of CE configurations. We systematically investigated the optical performance of both LoL ommatidia and the integrated CE, including bi-focal focusing/imaging properties, tunable field-of-view (FOV), large-FOV imaging, and moving target monitoring. This tunable CE with LoL ommatidia demonstrates significant potential for cutting-edge applications.

Keywords: compound eye; femtosecond laser processing; lens on lens; tunable imaging; microfluidic chip

DOI: [10.29026/oea.2026.250197](https://doi.org/10.29026/oea.2026.250197) | CSTR: [32247.14.oea.2026.250197](https://cstr.cn/32247.14/oea.2026.250197)

Citation: Sun ZJ, Zhong WJ, Cai Q et al. Tunable compound eyes with coaxial lens-on-lens ommatidia for cooperative bi-focal imaging. *Opto-Electron Adv* 9, 250197 (2026).

¹State Key Laboratory of Integrated Optoelectronics, JLU Region, College of Electronic Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China; ²Department of Oral Implantology, School and Hospital of Stomatology, Jilin University, Changchun 130012, China; ³Jilin Provincial Key Laboratory of Science and Technology for Stomatology Nanoengineering, Jilin University, Changchun 130012, China.

*Correspondence: Q Cai, E-mail: caiqing@jlu.edu.cn; YL Zhang, E-mail: yonglaizhang@jlu.edu.cn

文章 Sun ZJ, Zhong WJ, Cai Q et al. Tunable compound eyes with coaxial lens-on-lens ommatidia for cooperative bi-focal imaging. *Opto-Electron Adv* 9, 250197 (2026).

第一作者：孙智娟

通信作者：张永来

研究背景

昆虫的复眼是经过亿万年进化形成的高效视觉系统，它们由成千上万个紧密排列的小眼组成，分布在半球形表面，能够实现大视场、高时间分辨率和动态的感知能力，为人工微光学系统的研发提供了绝佳的仿生灵感。复眼的核心优势在于多点协同成像：每一个小眼都是一个独立的感光单元，它们并行处理视觉信息，既能捕捉广阔范围内的场景，又能快速响应动态变化的目标

，这是传统单孔径成像设备难以企及的能力。现有仿生复眼技术长期面临多重瓶颈：视场范围受限，难以实现大范围场景捕捉；焦距固定，无法同时清晰成像不同距离的目标；结构复杂、体积庞大，难以适配微型化与柔性化的应用需求。这些困境恰恰凸显了人工复眼与天然昆虫复眼的差距——以秋赤蜻为例，其复眼呈现显著的区域分化特征：背部小眼尺寸较大、对短波（360 nm）敏感，腹部小眼尺寸较小、光谱感光范围更广（360 nm与520 nm双峰响应），这种精妙的结构-功能耦合远非简单模仿所能实现。现有方案多采用均匀小眼设计，既未能复刻天然复眼的区域分化优势，又普遍存在视场不可调谐、焦点单一等局限，难以适应复杂环境下的多尺度成像需求。因此，突破均匀构型束缚、研发兼具可调视场与多焦成像能力的新型仿生复眼，成为该领域亟待攻克的关键方向。

本文亮点

基于上述研究背景

，吉林大学张永来教授团队提出了一种具有同轴叠层透镜单元的可调谐仿生复眼系统，有效突破了传统人工复眼在性能上的局限，为仿生微光学成像领域提供了一条新的技术路径，该团队创新性地采用叠层透镜（Lens-on-Lens, LoL）结构作为复眼的基本单元，每个单元由两个同轴排列、大小不一的凸面透镜组成。两层透镜协同工作，可形成两个独立的焦距，实现双焦协同成像，从而打破传统均匀小眼设计的局限，进一步挖掘了人工复眼的成像潜力，使其能够更好地适配成像需求。

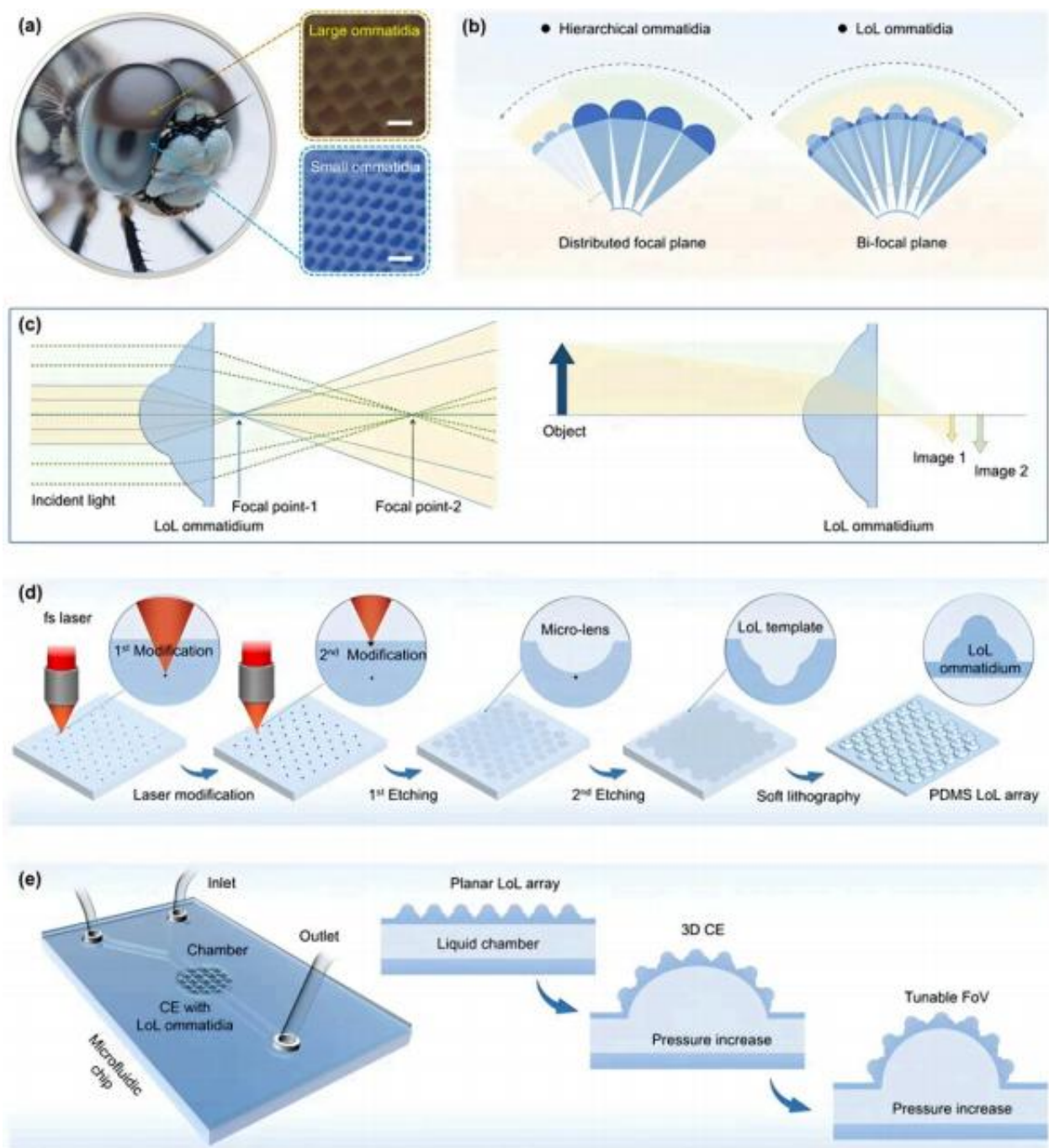


图1 LoL复眼的制备示意图

在制备工艺方面

，结合飞秒激光直写、湿法刻蚀与软光刻技术。首先利用飞秒激光对石英玻璃进行改性处理，再通过湿法刻蚀制备出高精度的凹面LoL阵列模板；随后，采用软光刻技术将该模板复刻为柔性的PDMS LoL透镜阵列，保证了阵列结构的均匀性与稳定性。此后，团队将柔性透镜阵列与微流控芯片精准集成，通过调控注入微流控腔室的液体压力，实现了对复眼曲率与视场的动态调控。该调控过程精准可控，并具有良好的重复性。

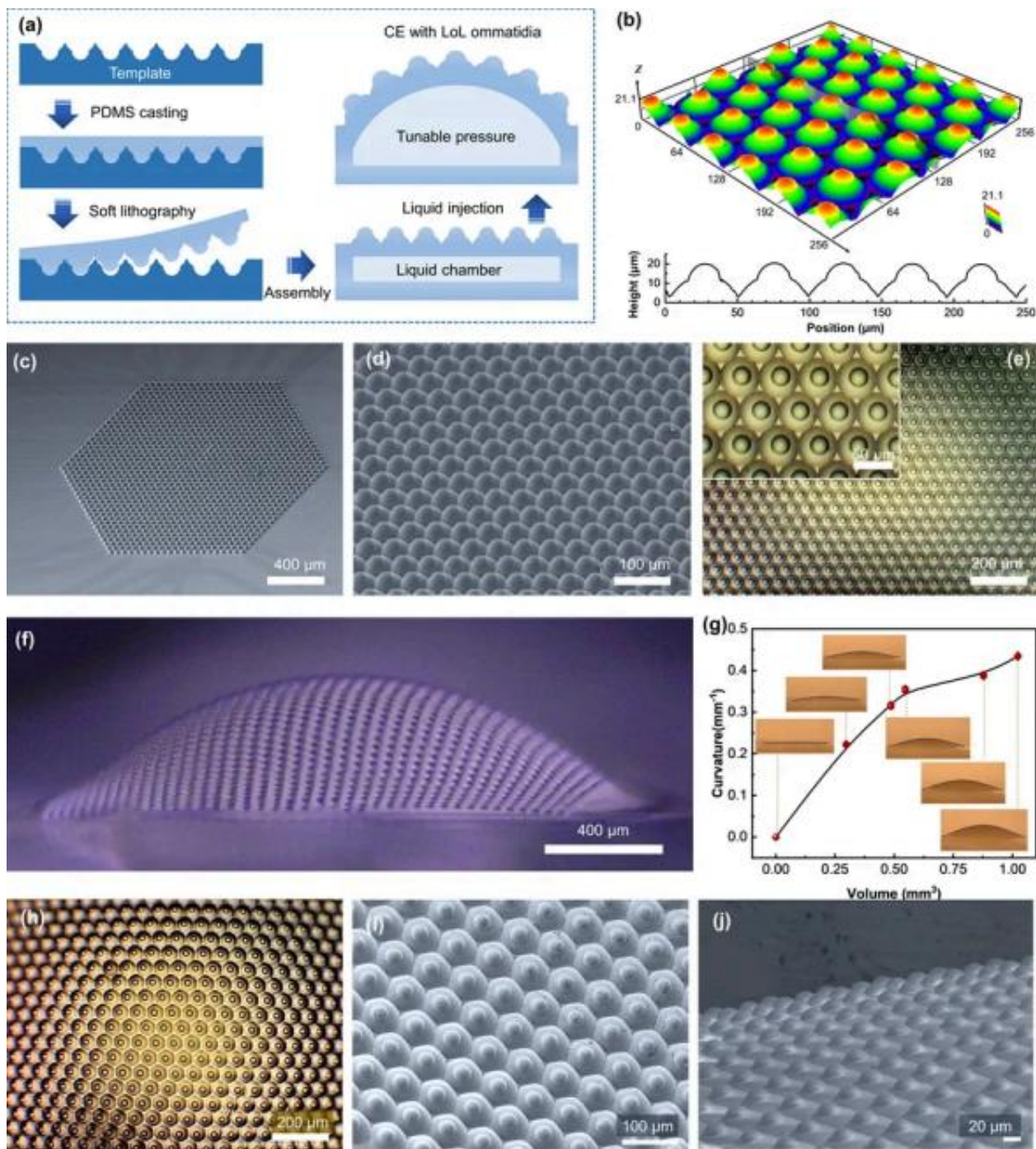


图2 LoL复眼的制备与表征

测试结果表明，该可调谐复眼能够实现稳定的双焦成像，两个独立焦距可分别清晰捕捉目标信息；同时，其视场角可在一定范围内连续调节，以满足多样化场景下的成像需求。此外，该系统还能顺利完成大视场多目标成像与运动目标轨迹监测等任务。

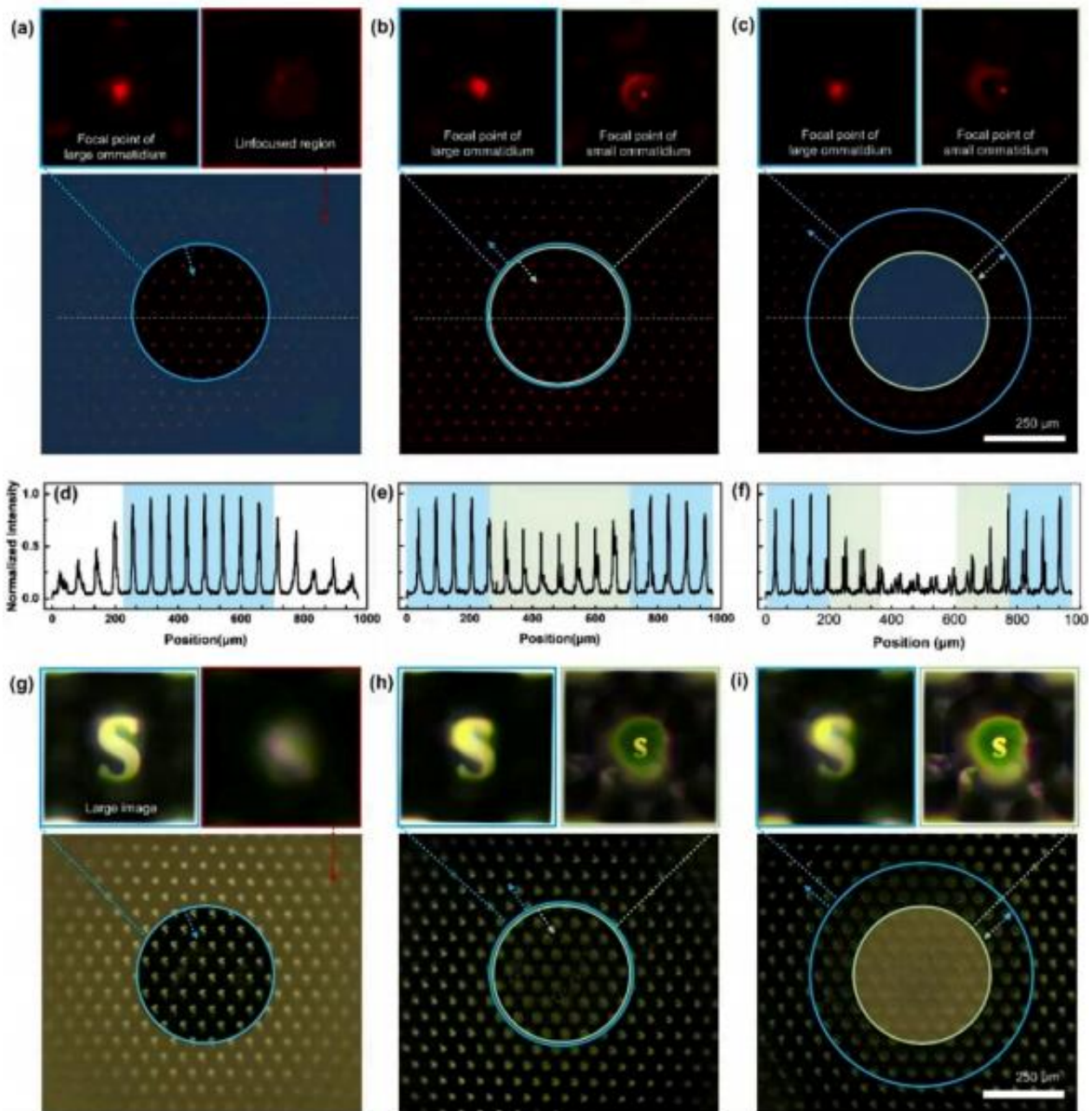


图3 LoL复眼的聚焦与成像性能测试

该工作以 Tunable compound eyes with coaxial lens-on-lens ommatidia for cooperative bi-focal imaging 为题发表在Opto-Electronic Advances 2026年第4期上

研究团队简介

吉林大学张永来教授团队主要研究方向为激光仿生制造，聚焦于仿生材料与器件、仿生表界面、仿生光机电系统等前沿领域。团队迄今已在SCI期刊发表论文200余篇，H-index为66。论文被诺贝尔奖得主引用11篇次，研究成果获得国家自然科学二等奖，代表性成果仿生复眼相机入选2022年中国光学十大进展，获Nature杂志Highlight专题报道，被美国光学学会（OSA）、美国机械工程师协会（ASME）、国家科技部官网等报道30余次。



2024年毕业季课题组合影



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