

---

# 由i线步进光刻技术制造的基于彩色光刻胶的光学菲涅尔波带片平面透镜

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33323.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！*

由i线步进光刻技术制造的基于彩色光刻胶的光学菲涅尔波带片平面透镜。 导读

光学操控技术已成为诸多应用领域中的有力工具，它的蓬勃发展也使得学界对光学器件小型化的需求日益增长。因此，以超表面和衍射光学元件为代表的平面透镜技术由于其相对传统衍射光学器件极小的厚度而得到广泛关注。然而这些小型化器件的制造工艺纷繁复杂且价格昂贵，这使得平面透镜的产业化与批量化生产受到很大的限制。

来自日本的Kuniaki Konishi课题组提出了一种简化的平面透镜制造方法，用于生产可见光波段的菲涅尔波带片（FZP）平面透镜。该方法使用i-line步进光刻机和彩色光刻胶，仅需涂覆、曝光和显影即可完成制造，无需刻蚀或其他后处理步骤。基于8英寸的二氧化硅玻璃晶片，该课题组利用传统光刻设备制造了可见光FZP平面透镜，并展示了该透镜可以将550 nm的可见光聚焦到1.1  $\mu\text{m}$ 直径的焦点上，聚焦效率为7.2%。此外，该透镜还能对特征尺寸小至1.1  $\mu\text{m}$ 的物体进行成像，展示了其在成像领域的实际应用潜力。该方法成本效益高、简单且可扩展，为现代光学元件制造做出了重要贡献。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Optical Fresnel zone plate flat lenses made entirely of colored photoresist through an i-line stepper，日本东京大学的Kuniaki Konishi为论文通讯作者，日本东京大学的Ryohei Yamada和日本JSR公司的Hiroyuki Kishida为论文共同第一作者。

## 研究背景

光学操控技术是现代光学技术的基石，随着集成光学与微纳光学的蓬勃发展，实现光学操控的光学元件也向小型化和集成化方面提出迫切需求。超表面成为最突出的平面透镜技术。超表面由亚波长结构组成，利用定制的亚波长结构的微观光学响应来调制透射光的振幅和相位。

为了制造出可见光范围内工作的超表面透镜，需要构建百纳米级别的微结构。实现超透镜 $2\pi$ 范围的相位差调制功能，微结构的高宽比往往相当大，而这需要使用高分辨率的光刻技术和更专业化的刻蚀技术。现如今，如纳米压印光刻、双光子聚合打印以及通过灰度激光曝光制作等方式可用来降低制造超透镜的工艺难度，但实现大规模的工业化生产依旧前路漫漫。目前工业上用于大规模生产的最具竞争力的微加工方法是使用步进式光刻机的光刻技术。然而，这种方法需要在光刻之后进行后处理，例如高分辨率刻蚀。

---

菲涅尔波带片（FZP）是一种衍射光学元件，它由一系列具有交替透明和不透明区域的同心圆环组成，这些圆环起到衍射光栅的作用，能够在某些点上产生相干叠加，从而实现入射波的聚焦。FZP的核心优势在于其不需要大宽高比的结构来实现相位调制，FZP的厚度仅取决于在不透明区域阻挡或吸收光所需的材料量。因此FZP成为使用步进式光刻机大规模生产平面透镜的有力候选者。

彩色光刻胶是一种紫外线固化树脂，含有吸收剂以屏蔽特定波长的可见光。经紫外线曝光的部分会被固化，而未经紫外线曝光的未固化部分可溶于碱性显影液中，从而可以形成具有吸收特性的微结构。由于彩色光刻胶在某些波长下具有高吸收性，因此微观彩色光刻胶图案可以制成包括FZP在内的振幅型衍射光学元件。

## 创新研究

如由于光刻最小线宽决定了透镜性能，通过降低线宽即可增大数值孔径、减小聚焦光斑的尺寸。团队采用吸收特定波长光的彩色光刻胶（红：RED-101、绿：JSSG-9135、蓝：BLUE-105）作为FZP的不透明材料，根据其吸收光谱设计工作波长，如红胶制造650 nm、蓝胶制造450 nm、绿胶制造550 nm的FZP透镜（如图1a,b,c,g）。首先，在玻璃基板旋涂彩色光刻胶，然后用i线步进光刻机曝光，最后通过显影即可得到所设计的FZP平面透镜（图1d,e,f）。以绿胶为例，在8英寸玻璃基板制成多个FZP图案，透镜直径、厚度因胶而异，光阻挡率良好，边缘线宽可达1.1  $\mu\text{m}$ （图1k）。

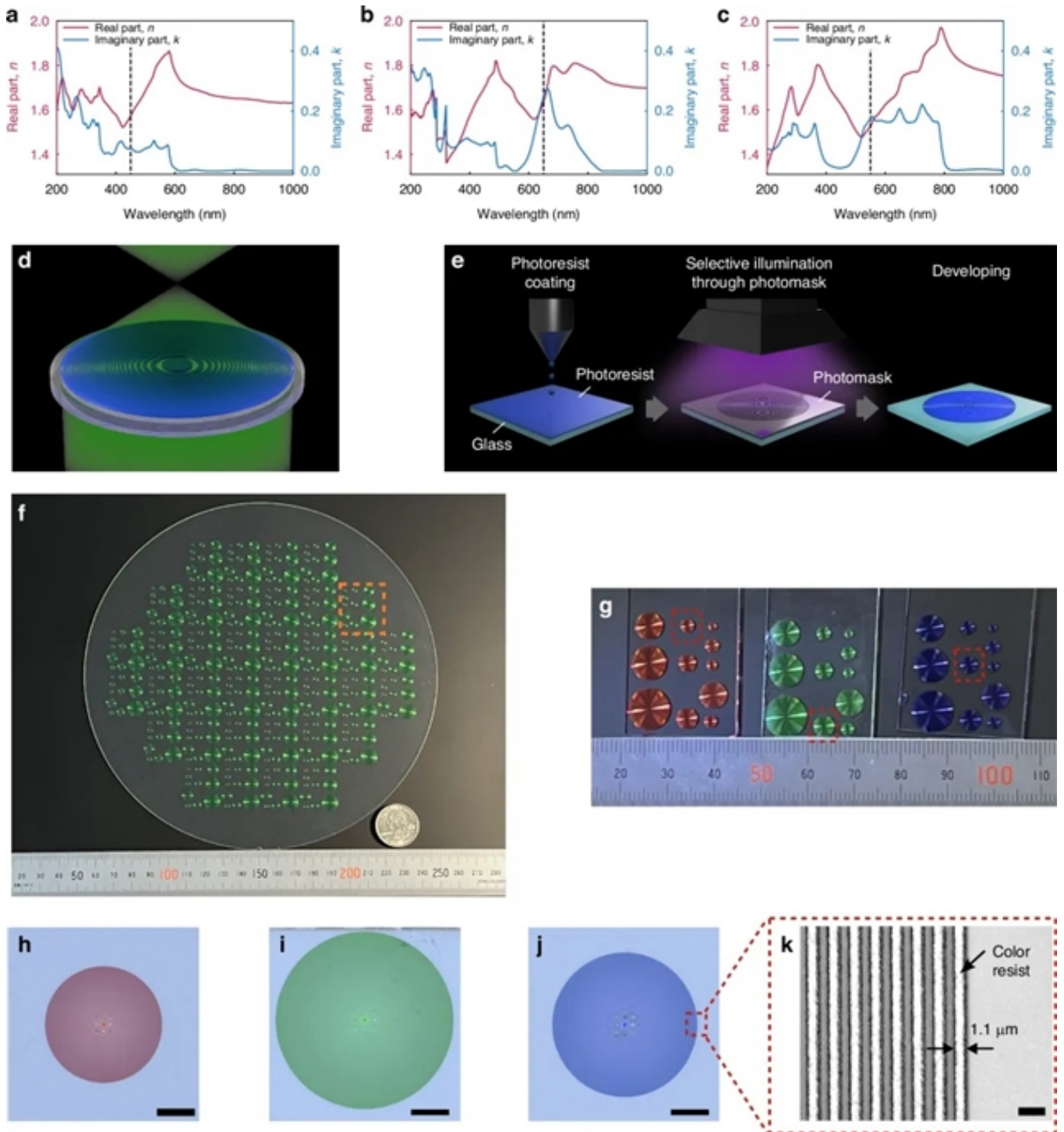


图1. FZP平面透镜及其加工工艺

随后，团队使用显微镜成像系统测试FZP平面透镜的聚焦特性，红、蓝、绿胶FZP透镜分别被450 nm、550 nm、650 nm光照射，聚焦光斑均可达到1  $\mu$ m左右，且光斑的空间聚焦效果良好（如图2）。

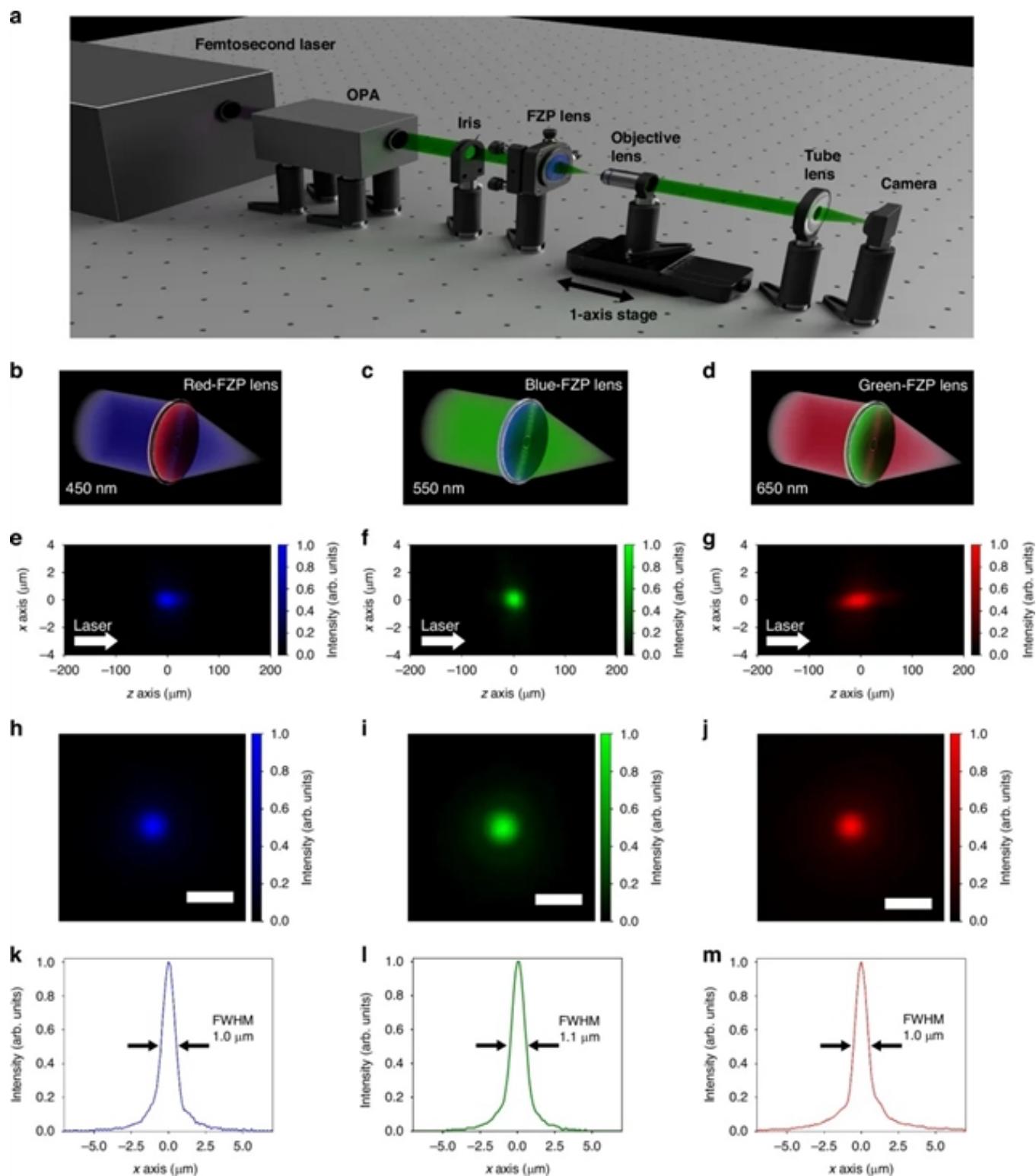


图2. FZP透镜聚焦轮廓测量系统及实验结果

最后，团队通过用FZP透镜（550 nm）对USAF 1951分辨率板进行成像，可清晰识别测试图中的第7组元素，且放大后的图像显示能成功分辨第8组中1.1  $\mu\text{m}$ 线宽的元素，证明该FZP平面透镜在成像方面也具有广泛的应用前景（如图3）。

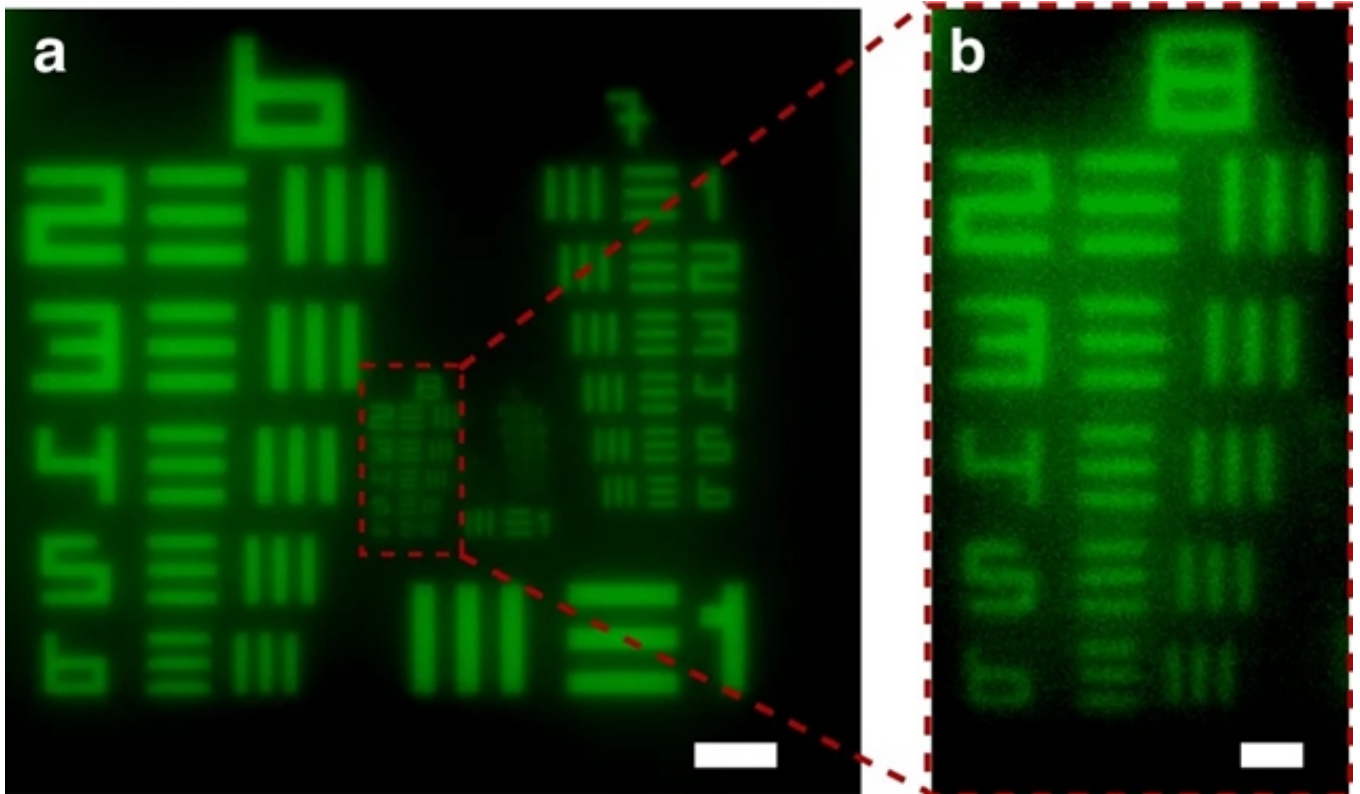


图3. 波长550 nm下的FZP透镜的成像结果

### 总结与展望

团队展示了一种利用彩色光刻胶制作平面菲涅尔波带片（FZP）透镜的简单的大规模制造技术。通过该技术制造的菲涅尔波带片（FZP）平面超透镜可用于可见光的聚焦和成像，且实验得到的光斑尺寸明显小于其他同类FZP透镜的光斑尺寸，与业内先进的振幅型FZP透镜的聚焦效率相当。此制造技术在光学聚焦及成像方面都有优异的性能，具有很高的应用潜力，对进一步发展实用且成本效益高的平面透镜制造技术有重要的创新意义和参考价值。未来通过设计利用光刻胶材料的透明区域来制造相位型FZP透镜，理论上聚焦效率可以再提高四倍。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01725-6>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Kuniaki Konishi 来源：《光：科学与应用》

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](http://iikx.com)转发