

非局域惠更斯超构透镜赋能高品质因子复用成像

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/33474.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！

非局域惠更斯超构透镜赋能高品质因子复用成像。 导读

明场成像和边缘增强成像能够提供振幅和相位物体的形态信息。将这两种成像技术相结合，有助于对复杂结构（如生物组织和细胞）进行细致的可视化。超构透镜因其紧凑的尺寸和灵活的电磁调控能力而受到广泛关注，已在成像领域得到了广泛应用，展现出消色差、可调性、大数值孔径以及多模态感知等独特优势。通过引入复用或多功能聚焦以及螺旋相位分布，明场成像和边缘检测已被集成到单片超构透镜中，甚至可以通过液晶单元实现毫秒级的电控切换。然而，现有方案主要基于宽带局域响应，缺乏对窄带光谱响应的有效调控。在宽光谱照明下，不同波长之间的串扰会导致成像质量下降，尤其在需要特定激发波长的样品中表现尤为突出。

近日，香港城市大学蔡定平教授、姚金研究助理教授联合哈尔滨工业大学（深圳）肖淑敏教授的科研团队，在高品质因子复用成像方面取得重要进展，提出了一种非局域惠更斯超构透镜，有效突破了传统超薄非局域超构表面对左右旋圆偏振效率的限制，成功展示了具有波长选择特性的复用明场成像和边缘检测应用。该成果以Nonlocal Huygens' meta-lens for high-quality-factor spin-multiplexing imaging为题发表于《Light: Science Applications》。

创新与亮点

1、非局域惠更斯超构透镜突破左右旋圆偏振效率限制

如图1所示，当右旋圆偏振（RCP）光入射时，透射的偏振转换左旋圆偏振（LCP）光用于窄带明场成像，要求具有聚焦相位分布和高透射TRL峰值。而未转换的RCP光则用于边缘增强成像，需满足低透射TRR谷值、无附加相位和空间频率滤波特性。TRL(RR)表示透射的LCP（RCP）光与入射RCP光功率的比值。为了激发强谐振响应，非局域超构表面通常较薄且缺乏面外非对称性。因此，TRL和TRR之间的关系可以通过公式近似描述：

$$T_{RL} = \text{Re}(\sqrt{T_{RR}}) - T_{RR}$$

可以看到，当TRR为25%时，TRL最大为25%，且当TRR谷值接近零时，TRL会变得较小。因此，传统超薄非局域超构表面无法同时实现高TRL和低TRR，这要求我们在设计超构原子时克服这一限制。

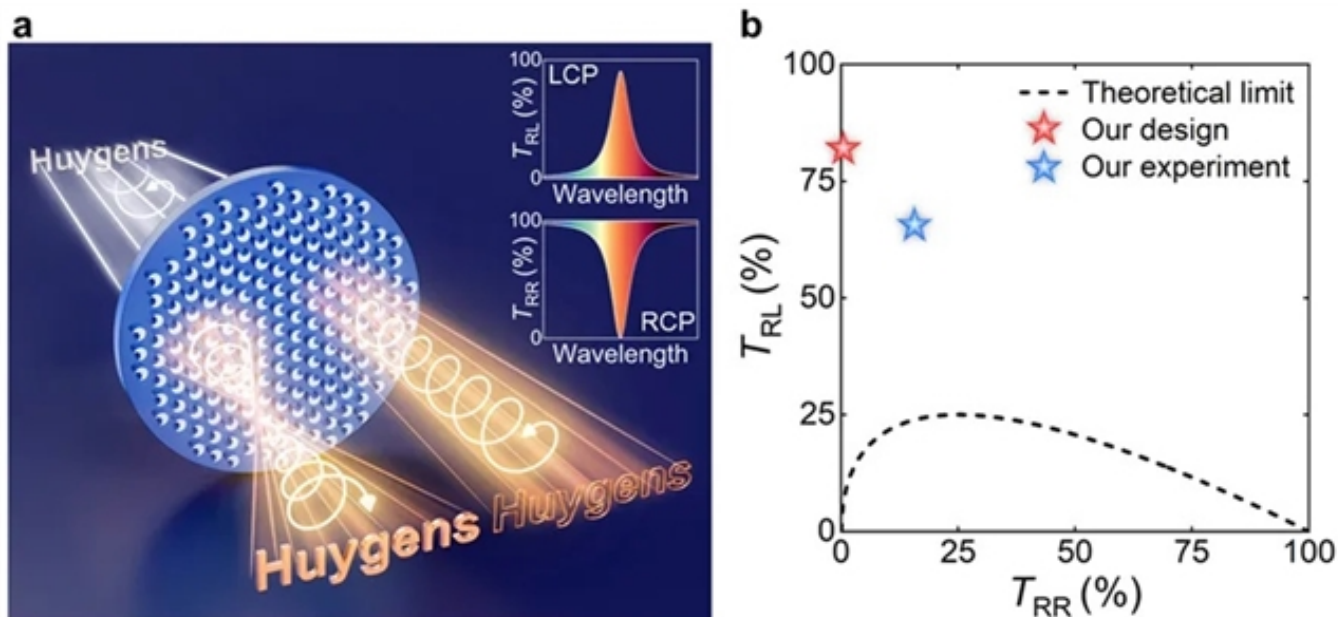


图1. 非局域惠更斯超构透镜突破左右旋圆偏振效率限制

2、集成共振单元设计

通过在参数空间中打破面内对称性，集成共振单元激发了非局域谐振，即连续域中的准束缚态（q-BIC），提供了高品质因子。同时，引入局域模式米氏磁偶极子谐振（MDR），二者互为垂直偶极子，产生弱耦合下的法诺效应，进而实现了高透射偏振转换效率TRL和低未转换效率TRR。出射的左旋光具有稳定的相位调制，而右旋光几乎没有相位变化。此外，非局域效应引入了对入射角度的色散响应（见图2）。因此，左旋光部分可视为一个高品质因子、高效率的超构透镜，而右旋光部分则充当空间频率滤波器，可分别用于明场成像和边缘检测。

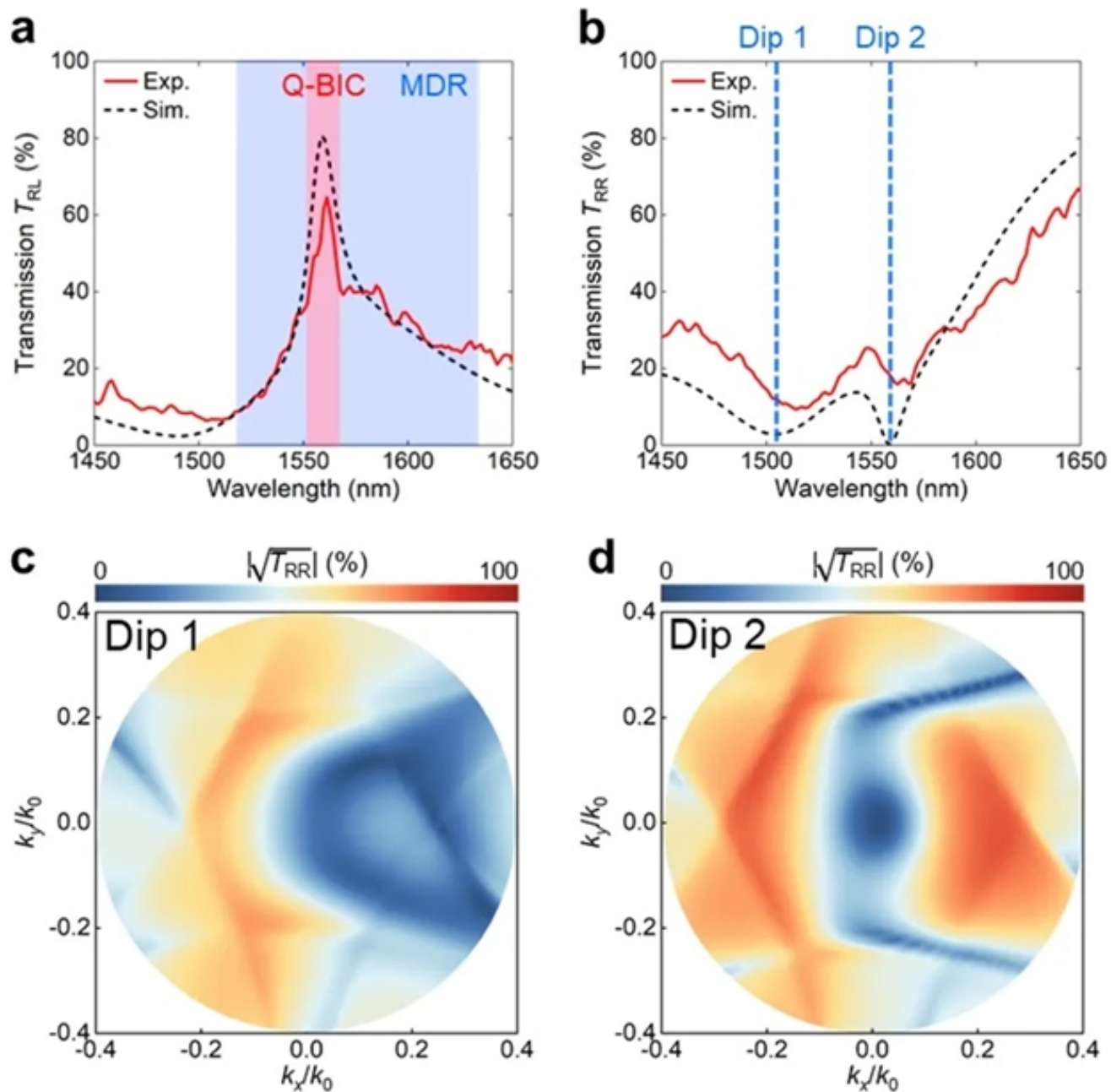


图2. 集成共振单元设计

3、自旋复用的明场成像和边缘检测

实验结果表明，所设计的非局域惠更斯超构透镜在共振波长下，波长选择性聚焦和明场成像的效率相比非共振波长提高了至少十倍。与此前的研究相比，通过优化非局域效应，显著提升了成像质量。另一种输出自旋状态用于边缘增强成像，能够清晰解析微米级物体（见图3）。

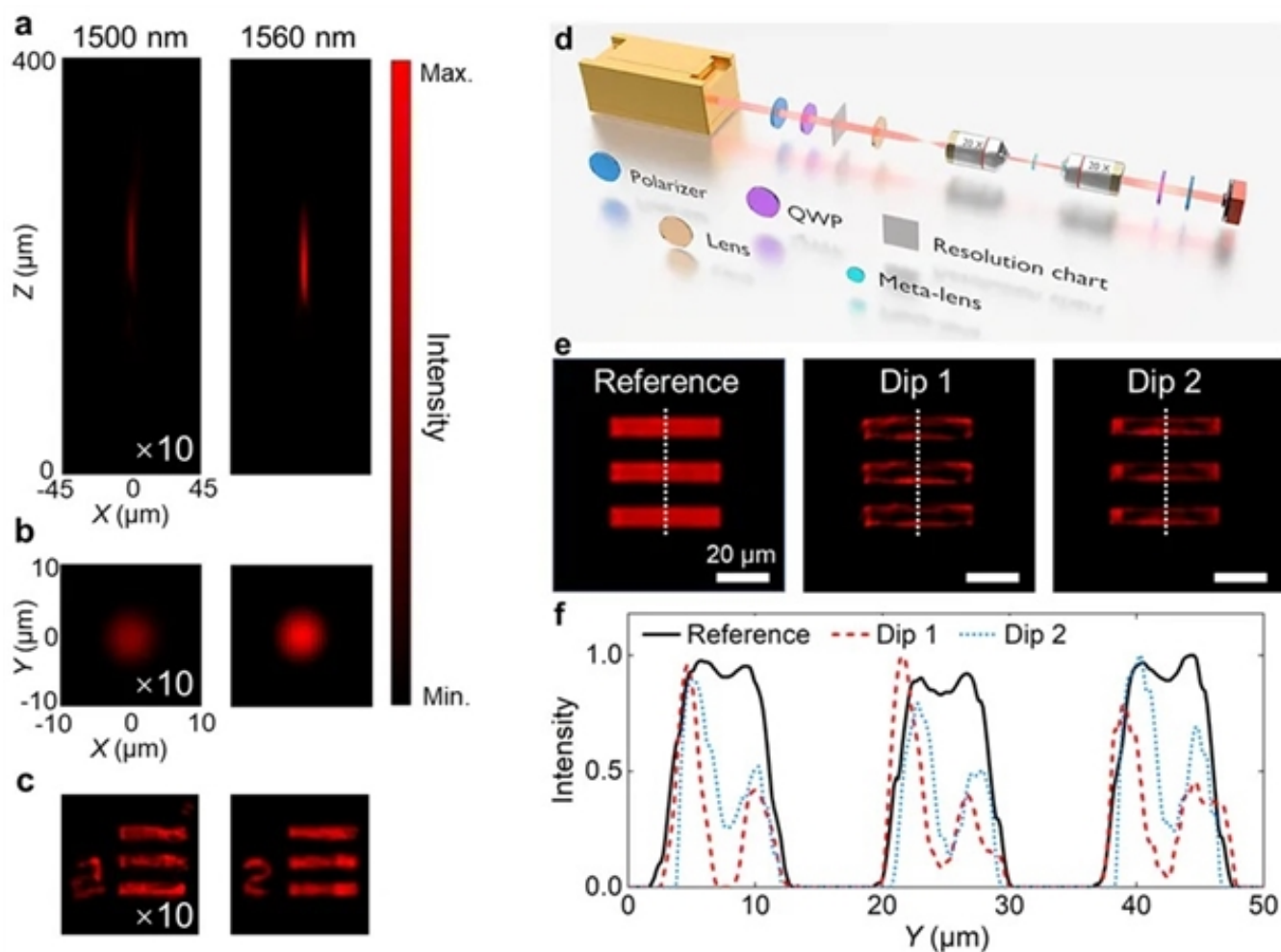


图3. 自旋复用的明场成像和边缘检测

总结与展望

本研究通过设计非局域集成共振单元，有效匹配了两种出射自旋态的功能性，在单片超构透镜中实现了光谱调制与多功能成像能力。该研究为非局域超构透镜、超构表面及其新型功能器件的设计提供了创新思路，具有广泛的应用前景，尤其在复杂的生物医学成像、传感和显微技术等领域。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01728-3>

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：蔡定平等 来源：《光：科学与应用》

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

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