
纳米级分辨率片上光谱仪

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/23462.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！

纳米级分辨率片上光谱仪。近日，英国赫瑞瓦特大学的陈献忠教授团队提出了一种基于多焦点超透镜设计方案控制不同波长光束色散的新方法，在工作距离仅为300 μm 的情况下，在波长为500 ~ 679 nm的可见光范围内实现了纳米级分辨率的光谱识别，为发展片上光谱仪提供了全新思路。

该研究成果以Compact multi-foci metalens spectrometer为题发表在Light: Science Applications。华北电力大学(保定)青年教师王若星博士、英国赫瑞瓦特大学博士后Ansari Muhammad Afnan博士为论文共同第一作者，英国赫瑞瓦特大学陈献忠教授为论文通讯作者。

色散现象广泛存在于自然界中，通常是由材料的折射率随入射光波长的变化而引起。在各种基础研究和实际应用中，如最先进的显微镜、计量仪器、相机和光纤中的脉冲扩展等，都不可避免的要考虑色散问题。一方面，色散的存在会导致复色光在传输过程中走离，致使在通讯中引起串扰使信号失真，或在成像过程中引入色差而降低了成像质量;另一方面，色散在光谱学中同样有着重要应用，例如光谱分析仪需要色散增强来提高其分辨率。色散的消除与增强在许多基础研究和工业应用中都至关重要，如何精确控制色散是当前热点问题。

传统的色散控制通常需要由多种不同材料制成的色散元件组合(如衍射光栅、透镜、棱镜等)来实现，每引入一种由不同材料制成的色散元件可为整个系统的色散控制提供更多的自由度。但是，在色散控制系统中引入越多的元件来控制色散，精确对准的难度随之增大，致使色散控制系统笨重且复杂，难以适应当前片上光子集成领域的需求。与传统色散控制方法形成鲜明对比的是，由亚波长纳米结构组成的光学超表面通过结构几何参数与排列方式的制定便可引入有效的色散来实现色散的控制与管理。而近年来纳米制造技术的迅速发展使得超表面器件加工难题得到解决，并大幅提升了超表面的工作效率，超表面统一的高度轮廓也极大地减小了控制色散所需光学对准的挑战。

面向片上光子集成领域对高分辨率光谱分析的迫切需求，超表面可具备的色散特性与超轻超薄的特性使其为发展片上光谱仪提供了全新思路。片上光谱仪在医疗、食品安全监测以及片上实验室(Lab-on-a-chip)等领域也极具有应用潜力，特别对于开发小型化、便携式、可穿戴的智能传感设备具有重要意义。鉴于此，英国赫瑞瓦特大学的陈献忠团队提出了一种基于多焦点超透镜设计方案控制不同波长光束色散的新方法，在工作距离仅为300 μm 的情况下，在波长为500 ~ 679 nm的可见光范围内实现了纳米级分辨率的光谱识别。

作者团队基于多焦点超透镜模型，将波长信息包含进超透镜的相位轮廓中，设计了可将不同波长光束分离并汇聚在焦平面上预设位置的多焦点超透镜，实现了光谱仪的功能。该超表面光谱仪的

工作距离仅为300 μm (超透镜的设计焦距),并在500 ~ 679 nm的可见光范围内实现了纳米级光谱分辨率。图1显示了超表面光谱仪的示意图,入射复色光束的波长信息可被精确地映射到焦平面一个圆环上的不同位置。该圆环由多个不同波长焦点组成,每个焦点所在方位角对应着一个入射波长。对于单色光入射,对应波长焦点附近的邻近波长焦点也会由于色散不足汇聚光束,但可通过最大强度亮点所在位置准确识别入射波长。在复色光入射下,通过分析圆环上归一化强度的分布,可以获得组成复色光束的各个中心波长。

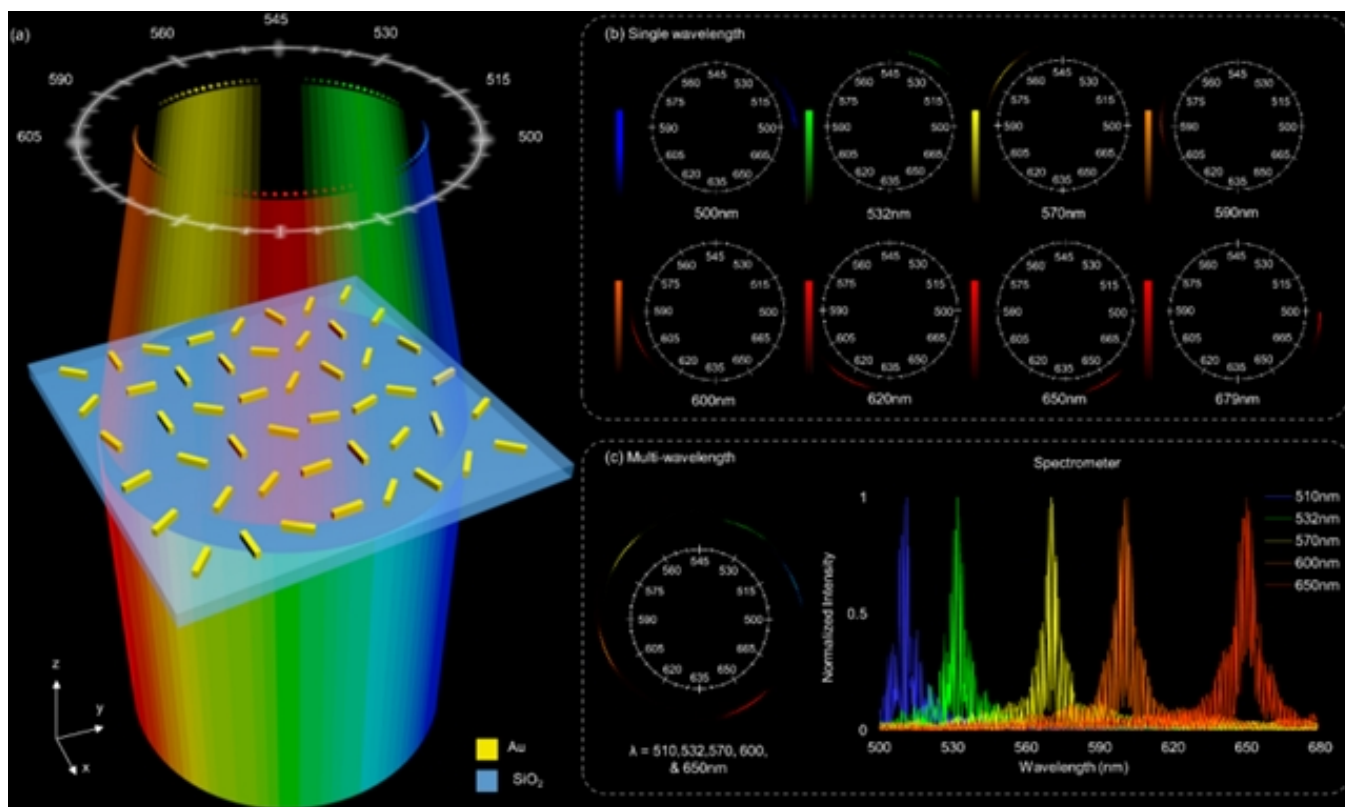


图1：基于多焦点超透镜的超表面光谱仪示意图

图2展示了在510 nm、581 nm和633 nm波长组成的复色光入射下超表面光谱仪焦平面上的强度分布与光谱分析结果。强度分布的实验结果与仿真结果基本一致。通过分析焦点圆环上补偿不同波长视见函数后的强度分布,可获得相对误差小于0.5%的复色光中心波长识别结果。此外,在单色光和复色光入射下,超表面光谱仪都可实现1 nm的高分辨率波长检测。

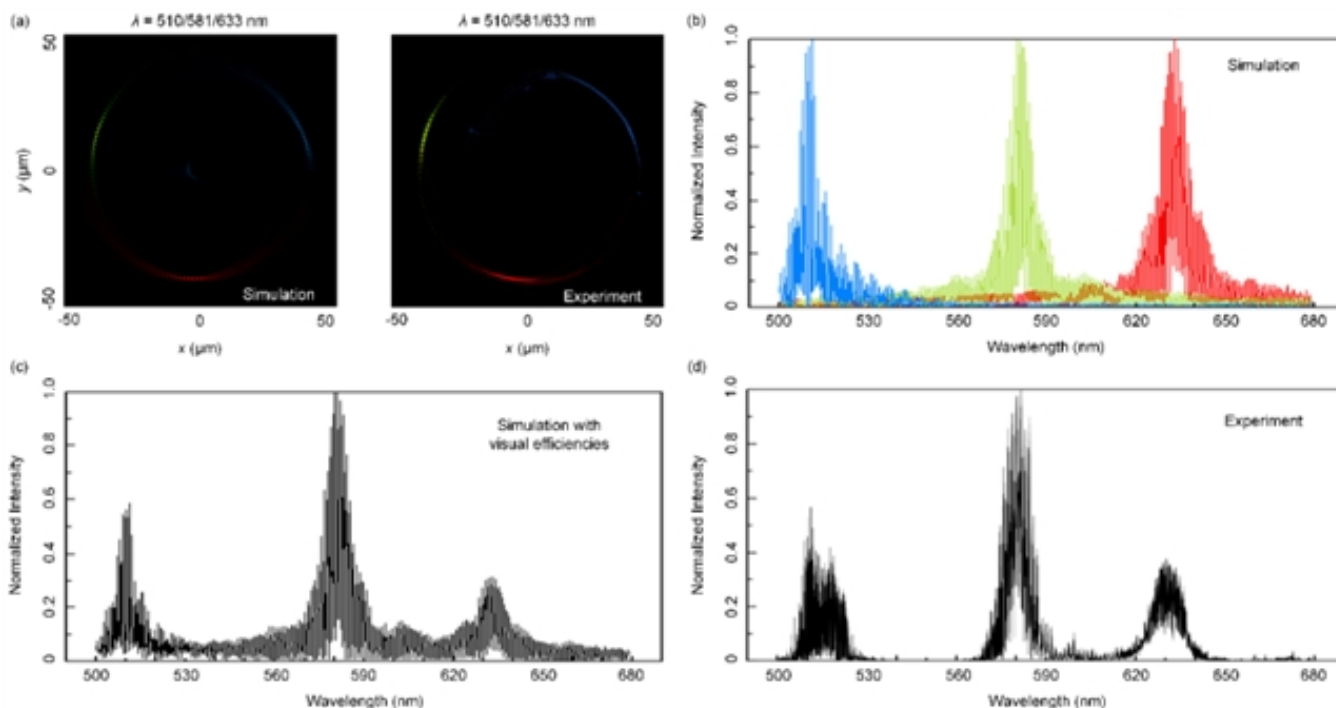


图2：510 nm、581 nm和633 nm波长组成的复色光束入射下超表面光谱仪焦平面上的强度分布与光谱分析结果

所提出的光谱仪不仅可以准确检测入射光的中心波长，还具备识别光谱线宽的可能。作者团队提出以线宽极窄的单频光束入射获得的强度分布为基准，标定不同线宽光谱产生的强度差异来识别待测光谱的线宽。此外，加工更大尺寸的超表面可使提出的光谱仪实现更精准的线宽检测甚至是连续光谱的识别。图3展示了更大尺寸的超表面光谱仪对不同线宽的高斯谱形的识别情况，理论上完全可以做到精准识别光谱线宽。另外，加工更大尺寸的超表面还有助于提高超表面光谱仪的分辨率和工作带宽。

图3：大尺寸超表面光谱仪对光谱线宽的检测

总结与展望

该研究设计并实验证明了一种基于超透镜本征色散和多焦点特性的超表面光谱仪。在这项工作中，每个焦点汇聚波长的独立设计为光谱仪色散控制提供了新的自由度。所提出的超表面光谱仪，在可见光范围内实现了纳米级的光谱分辨率。设计方法灵活稳健，为控制多色光入射的期望色散提供了一种新的方案。该设计有望促进片上光谱分析、信息安全和信息处理等诸多应用领域的发展。(来源：中国光学微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01148-9>

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：陈献忠等 来源：《光：科学与应用》

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

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