动态可调控的超快光纤激光器及其数字编码光源

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/28324.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！

动态可调控的超快光纤激光器及其数字编码光源。近日，国防科技大学周朴研究员课题组联合中国科学院苏州纳米技术与纳米仿生研究所张凯研究员课题组开发了一种基于偏振各向异性准一维层状材料的动态可调控的超快光纤激光器，实现了在同一谐振器系统中孤子与类噪声脉冲状态的切换，并应用于光源的高速数字编码。相关成果以Ultrafast laser state active controlling based on anisotropic quasi-1D material为题发表在Light: Science Applications期刊。国防科技大学杨子鑫博士生和苏州纳米所俞强博士为该论文的共同第一作者，国防科技大学周朴研究员、吴坚副研究员和中国科学院苏州纳米所张凯研究员、王俊勇副研究员为论文的共同通讯作者，该研究工作得到了国家自然科学基金的大力支持。

近年来，随着激光产业的发展，许多特殊应用对光纤激光器的灵活调控能力提出了更高的要求。其中，超快光纤激光器状态（如波长、强度、脉冲宽度等）的可调操作，是实现激光灵活应用的关键。由于超快光纤激光器属于非厄米系统，内部存在复杂的损耗、非线性机制，激光状态的主动调控仍然是一个巨大的挑战。利用传统的锁模技术，如非线性偏振旋转，可以在超快系统中实现激光状态的转换，但是在调制速度和可重复性方面存在局限。基于低维材料锁模器件的超短脉冲激光表现出容易自启动、紧凑可靠的特点。此外，低维材料具有层数可调的响应光谱、界面可调的载流子寿命以及对称相关的各向异性吸收等，赋予其潜在的调控自由度，为吸收响应调控提供了新的研究方向。在本工作中，联合团队通过研究准一维纳米层状材料的各向异性非线性吸收等偏振光学响应，探索其作为锁模调制器件对超快光纤激光状态的影响规律。在此基础上实现了孤子、类噪声脉冲两种状态的长期稳定输出以及可控切换。利用该脉冲光纤激光平台，进一步验证了其作为数字编码光源在光通信领域的潜在应用。

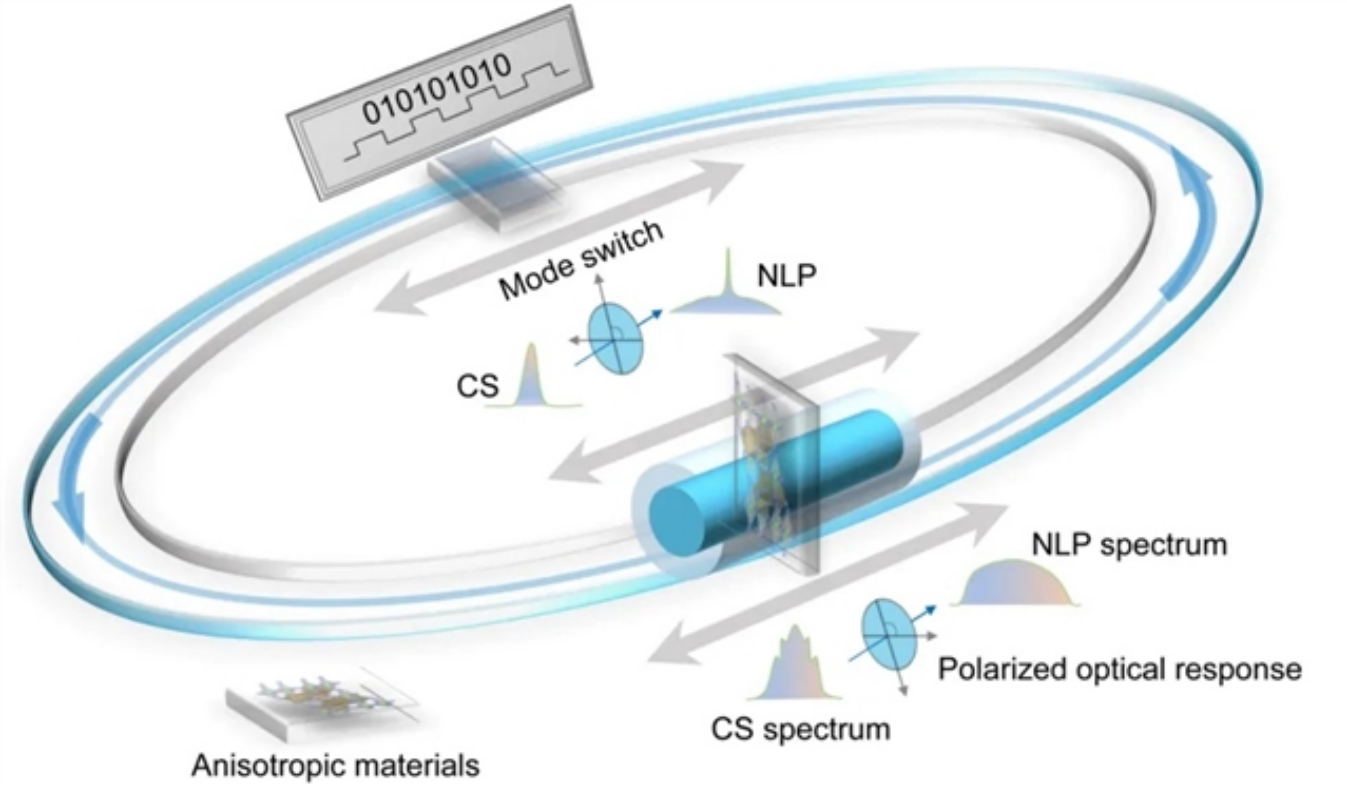


图1 超快脉冲激光状态动态可控切换示意图

准一维层状纳米材料的偏振饱和吸收

准一维纳米晶体材料因其各向异性的结构，具有潜在的偏振吸收特性，为可调谐光电子器件的制造提供了基础。最近，各向异性准一维层状纳米材料已被应用于偏振敏感的光电器件中，如光电探测器、电光调制器、相位延迟器和偏振发光二极管等。然而，偏振特性与超快系统相结合的应用尚未开展深入研究。研究团队选择了具有低对称性的准一维层状材料Ta2PdS6作为代表，探索其偏振敏感的饱和吸收特性及其作为调制器件在超快脉冲激光器中的应用。

研究人员首先制备了高质量的Ta2PdS6材料并通过优化的干法转移工艺将Ta2PdS6精准集成在光纤端面，进而研究Ta2PdS6器件的偏振吸收特性。随后，对Ta2PdS6的偏振光吸收进行了理论模拟，其在1.56 μm（对应光子能量约0.8 eV）光激励下具有显著的偏振吸收特性（图 2a）。Ta2PdS6在同一波长下的各向异性透射，表明其光吸收强度与偏振状态有关，而且偏振对比度随泵浦功率的增加而增加（图 2 b）。研究人员进一步通过全光纤双臂探测系统研究了Ta2PdS6的偏振非线性光学吸收（如图2c、2d）。结果显示，随着偏振控制角度从0 ° 到180 ° 变化，Ta2PdS6饱和吸收强度和调制深度等参数都伴随偏振角度而改变。其中，非可饱和损耗变化明显，在倾斜角为 0 ° 时，饱和吸收损耗约为 65.8 %，在倾斜角为 180 ° 时，饱和损耗约为 56.3%，这将为后续超快激光的状态调控提供契机。

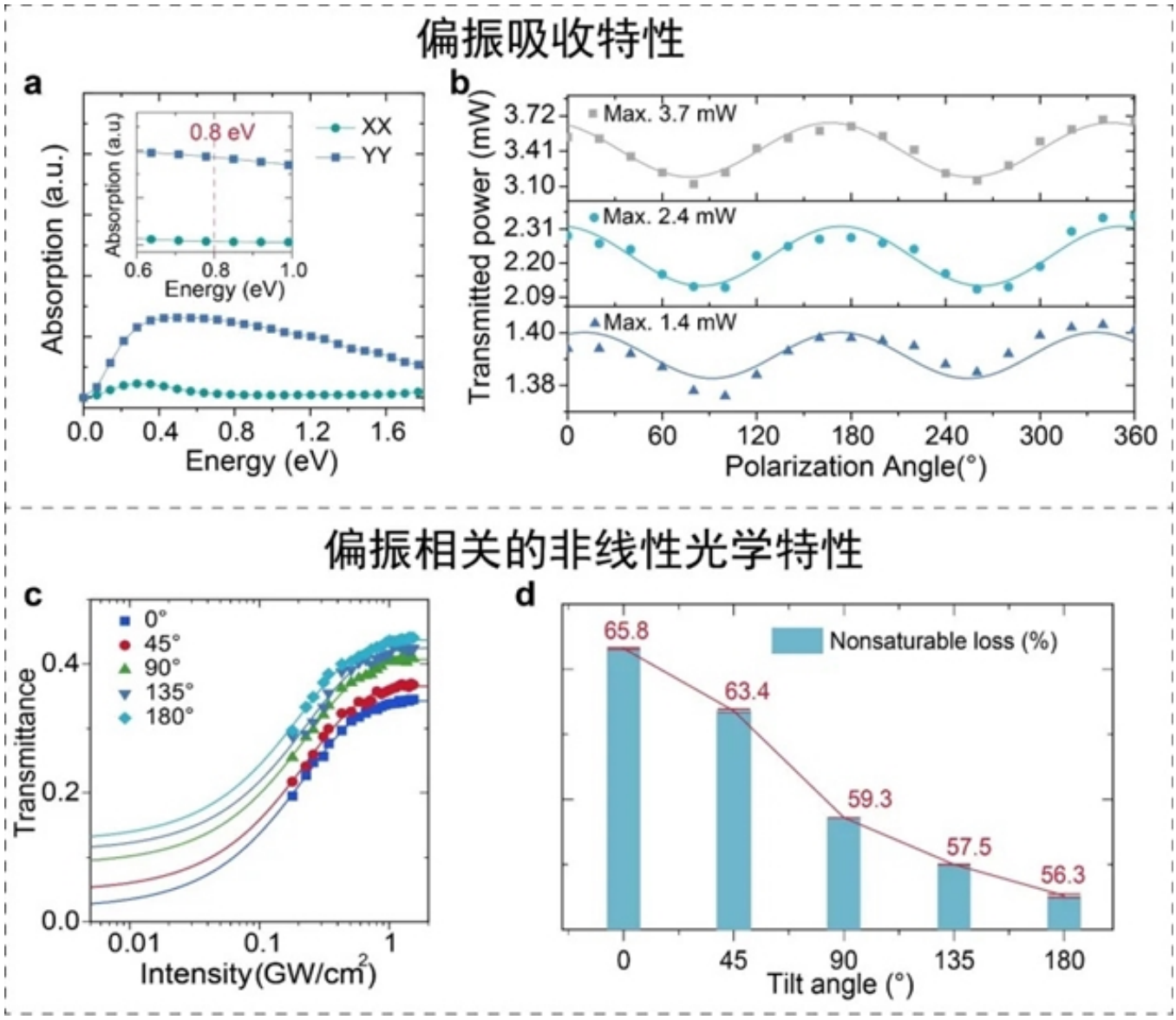


图2 准一维半导体材料的偏振光学特性

孤子和类噪声脉冲的模式实现与噪声表征

研究人员将Ta2PdS6调制器件加入环形谐振腔内，成功实现了稳定的孤子和类噪声脉冲输出。两种不同状态的脉冲噪声性能（图3a、3b）表明孤子状态的相位噪声（定时抖动）要优于类噪声脉冲。为了进一步表征类噪声脉冲的内部变化，研究人员采用了色散傅立叶变换技术对其瞬态光谱进行了研究（图 3c、3d）。与光谱仪的测量不同，色散傅里叶变换技术测量就像对光谱进行逐帧拍摄。结果表明，类噪声脉冲光谱的侧翼在不同镜头之间发生变化，但带宽基本保持不变。六帧逐次拍摄的光谱轨迹，更加直观地说明了类噪声光谱的演变过程。类噪声光谱的最强峰值在中心波长附近交替出现，边带的演化比较混乱。该现象可以归因于类噪声脉冲的特性，即由一系列振幅和持续时间随机分布的子脉冲组成的脉冲簇。

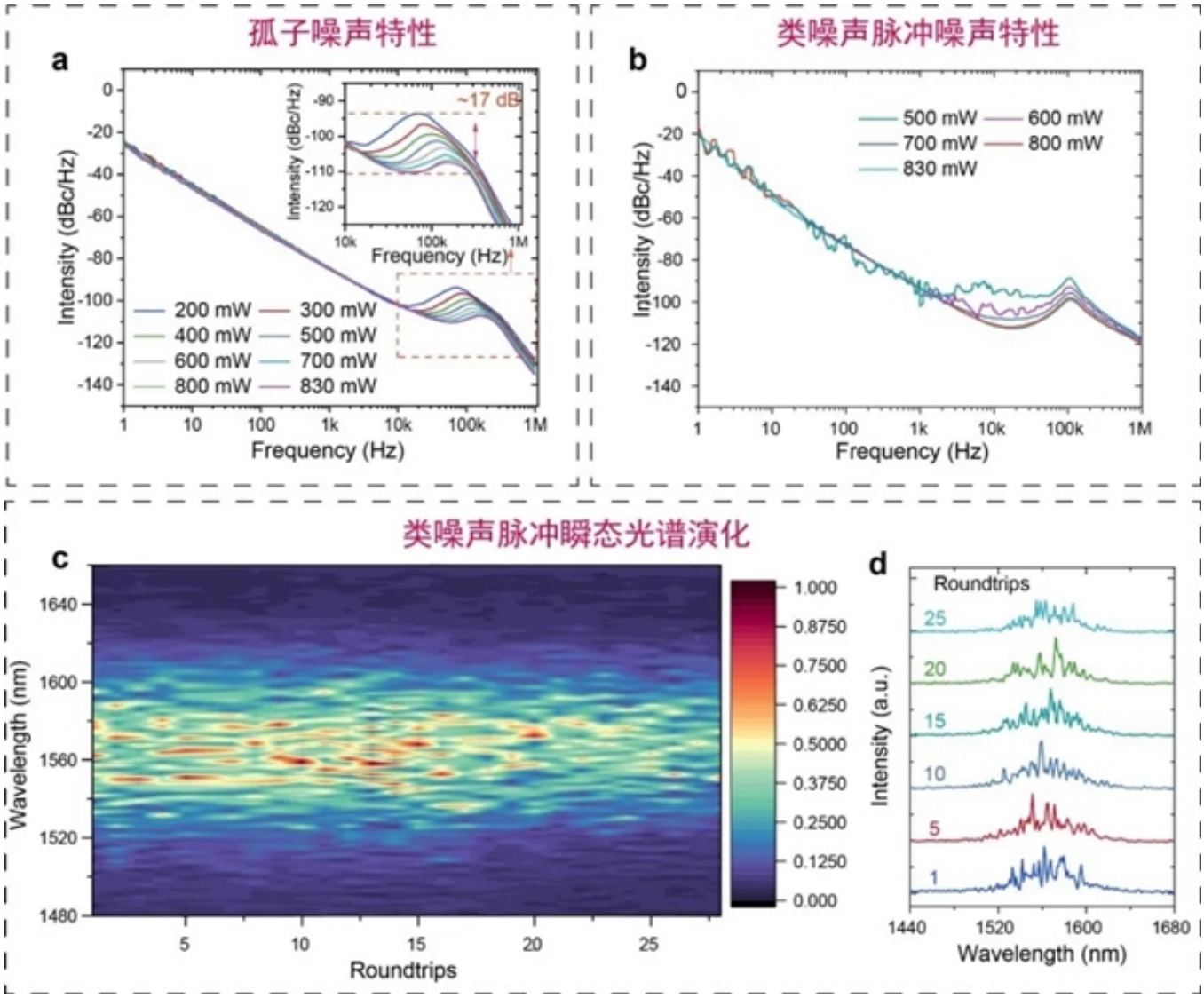


图3 孤子和类噪声脉冲的噪声表征及瞬态光谱演化

不同激光状态的长效可控切换及数字编码应用

研究人员只需调整偏振控制器的倾斜角度，即可在恒定的泵浦功率下，实现孤子和类噪声脉冲两种不同激光状态之间的切换。同时，研究人员进一步记录了在3.5小时内连续转换操作（七次操作，每次运行持续0.5小时）期间激光器输出光谱的变化情况（图4）。转换前后两种激光状态各自的光谱基本不变，证明了基于Ta2PdS6的超快光纤激光器状态切换的稳定性。在固定的实验条件下，孤子和类噪声输出状态被记录了720小时以上，没有观察到中心波长和光谱宽度的明显退化，证明了其长期稳定性。此外，研究人员通过数值模拟进一步揭示了同一光纤激光器中，脉冲状态切换的动力学演化机制。最后，将该激光器作为可编码光源，在该平台上演示验证了数字编码传输。

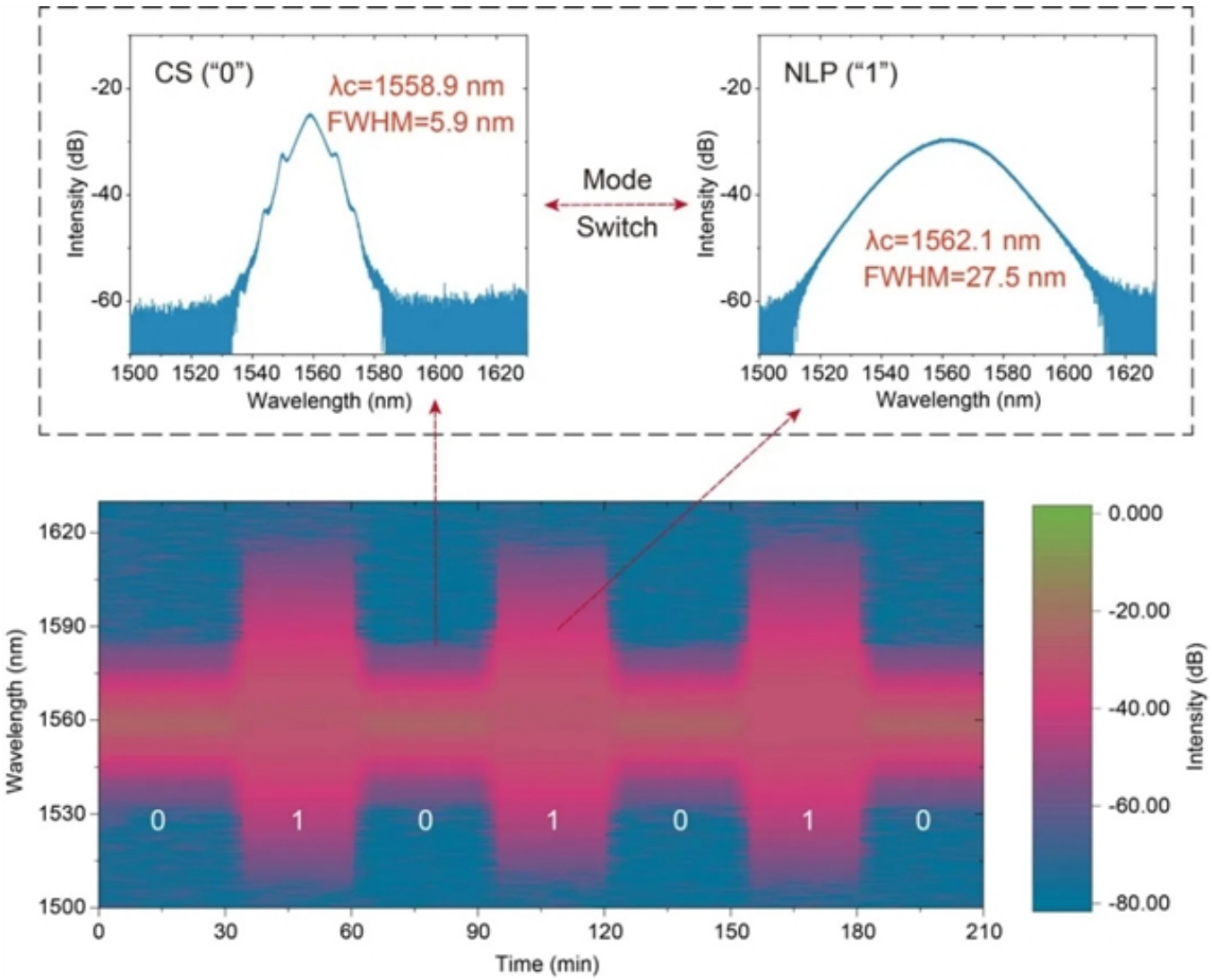


图4 两种不同激光状态的可控切换

总结和展望

本文提出了一种利用具有偏振吸收特性的准一维纳米材料实现超快激光状态动态调控的方法。得益于Ta2PdS6的偏振相关的吸收响应，所设计的超快光纤激光器能够维持孤子和类噪声脉冲两种激光状态的可控切换。通过数值模拟结合实验分析，揭示了两种脉冲的动力学演化机制。随后，将该激光器作为通讯光源，进一步演示了数字编码的应用。本研究为构建可调谐超快光纤激光器提供了一条新的途径。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01423-3

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等事宜，请与我们接洽。
作者：周朴等 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转发