

---

# 微腔光子分子开关：光与射频领域变革

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28352.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！**

**微腔光子分子开关：光与射频领域变革。**近日，来自北京大学的王兴军、舒浩文团队提出了一种新型片上微腔光子分子开关，可通过操控波导内空间模式的耦合关系来调控谐振峰劈裂的状态，为量子光学、非线性光学等领域提供了有利工具；当劈裂调控至消失时，谐振峰宽仅约30 MHz，同时维持着超百GHz的自由光谱范围，为高精度、超宽带的微波光子应用提供了强大支持。团队实现了基于硅基微环的跨L, S, C, X, Ku, K, Ka, U多频段的微波/毫米波的滤波与生成，预期将显著提高机载、卫星等设备的无线抗干扰能力。

该文章以Versatile photonic molecule switch in multimode microresonators为题发表在Light: Science Applications。该研究工作得到了重点研发计划和基金委基金等的大力支持。北京大学电子学院博士生陶子涵为该论文的第一作者，王兴军教授、舒浩文研究员为该论文的通信作者。主要合作者还包括电子学院彭超教授，集成电路学院何燕东教授，电子学院博士生沈碧涛、黎文灿、吴一晨及毕业生陶源盛，工学院硕士生邢露文，集成电路学院博士生王皓玉，北京大学长三角光电科学研究院助理研究员周?。该工作由北京大学电子学院区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室作为第一单位完成。

光子分子是一个新兴的物理概念，它通过光学微腔之间的相互作用来模拟原子之间形成分子键的过程。这种现象具有卓越的光学性质，在量子光学、非线性光学等领域具有重要的应用价值，如实现量子随机数发生器，或者用来调节微腔内的色散，以实现暗脉冲光学频率梳。然而，如何动态调整微腔之间的耦合一直是限制光子分子广泛应用的症结所在。

基于微机电系统（MEMS）的光子分子方案目前在学术界备受关注，它可以通过改变微腔之间的距离来控制光场与波导的相互作用，但这一方案对制备工艺提出极高的要求；另一种方法是在微环内壁刻蚀布拉格光栅结构，进而实现顺、逆时针两种光学模式的耦合，然而该方案难以动态改变耦合系数；此外，还可以通过精准操控光学非线性效应，使材料的折射率在传播方向上产生周期性变化，从而等效建立腔内光栅，但这需要足够高的泵浦光功率以充分激励非线性效应。鉴于此，探索一种全新的模式耦合机制，简化调控过程，并实现光子分子状态的灵活切换，对于扩大其的应用范围具有重要意义。

近日，北京大学电子学院的王兴军、舒浩文团队提出集成光子分子开关概念，运用波导中不同空间模式所产生的谐振峰，实现劈裂（splitting）现象，并通过调整模式之间的耦合关系，有效地控制谐振峰的劈裂状态。

具体的，研究团队选用跑道型微环作为片上微腔的实现形式，在硅光（SOI）平台上进行器件设计，并将硅波导的宽度扩展至2 μm，使其能够支持更高阶的空间模式。相比使用大尺寸欧拉弯

曲以实现缓变绝热近似的传统方案，研究团队利用欧拉弯曲+圆弧构建对称的180°弯曲波导，并有意大幅缩小弯曲尺寸，以高效地在微腔内诱导高阶空间模式。两种方案的几何结构如图1所示。

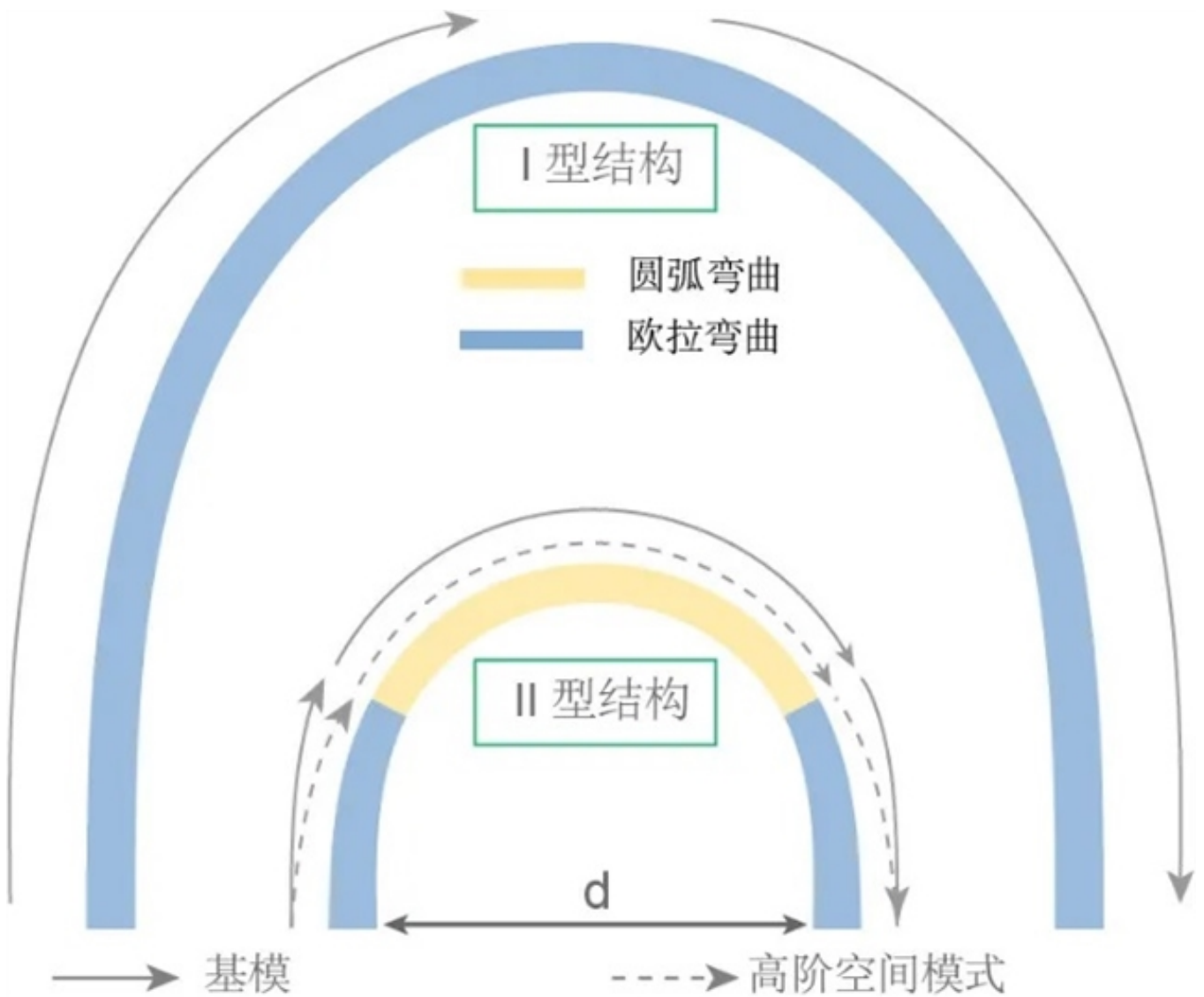


图1：两种不同180°弯曲波导结构示意图

研究人员借鉴旋转波近似法，对经典耦合模方程进行了修正，从而更有效地分析该问题下的耦合规律。此外，研究人员还根据弯曲波导内光场强度的分布，引入互异性点的概念，互异性点在弯曲波导内的位置决定了输出端口各个模式的占比，而该位置可以由上述方程进行计算。当输出端仅有基模时（如图2i iii所示），整个微腔中仅有该模式可以形成谐振，此时光子分子处于关闭状态；当输出端为基模与高阶模的组合时（如图2ii所示），此时光子分子处于打开状态，并且根据占比不同，在光谱上产生劈裂的频率间隔也不同。因此，互异性点能够作为开关切换光子分子在微腔内的物理状态，并赋能多个不同领域，实现变革性突破。

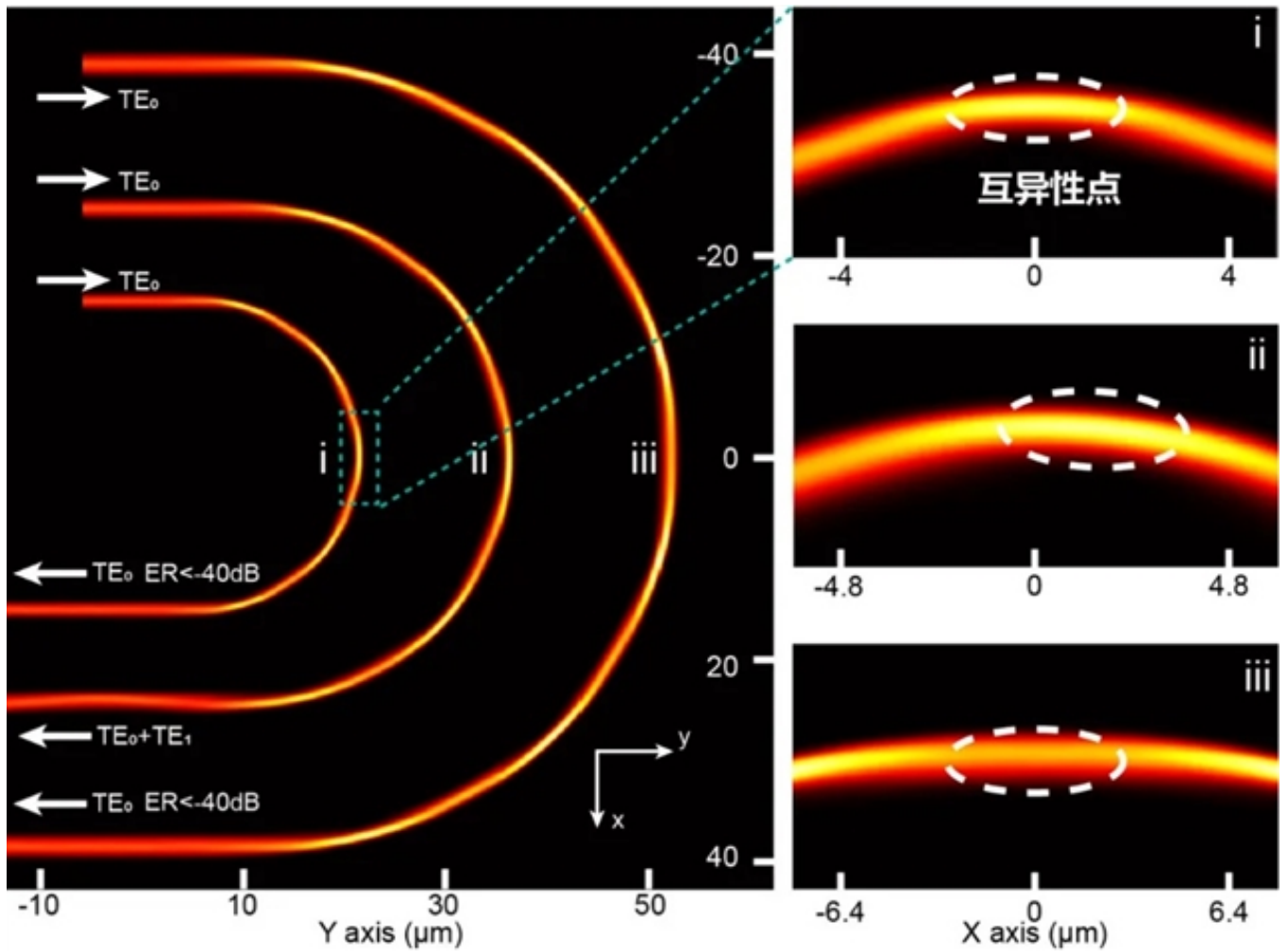


图2：三种不同弯曲结构的三维电磁场仿真结果图

开启状态下的应用：劈裂灵活可调

研究人员通过在微环的直波导处和弯曲波导处分别放置片上热电极，从而改变局部区域的材料折射率（如图3a所示）。当对直波导处的热电极施加电压时，由于不同模式对热的响应不同，模式间的相位差将也随之改变，两个模式所形成的谐振峰在光频域会渐渐靠近，并产生劈裂现象（如图3b蓝线所示），当两个谐振峰频率相等时，将会产生对称的劈裂双峰。当对弯曲波导处的热电极施加电压时，材料折射率的变化会改变互异性点的位置，进而改变两个谐振峰的耦合强弱，产生不同频率间距的劈裂双峰（如图3c蓝线所示）。

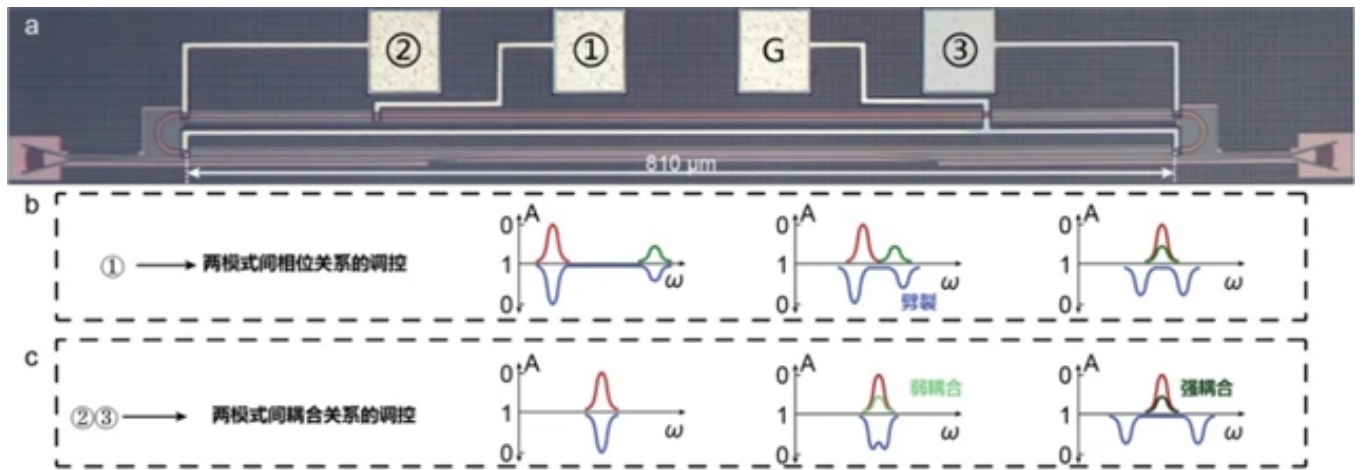


图3：a, 微环的光学显微镜图；b, c动态调控机理示意图

关闭状态下的应用：超宽带微波/毫米波产生及处理

由于微环弯曲波导的尺寸极小，微环在频域上具有极大的FSR，而当光子分子处于关闭状态时，基模又可以在环内零串扰、低损耗传输。在此基础上，研究人员实现了基于标准硅光工艺下最大的本征Q和FSR的乘积，大幅优于其他在硅基平台上的工作（如图4所示）。

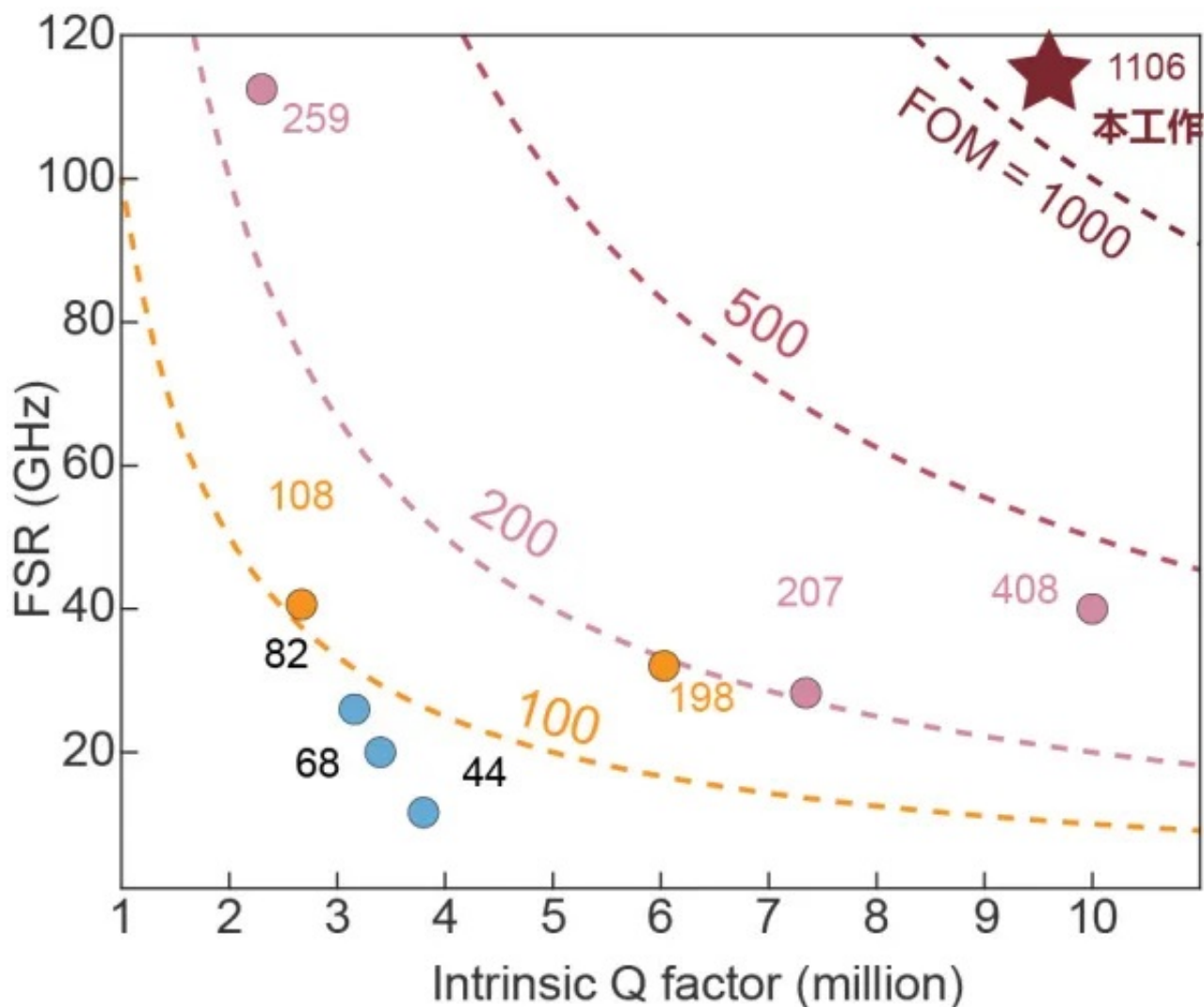


图4：硅基平台微环性能总结

该微环作为微波光子链路中的关键部件，能够在超宽频谱内提供极其精细的滤波功能。基于该微环的微波光子滤波器能够在L, S, C band至U band范围内实现高达58 GHz的连续调谐能力，其3 dB滤波线宽最窄仅32 MHz（如图5a所示）。由于采用相调转强调（PM-IM）方案，该结果实际只覆盖了一半的FSR。未来，结合更高带宽的调制器和探测器，有望实现高达116 GHz范围内的连续、无间断滤波。团队还借助该微环成功完成了光电振荡器（OEO）的实验验证，实现了中心频率从sub-6G到50 GHz的可调谐微波源（如图5b所示）。这种滤波器和OEO代表了目前国际上基于硅基集成器件所实现的最宽频段和最精细纵模滤波的水平。

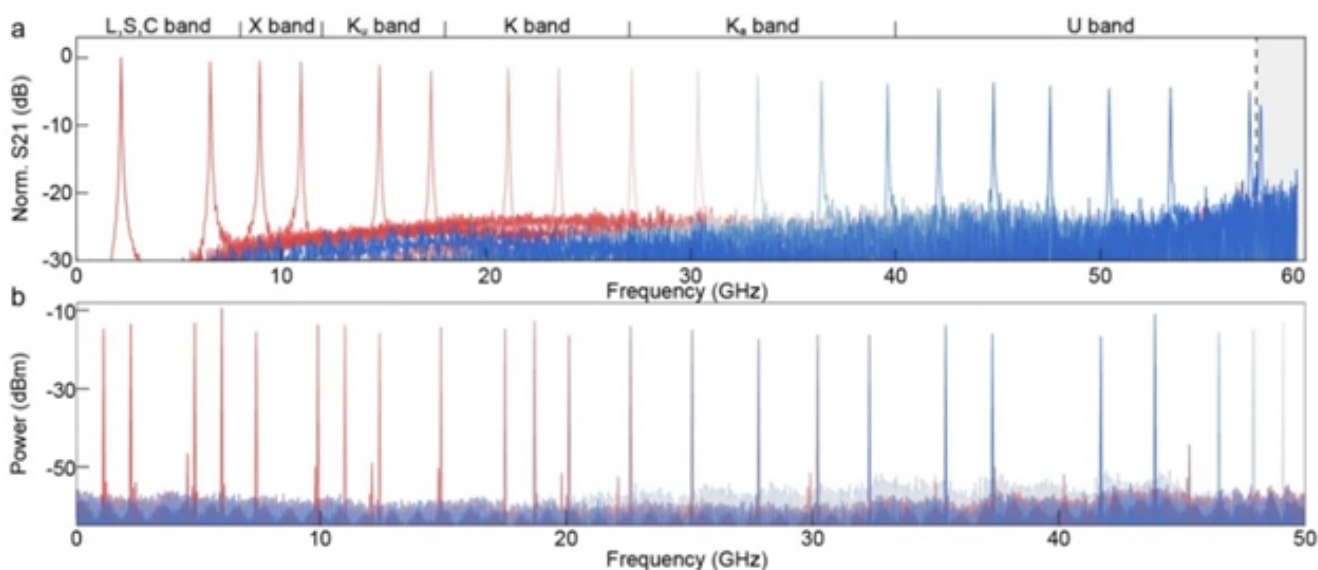


图5：基于该器件所实现的滤波器（a）与OEO（b）结果图

王兴军教授指出：虽然我们并未在论文中特别强调，但我们相信这项研究最具应用前景的方向是机载、卫星等对设备重量要求极其严格的领域。这是因为我们的芯片能够替代传统的大型射频开关阵列，仅用一个单元器件即可辅助实现跨频段的信号生成与处理。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01399-0>

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：王兴军等 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