

# 光致发光与表面晶格共振耦合的高动量二维传播

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/36310.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！

## 光致发光与表面晶格共振耦合的高动量二维传播。 导读

近日，韩国浦项科技大学Kyoung-Duck Park、Junsuk Rho以及俄罗斯ITMO大学Vasily Kravtsov等人，针对二维范德华材料（vdWMs）光致发光（PL）效率低、发光区域受限的难题，提出了一种全新的基于表面晶格共振（SLR）的Au槽晶格结构。通过结合巴俾涅原理与瑞利异常效应，设计互补槽状天线阵列，利用局域表面等离子体（LSPR）与表面等离子体激元（SPP）的耦合，激发非局域相干场，实现MoSe<sub>2</sub>中单层的大面积光激发与长程传播。该工作突破了二维材料发光面积与效率的瓶颈，为超薄柔性显示、高亮度光通信器件及生物传感提供了新方案。

该研究成果以High momentum two-dimensional propagation of emitted photoluminescence coupled with surface lattice resonance为题发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》上。

## 研究背景

1、二维范德华材料的潜力与挑战：单层MoSe<sub>2</sub>等二维材料具有直接带隙发光特性，单位体积发光功率远超传统OLED/QLED，且厚度仅亚纳米级（<1 nm），适合超薄柔性显示。但二维范德华材料一般量子产率相对较低（通常<10%）、发光区域受限（传统等离子体增强仅覆盖数十平方纳米区域），且金属接触导致欧姆损耗（PL淬灭率>50%）。

2、等离子体增强技术的瓶颈：虽可通过局域表面等离子体共振（LSPR）和Purcell效应提升辐射复合速率（增强因子~10），但局域场限制在纳米尺度，无法实现大面积覆盖。金属表面场局域化导致非辐射复合，能量损耗效率达60-80%。

## 研究结果

图1提出了基于巴俾涅原理的Au槽晶格结构设计，用于克服传统棒状天线导致的MoSe<sub>2</sub>光致发光（PL）淬灭问题。通过将周期性排列的槽状天线（尺寸25×80 μm<sup>2</sup>）与MoSe<sub>2</sub>单层结合，激发表面晶格共振（SLR），形成覆盖全晶格的二维驻波场，实现非局域光激发。研究结果显示，槽状天线的场局域中心位于悬浮的MoSe<sub>2</sub>层（而非金属表面），避免了金属接触导致的能量损耗，使得PL增强区域扩展至近800 μm<sup>2</sup>，远超传统局域等离子体增强的纳米级范围（<0.01 μm<sup>2</sup>）。这一设计为后续的大面积光调控奠定了基础。

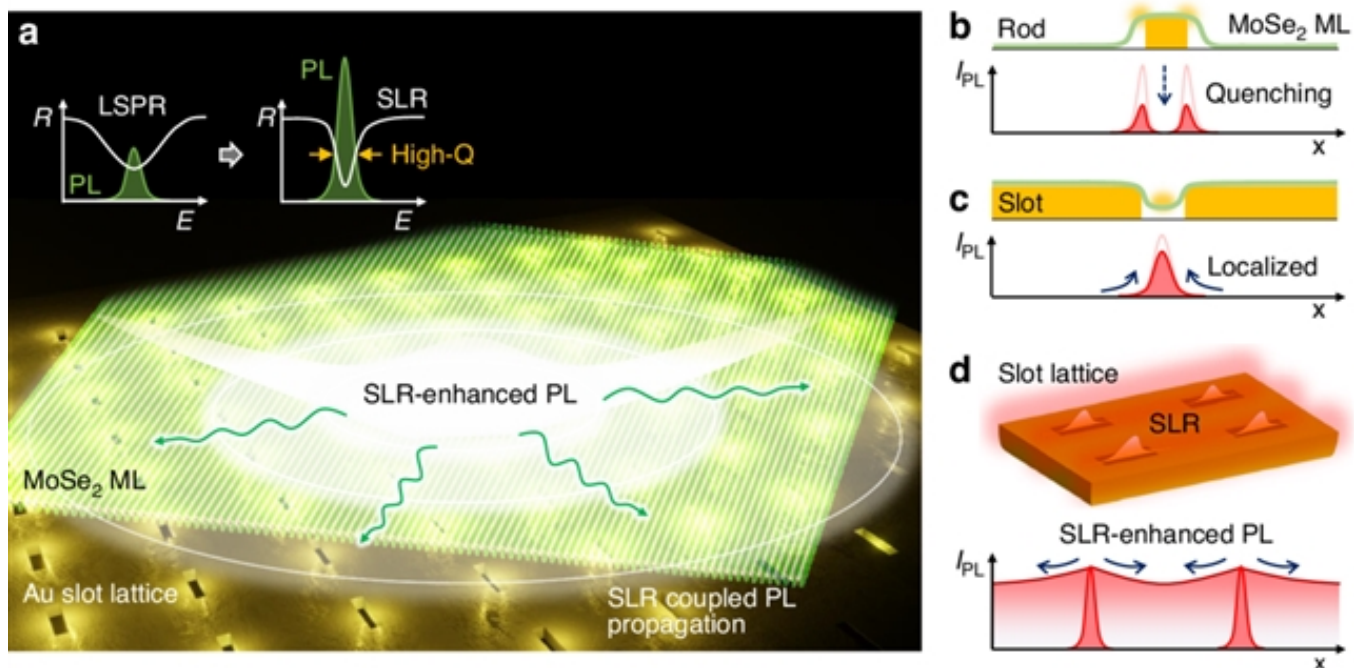


图1. MoSe<sub>2</sub>-Au槽晶格混合结构设计与SLR增强机理

图2通过对比互补的棒状和槽状天线结构（尺寸均为30 nm宽、120 nm长），揭示了槽状天线在提升辐射效率方面的优势。数值模拟显示，槽状天线的辐射衰减率达2.5倍，非辐射损耗降低40%，主要因其场分布远离金属表面。实验进一步验证了这一结论：槽状天线使MoSe<sub>2</sub>的PL强度提升2倍，显著高于棒状天线。该结果表明，槽状结构通过减少欧姆损耗和增强光-物质相互作用，为后续大规模晶格设计提供了关键参数支持。

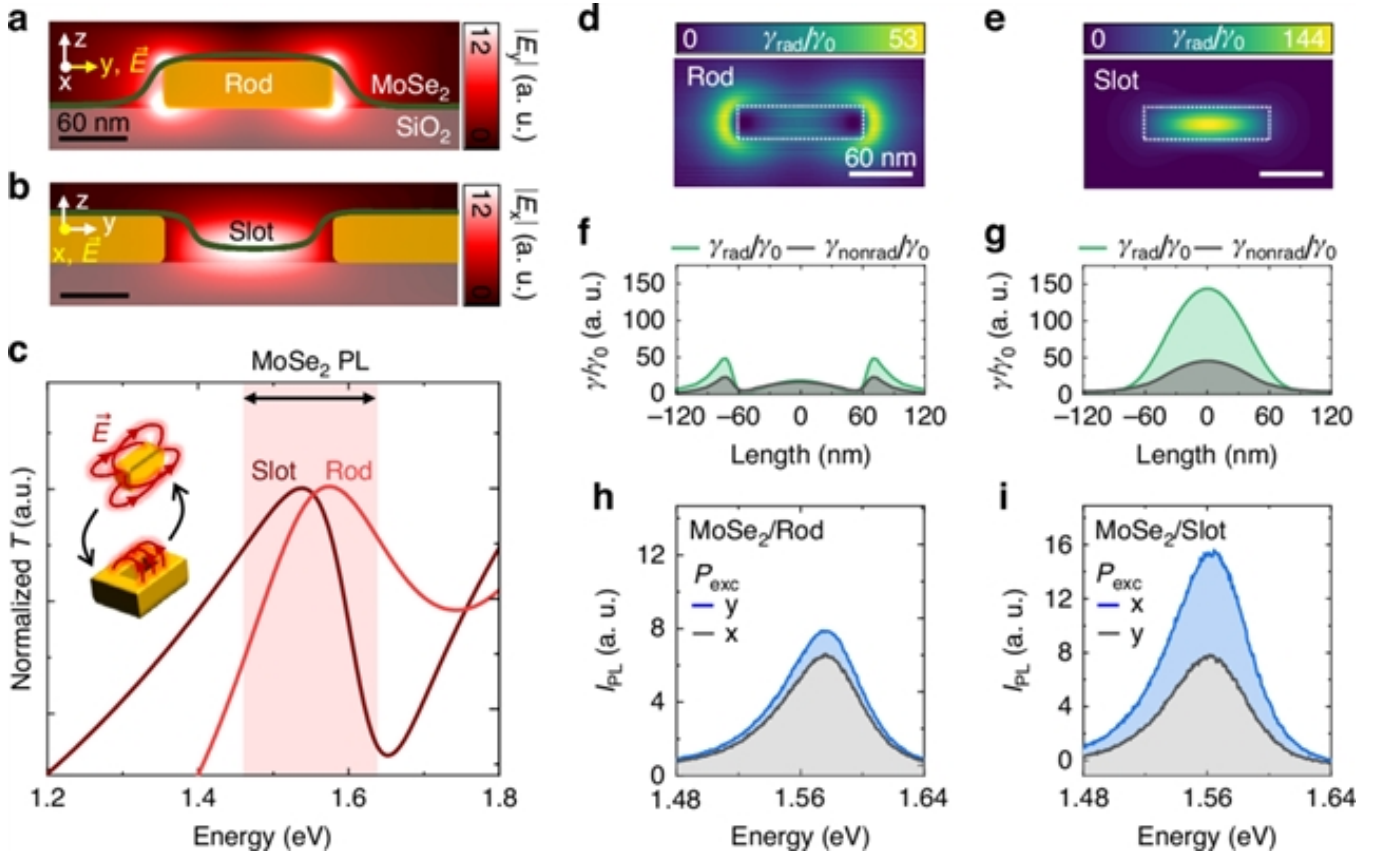


图2. 单天线辐射特性与实验验证

图3展示了周期性Au槽晶格（周期400 nm）的制备与表面晶格共振（SLR）特性。通过耦合局域表面等离子体（LSPR）与表面等离子体激元（SPP），SLR形成低损耗的二维相干场，实验测得其线宽仅65 meV（对应Q值 $\approx 30$ ），能量损耗较传统LSPR降低70%。角度分辨反射光谱显示，SLR与瑞利异常的强耦合导致显著的共振分裂现象，验证了理论模型中SPP与LSPR的反交叉能带关系。这一高Q值特性为后续PL的长程传播和高效调控提供了物理基础。

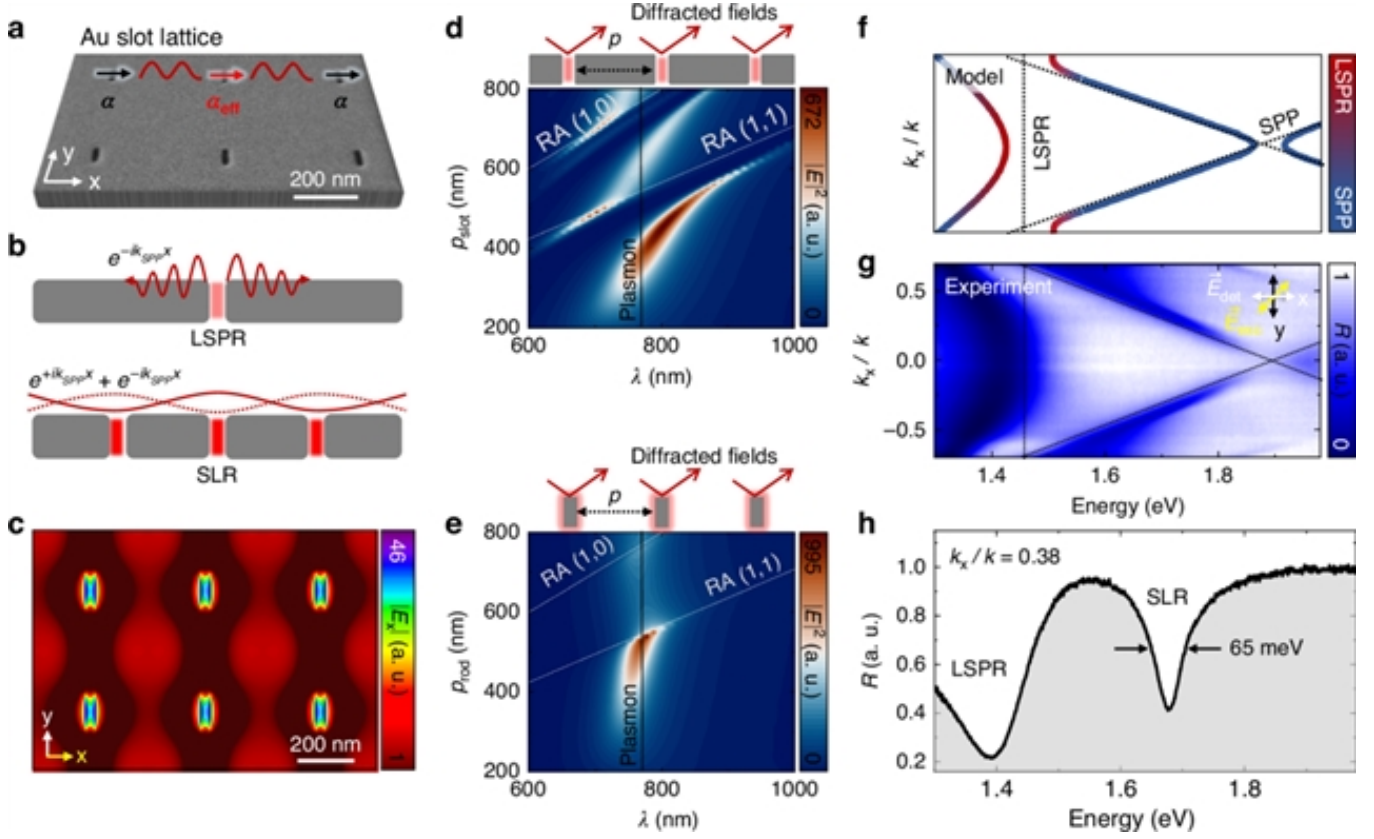


图3. Au槽晶格的SLR特性与实验表征

通过角度分辨和空间分辨PL测量，揭示了SLR对光传播方向与距离的调控能力。实验显示，SLR在 $k$ 空间（图4a）显著增强了PL信号，并沿晶格 $x$ 轴传播达 $400\ \mu\text{m}$ ，覆盖面积 $785\ \mu\text{m}^2$ ，为MoSe<sub>2</sub>激子自然扩散长度（ $\sim 1\ \mu\text{m}$ ）的400倍。同时，可通过晶格各向异性调控传播方向， $x$ 轴传播距离显著长于 $y$ 轴（ $\pm 200\ \mu\text{m}$  vs.  $\pm 150\ \mu\text{m}$ ）。该结果表明，SLR不仅扩展了PL的覆盖范围，还实现了光子传播的可控性，为集成光子器件（如波导、光通信元件）的开发提供了新思路。



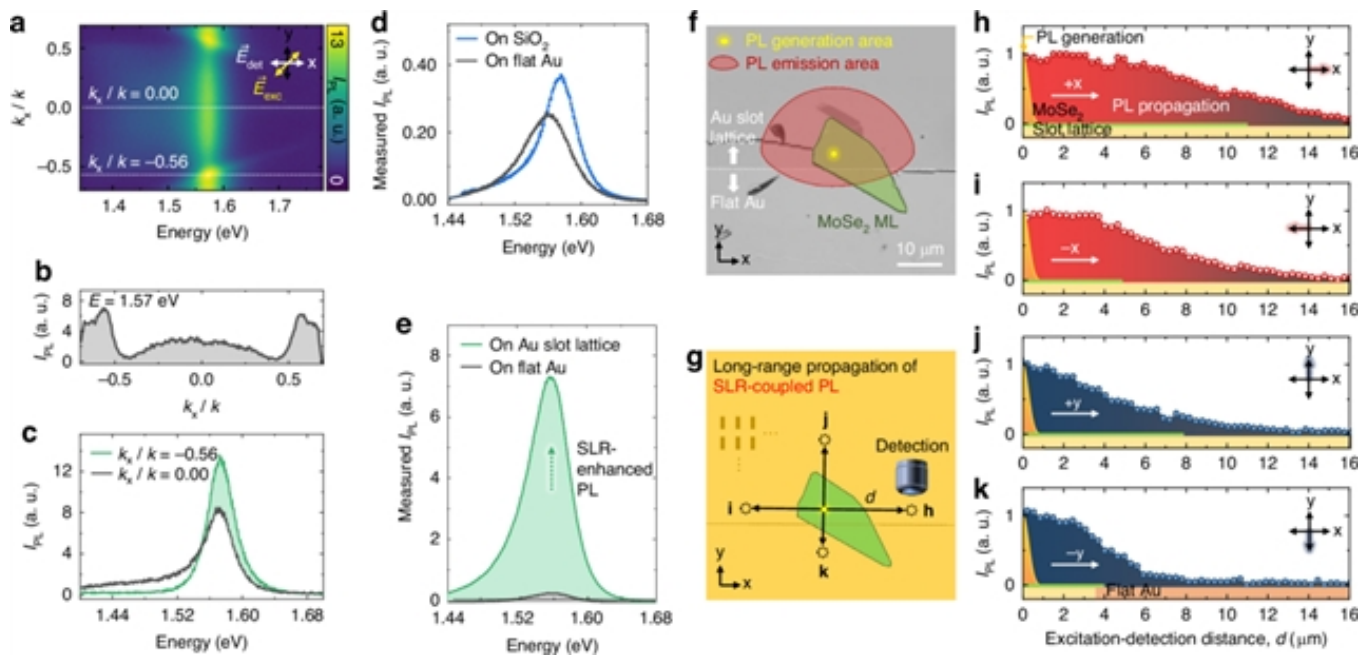


图4. SLR诱导的大面积PL传播与方向调控

## 前景展望

该工作突破了二维材料发光面积与效率的瓶颈，为超薄柔性显示、高亮度光通信器件及生物传感提供了新方案。通过SLR调控光传播方向，可进一步开发集成光子器件（如波导、分束器），推动二维材料在量子光学与光互连领域的应用。未来可通过多材料集成（如WS<sub>2</sub>、WSe<sub>2</sub>）实现多色/白光发射，或结合连续谱束缚态（BIC）提升Q值，拓展至量子光源与高效传感平台。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-01873-3>

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：Kyoung-Duck Park 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