

无衍射的准直表面等离子激元波束

撰稿人：现代工程与应用科学学院 李涛

金属表面等离子激元是一种约束在金属表面的特殊电磁模式。它特有的高局域和场增强性质在高灵敏传感、高效光电转换及亚波长光传输方面有着巨大的应用潜力，因而被人们广泛关注并寄予厚望。对具有二维平面特性的表面等离子激元波 (SPP) 的传播性质的理解与操控是人们有效利用并开发各类亚波长光子器件的基础。近年来，随着具有无衍射、自加速、自修复等神奇特性的 Airy 光束的实现，对无衍射光束和 SPP 波束的研究成为当前的热点。

我校固体微结构物理国家重点实验室祝世宁院士研究组在 2011 年发展了一套基于面内布拉格衍射的方法，通过人工设计纳米点阵对 SPP 衍射波的进行相位调制，成功实现了无衍射的 SPP Airy 波束以及宽带聚焦 (论文已发表在 *Phy. Rev. Lett.* 107, 126804 和 *Nano Lett.* 11, 4357)，并被 *Nature Photonics* (6, 353, 2012) 采访报道。最近，该研究组的博士生李林、副教授李涛等进一步发现通过位相调控还可以使这种抛物线状的 SPP Airy 波束“直”起来，形成无衍射的准直波束，并可达到强度分布可控甚至“无损耗”。该成果发表于 2013 年的 *Phy. Rev. Lett.* (110, 046807, 2013) 上。该调控方法的基本思想是通过纳米点阵的每个格点作为子波源对入射的 SPP 波衍射，调节子波源的排布方式就可以调控整个衍射波的波形。本工作中，李林等利用对称的相位设计出准直波束，精心设计子波源对主光束的贡献可实现对波束的强度的调控。图 1 (c) 给出了这种特殊设计的相位分布 (红线)，它可以使得 SPP 主波束在一定区域内无衍射并保持强度恒定。理论和实验结果分布见图 1 (a) 和 (b)。主轴光强分布见图 1 (d) 和 (e)，显示一个约 35 微米的区域内无衍射“无损耗”的 SPP 波束！

这一研究成果使人们对 SPP 波束形成机制有了更深刻的认识，在调控 SPP 传输、实现信号处理和光子集成等方面开拓了新的方法。同时，这一成果为人们调控其它类型波束 (如声波) 也提供了有益的启迪。该项研究得到科技部重大科学研究计划和国家自然科学基金的资助。

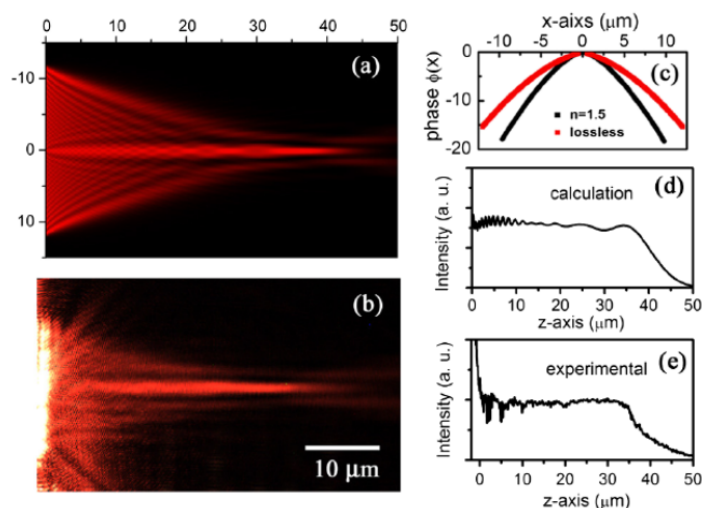


图 1 (a) 理论计算和 (b) 实验获得的“无损耗”准直 SPP 波束；(c) 设计的相位分布；(d) 和 (e) 分别是理论与实验的主波束强度演化曲线，可以看到在 35 微米区域内 SPP 波束的强度基本保持不变。

表面等离子激元是外界光场与金属中自由电子相互作用的电磁模，在这种相互作用下外界光场被集体振荡的电子俘获，构成了具有独特性质的 SPPs。在平坦的金属/介质界面，SPPs 沿着表面传播，由于金属中欧姆热效应，它们将逐渐耗尽能量，只能传播到有限的距离，大约是纳米或微米数量级。只有当结构尺寸可以与 SPPs 传播距离相比拟时，SPPs 特性和效应才会显露出来。随着工艺技术的不断进步，现今已经可以制作特征尺寸为微米和纳米级的电子元件和回路，在这个领域的研究也迅速开展起来。

在现代信息技术飞速发展的今天，怎样在纳米尺寸的层面上实现信息传输处理成为科学研究的一个重要课题。表面等离子激元能够突破衍射极限，并具有很强的局域场增强特点，可以实现纳米尺度的光信息传输与处理。另外表面等离子激元的独特特性，使得它在高灵敏生物检测、传感和新型光源等领域获得了广泛的应用。