



2017年度浙江大学学术进展

# 空间微分器——亚波长厚度全光模拟运算

★★★★★

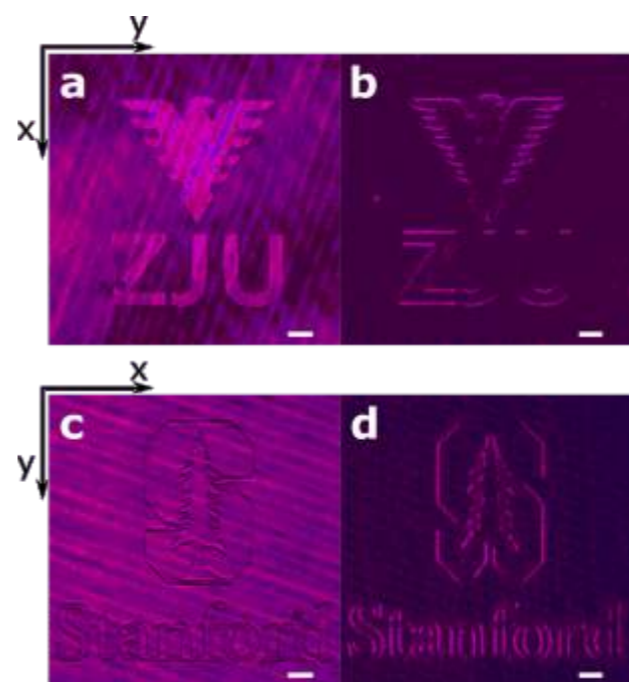
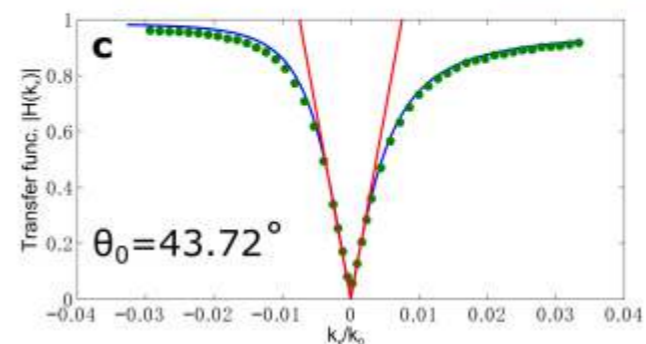
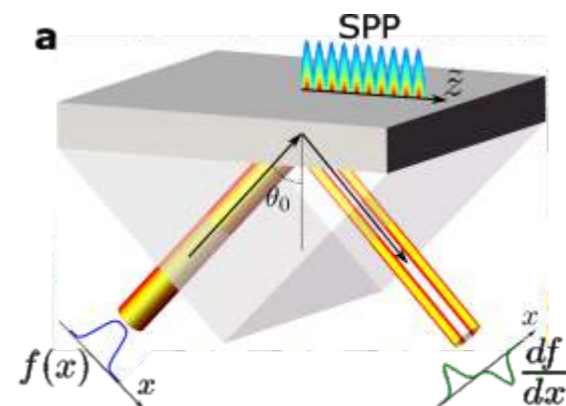
阮智超教授突破光信息处理的传统思路，提出并实现了基于表面等离激元的空间光场微分器，首次将宏观尺寸的光信息处理系统缩小至亚波长尺度，并应用于超快速、实时图像处理。

项目负责人：阮智超

随着信息技术的迅猛发展，对信息处理性能的需求正在不断提高。由于光学信息处理技术具有超快速、大带宽、高通量、低损耗等优势，利用微型、可集成化的微纳结构来实现光信息处理成为了近年来的重要课题。而在已有的报道中，相关微纳结构的设计都极其复杂，在实验上精确地制备这些器件并以之实现光学模拟运算存在非常大的难度，因此至今仍未有相应的实验成果出现。

针对这一挑战，物理学系阮智超教授突破传统光信息处理傅里叶变换的思路，通过构建空间耦合模理论[Ruan et al., 2014, Optics Letters, 39(12): 3587–3590]，提出利用空间光场与金属表面等离激元之间的耦合与干涉，使得反射的光场对应于一阶微分和积分的空间模拟运算[Ruan, 2015, Optics Letters, 40(4): 601–604]。所提出、设计的全光空间微分器采用了最简单的表面等离激元结构，可精确制备及大规模生产。

经过两年多的努力，2017年阮智超教授研究组与光电学



院仇旻、叶辉教授，美国斯坦福大学Shanhui Fan教授合作，在实验上取得了重要进展。课题组制备了一阶空间微分器，首次在实验上利用微纳结构实现了空间微分，并演示了直接对线偏振光场图像的边界检测。光学模拟微分运算的精度达到94%，边界检测的最小空间分辨率达到 $7\mu\text{m}$ ，时间频率带宽为3THz。空间微分器采用Kretschmann棱镜耦合结构，器件只需镀单层金属银，厚度仅为50nm，是目前唯一将厚度压缩至亚波长级别的光学模拟运算器件。

该技术为光信息处理提供了一种全新方法。特别是，课题组提出了若干在实时图像处理方面的重要应用。课题组利用该空间光场微分器实现对图像超快速的实时边界检测、边缘提取和边界方向判断，能够提取出物体的边界信息，是目标检测、特征分类、数据压缩等过程中的重要步骤，在高速、高通量图像处理（卫星和医学图像）、并行计算、目标识别等领域有着重要的应用前景，并有望用于光学神经网络和高速模式识别等人工智能领域。

该实验成果以题为“Plasmonic computing of spatial differentiation”的学术论文的形式已于2017年5月在Nature Communications[8, 15391 (2017)]上正式发表，并已经申请了发明专利《一种基于表面等离激元空间光场微分器的图像边缘提取方法及系统》。中国激光杂志社发表了《空间微分器——亚波长厚度全光模拟运算》专题报道，在各大平台上进行推送，阅读量超过2万次。经由中国工程院范滇元院士为主任的专家评委会评定，入选“2017中国光学十大进展——应用研究类”。