

2024 年度中国光学学会科技创新奖简介

项目名称：光学微纳腔的耦合与调控

获奖类别：自然科学奖

获奖等级：一等奖

主要完成单位：哈尔滨工业大学（深圳）

主要完成人：宋清海，黄灿，王开阳

学科分类：微纳光学与光子学，光场调控与非线性光学，微纳光子学

推荐单位：哈尔滨工业大学（深圳）

项目简介：

随着信息技术的进一步发展，诸如云计算、物联网、人工智能等新兴领域的兴起，高集成度、低功耗、高速度的硬件系统成为现代信息技术产业的主流发展方向。其中通过光电集成，充分发挥微电子先进成熟的工艺技术以及光子高带宽、高速率和以及抗干扰性的优势，使得光电集成芯片在后摩尔定律时代的器件发展领域极具竞争力。近年来，世界科技巨头都在将行业目光聚焦到“光芯片”赛道。对我国而言，不仅要在传统电子芯片领域尽快补短板，而且光子芯片等新技术领域为我们提供了弯道超车的机遇。中国科协发布的 2023 年度光子领域 15 个重大科技问题中涉及如何实现高功能密度感存算一体光电集成芯片、光学系统的体积极限是多小、光电子芯片的集成度极限是什么？

集成光学的发展为光子器件研究带来了新的挑战。随着尺寸的减小，传统的光调控技术逐渐趋向瓶颈。如何在更小的尺度下更精准、更高效地调控光子的局域与辐射特性已成为光子学的重要研究内容。本项目在多项国家研究项目的支持下，聚焦上述关键科学问题，发展了微纳激光的动量空间和相空间调控的新机理，

获得了“光学微纳腔的耦合与调控”的新方法与新应用，解决了微纳光子器件调控维度与手段偏少的难题，为高性能光电芯片的发展奠定了基础。取得的系统性原创成果概述如下：

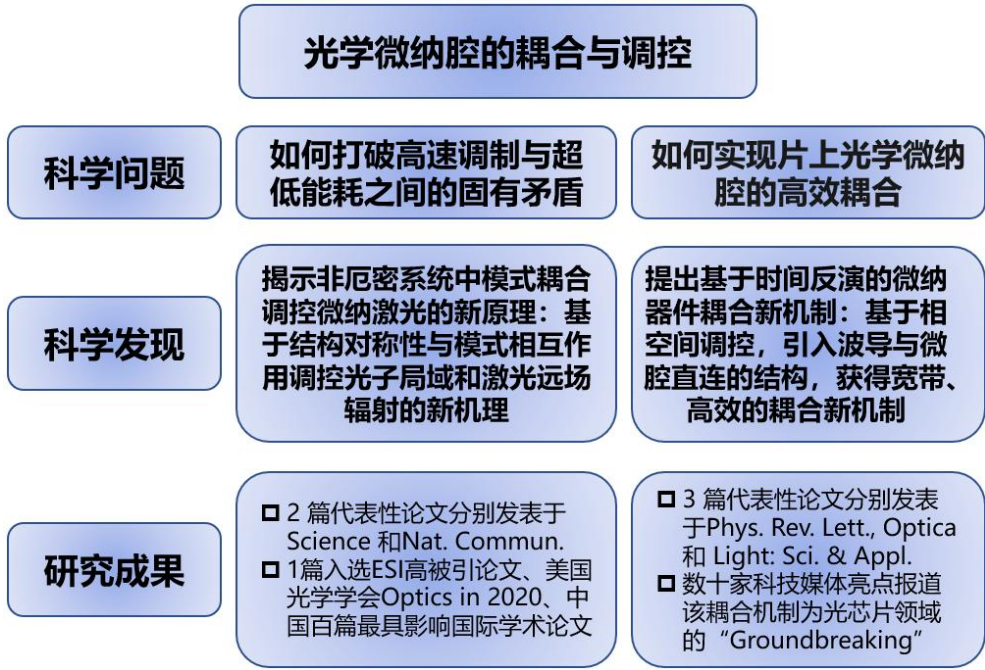


图 1 项目的重要发现

1) 揭示非厄密系统中模式耦合调控微纳激光的新原理：项目组通过研究非厄密体系中结构对称性与模式相互作用对模场局域、发射的影响，提出激光远场调控和交叉耦合的新机理。基于动量空间调控，实现了对微纳激光模式、偏振、方向性等关键物理量的超快控制，突破了超低能耗与超快调制之间的固有矛盾；

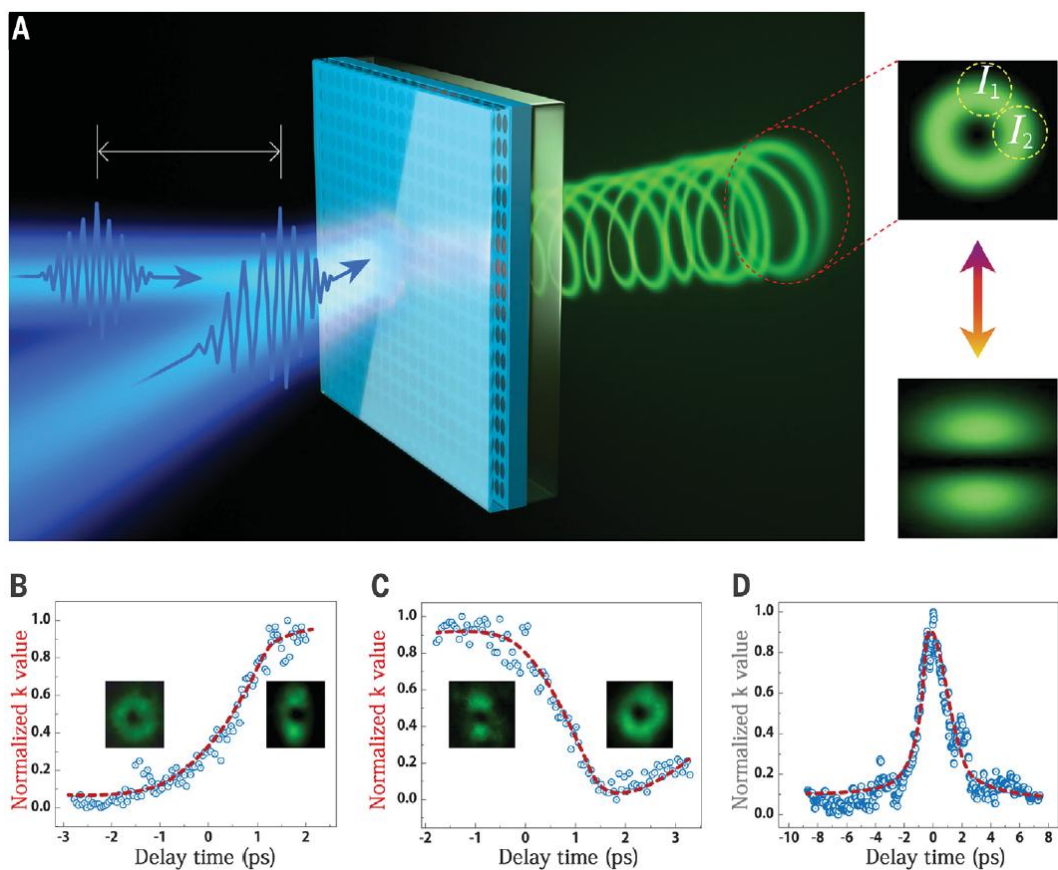


图 2 微纳激光超快调控新原理

2) 提出基于时间反演的微纳器件耦合新机制：项目组提出“混沌辅助隧穿”的微腔单向耦合输出机制，利用变形微腔中共存的规则和混沌射线动力学，实现了无额外损耗的微腔波导耦合输出；进一步，基于相空间调控，提出耦合波导与微腔直连的无源结构。利用时间反演对称性突破传统倏逝波耦合面临的成本高、带宽低的限制，解决了片上集成系统高效、宽带耦合的难题。该系列研究对片上集成光学以及生化检测光学芯片的应用具有重要价值。

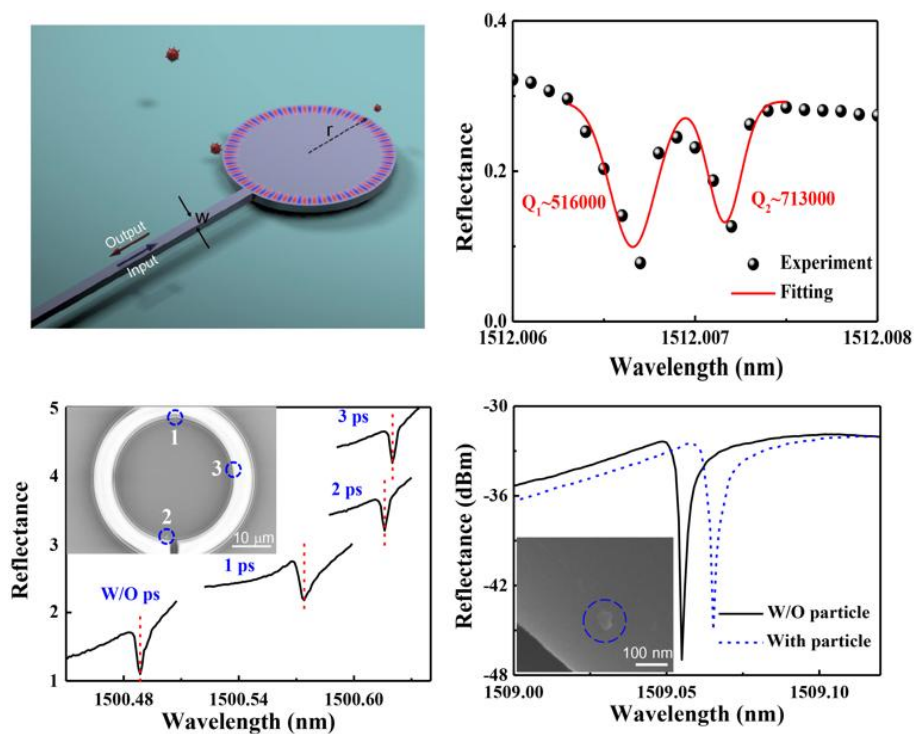


图3 基于时间反演的微纳器件耦合新机制

项目研究成果共发表论文 150 余篇，包括代表性论文 5 篇，代表性论文 SC I 他引 609 次，其中单篇论文的 SCI 他引 416 次，并入选 ESI 高被引论文、美国光学学会评选的“Optics in 2020”和中国百篇最具影响国际学术论文。在项目执行期间，完成人荣获科学探索奖、卓越青年研究生导师奖、深圳市自然科学奖一等奖等。