

2025 年度中国光学学会科技创新奖简介

项目名称：激子与微腔相互作用

获奖类别：自然科学奖

获奖等级：一等奖

主要完成单位：中国科学院物理研究所、北京大学

主要完成人：许秀来、金奎娟、钱琛江、谢昕、彭凯、杨静南、杨龙龙

学科分类：微纳光学、光学与光电子学

推荐单位：中国科学院物理研究所

项目简介：

本项目面向光量子信息技术发展中的关键科学问题与核心瓶颈，围绕半导体量子点与二维材料中激子态的调控、激子-光子强相互作用及其在集成化量子光电器件中的应用，开展了系统而深入的研究，取得了一系列具有原创性研究成果，为下一代高性能光电器件与光量子信息处理技术奠定了坚实的理论基础和实验支撑。主要研究成果包括：

1. 激子多体物理及其调控

在 III-V 族半导体量子点体系中，首次揭示了量子点与二维浸润层之间的耦合机制，发现并系统表征了多体 Mahan 激子态，实现了高达 $93 \mu\text{eV}/\text{T}^2$ 的强抗磁系数。利用量子点中双空穴间的库仑相互作用，将带正电激子的光电流信号提升约 30 倍，并首次通过光电流探测手段实现了暗激子的高分辨探测。在二维材料体系中，通过构建高性能铁磁衬底异质结，将 WS_2 激子的谷极化度提升至 80%；进一步利用铁电-二维材料异质结构调控技术，实现了对单个 WSe_2 缺陷态激子的单电荷精确调控。

2. 高品质因子微腔中的激子与光的强相互作用

设计并制备了超高品质因子光子晶体微腔，实现了腔-点量子界面由单光子到双光子强耦合的关键突破。证实了 p-shell 激子在非偶极近似条件下的耦合机制，实现了高度可控的激子-光子相互作用，并获得了迄今为止最大的腔-点耦合强度。通过双激光场同时驱动微腔与量子点，将单光子纯度提升了两个数量级。进一步借助等离激元纳腔的亚波长模式体积，在室温条件下实现了二维激子与纳腔模式的鲁棒强耦合，并显著降低了参与耦合的激子数目。

3. 拓扑与非厄米光子器件及其片上集成应用

通过设计并制备嵌入量子点的拓扑光子晶体微腔，实验上将二阶拓扑角态的品质因子提升至 6000，首次实现了基于角态的低阈值拓扑纳米激光器（阈值 $1\ \mu\text{W}$ ， β 因子 0.25），并在弱耦合条件下实现了显著的 Purcell 增强效应。进一步发展了多散射体宏观调控方法，实现了耦合微腔体系中的奇异点（Exceptional Points）并引入几何相位调控；研制了片上集成的手性路由器件，获得高达 0.84 的手性对比度，为可扩展光量子网络提供了关键技术支撑。

上述研究成果已在 Physical Review Letters、Light: Science & Applications 等国际顶级期刊发表，获得了国际同行的广泛关注与高度评价。相关工作有力推动了低维量子材料、量子光源及拓扑光子器件向高性能与实用化方向发展，为光量子信息处理等前沿应用奠定了重要的理论基础和技术平台。