
鲁棒性拓扑角态微腔中的半导体量子点单光子发射

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/26322.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！

鲁棒性拓扑角态微腔中的半导体量子点单光子发射。 中山大学光电材料与技术国家重点实验室喻颖副教授、余思远教授课题组联合陈晓东副教授、董建文教授课题组，通过利用二阶拓扑角态（second-order topological corner state）的拓扑鲁棒性，设计实现与单个InAs/GaAs量子点的确定性耦合，演示了单量子点的Purcell效应以及偏振的单光子发射，推动了在拓扑非平庸环境中的光与单个偶极子的确定性相互作用，为量子拓扑光子学领域开辟了广阔的应用前景。

相关成果以Single photon emitter deterministically coupled to a topological corner state为题在线发表在Light: Science Applications上。

研究背景

半导体量子点具有类原子的二能级结构、易与现代微纳加工平台集成的特点，是研究光与物质相互作用的良好载体。然而，在微纳加工过程中不可避免引入的缺陷（刻蚀引起的表面缺陷、形状缺陷或加工误差）会影响单个量子点与微腔的耦合。在这种情况下，拓扑光子学因其固有的鲁棒性以及抗散射能力而成为一种极具前景的解决方案。

作为高阶拓扑相，拓扑角态作为高度局域化的腔模，具有超低的模式体积以及高Q值，在研究光与物质相互作用（例如微腔激光、单个物质与微腔强/弱耦合等）方向上具有潜在的应用价值。然而，由于过小的模式体积以及靠近模式的刻蚀界面，拓扑角态与单个量子点的确定性耦合一直存在困难。

研究创新点

为了应对这一挑战，研究人员利用拓扑角态的鲁棒性，移除模式中心的小孔，引入缺陷却不破坏拓扑角态，同时使得模式中心的量子点远离刻蚀界面，从设计上优化了单量子点与拓扑角态的耦合。如图1所示，本工作的拓扑角态设计基于二维Su – Schrieffer – Heeger (SSH)模型，包含两种具有相同能带和不同拓扑性质的光子晶体结构，拓扑性质由二维Zak相位描述。通过组合两种光子晶体，根据体-边-角对应，拓扑角态出现在两组边界的汇聚处（图1b）。而此时单个量子点距离刻蚀界面小于20nm，容易受到表面电荷态影响从而导致猝灭或是闪烁。而由于拓扑角态受到边缘偶极化的拓扑保护，具有对缺陷及微扰的鲁棒性，在中心小孔移除之后仍然保持存在。如图1d所示，移除小孔之后拓扑角态仍具有13192的品质因子，模式体积为 $0.311(\lambda/n)^3$ ，同时使量子点距离刻蚀表面超过100nm，Purcell因子为434。

图1量子点与拓扑角态耦合示意图。(a)量子点位于中心的拓扑角态示意图；(b)拓扑角态模场分布图；(c)移除小孔后的量子点-拓扑角态示意图；(d)移除小孔之后拓扑角态模场分布图。

结合高精度量子点荧光定位技术，研究人员将上述结构制备在单个量子点周围（图2a-b），实现了量子点发光与角态模式的空间对准。通过温度调谐将量子点发光与角态波长共振，通过测量量子点寿命，获得其Purcell因子为3.7（图2c-d）。并进一步通过二阶自相关函数测量，确认了辐射光子的反聚束特性（图3e）。这是首次实现二阶拓扑角态与单个量子点的确定性耦合，Purcell因子优于目前其他拓扑光子晶体微腔。

图2单量子点与拓扑角态的确定性耦合。(a-b) 拓扑角态制备前后的荧光成像，显示了单个 QD 在角态中心的精确定位；(c)量子点荧光光谱的变温度测量；(d)量子点与角态共振时辐射寿命与体材料对比；(e)量子点荧光单光子纯度测量。

总结与展望

本研究首次实现了单个量子点与二阶拓扑角态的确定性耦合，实现了量子点的Purcell增强以及偏振单光子的出射，拓展了高阶拓扑相在量子层面定制光与物质相互作用的应用潜力。通过利用拓扑鲁棒性引入结构缺陷的同时保持腔模的存在性，成功地保留了更多材料区域用于单量子点的荧光辐射。这一方法为拓扑光子学在量子光学领域的发展提供了一种新的思路。

中山大学博士研究生饶沐杰与石福隆为共同第一作者，喻颖副教授和董建文教授为共同通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01377-6>

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：董建文等 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