
有源光学微腔强耦合下的DPs

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/8069.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！

有源光学微腔强耦合下的DPs。近日，中国科学院物理研究所许秀来研究员，顾长志研究员，金奎娟研究员与北京大学的肖云峰教授，南开大学的薄方教授等人合作，在有源光学微腔的强耦合系统中，将多量子点作为系综并对其散射进行整体宏观调控，以此实现了该系统的Diabolical Points (DPs) 点，即厄密简并。该成果成功将DP引入有源光学微纳结构，提供了在量子光学网络中集成拓扑计算等基于DP的量子信息处理的一种方法，因此具有广泛的应用前景和重要的研究意义。相关成果以Diabolical Points in Coupled Active Cavities with Quantum Emitters在线发表在国际顶级光学期刊《Light: Science Applications》上。文章第一作者是中国科学院物理研究所的杨静南博士生和钱琛江博士，通讯作者为许秀来研究员。

研究背景

DP源于系统的能级在参数空间中的简并。由于DP的拓扑相位和特殊的能量色散性质，光学结构中的DP可以为研究拓扑光学或者量子拓扑性质提供新的思路和方法。同时，量子点等量子光源与光学微腔的耦合可以实现电子-光子相干相互作用界面，是量子信息处理的重要载体。因此，如果在有源光学微腔中实现DP，则该系统就在可扩展化量子信息处理中有着广泛的应用前景。

然而对于有源的微腔，微腔中的量子光源会作为散射体影响腔模。通常来说，可以在无源的微腔中引入少数可控的散射体，例如缺陷等，从而控制背向散射实现DP或者奇异点EP。但是，在含有多量子光源以及加工制备过程或者材料本身导致的缺陷的有源微腔中，量子光源以及缺陷的随机分布通常会导致对称的背向散射并很难调控。因此，在单个有源微腔中，腔模会不再简并而是形成平庸的本征态。由于这些困难，目前尚未能在含有多量子光源的微腔中实现DP。

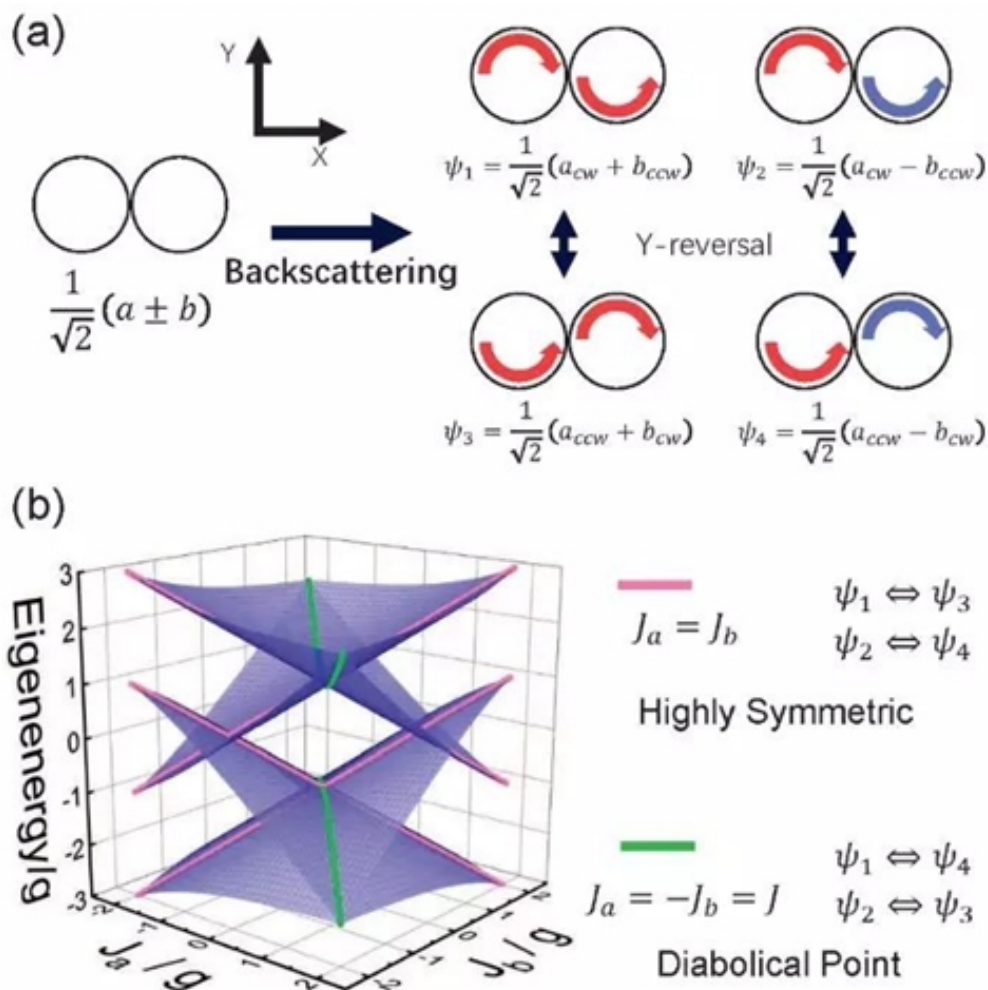
创新研究

在这项工作中，作者们将研究的对象由单个微腔扩展到耦合的双微腔系统。单个微腔具有2维的哈密顿量，光谱上的劈裂对应着背向散射耦合强度的绝对值。而耦合双微腔系统具有4维的哈密顿量。当调节两个微腔之间的失谐时，其耦合行为不仅受背向散射的绝对值、同时也受其正负性的影响，并可以在光谱上体现出来。这个特点使得耦合双微腔系统成为研究背向散射基础的新平台。经过理论分析，发现当两个微腔中的背向散射耦合强度相反时，系统即会处于DP。此时在厄密简并的本征空间中，两个微腔的相位存在着非线性关联，从而使得该系统可以作为相位门的载体，实现光子信号的相位移动以及出射方向可控的激光器等应用。此外，作者还提出了通过调控双微腔之间的距离，即微腔间耦合强度，可以进一步提高该系统的可控性与实用性。

有源微腔中的背向散射难以调控的问题是实现DP的主要难点。为了解决量子点随机分布导致的

背向散射不可控的问题，作者提出了一种新的宏观调控背向散射的方法。这种宏观调控方法是基于两种散射体之间的竞争，即量子点和微腔本身的缺陷。量子点充当高折射率的散射体而缺陷充当低折射率的散射体，对背向散射耦合强度的贡献一般来说分别是负和正的，从而这两种散射体之间的竞争会影响背向散射耦合强度的正负性。而且量子点分布于整个微腔，而缺陷则主要分布与微腔的边界，因此二者之间的竞争与体积/面积比-即微腔的尺寸相关。因此，通过优化微腔的尺寸，实现二者相对平衡，使得背向散射的分布近似为平均值为0的高斯分布，并在实验数据的统计结果中得到了证明。在这种的平衡态下，作者在一些强耦合的双微腔系统中，通过调控两个微腔的失谐观测到了两个微腔的背向散射数值相同但符号相反，并在其共振处实现了DP。

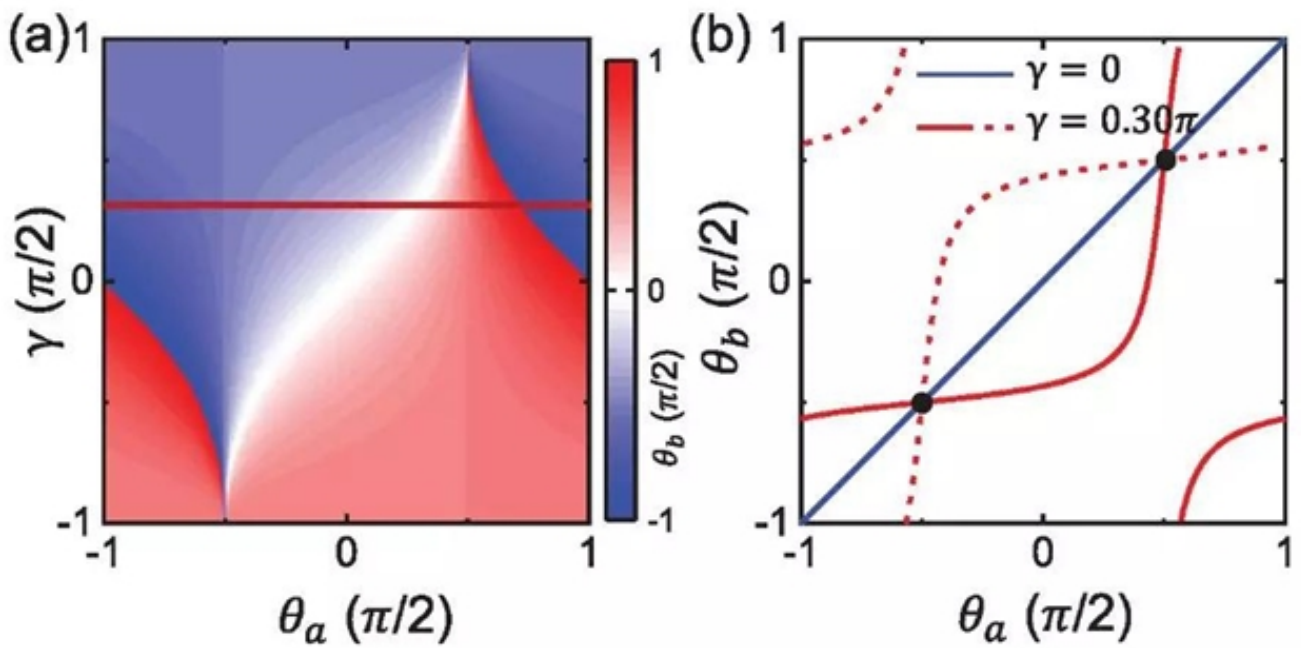
图 1.背向散射耦合下的两对态以及系统本征值。



(a) 背向散射下满足 Y 方向反转的两对态的图示。红色的箭头代表“+”，蓝色的箭头代表的是“-”。

(b) $J_{a,b}$ 不同取值下的四个本征值。粉色线对应 $J_a = J_b$ ，绿色线对应 $J_a = -J_b$ 。

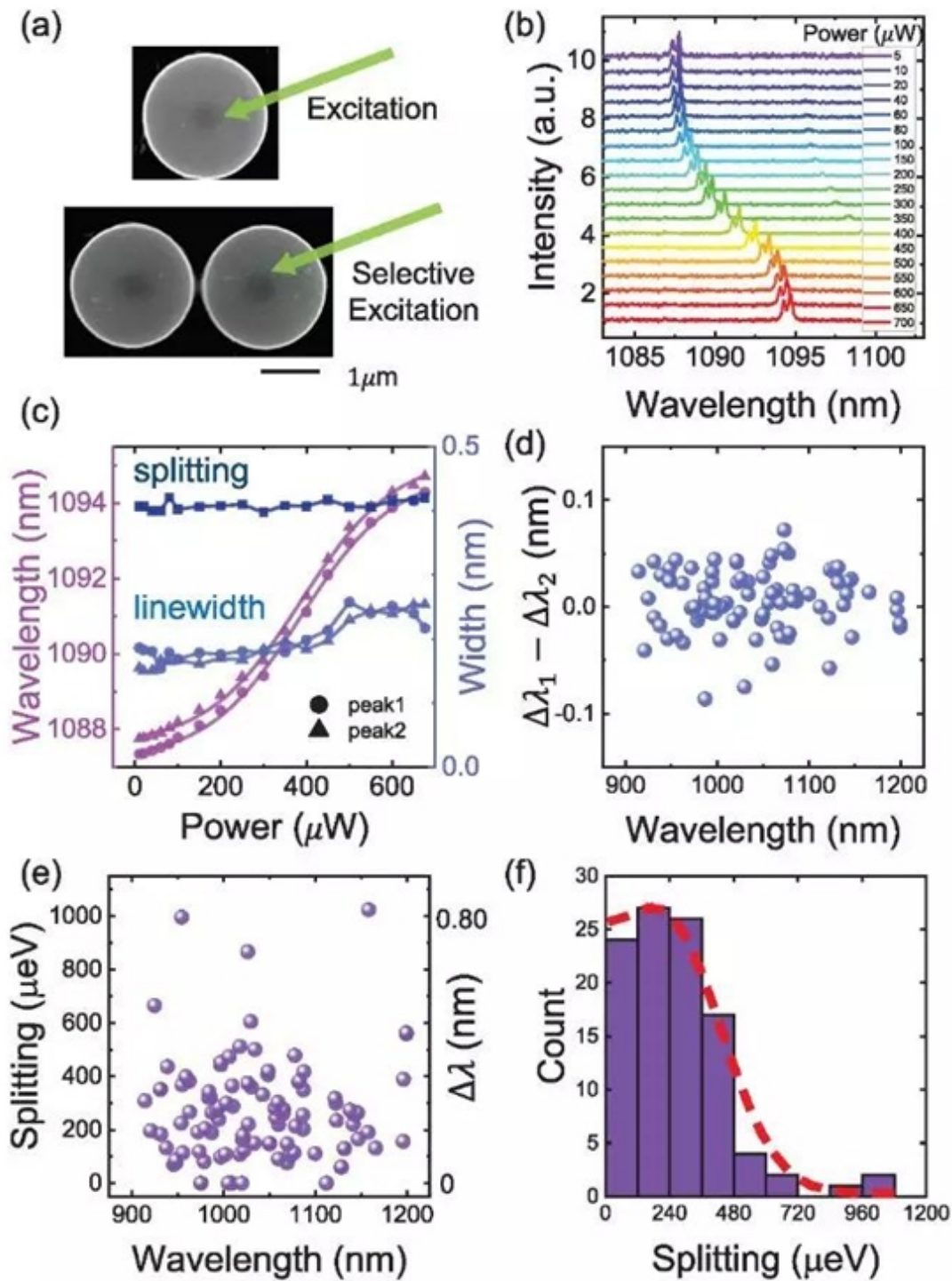
图 2



(a) $J_a = -J_b$ 和 $\phi_a = \phi_b = 0$ 时, 不同 γ 下的本征空间。这个本征空间与图 1 (b) 中上方的绿线对应。

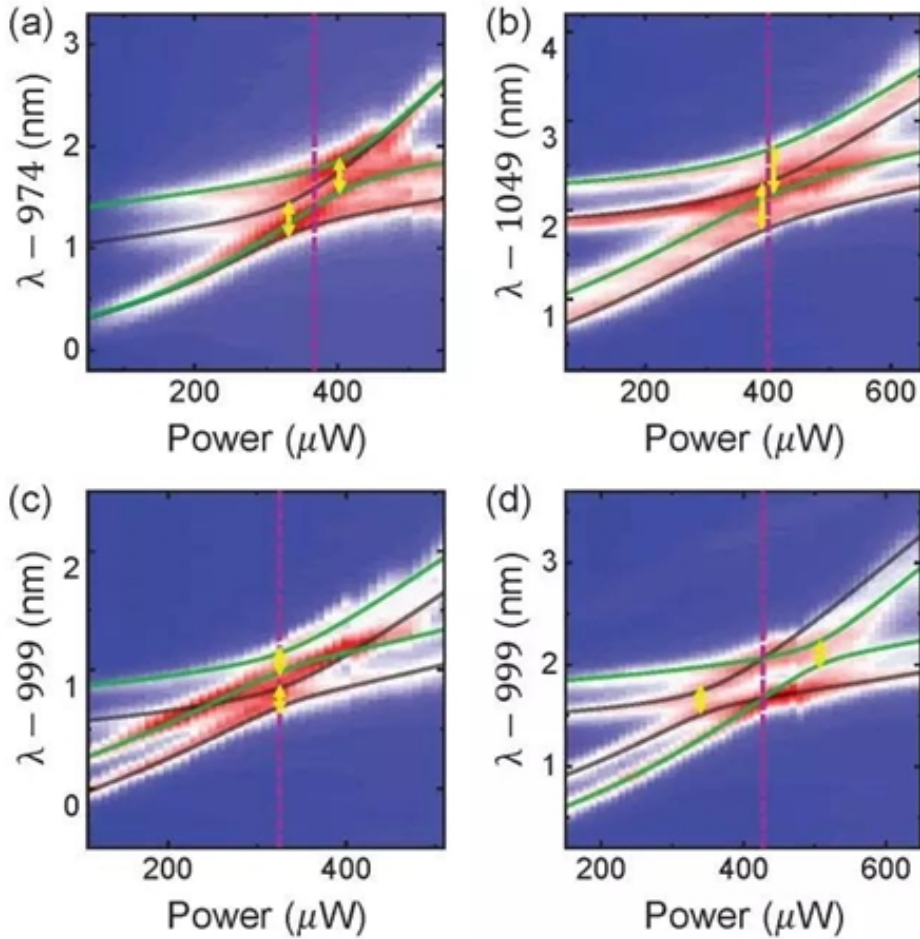
(b) 两个微盘之间的本征空间以及关联。黑色的点对应平凡的系统。蓝色的线对应没有背向散射的 DP。红色的线对应背向散射 $\gamma = 0.30\pi$ 的 DP 以及相移。红色的实线对应 (a) 中的红线以及图 1 (b) 中上方绿线上的一点。红色虚对应图 1 (b) 中下方绿线上的一点。

图 3



(a) 单个微盘和双盘的 SEM 图。激发光用绿色的箭头表示。(b) 腔模随功率增加的红移谱图。(c) 利用洛伦兹多峰拟合提取出的劈裂腔模的波长，线宽以及劈裂大小分布图。(d) 两个劈裂模式的线宽差统计图。光谱仪的分辨率是 0.1nm。(e) 腔模的劈裂统计图。(f) 腔模劈裂分布以及半高斯拟合。

图 4.耦合微腔依赖于激发功率的荧光光谱图以及不同 J_a, b 下的拟合结果。



紫色的虚线标记了腔模的共振 $\omega_a = \omega_b$ 。(a) $J_a = 0$ 且 $J_b \neq 0$ 。(b-c) $J_a J_b > 0$ 。(c) $J_a = J_b$ 。(d) $J_a J_b < 0$ 且 $J_a = -J_b$ 。DP 出现在共振的时候。

(来源：科学网)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-020-0244-9>

作者：许秀来等 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](http://www.iikx.com)转发