

微纳光子学走入量子模拟

量子霍尔效应和拓扑绝缘体的发现,使拓扑学成为凝聚态物理的研究热点与前沿.近年来,拓扑学的概念被引入至光学研究,发展出了拓扑光子学.例如在二维光子晶体结构中用光子的边界态实现了光的单向传输,其光学二极管效应使光处理芯片的研发又向前迈进了一步.那么,在一维体系中是否有对应的拓扑学光子结构又有何种新颖特性呢?聚乙炔链中发现的SSH模型,就是一类典型的一维拓扑结构.其中由于C-C单双键交替顺序不同形成两种能级简并的拓扑相,当它们连接的时候会得到kink和anti-kink两种“畴壁”,该畴壁在聚乙炔链中能移动时能保持其波形,因而被称作孤子,这是一种受拓扑保护的界面态.

南京大学现代工学院李涛教授、祝世宁院士指导的博士生程庆庆与物理学院博士生潘义明精心合作,提出了利用等离激元波导阵列的光学效应来模拟聚乙炔模型中的拓扑界面态.他们通过纳米加工的手段制备出耦合强度对应于单双键交替的金属纳米波导阵列,并成功观测到了对应于kink结构的界面态.然而,对于anti-kink结构,实验结果则未显示这种界面态,似乎违背了SSH模型的理论预测.程庆庆等通过仔细的理论分析与模拟,揭示了波导阵列的激发条件在形成界面态过程中扮演了很重要的角色.理论结果表明,由于kink结构具有奇宇称的界面态本征模在单根波导输入条件下能得到很好保持,而anti-kink结构的偶宇称本征模则无法在单根波导激发时保持,因而在实验上观察不到.此外,两类模式的对无序免疫特性也分别从理论和实验上进行了详细的阐述(图1).

该工作一方面利用等离激元耦合模式实现了特定条件下的SSH拓扑界面态的模拟;另一方面,对传统波导阵列中常忽略的激发条件问题进行了深入地揭示与刻画(图2).该成果是继光学模拟安德森局域化、布洛赫振荡、无质量狄拉克费米子等之后的又一个新的凝聚态物理模拟,拓展了此类光学模拟的平台.同时,波导阵列中的光场演化也为光子集成以及量子随机行走等前沿研究开拓了新的思路.该工作近期以“Topologically protected interface mode

in plasmonic waveguide arrays”为题发表于*Laser & Photonics Reviews* (2015, 9: 392–398).

该研究得到科技部重大研究计划(量子调控项目)、国家自然科学基金、南京大学登峰人才计划以及江苏省优势学科的支持.

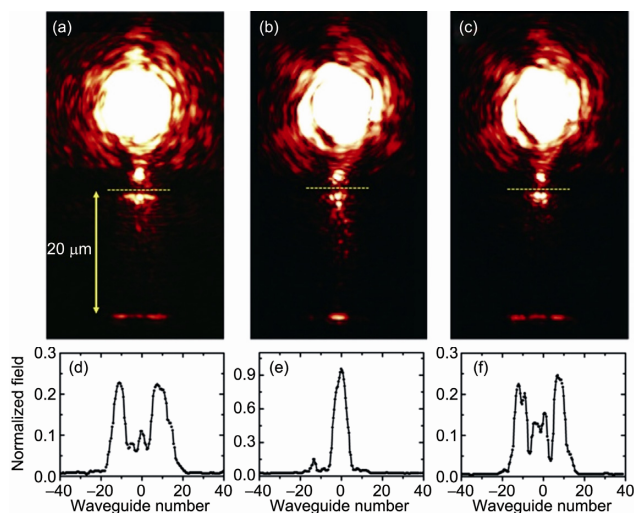


图1 (网络版彩色) (a,d) 无缺陷的聚乙炔链模型的波导中 SPP 传播行为; (b,e) 中心具有 kink 结构的 SPP 传播,表现出无发散的界面态特征; (c,f) 中心具有 anti-kink 结构的 SPP 传播,界面局域现象消失

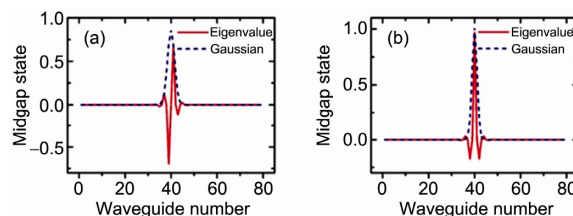


图2 (网络版彩色) (a) kink 和(b) anti-kink 结构对应的 SSH 模型的拓扑态边界本征模的场分布,分别表现出奇宇称和偶宇称性质.它们决定了在单个端口输入情况下 kink 结构可保持边界态特征而 anti-kink 结构则丢失

(本刊讯)