
非线性高阶分形拓扑绝缘体的观测

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30997.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！

非线性高阶分形拓扑绝缘体的观测。 导读

高阶拓扑绝缘体是一种具有特殊拓扑态的系统，其拓扑态具有很强的角局域性可以导致非线性过程的增强。为在非周期结构中建立非线性角局域态，研究小组在两种不同谢尔宾斯基垫片的波导阵列中设计了具有分形特征的非线性高阶光学拓扑绝缘体，研究表明该结构能在较大耦合强度范围内都支持拓扑角态，并通过调节输入光功率可有效控制多类型无阈值孤子的局域化变化过程。该发现不仅丰富了孤子族的种类及传输动力学过程，也为研究分数维度的非线性拓扑绝缘体、拓扑激光器等光量子芯片领域提供了新思路。

研究背景

近日，西安交通大学的张贻齐教授和俄罗斯科学院的Yaroslav V. Kartashov教授及其团队合作在实验上首次利用飞秒激光直写技术在熔融石英上刻写了基于两种不同类型的谢尔宾斯基垫片分形波导阵列结构，采用理论和实验相结合的方法实现了非周期光学分形高阶拓扑绝缘体，并在此基础上研究了拓扑角态孤子的形成。该研究结果不仅产生了更丰富的孤子族和动力学，也为未来非周期系统中的光场调控开辟了新的途径。该文章近日发表在国际光学顶尖期刊《Light：Science Applications》，题为Observation of nonlinear fractal higher-order topological insulator，张贻齐教授和Yaroslav V. Kartashov 教授为本文的共同通讯作者，钟华及Victor O. Kompanets为本文共同第一作者。

分形是在自然界中广泛存在的一种自相似、非周期结构，其主要特征是无体带及非整数豪斯多夫维数。目前为止，虽然分形高阶拓扑绝缘体在声学 and 电子系统中被实现，但光学平台中的高阶拓扑态特别是非线性高阶拓扑态还有待实验验证。与传统电子和声学系统相比，光学系统中的非线性效应不仅可以有效地调整拓扑系统频谱中非线性模式的传播常数从而导致其内部结构发生复杂的变化，产生自诱导拓扑相，还可控制费米能级附近的迁移率及几何不稳定性，因此可以通过调节非线性功率来增加拓扑系统构造过程中的可调节性。将不寻常的分形结构引入非线性光学系统中可为光场调控及局域化研究带来新的前景。

创新研究

具有谢尔宾斯基垫片形状的拓扑波导阵列如图1a所示，该结构包含多个孔洞、内外角及边界，并且每一代分形结构之间具有自相似性且享有公共点。研究人员在固定分形阵列间距的同时，引入了位移参数 r 来改变相邻波导之间的耦合强度，从而改变系统的能谱结构获得拓扑态。从图1b的能谱可以看出，分形结构在 $r>0.5a$ 与 $r<0.5a$ 的区间内均可以出现彩线所示的拓扑态。红色曲线对应

混合角态，其余彩色曲线对应不同形式的外角态。研究人员计算了实空间极化指数来表征该体系的拓扑性质，其分析结果与线性频谱一致，表明该系统可在整个空间内支持拓扑非平庸态。典型的局域态分布如图1c所示。由于分形结构具有自相似性，该规律在下一代及更高阶的分形结构中依然适用。

研究人员在同时存在非线性和局域角态的分形阵列中，利用牛顿迭代法得到了相应的无阈值拓扑角态孤子族。并证明了无阈值角态孤子的局域化与非线性传播常数之间的依赖关系，发现随着功率的快速增加，孤子逐渐变宽，局域化减弱，当传播常数到达扩展态的边界时，孤子可能会扩散至整个波导阵列。

此外，研究人员在分形阵列中选择了四个具有代表性的激发位置，研究了不同能量脉冲下非线性角态孤子的传输动力学过程。结果表明： $r=0.3a$ 的分形结构在任何内外角都能很好地支持局域化的无阈值混合角态。在 $r=0.5a$ 的分形结构中，由于带隙较窄，即使脉冲能量变化很小，相应的输出光强分布也会有较大差异，且在该结构中需要较高的脉冲能量才能得到局域化较好的角态。在 $r=0.6a$ 的分形结构中不存在3种外角态线性模式，但这些模式只能在最外层3根紧密间隔的外角波导中形成无阈值的外角孤子。

应用与展望

研究团队基于谢尔宾斯基垫片分形波导阵列首次在实验上建立了可存在多种拓扑角态孤子的非线性非周期高阶光子拓扑绝缘体。该分形结构的显著特征是可在非常宽的畸变参数范围内都支持角态，大大超过了传统周期型高阶拓扑绝缘体中角态的存在范围。这些结果不仅扩展了高阶拓扑绝缘体的类别，而且可用于拓扑激光器或片上激光器的新设计，为探索和实际应用光子分形中的非线性现象提供了新的前景。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

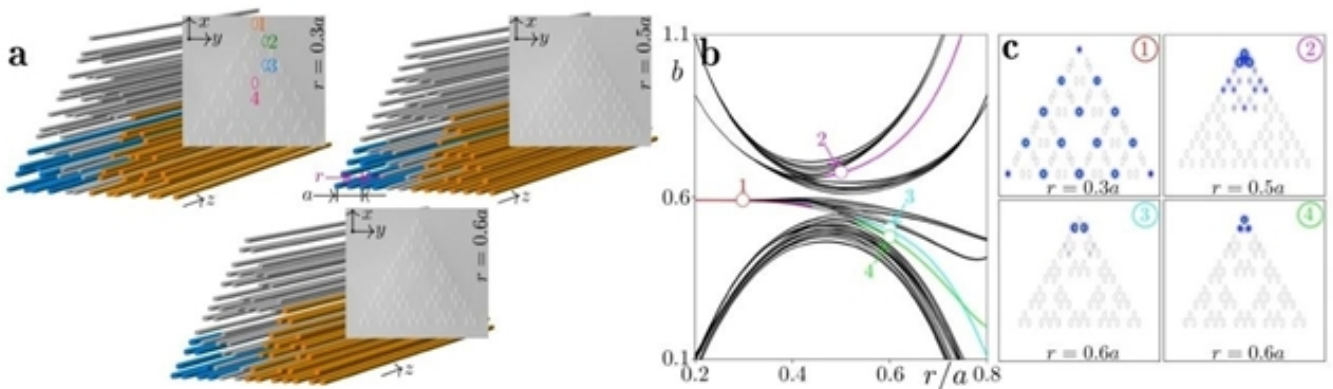


图1. (a)第3代谢尔宾斯基垫片波导阵列结构，蓝色和橙色分别对应第1代和第2代分形结构，插图
为实验室制备的样品。(b)频谱。(c)角态。

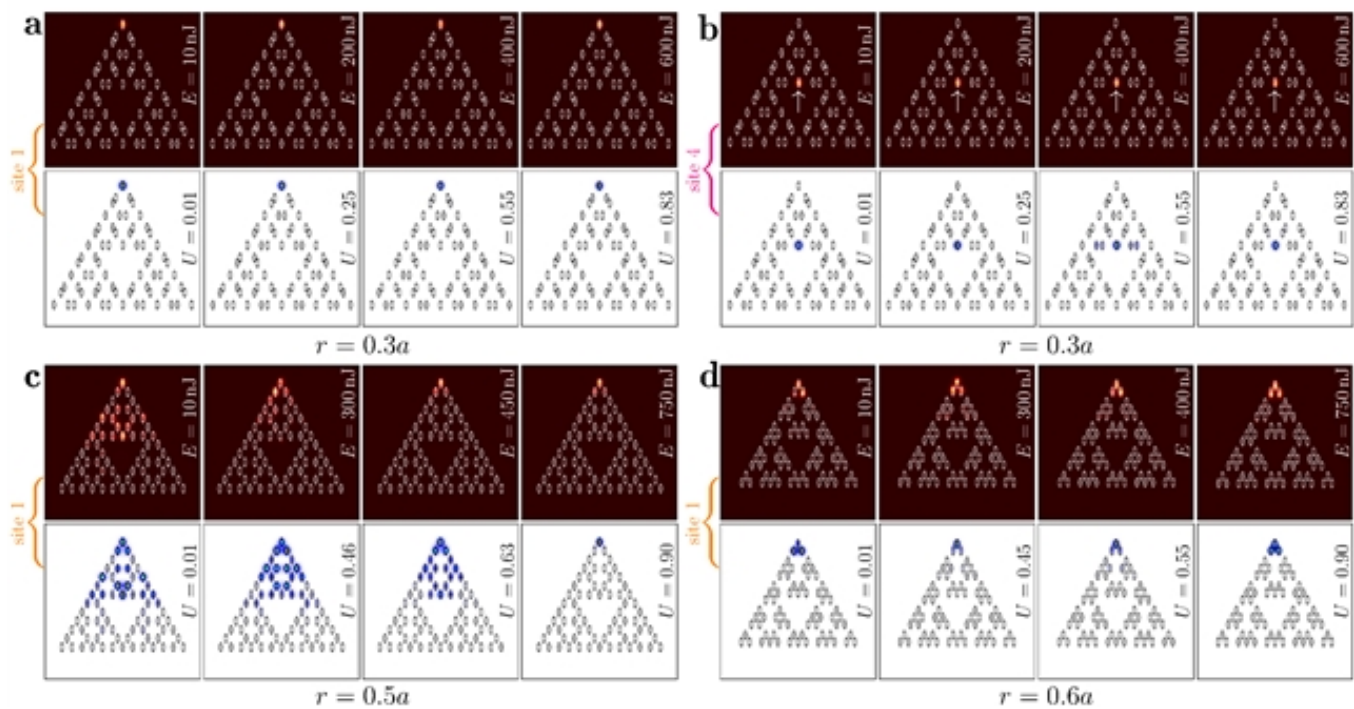


图2. 分形结构中非线性模式的激发。黑色背景的图片为实验结果，白色背景的图片为相应的数值模拟结果。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01611-1>

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：Yaroslav V. Kartashov 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