
分形结构：减少格点数，增加手性边界模

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25516.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！

分形结构：减少格点数，增加手性边界模。近日，北京大学物理学院的李焱、龚旗煌研究团队，报道了一种利用飞秒激光直写技术制备的具有三维构型的分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体，不仅将单个光子晶格中通常只支持一种手性边界模式扩展到多种，而且这些模式的单光子手性边界态在传输中仍可发生高可见度量子干涉，为制备拓扑保护纠缠资源和执行量子逻辑操作提供了可能，另外，该分形光子晶格还有望成为稳定的高容量量子信息载体。

光子反常弗洛凯拓扑绝缘体

反常弗洛凯（Floquet）拓扑绝缘体是一种周期驱动的拓扑绝缘体，其反常之处在于，虽然它的标准拓扑不变量陈数为零，但是它的绕数不为零，从而仍然可以支持拓扑边界模。

由飞秒激光直写的光波导阵列构成的光子晶格是实现光子反常弗洛凯拓扑绝缘体的一个重要的量子模拟平台，可以提供真三维波导结构的灵活设计和波导之间耦合的精确控制，而且晶格的演化距离可以映射为演化时间。

基于飞秒激光直写技术制备的光子反常弗洛凯拓扑绝缘体，相邻波导在一个循环周期内的选择性耦合是由离散周期驱动协议决定的。当工作在完全转移离散驱动协议下，光子反常弗洛凯拓扑绝缘体中手性边界模和无色散体模共存，而且手性边界模的格点能量转移效率是所有拓扑绝缘体中最高的（接近100%），因此非常适合用于传输脆弱的量子态。

然而大多数的光子反常弗洛凯拓扑绝缘体所支持的手性边界模式只具备一种手性且只沿晶格外边缘传输，即使晶格尺寸很大也是如此，因此无法满足多态拓扑量子系统和大规模光量子计算的可扩展化需求。如何增加单个光子晶格中手性边界模式的种类和数量是一大挑战。

引入分形结构增加手性边界模式的种类和数量

近日，来自北京大学物理学院的李焱、龚旗煌研究团队将分形结构引入光子反常弗洛凯拓扑绝缘体中，并首次利用飞秒激光直写技术在玻璃中制备出具有三维构型的分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体。晶格格点按照第二代（G(2)）双层谢尔宾斯基方形地毯（dual Sierpinski carpet, DSC）结构排列（图1a），对应的豪斯多夫维度为1.89D。相邻波导之间的耦合按照完全转移离散驱动协议配置：在四步耦合模型中，每一步只有一种耦合被打开，波导之间的距离被拉近以构成水平或竖直的定向耦合器且透射率被设置为100%，而其他三种耦合被关闭(图1b)。波导之间的独立耦合由这种基于定向耦合器特殊设计的三维波导结构来保证，不同于之前由相同的直波导或螺旋状波导构成的分形光子晶格结构。在所制备的基于第二代DSC的分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体中，单

周期结构中就包含多达88个定向耦合器(图1c)，但相比完整的晶格却少了很多。

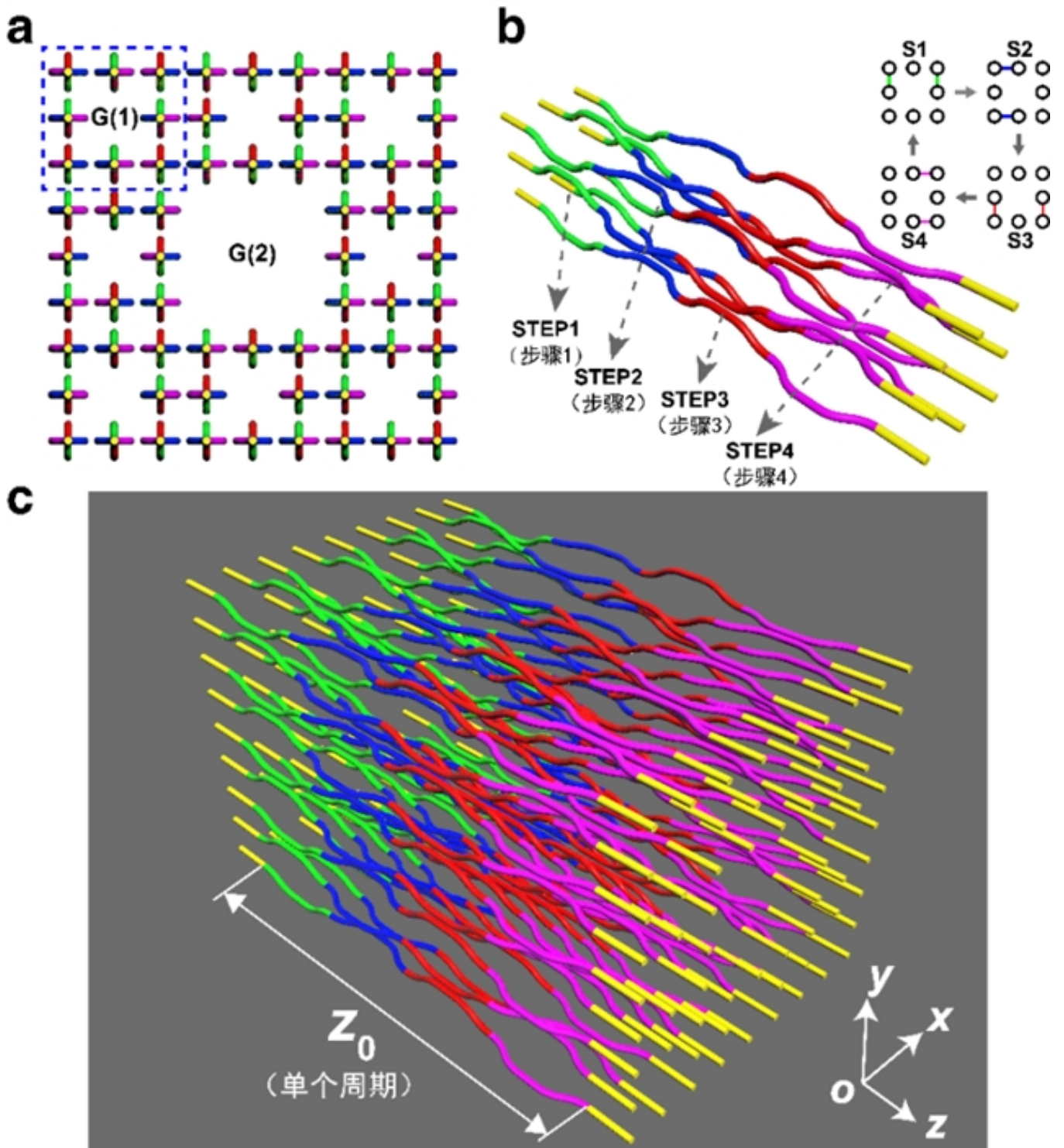


图1 第二代双层谢尔宾斯基方形地毯的分形晶格结构 (a)， 四步耦合离散驱动协议 (b) 和所制备的单周期分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体示意图 (c)。

通过计算第二代分形晶格的准能谱可以发现，分形晶格在保留原有常规晶格的手性外边界模的基础上，还产生了2种与外边界模手性相反的手性内边界模IEA和IEB，并且沿着晶格内边界传输。该分形晶格支持4种模式：17个手性外边界模，7个手性内边界模IEA，24个手性内边界模IEB和16

个体模。因此单个光子晶格所能承载的手性边界模的总数增加到48个（图2）。

在经典激光的单格点激发下，即使制备的样品中存在耦合强度的偏差，实验所观测到的手性边界模的模式传输行为与理论模拟结果仍然符合得很好，体现了手性边界模的鲁棒性。在此基础上，当激发光为一对关联光子时，所产生的单光子手性外边界态与内边界态在晶格中传输时，其模式分布和量子关联受拓扑保护，而且展现出高可见度量子干涉（图3），表明多种单光子手性边界态之间的高度不可区分性，为制备拓扑保护的纠缠资源和执行量子逻辑操作提供了可能。

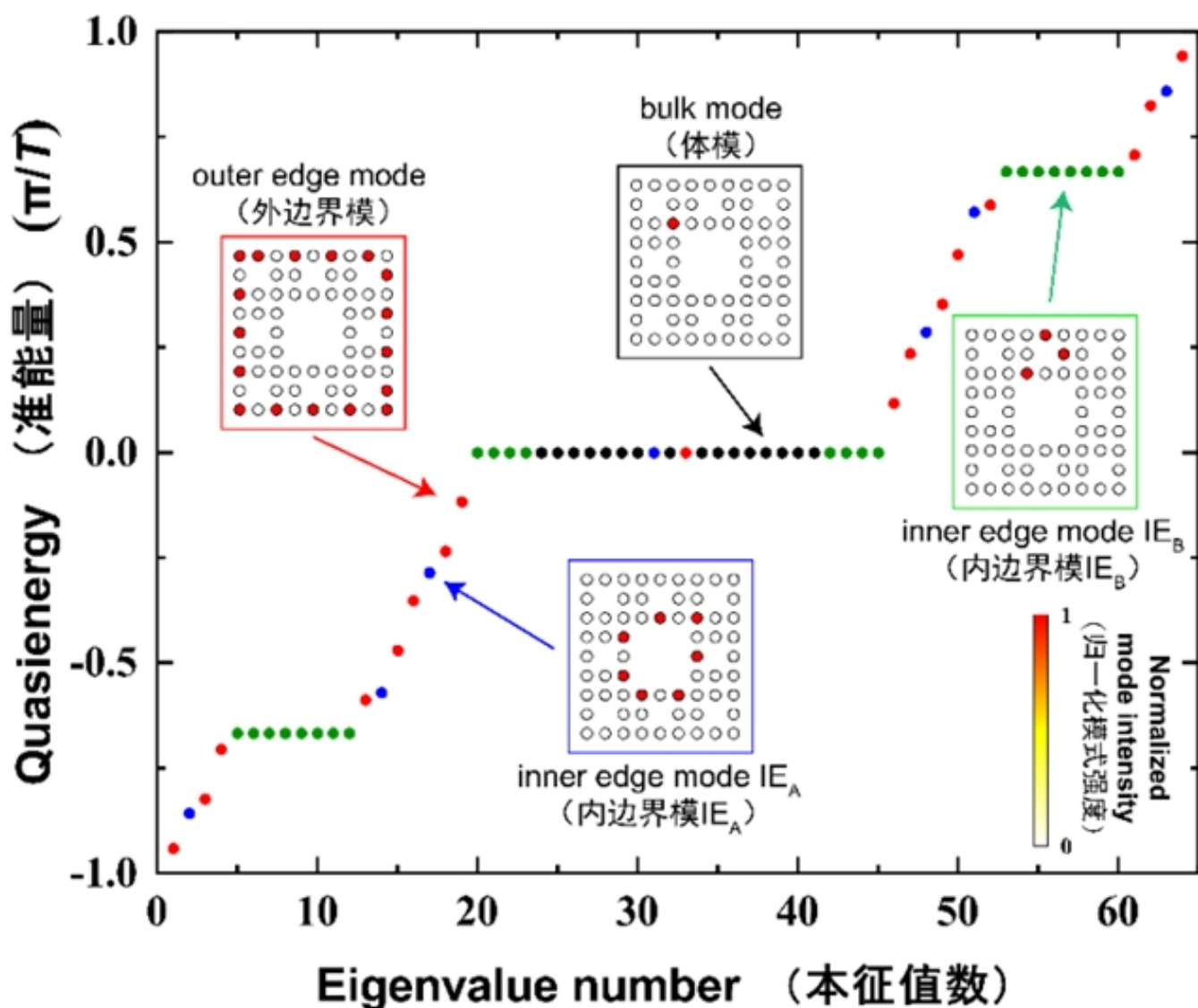


图2 分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体准能谱及4种本征模式分布。

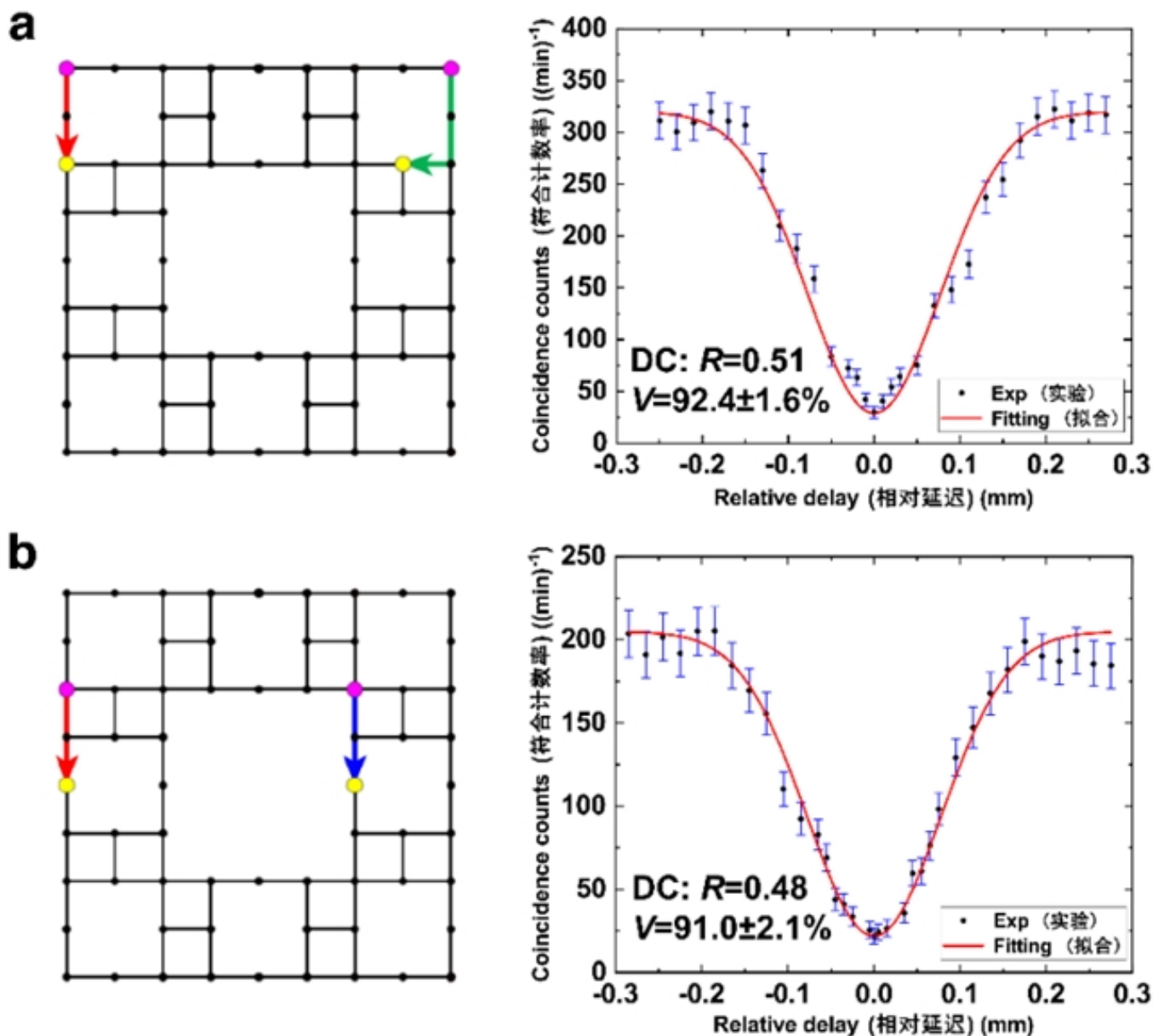


图3 分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体承载的多种手性边界模式之间的量子干涉。

前景展望

随着分形代数的增加，晶格所支持的手性边界模的种类和数量显著增长；当注入的光子是多光子，或者是处于叠加态、纠缠态的光子时，单个分形光子晶格所能承载的量子信息容量还可以进一步扩大。分形光子反常弗洛凯拓扑绝缘体可以同时支持多种受拓扑保护的量子手性边界态，不仅可以作为一种稳定的高容量量子信息传输的载体，而且还有望用于可扩展的多光子拓扑量子计算和多粒子系统量子模拟。除了本文研究的谢尔宾斯基方形地毯和三角形衬垫结构，该方法还可以推广到其他分形结构中，从而拓宽了分形光子拓扑绝缘体的研究领域。

该文章在线发表在国际顶级学术期刊《Light: Science Applications》上，题目为Fractal photonic anomalous Floquet topological insulators to generate multiple quantum chiral edge states。李萌博士后为该论文的第一作者，与李焱教授共同为该论文的通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信

公众号)

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01307-y>

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：李焱等 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