
拓扑体态BIC赋能太赫兹量子级联激光

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24279.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！

拓扑体态BIC赋能太赫兹量子级联激光。电泵浦半导体激光器是光通信、光传感和量子信息等领域不可或缺的核心器件；紧凑型半导体激光器对超大规模集成的高性能光子芯片具有重要的科学价值和意义。

实现紧凑型激光器根本在于减小光学腔内光学模式的体积模量的同时保持该光学模式的品质因子。平板光子晶体缺陷态形成于光子晶体带隙中，具备极小的体积模量，被广泛应用于低阈值半导体激光器。然而，光子晶体缺陷态容易受结构偏差影响，且输出功率普遍较低。具有连续谱中的束缚态（极高品质因子的光子晶体带边模式）的平板光子晶体能够有效提升激光器的输出功率，并具备一定的鲁棒性，然而其器件尺寸通常需要几十上百个周期，以增强光学模式的面内局域性。

近年来，具备能带拓扑特性的光子晶体结构是光子学的研究热点。对具有特殊拓扑性质的光子结构而言，空间上的缺陷和无序只会引起局部参数变化，不影响该空间的全局性质。因此，集成光子拓扑态的半导体激光器实现了前所未有的鲁棒性。然而，就电泵浦半导体激光器而言，在保证器件光学模式鲁棒性的基础上实现对激光器性能的提升，如光束赋形、极化调控、高功率输出、大面积单模输出等，一直是该领域的重要挑战。

近日，新加坡南洋理工大学电气与电子工程学院的Qi Jie Wang教授团队及其合作者们通过构建拓扑能带翻转的体态连续谱中的束缚态（Bound states in the continuum，或BICs），在量子级联激光芯片中同时实现全动态范围内单模和矢量光场输出的太赫兹量子级联激光器。

相关成果以Electrically-pumped compact topological bulk lasers driven by band-inverted bound states in the continuum为题发表于Light: Science Applications。新加坡南洋理工大学电气与电子工程学院博士后韩松(现为浙江大学杭州国际科创中心和浙江大学信电学院研究员)为论文第一作者，博士后崔洁圆和博士研究生Yunda Chua为共同第一作者；南洋理工大学电气与电子工程学院Qi Jie Wang教授为论文第一通讯作者，韩松为共同通讯作者。这项工作同时得到武汉大学曾永全教授，南洋理工大学虎良省博士和Chuan Sen Tan教授，英国利兹大学Lianhe Li博士、Alexander Giles Davies教授、和Edmund Harold Linfield教授，澳大利亚国立大学Yuri Kivshar教授等的支持。

如图1a所示，拓扑体态BIC量子级联激光器由拓扑非平庸光子晶体结构作为光学谐振腔，外围包覆拓扑平庸光子晶体结构。由于不同的拓扑相，非平庸光子晶体结构中的光学模式不能跨越拓扑界面，形成光子晶体板面内模场局域。该光子晶体激光器单元结构在正六边形晶格的中心和六个顶角刻蚀圆柱空气孔洞。由于级联量子阱上下覆盖金属，该拓扑光子晶体激发TM极化（面外电

场)的能带。拓扑非平庸光子晶体呈现能带翻转，其正交简并的两个四极子模式出现在低频，如图1d所示。

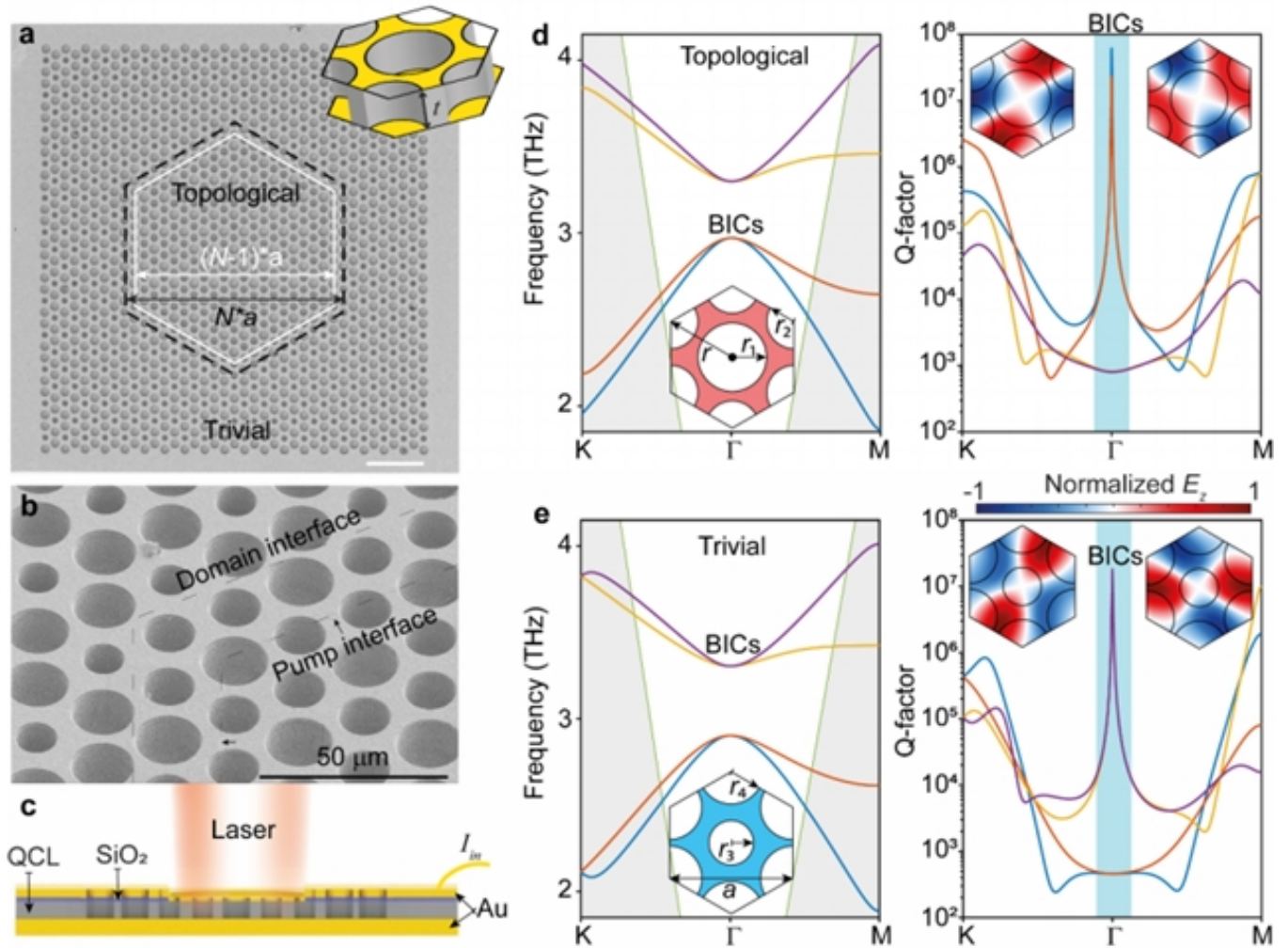


图1. a、b 拓扑体态BIC激光器加工样品图和c 器件构造示意图。a中N为非平庸光子晶体腔的横向周期数。d 通过调节光子晶体六方晶格的孔洞大小，其体态带边模式呈现翻转（即四极子模式出现在低频），为拓扑非平庸相；e 反之则为拓扑平庸相。值得注意的是，该四极子模式在布里渊中心显示出无穷大的品质因子。

值得注意的是，无论是拓扑平庸或非平庸能带，其四极子模式在布里渊中心显示出无穷大的品质因子，即连续谱中的束缚态。设计拓扑平庸光子晶体结构包覆非平庸光子晶体谐振腔，主要有以下几个方面的优势：

1. 拓扑平庸-非平庸拓扑相的差别使得谐振腔内的光学模式在面内维度实现高强度局域；
2. 体态BIC使得谐振腔内的光学模式在面外维度实现高强度局域，结合第一点，使得体态BIC具备最大化的增益竞争，保证激光器的单模输出特性；
3. 光子晶体BIC具有远场极化拓扑荷，使得激光辐射光场因此具备非平庸的矢量光斑特性；

4. 能带翻转的体态BIC出现在低频处，可以进一步减小器件的尺寸。

图2为拓扑体态BIC量子级联激光器的实验测量结果。实验加工器件 $N=7$ ，激光频率在2.93 THz附近，激光器件的泵浦区域的横向尺寸约为3个激光波长，如图2b所示。激光器在全动态范围内保持良好的单模输出：在最大输出条件下，其边模抑制比可达20 dB，如图2b、2c所示。实验测得的远场光斑具备矢量特性，即光场中心能量最弱，且在激光器和探测器中间插入线偏振片，光斑呈现稳定的随偏振角变化的瓣状分布，如图2d所示。

图2. a 实验测量的光强-电流密度-电压的连续变化曲线 (L-I-V curves)。b 拓扑体态BIC激光器的单模特性，其在最强输出时边模抑制比可达20 dB。c 全动态泵浦范围内的单模输出。d 远场光斑分布与矢量光场分析。

该研究有效地结合能带翻转的BIC和平庸-非平庸拓扑相同时实现垂直和水平方向维度的光场局域，从而获得紧凑型的电泵浦太赫兹量子级联激光器。由于能带翻转的体态BIC模式的品质因子最大且远场具备极化拓扑特性，该激光器呈现全动态范围内的单模激光和矢量光场输出。此外，文章还探讨了拓扑体态BIC在大尺度条件下的模场均一性、高功率单模输出、以及高纯度柱状矢量光场辐射等特性。该成果有望成为6G无线通信中的核心有源器件，并在太赫兹超分辨成像、太赫兹激光雷达、和太赫兹生物化学传感等相关领域有着重要的作用。（来源：中国光学）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-023-01200-8>

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等事宜，请与我们接洽。

作者：Qi Jie Wang 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