小型化连续域束缚态量子点激光器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/23455.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！

小型化连续域束缚态量子点激光器。 微纳尺度的超低阈值半导体激光器对光通信、光传感和量子信息等领域研制更大规模、更高性能的光子集成芯片(Photonic Integrated Circuits, PICs)具有重要的科学价值和应用意义。

实现微纳激光器的一般方法是通过将增益材料嵌入高品质因子(Quality Factor, Q)和小模式体积的光学微腔中，实现对光与物质相互作用的增强。在具有缺陷态或连续域束缚态(Bound States in Continuum, BIC)的平板光子晶体上已实现了超低阈值的激射。前者虽然具备超小的尺寸和极低的阈值，但是对结构的偏差非常敏感。后者表现出较强的鲁棒性，并因其理论上奇特的高Q特性被大量关注和研究，然而为接近理想的BIC，平板光子晶体通常需要上百个周期的结构单元，使得器件的尺寸无法进一步减小;由于BIC只能够实现垂直方向维度的光子强限制，其阈值也难以进一步降低。

近日，中山大学喻颖、余思远研究小组基于小型化连续域束缚态(Miniaturized Bound States in Continuum, mini-BIC)的光学微腔，结合课题组自主外延生长的高性能InAs/GaAs量子点增益材料，实现了对光子与电子的双重三维强限制，并演示了超小尺寸(<2.5×2.5 μm^2)，超低阈值(<20 μW)和高热稳定性的微纳激光器，为研制新一代光电集成芯片的高密度集成光源提供了创新的方案。

该成果以Ultra-low threshold continuous-wave quantum dot mini-BIC lasers为题发表在Light: Science Applications。博士生钟汉城为本文的第一作者，喻颖副教授和余思远教授为本文的共同通讯作者。

Mini-BIC结构的核心设计思想结合了连续域束缚态的垂直方向限制和光子晶体禁带反射结构的横向限制作用，通过对光子的三维强限制实现更小的结构尺寸。

如图1a所示，Mini-BIC结构由A和B两套不同周期的光子晶体嵌套组成。其中A区域的有限光子晶体作为激光器的谐振微腔。通过设计使得A区域的离散模式(例如M11模式)恰好处于B区域光子晶体的禁带中(图1b)，可实现对微腔模式的横向强限制。这些离散模式是处于光锥以上(绿色区域)连续域中的谐振态，还可以通过精细调控光子晶体孔洞半径和周期，使得所谓偶然BIC(accidental BIC)模式与其动量相匹配，进一步提升其垂直方向的光限制、增加其Q值。通过在实验室自主外延生长的对电子具有三维限制的InAs/GaAs量子点薄膜增益材料中加工上述BIC结构，实现了对光子和载流子的同时强限制。

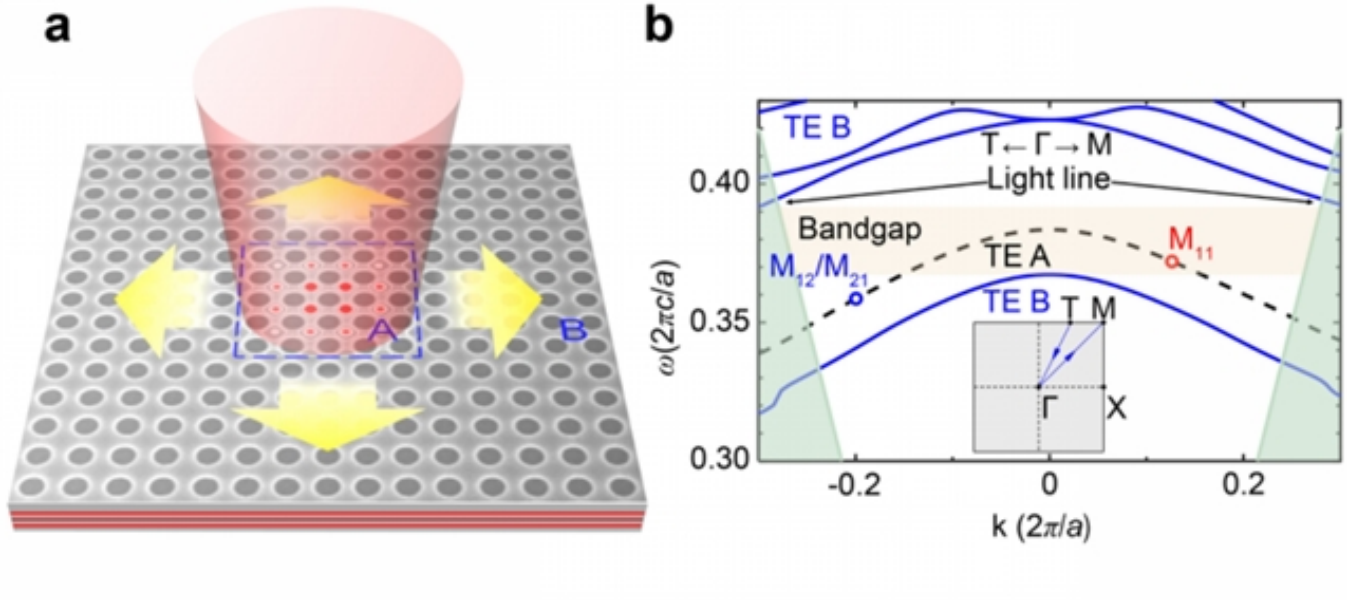


图1：小型化连续域束缚态(mini-BICs)激光器的原理。(a) Mini-BICs激光器的示意图;(b) 平板光子晶体的能带图：处于光线(Light Line)以上辐射域中有限光子晶体A的能态，位于区域B的带隙中。

研究组采用微加工工艺制备上述微纳结构，然后采用薄膜转移技术将其转移到玻璃衬底上，最后以紫外固化胶作粘结剂在其上方再覆盖一层玻璃，形成mini-BIC所需的在垂直方向对称的平板三明治结构，实现了最小微腔尺寸约为2.5×2.5 μm2，模式体积约为1.16(λ/n)3、阈值功率仅17 μW(图2a)的室温连续光泵浦单模mini-BIC激光器，器件最高工作温度可达343 K (70 °C)，拟合特征温度高达93.9 K(图2b)。通过改变光子晶体周期与尺寸，实现了约80 nm范围内的激射波长调谐(图2c)。

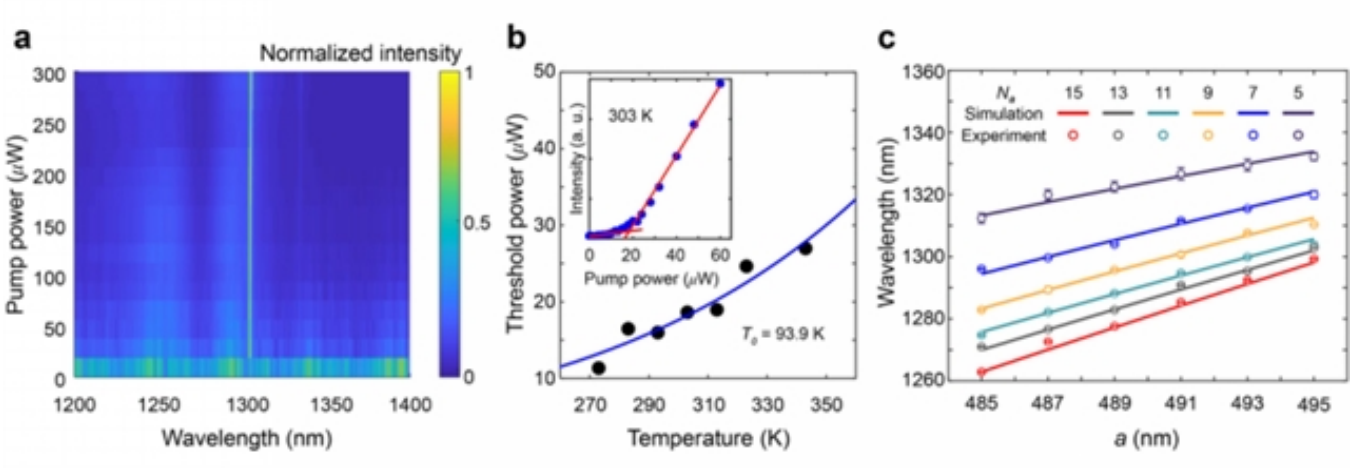


图2：mini-BICs激光器的单模激射性能表征及波长调谐。(a-b) Mini-BIC激光器 (r = 208 nm, a = 499 nm, Na = 5) 在室温条件下的变功率辐射谱(a)和变温测试结果(b)。(c)激射波长随周期数及周期大小的变化。

本研究首次将半导体量子点与连续域束缚态微腔结合，在同一个结构中实现了对电子和光子的双重三维强限制，成功实现了微米尺度的低阈值、波长可精确调控的光泵单模半导体激光器。采用

薄膜转移技术制备的mini-BIC激光器具有工艺灵活性，可在不同的衬底(如硅或铌酸锂)上制备器件。在BIC腔内对光子和载流子同时实现三维强限制的机制为实现光与物质强相互作用提供了新途径，为后续进一步实现电泵浦的BIC激光器打下了基础，也为未来片上高密度光电集成光源提供了新思路。(来源：LightScienceApplications微信公众号)

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-023-01130-5

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：喻颖等 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转发