
OEA | 当光在纳米尺度被“困住”：BIC赋能光电子未来

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40910.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！

OEA | 当光在纳米尺度被“困住”：BIC赋能光电子未来。

Opto-Electronic Advances论文推荐新加坡A*STAR滕京华教授团队系统而通俗地阐述了BIC的工作原理、设计方法以及重要应用前景，从BIC模式背后的基本物理概念出发，逐步引入材料选择、器件结构和系统级集成等实际问题，使其不仅适合非本领域的科学读者，也为来自相邻学科、刚进入该领域的研究人员提供了有价值的参考。

Emerging landscape of photonic bound states in the continuum for next-generation metadevices

Thi Thu Ha Do^{1†}, Ronghui Lin^{1†}, Daniil A. Shilkin¹, Zhiyi Yuan^{1,2,3}, Cuong Dang^{2,3}, Arseniy I. Kuznetsov¹, Jinghua Teng^{1*} and Son Tung Ha^{1*}

Abstract: Bound states in the continuum (BICs) have emerged at the forefront of optics and nanophotonics due to their exceptionally high quality-factors and unique topological characteristics. Advances in design capabilities, nanofabrication and characterization have enabled precise control of BIC resonances at subwavelength scale, unlocking exciting opportunities for applications in diverse areas such as lasing, optical sensing and nonlinear optics. The integration of phase-change materials and liquid crystals has facilitated dynamic control over light emission and absorption. In this Review, we provide a comprehensive overview of the latest progress in BIC research, covering both foundational concepts and recent advances. We begin with the underlying physics and highlight emerging design strategies, including machine learning and inverse design approaches. We discuss major breakthroughs in super-BICs, chiral BICs, intriguing concepts of flatband BICs and Moiré BICs, along with exotic phenomena, such as strong light-matter interaction, ultrafast dynamics and exceptional points. We further review the recent advancements and key challenges in BIC-enabled applications. Finally, we offer our perspectives on the promising future of BIC in fundamental research emphasizing emerging directions such as multilayer metasurfaces, interfacing BICs with quantum emitters, new capabilities enabled by advanced fabrication and design, and pathways towards scalable integration into photonic BIC metadevices.

Keywords: bound state in the continuum; metasurfaces; meta-devices; nanophotonics ; optoelectronics

DOI: [10.29026/oea.2026.250224](https://doi.org/10.29026/oea.2026.250224) | CSTR: [32247.14.oea.2026.250224](https://cstr.org/cstr/32247.14/oea.2026.250224)

Citation: Do TTH, Lin RH, Shilkin DA et al. Emerging landscape of photonic bound states in the continuum for next-generation metadevices. *Opto-Electron Adv* **9**, 250224 (2026).

<https://mp.weixin.qq.com/s/1zWrc5X0Dkg6AhDhI8He-w1/9>

¹Institute of Materials Research and Engineering (IMRE), Agency for Science, Technology and Research (A*STAR), 2 Fusionopolis Way, Innovis #08-03, Singapore 138634, Singapore; ²Centre for OptoElectronics and Biophotonics (COEB), School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 639798, Singapore; ³CNRS-International-NTU-Thales Research Alliance (CINTRA), IRL 3288, Singapore 637553, Singapore.

[†]These authors contributed equally to this work.

*Correspondence: JH Teng, E-mail: jh-teng@imre.a-star.edu.sg; ST Ha, E-mail: ha_son_tung@imre.a-star.edu.sg

文章 Do TTH, Lin RH, Shilkin DA et al. Emerging landscape of photonic bound states in the continuum for next-generation metadevices. *Opto-Electron Adv* **9**, 250224 (2026).

第一作者：Thi Thu Ha Do，Ronghui Lin

通信作者：Son Tung Ha，滕京华

研究背景

光，正悄然重塑我们的日常生活——从手机摄像头、医用传感器，到新兴量子技术器件，都离不开对光的精准操控。但要让这些设备更小、更轻、更省电，传统光学已逼近极限。一种颇具前景的解决方案源自超表面（metasurface）——这是一种在平坦且兼容芯片的平台上，通过纳米结构（即超原子）图案化而成的超薄层，能够对光实施前所未有的操控。当超表面与光电子平台集成时，便催生了所谓的超器件（metadevice），为片上光控开辟了全新途径。对于众多应用而言，将光困住以增强其与活性介质的相互作用，是一项关键诉求。这正是连续谱中的光子束缚态（BIC）大显身手之处。

不同于依赖光在两面反射镜间来回反弹的传统光学腔，BIC 利用光波之间的相消干涉来困住光线。这一机制使得光能够被限制在如 BIC 超表面这样的开放系统中。理论上，正如其名所示，BIC 是一种被束缚、不衰减且非辐射的状态，可无限期地困住光线；尽管实际局限不可避免地会导致部分泄漏，但这些准 BIC 仍保有极强的光束缚能力，使其跻身当今最具前景的光学谐振器之列。

综述内容概要

新加坡 A*STAR 滕京华教授团队综述了连续谱中的光子束缚态（BIC）的发展历程与未来走向，以 *Emerging landscape of photonic bound states in the continuum for next-generation metadevices* 为题发表在 *Opto-Electronic Advances* 2026 年第 3 期。自 2017 年首个基于 BIC 腔的激光器问世以来，该领域迅猛发展。这一势头源于学界日益清晰的认知：BIC 不仅是 1929 年冯·诺依曼（von Neuman）与维格纳（Wigner）作为薛定谔方程数学解首次提出的科学发现，更是构建光学器件的强大平台。作者引领读者梳理 BIC 的物理基石，并提供了一份材料库，旨在支持从深紫外、可见光、红外到太赫兹及微波波段的全频谱 BIC 设计。文章同时强调了一种设计策略上的重大转变：随着对更复杂功能需求的增长，高度对称的纳米结构已难以为继，使得设计挑战愈发严峻。在此背景下，基于机器学习工具的逆向设计方法应运而生，它能够构建自由形态几何结构，从而在切实可行的时间框架内，对大量相互耦合的参数进行高效优化。

BIC 的另一显著特征在于其内在的拓扑性质，这使得这些状态能够以受控方式发生分裂或合并。这种可调谐性催生了一系列非凡的光子态，如超 BIC、手性 BIC 和平带 BIC，以及诸如 BIC 极化激元凝聚、超快光开关和异常点等新兴物理现象。这些进展直接转化为实际机遇，对激光、传感、非线性光学、波前整形及成像等领域的应用具有立竿见影的意义。

展望未来，该综述揭示了令人振奋的发展前景。后续研究或许会涉及堆叠多层纳米结构以构建更复杂的光学响应，开发超越平面超表面的三维制造技术，或将 BIC 与量子发射器耦合，从而在最基础的层面上实现对光的操控。与此同时，一项重大的挑战与机遇并存：如何将这些精密的结构从实验室演示推向可靠的大规模工业化生产。如获成功，此类进展有望催生出一类新型紧凑且节能的光子元件。BIC 起初只是一个引人好奇的理论构想，如今正演变为一项实用原则，确立了其作为下一代光基技术关键赋能者的地位。

研究团队简介

研究团队由 Son Tung Ha 博士、Jinghua Teng 教授以及 Arseniy I. Kuznetsov 博士领衔，隶属于新加坡 Agency for Science, Technology and Research (A*STAR) 先进光学技术部。

致力于通过先进的光与物质相互作用来塑造光电技术的未来。
课题组的研究重心在于将超表面技术应用于下一代光电系统。针对增强现实（AR）与虚拟现实（VR）领域对紧凑性、能效及光学性能的严苛要求，开发了用于高分辨率微发光二极管（microLED）显示屏的平面光学解决方案。相关技术可实现光束整形、颜色转换、波前调控及紧凑型光引擎功能，从而显著缩减系统体积并降低功耗。与此同时，设计了基于超透镜的紧凑型成像系统，以晶圆级、轻量化的替代方案取代笨重的折射光学元件，为相机微型化及集成传感平台的发展铺平道路。

课题组研究的一个重要方向是将超表面应用于下一代光电系统。面向增强现实(AR)和虚拟现实(VR)开发高分辨率 microLED显示所需的平面光学解决方案，在这些应用中，器件的小型化、高效率和优异的光学性能至关重要。该技术可实现光束整形、颜色转换、波前工程以及紧凑型光引擎，从而显著降低系统体积和功耗。与此同时，团队还设计基于金属透镜(metalens)的紧凑型成像系统，用晶圆级、轻量化的方案取代传统笨重的折射光学器件，为微型化相机和集成传感平台铺平道路。

除经典光子学外，课题组亦涉足激子-极化激元系统等新兴物理机制，以探索光学计算的前沿。通过利用强光-物质耦合效应，致力于研发低能耗、高速度的光子信息处理架构，旨在补充乃至超越传统电子计算模式。

尤为关键的是，作为新加坡国家半导体转化与创新中心（NSTIC）的一员，课题组正全力推动平面光学技术的商业化进程。依托 12 英寸深紫外（DUV）半导体制造工艺，将实验室阶段的超表面创新转化为可量产且兼容工业标准的平台。通过融合基础物理、器件工程与大规模制造，使命在于弥合科学发现与实际应用之间的鸿沟，从而在先进光电与半导体技术领域产生实质性的社会影响。



Dr. Son Tung Ha



Prof. Jinghua Teng



Dr. Arseniy I. Kuznetsov



Dr. Thu Ha Do



Dr. Rong hui Lin



Dr. Daniil Shilkin



Prof. Cuong Dang



Dr. Zhiyi Yuan



长按识别此二维码，直达全文

来源：光电期刊

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