

---

# 基于三晶格结构的低阈值光子晶体面发射激光器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28347.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！*

基于三晶格结构的低阈值光子晶体面发射激光器。光子晶体面发射激光器(PCSEL)指的是以二维光子晶体作为谐振腔，并依靠带边模式的衍射作用实现面发射激光输出。由于这些模式通常具有较大的模场面积，因此PCSEL相较于目前通信领域常用的半导体激光器，如垂直腔面发射激光器(VCSEL)和分布反馈激光器(DBF)而言，具有更小的远场发散角。此外，由于PCSEL是通过二维光子晶体的横向反馈作用来形成谐振腔，因此无需像VCSEL那样外延数十对的分布式布拉格反射镜(DBR)来实现垂直方向上的光反馈。这些优势都为PCSEL的应用提供了足够的竞争力。

然而，PCSEL还有一些待解决的问题限制其进一步发展，其中就包括大的器件尺寸和高的阈值电流。大的阈值电流将加大器件的能耗，同时也不利于器件高速调制速率的提升。这一限制是源自于二维光子晶体腔的分布反馈机制，要求它有大的晶格周期数来提供足够强的光反馈。这就给缩小腔尺寸、降低器件阈值带来了挑战。

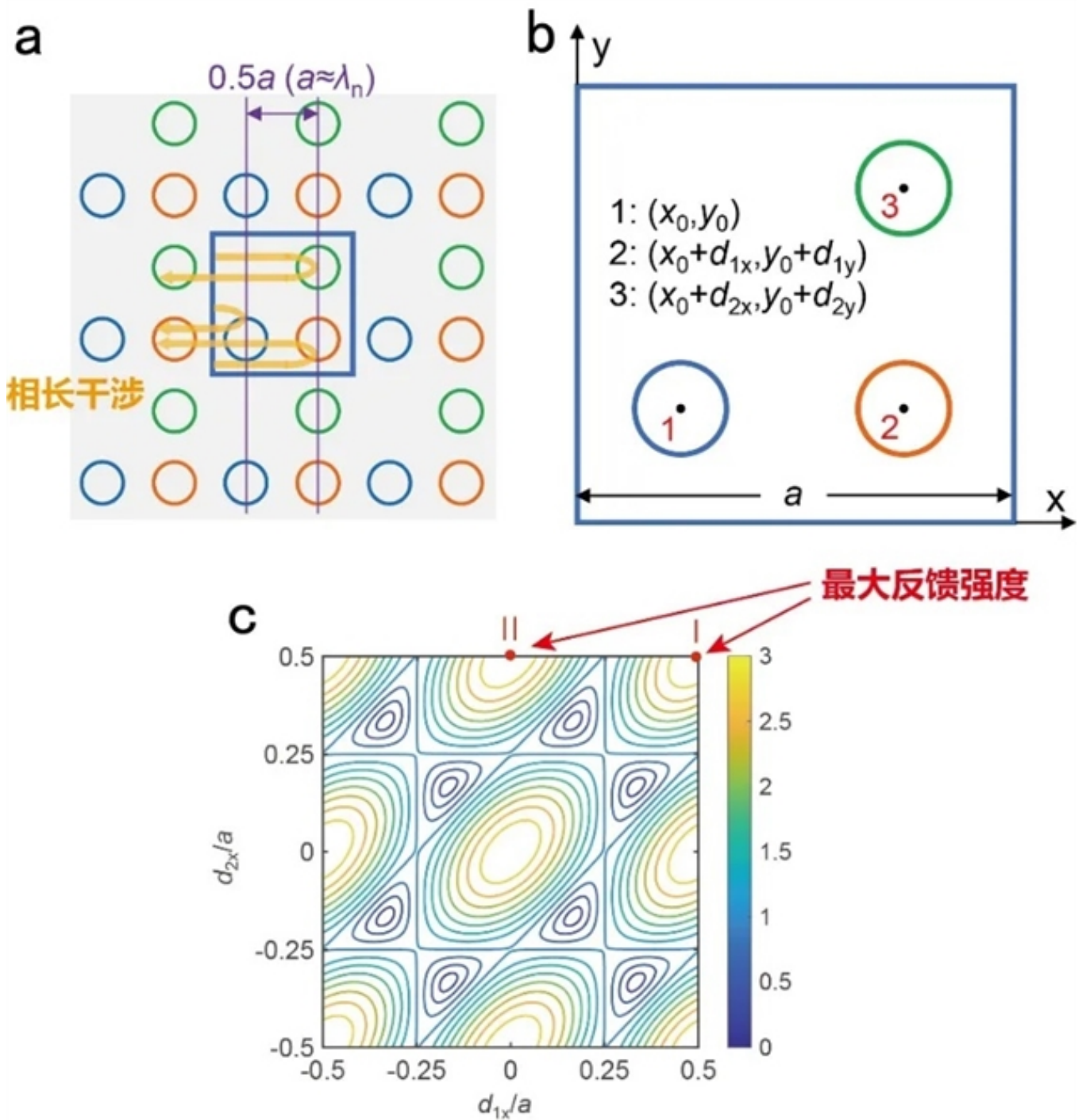


图1：三晶格光子晶体原理示意图 a)晶格结构 b)晶胞参数 c)反馈强度的相对变化 图源：Light Science Applications

为了解决这一问题，来自长春光机所的研究者提出了一种三晶格光子晶体结构来增强面内光反馈(图1)。如果我们将每晶胞内仅具有一个孔的光子晶体称为单晶格光子晶体，那么，这种三晶格光子晶体腔可视为三个单晶格光子晶体在结构上的嵌套叠加。通过调整嵌套晶格之间的相互间距，可以实现单晶格光子晶体难以实现的效果。比如，研究者在这篇文章中将晶格间距设置为波长的0.5倍，使得嵌套晶格的反馈光往返为波长的整数倍，从而实现相长干涉的效果。或者，从耦合波理论的角度来分析，光子晶体腔的光反馈强度主要受限于 $180^\circ$ 反向传输波间的耦合作用，其

大小受影响于折射率分布的二阶傅里叶系数。研究者根据这一思想，研究了其与晶格间距间的函数关系。可以看出，相较于单晶格光子晶体，它最大可以实现 $180^\circ$ 光学反馈的三倍叠加，从而抑制了水平方向上的能量泄露，为缩小腔尺寸、降低阈值提供了有效手段。

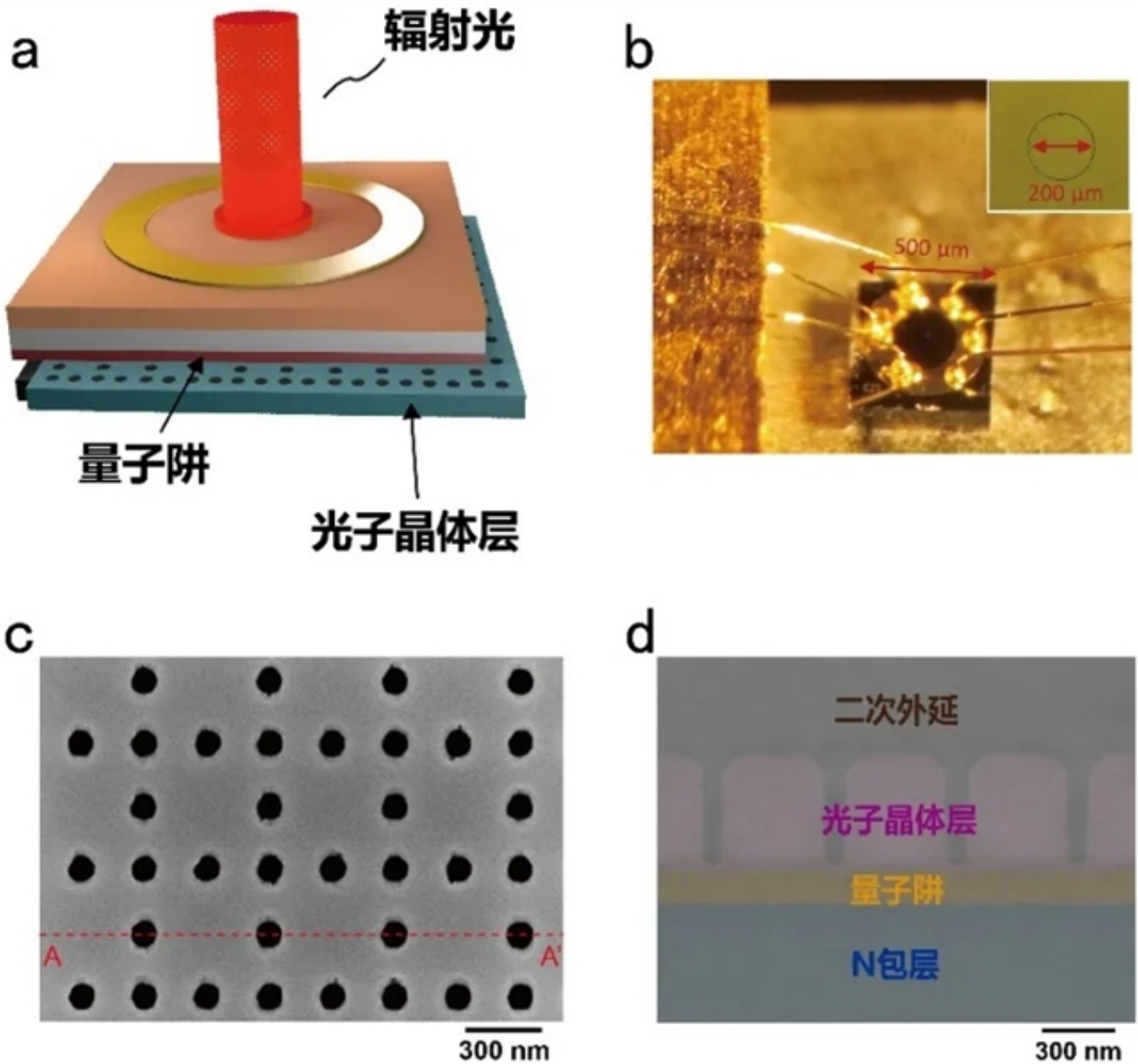


图2：三晶格光子晶体面发射激光器 a)器件示意图 b)器件实物图 c)光子晶体表面SEM图像 d)光子晶体截面SEM图像 图源：Light Science Applications

在此基础上，研究者制备了工作在 $1.55 \mu\text{m}$ 波段的PCSEL，器件结构如图2所示。该器件采用掩埋光子晶体的技术路线。顾名思义，就是将光子晶体放置在有源层附近，并通过二次外延的方式在其上方生长p-InP包层，实现光场的垂直限制。在文中，他们对器件的连续和脉冲工作特性进行了研究，并实验对比了不同光子晶体结构的阈值差异。此外，他们还从理论上分析了掩埋空气孔型PCSEL的模式损耗(图3)。在选取的四种典型光子晶体结构中，三晶格光子晶体可以实现最低模式损耗和更小的腔尺寸。

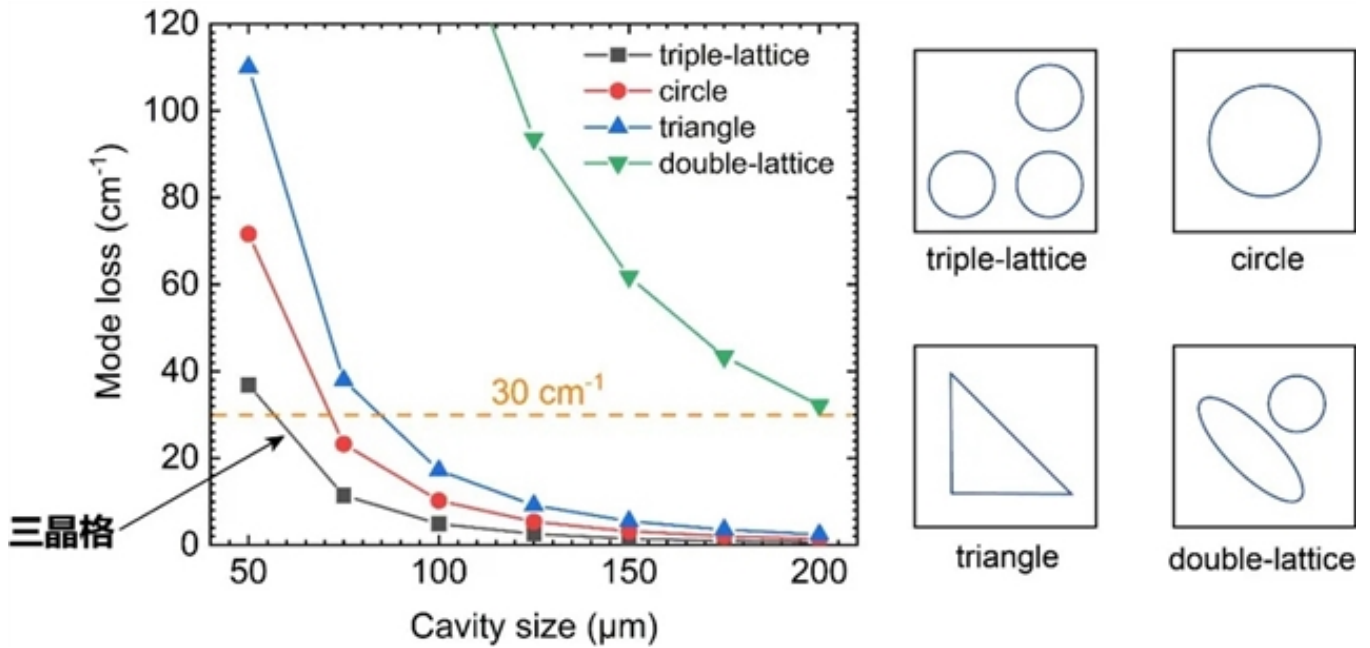


图3：不同光子晶体腔的模式损耗 图源：Light Science Applications

总的来说，研究者提出了新型的三晶格光子晶体谐振腔，并基于该结构制备了1.55 μm波段连续电泵浦PCSEL。我们相信，该成果将为了获得更小尺寸、更低阈值的PCSEL开创新的思路，未来有望实现在高速光通信等领域的应用。同时，这还有助于深化对光子晶体谐振腔反馈机理的理解，并为其设计提供新的维度。

相关成果以Continuous-wave operation of 1550 nm low-threshold triple-lattice photonic-crystal surface-emitting lasers为题发表在Light: Science Applications。论文第一作者为长春光机所博士生王子焯，通讯作者为佟存柱研究员。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01387-4>

作者：佟存柱等 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