
高亮度太赫兹量子级联面发射激光器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/30915.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！

高亮度太赫兹量子级联面发射激光器。 导读

量子级联激光器（Quantum cascade laser, QCL）是一种基于多量子阱子带间跃迁的单极性半导体光源，其发射波长不受半导体材料自身带隙限制，通过能带工程进行裁剪和设计，可以覆盖中远红外至太赫兹（THz）波段，在光电对抗、医学诊断、精密测量、空间光通信等诸多领域具有广泛的应用前景。在1~5 THz激射频率范围内，THz QCL是最有效的电泵浦半导体THz辐射源，具有结构紧凑、易集成、输出功率高和转换效率高等优点。实现高功率和高光束质量的单模量子级联激光器是光电子学和激光物理学的终极目标之一。然而，传统的大功率量子级联激光器随着器件尺寸的增大不可避免地会出现多模谐振，从而导致光束质量差、激光亮度降低等问题。因此，开发一种提高电泵浦量子级联激光器输出功率和光束质量的设计思路和技术方案至关重要。

近期，北京量子信息科学研究院的陆全勇研究员课题组与中国科学院半导体研究所刘峰奇团队合作在高亮度电泵浦太赫兹量子级联激光器研发方面取得新的进展：研究团队创新性地引入了表面金属相位工程光子晶体（SM-PEPC）腔的设计（图1），利用PEPC腔与有源区之间的具有可控的厄米和非厄米耦合作用来抑制高阶模式的振荡，通过调节PC点阵基元间的相位关系和形状关系得到对腔模和带边模损耗的精细调控（图2），在器件尺寸大幅增大的情况下（ $\sim 1.6\text{ mm} \times 1.6\text{ mm}$ ），仍能实现单一模式、单一THz光斑输出，使高亮度THz激光输出成为可能。该新型太赫兹量子级联面发射激光器在3.88 THz波段的单模输出峰值功率超过185 mW（图3），光束发散角仅为 $4.4^\circ \times 4.4^\circ$ ，在不使用任何光学透镜的情况下，垂直和横向方向的光束M2因子均达近衍射限的1.4（图4），亮度（正比于输出功率和光束质量）达到 $1.6 \times 10^7\text{ W sr}^{-1}\text{m}^{-2}$ ，相对目前主流的透镜矫正后的DFB-THz QCL提高了数倍。

这种晶格基元的相位工程设计能够在大面积器件上实现稳定和高亮度的表面发射，使其成为大面积THz QCL的理想光提取器。该研究为实现高亮度太赫兹激光器铺平了道路，相信在不久的将来，这种新型高性能的太赫兹量子级联激光器药品检测、工业工程、太空观测等方面有望开展新的应用。

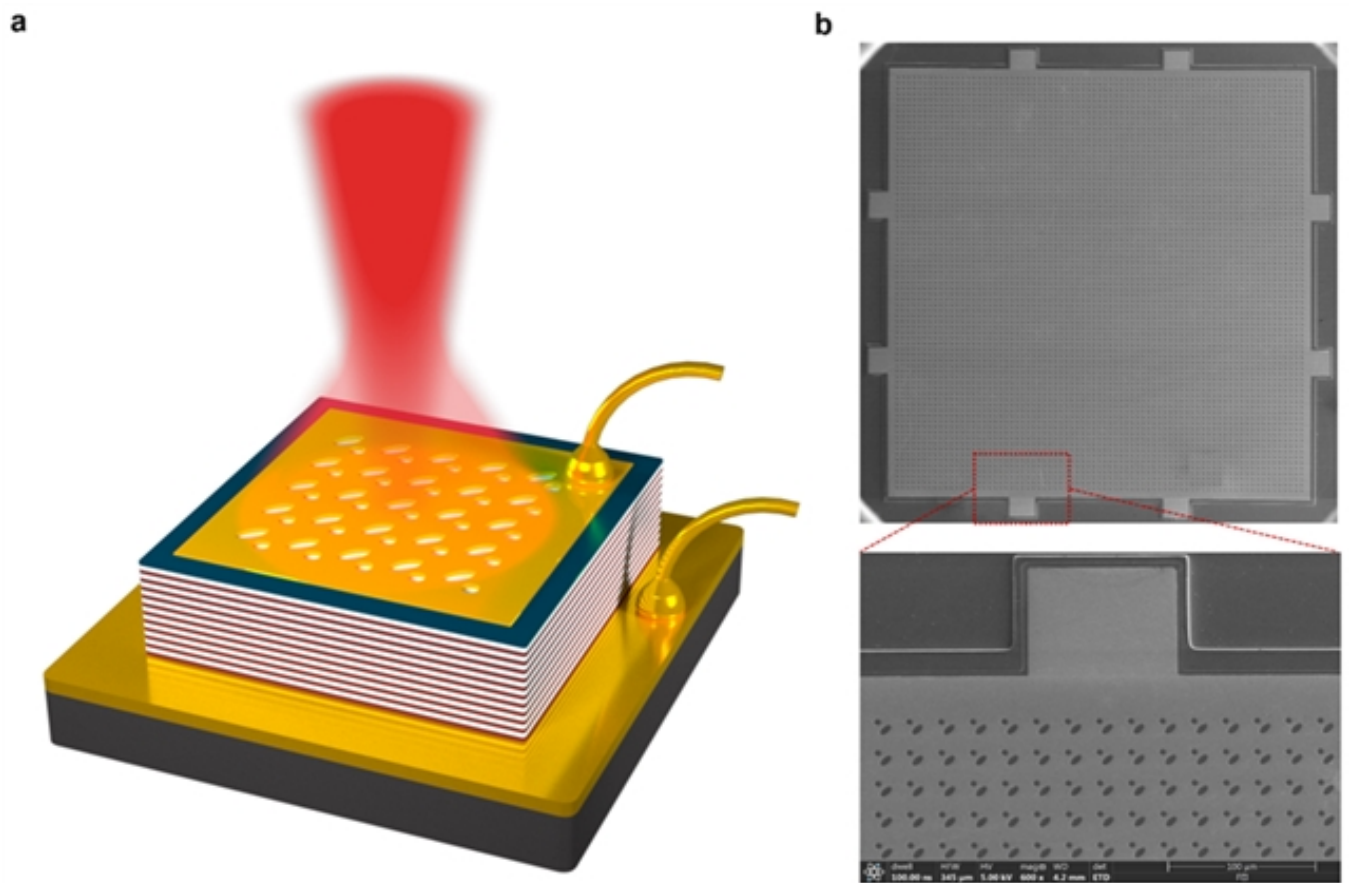


图1：电泵浦THz-PEPC QCL器件示意图和PEPC腔表面的扫描电子显微镜（SEM）图像。a,电泵浦THz- PEPC QC器件示意图；b, PEPC腔表面SEM图像。

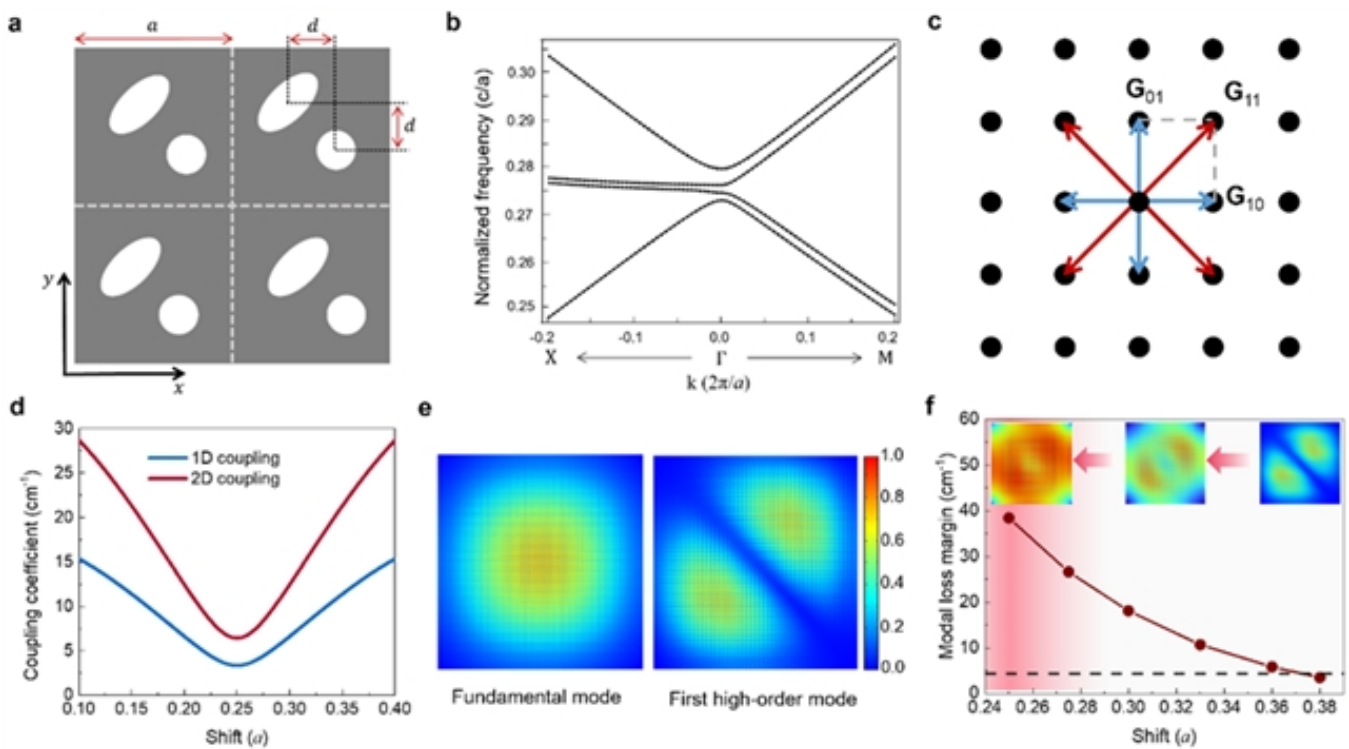


图2: 金属THz-PEPC晶格设计与仿真。a, THz-PEPC超胞示意图 ; b, THz-PEPC的光子带图(TM); c THz-PEPC的倒易点阵及其面内耦合示意图; d, THz-PEPC的面内1D和2D耦合系数与两个晶格之间的相移关系; e, THz-PEPC QCL基模和第一高阶模的电场分布; f, THz-PEPC腔中基模和第一高阶模之间的模式损耗裕度与晶格相移的关系。

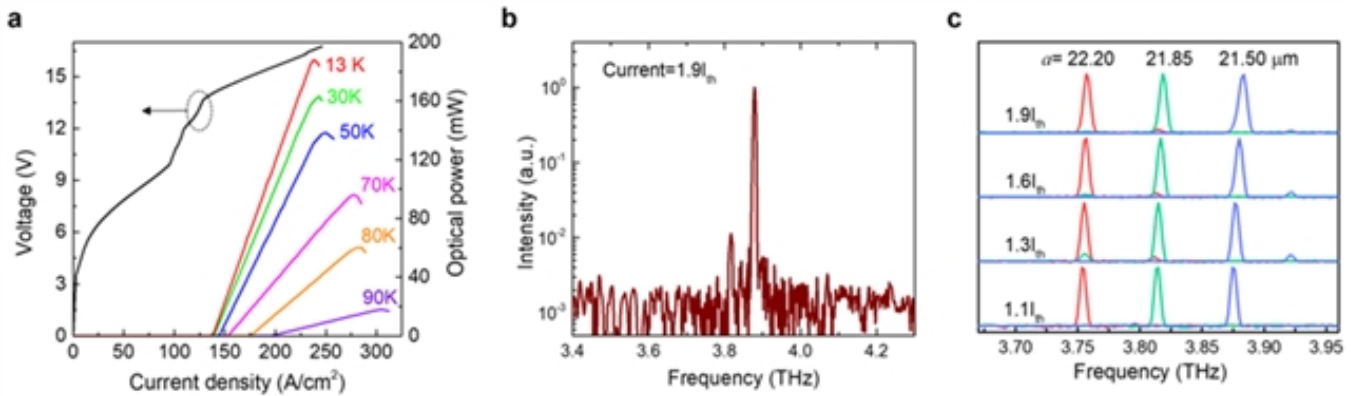


图3: THz-PEPC QCL的L-I-V和光谱特性。a, $d=0.3a$ 和 $L=1.6 mm$ 的THz-PEPC QCL在脉冲条件下不同温度的L-I-V特性。I-V曲线是在13 K时绘制的; b, THz-PEPC QCL在13 K时的光谱, SMSR超过20 dB; c, 不同晶格常数 ($a=22.20$ 、 21.85 和 $21.50 \mu m$) 的THz-PEPC QCL在13 K时的光谱。

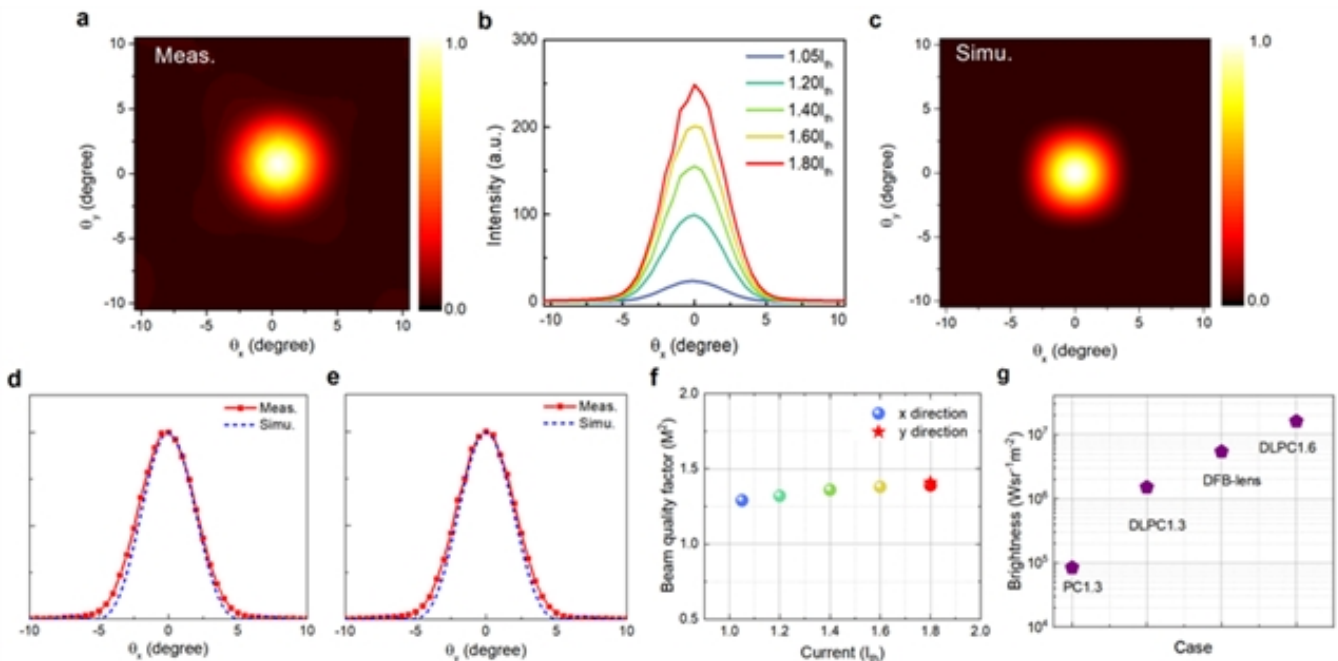


图4: THz-PEPC QCL的测量和模拟远场发射图。a, THz-PEPC QCL的实验2D远场图; b, THz-PEPC QCL在不同偏压条件下沿 θ_x 绘制的实验1D远场分布图; c, THz-PEPC QCL的模拟2D远场图; d-e, 分别沿 θ_x 和 θ_y 绘制的实验和模拟1D远场图; f, THz-PEPC QCL在不同偏置电流下的 M^2 的值; g, THz-PEPC QCL的亮度与其它典型THz QCL的亮度对比图。

相关成果以High brightness terahertz quantum cascade laser with near-diffraction-limited Gaussian

beam为题发表在国际光学顶尖期刊《Light: Science Applications》上。北京量子信息科学研究院与中国科学院物理研究所联合培养博士生李儒颂、中国科学院半导体研究所博士生许云飞和北京量子信息科学研究院工程师张世晨为论文的共同第一作者，北京量子信息科学研究院陆全勇研究员和中国科学院半导体研究所王利军研究员为该论文的共同通讯作者。该项工作得到了国家自然科学基金、北京市科委等项目支持。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01567-2>

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：陆全勇等 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