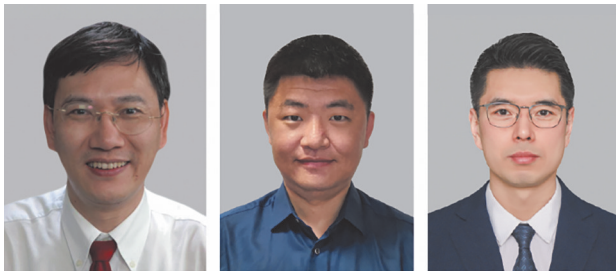




Editorial

激光微纳制造

洪明辉^{a,b}, 陈激微^{c,d}, 曹墩^e^a Pen-Tung Sah Institute of Micro-Nano Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China^b Department of Electrical and Computer Engineering, National University of Singapore, Singapore 117576, Singapore^c National Key Laboratory of Optical Field Manipulation Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China^d State Key Laboratory of Optical Technologies on Nano-Fabrication and Micro-Engineering, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China^e School of Optoelectronic Engineering and Instrumentation Science, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

洪明辉

陈激微

曹墩

激光微纳制造技术的快速发展正在引领精密制造领域深刻变革,使得复杂微纳结构的制备成为可能。凭借无可比拟的精度和多功能性,这些技术在电子、光子学和生物医学工程等多个行业发挥着关键作用。这种在微观尺度上操控材料的能力为创新开辟了全新可能,从而推动了性能更优、功能更强的先进元器件与设备的研发。

本专题收录的论文涵盖了激光微纳制造技术与应用等多个主题。厦门大学洪明辉团队深入探讨了制造极限的突破。芯片制造与量子器件领域对小型化的需求推动了纳米加工技术进步,催生了高密度、高性能元件问世。电子束与纳米压印光刻等技术已实现纳米级精度,以台积电、英特尔和三星为代表的产业界正致力于2025年实现2 nm制程工艺。华中科技大学熊伟和高辉教授团队关于激光三维打印技术的综述尤具价值——多光子三维纳米打印能实现高分辨率纳米加工,已广泛应用于光学、生物与工程领

域,但其产业化仍受限于加工速度与材料体系。该综述系统梳理了光学方法进展与挑战,并就提升未来应用中生产效率、成本效益及跨尺度加工能力提出了建设性策略。在此方向上,浙江大学杨华勇和马梁教授团队聚焦精准医疗应用——多光子聚合(MPP)技术——突破了传统3D打印的局限,可实现微纳医疗器械的高精度、非接触式制造。该综述不仅阐述了MPP技术原理、材料体系与生物医学应用,还深入探讨了材料设计、工艺优化及实际应用中的关键挑战与发展方向。

超表面与量子光学作为现代光子学两大前沿领域,其发展离不开激光微纳制造技术的核心支撑,本专题展示了多项突破性研究成果。上海交通大学张东石和李铸国教授团队报道了基于钨材料的层级激光诱导周期性表面结构/纳米颗粒(LIPSS/NP)超表面,实现了具有偏振敏感性、鲜艳色彩表现和红外伪装功能的显示技术。该研究以梵高《星月夜》为灵感的原理验证,配合初步实验数据,充分展示了这一技术路线的应用潜力。日本Yoshiaki Nishijima团队通过实验测定金、银、铜、钯、铂五种贵金属组成的高熵合金复介电常数,证实其在紫外至中红外波段完美吸收/辐射超表面的应用价值。英国Mohsen Rahmani和Lei Xu教授团队创新性地将遗传算法、空间光调制器与硅基超表面相结合,提出了一种动态非线性波前整形方法。该技术实现了三次谐波生成图案的灵活调控,显著提升了光

学计算与信息处理能力。罗先刚教授团队开发出一种简捷可靠的纳米对准量子测量技术，通过采用模式转换超表面，突破了传统多光束干涉法的局限，突破衍射极限达到1 nm的分辨率，为纳米加工、传感与成像提供了实用解决方案。

此外，激光微纳制造技术在表面摩擦控制与辐射制冷等众多应用领域发挥着关键作用。西安交通大学梅雪松和崔健磊教授团队研究表明，通过纳秒激光照射扫描近场光学显微镜（SNOM）探针，可在金膜上实现无掩模亚波长纳米结构加工，获得约83.6 nm的特征线宽。这一稳定且可重复的工艺为多种材料提供了精确、经济的纳米光刻解决方案。西安交通大学杨青与陈烽教授团队受生物启发，采用飞秒激光电沉积制备超耐久鳞甲滑动表面（SASS）。该材料模仿鱼鳞结构，在恶劣环境中展现出卓越的抗冲击、拒液与防污性能。澳大利亚郭春生和贾宝华教授团队研发了一种极具实用价值的热管理解决方案——基于聚合物超表面可重复使用的柔性磁控辐射制冷薄膜。该薄膜能确保最佳热接触状态，即使在不规则金属表面也可实现

15.2 °C的显著降温效果，其辐射制冷功率密度最高可达 $259 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。大连理工大学曹墩教授团队通过集成相变材料 Sb_2S_3 ，研制出动态可重构塔姆等离激元滤色器。该器件可实现约50 nm光谱偏移的可逆、非易失且节能的调控，为紧凑型光子系统和先进显示技术开辟了新途径。

激光微纳制造技术站在未来技术发展的最前沿，提供了一套多样化的加工方法，可精准满足不同应用场景的特殊需求。减材制造技术（如激光烧蚀、刻蚀和精密切削）通过材料去除工艺来制备精密结构，这些方法以其卓越的加工精度和效率著称，特别适合高精度应用领域。增材制造技术（包括激光诱导化学气相沉积和激光微熔覆）则能构建具有复杂几何形状的材料层，通过精确控制特定性能材料的添加，为制造具有定制化特性的组件提供了独特优势。混合制造技术创造性地整合了增材、成形和减材工艺，可满足多功能柔性微纳传感器的多样化需求。这种方法能适应不同尺度、维度和材料的加工要求，从而实现了传统单一加工方法难以完成的复杂结构制造。