

微纳有序，速刻赋能：飞秒激光加工助力石墨烯微型超级电容器性能跃升

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40976.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！

微纳有序，速刻赋能：飞秒激光加工助力石墨烯微型超级电容器性能跃升。 导读

东北师范大学徐海阳教授团队通过将飞秒激光等离子刻蚀工艺与空间光调制技术相结合（SLM-FPL），在硅基氧化石墨烯复合薄膜（GO、GO/MXene、GO/COF）表面原位实现了阵列式电极结构化平面微型超级电容器（SEP-MSCs）的高效、高质量制备。与传统器件相比，应用该策略制备的器件电化学性能提升明显，其在紧凑型LED驱动电路、柔性传感等领域展现出了良好的应用潜力。该研究成果近日以"High-efficiency femtosecond laser fabrication of graphene-hybrid planar micro-supercapacitors with micro/nanostructured electrodes"为题在线发表在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》上。第一作者为东北师范大学博士研究生张誉元和中国科学院长春光机所邹婷婷博士，通讯作者为徐海阳教授、辛巍副教授和刘为振教授。

研究背景

随着光电器件不断向微型化与集成化方向发展，其对内嵌式高性能储能单元的需求日益凸显。在有限的平面空间内，构建兼具高能量密度与高功率密度的平面微型超级电容器（P-MSCs），已成为突破相关领域技术瓶颈的关键路径。研究表明，选用电化学性能优异的电极材料并在其表面构建形貌规整的微纳结构，是提升此类器件性能的有效途径。然而，现有微纳加工技术往往工艺复杂、成本较高，难以实现大面积、规模化的高效制备。因此，发展一种能够同时满足结构高精度制造、高效率规模化生产以及与传统半导体工艺相兼容的加工技术，仍是该领域所面临的核心挑战。

创新研究

研究团队首次提出了飞秒激光等离子体刻蚀与空间光调制（SLM-FPL）的融合技术，在硅基氧化石墨烯复合薄膜材料（GO、GO/MXene、GO/COF）表面，成功实现了具有电极结构化特征的平面微型超级电容器（SEP-MSCs）的高质量制备。该策略在微纳结构加工效率、成形质量以及最终器件的电化学性能方面均展现出显著优势。与传统激光加工技术不同，该加工策略通过光斑辐照扫描，可在宏观上直接形成阵列式叉指构型器件，并在电极表面微观区域同步诱导出大面积、高规整性的纳米光栅结构。这一宏/微观结构的同步构筑，使得器件整体加工效率提升达数个量级。通过精细调控激光加工参数，可进一步优化材料表面的浸润性与导电性，从而有效改善电极-电解液界面接触状态，促进电荷传输动力学。表面构筑的微纳结构不仅显著增加了电化学生

性面积与反应活性位点密度，还可调控局部电场分布。多因素的协同作用下，器件性能得到系统性提升。

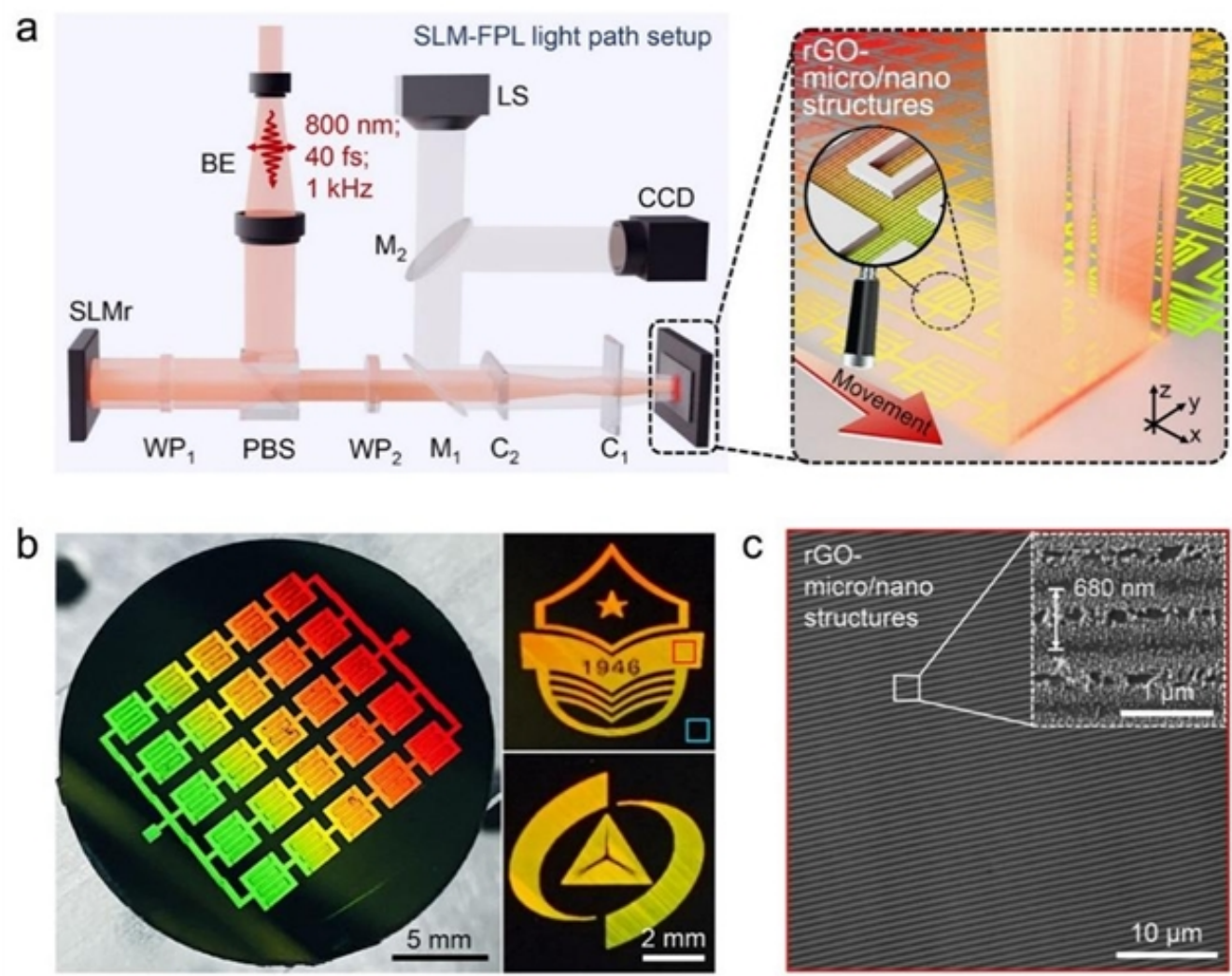


图 1. 基于 SLM-FPL 技术快速制备阵列化氧化石墨烯基 SEP-MSCs 的示意图及实际样品图。

实验表明，具有优化微纳光栅结构的SEP-MSC器件，其体积电容相较于无结构电极器件提升约8倍，最终实现了约41.4 F/cm³的体积比电容，对应的能量密度和功率密度分别达到约2.81 mWh/cm³和0.32 W/cm³。基于稳定可控的加工工艺与高度规整的周期性表面微纳结构，器件表现出优异的电化学一致性及循环稳定性，在5000次循环充放电后容量保持率仍达93%以上。上述优异综合性能保障了该器件在紧凑型LED驱动电路及柔性传感系统等场景中，具备可靠的供能应用潜力。

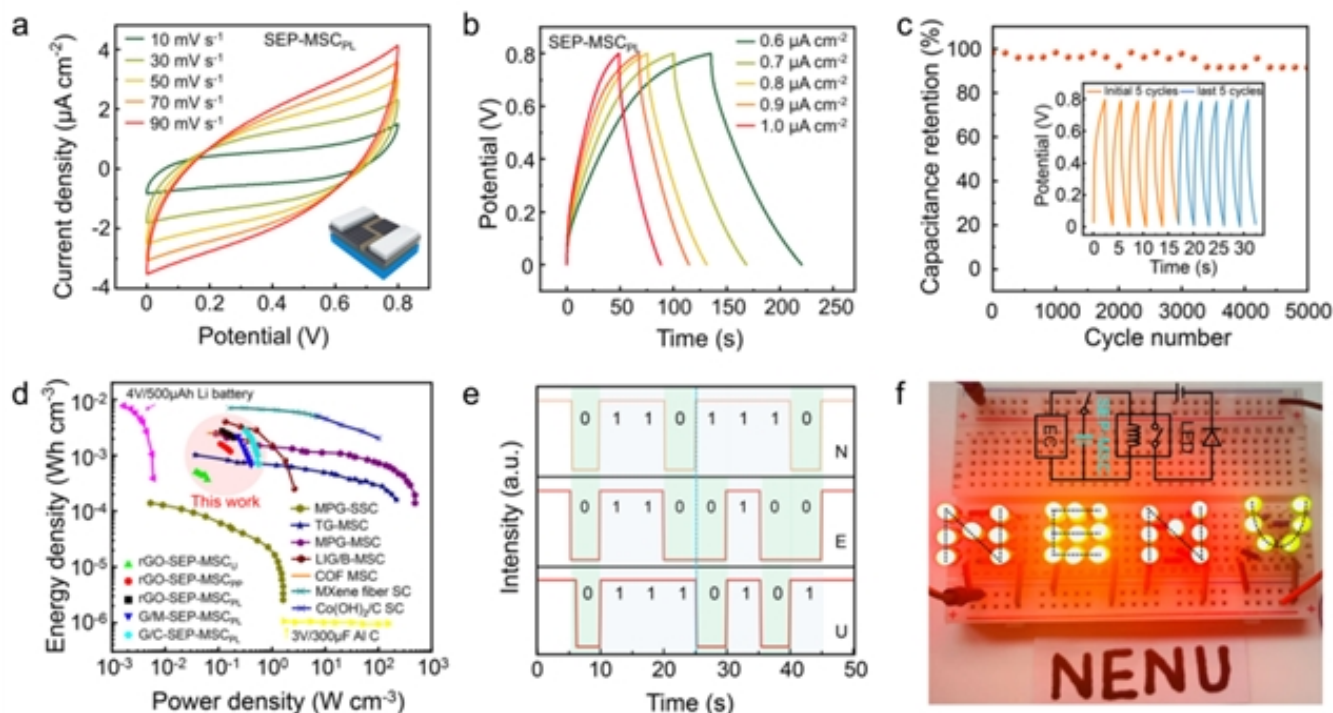


图2. 基于氧化石墨烯及其复合材料的SEP-MSCs性能分析与应用展示。

总结与展望

本研究提出的加工策略在材料普适性、操作灵活性与器件性能可控性方面表现突出，为平面微型储能器件的高质量构筑提供了新的技术路径。所发展的器件在未来的高密度封装微纳光电子集成系统中显示出了重要的应用潜力。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-025-02182-5>

作者：徐海阳等 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