

---

# 无光引发剂的多光子光刻

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31946.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！

**无光引发剂的多光子光刻。** 导读

多光子光刻（Multiphoton Lithography, MPL）是一种三维激光直写技术，能够实现高分辨率的三维微纳结构制造，已被广泛应用于微光学、生物医学和可编程材料等研究领域。MPL基于非线性多光子吸收原理，当分子同时吸收多个光子时，会产生激发态，从而导致化学反应，如自由基聚合。提升MPL加工效率的常用方法是研发高效光引发剂，并优化其吸收特性以匹配激光波长的多光子吸收。然而，这种方法常常与高分辨率的要求相矛盾，高分辨率光敏材料通常加工速度较慢或需要复杂的化学反应。尽管近年来高性能光引发剂的研发取得了显著进展，但其应用仍面临毒性、荧光、光漂白、聚合不均以及波长范围受限等问题，对MPL在生物应用、微光学和纳米光子学领域的发展构成了挑战。

近期，来自立陶宛维尔纽斯大学的Mangirdas Malinauskas教授团队在Light: Advanced Manufacturing发表了题为X-photon 3D lithography by fs-oscillators: wavelength-independent and photoinitiator-free的研究论文。研究团队突破性地利用不含光引发剂的混合有机-无机光刻胶SZ2080TM，通过高重复频率、低峰值功率的飞秒激光振荡器，实现了波长无关的高分辨率光刻加工，特征尺寸达300 nm，写入速度达105  $\mu\text{m/s}$ ，显著拓展了非光敏材料的光学制造能力。

由于SZ2080TM对所使用的激光波长（517 nm、780 nm和1035 nm）均为透明，因此需要非线性吸收来引发光聚合反应。针对线性吸收峰（259~260 nm）的光谱匹配，517 nm光需同时吸收2个光子、780 nm需吸收3个光子，而1035 nm需吸收4个光子，以达到激发所需的光子能量,如图1所示。研究人员进一步证明了不同波长激光振荡器在引发无光引发剂SZ2080TM材料的多光子聚合的有效性，并成功制造出尺寸为 $20 \times 20 \times 15 \mu\text{m}^3$ 、层内周期为1  $\mu\text{m}$ 的高精度三维木堆结构。

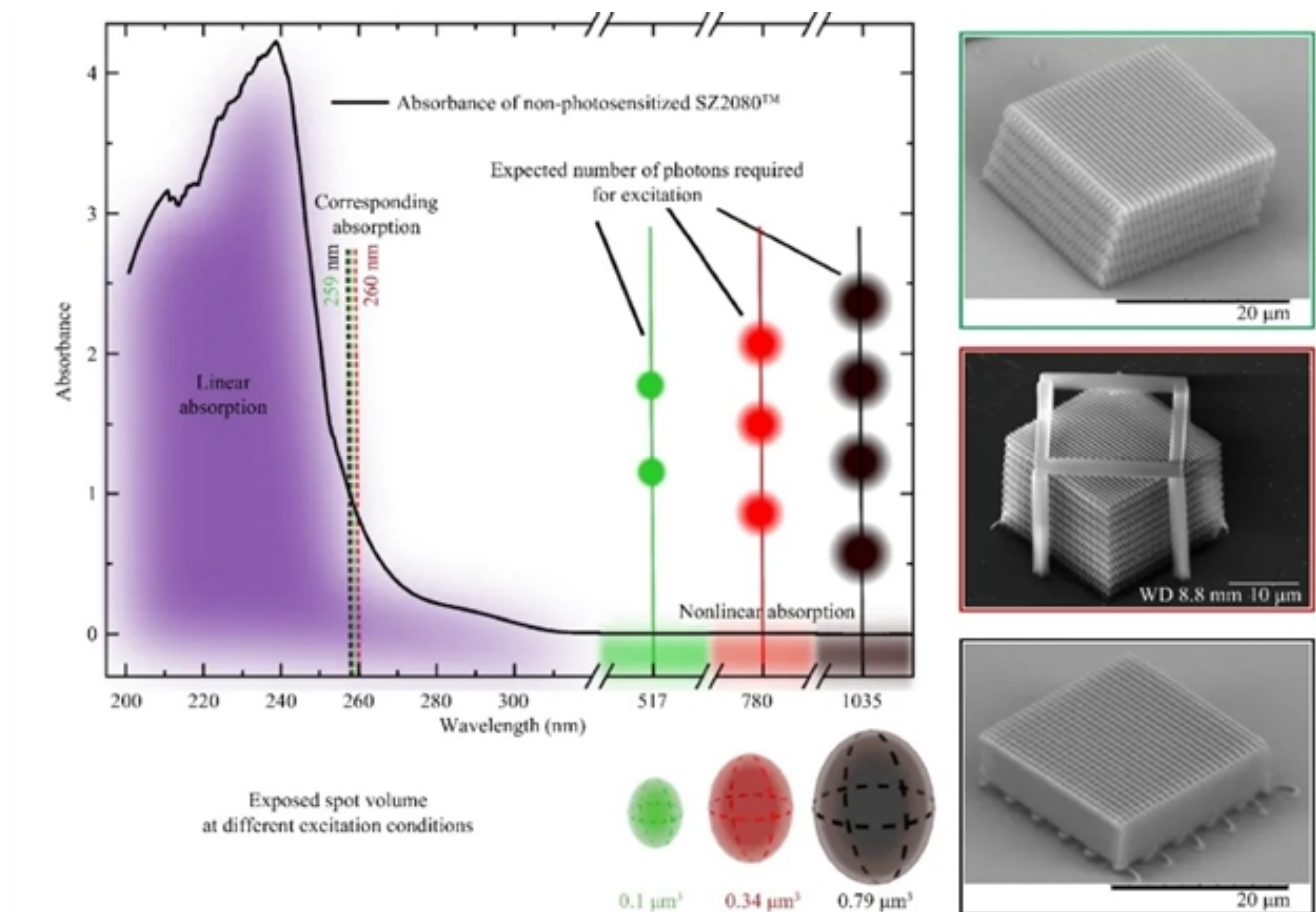


图1：SZ2080<sup>TM</sup>光刻胶的吸收光谱、理论曝光光斑体积和加工结果

进一步地，研究人员探讨了无光引发剂SZ2080<sup>TM</sup>及其衍生材料在780 nm激光下的加工特性，重点分析了材料中有机组分浓度对动态制造窗口的影响，如图2所示。结果表明，随着有机组分浓度的增加，制造窗口从含光引发剂材料的约一半进一步缩小至四分之一，但通过优化激光参数，仍能够成功制造出稳定的三维结构。实验结果表明，动态制造窗口的变化反映了能量沉积机制的影响，为后续研究非光引发剂材料的加工性能及其在不同材料体系中的应用提供了重要参考。

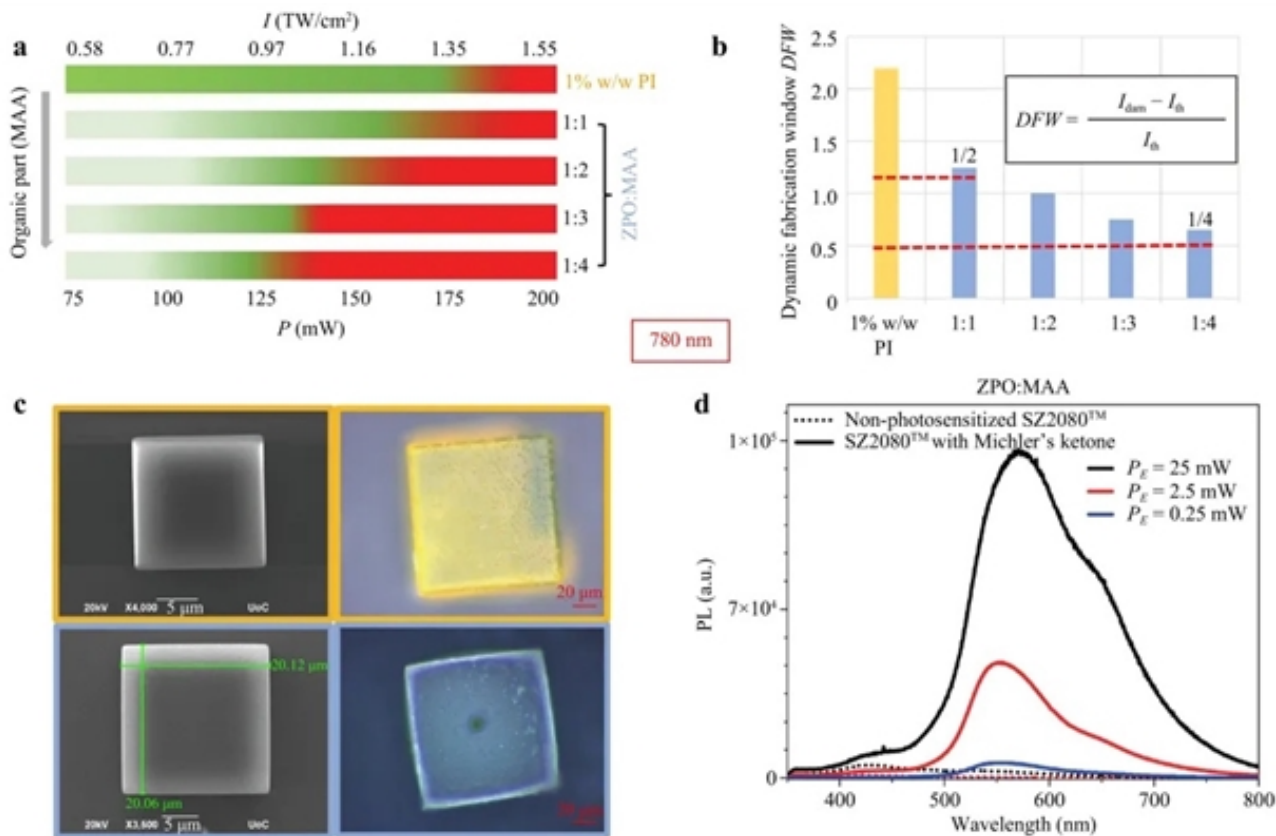


图2：基于780 nm激光源的动态制造窗口优化和光刻结果

最后，研究人员通过使用三种不同波长的激光振荡器（517 nm、780 nm和1035 nm）对无光引发剂SZ2080<sup>TM</sup>材料进行了三维木堆结构的加工实验，如图3所示。实验结果表明，使用不同波长的激光振荡器均能成功制造出结构明确的木堆，验证了该材料的波长无关加工能力。相比之下，780 nm激光加工表现出更高的分辨率（最小线宽277 nm，红色框），但加工过程更为敏感，部分结构在显影过程中因附着力不足而脱落，为此引入了框架支撑结构以提高稳定性（图3b）。此外，1035 nm激光源同样实现了清晰的木堆结构（黑色框），而517 nm激光源则在高扫描速度下实现了大规模结构加工（绿色框）。这些结果表明，即便去除光引发剂并使用非放大级激光振荡器，该方法仍可实现与添加光引发剂材料相当的加工质量和效率，展示了非光引发剂材料的巨大应用潜力。

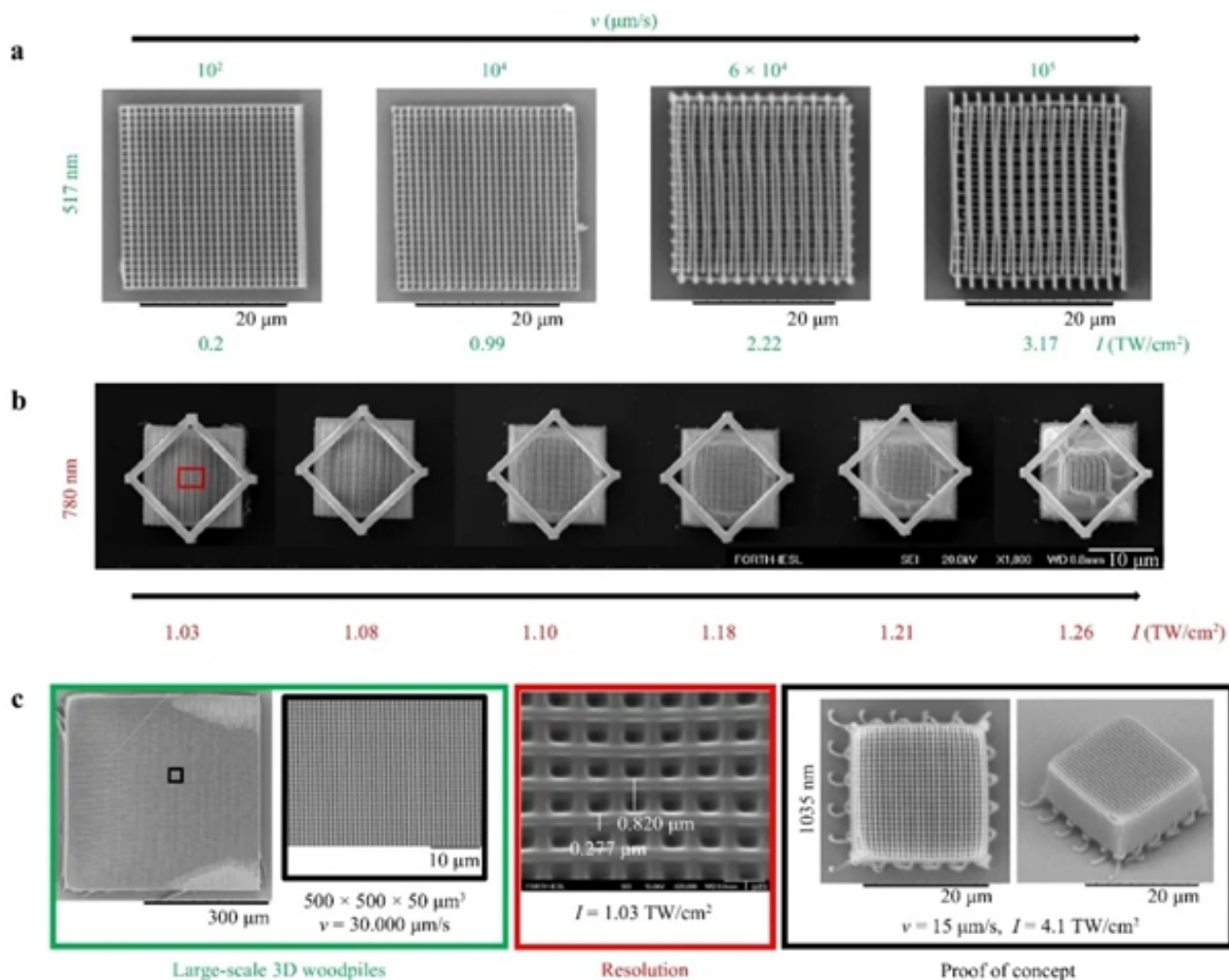


图3：三种不同波长激光振荡器的MPL结果对比

## 总结与展望

综上所述，研究人员利用光场与材料相互作用的独特机制，实现了光能在次衍射极限范围内的沉积，并通过光电离与自由电子等离子体的生成引发光交联反应，从而完成了高效的三维打印。这项技术在无内着色、低自发荧光以及更高生物相容性等方面展现了显著优势，不仅揭示了非光敏化材料在三维光刻中的应用潜力，也为实现高效率、高分辨率的增材制造提供了创新路径，为未来生物医学、微光学及相关领域的技术发展奠定了坚实基础。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2024.048>

作者：Mangirdas Malinauskas 来源：《光：先进制造》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

---

本文版权归作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发