

---

# 鞋盒尺寸的3D激光纳米打印机

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/29108.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！*

## 研究成果

双光子聚合技术是一种能够实现超衍射极限的纳米3D打印方法，但通常需要昂贵且体积庞大的飞秒激光器来激发双光子吸收。2021年，德国卡尔斯鲁厄理工学院的Martin Wegener教授团队提出了一种基于两步吸收法的光聚合方法[1,2]，只需使用半导体激光二极管即可实现接近双光子聚合的加工精度。相比驱动双光子吸收所需的超快脉冲激光器，其尺寸和成本降低了2至3个数量级，展示了3D激光纳米打印机在大幅降低设备成本和缩小装置体积方面的巨大潜力。

近期，Martin Wegener教授团队进一步设计并实现了基于两步法的高集成化3D激光纳米打印机，装置的整体尺寸仅为鞋盒的大小，为3D纳米打印技术的普及带来了新的可能性。该成果以A shoe-box-sized 3D laser nanoprinter based on two-step absorption为题发表在Light: Advanced Manufacturing。

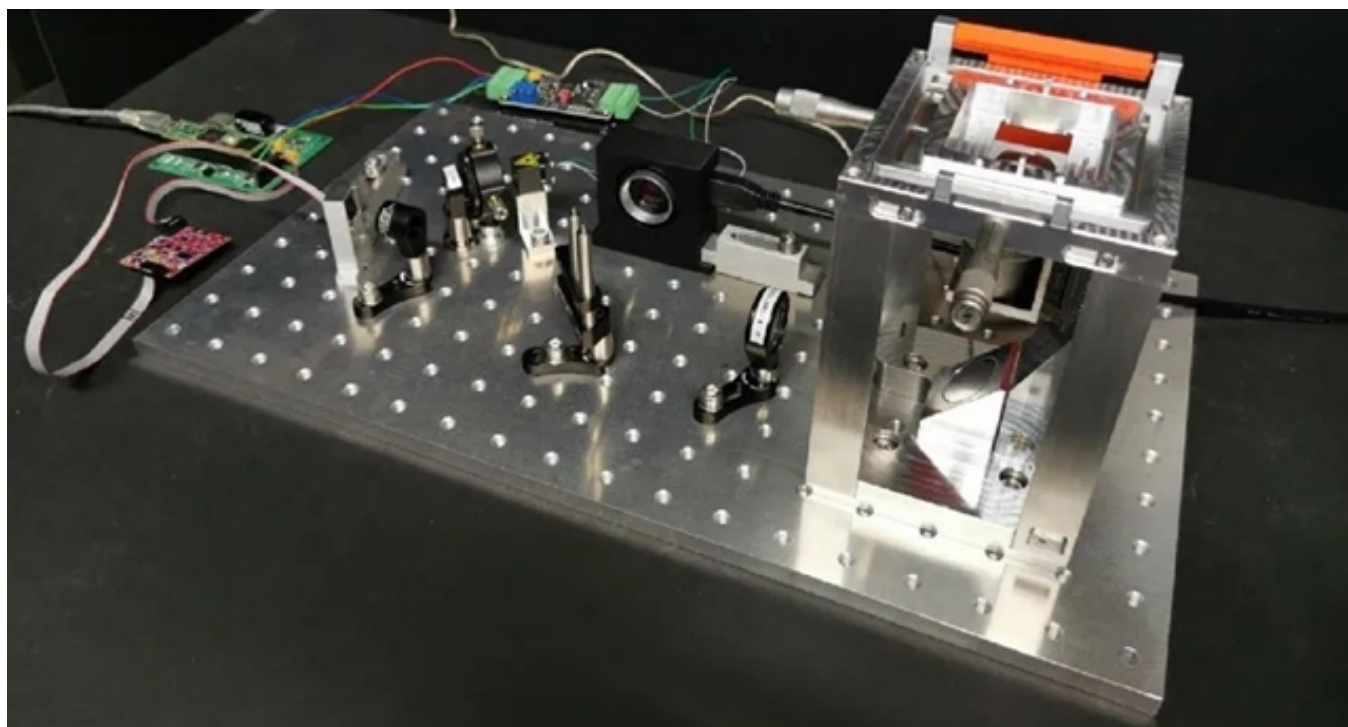


图1：鞋盒尺寸的3D激光纳米打印机的实物图

图源：Light: Advanced Manufacturing

### 小百科1：什么是双光子吸收？

双光子聚合是利用飞秒激光在光敏材料（如光刻胶）中引发双光子吸收（Two-photon absorption, TPA），进而发生链式聚合反应的微纳加工方法。由于TPA是一种非线性光学效应，只在激光焦点处才能有效发生，因此能够将聚合反应限定在一个极小的体积内，从而实现高空间分辨率。通过精确控制激光焦点的位置，TPP技术可以逐层构建复杂的三维微纳米结构，广泛应用于微电子、光学器件、生物医学工程等领域，如制造微型传感器、细胞支架和微流控芯片等。

### 小百科2：什么是两步吸收？

两步吸收法（Two-step absorption, TSA）（拓展：《Nature Photonics：紧凑型3D纳米打印机》）的基本思想是将双光子吸收中的中间虚拟能级替换为真实能级，即不存在光场的中间电子态。在两步吸收过程中，光引发剂通过单光子吸收达到真实的中间能级，并被两个附近的单重态和三重态所取代。通过系间窜越，电子从单重态转移到激发三重态，从而产生自由基并启动聚合反应。在适当条件下，两步吸收具有与双光子吸收相同的二次光学非线性，即曝光剂量与光强的平方成正比。

### 紧凑的光机结构

当前市场上的3D激光纳米打印机通常使用高功率皮秒或飞秒激光器，这些设备不仅体积庞大且价格昂贵，仅激光器的成本就接近百万。为了实现整体设备的小型化，研究人员对3D激光纳米打印机的关键组件进行了小型化设计，主要包括光源、功率调制、扫描单元、显微镜物镜和控制单元。在光源方面，该研究团队采用两步吸收法，仅需使用输出功率不到1 mW的405 nm氮化镓半导体激光二极管。扫描单元采用了微型化的MEMS扫描器，其镜面直径仅为1.6毫米。其他光学组件还包括管镜、显微镜物镜、微型压电位移台、样品托架和LED样品照明等。如图2所示，整个系统被集成在鞋盒大小的空间内，显著降低了设备的体积和成本。

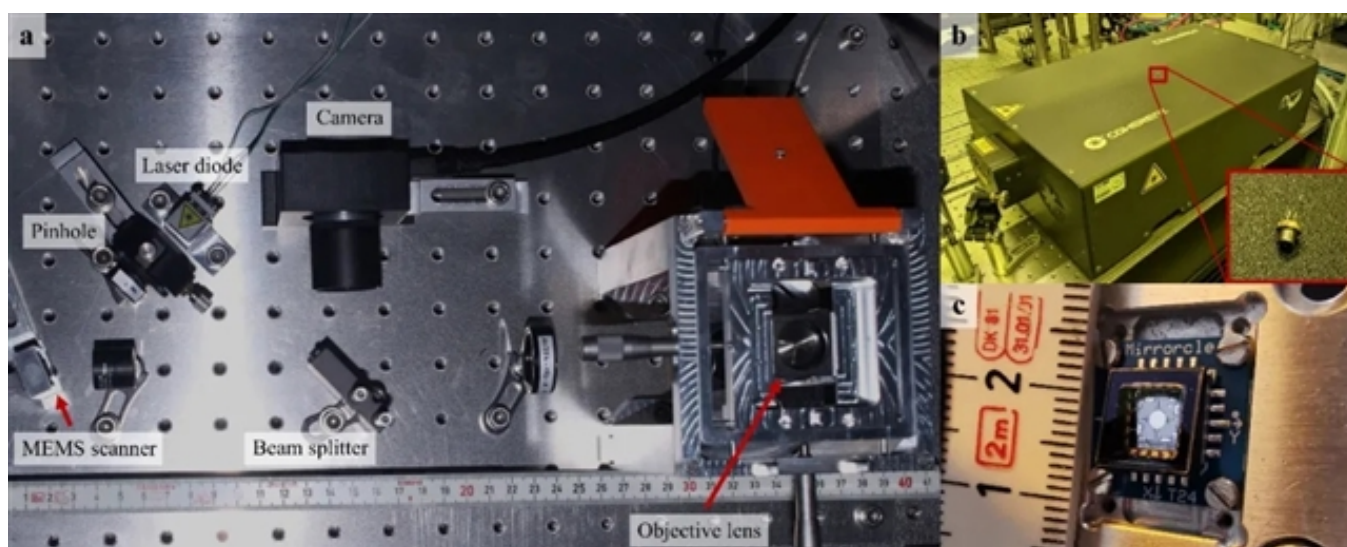


图2：3D激光纳米打印机的关键组件

图源：Light: Advanced Manufacturing

### 小型化的控制模块

除光学系统的高成本和大体积外，3D激光纳米打印机的控制单元也体积庞大，通常需要一个装满控制器的机架和一台高性能计算机组成。为了实现设备的小型化，研究人员展示了使用一个紧凑但功能强大的单片机微控制器和自制的PCB板来实现对设备的控制。打印机的控制单元由单片机微控制器和一系列设备驱动器组成，能够通过USB接口与计算机通信，并自主执行打印任务。研究团队展示了一系列利用该设备打印的3D结构样例，证明了其高效的打印性能。

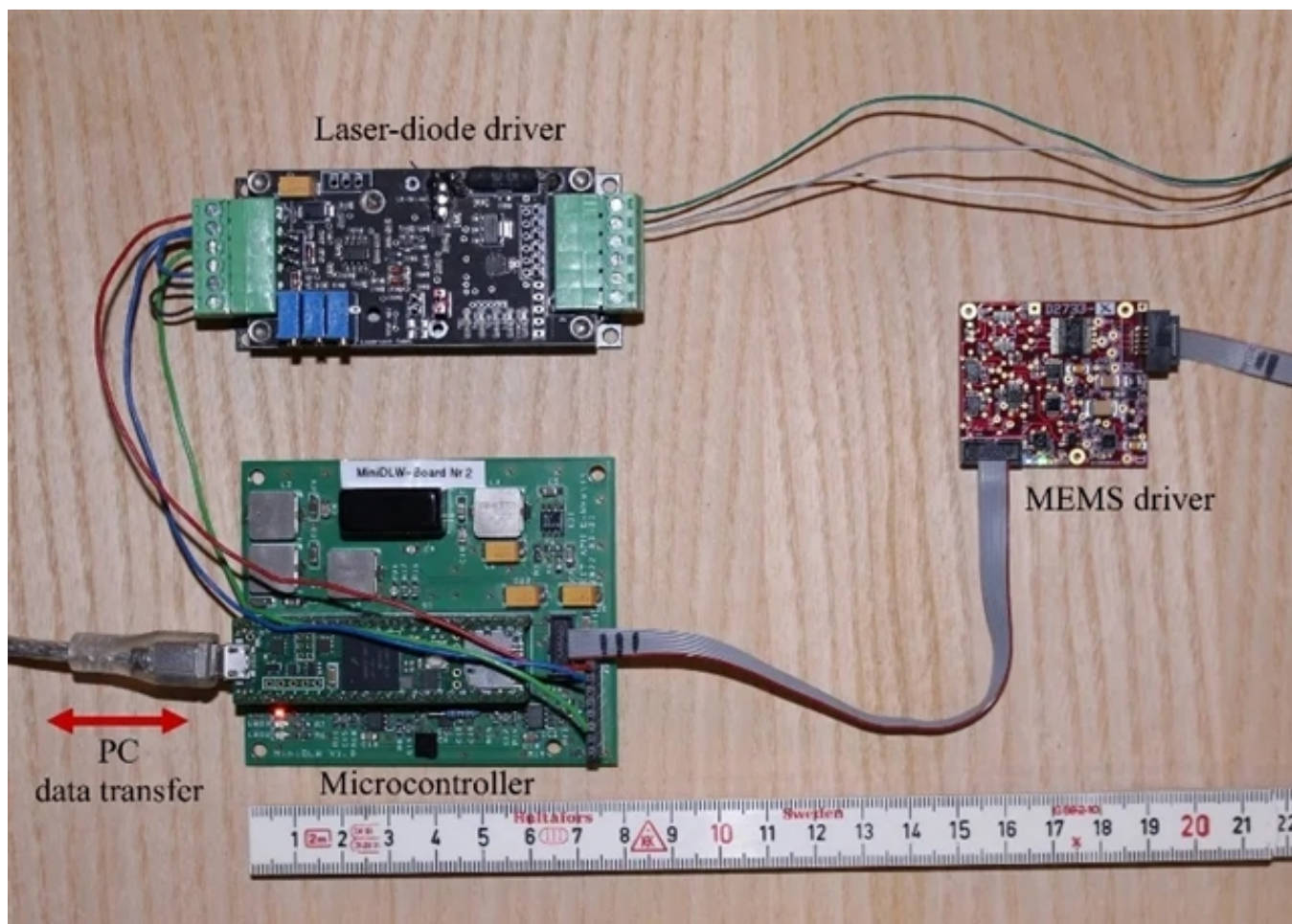


图3：3D激光纳米打印机的控制模块

图源：Light: Advanced Manufacturing

### 高性能的加工能力

进一步地，研究人员对打印机的工作性能进行了测试，并实现了约100 nm的横向空间分辨率和约1 mm/s的聚焦扫描速度。进一步地，研究人员分别使用手性机械超材料和3D Benchy结构评估了3D

激光纳米打印机的打印性能。如图4所示，加工所得结构的扫描电子显微照片展示了结构的高精度成型和高度稳定的形态，证明了3D纳米打印机具有优良的加工能力。同时，研究人员还对比了在不同NA物镜下打印机的打印结果，为后续使用低成本物镜的小型化设备提供了新的方案。

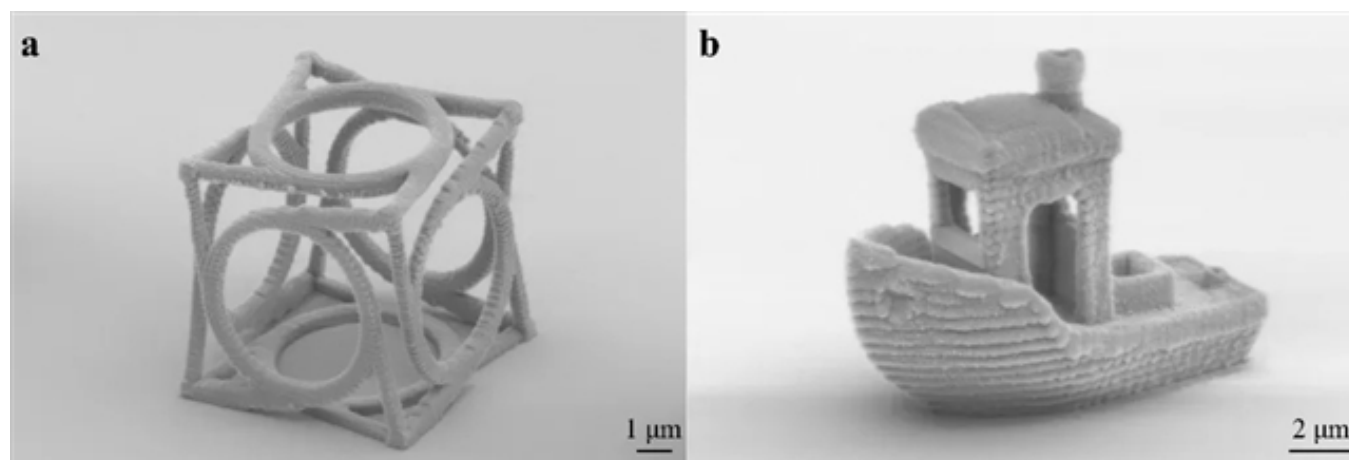


图4：3D激光纳米打印机加工得到的样品

图源：Light: Advanced Manufacturing

## 总结与展望

综上所述，研究人员通过使用两步吸收法，实现了3D激光纳米打印机的体积和成本的显著降低，使其有望从大型实验室仪器转变为便携式设备。通过采用廉价的低功率半导体激光二极管和MEMS扫描器，研究人员成功将功能齐全的高分辨率激光纳米3D打印机集成到了鞋盒大小，总成本仅为五千欧元。研究团队预计，通过进一步的小型化和成本削减，未来的3D纳米打印机可以缩小到拳头大小，成本降至几百欧元，从而大大提高相关技术的普及率和应用范围。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.37188/lam.2024.027>

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等事宜，请与我们接洽。

作者：Martin Wegener 来源：《光：先进制造》

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

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