每秒1亿体素！新一代多光子3D激光打印技术

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/28417.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！

每秒1亿体素！新一代多光子3D激光打印技术。多光子3D激光打印技术虽已广泛应用，但仍面临打印速度、分辨率等挑战。提高打印速率可通过增加聚焦速度或激光焦点数量来实现，但受功率预算限制，优先提高聚焦速度更为有利。

德国卡尔斯鲁厄理工学院Pascal Kiefer团队开发了一种新型高通量多焦点3D激光打印系统，采用衍射光学元件(DOE)和多透镜阵列(MLA)相结合的方式，克服了飞秒脉冲光束分束中的色散问题，实现了大视场、高速、高分辨率打印。

研究人员利用双光子灰度光刻技术制备了高精度的 7×7 DOE和MLA，优化光学设计，实现了低像差、高均匀性的49焦点阵列。在此基础上,他们构建了完整打印系统，聚焦速度达1米/秒，打印速率可达每秒1亿体素，同时保持亚微米空间分辨率。

为了展示该技术的应用潜力，研究人员一方面在制药领域快速制备了数百万个高分辨率药物载体微粒；另一方面，他们还成功打印出了包含超过1.7万亿体素的大尺寸手性超材料。

相关成果发表在Light: Advanced Manufacturing。这一突破性进展将加速多光子3D打印在生物医药、微光学器件等领域的应用。

相关研究成果以A multi-photon (7 × 7)-focus 3D laser printer based on a 3D-printed diffractive optical element and a 3D-printed multi-lens array为题发表在Light: Advanced Manufacturing。

小百科1：什么是多光子3D激光打印？

多光子3D激光打印是一种先进的增材制造技术。它利用飞秒脉冲激光同时激发光敏材料中的多个光子，引发局部光聚合反应，从而在树脂中形成超精细3D结构。与单光子吸收相比，多光子吸收需要更高的光子密度，因此只在激光焦点附近的极小区域内发生，使得这一技术能够突破衍射极限，实现纳米尺度的空间分辨率。在多光子过程中，材料同时吸收两个或多个长波长光子，跃迁到较高的激发态，等效于吸收一个短波长光子。这种非线性光学效应使得光聚合反应可以局限在三维空间的特定位置。通过精确控制激光焦点的三维扫描，并调节材料配方与工艺参数，多光子3D打印可制备出任意复杂的微纳结构，兼容多种高分子和复合材料，在微光学、微流体、生物医学等领域具有广阔应用前景。

小百科2：什么是体素？

体素(Voxel)是三维空间中的基本体积单元，类似于二维图像中的像素(Pixel)。在3D打印、医学成像、计算机图形学等领域，体素被广泛用于表示和处理三维数据。

每个体素都有特定的空间位置坐标(x, y, z)和一定的尺寸，可以看作是三维网格中的一个小立方体。体素的大小决定了三维模型的分辨率，体素越小，模型的细节就越丰富。通过为每个体素赋予不同的属性值(如密度、颜色、透明度等)，可以描述物体内部的空间分布和变化。

体素表示的三维模型可以通过各种算法进行处理和分析，如三维重建、体绘制、布尔运算等。在3D打印中，打印机按照体素的位置和属性值，逐点沉积或固化材料，最终构建出实体模型。

体素是构建数字三维世界的基石，随着高分辨率3D打印、断层成像、虚拟现实等技术的发展，体素在表征复杂三维结构方面将扮演越来越重要的角色。

衍射元件与多透镜阵列结合

衍射元件可以提供高分辨率和功率效率，这在多焦点打印的功率高度受限的应用中非常重要。然而，由于其衍射性质，带来入射光的带宽有限，每种模式都有不同的衍射角，这种现象称为角色散。当使用皮秒或飞秒脉冲光束进行多光子打印时，这个方面可能会成为问题。虽然基于多透镜阵列的折射分束，而不会受到色散效应的影响，但当使用高斯光束时，聚焦阵列将具有不均匀的功率分布。其次，即使使用平顶轮廓，最紧密排列的 MLA 透镜也只能将入射光束的 50% 功率聚焦到焦点阵列中， 这种功率损失可能是不可接受的。

两种分束方法所描述的问题可以通过二者结合来克服，入射激光束最初被 衍射光学元件 分割，确保了较低的色角色散，但也会导致近焦距离远低于我们的目标最近邻焦点位移，因此，通过利用多透镜阵列调节焦点间距，可以在不牺牲额外激光功率的情况下创建均匀的焦点阵列。

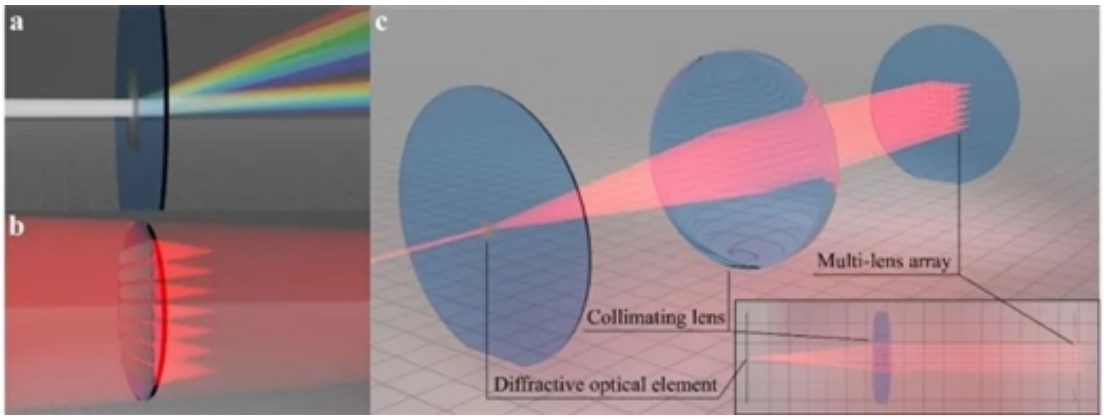

图1：比较多焦点打印技术的不同分束方法

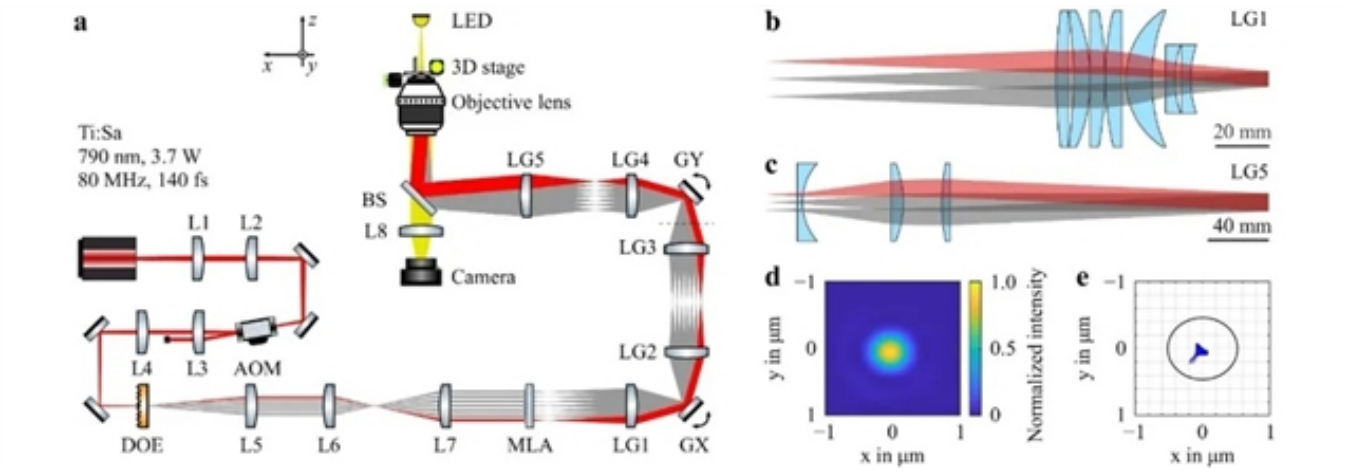

图2：多光子多焦点3D激光打印机原理。

多光子多交点加工在材料和药物科学应用

通过结合大阵列激光焦点的快速扫描速度高达1m/s，使用高 3D 打印速率来大量生产非常大的样品或小样品，同时保持亚微米分辨率。这为以前无法达到的样本要求进行新研究提供了可能性。作者通过呼吸药物输送领域的应用和 3D 机械超材料领域的另一个应用来展示多光子多焦点 3D 打印的功能。

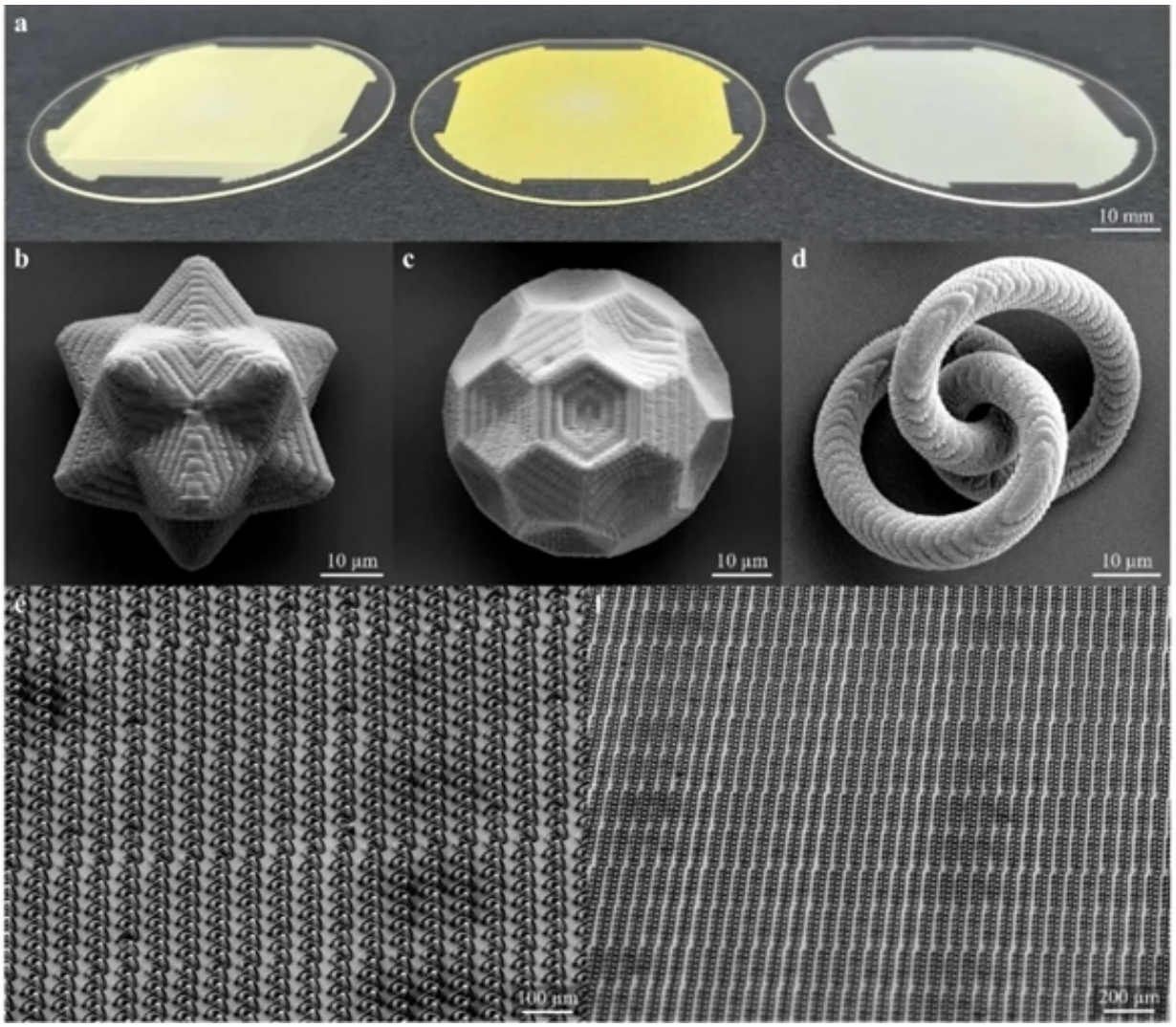

图3：使用多光子多焦点 3D 打印制造用于呼吸药物输送的载体颗粒。

第二个应用示例位于材料科学领域，满足对具有亚微米分辨率的更大、更复杂的 3D 机械超材料样品不断增长的需求。这里不是打印大量单独的小结构，而是打印由组装在一起的单独超材料单元组成的大样本。

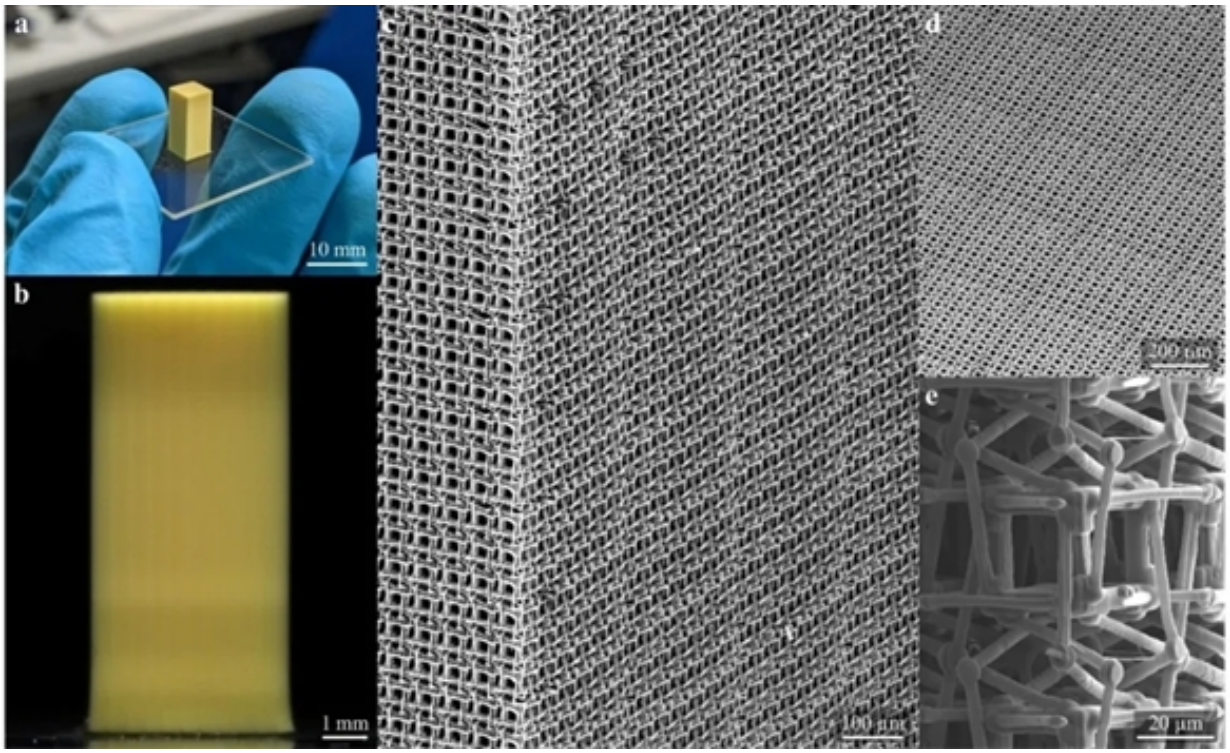

图4：多光子多焦点 3D 打印包含百万个晶胞的大型手性旋转超材料。

高速3D打印比较

为了更好的评估新装置的制造速度，比较了各种 3D 打印技术。纵轴根据不同方法的总峰值打印速率（以对数刻度）对不同方法进行排名，而横轴则根据其逆体素大小或松散地说，其精细度或分辨率对它们进行排名。该装置通过使用两个数据点来表示：一个假设衍射极限体素尺寸约为 350 nm，另一个使用 7 × 7 焦点阵列内的平均测量体素尺寸得到相同的结果，该结果与最近发表的使用声光偏转器与标签为2023-230 的数字镜装置 (DMD)
相结合的进展处于同一水平，同样基于双光子聚合进行快速 3D 打印。与他们的工作相比，本文展示了一个结构中体素总数更大的印刷结构，这是由于该装置可访问的视场更大。

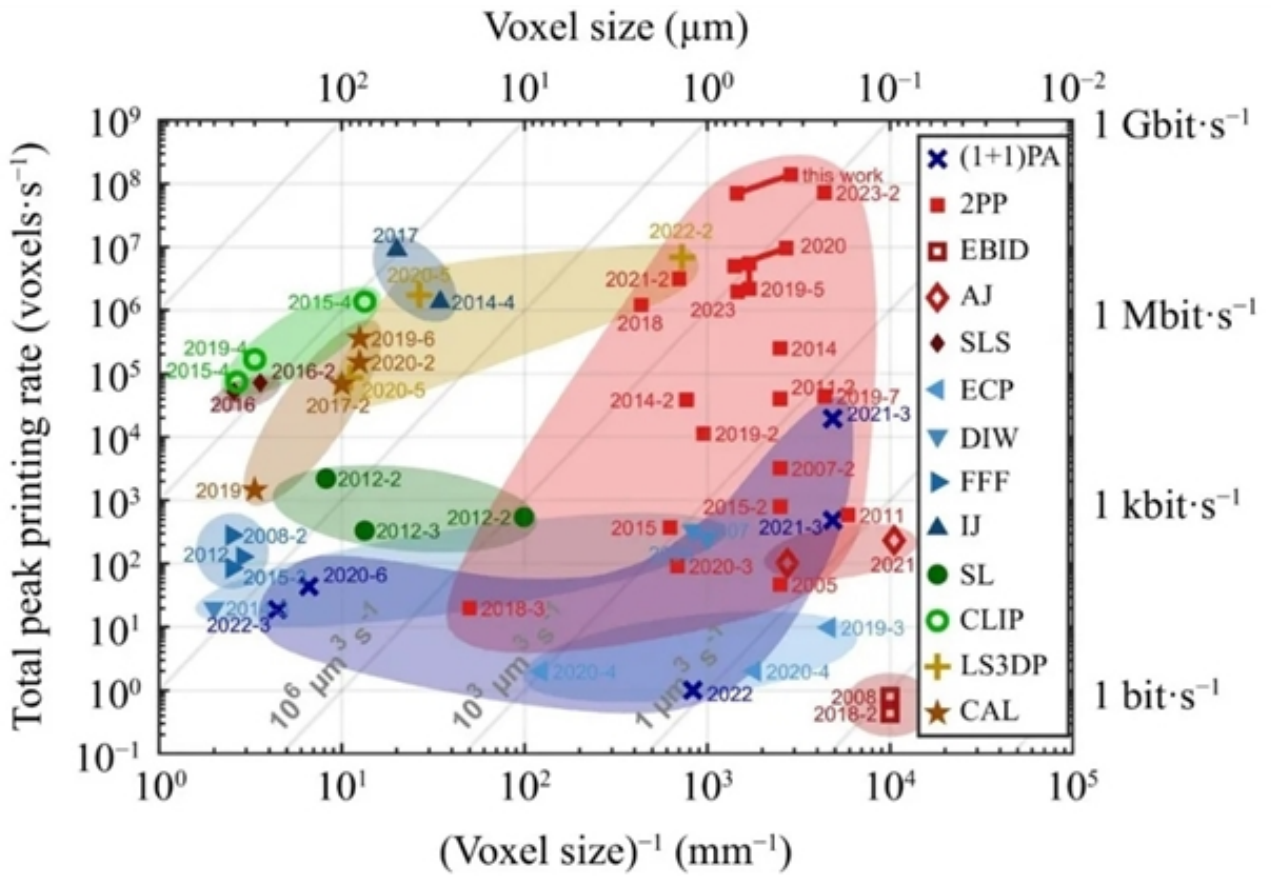

图5：比较应用和不应用复合波导技术的s 弯曲的插入损耗的模型。

总结与展望

这项研究的突破性进展，标志着多光子3D打印技术在高通量制造方面达到了新的高度。通过巧妙结合衍射光学元件和多透镜阵列，研究人员实现了每秒1亿体素的超高打印速率，同时保持了优异的空间分辨率，为微纳制造领域开辟了新的可能性。展望未来，高速、高精度、多材料兼容的3D打印平台有望进一步发展，并在生物医学、微型机器人、微光学器件等诸多领域得到广泛应用。同时，多光子3D打印技术与人工智能、在线监测等新兴技术的深度融合，也将是一个值得期待的研究方向。随着多光子3D打印向更高的速度、更好的性能、更广的应用不断迈进，其有望成为推动科技进步和产业变革的重要力量。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.37188/lam.2024.003

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：Pascal Kiefer 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转发