



香港特别行政区新界沙田区  
香港中文大学蒙民伟工程学大楼303室  
电话: (852) 3943 4231; 传真: (852) 2603 6002; Email: info@astroptics.com  
www.astroptics.com

# 飞秒投影 (FP) 技术

Recognized by the Science Magazine in 2019 & 2022

飞秒投影 FP NanoPrinter 通过将再生飞秒激光放大器与数字微镜器件 (DMD) 相结合, 实现超快 3D 纳米制造, 其中 DMD 同时用作闪耀光栅和可编程二元掩模, 通过空间和时间聚焦生成深度分辨可编程光片。飞秒光片和精密位移台之间的同步可以创建任意复杂的 3D 微米和纳米结构, 横向和轴向分辨率分别为 140 nm 和 175 nm, 加工速率约为 100 立方毫米/小时 [1]。与通过串行逐点扫描过程执行微加工的传统双光子光刻 (TPL) 系统相比, FP NanoPrinter 定义了一个完整的平面, 该平面在单次曝光 (即 1 - 10 毫秒) 中包含数十万个体素, 从而使其制造速度比最先进的商业解决方案提高了三个数量级, 商业系统通常在此分辨率下以 0.1 立方毫米/小时的速度打印。这使得 FP NanoPrinter 能够毫不费力地制造以前是不可能加工的具有悬垂部分的大型 3D 结构。更重要的是, 由于 1:1.25 的增强体素纵横比, FP NanoPrinter 打印的物体将具有更高的结构强度。通过大幅节省激光操作时间, FP NanoPrinter 有效地将每个零件的打印成本降低了 90%。

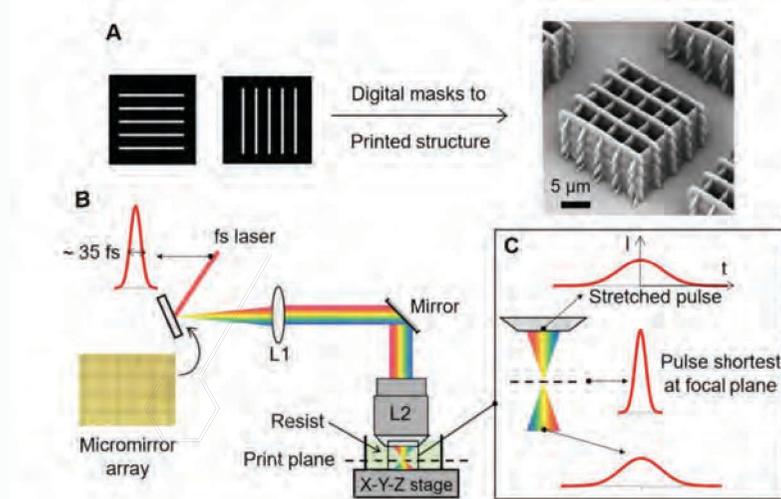


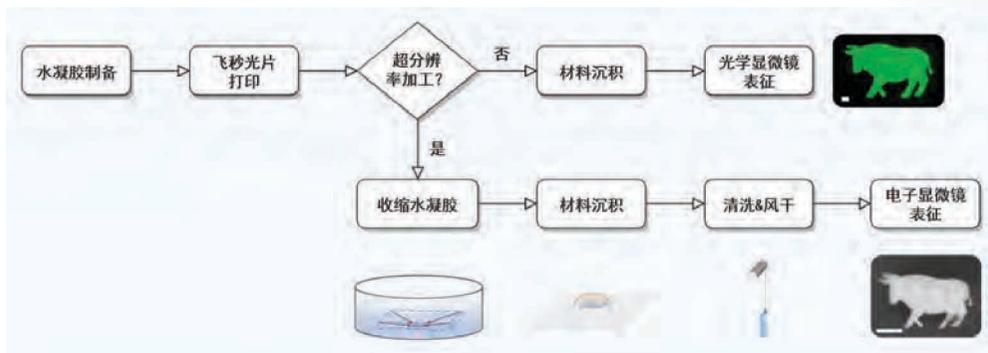
图 1. 飞秒投影原理 [1]。(A) 二维数字掩模的设计。(B) 通过时间聚焦生成图案化的飞秒光片。(C) 时间聚焦效应的示意图, 在焦平面上通过重新组合所有分散的激光光谱分量形成具有最短脉冲持续时间的光片。

通过利用飞秒光片的超高峰值功率, FP NanoPrinter 可以在定制开发的可膨胀水凝胶基底上创建具有多种材料 (包括金属、合金、半导体、聚合物、陶瓷、生物材料) 的复杂 3D 结构。通过在酸中收缩凝胶基底, 由不同材料制成的 3D 结构可以实现 30 纳米的最小特征尺寸, 这使得许多功能性纳米器件的设计和制造成为可能, 可用于光子学、医疗、汽车甚至航空航天领域 [2]。

# 系统能力

## 使用水凝胶基底的多材料纳米加工

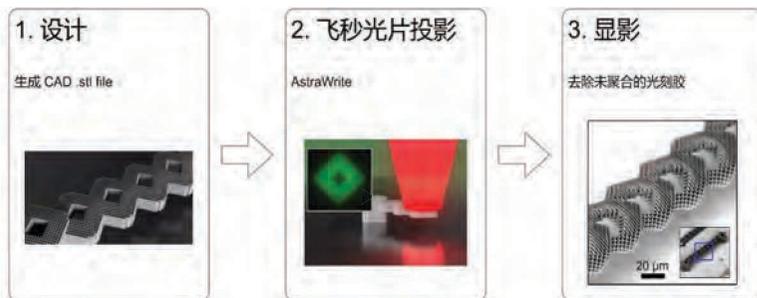
- 动力学控制的材料组装 + 收缩以超越衍射极限
- 分辨率：达到 30 nm
- 材料：超过20种，包括金属、合金、氧化物、盐、半导体、聚合物、晶体、染料、生物材料、墨水等



\*水凝胶平台制造过程示意图。比例尺：光学图像为 10  $\mu\text{m}$  (顶部)；SEM 图像为 1  $\mu\text{m}$  (底部) [2]。

## 双光子聚合（同时具有高通量和高分辨率）

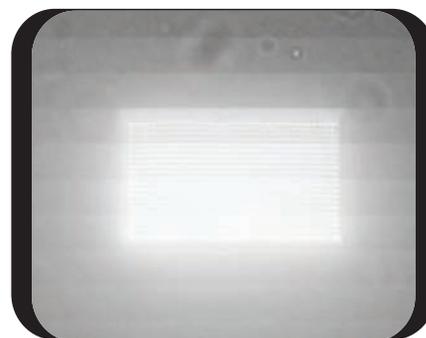
- 分辨率：横向 140 nm，轴向 175 nm
- 吞吐量：100 - 1000 立方毫米/小时
- 批量打印成本：1.5 美元/立方毫米



# 软件

## AstraWrite™

AstraWrite™ 提供了一个直观和全面的用户界面，来实时监控和控制打印过程。从定制设计的 CAD 文件转换成 DMD 图案后，AstraWrite 控制 FP NanoPrinter 加载 DMD 图案，来制造特定设计的 2D 或 3D 结构。AstraWrite 还允许用户控制和直接连接 FP NanoPrinter 中的子系统，包括 DMD、XYZ 载物台和激光系统。



## 主要特点

- ▶ 自动化 3D 打印制造
- ▶ 大型结构的 3D 拼接
- ▶ 加工过程的原位监测
- ▶ 子系统的直接接口/控制



# 应用

FP NanoPrinter 是许多不同领域最前沿的革命性工具，应用包括：

细胞/组织支架  
药物输送装置  
仿生结构  
微纳流体器件

快速成型  
微纳结构  
微纳机器人  
超材料

衍射光学元件  
光子器件  
微纳光学  
微结构纤维

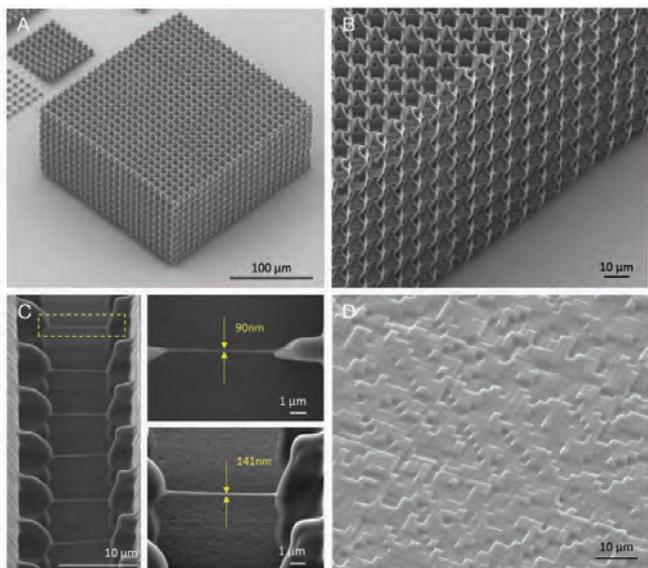


图 2. 通过 FP NanoPrinter 打印具有亚微米分辨率的复杂 3D 结构。(A 到 B) 超材料结构及其放大图。(C) 纳米线阵列分别展示了 90 和 141 nm 的横向和轴向分辨率。(D) 3D 衍射光学元件 (DOE)。



图 3. 通过十二生肖展示材料多样性，包括 CdSe 量子点的双龙在未收缩荧光图像（插图显示分辨率为 ~200 nm）；Ag 的猴的 SEM（上）和 EDX（下）图像；Au-Ag 合金的猪；TiO<sub>2</sub> 的蛇；Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 的兔；NaYF<sub>4</sub> 的牛；钻石的牛的光学显微镜图像；石墨烯量子点的老虎的荧光图像；荧光金的山羊；聚苯乙烯的马；荧光素的公鸡；荧光蛋白的鼠。

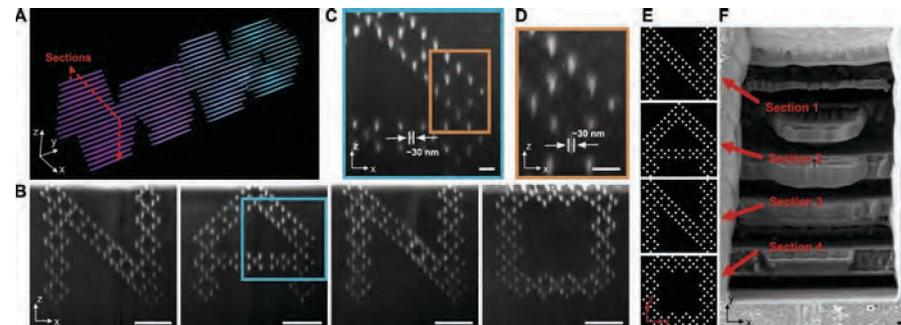


图 4. 展示最小特征尺寸的纳米结构。(A) 由平行纳米线阵列组成的非连接“NANO”结构的 3D 模型。(B) 聚焦离子束 (FIB) 切割的“NANO”结构的 SEM 横截面图像；(C) (B) 中字母“A”的放大视图；(D) 放大视图 (C)。(E) “NANO”结构的四个横截面图案（在 (A) 的 x-z 平面中）。(F) SEM 图像显示由 FIB 切割打开的凝胶样品的沟槽，其中标记了每个字母的位置。所有横截面图像都是在 52° 的基板倾斜角下拍摄的。

# 规格

## 技术参数

应用	水凝胶平台	双光子聚合平台
打印技术	飞秒光片	飞秒投影双光子聚合 (FP-TPL)
最小特征尺寸 (XY / Z)	30 nm* / 50 nm* 收缩后 400 nm* / 600 nm* 收缩前	140 nm* / 175 nm*
收缩比例	1x - 15x 在各个方向	N/A
分辨率 (XY / Z)	340 nm* / 500 nm*	340 nm* / 500 nm*
层间距	0.1 - 5 $\mu\text{m}$	0.1 - 5 $\mu\text{m}$
打印速率	0.1 - 100 mm <sup>3</sup> /hr, 取决于收缩率	100 mm <sup>3</sup> /hr
最小表面粗糙度	$\leq 5$ nm	$\leq 20$ nm
视场FOV (40x 物镜)	180 $\mu\text{m}$ $\times$ 100 $\mu\text{m}$	180 $\mu\text{m}$ $\times$ 100 $\mu\text{m}$
构建体积	20 mm $\times$ 20 mm $\times$ 0.5 mm (收缩前)	250 mm $\times$ 250 mm $\times$ 10 mm (XYZ位移台行程)
基材类型	玻璃	玻璃、硅片等
兼容材料	金属、合金、2D材料、半导体、氧化物、金刚石、上转换材料、聚合物、生物材料、分子晶体	光敏树脂

## 光源要求

光源	NIR 飞秒激光 (800 nm, > 5 mJ@1 kHz, < 35 fs)
激光安全	Class 4
光束直径	10-15 mm

## 软件

AstraWrite	专属 GUI
数据输入	各种图像文件(.bmp, .stl)

## 尺寸

打印机(不带光学桌)	1400 mm $\times$ 1650 mm $\times$ 450 mm (550 mm $\times$ 1550 mm $\times$ 450mm 不带光源)
总重量(不带光学桌)	350 kg (50 kg不带光源)

## 场地要求

工作温度	23 $\pm$ 1 $^{\circ}\text{C}$
相对湿度	< 50% (< 35% 推荐)
房间照明	$\geq 590$ nm操作时照明
颗粒物	Class 10000
电源	220V, > 35 A 供电电流
振动等级	需要隔振和阻尼; 房间内无振动源
光学桌压缩空气供应	需要
环境空气要求	20 厘米范围内无明显气流
海拔	最高2500 m

\*由系统设置、打印参数、物镜、现场温度和条件决定。

馭光科技有限公司遵循持续改进产品的政策。规格如有更改，恕不另行通知。馭光科技有限公司为所有 FP NanoPrinter 系统提供有限保修。有关保修范围的完整详细信息，请联系您当地的销售或服务代表。

参考文献:

[1] S.K. Saha, D. Wang, V.H. Nguyen, Y. Chang, J.S. Oakdale, S. Chen, "Scalable Submicrometer Additive Manufacturing," Science, Vol. 366, No. 6461, pp. 105-109, 2019.

[2] F. Han, S. Gu, A. Klimas, N. Zhao, Y. Zhao, and S. Chen, "3D Nanofabrication via Ultrafast Laser Patterning and Kinetically-regulated Material Assembly," Science, Vol. 378, No. 6626, pp. 1325-1331, 2022.

# 关于馭光科技有限公司 Astra Optics Limited

馭光科技有限公司(Astra Optics Limited)是从香港中文大学孵化出来的初创公司，由光学工程、材料科学和纳米制造领域的专家团队创立。

当前微纳尺度的增材制造行业面临的关键瓶颈，是低吞吐量（~0.1 立方毫米/小时）和高制造成本（20美元/立方毫米）。我们团队研发的突破性3D纳米加工平台FP NanoPrinter成功解决了上述问题，是真正可扩展的3D纳米加工解决方案，可同时实现创纪录的分辨率（30 nm）、吞吐量（100 立方毫米/小时，比现有商用产品快三个数量级）、多种材料（20+）和大幅降低成本（1.5 美元/立方毫米，降低90%以上）。2019 年和 2022 年，FP NanoPrinter技术两次发表在《科学》杂志（Saha et al., Science, 366(6461): 105-109, 2019 & Han et al., Science, 378(6626): 1325-1331, 2022），获得了广泛的国际认可，并成功申请多项美国专利。

通过大幅降低微增材制造的成本，FP NanoPrinter实现了 30 纳米分辨率下的3D打印，并成功应用于工业规模的多材料 3D 纳米加工。这项突破性的加工技术将为高精密注塑、光学、生物医疗、芯片和超材料等不同行业开创全新的可能。

