
超构器件：先进制造

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/28007.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！

超构器件：先进制造。 导读

超构表面是一种通过亚波长尺寸微纳结构实现光操纵的新型光学器件。超构表面在成像、偏振控制、量子计算、通信、传感和激光等应用都展现出很大的潜力。而实现超构表面的一大重点就是如何高效，高精度地实现超构表面微纳结构的制造。

近期，来自哈尔滨工业大学和香港城市大学的研究团队以Meta-device: Advanced Manufacturing为题，在 Light: Advanced Manufacturing发表综述文章，总结了光学超构表面器件的先进加工技术。

本文主要介绍了光学超构表面加工技术的最新进展。作者讨论了三种超构表面加工方法：无掩膜刻蚀、掩膜刻蚀和其他微纳加工技术。作者总结了各种加工技术的特点及合适的应用场景。最后，作者展望了超构表面及其先进微纳加工技术的前景，以实现多功能，集成超构表面系统的低成本，高通量及高精度制造。

光学超构表面

超构表面是近年来出现一种新型的光学器件，也被称为超构器件。与需要相位积累实现光操纵的传统光学元件不同，超构表面通过亚波长尺度的微纳结构，便可以实现对光振幅、偏振和相位的完全操纵。这一特点有助于利用超构表面实现光学器件的小型化，促进集成光学系统的实现。此外，超构表面具有更多的设计自由度，能实现更多设计以满足多种需求，除了成像、偏振控制、全息等应用外，也被用来实现传感，可调谐器件，量子光源等新型应用。

超构表面的另一大特点是易于加工。组成超构表面的微纳结构均是二维平面图案，能使用现有的成熟纳米加工技术进行制造，如电子束刻蚀，激光刻蚀与光刻。也有研究者使用自组装刻蚀、纳米压印刻蚀等技术实现超构表面的加工制造，满足各式各样的制造需求。

本文对光学超构表面的各种先进加工技术进行了详细讨论，总结了各种加工制造技术的特点和挑战。最后提出了超构表面加工技术未来的发展方向。

超构表面的微纳加工技术

本文根据纳米图案如何被第一次被创造出来将加工技术划分为三类：无掩膜刻蚀、掩膜刻蚀及其他微纳加工技术。这些技术的特点如表1所示。

表1. 超构表面加工技术

		Strength	Weakness
Maskless lithography	E-beam lithography	High resolution	Low throughput High cost
	Focused ion beam lithography	High resolution One-step fabrication Freeform patterning	Low throughput High cost Ion contamination
	Laser direct write lithography	Low cost Large area	None batch production
	Laser interference lithography	Large area Low cost	Periodic patterns only
Masked lithography	Photolithography	Large area High throughput	High cost
	Nanoimprint lithography	High throughput Low cost Large area	High resolution master mold Residual imprint layer
	Self-assembly lithography	Large area Low cost Simple	Periodic patterns only Mask defects
Other techniques	Two-photon polymerization Lithography	3D structure patterning	Low throughput
	Laser ablation	Low cost High throughput	Uniformity

无掩膜刻蚀

无掩膜刻蚀技术指不需要掩膜即可实现图案写入的技术，如图1所示。无掩膜刻蚀技术可以分为电子束刻蚀、聚焦离子束刻蚀和激光刻蚀。电子束刻蚀不需要掩模，直接利用聚焦的电子束曝光电子束光刻胶定义图案。电子束刻蚀能写下任意图形，同时具有超高的精度。聚焦离子束刻蚀通过直接轰击目标结构表面写入图案，是一种一步刻蚀的方法。聚焦离子束刻蚀具有高精度的特点，同时能实现自由表面形貌的加工。激光刻蚀可以分为激光直写刻蚀和激光干涉刻蚀。激光直写刻蚀是利用激光直接在光刻胶上写入图案，适用于高通量，大面积的制造。激光干涉刻蚀则通过引入更多相干光束形成干涉图案，有助于实现大规模周期阵列的制造。

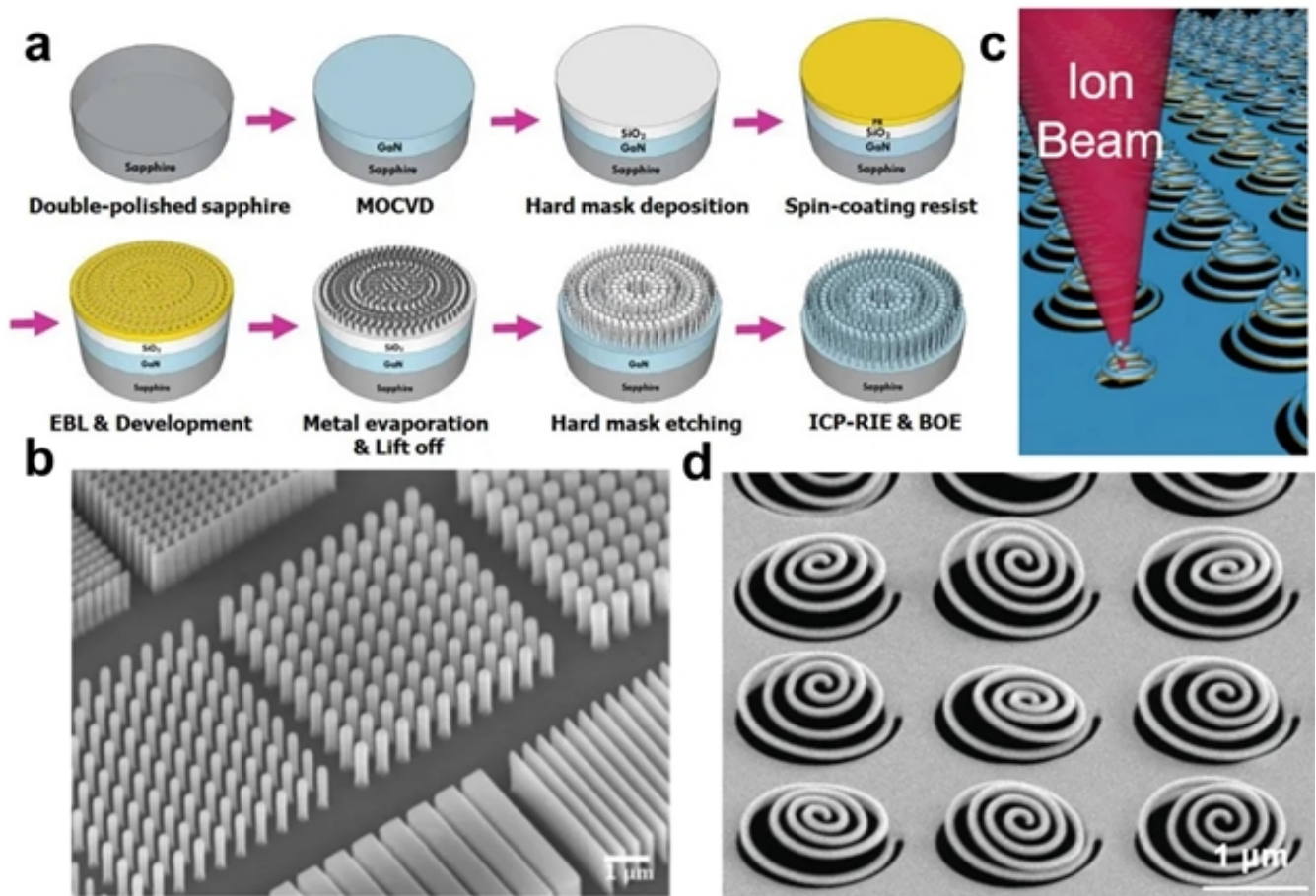


图1. 无掩膜刻蚀。a. 电子束刻蚀。b. 电子束刻蚀制造的超构表面SEM图。c. 聚焦离子束刻蚀。d. 聚焦离子束刻蚀制造的超表面SEM图。

掩膜刻蚀

掩膜刻蚀技术利用制备完成的掩模将图案转移到目标基板上，如图2所示。掩膜刻蚀技术包括光刻、纳米压印刻蚀和自组装刻蚀。光刻是一种最常见的半导体微纳加工技术，通过曝光将掩模板上的图案转移到光刻胶上，能实现大面积高通量的超构表面加工。纳米压印刻蚀将具有微纳结构的压印模板压到涂有聚合物的基板上，通过热或者紫外光将压印聚合物固化，实现超构表面的加工。压印模板可以重复利用，是一种高精度的大规模制造方法。自组装刻蚀用悬浮液中的纳米微粒充当掩模，是一种低成本周期结构加工方法。

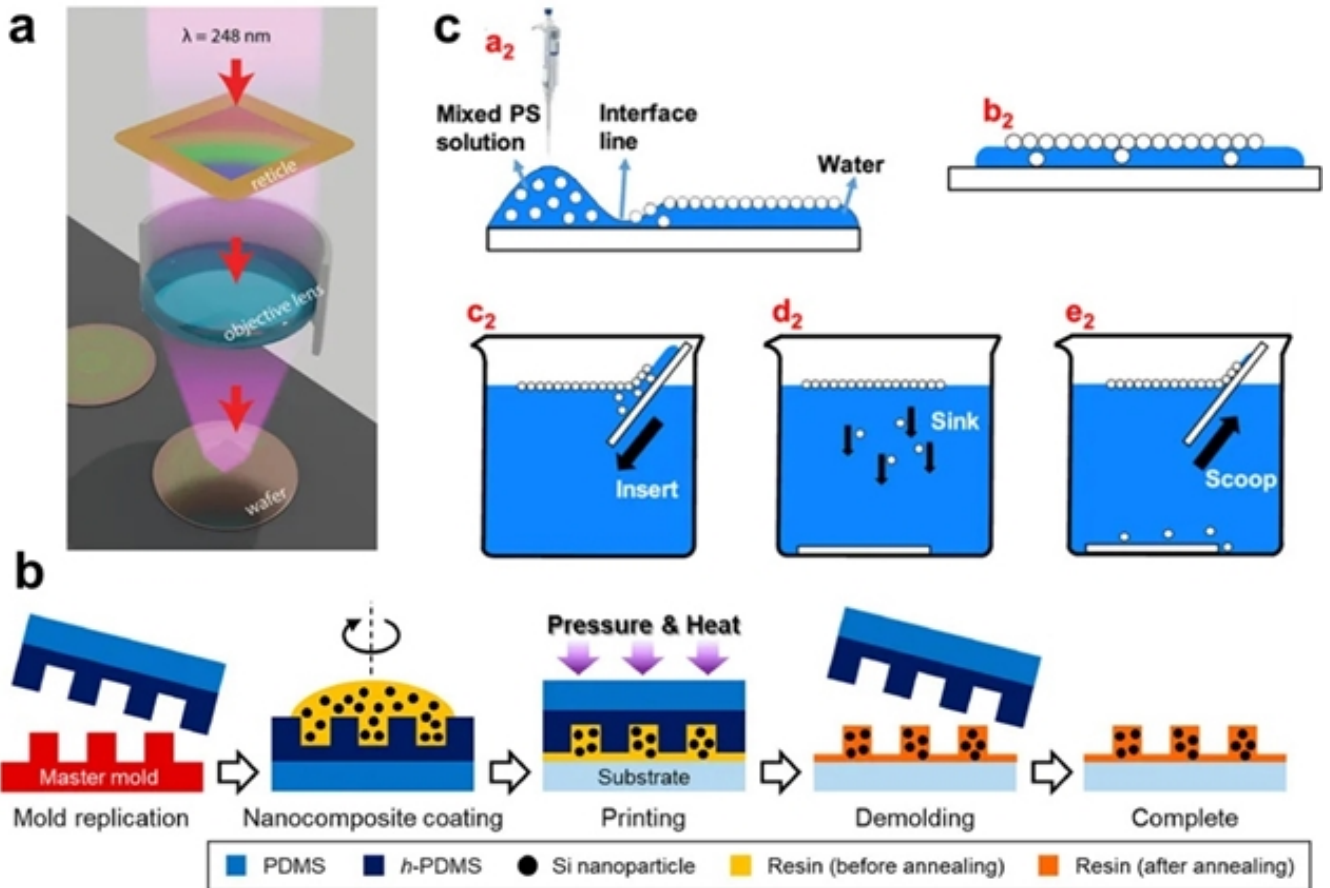


图2. 掩模刻蚀。a. 光刻。b. 纳米压印刻蚀。c. 自组装刻蚀。

其他技术

其他微纳加工技术也在超构表面的制造中得到应用，如图3所示。讨论了双光子聚合与激光烧蚀技术。双光子聚合是利用飞秒激光与光刻胶的相互作用实现微纳结构制造的技术。光刻胶仅在焦点处发生固化，能实现三维结构的加工。激光烧蚀则直接利用飞秒激光对目标基板表面进行烧蚀或修饰，也是一种低成本高通量的加工技术，适用于大面积超构表面的加工。

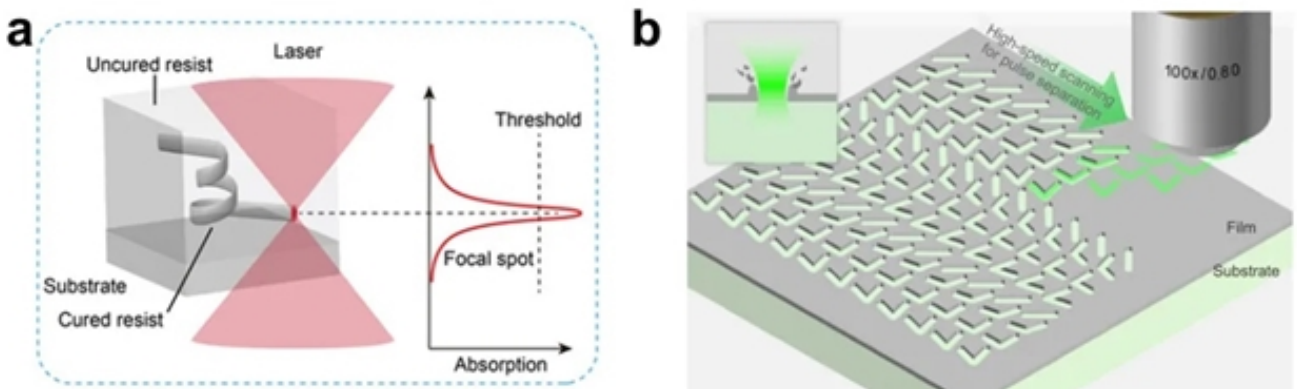


图3. 其他加工技术。a. 双光子聚合。b. 激光烧蚀。

总结和展望

本文总结了各种适用于光学超构表面的先进微纳加工技术，讨论了他们的特点与适用场景。综合考虑加工精度、加工面积、成本、加工时间和适用材料等条件，才能找到适用于不同设计的最优加工方法。

超构表面在许多应用场景上显现出巨大潜力，如量子计算、通信、传感和激光等应用。将超构表面融入集成系统，是提高设备效率，增强性能，是实现小型化，商业化的重要步骤。这些需求都希望微纳加工技术能实现低成本、高通量、大面积、高精度和高可重复地制造超构表面。同时，超构表面的微纳加工技术与半导体加工工艺相兼容，显著减小了超构表面的加工门槛，推动超构表面和超构光学领域的广泛发展。（来源：先进制造微信公众号）

相关论文信息：<http://dx.doi.org/10.37188/lam.2024.005>

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事宜，请与我们联系。

作者：肖淑敏等 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