



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113341663 B

(45) 授权公告日 2022.07.08

(21) 申请号 202110718333.8

G03F 7/20 (2006.01)

(22) 申请日 2021.06.28

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113341663 A

CN 111474822 A, 2020.07.31

CN 101576713 A, 2009.11.11

CN 106199781 A, 2016.12.07

(43) 申请公布日 2021.09.03

CN 102566312 A, 2012.07.11

(73) 专利权人 中国科学院物理研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村南三街8号

CN 102998914 A, 2013.03.27

US 2012094092 A1, 2012.04.19

审查员 何彦东

(72) 发明人 麻皓月 李俊杰 杨海方 全保刚

(74) 专利代理机构 北京市正见永申律师事务所
11497

专利代理师 黄小临 冯玉清

(51) Int. Cl.

G03F 7/40 (2006.01)

G03F 1/00 (2012.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54) 发明名称

任意曲率球面微结构的可控加工方法

(57) 摘要

本发明涉及一种任意曲率球面微结构的可控加工方法。根据一实施例，一种制备任意曲率球面微结构的可控方法可包括：制备光刻胶层；制备曝光版图，所述曝光版图是灰度图，每个像素的灰度值对应于该像素的曝光量；由激光直写曝光设备使用所述曝光版图对所述光刻胶层进行激光直写曝光，其中激光束对光刻胶层上的每个点的曝光量与所述曝光版图上的对应像素点的灰度值相对应；对曝光后的光刻胶层进行显影，以在所述光刻胶层上产生与所述曝光版图对应的球面微结构；以及对所述光刻胶层进行回流处理以消除光束拼接产生的条纹。

S110: 制备光刻胶层

S120: 制备曝光版图

S130: 激光直写曝光

S140: 显影

S150: 回流

1. 一种制备任意曲率球面微结构的可控加工方法,包括:
在衬底上制备光刻胶层;
制备曝光版图,所述曝光版图是包括凸起和/或凹陷半球图案的灰度图,每个像素的灰度值对应于该像素的曝光量;
由激光直写曝光设备使用灰度曝光版图对所述光刻胶层进行激光直写曝光,其中激光束对光刻胶层上的每个点的曝光量与所述曝光版图上的对应像素点的灰度值相对应;
对曝光后的光刻胶层进行显影,以在所述光刻胶层上产生与所述灰度曝光版图对应的球面微结构;以及
对所述光刻胶层进行回流处理以消除光束拼接产生的条纹,
其中,制备灰度曝光版图包括制备第一曝光版图和第二曝光版图,所述第一曝光版图包括凸起半球图案,所述第二曝光版图包括凹陷半球图案,
对所述光刻胶层进行激光直写曝光包括使用所述第一曝光版图和所述第二曝光版图分别对所述光刻胶层进行曝光,然后再执行对曝光后的光刻胶层进行显影的步骤,且
其中,对所述光刻胶层进行激光直写曝光包括在每个像素点位置以及相邻像素点之间的多个中间位置对光刻胶层进行曝光。
2. 如权利要求1所述的方法,其中,所述激光直写曝光设备用于曝光的激光束的离焦量设置在10-50 μm 的范围。
3. 如权利要求1所述的方法,其中,所述激光直写曝光设备用于曝光的激光束的光斑尺寸在100nm至1 μm 的范围。
4. 如权利要求1所述的方法,其中,所述回流后的任意曲率球面微结构的直径应在5 μm -100 μm 的范围。
5. 如权利要求1所述的方法,其中,在相邻像素点之间的多个中间位置曝光量均匀变化。
6. 如权利要求1所述的方法,其中,在相邻像素点之间的多个中间位置的数量在1-20的范围内。
7. 如权利要求1所述的方法,还包括:
对所述光刻胶层和所述衬底进行定向蚀刻,以将所述光刻胶层上的球面微结构转移到所述衬底中。

任意曲率球面微结构的可控加工方法

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及微加工领域,更特别地,涉及一种通过灰度曝光来制备任意曲率球面微结构的可控加工方法。

背景技术

[0002] 激光直写是目前加工制作各种微结构与器件的主要技术之一,其具有加工精度高,三维结构加工能力强,无须掩模板等特点,适合制作各种大面积、高精度的阵列结构,是一种效率高、成本低的微加工技术。激光直写技术中的灰度曝光是一种非常有特色的三维加工工艺,其可以在无需曝光掩膜版的条件下,根据需要直接在光刻胶层表面上曝光得到含有3D灰度信息的曝光图案。

[0003] 然而,通常的激光直写灰度曝光工艺制备出来的三维结构,存在结构构型简单和形状可控性差等缺点;此外,受限于激光直写设备内部声光调制器的调制范围,灰度加工的结构高度阶次难以提高,并导致加工的结构具有明显的台阶现象,造成结构表面粗糙难以形成高精度加工。

[0004] 为了满足光学超表面、微光学透镜、光通讯、立体显示等应用领域对高性能三维微结构的高精度加工需求,尤其是任意曲率、跨尺寸、非周期性的球面微结构,需要开发新的工艺以实现多尺寸、高灰阶、光滑的、任意曲率球面微结构阵列的可控加工。

发明内容

[0005] 为了克服现有方法中存在的不足,本发明提出一种利用激光直写灰度曝光的任意曲率球面微结构制备方法。本方法通过定义结构单元的边界灰度值和通过软件拼合灰度曝光版图的方式,实现了不同曲率和不同尺寸的结构单元处于同一光刻胶平面且不规则排布。本方法还可以通过多次曝光的方式实现嵌套蚀刻(常称为“套刻”)的效果,从而可以形成凸起和凹陷微结构同时存在的不同曲率球面微结构,并且该方法增大了激光直写设备的最大能量控制阶数,最后通过光刻胶热回流法,制备出了更加光滑的球面光刻胶结构。根据本申请提出的球面微结构制备出了大面积、跨尺度、曲率不一(包括不同曲率的凸起和凹陷微结构)、周期性和非周期性的光滑球面微结构。

[0006] 根据本申请的一个方面,提供一种制备任意曲率球面微结构的方法,包括:在衬底上制备光刻胶层;制备曝光版图,所述曝光版图是包括凸起和/或凹陷半球图案的灰度图,每个像素的灰度值对应于该像素的曝光量;由激光直写曝光设备使用所述灰度曝光版图对所述光刻胶层进行激光直写曝光,其中激光束对光刻胶层上的每个点的曝光量与所述曝光版图上的对应像素点的灰度值相对应;对曝光后的光刻胶层进行显影,以在所述光刻胶层上产生与所述灰度曝光版图对应的球面结构;以及对所述光刻胶层进行回流处理以消除光束拼接产生的条纹。

[0007] 在一些实施例中,制备光刻胶层包括:旋涂光刻胶;烘烤旋涂的光刻胶;以及重复上述旋涂和烘烤步骤,直到得到期望厚度的光刻胶层。

[0008] 在一些实施例中,制备灰度曝光版图包括制备第一曝光版图和第二曝光版图,所述第一曝光版图包括凸起半球图案,所述第二曝光版图包括凹陷半球图案。

[0009] 在一些实施例中,对所述光刻胶层进行激光直写曝光包括使用所述第一曝光版图和所述第二曝光版图分别对所述光刻胶层进行曝光,然后再执行对曝光后的光刻胶层进行显影的步骤。

[0010] 在一些实施例中,所述激光直写曝光设备用于曝光的激光束的离焦量设置在10-50 μm 的范围。

[0011] 在一些实施例中,所述激光直写曝光设备用于曝光的激光束的光斑尺寸在100nm至1 μm 的范围。

[0012] 在一些实施例中,对所述光刻胶层进行激光直写曝光包括在每个像素点位置以及相邻像素点之间的多个中间位置对光刻胶层进行曝光。

[0013] 在一些实施例中,在相邻像素点之间的多个中间位置曝光量均匀变化。

[0014] 在一些实施例中,在相邻像素点之间的多个中间位置的数量在1-20的范围内。

[0015] 在一些实施例中,利用所述方法制备的凸起和凹陷微结构的直径在5-100 μm 的范围内。

[0016] 在一些实施例中,所述方法还包括:对所述光刻胶层和所述衬底进行定向蚀刻,以将所述光刻胶层上的球面结构转移到所述衬底中。

[0017] 本发明的上述和其他特征和优点将从下面结合附图对具体实施例的描述而变得显而易见。

附图说明

[0018] 图1是根据本发明一实施例的任意曲率的凸起和/或凹陷的球面微结构制备方法的流程图。

[0019] 图2是导入到激光直写设备中的灰度曝光版图的示意图。

[0020] 图3是使用图2的版图制备的一种凹陷的任意曲率球面微结构的示例电镜图。

[0021] 图4是由图1的方法制备凸起任意曲率的球面微结构电镜图。

[0022] 图5是根据本发明另一实施例的任意曲率球面微结构制备方法的流程图。

[0023] 图6是由图5的方法制备的凸起和凹陷同时存在的任意曲率的微结构的示例电镜图。

具体实施方式

[0024] 下面,将参考附图详细地描述根据本申请的示例实施例。注意,附图可能不是按比例绘制的。显然,所描述的实施例仅仅是本申请的一部分实施例,而不是本申请的全部实施例,本申请不受这里描述的示例实施例的限制。

[0025] 图1是根据本发明一实施例的微结构制备方法的流程图。参照图1,在步骤S110中,制备光刻胶层。可以将干净的衬底,例如硅片、石英片或其他平整材料等,放置在涂胶机中,将光刻胶例如AZ4562滴在衬底上,以1600rpm的转速进行旋涂。然后,可以在热板上100 $^{\circ}\text{C}$ 烘烤衬底,烘烤过程中可以由50 $^{\circ}\text{C}$ 逐渐提高烘烤温度,目的是消除烘胶过程中溶剂挥发产生的气泡。应注意,本申请中描述的参数都是作为示例提供,以使得本领域技术人员能够实施

这里提供的实施例。但是,可以根据实际应用,例如所使用的光刻胶的种类,期望得到的光刻胶厚度等,而改变这里描述的参数值,这并不偏离本发明的教导。

[0026] 在一些实施例中,可能期望获得较厚的光刻胶层,因此还可以重复上面的甩胶和烘烤步骤,以制备多个光刻胶层,以实现较大的光刻胶厚度,例如获得厚度为20 μm 或更大的光刻胶层。可以理解,较厚的光刻胶层有助于后面形成曲率不同的球面微结构。

[0027] 继续参照图1,在步骤S120中,可以制备供曝光设备使用的曝光版图,其可以是灰度图。在一些实施例中,可以使用例如matlab软件或者其他绘图软件,绘制期望的曝光形状的灰度版图。以半球形微结构为例,按照球的坐标方程,画出期望尺寸的半球对应的灰度,其中灰度值对应于曝光量,以256阶灰度为例,最大灰度值255对应于最大曝光量,最小灰度值0对应于最小曝光量。以正型光刻胶为例,经受大曝光量的部分在显影时容易被保留,经受小曝光量的部分在显影时容易被去除。下面的表1示出了与不同的半球尺寸对应的一些灰度值的示例。可以理解,当每英寸像素点数(DPI)具有预定值时,半球尺寸值可以换算成相应的像素点数。

[0028] 表1

[0029]

半球尺寸	10 μm	15 μm	20 μm	25 μm	30 μm
灰度(凹陷半球)	60-123	60-156	60-189	60-222	60-255
灰度(凸起半球)	255-191	255-158	255-126	255-93	255-60

[0030] 上面的表1示出的灰度值范围是从半球边缘到半球中心的灰度值范围。可以理解,对于凸起的半球,其中心位置最高,因此对于正性光刻胶而言,受到的曝光量最小,在显影时不易溶解;对于凹陷的半球,其中心位置最低,因此对于正性光刻胶而言,受到的曝光量最大,在显影时容易溶解去除。但是应理解,本发明的原理也可以用于负性光刻胶。在一些实施例中,可以使用例如matlab软件绘制各种大小的凸起或凹陷半球灰度版图,然后使用图形处理软件例如photoshop将多个半球灰度版图拼合并到一张图片例如bmp图片中。还应理解,上面的表1示出了各种大小半球尺寸的灰度值范围,当在光刻胶层上形成多个大小不同的凸起或凹陷半球时,还期望这些半球位于同一平面上,因此在将多个半球灰度图合并到一张图像中时,还需要对各个半球的灰度值应用一阶梯值或者说偏离值,使得各个半球的边缘以及半球之间的背景区域的灰度值相同。

[0031] 可以理解,如上所述,曝光版图中各个像素的灰度值对应于曝光量,曝光量进而对应于所得光刻胶图案中对应像素点的厚度值。因此,在步骤S120中准备曝光版图时,通过适当地设置各个像素的灰度值,可以获得任意曲率的球面图案。图2是根据本发明一实施例的曝光版图的示意图。如图2所示,其包括半球灰度图案的5*5阵列,其中半球图案从上到下逐渐增大。各个半球图案的中心灰度值高,因此其应用于正性光刻胶时适于形成凹陷半球形状。

[0032] 虽然上面先描述了制备光刻胶的步骤S110,然后描述了制备曝光版图的步骤S120,但是应理解,上述步骤可以按其他顺序执行,例如先制备曝光版图,然后在制备光刻胶,或者可以同时进行的。

[0033] 接下来在步骤S130,激光直写曝光设备可以使用步骤S120中制备的曝光版图对步骤S110中制备的光刻胶进行激光直写曝光。所谓激光直写曝光是指由激光束直接照射光刻胶来进行曝光。激光直写曝光设备可以读取曝光版图中的每个像素的灰度值,根据像素坐

标值确定光刻胶上的曝光点位,并且根据像素灰度值来确定与该曝光点位对应的激光能量强度或曝光时间,使得该曝光点位的曝光量与其灰度值成比例。为了简单起见,也可以将光刻胶上的各个曝光点位称为像素点,其与曝光版图上的各个像素点彼此对应,激光直写曝光设备可以在驱动装置的控制下在各个像素点之间移动激光光斑,例如逐行扫描移动,以完成对所有像素点的直写曝光。可以理解,可以通过调节激光束的能量强度,或者调节激光束的照射时间,来调节曝光量,使得最终照射光刻胶的曝光量与对应像素的灰度值成比例。由于激光直写曝光是采用激光束来对逐个像素进行曝光,因此要注意保证相邻像素之间的曝光均匀性,减小光束拼接产生的影响。在一些实施例中,可以将激光光束的离焦量设置为 $10\mu\text{m}$ 以上,优选地在 $10\text{-}50\mu\text{m}$ 的范围内,例如为 $15\mu\text{m}$ 或者 $20\mu\text{m}$,使得激光光斑的能量分布比较均匀,光斑尺寸可以在 100nm 至 $2\mu\text{m}$ 的范围,优选地在 100nm 至 $1\mu\text{m}$ 的范围。激光直写曝光设备可以根据曝光图案,对光刻胶进行逐行扫描曝光,最终完成整个曝光图案的曝光。

[0034] 在一些实施例中,步骤S120中制备的曝光版图的分辨率例如DPI值小于激光直写设备能实现的DPI值。因此,为了实现更光滑的微结构,在曝光时激光直写设备还可以在相邻像素点之间进行插值,也就是在相邻像素点之间的多个中间位置进行曝光。相邻像素点可以是一行中的相邻像素,也可以是一列中的相邻像素,中间位置的曝光量可以在相邻像素点之间均匀变化。通过这种插值曝光,可以进一步改善曝光均匀性,从而得到的曝光图案更平滑。

[0035] 接下来在步骤S140,可以对曝光后的光刻胶进行显影。可以使用配置好的显影液来进行显影,例如可以使用AZ400K和水按照1:4的比例配置的显影液来进行显影,显影时间可以根据需显影的光刻胶厚度和显影液的材料来确定,一般在1-30分钟,例如为6分钟和10分钟等。显影后可以用去离子水清洗,用气枪吹干。并在热板上进行烘烤,使光刻胶图案产生微小流动,从而达到消除激光束拼接产生的条纹。烘干后冷却至室温,得到光滑的光刻胶图案。图3示出利用图2所示的曝光版图制备的光刻胶球面结构的照片,其示出了表面光滑的 $5*5$ 半球形凹陷半球结构阵列。如前所述,还可以通过上述方法,利用中间灰度值低、外围灰度值高的曝光图案制备凸起半球形状的球面结构,图4示展示了如此制备的不同尺寸和曲率的凸起半球结构的电镜图。

[0036] 接下来在步骤S150,可以对光刻胶层进行回流处理,以消除曝光期间光束拼接产生的条纹。例如,可以将光刻胶加热至一定温度并保持预定时间,使部分光刻胶融化回流,以消除拼接条纹。可以使用热板加热光刻胶,或者利用热空气来进行加热,加热温度和保持时间可以根据光刻胶的材料来选择,本发明不限于任何特定的值。通过回流工艺,可以获得表面光滑的任意曲率球面立体结构。

[0037] 虽然未示出,但是在一些实施例中,还可以对光刻胶层和衬底进行定向蚀刻,例如垂直蚀刻,使得光刻胶层的任意曲率球面立体结构可以转移到衬底中。在一些实施例中,也可以在光刻胶层上共形沉积一材料层例如金属层,使得光刻胶层的球面结构转印到所述材料层中,然后通过例如溶液来去除光刻胶层。

[0038] 图5是根据本发明另一实施例的任意曲率球面微结构制备方法的流程图。在图5的方法中,与图1相同的步骤用相同的附图标记指示,下面不再重复描述,而仅仅描述不同的步骤。

[0039] 参照图5,在步骤S120a中,制备多个曝光版图,其中制备每个曝光版图的过程可以

如上面的步骤S120所述,这里不再重复。各个曝光版图具有相同的大小,但是其上可以具有不同的曝光图案。当多个曝光版图重叠时,其上的曝光图案可以彼此交叠或者不交叠。

[0040] 在步骤S130a中,使用步骤S120a中制备的多个曝光版图依次进行激光直写曝光,其中使用每个曝光版图进行曝光的过程可以与上面描述的步骤S130相同。在步骤S130a中,使用多个曝光版图对光刻胶实现了“套刻”的过程,每个曝光版图上的曝光图案在光刻胶上叠加,从而得到最终的曝光图案。例如,在一些实施例中,所述多个曝光版图可以包括至少两个曝光版图,其中第一曝光版图上包括用于形成凸起球面结构的曝光图案,第二曝光版图上包括用于形成凹陷球面结构的曝光图案,而在光刻胶上最终形成的球面结构可包括凸起和凹陷结构二者。图6示出了这样制备的球面光刻胶结构的电镜照片,其中包括大小不同的多个凹陷和凸起半球结构。通过采用上述的多个曝光版图,可以增加曝光设备的最大能量控制阶数,制备凹凸对比度更大的球面立体结构。

[0041] 图5所示方法的其他方面可以与图1所示的方法相同,这里省略对其的重复描述。

[0042] 以上结合具体实施例描述了本申请的基本原理,但是,需要指出的是,在本申请中提及的优点、优势、效果等仅是示例而非限制,不能认为这些优点、优势、效果等是本申请的各个实施例必须具备的。另外,上述公开的具体细节仅是为了示例的作用和便于理解的作用,而非限制,上述细节并不限制本申请为必须采用上述具体的细节来实现。

[0043] 本申请中涉及的器件、装置、设备、系统的方框图仅作为例示性的例子并且不意图要求或暗示必须按照方框图示出的方式进行连接、布置、配置。如本领域技术人员将认识到的,可以按任意方式连接、布置、配置这些器件、装置、设备、系统。诸如“包括”、“包含”、“具有”等等的词语是开放性词汇,指“包括但不限于”,且可与其互换使用。这里所使用的词汇“或”和“和”指词汇“和/或”,且可与其互换使用,除非上下文明确指示不是如此。这里所使用的词汇“诸如”指词组“诸如但不限于”,且可与其互换使用。

[0044] 还需要指出的是,在本申请的装置、设备和方法中,各部件或各步骤是可以分解和/或重新组合的。这些分解和/或重新组合应视为本申请的等效方案。

[0045] 提供所公开的方面的以上描述以使本领域的任何技术人员能够做出或者使用本申请。对这些方面的各种修改对于本领域技术人员而言是非常显而易见的,并且在此定义的一般原理可以应用于其他方面而不脱离本申请的范围。因此,本申请不意图被限制到在此示出的方面,而是按照与在此公开的原理和新颖的特征一致的最宽范围。

[0046] 为了例示和描述的目的已经给出了以上描述。此外,此描述不意图将本申请的实施例限制到在此公开的形式。尽管以上已经讨论了多个示例方面和实施例,但是本领域技术人员将认识到其某些变型、修改、改变、添加和子组合。

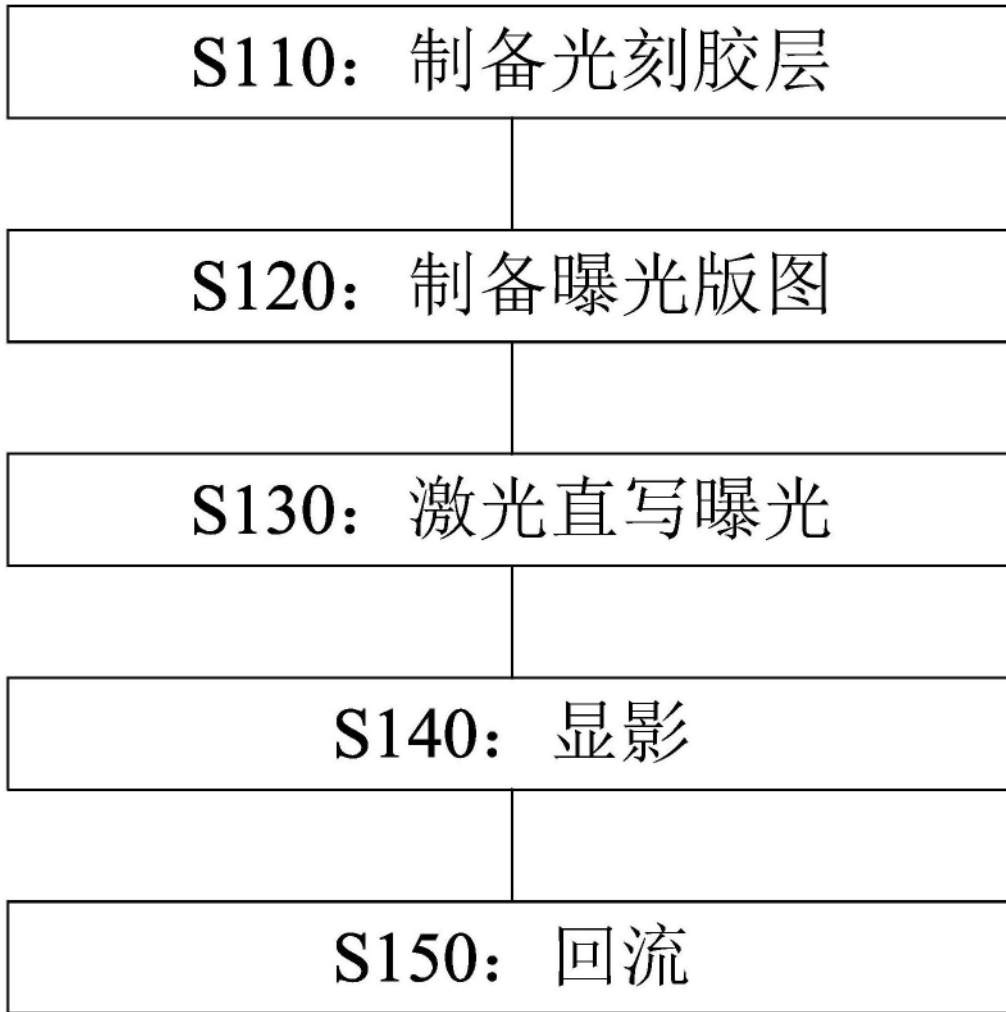


图1

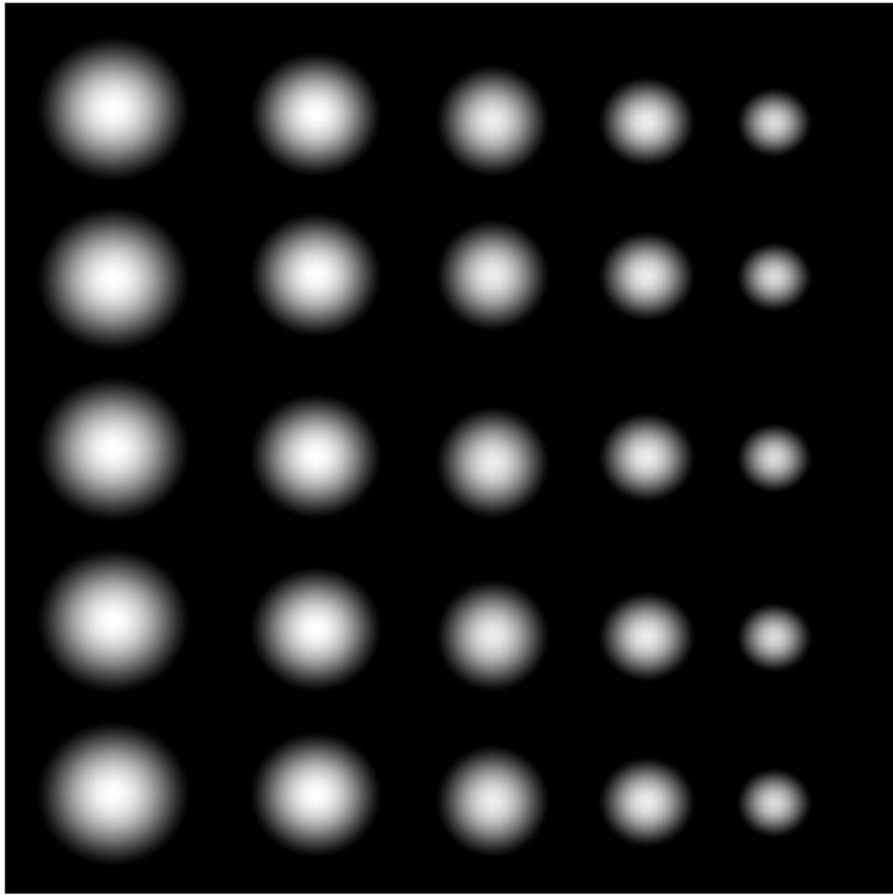


图2

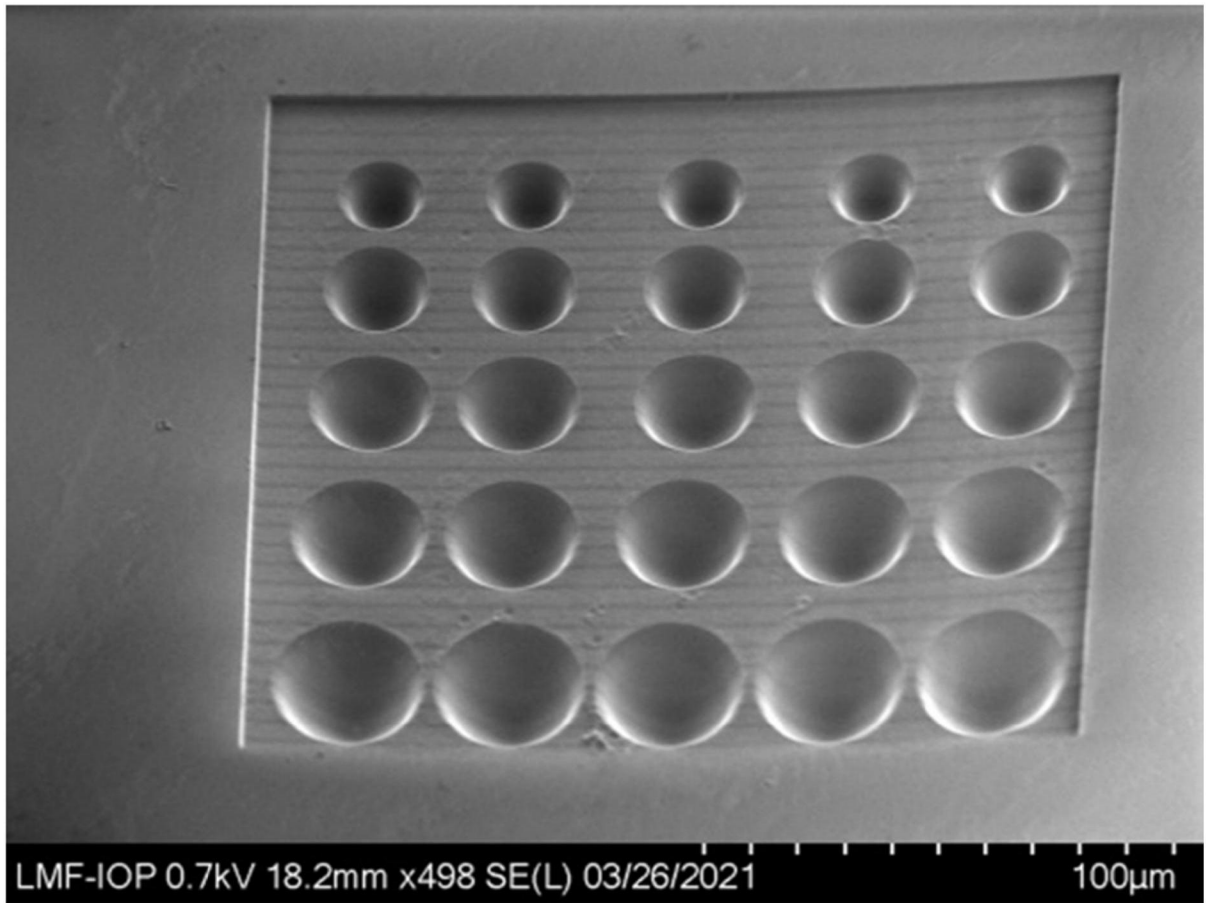


图3

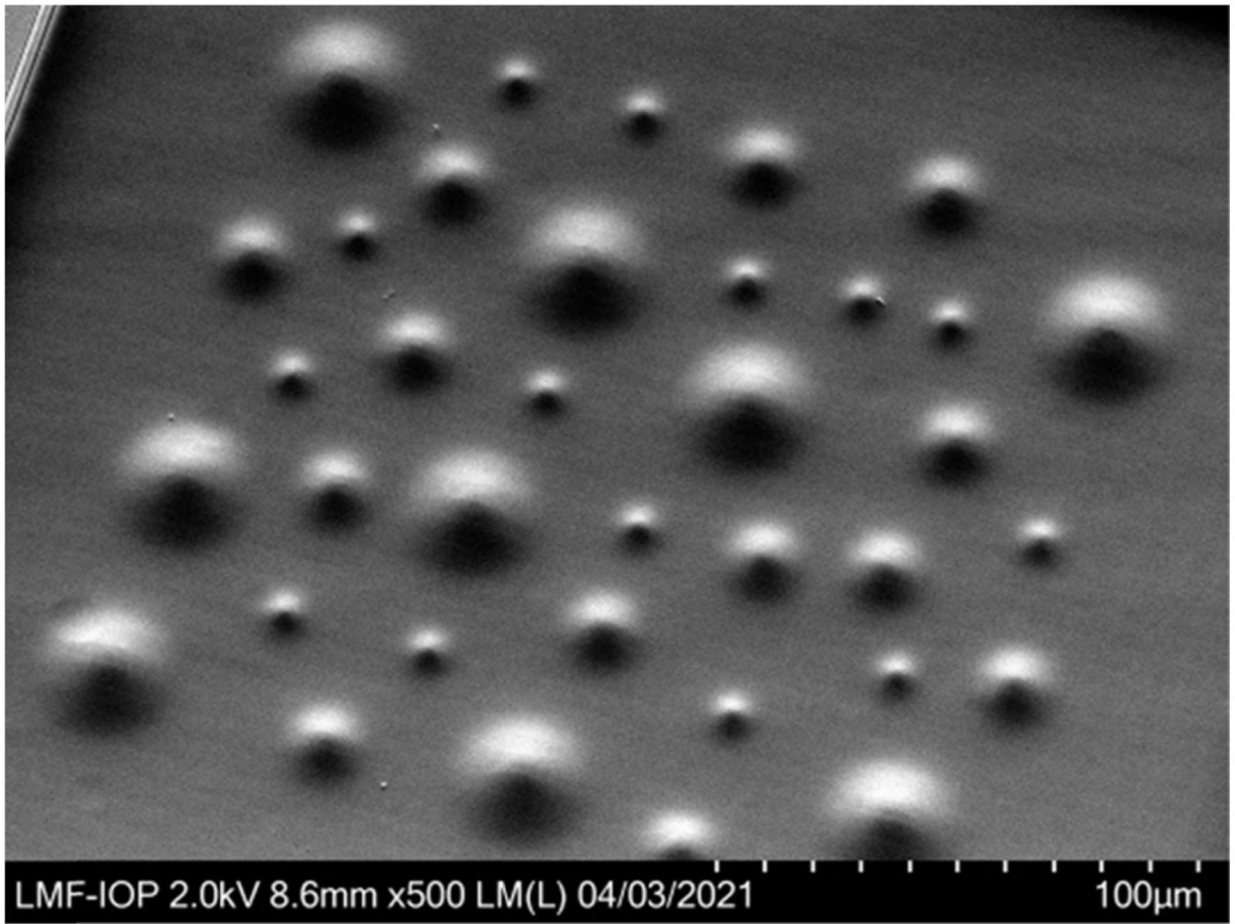


图4



图5

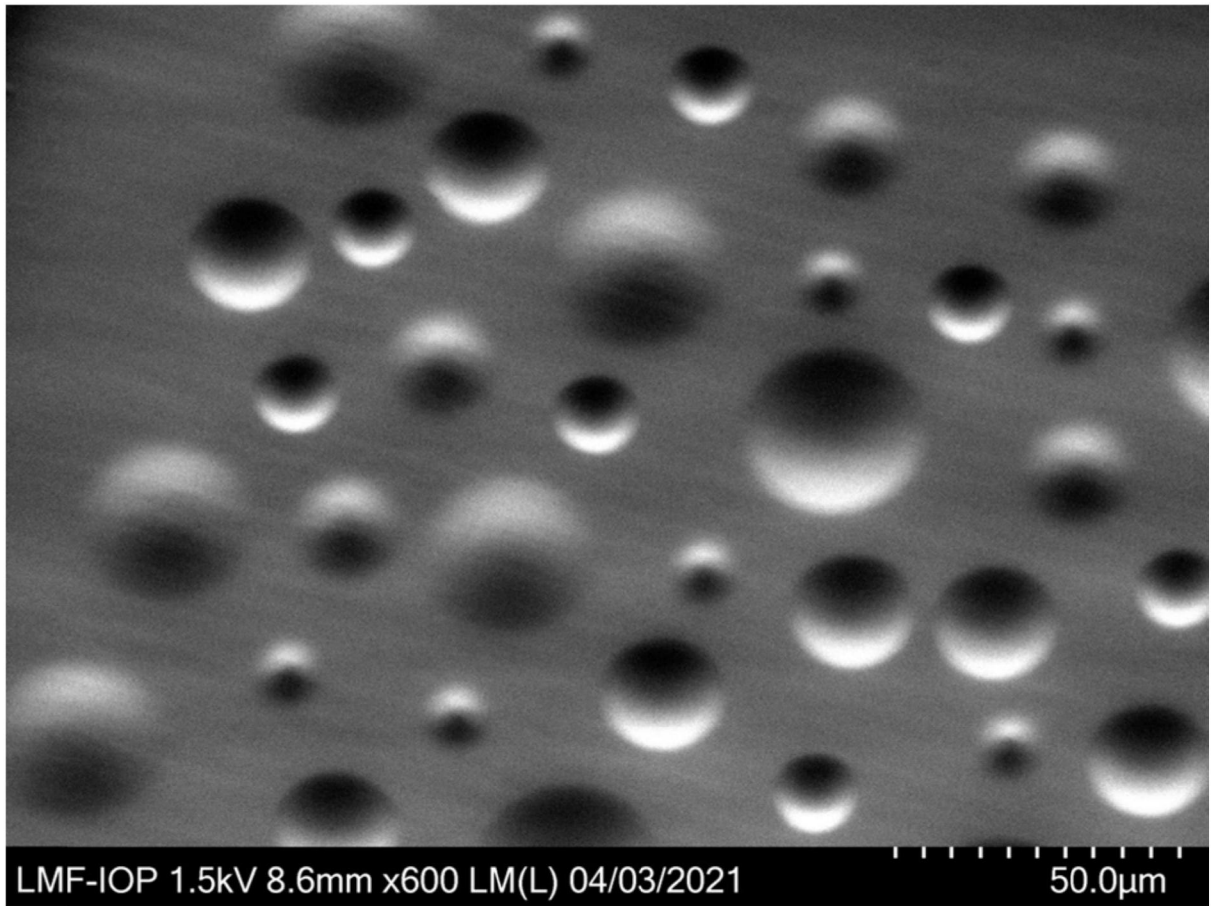


图6