



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 119024652 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 14

(21) 申请号 202411506951.6

G02B 26/08 (2006.01)

(22) 申请日 2024.10.28

G02B 27/10 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 119024652 A

(56) 对比文件

CN 111856892 A, 2020.10.30

CN 112666803 A, 2021.04.16

(43) 申请公布日 2024.11.26

审查员 李研研

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310058 浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号

(72) 发明人 匡翠方 刘景辰 丁晨良 徐良
刘旭

(74) 专利代理机构 杭州天勤知识产权代理有限公司 33224

专利代理师 沈金龙

(51) Int. Cl.

G03F 7/20 (2006.01)

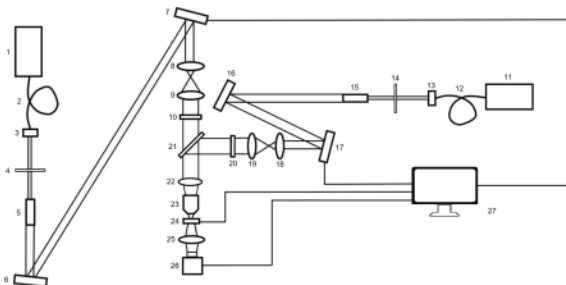
权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置及方法。本发明利用数字微镜器件,实现独立激光点开关的调控,调控速度可到kHz,为快速加工奠定基础。本发明充分利用数字微镜器件的大规模矩阵式像素,形成超百万点的激光直写作用点阵列,能够快速完成大面积复杂结构的刻写。本发明将数字微镜器件中的最小像素单元进一步通过微透镜阵列聚焦成更小的作用点,并利用双色双步吸收效应,实现超过衍射极限的高刻写分辨率。本发明可以快速特异性调控的激光点阵列,作用于材料上实现双色双步吸收效应,可以为快速、高精度、可实现大面积复杂结构直写的无掩膜曝光系统的实现提供必要技术基础。



1. 基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,其特征在于,包括:

第一光路,用于产生第一激光光束,包括第一激光光源、第一数字微镜器件、第一微透镜阵列,第一激光光源发出的激光光束入射所述第一数字微镜器件并反射后入射到所述第一微透镜阵列;

第二光路,用于产生第二激光光束,包括第二激光光源、第二数字微镜器件、第二微透镜阵列,第二激光光源发出的激光光束入射所述第二数字微镜器件并反射后入射到所述第二微透镜阵列;

合束光路,包括二向色镜、扫描透镜和物镜;所述二向色镜用于将第一光路和第二光路产生的第一激光光束和第二激光光束进行合束,第一激光光束和第二激光光束中心重合,合束后的激光点阵列经过扫描透镜与物镜进行二次成像,然后到达三维样品台进行曝光,对三维样品台上的光刻胶进行作用,实现无掩膜曝光三维直写;

所述第一数字微镜器件与第二数字微镜器件上微镜的数量、排列模式及间距相同,且第一数字微镜器件上单个微镜经过第一微透镜阵列会聚形成的激光点和第二数字微镜器件上对应的单个微镜经过第二微透镜阵列会聚形成的激光点在所述二向色镜合束后中心不完全重合,存在一个微小的位移,不超过两束激光波长总和的一半。

2. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,其特征在于,所述第一光路在第一激光光源与第一数字微镜器件之间还设有第一光纤、第一准直器、第一匀光片、第一石英光棒、第一反射镜,所述第一光纤两端分别连接所述第一激光光源和第一准直器,所述第一激光光源发出激光光束经第一光纤和第一准直器形成准直的激光光束,再经过第一匀光片和第一石英光棒进行匀光获得均匀的光斑,经过第一反射镜反射到第一数字微镜器件;

所述第二光路在第二激光光源与第二数字微镜器件之间还设有第二光纤、第二准直器、第二匀光片、第二石英光棒、第二反射镜,所述第二光纤两端分别连接所述第二激光光源和第二准直器,所述第二激光光源发出激光光束经第二光纤和第二准直器形成准直的激光光束,再经过第二匀光片和第二石英光棒进行匀光获得均匀的光斑,经过第二反射镜反射到第二数字微镜器件。

3. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,其特征在于,所述第一数字微镜器件与第一微透镜阵列之间设有用于进行扩束的第一透镜和第二透镜;

所述第二数字微镜器件与第二微透镜阵列之间设有用于进行扩束的第三透镜和第四透镜。

4. 根据权利要求3所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,其特征在于,所述第一微透镜阵列和第二微透镜阵列上微透镜的间距与第一数字微镜器件和第二数字微镜器件上单个微镜的间距成一定比例放大,放大倍数与第一透镜、第二透镜以及第三透镜、第四透镜组合的扩束倍数相同;

并且,第一微透镜阵列、第二微透镜阵列上的微透镜分别与第一数字微镜器件、第二数字微镜器件上的微镜一一对应且中心重合。

5. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,其特征在于,第一数字微镜器件上单个微镜经过第一微透镜阵列会聚形成的激光点和第二数字微镜器件上对应的单个微镜经过第二微透镜阵列会聚形成的激光点在所述二向色镜合束后,聚焦

位置在沿光线传播的Z轴方向上不完全重合。

6. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置, 其特征在于, 所述第一数字微镜器件与第二数字微镜器件的像素数量为 960×540 、 1280×720 或 1920×1080 。

7. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置, 其特征在于, 所述三维样品台与合束后的激光点阵列之间倾斜设置, 倾斜角度 $\leq 20^\circ$ 。

8. 根据权利要求1所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置, 其特征在于, 还包括第五透镜和电荷耦合器件, 合束后的激光点阵列经过第五透镜到达电荷耦合器件, 电荷耦合器件用于对激光点阵列进行实时监控。

9. 基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光方法, 其特征在于, 使用权利要求1~8任一项所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置, 所述第一光路和第二光路分别产生的第一激光光束和第二激光光束经合束光路进行合束后到达三维样平台进行曝光, 对三维样品台上的光刻胶进行作用, 实现无掩膜曝光三维直写。

基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于无掩模光刻技术领域,具体涉及一种基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置及方法。

背景技术

[0002] 芯片是现代高科技产品的典型代表,而光刻则是制造芯片的关键核心技术。

[0003] 光刻技术是指将设计好的图形,通过曝光的方式在感光基底上进行图案化的制备。光刻的工艺流程主要包括:基片预处理、定时曝光、显影、刻蚀等步骤。

[0004] 现有的光刻技术的主流为掩模版光刻和无掩膜光刻。对于掩模版光刻,更小特征尺寸意味着昂贵的掩模版加工成本,而掩模版的特性决定了掩模版的不可变性,没有通用性与灵活性。正因为掩模版的诸多限制,无掩膜光刻开始逐步出现在大家的视线,成为光刻领域的研究热门课题。激光直写技术是发展比较快的无掩膜光刻技术之一,将能量束缩小到微米、纳米量级,然后移动基片或能量束,对基底上不同位置的感光材料进行改性,从而造成曝光部分与未曝光部分在特殊显影液中的溶解情况不同的差异,进而将图案化部分去除掉。

[0005] 尽管类似的无掩膜光刻技术,在提高光刻分辨能力方面有很大的突破性进展,能达到纳米级的光刻分辨率,但由于其采用点扫描或线扫描的方式进行光刻,所以在光刻大尺寸、大面积的图案时,需要更长的曝光时间,不适用于大面积的光刻,且工作环境要求高、成本高。因此,开发一种简单易用、高效率、低成本、灵活性强的无掩膜光刻技术,是微纳器件工艺能够进一步发展、提高芯片集成度、加快芯片流片速度的必然要求。

[0006] 基于数字微镜器件的面投影光刻技术,因其快速、低成本、灵活的光刻特性,引起了科研人员的广泛关注。相比于传统的掩模版光刻,这种方式设计灵活,仅需要在电脑上设计光刻图形来生成数字掩模版来取代传统掩模版。但要同时实现高分辨率和大生产量是一项艰巨的挑战,基于数字微镜器件的无掩膜光刻技术是以牺牲高分辨率来获得高效率的面投影光刻,如何兼顾高分辨率与快速刻写能力是目前面临的挑战。

[0007] 利用双色双步吸收效应能够实现超过衍射极限的高刻写分辨率。比如,公开号为CN114779591A的发明申请公开了一种基于双色双步吸收效应的超分辨光刻方法,该方法基于苯偶酰光引发剂基态与三重态的光谱吸收特性,利用一束材料基态吸收范围波长的激光束与另一束材料三重态吸收范围波长的激光束共同作用于材料中,通过控制两者的能量实现双色双步吸收效应,并且结合两者的相对位移控制,从而获得小于衍射极限的刻写线宽。

[0008] 再比如,公开号为CN115826364A的发明申请公开了基于双步双光子效应的高通量超分辨纳米刻写方法与装置,将存在延时的一个激发光和一个促进光合束,入射到数字微镜器件,随后成像到三维样品台的基板上涂覆的具有双步双光子效应的光刻胶上;根据所需刻写结构控制数字微镜器件,完成基板所在焦面处的曝光,同时控制三维样品台,以及激发光和促进光的延时,使延时大于光刻胶分子的单重态的激发态S1到多重态T1,进而实现双步双光子效应,实现任意三维纳米结构的刻写;激发光和促进光为同一波长且重复频率

相同的激光束,且激发光的脉宽为飞秒,促进光的脉宽为皮秒或者纳秒。但是刻写分辨率与结构厚度尺寸依然有待进一步提高。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于针对现有技术的不足,提供了一种基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置及方法,能够进行快速、大面积三维刻写的同时,兼具高分辨率,并且能够进一步压缩三维结构厚度尺寸。

[0010] 本发明首先提供了基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,包括:

[0011] 第一光路,用于产生第一激光光束,包括第一激光光源、第一数字微镜器件、第一微透镜阵列,第一激光光源发出的激光光束入射所述第一数字微镜器件并反射后入射到所述第一微透镜阵列;

[0012] 第二光路,用于产生第二激光光束,包括第二激光光源、第二数字微镜器件、第二微透镜阵列,第二激光光源发出的激光光束入射所述第二数字微镜器件并反射后入射到所述第二微透镜阵列;

[0013] 合束光路,包括二向色镜、扫描透镜和物镜;所述二向色镜用于将第一光路和第二光路产生的第一激光光束和第二激光光束进行合束,第一激光光束和第二激光光束中心重合,合束后的激光点阵列经过扫描透镜与物镜进行二次成像,然后到达三维样平台进行曝光,对三维样品台上的光刻胶进行作用,实现无掩膜曝光三维直写。

[0014] 优选的,所述第一光路在第一激光光源与第一数字微镜器件之间还设有第一光纤、第一准直器、第一匀光片、第一石英光棒、第一反射镜,所述第一光纤两端分别连接所述第一激光光源和第一准直器,所述第一激光光源发出激光光束经第一光纤和第一准直器形成准直的激光光束,再经过第一匀光片和第一石英光棒进行匀光获得均匀的光斑,经过第一反射镜反射到第一数字微镜器件;

[0015] 所述第二光路在第二激光光源与第二数字微镜器件之间还设有第二光纤、第二准直器、第二匀光片、第二石英光棒、第二反射镜,所述第二光纤两端分别连接所述第二激光光源和第二准直器,所述第二激光光源发出激光光束经第二光纤和第二准直器形成准直的激光光束,再经过第二匀光片和第二石英光棒进行匀光获得均匀的光斑,经过第二反射镜反射到第二数字微镜器件。

[0016] 优选的,所述第一数字微镜器件与第一微透镜阵列之间设有用于进行扩束的第一透镜和第二透镜;

[0017] 所述第二数字微镜器件与第二微透镜阵列之间设有用于进行扩束的第三透镜和第四透镜。

[0018] 更优选的,所述第一微透镜阵列和第二微透镜阵列上微透镜的间距与第一数字微镜器件和第二数字微镜器件上单个微镜的间距成一定比例放大,放大倍数与第一透镜、第二透镜以及第三透镜、第四透镜组合的扩束倍数相同;

[0019] 并且,第一微透镜阵列、第二微透镜阵列上的微透镜分别与第一数字微镜器件、第二数字微镜器件上的微镜一一对应且中心重合。

[0020] 优选的,所述第一数字微镜器件与第二数字微镜器件上微镜的数量、排列模式及间距相同,

[0021] 且第一数字微镜器件上单个微镜经过第一微透镜阵列会聚形成的激光点和第二数字微镜器件上对应的单个微镜经过第二微透镜阵列会聚形成的激光点在所述二向色镜合束后中心不完全重合,存在一个微小的位移,不超过两束激光波长总和的一半,从而使重叠部分形成小于衍射极限的刻写光斑。

[0022] 更优选的,第一数字微镜器件上单个微镜经过第一微透镜阵列会聚形成的激光点和第二数字微镜器件上对应的单个微镜经过第二微透镜阵列会聚形成的激光点在所述二向色镜合束后,聚焦位置在沿光线传播的Z轴方向上也不完全重合,从而可以进一步压缩Z轴方向上的结构尺寸。

[0023] 优选的,所述第一数字微镜器件与第二数字微镜器件的像素数量为 960×540 、 1280×720 或 1920×1080 。第一微透镜阵列、第二微透镜阵列上的微透镜应该不少于对应的第一数字微镜器件、第二数字微镜器件上的像素数量,一般微透镜的数量应该略大于像素数量,方便二者对准。

[0024] 优选的,所述三维样品台与合束后的激光点阵列之间倾斜设置,倾斜角度 $\leq 20^\circ$ 。优选的,倾斜角度为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 。该倾斜角度的目的是使得在对光刻胶曝光直写时,刻写的激光点阵列能够与三维样品台倾斜,也就是刻写时进行倾斜扫描曝光,以填充相邻点的间隙,实现整个面连续完整曝光。

[0025] 本发明中提高分辨率主要通过两个方式:一个是微透镜阵列,直接缩小了单像素的尺寸,将原数字微镜器件的方形像素调控形成更小圆形激光点阵列,减弱了数字微镜器件的像素化效应;另一个是刻写时两个光斑存在微小位移,减小重叠部分面积。倾斜扫描主要有两个作用:一个是填充相邻点的间隙,实现整个面连续完整曝光,提高刻写效率,如果不倾斜,原本经过微透镜阵列后会形成离散的点阵列;另一个是减弱锯齿效应,能够加工出边缘更加平滑的光刻图形。

[0026] 优选的,所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,还包括第五透镜和电荷耦合器件,合束后的激光点阵列经过第五透镜到达电荷耦合器件,电荷耦合器件用于对激光点阵列进行实时监控。

[0027] 本发明还提供了基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光方法,使用所述基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,所述第一光路和第二光路分别产生的第一激光光束和第二激光光束经合束光路进行合束后到达三维样平台进行曝光,对三维样品台上的光刻胶进行作用,实现无掩膜曝光三维直写。

[0028] 本发明的有益效果是:本发明可以在光刻胶上形成百万点以上组成的激光直写作用点阵列,且每一个独立的点都能够实现快速“开关”调控,具有以下特点:

[0029] 1、具备快速加工能力,本发明利用数字微镜器件,实现独立激光点开关的调控,调控速度可到kHz,为快速加工奠定基础。

[0030] 2、具备大面积复杂结构加工能力,本发明充分利用数字微镜器件的大规模矩阵式像素,形成超百万点的激光直写作用点阵列,能够快速完成大面积复杂结构的刻写。

[0031] 3、具有高分辨率,本发明将数字微镜器件中的最小像素单元进一步通过微透镜阵列聚焦成更小的作用点,并利用双色双步吸收效应,实现超过衍射极限的高刻写分辨率。

[0032] 进一步的,由于通过微透镜阵列聚焦,聚焦后的每个像素点尺寸减小,相邻像素之间的间距增大,从而能够适用倾斜扫描。

[0033] 4、无掩膜曝光,本发明不需要使用掩膜,简化了制作工艺,降低了成本,并且通过两条光路分别独立入射,在分别经过数字微镜器件和微阵列透镜后才进行合束,合束前的两条光路可以分别调控,提升了灵活性,能够快速响应不同图形设计的需求。

[0034] 本发明有效解决了目前基于数字微镜器件的面投影光刻技术中,大生产量和高分辨率难以兼顾的问题。利用该装置生成可以快速特异性调控的激光点阵列,作用于材料上实现双色双步吸收效应,可以为快速、高精度、可实现大面积复杂结构直写的无掩膜曝光系统的实现提供必要技术基础。

附图说明

[0035] 图1是本发明基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置示意图。

[0036] 图2是本发明基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光直写过程示意图。

[0037] 附图标记:1-第一激光光源、2-第一光纤、3-第一准直器、4-第一匀光片、5-第一石英光棒、6-第一反射镜、7-第一数字微镜器件、8-第一透镜、9-第二透镜、10-第一微透镜阵列、11-第二激光光源、12-第二光纤、13-第二准直器、14-第二匀光片、15-第二石英光棒、16-第二反射镜、17-第二数字微镜器件、18-第三透镜、19-第四透镜、20-第二微透镜阵列、21-二向色镜、22-扫描透镜、23-物镜、24-三维样品台、25-第五透镜、26-电荷耦合器件、27-电脑。

具体实施方式

[0038] 下面通过实施例和附图对本发明作进一步说明,但不应以此限制本发明的保护范围。

[0039] 一种基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,如图1所示,包括:第一激光光源1、第一光纤2、第一准直器3、第一匀光片4、第一石英光棒5、第一反射镜6、第一数字微镜器件7、第一透镜8、第二透镜9、第一微透镜阵列10、第二激光光源11、第二光纤12、第二准直器13、第二匀光片14、第二石英光棒15、第二反射镜16、第二数字微镜器件17、第三透镜18、第四透镜19、第二微透镜阵列20、二向色镜21、扫描透镜22、物镜23、三维样品台24、第五透镜25、电荷耦合器件26、电脑27。

[0040] 上述结构按光路分为第一光路、第二光路和合束光路。

[0041] 第一光路用于产生第一激光光束,包括第一激光光源1、第一数字微镜器件7、第一微透镜阵列10,第一激光光源1发出的激光光束入射第一数字微镜器件7并反射后入射到第一微透镜阵列10。

[0042] 第一光路在第一激光光源1与第一数字微镜器件7之间还设有第一光纤2、第一准直器3、第一匀光片4、第一石英光棒5、第一反射镜6,第一光纤2两端分别连接第一激光光源1和第一准直器3,第一激光光源1发出激光光束经第一光纤2和第一准直器3形成准直的激光光束,再经过第一匀光片4和第一石英光棒5进行匀光获得均匀的光斑,经过第一反射镜6反射到第一数字微镜器件7。第一数字微镜器件7与第一微透镜阵列10之间设有用于进行扩束的第一透镜8和第二透镜9。

[0043] 第二光路用于产生第二激光光束,包括第二激光光源11、第二数字微镜器件17、第二微透镜阵列20,第二激光光源11发出的激光光束入射第二数字微镜器件17并反射后入射

到第二微透镜阵列20。

[0044] 第二光路在第二激光光源11与第二数字微镜器件17之间还设有第二光纤12、第二准直器13、第二匀光片14、第二石英光棒15、第二反射镜16,第二光纤12两端分别连接第二激光光源11和第二准直器13,第二激光光源11发出激光光束经第二光纤12和第二准直器13形成准直的激光光束,再经过第二匀光片14和第二石英光棒15进行匀光获得均匀的光斑,经过第二反射镜16反射到第二数字微镜器件17。

[0045] 第二数字微镜器件17与第二微透镜阵列20之间设有用于进行扩束的第三透镜18和第四透镜19。

[0046] 合束光路包括二向色镜21、扫描透镜22和物镜23;二向色镜21用于将第一光路和第二光路产生的第一激光光束和第二激光光束进行合束。第一激光光束和第二激光光束中,其中一个透过二向色镜21,另一个被二向色镜21反射,在第一激光光束和第二激光光束相互垂直且二向色镜21的布置角度分别与第一激光光束和第二激光光束成 45° 角的情况下,第一激光光束和第二激光光束被二向色镜21合束。

[0047] 第一激光光束和第二激光光束中心重合,合束后的激光点阵列经过扫描透镜22与物镜23进行二次成像,然后到达三维样平台24进行曝光,对三维样品台24上的光刻胶进行作用,实现无掩膜曝光三维直写。

[0048] 第一微透镜阵列10和第二微透镜阵列20上微透镜的间距与第一数字微镜器件7和第二数字微镜器件17上单个微镜的间距成一定比例放大,放大倍数与第一透镜8、第二透镜9以及第三透镜18、第四透镜19组合的扩束倍数相同;并且,第一微透镜阵列10、第二微透镜阵列20上的微透镜分别与第一数字微镜器件7、第二数字微镜器件17上的微镜一一对应且中心重合。

[0049] 第一数字微镜器件7与第二数字微镜器件17上微镜的数量、排列模式及间距相同,且第一数字微镜器件7上单个微镜经过第一微透镜阵列10会聚形成的激光点和第二数字微镜器件17上对应的单个微镜经过第二微透镜阵列会聚形成的激光点在二向色镜21合束后中心不完全重合。并且,聚焦位置在沿光线传播的Z轴方向上不完全重合。

[0050] 第一数字微镜器件7与第二数字微镜器件17的像素数量为 960×540 、 1280×720 或 1920×1080 。第一微透镜阵列10、第二微透镜阵列20上的微透镜应该不少于对应的第一数字微镜器件7、第二数字微镜器件17上的像素数量,一般微透镜的数量应该略大于像素数量,方便二者对准。

[0051] 三维样品台24与合束后的激光点阵列之间倾斜设置,倾斜角度 $\leq 20^{\circ}$ 。优选倾斜角度为 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 。该倾斜角度的目的是使得在对光刻胶曝光直写时,刻写的激光点阵列能够与三维样品台24倾斜,也就是刻写时进行倾斜扫描曝光,以填充相邻点的间隙,实现整个面连续完整曝光。

[0052] 本发明基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置还包括第五透镜25和电荷耦合器件26,合束后的激光点阵列经过第五透镜25到达电荷耦合器件26,电荷耦合器件26用于对激光点阵列进行实时监控。

[0053] 本发明基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置还包括电脑27,电脑27中的刻写用软件用于控制装置的运行。

[0054] 本发明还提供了基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光方法,使用本发明基

于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光装置,第一光路和第二光路分别产生的第一激光光束和第二激光光束经合束光路进行合束后到达三维样品台24进行曝光,对三维样品台24上的光刻胶进行作用,实现无掩膜曝光三维直写。

[0055] 在一种具体的实施方式中,采用图1所示的装置的基于双色双步吸收效应的超分辨无掩膜曝光方法如下:

[0056] 波长为405nm的第一激光光源1发出激光光束,直径约为1mm,经过第一光纤2与第一准直器3形成准直的激光光束,再经过第一匀光片4与第一石英光棒5进行匀光,形成约20mm×10mm的矩形光斑,并且光斑均匀性达到99%以上,矩形光斑经过第一反射镜6反射后,入射到第一数字微镜器件7上。本实施例中选取德州仪器公司生产的DLP9500型数字微镜器件,像素数量为1920×1080,微镜尺寸为10.8μm,可用于可见光波段,第一数字微镜器件7将入射光束反射到第一透镜8中,第一透镜8与第二透镜9两者组合放大倍率约为3.26倍,第一数字微镜器件7的出射光束变为放大3.26倍的平行光束,经过第一微透镜阵列10(微透镜间距为35.269μm,曲率半径为100μm)后,到达二向色镜21上,随后进入后续光路系统中。

[0057] 波长为520nm的第二激光光源11发出激光光束,直径约为1mm,经过第二光纤12与第二准直器13形成准直的激光光束,再经过第二匀光片14与第二石英光棒15进行匀光,形成约20mm×10mm的矩形光斑,并且光斑均匀性达到99%以上,矩形光斑经过第二反射镜16反射后,入射到第二数字微镜器件17上,第二数字微镜器件17选取德州仪器公司生产的DLP9500型数字微镜器件。第二数字微镜器件17将入射光束反射到第三透镜18中、第三透镜18与第四透镜19两者组合放大倍率约为3.26倍,第二数字微镜器件17的出射光束变为放大3.26倍的平行光束,经过第二微透镜阵列20后,到达二向色镜21上,随后进入后续光路系统中。

[0058] 二向色镜21选取短波通二向色镜,如截止频率为490nm的DMSP490型;二向色镜21透射405nm波长的第一入射光束,反射520nm波长的第二入射光束。微透镜的间距与所用第一数字微镜器件7和第二数字微镜器件17经过3.26倍放大后的像素间距相同。微透镜阵列对平行入射的405nm和520nm波长的光束进行调控,将原单像素尺寸缩小从而使像素间距变大,在焦平面上形成等间距的激光点阵列。点阵列经过扫描透镜22与物镜23进行二次成像,进一步缩小点阵列单像素尺寸及像素间的间距,之后到达三维样品台24进行曝光。激光点阵列的部分能量通过三维样品台24后,再经过第五透镜25成像到电荷耦合器件26上,电荷耦合器件26连接电脑27用于对激光点阵列的检测与反馈。

[0059] 曝光过程中,三维样品台24用于控制光刻胶材料进行x,y,z三维方向的移动,刻写速度控制为10μm/s~1m/s。通过移动数字微镜器件与微透镜阵列,使两束光束每个激光点的中心不完全重合,存在一个微小位移,不超过两束激光波长总和的一半,形成小于衍射极限的刻写光斑,且聚焦位置在z轴方向上存在一个微小的位移,位移距离不超过300nm。通过调整z轴位移距离,改变两束激光聚焦平面的重合区域范围,来调控刻写三维结构的高度。通过控制第一激光光源1和第二激光光源11输出的激光功率,对作用在光刻胶上的吸收光束的光功率密度进行调控,使得光引发剂在吸收第一吸收光后紧接着在第二吸收光的作用下,光引发剂中电子继续完成三重态吸收,随机引发系列光化学反应,完成双色双步吸收效应,实现超分辨刻写。

[0060] 第一数字微镜器件7、第二数字微镜器件17用于调控作用点阵列的图案。本实施例

中采用了 11×10 的阵列,倾斜 14.04° 进行扫描,当需要刻写一个“+”图案的结构时如图2所示,其中黑色的圆点表示一个激光点经过数字微镜器件调控为打开状态,对材料进行曝光作用,空心的圆点则表示激光点被调控为关闭状态,不作用在材料上。

[0061] 在实际曝光前,电脑27首先将所需刻写的图像分割,然后分别计算在三维样品台24移动过程中各个阵列点所对应的作用情况,再根据计算结果分别控制三维样品台24、第一数字微镜器件7和第二数字微镜器件17。首先,根据所需刻写的图像,控制一部分阵列作用点开启,一部分关闭,需要刻写的位置开启作用点,无需刻写的位置关闭作用点;然后,电脑27控制三维样品台24朝着一个方向移动,再根据所需刻写的图像通过第一数字微镜器件7和第二数字微镜器件17控制每个作用点的开关,如图2所示,可以发现在移动过程中,开启的作用点扫描过的区域,光刻胶发生聚合形成结构;最后通过三维样品台24的移动与第一数字微镜器件7和第二数字微镜器件17对作用点独立地调控,阵列点扫描完整个刻写的图像区域后,所需的结构刻写完成,相比于单点刻写,其速度增加了数十倍。

[0062] 以上所述仅为本发明的较佳实施举例,并不用于限制本发明,凡在本发明精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

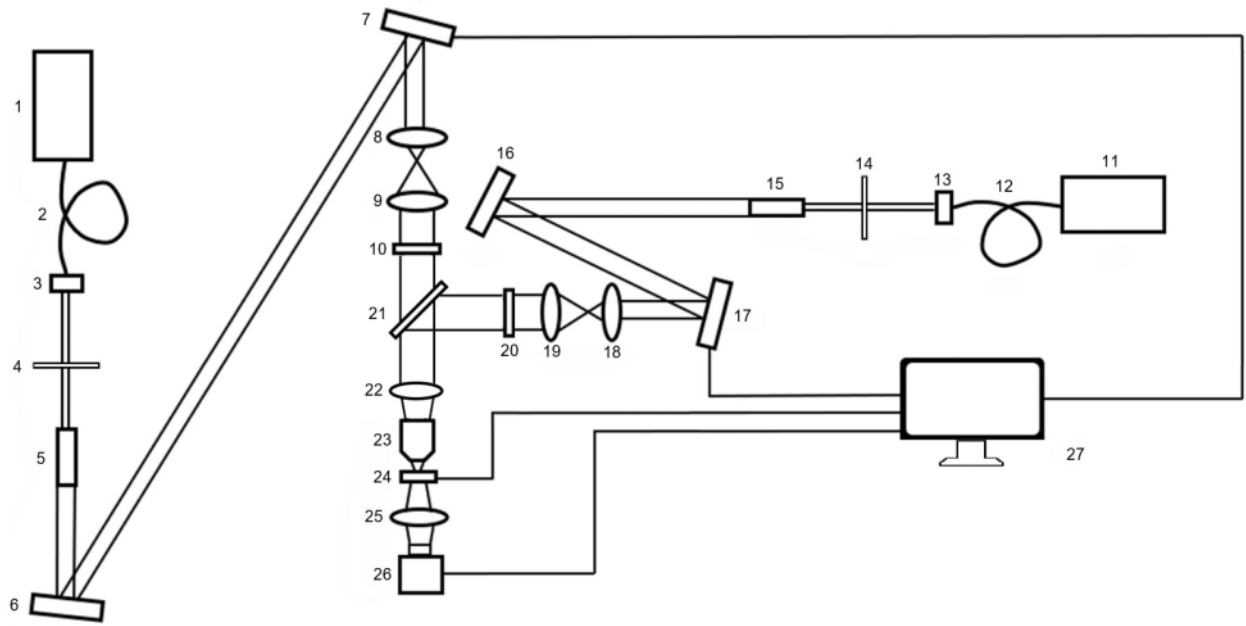


图 1

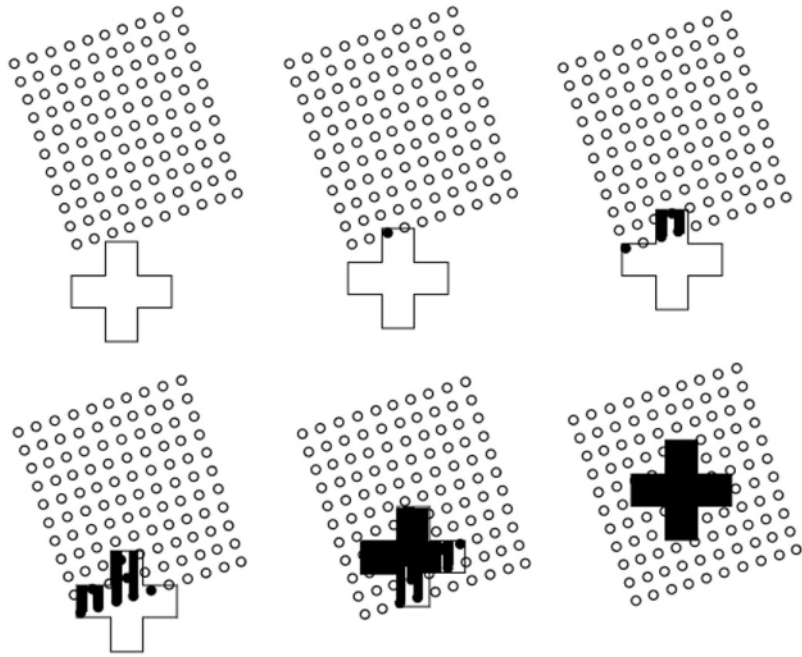


图 2