



# 上海科技大学材料器件中心 (SMDL) 工艺设备 SOP

## 高速高分辨率无掩膜板光刻仪 MLA150

版本：V7

发布年份：2026 年

编写人：王镜喆

设备管理工程师：王镜喆

## 目录

1.	设备功能 (Tool Function)	2
2.	设备使用登记 (Register)	2
3.	设备安全规范 (Safety)	2
4.	高速高分辨率无掩模板光刻仪 (High speed and high resolution maskless lithography)	2
4-1	设备概述 Process Summary	2
4-2	交叉污染控制 cross-contamination Controls & Compatibility	5
4-3	操作流程 Process Procedure	5
5.	常见故障处理	14
6.	日常维护事项	15
7.	设备负责人及联系方式 (Tool Administrator & Contact Information)	15
8.	培训流程 (Training Procedure & Applicable Documents)	15
9.	违规处罚 (Violation & Penalty)	16
10.	历史版本 (History Version)	16

## 1. 设备功能 (Tool Function)

本设备包含设备主机一台,冷水机两台,375nm 与 405nm 激光器各一组,主要用于适用于 6 寸及以下掩模板或硅片,后文将介绍设备的使用规范。

## 2. 设备使用登记 (Register)

- 1) 仪器使用前,需要按预约时段登入个人账号。
- 2) 使用前、后在 MLA150 设备记录本上做好设备使用记录。

## 3. 设备安全规范 (Safety)

- 1) 此台设备只允许一个人使用,禁止多人同时使用!
- 2) 禁止 Process 尺寸小于 10\*10 mm 以下的样品,禁止使用不规则基片
- 3) 图纸尺寸一定要小于基片尺寸,即版图范围不能超出基片
- 4) 禁止将背面沾污的或者不清洁样品放上样品台。
- 5) 禁止关闭激光器电源及操作电源控制柜面板;禁止更改任何仪表和软件上的默认设置。
- 6) 禁止在有人员未离开 Flowbox 内部区域的情况下关闭 Flowbox 保护窗,防止夹伤。
- 7) 禁止长时间保持 Flowbox 保护窗在开放状态,防止 Flowbox 内温度波动过大而报警。
- 8) 禁止在曝光作业过程中操作电脑,防止电脑死机造成曝光中断。
- 9) 发生任何意外先按下紧急开关断电,并且通知设备管理人员。

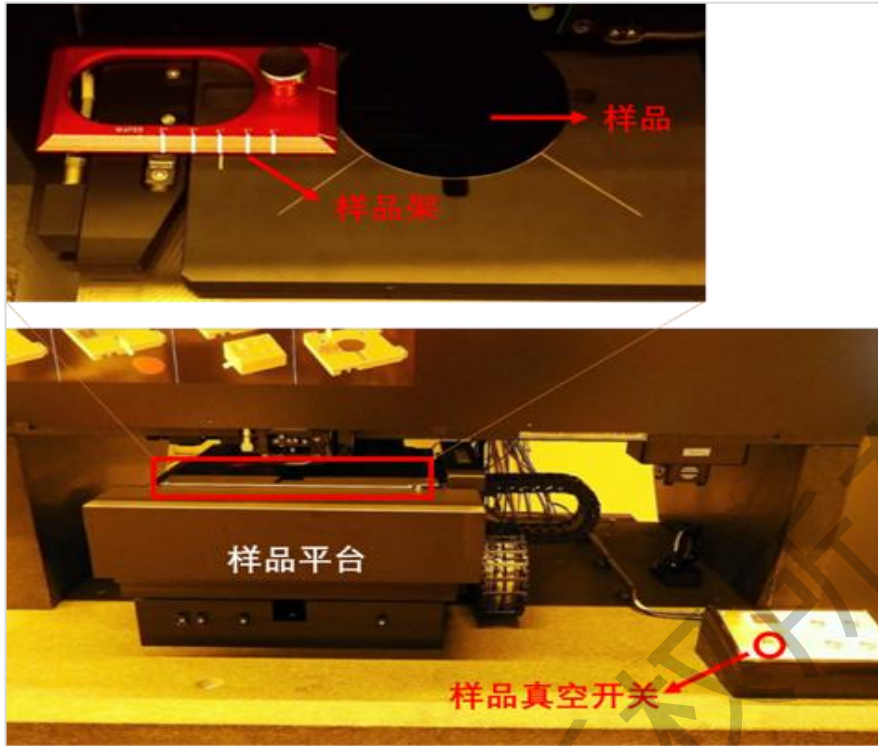
## 4. 高速高分辨率无掩模板光刻仪 (High speed and high resolution maskless lithography)

### 4-1 设备概述 Process Summary

- 1) 设备制造商及型号:德国海德堡 MLA150。
- 2) 设备位置:净化室 1 层黄光区。



MLA150 外观




MLA150 内部介绍

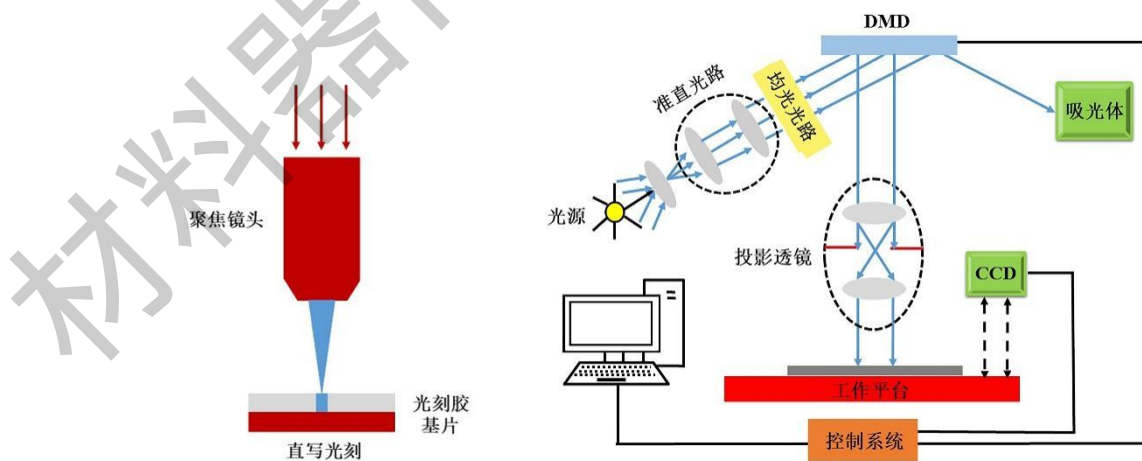
3) 设备基本参数

表 4.1 MLA150 设备基本参数

光源型号	405nm (连续激光)	375nm (连续激光)
最小 (mm <sup>2</sup> ) 最大	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最小使用 10*10mm</li> <li>● 6 x 6 inch</li> </ul>	
曝光时间 100x100 mm <sup>2</sup>	● 9min	● 32min
最大直写面积 mm <sup>2</sup>	150x150mm	
功率	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 8W</li> <li>● 100%满功率运行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 3W (速度慢原因：功率小，同样剂量停留时间长)</li> <li>● 100%满功率运行</li> </ul>
平台运动控制	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 气浮平台</li> <li>● 磁浮电机控制 (精度：干涉仪检测精度 10nm, 磁浮电机移动精度 100nm)</li> </ul>	
写头到基片距离	100um 左右, 气压检测	
基片厚度	0.35-12mm	

<p><b>曝光方式</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● DMD 微镜面反射，微镜尺寸 500x500nm （投影到基片上缩小 5 倍）</li> <li>● 沿 Y 方向单方向曝光，Y 方向 768Pixels （76.8um）固定不可调</li> <li>● X 方向，图纸转换时 600 与 1000Pixel 可选（1000Pixel 宽度 100um 拼接一次，600Pixel 宽度 60um 拼接一次）</li> </ul> 
<p><b>Defocus</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 0→1：实际运动距离 0.7um</li> <li>● 0→1：运动方向向下（靠近基片）</li> <li>● 检测调整方式：气压检测→反馈压电模块→压电模块快速伸缩调整</li> </ul>
<p><b>图纸</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 图纸范围不可大于基片范围，基片不能有向写头方向的 U 型翘曲面</li> <li>● 版图中心位置坐标设计为 (0,0)（本设备默认基片中心位置为 (0,0)）</li> </ul>

- 4) 设备的工艺功能：光刻胶无掩模直写曝光。
- 5) 设备的工作原理：MLA150 无掩模曝光机将设计图形转化为可编程的文件，利用 DMD 直接对照明光束进行调制，形成相应的图形投影在衬底上完成曝光。



工作原理图

- 6) 设备硬件能力：激光光源波长为 375 nm 和 405 nm。

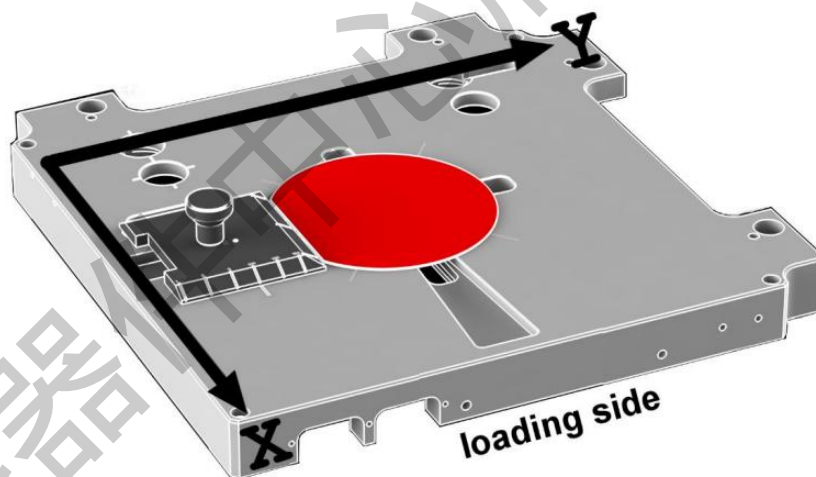
Laser Type	Wavelength (nm)	Power (mW)	Laser Class
Diode, blue	405	≤ 8000	4
Diode, UV	375	≤ 3000	4

#### 4-2 交叉污染控制 cross-contamination Controls & Compatibility

- 1) 衬底限制：适用于 6 寸及以下掩模板或硅片，可接受的最小样品尺寸为 10\*10mm 基片

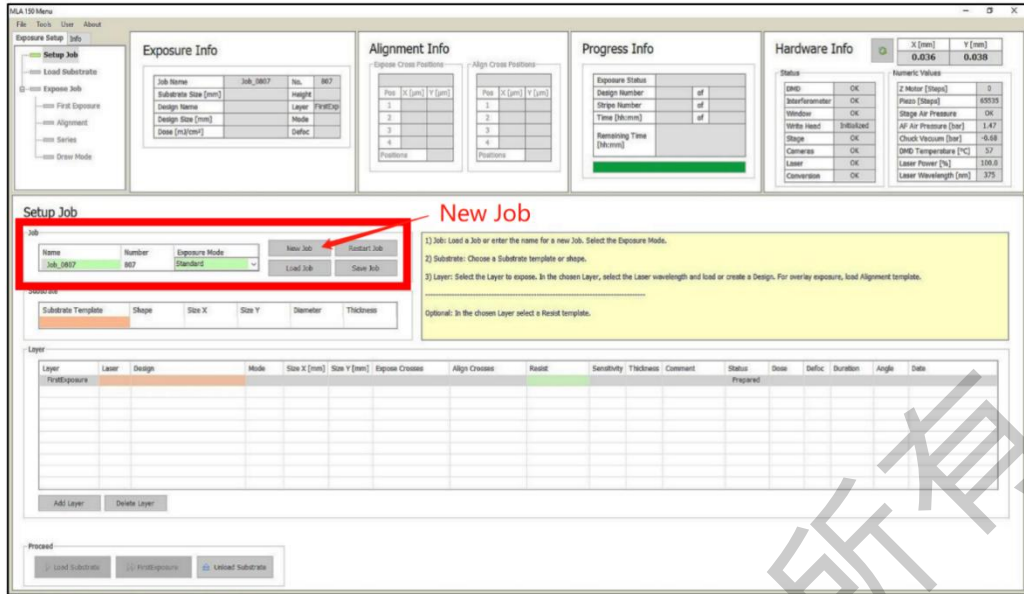
#### 4-3 操作流程 Process Procedure

- 1) 导入需要曝光的文件。使用 MLA 专用 U 盘将曝光文件导入计算机，打开桌面上 Design 文件夹的快捷方式，将曝光文件复制到对应文件格式的文件夹下。目前支持 CIF、DXF、GDS II 和 Gerber RS-274 四种源文件格式。除照明按键外请保持界面的状态，勿更改其它参数。
- 2) 样品放置。
  1. 按下 Flowbox 右下方的照明开关按钮，打开照明；按下保护窗开关控制按钮，Flowbox 的保护窗将落下。
  2. 将所需尺寸的样品架（目前提供通用、6 寸 Mask、6 寸 Wafer 和小尺寸样品四种样品架）插入样品平台上的凹槽；如果是通用样品架，应将样品台上的尺寸标记与其相应的尺寸标记对齐放置。

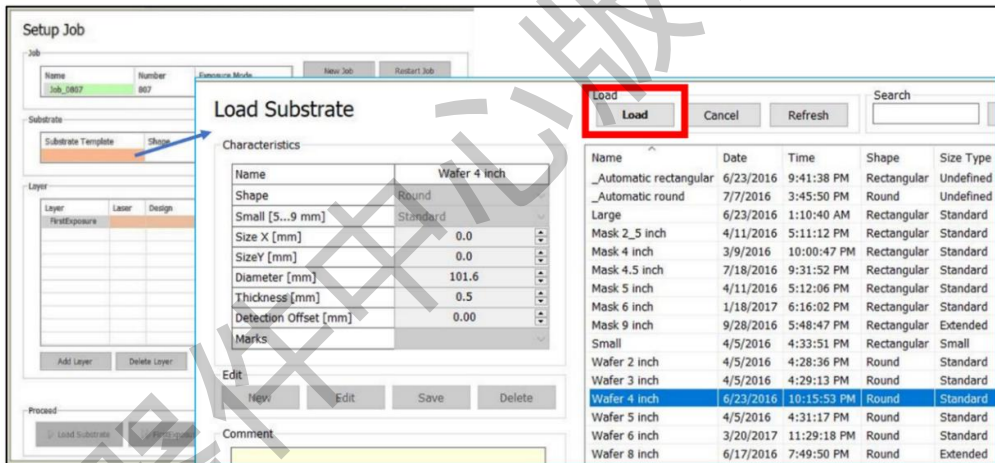


样品放置图示

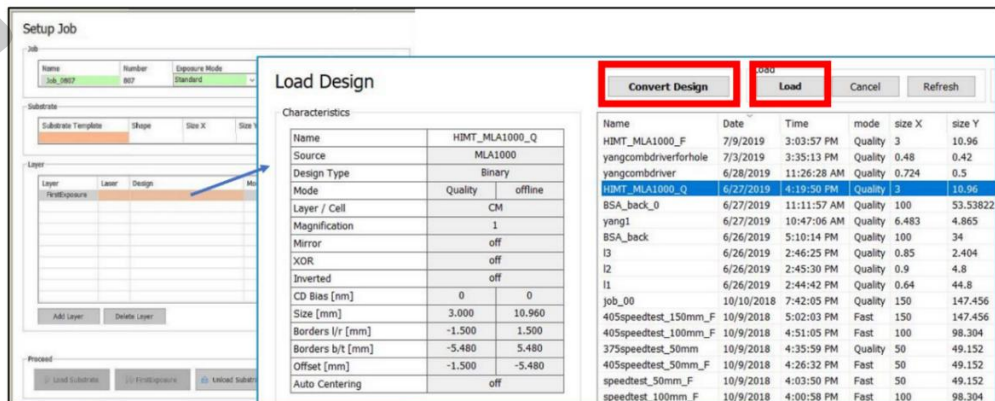
3. 确认样品背面清洁后，将样品最平整的一边与样品架边缘对齐放置，按下平台上的样品真空开关按钮，检查真空无误后，取下样品架（**务必取下样品架否则会撞写头**）。
4. 关闭照明；按下保护窗开关控制按钮，Flowbox 的保护窗将升起
- 3) 新建 Job 并命名。回到软件 MLA150Menu 的主界面，在 Setup Job 栏下点击“New Job”新建一个 Job，在 Name 下方的绿色单元格中为 Job。



- 4) 设定样品参数。在 Setup Job 栏下的 Substrate 栏中，双击 Substrate Template 下方的橙色单元格，选择相应的晶圆 (wafer) 的尺寸，矩形样品选 Automatic rectangular，点“Load”后返回。

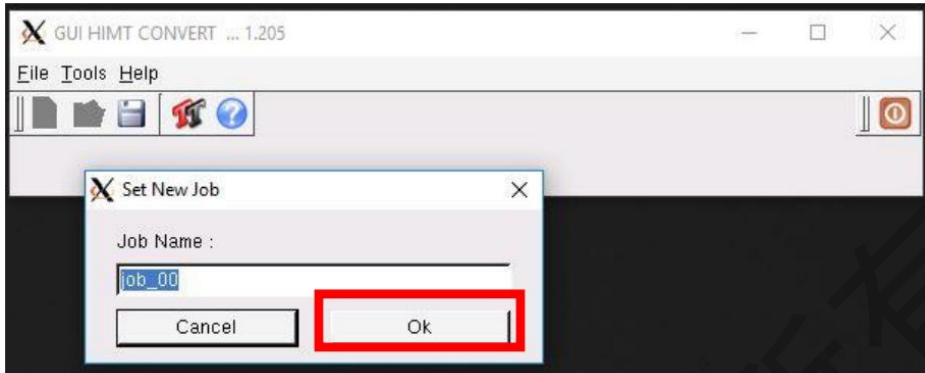


- 5) 选择激光波长和曝光文件。在 Setup Job 栏下的 Layer 栏中，点击 Laser 下方橙色的单元格，选择激光波长 (405 nm 和 375 nm 两种)；双击 Design 下方橙色的单元格，进入曝光文件选择界面。如果是曾经曝光过的文件，则可以在列表中选择，点击“Load”后返回；如果是新的文件则需要点击“Convert Design”按钮，进行文件转换。

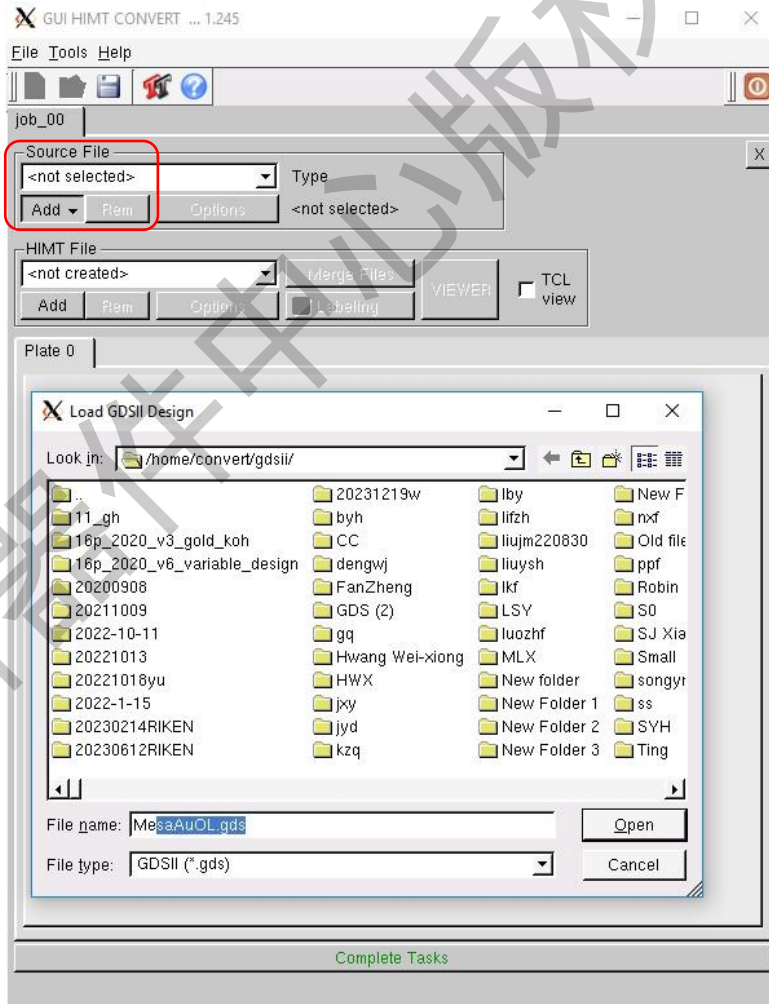


6) 新曝光曝光文件转换。

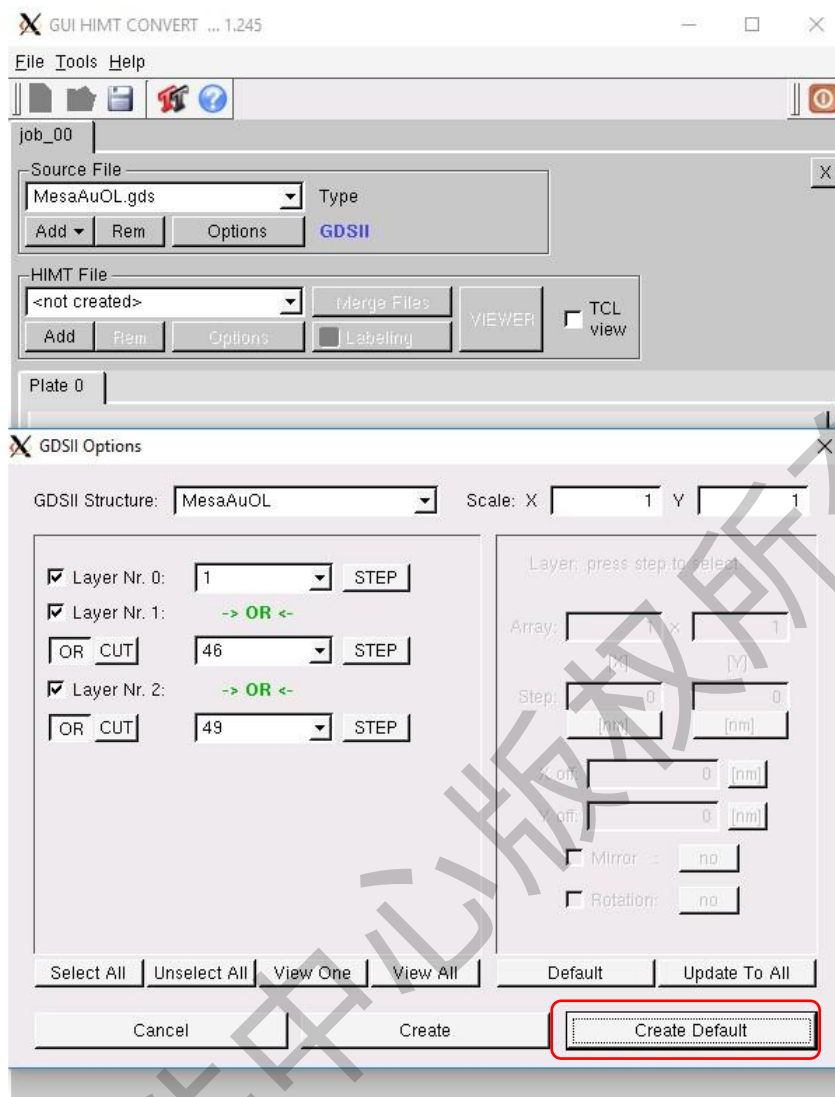
1. 转换软件界面会在左侧显示屏弹出，点击 File 下拉菜单中的“New job”新建一个文件，文件名默认即可，点击 OK。



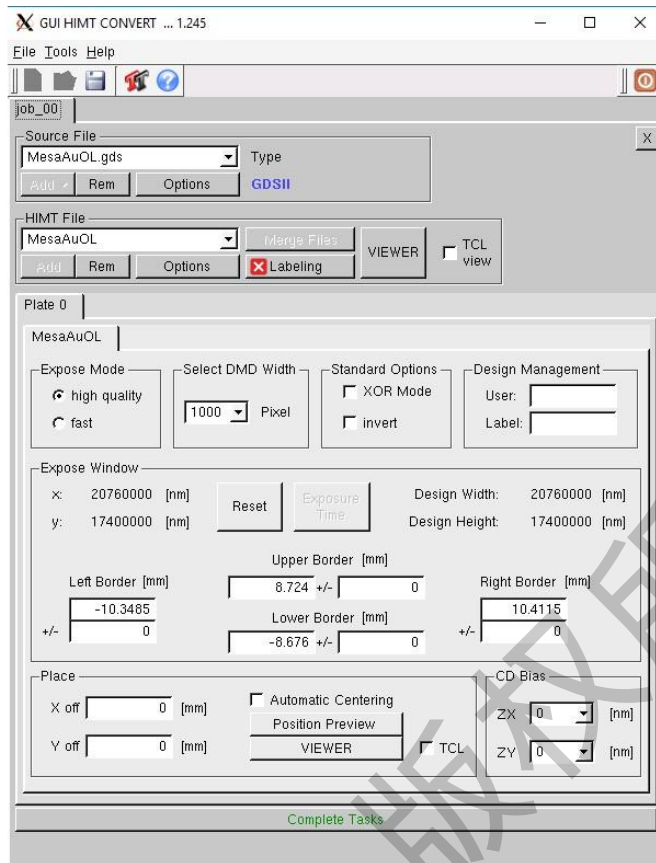
2. 点击 Source File 下方的“Add”，根据源文件的格式选择需要转换的文件，目前支持 CIF、DXF、GDS II 和 Gerber RS-274 四种源文件格式。



3. 如果是多图层的文件，会弹出一个 Options 的设置页面，根据需求选择需要的图层，以及之间的图层关系(OR/CUT/XOR)，在 Scale 中可以输入需要的放大倍数（默认 1 倍即原比例），设置完成后点击 **Create Default** 不要点击 **Create**。

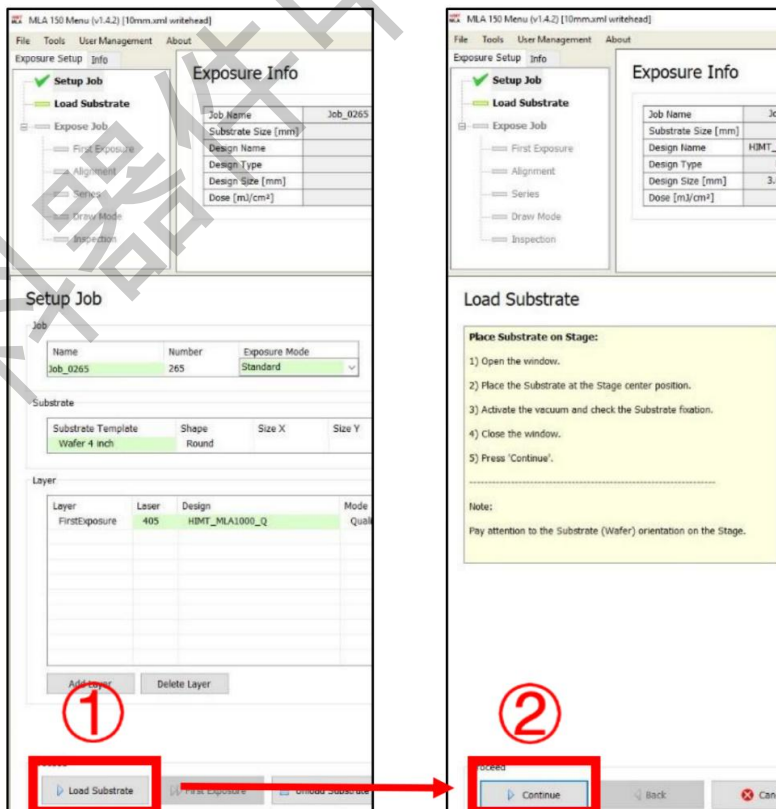


4. 转换文件设置。在转换软件的主界面下，点击“VIEWER”按钮，可查看 design 的图像文件，点击 EXIT VIEWER 退出查看器；主界面下的 Expose Mode 可选择曝光文件的模式（high quality/fast，默认为 high quality）；Select DMD Width 不要修改；Standard Options 下默认不勾选，若需将 design 切换到反转曝光模式点击 invert 即可；Expose Window 区域可以做尺寸切割，输入的数值为截取 design 的边界；CD Bias 为 x 和 y 轴的宽度缩小系数，根据后期的工艺结果选取。设置完成后点击“Complete Tasks”输入转换后文件的文件名（文件名区别大小写字母，特殊符号仅支持下划线），点击 Finish。界面将自动关闭转换软件。



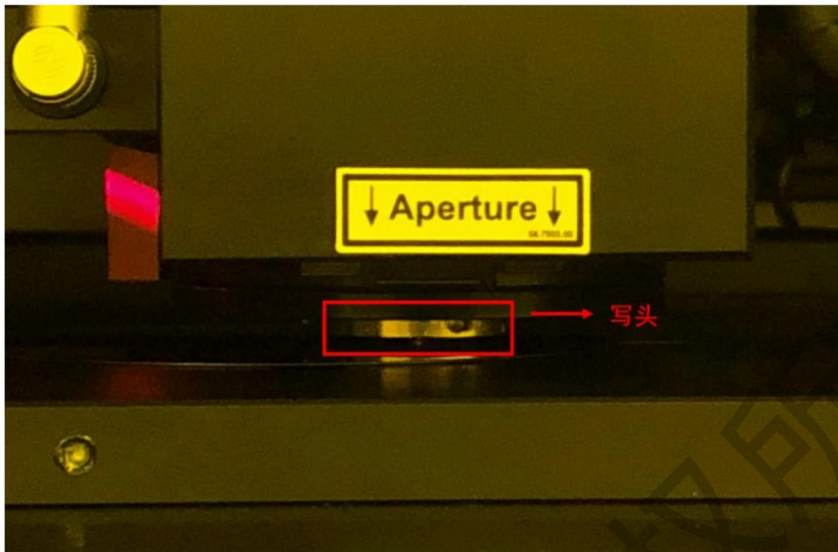
7) 载入样品、自动聚焦和找中心。

1. 点击 Menu 主界面左下方的“Load Substrate”按钮，然后点击一次“Continue”按钮，设备会依次执行 unload 和 load 命令，即样品平台移动将样品移动到写头的下方。



上海科技大学材料器件中心工艺设备 SOP：高速高分辨率无掩模板光刻仪 (MLA150)

2. 检查平台上的样品是否在写头的正下方（**该步骤一定要目测观察，否则会有撞写头险**）。检查样品位于写头的正下方无误后，接着再次点击“Continue”按钮，设备执行自动聚焦和找中心步骤。



3. 找中心完成后，设备会提示寻找到的板材的尺寸，确认尺寸与真实放入的板材尺寸无误后，确认完成，进入曝光设置界面。
- 8) **输入曝光参数。** 在 First Exposure 栏下，检查 Design Name 是否正确；检查激光器的波长使用是否正确；在 Dose 和 Defoc 中输入合适的能量剂量和焦距（对于 3um 以下薄胶 Defoc 设为默认值-1，厚胶需要根据实际厚度调整）。

MLA 150 Menu (v1.5.2) [10mm.xml writehead]

File Tools User Management Info About

**Setup Job**

- Setup Job
- Load Substrate
- Expose Job**
  - First Exposure
  - Alignment
  - Series
  - Draw Mode
  - Inspection

**Exposure Info**

Job Name	Job_13240	No.	13240
Substrate Size [mm]	101.4	Height	0.0
Design Name	20240407_yjd	Layer	First Ex
Design Type	Binary	Convert	online
Design Size [mm]	10.4 x 16.8	Mode	Quality
Dose [mJ/cm <sup>2</sup> ]	200	Defoc	1

**Alignment In**

Exposure Bitmap Pos

Pos	X [μm]	Y [μm]
1	0	
2		
3		
4		

Positions

**First Exposure**

Required

Design Name:

Light Source [nm]:

Dose [mJ/cm<sup>2</sup>]:

Defoc [-10...10]:

Expose with substrate angle (-2.75 mRad)

Expose the Bitmaps

Delay Exposure [hh:mm]:  :  :

Auto-Unload the Substrate

Comment:

Proceed

**Expose the first Layer:**

1) Double-check Design Name, Light Source, Dose and Defoc.

2) Optional: To expose the Design with the found substrate angle, check 'Expose with substrate angle'.

3) Optional: Double-check the Exposure Bitmap positions.

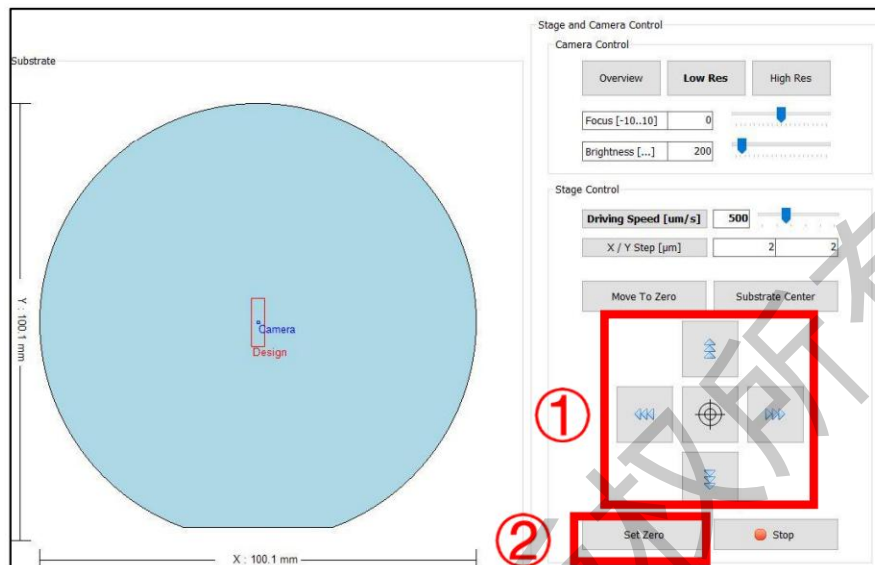
4) Start the exposure.

-----

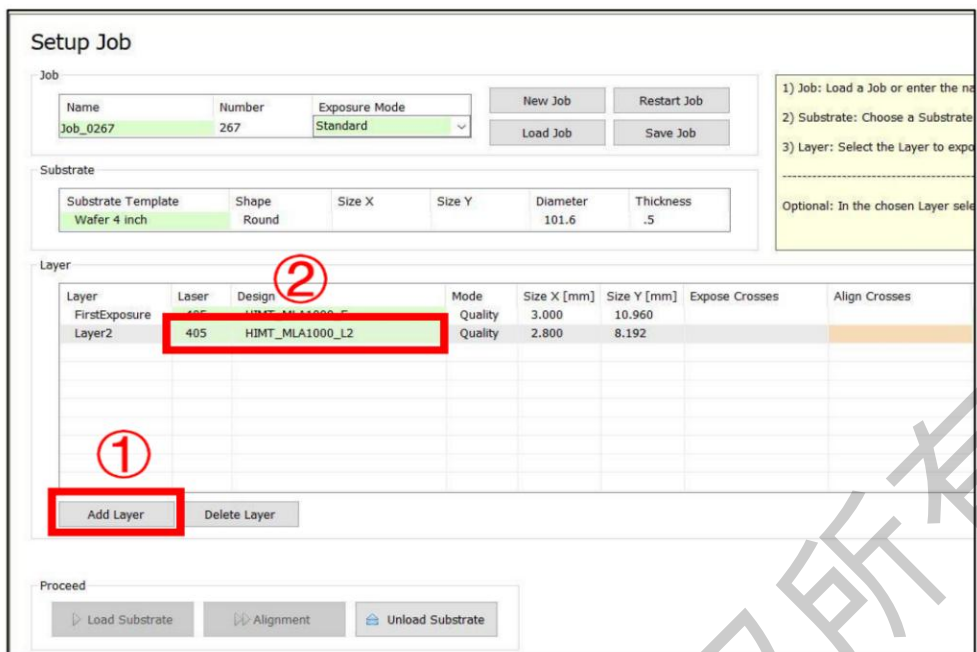
The Design will be exposed at the zero position of the stage. To set the current stage position to zero, click the 'Set Zero' button.

上海科技大学材料器件中心工艺设备 SOP：高速高分辨率无掩模板光刻仪 (MLA150)

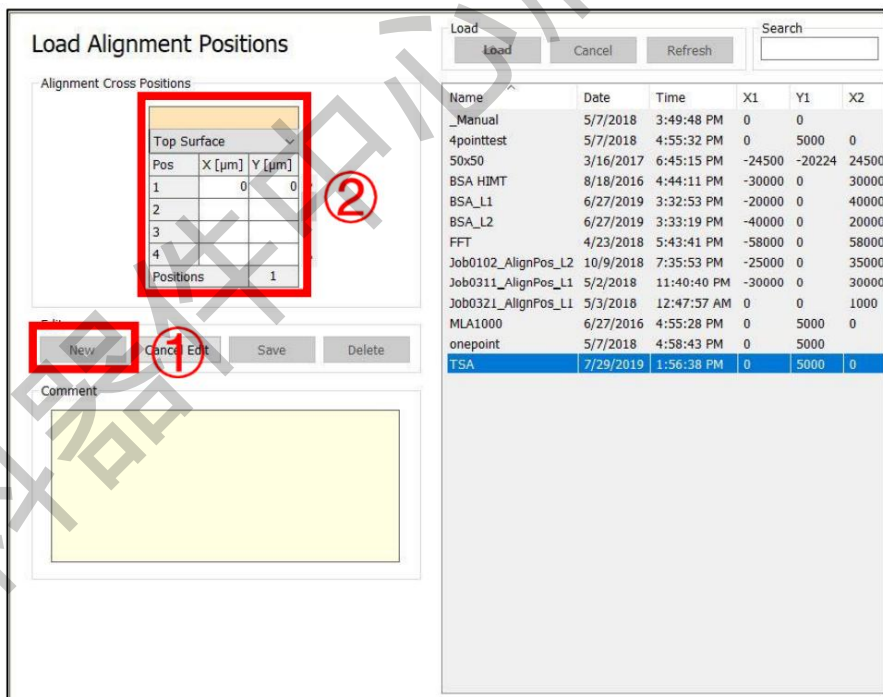
- 9) **样品放置角度修正。**如果是第一层曝光，不需要勾选 Expose with substrate angle 的选框；
- 10) **曝光位置确定。**系统默认的曝光位置是 Design 图形的 (0,0) 坐标点与样品物理中心重合；如果需要更改，使用右下方的 Stage 移动按钮移动样品，Camera 指示的标记会在样品上移动，移动至合适位置后，点击“Set Zero”，Design 图形的 (0,0) 坐标点将会移动到指定位置。



- 11) **开始曝光。**点击“Start Exposure”按钮，设备开始曝光进程。注意，曝光时应避免操作电脑，以免给设备带来较大负荷而死机。
- 12) **曝光完成后取下样品。**曝光完成后 Menu 将弹出完成提示，然后点击“Unload”；等待样品平台移出后，打开照明开关，按下保护窗开关按钮；保护窗降下后，按下真空按钮，抽真空停止，取下样品；关闭照明，按下保护窗开关按钮，保护窗升起。曝光流程结束。
- 13) **套刻。**
1. 前提条件：在前层的设计图形上应加上用于对准的 Mark（建议用线宽 10-20 um，长度 250um 左右的十字光标），并且知道具体的坐标位置。对准 Mark 的数量至少放置 3 个，对于大尺寸衬底建议放置 4 个，分别分布在样品的上下左右四个方位，为防止 Mark 丢失可以多设置几个。
  2. 先按照基本操作程序，完成第一层的曝光。完成工艺部分之后，将样品放回设备中。
  3. 添加第二层。在 Menu 的主界面里，点击 Layer 栏下的“Add Layer”按钮。然 Layer2 一行中橙色的单元格中选择第二层曝光所用的激光器波长和曝光文件。**Layer 中仅需填满 Layer2 中的橙色单元格，不需填 FirstExposure 橙色单元格。**



4. 添加对准坐标。双击“Alignment Cross”下方的橙色单元格，进入对准坐标设置界面，如下图所示。点击“New”新建一个对准文件，并输入文件名；选择 Top Surface 或者 Back Surface（取决于对准 Mark 在样品的正面还是背面）；然后逐一输入前层 Mark 的位置坐标；保存后 Load。

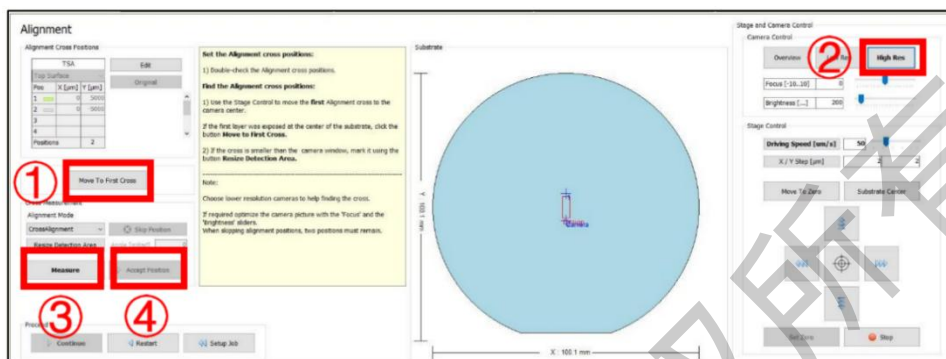


5. 点击 Load Substrate 按钮，按照基本操作执行载入样品、自动聚焦和找中心的动作。完成之后，Menu 将进入一个新的 Alignment 界面。

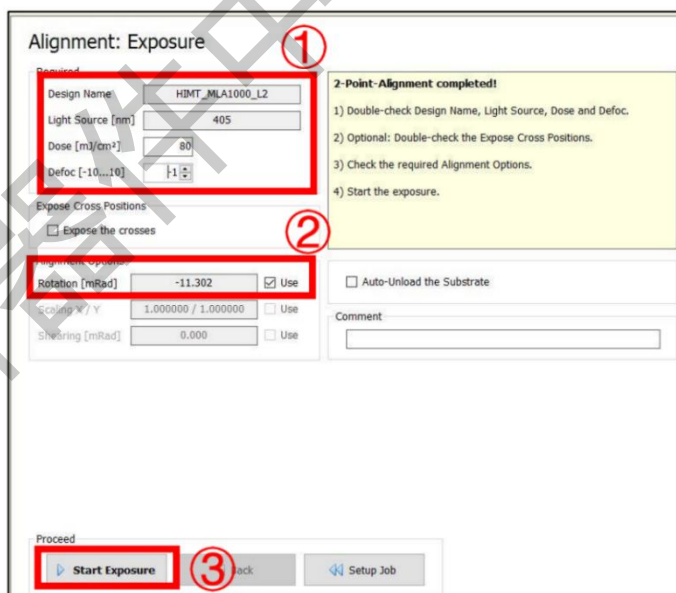
6. Alignment 操作。在 Alignment 界面下，CrossAlignment 为自动寻 Mark 中心模式，点击“Move To First Cross”按钮，相机界面会移动到第一个对准坐标的位置（如果的 Design 图形不是居中放置，则需要手动先找第一个 Mark 位置），左侧显示屏会出现相机拍摄的图像。然后按平台移动界面的按钮将 Mark 的中心移动到屏幕的中心位置，并切换 High-Res 相机（根据需要调节相机的 Focus 和 Brightness，让图像更清晰）。回到 Alignment 面板，点击

## 上海科技大学材料器件中心工艺设备 SOP：高速高分辨率无掩模板光刻仪 (MLA150)

“Measure”，系统将自动探测 Mark 的中心点，测量完成后，Mark 将移动到屏幕的正中心。确认十字光标处于 Mark 的中心点上无误之后，点击“Accept Position”按钮，屏幕将自动移动到第二个对准 Mark 的位置附近。之后依次确认每一个 Mark。**Manual 模式**为手动找 Mark 中心模式，点击“Move To First Cross”按钮，相机界面会移动到第一个对准坐标的位置（如果的 Design 图形不是居中放置，则需要手动找 Mark 位置），点击“Measure”鼠标移向 Mark 中心，点击鼠标。确认无误点击 Center Cross，再点击“Accept Position”按钮，屏幕将自动移动到第二个对准 Mark 的位置附近。

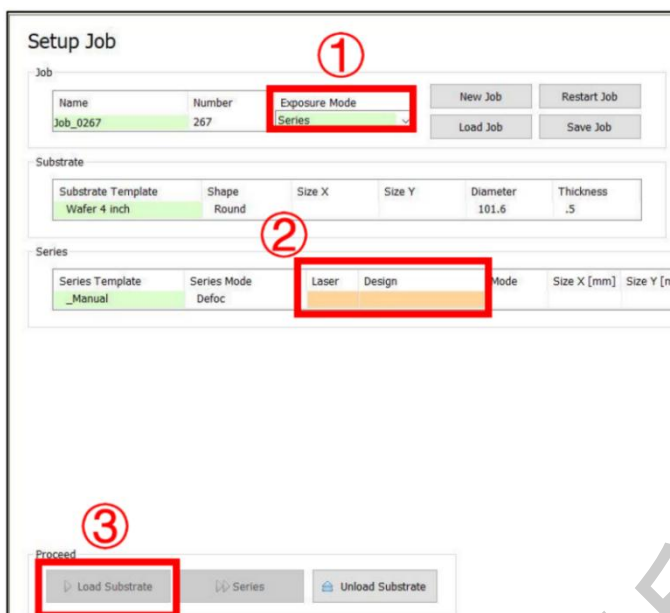


7. 曝光参数设置及曝光。在完成四个点的 Alignment 后，界面将跳转到与第一次曝光相似的曝光界面。同样检查曝光文件和激光器的波长使用是否正确，并在 Dose 和 Defoc 中输入合适的能量剂量和焦距，在 Rotation 后面的选框里打钩，Rotation 的角度越接近于 0 mRad 越好，如果 Rotation 的角度偏大（具体大小要视器件要求而定，一般建议不得超过 +/-5 mRad），建议重新放置样品（点击“Setup Job”返回，点击“Unload Substrate”后重新放样）。如果前层是在其他的设备上做的曝光，则需要勾选 Scaling 和 Shearing 两项，否则不用勾选。设置完成后点击“Start Exposure”按钮开始曝光。

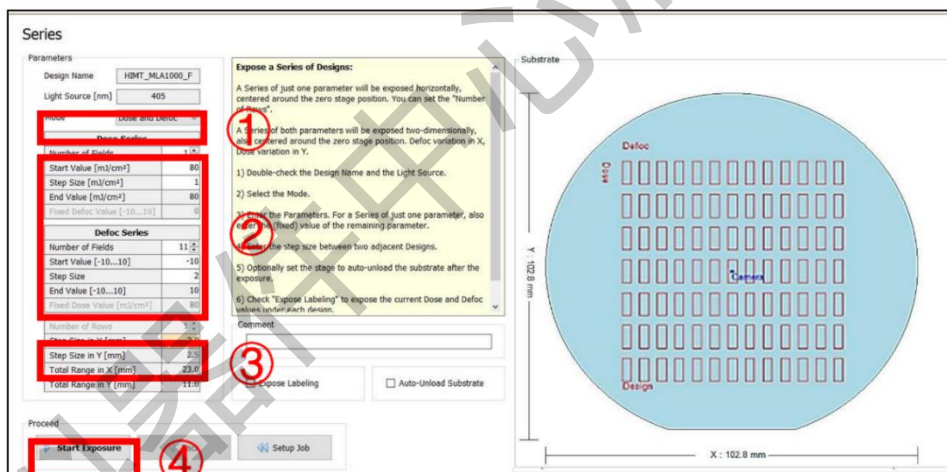


#### 14) Dose/Focus 矩阵。

1. 按照基本操作装样品，并新建一个 Job。在 Setup Job 栏下的 Exposure Mode 下面的绿色表格中选择曝光模式为“Series”。然后选择做矩阵使用的激光器波长和曝光文件，完成后点击 Load Substrate 按钮，按照基本操作执行载入样品、自动聚焦和找中心的动作。动作完成后进入 Series 曝光设置界面。



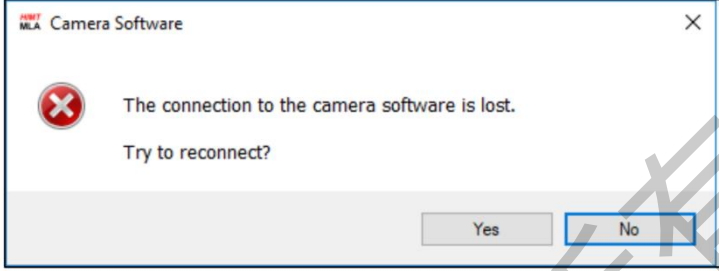
2. 矩阵曝光参数设置及曝光。在 Series 栏下，同样先检查曝光文件和激光器的波长使用是否正确，然后在 Mode 栏选择矩阵模式，可选择 Dose 变化、Defoc 变化和 Dose/Defoc 同时变化。在 Dose Series 和 Defoc Series 栏下分别设置变化的个数、起始值、每步的变化量。然后在最下面一栏中根据 design 图形的尺寸输入合适的距离间隔，右侧会显示 design 图形在样品上的位置排布。设置完成后点击“Start Exposure”按钮开始曝光。



## 5. 常见故障处理

表 5.1 常见故障一览表

常见故障		解决方案
1	MLA150 不执行曝光指令	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 检查激光器是否处于打开状态，LED 指示灯是否亮起。</li> <li>● 确认 Flowbox 的保护窗是否升起且闭合良好。</li> <li>● 以上确认完毕仍无法曝光则重启操作软件。</li> </ul>
2	曝光过程中电脑死机。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 曝光过程中电脑负载过大会造成死机，需重启电脑。</li> <li>● 样品处理：如果样品尚未曝光，可以重新运行程序进行曝光</li> <li>● 如果样品已经完成曝光，可直接 Unload 样品；</li> <li>● 如果样品部分曝光，则需要 Rework 样品。</li> </ul>

3	曝光过程突然中断	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 曝光图形的区域设置不正确造成样品平台移动超出其边界范围而中断。</li> <li>● 样品平台干涉仪故障。</li> <li>● 软件转换过程出现问题</li> </ul>
4	Camera Software 报错	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 当 Camera software 出现通讯故障会弹出以下报错信息。点击 Yes 进行重连，连接建立后会弹出连接成功提示。</li> </ul> 
5	Flowbox 及激光水冷温度报错	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 水冷机添加去离子水</li> </ul>
6	台面震动解决办法	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 重新 Load，然后点击 SET，然后 Unload</li> </ul>

## 6. 日常维护事项

表 6.1 日常维护事项一览表

维护内容	周期	备注	
1	平台清洁度	每次	防止写头撞击基片
2	Flowbox 温度	每日	
3	Flowbox 冰水机水位	每周	低于液位补水
4	激光器冰水机水位	每周	低于液位补水
5	图形测试	每月	图形质量与验机对比
6	滑轨	每月	生锈情况查看
7	温湿度监测	实时监测	湿度 RH (%) : 20-50% 温度: 22 ± 1°C

## 7. 设备负责人及联系方式 (Tool Administrator & Contact Information)

中心工程师: 王镜喆, [wangjzh1@shanghaitech.edu.cn](mailto:wangjzh1@shanghaitech.edu.cn); 原厂工程师: 夏宇

## 8. 培训流程 (Training Procedure & Applicable Documents )

- 1) 本设备为 4 级设备，工程师培训+观摩工程师操作累 3 次后，考核通过者予以授权。
- 2) 联系中心相应的工程师预约培训或观摩时间，每次培训结束工程师在《SMDL 设备独立操作权限培训表》上签字。
- 3) 三次培训或者观摩后联系中心相应的工程师预约考核时间，考核通过者工程师在《SMDL 设备独立操作权限培训表》上签字。
- 4) 中心工程师凭用户签署的《SMDL 设备独立操作权限培训表》开通使用权限。

上海科技大学材料器件中心工艺设备 SOP：高速高分辨率无掩模板光刻仪 (MLA150)

- 5) 仪器培训通过后 6 个月未使用仪器，授权过期，需重新培训，考核通过后才能再次取得权限。

## 9. 违规处罚 (Violation & Penalty)

用户需严格遵守仪器设备的要求规范操作，一经发现违规行为（有摄像头监视以及不定期的巡检人员），中心将按照《量子器件中心用户纪律和违规处罚管理暂行办法》执行处罚措施。

## 10. 历史版本 (History Version)

Version	Date	Prepared by	Approved by
1	2021.07.09	王镜喆	宋艳汝
2	2021.09.10	王镜喆	宋艳汝
3	2021.12.05	王镜喆	宋艳汝
4	2022.01.14	王镜喆	宋艳汝
5	2022.03.27	王镜喆	宋艳汝
6	2024.01.24	王镜喆	宋艳汝
7	2026.05.30	王镜喆	宋艳汝