上海科技大学量子器件中心

ShanghaiTech Quantum Device Lab

电子束曝光机(EBL-F125G8)

用 户 手 册

编制人：翁思远

审核人：彭鹏飞、宋艳汝、刘小华、方维政

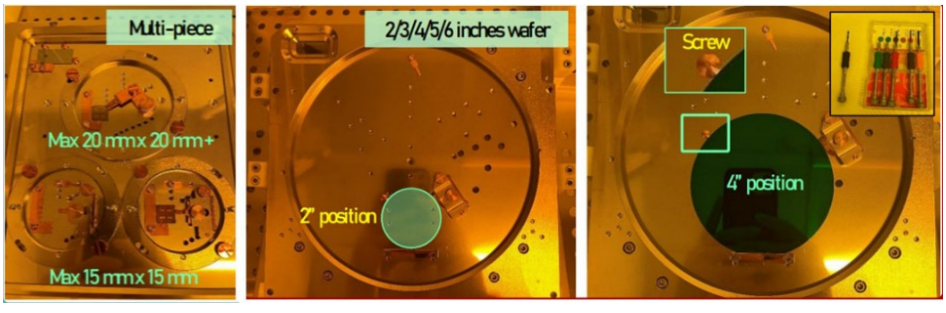
版本号：202304v1

目 录

1. 设备技术指标

设备名称：电子束曝光机 (EBL-F125G8)

- 最大加速电压：125 kV
- 扫描频率：100 MHz
- 最小束斑直径：≤4 nm @1nA，≤8 nm @10nA
- 最小线宽：8 nm（100 μm×100 μm），20nm（100 μm×100 μm）
- 束流大小：50pA、100pA、300pA、500pA、700pA、1nA、3nA、5nA、10nA
- OL Aperture：ϕ120μm
- 场拼接精度：≤ 10 nm（100 μm×100 μm），≤ 25 nm（500 μm×500 μm）
- 对准精度：≤ 15 nm（100 μm×100 μm），≤ 30 nm（500 μm×500 μm）
- 最大写场范围：3000 μm× 3000 μm（高速模式） 500 μm×500 μm（高精度模式）
- 样品台步进精度：0.3 nm
- 最大曝光面积：210 mm×210 mm
- SEM 最大放大倍率：500000
- 样品尺寸：8 寸以下基片及不规则小片



2. 光刻标准工艺

2.1 基于电子束光刻胶 ZEP520A 的光刻标准工艺

2.1.1 特征

ZEP520A是一种高性能正性光刻胶，具有高分辨率和耐干腐蚀性能。它们适用于各种EBL工艺。

2.1.2 属性

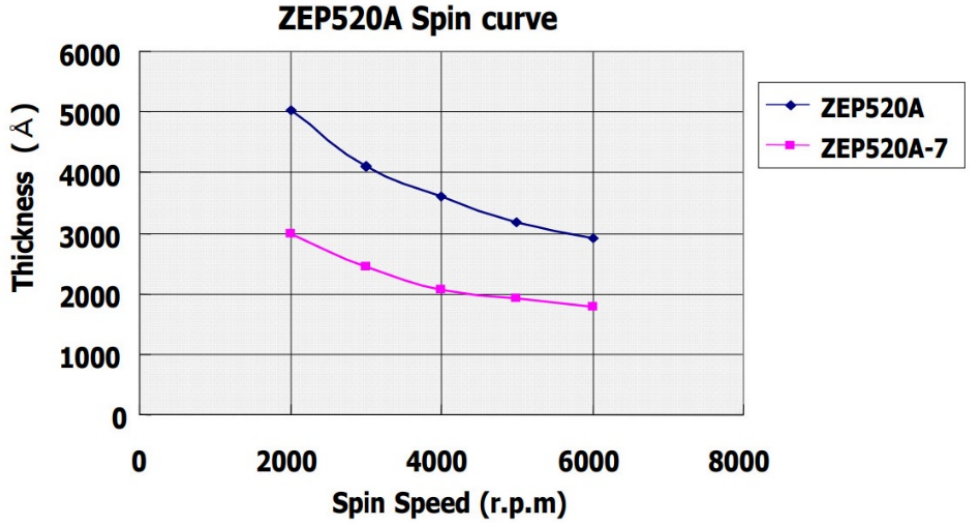
项目	兆瓦	粘度(mPa•s)	形式
ZEP520A ZEP520A-7	5700	11 7	1QT/瓶 100ml/瓶

辅助试剂	
稀释剂	ZEP-A
显影剂	ZED-N50
定影剂	ZMD-D
冲洗剂	ZDMAC

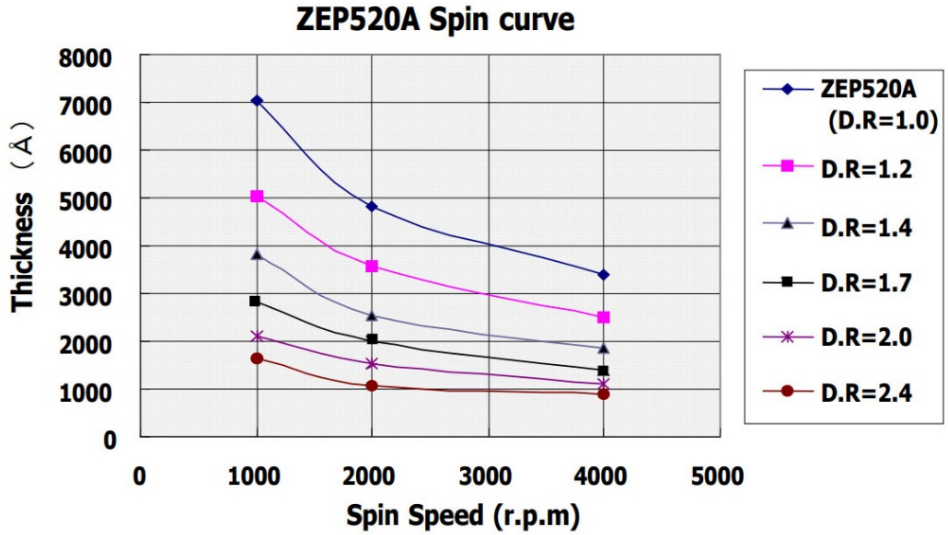
2.1.3 ZEP520A 的光刻工艺流程

ZEP520A 的光刻标准工艺		
工艺步骤	工艺设备	工艺参数
1.样品清洗	超声机	丙酮 3-5 min，异丙醇 2-3 min
2.脱水烘焙	烘胶机或干燥箱	100℃, 60s
3.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
4.匀胶	匀胶机	2000rpm, 60s (加速度 1000rpms)
5.前烘(pre-bake/soft bake)	烘胶机	180℃, 120s
6.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
7.曝光	曝光机 EBL-F125	剂量~uC/cm^2
8.显影	显影通风柜	O-xylene (邻二甲苯)浸泡 60s
9.定影	显影通风柜	异丙醇 (IPA)浸泡 30s
10.冲洗	显影通风柜	去离子水浸泡 10s，去离子水枪冲洗 30s
11.干燥	显影通风柜	N_2 气枪轻吹 2-3min

2.1.4 旋涂曲线



2.1.5 旋涂曲线(稀释参考数据)



公式：

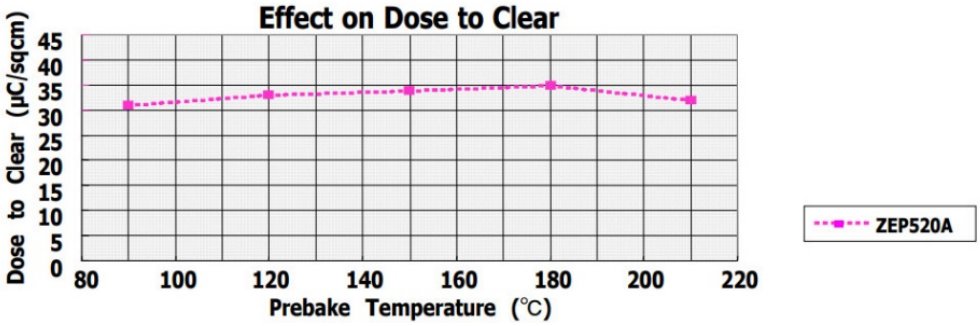
D.R(稀释率)={原抗蚀剂(g)+溶剂(g)}/原抗蚀剂(g)(重量比)

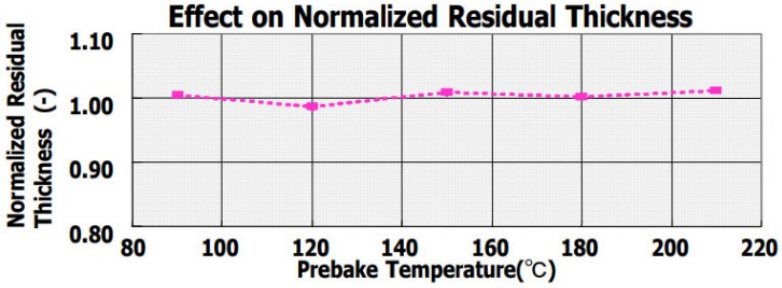
ZEP520A 稀释过程:

1. 用去离子水冲洗棕色瓶；
2. 用气枪擦干棕色瓶；
3. 将棕色瓶放入脱水烤箱(80℃)5 分钟；
4. 从烤箱中取出，冷却 10 分钟；
5. 用移液管将 ZEP520A 光刻胶输送到棕色瓶中；
6. 在 1:1 稀释的情况下，使用移液管将苯甲醚(与 ZEP520A 相同的量)输送到相同的棕色瓶中(附注:如果需要 1:2 的稀释比例，将双倍量的苯甲醚输送到棕色瓶中) ；

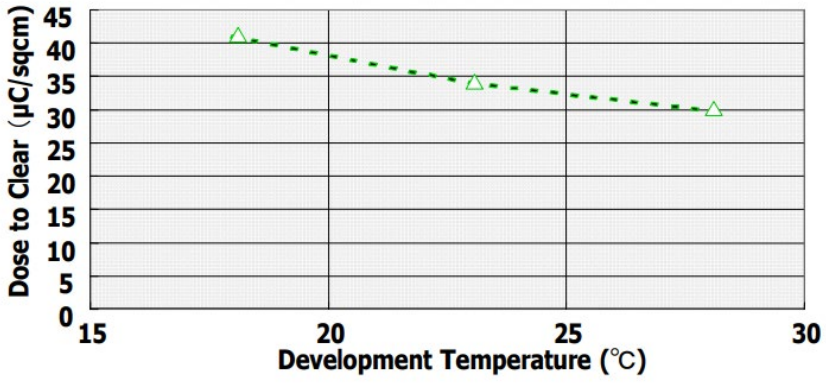
7. 运输完液体后，取出瓶子，用铝箔包裹起来，进一步保护液体不受光线照射；
8. 在上面贴上合适的标签；
9. 在使用前将稀释剂放置在干燥的柜子中 1-2 天，以便更好地混合。

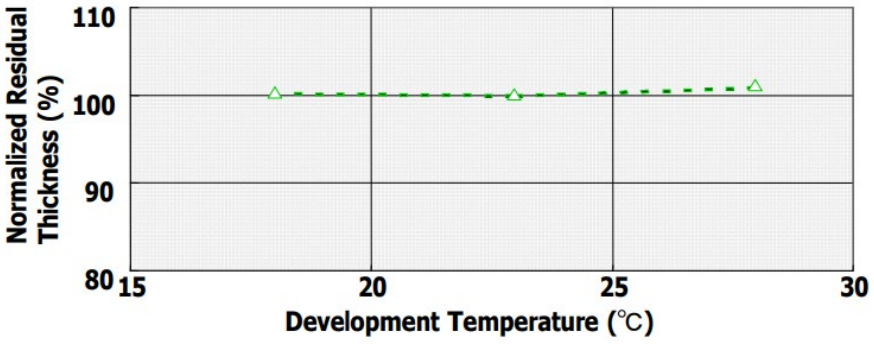
2.1.6 前烘温度对清除剂量的影响



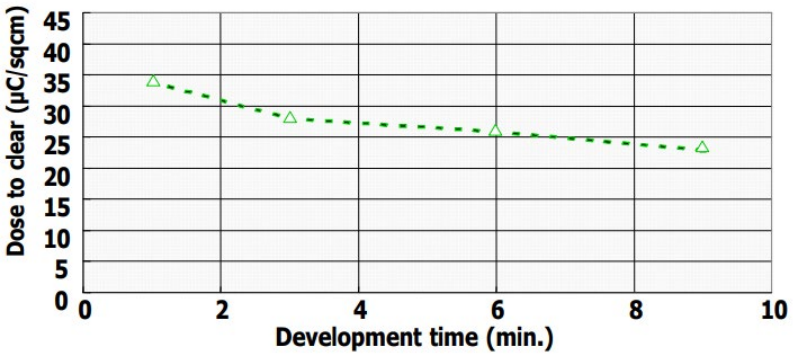


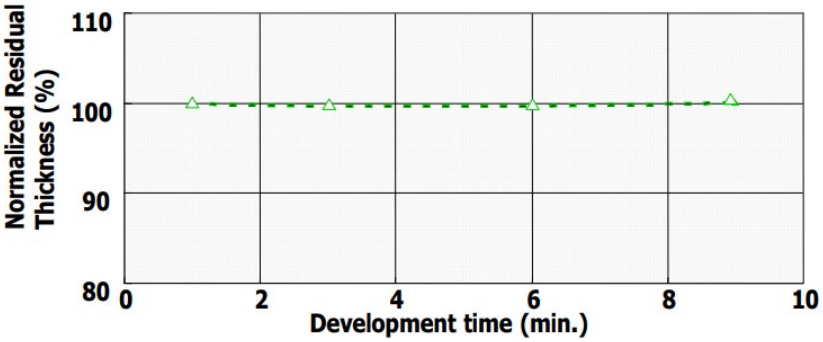
2.1.7 显影温度对清除剂量的影响



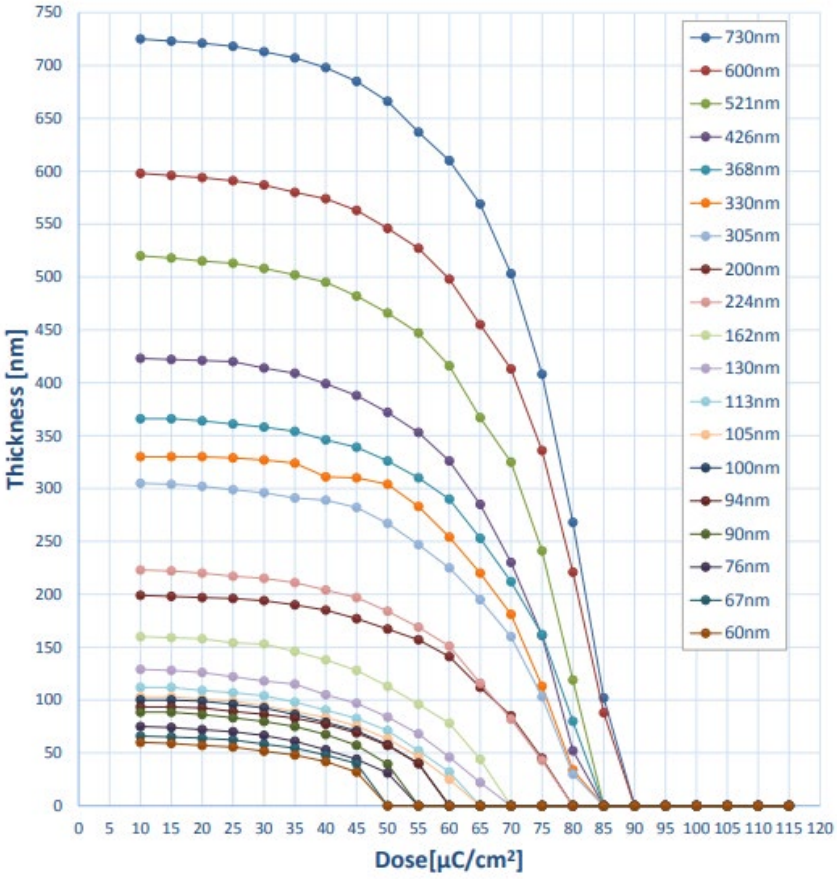


2.1.8 显影时间对清除剂量的影响





2.1.9 ZEP520A 剂量与厚度的对比曲线



2.1.10 安全处理预防措施

ZEP520A 光刻胶属于易燃液体，且属人体吸入有害气体，使用时应注意以下事项：

（1）避免接触皮肤和眼睛。小心打开瓶盖，在通风良好的地方使用。若不慎接触皮肤和眼睛，请立即用大量清水冲洗 15 分钟，并就医。如果发生火灾，请使用酒精或干粉，千万不要用水。

（2）储存方式：盖好瓶盖，远离氧化剂、火花和明火。储存在凉爽（0°C~25°C）和黑暗的地方。

（3）仅可在洁净室使用。

2.2 基于电子束光刻胶 PMMA 的光刻标准工艺

2.2.1 特征

PMMA(聚甲基丙烯酸甲酯)是一种多功能高分子材料，非常适合于许多成像和非成像微电子应用。PMMA 最常用于直接写电子束以及 x 射线和深紫外微光刻工艺的高分辨率正阻光刻。PMMA 也被用作晶圆减薄的保护涂层，作为粘合剂。

2.2.2 PMMA 的光刻工艺流程

PMMA 的光刻标准工艺		
工艺步骤	工艺设备	工艺参数
1.样品清洗	超声机	丙酮 3-5 min，异丙醇 2-3 min
2.脱水烘焙	烘胶机或干燥箱	100℃, 60s
3.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
4.共聚物 MMA(可选)	匀胶机	3000rpm, 60s (加速度 1000rpms)~180nm 4000rpm, 60s (加速度 1000rpms)~150nm
5.PMMA 950 A4	匀胶机	1500rpm, 60s (加速度 1000rpms)~350nm 3000rpm, 60s (加速度 1000rpms)~190nm
6.前烘(pre-bake/soft bake)	烘胶机	180℃, 120s
7.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
8.曝光	曝光机 EBL-F125	剂量~uC/cm^2
9.显影	显影通风柜	MIBK/IPA=1/3，从 50 s 开始，用显微镜检查图案，如不显影，每次加 2-3s (可选)去离子水 30~60 s
10.定影	显影通风柜	异丙醇 (IPA)浸泡 30s
11.冲洗	显影通风柜	去离子水浸泡 10s，去离子水枪冲洗 30s
12.干燥	显影通风柜	N_2 气枪轻吹 2-3min

2.2.3 旋涂曲线

495PMMA C Resists
Solids: 2% - 6% in Chlorobenzene

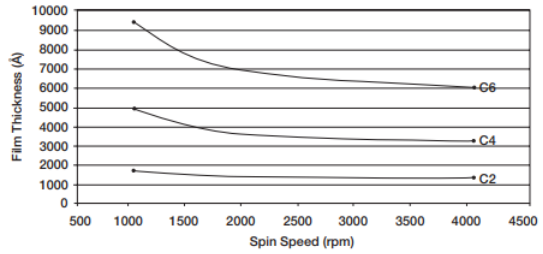


Figure 1

495PMMA C Resists
Solids: 8% - 9% in Chlorobenzene

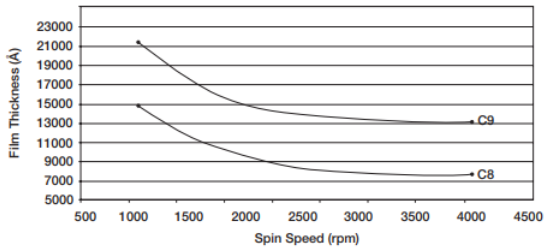


Figure 2

950PMMA C Resists
Solids: 9% - 10% in Chlorobenzene

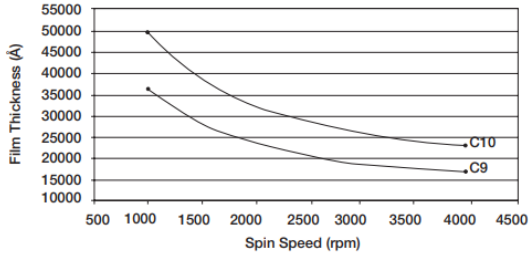


Figure 5

950PMMA C Resists
Solids: 2% - 7% in Chlorobenzene

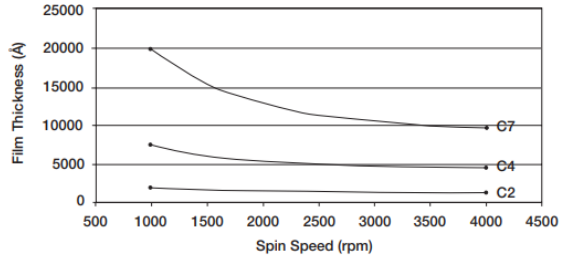


Figure 6

495PMMA A Resists
Solids: 2% - 6% in Anisole

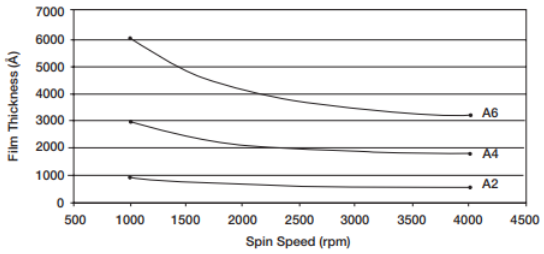


Figure 3

495PMMA A Resists
Solids: 8% - 11% in Anisole

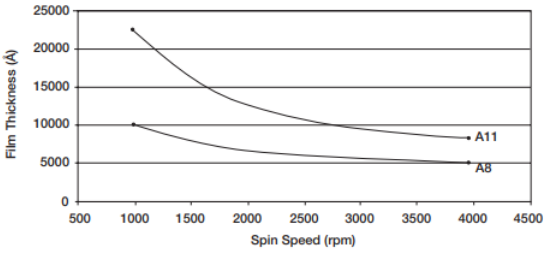


Figure 4

950PMMA A Resists
Solids: 9% - 11% in Anisole

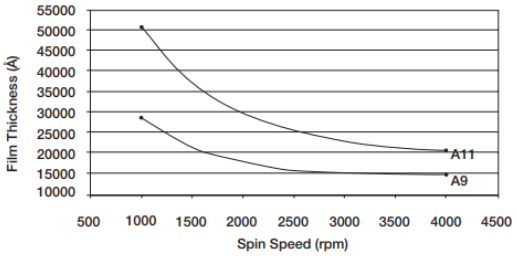


Figure 7

950PMMA A Resists
Solids: 2% - 7% in Anisole

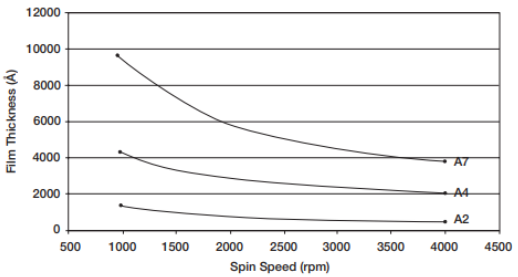


Figure 8

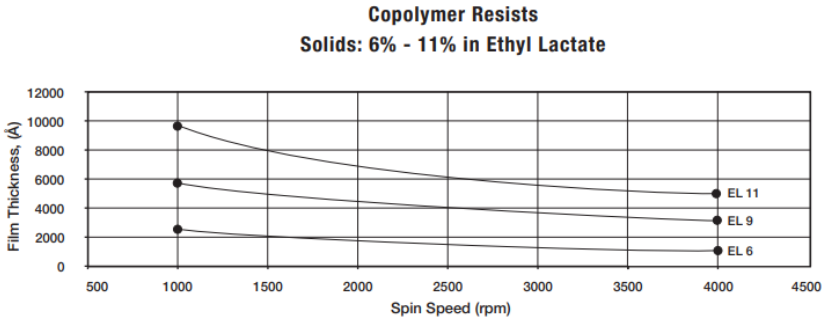


Figure 9

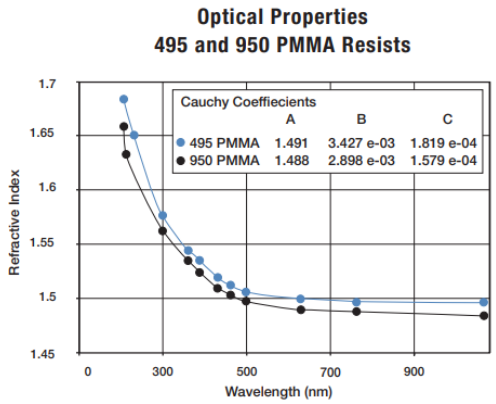


Figure 10

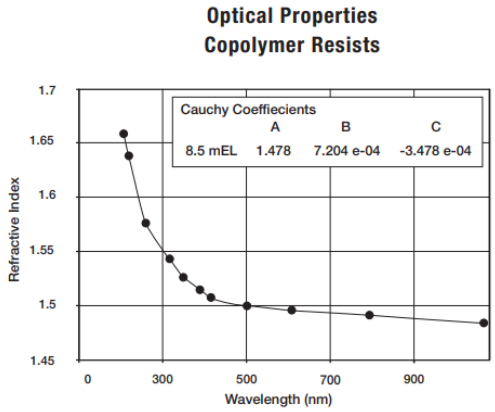


Figure 11

图 1-11 所示的旋转速度与薄膜厚度曲线提供了选择适当的 PMMA 或共聚物抗蚀剂，以及获得所需薄膜厚度所需的旋转条件(实际结果会有所不同，具体取决于设备、环境、工艺和应用。可根据要求提供其他抗稀释剂以获得其他薄膜厚度)。

2.3 基于电子束光刻胶 AR-P 6200 的光刻标准工艺

2.3.1 特征

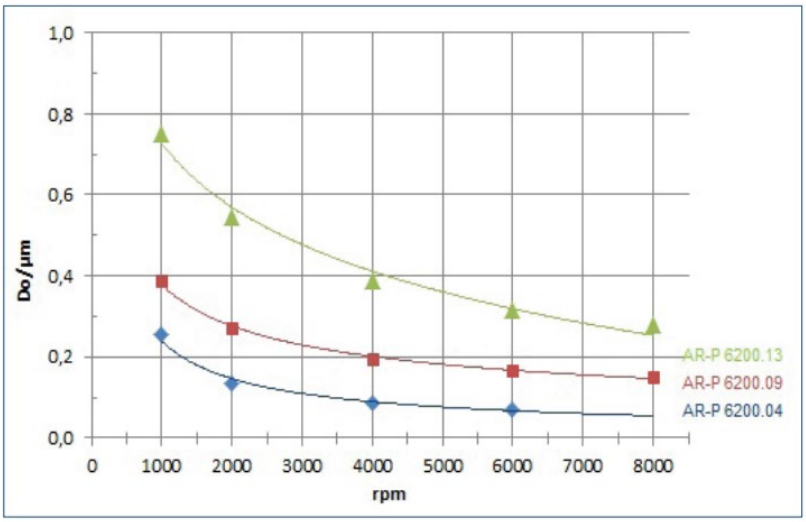
AR-P 6200 采用不同的显影液可实现不同程度的灵敏度，具有高分辨率(< 10 nm)和高对比度、高深宽比和高工艺稳定性、优异的耐干法刻蚀能力等特点，且溶剂为苯乙醚（更安全）。

2.3.2 AR-P 6200 的光刻工艺流程

AR-P 6200 的光刻标准工艺		
工艺步骤	工艺设备	工艺参数
1.样品清洗	超声机	丙酮 3-5 min，异丙醇 2-3 min
2.脱水烘焙	烘胶机或干燥箱	150℃, 60s
3.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
4.AR-P 6200 光刻胶	匀胶机	1500rpm, 60s (加速度 1000rpms)
5.前烘(pre-bake/soft bake)	烘胶机	180℃, 120s
6.冷却	冷盘	冷却至环境温度 (约 2min)
7.曝光	曝光机 EBL-F125	剂量~uC/cm^2

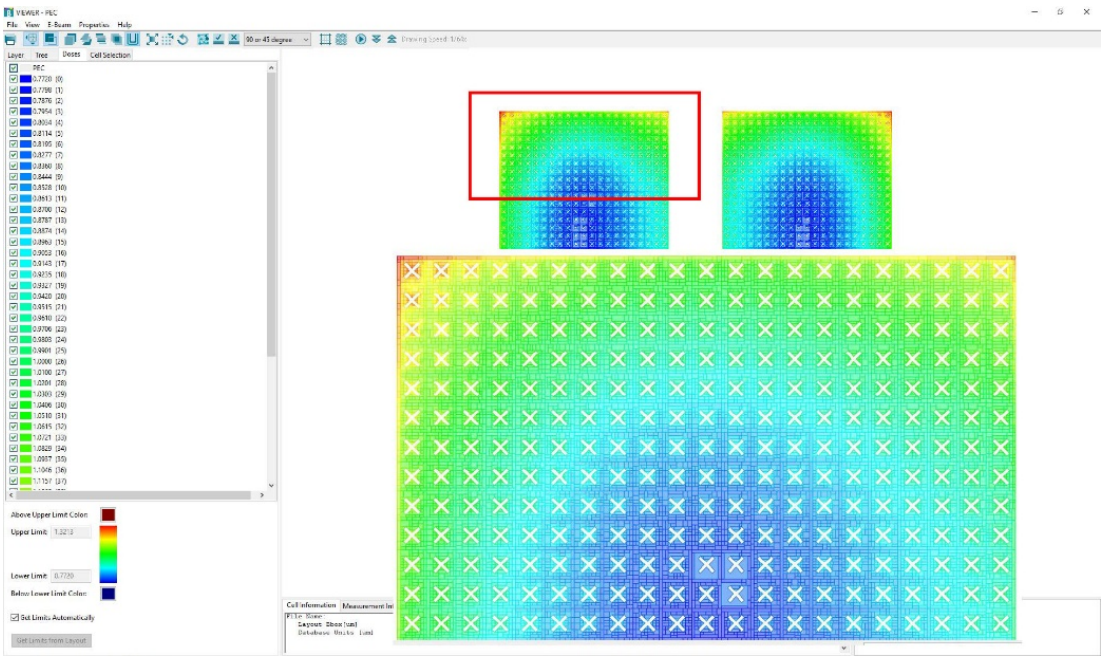
8.显影	显影通风柜	MIBK/IPA=1/3，从 50 s 开始，用显微镜检查图案，如不显影，每次加 2-3s
9.定影	显影通风柜	异丙醇 (IPA)浸泡 30s
10.冲洗	显影通风柜	去离子水浸泡 10s，去离子水枪冲洗 30s
11.干燥	显影通风柜	N_2 气枪轻吹 2-3min

2.3.3 旋涂曲线



3. Beamer:邻近效应修正 PEC(Proximity Effect Correction)

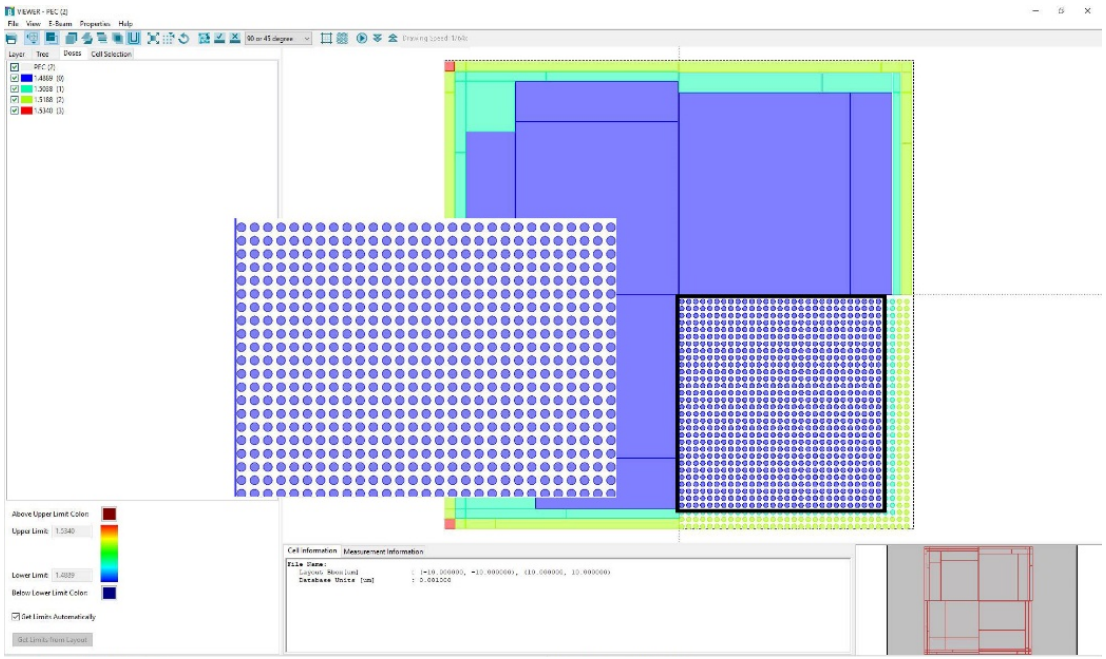
3.1 使用邻近效应修正 PEC



1、电子束轰击到衬底上某个点，能量会散射到其周边的区域。

2、由于相邻点位之间电子束能量的相互交叠，一块曝光区域中心处各点位获得的电子束能量(即实际剂量)要高于边角处点位，因此对于某些图案需要 PEC。

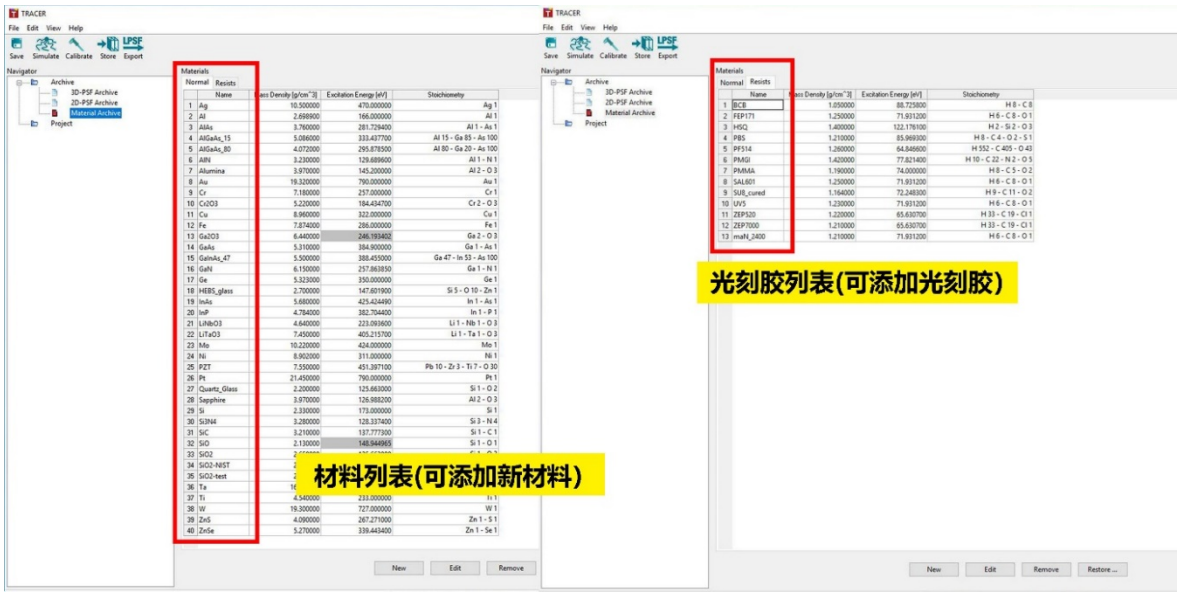
3.2 未使用邻近效应修正 PEC

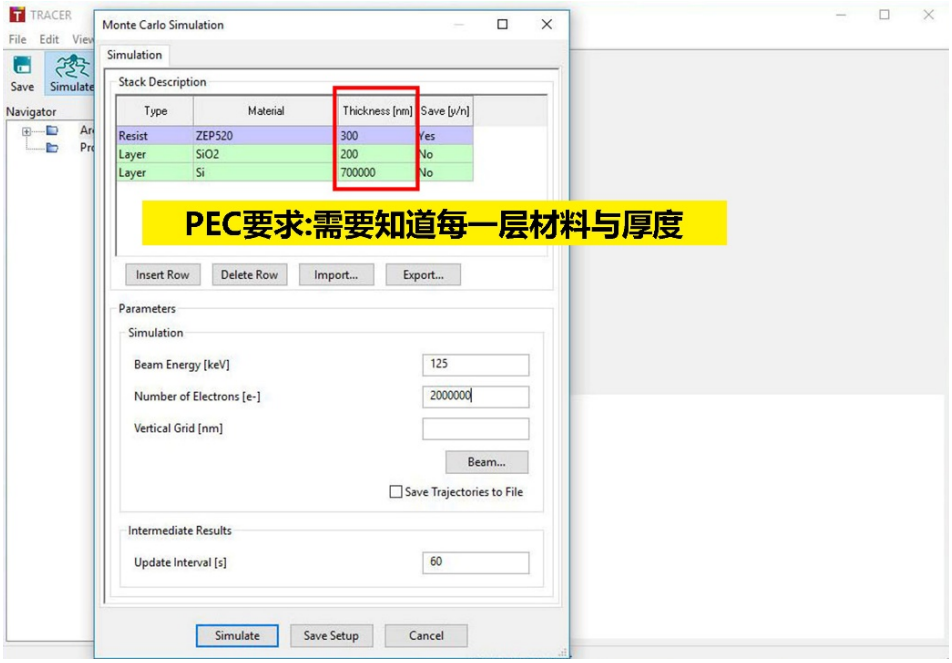


1、对于某些阵列图案，若对中间位置与边角处尺寸的一致性要求高，未进行剂量修正的情况下不满足要求，建议尝试 PEC。

2、对于要兼顾版图中的大、小面积图案时，建议 PEC。若只关注版图中某些区域(如最小尺寸)图案，则只要通过剂量测试选取相应区域的最佳剂量即可。

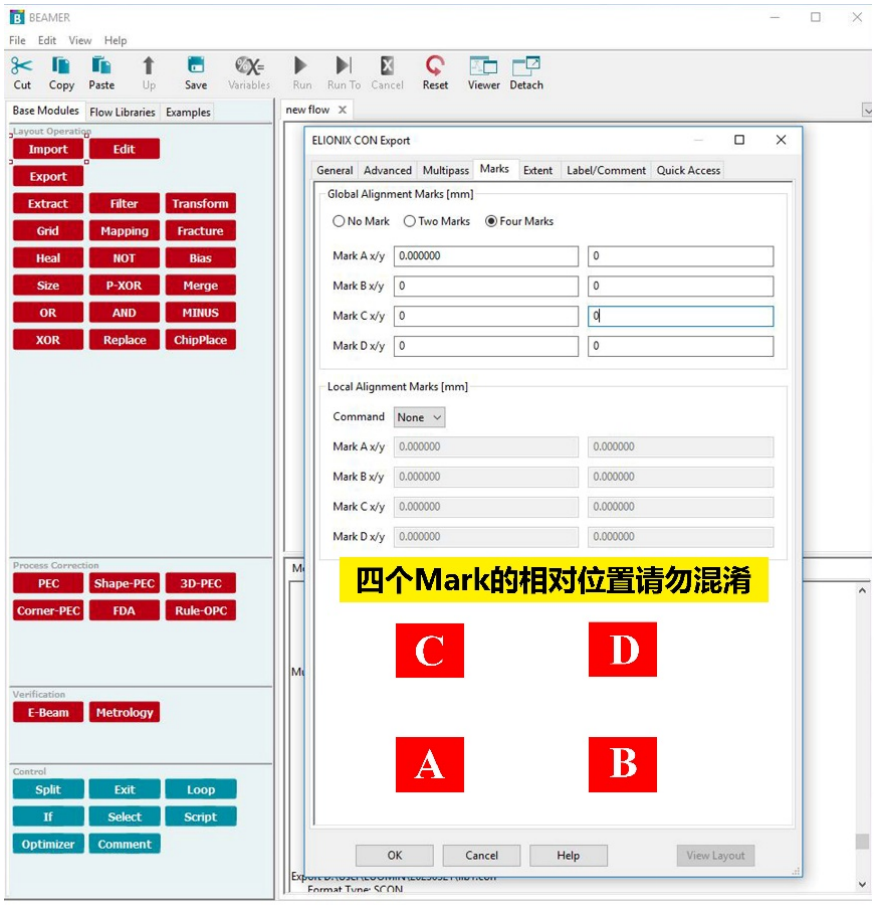
3、一些简单图案(如线条)不进行 PEC，也可以通过补偿图案尺寸的方式获得设计尺寸。



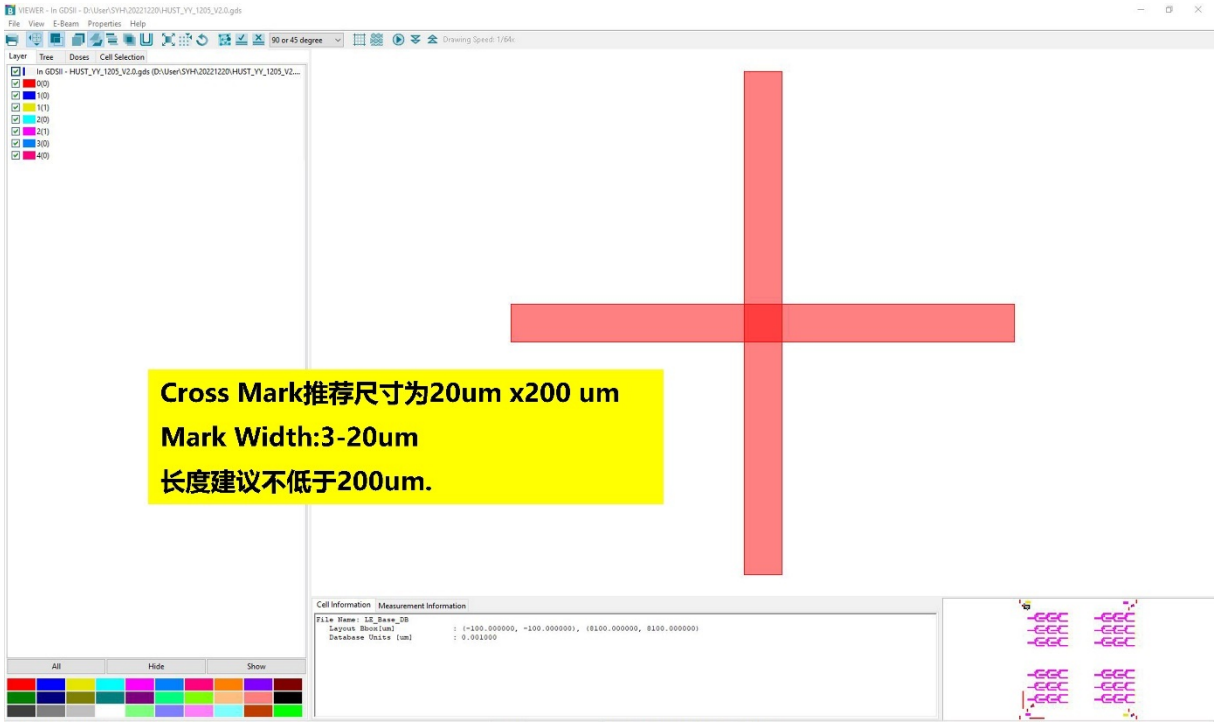


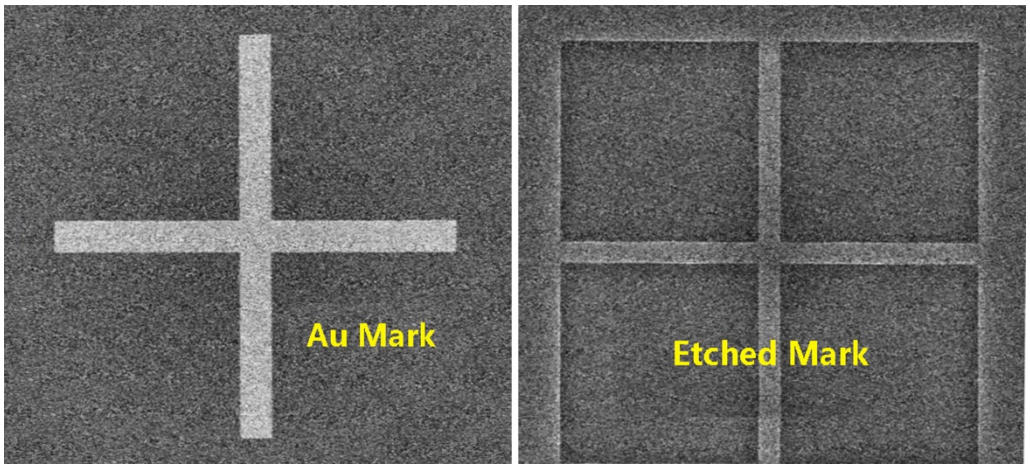
4. Mark 的相对位置与尺寸大小

4.1 Mark 的相对位置

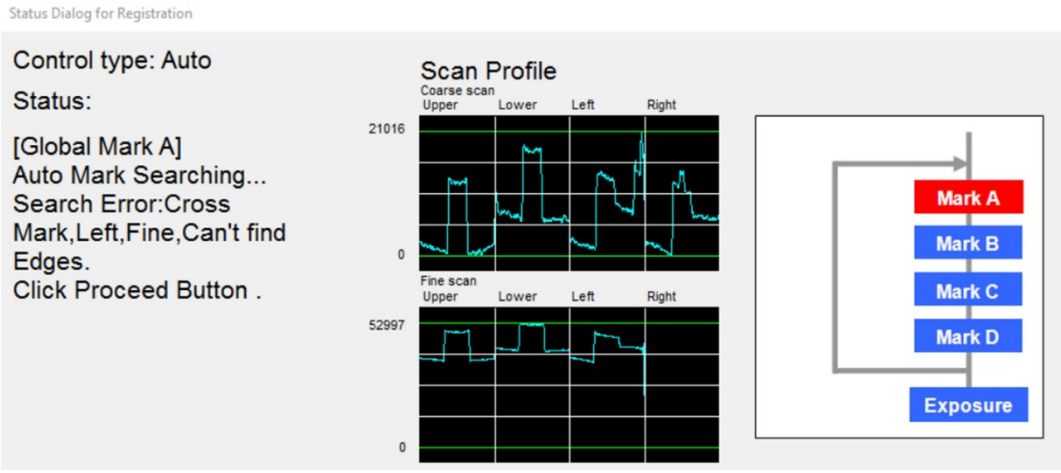


4.2 Mark 的尺寸大小



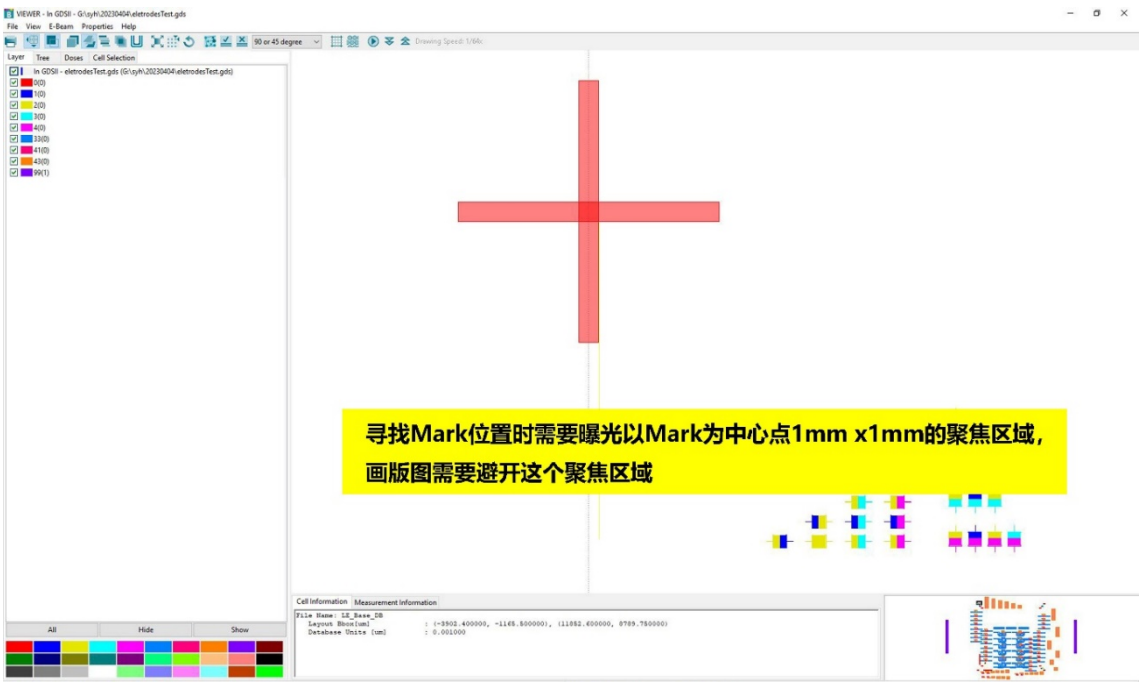


Mark 与衬底材料的对比度不够，如 III-V 材料，建议采用深刻蚀 Mark (建议深度大于 1.5~2 um)。



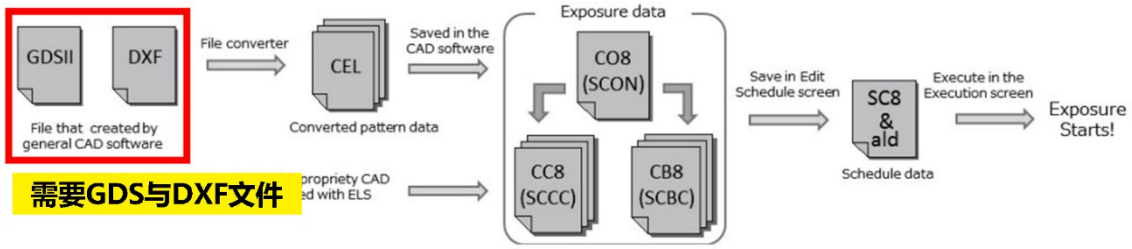
Cross Mark 四条边中任何一条有瑕疵或者对比度不够高，都会导致探测不到边，从而导致自动套刻失败。

4.3 Mark 与版图之间的尺寸大小

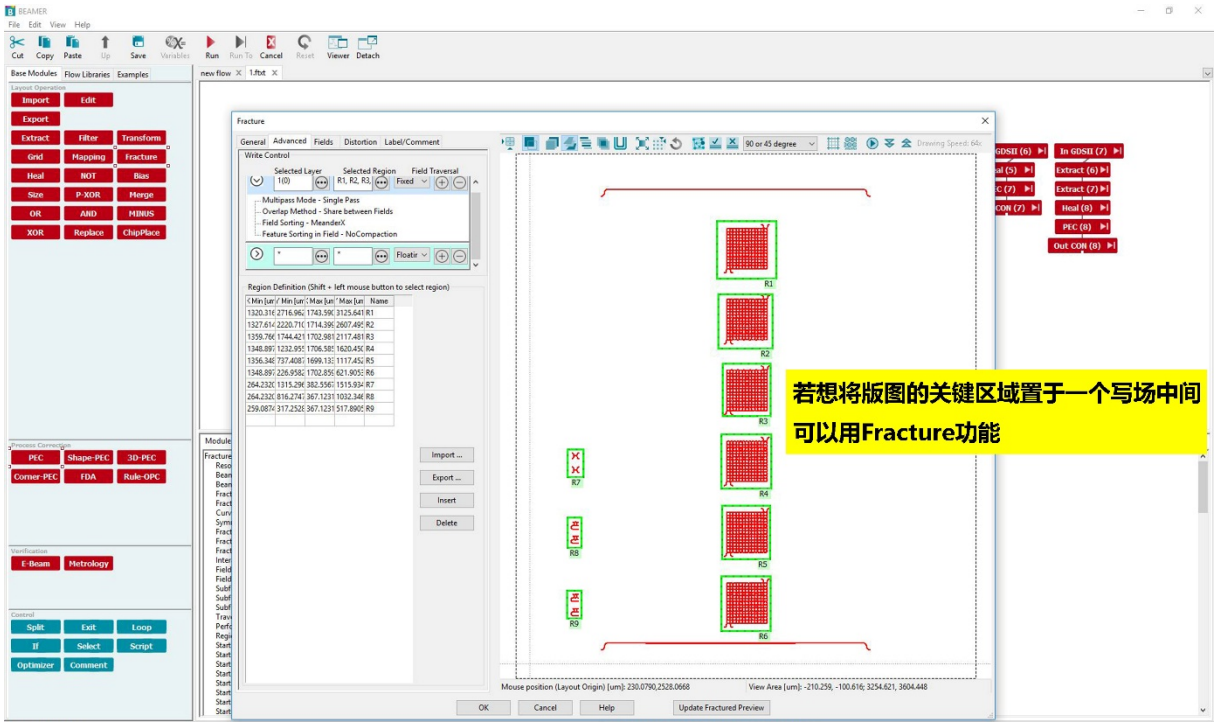


5. 数据结构

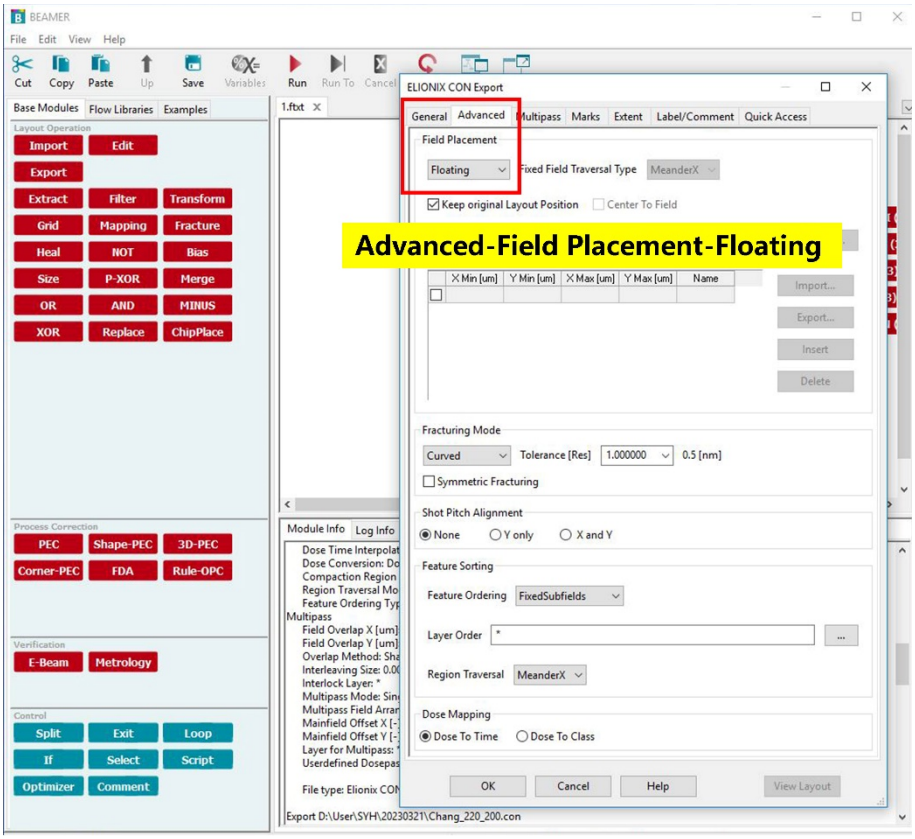
该文件在转换以 GDSII 格式和 DXF 格式创建的转换器文件时输出。



6. 写场的位置固定



Export-Advanced-Field Placement-Floating 模式的算法会在写场数量和版图图案位置之间有所平衡，即用尽量少的写场数量覆盖整个版图，且将图案尽量置于写场中间部分，因此对于相距大于一个写场的两个图案有很好的效果。



7. 定剂量与曝光时间

电子束曝光所需时间 T_E (min)与曝光剂量 E (μC/cm^2)、束流 I (nA)和版图曝光区域面积 S (μm^2)有关：

$$T_E = \frac{E \times S}{6000000 \times I}$$

写场移动的时间 T_M (min)与曝光区域总面积相关，根据写场的大小与曝光图形，估算出写场个数 N：

$$T_M = \frac{N}{6}$$

其中传输样品时间约 15min。

总时间 T (min)为：

$$T = T_E + T_M + 15$$

例：曝光一个 100um × 100um 的正方形图形，使用剂量 600 uC/cm^2，束流 1nA，写场大小为 500um。

版图面积 S= 100×100= 10000

电子束曝光时间：

$$T_E = \frac{600 \times 10000}{6000000 \times 1} = 1$$

一个写场可以写完，N=1

写场移动时间：

$$T_M = \frac{1}{6} = 0.17$$

总时间：

$$T = T_E + T_M + 15 = 1 + 0.17 + 15 = 16.17\,(\text{min})$$

共需要 16.17min。

8. 设备预约使用规则

（1）EBL 设备仅限委托中心工程师代工，通过线上送样预约方式申请代工服务，暂不开放用户操作。代工联系人：翁思远(wengsy@shanghaitech.edu.cn)、张妍亭(zhangyt2@shanghaitech.edu.cn)。

（2）预约时间：一般在本周最后一个工作日预约下个工作周（周一至周五）的工作时间（08:30-11:30,13:00-17:00）。晚上、周末、节假日是否开放预约根据中心最新通知执行。

（3）预约流程：

a.通过线下(邮件、微信和电话等方式)与工程师沟通确认；

b.登录我校大仪平台（https://eshare.shanghaitech.edu.cn/），在量子器件中心“电子束

曝光机/全自动 EBL”设备界面，点击“送样预约”，按表单填写送样信息和时间需求等后提交申请；

c.待工程师审批后，进行送样加工(一般为现场送样或寄样)。如需到现场陪同实验，请提前预约中心综合培训，在通过安全培训后，可领取临时用户卡，由工程师陪同实验。对于曝光进程需要过夜机台自动曝光的，下一个工作日上午 8:30 之前用户必须前来联系工程师取走样品。

（4）经中心工程师审核通过的预约，如需取消预约，需至少提前 2 个工作日（即工作日的 48 小时以上）通过邮件或电话方式联系工程师；如未按上述要求提前取消预约的，视为爽约行为，系统仍按照预约时间计算使用机时。爽约行为累计 3 次的，从第三次爽约行为的次日起停止该用户所在课题组或企业预约权限 1 个月。

（5）用户应按需求慎重选择仪器设备送样预约时长。如实际使用时间超出预约时间，且下个时段无其他用户预约且工程师无其他工作安排的，经工程师同意，用户可现场延长代工时间。但若下一时段已有预约，用户需自行征得已预约人员同意后方可继续使用设备。否则，需无条件停止工艺执行。

（6）EBL 设备计费标准为综合收费(收费时间按预约时长和实际使用时长之间自动取长计算，即如实际使用时间长于用户对本设备的预约时长，则按实际使用时间来计时收费；反之，则按预约时间来计时收费)，且最小计费单元为 15min。

（7）如设备在为用户代工过程中发生故障，经中心判定与用户无关的，中心将为用户另行安排时间，具体以设备恢复工作时间为准。

（8）如设备遇到故障或发生其他非人为突发事件，在故障未恢复前，将自动取消后续相关用户的预约操作时段。待故障排除、设备恢复后，用户应重新按照流程预约。

（9）中心免费为用户提供“预估 GDS 图形曝光时间”服务。

（10）设备电子束流最大值不超过 2nA；超出 2nA 后用户需优先与中心工程师沟通，并经中心审批后再执行相关实验。

本手册解释权在量子器件中心。