



上海科技大学量子器件中心 (SQDL) 工艺设备 SOP

高功率等离子体刻蚀机 (HP-RIE)

版本：V1

发布年份：2021 年

编写人：马驰原

设备管理工程师：马驰原

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. 高功率等离子体刻蚀机（HP-RIE）	2
4-1 设备概述（Process Summary）	2
4-2 交叉污染控制（Cross-contamination Controls & Compatibility）	3
4-3 名词定义（Definitions & Process Terminology）	4
4-4 操作流程（Process Procedure）	4
4-5 故障指南（Troubleshooting Guidelines）	11
5. 设备负责人及联系方式（Tool Administrator & Contact Information）	12
6. 参考图表（Figures& Schematics）	12
7. 维护（Maintenance）	15
8. 历史版本（History Version）	15

1. 设备功能（Tool Function）

本设备采用三螺旋平行板天线（PTSA）作为等离子体源，利用其所产生的的高离子密度和低离子等量的均匀等离子体，对三五族化合物半导体进行低损伤和纳米结构的刻蚀。主要用于 6 寸及以下样品。

2. 设备使用登记（Register）

- 1) 本设备暂不配备刷卡机，凭本人已开通使用权限的大仪平台账号密码登录。
- 2) 设备使用结束后在机台旁记录本上做好使用记录。
- 3) 本设备使用需要提前预约，按预约时间使用。

3. 设备安全规范（Safety）

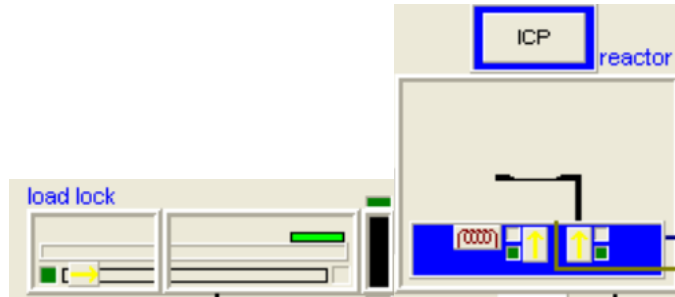
- 1) 打开 LL 进行取放片时尽量迅速，腔体内部不要暴露在大气中过长时间以免腐蚀。
- 2) 放置小样品时尽量放置在载盘中间位置。
- 3) 在对样品进行刻蚀前，需运行 clean recipe 清洁反应腔。
- 4) 切勿在没有载台或样品的情况下进行空放电，以免损伤下电极。
- 5) 切记打开仪器前先开启废气处理设备。
- 6) 实验后切勿用手直接取出样品，以免腐蚀皮肤。
- 7) 在关机时，TMP 降速的同时需打开前级阀门，以免 TMP 温度过高损坏。
- 8) 在关机时，分子泵转速降为零时再关闭前级泵。

4. 高功率等离子体刻蚀机（HP-RIE）

4-1 设备概述（Process Summary）

- 1) 设备型号及制造商：SI 500, SENTECH Instruments GmbH。

- 2) 设备的工艺功能：本设备采用三螺旋平行板天线（PTSA）作为等离子体源，利用其所产生的高离子密度和低离子等量的均匀等离子体，对三五族化合物半导体（GaAs、GaN、AlN 等不含 In 的材料）进行低损伤和纳米结构的刻蚀。
- 3) 设备的工作原理：本设备的刻蚀反应在超高真空条件下进行。反应腔的上下电极分别配置三螺旋平行板天线（PTSA）等离子体源和 RF 射频电源。样品经 LL 传送进入反应腔后，通入的工艺气体（Cl₂、BCl₃、CF₄ 等）在 PTSA 作用下解离成等离子体，离子和电子在下电极 RF 射频电源产生的电场作用下加速轰击到样品表面膜层，从而在样品表面进行化学和物理反应的刻蚀。



- 4) 设备硬件能力：
 - i. 配置 LL 和 Endpoint 检测功能。
 - ii. 上电极 PTSA 源射频发生器：频率 13.56 MHz，最大功率 1200 W；下电极偏置射频发生器：频率 13.56 MHz，最大功率 600W。
 - iii. 下电极温度控制范围：-30°C ~ 250°C。
 - iv. ICP 源等离子体密度可到最高 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 。
 - v. 涡轮分子泵，抽速 $\geq 1500 \text{ l/s}$ ，前级泵干泵，抽速 $\geq 20 \text{ m}^3/\text{h}$ 。
 - vi. 反应腔真空漏率 $< 2 \times 10^{-4} \text{ mbar L/s}$ 。
 - vii. 8 小时以内达到本底真空 $\leq 1 \times 10^{-6} \text{ mbar}$ 。
- 5) 设备位置：净化室 1 层白光区。
- 6) 设备图片：



4-2 交叉污染控制（Cross-contamination Controls & Compatibility）

- 1) 衬底限制：III-V 族，硅及基于蓝宝石/SiC 等非易挥发性衬底的 III-V 材料膜系；仅限 6 寸及以下样品。

- 2) 工艺功能限制：仅限刻蚀 III-V 族材料（GaAs, GaN, AlN 等不含 In 的材料）。

4-3 名词定义 (Definitions & Process Terminology)

- 1) PTSA：三螺旋平行板天线。
- 2) RF：射频电源。
- 3) ICP：电感耦合等离子体。
- 4) TMP：涡轮分子泵。
- 5) LL：预真空室。

4-4 操作流程 (Process Procedure)

1) 开机前检查

- i. 检查设备后方所需工艺气体阀门是否为开启状态，若关闭则需打开相应气体阀门。



- ii. 检查废气处理装置的 N2 手阀是否打开，若关闭则需打开 N2 手阀。



- iii. 检查冷却水阀门是否打开，若关闭则需打开冷却水阀门。



2) 开机

- i. 开启灰区 scrubber 01：点击操作屏“手动中”按键，待“手动中”变为“自动中”且右上方指示灯绿灯亮，即表示装置已开启。



- ii. 开机电箱总电源：电箱外侧红色开关旋至水平，然后按下 start 按钮。



- iii. 开启 LL 泵和反应腔前级泵：按下 LL 泵后侧开关开启；反应腔前级泵通过按下操作手柄的 start 按钮开启。



- iv. 开启 Chiller: 按上部循环器开关, 待显示屏显示“OFF”时按“OK”键; 紧接着按下部冷却器开关, 则 Chiller 开启完成。



- v. 开启 RF generator: 通过位于设备电脑下方的 ICP generator 和 RF generator 本体上的“ON”按钮开启。

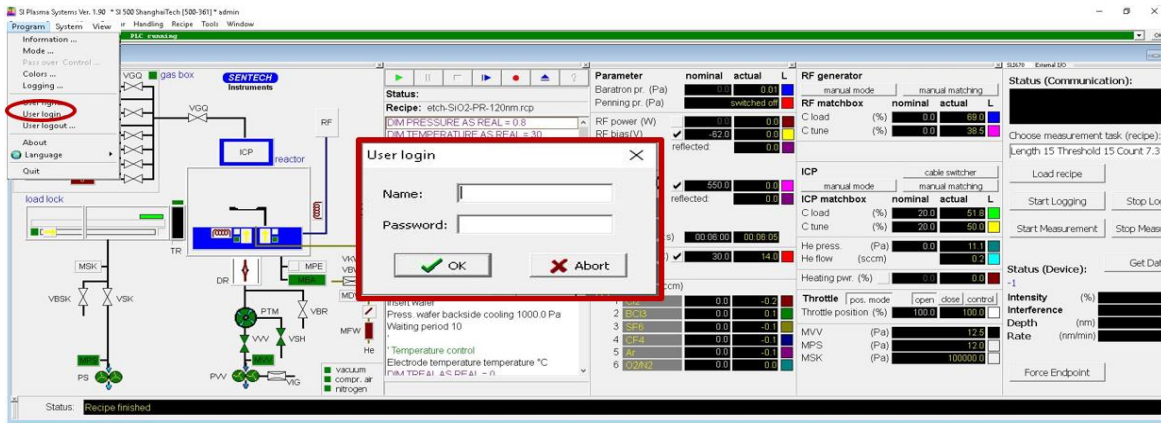


3) 操作系统初始化

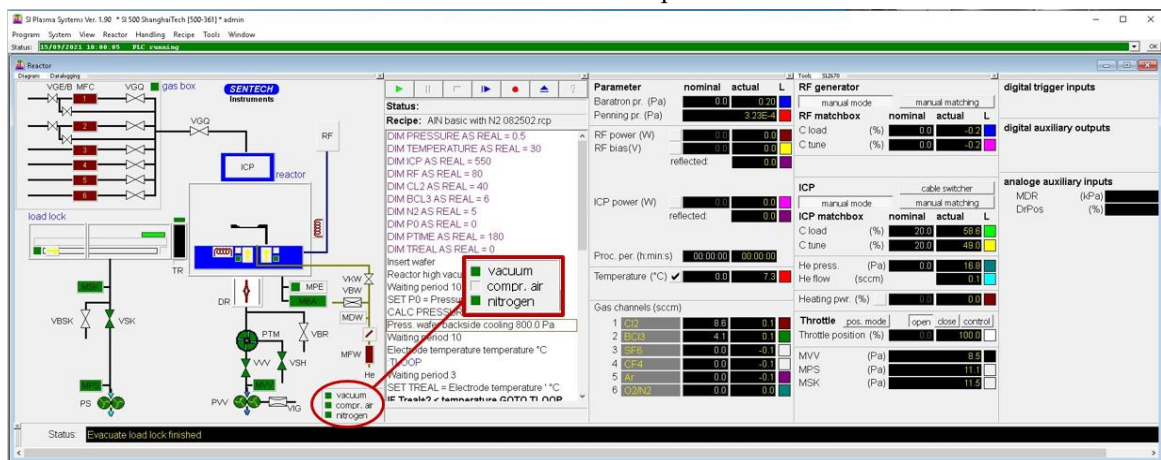
- i. 软件开启: 打开电脑并输入用户账号密码后进入电脑桌面, 点击下图所示图表进入操作系统软件。



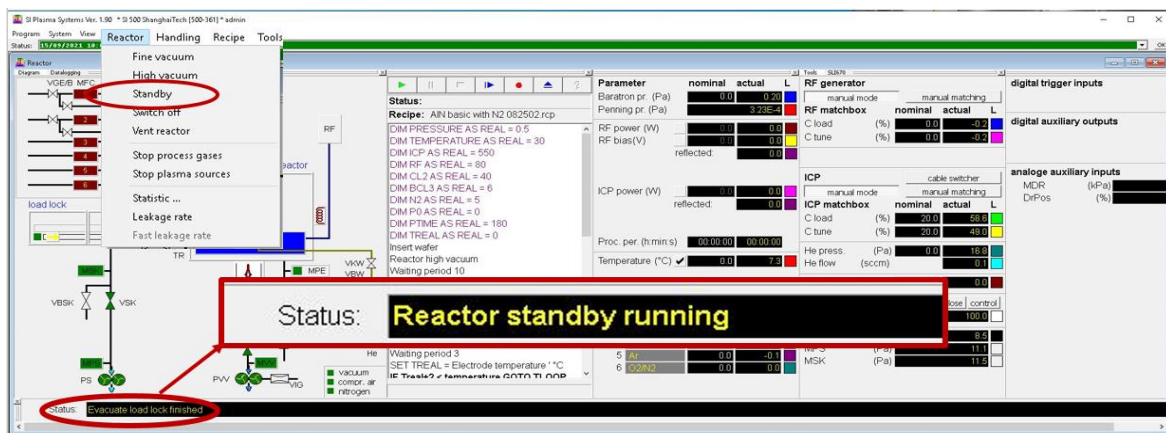
- ii. 软件登录：在主界面上点击 Program→User login，在弹出的对话框界面登录。账号：admin，密码：admin。



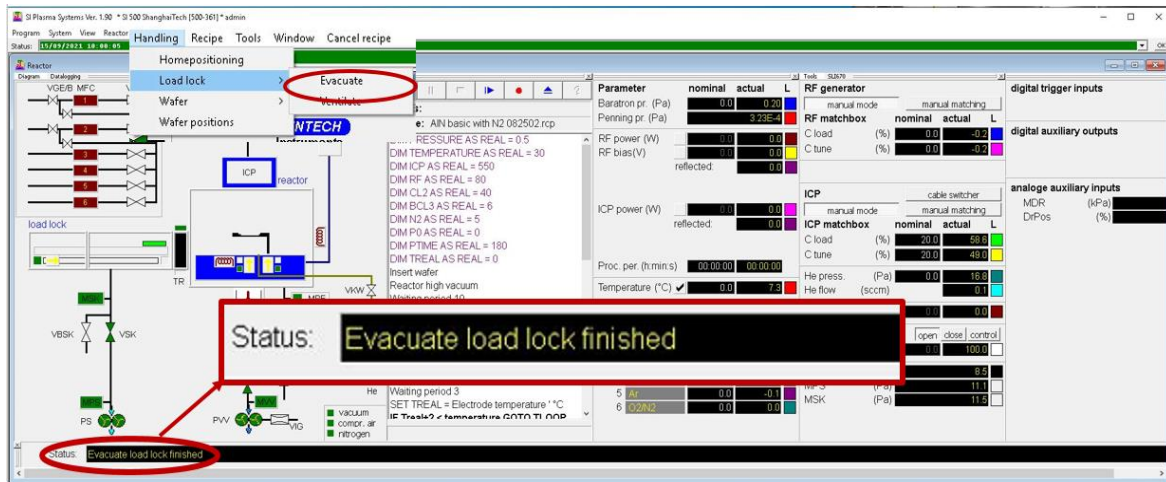
- iii. 开启 CDA：点击系统示意图右下角的 compr.air 按钮，打开系统 CDA 阀。



- iv. 反应腔初始化：首先点击系统界面的 PVV 前级泵标识，然后再点击 reactor→standby，反应腔开始初始化，期间自动进行粗抽真空、TMP 开启、细抽真空、部件位置初始化等动作。下方状态栏显示“Reactor standby running”，指令完成后此状态栏显示变为“Reactor standby finished”。

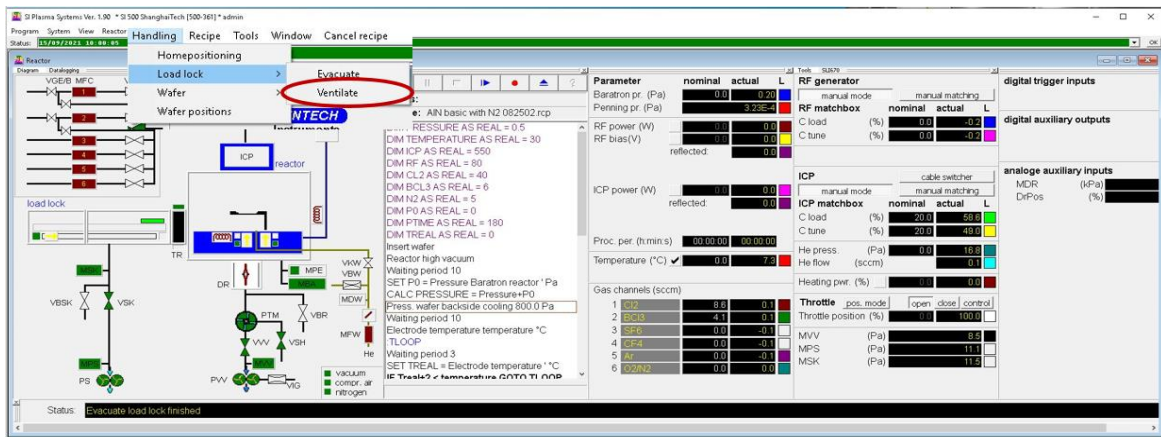


- v. LL 初始化：首先点击系统界面 LL 的机械泵 PVV 标识，手动打开机械泵，然后再点击 Handling→Load lock→Evacuate，将 LL 抽真空，初始化完成，状态栏显示“Evacuate load lock finished”。



4) Load Sample.

- i. LL vent: 点击 Handling→Load lock→Ventilate 进行 LL 破真空，待状态栏显示“Ventilate load lock finished”即为破真空完成。



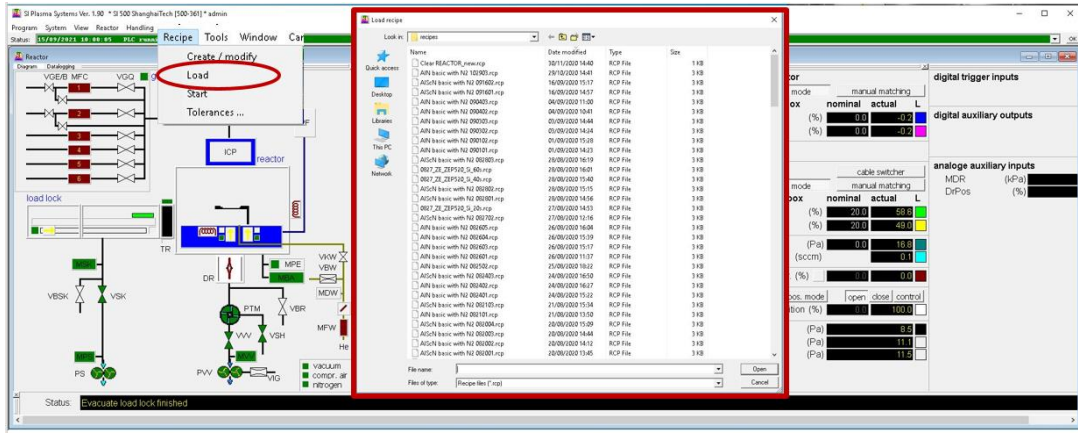
- ii. 放样: 向上拉起 LL 盖把手打开腔室，取出载样盘，将样品放置在载样盘中心位置后放回，关闭 LL 盖。



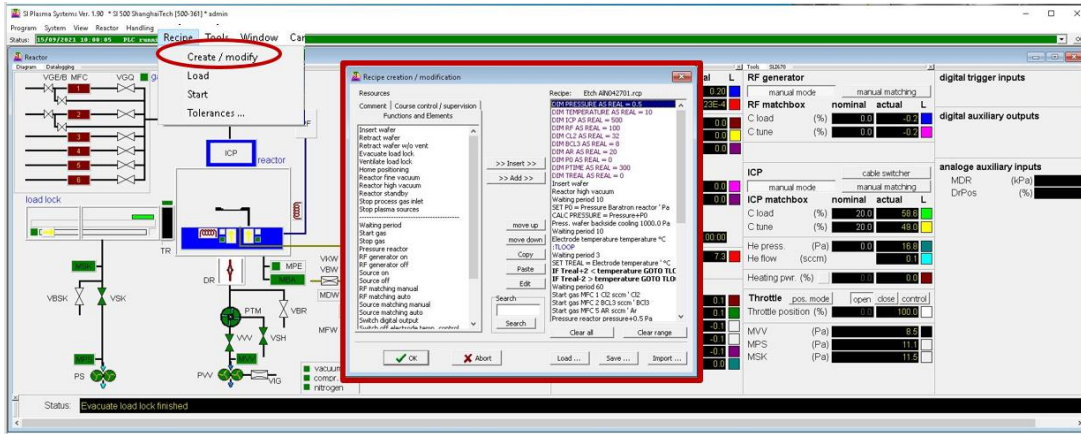
- iii. LL 抽真空: 点击 Handling→Load lock→Evacuate, 将 LL 抽真空。

5) Recipe 选择与编辑

- i. Recipe 选择: 点击 recipe→load, 在弹出的对话框中单击所要运行的 recipe, 点击 Open。

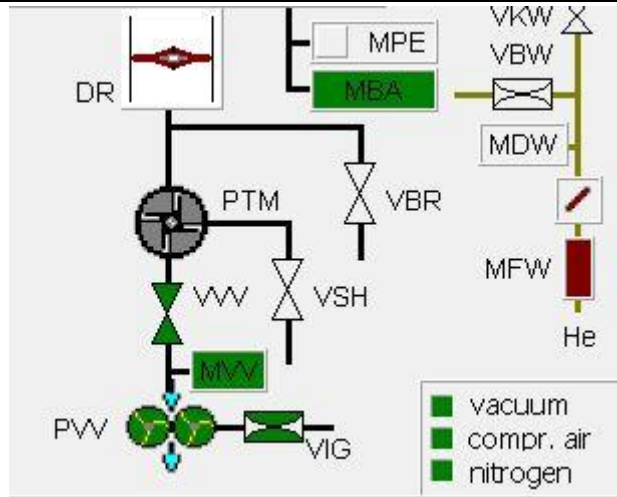


- ii. Recipe 编辑：若需要新建或修改 recipe，点击 Recipe→Create/modify，弹出 Recipe creation/modification 对话框。若需新建 recipe，首先点击对话框中 Clear all 清除当前 recipe 内容，然后选择左侧对话框内的相关 recipe 指令进行编辑，新建完成后点击 save 保存；若需修改 recipe，则点击 load，在弹出的 load recipe 对话框内选择想要修改的 recipe，然后在 Recipe creation/modification 对话框单击所要修改的 recipe 指令来进行修改，完成后点击 save 保存。

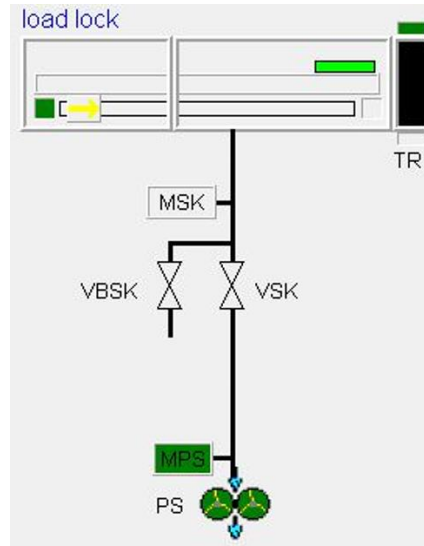


6) Recipe 运行

Recipe 新建或编辑完成后，点击下图信息栏中的 ▶ 按钮开始运行 recipe，此时状态栏变为“running”，在 recipe 执行过程中可点击 ⏸ 按钮暂停 recipe，点击 ■ 按钮终止当前 recipe。另在 recipe 暂停后可使用 ▶ 按钮逐条执行 recipe 内容。




- iii. LL 保压：点击 LL 示意图下方 VSK 阀将 LL 抽真空，待完成后依次点击 VSK 阀和 PS 图标关闭 LL 机械泵。

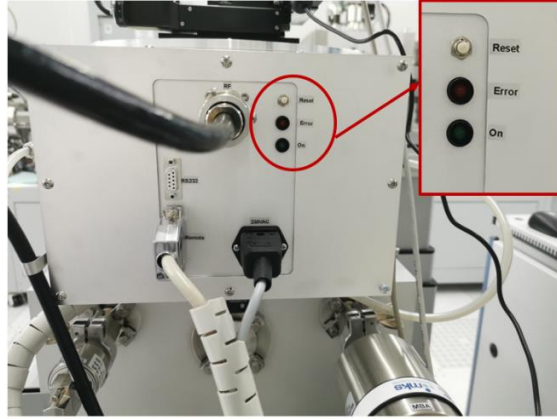


- iv. 依次关闭设备的冷却水阀门、ICP&RF 电源开关、Chiller、电箱开关、及废气处理装置。

4-5 故障指南（Troubleshooting Guidelines）

- 1) 在刻蚀过程中出现启辉失败时，可先点击 recipe 控制栏  按键暂停 recipe 的进行，然后再次点击重新执行 recipe 尝试启辉。
- 2) 若开机后出现 PTSA 相关报警，可查看 ICP 背部报警灯是否亮起，若报警灯亮则按下 reset

尝试重置，观察报警是否消除。



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

中心工程师：马驰原，machy@shanghaitech.edu.cn

6. 参考图表（Figures& Schematics）

1) 参考 recipe 参数如下：

Recipe	Pressure	Temperature	ICP	RF	SF6	He	O2	Ar	Time
Clean reactor	2Pa	20°C	500W	60W	10sccm	1000Pa	40sccm	10sccm	20min

Recipe	Pressure	Temperature	ICP	RF	BCl3	He	Cl2	N2	Ar	Etch time
<u>AlN</u> with N2	0.5Pa	30°C	550W	80W	6sccm	800Pa	36sccm	5sccm	120sccm	3min

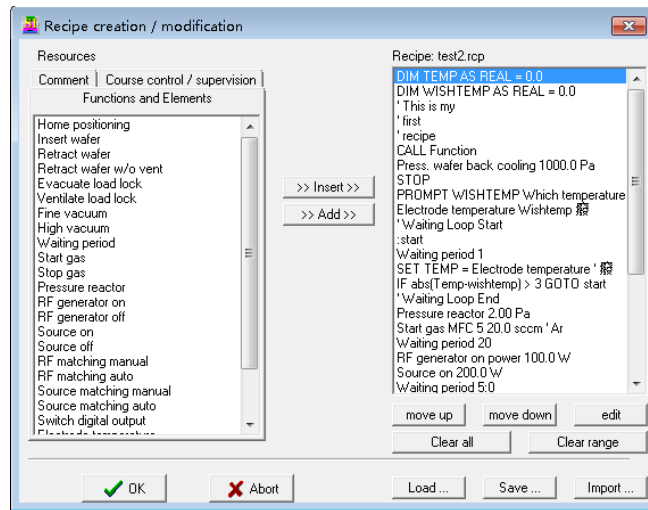
Recipe	Pressure	Temperature	ICP	RF	BCl3	He	Cl2	Ar	Etch time
<u>AlN</u> with <u>Ar</u>	0.5Pa	30°C	550W	95W	10sccm	800Pa	36sccm	5sccm	9min

Recipe	Pretreat						Temperature
	Pressure	ICP	RF	Time	BCl3	Ar	
<u>AlScN</u> with pretreat	0.5Pa	500W	30W	15s	50sccm	10sccm	30°C
	Etch						
	Pressure	ICP	RF	Time	Cl2	Ar	
	1Pa	750W	100W	2min	50sccm	10sccm	
	Purge						
	Ar					Time	

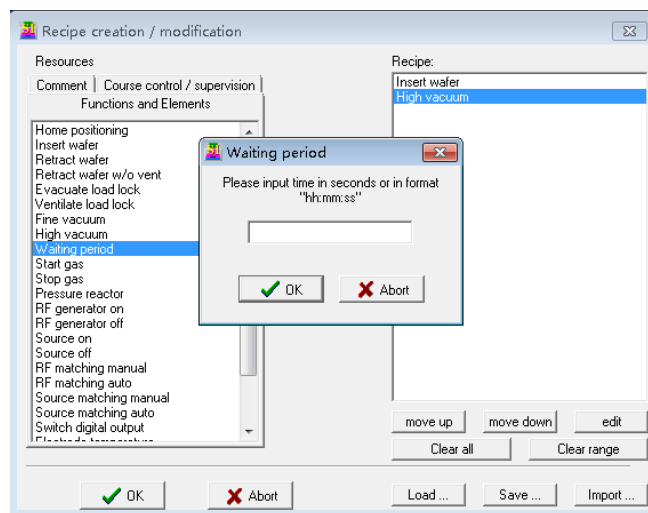
Recipe	Pressure	Temperature	ICP	RF	BCl3	He	Cl2	Ar	Etch time
<u>GaN</u>	0.67Pa	10°C	300W	50W	10sccm	1000Pa	30sccm	5sccm	5min

2) 新建 Recipe 范例：

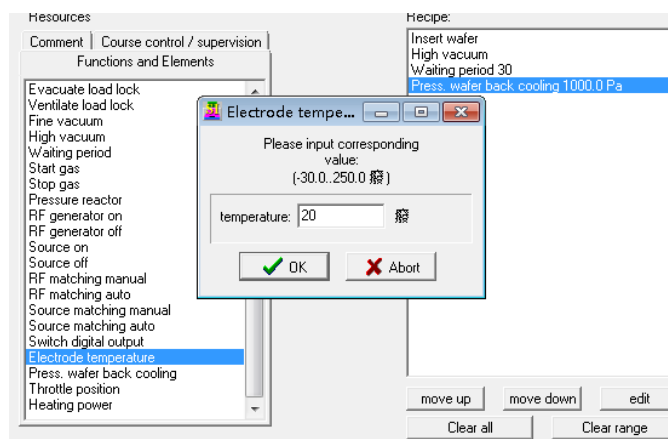
i. 进入 Recipe 编辑页面（Recipe creation/modification）。



- ii. 点击 Clear all, 清除当前 Recipe。
- iii. 左侧选择 Insert wafer, 点 add 加入 recipe。
- iv. 选 High vacuum, 点 add 加入 recipe。该命令为确保系统重新抽真空。
- v. Waiting period→add, 在弹出对话框中输入需要等待的时间，默认格式为小时：分钟：秒钟，直接输入数字为秒。通常等候 30 秒使系统达到良好真空状态。

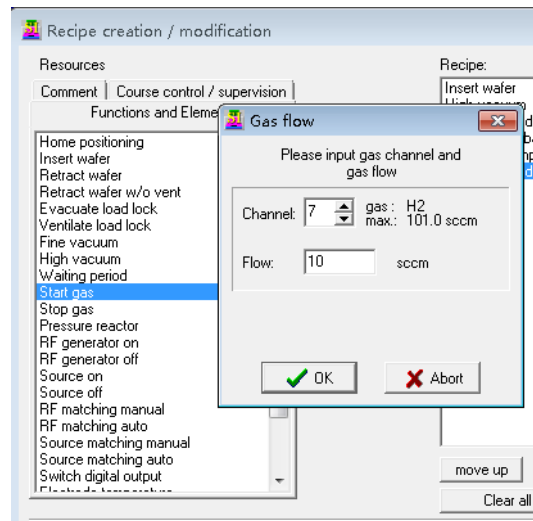


- vi. Press.wafer back cooling, 该命令开启样品背面 He 冷却，设定压强为 1000Pa。然后 add 添加。
- vii. Electrode temperature, 设定刻蚀样品温度，输入温度 20℃。



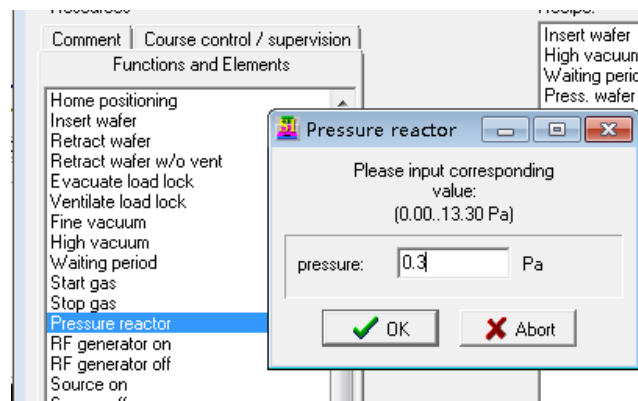
viii. Waiting period, 设定时间等待设备升温至温度稳定。

ix. Start gas, 开启工艺气体，设定所需气体种类和流量。如 Cl₂ 10sccm。



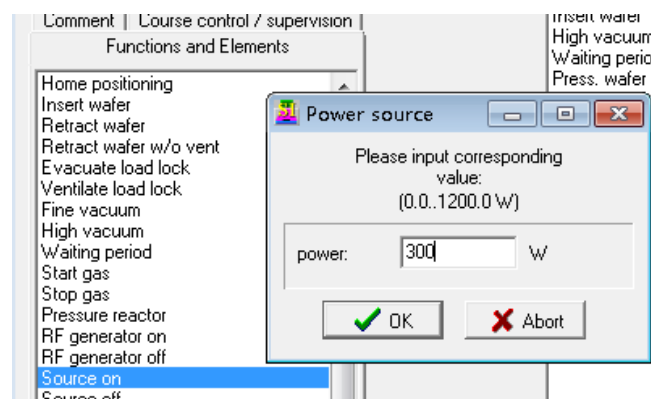
x. 重复 start gas, 设定 BCl₃ 和 Ar 流量。

xi. Pressure reactor, 设定工艺所需的压强。

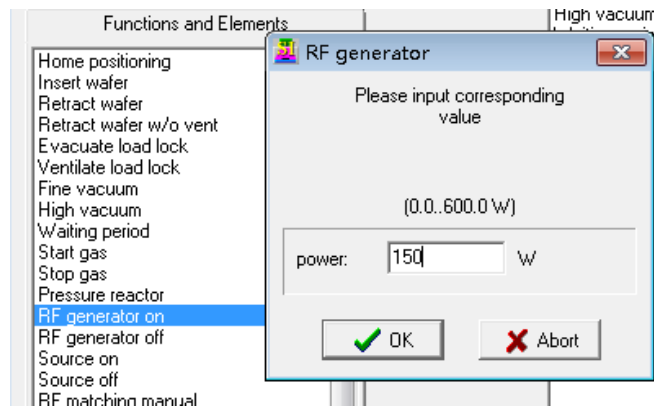


xii. Waiting period, 输入时间 30 秒，等待压强稳定。

xiii. Source on, 开启 ICP 电源，设定功率。



xiv. RF generator on, 开启下电极 RF 电源，设定功率。



- xv. Waiting period, 设定工艺时间, 如 600 秒。
- xvi. Stop plasma sources, 关闭等离子源。
- xvii. Stop process gas inlet, 关闭全部工艺气体。
- xviii. High Vacuum。
- xix. Start Gas, 设定 Ar 140 sccm, 用氩气吹扫残留氯气。
- xx. Waiting period 120 秒。
- xxi. Retract wafer, 退片。

7. 维护 (Maintenance)

本设备涉及到的维护主要包括反应腔和 LL 腔的清洁, 具体可根据设备的使用情况定期开腔检查, 并使用真空吸管或无尘布清洁腔室内附着的反应物, 必要时需拆掉反应腔内的 parts 进行清洁或更换。

8. 历史版本 (History Version)

<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Prepared by</i>	<i>Approved by</i>
1	2021-09-30	马驰原	