



# 刻蚀工艺与设备培训



王瑗

纳米加工平台

2009.5



中科院苏州纳米所 (筹)

[www.sinano.ac.cn](http://www.sinano.ac.cn)

1

刻蚀的基本原理

2

**IBE**刻蚀原理及设备

3

**RIE**刻蚀原理及设备

4

**ICP**刻蚀原理及设备

5

工艺过程、检测及仪器



中科院苏州纳米所 (筹)

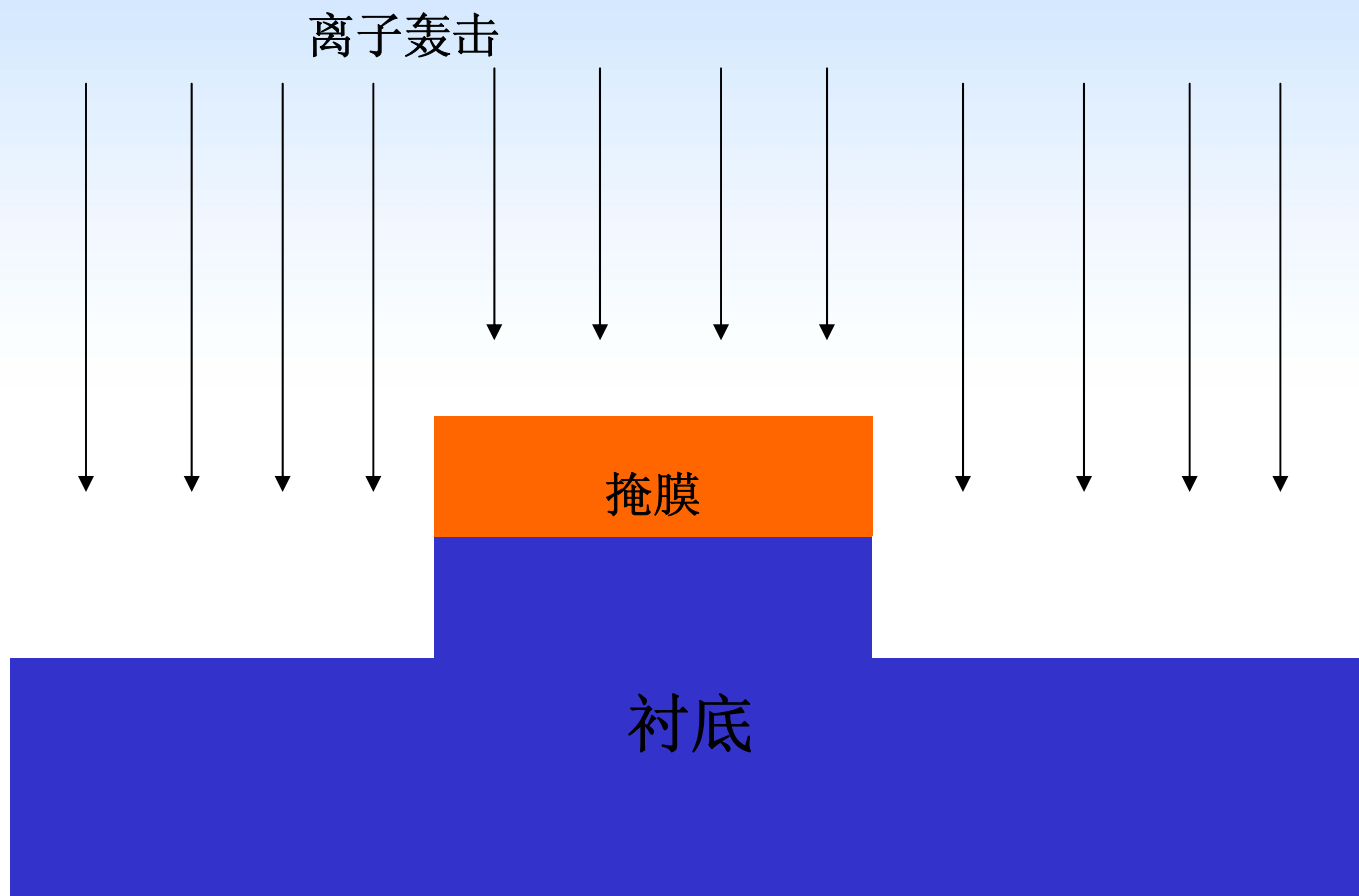
[www.sinano.ac.cn](http://www.sinano.ac.cn)



## 刻蚀

用物理的、化学的或同时使用化学和物理的方法，有选择地把没有被抗蚀剂掩蔽的那一部分材料去除，从而得到和抗蚀剂完全一致的图形

## 干法刻蚀过程示意



## 刻蚀种类:

### ① 干法刻蚀

利用等离子体将不要的材料去除（亚微米尺寸下刻蚀器件的最主要方法）

### ② 湿法刻蚀

利用腐蚀性液体将不要的材料去除

## 干法刻蚀工艺特点:

### ①好的侧壁剖面控制，即各向异性

### ②良好的刻蚀选择性; 合适的刻蚀速率; 好的片内均匀性

### ③工艺稳定性好，适用于工业生产



## 刻蚀参数

刻蚀速率

习惯上把单位时间内去除材料的厚度定义为刻蚀速率



刻蚀前



刻蚀后

$$\text{刻蚀速率} = \frac{\Delta d}{t} \text{ (Å/min)}$$

刻蚀速率由工艺和设备变量决定，如被刻蚀材料类型，刻蚀机的结构配置，使用的刻蚀气体和工艺参数设置

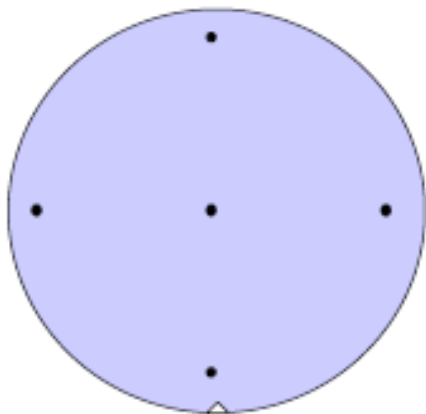


## 刻蚀参数

**选择比** 同一刻蚀条件下，被刻蚀材料的刻蚀速率与另一种材料的刻蚀速率的比。

$$S = \frac{E_1}{E_2}$$

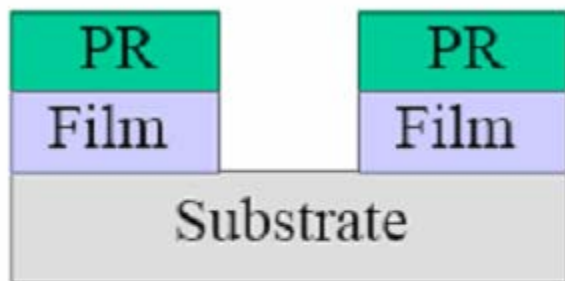
**均匀性** 衡量刻蚀工艺在整个晶片上，或整个一批，或批与批之间刻蚀能力的参数



$$NU(\%) = (E_{\max} - E_{\min}) / 2E_{\text{ave}}$$

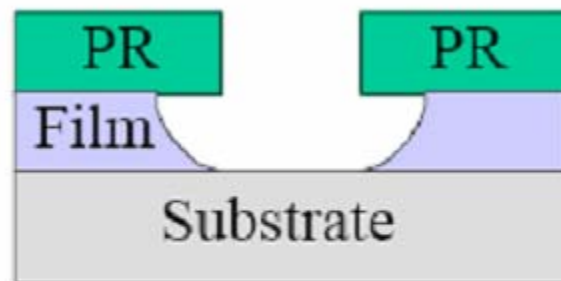


刻蚀剖面 被刻蚀图形的侧壁形状



Anisotropic

各向异性：刻蚀只在垂直于晶片表面的方向进行



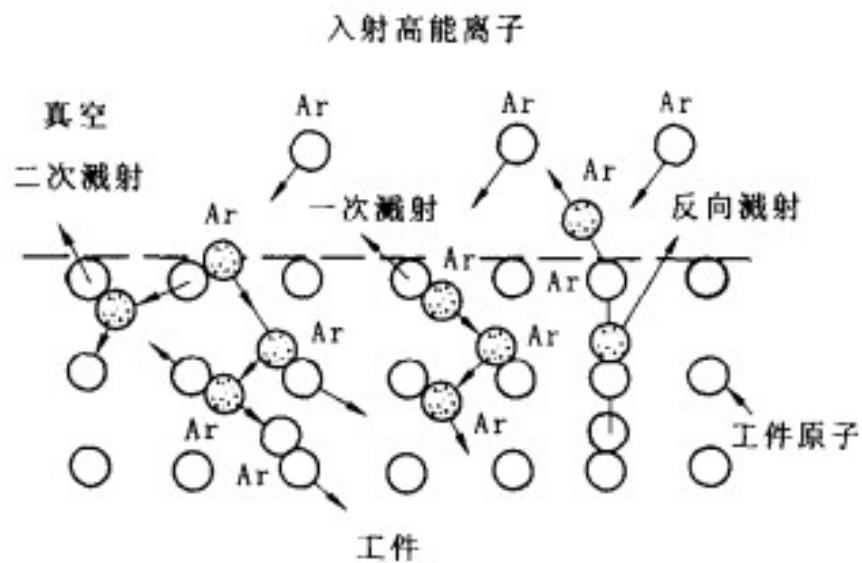
Isotropic

各向同性：在所有方向上以相同的刻蚀速率进行刻蚀



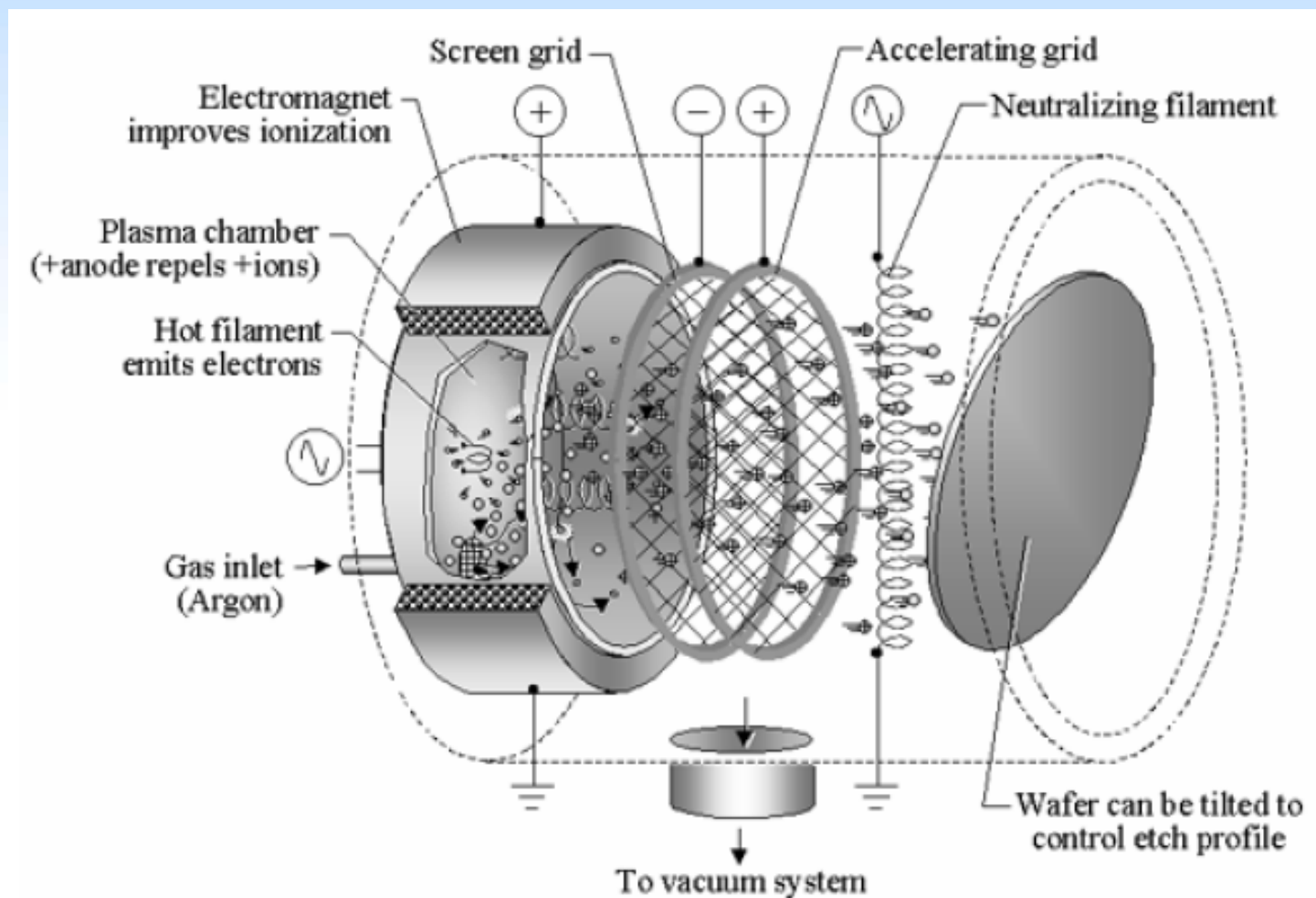
- 离子束刻蚀是利用具有一定能量的离子轰击材料表面，使材料原子发生溅射，从而达到刻蚀目的

把Ar、Kr或Xe之类惰性气体充入离子源放电室并使其电离形成等离子体，然后由栅极将离子呈束状引出并加速，具有一定能量的离子束进入工作室，射向固体表面撞击固体表面原子，使材料原子发生溅射，达到刻蚀目的，属纯物理过程。



离子碰撞过程示意图

## 离子源构成及工作原理

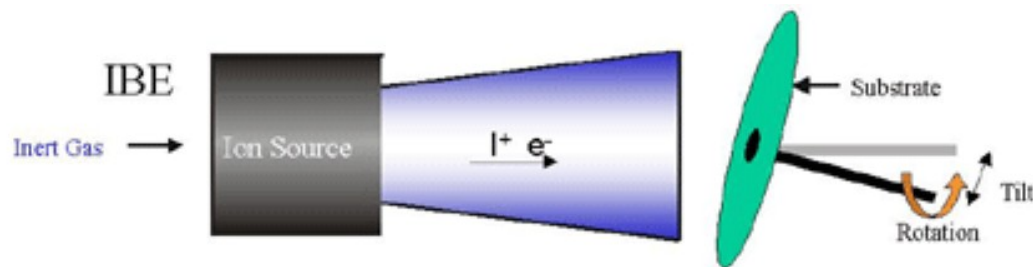


## IBE刻蚀特点

- ✓方向性好，各向异性，无钻蚀，陡直度高
- ✓分辨率高，可小于 $0.01\ \mu\text{m}$
- ✓不受刻蚀材料限制（金属or化合物，无机物or有机物，绝缘体or半导体均可）
- ✓刻蚀过程中可改变离子束入射角  $\theta$  来控制图形轮廓

## 离子束刻蚀速率影响因素

- A. 被刻蚀材料种类
- B. 离子能量
- C. 离子束流密度
- D. 离子束入射角度



## IBE-A150设备



## IBE相关刻蚀数据

离子能量: 350eV

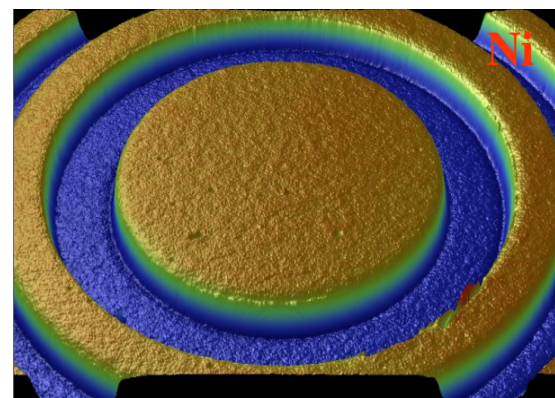
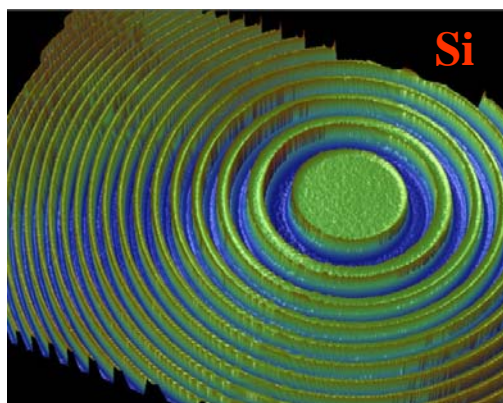
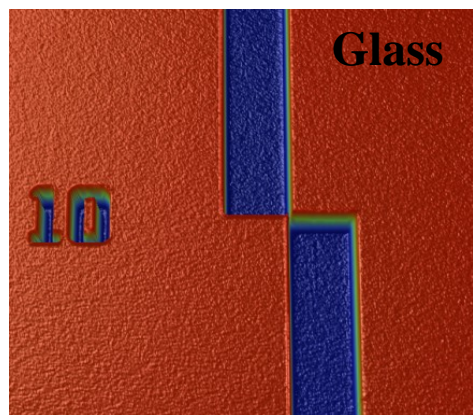
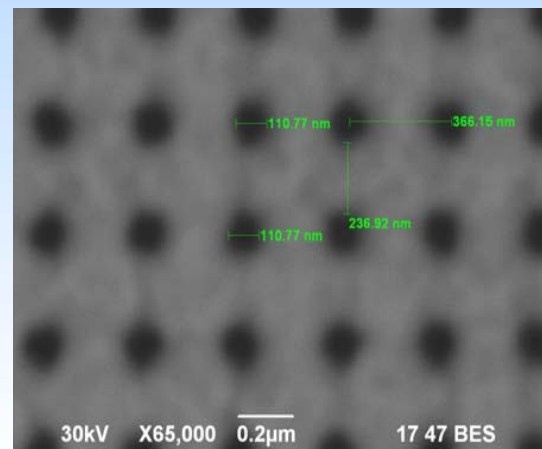
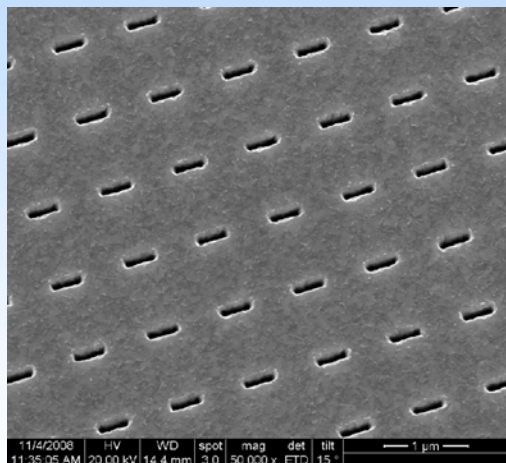
材料	刻蚀速率 nm/min	材料	刻蚀速率 nm/min	材料	刻蚀速率 nm/min
Ni	17-18	Ti	7-8	GaN	34-36
SiO <sub>2</sub>	17-18	Al	15-16	Au	55
Ge	33-34	TiN	5-6	ITO	32-34
Si	17-18	GaAs	35-40	AZ胶	18

离子能量: 300eV

材料	刻蚀速率 nm/min	材料	刻蚀速率 nm/min	材料	刻蚀速率 nm/min
PMMA	21	AZ胶	10	Au	35-37
Si	14-15	Ni-Cr合金	10-12		







## IBE操作注意事项

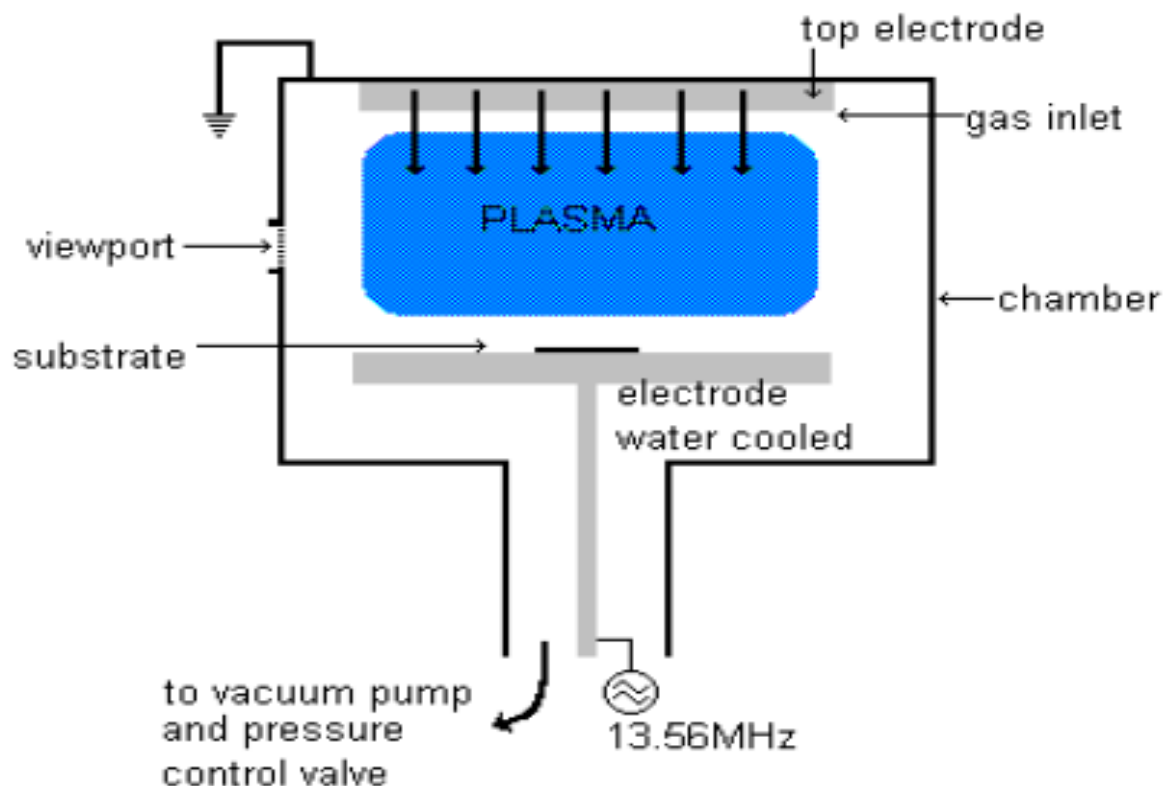
- 启动离子源之前，必须确保离子源室和工件台通入冷却水
- 如果刻蚀工艺采用离子束入射角度 $\geq 30^\circ$ 时，在刻蚀时间到达预定值10s前，必须将工件台转回水平位置
- 为更好的传递热量，放片时需在片子背面涂硅脂  
放片、取片过程中应尽量避免油脂玷污片子图形表面
- 取片后用异丙醇擦去工件台上硅脂
- 抽真空次序不能错，开主阀前要确认真空度达到-1级



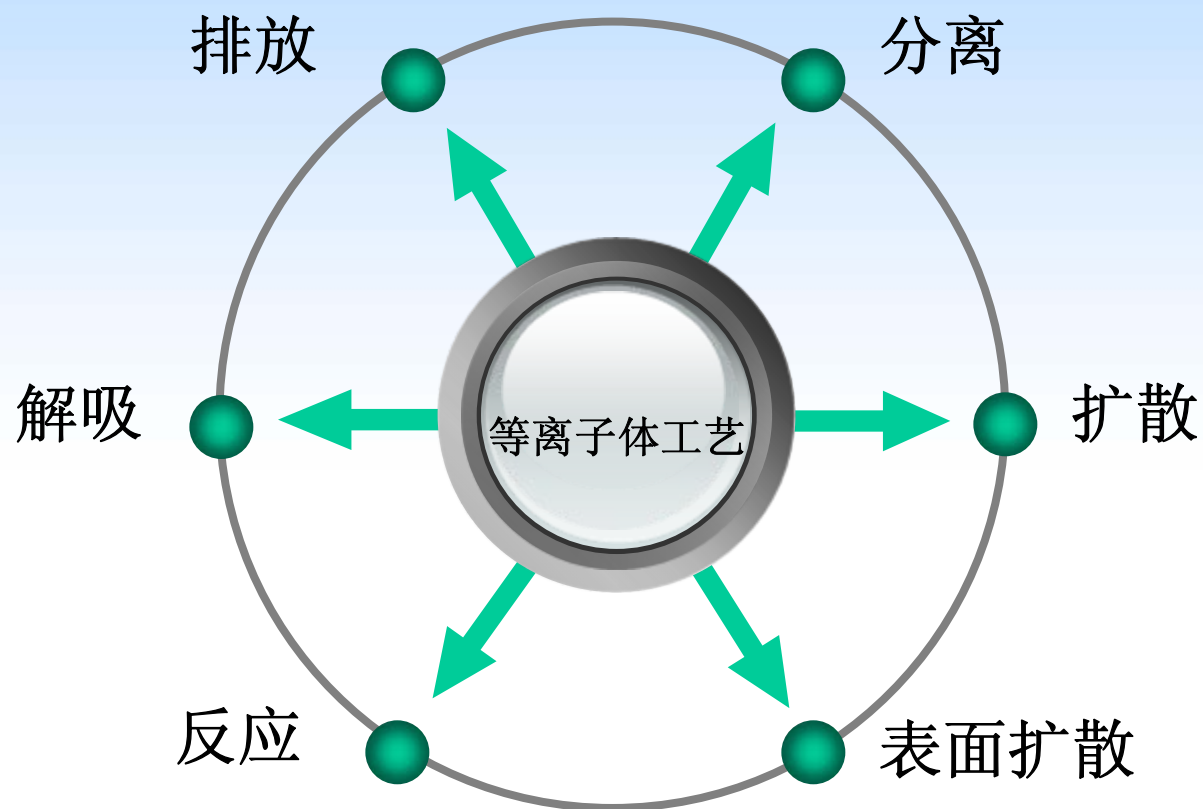
## 反应离子刻蚀（RIE）刻蚀原理

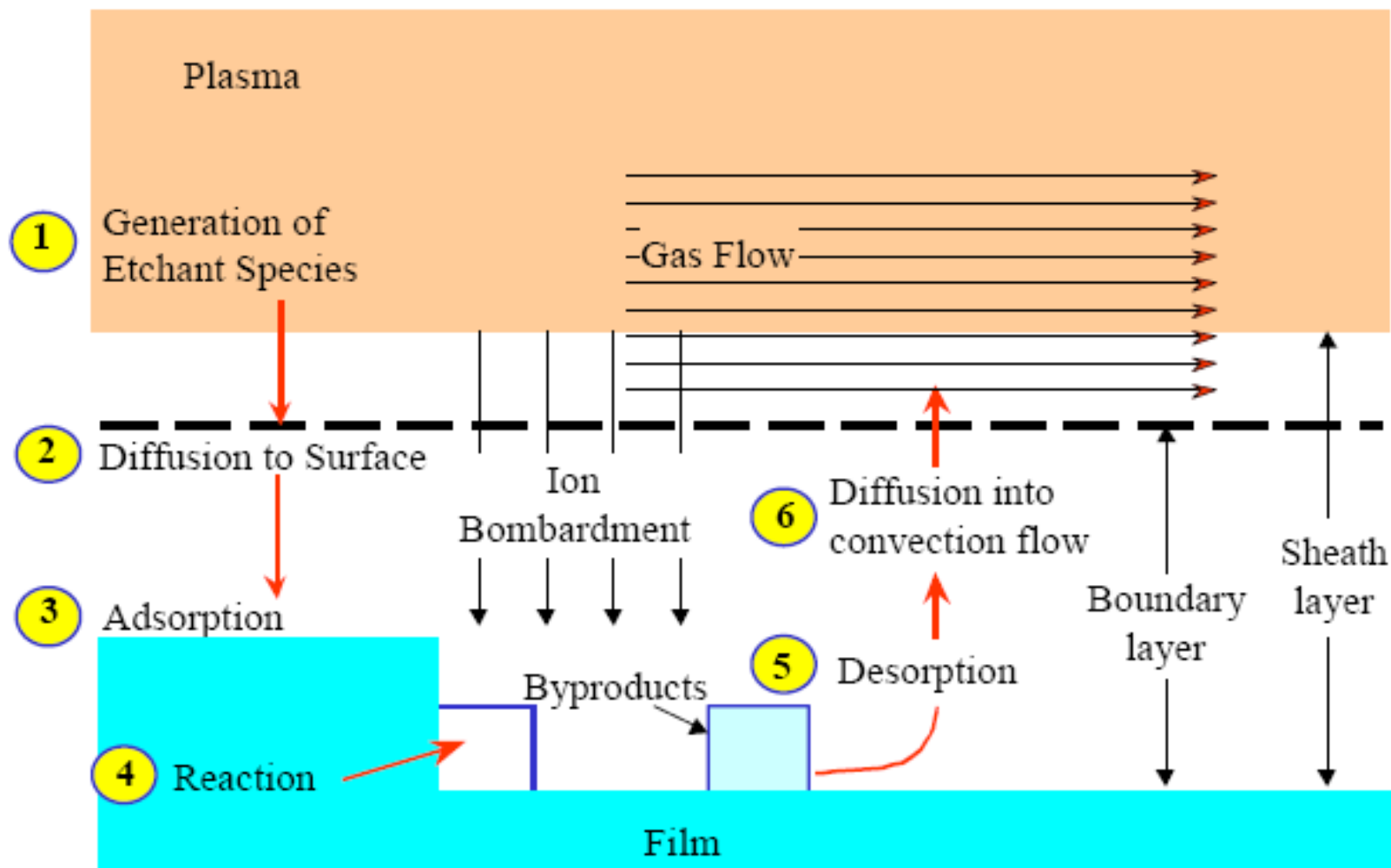
一种采用化学反应和物理离子轰击去除晶片表面材料的技术

- 刻蚀速率高、可控
- 各向异性，形貌可控
- 选择比高









## TEGAL PLASMA ETCHER, MODEL 903e

适用于150mm单片晶片上的 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 的刻蚀；  
刻蚀温度能控制在20—35度之间



1

**SiO<sub>2</sub>刻蚀**

光刻胶掩膜      Profile 85-90°  
刻蚀均匀性 <+/-5%

典型刻蚀速率:

PSG 6000 Å/min

热氧化SiO<sub>2</sub> 4000 Å/min

选择比:

SiO<sub>2</sub>: PR >5:1

SiO<sub>2</sub>: silicon/polysilicon ≥10:1

2

**Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>刻蚀**

光刻胶掩膜      Profile 85-90°  
刻蚀均匀性 <+/-5%

典型刻蚀速率:

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 4000 Å/min

PSG 6000 Å/min

选择比:

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: PR >3:1

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>: aluminum >100:1



## RIE 操作注意事项

- 初始设置为6寸片刻蚀，必须放在两侧片架里，左侧进片，右侧出片
- 每次程序运行前要将两边片架重新手动定位
- 射频源功率不宜设置过高，小于500W

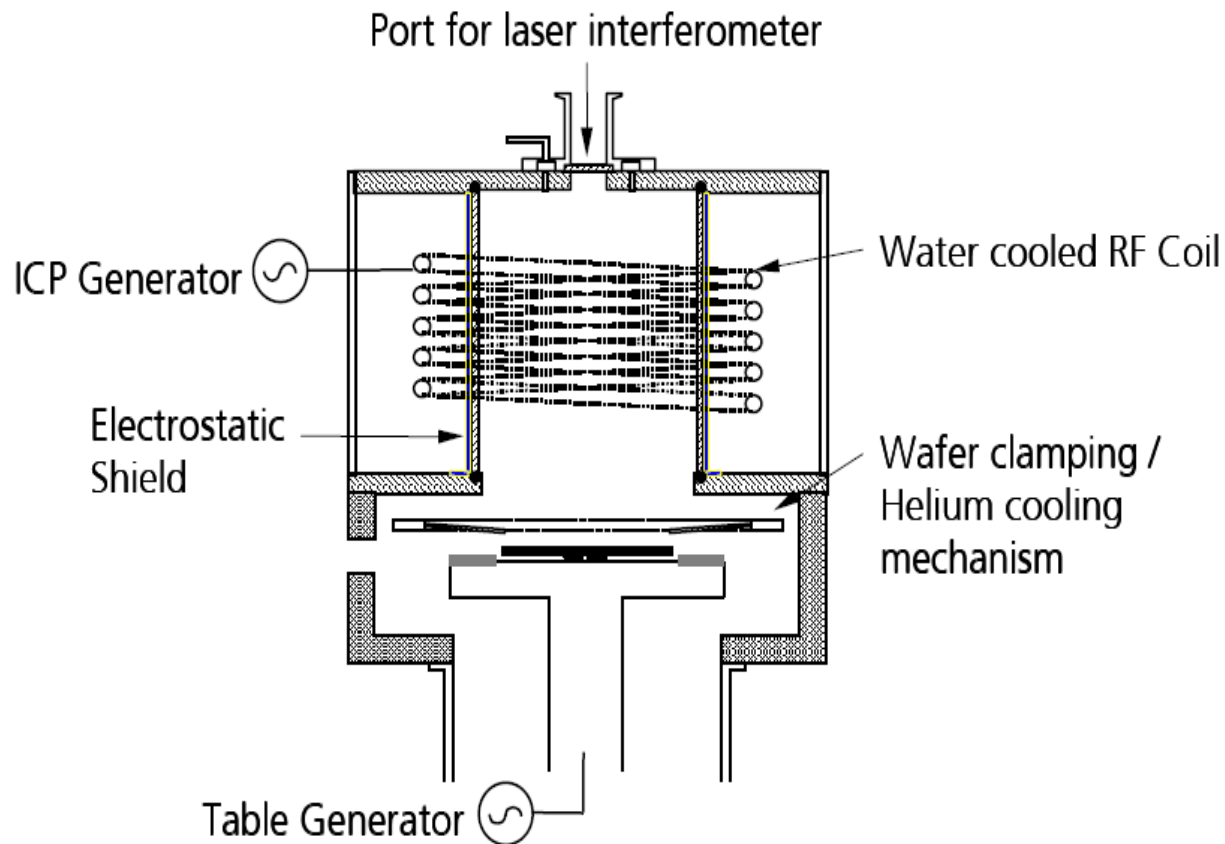


## 电感耦合等离子体（ICP）刻蚀原理

包括两套通过自动匹配网络控制的**13.56MHz**射频电源

一套连接缠绕在腔室外的螺线圈，使线圈产生感应耦合的电场，在电场作用下，刻蚀气体辉光放电产生高密度等离子体。功率的大小直接影响等离子体的电离率，从而影响等离子体的密度。

第二套射频电源连接在腔室内下方的电极上，此电极为直径**205mm**的圆形平台，机械手送来的石英盘和样品放在此台上进行刻蚀。

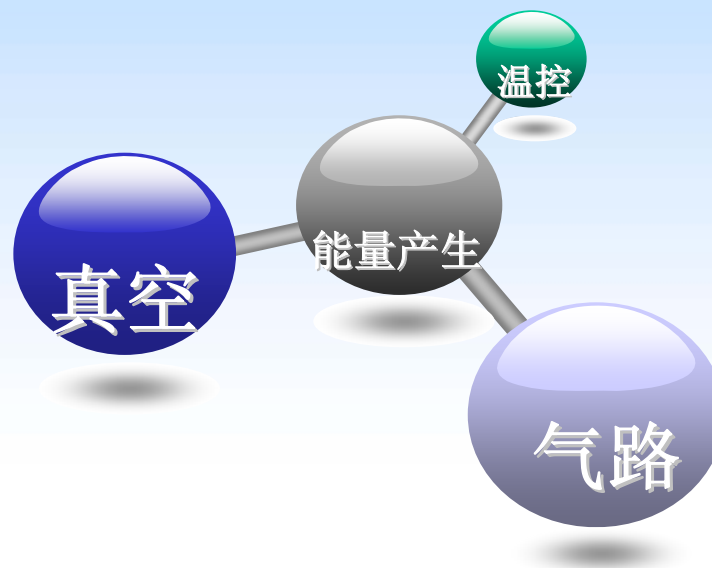


## RIE与ICP比较

<i><b>RIE</b></i>	<i><b>ICP</b></i>
离子密度低( $\sim 10^9 \sim 10^{10}/\text{cm}^3$ )	离子密度高 ( $> 10^{11}/\text{cm}^3$ ) (刻蚀速率高)
离子密度与离子能量不能分别控制 (离子密度大, 离子能量也大)	离子密度由 <b>ICP</b> 功率控制, 离子能量由 <b>RF</b> 功率控制
离子能量低, 刻蚀速率低	在低离子能量下可控离子流量达到高刻蚀速率 (形貌控制)
低压下刻蚀速率低	低压下由于高离子流量从而维持高刻蚀速率
<b>DC Bias</b> 高损伤大	低 <b>DC bias</b> 损伤小



## Oxford Plasma lab System 100 ICP 180

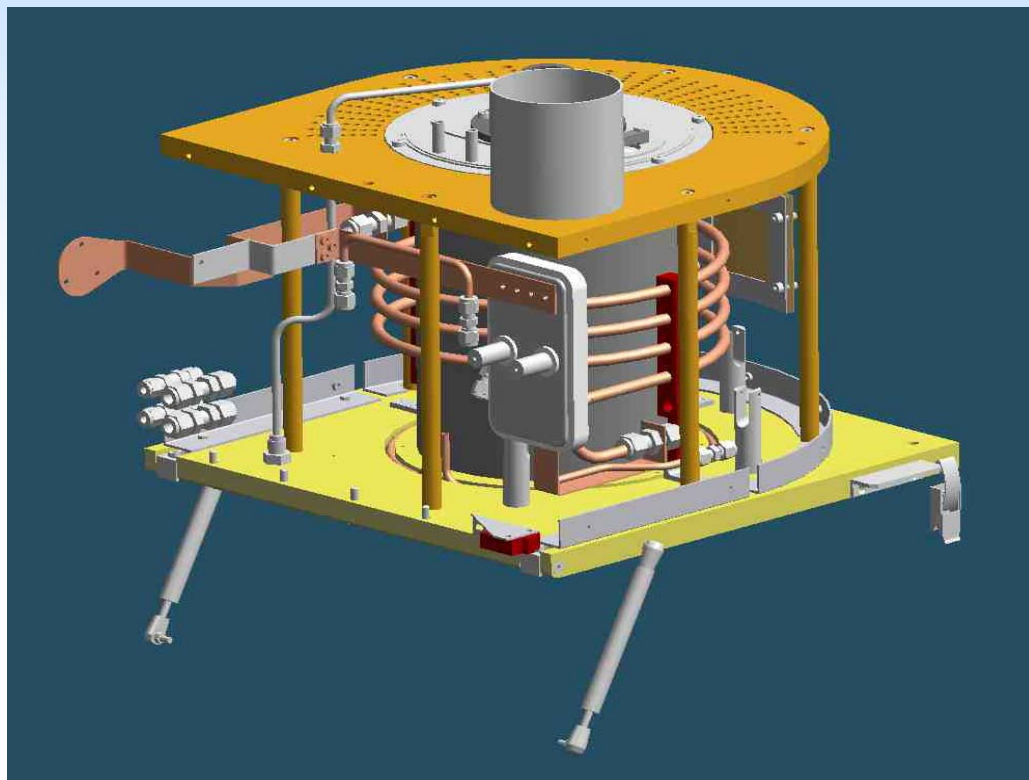


Wafers经由loadlock后再进出反应腔,确保反应腔维持在真空下不受粉尘及湿度的影响. 将有毒气体及危险气体与超净室隔离开



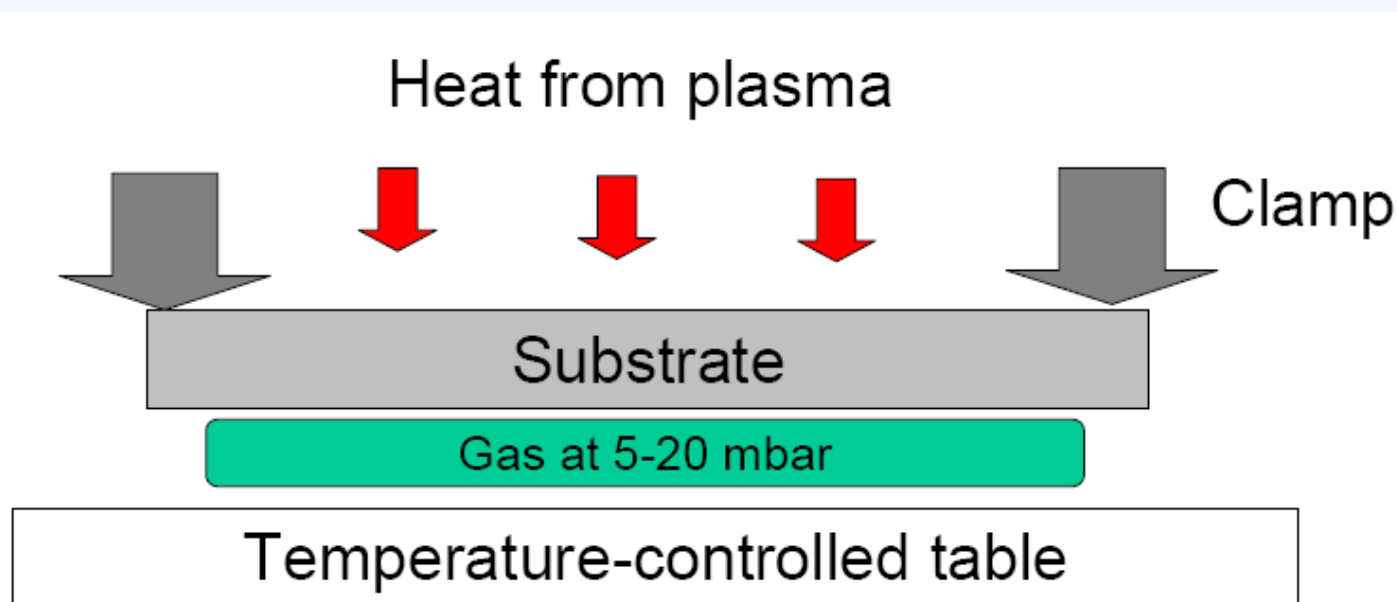


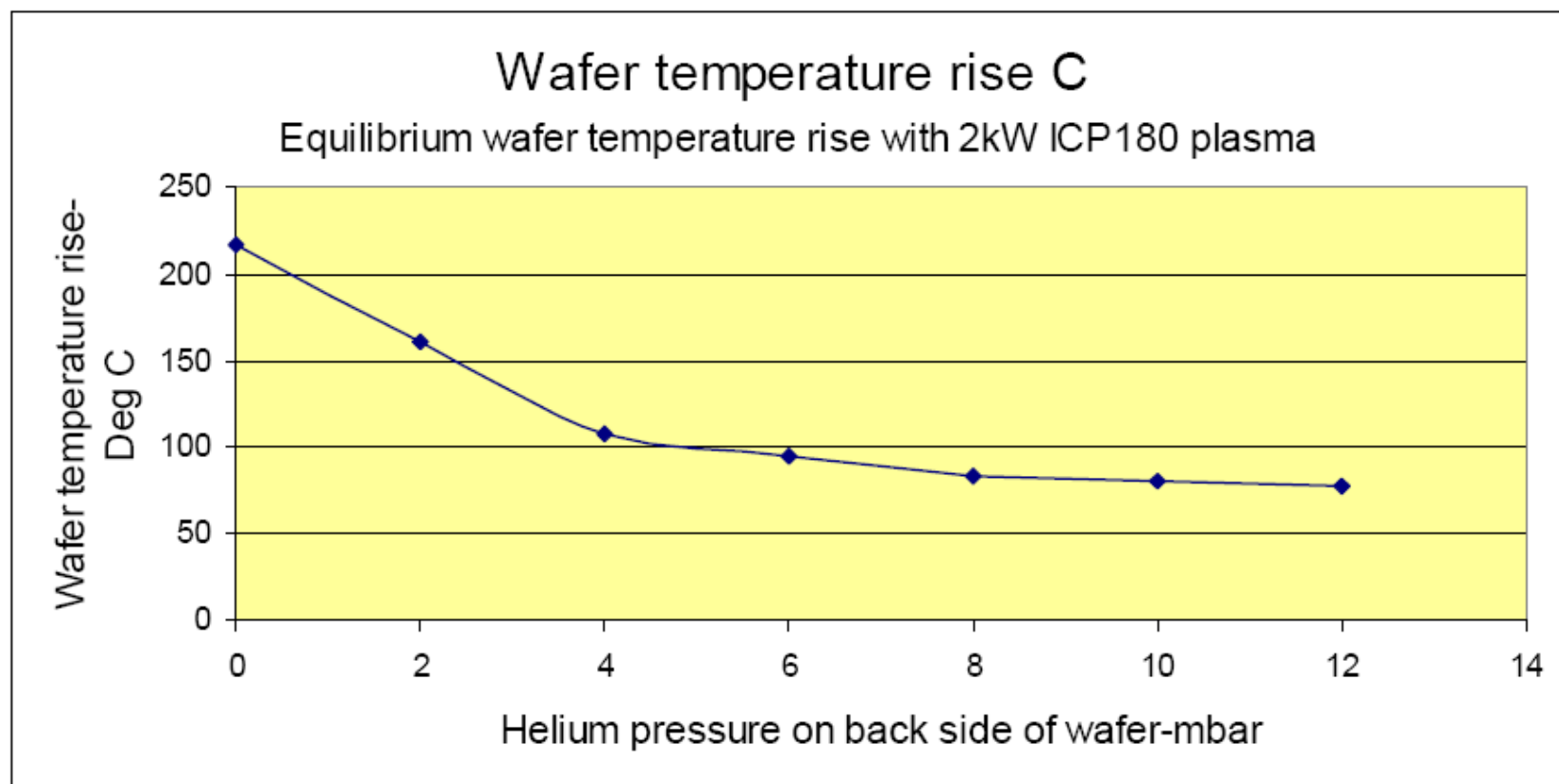
- ICP功率：0-3000W
- RF功率：0-1000W
- 压力范围：1-100mT
- 加工范围：6寸
- 工艺气体：  
C12, BC13, HBr, CH4, He, O2,  
H2, N2



## 氦气冷却原理

藉由氦气良好的热传导特性,能将芯片上温度均匀化



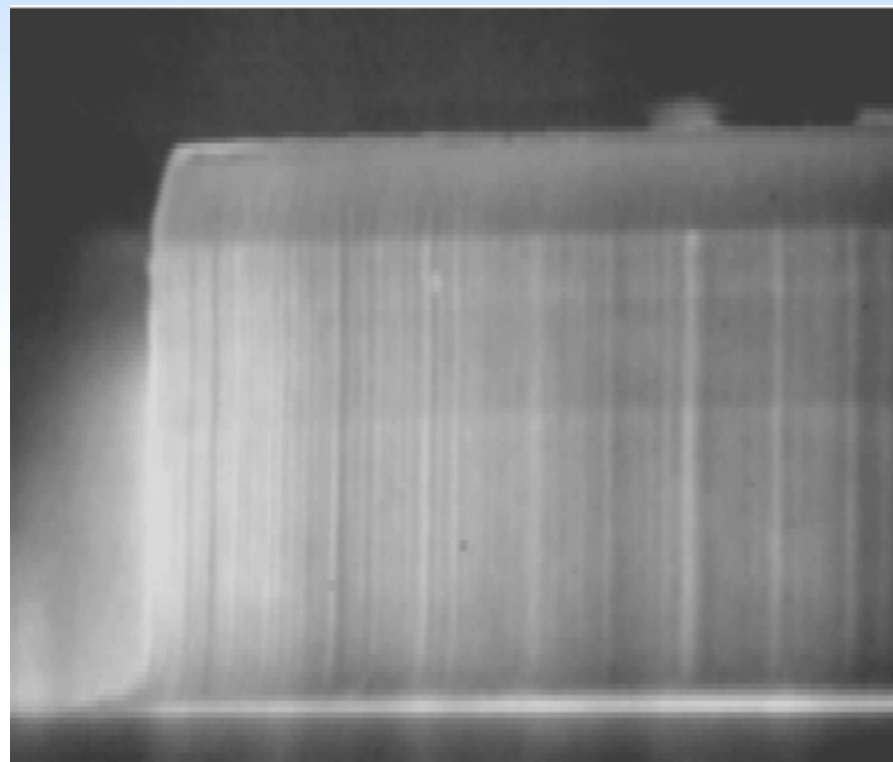
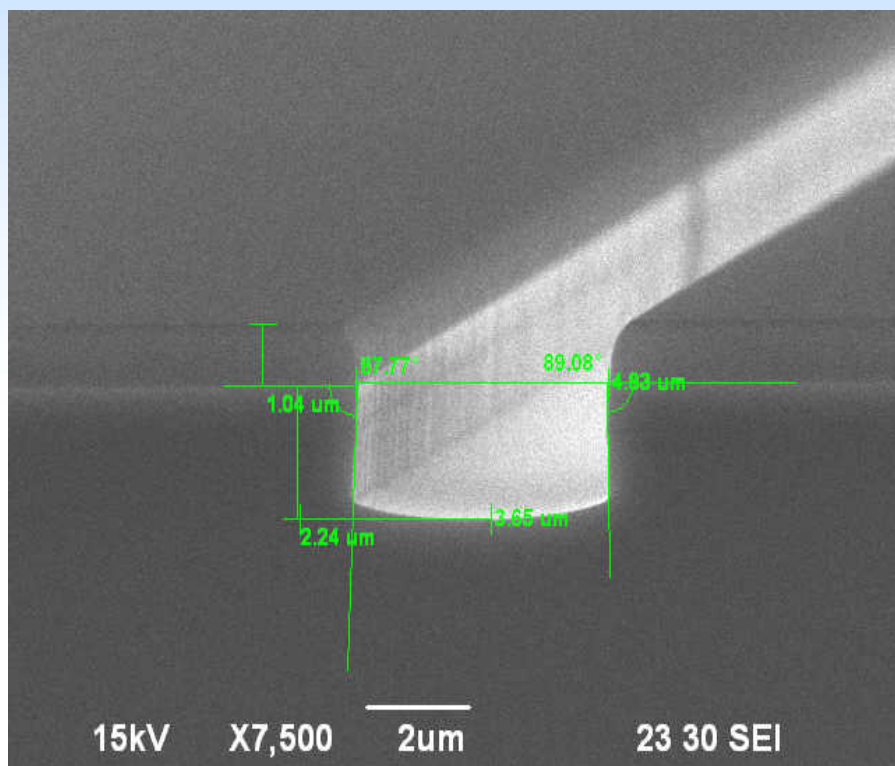


## ICP相关刻蚀数据

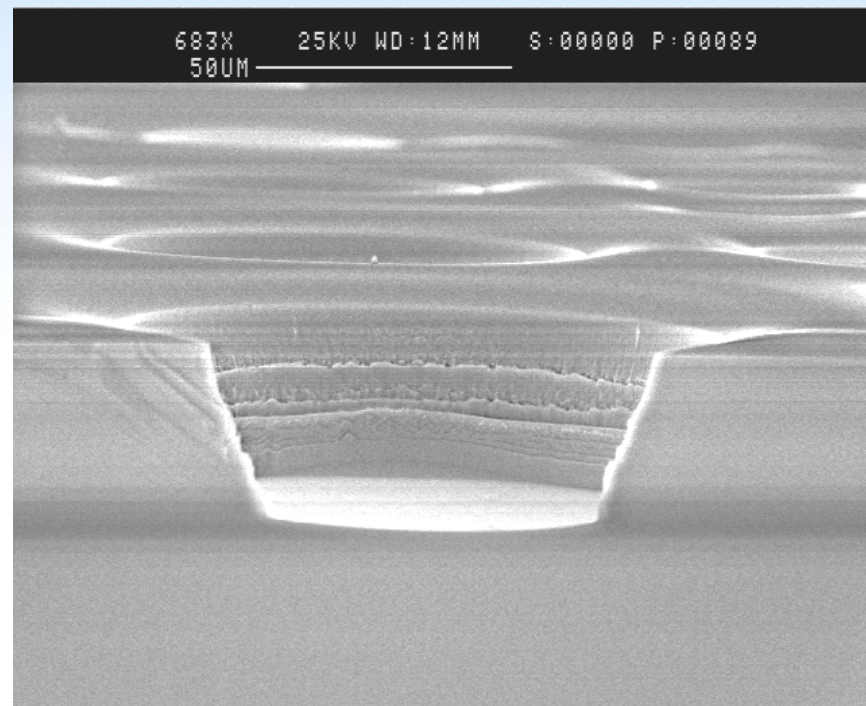
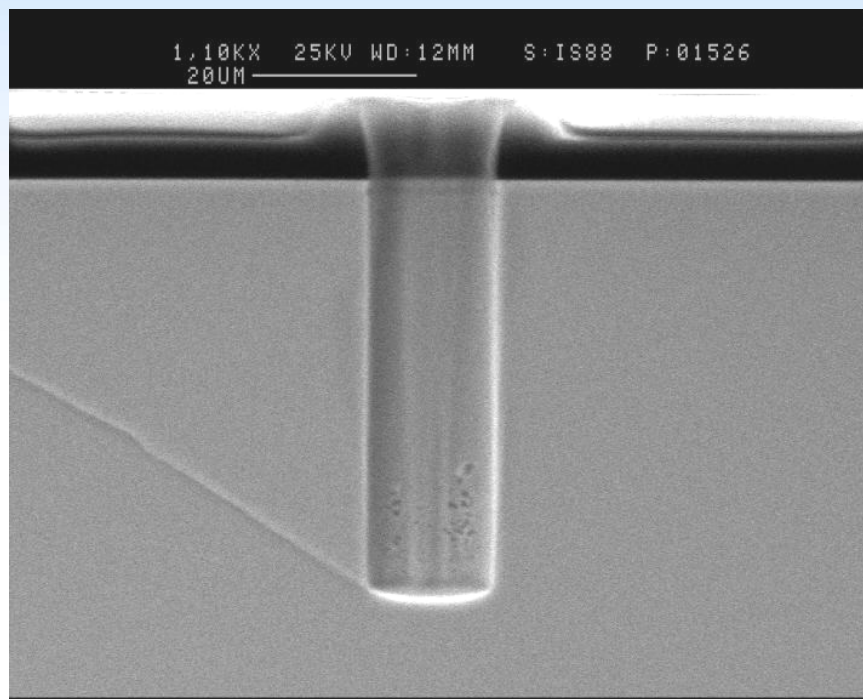
Material	Etch rate ( $\mu\text{m}/\text{min}$ )	Process Gas	Mask	Selectivity	Uniformity 2"	Repeatability	Profile
GaN	0.5~1	$\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$	$\text{SiO}_2$	5~10:1	$<\pm 2\%$ (1 x 2") $<\pm 4\%$ (4 x 2")	$<\pm 2\%$	$80^\circ \pm 2^\circ$
GaAs	$>0.3$	$\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$	PR	$>5:1$	$<\pm 3\%$ (1 x 2")	$<\pm 3\%$	$90^\circ \pm 2^\circ$
GaAs Via	$>2$	$\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$	PR	$>20:1$	$<\pm 3\%$ (1 x 2")	$<\pm 3\%$	$75^\circ - 90^\circ \pm 3^\circ$ Controllable
InP	$>2$	HBr	$\text{SiO}_2$	$>10:1$	$<\pm 3\%$ (1 x 2")	$<\pm 3\%$	$90^\circ \pm 2^\circ$



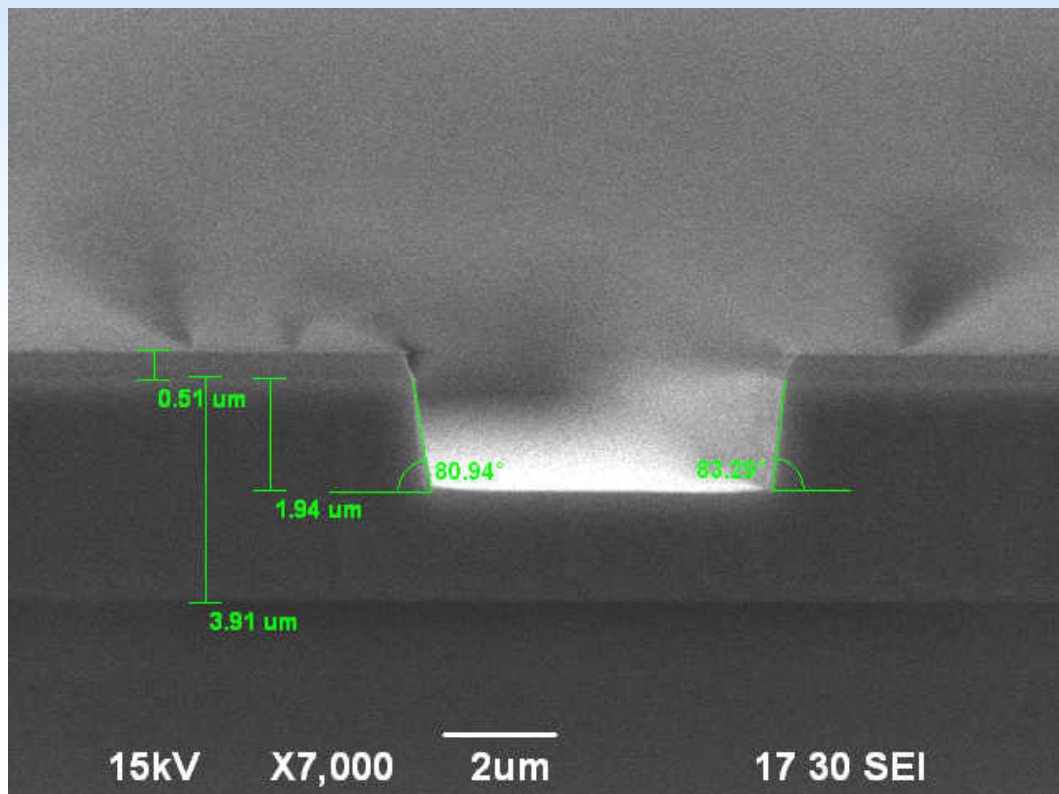
## GaAs 刻蚀



## GaAs 穿孔刻蚀

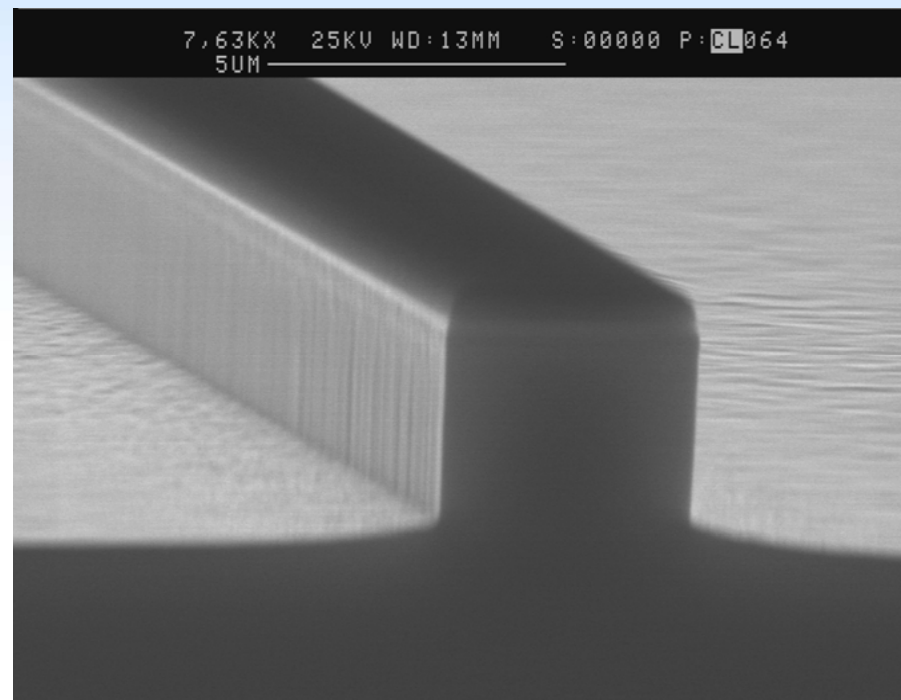
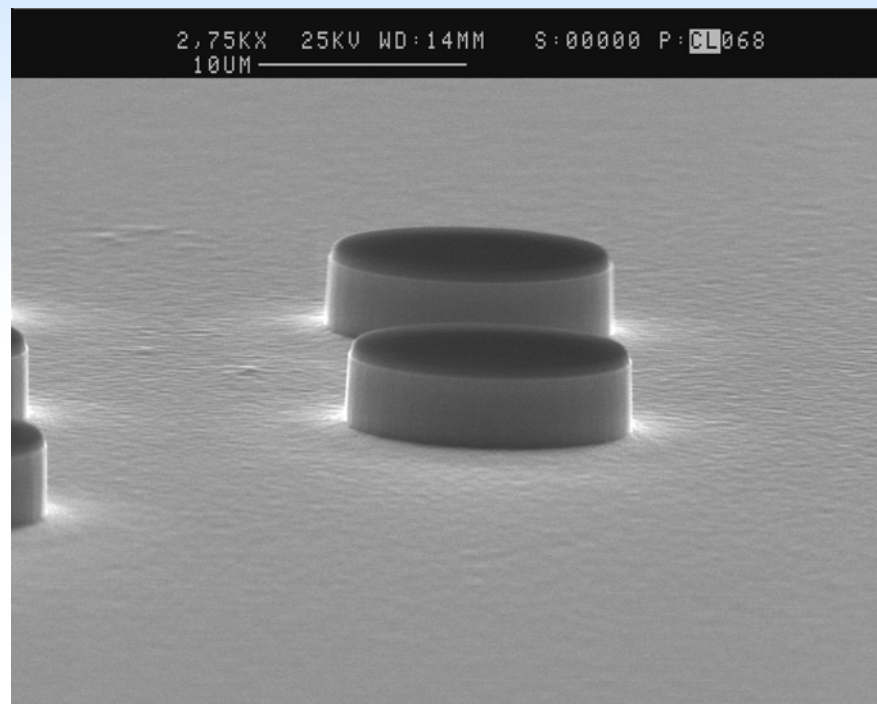


## GaN刻蚀





## InP刻蚀





## ICP操作注意事项

- 小片刻蚀时需要在片子背面涂真空油脂，放片、取片过程中应尽量避免油脂玷污片子图形表面，可用异丙醇擦除
- ICP Service模式权限很大，为避免误操作，仅限关闭真空装置时操作
- 在手动模式下进行托盘定位时，一定要注意门阀的开启状态及卡盘的升起与否，以免造成机械手、阀门、卡盘损坏
- 射频源功率不宜设置过高,ICP小于2000W,RF小于500W



## 加工过程中参数调节

温度

刻蚀速率，化学反应

功率

离子密度，离子能量

压力

离子密度，离子方向性，化学刻蚀

其他

气体流量，反应物材料，反应物洁净度，掩膜材料



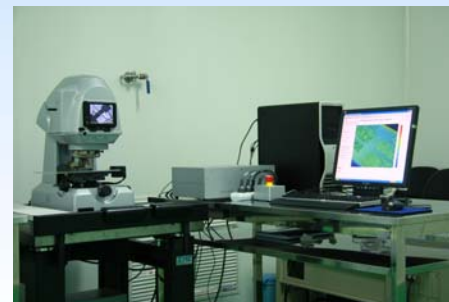
- 刻蚀前的准备要点  
操作者必须仔细阅读认真阅读操作说明，并明确每个部件在刻蚀系统中的作用  
检查水、电、气是否接好，并打开电源，冷却循环水，**N2**及压缩空气
- 检查所刻蚀的样品情况，掩膜厚度  
光学显微镜-表面洁净度，粗糙度  
**SEM**-掩膜形貌，表面粗糙度  
膜厚仪/台阶仪/光学轮廓仪-掩膜/薄膜厚度
- 若工作腔室处于真空，须先放气然后再放入刻蚀样品。  
进入真空室系统的样品或零件，绝对要求外部干净，尤其防止将水和易挥发性的固体或液体带入系统，放好样品后，即可开始抽真空  
刻蚀过程中密切关注监控系统，程序运行中不稳定情况，记录所有参数（功率，气体流量等）



➤ 刻蚀后的检查

- (1) 正面颜色是否异常及刮伤
- (2) 有无缺角及Particle

- 测量台阶高度——台阶仪,
- 测量膜厚——膜厚仪,
- 剖面形貌——SEM/光学轮廓仪



- 刻蚀上机操作培训 400元（暂定）
- 上机操作培训后有实习期  
实习期间需在平台刻蚀组人员在场的情  
况下进行操作



查强

Email: qzha2007@sinano.ac.cn



王瑗

Email: ywang2007@sinano.ac.cn

TEL: 62872627, 62872517



中科院苏州纳米所（筹）

www.sinano.ac.cn

谢谢



中科院苏州纳米所（筹）

[www.sinano.ac.cn](http://www.sinano.ac.cn)

# 附件

## • IBE操作流程

### 装片

- 1 关闭真空计“POWER”开关。
- 2 关闭工作台上的“主阀”按钮。
- 3 打开“放气阀”按钮。
- 4 等待1分钟左右，待N<sub>2</sub>充满整个真空室后，打开真空室门板，关闭“放气阀”按钮。
- 5 粘片：将样品台中间区域均匀的涂上为样片大小薄薄一层“7501”硅脂，用镊子夹住样片，将样片一边贴在硅脂上，慢慢地放下另一边，用镊子按住样片一端，在硅脂上稍稍移动样片，以便赶走样片与硅脂之间的气泡，使得样片与硅脂紧密粘在一起。（注意：如果用力过大，片子可能会碎裂）
- 6 完成粘片操作后，关闭真空室门板。
- 7 关闭“下道阀”按钮，打开“上道阀”按钮，此时机械泵对真空室抽取真空。等两分钟后，打开真空计“POWER”开关。
- 8 待真空计上显示“9E-1”时，打开“下道阀”按钮关闭第一组合单元上的“上道阀”按钮。
- 9 开启“主阀”，等待第三单元右边的真空计到达“5E-4”以下时，便可进行下面的刻蚀操作了



## 刻蚀

1开启“气体流量显示及控制”这一栏下方的截止阀，并将截止阀上方的开关拨向“阀控”，旋其右方的旋钮根据需要设定Ar气的气体流量。（一般稳定在4.7Sccm）

2开启“刻蚀时间显示及控制”在这一栏下方“旋转”与“冷却”按钮，并设定所需要的刻蚀时间。

3开启离子源开关，设定参数如下：

3.1调节“阴极”旋钮，使其上方的阴极电流量程表指示为5.5A-6A。

3.2调节“阳极”旋钮，直至起弧为止。（即阳极电流量程表有指数）

3.3调节“加速”旋钮，使其上方的加速电压量程表指数为180V。

3.4调节“屏栅”旋钮，使“离子能量”显示为所需要的数值。（此时加速电压可能会有波动，再次适当调节“加速”旋钮和“屏栅”旋钮，使其加速电压和离子能量达到所需要的数值）。

3.5调节“阴极”和“阳极”旋钮，使得“离子束流”显示为所需要的数值，同时要保证阳极电压量程表指示数为45V左右。（因为各电源之间有关联，调节过程需要配合进行）

3.6调节“中和”旋钮，使得“中和电流”显示为所需要的数值。（中和电流一般为离子束流的1.3---1.5倍之间）

4参数设定完毕后，开启“时控”按钮，此时，载片台上方的挡板移开，刻蚀开始，如果需要一定的入射角进行刻蚀，可以旋转门板上的手柄，使其载片台旋转至所需要的角度。

5按所规定的时间刻蚀完毕后，关闭“时控”按钮，此时，载片台上方的挡板又重新回到片子的上方了。（注意：如果刻蚀过程中，载片台有一定的角度，则在挡板重新回到片子上方前一定要将载片台扳到原来的0度，以免挡板与载片台相撞）





- 6关闭离子源各旋钮。
- 6.1关闭“中和”旋钮
- 6.2调节“屏栅”旋钮，使其离子能量降为200ev左右
- 6.3关闭“加速”旋钮
- 6.4关闭“屏栅”旋钮
- 6.5同时关闭“阴极”“阳极”旋钮
- 6.6关闭离子源开关
- 7关闭“旋转”按钮，等两分钟后，关闭“冷却”按钮（如果刻蚀时间长，需要多等一段时间再关“冷却”）
- 8将“气体质量流量显示及控制”这一栏下方的开关拨向“关闭”，关闭其下方的截止阀。

## 取片

- 1关闭真空计“POWER”开关
- 2关闭“主阀”按钮
- 3打开“放气阀”按钮
- 4等待1分钟左右，待N2充满整个真空室后，打开真空室门板。
- 5用镊子将样片夹起，放到滤纸上。
- 6用酒精棉球将样品台上的硅脂擦拭干净，待样品台上的酒精挥发干净后，关闭真空室门板。
- 7关闭“放气阀”按钮，关闭“下道阀”按钮，开启“上道阀”按钮。等几分钟后，开启真空计“POWER”开关。
- 8待真空计上显示“9E-1”时，开启“下道阀”按钮，关闭“上道阀”按钮。
- 9打开“主阀”，此时系统开始抽取高真空。



# ICP操作流程

## 装片

- 1.在Pump界面点击左边Pump图标下Stop，切换至Vent，120s后打开Loadlock
- 2.涂抹真空油脂：根据片子尺寸大小，在托盘上涂抹均匀一层油脂
- 3.放片：放片的时候要用镊子轻轻夹住样片，将样片一边贴在油脂上，慢慢地放下另一边，用镊子按住样片一端，在油脂上稍稍移动样片，以便赶走样片与油脂之间的气泡，使得样片与油脂紧密粘在一起。（注意：如果用力过大，片子可能会碎裂）

## 抽真空

- 1.在Pump界面点击左边Pump图标开启小机械泵，预抽Loadlock,至真空度到-2时可以进行刻蚀操作
2. 选择所需加热模式：  
根据样品选择所需加热模式Heater or Chiller，设定加热或冷却温度。  
当温度与真空度达到要求后进入Chamber界面



## 刻蚀

- 1.根据要求设定程序，确定工艺参数（气体流量、ICP功率、RF功率、压力、温度、时间等）
- 2.程序运行时，看起辉是否正常，适当修正匹配功率

## 取片

刻蚀完毕后，在Pump界面点击左边Pump图标下Stop，切换至Vent，打开Loadlock

## 去真空油脂

参照光刻工艺操作规范相应的去胶工艺步骤操作。结束后，检测并完成实验记录，移交样品。

