

# 实验一 反应离子刻蚀工艺及其半导体激光器工艺应用

- 姓名：李思涵
- 班级：无36
- 学号：2013011187

## 实验目的

- 了解反应离子刻蚀过程的物理原理
- 了解真空获取的方式及相关设备的基本结构
- 了解半导体异质结激光器的物理原理和基本结构
- 熟悉半导体异质结激光器的制作工艺过程

## 实验原理

### 反应离子刻蚀过程

反应离子刻蚀（RIE, reactive ion etching）是一种利用等离子体状态增强效应的干法刻蚀技术。刻蚀工艺的目的在于将光刻胶形成的光刻胶掩模图案转移到晶片表面。通过对光刻胶暴露区域的化学溶液腐蚀或者真空环境活性离子刻蚀实现表层结构被去除。前者称为湿法腐蚀（在化学溶液中进行），后者称为干法腐蚀（在无溶液环境中进行）。

而干法腐蚀有单纯利用惰性元素例子的物理轰击作用进行的比如离子束刻蚀技术，以及利用辉光放电形成的等离子体状态条件在样品表面进行化学反应的等离子刻蚀技术。

本次实验我们采用的是反应离子刻蚀技术，它综合利用了等离子体增强和物理轰击相结合的方法实现高效的刻蚀。

### 半导体异质结激光器

激光器至少包括以下三个部分：

- 增益介质，通过受激辐射的方式产生光放大；
- 汞浦源，可以使增益介质中产生粒子束反转；
- 两个镜面构成谐振腔，使光限制在其中并不断地反复行进。

而对于半导体激光器：

1. 使用半导体材料作为增益介质，利用直接带隙材料的受激辐射进行放大；
2. 采用**PN**结正向注入进行电泵浦；
3. 采用解理面构成谐振腔。

最后制作出的半导体激光器，从上到下主要包括以下几个部分：

- 欧姆接触层
- p-限制层
- 有源层
- n-限制层
- 缓冲层
- 衬底

其中衬底占据了大部分空间，而半导体激光器的核心——有源区则厚度极小，这样做是为了减少发热，防止激光器因发热过大而烧毁。

缓冲层则是为了缓冲原子应力在界面处的变化，从而防止衬底与其上的其他元件脱落。

欧姆接触层则是用于连接电极。

## 实验步骤

1. P型电极绝缘层：PECVD 沉积  $\text{SiO}_2$ （150 nm）；
2. 化学腐蚀背面（露出新鲜表面），制作 n 型背电极，电子束蒸发 Ti/Au 电极（200 nm）；
3. 光刻 p 型电极沟道：形成沟道光刻胶掩膜；
4. 完成  $\text{SiO}_2$  掩膜的干法刻蚀，去胶清洗；
5. P 型电极制作；
6. 解理样片，露出新鲜的端面，构成谐振腔；
7. 测试芯片发光过程。

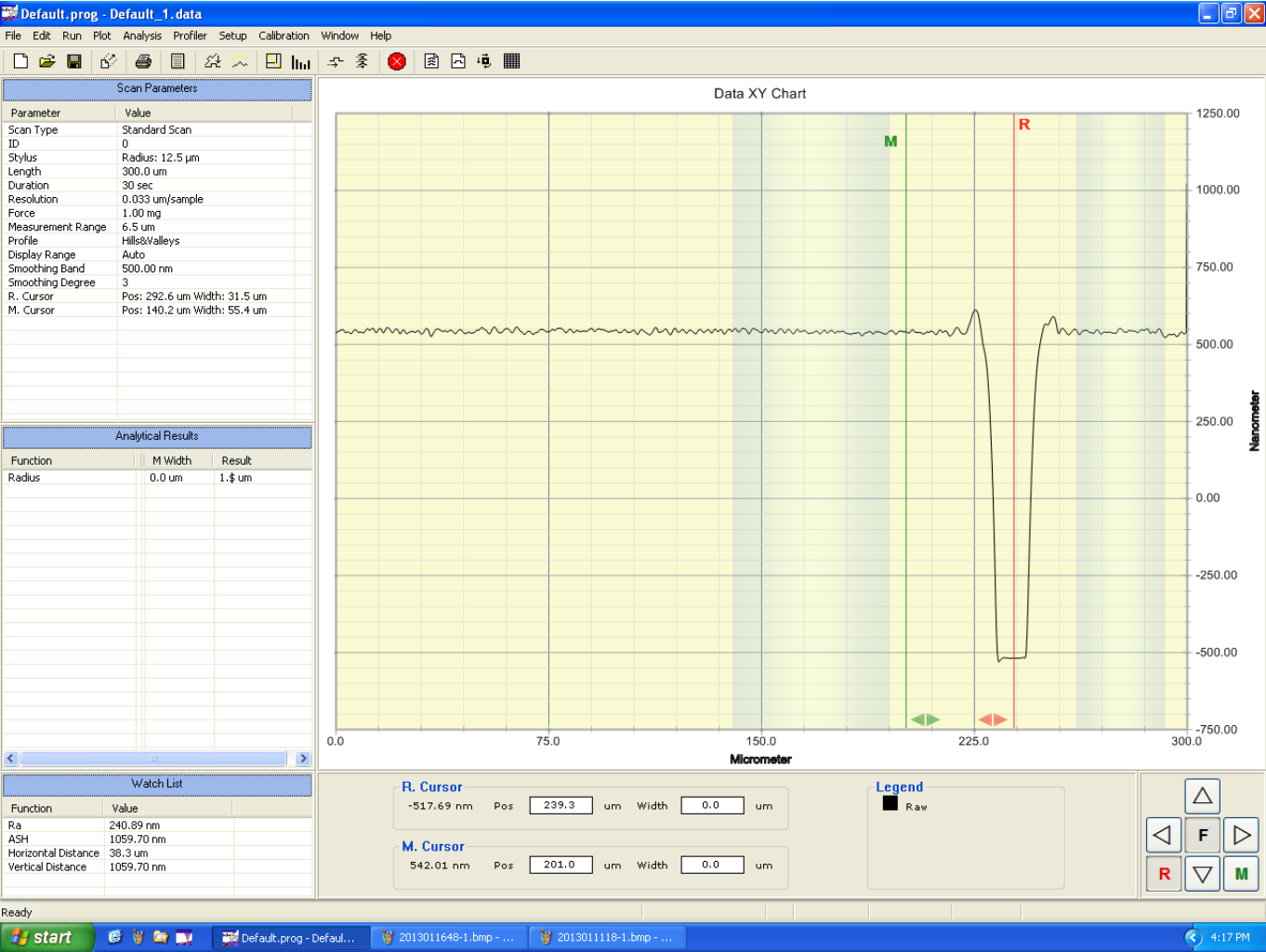
其中本次试验需要完成步骤 4，具体的步骤如下：

1. 台阶仪下测量带有光刻胶掩膜的厚度
2. RIE 干法刻蚀
3. 台阶仪下测量带有光刻胶+ $\text{SiO}_2$ 掩膜的厚度
4. 丙酮水浴5分钟，丙酮棉球擦去光刻胶
5. 显微镜下观察刻蚀区域和非刻蚀区域的颜色，观测刻蚀区域是否光亮（刻蚀干净）
6. 台阶仪下测量刻蚀的  $\text{SiO}_2$ ，计算光刻胶和  $\text{SiO}_2$  的被刻蚀的速度。

# 数据记录与处理

## 初始样片（带有光刻胶掩膜）

### 测量



- 厚度:  $h_1 = 1056.91 \text{ nm}$
- 宽度:  $w_1 = 13.5 \text{ }\mu\text{m}$

### 显微镜下



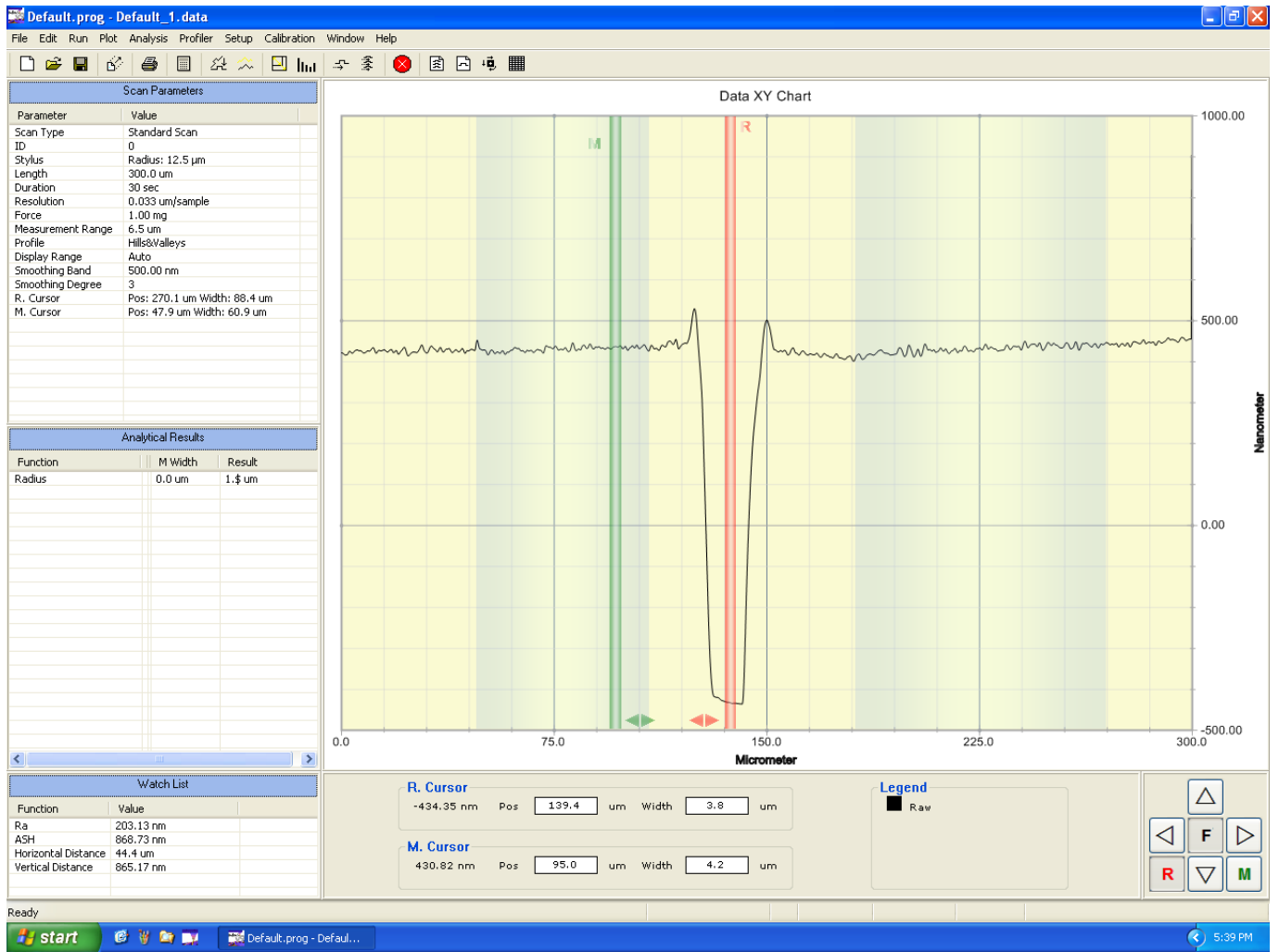
- 刻蚀区域：浅蓝
- 其他区域：浅棕

## 刻蚀后

### 反应条件

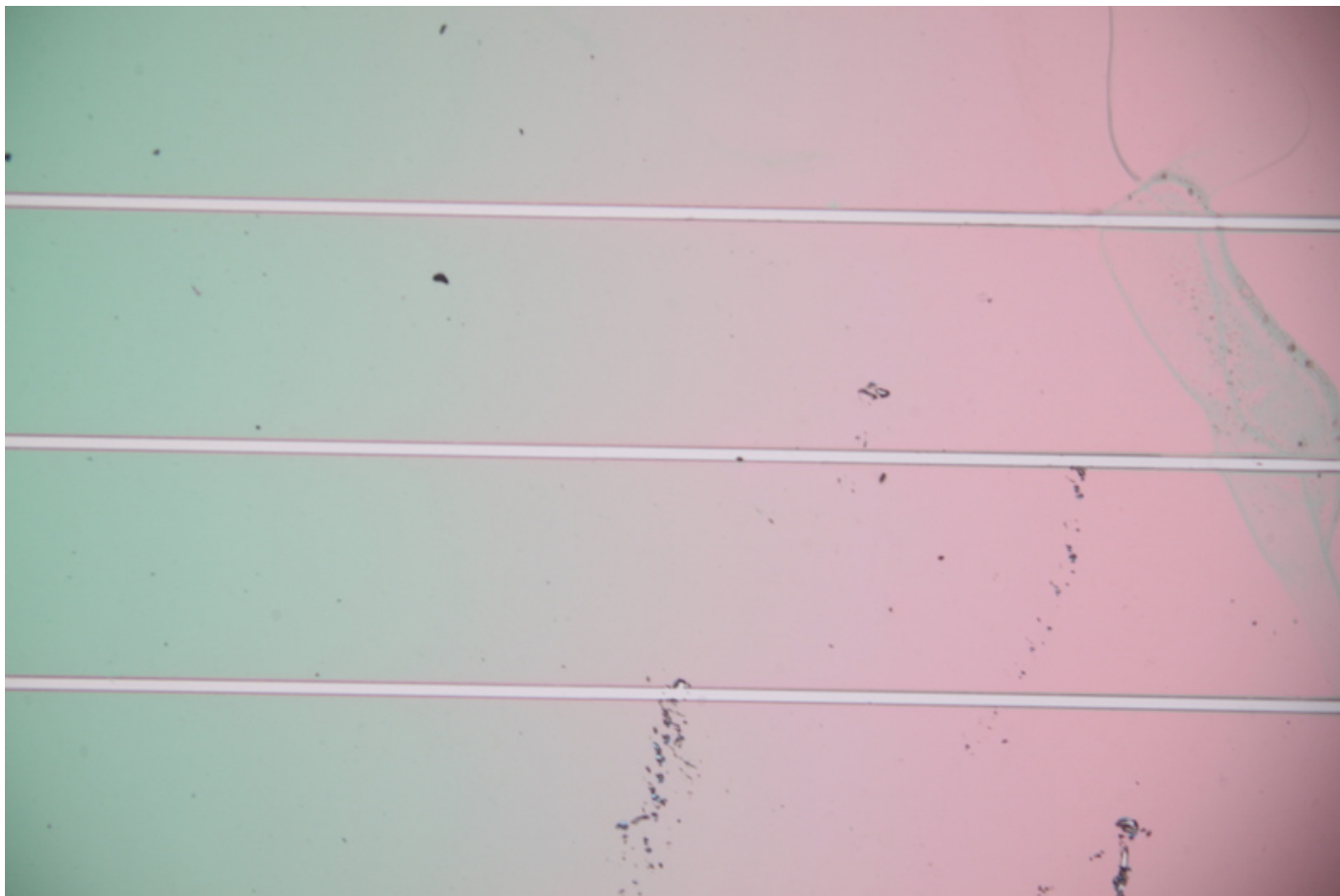
- 气体：SF<sub>6</sub>
- 流量：50 sccm
- 压强：5 Pa
- RF 功率：100 w
- 时间：3 分 45 秒

### 测量



- 厚度:  $h_2 = 862.23 \text{ nm}$
- 宽度:  $w_2 = 15.1 \text{ }\mu\text{m}$

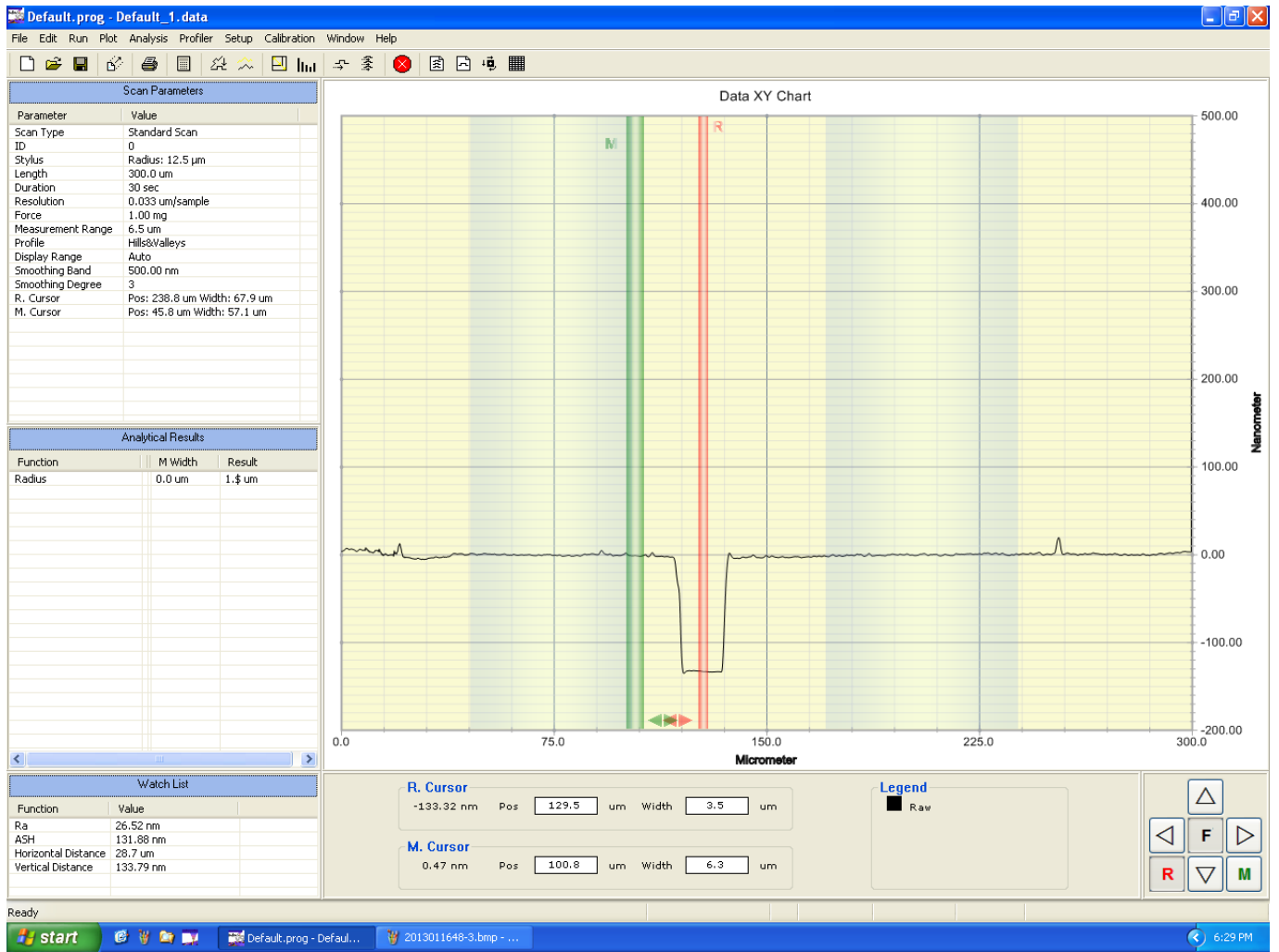
显微镜下



- 刻蚀区域：浅粉
- 其他区域：浅绿 => 粉色

清除光刻胶后

测量



- 厚度:  $h_3 = 133.79 \text{ nm}$
- 宽度:  $w_3 = 15.6 \text{ }\mu\text{m}$

显微镜下



- 刻蚀区域：橘红
- 其他区域：浅灰

## 计算刻蚀速率

### 光刻胶

$$\begin{aligned}v &= (h1 - (h2 - h3)) / t \\&= (1056.91 - (862.23 - 133.79)) / 225 \\&= 1.460 \text{ nm/s}\end{aligned}$$

### SiO<sub>2</sub>

$$\begin{aligned}v &= h3 / t \\&= 133.79 / 225 \\&= 0.595 \text{ nm/s}\end{aligned}$$

## 思考题

---



# 如何才能判断SiO<sub>2</sub>掩膜是否刻蚀干净？如何判断光刻胶是否去除干净？

通过上面三张显微镜照片可以看出，SiO<sub>2</sub> 为浅蓝色，衬底为橘红色，而光刻胶为浅棕色。

故要判断 SiO<sub>2</sub> 掩膜是否刻蚀干净，可以观察沟道的颜色是否变为了橘红色，并且没有浅蓝色残留。

而要判断光刻胶是否去除干净，则可以观察沟道外区域是否变成了浅蓝色（实际中观察到的为浅灰色） 并且没有浅棕色残留。

## 如果要刻蚀出窄的沟槽或脊条，会受到哪些条件限制？

## 湿法刻蚀和干法刻蚀分别有什么优缺点？反应离子刻蚀的效果与哪些因素有关？反应离子刻蚀是否容易实现垂直的侧壁？为什么？

### 湿法

#### 优点

- 极高的选择性
- 对衬底没有损伤
- 成本较小

#### 缺点

- 一旦开始较难停止
- 对温度较敏感
- 可重复性低
- 不能做到各向异性刻蚀
- 不能处理一些耐化学腐蚀的材料（如硅化碳，氮化镓）

### 干法

#### 优点

- 开始与终止方便
- 对较小的温度变化不太敏感
- 可重复性高
- 可以各向异性刻蚀
- 可以刻蚀一些湿法无法刻蚀的材料（如硅化碳，氮化镓）

## 缺点

- 选择性较低
- 对衬底有损伤
- 成本较高

## 影响反应离子刻蚀的效果的因素

- 腐蚀气体的选择

腐蚀气体应该能在高频电场下能提供有效的活性粒子，从而为之后的化学腐蚀和物理轰击提供原料。

- 选择性

腐蚀气体放电时应能产生合适的化学活性物质，才能使被刻蚀材料的刻蚀速率尽可能大于其它不希望被刻蚀的材料的刻蚀速率。

- 射频功率

射频功率决定了加速离子的速度，从而影响了其物理轰击的效果。

- 刻蚀时间

刻蚀时间直接决定了刻蚀的深度。要注意的是不同刻蚀时刻的刻蚀速率是不同的。

## 是否容易实现垂直侧壁

## 实验总结

在这次试验的过程中，我又复习了一遍激光器的工作原理，同时也学习到了半导体激光器的工作原理。

同时，我也意识到用镊子把样片夹来夹去是一件多么有技术含量的事情。