

## 1. 画出保护环终端的器件流程图

要求如下：如果不用刻蚀终端而采用保护环终端等注入终端，不用全外延生长，采用离子注入应该如何设计工艺流程呢？

做刻蚀终端，透光的环形区域最终会被刻掉一圈凹槽。

离子注入保护环终端，透光的环形区域让离子打进去，表面平整不会刻蚀掉

在做这个问题之前，我们首先要先去好好了解下这两种注入终端方式的差异在哪里

将刻蚀终端与保护环终端做下对比，要搞懂我们两种方法各自的优劣

### 1. 刻蚀终端：挖物理战壕，做减法

直接在器件周围“挖沟”。用物理或化学方法，把边缘不需要的材料切掉，形成深深的凹槽。

就像在防洪大坝外围挖一条隔离沟，把高电压电场物理上堵在大坝里面，不让它从侧面尖角处跑出去。

**优点是操作简单、对杂质浓度不敏感；缺点是表面不平整，容易受污染。**

### 2. 保护环终端（如右图截面）：设化学阻燃带，做加法

不在表面挖坑，而是在通过“离子注入”来画缓冲区。就像在大坝旁边铺设有特殊化学性质的“阻燃带”（保护环），搞笑点说，是悟空给师傅画的圈，洪水漫过来时，我们经过这些缓冲环一步步降压，最终平缓散去，不会直接冲垮大坝。

**优点是表面平整、结构稳定；缺点是对注入精度和杂质控制要求高。**

接下来再聊聊如果不用外延生长而是离子注入我设计工艺的思路

**他的核心就在于：用“高能多次离子注入”代替“厚外延生长”来制造承受高电压的漂移区。**

具体设计流程说说

- ① n+ SiC 衬底 / n- 漂移区准备
- ↓
- ② 生长屏蔽氧化层
- ↓
- ③ 光刻 1: 打开 p+ 主结和保护环窗口
- ↓
- ④ Al 离子注入形成 p+ 主结和 p+ 保护环
- ↓
- ⑤ 去胶、高温退火激活
- ↓
- ⑥ 沉积 SiO<sub>2</sub> / Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 钝化介质
- ↓
- ⑦ 光刻 2: 刻蚀接触孔
- ↓
- ⑧ 正面金属沉积与图形化
- ↓
- ⑨ 背面金属沉积, 完成器件

简单点说：**用保护环终端去代替刻蚀终端在主结外侧形成多个 p+ 保护环。保护环可以逐级分担边缘电场降低边缘电场的集中提高期间反向击穿电压。然后我们再去完成比如钝化沉积、刻蚀接触孔等后续工作形成器件**

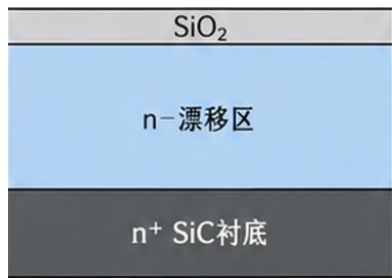
第一步：准备衬底，形成漂移区（替代外延）

准备一块高掺杂的 N 型衬底 (N+衬底)，对 N+衬底进行高能量、多次的 N 型离子注入 (如注入氮或磷)。通过调节能量和剂量，在衬底内部注入出一个类似天然长出来的“N-漂移层”，以满足器件耐压需求。

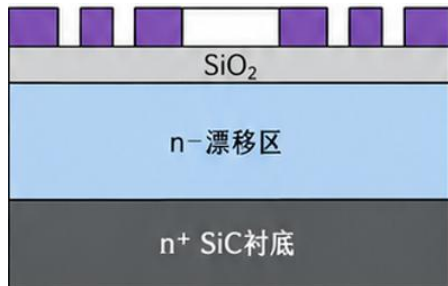


第二步：生长 SiO<sub>2</sub> 屏蔽氧化层

**目的：保护表面减少污染，同时让离子注入更加稳定**



第三步：画光刻胶，打开注入的窗口，形成阳极区(确定有源区域)



中间开大口——主结注入窗口

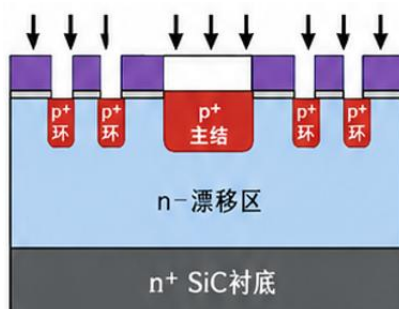
两边开小口——保护环注入窗口

第四步：在有源区（中心位置）进行 P 型高能离子注入，形成器件的阳极（P+区）主结。

然后在器件边缘，进行 P 型离子注入，形成一道或多道“保护环”。这就是替代刻蚀终端的平面保护环方案。

记得注意调整下注入的角度，像老师说的设为晶体法线的  $7\sim 10^\circ$  之间，要防止沟道效应产生！

生！保证器件性能



保护环是通过光刻打开窗口后离子注入形成！

第五步：后道工序——去光刻胶+退火激活



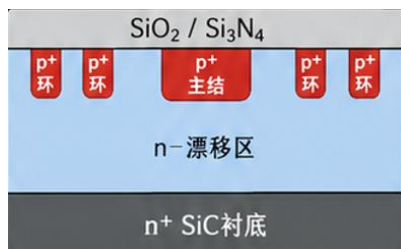
因为老师讲课时候说过，离子注入过程中，高能掺杂物离子将对靠近晶圆表面的硅晶体结构造成破坏，所以说注入离子后不一定全部处于有效晶格位置，一定要退火激活！（950°C）

去胶的方法我们可以用 O<sub>2</sub> 等离子体+SPM 清洗下

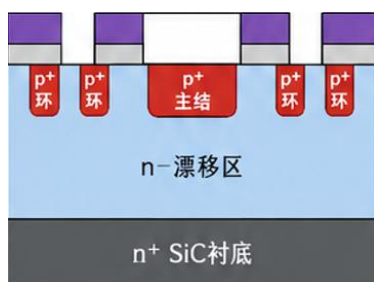
高温退火激活杂质 → 表面沉积钝化层（如氧化硅或氮化硅） → 开刻接触孔 → 溅射金属电极（阳极与阴极）。

第六步：沉积隔离介质，介质钝化

保护环中间表面要进行下介质钝化要不然会影响击穿电压的

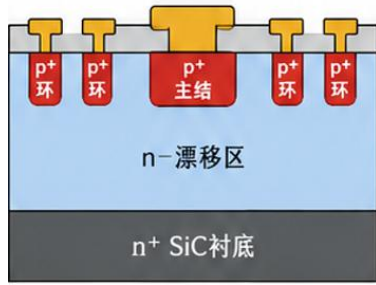


第七步：刻蚀接触孔



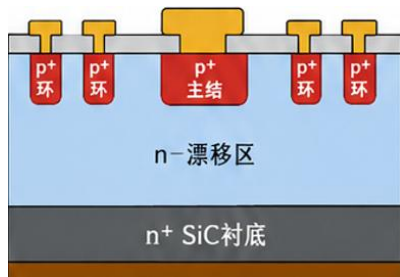
查了下说浮空保护环终端（FLR）不要开金属接触孔，别的地方我们刻蚀下用来接电极

第八步：正面金属沉积



金属布线比如说铜线或者近似绑定在 PAD 上，也就是说只在 PAD 裸露金属方便引线接合

第九步：背面金属沉积，器件制备 over



电子束蒸发+钝化层开窗，露出 PAD 焊盘

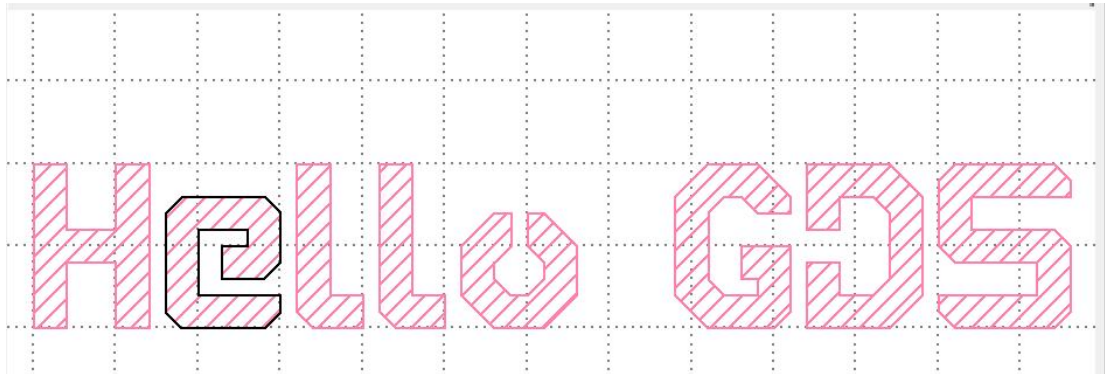
最底下沉积背面金属，比如镍银一类，作阴极

画的比较丑，所以借辅助工具制图汇总如下：



## 2. 画出刻蚀终端器件的光刻板

首先先做好准备工作。装好 python,将 gdsfactory 库文件导入，然后我是把 python 内嵌到 vs code 里了。在 vs code 里写 python 代码生成 gds 文件再用 layout 打开看图即可

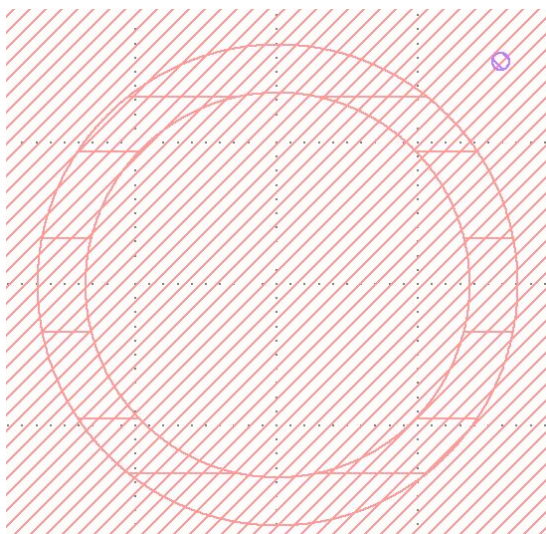


```
6 pdk = get_generic_pdk()
7 pdk.activate()
8
9 c = gf.Component("test_device")
10 rect = gf.components.rectangle(size=(100, 50), layer=(1, 0))
11 r = c << rect
12 r.move((0, 0))
13
14 text = gf.components.text("Hello GDS", size=20, layer=(1, 0))
15 t = c << text
16 t.move((0, 80))
17
18 c.write_gds("test_device.gds")
19 print("gds 文件已生成: test_device.gds")
```

```
S C:\Users\zhaog\Desktop\The fourth work> & C:\Users\zhaog\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe "c:/Users/zhaog/Desktop/The fourth work/test.py"
generic_tech'
S C:\Users\zhaog\Desktop\The fourth work> & C:\Users\zhaog\AppData\Local\Programs\Python\Python312\python.exe "c:/Users/zhaog/Desktop/The fourth work/test.py"
c:/Users/zhaog/Desktop/The fourth work/test.py:3: DeprecationWarning: The 'gdsfactory.generic_tech' module is deprecated and will be removed in a future version. Please update your imports to use 'gdsfactory.gpdk' instead.
from gdsfactory.gpdk import LAYER, LAYER_STACK, get_generic_pdk
generic_pdk
for submodules:
from gdsfactory.gpdk.layer_map import LAYER
from gdsfactory.gpdk.layer_stack import LAYER_STACK
from gdsfactory.generic_tech import get_generic_pdk
GDS 文件已生成: test_device.gds
S C:\Users\zhaog\Desktop\The fourth work> |
```

test\_device.gds 属性

| 常规              | 数字签名          | 安全 | 详细信息 |
|-----------------|---------------|----|------|
| test_device.gds |               |    |      |
| 文件类型:           | GDS 文件 (.gds) |    |      |

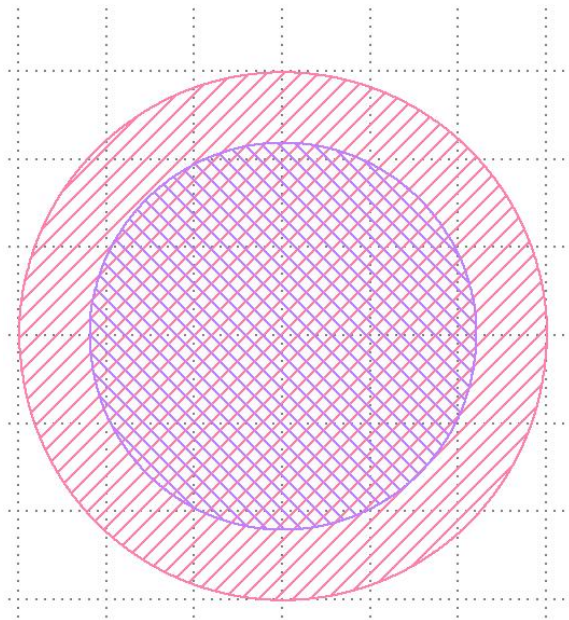


然后我们就可以按照要求绘制光刻板了

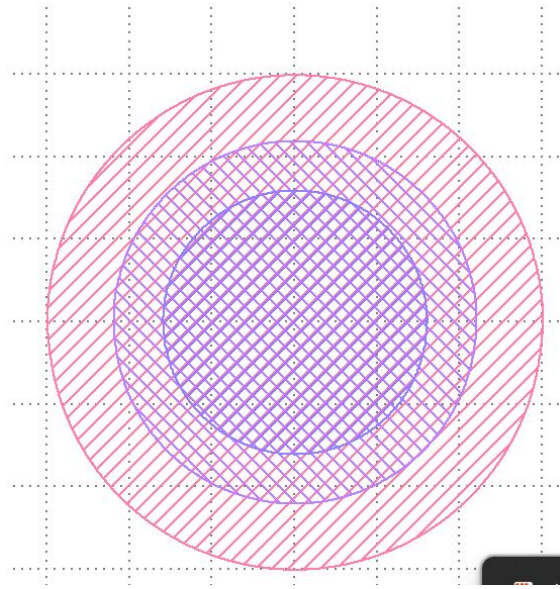
光刻板主要用于说明不同工艺步骤中需要被曝光、刻蚀或金属化的区域。因此，在绘制时应重点体现器件的有源区、刻蚀终端区、接触孔、正面金属、钝化开窗、焊盘以及对准标记等结构。

刻蚀终端器件的光刻板主要包括刻蚀层、接触孔层、正面金属层、钝化开窗层、PAD 金属层和对准标记层。其中 Mesa etch 层用于定义器件边缘的刻蚀终端区域，Contact open 层用于形成欧姆接触窗口，Front metal 层用于形成电极和引线，Passivation open 层仅在 PAD 区域开窗。

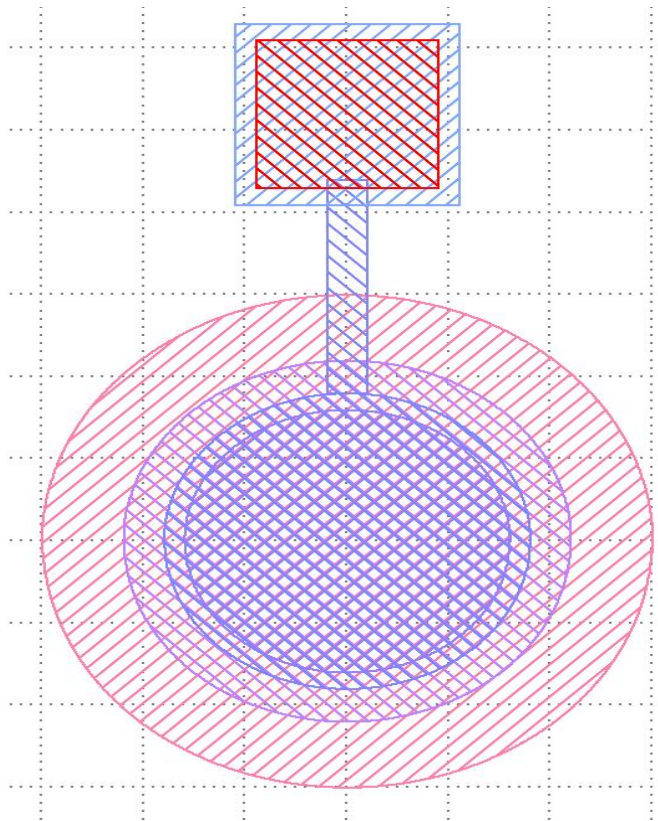
最开始想着用圆形解决比较好画，长得像个探测器



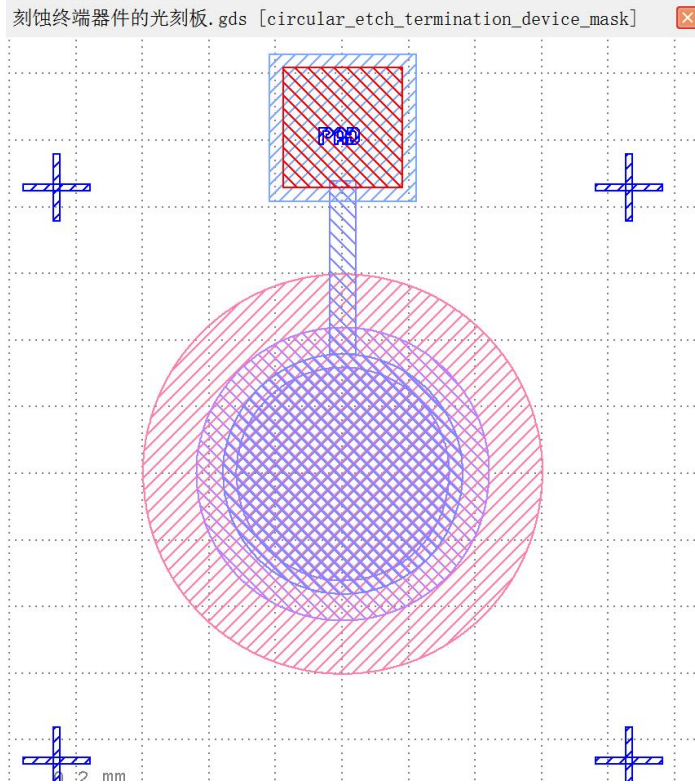
刻蚀终端外环+接触孔导通线路（p+注入）



钝化开孔一环，尺寸小点不要短路



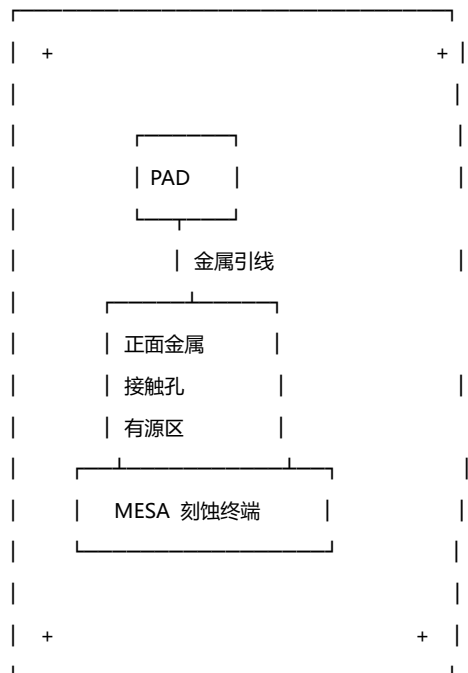
然后我们再加上金属桥部分，以及覆盖住主结的金属圆环点击以及 PAD 方块  
PAD 是后续打线连接的位置，所以要比普通金属线大  
金属层要覆盖接触孔但不能乱覆盖整个器件边缘，所以咱们得留点空间

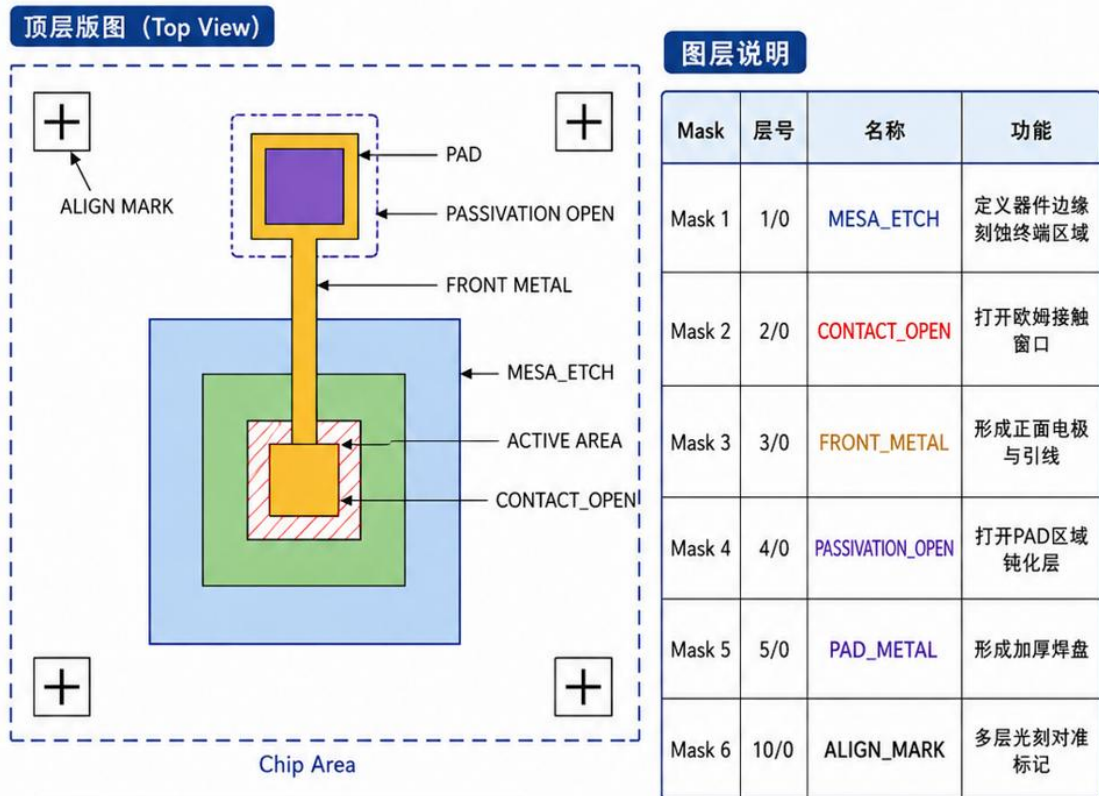


补点字，再加上光刻对准标记大概就是这样

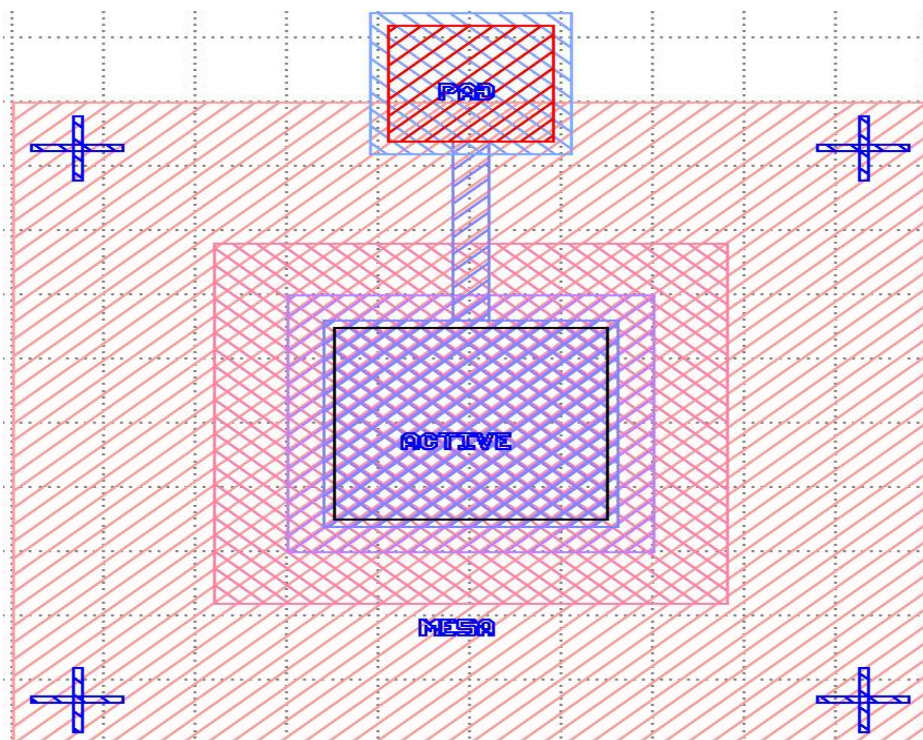
然后我通过了解学习到其实方形器件版图可能会更适合看这种重叠层次，比较清晰，我去看了看它大概的样板

手敲一下大致就长成这样子





然后用 python 去画一下样子，可以看到确实比圆环更能看出层次感来



```
homework.py > ...
38
39
40 # 金属引线
41 line = gf.components.rectangle(size=(metal_line_w, metal_line_l), layer=L_METAL)
42 line_ref = c << line
43 line_ref.move((-metal_line_w / 2, metal_radius))
44
45
46 # PAD
47 pad = gf.components.rectangle(size=(pad_size, pad_size), layer=L_PAD)
48 pad_ref = c << pad
49 pad_ref.move((-pad_size / 2, 430))
50
51
52 # 钝化开窗
53 pass_open = gf.components.rectangle(size=(pass_open_size, pass_open_size), layer=L_PASS_OPEN)
54 pass_open_ref = c << pass_open
55 pass_open_ref.move((-pass_open_size / 2, 410))
56
57
58 # 对准标记
59 def add_cross_mark(component, x, y, size=100, width=10):
60     h = gf.components.rectangle(size=(size, width), layer=L_PAS)
61     v = gf.components.rectangle(size=(width, size), layer=L_PAS)
62
63     h_ref = component << h
64     v_ref = component << v
65
66     return h_ref, v_ref
67
68 # 尺寸, 单位 μm
69 mesa_radius = 300
70 active_radius = 220
71 contact_radius = 160
72 metal_radius = 180
73 pad_size = 180
74 pass_open_size = 220
75 metal_line_w = 40
76 metal_line_l = 260
77
78 # 添加圆形结构
79 mesa = gf.components.circle(radius=mesa_radius, layer=L_MESA)
80 mesa_ref = c << mesa
81
82 active = gf.components.circle(radius=active_radius, layer=L_ACTIVE)
83 active_ref = c << active
84
85 contact = gf.components.circle(radius=contact_radius, layer=L_CONTACT)
86 contact_ref = c << contact
87
88 metal = gf.components.circle(radius=metal_radius, layer=L_METAL)
89 metal_ref = c << metal
```

最后说说总结些个人感想吧，其实我觉得希媛老师讲的真的很生动和深入浅出，但是有些问题看起来的确有点抽象，不是讲的不明白，只是可能确实要点门槛，很大程度原因在于我们可能平时学习很难接触到这么“干货”的东西吧，ppt中的内容也涉及好多以前从未了解过的知识，很新颖，激发了我的探索欲，但是在完成作业的时候难免会遇到好多困难，好多卡壳的地方从0学起，从画图开始构建结构云里雾里，感觉自己做的一点不“专业”。最近临近期末事情不少，如果放假了希望能静下心来多钻研钻研，发挥自己的自主学习能力多学习相关知识

刚开始我对光刻、注入、刻蚀、退火这些步骤的区别并不清楚，但在绘制流程图的过程中，我把每一步都拆开理解，逐渐建立起了完整的工艺流程概念。在画刻蚀终端器件光刻板时，我也认识到截面工艺图和俯视版图是不一样的。流程图更强调“器件怎么一步步做出来”，而光刻板更强调“每一层 Mask 具体画在哪里、起什么作用”。通过设计 Mesa 刻蚀区、接触孔、正面金属、PAD、钝化开窗和对准标记，我对半导体工艺中的多层光刻和版图设计有了更直观的认识。

总体来说，这次学习过程虽然中间遇到了不少问题，但每解决一个问题，我对半导体器件工艺、光刻板绘制和数据分析的理解都更深入了一点，在努力把这些知识串联起来了。