第 1 题：保护环终端器件工艺流程

与刻蚀终端的核心区别

刻蚀终端通过物理刻蚀台面来控制边缘电场，而保护环终端改用多圈浮空 p+注入环分散边缘电场，不需要刻蚀台面结构。

保护环终端工艺流程（共 9 步）

① N-外延层生长 在 N+衬底上生长 N-外延层。由于不需要全外延结构，省去了 P+外延层的生长步骤，工艺相对简化。

② 生长屏蔽氧化层 在硅表面生长约 100~200Å的薄 SiO_2层，作用是减小后续离子注入时的沟道效应，使掺杂分布更均匀可控。

③ 光刻定义保护环区域 用光刻工艺在屏蔽氧化层上开窗口，定义多圈 p+保护环的位置。保护环一般设计为围绕主结的多个同心环，间距逐渐增大。

④ p+保护环离子注入 向定义好的区域注入 p 型掺杂离子（如硼），形成多圈浮空 p+环。这些环通过调制耗尽层形状来分散边缘峰值电场，提高击穿电压。

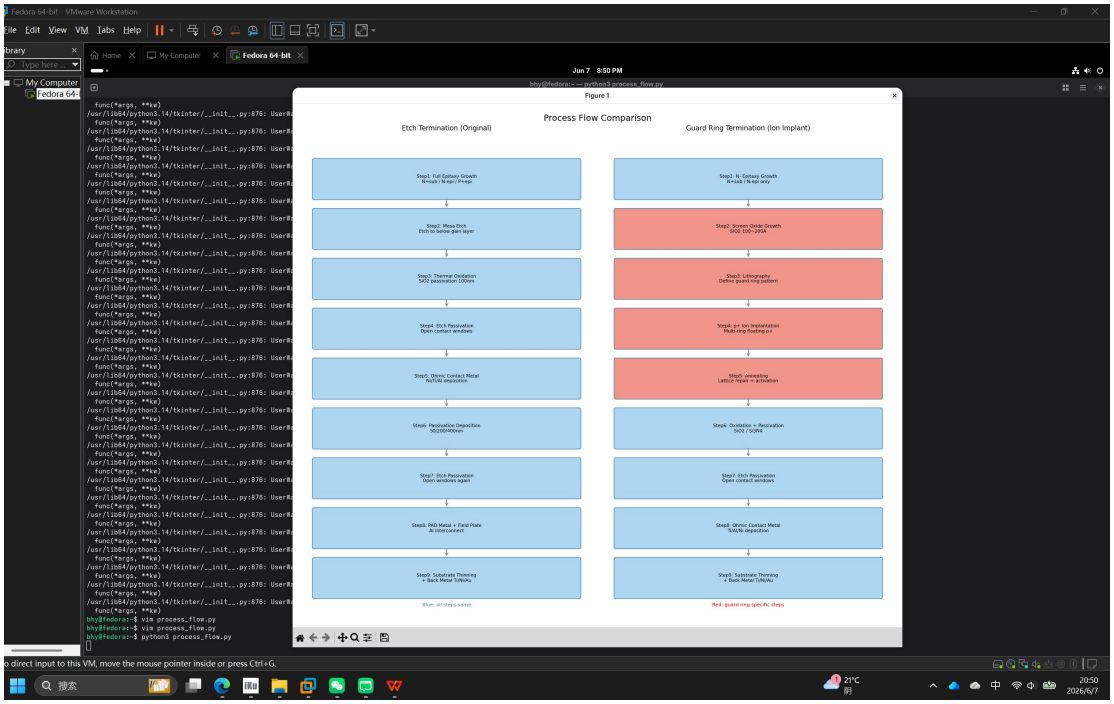
⑤ 高温退火 离子注入后进行退火，修复晶格损伤，激活掺杂原子，使其进入替代位并有效提供载流子。

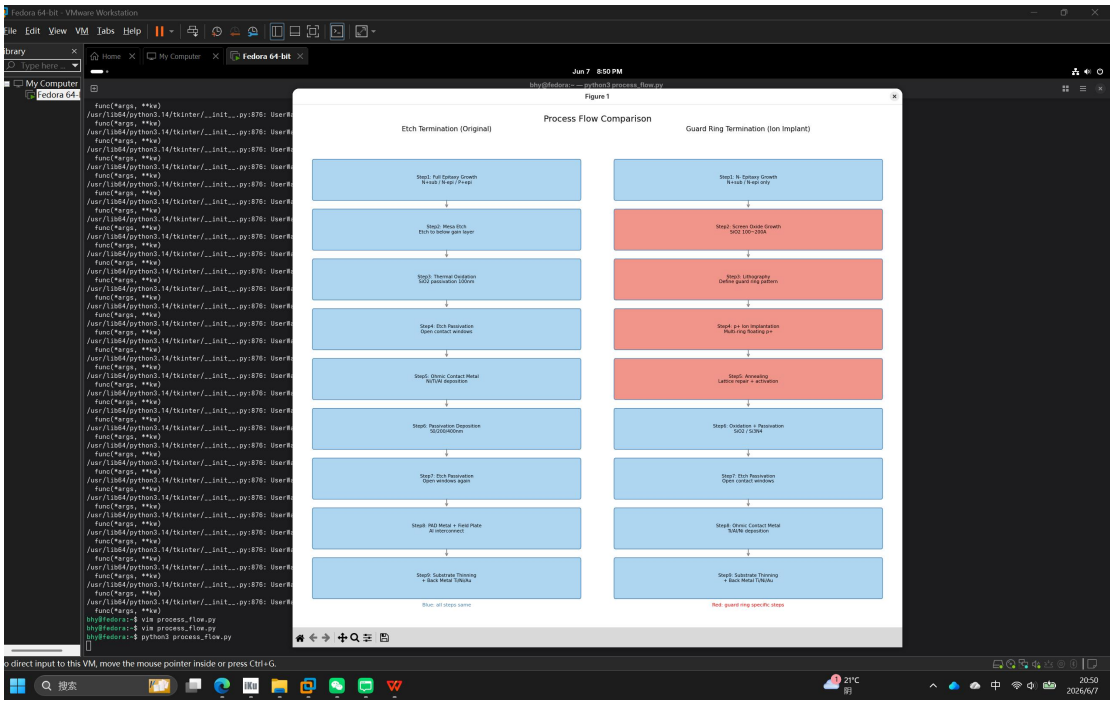
⑥ 热氧化 + 钝化层沉积 生长 SiO_2并沉积 Si_3N_4钝化层，对器件表面进行保护，防止污染和漏电。

⑦ 刻蚀钝化层开窗口 在欧姆接触区域刻蚀掉钝化层，暴露出需要形成金属接触的区域。

⑧ 欧姆接触金属沉积 在开窗区域沉积 Ti/Al/Ni 等金属，经退火处理形成良好的欧姆接触电极。

⑨ 衬底减薄 + 背面金属沉积 将衬底减薄至目标厚度，在背面沉积 Ti/Ni/Au 金属层，形成背面电极。





第 2 题：刻蚀终端器件光刻板版图

刻蚀终端器件共需 **4~5 块光刻掩膜版**，每块对应一道关键光刻工序，各层之间需要精确对准。

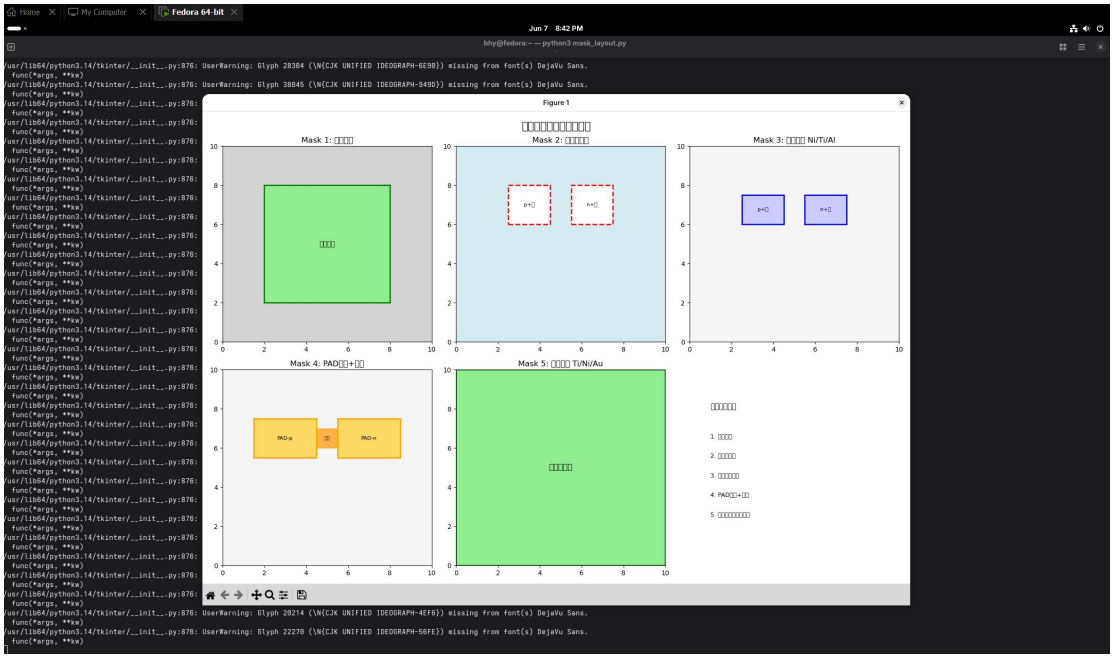
Mask 1：台面刻蚀版 定义器件有源区。保留区域为中心台面（有源区），周边区域通过刻蚀去除外延层至增益层以下，形成台面终端结构。对准标记在此层首次定义，供后续各层对准使用。

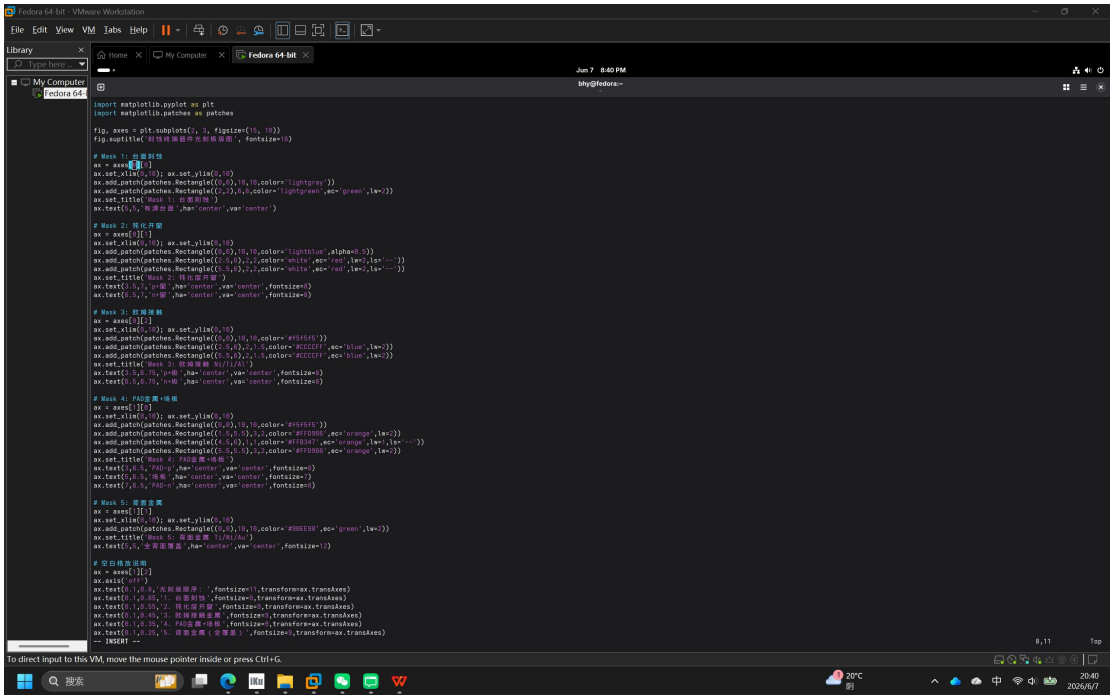
Mask 2：钝化层开窗版 在 SiO_2钝化层上开出欧姆接触窗口。用虚线框标示需要去除 SiO_2的区域，p+和 n+区域分别独立开窗，需与 Mask 1 精确对准。

Mask 3：欧姆接触金属版 定义 Ni/Ti/Al 欧姆接触电极的图形。金属图形略小于开窗区域，采用 Lift-off 或刻蚀工艺形成，退火后在 p+和 n+区域分别形成良好的欧姆接触。

Mask 4：PAD 金属 + 场板版 定义 Al 互连金属、焊盘及场板图形。PAD 为最终焊线区域，场板延伸覆盖台面边缘，用于降低边缘峰值电场，提高器件可靠性。Al 厚度通常为 2~4μm。

Mask 5：背面金属版（通常全面覆盖） 衬底减薄后在背面蒸发或溅射 Ti/Ni/Au 金属层，一般为全面积覆盖，无需图形化，通常不需要单独的光刻版。


Home
My Computer
Fedora 64-bit
Jun 7 8:42 PM
bhy@fedora:~ — python3 mask_layout.py
Figure 1
□□□□□□□□□□□□
Mask 1: □□□□
Mask 2: □□□□□
Mask 3: □□□□□ NI/Ti/Al
Mask 4: PAD□□+□□
Mask 5: □□□□ Ti/Ni/Au
□□□□□□□
1. □□□□□
2. □□□□□□□
3. □□□□□□□□
4. PAD□□+□□
5. □□□□□□□□□□□
User Warning: Glyph 28304 (\N{CJK UNIFIED IDEOGRAPH-6E8B}) missing from font(s) DejaVu Sans.
User Warning: Glyph 38845 (\N{CJK UNIFIED IDEOGRAPH-979D}) missing from font(s) DejaVu Sans.
User Warning: Glyph 20214 (\N{CJK UNIFIED IDEOGRAPH-4ED6}) missing from font(s) DejaVu Sans.
User Warning: Glyph 22270 (\N{CJK UNIFIED IDEOGRAPH-56FE}) missing from font(s) DejaVu Sans.


Fedora 64-bit - VMware Workstation
File Edit View VM Tabs Help
Library
My Computer
Fedora 64-bit
Home
My Computer
Fedora 64-bit
Jun 7 8:40 PM
bhy@fedora:~
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as patches
fig, axes = plt.subplots(2, 3, figsize=(15, 10))
fig.suptitle('射频特殊器件光刻板版图', fontsize=16)
# Mask 1: 台面刻蚀
ax = axes[0][0]
ax.set_xlim(0,10); ax.set_ylim(0,10)
ax.add_patch(patches.Rectangle((0,0),10,10,color='lightgray'))
ax.add_patch(patches.Rectangle((2,2),6,6,color='lightgreen',ec='green',lw=2))
ax.set_title('Mask 1: 台面刻蚀')
ax.text(5,5,'有源台区',ha='center',va='center')
# Mask 2: 钝化开窗
ax = axes[0][1]
ax.set_xlim(0,10); ax.set_ylim(0,10)
ax.add_patch(patches.Rectangle((0,0),10,10,color='lightblue',alpha=0.5))
ax.add_patch(patches.Rectangle((2.5,6),2,2,color='white',ec='red',lw=2,ls='--'))
ax.add_patch(patches.Rectangle((5.5,6),2,2,color='white',ec='red',lw=2,ls='--'))
ax.set_title('Mask 2: 钝化窗开窗')
ax.text(3.5,7,'p+窗',ha='center',va='center',fontsize=8)
ax.text(6.5,7,'n+窗',ha='center',va='center',fontsize=8)
# Mask 3: 欧姆接触
ax = axes[0][2]
ax.set_xlim(0,10); ax.set_ylim(0,10)
ax.add_patch(patches.Rectangle((0,0),10,10,color='#f5f5f5'))
ax.add_patch(patches.Rectangle((2.5,6),2,1.5,color='#CCCCFF',ec='blue',lw=2))
ax.add_patch(patches.Rectangle((5.5,6),2,1.5,color='#CCCCFF',ec='blue',lw=2))
ax.set_title('Mask 3: 欧姆接触 Ni/Ti/Al')
ax.text(3.5,6.75,'p+极',ha='center',va='center',fontsize=8)
ax.text(6.5,6.75,'n+极',ha='center',va='center',fontsize=8)
# Mask 4: PAD金属+场板
ax = axes[1][0]
ax.set_xlim(0,10); ax.set_ylim(0,10)
ax.add_patch(patches.Rectangle((0,0),10,10,color='#f5f5f5'))
ax.add_patch(patches.Rectangle((1.0,6.0),3,2,color='#FFD9B6',ec='orange',lw=2))
ax.add_patch(patches.Rectangle((4.5,6),1,1,color='#1EB342',ec='orange',lw=1,ls='--'))
ax.add_patch(patches.Rectangle((5.5,6.0),3,2,color='#FFD9B6',ec='orange',lw=2))
ax.set_title('Mask 4: PAD金属+场板')
ax.text(2,8.5,'PAD-p',ha='center',va='center',fontsize=8)
ax.text(5,8.5,'场板',ha='center',va='center',fontsize=7)
ax.text(7,8.5,'PAD-n',ha='center',va='center',fontsize=8)
# Mask 5: 背面金属
ax = axes[1][1]
ax.set_xlim(0,10); ax.set_ylim(0,10)
ax.add_patch(patches.Rectangle((0,0),10,10,color='#98EE98',ec='green',lw=2))
ax.set_title('Mask 5: 背面金属 Ti/Ni/Au')
ax.text(5,5,'全背面覆盖',ha='center',va='center',fontsize=12)
# 空白格放说明
ax = axes[1][2]
ax.axis('off')
ax.text(0.1,0.8,'光刻版顺序：',fontsize=11,transform=ax.transAxes)
ax.text(0.1,0.65,'1. 台面刻蚀',fontsize=9,transform=ax.transAxes)
ax.text(0.1,0.55,'2. 钝化窗开窗',fontsize=9,transform=ax.transAxes)
ax.text(0.1,0.45,'3. 欧姆接触金属',fontsize=9,transform=ax.transAxes)
ax.text(0.1,0.35,'4. PAD金属+场板',fontsize=9,transform=ax.transAxes)
ax.text(0.1,0.25,'5. 背面金属（全覆盖）',fontsize=9,transform=ax.transAxes)
-- INSERT --
8,11 Top
To direct input to this VM, move the mouse pointer inside or press Ctrl+G.
搜索
20°C
阴
20:40
2026/6/7