

1.TCAD 是什么，为什么我们要做 TCAD?

TCAD 是半导体工艺与器件的计算机辅助设计仿真工具。我们手中的 Sentaurus TCAD 有这三个核心模块：

- SDE：绘制器件形状、定义不同区域的掺杂分布、划分网格；
- SPROCESS（工艺仿真）：通过输入工艺指令（离子注入剂量、能量等）模拟物理化学过程，生成更接近实际制造结果的器件结构；
- SDEVICE（器件仿真）：基于泊松方程，在格点进行数值求解，得到器件的电学特性。

我们做 TCAD 仿真的原因主要有三点：

- 分析可视化：TCAD 可以直接展示载流子浓度、电场、电势等微观物理量分布，帮助我们直观理解器件的工作状态；
- 设计迭代效率高：在计算机中可快速尝试大量参数组合来优化器件设计。无需流一个片测试，也就是说测试时可以无成本地改变每一个变量；
- 辐照退化研究：探测器设计必须考虑辐射损伤后的性能变化。TCAD 可以方便地引入辐射损伤模型进行仿真，无需等待真实的辐照实验。

2.TCAD 一定是网格越精细越好吗？简单聊聊你对网格划分的理解。

不是。TCAD 使用有限元素法求解，先将划分网格，再在每个格点上数值求解泊松方程。网格划分关系到计算精度和计算量两个方面。

划分过于精细带来的副作用：

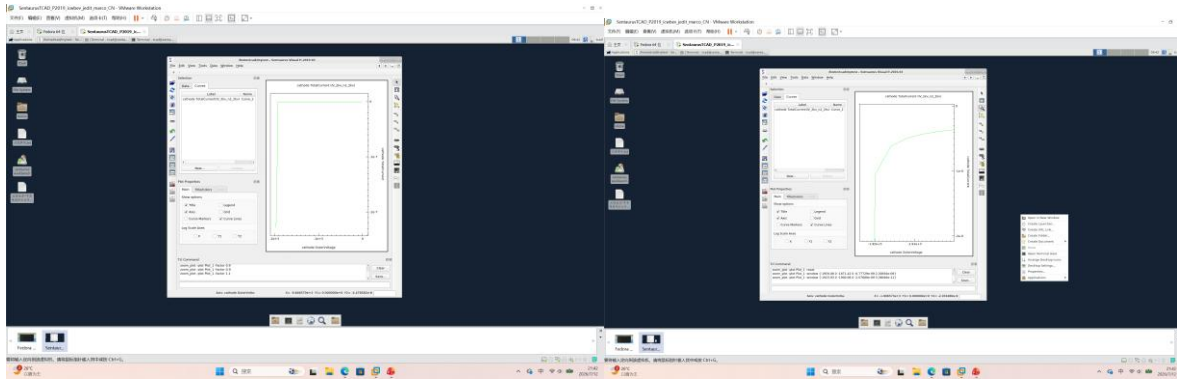
- 计算量巨大：计算量大致与网格节点数的三次方成正比，精细网格会导致计算量过大仿真时间过长；
- 收敛困难：更多节点需要同时满足收敛判据，迭代次数过多，甚至会无法收敛；
- 精度收益低：在物理量变化平缓的区域，细化网格多出的计算基本无价值。

我对网格划分的理解：

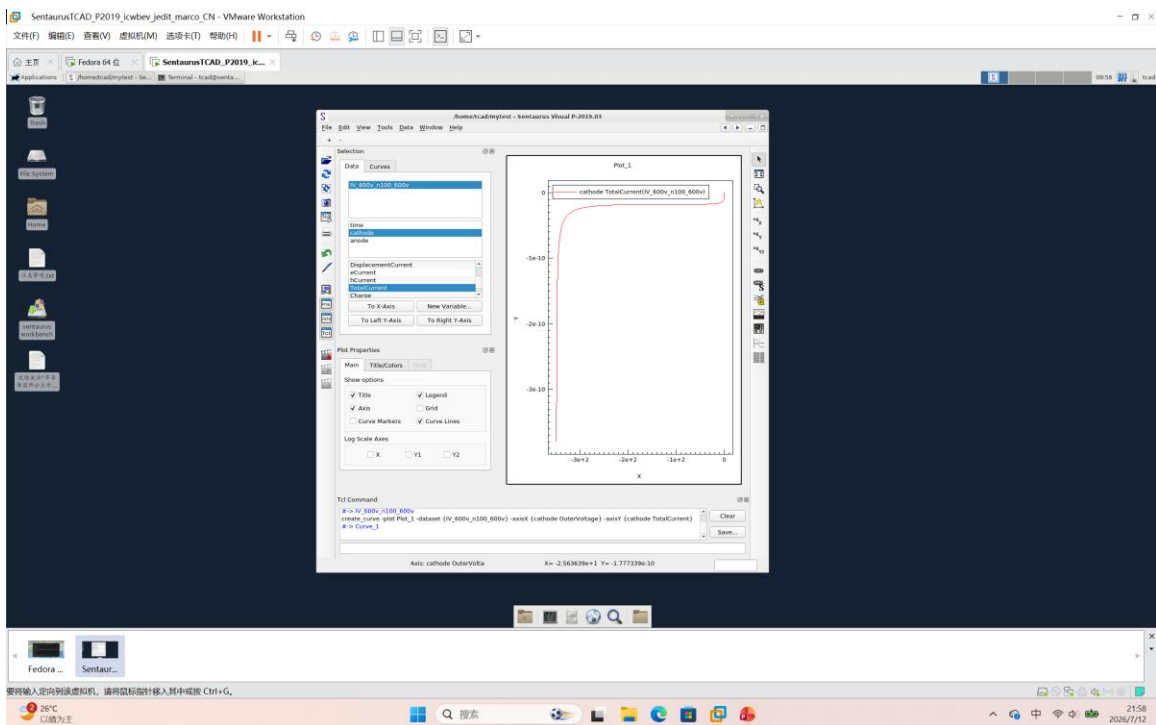
- 变化平缓区域的网格设置较粗，以降低总计算量；
- 掺杂浓度梯度变化剧烈的区域（如 PN 结界面、增益层边界等），适当加密网格，保证这些关键区域的仿真精度；
- 利用 SDE 的 refine-function 根据 DopingConcentration 的 MaxTransDiff 参数自动在浓度变化大的位置加密网格。

3.加入 JTE 前后击穿电压对比。

照搬给出的代码制造器件定义掺杂并进行仿真，最终于 1980V 成功击穿器件并爆掉求解器，击穿电压过大后面难以进行



于是减薄器件至 100um 重新仿真



加入 JTE 代码:

```
(define depth_JTE 3)
```

```
(define Xjte (* Ltot 0.4))
```

```
(sdedr:define-gaussian-profile "DD.JTE" "PhosphorusActiveConcentration" "PeakPos" 0
"PeakVal" 1e17 "ValueAtDepth" 1e11 "Depth" depth_JTE "Gauss" "Factor" 0.8)
```

```
(sdedr:define-refeval-window "Baseline.JTE"
```

```
"Line"
```

(position (* Xjte -1) Ymax 0)

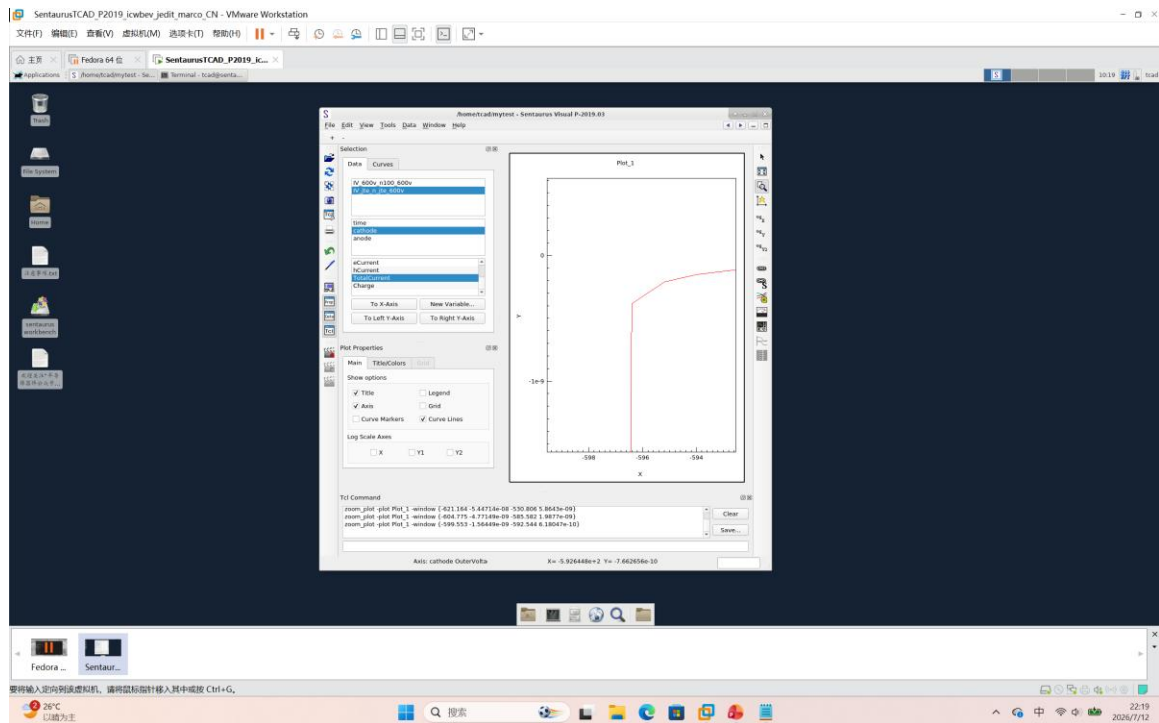
(position (* Xjte 1) Ymax 0))

(sdedr:define-analytical-profile-placement "PL.JTE"

"DD.JTE" "Baseline.JTE"

"Positive" "NoReplace" "Eval")

进行仿真



击穿电压:-340V -> -596V 左右，可见 JTE 确实可以改善器件的边缘击穿现象，提高器件的击穿电压。

4. 在（3）的基础上，给器件添加一个增益层。

定义掺杂硼峰值 $5e16$, 深度 $1\mu m$ 新增以下代码

(define depth_gain 1)

(define peak_gain $5e16$)

(sdedr:define-gaussian-profile "DD.gain" "BoronActiveConcentration" "PeakPos" 0
"PeakVal" peak_gain "ValueAtDepth" $1e11$ "Depth" depth_gain "Gauss" "Factor" 0.8)

(sdedr:define-refeval-window "Baseline.gain"

"Line"

(position (* Xanode -1) Ymax 0)

(position (* Xanode 1) Ymax 0))

(sdedr:define-analytical-profile-placement "PL.gain"

"DD.gain" "Baseline.gain"

"Positive" "NoReplace" "Eval")

仿真部分略去

5.为什么 LGAD 主流采用 P 型高阻硅结构（N++接触—P+增益层—P 型高阻硅—P++接触），而不是 N 型的对称结构？

P 型高阻硅虽载流子寿命较短，但存在以下两方面优势：

①雪崩倍增可控（增益更稳）

- P 型硅：增益层在上方，入射粒子产生的电子向上漂移进入增益层。电子发生雪崩倍增所需的电场更小，因此只需加较小的电场，就能让电子倍增，而空穴不参与。这样增益更可控。

- N 型硅：进入增益层的是空穴，要让空穴雪崩需要比电子更大的电场，但此时电子也会被强电场触发倍增，且倍增发生位置不可控，导致增益容易失控。

②信号时间响应更快（延迟更低）

- 有内部增益的器件，信号主体来自倍增出的次级电子-空穴对，信号时间由原初电离到达增益层的时间决定。

- 相同电场下，电子的漂移速度约为空穴的 3 倍。

- P 型硅由电子触发增益，信号延迟远低于 N 型硅（由空穴触发），因此时间性能更优。

总结：P 型硅在增益稳定性和响应速度两方面都优于 N 型硅，是 LGAD 设计的合理选择。