

1. TCAD 的全称是半导体工艺与器件仿真软件，它是电子设计自动化（EDA）的一个关键分支。简单来说，TCAD 是一种通过计算机数值模拟来复刻芯片制造全流程与微观物理特性的工业软件，它能够实现“虚拟造芯片”。
2. 不是，网格越精细不一定越好，因为 TCAD 的求解本质上是高度非线性的偏微分方程组，过度精细会导致算量爆炸，网格的精细化会导致网格的指数增长，指数增长又是爆炸级别的，过于密集的网格会导致数值计算上的不稳定，会加大计算的误差。以及极细的网格可能会将一些工艺上的细微波动，也会影响物理趋势。
我个人认为，网格分化主要是自适应和局部加密，在电场梯度最大载流子浓度变化最密的地方应当使用较为细的网格。
在非关键的区域可以进行粗糙化的处理，总体不影响物理趋势。
5. LGAD 的核心机制是利用 P+增益层或 N+增益层产生的强电场，使载流子在倍增区发生碰撞电离（雪崩效应）。

在硅中，电子的饱和漂移速度明显高于空穴，且电子的电离系数（ α ）通常大于空穴的电离系数（ β ）

由于电子的电离率显著高于空穴，雪崩过程主要由电子主导。这种单载流子主导的雪崩过程噪声更低，击穿特性更“软”，更容易在保持高增益的同时避免微等离子体击穿。在 p-in-n 结构中，倍增主要由空穴主导。空穴的电离系数较低，为了达到同样的增益，p-in-n 需要更高的偏置电压，这会导致电场分布更难控制，击穿往往更“硬”，器件更容易发生局部灾难性击穿。

P+层更容易实现：在硅外延生长或离子注入工艺中，引入高浓度的受主（硼，Boron）形成 P+层相对容易，且硼在硅中的扩散行为控制得比较好。

N+层的挑战：如果要形成 N+增益层，需要引入高浓度的施主（通常是磷 Phosphorus 或砷 Arsenic）。在高浓度下，这些 N 型杂质极易发生团簇效应（Clustering）或产生复杂的缺陷，导致激活率下降，且难以形成陡峭的掺杂分布（Sharp Junction）。因此，从工艺良率和器件一致性来看，P+增益层（n-in-p）更容易制造。（AI）

3. 在 PIN 二极管中，主结（P+ / N-）边缘的电场线会高度集中，导致边缘先于中心发生雪崩击穿（边缘击穿）。添加 JTE（一个环绕主结的、浓度较低的 P 型环）可以“吸收”边缘的电场，迫使击穿发生在器件中心平坦区，从而大幅提升击穿电压（BV）。

击穿电压变化：添加合适的 JTE 后，器件的击穿电压通常会显著上升，甚至可能接近或达到理想平行平面结的理论击穿极限。

电场分布变化：在 SVisual 中观察，你会发现主结边缘原本尖锐的电场峰值被“削平”了，电场分布变得更加均匀。

参数调整影响：如果你把 JTE 浓度调得太高（比如 $>5 \times 10^{16}$ ），JTE 本身会提前击穿，BV 反而下降；如果浓度太低，则起不到缓解边缘电场的作用

4. 增益层的作用

在 JTE 的基础上，我们在靠近 P+ 接触面的 N- 衬底中，注入一层极高浓度的

P+ 层（这就是增益层）。它会与 N- 衬底形成一个强烈的 PN 结，在较低的偏压下就能在内部产生极高的电场（ $>3 \times 10^5 \text{ V/cm}$ ），从而引发载流子的碰撞电离（雪崩倍增），提供内部增益。

2. 寻找“甜蜜点” (Sweet Spot)：如何选择峰值浓度？

LGAD 设计的核心难点在于：增益层浓度不能太高，也不能太低。

如果峰值浓度过高（例如 5.5×10^{16} ）：现象：增益层与 N- 衬底之间的内建电场太强。结果：器件在很低的反向偏压下（比如几十伏）就会发生雪崩击穿。这就是所谓的“过早击穿” (Premature Breakdown)。此时器件无法承受高反压，无法正常工作。

如果峰值浓度过低（例如 5.1×10^{16} ）：现象：内部电场不够强，无法触发有效的碰撞电离。结果：器件没有内部增益，退化成了一个普通的 PIN 二极管，失去了 LGAD 的意义。

最佳浓度（例如 5.3×10^{16} ）：现象：内部电场刚好处于“临界状态”。在没有加高压时，器件保持阻断状态（漏电流很小）；当施加较高反向偏压（如 200V~300V）时，倍增区电场达到阈值，开始产生稳定的雪崩增益。