

仿真软件

1. ISE-TCAD

ISE-TCAD 软件是一种基于 linux 操作系统下的器件仿真及器件工艺模拟工具，是由 ISE-TCAD 公司开发的 DFM (Design For Manufacturing) 软件，它通过运用计算机求解基本的半导体偏微分方程组，从而进一步得到器件的特性，这种很复杂的物理近似得到的模拟结果会很精准。在进行新工艺或者新型半导体器件研究时，与传统设计流程中的芯片重复实验等相比，成本低，并且节省时间。利用 ISE-TCAD 软件，能够进行工艺模拟、器件的特性模拟，也能够进行器件仿真、电路性能仿真以及电缺陷仿真等。本文主要来了解一下工艺仿真工具 DIOS。

DIOS 是二维的半导体器件工艺模拟工具，能够在一维和二维模型下，进行刻蚀、沉积、离子注入、扩散和氧化以及热退火等一系列工艺模拟。DIOS 是 ISE-TCAD 中的一个工艺模拟工具，它有两种命令形式：ligement 和 command。图形命令工具 ligement 更易上手，只需要用户简单的定义工艺流程，会自动完成网格划分。DIOS 中有注入模型、扩散模型以及氧化模型等各种模型。各种模型都是通过大量的工艺实验进行了校正，非常接近实际情况。同时还包括各种效应，能够有效的求解各种非线性和线性方程，能够处理网格节点在 10000 到 100000 内的复杂结构。DIOS 可以广泛应用于各种工艺中，如 VLSI 工艺，power device 工艺及 SOI 工艺中。DIOS 也可用于多维设备模拟器 DESSIS GENESISE 以及在流动的计算机模拟实验，运行和设计优化完成。DIOS 的输入可以是指令序列，它能从标准输入窗口中输入（即在命令提示符）或是形成的一个命令文件。可选额外的输入是一个 PROLYT 掩蔽层文件，包含不同层次的各种几何形状的数据。该流程模拟过程是通过输入的指令序列来对应不同的单个工艺步骤。此外，大量的控制命令允许用户去选择物理模型和参数，网格和需要的图形输出。

2. Sentaurus-TCAD

Sentaurus Process 是一个多维半导体器件工艺仿真工具。继承了以往其它多种仿真工具的特点和优势，可以实现一维、二维、三维的工艺仿真，并且与 Synopsys 公司的工艺模拟器 Dios 完全兼容。与其它工艺仿真软件相比，完善了模型参数数据库浏览器 (PDB)，使得用户可以根据实际需要修改模型参数、增加模型等。为了更贴合工艺实际，增添了诸多近代小尺寸模型，例如高精度刻蚀模型、高精度淀积模型，蒙特卡洛(Monte Carlo)离子注入模型，注入解析模型、注入损伤模型，高精度小尺寸扩散迁移率模型等 [26]。此外，还增加了一个基于 levelset 方法的 MGPALS 网格化模块，与高精度的各向异性网格和高性能的求解程序相结合，提高了仿真效率及优良的鲁棒性。工艺模拟时，软件基于各种物理方程可以进行刻蚀、离子注入、扩散、氧化、淀积等一系列工艺模拟。

对于大尺寸器件，通常将由诸多因素造成的层间界面应力、杂质分布蠕变、空间量

子效应、载流子非线性输运等小尺寸效应忽略，而对于小尺寸器件或者功率集成来讲，若要准确的预期及评价工艺制程的良品率，实现工艺的可制造性设计，则就必须考虑小尺寸效应带来的影响。新一代仿真工具 **Sentaurus-TCAD** 恰好解决了小尺寸效应带来的技术难题，成为当前最为先进、最为可靠的纳米级功率器件结构设计和工艺模拟仿真工具。

3. SRIM 软件

SRIM 是一种模拟计算粒子注入到靶材中的运动轨迹和能量损失的程序组，采用了完整的量子力学方法来阐述离子-原子碰撞。**SRIM** 由 **SR** 和 **TRIM** 两部分组成，**SR** 是模拟计算靶材中的离子的射程与注入能量及能量损失的关系；**TRIM** 是模拟计算离子注入到靶材中的运动过程，它采用的是 **MC** 方法来追踪靶材中的粒子，并且详细计算出粒子与靶材原子碰撞过程中的能量转移，而且靶材可以是复杂的多层靶材。

MC 方法是通过计算机模拟跟踪一大批入射粒子的运动，这些粒子的位置、能量损失以及次级粒子的各种参数都在整个跟踪过程中被存储下来，最后得到各种所需物理量的期望值和相应的统计误差。**MC** 方法可以处理的粒子能量范围为 $10\text{eV}\sim 2\text{GeV}$ ，靶材层数高达 8 层。利用它可以计算粒子最终的三维分布及粒子的能量损失和与之相关的所有原子动力学现象，例如靶材损伤、溅射、电离、声子产生等，靶材中的所有原子级联都可以被详细跟踪。

SRIM 软件能够准确模拟注入粒子在靶材中的运动轨迹，最终得到相关粒子的浓度分布、损伤分布及能量损失等，这就为器件工艺设计时采用离子注入进行掺杂提供依据。

4. Tsuprem4

TSUPREM4 的前身为 **SUPREM**，由美国斯坦福大学开的。迄今已经先后经历了四代。第一代名为 **SUPREM-I**，发表于 1977 年，仅在试验室条件下进行了试用。1980 年推出了第二代版本 **SUPREM-II**，进行了世界范围内的技术转让，有了一定的产业化应用。1983 年又对原版本做了较大修改推出了第三代版本 **SUPREM-III**。这三个版本是针对硅加工过程的一维工艺模拟软件几乎可以处理硅集成电路的全部制作工序。美国 **TMA** 公司集相关技术成果在前三个版本的一维模拟基础之，上历经近 10 年的时间，于 1997 年推出了对集成电路平面制造工艺进行二维模拟的第四代版本 **TSUPREM-IV**（最初由美国 **TMA** 公司组织开发）。而后美国 **TMA** 公司又并入 **AVANTI** 公司目前最新升级版本是 **AVANTI** 公司的 **TSUPREM-IV** 版本。

在 **TSUPREM** 系统的四个版本中，前三个都是针对硅芯片加工工艺过程的一维工艺模拟系统。**SUPREM-I** 和 **SUPREM-II** 仅能处理硅和二氧化硅介质层，模拟两层结构中的杂质分布；**SUPREM-III** 与前两者相比，除了硅和二氧化硅介质层外又增加了多晶硅介质层，并可模拟多层结构中的杂质分布。在功能上 **SUPREM-II** 较 **SUPREM-I** 增强了图形输出功能，**SUPREM-III** 比 **SUPREM-I**、**SUPREM-II** 模型更加完善。由 **SUPREM-I**

至 SUPREM-III 模型的完善主要体现在离子注入、氧化及多晶硅模型上的改进上。

SUPREM4 系统发展的过程直接浓缩了现代集成电路制造工艺模拟与仿真技术的发展历程和趋势；模拟的维数由一维二层结构、一维多层结构至二维多层结构；可模拟的效应由一级效应二级效应扩展到二维状态下的诸多效应，相应的数学物理模型逐步扩展，模型精度明显提高；数值算法更趋完善从而使模拟的结果更为精确。

5. Medici

Medici 是先驱 (AVANT!) 公司的一个用来进行二维器件模拟的软件，它对势能场和载流子的二维分布建模，通过解泊松方程和电子、空穴的电流连续性等方程来获取特定偏置下的电学特性。用该软件可以对双极型、MOS 型等半导体器件进行模拟，这个程序通过解二极管和双极型三极管以及和双载流子有关的电流效应的电流连续性方程和泊松方程来分析器件。Medici 也能分析单载流子起主要作用的器件，例如：MOSFET，JFET，MESFET。另外，MEDICI 还可以被用来分析器件在瞬态情况下的变化。在亚微米器件模拟中，MEDICI 通过联解电子和空穴的能量平衡和其他的器件方程，可以对深亚微米的器件进行模拟。像热载流子和速度过冲等效应在 MEDICI 中都已经考虑了，并能够对他们的影响进行分析。