

工艺及器件仿真工具 ISE-TCAD 仿真

杨武华

2016. 01. 06



北京工业大学

BJUT

主要内容



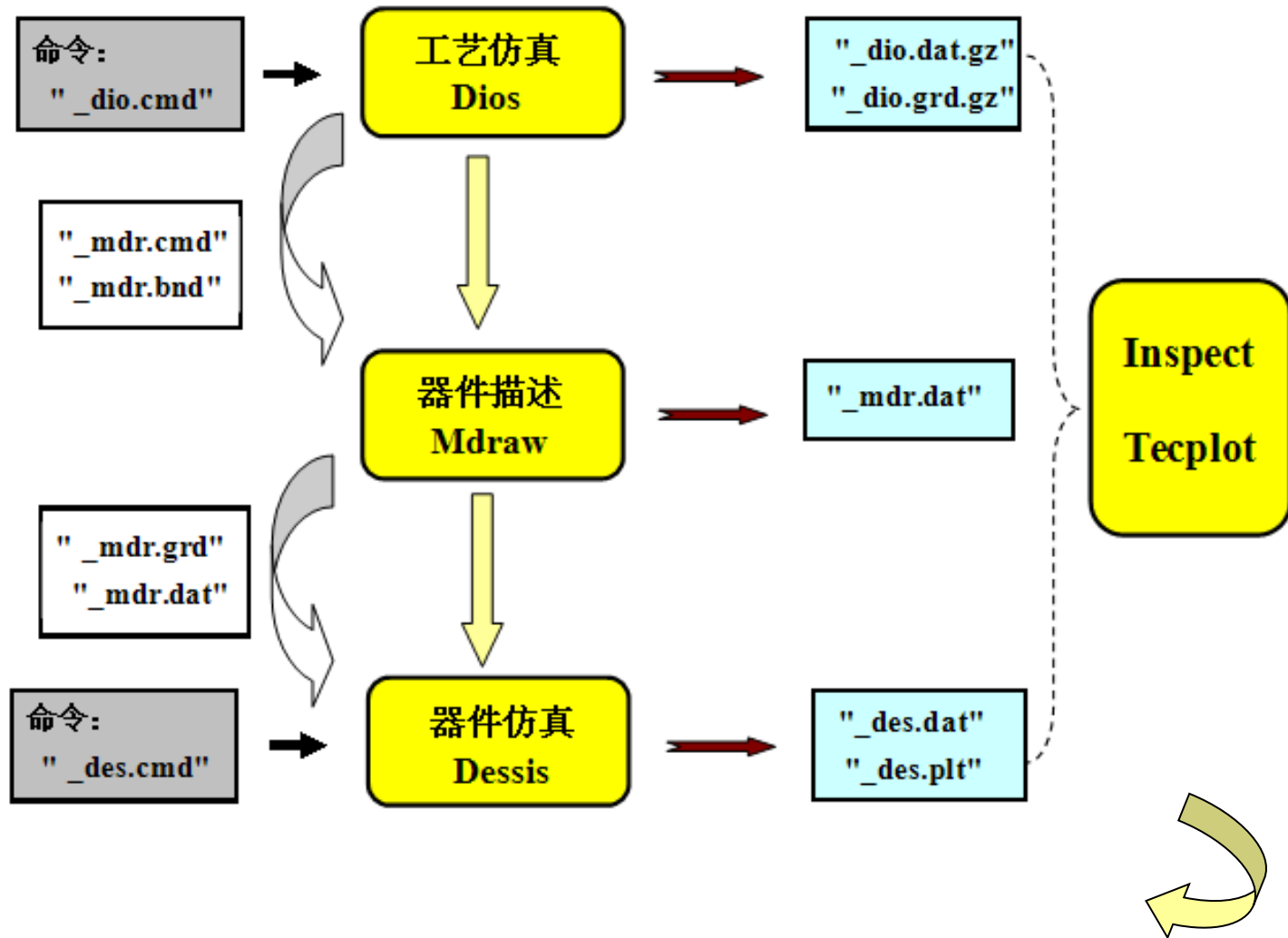
- ISE-TCAD仿真软件简介
- 工艺仿真
- 器件仿真
- IGBT设计实例

ISE-TCAD仿真软件简介



- 工艺及器件仿真工具ISE-TCAD(Technology Computer Aided Design,TCAD)是瑞士ISE(Integrated systems engineerin)公司开发的DFM(Design For Manufacturing)软件，是一种建立在物理基础上的数值仿真工具，它既可以进行工艺流程的仿真,器件的描述,也可以进行器件仿真,电路性能仿真及电缺陷仿真等。
- ISE-TCAD软件包是由多个模块组成的，主要是工艺仿真工具DIOS、器件生成工具MDRAW、器件仿真工具DESSIS。

ISE TCAD 基本仿真流程





工艺仿真 DIOS

工艺仿真



Dios:

- 二维工艺模拟器
- 模拟完整的工艺制造流程
- 输入文件由一系列的命令所构成
- 自动添加网格

工艺仿真



工艺仿真过程:

- 结构初始化、网格定义
- 工艺步骤模拟
 - 氧化
 - 光刻
 - 扩散
 -
- 保存输出文件

结构初始化、网格定义



Title('IGBT', NewDiff=1,SiDiff=on)

Grid (x=(0.0,18.0), y=(-10.0,0), nx=8)

comment('sub')

Substrate (orientation=100, element=P,conc=1.6e14, ysubs=0)

replace(control(ngra=10))

graph(triangle=on, plot)

NewDiff=1表示所有的层次都定义网格和掺杂

SiDiff=on表示掺杂杂质只在硅内扩散。

工艺步骤模拟



- 光刻
 - **Mask** (.....)
 - **Etching** (.....)

例如：

```
mask(material=resist, thickness=800nm,xleft=6.5,xright=18)
etch(material=poly,stop=oxgas,rate(anisotropic=100nm/min))
etch(material=resist)
```

工艺步骤模拟



- 离子注入

- **Implant (.....)**

例如:

```
implant(element=P,dose=4.5e15,energy=110keV,  
        tilt=7,rotation=30, function=CrystalTrim)
```

- tilt=7, rotation=-90为默认参数
- 一般注入默认为“分析注入”，若需要采用其他注入参数，可使用“MonteCarlo 注入”。

工艺步骤模拟



- 热退火、氧化、外延生长、硅化物生长
 - **Diffusion** (.....) 可以用于所有高温步骤

- 例如:

干氧氧化:

diffusion(atmosphere=O2,time=70, Temperature=1100)

外延生长:

**diffusion(atmosphere=epitaxy, growthrate=1000nm/s, time=1s,
element=P, conc=2e18, temperature=1150)**

工艺步骤模拟



- 各向同性、各向异性淀积
- 表面平整化、化学机械抛光
 - **Desposit** (.....)

- 例如

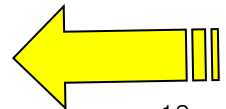
`deposit(material=poly, thickness=0.65um, element=P, conc=2e18)`

保存输出文件



```
1d(file=final, xsection(0.1), spe(btot, ptot, netact), fac=-1, append=off)  
save(file='final',type=MDRAW)
```

- **1D** (.....) 保存任何X-Y分布的Dios变量
- **Save** (.....) 保存最终结构。

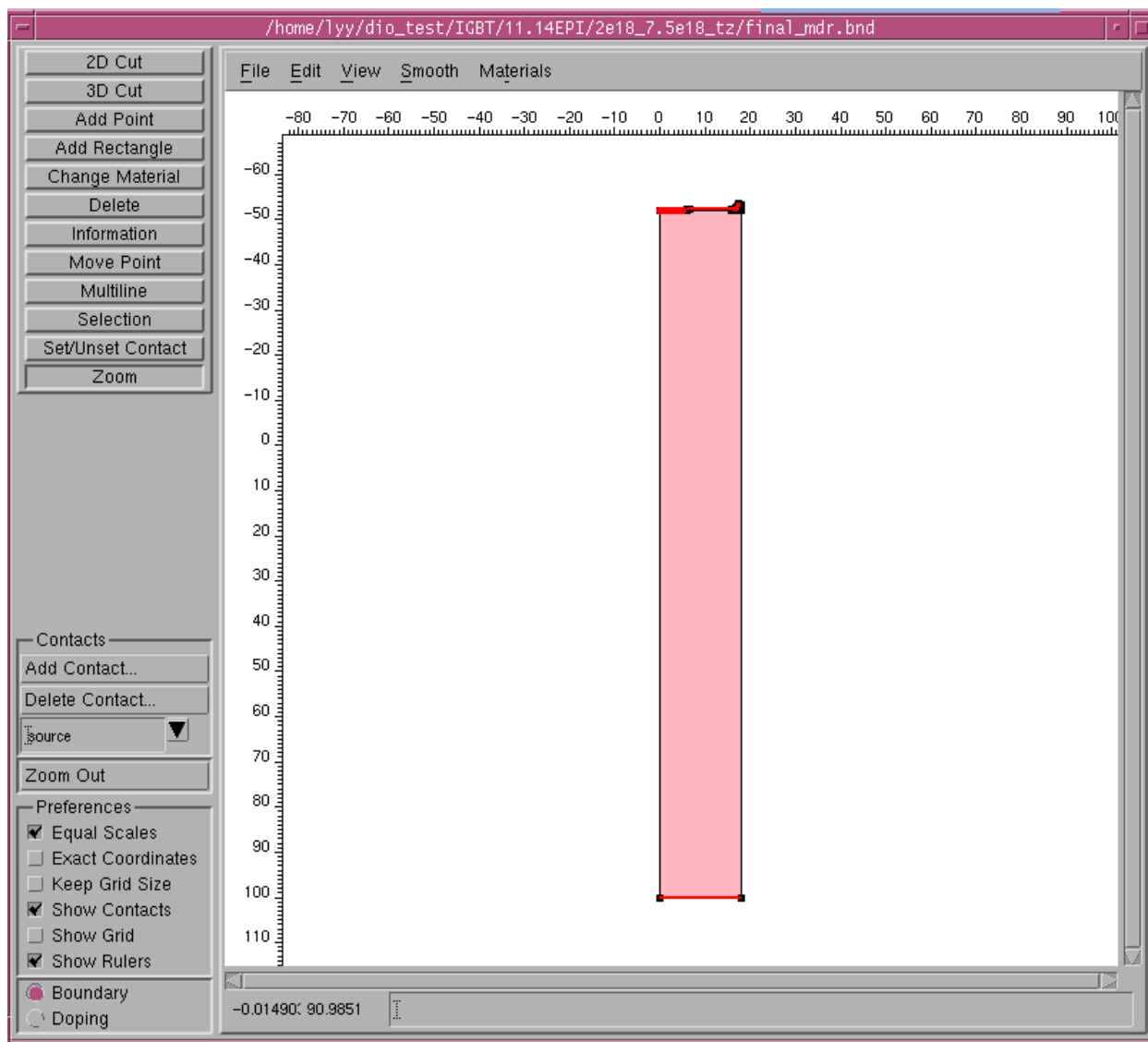




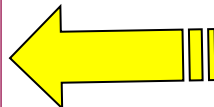
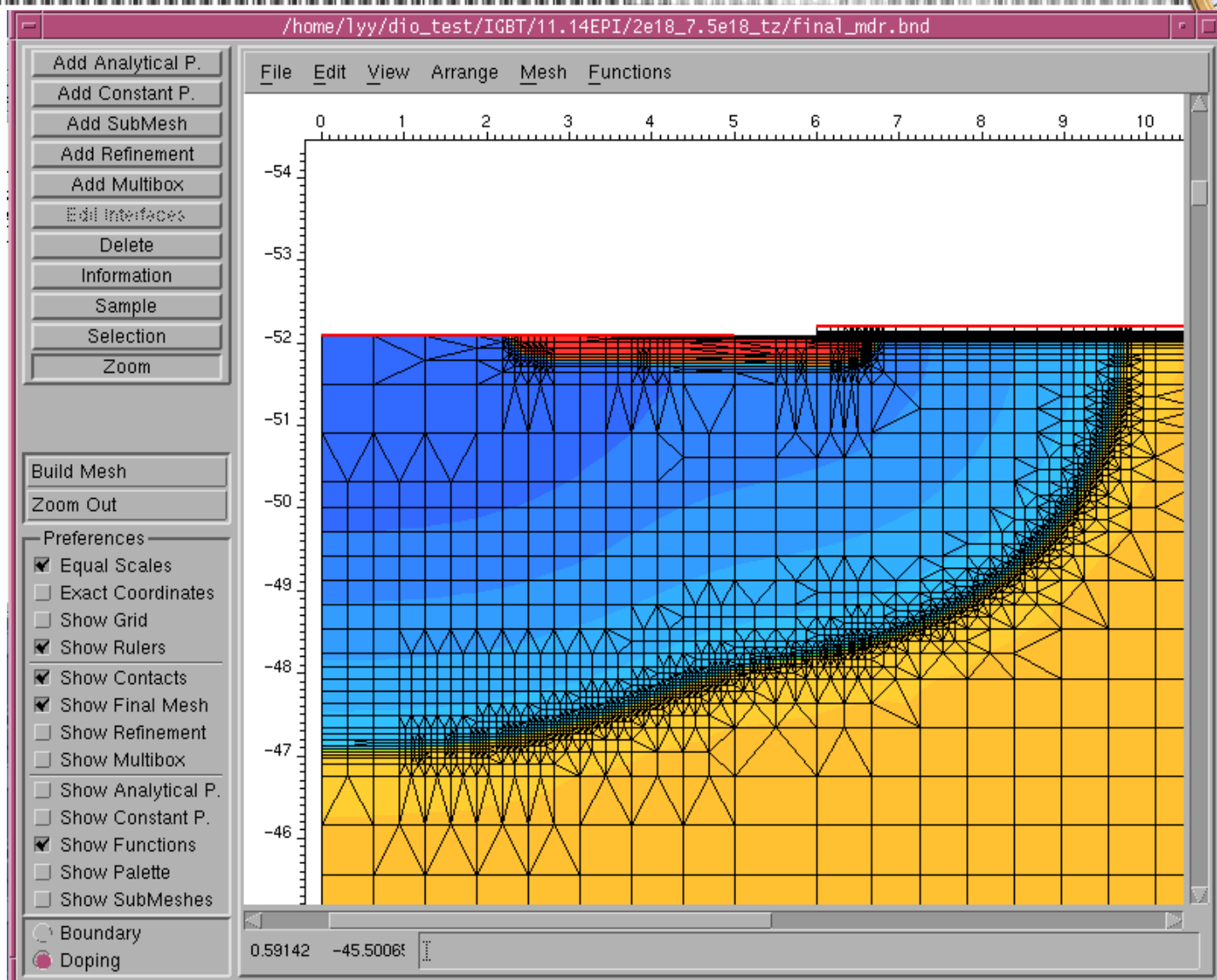
Mdraw

- 定义结构边界、掺杂、电极及网格优化，生成结构
- 输出".dat"和".grd"

器件描述



器件描述



器件仿真



DESSIS是模拟半导体器件的电、热和光特性的器件和电路仿真器。它以半导体三大基本方程为基础、采用物理模型和数学方法来模拟器件和电路的特性。

器件仿真



传输模型：

- **Drift-Diffusion Transport**

耦合求解Poisson 方程和 载流子连续性方程；

- **Thermodynamic Transport**

在Drift-Diffusion Transport model中添加电致热效应。耦合求解Poisson 方程、载流子连续性方程以及晶格（载流子温度方程）。载流子假定与晶格是热平衡的，故此模型可以用来模拟晶格自加热效应；

- **Hydrodynamic Transport** 尤其适合深亚微级尺寸的器件模拟

在Drift-Diffusion Transport model 中分开添加载流子温度和晶格温度的计算项，考虑它们之间的热交换。耦合求解Poisson 方程、载流子连续性方程以及能量平衡方程；



主要物理模型

- 载流子产生—复合模型
 - Shockley-Read-Hall复合模型
 - 雪崩产生模型
 - Auger复合模型
- 迁移率模型
 - 掺杂
 - 电场
 - 载流子间散射
- 能带结构模型
 - 能带变窄



数值求解方法

- 网格划分
- 三大方程离散化
- 耦合的非线性代数方程
- 非线性迭代方法求解
 - Gummel' s method 一般线性收敛
 - **Newton' s method**
二次收敛，迭代次数少，精度高



文件结构

- 工艺仿真结果导入/器件描述结果导入
- 电极定义
- 物理模型定义
- 数学算法定义
- 输出内容定义
- 电压扫描（电流扫描）定义

器件仿真-输入命令



- **File section**
 - 定义输入输出文件
- **Electrode section**
 - 指定电极
- **Physics section**
 - 选择求解中需要定义的模型
- **Plot section**
 - 指定输出Plot文件中所要求解的变量
- **Math section**
 - 选择求解半导体方程时所采用的算法
- **Solve section**
 - 定义求解输出特性的步骤

File Section



File {

*** Input Files**

Grid = "_mdr.grd"

Doping = "_mdr.dat"

*** Output Files**

Current = ".plt"

Plot = ".dat"

Output = ".log"

}

Grid:

器件各个区域的材料、结构、Contact的位置以及网格节点的信息；

Doping:

器件的掺杂信息

Current:

器件的电学输出数据

Plot:

定义仿真时计算的变量

Output:

模拟过程的日志

Electrode Section



指定器件的电极或热电极，以及各电极上的初始偏置

```
Electrode {  
  { name="source"   Voltage=0.0 }  
  { name="anode"    Voltage=0.0 }  
  { name="gate"     Voltage=0.0 }  
  .....  
}
```

name: 定义每个电极，电极名称必须与grid文件一致

Voltage: 定义电极的电压初始值

Physics Section



```
Physics {  
    EffectiveIntrinsicDensity (BandGapNarrowing (OldSlotboom))  
  
    Mobility (  
        DopingDependence  
        Highfieldsaturation    )  
}
```

EffectiveIntrinsicDensity: 能带变窄，影响本证载流子浓度

Mobility: 受高掺杂浓度（DopingDep）、高电场饱和（HighFieldSat）影响

Plot Section



```
Plot {  
  Potential Electricfield  
  eDensity hDensity eCurrent hCurrent  
  SpaceCharge  
  elifetime hlifetime  
}
```

仅能存储**Physics**模型中可求解出的物理量的值

Math Section



```
Math {
```

```
    Extrapolate
```

```
    Iterations=20
```

```
    RelErrControl
```

```
}
```

Extrapolate : 外推法

RelErrControl :

激活改良的误差控制模式;

Iterations=20 : 指定最大Newton迭代次数

Solve Section



```
Solve {  
  poisson  
  Coupled{ Poisson Electron Hole }  
  Quasistationary(  
    InitialStep=0.1 MinStep=1e-5 MaxStep=1  
    Goal { Name="Anode" Voltage=500V }  
      ){ Coupled{ Poisson Electron Hole }  
  }  
}
```

Poisson表示初始化采用非线性泊松方程

扫描电压设置，通过设定合适的步长，可以使计算迅速收敛，缩短程序运行时间

输出结果查看



- **Inspect**
 - 端特性查看
- **Tecplot_is**
 - 内部电场、电势、载流子浓度等内部特性查看



Thank you!