

# 器件模拟集成化工具

## ISE TCAD 使用简介

国防科技大学计算机学院微电子研究所

池雅庆

Email: yqchi@nudt.edu.cn

QQ: 34943992

1. ISE TCAD部署与运行方法.....	1
2. 器件描述: mdraw.....	6
2. 1 启动.....	6
2. 2 构造二维剖面图.....	8
2. 3 掺杂.....	15
2. 4 产生网格与调整设计.....	20
3. 器件模拟: Dessis.....	24
3. 1 模拟输入文件.....	24
3. 2 模拟过程.....	27
4. 可视化.....	28
4. 1 曲线可视化: Inspect.....	29
4. 2 分布可视化: Picasso.....	31

# 1. ISE TCAD 部署与运行方法

## 部署:

1. 安装 EXCEED Xserver for win32;
2. 拷贝文件夹“ISE”到 C 盘根目录下;
3. 拷贝文件夹“ISE\_DATA”到 E 盘根目录下;
4. 添加系统环境变量如下(或确保系统环境变量中有如下内容,参照环境变量.txt):

Path 项中添加: %TEC80HOME%\BIN;C:\ISE\bin

新建项:

ISEDDB E:\ISE\_DATA

ISERELEASE 7.0

ISEROOT C:\ISE

TEC80HOME C:\ISE\TEC80

FP\_NO\_HOST\_CHECK NO

DISPLAY 此电脑的计算机名:0.0

(点“我的电脑”的“属性”中“计算机名”,即可看到计算机名)

5. 导入文件夹“破解”中所有注册表信息(双击即可导入)。

运行(后面以一个例子来说明使用方法,该例子计算一个 VDMOS 器件的阈值电压):

1. 启动 exceed;
2. 启动 C:\ISE\BIN\GENESISe, 也可为其添加一个快捷方式。
3. 启动后, 出现窗口如图 1 或图 2:

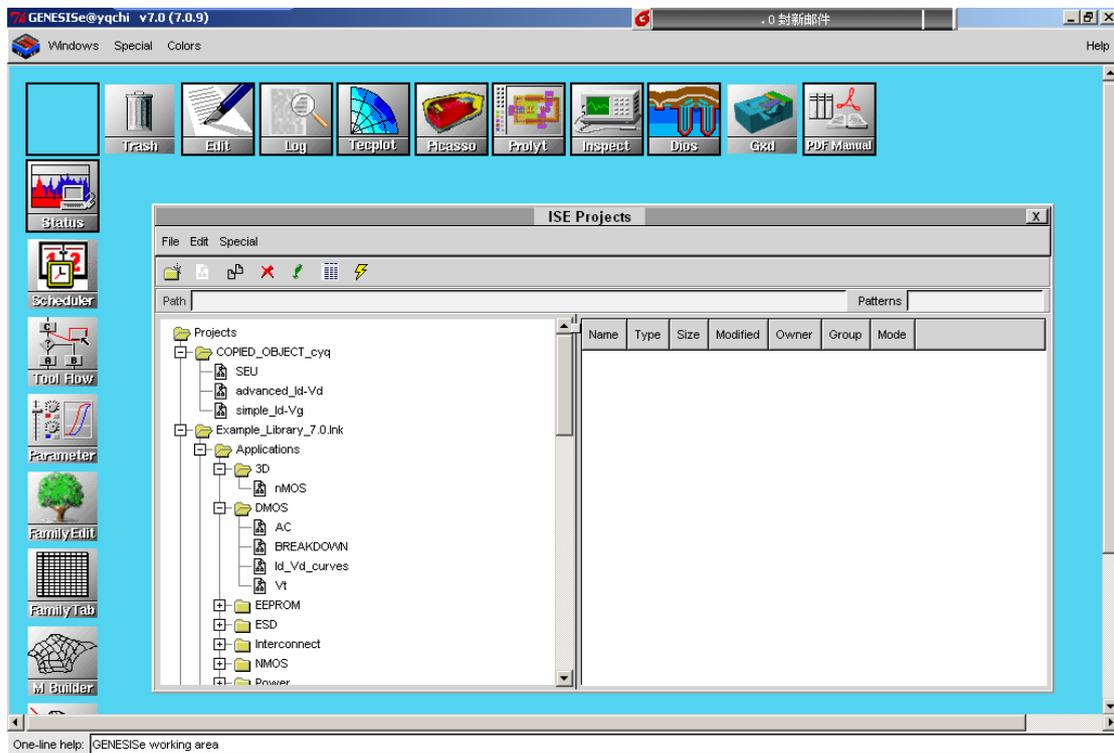


图 1 GENESISe 窗口 1

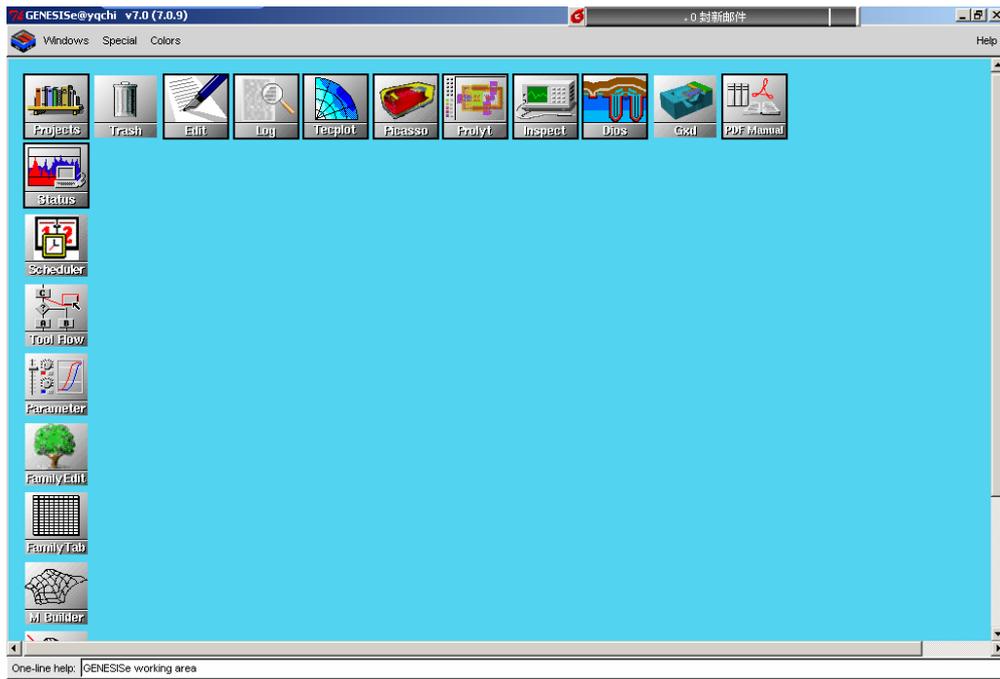


图 2 GENESISe 窗口 2

4. 打开 ISE Projects 窗口（双击“Projects”图标，左上角），在左边树状图中右键单击 Example\_Library\_7.0.lnk——Applications——DMOS—Vt，左键单击“duplicate”（如图 3 所示），弹出窗口如图 4 所示，点击“Yes All”，“Vt”就被复制到“COPIED\_OBJECT\_【计算机名】”目录下了，如图 5 所示。右键单击复制后的“Vt”，再左键单击“active”（如图 6 所示），激活这个工程。

我们也可以新建一个工程。在“ISE Projects”子窗口中，可以打开左上角的“File”菜单，里面的选项可以让我们新建目录，也可以新建工程。新建的工程可以用鼠标拖到任何一个目录中，也可以按上段讲述的方法激活并编辑。

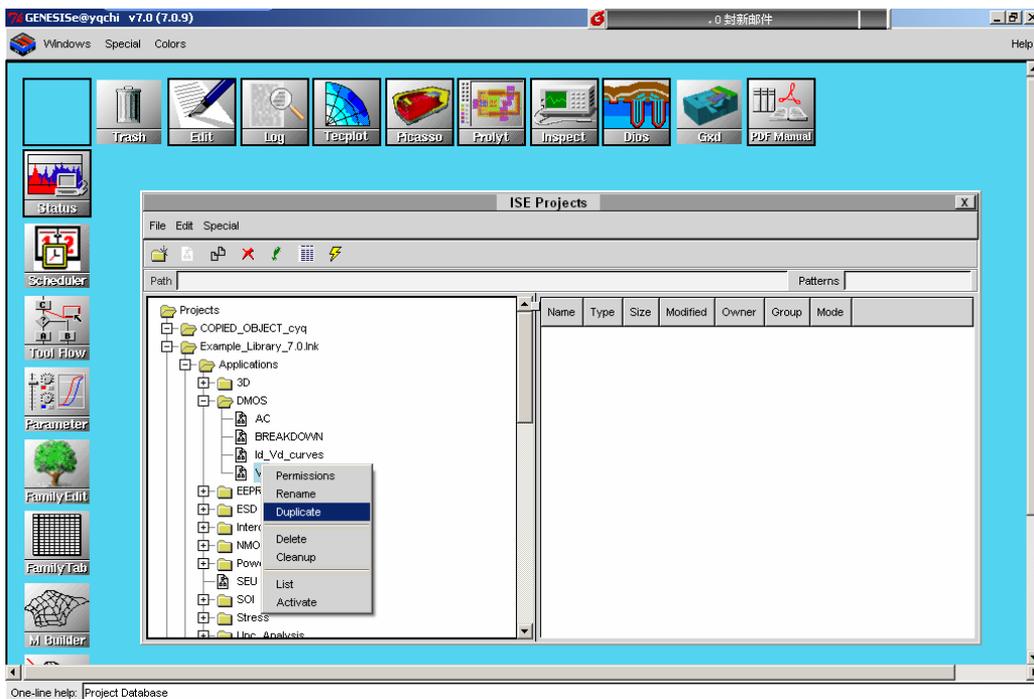


图 3 ISE Project

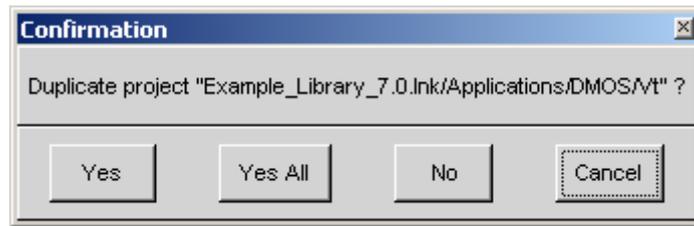


图 4 点击 “Yes All”

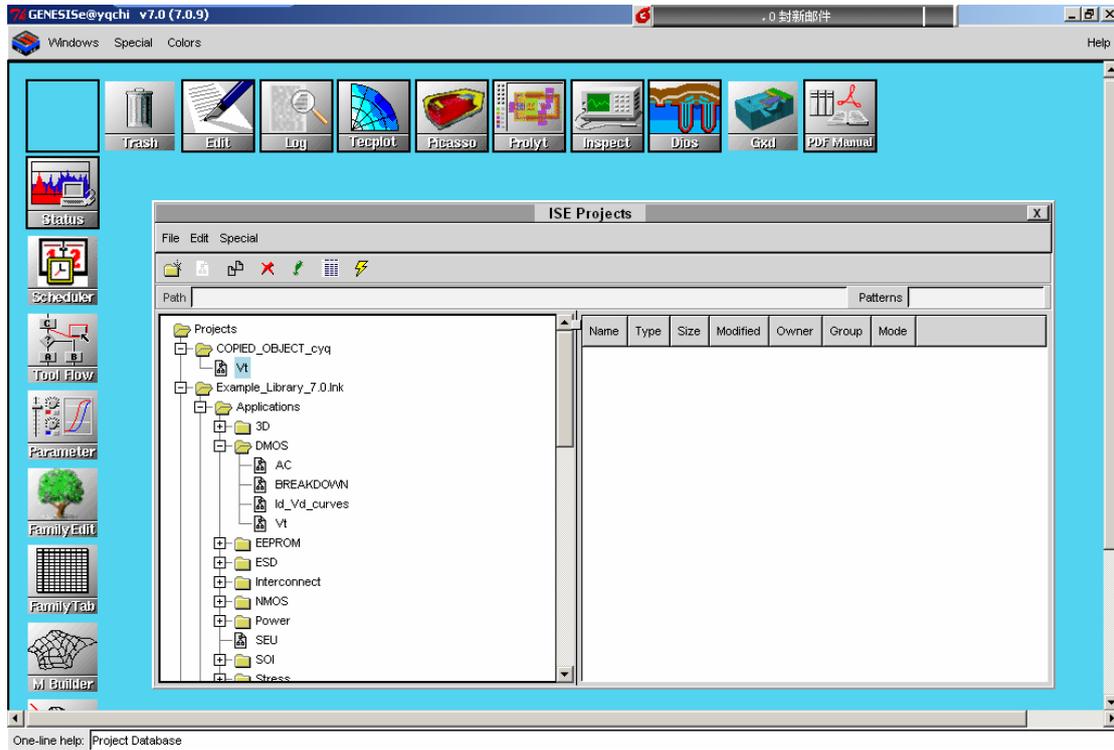


图 5 复制后的 “Vt”

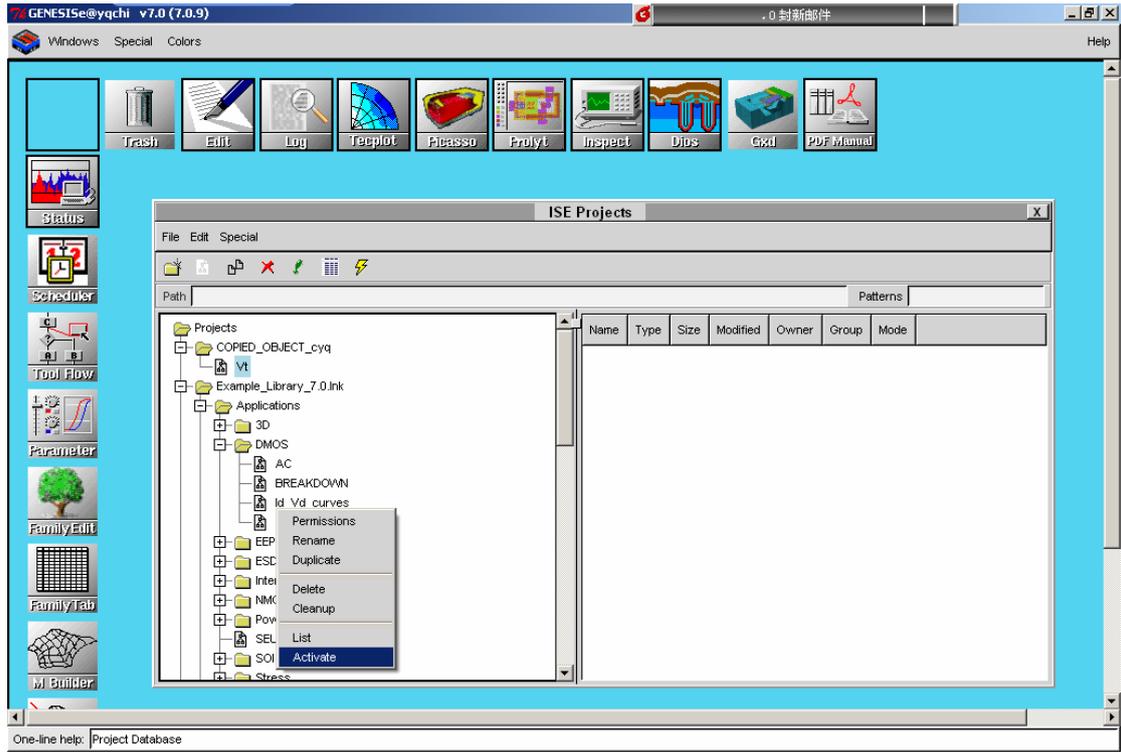


图 6 激活工程

5. 双击主窗口左边第二个图标“Status”，出现子窗口如图 7 所示。该窗口右边有 9 个按钮，其中“edit”配置器件结构的描述、模拟过程、结果显示等所有输入文件，“Run all”即开始模拟，“Abort”可以中断模拟。“Deselect”取消该工程的激活状态，等等。

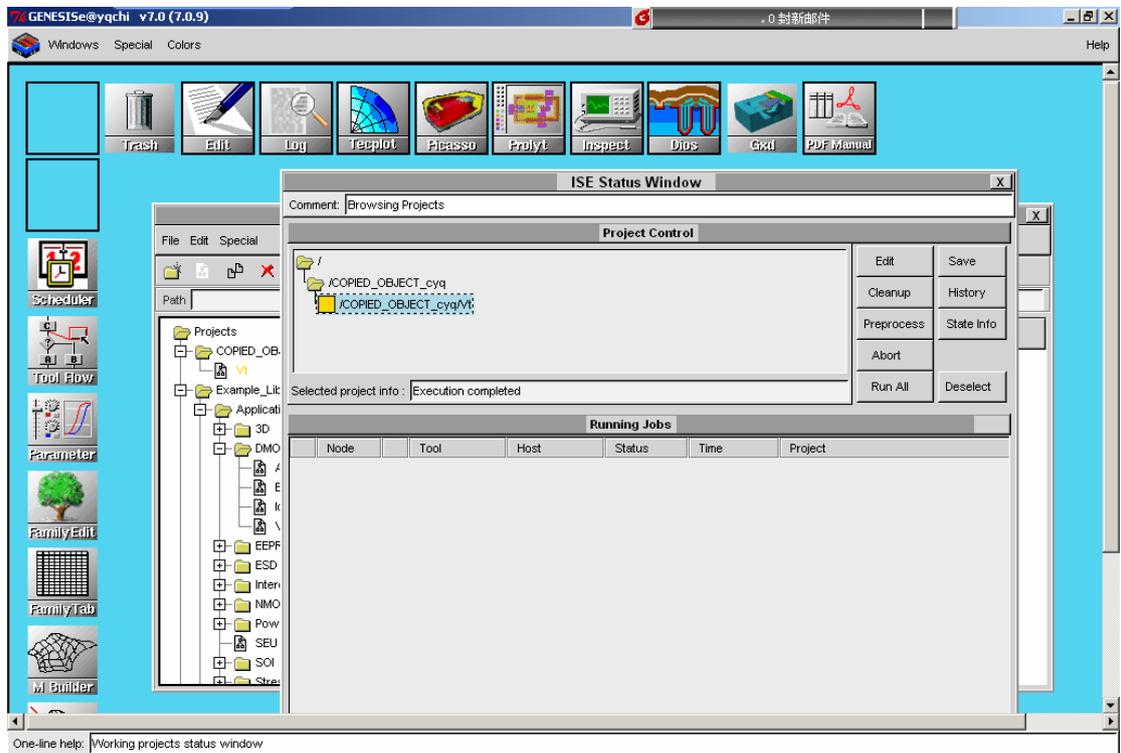


图 7 Status 窗口

6. 点击“Edit”，进入“Vt”工程的修改状态，然后双击主窗口左边的“Tool Flow”图标，出现工具使用流程窗口，如图 8 所示。该窗口左边显示了本工程使用的工具和使用流程，右边是本集成环境可以使用的工具，我们可以把右边的工具拖入到左边的流程中，完成自己的设计。“Vt”这个工程使用了三个工具，另外设置了一个全局参数。该工程的模拟流程为：

MDraw 把输入的器件二维剖面结构调用 Mesh 工具产生模拟用的离散化网格，然后 Dessis 模拟器件的工作，统计数据，得到电流、电场等结果，最后用 Inspect 把模拟结果用曲线图显示出来，另外也可以用 picasso 来观察器件内部的电场、电流分布等情况。我们将在后两节详细讲述这四个工具的使用方法。

全局参数“VDrain”设置了模拟时使用的漏极电压。双击流程图中的“VDrain”图标，可以看到其初始值，如图 9 所示。双击主窗口中“Parameter”图标，可以对该参数进行详细设置（如图 10 所示），不再赘述，读者可在该软件的 manual 中找到其具体使用方法。

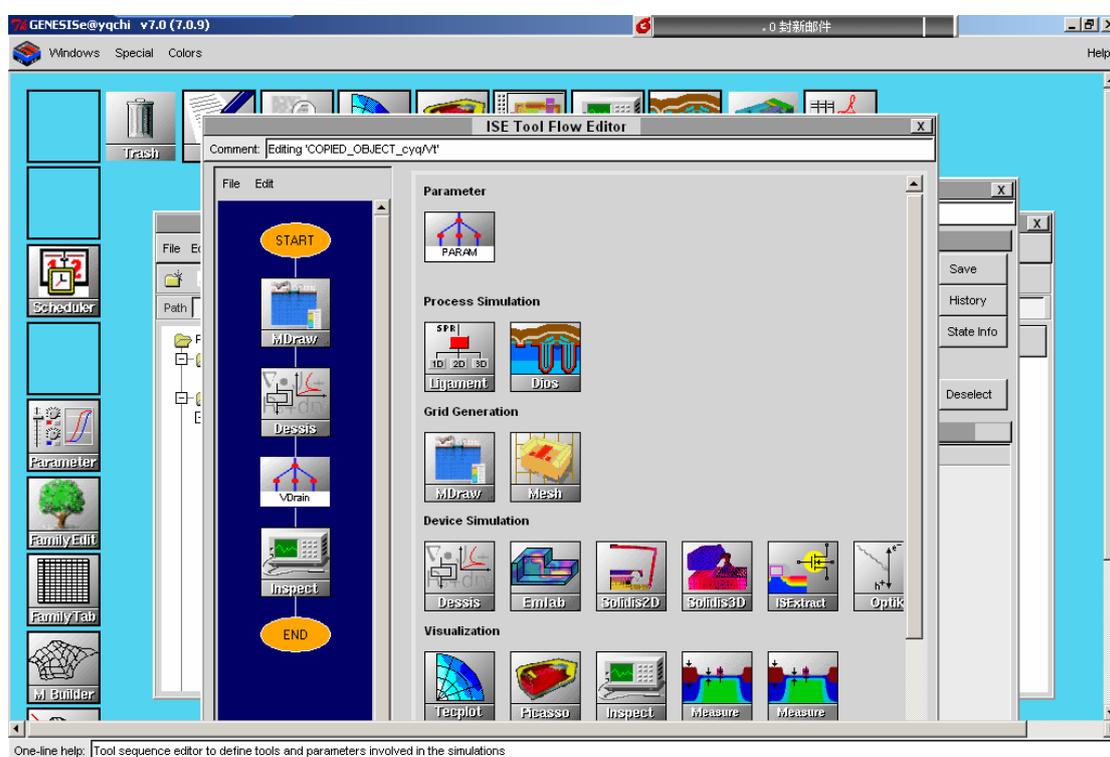


图 8 Tool Flow 窗口

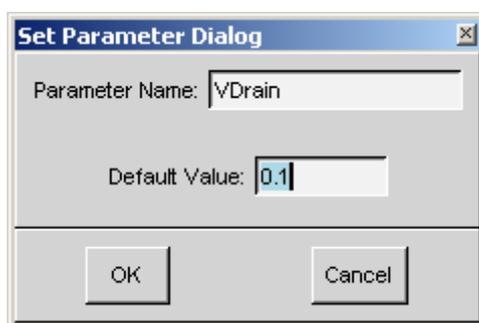


图 9 全局参数默认值

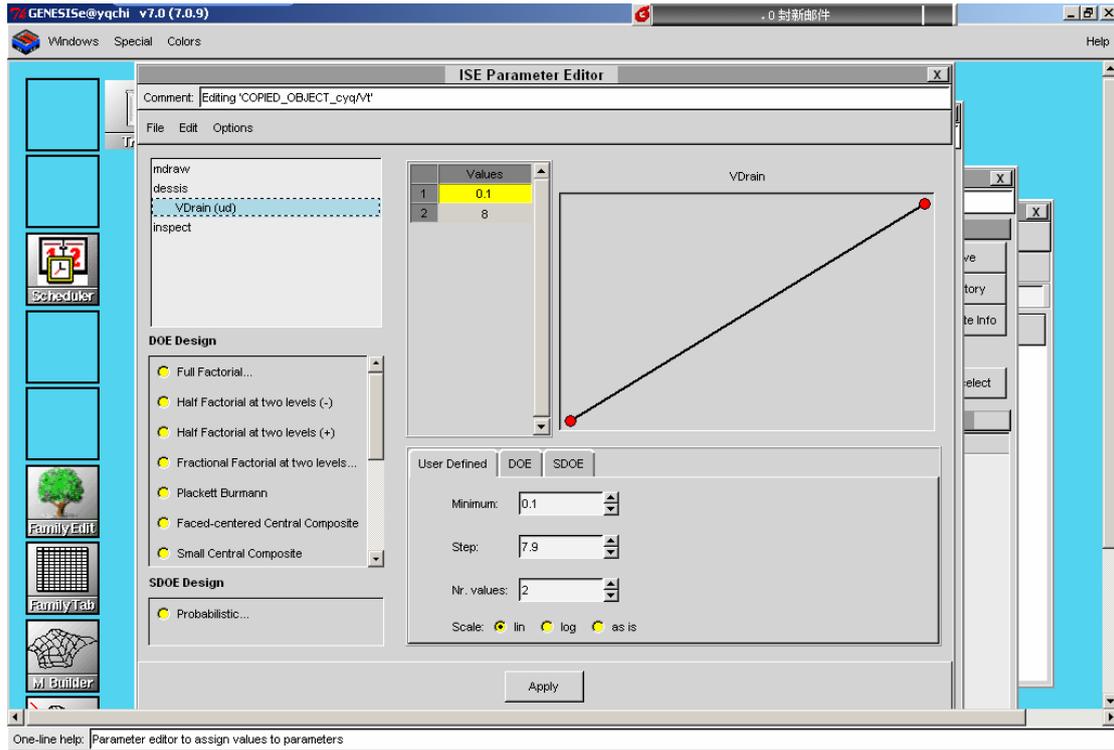


图 10 全局参数配置

## 2. 器件描述：mdraw

### 2.1 启动

在“ISE Tool Flow Editor”子窗口中将 MDraw 拖入到左边流程图中（工程“Vt”中已完成）。点击选中左边流程图中的“MDraw”图标，然后点击菜单上的“Edit” — “input”（如图 11），此时弹出子菜单，点击“Boundary”项（如图 12），MDraw 就启动了。如果点击“Commands”项，会打开“Vt”的掺杂信息与构造网格前对器件各个区域网格大小的配置文件，默认命名为“mdr.cmd”。MDraw 的主要功能就是将此掺杂与网格配置文件和器件二维结构框图文件（默认命名为“mdr.bnd”）可视化，然后集成了网格产生程序生产网格文件供后续模拟工具进行模拟。

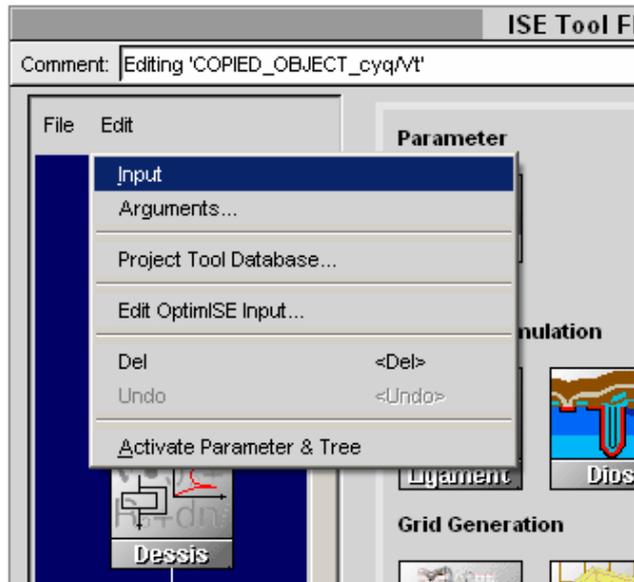


图 11 启动 MDraw 第一步

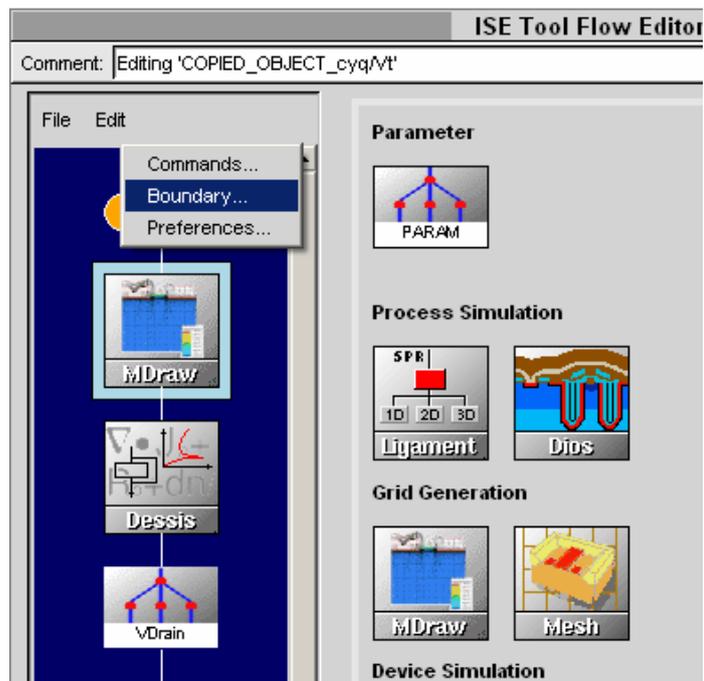


图 12 启动 MDraw 第二步

MDraw 启动后出现图形界面。图 13 所示为“Vt”打开后出现的 VDMOS 的结构图，我们将在下一节讲述此 VDMOS 器件结构图的画法。

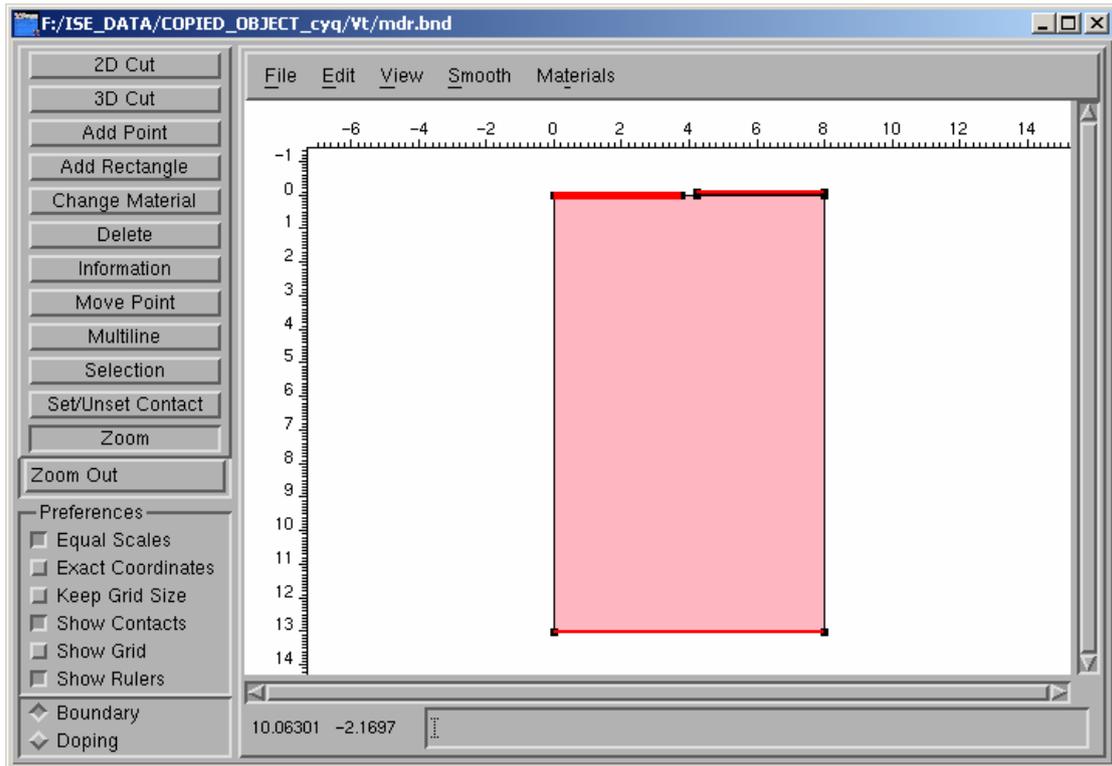


图 13 MDraw 启动界面

## 2. 2 构造二维剖面图

在前面打开的 MDraw 中，已经有了一个 VDMOS 的二维剖面结构。为更好地说明使用方法，我们新建一个结构文件（在菜单上选择“File”－“New”，如图 14 所示）。

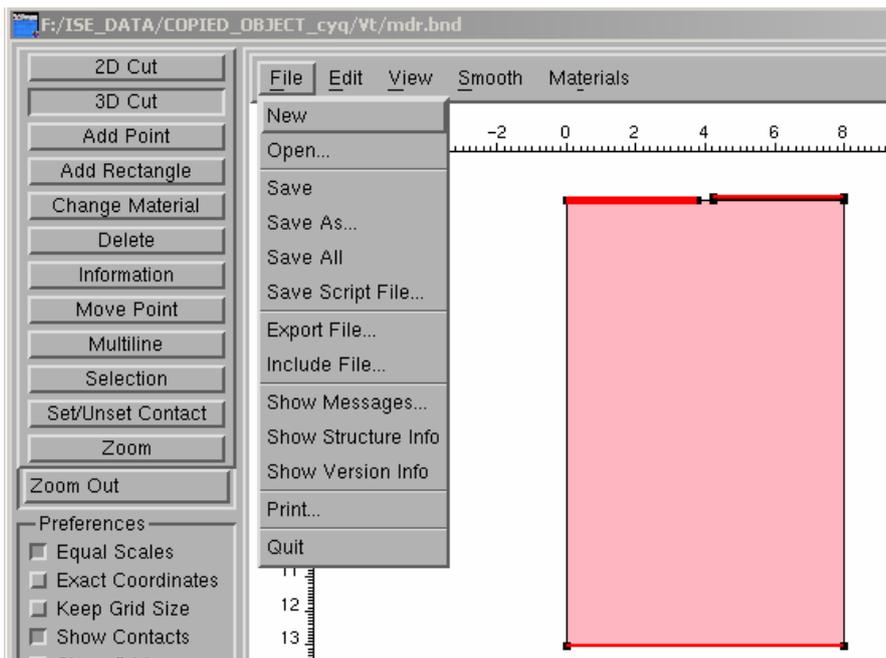


图 14 新建结构图

新建后右边作图区清空，我们重新画一个 VDMOS 的二维截面图。画硅基 MOS 器件的流程一般是：

- A. 作出器件所在的体（单晶硅）；
- B. 作出栅极下的二氧化硅层；
- C. 作出栅极（多晶硅）；
- D. 作出各个接触点（contact）；
- E. 作出表面上方的硅绝缘层（可省略）；
- F. 对各个区域掺杂（下一节介绍）。

下面详细介绍上面流程的实现方法。

首先选择要画的区域使用的材料。点击菜单上的“material”，会弹出很多材料供选择，点击其中的“Silicon”，选择器件所在的体为单晶硅，如图 15 所示。

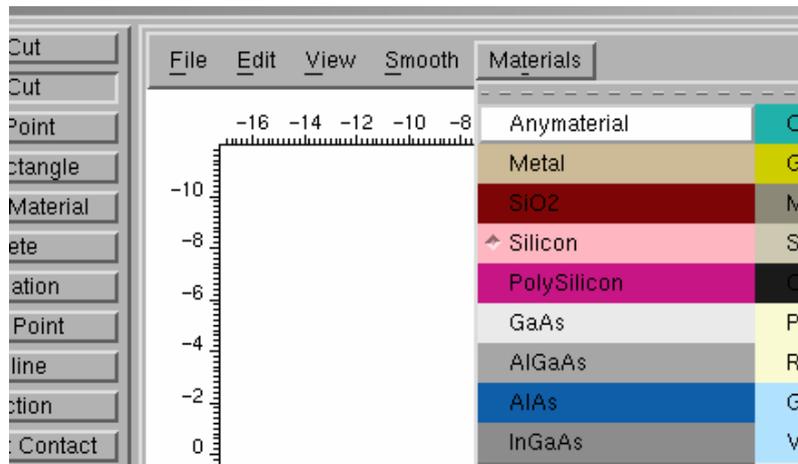


图 15 选择材料

接下来，选择左上按钮中的“Add Rectangle”，画体硅矩形（如图 16）。为了精确定义体硅区域，我们选中左下选项中的“Exact Coordinates”，如图 17 所示。

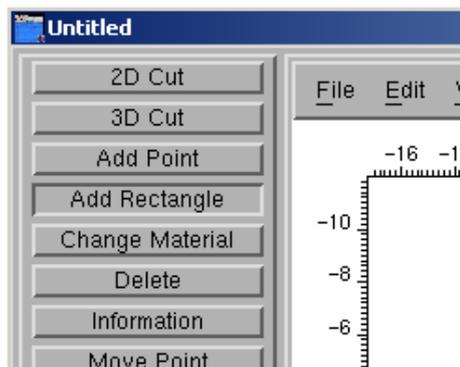


图 16 选择作矩形

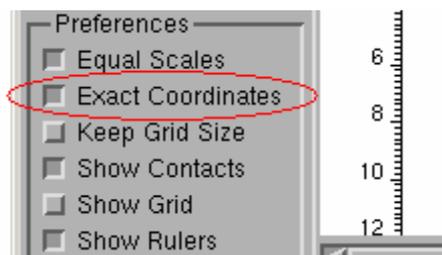


图 17 选择精确坐标

现在可以在右边作图区任意拖一个框，此时弹出一个对话框，它会让你填写你所画矩形的精确信息，填写内容如图 18 所示。我们可以将边界坐标定义为区域需要的尺寸大小。

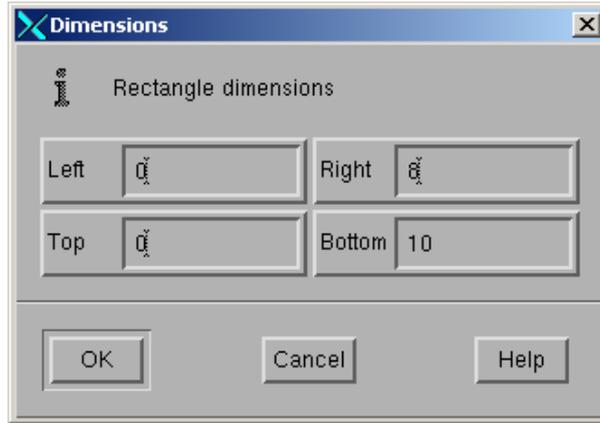


图 18 精确填写体硅的边界坐标

确定后，作图区出现体硅的图形，如图 19 所示。

如果产生的图形位置不便于观察，可以选中左边的“Zoom”按钮放大观察，也可以点击其下面的“Zoom Out”按钮缩小观察。如果图形位置不正，可以点击菜单中“View” — “Zoom Reset”，图形会自动调整到最佳观察位置。

如果产生的图形不合适，可以选中左边的“Delete”按钮，然后再单击作图区中的图形块就可以将该块删除。

如果想修改区域边界，选中左边的“Move Point”按钮，并确保“Exact Coordinates”项选中。此时将鼠标放在一个边界点上，就会弹出一个对话框（如图 20），此时可以修改该点坐标，修改后区域形状也随之变化。

如果想作多边形，选中左边的“Multiline”按钮，在右边作图区拖出多边形各条边即可。

如果材料选错且已经作好了图形，可以选中左边的“Change Material”按钮，在菜单上的“Material”中重新选择材料，然后用鼠标点中想要改变材料的区域，此区域的材料就被替换了。

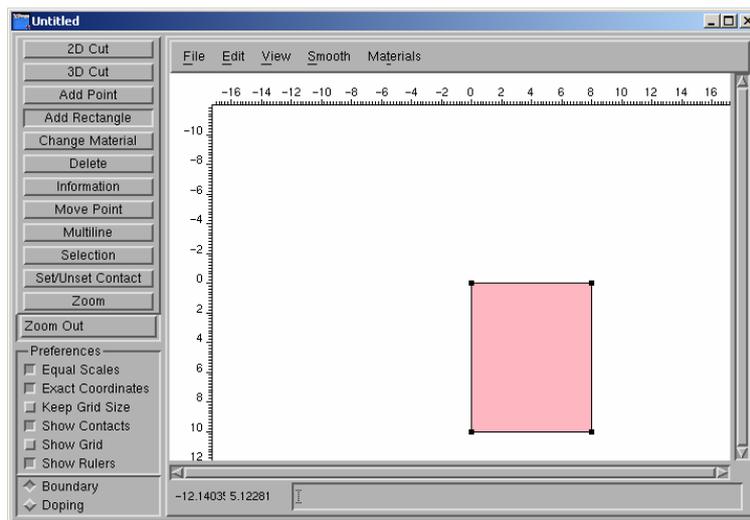


图 19 体硅截面图

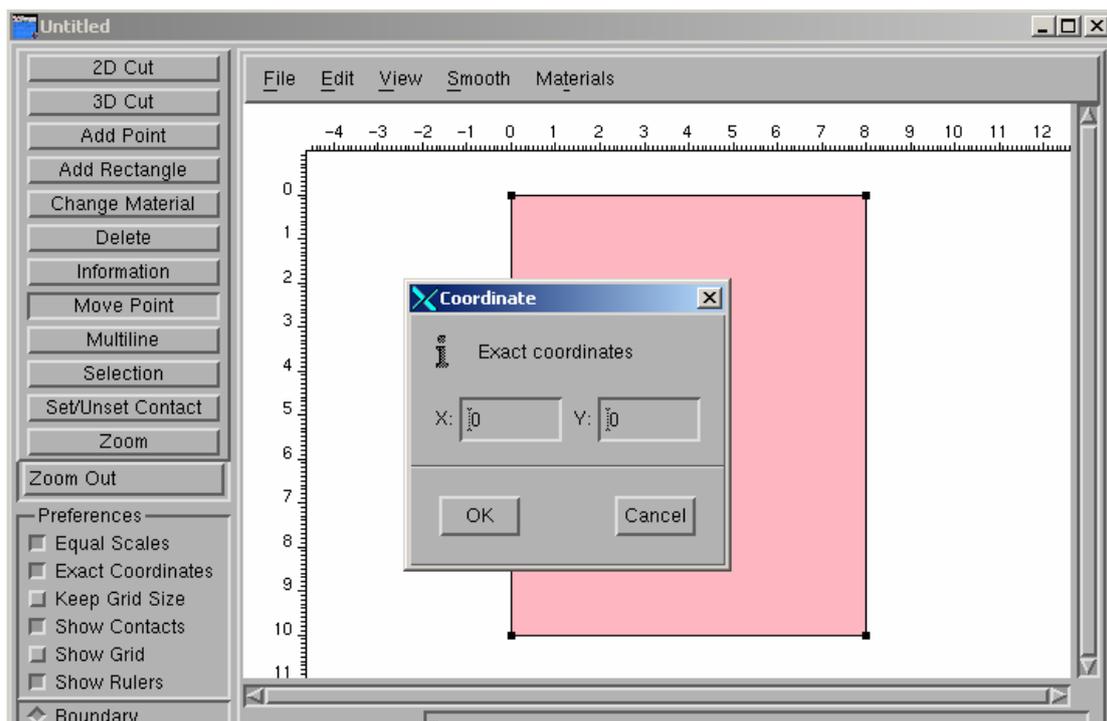


图 20 修改区域边界

作出体硅区域后,接着用上述同样的方法作出栅极下的 $\text{SiO}_2$ 和多晶硅栅极,不妨将 $\text{SiO}_2$ 边界坐标设为(4,-0.06) —(8,0),多晶硅边界坐标设为(4,-0.5) —(8,-0.06)如图 21 所示。

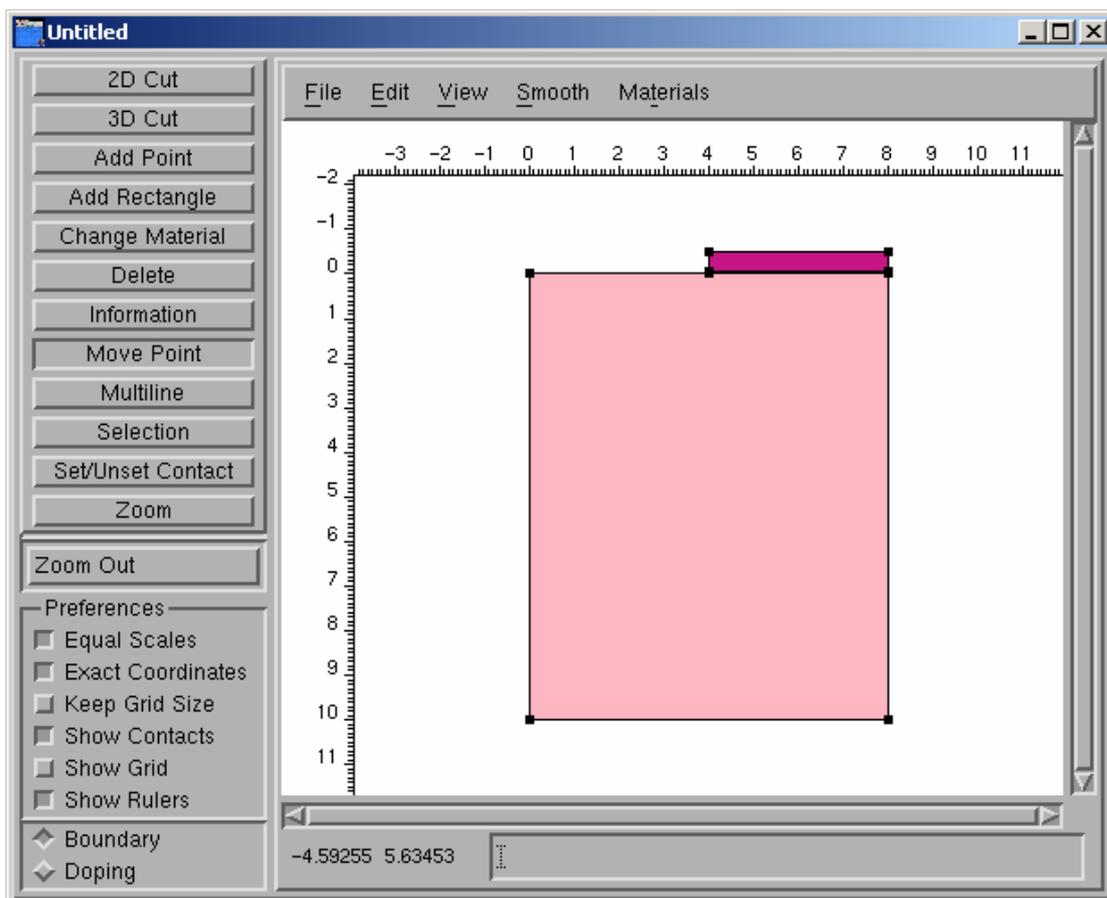


图 21 作出栅极

最后，我们添加接触点（Contact）作为器件对外的接口电极。点击坐标的“Add Contact”按钮，弹出一个对话框，将此 Contact 取名为“source”，如图 22 所示。

然后选中“Set/Unset Contact”按钮，将鼠标放在源区的表面点一下，可以看见一根红线添加到了源区表面，这样就完成了源区接触点的添加如图 23 所示。

如果想在器件上去掉这个 contact，确保坐标下拉框中选择了要去掉的 contact，然后选中“Set/Unset Contact”按钮，再用鼠标点一下作图区的该 contact 即可去掉。

如果觉得该 contact 接触面太大，想缩小长度，首先去掉该 contact，然后选中左边的“Add Point”按钮，在源区表面点出两个点，再在这两个点之间放置该 contact 即可，如图 24 所示。选中“Exact Coordinates”项同样可以精确确定这两个点的坐标。

依照上面的方法，我们在栅极上放置“gate”接触点作为栅电极，在衬底下边沿放置“drain”接触点作为漏电极。

这样，我们就完成了一个 VDMOS 的结构图，如图 25 所示。下一节我们将学习掺杂的方法。

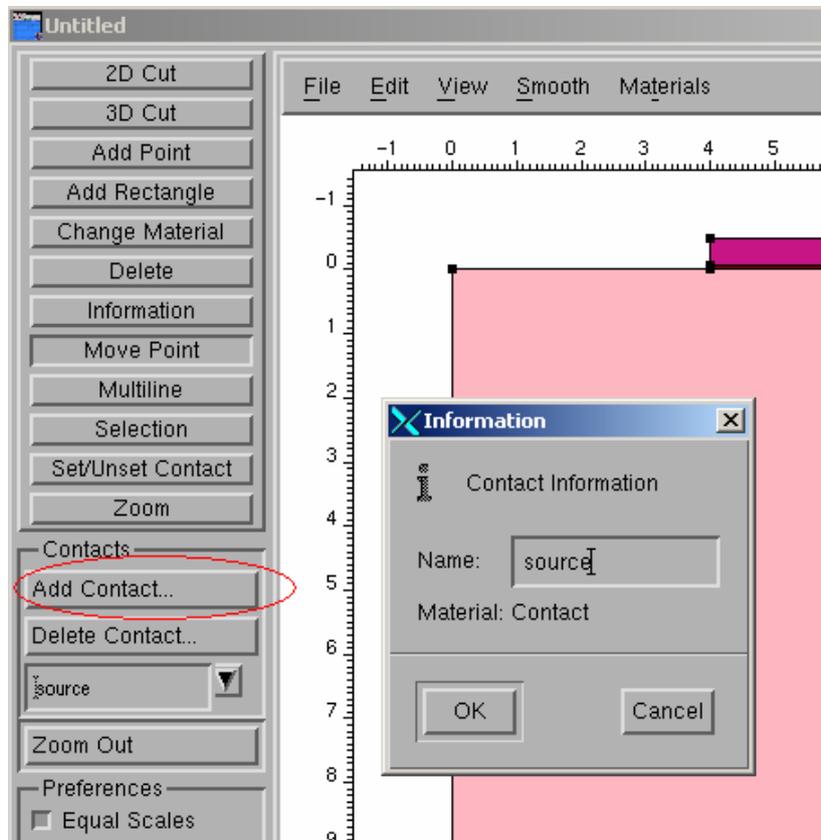


图 22 新建 contact

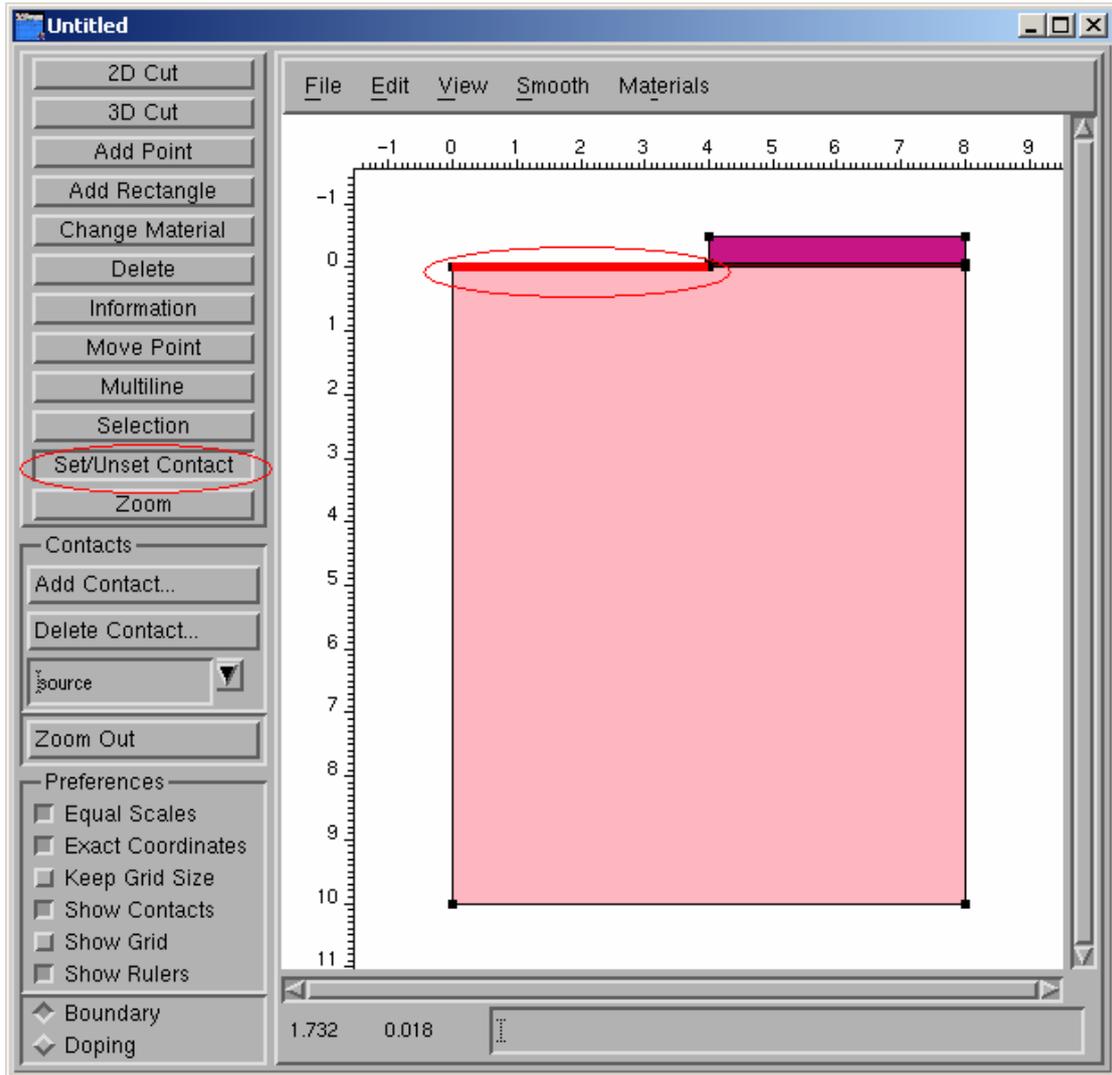


图 23 添加 contact 到器件上

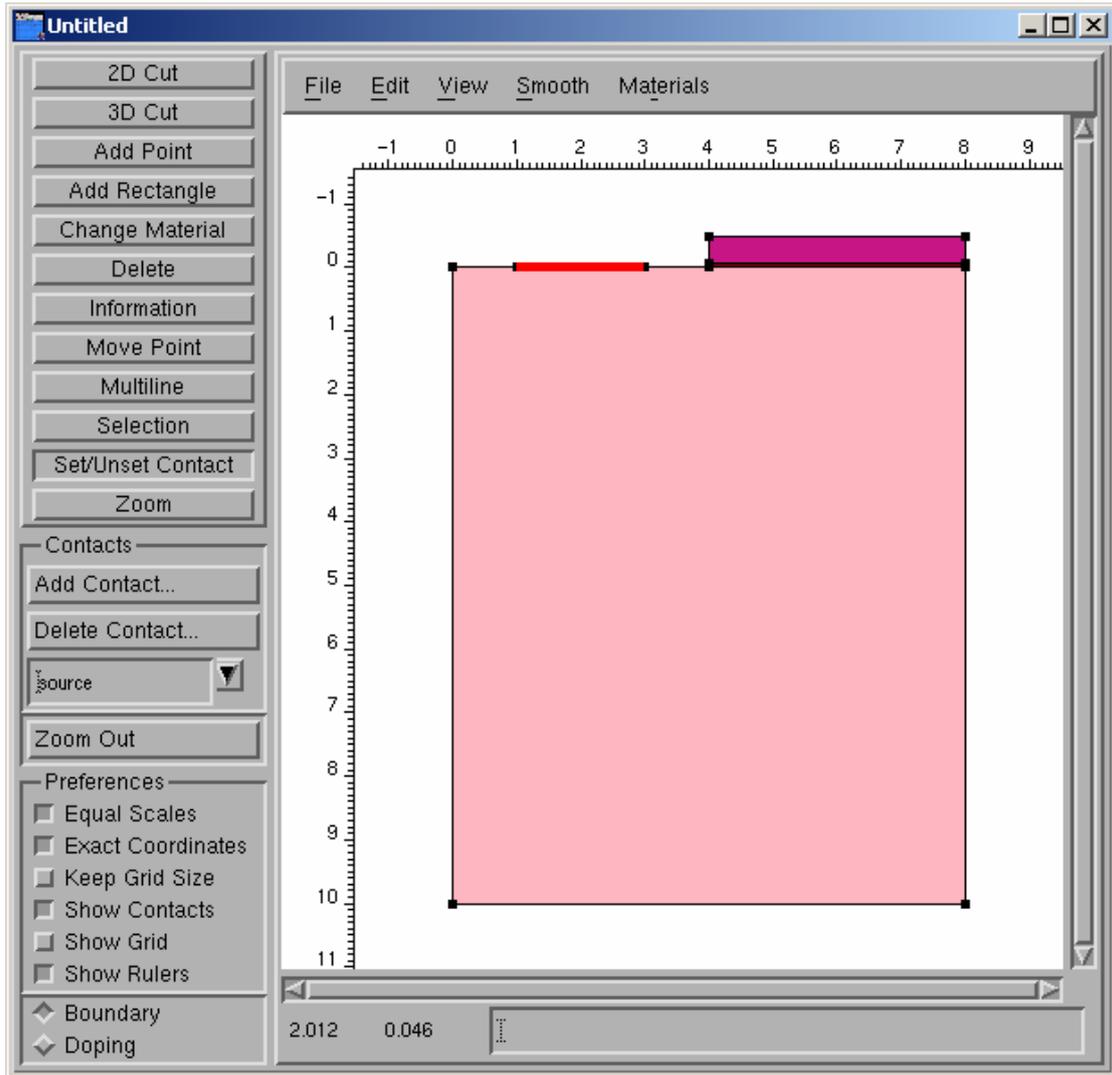


图 24 修改 contact 长度

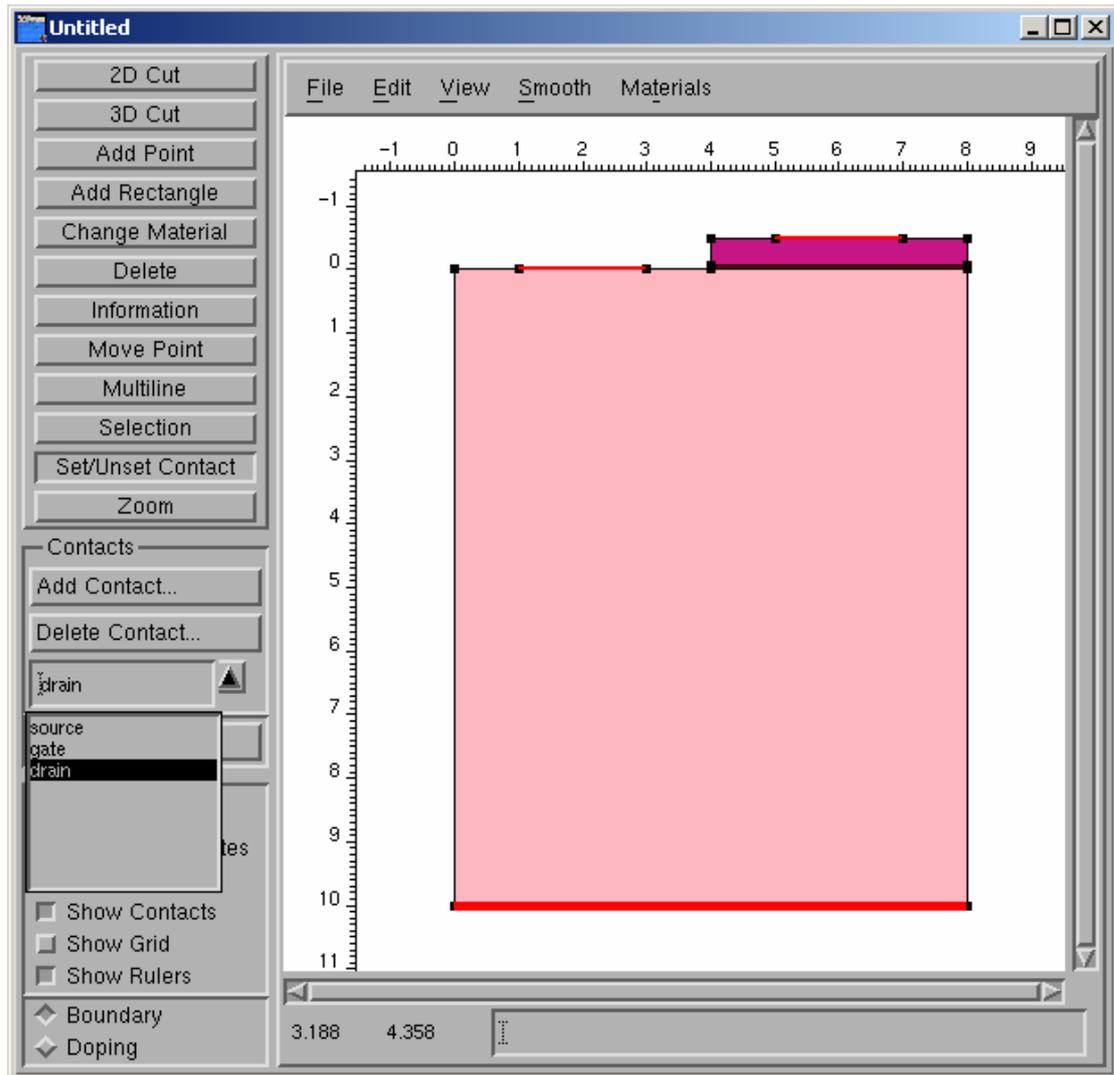


图 25 完成后的结构图

## 2. 3 掺杂

点击 MDraw 左下角的“Doping”项，就可以进入掺杂和建立网格视图（图 26）。如果还想返回上一步修改结构，可以点“Doping”项上面的“Boundary”项返回结构视图。

我们需要掺杂产生沟道、源区、漏区，参照“Vt”的掺杂参数，掺杂步骤为：

- A. 衬底掺杂：掺磷，浓度  $4 \times 10^{15}$
- B. 沟道掺杂：掺硼，浓度  $1 \times 10^{17}$
- C. 源区掺杂：掺磷，浓度  $2 \times 10^{19}$
- D. 衬底接触（源区左边）掺杂：掺硼，浓度  $1 \times 10^{19}$
- E. 漏区掺杂：掺磷，浓度  $1 \times 10^{19}$

掺杂视图中左上角有两个按钮，分别是“Add Analytical P.”和“add Constant P.”。第一个按钮是为扩散或注入掺杂准备的，主要用于制作源、漏和沟道，使用的时候是用鼠标拖一根线，杂质就会在这根线的单边或双边按一定的衰减分布。第二个按钮是为在外延时就混合杂质准备的，主要用于制作掺杂的衬底。

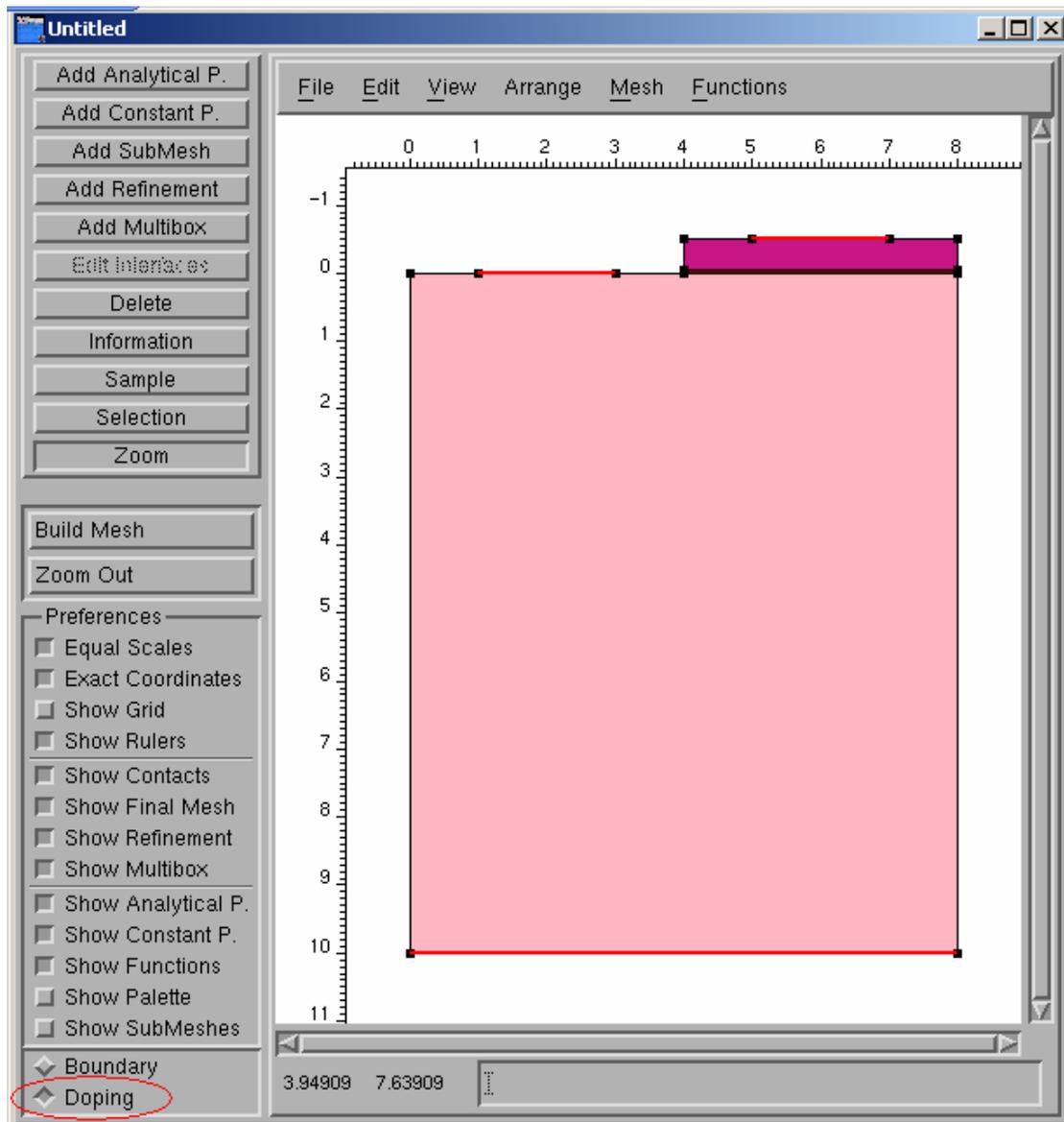


图 26 进入掺杂和建立网格视图

首先进行衬底掺杂。衬底的杂质是制作基片或者外延时就生长的，所以选中“add Constant P.”。确保左边的“Exact Coordinates”项选中，然后按住鼠标在作图区随便拖一个框，松开鼠标时会弹出一个对话框，我们填好具体掺杂区域的材料、边界坐标和浓度，为该掺杂取名“substrate”，如图 27 所示。

然后进行沟道掺杂。沟道的杂质是扩散进入体硅的。在 VDMOS 中，沟道掺杂在制作好栅极之后，沟道杂质是通过掺入源区的杂质横向扩散到栅极下面形成的，因此选中“Add Analytical P.”按钮。确保左边的“Exact Coordinates”项选中，然后按住鼠标在作图区随便拖一条线，松开鼠标时会弹出一个对话框，我们填好杂质材料、源区掺杂表面的坐标（线的起点和终点坐标，注意要为后面的衬底接触掺杂留一定距离）、掺杂浓度、掺杂深度因子（standard deviation）和横向扩散因子（lateral factor），为该掺杂取名“channel”，如图 28 所示。注意，掺杂深度因子和横向扩散因子需参照 manual 中计算并填写，也可以先设一个粗略值，等产生网格图像后，根据图像显示再调整。

根据上面方法，完成其它三种掺杂，掺杂配置分别如图 29—31 所示。最后得到结果如图 32。注意，给源区掺杂掺杂时，深度和横向扩散长度适当减小，以免遮盖了沟道区。

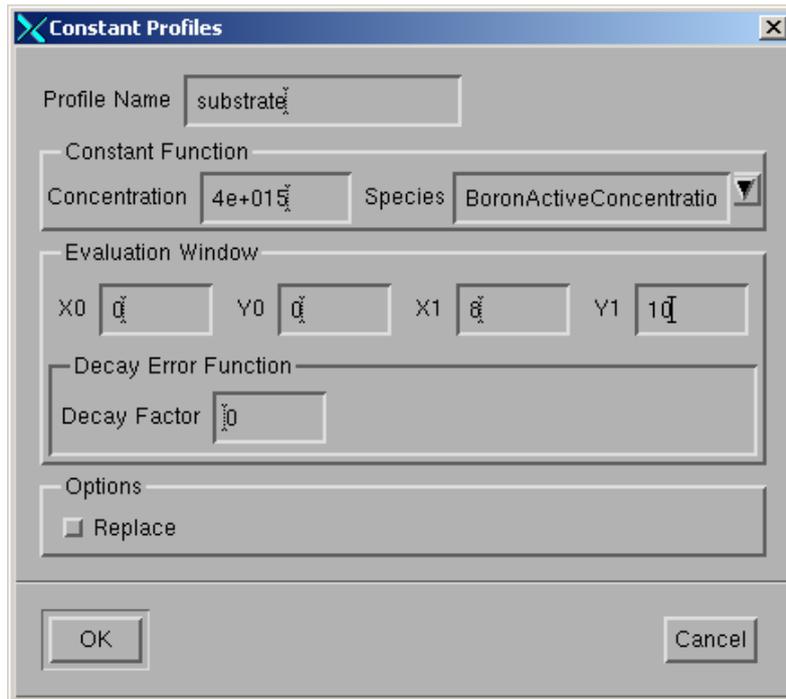


图 27 衬底掺杂

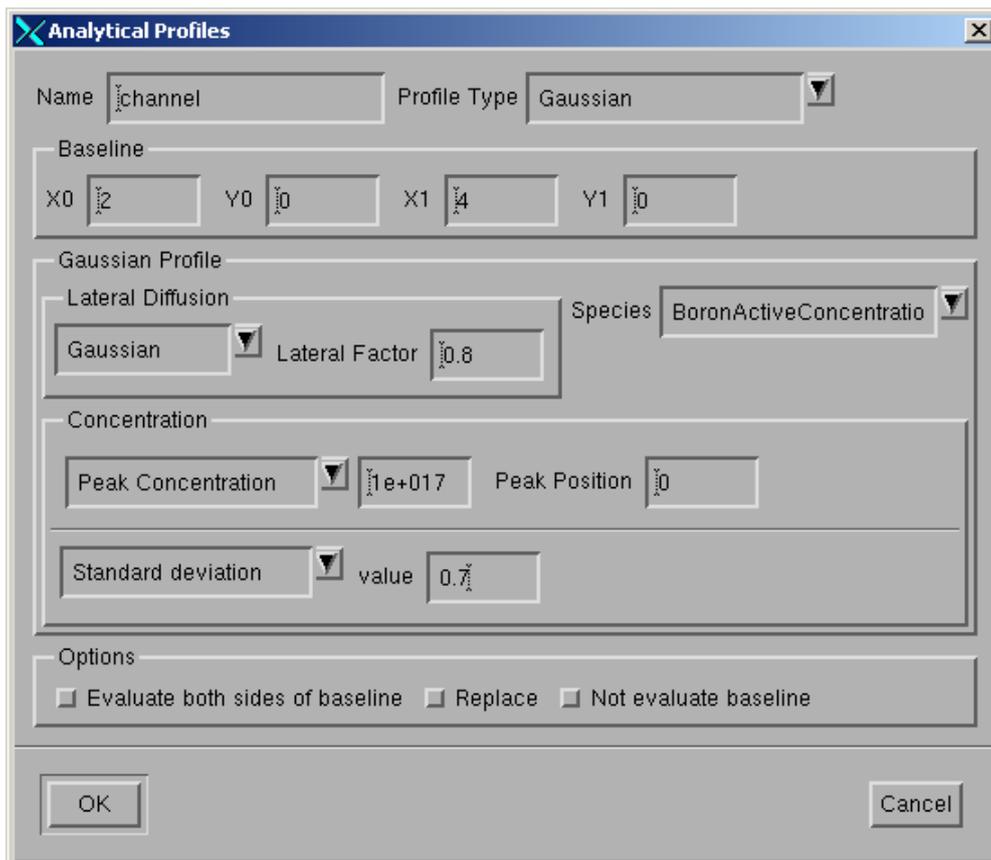


图 28 沟道掺杂

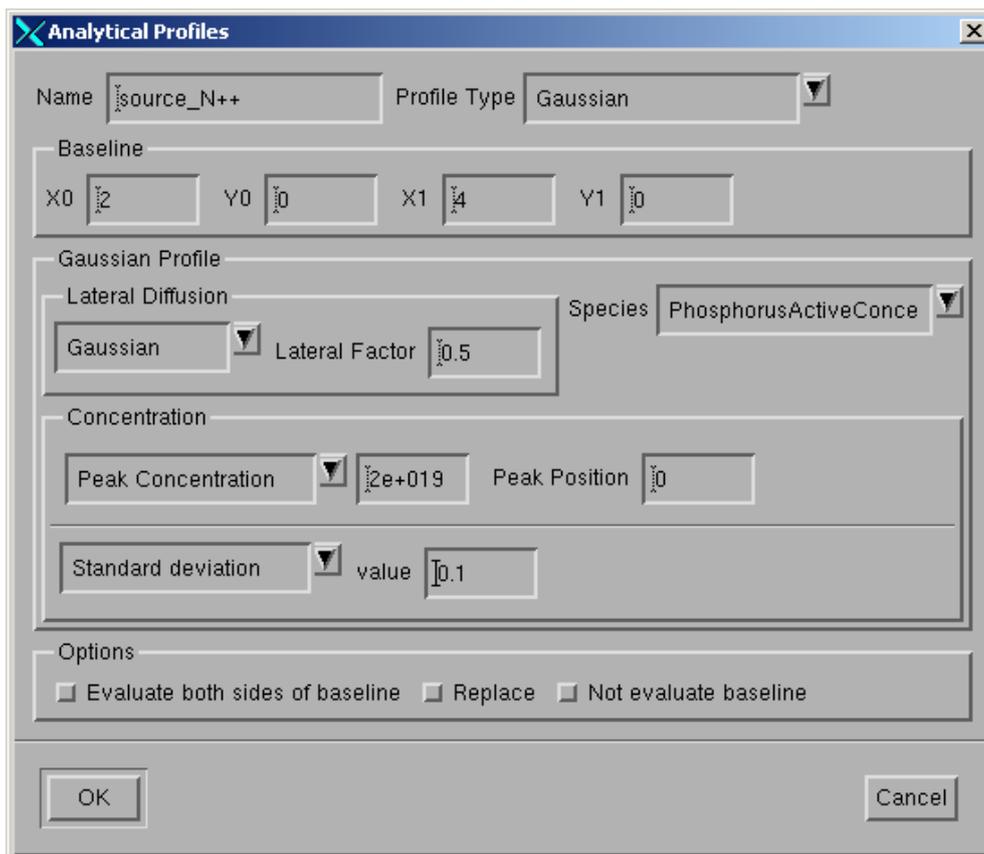


图 29 源区掺杂

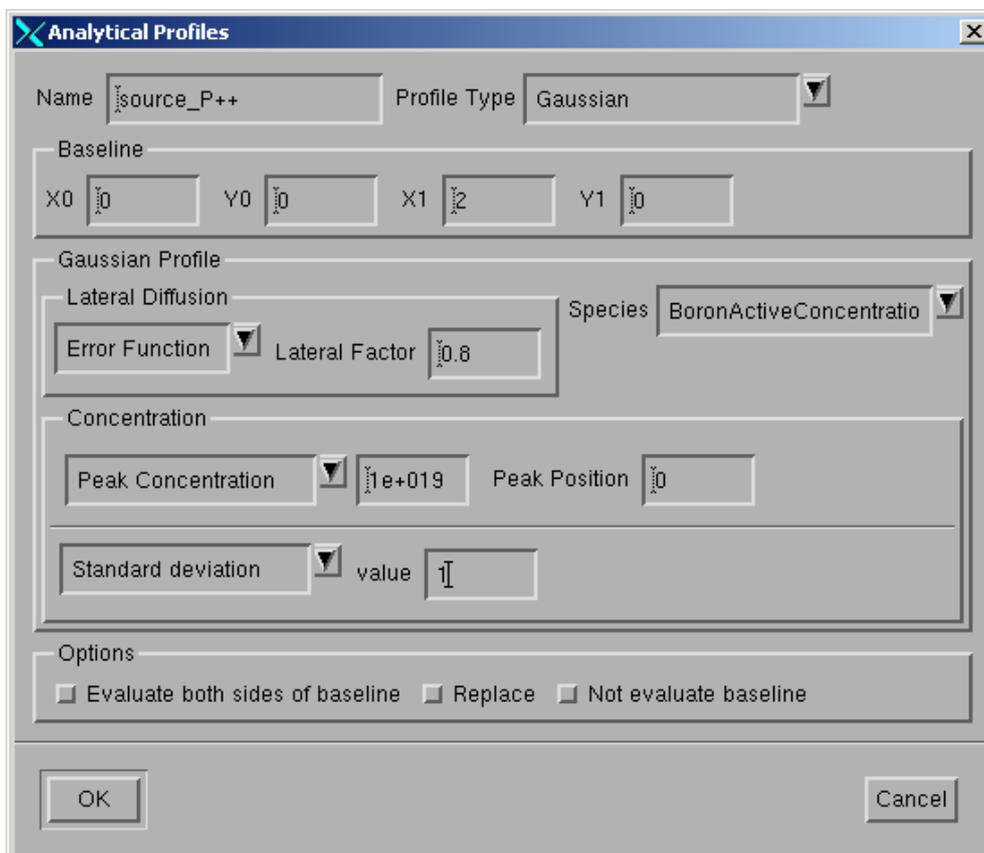


图 30 衬底接触掺杂

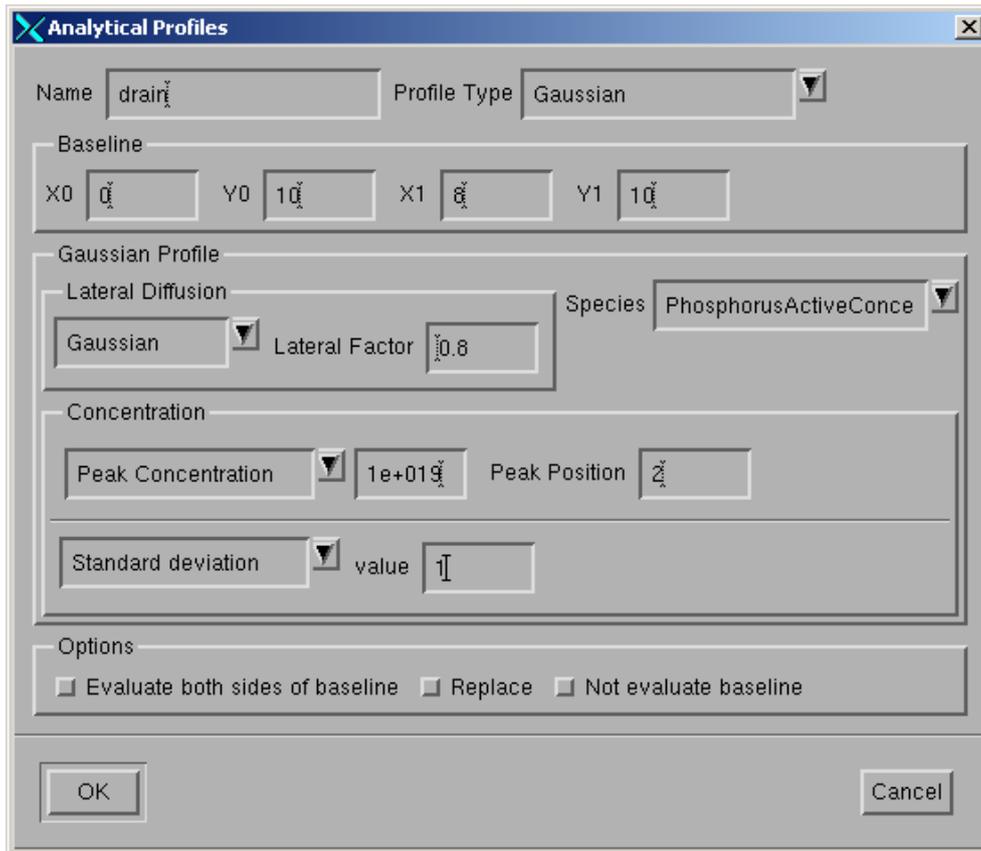


图 31 漏极掺杂

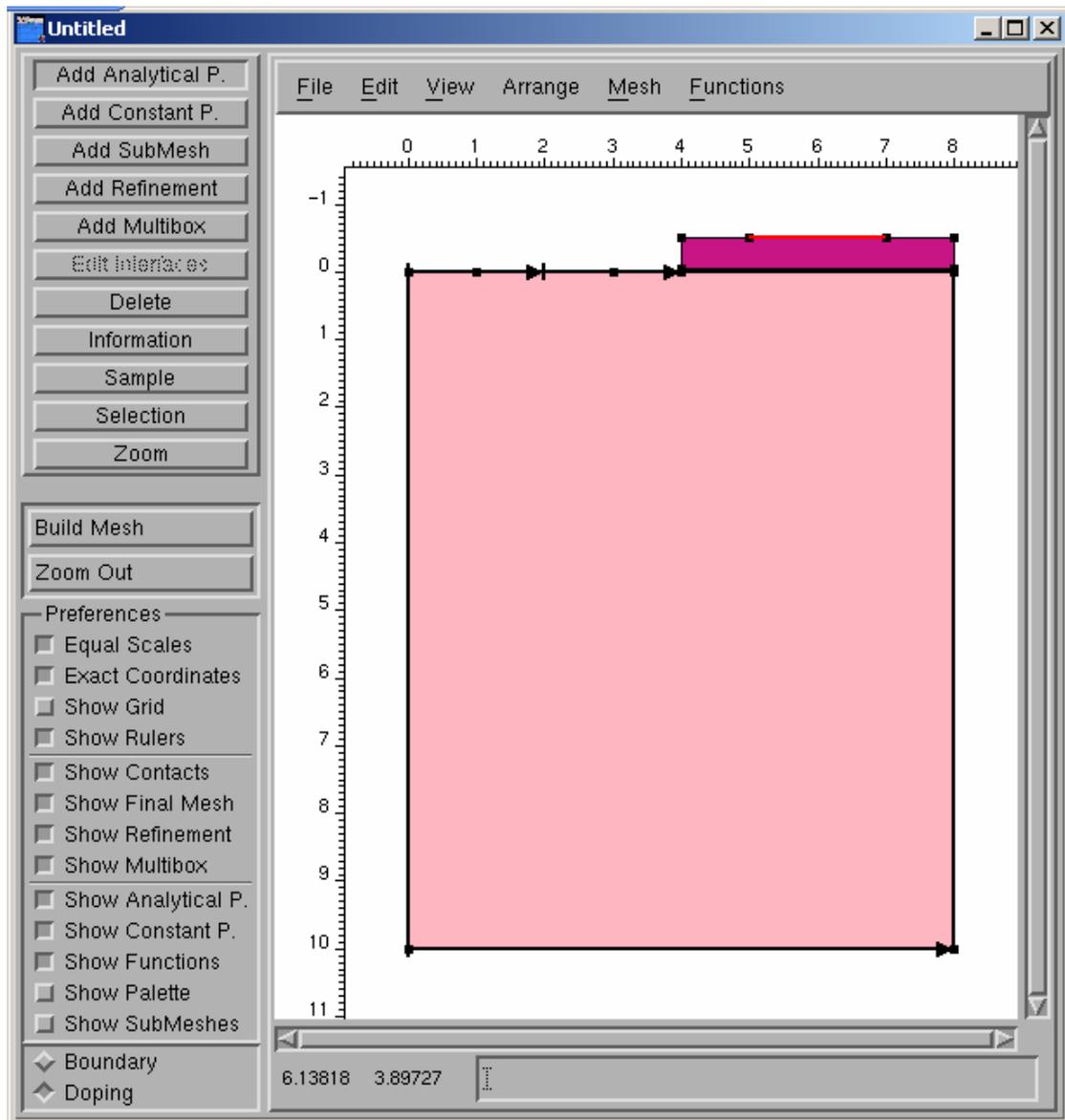


图 32 掺杂完成后的图形

## 2. 4 产生网格与调整设计

掺杂完成后，我们可以按左边的“Build Mesh”按钮产生离散化网格，同时还能看到掺杂效果，如图 33 所示。这时我们发现，产生的网格和掺杂似乎谁都不认识。这是为什么呢？这是因为没有定义好离散化网格在器件各个区域的格子大小造成的。

选中左边的“Add Refinement”按钮，确保左边的“Exact Coordinates”项选中，然后按住鼠标在作图区随便拖一个框，松开鼠标时会弹出配置网格的对话框，就可以设置网格大小在某个区域的最大值和最小值，同时指定该区域的范围。一般来说，掺杂比较复杂的区域就应该是格子比较细小的地方，所以我们可以将源、漏、沟道区的格子设置较小，如图 34 所示。我们还可以根据需要添加多个相同或不同区域的网格大小配置。

设置好格子大小后，再“Build Mesh”一次，这次对得起观众了（如图 35），呵呵。图中红色区域为 N 型掺杂，蓝色区域为 P 型掺杂，颜色越浓掺杂浓度也越高。可以选中左边

的“Show Palette”项查看图例。

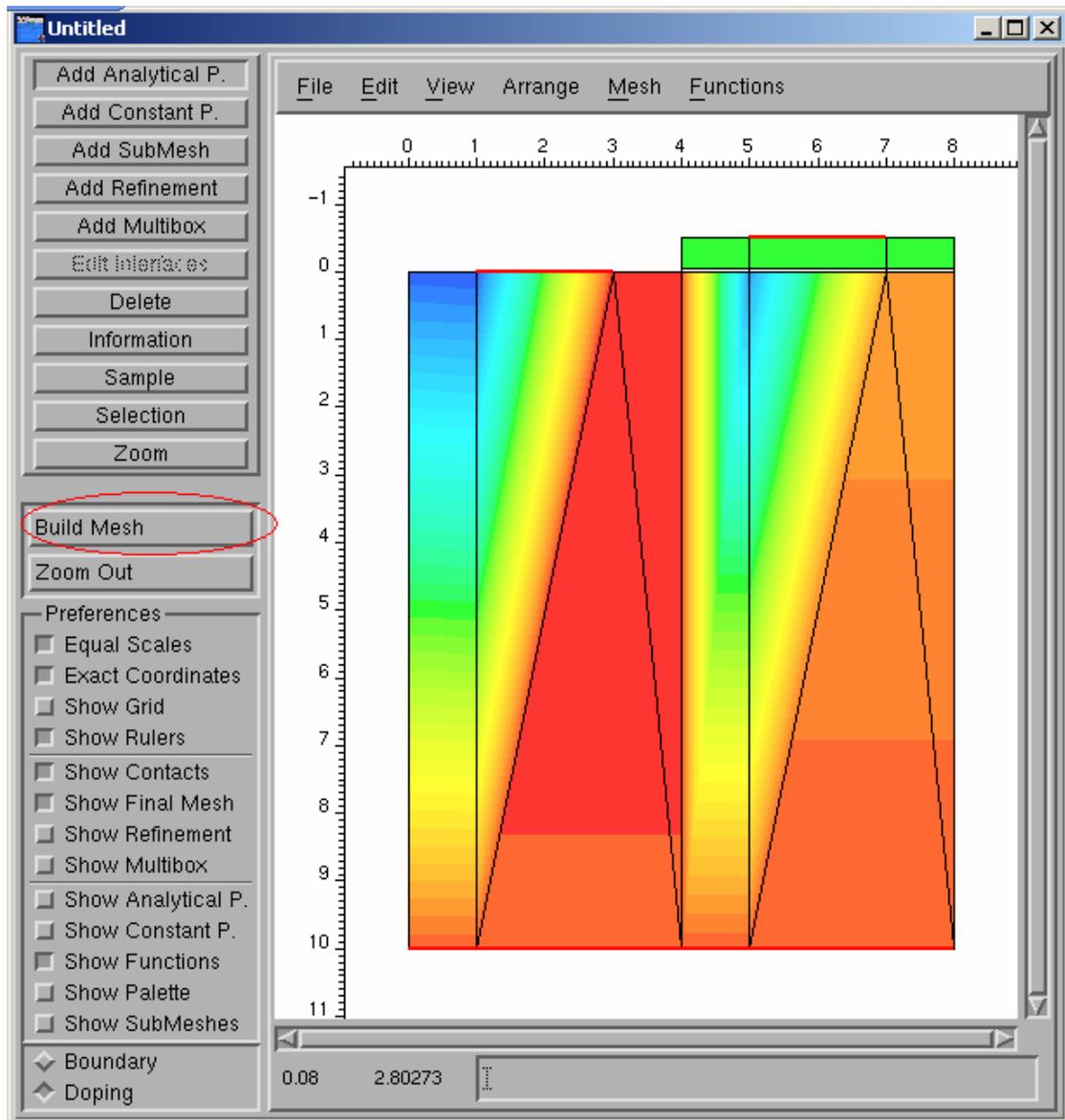


图 33 第一次 Build Mesh

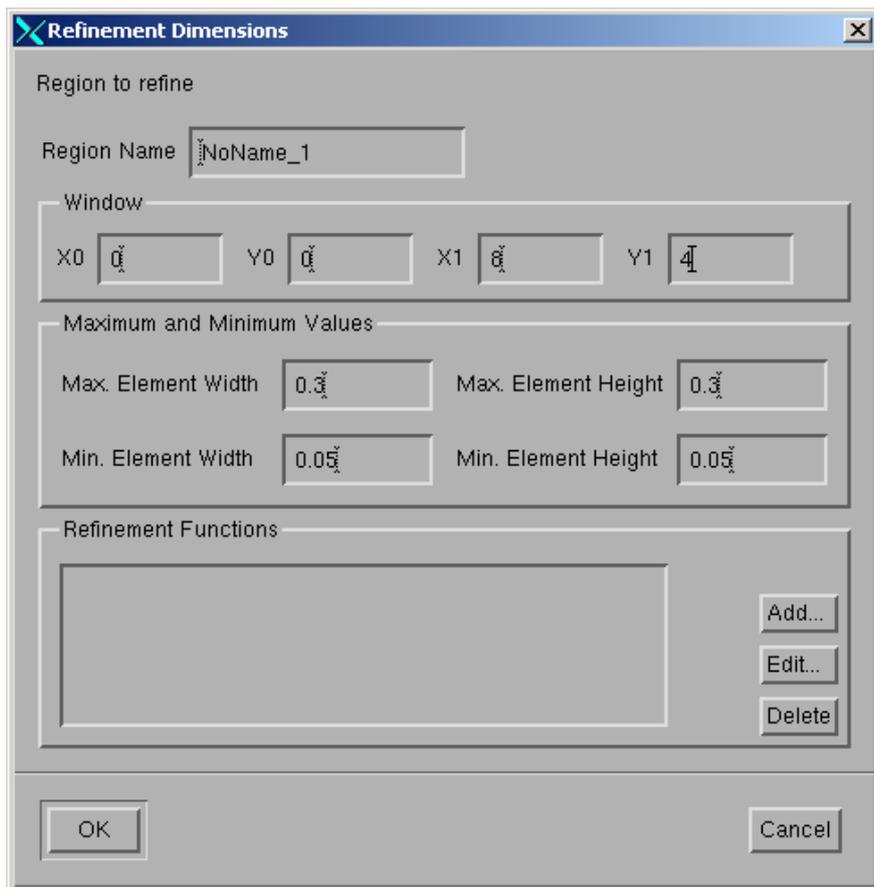


图 34 配置格子大小

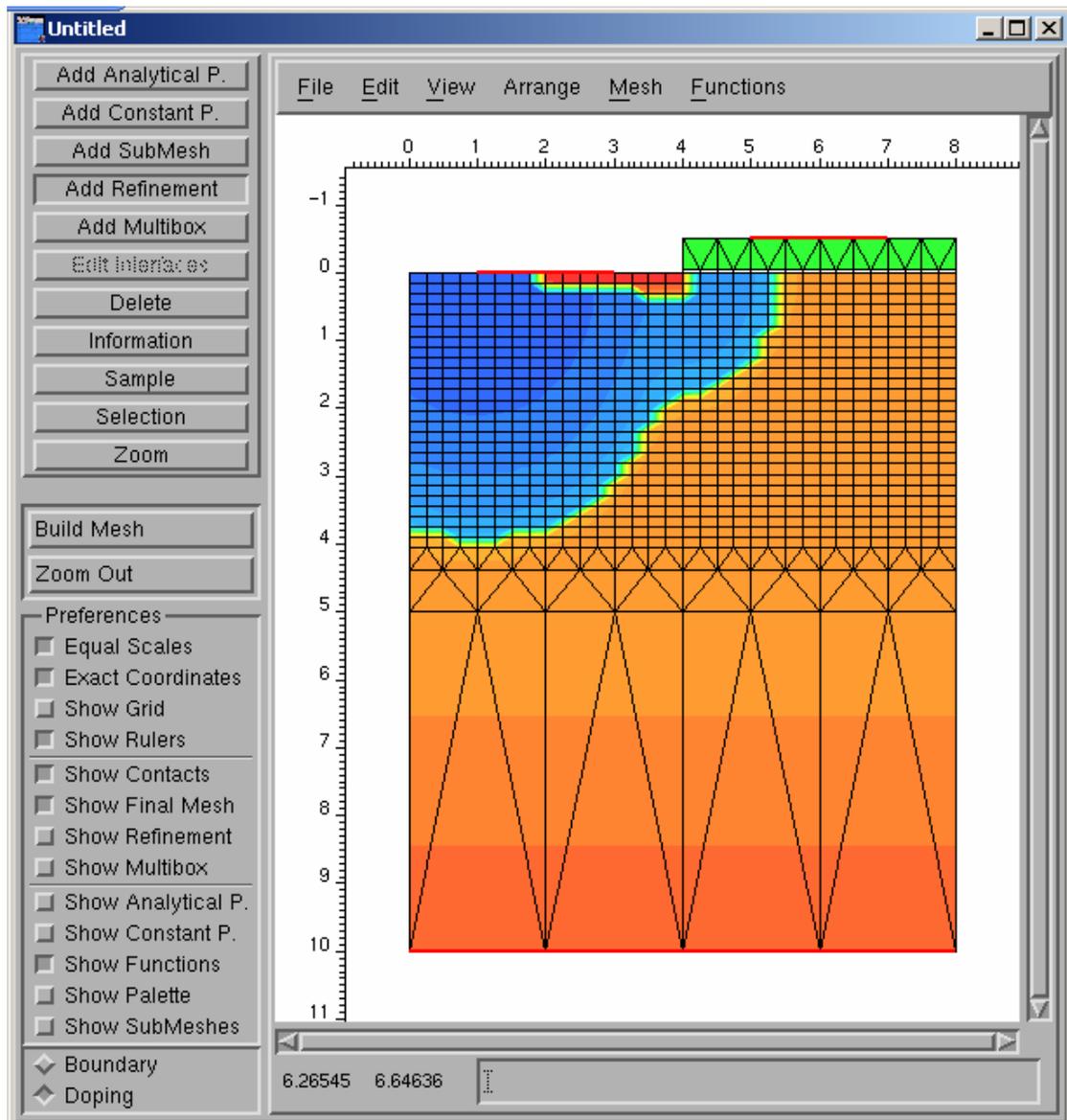


图 35 第二次 Build Mesh

到此为止，结构图就完成了，我们在“菜单”——“File”中点击“Save All”，就可以保存所有输入和产生 Mesh 网格后的输出文件。建议结构文件取名“mdr.bnd”，掺杂和网格配置文件取名为“mdr.cmd”，这样默认的文件名以利于其它工具的自动识别。输出文件会根据输入文件名自动命名。

如果对结构不满意，可以点击左下角的“Boundary”按钮退回结构视图修改。如果对掺杂和网格大小配置不满意，可以选中左边的“Show Analytical P.”项、“Show Constant P.”项或“Show Refinement”项，然后选中“Information”按钮，此时作图区会出现掺杂、网格等标志，鼠标单击就可以显示其具体配置，修改即可。如果要删除某个掺杂或网格配置，选中“Delete”按钮，鼠标单击对应标志就可以将其删除掉。

如果多个标志放在一起，有些标志被覆盖了，需要修改被覆盖的标志的时候，可以在“菜单”——“View”中选择“List Of Profiles”显示所有的掺杂列表，或者选择“List Of Refinements”显示所有的网格配置列表，从中选择对应的项修改即可，如图 36 所示。

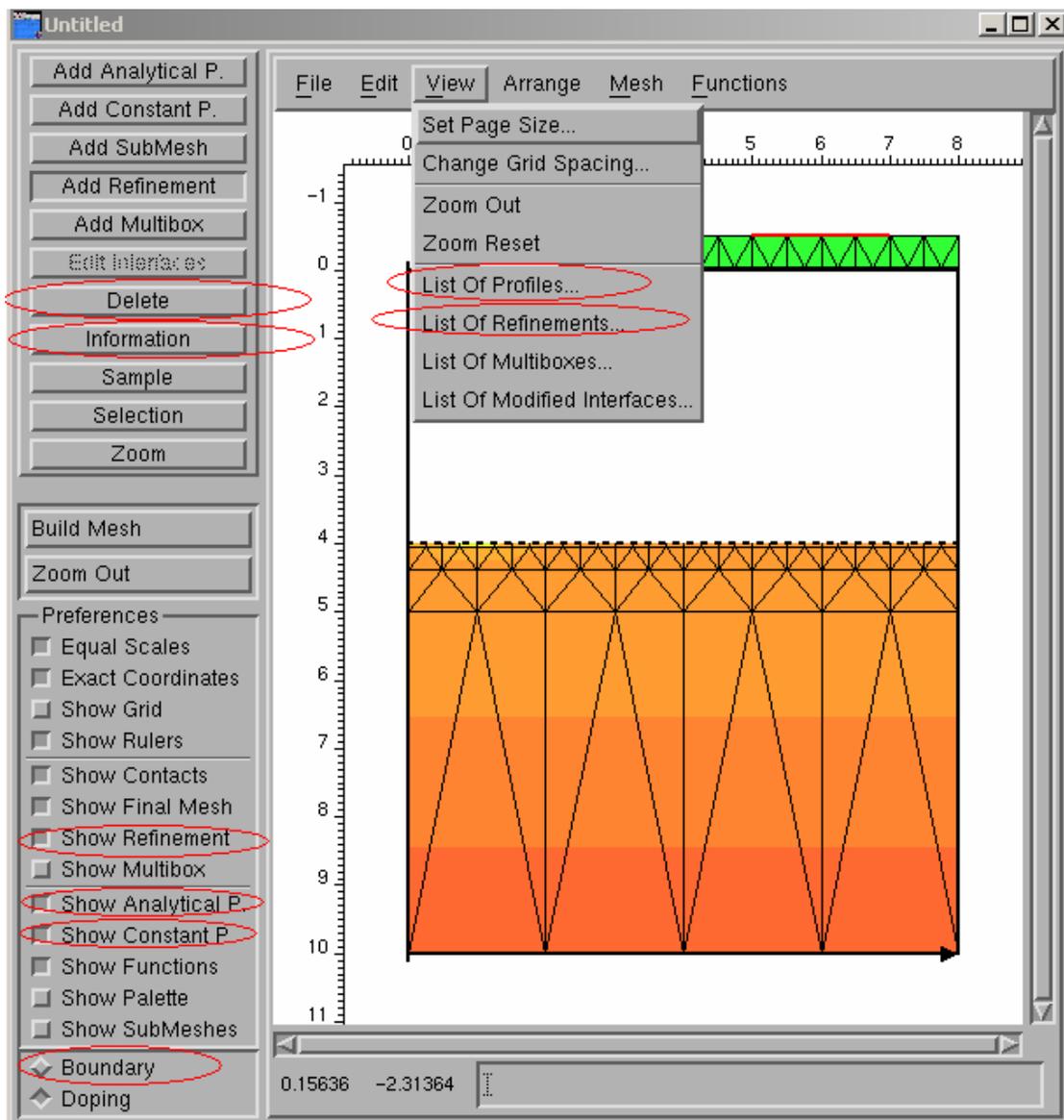


图 36 修改设计

### 3. 器件模拟：Dessis

#### 3. 1 模拟输入文件

Dessis 通过一个模拟输入文件（默认为“des.cmd”）来设置模拟使用的器件数据、模拟方法、物理效应、模拟流程等内容。

在“ISE Tool Flow Editor”子窗口中将 Dessis 拖入到左边流程图中（工程“Vt”中已完成）。点击选中左边流程图中的“Dessis”图标，然后点击菜单上的“Edit”—“input”（如图 11），此时弹出子菜单，点击“Commands”项（如图 12），des.cmd 就被打开了。如果打开后内容显示不规整，可以在该工程目录中找到该文件，用写字板打开修改，或者在

GENESISe 的“菜单” — “Special” — “Prdferences” 中 “WB-Binaries” — “editor” — “text” 中将设置的默认编辑器 “notpad” 改为写字板的路径。

工程 “Vt” 的 “des.cmd” 文件内容与说明如下，读者可以参照 manual 对其进行修改，或设计自己的模拟文件。

```

#-----#
#- DESSIS input deck for  “#” 开头的行为注释行
#-
#- Id=f(Vg) for Vg=0-8V   while Vd=0.1, 8V and Vs=0V
#-      模拟漏极电压为0.1V和8V时的阈值电压
#-----#

Electrode {
    { Name=source Voltage=0.0 }
    { Name=drain Voltage=0.0 }
    { Name=gate Voltage=0.0 Barrier=-0.55 }
}
    设置接触点contact所加的电压，注意这里电极的名称应该与结构图中contact的取名一致
    Barrier表示栅电极和多晶栅极接触时有-0.55V的肖特基势垒

File {
    grid      = "@grid@"      @.....@表示由预处理程序指定，这里不用动它，需要了解其用法可以参考manual
    doping     = "@doping@"    后三行为输出文件名
    current   = "@plot@"
    output    = "@log@"
    plot      = "@dat@"
    Param     = "mos"
}
    下面的前两行是输入文件名，即第一行为mdr.bnd，第二行为mdr.cmd
    这里表示使用mos器件的一些预定义参数，即工程所在文件夹需要包含一个文件“mos.par”，这在“Vt”中已自带，在别的mos器件模拟时可以拷贝使用。

Physics {
    Mobility( DopingDep HighFieldsat Enormal )
    EffectiveIntrinsicDensity( OldSlotboom )
}
    这段是使用的物理模型
    “Vt”采用基于掺杂浓度、高场饱和的普通迁移率模型

Plot {
    eDensity   hDensity
    eCurrent   hCurrent
    eVelocity  hVelocity
    eMobility  hMobility
}
    下面是需要求解的参数

```

```

eQuasiFermi hQuasiFermi
ElectricField
Potential
SpaceCharge
SRH
Auger
AvalancheGeneration
DonorConcentration
AcceptorConcentration
Doping
}

```

Math { 下面是数值计算时的配置

```

Extrapolate
Derivatives
Notdamped=50
Iterations=15
RelerrControl
NewDiscretization
}

```

Solve { 最后是设计过程

```

#-initial solution:
#-a) zero solution
Poisson

```

Coupled { Poisson Electron } 首先在漏极电压为0下用泊松方程模拟。

```

#-#-b) ramp drain

```

Quasistationary ( 使用准静态模型，模拟漏极电压从0—VDrain时的情况

```

  InitialStep=0.05
  MaxStep=0.2
  Minstep=1.e-5
  Goal { Name=drain Voltage=@VDrain@ }
)

```

{ Coupled { Poisson Electron } } 只模拟电子运动，不考虑空穴

```

#-ramp of gate:

```

```

Quasistationary (
  InitialStep=0.05
  MaxStep=0.025
  Minstep=1.e-5
  Increment=1.3
)

```

使用准静态模型，模拟栅极电压从0—8V时的情况

```

Goal { Name=gate Voltage=8.0 }
)
{ Coupled { Poisson Electron } }只模拟电子运动，不考虑空穴
}

```

### 3. 2 模拟过程

模拟配置文件 des.cmd 配置好后，在“ISE Status Window”子窗口中，点击“Run All”按钮，弹出对话框询问模拟所用调度器，点击“Yes”即可开始模拟，如图 37 所示。模拟途中需要中断可点击“Abort”按钮取消。

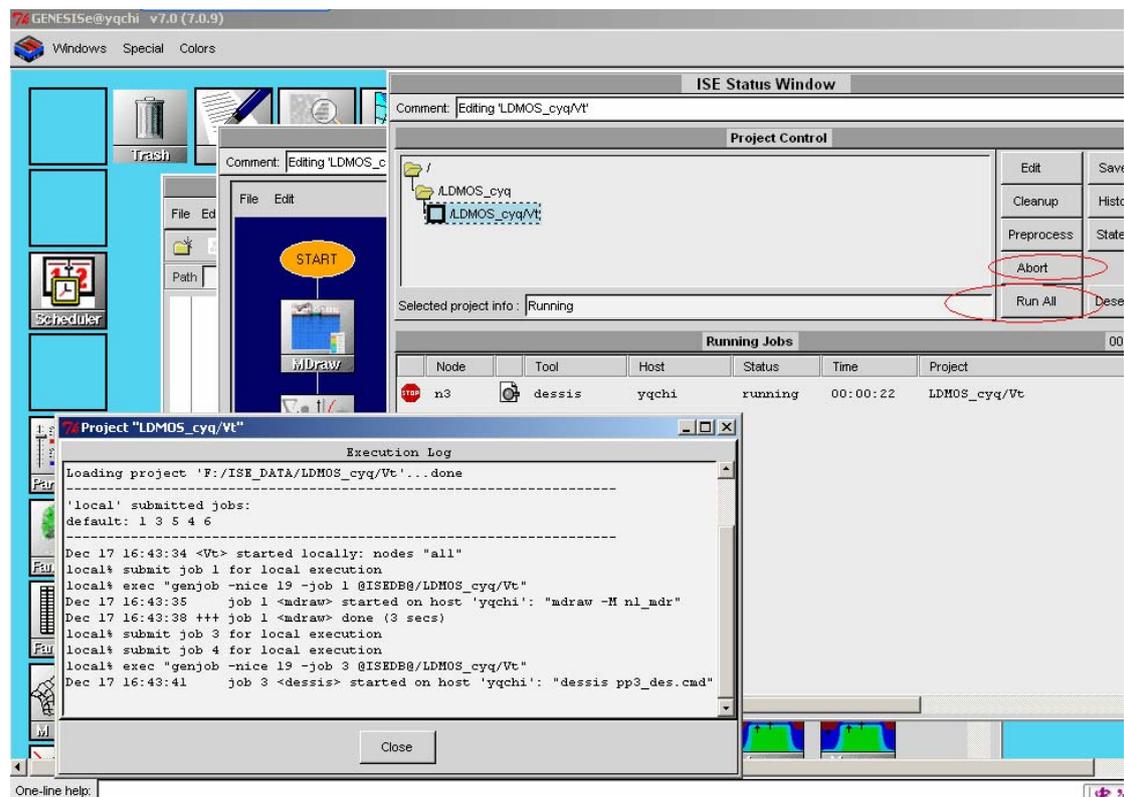


图 37 模拟过程

模拟完成后，由于“Vt”的模拟流程图中最后包含了 Inspect 工具，所以模拟结束后 Inspect 工具会启动，并根据其配置文件“ins.cmd”画出对应的曲线图，如图 38 和图 39 所示。我们将在下一节详细讲述结果的可视化。

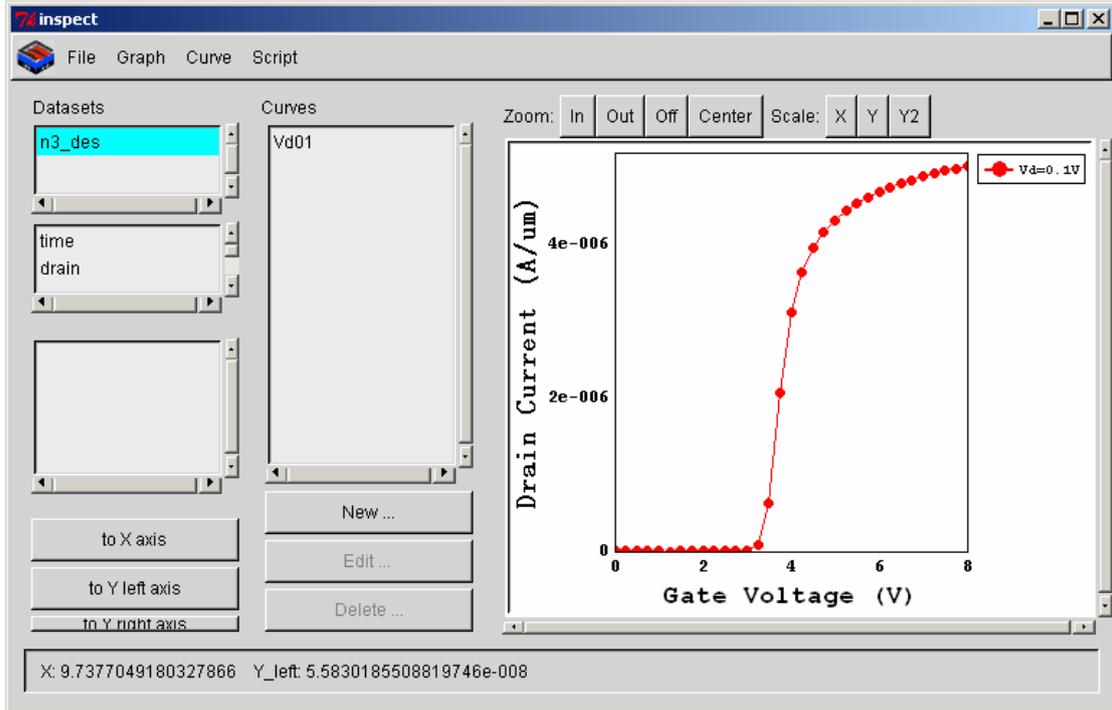


图 38 “Vt” 工程输出的第一个  $I_d-V_g$  图

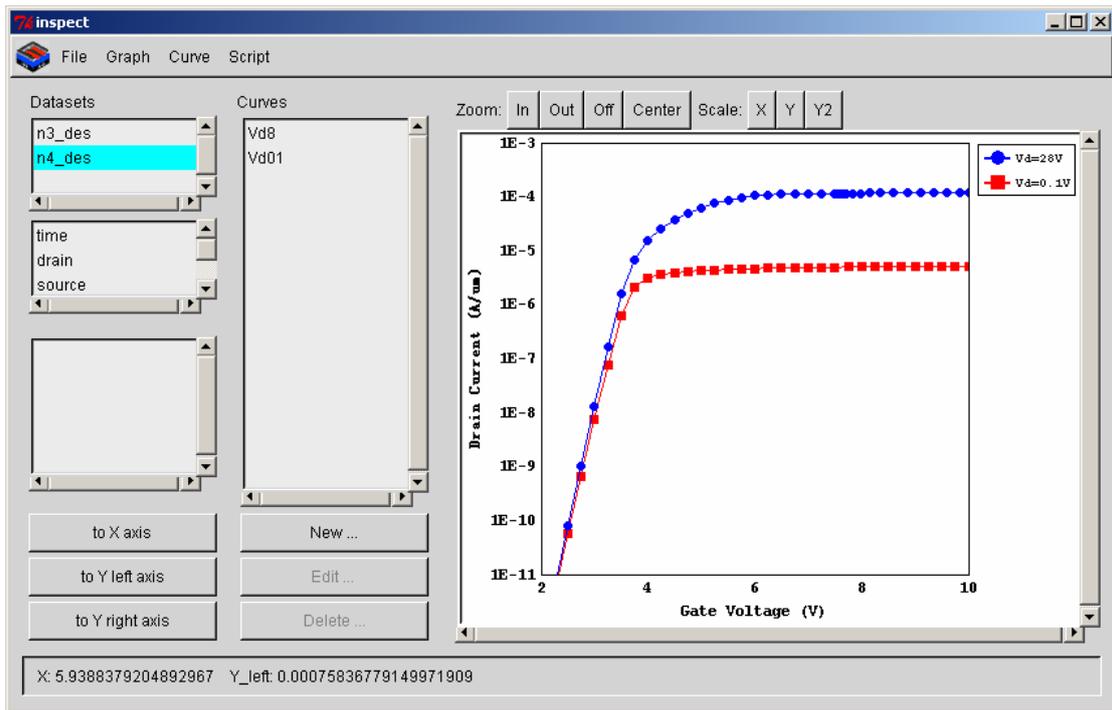


图 39 “Vt” 工程输出的第二个  $I_d-V_g$  图

## 4. 可视化

MOS 器件模拟结果的可视化一般使用两种工具，一种是 Inspect，它可以显示统计结果

参数的二维曲线，如 I-V 图、C-V 图、I-f 图等；另一种是 Picasso，它可以用不同颜色显示器件内部各处的电场分布、电势分布、电流分布等信息，方便我们查看器件工作的微观细节。

#### 4. 1 曲线可视化: Inspect

在 GENESISe 中双击图标“Inspect”即可打开 Inspect。点击“菜单”—“Load Datasets”，在“Vt”工程中选择“n3\_des.plt”打开模拟结果的统计数据，如图 40 所示。

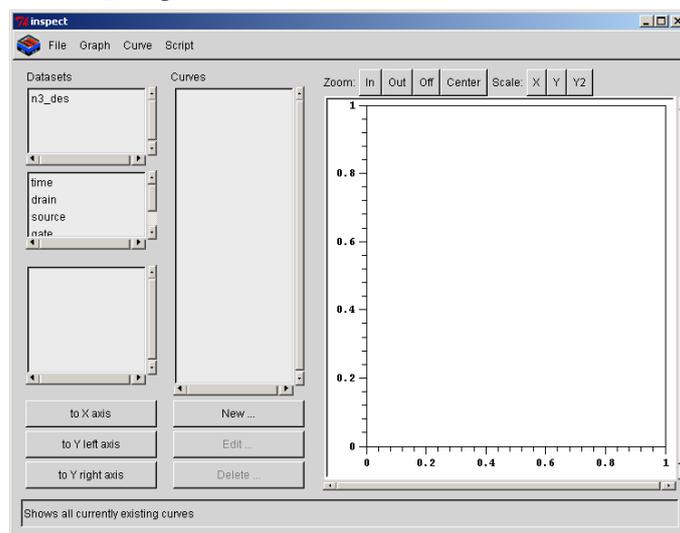


图 40 Inspect 窗口

在第二栏中选择“gate”，第三栏会出现很多参数，选择“OuterVoltage”，点击下面的“to X axis”，即将栅极电压放到了 X 轴上，如图 41 所示。

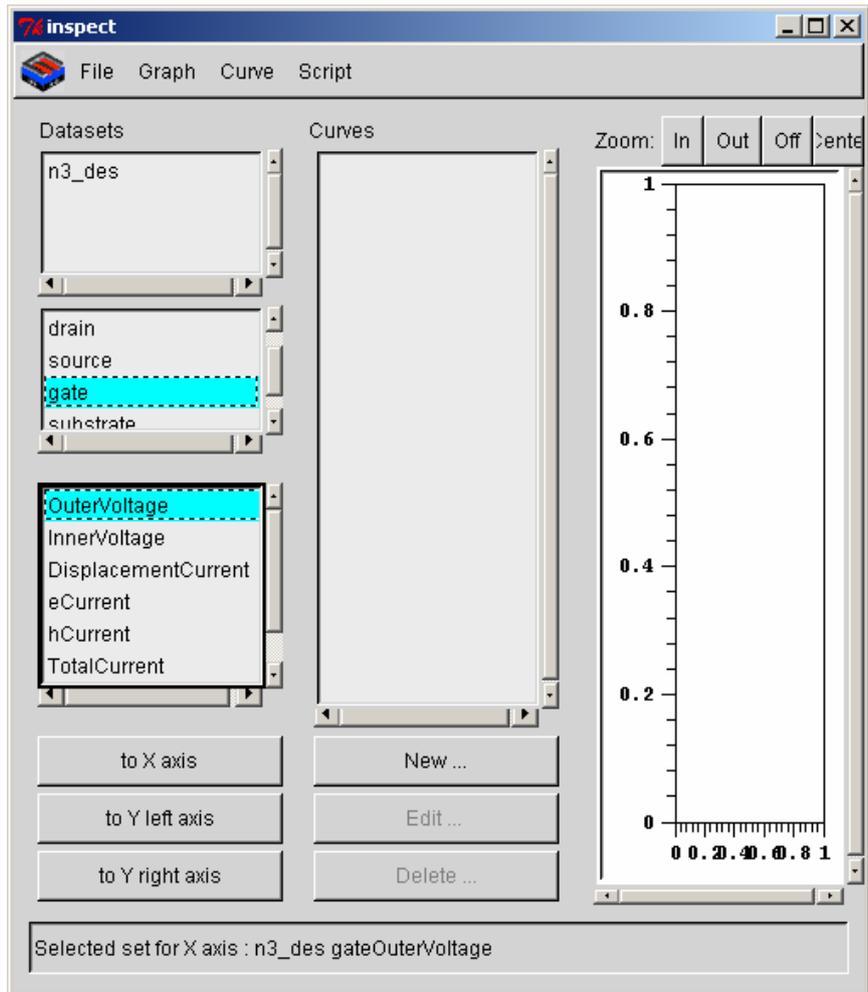


图 41 放置 X 轴参数

同样，在第二栏中选择“drain”，第三栏会重新出现很多参数，选择“TotalCurrent”，点击下面的“to Y left axis”，即将栅极电压放到了左边 Y 轴上，同时  $I_d-V_g$  曲线也出现了，如图 42 所示。

重新选择别的参数放在 Y 轴上，可以将多条曲线画在一个图上。

当多条曲线在一个图上而我们需要除去某条曲线时，可以在 Curves 栏中选中它，然后点击下面的 Delete... 按钮即可删掉此曲线。

曲线图上方的 Zoom 类四个按钮可以放大或缩小曲线，方便观察；右边的 Scale 类三个按钮可以将坐标轴在线性坐标和指数坐标间切换。

另外，在菜单中还可以找到使曲线图更美观方便的设置，读者可以参考 manual 实际操作试验。

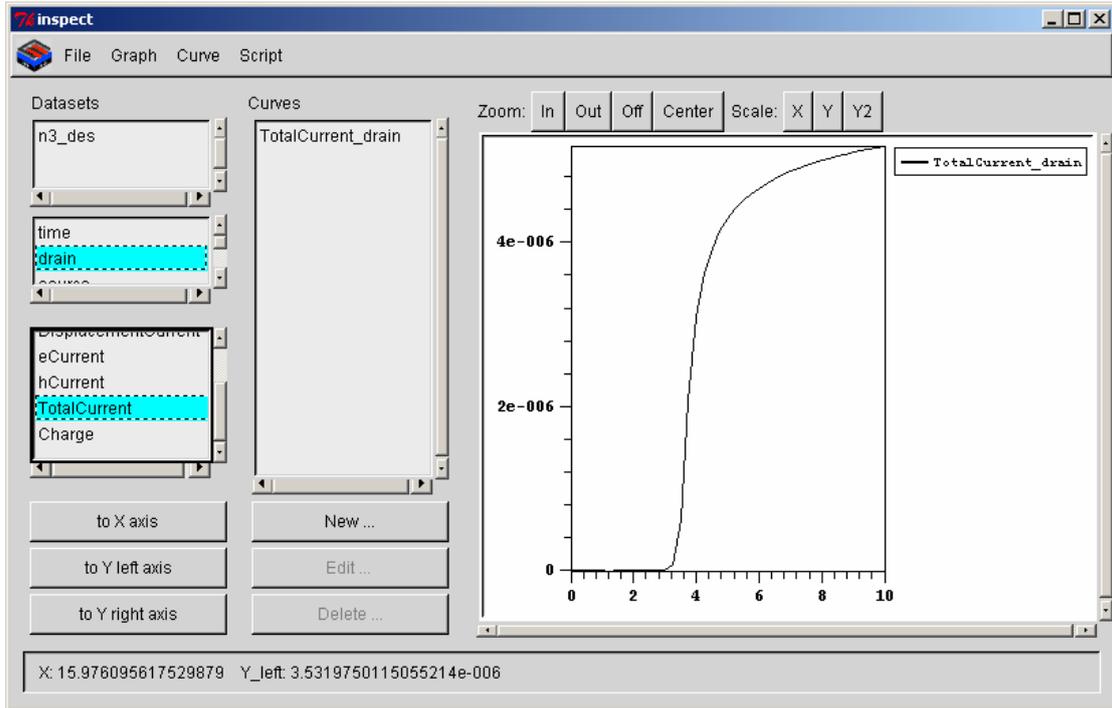


图 42 作出  $I_d-V_g$  图

## 4. 2 分布可视化: Picasso

在 GENESISe 中双击图标“Picasso”即可打开 Picasso. 点击“Objects”按钮, 选择“Load geo...”, 打开工程“Vt”的“n1\_mdr.grd”(这是 build mesh 后产生的器件结构网格文件)。然后再点击“Objects”按钮, 选择“Load sim...”, 打开工程“Vt”的“n3\_des.dat”(这是 Dessis 模拟后产生的结果数据文件)。最后点击“Panel”按钮, 选择“Model”, 会出现一个参数表, 点其中的一个参数就可以看到其在器件中的分布情况, 颜色不同代表了分布值的不同, 可以参看图中的图例, 如图 43 所示。使用 View 按钮下的选项可以放大或缩小图形。左键可以拖动平移图形, 右键可以旋转图形(只在显示三维图形时有意义)。

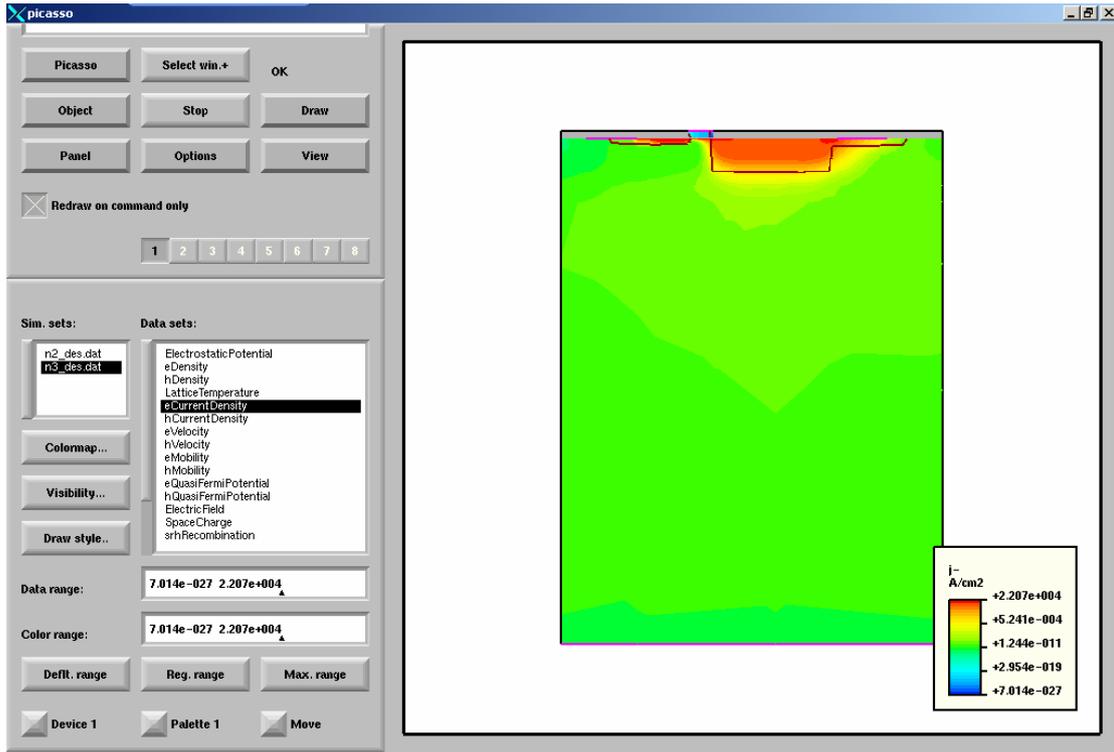


图 43 电子电流密度分布图