



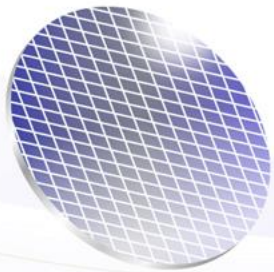
國立清華大學
NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY

Electronic Devices &
Integrated Circuits
Laboratory

Slivaco TCAD Tutorial

陳祐萱

yhchen@gapp.nthu.edu.tw





TCAD

- **TCAD** 是 Technology Computer Aided Design 的縮寫，指半導體製程技術模擬以及元件特性分析模擬工具。目前商用的 TCAD 工具有：
 - **Silvaco** 公司
 - a. **Athena**：Process Simulation (離子佈植、擴散、蝕刻、沉積、光刻、氧化)的模擬。
 - b. **Atlas**：建立結構、半導體元件特性分析(電學、光學和熱學行為)
 - **Synopsys** 公司
 - a. **Tsupprem**：Process Simulation
 - b. **Medic**：建立結構、半導體元件特性分析
 - c. **Sentaurus Process**：Process Simulation
 - d. **Sentaurus Structure Editor**：建立結構
 - e. **Sentaurus Devices**：半導體元件特性分析



遠端連線伺服器 & 啟動Silvaco (I)

使用MobaXterm

1. 開啟MobaXterm

2. 點選Session

3. 點選SSH

4. remote host

輸入 140.114.24.31 port22

輸入 140.114.24.33 port22

5. login as:

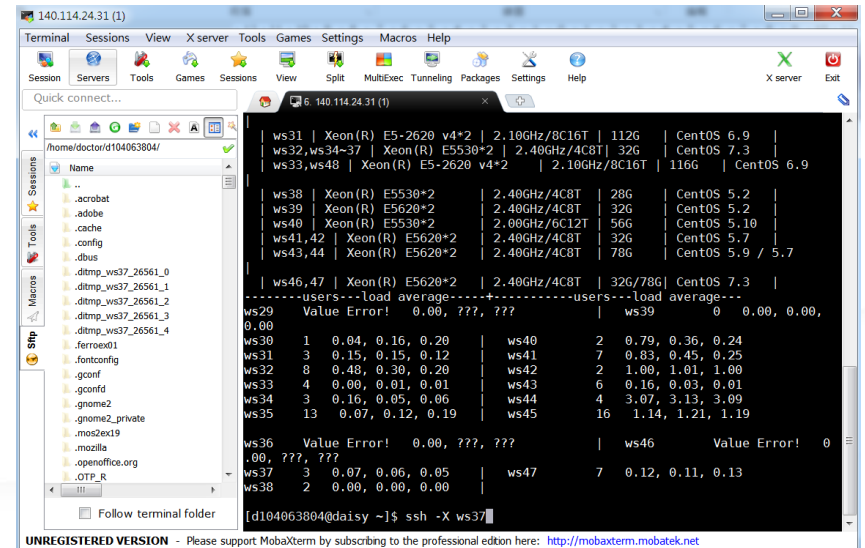
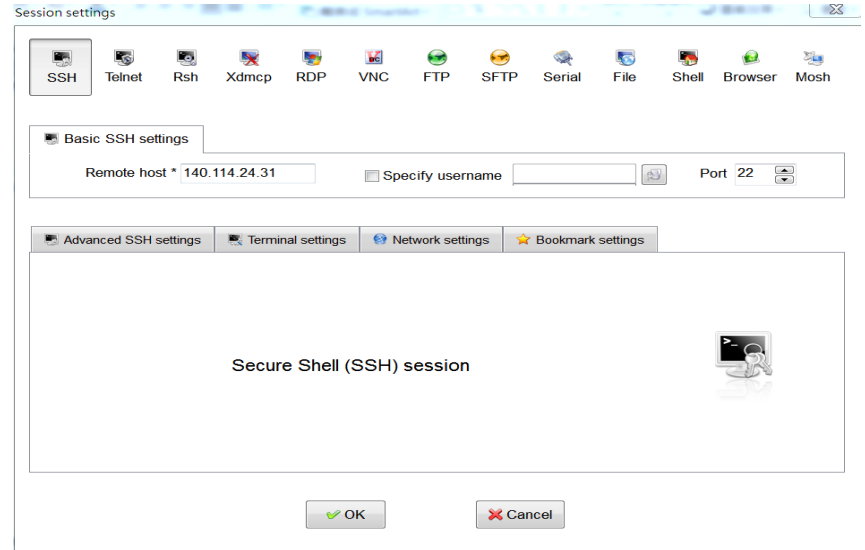
輸入 使用者名稱(s106XXXXXX)

6. 選擇工作站伺服器

輸入 ssh -X ws43

7. 輸入 password

8. 輸入 deckbuild &





遠端連線伺服器 & 啟動Silvaco (II)

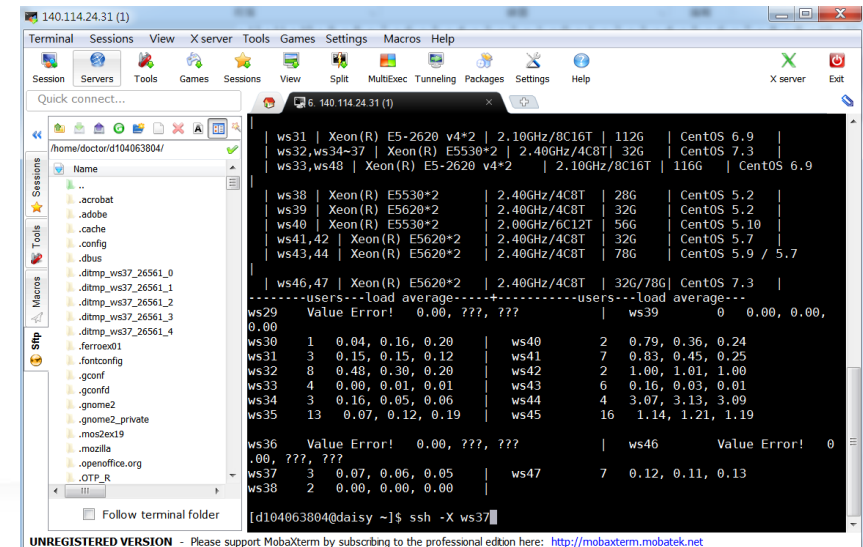
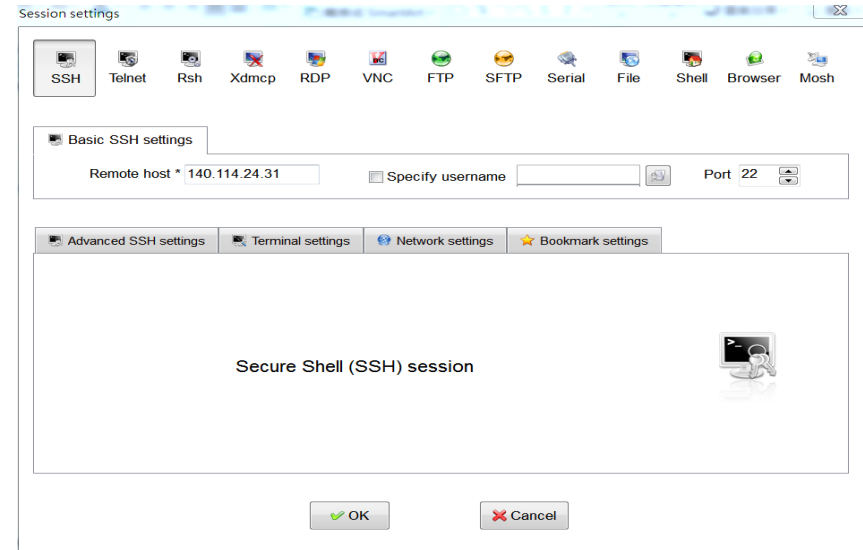
使用 Xmanager



1. 開啟 Xshell
2. 左上方點選新增
3. 點選SSH

主機 140.114.24.31 或 140.114.24.33
port22

4. 輸入使用者名稱(s106XXXXXX)
5. 輸入password
6. 選擇工作站伺服器
輸入 ssh -X ws43
7. 再輸入password
8. 輸入deckbuild &





Silvaco 工具介紹

- **Deckbuild**：是一個交互式的圖形運行時環境，用於開發過程和元件模擬輸入平台。
- **Athena**：Process 模擬工具，包含製成開發和優化半導體製造工藝精確的模擬。模擬可利用(離子佈植、擴散、蝕刻、沉積、光刻、氧化)得到各種元件結構，並精確預測元件結構中的幾何參數，散射劑量分佈和應力等。
- **Atlas**：提供了一個基於物理模型的分析的平台，可以分析所有二維和三維模式下半導體元件的直流、交流和時域響應、以及元件的電學、光學、熱學行為模擬，並提供材料參數設定。
- **Tonyplot**：可顯示模擬結構及電性結果，也可以將其結構中的物理量的分佈轉換成數據文件，進行後製處理。



Silvaco 文件類型

模擬工具，Silvaco 的文件系統，主要的文件類型有：

輸入文件 “檔名.in”：DeckBuild 界面的模擬輸入文件。

結構文件 “檔名.str”：製程模擬或元件編輯器得到的元件結構。

元件模擬結果文件 “檔名.LOG”：元件模擬時存儲模擬結果。

設置文件 “檔名.set”：Tonyplot 的顯示設置。

模擬電性結果文件 “檔名.dat 文件”：提取得到的數據。

範例：

structure outfile=MOSFET.str (當結構編輯完請記得存檔)

mesh init infile=MOSFET.str (計算之前可讀檔之前編輯結構)



Silvaco 語法指令 (I)

- **Go** : 啟用或切換工具。 (Refer to DeckBuild User's Manual page 113)

Syntax

```
go <simulator> [inflags=<> | outflags=<> | simflags=<> | cut-  
line=<>|noauto]
```

例如啟動元件模擬ATLAS : `go atlas`

例如啟動元件模擬ATLAS版本5.0.8 : `go atlas simflags= "-V 5.0.8.R"`

例如啟動三維元件編輯器 : `go devedit "-V 5.0.8.R"`

- **Set** 設定變數量 (Refer to DeckBuild User's Manual page 121)

Syntax

```
set <variable> = <value> | <expr> | <built_in_func> [nominal]  
set clear
```

例如設定時間time變數量 :

```
set time =30
```

```
Diffuse time=$time
```

- **Quit** : 希望在哪一行停止需輸入



Silvaco 語法指令 (II)

- 命令可以簡寫，如 “deposit” 可以用 “depo的” 取代。
- 語法不區分大小寫。
- 命令和參數之間，參數和參數之間需以空格分開。
- 一行寫不完的在該行的末尾加反斜線 “\”（注意 “\” 前需留有空格），則下一行和該行將被視為同一個命令。
- “#” 號後面是註釋，模擬時不運行註釋後面的內容。
- 空行不運行。



Silvaco 語法指令 (III)

- Silvaco 語句由 “command” 和 “parameter” 組成。一個 command 只有一個命令，而 parameter 可以有許多個。
- 如果 parameter 只有一個屬性，則用一個單詞就可以表示，如 “矽” 用 Silicon，“材料” 用 material 表示。如果 parameter 具有兩個或多個屬性，parameter 名稱將由兩個或多個單詞的縮寫拼接。例如 “溫度的值” (temp.val)，“偏壓的步長” (bias.step)，“某二維區域內最大濃度” (2d.max.conc) 等。

- 語句通用格式如下：

COMMAND PARAMETER1 = <n> PARAMETER2 = <c>

其中的 “n” 代表數值; “C” 代表字串

例如：deposit machine=PE4450 time=1.0 seconds

rate.depo machine=PE4450 silicon a.s cvd dep.rate=1.0 step.cov=0.8



Looking for Examples

Deckbuild圖型介面操作

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **File**
3. 點選 **Examples**

The screenshot shows the Deckbuild software interface. At the top, there is a search bar and buttons for 'Search', 'Clear', and 'Help'. Below this is a table listing various examples:

Name	Comment
MESFET	MESFET Application Examples
MOS1	MOS Application Examples
mos1ex01.in	Id/Vgs and Threshold Voltage Extraction
mos1ex02.in	Family of Id/Vds Curves
mos1ex03.in	Sub-Threshold Slope Extraction
mos1ex04.in	DIBL Extraction
mos1ex05.in	Body Effect Extraction
mos1ex06.in	Substrate and Gate Current Extraction
mos1ex07.in	Breakdown Voltage Extraction
mos1ex08.in	Id/Vgs and Threshold Voltage Extraction
mos1ex09.in	Family of Id/Vds Curves

The selected example, 'Id/Vgs and Threshold Voltage Extraction', is shown in a detailed view. It includes the following information:

- Requires:** *SSuprem 4/S-Pisces*
- Minimum Versions:** *Athena 5.22.3.R, Atlas 5.26.1.R*
- Detailed description of the selected example** (button)

The main part of the view is a cross-sectional diagram of a MOSFET structure. The vertical axis is labeled 'Microns' and ranges from 0 to 0.8. The horizontal axis ranges from 0 to 1. The diagram shows a gate stack on top of a channel region, with source and drain regions on either side. A color scale for 'Net Doping (cm⁻³)' is provided, ranging from 20 (n-type) to 20.7 (p-type). A legend for 'Material' identifies Silicon, SiO₂, Polysilicon, Aluminum, and Flux residues.



ATHENA

Athena具有模組化架構，該架構具有以下可許可的工具和擴展包含：

- **Athena**：此工具執行結構初始化和操作，並提供基本的沉積和蝕刻功能
- **SSuprem4**：此工具用於矽半導體結構的設計，分析和優化。它模擬了矽加工步驟，例如離子注入、擴散、澱積、刻蝕、磊晶、光刻，氧化。
- **Elite**：此工具是通用的2D模擬器，可準確描述現代IC技術中使用的各種沉積，蝕刻和回流技術。
- **Optolith**：此工具執行常規的光學光刻模擬，包括2D航空成像，非平面光刻膠曝光以及曝光後烘烤和顯影。



Defining Initial MESH Grid (I)

- 將半導體模擬區域劃分成網格，在網格點處計算出選用物理Model做離散的數值計算，而獲得的特性（如電學性質，光電學性質、製程步驟的速率等）
- 網格會影響**精確性**、**計算速度**、**收斂性**，精細的網格能得到對模擬至關重要，精細的網格能得到較精確的結果，但相應會增加計算時間，也可能導致不收斂。
- 二维模擬的網格節點（node）的不能超過**20000**個，且網格點大小會影響摻雜邊界的寬度，為了使模擬時間保持在合理的範圍內，不應允許細網格溢出到不必要的區域裡，X、Y、Z座標軸默認單位都是**微米**（ μm ）。
- 將形成**p-n接面**或**光學照明將改變光敏成分濃度的區域中**，應存在一個較細的網格。



Defining Initial MESH Grid (II)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 28, 347)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選**Mesh Define**
4. 輸入**Location**數值
(軸做標位置)
5. 輸入**Spacing**數值
(loc向外擴張網格線間的間距)
6. 點選**Write**
勾選**ViewGrid**(可預覽網格分佈)

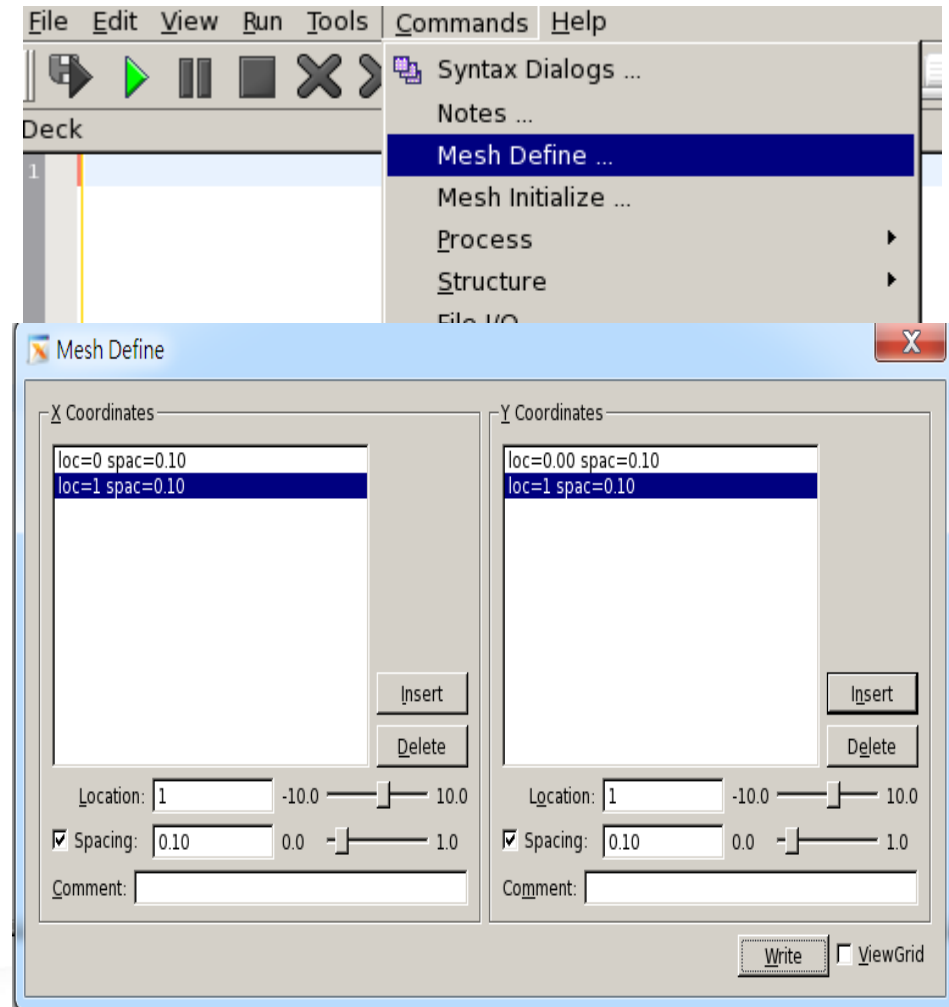
範例：

line x loc=0 spac=0.10

line x loc=1 spac=0.10

line y loc=0.00 spac=0.10

line y loc=1 spac=0.10

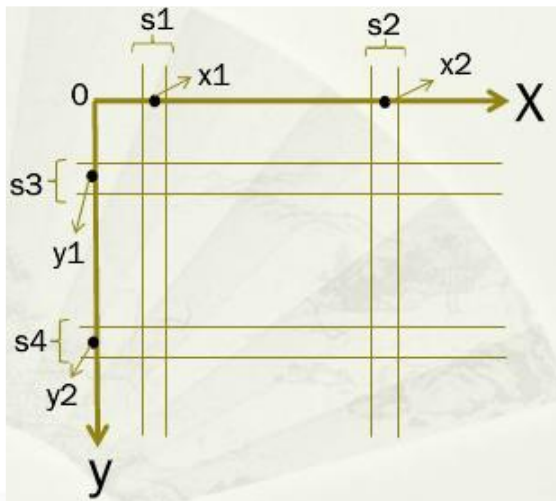




Defining Initial MESH Grid (III)

x_1 、 x_2 、 y_1 和 y_2 為網格線的
的 X 或 Y 的坐标值。

s_1 、 s_2 、 s_3 和 s_4 為對應軸
坐標處網格線間的間隔。



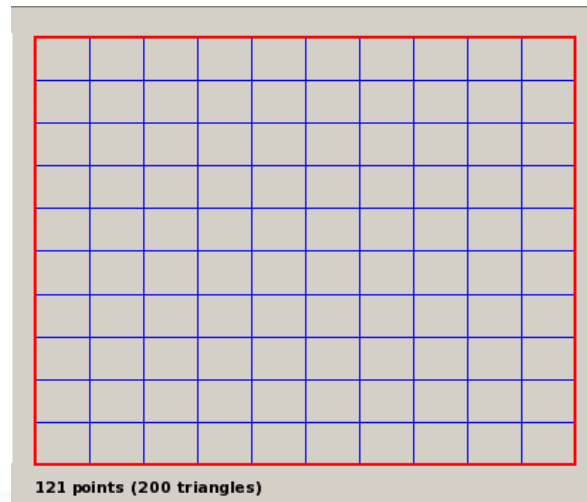
範例：均勻網格

line x loc=0 spac=0.1

line x loc=1 spac=0.1

line y loc=0 spac=0.1

line y loc=1 spac=0.1



範例：非均勻網格

line x loc=0.0 spac=0.1

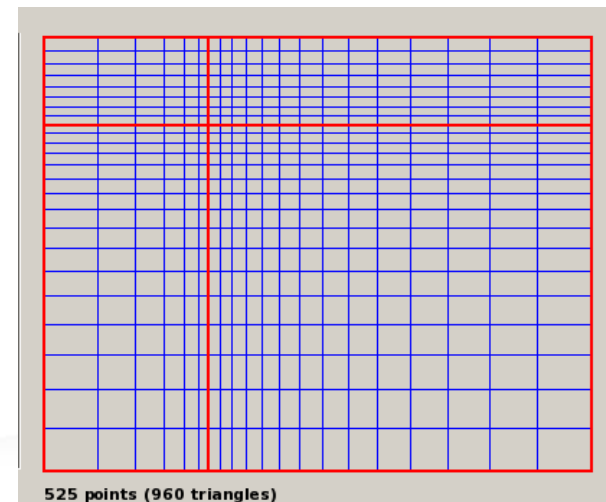
line x loc=0.3 spac=0.02

line x loc=1 spac=0.1

line y loc=0 spac=0.03

line y loc=0.2 spac=0.02

line y loc=1 spac=0.1





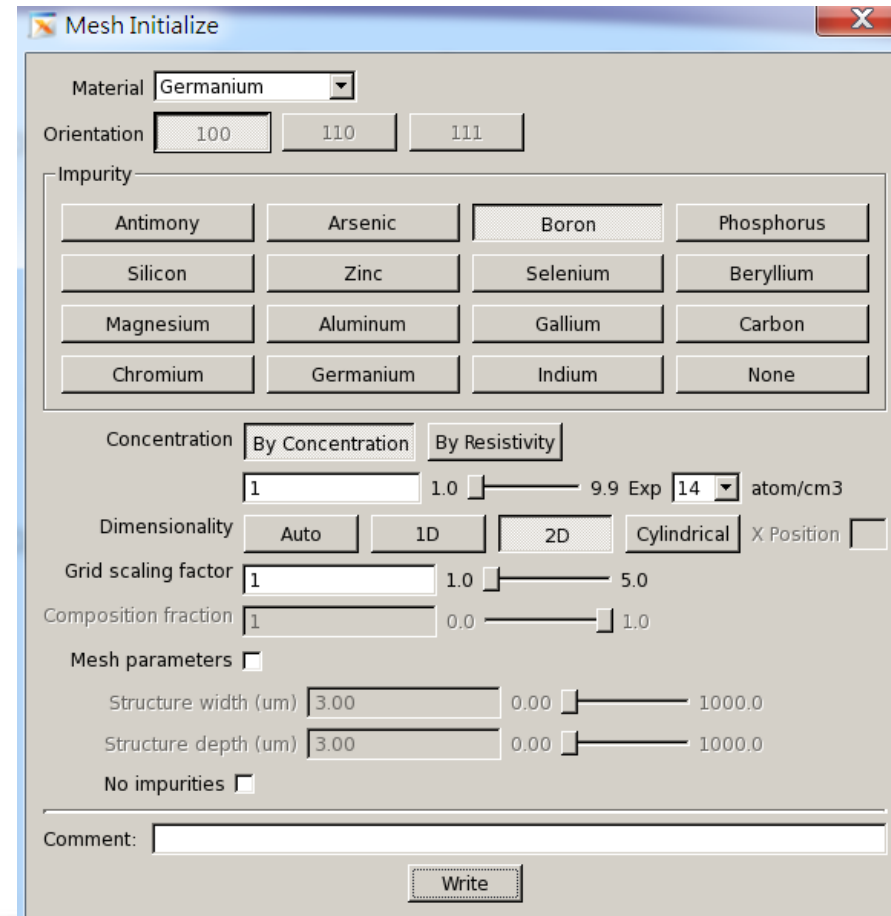
Defining the Initial Substrate (I)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 33, 339)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選**Mesh initialize**
4. 點選**Material**
5. 點選**Orientation**
6. 點選**Impurity**
7. 點選**Concentration (or Resistivity)**
8. 輸入**濃度值 (or 電阻值)**
9. 點選**Dimensionality**
10. 點選**Write**

Composition fraction :

若基板材料選用AlGaAs，輸入值為三元化合物中第一種材料 (Al) 成分比例。





Defining the Initial Substrate (II)

Mesh initialize 用來定義 **基板材料**、**晶格方向**、**摻雜材料**、**摻雜濃度**、**晶片維度** 或 **電阻率**。

範例1:

```
init silicon c.boron=1e14 orientation=100 two.d space.mult=3
```

Substrate 的材料為 silicon，且摻雜 boron，濃度為 $1e14\text{cm}^{-3}$ ，晶格方向為 100 方向，晶片維度為 2D，space.mult 為輸入網格線放大比率，默認為 3.0

範例2:

```
init germanium phosphor resistivity=0.001 orientation=111 two.d cylindrical  
space.mult=2
```

Substrate 的材料為 germanium，且摻雜 phosphorus，電阻率 $0.001\text{ ohm}\cdot\text{cm}$ ，晶格方向為 100 方向，晶片維度為 cylindrical，space.mult 為輸入網格線放大比率，默認為 2.0



Ion Implantation (I)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 57, 329)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Process → Implant**
4. 點選 **Impurity**
5. 輸入 **Dose and Energy** 值
6. 點選 **Model**
7. 輸入 **Tilt and Rotation** 值
8. 點選 **Material type**
10. 點選 **Write**

Process Implant

Impurity

Boron Phosphorus Arsenic Bf2
 Antimony Silicon Zinc Selenium
 Beryllium Magnesium Aluminum Gallium
 Carbon Indium

Dose: 1.0 exp 11 ions/cm2 Energy: 100 KeV

Model

Dual Pearson Monte carlo
 Gauss
 Full lateral

Tilt: 20 degrees
Rotation: 0 degrees Continual rotation

Material type

Crystalline Amorphous

Damage

Point defects <311> Clusters Dislocation loops

Scaling factor: 1.00 Min cluster thresh: 1.0 exp 17 Min loop conc: 1.0 exp 17
Max cluster thresh: 1.5 exp 19 Max loop conc: 1.0 exp 18
Cluster scaling: 1.40

Comment: _____

Write



Ion Implantation (II)

Impurity：注入的雜質種類。

Dose：注入劑量，單位 cm^{-2} ，決定摻雜濃度。

Energy：離子的能量，單位KeV。雜質濃度前端位置和注入能量有關。

Model：摻雜選用的模型。

Tilt：離子束注入的初步角度，默認值為 7° 。

Rotation：注入離子束和元件剖面的角度，默認值為 30° 。

Continual rotation：注入時選轉wafer

Point defects：注入損傷計算，指離子注入所造成的晶格原子的空位。

範例：

```
implant boron dose=2.0e12 energy=80 tilt=7 rotation=30 crystal unit.damage  
dam.factor=1
```

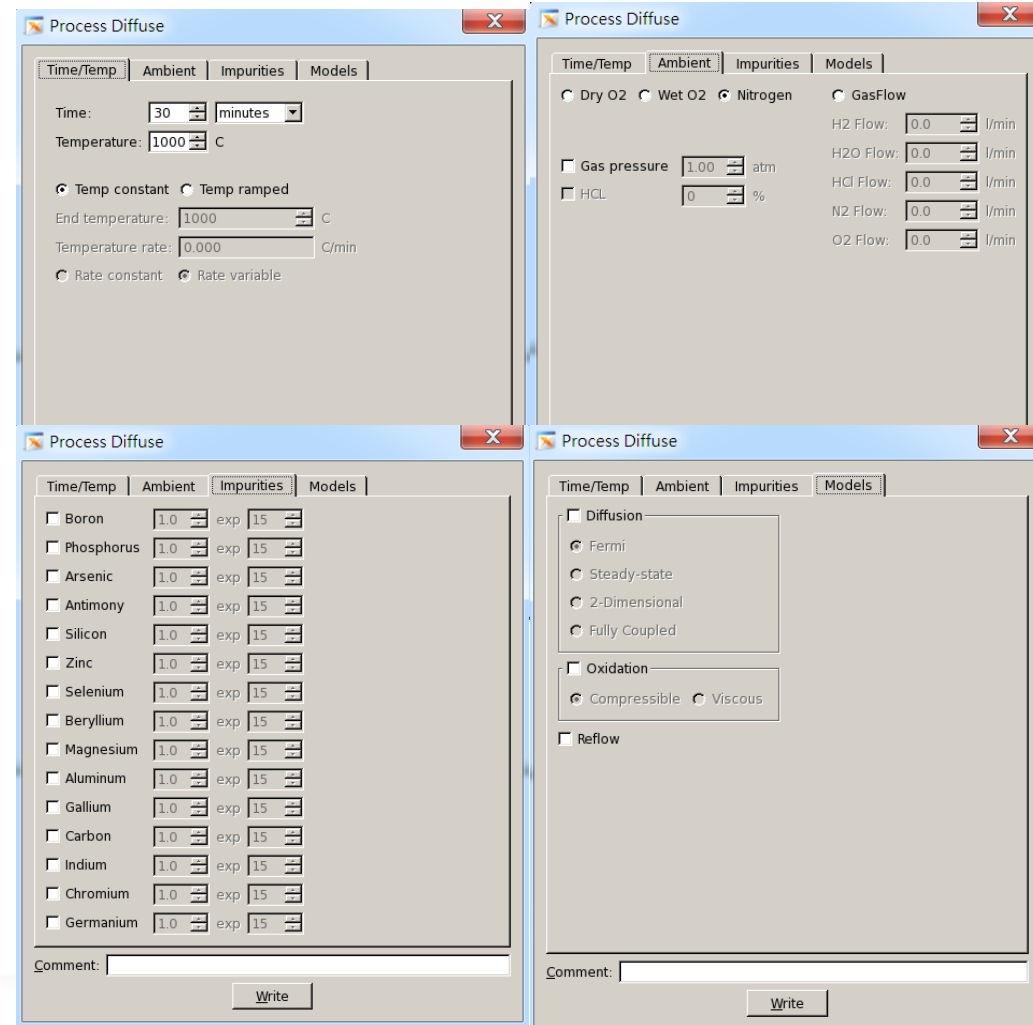
摻雜boron，濃度計量為 $2\text{e}12\text{cm}^{-3}$ ，能量為80KeV，注入角度為7度，元件剖面角度30度。



Diffusion(I)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 61, 308)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Process → Diffuse**
4. 點選 **Time/Temp**
5. 輸入 **Time/Temp** 值
6. 點選 **Ambient**
7. 點選 **通入氣體、壓力、流速**
8. 點選 **Impurities (可以不選)**
9. 點選 **Model(可以不選)**
10. 點選 **Write**





Diffusion(II)

Time：擴散的總時間。

Temperature：環境的溫度($^{\circ}\text{C}$)。

Temp constant：溫度是恆溫。

Temp reamped：溫度是變溫時，設定溫度的變化率。

Dry O2、**Wet O2**、**Nitrogen**、**GasFlow**：擴散的氣體環境。

HCL：氧化劑氣流中HCl的百分比

Gas Pressure：氣體環境壓力，單位是 atm，默認值為 1。

Impurities：氣體環境中所含雜質及其濃度，單位是 atoms/cm^3 。

Diffusion：可考慮擴散時模型。

Compressible和**Viscous**：通過求解簡化的流體動力方程來計算氧化物元素的二維流動，可計算可生長的氧化物中的應力。

Reflow：擴散時考慮表面回流。



Diffusion(III)

範例1:

diffus time=10 minutes temp=1050 dryo2

擴散時間為8分鐘,在1050度之下長乾氧.

範例2:

diffus time=6 minutes temp=1000 nitro c.phosphor=1e13

擴散時間為6分鐘,1000度通入氮氣,氣體環境中所含磷雜質及其濃度為 $1e13\text{cm}^{-3}$.

範例3:

method fermi

diffus time=15 minutes temp=1050 weto2

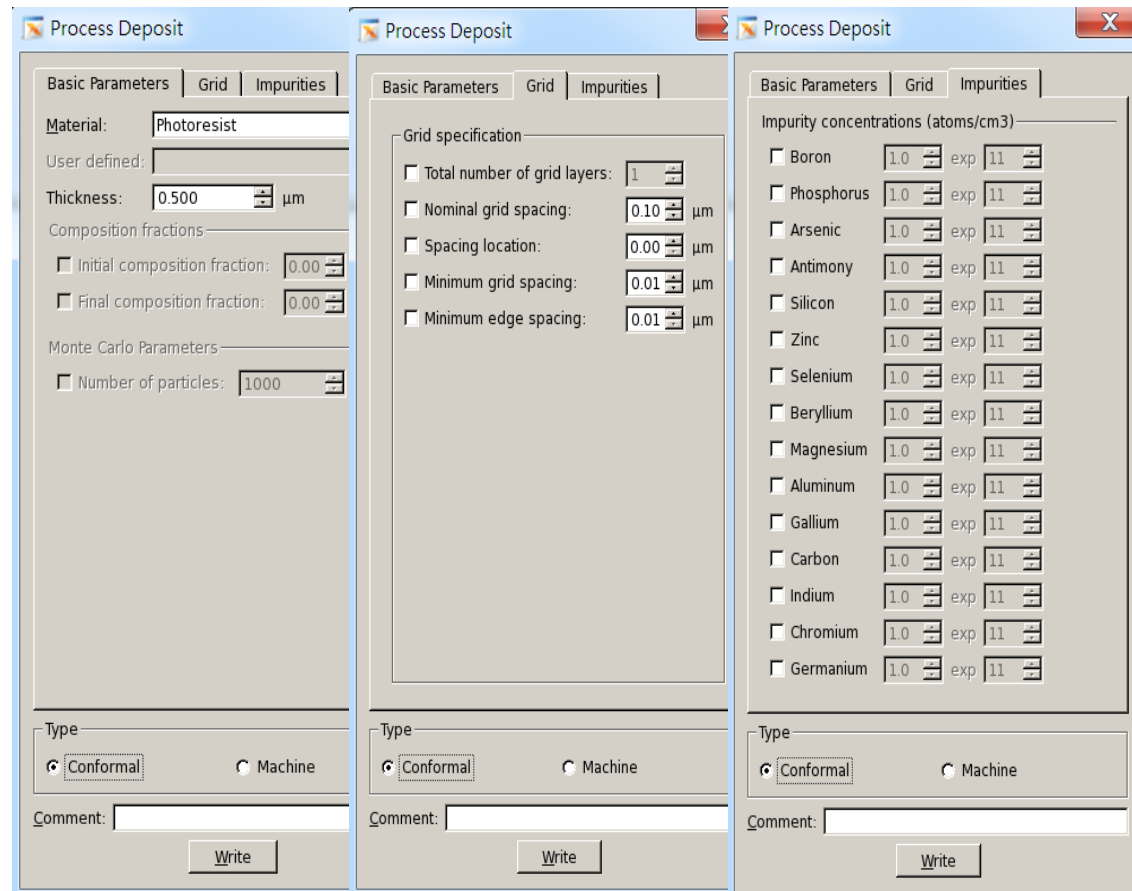
擴散時間為15分鐘,在1050度之下長濕氧,並考慮fermi模型。



Deposition (I)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 85, 303)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Process → Deposit**
4. 點選 **Basic Parameters**
5. 點選 **Material**
6. 輸入 **Thickness** 值
7. 點選 **Grid** (設定 **Mesh**)
8. 點選 **Impurities** (可以不選)
9. 點選 **Write**





Deposition (II)

範例1:

deposit oxide thick=1 divisions=5 dy=0.05 ydy=0.3 min.dy=0.05
min.space=0.2

沉積oxide,厚度10奈米

Total number of grid layers

語句divisions, 將沉積層切N等份。

Nominal grid spacing (μm)

語句dy, 與定義spacing參數類似。

Grid spacing location (μm)

語句ydy, 與定義location參數類似。

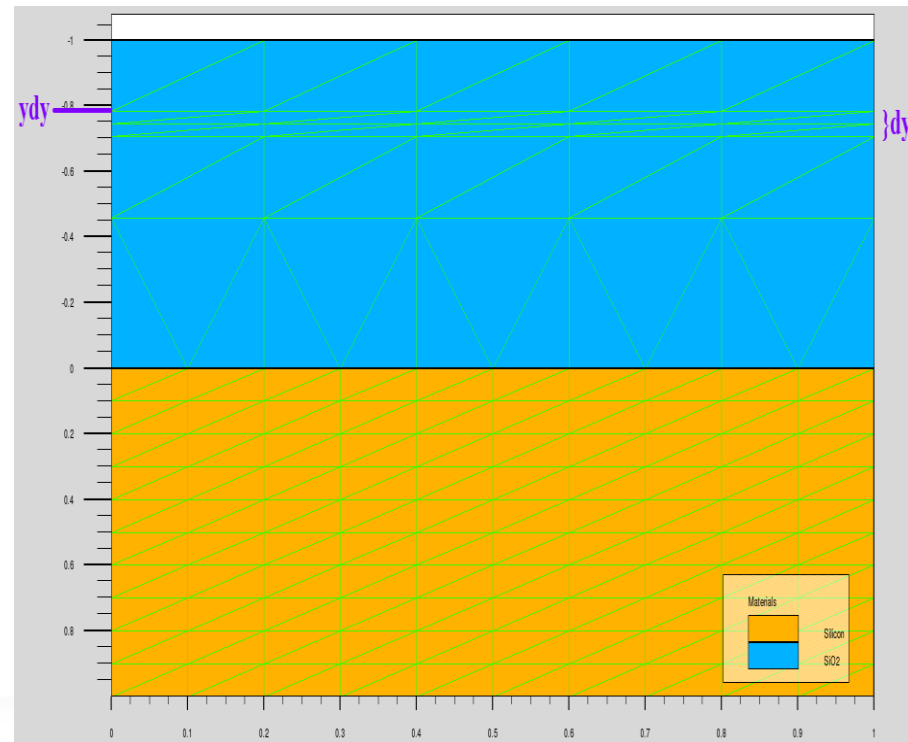
Minimum grid spacing (μm)

語句min.dy, 取代spacing最小值。

Minimum edge spacing (μm) :

語句min.space, 取代spacing最小值。

(Refer to Athena User's Manual page 304)





Etch (I)

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 90, 315)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Process → Etch**
4. 點選 **Geometrical**
5. 點選 **Geometrical type**

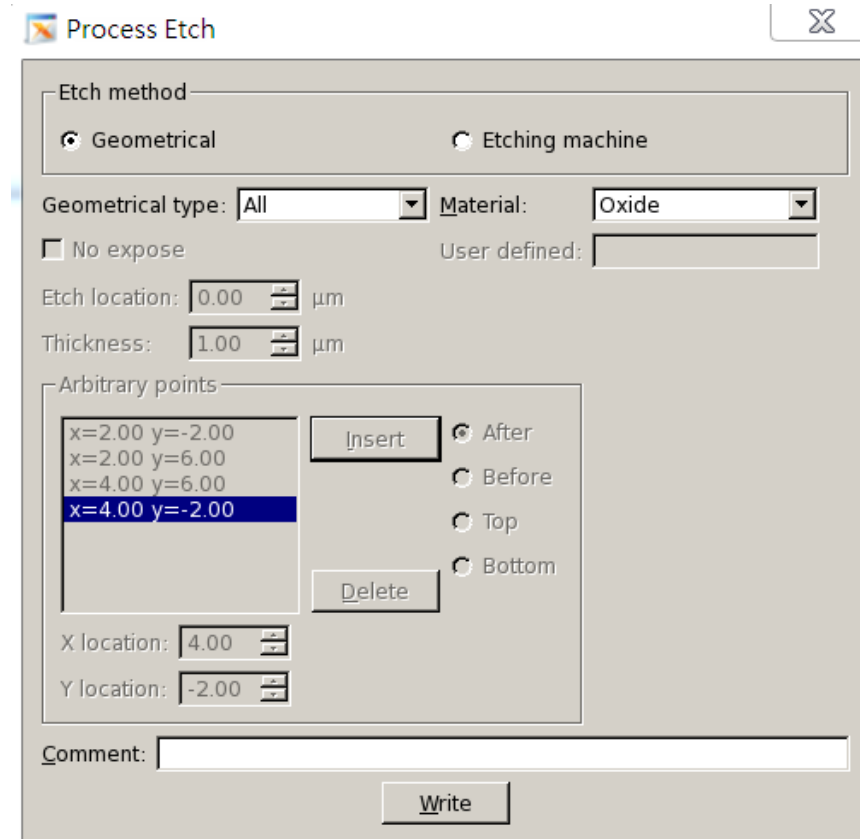
根據選擇蝕刻類型會有不同語句

例如：**left**、**right**、**above**、**below**，
要輸入**Etch location**座標位置。

例如：**Dry**要輸入**Thickness**值。

例如：**Any shape**要輸入選定範圍，
並標出矩形座標位置。

6. 點選 **Write**





Etch (II)

範例1:

etch oxide all

將oxide完全蝕刻。

範例2:

oxide left p1.x=0.5

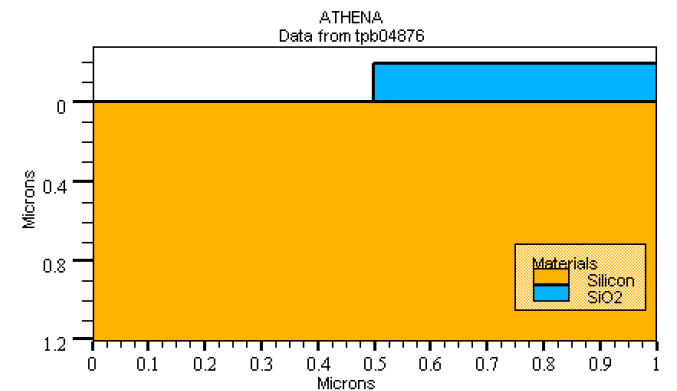
將表面x座標為0.5 μm 以左的oxide全部蝕刻。

範例3:

etch oxide dry thick=0.01

將oxide 蝕刻10奈米。

此處Dry刻蝕表面形貌不變，整體下降厚度大小。





Etch (III)

範例4:

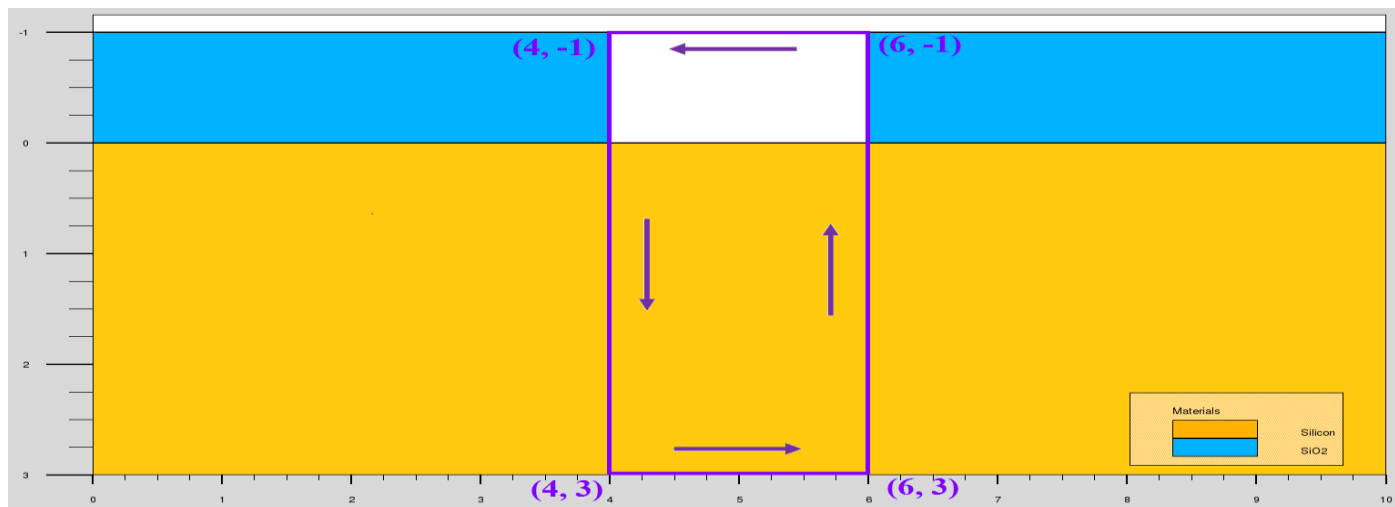
etch oxide start $x=4.00$ $y=-1.00$

etch cont $x=4.00$ $y=3.00$

etch cont $x=6.00$ $y=3.00$

etch done $x=6.00$ $y=-1.00$

以逆時針方向繞一圈的矩型裡被包圍，且表面的oxide被完全蝕刻。

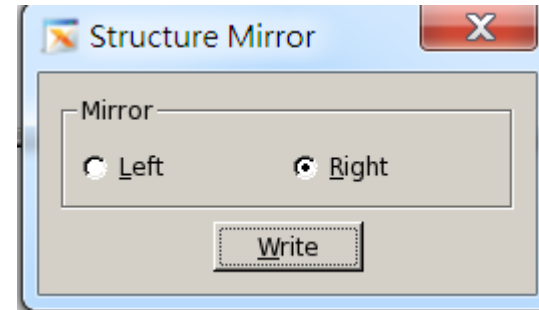




Structure Mirror

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 90, 315)

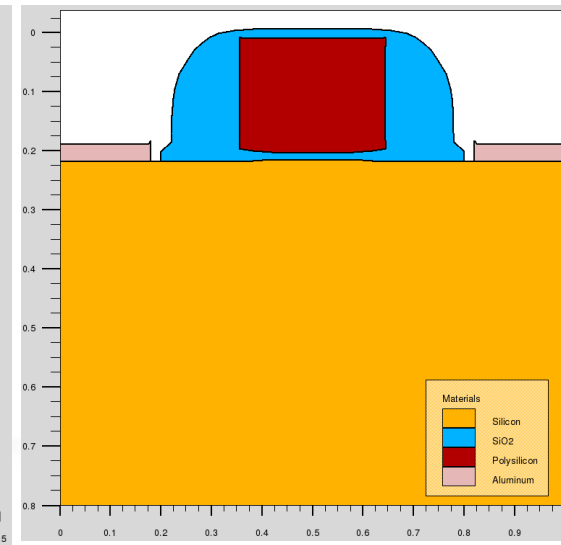
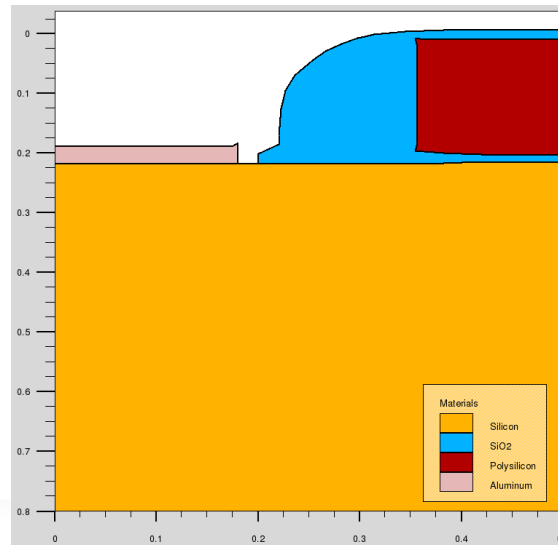
1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選**Structure**
4. 點選**Mirrior**
5. 點選**Left or Right**
6. 點選**Write**



範例:

struct mirror right

元件向右做鏡像對稱





Define Electrode

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Athena User's Manual page 312)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選**Structure**
4. 點選**Electrode**
5. 點選**Type(Specified position or Backside)**
(Specified position 需輸入標)
6. 輸入 **電極名稱**
6. 點選**Write**

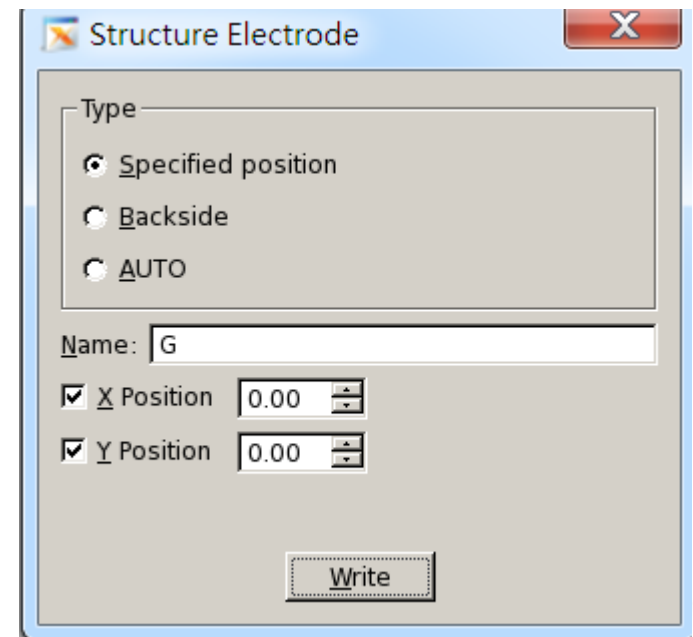
範例:

electrode name=gate x=3.5 y=0.5

electrode name=source x=1.5 y=0.7

electrode name=drain x=5.5 y=0.7

electrode name=body backside





ATLAS

Atlas提供了一套全面的物理模型，包括：

- DC, AC small-signal, and full time-dependency.
- Drift-diffusion transport models.
- Energy balance and Hydrodynamic transport models.
- Lattice heating and heatsinks.
- Graded and abrupt heterojunctions.
- Optoelectronic interactions with general ray tracing.
- Amorphous and polycrystalline materials.
- General circuit environments.
- Stimulated emission and radiation
- Fermi-Dirac and Boltzmann statistics.
- Advanced mobility models.
- Heavy doping effects.
- Full acceptor and donor trap dynamics
- Ohmic, Schottky, and insulating contacts.
- SRH, radiative, Auger, and surface recombination.
- Impact ionization (local and non-local).
- Floating gates.
- Band-to-band and Fowler-Nordheim tunneling.
- Hot carrier injection.
- Quantum transport models
- Thermionic emission currents.



Defining ATLAS MESH Grid

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Atlas User's Manual page 41)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選**Structure**
4. 點選 **Mesh**
5. 輸入**Location**數值(軸做標位置)
6. 輸入**Spacing**數值
(loc向外擴張網格線間的間距)
7. 點選**Write**

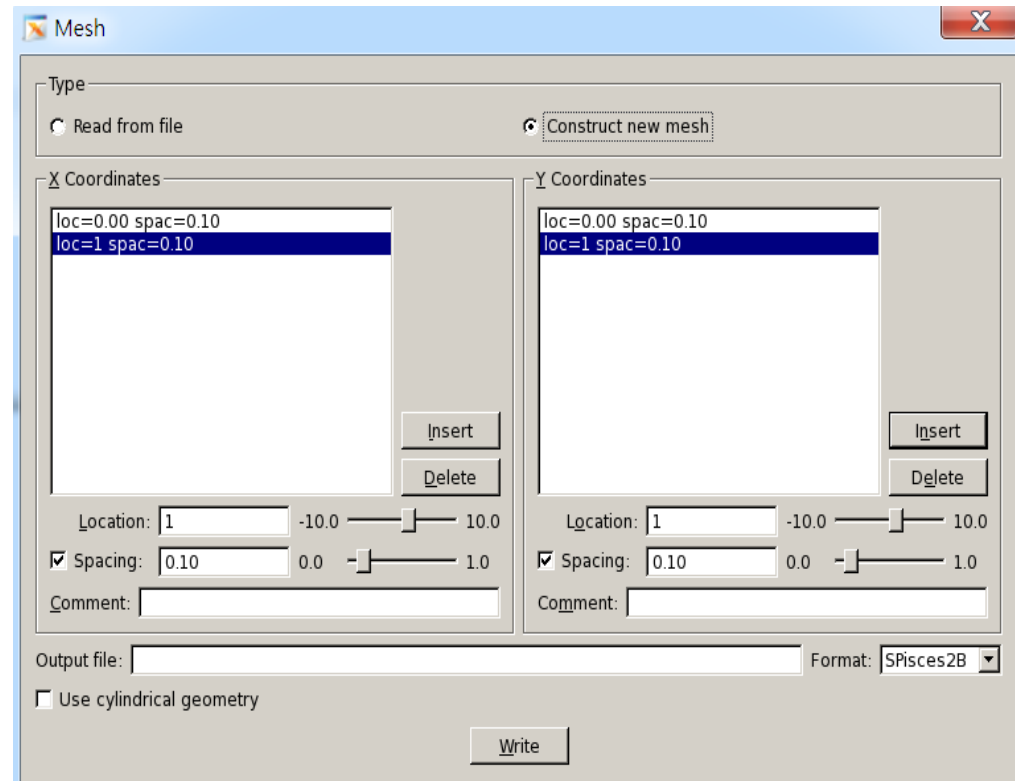
範例：`mesh space.mult=1.0`

`x.mesh location=0.0 spacing=0.05`

`x.mesh location=3.0 spacing=0.05`

`y.mesh loc=0.0 spac=0.02`

`y.mesh loc=2.0 spac=0.02`

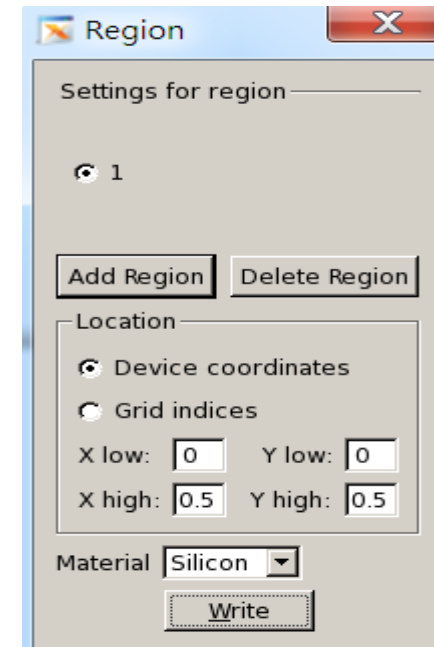




Defining ATLAS Region

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Atlas User's Manual page 42)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選**Commamds**
3. 點選**Structure**
4. 點選 **Region**
5. 輸入**Location**數值(軸做標位置)
6. 輸入**Spacing**數值
(loc向外擴張網格線間的間距)
7. 點選**Write**



範例：
region number=1 x.min=0 x.max=0.5 y.min=0 y.max=0.5 material=Silicon
region name=silicon x.min=0 x.max=0.5 y.min=0 y.max=0.5 material=Silicon



ATLAS Electrode and Contact

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Atlas User's Manual page 43, 69)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Structure**
4. 點選 **Electrode selection**
5. 勾選**Electrode**並輸入數值(軸做標位置)
6. 勾選**Contact**並選擇材料

若Athena已經設定**Electrode**在此只需要設定**Contact**位置，或直接在**Commamds** → **Models** → **Contact**設定電極

7. 點選**Write**

範例：

electrod name=source x.min=0.00 x.max=0.02 y.max=0.0 y.min=-0.01

contact name=drain ALUMINUM

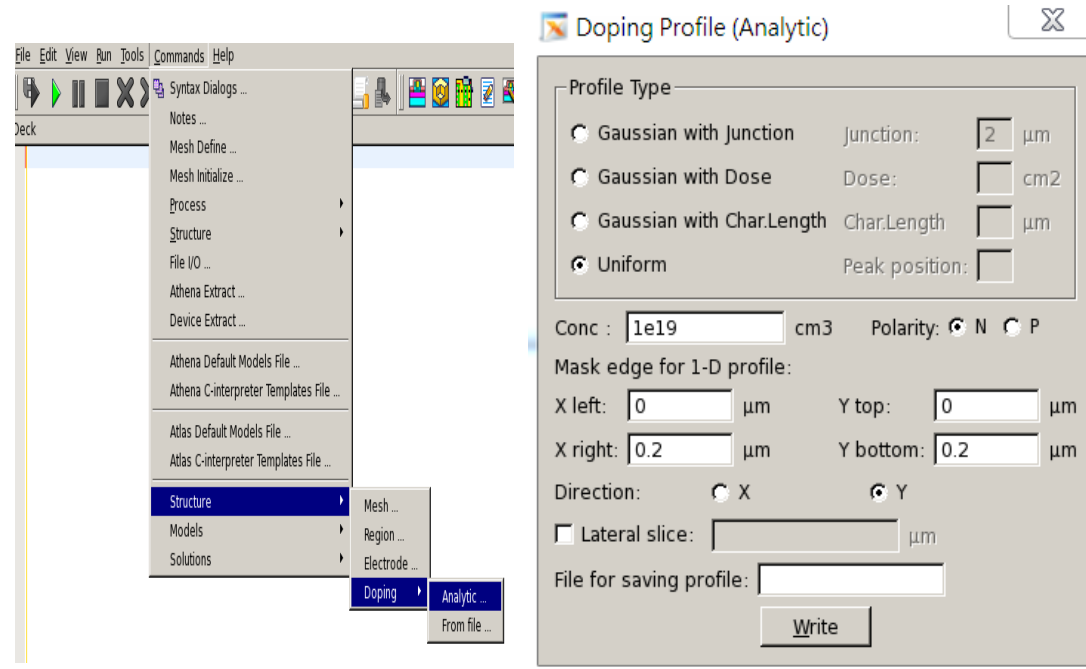
or contact name=anode workfunction=4.9 barrier alpha=1e-7



Defining ATLAS Doping

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Atlas User's Manual page 43)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Structure**
4. 點選 **Doping Analytic**
5. 點選 **Profile Type**
6. 輸入 **Conc.** 並選擇 **N** or **P** Type
7. 點選 **Direction**
7. 點選 **Write**



範例：

doping uniform conc=1e+19 n.type x.left=0 x.right=0.2 y.top=0 y.bottom=0.2 direction=x

or

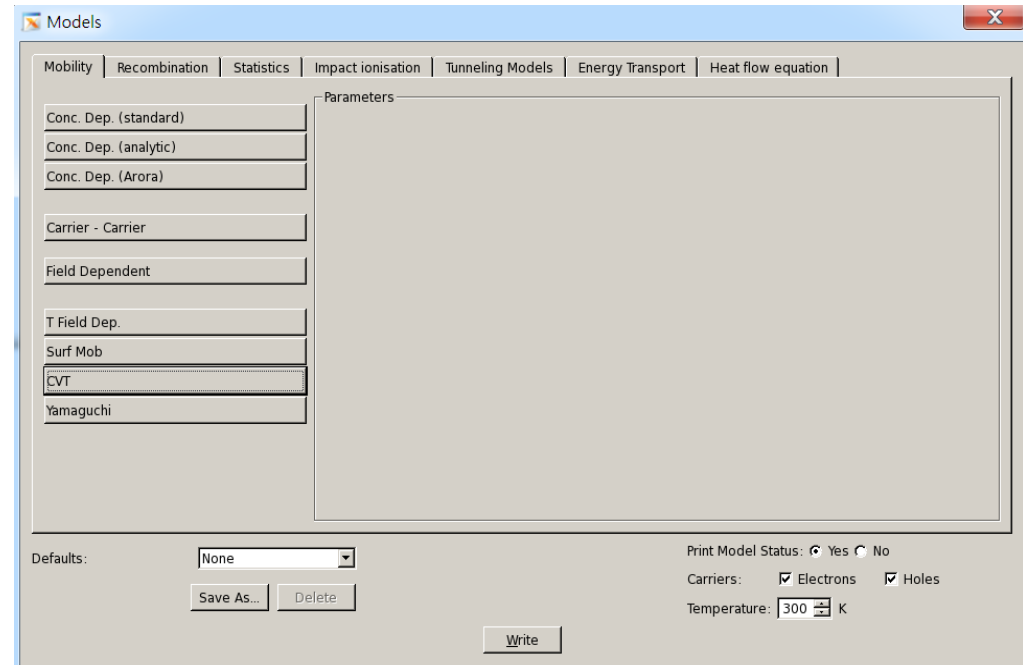
profile n-type n.peak=1e+19 uniform x.min=0 x.max=0.2 y.min=0 y.max=0.2



Physical Models

Deckbuild圖型介面操作(Refer to Atlas User's Manual page 74)

1. 開啟 **Deckbuild**
2. 上方點選 **Commamds**
3. 點選 **Models**
4. 點選 **Models**
5. 點選 **適當的模型**
6. 點選 **Write**



使用MODELS和IMPACT語句指定物理模型。這些參數模型出現在許多語句中，包括：MODELS, IMPACT, MOBILITY, and MATERIAL.

物理模型可分為五類：mobility, recombination, carrier statistics, impact ionization, and tunneling.

Energy Balance Models 和 Heat flow equation 加入溫度考慮項



Choosing Numerical Methods

模型的不同組合將需要Atlas求解多達六個方程。對於每個在模型類型中，基本上有三種類型的求解技術：**GUMMEL**、**BLOCK**、**NEWTON**

(Refer to Atlas User's Manual page 80)

例如**Basic Drift Diffusion Calculations**：

method gummel newton

例如**Drift Diffusion Calculations with Lattice Heating**：

method block newton

例如**Energy Balance Calculations**：

method block newton

例如**Energy Balance Calculations with Lattice Heating**：

method gummel block newton

Atlas可以求解電子和空穴連續性方程。可以使用CARRIERS參數進行選擇

method carriers=2 (同時解電子和電洞的模擬結果)

method carriers=1 hole (只解電洞的模擬結果)

method carriers=0 (電位能分佈的模擬結果)



Obtaining Solutions (I)

log和**save**是將計算得到結果分別保存為log文件和結構文件。log 語句需要在 solve 之前，這樣 solve 的數據才能得到保存。

例如：

solve init →在所有模擬中，元件均從電極上的零偏壓開始。

method newton trap carriers=2

log outf=EE2.log →保存從此行以下的信息狀態

solve vdrain=0.1

solve vgate=-2 vstep=0.5 vfinal=3 name=gate

save outf=EE2.str

tonyplot MOSFET.str →tonyplot 開啟求解完結構圖檔

tonyplot MOSFET.log →tonyplot 開啟求解完data圖檔

log off →停止紀錄

quit →結束離開



Obtaining Solutions (II)

Atlas可計算DC、AC small signal、transient求解。需定義每個電極上電壓。

例如DC characteristics：

```
solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal=3.0 name=gate
```

gate從0V算至3V間格0.1

例如AC small signal characteristics：

```
solve vgate=-5 vstep=0.1 vfinal=5.0 name=gate ac freq=1e6
```

gate從-5V算至5V間格0.1V，頻率為1e6Hz

```
solve vgate=0.7 ac freq=1e9 fstep=1e9 nstep=10
```

頻率從1GHz增加到11GHz，間格為1GHz。

```
solve vbase=0.7 ac freq=1e6 fstep=2 mult.f nstep=10
```

從1MHz開始，頻率每一次增加為原來的兩倍，總共增加10次，這樣最後為 $2^{10} * 1\text{MHz} = 1.024\text{GHz}$

例如Transient characteristics：

```
solve vgate=1 ramptime=1e-9 tstep=0.1e-9 tstop=1e-8
```

ramptime時間1e-9內gate電壓加到1V，然後保持直到1e-8，間格為0.1e-9



Measure ID-VG

Mesh init infile=mos.str

→讀取先前結構檔案

models cvt srh print T=300

→根據實驗選擇適當的模型

contact name=gate n.poly

→設定contact 材料或功函數或蕭特基界面

contact name=gate workfunction=4.8

contact name=source workfunction=4.9 barrier

solve init

→所有電極的電壓加為0V

method newton trap carriers=2

→設定迭代方法

solve vdrain=0 vstep=0.05 vfinal=1 name=drain

→Drain從0V算至1V間格0.05

or solve vgate=0 vsource=0 vbody=0 vdrain=0 elec=drain vstep=0.05 nstep=20

log outf=mos1ex03_1.log master

→保存從此行以下的信息狀態

solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal=1.0 name=gate

→ Gate從0V算至1V間格0.05

or solve vgate=0 vsource=0 vbody=0 vdrain=1 elec=gate vstep=0.05 nstep=20

save outfile=MOSFET_IDVG.str

→將此時計算的偏壓條件存成結構檔案

量測Id-Vd：方法先掃Vd再掃Vg



Measure ID-VD

Mesh init infile=mos.str

models cvt srh print T=300

contact name=gate n.poly

solve init

method newton trap carriers=2

solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal=1.0 name=gate → Gate從0V算至1V間格0.05

or solve vgate=0 vsource=0 vbody=0 vdrain=0 elec=gate vstep=0.05 nstep=20

log outf=mos1ex03_1.log master

solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal=1.0 name=gate → Drain從0V算至1V間格0.05

or solve vgate=1 vsource=0 vbody=0 vdrain=0 elec=gate vstep=0.05 nstep=20

save outfile=MOSFET_IDVG.str

量測Id-Vd：方法先掃Vg再掃Vd

→ 讀取先前結構檔案

→ 根據實驗選擇適當的模型

→ 設定contact 材料或功函數或蕭特基界面

→ 所有電極的電壓加為0V

→ 設定迭代方法

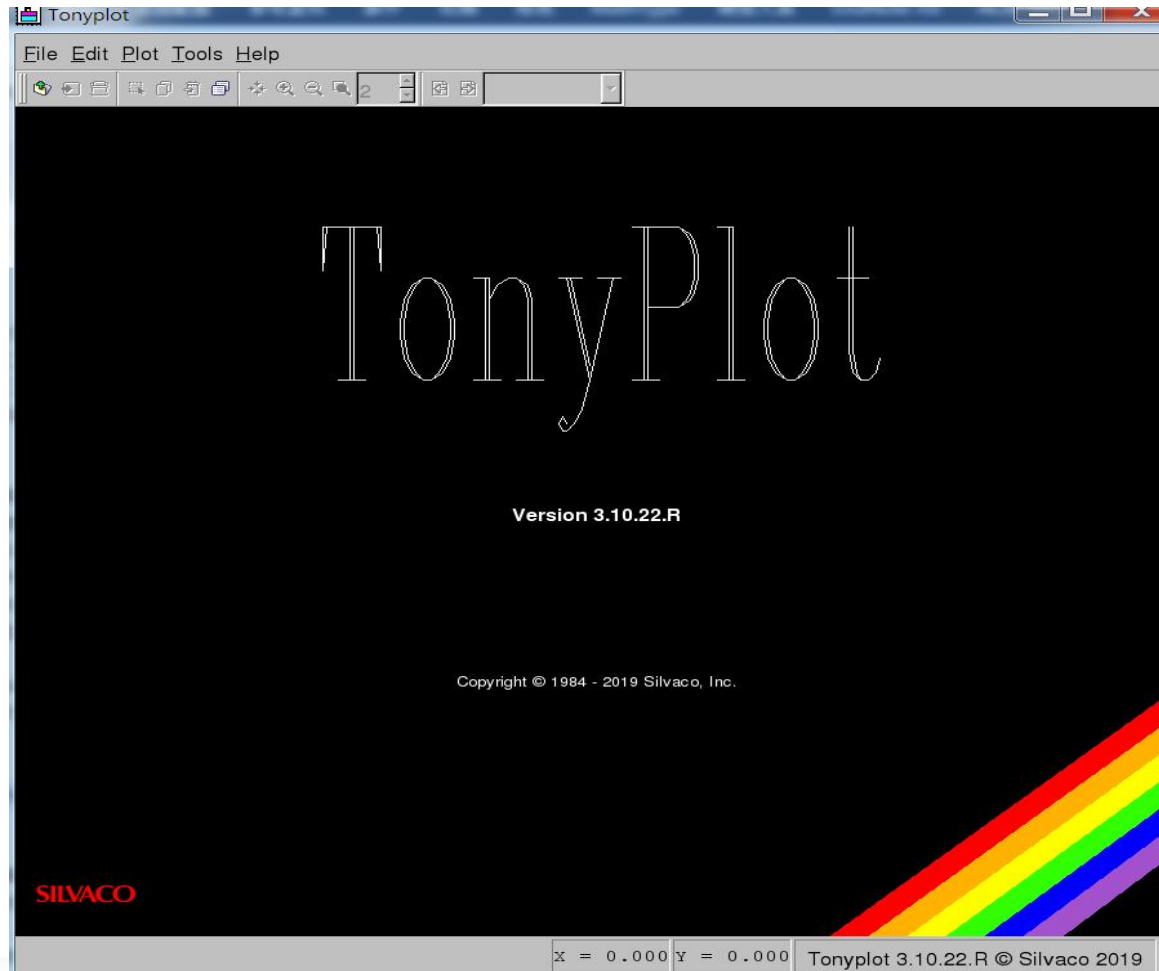
→ 保存從此行以下的信息狀態

→ 將此時計算的偏壓條件存成結構檔案



TonyPlot

Tonyplot可將模擬時生成str結構、log文件和提取得到的dat文件顯示出來。





Tonyplot 功能選單(I)

File 下拉菜單中可執行的主要操作有：

Open：打開需要顯示的文件。

Save As：另存為圖片文件。

Save Series：將多個文件保存為系列圖片文件。

Export：導出數據文件。

Open Set Files：導入顯示設置文件。

Save Set Files：保存顯示設置文件。



Tonyplot 功能選單(II)

Edit 下拉菜單中可執行的主要操作有：

Select All：選擇 Tonyplot 顯示的所有文件

Swap Two Plots：如果 Tonyplot 中顯示了兩個結果且都被選中（執行 Select All 選中所有圖），則將這兩個結果的顯示順序更換。

Make Overlay：將 Tonyplot 顯示的幾個結果重疊在一起顯示出來。

Split Overlay：將 Make Overlay 所重疊的圖釋放出來並在其後新開若干子圖。

Plot Difference：將兩個相似的結果的差別顯示出來（新開一個子圖），兩個結果相似主要體現在網格一致和有相同的物理量。例如多次例子注入並不會改變網格，但雜質分佈會有變化，這個時候就可以用 Plot Difference 來看每一次注入後的變化。

Duplicate Selected：將選中的圖複製，在最後面新開一個一樣的子圖。

Delete Selected：刪除顯示的圖。

Aspect Ratio：設定 Tonyplot 長寬比

Materials：自定義材料的顏色

Functions：函數計算功能，可以對顯示的量進行計算。



Tonyplot 功能選單(III)

Plot 下拉菜單中可執行的主要操作有：

Annotation顯示的註解。可設置標題名稱，軸位置和名稱，軸顯示的範圍。

Labels：在Tonyplot界面添加標籤。

Level Names：用 Overlay 的方式進行顯示時更改各線條的名稱，默認是採用文件名。

Set Zoom：放大特定區域，區域由 x 和 y 坐標值給出；

Zoom Out：從放大狀態回復到完全顯示狀態。

Display：將出現 Display (2D Mesh)視窗，對模擬數據的顯示方式進行設置。





Tonyplot 功能選單(III)

Plot 下拉菜單中可執行的主要操作有：

Annotation顯示的註解。可設置標題名稱，軸位置和名稱，軸顯示的範圍。

Labels：在Tonyplot界面添加標籤。

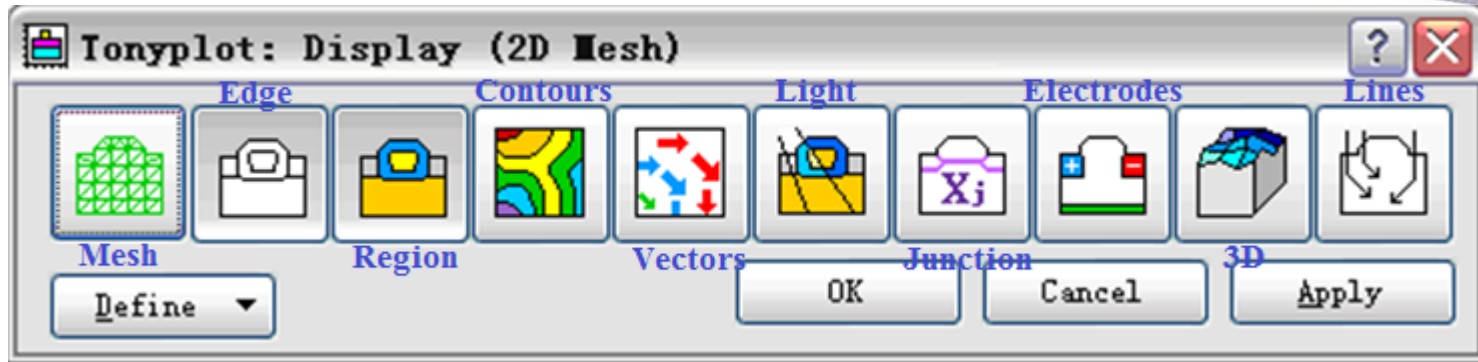
Level Names：用 Overlay 的方式進行顯示時更改各線條的名稱，默認是採用文件名。

Set Zoom：放大特定區域，區域由 x 和 y 坐標值給出；

Zoom Out：從放大狀態回復到完全顯示狀態。

Display：將出現 Display (2D Mesh)視窗，對模擬數據的顯示方式進行設置。





Mesh : 顯示結構中的網格分佈。

Edges : 顯示結構的邊界。

Regions : 顯示材料區域；

Contours : 顯示元件結構內部的物理量（有的需要在“output”中列出，如：con.band，val.band 為導帶和價帶位置的信息）的分佈。

Vectors : 顯示元件內部的矢量信息（如電場分佈，電流分佈...）。

Light : 顯示光線在元件內部的特性（光強、波長和反射率...）。

Junction : 顯示元件結構中結的邊界。

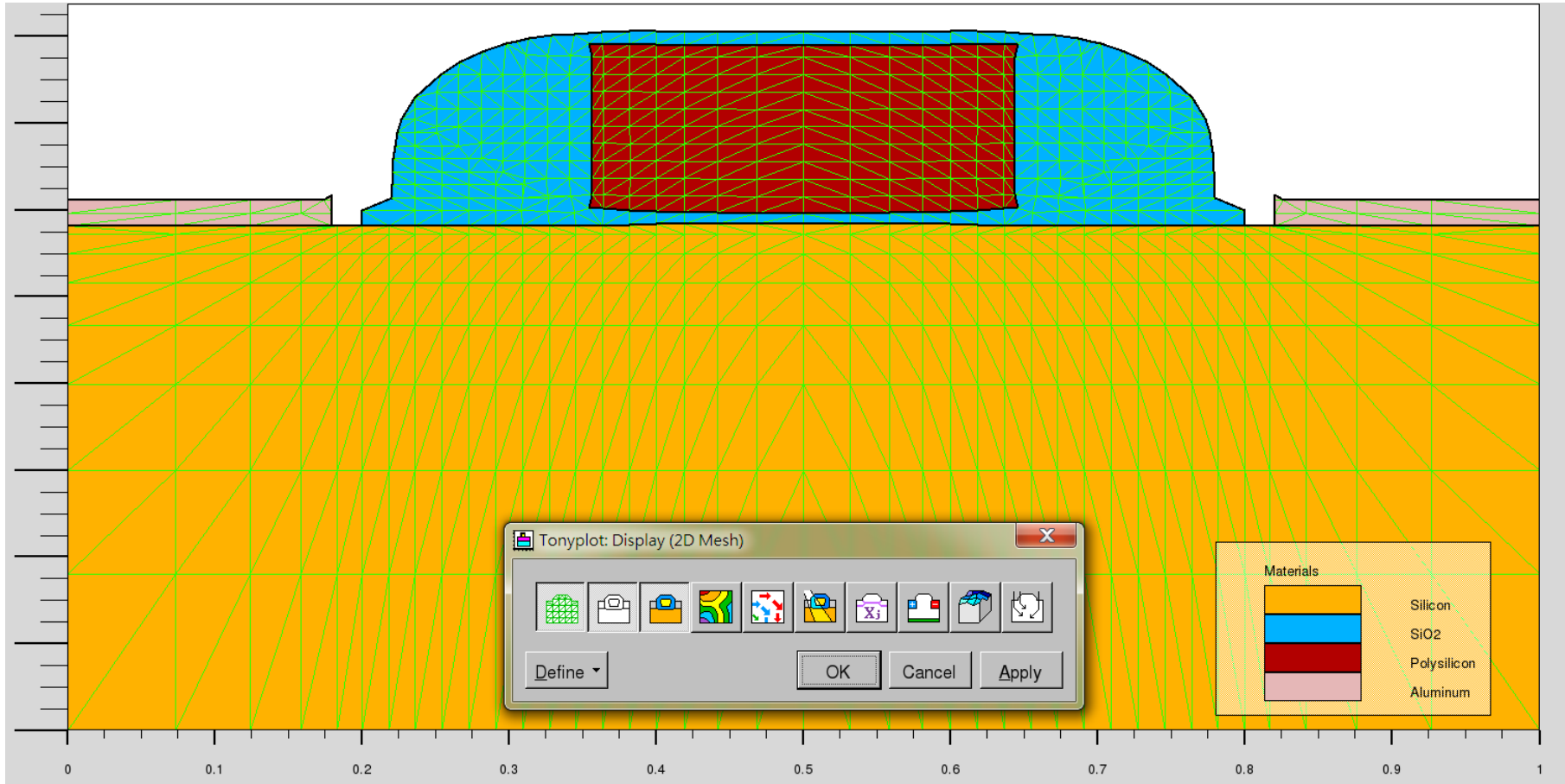
Electrodes : 顯示電極的名稱；

3D : 顯示三維信息；

Lines : 按照顏色來顯示。

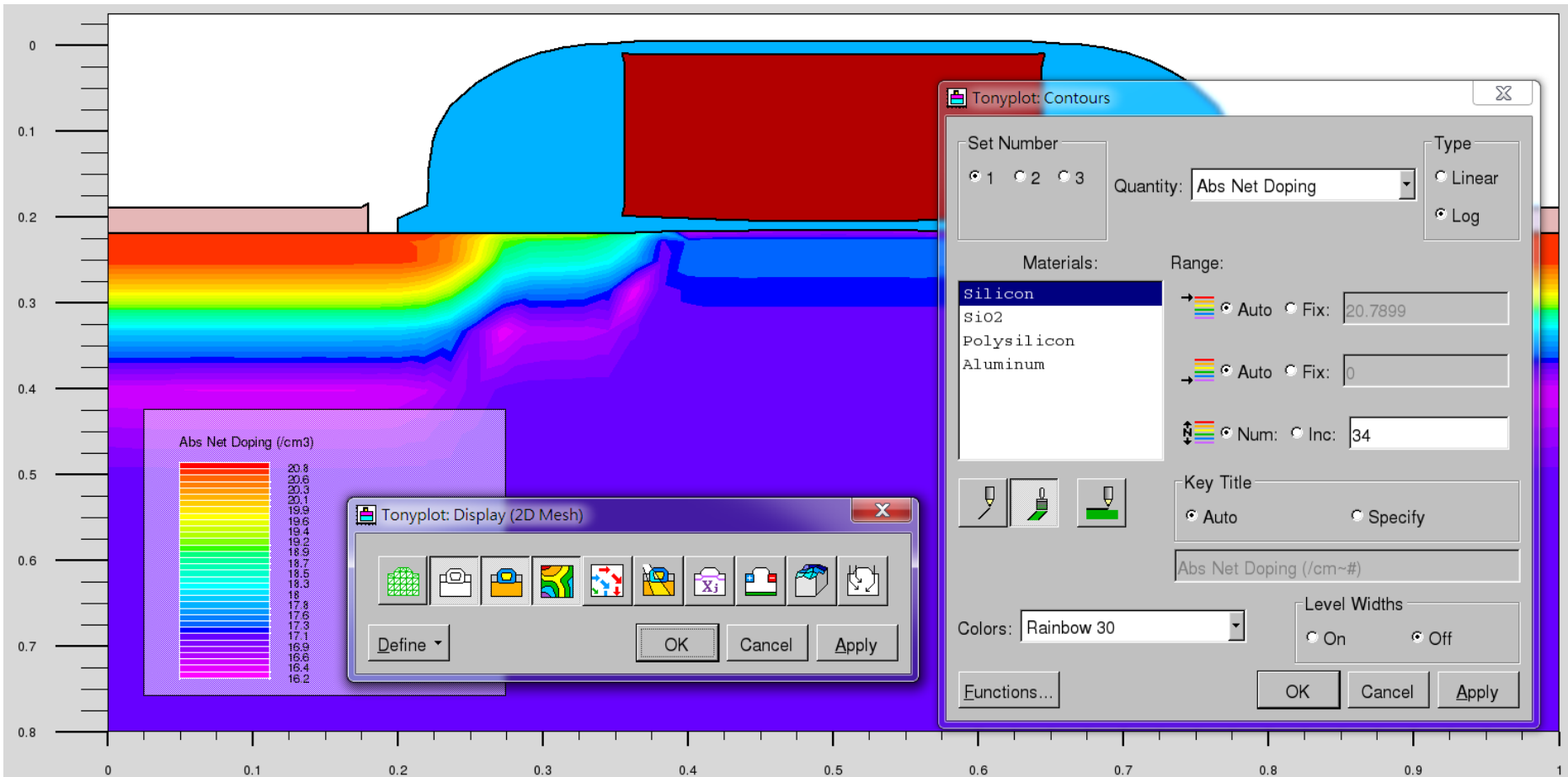


Mesh



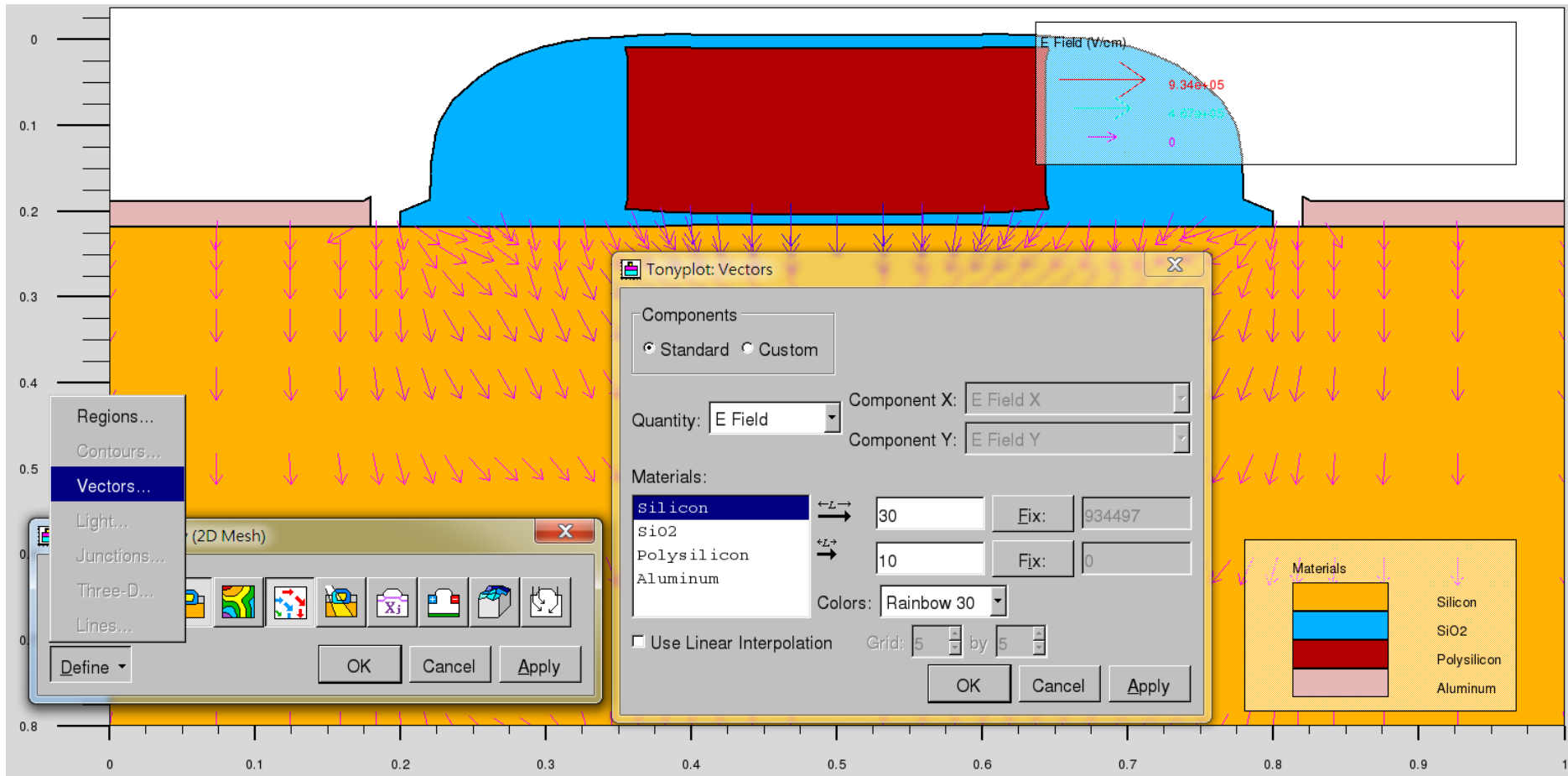


Contours



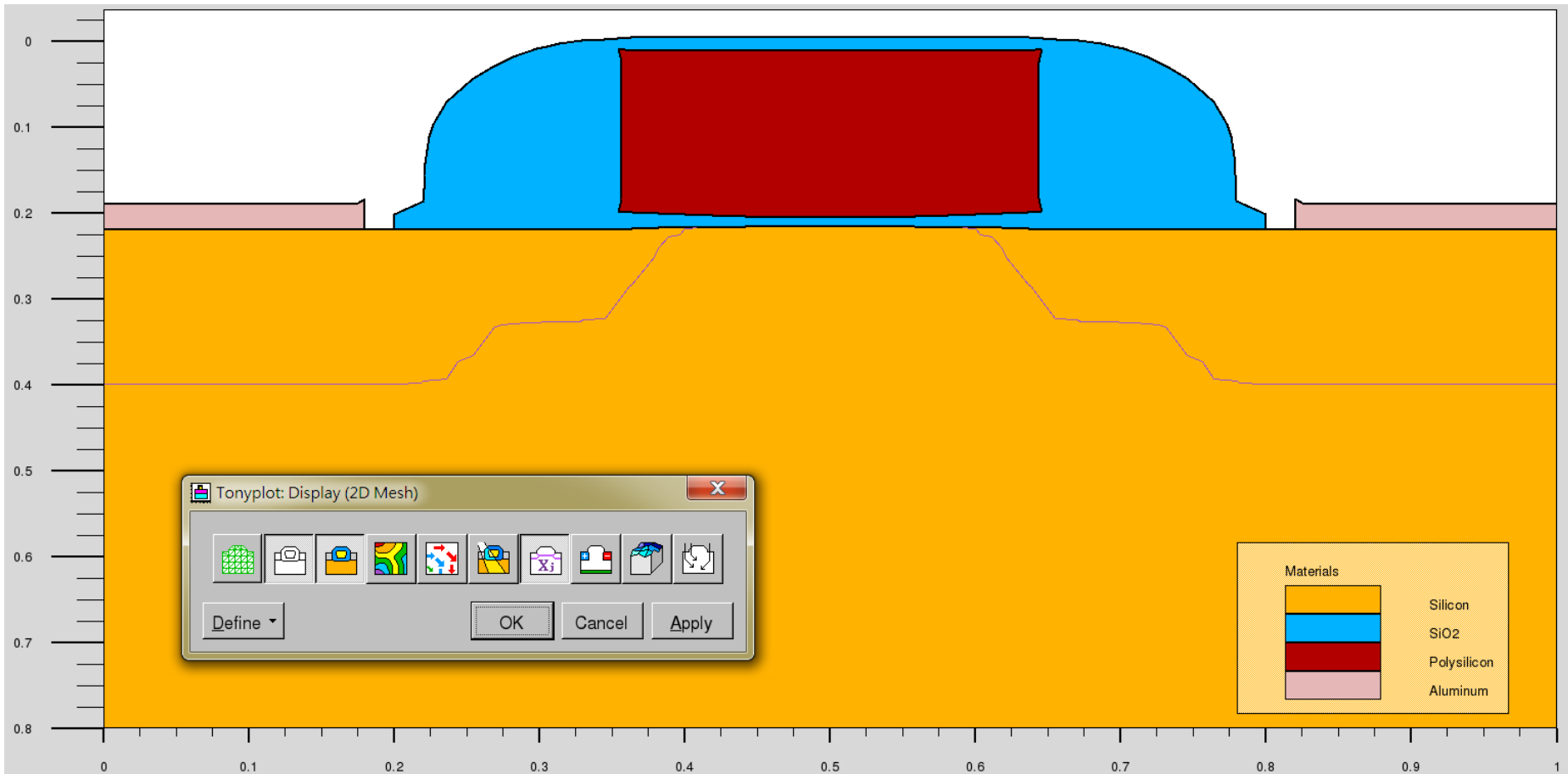


Vectors



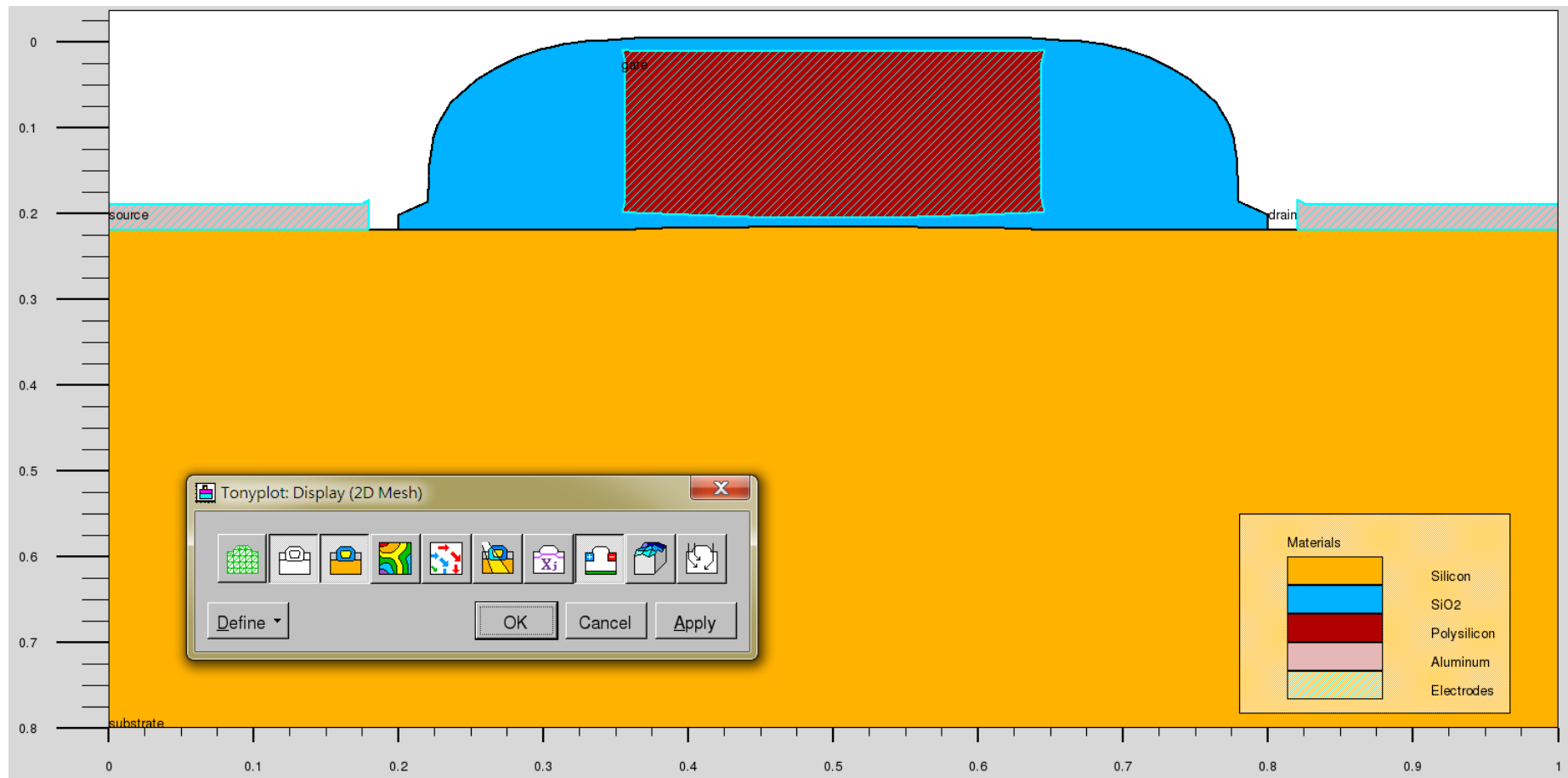


Junction





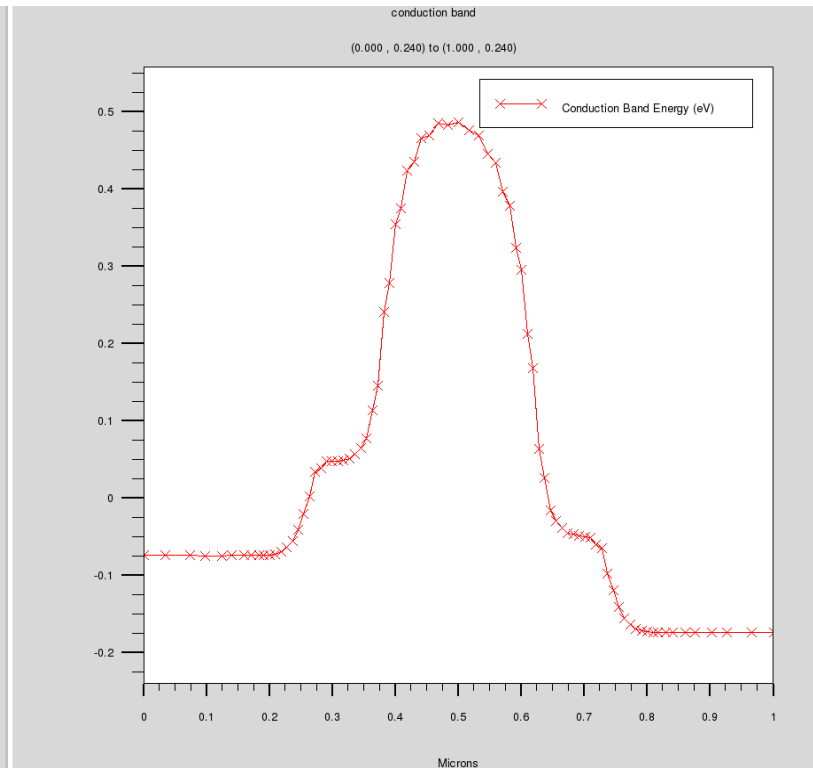
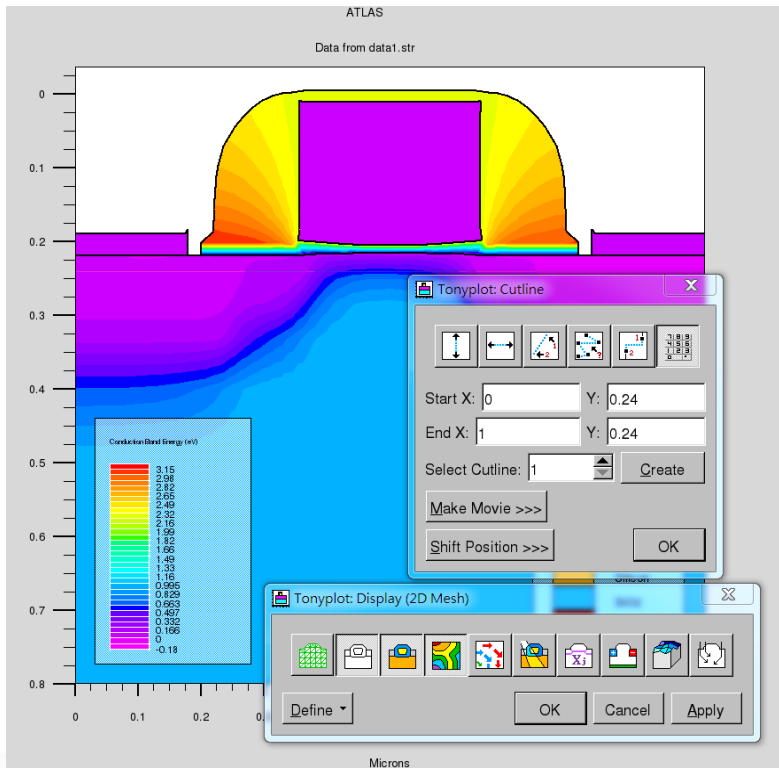
Electrodes





Cutline

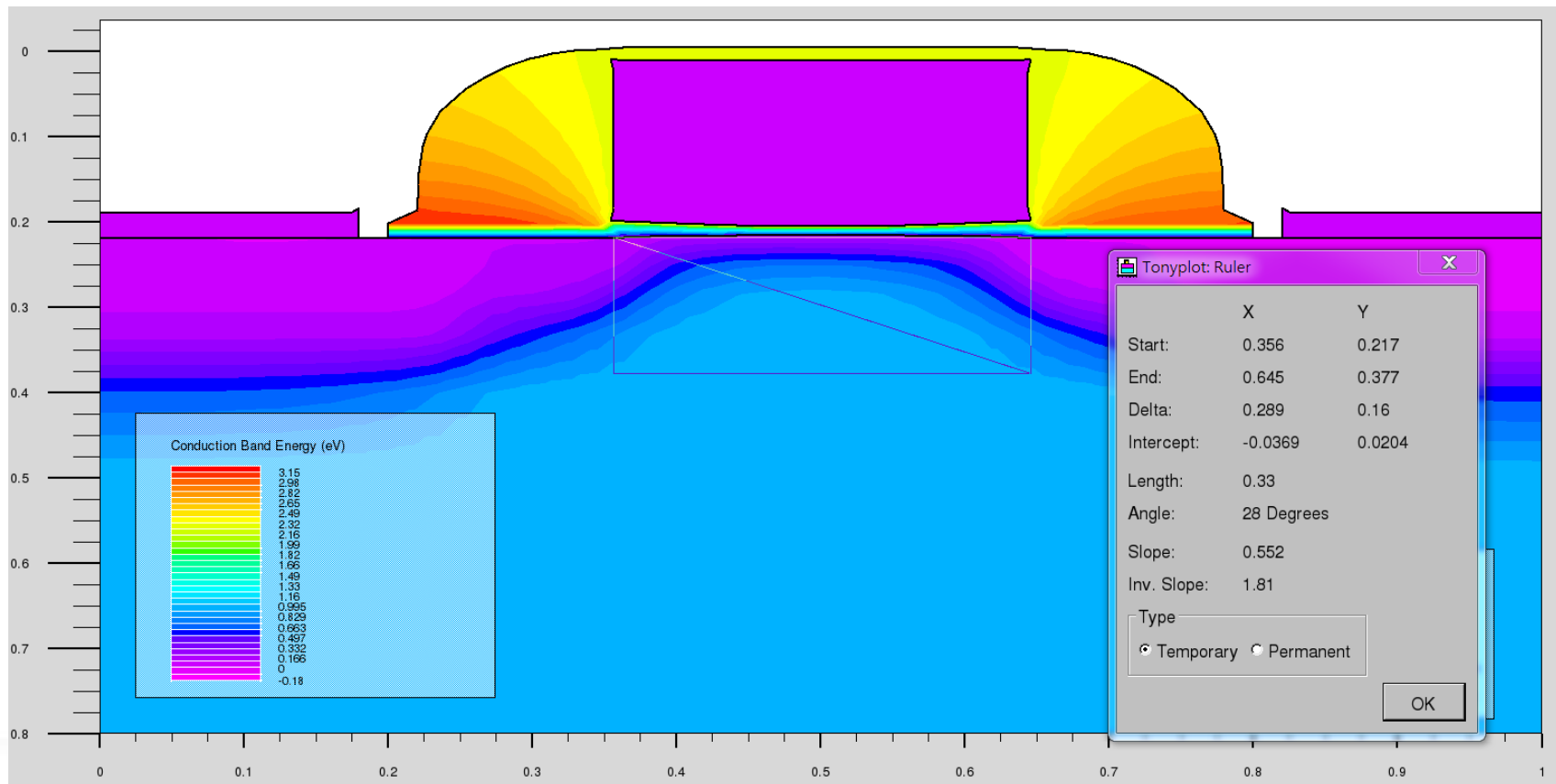
Cutline：在Tonyplot中顯示區域中劃“線”（直線或折線），則將新開一個子圖放置“線”上的數據。





Ruler

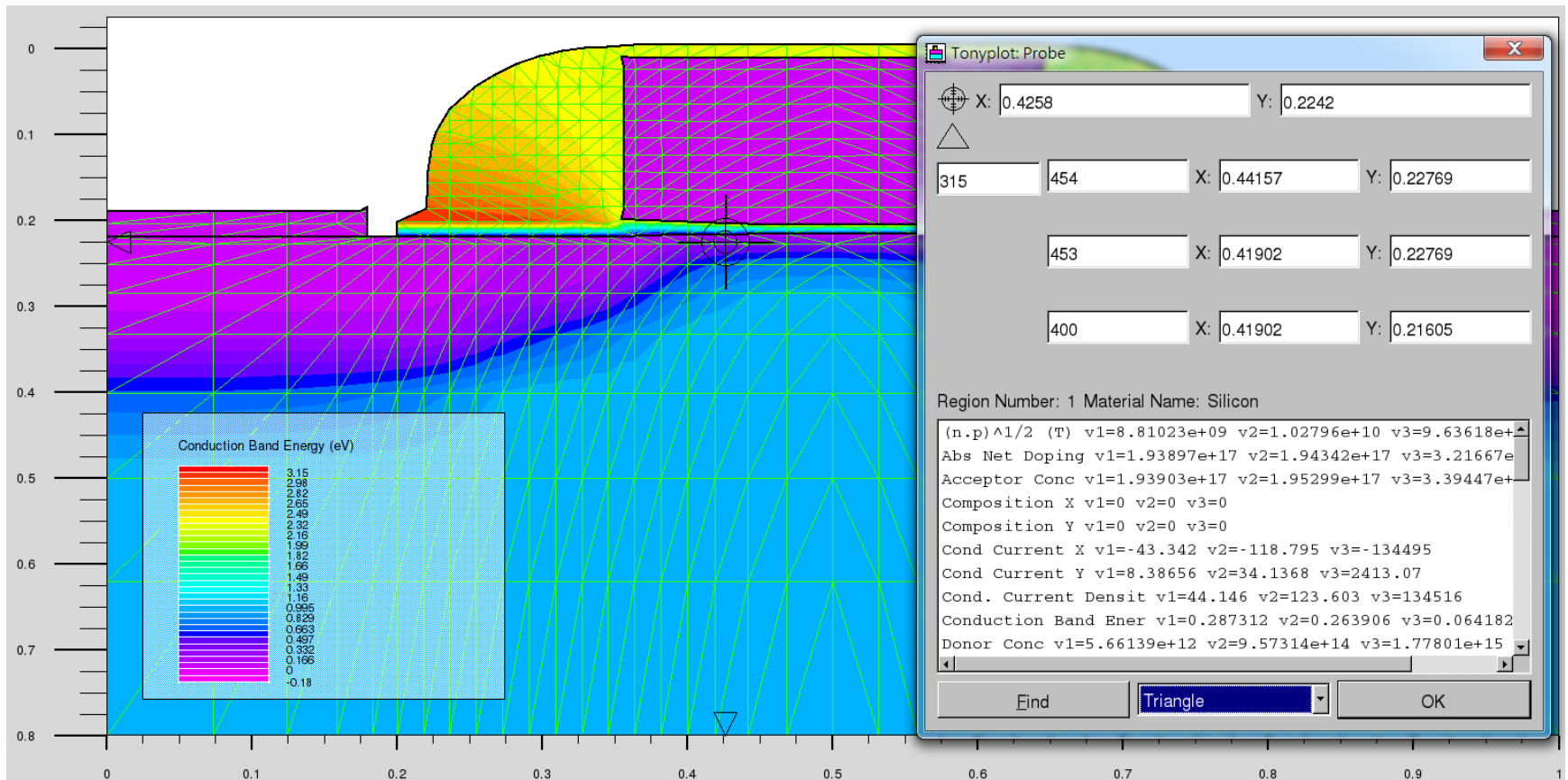
Ruler：測量圖中兩點的距離。按住鼠標左鍵並拖動則可以得到起止兩點間的距離信息 Δx 、 Δy 和 Length，兩點間的連線和水平線的夾角 angle 以及斜率 slope 等。





Probe

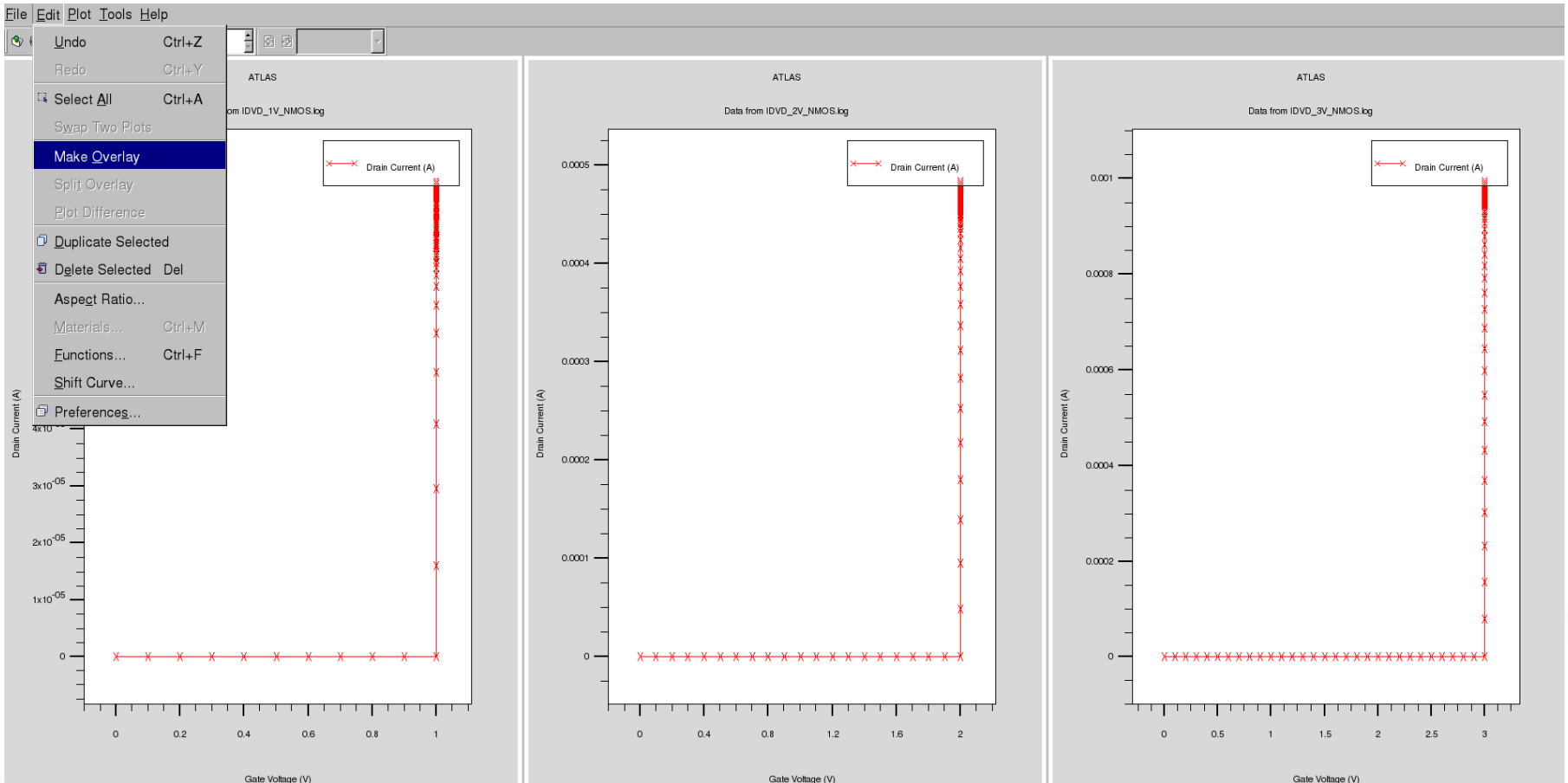
Probe：點 Probe 菜單，然後用左鍵在 Tonyplot 顯示區域點擊某一“點”就可獲得該點的信息。如果點在網格的同一個三角形內，那麼顯示的結果會是相同的，而不是所認為的點的坐標不同結果就不同。





Display of Data Plot (I)

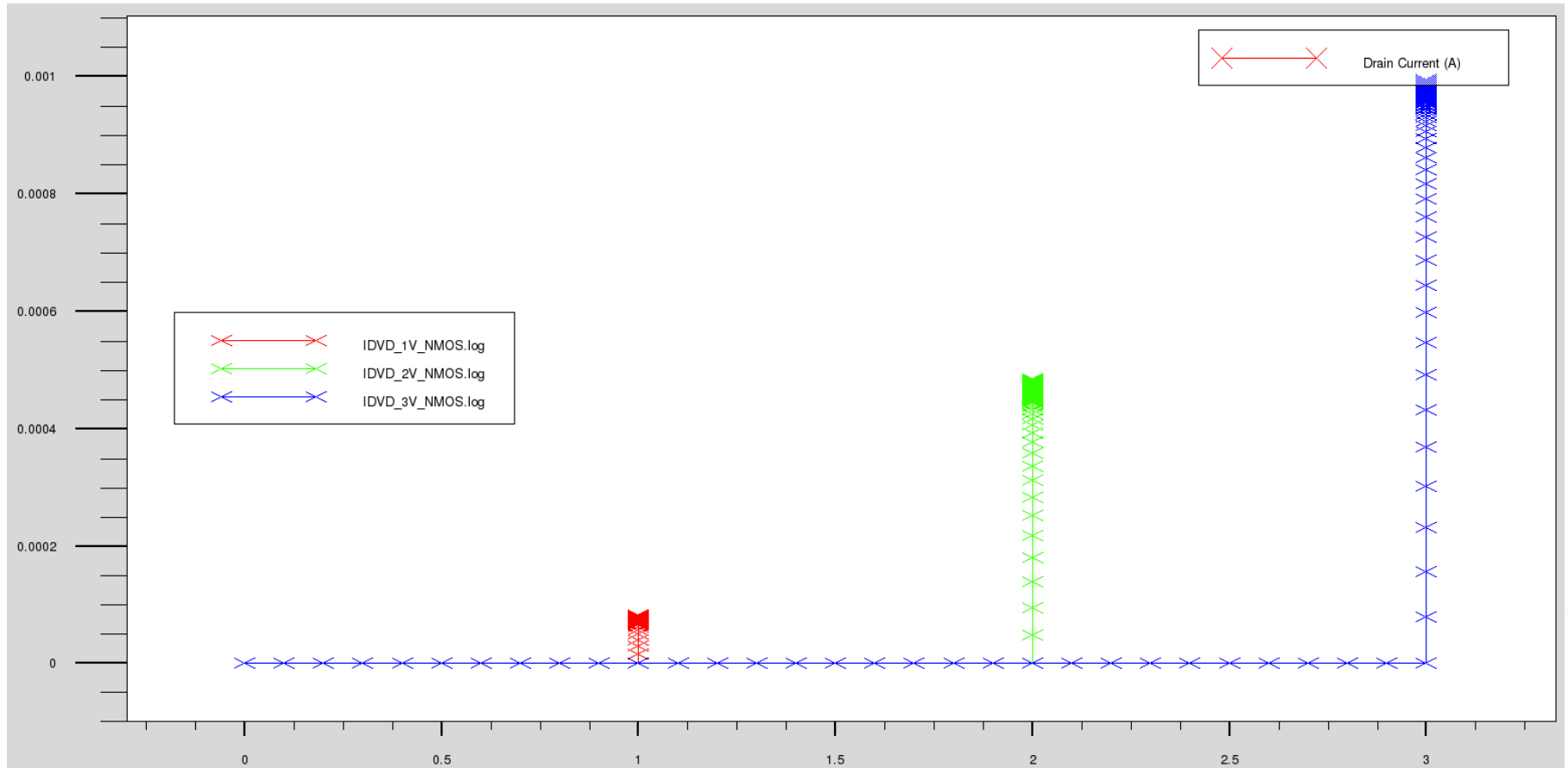
開啟log檔，**Edit** → **Select All** → **Make Overlay**，將所有圖繪製成一張比較。





Display of Data Plot (II)

Raw data

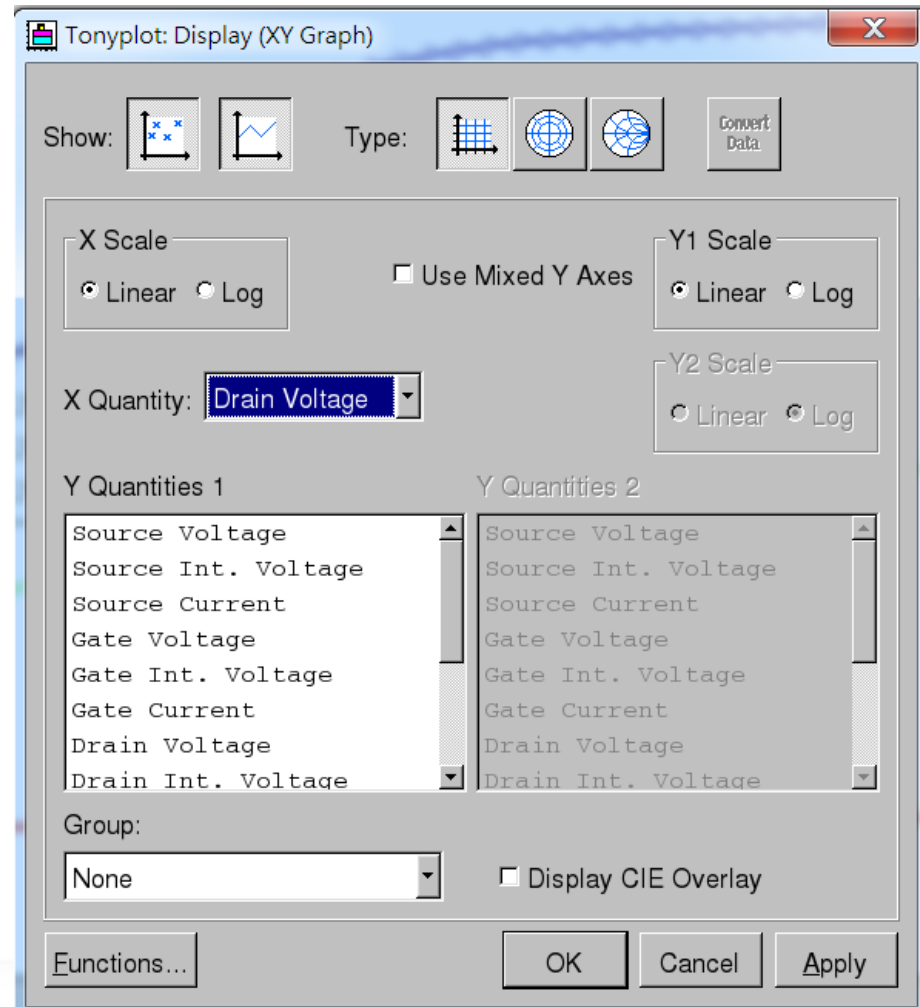




Display of Data Plot (III)

TonyPlot圖型介面操作

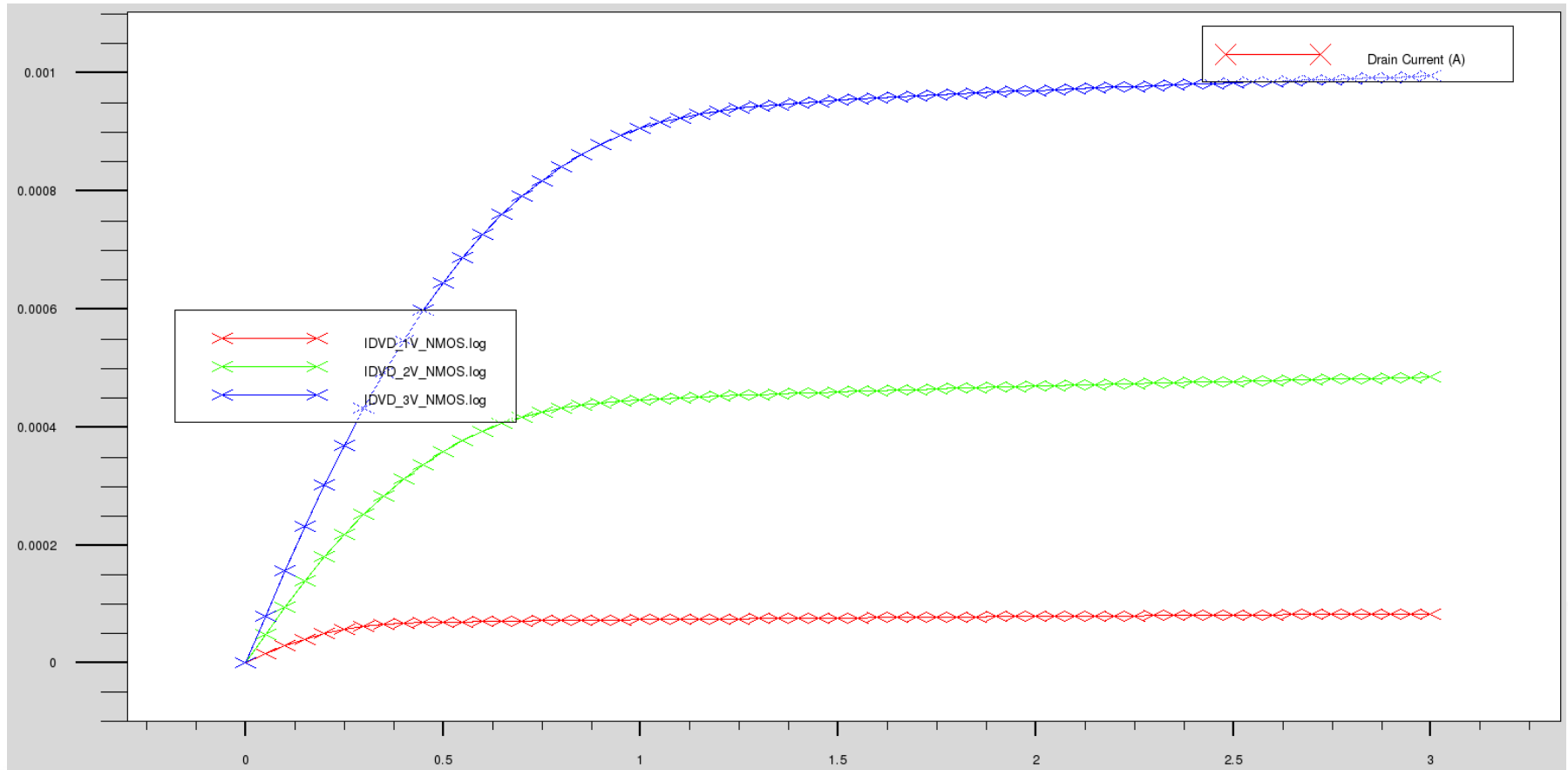
1. 右鍵 **Display**
2. 點選 **X軸Scale**
3. 點選 **X軸Quantity**
4. 點選 **Y軸Scale**
5. 點選 **Y軸Quantity**
6. 點選 **Apply**





Display of Data Plot (IV)

Adjusted new plot

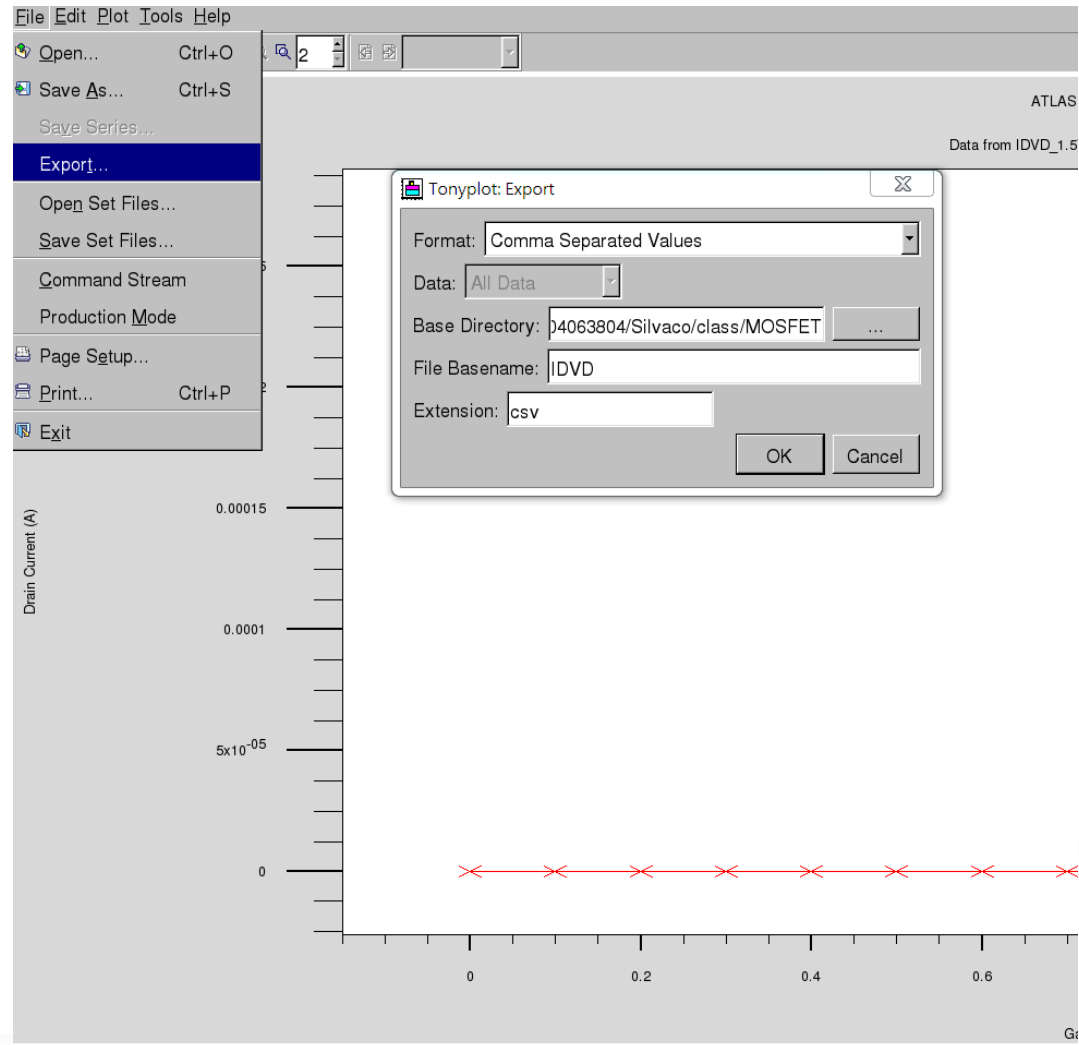




Data Export

TonyPlot圖型介面操作

1. 右鍵 **File**
2. 點選 **Export**
3. 點選 **Format**
4. 輸入 **Base Directory**
(儲存目錄位置)
5. 輸入 **File Basename**
6. 輸入 **Extension**
7. 點選 **OK**





Reference

- Silvaco deckbuild User's Manual
- Silvaco Athena User's Manual
- Silvaco Atlas User's Manual
- Silvaco TonyPlot User's Manual
- 半导体工艺和器件仿真工具 Silvaco TCAD
实用教程-唐龙谷



Ideal MOS Structure (I)

利用atlas先假定理想的MOSFET：

1. 設置變數
2. 定義變數
3. 定義區域
4. 設定電極
5. 定義摻雜
6. 儲存結構

```
#Ideal NMOSFET
```

```
go atlas
```

```
#
```

```
set Lg=0.2
```

```
set Lsd=0.2
```

```
set Ldd=0.2
```

```
set Tpoly=-0.2
```

```
set Tox=-0.003
```



Ideal MOS Structure (II)

```
#define Mesh
mesh space.mult=1.0
x.mesh loc=0.0 spac=0.10
x.mesh loc="$Lsd" spac=0.06
x.mesh loc="$Lsd"+"$Ldd" spac=0.02
x.mesh loc="$Lsd"+"$Ldd"+"($Lg"*0.5) spac=0.02
x.mesh loc="$Lsd"+"$Ldd"+"$Lg" spac=0.02
x.mesh loc="$Lsd"+"($Ldd"*2)+"$Lg" spac=0.06
x.mesh loc="($Lsd"*2)+"($Ldd"*2)+"$Lg" spac=0.10

y.mesh loc="$Tpoly" spac=0.004
y.mesh loc="$Tox" spac=0.001
y.mesh loc=0.0 spac=0.002
y.mesh loc=0.2 spac=0.005
y.mesh loc=0.5 spac=0.05
y.mesh loc=1 spac=0.15
```



Ideal MOS Structure (III)

#Define regions

REGION number=1 NAME=Silicon y.min=0 material=Silicon

#

REGION number=2 NAME=airr y.max=0 material=air

#

REGION number=3 NAME=Spacer x.min="\$Lsd" x.max="\$Lsd"+"(\$Ldd"*2)+"Lg" y.min="\$Tpoly" y.max=0 material=Nitride

#

REGION number=4 NAME=gateoxide x.min="\$Lsd" x.max="\$Lsd"+"(\$Ldd"*2)+"Lg" y.min="\$Tox" y.max=0 material=SiO2

#

REGION number=5 NAME=gatepoly x.min="\$Lsd"+"\$Ldd" x.max="\$Lsd"+"\$Ldd"+"\$Lg" y.min="\$Tpoly" y.max="\$Tox" material=Poly

#

REGION number=6 NAME=alelectrode x.min=0 x.max="\$Lsd" y.min="\$Tpoly" y.max=0 material=Aluminum

#

REGION number=7 NAME=alelectrode x.min="\$Lsd"+"\$Ldd"*2+"\$Lg" x.max="\$Lsd"*2+"\$Ldd"*2+"\$Lg" y.min="\$Tpoly" y.max=0 material=Aluminum



Ideal MOS Structure (IV)

#Define electrode

#

electrode number=1 name=source x.min=0 x.max="\$Lsd" y.min="\$Tpoly" y.max=0

#

**electrode number=2 name=drain x.min="\$Lsd"+"(\$Ldd"*2)+"Lg"
x.max=("\$Lsd"*2)+("\$Ldd"*2)+"Lg" y.min=\$Tpoly y.max=0**

#

**electrode number=3 name=gate x.min="\$Lsd"+"\$Ldd" x.max="\$Lsd"+"\$Ldd"+"Lg"
y.min=\$Tpoly y.max=\$Tox**

#

electrode number=4 name=base Bottom



Ideal MOS Structure (V)

```
#Define doping
#
doping uniform conc=9e+17 p.type direction=y
#
doping uniform conc=5e+18 n.type x.left=0 x.right="$Lsd"+"Ldd" y.top=0 y.bottom=0.04
direction=y
#
doping uniform conc=5e+18 n.type x.left="$Lsd"+"Ldd"+"Lg" x.right=
("$Lsd"*2)+("$Ldd"*2)+"Lg" y.top=0 y.bottom=0.04 direction=y
#
doping uniform conc=7e+19 n.type x.left=0 x.right="$Lsd" y.top=0 y.bottom=0.1 direction=y
#
doping uniform conc=7e+19 n.type x.left="$Lsd"+"Ldd"*2)+"Lg"
x.right=("$Lsd"*2)+("$Ldd"*2)+"Lg" y.top=0 y.bottom=0.1 direction=y

# save structure
SAVE outfile=NMOS.str
```




Ideal MOSFET ID-VG (I)

IDVG Curve

atlas

set Vd=1

set Vg=2

IDVG

MESH infile=NMOS.str space.mult=1.0

Specify models

#MODELS MOS PRINT SRH BGN BTBT TEMP=300

models srh cvt print BTBT temperature=300

Set the workfunction of the Poly gate

CONTACT NAME=gate N.POLY

IDVG curve

METHOD DAMPED NEWTON CARRIERS=2



Ideal MOSFET ID-VG (II)

SOLVE initial

#

solve vdrain=0 vstep=0.1 vfinal="\$Vd" name=drain

solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal=-1 name=gate

LOG outfile=NMOS_IDVG_"\$Vd".log master

solve vgate=-1 vstep=0.1 vfinal="\$Vg" name=gate

#SOLVE Vsubstrate=0 Vsource=0 Vgate=0 Vdrain=0 ELEC=drain VSTEP=0.05 NSTEP=20

#SOLVE Vsubstrate=0 Vsource=0 Vdrain=1 Vgate=-1 ELEC=gate VSTEP=0.05 NSTEP=60

log off

SAVE outfile=NMOS_IDVG_"\$Vd".str

OUTPUT CON.BAND VAL.BAND

SAVE outfile=NMOS_IDVG_"\$Vd"_Band.str

quit



Ideal MOSFET ID-VD (I)

IDVD

go atlas

set Vd=2

set Vg=1

IDVD

MESH infile=NMOS.str space.mult=1.0

Specify models

#MODELS MOS PRINT SRH BGN BTBT TEMP=300

models srh cvt print BTBT temperature=300

Set the workfunction of the Poly gate

CONTACT NAME=gate N.POLY

IDVD curve

METHOD DAMPED NEWTON CARRIERS=2



Ideal MOSFET ID-VD (II)

SOLVE initial

#

solve vgate=0 vstep=0.1 vfinal="\$Vg" name=gate

LOG outfile=NMOS_IDVD_Vg"\$Vg".log master

solve vdrain=0 vstep=0.1 vfinal="\$Vd" name=drain

#SOLVE Vsubstrate=0 Vsource=0 Vgate=0 Vdrain=0 ELEC=drain VSTEP=0.05 NSTEP=20

#SOLVE Vsubstrate=0 Vsource=0 Vdrain=1 Vgate=-1 ELEC=gate VSTEP=0.05 NSTEP=60

log off

SAVE outfile=NMOS_IDVD_Vg"\$Vg".str

OUTPUT CON.BAND VAL.BAND

SAVE outfile=NMOS_IDVD_Vg"\$Vg"_Band.str

quit